

## 実験 2. テスターの使用法と直流回路

### 1. 目的

オームの法則・キルヒホッフの法則について理解する。

テスターの基本的使用法を学ぶ

### 2. 「予習課題」 テスターで測定できる物理量は何か。

また、 $R_1=200\Omega$ 、 $R_2=400\Omega$ 、 $R_3=500\Omega$ として p 34-35 の計算をすること。

オームの法則、キルヒホッフの法則について回路図を書き、説明すること。

### 3. 理論

金属のように電気をよく通す物質を導体という。導体に電圧をかけると電流が流れる。

流れる電流  $I$  は、加えた電圧  $V$  に比例し、導体の抵抗  $R$  に反比例する。

これを **オームの法則** という。  $I = \frac{V}{R}$  または、  $V = RI$  (2-1)

抵抗に電圧  $1[\text{V}]$  を加え、 $1[\text{A}]$  の電流が流れたとき、この抵抗の値を  $1[\Omega]$  という。



抵抗  $R$  は電気抵抗または抵抗といい、電流の流れにくさをあらわしている。

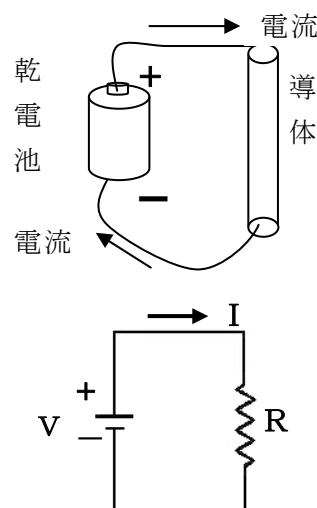
$R$  が大きいと電流は流れにくい。

図のように直流電源（乾電池やバッテリーなど）と導体をつないだ回路\*<sup>1</sup>）では、電源の電圧が一定であるとき、導体の抵抗（種類や長さ、太さにより異なる）に反比例する電流が流れる。

\*<sup>1</sup>）電流が一回りして流れる通り道

この回路は右下のように記号で表す。

 : 直流電源  $V$ 、  : 抵抗  $R$



オームの法則は以下のようにも考えられる。金属のような電気をよく伝える導体内には、自由に移動できる自由電子（マイナスの電気を帯びている）がある。自由電子は導体内の正イオンの規則的な配列の中を色々な速度で動き回っているが、熱振動により位置が変化する正イオンに衝突し、そのたびに方向や速度を変えられる。つまり抵抗を受ける。個々の自由電子の速度は異なるが、全体としてある平均の速度で運動していると考えられる。自由電子 1 個がもつ電荷（=電気や電気量）を  $-e$ 、

導体内の自由電子の平均速度を  $\bar{v}$ 、導体の単位体積中に含まれる自由電子の数を  $n$  とすると、導体の単位断面積に垂直な面を通して流れる電流(電流密度 = 単位面積あたりの電流)  $J$  は

$$J = -en\bar{v}$$

と表され、断面積  $S$  に垂直な面を 1 秒間に流れる電流  $I$  は

$$I = JS = -en\bar{v}S \quad (2-2)$$

となる。

一方、導体の両端に電場  $\vec{E}$  (注2) をかけると

$$\text{電子は電場と逆向きに力 } \vec{F} = -e\vec{E}$$

を受け進んでいく。電子の平均の速度を

$\bar{v}$  とすると速度に比例した抵抗力  $-k\bar{v}$  を受けると考えられる ( $k$  は比例定数)。

$$\vec{F} = -e\vec{E} \quad \vec{F} = -k\vec{v} \quad k\vec{v} = e\vec{E}$$

もし、この二つの力がつりあえば

$$k\vec{v} - e\vec{E} = 0 \quad (2-3)$$

が成り立ち、平均速度  $\bar{v}$  は一定に保たれる。

導体の断面積  $S$ 、長さ  $L$ 、導体の両端の電圧  $V$  のとき、電場  $E = \frac{V}{L}$  であるから

$$E = \frac{k\bar{v}}{e} = \frac{V}{L} \quad \text{これより} \quad \bar{v} = \frac{eV}{Lk} \quad (2-4) \text{ となる。}$$

