

# PWR 発電所排熱の有効利用のための 500kW級熱電変換システムの概念検討

## 背景

現在の発電プラントは水蒸気タービンによる発電方式を採用しており、そのエネルギー変換効率は軽水炉プラントで約33%である。すなわち残りの約60%以上は排熱として未利用のまま捨てられている現状である。PWRでは蒸気発生器の水質管理の必要性から、蒸気発生器で生成する蒸気の一部をブローダウン系から常に放出している。この大きな排熱量と高い排熱温度を利用できれば、未利用エネルギーの有効利用が可能である。例えば電気出力 1100 MWe（熱出力3200 MWt）のPWRの場合、放出する蒸気は温度220℃、流量97 ton/hである。この排熱は一部の最新の発電所では回収または有効利用している例もあるが、大部分の発電所では利用せずに捨てられている現状である。

## 目的

PWR蒸気発生器ブローダウン系に設置する熱電変換システムの概念を具体化し、得られる発電電力量および経済性評価を行う。

## 主な成果

- (1) 熱電変換システムの内部構造を図-1に示す。220℃の蒸気が流れる加熱ダクトと20℃の冷却水が流れる冷却ダクトを積層し、その間に熱電変換モジュールを挟んだ構成である。熱電変換モジュールは冷却ダクトにのみ非鉛系耐熱性接合材HITASOL<sup>\*1</sup>を使って接合し、加熱ダクトには接合せずにカーボンシートを介して圧着する。カーボンシートは、加熱ダクトが熱膨張によりスライドすることを可能にし、かつ接触熱抵抗を低減する効果がある。熱電変換モジュールに適切な加圧力を均一に負荷するため、空気加圧バッグを採用する。本構造により、熱電変換モジュールへの熱応力緩和および接触熱抵抗低減の両立が可能となった。これにより熱電半導体に負荷できる温度差は従来型のその1.8倍となる。一般に熱電半導体のエネルギー変換効率は温度差のほぼ2乗に比例するため、実質的なエネルギー変換効率が従来型の3倍（ $1.8 \times 1.8$ ）で、長期的耐久性が期待できる熱電変換システムの見込みを得た。さらにコンプライアント・パッド付き熱電変換モジュール（図-2）<sup>\*2</sup>の組立を行い、内部抵抗およびゼーベック値などが設計通りとなり、十分な接合強度をもつことを確認した。
- (2) 本熱電変換システムの伝熱計算により、出力 500kW（交流）が得られる見込みを得た。また発電単価 8.5円/kWhが将来実現可能な見通しを得た（表-1）（米国の熱電変換モジュールメーカーによる年産200万モジュールを仮定したコスト予測に準拠）。

以上より、PWR発電所排熱に適用できる熱電変換システムの成立性を見込みを得た。なお本発電システムは一般産業分野の低温廃熱にも適用できる。本概念の実現のためには、縮小システムによる性能・耐久性実証試験を行い、実規模システムをPWR発電所に設置するためのデータを取得する必要がある。なお、本研究は（財）エネルギー総合工学研究所からの受託により実施された。

主担当者 原子力技術研究所 発電基盤技術領域 上席研究員 神戸 満

関連報告書 「高出力密度熱電変換システムの開発（2）」電力中央研究所報告：T02009（2003年3月）

\*1：HITASOLは日立粉末冶金（株）と当所が共同開発した鉛を使わない耐熱性接合材である。

\*2：コンプライアント・パッドは熱電半導体に大きな温度差を与え、かつ熱応力を緩和して脆弱な熱電半導体を保護する銅焼結体のクッションである。表面近傍に空孔を備え、接合材が含浸しやすい構造である（当所と日立粉末冶金（株）により特許出願済み）。

