

## 無加水高温メタン発酵による生ごみ処理の安定化・高速化の検討

長岡技術科学大学 (学) ○賀澤拓也, 深代早苗, (正) 山口隆司  
 大成建設(株) (正) 帆秋利洋  
 大成サービス(株) 中村明靖, 浅海博基

### 1. 研究背景

食品廃棄物を用いたメタン発酵法は生ごみのリサイクル・創エネルギー技術として注目されている。中でも無加水メタン発酵法は希釈水を必要とせず、発酵廃液の大幅な減容化、処分コストの削減が可能である。しかしながら、無加水方式ではアンモニア阻害によるメタン発酵効率の低下が問題となる。このアンモニアはタンパク質、アミノ酸など有機態窒素の分解により生成され、メタン発酵を担う酸生成菌やメタン菌の活性を低下させることが知られている。

そこで、我々はこれまでの研究で、アンモニア阻害を回避可能な pH 無制御、単一槽でアンモニア除去とメタン発酵を同時に行なう高温メタン発酵併用型リアクターを開発してきた。本リアクターの技術が確立されれば単純なシステム構成で高い窒素負荷に対応可能なシステムとなる。本研究では高負荷・高速運転の実現を目指して段階的に有機物負荷を上昇させ、リアクターの処理性能を評価するとともに、処理の安定化・高速化に関する知見を得たので報告する。

### 2. 実験方法

Fig.1 にメタン発酵槽の概略図を示す。発酵槽は反応容積 7.5 L のガス攪拌型 CSTR、温度は 55°C に制御した。ガス攪拌ラインに NH<sub>3</sub> 除去塔を設置し(24 日目~)、バイオガスに含まれる NH<sub>3</sub> を発酵槽からアンモニア除去塔へ移送する過程で NH<sub>3</sub> は除去塔内で 1N 硫酸溶液に溶解させた。このガスを発酵槽内に強制循環することで、発酵汚泥内の NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 濃度を低減した。実験期間中、循環ガス流量は 2 L/min で一定とした。

Table 1 に実験に用いた生ごみ組成を示す。本大学学生食堂から排出された生ごみをフードミキサーでペースト状に粉砕した後、1 日 1 回バッチで発酵槽へ投入した。植種汚泥には高温 UASB グラニュール汚泥及び中温下水消化汚泥を用いた。リアクター運転開始 76 日目から塩化第一鉄 (FeCl<sub>2</sub>) を 100 mg/kg-w.w., 82 日目から 1000 mg/kg-w.w. となるように生ごみに混合し、硫化物、及び硫化水素によるメタン発酵阻害の低減と処理性能の回復を試みた。

Table 1 生ごみ組成

測定項目	
pH	4.68
TS (%)	21.5
VS (%)	20.2
T-CODcr (g/kg-w.w.)	285
S-CODcr (g/kg-w.w.)	94
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/kg-w.w.)	300
TKN (mg/kg-w.w.)	6600

