

「永久独楽」の製作

金野茂男

1. はじめに

今から18年ほど前、写真1で示しているような「磁力ごま」を購入した。当時高校、中学で理科の非常勤講師をしており、磁石と磁場の作用の面白いであろう教材の一つとして購入したものである。

低い円筒形台の上面で、独楽を手で回すと、あら不思議、止まるどころか加速をつけて独楽が上面上で倒れることなく動き回りながら、回転し続けるのである。プラスチック製円柱台の直径は底面が約9cm、上面が約8cm、高さは約3cmである。上面は平らではなく、中心部がへこんだ形状をし、中心部に小さな出べそがつけられている。上面で回転する独楽は最大直径は約18mm、全高さは約20mm、重さは約2.45gである。

だいぶ昔に購入したことを思い出し、探してみたのである。本体（円柱台のこと）と独楽、それに説明書がうれしいことに残っていた。が、あまりにも時間が経過しており、動作するのであるかと不安であった。新品の006pの乾電池を取り付け、独楽を台上で回したら、何のことはない、全く昔と同じように安定して回転し続けるではないか。笑みがこぼれた。

ところで誠に残念ながら、この「磁力ごま」の製作会社名はわからずじまいである。本体にも、説明書にも会社名が書いていないのである。購入したときには箱に入っていたので、箱には明示されていたのであろう。箱は見つけれなかった。

この「磁力ごま」を大型化したい。小さい独楽が動き回るより、大きい独楽が動き回る方が見た人への印象は大きいであろうと考えた。独楽の大型化、これが今回の課題であった。結果、どうにか大型磁石独楽を試作することに成功した。実のところ、今回製作した装置は先行している「磁力ごま」をそのまま拡大したわけではない。独楽の部分に取り付けた磁石形状及び種類に大きな相違がある。このことから今回製作した装置の名称も「磁力ごま」では、少し誤解を招く。以下では自作品を「永久独楽」と呼称することにする。

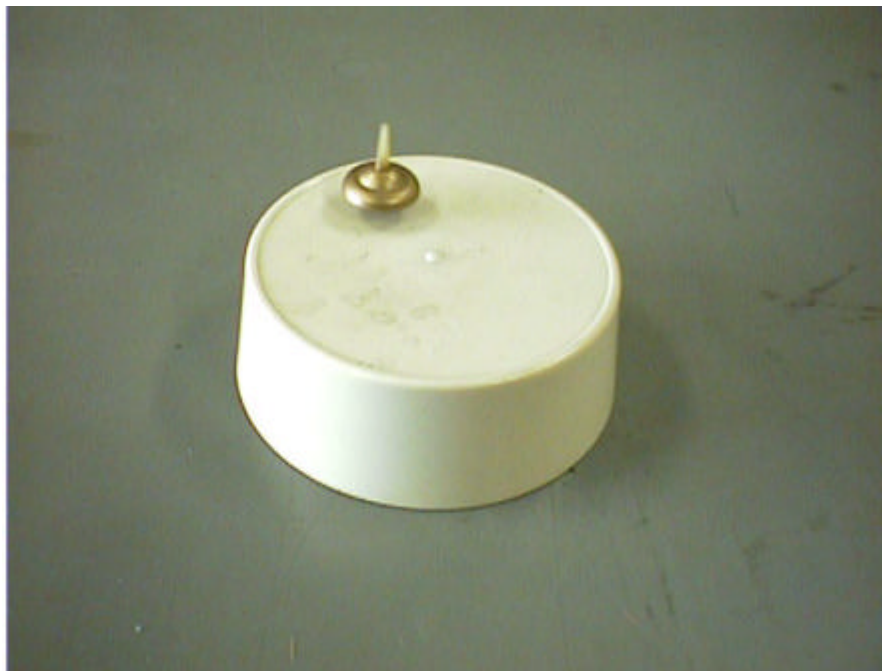


写真1 台上で回転し続ける「磁力ゴマ」

2 .「磁力ごま」の構造

「磁力ごま」を参考として大型の永久独楽を作成するので、まず最初に「磁力ごま」の構造を理解しなければならない。嬉しくも残っていた説明書を資料 1 / 2 , 2 / 2 として最後尾に添付しておいた。「磁力ごま」の構造、動作の原理の詳細についてはそれに譲る。本文中で再説明はしないので、以下の文章を読む前に、資料を熟読しておくことが必要である。

