

## 31

## コンデンサーを含む直流回路②

◎ 解説動画



復習

直流回路内のコンデンサーのふるまい

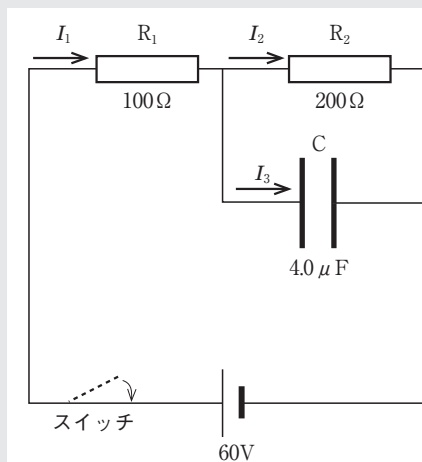
充電前 ⇒ 導線

充電後 ⇒ 断線

やってみよう /

Q

60V の電池,  $100\ \Omega$ ,  $200\ \Omega$  の抵抗  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $4.0\ \mu\text{F}$  のコンデンサー  $C$  を用いて, 図のような回路を組んだ。はじめ, コンデンサーには電荷は蓄えられていなかったものとする。 $R_1$ ,  $R_2$  を図の向きに流れる電流を  $I_1$ ,  $I_2$  [A],  $C$  に図の向きに流れ込む電流を  $I_3$  [A] とする。



つづき /

Q

(1) スイッチを入れた瞬間の  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  を求めよ。

解答

$$I_2 = 0\text{A} \quad \cdots \text{答}$$

$$I_1 = I_3$$

$$60 - 100I_1 = 0 \quad I_1 = 0.6$$

$$I_1 = I_3 = 0.6\text{A} \quad \cdots \text{答}$$

つづき /

Q

(2) スイッチを入れて十分に時間が経過した後の  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  を求めよ。

解答

$$I_3 = 0\text{A} \quad \cdots \text{答}$$

$$I_1 = I_2$$

$$60 - 100I_1 - 200I_1 = 0$$

$$300I_1 = 60$$

$$I_1 = 0.2$$

$$I_1 = I_2 = 0.2\text{A} \quad \cdots \text{答}$$

つづき /

Q

(3) (2) のとき,  $C$  の極板間の電位差  $V$  [V] と蓄えられる電気量  $Q$  [ $\mu\text{C}$ ] を求めよ。

解答

$$V = R_2 I_2 = 200 \times 0.2 = 40\text{V} \quad \cdots \text{答}$$

$$Q = CV = 4.0 \times 40 = 160\mu\text{C} \quad \cdots \text{答}$$

## 32

## 合成抵抗

◎ 解説動画



\ 押さえよ /



## 合成抵抗

直列接続  $R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$ 並列接続  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$ 

## ⬇ 直列接続の合成抵抗を求めよう。

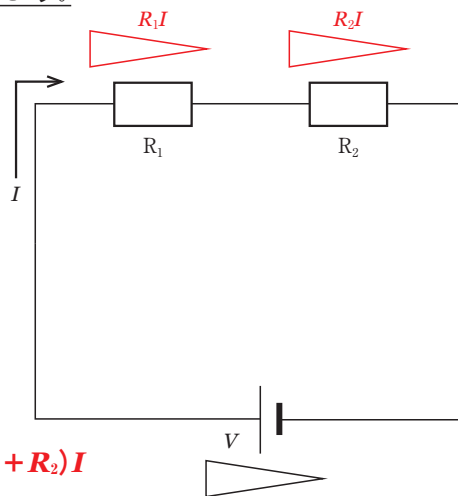
図のように抵抗値  $R_1, R_2 [\Omega]$  の抵抗  $R_1, R_2$  を直列に接続し、両端に電圧  $V[V]$  を加える。このとき、回路に流れる電流を  $I[A]$  とすると、各抵抗に加わる電圧は、 $R_1 I, R_2 I [V]$  となるから

$$V = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2) I$$

となる。したがって、全体の抵抗 (合成抵抗)  $R [\Omega]$  は

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

となる。一般に、 $R_1, R_2, \cdots, R_n [\Omega]$  の  $n$  個の抵抗を直列接続したときの合成抵抗  $R [\Omega]$  は、次の式で与えられる。



POINT

直列接続の合成抵抗  $R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$ 

## ⬇ 並列接続の合成抵抗を求めよう。

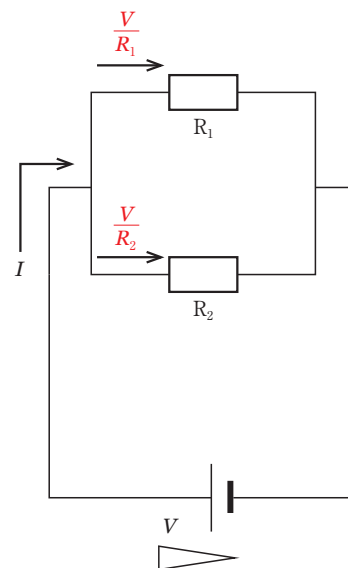
図のように抵抗  $R_1, R_2$  を並列に接続し、両端に電圧  $V [V]$  を加える。各抵抗に流れる電流は  $\frac{V}{R_1}, \frac{V}{R_2} [A]$  となるので、回路全体に流れる (電池から流れ出る) 電流  $I[A]$  は

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) V$$

となる。したがって、全体の抵抗 (合成抵抗) を  $R [\Omega]$  として

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

となる。一般に、 $R_1, R_2, \cdots, R_n [\Omega]$  の  $n$  個の抵抗を並列接続したときの合成抵抗を  $R [\Omega]$  として、次の式が与えられる。



