

# 電磁石エンジンの製作

2年3組 伊藤 健太

2年5組 近藤慎太郎

2年5組 徳井 郁哉

2年5組 宮本 卓磨

2年5組 宮本 照隆

指導者 教諭 田中 善久

## 1 課題設定の理由

交流電源を動力源にしてコイルに交流電流を流し、コイルの内部に生じる磁場を周期的に変動させると、磁場内に挿入している棒磁石がピストン運動を行う。このシステムを電磁石エンジンと名付け、それを動力源に走行する電気自動車を製作したい(図1)。

図2のように、電磁石エンジンを試作すると、アクリルパイプがコイルから発生するジュール熱によって変形した。そこで、コイルから発生するジュール熱について実験と考察を行い、コイルを巻くパイプの素材について検討することにした。さらに、電磁石エンジンの動きを維持しながら、コイルからの発熱量を抑えるよう工夫することとした。使用した実験器具は、表1のとおりである。

表1 主な実験器具

名称	規格・仕様等
コイル	エナメル線 $\phi 0.42\text{mm} \times 100$ 回巻き 長さ42.72mm 外径15.80mm 内径15.19mm 自己インダクタンス $L = 16\ \mu\text{H}$
アクリルパイプ	外径15.19mm 内径12.19mm 長さ100mm
アルニコ磁石	形状円柱 大きさ $\phi 10\text{mm} \times 100\text{mm}$ 磁束密度290mT ケニス製
電源装置	周波数可変型10~120Hz 直流/交流0~20V 最大5A ヤガミ製
デジタル温度計	測定範囲-30.0~150.0°C 分解能0.1°C 佐藤計量器製作所製

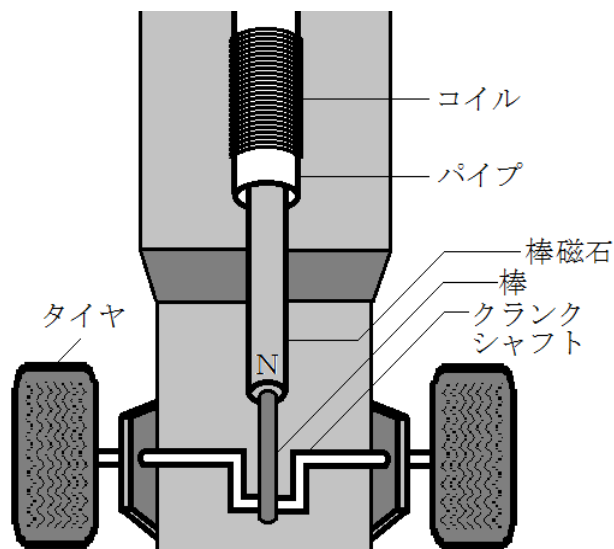


図1 電気自動車の構造 (完成予想図)

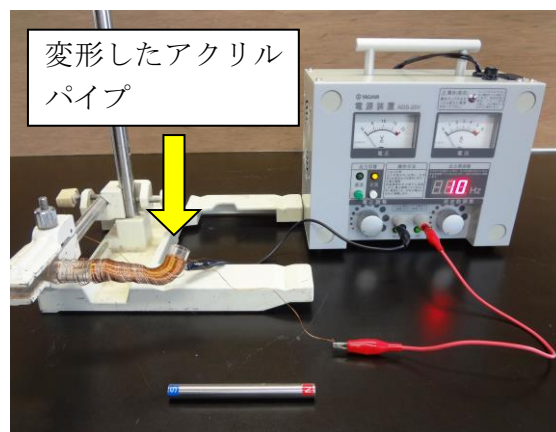


図2 電磁石エンジン (試作)



図3 LCRメーター



図4 デジタル温度計

## 2 実験・研究の方法

(1) 電磁石エンジンの試作及び動作確認

表1の亚克力パイプに巻いたコイルに、電源装置を用いて周波数10Hzの交流電圧5Vを加え交流電流4Aを流す。そこで、表1のアルニコ磁石がピストン運動するかどうか確認する。

(2) コイルから発生するジュール熱

ア デジタル温度計によるコイルの温度計測

(1)のコイルや亚克力パイプの表面の温度をデジタル温度計で計測する。

イ コイルでの消費電力 $P$  [W] の計測

電磁石エンジンの亚克力パイプをアルミパイプ（外径11.96mm，内径10.18mm，長さ100mm）に交換し、表1のコイルと同程度のコイルを作る（図5）。

そのコイルに周波数10Hzの交流電圧 $V$  [V]を加え、交流電流 $I$  [A]を流す。そして、コンピュータ計測（spark 島津製作所）のデータロガー機能を利用し、電圧センサー（CH1）でコイルに加わる電圧 $V$  [V]を、電流センサー（CH2）でコイルに流れる電流 $I$  [A]を、それぞれ1000Hzのサンプリング速度で同時計測する。電圧 $V$  [V]や電流 $I$  [A]の時間変化から、コイルでの消費電力 $P$  [W]の時間変化を求める。そのとき、電圧 $V$  [V]や電流 $I$  [A]は、計測可能な範囲で変動させるよう調節する。

