

スポットライト

～第11回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～

旭川の冬の気候を利用した ペルチェ素子による発電の検討

北海道旭川西高等学校 高校生

内林虎雅 江花叶恋 鎌田廣貴
佐藤結斗 鈴木琢真

1. はじめに

現代の主流な発電方法の一つとして火力発電がある。火力発電には燃料がある限り安定的に電力を供給でき、技術力をあまり要せずに稼働できるといった利点がある一方、化石燃料がいずれ枯渇する可能性や、地球温暖化、大気汚染の一因であるといった欠点がある。そこで、化石燃料を用いた発電の問題を改善したいと考えていたところ、ペルチェ素子に温度差を与えることでゼーベック効果により起電力が生じることを知った。そこで、2月の平均気温が -11°C まで下がり、大きな温度差を生み出しやすい、私たちが住む旭川市の気候を生かして効果的に発電し、この問題の改善をしたいと考え研究に至った。

2. 実験Ⅰ：得られる電圧と温度差の関係

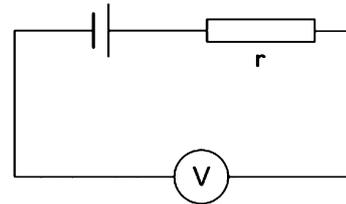
(1) 仮説

ペルチェ素子には適当な温度での使用範囲が設定されているため、ある温度差で端子電圧の上昇が止まり、その後一定になる。今回使用したペルチェ素子の適当な温度の使用範囲は -60 から 100°C である。なお、今回すべての実験においてペルチェ素子“TEC1-12708”を用いた。

(2) 検証方法

- イ) 25°C (誤差の範囲は $\pm 1^{\circ}\text{C}$)のペルチェ素子とホットプレートで 10°C (誤差の範囲は $\pm 1^{\circ}\text{C}$)の温度差を作る。
- ロ) ホットプレートの上にペルチェ素子を置き、その上に 25°C (誤差の範囲は $\pm 1^{\circ}\text{C}$)の平滑で十分に重いおもりを、ペルチェ素子の冷却側を完全に覆うように置く。
- ハ) 電圧計(直流電圧計 HQ-300)で、その試行での最大端子電圧を測定する(約4s後)。
- ニ) ペルチェ素子をホットプレートから離し、 25°C (誤差の範囲は $\pm 1^{\circ}\text{C}$)になるまで冷やす。
- ホ) イにおいて、温度差を 10°C ずつ 120°C まで(誤差の範囲は $\pm 1^{\circ}\text{C}$)変え、イから二を繰り返す。

- ヘ) 横軸を温度差、縦軸を端子電圧として散布図を作成する。以下にこの実験の回路図を示す。回路図1中の r はペルチェ素子の内部抵抗である。



回路図1.

(3) 結果

温度差が 100°C を境に5回のデータのばらつきが大きくなった(図1)。

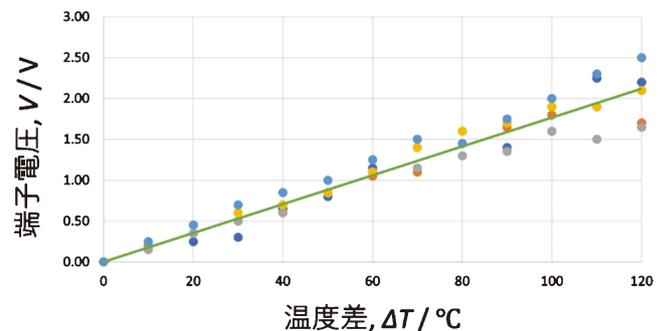


図1 ペルチェ素子に与えた温度差と端子電圧の関係。(オンラインカラー)

