

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06679

研究課題名(和文) 積雪の断熱効果を利用した温度差発電システムの開発とエネルギーの地産地消

研究課題名(英文) Development of a temperature difference power generation system utilizing the heat insulating properties of snow

研究代表者

白川 龍生 (SHIRAKAWA, TATSUO)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50344552

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、積雪の断熱効果によって年間を通じ安定した温度が得られる地温と、冬期の外気温との温度差(約30℃)を利用した熱電素子(ペルチェ素子)による独立電源型の発電システムを開発した。(1)冬季気象観測および積雪断面観測による発電に適した冬季自然環境の調査、(2)室内実験によるペルチェ素子の積層化とその組み合わせの検討、(3)冬季の野外による実証実験の結果、今回開発した独立電源タイプの温度差発電装置では、北海道東部の内陸部のような自然環境下において、ヒートパイプによる熱の輸送システムと積層ペルチェユニットを組み合わせることによって、LED点灯に必要な発電出力を得られることがわかった。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a power generation system using a thermoelectric element (Peltier element) utilizing the temperature difference (about 30 °C) between the ground temperature that allows stable temperature throughout the year due to the adiabatic effect of snow cover and the outside temperature in winter. We investigated the winter natural environment suitable for power generation by winter meteorological observation and snow cover cross section observation, studied lamination of Peltier elements by indoor experiments and examined combinations thereof, and conducted demonstration experiments in the field in winter.

As a result, it showed that this device can generate electric power that can turn on the LED by combining the heat transport system of the heat pipe and the laminated Peltier unit under the natural environment like the inland part of eastern Hokkaido.

研究分野：雪氷学

キーワード：積雪の断熱効果 積雪断面観測 冬季気象観測 ペルチェ素子 ヒートパイプ

### 1. 研究開始当初の背景

( 1 ) 北海道の内陸部には周囲を山で囲まれた盆地が多く見られ、この地域では夏冬の寒暖差が非常に大きい。この地域で冬季に得られる冷熱エネルギーはこれまで積極的には利用されておらず、活用策について検討してきた。

( 2 ) この過程で、積雪の断熱効果(積雪が断熱材の役割を果たし、外気温が非常に低い場合でも積雪層の下の地面温度は 0 前後に保たれる効果)を発電に利用できないかと着想した。

### 2. 研究の目的

( 1 ) 本研究の目的は、積雪の断熱効果によって年間を通じ安定した温度が得られる地温と、冬期の外気温との温度差(約 30 )を利用した熱電素子(ペルチェ素子)による独立電源型の発電システムを開発することである(このための基礎データを得るために、冬季気象観測ならびに積雪断面観測も同時に実施する)。

( 2 ) 「冬期に必要な電力は冬期の自然エネルギーから得る、エネルギーの地産地消」をコンセプトに、冬期の吹雪発生時に有効な視線誘導灯の独立電源として熱電素子による発電システムを取り入れ、冬期にマイナス 20 に達する北海道東部内陸域での実証実験を行うことにより、「寒い・遠い・高齢化」が進行する地域をモデルに、自律的で持続的な社会の創生に貢献することを目指す。

### 3. 研究の方法

本研究は、下記 3 つの方法に基づき研究を実施した。

( 1 ) 温度差発電装置の開発に必要な気象に関する基礎データを得る(装置の設計に生かすため、年間を通じた気温・地温、冬期間の積雪断面などのデータを収録・分析する)。

( 2 ) 実用的な発電能力を有する実験装置を試作する(LED 発光装置と開発する温度差発電装置とを組み合わせる)。

( 3 ) 厳冬期におけるエネルギー地産地消のための実証実験を行う(実験装置を厳冬期北海道北見市内に設置し、発電性能と耐寒性能を確認する実証実験を行う)。

### 4. 研究成果

本研究で得られた成果は以下の通りである。

( 1 ) 温度差発電装置の開発に必要な気象に関する基礎データ

2015 年度～2017 年度の 3 年間、毎冬期に北見工業大学敷地内にて冬季気象観測(放射観測・温度・湿度・風向・風速・降水量・積雪深・地温・地熱流量、図 1)、ならびに積雪断面観測(積雪深・雪温・雪質・粒径・密度・硬度・積雪水量、必要に応じ含水率・せん断強度、図 2)を実施した。また融雪出水直前期である 2 月中旬から下旬にかけて、北海道

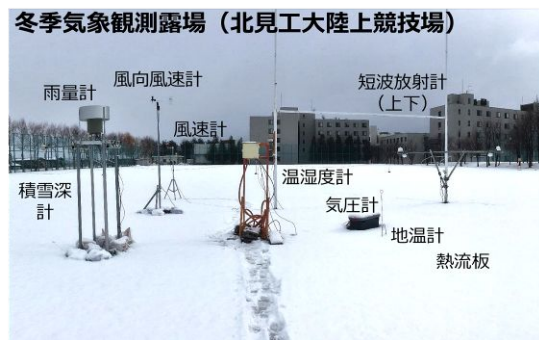


図 1 毎冬季に設置した冬季気象観測露場の全景(2017 年 11 月撮影)

