

青少年のための科学の祭典 日立大会 出展テーマ
「磁力ゴマ」の制作

茨城大学 工学部 技術部

目次

1	序	2
1.1	科学の祭典とは	2
1.2	磁力ゴマとは	2
1.3	目的	2
2	原理	3
2.1	トランジスタを利用した磁力ゴマ	3
2.2	リードスイッチ	4
2.3	リードスイッチを利用した磁力ゴマ	4
2.3.1	コマ (磁石) の向きと回路の状態	5
2.3.2	コマ (磁石) が回転しているときの回路の状態	7
3	制作手順	8
3.1	イベント時の制作手順	8
3.2	準備について	10
3.2.1	基板	10
3.2.2	コイルユニット	10
3.2.3	コマ	10
4	まとめ	11
	参考文献	12

1 序

1.1 科学の祭典とは

青少年のための科学の祭典は、理科や数学あるいは科学技術といった分野の実験や工作を一同に集めて来場者に楽しんでもらうイベントである。

1.2 磁力ゴマとは

磁力ゴマとは台座の上で回り続けるコマである。台座の中には電磁石があり、磁石がついているコマと台座の電磁石がうまく反発して動き続ける。

1.3 目的

理科を楽しむ教材の開発及び「青少年のための科学の祭典」に出展する事。さらにイベントの体験を通して、地域社会の貢献とたくさんの子供が科学に興味を持ってもらうことを目的とする。

2 原理

2.1 トランジスタを利用した磁カゴマ

磁カゴマの回路図を Fig. 2.1[1] に示す。このコマの動作原理は、まずコマからの磁力線が 1 次コイル (L1) に作用してトランジスタを駆動するのに十分な誘導電圧を発生する。それによってコレクタ電流が流れ 2 次コイル (L2) に磁力が発生し、コマを加速させることにより、いつまでも回り続ける。

つまり 1 次コイルが磁気センサーの役割をし、2 次コイルの磁力がコマの動力となっている。この磁カゴマの場合、動力側は電圧、2 次コイルの巻き数、コマとコイル間の距離に依存し、センサー側はコマの磁力、1 次コイルの巻き数、コマとコイル間の距離に依存する。そこで、コマに使う磁石をネオジウム磁石にして試作品を制作した。その結果、センサー側のコイルの巻き数は最低でも 3000 ターン必要であることがわかった。このままでは量産に向かないため、センサーをコイルからリードスイッチに変更することによって簡単化し制作時間を短縮した。

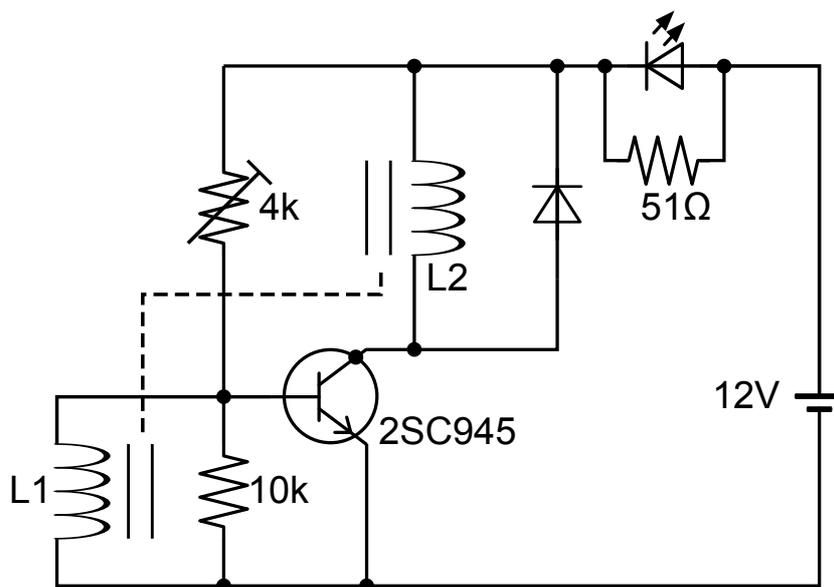


Fig. 2.1 磁カゴマの駆動回路

2.2 リードスイッチ

リードスイッチの構造を Fig. 2.2 に示す。リードスイッチは2本の強磁性体リードがわずかな間隔を持って相対し、ガラス管の中に封入されている。このリードスイッチにリードの軸方向に磁界を外部から加えるとリードが磁化される (Fig. 2.3)。そして相対したリードの端が互いに引き合い接触して回路を閉ざすことができる。また、磁界を消去すると残留磁化による力よりリードの弾性力の方が大きくなり、回路を開くことができる。

