

(15) 生ごみと尿汚泥の高濃度メタン発酵に及ぼす滞留時間と発酵温度の影響

Effects of Hydraulic Retention Time and Temperature on High-Solids Methane Fermentation of both Organic Fraction of Municipal Solid Waste and Night Soil Sludge

奥野芳男*, 李玉友**, 佐々木宏**, 関廣二**, 上垣内郁夫**

Yoshio Okuno*, Yu-You Li**, Hiroshi Sasaki**, Koji Seki**, Ikuo Kamigochi**

ABSTRACT: Influences of hydraulic retention time (HRT) and temperature on the methane fermentation of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) and the sludge from treated night soil (SNS) were investigated by using a semi-continuous flow, completely mixed reactor. The experiments were conducted with a constant influent flow at a total solid (TS) of 10% by changing HRT from 5 days to 30 days under mesophilic (35°C) and thermophilic (55°C) conditions, respectively. Both the mesophilic and the thermophilic digestion reactors were successfully operated even at a short HRT of 5 days. The results indicate that the most important advantages of thermophilic fermentation over mesophilic fermentation for treating a mixture of OFMSW and SNS are its high efficiencies in VS reduction and COD_{Cr} removal, especially in the hydrolysis. It is suggested that the applicable HRT for the high-solids thermophilic digestion could be shortened to 7.5 days at the least. The first-order reaction could be more appropriate for describing the degradation of OFMSW and SNS, and kinetic constants for TS, VS and total COD_{Cr} were summarized in a table.

KEYWORDS: Anaerobic digestion, mesophilic, thermophilic, sludge of night soil, organic fraction of municipal solid waste

1. はじめに

近年、循環型社会の構築が推進される中で、生ごみや汚泥などの有機性廃棄物の循環型処理技術としてメタン発酵によるエネルギー回収やコンポスト化による有機肥料の生産が注目されている¹⁾。特に高効率メタン発酵処理法は有機性廃棄物の減量化、無害化の他に、含水量の多い液状廃棄物からエネルギーを生産できる唯一の実用可能な技術であるが故、その応用拡大が望まれている。また、バイオガスの利用方法については従来のボイラー燃料やガスエンジン発電の他に、圧縮貯蔵技術や燃料電池発電、マイクロガスタービン発電などの新しい技術も次々開発されつつあるので、今後メタンガスはバイオマスエネルギーの柱の一つになることが予想される。

生ごみのメタン発酵については既報でまとめたように、欧米を中心に多くの研究と応用実績が報告されており、メタン発酵処理技術の有効性は確認されている。著者らは社会システムと生活スタイルによる生ごみ性状の変化に注目して、我が国の典型的生ごみのメタン発酵処理特性を解明することを目的として人工の典型的生ごみを用いて一連の基礎的研究を進めてきた。1998年度の本研究フォーラムにおいて生ごみの高温メタン発酵に及ぼす投入TS濃度の影響を報告し、高温メタン発酵における適切な投入濃度は10%程度であることを明らかにした²⁾。また翌年生ごみの高濃度発酵における中温および高温発酵の性能比較を行った結果、水理学的滞留時間(HRT)が15日以上であれば、分解率とガス発生量において温度による影響は少ない

* アタカ工業株式会社・技術統括部 (Core Technology D&E Division, ATAKA Const. & Eng. Co., Ltd)

**アタカ工業株式会社・環境研究所 (Environmental Technology R&D Center, ATAKA Const. & Eng. Co., Ltd)

が、HRT10 日以下の高負荷条件では高温発酵の優位性が明確になり、投入 TS10%の条件では HRT7.5 日の高負荷条件でも高い分解率を維持できるという結論が得られている³⁾。

実用技術の観点においては、我が国では高濃度メタン発酵の新しい技術を積極的に導入したのはし尿処理分野における生ごみと汚泥の混合処理を目的とした「汚泥再生処理センター」であり、2000 年より三つの実用プラントがすでに稼動し初めている^{4)~6)}。しかし、その技術開発の経緯はヨーロッパからの技術導入が優先されたため、メビウスシステム、REMシステム、リネッサシステムなどのハード装置が確立されたものの、基礎的な研究が欠けているのが現状である。特に、生ごみの組成だけでなく、我が国で独自に開発、発展させたし尿処理システム⁷⁾から発生するし尿汚泥にも特殊性があるので、その両者の混合処理についてはオリジナルデータを集積する必要がある。

本研究は、生ごみとし尿汚泥の複合液状廃棄物の高濃度メタン発酵特性を解明する研究の一環として、下水道普及率を 60% (=し尿・浄化槽汚泥搬入率 40%) の汚泥再生処理センターにおいて、当該人口から発生する生ごみのみを回収し処理すると想定し、生ごみとし尿汚泥の比率が TS 比で 9 : 1 となる複合廃棄物を対象とし、発酵温度 55℃と 35℃の 2 系列の実験装置を用いて、滞留時間を 5 日から 30 日まで変化した連続実験を行った。本論文では、複合廃棄物の高濃度メタン発酵における有機物分解率、揮発性脂肪酸 (VFA) 等の運転管理因子、メタンガス生成量を把握したことに加え、動力学的解析を行うことにより生ごみとし尿汚泥の複合メタン発酵の速度式を検証したとともに、滞留時間の短縮と負荷向上における中温発酵と高温発酵の可能性を考察した。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

