ハカセの宇宙一キビしいチェック!!

理解できたものに，☑チェックをつけよう。

- ☐ 電流は正電荷の流れと考える。
- ☐ 電流の定義は「1秒間に流れる電気量」であるので，電流Iが一定のとき，t秒間に流れる電気量は$Q=It$となる。
- ☐ $I=envS$の式を，自分で導くことができる。
- ☐ 電流が抵抗を流れると，抵抗の両端では$V=RI$の電位差が生じる。
- ☐ 抵抗はせまくて長いと電荷が流れにくいので，抵抗線の長さに比例し，断面積に反比例する$\left(R=\rho\dfrac{\ell}{S}\right)$。
- ☐ 直列接続と並列接続の合成抵抗を，導きかたも含めて理解した。
- ☐ 見づらい回路を見やすいものにかき直せる。
- ☐ キルヒホッフの第1法則を使い，電流を表すのに使う文字を節約できる。
- ☐ 各閉回路について電圧1周0ルールの式を立てられる。
- ☐ 電流計および電圧計の測定範囲をn倍にする方法を理解した。
- ☐ 抵抗から発生するジュール熱および電力，電力量の式を覚えた。
- ☐ 非直線抵抗における4ステップの考えかたを理解した。

Chapter

4

電流

4-1　電流とは
4-2　電子の動きと電流
4-3　抵抗とオームの法則
4-4　直流回路と電気用図記号
4-5　直流回路の考えかた
4-6　抵抗の直列接続
4-7　抵抗の並列接続
4-8　回路のかき直し
4-9　キルヒホッフの法則
4-10　電源の内部抵抗
4-11　電流計
4-12　電圧計
4-13　ホイートストンブリッジ
4-14　電力とジュール熱
4-15　非直線抵抗

Chapter

4 電流

はじめに

電流とは文字通り電気の流れのことです。
この電気の流れを邪魔するものが抵抗です。

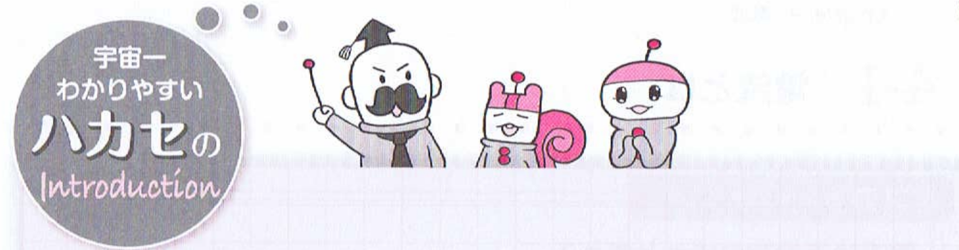
電気回路は，電流と電圧，抵抗や電源（電池）で説明することができます。
例えば，電熱線に電池をつなげると熱が発生します。
電熱線も抵抗の一種です。
電流が流れることで電荷が移動し，その位置エネルギーの変化によって熱が出るのです。

ここでは「オームの法則」や「キルヒホッフの法則」などの法則をはじめとして，盛りだくさんな内容を学びます。

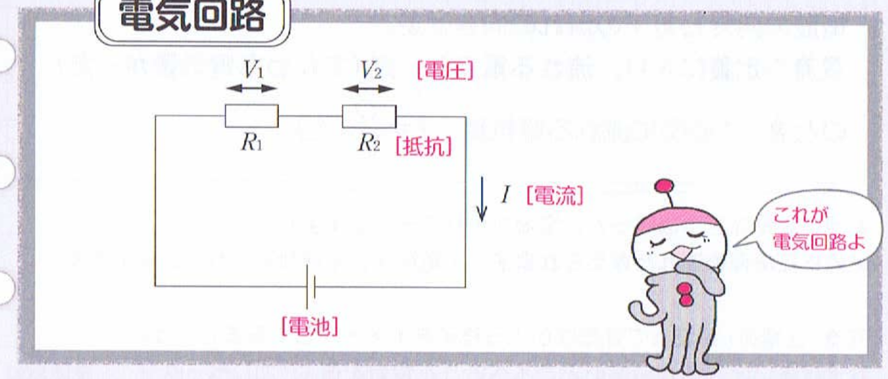
明確なイメージをもてるように教えていきますので，しっかりついてきてくださいね。

この章で勉強すること

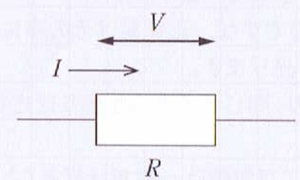
電流とは何か，オームの法則とは何かといった，直流回路の基本事項から学んでいきます。
次に並列，直列接続といった出題されやすいところを勉強します。
キルヒホッフの法則など，難しめの項目は例題を交えながらやっていきます。



電気回路

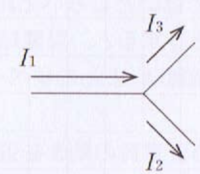


[オームの法則]

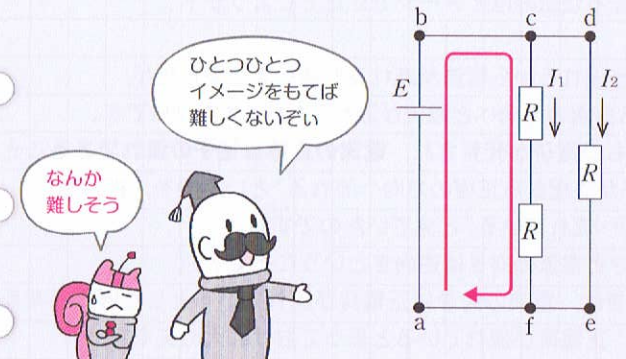


$V=RI$

[キルヒホッフの法則]



$I_1=I_2+I_3$



a → b → c → f の
閉回路で
$E-RI_1-RI_1=0$

f → c → d → e の
閉回路で
$RI_1+RI_1-RI_2=0$

4-1 電流とは

ココをおさえよう！

電流は正電荷の流れと考える。
電流の向きと電子の流れの向きは逆。
電流の定義により，流れる電流が一定（すなわち電気量が一定）のとき，1秒間に流れる電気量 $I=\dfrac{Q}{t}$〔A〕

電池に豆電球をつなげると，電流が流れて光りますよね。
電流は正電荷の流れと考えられます。正電荷が絶え間なく流れているのです。

電流（正電荷）が流れて豆電球が光る様子をイメージしてみましょう。
電池は低いところから高いところへと，正電荷を運ぶ"エレベーター"，豆電球は"タービンつきのすべり台"（タービンが回ると豆電球が光る）と思ってください。

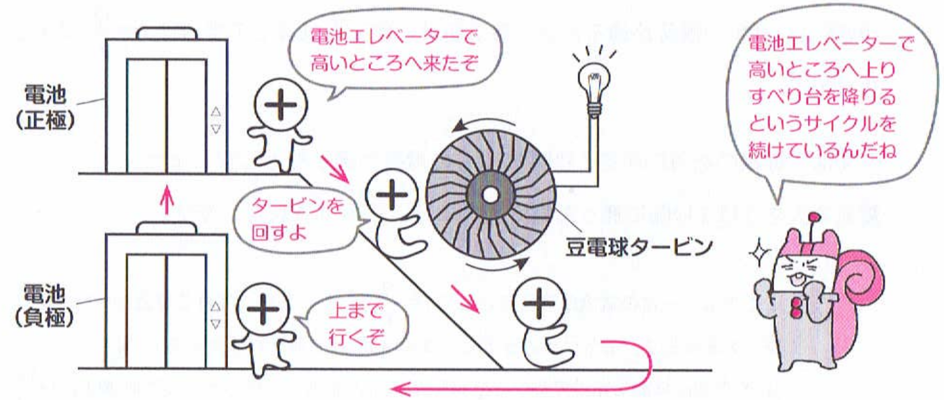
まず正電荷はエレベーターに乗り，電位の高いところへ上ります。
そしてすべり台で低いところへと降りていくのですが，正電荷はその際にタービンを回します。そうすると，豆電球が一瞬だけ光ります。
すべりきった正電荷は，またエレベーターに乗り，同じサイクルが繰り返されます。

この例では1個の正電荷の動きを追ったので，"豆電球は一瞬だけ光る"といいましたが，本来は，導線中に多量にある正電荷がこのサイクルを続けているため，タービンは常に回って豆電球は光り続けるのです。
電流が流れて豆電球が光る仕組みはイメージできたでしょうか？

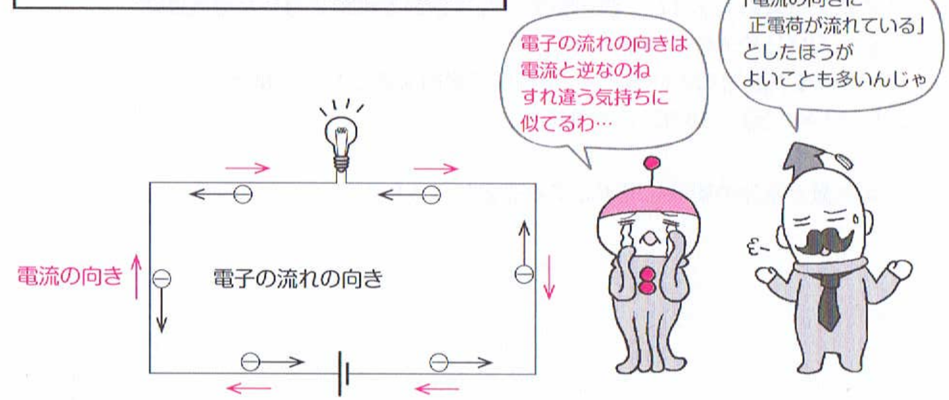
さて，ここまで正電荷が流れるから電流が流れると話してきましたが，これは大昔に"正極から負極の方向へと電流が流れる"と決めたからです。
その後，負の電気量をもつ電子が発見され，**電流の正体は電子の流れである**ことがわかりました。"電子が負極から正極の方向へ流れる"というのを，相対的に"正電荷が正極から負極へ流れている"と見ていたのですね。
回路を流れる電子の向きと電流の向きは逆向きということです。
ただ，回路を考えるときは，電流の向きに正電荷が流れているとしたほうが考えやすいことも多いので，正電荷が流れていると思っておけば大丈夫です。

電流は正電荷の流れ

［電流（正電荷）が流れて豆電球の光る様子をイメージ化］



電流の向きと電子の流れの向き



さて，次に電流の定義についてお話しします。

電流の大きさを表す単位には**A（アンペア）**を使います。
電流の大きさは，**1秒間に導線を移動する電気量**で定義されています。
単位の変換をすると，**A＝C/s**ということです。
1秒間に1Cの電荷が通ったら1A＝1C/sの電流が流れていることになりますし，1秒間に3Cの電荷が通ったら3A＝3C/sの電流が流れているということになります。

t秒間にQ〔C〕の電荷が通るとき，電流値が一定であればその電流は$I=\dfrac{Q}{t}$〔A〕となります。

例えば，導線のある場所を3秒間で12Cの電荷が通ったとしましょう。
電流の大きさは1秒間に通った電気量なので，$\dfrac{12}{3}=4$ Aになります。

補足 ここでは，一定の電流が流れるとして$I=\dfrac{Q}{t}$としましたが，流れる電流が一定でない場合もあります。そういうときでも，微小時間Δtで考えれば大丈夫です。
Δt秒の間に移動した電気量がΔQ〔C〕であるとすると，そのときの電流値は$I=\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$となります。$\Delta$がついただけなので，難しくありませんね。

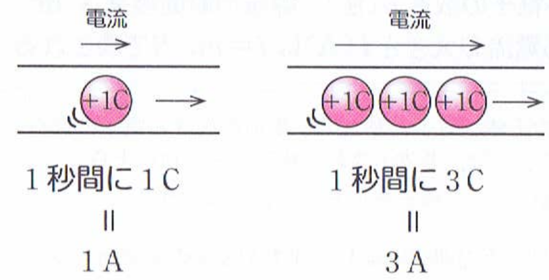
逆に，電流の大きさがIで一定のとき，t秒間で導線を通った電気量は
$Q=It$〔C〕で求められます。
6Aの電流が流れているとき，3秒間で導線を通った電気量は
6〔A〕×3〔s〕＝18〔C〕となります。

電気量と電流の関係を理解しておきましょうね。

電流の定義と単位

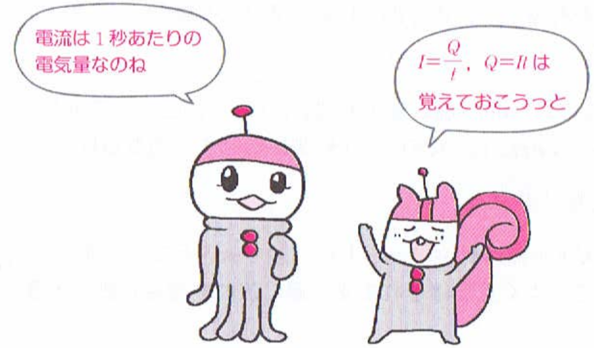
1秒間に導線を移動する電気量

〔A〕＝〔C/s〕（アンペア）



電流の大きさがIで一定のとき
t秒間にQ〔C〕移動したときの電流は？
⇒ $I=\dfrac{Q}{t}$〔A＝C/s〕

I〔A〕の電流がt秒間流れたときの移動した電気量は？
⇒ $Q=It$〔C〕



ここまでやったら
別冊P.13へ

4-2 電子の動きと電流

ココをおさえよう！

電子の電気量を $-e$〔C〕，動く速さ（平均の速さ）を v〔m/s〕，導線 1 m³ あたりに含まれる電子の数を n〔個〕，導線の断面積を S〔m²〕とすると，導線を流れる電流の大きさ I〔A〕は $I=envS$ で表される。

