

平成 27 年 (2015 年) 度「宮水学園」マスター講座〈前期〉

日常は物理で満ちている —こんなところに自然法則—



真貝寿明

午後は、1時30分より始めます

第 7 回 8月21日午前 光の物理——光輪の正体は丸い虹なのか

第 8 回 8月21日午後 電気製品の物理——IC カードに寿命なし

第 9 回 9 月 4 日 原子核の物理——核融合と核分裂の果て

第 10 回 9 月 18 日 タイムマシンの物理——相対性理論入門

8 電気製品の物理

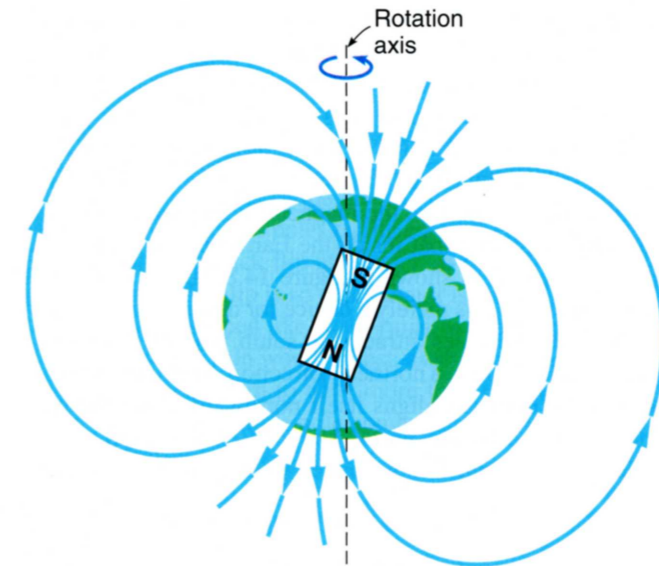
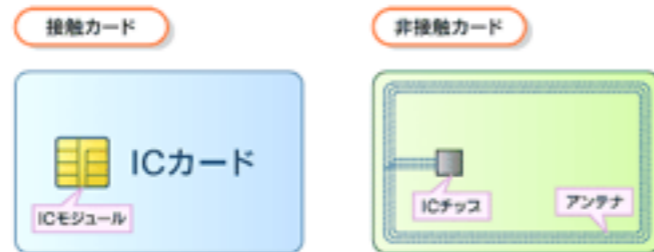


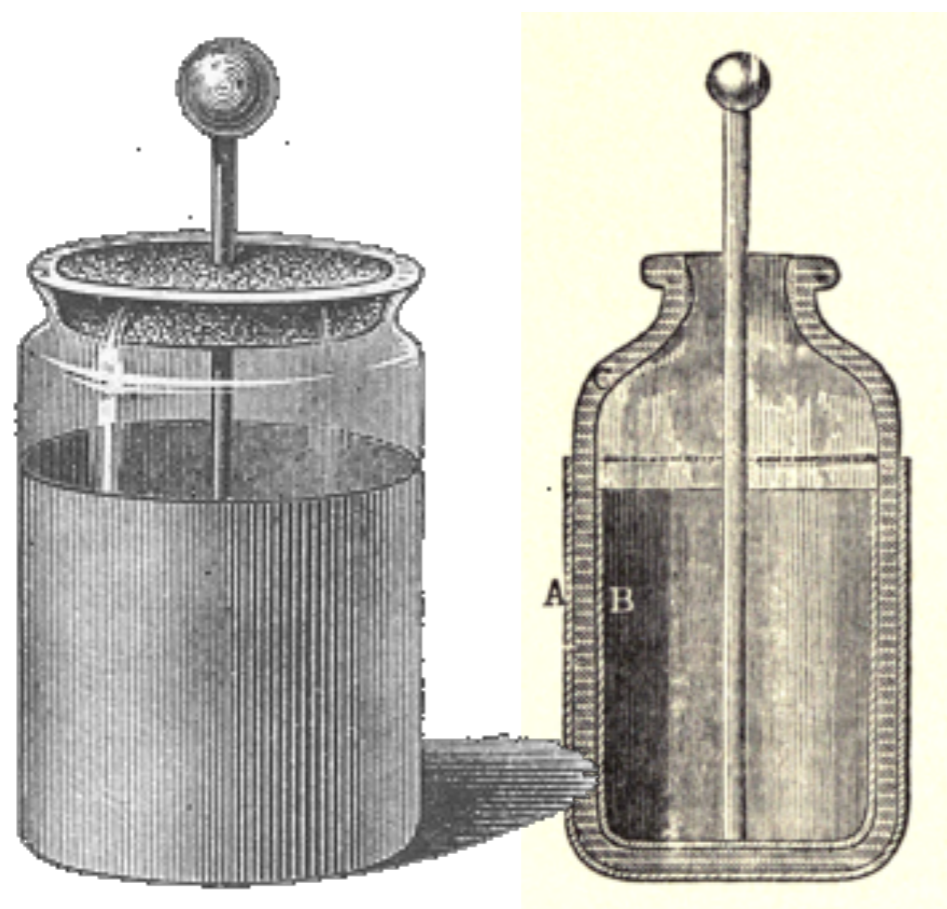
figure 14.8 The magnetic field of the Earth can be pictured by imagining a bar magnet inside the Earth (there is not one, of course), oriented as shown here.



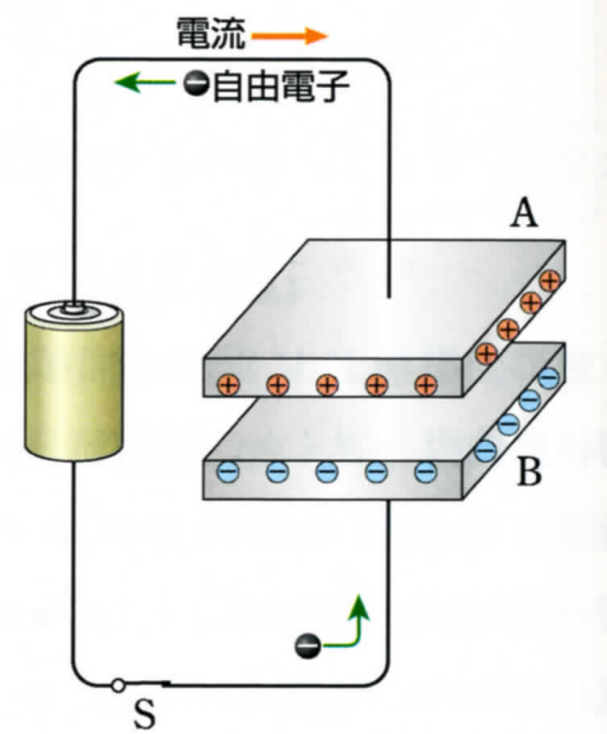
8.1 電気の性質 — 静電気とうまくつきあう方法

電荷, 帯電, 静電気

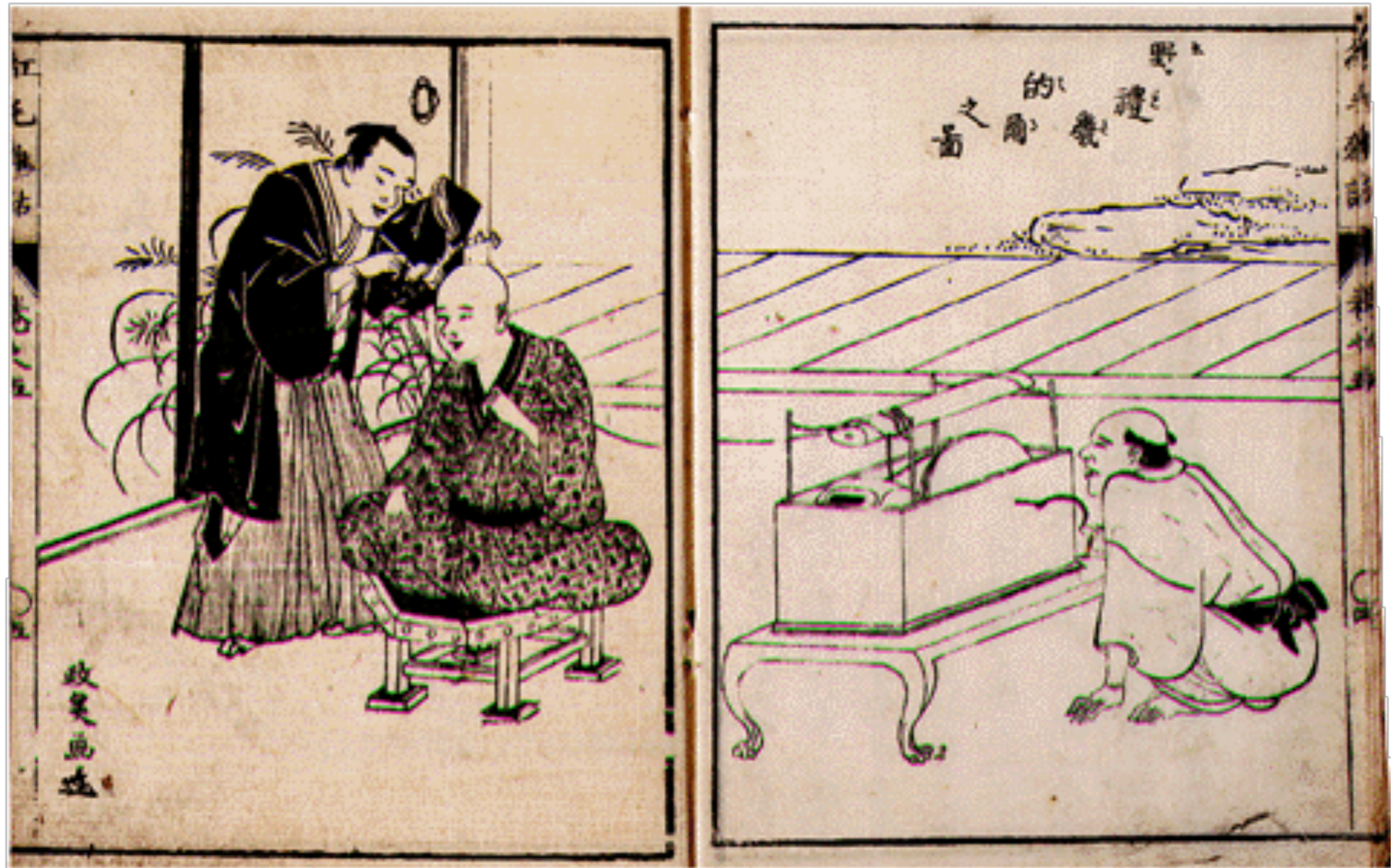
- 電気現象を生じさせるものを**電荷**という。「正の電荷」「負の電荷」がある。電荷（よく、 q で表す）の単位は [C] クーロン。由来は Charles-Augustin de Coulomb (1736–1806)
- 物体が電気を帯びることを**帯電**, 帯電したまま移動しない電気を**静電気**という。



ライデン瓶
=コンデンサ
(キャパシタ)



平賀源内 「エレキテル」



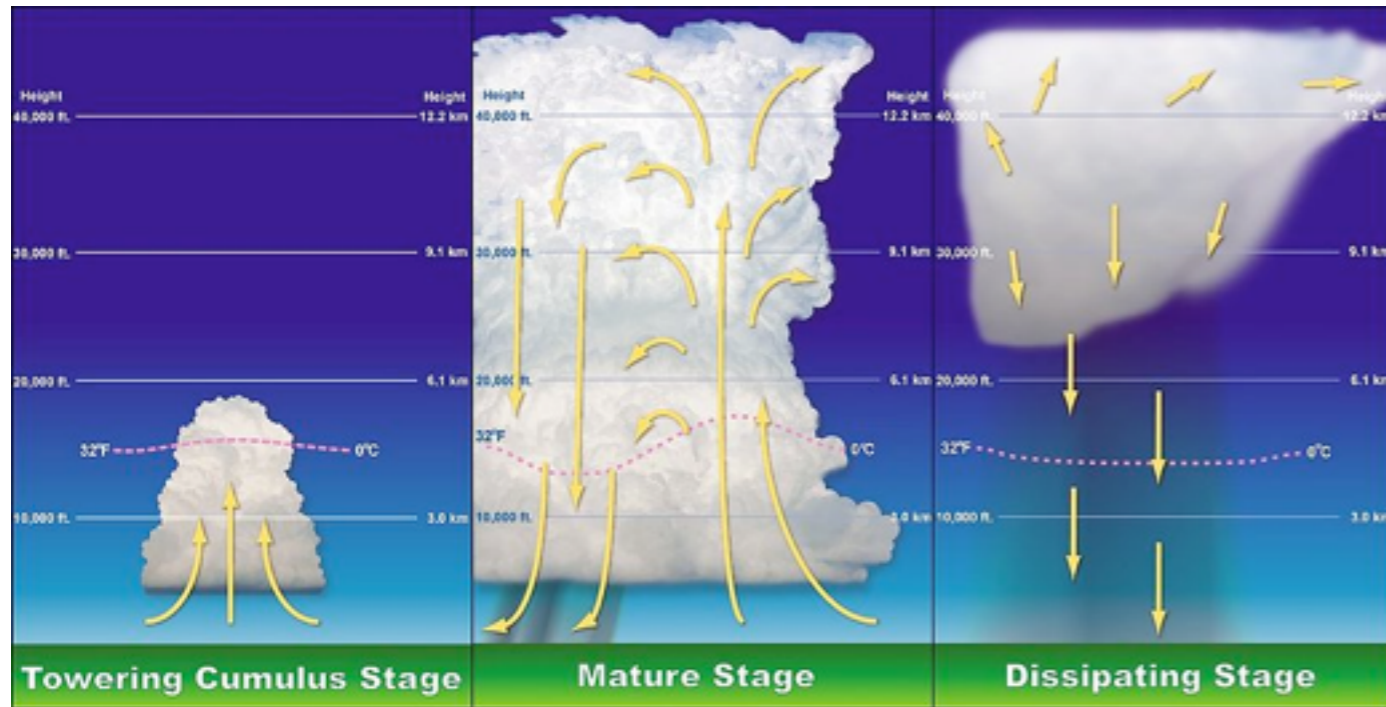
平賀源内
(1728-80)

100人おどし

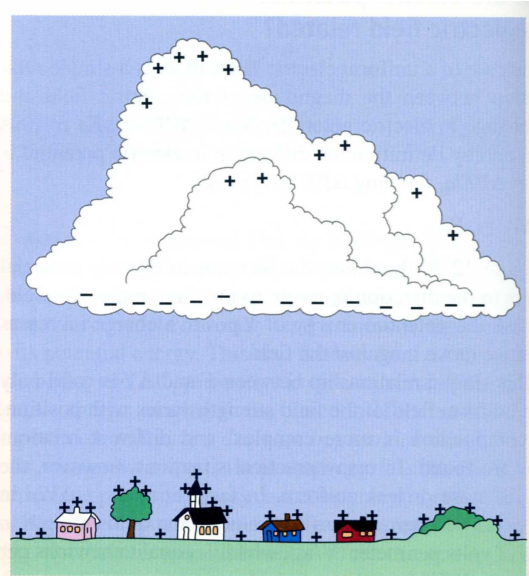


百人おどしの図（橋本曇齋・平田稔筆『阿蘭陀始制エレキテル究理原』(1881)）。

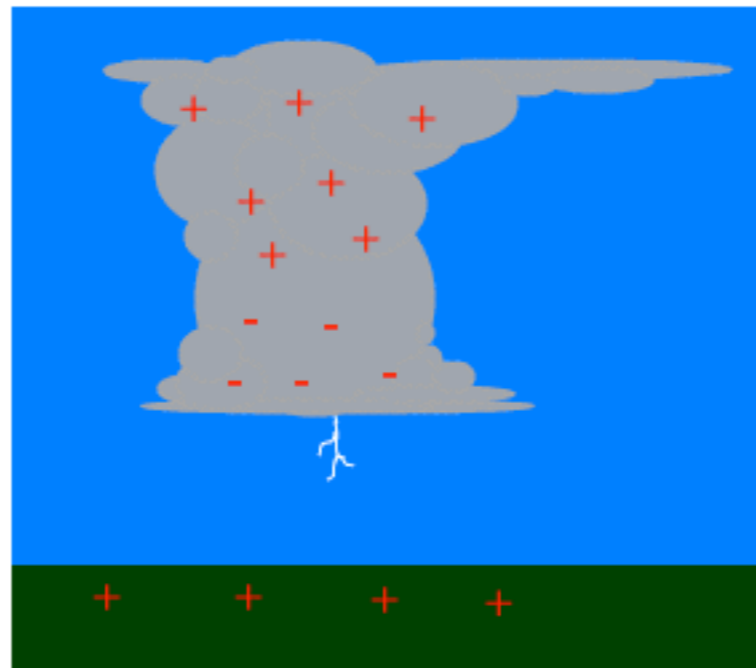
フランクリン 雷は電気であることを実証



Benjamin Franklin
(1706-90)



The charge distribution within a thundercloud induces a positive charge on objects on the Earth directly below the cloud.



1回の放電量は数万～数十万A，電圧は1～10億V，電力換算で平均約900GW (=100W電球億個分相当) に及ぶが時間にすると1/1000秒程度。

エネルギーに換算すると約900MJ，家庭用エアコン (消費電力1kW) を240時間連続できる

放電



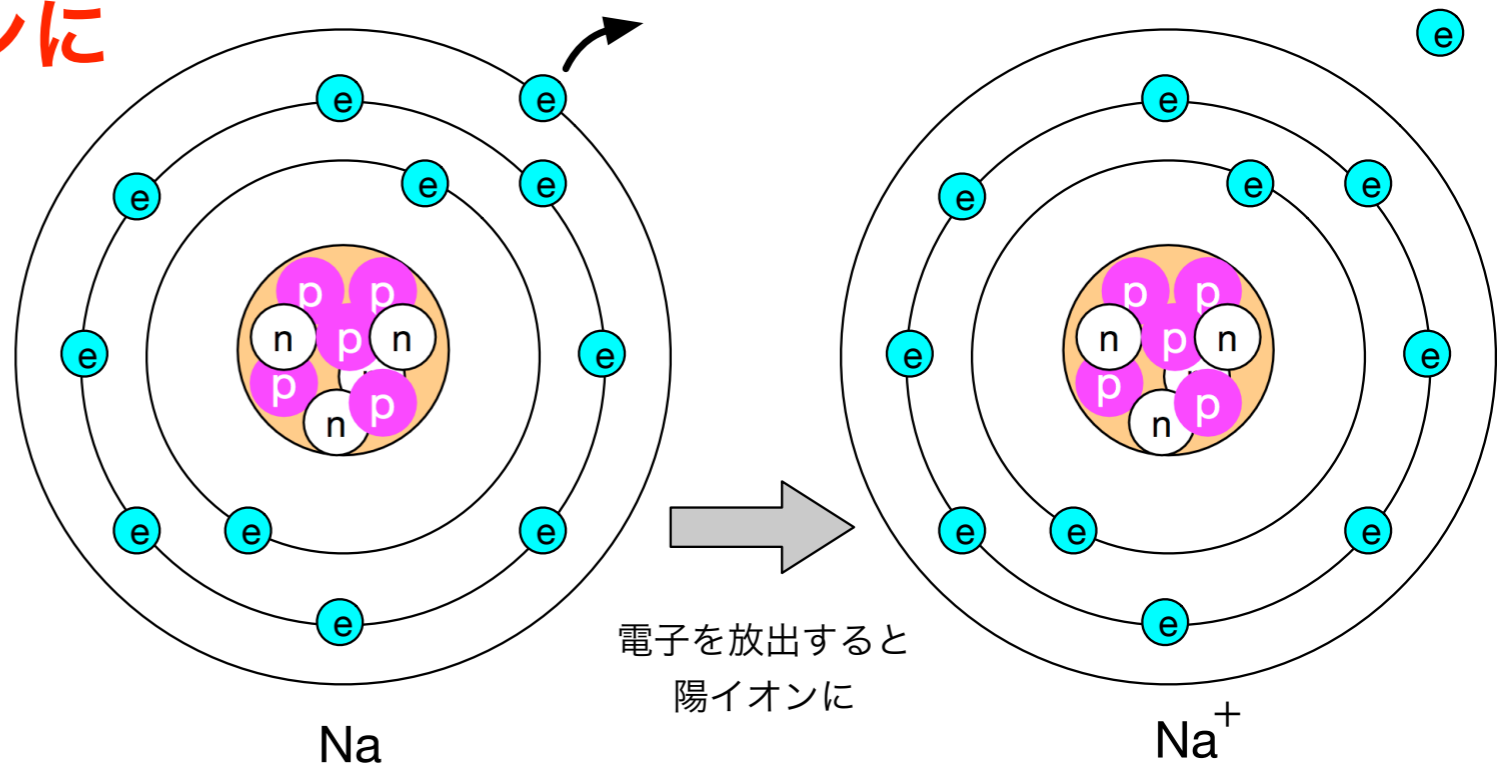
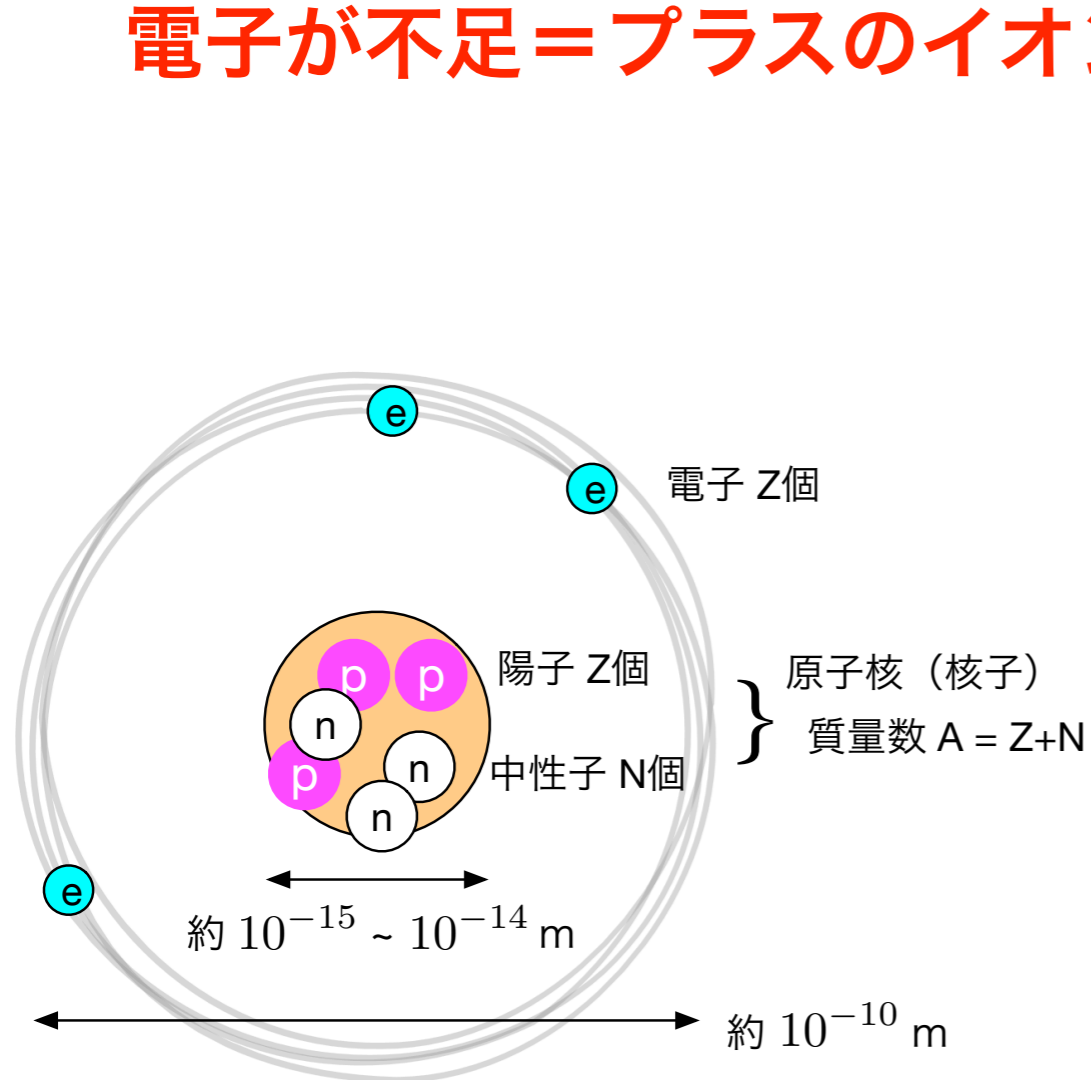
空気中では 3万[V/cm] で放電開始
人間の体は 4万[V]にいくことも.



