

電気ブランコに関する一研究

An Electric Swing

井 頭 均 *

Abstract

An electric swing is one of the easiest devices for teaching Fleming's Left-hand Rule. Most teachers do not use this device. They only show an illustration in a textbook.

I made an electric swing. It is very easy to make it by using a strong horseshoe magnet, a leading wire, DC power source and a copper wire ($\varphi=0.55\text{mm}$) coated with enamel for the swing. I measured the various angles of swing using a big protractor. It swung the farthest when the horseshoe magnet was closest to the swing. Using this simple device, it is easy to demonstrate various angles of the swing and prove Fleming's Left-hand Rule.

キーワード：電気ブランコ、定量実験、抵抗の大きさ

1. はじめに

磁界の中にある導線に電気が流れると導線に力が生じるが、この力を電磁力と呼んでいる。電気ブランコは電磁力を示す最も分かりやすい教材であり、中学や高校の教科書に広く用いられている。電気ブランコは図1のように比較的簡単な作りで、強いU形磁石の間に、上から導線をブランコのように吊り下げて左右に振れるようになっている。これをそのまま直流電源につなぐと電流が流れ過ぎるので、回路にニクロム線など適当な大きさの抵抗を組み込んである。

このように電気ブランコは非常に簡単な作りであるが、学校の授業では電気ブランコを実際に作ったり実験したりして指導している先生はそれほど多くない。筆者自身も中学や高校、大学の理科や物理の授業で、電気ブランコの実物を使った授業を受けた記憶がない。

それでは、どうして電気ブランコが学校の授業の中で製作したり実験したりされにくいのであろうか。その理由はいろいろあると思うが、次のようなことが主な原因になっているのではないだろうか。

- ・磁界中の導線に電流が流れると力が働く現象は200年以上も前に発見された現象であり、分か

り切っていることを今さら実験で確かめる必要がない。

- ・電流を流すとブランコが左右のどちらかに振れるだけで、電気ブランコの動きが非常に単純で面白さに欠ける。
- ・電流、磁力、電磁力の3つの方向の関係を示す「フレミング左手の法則」の学習が中心課題であり、電気ブランコの実物よりも紙上の図を見て、電流、磁力、電磁力の方向を理解することのほうが大切である。
- ・作るのが面倒。

その他、教員によって様々であると思うが、いずれにしても実験をすることなく授業を進めることになる。しかし、何事も実際にやってみて初めて気づき、理解が深まることが少なくない。そこで、日ごろの授業の中で観察や実験の大切さを唱えている筆者としては、面倒がらずに一度は電気ブランコの実験を行ってみようと考えた次第である。

実際に作ってみると、用いる導線の太さやブランコの長さ、U磁石の置く位置、抵抗として用いるニクロム線の長さなど、様々な条件の違いによってブランコの動きが異なることが分った。また、これまで電気ブランコの実験は定性的に扱われることがほとんどであったが、ほんの少し工夫することに

* Hitoshi IGASHIRA 教育学部 理科、理科教育法、生活と科学

よって、ある程度の確かさで定量化することができると分かったので、それらの結果をまとめて報告する。

2. 実験方法

(1) 使用した機器

- ・磁石：学研 U 形永久磁石 (9.2×6.2×3.2 cm、内径5.4×4.2 cm)
- ・電源：直流電源装置 TM-4S (テクノクリエイト) の1.5 V
- ・電圧計：T-3 V (ウチダ)
- ・電流計：T-5 A (ウチダ)
- ・ニクロム線：ヘアードライヤーに使われていたコイル状のニクロム線 (直径0.35 mm、10 cm で20℃のとき約1.2Ω)

3. 予備実験

予備実験として、教科書や参考書を手本にして、取りあえず図1のような電気ブランコを作成してみた。太さ0.32 mmの導線で長さ25 cm、幅8.5 cmのブランコをガラス棒に吊した。N極とS極でブランコを挟むようにU形磁石を置いた。両端をミノムシリード線で1.5 Vの直流電源につないで、回路には電圧計、電流計、ニクロム線を組み込んだ。なお、磁石の位置は参考書などの挿絵を参考にし、磁石がブランコの中に約1.5 cm入った場所に置いた。

