

リニアモーターカーの仕組みで物をうかせる

静岡大学教育学部附属浜松小学校

5年 花山 礼

1 動機

エレベーターの中で物がういたら全体の重さはどうなるのかぎもんに思い、それを調べるために物をうかす研究をしています。3年目の今年はリニアモーターカーの仕組みを使うことにしました。

2 研究の方法

リニアモーターカー（以下、リニア）は電磁誘導という仕組みでういています。電磁誘導を起こすにはコイルと磁石が必要です。コイルの上で磁石を高速で動かすと、電磁誘導の仕組みでコイルに電気が流れ、コイルが電磁石になり、磁石との反発の力でうきます。

リニアの仕組みを再現するために、車両の代わりに発泡スチロールにネオジム磁石をつけ、その下をコイルを10個はりつけた板を通過させます。コイルの板をすばやく引くことで発泡スチロールはふ上するはずですが、どんなコイルを作ればよいか調べ、もけいを作り、実験を行います。

3 電磁誘導について調べる

まず、電磁誘導という仕組みについて調べてみることにしました。図書館で見つけた磁石と電気のマジックの本を参考にして、かたむけた木の板とアルミ板の上で磁石がすべり落ちる速さのちがいを調べました。12cmはなれた線の間を磁石がすべり落ちる時間をくらべます。すべりやすさのちがいをなくすために、コピー用紙をしきました。その結果、木の板では0.216秒かかりましたが、アルミの板では0.915秒もかかりました。これは、電磁誘導により、アルミ板の中で、磁石が近づいてくる部分は磁石と反発する極の電磁石になり、磁石がはなれていく部分はきゅう引する極の電磁石になるので、磁石にブレーキがかかり、ゆっくり落ちるそうです。電磁誘導はとてもおもしろい現象だと思いました。



木の板の上で磁石をすべらせている様子

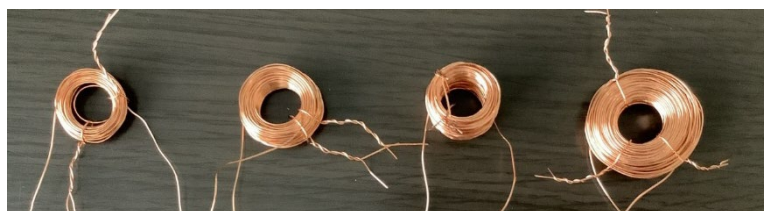


アルミの板の上で磁石をすべらせている様子

4 リニアのもけい作り

(1) どんな形のコイルが良いか

リニアのもけいを作るために、コイルを作ります。まず、何回まきが良いか考えました。教科書にはコイルのまいた回数が多いほど電磁石が強くなると書いてありました。家にあった直径1cmの木ぼうをじくにしてコイルを作ります。右の写真のようなコイルをまきました。この中からどれが一



作ったコイル：左から50回まき、100回まき、150回まき、200回まき

番もけいに適しているか調べます。コイルに電流を流して電磁石にし、くっつけられる木ねじの個数で電磁石の強さくらべを

電磁石の強さくらべ

何回まきか	50回	100回	150回	200回
木ねじの個数	1.3個	8個	7.3個	10.6個

しました。木ねじの個数は3回試して平均を出しました。結果は次の表のようになりました。この結果を見ると、まき数を増やすと力が大きくなると思っていたら、150回より100回の方が力が大きかったです。コイルを見てみると、150回まきのコイルは他のコイルよりたての長さが2倍くらいになっていたのも、それが原因かなと思いました。

次に、電磁誘導を起こしてみても電流の大きさを調べました。電磁誘導はコイルに磁石を近づけたり遠ざけたりすることで起きる現象です。検流計にコイルの両はしをつなぎ、磁石を近づけていく時と遠ざけていく時に流れる電流を調べました。結果は次の表のようになりました。