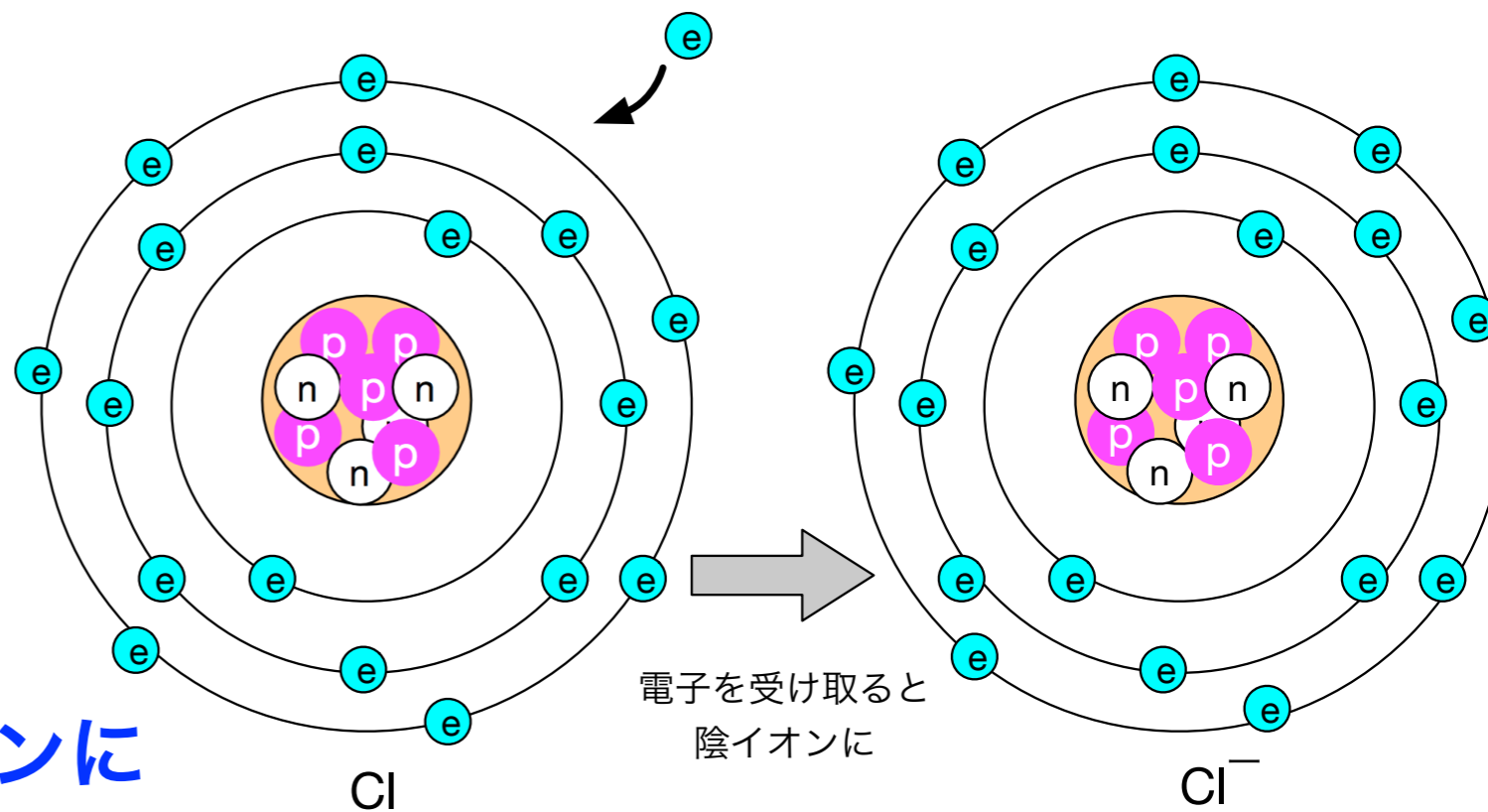
【プラズマボール】
アルゴンガス 1/100 気圧
中心はプラス極 (高電圧)

電気の正体

電子が不足 = プラスのイオンに



電子が過剰 = マイナスのイオンに

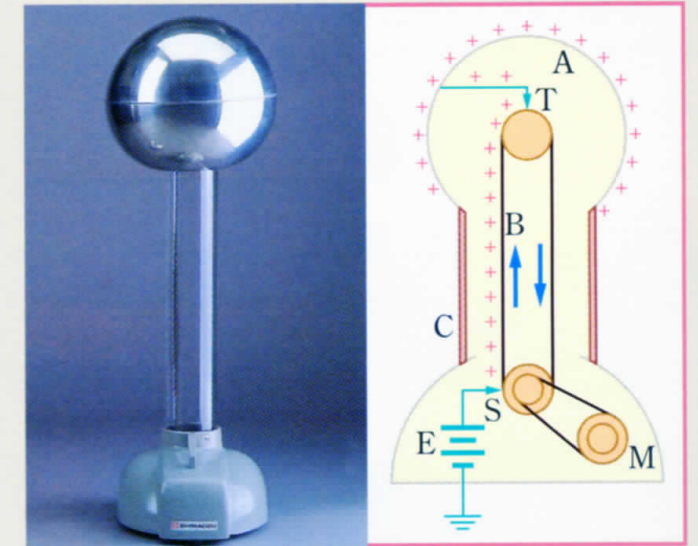


静電気



Column バンデグラーフ起電機

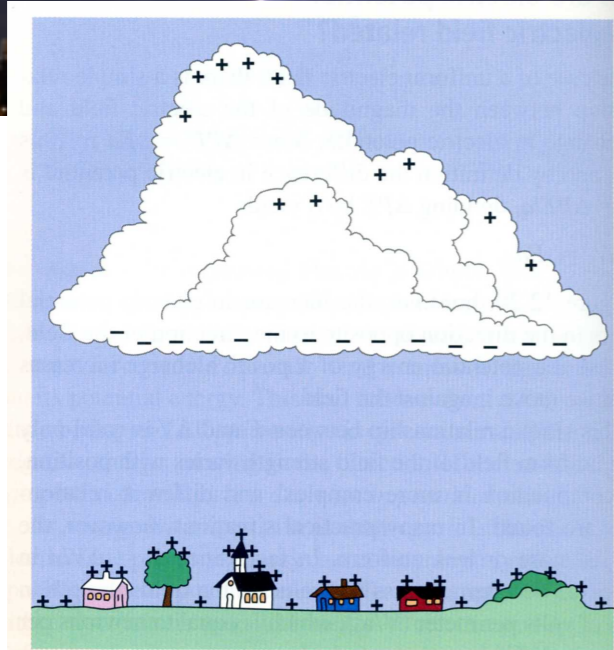
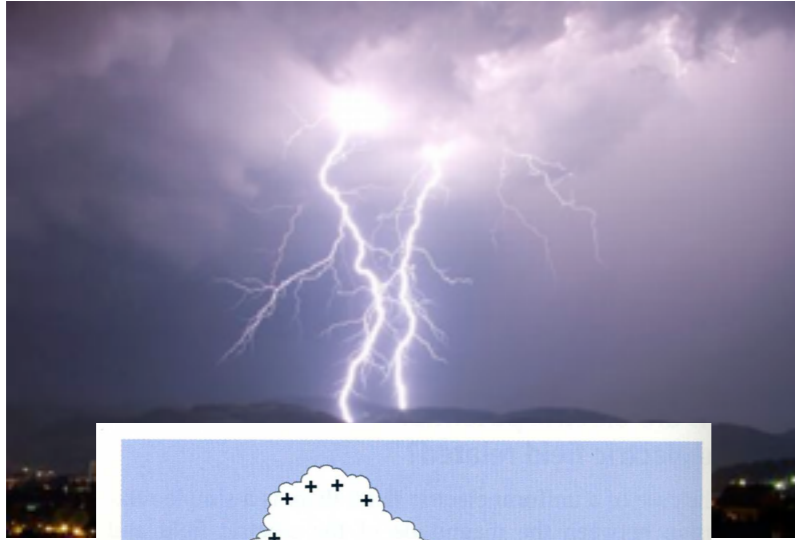
バンデグラーフ起電機は、静電気を利用して大きな電圧(→p.87)を発生させることのできる装置である。電源Eから針Sを通じて回転しているベルトBに電荷を与える。ベルトによって運ばれた電荷は、針Tを通じて金属球(電極)Aにたくわえられるため、Aは強く帯電するようになる。



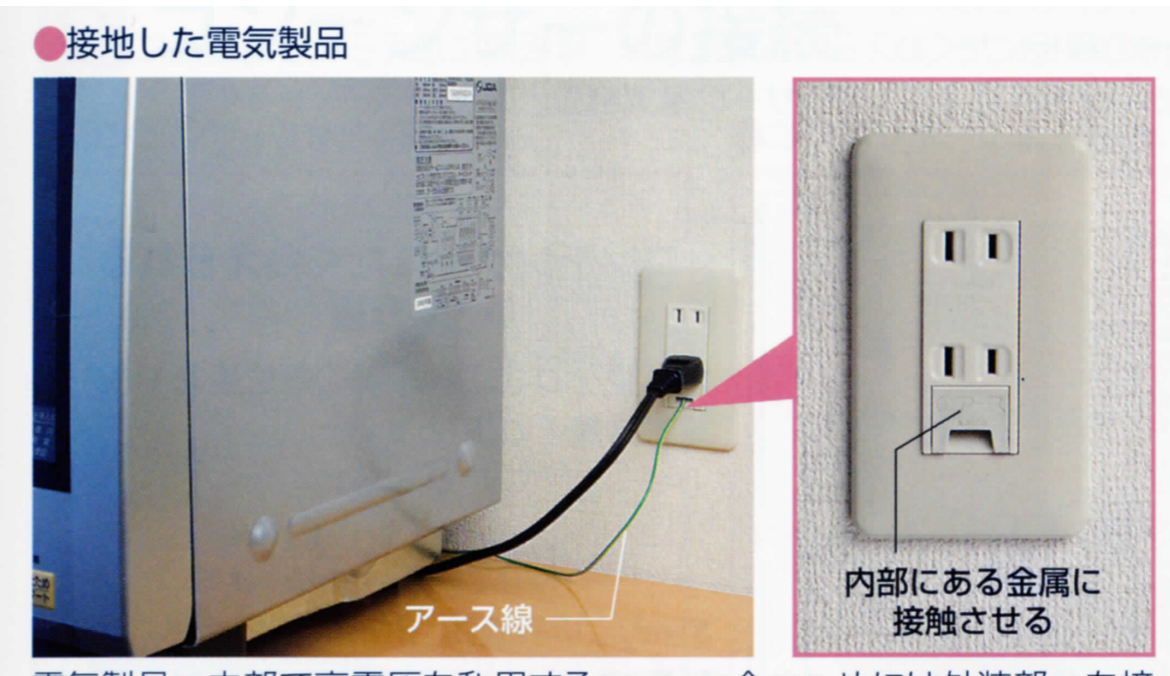
右の写真は、帯電したバンデグラーフ起電機の金属球Aに触れている人間のようすである。金属球にたくわえられた電荷は、手のひらを通じて人間の体内にも入りこむため、人間も帯電する。帯電した髪の毛どうしが、静電気力によって反発しあうため、髪の毛が逆立っているように見える。



接地 (アース)



The charge distribution within a thundercloud induces a positive charge on objects on the Earth directly below the cloud.



帯電列

マイナス (-) に帯電

塩化ビニル
テフロン
シリコーンゴム
ポリプロピレン
ポリエチレン
ポリウレタン
サララン(サラランラップ)
アクリル繊維
スチレン(発泡スチロール)
ポリエステル
プラチナ(白金)
合成ゴム

帯電しやすい

プラス (+) に帯電

エボナイト
硬質ゴム
ニッケル・銅
真鍮・銀
金
紙
木材
麻
木綿
シルク(絹)
レーヨン
ナイロン
ウール(羊毛)
人間の毛髪
石英・雲母
ガラス
毛皮
アスベスト(石綿)
人の皮膚

帯電しにくい

帯電しやすい

静電気



Staticy Cat
vs.
Balloon
starring Nosey

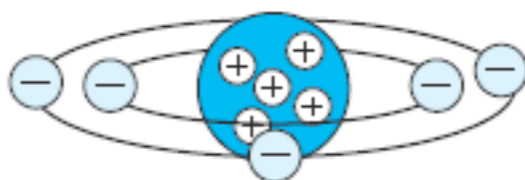
<https://www.youtube.com/watch?v=TE2r0vjkXK0>

start on click, 1min

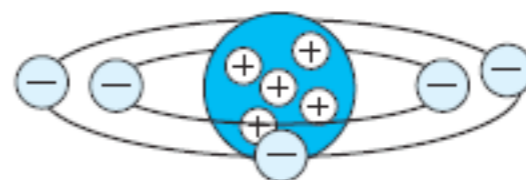
静電気 発生するのは、物体の接触や摩擦

静電気とは、物体同士の接触や摩擦によって電荷の移動が発生し、空間的に電荷の移動がほとんど無い電気のことをいいます。それでは静電気はどのように発生するのでしょうか？

(1)原子は+の電荷を持つ陽子と-の電荷を持つ電子、および中性子から構成されています。通常は陽子と電子の数は同じであり、電気的に中性で安定な状態を保っています。

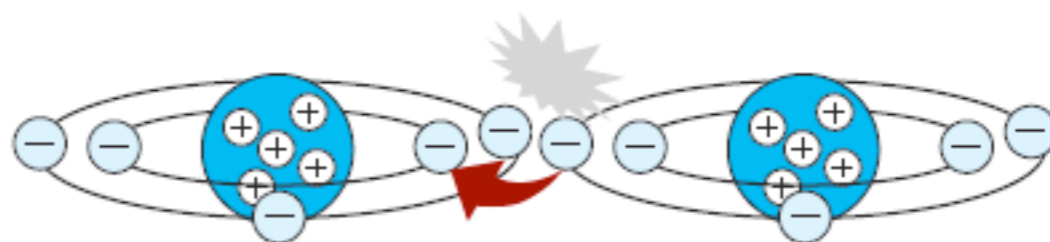


電子の数：m個



電子の数：n個

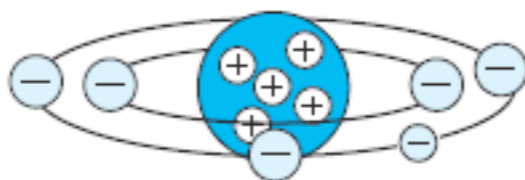
(2)ところが2つの物体が接触や摩擦をすることによって、一方の原子から電子が飛び出し、もう一方の原子に電子が移動します。このとき、電子は結びつきが弱い物質から強い物質へ移動します。



電子の数：m個

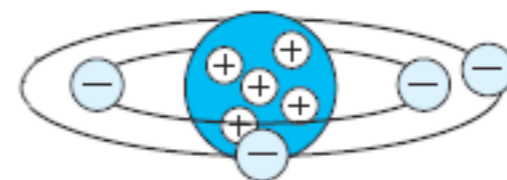
電子の数：n個

(3)電子の移動によって物質の電気的中性はなくなり、物質は静電気を帯びます。電子を奪った側の物質は-に帯電し、電子を奪われた側の物質は+に帯電します。これが静電気発生メカニズムです。



電子の数：m+1個

⊖に帯電



電子の数：n-1個

⊕に帯電

静電気 軽減する方法

起こさないようにすることはできない. なんとか軽減

(1) 組合わせる衣服の素材に注目する

人間の肌は, +になりやすい

帯電列表

羊毛	ナイロン	絹	レーヨン	綿	麻	アセテート	ビニロン	ポリエステル	アクリル	塩化ビニル
----	------	---	------	---	---	-------	------	--------	------	-------

(2) 静電防止加工を施した製品を利用する

発生した静電気を逃げやすくした製品. 導電糸

(3) 湿度を高くする

冬に静電気が起きやすいのは空気が乾燥しているから.
湿った空気は伝導度が高く, 電気が逃げやすい.

(4) 柔軟剤や静電防止スプレーなどを利用する

ーイオンをふりかける. 地面に触れる.