(4) 考察

図1のデータを各温度差あたり5回の試行回数の平均値を代表値として一次式でフィッティングしたところ、相関係数が0.998と強い正の相関を表すため、ペルチェ素子に与えた温度差と端子電圧には、比例の関係があると考えられる。また、温度差を大きくすると使用温度範囲を超え、素子を構成している金属の融点に達したのでデータがばらついた。ペルチェ素子を構成しているはんだの融点は約 120°C であり、それ未満の温度では、ホットプレートにおける加熱時間が4sで、測定後すぐに室温下で冷却するので端子内部のはんだ部分の温度は上がりきらないと考えられるため、ペルチェ素子を安全に使用するための温度の範囲の 100°C までの使用であると考えられる。また、仮にペルチェ素子を構成する金属が融解したとしてもゼーベック効果を発揮したため、適切な温度での使用範囲を超えても端子電圧が一定とならなかった可能性がある。

3. 実験Ⅱ：端子電圧と内部抵抗の関係

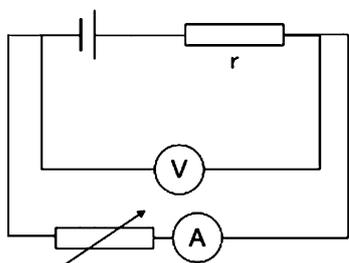
(1) 仮説

ペルチェ素子の内部抵抗を何度か計測したところ、温度差が上昇するにつれて1回の試行で算出された内部抵抗の値も上昇したため、端子電圧の上昇によって内部抵抗の値も上

昇する。

(2) 検証方法

- イ) 25°C(誤差の範囲は±1°C)のペルチェ素子とホットプレートで10°C(誤差の範囲は±1°C)の温度差を作る。
- ロ) ホットプレートの上にペルチェ素子を置き、その上に25°C(誤差の範囲は±1°C)の平滑で十分に重いおもりを、ペルチェ素子の冷却側を完全に覆うように置く。
- ハ) 抵抗器を10Ωに設定し、直流電圧計(Shimadzu HQ-300)と直流電流計(Shimadzu HQ-55)で、その試行での最大である端子電圧と電流を測定する(いずれも約4s後)。
- ニ) ペルチェ素子をホットプレートから離し、25°C(誤差の範囲は±1°C)になるまで冷やす。
- ホ) イにおいて、温度差を10°Cずつ100°Cまで(誤差の範囲は±1°C)変え、イからニを繰り返す。
- ヘ) ハにおいて、抵抗器を10Ωずつ30Ωまで変え、イからホを繰り返す。
- ト) 横軸を端子電圧、縦軸を内部抵抗として散布図を作成する。回路図2中の r はペルチェ素子の内部抵抗である。



回路図2.

(3) 結果

内部抵抗は端子電圧が0.20Vのとき最大5.2Ω、0.60Vのとき最小1.1Ωとなった(図2)。

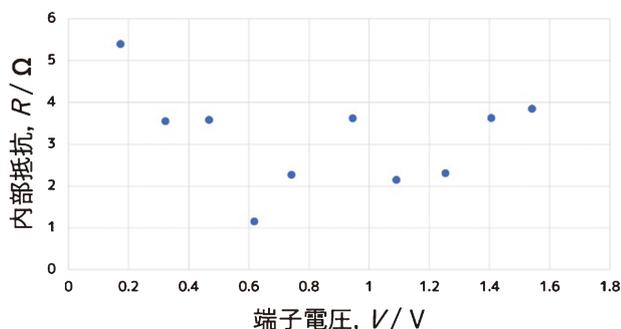


図2 端子電圧と内部抵抗の関係。(オンラインカラー)

(4) 考察

図2より、内部抵抗は端子電圧が0から1.6Vまでの範囲

ならば同じ条件で複数回測定すると測定値にばらつきが出ると思われる。また、冷却側で±1°C、加熱側で±1°Cの誤差を見込んでいるため、実験中に最大で4°Cの温度差の誤差が生じていると考える。最大4°Cの温度差の誤差があった場合、端子電圧と電流にそれぞれ約0.1V、約0.06Aの変化があるため内部抵抗も大きく変化してしまった。さらに、その範囲で毎度異なった値として得られる端子電圧と電流は内部抵抗を大きく変化させるのに十分であり、今回の実験では温度制御の誤差が大きく、内部抵抗の傾向を確認できるだけの精度の測定をすることができなかったものと考えられる。

