

コイルトレインの回転原理

西村 駿吾

要旨

コイルトレインが走行している間車体が回転していることに興味を持ち、回転にはローレンツ力が関係していると仮説を立て、コイルの巻き数を変えて車体を走らせ、回転数を計測した。コイルの巻き数が増えるほど回転数は増加したことからローレンツ力は車体の回転に関係していることがわかった。しかし巻き数 1cm あたり 12 回の場合のみ、銅線に被膜がなく線同士が密着していたことでうまく電流が流れず、回転数が落ちた。また、比例関係が見られなかったことからローレンツ力以外の要因も存在することがわかった。

キーワード：コイル ローレンツ力 回転

1. はじめに

コイルトレインという装置がある。乾電池の両端に極が対になるようにネオジム磁石を取り付け(以後この乾電池と磁石を合わせたものを車体と呼称する)、被膜のない銅線をコイルとし、車体をコイルの中に入れると車体の周りが電磁石となり、片方の磁石が引き合い、もう片方が反発し合うことで図 1 のように進み出す(広瀬洋一, 2018)。このようにコイルトレインの推進原理は明らかにされているが、よく観察すると、進んでいる間に車体が回転していることがわかる。広瀬洋一(2018)には車体の回転に関する記述はなかったため、本研究では車体の回転の原理について調べた。コイルの巻いている向きと車体が進む向きが垂直でないこと、ネオジム磁石は導体でコーティングされていることから、そのコーティングされた部分に流れる電流が磁界中を流れる際に力を受け(以降この力をローレンツ力とする)、その方向が車体の進む方向からずれることにより、車体を正面から見た際、力は偶力となり、車体が回転する(図 2、図 3)と仮説を立て、ローレンツ力と回転角度の関係を調べるため実験を行った。

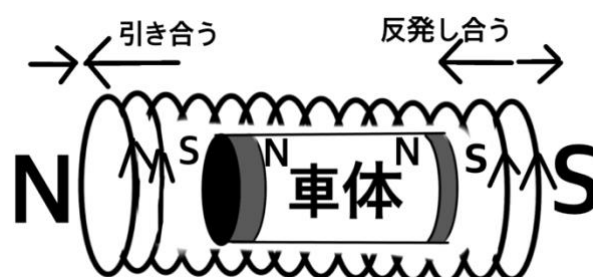


図1 コイルトレインの原理

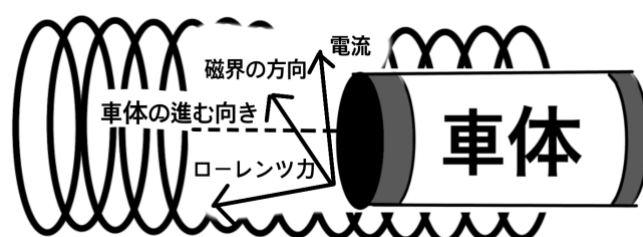


図2 車体の横から見た時の力の様子

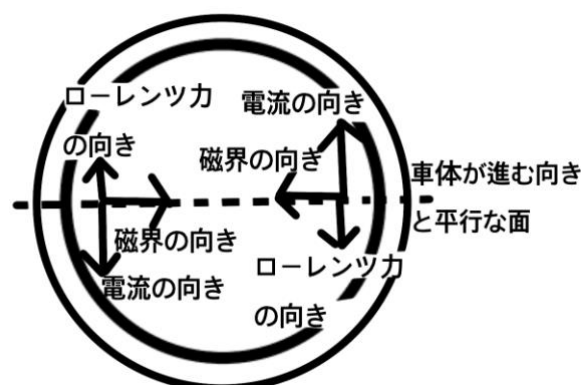


図3 車体の正面から見た時の力の様子

II. 手法

材料

- ・銅線(直径 0.9 mm)

銅線の太さは細いとコイルの磁束密度が小さく、太いと巻き数の変数制御が困難であったため 0.9 mm を使用した。

- ・単四乾電池(直径 1.1 cm)

乾電池は重すぎずネオジウム磁石の直径より小さいものにし、摩擦による影響を最小限にするため単四乾電池を使用した。

- ・ネオジウム磁石 6 個(DAISO 超強力マグネット 直径 1.3 cm 磁束密度 240 mT 厚さ 2 mm)

