

コーヒーカップを外から見ると

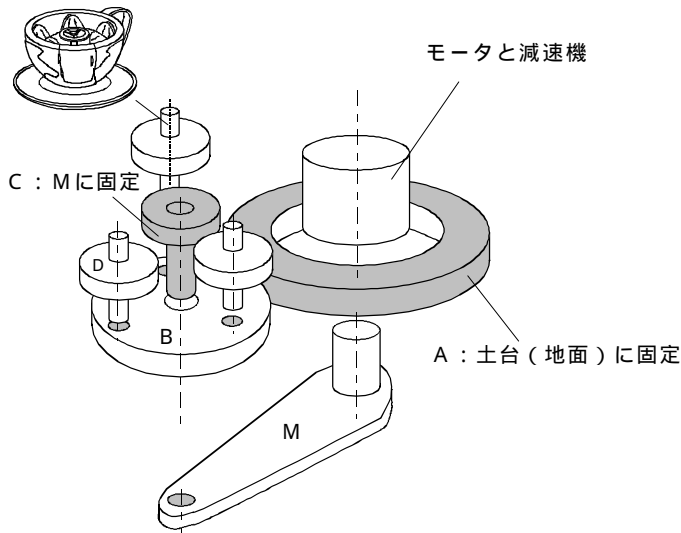


図1 コーヒーカップの外観と仕組み

ここにもやっぱり遊星歯車。まわるまわるコーヒーカップ

【遊星歯車装置・遊園地のコーヒーカップ】

遊園地のコーヒーカップといえばクルクル回る乗り物の代表的なものです。カップの動きを思い出すと目が回りそうですが、これまでの話から仕組みが想像できるのではないのでしょうか。

規模の大小はあるでしょうが、コーヒーカップの動きは遊星運動です。グループになったカップがお皿の上に乗っていて、お皿は大きな回転円盤に乗っている。円盤が回転するとお皿は円盤と同心円上を回転しながらお皿そのものも回転して、更にカップはお皿の上で回転している。「回りながら回る」というのが遊星運動の特徴です。

動きを考えてみましょう

図1にコーヒーカップの仕組みを示します。実際には腕の部分にあたるMが四方八方に出て、お皿に相当するBをいくつも回転させる事になります。Bは大歯車：Aに噛み合います。Aには内歯歯車も使われます。自転車の变速装置や鉛筆削りのように、歯数××枚等という代わりに、ここでは歯車の直径をm単位で考えて動きを考える事にします。歯車の歯の枚数は歯車を接触円盤として考えたときの「ピッチ円直径」と呼ばれる円の直径に比例するので、このようにしても動きを考える事ができるのです。摩擦接触する円盤と考えればいいでしょう。Aの直径10m、Bの直径8m、Cの直径2m、Dの直径3mとして、Mが右回りに+1回転したときのBの動きはどうなるでしょうか。

これは図2に示すような遊星歯車装置として考えましょう。

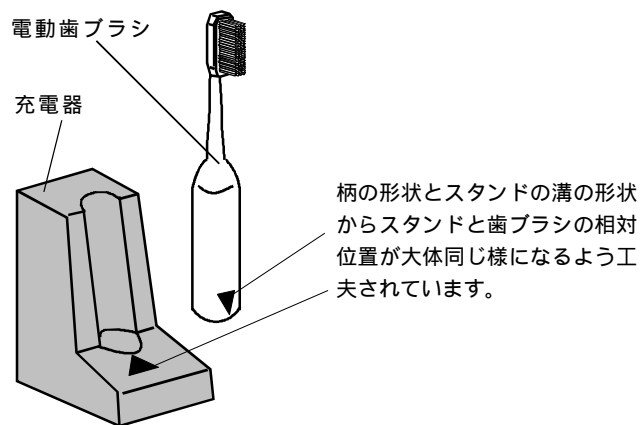


図1 電動歯ブラシと充電スタンド

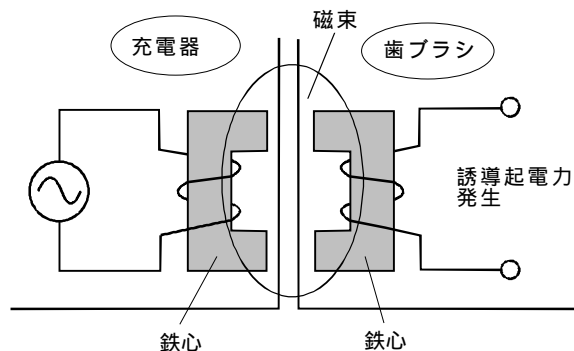


図2 充電スタンドと歯ブラシの柄でトランスが出来る

コードが無くても電気が送れる！？そんな方法があるんですか？

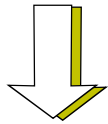
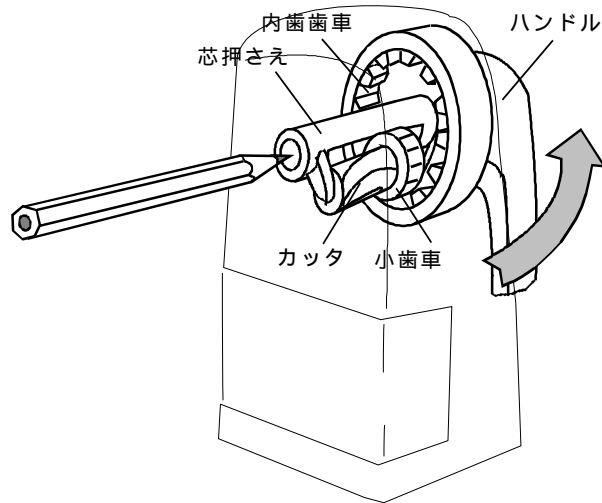
【無接触給電】

