

第5回 八光熱の実験コンテスト

太陽光で水を冷やそう！

チーム名：エネルギーと動力研究室

代表者名：吉田 千廣

所 属 先：滋賀県立大学 工学部 機械システム工学科
エネルギーと動力研究室

目次

1	まえがき	
1.1	背景	・・・1
1.2	実験目的	・・・2
2	実験装置および実験方法	
2.1	ペルチェ素子の冷却性能確認試験	・・・3
2.2	ゼーベック素子の性能確認試験	・・・4
2.3	ゼーベック・ペルチェ両素子を用いた冷水製造実験	・・・5
3	実験結果	
3.1	ペルチェ素子の冷却性能	・・・6
3.2	ゼーベック素子の出力性能	・・・7
3.3	ゼーベック・ペルチェ両素子を用いた冷水製造	・・・9
4	まとめ	・・・11

参考資料

謝辞

1 まえがき

1.1 背景

近年の地球温暖化問題の深刻化を受け、クリーンで高効率、再生可能な新エネルギーの利用が求められている。2011年3月に発生した東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故を受け、その勢いはさらに加速し、特に新エネルギーの利用に焦点が当てられている。特に、新エネルギーの一つで、再生可能かつ膨大なエネルギーを日々放射している太陽光の有効利用は、今まで盛んに行われてきた。一般的に、太陽光の利用には太陽電池を用いた発電が主流で、太陽熱の利用は温水利用にとどまっている。

太陽熱を利用して電力を生む方法には、ヘリオスタットを用いた集熱器に蒸気ランキンサイクルを組み合わせた方法や、温度差により電位差が生じる“ゼーベック効果”を利用した熱電発電の方法が考えられている。ここで、ゼーベック効果とは図1.1に示すように、2種類の異なる導電体で構成される熱電素子の両端に高温側と低温側を設けることにより、電荷に偏りができて電位差が生じることをいう。また、この熱電素子は逆に、素子に電流を流すことによって電位差を作り、電荷の偏りを生じさせることによって温度差を設ける“ペルチェ効果”も有し、主に冷却機能を目的とした利用がなされている。ゼーベック効果を利用した熱電素子を“ゼーベック素子”，ペルチェ効果を利用した熱電素子を“ペルチェ素子”という。

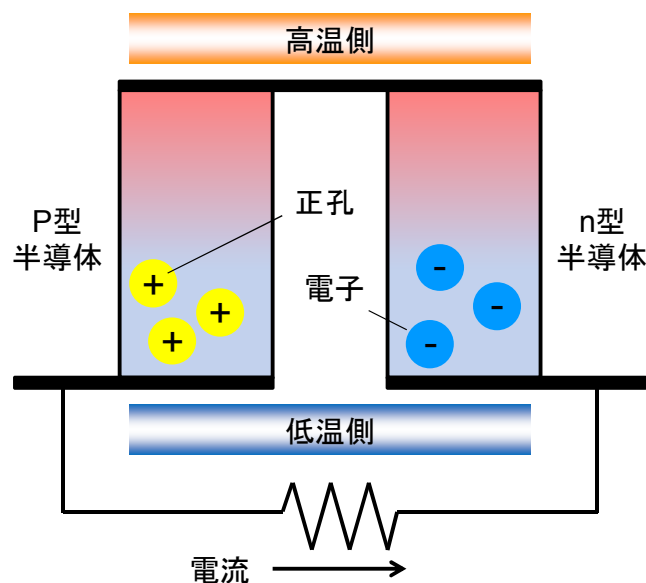


Fig.1.1 Seebeck effect and Peltier effect

1.2 実験目的

上記で述べた太陽光と熱電素子を利用し、本実験では太陽熱から冷水を製造する実験を目的とする。この実験は、“太陽熱から冷水を製造する”という点に独自性を持つ。実験の概要は、まず太陽光を集光レンズで集光し、エネルギー密度を高めた太陽光をゼーベック素子に照射することで、素子に温度差が生じ発電する。ゼーベック素子によって発電された電気は、ゼーベック素子に接続されたペルチェ素子に電流として流れ、ペルチェ素子表面には温度差が作られる。そこで、ペルチェ素子の低温面に水を入れた容器を配置し、容器内の水を冷却する。

