

「永久独楽」の製作 - その2

金野茂男

1.はじめに

面白い動きをする永久独楽の第1報は既に紹介している⁽¹⁾。が、紹介している論文を参考にしても、自作するには少し面倒だったようである。今回、この永久独楽を非常に容易に制作する方法を立ち上げたので報告する。写真1が新しい永久独楽である。直径17cm、高さ8cmの半透明な円筒形容器の上で、直径3cmほどのプラスチック製の独楽が、時には加速され、”永久に”回り続ける。

この永久独楽は永久磁石、電磁石、磁気誘導、電気誘導、トランジスタ、電気回路、独楽の運動等々の格好の実験・製作・デモ教材になりそうである。また、もの作り実習、工学実験、技術工作などの課題としても面白く、かつ役に立つのではなかろうか。材料が調達できていれば、製作時間は3時間～4時間以内である。作り上げるだけならば、小学生高学年でも十分やれると思う。

製作に重点をおくならば、この節、2、3、4、7節を読むだけで十分であろう。より詳細に理解をしたければ、或いは改良、改変などの目的があれば、第5、6節を読むこと。



写真1 出来上がった永久独楽

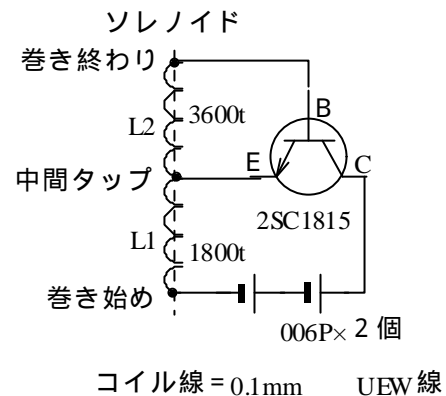
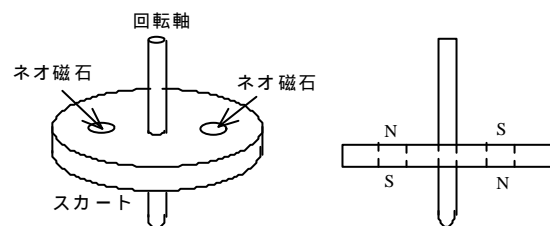


図1 永久独楽の電気回路図

図2 永久独楽の構造



2.電気回路図と独楽の構造

図1に回転台兼容器内に納まっている電気回路図を、図2に回転台の上で回転移動する独楽の構造図を示している。回路図は極めて簡単である。独楽はスカート内に2個の強力なネオジム磁石を持っているだけである。回転しながら近づいてきた独楽の磁石に、ソレノイドが感応し、トランジスタを導通させ、より大きな磁界をソレノイド内に生じさせる。この磁界と独楽の磁界が相互作用する。この作用力が独楽に回転力を付加し、回転を加速させる。この永久

独楽が通常の独楽と違うのは、2個の磁石を持っている点だけである。電気回路の詳細な動作、独楽とソレノイド間の相互作用の詳細については第5，6節で述べている。

3. 必要な材料と部品

必要な材料・部品を写真2，3で示す。独楽をプラスチック製にしたときが写真2で、木製にしたときが写真3である。独楽の部品以外は同じである。独楽をプラスチック製にするか、木製にするかは好みであるが、両方を作成しても当然かまわない。今のところの結果では、木製独楽の仕上げ程度にもよるのであろうが、プラスチック製の独楽の方が回転がより滑らかで、より安定している。

表1，2は写真2，3で示している各部品の説明である。



写真2 必要部品 その1 (プラスチック独楽の場合)



写真3 必要部品 その2 (木製独楽の場合)

1	回転台兼容器	プレゼントBOX (丸・中)	直径17cm×8cm (株)大創産業製、100円ショップ「ダイソー」店で購入。 この容器の蓋はうまい具合に下に凹んでおり、独楽の回転台にはもってこいであった。かつ蓋の円周部は少し盛り上がっており、独楽が円周部に来ても外にこぼれにくい構造も持っている。 前は凸面ガラス面を持った掛時計を転用したが、この点が極めて良く改善された。
2	006P乾電池ケース	2個	
3	006P乾電池(+9V)	2個	
4	電池スナップ	2個	
5	0.1mmウレタン線	12g~13g	
6	フランジその1	1枚	片面基板 3cm四方 中心に6mm 穴 周りにコイルの端子、トランジスタの端子、電源線を取り付ける。配線パターン図は後に掲載している。 片面基板である必要はない。厚紙で十分に代用できる。その時には、各端子は紙に穴を開けて接着すると良い。
7	フランジその2	1枚	片面基板 2cm四方 中心に6mm 穴 片面基板である必要は全くない。厚紙で代用できる。
8	六角ボルト	1本	6mm × 30mm 普通にある軟鉄のもの
9	トランジスタ	1個	2SC1815 相当品ならばどれでも良さそう
10	電源コード	2本	適当な長さ

表1 共通部品

(1) プラスチック独楽の場合

1.1	アクリル棒	1本	直径2mm~3mm当たり、長さ4cmで十分
1.2	リバーシブルマグネット	1組	直径30mm×5mm (株)サンケーキコム製 文房具店等で購入できよう プラスチック円盤の1つを独楽として使用し、もう1つのプラスチック円盤はネオ磁石を提供させるだけ。

(2) 木製独楽の場合

1.1	竹丸棒	1本	直径2mm~3mm当たり、長さ4cmで十分
1.2	木製円盤	1枚	直径3cm×5mm
1.3	ダルママグネット	2個	ネオ磁石のみ使用 (株)サンケーキコム 文房具店で購入できよう ネオ磁石が欲しいだけである。前述のリバーシブルマグネットを使用しても良い。