$$\text{式(2-2)と式(2-4)より、電流は} \quad I = \frac{e^2 n S}{Lk} V \quad (2-5)$$

とあらわされるが これは電流が電圧に比例するオームの法則を表している。

$$\text{式(2-1)と式(2-5)を比較すると} \quad R = \frac{kL}{e^2 n S} \quad (2-6)$$

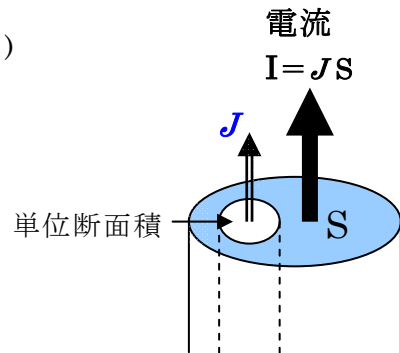
が得られる。これは導体中の電子の運動に対する抵抗力が小さいほど ( $k$  が小さい)、導体の単位体積に含まれる自由電子の数が多いほど電気抵抗が小さいことを示している。

抵抗の大きさは同じ種類の導体では導体の断面積  $S$  [m<sup>2</sup>]、長さ  $L$  [m] のとき、式(2-6)から電気抵抗  $R$  の大きさは  $L$  に比例し、 $S$  に反比例し、

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (2-7) \quad \text{ただし、} \rho = \frac{k}{e^2 n}$$

である。 $\rho$  は 導体の比抵抗 (抵抗率) といい、単位は [Ω · m] である。

比抵抗は物質によって異なり、長さ 1m、断面積 1m<sup>2</sup> での抵抗の値に等しく物質の



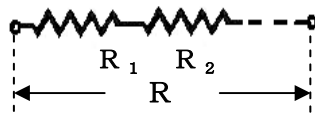
種類や温度などによって決まる。抵抗は長さに比例し、断面積に反比例する。

注2) 電場：物理学では、ある場所に帯電した物体（帯電体）をおいたとき力を受けたならば、この場所は、帯電体に力を作用する性質を持つと考える。このように、帯電体に、電気的な力を及ぼす空間のことを 物理では「電場」とよぶ。電場のある場所に電荷  $Q$  をおいたとき、作用する力  $F$  は電荷に比例する。電場を  $E$  とすると

$$E = F / Q \quad (E \text{ はベクトルである。})$$

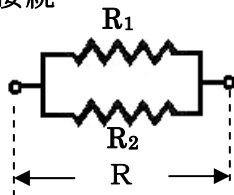
抵抗を接続したとき、全体の抵抗  $R$  (=合成抵抗) の求め方

### 直列接続



$$R = R_1 + R_2 + \dots$$

### 並列接続



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

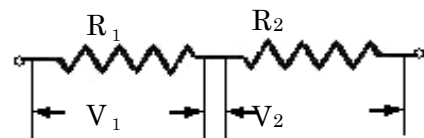
直列接続では 流れる電流は回路内のどの位置でも変わらない。  $I = V/R$  より一定である。

抵抗  $R_1$  の両端の電圧は  $V_1 = R_1 I$  だけ降下する (電圧降下)。同様に抵抗  $R_2$  の両端の電圧は  $V_2 = R_2 I$  だけ電圧降下する。

$$V = V_1 + V_2 = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2) I, \quad V = RI \text{ より 比較して}$$

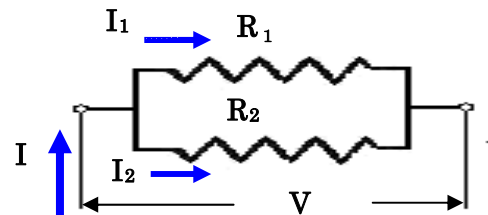
$$\text{全抵抗} \quad R = R_1 + R_2$$

が求まる。



一方、並列接続では 流れる電流  $I$  は  $R_1$  側と  $R_2$  側の 2 方向に枝わかれする。分かれた電流をそれぞれ  $I_1, I_2$  とする。各抵抗の両端の電圧は  $V$  であるから、