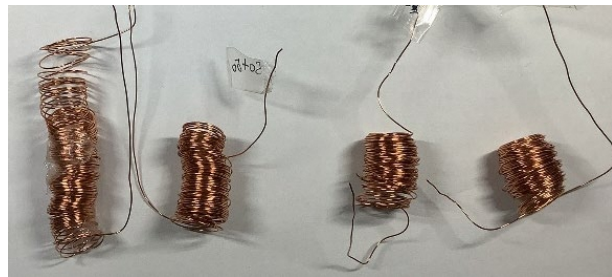
電磁誘導の大きさ調べ

電磁誘導の大きさくらべ

まいた数	50回	100回	150回	200回
はりのふれはば	3めもり	7めもり	5めもり	8めもり

この実験もまき数が多いほどふれはばも大きくなりました。でも、100回と150回だったら100回の方が大きかったです。

2つの実験からまき数が多いほど力が大きくなるということが分かりました。でも、150回まきより100回まきの方が電流が大きいのが不思議だったので、100回まきでコイルの厚さを変えた実験をしました。1重まき、2重まき(50回で折り返す)、3重まき(33回ずつで折り返し、最後は1回ふやす)、4重まき(25回ずつで折り返す)の4種類のまき方でコイルをつくり、どのまき方が良いかくらべました。電磁石の強さをくらべました。結果は右の表のようになりました。



コイルのまきかた実験：左から1重(100回)、2重(50+50)、3重(33+33+34)、4重(25+25+25+25)

電磁石の強さくらべ

まき方	1重	2重	3重	4重
木ねじの個数	1.7個	3.3個	3.3個	4.3個

た。コイルがうすくなるほど電磁石の強さは強くなっています。

電磁誘導の大きさくらべの結果は右の表のようになりました。この結果

電磁誘導の大きさくらべ

まき方	1重	2重	3重	4重
はりのふれはば	2.7めもり	4めもり	4.3めもり	5.3めもり

もやはりうすいほうが電磁誘導の力が大きくなるということが分かりました。

このように、電磁石の力はコイルがうすくなるほど力が大きくなり、電磁誘導の大きさもうすいほど働きが大きくなりました。だから、できるだけうすいコイルがもけいに最適だと考えました。

(2) うすいコイル作り

うすいコイルを作るためにボビンみたいなものを使ってコイルをまくことにしました。直径7cmで厚さが3mmのアクリル円板2枚と直径3cmで厚さが3mmのアクリル円板をハンバーガーみたいにし

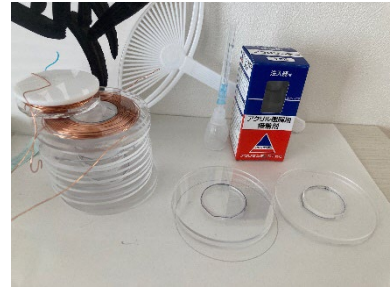
てボビンを作り、導線を 100 回まいてうすがたの 100 回まきコイルを作ることになりました。コピー用紙でかた紙を作り、それに合わせて亚克力板の中央に印をつけます。そして、接着ざいでじくとなる板をはさむようにつけます。



亚克力板に印をつける



亚克力板を接着する



完成したボビン

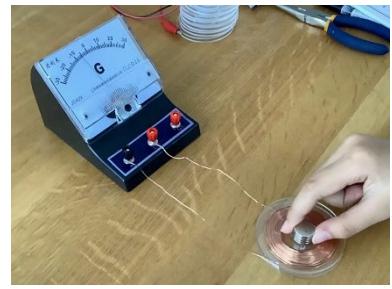
作ったボビンにコイルまき機を使い、導線を 100 回まきました。この方法で 10 個のコイルを作りました。検流計をつなぎ、電磁誘導の働きを調べてみたら検流計は 7 めもりふれました。これで、リニアのもけいを作ることになりました。



