

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01/15/2021

専攻名 (専門分野) Department	総合機械工学専攻	氏名 Name	有本直昭	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 5219B005-2		
研究題目 Title	サトウキビ由来複合生産プロセスにおける製糖工場内未利用資源の有効利用設計				

1. 緒言

種子島の基幹産業であるサトウキビの原料糖生産を担う製糖工場では現在原料糖のみを生産しているが、近年、製糖工場におけるサトウキビ由来副生成物に着目したプロセスとして糖蜜を用いたエタノール製造^[1]、余剰バガスによる追加発電および売電^[2]、未利用熱の蓄熱輸送^[3]などが検討されている。島内製糖工場に対して、検討領域をサトウキビ農プロセス依存の収量やバガス・ショ糖割合まで拡張したエタノール製造・追加発電の複合生産プロセスのシステム評価も実施^[4]されており、蓄熱輸送技術はゼオライトの水蒸気吸脱着サイクルを用いたシステム構築とそのシステム設計手法が昨年度までに確立されている^[5]。そこで今年度は、製糖工場におけるエタノール・電力・熱の複合生産プロセス導入を検討し、各プロセスに必要な熱量とコストのバランスから所内未利用熱の活用指針の確立を目指した。また、島内では今後栽培サトウキビ品種の更新が予定されているため、本研究では上記に加え、品種更新も考慮したサトウキビ由来複合生産プロセスの熱利用についても検討した。

2. サトウキビ品種更新

本研究で検討したサトウキビ品種には、現在の主要栽培品種に加え島内で栽培が検討されている3品種を選定し、各品種で収量、バガス・ショ糖割合などを設定した。現栽培種以外の品種では2種類のサトウキビ圧搾処理量を操業パターンとして想定し、基準ケースを含む計7つの検討ケースで製糖工程における熱電需要と所内未利用資源ポテンシャルを算出した。

3. 副生成物生産プロセス

3.1 エタノール製造・追加発電

エタノール製造における投入エネルギー量の約73%は蒸留工程に供給^[6]されており、蒸留工程の熱供給には共沸温度(約78°C)以上の熱源が必要になる。そこで、蒸留工程に必要な蒸気流量(140°C/0.2MPa)を算出するため、図1の通りプロセスシミュレータ Aspen HYSYS[®]を用いてプロセスフローダイヤグラム(PFD)上に蒸留工程を模擬した。エタノール製造可能量は最終糖蜜中の残留糖割合および圧搾処理量から算出した。プロセスシミュレーションにより、発酵液中のエタノール質量割合ごとのエタノール製造量と必要蒸気流量の関係を取得しておくことで、残留糖の構成割合とエタノール製造量をパラメータとして、図2の通り必要な蒸気流量を推算できる。また、追加発電は既存発電設備の利用を仮定し、現製糖工程を模擬した PFD を用いて発電出力量当たりの必要蒸気流量を算出した。

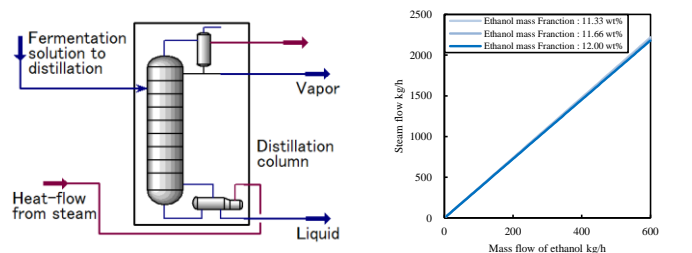


図1. 蒸留工程のプロセスフロー

図2. 蒸留工程の必要蒸気流量

3.2 蓄熱輸送

蓄熱輸送プロセスにおいて、蓄熱側では向流接触式蓄熱装置「ヒートチャージャー(HC)」^[7]、出熱側では蒸気生成装置「ゼオライトボイラ(ZB)」^[8]をこれまでに考案し、学内規模での実証を完了している^[9]。両装置の性能予測には、エネルギー、質量、化学種保存式を連成した一次数値解析モデル^[10]を用いた。本研究では蓄熱ガスの昇温にブロー蒸気(342.7°C/1.9MPa)を利用するため、簡易的なコ