写真 2 , 3 , 4 に円柱台内部の様子と独楽の詳細を示す。円柱台の底面は簡単に取り外せる。取り外した様子が写真 2 である。円柱台も底部もプラスチック製である。右側の円柱台の内部には何の仕組みもない。台上で独楽が回るだけである。ただ、上面は凹んでいることは前述した。これは回転している独楽を中心部分に指向させる運動をもたらす機構である。上面が平らでは独楽は中央部に寄り難くなる。上面の中央部の下に底部に取り付けられているソレノイドコイルが位置する。このソレノイドコイルから、独楽は遠隔の回転力を受ける。独楽が中央部分から離れてばかりいては、この力を受けることができないのである。

独楽が中央付近に居続けても不都合が起こる。中央で回転しているだけでは、ソレノイドコイルを貫く磁束数が変化しないので、ソレノイドは回転力を発生しない。独楽が中央付近を横切る瞬間にソレノイドに回転力が発生し、そしてそれを独楽が受けるのである。したがって、独楽が中央に位置し続けないように、中央部に出べそが付けられている。

鉄心入りの単純な構造のソレノイドコイルが底部の中央に位置している。その脇に、直流電源である 0 0 6 p 乾電池がある。写真では明瞭に識別できないが、ソレノイドコイルの縁には 2 S C の小さいトランジスタが 1 個ある。台の内部の構造は以上の通り、簡単なものである。ソレノイドコイルとトランジスタの作る電気回路が「磁力ごま」の秘密の 1 つである。写真 2 の中央の円形の小さな物体が独楽である。独楽を底部から見ている。回転軸の回りにリング状のフェライト製永久磁石が接着されている。この永久磁石の存在と形状が「磁力ごま」の秘密の 2 つ目である。

写真 3 は独楽を下側面から見たもの、写真 4 は上側面から見たものである。独楽本体もプラスチックでできている。スカートの下にリング状永久磁石があるだけの、一見すると単純な小さい独楽のように見える。

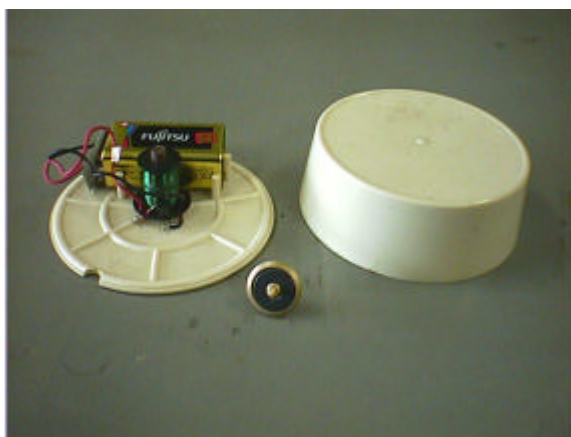


写真 2 台及び底部と独楽の底面



写真 3 独楽を下から見る



写真4 独楽を上から見る

2. 製作

(1) 中型「永久独楽」の製作

さて、「磁力ごま」を手本に、「永久独楽」の製作に取りかかろう。独楽を大きくし、それに対応させて、ソレノイドコイルと回転受け皿も大きくすればよいであろうことはすぐわかる。「磁力ごま」に使用されているソレノイドコイルのパラメータは以下の通りであった。鉄心コア直径5.5 mm、長さ2.8 mm。コイル巻幅1.8 mm、コイル巻外直径1.3 mm。コイルの巻数を、以上の形状と、直流抵抗の測定値（全抵抗値 1.5 k、そのうちベース - エミッタ間 1 k）直径0.05 mmのエナメル線の抵抗が8.8 k / kmであることから算出した。結果、全巻数は5400回、そのうちベース - エミッタ間は3600回と推断した。

ソレノイドコイルの大型化はコアの鉄心を太くし、巻き線も太くし、使用するトランジスタの定格も大きくすれば、どうにか大型化できそうである。コアの鉄心として、直径12 mm、長さ40 mmの軟鉄（ボルトから切り出した）を使用することにした。コイルの巻数は「磁力ごま」のソレノイドの巻数と同じとするが、使用するコイル線として直径0.1 mm（抵抗2.2 k / km）のものを使用することにした。巻幅は30 mm。トランジスタには手元にあった少し大きな2SC1398を使用した。図1にソレノイド駆動回路図を示しておく。写真5が製作したソレノイド回路である。左に伸びている2本線は電源線である。

