

温泉熱を用いたバイナリー発電のエネルギー効率評価による変換効率改善に関する研究

著者	齋藤 章
発行年	2015-12
出版者	静岡大学
URL	http://doi.org/10.14945/00009600

(課程博士・様式7) (Doctoral qualification by coursework, Form 7)

学位論文要旨

Abstract of Doctoral Thesis

専攻：環境・エネルギーシステム 氏名：齋藤章
Course : Environment and energy system Name : Akira Saito

論文題目：温泉熱を用いたバイナリー発電のエネルギー効率評価による変換効率改善に関する研究
Title of Thesis : Research on improvement in the conversion efficiency by energy efficiency evaluation of the binary cycle power generation using hot spring heat

論文要旨：エネルギー資源の乏しい我が国では、エネルギー資源を有効かつ効率的に使い切る必要があり、また、省エネルギーや地球温暖化問題など環境意識の高まりを背景に、従来使用せず破棄されてきた低温領域の未利用エネルギーにも関心が高まっている。小規模発電システムは、温泉熱を対象とした出力 100kW 以下の小型のバイナリー発電について現在、開発や実証試験、一部発売の状況にある。本来、バイナリー発電はランキンサイクルを基本としており、熱・機械動力へのエネルギー変換効率は熱力学第 2 法則の制約を受けるため、小規模発電システムとしてのエネルギー変換効率は低い。本研究は、エネルギー効率の改善の観点に立ち、システム全体のエクセルギー損失を明らかにし、レキュペレーターとスーパーヒーターを取り付けて、低温度領域のエネルギー効率改善を目的に検討を行った。

第 1 章から第 3 章では、緒言、既往の研究、バイナリー発電(発電理論や評価手法等)について述べている。

第 4 章では、温泉熱温度を変化させた場合のバイナリー発電システムの発電量(発電出力)、作動媒体による発電出力差の生じる根拠、熱効率とエクセルギー効率を検討した。その結果、発電出力は温泉熱温度 90°C 以下では作動媒体の種類による差は無く、90°C 以上になると差が生じて、温泉熱温度が高くなるほど差は大きくなり、対象とした 5 種の作動媒体では R141b が一番高い発電出力を得ることが分かった。作動媒体による 90°C 以上より生じる発電出力差は、タービン発電機の断熱熱落差と圧縮機による電力消費量の差が影響することが分かった。低温度領域の熱効率は、温泉熱温度が上昇するに従って各作動媒体とも上昇しているが、温泉熱温度 100°C 以上でも 10%前後であった。有用なエネルギーの利用としてのエクセルギー効率は、温泉熱温度 90°C 以上から作動媒体により明確な差が現れ、その傾向はエネルギーが増えることにより、並行又は漸減傾向を示し、エクセルギー効率は温泉熱 100°C 以上で 45%前後となり、作動媒体の中では R141b が熱効率同様に高い値であることが分かった。温泉熱温度を 90°C と固定し、温泉熱流量を変化させた場合の熱効率、エクセルギー効率、発電出力を検討した。その結果、蒸発器と熱交換する温泉熱流量の増加に比例して発電出力は増加するが、温度が 90°C と一定のため流量が増加しても熱効率とエクセルギー効率は一定であることが分かった。

第 5 章では、バイナリー発電システムを構成する各装置と、発電システム全体のエクセルギー損失

を解析した。その結果、蒸発器では温泉熱全体の温度領域でエクセルギー損失が多く、温泉熱温度 100°C 以上から作動媒体に差が現れながら上昇傾向を示し、作動媒体の中では R134a のエクセルギー損失が高い値を示した。凝縮器では全領域の温泉熱温度で、ほぼ同一のエクセルギー損失を示し、各作動媒体によるエクセルギー損失の差は少ないが、蒸発器に次いでエクセルギー損失が多い。圧縮機は、各作動媒体とも低温度領域のエクセルギー損失は約 1kW 前後と少なく、タービン発電機と同様に、温泉熱温度上昇と共に僅かであるが多くなることが分かった。発電システム全体のエクセルギー損失は、作動媒体 *i*-Butane の場合、バイナリー発電機で 19kW の発電出力を得るために、蒸発器で 12kW、発電機で 6kW、凝縮器で 9kW、圧縮機で 0.3kW、合計で 27kW のエクセルギー損失を生じ、一番多い蒸発器ではエクセルギー損失全体の 44%を占めることが明らかとなった。

第 6 章では、効率の改善策として、発電システムにレキュペレーターとスーパーヒーターの取り付けの場合の効果を評価した。その結果、レキュペレーター単独の場合、一番高い熱効率を示したのは R141b で、温泉熱温度 130°C で 11%から 14%に上昇させた。エクセルギー効率は全ての作動媒体で 45~53%範囲にあり、作動媒体間の差は 90°C 以上で現れ、*i*-Butane のエクセルギー効率が一番高い値を示し、130°C で 3.1%の上昇することが分かった。スーパーヒーター単独で取り付けの場合、温泉熱温度 10°C の上昇は、作動媒体 *i*-Butane の場合、エクセルギー効率を 90°C で 2.2%、130°C で 4.2% 上昇させ、また温泉熱温度 20°C の上昇は、90°C で 4.4%、130°C で 6.6%のエクセルギー効率を上昇させることが分かった。レキュペレーターとスーパーヒーターをペアで取り付けの場合、作動媒体を *i*-Butane の場合、エクセルギー効率は温泉熱温度 90°C で 11.8%、120°C で 20.9%も上昇させ、また作動媒体 R141b とした場合も、エクセルギー効率は 90°C で 6.2%、120°C で 9.9%効率を改善できることが判明し、ペアの取り付けは、エネルギー効率改善の点で極めて効果的であることが分かった。

第 7 章では、ピンチポイント温度差による効率の変化、凝縮器冷却水温度による効率への影響、評価結果の伊豆半島への適用を検討した。その結果、ピンチポイントの違いによるエクセルギー効率の差は、60°C で 19.3%、70°C で 12.2%、90°C で 6.4%と温泉熱温度が低いほど高く、この差は高温領域になるほど僅かとなることが分かった。凝縮器の夏場の冷却水温度上昇による発電出力の低下は、約 2 割にもなることが分かった。

最後に第 8 章で、評価結果の信頼性を確認する為、実稼働プラントで実測して得られたデータと、評価して得られたデータの検証を行った。その結果、比較可能な数値(温度 90°C、流量 417l/min)の発電出力値は、概略一致しており、評価結果の信頼性を確認することができた。