

電気基礎

1

電気の用途

機械とは、外部からエネルギーを受け取り、仕事（運動）をするもの（運動エネルギーに変換するもの）

外部からのエネルギーとして、熱エネルギー、流体エネルギー、電気エネルギーなど

運動エネルギーに変換するものとして、
モータ、電磁石など（電気エネルギー）
エンジンなど（熱エネルギー）
タービン、風車など（流体エネルギー）

現在は**電気エネルギーを使うのが主流**

電気の用途

機械で必要となる電気技術として

- ・電気エネルギーで何らかのものが動作する
モータ、電磁石（ソレノイド）、ヒーター、ランプ . . .
- ・電気信号で動作させるものをコントロールする
モータの速度を調整、モーターの力を調整
ヒーターからの熱を調整、ランプの明るさを調整、
電磁石のON/OFF、ブザーのON/OFF . . .
- ・外部の状態を電気信号に変換する
水温、風速、水の高さ、油の流量、物体の有無や材質 . . .

電気信号で、電気エネルギーを使って、機械の動きをコントロール（制御）する。

外部エネルギー → 仕事 . . . 機械

機械技術者に必要な電機の知識

電気の基礎

電圧、電流、抵抗、電源の種類、電子部品、電機機器
電気基本回路（駆動回路、信号変換回路）、磁気

出力機器の種類、働き（負荷：モータ、ランプ、電磁石等）

出力機器の駆動回路

出力機器の制御方法

制御機器の種類、働き（電子回路、リレー回路、マイコン、PLC等）

入力機器の種類、働き（スイッチ、センサ等）

機械技術者にとって電気を学ぶことは避けられない

電機の必要性

機械技術者にとっては、「電気」というより「電機」
自動車や新幹線、工作機械、各種製造装置にも電機が必要

電機に関連するものとして

- 軽電製品：家電（テレビ、洗濯機、電気調理器具、空調機器、照明、パソコン、スマートフォン）、自動販売機、エレベータなど
- 輸送機器：電車、電気自動車、飛行機、船舶など
- 製造装置：半導体製造装置、食品製造装置、自動車組立ライン
- 産業用電気製品：産業用モータ、制御用モータ、工作機械、産業用ロボット、産業用コンピュータ、センサ、計測器など
- 電子部品：LSIなどの半導体、抵抗器、コンデンサ、コイルなど
- 重電製品：発電機、変圧器、電力設備など

電機の必要性

主な電機メーカー

日立製作所、ソニー、パナソニック、三菱電機、富士通、キヤノン、東芝、日本電気、シャープ、東京エレクトロン

沖電気工業、リコー、富士ゼロックス、富士フィルム、オリンパス、セイコーエプソン、コニカミノルタ、ブラザー工業、ニコン、HOYA

富士電機、明電舎、ファナック、安川電機、住友重機械工業、東芝機械・・・・

京セラ、ルネサス、キオクシア、ミツミ電機、日本ケミコン、TDK、オムロン、横河電機、新日本無線、キーエンス、アルプスアルパイン、ミネベアミツミ、住友電気工業、古河電気工業、村田製作所、