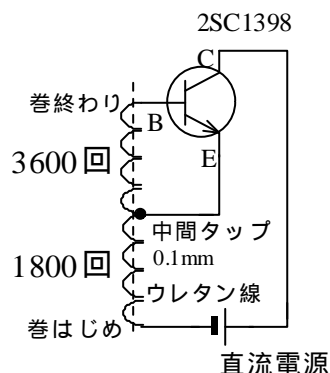


図1 新ソレノイド回路

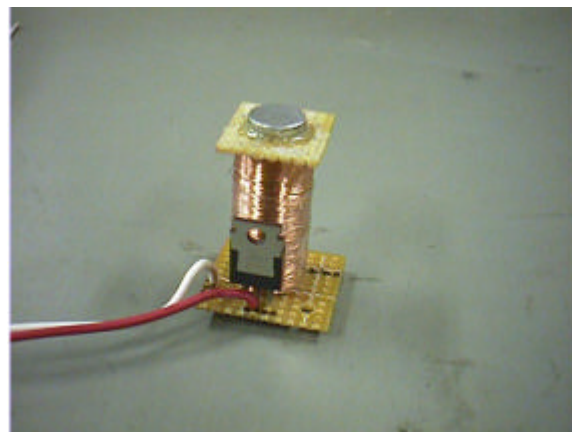


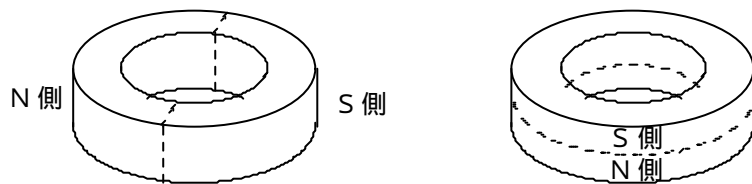
写真5 製作したソレノイド回路

独楽の受け皿として、いろいろなものを考え、探した。偶然絶好なものを見つけた。球面透明ガラス窓の付いたありふれた掛け時計である。通常の時計では平板の透明窓が使用されているが、この時計は球面窓なのである。この窓を取り外して使用すれば、独楽の回転台として最適である。残りの時計の部品もこの球面鏡を保持するための台として転用できそうである。結構なものを発掘した。写真6がその時計であり、外直径はおおよそ35cm。



写真6 回転台に使用した時計

独楽に取り付けるマグネットとして、文房具として売られている書類留め用の穴あきマグネットの大きなものを使用すればよい。と、最初は考えた。が、資料からわかるように、「磁力ごま」の独楽に取り付けられているリング状マグネットは左右に磁化している。市販されているリング状マグネットは上下に磁化されている。図2にそれを図解しておいた。



(イ) 「磁力ごま」のマグネットの磁化分布 (ロ) 通常マグネットの磁化分布

図2 リング状マグネットの磁化区分

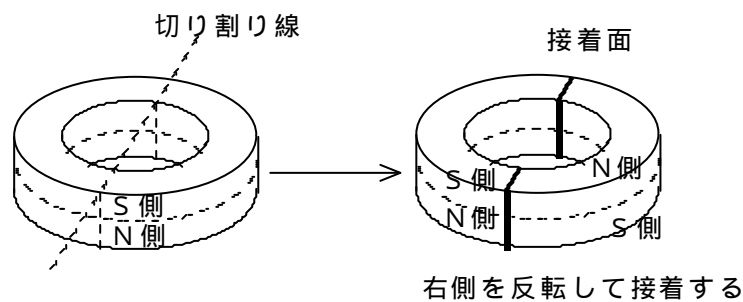


図3 通常リングマグネットから「磁力ごま」と同じ磁化分布のマグネットを作る方法の加工

マグネットのN極（或いはS極）がソレノイド上を瞬間的に横切るとき、電磁誘導現象により、独楽はソレノイドから磁気反発力を受ける。従って、図2の（ロ）のような磁石は使えない。どうしても、（イ）のように磁化された大きな磁石が必要となる。が、その様な磁石は市場には全くない。（イ）のような磁化方向を持つ磁石は「磁力ごま」を作成した会社が特別に用立てたものようである。

