

ペルチェ効果を利用した高温熱電性能指数の評価

榎本 寛崇
指導教員 桑折 仁
指導教員 関 志朗

工学院大学 先進工学部 環境化学科 関・桑折研究室

現状の日本では、化石燃料によるCO₂排出量が多いため省エネルギーに向けて未利用エネルギーの活用が重要になる。そこで、工場や自動車などの排熱を利用し、発電する熱電変換が注目されている。その熱電変換応用を目指す研究分野では、材料性能の評価軸として性能指数が利用される。しかし従来の性能指数の評価方法は、測定が煩雑でありかつ誤差が大きく含まれる可能性がある。そこで本研究では簡便にかつ正確に性能指数を求める新しい方法を確立する。

キーワード：熱電材料、ゼーベック効果、ペルチェ効果、性能指数

1. 緒言

現在の日本では、エネルギー問題や環境問題を多く抱えている。現在の日本の主要電源は、石炭や天然ガスを用いた火力発電に依存している。地球温暖化対策に向けて環境に大きな負荷がかかる火力発電以外での発電方法を模索していて、今後、環境にやさしい発電が求められる。

そこで、我々の生活において使用されずに廃棄されているエネルギーがある。それは自動車や工業炉などによる排熱である。そのような排熱を用いた発電技術として熱電発電が注目されている。熱電発電とは、固体素子に温度差(熱)を与え、電気に直接変換し発電する技術である。その熱電材料の発電効率を正確に求めることは難しいため、性能の指標として物性値を用いて算出する性能指数が利用されている。性能指数を求めるためには、ゼーベック係数、電気抵抗率、熱伝導率をそれぞれの方法で求め、その3つを用いて性能指数を算出する。しかし、それぞれの物性値を測定するために、試料は測定に適した形状に加工しなければならない。また、それぞれの測定において誤差が生じる可能性がある。

室温近傍で性能の高いBi₂Te₃系化合物は熱電冷却で用いられる。熱電冷却材料の性能指数は、電流-温度差特性を測定することによって求めることができる。そこで、本研究ではこの方法を熱電発電

材料に適用し、性能指数を簡便に、かつ正確に求めることを試みる。しかし、熱電発電材料は、高温端側温度が200°C以上で使用されるため、熱電冷却用材料の測定装置をそのまま適用することができない。そこで、本研究では、熱電発電材料の電流-温度差特性を測定する装置を開発し、電流-温度差特性から求めた性能指数と従来の方法で求めた性能指数を比較し、評価する。

2. 実験

材料には、KELK製のBi₂Te₃系化合物と豊島製作所製のCoSb₃系スキテルダイト化合物を用いた。

2.1 電流-温度差特性を用いた性能指数の測定

それぞれの材料を金属電極で接合してII字型素子を組む。電流-温度差特性評価装置は図1のように制作する。II字型素子の高温端側はヒーターで制御する。II字型素子に電流を流し、熱電対を用いて、各熱電材料の両端の温度を測定し、温度差 ΔT を算出する。II字型素子に流す電流値を変化させ、図2のような電流-温度差特性のグラフを作り、最大温度差 ΔT_{\max} を求める。この ΔT_{\max} を用いて、性能指数 Z_{pn} を以下の式から算出する。

