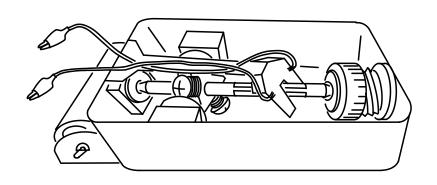
入れ替えモーターを作ろう



入れ替えモーターの特徴

身近にある材料だけで簡単に工作することができます。また、**回転子の入れ替えが容易**なので、2極モーターから3極モーター(または、2極モーターから3極モーター)へすぐに変更できます。

- ブラシ、整流子の材料に銅箔テープを使用することにより、工作が簡単
- ブラシは回転子の上に置くことにより自重でブラシが接触するので、デリケートな接触部の調整が不要
- 磁極部鉄芯を独立(数本の木ネジ)させたことにより、多極回転子の製作が容易
- 回転子の軸受は点接触の軸受とすることにより、回転摩擦を低減

「香風の手作り千両」掲載 http://namikahoo.com

入れ替えモーター 部品表

寸法の単位は、ことわらない限りmm

	う伝の単位は、ことわらない限り間間									
区分	番号	名 称	材質	寸 法	形状	数量	備考			
固定子/収納箱	(1)	ケース	プラスチック	90×70×33 ^h		1	h : 高さ			
	(2)	磁石	フェライト磁石	$20^{\phi}\! imes\!5^{ m t}$		2	丸形フェライト磁石 φ:直径 t:厚み			
	(3)	磁石台	発泡スチロール	20×11×30 ^h	削除	2	削除したのはケースの 底の角に丸みがあるた め			
	(4)	ホック	金属	14^{ϕ}		2	手芸用スナップ オス側を使用			
	(5)	ホック台	スチレンボード	20 [□] ×7 ^t	$\langle \rangle$	1	□:四角			
	(6)	調整軸受	プラスチック		33 φ	1	ペットボトルの注ぎ口 キャップ付き			
接触子	(7)	接触子1	プラスチック薄 板	18×30×0.3 ^t		1	角形ペットボトルから 切り出し			
	(8)	接触子2	プラスチック薄 板	18×45×0.3 ^t		1	角形ペットボトルから 切り出し			
	(9)	接触子台	スチレンボード	18×7×7 ^t		1				
	(10)	リード線	ビニール線	$1^{\phi}\! imes\!20\mathrm{cm}$		2				
	(11)	銅箔テープ	銅箔	20 [□] ×0.03 ^t		2	テープ総厚 0.08mm 裏面のり付き			
回転子	(12)	竹串	竹または木	4 ⁶ × 60	60	1	両端を鉛筆の芯のよう にとがらせる			
	(13)	木ネジ	鉄	4 [¢] × 15	$9 \phi \downarrow $	3	丸皿頭タッピングネジ 2極用の場合は2本			

	(14)	ネジ台	スチレンボード	30 [△] ×7 ^t (3極用) 17 [□] ×7 ^t (2極用)	(3極用)削除	1	△: 三角
	(15)	エナメル 線	エナメル被覆銅 線	$0.4^{\phi}\! imes\!5$ m	0	1	
回転	(16)	銅箔テー プ(3極 用)	銅箔	12.5×19		1	
子	(16)	銅箔テー プ(2極 用)	銅箔	6×17.5 6×17.5		1 1	
	(17)	みの虫ク リップ		小		2	
	(18)	電池		単1		1	
	(19)	電池ケース		単1用		1	

* (4)(5)(6)の軸受は、厚手のプラスチック板にドリル先端で皿穴を堀り、隙間テープもしくは防音テープ を貼り付けてクッション性を持たせた軸受でもよい。

<その他の材料>

・速乾接着剤(またはホットボンド)・セロテープ

・両面テープ・ハンダ

<必要な道具>

・ハンダゴテ、台・千枚通し

・定規・紙やすり

・鉛筆、細径マジックペン

<あると便利な道具>

・ホットボンドおよびガン ・スクリュードライバ型ドリル(1.5ϕ 、 2ϕ 、 3ϕ)