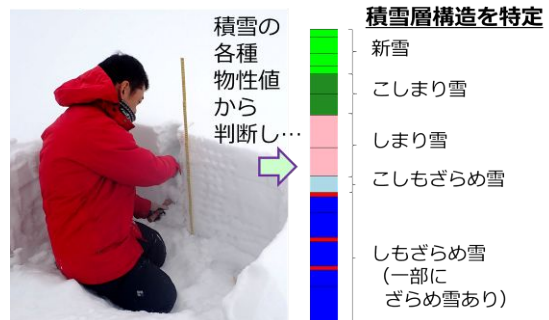


図 2 積雪断面観測(2017 年度の一例)

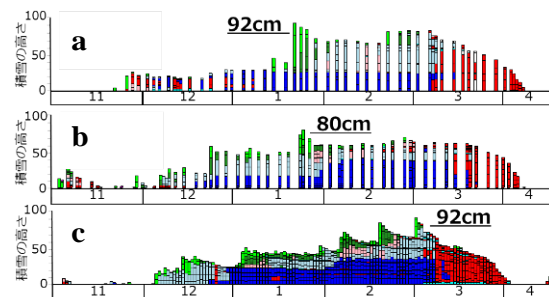


図 3 北海道北見市で実施した積雪断面観測結果。a:2015 年度(51 回), b:2016 年度(63 回), c:2017 年度(133 回)

東部地域を中心とする広域積雪調査(積雪深・簡易層構造・積雪水量)も実施した。

このうち、2015 年度から 3 年間実施した北海道北見における積雪断面観測結果を図 3 に示す。冬季気象の推移は積雪断面に縞模様となって現れる。北海道東部では 12 月上旬までは積雪と消雪を繰り返す、12 月以降はおよそ 120 日間の長期積雪(根雪)として存在する。3 月上旬以降は融雪期に入り、4 月上旬には消雪する。このサイクルを繰り返しており、最深積雪は北見市の場合、およそ 90cm 程度であることがわかった。長期積雪の期間については、毎年、下層に温度変化を受け弱層に変態した「こしもざらめ雪」「しもざらめ雪」が形成されていた。これは温度差発電に必要な温度差が雪質として現れた証であり、この雪質が生じやすい北海道東部地域は温度差発電に適した地域であるといえる。このことは、北海道内 32 カ所で行った広域

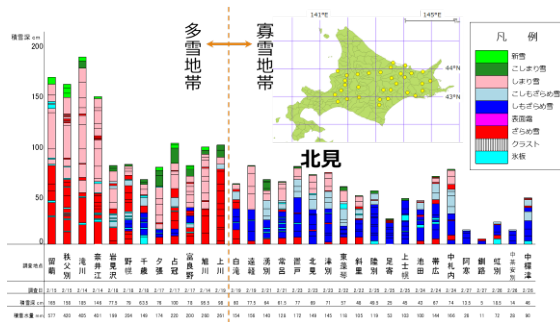


図4 北海道の道央～道東にかけて実施した広域積雪調査(2017年度の例)。道東(寡雪地帯)では下層に温度変化を受けた弱層「こしめり雪」「しめり雪」が見られる。

積雪調査結果からも確認できた(図4)。

(2) 実用的な発電能力を有する実験装置の試作

冬季の気温と積雪下の地温を利用した温度差発電システムでは、熱電素子であるペルチェ素子を利用した開発を行った。ここでは、より小さい温度差で発電が可能なペルチェ素子の組み合わせや伝熱方法を検討した。過去に実施した予備実験では、ペルチェ素子を9枚直列に接続し50の温度差(加熱部:ホットプレート40,冷却部:保冷剤-13)を与えて発電を行い、発電出力、温度差の測定を行った。この時の最大電圧は1.91VでありLEDの点灯に必要な2Vに近い値を得た。電力については最大で0.013Wと小さく課題を残した。本研究での発電実験は、ペルチェ素子の上下面に温度差を与えるため、低温室(-13設定)と送風機による冷却部と、ホットプレートによる加熱部を設定した(図5)。