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} Z_{pn} T_c^2$$

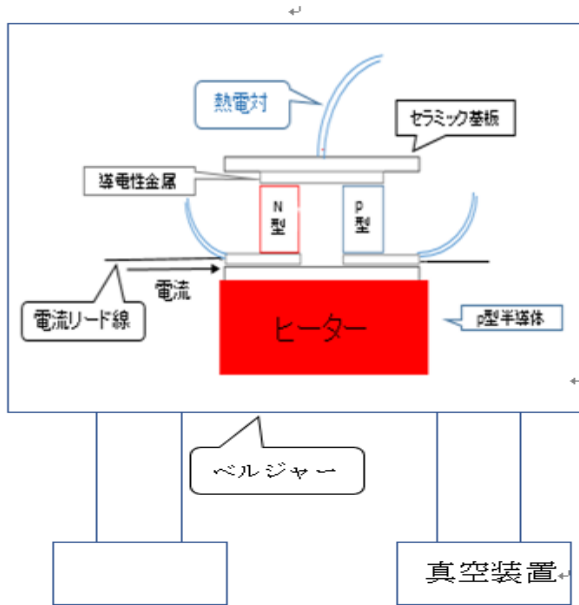


図 1. p-n 素子の特性評価装置の構成

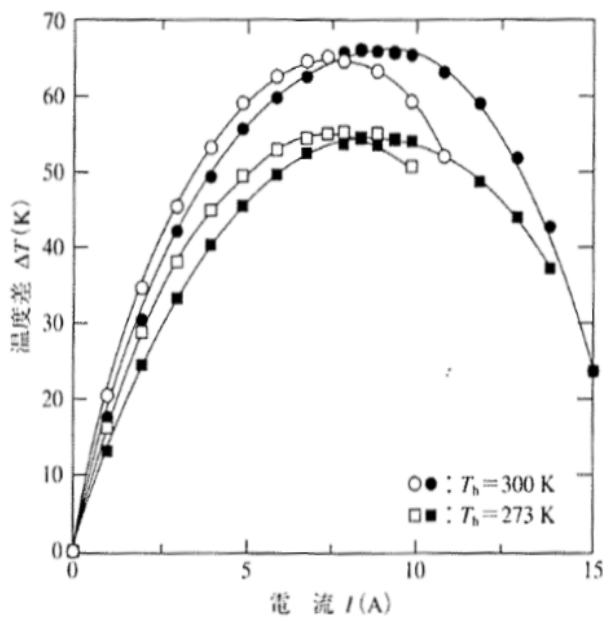


図 2. 実用組成を持つ Bi_2Te_3 系溶性材料(黒印)および焼結体(白抜き)による p-n 素子の電流 - 温度差特性^[1]

2.2 ゼーベック係数, 電気抵抗率, 熱伝導率を用いた従来法による性能指数の評価

2.2.1 ゼーベック係数の測定

それぞれ短冊状にした試料に両端に温度差 ΔT を与え電圧 V を測定する. ゼーベック係数 α は以下の式から求める.

$$\alpha = \frac{V}{\Delta T}$$

2.2.2 電気抵抗率の測定

それぞれ短冊状にした試料の断面積 A 及び長さ l を算出する. 4DC 四端子法を用いて電気抵抗値 R を計算する. 電気抵抗値 R を用いて, 以下の式から電気抵抗率 ρ を求める.

$$\rho = \frac{R \times A}{l}$$

2.2.3 熱伝導率の測定

それぞれ円盤状にした試料の密度を計算する. レーザーフラッシュ法を用いて比熱 C および熱拡散率 λ を求める. それらを用いて以下の式から熱伝導率 κ を求める.

$$\kappa = \lambda C \rho$$

2.2.4 性能指数の算出

ゼーベック係数, 電気抵抗率および熱伝導率を用いて, 以下の式から性能指数 Z を求める.

$$Z = \frac{\alpha^2}{\rho \kappa}$$

3. 結果

真空装置の立ち上げを行った. 真空装置にはターボ分子ポンプを用い, ベルジャー内の真空到達度は, $6.3 \times 10^{-3} [\text{hPa}]$ であった.

4. 今後の予定

各熱電材料は, $3 \times 3 \times 5 [\text{mm}]$ に加工し, Π 字型素子を作製する. 得られた素子および作製した測定装置を用いて電流 - 温度差特性を測定し, 熱電材料を評価する.

参考文献

[1] 坂田 亮 編, 熱電変換工学-基礎と応用-, リアライズ社 (2001) p.310

謝辞

本研究は公益財団法人 精密測定技術振興財団, JSPS 科研費 JP18K04732 の助成を受けたものである.