

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01 / 20 /2017

専攻名（専門分野） Department	総合機械工学専攻	氏 名 Name	藤井 祥万	指 導 教 員 Advisor	中垣 隆雄	印 Seal
研究指導名 Research guidance	エクセルギー工学	学籍番号 Student ID number	CD 5215BE03-3			
研究題目 Title	製糖工場の未利用熱蓄熱輸送システムの研究 ～数値解析によるゼオライトボイラの性能予測と実験による検証～					

1. 種子島における未利用熱蓄熱輸送システム

島外から大量の化石燃料が投入されている種子島は、サトウキビの栽培と原料糖の生産が主要産業であり、原料糖は大阪の精製糖工場で最終製品に加工されている。サトウキビの圧搾工程で大量に発生するバガスは収集システムの確立した優良なバイオマスエネルギーであるが、保存が困難であるため現在は冬場の製糖期間にバガスボイラで燃料として焚かれて処理されている。燃焼熱は電力・圧搾動力として蒸気タービンを駆動するための蒸気発生に用いられているものの200℃程度の未利用熱も同時に大量に発生している。一方、島内では通年で稼働している焼酎工場や、秋に稼働しているでんぷん工場など、高々120℃程度の熱需要が多々あり、現在は重油焚きボイラで供給している。島内の時空間的な熱需要とバイオマス由来の未利用熱発生 mismatches を解消するために、ゼオライトの水蒸気の吸着・再生サイクルを用いた未利用熱蓄熱輸送システムの導入を検討している。

これまで熱・物質フロー解析による実現可能性の評価では、製糖工場における未利用熱量は島内の焼酎工場における通年の熱需要量をはるかに上回っており^[1]、蓄熱側では低コストが求められる。一方、蓄熱輸送ビジネスの実現のためには蓄熱量に対する出熱装置の回収効率が最重要である。そこで本研究では、ゼオライトを用いた出熱側の小型の蒸気発生装置（ゼオライトボイラ）を設計・製作し、実験と解析の両面からその性能を評価することを目的とした。

2. ゼオライトボイラ実験

2.1 実験の設計・製作

ゼオライトボイラの概略図を図1に示す。ゼオライトボイラは移動床、間接熱交換方式を採用した。パッケージボイラが発生した0.6 MPaの飽和蒸気は等エンタルピー膨張により過熱蒸気となり、ゼオライト層の上部から噴射される。ゼオライトはゼオライトボイラの上部から供給され、パッケージボイラから導入された蒸気を吸着しながら下降する。発生した吸着熱はゼオライトボイラ内に設置されている熱交換器に伝熱され、給水を沸騰させる。ゼオライト流量20 kg/h、最大噴射蒸気量4.0 kg/hの実験を計画し、その設計および性能予測のために、向流接触形擬似一次元の質量、エネルギーの保存式を連成した数値解析コードを開発した。数値計算により熱交換器に必要な伝熱面積を1.0 m²と決定し、その伝熱面積を満足する、SUS管で製作したスパイラル多管式熱交換器を径0.3 mの胴体内に設置した。図2に製作した実験装置を示す。

2.2 実験・数値解析結果

予備試験として、ゼオライトボイラ最下部での蒸気の凝縮を避けるため、ゼオライト流量は設計流量の20 kg/hのまま、噴射蒸気量を1.68 kg/hまで絞って実験した。給水量

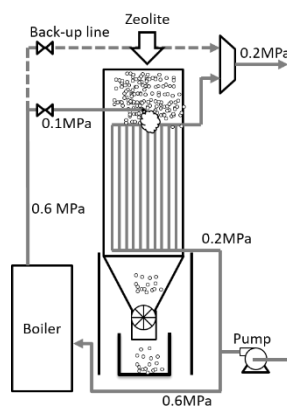


Fig.1 Schematic of "Zeolite boiler"

は1.8 kg/h、内圧は0.025 MPaG（飽和温度=107℃）と設定した結果、110℃程度の過熱蒸気の生成を確認した。図3に本予備試験の定常状態でのゼオライトボイラ軸方向の温度分布と、数値計算の結果を併せて示す。定格条件に対し、1/2以下の熱発生であることから熱交換器の伝熱面積が過大であるため、ゼオライトの温度は熱交換器上部で急激に上昇し、その後噴射位置から約0.2 mより下部では温度が120℃程度でほぼ一定になった。数値計算の結果も上記の傾向を概ね模擬しており、開発した解析コードの妥当性を確認した。

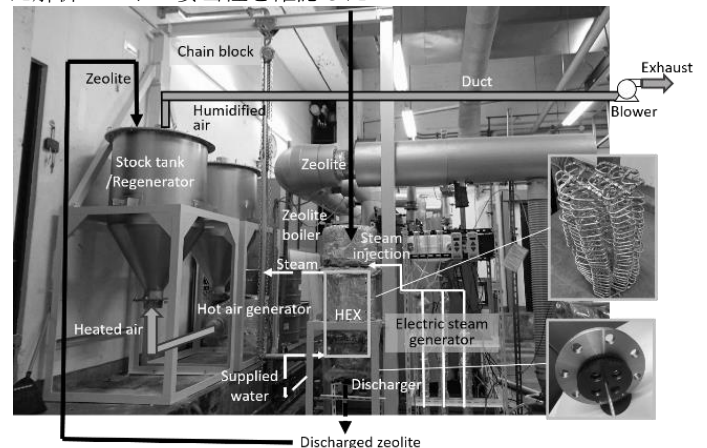


Fig. 2 Experimental apparatus of "Zeolite boiler"

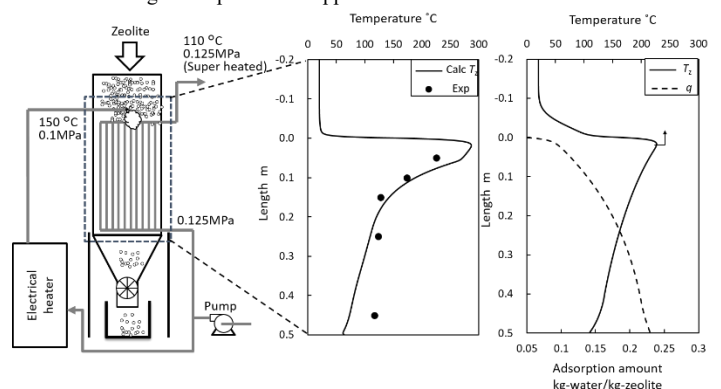


Fig. 3 Experimental and numerical results

Fig. 4 Change in q and T_z

3. 熱回収率向上策の検討

図4に噴射蒸気量が定格の4.0 kg/hの場合のゼオライトの温度T_zと吸着量qの変化を示す。図4に示すように、ゼオライトの温度は蒸気の噴射位置付近で急激に上昇し、それに伴い平衡吸着量が減少するので吸着速度も減少する。噴射蒸気量4.0 kg/hの条件では、ゼオライトボイラ最下部での吸着量は0.27 kg/kgが最大であるのに対し、0.23 kg/kg程度に止まっている。この解決策として、噴射蒸気を分配して多段で噴射する方式が考えられる。最も単純な二段噴射の効果を数値計算で予測したところ、単段噴射と比較して、熱回収率（生成蒸気熱量/蓄熱量）が15ポイント程度向上すると予測された。

[1]S.Fujii., et al., MEJ, Vol. 3, No. 5, p.16-00334