修 士 論 文 概 要 書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01 / 19 / 2018

専攻名（専門分野） Department	総合機械工学専攻	氏 名 Name	古谷　和真	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 5216B084-3		
研究題目 Title	バガス由来の未利用熱蓄熱輸送システムのコスト構造分析				

1. 研究目的

離島地域の一つである種子島では，主要な産業であるサトウキビの製糖工場の圧搾工程で大量のバガスが発生し，バイオマスエネルギーとして製糖工場内のバガスボイラに投入されている．圧搾後の湿潤状態のバガスは長期保存が困難であるため，製糖期間（冬から春）中に必要以上に投入されており，200 ℃程度の未利用熱が発生している．一方，種子島内には，焼酎工場などの年間稼働している熱需要が，120 ℃程度の熱を得るために島外から輸入してきた高価な化石燃料を焚くことで賄っている．サトウキビバガスは収集システムの確立し，食料と競合しない良質なバイオマスエネルギーであるが，種子島内での未利用熱発生と熱需要の時空間的なミスマッチで有効に利用できていない．このミスマッチの解決策の一つとして，季節変動にも対応可能なゼオライトの水蒸気吸脱着による未利用熱蓄熱輸送システムの導入を検討している．本研究では，社会に実装されていない萌芽的な技術であるゼオライトを用いた蓄熱輸送システムをプロダクトとプロセスの視点でのコスト構造分析に加え，地理情報システム（Geographic Information System, GIS）を用いた顧客，組織，サプライチェーンなどの視点での展開の可能性を検討した．

2. ゼオライトを用いた蓄熱輸送システム

図 1 に本研究で扱うゼオライトを用いた蓄熱輸送のシステムを示す．熱供給元では，バガスボイラの煙道ガスの未利用熱を熱源として熱交換器を通して脱着用空気を加熱する．高温の脱着用空気を蓄熱器に導入し，水を吸着した放熱済みのゼオライトと直接接触することでゼオライトから水を脱着させ乾燥させる．乾燥させたゼオライトは払い出しストックタンクに一時貯蔵され，需要量に応じてトラックで熱需要先へ輸送する．熱需要先に運ばれたゼオライトは受け入れストックタンクに一時貯蔵され，熱負荷に追従した必要量がゼオライトボイラに投入される．吸着用蒸気として既存のパッケージボイラで発生させた水蒸気をゼオライトボイラ内に噴射し，ゼオライトの水蒸気吸着により熱を発生させる．ゼオライトボイラの底部から管群で構成される蒸発管へ給水され，ゼオライト粒子と管壁を通じて対向流で熱交換することで，飽和蒸気が上部の蒸気ヘッダから送出される．このとき，ゼオゼオライトボイラは，パッケージボイラからの水蒸気に対して，1.67 倍の水蒸気が送出する熱ブースターとしての役割を果たすと仮定する．放熱済みゼオライトはゼオライトボイラ下部から排出され，ストックタンクに一時貯蔵されて，トラックにより熱供給元へ適宜戻される．

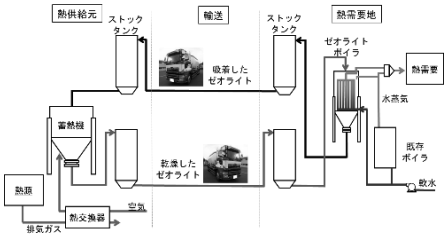

図 1　蓄熱輸送システム概念図

3. 熱需要のヒアリングによる調査

ゼオライトボイラは 120 ℃の水蒸気を送出できるため，ゼオライトを用いた蓄熱輸送システムの熱需要先は殺菌や乾燥など蒸気需要のある食品工場を想定した．ゼオライトボイラは，熱容量が大きく，応答時定数も長いため，変動する熱需要量に対して最低熱需要量を供給するベースロードとしての利用に絞って適用することとした．ゼオライトボイラの定格出力は，食品工場の熱需要を調査して決定することとした．調査対象はゼオライトボイラによる燃料削減効果がより大きい売上規模1000億円以上の食品系企業とした．ヒアリングに基づく熱需要調査結果を表 1 に示す．頻繁に停止する飲料業（酒）を対象から外し，4 t/h を 1 ユニットとして設計することを基準とした．また，食品工場向けの売れ筋パッケージボイラが，2 t/h 規模の機種であることも調査の結果明らかとなり，これも設計の基準とした．

