

生物学的エタノール生成を前処理に用いた 膜分離型メタン発酵の半連続高負荷運転に関する研究

大阪工業大学大学院工学研究科 学生会員 ○船橋 遼太
大阪工業大学 正会員 古崎 康哲
大阪工業大学大学院工学研究科 孫 晋

1.はじめに

食品リサイクル法により食品関連事業者は再生利用等に取り組む必要があり、リサイクル法の 1 つとしてメタン発酵がある。食品廃棄物のメタン発酵は廃棄物の処理とエネルギー利用の両面で意義がある。しかし、食品廃棄物の嫌気性分解では VFA が蓄積しやすくなるため、高負荷での運転は難しい。著者らは、炭水化物を多く含む食品廃棄物を基質とする場合であれば、前処理として糖化・エタノール化を行うことで短い HRT および高負荷でのメタン発酵が可能であることを報告している¹⁾²⁾。これは前処理を行った基質はプロピオン酸が生成しにくいこと、炭水化物がエタノールに低分子化されて分解性が向上するためと考えられる。また、汚泥増殖量が少ないため膜分離型メタン発酵(AnMBR)が有効である。前報では、AnMBR を用いて TS 10%のエタノール化させた模擬厨芥を用いて HRT 5 日、容積負荷 20 g-VTS/L/日での運転が可能であることを示した²⁾。しかし、膜透過水量を増やすことができなかったために、さらなる高負荷運転ができなかった。このことから本研究では模擬厨芥をエタノール化処理させた基質の AnMBR 処理において、さらなる高負荷運転を目的とし、基質 TS 濃度を 15%(前報 10%)として半連続運転を行った。

2.実験方法

2 系列で実験を行い、前処理として糖化・エタノール化を行った模擬厨芥を用いた系列を”前処理系”、行わない系列を”対照系”とした。模擬厨芥は炭水化物を多く含む組成とし、使用材料は wet-base で白米 300 g、キャベツ 90 g、ニンジン 90 g、ニボシ 20 g、鶏ムネ肉 20 g とし、材料がペースト状になるまで破砕機(Retsch GM200)で破砕した。破砕後、窒素曝気水で TS 15%に調整した(175 日目以降は TS 20%にした)。前処理は模擬厨芥(TS 15%)1 L 当たり糖化酵素(Novozymes 社,Spirizyme Fuel)を 7.5 mL 添加し、攪拌しながら 50 °Cで 2 h 糖化させた後、27 °Cに下げ酵母(シンワフーズケミカル株式会社,Maurivin POP)を 2.78 g 添加し、40~48 h 攪拌を行いエタノール発酵させた。発酵後のエタノール濃度は約 63 g/L であった。図 1 に実験装置の概略図を示す。メタン発酵槽(37 °C)は有効容積 4.5 L とし、膜モジュール(住友電気工業製,ポアフロンモジュール,孔径 0.2 μm ,ろ過面積 0.15 m^2)は槽内に浸漬させ、下部からガス曝気を行い槽内の攪拌と膜の洗浄を行った。基質は 4 °Cに設定した厨芥タンクからローラーポンプで 1 日 3~6 回投入した。引抜は膜を通してローラーポンプで行った。HRT 40 日、容積負荷 4.8 g-VTS/L/日より実験を開始し、投入量を段階的に上げて、最終 HRT、容積負荷を前処理系 6 日、32 g-VTS/L/日、対照系 15 日、9.5 g-VTS/L/日とした。

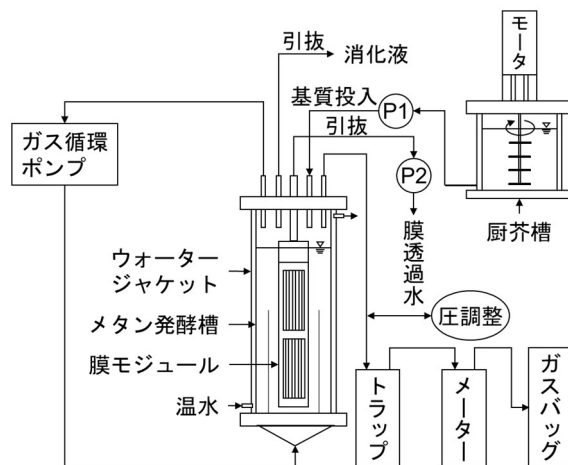


図 1 実験装置概略図

3.実験結果と考察

図 2(a)、(b)に半連続実験における pH、ガス発生量の経日変化を示す。対照系は HRT 15 日、容積負荷 9.5 g-VTS/L/日までは、pH が 7~7.5 を推移し、バイオガス発生量は容積負荷を上げる毎に増えた。しかし、HRT 10 日、容積負荷 14 g-VTS/L/日の 160 日目でプロピオン酸や酢酸の蓄積により pH が 6.5 を下回り、162 日目でバイ

連絡先(住所：〒535-8585 大阪市旭区大宮 5 丁目 16-1, TEL：06-6954-4375, FAX：06-6952-6197)