4. 実験Ⅲ：旭川市の気候を生かした発電

(1) 仮説

温度差を一定に保つことができるならば、端子電圧は常に一定に得られ、実験Ⅰの結果と同じ電圧を得られる。

(2) モデルハウスについて

図3中の丸囲いのように内部に白熱電球を置き、ハウス内の天井にペルチェ素子を一箇所配置した。また、ハウスの素材は発泡スチロールであり、ペルチェ素子が外気と触れる部分以外の内部と外部にアルミニウムのシートを取り付けた。ペルチェ素子は銅板に触れている。



図3 使用したモデルハウスの細部。(オンラインカラー)

(3) 検証方法

- イ) 旭川市の冬の気温を想定し、冷凍庫内の温度を-20°Cに設定する。
- ロ) 冷凍庫内にモデルハウスを設置する。
- ハ) 旭川市の冬の室内の温度を想定し、モデルハウス内の温度を白熱電球の電源を付けたり消したりして25°C(誤差の範囲は±2°C)に保つ。
- ニ) 5min毎に60min間、ペルチェ素子の端子電圧を計測する。
- ホ) 横軸を経過時間、縦軸を端子電圧として散布図を作成する。

(4) 結果

端子電圧は実験開始直後 $1.1 \times 10^{-2} \text{ V}$ を示し、その後はほぼ一定で推移したが、モデルハウス内の温度、冷凍庫内の温度が一定であった(表1)にもかかわらず、温度差が 45°C においての実験Iの結果と同じ端子電圧(0.60 V)を得られなかった(図4)。

表1 モデルハウス内の温度及び冷凍庫内の温度。

時間(min)	モデルハウス内温度($^\circ\text{C}$)	冷凍庫内温度($^\circ\text{C}$)
0	25.2	-18
5	25.6	-17.4
10	25.2	-17.6
15	24.6	-19
20	25.6	-18.6
25	25.6	-18.4
30	25.2	-18
35	26.2	-18.4
40	25.4	-18.2
45	25	-18
50	25.2	-18.6
55	26	-18
60	25	-18.4

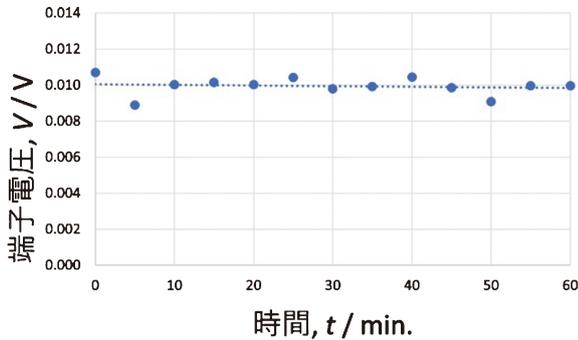


図4 25°C (誤差の範囲は $\pm 2^\circ\text{C}$)の温度差を与えたペルチェ素子に発生した端子電圧の時間変化。(オンラインカラー)

(5) 考察

実験Iの結果と同じ端子電圧を得られなかった理由として、モデルハウス内と冷凍庫の温度差が実際のペルチェ素子本体の温度差ではなかったことが考えられる。

そこで、空気と触れる表面積を大きくし、発電効率を上げるべく、ペルチェ素子の両面にヒートシンクを取り付けて(図5)同様の実験を行った。この際、図4より短時間で端子電圧が一定となることがわかったため、ヒートシンクを取り付けたケースにおいては、実験時間を15 min間に短縮した。なお、ペルチェ素子は銅板に触れている。



図5 ヒートシンクを取り付けたペルチェ素子。(オンラインカラー)

(6) 結果

得られた端子電圧はヒートシンクを付けていない条件においての結果の値(同実験の(4)の結果の値)の $1.1 \times 10^{-2} \text{ V}$ の約10倍の値である、平均0.10 Vを得られた(図6)。

表2 モデルハウス内の温度及び冷凍庫内の温度。

時間(min.)	モデルハウス内温度($^\circ\text{C}$)	冷凍庫内温度($^\circ\text{C}$)
0	25.4	-18.0
5	23.7	-18.0
10	25.1	-18.0
15	24.4	-18.4
20	25.2	-19.0

