

液状化廃棄物の高温メタン発酵処理について

Thermophilic Methane Fermentation of Liquefied Wastes



(環)製品開発室
野中 信一
Shinichi Nonaka
榎田 耕平
Kouhei Masuda

A solid waste treatment system is being developed through fermentation after solubilization. Solid wastes are first solubilized physically and chemically and then fermented, recovering energy as methane gas. As a part of the system, a thermophilic UASB method has been studied. If such a method becomes feasible, a highly efficient reactor can be developed since thermophilic methane fermentation offers higher treatability than mesophilic fermentation. An experiment of forming thermophilic granules as a first step of the study proved that thermophilic granules can be formed by the use of methophilic granules as seed granules.

まえがき

最近、生活レベルの向上に伴って、廃棄物の排出量が増大しているにもかかわらず、それらを処分する焼却処理場の建設や埋め立て処分地の確保が困難な状況にある。これら一般廃棄物を所定の場所に一括搬送し、物理化学的に可溶化し、その後メタン発酵することによってエネルギーを回収するとともに、種々の環境問題も解決することを目的としたプロジェクトが推進されている。

プロジェクトでは廃棄物の破碎、搬送技術、物理化学的可溶化技術及びメタン発酵技術等幅広い技術について調査、研究が行われている。メタン発酵技術は、廃棄物を高温・高圧下で物理化学的に可溶化した液を高温メタン発酵するものであり、当社はメタン発酵技術の内、高温UASB法に関する研究を行っている。

本報では、中温発酵で形成したグラニュールを種グラニュールに用いて、高温グラニュールを形成する方法、及び形成した高温グラニュールの処理能力に関する基礎実験結果を紹介する。

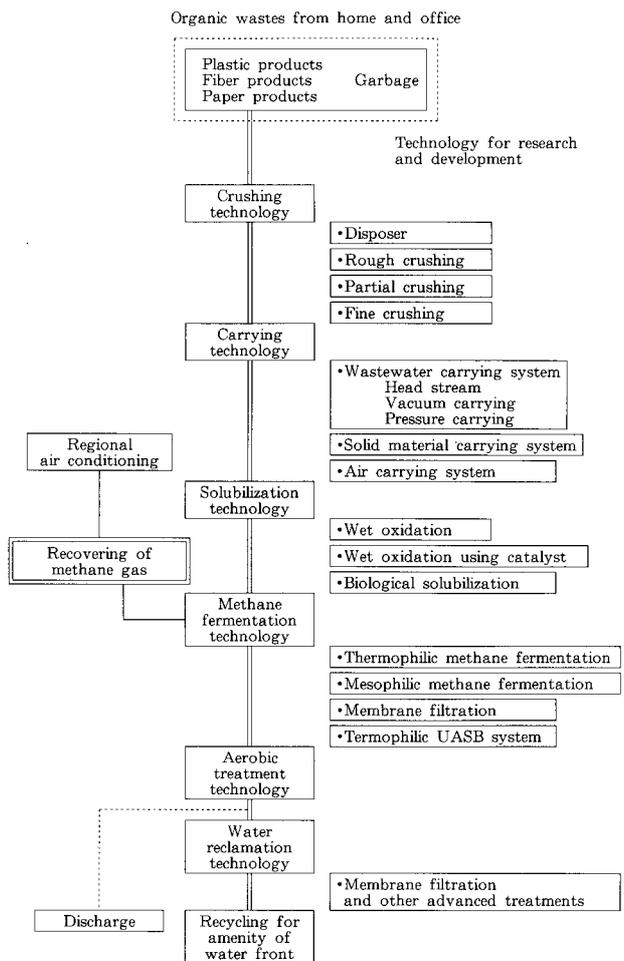
1. プロジェクトの概要

本プロジェクトの名称は「廃棄物等メタンガス製造システム開発」(通称:アーバンチャンネル)であり、(助)造水促進センターが新エネルギー産業技術総合開発機構より研究開発を委託され、当社を含むメーカー9社が協力研究に参加している。プロジェクトは、集合住宅を中心とする地域から発生する固形廃棄物及び生活廃水を対象とし、第1図に示す処理システムとなっている。

廃棄物の内、厨芥はディスポーザーで破碎された後、生活廃水と混合されて専用の排水管により処理施設に送られ、紙・プラスチック・木片等の可燃性廃棄物は各家庭にて分別収集し、集合住宅地内に設けられたごみ投入口から空気搬送装置によって破碎選別設備に送られる。

