

マイクロ廃熱発電装置実用化のための基礎的研究(その2)

松山市立椿中学校 第2学年 白井 義真

1. はじめに

本研究は、2024年から継続研究をしているもので、従来、家庭において利用せずに捨てられていた熱エネルギーを回収し、電気エネルギーへ変換して利用することで省エネルギーを実現し、環境負荷の低減へ寄与するための要素技術の研究である。

具体的には、家庭、とくにキッチンにおいて高温度の熱源があり、これが捨てられている。例えば、夏場によく作る麦茶は、作るときは高温にするが、利用のためには低温に冷やす。すなわち、熱エネルギーを無駄に捨てているのである。

2024年の研究では、鍋で沸かした麦茶を冷却する場合を想定し、冷却時の廃熱を、ペルチェ素子を使って温度差を電気エネルギーへ変換するための条件を探るための研究を行った。

この研究では、発電効率に関わる課題も明らかになった。課題とは、研究で使用した熱回収の材料はステンレス製であり、ステンレスは金属の中でも熱伝導率が低いため、これが熱移動の抵抗となり、発電のために必要な熱移動量が得られていないことである。

2025年の本研究では、前述の課題解決に焦点を絞り効率的な廃熱発電の実現を目指す。

2. 2024年研究における実験

製作をしたマイクロ廃熱発電装置(便宜上タイプAという)の構造は図1、温度計測ポイントは図2で示す。また、実験装置構成は写真1、実験条件は表1で示す。

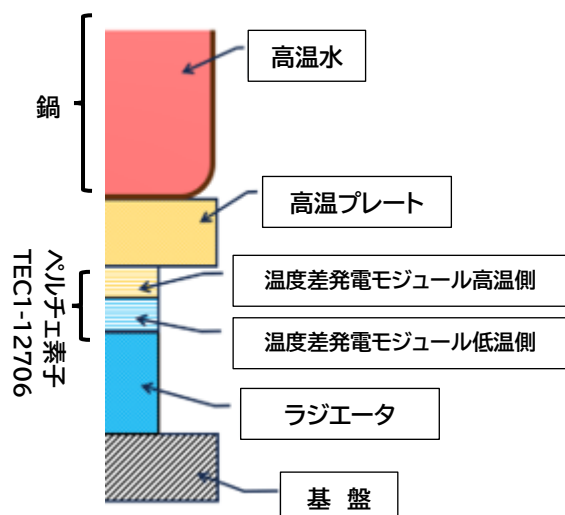


図1を冷却タンクから①マイクロ廃熱発電装置タイプAのラジエータを通して③タンクへ流し鍋の中の高温水を冷却する。

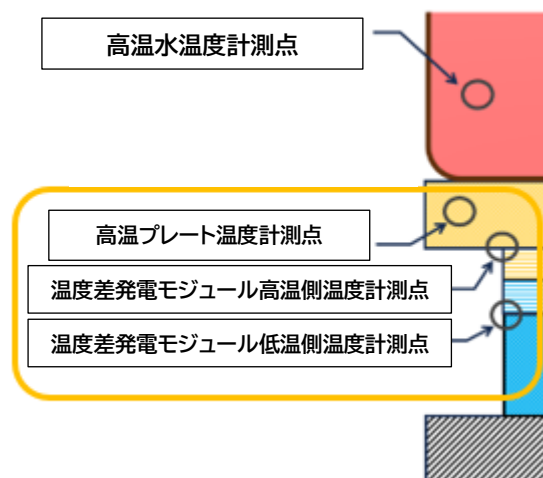


図2 温度計測ポイント

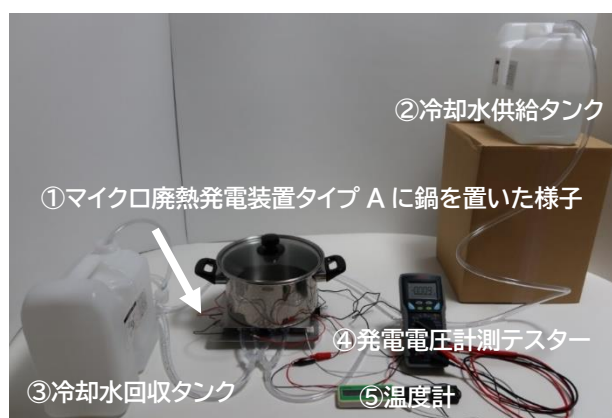


写真1 実験装置構成

表1 実験条件

冷却水の状態	冷却水流量	熱源条件
【1】冷却水なし	なし	約 100[℃]の高温 水で満たした鍋 鍋容量約 3[L]
【2】常温冷却水	約 5[mL/sec]	
【3】低温冷却水		