スト評価を実施し蓄熱ガス温度を232.0°C、蓄熱後吸着量を0.028kg/kgに決定した。

HCでは、ゼオライト流量毎に0.028kg/kgまで蓄熱可能な条件でブロー動力が最小となるように設計パラメータである層高さ・ガス風量を取得した(図3)。同図よりゼオライト流量当たりの層高さ・ガス風量は線形近似可能(決定係数:0.99, 0.98)であり、これらからブロー動力を算出することで各ゼオライト流量におけるブロー動力を推算できる。一方ZBでは、ゼオライト流量毎に燃料削減が最大となる胴体高さおよび生成蒸気が乾き飽和蒸気となる最大生成蒸気流量^[11]を取得した(図4)。同図よりゼオライト流量当たりの胴体高さ・生成蒸気流量・燃料削減はいずれも決定係数0.99以上で線形近似可能である。

以上をまとめると、蓄熱輸送プロセスは蓄熱用供給蒸気流量から蓄熱ガス最大風量を算出し、蓄熱可能な最大ゼオライト処理量を決定後、その最大処理量における各種設計パラメータおよびブロー動力、燃料削減を推算した。

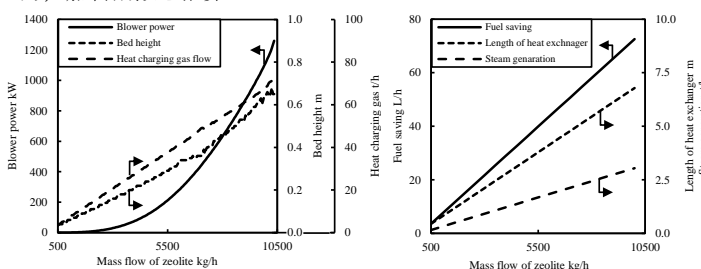


図3. HC性能曲線

図4. ZB性能曲線

4. 複合生産プロセスの検討

現栽培品種・操業パターンの検討ケース(基準ケース)において、3.で取得した各副生成物生産プロセスの生産量と供給蒸気流量との関係を用いて、複合生産プロセスに利用可能な蒸気のスプリット比をパラメータとしたコスト評価を実施した。供給蒸気1kg当たりの利益はエタノール製造、追加発電、蓄熱輸送の順で高く、エタノール製造および追加発電は供給蒸気流量に対して利益が単調増加する。そのため、エタノール製造は栽培品種や圧搾処理量より決定される最大エタノール製造量の必要蒸気流量、追加発電は発電出力が発電設備容量の上限に達する蒸気流量まで供給蒸気を増大させることでシステム収益が最大化する。一方、蓄熱輸送は供給蒸気流量増大に伴い蓄熱量が増大するため燃料削減による収益も増加するが、蓄熱に必要なブロー動力コストも増加するトレードオフの関係がある。そのため基準ケースでは、現状の熱価格において、図5のようにエタノール製造および追加発電に最大必要蒸気を供給し残りの利用可能蒸気の約65%を蓄熱輸送に利用することでシステム収益が最大化した。また、この収益が最大化するスプリット比は検討ケース毎に異なることもわかった。

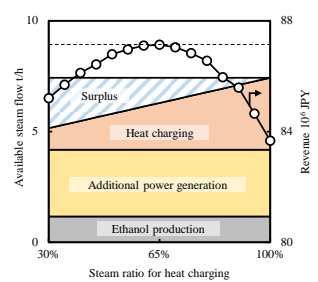


図5. 複合生産プロセスの供給蒸気流量とシステム収益

参考文献

- [1] 小原聡ら, 日本LCA学会誌, 15, 1, 2019.
- [2] 大内田弘太郎ら, 化学工学論文集, 44, 2, 2018.
- [3] 藤井祥万, 博士学位論文, 2020.
- [4] 小原聡ら, 化学工学論文集, 44, 4, 2018.