

抵抗加熱式工業炉用熱電変換システムの開発

石川島播磨重工業株式会社 上松 和夫 Kazuo UEMATSU

Key Words: 熱電変換, 輻射伝熱, 工業炉, 排熱

■ねらい

IHIは、抵抗加熱式工業炉の排熱を回収する輻射伝熱型熱電変換システムの開発を進めています。抵抗加熱式工業炉は、比較的小規模な装置であり、分散設置されるため、各炉から排出される熱量はそれほど多くはありません。そのため、大規模な排熱源の場合のような効率的な排熱回収方法は開発されていません。しかし、国内には相当数が稼働中であるため、効率的な排熱回収技術の開発が望まれます。ここで、熱電変換システムの特長である小型・軽量や大きな出力密度は、このような工業炉排熱の回収に適しています。このため本システムの抵抗加熱式工業炉への適用技術を開発しています。

■熱電変換モジュールの応用

図1に、輻射受熱による熱電発電技術の要素評価を行う目的で試作した熱電変換モジュールを示します。性能的には大きな温度差での発電が望まれ、低温度領域と高温領域でそれぞれ性能の高い2種のモジュールを重ねたカスケードモジュールの適用を検討しています。

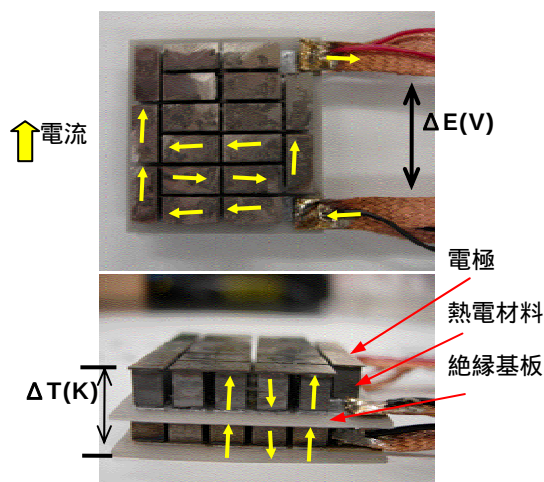


図1 カスケード型熱電変換モジュール

■抵抗加熱式工業炉内部構造

このような熱電変換モジュールによる排熱回収と発電技術の適用を検討している抵抗加熱式工業炉の内部の構造を図2に示します。この方式の工業炉は、通常、熱処理や焼結などに用いられており、処理物とヒーターを内蔵する断熱炉壁が中央部に配置され、真空の空間を介して水冷ジャケットを備えた真空壁が囲う構造になっています。この断熱炉壁から外側へ熱放射によって漏れ出る熱が排熱であり、排熱は水冷ジャケットを介して大気へ放出されます。

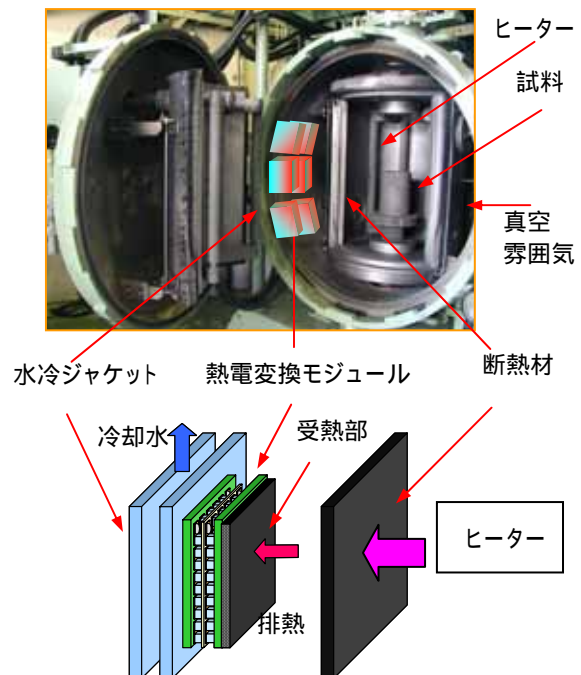


図2 抵抗加熱式工業炉内部および熱電変換モジュール設置例

輻射受熱型熱電変換モジュールの配置

水冷ジャケットの内壁に熱電変換モジュールを取り付け、そのカスケード型モジュールの高温側電極は真空の空間を隔てて断熱炉壁と向き合います。そして断熱炉壁に面した部分(受熱部)が放射熱により加熱され、冷却ジャケットに接触している部分との温度差により電力を発生させます。電力に変換されずにモジュールを通過した熱は、水冷ジャケットを介して外部に排出されます。この設置方法の特長は、

- 1) 温度変化の大きい熱電変換モジュールの受熱側が機械的に拘束されていないこと
- 2) 熱変形の少ない冷却側だけが水冷ジャケットに接触していること

であり、このためにモジュール内の熱応力が軽減され、これに付随して信頼性の向上も期待できます。

■熱放射受熱部の開発

モジュール高温側の電極を受熱部として併用するため、その構造、材質、表面性状について検討しました。そして電極表面に、吸収率を高めるための工夫を施しました。これにより放射熱を効率的に受熱することができ、結果として、熱源と見なす断熱炉壁表面からモジュール電極までの熱抵抗を飛躍的に減少させることに成功しました。図3に通常の高温度側基板付きモジュールに受熱板を設置する場合の概略図、図4にIHIにて採用した高温側電極を受熱