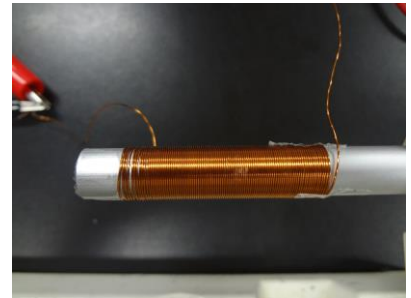


図5 アルミパイプに巻いたコイル（自己インダクタンス $L=11\mu\text{H}$ ）

(3) コイルからの発熱量の抑制

交流電源とコイルだけでなく、コンデンサーも回路に直列に組み込み、アルニコ磁石のピストン運動とコイルからの発熱量について実験及び考察をする。

### 3 結果と考察

(1) 電磁石エンジンの試作及び動作確認

【結果】	アルニコ磁石のピストン運動は起きたが、コイルから発生するジュール熱によって亚克力パイプが大きく変形した（図2）。
【考察】	亚克力パイプは加工しやすいという理由で選んだが、亚克力は熱可塑性樹脂であり、ジュール熱の発生を伴うコイルを巻くには適さないと考えた。

(2) コイルから発生するジュール熱

ア デジタル温度計によるコイルの温度計測

【結果】	表2のとおり、コイル及び亚克力パイプの表面で温度の上昇があり、数分で亚克力パイプが変形し始めた。
【考察】	表2の定量的な実験データと、亚克力の融点が90~105°C，耐熱温度が70~90°Cであることから、亚克力パイプがすぐに変形したことに納得がいった。

表2 コイルの表面の温度（室温 26.6°C）

	コイルに交流電流を流す時間 [分]			
	0	...	3	4
コイルの表面の温度 [°C]	26.6	...	82.3	91.7
コイルの端から4.0cm離れた亚克力パイプの表面の温度 [°C]	26.6	...	62.0	77.0

イ コイルでの消費電力 $P$  [W] の計測

【結果】	図6のグラフのとおり，電圧 $V$ [V] と電流 $I$ [A] の時間変化には位相差が見られず，コイルでの消費電力 $P$ [W] が存在する。
【考察】	コイルのリアクタンス（交流電流の流れにくさ）は極めて小さいと考えた。また，エナメル線（銅線）は抵抗値が比較的小さいが，強い磁場を作るために大きな電流を流しているので，コイルでの消費電力は存在したことから，コイルからかなりの発熱量があることにも納得できた。