物理化学的可溶化槽には、高濃度の可溶化液を得るために、凝集加圧浮上処理により生活廃水から濃縮分離した厨芥等の固形物と、規定の大きさに破碎された可燃性廃棄物が投入される。物理化学的可溶化槽では、高温・高圧下で

固形廃棄物が溶解される。この時、有機物の一部は酢酸、アルデヒド類、アセトン等の低分子有機化合物に分解されて可溶化液中に溶存するが、有機物の大半は炭酸ガスとなって大気中に放出される。



第1図 廃棄物処理システムの概要
「廃棄物等利用メタンガス製造システム開発」
Fig. 1 Diagram showing development of methane gas production system using solid wastes.

高温メタン発酵装置では物理化学的に可溶化された液状廃棄物が生物学的に処理され、メタンガスが発生する。

メタンガスは回収されて地域冷暖房等に利用される。

メタン発酵処理水と固形物を分離した生活廃水は好気性処理され、さらにUF膜処理や活性炭ろ過処理によって高度に処理された後、再生水として修景用水等に利用される。

2. 高温メタン発酵処理技術

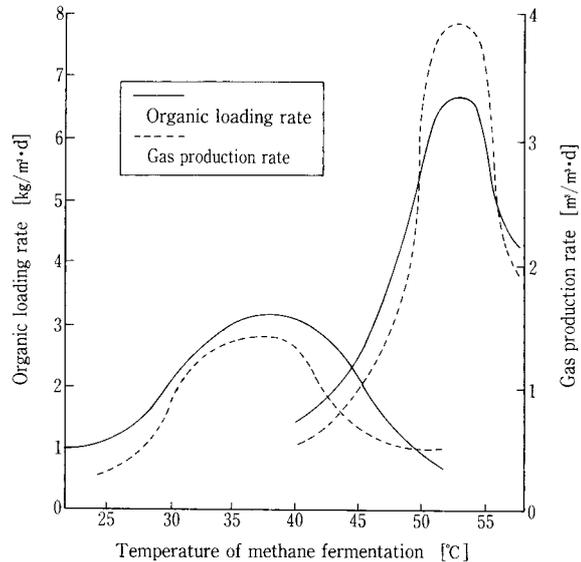
メタン発酵処理技術には35℃付近の中温メタン発酵と55℃付近の高温メタン発酵があるが、それぞれの適温で活躍するメタン菌は全く種類の異なる菌である。このことを示したのが第2図であり¹⁾、一般に、高温メタン発酵の有機物分解能力は中温メタン発酵の約2倍大きいとされている。

本処理システムでは高効率のメタン発酵装置の開発を目標としているため、有機物分解能力が大きい高温メタン発酵を採用している。また、200℃以上の高温下で液化した廃棄物をメタン発酵する場合、一旦温度を下げる必要があるが、この時、高温メタン発酵の方がエネルギー的に有利となる点も採用理由の一つである。