日本の産業を支えるのは電機（輸出の50%）

電機の技術を持った技術者が必要である

0. 電気超基礎

電球を光らせる

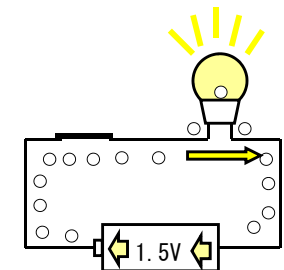
電池と電球とスイッチを繋いでスイッチを押すと
⇒ 電球は点灯する。

なぜ
⇒ 電球に電気が流れるから

電気が流れるって？電気って？
⇒ 元となる電気の粒がある。
これが動いて電球を通ることによって電球が光る。

なぜ電気の粒が動く？
⇒ 電池で電気の粒を押し出し、かつ、引き込んでいるから。

電気エネルギーを
光エネルギーに変換



理科の実験

乾電池で機械のモータを回す

電池と機械を繋いでスイッチを押すと
⇒ 動かない

なぜ？

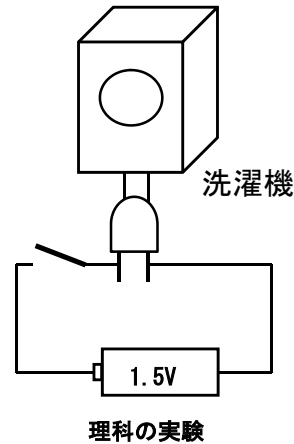
⇒ 電気のパワーがない

パワーがないって？

⇒ 電気の粒を押し出す力が弱く、
電気の粒の量が足りない

電気で動かせるためには

⇒ 決められた力で粒を押し、
決められた量の粒を流す



機械の電源で電球を光らせる

機械用の電源と電球とスイッチを繋いでスイッチを押すと
⇒ 電球が切れる（壊れる？）
注）絶対やらないように

なぜ？

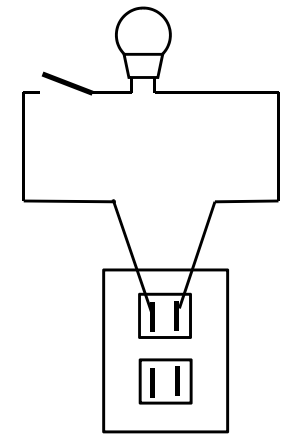
⇒ パワーがありすぎ

パワーがありすぎて？

⇒ 電気の粒を押し出す力が強く、
電気の粒の量が多過ぎ

電気で動かせるためには

⇒ 決められた力で粒を押し、
決められた量の粒を流す



電気エネルギーを活用

元となる電気の粒・・・電子

動いている電子が持つエネルギー（電気エネルギー）を
別のエネルギーに変換して、活用する

電球 ⇒ 光エネルギーに変換

機械 ⇒ 運動エネルギーに変換

電気エネルギーは他のエネルギーに変換しやすく、
エネルギーのコントロール（調節）が容易

・・・様々なところで利用されている

ねじ式時計 → クォーツ時計

蒸気機関車 → 電車

エンジン自動車 → 電気自動車

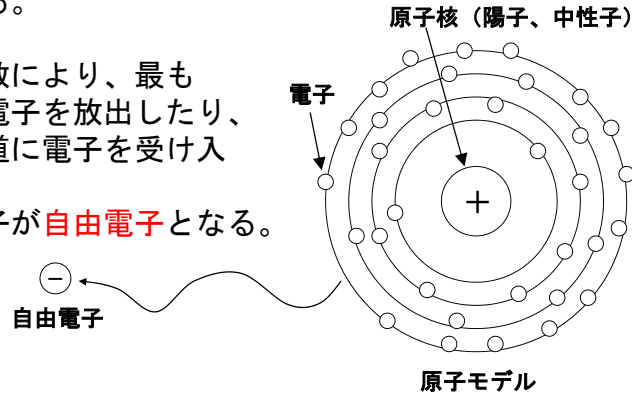
風車、水車（粉挽き） → 電動ミル

1. 電気の基礎

電気の正体

全ての物質は**原子**から成り立っている。
 原子は負電気（負電荷）を持った**電子**、正電気（正電荷）を持った**陽子**と電気を持っていない中性子からなる。
 電子は原子核（陽子と中性子）を中心にいくつかの軌道上を運動をしている。

原子は陽子の数により、最も外側の軌道の電子を放出したり、最も外側の軌道に電子を受け入れたりする。
 放出された電子が**自由電子**となる。

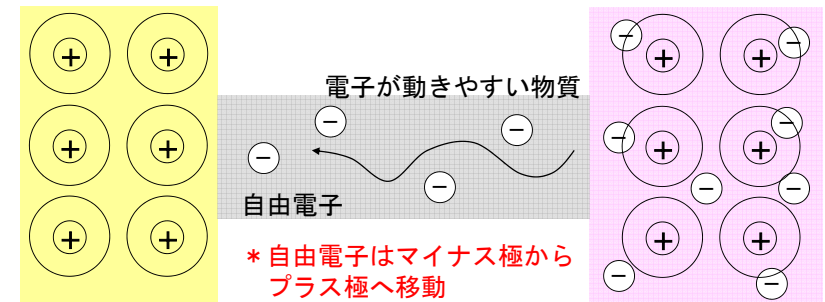


13

電気の正体

物質には、自由電子を放出し易い物質（マイナス極）と、自由電子を受け入れ易い物質（プラス極）がある。
 この二つを自由電子が動きやすい物質でつなぐと・・・

自由電子は放出し易い物質から受け入れ易い物質に移動する



電子を受け入れやすい物質
 (プラス極)