コイルまき機で導線をまく



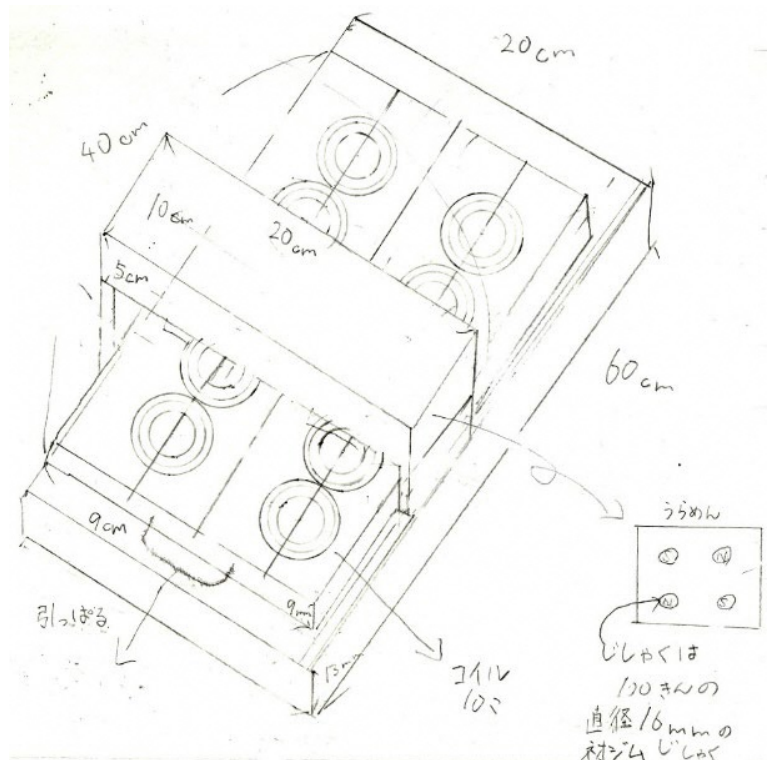
完成したコイル



電磁誘導の確認

(3) もけい作り

リニアのもけいを設計し、実際に製作します。まず、うかす仕組みを考えます。本物のリニアは、8 の字形のふ上案内コイルが横のガイドウェイについています。しかし、これを再現するのはむずかしそうなので、上下の反発でうかせるようにします。次に動かす仕組みを考えます。電磁誘導を起こすには、車両は速く動く必要があります。本物のリニアの仕組みで動かすのはむずかしいと思ったので、手でひっぱることにしました。でも、車両を手でひっぱると、車両がういたかどうか分かりません。そこで、車両は動かさずにガイドウェイを動かすことにしました。そうすると、車両がう



設計図

いたか分かるし、コイルをうかせるより磁石をうかせた方が軽いので、うきやすいと思いました。

ア コイル台を作る

木の板（9cm×40cm×9mm）2枚にコイルを5個ずつはります。これをつなぎ合わせて、コイル台にします。コイル台は本物のリニアではガイドウェイに固定されていますが、わたしの実験では動かす方を逆にするのでこれが動きます。作ったコイル台のコイルの1つに検流計をつなぎ、上を磁石をすべらせると検流計のはりが7めもりふれました。



コイルをはりつける様子



完成したコイル台



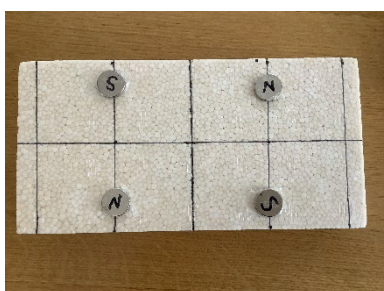
磁石をすべらせると検流計のはりが7めもりふれた

イ 車両を作る

車両の代わりのもけいは、レンガ型の発泡スチロールに磁石をつけて作りました。磁石は100均で見つけたネオジム磁石（直径16mm、180ミリテスラ）を使います。磁石の間かくはコイルと同じにしました。この車両は止まったまま、うきあがる予定です。

ウ 土台を作る

最後に土台を作りました。土台はコイルをすべらせる台になります。コイル台をすべらせるガイドを細い木のぼうで作りました。はしに車両のもけいを支える台をつけました。これで、リニアのもけいの完成です。



