

第Ⅶ部門

糖化・エタノール発酵を前処理とした食品廃棄物の連続メタン発酵特性

大阪工業大学大学院 学生会員 ○高橋 開人

大阪工業大学 正会員 古崎 康哲 石川 宗孝

1.はじめに

本研究では炭水化物を比較的多く含む食品廃棄物を対象に、メタン発酵の前処理として糖化・エタノール発酵を導入する効果を検討した。本研究で提案するメタン発酵プロセスを図1に示す。提案プロセスでメタン発酵の前処理として糖化反応槽、エタノール化反応槽を設置する。糖化反応槽で糖化酵素を添加し、エタノール化反応槽で酵母を添加しており、ここで生成したエタノールは抽出せずそのままメタン発酵槽に投入している。基質中の炭水化物(でんぷん質)に着目すると、従来プロセスでは(式-1~4)に示す反応がメタン発酵槽で行われ、炭水化物の最小単位であるグルコース 1mol からメタンと二酸化炭素が 3mol ずつ生成する。一方、本研究で提案する前処理プロセスでは炭水化物が酵素によって(式-1)の反応で糖化され、(式-5)の反応でエタノールを生成する。その際に 2mol の二酸化炭素が気相に放出される。生成したエタノールをメタン発酵槽に投入すると(式-6)および(式-3,4)に示す反応により 3mol のメタンと 1mol の二酸化炭素が生成する。反応を通して発生するバイオガス組成は両系とも同じだが、前処理系はエタノール化で二酸化炭素を放出していることから、メタン発酵で得られるバイオガスは従来プロセスよりメタン濃度が高くなることが期待できる。また、エタノール化(式-5)による炭水化物の低分子化で基質分解性の向上も期待できる。模擬厨芥を基質として既に回分実験¹⁾と半連続実験²⁾でメタン濃度の向上と長期の運転が可能であることを確認できたが、本研究ではさらに低 HRT・高負荷運転の可能性を検討すべく連続実験を行った。

2.実験方法

一槽式メタン発酵槽を用いて、対照系と前処理系の比較を行った。メタン発酵槽は有効容積 10L、37℃、攪拌数 90rpm とし、対照系には TS を 10%に調整した模擬厨芥¹⁾(TOC 約 45g-C/L)を投入した。模擬厨芥は米飯が重量比で約 50%含まれているのが特徴である。前処理系では TS を 10%に調整した模擬厨芥を糖化・エタノール化させてから投入した(エタノール濃度 約 35g/L)。糖化酵素は Novozymes 社製グルコアミラーゼ Spirzyme Fuel を 1L 当たり 7.5mL 添加し、50℃、2 時間反応させた。酵母は Alcotec 社製 48TURBO SUPERJAST を 1L 当たり 10g 添加し、26℃、65 時間反応させた。バイオガスはガスメーター(日本フローコントロール(株)MGC-1)で計測し、ガスバッグに貯留した。ガス組成および消化液の分析は既報と同様とした。引き抜き汚泥は一部を遠心分離して固形分を返送した。消化汚泥は下水処理場と牛糞処理施設から提供を受け、それらを混ぜ模擬厨芥で長期間馴致してから使用した。基質はポンプを使用して 1 日に 4~6 回投入し、HRT を 40 日から 15 日まで段階的に短縮することで運転可能な負荷の限界を検討した。

3.結果と考察

図2上段にバイオガス中メタン濃度を示す。対照系ではメタン濃度が 50%前後で推移した。前処理系では 3 日目までメタン濃度が 65%を上回り、大きな変動もなく 70%前後であった。このことから、前処理を行うことでバイオガス中のメタン濃度が 20%上昇し、HRT を短縮しても安定することが分かった。

図2中段に槽内 VSS 濃度の推移を示す。対照系は緩やかな上昇傾向が見られたが、HRT を 20 日にしてから大幅な増加が見られ、HRT15 日では 35 g/L まで上昇した。これは、VFA 生成による pH 低下で基質の分解が進まず、未分解の基質が消化液中