以下の図 1.2 に本実験の概略図を示す。

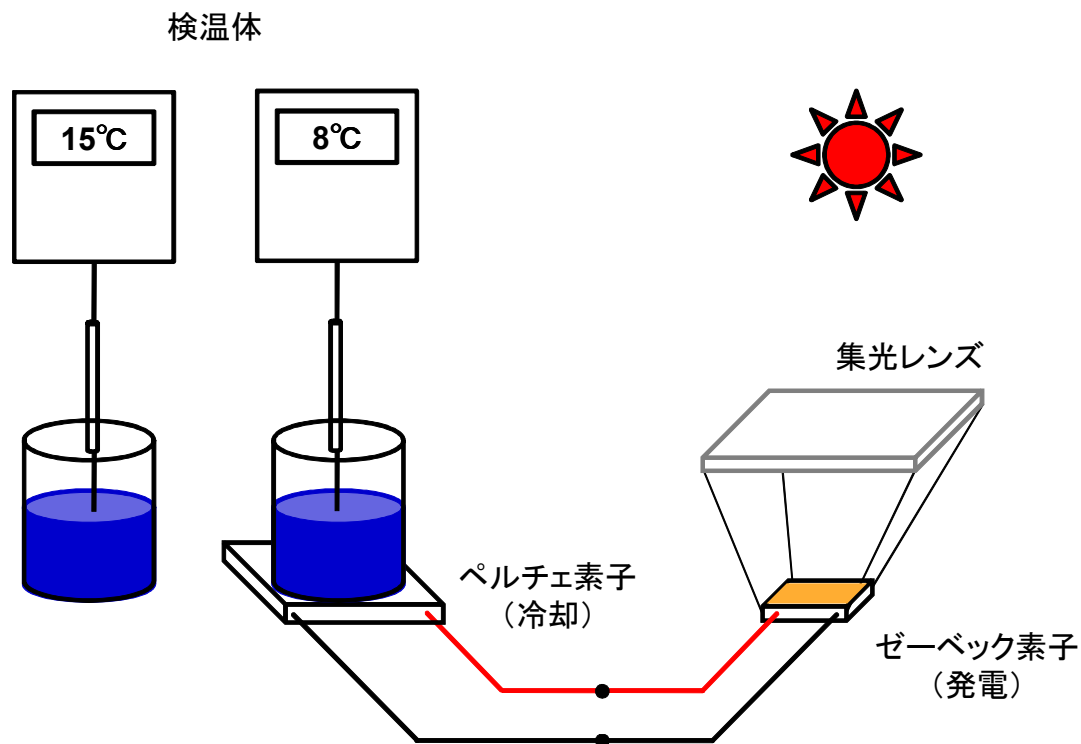


Fig.1.2 Schema of experience device

2 実験装置および実験方法

2.1 ペルチェ素子の冷却性能確認実験

まず, 使用するペルチェ素子の冷却性能およびペルチェ素子への出力と水の低下温度の関係を調査するため, ペルチェ素子に電圧をかけ電流を流し, 水を冷却する実験を行う. ペルチェ素子はサイズが $50 \times 50\text{mm}$ の熱電素子(有限会社日本テクモ製 TEC1-12714)を用い, 冷却効果を十分に発揮させるため, 素子の高温面には水道水による水冷器を取り付けた. 水温の測定にはシース熱電対(株式会社八光電機製作所製 HTK0226)を用いた. 冷却する水からペルチェ素子の冷却面への熱伝達をよくするため, 冷却する水を入れる容器は, アルミ箔で円筒型に模ったものを用いた. また, 容器とペルチェ素子表面との隙間を埋め, 熱伝達をよくするため, サーマルジョイント(片岡線材株式会社製)を塗布した. 冷却する水の量は, ペルチェ素子の冷却性能を確認するため 10ml とした.

以下の図 2.1 に実験装置の概略図を示す.