電子を放出しやすい物質
 (マイナス極)

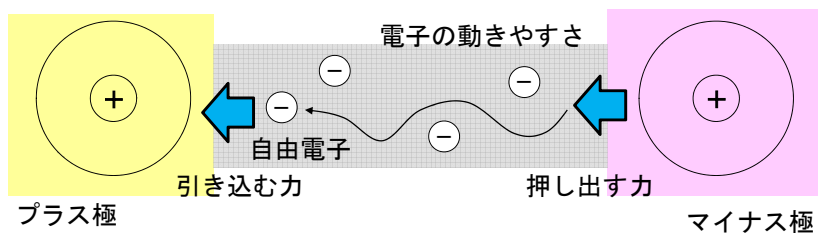
14

電気の正体

移動する自由電子の数は、

マイナス極から電子を押し出す力（のようなもの）と、
 プラス極で電子引き込む力（のようなもの）、それと
 移動経路での自由電子の動きやすさの度合い

で決まる



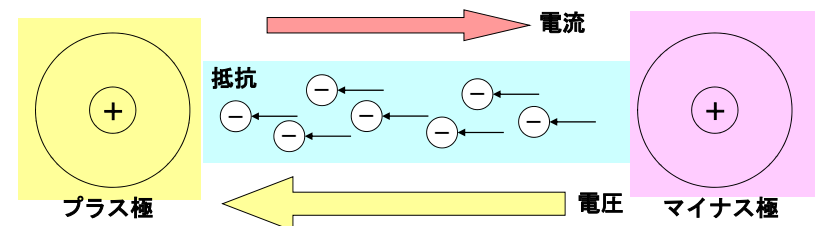
15

電気の3要素

電流：移動した電子の数。
 （電流の方向と、電子の移動方向は反対になる）

電圧：電子を動かすのに必要な力のようなもの。

抵抗：電圧をかけて電子を動かす時の、電子の動き難さ。



16

電気の3要素の定義

電子1個は $1.602176634 \times 10^{-19} \text{C}$ の電気(電荷)を持つ (電気素量)

電流: 単位時間あたりに移動した電気素量の数。単位は[A]
1Aは、1秒間に1C (6.25×10^{18} 個の電子)が移動 $1\text{A}=1\text{C}/1\text{s}$

電圧: 電子を動かすのに必要な力のようなもの。単位は[V]
1) 1Vは、ある2点間に1Aを流した時に1Wの電力が消費されるとき
の電位差 $1\text{V}=1\text{W}/1\text{A}$
2) 1Vは、電位差のある2点間で1Cの電荷を運ぶときに1Jの仕事が
必要となるとき
の電位差 $1\text{V}=1\text{J}/1\text{C}$

抵抗: 電圧をかけて電子を動かす時の、電子の動き難さ。
 1Ω は1Vをかけたときに1A流れる流れにくさ(やすさ) $1\Omega=1\text{V}/1\text{A}$

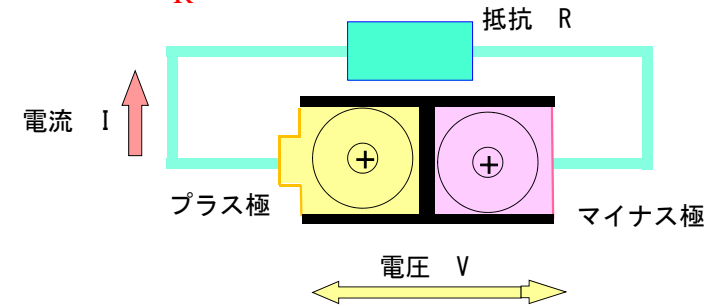
今は電流が基本単位にされているが、
遠い将来、電気素量が基本単位に定義される・・・?

17

オームの法則

電圧V、電流I、抵抗Rの関係式

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{オームの法則}$$



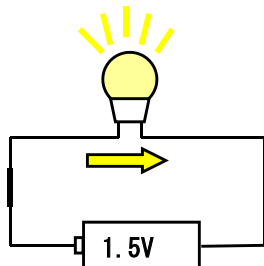
1Vの電圧をかけたときに1Aの電流が流れるような抵抗を
 1Ω という。

18

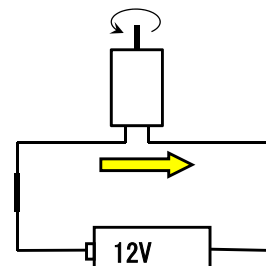
オームの法則

乾電池の電圧を1.5V、電球の抵抗を 100Ω とすると、流れる電
流は何Aか???

