

ローソクエレベーターを作ろう！

チーム名：神戸高専熱研動力研究チーム

チーム代表者: 廣澤 謙弥(専攻科 1 年) メンバー: 堂本卓宏(本科 5 年) 北川航志(本科 5 年)

所属: 神戸市立工業高等専門学校 専攻科機械システム専攻

1. はじめに

各種燃料からエネルギーを取り出し、機械的仕事をさせるには、ボイラーやレシプロエンジン、ガスタービンなど、さまざまな方法がある。本研究では、熱から電気を発生させることのできるペルチェ素子を用いて、ローソクの持つ化学的エネルギーを電気エネルギーに変換する。そこで得られた、電気を使ってモーターを駆動し、エレベーターの模型を製作する。後述するペルチェ素子の特性を利用し、周囲温度や熱源などの実験条件とエレベーターに積載可能な荷重の関係を調べる。このような目に見えない熱と機械的仕事の関係を、可視化させて理解させる教材を開発することが目標とする。この教材を用いて、小中学生に熱と仕事の関係、あるいはエネルギー変換に興味を持たせる。また、この関係から熱力学第一法則を体感させることによって、高専や大学における熱力学の学習素材としても活用する。

2. ペルチェ素子の原理

Fig.1 のように金属の一端を加熱した場合、そこに電子または正孔といったキャリアが集まる。このとき金属内では電氣的平衡を保つため、もう一端では加熱側と反対のキャリアが生じる。つまり物体位の両端において起電力が生じる。これをゼーベック効果という。この特性を利用したものがペルチェ素子である。ペルチェ素子では Fig.2 のように n 型半導体と P 型半導体を組み合わせることによって電力を取り出している。

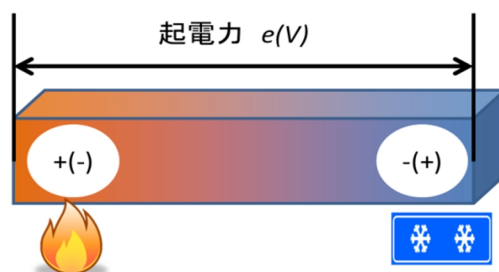


Fig.1 ゼーベック効果

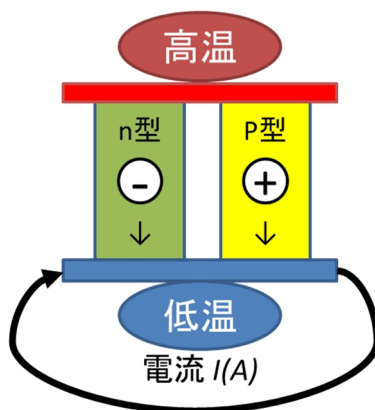


Fig.2 ペルチェ素子原理図

3.実験装置

Fig.3 に基礎実験装置の全体図を示す. その構成要素は以下の通りである Fig.4 にエレベーター教材としての実験装置を示す.

