

令和6年3月31日

令和5年度 学生自主研究成果報告書

教 育 本 部 長 様

学生自主研究グループ名	秋田温泉発電チーム	
研究課題名	湯沢の温泉水を電気へ ～応用化の検討～	
研究代表者（学生）	学籍番号	B25N005
	氏 名	五十嵐瑛太
指導教員	学 科	知能メカトロニクス学科
	氏 名	長南 安紀

学生自主研究の報告書を別紙のとおり提出します。

湯沢の温泉水を電気へ ～応用化の検討～

システム科学技術学部 知能メカトロニクス学科
1年 五十嵐 瑛太, 1年 江幡 諒, 1年 遠藤 来良, 1年 持主 裕生
システム科学技術学部 経営システム学科
1年 見田 颯斗
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

私たちは温泉水を電気に変える方法として熱電発電を採用した。熱電発電とは温度差を利用して熱を直接電気エネルギーに変換する発電方法のことであり、熱電発電素子の高温部でキャリア電子や正孔が生成されて、低温部に移動するという拡散電流の原理で電気を生み出すことができるシステムだ。本研究では、高温部に温水、低温部に大気を利用する空冷型熱電発電システムを採用した。これにより温水があれば電源が無い場所でも発電することができるため、非常用電源として携帯の充電やLED照明等に活用できる。さらに発電の際に二酸化炭素の排出が無いため低環境負荷な発電方法として期待される。また、熱電発電素子は熱源を選ばないため、温水以外の未利用の熱エネルギーを資源として直接発電することも可能である。このように身の周りのエネルギー(熱, 振動, 電波)を採取し、電気エネルギーを得る技術をエネルギーハーベスティングという。

2. 目的

私たちは、この自主研究を通して熱電発電のメカニズムや再生可能エネルギーを用いたエネルギーハーベスティングの考え方について詳しく学習したいと考えた。また私たちのメンバーは全員が秋田県出身であり、幼い頃から秋田県の自然に触れている。秋田は自然が豊かであり多くの資源があるが、その中で湯沢市にある温泉水に着目した。湯沢市にある豊富な地熱資源を利用し、温泉水と冷たい大気の温度差により電気を生み出す空冷型熱電発電機の製作、改良に努めたいと考えた。この自主研究で、電源がない場所であっても自然を生かして発電が可能であることを明らかにしたい。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には温水を採用し、低温部には冷たい大気を利用した熱電発電システムを採用した。低温部に採用した大気は場所を選ばないため、水冷型の熱電発電機と比べ、温水と発電機さえあれば発電可能である。しかし、デメリットもある。空気は水に比べ熱容量が小さいため、冷却部がすぐに温まってしまう。そこで過去の自主研究グループは欠点を克服するために冷却部の表面積を多くし、また、ヒートシンク間の間隔をあけることで冷却性能を高めることに成功していた。私たちの研究グループは冷却部の表面積を大きくするだけでなく、熱電発電素子や冷却部の部品を増やしてコンパクトにするという「物量」で勝負することに決めた。物量を多くすることにより、冷却性能や発電量の性能に及ぼす影響に関して研究を行った。

3. 研究内容

3-1-1. 2023年度空冷型熱電発電機ver1の製作

最初に、2021年度の研究グループが製作した空冷型熱電発電機の構造を見て、改良できるところがないかディスカッションを行った。2021年度の研究グループが製作した3DCADでの設計図(a)と装

置の写真(b)を図1に示す。高温部では、ホースから流れてきた温水が温水部(紫色の部品)の中を通る。低温部では高温部で発生した熱を空冷ヒートシンク(灰色の部品)で冷却する。これにより、温水部とヒートパイプ及び空冷ヒートシンクの間にある熱電発電素子(白い部品)が温度差により発電するという仕組みだ。2021年度の研究グループは空冷ヒートシンク同士の間隔をあけて空気の対流をより起こしやすくしていた。私たちは、熱電発電素子の数を増やし、空冷ヒートシンク同士を密集させコンパクトにする方針で設計することに決めた。

