

熱電発電における電圧の安定性

石川県立金沢泉丘高等学校理数科2年
2班 池田 慎太郎、磯田 大河、岡谷 怜皇、平岡 智泰、村田 康介

研究要旨

我々は、災害時における安定した電力を確保するための方法として熱電発電を用いることを想定した。熱電発電とは、異なる2つの金属または半導体に温度差を設けると電圧が発生するというゼーベック効果を用いた発電方法である。今回の研究では温度差、ペルチェ素子の個数と電圧の間の関係を調べることによって電圧の安定化のための条件を調べることにした。実験の結果、ゼーベック効果を表す式から電圧の値には温度依存性、また素子には表裏があり素子数が多いほど大きな電圧が測定され、加熱時間が長いほど大きな電圧が測定されることがわかった。

1.研究背景

近年日本では、災害が頻繁に発生している。地震や台風などの災害には停電がつきものであり、電力の重要性は年々増している。現在災害時に主に利用される電源は、ガソリンを使う家庭用発電機や充電式のポータブル電源である。しかし、発電機は騒音が大きい・燃料の取り扱いが面倒という欠点や、ポータブル電源は蓄電量に限りがあり、長時間使えないという欠点がある。そこで私たちは、比較的小規模で静かに発電できるという特徴を持つ熱電発電に注目し、研究を行っている。

2.先行研究

株式会社レック制御は、熱電発電による発電装置の試作機の開発とその効果を検証した。そこで、ゼーベック効果の発電効率の低さを火を使うことで改善しようと試みた。「ゴミを燃やすついでに発電」をモットーにペルチェ素子、金属容器、蓄電池等を用いて発電装置を作成した。木炭を燃やして熱源とし、氷水を用いてペルチェ素子に温度差を与えて電圧を発生させてバッテリーを充電した。結果、試作機では定格40Wの蛍光灯を点灯させることに成功している。³⁾

3.本研究で明らかにしたいこと

熱電発電を実際に利用する上で重要な点の1つは発生する電圧がどのような状況で安定して生み出せるかということだ。そこで本研究で明らかにしたいことは、素子の個数や温度差を変え、それに伴い電圧の安定性がどのように変化するかということである。

4.実験方法と仮説

・ゼーベック効果について

ゼーベック効果は、異なる金属や半導体に、温度差を設けると電圧が発生する現象である。これは、温度によって、電子の移動度も違うということが原因でおこることが知られている。

・ゼーベック係数について

ゼーベック効果では与えた温度差 ΔT に対して電圧 ΔV が生じるが、これについて、ゼーベック係数 S は、 $S = \Delta V / \Delta T$ で表される係数である。ゼーベック係数 α の理論値は、ボルツマン定数 k 、電子の電荷 e 、定数 A 、価電子帯の有効状態密度 N 、キャリア密度 c を用いて $\alpha = \frac{k}{e} \{ \log(\frac{N}{c}) + A \}$ と表すことができる。³⁾ここで、価電子帯の有効状態密度 N は、温度の³/₂乗に比例し、⁴⁾キャリア濃度 c は、温度の増加に対し増大する。

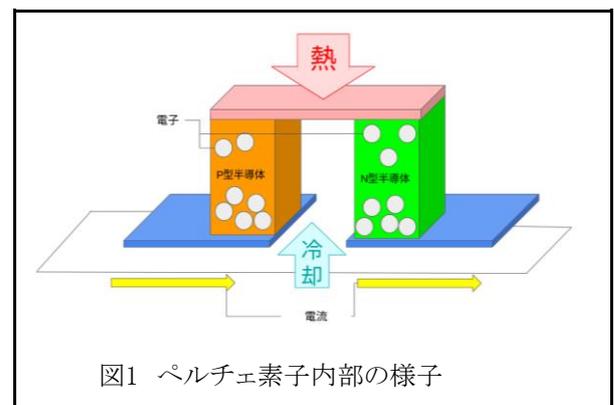


図1 ペルチェ素子内部の様子

《実験1》

<実験器具>

ペルチェ素子(8.2Aタイプ40×40mm TEC-12708)
1個、ホットプレート1台、氷、温度計2本、
デジタルマルチメーター1台、ストップウォッチ1個、
銅製の容器、導線