POINT

並列接続の合成抵抗  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$

## 33

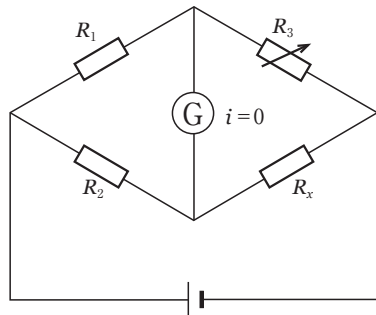
## ホイートストンブリッジ

◎ 解説動画


 \押さえよ/  
→

ホイートストンブリッジ

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

(R<sub>x</sub> は未知の抵抗値)

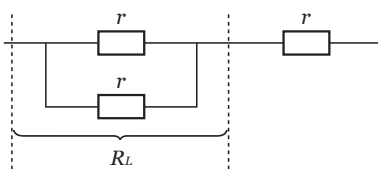
復習

P.000

1 本  $r(\Omega)$  の抵抗で図のような回路をつくった。合成抵抗  $R(\Omega)$  を求めよ。

$$\frac{1}{R_L} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} = \frac{2}{r}$$

$$R_L = \frac{r}{2}$$



解答

合成抵抗  $R = R_L + r = \frac{3r}{2}$  ..... 答

### ↓ ホイートストンブリッジとは何か？

未知の抵抗値  $R_x$  を精密に測定するために用いられる次の図のような回路を **ホイートストンブリッジ** という。

抵抗値  $R_1, R_2, R_3, R_x[\Omega]$  の抵抗, 検流計 G, 電池を図のように接続する。G に流れる電流が 0 になるように,  $R_3[\Omega]$  を

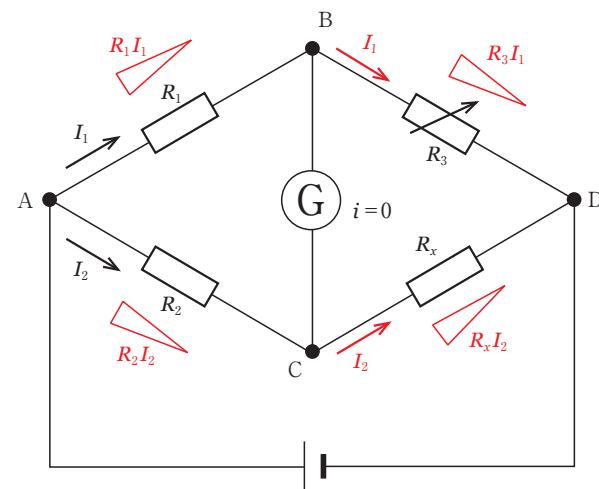
調節する。

$R_1, R_2[\Omega]$  に流れる電流をそれぞれ  $I_1, I_2[\text{A}]$  とすると,  $R_3, R_x[\Omega]$  に流れる電流はそれぞれ  $I_1, I_2[\text{A}]$  となる。回路中の 2 点 B, C が **等電位** であることから, 次の式が成り立つ。

$$\begin{cases} R_1 I_1 = R_2 I_2 \\ R_3 I_1 = R_x I_2 \end{cases}$$

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_x} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x}$$

ホイートストンブリッジでは, 検流計 G に電流が流れないように調節しているので, 検流計の内部抵抗の影響を受けずに未知の抵抗値  $R_x[\Omega]$  を精密に測定することができる。

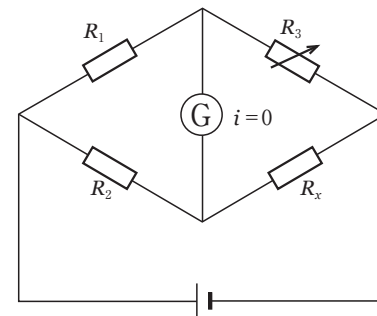


POINT



ホイートストンブリッジ

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

(R<sub>x</sub> は未知の抵抗値)

## 34

## 非オーム抵抗

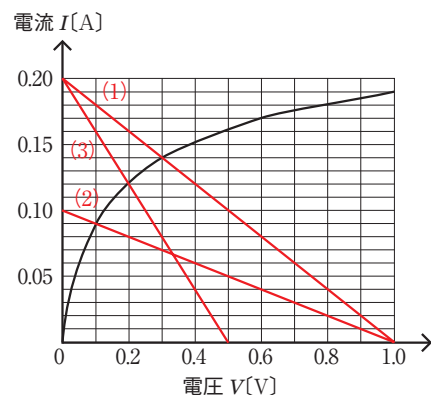
◎ 解説動画



やってみよう /

Q

右のグラフは、電球 L に加えた電圧  $V$  [V] と流れる電流  $I$  [A] との関係(電圧-電流特性)を表している。この電球 L,  $5\Omega$  の抵抗、および  $1\text{V}$  の電池を用いて、回路(1), (2), (3)を組んだ。それぞれの回路において、L にかかる電圧  $V$  と、L に流れる電流  $I$  を求めよ。(信州大・改)



電球(非オーム抵抗)を含む直流回路の解きかた

1. 電球に流れる電流を  $I$ , かかる電圧を  $V$  として、  
**電位差の式**(閉回路1周の電位差の総和は0)を立てる。
2. **電位差の式**のグラフと特性曲線の**交点**を読みとる。