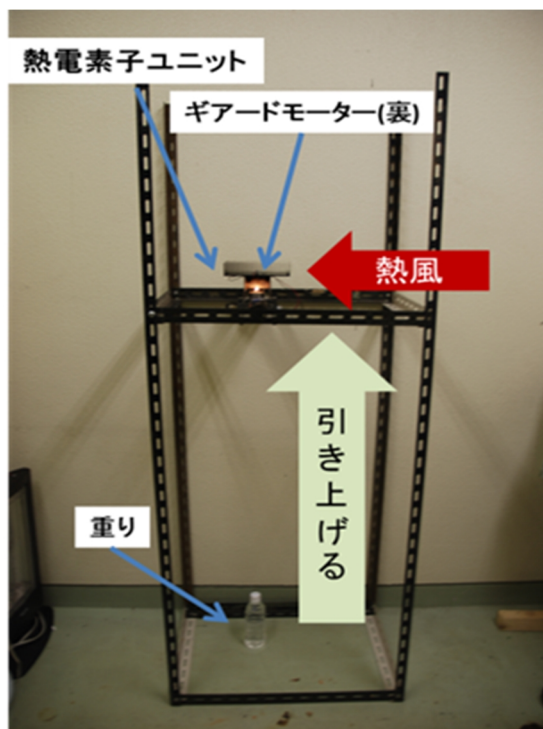


Fig.3 実験装置（基礎実験用）



Fig. 4 ローソクエレベーター装置

3.1 ペルチェ素子ユニット

Fig.5 に示すようにペルチェ素子の下部から熱を与え、電力を取り出す。ペルチェ素子上部には放熱板や冷却材を取り付け、冷却する。素子は冷却用(定格 12V/6A)のものを流用する

素子の仕様

型式 : TEC1-12706 (×4) 価格 700 円/個 使用可能温度: 150[°C]

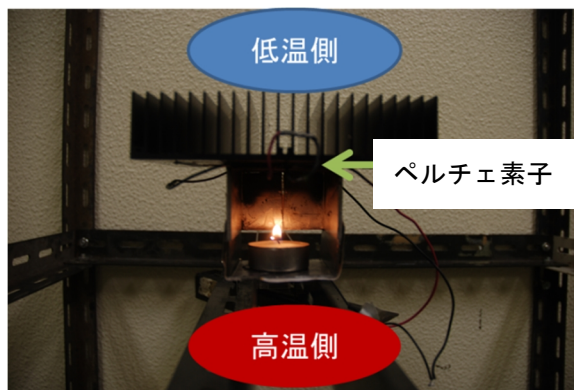


Fig.5 ペルチェ素子ユニット

3.2 ギアドモーター

ペルチェ素子からの電力により駆動する。ひもで重りにつなげ、引き上げられるか調べる。定格電圧は 6 V, ギア比 1/120 のものを使用する。

3.3 熱風送風機

手軽に高温熱源温度をコントロールするため、ローソクのほかに、Fig.6 に示す八光電機製の熱風送風機(HAP3050)や汎用のヒートガンなどを用いて熱風を生成する。



Fig.6 熱風発生装置 HAP3050

4.実験方法

4.1 熱源種類

高温側熱源として、基本的にローソクを使用する。このときローソクの本数、及びローソクの芯の数を変更する。その結果吊り上げ可能な荷重、ローソクの消費量などを計測する。

また基礎実験として、ペルチェ素子の特性を知るために、吸熱面（高温側）に熱風を当てる。このときの送風温度により吊り上げ可能な重量がどのように変化するか調査する。ペルチェ素子は 150°C を上まわってしまうと、素子が溶解し、回路が遮断されてしまうので、一定時間以上当てても実験が完了しない場合は中止することとしている。

4.2 冷却方法

低温側の冷却条件を変更する。空冷による冷却と冷却効果の高い水冷で放熱面（低温側）を冷却する。吊り上げ可能な重量または出力電圧がどのように変化するか調査する。Fig.7 に冷却の概念図を示す。