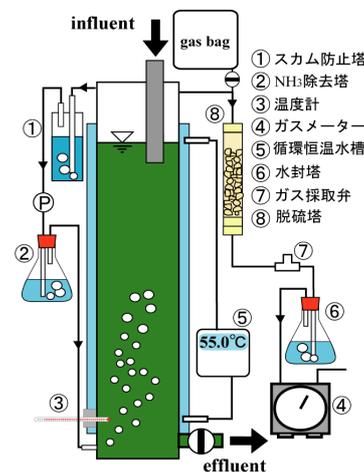


Fig.1 メタン発酵槽の概略図

### 4. 実験結果及び考察

#### 4.1 スタートアップとアンモニア除去

Fig.2(A) にメタン発酵槽汚泥の TKN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, 及び NH<sub>3</sub> 除去塔が吸収した NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N の濃度及び量を示す。実験開始後、槽内の NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 濃度は上昇傾向を示し TKN の NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 転換率から一般的な高温メタン発酵の阻害濃度 (<2500 mg/kg-w.w.) まで上昇することが予測された。そこで VFA の蓄積がわずかであること (1000 mg/kg-w.w. 以下)、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N の蓄積と共に pH が上昇していることを確認し (Fig.2(B)), ガス攪拌ラインに NH<sub>3</sub> 除去塔を設置して、発酵槽内からの NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 除去を図った。その結果、槽内 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N の生成速度と除去速度は平衡し、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N の蓄積はほぼ停止した。NH<sub>3</sub> 除去塔設置後、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 濃度は 2000 mg/kg-w.w. 以下で維持され、生成された NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N の 90% 以上が NH<sub>3</sub> 除去塔に吸収された。その結果、本システムではメタン発酵と同時にアンモニアを除去することでアンモニアによるメタン発酵阻害を回避することが可能であった。

#### 4.2 処理性能悪化時の鉄塩添加効果

アンモニア阻害回避後、定常状態が確認されたため、負荷を段階的に上昇させた。しかしながら HRT 37.5 日, OLR 7.6

キーワード   メタン発酵   無希釈   アンモニアストリッピング   生ごみ   硫化物  
 連絡先       〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 水圏土壌環境制御研究室  
 TEL: 0258-471611 (内線 6646)   E-mail: kazawa@stn.nagaokaut.ac.jp

kg/m<sup>3</sup>/dayにおいて、バイオガス生成量が急激に減少し、VFAとNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nの蓄積が見られた。これは、VFAが蓄積することでpHの低下を導き、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-NからNH<sub>3</sub>への変換が抑制されたと推測された。

一方、VFAの蓄積を招いた阻害要因として、硫化物に着目した。硫酸塩が生ごみ中に約 650 mgSO<sub>4</sub>/Lと高濃度で含まれていたことから、硫酸塩が硫酸還元菌の働きにより硫化物に変換され、硫化物及び硫化水素がメタン発酵を阻害した可能性が考えられた。そこで、塩化第一鉄(FeCl<sub>2</sub>)を添加することにより、硫化鉄を形成させ、硫化物の沈殿・無毒化を試みた。その結果、バイオガス生成量は徐々に回復し、VFA濃度も速やかに減少した。さらに処理悪化時に低下したアンモニア除去能も回復し、アンモニア濃度は再び 2000 mg/kg-w.w.以下で推移した。以上の結果より無加水メタン発酵の安定化にはアンモニア除去以外に硫化物除去が必要であること示唆された。

**4.3 有機物負荷上昇と分解率・バイオガス生成量の相関**

Fig.2(C)にOLRとガス生成速度、及びメタン生成速度を示す。鉄塩添加後、再度段階的に負荷を上昇させ、HRT 30 日, OLR 9.6 kg/m<sup>3</sup>/day を達成した。144 日目に停電が発生し、温度低下、攪拌不足、アンモニア除去停止の状態となり、バイオガス生成速度が一時低下したが、一週間程度で回復した。

Fig.2(D)に示すTS, VS, CODの各分解率に着目すると実験開始 76 日目付近, (HRT 75 日, OLR 5.8 kg/m<sup>3</sup>/day)で分解率が一旦定常となったが、負荷をさらに上昇すると分解率が低下した。Fig.2(E)に示す単位基質当たりのバイオガス生成量もHRT 75 日, 負荷 3.8 kg/m<sup>3</sup>/dayのスタートアップ時は約 200m<sup>3</sup>/t-基質の生成量であったが、9.6 kg/m<sup>3</sup>/dayでは約 160 m<sup>3</sup>/t-基質まで減少した。一方、VFAの蓄積は負荷上昇に依存せず、低濃度に抑制された。このことから現段階の高い有機物負荷条件において、加水分解に伴う酸生成プロセスが律速となることが示唆された。9.6 kg/m<sup>3</sup>/dayの高負荷条件でも酢酸の蓄積が見られないことからメタン生成菌の活性には余力があると考えられる。