実験装置の概略図を図-1 に示す。発酵槽はガス攪拌方式とし、生成したバイオガスをガス循環ポンプでポンプ循環することにより混合攪拌した。発酵槽は全容量 8 L で、有効容量を 5 L とした。発酵槽への基質の投入は 1 日に数回、タイマー作動の投入ポンプにより行い、混合液は気液分離槽を経て貯留槽に排出した。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。生成されるバイオガスは、ガスメーターにより計測した。また基質の変質を避けるため基質貯留タンクの温度は $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ に保持した。

2.2 実験条件

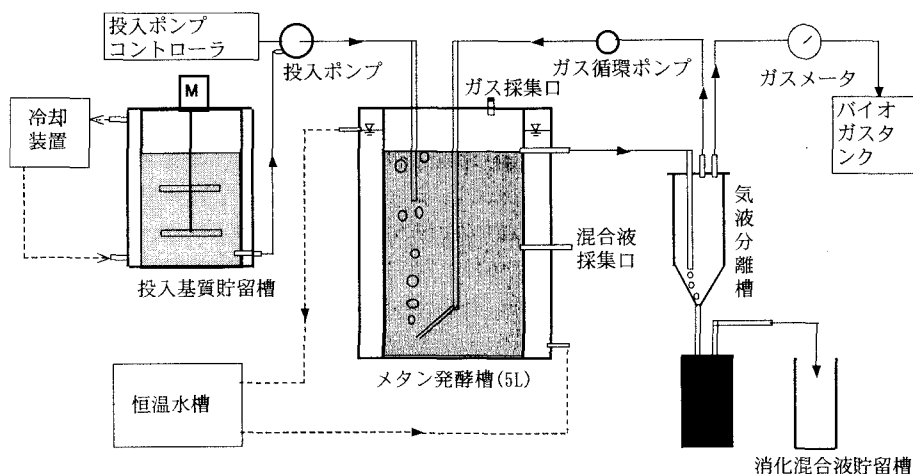


図-1 メタン発酵連続実験装置の概要図

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
消化温度 (°C)	発酵槽1	36±1 (中温)	
	発酵槽2	55±1 (高温)	
HRT10日以下の条件において基質タンクに投入: FeCl ₂ : 100mg/L、NiCl ₂ : 10mg/L、CoCl ₂ : 10mg/L			

表-2 人工生ゴミの組成 (%)

果物	リンゴ	10
	グレープフルーツ(皮)	5
	オレンジ(皮)	5
	バナナ(皮)	10
野菜	キャベツ	12
	ジャガイモ	12
	ニンジン	12
肉、魚類	挽肉(合挽)	5
	魚(骨付)	5
	卵(殻付)	4
飯、麺類	米飯	10
	パン	5
	うどん	2.5
	中華麺	2.5
計		100

実験条件は、表-1に示すとおり2系列の発酵槽を用い、高温および中温発酵でそれぞれに5つのRUNを設定した。温度条件はそれぞれ高温発酵(55±1℃)、中温発酵(35±1℃)とした。各RUNでの滞留時間(HRTを30日、15日、10日、7.5日、5日として、30日から段階的にHRTを短縮して実験を行った。HRTの設定は、投入ポンプのタイマー運転により行い、1回あたりの投入量を発酵槽有効容量の2%以下とした。実験に使用した種汚泥は、下水汚泥の中温発酵と高温発酵の消化汚泥とし、生ゴミを基質として、3カ月以上馴致したものをを用いた。

2.3 生ゴミ及び実験基質の調製

文献調査に基づいて、使用する生ゴミの組成を表-2のように設定した^{8,9)}。前処理としては、高速ブレンダーで粒径3mm以下に粉碎し、これにH町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、TS濃度が10%になるように水道水で調整した。実験に用いた投入基質の平均値を表-3に示す。投入TS濃度10%を目標とし調整した結果、VS濃度は87.7g/L、COD_{Cr}濃度(以下CODという)は142g/Lであり、投入TSの9割が有機物で、COD/TS比は1.45であった。VSの組成としては炭水化物40%、蛋白質27%、脂肪が9%であり、その他の物質が24%であった。既報²⁾において、生ゴミの場合の有機物組成は炭水化物49%、蛋白質24%、脂肪11%、その他16%であり、し尿汚泥を10%加えることにより、炭水化物の割合が減少する一方で、その他が8%程度増加している。

