

変圧器用等排熱回収熱電変換システムの開発

(株)東芝 佐々木 恵一 Keiichi SASAKI

Key Words: 排熱回収, 社会インフラ, 強制空冷, システム効率, 変圧器

■ねらい

本研究開発は、従来活用されていなかった150以下の低質排熱を回収し、省エネルギーや環境負荷低減に貢献することを目的としています。

具体的には、低温度域で効率の高いBi-Te系熱電変換材料を使用し、社会インフラ関連機器を熱源として高効率に熱電変換(排熱回収)を行うシステムの構築を目指しています。

■開発方法

研究は、(1)モジュールの高効率化、(2)モジュールの低コスト化、(3)システムの高効率化の三本立てで推進中です。本報告では、(3)のシステム化の研究開発の内容を、図1のシステム開発フロー図に従って説明します。

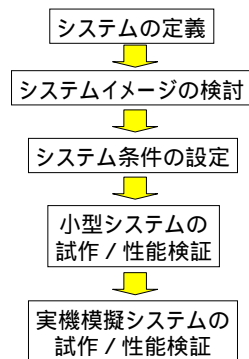


図1 システム開発のフロー図

■熱電変換システムの定義

150以下の排熱のある社会インフラ機器を熱源とします。その放熱部の表面上に十数個から数百個の熱電モジュールを冷却フィンと一緒に設置して、数十W～1kW規模の発電を行うシステムを、熱電変換システムと定義します。また、システム効率の定義は、システム効率 = 発電量 / 入熱量とします。

■システムイメージの検討

熱電変換システムは、社会インフラ機器の一つである変圧器へ適用する例が考えられます。変圧器は本体タンクと、熱輸送媒体(SF₆ガス)の循環で巻線部を冷やすラジエータからなります。ラジエータ底部には強制空冷用の補機ファンが設置されており(図2)、外気をラジエータ板に吹きつけて放熱を促進しています。この風量が十分大きいため、送風路を工夫して(図3)、熱電変換システムの強制空冷に利用することが期待できます。

■システム条件の設定

システム性能は、モジュール開発のベンチマーク先であるHi-Z社のHZ-14を用いて評価し、その1.2

倍の効率(自社モジュール見込み)で置換します。図5は、製品仕様の熱電変換効率線図で、モジュール両面の温度差が80Kの時に2%程度の熱電変換効率を示します。従って、システムとして効率2%を達成するためには、システム内のモジュール両面の温度差を最低でも80K以上に保たなければなりません。そこで一次元熱伝導モデルで計算を行い、80Kの温度差が得られるように小型システムの設計を行いました。熱源からフィンへの熱の回り込み、モジュール外部への放熱ロス、熱源 - モジュール - フィン間の熱抵抗などを抑制し、熱源部130と室温25の条件で、モジュール1個当たり約140Wの熱流通過時に、モジュール両面の温度差が80K以上になるようにしました。

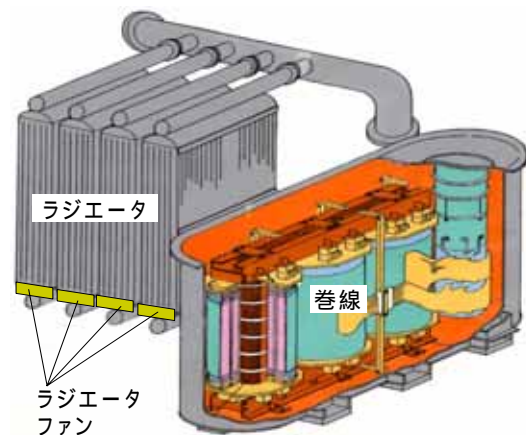


図2 変圧器の概略図

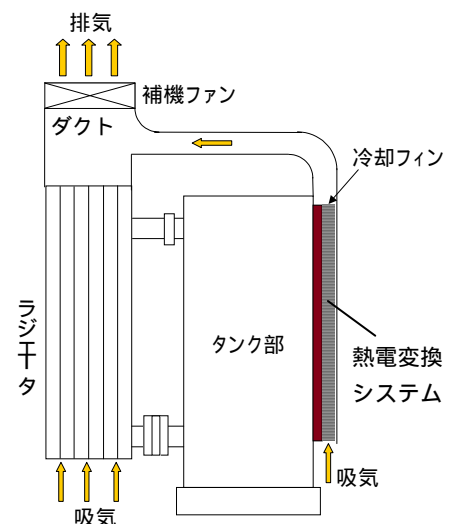
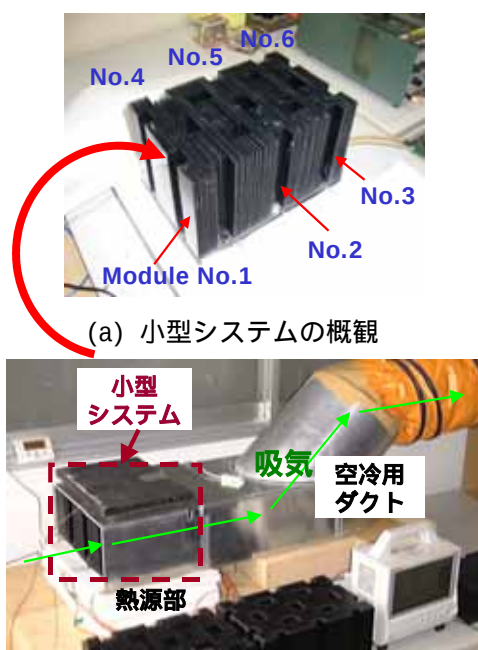


