

【研究論文】

【平成29～30年度 県単研究】

## 未利用熱活用製品およびシステム開発

浦 啓祐, 阿部 一彦, 今野 政憲

材料開発・分析技術部

事業所等から発生する熱は未利用のまま排出されているものも多く、未利用熱活用に関心を持っている事業所はあるものの、すべての熱を有効利用できているとは言えない。そこで県内事業所が進める熱利用機器の開発について支援した。

一つは、エネルギー関連施設で使用されるガス冷却用熱交換器の開発で、熱交換器開発に必要な計測・測定・計算を事業所と共同で実施し、仕様決定・製作に寄与した。また製作した熱交換器は木質バイオマスガス発電施設の実際のプラントに導入し、実操業での性能評価を行った。またプラントの定期点検・補修の時期に合わせて、熱交換器内部の腐食等損傷状況を確認し、異常がないことを確認した。この定期点検時に熱交換器の洗浄試験を行い、内部の付着物を容易に除去できることを確認した。

もう一つは、未利用熱を利用してランキンサイクルを稼働させ、このランキンサイクルから得られた動力を有効活用する熱機関の開発を支援した。事業所と共同で熱機関作製・動作確認を行い、連続運転における性能評価試験実施した。

キーワード：未利用熱，省エネ，再生可能エネルギー，熱交換器，ランキンサイクル

## 1 緒言

東日本大震災以降特に再生可能エネルギー・省エネルギーへの意識が高まっている。国内の業種別廃熱量をみると(図1)、年間多くの廃熱が排出されていることが分かる<sup>1)</sup>。同様に宮城県においても、工場・事業所から排出される熱はあるものの、これらの熱エネルギーは必ずしも有効利用されているとは言えない。

これら利用されていないエネルギー(未利用熱)は排出量が多いものの、使用できる条件(温度・時間・場所・用途等)に制約があり、利用が進んでいない。

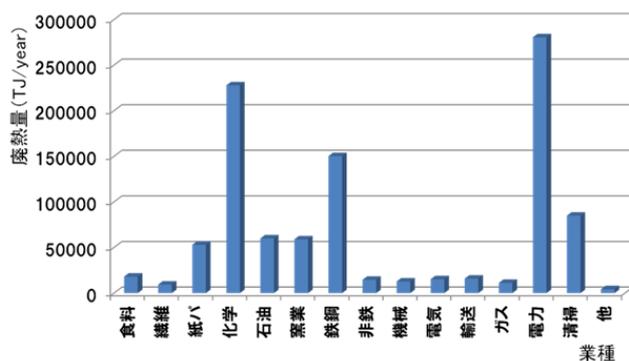


図1 国内の業種別廃熱量<sup>1)</sup>

そこで県内事業所と共同で、熱を有効利用できる機器の開発に取り組んだ。

一つは宮城県内のエネルギー関連施設におけるガス冷却用熱交換器の開発について、設計・制作に必要な測定・計算・試験等を実施した。

もう一つは未利用熱を利用してランキンサイクルを稼働させて動力を得る熱機関の開発に関して、事業所と共同で、性能評価試験を行い、実用化の可能性を見いだした。

## 2 実施内容

## 2.1 ガス冷却用熱交換器

宮城県内のエネルギー関連施設では、木質チップからガス化炉にてバイオマスガス(可燃性ガス)を生成し、このガスを除塵・冷却・洗浄した後、空気と混合・圧縮させてエンジン(レシプロ式)に送り込み、燃焼させている。このエンジンで得られた動力を発電機に伝達して発電し系統連携後、顧客へ送電・売電している。操業の過程でガス化炉やエンジン等で発生する熱は、熱交換器にて熱回収され、温水として近隣ホテルへ提供されている。

しかしながら、このバイオマスガス中に含まれる灰やタール、その他成分の影響で熱交換器等が腐食したり閉塞するため(図2, 図3), 操業度を下げたりプラントを停止させてメンテナンス(熱交換器の交換等)を行っている。そのため稼働率が低下し、熱回収や発電が十分行われていない。



