

Short Report

エネルギーハーベスティング技術による熱電発電システムの実用化の研究

長南安紀¹, 山口博之¹, 柴田努²¹ 秋田県立大学システム科学技術学部知能メカトロニクス学科² 株式会社ロイヤルパーツ

熱電材料は、現在捨てられている廃熱から直接発電することによって省エネルギーや独立電源としての利用が可能であり、温度勾配は自然や人工物の至るところに存在することから、近年、エネルギーハーベスティングの発電の候補として熱電発電が注目を集めている。エネルギーハーベスティングに用いられる熱電材料の温度領域は 200℃以下であるが、その領域は大気に捨てられている廃熱の 80%以上を占めている。本研究では、熱電発電システムの設計・制作を行い 温度差 50℃で最大約 6.7W の出力を得た。次にその熱電発電システムを用いた実用化への検証実験として、湯沢市にある小安峡温泉駐車場の足湯での LED 照明の設置を行った。さらに温泉熱を暖房に用いているビニールハウスにおいてその熱の一部を LED 照明とした商品作物への LED 補光の検討を行い熱電発電システムの補光による植物の成長の促進を確認した。

キーワード：熱電変換素子，エネルギーハーベスティング，温泉発電

1. はじめに

現在、新しい再生可能エネルギーシステムとして熱電変換による発電が候補の一つとして注目されている。熱電変換とはゼーベック効果を利用し、熱(温度差)を直接電気エネルギーに変換するものであり、熱電変換素子による発電は材料によるエネルギー変換でありモジュールに駆動部分が無い。そのため小型化が容易であり、既存の工場や発電所、焼却炉、自動車の排気ガス等で排出されている大量の廃熱を利用し電気エネルギーとして回収することが可能である点で優れている。そして大気中に捨てられている排熱の温度とその量についての調査が新藤, 中谷, 大石らによって行われておりそれを図 1 に示す。図 1 より排熱温度によって発生源や排熱量は大きく異なり、高温域に比べ低温域 (~150℃) の排熱量は格段に大きく全体の 80%以上である事が分かる。このように 200℃以下の領域では大量の熱が大気中に排出されているにもかかわらず得られる電力がさ

ほど大きくないためこれまで注目されて来なかった。

しかしながら、近年、低温排熱による熱電変換発電が、変電所におけるコージェネレーション発電や、電子デバイスの省電力技術の大幅な向上によって微小なエネルギーを収穫(ハーベスト)して電力に変換するエネルギーハーベスティングとして IoT 端末等における独立・自立電源としての実用化が見え始めたことから注目を集め始めている。

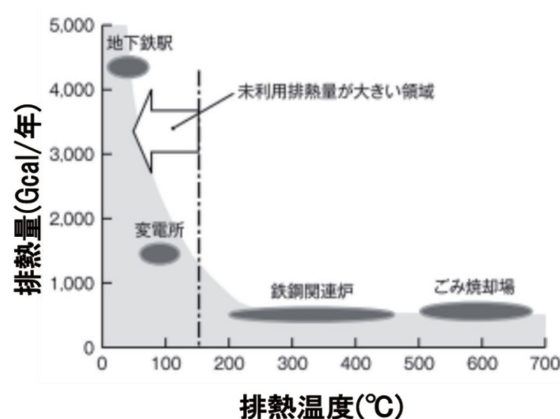


図 1 排熱温度と年間排熱量

低温排熱の種類としては、地下鉄駅や変電所等の産業活動に由来するものの他に地熱や温泉水等の自然に由来する熱源も存在する。日本には火山が多い事から地熱資源が豊富にあり秋田県にある主要な温泉（玉川温泉、小安温泉、黒湯温泉、鶴の湯温泉、川原毛温泉）からなる温泉水のエクセルギーは合計約 6,300kw となる。これらの温泉地の中から豊富で良質な温泉水をもつ湯沢市の小安峡温泉に注目しこの温泉水を熱電発電システムにより電力に変換し利用することにより地域の発展に寄与することを目的として「ゆざわ熱電プロジェクト」が発足され活動をしている。このプロジェクトは秋田県の産官学からなる秋田熱電材料研究会によって行われている。（秋田大学・秋田県立大学，秋田県産業技術センター，株式会社ロイヤルパーツ）。本報告では、温水と湧き水を利用する水冷式温度差発電機の作製とその出力評価，その熱電発電システムを用いての湯沢市での小安峡温泉駐車場足湯での LED 照明及び皆瀬村活性化センタービニールハウスでの商品作物への LED 補光の試みについて報告する。