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \quad I_2 = \frac{V}{R_2}$$



全電流  $I$  は、  $I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) V$ 、  $I = \frac{V}{R}$  を比較して

$$\text{全抵抗} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

が求まる。抵抗の数が増えても同様にして求められる。

複雑な回路の中を流れる電流や電圧を求めるには、**キルヒホッフの法則**を用いる。

### キルヒホッフの電流則（キルヒホッフの第1法則）

ある回路の一部（Fig.a）を見よう。点Aに電流が流れ込んでいる。

**点Aに流れ込む電流の和はその点から流れ出す電流の和に等しい。**

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad \text{①}$$

**点Aに流れ込む電流の和は0（ゼロ）である**  
としてもよい。

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad \text{②}$$

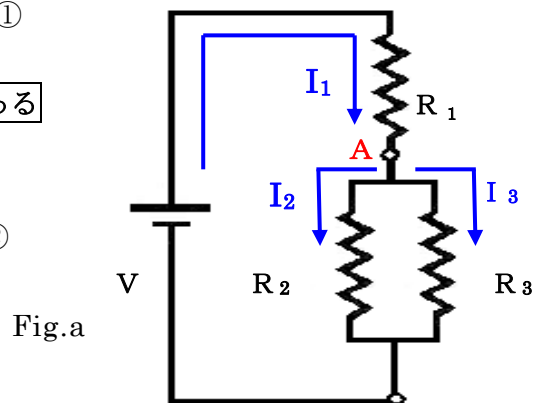


Fig.a

### キルヒホッフの電圧則（キルヒホッフの第2法則）

回路網（複雑な回路は網の目状であるからこのように呼ぶ）である閉じた回路（＝閉路で始点から一周して元の点に戻る）に沿って1周するとき、ある方向を正、反対方向を負と決めることにする。抵抗や電源による電圧降下（＝電位が下がること）の総和は電源電圧の総和に等しい。

**電源電圧の総和＝電圧降下の総和**

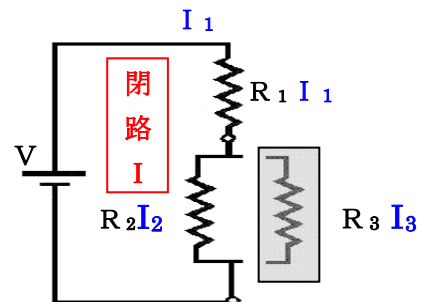
Fig.aの回路では2つの閉路IとIIができる。

**閉路I**について  $R_1$ での電圧降下は  $R_1 I_1$

$R_2$ での電圧降下は  $R_2 I_2$

電源は  $V$ であるから

$$V = R_1 I_1 + R_2 I_2 \quad \text{③}$$



**閉路 II** について  $R_1$  の両端での電圧降下は  $R_1 I_1$

$R_3$  の両端での電圧降下は  $R_3 I_3$

電源は  $V$  のみであるから

$$V = R_1 I_1 + R_3 I_3 \quad \text{④}$$

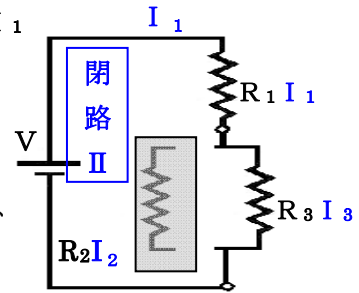
$V, R_1, R_2, R_3$  があらかじめわかっているならば、

電流則より、  $I_1 = I_2 + I_3$  ①

電圧則より  $V = R_1 I_1 + R_2 I_2$  ③

$$V = R_1 I_1 + R_3 I_3 \quad \text{④}$$

上の 3 式(①③④)より連立方程式を解くことで  $I_1, I_2, I_3$  は順に求められる。



## テスターの基本的使い方

参考資料：sanwa 三和電気計器  
株式会社 取扱説明書

テスターは直流電流や電圧および抵抗をスイッチを切り換えることによって、1台で測定できるようになっている。さらに整流器を内蔵しており、交流電圧も測定できる。ここではテスターの使用方法について学ぶ。