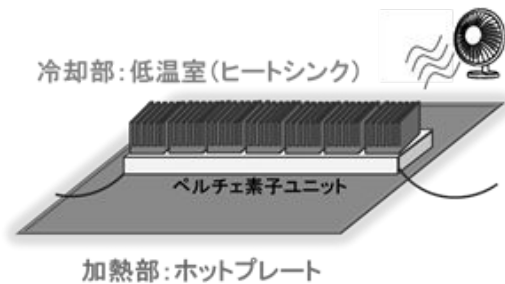


図5 ペルチェ素子の組み合わせと伝熱方法を検討するための実験イメージ

ここでペルチェ素子は可変抵抗器に接続し、抵抗内に流れる電流を徐々に大きくした時に得られる電圧、発電出力と、その時の温度差を測定した。

2層×10直列、5層×4直列、5層×2直列、10層×2直列に50の温度差を与えた時の発電結果を表1および図6に示す。表1より、

表1 ペルチェ素子の接続方法と発電性能

接続	測定温度差(°C)	最大電流(mA)	最大電圧(V)	最大発電出力(W)
2層×10列	19.0	78.02	5.175	0.1376
5層×4列	32.0	114.84	5.758	0.2038
5層×2列	32.3	101.88	2.703	0.0815
10層×2列	40.1	56.63	2.791	0.0479

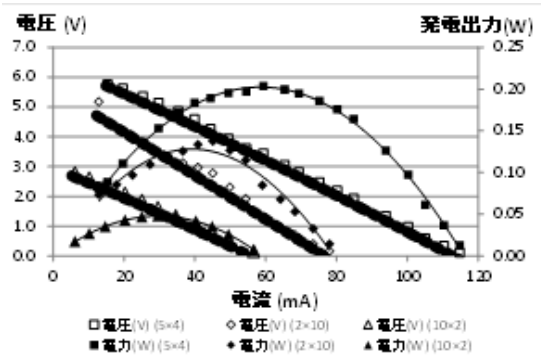


図6 5層×4直列、2層×10直列、10層×2直列の発電結果

素子の直列数を揃えた3つのユニット(2層×10直列、5層×4直列、10層×2直列)の発電出力は、5層×4直列が最も大きい。このユニットの発電結果は、最大電流114.84mA、最大電圧5.688V、最大発電出力0.1514Wであった。次に大きい出力を得たのは2層×10直列であり、最も出力が小さいのは10層×2直列であった。5層×2直列の発電結果は、最大電流101.88mA、最大電圧2.703V、最大発電出力0.0815Wであった。10層×2直列の発電結果と比較すると、最大電圧は同程度である。一方、最大電流、最大発電出力は5層×2直列の方が大きく、積層数を増やすことで最大電流、最大電圧が小さくなった。発電時の加熱部、冷却部と素子の接触面の測定温度差は、2層×10直列では19.0(素子1枚あたりの温度差9.5)、5層×4直列では32.0(素子1枚あたりの温度差6.4)、10層×2直列では40.1(素子1枚あたりの温度差4.0)であった。

5層×4直列のユニットについて、20、30、40、50の温度差を与えた時の発電結果を表2、図7に示す。

表2より、5層×4直列の各温度差での最大発電出力は、20で0.0166W、30で0.0712W、40で0.0891W、50で0.2038Wであり、ユニットの上下面に与える温度差が大きいほど最大発電出力も大きくなった。最大電流、最大電圧においても、与える温度差が大きいほど、得られる数値が大きくなる傾向が見られた。図7より、ある温度差の間で、最大電圧、最大発電出力に差が見られた。この差は、5層×4直列では20と30、40と50の間でそれぞれ見られた。



表2 温度差と発電性能の関係(5層×4直列)

接続	設定温度差( )	測定温度差( )	最大電流(mA)	最大電圧(V)	最大発電出力(W)
5層4列	50	32.0	114.84	5.756	0.2038
	40	23.1	47.97	4.108	0.0891
	30	19.5	34.83	3.127	0.0712
	20	9.9	25.92	1.742	0.0166

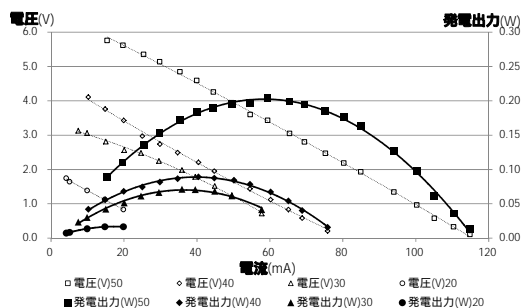


図7 各温度差での発電結果(5積×4直列)

(3) 厳冬期におけるエネルギー地産地消のための実証実験

図8は北見工業大学敷地内に設置した実証実験用の温度差発電システムの写真である。地中3mから地熱を採熱し、ヒートパイプで熱電変換ユニットへ熱を送り放熱する。熱電変換部には短いヒートパイプを設置し、変換後の余熱を大気に放熱する。日射の影響を最小限に抑え、積雪の断熱効果を発揮するための隙間のある段違い遮光板を設置し、3年間の冬季実証実験を行った(図9)。