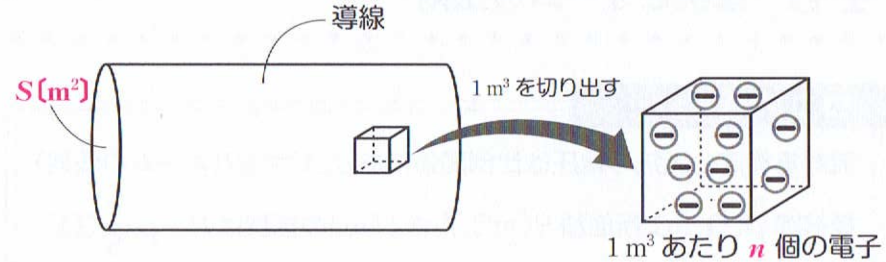
4-1 で説明した通り，電流の正体は電子の動きで，電流の向きと電子の流れの向きは逆向きなのでしたね。ここでは，電流の流れる様子をミクロにとらえます。たくさんの電子が導線中を動いている様子をイメージしましょう。

断面積が S〔m²〕の導線があり，その導線には 1 m³ あたり n 個の電子があるとします。この導線に電池をつないで電流を流します。
このとき，電流の向きとは逆に電子が動くことになるのですね。
電子は電気量が $-e$〔C〕$=-1.6\times10^{-19}$ C の負電荷です（p.20）。
電子の動く速さ（平均の速さ）を v〔m/s〕としましょう。

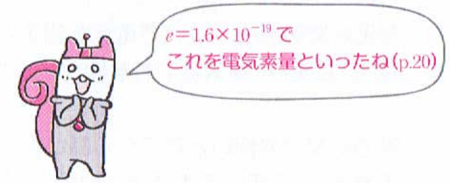
電流の大きさは，1 秒間に導線を移動する電気量のことでしたが，
まずは t 秒間で導線の断面を通る電子の個数を調べてみます。
導線にはたくさん電子があるので，同時に複数の電子が断面を移動しますね。
通った電子の個数をひとつひとつ数えていこうとすると，かなり大変です。
そこで，電子の速さが v〔m/s〕であることに注目します。

電子は t 秒間で vt〔m〕進みますね。そのため，断面から手前 vt〔m〕までの位置にいるすべての電子は，t 秒間の間に断面を通ることになります。
導線の断面の面積（断面積）は S〔m²〕なので，この部分は底面積が S〔m²〕で高さが vt〔m〕の立体と考えることができ，この立体の体積は $vt\cdot S$〔m³〕になります。
1 m³ あたりに n 個の電子があるので，この部分にある電子の個数は
$vt\cdot S\times n=nvtS$〔個〕です。

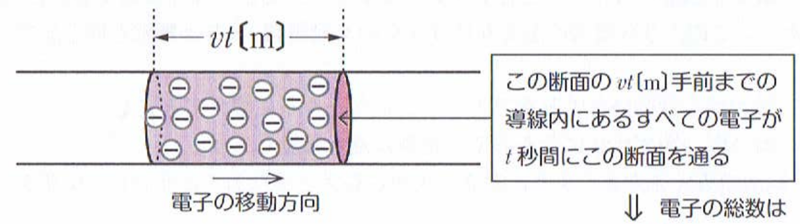
電子の電気量は $-e$〔C〕なので，$nvtS$ 個の電子の電気量は $-envtS$〔C〕ですね。
t 秒間に移動する電気量が $-envtS$〔C〕なので，1 秒間に移動する電気量は
$\dfrac{-envtS}{t}=-envS$〔C〕になります。
つまり，電流の大きさ I〔C/s＝A〕は $\boldsymbol{I=|-e|nvS=envS}$ となります。
この式の導出は入試問題でもよく見かけられます。導く流れを理解しましょう。



電子：電気量	$-e$〔C〕
速さ	v〔m/s〕



t 秒間に導線を移動する電子の個数



⇓ 電子の総数は
$nvtS$ 個

電子の電気量の大きさは e なので
t 秒間に移動した電子の電気量の大きさは
$envtS$〔C〕
1 秒間に移動する電気量の大きさ，すなわち電流は
$I=envS$〔A〕

ここまでやったら
別冊 P.14へ

4-3 抵抗とオームの法則

ココをおさえよう！

流れる電流と抵抗の電圧は比例関係にあり，$V=RI$（オームの法則）

抵抗率ρ（ロー）〔Ω·m〕，断面積S〔m^2〕，長さℓ〔m〕の抵抗は$R=\rho\dfrac{\ell}{S}$〔Ω〕。

電池に電熱線をつないで電流を流すと，電熱線が熱くなります。
電流（正電荷）が流れて電熱線が熱くなる様子を，イメージしてみましょう。

電池は電位の低いところから高いところへと，正電荷を運ぶ"エレベーター"，
電熱線は，"粗くてボコボコの坂"だと思ってください。
正電荷はこの粗い斜面の坂をすべって，上から下へと降りていくのですが，粗くてボコボコしているので熱が発生するのです。

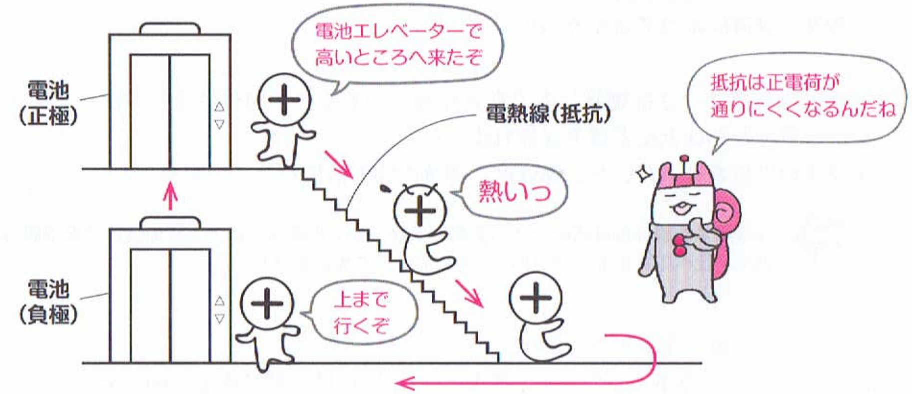
また，正電荷に摩擦がはたらくことをイメージすると，あまり速く移動することもできません。このような電荷の動きを妨げるものを**抵抗器**，または**抵抗**と呼びます。

電池を，電位がより高いところまで上がるエレベーターに変えてみましょう。
すると，粗い坂の傾きが急になるので，電荷は速く移動します。
これは，電池の電圧を大きくすると電流の大きさも大きくなることを表しています。

この関係をくわしく調べると，多くの抵抗では**流れる電流と抵抗にかかる電圧とが比例関係になっている**ことがわかっています。つまり，電圧V〔V〕と電流I〔A〕について，$V=RI$となっています。この関係を**オームの法則**と呼びます。
Rを**電気抵抗**，または**抵抗**と呼び，抵抗の単位にはΩ（**オーム**）を使います。
1 Ωの抵抗は，電圧が1 Vの電池をつなぐと，電流の大きさが1 Aとなる抵抗のことです。抵抗Rの値が大きいほど，坂はとても粗くなり，電荷の動きが遅くなります。

また，電流（正電荷）が抵抗（粗い坂）を流れると，電位は低くなります（正電荷は低いところへ降りる）。つまり，抵抗につながっている両端の導線では，電位に差が生じているということです。
この電位差を抵抗による**電圧降下**といいます。
抵抗を電流が流れると，電位が下がるというのを，覚えておきましょう。

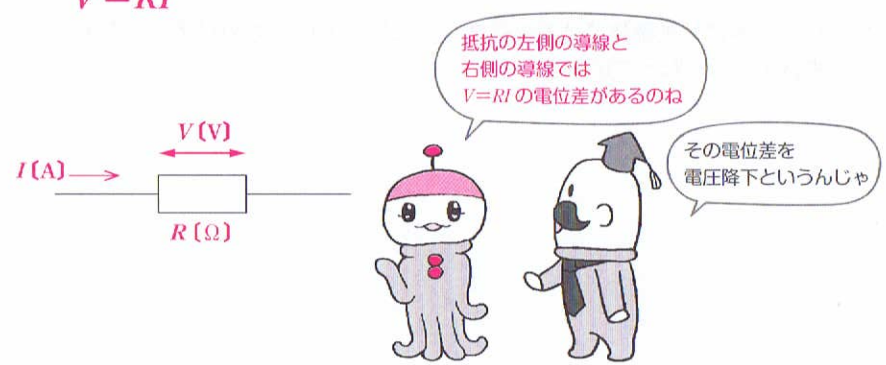
［電流（正電荷）が流れて電熱線が熱くなる様子をイメージ化］



オームの法則

抵抗値Rの抵抗に流れる電流Iと，抵抗にかかる電圧Vの関係式は

$$V=RI$$



電荷にとっては，抵抗という坂は動きにくいもので，特に，「道幅がせまく，距離が長い」抵抗なんていったら，動きにくくてたまりません。

抵抗Rの大きさ（＝電流の流れにくさ）は「断面積に反比例して，長さに比例する」ということがわかっています。
つまり，抵抗の断面積をS〔$\mathrm{m^2}$〕，長さをℓ〔m〕とすると，抵抗R〔Ω〕は

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

と表されます。比例定数ρ（ロー）〔Ω・m〕は**抵抗率**と呼ばれる量で，その値は抵抗の物質の種類や温度によって決まるものです。

導体は抵抗率が小さな物質なので電流が流れやすく，不導体は抵抗率がとても大きい物質のためほとんど電流が流れません。
半導体の抵抗率は，だいたい導体と不導体の間の値になっています。

補足 実際には導線は抵抗値の小さい抵抗ですが，多くの場合では，導線の抵抗は抵抗器の抵抗と比べてとても小さいので0として考えて大丈夫です。

抵抗率は，温度によって少し変化します。
0℃における抵抗率をρ_0〔Ω・m〕とすると，t℃における抵抗率ρ〔Ω・m〕は

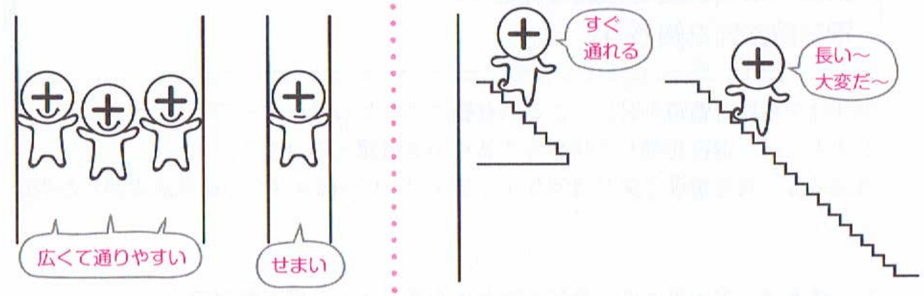
$$\rho=\rho_0(1+\alpha t)$$

と表されます。
α〔1/K〕は**抵抗率の温度係数**と呼ばれ，抵抗の物質によって異なります。
金属などの導体では，温度係数は正になっていて，温度が高いほど抵抗率が大きくなっています。
反対に，不導体や半導体では温度係数は負になっているものが多く，温度が高いほど抵抗率が低くなっています。

抵抗 R の大きさ（電流の流れにくさ）

「断面積に反比例して，長さに比例する」
（せまくて，長いと電荷が移動しにくい！）

〈抵抗の坂〉



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

↑
Sが小さいほど
ℓが大きいほど
Rが大きい
（電流が流れにくい）

[抵抗率 ρ の温度変化]

0℃における抵抗率をρ_0とすると，t℃における抵抗率ρは

$$\rho=\rho_0(1+\alpha t)$$

ここまでやったら
別冊 P. 15へ

4-4 直流回路と電気用図記号

ココをおさえよう！

電荷を動かす向きがずっと同じ電源を直流電源といい，直流電源による電気回路を直流回路という。
電気回路図を知ろう。

電池は正電荷を電位の高いところへ移動させるエレベーターでした。
このように，電荷を動かす役割をするものを**電源**と呼びます。
電源には，直流電源と交流電源がありますが，Chapter 8までは直流電源しか扱いません。

