

# 発電する熱交換器用パイプ型モジュール

## 熱電モジュールで過熱蒸気と電気を同時発生

高温の空気中でも安定なセラミックス熱電材料を用いた、過熱蒸気と電気を同時に発生する熱交換器用パイプ型熱電発電モジュールを開発した。このモジュールでは、ステンレス鋼管を介して熱交換を行うが、鋼管がセラミックス材料で被覆されているため、ガスの燃焼火炎内でも安定して過熱蒸気を生成することができる。また、セラミックス材料が熱電発電機能をもっているため電力も同時に取り出せる。

We have developed a pipe-type thermoelectric module for use in heat exchangers that can simultaneously generate steam superheated above 100°C and electricity from the combustion heaters and cooking stoves. Thermoelectric ceramics, which are stable even in extremely hot air, are used to cover stainless steel tubes in electricity generating modules. This cover prevents the contact between flame and the stainless steel tube that acts as a heat exchanger, protecting the metal tube and extending the useful life of the heat exchanger. Control of the flame temperature will suppress the formation of nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) or carbon monoxide (CO), which are products of incomplete combustion.

### 研究の背景

最近、過熱蒸気（100°Cより高温の水蒸気）の一般家庭での利用が広がりつつある。しかし、ガス燃焼で直接熱交換を行う方法では、部品の熱劣化や火炎温度の低下による一酸化炭素(CO)の発生が問題となる。そこで、これらの問題のない安全・安心なガス燃焼による過熱蒸気発生装置が望まれていた。

産総研は、廃熱回収によるエネルギー・環境問題の解決に向けて期待されているセラミックス（金属酸化物）熱電発電の研究を行っており、これまでにガス燃焼により発電可能なセラミックス熱電材料とそれを用いた発電モジュールを独自に開発してきた。1998年の研究開始以降、これまでに、動作温度差が500°C以上で変換効率が10%に

も達するp型層状コバルト系熱電酸化物の発見や、1日に2,000種類の熱電試料を合成して評価する技術、熱電セラミックスを用いた板状発電モジュールの製造技術などを確立してきた。2005年、これらの技術の実用化に向けて、燃焼・伝熱に関して高い技術力を持つ大阪ガス株式会社・エネルギー技術研究所と協力して、セラミックス熱電材料を使うことでガス燃焼蒸気発生装置の問題解決を目指すモジュールを開発した。

### 研究の内容

天然ガスの燃焼火炎で、温度差をつくり出すための冷却水を過熱蒸気にする熱電モジュールの開発を目標として研究を進めた。これを実現するには、

舟橋 良次 ふなはしりょうじ

funahashi-r@aist.go.jp

ナノテクノロジー研究部門 ナノ機能合成グループ 主任研究員（関西センター）

新しい機能、面白い機能をもつ酸化物材料の開発が専門。優れた熱電特性をもつコバルト系酸化物の発見後、素子化プロセス、電極形成、モジュール製造技術の開発に取り組んできました。現在は開発したセラミックス熱電モジュールの2010年までの実用化を目指し「営業活動」に奔走中。熱電発電による安全で豊かで、省エネもできる社会作りを夢見てチーム一丸となって格闘しています。

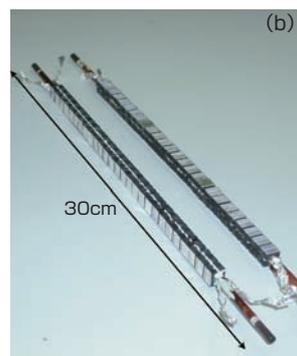
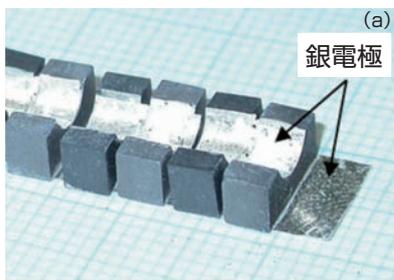
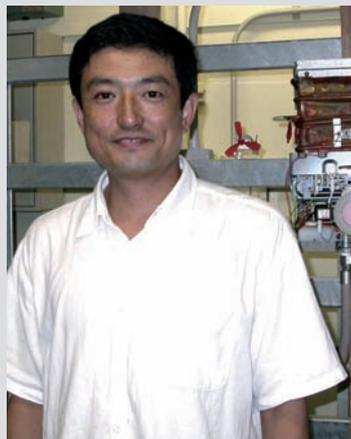


図1 加工後のセラミックス熱電材料に銀電極形成を行った素子(a)とパイプ型モジュール(b)

