

磁気浮上式鉄道を推進させる電磁石の研究Ⅶ

沼津市立大岡中学校
3年 眞邊 開

1 動機

本研究は7年前より継続して行っている。

小学2年生の頃ニュースで見たリニアモーターカーをきっかけに電磁石に興味を持ち始め、本研究に至る。電磁石をテーマに疑問、課題を設定し実験を行い、得られた結果をもとに作成した電磁石でリニアモーターカーの模型を作成してきた。

また、リニアモーターカーを題材とした研究であるため、実験は主にリニア模型を使用することにより、リニア模型を早く進ませるための課題を解決してきた。

2 目的

リニアモーターカーは電磁石の磁力で推進している。リニアモーターカーを速く推進させるためには電磁石と永久磁石の間にはどのような力がはたしているかを理解することが重要だ。

そこで、「電磁石によって反発する永久磁石には、どのような力がかかっているのか」という疑問を解決することを目標とした。昨年までは電磁石の磁力を強くすることに着目してきたが今回は着眼点を変え、電磁石の磁力によって起こる物理的現象について研究を行った。

3 実験

上記の目的において、具体的には以下の3点について実験を行った。

(1) 電磁石の磁力の強さと、電磁石によって発生する力の関係性

【方法】

はかりを使用して測定を行う。

電磁石は昨年作成したもの(約20Ω)を流用する。ボタンを押すと電圧が電磁石にかかる。

また、電磁石と永久磁石の間には、今回作成するリニア模型での電磁石と永久磁石の間と同じ距離をとった。電磁石に電圧をかけ、はかりの数値を読み取る。

実験は、電磁石に3.0V、4.5V、6.0V、7.5V、9.0V、10.5V、12.0Vの電圧をかけるパターンに加え、同じ永久磁石同士を反発させたときの数値(計8種)を測定した。

【結果】

電圧を高くする(=電磁石の磁力が強くなる)ほど、永久磁石には強い力がはたした。また、電磁石と永久磁石の磁力が小さすぎたためか、6.0V~9.0V、10.5V~12.0Vでの変化が見られなかった。実験において、正確なデータが得られなかったため、永久磁石をより強力なものに変更し、再度実験を行った。

その結果、電圧が高くなるにつれて反発力も強くなり、その増加率は小さくなっていった。このことから、電磁石にかける電圧を高くしても電磁石によってはたらく力には限界があることが考えられる。

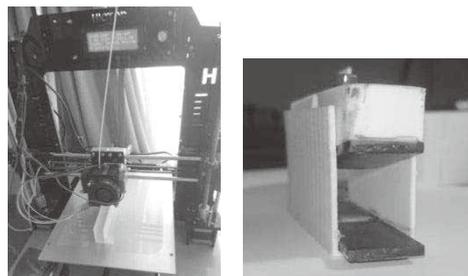


(2) 電磁石の磁力の強さと、電磁石によって動く物体の速度の関係性

【方法】

3Dプリンタにて作成したリニア模型を実験装置として使用した(右図参照)。レールと車両にUVレジンを用いてフェライト磁石を設置した。電磁石は実験(1)と同じものを使用した。

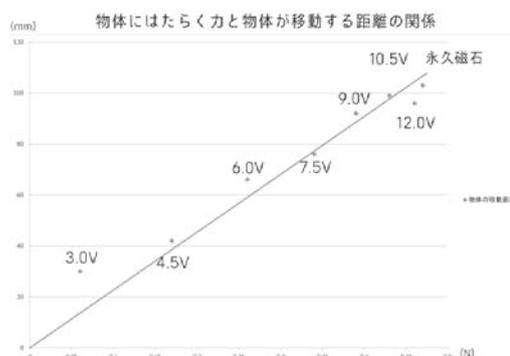
電磁石に電圧をかけリニア模型が推進する様子を毎秒60コマの動画で記録し、動画編集ソフトでクロマキー合成を行い、どれだけ推進したかを測定した。



【結果】

電圧が高くなるほどリニア模型は長い距離を移動した。右のグラフは、実験(1)で得られた電圧と反発力の数値をもとに、物体にはたらく力と移動距離の関係を表したものである。

このグラフより、物体にはたらく力(=電磁石の磁力)が強くなるほど、はたらく力によって動く物体(=リニア模型)は長く移動することがわかった。また、グラフ上では誤差があるものの、ほとんど同じ割合で増え続けていることから比例の関係だと考えられる。摩擦などを無視すればリニア模型は等速直線運動を続けるはずだが、摩擦が生じたため移動する距離には限界がありこのような結果になったと考えられる。



(3) 電磁石の向き(角度)と、電磁石によって動く物体の速度の関係性

【方法】

実験(2)と同じ実験装置を用いた。電磁石を45°単位で傾けられるようにし、12V DCの電圧をかけた。実験は-45°、0°(実験Bで記録済み)、45°のパターンで行った。

