

中性の物質が なぜ電気を帯びるのか

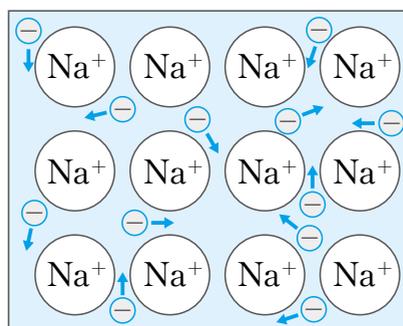
—— 静電誘導

● 自由電子と束縛電子

物体には金属のように電気をよく通す**導体**と、紙やプラスチックのように電気を通しにくい**不導体**（**絶縁体**）があり、中間のものを**半導体**と言います。

金属は、金属中のどの原子にも属さない自由に動く**自由電子**を持っていて、**自由電子が自由に移動することで電気を伝えています。**

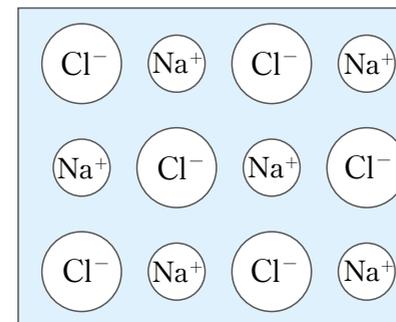
図 2-1-1 ● 金属中の自由電子



一方、プラスチックなどの不導体の電子はすべて原子や分子に属し、自由に移動することができない**束縛電子**となっています。ですから電気を伝えにくいというわけです。

ということは、一度、電気が貯まると電気を貯めたまま逃がしにくいと言えます。

図 2-1-2 ● 不導体中の電子



● 静電誘導によって電気が現れる

さて、それでは電気を帯びていない金属などの導体のそばに帯電した物体を近づけるとどうなるのでしょうか？

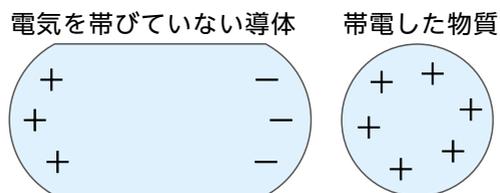
例えば、プラスの電気に帯電した物体を、電気を帯びていない導体のそばに近づけると、帯電した物体に近い側にマイナスの電気が引き寄せられます。

もともと、電気を帯びていないということは電氣的に中性ということですから、帯電した物体と遠い側では、プラスの電気が残ることになります。

このように、もともと電氣的に中性だった物体が、**電荷が近づくことにより、その側に異種の電気が、遠い側に同種の電気が現れる**ことを**静電誘導**と言います。

静電誘導によって生じた正負の電気量は等しくなります。

図 2-1-3 ● 静電誘導によって生じた正負の電気

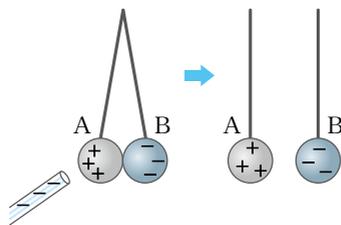


● ふち実験 ● 「静電誘導」を確認する

アルミ箔をまらめて2つの金属球 A、B をつくります。金属球 A、B にナイロンなどの糸をセロハンテープで貼って、両球を接触させて吊るします。

金属球 A にティッシュペーパーでこすって負に帯電したストローを近づけてから、金属球 A と金属球 B を引き離してみましょう。

それぞれの金属球はどのように帯電するのでしょうか？



(実験結果) 球 A は正に帯電し、球 B は負に帯電します。

● 静電誘導と電気力線

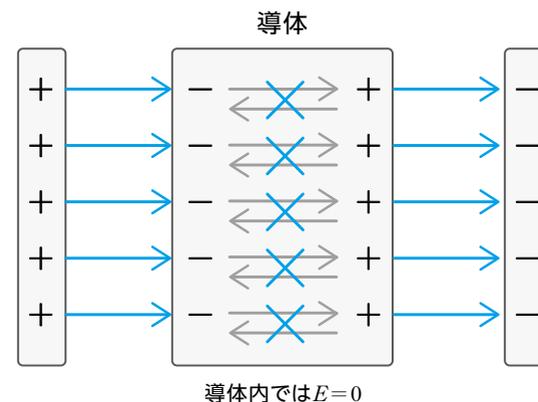
もう少し静電誘導の性質について見ていきましょう。

電場内に導体を置くと、静電誘導により導体の内部では、自らの

正電荷から負電荷に向かう向きに電場が生じます。

この電場の向きは外部電場と逆向きで、外部の電場を打ち消し、電場の大きさは0となります。その結果、導体の内部には、**電気力線**が入らない、つまり0本 ($E=0$) となります。