秘

テクニック

解答

L に流れる電流を  $I$ , かかる電圧を  $V$  とする。回路(1)において

電位差の式

$$1 - 5I - V = 0$$

$$I = -\frac{1}{5}V + 0.2$$

グラフの交点を読んで

0.3V, 0.14A ..... 答

回路(2)において

電位差の式

$$1 - 10I - V = 0$$

$$I = -\frac{1}{10}V + 0.1$$

グラフの交点を読んで

0.1V, 0.09A ..... 答

回路(3)において

電位差の式

$$1 - 5\left(I + \frac{V}{5}\right) - V = 0$$

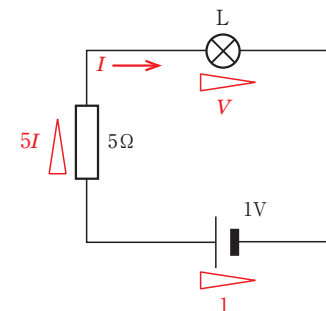
$$1 - 5I - 2V = 0$$

$$I = -\frac{2}{5}V + 0.2$$

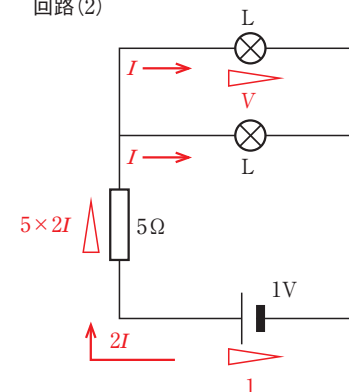
グラフの交点を読んで

0.2V, 0.12A ..... 答

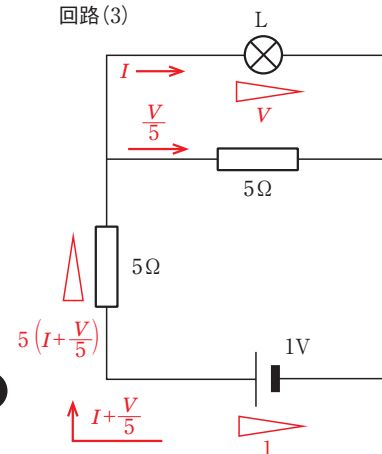
回路(1)



回路(2)



回路(3)



## 35

## 電池の起電力と内部抵抗

◎ 解説動画



\ 押さえよ /

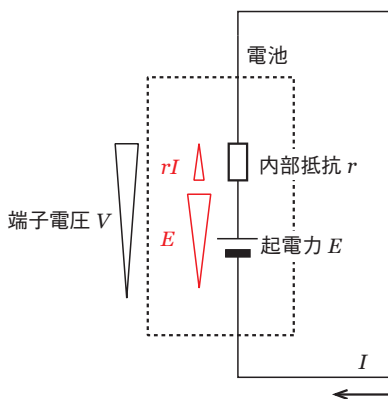
電池の端子電圧  $V = E - rI$ (E: 起電力  $r$ : 内部抵抗  $I$ : 電流)

## 📌 電池はどのようなはたらきをしているのか？

ポンプは水を低いところから高いところへくみ上げるはたらきをしている。同様に、電池は**正**の電荷を電位の**低**いところから**高**いところへ運ぼうとするはたらきをしている。このようなはたらきを**起電力**という。

## 📌 電池の起電力と端子電圧の違いを知ろう。

電池に電流が流れていなければ、電池の端子電圧  $V$  [V] と起電力  $E$  [V] は**等しい**。しかし、電池に電流  $I$  [A] が流れていると、電池の**内部抵抗**  $r$  [ $\Omega$ ] による**電圧降下**の分だけ、端子電圧  $V$  は起電力  $E$  よりも**小さく**なる。



POINT

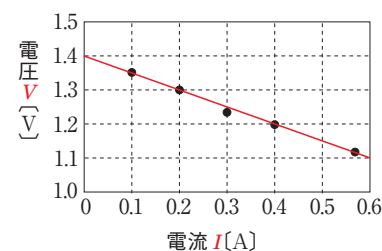
電池の端子電圧  $V = E - rI$ (E: 起電力  $r$ : 内部抵抗  $I$ : 電流)やっ  
て  
み  
よう  
Q次の文章中の空欄 **ア** **イ** に入れる数値を答えよ。

5つの異なる抵抗をそれぞれ電池に接続し、抵抗両端の電圧と流れる電流を測定したところ、図(a)の結果を得た。これは、図(b)のように、電池を、内部抵抗とよばれる抵抗  $r$  と電圧(起電力)  $E$  の直流電源が、直列接続されたものと考えることにより説明される。

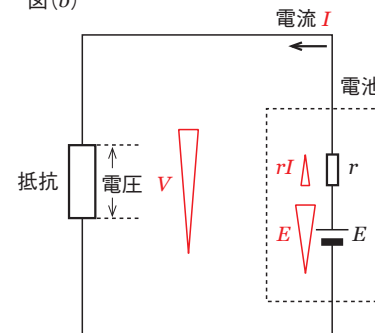
図(a)の結果から、 $E$  は **ア** V,  $r$  は **イ**  $\Omega$  と求められる。

(共通テスト)

図(a)



図(b)



解答

電池の端子電圧(抵抗両端の電圧)  $V$  [V], 起電力  $E$  [V], 内部抵抗  $r$  [ $\Omega$ ], 回路を流れる電流  $I$  [A] の関係は

$$V = E - rI$$

$V$ - $I$  グラフの  $V$  切片が  $E$ , 傾きが  $-r$  になるので、図(a)のグラフを読んで

**ア** : 1.40 ..... 答**イ** : 0.50 ..... 答

## 36

## 電力

◎ 解説動画



\ 押さえよ /



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

復習

断面積  $S$  [m<sup>2</sup>] の導線内を、電気量  $-e$  [C] の自由電子が平均の速さ  $v$  [m/s] で移動している。導線を通る電流の大きさ  $I$  [A] はいくらか。ただし、単位体積中の自由電子の数を  $n$  [1/m<sup>3</sup>] とする。

$$I = envS$$

## ⬇ ジュール熱とは何か？

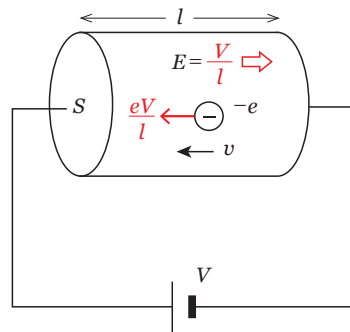
長さ  $l$  [m] の導線の両端に  $V$  [V] の電圧を加えると、導線内には強さ  $E = \frac{V}{l}$  [V/m] の電場が生じる。電気量  $-e$  [C] の自由電子は、電場から大きさ

