

N-10 ハイブリッド型無動力攪拌リアクターを用いた 生ごみの中温メタン発酵

○松井 鐘慶^{1*}・戚 偉康¹・押部 洋²・李 玉友³

¹東北大学大学院環境科学研究科先端環境創成学専攻（〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20）

²東京ガス株式会社 基盤技術部（〒230-0045 神奈川県横浜市鶴見区末広町1-7-7）

³東北大学大学院工学研究科土木工学専攻（〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06）

* E-mail: matsui@ep11.civil.tohoku.ac.jp

1. はじめに

わが国における家庭からの生ごみ発生量は年間約1072万トンであり、そのうち94.9%を焼却及び埋め立てによって処分している¹⁾。それに起因して、埋立処分場の逼迫や温室効果ガスの発生が深刻な問題となっている。したがって、近年家庭生ごみの再生利用率向上が推し進められている²⁾。その代表例として、キッチンのシンクにディスポーザーを設置し、厨芥生ごみを排水管にて収集運搬し、排水処理を行ってから下水道放流をするという試みがある。この排水処理部において、排水からのエネルギー回収技術として注目されているメタン発酵を適用し、家庭生ごみをエネルギー利用することができれば、持続可能な都市形態を追求する上で一つの大きな要素になるものと考えられる。

このような分散型の処理システムは、従来の集約型の処理に比べて小規模な設備になる。小規模メタン発酵はバイオガス発電量に対する維持運営費が高く、低コスト化及び簡易化が課題となっており、小規模に適したメタン発酵技術の開発が必要である。著者らは、仕切板とU字管とを利用した簡単な原理による電力を要さない攪拌機能と、担体によるろ過機能を備えた新型メタン発酵リアクターの開発に取り組んでいる。新しいリアクター（以下SAFR）は無動力の発酵液攪拌を行うことで、攪拌機の導入・動力費削減およびメンテナンスの簡易化を実現できる。また、担体によって汚泥をろ過する機能を有しており、処理水質向上および余剰汚泥量の低減が期待される。

本研究では、上で述べたSAFRを用い、生ごみを原料とした連続運転実験によるラボスケールでの性能評価を行った。比較対象として、攪拌動力ありの従来型リアクターであるCSTRを用いた同負荷の連続運転実験も同時に行った。

2. 実験方法

(1) 実験条件

本研究のメタン発酵連続運転装置の概略図を図1に示す。基質には水道水でTS 5%に希釈した模擬生ごみ³⁾をミキサーによって微細化したものを使用した。その平均的性状は表1に示す。基質は機械攪拌式タンクにおいて4℃で保持し、タイマー制御式のポンプによって2時間に1回ごとメタン発酵リアクターに間欠投入した。SAFRは有効容量10Lで、内部は4つのチャンバー（図1の左から第1、第2、第3、第4）に分けられている。各チャンバーには汚泥サンプリング用のポートが、図1に示すように合計4箇所取り付けられている。CSTRの有効容量は5Lである。リアクターの温度は、ウォータージャケットに温水を循環して35℃に制御した。基質投入は第1と第2チャンバーの間から行った。担体は図1の第4チャンバー下部に設置した。汚泥流出は、リアクター内に有効容積以上の汚泥が蓄積されたとき第4チャンバー上部から自然流下によって行われる。植種汚泥は、宮城県仙塩浄化センターに設置された下水汚泥の中温嫌気性消化槽から採取した消化汚泥を使用した。HRTは100日、50日、30日と段階的に短縮して運転を行った。また、各種分析は下水試験法に基づいて行った。

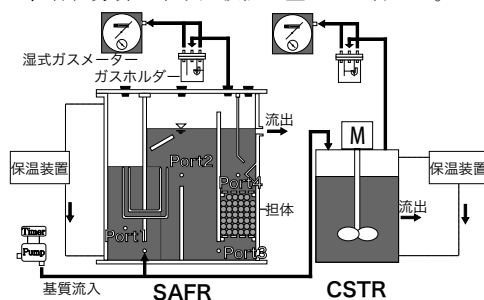


図1 メタン発酵連続運転装置の概略図

表1 定常状態期間の模擬生ごみの化学性状の平均値

HRT(d)	50	30
pH	4.01 ± 0.27	3.95 ± 0.13
TS (g/L)	48.4 ± 5.10	49.7 ± 2.70
VS (g/L)	45.5 ± 5.30	46.9 ± 2.80
T-COD _G (g/L)	88.9 ± 3.30	76.5 ± 1.48
S-COD _G (g/L)	36.5 ± 2.30	31.9 ± 5.50
BOD (g/L)	48.8 ± 6.00	70.2 ± 11.9
T-N (g/L)	1.83 ± 0.06	1.76 ± 0.09
T-P (g/L)	0.26 ± 0.05	0.24 ± 0.05
Total VFA (g/L as acetate)	1.74 ± 0.15	1.80 ± 0.17