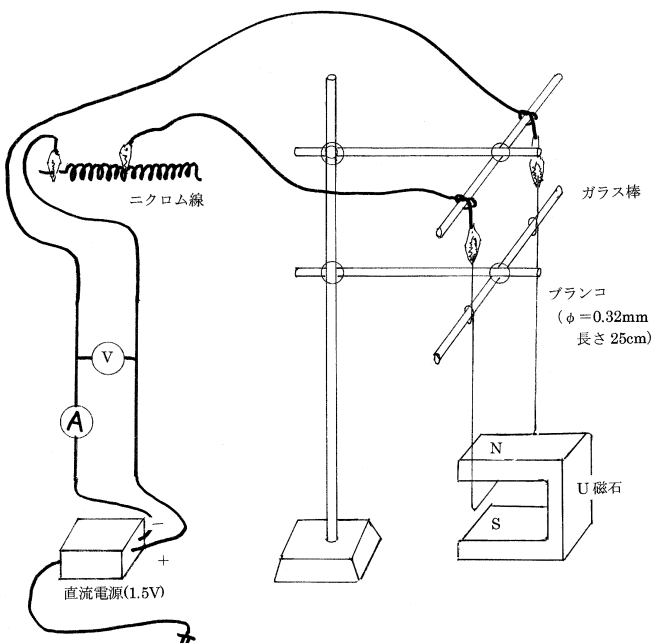


図1. 予備実験で用いた電気ブランコ

電気を流すと、ブランコは左側に振れる動きを観察することができた。しかし、図1のブランコには、次のような問題や課題があることが分かった。

- ①ブランコの振れがいつまでも続き、静止するのに10秒以上かかる。
- ②太くて重いミノムシリード線の位置が少しでも変化すると、ブランコの位置や動きが変わって、影響を受ける。
- ③抵抗のニクロム線の長さによって、ブランコの振れ幅が異なる。ニクロム線を長くするとブランコの振れ幅が小さいが、ニクロム線を短くすると振れ幅が大きい。

4. 改良型の電気ブランコ

予備実験で明らかになった①～③の課題を解決して、定性実験から少しでも定量実験に近づけるために、図1の電気ブランコに幾つかの改良を加えて、図2のような電気ブランコを作ってみた。主な改良点は次の4点である。

- ①ブランコの振れがいつまでも続くのはブランコに使用した導線が細いからだと考え、直径0.55 mmの太い導線を使用することにした。また、ブランコの長さを25 cmから20.5 cmに短くした。

ブランコの導線を太くしたこととブランコの長さを少し短くしたことによって、ブランコが振れたとき、その位置で静止するようになった。

- ②ブランコの動きがミノムシクリップ付きリード線の影響を受けにくくするため、ブランコとリード線との間に、細い導線 (2r=0.32 mm) をコイル状に巻いたものを取り付けた。

この結果、細い導線のコイルがブランコの動きやリード線からの力を吸収して、ブランコの自由度を確保できるようになった。

- ③ニクロム線のコイルを直線状に伸ばし、長さ30 cmの定規にセロテープで貼り付け、ミノムシリード線のクリップを移動することによって、回路に組み込むニクロム線の長さを5 cmから30 cmまで自由に変えられるようにした。
- ④ブランコの振れ幅を測定するために、分度器を拡大コピーした用紙をガラス棒に取り付け、ブランコの振れ幅の角度を求めた。1目盛2度。

