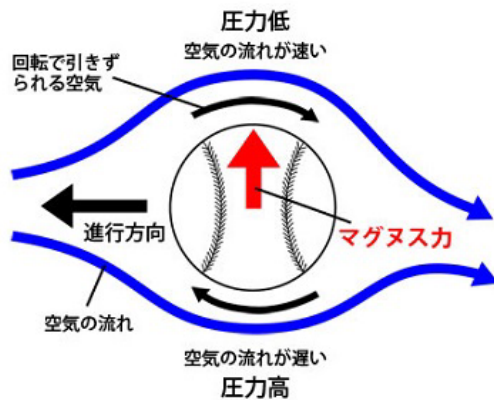


### 野球で直球を投げるには

空気中でボールに初速度を与えて投げた場合、ボールは空気の抵抗と下向きの重力を受ける。たとえば、ピッチャーが投げたボールの速さが遅いと、キャッチャーに届かずに落ちてしまう。そこで、ピッチャーは、投げるときボールにバックスピンという回転を与える。ボールが回転すると、ボールの上側と下側で、空気による圧力



に差が生じる。すると、この圧力差により、ボールには上向きの力(マグナス力)が加わることが知られている。

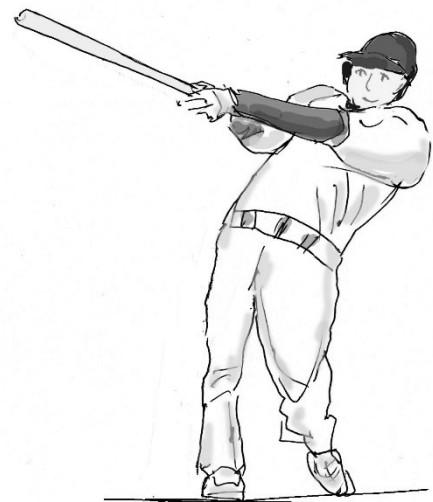
この力により、ボールが受ける下向きの合力の大きさが小さくなるため、キャッチャーに届くまで落ちないでほぼまっすぐに届くようにみえる。

直球といわれているものは、実は落ちない変化球なのである。



### 伸びのある打球、つまった打球

バットで打たれたボールもバットとの摩擦によって回転がかかる。このときにバックスピンがかかると、上の述べたのと同じように、マグナス力のはたらき上向きの力が発生する。すると、ボールが受ける下向きの合力の大きさが小さくなるため、飛距離が長くなる。これが、いわゆる“のびのある打球”である。一方で、トップスピンがかかると、マグナス力が下向きにはたらくので飛距離は短くなり、“つまった打球”となる。また、ライナーではときとして無回転の打球となることがある。



### 高地ではホームランが出やすい？

空気抵抗は空気の密度に比例するので、空気の密度が低い高地に行くほど、空気による抵抗力は小さくなる。このため、高地にある野球場ではホームランが出やすい。同じく、気温の高くなると空気の密度が低くなるため、空気による抵抗力が小さくなり。ホームランが出やすくなる。

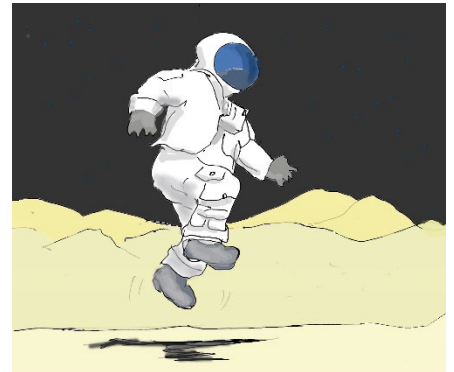
## 重力の不思議

自由落下運動で学んだように、地球上では、投げ出された物体は質量によらず、鉛直下向きに大きさ $9.8\text{m/s}^2$ の等加速度直線運動をする。それでは、地球以外の天体ではどうだろうか。

天体の運動を統一的に説明するために、イギリスの科学者ニュートンが物体間にはたらく力（引力）の法則を発見したことは聞いたことがあるだろう。天体の重力を理解するには、引力の法則を知る必要があるが、物理基礎の範囲を超えるので、ここでは「引力は天体の質量と半径に由来する」とだけ述べておく。

## 月面でジャンプすると

月面で宇宙飛行士が飛ぶように軽やかに歩いている画像を見たことがあるだろう。物体の質量は、月や火星に行っても変わらない。しかし、重力加速度の大きさは、天体の質量と半径に由来する（月の半径： $1737\text{km}$ 、質量： $7.3 \times 10^{22}\text{kg}$ ）ので、月では地球の約 $1/6$ （ $1.6\text{m/s}^2$ ）に小さくなる。重さは地球の $1/6$ になるので、月面の宇宙飛行士は飛ぶように歩けるのだ。地球上で $50\text{cm}$ 飛び上がれる人なら、月に行ったら $3\text{m}$ も飛び上がれることになる。

