

ビスマス・テルル系材料による熱電発電モジュールを 活用した高効率地中熱発電の基礎実験

石川工業高等専門学校 夏梅 愛理

1. はじめに

近年、テレビ番組や新聞などのメディアや広告でSDGs (Sustainable Development Goals: 持続可能な開発目標) という言葉を目にする機会が増えた。今回、SDGsの取り組みの一環として専門性を活かし「環境」と「エネルギー」の両面から課題解決に係る基礎実験を行う。

2. 目的

電力消費量は、夏と冬にピークがある。これを再生可能エネルギー (以下、再エネ) 由来のエネルギーで平均化出来れば温室効果ガス削減だけでなく、発電設備の最適化に繋がると考えた。

「平均化」を実現するため、年を通して一定温度であると言われる地中の熱を使用した発電が魅力的であると考えた。今回、温度差で高効率な発電が可能なビスマス・テルル系熱電発電素子を使い、地中と大気との温度差で発電ができるのではないかと考え取り組むこととした。

3. 現状分析と課題

地中熱とは年を通してほぼ一定であり、その地域の平均気温に等しいと言われている。図1は県庁所在地である金沢市の月ごとの平均気温の推移である。図より年間平均気温が14.6℃あることから地中熱はおよそ年間を通して14.6度に近いことを示している。

次に北陸電力管内における月別消費電力量を図2に示す。

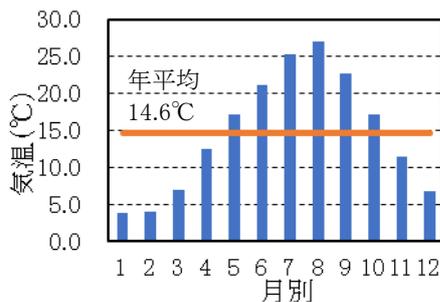


図1 石川県金沢市の月ごとの平均気温

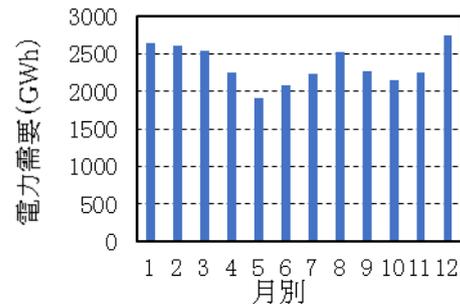


図2 北陸電力管内の月別電力需要

図1、2より、電力需要 (消費電力量) は、「気温が低くなる冬期 (12月頃～2月頃)」と「気温が高くなる夏期 (7月頃～9月頃)」に多くなることが読み取れる。これは、冬期は暖房、夏期は冷房によるもので、言い換えると、年平均気温との差が大きいことに由来する。このことから地中熱と気温の差を用いて、地中熱発電を行えないかと考えた。

4. 研究の概要

今回、熱電モジュールが温度差により発電することを確認後、温度差が与えられる熱交換モジュールの作成を行い、どの程度の発電が可能なのかを定量的に掴むことを目的とした。

表1 研究に使用した機器

・熱電発電モジュール(7.6 mm×7.2 mm)	・空き缶	・データロガー	・ヒートシンク
・CD-ROM(断熱用)	・放射温度計	・熱伝導シート	・ドライヤー
・デジタルハイテスタ	・水中ポンプ	・水、氷水、湯	・熱交換器等

4-1. 研究テーマ1 「どれくらいの温度差で電圧が発生するか」

1) 実験説明

熱電発電モジュールを2種類の温度差を持つ物体で挟み込み、デジタルハイテスタで起電圧を測定する。温度差を得るため、表2に示す3つの空き缶に温度が違う水を入れることで3段階の温度を取り出せるようにした。ここでは、缶Aの中に氷水、缶Bの中に常温の水、缶Cの中には沸騰直後の湯を入れた。図3に実験の様子を示す。

表2 缶の表面温度

物体	表面温度(°C)
缶A	6.2
缶B	26.9
缶C	62.7



図3 実験の様子

2) 結果

表3に缶の表面温度差、表4と図5に発生した電圧を示す。

表3 缶の表面温度の差

温度差(°C)	缶A	缶B	缶C
缶A	0	-20.7	-56.5
缶B	20.7	0	-35.8
缶C	56.5	35.8	0

表4 発生した電圧

電圧(V)	缶A	缶B	缶C
缶A	×	0.22	0.75
缶B	0.22	×	0.42
缶C	0.75	0.42	×

3) 結果より

表4より、最も温度差が大きい缶Aと缶Cにて大きな電圧が発生していることが読み取れる。それら図にした図4より、概ね正比例の関係であることが読み取れる。線形近似すると10°Cの温度差で0.743Vの電圧ができることが分かる。

