

15. スターリングエンジンに関する研究（温度差・負荷）

静岡県立科学技術高等学校 理数科

1 研究の動機

同志社大学で行われたサイエンスキャンプに参加し、さまざまな種類のエンジンについて学んだ。その中で、温度差のみで動くスターリングエンジンを知り、その機構について大変興味をもった。そして、スターリングエンジンの受熱部と放熱部の温度差と振動数及び振幅の関係について調べたいと思い、本研究を始めようと思った。

2 スターリングエンジンとは

スターリングエンジンとは、受熱部と放熱部の温度差により、空気の膨張・収縮を繰り返すことによって動作するエンジンである。スターリングエンジンは、外部からの熱エネルギーを運動エネルギーに変換できる外燃機関である。図1は、JAXAのピストン型のスターリングエンジンの模式図を示したものである。ディスプレイサーが重力で下がることによってピストンロッドによってピストンがはねあげられ、暖かい空

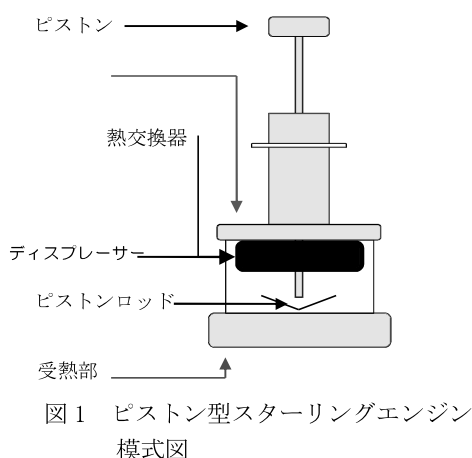


図2 動作の様子

気と冷たい空気が入れ替わることによって空気の体積が変化し、ピストンが上下する。図2は、今回実験で使用したピストン型のスターリングエンジンの動作中のようすを示したものである。

3 ペルチェ素子とは

図3は、実験で使用したペルチェ素子である。ペルチェ素子はゼーベック効果（2種類の金属を環状につないで接合部に温度差を与えると、電圧が生じる）と呼ばれる特性を利用した半導体素子のことである。これを利用して、ペルチェ素子の両面に温度差を与えることで電圧を発生させることができる。また、電圧をかけることで一方の面の温度が上昇し、もう一方の面の温度が下降する。図4は、その様子を模式的に示したものである。



図3 ペルチェ素子

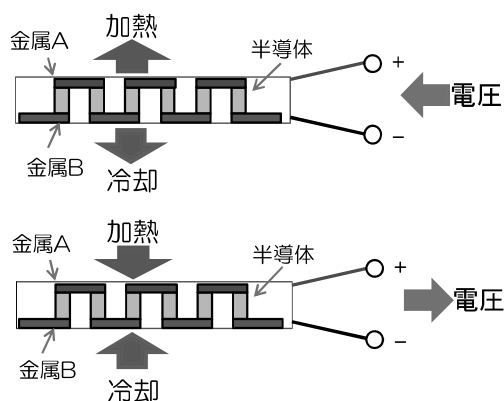


図4 ペルチェ素子の模式図

4 ペルチェ素子に温度差を与える実験

図5のように、ペルチェ素子の上面にガラス製のビーカーにお湯を入れたもの、下面に冷凍庫で凍らせた保冷剤をそれぞれ接触させた。パソコン及びデジタルセンサーを用いて、このときの、ペルチェ素子の上面と下面の温度及び、ペルチェ素子で発生した電圧を調べた。図6は、測定結果をもとにして、ペルチェ素子の上面と下面の温度差とペルチェ素子で発生した電圧との関係を示したものである。

また、図7は、図5のビーカーを銅製容器に変えて同様の実験を行い、そのときの、ペルチェ素子の上面と下面の温度差とペルチェ素子で発生した電圧との関係を示したものである。