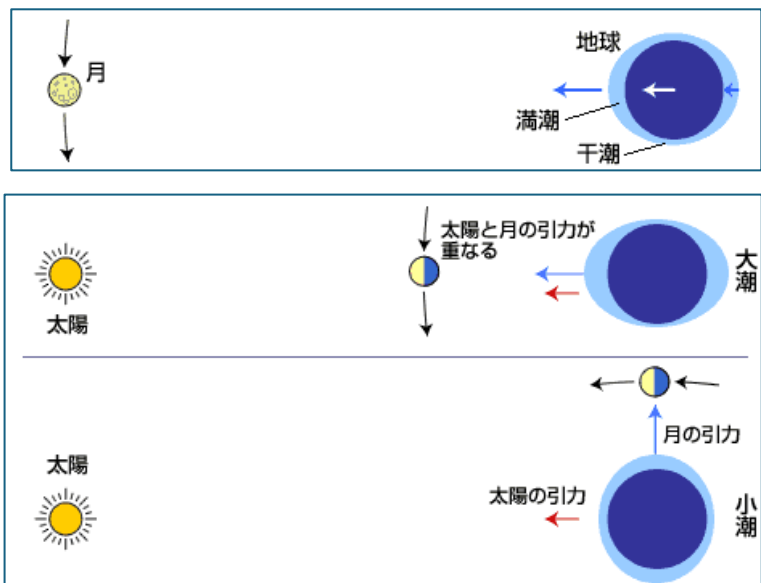


## 潮の満ち引きは月の引力による

干潮や満潮などの潮の満ち引きは、月の引力が引き起こす現象である。海水は液体のため、自由に動くことができるので、地球上で月に向けた面の海水は月の引力に引かれて少し持ち上げられ、満潮になる。そして、月と直角な方向では海水が低くなり干潮になる。

少し難しいのは、月に向かい合う地球の反対側でも満潮になることだ。これには、月の公転運動による遠心力が関係しているが、物理基礎の範囲を超えるので、詳しくは述べない。

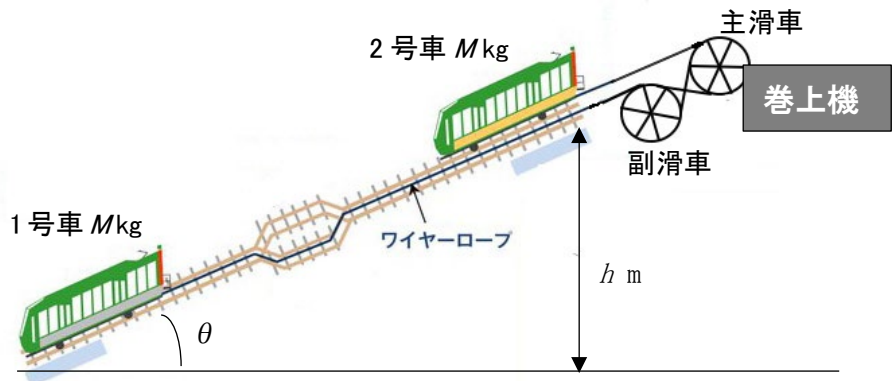
また、太陽の引力からも潮の満ち引きがおこるが、これは月の半分ほどの大きさである。月と太陽の引力がおたがいに助けあう新月や満月のころは、潮の満ち引きが大きく大潮となり、おたがいに弱めあう上弦や下弦の半月のころは、満ち引きの小さい小潮になる。



### ケーブルカーを動かすエネルギー

鉄道は、急勾配になると、線路と車輪のあいだにはたらく摩擦力だけでは走行することできない。そこで、ケーブルカーでは、山上の巻上機でケーブルを引っ張って車両を動かしている。1本の長いケーブルの両端に1両ずつ車両が取り付けられており、井戸のつるべのように片方の車両が引き上げられると、もう片方の車両が下りてくるというしくみで動いている。これを「交走式」とよぶ。