表2 独楽の部品

4.製作の手順

(1) プラスチック独楽の製作

- 1 梱包ケースから円盤を取り出す。アクリル棒は4 cm以上の長さで切り出す。
独楽の回転軸となるので、片端をヤスリなどで丸くするか、尖らす。(写真4)
- 2 写真5で示しているように、紙に円盤の直径の円と、ネオ磁石を取り付ける直径の円、及び基準線を引いた下紙を用意し、その上に円盤を乗せる。
- 3 写真6のようにして、回転軸の取り付け位置と、ネオ磁石の取り付け位置の中心に、ポンチその他で印を付ける。ドリルで穴を開けるためである。
- 4 印を付けたところに、ドリルで穴を開ける(写真7 左は穴を開ける前、右は穴を開けた後)。ドリルの径は各々使用するアクリル棒、ネオ磁石の径に合わせる。開けた穴にアクリル棒、ネオ磁石がきつく入るのを良とする。ドリルはスタンド固定のものか、ボール盤を勧める。
- 5 アクリル棒と、2つの磁石の磁極の向きを確かめた上で円盤に差し込んで、一応独楽の完成である(写真8)。磁石の填りが緩かったならば、接着で固定するか、小さいセロテープを張り付けて固定させるのも良い。

この段階で、アクリル棒を接着してはいけない。アクリル棒(回転軸)の股下の長さが、独楽の運動に大きな影響を与えるので、長さ調節をしなければならないためである。これらのことは木製独楽の場合でも同じである。

出来上がりで重量は約4.9 gであった。

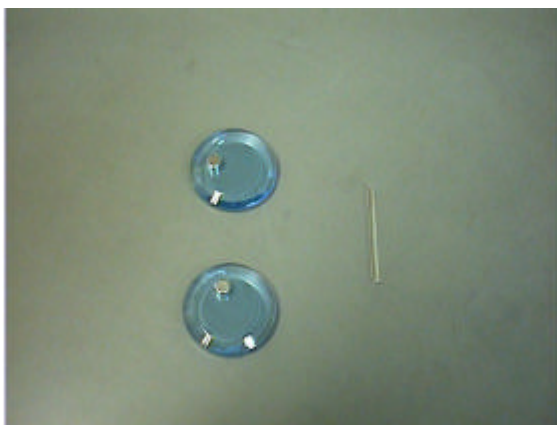


写真4 独楽の材料の準備

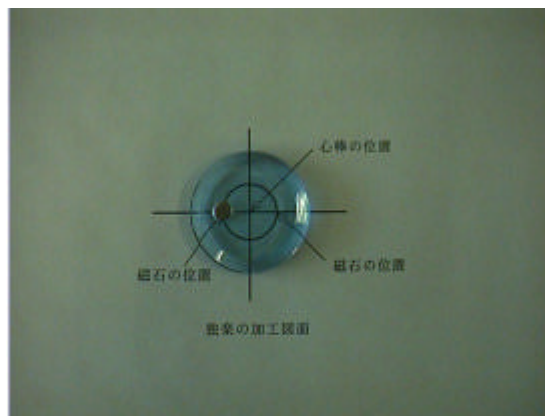


写真5 穴開けの下準備

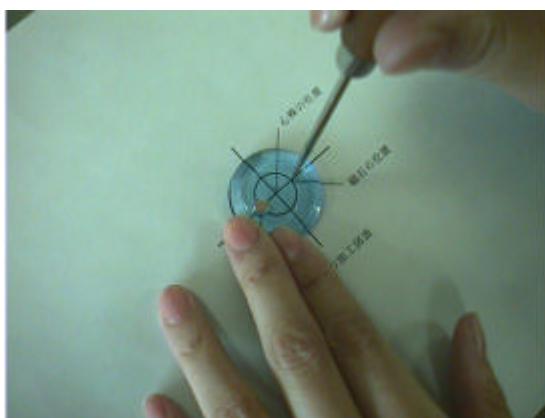


写真6 印を付ける



写真7 穴を開ける



写真8 プラスチック製独楽の完成

(2) 木製独楽の製作

- 1 直径3 cm、厚さ5 mmの木製円盤が調達できればそれを使用すればよいが、無いときは直径3 cmの丸木から切り出す。或いは、5 mm厚板から切り出す。
- 2 中心に回転軸用穴、直径1.4 mm～2.0 mm範囲の円周上に、ネオ磁石用穴の位置を罫書き、ドリルで穴を開ける。
- 3 ネオ磁石はダルママグネットを打ち欠いて取り出せばよい。
- 4 竹棒とネオ磁石を差し込む。

写真9に円盤の加工順を例示している。左上が最初、右下が完成である。出来上がりで重量は3.3 gであった。

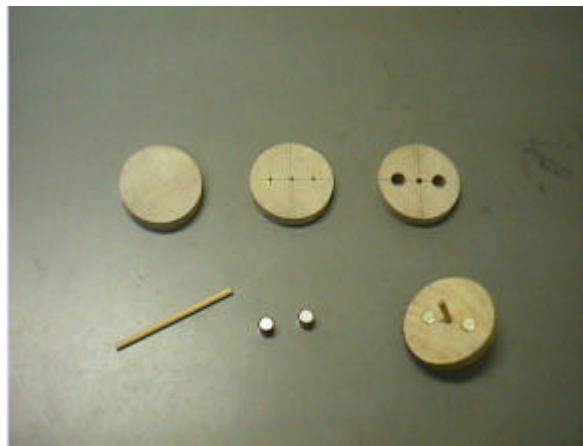


写真9 木製独楽の製作

(3) ソレノイドの製作と回転台への取り付け

両フランジを自作する。ここでは片面感光基板を利用するが、穴あき基板、厚紙、プラ板等でも十分に代用できる。プリント基板の加工ができないならば、その方を勧める。その場合には写真11、12、13などを参考にして、使用する板に各端子の穴の位置を決めると良い。

写真10にパターン原図の様子を示しているが、この写真は参考までにして欲しい。回路が小さい上に、カメラの接写性能の限界にあったから、ピンぼけ状態である。後半にエッチング回路パターン作成ソフトPcbeで作成した原図を添付しておいた。またそのデータプログラムも添付資料としておいた。

