永久ゴマにおけるコマとコイルの距離が回転数に及ぼす影響

大竹悠義

要旨

リードスイッチとコイルを用いて作成した永久ゴマが効率よく回転するための条件を明らかにすることを目的として，コマとコイルの位置関係に着目した実験を行った。本研究では，コマとコイルの軸までの距離を変化させたときのコマの回転数の変化を調べるため，距離を 1.0 cm，1.5 cm，2.0 cm，2.5 cm と変化させた。コマの回転開始から 10 秒後，30 秒後，60 秒後における 1 回転分の時間を，オシロスコープに表示される波形から読み取った。その結果，コマとコイルの軸までの距離が長くなるほど，回転開始から 60 秒後の 1 回転分の時間が長くなることがわかった。

したがって，コマとコイルの軸までの距離が短いほどコマの回転数が大きくなり，コマはより効率よく回転することがわかった。

キーワード：永久ゴマ，リードスイッチ，位置関係

Ⅰ．はじめに

永久ゴマと呼ばれる，電池が切れない限り回転し続けるコマのおもちゃがある。今回は，左右で N 極と S 極に分かれた永久磁石を用いたコマと，リードスイッチを主な構成要素としたものを利用した。コマとしての磁石によってリードスイッチが ON になるときに，コイルに電流が流れて電磁石となり，その磁力の影響を受けてコマが回転し続ける仕組みである。

群馬大学理工学部工学系技術部 (2014) では，このリードスイッチを用いたコマに作成方法と原理が説明されている。しかし，コマと電磁石の位置関係が回転の効率にどのような影響を与えるかについての詳細な記述は見られなかった。

そこで本研究では，永久ゴマが効率よく回転するための条件を明らかにするため，両者の距離と回転数の関係について調べた。

Ⅱ. 手法

＜準備＞

まず，竹串と左右で S 極・N 極に分かれた穴あき磁石を用いてコマを作成した。竹串は尖った部分から 2 cm を切り取り，穴あき磁石に刺して接着剤で固定した。

次に，コマを回すための土台を作成した。手のひらサイズの直方体の木片に 10 mm のプラスチック製スペーサーとネジをそれぞれ 3 個ずつ用いて，プリント基板を固定し，そのプリント基板にリードスイッチを取り付け，両端を銅線とはんだで固定した。

電磁石は，直径 4 mm，長さ 30 mm のボルトに太さ 0.3 mm のエナメル線を 250 回巻きつけてコイルを作成した。

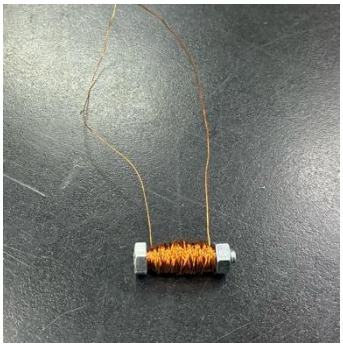


図 1．作成したコイル

作成したコイルを土台の上に設置し，リードスイッチからコイルの軸までの距離が 1 cm になるように配置し，セロハンテープで両端を仮止めした。

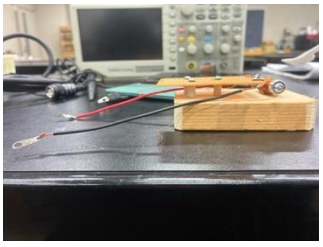


図 2．コマの土台

その後，単 1 電池 2 本，リード線付き電池ホルダー（単 1 電池用），みのむしクリップ付きリード

線4 本, 4.7 Ωの抵抗2 本, オシロスコープ1 台, プローブ 1 本を用いて，図 3 に示す回路を作成した。

抵抗は，リードスイッチに流れる電流を抑えてリードスイッチの接点が摩耗するのを防ぐためと，電流が大きいとリードスイッチが自己保持して動かなくなるという経験から使用した。ただ，4.7 Ω の抵抗が 1 本だけのとき，流れる電流が小さくなりすぎて，コマが安定して回転しなかったため，2 本の 4.7 Ωの抵抗を並列に接続し，合計で 2.35 Ω にした。