静電気の応用



Column バンデグラーフ起電機

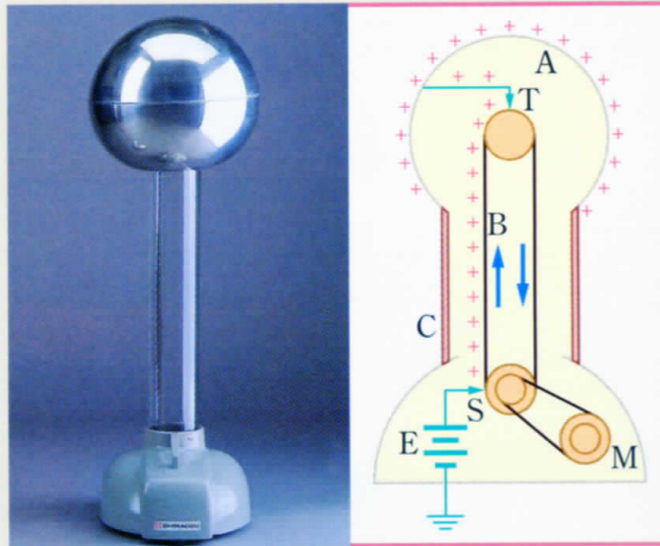
バンデグラーフ起電機は、静電気を利用して大きな電圧(→ p.87)を発生させることのできる装置である。

電源 E から針 S を通じて 回転しているベルト B に電荷を与える。ベルトによって運ばれた電荷は、針 T を通じて金属球

(電極) A にたくわえられるため、A は強く帯電するようになる。

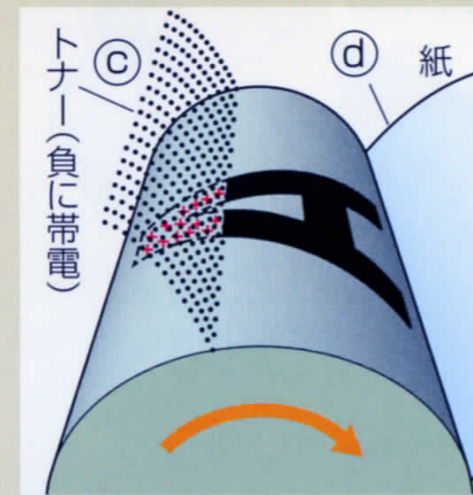
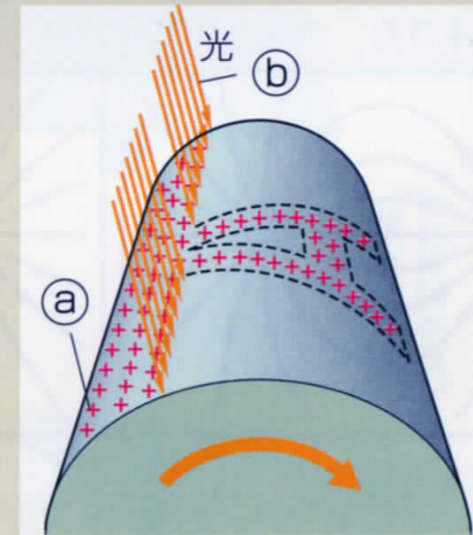
右の写真は、帯電したバンデグラーフ起電機の金属球 A に触れている人間のようすである。金属球にたくわえられた電荷は、手のひらを通じて人間の体内にも入りこむため、人間も帯電する。

帯電した髪の毛どうしが、静電気力によって反発しあうため、髪の毛が逆立っているように見える。



Column コピー機

静電気の性質を有効利用している例として コピー機があげられる。



Ⓐ感光体(光が当たると電気を通しやすくなる物質)を表面に塗った金属製のドラムを正に帯電させる。

Ⓑ原稿の明暗を読みとって光を感光体に当てる。明るい部分の電荷は移動して失われ、暗い部分だけ電荷が残る。

Ⓒ負に帯電させた黒いトナーの粉末をふりかけると、電荷の残った部分だけに付着する。

Ⓓ付着したトナーを紙に転写し、ヒターで熱を加えて定着させる。



8.2 電気回路

電流と電圧

移動する電気を**電流**といい，電気を流そうとする力を**電圧**という。

- 電流 I の単位は [A] アンペア。物理学者アンペール (André-Marie Ampère, 1775–1836) に由来する。
- 電圧 V の単位は [V] ボルト。物理学者ボルタ (Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta, 1745–1827) に由来する。

歴史的に電流の向きは「正から負」とされるが，実際には「負から正」の向きに負に帯電した電子が移動する。

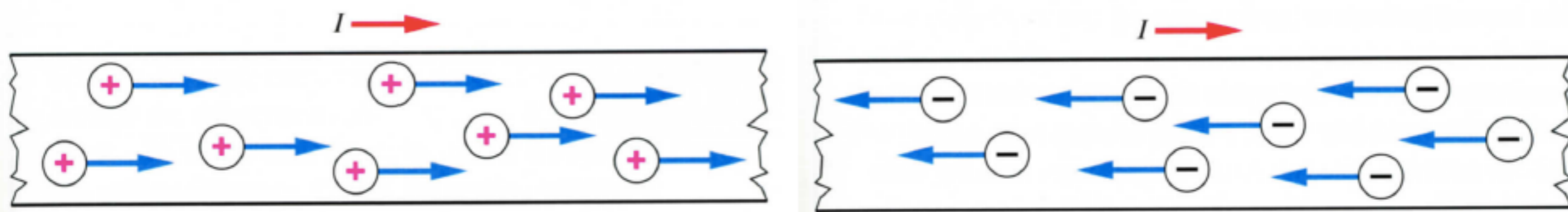
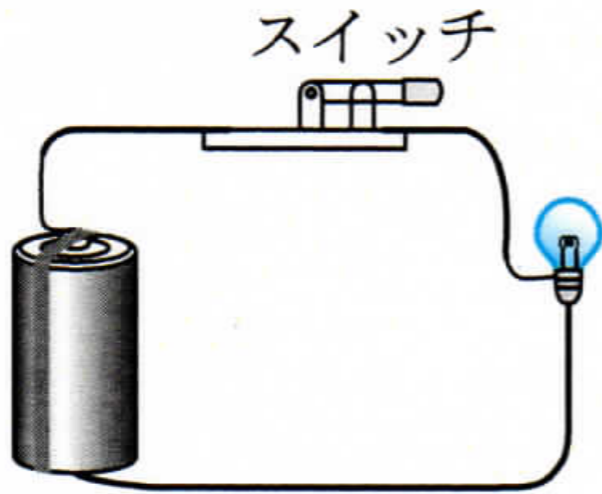


図 6.8 電流の向きは，正の電荷が動いていても負の電荷が動いていても実質同じ。

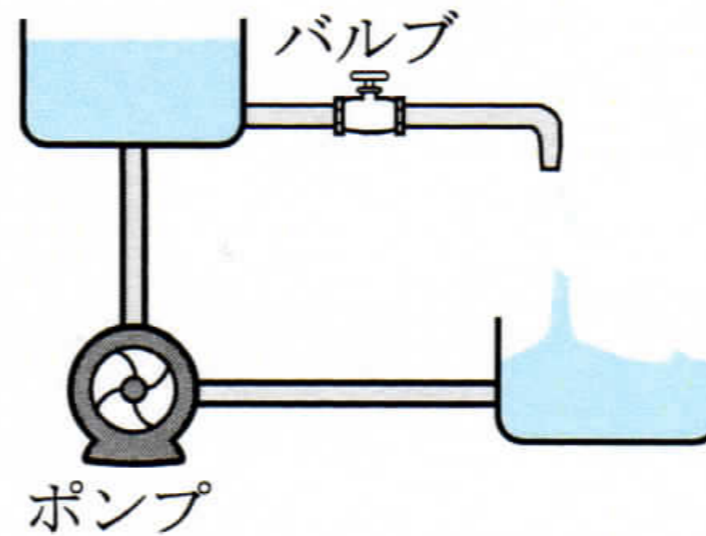
6. 電気と磁気 >> 6.2 電気回路

電気回路

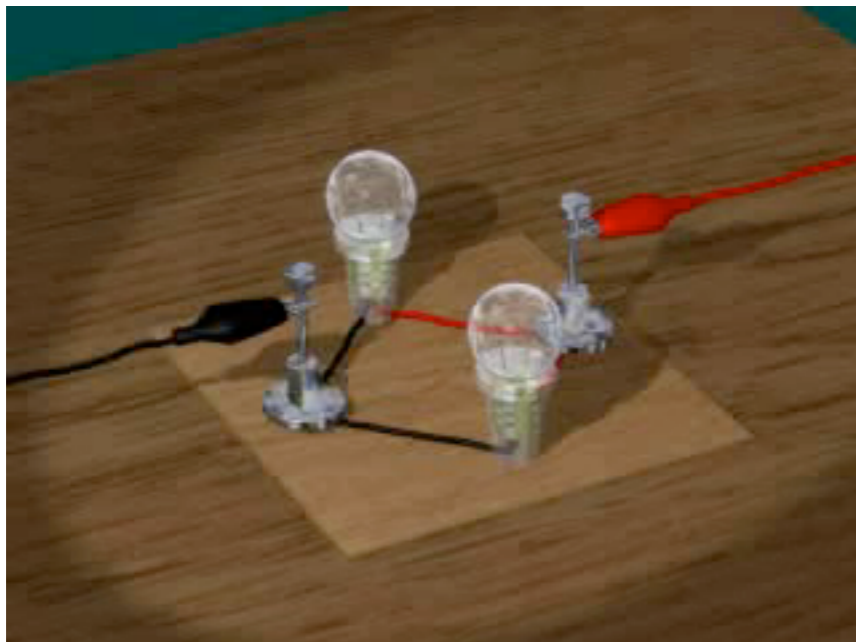
電球を電源につなげた回路を作り，スイッチを入れると電気が流れる．電流は流れにくい電球の部分（抵抗）で発熱して光を出す．エネルギーを失った電流は電源に流れ着くが，電源で再びエネルギーを供給されて流れ出す．



(a) 電気回路



(b) 水流回路



	水流回路	電気回路
動くもの	水	電荷
動力源	ポンプ	電源
道	パイプ	導線
抵抗	狭いパイプ	フィラメント
切り替え器	バルブ	スイッチ
動かす力	圧力の差	電位差

Topic

スイッチを入れると電位が瞬間的に変化する

回路で接地（アース）した場合は，その点が 0 V の電位の基準になる．図 11 のように，乾電池と豆電球を結んだ回路では，スイッチを入れる前は，スイッチで断線しているところで， 0 V と 1.5 V の領域に分かれているが，スイッチを入れた直後には，電流の流れにくい豆電球の両端で電位差が生じることになる．

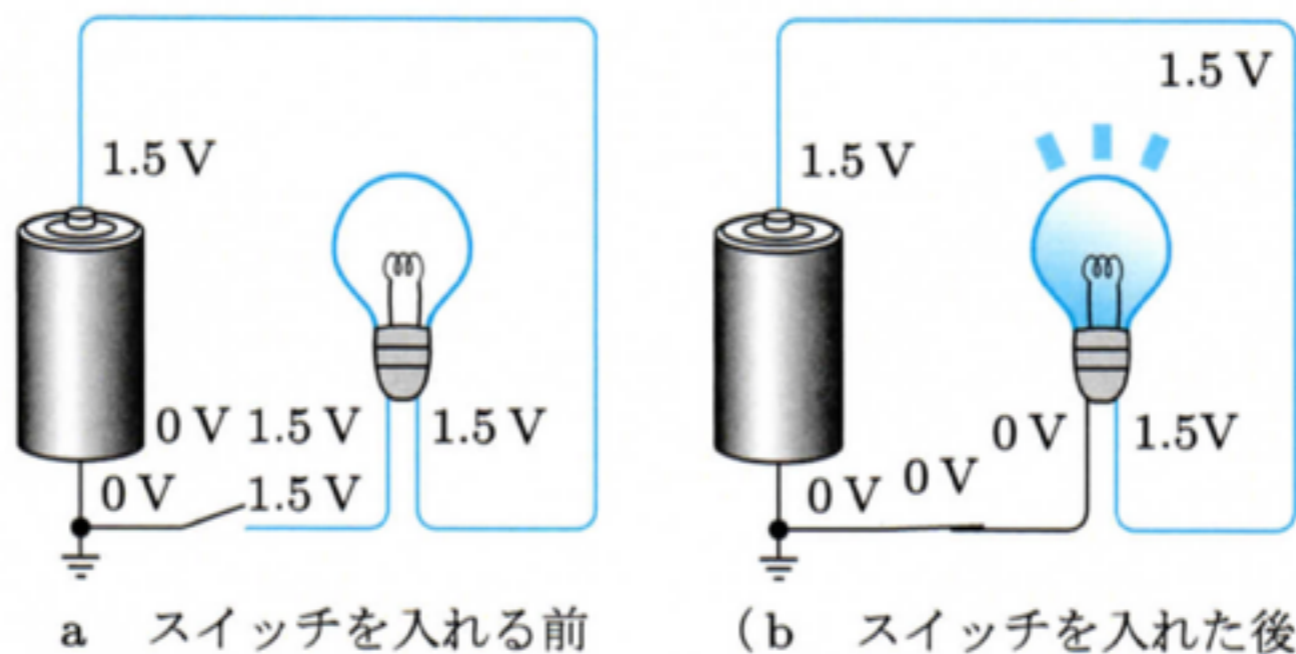


図 11: スイッチを入れる前と入れた後の電位の変化.

東日本は50Hz, 西日本は60Hz

周波数が違う場所に行くと,...

そのまま使えるもの

電気こたつ, 電気ポット, 電気毛布, 電気コンロ, 電気ストーブ, トースター, アイロン, テレビ, ラジオ, パソコン

そのまま使えるが能力が変わるもの

扇風機, ヘアドライヤー, 換気扇, 掃除機, 温風暖房機, ジューサー・ミキサー

そのままでは使えないもの

洗濯機, タイマー, 電気時計, 電子レンジ, 衣類乾燥機, 蛍光灯 (インバータ式以外), ステレオ



直流 と 交流



図 13: 直流電源
(DC; direct current)



図 14: 交流電源
(AC; alternating current)

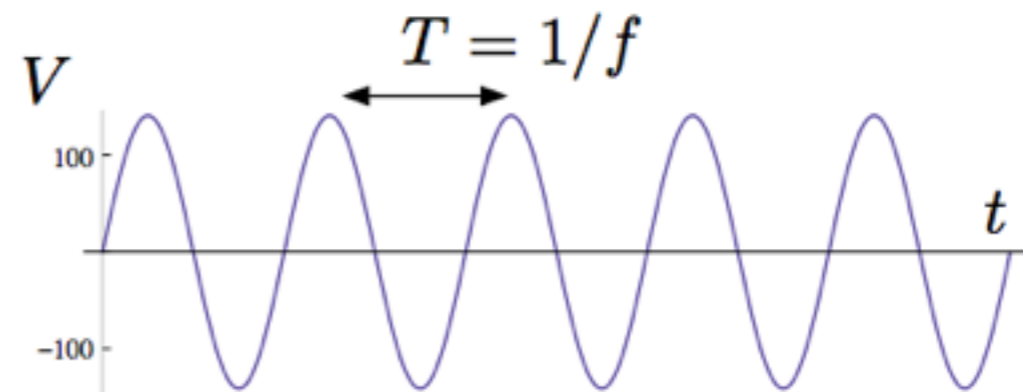
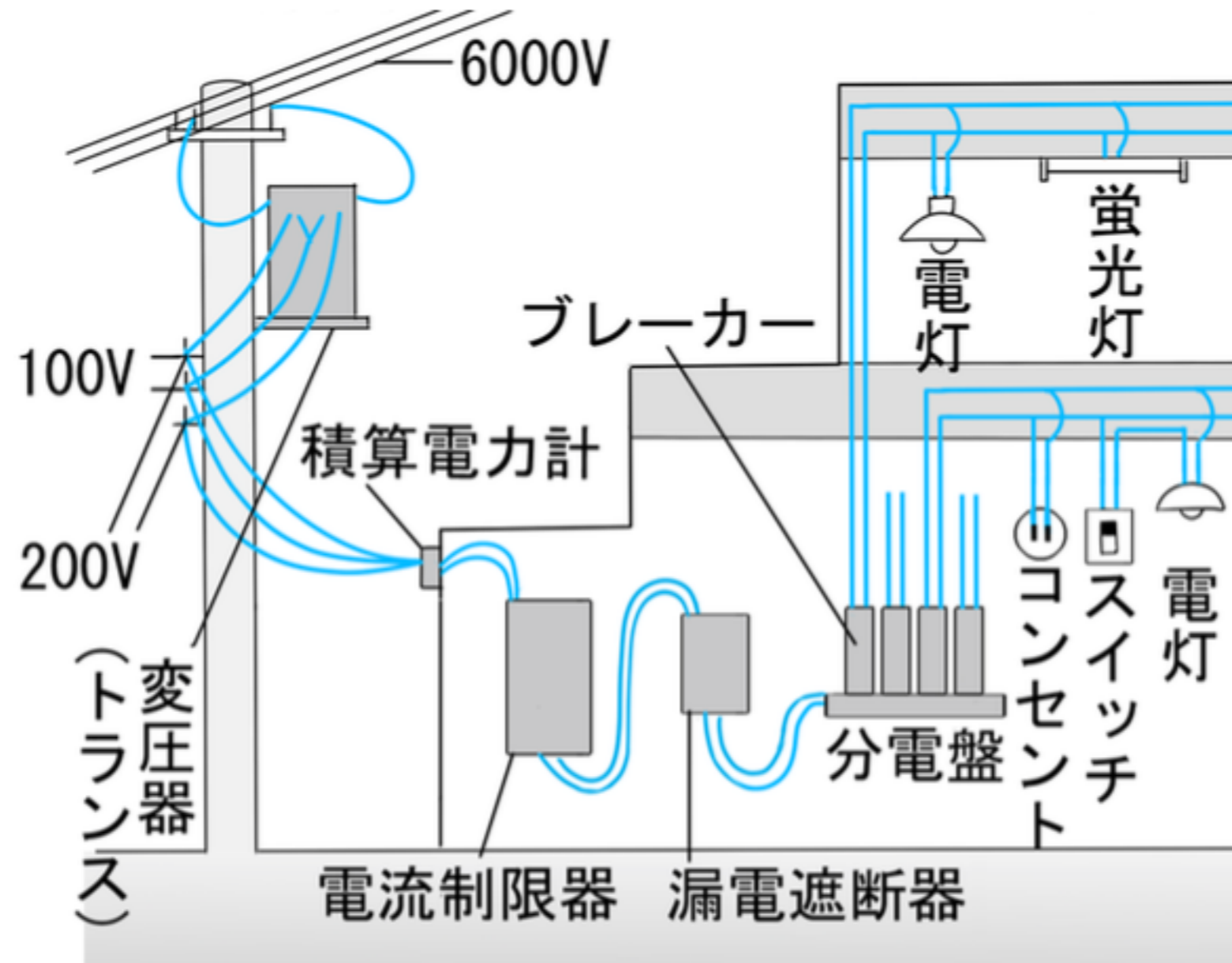


図 15: 〔左〕 直流電源からの起電力 $V(t)$ は常に一定. 〔右〕 交流電源からの起電力 $V(t) = V_0 \sin(2\pi ft)$. $\bar{V} = 100$ V の起電力は, 最大 $V_0 = 100\sqrt{2} = 141$ V になる. $f = 60$ Hz は, 1 秒間に 60 回振動することを表す.

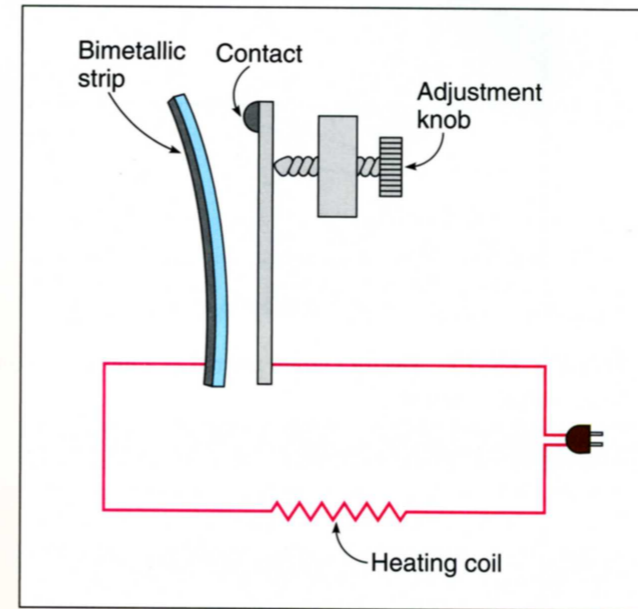
交流だと，変圧が簡単：ロスを少なく送電できる



温度センサーを含んだスイッチ



Toasters, electric heaters, and coffeemakers are among the appliances that contain thermostats. How do their thermostats work?



A bimetallic strip bends when heated because the two metals have different rates of thermal expansion. The bending of the strip makes or breaks a circuit.