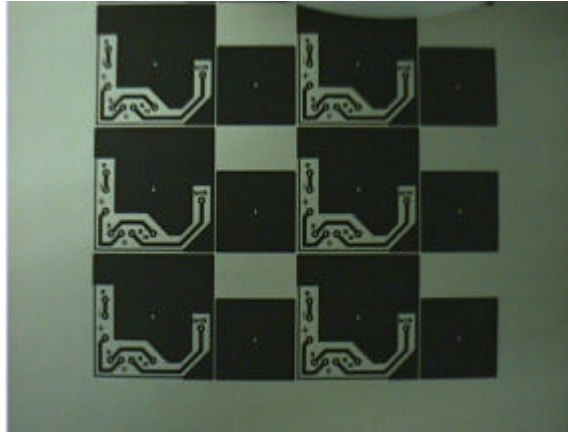


写真10 基板のパターン図

- 1 六角ボルトに2枚のフランジを接着固定する(写真11, 12の右側)。写真からは上のフランジからボルトの飛び出しているように、固定しているが、後々のことを考えると、飛び出させない方が良かった。その方が、後で蓋に接着するとき接着面を大きくとれるからである。
- 2 ボルトのピッチ目には巻き付けるコイルが傷つかないように、セロテープを一巻き以上貼り付ける(写真11, 12の右側)。
- 3 これから、ウレタンコイル線の巻き付けに入る。巻き付けている最中に、コイル母体でコイルが絡まないような工夫が必要である。写真2, 3中の番号5で示しているコイルの状態、線を引き出していくと、線がコイル母体で絡まる可能性大である。対策の1つとして、母体に長めの紙をロール上にして差し入れておくのも良い。
- 4 コイルの巻きはじめをフランジの片側の指定の穴に差し入れ固定する。
- 5 後は指定回数だけ巻いていくことになる。右利きの人ならば、左手でボルトの頭を持ち、右手で巻いていけば良いであろう。どちら向きに巻くかであるが、ボルトの頭から見て左巻きにしておけば、第5, 6節での解説と話が合う。回転工具などがあれば、それにボルトを固定して、回転させ、コイルを巻き付けていけば、結構早く巻き上げることができる。が、確実なのは、コイル線が絡まないよう、よじれないよう注意しながら、ボルトに一樣に、偏らないように、根気よく手で巻き続けることである。
1800回巻く。
- 6 中間タップまで巻き上げたら、中間タップ部分をフランジの指定部分に差し入れ固定する。
- 7 引き続き、巻き続けていく。
3600回巻く。
- 8 巻き終わりとなったら、その部分をフランジの指定部分の穴に固定する。巻きに要する時間は1時間程度と思う。
- 9 指定部分にトランジスタ、配線を取り付け、図2の回路図に合致するように、所定の箇所を半田付けして、ソレノイド部分の完成である(写真11, 12の左側)。
- 10 出来上がったソレノイドを回転台兼容器の蓋の内側中心に取り付ける。写真13に示しているように、接着固定する。蓋側の接着箇所は紙ヤスリなどで表面をザラザラにしておいた方が接着力を稼げる。アラルライト系2液型速乾性の接着剤をたっぷり使用すると良いであろう。硬化するまで手で押さえていても良いであろうが、接着剤が固まるまで何かの固定器具で保持しておくとも疲れない。

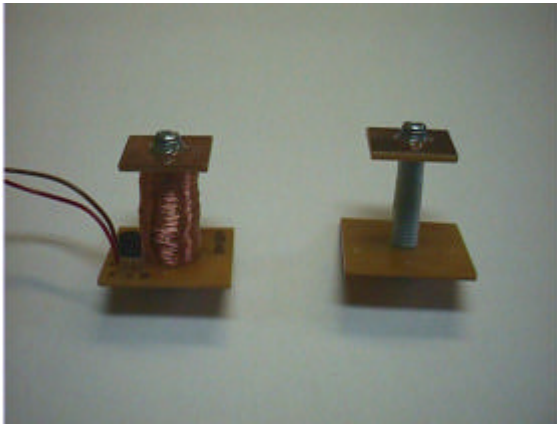


写真 1 1 ソレノイドの外見その 1

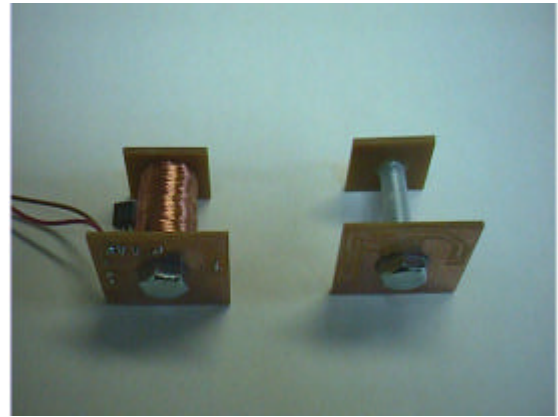


写真 1 2 ソレノイドの外見その 2

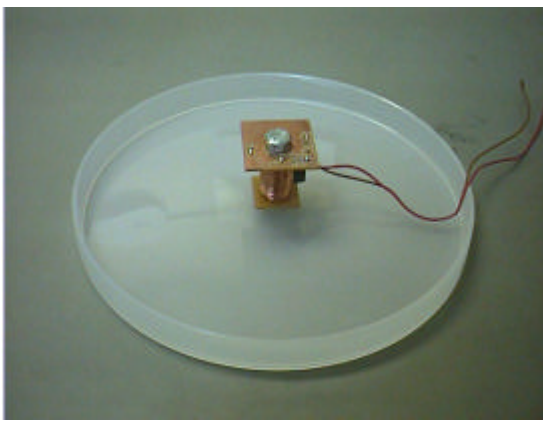


写真 1 3 ソレノイドを蓋に接着固定する

(4) 電池の取り付けと配線

ソレノイドを蓋に接着固定できたら、後は電池を容器内に固定し、配線を完了させる。

- 1 乾電池ケースを両面テープで容器の底に貼り付ける。蓋を閉じたとき、ソレノイドが電池と衝突しない位置、或いは衝突しないことを確認してから行うこと。
- 2 ソレノイドと電池スナップ間の配線を接続する。スイッチは特に用いない。独楽を回していない時には、トランジスタは off 状態にあり、回路にほとんど電流が流れないので、電源スイッチは特に必要ない。
- 3 ここまで来たら、完成である (写真 1 4) 。