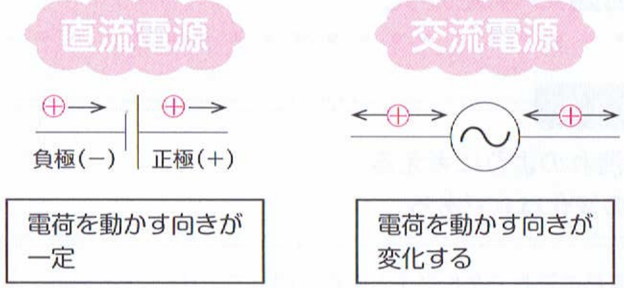
直流電源は，電池のように電荷を動かす向きがずっと同じ電源です。
正電荷は正極から出発し，導線や抵抗を経て，負極へ戻ってきます。
電源は，正極と負極の間の電圧が一定の値になるように電荷を移動させています。
この電圧のことを**起電力**と呼びます。
また，直流電源によって作られた電気回路のことを**直流回路**と呼びます。

電源や抵抗などがどのようにつながっているかを表した図を**電気回路図**といいます。
電気回路図をかくときに使われている記号が**電気用図記号**です。
電気回路図では導線を線で表します。
複数の線が1カ所で交わっているところの真ん中に黒丸がある場合は，そこで導線がつながっていることを表しています。

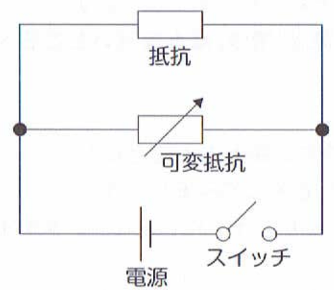
直流電源は長さの違う2本の棒で表します。**長いほうが正極，短いほうが負極**です。
長いほうにつながっている導線は，短いほうの導線よりも電位が高くなっています。

抵抗は四角い箱で表します。
また，抵抗の大きさが変えられる抵抗を**可変抵抗**と呼び，抵抗の記号を矢印で貫いたものになっています。

他にも，よく使われる電気用図記号を右ページの図にまとめておきますので，少しずつ慣れていきましょう。



直流回路 …直流電源によって作られた電気回路。



〈電気用図記号〉

名称	記号	名称	記号
直流電源		接地	
交流電源		コンデンサー	
抵抗		コイル	
可変抵抗		電流計	A
ランプ(豆電球)		電圧計	V
スイッチ		検流計	

4-5 直流回路の考えかた

ココをおさえよう！

直流回路は水の流れのように考える。
回路1周の電圧の変化は0である。

ここまで，電流は正電荷の流れでグルグルと回路を回っており，
電源(電池)は電位の低いところから高いところへ正電荷を運ぶエレベーターと考えてきました。

ここからは電流を“流れ”として見ていくとわかりやすくなります。
正電荷を水滴，電流を水の流れと考え，電源(電池)は水を高いところへ持ち上げるポンプと考えましょう。

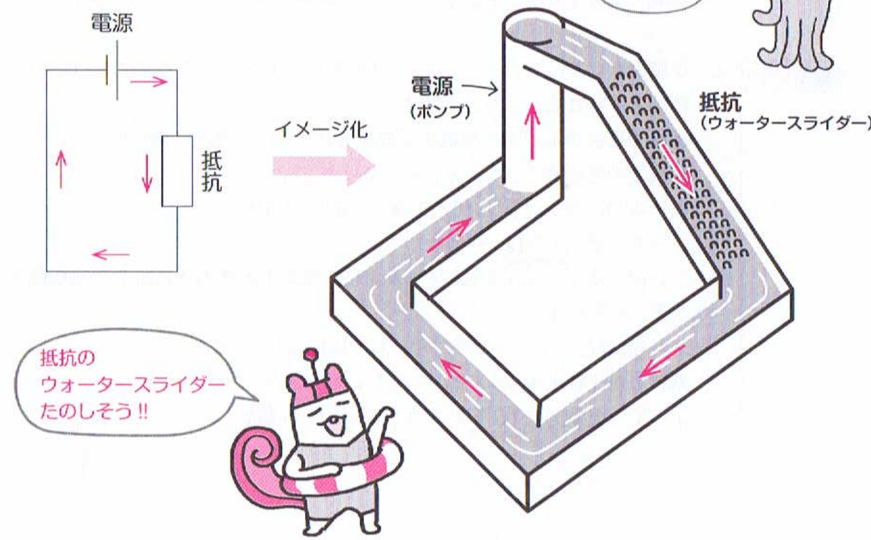
右ページの図のような，電源と抵抗でできた回路があったとします。
この回路に電流が流れる様子を，水の流れで表してみましょう。
まずポンプ(電源)によって，水(電流)が持ち上げられて流れていきます。
(電位の高いところへ上がったのですね)
そして，抵抗のでこぼこな坂を水はウォータースライダーのように下っていきますね。
(抵抗を電流が流れると電圧降下が起こるのでした。電位の低いところへ下がったのですね)
その後，またポンプ(電源)で持ち上げられます。

このように，水(電流)は高低差(電位差)のあるところをグルグルと回っています。
1周したら元の高さに戻ってきますよね。
したがって，**回路1周の電位の変化は0**という関係が成り立ちます。
この電位のルールを「**電圧1周0ルール**」と呼ぶことにしましょう。

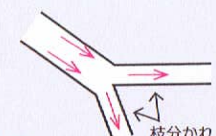
また，1本道である限り流れる水の量はどこも同じですが，道が分かれたら水も分かれて流れます。
電流でもこれは同じで，**回路が分かれていないところでは電流は一定，回路が分かれていたら電流も分かれて流れます。**

4

回路のイメージ変換



回路のルール



- 1周したら電位の変化は0。
- 枝分かれしたら，電流が分かれる。

では，p.110で説明したイメージをもちながら，p.104で説明したオームの法則を使って直流回路の基本的な問題を解いてみましょう。

問4-1　起電力が変えられる電源と，抵抗値が一定の抵抗が右ページの図のようにつながっている。このとき，以下の問いに答えよ。ただし，導線の抵抗や電源の内部抵抗は無視できるとする。

(1)　電源の起電力を6.0 Vにしたとき，電流が1.5A流れた。この抵抗の大きさはいくらか。

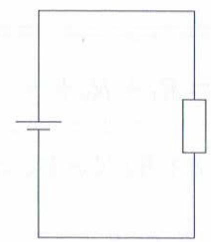
(2)　この回路に2.5 Aの電流を流すためには，起電力をいくらにすればよいか。

解きかた

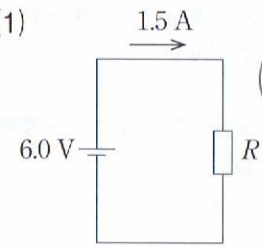
(1)　起電力が6.0 Vですから，ポンプ(電源)で6.0 Vのところまで水(電流)が持ち上げられるということです。
導線の抵抗や電源の内部抵抗が無視できるので，電圧1周0ルールより，抵抗での電圧降下は $V=6.0$ Vになります。
オームの法則 $V=RI$ に代入すると　$6.0=1.5R$
よって　$R=$ **4.0 Ω** …答

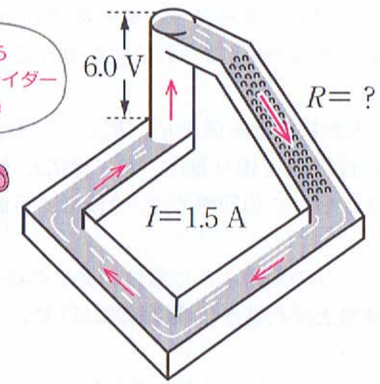
(2)　(1)と同じように電圧1周0ルールより，電源の起電力と抵抗での電圧降下が等しくなります。
$R=4.0$ Ωとわかったので，オームの法則より，
抵抗の電圧は $V=4.0\times2.5=10$ Vになります。
よって，起電力を **10 V** にすればよい。…答

問 4-1



(1)

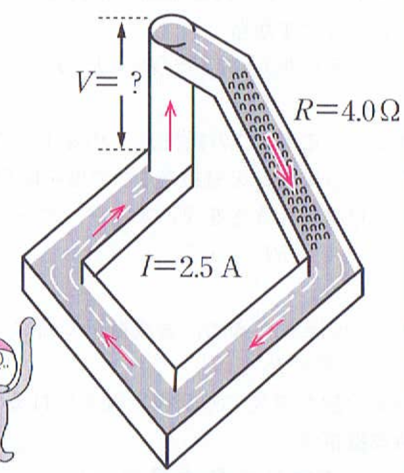




オームの法則　$V=RI$ より

$$\underset{V}{6.0}=R\times\underset{I}{1.5}$$

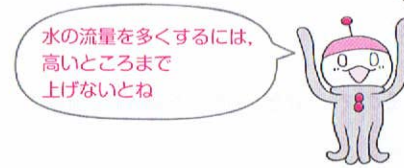
$R=$ **4.0Ω** …答



(2)　$V=RI$ より

$V=4.0\times2.5$

$=$ **10 V** …答



4-6 抵抗の直列接続

ココをおさえよう！

抵抗を直列につないだときの合成抵抗は　$R = R_1 + R_2 + \cdots\cdots$

右ページの図のように，抵抗を直列につないだときのことを考えてみましょう。

抵抗（でこぼこな坂）を電流（水）はウォータースライダーのように下っていくのでした。直列に2つ並んだ抵抗は2連続のウォータースライダーです。
最初のウォータースライダーを流れた水は，次のウォータースライダーも流れますね。そのため，2つの抵抗を流れる電流も同じ大きさです。

2つの抵抗の抵抗値をR_1，R_2とし，電流Iが流れているとしましょう。正電荷は最初に抵抗R_1を通り抜け，次に抵抗R_2を通り抜けますね。
ですから，この回路では，2段階で電位が下がっています。

右ページの図のように電位の変化の様子を表すと，電圧1周0ルールより，**ポンプで持ち上げた高さ（＝電源の電圧）と2つのスライダーの高さの和が等しくなります。**

2つのスライダーによる高さの変化（2つの抵抗における電圧の降下）は，それぞれR_1I，R_2Iですから

$$V = R_1I + R_2I = (R_1 + R_2)I \quad \cdots\cdots①$$

さて，ここで2つの抵抗R_1，R_2を1つの大きな抵抗と考えてみましょう。
このように複数の抵抗を1つの抵抗に見立てたものを，**合成抵抗**といいます。
合成抵抗の大きさをRとすると，オームの法則より

$$V = RI \quad \cdots\cdots②$$

①，②式を比べると，合成抵抗の値は

$$R = R_1 + R_2$$

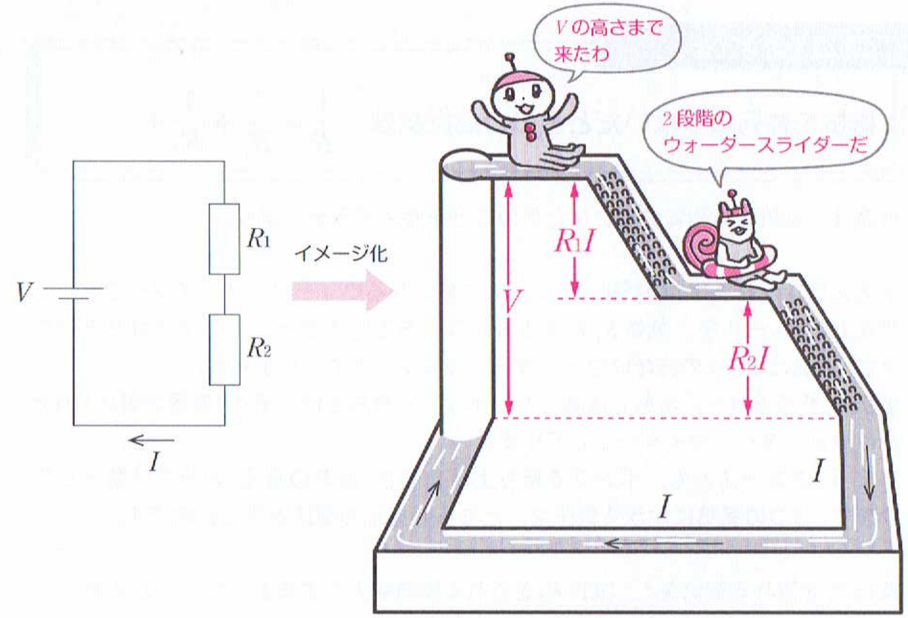
抵抗の数が増えても同様に考えられるので，複数の抵抗を直列に接続したときの合成抵抗は