【結果】

どの角度でも移動距離は変化しなかった。瞬間速度は誤差が大きいものになってしまったが、最高速度はほとんど変わらなかった。しかし、電磁石を垂直においた場合は加減速が他と比べて急だった。

実験結果より電磁石のN,S極では角度にかかわらず様々な方向に同じ程度の磁力がはたらいることがわかった。

4 考察

- 電磁石にかける電圧を高くすると、電磁石によってはたらく力は強くなる。しかし、電圧を高くするにつれて電磁石によってはたらく力が増加する割合は小さくなっていく。このことからコイルにかける電圧を高くしても電磁石によってはたらく力には限界があることが考えられる。
- 電磁石によってはたらく力で物体を動かすとき、電磁石にかける電圧が高いほど物体が移動する距離は長い。しかし、電圧が高くなるにつれて移動距離が増加する割合は小さくなっていく。これは電圧を高くするにつれて電磁石によってはたらく力が増加する割合は小さくなっていくためであり、物体にはたらく力(=電磁石の磁力)が強くなるほど、はたらく力によって動く物体(=リニア模型)は長く移動することがわかった。また、2つの数値は比例の関係だと考えられる。
- 電磁石と永久磁石を反発させるとき、双方の角度にかかわらずあらゆる方向に同じ程度の力がはたらいることが分かった。
- 実験(1)(2)で得られた結果はこれまで電磁石の研究をしてきた中で初めて判明した。また、電磁石だけでなく電磁石によってはたらく物理的な力での法則も見つけることができた。

5 実験結果の応用

実験で得られた結果をもとにリニアモーターカーの模型を作成し、走行させる。これまでの研究で達成することができなかった「永久的に走らせる」ことを目標にする。

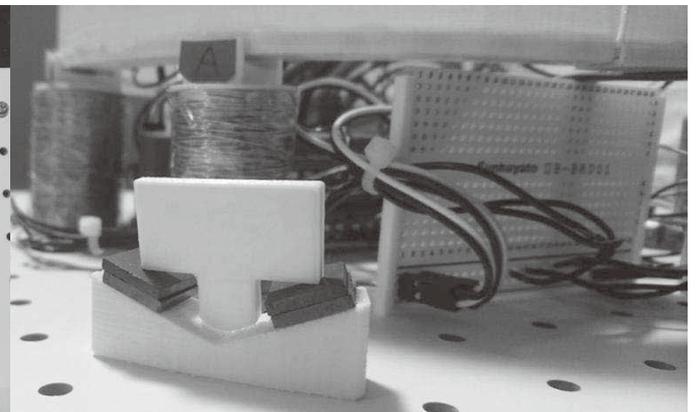
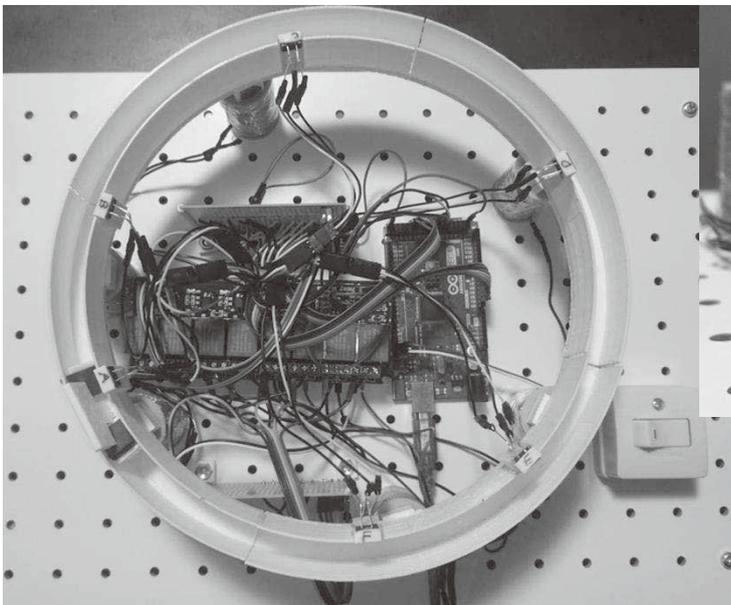
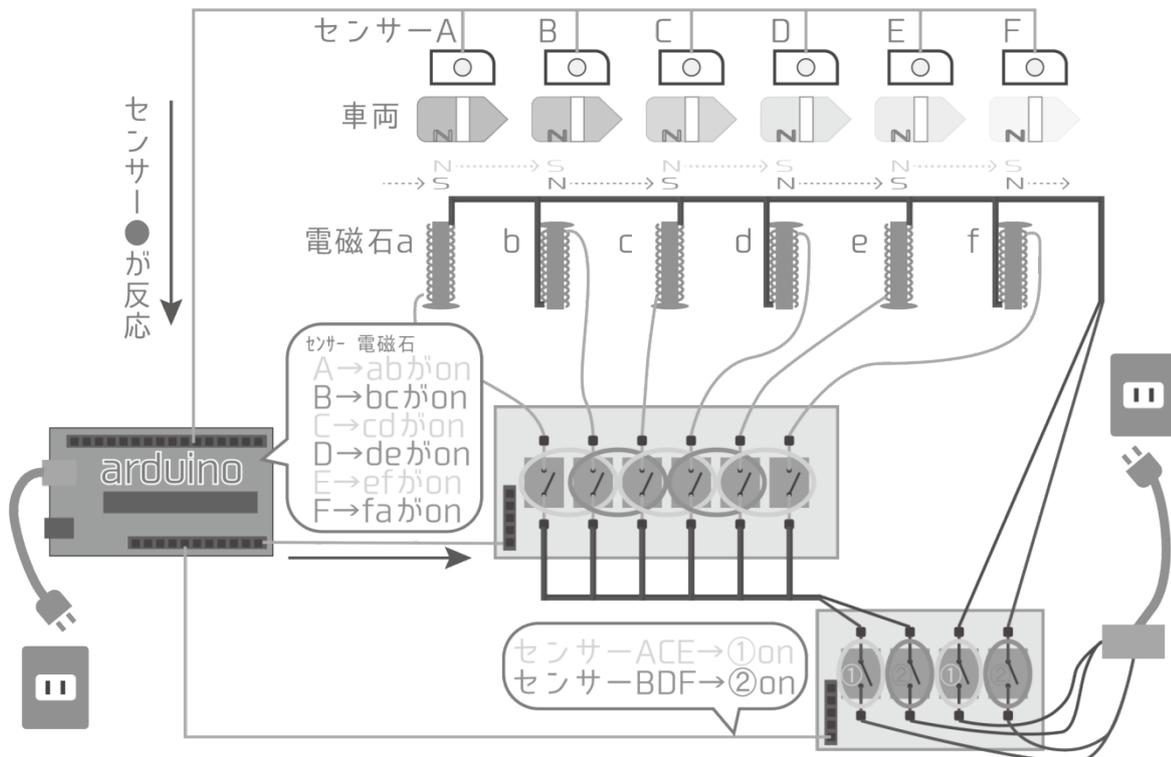
3Dプリンターで実験装置度同じ仕組みのレール、車両を作成した。