図6、図7より、ペルチェ素子の上面と下面の温度差が大きくなるほど、ペルチェ素子で発生した電圧は大きくなった。

また銅製の容器を用いた場合は、ガラス製のビーカーを用いた場合に比べて、同じ温度差の場合でも、発生した電圧が大きかった。

このことから、ペルチェ素子の上面と下面の温度差により、ペルチェ素子で発生する電圧が変化することが分かった。



図5 実験の様子

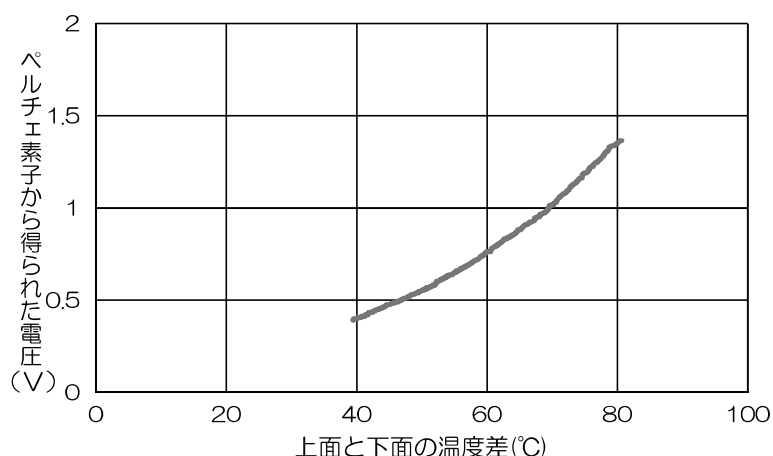


図6 ガラス製のビーカー使用

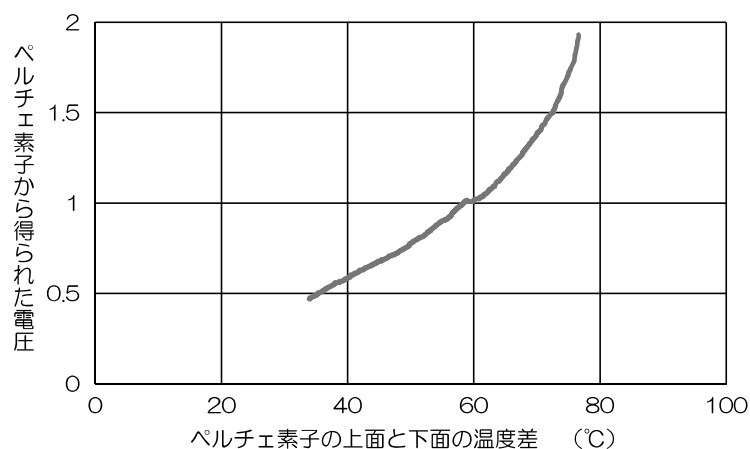


図7 銅製の容器使用

5 ペルチェ素子に電圧をかける実験

次に、図8のように、放射温度計を用いて、ペルチェ素子かける電圧の大きさを0.5Vずつ大きくしていったときのペルチェ素子の上面と下面の温度をそれぞれ調べた。

図9は、ペルチェ素子にかかる電圧とペルチェ素子の表面の温度をそれぞれ示したものである。図9より、ペルチェ素子にかかる電圧を大きくするほど、一方の表面温度は高くなっていき、もう一方の表面温度は低くなった。また、どちらの面もほぼ一定の割合で変化していることが分かった。このことから、ペルチェ素子にかかる電圧によって、ペルチェ素子の表面の温度を調節できることが分かった。

このことから、ペルチェ素子が、スターリングエンジンの温度調節に有効だと考えた。

6 スターリングエンジンに関する実験

(1) 温度差と振動数の関係を調べる実験

私たちは、スターリングエンジンの受熱部と放熱部の温度差が大きくなるほど振動数も大きくなるのではないかとという仮説をたてた。

そこで、図10のように、スターリングエンジンの底面部にペルチェ素子を接触させて、ペルチェ素子にかかる電圧を変えて、底面部の温度を変えた。そのときの、受熱部と放熱部の温度はパソコンを用いて温度センサーで測定した。また、スターリングエンジンの振動数は、図11のような、デジタルカウンターを組み立てて、磁気センサーを用いて測定した。