ここでは熱電発電モジュールの出力側に負荷(抵抗)を繋いでいないため、発電電圧のみを測定しているが、発電電圧と発電電力

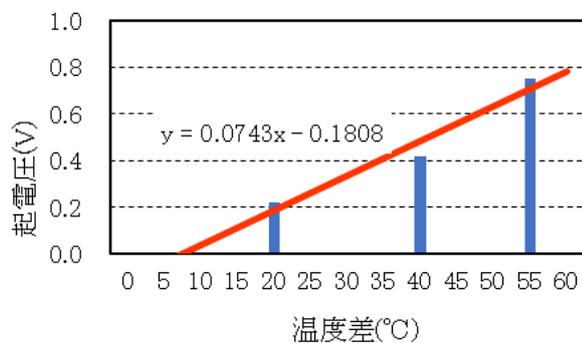


図4 温度差と発生した電圧の関係

はほぼ等価な傾向であると想定すると、温度差と発電電力は概ね正比例の関係にあると考えられる。つまり温度差が大きければ大きいほど多くの電力を取り出せることを示唆している。

4-2. 研究テーマ2 「熱交換モジュールを用い、地中熱-外気の温度差で発電するか」

1) 実験説明

自作した熱電発電モジュール(図5)を使用することで、地中熱-外気間の温度差で発電出来るかを調べる。この熱交換モジュールの構造は、図6の様になっている。



図5 作成した熱交換モジュール

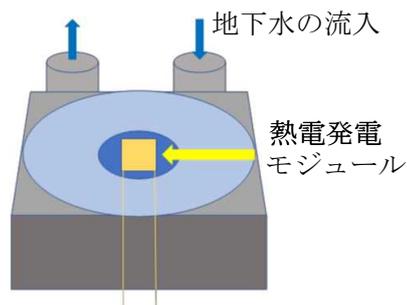


図6 熱交換モジュールの内部構成

作成した熱交換モジュールは、井水を流すことが出来る熱交換器の上に熱電発電モジュールを貼り付け、外気温を効率よく取り込むためにヒートシンクを熱電モジュールの上部にかぶせた。この際、熱交換器とヒートシンクの間で熱流動が起きないように、断熱のため CD-ROM を正方形に加工したものを間に挟んだ。この熱交換モジュールに地中熱である井水を流し、外気に触れさせることで電力を取り出す。実験回路を図7に示す。今回は発電電圧だけでなく、発生する電力を計測するため 110Ω $1/2W$ (実測値= 110.8Ω)の抵抗を挿入した。

2) 結果

実験は図8に示す環境で行った。外気温 28.1°C 、井水温 19.7°C 、ヒートシンク温度 24.7°C 、ヒートシンク温度と水温の温度差は 5.0°C の状態での発電電圧は 28.6mV となり、瞬間発電電力 $7.36\mu\text{W}$ であった。

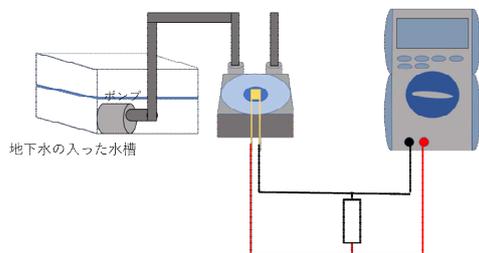


図7 実験で使用した回路



図8 実験の様子

[実験時の状況]

日時:2021年8月28日15時30分頃 天気:曇り 外気温: 28.1°C 前後 井水温: 19.7°C 前後

地中熱(井水)－大気の温度差が、5℃程度では、発電電力としては7μW(7.6mm×7.2mm)ととても少ない数値であることが分かった。

4-3. 追加実験「温度差によりどこまで発電電力を伸ばすことができるか」

今回、7.6mm×7.2mmの熱電発電モジュールを使用した、これを1000mm×1000mmの熱電発電モジュールを使用したとしても、わずか6.52mWの発電電力となる。この値は、快晴時のソーラーパネル1000mm×1000mmの発電電力が151761mWであることから極めて少ない発電電力であることが分かる。続いて温度差を上げることによりどこまで発電電力を伸ばすことができるかを実験してみる。

1) 追加実験要領

製作した実験器具にドライヤーを使用して、およそ150℃とおよそ70℃までヒートシンクを熱して発電電力を測定する。



図9 ドライヤーによる加熱状況

2) 追加実験結果

図9に示すようにヒートシンク部をドライヤーにて直接加熱した。

①70℃まで熱した場合

外気温 27.6℃、井水温 19.5℃、ヒートシンク温度 70.0℃、ヒートシンク温度と井水温の温度差は50.5℃の状態での電圧は0.348Vとなり、求められる瞬間発電電力は1.093mWとなった。(図10参照)