次に3DCADで装置の設計を行い、2023年度空冷型熱電発電機ver1を作製した。図2(a)は熱電発電素子周辺、(b)は全体像の3DCADでの設計図である。真ん中にある紫色の部品が温水部であり、その両端に付いている部品が熱電発電素子である。図2(c)は全観写真である。2021年度の研究グループの空冷型熱電発電機は空冷ヒートシンクを12個取り付けていたが私たちはヒートシンクの数8個に減らすかわりに、温水部を長くすることで熱電発電素子の数を8個から10個に増やした。

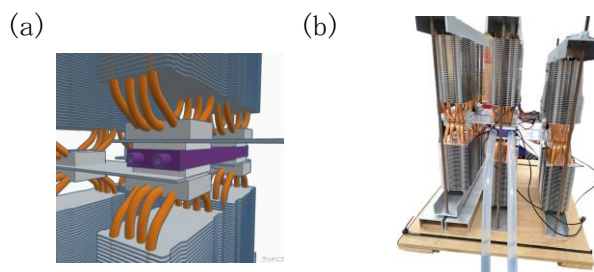


図1 2021年度空冷型熱電発電機

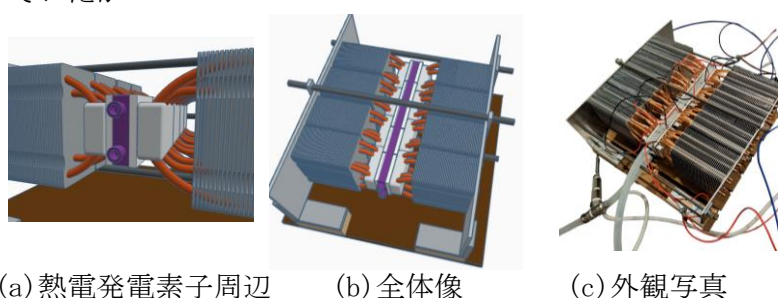


図2 2023年度空冷型熱電発電機 ver1

3-1-2. 2023年度空冷型熱電発電機ver1の性能調査

次に2023年度空冷型熱電発電機ver1の性能調査を行った。熱電発電素子10個を並列(5個×2)につなげ、30℃、40℃、50℃、60℃の順に温水を流し、各々の温度で、温度が安定するまで放置した。性能調査の当日の室温が20℃(無風)であったため、温度差が10℃、20℃、30℃、40℃のときの発電機全体の開放電圧[V]、短絡電流[A]を測定し、電力[V・A]を求めた。測定結果を図3に示す。

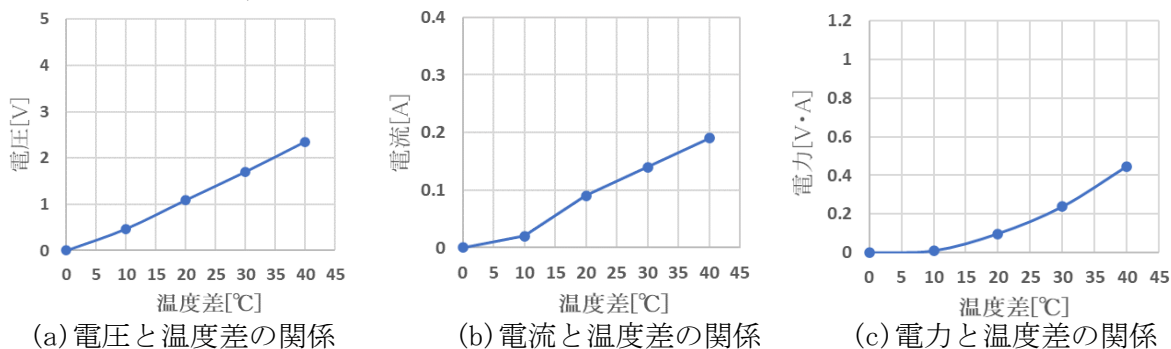


図3 2023年度空冷型熱電発電機 ver1 の性能

計測したグラフより、温度差40℃で最大0.46Wの発電量を示した。

3-2-1. 2023年度空冷型熱電発電機ver2の製作

2023年度空冷型熱電発電機ver1を改良し、2023年度空冷型熱電発電機ver2の設計及び製作を行った。図4(a)は熱電発電素子周辺、(b)は全体像の3DCADでの設計図、(c)は温水を片方に流すタイプ(d)は温水を両方に流すタイプの写真である。