2.4 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濃度などに関して1週間に1~2回分析を行い、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。

pH、アルカリ度、NH₄⁺-N、TS、VS、SS、VSSの分析は下水試験方法に準拠して行った。COD濃度は米国のStandard Methods(1995)により測定した。炭水化物はアンスロニー硫酸法、タンパク質はLowry法、脂質はBligh-Dyer法によりそれぞれ分析を行った。混合液の溶解性成分は3000rpmで

表-3 投入基質濃度
(生ゴミ+し尿汚泥、TS比=9:1)

項目	濃度	範囲
pH (-)	4.44	4.32 - 4.64
TS (g/L)	97.6	93.6 - 101.8
VS (g/L)	87.7	85.2 - 91.3
SS (g/L)	62.5	57.6 - 68.2
VSS (g/L)	57.6	54.7 - 61.6
COD _{Cr} (g/L)	141.6	135 - 147
炭水化物 (g/L)	34.7	29.5 - 38.5
蛋白質 (g/L)	23.6	21.0 - 26.0
脂肪 (g/L)	8.1	6.7 - 9.6

遠心分離した上澄水について分析した。VFAはFIDガスクロマトグラフ（HP-6890 型）法により測定した。FIDガスクロマトグラフのカラムにはHP-INNOWAX Polyethylene Glycol キャピラリーカラムを用い、キャリアーガスにはヘリウム（圧力1.0kg/cm²）を用いた。カラムオープンの設定温度は50℃～170℃の範囲で段階的昇温操作を行った。検出器の温度は280℃とした。

ガス生成量は容量式ガスカウンターで計量したデータを0℃、1気圧の乾燥ガス量に換算した。ガス組成（N₂、CO₂、CH₄）の分析にはTCD-ガスクロマトグラフ（HITACHI-163 型）を用いた。TCDガスクロマトグラフのカラムには、Unibeads Cを充填した内径3mm×長さ3mのステンレスカラムを用いた。キャリアーガスにはヘリウム（圧力5kg/cm²）を用いた。カラム温度と検出器温度はいずれも140℃とした。

3. 実験結果および考察

3.1 HRT 短縮と負荷向上の可能性

研究において反応槽のHRTを30日、15日、10日、7.5日、5日と段階的に上げて嫌気性細菌を馴致しつつ、負荷を向上させて連続運転を行った。対応するCOD容積負荷は4.5～29.4 g-COD/(L・日)であった。その結果、高温および中温メタン発酵において、HRT5日、COD容積負荷29 g-COD/(L・日)、VS負荷18.3 g-VS/(L・日)の高負荷条件でも安定したメタン発酵が可能であった。これらの結果はHRT5日の完全混合反応槽においても、メタン生成細菌の安定的増殖は可能であることを示唆している。

3.2 有機物分解率

高温および中温発酵に関して、COD分解率およびVS分解率とHRTの関係を図-2 および図-3 に示す。ここで記号は実測値を示し、線は動力学的解析に基づく予測値を示している。予測値の算出に用いた分解速度定数等については後で述べる。

図-2 および図-3 によるとCOD分解率とVS分解率は、高温および中温発酵ともHRTを短縮するに従って低下した。COD分解率は、高温発酵ではHRT30日～5日で79.5～70.5%に対して、中温発酵では74.7%～59.4%であった。また、VS分解率は高温発酵で81.6～73.5%であるのに対して、中温発酵では77.3～62.8%であり、中温発酵では特にHRT10日以下で著しく低下した。これらの結果からCOD分解率70%以上を達成するためのHRTは、高温発酵で5日以上であるが、中温発酵では10日以上が必要であった。

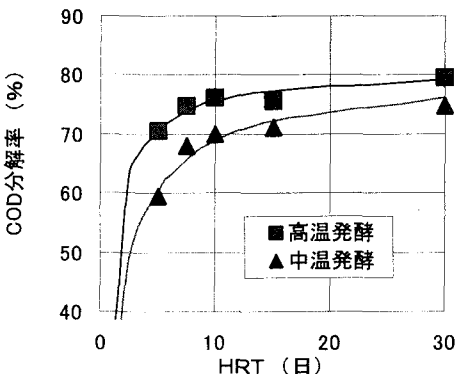


図-2 COD分解率に及ぼす発酵温度およびHRTの影響

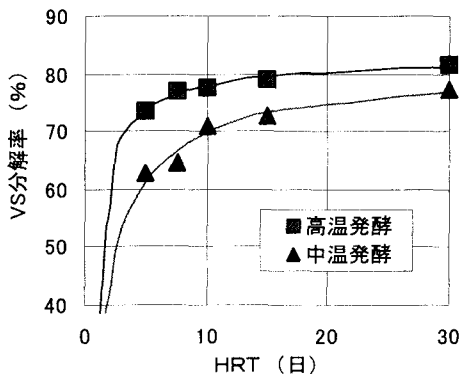


図-3 VS分解率に及ぼす発酵温度およびHRTの影響

前報³⁾では、生ごみの高濃度メタン発酵においてHRT30～5日の条件で、有機物分解率はHRTが15日以上であれば温度の影響をあまり受けないが、HRT10日以下の高負荷条件では高温発酵の優位性が明確になると報告している。本研究で、し尿汚泥を混合した複合液状廃棄物の嫌気性発酵においても、中温発酵では

