

電磁気を応用したおもちゃに関する研究

— ブランコの製作 —

伊藤 康明

1. はじめに

電磁気を応用したおもちゃのようなものは、従来からあったが、もう 10 数年以上前に大阪日本橋の電気街で、太陽電池で動く振り子を見つけて、買って来たことがある。それを機会あれば授業で見せていたが、今でも現役で動いている。近年電子工学の進歩により、安価な電子おもちゃが市場に溢れている。これらは電子回路を応用しているが、部品の集積化により極めて安価に製造でき、従来では考えられないような電子おもちゃが登場してきた。本稿は百円ショップなどで販売されている太陽電池をエネルギー源とする動くおもちゃなどを分解して取り出した部品を利用して、動くおもちゃを製作した報告である。

2. 原理

(1) ブランコの運動

振り子の周期は θ が小さいとき $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ で表される。

重力加速度 g は、地球上ではほぼ一定と考えられるので、振り子の周期 T は振り子の長さ l に依存する。振り子の長さが決まれば、固有の周期が決まり、振り子の振幅や重りの質量には関係しない。これが振り子の等時性といわれるものである。

通常、振り子の振幅は摩擦等のために、段々小さくなってきて、何時かは止まってしまう。これを長時間振動させるためには、振り子の周期に同期させて、外部から力を加えてやらなければならない。

ブランコは昔から遊具の定番であるが、振り子と同じように運動する。しかし、ブランコには子どもが乗っており、これが重りの働きをしている。ただ静かに乗っているだけでは、摩擦のためにそのうちに止まってしまう。運動が持続するためには、ブランコを漕いでやらなければならない。つまりエネルギーを与えてやる必要がある。これには子どもが体を伸ばしたり縮めたりして、重心を上下してやる。これは、振り子の長さが増えることになり、パラメーター励振の問題である。もう一つの方法は、ブラン

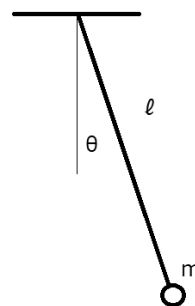


図1 単振り子

コが後端に来た時に、足でブランコの棒を前方に押しやることである。このパラメーター励振という高度な数学的説明を要する複雑な運動を、子どもは体感で習得するのであるから不思議なものである。

幼児の場合は、自分で漕ぐことが難しいので、外部から力を加えてやらないと運動が持続しない。通常は、ブランコの周期に合わせて、子どもの背中を押してやることになる。ブランコのおもちゃでは、この外力として電磁力を応用する。

(2) 電気ブランコ

磁界の中にある導線に電流を流すと、電磁力を生じて導線が動く。その向きはフレミングの左手の法則による。これを確かめる装置が電気ブランコであり、理科の教科書に登場する(図2)

このとき、導線に働く力の大きさは

$$F=BIl\sin\theta \quad \text{である。}$$

つまり、導線が磁界に直角に置かれているときは、磁界 B と電流 I と導線の長さ l に比例している。

実験を効果的に見せるためには、強い磁石を使い、電流を大きくし、磁界の中の導線の長さを長くすれば良い。しかし、導線の長さ

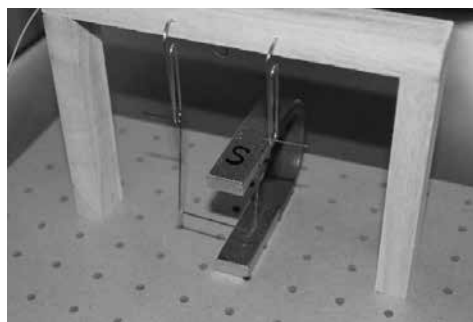


図2 電気ブランコ

や磁石の磁界は限られる。そこで、工夫をして、導線をコイル状にして磁界の中を何回も通して、見かけの電流を増やすのである。コイルを n 回巻けば、電流が n 倍になったと見なすことができる。この電気ブランコは、電流を流すと、導線が力を受けて傾くだけである。これを揺れるブランコにするためには、導線が傾いたら電流を切って導線の傾きを戻し、戻ったら、再度電流を流す。これを繰り返せば、ブランコが揺れ続ける。このためには、導線の位置を検出して、導線に流す電流を断続してやればよい。

簡単な方法は、電流を流す導線を1本のエナメル線で作成し、支点となる軸受けの部分に工夫する。エナメル線は表面に絶縁のための被膜が塗ってある。これを支点にかかる断面の下方部分だけ剥がしてやると、導線が傾いていないときは電流が流れて導線が傾き、軸が回転する結果、導線の剥がされていない被膜の部分で電流が遮断され、導線が元の位置に戻る。この繰り返して、ブランコが揺れる。被膜を剥がす部分の面積は、実際に作動させてみて、ブランコが良く揺れるように調整する。

この装置は、理科の実験装置としては面白いが、あまりおもちゃらしくない。動く原理は磁界と電流の相互作用であるから、磁界と電流の位置を入れ替えて、コイルの方を固定し、磁石を動かしても働きは同じことである。そうすれば、可動部に配線が不要となり、磁石の上に人形などを乗せれば、よりおもちゃらしくなる。ただし、固定した