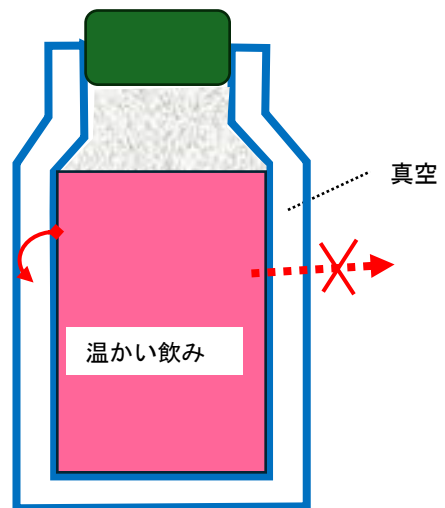
もし、1台のみの車両を、山上駅に引き上げるとすると、位置エネルギーの増加分および摩擦によるエネルギー損失をあわせたエネルギーが必要である。一方、つるべ式にすると、2台の車両の位置エネルギーの変化が打ち消し合い、エネルギーを必要としない。すると、巻上機が補わなければならないエネルギーは、両方の車両の乗客数の差による位置エネルギーの差と、2台分の摩擦によるエネルギー損失の合計だけである。



### 魔法びんに入れた温かい飲み物が冷めないわけ

熱の伝わり方には、熱伝導、対流、放射の3つがある。魔法びんは2重構造になっていて、外壁と内壁の間の空間は真空になっている。

- ① 真空にすることによって熱伝導を抑えている。
- ② びんに熱伝導率が小さい材料を使うことによりびんの内容物を通した熱伝導を抑えている。
- ③ 蓋をすることで、気体の対流を抑えている。
- ④ びん材料の真空側の面にメッキをしたり、鏡面研磨したりして、熱を反射して放射を防いでいる。



## 鉄道のレールの熱膨張対策

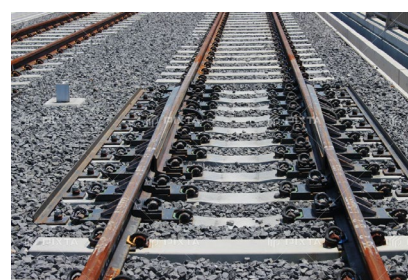
ほとんどの物質は、温度を上げると膨張する。鉄道で使われる鋼鉄製のレールは、温度が1°C上がると100万分の11だけ長さが伸びる。長さが25mのレールの場合、気温40°Cの真夏には気温0°Cの真冬と比べて、約1.1cm長くなる。通常はレールの継ぎ目に図2のようなすき間が空けてあり、伸縮に対応できるようにしてあるが、さらに温度が上がると線路がグニャリと曲がることもある（図1）。新幹線などでは、長さ200mのロングレールが用いられる。この場合、同じ40°Cの変化で、1本のレールが約9cmも伸びる。そのため2本のレールを斜めに重ねることによって、線路の伸縮に対応できるよう工夫されている。線路だけでなく、川にかかる橋なども同様に温度によって長さが変化する。そのため、伸縮に対応した継ぎ目が用意されている場合もある。



▲図1 高温で曲がった線路



▲図2 線路の継ぎ目



▲図3 ロングレールの継ぎ目

## 熱膨張を利用する温度計

水銀温度計は、温度が高くなると水銀が膨張する性質を利用したもので、体温計などに広く使われてきた。しかし、水銀の毒性の問題から、現在では製造や輸出入が禁じられている。

一方、アルコール温度計は、温度が高くなるとアルコールが膨張する性質を利用したもので、家庭用温度計などに用いられる。実際には、アルコールではなく、色つきの白灯油が使われることが多い。

金属の熱膨張を利用した温度計がバイメタル温度計である。バイメタルは、熱膨張率の異なる二種類の合金を接合し、板状に圧延したものである。バイメタルは、温度変化によって曲がって変形する。この性質を利用し、バイメタルを渦巻き状にし、中心に針を取りつけ、目盛板上に配置したものがバイメタル式温度計である。堅牢であり、針が指している目盛を読み取りやすいため、工業用途などによく用いられる。





### 3章 章末コラム

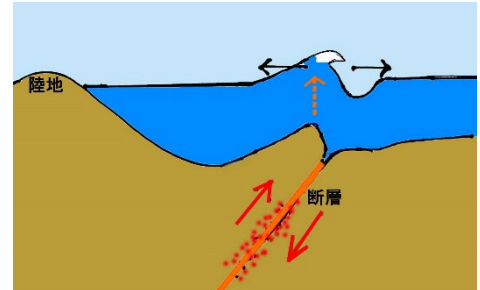
#### 津波と普通の波

日本では、東日本大震災、能登半島地震など、大きな地震のたびに津波に襲われ、多くの人命が失われている。津波はどのようにして起こるのだろうか。また、普通の大きな波は、どこが異なるのだろうか。