バッテリーの電圧を12V、流れる電流を100mAとすると、モー
タの抵抗は何 Ω か???



理科の実験



車のパワーウィンドウ

19

電気エネルギー

電流を流すと、抵抗の部分からエネルギーを取出すことが出
来る。

電気エネルギー(電力量) 単位は[J]

電気エネルギーは様々なエネルギーに変換することができる
モータ・・・運動エネルギー、
電球・・・光エネルギー(一部は熱エネルギー)
スピーカ・・・音エネルギー

電気エネルギーは他のエネルギーに変換しやすい
良質のエネルギー

20

電気エネルギー

電気エネルギーは、電流、電圧、通電時間の積で求められる。
エネルギーをW、時間をtとすると、

$$W=IVt \quad \text{単位：[J] = [A] \cdot [V] \cdot [s]}$$

電気の場合、電力量とも言う

電力とは、単位時間当たりに取り出すことのできる電気エネルギーで、電流と電圧の積で求める。電力の単位は[W]。
電力をPとすると、

$$P=IV \quad \text{単位：[W] = [J/s] = [A] \cdot [V]}$$

21

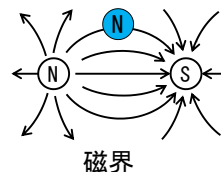
2. 電磁気と静電気

22

磁界

昔は「磁石にはNの磁極(磁荷)とSの磁極があり、磁極は同極同士は反発し、異極同士は引き合うような力が発生する。」と考えられていた(E-H対応)。

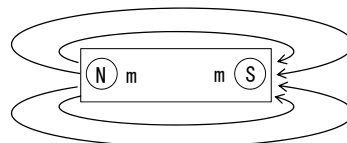
磁極が力を受ける範囲を**磁界**といい、磁界にはN極からS極に向かって力の及ぼす線(磁力線、磁束)が存在する。



磁極の強さがmのとき、磁束の数はm本になる。
磁界での単位面積当たりの磁束の数を磁束密度という。

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

B: 磁束密度 Φ : 磁束 A: 面積

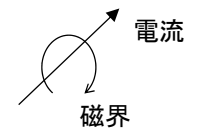


23

電気と磁気

現在は「電流によって磁界が発生する」ことが明らかになった(E-B対応)。

電気と磁気には密接な関係がある。磁石が鉄を引き寄せるもの電気が関係している。電気と磁気の間を関連付けるのが電磁気である。

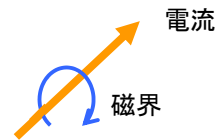


24

アンペールの法則(右ねじの法則)

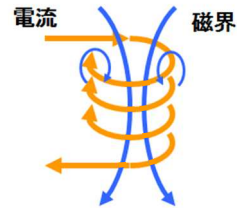
「電流が流れると、右ねじの方向に磁界が発生する」
アンペールの法則 (右ねじの法則)

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$



同等の法則として、
「ビオ・サバールの法則」がある。
(詳細は略)

