

ゼーベック「温度差発電」とは？

ーヒートパイプ、熱電変換素子などの材料の新たな可能性ー

武藤 佳恭 慶應義塾大学環境情報学部教授

E-mail : takefujj@sfc.keio.ac.jp

1 はじめに

温度差発電には、温度差でタービン（発電機）を機械的に回転させ発電するスターリングエンジン発電と半導体に温度差を与えて発電するゼーベック発電があります。ここでは、後者のゼーベック発電を解説します。両方の温度差発電とも、温度差が大きければ大きいほど発電量が大きくなります。ゼーベック発電の利点は、機械稼働部分がないので、設計次第では長寿命で小型化可能な発電装置です。温度差は、高温熱源として自然の恵みである温泉の源泉やマグマ熱や太陽熱、冷熱熱源として空気・地下水・海水・川水や雪・氷などを利用できます。人工的な高温熱源としては、製鉄所などからの廃熱、自動車のエンジン廃熱、電車のモーターやブレーキの廃熱、給湯器・風呂や台所のレンジからの廃熱、パソコンやサーバーの廃熱、さまざまな摩擦熱など、我々の身の回りには利用されていない多くの高温熱源があります。人工の冷熱熱源では、LNG 基地などがあります。

2 ゼーベック温度差発電とは

ゼーベック発電の原理は、今から 180 年以上前の 1821 年に、トーマス・ゼーベックが“偶然”発見しました。

ゼーベック発電では、異なる 2 種類の金属や半導体に温度差を設けると直流の起電圧が発生する物理現象を利用しています。この物理現象は、ゼーベック効果と呼ばれています。ゼーベック発電では、起電圧 V は次式で与えられます。

$$V = (S_A - S_B) \cdot \Delta T$$

ここで、 S_A , S_B は半導体 A と半導体 B のゼーベック係数、 ΔT は半導体 AB の温度差です。

起電圧を大きくするために、ゼーベック係数の差を大きくする様々な半導体の研究・改良がなされてきています。ところが、温度差を大きくするための研究・改良はあまり見当たりませんでした。我々が提案する温度差を大きくする方法をここでは簡単に紹介します。

ゼーベック素子は、P 型半導体と N 型半導体を導体でサンドイッチした構造をしています。次の図 1 を見てください。ゼーベック素子の下を加熱し、素子の upper を吸熱してやると N 型半導体と P 型半導体の間に直流の起電圧が発生します。ゼーベック素子の起電圧は、N 型半導体が + 電位、P 型半導体が - 電位になります。逆に、ゼーベック素子の upper を加熱し、素子の lower を吸熱すると P 型半導体が + 電位に、N 型半導体が - 電位になります。

実際のゼーベック素子では、図 1 の P 型半導体と N 型半導体のペアを多数用います。したがって、P 型・N

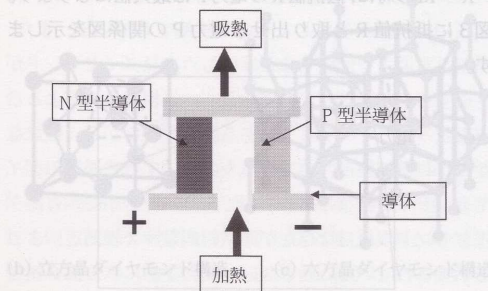


図 1 ゼーベック素子とゼーベック発電

型半導体ペアを接続する導体同士が接触しないように導体の上に絶縁層を加える必要があります。多くの場合、ゼーベック素子の表面は、絶縁体であるセラミックを用いていますが、セラミックの熱伝導率はあまりよくありません。

我々のアイデアは、ゼーベック素子の温度差を大きくすることで、起電圧を大きくし、結果として起電力を大きくする方法です。ゼーベック素子の温度差を大きくするためには、ゼーベック素子への加熱と吸熱の熱移動を改善し、熱抵抗を小さくする必要があります。熱抵抗を小さくするために、我々は加熱用と吸熱用にヒートパイプを用いました。ヒートパイプの導入によって、短時間での大量の熱移動が可能になり、ゼーベック素子周りの熱抵抗が大幅に改善します。

ゼーベック素子からの直流起電力を取り出すためのゼーベック素子回路モデルを図2に示します。

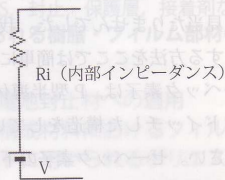


図2 ゼーベック素子の起電圧回路モデル

図2に示すゼーベック素子の両端に抵抗Rを接続すると、抵抗Rを流れる電流Iは、 $I = V / (R_i + R)$ となります。また、抵抗Rの電力Pは、 $P = I^2 * R = R * V^2 / (R_i + R)^2$ となります。

$R = R_i$ の時に、抵抗値Rの電力Pは最大値になります。図3に抵抗値Rと取り出せる電力Pの関係図を示します。

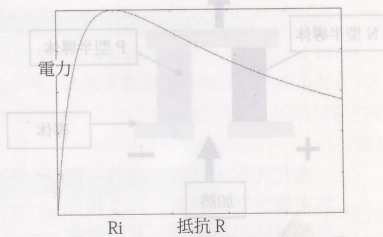


図3 抵抗値Rの値と電力Pの関係

図4に示すように、4cm × 4cmのゼーベック素子1枚で、氷水(5度)と温水(75度)を準備し、温度差が約70度で約3Wの温度差発電を達成しました。

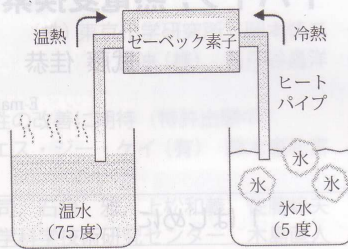


図4 ヒートパイプを用いた温度差発電 (日経産業新聞 2009年12月4日引用)

3 ゼーベック温度差発電に必要な今後の技術

今後、ゼーベック温度差発電が社会に普及するためには、

1. 安価で性能の良いゼーベック素子の開発、
 2. 安価で性能の良い熱伝達素子(ヒートパイプなど)の開発、
 3. 熱伝導率の高い絶縁接着技術や接着剤の開発、
- の3つが重要です。

参考文献

YouTubeにおいて、ytakefujiで検索すると、手の温かさと室温でモーターを回す温度差発電装置の動画を見ることができます。その装置の作り方を、2008年エレキジャック5号の156ページから160ページに掲載しました。