(2) 装置の攪拌原理

新型リアクターの攪拌動作原理を図2に示す。気相部が密封された第1チャンバーでは、発生するバイオガスによって汚泥の液面が徐々に押し下げられていく（図2B）。押し下げられた液面がU字管の底部まで達した時、第1チャンバー気相部に貯留されたバイオガスはU字管を通して隣のチャンバーへ一気に移動する（図2C）。発酵液は第1チャンバーへ向かって引き戻され、Aの状態へ戻る（図2D）。この時に生じる液流動によって槽内の攪拌が行われる。

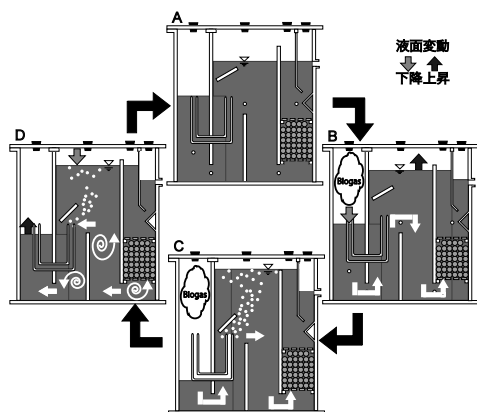


図2 新型メタン発酵リアクターの動作原理

3. 実験結果および考察

(1) 連続運転データの推移

図3において、Aにバイオガス生成速度およびメタン濃度、Bに流出水のVFA濃度、Cに基質と流出水のCOD_G濃度および除去率に関する推移をそれぞれ示す。各HRTにおいて、バイオガス生成速度と組成は標準偏差が平均値の10%以内で安定が確認された。HRT 50日および30日の定常状態期間を、それぞれ59～73日目および115～129日目とし、平均的な運転性能を検討する

こととした。スタートアップ後、段階的にHRTを短縮しながら、それぞれHRT 50日では53日、HRT 30日では62日間運転を行った。図3Aに示すように、HRT 50日の運転期間において、バイオガス生成速度は平均0.86 ± 0.09 L/L/dで安定して推移した。HRT 30日の運転期間には、バイオガス生成速度は平均1.12 ± 0.10 L/L/dで推移した。また、図3Bに示すように、運転初期のVFA蓄積を除いて、流出水のVFAは全体を通してほとんど検出されなかった。流出水のCOD_Gも全体を通して一定の値で推移した。以上より、本実験ではHRT 50日と30日の期間において、運転性能の顕著な悪化は見られなかったといえる。

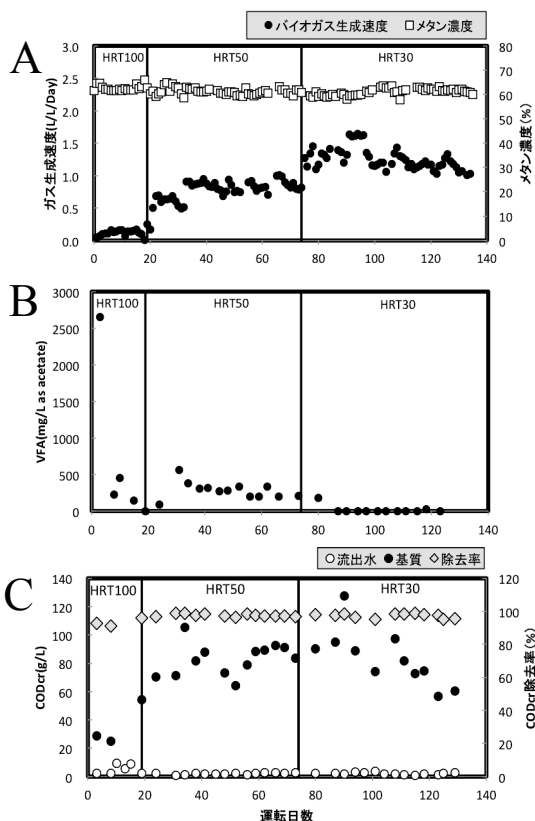


図3 SAFR連続運転測定項目の経時変化

(2) CSTRとの運転性能の比較

表2にHRT 50日での定常状態期におけるSAFRとCSTRの流出水および発生バイオガスについての各種測定結果の平均値を示す。

VS、COD_G、BODの除去率はいずれもSAFRの方がCSTRよりも大幅に高かった。上で述べたように、SAFRの第4チャンバー下部の担体が固形成分と溶解性成分を分離し、ろ過の機能を果たしている。この結果から、HRT 50日において、本研究の一つの目標であった、ろ過機能による処理水質の向上が達成されたと言える。