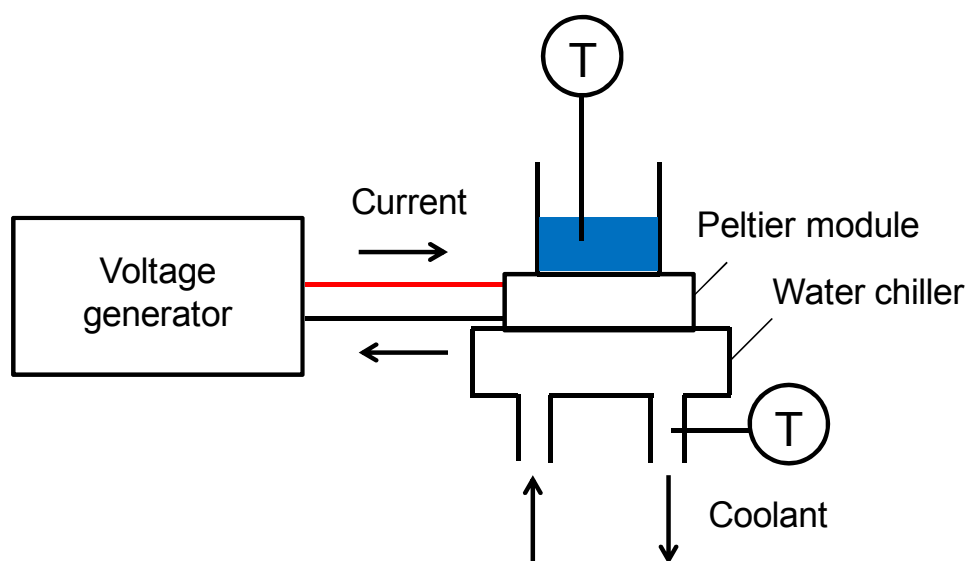


Fig.2.1 Schema of experimental setup for evaluating the Peltier module

2.2 ゼーベック素子の性能確認実験

次に、使用するゼーベック素子の出力性能を調査するため、ゼーベック素子の高温面をヒーターで温度調節して加熱し、低温面を水冷器で放熱し、発電性能を測定する実験を行う。ゼーベック素子はサイズが $40 \times 40 \text{ mm}$ の熱発電素子(有限会社日本テクモ製 TEP-1264-1.5)を用い、低温面には水道水による水冷器を取り付け放熱を行った。ゼーベック素子の電圧および電流の測定には、Source-Measure unit(横河電機株式会社)を用いた。また、ゼーベック素子とヒーター、水冷器との熱伝達をよくするため、前節と同様にサーマルジョイント(片岡線材株式会社製)を塗布した。

以下の図 2.2 に実験装置の概略図を示す。

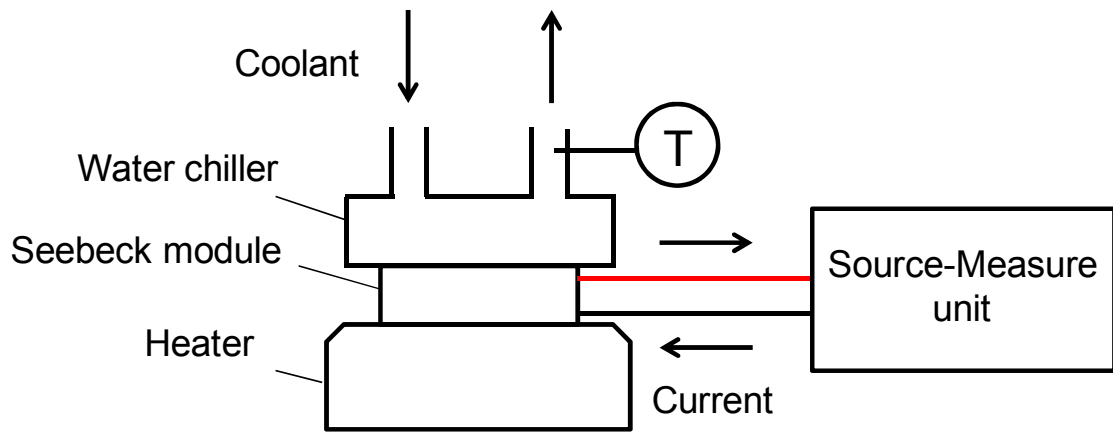


Fig.2.2 Schema of experimental setup for evaluating the Seebeck module

2.3 ゼーベック・ペルチェ両素子を用いた冷水製造実験

ゼーベック素子・ペルチェ素子の両熱電素子のゼーベック効果・ペルチェ効果の両効果を用いて、冷水製造実験を行う。本実験は、太陽光を集光レンズで集光し、集光された太陽光をゼーベック素子高温面に照射する。ゼーベック素子両面の温度差により発電した電気は、ゼーベック素子に接続されたペルチェ素子に電流として流れ、ペルチェ素子の両面には温度差が設けられる。ペルチェ素子冷却面に水を入れた容器を置き、冷水を製造する。