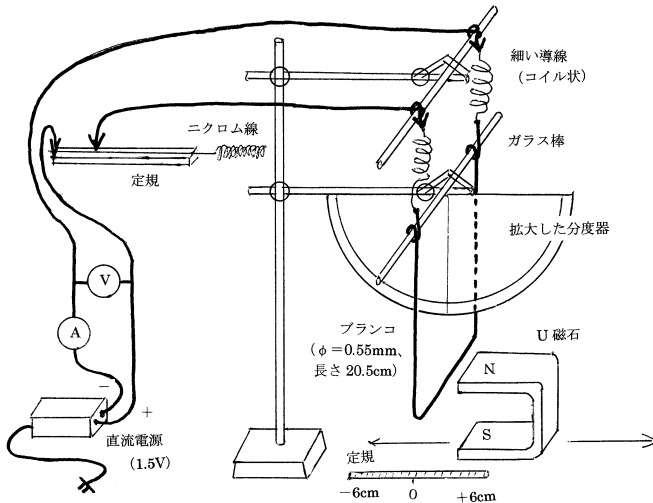


図2. 改良型電気ブランコの模式図

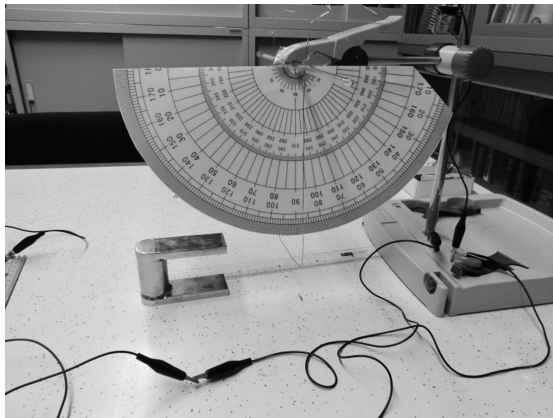


図3. 改良型電気ブランコの写真

5. 結果

以上のような改良型の電気ブランコを用いて、ニクロム線の長さや電気ブランコの振れ幅の関係について調べてみた。

(1) ニクロム線の長さや電気ブランコの振れ幅の関係

図4はニクロム線を5cmから30cmまで5cmずつ伸ばしていったときの振れ幅、電圧、電流の変化を示したものである。たとえばニクロム線の長さが5cmのとき、振れ幅6.1(1目盛2度であるから、振れた角度は12.2度)、そのときの電圧は0.78V、電流は0.63Aである。

回路に組み込むニクロム線の長さが長くなるにしたがって電気振子の振れ幅が小さくなるのは、ニクロム線の抵抗が大きくなり、ブランコに流れる電流が少なくなるからで、これは予想された結果であ

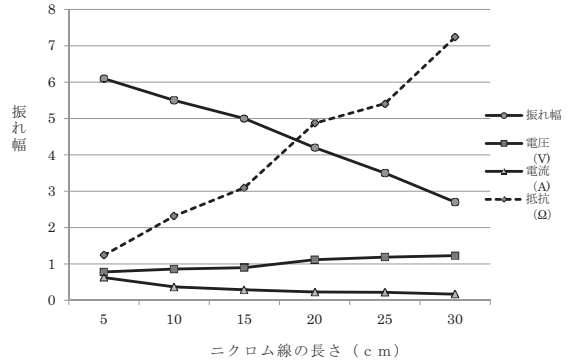


図4. ニクロム線の長さや電気ブランコの振れ幅の関係 (磁石の位置は、ブランコから約1.5cm入った箇所)

る。

電圧の変化をみると0.78Vから徐々に上昇して、ニクロム線の長さが30cmのときには1.23Vを示している。反対に電流は0.63Aから0.17Aに減少している。本実験で用いた直流電源装置の場合、電流がほとんど流れていないときは約1.5Vの電圧を示すが、電流が増加するにつれて電圧降下を起こしていることが分る。

(2) 磁石の位置やブランコの振れ幅の関係

それまで電気ブランコで用いるU磁石の位置に関してはあまり関心をもっていなかった。先の実験でも参考書に描かれている挿絵などを見て、ブランコとU磁石が1~2cm重なるように設置していた。しかし、実験を進めていくなかで、U磁石の置く位置によってブランコの振れ幅が大きく異なることに気づいた。

そこで、磁石の位置やブランコの振れ幅の関係について調べるために、U磁石を電気ブランコから右側に6cm離れた場所(+6cm)から、少しずつ左に移動させ、ブランコがU磁石の底の部分に触れる手前まで(-6cm)押し込んだときのブランコの振れ幅を測定した。U磁石の位置を素早く決めるために、U磁石と平行になるように30cmの定規をテーブルの上に貼り付けた。なお、ニクロム線の長さは10cmとした。結果を図5に示す。