図10は、(2)に記した室内実験の知見を得て導入したペルチェ素子の5枚積層ユニットを4直列の実験結果と、設置2年後に改良した2直列×2並列のユニットによる実験の



図8 実証実験用の温度差発電システム

(積雪期、地中にヒートパイプ埋設あり)

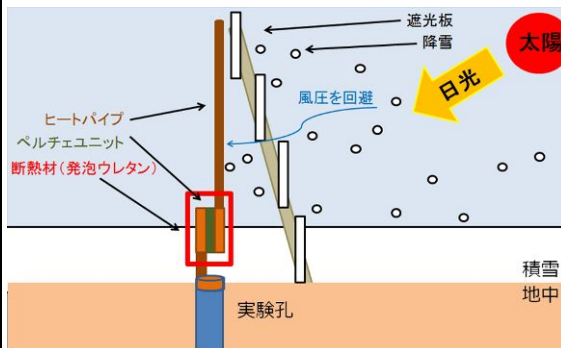


図9 温度差発電システムの断面図

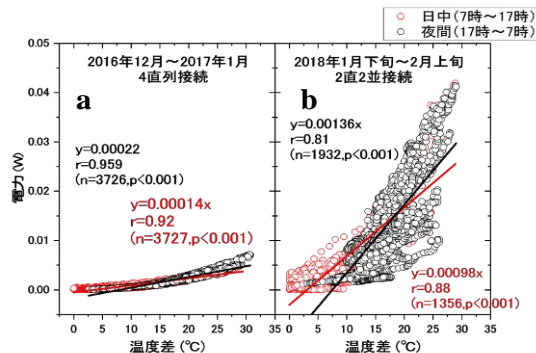


図10 温度差発電システムの実証実験結果 (a:2016年度, b:2017年度)

結果である。2015年度からの2年間の実験によって、5積×4直列は、室内実験に比べ発電出力が低く、LEDを点灯させるには課題があることが判明した(図10(a))。これは直列接続による内部抵抗の増加に伴い、電圧が得られる一方で電流の値が小さくなるという問題であり、これを解決するため2直列×2並列という構成に変更した(図10(b))。この改良の結果、特に放射冷却の影響が顕著となる夜間において、発電出力の値が高まり、LEDを点灯させることができる水準に到達させることができた。

一方、この実証実験の結果新たに判明した課題としては、冬季にLEDによる点灯が最も期待される暴風雪環境で気温が下がらないことである。このことは温度差を利用して発電するシステムの大きな弱点である。これを改善するために小型風力発電装置を導入し、風の強いときは風力発電で電力を得る一方、無風の放射冷却の朝のように静穏な環境下では温度差発電システムで電力を得るといったハイブリッド発電を導入した(図11)。

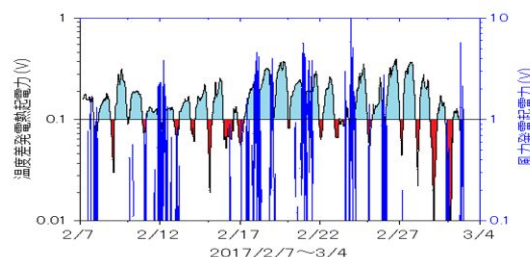


図 11 風力発電と温度差発電の熱起電力

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

白川龍生, 山本祐揮, 高橋理音, 積雪の断熱効果を利用した温度差発電システムの野外実験, 寒地技術論文・報告集, 査読あり, Vol.32, 2016, 54-57.

〔学会発表〕(計 6 件)

白川龍生, 八久保晶弘, 北海道北見で実施した積雪断面観測および冬季気象観測(2017 - 2018), 日本雪氷学会北海道支部研究発表会, 2018.

白川龍生, 2017 年の道央・道東地域広域積雪調査の特徴, 雪氷研究大会(2017・十日町), 2017.

白川龍生, 道央・道東 32 箇所における広域積雪調査報告(2017 年), 日本雪氷学会北海道支部研究発表会, 2017.

白川龍生, 八久保晶弘, 山口悟, 青木輝夫, 融雪期におけるしもざらめ雪のせん断強度指数の時系列変化 - 雪温・密度・含水率・硬度との比較, 雪氷研究大会(2016・名古屋), 2016.

白川龍生, 近年実施した広域積雪調査に基づく道央・道東地域の積雪水量分布の特徴, 日本雪氷学会北海道支部研究発表会, 2016.

白川龍生, 山本祐輝, 高橋理音, 温度差発電のためのペルチェ素子積層方法に関する考察, 寒地技術シンポジウム, 2015.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

白川 龍生 (SHIRAKAWA, Tatsuo)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号: 50344552

(2) 研究分担者

高橋 理音 (TAKAHASHI, Rion)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号: 60301975