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots\cdots$$

となります。

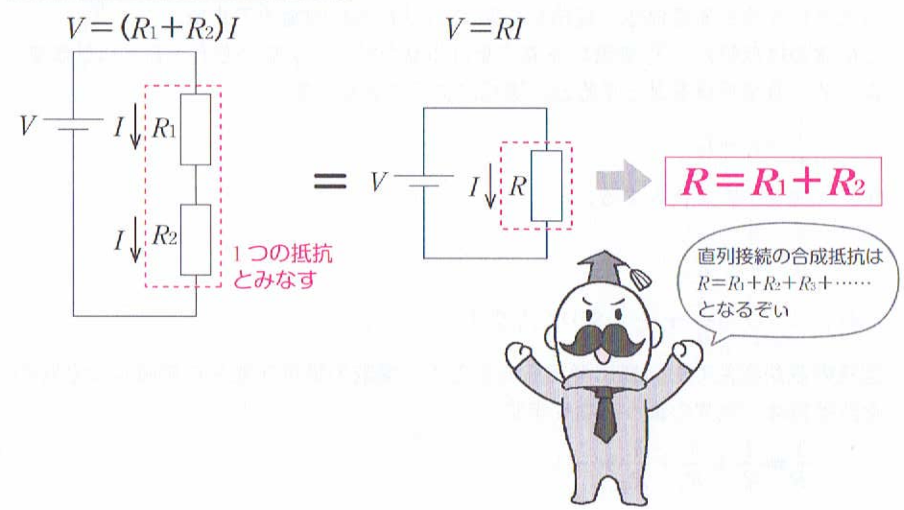
4

抵抗の直列接続



$$\boxed{V = R_1I + R_2I = (R_1 + R_2)I}$$

直列接続の合成抵抗



4-7 抵抗の並列接続

ココをおさえよう！

抵抗を並列につないだときの合成抵抗は $\dfrac{1}{R}=\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}+\cdots\cdots$

今度は，抵抗を並列につないだときのことを考えてみましょう。

並列につながれた2つの抵抗は2コースに分かれるウォータースライダーです。電圧1周0ルールを，抵抗R_1を通るコースにあてはめると，ポンプで持ち上げた高さ（電源の電圧）の分だけウォータースライダー1で下りますね。
抵抗R_2を通るコースにあてはめても，ポンプで持ち上げた高さ（電源の電圧）の分だけウォータースライダー2で下ります。
つまり，2コースとも，ポンプで持ち上げた高さ（電源の電圧）の分だけ落下しています。2つの抵抗にかかる電圧は，どちらも電池の電圧と等しいのです。

抵抗R_1を流れる電流をI_1，抵抗R_2を流れる電流をI_2とすると，オームの法則

$V=RI$を変形して，$\dfrac{V}{R}=I$なので

$$\frac{V}{R_1}=I_1 \quad \cdots\cdots① \qquad \frac{V}{R_2}=I_2 \quad \cdots\cdots②$$

R_1，R_2を合成した抵抗の大きさを考えましょう。
合成抵抗を流れる電流は，抵抗R_1，R_2に分かれる前の電流ですね。
この電流は抵抗R_1，R_2を流れる電流を合わせたもの，すなわちI_1+I_2となります。
よって，合成抵抗をRとすると，次式のように表せます。

$$\frac{V}{R}=I_1+I_2 \quad \cdots\cdots③$$

①，②式を③式に代入すると

$$\frac{V}{R}=\frac{V}{R_1}+\frac{V}{R_2}$$

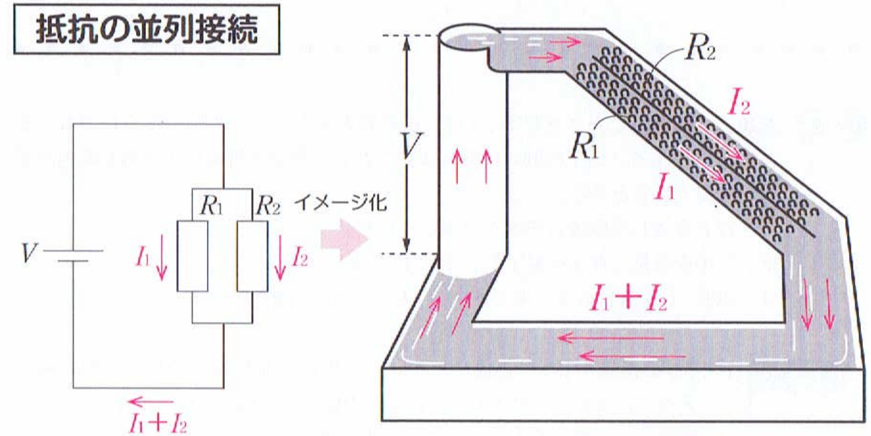
これより，$\dfrac{1}{R}=\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}$が成り立ちます。

抵抗の数が増えても同様に考えられるので，複数の抵抗を並列に接続したときの合成抵抗は，次式のようになります。

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\cdots\cdots$$

4

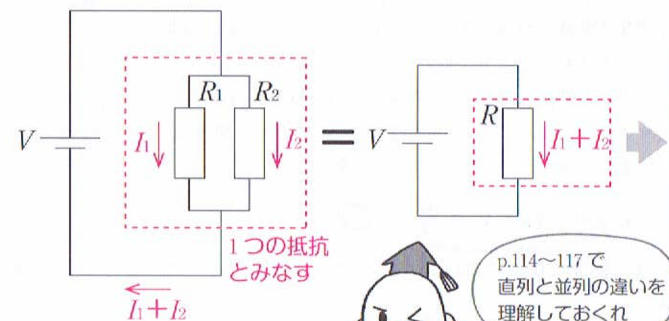
抵抗の並列接続



- $V=R_1I_1=R_2I_2$
- $I_1=\dfrac{V}{R_1}$， $I_2=\dfrac{V}{R_2}$

並列接続の合成抵抗

$\dfrac{V}{R_1}=I_1$， $\dfrac{V}{R_2}=I_2$ $\qquad$ $\dfrac{V}{R}=I_1+I_2$



$$\frac{V}{R}=\frac{V}{R_1}+\frac{V}{R_2}$$

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$

問4-2 起電力Eの電源に大きさが等しい3つの抵抗Rを右ページの図のようにつないだ直流回路がある。以下の問いに答えよ。ただし，導線の抵抗および電池の内部抵抗は無視できるとする。

(1) 点Aを流れる電流I_Aの大きさはいくらか。

(2) 図中の抵抗にかかる電圧V_1，V_2，V_3を求めなさい。

(3) 点B，Cを流れる電流の大きさI_B，I_Cをそれぞれ求めなさい。

解きかた

(1) 3つの抵抗を1つに合成します。この抵抗は並列接続の中に直列接続が入っています。このようなときは，内側から合成していきます。

直列になっている上の部分の合成抵抗は$R+R=2R$です。

3つの抵抗を1つのものと考えた，求める合成抵抗をR'とすると

$$\frac{1}{R'}=\frac{1}{R}+\frac{1}{2R}=\frac{3}{2R} \qquad R'=\frac{2}{3}R$$

電圧1周0ルールより，この抵抗の電圧は起電力に等しくなります。

この合成抵抗R'は1つの大きな抵抗とみなすことができるので，点Aを流れる電流をI_Aとすると，オームの法則より　$E=R'I_A$

よって　$I_A=\frac{E}{R'}=\frac{3E}{2R}$ …答

(2) 電源は水を持ち上げるポンプ，抵抗はウォータースライダーでしたね。

まずはV_1についてですが，下のルートで進んだ場合は電源で持ち上げられた分を1つのウォータースライダーで下ることになります。

よって　$V_1=E$ …答

続いて，V_2，V_3です。こちらのルートで進んだ場合は電源で持ち上げられた分を2連続のウォータースライダーで下ることになりますね。

よって　$V_2+V_3=E$ ……①

また，2つの抵抗に流れる電流は同じ（2つのウォータースライダーに流れる水の量は同じ）で，抵抗の値も同じなので，電圧降下$V=RI$は同じになります。よって　$V_2=V_3$ ……②

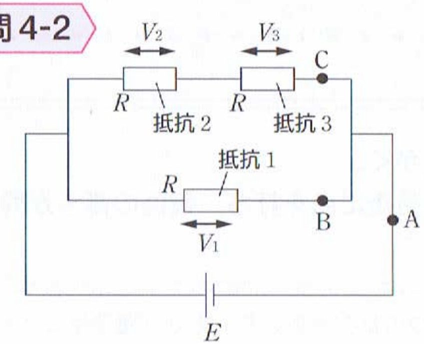
①，②式より　$V_2=V_3=\frac{E}{2}$ …答

(3) (2)より各抵抗にかかる電圧の大きさはわかっているので，オームの法則より

$$E=RI_B \qquad I_B=\frac{E}{R} \qquad \frac{E}{2}=RI_C \qquad I_C=\frac{E}{2R}$$ …答

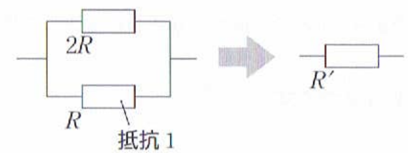
補足 $I_B+I_C=\frac{E}{R}+\frac{E}{2R}=\frac{3E}{2R}=I_A$より，$I_B$と$I_C$が足し合わさって$I_A$になると確認できます。

問 4-2

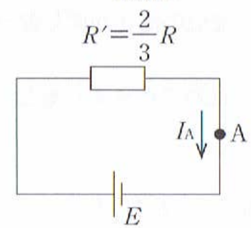


(1)

$R+R=2R$



$$\frac{1}{R}+\frac{1}{2R}=\frac{1}{R'} \qquad R'=\frac{2}{3}R$$



$I_A=\frac{E}{R'}=\frac{3E}{2R}$ …答

(2) $V_1=E$ …答

$V_2=V_3(=RI_C)$，$V_2+V_3=E$より　$V_2=V_3=\frac{E}{2}$ …答

(3) 抵抗1についてオームの法則より　$E=RI_B$

抵抗2についてオームの法則より　$\frac{E}{2}=RI_C$

$I_B=\frac{E}{R}$，$I_C=\frac{E}{2R}$ …答

ここまでやったら
別冊 P. 17へ

4-8 回路のかき直し

ココをおさえよう！

電源と抵抗群で分けるようにかく。
電源や抵抗などの回路記号の前後に点を打ち，電位の高さが同じ部分に着目する。

回路は素直にかいてあれば「この2つの抵抗が並列だ」とか「電流はこうやって流れる」などとわかるのですが，イジワルな出題者は見にくい回路をかくこともあります。見やすいように回路をかき直す方法を，ここでは教えておきますね。

問4-3 右ページの(1)，(2)の回路図について，見やすいようにかき直しなさい。かき直したものについては，それぞれ点a～jがどこにあたるかをわかるようにすること。

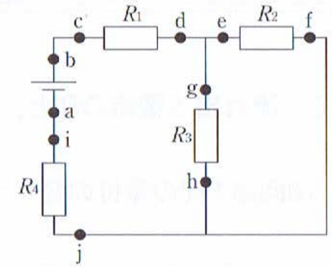
読みやすい回路にするためのポイントは2つです。
① 電源と抵抗群は分けてかく。
② 電源と抵抗などの回路記号の前後に点を打ち，電位の高さが同じ部分に着目する。
今回は問題文で点a～jを設定してくれていますが，回路のかき直しをしたいときは，自分で点を打つようにしましょう。

解きかた
(1) まず，「電源を左にかき，右に抵抗群をかく」と決めます。
点と点の間に抵抗や電源がない場合は，その点が同電位です。
2つの点が同電位のときは，導線で1本につなぎ，
3つ以上の点が同電位のときは，それらの点を並列回路にします。
(点d，e，gや点f，h，jは同電位の3点なので並列になっていますね)
(2) これも，まず，「電源を左にかき，右に抵抗群をかく」と決めます。
点と点の間に抵抗や電源がない場合は，その点が同電位です。
2つの点が同電位のときは，導線で1本につなぎ，
(点jとhは同電位なので，1本にして縦に並べてしまいましょう)
3つ以上の点が同電位のときは，それらの点を並列回路に分けます。
(点d，e，iや点f，g，aは同電位の3点なので並列になっていますね)
(1)，(2)とも，正解は右ページの図のようになります。

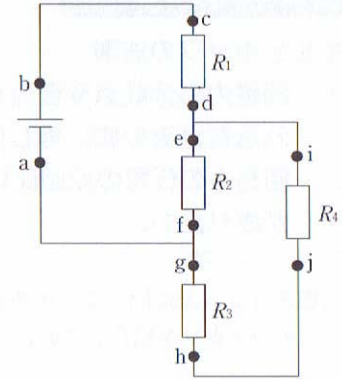
「この回路，読みにくいな」と思ったら自分でかき直せるようにしておきましょう。

問4-3

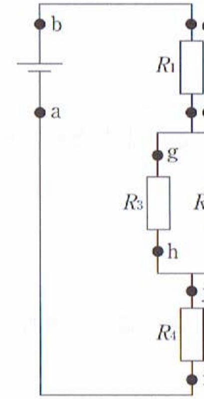
(1)



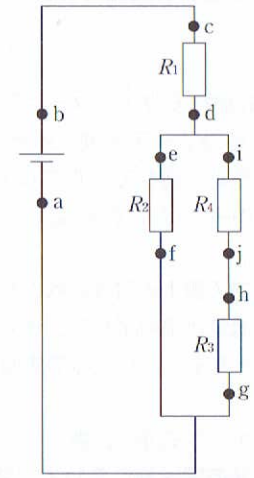
(2)