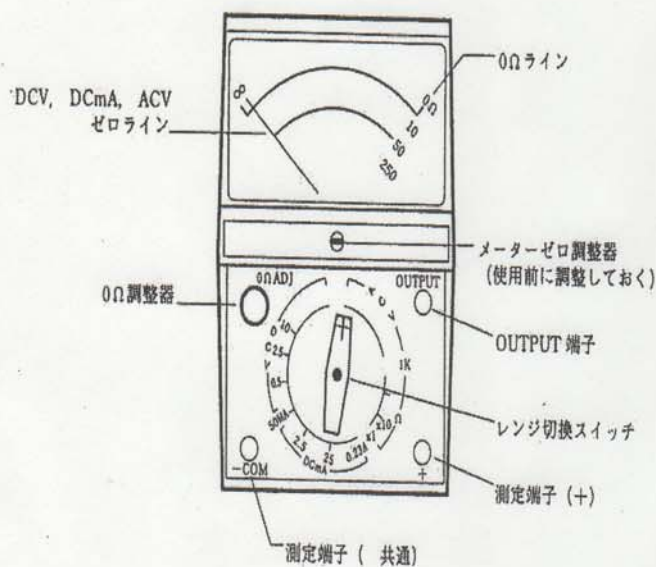


fig. 1

### (使用上の注意)

1. テスターの操作にあたっては、切換スイッチ\*の位置は、測定の種類や測定レンジに応じて正しくセットすることが大切である。初心者の場合、特に注意を要する。
2. 赤色のリード線は (+) 端子にさし込んで使用せよ。
3. 抵抗測定の場合は、抵抗測定レンジにセットし、+、-の測定端子を接触し、0Ω調整をまわし、指針が抵抗目盛のゼロ点を示すように較正して用いよ (抵抗レンジを変えるたびに較正せよ)。しかし、内蔵電池が消耗すると指針をゼロ点に調整できなくなるから、そのときは電池を新品と取り替えるようにする。したがって、テスターの使用後は電池の消耗を防ぐ意味から、リード線端子をはずしておくか、または、切り換えスイッチを交流、直流測定位置においておくことを忘れぬこと。

\* mA…直流電流, OHMS(Ω)…抵抗, DCV…直流電圧, ACV…交流電圧

4. 未知の電圧・電流を測定するときは、最高測定レンジから測定するようにする（テスターで電圧を測定する場合、回路に並列に (fig. 2)、また、電流を測定する場合は回路に直列に (fig. 3) つなぐ）。特に、高電圧の場合は、メーターを振り切らせて内部の抵抗を損傷せぬよう注意せよ。
5. 直流測定の場合は、その極性に注意すること。極性が不明のときは、最高測定レンジにして、測定体を瞬間的にリード棒で触れ、極性を知る\*\*。