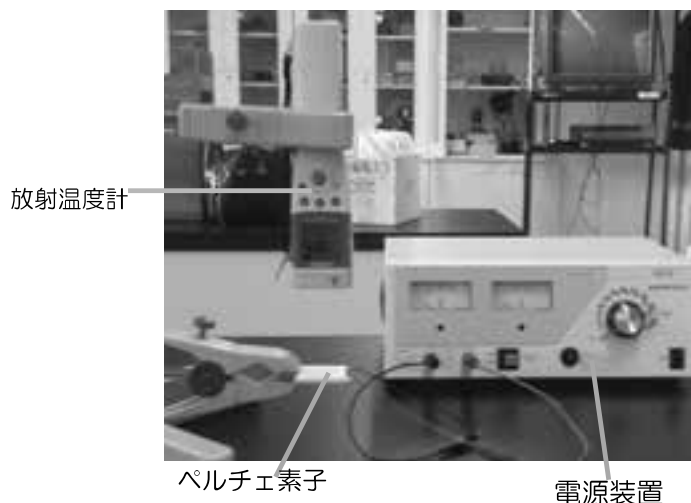


図8 実験の様子

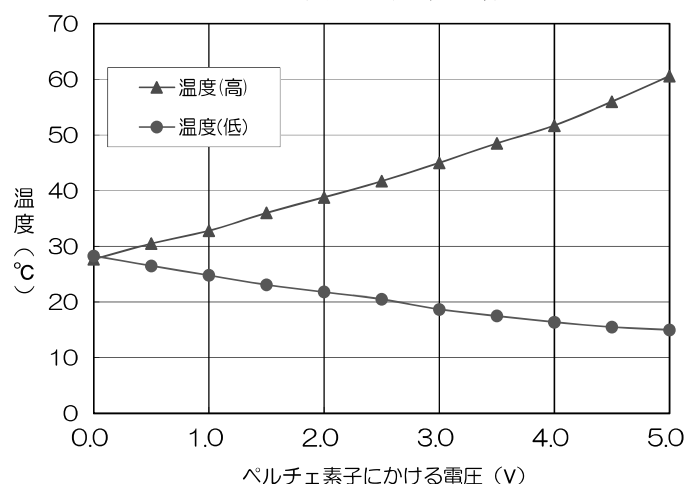


図9 ペルチェ素子の両面の温度の変化

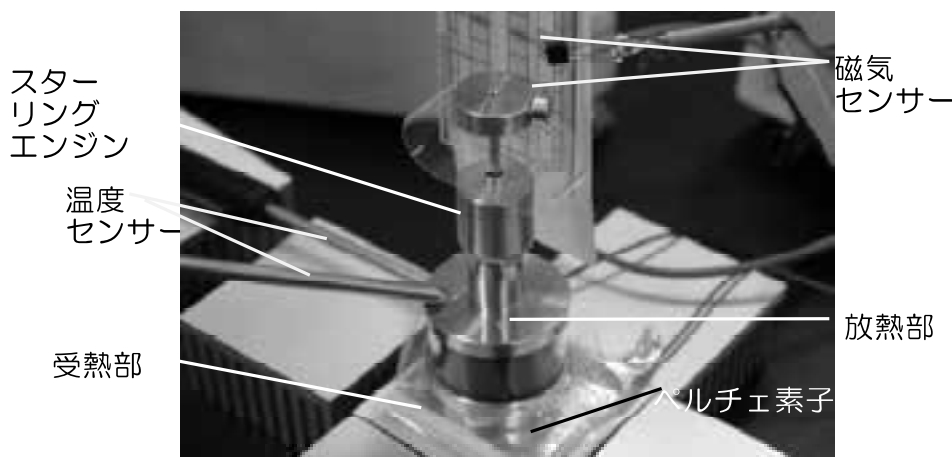


図10

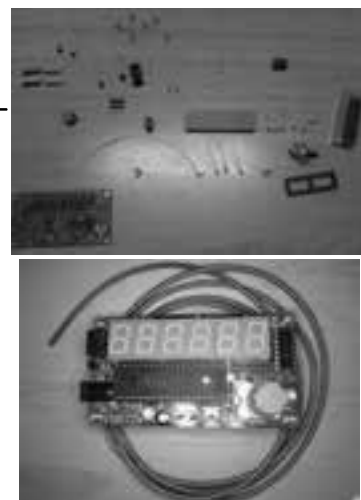


図11

表 1 は、そのときの結果を示したものである。

時間 (s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
受熱部の温度 (°C)	79.6	79.6	79.6	79.6	79.6	79.6	79.6	79.6	79.6	79.6	79.7	79.7	80.7	81.9
放熱部の温度 (°C)	31.1	31.1	31	30.9	30.6	30.2	30.1	29.9	29.7	29.8	30.4	30.5	30.7	30.8
温度差 (°C)	48.4	48.5	48.6	48.8	49	49.5	49.6	49.8	49.9	49.6	49.2	49.3	50.3	51.5
振動数 (Hz)	10.6	10.9	10.9	10.8	10.5	10.5	10.5	10.3	10.3	10.2	10.4	10.3	10.2	10.2