図 2-1-4 ● 導体を電場内に置くと……



もし、導体内部の電場が0でない場合は、電場から電子が力を受けて移動し電流が流れます。この現象は、電場の大きさが0になるまで続くことになります。したがって最終的には導体全体が等電位となります。

このことから導体の表面は**等電位面**となり、電気力線は導体表面に垂直に入ります。

もし、導体に中空部分がある場合は、外部からの電気力線は上述したように内部に入り込めないため、**中空部分の電場は外部の電場の影響を受けない**こととなります。これを**静電遮蔽**あるいは**シールド**と言います。



なぜ、ほこりや紙くずは 静電気で引き寄せられるのか

—— 誘電分極

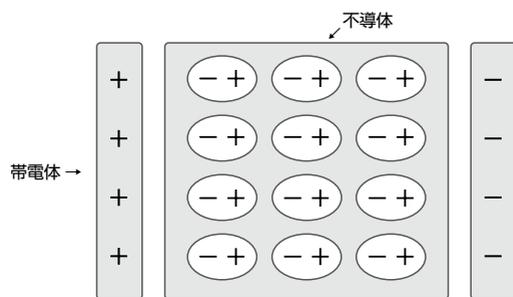
ほこりや紙くずなどは、静電気で引きつけられます。正に帯電したのものにも、負に帯電したのものにも引き寄せられます。

どうしてこのような現象が起こるのでしょうか？

ほこりや紙くずは電気を通す導体ではないので、**不導体（絶縁体）**と言います。不導体に帯電体を近づけると、帯電体に近い側の不導体の表面に帯電体と異なる電気が現れ、出現したこの電気と帯電体の電気が互いに引き合います。

**不導体では、電子は原子や分子から離れて自由に動きまわること
はできませんが、帯電体の静電気力を受けて、図のように原子や分子の電子配置が偏ります。**

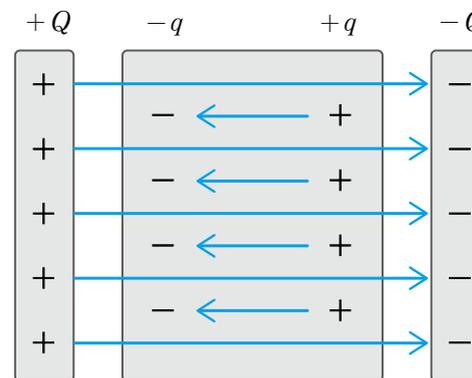
図 2-3-1 ● 不導体の偏った電子配置



もう少しくわしく説明すると、不導体の内部では正負の電気の一部は打ち消されますが、導体のときのように完全に打ち消されて0となるようなことはなく、若干残ります。そのため不導体の表面の帯電体の側には、帯電体と異なる電気が残ります。

このように**不導体の表面に異種の電気が現れる現象を誘電分極**と言います。このため、不導体を**誘電体**と言います。

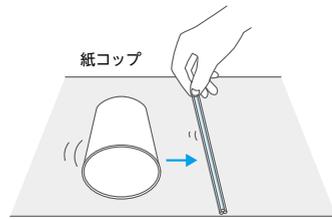
図 2-3-2 ● 不導体の誘電分極



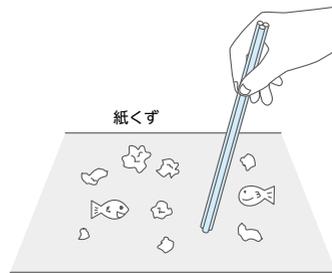
例えば、不導体を間に入れない状態で、+極板が $+Q=+10\text{ C}$ 、-極板が $-Q=-10\text{ C}$ 帯電していたとする。このとき、この隙間に不導体を入れると、+極板に向き合う側に -10 C の電荷が現れるのではなく -7 C 程度しか現れない。-極板の側でも同じである。ということは、不導体の内部に $10-7=3$ のように、電気力線が残る。静電誘導では $+10-10=0$ となり、電気力線は残らなかった。これが、静電誘導における静電遮蔽とは異なる点である。