電線をらせん状にしたものをコイル
という。
コイルに電流を流すと、コイル全体
で大きな磁界を作ることができる。



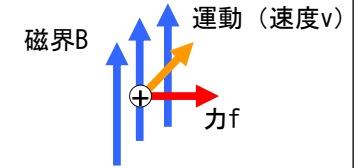
25

ローレンツ力

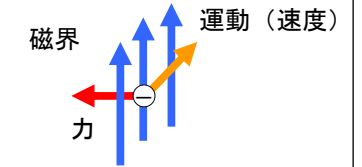
「磁界中で電荷が運動すると、
電荷は磁界から力を受ける。」

ローレンツ力

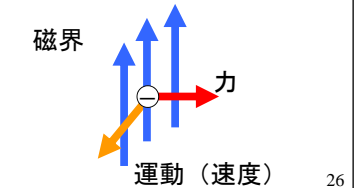
$$F = vBe$$



電荷が負の時は、力の方向は逆向き



電荷が負で運動の方向が反対の時は、
力の方向は逆向き

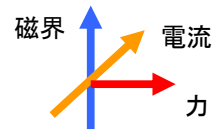


26

フレミング左手の法則

「磁界の中で電線に電流が流れると
電線に力(電磁力)が発生する」

フレミング左手の法則

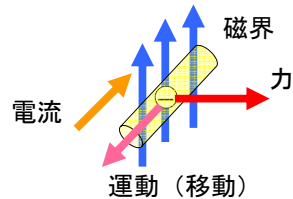


磁界中で電流が流れる
→自由電子が運動する

電線に力が発生する
→自由電子に力が働く。



フレミング左手の法則は、
ローレンツ力の視点を変えたもの。

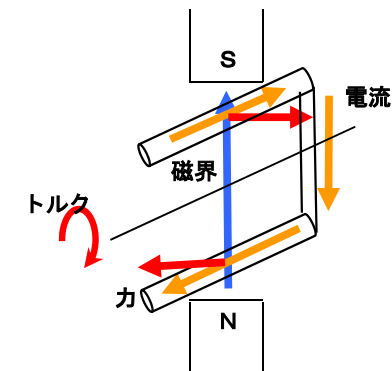


27

フレミング左手の法則

モーターの原理はフレミング左手の法則

磁界の中で電流が流れると力(回転の力、トルク)が
発生する

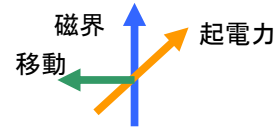


28

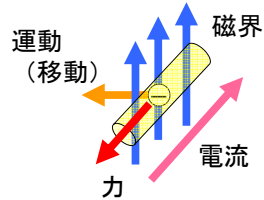
フレミング右手の法則

「磁界の中で電線（導体）が移動すると起電力が発生する（電流が流れる）」

フレミング右手の法則



磁界中で電線が移動する
→電線中の自由電子が運動する
起電力が発生する（電流が流れる）
→自由電子に力がかかり、移動する



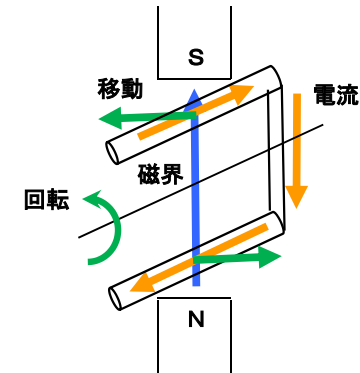
フレミング右手の法則は、ローレンツ力の視点を変えたもの。

29

フレミング右手の法則

発電機の原理はフレミング右手の法則

磁界の中で電線が移動すると起電力（電圧、電流）が発生する

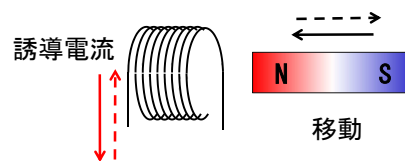


30

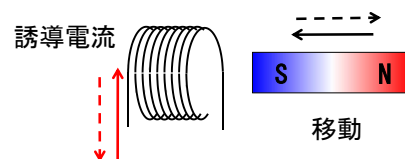
電磁誘導

コイルに磁石を近づけると（磁界を変化させると）、コイルに誘導電流が流れる。磁石を離すときも、同様に誘導電流が流れる。（フレミング右手の法則と同じ原理）

コイルにN極を近づけたときとS極を遠ざけた時で、同じ方向の誘導電流が流れる。



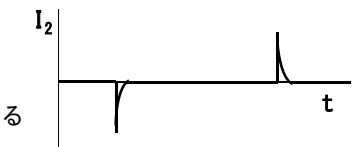
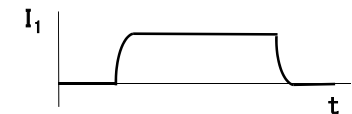
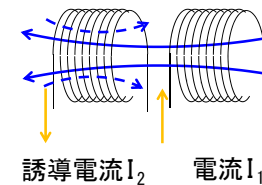
流れる誘導電流は
コイルの巻数が多いほど
磁力が強いほど
磁石の速度が早いほど
大きくなる



31

相互誘導

二つのコイルを並べ、一方のコイル（1次コイル）に電流を流して磁界を変化させると、他方のコイル（2次コイル）にその磁界の変化を打ち消そうとする電流が流れる。コイルに流れている電流を遮断するときも、同様に電流が流れる。

