

綿繊維からのエタノール製造における連続処理技術開発

中野恵之, 東山幸央, 古谷 稔

要旨 兵庫県西脇市を中心とした播州織産地は企業の大半が半径15kmの範囲に集積しており、生産工程で余剰糸・糸屑・端布が発生（約100 t/月）し、業界からリサイクルしてほしいとの要望が高い。これらの糸屑は、有償で産業廃棄物として処理されるため、企業の処理コスト負担も製品の競争力を大きく低下させている。そのため、余剰糸・糸屑・端布などの廃棄物からバイオエタノールを製造し、エタノールを産地や当該地域で再利用していくなどの早急な対応が必要不可欠となっている。繊維廃棄物からエタノールを製造する工程は、糖化工程と発酵工程と濃縮工程がある。糖化と発酵を同時に行い温度差制御気化浸透法によるエタノール濃縮技術と組み合わせて、連続でエタノール製造の最適な条件やエタノールと水の分離技術および工程管理を検討した。

1 目 的

播州織産地は、生産工程で、余剰糸・糸屑・端布が大量に発生しており、リサイクルしてほしいとの要望が高い。播州織物産地において綿繊維廃棄物からバイオエタノールを製造し地産地消を実施することにより、他の綿製品産地への技術普及も可能と考える。平成27年度の研究開発において、綿繊維からの糖化・発酵工程を1浴で同時処理が可能なることを確認した¹⁾。高濃度のエタノール液を得るためには蒸留等の濃縮工程が必要となるが、蒸留法では大きな熱エネルギーを要する。そこで、本研究では、反応タンクに温度差制御気化浸透法（図1参照）を組み合わせて、エタノール製造装置を一体化することを検討した²⁾。温度差制御気化浸透法は、減圧下で気化させたエタノールと水を分離する技術である。この分離濃縮装置を糖化・発酵工程を行っている反応タンクに設置することから、反応中の生成エタノールを抜き出すことが可能となる。この試みから、綿繊維からエタノールを連続的に製造しながら分離濃縮するシステムを構築し、製造工程の簡略化とコスト削減を目指した。

2 実験方法

2.1 反応濃縮一体システムの構築

図2に反応濃縮一体システムの構成を示し、図3にシステム全体写真を示す。反応タンクに温度差制御気化浸透装置を連結し、減圧は耐溶剤のダイヤフラム型真空ポンプを用いる。ダイヤフラム型真空ポンプは、テフロン製ダイヤフラムの往復運動と逆止弁を組み合わせて駆動するため、エタノールに他の物質が混入しない。また、温度差制御気化浸透装置で分離膜を通過し濃縮されたエタノールは、高真空に減圧されている状態では捕集に液体窒素等を用いて冷却する必要がありコスト高になる。そこでダイヤフラム型真空ポンプ通過後の大気圧にて、温度差制御気化浸透濃縮に用いる0℃程度の冷却水を活用してエタノールを捕集するシステムを構築した。

構築した反応濃縮一体システムを用いてエタノール溶液による濃縮試験を行った。試験条件は、真空度400Pa、分離膜は中空分離ユニットを使用し、3時間濃縮運転を行った。反応タンクの温調は40℃で行った。

2.2 綿繊維くずからのエタノール製造試験

構築した反応濃縮一体システムを用いて、播州織産地で排出された綿繊維廃棄物の耳糸屑からのエタノール製造試験を行った。

エタノール製造には、酵素はファルマ株のメイラーゼを用い、酵母はオリエンタル酵母（saf-instant）を用いた。処理溶液は10L、繊維試料500g、酵素3g/L、酵母3g/L、酢酸と酢酸ナトリウムにてpH4.4に調整した。処理日数7日、温度40℃、繊維耳糸は20cm程度に切断して投入した。攪拌はスターラーを用いて行った。

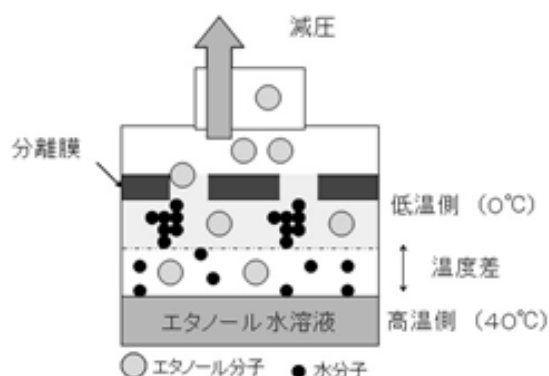
2.3 エタノール濃度分析

エタノール濃度は、ガスクロマトグラフ（島津製作所製GC-14A型）にて、分析カラムは、ガラスカラム（THERMON-1000 5% SUNPOK-A 50-80）を用いて行った。