ヒューズ (ブレーカー)

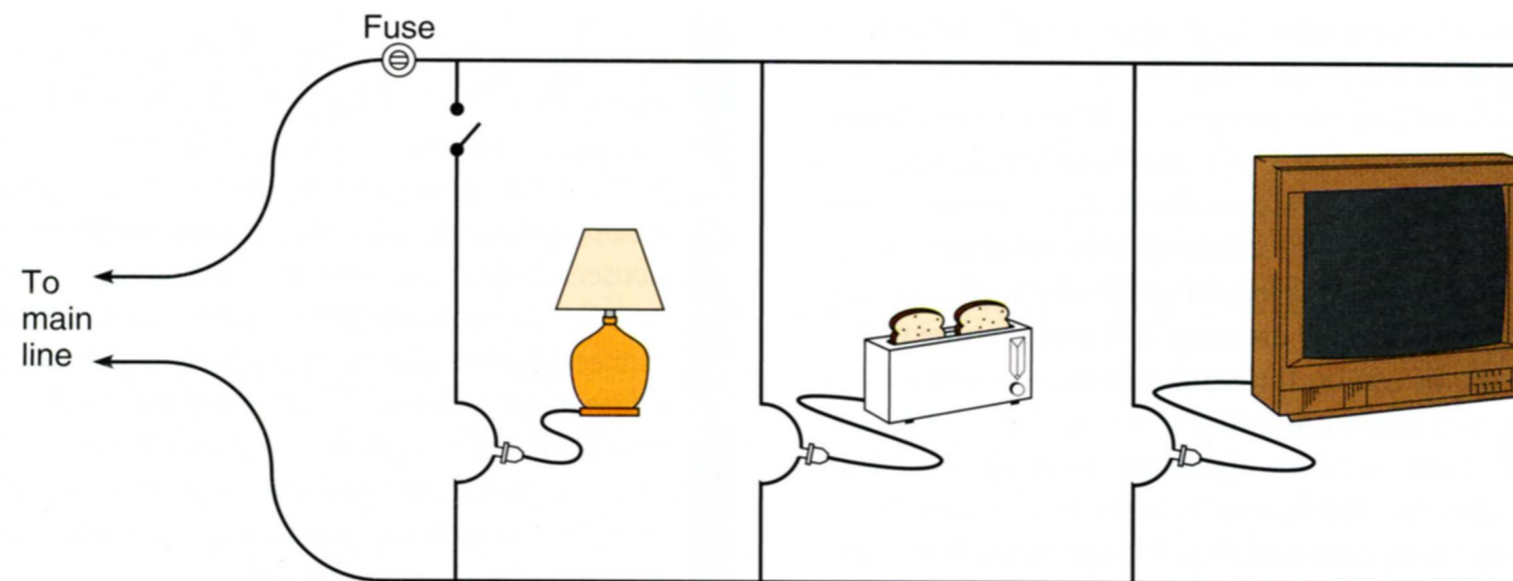
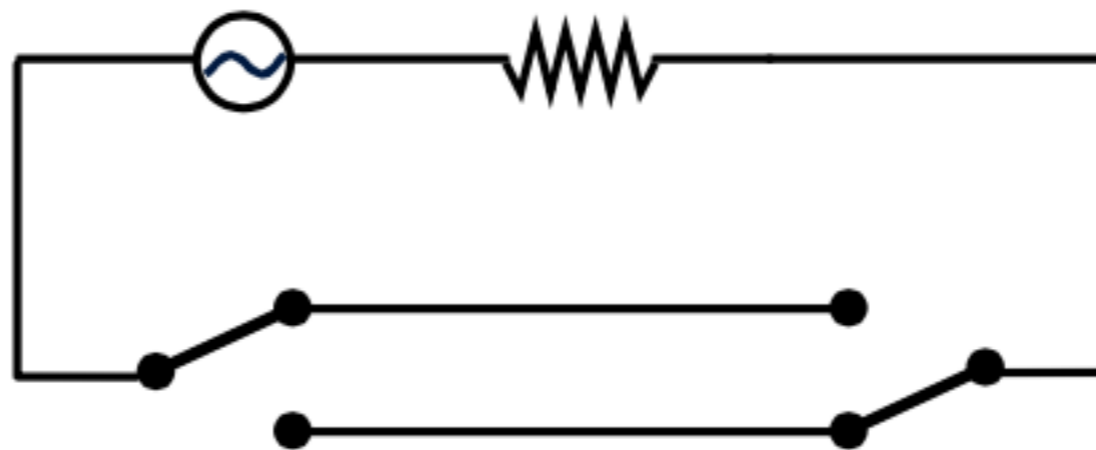
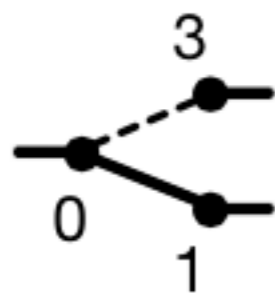
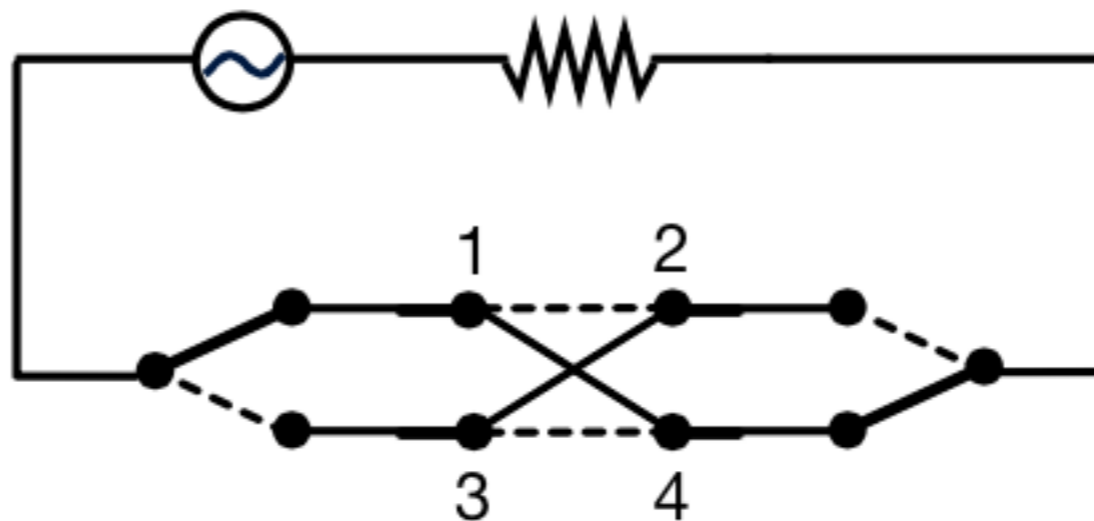
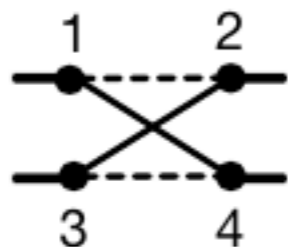


figure 13.19 A typical household circuit may have several appliances connected in parallel with one another. A fuse or circuit breaker is in series with one leg of the circuit.

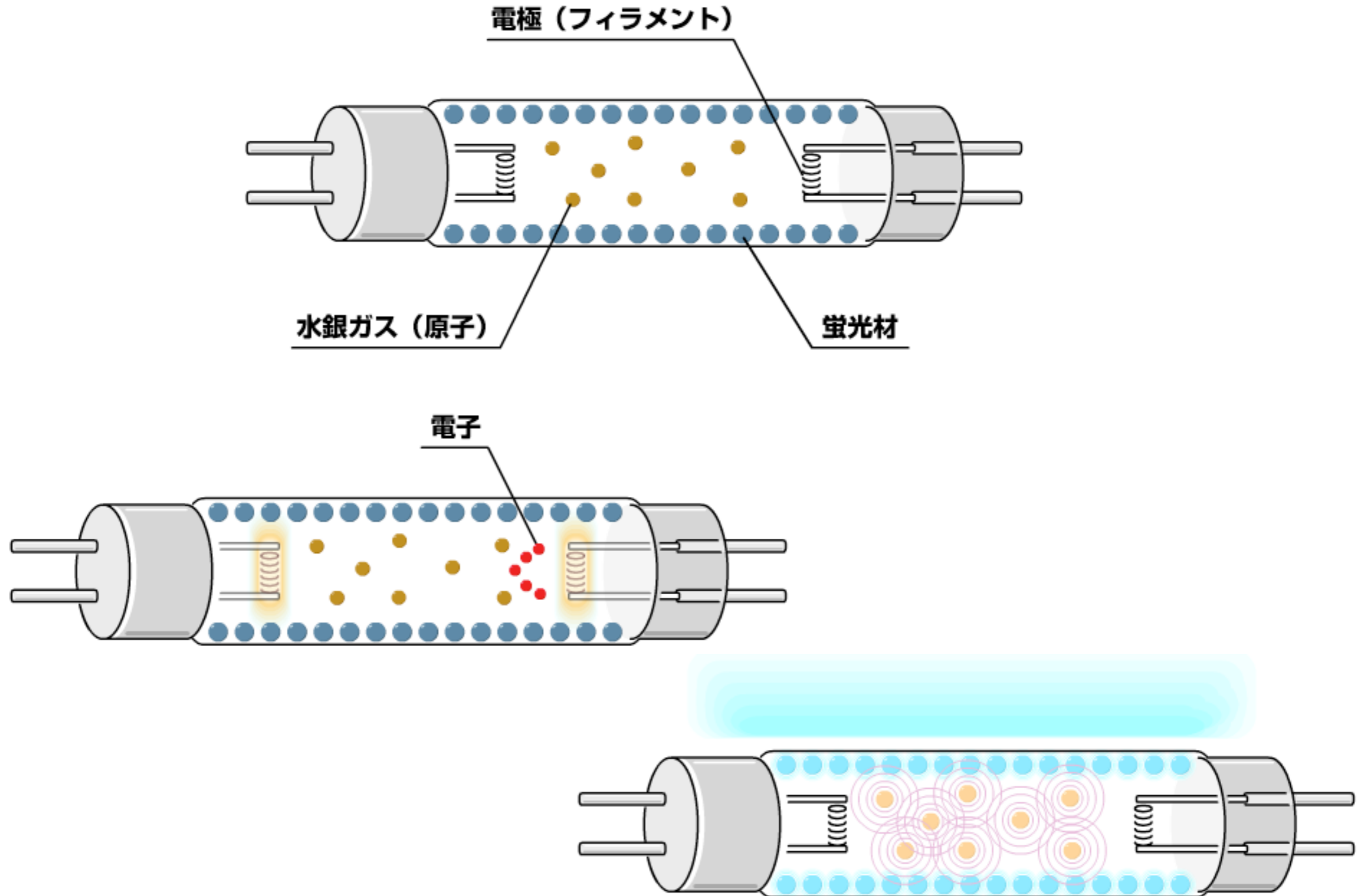
階段の電気のスイッチ（1階と2階で両方切り替え）



階段の電気のスイッチ（1階2階3階で切り替え）



蛍光灯

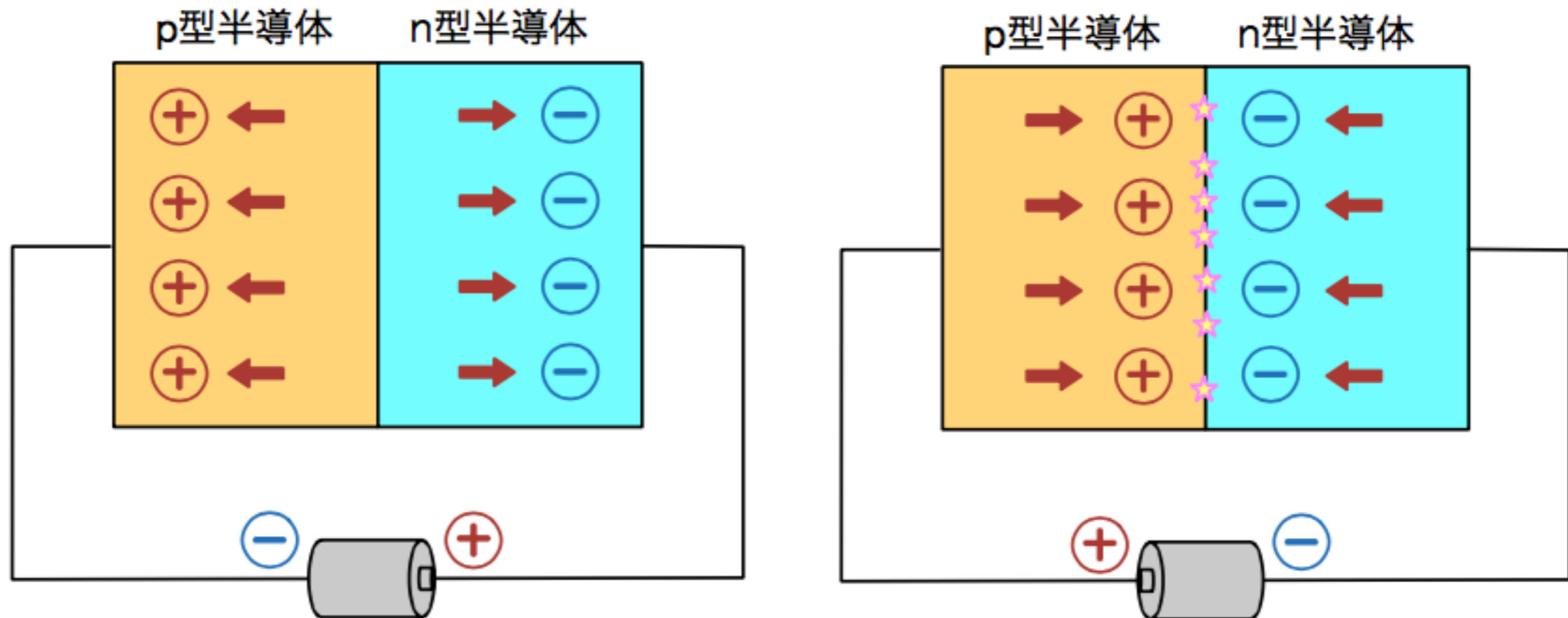


ダイオード 発光ダイオード(LED)

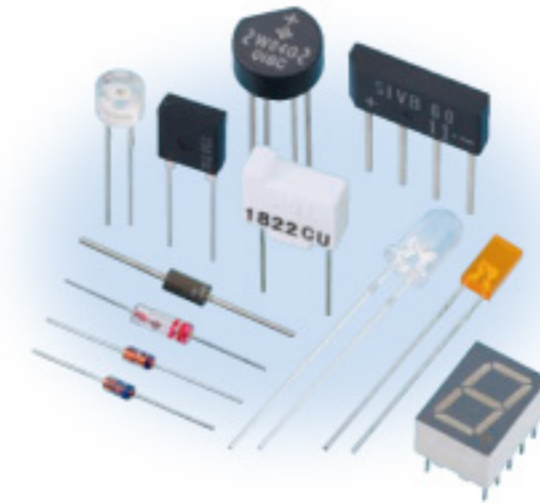
ダイオード

P型半導体（電子数が欠けていて空孔状態になっている半導体）とN型半導体（自由電子数が過剰な半導体）をつなぐ（PN接合）と、電流を一方向にしか流さない**ダイオード**の素子ができる。この性質を**整流性**という。

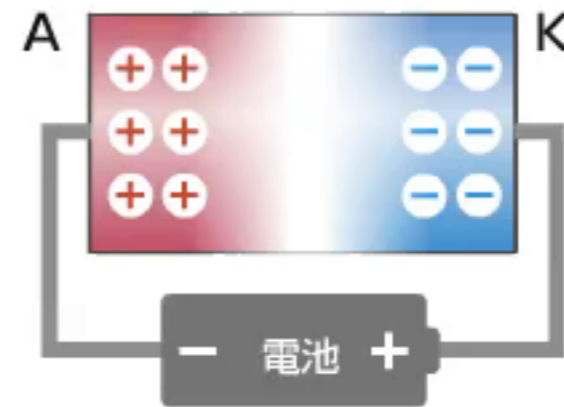
PN接合部での電子のエネルギー遷移を利用して発光させるのが、**発光ダイオード(LED)**である。LEDは電気を直接光に変換するので、白熱電球や蛍光灯に比べてエネルギー効率が良い。



ダイオード



▶▶ 次に進む



▶▶ 次に進む

電球の明るさ表示 ワットからルーメンに



一般電球タイプ E26口金

▼(口金については、下記のポイント2をご参照ください)

光の量(全光束※1) ルーメン(lm)とはランプから出る光量を示す単位で、数値が大きいほど明るくなります

必要ルーメン (以上)	170lm 以上	325lm 以上	485lm 以上	640lm 以上	810lm 以上	1160lm ^{※2} 以上	1520lm ^{※2} 以上
相当電球	電球 20W形相当	電球 30W形相当	電球 40W形相当	電球 50W形相当	電球 60W形相当	電球 80W形相当	電球 100W形相当



小形電球タイプ E17口金

▼(口金については、下記のポイント2をご参照ください)

光の量(全光束※1) ルーメン(lm)とはランプから出る光量を示す単位で、数値が大きいほど明るくなります

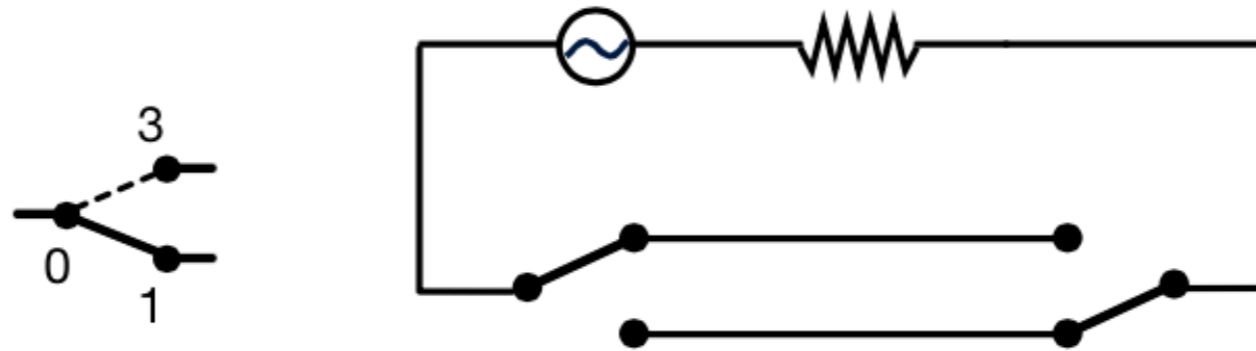
必要ルーメン (以上)	230lm 以上	440lm 以上	600lm 以上	760lm ^{※2} 以上	1000lm ^{※2} 以上	1430lm ^{※2} 以上
相当電球	小形電球 25W形相当	小形電球 40W形相当	小形電球 50W形相当	小形電球 60W形相当	小形電球 75W形相当	小形電球 100W形相当

※1 すべての方向へ放射される光の量

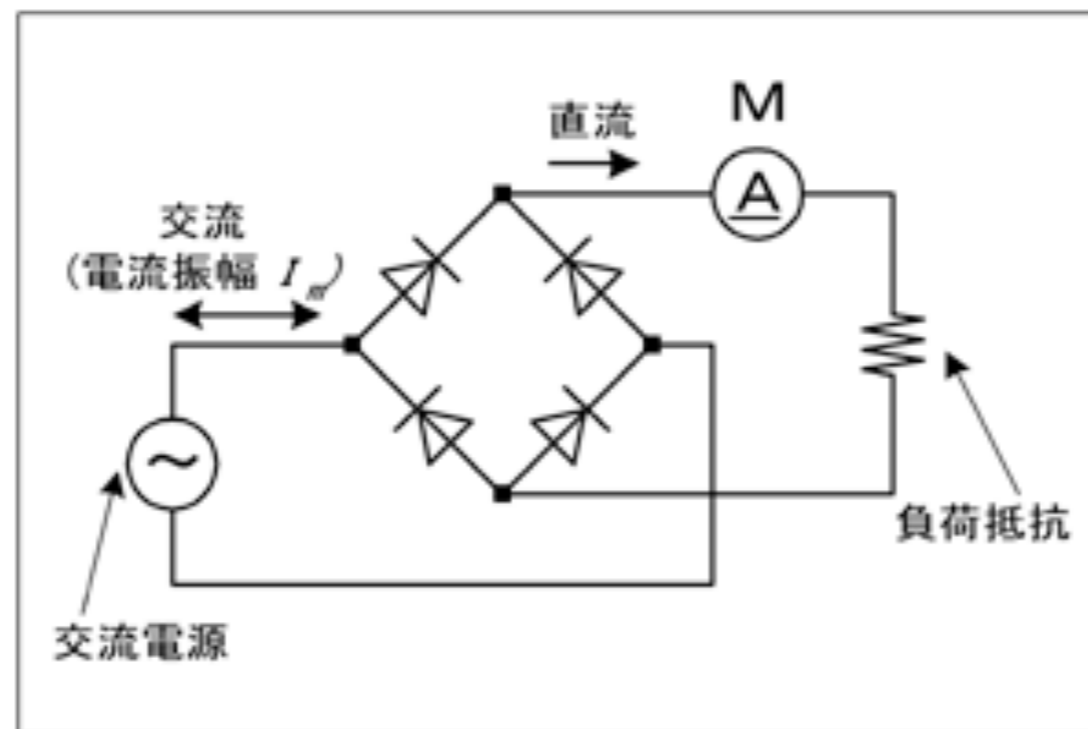
※2 2011年11月15日現在、パナソニックは製品化しておりません

問題です

- 1 階段の電気スイッチ，灯りが点いている状態で，1階と2階の両方で同時にスイッチを押すとどうなる？

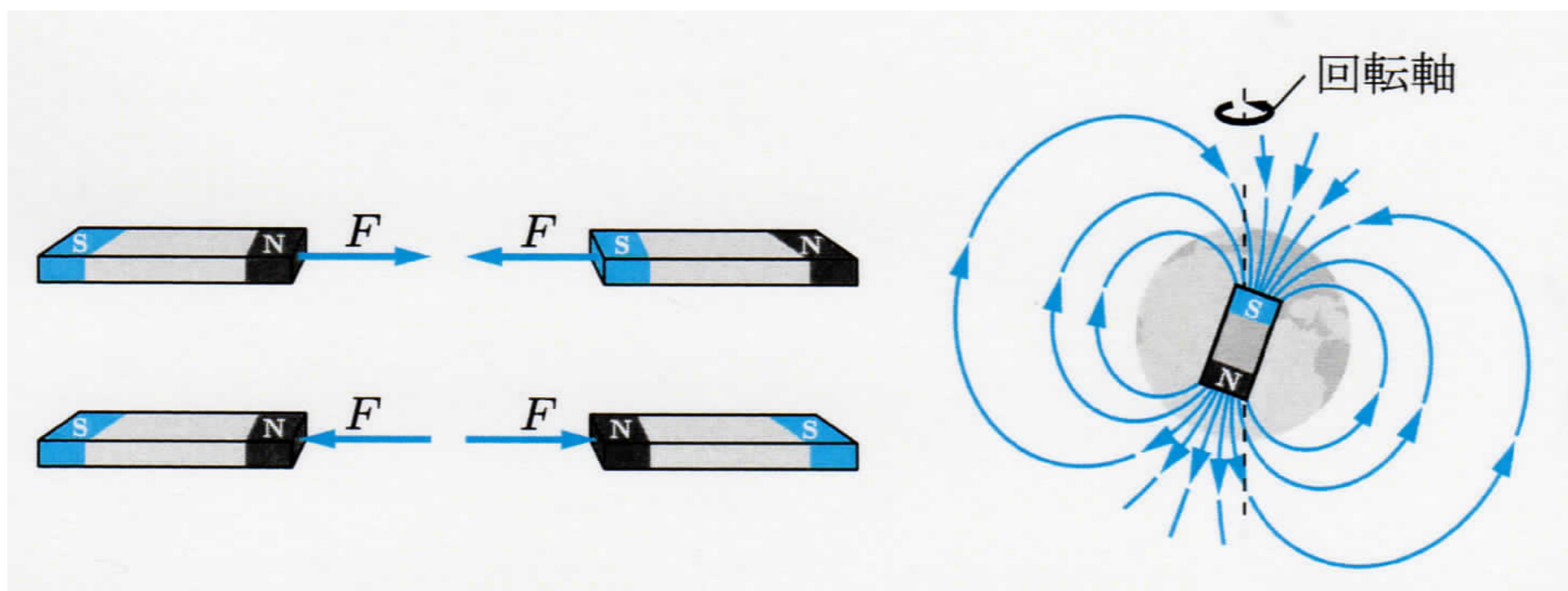


- 2 抵抗に流れる電流の時間変化をグラフにせよ.