この電動歯ブラシどこから電気をとるの？電気屋さんに並んだ電動歯ブラシのどれを見ても柄の部分にも底の部分にも充電するための電気接点が見えません。濡れた手で持つ事のある製品だから安全な気がしますが、これで充電できるのでしょうか？・・・

電動歯ブラシは、使わない時には専用のスタンド兼充電器にセットしておくようになっています。充電と収納を同時に果たしてしまう点で便利なものだと思います。でも充電器を見ても歯ブラシを見ても充電用接点がどこにも見当たりません。歯ブラシをスタンドに置くだけです。水のかかる機会の多いものですから、金属部分や電気接点がないのは安心なのですが、どのように充電しているのでしょうか？

トランスの原理となる「電磁誘導効果」をそのまま使って、接点やコードを使わなくても電気を送る事のできる方法があります。

電動歯ブラシとスタンドを良く見ると、どの製品も図1のように歯ブラシの柄の形とスタンドの溝の形との組み合わせで、歯ブラシとスタンドの位置関係がいつも同じ様にセットされるよう工夫されています。実は歯ブラシとスタンドを組み合わせると図2のように、「トランス」ができるような構造になっているのです。端子を直接接続させずに電気を供給する「無接触給電」と呼ばれる方法です。



上の構造をメカニズムで表わせばこうなります。

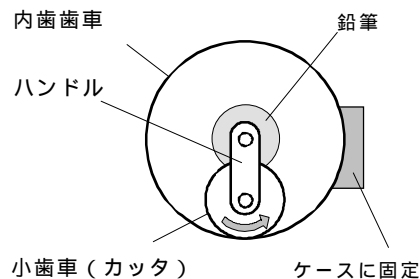


図1 鉛筆削り

鉛筆削りから自動車のオートマまで…仕組みは同じ 【遊星歯車機構・鉛筆削り】

手動の鉛筆削りを知らない人はいませんね。うら蓋を開けてカッタを外すと歯車のようなものが見えます。ハンドルを回すとカッタはハンドルと同時にグル〜と大回りしながら、カッタ自身もクルクルと回転しています。・・・

鉛筆削りは実にきれいに削れるものだと感心しています。鉛筆削りの中で芯が折れたりした時には、カッタの部分を外して芯を取り出します。カッタ部分のメカニズムが全て一つにまとめられていて、メンテナンス性は最高です。皆さんの手許に鉛筆削りがあったら、この本を読みながらさっそく観察して見て下さい。構造は至って簡単なのですが、カッタは随分と複雑な動きをしています。鉛筆を固定して、その周囲をカッタが回りながら、鉛筆の表面を削るという動作はどうすれば作れるのでしょうか？

クルクルと小回りしながら大回りをさせるには遊星歯車機構という仕掛けを使います。

図1が鉛筆削りのカッタ部分です。ハンドルを回すと、カッタはハンドルに直結した芯押さえと一緒に鉛筆の周囲を回転しながら、歯車の噛み合いで、カッタ自身も回転して鉛筆の表面を削っています。カッタの付いた歯車は歯が10枚を越える程度の小さなものです。平面円板の歯車なので「平歯車」といいます。また、歯車は組み合わされて、仕事をする部品ですから、組合わせの歯車の相対的な大きさから、これを「小歯車(ピニオン)」とも呼びます。ケース裏蓋の内側には、小歯車と噛み合う歯が内側に付けられています。このように内側に付けられた歯車を「内歯歯車」と呼びます。

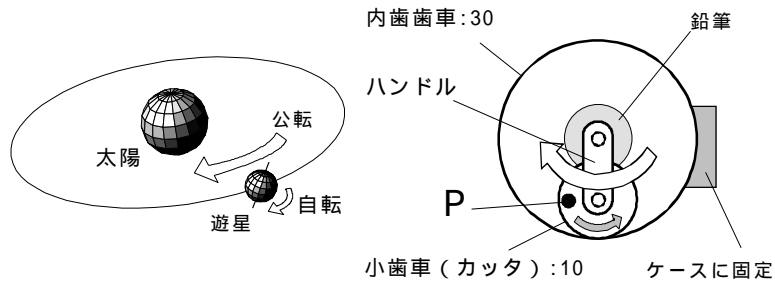
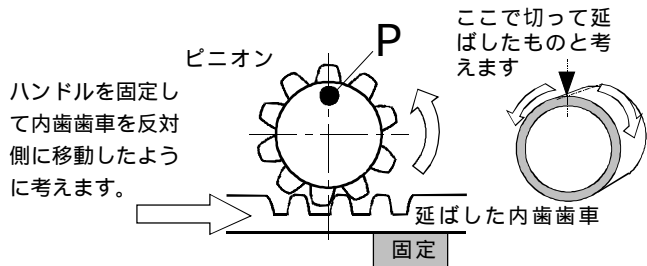