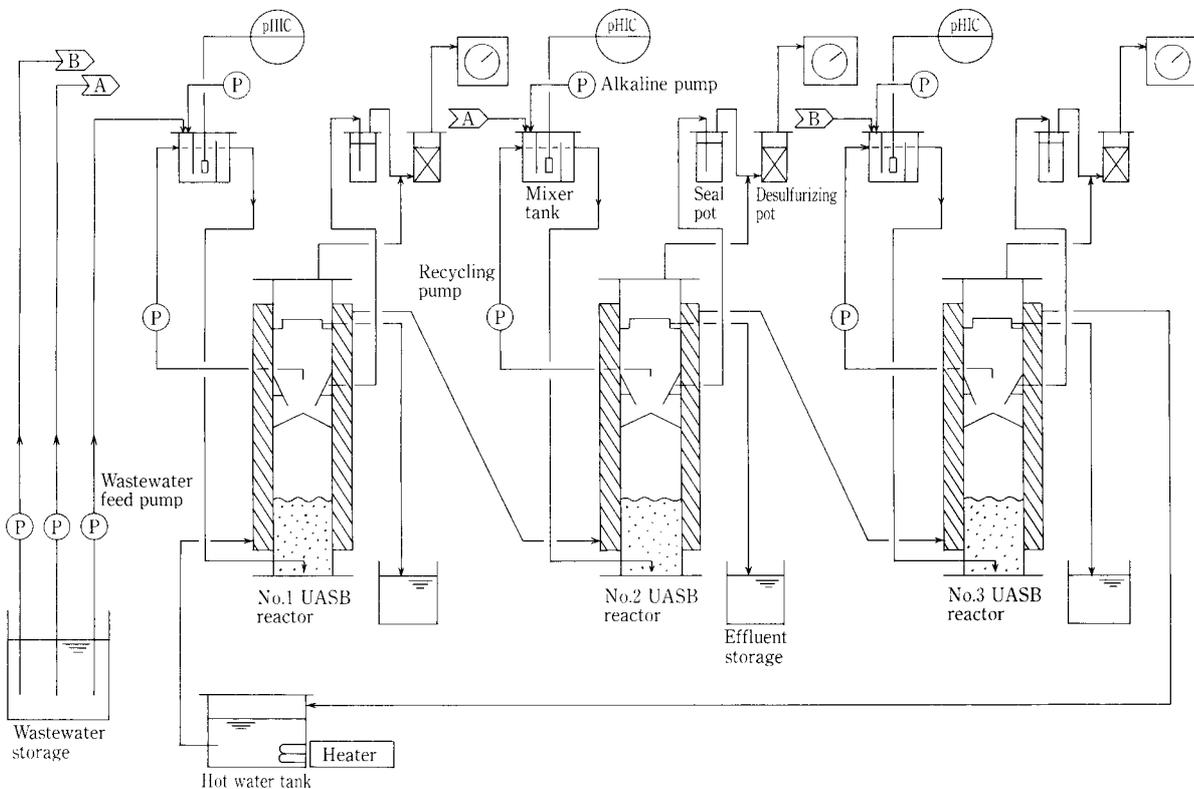
高温メタン発酵処理では、次のような問題点が指摘されているが、当社が担当する高温UASB法の研究に当たっては、特に2)項の検討が重要となる。

- 1) 高温メタン発酵は中温メタン発酵に比較して温度変化に対して敏感であり、温度が急激に変化すると発酵状態が悪化する。

- 2) 高温メタン菌は活性が高いが担体に付着し難く、また、自己造粒も起こり難いためUASB法の適用は困難であるらしい。
- 3) 高温メタン発酵では低負荷状態において、自己分解による微生物濃度の低下が起こり易くなり、負荷の制御に厳密さが要求される。



第2図 メタン発酵の温度と有機物質負荷とガス発生量
Fig. 2 Relation between temperature of methane fermentation and organic loading rate, and gas production rate.



第3図 連続処理実験フローシート
Fig. 3 Flow sheet of UASB type thermophilic methane fermentation.

第 1 表 合成廃水の組成

Table 1 Composition of synthetic wastewater

	Substance	Content mg/l
Organic material	Acetic acid	5 000
	Methanol	1 000
	Glucose	1 000
	Peptone	1 000
Nutrient	NH ₄ Cl	100mg/l as N
	KH ₂ PO ₄	20mg/l as P
Micro-nutrient	Fe	0.5
	Co	0.05
	Ni	0.05
	Yeast extract	50

第 2 表 実験条件

Table 2 Experimental conditions

	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4
Purpose	Acclimation	Effect of TOC loading on granular sludge growing	Effect of interruption of wastewater feeding and reactor heating	Performance of thermophilic fermentation
Experimental period	1~6 weeks 9/9/'92 ~21/10	7~15 weeks 22/10~24/12	16~18 weeks 25/12/'92 ~15/1/'93	19~22 weeks 16/1~9/2
TOC-VSS loading (kg/kg·d)	0.02~0.2	0.11~0.3 0.15~0.4 0.19~0.42	0.21~0.72	0.83~2.91
Temperature	55	55	12 → 55	55
pH (-)	7.5	7.5	7.5	7.5

3. 高温UASB法基礎実験概要

3.1 実験目的

本実験は、固形廃棄物を物理化学的に可溶化した後、高温メタン発酵処理する方式の実用化の可能性を検討する研究の一環として行ったものである。

高温UASB法に関する研究の第一段階は、中温発酵形成グラニュールを種グラニュールに用いて、早期に高温グラニュールを形成する方法を検討した。主な検討項目は、シリンジ試験による馴養初期の温度上昇方法及び連続処理による高温グラニュール汚泥の増殖方法の二つであるが、この他に一時的な水温低下の影響についても調査した。