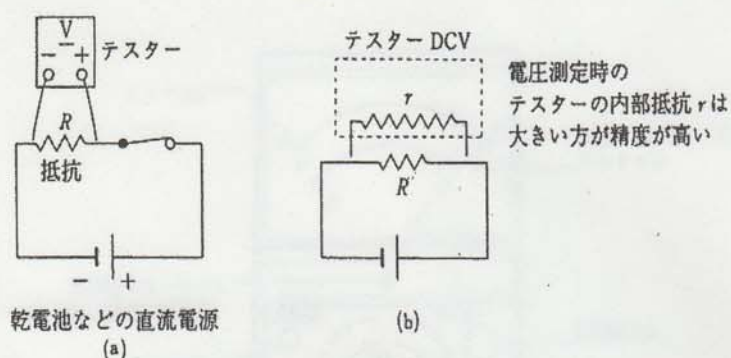


fig. 2 電圧を測定する場合、回路に対して並列につなぐ。

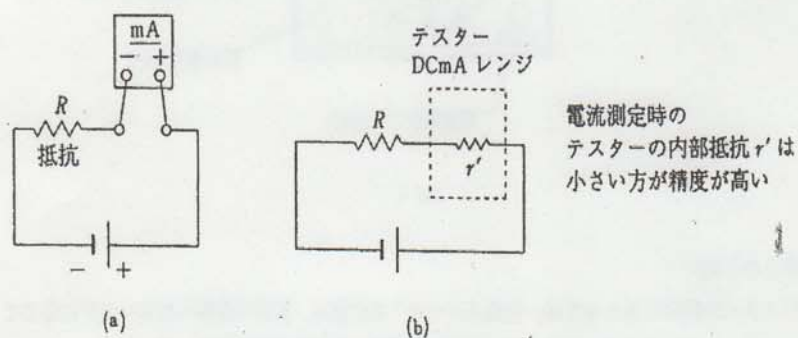


fig. 3 電流を測定する場合、回路に対して直列につなぐ。

注意 電流測定位置のまま fig. 2 のように接続するとテスターが破損する。

\*\* 極性が逆だと、針は左の方向に振れる。

実験 2 「テスターの使い方」のパワーポイントのスライドショーを見てから実験して下さい。

測定するときの注意：

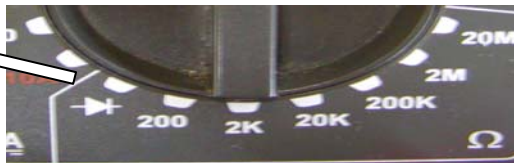
- \* テスター、電流・電圧計で測るとき、測定のレンジにより、測定できる最大値が違う。はじめは最大のレンジを選び、順次小さいレンジに切り替えていくこと。

課題 1 抵抗の測定

使用器具 テスター、豆電球または抵抗体

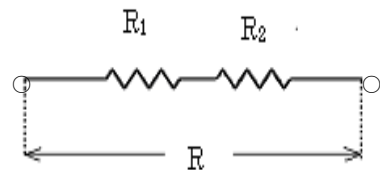
抵抗の測り方

テスターの切り替えスイッチを、大きな抵抗まで測れるレンジに切り替える。テスターの(+)(-)の端子棒を接触（ショート）させ、メータの指針が  $0 \Omega$  になることを確認する。はじめは大きな抵抗値の位置にして、抵抗体の両端にテスタの端子棒で触れ、抵抗値を読む。その後順次小さな抵抗値のレンジに切り替えて読む



直列（シリーズ）接続

下図のように接続し、テスターで抵抗の値を測定する。合成抵抗  $R$  は各抵抗の和に等しい。



$$R = R_1 + R_2$$

$R_1 =$	$\Omega$	$R_2 =$	$\Omega$
直列接続の合成抵抗を計算で求める。			
$R = R_1 + R_2$			
$R$ 計算値	=		$\Omega$

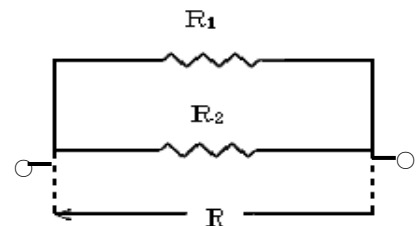
テスターによる測定値  $R = R_1 + R_2 =$    $\Omega$

並列（パラレル）接続

合成抵抗  $R$  の逆数  $1/R$  は、各抵抗の逆数の和に等しい。



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



$R_1 =$	$\Omega$	$R_2 =$	$\Omega$
並列接続の合成抵抗を計算で求める。			
$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} =$			$1/\Omega$
$R$ 計算値	=		$\Omega$

テスターによる測定値

$R =$    $\Omega$

計算値と測定値は一致しましたか？



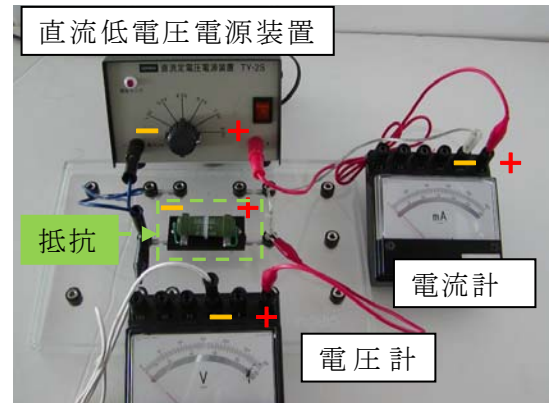
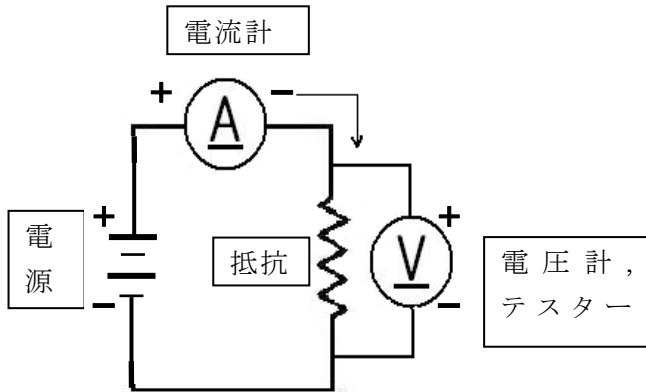
課題2 オームの法則 回路の電流・電圧を測定し、抵抗値を求める。