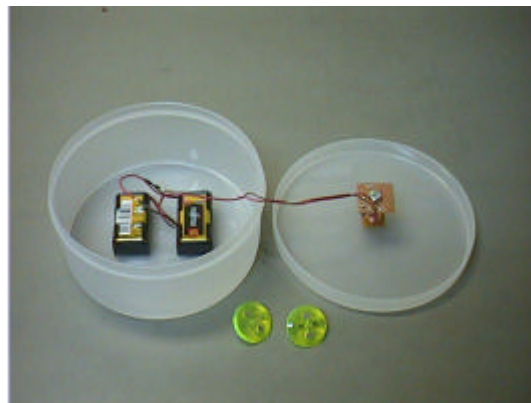


写真 1 4 最後の配線

以上で一応完成である。蓋をして、容器を水平にし、独楽を蓋の上で、手で勢い良く回してみる。独楽の股下の長さ（目安として5mm前後）を変えながら調整を繰り返す。その際における若干の注意事項を述べておく

- 1 初期の回転数が小さいと余り加速されない。
- 2 股下が短いほど加速力が大きくなるが、独楽のスカートが回転台に接触して、転けやすくなる。
- 3 股下を長くし過ぎると、当然加速力も小さくなる。
- 4 回転台の中央（ソレノイドの真上）に、独楽が位置すると対称性から理解されるように、加速力を受けなくなる。従って回転台の中央には何かを貼り付けるか、小山状態にして、独楽がその位置を避けるようにしておくと、調子がよい。
- 5 4に記述した対策だけだと、単調な回転・移動運動だけになる場合がある。動きを際立たせたいなら、台上に適当な滑らかな小山や小山脈（しょうさんみやく）を設けると良い。トライ&エラーである。

5.原理の解説

この節では永久独楽の原理の解説を試みる。図3は装置の断面の概略図である。回転台の中央真下にはソレノイドが密着している。その上に独楽が回りながら近づいてくる様子を示している。

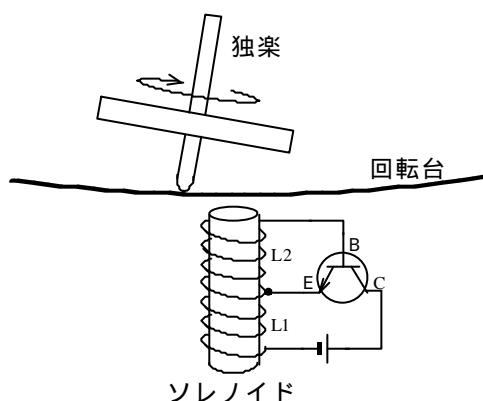


図3 独楽、回転台、ソレノイドの配位

図3のソレノイドのコイルL2部分は独楽の磁石が外に作る磁界の検出コイル、コイルL1はトランジスタがオンした時、ソレノイド全体を磁化させる駆動コイルの役割を担っている。図に示しているソレノイドの巻き方では、トランジスタがオンとなりコイルL1に電流が流れる場合だけ、ソレノイドの上側がN極となることが、アンペールの右ネジの法則を適用することでわかる。ソレノイドの上側がS極になるようには電流は流れないし、トランジスタがオフの時は、電流が流れないので、L1による磁界は発生しない。とすることを確認しておこう。

独楽のスカートに付いている2つ磁石は、図2に示しているように下側に別々にN極とS極を向けている。従って、独楽が回転しながらソレノイドの上を通過することは、ソレノイド端面を、交互にN極とS極が通過することになる。その時どのようなことが生ずるか、図4を用いて解析する。

図の理解には、図4でL1とL2を流れることになる電流は、トランジスタのダイオード的特性から常にL2では上向き、L1では下向きであることに注意しておいた方がよい。また、ソレノイドの下から覗いた時、コイルは一様に左巻きである点もである。

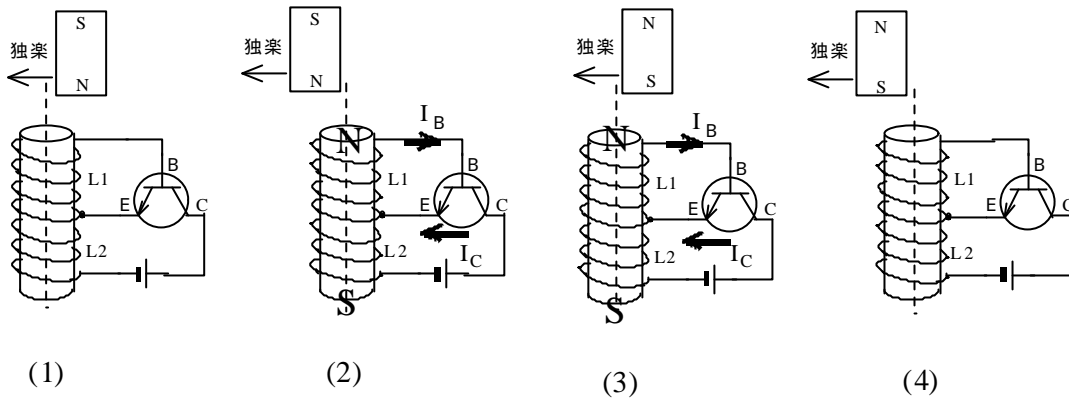


図4 独楽の磁石とソレノイドとの相互作用

(1) 独楽のN極がソレノイド上空に来る。レンツの法則に従って磁束の増加を妨げる向きに、L1に電流を流すように、L1の両端、即ちトランジスタのB-E間に起電圧 V_{BE} が発生するが、これは逆バイアスなのでトランジスタはオンとならない。オフ状態のままである。