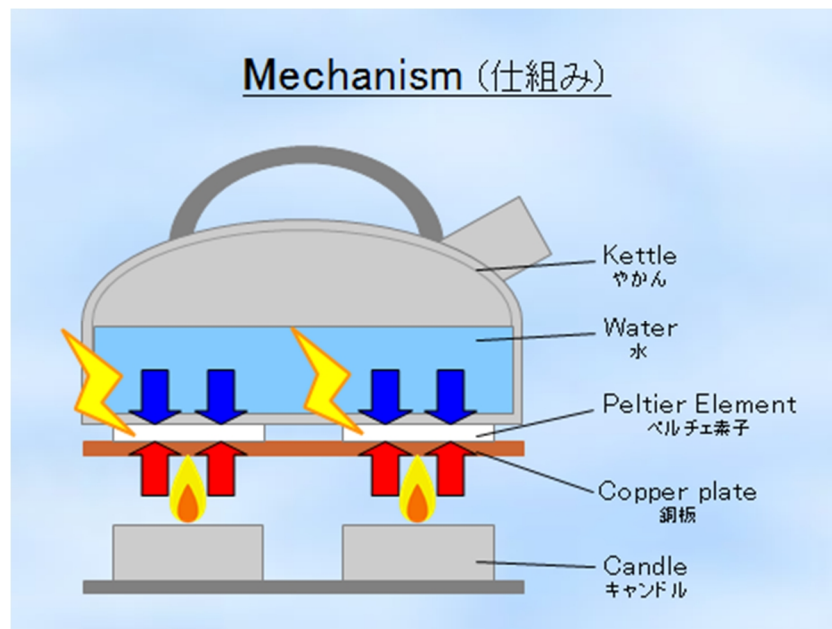


Fig.7 水冷方法

4.3 配線方法等の構造検討

本実験では、教材作成を目的とすることから、電源や負荷の接続方法の最適条件を探る。

5. 基礎実験結果

基礎実験として以下のようなデータを得た.

5.1 ペルチェ素子の伝熱

Table 1 にペルチェ素子に熱風を当てた場合の、裏側への伝熱状態を示す. 枚数に関わらず、放熱面に対して熱伝導が起こり、室温から十分に高い温度を持っていることがわかる. ペルチェ素子は両面の温度差に比例して発電量が増加することから、冷却による高効率化が望める.

Table1 ペルチェ素子の熱伝達

枚数	吸熱面(°C)	放熱面(°C)	大気 放熱面側(°C)
1 枚	146°C	76°C	61°C
2 枚	142°C	72°C	58°C

5.2 冷却効果

5.1 の結果を受けて、ペルチェ素子を水冷した際の、電圧、抵抗、電流を次の Table2 に示す. 水冷によって、冷却なしに対して、ほぼ **2 倍近い電圧**を得られる事が確認できた.また、抵抗値も半分以下に低下したことから、電流値は 4 倍近い値を得られた.

Table2 冷却による VIR 値への影響⁽¹⁾

	電圧(mV)	回路全体の抵抗(Ω)	電流(mA)
冷却無	380	9.6	39.6
水冷	610	4.4	138.6

5.3 ろうそくによるエネルギー変換率

水を充てんした質量 500g のペットボトルを高さ 1.25m まで吊り上げる. これを 2 回繰り返す, ろうそくの質量の変化を測定する. また、測定毎にろうそくを交換し、のべ 10m 吊り上げた場合の、計 4 つのろうそくの消費量を計測する. Table3 にその結果を示す・このとき消費量は 6.505g となった.

Table3 ろうそくの消費量

	ろうそくの重量 (前) g	ろうそくの重量 (後) g	ろうそく消費量 g
NO.1	12.435	10.631	1.804
NO.2	12.560	10.901	1.659
NO.3	12.846	11.294	1.552
NO.4	12.664	11.164	1.495
合計	50.505	44.000	6.505

これより、吊り上げにおける熱エネルギーの変換効率を求める。

力学的エネルギー の算出：

$$\text{質量 kg} \times \text{重力加速度 m/s}^2 \times \text{高さ m} = 0.5 \times 9.8 \times 10 = 49 \text{ [J]}$$

燃焼による熱エネルギーの算出

パラフィンの発熱量を用いて、ろうそくの発熱量 $\rightarrow 40000 \text{ [J/g]}$ と仮定する。

$$\text{熱エネルギー} : \text{ろうそく消費量} \times \text{発熱量} = 6.5037 \times 40000 = 260.14 \text{ [kJ]}$$