#### 津波の起こるしくみ

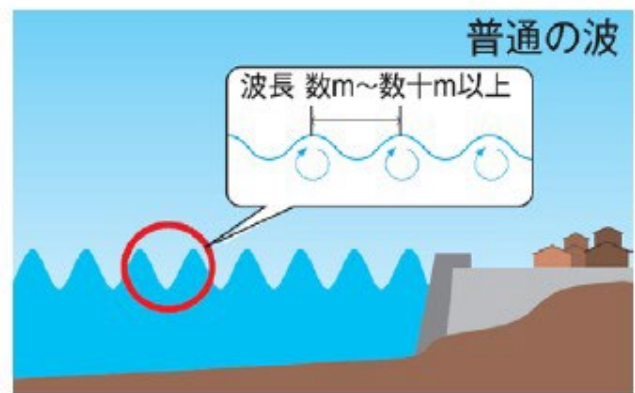
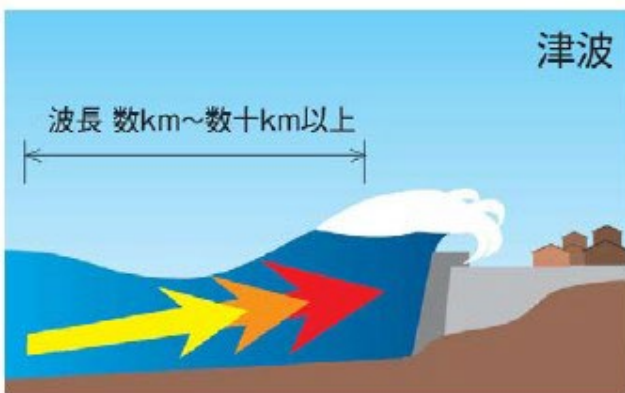
ほとんどの津波は、大地震によって海底の地盤が広い範囲にわたって破壊され、急激な海底の上下運動によって海水面の急上昇・急下降を生じ、それが波として伝わる。このほか、海底火山の噴火や、海底地盤の地すべりによって海水が変動し、津波になることもある。



#### 津波と普通の波のちがい

普通の波は、海上を吹く風によって発生した表面部分の海水のみの動きである。したがって、波のエネルギーも小さい。これに対して、津波は海底地盤の上下運動による巨大なエネルギーで海水全体を動かし、海面を上昇させる。このように、海水の変化が周囲に巨大な波として広がっていくのが津波である。

普通の波の周期は数十秒程度であるが、津波の周期は数十分にもなる。この長い周期のため、津波の押し波が長時間継続し、陸上の奥まで侵入したり、高い崖を駆け上ったり、川を数kmも逆流することがある。逆に、津波の引き波も長時間続くことから、津波にさらわれた建物や船が数kmの沖合まで流されることもある。

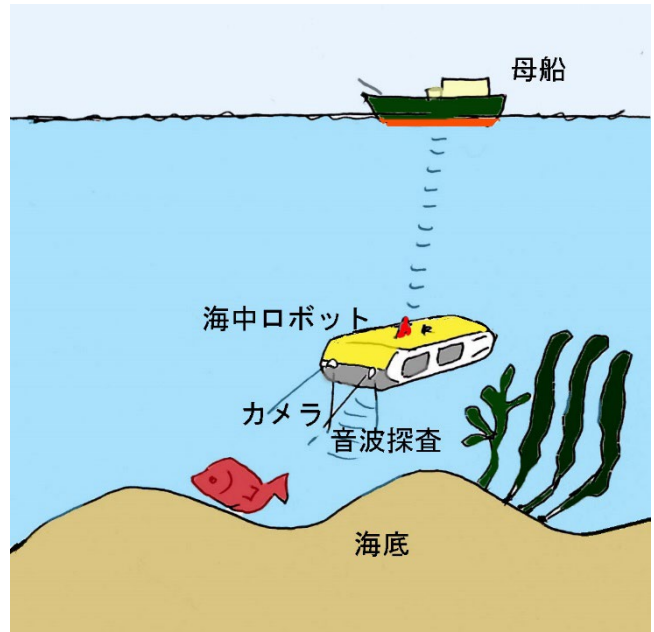


## 海中ロボットの通信に使われる超音波

水質調査や音響による地形探査には、自律型海中ロボットが利用される。自律型海中ロボットは、全自動で動作し、ケーブルなどが接続されていない。そのため、母船からロボットに指示をしたり、ロボットから母船にデータを送ったりする際には何らかの通信を行う必要があるが、無線通信に電波（→p. 148）を使うことができない。これは、電波は海中を伝わる際に弱まってしまう、深い海には届かないからである。このため、母船とロボットとの無線通信には超音波が用いられている。