どうしようか?? 一案として、（ロ）の磁石から（イ）の磁極配置の磁石を作ることを試みた。（ロ）の磁石を真ん中から2つに切り掻き、片方を反転して切り口を接着する方法である。図3にその様子を図解している。フェライト製なので、尋常の方法で切断することは困難である。折り欠くしかない。破断面はボロボロとなる。が、接着すると、一応は「磁気ゴマ」のマグネットと同じ磁極配置にはなる。これをアクリル円盤に、同じくアクリル棒を回転軸として取り付けた独楽の底面に接着して「永久独楽」の試作品とした。

以上で下準備ができたので、回転試験を試みた。「磁力ごま」の独楽を使用すると回転動作を上手くさせることができる。が試作した独楽では、どうも、フェライト磁石が厚すぎるのか、また独楽が重すぎるのか、回転動作が思うようにならなかった。不調の最大の原因は独楽にあるとして、幾つかの独楽を試作して改善を試みたが、どうやっても上手く行かない。手図まりの状態に陥った。

そうしているうち、ふとアイデアが浮かんできた。独楽に希土類磁石（ネオジ磁石）を使えば、軽いうえに、強力な磁界を得ることができるはず。ネオジ磁石の形状は円形（或いは円柱）ではあるが、「磁力ごま」の資料から判断すると、独楽のスカート部分に2つのネオジ磁石を取り付ければ、リング磁石と同様の磁界を独楽に配置することができるはず、と考えた。図4のような独楽の試作品を作り、回転試験を試みた。不十分ながら、回転が持続されそうなのがわかった。独楽の大きさ、回転軸の長さ、スカート下の長さ、磁石の大きさ及び強さ、磁石の取り付け位置、等々色々に変更して、より安定した回転をする独楽を見いだすことに努めた。

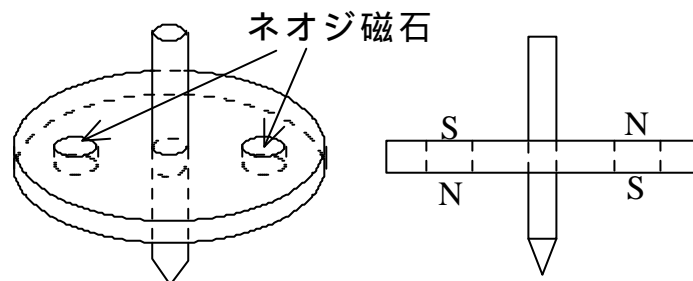


図4 ネオジ磁石を用いた独楽

最終的に、これとして選択した独楽は次のようにして製作した。写真7, 8に独楽の原料を示している。店の文房具部門で販売している黒板などに書類を留めておくためのマグネットである。これは今までの通常の文具マグネット（フェライト製）と違い、透明さを売り物にした新型の文具マグネットである。写真から一目瞭然であろう。。このような文具マグネットは今までに目にしたことはなかった。最近初めて目にした商品である。ネオジ磁石は結構高価であり、一般ではなかなか購入することができなかつたものである。透明な円形プラスチックの一部に小さいながら強力なネオジ磁石が埋め込まれている。写真8でよく見える。円形のプラスチックの直径は30 mm、ネオジ磁石の大きさは直径5 mm、高さ3 mmである。写真8からわかるように、この磁石は独楽として使うのに好都合なことに、中心からずれたところに取り付けられている。円盤の中心部に穴を開け回転軸を取り付け、磁石の対称位置に穴を開けて同じネオジ磁石を取り付ければ、独楽ができる。写真9がそれである。

独楽のパラメータは次の通りである。全重4.9 g、ネオジ磁石を対称位置（取り付け半径7 mm）に2つ、スカートの直径30 mm、回転軸（アクリル棒）の直径2 mm。回転軸はス