熱から力学的エネルギーへの変換⁽²⁾

$$\text{変換効率} = \text{得られた力学的エネルギー} / \text{与えた熱エネルギー} = 49 \text{ [J]} / 260.14 \text{ [kJ]} = 0.0002$$

$$\text{変換効率} : 0.02 \text{ [%]}$$

まだまだ有効にエネルギーを使用できることがわかる。これは、ろうそくの熱が周囲に拡散していることや、放熱側への熱伝導により温度差が打ち消されていることが原因であると考えられる。

5.4 電気からの動力への変換率

ペルチェ素子により発生した電気によりギアードモーターを用いて動力変換を行う。

動力への変換率 Φ = 駆動力/入力電気エネルギー

$$\begin{aligned} &= \text{移動速度} \times \text{荷重} / \text{電圧} \times \text{電流} = (0.02 \text{ [m/s]} \times 0.2 \text{ [kg]} \times 9.8 \text{ [m/s}^2]) / (3.3 \text{ [V]} \times 0.19 \text{ [A]}) \\ &= 6.3 \text{ [%]} \end{aligned}$$

6. ローソクエレベーター

ペルチェ素子をローソクで加熱して電気変換を行い、ペットボトルをギアードモーターで上下させるローソクエレベーターを作成して、熱から電気エネルギーへの変換を実体験する教材を提案する。さらに、燃料であるローソクの消費量を測定して熱的エネルギー変換率を求め、エネルギー変換について学習する。

6.1 ローソクエレベーター製作の材料

準備品

- ・ペルチェ素子 2個 (一個 700 円程度)
- ・金属板 (アルミ板または銅板等の熱伝導性の良いもの)
- ・ギアードモーター (1.5 ～ 3 V 用) (1000 円程度)
- ・ろうそく 1 ～ 3 個
- ・電気配線
- ・発光ダイオード 2 個 (50 円ほど/個)
- ・設置架台 (本研究室では鉄の L 字アングルを組み合わせて製作)
- ・冷却容器 (内部に水を満たす。底面が平面であることが望ましい)
- ・裁縫用糸 (吊り上げに用いるため荷重に応じたものを選ぶ)
- ・荷重 (本研究室ではペットボトルに水を詰めた)

測定器

- ・ものさし
- ・時計 (ストップポッチ)
- ・はかり (料理用秤でよい)

6.2 ローソクエレベーター(Fig.4)のシステム

Fig.8 にローソクエレベーターの完成品の回路図を示す。電源としてペルチェ素子を 2 つ直列に接続している。また、エレベーターの昇降方向を示す LED ランプをモーターと並列に接続した。また、ペルチェ素子とろうそくの間にアルミ板を挟むことで、直火を避け熱伝達により熱を与える。

6.3 ローソクエレベーターの作り方

- ① アングル等を用いて、モーターを設置でき、荷重に耐えうる架台制作する。
- ② Fig.8 に示す配線を結線する。
- ③ ろうそくを素子の下に設置する。(空気は十分に入るようにしておく)
- ④ ペットボトルとモーターを糸で結線する。
- ⑤ ろうそくに点火して、モーターの稼働で電流が流れていることを確認する。
- ⑥ 糸が張った状態で実験項目に沿って測定していく