水中での音の速さは約1500 m/sなので、深さ6000 mにあるロボットとの往復の通信時間は8 s

にもなる。深海のロボットを制御するときは、その時間の遅れを考慮する必要がある。また、超音波では電波のように多くの情報を送ることができないことも弱点であるが、海中で伝わる際に弱まらないという利点がある。



## 楽器の音色のちがいは

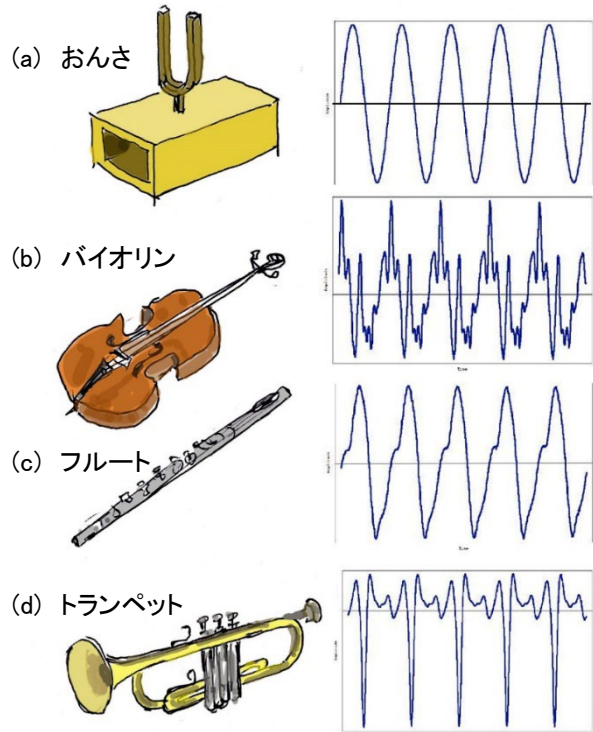
図の右側のグラフは、左に示した楽器の音の  $y-t$  グラフである。

おんさの音の波形は、図(a)のように、単純な正弦波で表される。このような音を純音という。

図(b)のバイオリンの音の波形は、複雑な形になっている。これは、純音に加えて、2倍、3倍、4倍振動の倍音加わったためである。そのため、音色も複雑になる。

図(c)のフルートの波形は、純音と2倍音の組み合わせのため単純な形に近く、比較的澄んだ音色となる。

図(d)のトランペットでは、7倍振動くらいまでの多くの倍音加わって、独特の音色をつくっている。

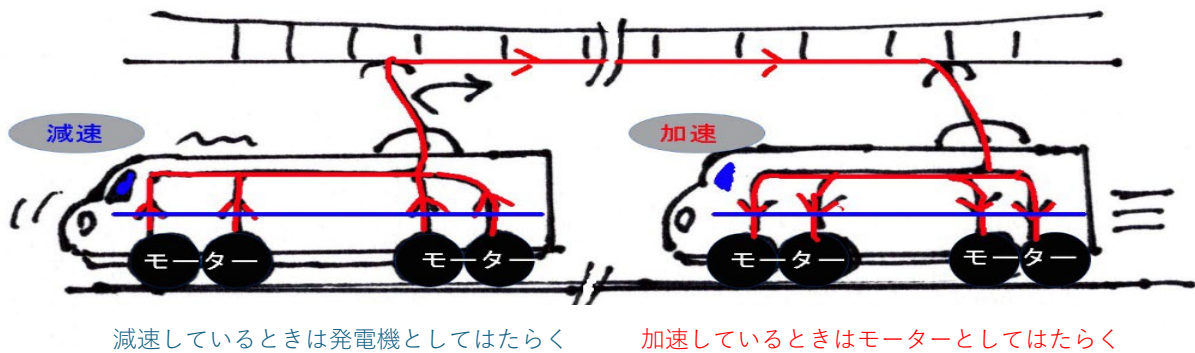
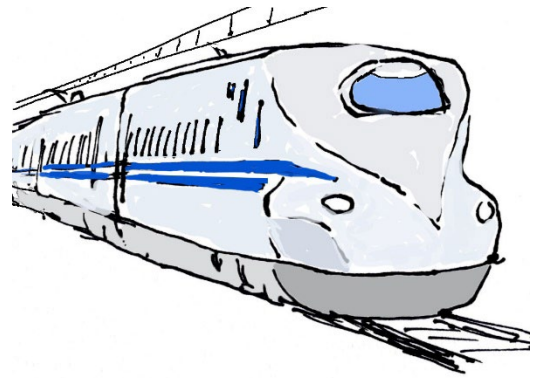