$$F = eE = \frac{eV}{l} \text{ [N]} \text{ の静電気力を}$$

受けて移動する。自由電子の平均の速さを  $v$  [m/s] とすると、

$$\text{自由電子が電場から単位時間あたりにされる仕事は、} Fv = \frac{eVv}{l}$$

[J/s] となる。この仕事はすべて導線を構成している陽イオンに与えられ、熱振動のエネルギーに変わる。こうして導線より発生する熱をジュール熱という。



## ⬇ 電力とは何か？

単位体積中の自由電子の数を  $n$  [1/m<sup>3</sup>]、導線の断面積を  $S$  [m<sup>2</sup>] とすると、長さ  $l$  [m] の導線中の自由電子の数は、 $nSl$  だから、導線内で単位時間あたりに発生するジュール熱  $P$  [J/s] は

$$P = nSl \times \frac{eVv}{l} = IV$$

となる。オームの法則  $V = RI$  を用いて上式を変形すると

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

と表される。このように、電流が単位時間にする仕事  $P$  を電力といい、電流のする仕事率である。電力  $P$  の単位は仕事率の単位ワット [W] に等しい。

POINT



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

また、電流がある時間内にする仕事の総量を電力量という。1 ワット [W] × 1 時間で消費する電力量を 1 ワット時 [Wh] という。

## 37

## 電流計・電圧計

◎ 解説動画



\ 押さえよ /



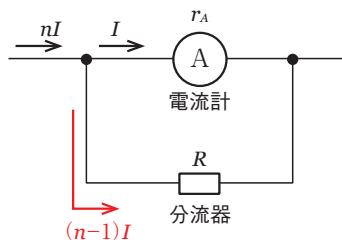
分流器は電流計に**並列**に接続し、  
倍率器は電圧計に**直列**に接続する。

## ⬇ 電流計とその特徴について学ぼう。

回路のある部分に流れる電流を測定するためには、測定したい部分に電流計を**直列**に接続する。このとき、電流計の接続によって回路の抵抗が増し、測定しようとする電流が変化することのないように、電流計の内部抵抗は非常に**小さく**してある。

## ⬇ 分流器とは何か？

内部抵抗  $r_A [\Omega]$  で  $I [\text{A}]$  まで測定できる電流計を用いて  $nI [\text{A}]$  まで測定できるようにしたい。そのためには、図のように、小さな値  $R [\Omega]$  の抵抗を電流計①に**並列**に接続して、 $(n-1)I [\text{A}]$  の電流がこの抵抗に流れるようにすればよい。このような抵抗を**分流器**という。

\ やって  
みよう /

上の分流器の抵抗値  $R [\Omega]$  を求めよ。

解答

$$r_A I = R \cdot (n-1) I$$

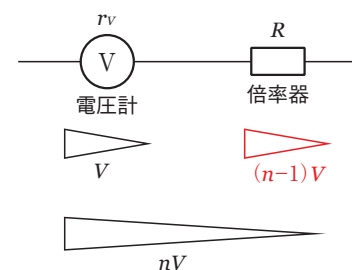
$$R = \frac{r_A}{n-1} \cdots \cdots \text{答}$$

## ⬇ 電圧計とその特徴について学ぼう。

回路のある部分にかかる電圧を測定するためには、測定したい部分に電圧計を**並列**に接続する。このとき、電圧計に大きな電流が流れて測定する電圧が変化することのないように、電圧計の内部抵抗は非常に**大きく**してある。

## ⬇ 倍率器とは何か？

内部抵抗  $r_v [\Omega]$  で  $V [\text{V}]$  まで測定できる電圧計を用いて、 $nV [\text{V}]$  まで測定できるようにしたい。そのためには、図のように、大きな値  $R [\Omega]$  の抵抗を電圧計②に**直列**に接続して、 $(n-1)V [\text{V}]$  の電圧がこの抵抗にかかるようにすればよい。このような抵抗を**倍率器**という。



\ つづき /



上の倍率器の抵抗値  $R [\Omega]$  を求めよ。

解答

$$\frac{V}{r_v} = \frac{(n-1)V}{R}$$

$$R = (n-1)r_v \cdots \cdots \text{答}$$



\ 押さえよ /

磁場  $\Rightarrow$   $+1\text{Wb}$  の磁極が受ける磁気力

電磁気の磁気と言えば“磁石”をイメージするが、現在では、磁気作用は電荷の運動によって起こることがわかっている。そこで、**38** では磁石について学び、**39** からは、電荷の運動による磁気作用について学んでいく。

### 📌 磁気力に関するクーロンの法則について学ぼう。

棒磁石が鉄などを引きつける力(磁気力)は両端付近が最も強く、この部分を**磁極**という。棒磁石を水平につると、ほぼ南北を向いて静止する。北を向く磁極を**N 極**、南を向く磁極を**S 極**という。同種の磁極間には**斥力**、異種の磁極間には**引力**がはたらく。磁極の強さは**磁気量**で表され、N 極の磁気量を**正**、S 極の磁気量を**負**と定める。磁気量の単位には**ウェーバ [Wb]** が用いられる。

磁気量の大きさが  $m_1, m_2$  [Wb] の2つの磁極が  $r$  [m] 離れているとき、磁極間にはたらく磁気力の大きさ  $F$  [N] は、次の式で表される。

$$F = k_m \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (k_m \text{ は比例定数})$$

これを磁気力に関する**クーロンの法則**という。

### 📌 磁極によって磁場を定義しよう。

電荷に静電気力をおよぼす空間が**電場**であったのと同様に、磁極に磁気力をおよぼす空間が**磁場 (磁界)**である。そこで、電場と同様に、磁場を次のように定義する。

