

B-2 食品廃棄物を対象としたメタン発酵における 水熱反応前処理の効果に関する研究

○田中 真一^{1*}・古崎 康哲²・石川 宗孝²

¹ 大阪工業大学 大学院 工学研究科 環境工学専攻 (〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮5丁目16番1号)

² 大阪工業大学 工学部 環境工学科 (〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮5丁目16番1号)

* E-mail: m1m1l1f06@st.oit.ac.jp

1. はじめに

メタン発酵はメタンガスとしてエネルギーの回収が可能ことから食品廃棄物の再生利用技術の1つとして注目されている。しかし、厨芥を対象としたメタン発酵では一般に固形分の可溶化過程が律速段階となり、処理に時間を要するために装置が大型化するという課題を抱えている。

本研究では処理時間を短縮する手段として可溶化に優れた水熱反応による前処理に注目した。しかし、過去の研究¹⁾から水熱反応では可溶化の進行に伴い有機酸の増加とpHの低下が起こることがわかっており、処理条件によってはメタン発酵に悪影響が出る可能性が示されている。そこで、本研究ではメタン発酵に悪影響が表れない水熱処理条件を検討するとともに、半連続実験と回分実験を行い水熱処理の効果を確認した。

2. 実験方法

(1) 水熱処理実験

メタン発酵に悪影響が表れない処理条件を判断するために水熱処理実験を行い、反応温度と反応時間を検討した。本研究では本学食堂の生ごみを処理対象としたため、本学食堂の生ごみ組成調査の結果²⁾をもとに模擬厨芥を調製した。模擬厨芥の組成と調製方法を表-1に示す。これに水を加えながら粉碎機で粉碎し、TS 10 %に調整したものを本実験の基質とした。また、水熱処理には回分式水熱反応器 (TEM-V1000N 型: 耐圧硝子工業 (株) 製) を使用した。実験条件を表-2に示す。実験 I では反応時間を10分に固定して反応温度を変化させて、実験 II では反応温度を120℃に固定して反応時間を変化させて実験を行った。分析項目は固形分濃度、有機酸濃度、pHとした。

(2) 半連続実験

メタン発酵槽として有効容積10 Lの完全混合型反応槽を使用し、対照系と水熱系の2系列で半連続実験を

表-1 模擬厨芥の組成と調製方法

分類	食材	混合比 (湿潤重量) [%]	調整方法
穀類	米飯	50	炊飯器で炊く
野菜類	にんじん	15	皮を剥かず、1cm角以下に切る
	キャベツ	15	1cm角以下に切る
肉・魚介類	骨付き鶏肉	8	沸騰水に3分間、湯通しした後、1cm角以下に切る
	干物	10	沸騰水に3分間、湯通しした後、1cm角以下に切る
がら類	卵殻	2	中身を取り出す

表-2 水熱処理実験の実験条件

条件	実験 I (温度の検討)		実験 II (時間の検討)	
	温度 [°C]	時間 [分]	温度 [°C]	時間 [分]
1	—	—	—	—
2	100	10	120	0
3	120	10	120	10
4	140	10	120	30
5	160	10	120	60

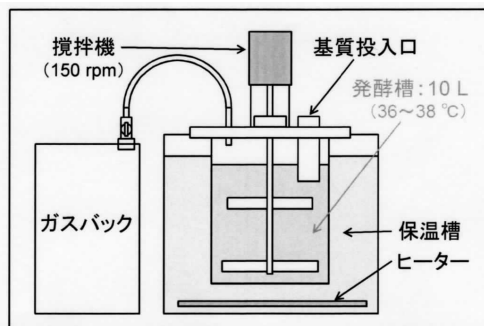


図-1 半連続実験の実験装置（概略図）

表-3 半連続実験の実験条件

項目	単位	Run 0	Run 1	Run 2	Run 3
		対照系	水熱系	対照系	水熱系
水熱処理	—	無し	有り	無し	有り
HRT	日	30	30	25	20
運転日数	日	49	42	35	28
TS 容積負荷	kg/(m ³ ・日)	3.9	3.8	4.7	5.6
VS 容積負荷	kg/(m ³ ・日)	3.5	3.4	4.2	5.0
TOC 容積負荷	kg-C/(m ³ ・日)	1.6	1.6	1.9	2.2

