

〈第 34 回 山崎賞〉

# 「自走式乾電車」から「磁気浮上車」へ

静岡県立韮山高等学校  
物理部 2年 望月翔太 他3名

## 1 研究の動機および方法

18世紀半ばに起こった産業革命により蒸気機関車が發明されて以降、鉄道技術は著しい進化を遂げてきた。そんな中、21世紀の今注目されているのが「リニアモーターカー」である。電気モーターを駆使して走行するリニアモーターカーの最高時速は600km/hを上回り、新幹線のおよそ倍の速度で走るといふ。中でもリニアモーターカーの一種である「磁気浮上車」は字の如く浮上しながら走行するため、摩擦による抵抗力がないことにより、車両の揺れの軽減や走行音の抑制など様々なメリットを生み出すと考えられている。

そんな磁気浮上車はもはや空想上のものではなく、日本各地で施行され始めている。そこで我々は磁気浮上車の模型を作成することでより深くその構造を理解しようと考えた。さらに、我が校の先輩が研究を行っていた「自走式乾電車」に、磁力で走るといふ面で磁気浮上車との共通点を見出し、まずはリニアモーターカーの原始的モデルとも言える自走式乾電車を作成し、そこから磁気浮上車へ発展させていくという研究方法をとることにした。

## 2 自走式乾電車の作成

前述の通り、まずは自走式乾電車を作成することにした。

※自走式乾電車とは…コイルの中に両端に磁石を付けた電池を通すことで、電磁石が作る磁界と磁石の磁気が作用して電池が自走する仕組みである。

### (1) 銅線を用いた自走式乾電車

まず初めに、コイルの素材として銅線を利用して自走式乾電車を作成した。

材料

- ・銅線（線径 0.9mm）
- ・単3形乾電池
- ・丸型ネオジム磁石（直径 13mm）

手順

- 1 銅線を棒（今回は箒の柄を使用）に巻きつけ、コイルを作成する。（写真1）
- 2 単3形乾電池の両端にネオジム磁石を2つずつ 同じ極が外側を向くようにして取り付ける。
- 3 コイルの中に乾電池を置き、自走するか確かめる。



写真1 銅線を巻きつける

※抵抗力を感じる場合は電池の向きを逆にすると走る。

結果、銅線は材質が硬いためか、隙間なく巻きつけることが困難であった。そのため、一卷きごとに隙間が生じてしまい、そこに電池が引っかかりうまく進まなかった。

### (2) アルミ線を用いた自走式乾電車

銅線での失敗を踏まえて、銅線よりも材質が軟らかく巻きやすいアルミ線を利用して再び実験を行った。アルミ線は線径1mmのものを使用した。

結果、アルミ線の材質がコイルとして巻くのに適していたため、きれいに巻くことができ、電池との摩擦を減らすことに成功した。それにより電池がスムーズにコイルの内部を移動した。

また、磁力を強めることにより走行速度を上げることができるのではないかと思い、磁石の個数を増やしてみたところ、電池が重くなりすぎてしまい、むしろ速度は落ちてしまった。そこで電池の軽量化のために単4形電池を使用してみたところ、両端に取り付けていた磁石との接地面積が減ったことにより、磁石がぐらつくようになり、走行している内にコイルと接している磁石は向きがずれてしまい、乾電池は止まってしまった。

### (3) まとめ

「自走式乾電車」は、コイルの中に磁石を付けた電池を通すだけというとてもシンプルな構造ではあるが、実際に利用されている磁気浮上車のように、電磁石が作る磁界と永久磁石の磁界との力の及ぼし合いによって走行しているということが自ら作成してみることで明らかとなった。

さらに、電池の個数が多すぎて電池の重量が重くなってしまったり、磁石の向きがずれてしまったりしているときには電池が進まなかったことから、磁気浮上車の作成に向けて、車体の重量や磁気の向きにも留意していく必要があるということはこの自走式乾電車の作成から学ぶことができた。

## 3 磁気浮上車の作成

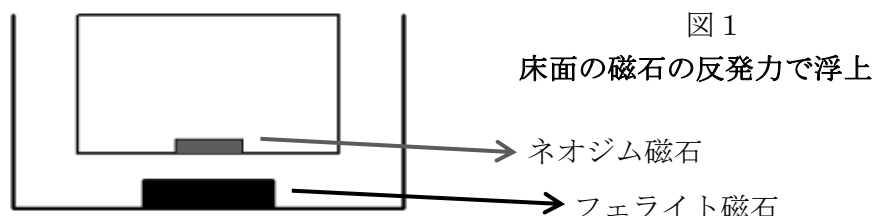
続いて、自走式乾電車の作成で得られたことを踏まえて、磁気浮上車の作成を行っていく。