研究の第二段階では形成されたグラニュールを用いて、高温UASB法の処理能力（最大TOC負荷）を調査した。

3.2 実験装置

高温メタン発酵実験処理フローシートを第3図に示す。本実験では、第3図に示すように内径φ100mm、全有効容積7.2ℓ、GSS下部の反応部容積5ℓの耐熱透明塩ビ製UASBリアクターを3基使用した。（以後、No.1~No.3リアクターと称する）

リアクターはウォータージャケット付きとなっており、温水槽で一定温度に加熱した温水を循環することによって、リアクター内の液温を55℃に維持した。

3.3 実験方法

1) 実験原水

実験には第1表に示す組成の合成廃水を用いた。有機物の成分として酢酸、メタノール、グルコース、及びペプトンの4種類を使用し、混合液のTOCが3000mg/lになるようそれぞれの添加量を調整した。

2) 種汚泥

澱粉系基質により中温メタン発酵で形成したグラニュールを使用した。この中温グラニュールは長期間室温で保存していたものであり、活性が低下していると考えられたため、第1表の合成廃水を用いた37℃で約2カ月間

連続運転した後、高温メタン発酵実験の種汚泥に供した。

初期投入汚泥濃度を20000mgVSS/lとして、中温グラニュールをNo.1~No.3リアクターそれぞれに投入した。

3) 実験条件

実験は第2表に示すようにRun1~Run4に区分されるが、Run1では中温グラニュールに存在する高温メタン菌の馴養を目的として5週間連続処理を行った。

No.1~No.3リアクターの運転条件は、pH(7.5)、水温(55℃)、TOC負荷等全て同じ条件とした。

TOC負荷は0.02kg/kg·dからスタートして0.2kg/kg·dまで増加した。

Run2ではグラニュール汚泥の増殖に対するTOC負荷の影響を調査するため、No.1~No.3リアクターのTOC負荷をそれぞれ0.19、0.15、0.11kg/kg·dの3条件として7~11週まで5週間連続処理を行い、11週経過後にリアクター内保持汚泥量及びグラニュール粒径分布を測定した。12~15週にかけては、No.1~No.3リアクターの負荷を上記の負荷から段階的に増加した。

Run2が終了した時点で負荷供給を停止すると共に、加温を停止し室温に放置した。

Run3ではNo.1リアクターを使用して、10日間の一時的な負荷供給停止並びに水温低下の影響を調査した。

運転再開はリアクターの温度を55℃に上昇させた後、停止前の50%のTOC負荷0.21kg/kg·dにて負荷供給を行い、3週間でTOC負荷0.72kg/kg·dまで上昇させた。

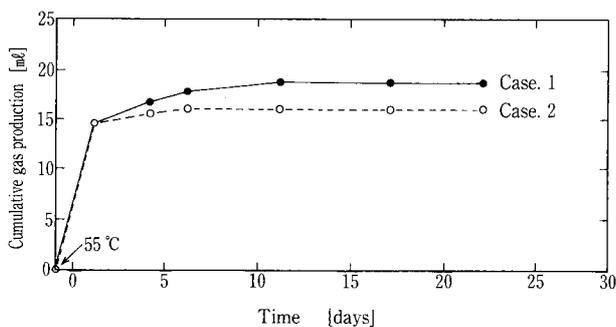
Run4では処理可能な最大TOC負荷を調査するため、通算19週~22週までの4週間でTOC負荷を0.83~2.91kg/kg·dまで段階的に上昇させた。

4. 実験結果及び考察

4.1 シリンジ試験による温度上昇方法の検討

連続処理実験に先立ち、中温発酵グラニュールに僅かに存在する高温メタン菌を培養するに当たっての温度の影響をシリンジ試験によって調査した。

1) 試験方法



第4図 シリンジ試験における累積ガス発生量
Fig. 4 Cumulative gas production in syringe test.

