1. 電気とは？

1．1　原子

原子とは，物質の最小粒子で，通常は電気的に安定(中和)している(図1．1)．

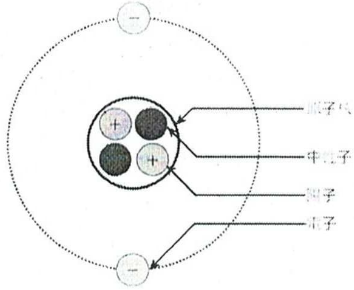


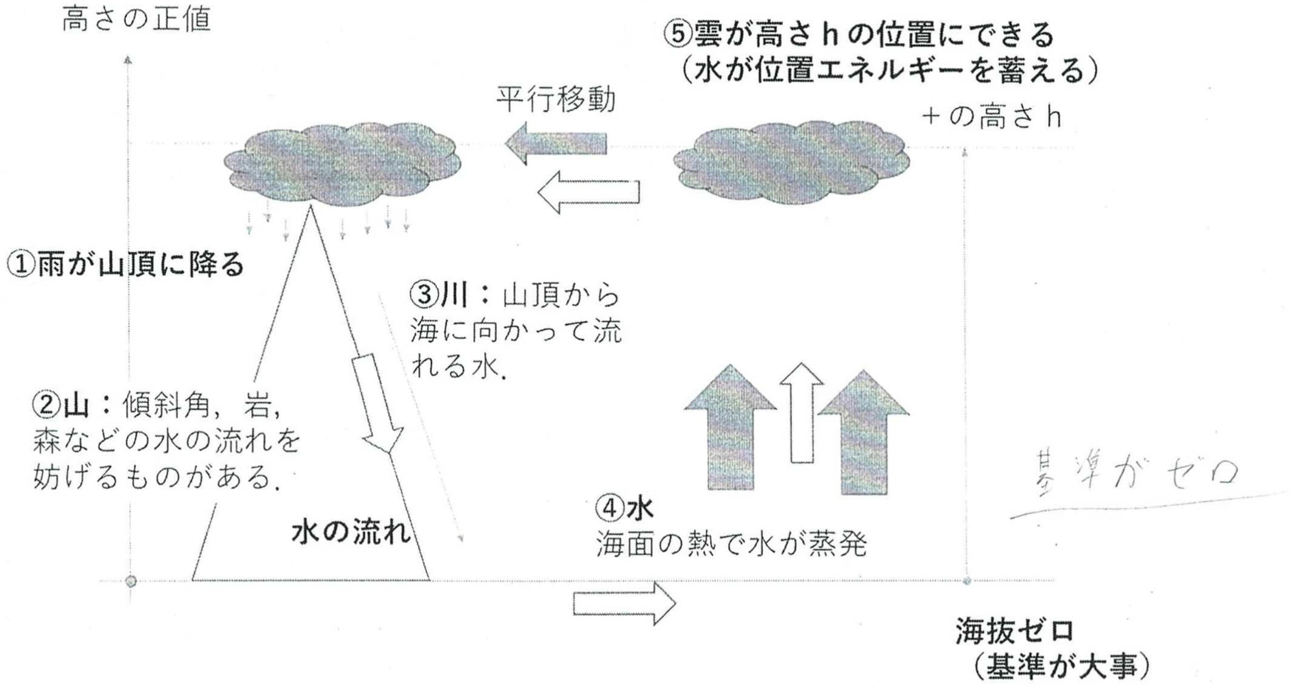
図1．1　原子

1．2　イオンと電荷

イオンとは，電気的に中和している状態の原子に何らかのエネルギーが加わり，原子の周りを移動していた電子が移動してしまい，電気的中和が崩れた状態の原子を示す．この時の移動する電子を自由電子とよび，この自由電子は，①マイナスの電荷を帯びている．電荷の大きさを②クーロン[C]と定義する．

1．3　電気のエネルギー場

水(雨)の循環をイメージしてみよう(図1．2)．



水の流れ：①→⑤の１つの閉ざされた循環を繰り返す．
→　⑥　閉回路　　とよぶ．

図1．2　水の位置エネルギー(ポテンシャル)

水の流れは，電気回路に置き換えると，電荷が動き＝電流の流れに相当する．電荷を動かすには(電流を発生させるには)，③電荷が高いエネルギー場まで移動させる必要がある．そのエネルギー場を④電位と呼ぶ．これを図で簡易的に示すと，図1．3のようになる．