2023年度空冷型熱電発電機ver2では、2023年度空冷型熱電発電機ver1を2段重ねにし、1段目と2段目の冷却部を平型ヒートパイプでつなげ、温水部で発生した熱を隣の空冷ヒートシンクに伝えられるようにした。このことによって、1段目にのみ温水を流した場合、2023年度空冷型熱電発電

機ver1と同じである10個の熱電発電素子が発電し空冷ヒートシンクが増えたことになる。また温水を1段目と2段目の両方に流すことで2023年度空冷発電機ver1の2倍の数である20個の熱電発電素子が発電する。温水を片方に流すタイプと両方に流すタイプで発電量にどのくらいの差があるのか、空冷ヒートシンクを密集させることで冷却機能はどうなるのか、2021年度空冷発電機と比較し発電量を上回ることができるのか、性能調査を行った。

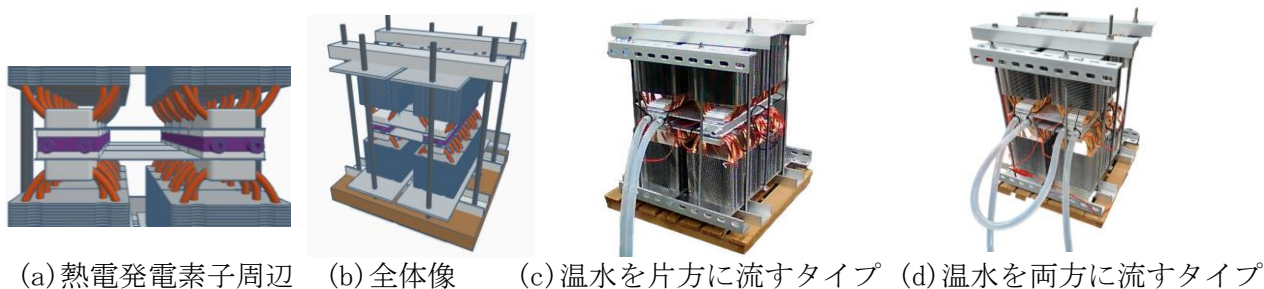


図4 2023年度空冷型熱電発電機 ver2

3-2-2. 2023年度空冷型熱電発電機ver2の性能調査

実験では各発電機の温水部に30℃、40℃、50℃、60℃の温水を流し、各々の温度で、温度が安定するまで放置した。性能調査の当日の室温が15℃(無風)であったため、温度差が15℃、25℃、35℃、45℃のときの(a)2023年度空冷型熱電発電機ver2の温水を片方に流すタイプ(熱電発電素子10個(5個×2)並列)、(b)温水を両方に流すタイプ(熱電発電素子20個(5個×4)並列)、(c)2021年度空冷型熱電発電機(熱電発電素子8個(4個×2)並列)の開放電圧[V]、短絡電流[A]を測定し、電力[V・A]と熱電発電素子1個当たりの発電量[V・A]も求めた。

さらに各部品の実験時の温度分布をサーモグラフィを用いて測定した。

図5に水温60℃のときの2023年度空冷型熱電発電機ver2のサーモグラフィ画像を示す。また、図6に水温60℃のときの熱電発電素子周辺の各部分の温度を示す。図6の(a₁)は温水投入口、(a₂)は温水放出口、(b)は熱電発電素子、(c)は空冷ヒートシンクの接触部、



図5 60℃のときのサーモグラフィ画像

(d)は空冷ヒートシンクのヒートパイプ、(e)は空冷ヒートシンクの放熱フィン部分の温度を各々示している。各部分の測定結果から、どちらも温水投入口と放出口で1℃ほど温度差があった。素子10個のとき、放熱フィン部分の温度

