

天然ガスの熱エネルギーを50°C以下の給湯にしか活用していないガス機器に熱電発電モジュールを搭載して発電し、電力供給不要の自立型機器を構築。廃棄物炉、工業炉、自動車などの廃熱回収の道を開く、高効率な熱電発電技術を開発。

従来の熱電発電モジュールに用いられていたドーナツ型またはアーチ型素子は、熱交換性が悪く、電力の低下が課題でした。これを解決するためにこれまでに開発した平板型モジュール技術を用いた、熱交換性と耐久性に優れた六角形のパイプ型モジュールを作製しました。さらに高温側に、窒化アルミニウムを材料とするフィンを取り付け、効率よく熱回収できるようにしました。

30回以上のガス燃焼実験によっても発電性能は劣化せず、耐久性にも優れています。

- 給湯器の給湯機能に加え、同時に発電および過熱蒸気の発生を付加でき、単なる湯沸かし器がトリジェネレーションシステムへと多機能化されます。電力不要であり、有害な排気ガスも発生しません。
- 天然ガスの燃焼によって得られる高温エネルギーを徹底的に3段階で利用するので高い省エネルギー効果があります。

競合技術への強み

	発電特性	熱交換性	耐久性	コスト
(1) ドーナツ型モジュール (従来技術)	× 接合抵抗が高い。温度差がとれない	× 水管との間に隙間	△ 素子は破損しにくいですが、電極部での剥離が発生する可能性有り	× 素子成型が高価
(2) アーチ型モジュール (従来技術)	△ 温度差がとりにくい。加熱により電極破損による高抵抗が発生	△ 水管との間に隙間	× 水管と圧着時破損	× 素子成型が高価
(3) 六角形パイプ型モジュール (本技術)	○ 低接合抵抗と高電圧により高発電出力が可能	○ 水管に密着、集熱フィンの搭載によりさらに高性能化が可能	◎ 素子、電極とも破損しにくい	◎ 量産化も可能

▲パイプ型熱電モジュールによる従来技術と本技術との比較表

① **高い熱交換効率**：従来捨てられていた未利用の廃熱を利用して発電と過熱蒸気（200°C）発生に利用するので、システム全体の熱利用効率が高くなっています。同時に排気ガスに含まれる一酸化炭素量の低減にも役立ちます。

② **高い耐久性**：酸化物熱電材料を使用するので、800°Cの高温での繰り返し使用に耐えます。

③ **低コスト**：熱電素子を改良し、新たなパイプ型モジュールを使用しているため、素子加工にかかるコストを低減できます。

ここがポイント

火力発電、廃棄物炉等では、莫大な廃熱の約3分の2は利用されずに捨てられています。こうした廃熱を直接電気に変換できる熱電発電は、エネルギーの有効利用と環境負荷の低減という観点から大きな期待が寄せられています。しかし、従来の熱電発電用に開発されてきた材料の多くは毒性元素や稀少元素を含むことで、耐久性、耐酸化性に乏しく、実用化が困難でした。

これらの問題の解決可能な材料として、酸化物熱電材料が注目されています。本研究では、現在世界最高の変換率をもつコバルト系酸化物熱電材料を用いて、実用可能な発電モジュールを開発しました。さらにシステムの低コスト化、高耐久性による高い投資回収とエネルギー回収性を実現すると共に、従来の熱機関に新しい価値創造（付加価値）も目指して研究を行います。当初の目的をほぼ達成しています。

このモジュールを給湯器へ導入することで、熱電発電による電気が得られるほか、過熱蒸気が得られ、スチームオープン等にも利用できる「トリジェネレーションシステム」が得られます。また、点火時等

に必要な電力が不要となるため、自立型機器が実現できます。

ブレイクスルーへの道のり

2000年：p型のCa₃Co₄O₉で高い熱電特性を発見した。国内学会で高い評価を受ける。熱電発電実現に不可欠なn型参加物材料の探索も始める。

2001～2002年：NEDO産業技術助成事業などにより、新規熱電酸化物を効率よく探索するコンビナトリアル合成技術を構築する。数種のn型酸化物を見出し、その1つLa_{0.9}Bi_{0.1}NiO₃は、現在のモジュールに用いられている。開発した材料を用いてメーカーとの共同研究を進め、材料の量産化にめどが立つが、ユーザー企業との連携構築が進まず、自前でのモジュール化を考え始める。

2003年：産業技術総合研究所内の他部門との連携により、酸化物熱電モジュールの製品化に挑む。材料製造に加え、電極作製、熱計算など研究領域を拡張する。

2004年：モジュールの製品化に成功。マスコミや学会で注目されるものの、ユーザーとの連携はならず。大阪ガスとの共同研究により、ユーザーが使いやすいモジュールとして、「熱交換可能なパイプ型モジュール」を考え、材料製造の最適化から評価まで一連の熱電変換の実用化へ向けた技術を完成させる。

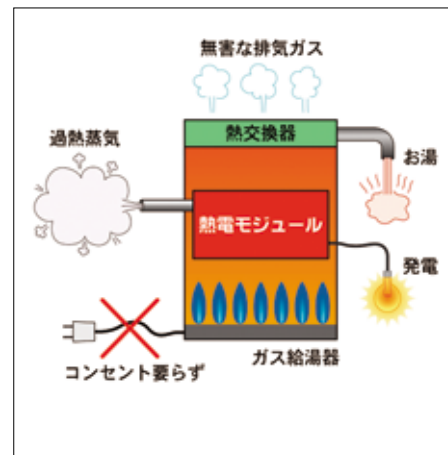
2005年：パイプ型モジュールの製造に成功。湯沸かし器に搭載し、電気に加え、200°Cの過熱蒸気を発生させることができ、さらに排気ガスに含まれる一酸化炭素量を低減する。ここまで、「ボトミング」でしか熱回収していなかった熱電発電を、「トッピング」熱回収で用いることを考案、熱電モジュール搭載による新たな価値を創造する。

2006～2007年：再びNEDO産業技術助成事業に採択される。パイプ型モジュールの実用化を目標とする。モジュールの発電性能向上に加え、実用化に不可欠な耐久性の向上、低コスト化を念頭に研究を進める。NEDO新エネルギーベンチャー技術革新事業にも採択され、遂に自分自身で事業化することとなる。

2008年：化学、素子各メーカー、ユーザーと協力し、パイプ型を含め、さまざまなモジュールの設計、製造を進める。

■サクセス・キー

モジュールの製品化に成功した時点で、マスコミや学会では注目されましたが、ユーザーからの声はほとんどからず、どこまで実用化開発を進めればいいのかと悩みず。要素技術の構築はできましたが、ユーザーが本当に望むものではないことがわかり、それならとことん実用化開発を進めようと、腹をくくりました。今回の研究は、より産業に近い



▲酸化物パイプ型モジュール(a)と湯沸かし器燃焼室(b)、それらを搭載した湯沸かし器(c)。(株)ノーリツと共同制作。

ところで進め、熱電発電による新たな価値創造を示すことができたと考えます。この結果、自ら事業化するチャンスを得ることができました。

■ネクスト・ストーリー

基本的な素子材料の選択、モジュールの設計と製造はクリアしており、実用化の目前まで到達していると思っています。今後はベンチャー創業による実用化、事業化をめざします。そのためには、原料粉末から熱電発電システムまでの製造技術の構築が重要です。本研究での製造技術を核として、廃棄物炉、ガス機器メーカーなどと連携し、推進しているところです。また、工業炉や自動車へと需要範囲を広げていきたいと考えています。