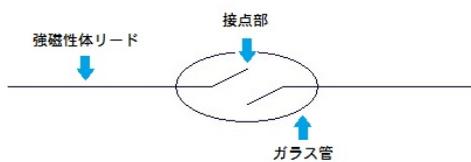


Fig. 2.2 リードスイッチの構造

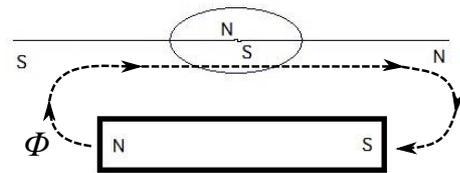


Fig. 2.3 リードスイッチの動作原理

2.3 リードスイッチを利用した磁カゴマ

リードスイッチを利用した磁カゴマの回路図は Fig. 2.4 のようになっている。リードスイッチに磁石が近づくと、回路が閉じコイルと抵抗、LED に電流が流れる (Fig. 2.5)。コイルに電流が流れると電磁石となり Fig. 2.5 の状態だと電磁石と磁石とが反発し、それがコマを回転する力となる。

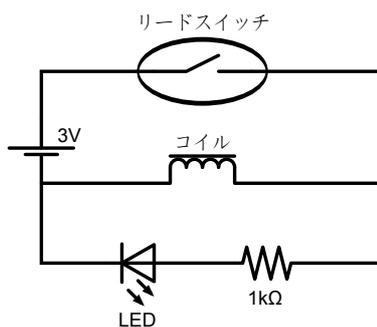


Fig. 2.4 磁カゴマの回路図

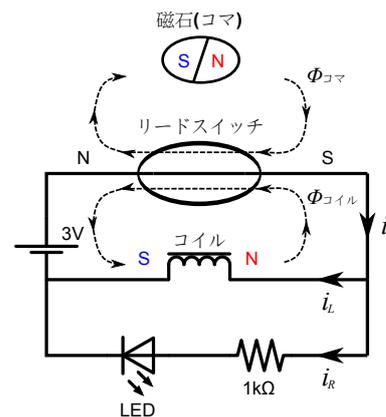


Fig. 2.5 磁石が近づいたときの様子

Fig. 2.4 の場合、リードスイッチが ON したときに LED が発光し、OFF になるとリードスイッチに逆起電力による高電圧がかかり火花が散る様子が確認できる。また、LED のカソードとアノードを逆にしても LED は発光する。この場合、コイルに蓄積された電気エネルギーがリードスイッチの開放と同時に LED 側で消費され発光する。

2.3.1 コマ (磁石) の向きと回路の状態

次に磁石を Fig. 2.6 の状態で静止させた場合の回路の状態を考える。このときリードスイッチの軸方向と磁石の磁界の向きは一致している。また、コイル (電磁石) の向きと磁石の磁界の向きも一致しているため、リードスイッチの両端において磁化している極は変わらない。

そこから、コマである磁石を 90 回転させ Fig. 2.7 の状態で静止させる。このときリードスイッチの軸方向と磁石の磁界の向きが一致しなくなり、リードスイッチ両端の磁化が弱められリードスイッチは開放される。