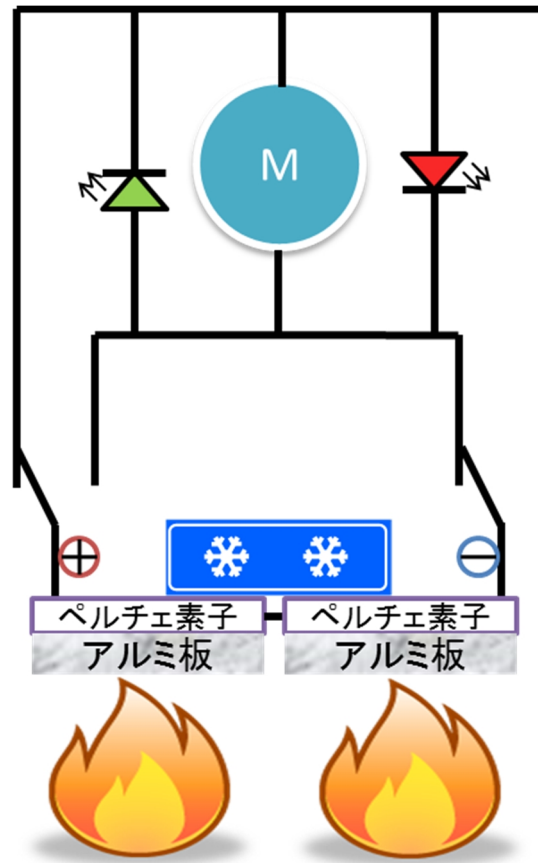


Fig.8 ローソクエレベーター回路図

6.4 ローソクエレベーターの動作

添付ビデオ 1 に示すように、ペルチェ素子 1 枚で水を入れたペットボトルを昇降させることができた。また、添付ビデオ 2 に示すように、切り替えスイッチにより昇降させることができ、ペルチェ素子 2 枚に増やすことで LED ランプを昇降方向に合わせて点灯させることで、エレベーターの模型としての機能性を付加することができた。

6.5 ローソクエレベーターでの検討と実験

(1)LED の接続方法

今回教材としてエレベーターの模型にするため、LED を補機として導入した。その接続方法による動作の違いを述べる。

①モーターと直列につないだ場合<LED のみ点灯>

この際、ろうそく 1 本で加熱されるペルチェ素子の起電力は、1.2V 程度であった。この電圧のほとんどが、LED の点灯のために降下してしまい、モーターを動作させることができなかった。

②モーターと並列につないだ場合<LED 点灯無、モーター動作無>

ペルチェ素子の起電力に変化はなかったが、発電量が不足したため、どちらも動作させることができなかった。

(2)ペルチェ素子の数

(1) ②のように発電量が足りず、動作に至らなかったため、それぞれ独立に加熱されるペルチェ素子の

数を 2 枚に増やし、直列に接続した。これにより 3.5V 程度まで電源電圧を上昇させることができ、LED を点灯させたうえでモーターを動作させることができた。

(3) 負荷を変えた時の動力

完成したローソクエレベーターを用いて負荷試験を行った。Table4 にその結果を示す。負荷は 25g, 100g, 150g と変化させ、運転方向を変化させたが速度に変化はなかった。これは、ギアの駆動に比べて、負荷が小さかったためと考えられる。また、ろうそくの燃え方の変化により、25g では電圧が上昇したため、移動速度は大きくなった。

Table4 負荷試験

荷重	25g (4.7V)	100g (3.5V)	150g (3.5V)
上昇	26 秒	28 秒	29 秒
下降	27 秒	29 秒	29 秒

これらの実験を通して、「熱から仕事に変換できる」という「熱力学第一法則」を学ぶことができる。

7. 追加教材としてのエネルギー変換システムの検討

熱のエネルギー変換としてローソクエレベーター教材を提案したが、さらに推し進めたエネルギー変換システムとして、自然エネルギーによるエネルギー変換についても検討させることが可能である。次に示す各種素子を組み合わせたエネルギー変換システムも提案する。

7.1 太陽電池

従来から太陽電池は実用化され、特性もよく知られている。自然エネルギーを電気エネルギーに変換することができる太陽電池であるが、電気の貯蔵にはコストがかかり、バッテリー等の寿命もある。そこで、この電気エネルギーを用い水の電気分解を行うことで、水素の化学エネルギーとして、エネルギーを保存する。

7.2 燃料電池

太陽電池で生成し保存した水素を用い燃料電池を駆動させる。

7.3 ペルチェ素子

燃料電池ではすべての水素を使い切ることはできず、未燃水素が排出される。これを燃料として燃焼させ、熱風をペルチェ素子の吸熱面に当てる。

7.4 エネルギー変換システム

以上 3 つの素子を組み合わせたエネルギー変換システムを Fig.9 に示す。このシステムモデルは、エネルギーの有効利用を考えさせる上で教材として活用できる。また実用としては、山間部などの電力の供給が難しい場所において、エネルギーの自給自足及び備蓄に役立てることができる。