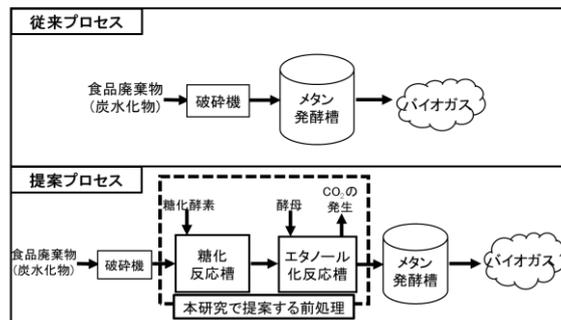
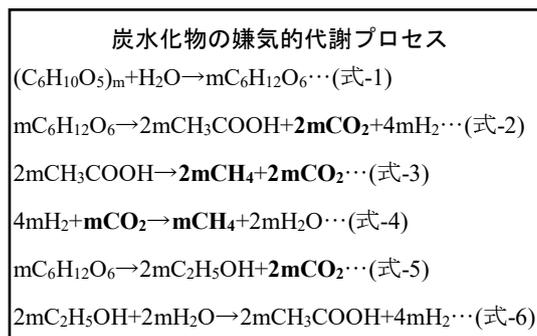


図1 提案するメタン発酵プロセス



に残存したためと考えられる。前処理系は14日目までVSSが下降傾向にあり、このままでは槽内に十分な菌体濃度を維持できないことから、引抜汚泥を全て遠心分離し、固形分を槽内に返送するよう操作を変更した。その結果、VSSの低下を防ぐことができた。汚泥生成量を比較すると、前処理系は対照系より70~80%少なくなるのが分かった。

図2下段にpHおよびVFA濃度の推移を示す。対照系はHRT25日あたりからpHが下降傾向にあり、VFAが100~400mg/L程度見られ始めた。HRTを15日にしてから1週間後の105日目でVFAが3000mg/L生成し、pHが5.4まで低下した。バイオガス生成も大きく減少し、装置は破綻した。前処理系はpHが上昇傾向にあったが8前後で安定し、VFAの生成は見られなかった。このことから、前処理を行うことで基質の分解性が向上し、VFA生成を回避できることが分かった。前処理系はHRT15日においてもVFAを生成することなく運転が可能であることが分かった。これを反応槽容積で表すと前処理系は25%の小型化が可能であるといえる。

図3に各HRTでの分解率を示す。対照系はHRTを短くするに従い分解率が低下していく傾向が見られており、HRT15日では59%まで分解率が低下した。一方、前処理系はHRTを短くしても90%前後で安定する傾向が見られた。このことから、前処理を行うことで対照系よりも10~15%高い分解率を維持することが分かった。

図4にHRT40日、HRT15日における1日分のガス発生速度を示す。HRT40日では6時間おきに基質を投入しており、基質投入と同時にガス発生速度が3L/hまで上昇し、2時間程度で落ち着くことから、次の基質投入までに分解が終了していることが見られた。HRT15日では4時間おきに基質を投入しており、対照系は次の基質を投入するまでにガス発生速度が1.5L/hまでしか低下していないことから、基質の分解が終わっていない状態で次の基質が投入されていることが考えられた。一方、前処理系は基質投入から2時間程度でガス発生速度が0.5L/hまで低下していることから、次の基質投入までに分解が終了しており、さらに投入量を増やす余裕もあることが示唆された。

4.まとめ

糖化・エタノール発酵を前処理に用いるメタン発酵において、約25%の反応槽の小型化が可能であるとともにバイオガス中のメタン濃度が20%向上、汚泥生成量が70~80%減少、基質分解率10~15%向上などの効果が得られた。この要因は、基質分解性の向上により分解時間が短縮され、VFA生成を回避するとともに基質の分解率が向上したためと考えられる。このことから、糖化・エタノール発酵の前処理を行うことにより、より高負荷での運転が可能となりメタン発酵槽の小型化が可能であることを示すことができた。(本研究は科研費No.2634010の助成を受けて行われた。)