2. 熱電発電システム構成

図 2 に作製した水冷式熱電発電システムの (a) 写真と (b) システムに流入する温泉水・冷水の経路を示す。熱電発電システムに使用した部品は、熱電変換素子 (TEC1-12706) と、素子に温度差を与える加熱・冷却ユニットに分けられる。熱電変換素子は 1 行あたり 4 個配置してあり、全部で 8 行並んでおり計 32 個用いている。これらの熱電変換素子は温泉水を流す加熱ユニットと冷水を流す冷却ユニットを交互に並べ、その間に配置されることで熱電発電素子の両端に温度差が発生するようになっている。これらの熱電変換素子は上部 4 行の素子計 16 個と下部 4 行の素子計 16 個に対してそれぞれ直列に接続後それらを並列に接続した。

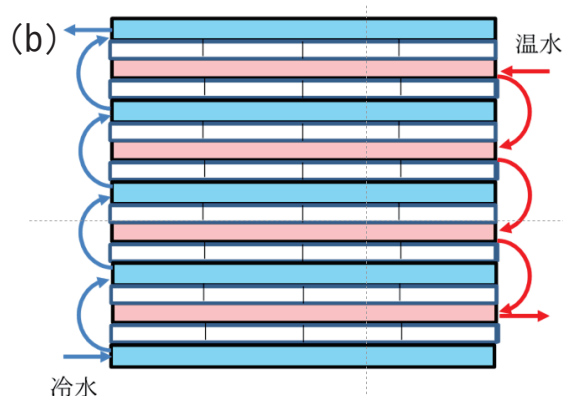
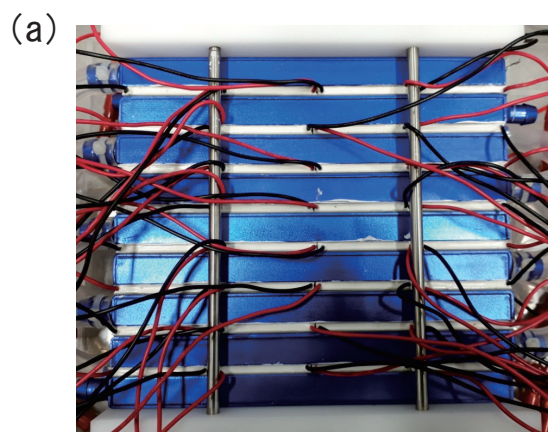


図 2 水冷式熱電発電システム

3. 熱電発電システムの性能評価

作製した水冷式熱電発電システムにおいて、開放電圧と短絡電流による出力評価と負荷抵抗を与えた際の出力評価を行った。冷水側には水道水を用い温度をほぼ一定に保つ一方、温水側の温度を変化させる事で高温部と低温部の温度差を 10℃から 50℃まで変化させ出力の温度依存性の検討を行った。図 3 に開放電圧×短絡電流から求めた出力の温度依存性を示す。図 3 より高温部と低温部との温度差とともに出力が上昇していることが確認できた一方、若干ながらであるが非線形となることが確認できた。これは素子に与える温度差によって性能に差が出る可能性を示唆している。そこで、冷水側の流す向きを逆向きにする事で、各熱電変換素子に与えられる温度差を変化させた。これにより各熱電素子に与える温度差のばらつきを変化させることで、それが出力に及ぼす影響を調査した。