ゼーベック素子はサイズが $40 \times 40\text{mm}$ の熱発電素子(有限会社日本テクモ製 TEP-1264-1.5)を用い、ペルチェ素子はサイズが $50 \times 50\text{mm}$ の熱電素子(有限会社日本テクモ製 TEC1-12714)を用いた。低温面の形成および冷却機能発揮のため、ゼーベック素子の低温面およびペルチェ素子の高温面には、水道水による水冷器をそれぞれ取り付けた。太陽光の集光に用いた集光レンズは、レンズ有効範囲が $150 \times 150\text{mm}$ で、焦点距離が 245mm 、レンズピッチが 0.3mm のフレネルレンズ(有機光学株式会社製)を用いた。冷却する水を入れる容器および水温測定のための熱電対は、ペルチェ素子の冷却性能確認実験と同じものを使用した。また、各熱電素子と水冷器および、水を入れた容器とペルチェ素子との間には、熱伝達をよくするため、前々節と同様にサーマルジョイント(片岡線材株式会社製)を塗布した。冷却する水の量は 10ml とした。

以下の図 2.3 に冷水製造実験装置の概略図を示す。

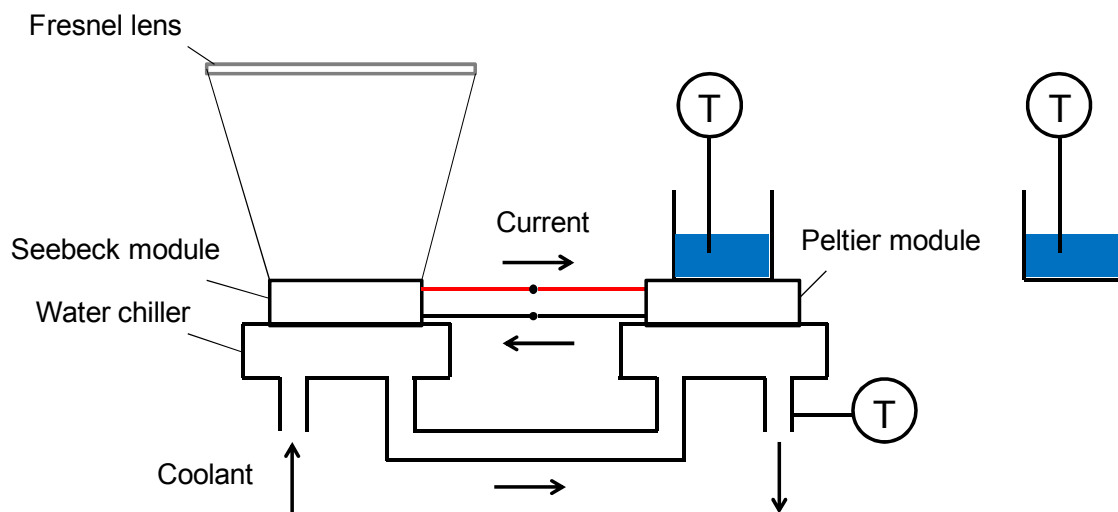


Fig.2.3 Schema of experimental setup for making cooled water

3 実験結果

3.1 ペルチェ素子の冷却性能

ペルチェ素子の冷却性能および、ペルチェ素子への出力と水の低下温度の関係を確認するため、ペルチェ素子に電圧をかけ電流を流し、アルミ箔の円筒容器に入れた 10ml の水を冷却する実験を行った。図 3.1 に容器内水温と電圧、および出力と電圧の関係を、図 3.2 に水の低下温度と出力の関係をそれぞれ示す。図 3.1 より、ペルチェ素子にかかる電圧が上昇するほど、容器内の水温が低下し、出力が上昇しているのが分かる。よって、ペルチェ素子の冷却性能は 10ml の水に対して十分であることが考えられる。また、図 3.2 よりペルチェ素子への出力と低下温度の関係が判明した。これにより、10ml の水を冷却するために必要なゼーベック素子の出力が推測できる。