図2 遊星歯車機構



ピニオンの歯数が10枚内歯歯車の歯数が30枚だからピニオンが端から端まで移動する間に点：Pは左回りに $30/10=3$ 回転します。

図3 ピニオンの回転

	内歯歯車	ピニオン	ハンドル
公転分	+ 1	+ 1	+ 1
自転分	- 1	$-30/10=-3$	0
実際の回転	0	- 2	+ 1

全てのものが一緒に動いていると仮定します

ハンドルを固定と考えるので「0」

内歯歯車は固定だから「0」

ハンドルを1回転だから「+ 1」

ピニオン(カッタ)は - 2回転

図4 遊星歯車機構のまとめ(糊付け解法)

このような仕掛けを「遊星歯車機構」と呼びます。遊星歯車とは、地球が自転しながら太陽の周りを公転する遊星運動と同じ様な動きをすることから名付けられました。図1で簡単にした図の歯数を図2のように決めて、ハンドルを右に1回転させた時のカッターの回転を求めてみましょう。次のように考えます。

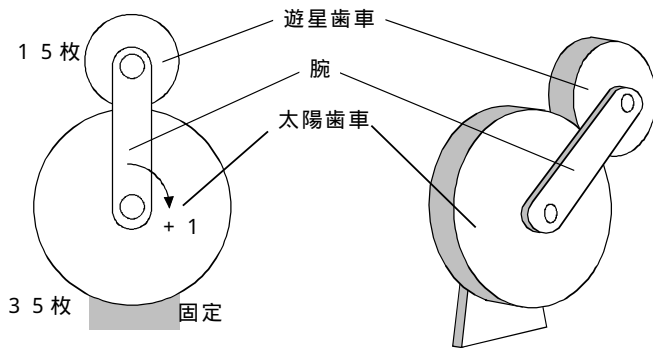
【1】公転分を求める ハンドルを右に1回転させます。ここで、ハンドルもカッタ上の点Pもケースに固定された内歯歯車も全部一緒に右に1回転(1周)回したものと仮定します。

【2】自転分を求める ハンドルを右に1回転すると、内歯歯車とピニオンの組み合わせで、ピニオン自身が回転するはずですが。(1)の仮定で全体を1回転させましたが実際には内歯歯車は固定ですから、これを調整するためにハンドルを固定して、内歯歯車をハンドルと逆に回転させたと考えます。これを図3のように内歯歯車を切って延ばした状態にしてハンドルを固定して内歯歯車を逆の向きに1回転分移動したものと考えましょう。そうするとピニオン上の点：Pは、歯車の噛み合わせから、左回りに $30/10 = 3$ 回転します。

【3】実際の回転 実際の回転は(1)と(2)の仮定を合成したものです。右周りを「+」、左回りを「-」と決めて合計の回転数を求めます。これは表にすると解りやすいので図4のようにまとめます。こうして作った表は、「実際の回転 = 公転 + 自転」ですから各列とも、「3行目 = 1行目 + 2行目」となります。

最終的にカッターは右に1回転すると同時に左回りに2回転しながら、鉛筆の周りを回っているのです。

この考え方は全体が固定されて動いたという仮定を用いるので、「糊付け解法」と呼ばれています。



機構を構成する歯車と腕は互いに自由に回転できるように組み合わせられています。歯数の大小に関係なく2つの歯車のうち固定側になる歯車を太陽歯車といいます。

(a) 遊星歯車機構の基本型

	太陽歯車	遊星歯車	腕
全体固定	+1	+1	+1
腕固定	-1	$-1 \times -(35/15)$	0
実際の回転	0	+3.33	+1

(b) 糊付け解法

図5 遊星歯車機構の基本の形

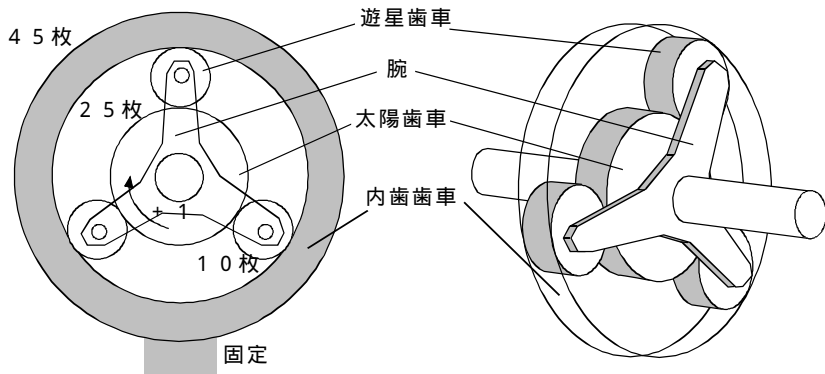
遊星歯車機構の基本の形

図5 (a)に遊星歯車機構の基本的な形を示します。遊星歯車機構は図のように中心に置かれた太陽歯車、太陽歯車と噛み合っている遊星歯車、この2つの歯車を連結する腕、の3つの部材が互いに自由に回転できるように連結されて成り立っています。遊星歯車機構を利用した装置の動きは一見複雑に見えるのですが基本的な動きが解れば、いろいろな装置の機構が理解できます。この機構において、図(a)のように遊星歯車の歯数15枚、太陽歯車の歯数35枚として、太陽歯車を固定して腕を右に1回転(+1)させたときの遊星歯車の回転を考えてみましょう。