(2) 独楽のN極が上空を通過すると、今度は磁束の減少を妨げる向きに電流が流れるように、起電圧 V_{BE} が発生する。この電圧は順バイアスなので、ベース電流 I_B が流れ、トランジスタはオンとなり、L2にコレクタ電流 I_C が流れる。この駆動電流でソレノイドの上部はN極となり、逃げていく独楽のN極と反発するので、独楽に斥力を作用することになる。独楽を加速することになる。

(3) 半回転すると、今度は独楽のS極がソレノイド上空に来る。磁束の増加を妨げる向きに、L1に電流を流すように起電圧 V_{BE} が発生する。この電圧は順バイアスなので、トランジスタはオンとなり、L2に電流が流れる。ソレノイドの上部はN極となり、近づいてくる独楽のS極と引き合うので、引力を作用することになる。独楽を加速することになる。

(4) 独楽のS極が上空を通過すると、磁束の減少を妨げる向きに、L1に電流を流すように起電圧 V_{BE} が発生するが、これは逆バイアスなのでトランジスタはオフ状態となる。

独楽は回転しているので、独楽のソレノイドとの相互作用は(1) (2) (3) (4) (1)・・・の繰り返しとなる。これにより独楽の回転は加速されることになる。と、推論されるが、第4節で紹介した両方(プラスチック製及び木製)の独楽(これら中型と呼ぼう)では、実際に動作試験及び測定をしてみると、図4の状態(3)の寄与があると、独楽が回転動作不良を起こすことがわかった。動作実験から、これら中型独楽が安定して自由回転しているときには、(1) (2) (1)・・・の繰り返しで、軽快に回り続けているのである。

上述した過程の説明が間違っているのかと考えたが、どこに問題があるのか全くわからなかった。そのために、大型の独楽(後述している)を用いて同様の実験を試みた。大型独楽では、(1) (2) (3) (4) (1)・・・の繰り返しで、安定して加速され、回り続けていることがわかった。これら動作試験の内容は第6節で記述している。

現装置では、独楽の大きさ、形状、磁石の強度等々に依存して、独楽の磁石とソレノイドとの間の相互作用に相違があると考えられるしかない。確かな理由はまだ未解明である。

6. 試験動作

オシロスコープを持っている方のために、オシロスコープを使っての動作試験の様子を示しておく。写真15, 16がそれである。図2に示している回路内のトランジスタのエミッタをオシロスコープの共通電位 (= アース) とし、オシロスコープ画面中にベース - エミッタ間の電位がオシロスコープの画面の上のトレースで、電池のマイナス - エミッタ間の電位が下のトレースで示されている。

独楽がソレノイドから離れているとベース - エミッタ間には起電圧は発生せず、従ってトランジスタもオフ状態となって、電池のマイナス間 - エミッタにも電圧は発生しない(写真15)。独楽がソレノイドに近づくと、ベース - エミッタ間に起電圧が発生し、従ってトランジスタもオンとなり、電池のマイナス - エミッタ間に電圧が発生している(写真16)のがわかる。独楽の調整中にこのような信号が得られれば、調整完了である。

オシロスコープと独楽の間に見える数値は電源の電圧値と電流値である。電圧は+15.9V当たり、電流はトランジスタのオフ時は0.00A、オン時は0.04Aを示しているのが見て取れる。



写真15 動作試験その1 オフ時

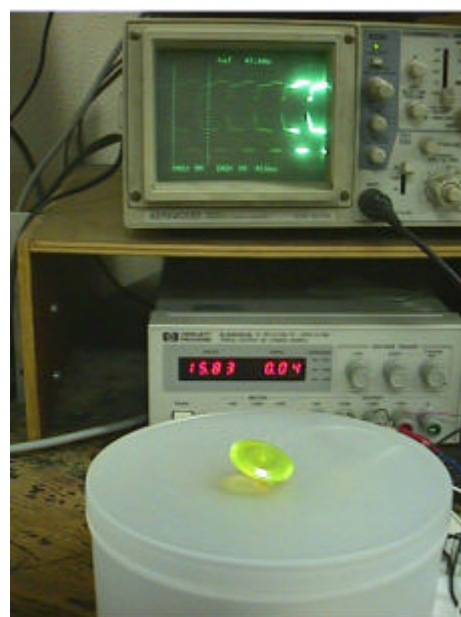


写真16 動作試験その2 オン時



写真17 測定方法



写真18 回転台中心部の様子

本装置の動作特性及び解析の正しさを確かめるため、以下のような実験を行った。測定方法は写真17に示している。回転台の直上に、スタンド固定のハンドドリルのチャックに取り付けた独楽を配置する。その部分の拡大した様子が写真18である。独楽の磁石がソレノイドの真上を横切るように配置している。図2に示している電気回路でエミッタをストレージ機能付きオシロスコープの共通アースとし、1チャンネルではベース - エミッタ間電圧 V_{BE} を、2チャンネルでは電源のマイナス - エミッタ間電圧 V_{-E} を測定する。1チャンネルはオシロスコープ画面の上半分に、2チャンネルは下半分にトレースさせる。

独楽には2個のネオ磁石を取り付けることができる。ここではこの2個の磁石の取り付け方を種々に変更し、その時の V_{BE} 、 V_{-E} の時間変化波形を測定した。写真19～23がその結果である。なを、独楽の股下長及び回転速度は全てで同じとしている。測定の便宜を図り、独楽の股下を短くし、磁石がソレノイドに近接させるようにして測定した。このことは重要な点である。実際には、そのように股下を短くして自由回転させてみると、直ぐにスカートが回転面に引っかかり、独楽は転けてしまい旨い具合に回転が継続しないのであるが。