●ふち実験● 「誘電分極」の実際を目で見る

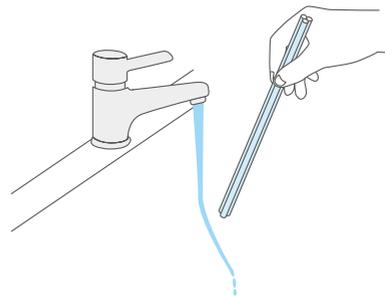
① 机の上に横倒しに置いた紙コップに、ティッシュペーパーでこすったプラスチックのストロー（負に帯電）を近づけてみましょう。誘電分極で、紙コップがストローに引きつけられていきます。ストローは3本たばねて使いましょう。



② 机の上に紙くずを並べ、ティッシュペーパーでこすったストローを近づけてみましょう。いくつ紙くずを釣ることができるでしょうか？ 紙くずを魚の絵などにしておくと楽しいですね。ストローは3本たばねて使いましょう。



③ 水道の水を流しておいて、これにティッシュペーパーでこすったストローを近づけてみましょう。水道の水がストローの側に引きつけられます。ストローは3本たばねて使いましょう。



2-4

地球は電気を貯めることができるか

——コンデンサーの電気容量

● 導体球表面の電場の状態

絶縁体は、電気を貯めやすいことがわかりました。しかし、長い絶縁棒で支えた金属球や、地球のように宇宙空間で孤立した導体球に $+Q$ の電荷を与えた場合も、電荷は逃げず、その物体に留まります。ここでは話を簡単にするため、絶縁体でなく導体球で考察してみましょう。

導体球の場合、内部に電荷が入らず、導体球表面に電荷が留まります。それでは、導体球のまわりの電場の状態を考えてみましょう。

導体表面に $+Q$ の電荷が一様に広がっているとします。導体球の半径がいくらであっても、この導体球から放出される電気力線の本数 N は、

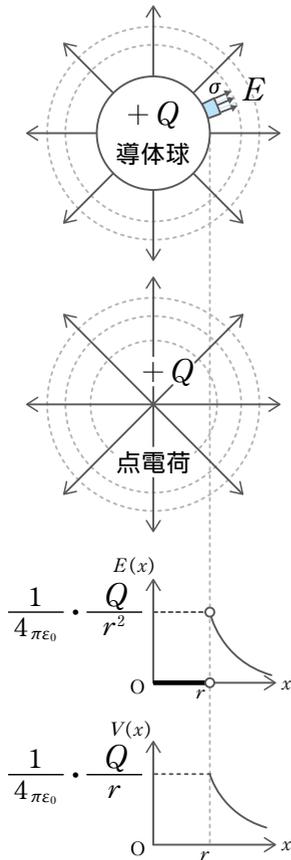
$$N = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (\epsilon_0 \text{は真空の誘電率})$$

なので、導体表面での電場の大きさ E は、半径が r の導体球の表面積は $S = 4\pi r^2$ であることにより、

$$E = \frac{N}{S} = \frac{Q}{\epsilon_0 S} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

となります。

図 2-4-1 ● 導体球の電位



導体球のまわりの電場のようすを電気力線を活用して描いたもの。導体球内部に電気力線は入らないので、内部の電場 E は $E=0$ となる。

3つ目の図は、導体球の中に電荷は入らないので、電場は0であることを示す。電場が0なので、4つ目の図に見るように絶対電位も不変である。

わかりにくい人は、太陽を地球の位置から観測すれば大きな球体に見えますが、宇宙の遠くから太陽を観測すれば、点にしか見えないのと似たイメージで考えてください。

さて、このようなことから電位についても、導体球の表面および外部では、

$$V(x) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{x} \quad (\text{ただし、} x \geq r)$$