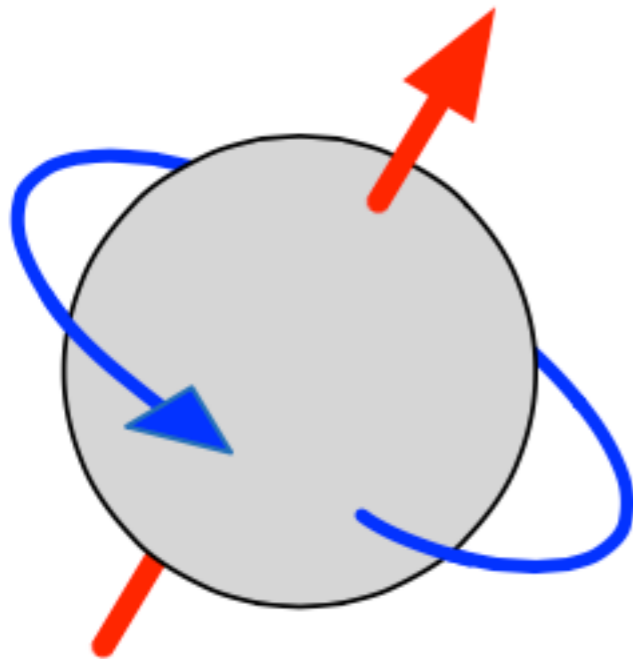


磁気の性質

- N と S の**磁極**が存在する。N 極だけ，あるいは S 極だけの単磁極は存在せず，必ず N と S のペアで存在する。
- N と N，S と S は反発し，N と S には引力が作用する。これらの力を**磁気力**といい，磁力がはたらく空間を**磁場（磁界）**という。
- 磁場中で力が作用する方向を**磁力線**として表し，向きは N 極から S 極への向きとする。**方位磁石の N 極が向く方向が磁場の向き**である。



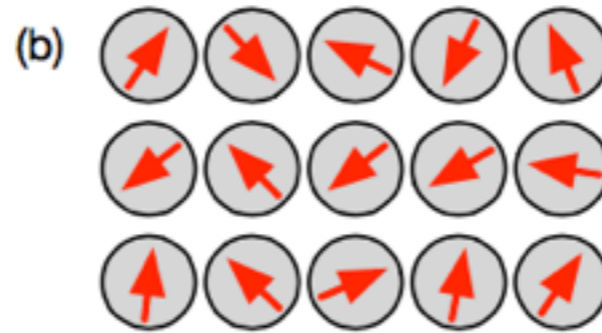
磁気の本質は電子の回転運動



(a) 電子の回転運動



(b) スピンが揃った状態



(c) スピンがばらばらな状態

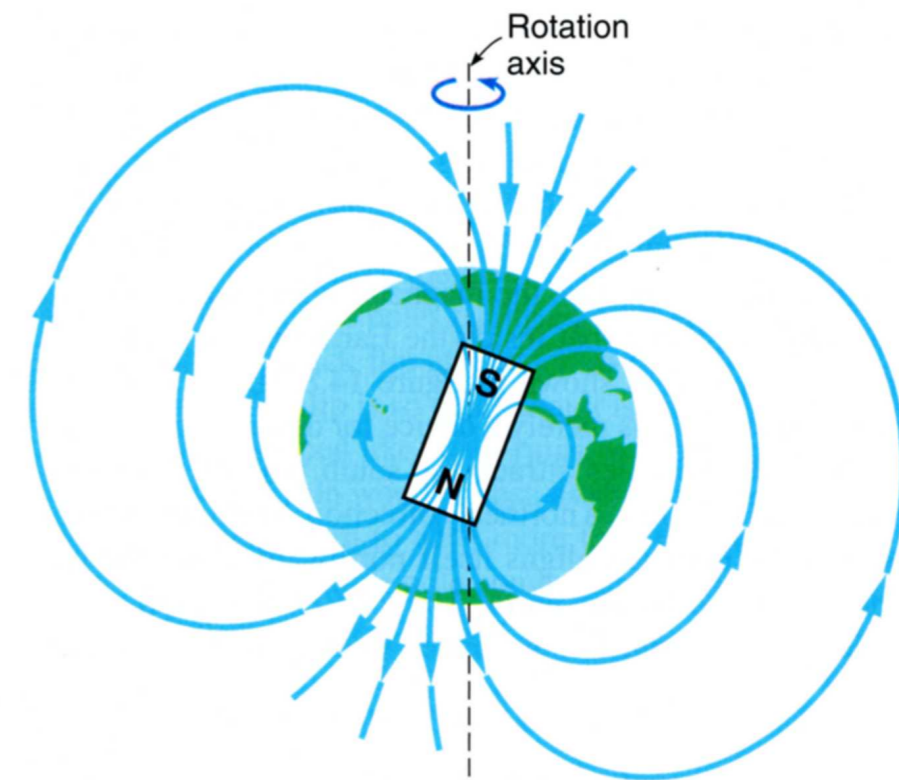
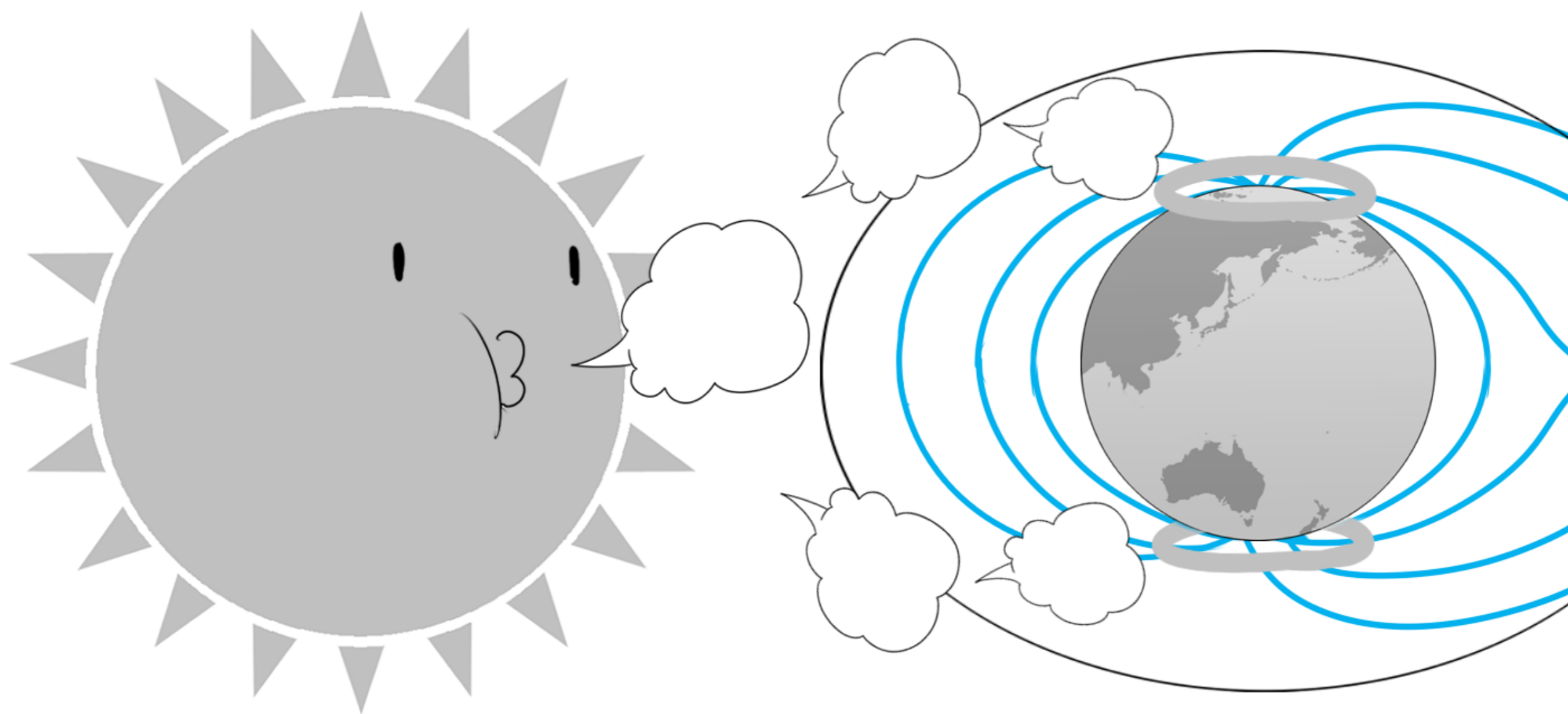
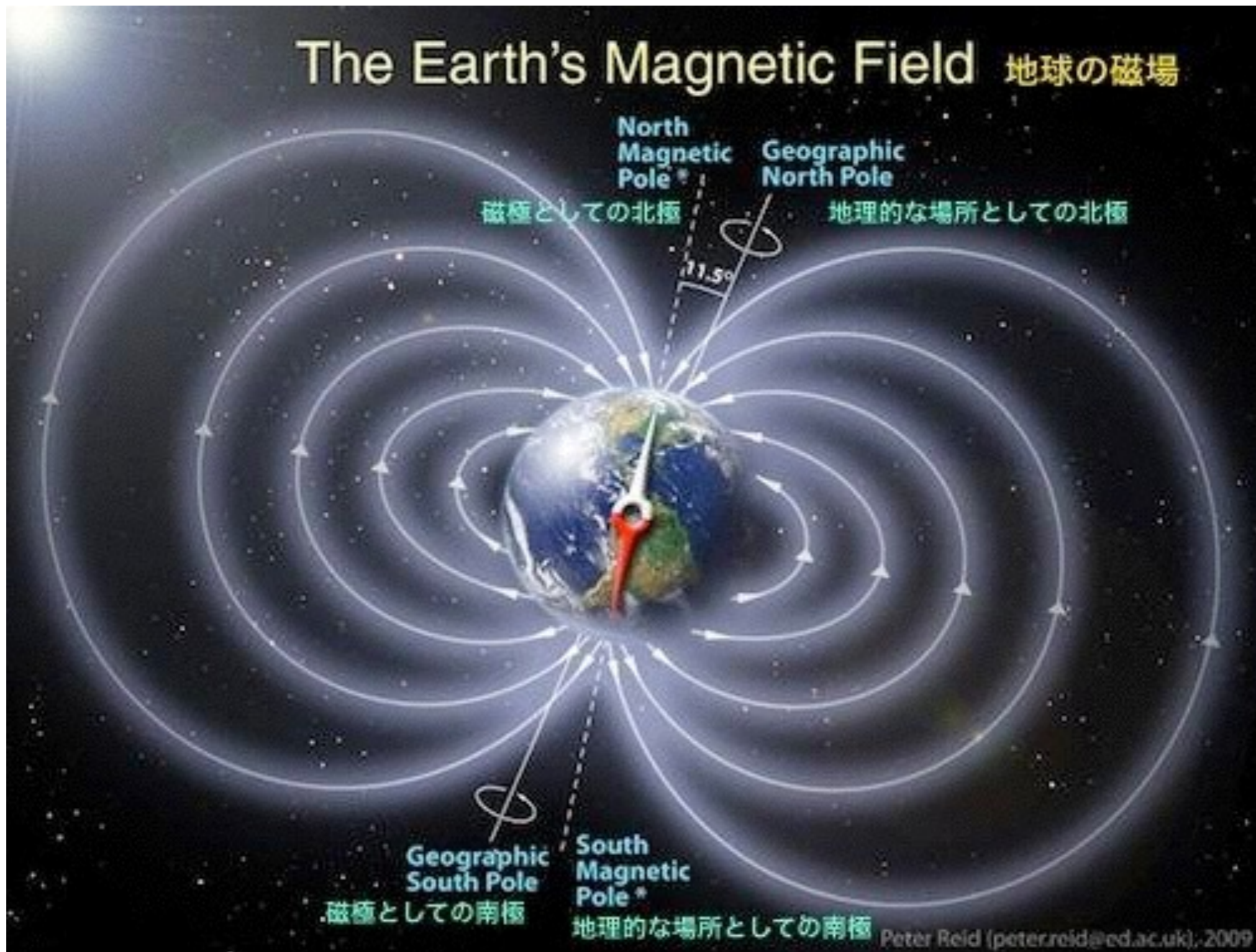


figure 14.8 The magnetic field of the Earth can be pictured by imagining a bar magnet inside the Earth (there is not one, of course), oriented as shown here.

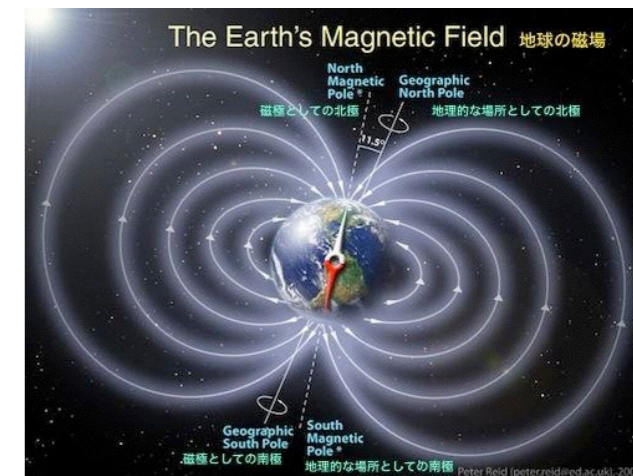
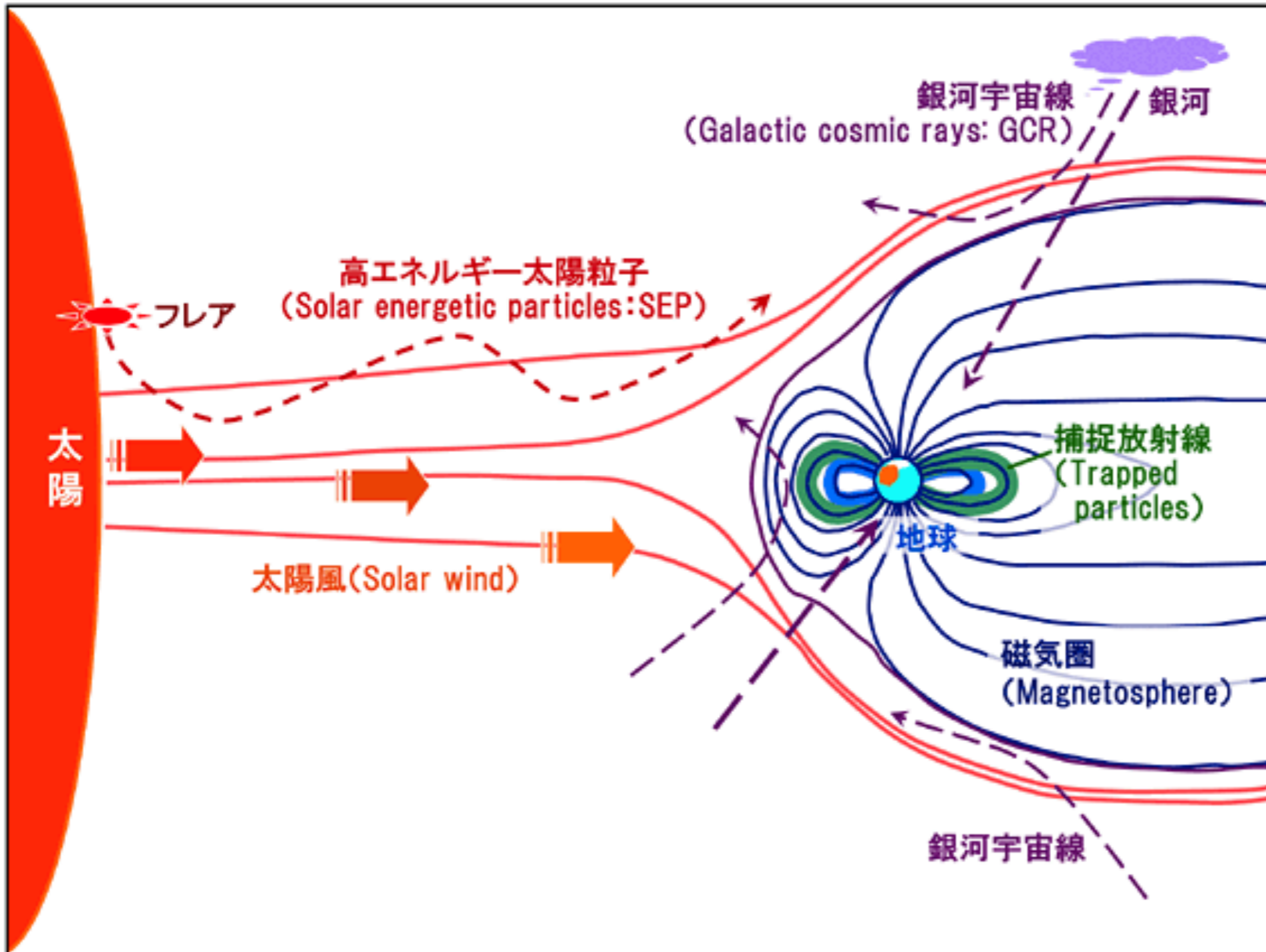
地球磁場とオーロラ



地球磁場とオーロラ



地球磁場とオーロラ





Aurora, Stars, Meteor, Lake, Alaska

<http://apod.nasa.gov/apod/ap071009.html>



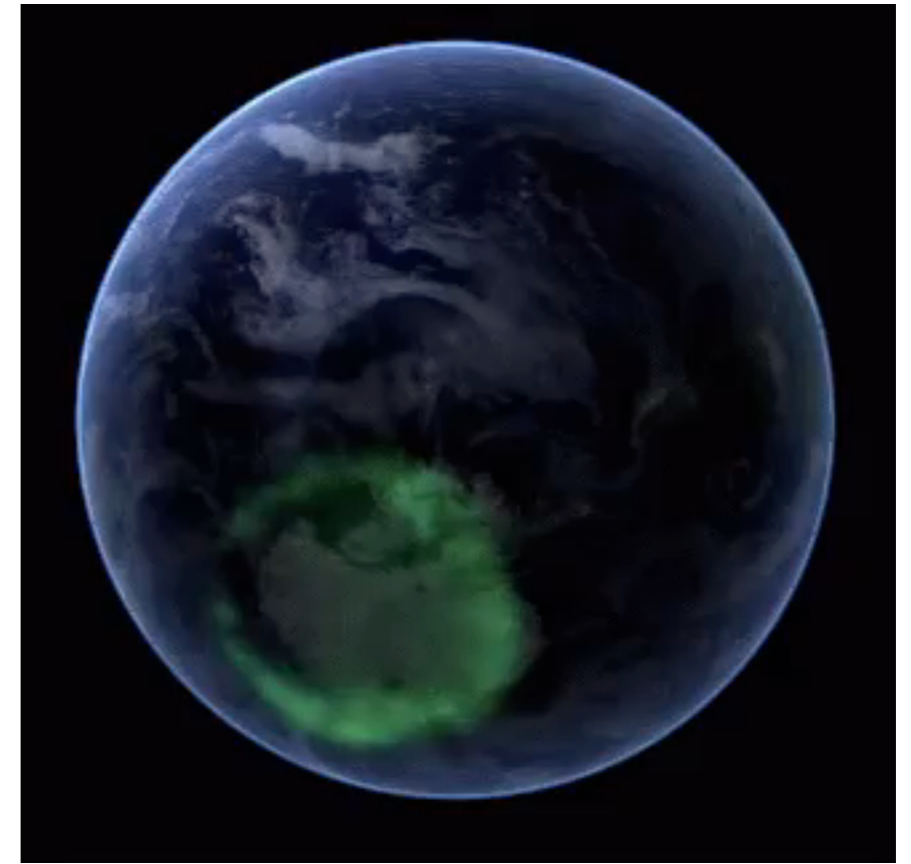
Northern Lights

<http://apod.nasa.gov/apod/ap040730.html>

Astronomy Picture of the Day



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Polarlicht_2.jpg



[http://en.wikipedia.org/wiki/Aurora_\(astronomy\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Aurora_(astronomy))