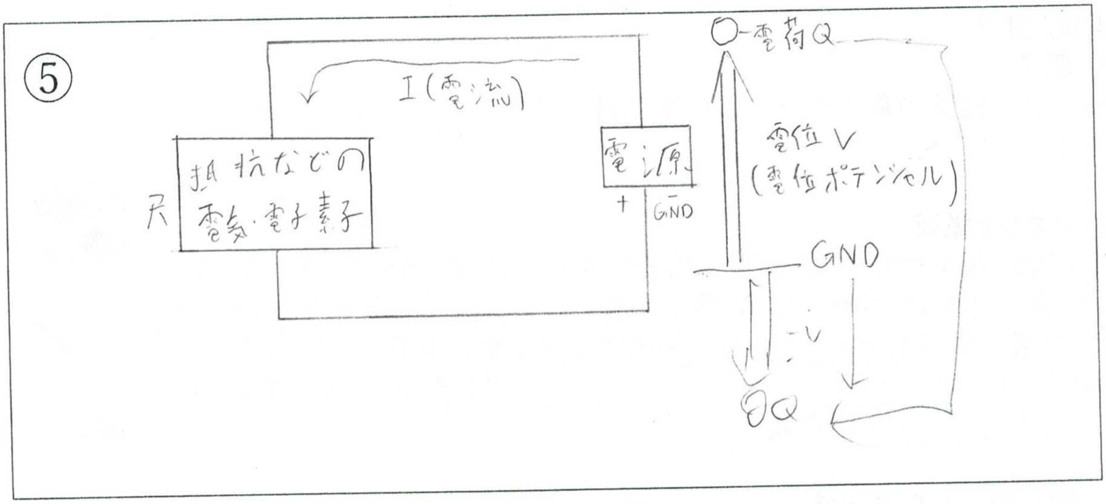


図1．3　電位と電流

図1．4は，電気回路内に設置する電源を示す．電池は直流電源なので，直流電源の記号は，下(基準)から上に電荷を持ち上げた(汲み上げる)状態と考えることができる．そして,この直流電源に，抵抗を接続すれば，その持ち上げられたエネルギーを使って電荷が移動する，すなわち電流が電位の高い方から引く方に向かい流れる．