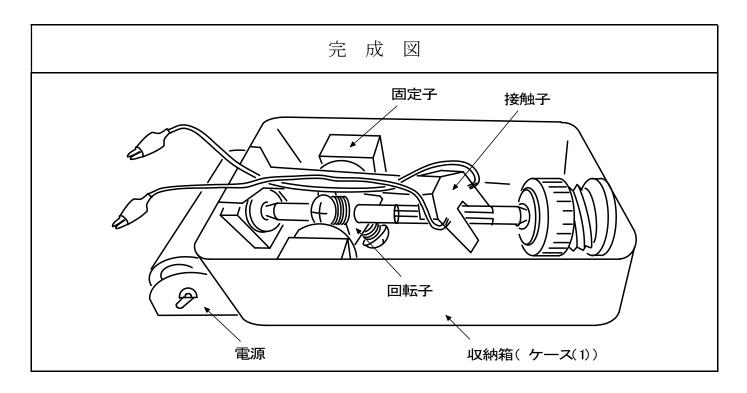
・ピンセット・ラジオペンチまたはニッパー

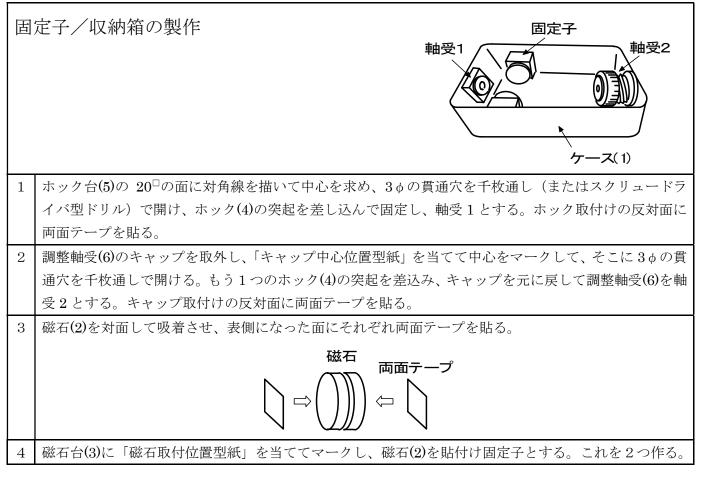
・ライター

<作っておくと便利な型紙、治具> (教室開催など大量製作対応用)

- ・キャップ中心位置型紙
- 磁石取付位置型紙
- ・ケース内部品位置型紙
- •接触子形状型紙
- ・120 度治具
- ・銅箔切込み治具

入れ替えモーター 製作編

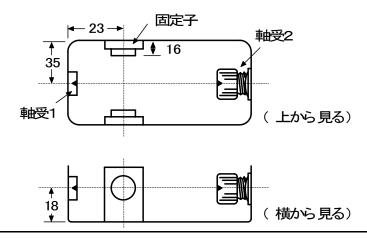




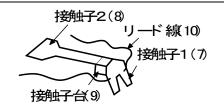
5 ケース(1)内面に「ケース内部品位置型紙」を当ててマークし、固定子 2 ケ、軸受 1、軸受 2 を貼付ける。 軸受 2 については、ケース(1)との接触面の周囲を速乾接着剤(またはホットボンド)で固める。

* * * * * * * * * * * * * * * * *

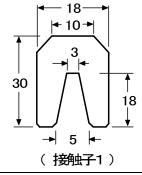
「磁石取付位置型紙」、「ケース内部品位置型紙」が無い場合は、およそ次の位置に部品を取付ける。

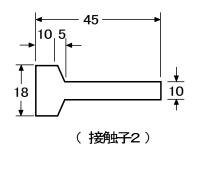


接触子の製作



6 接触子 1(7)、接触子 2(8)にそれぞれ「接触子形状型紙」を当ててマークし、所定の形状に切抜く。型紙が無い場合は、およそ下記の形状に切抜く。

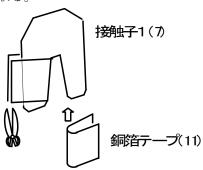




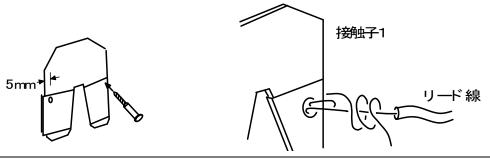
7 リード線(10)の両端のビニールを 1cm、および 2.5cm 程度むく。もう 1 本のリード線のビニールも同様にむく。



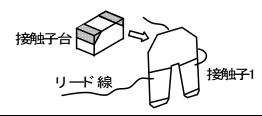
8 接触子 1(7)の内側の切込み部両側に銅箔テープ(11)を貼り、モーターのブラシとする。銅箔テープのプラスチックよりはみ出た部分は切取る。