写真19で2つのトレースのアース電位準位を文字入れして示している。上のトレースで閉曲線で囲った箇所で、トランジスタのベースに順バイアスがかかっていること、それに従って、下のトレースで閉曲線で囲った箇所で、トランジスタがオンとなっていることがわかる。

得られた結果は次の通りである。

- 結果1 磁石が1個の場合は、下向きがどちらの極でも電圧特性はほとんど同じである。
(写真19, 20)
- 結果2 磁石を2個とし、2個ともどちらの同じ極を下向きに配置していても、電圧特性はほとんど同じであり、実験1の結果から予想される如く、周波数は磁石を2倍としたので、2倍となっている。
(写真21, 22)
- 結果3 2つの磁石を片方はN極を下向きに、他方はS極を下向きにしたときには、連続する2つのパルス波形が1つの群を作り、それが連続しているように見える。独楽の回転時間を考えれば、形成されるパルス群のうちの先行するパルスは図4の(2) (独楽の磁石のN極によるトランジスタの導通)に、引き続くパルスは図4の(3) (独楽の磁石のS極によるトランジスタの導通)の状態の時に発生する電圧変化に起因するものと判断される。
(写真23)

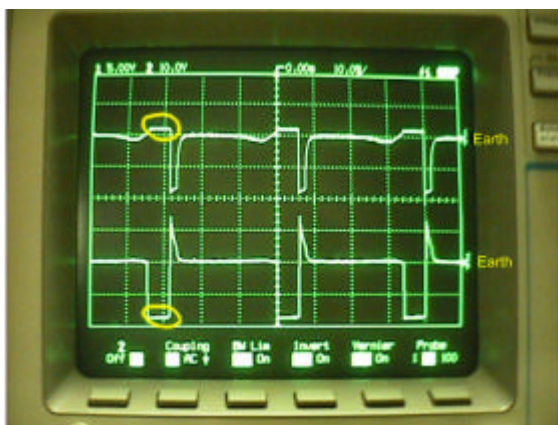


写真19 磁石1個だけ N極が下向き

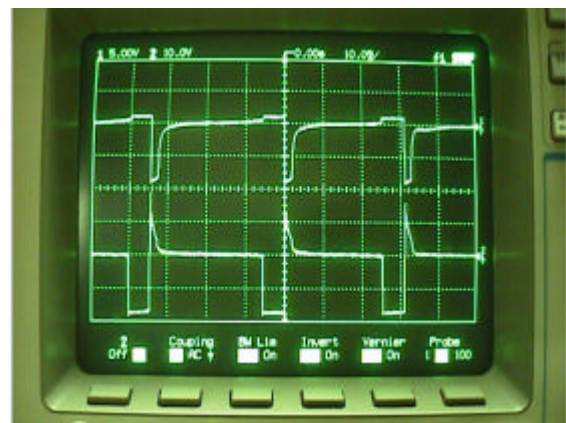


写真20 磁石1個だけ S極が下向き

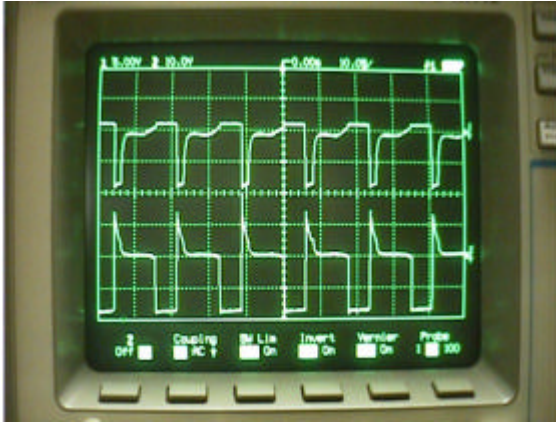


写真 2 1 磁石 2 個 共に N 極が下向き

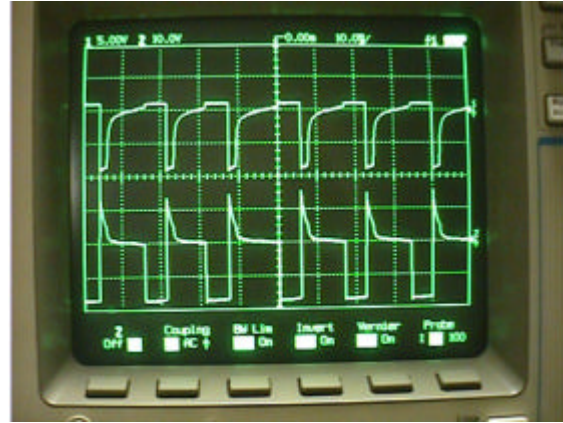


写真 2 2 磁石 2 個 共に S 極が下向き

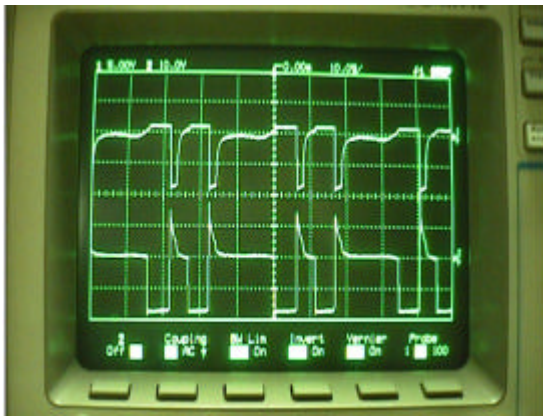


写真 2 3 片方が N 極、他方は S 極が下向き

実際に、独楽に上述のような磁石配置をして、回転台の上で、独楽を自由回転させてみた。このときには独楽の自由回転を実現させるために、試行実験中に独楽の股下長の調整を行った。この点に留意を向けておく必要がある。なを、(1) の場合には空いている片方の穴には、ネオ磁石と同じ重さの鉛を釣合のためにはめ込んだ。結果は、予想外であった。