15 日以上で達成される COD 分解率および V S 分解率を HRT 7.5 日で達成できることが確認された。

3.3 TS 分解率と SS 分解率

高温と中温発酵に関して、TS 分解率、SS 分解率と HRT の関係を図-4 および図-5 に示す。

高温発酵と中温発酵を比較すると、高温発酵は SS 分解率が高く、HRT 短縮による分解率の低下も少ない。SS 分解率は、固形物の可溶化率を示すと考えられ、中温発酵にくらべ高温発酵の可溶化率が高いことがわかる。したがって、高温発酵は加水分解において特に優位である。同じ HRT における SS 分解率および V S S 分解率はいずれも高温発酵の値は中温発酵のそれに比べて高い。この結果は、生ごみのみをメタン発酵した場合と同様の結果を示している。

汚泥のメタン発酵に関して、下水処理場の混合汚泥の中温発酵では、HRT 30 日で TS 分解率 44%、SS 分解率 43% が報告されている¹⁰⁾。本研究ではし尿汚泥を混合した生ごみを嫌気性発酵したためにし尿汚泥の分解率の低下によって全体の分解率が低下していることが示唆された。この傾向は中温発酵において顕著であった。

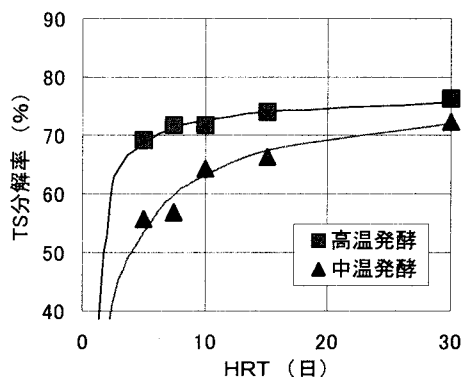


図-4 TS 分解率に及ぼす発酵温度および HRT の関係

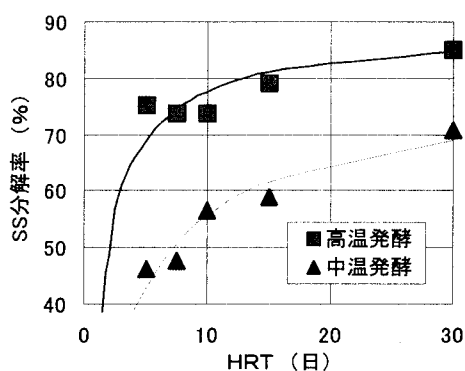


図-5 SS 分解率に及ぼす発酵温度および HRT の影響

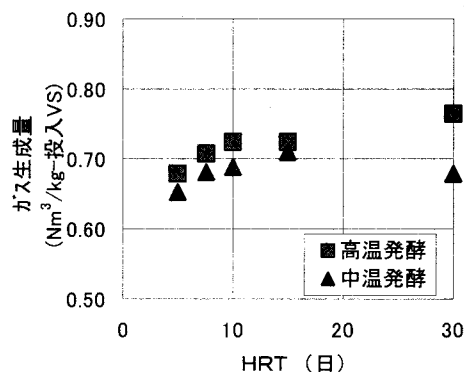


図-6 ガス生成量に及ぼす発酵温度および HRT の影響

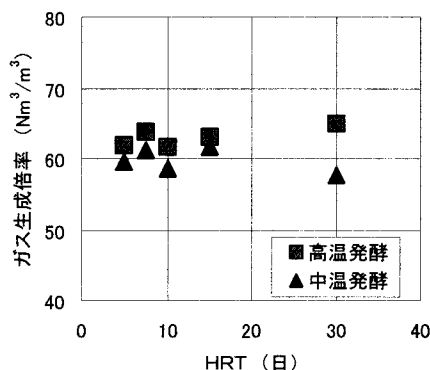


図-7 ガス生成倍率に及ぼす発酵温度および HRT の影響

3.4 ガス生成量およびメタン含有率

投入 VS あたりのバイオガス生成量およびガス生成倍率と HRT の関係を図-6 および図-7 に示す。投入 VS あたりのバイオガス生成量は、高温発酵で $0.68 \sim 0.76 \text{ Nm}^3/\text{kg-VS}$ 、中温発酵では $0.65 \sim 0.71 \text{ Nm}^3/\text{kg-VS}$ で