9 接触子1の銅箔貼付け部に $1.5\sim2\phi$ の穴を開け、リード線(10)の2.5cm側のより線をからめて止める(+極、-極(2本)。

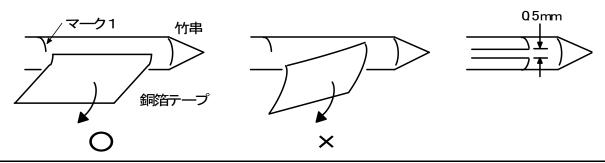


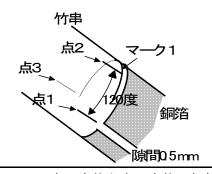
10 接触子台(9)の1面(7×18の面)に両面テープを貼り、それを接触子1の上端に貼付け、角を切取る。



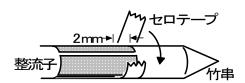
11 接触子台の上面に両面テープを貼り、接触子 2(8)の細幅部の先端を貼付ける。リード線を接触子 2 にセロテープで止めて整線する。



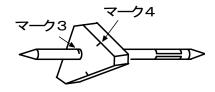




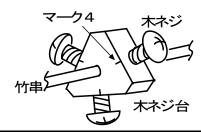
- 14 「銅箔切込み治具」を用いて、マーク2の点2方位と点3方位の銅箔部におよそ 0.5mm 幅の切込みを入れる。この切込み部の銅箔をカッターの刃先等の鋭い工具ではがして取去る。これにより分離した3 つの銅箔部をモーターの整流子とする。「銅箔切込み治具」が無い場合は、カッターナイフと定規を用いて切込んでもよいし、細い幅の銅箔テープを 0.5mm ぐらいの隙間を開けつつ3枚貼って整流子としてもよい。
- 15 竹串の先端部に近い方の整流子の端には、保護のため幅を半分にした程度のセロテープを整流子の 2mm ほどかぶせて、2巻きぐらいしておく。



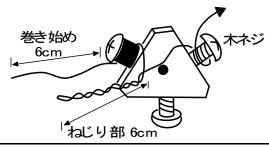
- 16 竹串(12)のもう片方の先端から 17mm の位置にマーク (マーク3) する。また、木ネジ台(14)の3辺ともに、辺の中心にマーク (マーク4) する。
- 17 木ネジ台の3角形の中心に 3ϕ の貫通穴を開け、マーク3が木ネジ台の外端となるまで貫通穴に竹串を 差込む。



18 木ネジ台の辺の中心(マーク4)の厚み部に、竹串の方に向けて先端が竹串に当たるまで木ネジ(13)を締める。この時締めすぎると木ネジ台のねじ山が崩れるので、注意しながら木ネジ3本を締めること。



19 端を 6cm ぐらい残して木ネジの露出ネジ部にエナメル線(15)を巻く。3本の木ネジとも同じ巻き方向約60回づつエナメル線を巻くが、隣の木ネジに移る時はエナメル線を切らずに、図のように約6cm のねじり部を設けて続けて巻いてよい。3本とも巻き終わったら約6cm の余裕をもってエナメル線を切り、その部分を最初の6cm のエナメル線とねじる。

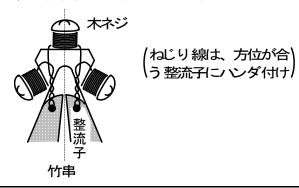


20 整流子の切込みの方向と木ネジの軸芯の方向が一致するように、木ネジ台を竹串に対して回し、また、マーク3が木ネジ台の外端となっていることを確かめてから、両者が動かないように接触部を速乾接着 剤で固める。



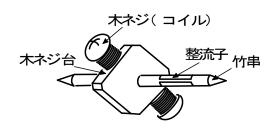
- 21 エナメル線のねじり部3本とも先端から 0.5~1cm ぐらいをライターの炎であぶってエナメルを燃や す。その部分を紙ヤスリでよく磨く。
- 22 3本のエナメル線ねじり部先端および木ネジ台に近い側の整流子の端3ケ所に、あらかじめハンダを付けておく。

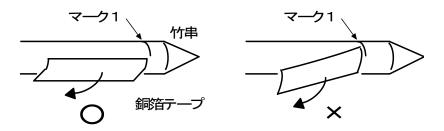
23 エナメル線のねじり部先端をそれぞれ整流子にハンダ付けするが、この時木ネジから出ている2本のねじり線は、木ネジの軸芯と方位が合う切込み部の両側の整流子にハンダ付けする。