カートにきつめに差し込む。接着はしない。スカート下の回転軸の長さが安定した回転運動に微妙に影響するので、微調整することができるようにするためである。

写真9の独楽を用いたとき、安定した連続回転状態が得られるのは、スカート下の回転軸の長さが6 mm ~ 9 mmの時である。それでも1 mmの長さの違いで回転状態は結構異なる。電源電圧は5 V ~ 20 Vであった。回転開始時には高い電圧にしておき、安定回転状態に入った時点で、電圧を下げて安定回転動作は持続する。その様子を写真10で示している。が、独楽は半透明であり、回転しながら動き回っているため、その姿が良く映っていない。12時と1時の文字の間あたりに位置しているのであるが、カラーならば薄黄色で見れるが、白黒では全く見れないようである。



写真7 ネオジ磁石を用いた文具マグネット



写真8 左の拡大



写真9 調子の良い独楽



写真10 独楽の回転

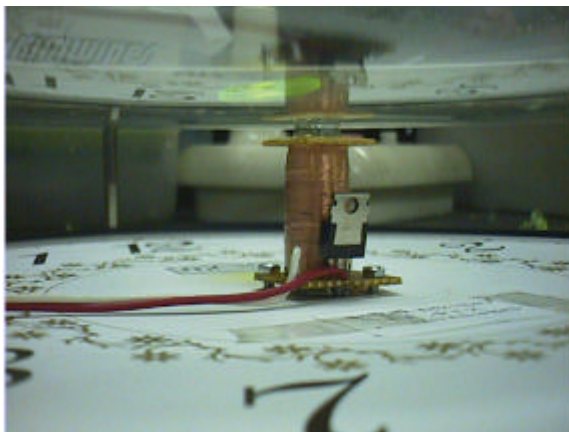


写真11 取り付けしたソレノイド

写真10から、写真6で示している時計の透明窓を逆さにし、残りの部分はスペーサを用いて台として上手い具合に利用していることが見てとれよう。写真11には、台の中の中央部に取り付けられたソレノイドコイルの様子が示されている。ソレノイドコイルの上端に、球形状の皿が密着している。

(2) 大型「永久独楽」の製作

重さ5gの独楽の回転に成功したので、更に大きな独楽に挑戦した。写真12が独楽で、写真13がソレノイドである。独楽はスカートの厚さ3mm、直径70mmの亚克力円盤、回転軸は直径6mmの亚克力棒である。円盤の半径15mmの対称位置の2箇所に10mmの穴を開け、ネオジ磁石を挟み込んでいる。ネオジ磁石の大きさは直径10mm、厚さ3mmである。回転軸は微調整ができるようにきつく差し込んでいる。独楽の全重は17.1gとなった。ソレノイドは「中型」とほぼ同じ規格である。相違点はコイル線として直径が倍の直径0.2mmのウレタン線を用いている点だけである。

写真14に大型独楽の安定回転の様子を示している。中型独楽ほど勢い良く回転はしないが、安定回転は中型独楽以上である。

直径15mm、厚さ3mmのネオジ磁石を2個、取り付け半径10mmとした同型の独楽も作成した。回転安定性は非常に良好である。

取り付け半径20mmとして、2個のネオジ磁石を対称位置に取り付けた独楽、4個のネオジ磁石を90°のづつずらして取り付け付けた独楽も作成してみた。これらの回転状態は思わしくなかった。

このように、ネオジ磁石を取り付ける半径長の大小、ネオジ磁石の個数、ネオジ磁石の取り付け向き、等により独楽の回転安定性に顕著な相違が見られる。今のところは詳しく分析はしていない。試験すれば、面白い所見が得られるのではないかと考える。

一応の所見は次のようなものである。

- ・磁石の取り付け半径が20mmでは不調、15mm良、10mm好調。
- ・取り付け磁石の個数1個では不調、2個が良、4個では不調。
- ・取り付け半径が同じで、磁石数も同じなとき、大きい磁石ほど良好。