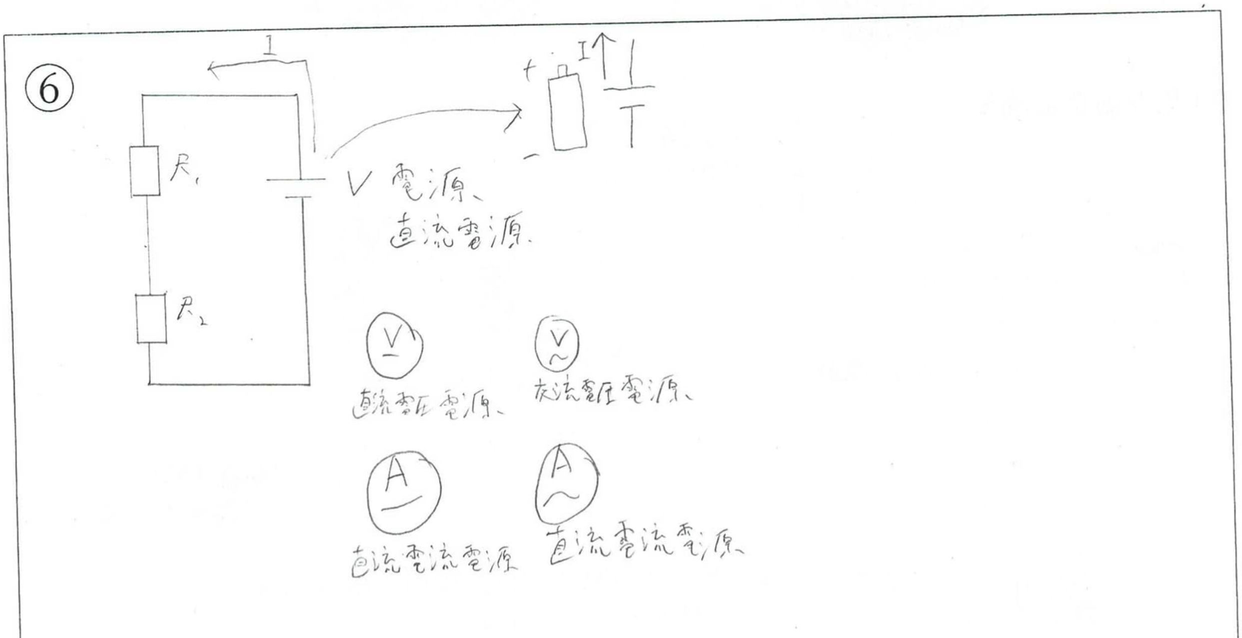


図1．4　電源(電位)の働き

1．3　エネルギーの場の定義（仕事量：電荷と電位）

ここで，正電荷Qを電位Vまで移動させるのに必要な仕事量Wを定義する．

$$W[\mathrm{J}] = ⑦\boxed{\quad\quad\quad} \qquad (1.\ 1)$$

となる．移動電荷が負電荷であれば，$W[\mathrm{J}] =$ ⑧［　　　］となる（電流の流れは，電子の流れの逆向きとなることに注意．テキスト P5 図2）．

ここで，（1．1）式を電位として示すと，

$$V[\mathrm{V}] = \frac{W[\mathrm{J}]}{Q[\mathrm{C}]} \qquad (1.\ 2)$$

となり，電位は，⑨［　　　］であること分かる．すなわち，電位は，電流を流すためのエネルギーを示す．

1．4　SI（International System：国際）単位系

単位の基本は，距離[m]，重さ[[kg]，秒（時間）[s]，電流アンペア（A）の⑩［MKSA 単位系］に，⑪［温度 [K]］，⑫［物質量 (mol)］，⑬［光量 [cd]］を含む7つの単位群で構成される．この単位群を SI 単位系と呼ぶ．

補助単位：平面角 rad，立体角 sr

基本単位・・・SI 単位と補助単位

組立単位・・・基本単位を組み立てた次元式．この組み立ては物理法則に従う．

例：$[Q] = [A^{\alpha} B^{\beta} C^{\gamma} \cdots\cdots]$

Q：単位（組立），　A，B，C 基本：単位，

α，β，γ：べき数

表1．1　電気量の基本単位

量	単位（読み方）	物理法則の定義と次元式
電圧	V（ボルト）	⑭ $[V] = \frac{[J]}{[C]} = [J/C]$ 単位電荷量を動かす仕事量
電流	A（アンペア）	⑮ 単位時間に流れる電荷量
電力	⑯ W（ワット）	⑰ $[W] = [A][V] = [W] = \frac{[J]}{[S]}$
エネルギー	J（ジュール）	電力の時間積（積分値）：[J]＝[W] [s]
電荷	C（クーロン）	電流と時間積（積分値）：[C]＝[A] [s]
抵抗	Ω（オーム）	電圧を電流で割った値：[Ω]＝[V]/ [A]
コンダクタンス	S（シーメンス）	抵抗の逆数
静電容量	F（ファラド）	電荷量を電圧で割った値：[F]＝[C]/ [V]
インダクタンス	H（ヘンリー）	抵抗と時間積：[H]＝[Ω][s]

表1．2　倍量・分量と呼ばれる接頭語

倍量・分量	⑱ 10^{12}	⑲ 10^{9}	⑳ 10^{6}	㉑ 10^{-6}	㉒ 10^{-9}	㉓ 10^{-12}
呼び方	テラ	ギガ	メガ	マイクロ	ナノ	ピコ
記号	T	G	M	μ	n	p

【問題1．1】 電子素子の「抵抗」の単位である Ω を SI 単位で示しなさい．

答え　$[\Omega] = [V]/[A] = \frac{[J]}{[C]}/[A] = \frac{\frac{[J]}{[A][s]}}{[A]} = [kg]\cdot[m^2]\cdot[s^{-2}]\cdot[A^{-2}][s^{-1}] = [kg\cdot m^2\cdot s^{-3}\cdot A^{-2}]$