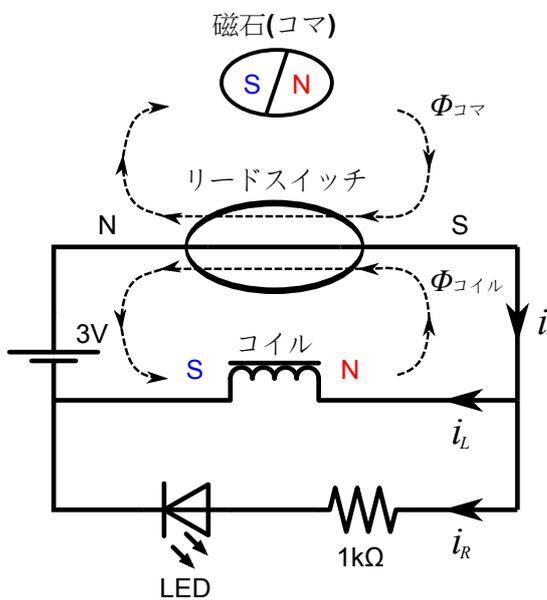


Fig. 2.6 リードスイッチの短絡

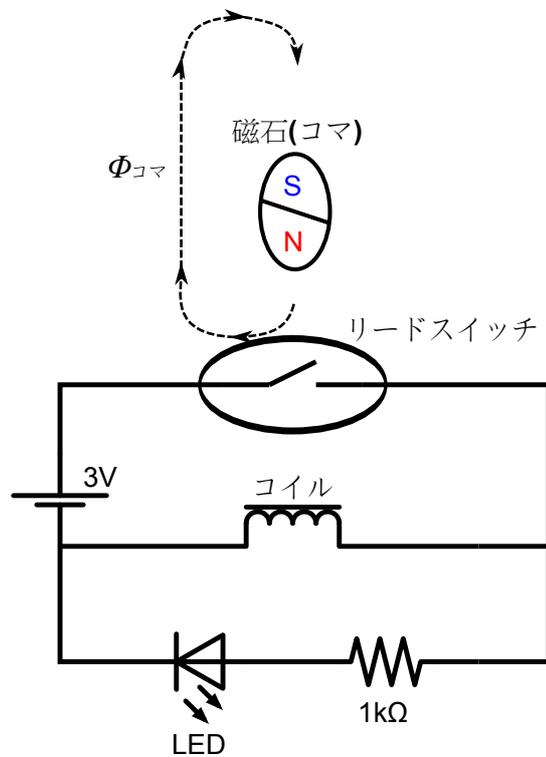


Fig. 2.7 リードスイッチの開放

さらに 90 度回転させ、Fig. 2.8 の状態で静止させる。このとき、リードスイッチの両端はさきほどとは反対の極で磁化されて回路を閉じる。しかし、コイル（電磁石）の極は変わらないため、リードスイッチ両端の磁化と逆方向の磁界が発生し、リードスイッチ両端の磁化が弱められる (Fig. 2.9)。そして、あるところでリードの弾性力の方が大きくなり回路は開放される (Fig. 2.10)。回路が開放されると、コイルは電磁石ではなくなり、逆方向の磁界も無くなることでリードスイッチの両端は磁石から再度磁化され、Fig. 2.8 の状態に戻り回路を閉じる。結果、リードスイッチは ON と OFF を繰り返すこととなる。Fig. 2.8~2.10 の状態においてコイルにかかる電圧をオシロスコープで観測すると、0V 以下と 2V で発振していることがわかる (Fig. 2.11)。