### (1) 浮上

磁気浮上車の構造は、大きく分けて「浮上」と「推進」の2つに分けることができるが、まずは浮上について研究していくことにした。

#### ア 床面に磁石を設置

車体の底面に小型のネオジム磁石を取り付け、床面のフェライト磁石との反発力で浮上させる。コの字型のコースを作成し、両側の壁で車体を支える。(図1)

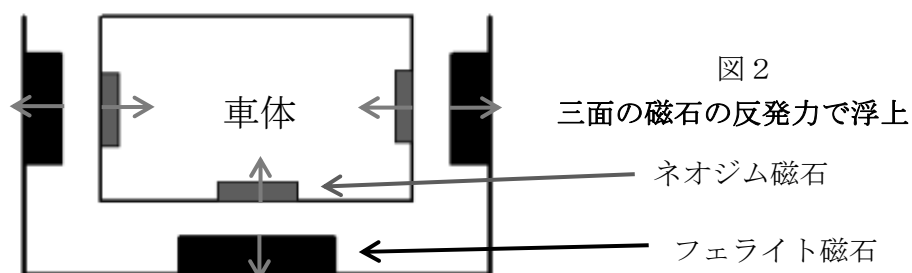


コースは木材を加工して作成、車体の素材には軽い発泡スチロールを使用した。

結果、壁と車体の隙間は約1cmほどであり、これならば車体がひっくり返ることは無いと思っていたが、壁のない前方向にひっくり返ってしまった。車体を浮かせるために非常に磁力の強い磁石を使用しているため、単に壁で支えるだけでは浮上させることはできないということが分かった。

#### イ 三面に磁石を設置

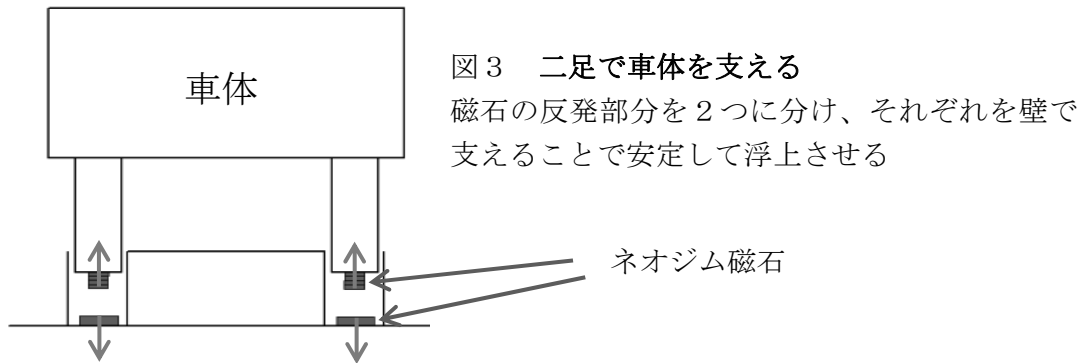
床面の磁石だけでは浮上させることができなかつたため、コースの側面にも磁石を取り付け、床面と側面の二面の計三面の磁力の反発力で浮上させる。(図2)



結果、床面のみに磁石を付けたときのようにひっくり返ることは無かったが、コースの中という狭い空間に磁石を大量に取り付けたせいか、非常に強い磁界が生じており、車体をコースの中へ配置することができなかった。この狭いコースでは車体を浮上させることは難しく、コース及び車体の構造を見直す必要があると分かった。

#### ウ 二足で車体を支える

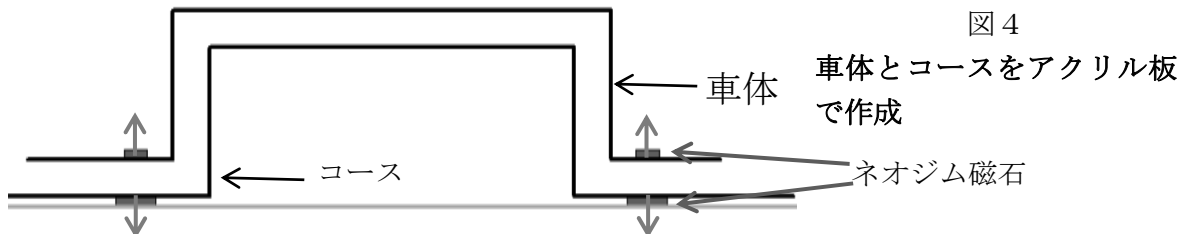
実際の電車に似せた細長い車体では車体を浮上させることができなかったため、より車体を安定させるために、人間のよう二足で支える構造を考えた。(図3)