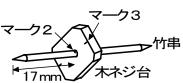
24 整流子のハンダ付け部には、保護のためセロテープを2巻きぐらいする。

回転子(2極)の製作

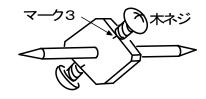




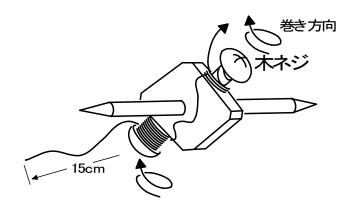
- 13' | 竹串のもう片方の先端から 17mm の位置にマーク (マーク2) する。また、木ネジ台(14)の対辺の中心にマーク (マーク3) する。
- 14 木ネジ台の4角形の中心に3φの貫通穴を開け、マーク2が木ネジ台の外端となるまで貫通穴に竹串を 差込む。



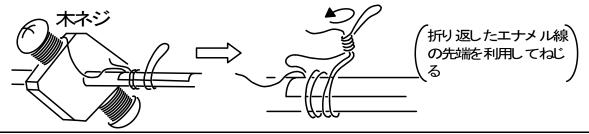
15 木ネジ台の辺の中心(マーク3)の厚み部に、竹串の方に向けて先端が竹串に当たるまで木ネジ(13) を締める。この時、締めすぎると木ネジ台のねじ山が崩れるので、注意しながら木ネジ2本を締めること。



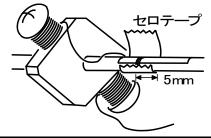
16 巻き始めと巻き終わりに余裕を 15cm ぐらい残して、木ネジの露出ネジ部にエナメル線(15)を巻く。両方の木ネジとも図のように同じ巻き方向に、片側あたり約 60 回づつエナメル線を巻くが、反対側の木ネジに移る時はエナメル線を切らずに連続して巻くこと。



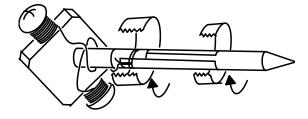
- 17' エナメル線の両端とも、先端から 10cm ぐらいをライターの炎であぶってエナメルを燃やす。その部分 を紙ヤスリでよく磨く。
- 18' エナメル線の端の火であぶった部分を2つ折りにし、整流子の端に2回転ぐらい巻付け、エナメル線の端を利用してよく締める。



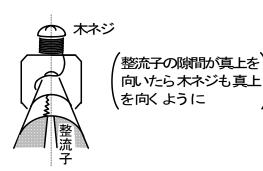
19' 締めたねじり部を適当に短く切って倒し、巻付け部を含んで 5mm ぐらい整流子を覆うようにセロテープを2巻きする。

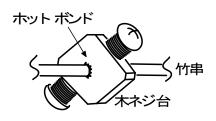


- 20' 竹串のマーク1に端を合わせて、先の整流子の対面に銅箔テープ(16) (ただし6×17.5mm のもの)を 貼る。この時、先の整流子との間にできる隙間が両側で同じぐらいになるように貼る。銅箔テープ (整 流子) の片端はセロテープの上にかぶさってよい。
- 21' 先と同様に、エナメル線のもう片方を整流子のセロテープの上にかぶさっている部分に巻付ける。エナメル線の巻付け部と整流子の竹串に近い端の2ヶ所に保護用のセロテープを2巻きする。



22' 整流子の隙間の方向と木ネジの軸芯の方向が一致するように、木ネジ台を竹串に対して回し、また、マーク2が木ネジ台の外端となっていることを確かめてから、両者が動かないように接触部を速乾接着剤で固める。





モーター組立て (完成図参照)

- 25 ケース1に取付けた軸受2のキャップを締めると軸受1との間の寸法が広がるので、回転子の木ネジが 固定子と対面するように、竹串の先端を軸受1および軸受2のホックのへこみに差込む。回転子が抜け 落ちず、かつスムーズに回転するように軸受2のキャップをゆるめる。
- 26 接触子のブラシが整流子をまたぐように、接触子 2 の広幅部をケース(1)の上縁にセロテープ等で止める。(接触子は自由に上下してよい)
- 27 好みにより、リード線(10)の端にみの虫クリップ(17)をハンダ付けする。電池ケース(19)は、ケース(1) の側面に速乾接着剤で固定するとよい。
- 28 電池(18)を入れ、電極をみの虫クリップではさめば回転子が回る。 (2極モーターの場合は、最初に少し手で回すこと)