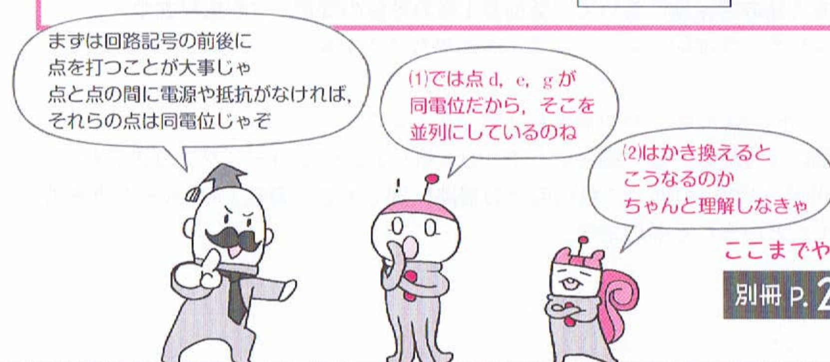


(1)



(2)





ここまでやったら 別冊 P. 20へ

4-9 キルヒホッフの法則

ココをおさえよう！

キルヒホッフの法則
① 回路内の分岐点や合流点において，流れ出る電流の和と，流れ込む電流の和は等しい。
② 回路中の任意の閉回路において，閉回路1周の電位の変化＝0が成り立つ。

回路を流れる電流に関して，**キルヒホッフの法則**と呼ばれる重要なきまりがあります。そのきまりを紹介していきます。

① キルヒホッフの第1法則
回路内の分岐点や合流点において，流れ出る電流の和と，流れ込む電流の和は等しい。

2コースに分かれるウォータースライダーがあったとしましょう。
分岐したあとのコースを流れる水が，それぞれ毎秒5Lと10Lだとしたら，分岐する前は毎秒何L流れていたでしょうか。
当然，5＋10＝15Lですよね。

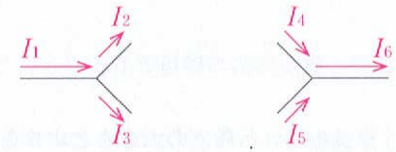
キルヒホッフの第1法則はこれとまったく同じことです。
最初にI_1の電流が流れていて，その後回路が分岐してI_2，I_3の電流が流れていたとしたら，$I_1=I_2+I_3$となるのですね。

② キルヒホッフの第2法則
回路中の任意の閉回路において，閉回路1周の電位の変化＝0が成り立つ。
何やら難しそうな法則ですが，こちらも簡単なことです。

右ページの図のような，やや複雑な回路があります。
この回路には経路❶，❷，❸という3つのぐるりと回れるコースがありますね。
第2法則がいいたいのは「これらのどの経路に関しても，電圧1周0ルールが成り立つよ！」ということなのです。

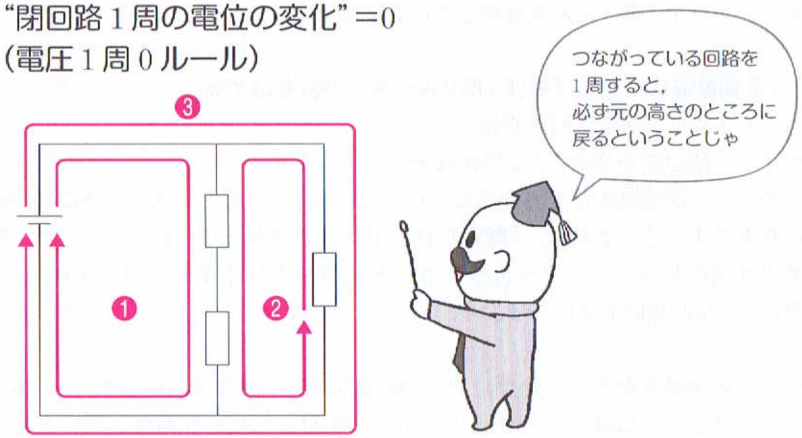
キルヒホッフの法則

① 回路内の分岐点において
流れ出る電流の和と
流れ込む電流の和は等しい。



$\boxed{I_1=I_2+I_3}$ $\boxed{I_4+I_5=I_6}$

② 回路中の任意の閉回路において
“閉回路1周の電位の変化”＝0
（電圧1周0ルール）



ここで，直流回路の問題でやるべきことを，まとめておきます。

【1】抵抗を流れる電流の大きさと向きを文字でおく

抵抗に流れる電流をI_1，I_2などと文字でおき，その向きも決めてあげます。
分岐している部分の電流の大きさは異なるので，別の記号を使い，1本道では電流は等しいので，同じ記号を使いましょう。

回路が複雑になっていくと，どの抵抗にどの方向で電流が流れているかがパッと見ただけではわからなくなりがちです。そういった場合は，「とりあえずこっちの向きに流れているとしよう」と仮定してしまいましょう。
もし向きが逆だったら，$I=-2.0$ Aみたいに，答えが負の値になるので，そのときは「仮定した電流は逆向きだったんだ」と考えればよいのです。

また，分岐している部分では，わざわざ「I_1, I_2, I_3」などとする必要はありません。文字は少ないほうがラクですから，「I_1，I_2，I_1+I_2」という具合に，
キルヒホッフの第1法則を活用していきましょう。

【2】各閉回路について「電圧1周0ルール」の式を立てる

キルヒホッフの第2法則ですね。
着目する閉回路を決めて，1周をなぞっていきます。
このとき，閉回路をなぞる向きについては，【1】で決めた電流の向きに合わせるのが基本です。そうすれば，「電源だからポンプで持ち上げられたな」とか「抵抗を電流が流れたらウォータースライダーをすべり下りるイメージ」などと，電圧1周0ルールが使いやすいです。

もし，閉回路をなぞる向きが，【1】の電流の向きと逆向きになったら，「抵抗のところだけど，ここはウォータースライダーを逆行したから電位が高いところへ上がったな」と考えましょう。
電源を逆向きになぞるときは，「ここはポンプを下って，電位が低いところに行ったからマイナス」と考えます。

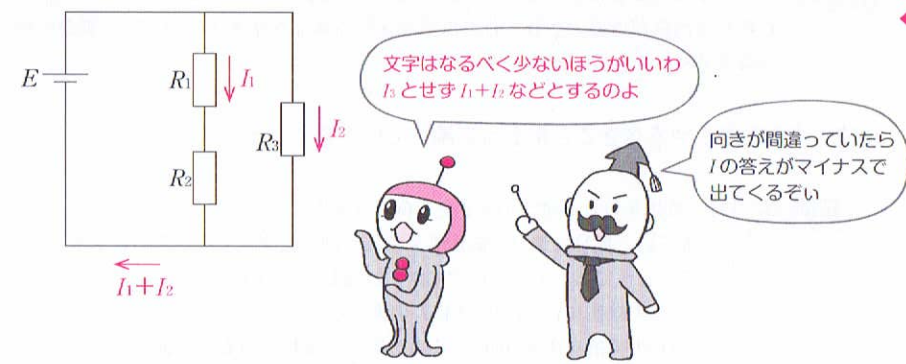
【3】立てた方程式を解く

式がちょっと多くなることもありますが，ここまでくれば解けたも同然です。

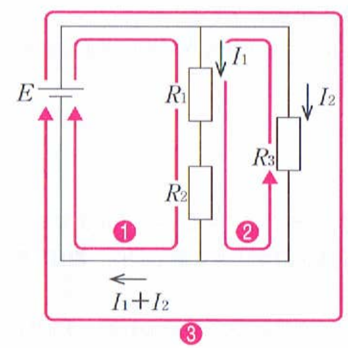
4

[直流回路の問題の対処法]

【1】 抵抗を流れる電流の大きさと向きを文字でおく。



【2】 各閉回路について「電圧1周0ルール」の式を立てる。



・閉回路❶：$E-R_1I_1-R_2I_1=0$
・閉回路❷：$R_3I_2-R_1I_1-R_2I_1=0$
・閉回路❸：$E-R_3I_2=0$

【3】 立てた方程式を解く。

問4-4 右ページの図のように，起電力12 V，10 Vの電源と2.0 Ω，3.0 Ω，4.0 Ωの抵抗からなる回路がある。それぞれの抵抗を流れる電流を求めよ。ただし，電源の内部抵抗や導線の抵抗は無視できるとする。

直流回路の問題でやるべきことにそって解いていきましょう。

解きかた

【1】 抵抗を流れる電流の大きさと向きを文字でおく

まずは，抵抗を流れる電流の大きさと向きを文字でおいていきます。
どのようにおいてもいいですが，計算しやすいように，
3.0 Ωの抵抗をf→aの向きにI_1の電流が，
4.0 Ωの抵抗をd→cの向きにI_2の電流が流れているとしましょう。
2.0 Ωの抵抗に流れる電流をI_3とおく必要はありません。
キルヒホッフの第1法則より，2.0 Ωの抵抗に流れる電流を，
b→eの向きにI_1+I_2としましょう。

【2】 各閉回路について「電圧1周0ルール」の式を立てる

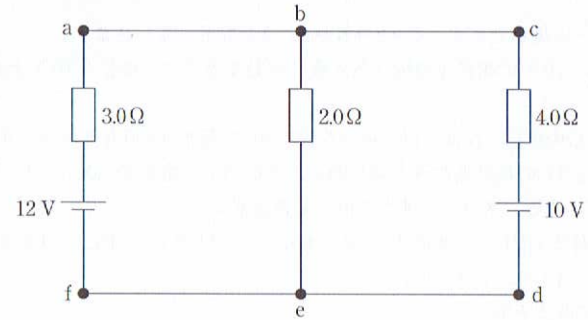
次に着目する閉回路を決めて，電圧1周0ルールの式を立てていきましょう。
閉回路としては

(A) 3.0 Ωと2.0 Ωの抵抗を通る回路
(B) 2.0 Ωと4.0 Ωの抵抗を通る回路
(C) 3.0 Ωと4.0 Ωの抵抗を通る回路

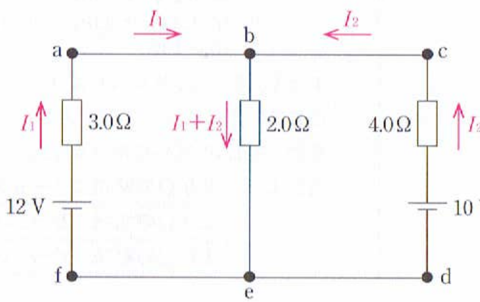
の3つがあります。3つすべてについて式を立ててもいいですが大変ですよね。実は多くの場合，【1】でおいた電流の文字の数と同じだけ，電圧1周0ルールの式を立てればいいのです。
今回は文字を2つおいたので，(A)3.0 Ωと2.0 Ωの抵抗を通る回路，(B)2.0 Ωと4.0 Ωの抵抗を通る回路の2つについて，電圧1周0ルールの式を立てていきます。

(A) fをスタート地点として，f→a→b→e→fとなぞっていきます。
はじめは，12 Vの電源を負極から正極に移動するので，電位が12 V上がります。
次に，3.0 Ωの抵抗を電流と同じ向きに進むので，電位が$3.0I_1$下がります。
その後，2.0 Ωの抵抗を電流と同じ向きに進むので，電位が$2.0(I_1+I_2)$下がります。するとスタート地点に戻ってきますね。
よって，電圧1周0ルールの式は$12-3.0I_1-2.0(I_1+I_2)=0$となります。
整理して　$12=5.0I_1+2.0I_2$　……①

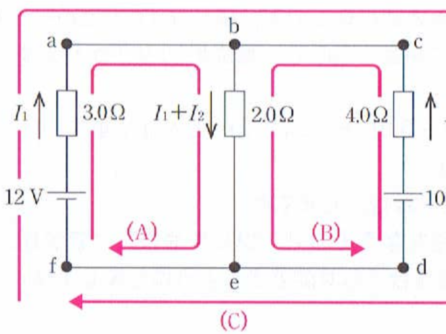
問 4-4



【1】 抵抗を流れる電流の大きさと向きを文字でおく。



【2】 各閉回路について「電圧1周0ルール」の式を立てる。



閉回路(A)について

$12-3.0I_1-2.0(I_1+I_2)=0$

$12=5.0I_1+2.0I_2$　……①

解きかた (B) dをスタート地点として，d→c→b→e→dとなぞっていきます。
はじめは，10 Vの電源を負極から正極に移動するので，電位が10 V上がります。
次に，4.0 Ωの抵抗を電流と同じ向きに進むので，電位が4.0 I_2下がります。
その後，2.0 Ωの抵抗を電流と同じ向きに進むので，電位が2.0(I_1+I_2)下がります。するとスタート地点に戻ってきますね。
よって，電圧1周0ルールの式は$10-4.0I_2-2.0(I_1+I_2)=0$となります。
整理して　$10=2.0I_1+6.0I_2$　……②