図のように接続し、電圧と電流の関係を測定し、グラフに記入する。

測定中はグラフ用紙にプロットしながら行う。(測定ミスや読み取りミスを防ぐため。)

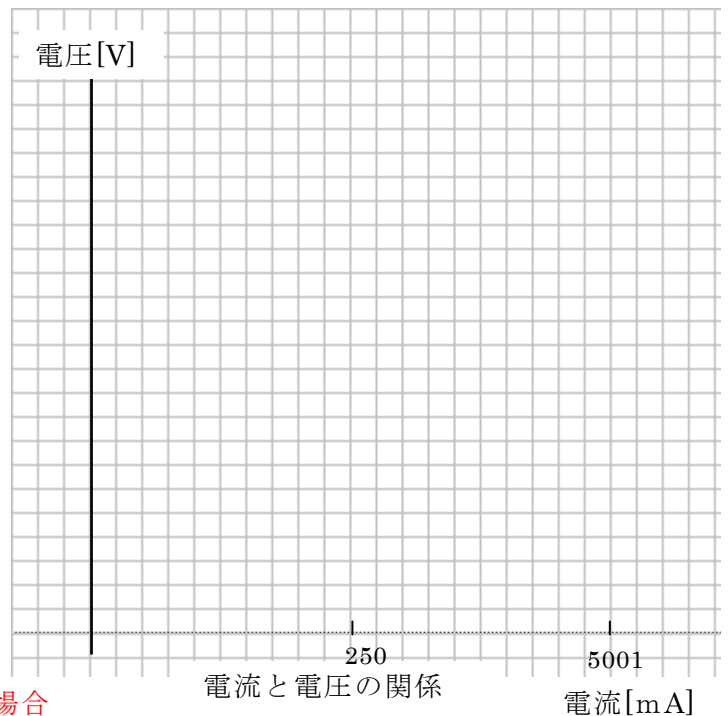
使用器具 直流定電圧電源装置 TY-2S (1.5~9.0V) , 直流電流計 (通称アンメータ)、  
抵抗2ケ (R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>)、リード線

(注意：電源装置をショートさせないように、また、感電に注意すること！)



測定データ

抵抗[Ω]	20[Ω]	40[Ω]
使用電流 レンジ	[mA]	[mA]
電圧[V]		
1.5→		
3.0→		
4.5→		
6.0→		
7.5→		
9.0→		



グラフの傾きを読み、抵抗を求める場合

抵抗 = 電圧 / 電流の変化分 →

$$R_1 = \boxed{\phantom{000}} [V] \div \boxed{\phantom{000}} [A] = \phantom{000} [\Omega]$$

$$R_2 = \boxed{\phantom{000}} [V] \div \boxed{\phantom{000}} [A] \phantom{=} [\Omega]$$

追加課題：乾電池 1 枚を使用する。抵抗の代わりに豆電球 2 枚を直列につないだ場合と、  
並列につないだ場合の明るさの変化を確認してみてください。

結果：

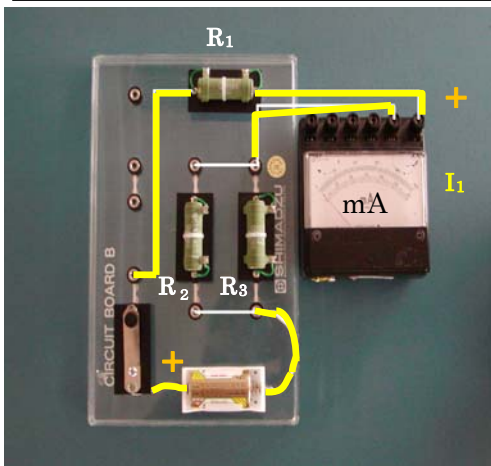
### 課題 3-1 キルヒホッフの電流則

3 つの抵抗  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  を図の回路のように接続し、各抵抗  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  を流れる電流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  を測定し、キルヒホッフの電流則を検証する。

