

空冷型熱電発電システムの設計と制作

システム科学技術学部 知能メカトロニクス学科

1年 小向 美緒

1年 船木 彩名

指導教員 システム科学技術学部 知能メカトロニクス学科

助教 長南 安紀

准教授 山口 博之

1. はじめに

熱電発電とは熱エネルギーを直接電気エネルギーに変換するもので、高温部分と低温部分からなる温度差を利用した発電方法である。したがって、温度差さえ存在すれば場所を問わず発電が可能で動力部を持たないためメンテナンス性に優れている特徴をもつ。熱電発電システムの中で、本研究で製作した空冷型熱電発電システムは大気との温度と温水の温度差を利用した発電方法である。そのため大気と温水、そして発電機器があれば発電が可能という特徴を持つ。水冷型の熱電発電システムに比べると冷却能力が低いため発電量は劣るものの、温水と発電機器のみを用意すれば使える点と、近年IoTデバイス等を系統電源が届かない箇所で作動させる需要が出てきたことから、身の周りにあるエネルギーを発電に利用しようという動きが出るようになった。このように身の周りにある未使用エネルギーを収穫して電力として利用することをエネルギーハーベスティングと呼ぶ。

2. 目的

私たちはこの自主研究を通して、発電のメカニズムやエネルギーハーベスティングの考え方について学習したいと考えた。過去の自主研究で空冷型の熱電発電についての研究があったことを知り、自分たちで空冷型熱電発電システムを設計・制作、また発電量の測定をして過去の研究のものと発電量を比較することでそれらについての理解を深めていくことに決めた。熱電発電システムの設計では温泉がある場所での使用を想定して熱電発電システムの高温部の熱源として温水を採用し、低温部の熱源には大気を想定した空冷型熱電発電システムを採用した。空冷型熱電発電システムは低温部に冷水を使用する水冷型の熱電発電と比較すると空気は低温部としては熱容量が小さいため、低温部の冷却機能を上げるために冷却に使用するヒートシンクの表面積をできるだけ大きくするような検討を行った。また性能評価では、温度差を変化させることで発電量にどのように影響するかを調べるため、空気の温度は一定にし、温水の温度のみを変化させて発電量に関して測定を行った。

3. 研究内容

3.1.1 熱電発電システム作製

まず、3DCAD で装置の設計を行った。空気に触れる表面積を増やすため、使用するヒートシンクを図1(a)のような2019年度に使用された物から図1(b)のように変更した。図1(b)のヒートシンクにはヒートパイプが使われていて表面積が大幅に増えていることが分かる。また発電量を上げるため高温部分に付ける熱電発電素子を2019年の6個から8個に変更した。図2は3DCADによる設計図で、紫部分が温水を流す高温部になり、図2(a)に示すように高温部分の上下に発電素子を4個ずつ合計8個取り付けした。低温部は発電素子を直接ヒートシンクに取り付けると計4~6個しか取り付けられないため左右に伸ばす形で平型のヒートパイプを用いることで、ヒートシンクの数も12個にまで増やして取り付けられるようにした。これにより空冷部分の表面積をさらに大きくすることができた。ヒートシンクの固定にはコの字型のアルミ製の棒を使用し図2(b)のように取り付けした。図3には完成した装置の写真を示す。