結果、両足に重力が分散したことや、壁が足をうまく支えたことにより、車体の浮上に成功した。しかし、足に付けた磁石の重さに車体と足の接合部が耐えられず足が取れてしまったりと強度の面から考えてこの車体を推進させることは非常に難しくそうであるため、使用する材料の改善が必要だと感じた。

#### エ アクリル板を利用

車体の材質として、軽さと加工のしやすさの二点からアクリル板を利用することにした。また、浮上に関しては、二点で支えることと、内側の壁で車体を支えることが大切であることがウの実験で分かったため、その2つに気を付けつつ、よりスマートな構造にした。(図4)



結果、加工しやすく軽いアクリル板を利用したことにより、これまでの車体に比べて最も安定して浮上させることができた。(写真3)

初めは、コース側の磁石は一定の間隔を空けて敷き詰めていたが、すると磁気が不安定になり車体がうまく浮上しなかったため、隙間なく敷き詰めることが重要であった。

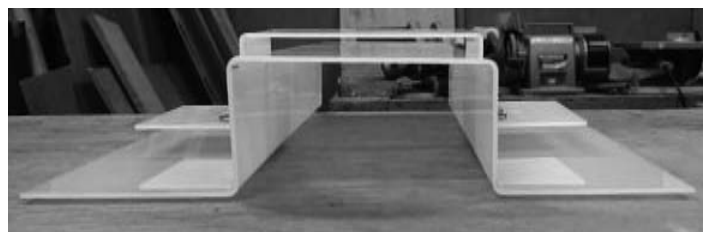


写真2 アクリルヒーターで曲げる

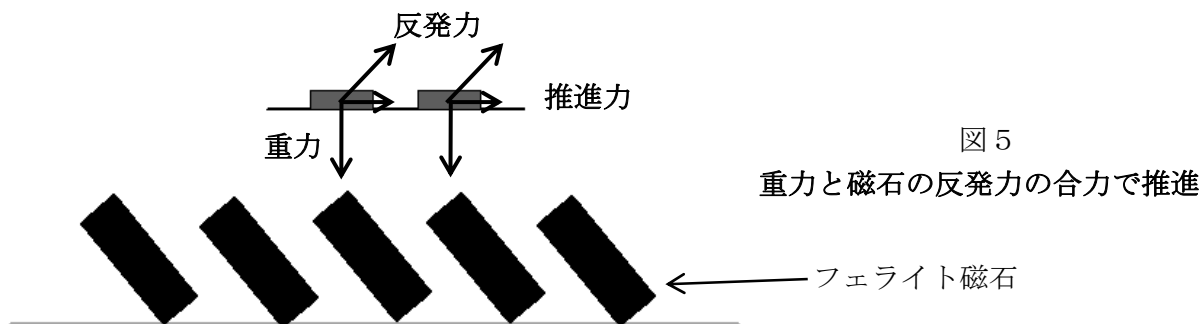
写真3 安定した浮上に成功

## (2) 推進

アクリル板を利用して安定した浮上に成功したため、続いて、この車体とコースを利用して推進について研究していく。

### ア 重力と反発力の合力を利用しての推進

コースの内側の空間にフェライト磁石を斜めに配置することで、車体が反発力を得て、重力と反発力の合力を推進力として推進する仕組みを考えた。(図5)



結果、車体が磁石の表側から生じる車体の推進方向への磁力だけではなく、裏側から生じる推進方向と逆方向への磁力の影響も受けてしまい、推進させることはできなかった。

また、推進しなかった原因を探る中、フェライト磁石を除き浮上しているだけの状態の車体を手動で前後させてみたところ、浮上させるためのフェライト磁石からも推進方向と逆方向への磁力を感じた。恐らく敷き詰めているフェライト磁石が丸型であるため、僅かながら一つの磁石間に隙間が生じており、その隙間から覗く磁石の側面からの反発力を受けてしまっているのではないかと考えられる。