シリンジ試験は、容量100 mlのガラス製シリンジを用いた回分試験である。種汚泥、基質等を混合した液をシリンジに注入した後、インキュベーターに静置し、一定期間中に発生したガス量を測定することによって基質の分解程度及び汚泥の活性度を推察することが出来る。

基質にグルコースを用いて次に示す Case. 1 及び Case. 2 の2つの温度条件で、まず中温グラニュールを培養した。ガス発生が落ち着いた16日経過の時点で培養を終了し、この培養グラニュールを用いてそれぞれ Case. 1 の温度条件で再度試験を行い、ガス発生量の差を比較した。

シリンジ試験の初期培養条件は次の通りである。

- ①基質：種類…グルコース
投入濃度…TOC濃度として900 mg/l
- ②種汚泥：種類…中温発酵グラニュール
投入濃度…MLVSS濃度として3000 mg/l
- ③培養濃度：
Case. 1…当初より55°C
Case. 2…1週間かけて37°Cから55°Cに上昇

2) 試験結果

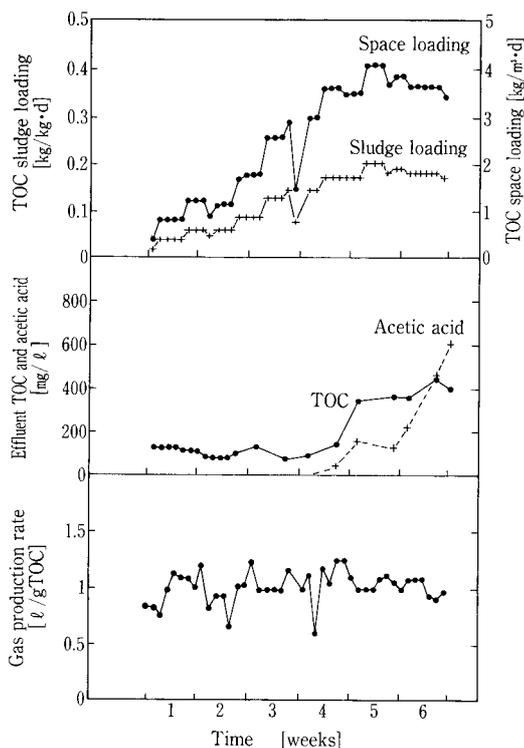
当初から55°Cとした Case. 1 と、1週間かけて37°Cから55°Cに上昇した Case. 2 の2つの温度条件で16日間培養した後、シリンジに新たにグルコースを添加し、55°Cにて再培養したときの累積ガス発生量を第4図に示す。

再培養から22日経過後の累積ガス発生量は Case. 1 で18.7 Nml, Case. 2 では16.0 Nmlであり大きな差はなかった。

ガス発生は、Case. 1 と Case. 2 いずれも同じ経過を示しており、2日目で全ガス量の80~90%が発生し、ほぼ1週間でガス発生は終了しそれ以降ガスは発生していない。

シリンジに投入した TOC が全てガスに変換するとして求めた、理論ガス量に対する実際に発生したガス量の割合は、Case. 1 で約17%, Case. 2 では約16%といずれも低い数値であった。

ガス発生率は低かったが、Case. 1 と Case. 2 の2つの温度条件による培養効果の差はほとんどなかったため、連続処理実験では温度条件を当初から55°Cとして運転開始することにした。



第5図 55°C馴養運転結果
Fig. 5 Operational data for 55°C acclimation.

4. 2 グラニュール汚泥増殖方法の検討

4. 2. 1 55°C馴養運転結果

No. 1~No. 3 の3基のリアクターは同一条件で運転したため、代表としてNo. 1リアクターの馴養運転状況を第5図に示す。原水 TOC 濃度約3000 mg/l に対して処理水 TOC 濃度は、TOC 負荷0.18 kg/kg-d 未満の時は200 mg/l 以下であるが、0.18 kg/kg-d 以上になると約400 mg/l に上昇した。しかし、TOC 除去率は85%以上であり、馴養期間中良好な処理が行われていた。処理水の酢酸は TOC の場合と同様の傾向を示し、TOC 負荷0.18 kg/kg-d 未満の時はほぼ10 mg/l 以下であったが、0.18 kg/kg-d 以上になると200 mg/l から600 mg/l まで徐々に上昇した。

投入 TOC 当たりガス発生率は TOC 負荷を増加したとき一時的に低下したが、この時を除いた平均的な投入 TOC 当たりガス発生率は約1.0 N l/g TOC であった。