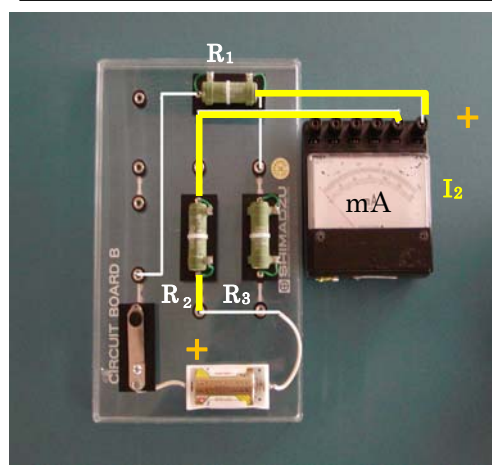
各電流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  を測定する際、電流計は接続しなおすこと。

使用器具 電流計、テスター、抵抗 (3 枚)、1.5[V] 乾電池(1 枚)、リード線  
基本回路 Fig.a を参照

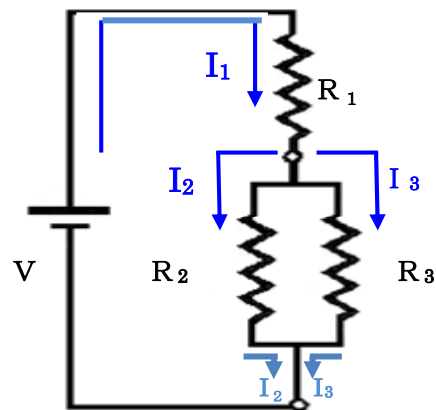
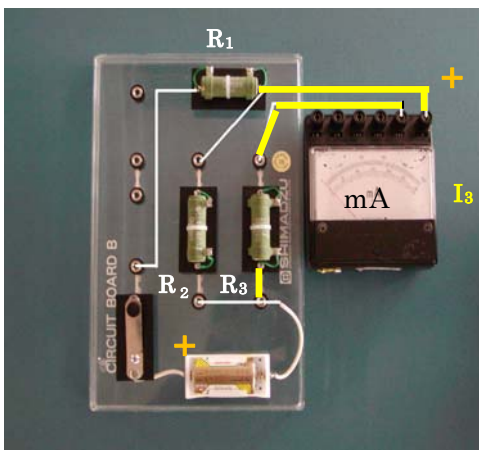
$I_1$  の測定  $I_1 =$  [A]



$I_2$  の測定  $I_2 =$  [A]



$I_3$  の測定  $I_3 =$  [A]



課題 3-2 キルヒホッフの電圧則

3つの抵抗  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  を図の回路のように接続し、電源電圧  $V$ （乾電池）や各抵抗の両端の電圧  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$  をテスターで測定し、キルヒホッフの電圧則を検証する。

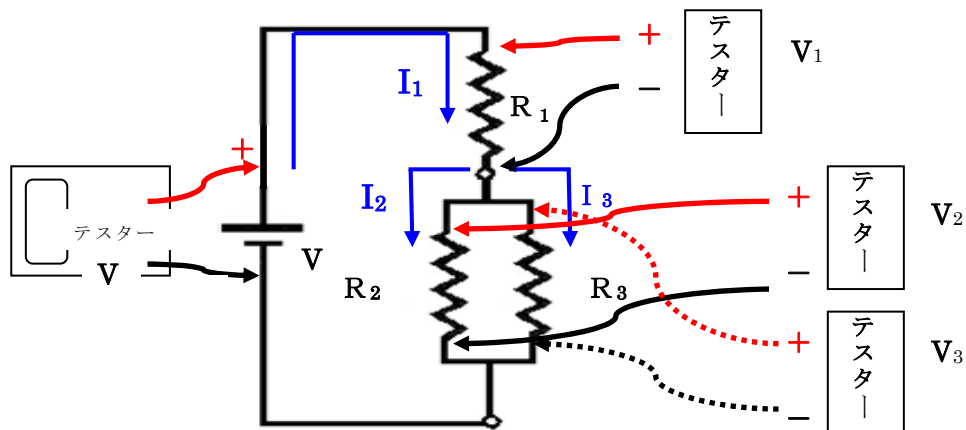
使用器具 テスター、抵抗（3ケ）、1.5[V]乾電池(1ケ)、リード線

基本回路 Fig.a を参照

テスターのつまみは 1.5[V]より大きい直流電圧測定的位置を選択すること。

(テスターの使用法のスライドショーを参照)