行った。実験装置の概略図を図-1に示す。槽内は保温槽で温度を36～38℃に保ち、回転数150 rpmで撹拌を行った。基質の投入と槽内汚泥の引き抜きは装置上部の基質投入口から行い、生成ガスはガスバックに回収した。本実験の基質には前述の実験と同様の方法でTS 12%に調整した模擬厨芥を使用した。実験条件を表-3に示す。Run 0では両系とも基質に水熱処理は行わず、Run 1以降は水熱系の基質にのみ水熱処理を行った。HRTはRun 0～1では30日、Run 2では25日、Run 3では20日とし、段階的に短縮しながら運転を行った。

(3) 回分実験

対照系と水熱系の2系列でガス生成量を指標とした回分実験を行った。実験装置の概略図を図-2に示す。実験装置にはゴム栓で密栓できるようにした三角フラスコ（有効容積：500 mL）を使用した。フラスコ内は保温槽で温度を36～38℃に保ち、マグネチックスターラーを用いて撹拌した。フラスコに汚泥500 mLを入れて2日間の空運転後、基質を投入した。基質投入後、生成したガスはゴム栓の先につないだガスバックに一時的に回収し、シリンジを使い経時的に生成量を測定した。実験条件を表-4に示す。回分実験の基質には半連続実験と同様に水熱処理をした模擬厨芥と未処理の模擬厨芥をそれぞれ使用した。また、汚泥には半連続実験の対照系と水熱系の槽内汚泥を使用した。

3. 実験結果

(1) 水熱処理実験

水熱処理実験の結果を図-3、4に示す。実験Ⅰで反応温度を変化させた場合、反応温度が高くなるにつれて基質の可溶化は進むがそれに伴い有機酸の増加とpHの低下が見られた。メタン発酵には中性付近のpHが適しているため、反応温度は120℃が適切と判断した。一方、実験Ⅱで反応時間を変化させた場合、反応時間を長くしても可溶化はほとんど進まず有機酸濃度とpHにも大きな変化は見られなかった。そのため、反応時間を長くする必要はないと考え、10分が適切と判断した。以上のことから、半連続実験と回分実験における水熱処理条件は120℃、10分とした。

(2) 半連続実験

ガス生成量、槽内pHの経日変化を図-5に示す。ガス生成量は両系ともにRun 0、1では約22～26 NL/day、Run 2では約25～29 NL/day、Run 3では約28～34 NL/dayで推移した。どちらの系でもHRTを短縮するにつれてガス生成量は増加したが、両系でほとんど差は見られなかった。槽内pHは両系ともにすべてのRunで概ね7.0～7.6の範囲で推移した。メタン生成菌は中性付近のpHを好むため適切なpHで運転できたといえる。また、有機酸は両系ともにすべてのRunで100 mg-C/L以下の濃度で推移し、中間生成物の蓄積は見られなかった。

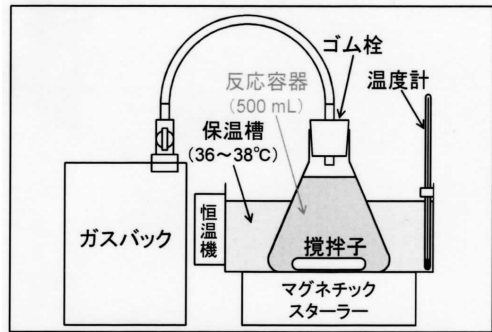


図-2 回分実験の実験装置（概略図）

表-4 回分実験の実験条件

条件	基質		汚泥		
	TS 投入量	水熱処理	初期濃度	系列	Run
1	4 g-TS/L	無し	TS 25 g/L VSS 15 g/L	対照系	Run 1
		有り		水熱系	
2	5 g-TS/L	無し		対照系	Run 2
		有り		水熱系	
3	6 g-TS/L	無し		対照系	Run 3
		有り		水熱系	