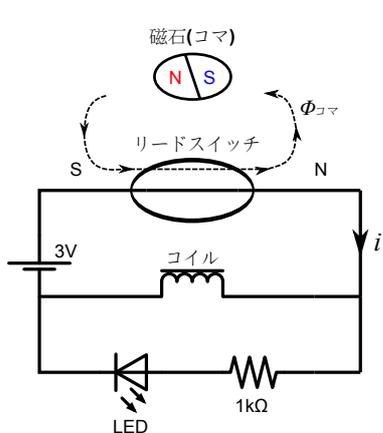


Fig. 2.8 リードスイッチの短絡

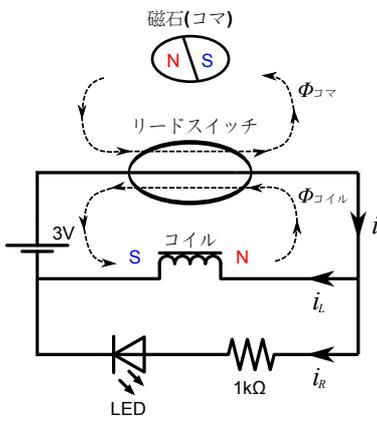


Fig. 2.9 リードスイッチ両端の磁化の弱まり

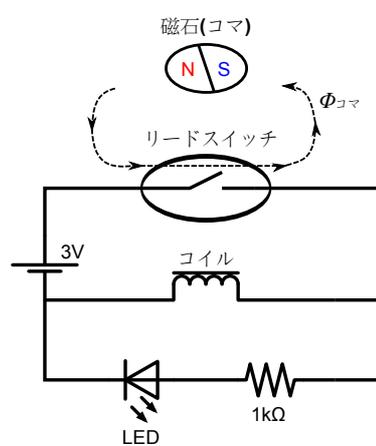


Fig. 2.10 リードスイッチの開放

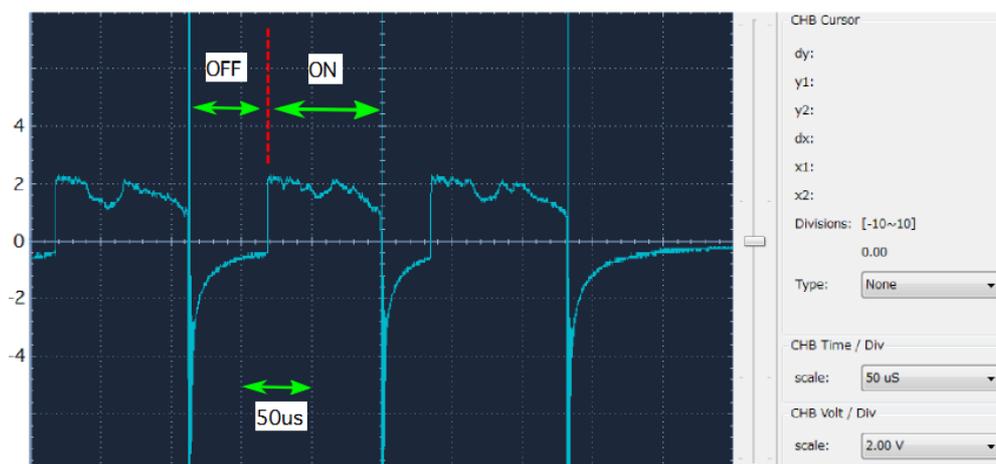


Fig. 2.11 コイルにかかる電圧

2.3.2 コマ (磁石) が回転しているときの回路の状態

次に磁石が回転しているときのコイルにかかる電圧をオシロスコープで観測した (Fig. 2.12)。Fig. 2.12 においての ① の区間は電磁石による磁界の向きと磁石による磁界の向きが一致している状態, ③ の区間は電磁石による磁界の向きと磁石による磁界の向きが正反対の状態, ②④ は電磁石による磁界の向きと磁石による磁界の向きがほぼ直交している状態にあたりと考えられる。また電圧の周期を T_s ($\approx 12.5ms$) として $1/T_s$ からコマの回転数は 80[回/秒] であることがわかった。