### 新幹線・電車は発電しながらとまる

新幹線や電車では、エネルギーを効率よく利用するために「回生ブレーキ」を使って減速している。

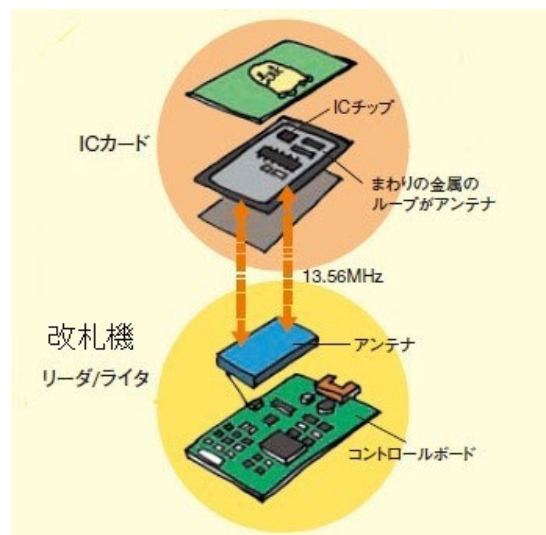
電車の動力源はモーターである。モーターは電気エネルギーを運動エネルギーに変換し、車輪を回転させている。一方、モーターの回転軸に力を与えて回転させると発電機になる。つまり、運動エネルギーを電気エネルギーに変換することができる。

電車の回生ブレーキは、減速しているときにモーターを発電機として使い、発電した電気を架線に戻して（これを回生という）、同じ架線から電気を受けているほかの電車のモーターを動かすという、エコな仕掛けである。回生ブレーキは古くから電車で使用されている技術だが、東海道新幹線N700系では、必要なブレーキ力のほとんどを回生ブレーキでまかなえるほど進化を遂げている。



### 交通系ICカードのしくみ

交通系ICカードのなかには、ICチップが入っている。ICカードには、メモリが搭載されており、16桁のカード番号や利用月日と利用駅、定期券かどうかの種別、残額など6種類のデータが約50件記録されている。改札機を通るときに、ICカードと改札機のリーダー/ライターの間で電波を使ってデータのやりとりが行われる。やりとりしたデータは、ネットワークにつながっているホストコンピュータへ情報が送信され、総合的なデータ管理を行っている。同時に、ICカードにも利用時に更新されたデータが書き込まれる。カードに電池が入っていないのにICチップを動かすことができるのは、改札機からの電波から電気を取りだして、ICチップに供給しているからである。





## 電子レンジのしくみ

電子レンジでは、マグネトロン(図2①)という真空管を使って発生したマイクロ波をアンテナ(図2②)から食品に向けて発射し、食品にマイクロ波(図2③)を浴びせる。マイクロ波とは、携帯電話や衛星放送に使われているような周波数の高い電磁波である。

この電磁波が食品にあたると、食品に含まれる水の分子が、1秒間に約25億回も前後左右にゆきぶられる。分子の振動(おもに分子の回転)のエネルギーによって、食品を中から温めることができるのである。つまり、食品に含まれる水分を熱源として、食品全体が温まるのである。



図1 電子レンジ

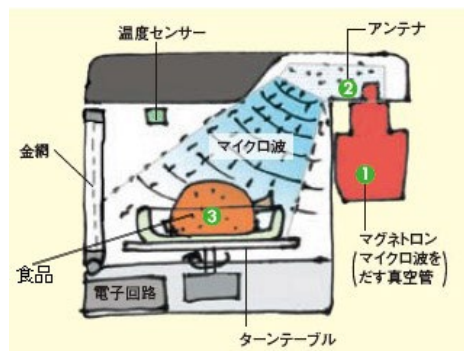


図2 電子レンジの原理

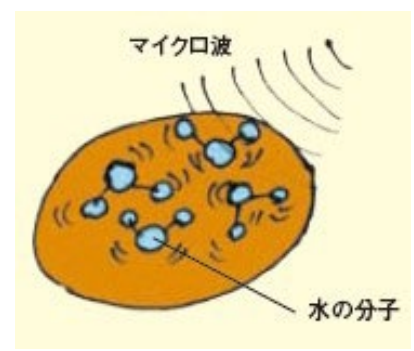


図3 マイクロ波による食品の加熱

## 微弱な磁気で心臓病を診断する

心臓疾患による死亡の割合は、がんに次いで2番目と高い。心臓病の早期発見や治療のために、高精度な心臓の検査が求められている。健康診断でよく使われる心電計は、胸や手足に電極をつけて、心臓で発生した電流の電位差を計測している。しかし、血液、骨、皮膚など体内組織を通り電極に到達する過程で電流の信号が変化してしまうため、疾患の場所を特定する精度が低い。