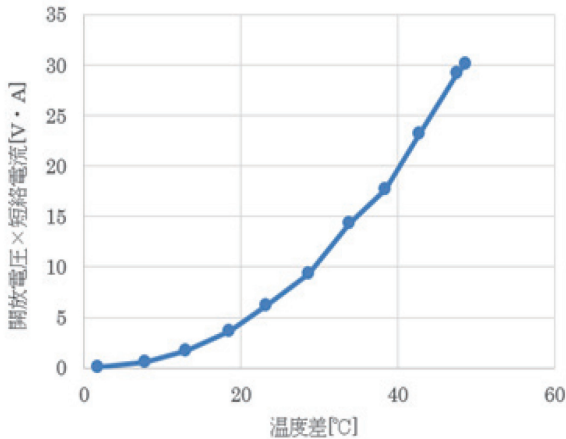
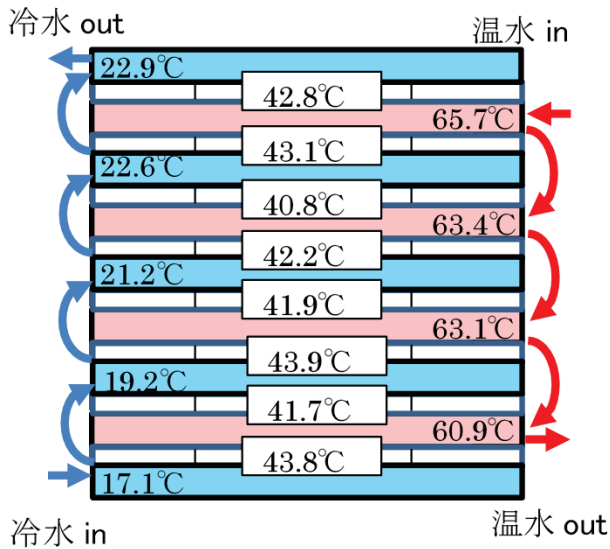
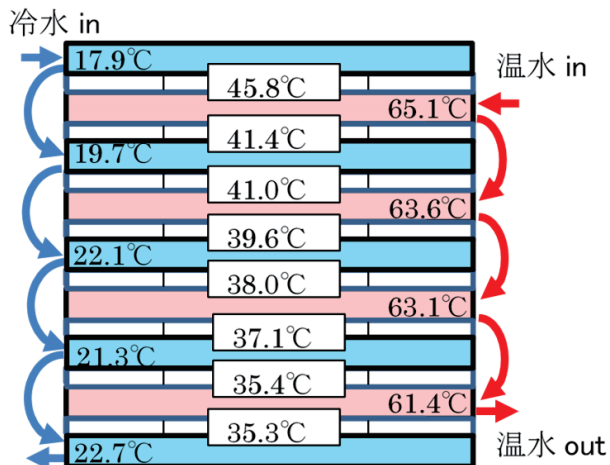


図3 温度差と出力の関係



(a) 温度差のばらつきが小さい



(b) 温度差のばらつき大きい

図4 加熱・冷却ユニットの温度と熱電変換素子にかかる温度差との関係

図4に二通りの冷水の流し方による熱電発電システム内の加熱および冷却ユニットの各温度とユニット間の温度差を示す。図4の(a)では冷水と温水の流入口が反対側である。そのため流入した冷水は冷却された温水と接し流入した温水は加熱された冷水と接することとなるため温度差のばらつきは比較的小さくなり、温度差の平均は42.5°C、標準偏差は1.0であった。一方、図4の(b)では冷水と温水の流入口が同じ側であるため図4.(a)に比べ温度差のばらつきは大きくなり、温度差の平均が42.5°Cと同じであったが、標準偏差は3.3となり、ばらつきに差が発生した。

次にこの両方のパターンにおいて50°Cの温度差を保った状態で負荷抵抗を変化させ出力測定を行った。その結果を図5に示す。負荷抵抗が100Ωのときで最大5%ほどの差がでたが、全体的に出力に差がほとんど無い結果となった。

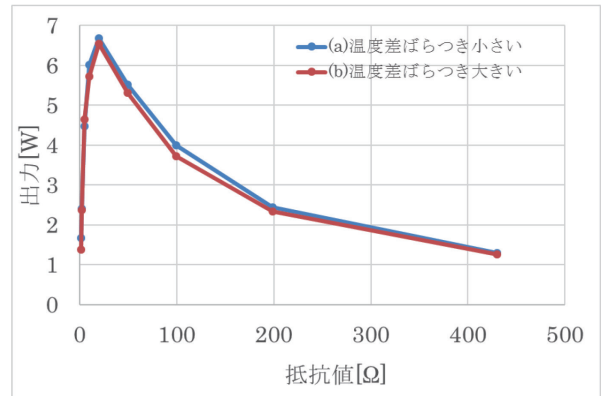


図5 熱電変換素子にかかる温度差のばらつきが出力に及ぼす影響

次に、各温度差における負荷抵抗と出力の関係を調査した。その結果を図6に示す。図6より、本システムにおいていずれの温度差においても最高出力が得られる負荷抵抗は約20Ω~25Ω。最大出力は50°Cの温度差で約6.7Wであり実証試験における指針を得ることが出来た。