時間 (s)	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260
受熱部の温度 (°C)	82.9	83.6	84.1	84.5	84.9	85.1	85.4	85.6	85.7	85.8	86.9	88.4	89.7
放熱部の温度 (°C)	30.9	31.2	31.5	31.5	31.5	31.1	30.5	29.9	30	30.6	31.4	31.9	32.3
温度差 (°C)	52.1	52.4	52.7	53.1	53.4	54.3	55	56	55.5	55.2	55.8	56.8	57.7
振動数 (Hz)	10.2	10.1	10.2	10.2	10.1	10.1	10.1	10.2	10.3	10.2	10.3	10.2	10.1

時間 (s)	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390
受熱部の温度 (°C)	90.8	91.5	92.2	92.7	93.2	93.6	94.1	94.4	94.8	95.7	97.5	99	100
放熱部の温度 (°C)	32.6	32.7	32.9	32.9	32.9	33	33.1	33.3	33.4	33.3	33.5	33.7	33.7
温度差 (°C)	58.4	59	59.5	59.9	60.4	60.8	61	61.2	61.6	62.9	64.3	65.6	66.7
振動数 (Hz)	10.2	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.0	9.9	10.0	9.9	9.7	9.7	9.6

表 1

図12は、表 1 の結果をもとにして、受熱部と放熱部の温度差と振動数との関係を示したものである。

図12から、仮説と異なり、受熱部と放熱部の温度差が大きくなるほど、振動数は小さく変化しながら減少することが分かった。

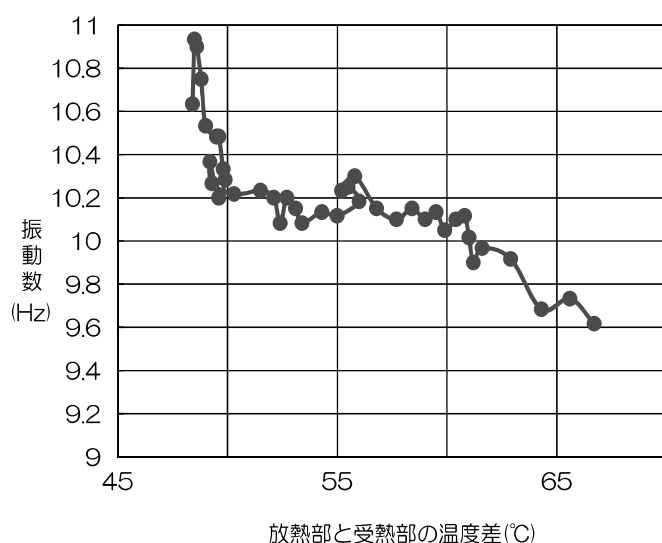


図 12 温度差と振動数の関係

(2) 負荷と振動数・振幅の関係を調べる実験

私たちは、次に、負荷をかけるとピストンの振動数が減少し、そのときの振幅も減少するという仮説を立てた。そこで、

図13のように、ハイスピードカメラと定規をセットした。そして、ペルチェ素子にける電圧を調節して、受熱部を80°C、放熱部を23°Cになるようにそれらの温度差を一定に保った。

ピストンに質量 1 g の 1 円玉を 1 枚のせて、スターリングエンジンを 3



分間動かした。このときのピストンの振動数は、磁気センサーのカウンタを10秒ごとに3分間記録し、それらを平均した。

また、ピストンの振幅は、ハイスピードカメラを用いて1/8秒ごとに3分間記録し、ピストンの変位の最大値と最小値の平均をとった。ピストンにのせる1円玉を2枚、3枚、4枚、5枚、6枚として同様の実験を行った。また、ピストンに1円玉をのせない場合も同様に実験を行った。また、1円玉が7枚以上の場合、スターリングエンジンのピストンは動かなかった。