となることがわかります。

導体球の半径は r 、電荷は $+Q$ なので、導体球の表面、つまり導体球自身の電位 V は、

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

となります。

導体球について r は定数なので、 V は Q に比例します。ここで、 $C = 4\pi\epsilon_0 r$ と置くと、

$$V = \frac{Q}{C} \quad \text{または、} \quad Q = CV$$

となり、 C は導体球についての定数となります。

この C を導体球の**電気容量**と言います。

● 1F (ファラッド) という単位

導体球の場合、**電気容量 C は球の半径に比例したわけ**です。

電気容量の単位は **F (ファラッド)** を用います。**1F は、1C の電荷を与えると 1V だけ電位が上がる導体の電気量**と定義します。

そうすると、 $1F = \frac{1C}{1V} = 1 \frac{C}{V}$ となります。

ところで、F というのは実はとても大きな単位です。

仮に地球と同じ大きさの導体球があった場合の電気容量は、地球の半径を R とすると、 $C = 4\pi\epsilon_0 R$ です。



大規模水力発電から マイクロ水力発電まで

—それぞれのメリット・デメリット

●水力発電の分類

水力発電は、水が高いところから低いところに移動する際の位置エネルギーを利用して、水車で発電機をまわして発電するものです。

水力発電の規模は発電出力によって、**「小水力発電」**「**中水力発電**」**「大水力発電**」に分類されます。

小水力発電は最大出力が1000～1万kW、中水力発電は1万～10万kW、大規模発電は10万kW以上です。

小水力発電以下はさらに、「**ミニ水力発電**」100～1000kW、「**マイクロ水力発電**」100kW以下に分けられます。

マイクロ水力発電はSDGsが意識されている現在、大いに注目されています。

●大規模水力発電の問題点

さて、大規模水力発電の問題点は、やはりダム湖の問題です。

ダム湖をつくるには、1つには村全体を湖の底に沈めてしまうというような問題点があります。

また、ダム湖の設計思想として100年分の土砂の堆積を考えており、100年後にはダム湖が土砂で埋まってしまい、利用できなくな



●田子倉ダム（福島県）許可出力40万kWで日本第2位

ってもよいということが前提になっています。

ダム湖の寿命を延ばすために、底に貯まった泥を抜く装置を持ったダムも建設され、その効果の実験がされたことがあります。

しかし、ダム湖の底に貯まった泥が海に流れ出して海水を汚染してしまい、魚が取れなくなるという漁業問題を引き起こして、せっかくの泥抜き装置ではありませんでしたが、その後は使われなかったことになってしまいました。

大規模水力発電も、再生可能エネルギーとされますが、このような致命的な問題を抱えているという点には目を向けておく必要があります。

一方、年によっては異常渇水でダム湖が干上がったたり、また大雨が連続することで、ダム湖周辺での土砂崩れなどの災害を引き起こす原因にもなっています。

われわれ人類は、自然を完全にコントロールできるわけではありません。台風の進路さえ完全には掌握できませんし、竜巻がいつ起



こるか、地震がいつ起こるかについても、完全に予想できるレベルには達していません。

つまり、大量の水が噴き出した場合、その水をコントロールできないのです。

● マイクロ水力発電の問題点

では、マイクロ水力発電はどうでしょうか？

実は、まったく問題がないというわけではありません。小さな小川と思っても地権はありますし、同時に水利権もあるので、ここは十分に調べておいてからはじめないと大変な問題を引き起こすことになります。

マイクロ水力発電機を設置することで、魚への被害が出る場合がありますし、また、水を完全に汚さないという保証もありません。

何台ものマイクロ水力発電機が数珠つなぎのように1つの小川に並べば水の流れも遅くなり、水の浄化能力も低下してしまう場合があります。

最初の1台、2台のあいだはいいですが、それが普及し、一家に1台などとなると、いろいろと整理をしないといけないことが起こってきます。

それと、これは水力に限らず、風力も太陽光もそうですが、現在は発電に有利な土地を探してそこに設置すればいいかもしれませんが、気候変動が生じて風の吹かない土地になったり、雨の降らない乾燥地になったり、逆に雨が降ってばかりで晴れない土地になったりすることは十分に考えられます。

カスピ海が干上がっていているように、人為的な行為のために

自然環境が悪化している例もあります。

ですので、水力発電・風力発電・太陽光発電とも、建設費などの元を30年で取り返そうなどと思っ**てはいけません**。30年間、その土地の気候がもとのままで変わることなどない、という保障はどこにもないのです。

● 大規模水力発電所の構造

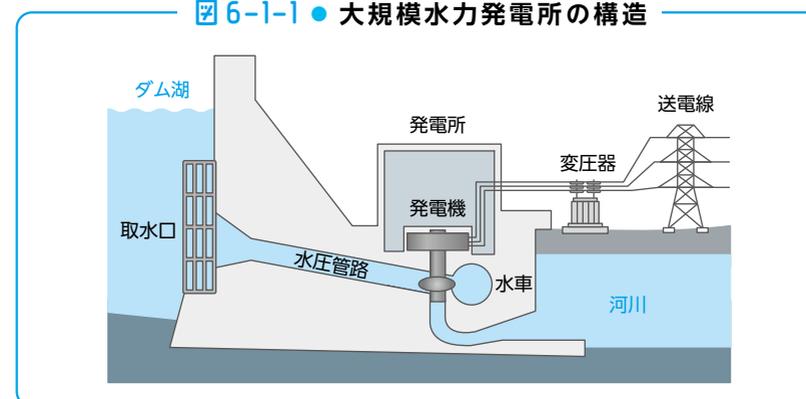
それでは、まず大規模水力発電所について見てみましょう。

大規模水力発電所の場合、流れ込み式と言って河川の流水を利用してのもの以外の多くはダム湖を持ち、水をダムに貯め、水が移動する際の位置エネルギーを利用して、水車で発電機をまわして発電しています。

