

■GA 担当教員 研究等紹介③



九州大学
大学院総合理工学研究院・准教授

末國 晃一郎

創エネ技術・熱電発電

今年(2016年)の夏は猛暑です。この暑さは、もちろん、太陽からもたらされています。皆さんは太陽の光エネルギーを電力に変換できること(太陽光発電)はご存知でしょう。自然界で利用可能な一次エネルギー資源のうち、太陽光のように、使用するよりも早く再生されるものは、再生可能資源と呼ばれます。一方、化石燃料のように埋蔵量に限りがあるものは、枯渇性資源に分類されます。日本では、これらの資源から得られる一次エネルギーのうち、4割は有効に利用されていますが、残りの約6割は熱として環境中に棄てられています。したがって、再生可能熱エネルギーや枯渇性資源由来の未利用熱エネルギーを効率的に電力に変換できれば、枯渇性資源の消費量を抑えられるので、エネルギーの持続可能性が高まると期待されています。

熱エネルギーを電力に変換する技術の一つに「熱電発電」があります。これは太陽光発電と比べて聞きなれない言葉だと思えます。この発電方式は、熱電効果の一つであるゼーベック効果に基づいており、固体素子(熱電変換材料)の両端をそれぞれ高温熱源と低温熱浴に接触させて電力を発生させるというものです。つまり、熱電変換材料は温度差を電気エネルギーに直接変換することができます。実際の発電に用いられる π 型モジュール(図1. N型とP型の材料を金属電極で繋いだもの)は、機械的駆動部を持たないので省スペースかつ長寿命です。また、発電時に振動や音は発生せず、地球温暖化ガスも排出されません。このような長所をもつ熱電発電は、最近では、自動車や工場の廃熱(と常温や水冷された熱浴との温度差)を有効利用する手段として応用が期待されています。

発電の効率は、主に材料の特性に依存します。電気回路の中で電池の役割を果たす熱電変換材料には、電気抵抗率が低いことと、大きな起電力(電圧)を発生することが求められます。また、ゼーベック効果により生じる起電力 $V \propto \Delta T$ (ΔT : 温度差) を高く維持するために、材料には熱を伝えにくい性質が求められます。つまり簡単に言い換えると、優れた熱電変換材料は、シリコン結晶の様な電気的性質とガラスの様な熱伝導性を併せ持つ材料となります。これらの性質に加えて、大規模な発電応用には、材料が豊富で安全な元素からできていることが要求されます。

筆者らは、ありふれた元素で低毒性なCu(銅)とS(硫黄)を主成分とする材料の探索を行ってきました。具体的には、天然に存在する硫化銅鉱物を模した物質を人工的に合成し(図1)、その熱電特性を調べています。この研究により、安四面銅鉱 $\text{Cu}_{12-3}\text{Ni}_3\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ とコルーサ鉱 $\text{Cu}_{26}\text{V}_2\text{M}_6\text{S}_{32}$ ($\text{M}=\text{Ge}, \text{Sn}$) と呼ばれる二つのP型物質が、400℃において、半導体並みの大きな起電力とシリカガラス以下の極端に低い熱伝導率を併せ持ち、既存材料(例えばテルル化鉛、PbTe)に匹敵する高い熱電変換性能を示すことを明らかにしました。これらの人工硫化銅鉱物は、環境調和性と高い性能をもち、大規模応用に適していることから、実用化に向けた研究開発が進められています。私たちは、このような「作った・測った」の研究に加えて、熱電変換材料がなぜ大きな起電力と低い熱伝導性を示すのかを明らかにするための基礎的な研究も行っています。その手法は、低温比熱測定、ラマン散乱測定、X線回折実験、中性子非弾性散乱実験など多岐に渡り、そのために学内外の研究協力者と積極的に共同研究を行っています。他方、試料を簡便かつ大量に合成する方法や緻密な焼結体の作製方法を調べるという工学的な研究にも取り組んでいます。具体的には、ボールミルを用いたメカニカルアロイング、ホットプレス焼結、通電加熱(スパークプラズマ)焼結などの手法を用いています。

このように筆者らは、材料開発という一側面から、熱電発電の技術革新および大規模応用に貢献することを目的として研究を進めています。一緒に研究してみたいという学生さんは、是非、総合理工学府の大瀧・末國研をご訪問ください。本研究室では、大瀧倫卓教授、渡邊厚介助教、学生12名と共に、上記の硫化物に加えて、酸化物系熱電変換材料や他の機能性無機材料の研究も行っています。

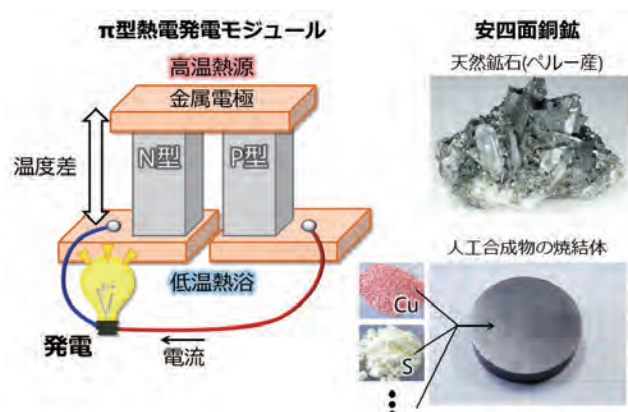


図1. (左) π 型熱電発電モジュールの概念図および(右)硫化銅鉱物の天然鉱石(注: 透明の結晶は石英)と人工合成物の焼結体