【3】 立てた方程式を解く

$12=5.0I_1+2.0I_2$　……①　　$10=2.0I_1+6.0I_2$　……②

の2式を使って方程式を解いていきましょう。まずは，I_2を消します。
①×3−②を計算すると

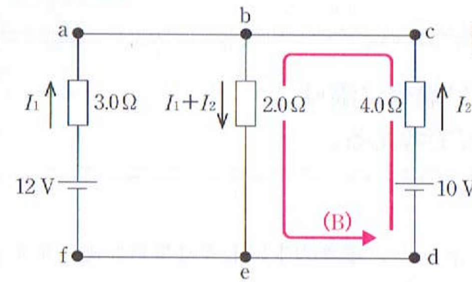
$$
\begin{array}{rl}
36=15I_1+6.0I_2 & \cdots\cdots ①\times 3 \\
-)\ \underline{10=2.0I_1+6.0I_2} & \cdots\cdots ② \\
26=13I_1 &
\end{array}
$$

よって，$I_1=2.0$ Aになります。
これを，①に代入して解くと$I_2=1.0$ Aになります。
また，2.0 Ωの抵抗を流れる電流は，$I_1+I_2=3.0$ Aになります。

以上より　**3.0 Ωの抵抗：f→aの向きに2.0 A** …答
2.0 Ωの抵抗：b→eの向きに3.0 A …答
4.0 Ωの抵抗：d→cの向きに1.0 A …答

(C) 3.0 Ωと4.0 Ωの抵抗を通る回路でも，電圧1周0ルールが成り立つかを確認してみましょう。fをスタート地点として，f→a→c→d→fとなぞります。
はじめは，12 Vの電源を負極から正極に移動するので，電位が12 V上がります。
次に，3.0 Ωの抵抗を電流と同じ向きに進むので，電位が3.0 I_1下がります。
その後，4.0 Ωの抵抗を，電流の向きと逆に進むので，電位が4.0 I_2上がります。
最後に10 Vの電源を正極から負極に移動するので，電位が10 V下がります。
するとスタート地点に戻りますね。
よって，電圧1周0ルールの式は$12-3.0I_1+4.0I_2-10=0$となります。
整理して　$2=3.0I_1-4.0I_2$　……③
$I_1=2.0$ A，$I_2=1.0$ Aを代入すると③は成立しますね。
(C)の閉回路は電流の向きと逆に回路をなぞるので，少しややこしいですが，回路をなぞる向きと電流の向きが異なる場合でも対応できるようにしましょう。

つづき



閉回路(B)について
$10-4.0I_2-2.0(I_1+I_2)=0$
$10=2.0I_1+6.0I_2$　……②

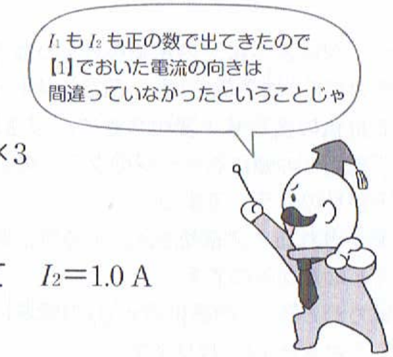
($12=5.0I_1+2.0I_2$　……①)

【3】 立てた方程式を解く。

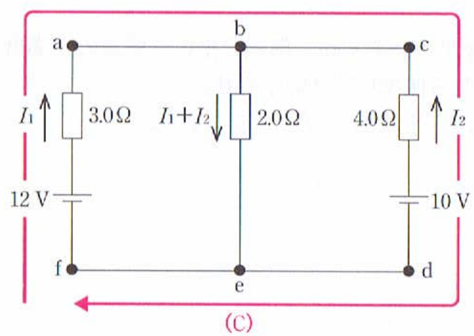
①×3−②より

$$
\begin{array}{rl}
36=15I_1+6.0I_2 & \cdots\cdots ①\times 3 \\
-)\ \underline{10=2.0I_1+6.0I_2} & \cdots\cdots ② \\
26=13I_1 &
\end{array}
$$

$I_1=2.0$ A ⇒ ①に代入して　$I_2=1.0$ A



ちなみに閉回路(C)で「電圧1周0ルール」の式を立てると…



電流を逆流　　電源を正極から負極へ

$12-3.0I_1+4.0I_2-10=0$

$2=3.0I_1-4.0I_2$　……③
($I_1=2.0$ A，$I_2=1.0$ Aは適する)

ここまでやったら
別冊 P. 21へ

4-10 電源の内部抵抗

ココをおさえよう！

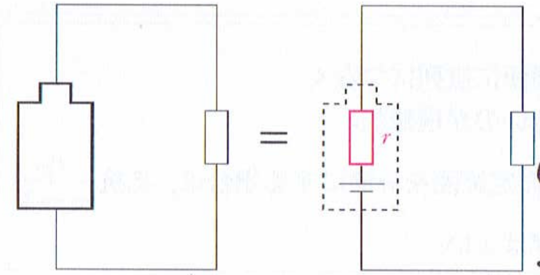
電源の内部抵抗 r を無視しない場合に限り，電源の端子電圧は $V=E-rI$ で考える。

少し厳密な話をします。
導線にも抵抗があると話しましたが（p.106），電源の中にも実は抵抗があります。
この抵抗を**内部抵抗**と呼びます。

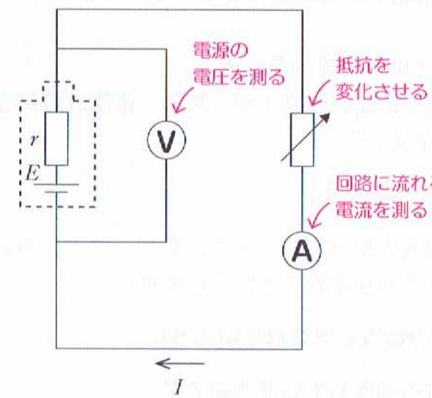
右ページのように，内部抵抗が r の電源に可変抵抗をつなぎ，電源の正極と負極の間の電圧（端子電圧）と，回路に流れる電流を計測します。
可変抵抗の抵抗値を変化させて，回路に流れる電流 I を変化させたとき，電源の端子電圧 V の値は右ページのグラフのように変化します。
右下がりのグラフですね。
電流が流れると内部抵抗 r による電圧降下が起こるので，電源の端子電圧は起電力 E とは異なるのです。
起電力が E〔V〕，内部抵抗 r〔Ω〕の電源に，電流 I〔A〕が流れているとき，端子電圧は，$V=E-rI$ となります。

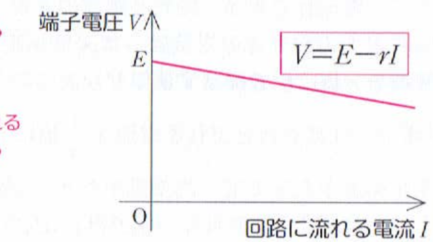
多くの電源では，内部抵抗の大きさは，回路の抵抗よりもかなり小さくなっています。
そのため，内部抵抗を無視する場合が多いですが，問題文中に「電源の内部抵抗を r とし…」などという記述があったら無視してはいけません。
内部抵抗による電圧降下 rI を考慮して，$V=E-rI$ としましょう。

電源の内部抵抗



内部抵抗を考えた場合の電源の電圧





4-11 電流計

ココをおさえよう！

電流計は，測定したい場所に直列につなぐ。
電流計の内部抵抗は小さいのが理想的。
電流計（内部抵抗 r_A）の測定範囲を n 倍にする場合は，抵抗 $\dfrac{r_A}{n-1}$ の分流器を並列につなげばよい。

回路内の電流を計測する装置として**電流計**があります。
電流計は，回路の途中に直列につなぎます。
また，電流計の内部には抵抗が存在しているため，電流計をつなぐと，もともと回路を流れていた電流の大きさが変化してしまいます。
その電流の変化を極力抑えるために，**電流計の内部抵抗は小さくしてあります。**

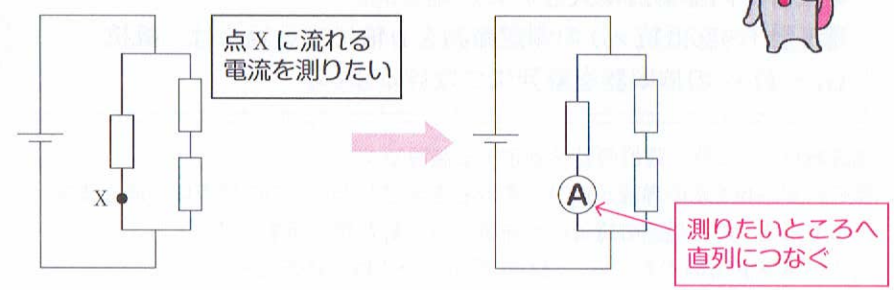
さて，電流計ですが，測れる電流の大きさには限界があります。
限界以上の大きさの電流は，本来は測定できないのですが，実は，**電流計の測定範囲を n 倍に引き伸ばす裏ワザ**があるのです。
（厳密には電流計を流れる電流を $\dfrac{1}{n}$ 倍にする裏ワザ）
測定範囲が I_0 までで，内部抵抗が r_A の電流計があるとします。右ページの図のように，I_0 までしか測れない電流計に nI_0 の電流が流れてきたとします。
このとき，電流計に **nI_0 の $\dfrac{1}{n}$ 倍である I_0 の電流しか流れないように，**
$nI_0 - I_0 = (n-1)I_0$ の電流を，別の抵抗へ逃がしてしまうのです。
電流を逃がすために電流計に並列につなぐ抵抗を**分流器**といいます。
抵抗値が R_A の分流器を電流計に並列につないで，$(n-1)I_0$ の電流を逃がしたとすると　$R_A(n-1)I_0 = r_A I_0$　（並列なので2つの抵抗の電圧降下は等しい）

これより　$R_A = \dfrac{r_A}{n-1}$

したがって，**$R_A = \dfrac{r_A}{n-1}$ の抵抗を並列につないであげれば，電流計を流れる電流は，元の電流の $\dfrac{1}{n}$ 倍となる**のです。計測した電流を n 倍すれば元の電流が求まるので，こうすれば実質電流計の測定範囲が n 倍になったことになりますね。

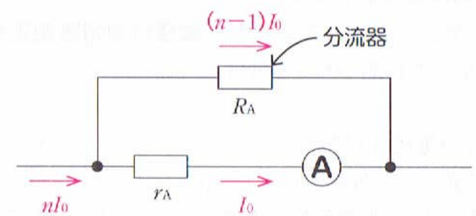
電流計

・回路に流れる電流の大きさを測る。
・電流の大きさを測りたいところに直列につなぐ。
・内部抵抗 r_A は小さいのが理想的。



[電流計の測定範囲を n 倍にする方法]

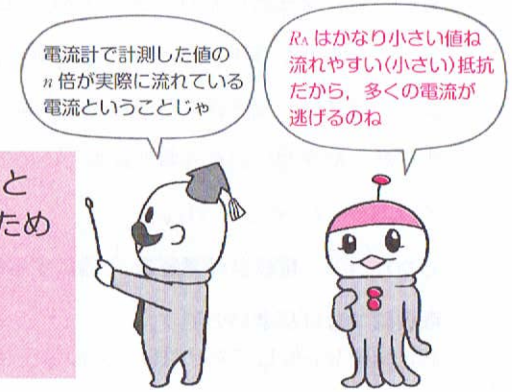
測定範囲が I_0 までの電流計を，nI_0 まで測れるようにするには $(n-1)I_0$ の電流を逃がす抵抗（分流器）を並列につなぐ。



電流計の内部抵抗を r_A とすると
並列なので電圧降下が等しいため

$$R_A(n-1)I_0 = r_A I_0$$

$$R_A = \frac{r_A}{n-1}$$



4-12 電圧計

ココをおさえよう！

電圧計は，測定したい場所に並列につなぐ。
電圧計の内部抵抗は大きいのが理想的。
電圧計（内部抵抗 r_V）の測定範囲を n 倍にする場合は，抵抗 $(n-1)\,r_V$ の倍率器を直列につなげばよい。

電圧計は，2カ所の電位の差を測定する装置です。
電圧計からは2本の導線が伸び，それらを測定したい2つの地点に接続します。
そうすると2つの地点の電位の差を電圧計の針が指し示すのです。
高さの差を測るのですから，流れに乗っていてはいけません。
外から見ないとわからないですから，**電圧計は測定したい場所に並列につなぎます。**

電圧計にも内部抵抗が存在しますが，並列につないだ電圧計側に電流が流れてしまうと，測定したい地点に流れる電流が小さくなり，測定電圧に変化が出てきてしまいます。これを防ぐために，**電圧計の内部抵抗は大きくしてあるのです。**

やはり電圧計にも，測定できる電圧の限界があります。
限界以上の大きさの電圧は，本来は測定できないのですが，**電圧計の測定範囲を n 倍に引き伸ばす裏ワザ**があるのです。その裏ワザを説明しましょう。