The Aurora

<http://www.youtube.com/watch?v=sBWPCvdv8Bk>

1:55

オーロラが見られることで有名な場所

N64.8度

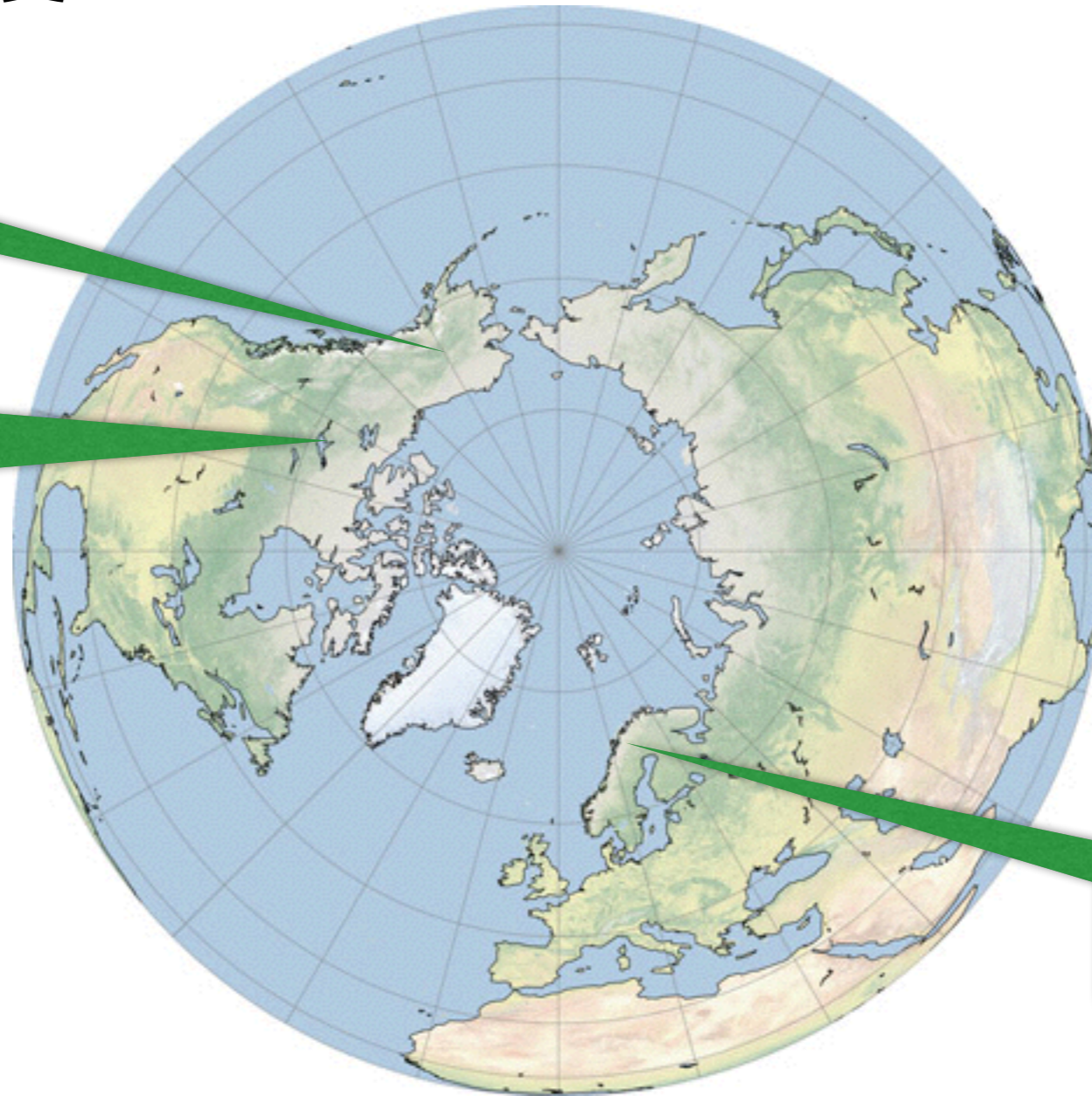
米アラスカ
Fairbanks

カナダ
Yellowknife

N62.4度

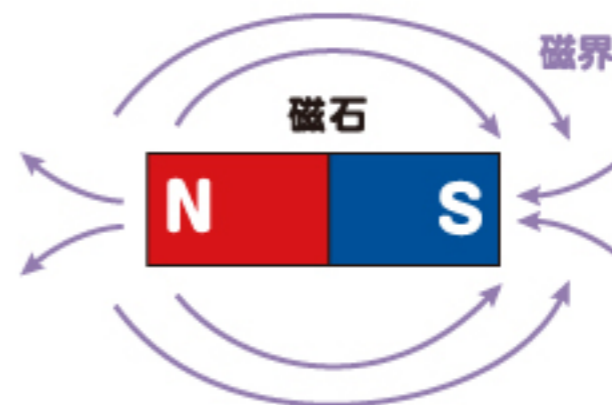
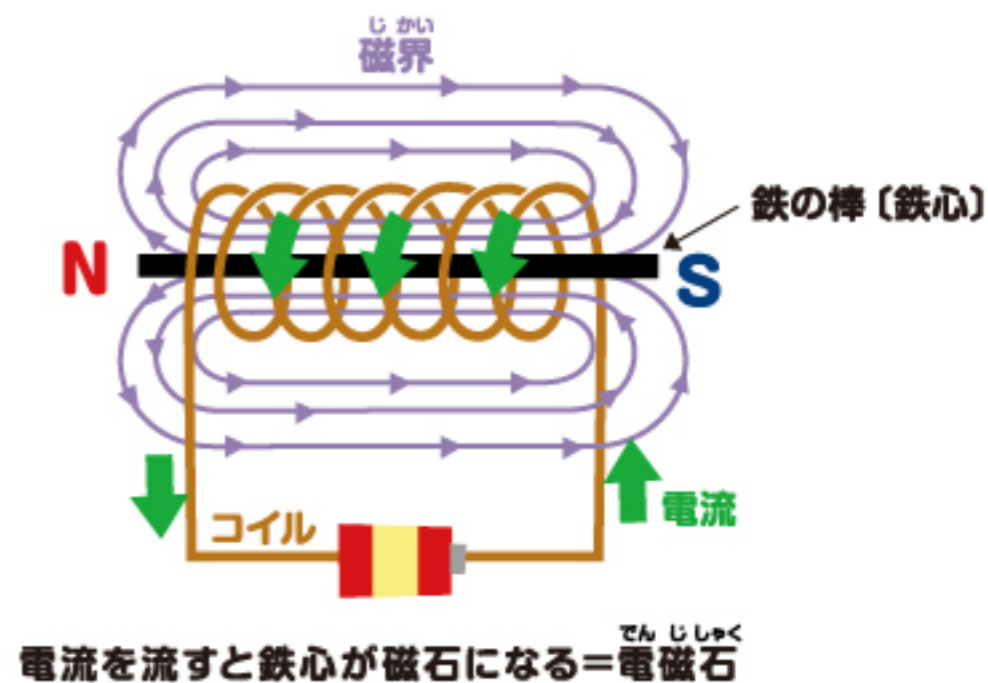
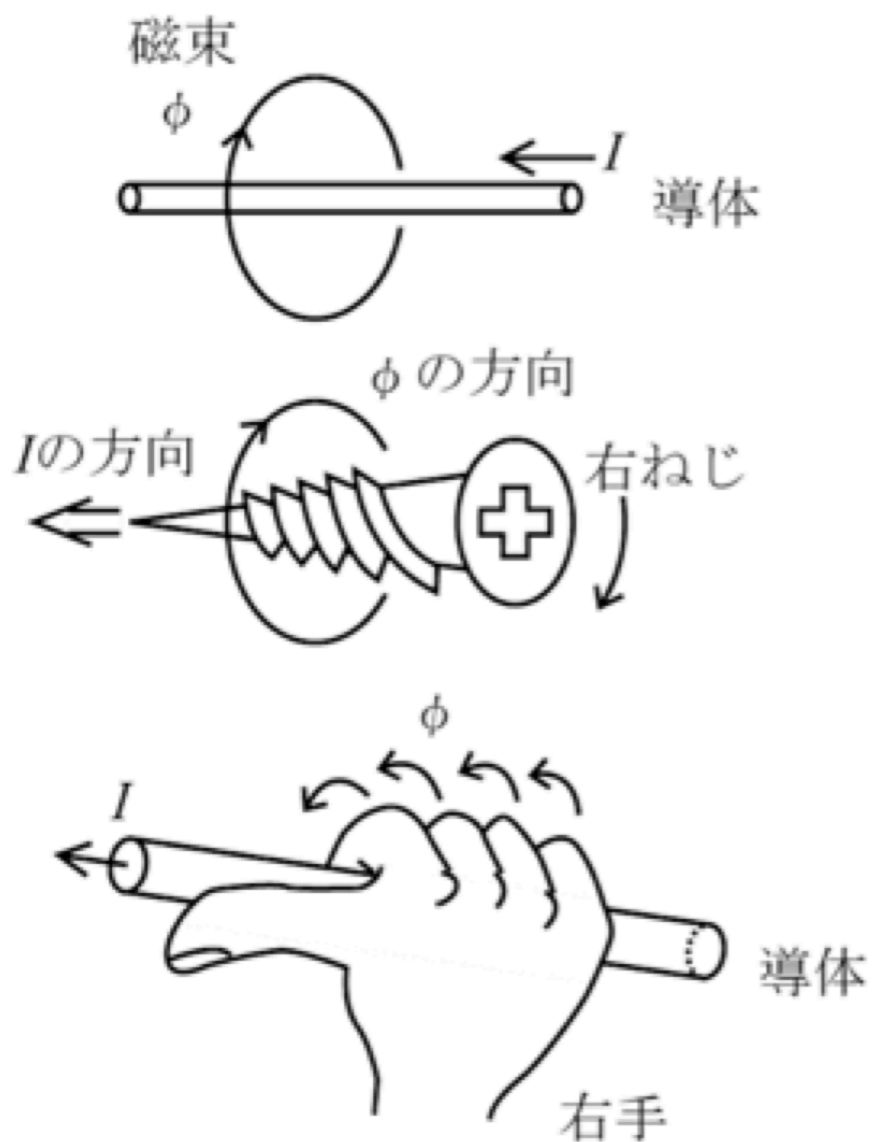
N67.5度

スウェーデン
Kiruna

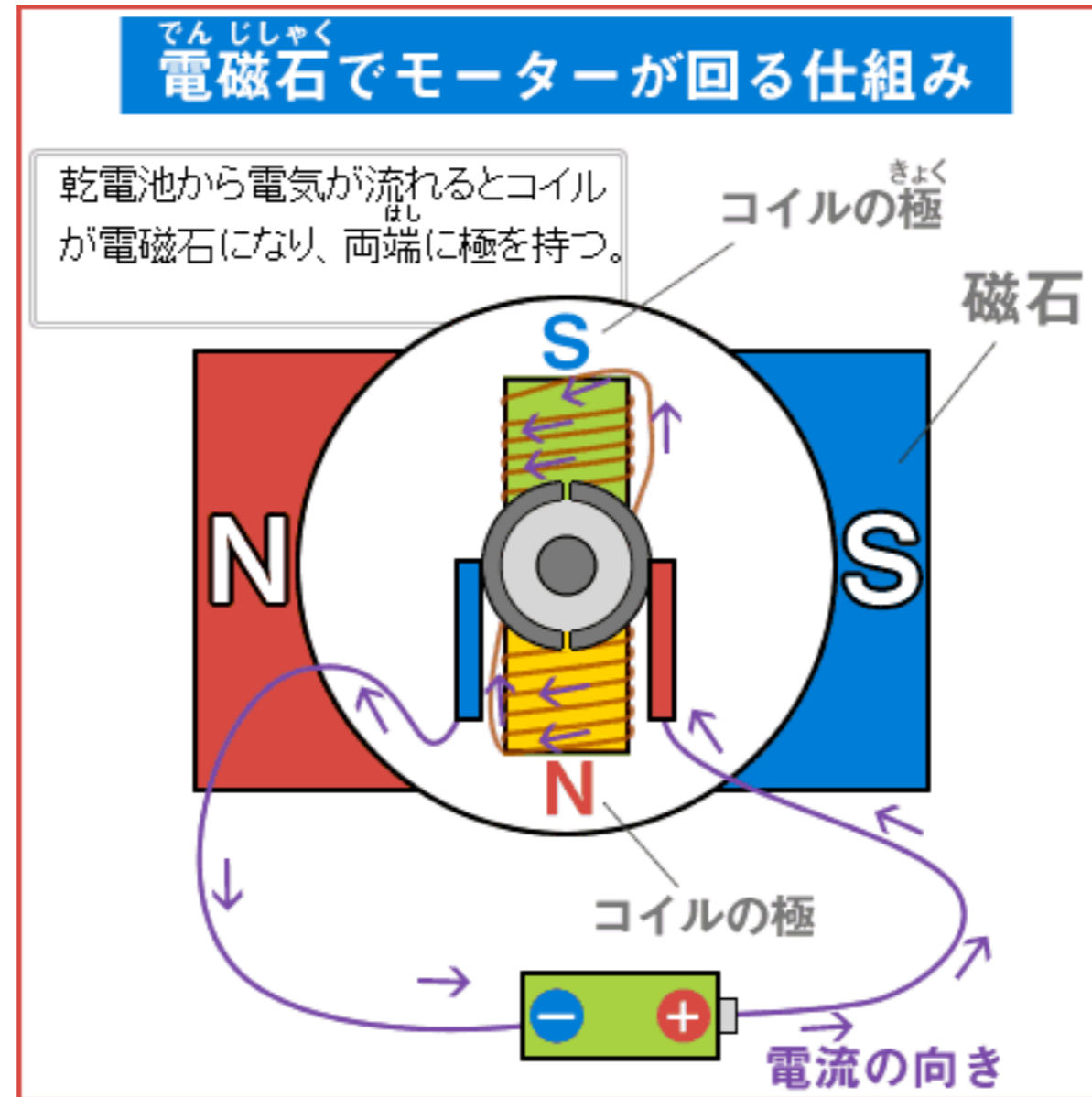


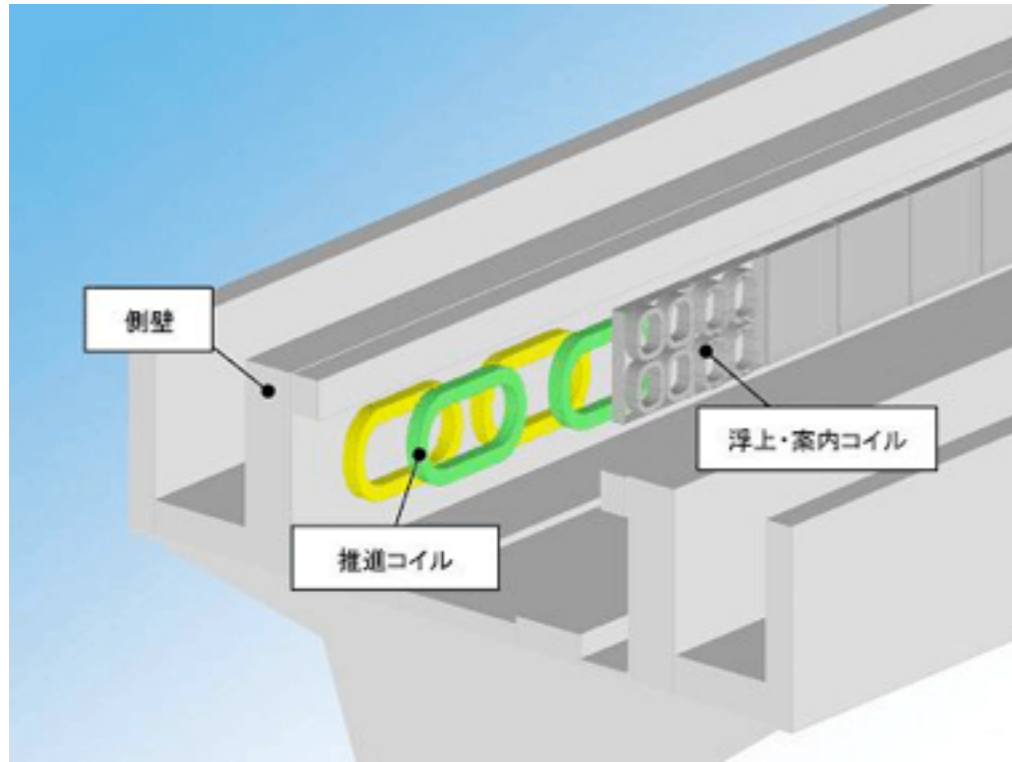
8.3.2 電流と磁気の法則 【法則1】

コイルに電流が流れると、電磁石ができる。
(右ねじの法則)



モーターのしくみ





東京一
 東京一
 (東海道新幹線)
 大阪

出典:
 新幹線の
 時間は、中
 (平成21年)
 設置編成
 より。※東
 名古屋一
 名古屋駅

朝日新聞 2014年12月18日 朝刊 34ページ 東京本社

リニア着工

品川・名古屋で安全祈願

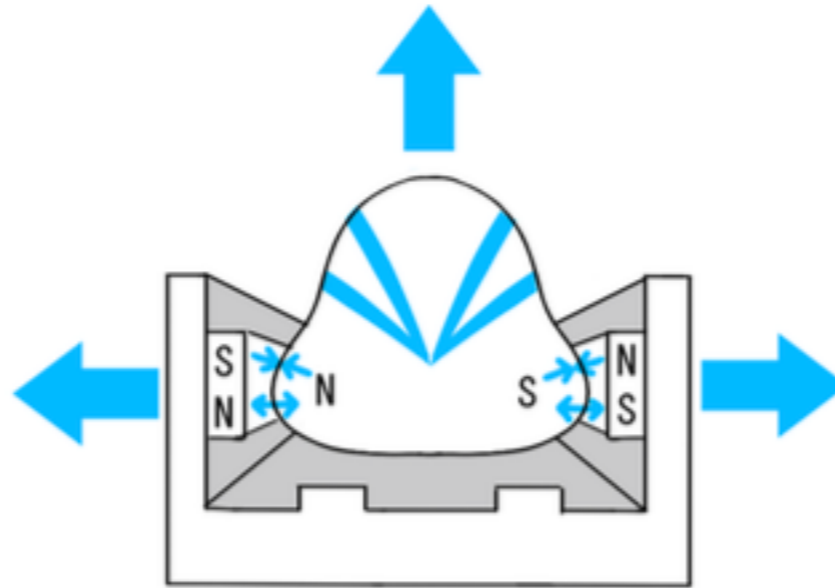
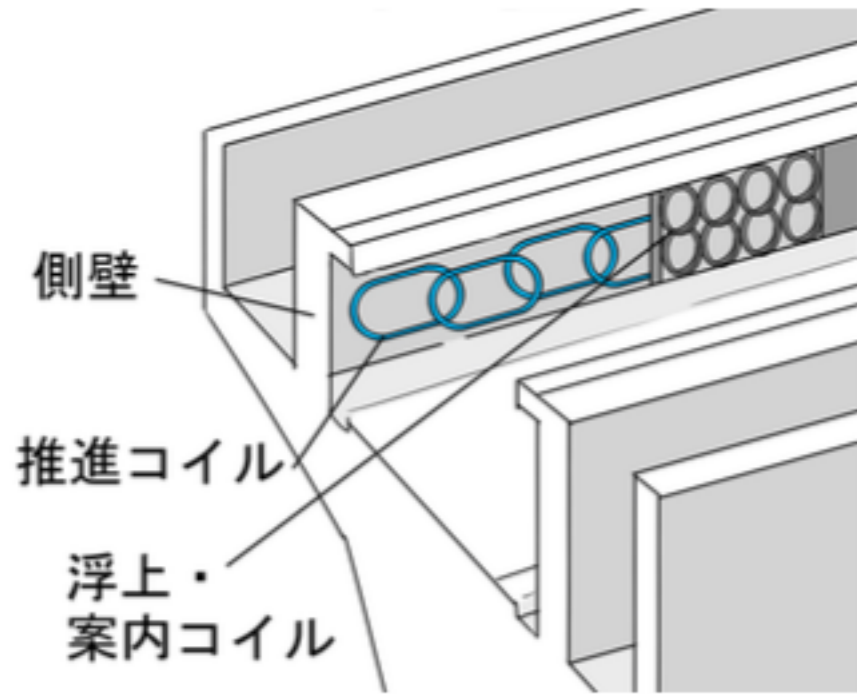
JR東海は17日、品川(東京)―名古屋間で2027年開業予定のリニア中央新幹線を着工した。地下ターミナル駅となる両駅の周辺で、工事資材置き場の整備などを開始。国の基本計画決定から40年余を経て、総工費約9兆円の巨大事業は建設段階に入った。

品川、名古屋両駅でこの日、それぞれ「工事安全祈願式」があった。品川駅では、東海道新幹線の引き込み線上に設けたテント内に祭壇を設置。JR東海の山田佳臣会長らが玉串を捧げ、安全を祈った。

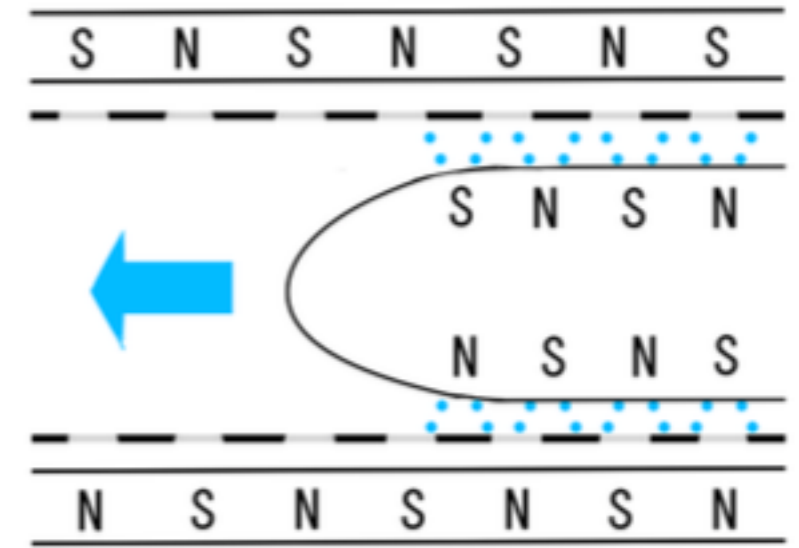
その後の式典で山田会長は、「7年前に自社負担での建設構想を発表し、ようやくここまで来たが、工事にはさらに倍の期間がかかる。工事の安全と環境保全に留意しながら前に進めていきたい」とあいさつした。

JR東海は「リニア計画は国家プロジェクト」と意義づけ、用地買収に関わる住民への説明や交渉は地元自治体に委託する姿勢を明確にしてきた。沿線7都県で補償が必要な地権者は約5千人に及び、自治体の協力が欠かせない実態がある。11月には山梨県と用地取得の協定を締結。今後、地権者が1人の静岡県を除く沿線6都県と協定を結び、用地買収を加速させる。同時に測量も進め、来年度以降、本格工事に入りたい考えだ。(編集委員・細沢礼輝、斎藤健一郎)

リニアモーターカー 中央新幹線 2014年12月着工 2027年開業予定



最高時速505km
超電導磁気浮上方式



上海磁浮交通发展有限公司
Shanghai Maglev Transportation Development Co.,Ltd.