POINT

磁場  $\Rightarrow$   $+1\text{Wb}$  の磁極が受ける磁気力

したがって、 $m$  [Wb] の磁極が受ける磁気力が  $\vec{F}$  [N] であるとき、その点の磁場の強さ  $\vec{H}$  は、次のように表される。

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{m}$$

POINT

磁場の強さ  $\vec{H} = \frac{\vec{F}}{m}$ 

上式より、磁場の強さの単位は、**[N/Wb]** となる。

### 📌 磁力線とは何か？

電場中で、正電荷を受ける力の向きに少しずつ動かすと曲線がかかる。この曲線が**電気力線**であった。同様に、磁場中で、N 極を受ける力の向きに少しずつ動かし、かける曲線が**磁力線**である。したがって磁力線は、磁石の**N 極**から出て**S 極**に入る。



## 39

## 電流が作る磁場

○ 解説動画


 \押さえよ/  
→

 直線電流が作る磁場  $H = \frac{I}{2\pi r}$ 

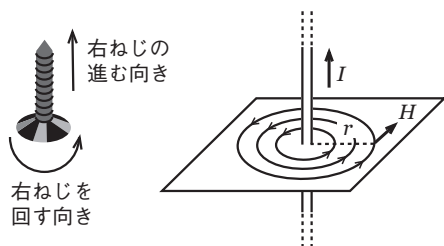
 円形電流が作る磁場  $H = \frac{I}{2r}$ 

 ソレノイドの電流が作る磁場  $H = nI$ 

## ↓ 直線電流が作る磁場について考えよう。

直線電流が作る磁場は  
電流に垂直な面内で電流  
を中心として**同心円状**に  
生じる。電流の向きを**右  
ねじの進む向き**にとると、  
磁場の向きは、右ねじの

**回す向き**になる。また、磁場の強さ  $H$  [N/Wb] は、電流の強さ  
 $I$  [A] に**比例**し、電流からの距離  $r$  [m] に**反比例**し、次のよう  
に表される。



POINT


 直線電流が作る磁場  $H = \frac{I}{2\pi r}$ 

上式より、磁場の強さの単位は [A/m] と表せることがわか  
る。すなわち、 $1\text{N/Wb} = 1\text{A/m}$  である。

秘

テクニック

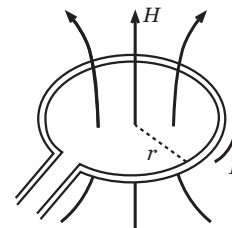
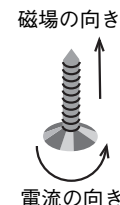
磁気分野で問われる“向き”は、  
すべて**右ねじ**の法則で説明できる。



## ↓ 円形電流が作る磁場につ

いて考えよう。

円形電流が作る磁場も、  
右図のように、**右ねじ**の  
法則で表される。円形電  
流がその中心に作る磁場



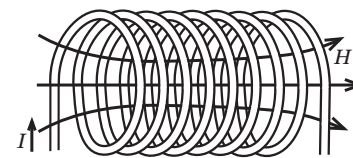
の強さ  $H$  [A/m] は、電流の強さ  $I$  [A] に**比例**し、円の半径  $r$   
[m] に**反比例**し、次のように表される。

POINT

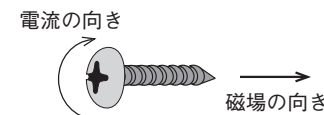

 円形電流が作る磁場  $H = \frac{I}{2r}$ 

## ↓ ソレノイドの電流が作る磁場について考えよう。

導線を密に巻いた長い円筒状  
のコイルを**ソレノイド**という。  
ソレノイドに流れる電流が作る  
磁場も、下図のように、**右ねじ**  
の法則で理解できる。



ソレノイド内部に生じる磁場  
の強さ  $H$  [A/m] は、1m あた  
りの巻き数  $n$  [回/m]、電流の強さ  $I$  [A] にそれぞれ**比例**し、次  
のように表される。



POINT


 ソレノイドの電流が作る磁場  $H = nI$

## 40

## 電流が磁場から受ける力

◎ 解説動画



\ 押さえよ /



磁束密度  $B = \mu H$  ( $\mu$ : 透磁率)  
 電流が磁場から受ける力  $F = I \times B$

## ⬇ 電流が磁場から受ける力について考えよう。

電流  $I$  [A] が  
 流れている長さ  
 $l$  [m] の導線が  
 強さ  $H$  [A/m] の  
 磁場に垂直に置  
 かれている。

この導線が磁  
 場から受ける力  $F$  [N] は、次のように表される。

$$F = \mu I H \quad \dots ①$$

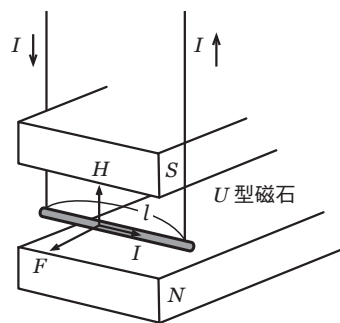
①式において、電流のまわりの物質によって決まる定数  $\mu$  を  
**透磁率**という。真空の透磁率  $\mu_0$  は、 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{N/A}^2$  であり、  
 空気中の透磁率もほぼこれに等しい。

$\mu$  と  $H$  の積を  $B$  で表し、これを**磁束密度**とよぶ。

POINT



磁束密度  $B = \mu H$  ( $\mu$ : 透磁率)