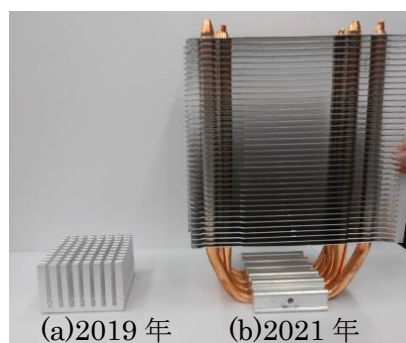


図1 ヒートシンクの比較

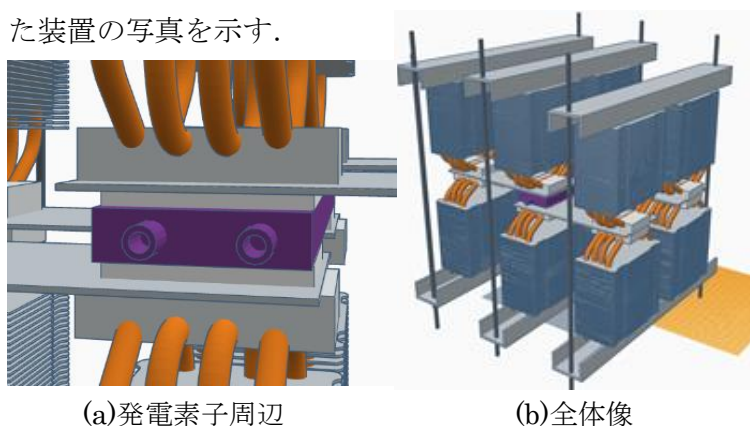


図2 3DCADでの設計図

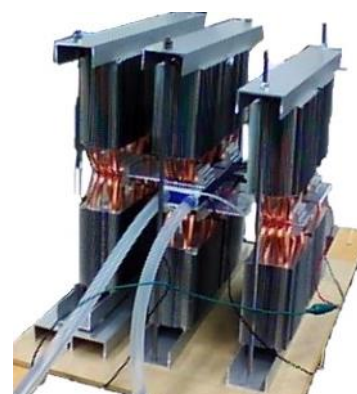


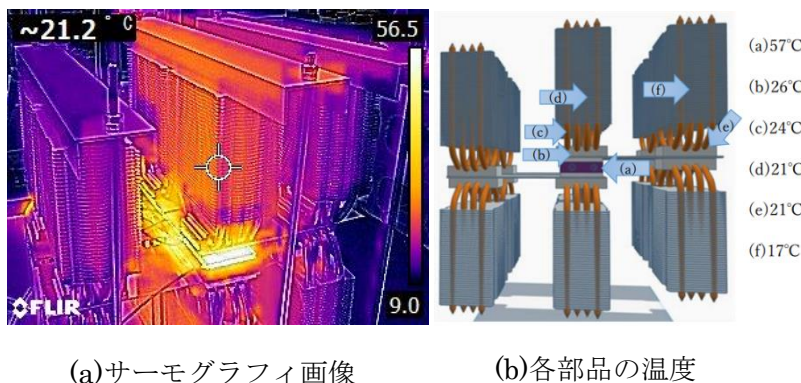
図3 実際に作られた装置

3.1.2 熱電発電システムの性能調査

性能の測定では、低温部には室温(10.1℃、無風)、高温部には温水を利用した。温水の温度は20℃から60℃まで5℃ずつ変化させた。まず短絡電流と開放電圧の値を各温度で測定した。測定は温水の温度が一定になってから10分保持後、記録した。次に低温部には室温(10.1℃、無風)、高温部は温水(60℃)の条件で抵抗を繋げ、抵抗の値を変化させて測定を行った。

図4に水温60℃の時のサーモグラフィ画像とその時の各部品の温度を示す。図4(b)は温度が高い順にアルファベットをつけている。温水を流している中心の部分(a)が最も高い57℃になっており、温水を流す部分(図2の紫部分)の上に設置している空冷

のヒートシンクのアルミ板(b)が次に高い温度である 26°Cになっていた. そしてそれと繋がっている棒状ヒートパイプ(c)が 24°Cでその先にあるアルミの薄板(d)で 21°Cという結果となった.このことから高温部



(a)サーモグラフィ画像

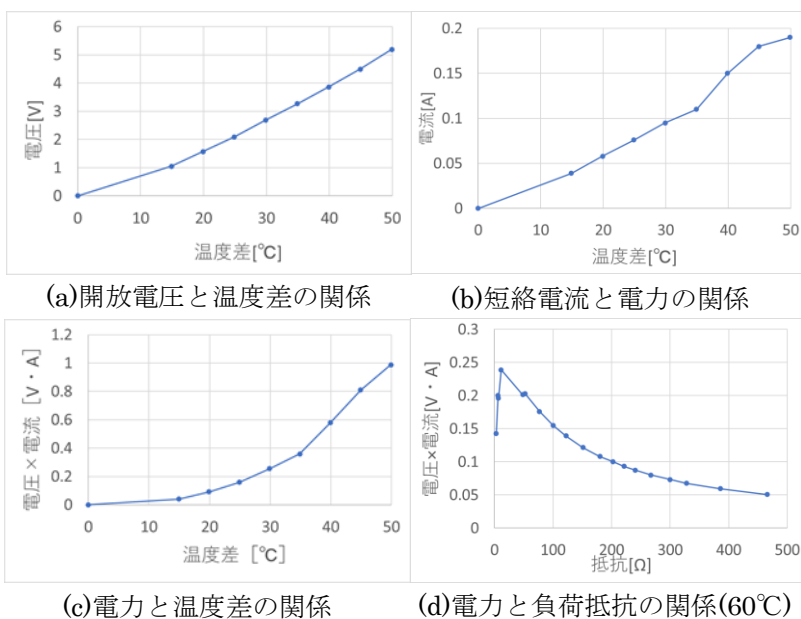
(b)各部品の温度

図4 水温 60°Cの温度分布

の(a)から冷却部の(d)に向かって熱が移動していることがわかる. また平型ヒートパイプにより左右に設置したヒートシンクにも熱が伝わっており左右に設置したヒートシンクのアルミ板部分(e)で 21°C、ここから棒状ヒートパイプを通じて繋がっているアルミ薄板(f)で 17°Cだった. ヒートパイプを取り付けたことで(a)から(e), (e)から(f)に向かっても熱が移動していることがわかる. このことから, 当初の目的通り平型ヒートパイプを(a)から左右に伸ばす形で 取り付け, ヒートシンクをその先に取り付けたことは冷却機能を上げることに繋がっていることがわかった.

