

B-8 液状廃棄物の高濃度メタン発酵特性

—HRTおよび発酵温度による影響—

アタカ工業（株）○奥野芳男、李玉友、佐々木宏

関廣二、上垣内郁夫

1. はじめに

し尿や浄化槽汚泥および生ゴミなどの液状廃棄物の循環型処理プロセスとして、メタン発酵によるエネルギー回収技術が注目されている。そこで、生ゴミにし尿処理施設の余剰汚泥（以下、し尿汚泥という）を混合した高濃度液状廃棄物を用いて中温および高温メタン発酵の連続実験を行った。前報¹⁾で、中温と高温による高濃度メタン発酵の可能性を報告したが、ここでは、水理的滞留時間(HRT)および発酵温度がメタン発酵による有機物分解やアンモニア性窒素生成に及ぼす影響等について報告する。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

実験装置^{1),2)}は、ガス攪拌方式による完全混合型発酵槽（有効容量5L）を用い、基質は1日に数回投入した。発酵槽温度はウォータージャケットへの温水循環によりコントロールした。また変質を防ぐため、基質温度は $4 \pm 1^\circ\text{C}$ に保持した。

2.2 実験条件

実験条件を表-1に示す。2系列の発酵槽を用い、温度条件をそれぞれ中温（ $36 \pm 1^\circ\text{C}$ ）、高温（ $55 \pm 1^\circ\text{C}$ ）とした。HRTは、投入ポンプのタイマーにより5～30日に設定した。

投入する基質は、ミキサーで粒径3mm以下に粉碎した人工生ゴミ³⁾にし尿処理施設から採取したし尿汚泥（脱水ケーキ：含水率約85%）をTS比で9：1の割合で混合し、

水道水でTS濃度約10%に調整した。実験で使用した基質の平均水質を表-2に示す。

2.3 測定項目と分析方法

実験では、ガス組成、揮発性脂肪酸（VFA）濃度およびCOD_{cr}濃度などに関して1週間に1～2回分析⁴⁾を行い、各HRT条件の定常状態における3～4回のデータを平均して代表値として採用した。

3. 実験結果および考察

3.1 有機物の分解

図-1に各HRTにおける中温、高温のCOD_{cr}、VSの分解率を示す。中温、高温ともCOD_{cr}、VS分解率は、HRTの増大に伴って高くなり、いずれのHRT条件においても高温の方がより高い分解率を示した。HRT15日のCOD_{cr}、VS分解率は、高温でそれぞれ75.5、79.1(%)、中温で71.2、72.6(%)であった。HRT7.5日におけるCOD_{cr}、VS分解率は高温で74.8、76.9(%)であり、中温HRT15日と同等の除去率を得るための高温のHRTは7.5日に対応できることを示している。

図-2に、各HRTにおけるTS中の溶解性成分比(TS-SS)/TSおよびCOD_{cr}の溶解成分比(S-COD/T-COD)

表-1 実験条件

Run No.	HRT (日)	COD容積負荷 g-COD/L・日	VS負荷 (g-VS/L・日)
1	30	4.5	2.8
2	15	9.3	5.8
3	10	13.9	8.5
4	7.5	19.6	12.0
5	5	29.4	18.3
発酵温度 ($^\circ\text{C}$)	発酵槽1	36 $\pm$ 1 (中温)	
	発酵槽2	55 $\pm$ 1 (高温)	

表-2 投入基質濃度平均値
(生ゴミ+し尿汚泥)

項目	濃度
pH	(-)
TS	(g/L) 97.6
VS	(g/L) 87.7
SS	(g/L) 62.5
VSS	(g/L) 57.6
COD _{cr}	(g/L) 141.6
炭水化物	(g/L) 34.7
蛋白質	(g/L) 23.6
脂肪	(g/L) 8.1

を示す。TSとCOD_{cr}における溶解性成分比は、いずれの条件においても高温の方が中温より高く、高温において固形物の可溶化がより進行していることがわかる。

3.2 動力学的解析

メタン発酵プロセスにおける分解速度を見かけ上残存する分解可能有機物濃度に関して、一次反応と仮定すると、式(1)となる。

$$Rh = - \frac{dS}{dt} = Kh (S - Sn) \tag{1}$$

ここで、Rh：分解速度 (g/L/d)、t：時間(d)、Kh：一次分解速度定数 (1/d)、S：有機物濃度 (g/L)、Sn：難分解性有機物濃度 (g/L)