1．5　測定誤差とその扱い

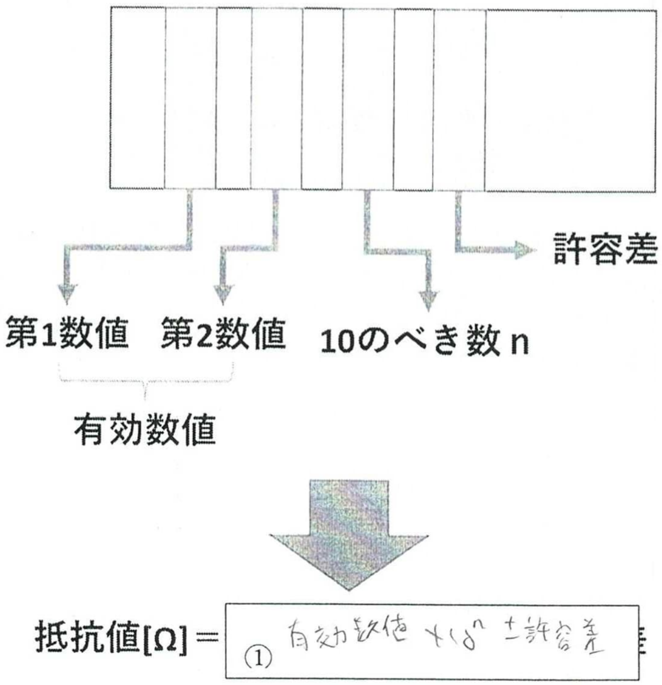
・誤差

・誤差率

2. 抵抗とオームの法則

2. 1　抵抗の大きさと種類

抵抗には，炭素被膜抵抗，金属酸化物被膜抵抗，セメント抵抗，半固抵抗などがある．炭素被膜抵抗，金属酸化物被膜抵抗には，カラーコードと呼ばれる抵抗の値を示す色帯がある．図2．1はカラーコード（色と数値）と，カラーカードからの抵抗値の読み取り方法を示す．



色	有効数値・べき数	許容差[%]
黒	0	
茶	1	±1
赤	2	±2
橙	3	±0.05
黄	4	±0.02
緑	5	±0.5
青	6	±0.25
紫	7	±0.1
灰	8	±0.01
白	9	
金		±5
銀		±10
無		±20

320Ω±5%

図2．1　カラーコードと抵抗値

304Ω〜336Ω

2. 2　オームの法則

電気回路の導体に流れる電流I[A]は，導体両端に加えられた電圧V[V]に比例し，抵抗R[Ω]に半比例する．この関係をオームの法則と呼ぶ．

$$I = \frac{V}{R}\,[\mathrm{A}] \qquad (2.\ 1)$$

また，抵抗の逆数をコンダクとよび，以下の様に定義される．

$$G = \frac{1}{R}\,[\mathrm{S}] \qquad (2.\ 2)$$

単位の[S]は，ジーメンスとよぶ．

2D 前期科目　電気回路 1

2．3　起電力と電圧降下

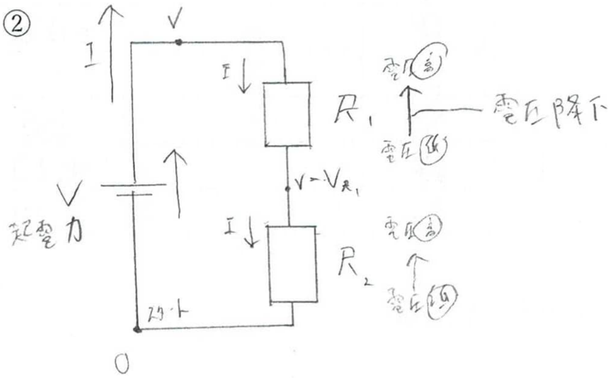
電気回路の特性を理解するには，電流の流れを起点とした抵抗と電圧の関係，すなわち「オームの法則」を理解することが必要不可欠である．

オームの法則を理解するための基礎となる「閉回路」「起電力」「電圧降下」の意味を正しく覚える必要がある（図2．2）．

① **閉回路（循環）**：抵抗や電源で構成され，流れ始めた電流がもとの位置に戻る閉ざされた1つの循環回路を示す．

② **起電力（電気エネルギーの源）**：電池などの電源を示す．この起電力は，極性に着目して，電圧の低い方（基準 GND）から高い方に向かう矢印で記す．

③ **電圧降下**：抵抗に電流が流れるとオームの法則に従い電圧が発生する．このときの電圧の向きは，起電力の表記方法に従うと，電流は電位の高い方から，低い方に向かって流れるので図2．2の③のようになる．このときの電圧の向きは，起電力の向きと逆向きになる．このように電気素子（ここでは抵抗）で発生する電圧を「電圧降下」と呼ぶ．