高温発酵の方が比較的高かった。

下水の混合汚泥の中温発酵で報告されている¹⁰⁾ ガス生成量(約 0.63 Nm³/kg-VS)に比較すると、中温発酵・高温発酵ともガス生成量は高かった。

バイオガス中のメタン(CH₄)含有率は、高温発酵、中温発酵でそれぞれ 58～61%、58～60%であり、高温発酵と中温発酵で同程度であった。

3.5 炭水化物、蛋白質および脂肪の分解

炭水化物、蛋白質および脂肪の分解率とHRTの関係を図-8に示す。三成分の分解率の高さは高温および中温発酵ともに炭水化物>脂肪>蛋白質の順であった。炭水化物の分解率は、高温発酵で88.2～94.5%、中温発酵で88.8～93.0%、で同程度であった。一方、脂肪の分解率は高温発酵で87.4～91.3%、中温発酵で81.6～87.0%であり高温発酵で高い結果が得られた。また、蛋白質についても分解率は、高温発酵で35.0～51.9%に対して中温発酵で16.9～39.7%であり、高温発酵の方が高い傾向にあった。

これらの結果は、生ごみのみおよび下水汚泥嫌気性消化の結果と一致している^{3),11)}。

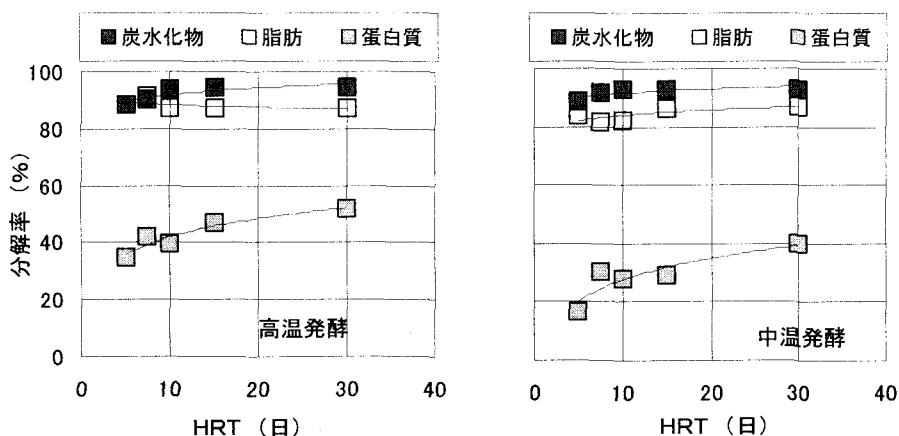


図-8 炭水化物、脂肪および蛋白質の分解率

3.6 揮発性脂肪酸 (VFA)

高温発酵と中温発酵の各HRTにおけるVFAの組成を図-9に示す。中温発酵では、VFAは77～210mg-COD/Lと低かったが、高温発酵では320～2900mg-COD/Lと高かった。高温発酵において特にプロ

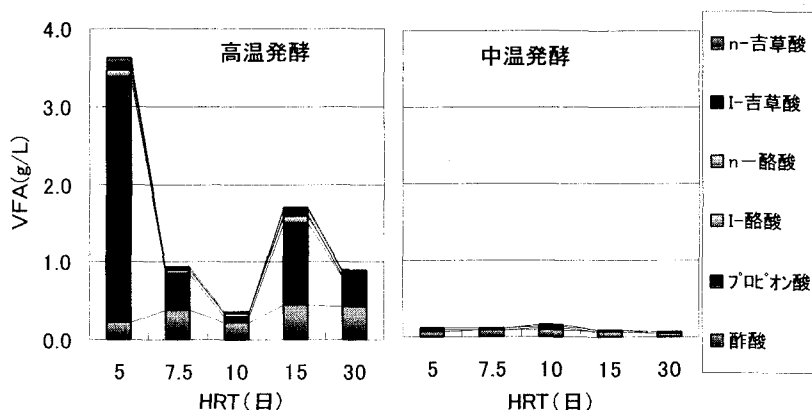


図-9 高温および中温発酵におけるVFAの生成

ピオン酸、酢酸の残留が確認された。

既報¹²⁾¹³⁾の生ごみを基質としたメタン発酵連続実験においては、HRT15日以下では安定運転を行うために栄養塩類(鉄、ニッケル、コバルト)を補給することが必要であることを報告したが、本研究では、生ごみに10%のし尿汚泥を混合することにより栄養塩の補給無しでHRT15日以上のメタン発酵処理が実現できた。しかし、HRT10日以下において、高温発酵槽のVFAの蓄積が確認されたため、基質タンクにFeCl₂:100mg/L、NiCl₂:10mg/L、CoCl₂:10mg/Lを投入し、栄養塩類を補給した。その結果HRT10日のVFAがHRT15、30日に比較して低くなった。さらにHRT7.5日および5日では、HRTの短縮とともにVFAが蓄積する傾向を示した。これらことから、栄養塩類は低分子化したVFAをガス化する過程において効果があり、また生ごみにし尿汚泥を加えることによって栄養塩類の補足効果があることが推察された。