これに対して、心磁計は心臓の電流がつくる磁気の変化を測定する。磁気は体内組織の影響を受けることなく体の表面に到達するので、疾患部位を特定する精度が心電計よりはるかに高い。これにより、狭心症や心筋梗塞、不整脈の診断で、疾患部位を迅速かつ正確に特定できる。

人の心臓が発する磁気の大きさは、地磁気の100万分の1より小さい。心臓の微弱な磁気を検出するには、高感度の磁気センサーが必要である。従来は、超伝導を用いたSQUID磁束計が使われてきたが、装置が大がかりで冷却用の液体ヘリウムが必要であった。

そこで、小型かつ室温で動作する心磁計が開発された。この心磁計にはセンサーとしてハードディスクの磁気読み出しにも使われるTMR素子が使われている。この素子は、わずかな磁気で電気抵抗値が大きく変わる性質を利用している。TMR素子を使ったこの心磁計は安価でもあるため、多くの病院に導入しやすい。





いろいろな電灯と環境・エネルギー

白熱電球

図のように、電球の中にはフィラメントが固定されている。フィラメントという金属でつくられ、電流を流すと電気抵抗により電気エネルギーが2000～3000℃の高温になる。熱エネルギーの一部が光のエネルギーを発する。

ガラス球の中は真空あるいは不活性ガスが封入され、高温でフィラメントの劣化を防いでいる。

電気エネルギーのうち10%しか光エネルギーにならないので、エネルギー効率の低い電球は、使用しないことが推奨される。

電球の構造図

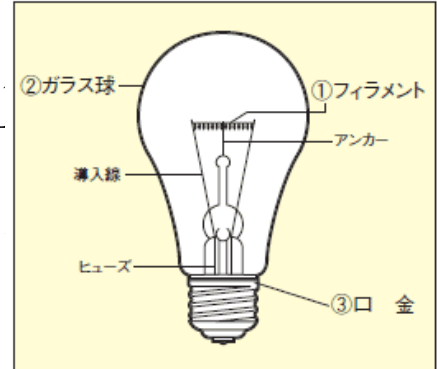
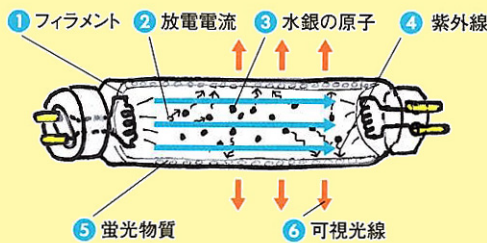


図 蛍光灯の発光のしくみ



蛍光灯

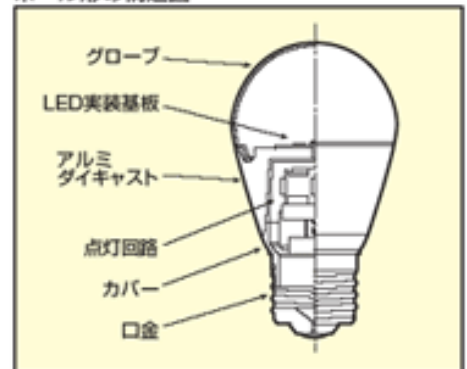
蛍光管は真空であるが水銀の蒸気がわずかに含まれている。蛍光管の両端にはフィラメント(図①)があり、点灯するとき最初にフィラメントに電流を流して温度を上げて電子を真空中に放出する。その後、両端のフィラメント間に高い電圧をかけると、真空中を電子が流れ(図②)、電子が水銀の原子(図③)にぶつくと紫外線(図④)が放出される。

紫外線がガラス管の内側に塗られた蛍光物質(図⑤)にあたると、赤・緑・青の可視光線(図⑥)を発光し、これらの光により白く光る。しかし、蛍光灯には水銀が使われているため、「水銀に関する水俣条約」により今後製造されなくなる。