図2 高温側熱交換器内部(腐食)



図3 低温側熱交換器内部(腐食・閉塞)

そこで、当センターでは、ガス冷却用熱交換器開発について次のような支援を行った。

熱交換器設計に必要なガス量及び必要空気量等について測定及び計算を行い、仕様条件を見いだした。(各種計測・計算データについては、事業所の操業データであるため、非公開とする。)

また、腐食対策として従来のCu製から耐食性のある



図4 テストピース(アルミニウム合金 高温側)



図5 テストピース(アルミニウム合金 低温側)



図6 テストピース(SUS304・SUS316 高温側)

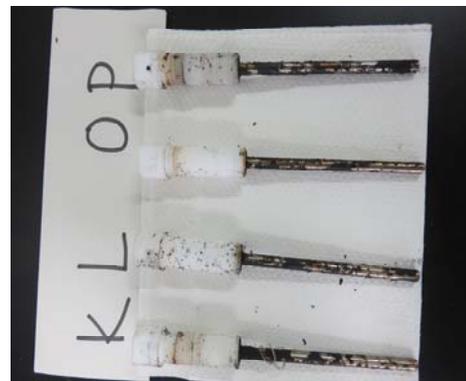


図7 テストピース(SUS304・SUS316 低温側)

材質へ変更するため、テストピース(SUS304, SUS316, アルミニウム合金2種)を既存の熱交換器へ直接装入し、耐食試験(高温側・低温側の2箇所)を行った(図4～図7)。8ヶ月間テストピースを装入した後、既存の熱交換器から取り出し、テストピースの腐食・変色の有無、テストピース付着物の剥離のしやすさ(洗浄のしやすさ)、テストピースの変形の有無を確認した。尚、洗浄は取り出したテストピースを最初にIPAに浸漬し、その後純水に浸漬させて、常温において超音波洗浄を5分間実施した。

その結果を表1(高温側)、表2(低温側)に示す。

表1 テストピース評価結果(高温側)

材質	腐食・変色	洗浄のしやすさ	変形
アルミニウム合金1	△	○	無
アルミニウム合金2	△	○	無
SUS304	○	○	無
SUS316L	○	○	無

表2 テストピース評価結果(低温側)

材質	腐食・変色	洗浄のしやすさ	変形
アルミニウム合金1	×	×	有
アルミニウム合金2	×	×	有
SUS304	○	○	無
SUS316L	○	○	無

この結果、耐食性が良好で洗浄がしやすく価格の安いSUS304を選定し、前述の測定・計算結果を踏まえて、ガス冷却用熱交換器を設計・製作し、実プラントへ導入した。

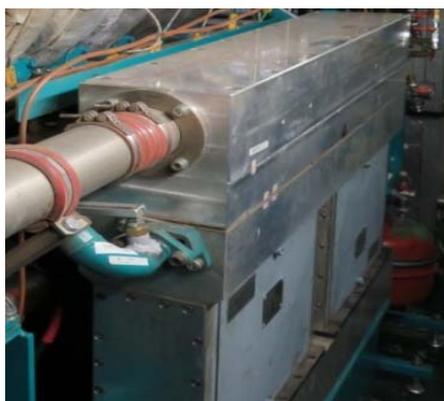


図8 既存のガス冷却用熱交換器



図9 新しく開発したガス冷却用熱交換器

導入後、開発した熱交換器について、冷却能力や耐食性・圧力損失等について評価(導入直後、8ヶ月後、

12ヶ月後)を行った。冷却能力・圧力損失とも当初の目標通りであり、操業度を下げることなく運転可能であることを確認した。

またプラントの定期点検・補修に合わせて、熱交換器内部の確認と洗浄試験を行った。IPAまたは水を溶媒として、超音波洗浄を実施した結果、付着物を除去することができた。洗浄後、外観検査をすると、特に腐食・摩耗等の損傷は認められないことが分かった。



図10 開発した熱交換器内部(洗浄前)



図11 開発した熱交換器内部(洗浄後)