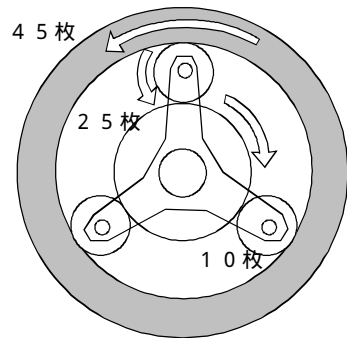
図(b)の糊付け解法の表を次の手順で完成させていきます。

1. 太陽歯車を固定したので、実際の回転は太陽ギヤ0、腕+1です。解かる所を記入します。
2. 公転分は「全体固定」と考えて全部を+1とします。
3. 自転分は「腕を固定」と仮定するので腕は0とします、腕が固定と仮定すると太陽歯車と腕の相対的な回転から太陽歯車の回転を-1とします。
4. 腕を固定して太陽歯車を回転させれば、太陽歯車と遊星歯車は逆回転になります。遊星歯車の回転は太陽歯車と遊星歯車の歯数の比に逆回転の-をかけて、 $-1 \times -(35/15) = +2.333 \dots$ となります。
5. 遊星ギヤの実際の回転は全体固定+腕固定 +3.33となります。

この結果から図(a)で腕を右に1回転させると、遊星歯車は太陽歯車の周囲を右に1回転すると同時に右に約3.33回転するという事になります。



(a) 遊星歯車変速装置の例



内歯歯車と平歯車の回転の向きは同じ向きになります。平歯車同士の回転の向きは逆向きになります。これを組み合わせると内歯歯車と太陽歯車の回転の向きは逆向きになります。

また中間に入る遊星歯車は回転を伝える役目を果たしますが回転数には影響しないので「遊び歯車」と呼ばれます。

(b) 歯車の回転

	太陽ギヤ	内歯歯車	腕
全体固定	+1	+1	+1
腕固定	+1.8	-1	0
実際の回転数	+2.8	0	+1

(c) 糊付け解法

図6 遊星歯車変速装置

遊星歯車機構の変速装置への応用

図5の遊星歯車機構の基本型を応用した変速装置の例を図6(a)に示します。モータ等の回転を小さなスペースで変速する場合などに用いられる変速装置で、身近な例では自動車の自動変速装置(オートマ)や自転車の内装変速装置に利用されています。回転の様子を求めるために遊星歯車を支える腕に取付けた軸の回転を+1としたときの太陽歯車に取付けた軸の回転を求めてみましょう。この場合、内歯歯車を固定します。

1. 内歯歯車固定 = 0, 腕 + 1 を実際の回転数に記入します。
2. 公転分として全体を + 1 と仮定します。
3. 実際には内歯歯車が固定だから、腕を固定と仮定すると腕に対する内歯歯車の相対回転数は - 1 になります。
4. 腕を固定して内歯歯車を回転させると内歯歯車と遊星歯車の回転の向きは等しく、遊星歯車と太陽歯車の回転の向きは逆になるので内歯歯車から太陽歯車へ伝えられる回転は逆向きになります。回転の速さについては、中間に入る遊星歯車の歯数は回転の比には影響しないので、内歯歯車と太陽歯車の歯数比で太陽歯車の回転数は $-1 \times -(45/25) = 1.8$ となります。
5. 以上を合計すると、太陽歯車は腕を1回転させると同じ向きに2.8回転する事が解ります。

この結果から図(a)の歯数を持った変速装置は内歯歯車を固定したとき、遊星歯車を支持する腕につながる軸を回転させれば太陽歯車は2.8倍の回転数で回る「増速機」となり、太陽歯車につながる軸を回転させると遊星歯車の腕につながる軸が1/2.8で回転する「減速機」となります。