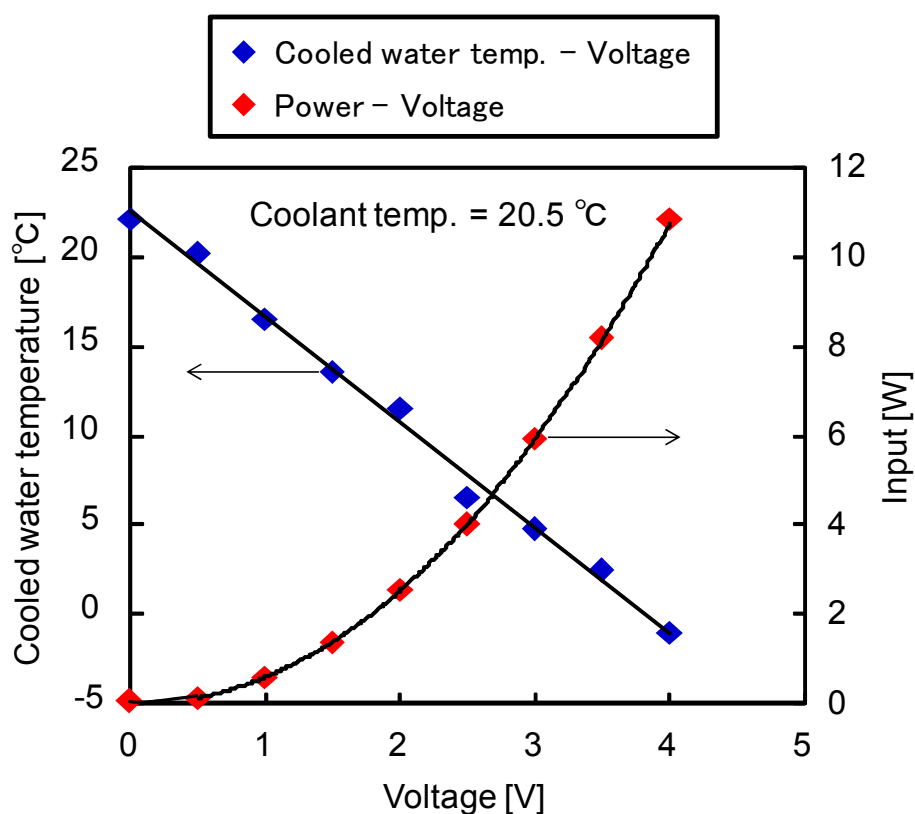


Fig.3.1 Water temperature and Input power

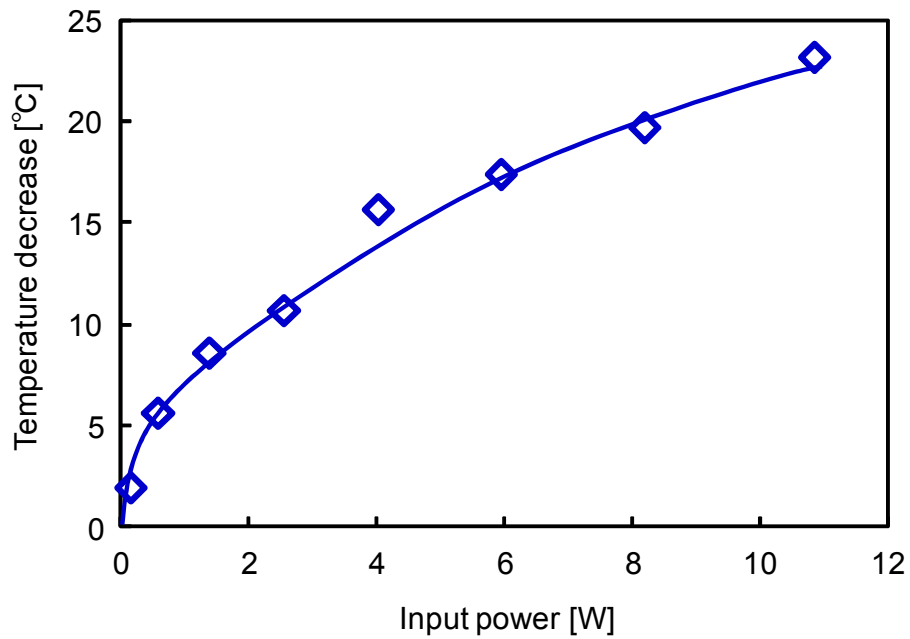


Fig.3.2 Temperature decrease

3.2 ゼーベック素子の出力性能

次に、ゼーベック素子の高温面をヒーターで温度調節して加熱、低温面を水冷器で放熱し、使用するゼーベック素子の発電性能を調査する実験を行った。以下の表 3.1 にヒーターの表面温度および測定した発電特性の実験結果を、図 3.3 にヒーター温度と出力の関係を示す。

