

大阪工業大学工学部 学生会員 ○田中 量也
大阪工業大学工学部 正 会 員 古崎 康哲
大阪工業大学工学部 正 会 員 石川 宗孝

1. はじめに CO₂ の排出による地球温暖化や原発に代替するエネルギーの確保が問題となる中、対策として再生可能エネルギーへの期待が高まっている。中でも廃棄物系バイオマスからのエネルギー生産は、廃棄物処理と化石燃料代替の両面が期待できるため注目されている。バイオエタノール技術はこれらの技術に位置づけられ、廃棄物中のセルロースや炭水化物を微生物によりエタノールへ変換させ、燃料としてエネルギー活用することができる。対象となる廃棄物系バイオマスには食品廃棄物や建設発生木材などが挙げられるが、中でも外食産業からの食品廃棄物は炭水化物や栄養塩を多く含むため発酵が容易でエタノール化に有利と考えられる。しかし、バイオエタノール生産は回分発酵式が主流であり、設備が大きくなることや多量の酵母を添加しなければならないなどの課題が残っている。連続式はこれらの点に有利となる可能性はあるが、菌体の保持や生成エタノールによる阻害などにより、発酵効率が低くなることが考えられる。そこで本研究では、連続式エタノール発酵における運転因子の検討を行った。大学食堂模擬厨芥を基質とし、連続発酵中の酵母追添加は行わない運転で、エタノール発酵収率を高めるための運転手法の検討を行った。

2. 実験方法 以下の3種類の条件で連続発酵実験を行った。

- Run1...希釈した模擬厨芥を使用
- Run2...無希釈の模擬厨芥を使用（高濃度での運転）
- Run3...希釈した模擬厨芥を使用＋菌体返送（酵母の流出防止）

基質は糖化させた模擬厨芥とした。表1に模擬厨芥の組成を示す。全ての材料を一緒に破砕した後、糖化酵素(グルコアミラーゼ Novozymes 社製 Spirizyme Fuel)を厨芥 1000mL 当たり 7.5mL 注入し 50℃に設定した恒温槽にて 2 時間攪拌して作成した。Run1 では基質供給の際に詰りが生じたため、Run2 からは骨と卵の殻を除いて行った。蒸留水は Run2 では使用せず、Run3 では 1000mL とした。図1に装置の概略図を示す。リアクター内に初期基質として 1000mL の糖化済み模擬厨芥を投入後、醸造用酵母(Alcotec 社製 48 TURBO SURERJAST)を 20g 添加して回分発酵を行った。初期基質の発酵終了後、連続での引抜・投入を開始した。槽内から発酵が終わった基質をローラーポンプにて1分間で図右に示すパックへ引抜き、引抜きが完了したら図左に示すパックから同量の基質を1分間で槽内へ投入した。ローラーポンプの稼働は1時間に1回とした。パックは保冷剤と共に保冷容器内に保存した。表2に各Runにおける実験条件を示す。Run2 ではエタノール阻害が生じたため、HRT の変更と酵母の追添加を行った。Run3 では槽内酵母菌濃度を維持するため、引抜液中の酵母を遠心分離した後、発酵残さと酵母を目視で分離して返送した。分析は投入・引抜液のグルコース濃度(比色法)および引抜液のエタノール濃度(ガスクロマトグラフ法)とした。Run2 からは槽内酵母濃度として、血球計数盤で 1mL 中に存在する酵母菌の個数を顕微鏡によりカウントした。

表1 模擬厨芥の組成

模擬厨芥材料	使用量
キャベツ	180g
ニンジン	180g
ニボシ(ボイル)	120g
鶏肉(ボイル)	96g(骨付)
卵の殻	24g
ご飯	600g
蒸留水	900mL