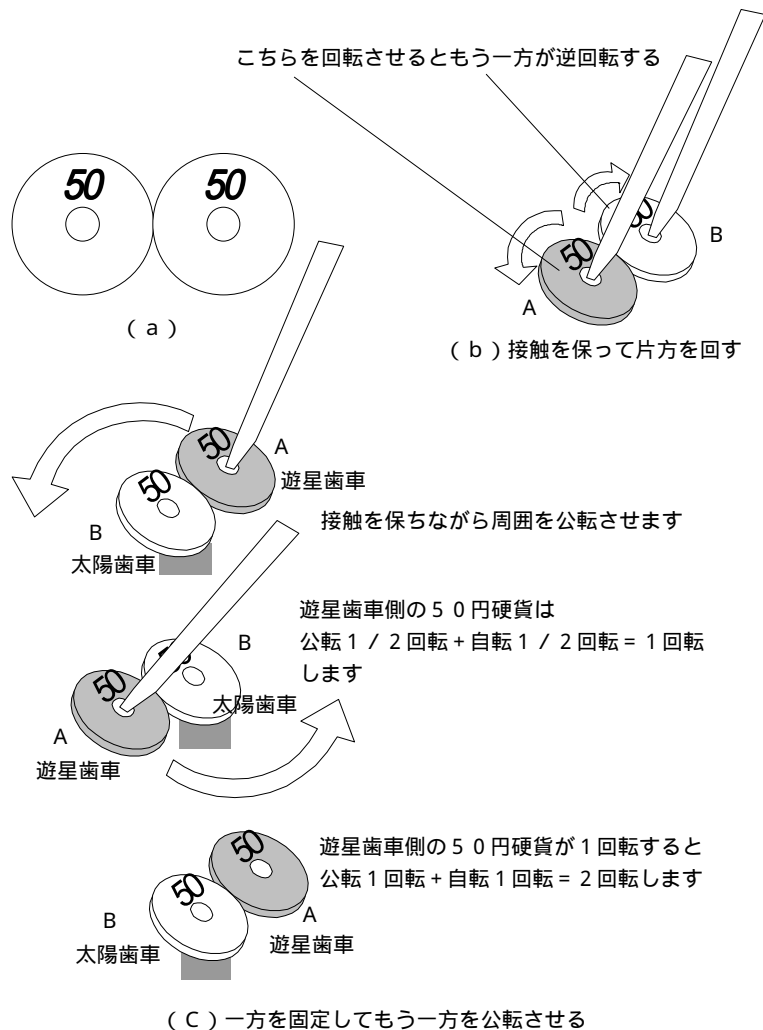


図7 50円硬貨を回してみる

遊星歯車の実験をしてみましょう

遊星歯車装置の動きを直接確かめてみましょう。道具は50円硬貨2枚と箸やシャープペンシル等棒状のもの2本です。はじめに図7(a)のように2枚の50円硬貨を机などの上に接触させて置きます。2枚の硬貨の穴に棒を当てて硬貨を互いに押付け合うようにして接触を保ちます。次に(b)のようにできるだけ2枚の硬貨が滑らないように注意して、Aの硬貨を静かに回転させます。Aを1回転させるとBの硬貨は逆向きに1回転するはずですが、これは硬貨の直径が等しいためです。次に(c)のようにBの硬貨を押さえておき、Aの硬貨の穴に棒を入れて押さえたBの硬貨の周囲を接触を保ちながら静かに回転させます。Aの硬貨を半周させると公転させているA自体は1回転します。更に半周させて元の位置に戻すとAの硬貨は2回転して元の位置へ戻ります。(b)のように1対の棒で2枚の硬貨の中心を押さえてAを1周させた時にはA、Bは互いに1回転しかしないのに、Bを固定してその周囲をAが1回転するとAは2回転するということが解りました。(b)は硬貨の直径の比による自転分で、(c)はA自体を1周させるという公転分とA、Bの組み合わせによる自転分が合成された遊星運動になります。これを糊付け解法で表せば図8のようになります。

	硬貨A	硬貨B	棒
全体固定	+ 1	+ 1	+ 1
棒固定	+ 1	- 1	0
実際の回転	+ 2	0	+ 1

棒は図7の左回りを
+としました

図8 図7の糊付け解法

図9に示した雪だるまのような絵は、太陽歯車の歯数と遊星歯車の歯数を2：1として、太陽歯車を固定して遊星歯車を太陽歯車の周囲に左回りに1回転させたときのパソコンシミュレーションです。左回りを+とすれば、遊星歯車の公転分が+1、遊星歯車と太陽歯車の歯数比による自転分が+2になりなすから遊星歯車は1回転公転しながら同じ向きに3回転している事が解るでしょう。糊付け解法は次の通りです。