入れ替えモーター 点検編

ていねいに作ってきれいに仕上がったのに回らない、今まで回っていたのに回らなくなってしまった、という時は次の点をチェックしてみよう。

電源、固定子/収納箱

- 電池が消耗している
- 磁石が弱い
- 固定子の磁石が同極同士で向かい合っている

***** 回転子と組み合わせて *****

- 回転子がスムーズに回らない
- 磁石と木ネジの隙間が一定(1~2mm)でない
- 木ネジの回転位置が磁石の真ん中の線上を通っていない(上下、左右のずれ)

回転子

- エナメル線をコイルに巻く際の巻き方向の不一致
- 整流子間の隙間の不揃い(3極用:約0.5mm、2極用:約1.5mm)
- 整流子間の隙間の竹串芯との不平行
- コイルのエナメル線の整流子への取付け方位の間違い(3極用)
- 整流子隙間の方位とコイル(木ネジ)取付け方位の角度ずれ
- 長時間使用による整流子銅箔の磨耗

接触子

● 長時間使用によるブラシ部銅箔の磨耗

電気回路の不良

まず、図のように接触子のブラシと整流子を接触させて、木ネジが電磁石になるかどうかチェックする。 ゼムクリップ等が全て、もしくはいずれかの木ネジに吸着しないようであれば、注意深く下記の部位をチェックする。



**** 接触不良 *****

- リード線と接触子のブラシ部
- ブラシと整流子部 (接触子の浮き上がりにも注意)
- 整流子とエナメル線の接続部

**** 短絡(ショート) ****

- 接触子のブラシ同士
- 整流子同士
- 整流子との接続部付近のヤスリをかけたエナメル線同士(2極モーターの場合、特に注意)
- 整流子との接続部付近でのハンダのブリッジ (ハンダが隣の整流子にまたがって付いてしまうこと)
- ▼ 木ネジに巻いたエナメル線同士、もしくはそれと木ネジ(金属)を介してのショート (乱暴にエナメル線を巻き、局部的にエナメルがはがれた場合)

くくくくく トラブル実例 >>>>>

(1) 固定子用磁石選定の不適切

[状況] 2つの磁石の丸い面同士を合わせると、どちらの面でも吸い付いてしまう。

[対策] 吸い付く側とは反対の面を近づけると反発する磁石に代えた。

(2) 固定子磁石の強さのアンバランス

[状況] 回転子木ネジの頭と固定子磁石との隙間は、どの木ネジでも同じぐらいなのに、どの木ネジの 頭も同じ側の磁石の方で止まってしまう。無理やり反対側の磁石の方に止めようとしても元の 磁石の方に回ってしまう。

[対策] どちらの磁石でも木ネジの頭が止まるような、同じぐらいの強さの磁石を選びなおした。

(3) 回転子の接触子2への接触

[状況] 回転子が回る時と回りださない時があったのでよく観察したら、回転子が回るための寸法と収納箱の深さが同じであったため、回転子の木ネジの頭が接触子2にさわって回りだせない時があることが分かった。

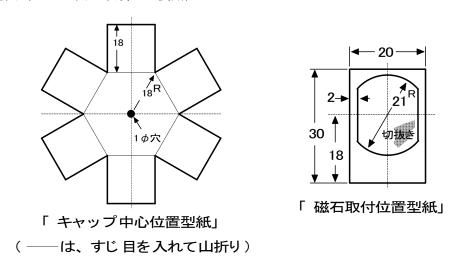
[対策] 隙間ができるように接触子2の収納箱への取付け位置を少し高くした。

入れ替えモーター 型紙・治具編

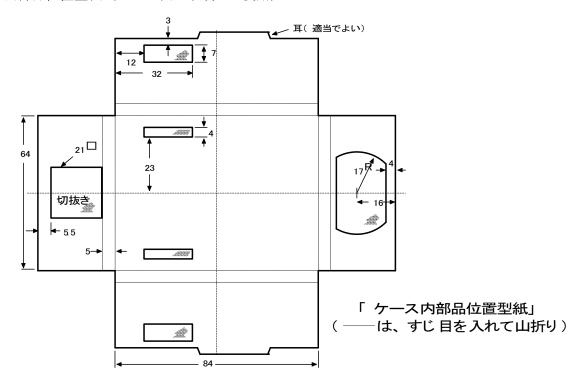
工作教室の開催など大勢の参加者が大量にモーターを作る時には、一人ひとりが寸法等を計らなくてもよいように、印を写し取る型紙を準備しておき、なぞって材料にマークすると便利です。