U磁石をブランコから6cm離れた位置に置いた場合、ブランコは動いたのが分かる程度しか振れなかったが、1cmずつ近づくにつれて振れ幅は大きくなっていく。特にブランコから1cm離れた場所辺りから勾配が若干大きくなり、マイナス4cmくらいまでブランコの振れ幅が大きい。そして、U磁石の底部付近(-4~-6cm)までは、振れ幅

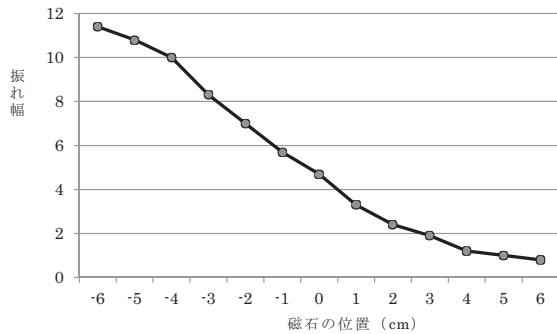


図5. 磁石の位置と電気振り子の振れ幅の関係

の増加は緩やかになっている。

念のため、U磁石をどこまで離すとブランコが動かなくなるのかを確かめたところ、ブランコから右側へ+11~12 cm 離れたとき、動きがほとんど認められなくなった。

(3) ニクロム線をさらに短くしたときの電気ブランコの振れ幅

図2の実験は安全性を考えてニクロム線の長さを10 cmにしたが、これをもっと短くして、すなわち抵抗を小さくして、流れる電流を増やした場合、ブランコの振れ幅はもっと大きくなるのではないだろうか。

図6はニクロム線の長さを5 cm、2.5 cm、1.3 cmにして、先ほどと同じように磁石を少しずつ近づけていったときのブランコの振れ幅を測定した結果を示したものである。