車体を動かすために、使う磁石は小型で強力なものをを使用した。

- ・ガムテープ

コイルの長さの固定に使用した。

- ・棒(長さ 90 cm, 直径 1.5 cm)

全長 30cm のコイルを十分巻くことができ、ネオジウム磁石の直径より太いものを使用した。

実験方法

ガラス棒に銅線を 360, 300, 240, 180 回巻きつけたものをそれぞれ全長 30 cm になるようにガムテープで固定し(1m あたり 1200, 1000, 800, 600 回巻き)、コイルを 4 本作った。巻き数を変数としたのはローレンツ力が磁束密度に比例し、コイルの磁束密度は巻き数に比例するためである。それらのコイルに車体を入れ、車体がコイルに完全に隠れた状態から、車体の一部がコイルから出た後推進が止まった状態までにかかった時間と回転した角度を計測した(図 4)。回転角度は車体正面に目印つけ、図 4 中の α の部分を計測した。それぞれのコイルで 30 回実行した。この実験において、仮説が成り立つとすると、回転角度を時間で割った単位時間あたりの回転角度はローレンツ力に影響されるため、1m あたりの巻き数が多いほど磁力が増え、ローレンツ力も増えるため車体の回転角度が増えると考えられる。

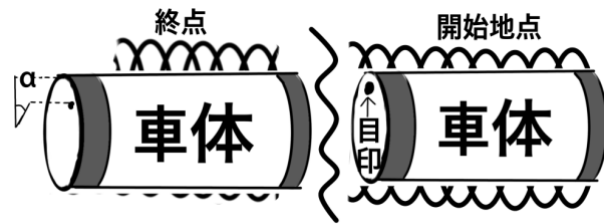


図 4 実験の様子

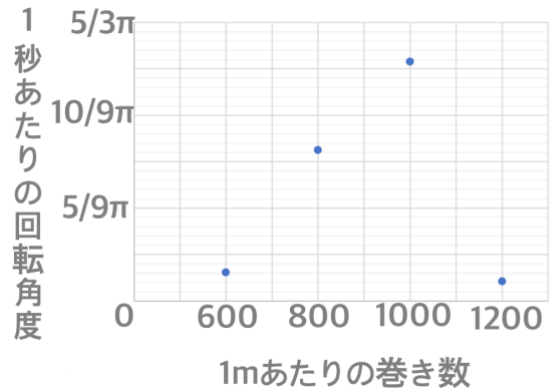


図 5 巻き数と回転の関係性

縦軸には 1 秒あたりの回転角度、横軸には 1m あたりの巻き数を取り、プロットした。

III. 結果

図 5 を見ると 600 回巻きから 1000 回巻きまでは回転角度は巻き数が増えるほど多くなっている。しかし 1200 回巻きでは極端に回転角度が小さくなった。

IV. 考察

図 5 の 600 回巻きから 1000 回巻きの部分を見ると巻き数にともなって回転角度が増えているのでローレンツ力が回転に関係していることがわかる。1200 回巻きの時、回転が約 $1/9\pi$ まで落ち込んだのは、隣り合う銅線同士が密着しており、使用した銅線には被膜がないため、電子の流れが変化し、コイルとしての機能が低下したためであると考えられる。また、ローレンツ力は磁束密度に比例するが、比例関係は見られないことから、回転にはローレンツ力以外の要因も関係していることがわかる。

V. 結論

本研究から、コイルトレインの回転にはローレンツ力が関係していると考えられる。また、ローレンツ力以外の要因の存在も考えられる。その要因

として車体とコイルの間の摩擦力が、コイルが車体の進行方向垂直からずれてまかれているため、車体の進行方向の逆向きから外れることで回転を生み出しているということが考えられる。また磁石の外側部分のみにローレンツ力がはたらいっているかの検証も未だできていないため、今後は磁石のコーティングを剥がした状態での対照実験、コイルの巻く向きや巻く角度、摩擦に視点を向け実験を行ってゆきたい。

謝辞

研究の指導をしてくださった米谷教諭，中川教諭をはじめとする物理科の先生方に感謝いたします。

文 献

「物理基礎」 実教出版

広瀬洋一(2018):Simple Electric Train