ここに示す型紙、治具の記載寸法は、使用する筆記具等の種類により微調整が必要です。実際に試作してみて最適値に修正して下さい。

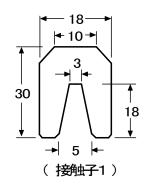
- 1. キャップ中心位置型紙(ボール紙:手順2で使用)
- 2. 磁石取付位置型紙 (ボール紙:手順4で使用)

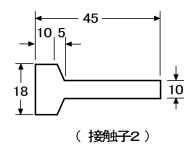


3. ケース内部品位置型紙 (ボール紙:手順5で使用)



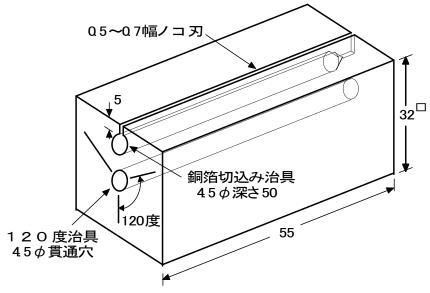
4. 接触子形状型紙 (ボール紙:手順6で使用)

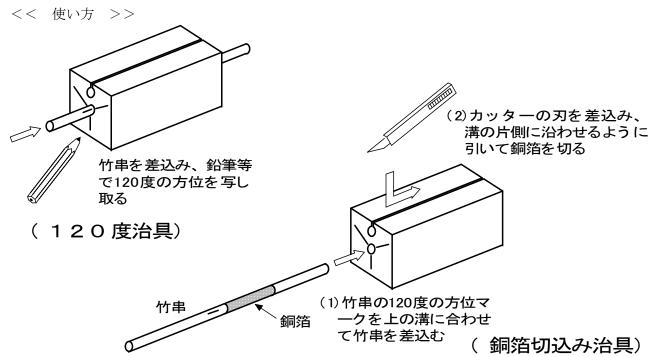




5. 120度治具(木材:手順13で使用)

6. 銅箔切込み治具(木材:手順14で使用)





入れ替えモーター 学習編

磁石・電磁石の性質

モーターがなぜ回るかを考える前に、磁石・電磁石の主な性質をおさらいしてみよう。君は次の文章で適切な言葉を選べるかな?

- (1) 磁石にはN極とS極があり、違う極同士は引き合い、同じ極同士は「・反発しあう・にらみあう」。
- (2) 磁石は鉄を吸い付け、吸い付いた鉄も「・磁石・電気」の性質を示す。
- (3) 電線を何回も同じ方向に巻いたものを [・コイル ・電池] といい、コイルに電池をつないで電流を流すとコイルは磁石の性質をしめす。これを電磁石という。
- (4) コイルの中にくぎ等の鉄を入れると磁石の性質は[・強く・えらく]なる。
- (5) コイルにかかる電圧を高く(電池の数を多く)すると、磁石の性質は[・強く・かしこく]なる。
- (6) コイルにつなぐ電池の向きを逆にすると、電磁石の S 極、N 極の向きが反対になる。コイルに巻く電線を逆の向きに巻いても電磁石の S 極、N 極の向きは $[\cdot$ 反対 ・正直]になる。

<< 正解 >>

- (1) 反発しあう
- (2) 磁石
- (3) コイル
- (4) 強く

(5) 強く

(6) 反対

さあ、「磁石・電磁石の性質」が分かったところで、次はいよいよなぜモーターが回るか考えてみよう。

なぜ2極モーターは回るのかな

2極モーターは、最初に手で少し回すと自分で回り出します。なぜか考えてみよう。

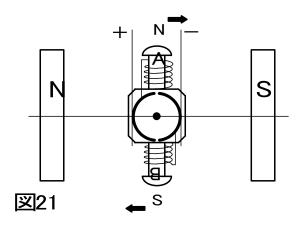
図ではブラシが整流子に触っていますからコイルに電流が流れます。2つのコイルとも同じ方向に電線が巻いてあるので、電池をつないでたとえば片方の電磁石 A の先端が N 極になれば、もう片方の電磁石 B の先端は S 極になります。すると固定子の磁石の配置との関係で、磁石の吸引・反発の性質によりこの回転子(モーター)は時計回りに回わろうとします。