※各条件においてブランク（基質を投入無しの実験）を同時に行った

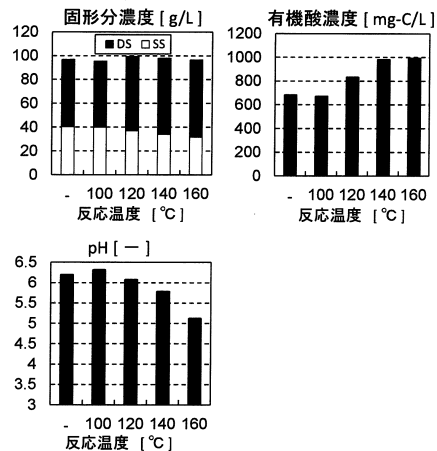


図-3 水熱処理実験（実験Ⅰ）の実験結果

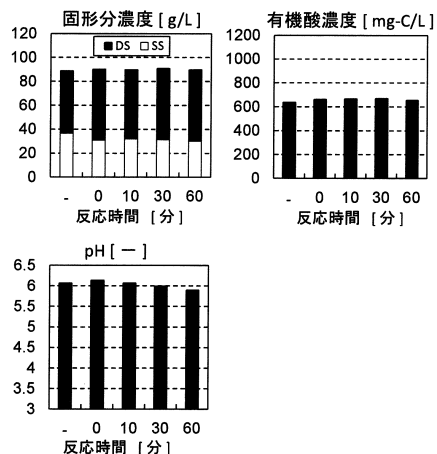


図-4 水熱処理実験（実験Ⅱ）の実験結果

アンモニア態窒素は両系ともにすべてのRunで2,500 mg-N/L 以下の濃度で推移した。一般に3,000 N-mg/L以上の濃度で阻害が起こるとされているため、今回は阻害はなかったと考えられる。以上のことから、今回の実験条件では水熱処理による悪影響は見られず、両系ともに良好な運転が行えたといえる。しかし、水熱処理の効果を確認できなかったことから、HRT 30~20日の負荷では十分処理できる範囲であったと考えられる。

(3) 回分実験

累積ガス生成量の経時変化を図-6に示す。全ての条件で水熱系に比べて対照系のガス生成が遅れる傾向が見られ、この傾向は負荷が高い条件のときにより大きく表れた。この結果から、特に律速が生じるような高い負荷で運転した場合に水熱処理の効果が表れることが示唆された。

次に、この回分実験の結果をMonod型反応式に当てはめて各パラメータの算出を行った。しかし、模擬厨芥の分解プロセスは1つのMonod型反応式では再現できなかった。これは基質の成分が均一でなく、成分によって分解速度が異なる点が原因として考えられる。そこで、本研究では基質を易分解の成分と遅分解の成分の2種類に分けて解析を行うことにした。解析に用いた反応式を図-7に、解析結果と実験結果の比較を図-8に示す。基質を2種類の成分に分けて解析することで実測値と解析値はほぼ一致し、回分実験の結果を再現することができた。

4. おわりに

本研究では、水熱前処理による厨芥メタン発酵の処理時間の短縮を目的に水熱処理条件の検討と効果の確認を行った。水熱処理条件は処理後の有機酸濃度とpHを考慮して120℃、10分が適切であると判断した。半連続実験では水熱処理による悪影響は見られず良好な運転が行えたが、水熱処理の効果は確認できなかった。回分実験では律速が生じるような高い負荷で運転した場合に水熱処理の効果が表れることが示唆された。また、基質を2種類の成分に分けて解析することで、上記の傾向を再現できた。今後は連続実験のシミュレーションを行い、効果が表れる条件を検討するとともに、さらに短いHRTで連続運転を行い効果を確認する必要がある。