車両の位置検出には昨年同様、LBR-127HLD を使用した。これは赤外線を物体に反射させるタイプの近接センサーだ。電磁石に流れる電流の切り替えはリレースイッチモジュールを使用した。

電源は電磁石の制御と同じく、リレースイッチで制御した。プラスとマイナスを切り替えることができる。

これにより電磁石の極を切り替えることが可能になり、車両は反発力と吸着力によって推進する。

これらを Arduino という電子回路を制御できるマイコンボードで制御する。Arduino は PC より USB 経由で内蔵メモリーへプログラムを転送することで動作する。プログラムは C 言語をベースとした特殊な言語だが、公式リファレンスを日本語訳したページを参考にした。



リニア模型を走行させたときの映像 Google Drive にアップロードした (shorturl.at/ku469)。

電磁石をレールの下に設置したため、車両が上下に激しく揺れてしまったが、永久的に車両を走らせることができた。レールの全長は約 743mm であり、車両は平均 3 秒で 1 周した。したがってリニア模型 Mk. II の速度は

$$743 \div 3 = 247.7 \text{ mm/s} = 0.89172 \text{ km/h}$$

となる。

作成したリニア模型と本物のリニアモーターカーのスケール比を車幅から求める。このリニア模型の車幅は 13mm であり、本物のリニアの幅は 2900mm であるため、このリニアのスケール比は 1/223 だ。実際のスケールに当てはめたときのスケールスピードは $0.89172 \times 223 = 198.85356 \text{ km/h}$ だ。

※スケールスピード：模型の速度を実物大に換算した速度。

昨年作成したリニア模型と比べると遅くなってしまったが、一昨年のリニア模型とほぼ同じ速度で永久的に走らせることができた。

6 まとめ

本研究は、小学 3 年生のときから毎年自由研究として継続してきた。当初は電磁石に釘をつけるなど、初歩的なことから電磁石についての実験を行ってきたが 7 年間の研究を通して、より具体的な環境での電磁石の強さについての実験を行うことができた。今回の研究では、学校の理科の授業で学んだことを生かして物理分野での実験を行うことができた。磁力と力の関係性についてはまだわからないことが多いので、また機会があれば実験を行いたい。そしていつか技術者として新たな発見をし、それを今後の産業技術などに活かせるようになりたい。

自由研究としての本研究は今回で最後となるが、高校でも同じ分野での研究を続けたい。