Table 3.1 Heater temperature and electric properties

Heater Tem. [°C]	Voltage [V]	Current [A]	Output power [mW]
80	0.360	0.214	17.4
100.1	0.525	0.309	36.8
115.2	0.600	0.359	50.2
132	0.760	0.442	76.6
144	0.810	0.486	93.0
161.5	1.00	0.570	129
176.8	1.14	0.647	168
191.2	1.24	0.721	210

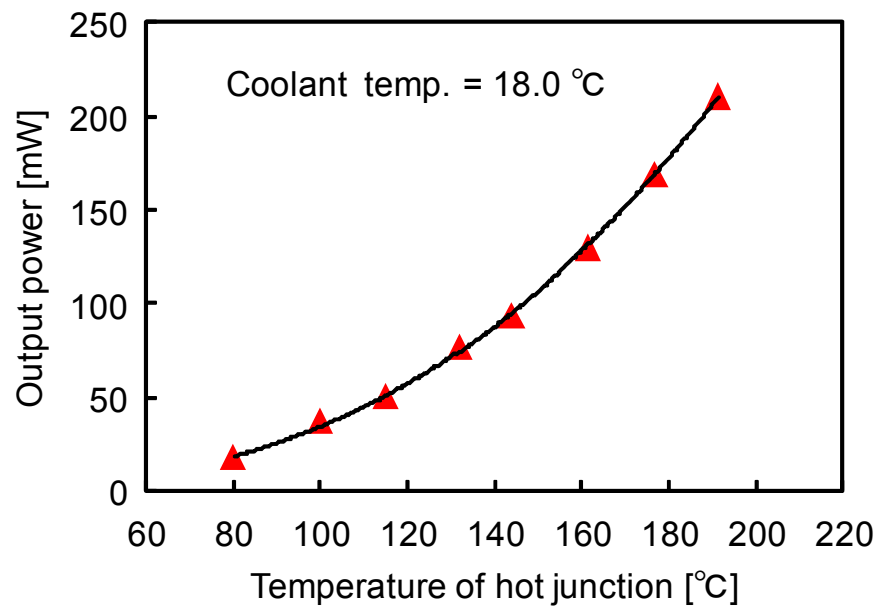


Fig.3.3 Output power

図 3.3 より，出力と温度の関係が累乗の関係にあり，ゼーベック素子の高温面温度が高くなるほど出力が大きくなっていることがわかる．また，本実験の条件で発電した場合のゼーベック素子の出力性能として，高温面温度が約 190℃のとき 210mW の出力が得られることが確認できた．

3.3 ゼーベック・ペルチェ両素子を用いた冷水製造

3.1 節, 3.2 節にて性能調査を行ったゼーベック・ペルチェ素子の両素子を用いて, 10ml の水を冷却する実験を行った. 実験時の日時および気象条件を, 以下の表 3.2 に示す. 表中の全天日射量は, 気象庁ホームページのデータベースより計算した⁽¹⁾. また, 図 3.4 にゼーベック素子の発電特性の結果を示す.

Table 3.2 Experiment condition

Date / Time	2011.12.13 / 12:30 - 13:30
Weather	Fair weather
Air temperature ℃	12.8
Wind velocity m/s	4.1
Global solar radiation W/m ²	528