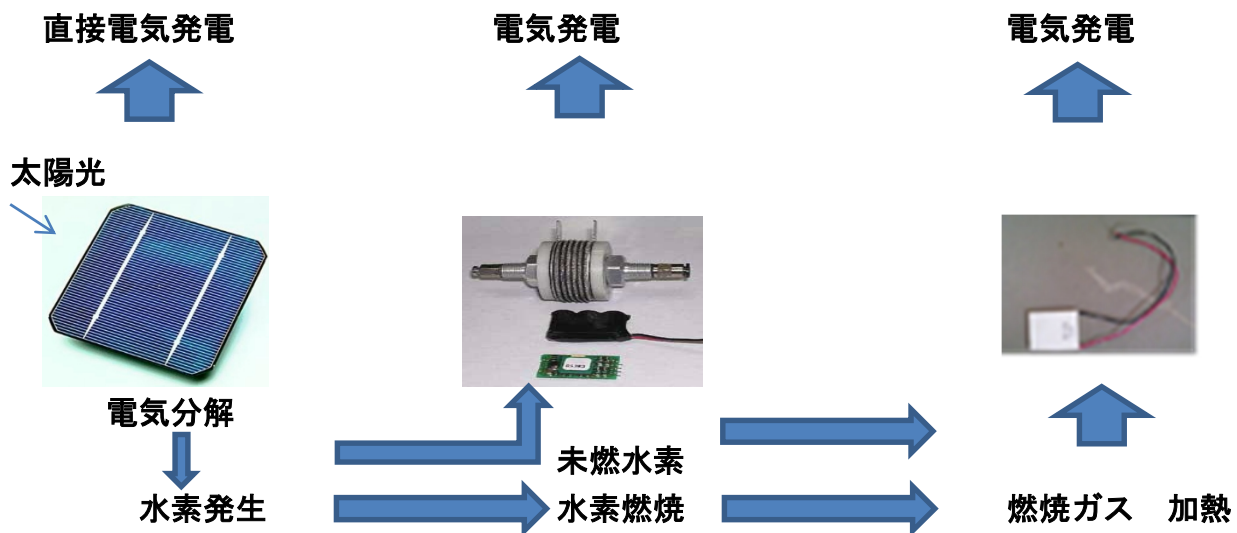


Fig.9 エネルギー変換システム

8. 結論

本実験にて製作する装置では、熱と機械的仕事の関係を示すものであり、熱というエネルギー源が様々な装置の動力源となることを実験的に学習することが可能であると考えられる。上記の実験装置では、実験条件に工夫できる箇所が多く、楽しみながら実験できると考えられる。このことは、小中学生といった若い世代が熱と仕事の関係について興味を持って学ぶことができ、子供の理系への関心を高めることができるのではないだろうか。一方高専生や大学生といった高等教育機関の学生に対しても、熱と仕事の関係を表した熱力学第一法則について体験的に触れることができ、熱力学への理解をより深めていくことにつながるだろう。熱と仕事がいかに密接に関わっているものかわかりやすく示すべく、本実験装置の開発を進めていきたいと考える。

参考文献

- (1)神戸高専産学官金技術フォーラム'14 予稿集 堂本・廣澤・吉本「各種電気変換素子の特性」pp109,11/2014
- (2)ジュール・エネルギーコンテスト JENECON「ろうそく炎によるウェイトリフティング」)第15回国際伝熱会議 (IHTC-15)

謝辞

本実験は株式会社八光電機様より実験費の助成を受け賜りました。また熱の実験コンテストという貴重な発表の場を設けて頂き深く感謝の意を表します。