$$V = V_{R_1} + V_{R_2}$$

$$+V + (-V_{R_1}) + (-V_{R_2}) = 0$$

図2．2　起電力と電圧降下

２．４　閉回路内の起電力と電圧降下の関係式

V(起電力)は，R1とR2で発生する電圧降下 V_1 と V_2 に分けられる(このことを分圧と呼ぶ)．

$$\boxed{③\quad V = V_1 + V_2 \qquad (2.\ 3)}$$

式(2．3)は，起電力の総和(左辺)と電圧降下の総和(右辺)は等しい．　また，式(2．3)は，右辺をゼロにする表記することもある．起電力と電圧降下の総和はゼロになる(これは，起電力の矢印向き(電流の流れる向き)を一般的に正にする．)．

$$\boxed{④\quad V - V_1 - V_2 = 0 \qquad (2.\ 4)}$$

式(2．3)と式(2．4)は，同じ意味となり，電気回路を効率よく計算するときに使い分けすれば良い(どちらか1つを覚えておけばよい)．

【問題2．1】1つの起電力を含む閉回路

以下の図における閉回路の起電力，電圧降下を矢印と記号で示しなさい．
また，閉回路内の起電力と電圧降下の総和の関係式を求めなさい．

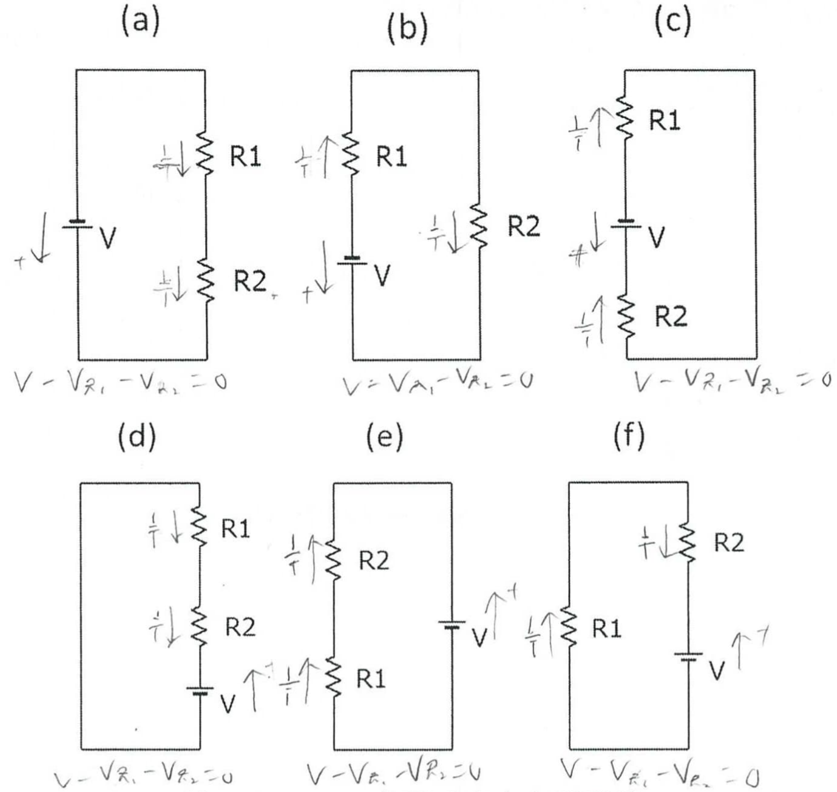
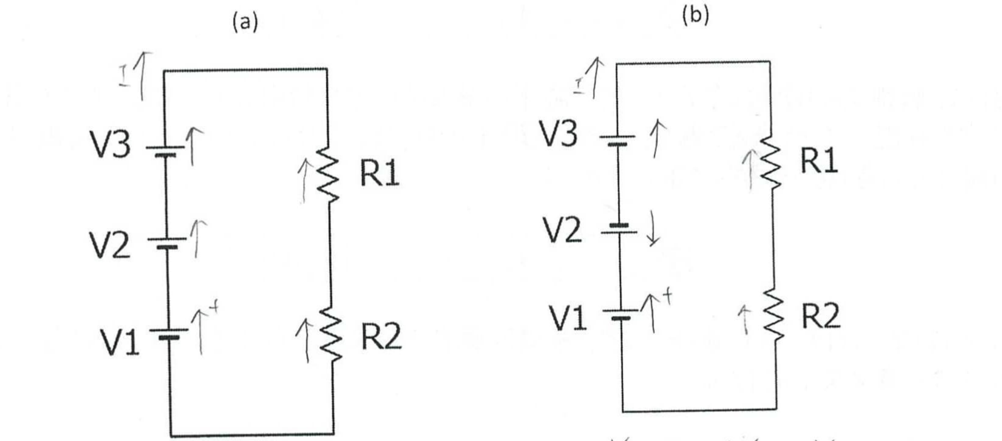