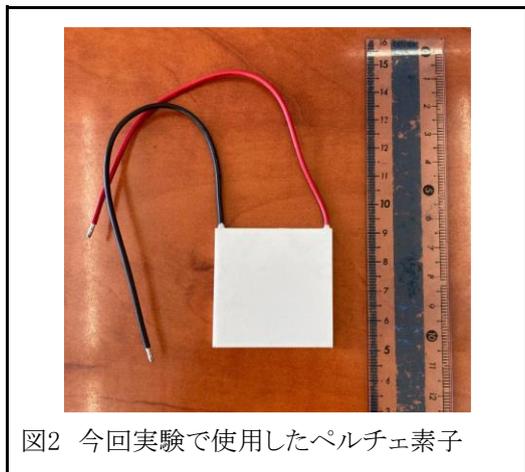


図2 今回実験で使用したペルチェ素子

<使用施設や場所>

生物実験室

<ねらい>

温度差を徐々に変化させ、温度差による電圧の変化と同じ温度差のときの電圧の値について調べる。

<実験手順>

1. ホットプレートの温度を設定。
2. ペルチェ素子をホットプレートの上にセットし、その上に氷水を入れたビーカーを置く。
3. 発電装置とデジタルマルチメーター、銅線をつなげて回路を作る。
4. 加熱した時間、氷水(低温部)・ホットプレート(高温部)の温度、電圧を計測し、記録する。

<仮説>

同じ温度差の場合、発生する電圧の値は同じになる。また、時間経過とともに発生する電圧の大きさは大きくなる。

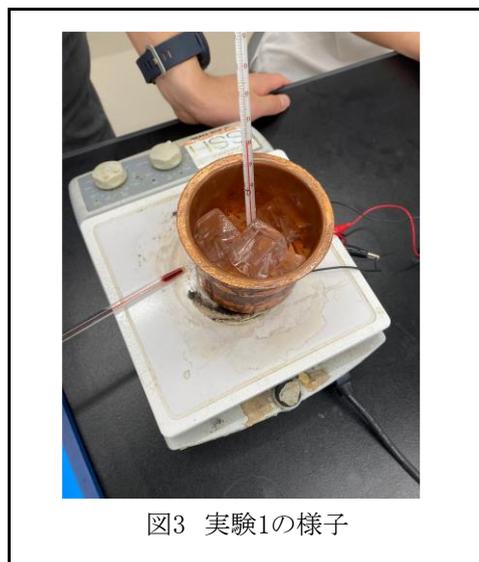


図3 実験1の様子

《実験2》

<実験器具>

ペルチェ素子(8.2Aタイプ40×40mmTEC-12708)
4個、恒温器1台、氷、温度計1本、デジタルマルチメーター1台、ストップウォッチ1個、銅製の容器、導線、
銅板1枚(100mm×100mm)

<使用施設や場所>

生物実験室

<ねらい>

今後、熱電発電を実用化するにあたって、素子数と電圧の変化を調べる。

<実験手順>

1. 恒温器に水を張り、水温を70℃に設定する。
2. 恒温器の中の水温が70℃で安定した後、恒温器に張った水の上にアルミホイルと銅板を敷き、その上にペルチェ素子(1～4個)を置く。
3. ペルチェ素子の上から、銅製の容器に入れた氷で直接冷やすと同時に、計測を開始する。
4. 10分間、15秒ごとに、氷水(低温部)、恒温器の水(高温部)の温度、電圧を計測する。

<仮説>

素子数と電圧が比例関係をもって変化する。

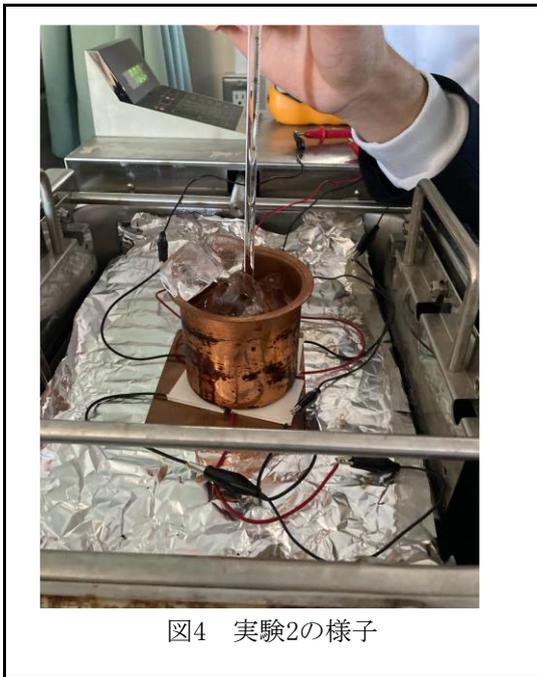


図4 実験2の様子

《実験3》

< 実験器具 >

ペルチェ素子(8.2Aタイプ40×40mmTEC-12708)

< 使用施設や場所 >

生物実験室

< ねらい >

素子を加熱後、長時間放置した後に、電圧を測定すると加熱開始直後よりも大きな電圧が測定されることがこれまでの実験から予測される。そこで、加熱開始直後と加熱開始30分後において測定される電圧がどう変化するのか調べる。