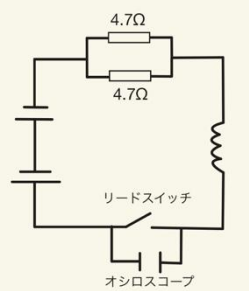
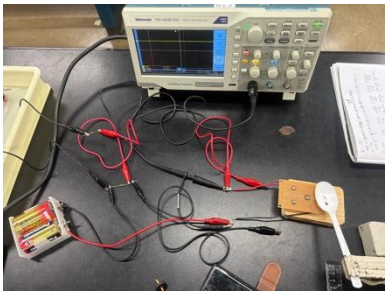


図 3. 本実験の回路図


図 4. 組んだ回路の写真

さらに，鉄製スタンドを用いてプラスチックスプーンを固定し，図 4 の右側にあるように，土台のリードスイッチの上にスプーンが来るように設置した。

＜実験＞

① リードスイッチとコイルの軸までの距離を 1.0 cm とした。

② スプーンの上でコマを手動で回転させ，1 分間回転させた。

③ 回転開始から 10 秒後, 30 秒後，60 秒後に，オシロスコープの波形を停止させ，1 回転分の時間を測定した。

④ ②，③を 10 回繰り返した。

⑤ リードスイッチとコイルの軸までの距離を 1.0 cm，1.5 cm，2.0 cm，2.5 cm と変化させ全ての距離について②～④を行った。

本実験では，リードスイッチはコマとしての磁石の直下に配置されているため，リードスイッチとコイルの軸までの距離は，コマとコイルの距離の距離の指標として扱うことができる。また，1 回転分（オシロスコープの波形 2 山分）の時間から 1 秒あたりの回転数を求めた。

回転開始から 30 秒後の値は，コマとコイルの軸までの距離の変化させたときのコマの回転数の変化を調べるために，測定した。

III. 結果

距離が 1.0 cm のときは，コマの回転が速くなりすぎてスプーンの上から飛び出したため，60 秒間のデータを取得することはできなかった。

距離が 1.5 cm，2.0 cm，2.5 cm のときの 10 秒後および 60 秒後の 1 回転分の時間と回転数およびそれらの平均値と標準偏差を，それぞれ表 1，表 2，表 3 に示す。

また，距離が 1.5 cm，2.0 cm，2.5 cm のときの 30 秒後の 1 回転分の時間と 1 秒間の回転数およびそれらの平均値と標準偏差を，それぞれ表 4，表 5 に示す。

また, コマとコイルの軸までの距離と 60 秒後の 1 秒間の回転数の平均値の関係を図 5 に示す。

さらに，回転開始からの時間と 1 秒間あたりの回転数の関係を図 6 に示す。

表 1. 距離が 1.5 cm の時の 10 秒後と 60 秒後の 1 回転分の時間と回転数

回	10 秒後 1 回転分の時間	60 秒後 1 回転分の時間	10 秒後 1 秒間の回転数	60 秒後 1 秒間の回転数
1	28.40 ms	20.40 ms	35.21 回	49.02 回
2	32.00 ms	30.20 ms	31.25 回	33.11 回
3	29.20 ms	21.60 ms	34.25 回	46.30 回
4	22.80 ms	14.80 ms	43.86 回	67.57 回
5	22.00 ms	15.60 ms	45.45 回	64.10 回
6	25.20 ms	15.20 ms	39.68 回	65.79 回
7	22.40 ms	15.20 ms	44.64 回	65.79 回
8	21.20 ms	14.40 ms	47.17 回	69.44 回
9	23.60 ms	14.40 ms	42.37 回	69.44 回
10	24.40 ms	14.80 ms	40.98 回	67.57 回
平均値	25.12 ms	17.66 ms	40.49 回	59.81 回
標準偏差	3.582 ms	5.102 ms	5.318 回	12.51 回