## 7. 新エネルギー／自然・未利用エネルギー活用

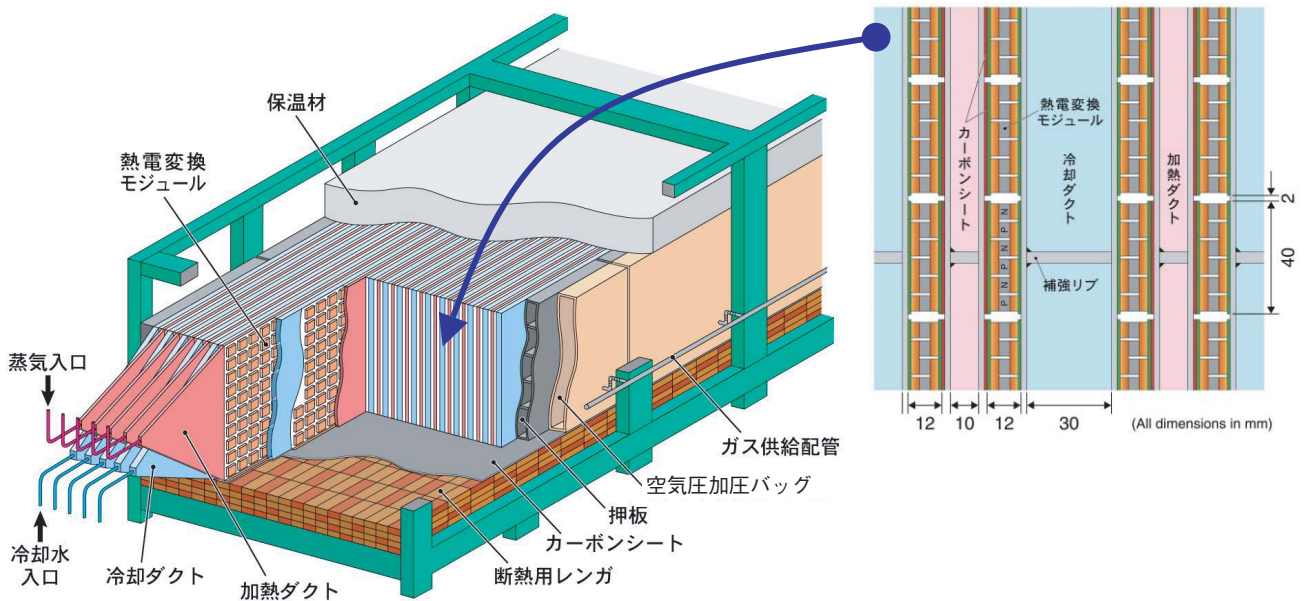


図-1 熱電変換システム内部構造

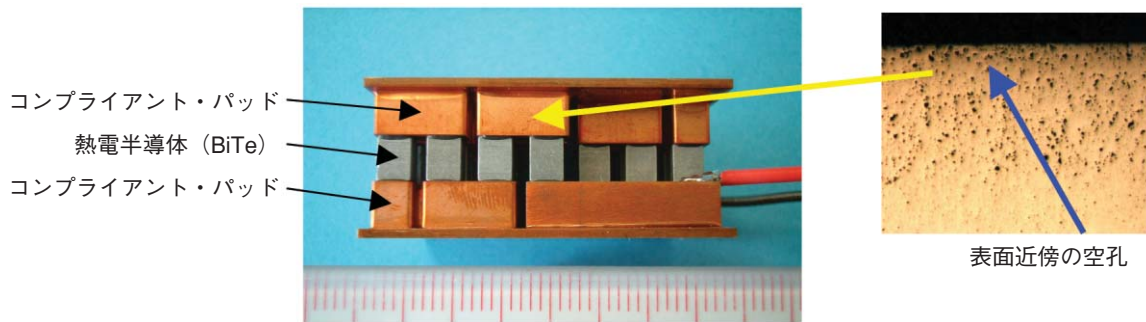


図-2 コンプライアント・パッド付き熱電変換モジュール（18対）

表-1 500 kW級熱電変換システムコスト評価根拠

モジュール合計コスト(寿命10年)  
(年産200万モジュールを想定の商品)

$$41万個 \times 440円/個 = 180 \times 10^6円 = 1.8億円$$

熱交換器本体および据え付け工事費(寿命20年) 1.2億円

DC/ACコンバーター(非量産品: 10万円/kW)(寿命20年) 0.6億円

以上設備費合計(10年当たり) =  $1.8 + 0.5 \times (1.2 + 0.6) = 2.7$ 億円…①

設備維持費(設備費の1%/年×10年=10年当たり) 0.3億円…②

上記①および②の合計(10年当たり) **3.0億円**

熱電変換システムの発電電力=出力×DC/AC変換効率(冬-夏)

$$= 660 \text{ kW} \times 0.93 = 614 \text{ kW} (682-553 \text{ kW}) \dots ③$$

冷却水ポンプ動力 =  $\gamma QH = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0.39 \text{ m}^3/\text{s} \times 28 \text{ m} = 10900 \text{ kgm/s} = 109 \text{ kW} \dots ④$

正味発電電力(③-④) =  $614 \text{ kW} - 109 \text{ kW} = 505 \text{ kW} (573-444 \text{ kW})$

年間正味発電量 =  $505 \text{ kW} \times 365 \text{ 日} \times 24 \text{ hr} \times 0.8 = 3.54 \times 10^6 \text{ kWh}$

(設備利用率)

発電単価 =  $300 \times 10^6円 / (3.54 \times 10^6 \text{ kWh} \times 10年) = 8.5円/kWh$   
(7.5-9.6円/kWh)