図3 熱電変換システムのイメージ

■ 小型システムの高効率化

前述の設計条件に基づき、小型システムを試作しました(図4)。高温面状ヒーターの上に銅板(240×160mm)を置いて熱源とし、その上に、高熱伝導グリースを介してHZ-14モジュール6個を2行3列に配置しました。更に熱伝導グリースを介し、強制空冷フィンを通熱ボルトで銅板と締結しています。銅板とフィンとの間の熱輻射を防ぐため、空隙部には断熱材を挿入しました。試作の重要ポイントは、以下の4点です。断熱性能の高いIFRP(繊維強化プラスチック)ボルトを使用する。モジュールの高さを揃えとともにボルト位置を工夫して面圧を高め、均一化する。

接合材料に熱伝導率 $W/m \cdot K$ 以上の高熱伝導材料を採用する。強制空冷性能を高める。この中では、が最も難しく、の効果が大きいと考えられます。では、フィンから大気への熱伝達と小型システムへの入熱量を考慮し、強制空冷フィンのシミュレーションを行いました。風速3~4m/s程度で熱抵抗0.10K/Wの性能のフィンを作成し、効率を2%まで改善しました(図5)。現在は、乱流効果による放熱性能の向上を期待し、フィンの形状変更を検討中です。



(b) 小型システムの性能評価状況

図4 小型熱電変換システム

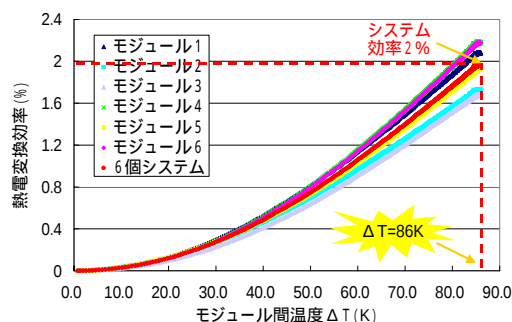


図5 小型システムでの効率検証結果

■ 実機模擬システムの試作 / 性能検証

小型システムでの効率向上と平行し、変圧器を模擬したモックアップ(図6)を製作し、熱電変換システムの実用化検証も進めています。約50cm角のエリアに前述の小型システムを6セット(HZ-14モジュールを36個)取付け、熱源部130と室温25の条件で、100W級の排熱回収を目標とします。図3に示したように、強制空冷のために補機ファンをラジエータの上部に配置し、熱電変換システム部とラジエータ部からのダクトで同時に吸気を行い、双方を冷却する構造としています。吸気は1方向と2方向から行えるようになっており、ファンのインバータ制御とダクトの圧力損失の調整で風量も調節可能です。熱源容量は0~12kWです。これらの条件を最適化して、システム効率と発電(排熱回収)量の最大化を目指しています。また、これまでの小型システムでは、システムを水平に設置して効率や発電量の評価を行っていましたが、モックアップでは、システムが鉛直に設置されるため、熱流分布や面圧分布が変わる可能性があります。更には、システムの長期信頼性も重要な課題であり、フィンの軽量化などもその一要素と考えられます。今後は、システム効率を追及するとともに、実用面で遭遇する新たな問題に対する解法も一つづつ検討していく予定です。

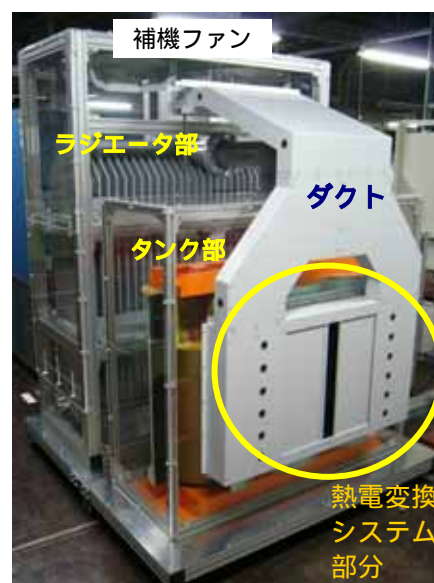


図6 実機模擬システムの概観写真

■ まとめ

本報告では、高効率な熱電変換(排熱回収)システムの開発状況と開発ポイントについて説明しました。現状の2%強から最終目標の3%を達成するため、今後も、システムの強制空冷性能を向上させるとともに、モジュール面圧の均一性(熱源とシステムの密着性)や熱源からの効率的な熱取得方法などの改良を進めます。更に、モックアップ試験により、実機適用のための課題を抽出し、熱電変換システムの実用性を高めていきます。