表 2. 距離が 2.0 cm の時の 10 秒後と 60 秒後の 1 回転分の時間と回転数

回	10 秒後 1 回転分の時間	60 秒後 1 回転分の時間	10 秒後 1 秒間の回転数	60 秒後 1 秒間の回転数

1	38.80 ms	35.20 ms	25.77 回	28.41 回
2	41.60 ms	32.80 ms	24.04 回	30.49 回
3	36.80 ms	32.80 ms	27.17 回	30.49 回
4	31.20 ms	28.80 ms	32.05 回	34.72 回
5	35.60 ms	27.20 ms	28.09 回	36.76 回
6	33.60 ms	30.40 ms	29.76 回	32.89 回
7	35.20 ms	29.60 ms	28.41 回	33.78 回
8	32.80 ms	30.00 ms	30.49 回	33.33 回
9	32.00 ms	29.60 ms	31.25 回	33.78 回
10	34.00 ms	28.40 ms	29.41 回	35.21 回
平均値	35.16 ms	30.48 ms	28.64 回	32.99 回
標準偏差	3.208 ms	2.421 ms	2.486 回	2.518 回

表 3. 距離が 2.5 cm の時の 10 秒後と 60 秒後の 1 回転分の時間と回転数

回	10 秒後 1 回転分の時間	60 秒後 1 回転分の時間	10 秒後 1 秒間の回転数	60 秒後 1 秒間の回転数
1	38.00 ms	54.40 ms	26.32 回	18.38 回
2	37.60 ms	58.00 ms	26.60 回	17.24 回
3	34.00 ms	48.40 ms	29.41 回	20.66 回
4	35.60 ms	54.00 ms	28.09 回	18.52 回
5	36.00 ms	54.00 ms	27.78 回	18.52 回
6	37.60 ms	54.40 ms	26.60 回	18.38 回
7	34.80 ms	60.80 ms	28.74 回	16.45 回
8	36.00 ms	52.40 ms	27.78 回	19.08 回
9	34.00 ms	45.20 ms	29.41 回	22.12 回
10	36.40 ms	45.60 ms	27.47 回	21.93 回
平均値	36.00 ms	52.72 ms	27.82 回	19.13 回
標準偏差	1.448 ms	5.034 ms	1.124 回	1.879 回

表 4. 回転開始から 30 秒後の 1 回転分の時間

回	1.5 cm 1 回分の時間	2.0 cm 1 回転分の時間	2.5 cm 1 回転分の時間
1	22.80 ms	36.80 ms	50.00 ms
2	30.40 ms	38.40 ms	49.20 ms
3	22.80 ms	35.20 ms	45.20 ms
4	18.40 ms	29.60 ms	49.60 ms
5	18.00 ms	28.80 ms	47.60 ms
6	18.00 ms	31.20 ms	48.80 ms
7	17.20 ms	30.00 ms	44.00 ms
8	15.60 ms	30.40 ms	43.60 ms
9	16.80 ms	30.80 ms	39.20 ms
10	18.40 ms	30.00 ms	43.20 ms
平均値	19.84 ms	32.12 ms	46.04 ms
標準偏差	4.399 ms	3.379 ms	5.034 ms

表 5. 回転開始から 30 秒後の 1 秒間の回転数

回	1.5 cm 1 秒間の回転数	2.0 cm 1 秒間の回転数	2.5 cm 1 秒間の回転数
1	43.86 回	27.17 回	20.00 回
2	32.89 回	26.04 回	20.33 回
3	43.86 回	28.41 回	22.12 回
4	54.35 回	33.78 回	20.16 回
5	55.56 回	34.72 回	21.01 回
6	55.56 回	32.05 回	20.49 回
7	58.14 回	33.33 回	22.73 回
8	64.10 回	32.89 回	22.94 回
9	59.52 回	32.47 回	25.51 回
10	54.35 回	33.33 回	23.15 回
平均値	52.22 回	31.42 回	21.84 回
標準偏差	9.274 回	3.046 回	1.879 回