磁束密度  $B$  の向きは磁場  $H$  の向きと**一致**する。 $B$  を用いると、  
 ①式は次のように表される。

$$F = IB \quad \dots ②$$

②式は次のような形で記憶しておくと、力  $F$  の向きもわかる  
 ので、とても便利である。

POINT

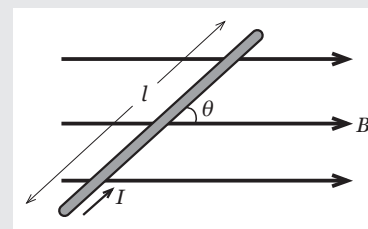


電流が磁場から受ける力  $F = I \times B$

ここで  $I \times B$  の記号  $\times$  は、右ねじを回す向きを表す。すなわ  
 ち、電流  $I$  の向きから磁束密度  $B$  の向き (磁場  $H$  と同じ向き) に  
 右ねじを回したとき、ねじの進む向きが受ける力  $F$  の向きを表  
 している。②式より、磁束密度の単位は  $[\text{N/A} \cdot \text{m}]$  となるが、こ  
 れを**テスラ**  $[\text{T}]$  という。

\ やって  
みよう /

図のように電流  $I$  [A] が流れ  
 ている長さ  $l$  [m] の導線が、磁  
 束密度  $B$  [T] の磁場と  $\theta$  の角を  
 なして置かれている。導線が受  
 ける力の大きさと向きをそれぞ  
 れ求めよ。



解答

(1)  $\theta = 90^\circ$  のとき  $F = IB$  [N]

紙面の表から裏へ向かう向き ..... 答

(2)  $\theta = 0^\circ$  のとき  $F = 0\text{N}$  ..... 答

(3)  $\theta = 30^\circ$  のとき  $F = IB \sin 30^\circ = \frac{IB}{2}$  [N]

紙面の表から裏へ向かう向き ..... 答

## 41

## 平行導線間にはたらく力

◎ 解説動画



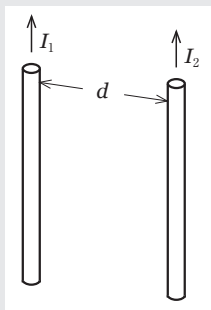
復習

磁束密度  $B = \mu H$ 電流が磁場から受ける力  $F = I \times B$ 

やってみよう /

Q

右図のように透磁率  $\mu_0$  [N/A<sup>2</sup>] の真空中で、間隔  $d$  [m] の平行な直線導線に電流  $I_1, I_2$  [A] を同じ向きに流す。



つづき /

Q

(1) 電流  $I_1$  が電流  $I_2$  の位置に作る磁場  $H_1$  [A/m] と磁束密度  $B_1$  [T] を求めよ。また、 $B_1$  の向きを図中に記入せよ。

解答

$$H_1 = \frac{I_1}{2\pi d} \dots\dots \text{答}$$

$$B_1 = \mu_0 H_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} \dots\dots \text{答}$$

$B_1$  の向きは右の図中参照

つづき /  
Q

(2) 電流  $I_2$  の  $l$  [m] の部分が受ける力  $F_2$  [N] を求めよ。また、 $F_2$  の向きを図中に記入せよ。

解答

$$F_2 = I_2 B_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \dots\dots \text{答}$$

$F_2$  の向きは下の図中参照

つづき /  
Q

(3) 電流  $I_2$  が電流  $I_1$  の位置に作る磁束密度  $B_2$  [T] を求めよ。また、 $B_2$  の向きを図中に記入せよ。

解答

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d} \dots\dots \text{答}$$

$B_2$  の向きは下の図中参照

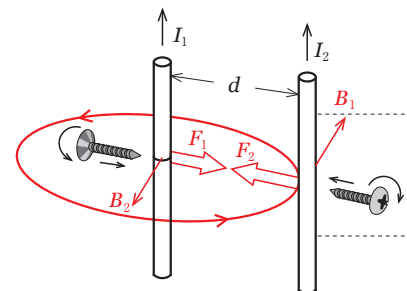
つづき /  
Q

(4) 電流  $I_1$  の  $l$  [m] の部分が受ける力  $F_1$  [N] を求めよ。また、 $F_1$  の向きを図中に記入せよ。

解答

$$F_1 = I_1 B_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \dots\dots \text{答}$$

$F_1$  の向きは下の図中参照



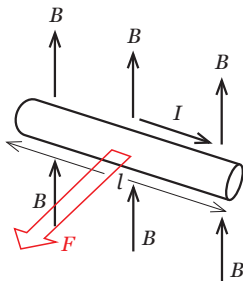


\ 押さえよ /

ローレンツ力  $f = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ 

復習

電流  $I$  [A] が流れている長さ  $l$  [m] の導線が、磁束密度  $B$  [T] の磁場に垂直に置かれている。この導線が磁場から受ける力  $F$  [N] はいくらか。また、 $F$  の向きを図中に記入せよ。



解答

$$F = lB \quad \dots \textcircled{1} \quad \dots \text{答}$$

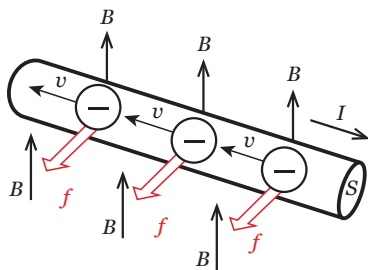
⬇ 導線が受ける力から、運動する電子にはたらく力を求めよう。

上の導線の断面積を  $S$  [m<sup>2</sup>] とし電荷  $-e$  [C] の自由電子が速さ  $v$  [m/s] で導線内を移動していると考え。単位体積あたりの自由電子の数を  $n$  [1/m<sup>3</sup>] とすると、電流  $I$  [A] は

$$I = envS \quad \dots \textcircled{2}$$

と表される。②を①に代入すると

$$F = l \cdot envS \cdot B \quad \dots \textcircled{3}$$



となる。導線が磁場から受ける力  $F$  は、導線内を移動する自由電子が磁場から受ける力  $f$  [N] の総和と考えることができる。

そこで、この導線内の自由電子の総数は  $nSl$  だから、 $f$  を用いて  $F$  を表すと

$$F = f \cdot nSl \quad \dots \textcircled{4}$$

③、④より、1個の自由電子が磁場から受ける力  $f$  [N] は

$$f = evB$$

となる。

一般に、磁場中を運動する荷電粒子が磁場から受ける力を **ローレンツ力** という。

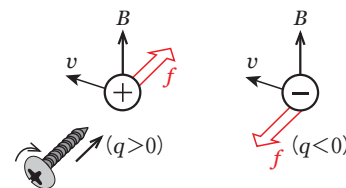
⬇ ローレンツ力について学ぼう。

磁束密度  $B$  [T] の磁場中を、電荷  $q$  [C] の荷電粒子が、磁場と垂直に速度  $v$  [m/s] で運動しているとき、この粒子にはたらくローレンツ力  $f$  の大きさは、次のように表される。