式(1)を用いて連続流れ完全混合反応槽における物質収支をとると次のように式(2)、式(3)が得られる。

$$Q Si - Q Se - V \cdot Kh (Se - Sn) = 0 \tag{2}$$

$$(Si - Se) / \theta = Kh Se - Kh Sn \tag{3}$$

ここで、Q：流入量(L/d)、V：発酵槽容量(L)、θ：HRT(d)、Si：流入有機物濃度 (g/L)、Se：流出有機物濃度 (g/L)

CODおよびVSを対象として分解速度(Si-Se)/θとSeに関するプロットを図-3、図-4に示す。また得られたCODとVSの分解速度定数を表-3に示す。COD分解速度定数Knは高温で1.12(1/d)、中温で0.56(1/d)であり、高温で2倍程度の結果となった。また、難分解性成分の割合を示すSn/Siは高温中温とも18~19%程度であり、使用した基質が分解性に富むことを示唆している。

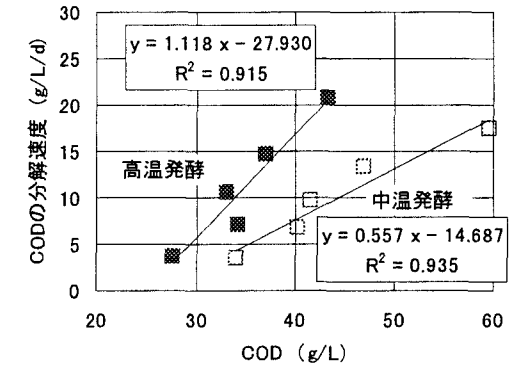


図-3 COD分解速度

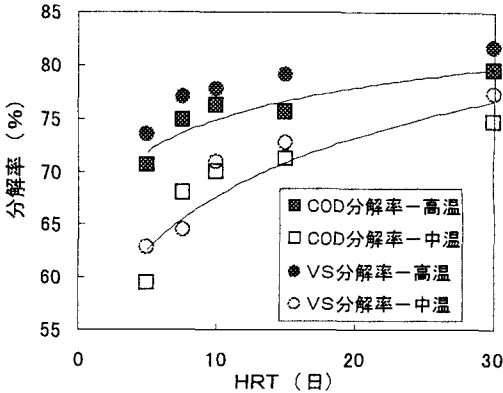


図-1 各HRTにおけるCOD、VS分解率の中温と高温の比較

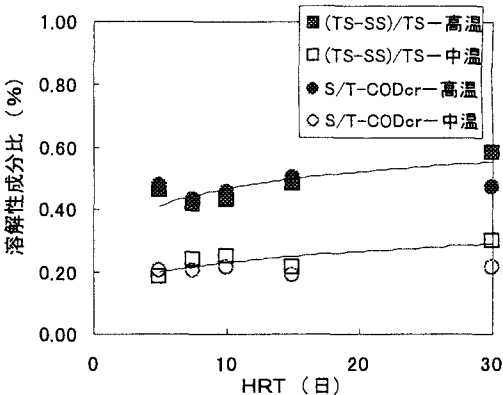


図-2 各HRTにおける溶解性成分比(TS、COD_{cr})の中温と高温の比較

表-3 CODとVSの加水分解速度定数

	COD		VS	
	高温	中温	高温	中温
Kn (1/d)	1.118	0.557	1.335	0.559
Sn/Si (%)	17.6%	18.6%	16.1%	17.6%

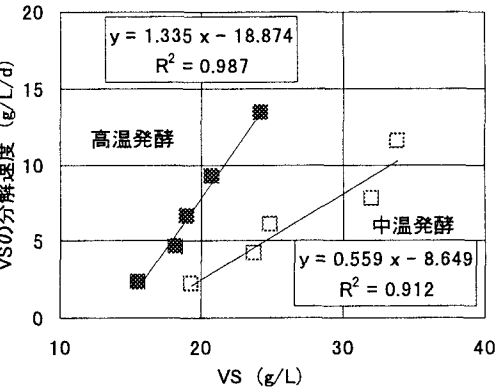


図-4 VS分解速度

3.3 バイオガス生成量

投入V S当たりのバイオガス生成量は、高温で0.68～0.76(L/g-投入VS)、中温で0.65～0.71(L/g-投入VS)であり、高温が高かった。バイオガス中のメタン(CH₄)含有率は高温、中温でそれぞれ58～61%、58～60%と同程度であった。