発泡スチロールで作った車両
のもけい



土台



リニアのもけいの完成

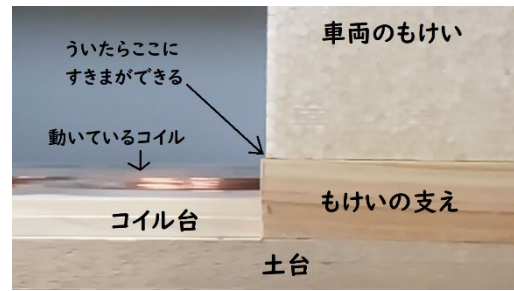
5 ふ上実験

(1) 実験方法

リニアのもけいを平らなところに置いて、コイル台を手でできるだけ速く引っぱります。車両についている磁石の下をコイルが速く通過することで電磁誘導が起こり、コイルが電磁石になり、コイルと磁石が反発し、うくはずです。確かめ方は、横からとった iPhone のスロー動画を見て、ういているかを確認めます。



実験の様子



横からさつえいした画像

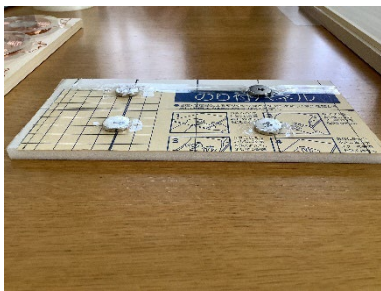
(2) 実験結果

ア 最初の実験（普通に引っばる）

まずは、初めに考えた通り普通に引っばって実験をしました。車両のもけいの下にコイル板を高速ですべらせて実験します。コイル台はできるだけ水平に引っばられるように注意して実験をします。コイル台はスピードを速くするために思いっきり引っばりました。しかし、全くうきませんでした。

イ 車両を軽くする

車両のもけいが重すぎるのかもしれないと考え、車両を軽くするために、もっとうすい発泡スチロールの板で作りなおしました。5g軽くなりましたが、うきませんでした。



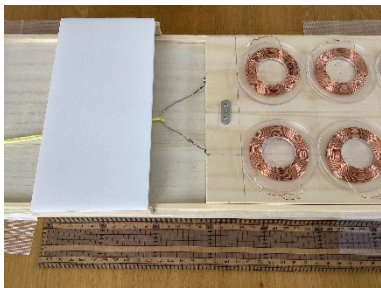
軽くした車両のもけい



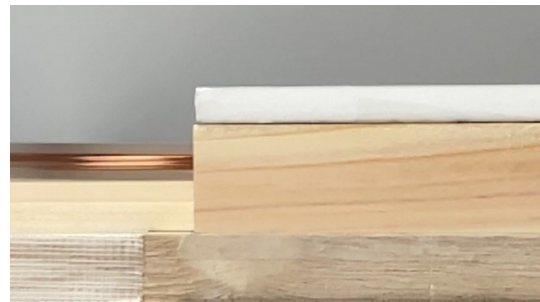
横から見た様子

ウ 加速するように助走をつける

コイル板が車両の下を通る時にまだあまり加速していないと思ったので、コイルが磁石の下を通る時の速さをもっと速くするために、もとのスタート地点から15cm後ろからスタートさせ、加速をつけてみました。車両をおくからスタートさせるためにひもをつけました。しかし、うきませんでした。



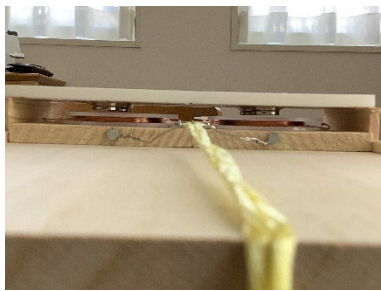
加速させるために引っばり始めの位置を少し後ろにする



横から見た様子

エ 磁石を2まい重ねにする

磁石を強くしたら電磁誘導の電流が大きくなると思ったので、磁石を2まい重ねにし、磁力を2倍にしてみます。磁石とコイルが当たらないように、支えを高くしました。しかし、うきませんでした。