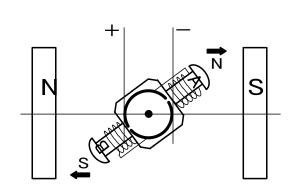
- (2) 図 22 は、電磁石 A、B の先端が固定子の磁石に引かれ、さらに回転した状態ですが、ブラシに接している整流子の関係は変わらないので、電磁石 A、B の先端の磁極 N、S は変わりません。
- (3) 図 23 は、回転の勢い(慣性力)もあって、電磁石 A、B の先端が最も固定子の磁石に接近した状態を過ぎて、さらに回転した状態です。この時のブラシに接している整流子の関係に注目すると、整流子は先ほどまで接していた電極とは逆の極性の電極に接しているのが分かります。するとコイルに流れる電流の向きが逆になるから、電磁石 A の先端は S 極に、電磁石 B の先端は N 極になります。この時、固定子の磁石との関係で見ると、やはり回転子は時計回りに回わろうとします。このようにして、電磁石 A、B 先端は整流子の隙間がブラシ部を通過するたびに、その N、S の極性を変えつつ回り続けます。
- (4) ところで、図 24 は整流子の隙間がブラシ部を通過する状態を示した図です。この状態では、電磁石 A にも B にも電流は流れません (電磁石になりません)。もし整流子の隙間が広ければ、整流子はブラシに接することができず、コイルに電流が流れません。もし隙間が狭ければ、整流子の両端は両方のブラシに触って、+-の電極間を短絡 (ショート) してしまうからコイルには電流が流れないし、無駄に電池を消耗することになってしまいます。

一般にモーターは軸受けの摩擦を小さくして回転子が軽く回るように作るので、2極モーターが停止している時電磁石 A、B の鉄芯(木ネジ)は固定子の磁石に引かれ、ちょうど図 24 に示すような状態で停止しています。この時に電池をつないでも、コイルに電流が流れないから、モーターは自分で回り出すことができません。だから、2極モーターは最初に少し手で回してやる必要があるのです。

それなら、コイルの鉄芯が固定子の磁石に引かれて止まっていても回り出すように、電磁石の先端と整流子の隙間の方向を少しの角度ずらしておいたらどうでしょう? この場合でも、もし電池をつないで電磁石に生じる磁極(N,S)が固定子の磁石と引き合う磁極なら回らないし、反発し合う磁極であってもその力は回転する中心に向かって働き、コイルの先端を回す向きには働かないので回転子は回り出すことができません。

以上説明したように、2極モーターには、最初に少し手で回してやらなければ回り出さないという特徴があります。また、整流子の隙間は、電極間が短絡しない程度に広くしておくということが重要です。







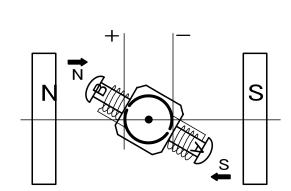
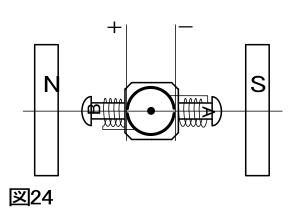


図23



考えてみよう (2極モーター)

なぜ3極モーターは回るのかな

3極モーターは、どのような位置で止まっていても電池をつなぐとすぐに回り出します。なぜか考えてみよう。

(1) クルクル回っているモーターのある瞬間を見たら図 31 のようになっていたとします。A、B、C は木ネジにコイルを巻いた電磁石で、途中が 3 ヶ所途切れた円は整流子です。電磁石と整流子は回転子の部品ですからモーターの中で一緒になってクルクル回ります。図の両側にある N と S は固定子の磁石で、+ は接触子のブラシです。磁石とブラシは止まっていて回りません。N と S が反対だったり、+ が反対だったらとの心配は、この説明を最後まで読めば自分で考えることができますから安心して下さい。

3極モーターでは、整流子の隙間がブラシにさわる状態を除けば、3つの電磁石には常に電流が流れます。電磁石 A のコイルにはブラシの電圧がそのまま加わるので、電磁石 A は強い電磁石になります。B と C のコイルはブラシにさわっていない整流子を通じてつながっていて、その両端にブラシの電圧が加わります。コイルそれぞれで見れば A のコイルの半分の電圧しかないので、電磁石 B と C は弱い電磁石になります。