写真12 「大型」独楽

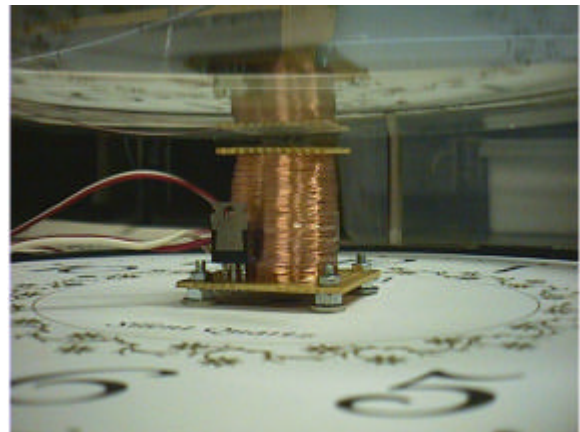


写真13 「大型」独楽用ソレノイド

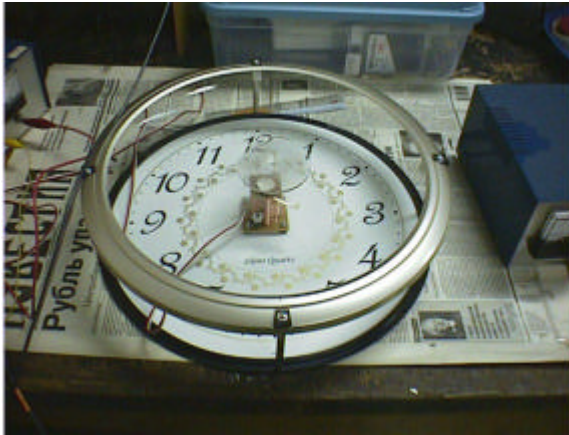


写真 1 4 「大型」独楽の回転状態



写真 1 5 3つの独楽

3 . 終わりに

写真 1 5 に、3つの独楽の回転を 1 堂に集めて示している。左が大型、中央が中型、右が「磁力ごま」である。

ガウスメータで磁束密度を測定すると、「磁力ごま」のフェライト磁石の磁束密度は最大で約 5 0 0 ガウス程度、ネオジ磁石のそれは約 3 0 0 0 ガウスであった。約 6 倍の強度である。中型独楽は高速で軽快に回転してくれるが、始動時に上手くかつ早く回さないと、安定した回転動作に行かないので、まだまだ調整の余地がありそうである。

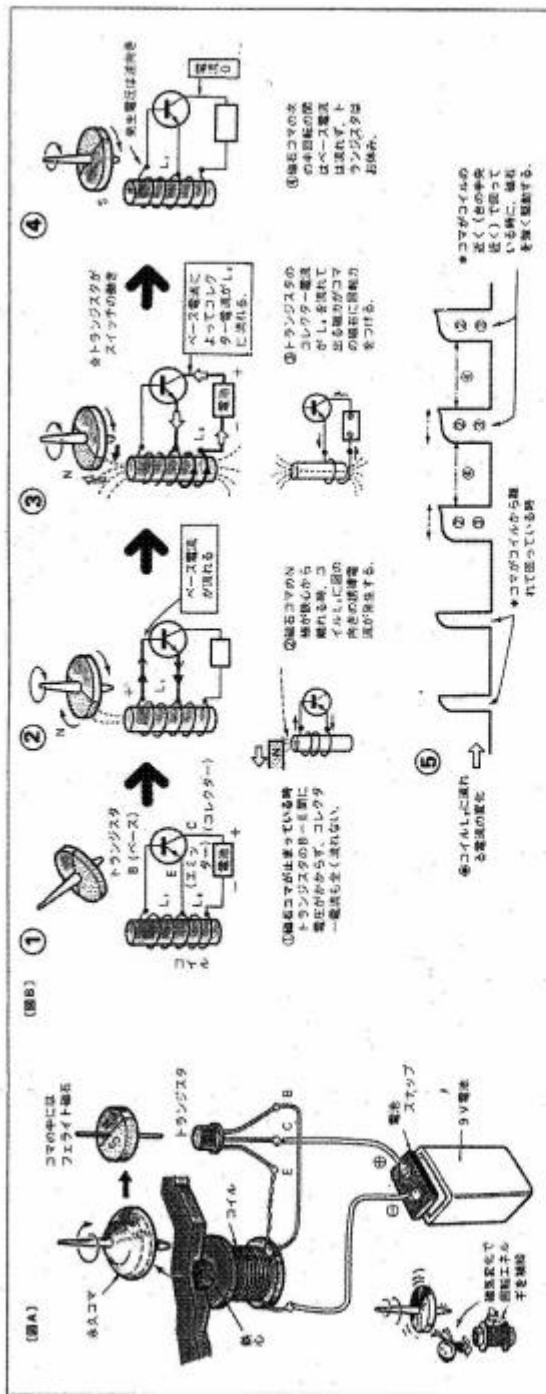
大型は安定して回転し続けるが、中型と比較すると、回転速度が遅い。磁石の取り付け位置、磁石の大きさ、磁石の個数などを調整することで、軽快に回転動作をさせることができそうである。