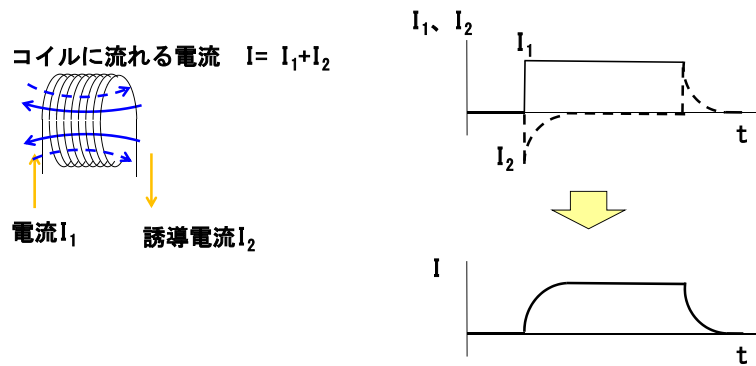


- ① 1次コイルに電流を流すと
- ② 1次コイルに磁界が発生し
- ③ 2次コイルに逆方向の磁界を発生させる
- ④ ような誘導電流が流れる

32

自己誘導

コイルに電流を流して磁界を変化させると、その磁界の変化を打ち消そうとする電流がコイルに流れる。コイルに流れている電流を遮断するときも、同様に電流が流れる。



33

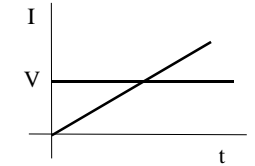
自己誘導

コイルにかかる電圧 V と流れる電流 I の関係は、ファラデーの電磁誘導の法則より求められる。

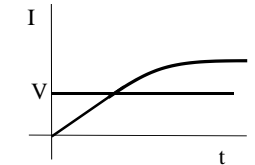
$$V = N \frac{d\phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

L : 自己インダクタンス

$$I = -\frac{1}{L} \int V dt$$



理想的には時間の経過に対し、電流単調増加するが、実際にはコイルの内部抵抗により、ある値以上は大きくならない。

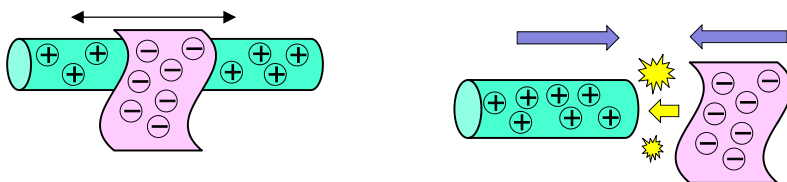


34

静電気

自由電子を押し出す力（電圧）がない物体同士で、何らかの働き（摩擦など）があると、自由電子が移動することがある。

移動した電気を静電気といい、静電気がある状態を帯電という。電子を放出した側を正帯電、電子を受け入れた側を負帯電という。

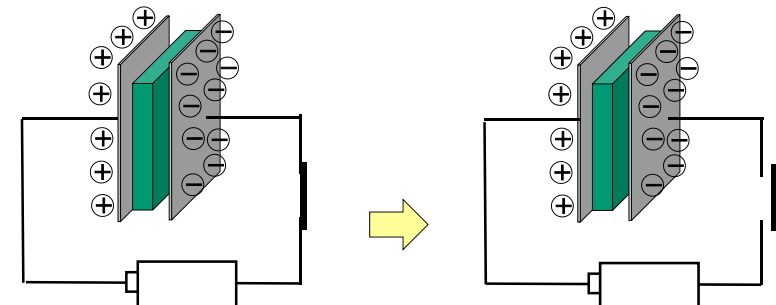


35

静電容量

2枚の導体の板の間に絶縁体を挟み、導体をそれぞれプラス極とマイナス極に接続すると、電子が移動し（電流が流れ）正電荷および負電荷が帯電する。ある程度移動すると、それ以上は移動しなくなる。