	太陽歯車	遊星歯車	腕
全体固定	+ 1	+ 1	+ 1
腕固定	- 1	$- 1 \times - (2 / 1)$	0
実際の回転	0	+ 3	+ 1

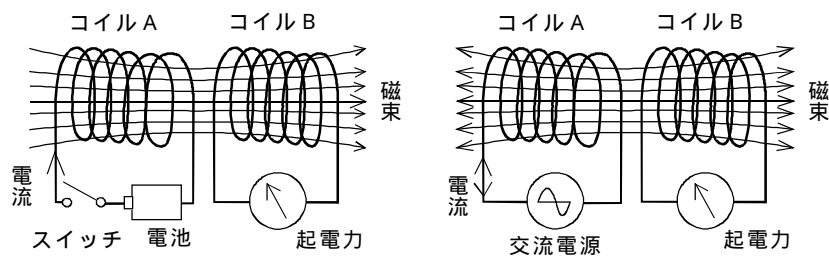


図3 相互電磁誘導作用

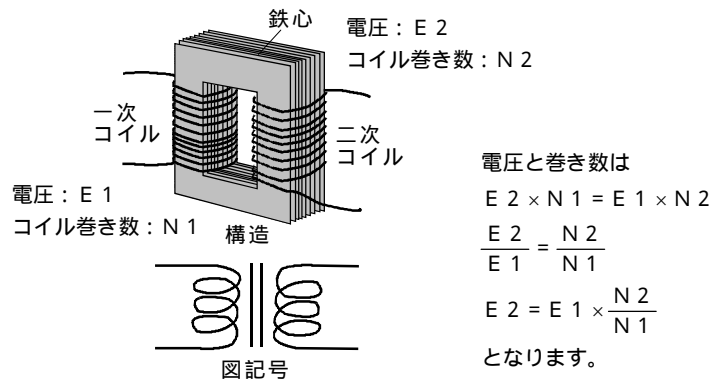


図4 トランスの仕組み

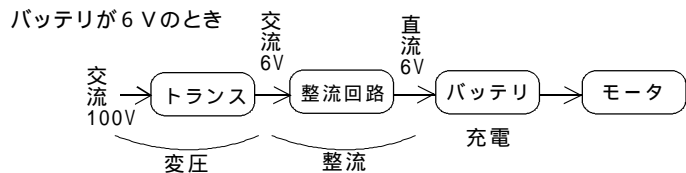


図5 充電のあらまし

充電器と電動歯ブラシで「トランス」を作ると何故充電できるの？トランスってどういう働きをするのですか？・・・

トランスの働きや充電の仕組みを知らない方には当然の疑問です。導線を円筒状に巻いたものが「コイル」です。コイルに電流を流すとコイルの中に「磁力線の束 = 磁束」が生まれます。コイルに流す電流の向きを逆にすれば磁束の向きも逆向きになります。一方コイルの中を通過する磁束に変化があるとコイルには起電力が生ずるといふ、先ほどとは反対の現象を「電磁誘導作用」といいます。図3のように2つのコイルA, Bを並べておいて、Aに流す電流をON/OFFさせる度に、Bに起電力が発生するという現象を「相互電磁誘導作用」と呼びます。お互いに影響しあっているという意味です。コイルAの電池の代わりに家庭用の交流電源を与えると、交流は常に電流の向きが変わりますから、自動的にスイッチのON/OFFが行われる事になって、コイルBに起電力が発生します。磁力線は空気中より鉄のような金属の中の方が通りやすいので、図4のように鉄心の回りに2つのコイルを作ります。このようにすると磁束が無駄なくコイルの中を通過するからです。図4で磁束を作る側のコイルを一次コイル、磁束変化から起電力を発生する側のコイルを二次コイルと呼び、一次コイルの巻き数をN1, 電圧をE1, 二次コイルの巻き数をN2, 電圧をE2とすると2つのコイルの間に $E2 \times N1 = E1 \times N2$ という関係が成立し、この式から巻き数の比によって電圧が変化する事が解ります。図4のような構造の物を「変圧器」とか「トランス」と呼ぶのです。二次コイルの出力電圧はコイルの巻き数比で調整できるので、一次電圧よりも低い出力電圧を得る場合を「降圧」、一次電圧よりも高い二次電圧を得る事を「昇圧」と呼びます。

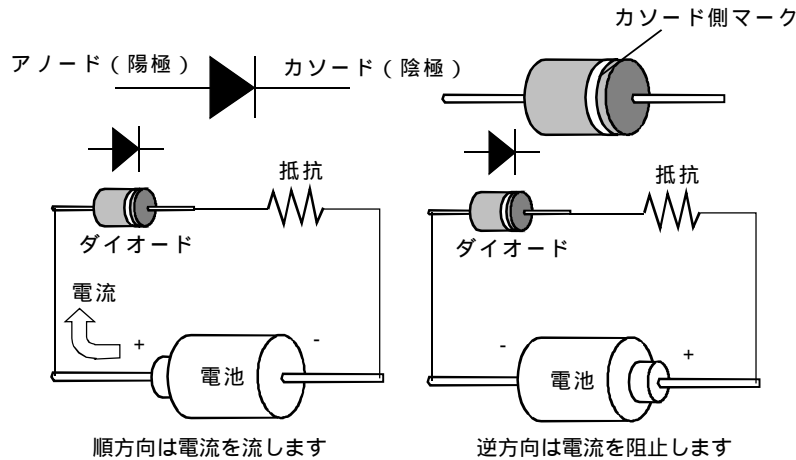


図6 ダイオードの図記号と動作

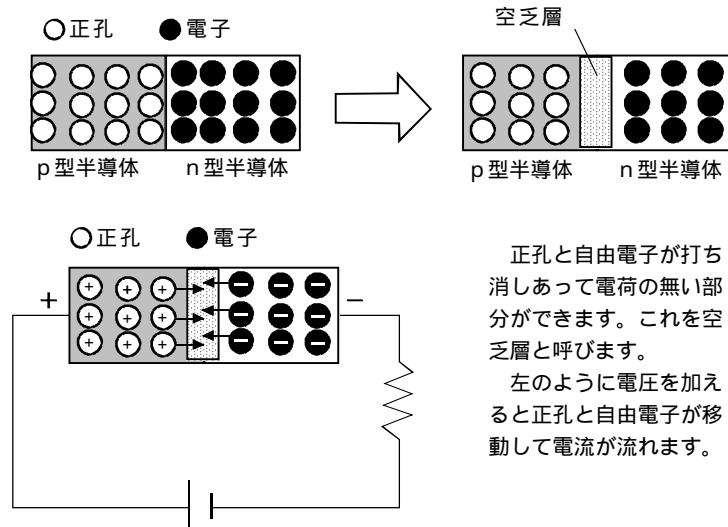
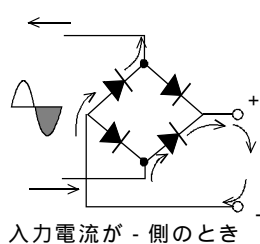
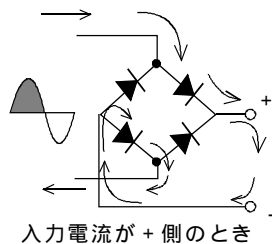
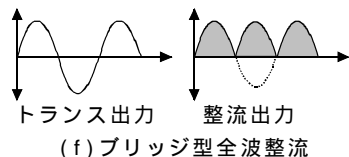
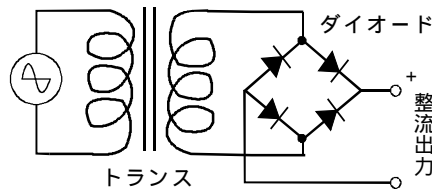
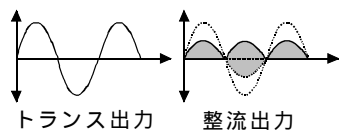
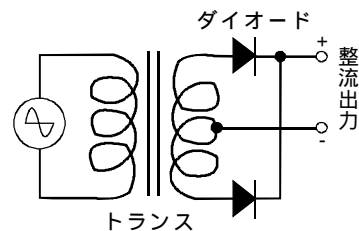
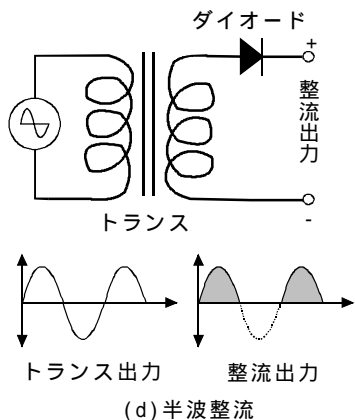
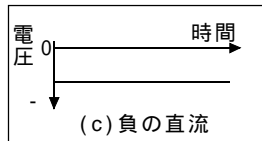
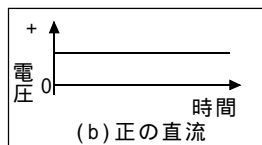
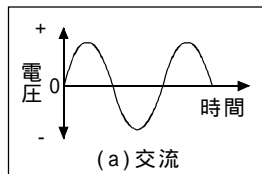