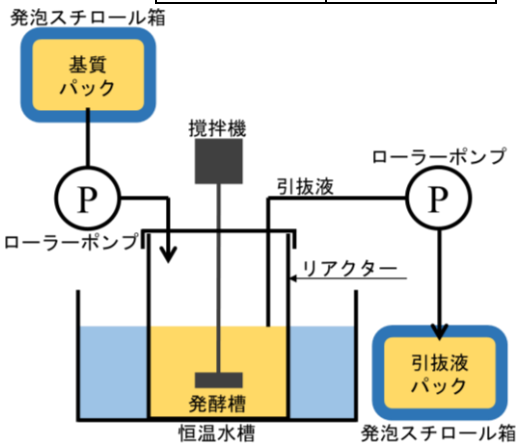


図1 装置の概略図

表2 各Runの実験条件

項目	Run1	Run2	Run3
運転日数	23day	18day	30day
全糖濃度 (実測値)	101g/L	239g/L	140g/L
TS (実測値)	16.0%	28.0%	15.3%
全量	1000mL		
水温	26℃		
攪拌数	100rpm	150rpm	120rpm
HRT	24hour	24→48→72hour	24hour
酵母投入量	20g(開始時)	20g(開始時)+ 10g(追添加)	20g(開始時)
菌体返送	なし	なし	あり

3. 実験結果と考察

図2にRun1における各濃度の経日変化を示す。10日目辺りから引抜液中に微量のグルコースが認められ、それに伴って引抜液中エタノール濃度の低下が生じた。これは引抜により槽内の酵母菌が減少したためだと考えられる。図3にRun2における各濃度の経日変化を示す。連続運転開始直後から引抜液中グルコース濃度が上昇し引抜液中エタノール濃度および酵母濃度の低下が見られた。そのため、酵母の追添加や投入量の変更でHRTの延長(図中①-24,②-48,③-72時間)を行った。しかしグルコースの分解は改善されず、引抜液中の未分解のグルコース濃度は50g/Lまで上昇した。これは、濃度の高い基質で運転を行ったため生成エタノール濃度が高くなり、その結果酵母の増殖・分解活性の低下が生じたためと考えられる。図4にRun1,Run2の槽内エタノール濃度・分解率の関係を示す。Run1では槽内エタノール濃度40~50g/Lで100%近い分解率を示したのに対し、Run2では65~90g/Lの濃度で多くの点で80%未満の分解率を示した。このことから酵母の活性が阻害されるエタノール濃度は50~60g/Lにあると考えられた。図5にRun3における各濃度の経日変化を示す。引抜液中グルコース濃度は5g/L未満で推移し、引抜液中エタノール濃度は50g/L前後を低下することなく安定して推移した。酵母濃度も返送を行ったことで維持され、その結果グルコース分解が安定して行われたと考えられる。エタノール収率[=生成エタノール量/投入した糖分から生成できる理論エタノール量×100]は71%となった。Run3の評価として食品廃棄物からのエタノール化実証実験⁹⁾との比較を行った。近い条件での運転であったため同様にエタノール収率を算出したところ、本研究とほぼ同じ収率であった。このことから本研究のRun3における条件・手法は食品廃棄物を基質としたエタノール連続発酵に有効であると思われる。

4. おわりに

本研究では、糖化模擬厨芥を基質とした連続エタノール発酵実験を行い以下の知見を得た。連続エタノール発酵を行うに当たり、槽内酵母濃度を維持したうえでエタノール濃度を50~60g/L以下に管理すれば、70%程度の収率を得ることが可能になる。今後の課題として、組成にばらつきのある実厨芥での発酵、長期間の運転での雑菌混入などによる収率低下などが挙げられる。

【参考文献】1) 新日鉄エンジニアリング技報,Vol.2,食品廃棄物からのバイオエタノール化技術の開発,pp.15(2011)