②150℃まで熱した場合

外気温 27.2℃、井水温度 19.6℃、ヒートシンク温度 150.6℃、ヒートシンク温度と井水温の温度差は131.0℃の状態では発電電圧が0.745Vとなり、瞬間発電電力5.00mWとなった。(図11参照)

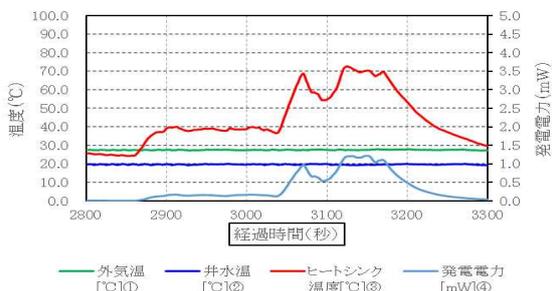


図10 70℃まで熱した場合の発電電力

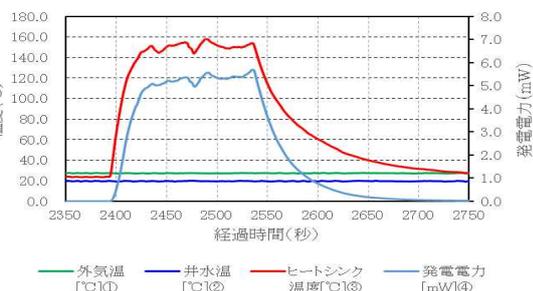


図11 150℃まで熱した場合の発電電力

3) 考察

70℃まで熱した場合の1000mm×1000mmの発電モジュールを使用したとすると20.0Wの発電量となり、150℃で熱した場合、1000mm×1000mmの発電モジュールを使用したとすると91.5Wの

発電量となる。図12は取得した発電能力の温度差特性である。加熱時と自然冷却時の傾きの差は面加熱と帯熱の差であると考えられる。図から温度差と電力には概ね比例関係にある。この実験からビスマス・テルル系熱電発電モジュールから太陽光発電パネル並みの単位発電電力を出すにはヒートシンク温度と井水温の温度差がおよそ 450℃の環境で発電する必要があることが分かった。

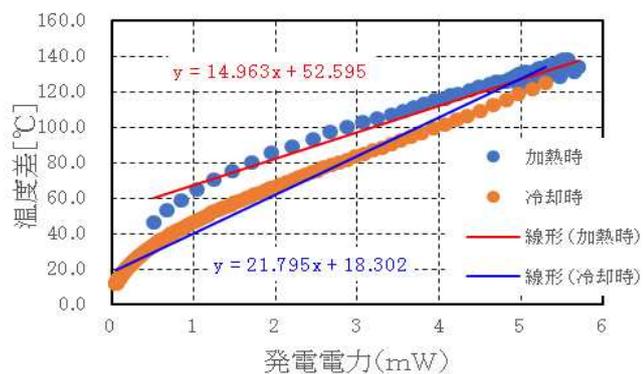


図12 加熱・冷却(放置)ごとの特性

6. おわりに

大気と地熱の温度差では十分な発電電力を取り出すことが出来なかったが、高い温度であれば実用的な発電が出来る可能を示すことが出来た。今回は、自作した熱交換器を用いたが、温度差をより効率良く取り出す機構とすることでより高効率な発電が可能になると思われる。

地中熱は積極的に活用されるべきではあるが、設備導入(鑿井費用等)に係る初期コストが高く設備費用の回収期間が長いこともあり、現状では、地中熱の利用(空調、あるいは発電)を展開するには難しい状況である。一方で、大型の建物である“鈴廣かまぼこ株式会社 鈴廣かまぼこ恵水工場”や“イケア・ジャパン株式会社 IKEA 長久手”では、地中熱は空調用熱源として積極的に使用されている。まだ課題が多いとは言え、これらを解決してゆくことが未来の技術者として私達に課せられた使命であると考えている。

謝辞

本研究にご助言を賜りました電気工学科矢吹先生に心より御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 経済産業省 資源エネルギー庁 <https://www.enecho.meti.go.jp/>
- [2] 気温と雨量の統計 <https://weather.time-j.net/Climate/Chart/kanazawa>
- [3] 未来へ、めぐらせる。北陸電力送配電
http://www.rikuden.co.jp/nw_jyukyudata/area_jisseki.html
- [4] 地中熱ヒートポンプの仕組みと特徴、導入の現状
<http://www.ngeoh.jp/document/files/20140820-2.pdf>
- [5] “つながる ひろがる”環境情報メディア 環境展望台 <https://tenbou.nies.go.jp/>
- [6] YAHOO! JAPAN 不動産
<https://realestate.yahoo.co.jp/knowledge/chiebukuro/detail/11120546146/>