< 実験手順 >

1. 恒温器に水を張り、水温を70℃に設定する。
2. 恒温器の中の水温が70℃で安定した後、恒温器に張った水の上にアルミホイルと銅板を敷き、その上にペルチェ素子4個を置く。
3. ペルチェ素子の上から、銅製の容器に入れた氷で直接冷やすと同時に、計測開始。
4. 加熱開始30分後に再び計測開始。
5. 3.、4.それぞれ10分間、15秒ごとに、氷水(低温部)、恒温器の水(高温部)の温度、電圧を計測する。

< 仮説 >

加熱開始直後よりも加熱開始30分後の方が、大きな電圧が測定される。

5. 実験結果

《実験1の結果》

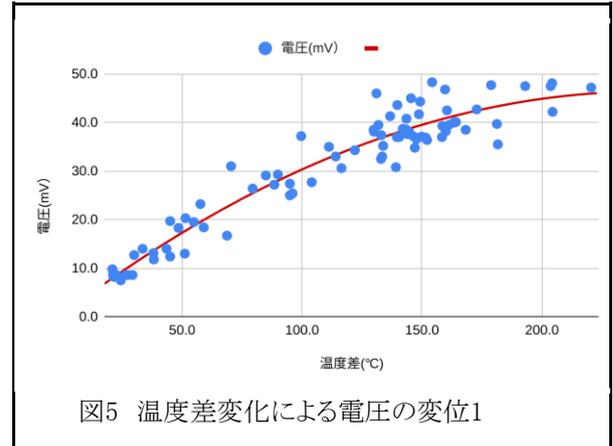


図5 温度差変化による電圧の変位1

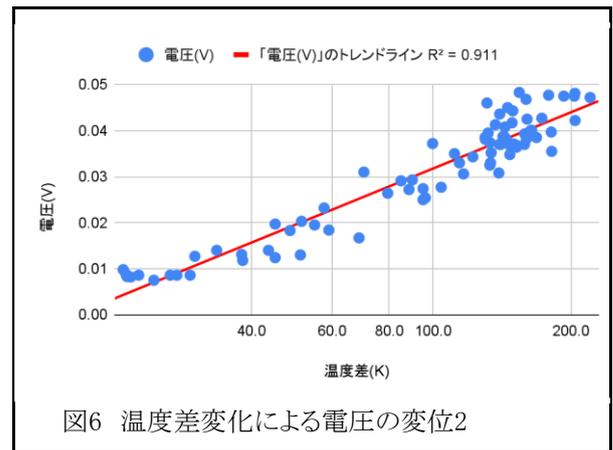


図6 温度差変化による電圧の変位2

図5は、温度差の変化による電圧の変化を表している。図5は、横軸に温度差の線形軸、縦軸に電圧の線形軸をとっている。また図6は、横軸に温度差の対数軸、縦軸に電圧の線形軸をとっている。これらの図から、温度差が大きくなるほど電圧が大きくなることがわかる。また、同じ温度差でも電圧に差があることがわかる。

《実験2の結果》

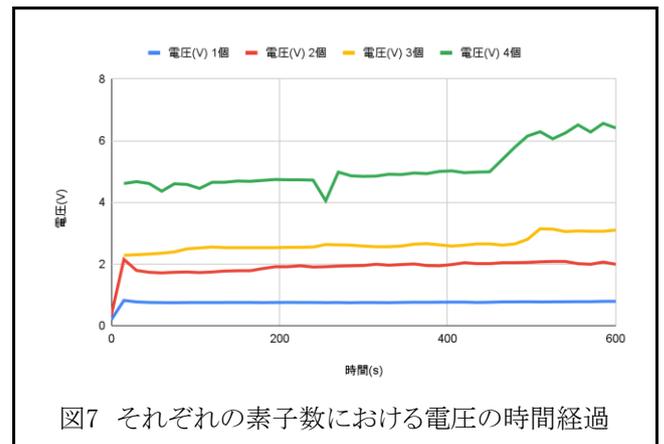


図7 それぞれの素子数における電圧の時間経過

図7はそれぞれの素子数における電圧の時間経過における推移を表している。素子数が1個から4個になるにつれて、時間経過とともに電圧の変動がより大きくなっている。また、素子数が1個増えるとおおよそ1Vの電圧が更に発生しているが、素子数4個の際には、更に大きな電圧が発生している。