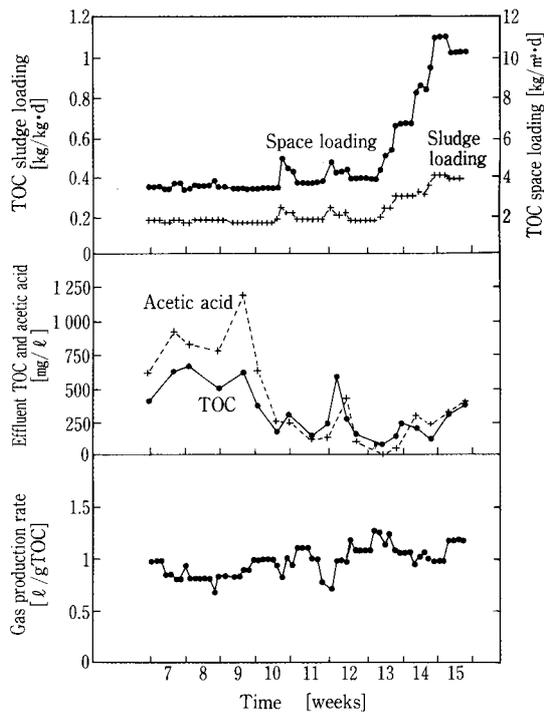
TOC 負荷0.18 kg/kg-d 以上で若干の処理水 TOC 濃度増加が見られるものの、TOC 除去率並びに投入 TOC 当たりガス発生率が安定していることから見て、この時点で馴養は終了したと判断される。

4. 2. 2 汚泥増殖に対する TOC 負荷の影響

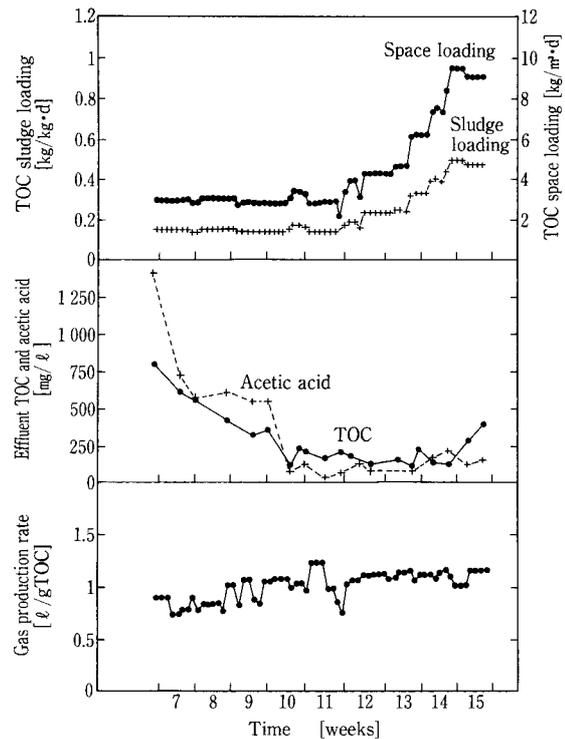
馴養運転の後、7~11週まで3段階の TOC 負荷に固定して5週間処理を行った。この間の処理水質並びに11週経過後のリアクター内保持汚泥量及びグラニュール粒径分布を測定し、汚泥増殖に対する TOC 負荷の影響を調査した。

1) 処理状況

7週から11週にかけて、No. 1~No. 3 リアクターの TOC 負荷を0.19, 0.15, 0.11 kg/kg-d の3条件に固定して処理



第6図 汚泥増殖方法の検討実験結果 (No.1リアクター)
Fig. 6 Experimental results at No.1 reactor.



第7図 汚泥増殖方法の検討実験結果 (No.2リアクター)
Fig. 7 Experimental results at No.2 reactor.