本研究よりさらに空冷機能を上げるには, 温水を通す部分の次に温度が高い, その上下に設置しているヒートシンクにさらに空冷ヒートシンクをつけることや, より冷却機能の高い空冷ヒートシンクをつけることなどが考えられる. また実際に実験して, 固定のために使用したアルミの棒がヒートシンクとして機能していたことがわかった. このことから, 固定する素材にも熱伝導率が高いものを使うことで冷却機能を上げることができると考えられる.

各測定結果を図 5 に示す. 水温を 20°Cから 60°Cまで上げた結果, 電圧は 5.2V, 電流は 0.19A, 電力は 0.988W まで上がるという結果となった. 図 5-a,b のグラフからは温度差と開放電圧, 温度差と短絡電流にはおおむね比例の関係があることがわかった. 図 5-d の測定結果からは, 電力は負荷抵抗値を上げていくと



(c)電力と温度差の関係

(d)電力と負荷抵抗の関係(60°C)

図5 各測定結果

上がり、負荷抵抗値が 11.5Ω の時に最大となり、それ以降は下がったことがわかった。

3.1.3 2019年の装置との性能比較

2019年の自主研究との比較は図6のようになった。ヒートシンク12個、ヒートシンク6個の線が2019年のものだ。熱電発電素子の数が2019年のものは6個、私たちのもの(2021年)では8個と異なったため、素子一つ当たりのグラフにしている。図5のグラフから電流、電圧、仕事のすべてにおいて2019年のものよりも結果が上回っている。よって、2021年の装置の方が効率が良いことが分かる。これは空冷の性能を向上させるために、ヒートシンクの形状をヒートパイプを用いた空冷部分の表面積が2019年度の装置よりも大きい物を使用した事がこの結果につながったのではないかと考えた。この結果から、冷却部分の表面積を増やす事は装置の性能を向上させる事において重要であるということが分かった。

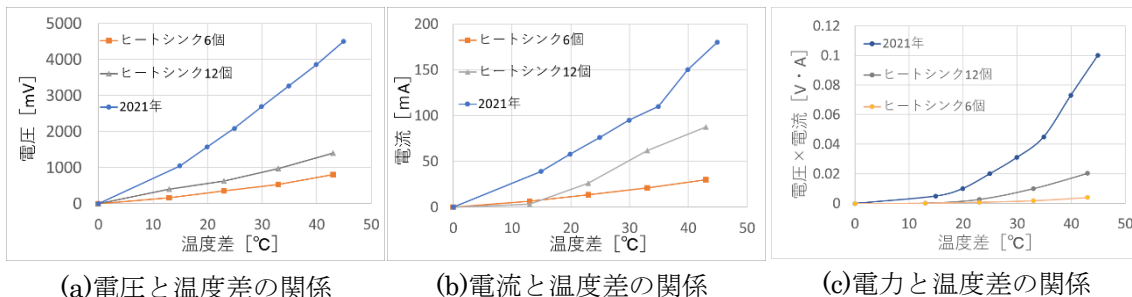


図6 素子一つ当たりの各測定結果と2019年のデータの比較

今回、私たちが作った空冷型熱電発電システムは 60°C で 0.988W と 1W に満たなかった。しかしエネルギーハーベスティングという考え方のもとでは、化石燃料に代替できるような大きい電力を作ることではなく身の周りにある未使用のエネルギーを小さな電力に変換し、電池不要・メンテナンスフリーで使うことが求められる。そのため空冷型熱電発電システムの発電効率を2019年のものより上げることに成功し、温泉の熱という未使用エネルギーを可能な限り使用することに近づけたことは良かったと考えている。今回想定した温泉の熱だけでなく、自動車や工場での廃熱などの多くの熱エネルギーが利用されずにいる。また熱以外にもそういった未使用エネルギーがある。そのエネルギーを電気エネルギーへ変換し独立電源として電池と代替していくことができれば電池を替えるための人件費の削減や電池の使用の削減ができると思った。技術力が上がったことで少ない電力でも様々なことができるようになったため、未使用エネルギーを発電機器を通して最大限活かすこと、発電効率を上げることはエネルギーハーベスティングの考え方では重要なのではないかと考える。

4. まとめ

本研究では3DCADを用いて自分で設計したことで、制作した発電機の仕組みについてより深く理解することができた。また他にも今回の研究ではエネルギーハーベスティングなどの考え方についても自分たちで深く考えて学ぶことができた。自分たちの研究が次の世代の研究に貢献できたら嬉しく思う。