**4.4 減容化率と有機物負荷の相関**

Fig.2(F)に湿潤重量換算の減容化率の経日変化を示す。鉄塩添加前はスカム除去塔に結露する水滴を除去し、鉄塩添加後は水滴を発酵槽内に再度戻して実験を行なった。減容化率は負荷を上昇, HRTを短縮するほどに低下する傾向にあった。HRT 30 g f 日, 負荷 9.6 kg/m<sup>3</sup>/dayにおける減容化率は約 20 %であった。減容化率はスカム除去塔の温度管理, バイオガス循環流量などで調整することが可能であるため、阻害物質の濃縮率や保持汚泥量の関係から最適条件を算出することにより、さらに効率的、低コストなメタン発酵処理を行なうことが可能になると考えられる。

**5. 結論**

- (1) 本システムでは pH 無制御、単槽でメタン発酵と槽内アンモニアの除去が可能であった。
- (2) 鉄塩の添加により処理能力を向上させ、HRT 30 日, COD容積負荷 9.6 kg/m<sup>3</sup>/dayにおいて 160 m<sup>3</sup>/t-基質のバイオガス生成量を達成した。

**参考文献**

賀澤拓也ら, 無加水高温メタン発酵リアクターを用いた高窒素含有食品廃棄物の処理性能評価, 水環境学会年会講演集, pp 94, 2009

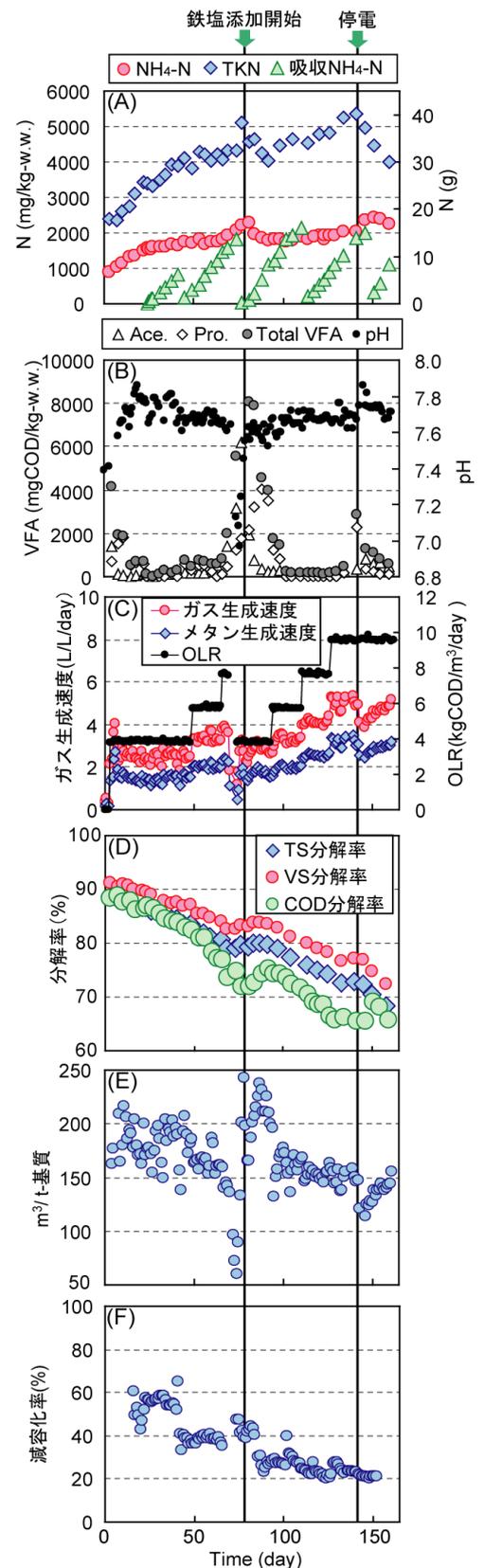


Fig.2 各パラメーターの経日変化  
 (A) 発酵汚泥のTKN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, 吸収NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N  
 (B) 発酵汚泥のVFA, pH  
 (C) OLR とバイオガス・メタン生成速度  
 (D) COD・TS・VS分解率  
 (E) 単位基質当たりのバイオガス生成量  
 (F) 減容化率