3.7 COD物質収支

有機物の存在形態を固形物、溶解性物質およびメタンガスに大別し、化学量論式から求めたCOD換算係数により各条件でのCOD物質収支を算出し¹¹⁾、その結果を表-4に示す。投入基質と高温発酵および中温発酵の固形物CODの割合はそれぞれ60%、11~15%、20~32%であり、高温発酵において固形性分が少なく可溶化が進行していることがわかる。溶解性炭水化物、溶解性蛋白質、溶解性脂肪のCOD換算値の合計(SVS)は高温発酵で5~7%であり、揮発性脂肪酸(VFA)は0~4%、それ以外(Others)は、3~4%であった。溶解性成分であるVFA、SVS、Othersの割合は、中温発酵に比べ高温発酵が多かった。

メタンのCOD換算について、1molのメタン(0℃、1気圧、22.4L)を酸化するために2molの酸素が必要となり、0.35L(22.4L/64g)のメタンはCOD1gに相当する。メタンガス量から求めたCOD転換率は高温発酵、中温発酵でそれぞれ70~79%、68~75%であり、高温発酵で若干高かった。また投入100%に対して流出のCOD収率は、96~108%と100%前後であった。これは本実験において良好な物質収支が得られていることを示している。

表-4 中温と高温発酵におけるCOD収支(単位:%)

	HRT (days)	固形成分 (P-COD)	溶解性成分			Gas CH ₄	収率
			SVS	VFA	Others		
投入物質	0	59.4	19.9	1.3	19.4	0.0	100.0
高温発酵	5	15.4	7.4	3.7	2.9	70.2	99.6
	7.5	14.4	6.4	0.9	3.7	73.4	98.7
	10	12.9	6.6	0.3	3.9	77.0	100.8
	15	12.2	6.6	1.8	3.9	75.7	100.2
	30	10.8	5.6	0.9	3.3	79.2	99.8
中温発酵	5	32.2	5.3	0.1	2.9	68.3	108.8
	7.5	25.6	4.3	0.1	2.1	71.4	103.4
	10	23.5	3.9	0.1	2.4	71.7	101.6
	15	23.4	3.5	0.1	1.8	74.5	103.3
	30	19.9	3.2	0.1	2.1	70.3	95.5

(P-COD) = (T-COD) - (S-COD)

SVS=(溶解性炭水化物+溶解性たんぱく質+溶解性脂肪)のCOD換算値

VFA=各揮発性脂肪酸のCOD換算値

(S-COD) =SVS+VFA+Others

3.8 有機物分解に関する解析

李ら¹⁴⁾は、汚泥等の固形廃棄物のメタン発酵処理において温度やpHなどの環境条件が一定である場合、分解速度は見かけ上残存する分解可能な有機物濃度に関して一次反応に従うと報告している。本研究においても、同様に次の一次反応式を用いて分解速度を解析した。

$$R_h = - (dS/dt) = K_h (S - S_n) \quad (1)$$

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

(1)式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 (2) 式が得られる。

$$Q \cdot S_i - Q \cdot S_e - V \cdot K_h (S_e - S_n) = 0 \quad \dots (2)$$

(2)式を整理する

$$(S_i - S_e) / \theta = K_h \cdot S_e - K_h \cdot S_n \quad \dots (3)$$

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

(3)式において投入濃度 S_i が一定の場合、(3)式の両辺を投入濃度 S_i で割ることで(4)式が得られる。

$$E / \theta = K_h (1 - E) - K_h (S_n / S_i) \quad \dots (4)$$

ここで、 E : 分解率 = $(S_i - S_e) / S_i$ 分解速度 $(S_i - S_e) / \theta$ および流出有機物濃度 S_e に関するプロットが得られる。CODおよびVSについて(4)式に従ってプロットしたものを図-10 および図-11 に示す。線形回帰直線より求めた各定数を表-5 に示す。COD分解速度定数 K_h は高温発酵で 1.3(1/d)、中温発酵で 0.61(1/d)であり、高温発酵の方が高い。また、難分解性成分の割合 (S_n / S_i) は高温および中温発酵とも 19%程度であった。

下水汚泥に関する研究では中温発酵におけるCOD分解定数は、0.32~0.65(1/d)であり本研究の結果は中温発酵と比較すると同程度であった¹¹⁾。また S_n / S_i 値は下水汚泥の値である 50~60%と比較して低く、生ごみの分解性が高く、し尿汚泥の投入により難分解性成分が多くなることを示唆している。