結果は、実験をする前の予想とほぼ一致したものとなっており、ニクロム線の長さが短くなればなるほど回路に流れる電流が増え、電気ブランコの振れ幅が大きくなる。

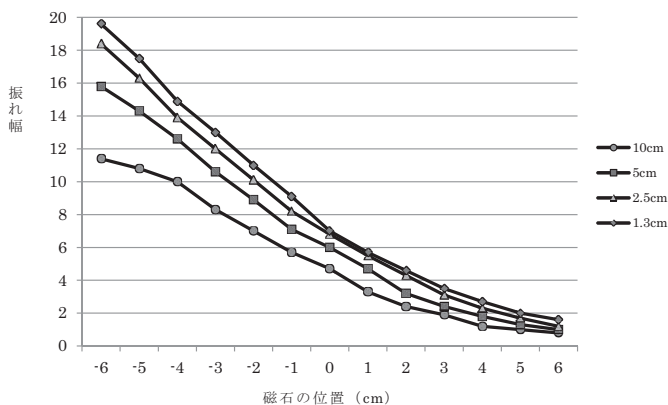


図6. ニクロム線の長さをさらに短くしたとき、磁石の位置と振れ幅

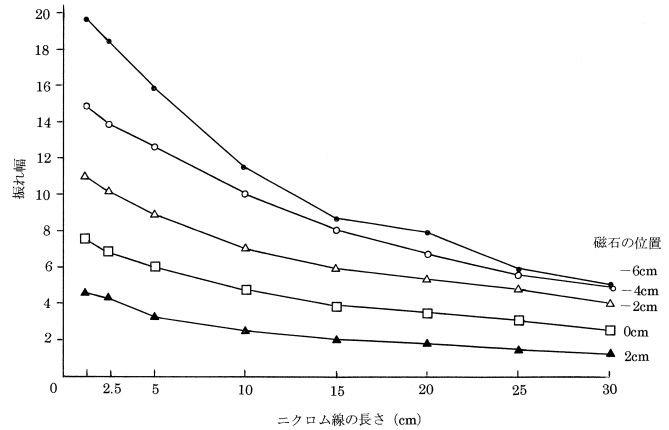


図7. ニクロム線の長さで電気磁石の振れ幅の関係

(4) ニクロム線の長さで振れ幅の関係

ニクロム線の長さを1.3~10 cm から30 cm まで広げ、ニクロム線の長さで振れ幅の関係をさらに詳しく調べた。なお、図7では、ニクロム線の長さを横軸にとってある。なお、▲は磁石の位置が+2 cm の場合、□は0 cm の場合、△は-2 cm、○は-4 cm、●は磁石の位置が-6 cm の場合を示してある。

いずれの場合も、ニクロム線が短くなるほど電気磁石の振れ幅が大きくなるのはこれまでの結果と変わらないが、磁石の位置がマイナスになればなるほど、直線状から急カーブを描いて振れ幅が大きくなる傾向が認められた。

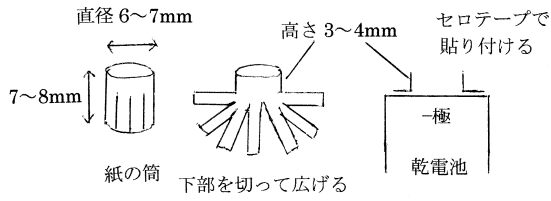
6. 乾電池とネオジウム磁石を用いた導線モーター

電気ブランコは簡単に作れ、しかもフレミング左手の法則を学習するのに分かりやすい教材である。しかし、反応や動きが単純で、生徒にとってはそれほど魅力のある教材とはいえない。

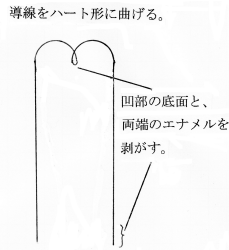
そこで、比較的簡単に作ることができ、しかも動きがあって生徒達の好奇心を刺激する教材として、導線モーターを紹介したい。導線モーターについてはインターネット上に様々な形のものが掲載されているが、ここでは作り方が比較的簡単なものを紹介する。

(1) 材料

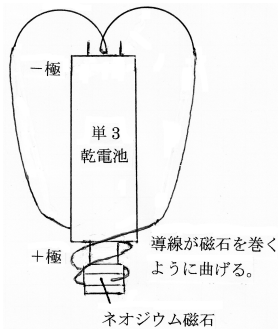
単3の乾電池1個、ボタン型ネオジウム磁石3~4個(百均ショップで購入)、太さ0.5 mm 前後の



a. 紙の筒の作り方



b. 導線を曲げ、被膜を剥がす



c. 導線が磁石をとり巻くように曲げる
(先端が磁石に触れるか触れないか状態に調節する)

図8. 導線モーターの作り方

エナメル線25~30 cm、やすりまたは紙ペーパー。

(2) 作り方

- ①エナメル線を中央で半分に折り曲げ、エナメル線の両端約1 cm と、ハート形の凹んだ部分の先端を紙やすりで10回程度擦って、エナメルを剥がしておく (図8 - b)。
- ②1辺4 cm 四方くらいの大きさの紙を巻いて直径約5 mm の筒を作る (セロテープまたは糊で留める)。筒を長さ4 mm に切る。
- ③乾電池のマイナス極に、②で作った筒 (直径5 mm、長さ4 mm) をセロテープで固定する (図8 - a)。
- ④乾電池のプラス極にネオジウム磁石を吸着させて、マイナス極を上にして立てる。
- ⑤ハート形のエナメル線を磁石の上に乗せ、エナメル線の両端が磁石に巻き付くように曲げ、先端が磁石に触れるか触れない程度に曲げて調節する。

手を放すと、ハート形のエナメル線が回転し始める。

(3) 原理

ネオジウム磁石の周辺には磁力線がN極側からS極側に走っている。導線の両端のいずれかが磁石に触れると、電池のプラス極から導線、ネオジウム磁石、電池のマイナス極へと電流が流れ、導線に力が働いて回転し始める。