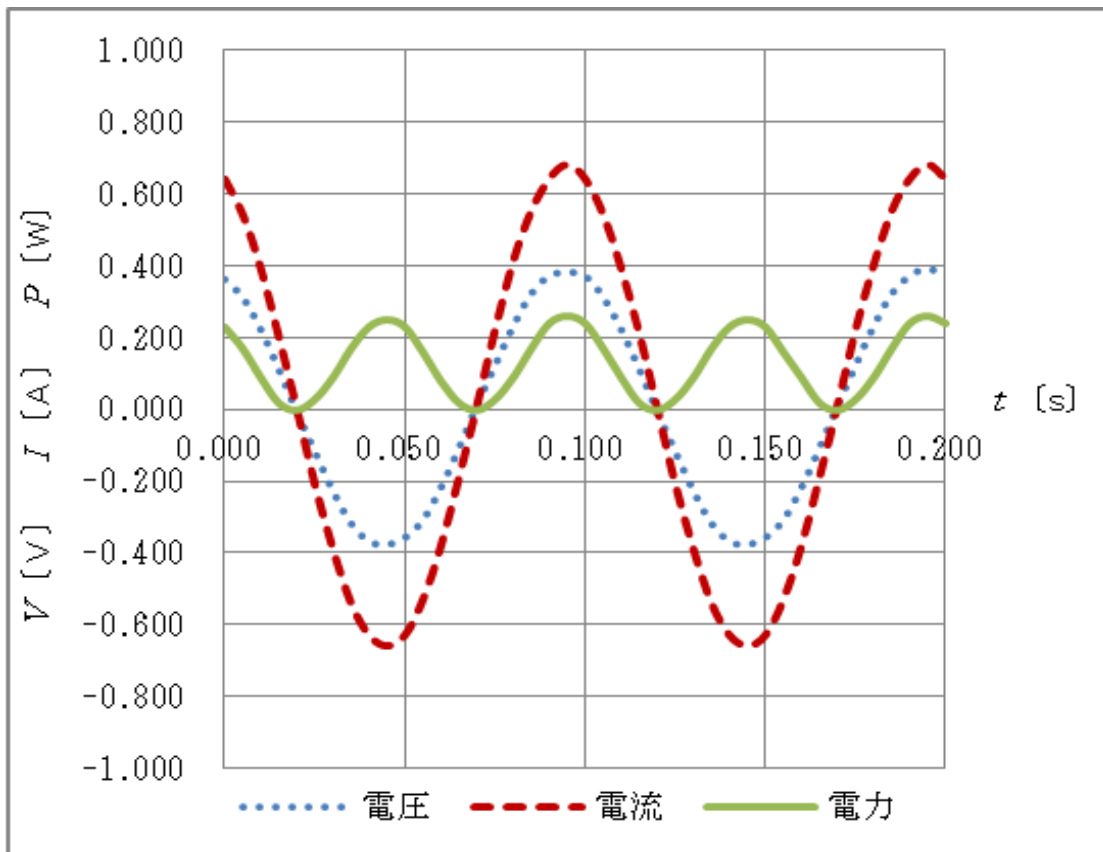


図6  $V-t$ グラフ、 $I-t$ グラフ、 $P-t$ グラフ

(3) コイルからの発熱量の抑制

【結果】	図7のように，交流電源とコイルだけでなく，コンデンサーも回路に直列に組み込むと，アルニコ磁石のピストン運動は観察できたままで，コイルからの発熱量を抑制できることが確認できた。
【考察】	図7の回路で，交流電源の電圧を $V_0$ ，回路に流れる電流を $I_0$ とすると，回路全体のインピーダンス $Z$ （交流電流の流れにくさ）は，オームの法則より， $I_0 = \frac{V_0}{Z} \quad \cdots \quad \text{①}$ と示すことができる。

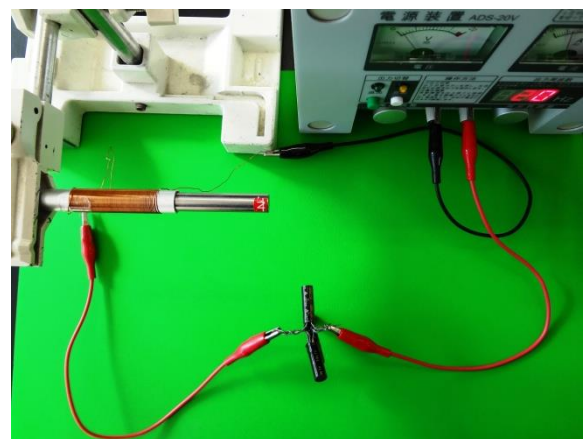


図7 コイルとコンデンサーを直列接続した交流回路

交流電源の角周波数 $\omega$ ，回路に含まれる抵抗値 $R$ ，コイルの自己インダクタンス $L$ ，コンデンサーの電気容量 $C$ を用いると，インピーダンス $Z$ は，

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad \dots \quad (2)$$

と示すことができる。

①から， $V_0$ を一定にして， $I_0$ を大きくするためには， $Z$ を小さくすればよい。よって， $R$ と $L$ ， $\omega$ は一定として， $C$ を変化させる。

②から， $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad \dots \quad (3)$  を満たせばよい。ここで，③を変形した $C = \frac{1}{\omega^2 L}$

【考察】 に， $\omega = 2\pi f$ を代入すると，

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} \quad \dots \quad (4)$$

が得られる。

今， $f = 20[\text{Hz}]$ ， $L = 11[\mu\text{H}]$ としたので，④より， $C = 5.8[\text{F}]$ のコンデンサーを用いることが適当と考えた。

コイルとコンデンサーを直列につないだ交流回路でも，コイルに流れる電流を大きく保つことができ，アルニコ磁石のピストン運動を観察できた。そのとき，コイルでの発熱量を抑えることができた。コンデンサーをはさむことによって，コイルでの消費電力を小さくすることができた。

#### 4 まとめと今後の課題

- ・アクリルパイプはコイルからの熱で変形しまうのでアルミパイプに交換する。
- ・コイルとコンデンサーを直列につないだ交流回路で，コイルからの発熱量を抑えることができることが分かった。アルニコ磁石のピストン運動を維持しながら，コイルからの発熱量を抑える方法をさらに模索する。
- ・アルニコ磁石のピストン運動の振幅や磁力を大きくするため，コイルの巻き数や巻き方を工夫する。クランクシャフトやタイヤに動力がうまく伝わるよう構造上の工夫も行う。

#### 5 参考文献

- ・水木 新平 2006年 『図解雑学 自動車のしくみ』 ナツメ社
- ・國友 正和 ほか10名 2014 『物理』 数研出版
- ・『solenoid engine V 8 電磁石エンジン』 <http://www.youtube.com/watch?v=2wfo2QqkXMU>