結果 4 結果 1 の N 極が下向きの場合、独楽を安定して回転を継続させることができる。

結果 5 結果 1 の S 極が下向きの場合、回し続けさせるのは難しい。

結果 6 結果 2 の 2 つとも N 極が下向きの場合、少しの間は回転を継続させることができる。

結果 7 結果 2 の 2 つとも S 極が下向きの場合、回し続けさせるのは難しい。

結果 8 結果 3 の場合、軽快に回転を続ける。が、その場合に得られる電圧波形は、写真 2 3 に見られるような群からできた波形ではなく、写真 1 9 ~ 2 2 に見られるような等間隔に離れた同型のパルス波形の繰り返しである。

追試験として、正常に自由回転するプラスチック製独楽を写真 1 7 で紹介している装置で試験してみた。股下を正常に自由回転したときの長さのままで測定したとき得られた電圧波形が写真 2 4 である。その状態のまま独楽のスカートを下げ、股下を短くしたとき(この状態設定では自由回転には失敗する)得られた電圧波形が写真 2 5 である。

写真 2 4 には磁石の N 極によるトランジスタのオン状態が得られているが、写真 2 5 には磁石の S 極によるトランジスタのオン状態も得られていることがわかる。しかし後者の場合には独楽の回転は不調なのである。

以上で得られたデータから判断すると、独楽の正常自由回転が実現されるときには S 極が下を向いている磁石は独楽の釣り合いのため以外には何の役にも立っていないということである。更に、S 極が回転に寄与をすると、独楽は余計に不安定になるということでもである。

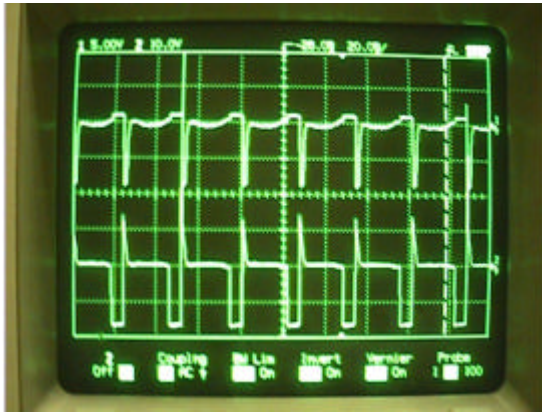


写真 2 4 独楽の股下正常

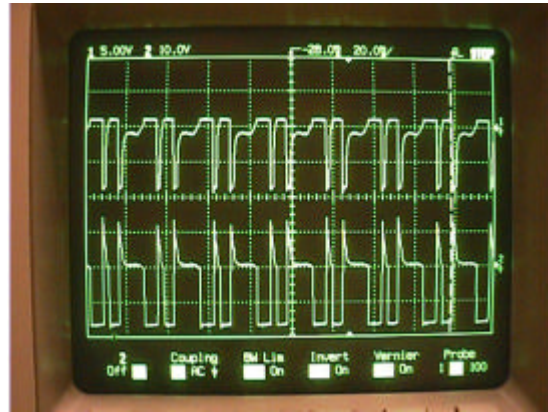


写真 2 5 独楽の股下短し

これらの結果をどのように解釈すべきか。製作したプラスチック製独楽、木製独楽、共に同じ結果なのである。著者の考えでは、磁石が 1 個であろうと、どの磁極が下を向いていようと、回転するはず。磁石が 2 個であっても、どの極が下を向いていても回転するはず、と図 4 を用いた説明から演繹されるからである。非常に当惑した。

そこで、更にデータを収集するべく、前回製作しておいた大きい独楽（参考文献（1）で紹介している）を用いて同様の動作実験を試みることにした。

写真 2 6 に使用した独楽を示しておく。左側の独楽群が前述してきた独楽である。これらを「中型」独楽と呼ぼう（参考文献（1）では、制作の参考にした市販の商品名永久独楽の独楽を、小さいので「小型」と呼び、区分していた）。右がここで試験する「大型」独楽である。スカート直径 7 cm、厚さ 3 mm、ネオ磁石直径 10 mm、重さ 17.3 g の独楽と、スカート直径 7 cm、厚さ 3 mm、ネオ磁石直径 15 mm、重さ 20.5 g の独楽の 2 種である。2 つを用いて行った実験結果は同じであった。オシロスコープ上で得られた結果を写真 2 7, 2 8, 2 9 に示している。

結果は以下の通りである。

結果 9 磁石が 1 個だけの場合（空い他方の穴には鉛をはめ込んで平衡を保った）
下向きが N 極でも S 極でも安定して自由回転させることができた。
電圧波形は各々写真 2 7, 2 8 の周波数の半分なので、掲載は省略した。

結果 1 0 磁石が 2 個の場合
2 つとも下向きが N 極でも、S 極でも安定して自由回転させることができた。
写真 2 7 が 2 つの磁石とも N 極が下向きの場合。
写真 2 8 が 2 つの磁石とも S 極が下向きの場合。