3 結果と考察

3.1 反応濃縮一体システムによる濃縮試験

反応タンクに500mlの6.1%エタノール液を準備した。終了時には373mlが残り、濃度は4.1%に低下していた。蒸気となったものの分離膜を通過していない溶液は分離膜下に貯まり、その回収量は95mlで濃度は11.5%であった。濃縮された試料は、11.8mlで56.5%であった。



- ① エタノール溶液を40℃に加熱し、かつ減圧することにより、エタノールを気化させる。この時、水分子も気化される。
- ② 0℃の低温側を通過する時に水分子は会合するため分離膜を通過できない。
- ③ エタノール分子のみが分離膜を通過する。

図1 温度差制御気化浸透法の概要

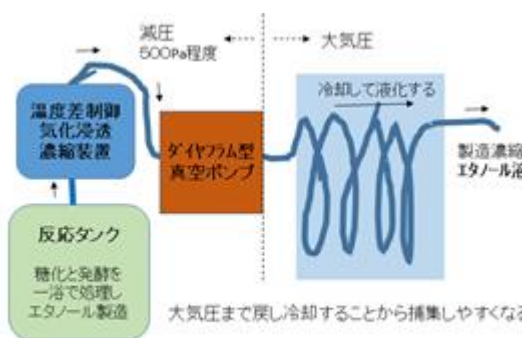


図2 反応濃縮一体システムの概要

過していない溶液は分離膜下に貯まり、その回収量は95mlで濃度は11.5%であった。濃縮された試料は、11.8mlで56.5%であった。

これらの結果から、構築した反応濃縮一体システムは反応層内の反応液からエタノールを抜き取ることが可能であることが確認できた。

3.2 繊維屑からのエタノール製造試験

構築した反応濃縮一体システムを用いて、播州織産地で排出される綿繊維廃棄物の耳糸屑からのエタノール製造試験を行った。図4に、繊維屑からのエタノール製造試験時の反応槽の写真を示す。開始時に槽内に確認された繊維形状は処理時間とともに分解され、7日後にはほぼ繊維形態が確認できない状況まで反応が進んだ。7日後に温度差制御気化浸透装置にて分離濃縮試験を行った結果、分離膜を通過して濃縮され回収したエタノールは、14.5ml、78.0%であった。また、減圧によって蒸気となったが分離膜を通過しなかった試料は、910ml、6.2%であった。この試験によって構築した反応濃縮一体システムにより綿耳糸屑からエタノールを製造し濃縮回収を同時に進行させることが可能であることが確認できた。



図3 反応濃縮一体システム写真

- A: 反応タンク設置部、B: 温度差制御気化浸透装置
C: ダイアフラム型真空ポンプ、D: エタノール回収部

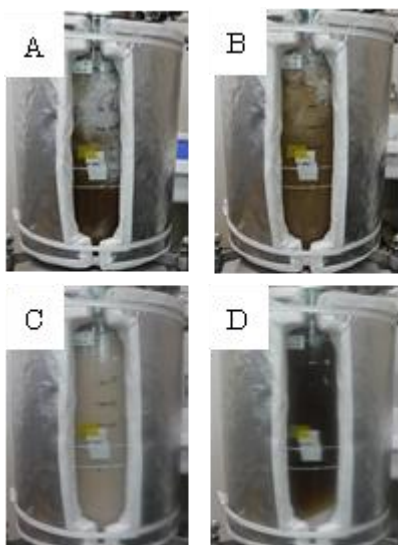


図4 エタノール製造試験時の反応槽
A：実験開始時、B：3日後、
C：7日後、D：7日後攪拌停止時

ま と め

繊維廃棄物（綿耳糸屑）を原料とし、糖化工程と発酵工程を同時に一浴で反応させ、エタノールを製造に関し、温度差制御気化浸透法により反応層から反応を止めることなく分離濃縮することを目的に実験を行った。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 反応濃縮一体システムによりエタノール製造および分離濃縮は可能である。
- 2) 分離膜を通過しなかった気化エタノールおよび水は水滴として膜下に貯まる。

以上のように構築したエタノール製造システムにて綿耳糸屑の処理が可能であることが確認できた。

参 考 文 献

- 1) 中野恵之他、平成27年度繊維学会第秋季研究発表予稿集70巻2号、p119（2015）
- 2) 中野恵之他、「発酵濃縮装置および発酵濃縮方法」特願2012-157906

謝 辞

本研究は関西大学、(株)エコログ・リサイクリング・ジャパンと共同研究にて実施しました。

関係各位に深く感謝します。