(参考文献) 1)高橋開人,古崎康哲,石川宗孝: 生物学的エタノール生成を前処理に用いる模擬厨芥のメタン発酵,土木学会関西支部年次学術講演会 講演原稿, p.VII-15 (2015) 2) 高橋開人,古崎康哲,石川宗孝: 生物学的エタノール生成を前処理としたメタン発酵の半連続運転特性, 土木学会関西支部年次学術講演会 講演原稿, p.VII-13 (2016)

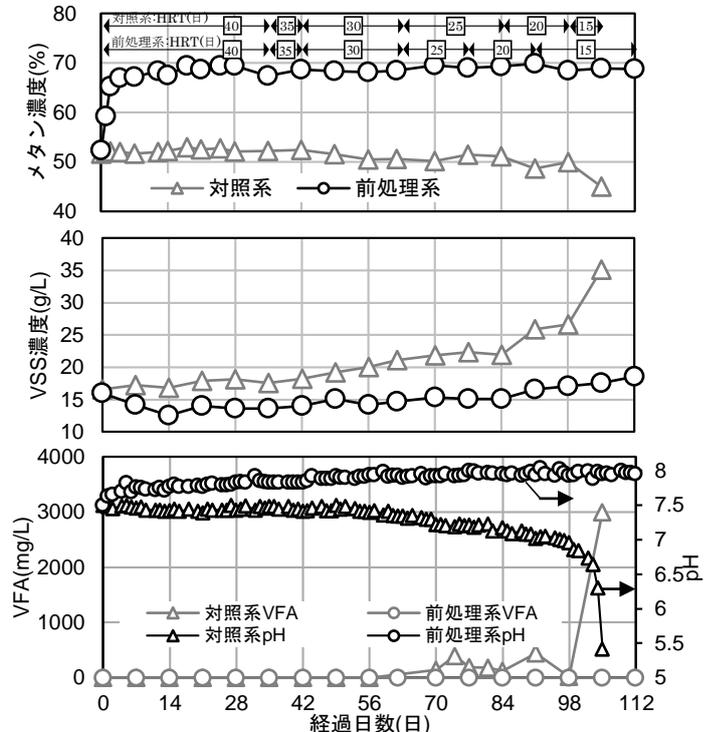


図2 連続実験における推移

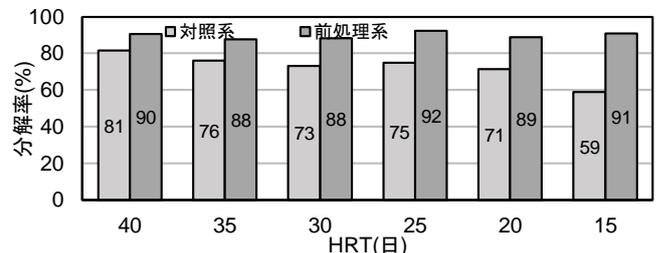


図3 各HRTでの分解率

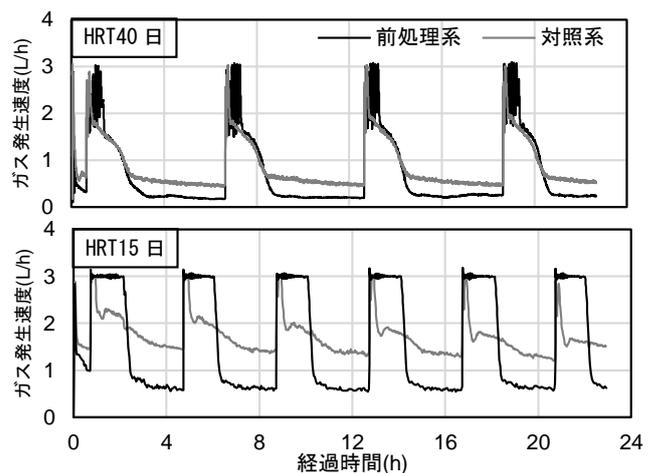


図4 ガス発生速度の推移