※常温冷却水:約 21[°C]~28[°C] の水道水

※低温冷却水:約 6[°C]~10[°C]程度に冷却した水道水

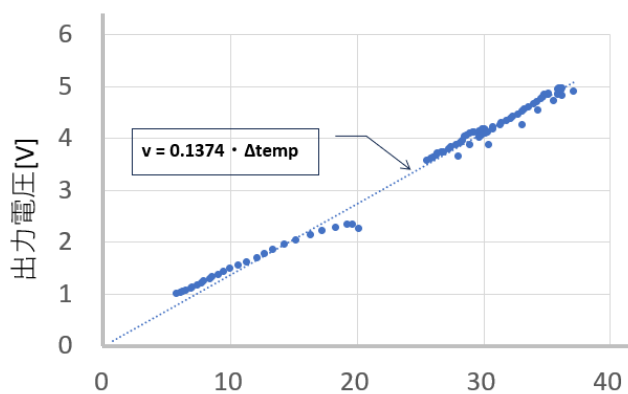
3. 実験結果

温度差発電モジュール高温側と温度差発電モジュール低温側の温度差の値を横軸にとり、その時々出力電圧値を縦軸にとりグラフを描くと、温度差に対する出力電圧はグラフ1のようになった。

また、グラフ1で示す温度差を $\Delta temp$ 、出力電圧を $v(\Delta temp)$ として、これらの関係を最小二乗法で近似すると、以下の関数が得られた。

$$v(\Delta temp)[V] = 0.1374[V/^{\circ}C] \cdot \Delta temp[^{\circ}C]$$

すなわち、マイクロ廃熱発電装置タイプAの出力電圧特性は、温度差 $\Delta temp = 1[^{\circ}C]$ に対して、出力電圧 $v(\Delta temp) = 0.1374[V]$ となることがわかった。



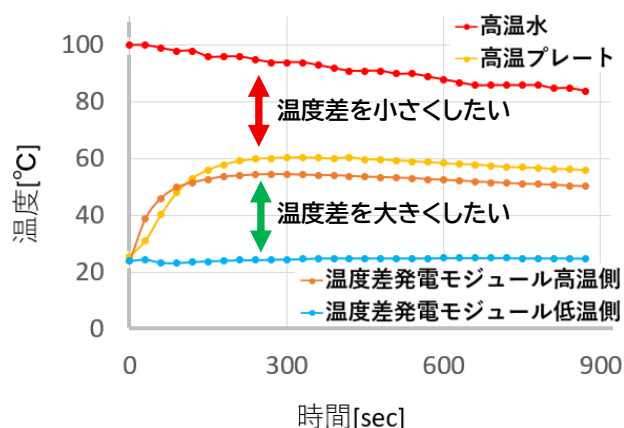
高温側－低温側間の温度差[°C]

グラフ1 温度差と出力電圧の関係

4. 熱伝導効率が低い課題

高温水の温度は約 100[°C]～80[°C]であったのに対して、高温プレートは最高でも 60[°C]にしかならず、高温水と高温プレートの温度差は 30[°C]～40[°C]であった。このことはグラフ 2 で示す。

この現象が出力電圧の上昇を抑えている。高温水と高温プレートの温度差を限りなく 0[°C]にすることで、高温度がペルチェ素子に届くのでより高い電圧を得ることができる。



グラフ2 温度計測ポイントの温度(常温冷却水で冷却)