部とした場合の概略図を示します。

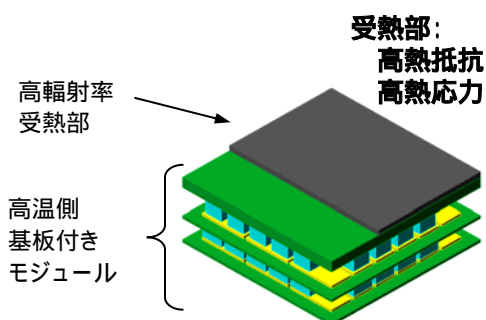


図3 通常モジュールへの受熱部設置方法

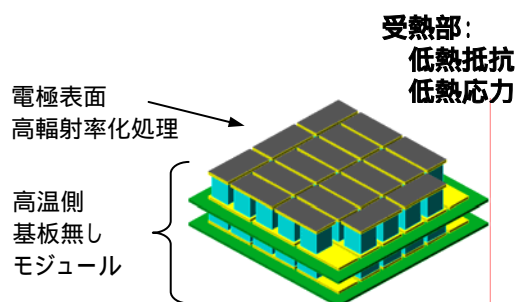


図4 IHI 採用受熱部設置方法

■冷却側熱抵抗低減のための技術開発

熱電変換モジュール低温側は、絶縁基板と水冷ジャケットの間に柔軟性のある高熱伝導性材料を挟み込むことで、熱抵抗の低減化を図りました。この取り付け方法では、モジュールを水冷ジャケットに押し付ける方向には拘束しますが、水冷ジャケット面の方向にはすべりを許容するため、温度変化に対する熱応力の緩和をもたらします。

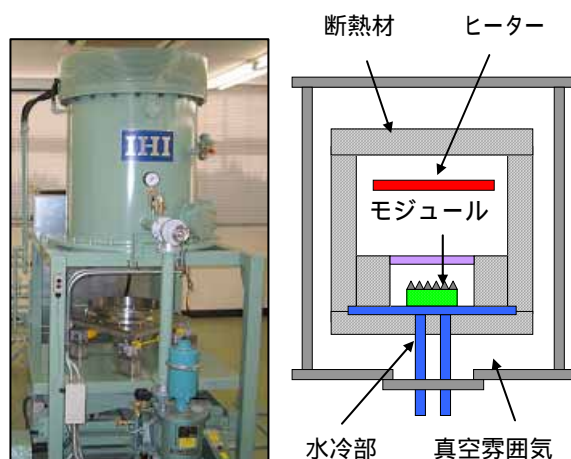


図5 性能評価装置外観および内部概略

■熱電性能評価試験

抵抗加熱式工業炉の内部を模擬して試作した熱電性能評価装置を図5に示します。本装置に、上述の技術を適用した熱電変換モジュールを設置して

発電試験を実施しました。冷却水流量とその温度上昇量からモジュール通過熱量を算出し、この通過熱量とモジュール発電量とから熱電変換効率を求めた結果を図6に示します。横軸は熱電変換モジュール両端の温度差(ΔT)です。この図から明らかなように、本試験の変換効率は、温度差400Kにて6.9%に達しました。

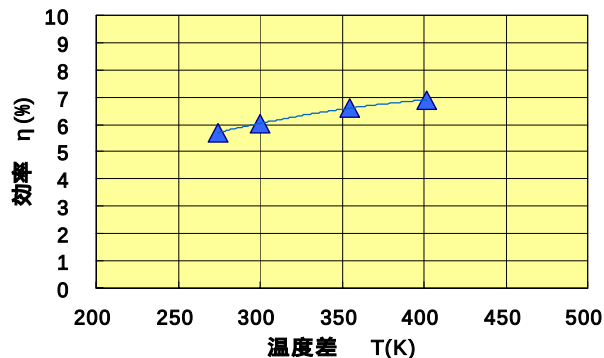


図6 輻射受熱方式における熱電変換効率

これは従来型排熱回収発電システムの効率よりも高い値です。この変換効率の改善は、輻射伝熱を利用することで、介在する接触熱抵抗を排除している本技術の特長にあると言えます。

■解析的検討

システム設計における機器構成の適正化に活用するため、解析技術を開発しています。ゼーベック効果とペルチエ効果を含む電場と伝熱場の連成解析で電位・電流分布と温度分布を求め、この結果を用いてモジュールの応力場を評価します。上述の実験データから、より実際の接触熱抵抗や電気抵抗値などを評価して解析精度の向上を図っています。

■回収電力の利用

現状では、本システムにより最大電力200kWの炉から数kW程度の電力回収が可能と考えられます。その利用方法として、炉制御盤の表示灯・盤内冷却や除湿電源など、単独の炉システムでの消費電力低減が見込めます。また、複数の炉から回収した電力を集約することで、工場ユーティリティとしての利用も可能と考えられます。

■まとめ

- 1) 輻射受熱型熱電発電装置の排熱回収効率を、抵抗加熱式工業炉を模擬した試験装置を用いて評価しました。その結果、熱電変換効率として6.9%の高い値を得ることができ、本提案技術の有効性を示すことができました。
- 2) この技術は、排熱源からの熱放射が利用可能な他の機器(製鉄関連各工程等)への適用も可能です。今後、より実用的な抵抗加熱式の試験炉を使った実証モデルでの排熱回収評価試験を実施し、実用化への準備を進めていきます。