図2．3　１つの起電力を含む閉回路

【問題2．2】複数の起電力を含む閉回路

図2．4における閉回路の起電力，電圧降下を矢印と記号で示しなさい．また，閉回路内の起電力と電圧降下の総和を求めなさい．



(a) $V_1 + V_2 + V_3 - V_{R_1} - V_{R_2} = 0$

(b) $V_1 - V_2 + V_3 - V_{R_1} - V_{R_2} = 0$

図2．4　複数の起電力を含む閉回路

【問題2．3】　分岐を伴う閉回路（2 つ以上の閉回路）

図2．5における閉回路の起電力，電圧降下を矢印と記号で示しなさい．また，閉回路内の起電力と電圧降下の総和を求めなさい．

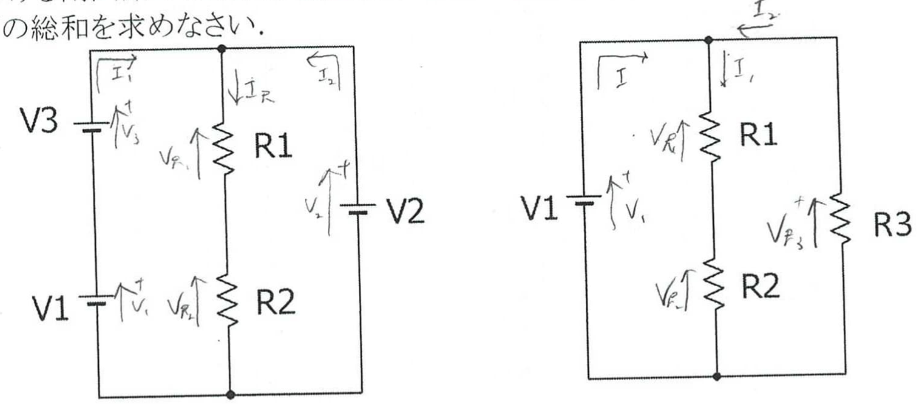


図2．5　分岐を含む閉回路

$$\begin{cases} V_3 + V_1 - V_{R_1} - V_{R_2} = 0 \\ V_2 - V_{R_1} - V_{R_2} = 0 \\ V_3 + V_1 - V_2 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_1 - V_{R_1} - V_{R_2} = 0 \\ V_{R_3} - V_{R_1} - V_{R_2} = 0 \\ V_1 - V_{R_3} = 0 \end{cases}$$

3. 抵抗の直列・並列回路

電子素子の基礎となる抵抗を用いて，電子素子の接続方法とオームの法則を用いて電気回路の特性について習得する．

3．1　直列（接続）回路

電圧 V を抵抗 R1 と R2 に図のように接続した．このとき2つの抵抗には同じ大きさの電流が流れる（電流がほかに流れる場がない）．このような関係となる接続方法を直列接続と呼ぶ．
電源から出る電流をIとする．

抵抗 R1，R2 における~~起電力~~電圧降下を V1,V2 とすると，

① $V_1 = R_1 I$ 、 $V_2 = R_2 I$ 　(3．1)

となる．

また，キルヒホッフの第二法則 KVL(Kirchhoff’s Voltage ~~Low~~ Law)：「閉回路内の起電力の総和と電圧降下の総和は等しい」は，以下のように記される．

② $V = V_1 + V_2$ 　(3．2)

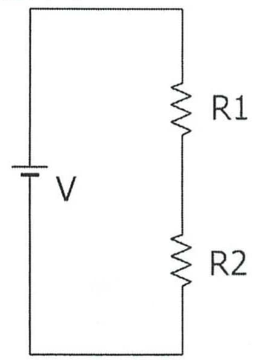


図 3.1 抵抗の直列接続

ここで，式(3．1)を式(3．2)に代入すると，

③ $V = I(\underbrace{R_1+R_2}_{=R_{12}}) = IR_{12}$ 　(3．3)

となる．ただし，*R*12 ＝R1＋R2とする（直列抵抗の合成値は，各抵抗値の和となる）．直列に接続された全ての抵抗に，同じ大きさの電流が流れ，起電力は各抵抗の電圧降下の総和に等しい．