外観検査が良好であることから、開発した熱交換器をプラントに再使用し、現在稼働中である。今後も引き続き、経過観察を行っていく。

## 2.2 未利用熱を活用したランキンサイクルの応用

未利用熱を有効活用する方法として、バイナリー発電システム<sup>2)</sup>がある。バイナリー発電システムは地熱発電にも用いられる発電方式の1つで、従来方式では蒸気・熱水サイクルのみで構成され、地下から取り出した蒸気で直接タービンを回すのに対し、バイナリー発電では、温泉熱や事業所廃熱で、水より沸点の低い液体(代替フロン、アンモニア・水混合液など)を加熱・蒸発させ、その蒸気でタービン(スクロール)を回す方式である。パ

バイナリー発電システムでは、低沸点媒体を利用することにより、媒体の加熱源に従来方式では利用できない低温の蒸気・熱水（未利用熱）を利用することができるものであり、費用対効果の大きい大型バイナリー発電システムは普及している（但し、大規模な熱源が必要となる）。

しかし未利用熱発生事業所の大部分が小規模熱量のものであり、小型バイナリー発電システムも開発されているものの、費用対効果の面でメリットが小さく普及が進みにくい状況にある。そこで、小規模未利用熱を有効活用できるバイナリー発電の原理を応用し、発電しないでランキンサイクルからの動力を有効活用する熱利用機関の開発について、県内事業所と共に検討を行った。

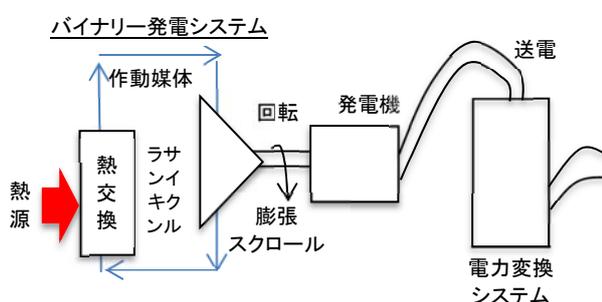


図12 バイナリー発電システム概略図



図13 ランキンサイクルを応用した未利用熱利用機器

今回の開発では、図12で示すバイナリー発電システムのランキンサイクルの部分（発電機・電力変換システムを除いて）に着目し、発電を介さずに直接動力を有効活用する機器を共同で開発した。この機器は、ランキンサイクルで得られた回転動力を直接冷凍サイクルに連結するもので、実際に発電を介さずに冷却できることを確認した。

### 3 結言

本取組では、県内事業所のエネルギー関連施設におけるガス冷却用熱交換器について、ガス処理量及び耐食性向上に必要な測定・計算を実施し、新しい熱交換器の開発に寄与した。また、未利用熱を活用したランキンサイクルを応用した新しい熱機関の開発に必要な計測・計算を行った。

(1) ガス冷却用熱交換器設計に必要なガス量等を測定し、仕様条件を決定した。

(2) ガス冷却用熱交換器の耐食性を向上させるため、テストピースを挿入し、材質選定を行った。

結果、高温側・低温側共に耐食性が良好な材料としてSUS304を選定することができた。

(3) 開発したガス冷却用熱交換器を実プラントへ導入し、性能評価試験（導入～1年経過後まで）を行った。その結果、冷却能力・圧力損失とも当初の目標を達成した。

(4) 開発したガス冷却用熱交換器について、付着物の洗浄試験を行い、付着物の除去しやすい条件を見いだした。長期運転後も腐食等損傷が認められないことを確認した。

(5) 未利用熱を活用した新たな熱機関を開発するため、ランキンサイクルにおける膨張スクロールの軸出力を計測した結果、冷凍サイクルに利用できる軸出力であることが判明し、冷却能力も十分確保できることを確認した。

今後も企業ニーズに合わせて、様々な機関と連携しながら、技術開発・製品開発支援を実施する。

### 参考文献

- 1) 「工場群の排熱実態調査要約集」, 財団法人省エネルギーセンター, (平成12年度)
- 2) 化学工学会SCE・Net編: 図解 新エネルギーのすべて-, 丸善出版, (2011), pp.110-111