を行なった時のTOC負荷、処理水のTOCと酢酸濃度、及び投入TOC当たりガス発生率の経緯を第6～8図に示し、その概要を次に述べる。

1. 処理水TOC及び酢酸濃度

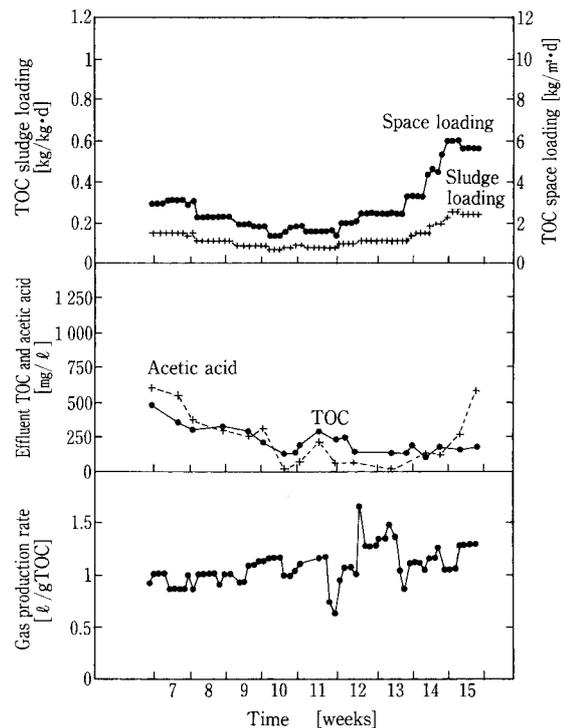
Run 1の55℃馴養運転終了時点では、No.1～No.3リアクターの処理水質は各々TOC負荷0.2 kg/kg·dにて、TOC約400 mg/l、酢酸約600 mg/lからさらに上昇する傾向にあった。

この後、No.1～No.3リアクターのTOC負荷をそれぞれ0.19, 0.15, 0.11 kg/kg·dに固定してRun 2に移行した時、7～11週の処理水TOC及び酢酸濃度はそれぞれの負荷に応じて次のように変化した。

No.1リアクターでは、7～9週にかけての処理水質はTOC400～700 mg/l、酢酸700～1200 mg/lと馴養終了時よりさらに高くなった。しかし、10週目の前半から水質が低下し始め、11週ではTOC約200 mg/l、酢酸約150 mg/lとなった。

No.2リアクターでは、馴養終了時の処理水質が他のリアクターより高く、TOC750 mg/l、酢酸1400 mg/lであったが、TOC負荷を0.2 kg/kg·dから0.15 kg/kg·dに下げたことによって、7～9週にかけてはTOC350～670 mg/l、酢酸約600 mg/lに低下した。しかし、10週目以降はNo.1リアクターと同じように処理水質がさらに低下し、11週ではTOC約200 mg/l、酢酸100 mg/lとなった。

No.1及びNo.2リアクターでは、9週目まではリアクターの処理効率はメタン生成反応が律速条件となって処理水に比較的高い濃度で酢酸が残留していたが、10週目以降



第8図 汚泥増殖方法の検討実験結果 (No.3リアクター)
Fig. 8 Experimental results at No.3 reactor.

は高温メタン菌の活性もしくは増殖量が増大したことにより処理水の酢酸濃度が低下し始めたと推定される。

No.3リアクターは、TOC負荷を0.11 kg/kg·dと馴養期間の約50%に低減したため、7～11週にかけて処理水

第 3 表 リアクター保持VSS濃度
Table 3 VSS concentration in UASB reactor

Experimental period (week)	No.1 reactor (mg/l)	No.2 reactor (mg/l)	No.3 reactor (mg/l)
0	20,000	20,000	20,000
11	22,400	24,200	24,800

質は TOC, 酢酸ともに 150~300 mg/l と低かった。

12週目以降に No.1 ~ No.3 リアクターの TOC 負荷をそれまでの負荷から段階的に増大したにもかかわらず、処理水の TOC, 酢酸濃度はいずれも上昇せず、No.3 リアクターではさらに低下する傾向にあった。

これは、負荷の上昇によって高温メタン菌の増殖量が 10週目よりさらに増大し、リアクター内の高温メタン菌量が増加したためと考えられる。

ロ. 投入 TOC 当たりガス発生率

メタン発酵処理において投入した TOC は、(a)メタンガス及び炭酸ガスに転換するもの、(b)菌体合成に使用されるもの、(c)未分解で処理水に流出するものに分けることが出来る。

投入した TOC 量から (b) と (c) を差し引いた TOC 分がガスに転換するが、実際のガス発生量はガス転換量からさらに処理水に溶解して流出する分を差し引いたものになる。以上の点を考慮して、本実験の投入 TOC 当たりガス発生率を求めると 1.3~1.6 N l/g TOC の範囲になる。

