

## 排熱から直接発電

近年、工場排熱や自動車排熱、燃料電池排熱等の低品位の熱エネルギーから有用な電気に変換する技術として、熱電発電技術が注目されている。現状ではエネルギー変換効率が5%程度と決して高くないが、可動部がなく固体デバイスのみにより発電できるという特長があるため、コストパフォーマンスを改善すれば確実に普及する、次世代の発電技術、省エネルギー技術の一つである。

一般的な熱電発電モジュールは図1に示すような構造となっており、内部には発電を担うp型、n型の特殊な半導体（熱電材料）が数多く配置される。高い性能をもつ熱電材料の開発が高効率化の鍵となっているが、500℃までの排熱発電用の温度域ではPbTe系の化合物半導体が極めて優れているため、半世紀以上、代替材料が見いだされないうまま、ほとんどの中温度域発電用モジュールでPbTe系の材料が用いられてきた。しかしながら、近年、民生分野・産業分野を問わず工業製品へのPb（鉛）の使用は厳しく制限されており、PbTeに代わる高効率熱電材料の開発は、熱電変換分野における一つの課題であった。

当研究部門熱電変換グループではPbフリーの新規熱電材料として、 $Zn_4Sb_3$ （p型）の開発を進めてきた。この材料の発電性能を示す

指標（性能指数 $Z^*$ ）は、図2に示すように既にPbTe系材料を凌駕する値が得られている。さらに、低温側で特性の良い $Bi_2Te_3$ 系材料と $Zn_4Sb_3$ を積層し一体化することにより、利用できる高温側温度を $Bi_2Te_3$ 系材料の250℃から一気に、430℃程度まで拡大させた高効率発電素子を開発した。この一体化した素子の開発により、10%以上の変換効率をもつ発電モジュール実現の見通しが得られた。

このような複数の材料が一体化された素子は一般にセグメント型素子と呼ばれ、高い発電出力密度を実現できる反面、構造が複雑になり各材料の特性を考慮した詳細な素子設計技術が必要となる。このため、当研究グループでは材料開発と並行して、様々な特性を持つ熱電材料や金属電極を組み合わせたセグメント構造素子の発電出力や発電効率を予測する設計支援シミュレーションソフトを開発した。このソフトを利用すれば、理論的発電性能や最適素子構造を瞬時に計算することができ、モジュールの最適設計の時間を大幅に短縮できる。

本ソフトについては現在β版をテスト公開して当該分野の研究者や企業の開発者に利用を勧めており、将来的には熱電発電モジュール設計支援システムとして有料での配布を予定している。

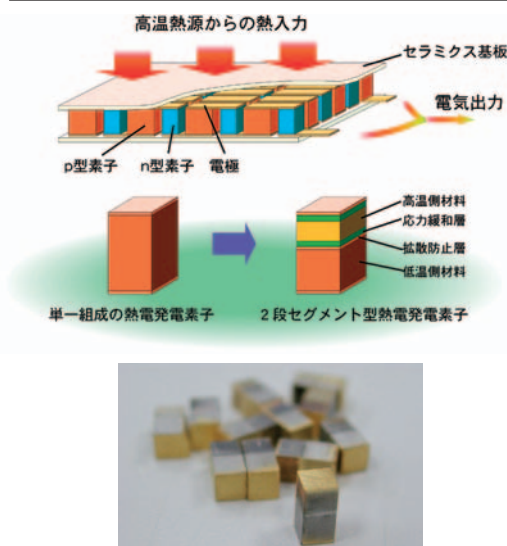


図1 上：熱電発電モジュールの構造および発電素子の構造  
下：産総研で開発した2段セグメント型熱電素子

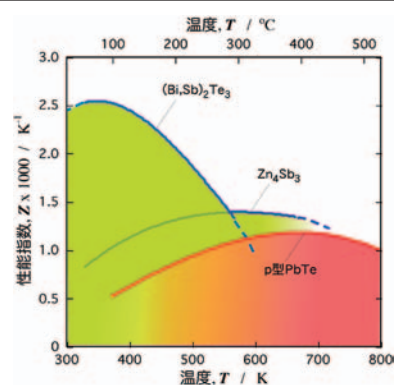


図2 開発した $Zn_4Sb_3$ 化合物、 $Bi_2Te_3$ 化合物の性能指数 $Z$

積分面積が大きい程エネルギー変換効率が高い。セグメント型素子では高温で性能の良い材料と低温で性能が良い材料を組み合わせるため、変換効率を高くすることができる

\* 性能指数は以下の式で定義される。

$$\text{性能指数 } Z \text{ (K}^{-1}\text{)} = \frac{[\text{ゼーベック係数 (V/K)}]^2}{\text{抵抗率 } (\Omega \text{ m}) \cdot \text{熱伝導率 (W/mK)}}$$

## 関連情報

- 共同研究者：野口照夫（エネルギー技術研究部門 産総研特別研究員）。
- 山本 淳，李 哲虎，高澤弘幸，太田敏隆：2001年度傾斜機能材料論文集，1-6（2001）。
- シミュレーションソフト：野口照夫，山本 淳：熱電変換シンポジウム2002論文集，106-107（2002）。
- 野口照夫，山本 淳，高澤弘幸，李 哲虎，小原春彦：熱電変換シンポジウム2003論文集，100-101（2003）。
- 特願2001-331629，特願2001-331628「亜鉛アンチモン化合物焼結体及びその製造方法」（山本 淳，李 哲虎，高澤弘幸，太田敏隆）。
- 特願2003-186047「熱電変換セグメント素子及びその製造方法」（野口照夫，山本 淳）。



やまもと あつし  
山本 淳  
a.yamamoto@aist.go.jp  
エネルギー技術研究部門