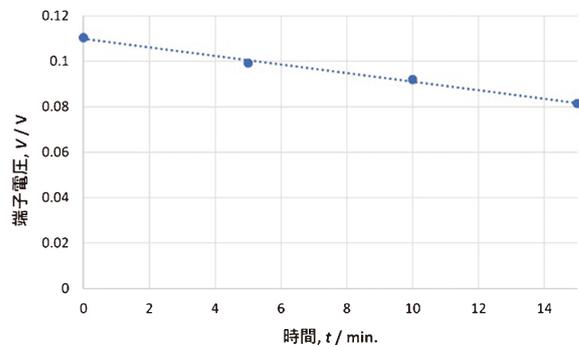


図6 ペルチェ素子にヒートシンクを付けた条件で5 minごとに得られた端子電圧。(オンラインカラー)

(7) 考察

ヒートシンクを取り付けたことによって端子電圧の値が約10倍になった理由として、ヒートシンクによって熱伝達が行われ、ペルチェ素子に与えられた温度が上昇したため、ペルチェ素子の温度差が大きくなったことが考えられる(表2)。また、図4と比較して端子電圧が安定して得られなかった理由として、ペルチェ素子にヒートシンクを取り付けたため、温度の誤差に敏感になり、安定した端子電圧を得られなかったと考える。

5. 結 論

旭川市の冬の気候を想定した環境下では、ペルチェ素子から一定して $1.1 \times 10^{-2} \text{ V}$ を得られた。更にペルチェ素子の両面にヒートシンクを取り付け同様の実験を行ったところ、端子電圧はヒートシンクを付けていない条件における結果の $1.1 \times 10^{-2} \text{ V}$ の約10倍の値である、平均 0.10 V を得られ、ヒートシンクによるペルチェ素子への効果的な熱伝達が認められた。

6. 考 察

旭川市の冬の気候を生かしたペルチェ素子の活用の一つの案として、比較的電力を必要とせず、日常生活でも使うLEDライトを用いるとする。赤色のLEDライトを光らせるためには電圧 1.5 V が必要である。実験Ⅲの結果から、ペルチェ素子本体のみでは約150個、ヒートシンクを取り付けたペルチェ素子では約15個必要になる。また、今回は温かい空間と冷たい空間の境界にペルチェ素子を設置した想定で実験を行ったが、ペルチェ素子の一方の面を雪に触れさせ、もう一方の面をストーブなどに触れさせ発電する方法も、旭川市の冬の気候を生かしたペルチェ素子の活用として挙げられる。

7. 今後の展望

ペルチェ素子を利用した発電の実用化は現段階では現実的ではないが、ペルチェ素子の両面にヒートシンクを取り付けたことによって発電効率は格段に上昇した。ヒートシンクを取り付けた条件で行った実験Ⅲについて、安定した端子電圧を得られなかったと考えられるが、一定の割合で端子電圧の値が減少している可能性も考えられるため、実験の試行回数を増やし、ヒートシンク以外の熱伝導性の物質を取り付けて同様の実験をすることによって検討していきたい。今後も発電効率を上げるための工夫を施し、実用可能な段階まで上げていきたい。また、様々な機器の動作に適切な配列やペルチェ素子の必要な個数を調べていきたい。

研究の実施にあたり終始熱心なご指導を頂いた北海道教育大学旭川校の永山昌史教授に深く感謝いたします。

この研究において必要不可欠であったペルチェ素子を貸与くださった北海道立教育研究所の皆さんには大変お世話になりました。ありがとうございました。

文 献

- (1) <https://mcm-www.jwu.ac.jp/~physm/buturi18/perutye/WPE.htm>(2023年3月9日閲覧)。
- (2) 桐生 徹, 久保田善彦, 西川 純: 日本科学教育学会年会論文集, **31**(2007), 333-334.

(2024年7月1日受理)[doi:10.2320/materia.64.52]
(連絡先: ☎070-0815 旭川市川端町5条9-1-8)