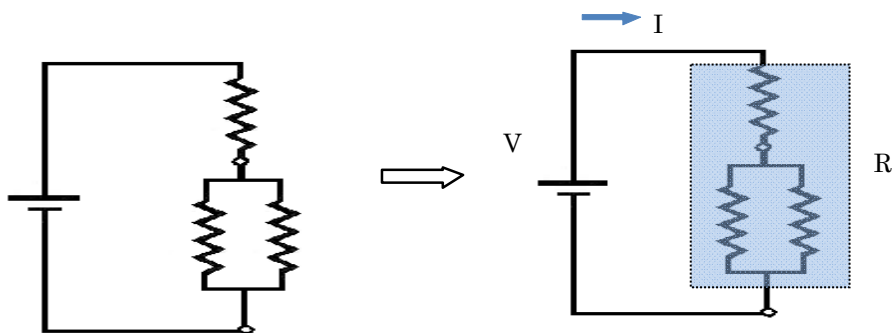
電源電圧 $V$ の測定 $V =$ [V]	$V_1$ の測定 $V_1 =$ [V]
	$V_2$ の測定 $V_2 =$ [V]
	$V_3$ の測定 $V_3 =$ [V]



課題 3-3 オームの法則より、回路を流れる電流  $I$  を求める。

課題 3-1 と同じ抵抗  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  を使用した回路の合成抵抗  $R$  を求める。

次に電圧を 1.5[V]とし、オームの法則より、電流  $I$  を求めよ。



等価回路

課題 3-4

乾電池の電圧を 1.5[V]、抵抗の値は            として、キルヒホッフの法則より、各抵抗を流れる電流の値  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  を計算する。(Fig.a 参照)

抵抗値 (抵抗に表示されている値を下記に記入する)

$R_1 =$	[Ω]	$R_2 =$	[Ω]
$R_3 =$			[Ω]

電源電圧  $V = 1.5[V]$

計算 結果だけでなく 中の式も書いておくこと。

<p><math>V = 1.5[V]</math>, <math>R_1[Ω]</math>, <math>R_2[Ω]</math>, <math>R_3[Ω]</math>の値を下式に代入し、連立方程式を解いて <math>I_1[A]</math>, <math>I_2[A]</math>, <math>I_3[A]</math> を順に求めること。</p> <p><math>I_1 = I_2 + I_3</math></p> <p><math>1.5 = R_1 I_1 + R_2 I_2</math></p> <p><math>1.5 = R_1 I_1 + R_3 I_3</math></p>
<p>計算結果</p> <p><math>I_1 =</math>            [A]    <math>I_2 =</math>            [A]    <math>I_3 =</math>            [A]    <math>I_2 + I_3 =</math>            [A]</p>

測定値

電圧  $V$  はテスターまたは電圧計で測る。

電圧 $V[V]$	全電流 $I_1[A]$	電流 $I_2[A]$	電流 $I_3[A]$	$I_2 + I_3[A]$	$I_1 - (I_2 + I_3) [A]$

[考]

- 1) 課題 3-1 より、キルヒホッフの電流則  $I_1 = I_2 + I_3$  は成りたっているか  
     — しない場合、            は何か
- 2) 課題 3-2 よりキルヒホッフの電圧則  $V = V_1 = V_2$  (または  $V = V_1 = V_3$ ) は成りたっているか  
     — しない場合、            は何か
- 3) 課題 3-3 で求めた電流  $I$  と課題 3-4 で求めた電流  $I_1$  の計算値が一致することを確かめよ。

[感] 実験 には、わからなかったけれど、実験 後に理解できたことやスライドショー「テスターの使用法」の感 意、意見を書いてください。