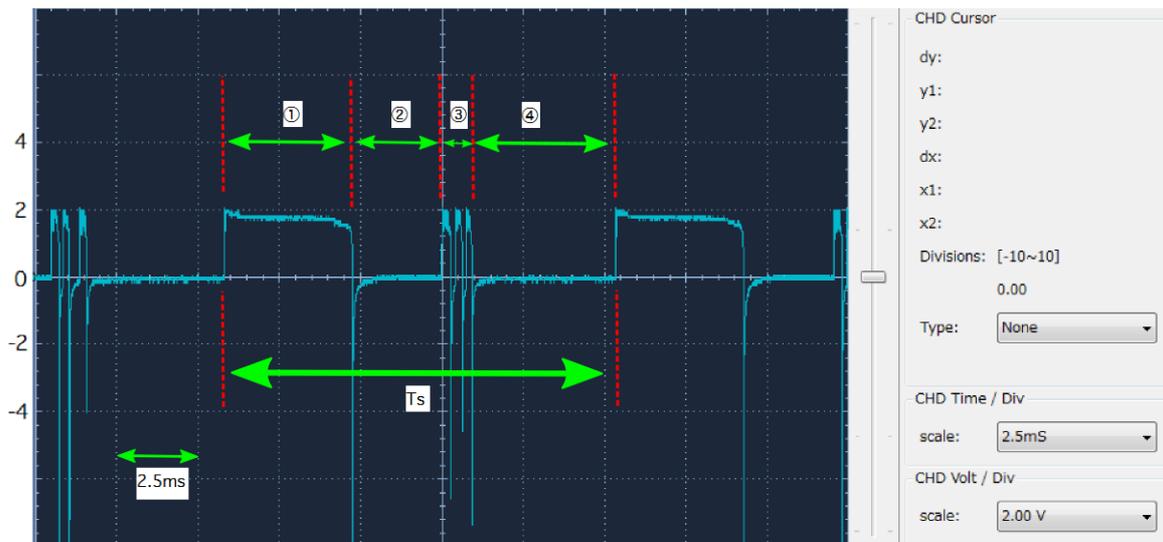


Fig. 2.12 コマが回転しているときのコイルにかかる電圧

3 制作手順

3.1 イベント時の制作手順

科学の祭典の来場者は、小学生低学年から中学生が主となる。会場は人の往来が激しく、また、十分なスペースが確保できない。そのため、ハンダ付け作業は行わないこととした。

具体的には基板 (Fig. 3.1①) にピンソケットをあらかじめハンダ付けしておく。そこに、抵抗・LED・コイル・リードスイッチを挿し、プラスチックカップに入れる。コマ部分はフェライト磁石に穴が空いているので、そこに軸となる竹串を挿し、アロンアルファで接着する。プラスチックカップには中心からずれた場所に凹みがあり、実際にコマを回し安定して回転する位置になるよう調整を行う。イベント時に使用している手順書は Fig. 3.2 のとおりである。

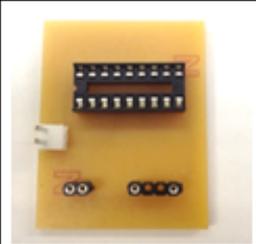
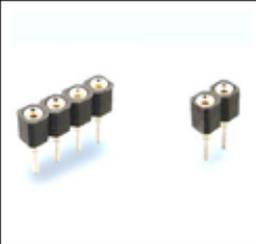
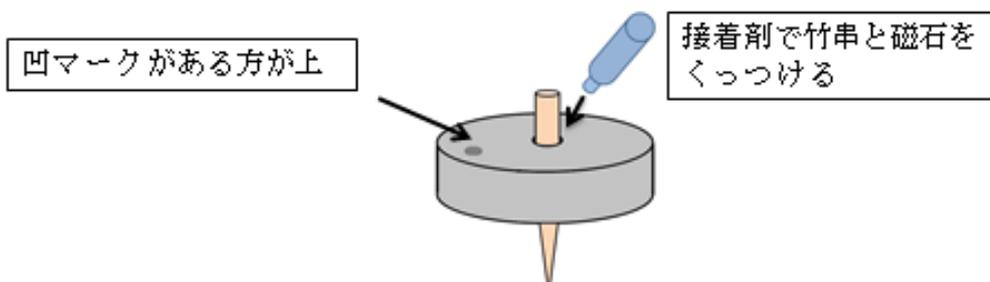
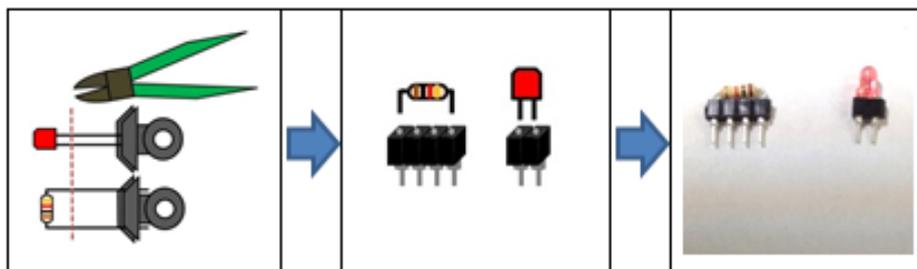
			