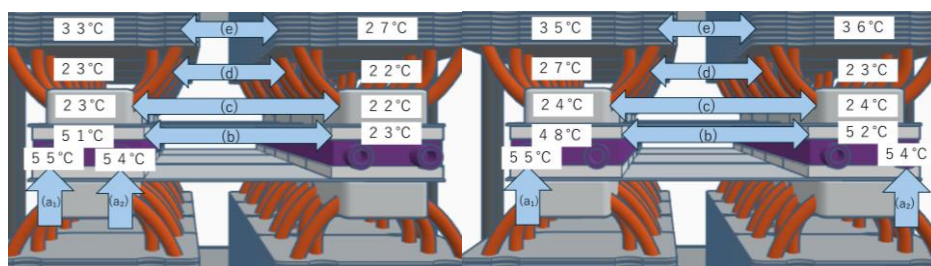


図6 水温60℃のときの熱電発電素子周辺の各部分の温度

が、実験当日の室温が15℃であったのに27℃まで上昇しているということは、温水を流したときに発生した熱が平型ヒートパイプを確実に伝わってきたといえる。また素子20個の場合は両側の空冷ヒートシンクの放熱フィンの温度に差はほとんどなかった。

図7に2021年度空冷型熱電発電機との性能比較を示す。測定結果から、温度差45℃のときの電力量で比較すると、2021年度空冷型熱電発電機は0.92Wに対し、素子10個は0.97W、素子20個は1.16Wと2021年度空冷型熱電発電機の性能を上回った。しかしながら、素子1個あたりの電力を比較する

と、2021年度空冷型熱電発電機は、0.12Wであるのに対し、素子10個の場合は0.10W、素子20個の場合は0.06Wと下回った。このことから2023年度空冷型熱電発電機ver2は、2021年度空冷型熱電発電機よりも個々の熱電発電素子の冷却が不十分であったと考えた。

3-3. 実証実験

本荘キャンパス学部棟 I 風除室の自動販売機の隣で3月14日14時から3月15日14時の間実証実験を行った。図8に実証実験の様子を示す。(a)は温水循環装置、(b)は2023年度空冷型熱電発電機ver1、(c)は2023年度空冷型熱電発電機ver2(素子20個)、(d)はスマホやブレッドボード、ロガーである。2023年度空冷型熱電発電機ver1とver2を合体させて60°Cの温水を流した。大気との温度差を利用して発電し、Android端末への充電を試みた。Android端末を充電するためには5Vの電源が必要であるため、昇圧回路を作製した。さらにロガーを用いて水温60°Cのときの①気温[°C]、②温水投入口の水温[°C]、③温水放出口の水温[°C]を同時に測定した。測定結果を図9に示す。風除室の中で実験を行ったため気温がほぼ一定であり、各水温も温度変化はみられなかった。スマホには充電マークがついており、正常に充電されていることが確認できた。しかし、実験開始直後のスマホの充電量は34%に対し、24時間後充電量は22%と下回ってしまった。スマホに流れる電流量が0.045Aであったため、充電スピードよりもスマホの消費スピードの方が大きかったのではないかと考えた。