磁石を2まい重ねにした車両のもけい



横から見た様子



オ 強い磁石にする

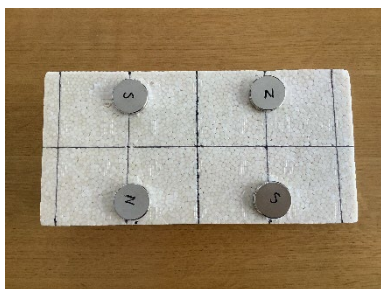
今までどんな工夫をしても全くうきそうになく、途方にくれていたところ、100均で今の磁石より大きくて強い磁石を見つけました。それを使ってやってみます。新しい磁石は磁束密度は小さくなりましたが、直径が大きくなっているので、合わせると磁石の強さは1.6倍くらい強くなっています。

車両のもけいの発泡スチロールをうすくしてもあまり変わらなかったなので、元の厚い発泡スチロールにもどしました。そして、今までの磁石と同じ場所に新しい磁石をはりました。

実験をしてみると、今回は様子が少し変化しました。コイル台が車両のもけいの下を通過するときに、車両のもけいが上下に小ぎざみにふるえるようにうきました。最初は、どこかに当たったのかなとも思ったけど、3回試して、すべて同じようにうきました。びっくりしてうれしくなりました。横から見た様子の写真で見てもほとんどわかりませんが、発泡スチロールと木の台の間のすきまが、うく前と比べてういている途中ではほんの少しだけ大きくなっています。

磁石のひかく表

	今までの磁石	新しい磁石
写真		
直径	16mm	23mm
磁束密度	180 ミリテスラ	140 ミリテスラ



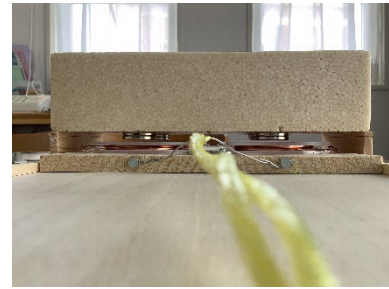
磁石を大きくした車両のもけい



横から見た様子

カ 強い磁石でまい数をふやす

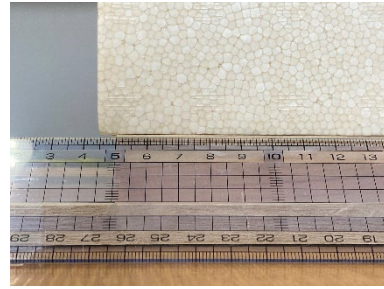
もう少しはっきりうかすために大きな磁石を2まい重ねにしてみました。コイル台を引っぱるとやはり小きざみにふるえてうきました。さらに、ういた後には車両のもけいが、コイル台を引っぱった方向に5mmくらい動いていました。私はこれを見て、磁石が強くなって、車両のもけいが少しくのと同時に、コイルが前にも引っぱられたと考えました。



大きな磁石2まいにした車両のもけい



横から見た様子

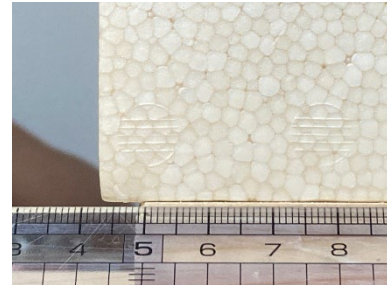


車両のもけいが前にずれた様子

さらに磁石を増やし、3まい重ねも試してみました。すると、さらにはっきりとういて、前に動いた幅も大きくなりました。今回は前に7mm進みました。車両のもけいがういたので前に進みやすくなったのだと思いました。つまり、前に動いたことも車両のもけいがういたしょうこだと思います。