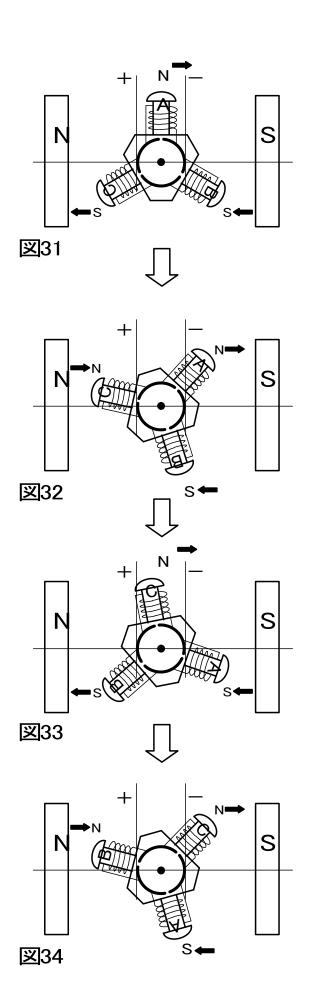
この時、電流の流れる向きに注意してみて、Aのコイルにはたとえば巻き始めの方向から電流が流れて、電磁石 Aの先端が強い N 極になったとします。すると、電流の流れる向きを示した図 36 を見て分かるように、B、C のコイルには巻き終わり方向から電流が流れるので、電磁石 B、C の先端は A とは反対の弱い S 極になります。この場合、固定子の磁石の配置との関係で、磁石の吸引・反発の性質によりこの回転子(モーター)は時計回りに回わろうとします。

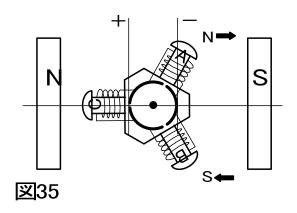
(2) 電磁石 A、B、C は固定子の磁石に引かれ、または反発して図 32 のように回転していくが、整流子の状態に注目すると、その前に図 35 に示すように整流子の隙間がブラシ部を通過します。この時、整流子の隙間は十分狭く作ってあるので、一瞬だが A と B の両方の電磁石が強い電磁石に、電磁石 C のコイルには電流が流れない状態になります。A のコイルと B のコイルに流れる電流の向きは反対なので、電磁石 A と B の先端には逆の磁極 (S,N) ができるものの、A のコイルには前の状態と同じように巻き始めの方向から電流が流れるから、それぞれの磁極は前の状態と変わりません。結局、この状態においても時計回りに回わろうとします。

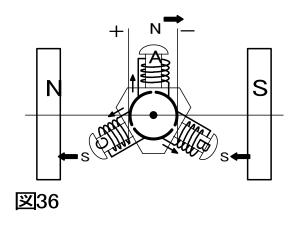
ところで、たまたま整流子の隙間がブラシ部を通過する状態で止まっているモーターを電池をつないで動かそうとする時、整流子の隙間が広いと、ブラシ側の整流子に電流が流れないのでモーターは自分では回り出すことができなくなります。ただし、最初手で回したりすれば、慣性力(回っているものは、いつまでも回ろうとする力)が働くので、一瞬電流が流れなくても回り続けることができます。また、図 35の状態でモーターが停止している時、電磁石 C の先端(鉄)は向き合っている固定子の磁石と引き合っているので、電池が消耗している時とか、回転子の軸受けの摩擦力が大きくなってしまった時とかは、吸引力に打ち勝つことができずにモーターが回り出せない場合もあります。

- (3) 整流子の隙間がブラシ部を通過すれば、図 32 のような状態になるが、先に強く磁化していた電磁石 A の先端が S 極に向き合う前に電磁石 B の先端が強い S 極に磁化され、電磁石 A と C の先端は弱い N 極に磁化されます。ただし、これによっても引き続きモーターは時計回りに回わろうとします。
- (4) 整流子の隙間がブラシ部を通過する状態を繰り返しながら、モーターの回転は図 33、34 のように強く磁化する電磁石をリレーしながら進んでいきます。結局、説明のモーターの場合、60 度の回転ごとに $A(N) \to B(S) \to C(N) \to A(S) \to B(N) \to C(S) \to A(N) \cdots$ というように強い電磁石とその磁極が変化しながら回転していきます。

3極モーターの場合、整流子の隙間がブラシ部に接する状態と、そうでない状態との2つの状態が全てであり、どちらの状態にあっても電池をつなげば必ず回る力が発生することから、どのような位置からでも自分で回り出すことができるのです。







考えてみよう (3極モーター)