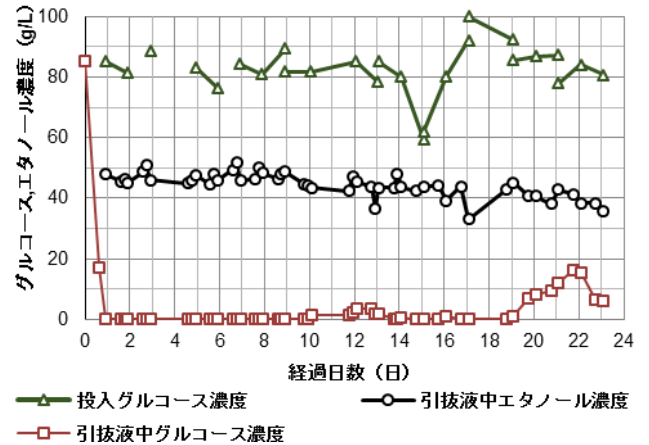


図2 グルコース, エタノール濃度の経日変化 (Run1)

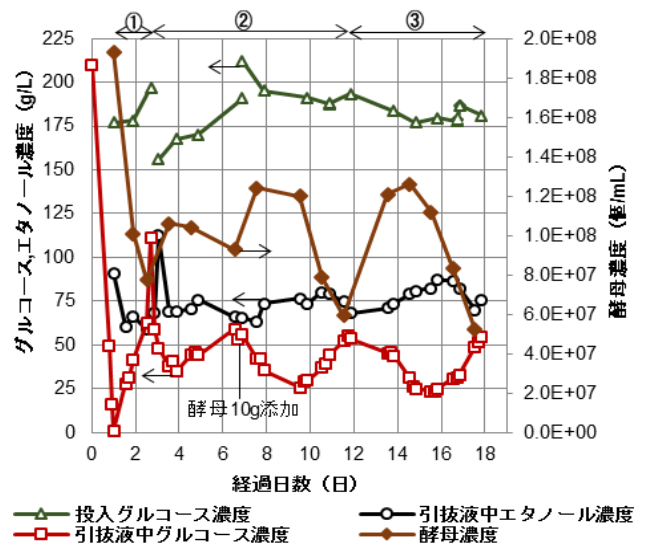


図3 グルコース, エタノール, 酵母濃度の経日変化 (Run2)

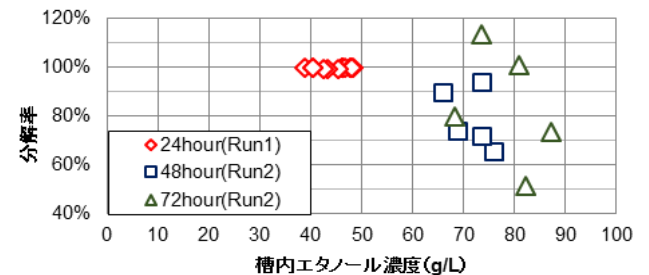


図4 Run1, Run2 の分解率と槽内エタノール濃度

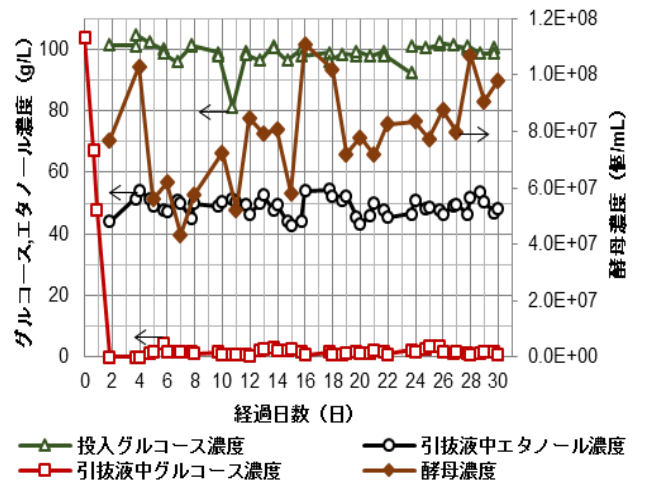


図5 グルコース, エタノール, 酵母濃度の経日変化 (Run3)