表2、3は、それらの結果を示したものである。

図14は、表2、3をもとにして、1円玉の数と振動数、振幅の関係を示したものである。図14から、振動数は0枚で最小となり、6枚で最大となった。1円玉の数が増えるほど、振動数は増加する傾向にあった。また、1円玉の数が増えるほど、振幅が小さくなることが分かる。これらの実験から、1円玉の枚数が少ないと、振動数は小さいが、振幅は大きく、1円玉の枚数が多いと、振動数は大きくなり、振幅は小さくなることが分かった。

7 今後の課題

本研究では、スターリングのエンジンの温度制御にペルチェ素子が有効であること、受熱部と放熱部の温度差が大きいほど振動数が小さくなること、1円玉の枚数と振動数、振幅の相関関係があることなどが分かった。

しかし、それらの理由は解明できなかった。そこで、周囲の条件を変えたり、温度差を変えたりして、再度実験を行いたい。

今回は、熱エネルギーから運動エネルギーへの変換を行う研究を行ったので、今後は、運動エネルギーから電気エネルギーへ変換する研究も行っていきたいと思う。

8 参考文献

誠文堂新光社 小林義行 「はじめてのスターリングエンジン」

時間(s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0枚	10.0	9.9	9.8	9.6	10.0	9.8	9.9	9.8	9.8	9.7
1枚	10.0	9.9	9.8	9.9	9.8	9.8	9.8	9.8	9.9	9.8
2枚	9.8	9.7	9.9	9.8	9.9	9.9	9.9	9.9	10.0	10.0
3枚	10.0	10.1	10.1	10.2	10.2	10.1	10.1	10.1	10.2	10.2
4枚	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.4	10.4	10.4	10.4
5枚	10.6	10.5	10.4	10.2	10.3	10.1	10.2	10.1	10.2	10.0
6枚	10.5	10.5	10.5	10.4	10.5	10.6	10.6	10.7	10.5	10.5

時間(s)	100	110	120	130	140	150	160	170	180
0枚	9.6	9.9	9.8	9.7	9.7	9.7	9.7	9.3	9.7
1枚	9.8	9.9	9.8	9.8	9.7	9.7	9.8	9.7	10.0
2枚	10.0	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	10.0	9.9	10.0
3枚	10.1	10.1	10.1	10.2	10.2	10.1	10.2	10.3	10.3
4枚	10.4	10.4	10.4	10.5	10.5	10.4	10.5	10.5	10.5
5枚	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.0	10.4
6枚	10.5	10.6	10.6	10.5	10.5	10.6	10.4	10.5	10.5

1円玉	最大値	最小値	平均
0枚	14.3	12.7	0.80
1枚	14.4	12.8	0.80
2枚	14.4	12.7	0.85
3枚	14.5	12.8	0.85
4枚	14.7	13.1	0.80
5枚	15.2	13.8	0.70
6枚	14.8	13.9	0.45

表3

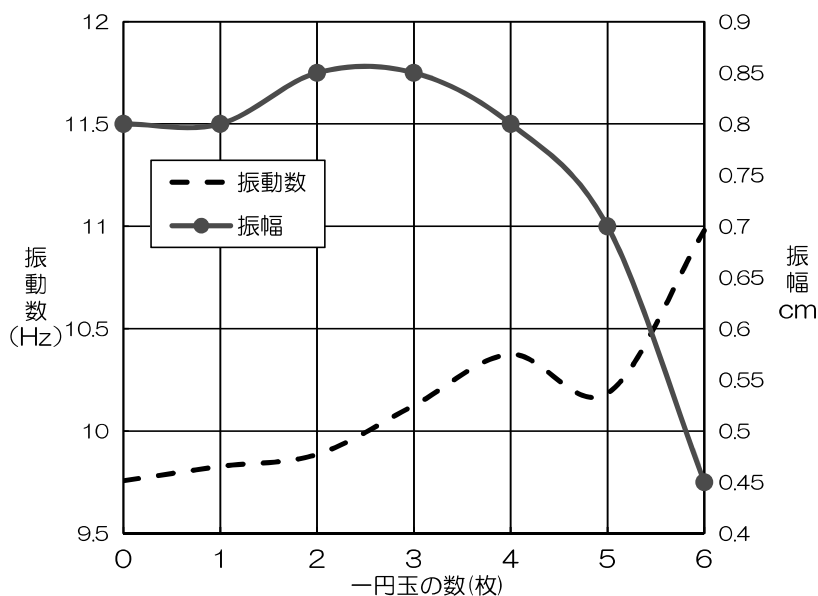


図14