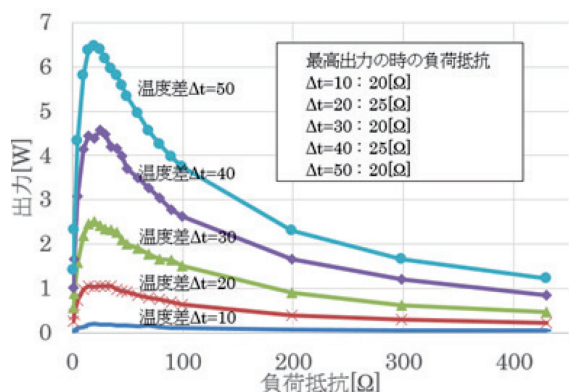


図6 各温度差における負荷抵抗と出力との関係

4. 小安峡温泉足湯での実証実験

作製した熱電発電システムを使用し、LED 照明の実証実験を9月27日から11月下旬にかけて小安峡温泉駐車場内にある足湯で行った。この足湯には温泉水が使用されており観光客に利用されているが駐車場のほずれにあるため系統電力が来ず、日中での利用が主であり夜間の照明は無い状態であった。図7に設置したLED照明とパネルの様子を示す。図7のパネルは熱電発電システムによるLED照明と本プロジェクトの概要を示したものであり、秋田県での自然エネルギーを用いた発電の試みの観光客へのアピール活動の一環として行った。また、この活動は2018年10月14日の河北新報紙面、10月24日の秋田魁新報紙面で紹介された。



図7 熱電発電システムによる照明とポスター

5. 皆瀬村活性化センターでの熱電発電システムによるLED補光の実証実験

皆瀬村活性化センター（湯沢市）のビニールハウスでは温泉水を熱源とした暖房を行っており商品作物の栽培を行っているが、冬季の日照量不足に起因すると考えられる育成不良が発生している。そこでそれら商品作物へのLED補光の効果を検討するため2月18日から3月22日にかけてビニールハウス内のパチーに対して熱電発電システムによるLED補光を行いその影響を調べた。補光条件としては図8(a), (b)に示すようにハウス内の1区画を使用し、赤・青色のLED(1W)を用いて、LED無し、青青、青赤、赤赤の計6WのLED照明を用いた。一ヶ月の補光の結果は図9に示すように補光無しでは約30cm、補光有では青青と赤青で約35cm、赤赤で約38cmであり、補光の有無では約1か月で5~8cmほど成長に変化があることが確認できた。また、厳冬期(12~1月)等ではより大きな差が出たものと考えられる。

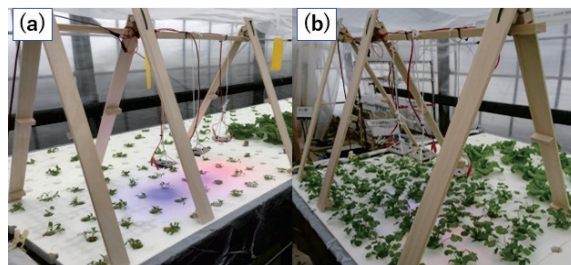


図8 LED照明の設置の様子



図9 作物の成長の様子(3月22日)

6. まとめ

本研究では熱電発電システムの性能調査及び、温度差50°Cで最大6.7Wの出力を得た。また湯沢市での実地検証実験を行い、系統電力が無い場所での照明や商品作物への補光を通じてエネルギーハブ

ティングによる独立電源の有用性を示すことができた.

謝辞

本研究は、「平成 30 年度 ユーラス研究助成・地域活性化支援事業」によるものである

文献

新藤 尊彦, 中谷 裕二郎, 大石高志 (2008). 「未利用エネルギーを有効に活用する熱電発電システム」、東芝レビュー、Vol.63、No.2、p7-10

竹内敬治 (2012), 「エネルギーハーベスティング技術」『電気評論 11 月号』 p51-55

布田 潔 「「ゆざわ熱電プロジェクト」による環境発電-地域システムの開発」. 秋田化学技術協会 第 53 回 研究技術発表会ならびに特別講演会

〔 2019 年 6 月 30 日受付 〕
〔 2019 年 7 月 9 日受理 〕

Study of the reliability and performance of thermoelectric conversion research on the practical application of thermoelectric generation systems by energy harvesting technology

Yasunori Chonan¹, Hiroyuki Yamaguchi¹, Tutomu Shibata²

¹ *Department of Electronics and Information Systems, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

² *Royal Parts Co., Ltd.*

Thermoelectric materials enable energy savings and independent power production by generating electricity from untapped waste heat. Temperature gradients and heat flow are present in natural and human-made settings and provide an opportunity to harvest energy from the environment. In recent years, thermoelectric power generation has attracted attention as a new technology for power generation through energy harvesting. The operating temperatures of thermoelectric materials used in energy harvesting range from RT to 200°C. In this study, a thermoelectric power generation system was designed and produced an output of up to about 6.7 W at a temperature differential of 50°C. Next, to verify the practical use of the thermoelectric power generation system, LED lighting was installed at the Asiyu at Oyasu-Onsen-parking in Yuzawa city. Furthermore, in an agricultural plastic greenhouse that uses hot spring heat for heating, we examined LED light supplements for commodity crops, and the promotion of plant growth by supplementing the thermoelectric generation system.

Keywords: Thermoelectric conversion element, energy harvesting, hot spring power generation