$$f = qvB$$

ローレンツ力  $f$  は、向きも含めて次のような形で記憶しておくくと便利である。

POINT

ローレンツ力  $f = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ 

## 43

## 磁場中の荷電粒子の運動

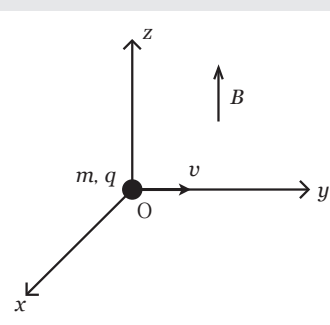
◎ 解説動画



復習 ローレンツ力  $f = qv \times B$

やって  
みよう /  
Q

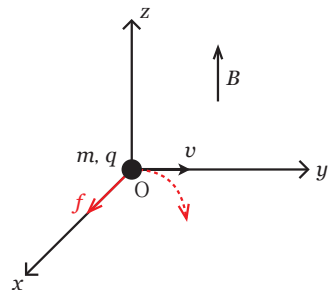
真空中に  $z$  軸正の向きで磁束密度  $B$  [T] の一様な磁場がある。質量  $m$  [kg]、電気量  $q (> 0)$  [C] の荷電粒子を原点  $O$  から  $y$  軸正の向きに速さ  $v$  [m/s] で打ち出す。



つづき /  
Q

(1) 原点  $O$  において、荷電粒子にはたらくローレンツ力の大きさ  $f$  [N] とその向きを求めよ。

解答  $f = qvB$  ..... 答  
 $x$  軸正の向き ..... 答



つづき /  
Q

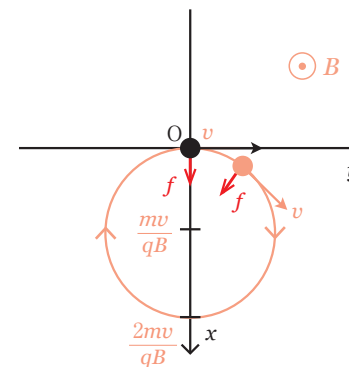
(2) 荷電粒子の軌道を図中にかきこみ、運動の向きを矢印で示せ。

解答

運動方程式

$$m \frac{v^2}{r} = qvB$$

$$r = \frac{mv}{qB} \quad \dots \textcircled{1}$$



..... 答

つづき /  
Q

(3) 運動の周期  $T$  [s] を求めよ。

解答

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

①より

$$T = \frac{2\pi m}{qB} \quad \dots \text{答}$$

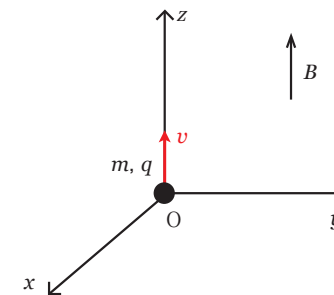
つづき /  
Q

(4) 同じ荷電粒子を原点  $O$  から  $z$  軸正の向きに速さ  $v$  [m/s] で打ち出す。荷電粒子はこの後どのような運動をするか。

解答

$z$  軸上を速さ  $v$  で

等速直線運動する。..... 答



## 44

## 電磁誘導①

◎ 解説動画



\ 押さえよ /



## レンツの法則

誘導起電力は磁場の変化を**妨げる向き**に生じる。

## 📌 電磁誘導とは何か？

図1のように、磁石をコイルに入れたり出したりすると、コイルの両端に起電力が生じ、検流計Gに電流が流れる。しかし、磁石をコイル内で静止させると起電力は生じない。

また、図2のように、磁場の中にコイルを入れたり出したりするときにも、コイルの両端に起電力が生じる。

このように、コイル内の磁場の変化によってコイルに起電力が生じる現象を**電磁誘導**、生じた起電力を**誘導起電力**、流れた電流を**誘導電流**という。

図1

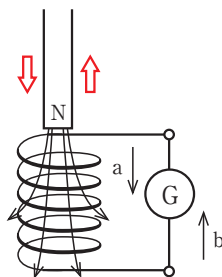
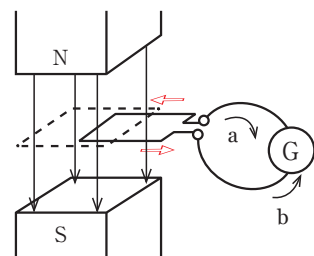


図2



N極をS極に変えても、誘導起電力は**逆向き**になる。磁場の中にコイルを出し入れする場合(図2)も同様のことが生じる。

くわしく調べると、誘導起電力の向きに関しては、次に示す**レンツの法則**が成り立っていることがわかる。

POINT



## レンツの法則

誘導起電力は磁場の変化を**妨げる向き**に生じる。\ やって  
みよう /

次の(1)～(4)の場合、検流計Gに流れる電流の向きは、a, bどちら向きか。

解答

- |                           |               |
|---------------------------|---------------|
| (1) 図1において、N極をコイルに近づける。   | <b>b</b> …… 答 |
| (2) 図1において、N極をコイルから遠ざける。  | <b>a</b> …… 答 |
| (3) 図1において、S極をコイルから遠ざける。  | <b>b</b> …… 答 |
| (4) 図2において、コイルを磁場中に入れていく。 | <b>b</b> …… 答 |