最高時速430km, 空港—都心 30 km を 7 分で



中文 >>

磁力で浮いて走る世界初の鉄道玩具「リニアライナー」

“Linear Liner” will be released in September from TakaraTomy

タカラトミーが、磁力で浮いて走る世界初の鉄道玩具「リニアライナー」を9月に売り出す。JR東海が試験走行で使っているリニア新幹線「L0（エルゼロ）系」がモデル。模型は時速6～7キロだが、実物にあてはめた「スケールスピード」にすると時速500キロを超え、実物に近いという。

実物同様、磁力の反発で車両を2ミリ浮かせる。レールと車両の磁力の吸引力と反発力で走る実物と違って、模型は車両に流れる電気のオンオフによる調整により、磁力の反発力だけで進む。レールの外側は透明のプラスチック製で、浮いて走る様子を眺められる。

陸橋などを含めたセットの希望小売価格は税込み3万7800円。主に「大人向けを想定している」（広報）という。

車両

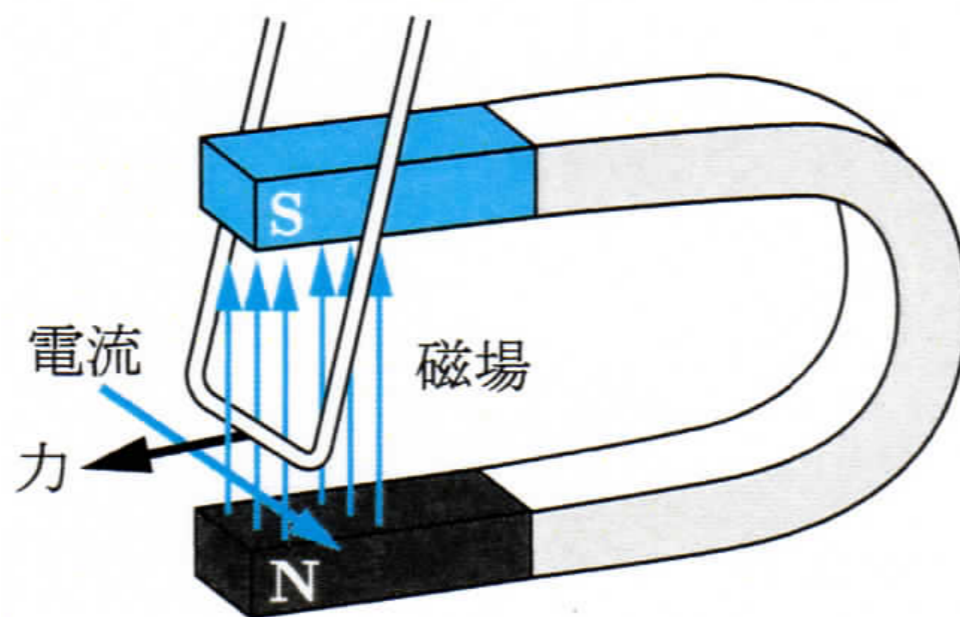


セット内容

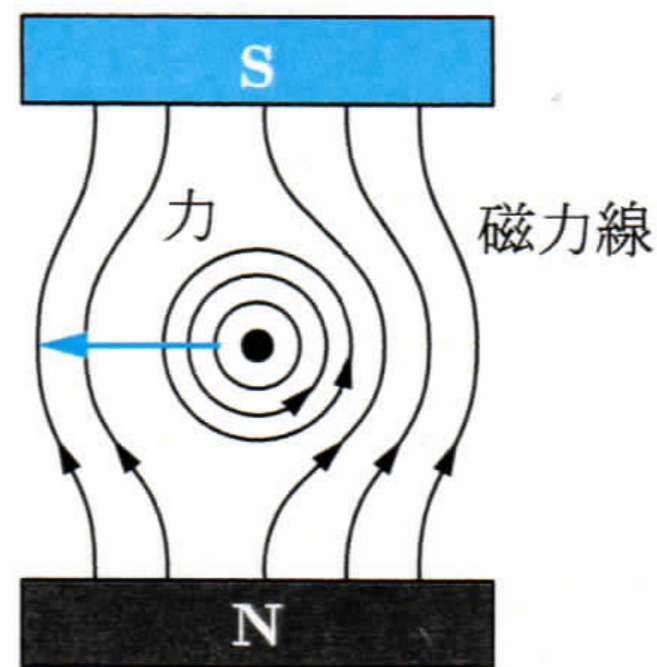


8.3.2 電流と磁気の法則 【法則2】

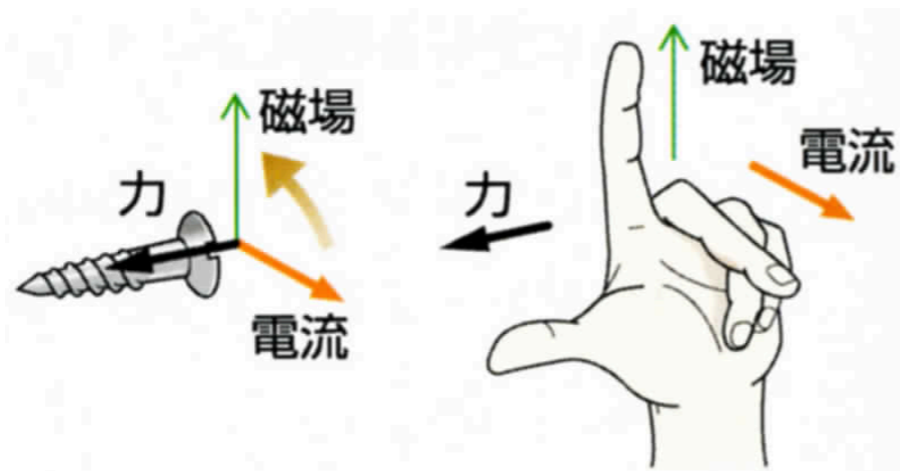
**性質2：磁力線のある空間に電流が流れると、
電磁力がはたらく。（フレミングの左手の法則）**



(a) 磁場中に電流を流すと、
導線は力を受ける



(b) 磁力線の様子



電流の正体はどうやって分かったか？

電流

歴史的に電流の向きは「正から負」とされるが、実際には「負から正」の向きに負に帯電した電子が移動する。

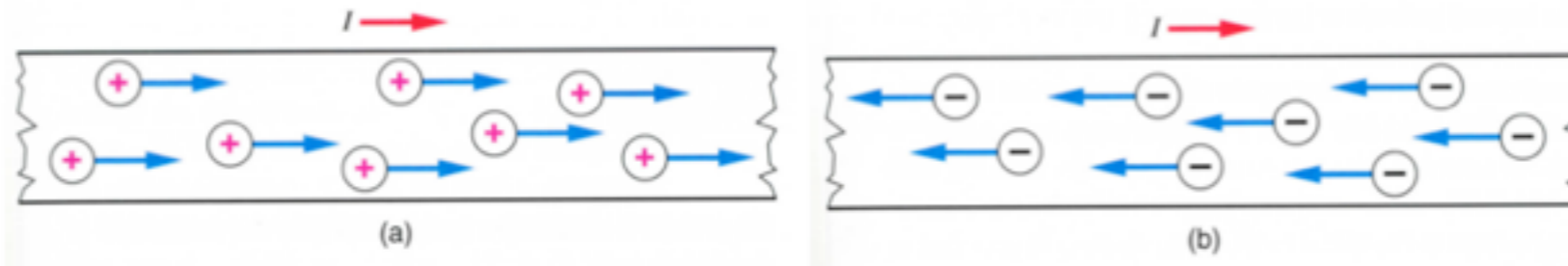
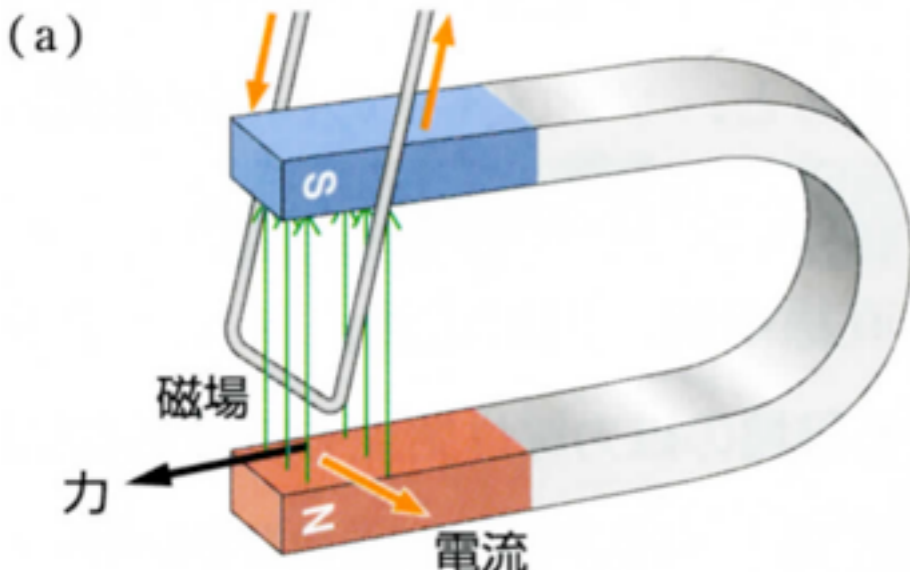
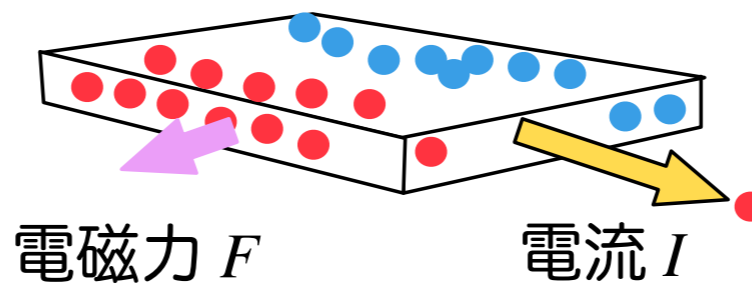


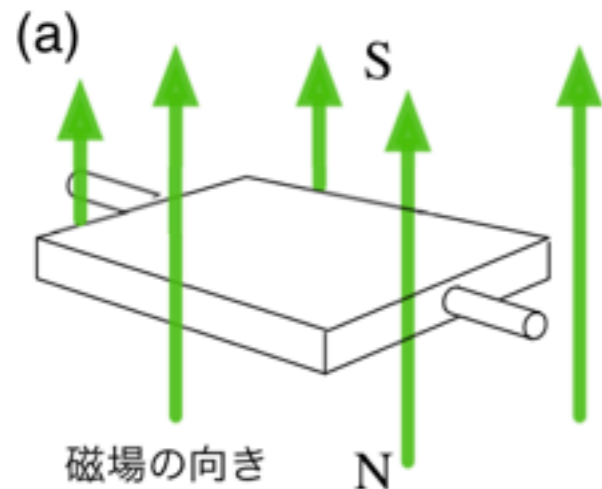
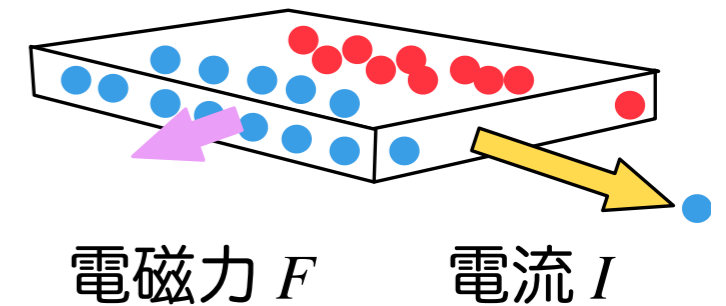
図 59: 電流の向きは、正の電荷が動いていても負の電荷が動いていても実質同じ。 [1]



正の電荷が電流の正体だとすると

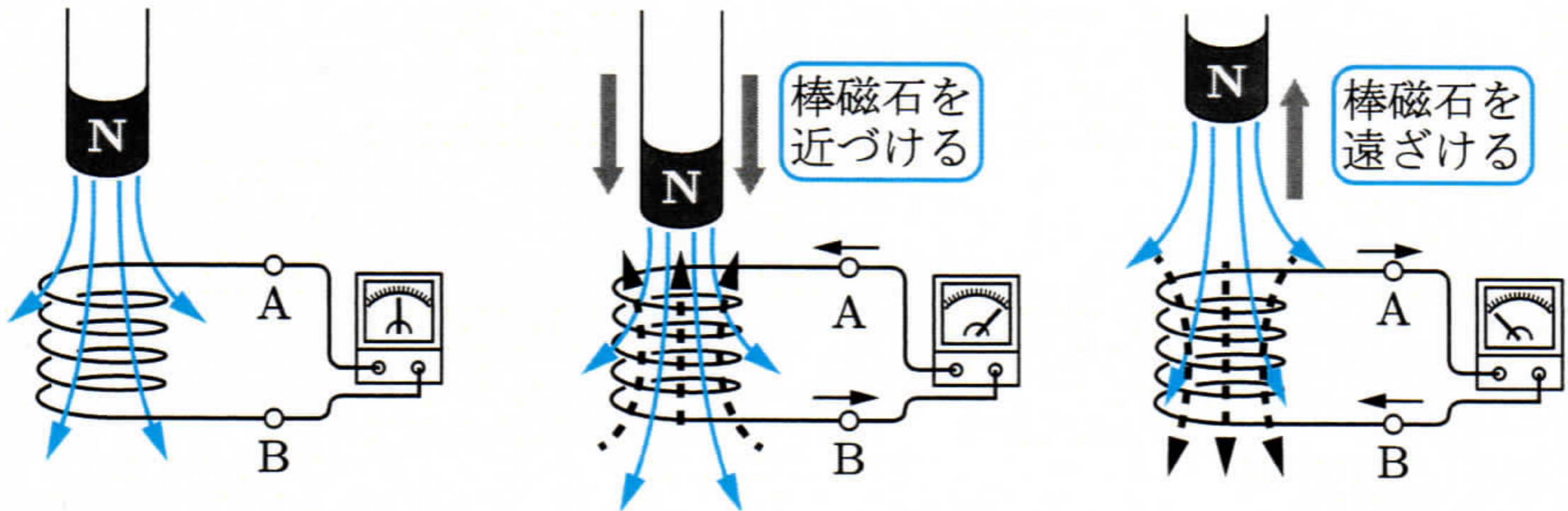


負の電荷が電流の正体だとすると



8.3.2 電流と磁気の法則 【法則3】

**性質3：コイル内の磁力線の数を変化させると、
誘導起電力が生じる。（電磁誘導の法則）**



(a) 棒磁石を動かさない (b) 棒磁石を近づける (c) 棒磁石を遠ざける

磁力線の数を保つように、
逆向きの誘導起電力が生じる

発電のしくみ

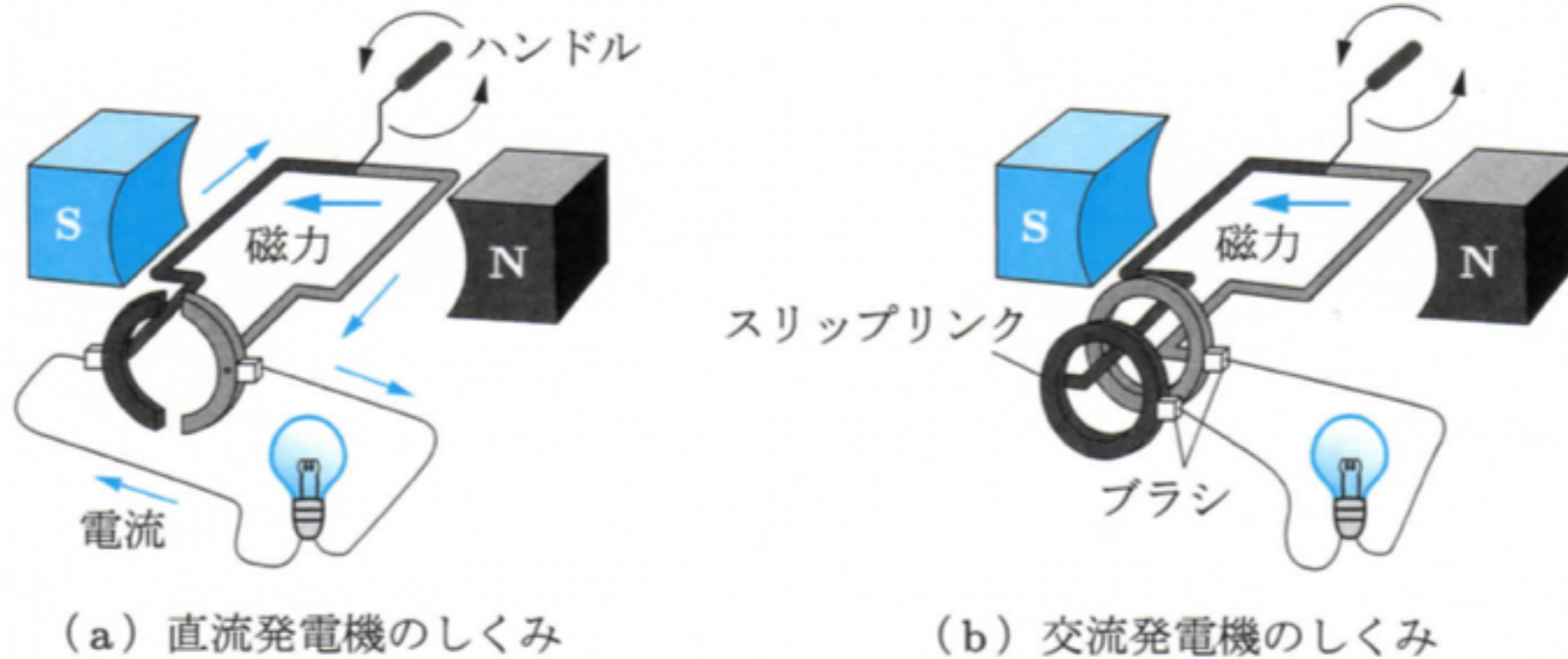
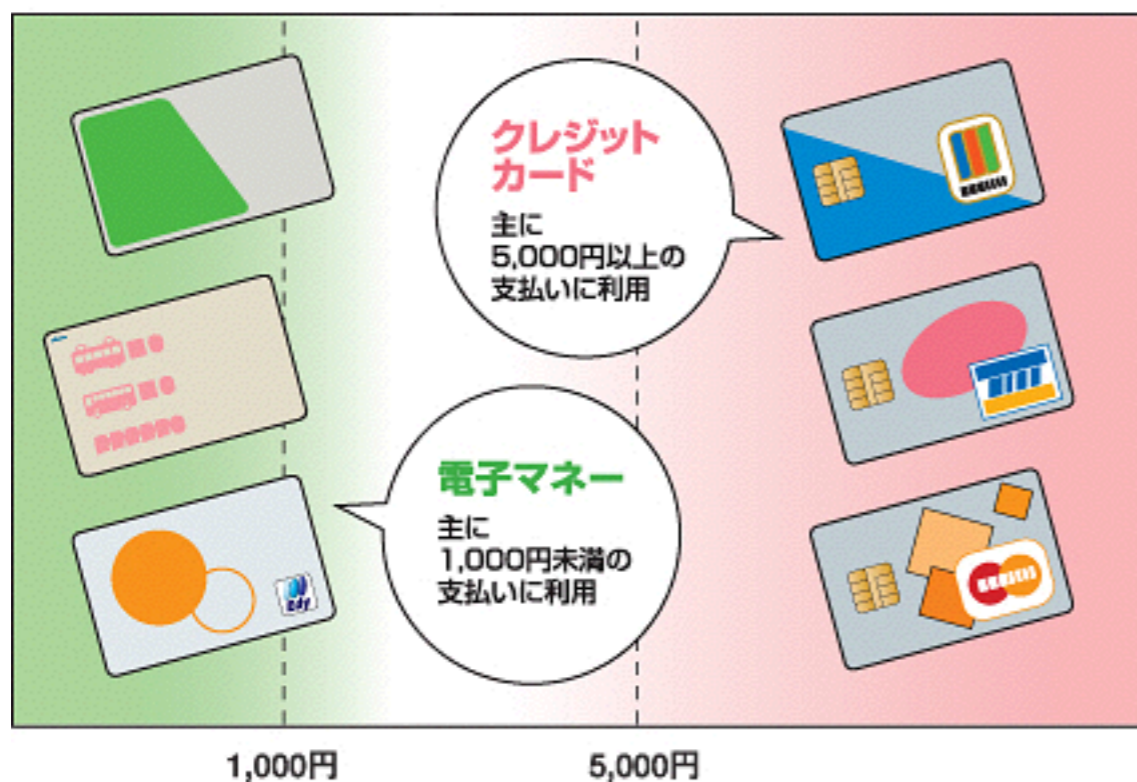