① 基板	② コイルユニット	③ 抵抗 (1kΩ)	④ LED
			
⑤ 丸ピンソケット(2,4PIN)	⑥ 電池ボックス	⑦ 単三電池 2本	⑧ プラスチックカップ*
			
⑨ フェライト磁石、竹串	⑩ 接着剤	⑪ ニッパー	⑫ クリップ

Fig. 3.1 用意する物

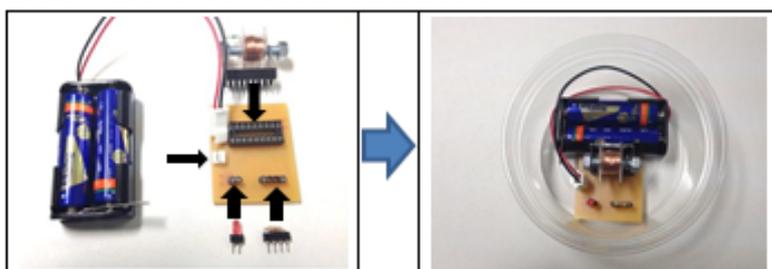
①磁石と竹串を接着剤でくっつけ、コマにする。



②抵抗とLEDの足をクリップで挟み、ニッパーで切る。部品は丸ピンソケットに差し込む。



③基板に部品を差し込み、カップに入れる。



④完成



注意事項

- うまく回らない場合
 - 1-1 蓋を回転させ、へこみの位置を変える。
 - 1-2 基板の位置を変える。
 - 1-3 カップや竹串を変える。
- LED が光らない場合
 - 2-1 鉄心とリードスイッチが触れてないか確認する。
 - 2-2 電池ボックスのコネクタがはずれてないか確認する。
- 回さないときは電池ボックスのスイッチを切ること。



Fig. 3.2 手順書

3.2 準備について

3.2.1 基板

基板は紙フェノールの上に銅箔 $35\mu\text{m}$, ポジティブ感光剤を積層させたものを使用している。露光パターンを Fig. 3.3 に示す。現像液はメタ珪酸塩水溶液を使用し、エッチング液は塩化第二鉄水溶液を使用した。エッチング処理した基板は 16 分割し、フライスでバリ処理を行っている。最後にランドの穴を開け完成となる。

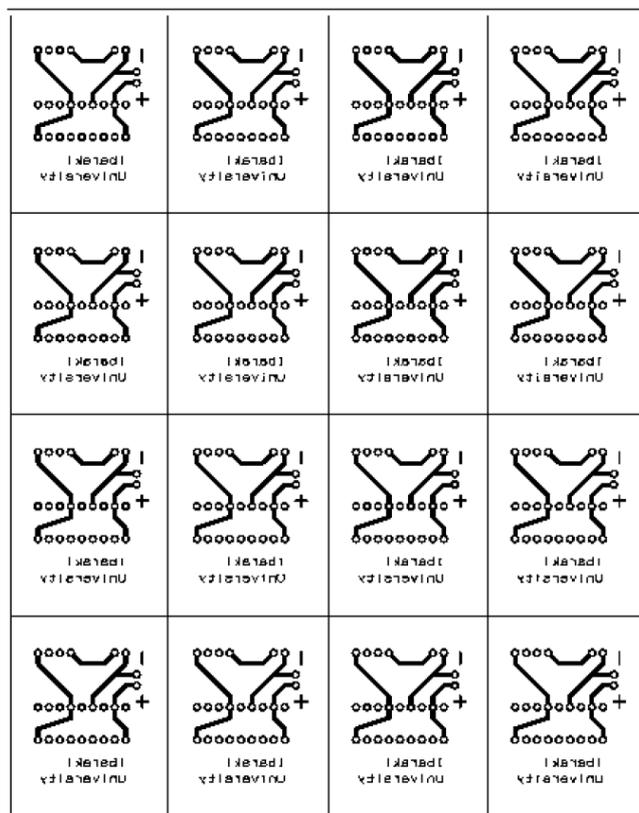


Fig. 3.3 配線パターン

3.2.2 コイルユニット

コイルユニットは、まず裁縫用のプラスチックボビンにポリウレタン銅線 (直径 0.2mm) を 200 回巻き、コイルを用意する。そして 18PIN の IC ソケットにリードスイッチとコイルをハンダ付けする。コイルには鉄心として直径 5mm のボルトを使用した。

3.2.3 コマ

コマに使う磁石は、片面 2 極型のフェライト磁石を使用した。軸となる竹串は適当な長さに切り、先端部はやすりがけを行った。

4 まとめ

茨城大学工学部技術部は平成 20 年から連続して青少年の科学の祭典に出展を行っている。また、技術部から大会実行員を派遣している。2013 年青少年の科学の祭典・日立大会には全体で 4980 人の来場者となった。技術部は磁力ゴマを 100 個用意し、すべてを制作・配布した。

参考文献

- [1] 本田 寿一, 山下 紀幸両 トランジスタ技術 (1995.2)