ですから年間を通して安定した発電が行なえるように、大きなダム湖に水を貯めることが重要です。

大規模水力発電では、取水口をダムの高い場所に置くと水不足で水位が下がったときに発電ができなくなるため、取水口はダムのや

図 6-1-1 ● 大規模水力発電所の構造



や低い位置に取りつけられています。

また、滝のように水の落下を利用すると空気抵抗で流速が落ちるので、水は水圧管路の中を通して水車に送り込まれます。

発電機の回転数は機種によっていろいろあります。1分間に100～1200回転し、発生する電気の電圧は3000～1万8000V程度です。

● 発電所から家庭まで

発電所でつくられた電気は27.5万～50万Vという非常に高い電圧まで昇圧されて電力ロスを小さくして、消費地へ送電されます。

発電所から送られてきた電気は、各地に設けられた**超高圧変電所**で15.4万Vに変換され、その後、**一次変電所**で6.6万Vまで引き下げられます。この段階の電力は**鉄道会社や大規模工場に送電**され、各企業内の変電設備で電圧を下げ使います。

それ以外の電力は**二次変電所**に送られ、2.2万Vまで引き下げられます。さらに**配電用変電所**で6600Vまで引き下げられ、街中の電線に配電されます。

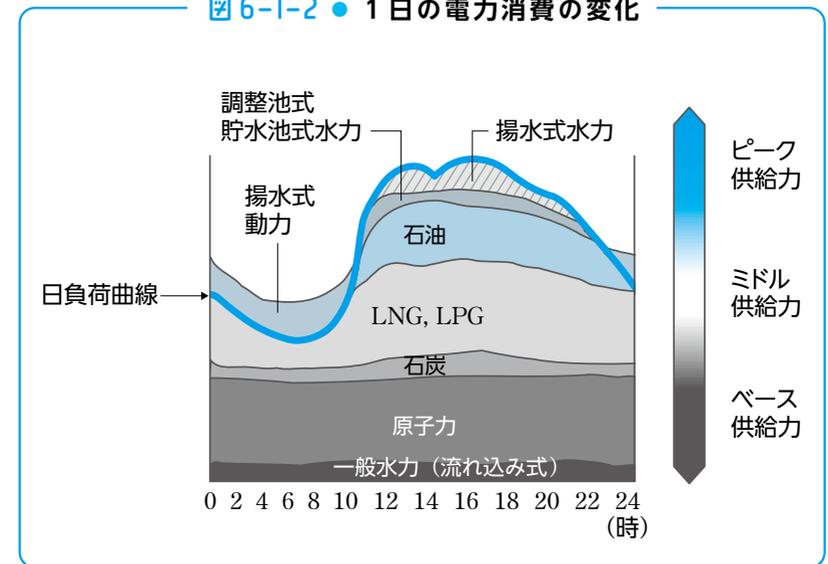
そして**柱上変圧器**で100Vまたは200Vに変圧し、各家庭へと送電されます。

水のエネルギー利用の変換効率は80%とかなり高いものとなっています。

● 揚水式水力発電所の役割

ところで日本の電力事情を見ると、正午から夕刻までの時間帯に日々の電力消費のピークがあります。

図6-1-2 ● 1日の電力消費の変化



そのピーク時の供給に対応できるように運転されているのです。そのため、各電力会社は夜間電力の使用を推奨しています。

電力の安定供給の役割をはたしている発電所の1つが、**揚水式水力発電所**です。

発電が開始されるまでに必要な時間は、火力発電が2～5時間(停止期間が長い場合は1～2日間)かかるのに対して、**水力発電は3～5分程度と非常に短い時間での対応が可能**となります。

揚力式水力発電所は、電気で電気を発電するという奇妙な発電所で、しかも使った電気よりも少ない電気しか得られないという矛盾をはらんでいます。現代社会にあっては活用せざるを得ないものとなっています。**揚水式水力発電の総合効率は65～75%程度**です。

揚水式水力発電所では、オフピーク時に、発電所よりも高いところにつくった調整池に水を運び上げます。もちろん電気を使ってです。そして、ピーク時に電力が足りなさそうだとすると調整池の水