図 41: 発電機のしくみ 交流発電機も直流発電機も基本は同じ。両者の違いはコイルで発生する起電力の取り出し方である。構造は交流発電機の方が簡単だ。

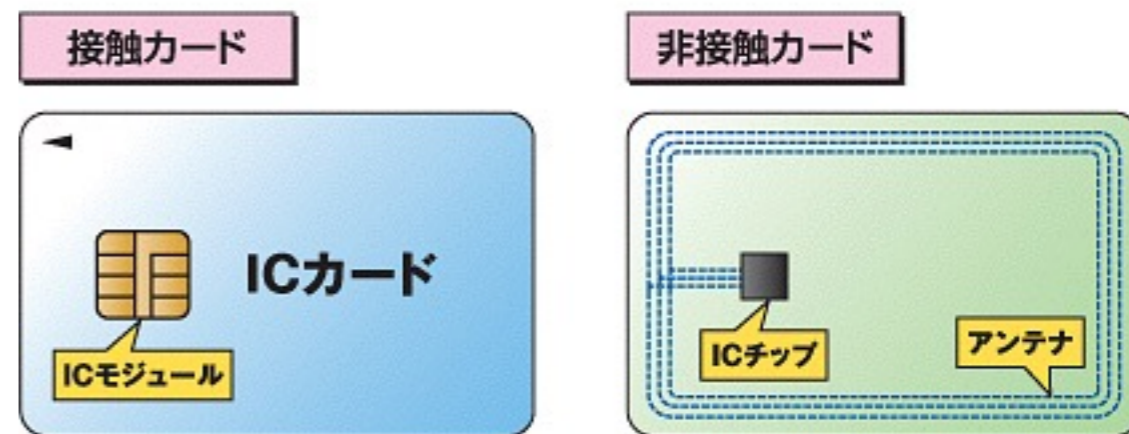
非接触型ICカード

IC=Integrated Circuit 集積回路

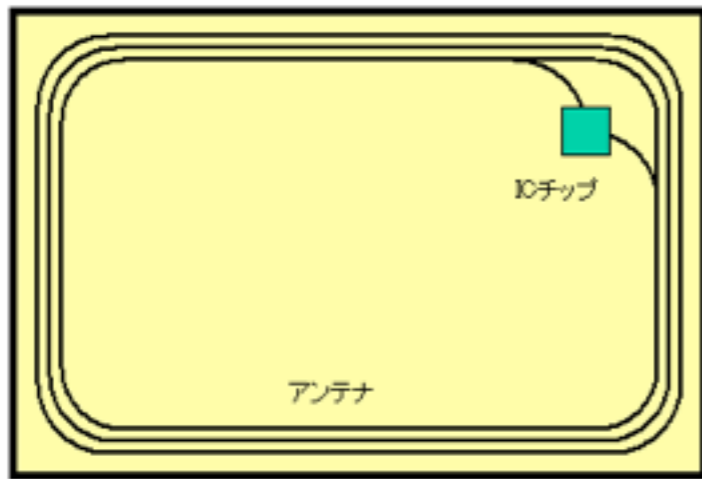
■電子マネーとクレジットカードの
小口決済(1回あたり)の目安(イメージ)



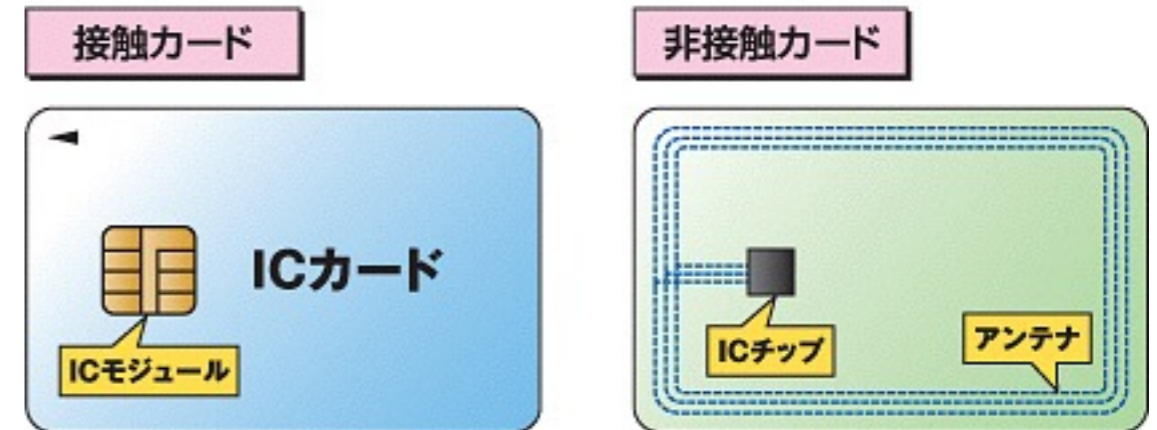
■接触型ICカードと非接触型ICカードの仕組み



非接触型ICカードのしくみ



■接触型ICカードと非接触型ICカードの仕組み

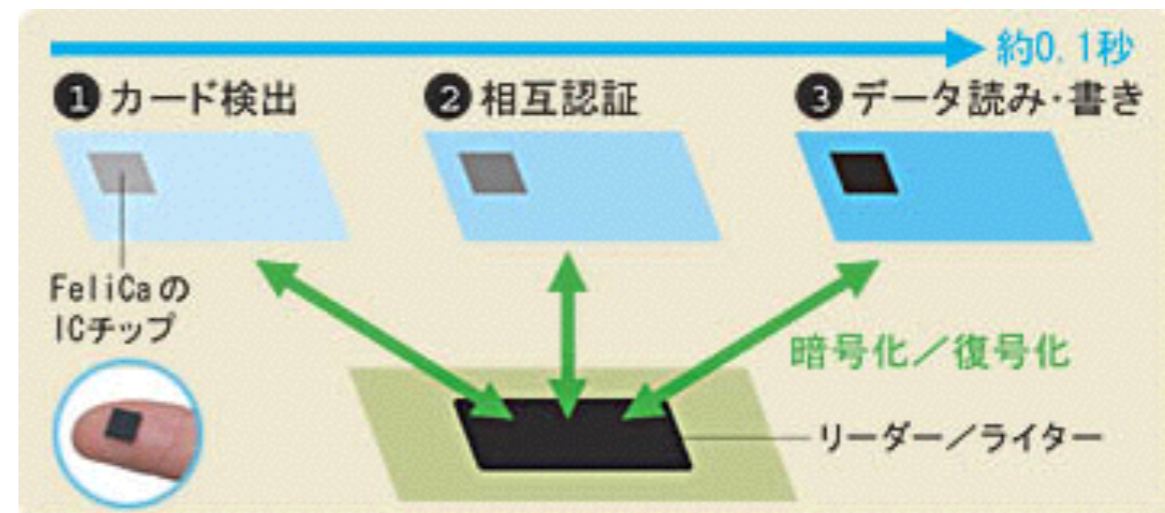
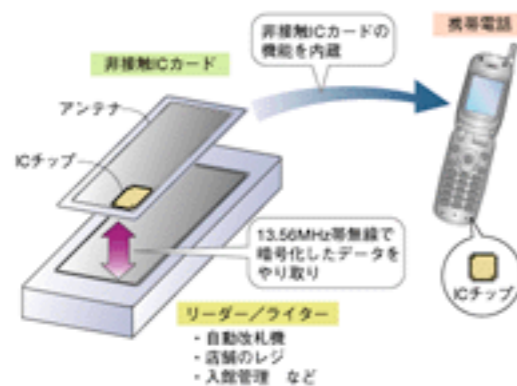


Felica

利用周波数：13.56MHz

データ転送レート：212Kbps

非接触型ICカード（近接型）



8.4 家電製品いろいろ — 最終進化形は何か

IHクッキングヒーター（電磁調理器）

IH=Induction Heating 誘導加熱

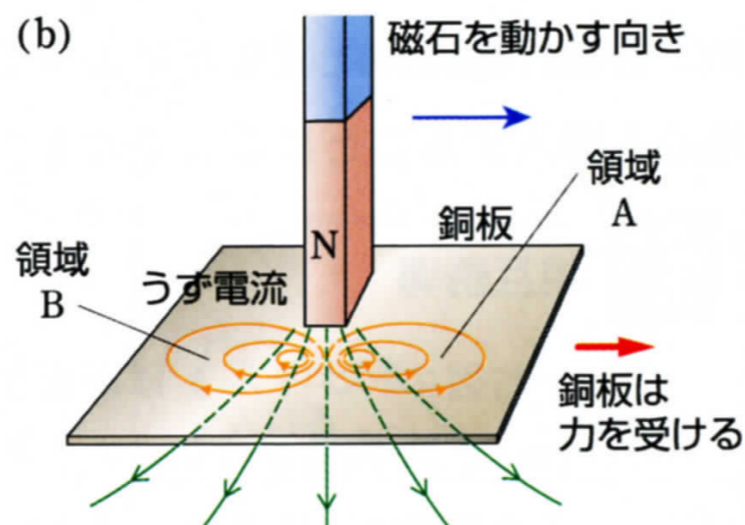
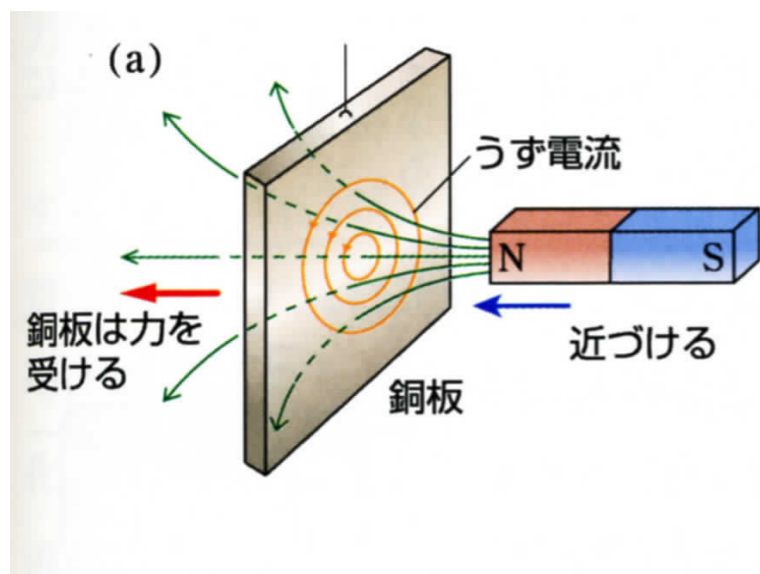
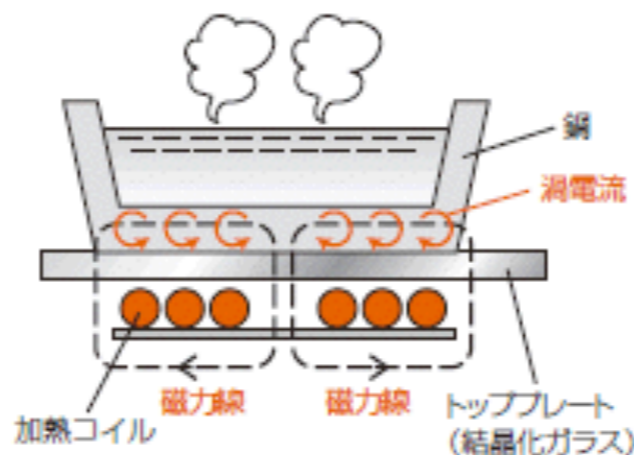
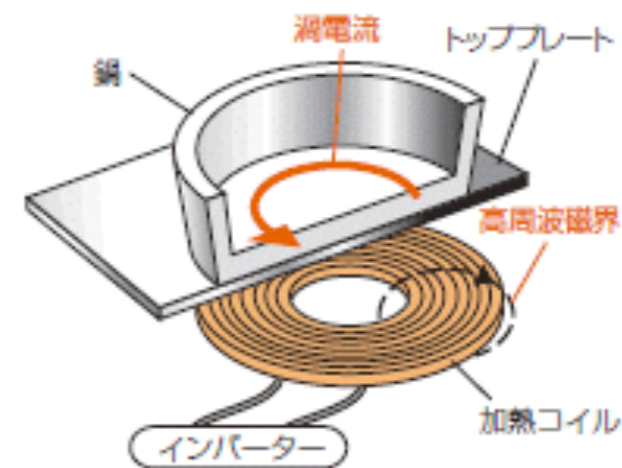


図1 IHクッキングヒーターの仕組み

■ 加熱の原理

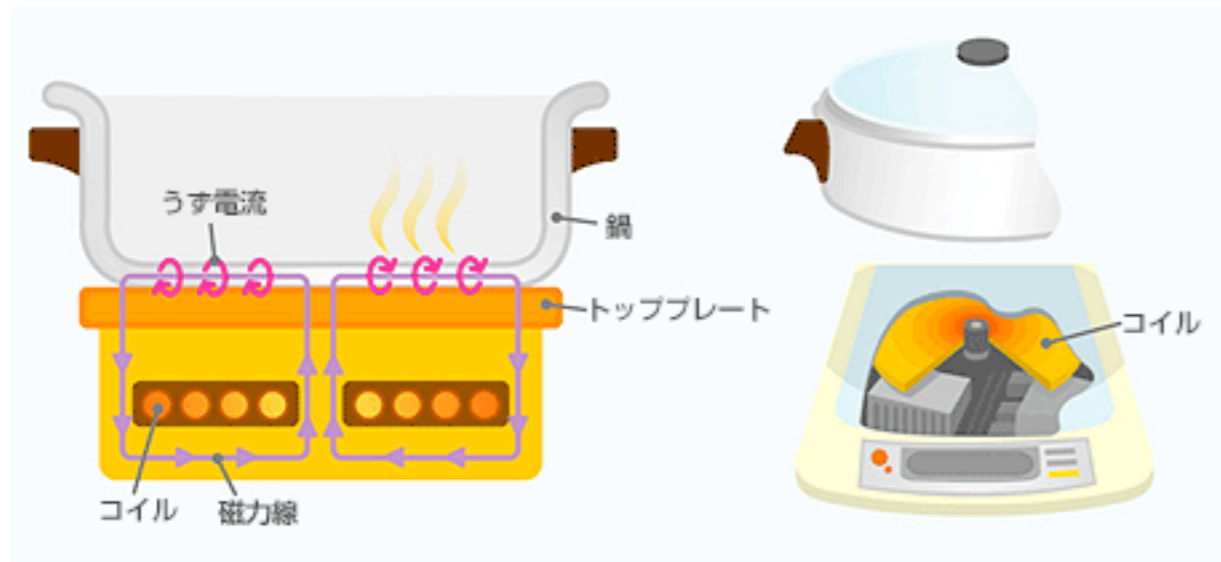


■ 内部の構造



IH調理器のしくみ

電磁調理器の仕組み



- 高周波の電気が流れる
- 磁力線が鍋を通る
- うず電流が発生する
- 電気抵抗により鍋が加熱する

抵抗の大きい金属ならば，ジュール熱が発生するので温まる。

==~~×~~銅やアルミなど電気抵抗の低い金属でできた鍋

==~~×~~底の薄い鍋

最近では，交流の周波数を上げて使える鍋の種類を増やしている製品も登場した

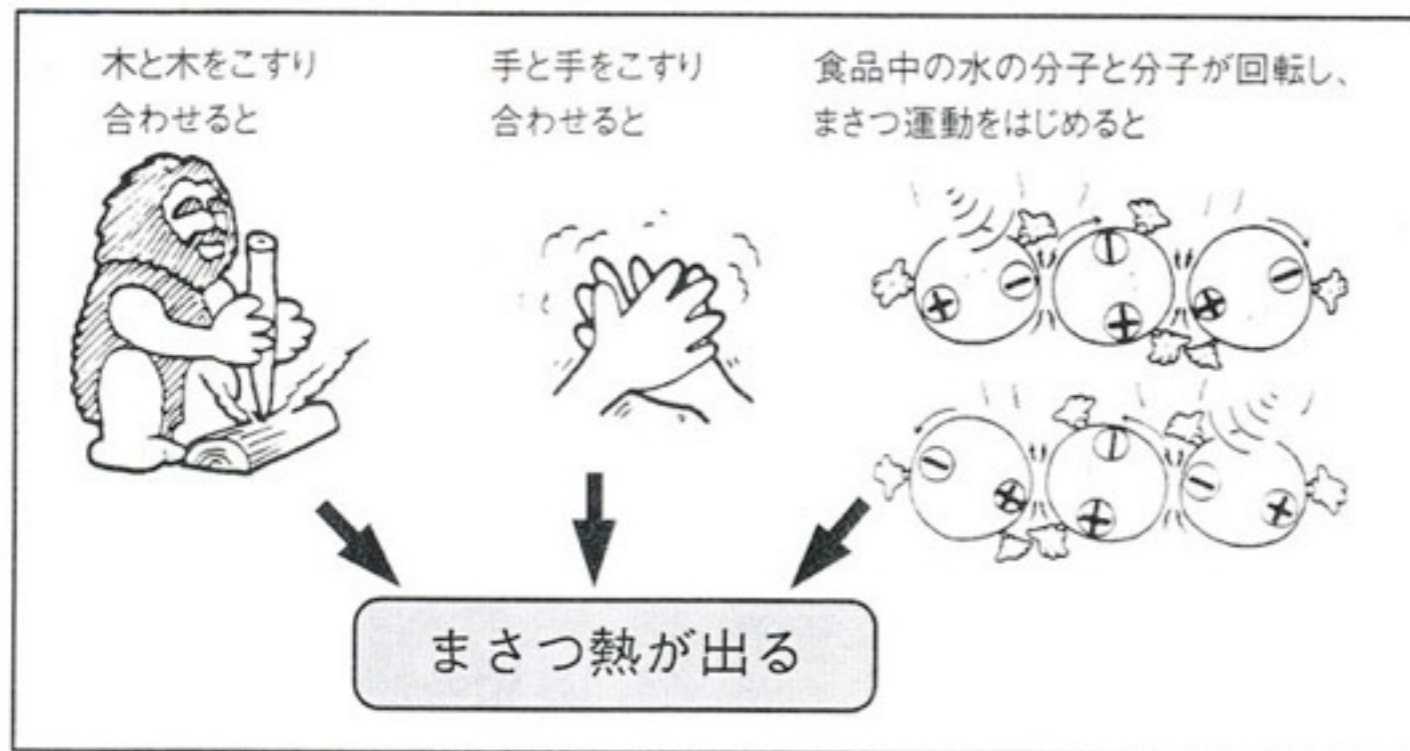
少しでも持ち上げると加熱されない。

<http://www.tdk.co.jp/techmag/knowledge/200501>

<http://panasonic.co.jp/ism/ih/>

電子レンジのしくみ

2450MHz の電磁波を照射し，共振によって
水分子の振動を激しくすることで加熱する。



電子レンジのしくみ

2450MHz の電磁波を照射し、共振によって水分子の振動を激しくすることで加熱する。

したがって、

- 水分を含んでいるものだけ加熱される。
 - ガラスや空の皿を入れても加熱されない。
 - 金属を含む皿などを入れてはいけない。
 - 卵をいれると爆発する。
 - 猫を入れてはいけない。
- 扉に金網が貼ってあるのは、**静電遮蔽**によって電磁波の漏れを防ぐためである。

中の皿が回転する商品が大ヒットしたので、電子レンジの中は回転するもの、というイメージが強いが、電磁波の発信源が上下左右にあれば、回転させるメリットはない。



平成 27 年 (2015 年) 度「宮水学園」マスター講座〈前期〉

日常は物理で満ちている —こんなところに自然法則—



真貝寿明

次回は、9月4日です。

- | | | |
|--------|----------|----------------------|
| 第 8 回 | 8 月 21 日 | 電気製品の物理——IC カードに寿命なし |
| 第 9 回 | 9 月 4 日 | 原子核の物理——核融合と核分裂の果て |
| 第 10 回 | 9 月 18 日 | タイムマシンの物理——相対性理論入門 |