切り離しても、帯電の状態が続く・・・充電

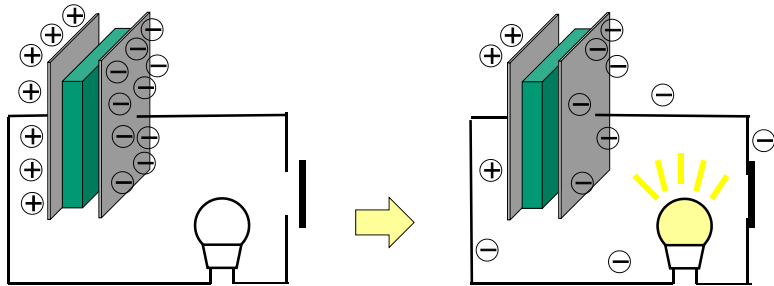


36

静電容量

充電されている導体の間に電球を接続すると、電子が移動し（電流が流れ）電球は点灯する。全ての電子が移動すると、電球は消灯する。

充電された電子がなくなること・・・放電



37

静電容量

2枚の導体に絶縁体を挟み、電気を蓄えられるようにしたものをコンデンサといい、蓄えられる電気の量は、コンデンサの特性とかけた電圧で決まる

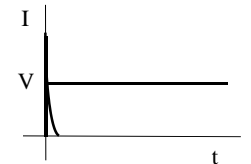
$$Q = CV$$

C : 静電容量 (キャパシタンス)

コンデンサに流れる電流は、単位時間当たりの電荷 (電子) の量であることから

$$I = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt}$$

コンデンサに直流電圧をかけた時、一瞬だけ大きな電流が流れ、電子が蓄えられたら、電流は流れなくなる



38

3. 電気材料

39

物性 (物質の物理的性質)

物質は、種類によって電氣的性質や磁氣的性質がことなる。これらの性質として、

抵抗率・・・電気抵抗の大きさ

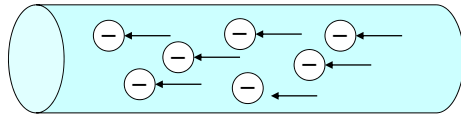
誘電率・・・電場内での、電子の軌道の動きやすさ

透磁率・・・磁化しやすさ

40

抵抗率

電気抵抗はその物質および移動する断面積と長さで決まる。



電流の流れやすさ（流れ難さ）を表す抵抗Rは

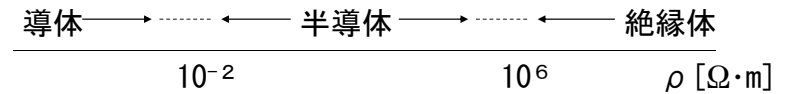
$$R = \rho \frac{L}{S} \quad \rho : \text{抵抗率、} L : \text{長さ、} S : \text{断面積}$$

抵抗率 ρ は電子の動きやすさ（電流の流れやすさ）を示す物性の一つで、物質によって異なる。

41

抵抗率

ρ 小さいものを導体、大きいものを絶縁体、中程度（概ね $10^{-2} \sim 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ ）を半導体と呼ぶ



導体（金属）・・・銀、銅、金、アルミニウムなど
絶縁体　　・・・・・・磁器、雲母、ガラス、樹脂など
半導体　　・・・・・・シリコン、ゲルマニウム、炭素

42

半導体

半導体に不純物を混ぜると、電子を出しやすくなったり、受けやすくなったりする。

シリコン+リン　　電子を出しやすい・・・**N型半導体**
シリコン+ボロン　電子を受けやすい・・・**P型半導体**

43

透磁率

物質により、磁化のしやすさが異なる（磁石の付きやすさ）。
磁界をかけると、物質内部に

同じ方向の磁界が生じる・・・強磁性体
（強く磁化する、磁石に付く　鉄やニッケルなど）

ごくわずかの同じ方向の磁界が生じる・・・常磁性体
（弱く磁化する、磁石に付かない）

逆方向の磁界が生じる・・・反磁性体
（一般にごくわずかの磁化に過ぎない）

透磁率が高い材料として

けい素鋼板（コイルの鉄心や変圧器など）

*一般的に、強磁性体を「磁性体」、常磁性体を「非磁性体」と言っているが、厳密には正しくない。

44

4. 発電・送電

45

発電

主に電力会社から供給される電気（商用電源）を使っている
外部からの力（エネルギー）で電圧を発生させる。

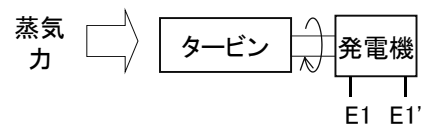
タービンを使って発電機を回転させ、
フレミング右手の法則により交流電圧を作る
熱で蒸気を作り、蒸気圧によって発電機を回転させる
・・・火力発電、原子力発電など
外部からの力により発電機を回転させる
・・・水力発電、風力発電など