3.4 炭水化物、蛋白質および脂肪の分解

図-5に、各HRT条件における中温と高温の炭水化物、蛋白質および脂肪の分解率を示す。炭水化物分解率は、高温と中温で同程度であった。蛋白質分解率は高温の方が中温に比べて高く、いずれもHRTの増大に従って向上した。

3.5 窒素の挙動

図-6に各HRTにおける発酵汚泥のアンモニア性窒素濃度を示した。高温、中温とも、HRT 5～15日まではHRTの増大に伴って濃度は増加し、高温で1490～1940(mg/L)、中温で810～1260(mg/L)であった。高温、中温ともアンモニア性窒素による阻害はみられなかった。アンモニア性窒素は、蛋白質の分解に伴い生成されることが知られており、式(4)により計算できる。

$$\text{NH}_4\text{-Nの生成量} = \text{蛋白質の分解量} / 6.25 \quad (4)$$

蛋白質の分解量から求めたアンモニア性窒素濃度の計算値を図-6に記入した。図-5、図-6より、高温では中温より蛋白質が分解され、アンモニア性窒素濃度が中温より高くなる傾向にあった。また、計算値と実測値はほぼ一致した。

4. まとめ

(1)投入T S濃度約10%の高濃度液状廃棄物の中温および高温メタン発酵において、COD_{cr}、V S分解率は、HRTの増大に伴って高くなりいずれも高温の方が高かった。T S、COD_{cr}の溶解性成分比は、高温が中温に比べて高く、固形物の可溶化がより進行している。

(2)蛋白質の分解率は、高温が中温に比較して高い。アンモニア性窒素濃度は、高温で1,490～1,940(mg/L)、中温で810～1,260(mg/L)であったが、アンモニア性窒素による阻害はみられなかった。蛋白質の分解量より算出したアンモニア性窒素濃度の計算値と実測値は、ほぼ一致した。

(3)CODにおける分解速度定数K_hは高温で1.12(1/d)、中温で0.56(1/d)であり、高温の方が高い。難分解性成分の割合を示すS_n/S_iは高温中温とも18～19%程度であり、基質の易分解性を示唆していた。

(参考文献)

- 1)奥野芳男他、液状廃棄物の高濃度メタン発酵特性、第34回環境工学研究フォーラム論文集、pp162-164、(1997)
- 2)奥野芳男他、生ゴミの高濃度メタン発酵処理特性、廃棄物学会第8回研究発表講演論文集、pp308-310、(1997)
- 3)李 玉友他、嫌気性硝化の酸生成相における余剰汚泥の分解特性、水質汚濁研究、Vol. 10、No. 12、(1987)

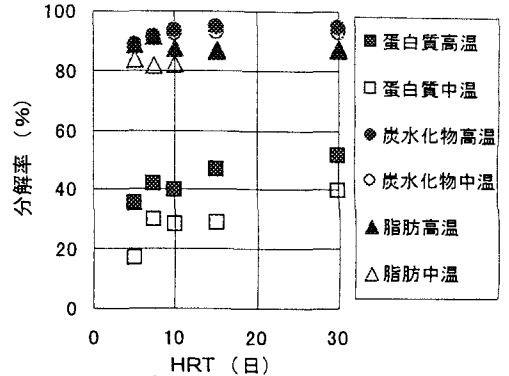


図-5 各HRTにおける蛋白質、炭水化物、脂肪分解率

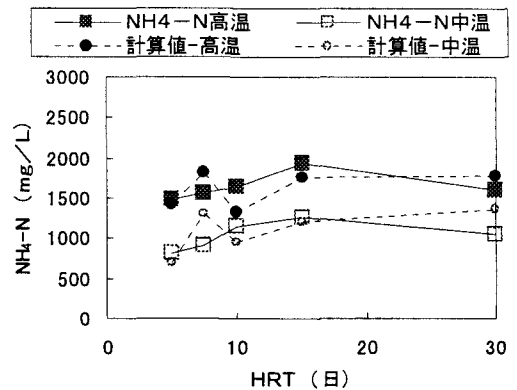


図-6 各HRTにおけるNH₄-N濃度の中温と高温の比較