更に大きなソレノイドコイルを（軟鉄コア、直径 2 0 mm、長さ 8 0 mm、巻数及びウレタン線直径は大型独楽のソレノイドと同じ）作成し、調子の良かった中型独楽及び、大型独楽での回転動作を試験してみた。不調であった。特別に更に大きな独楽は作成はしていない。ソレノイドの大きさにあった独楽が必要なようである。今後それを作るかどうか今のところ決めていない。このあたりで、一応製作を終了し、他の仕事に取りかかりたいのである。

以上からわかるように、「磁気ごま」とは異なった磁石を用い、大きな永久独楽を安定して回転させることに成功した。得られた結果から判断すると、色々な変種も可能であり、更なる改良方法が沢山ありそうである。もっともっと大きな独楽を回転させることもできるのかもしれない。

この独楽の製作は学園祭への参加作品として取り組んだものである。次回の学園祭にその様な独楽の作成に取りかかるかどうかは今のところ決めていない。

2 0 0 1 年 1 1 月 1 5 日



コイルの磁極が反対極性となる半回転の間は、コイルに誘導される電流は逆向きとなってトランジスタのベース電流は流れず、コイル上に流れる電流も図の②のような波形をくり返します。

作り方

表のカラー実体図を参考に製作してください。このセットの製作では要するところは、トランジスタの向きとハンダ付けです。ホルダー側をハンダ付けする時は、必ずひよくけずってから行なってください。また、ホルダー側は0.05mmとかなり薄いので、断線しないように注意してください。

電池スタックのリード線は、図の高出力はアラス、高容量はアラスです。形を長く風で乾燥して下さい。なお電線は5つのポッチの中に入りますから、コイルのワタの中にスポンジをポッチ側に向けて下さい。

水平な机の上を置きコマを勢よく回せば、コマは加速します。勢のアイデアで勢の強い方も、

のようにになります。図Bで、まず①のようにコマが止まっている時、コマを右に回している時は、このトランジスタのベース電流とエミッタ電流の間には電圧がかからないので、トランジスタはOFF状態で電流は全く流れません。

次に指でコマを回してみよう。コマの磁石が図の②の位置の磁極から反印に回ると、磁石が多いL₁コイルの中の磁力線が減るにつれて、コイルの端には電流が誘導され(レンツの法則)、これがトランジスタのベース電流となります。

こうしてトランジスタがONになるとコレクタ電流が図の③のように流れ、L₂のCoilから出る磁力線がコマの磁極に働きかけて、コマの回転を加速する作用をすることになります。

このように、コマの回転につれてコイルを通る磁力線が変化し、そのために発生する電流でトランジスタをスイッチング動作させて、コマを加速する電圧をコイルをON・OFFするというのがこの不思議なコマの働きですが、図の④のように

少しスピードが落ちたかと思う。キーンと体感に自身で加速して、台の真ん中を中心に戻すように動き始めるコマ、その後の変化はこのコマ自身はフェライト磁石です。アラスチップの台の中には図Aのようなコイルとトランジスタ回路が隠れているわけだ。

いくらか磁石のコマでも、ただ回しただけではだんだん回転が落ちてきますが、これに下からチョン・チョンと回転をつけてやるのがコイル L₁を巻いた電磁石です。それに、磁石の反印(NとSとの間には反発しあいますが)と吸引(NとSとの間には吸引しあいます)の力でコマを力付けるためには、モーターと同じように磁極の位置関係がうまく行かないと困りますが、そのためにはコマの磁極位置をコイル L₁で検出し、うまくコマのCoilに電流を通じてやります。

このスイッチの働きをトランジスタにさせるようにしてまとめたのがこのセットで、動作は図B



(部品表)

1. ケース	1個
2. コイルの芯	8.0mmφ
3. 鉄心	1mmφ
4. トランジスタ	1個
5. 電池スタック	1個
6. コマ	2ヶ