バイオガス生成に関しても SAFR は CSTR よりも良好な結果を示した。特に投入基質 COD_G あたりのメタン転換率は CSTR よりも約 5% 高い値を示した。この結果は SAFR が有するろ過機能により汚泥の滞留時間が延び、有機物と微生物の接触時間が CSTR よりも長くなったことが原因と考えられる。以上より、SAFR の連続運転において攪拌不足や有機物の蓄積による阻害は起きず、原料が正常にメタンへと転換されたといえる。

表2 HRT 50 日の定常状態期における性能比較

測定項目	SAFR	CSTR
VS除去率(%)	96.3	76.7
COD_G 除去率(%)	97.2	78.0
BOD除去率(%)	99.1	82.5
T-N ($g \cdot L^{-1}$)	1.42	1.65
T-P ($g \cdot L^{-1}$)	0.23	0.25
バイオガス生成速度 ($m^3 \cdot m^{-3} \text{--reactor} \cdot d^{-1}$)	0.86	0.82
メタン濃度(%)	62.0	61.3
投入基質 COD_G あたりの メタン転換率(%)	84.7	79.8

(3) 発酵槽内の状況

図4に SAFR の各サンプリングポートから採取した汚泥性状の推移を示す。サンプリングポートの位置は、図1に示した Port 1 ~ Port 4 である。pH は全ての Port で 7 ~ 8 の範囲で分布し、メタン発酵に適した水準であった。VFA は、全体を通してメタン発酵に阻害を与えるほどの濃度は検出されなかった。59 日目には Port 1 で 828 mg/L 検出されたが、発酵槽後部へ向かうにつれて濃度が減少し、Port 4 では 0 mg/L となっている。つまり、流入口から流出口へ向かうにつれ、段階的に VFA が分解されているといえる。HRT 50 日から 30 日への切り替わりの際に、Port 1 にて 2000 mg/L の VFA 蓄積が見られたが、その後 HRT 30 日では目立った蓄積は見られなかった。

VSS については、HRT 50 日において、Port 3 が他の Port よりも高い値を示した。これは担体によってトラップされた汚泥の蓄積が原因であると考えられる。一方 HRT 30 日においては、Port 1 の VSS が Port 3 と同程度にまで増加した。これは本リアクターの攪拌の原理が原因と考えられる。2. (1) でも述べたように、SAFR において攪拌が起る際、第1チャンバーに汚泥が引き戻される(図2D)。従って、第2チャンバーの汚泥が第1チャンバーに移動し、Port 1 に汚泥が溜まりやすくなっていると考えられる。以上のように、発酵槽内の汚泥濃度に勾配は生じたが、そのことが処理性能への阻害因子になることはなかった。

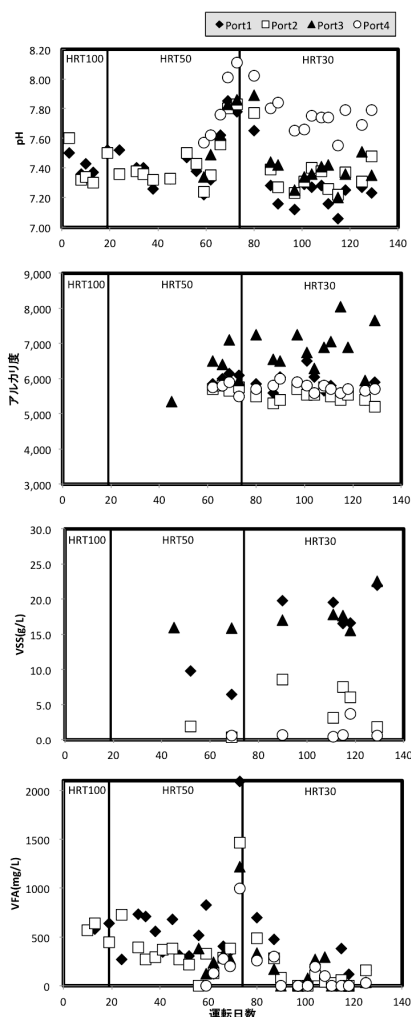


図4 各ポートにおける汚泥性状の推移

4. 結論

無動力攪拌機能及びろ過機能を有した新規リアクターを用い、TS 5% の模擬生ごみを基質とした連続実験を行ったところ、HRT 50 日 ~ 30 日での安定した運転が可能であった。本リアクターは、VS、 COD_G 、BOD 除去率、バイオガス生成速度、メタン転換率の観点から、HRT 50 日において、攪拌動力ありのメタン発酵リアクターを用いた同負荷の運転よりも大幅に良好な処理性能を示した。

参考文献

- 1) 環境省「食品廃棄物等の処理状況」(2008)
- 2) 農林水産省「バイオマスをめぐる現状と課題」(2012)
- 3) 李玉友ら、生ごみの高濃度消化における中温と高温処理の比較, 環境工学研究論文集, Vol.36, 413-421(1999)