測定範囲が V_0 までで，内部抵抗が r_V の電圧計があるとします。
右ページの図のように，ab間の電圧が nV_0 であるとしましょう。
このとき，電圧計の隣りに大きさ R_V の抵抗を直列につなぎ，$(n-1)\,V_0$ の電圧を負担してもらいます。そうすると，電圧計は元の $\frac{1}{n}$ 倍である電圧 V_0 を測定すればよいですね。電圧計にかかる電圧を減らすための抵抗は**倍率器**と呼ばれます。

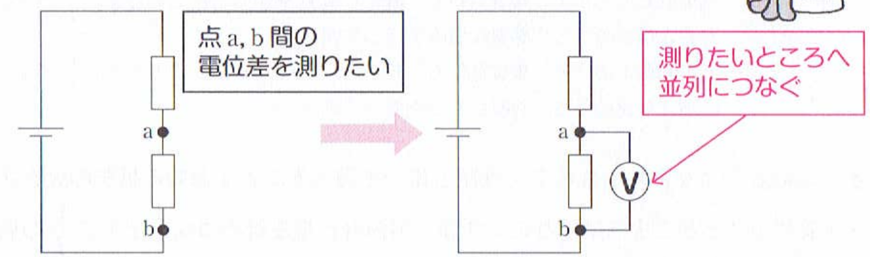
電圧計と倍率器に流れる電流は等しいので $\dfrac{V_0}{r_V}=\dfrac{(n-1)\,V_0}{R_V}$

これより $R_V=(n-1)\,r_V$

したがって，**電圧計の電圧を $\frac{1}{n}$ 倍にするには，$R_V=(n-1)\,r_V$ の抵抗を電圧計に直列につなげばよい**のです。
測定結果を n 倍してあげれば，元の電圧が求まります。

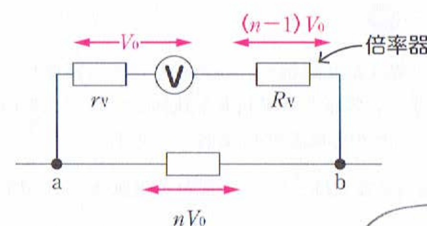
電圧計

・回路の2点間の電位差を測る。
・電位差を測りたいところに並列につなぐ。
・内部抵抗 r_V は大きいのが理想的。



[電圧計の測定範囲を n 倍にする方法]

測定範囲が V_0 までの電圧計を，nV_0 まで測れるようにするには $(n-1)\,V_0$ の電圧がかかる抵抗（倍率器）を直列につなぐ。



電圧計の内部抵抗を r_V とすると
直列なので同じ電流が流れるため

$$(I=)\frac{V_0}{r_V}=\frac{(n-1)\,V_0}{R_V}$$

$$R_V=(n-1)\,r_V$$

問4-5 内部抵抗がr_Aの電流計と内部抵抗がr_Vの電圧計，および電源がある。抵抗Rの大きさを求めるために，右ページの図の(a)，(b)のような回路を作った。このとき，以下の問いに答えよ。ただし，電源の内部抵抗や導線の抵抗は無視できるとする。

(1) (a)の回路において，電流計はI_a，電圧計はV_aを示した。このとき，$\frac{V_a}{I_a}$をr_A，r_VおよびRのうち，必要なものを用いて表せ。

(2) (b)の回路において，電流計はI_b，電圧計はV_bを示した。このとき，$\frac{V_b}{I_b}$をr_A，r_VおよびRのうち，必要なものを用いて表せ。

オームの法則より$R=\frac{V}{I}$なので，電圧と電流を調べることで未知の抵抗の大きさを計算することができるはずなのですが，電流計と電圧計のつなぎかたで$\frac{V}{I}$の値が変わってしまいます。

解きかた

(1) 電流計と電圧計を抵抗r_A，r_Vとみなして回路をかくと右ページのようになります。回路の電圧計の部分と，電流計と抵抗Rがつながった部分は並列になっているので，電圧が等しいですね。
電圧計の電圧はV_aであり，電流計を流れる電流はI_aですね。
オームの法則より，$V_a=(r_A+R)I_a$となります。

よって $\frac{V_a}{I_a}=r_A+R$ …答

(2) (1)と同じように，電流計と電圧計を抵抗r_A，r_Vとみなして回路をかくと右ページのようになりますね。電圧計と抵抗Rが並列につながっているので，Rにかかる電圧とr_Vにかかる電圧がV_bで等しいです。

オームの法則より，Rに流れる電流は$\frac{V_b}{R}$，r_Vに流れる電流は$\frac{V_b}{r_V}$ですね。

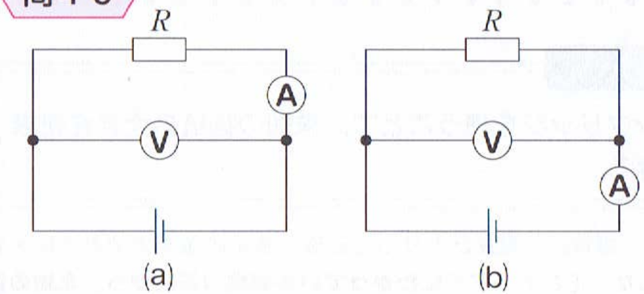
キルヒホッフの第1法則より，I_bはRとr_Vに流れた電流の和になります。

$I_b=\frac{V_b}{R}+\frac{V_b}{r_V}=\frac{V_b(r_V+R)}{r_VR}$ よって $\frac{V_b}{I_b}=\frac{r_V}{r_V+R}R$ …答

もともとはRとなるはずのものが，電流計・電圧計の内部抵抗を考えると，(1)や(2)のような値になってしまいました。
電流計，電圧計の値から抵抗を計測するのは，なかなか難しいことなのですね。

補足 電流計の内部抵抗r_Aがとても小さい，もしくは電圧計の内部抵抗r_Vがとても大きい場合，(1)，(2)の答えはRに近づきますね。そういう計器が理想的なのです。

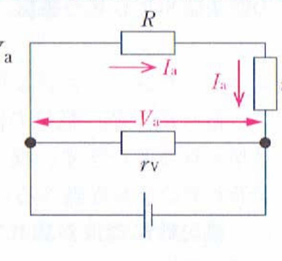
問4-5



(1) 右図よりRとr_Aによる電圧降下はV_a
I_aはRとr_Aの抵抗を流れるので

$$V_a=(r_A+R)I_a$$

$$\frac{V_a}{I_a}=r_A+R \cdots 答$$

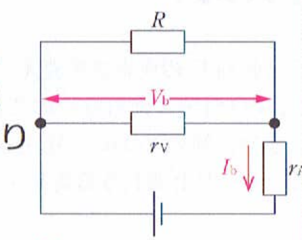


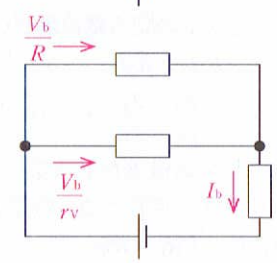
(2) 右図よりRとr_Vにかかる電圧はV_b
よって，右下図のように電流が流れるので，キルヒホッフの第1法則より

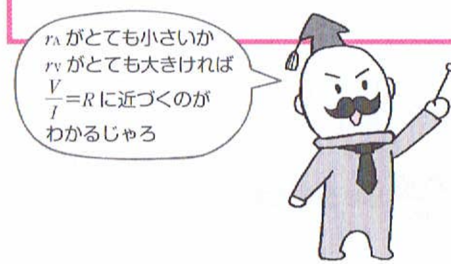
$$I_b=\frac{V_b}{R}+\frac{V_b}{r_V}$$

$$=\frac{V_b(r_V+R)}{r_VR}$$

$$\frac{V_b}{I_b}=\frac{r_V}{r_V+R}R \cdots 答$$







ここまでやったら 別冊 P. 22へ

4-13 ホイートストンブリッジ

ココをおさえよう！

ホイートストンブリッジを使うことで，未知の抵抗の大きさを求めることができる。

問4-5の結果から，電流計や電圧計を使って正確な抵抗の値を求めるのは大変なことがわかりました。そこで，**すでにわかっている複数の抵抗から，未知の抵抗の値を求めてしまう装置**が**ホイートストンブリッジ**です。

ホイートストンブリッジは右ページの回路のように，未知の抵抗Rとすでにわかっている抵抗R_1，R_2，抵抗の値を自由に変えることができる可変抵抗R_3，そして検流計からなっています。検流計は電流計を簡単にしたもので，どちらの向きに電流が流れているかを調べることができます。

また，**検流計に電流が流れていない場合，検流計をつないだ2点の電位差は0になっています**。

可変抵抗R_3の大きさを変えて検流計に電流が流れないようにします。

BCには電流が流れないので，ABを流れる電流とBDを流れる電流が等しくなりますね。同じように，ACを流れる電流とCDを流れる電流が等しくなります。

A→B→Dと流れる電流をI_1，A→C→Dと流れる電流をI_2としましょう。

点Bと点Cの間の電位差が0なので，AB間とAC間の電圧が等しくなるため

$$R_1I_1=R_2I_2$$

つまり，$\dfrac{R_1}{R_2}=\dfrac{I_2}{I_1}$ ……① となります。

検流計には電流が流れないので，BDを流れる電流がI_1，CDを流れる電流がI_2となります。点Bと点Cの間の電位差が0なので，BD間とCD間の電圧も等しくなるため $R_3I_1=RI_2$

よって $\dfrac{R_3}{R}=\dfrac{I_2}{I_1}$ ……② となりますね。

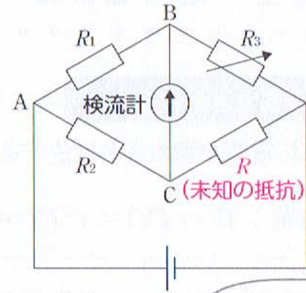
①，②式から，$\dfrac{R_1}{R_2}=\dfrac{R_3}{R}$となります。

よって，求めたい抵抗Rの大きさが$R=\dfrac{R_2R_3}{R_1}$とわかります。

4

ホイートストンブリッジ

すでに値のわかっている抵抗から未知の抵抗の値を求める装置。



値のわかっているR_1，R_2と値を変えられるR_3を用いてRの値を求める

検流計に電流が流れないので

B，Cは電位差が0。

$V_{AB}=V_{AC}$より

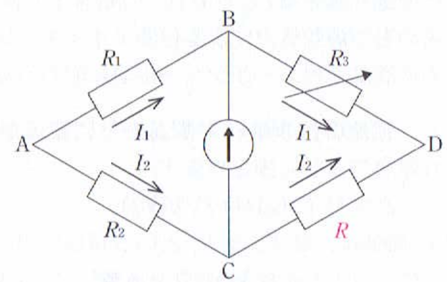
$$R_1I_1=R_2I_2$$

$$\frac{R_1}{R_2}=\frac{I_2}{I_1} \quad \cdots\cdots①$$

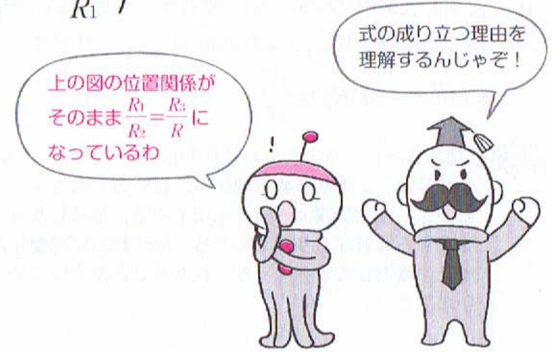
$V_{BD}=V_{CD}$より

$$R_3I_1=RI_2$$

$$\frac{R_3}{R}=\frac{I_2}{I_1} \quad \cdots\cdots②$$



①，②より $\dfrac{R_1}{R_2}=\dfrac{R_3}{R}\left(R=\dfrac{R_2R_3}{R_1}\right)$



4-14 電力とジュール熱

ココをおさえよう！

抵抗に電流が流れると発生するジュール熱：$Q=IVt=I^2Rt=\dfrac{V^2}{R}t$〔J〕

電力量：$W=IVt=I^2Rt=\dfrac{V^2}{R}t$〔J〕

p.104 で説明しましたが，抵抗（電熱線）に電流が流れると熱が発生します。
電荷が抵抗中の障害物とぶつかると，障害物の運動が盛んになり，**ジュール熱**という熱が発生するからです。電気ストーブはこれを利用した暖房器具です。
抵抗R〔Ω〕に電圧V〔V〕をかけ，t秒間だけ電流I〔A〕が流れるときに発生するジュール熱Q〔J〕は，以下のように表され，この関係をジュールの法則と呼びます。

$$Q=IVt=I^2Rt=\frac{V^2}{R}t$$

電流I〔A〕がt秒間流れたときに抵抗を移動した電気量は$q=It$〔C〕です。
抵抗を通り過ぎると$q=It$〔C〕の電荷がV〔V〕だけ低いところに下りるので
電荷のもつ静電気力による位置エネルギーは$qV=IVt$〔J〕だけ減少しますね。
その位置エネルギーがジュール熱に変わったのです。