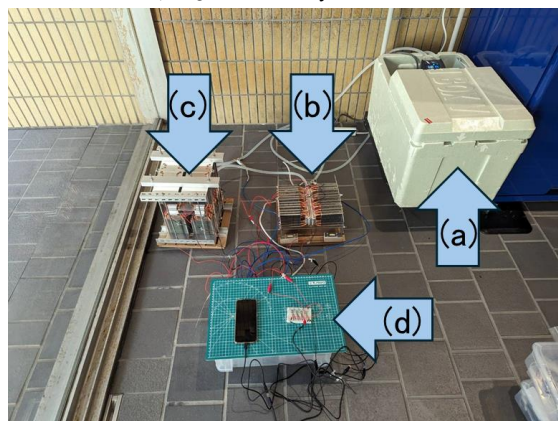


図8 実証実験の様子

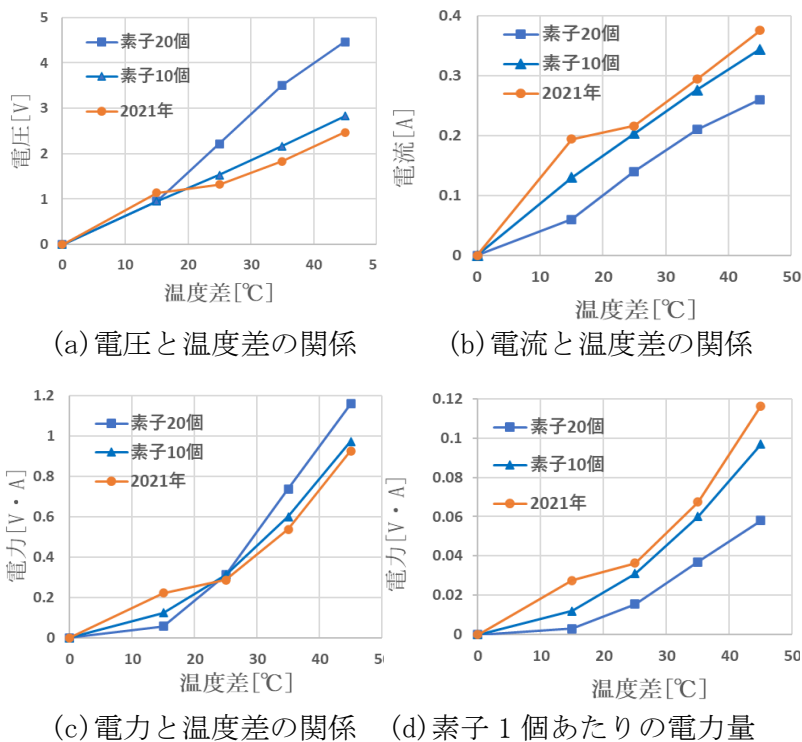


図7 2021年度空冷型熱電発電機との性能比較

を流した。大気との温度差を利用して発電し、Android端末への充電を試みた。Android端末を充電するためには5Vの電源が必要であるため、昇圧回路を作製した。さらにロガーを用いて水温60°Cのときの①気温[°C]、②温水投入口の水温[°C]、③温水放出口の水温[°C]を同時に測定した。測定結果を図9に示す。風除室の中で実験を行ったため気温がほぼ一定であり、各水温も温度変化はみられなかった。スマホには充電マークがついており、正常に充電されていることが確認できた。しかし、実験開始直後のスマホの充電量は34%に対し、24時間後充電量は22%と下回ってしまった。スマホに流れる電流量が0.045Aであったため、充電スピードよりもスマホの消費スピードの方が大きかったのではないかと考えた。

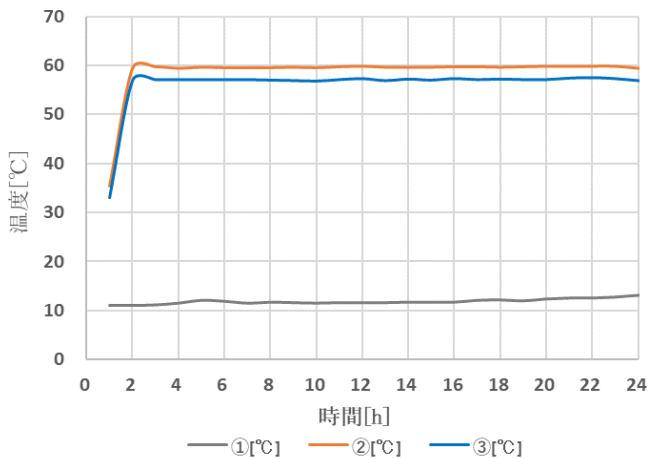


図9 気温と水温の測定結果

4. まとめ

本研究では空冷型熱電発電機の製作・改良を行い、過去の研究グループが製作した発電機の発電量を上回ることができた。また熱電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を深く理解した。これからも自主研究を通して学んだことを活かし、身の回りのエネルギーハーベスティングに積極的に触れていきたい。