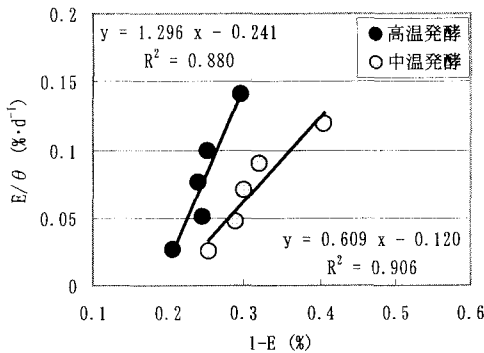


図-10 CODに関する 1-E VS E/θ
プロット

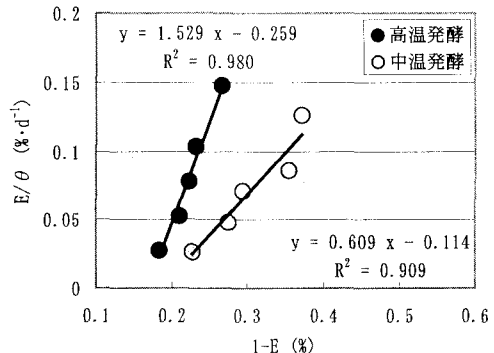


図-11 VSに関する 1-E VS E/θ
プロット

表-5 COD、TS等の分解速度定数

高温				中温			
	K (d ⁻¹)	S _n /S _i (%)	E _{max} (%)		K (d ⁻¹)	S _n /S _i (%)	E _{max} (%)
COD	1.30	18.6%	81.4%	COD	0.61	19.8%	80.2%
TS	1.56	22.7%	77.3%	TS	0.45	22.6%	77.4%
VS	1.53	16.9%	83.1%	VS	0.61	18.7%	81.3%
SS	0.70	11.2%	88.8%	SS	0.24	21.6%	78.4%
VSS	0.96	9.7%	90.3%	VSS	0.35	19.7%	80.3%

3.9 遠心上澄水の水質

中温および高温発酵における混合液遠心上澄水のCOD濃度を図-12 に示す。図に示すように遠心上澄水

のCOD濃度は、高温および中温発酵ともHRTの短縮に従って増加した。高温発酵と中温発酵を比較すると、高温発酵の方が、上澄水COD濃度が高い。これは、高温発酵の可溶化率が高く、また図-9に示すとおり残留VFA濃度が高いことによるものと考えられる。

また、TSとSSの濃度からTS中の溶解成分比を求めると図-13 のようになり、やはり高温発酵の方が高いことがわかる。このことから高温発酵の加水分解率は中温発酵より高く、加水分解生成物の一部分が十分にガス化できず液中に残存することが認められる。

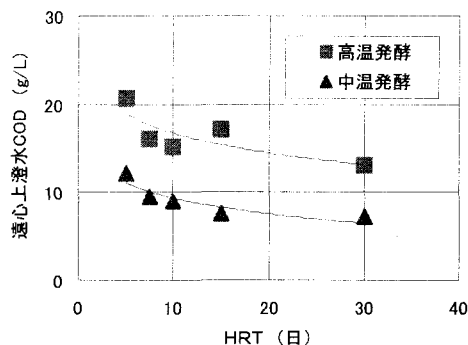


図-12 遠心上澄水CODに及ぼす発酵温度とHRTの影響

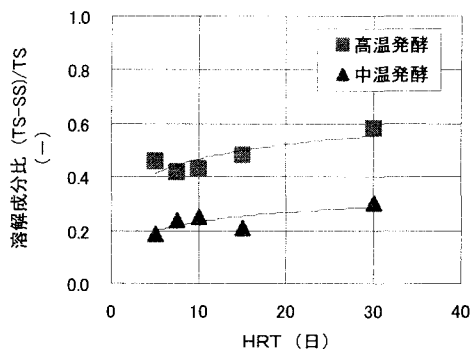


図-13 溶解成分比に及ぼす発酵温度とHRTの影響

3.10 蛋白質の分解と窒素の挙動

中温および高温発酵において混合液の遠心上澄水のアンモニア性窒素濃度は、高温発酵において高い。各条件における蛋白質分解量と混合液遠心上澄水の NH_4^+-N 濃度の関係を図-14に示す。高温発酵で NH_4^+-N 濃度は、1500～2000mg/L、中温発酵で810～1300mg/Lであり、高温発酵で高かった。高温メタン発酵において NH_4^+-N 濃度2500～4000mg/Lでアンモニアによる障害が生じると言われている^{14),15)}が、障害が生じるレベルまでには至らなかった。

また、蛋白質分解量から求めた NH_4^+-N 濃度の計算値を図-14中に実線で示す。蛋白質分解量から求めた NH_4^+-N 濃度と実測値には高い相関があり、高温発酵のアンモニア性窒素が高い理由として蛋白質分解率が中温発酵に比べて高いためであることが推定できる。