注意点としては、導線の端を下磁石に接触し続けると電流が大量に流れ続け、導線や乾電池が熱くなって危険である。導線を曲げるとき、先端が回転しながら磁石と時々接触する状態になるように調節するとよい。

7. 考察

電気ブランコは、磁界の中に置かれた導線に電流が流れると力が生じる現象を観察する点と、そのときの電流の方向、磁力線の方向、生じる力の方向の関係を学習するための教材であり、定量的に扱う必要はないという意見があるかも知れない。

しかし、実際に電気ブランコを作ろうとすると、導線はどれくらいの太さのものがいいのか、ブランコの長さはどれくらいにすればいいのかなど様々な問題にぶつかることになる。筆者が予備実験で作ったとき、細過ぎる導線を使ったこととブランコが長過ぎてうまくいかなかった。このようなことから、定性的な実験をするための電気ブランコであっても、教科書や参考書には材料の太さや寸法をもう少し具体的に示しておく必要があるのではないだろうか。

(1) ニクロム線の長さ、電気ブランコの振れ幅の関係

電磁力は磁界または磁束密度の大きさ、電流、磁界内にある導線の長さによって違ってくるが、この場合、磁界の強さと導線の長さは変わらないので、電流が主な変化の要因となる。

図4で、回路に組み込むニクロム線が5 cm から30 cm に長くなるにしたがって、振れ幅がほぼ直線的に低下している。ニクロム線の長さが長くなると抵抗が大きくなり、回路を流れる電流が少なくなると、導線に働く電磁力が小さくなるのである。ただし、電源の電圧が少し上昇しているため、条件が全

く同じではないことを考えに入れておく必要がある。

(2) 磁石の位置と電気ブランコの振れ幅の関係

これまで教科書や参考書などの挿絵から、導線と磁石が1～2 cm 重なる状態であればよい程度にしか考えていなかったが、図5のように磁石の位置が電気ブランコの振れ幅にこれほど大きい影響が出るとは、思いもしなかったことである。特に、ブランコがU磁石の入り口付近よりも奥深くにあるときのほうが、振れ幅が大きいという結果には驚かされた。

(3) ニクロム線をさらに短くした場合

ニクロム線の長さを10 cm から5 cm、2.5 cm、1.3 cm と短くすると、回路に流れる電流が大きくなり、振れ幅が大きくなっている。実験前の予想としては、もっと大きくなるのではと思っていたが、実際にはグラフの線が接近して振れ幅の差が小さくなる。これは電流が増えると電源の電圧が下がることが主な要因であると考えられる。

(4) ニクロム線と振れ幅の関係

ニクロム線の長さを1.3 cm から30 cm に変えたときの振れ幅の変化を調べた結果、磁石と電気振りが十分重なり合っている場合は、図7のように直線ではなく、曲線的になることが分った。この結果は、電流は抵抗に反比例するというオームの法則により近いものである。図4の振れ幅の変化が直線状に低下したのは、ニクロム線の長さだけでなく、電流が増加するとともに電源の電圧が変化したことが原因となっているのであろう。

(5) 導線モーターについて

これは電磁力を応用した教材で、生徒の関心を高めるのに役立つものと思われる。乾電池や磁石の方向を変えると、モーターの回転方向が変わることを確かめることができる。ただ、磁力線の方向、電流の方向、電磁力の方向が分かりにくいのと、導線の先端がネオジウム磁石に触れさせ続けると電流が流れ過ぎて、導線や乾電池が熱くなることにやや難点がある。この点を十分理解して、指導する際には十分配慮すれば、導線モーターは生徒の関心を高めるのに十分活用できる優れた教材である。

参考文献

- ・井頭均 2013 理科の研究 p.71 尼崎印刷。
- ・伊藤久雄 2009 自由自在理科 p.138 受験研究社。
- ・遠藤雅守 2014 電磁気学 ナツメ社。
- ・菊池誠 1993 電気の仕組み小事典 p.168 講談社。
- ・北村良夫他 1991 新物理 p.309 数研出版。
- ・藤瀧和弘 2012 電気の仕組みと基本 秀和システム。