また，**電流の仕事率（1秒間あたりに電流がする仕事）**を**電力**といい，電力をPとすれば次のように表されます。

$$P=IV〔J/s〕（=IV〔W〕）$$

〔J/s〕の他に，**W（ワット）**という単位も用いられます。よく耳にしますね。
さらに，ワットには**Wh（ワット時）**という派生した単位もあります。
ワット時はその電力を1時間供給または消費したときのエネルギーを表しています。1時間＝3600秒ですから**1〔Wh〕＝3600〔J〕**ですね。

電力に，使用した時間を掛けると電流がした仕事になり，これを**電力量**といいます。
したがって，電力量W〔J〕は次式のようになります。

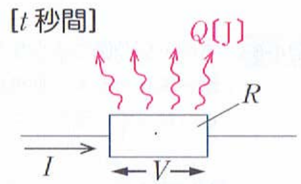
$$W=IVt=I^2Rt=\frac{V^2}{R}t$$

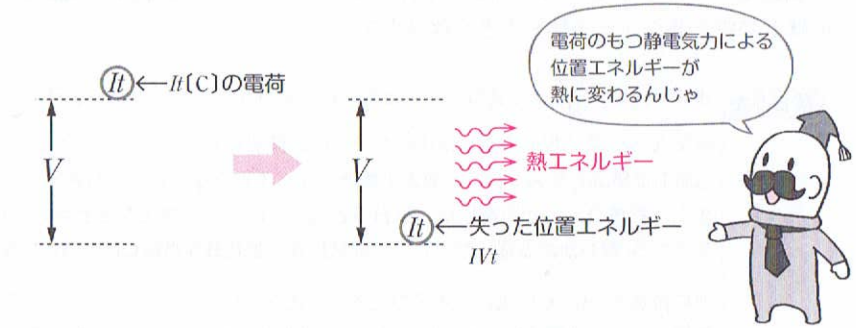
補足 「電力量とジュール熱って式が同じだ！」と思った人もいると思います。
電力量は，本来なら熱の他にも，光や音，動力など，いろいろな形に変換されます。
しかし，高校物理で一般的に出てくる，抵抗しかない回路では電球や力学的なはたらきをする装置がありませんから，光や動力に変換しようにもできません。
ゆえに電力量はすべて「熱」になることが多いので，電力量とジュール熱の式が等しいのです。

ジュール熱

R〔Ω〕の抵抗に電圧V〔V〕をかけI〔A〕の電流をt秒間流したときに抵抗に発生するジュール熱Q〔J〕は

$$Q=IVt=I^2Rt=\frac{V^2}{R}t〔J〕$$





4

電力 P〔J/s＝W〕と電力量 W〔J〕

電流の仕事率（1秒間にする仕事）を**電力**といい

$$P=IV〔J/s=W〕$$

（〔Wh〕はその電力を1時間（＝3600秒）消費したときのエネルギーなので　1〔Wh〕＝1〔W〕×3600〔s〕＝3600〔J〕）

電力に，使用した時間を掛けると**電力量 W**が求められる。

$$W=IVt=I^2Rt=\frac{V^2}{R}t〔J〕$$

問4-6 右ページの図のような抵抗値の同じ抵抗A～Eからなる回路がある。同じ時間電流を流したとき，各抵抗のジュール熱で，最も大きいものは最も小さいものの何倍になっているか。ただし，電源の内部抵抗や導線の抵抗は無視できるとする。

ジュール熱の式は$Q=IVt=I^2Rt=\dfrac{V^2}{R}t$でした。

どの抵抗もその大きさは同じなので，流れる電流が大きいほど，抵抗の電圧が大きいほど発生するジュール熱も大きくなりますね。

解きかた まずは，$Q=\dfrac{V^2}{R}t$より抵抗にかかる電圧の大きさ比べをしてみましょう。

抵抗A～Eで，最も大きい電圧がかかるのは抵抗Eです。
抵抗Eは電源と並列なので，電源の電圧がすべてかかることになります。
また，抵抗Dにかかる電圧は，抵抗Bと抵抗Cにかかる電圧を合わせたものですから，最もかかる電圧が小さいのは抵抗Aか抵抗Bか抵抗Cのどれかです。

次に抵抗A，B，Cに流れる電流の大きさを比べましょう。
抵抗Aに流れる電流は，抵抗B＆抵抗C側と抵抗D側の2方向に分かれます。
よって，$Q=I^2Rt$より抵抗Aに発生するジュール熱は，抵抗B，Cで発生するジュール熱よりも大きくなります。
抵抗B，Cには同じ電流が流れるので，発生するジュール熱は等しくなります。

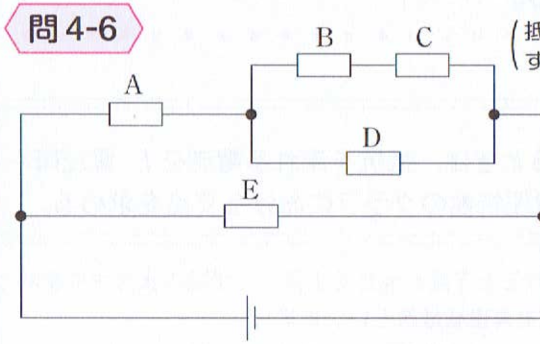
ゆえに，抵抗Eで発生するジュール熱が最も大きく，抵抗B，Cで発生するジュール熱が最も小さいと予想できますね。

この予想をふまえて，最もジュール熱が小さい抵抗Bと抵抗Cに流れる電流をIとおきましょう。他の抵抗を流れる電流の大きさを求めていきます。
抵抗Dと抵抗B，Cは並列なので，電圧が等しくなるため
$RI_D=RI+RI$より，$I_D=2I$となりますね。
抵抗Aを流れる電流は，キルヒホッフの第1法則より
$I_A=I+I_D=3I$となります。
抵抗Eと抵抗A，Dは並列なので，電圧が等しくなるため
$RI_E=RI_A+RI_D=3RI+2RI=5RI$より，$I_E=5I$となります。

ジュール熱は$Q=I^2Rt$なので，流れる電流が最も大きいEのジュール熱が最も大きく，電流が最も小さいB，Cのジュール熱が最も小さくなりますね。

よって $\dfrac{Q_E}{Q_B}=\dfrac{I_E{}^2Rt}{I^2Rt}=\dfrac{25I^2}{I^2}=$ **25倍** …答

問 4-6



まずは抵抗 A~E で発生するジュール熱が最大のものと最小のものを予想する。

- $Q=\dfrac{V^2}{R}t$ より，Vが最大なのは抵抗 E なので，抵抗 E が最大のジュール熱を発生する。
- $V_D=V_B+V_C$ より，抵抗 D のジュール熱は最小ではない。
- 抵抗 A に流れる電流 ＞ 抵抗 B，C に流れる電流
  $Q=I^2Rt$ より，抵抗 B，C で発生するジュール熱が最小。

よって　ジュール熱最大 → 抵抗 E，ジュール熱最小 → 抵抗 B，C

抵抗 B，C に流れる電流をIとして，各抵抗を流れる電流を調べる。

- 抵抗 D にかかる電圧と抵抗 B，C にかかる電圧の和は等しいので
  $RI_D=RI+RI$　　$I_D=2I$
- キルヒホッフの第 1 法則より　$I_A=I+I_D=3I$
- 抵抗 E にかかる電圧と抵抗 A，D にかかる電圧の和は等しいので
  $RI_E=RI_A+RI_D=5RI$　　$I_E=5I$
  $\dfrac{Q_E}{Q_B}=\dfrac{(5I)^2Rt}{I^2Rt}=$ **25 倍** …答

ここまでやったら 別冊 P. 23 へ

4-15 非直線抵抗

ココをおさえよう！

回路に非直線抵抗があるときは，抵抗を流れる電流を I，電圧降下を V とおき，電流-電圧特性のグラフにおける交点を求める。

白熱電灯や電球は，電流が流れると温度が大きく上昇し，抵抗の大きさも変わってしまいます（このような抵抗を**非直線抵抗**といいます）。
そのため，通常の抵抗のようにオームの法則にはしたがいません。
単純に $V=RI$ では電圧降下を計算できないのです。

非直線抵抗の問題では必ず，流れる電流とその電流が流れたときの電圧降下の大きさの関係を示すグラフが与えられます。このグラフを使って，問題を解くのです。

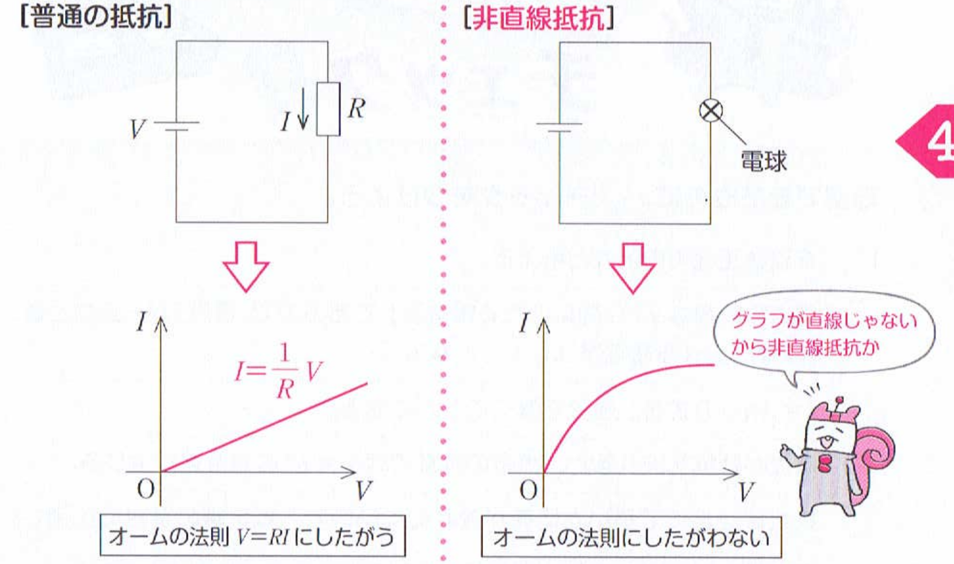
問4-7 右ページの図のグラフは回路内の電球の電流-電圧特性を示したものである。図のように回路を作った場合，電球を流れる電流と，電球に加わる電圧はいくらか。

非直線抵抗の問題では，次のステップを踏んで解いていきます。

〔1〕 非直線抵抗を流れる電流を I，非直線抵抗にかかる電圧を V とする。
〔2〕 電圧1周0ルールを使い，V と I に関する関係式を立てる。
〔3〕 〔2〕の関係式のグラフを，与えられた電流-電圧特性グラフにかき込む。
〔4〕 グラフの交点の I と V の値を読み取る！

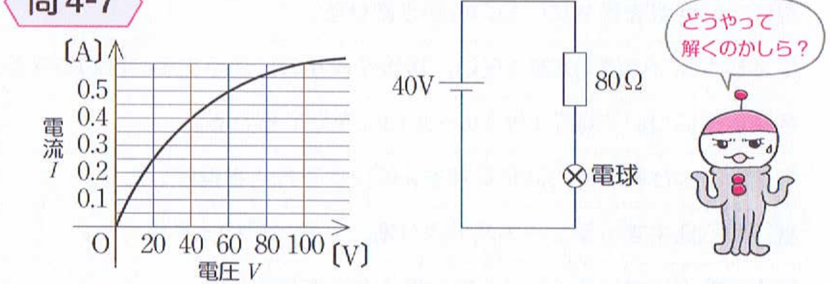
解きかた
〔1〕 右ページの図のように，文字をおきましょう。
〔2〕 普通の抵抗では $80I$ だけ電圧が下がりますから，電圧1周0ルールより
$40=80I+V$
〔3〕 〔2〕の式のグラフは2点 $(V,\ I)=(0,\ 0.5)$，$(40,\ 0)$ を通りますから，この2点を結べばよいですね。
〔4〕 できたグラフは，$(V,\ I)=(20,\ 0.25)$ で交わっていますね。
これより，$I=0.25$ A，$V=20$ V …答

回路中で電球に流れる電流を I，電球にかかる電圧を V として式を立てて，"回路で成り立つ式のグラフ"と"電球の特性として成り立つグラフ"の両方を満たすのが，答えになるのです。
非直線抵抗の問題はワンパターンなので，これらのステップは覚えてしまいましょう。

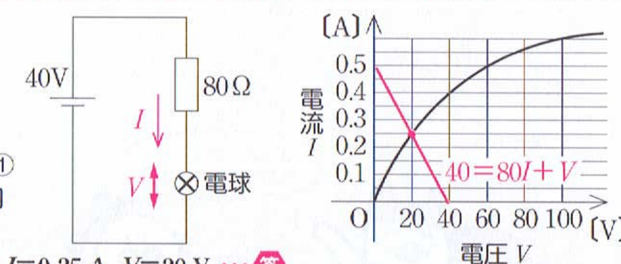


非直線抵抗の問題では，グラフを使って問題を解く！

問4-7



電球に流れる電流を I，電球にかかる電圧を V とすると
$40=80I+V$ ……①
①式のグラフは右図の赤い直線なので交点を読み取って $I=0.25$ A，$V=20$ V …答



ここまでやったら 別冊 P. 24 へ