表 1　食品系の主な熱需要先

	最低 t/h	最大 t/h	能力 t/h
飲料(酒)	0	12.5	22.7
飲料(清涼・乳飲料)	7	14	21.9
加工食品	4.6	7.6	10.6
素材食品	32.3	46.5	73.2

4.蓄熱輸送システムのコスト構造分析

運転時間 12 h，運転日数 250 日の熱需要で，熱需給間距離 20 km の条件でゼオライトを用いた蓄熱輸送システムの経済性を評価した．評価対象とするシステムは，熱需要先規模が 2 t/h，4 t/h に加えより小規模熱需要として 0.8 t/h で，熱供給元と熱需要先が 1 対 1 の関係にあるとして条件にて計算した．本コスト構造分析でのすべての項目，例えばシステムで用いる機器の価格，機器製作時間，熱需給間距離，熱販売価格，蓄熱密度などを基準ケースを基に妥当な範囲でパラメータとして操作して経済性に対する感度解析を実施することで，技術的・経済的な実装可能性を評価するとともに，イノベーションに向けた研究開発リソース投入の手がかりを得ることとした．経済性指標として，投資の意思決定の際に用いられる IRR（内部収益率）を採用した．図 2 に 2 t/h の経済性評価として IRR の基準ケースからの感度をトルネードチャートとして示す．0.8 t/h は事業成立困難，2 t/h および 4 t/h では IRR がそれぞれ -19% および -17.6% であった．図 2 から，熱価格や蓄熱側の OPEX の影響が支配的で，CAPEX の影響は小さいことが示された．

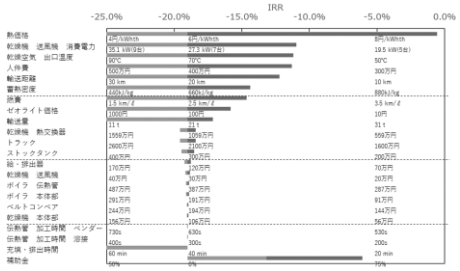

図 2　熱需要 2 t/h の IRR 感度分析

5. 種子島における蓄熱輸送システム

次に図 2 と同様に，蓄熱輸送システムの種子島での適用について計算した．種子島では，0.8 t/h でも事業が成立して IRR は-7.8% であり，2 t/h および 4 t/h ではそれぞれ 5.9%および 12.1%であった．感度の高いパラメータも図 2 とほぼ同様の傾向を示した．島の熱需給実態を GIS データに組み込んで考慮した蓄熱輸送システムの構築例を図 3 に示す．熱供給元は製糖工場，熱需要先は澱粉工場を選定したが，製糖工場と澱粉工場には稼働期間がずれており，大量のストック用ゼオライト（数十億円分）と保存スペースが必要で，そのゼオライトの年利用も 1 回であるため，IRR では事業性なしと評価される．この対策として，①同期した稼働期間ではゼオライトの稼働率を高める，②製糖期間の延長，③他の熱供給元を組み合わせる，などによってストック用ゼオライトを 47.1%減少させた場合では，IRR は-24.4%となった．

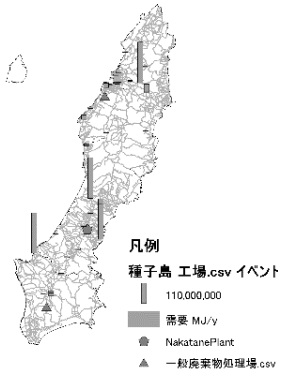

図 3　GIS による検討結果