図7 ダイオード = p n 接合の半導体

電流を一方通行させる部品があります。それを組み合わせると交流から直流を作る回路ができます。これを整流といいます。

トランスの二次コイルから出る電圧は交流ですから直流のバッテリーやモータを使うためには交流から直流へ変換しなくてはなりません。この変換する操作を「整流」といいます。電気コードのように電気を良く通す材料を電気の「良導体」といいます。プラスチックは電気を通過させないので電気の「絶縁体」といいます。電気材料にはある条件では良導体になり、ある時には絶縁体になるというような性質を持った材料が多く使用されています。このような材料を「半導体」と呼びます。最も基本的な構造を持った半導体素子に「ダイオード」と呼ばれるものがあります。ダイオードは電流を「一方通行」させる半導体素子です。図6に図記号と動作を示します。アノード(陽極)からカソード(陰極)の向きで電流を通過させ、これを「順方向」と呼びその逆は通常「逆方向」または「阻止方向」と呼んでいます。図7に示すように正孔を多数キャリアとするp型半導体と自由電子を多数キャリアとするn型半導体を接合すると、その接合部には自由電子と正孔が打ち消しあって、キャリアの無い電氣的に不安定な部分ができます。これを空乏層と呼びます。このようにp n接合された半導体素子がダイオードです。ここでp型半導体を+(アノード)、n型半導体を-(カソード)とすると、正孔と自由電子が互いに移動をして電荷が運ばれるので電流が流れます。電源の極性を反転するとキャリアの移動ができないので電流は流れません。ダイオードは電流に方向性を与える素子として用いられます。ここでは動作に着目して入口や出口専用のドアのように電流を一方にしか通過させない役目をするものと考えておきましょう。



(g) ブリッジ全波整流の動作

ダイオードで作る整流回路

pn接合の動作原理からダイオードに交流を与えると、電流が順方向の場合は電流を通過させますが、逆方向の場合は電流を阻止するので、出力側には一方向の電流しか出力されません。電流の流れを整理する整流作用を実用するには、図8(d)(e)(f)等の方法があります。一般的に家庭に供給されている交流を図示すると(a)のように時間とともに電圧が正負に変化しています。これを(b)または(c)のような時間変化にかかわらず状態の一定な直流に変換する回路を整流回路と呼びます。(d)はトランス出力の交流の片側の電圧に対してのみダイオードが順方向で電流を通過させるので整流出力にはトランス出力の片側のみが出力されます。このような動作を半波整流といいます。(e)のようにトランスの二次側コイルの中間にセンタタップと呼ぶ端子を付けて、コイル両端の端子にダイオードを接続すると二次コイル出力の半分の値の電圧を正負の両方ともに整流するので出力電圧はトランス出力の1/2の電圧で正負両側の電圧を整流します。これをセンタタップ全波整流と呼びます。(f)のように4つのダイオードを組合わせたものを「ブリッジ」と呼びます。(g)に示すようにトランス出力が+側のときと-側のときをそれぞれ対向する2つのダイオードで整流してブリッジ回路の2つの端子から出力するとトランス出力を正負ともに整流することができます。このような方法をブリッジ全波整流と呼んでいます。これらの整流出力は図(b)(c)のように一定電圧ではありませんが、時間経過があっても極性の変化が無いので直流として考える事ができます。また(f)の回路は大変頻繁に使われるので、あらかじめ4つのダイオードを「ブリッジ接続」した整流専用の素子があり「ダイオードブリッジモジュール」