《実験3の結果》

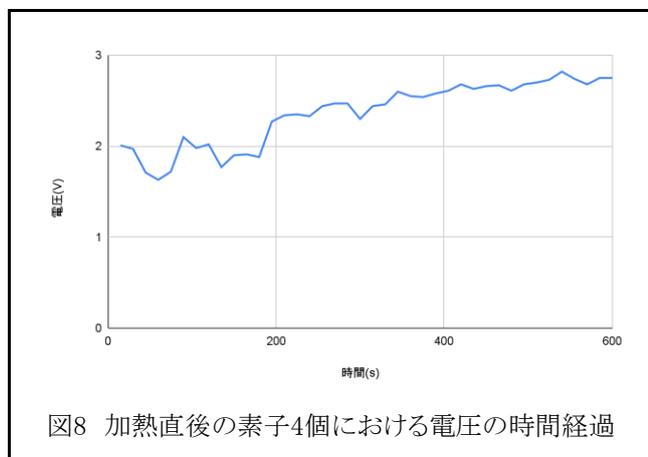


図8 加熱直後の素子4個における電圧の時間経過

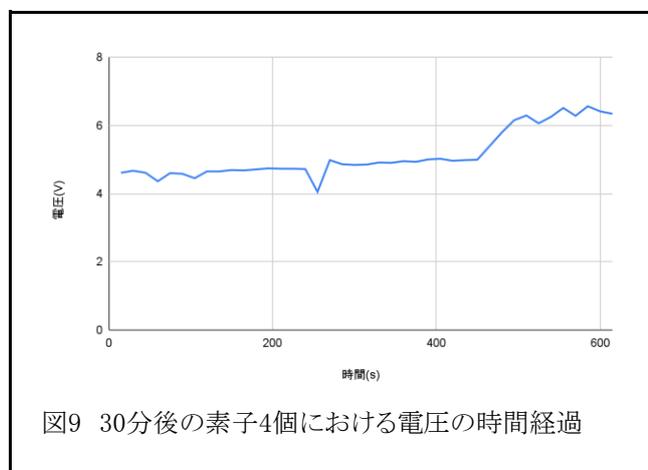


図9 30分後の素子4個における電圧の時間経過

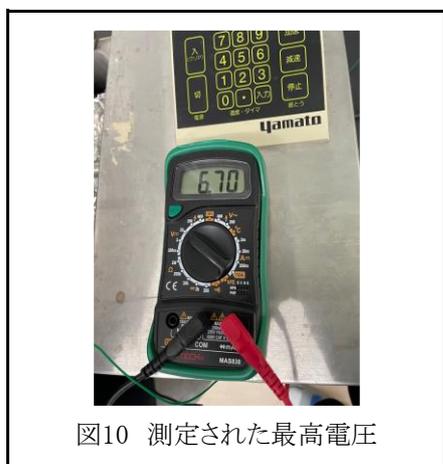


図10 測定された最高電圧

図8は、ペルチェ素子の加熱開始直後、図9は、

加熱開始30分後の、素子4個における電圧の時間経過における推移を表している。

加熱開始直後では約2~3V、加熱開始30分後では約4~6Vの電圧が測定された。また、図10のように加熱開始30分後での最高電圧は6.70Vであった。

6.考察

《実験1》

図6のグラフに対して、最も確からしい関係性を持つ関係式を求めるために、最小二乗法を施した。これを行うに当たっては、縦軸に電圧(V)の線形軸、横軸に温度差(°C)の対数軸をとっている。すると、

$V = 0.040 \log_{10} \Delta T - 0.049$ という直線に近似できるということがわかった。

《実験2》

素子の数が多いほど、電圧の変動が激しい原因については、素子数が多いほど、微小な温度変化で生じた小さな電圧変化が、素子数が多いほど増幅されるからであると考えられる。

《実験3》

加熱開始直後よりも加熱開始30分後の方が測定される電圧が大きい原因については、温度差を与え続けることで素子内部まで熱が伝わり、素子のはたらきが大きくなったのだと考えられる。

7.今後の課題

一般的なスマートフォンのモバイルバッテリーの電圧は約5.0Vであり、私たちは、素子4個でそれを超える電圧を発生させることに成功した。

しかし現時点では、抵抗を繋げていない場合の素子の発生させる電圧(開放電圧)のみ測定してきたため、回路には電圧だけが発生し、電流は流れていない。つまり、電源として利用できる状態ではない。そのため、回路の並列・直列を組み合わせ、抵抗をつなげ、電流を流すことのできる回路を作り、災害時に電源として利用できる形にしていきたい。また、安定して一定の電圧を発生させるために、温度差の与え方を工夫していきたい。最終的には、災害時と同じ条件、環境で実際に発電していきたい。

8.参考文献

- 1)西山 伸・服部 豪夫、「材料の不思議」、
<http://www.bekkoame.ne.jp/~shin/zai/zaifusi.htm/>
2023年2月15日
- 2)名古屋大学、半導体工学、
<http://www.echo.nuee.nagoya-u.ac.jp/~amano/H29/SEMI/LN-13.pdf/>
2023年2月15日

3)株式会社レック制御、「ゼーベック効果」による発電
は可能か？ 発電装置の試作と検証、
<https://www.lec21.com/report-seebeck-effect/> 2022
年5月25日

4)井野 明洋、固体物理学 I 講義ノート、https://home.hiroshima-u.ac.jp/ino/lecture/SSP1note11_ino2017.pdf /2023年3月1日