よって、この車体を推進させるためには推進方向へと大きな力を要することがわかった。

### イ 重力を利用しての推進および磁気浮上車としての性能の確認

アの実験で、推進には大きな力が必要であることがわかったため、コースを傾けて重力を利用して推進させることにした。理想は水平状態で何らかの力を得て推進することであるが、一度重力を得て推進させることで、磁気浮上車の利点の一つである「摩擦力を受けないことでスムーズに走行できる」という性能を果たすことができているのかを確かめた。

結果、磁気浮上した状態で車体をセットした結果、勢いよく走行した。(写真4)しかし、同じ傾斜で磁気浮上していない状態の車体をセットしても滑ることはなかった。(写真5)このことから、我々が作成した磁気浮上車が実際の磁気浮上車と同様に摩擦がないことによる恩恵を受けていることが確認できた。



写真4

磁気浮上した状態では勢いよく走行した

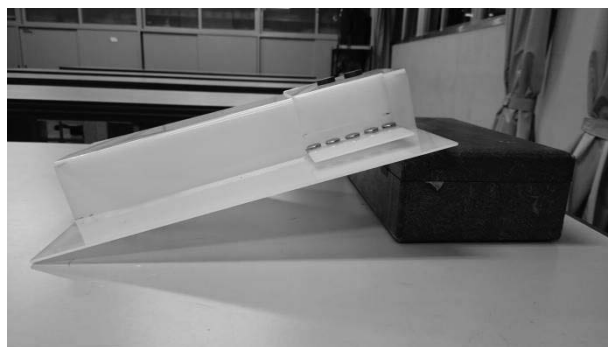


写真5

磁気浮上しない状態では摩擦力の影響を受け、滑り出さなかった

#### 4 まとめ

自走式乾電車の作成から始まり磁気浮上車へと発展させていく中で、僅かな磁石（磁気）のズレだったり、重心のズレだったりの原因で思うように走行、浮上しなくなる事が多々あり、磁力の扱いがとてもシビアであることを身をもって実感することができたと共に、今各地で走行している磁気浮上車が緻密に設計された非常に高度な技術が駆使されているものであることが分かった。

#### 5 今後の展望

今回の研究では自走式乾電車の作成および磁気浮上車の浮上までは達成することができたが、地面と水平な状態で推進させることはできなかった。推進力の創出方法として、浮上に利用している磁石の磁場に電流を流すことで、フレミング左手の法則により3次元の力が生じ、その力を利用して推進させるという案（写真6）を考えついたため、この推進方法の研究を試みたいと思う。

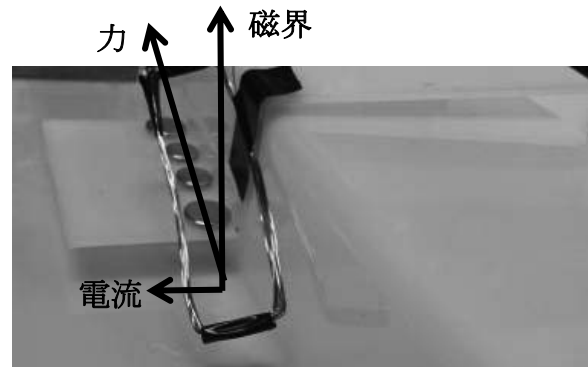


写真6

電流と磁界が作る力で推進

#### 6 参考文献

- ・「世界一簡単な構造の電車【作り方】」  
<<https://www.youtube.com/watch?v=IXeXcbvBPJw&v1=ja>>
- ・「第106回「磁気浮上」の巻」  
<<http://www.tdk.co.jp/techmag/ninja/daa00982.htm>>
- ・「夏休みの工作にリニアモーターカー改め、磁気浮上車を作る」  
<<http://nomano.shiwaza.com/tnoma/blog/archives/009056.html>>
- ・「リニアの仕組み」  
<<http://www.linear-museum.pref.yamanashi.jp/about/structure.html>>
- ・「リニアライナー磁力浮上・磁力走行の仕組み」  
<<http://www.takaratomy.co.jp/products/linearliner/mechanism/>>
- ・「リニアモーターカー」  
<<https://ja.wikipedia.org/wiki/リニアモーターカー>>
- ・「磁気浮上式鉄道」  
<<https://ja.wikipedia.org/wiki/磁気浮上式鉄道>>