図8 整流回路

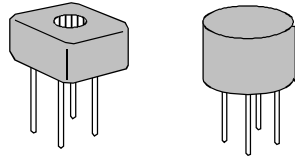


図9 ダイオードブリッジモジュール

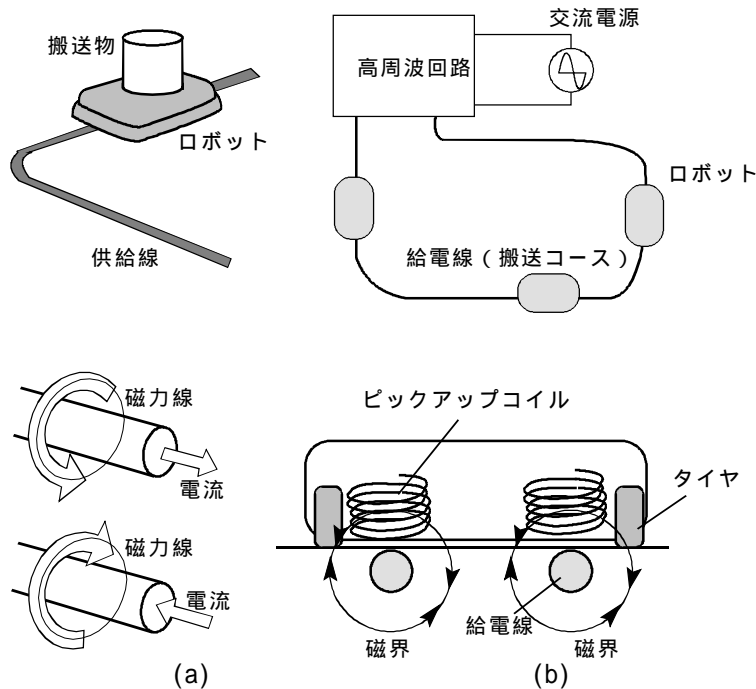


図10 無接触給電の搬送ロボット

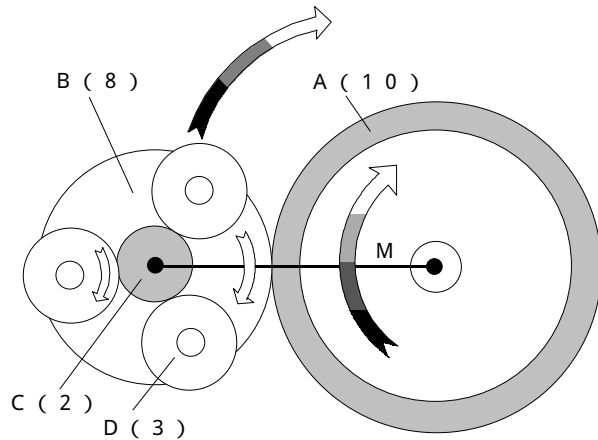
あるいは「整流モジュール」と呼ばれて市販されています。

生産現場で活躍する無接触給電の機械。家庭からも邪魔な電源コードが消える日が来るかもしれません。

家庭電気製品を購入して一番困るのは電源コードの取り回しではないでしょうか？コードがあるために置きたい所へも置けず、見栄えも良くなりません。掃除機などは長いコードを引っ張ってあちこちと動き回るのは案外と煩わしいものです。技術がどんなに発達してもこればかりはどうにもならないのでしょうか？

生産現場の工場ではコードもつながっていなければ、バッテリーも積まず、集電器等で接触することなく電力を供給して移動するロボットが開発されました。

部品や製品を運ぶ技術を「搬送技術」と呼び、自動化生産技術の研究分野の一つです。最近では「ロジスティクス」と呼ばれる積極的な物流システムの一部としても重要な役割を占めるものと考えられています。工場内の「搬送ロボット」はコースが限定されているので、次のような方法が考えられます。図10 (a)のように導線の周囲には電流に対して右ねじの回る向きの磁力線が生じます。これを「右ねじの法則」と呼びます。(b)のようにコースに埋設した給電線に高周波電流を加えると周波数に応じて方向の変化する磁界が発生します。ピックアップコイルを用いてこの磁界変化からロボットが移動しながら受電するというものです。電動歯ブラシの給電方法と異なる点は固定された点で受電するのではなく、移動しながら連続的に受電するため、充電の必要が無い事です。コスト面や規格の統一や高周波の処理などの問題を解決して家庭電化製品へも導入されると便利ではないでしょうか。



	A	B	M
公転分	+1	+1	+1
自転分	-1	$-(-1 \times \frac{10}{8})$	0
正味	0	$+\frac{18}{8}$	+1

図2 お皿の部分の動き

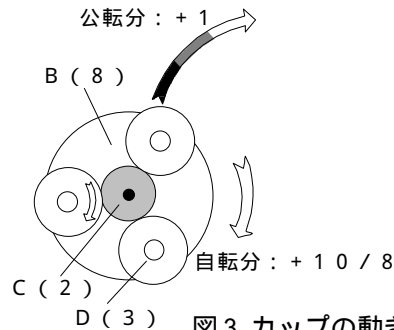


図3 カップの動き

1. Aは固定だから0
2. Mを右に+1
3. 公転分を全部+1
4. Mを固定したと考えて、Mの自転分を0
5. M=0と仮定したから、AとMの相對運動を考えるとAはMに対して-1
6. AとBは逆向きに回転するから、Bの自転分は、
 $-(-1 \times 10 / 8)$
7. Bについて実際の回転数は $+1 + 10 / 8 = 18 / 8$
 となってMを右に1回転させると、Bは右に1回転しながら、
 右に $18 / 8$ 回転します。

これはコーヒーカップの動きを連想させるような答えです。

この時のカップの動きはどうでしょうか。お皿がAの周りを+1回転しながら、 $+18/8$ 回転する上でカップが更に回転するのですから、カップのお皿 $+10/8$ 回転に対する回転を求めれば良い事になります。大変面倒そうですが、方法は全く同一です。図3についての答えが図4の表です。カップはお皿の上で右向きに約2回転自転しながらクルクルと回って行きます。

	B	C	D
公転分	$+\frac{10}{8}$	$+\frac{10}{8}$	$+\frac{10}{8}$
自転分	0	$-\frac{10}{8}$	$-(-\frac{10}{8} \cdot \frac{2}{3}) = +\frac{20}{24}$
正味	$+\frac{10}{8}$	0	$+\frac{50}{24}$

図4 カップの計算表