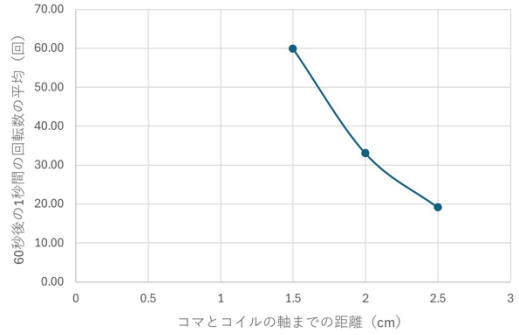


図 5. コマとコイルの軸までの距離と 60 秒後の 1 秒間の回転数の関係

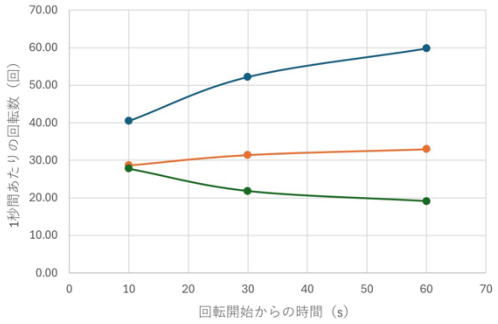


図 6. 回転開始からの時間と 1 秒間あたりの回転数（上から距離が 1.5 cm，2.0 cm，2.5 cm）

IV. 考察

図 5 より，コマとコイルの軸までの距離が短くなるにつれて，60 秒後の回転数が大きくなる傾向が確認できた。また，図 6 より，10 秒後と 60 秒後の 1 秒間あたりの回転数の差は，距離が短いほど大きく，距離が長いほど小さい傾向が見られた。

これは，コマとコイルの距離が短いほど，コイルに電流が流れた際に生じる磁場がコマの磁石に強く作用し，大きなトルクが生じるためであると考えられた。その結果，回転数が大きくなり，コマはより効率よく回転したと推測された。

また，距離が 2.5 cm の条件では，コマの磁石が受ける磁場が弱く，トルクが小さくなってしまったため，回転が安定せず欠損値が生じたと考えられた。

さらに，図 6 より，回転開始からの時間と 1 秒間あたりの回転数には線形的な関係がなく，距離によってグラフの微分係数が異なることから，距離を含む式を回転開始からの時間を含む式の指数とした関数になると推測された。式にすると次のようになると考えられた。

$$N = \sim t^{a-x}$$

(N：t 秒後のコマの回転数
t：回転開始からの時間（s）
x：コマとコイルの軸までの距離（cm）
a：2<a<2.5 の定数
～は初期条件とする）

V. 結論

本研究では，永久ゴマの「効率」を，コマと電磁石を一つの系とみなしたときに外部からの追加的なエネルギーの投入なしに維持される回転数の大きさとして定義した。

コマとコイルの軸までの距離が短いほど，回転開始から 60 秒後の 1 回転分の時間は短くなり，回転数が大きくなることが分かった。また，10 秒後から 60 秒後にかけての 1 秒間の回転数の変化量も，距離が短いほど大きくなった。以上のことから，コマとコイルの軸までの距離が短いほど，永久ゴマは効率よく回転することがわかった。

謝辞

本研究を行うにあたり，テーマ決定から論文作成まで多くの指導をしてくださった堀先生，ならびに様々な実験のアイデアをくださった元千葉大学高大連携支援室の御須先生に感謝を申し上げます。

文　献

群馬大学理工学部理工学系技術部（2014）：
永久ゴマを作ろう（リードスイッチゴマ）
https://share.google/ZSYuWxuMnYXgPasMo