5. 熱伝導効率改善のための対策と実験結果

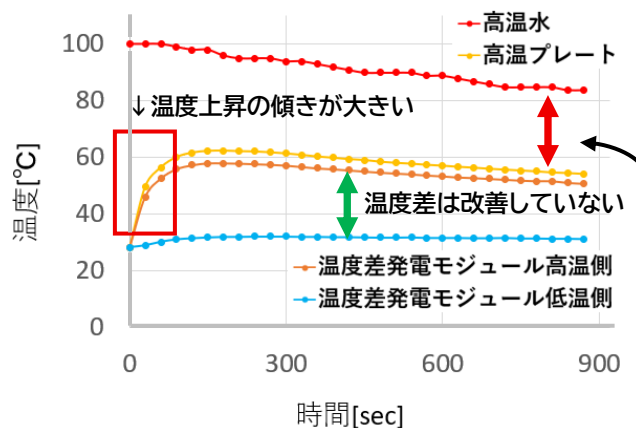
マイクロ廃熱発電装置タイプ A では図 1 の高温プレートにステンレス板を用いた。ステンレスは熱伝導率が低く (16[W/m・K])、これが熱伝導効率の低い原因と考え、高温プレートに熱伝導率の高い銅板 (372[W/m・K]) を採用することにした。この装置は、マイクロ廃熱発電装置タイプ B と表現する。

実験結果は、グラフ 3 で示す。温度変化の応答特性はグラフ 2 と比べて改善しており、温度上昇の傾きが大きくなっている。しかし、高温水と高温プレートの温度差は改善されていないことが分かった。

6. 熱伝導効率を低下させる要因:水の熱抵抗(仮説)

熱伝導効率低下の理由として次の仮説を立てた。

(1) 鍋底から熱を取り出す(冷却する)とき



グラフ3 温度計測ポイントの温度(常温冷却水で冷却)

(2) 徐々に鍋底に低温の水が溜まる。(図 3 参照) 低温の水は高温の水より重いことから、低温の水は底に溜まり続ける、(3) 水の熱伝導率は、0.602 [W/m・K]であり、金属のそれと比べて極端に低い、(4) 温度の低い水が鍋の底に溜まり続けると、それが熱移動の抵抗になり、鍋底と接している銅高温プレートへの、高温の水の熱移動を妨げる。

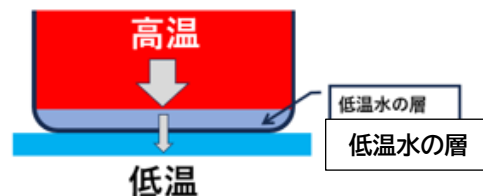
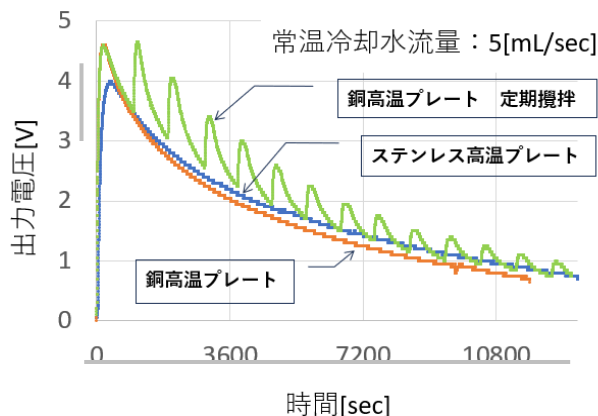


図3 熱伝導効率を低下させる要因(仮説)

7. 仮説の検証実験と結果

検証は第 5 章で行った実験を再度行い、ただし、このとき、鍋の中の高温水を 15[min] 毎に攪拌する。

実験の結果、グラフ 4 で示すように攪拌することで、その直後出力電圧が上昇している、すなわち、攪拌により鍋底に滞留した低温水の層が攪乱され、熱移動が促進されているのである。



グラフ4 高温水攪拌時の出力電圧特性

8. 今後の予定

高温水から効率的に熱を取り出す手法には、なお改善の余地がある。手法を改良することで、より高い電圧が得られることが明らかとなった。

2026 年の研究では、より高効率な熱回収を実現する新たな手法の検討を進める予定である。