④

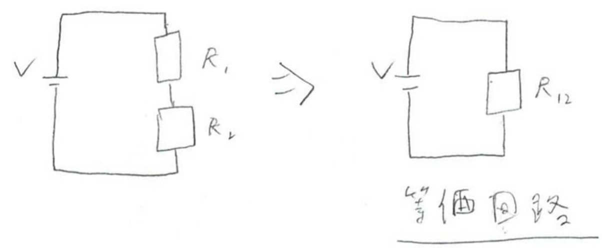
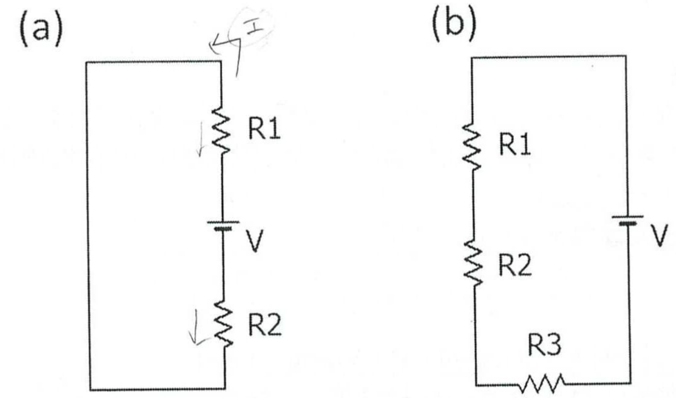


図3．2 直列の合成抵抗と電圧降下

【問題3．1】 下図の閉回路内の合成抵抗を求めなさい．ただし，キルヒホッフの第二法則（KLV）を用いること．

$V = I\underbrace{(R_1 + R_2)}_{R_{12}}$



$V = I\underbrace{(R_1 + R_2 + R_3)}_{R_{123}}$

$R_{12} = R_1 + R_2$　　$R_{123} = R_1 + R_2 + R_3$

3．2 並列回路

電圧 V を抵抗 R1 と R2 に図3．4のように接続した．各抵抗に流れる電流は，起電力から流れ出た電流 I が，A 点で分岐される（図3．5）．各電流の大きさは，電圧 V と抵抗値の決まる（オームの法則に従う）．このような関係となる接続方法を並列接続と呼ぶ．
各抵抗生じる起電力は，各抵抗に流れる電流を I1，I2 とすると，

⑤ $V_1 = I_1 R_1$, $V_2 = I_2 R_2$	（3．4）

となる．並列に接続された抵抗には，同じ大きさの電圧が加わり，流れ込む電流は．各抵抗に流れる電流の総和となる．

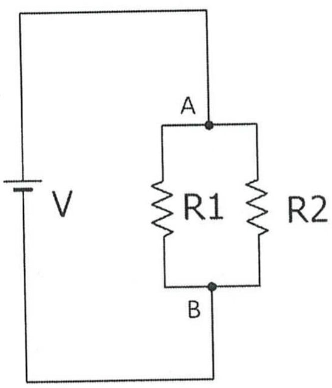


図3．4 抵抗の並列接続

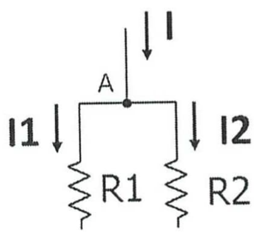


図3．5 分岐における電流の流れ

＊抵抗に加わる電圧の大きさは同じである．　2つに分かれる電流の経路（抵抗）に流れるそれぞれの電流の大きさは抵抗できまる．

ここで再びＡ点を通過する電流に注目する．Ａ点に入る電流をＩ，Ａ点を出る電流I1，I2とする（分岐点で電流が分配される）．
Ａ点を通過する電流の向きについて，入る方向をプラス，出る方向をマイナスと置くと，電流I1，I2とする電流がどこにも逃げることがなければ，Ａ点に入る電流と出る電流の大きさは同じである．これを式で示すと，以下の様になる．

⑥ $I + (-I_1) + (-I_2) = 0$，$I = I_1 + I_2$　(3．4)

この関係式をキルヒホッフの法則第一法則と呼ばれ，分岐点における電流の総和はゼロとなる．
(KCL:Kirchhoff's Current Low)　Law

ここで，回路の合成抵抗を R12 とすると，

⑦ $V = I R_{12}$　　$I = \dfrac{V}{R_{12}}$　(3．5)