コイルに流す電流は、ブランコの揺れる周期に合わせて断続してやる必要がある。こうすれば、電流によって作られる磁界と磁石の磁界とが相互に作用して、ブランコの揺れが続くはずである。

3. おもちゃの製作

(1) ソーラーおもちゃ

百元ショップで販売されているソーラー即ち太陽光のエネルギーで動くおもちゃは、メーカーにより様々な名称が付けられているが、形はそれぞれ異っても、動く仕組みは皆同じである。まず、これらを分解して、仕組みや使用部品を調べた。図3のように、主要部は太陽電池、コイル、電子回路、磁石である。あとは可動部分に取り付けた各種飾りであるが、ここがメーカーの工夫したところであろう。



図3 ソーラーおもちゃ

コイルを駆動する電子回路は、樹脂で封入されていて、内部は解析不能であるが、恐らくマルチバイブレータの発振回路と考えられる。おもちゃが静止しているとき、コイル両端の電圧をオシロスコープで観測してみると、1Hz程度の矩形波が見られた。(図4)

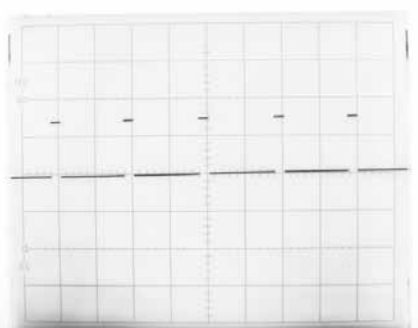


図4 コイルの駆動電流 (0.5s/div)

おもちゃを継続して動かすためには、おもちゃ固有の振動数に合わせて、コイルに流す電流を断続してやる必要がある。これには、おもちゃの振動に応じて、発振回路が柔軟に対応するようである。静止しているときと比べて、おもちゃを揺らせたときに、発振周波数が変化していることが確かめられた。

(2) ブランコの製作

自作するおもちゃは材料の入手が容易で、仕組みが理解できるよう、なるべく簡単な構造のものにした。ブランコの材料は全部百元ショップで入手した。枠は木材を使い、ブランコは銅線で吊るす。ブランコの座席には、磁力が大きいネオジウム磁石を貼り付ける。コイルや駆動回路は、手っ取り早く且つ安価に製作するため



図5 製作したブランコ

に、ソーラーおもちゃを分解した部品を再利用する。図5のように、MDFボードの台の上にコイル、電子回路、乾電池を両面テープで貼り付ける。電源は元々のおもちゃは太陽電池を使用していたが、測定してみると、最大で1.5V程度の起電力であったので、ここでは環境によらず安定に動作させるために、単3乾電池1個を使用した。市販のおもちゃと比べると、この製作したブランコは振り子の長さが長いので、周期は長くなるが、適度に揺れてくれる。

(3) 電磁石を使う

市販のソーラーおもちゃのコイルを見ると、かなりの巻き数であり、恐らく何千回かと思われる。自作は大変なので、磁力が大きくなるように、コイルの中に鉄芯を入れた電磁石を使って、発振回路で駆動してみた。電磁石は市販のリレーを分解したものを使用し、発振回路は周波数をCRで決定できるタイマーIC 555を使用した。ブランコの周期に合わせて発信周波数を調整すると、共振したときに大きく揺れたが、555の発振周波数が正確で安定していることが、却ってブランコの周期に同期させることを困難にすることが分かった。

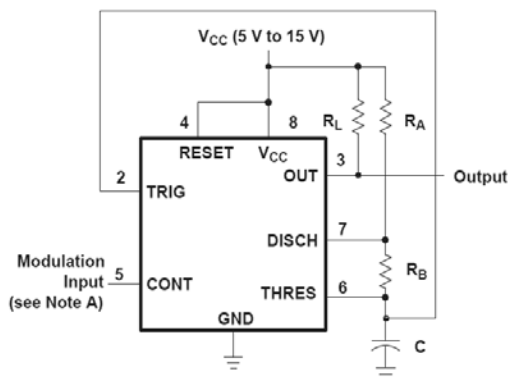


図6 タイマーIC 555
(TI データシートより)

4. おわりに

市販されている各種のおもちゃを分解してみると、結構電子回路が使用されており、仕組みを調べようと思っても、最近のものは集積化されていて全くのブラックボックスになっていることが多い。しかし、どのような働きをさせているのかは想像できるので、別の工夫したおもちゃの部品として再利用することは可能である。また、その方が安価であり、手間もかからない。今回市販品を分解して働きを調べることにより、様々なヒントを得ることができた。百円ショップにはおもちゃ作りの知恵が一杯ある。

参考文献

1. 井頭 均: 電気ブランコに関する一研究、関西学院大学 教育学研究第8号、2016
2. 大槻義彦: サーカスの科学、講談社、1986
3. 智恵の楽しい実験・工作メニュー <http://www.eneene.com/omoshiro/>
4. ちゅう工房 CHIYOU-WOODWORK <http://chiyou-woodwork.com>