【参考文献】

- 1) 田中真一 他：水熱反応前処理を用いた厨芥のメタン発酵（その1）、平成23年度 土木学会関西支部 年次学術講演会講演概要集 VII-14 (2011)
- 2) 小西利幸 他：大学食堂生ごみの再資源化を考慮した組成調査と模擬厨芥組成の検討、平成23年度 土木学会関西支部 年次学術講演会講演概要集 VII-16 (2011)

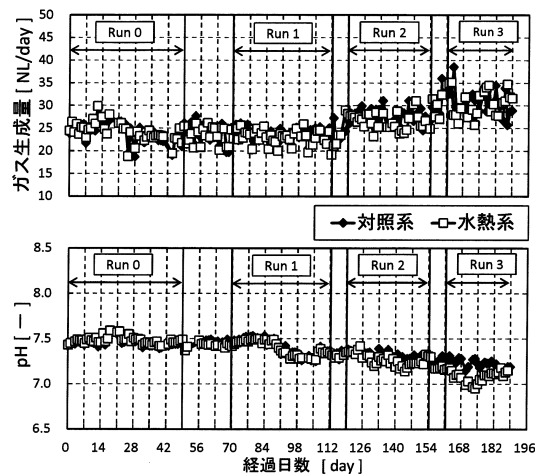


図-5 ガス生成量、槽内 pH の経日変化（半連続実験）

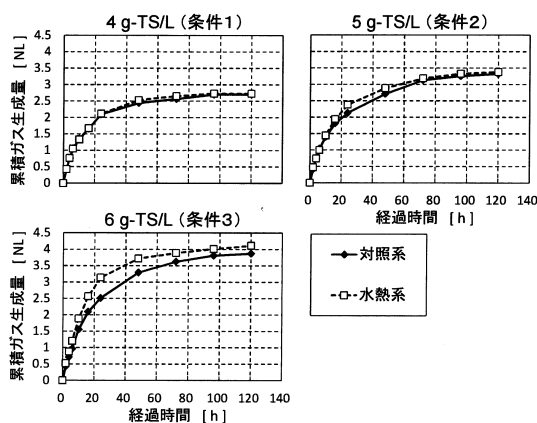


図-6 累積ガス生成量の経時変化（回分実験）

Monod型反応式

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{k_1 \cdot S_1 \cdot X}{K_{s1} + S_1} - \frac{k_2 \cdot S_2 \cdot X}{K_{s2} + S_2}$$

dS/dt : 除去速度 [g/L/day]
 k_1, k_2 : 最大比基質除去速度 [1/day]
 K_{s1}, K_{s2} : 飽和定数 [g-C/L]
 S_1 : 易分解成分濃度 [g-C/L]
 S_2 : 遅分解成分濃度 [g-C/L]
 X : 槽内汚泥濃度 [g-VSS/L]

図-7 解析に用いた反応式

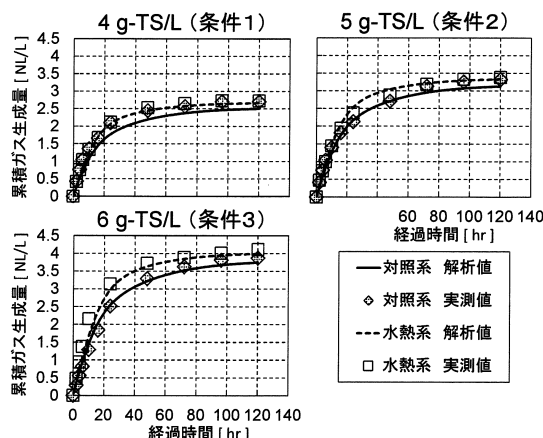


図-8 解析結果と実験結果の比較