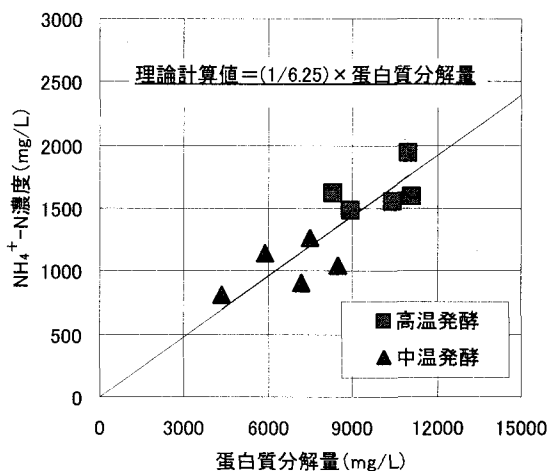


図-14 蛋白質分解量と NH_4^+-N 濃度の関係

4. まとめ

生ごみとし尿汚泥の複合廃棄物の高濃度メタン発酵特性を把握するため、下水道普及率60%（し尿・浄化槽汚泥搬入率40%）の汚泥再生処理センターにおいて、当該人口より発生する生ごみを100%回収処理した場合を想定し、生ごみとし尿汚泥の比率9：1の複合廃棄物を対象としたメタン発酵連続実験を行い、次の結論が得られた。

- (1) 生ごみと尿汚泥の比率をTS比で9:1とした混合物のメタン発酵において、HRT15日以上では栄養塩を投入しなくてもメタン発酵処理ができた。また、栄養塩（鉄、ニッケル、コバルト）を投入することによりHRT5日、COD容積負荷29g-COD/L/dの条件でも高温発酵および中温発酵によるメタン発酵を実現できた。
- (2) 中温発酵と高温発酵を比較するとCOD分解率、TS分解率およびSS分解率ともに、高温発酵の方が高い結果となった。特にHRT10日以下で、中温発酵の分解率は大幅に低下した。また、投入VSあたりのガス生成量は、高温発酵で若干高かった。
- (3) 生ごみおよび尿汚泥の混合物のメタン発酵において、高温発酵では揮発性脂肪酸(VFA)が残存しやすく、高温発酵における混合液遠心上澄水のCOD、 NH_4^+-N などの水質成分濃度は、中温発酵より高かった。
- (4) 生ごみと尿汚泥の中温および高温メタン発酵における有機物の分解は一次反応で解析できる。それぞれの速度定数と難分解性割合が求められた。COD分解速度定数 K_h は高温発酵で1.31(1/d)、中温発酵で0.61(1/d)であり、高温発酵の方が高い。また、難分解性成分の割合(S_n/S_i)は高温および中温発酵とも19%程度であった。

参考文献

- 1) 李玉友：生ごみ・有機性廃棄物の高濃度メタン発酵処理技術、技術情報センター主催「生ごみ・有機性廃棄物の最新処理・リサイクル技術」講習会テキスト、pp43-69、1998
- 2) 李玉友、佐々木宏、奥野芳男、関廣二、上垣内郁夫：生ごみの高濃度メタン発酵に及ぼす投入濃度の影響、環境工学研究論文集、Vol35、pp29-39、1998
- 3) 李玉友、佐々木宏、鳥居久倫、奥野芳男、関廣二、上垣内郁夫：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、Vol36、pp413-421、1999
- 4) 岩尾充：メビウスシステムについて、環境技術、Vol.27、pp.845-852、1998
- 5) 久芳良則：REMシステムについて、環境技術、Vol27、PP.853-859、1998
- 6) 坂上正美：リネッサシステムについて、環境技術、Vol27、PP.860-866、1998
- 7) 古賀博昭、篠原功、西田剛、印籐彰：し尿処理施設の精密検査にみる運転実績の現状について（第3報）、日本環境衛生センター所報、No.26、pp90-103、1999
- 8) 佐々木宏、李玉友、関廣二、上垣内郁夫：生ごみの高温・高濃度メタン発酵に及ぼす滞留時間と負荷の影響、水環境学会誌、Vol22、No.12、pp983-989、1999
- 9) 佐々木宏他、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(1997) p305-307
- 10) Y.Y.Li, O. Mizuno, T. Miyahara, T. Noike, K. Katsumata : Ecological analysis of the bacterial system in a full-scale egg-shaped digester treating sewage sludge, Proc.8th International Conf. on Anaerobic Digestion, (1997) p247-254
- 11) 李玉友、野池達也：嫌気性消化の酸生成相における余剰活性汚泥の分解特性、水質汚濁研究、Vol.10、pp.729-740、1987
- 12) 奥野芳男、李玉友、佐々木宏、関廣二、上垣内郁夫：生ゴミと汚泥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(1997) p308-310
- 13) 李玉友、佐々木宏、奥野芳男、関廣二、上垣内郁夫：生ごみの高濃度メタン発酵における微量栄養塩の必要性、第32回日本水環境学会年会講演論文集、pp137、1998
- 14) Hashimoto, A. : Ammonia inhibition of methanogenesis from cattle wastes, Agricultural Wastes, 17, 241-261 1986
- 15) Hansen, K. H., Angelidaki, I. and Ahring, B. K.: Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia, Water Research, 32, 5-12, 1998