## 📌 誘導起電力の向きには、どのようなきまりがあるのか？

磁石をコイルに出し入れする場合(図1)、入れるときと出すときとでは、コイルに生じる誘導起電力は**逆向き**になる。また、

## 45

## 電磁誘導②

◎ 解説動画



\ 押さえよ /

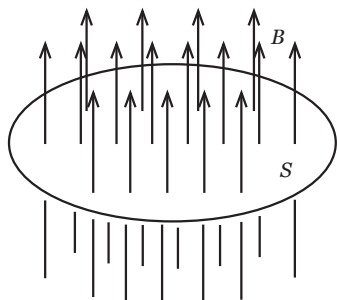


## ファラデーの電磁誘導の法則

$$V = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (\Phi \text{ はファイと読む})$$

## 📌 磁束とは何か？

磁束密度  $B$  [T] の磁場中に、磁場と垂直な断面積  $S$  [m<sup>2</sup>] を考えるとき、それらの積  $BS$  をその面を貫く**磁束**という。すなわち、磁束  $\Phi$  は次のように表される。



POINT



$$\text{磁束} \quad \Phi = BS$$

磁束の単位は[Wb]より、 $1\text{T} \cdot \text{m}^2 = 1\text{Wb}$ となる。したがって、磁束密度の単位は  $1\text{T} = 1\text{Wb}/\text{m}^2$  と表すこともできる。

秘

テクニック

電位の高低は、誘導起電力が生じている導体を**電池**に見立ててみるとわかりやすい。

## 📌 電磁誘導の法則とは何か？

図1のように、1巻きのコイルを貫く磁束  $\Phi$  [Wb] が、 $\Delta t$  [s] 間に  $\Delta \Phi$  [Wb] だけ増加したとする。このとき、コイルに生じる誘導起電力  $V$  [V] は、図2のように正の向きをとると

$$V = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

と表される。上式の符号は、誘導起電力が磁束の変化を**妨げる**向きに生じることを表しているため、**レンツの法則**が式中に現れたものと言える。

また、 $N$  巻きのコイルは1巻きのコイルを  $N$  個**直列**につないだものと見なせるので、 $N$  巻きのコイルに生じる誘導起電力  $V$  [V] は次の式で表され、これを**ファラデーの電磁誘導の法則**という。

$$V = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

POINT



## ファラデーの電磁誘導の法則

$$V = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

図1

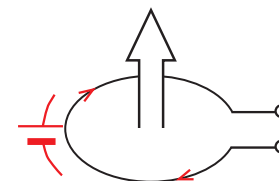
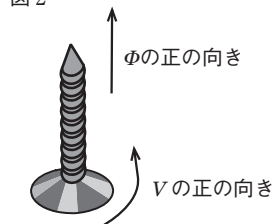
 $\Phi \rightarrow \Phi + \Delta \Phi$ 

図2



## 46

## 電磁誘導③

◎ 解説動画



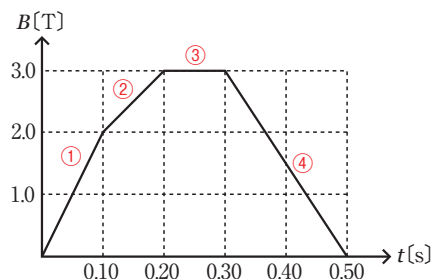
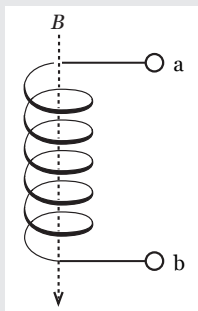
復習

 ファラデーの電磁誘導の法則  $V = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 

やってみよう /

Q

断面積  $S = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ，巻き数  $N = 2000$  のコイルを図の点線の向きに一様な磁束が貫いている。その磁束密度  $B [\text{T}]$  の時間変化が，下の  $B$ - $t$  グラフで与えられている。このコイルに生じる誘導起電力  $V [\text{V}]$  と時間  $t [\text{s}]$  の関係を表すグラフをかけ。ただし，b が a よりも高電位の場合を正とする。



## 電磁誘導の法則の使いかた

電磁誘導の法則は，誘導起電力の**大きさ**  $|V|$  と**向き** を**別々**に求めたほうが考えやすい。

大きさ： $|V| = N \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|$

向き：磁束の変化を**妨げる向き**

解答

$$|V| = N \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|, \quad \Phi = BS \text{ より}$$

$$|V| = N \left| \frac{\Delta (BS)}{\Delta t} \right|$$

$S = (\text{一定})$  だから

$$|V| = N \left| S \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|$$

グラフの① ( $0 \leq t < 0.10$ ) について考える

$$|V_1| = 2000 \times \left| 1.0 \times 10^{-3} \times \frac{2.0}{0.10} \right| = 40 \text{ V}$$

(b が高電位)

グラフの② ( $0.10 \leq t < 0.20$ ) について考える

$$|V_2| = 2000 \times \left| 1.0 \times 10^{-3} \times \frac{1.0}{0.10} \right| = 20 \text{ V}$$

(b が高電位)

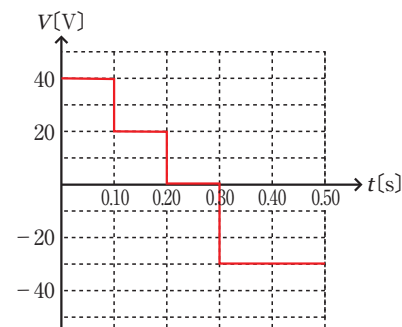
グラフの③ ( $0.20 \leq t < 0.30$ ) について考える

$$|V_3| = 0 \text{ V}$$

グラフの④ ( $0.30 \leq t < 0.50$ ) について考える

$$|V_4| = 2000 \times \left| 1.0 \times 10^{-3} \times \frac{-3.0}{0.20} \right| = 30 \text{ V}$$

(a が高電位)



..... 答

秘

テクニック