何らかの方法で直流電圧を作り、流れる方向や大きさを
変えて交流電圧を作る
太陽光発電など

46

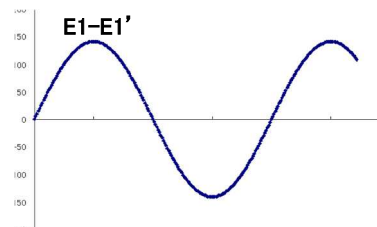
発電

発電機からは正弦波の交流電圧が発電される（154～500kV）



発電機はコイルと磁石を組み合わせたもの。

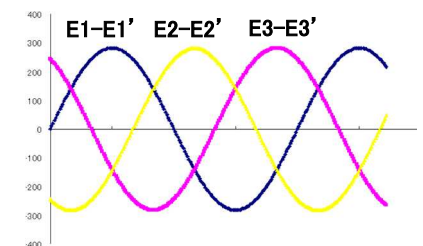
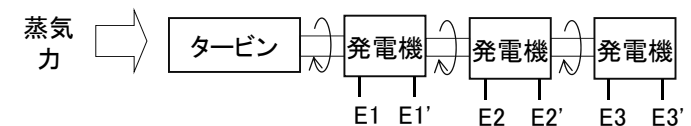
磁界の中でコイルを回転させることによって、フレミング右手の法則により電流が流れる（電圧が生じる）



47

発電

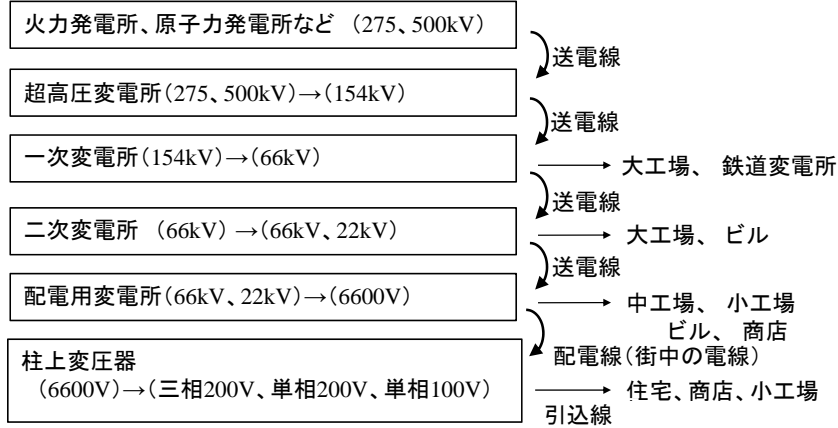
発電機からは正弦波の交流電圧が発電される（154～500kV）
実際は、1つのタービンに3個の発電機が接続されていて、
各発電機から、位相が120度ずれた交流電圧が発電される。



48

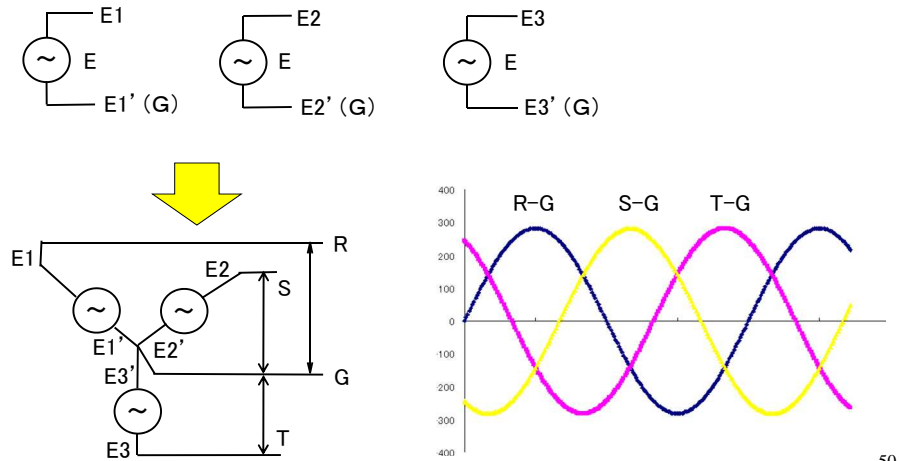
送電

発電所で発電された電気は、送電線を通して、変電所で少しずつ降圧される。



交流電源の送電

実際は3つの電源の線を以下のように接続し、RSTの3本の線で電気を送電している。



交流電源の配電

変電所で電圧を下げ、配線を組み替えて、市中の電線（配電線）ではRSTの3本の線で電気を配電している。
電圧は6600V、200V