LED 電球

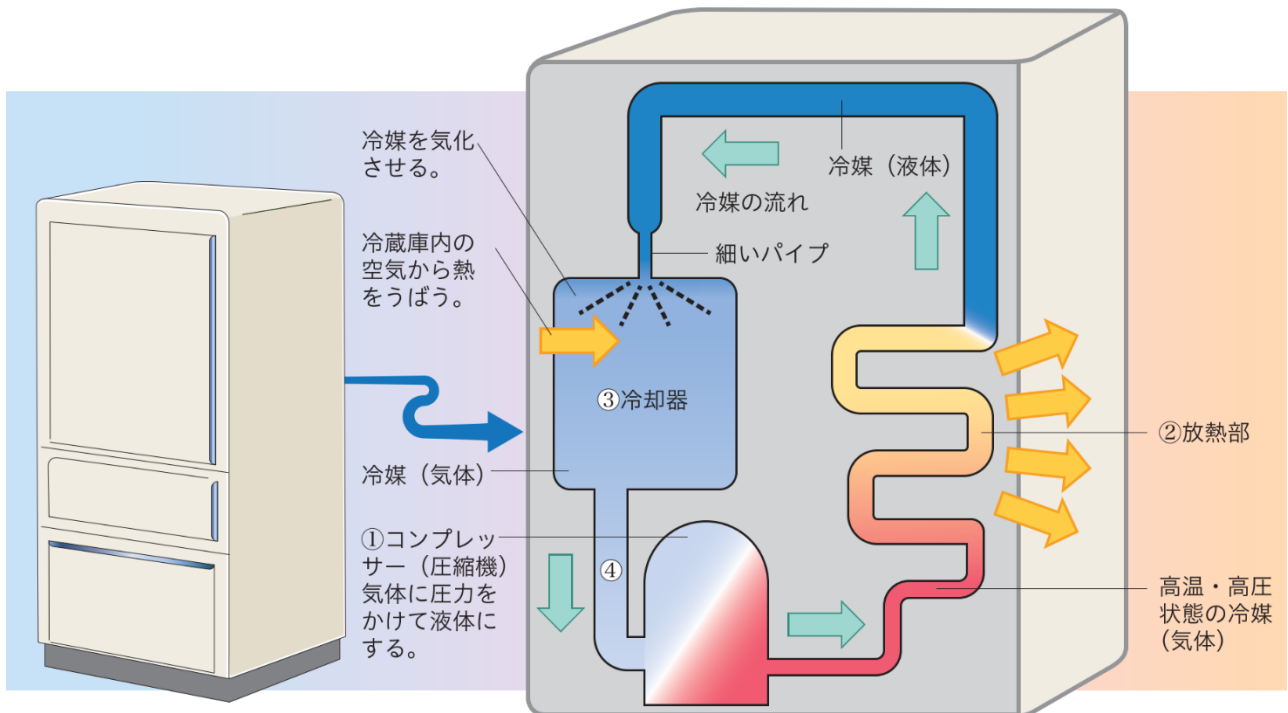
LED とは光を発するダイオードである。ダイオードとは、一方向にのみ電気が流れる半導体のしかけである。電流が流れると半導体の中で正の電荷と負の電荷が結合し、このときに青色の光を出す。この青い光を出すダイオードと、赤い光を出すダイオードと緑の光を出すダイオードの光を合成し、白く光るダイオードができる。LED 電球では、電気エネルギーの30-40%が光エネルギーに変換されるため、電球などに比べてとても効率が良い。青い光を出すLEDを発明した3名の日本人(赤崎勇・天野浩・中村修二)は、2014年にノーベル物理学賞に輝いた。

ボール形の構造図



## 冷蔵庫とヒートポンプ

下図は冷蔵庫のしくみを簡単に表したものである。冷蔵庫を冷やす部分には、冷媒とよばれる物質が入っている。冷媒が冷却器内で液体から気体に変化するときに蒸発熱を奪うため、冷却器が冷やされる。このとき冷却器の外側にある冷蔵庫内の空気が冷えて、冷気となる。この冷気が食品を冷やすのである。冷蔵庫では、冷媒が液体→気体→液体……という状態変化をくり返す際に、冷蔵庫内の熱を外気に運んでいる。電気エネルギーは気体を圧縮して液体にするコンプレッサーを動かすために使われる。このような装置をヒートポンプとよぶ。エアコンのしくみも、基本的には同じである。



### ▲冷蔵庫が冷えるしくみ

- ①気体の冷媒をコンプレッサー①で圧縮すると、圧力が高くなり、温度も上がる。
- ②冷媒は放熱部②で外部に熱を放出し冷却されて液体になる。液体になった冷媒は、冷却器③へ導かれる。
- ③冷媒は冷却器③の中に霧のように吹き出され、液体から気体④へと状態変化するが、このときに周りから蒸発熱を奪うので、冷却器の温度が下がる。
- ④気体になった冷媒は、ふたたびコンプレッサー①に送られて圧縮される。

## エアコンで暖房できるわけ

ヒートポンプの内部では、沸点の低い物質が循環している。熱が逃げない状態で、気体や液体を急激に圧縮させたり、膨張させたりすると、温度が変化するしくみを利用している。家庭用エアコンの場合は、使用する電気エネルギーの約6倍のエネルギーを暖房に活用できる。