オガスが生成しなくなり破綻した。一方、前処理系は高負荷時も pH が 7.5~8.0 を推移しておりバイオガス発生量も容積負荷を上げる毎に増えており安定していた。HRT 6 日、容積負荷 32 g-VTS/L/日の条件であっても T-VFA は 430 mg/L と障害のない濃度であり、定常状態で 27 日間の運転が可能であった。このことから対照系の約 3.3 倍、前報の約 1.6 倍での高負荷運転を達成できた。しかし、膜透過水量を増やせなかったために、この条件で運転を終了し、破綻させられなかった。AnMBR で食品廃棄物を基質とした場合の運転可能な COD_{Cr} 容積負荷は 10~15 g-COD/L/日まで³⁾⁴⁾と報告されているが、本研究では 40 g-COD/L/日であり、約 4 倍の負荷での運転が可能であった。図 3 に投入基質 VTS あたりのメタン収率を示す。メタン収率は前処理系のほうが 1 割ほど高くなり、450~500 mL/g-VTS で推移した。高負荷時もメタン収率を落とさずに運転が可能であった。前処理系はエタノール化時に二酸化炭素を生成するため、バイオガス中メタン濃度が高くなる¹⁾²⁾。本研究においてもバイオガス中メタン濃度は対照系 55% に対して前処理系 70% と既報と同じであった。

図 4 に容積負荷 9.5 g-VTS/L/日における基質投入後のバイオガス生成速度の推移を示す(2 バッチ分)。対照系は基質投入直後にガス生成速度がピークを迎えるが直ぐに下がり 2 L/hr となった。1.5 時間程の後 0.8 L/hr まで下がり以降は横ばいとなった。前処理系は投入後 1 L/hr から 1.5 L/hr まで増加し、2 時間以降徐々に低下し、3.5 時間目以降は横ばいとなった。このことは対照系は投入直後から分解が急激に進むことを示しており VFA による障害を受けやすいことを示している。一方前処理系は分解速度は高くなかったが、VFA による障害を受けにくかったと考えられる。さらにプロピオン酸が生成しにくい²⁾ことも高負荷での運転を可能にした要因と考えられる。さらに高負荷の条件では汚泥量増加に伴って分解速度のピークが高くなり、そのため運転可能であったと考えられる。

4.結論

糖化・エタノール化を前処理として行う膜分離型メタン発酵の高負荷運転を行った。前処理を行うことでメタン収率を下げることなく、対照系の約 3.3 倍の容積負荷での運転が可能であることが分かった。バイオガス生成速度は前処理系のほうが低い、このことが逆に VFA の障害を小さくさせたのではないかと考えられる。

【参考文献】

- 1)高橋ら：糖化・エタノール化を前処理に用いるメタン発酵の連続運転特性,第 51 回日本水環境学会年會講演原稿,p59(2017)
- 2)Jin Sun ら：Higher load operation by adoption of ethanol fermentation pretreatment on methane fermentation of food waste,Bioresource Technology,vol.297,122475(2020)
- 3)Yamrot M.Amha ら：Two-Phase Improves Performance of Anaerobic Membrane Bioreactor Treatment of Food Waste at High Organic Loading Rates,Environmental Science&Technology,53,9572-9583,2019
- 4)Hui Cheng ら：Upgrading methane fermentation of food waste by using a hollow fiber type anaerobic membrane bioreactor,Bioresource Technology,vol267, Pages 386-394(2018)

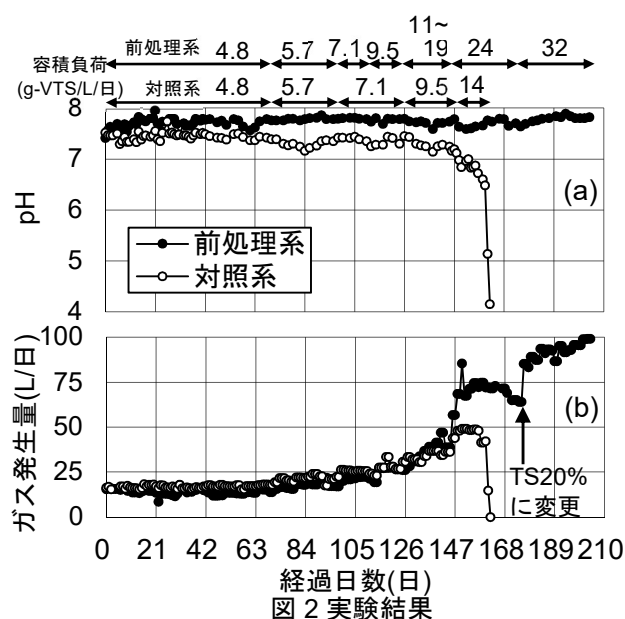


図 2 実験結果

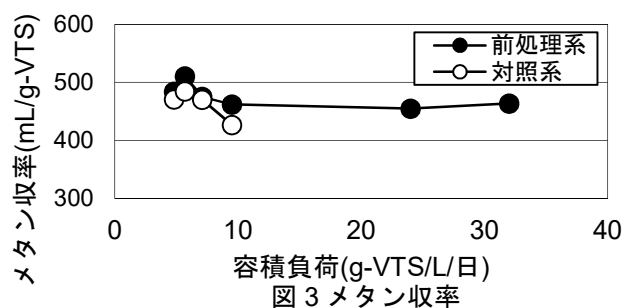


図 3 メタン収率

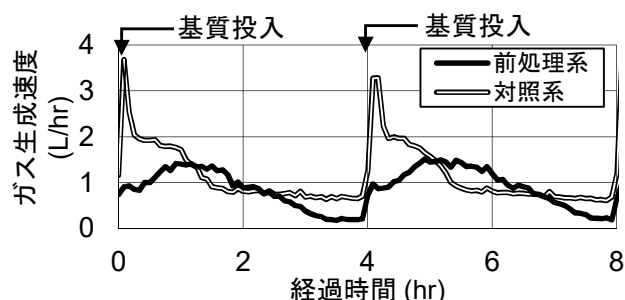


図 4 ガス生成速度(容積負荷 9.5 g-VTS/L/日)