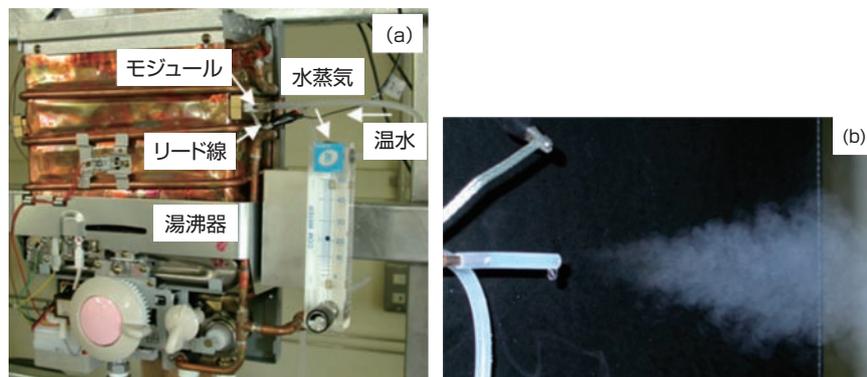


図2 パイプ型熱電モジュールを装着した元止め式湯沸かし器 (a) と水蒸気発生 (b)

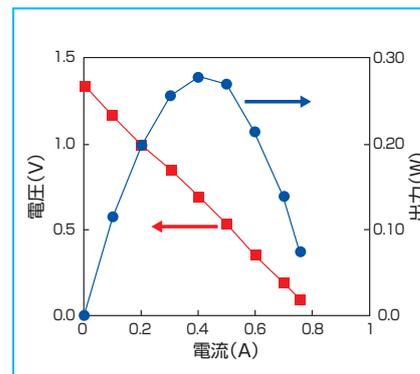


図3 1本のパイプ型モジュールの発電特性

優れた発電特性だけでなく、火炎に対しての高い耐久性と熱交換特性を満たす素子材料とモジュール構造が必要である。そこで、熱交換が可能なパイプ型モジュールの作製に取り組んだ。

板状モジュールの開発で培った技術を用いて、セラミックス素子の製造加工、曲面への電極形成 (図1(a))、ステンレス鋼管と熱電素子間の電気絶縁と高い熱交換特性の確保など、新たな課題を解決し、パイプ型モジュールを開発した。このモジュールは全長30cm (素子部21cm)、断面8mm角の半割形状で、54のp-n素子対で構成されている (図1(b))。

パイプ型モジュールを元止め式湯沸かし器に取り付け (図2 (a))、給湯を行った。モジュールの表面は天然ガスの燃焼火炎にさらされており、パイプ中には湯沸かし器から得られた温水の一部を流している。モジュール表面付近の温度は1,000～1,200℃になっており、パイプの終端からは過熱蒸気が得られた (図2 (b))。また、この熱交換により1本のパイプ型モジュールから1.3～1.5V、0.28Wの電力を得ることができた (図3)。

今後モジュールの改良により発電量を増加できれば、商用電源が必要のない完全自立型の蒸気発生器を実現することができる。また、セラミックス素子による鋼管表面の保護効果により、

熱交換器の寿命を延ばすこともできる。さらに、モジュール表面の温度を鋼管に流れる水量などで制御すれば、人体に有害なCOやNO<sub>x</sub>発生を抑制することもできる。このように、今回開発したモジュールは、ガス機器の安全性、利便性を高め、われわれの日常生活をより快適にするだけでなく、これまで使われていなかった高温エネルギーの有効利用により省エネルギーにも貢献するものと考えている (図4)。

### 今後の予定

今後、産総研は素子メーカーとの共同研究やNEDO産業技術研究助成事業などによりパイプ型モジュールの信頼性、発電性能、熱交換性能の向上、さらには低コスト化技術の開発、具体的な熱交換器の製造を試み、ガス機器以外の熱機関への応用も含めて、熱電変換によるエネルギー、環境問題の解決に貢献することを目指していく。

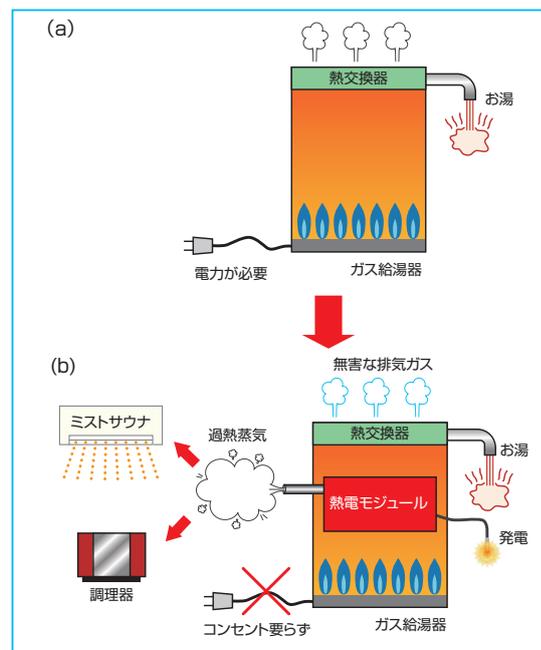


図4 高温熱利用による省エネ、安全、快適生活の例。これまでの給湯器 (a) と熱電モジュールを搭載した給湯器 (b)

### 関連情報：

- R. Funahashi: AIST Today Vol. 5, No. 8, p. 14-17 (2005).
- <http://staff.aist.go.jp/funahashi-r/>
- プレス発表 2006年6月22日：「発電する熱交換器用パイプ型モジュールの開発」