結果 1 1 1 つの磁石の N 極が下向き、残りの 1 個では S 極が下向きの場合
安定して自由回転させることができた。
写真 2 9 がその結果である。



写真 2 6 使用した各種独楽

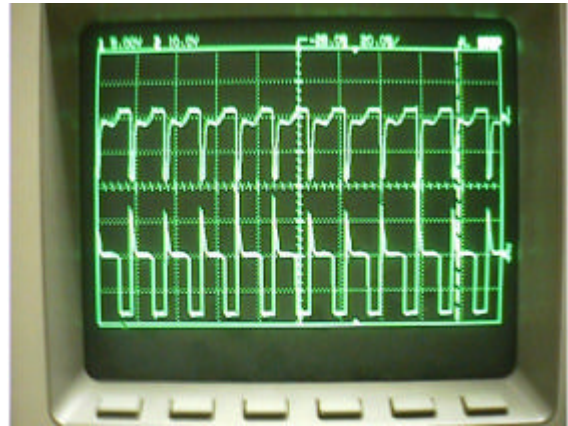


写真 2 7 磁石 2 個とも N 極下向き

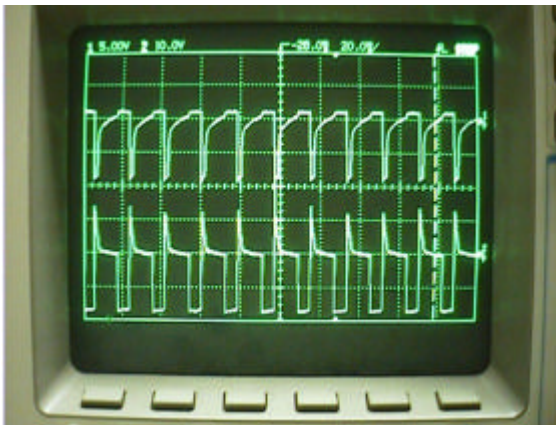


写真 2 8 磁石 2 個とも S 極下向き

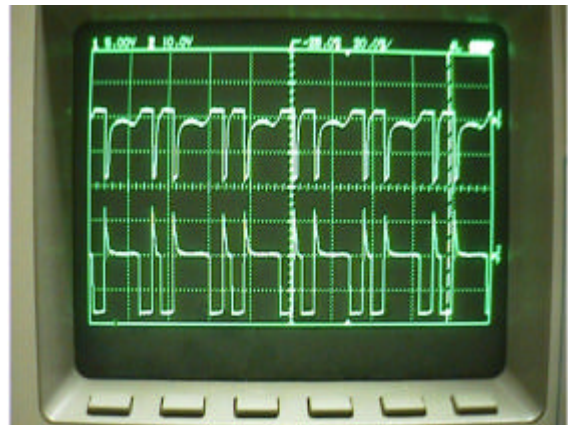


写真 2 9 磁石の向きは互い違い

結果は、第 4 節で図 4 を用いた独楽の磁石とソレノイドの相互作用についての説明の妥当性を正確に裏付けている。即ち、図 3 のような装置では、磁石が 1 個であろうと 2 個であろうと、磁極のどの極が下を向いていようと、独楽はソレノイドに近接すると、斥力或いは引力を受け回転力を加速される。

なを、独楽の安定自由回転時の回転速度について述べておく。オシロスコープの画面写真で、オシロスコープの時間スケールは全て同じとしている。20ms/div である。中型独楽も、大型独楽も安定回転時の回転速度はパルス波形の頻度数から判断でき、大凡同程度である。

何故に、「中型」独楽の回転特性が、「大型」独楽の回転特性と異なっているのでしょうか？
 今までの結果から、総合的に次のような判断が下せよう。

(1) 本回路のソレノイドは近づいてきた磁石の N 極に対する磁気誘導の感受性が、S 極の場合より大きい。

(2) 独楽の重量、慣性が小さいと、独楽の磁石とソレノイドとの相互作用力が相対的に大きくなりすぎ、独楽に回転力を付ける以前に、独楽を倒してしまう。

これらの判断も、今現在においてである。ソレノイドの構造(コイルの巻き方向、コアの種類等)、各種形状の独楽を用いての試験をしてみることが、より正確に判断をもたらしてくれる

る。今後詳細な付加実験をするかどうか今のところまだ決めていない。

7. 終わりに

回転台兼容器として紹介したボックスが入手できなければどうしたら良いであろうか。似たようなものを探し出すか、他の容器で代用することになる。確実に用意できる著者の行った代用案の1つを紹介しておこう。写真30, 31に紹介している。

合成樹脂製で、蓋のついた適当な大きさの容器を手に入れる。写真では器は金属となっているが、金属でない方がよい。

- 1 蓋を、円周部分のある程度の中を残して、円形に切り取る（写真30の左）
- 2 厚紙で、ほぼ蓋の大きさ程度の円を切り出し、半径に沿って切り込みを入れ、極めて緩い円錐を作る。重なり部分をテープ等で留める（写真30の右）
- 3 それを写真31のように取り付ける。紙の円錐は容器と蓋の間にきれいにしっかりと納まる。紙の円錐の中央下部にソレノイドを取り付ければよい。



写真30 回転台の代用品



写真31 出来上がり

大事な点が残っている。製作原価である。各材料をどのようにして購入するかにもよるが、マグネット、乾電池が数百円する。全体で1000円以下に抑えられると思う。

本稿をまとめているうちに更なる改良案が頭に浮かんできた。DC電源として006Pを2本使用しているが、これを3V~6Vでまかなおう、というものである。そうなれば、電源として単3電池などを利用できるので、製作原価を大分安くすることができる。

図2に示している回路図中で、L1のコイルを0.1mmから0.2mmに変更するのである。試作してみた。巻き数は同じとするので、だいぶ太めとなったが、前述しているフランジでも支障無く全部を巻ききることができた。電源電圧3V~6Vの間で軽快に回ることを確認した。これに関しては追って第3報として報告する予定である。ここまで読み進んだ読者ならば、この方を採用した方が良いように思う。費用は500円以内で納まるかもしれない。「中型」独楽と「大型」独楽におけるソレノイドと磁石間の相互作用の違いについて、それまでに解釈ができれば当然記述したい。

本稿を書くことになった理由は、先に紹介した磁気独楽を題材に、一般市民を対象にした本校の公開講座で「科学・電子工作 - 磁気独楽の製作」を開講することになったからである。そのための下準備として、数時間以内で、費用もそれほどかからなくするために、先の磁気独楽の製作過程の見直しをしたのである。結構いい結果が得られ、講座のための制作手引き書の原本もできたと考えている。

磁気独楽の再構築によって、磁気独楽の仕組みがよくわかってきた。学生に巨大な磁気ゴマの製作を提案しているが、どうなることか。

参考文献

(1) 「永久独楽の製作」、金野茂男、2001年11月、URLで公開済み。

2003年4月1日