と表せるので，上記式と(3．3)式を(3．4)式に代入すると，

$\dfrac{1}{R_{12}} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} = \dfrac{R_1+R_2}{R_1R_2}$

⑧ $\dfrac{V}{R_{12}} = \dfrac{V}{R_1} + \dfrac{V}{R_2}$

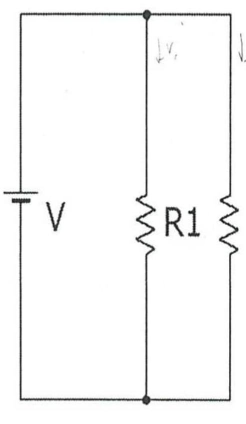
$R_{12} = \dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}$　(3．6)

$(R_{12})^{-1} = (R_1)^{-1} + (R_2)^{-1}$　　$R_{12} = \dfrac{R_1+R_2}{}$

となる．並列に接続された抵抗の合成値は，各抵抗の逆数の和となる．

【問題3．2】 下図の AB 間の合成抵抗を求めなさい．

(a)



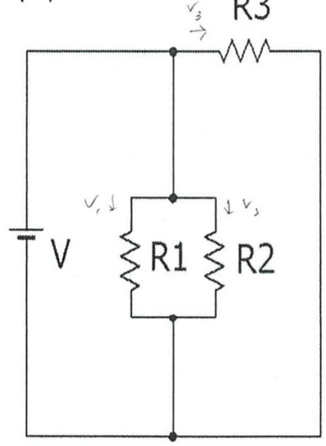
$V_1 = I_1 R_1$

$V_2 = I_2 R_2$

$\dfrac{V}{R_{12}} = \dfrac{V}{R_1} + \dfrac{V}{R_2}$

$R_{12} = \dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}$

(b)



$V_1 = I_1 R_1$

$V_2 = I_2 R_2$

$V_3 = I_3 R_3$

$\dfrac{V}{R_{123}} = \dfrac{V}{R_1} + \dfrac{V}{R_2} + \dfrac{V}{R_3}$

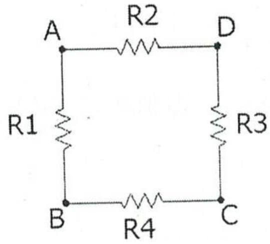
$R_{123} = \dfrac{R_1R_2R_3}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}$

３．３　直並列回路

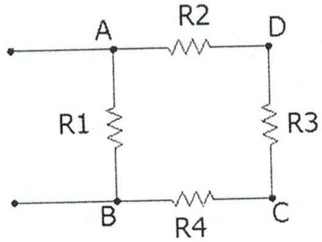
素子の直列および並列で接続された回路を直並列回路と呼ぶ．図３．６の(a)を基本として，AB間(b)，AC間(c)，DC間(d)における抵抗値に注目すると，直列並列回路が作れる．

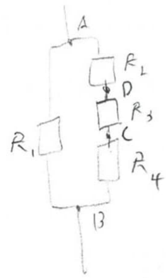
ヒント：各間の合成抵抗は，直列の合成抵抗を求めたあと，並列の合成抵抗を求めると良い．

(a)



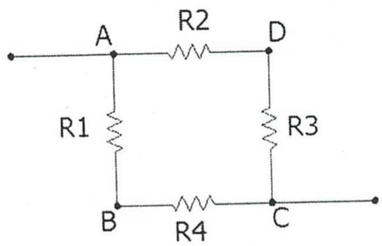
(b)

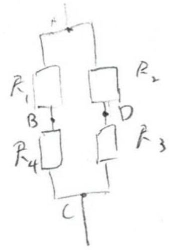




$$R=\frac{(R_2R_3R_4)R_1}{R_1+R_2+R_3+R_4}$$

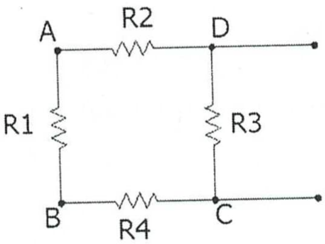
(c)

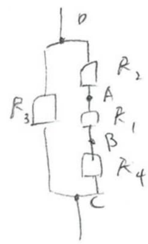




$$R=\frac{(R_1+R_4)(R_2+R_3)}{R_1+R_2+R_3+R_4}$$

(d)





$$R=\frac{(R_1+R_2+R_4)R_3}{R_1+R_2+R_3+R_4}$$

図３．６　直並列回路の合成抵抗