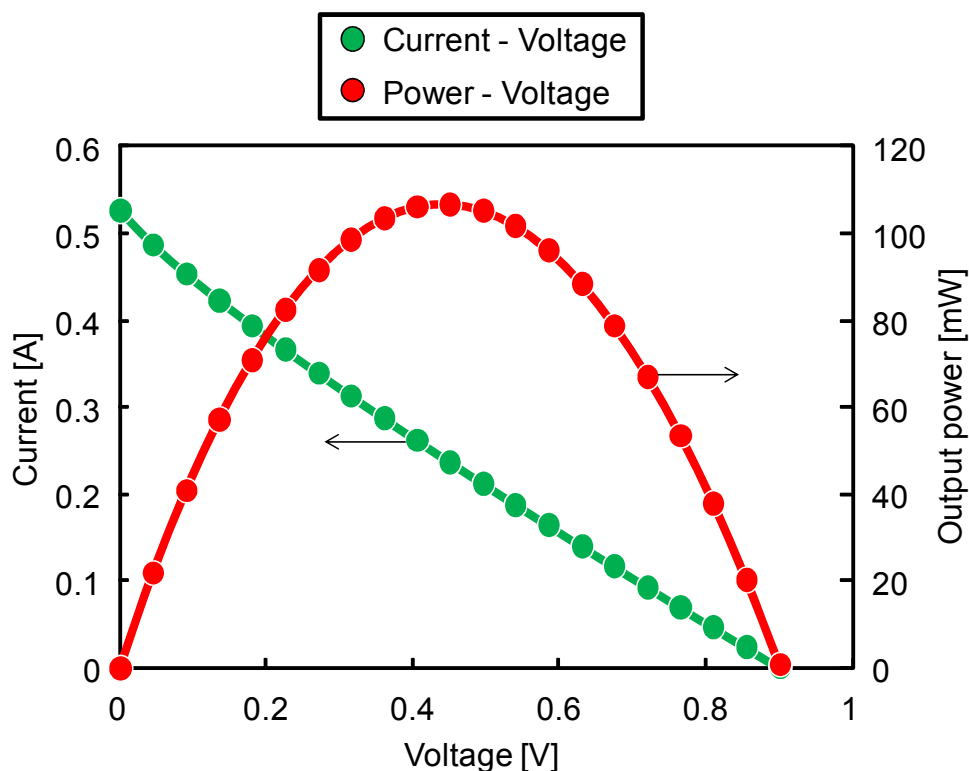


Fig.3.4 Electric property of Seebeck module

以下の図 3.5 に、実験中測定した水温の温度表示画面を示す。図中 1 列目の水色表示の温度は水冷器の冷却水温，2 列目の赤色表示が冷却なしの水温，3 列目の緑色表示がペルチェ素子で冷却した水温を示している。



Fig.3.5 Experimental result - water temperature

図 3.4 より、用いたゼーベック素子が約 110mW の最大出力を示した。また、図 3.5 より、冷却していない水の温度に比べ、ペルチェ素子で冷却した水の温度は約 5°C 低下した。しかし、3.1 節の図 3.2 では、ペルチェ素子への約 110mW の入力で約 2°C 水温が低下するという結果を示しており、5°C の水温低下は見込めない。また、表 3.2 より実験日の気温は約 12.8°C なので、図 3.5 中に赤色で表示されている冷却なしの水温 25.1°C という値は、実際的水温より高い値を示していると考えられる。よって、これら 2 つの水温を比較することは妥当ではない。

ここで、図 3.5 中の水色表示の冷却水温と緑色表示のペルチェ素子で冷却した水温を比較すると、ペルチェ素子で冷却した水温は冷却水温より 0.3°C 低い値を示した。これは、冷却される水の熱がペルチェ素子を介して水冷器へ移動したためである。また、実験日が冬季であり日中の全天日射量が低いことを考慮すると、日中の全天日射量が高い値をとる夏季において同様の実験を行えば、さらなる水温の低下が見込まれるだろう。

4 まとめ

本実験では、温度差により電位差が生じるゼーベック素子と、電流を流すことによって温度差が生じるペルチェ素子の両熱電素子を用いて、太陽光の熱から冷水を製造する実験を行った。

性能確認の基礎実験では、ペルチェ素子・ゼーベック素子の基本性能を調査し、10mlの水の冷却、ペルチェ素子に inputs ゼーベック素子の出力を確認した。太陽光を用いた冷水製造実験では、ゼーベック素子による約 110mW の出力でペルチェ素子に温度差を設け、ペルチェ素子で冷却した水の温度を、冷却水の水温より 0.3℃冷却できた。

参考資料

- (1) 気象庁ホームページ, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

謝辞

本実験は株式会社八光電機熱の実験コンテストにおいて助成を賜りました。助成金は実験器具の購入に充てさせていただきました。このような実験の機会を提供して頂いた八光電機製作所に深く御礼申し上げます。

また、本実験の遂行にあたり、適切な御指導、御鞭撻を賜りました本学教授 山根浩二先生、本学准教授 河崎澄先生、本学助教 近藤千尋先生に感謝の意を表し、ここに厚く御礼申し上げます。