横から見た様子

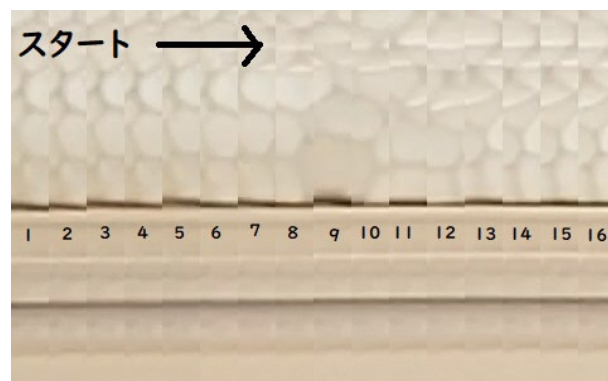


車両のもけいが前にずれた様子

どれくらいういたのか、目で見てあまりわからなかったので、iPhoneのスローモーション動画のういたところとうかなかったところの画像を切り出して、それを横にならべました。



ここを切り出してならべた

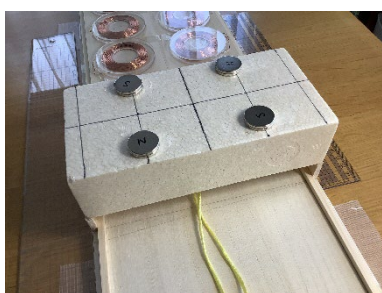


スロー動画から切り出した写真をならべてういた様子を確認する

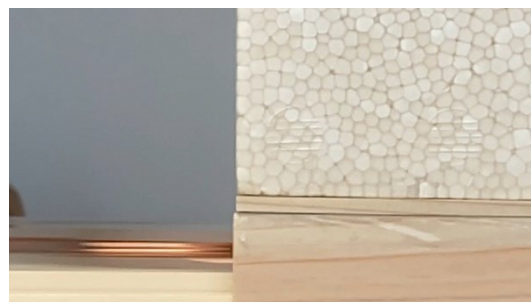
画像の下の数字は、その部分は何まい目かを示しています。見てみると、とくに5まい目や9まい目の時が良くういています。この時は、コイルが真下に通り過ぎているところでした。つまり、電磁誘導が起こっているというしょうこだと思いました。また、すきまが大きくなったり小さくなったりしています。これも、電磁誘導が起こっているということだと思えます。それは、すきまが大きいところはコイルが下に来てコイルと磁石が反発しているということで、すきまが小さいところは、電磁誘導が起こってなくて、反発する力がなくなってしまい、車両が落ちているということなのだと思えます。これで、完全に電磁誘導で物がういていることが証明されました。

キ 風力ではないことを確かめる

念のため、車両のもけいの上下をひっくり返し、電磁誘導が起きないようにして実験してみました。しかし、全くうきませんでした。やはり、電磁誘導の力でういていることが確かめられました。



電磁誘導が起きないように
上下をひっくり返した車両のもけい



横から見た様子

6 まとめ

- (1) リニアモーターカーのうく仕組みを調べ、それを使って物を完全にうかすことに成功しました。磁石をうかせる方法は磁石を固定して下にあるコイルの板をひもでひっぱって動かし、磁石が高速で動いているように再現しました。
- (2) 厚さやまき数がちがうコイルをたくさん作って、電磁石の強さや、電磁誘導の大きさを調べたことで、できるだけうすいコイルの方が良いこと発見しました。
- (3) リニアのもけいを使って一番初めに実験したときは全くうきませんでした。いろいろ試したところ、サイズが一回り大きい磁石に変えたら少しだけうきました。私は、磁石の面積が関係していると思います。

7 感想

今年もたくさんの工夫をすることができたし、何度も実験することができました。3, 4年と磁石の実験をしてきた成果が出てうれしかったです。来年は、今年の仕組みを使って実際にエレベーターの中でうかせてみたいです。

8 参考資料

- (1) 磁石とモーター 実験博士の理科の目・科学の芽 14 大竹三郎 国土社
- (2) ふしぎ! かんたん! 科学マジック1 磁石と電気のマジック 学研
- (3) 自分で作るリニアモーターカー「コイル」「制御回路」「レール」などパーツからすべて自作! I/O BOOKS 神田民太郎 工学社
- (4) 超電導リニアの謎を解く 目にやさしい大活字 MART PUBLISHING SUPER サイエンス 村上雅人 シーアンドアール研究所
- (5) ちようでんどうリニア でんしゃのひみつ 溝口イタル 交通新聞社