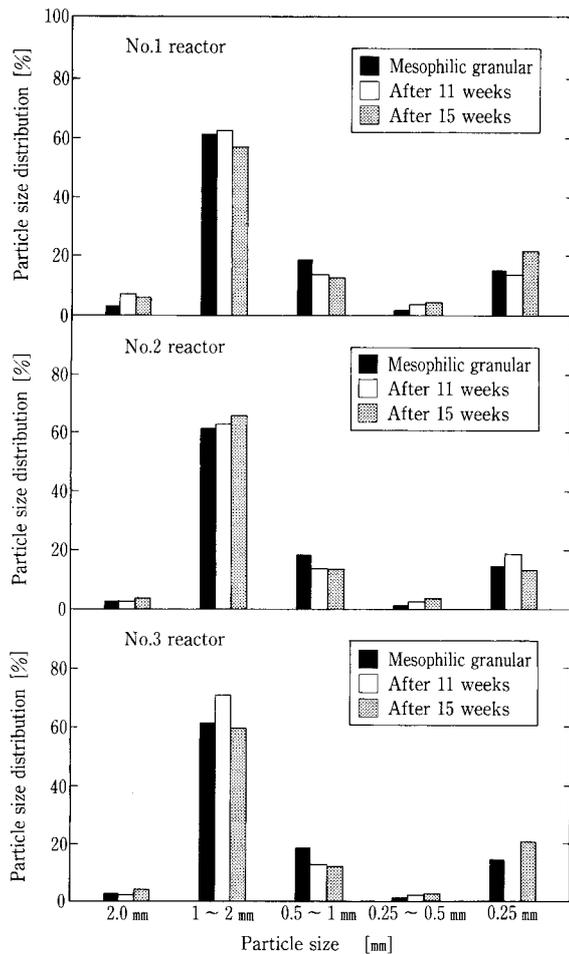
No.1 ~ No.3 リアクターの投入 TOC 当たりガス発生率は、TOC 負荷を固定した 7~11 週の期間は、0.8~1.2 N l/g TOC の範囲であり、平均的には約 1 N l/g TOC であった。しかし、負荷を増大した 12 週目以降、処理水 TOC 濃度の低下に伴いガス発生率は 1~1.4 l/g TOC と若干ではあるがさらに上昇傾向が認められ、理論値に近い数値が得られた。

2) 保持汚泥量及びグラニュール粒径分布の変化

一定の負荷で運転した 11 週経過後のリアクター保持汚泥量 (VSS 量) 測定結果を第 3 表に示すが、VSS 量は No.1 ~ No.3 リアクターでほとんど差がなかった。

11 週経過後のグラニュール粒径分布は、第 9 図に示すように No.1 ~ No.3 リアクターはほぼ同じであり、粒径 1~2 mm のものが約 60% を占めていた。

また、種グラニュールである中温グラニュールと 11 週経過後及び 15 週経過後のグラニュールを比較すると粒径分布はほぼ同じであった。このことから、中温グラニュールは 55℃ の環境で崩壊することもなく形状を保ち、処理日数の経過に伴い高温グラニュールに変化したと考えることが出来る。なお、高温グラニュールは中温グラニュールを核として、これに僅かに存在する高温菌の増殖と、



第 9 図 グラニュール粒径分布の変化
Fig. 9 Time course of granular particle size distribution.

中温菌の減少がバランス良く進行したことによって形成されたものと推定される。

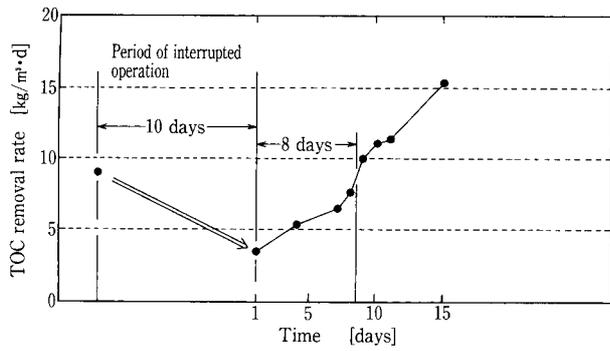
3) まとめ

グラニュール汚泥の増殖方法に関する実験結果をまとめると次のようになる。

- ① No.1 ~ No.3 リアクター全てのリアクターで高温グラニュールを形成することが出来たことから、中温グラニュールを種グラニュールに用いた場合、初期温度条件を当初から 55℃ として比較的容易に高温グラニュールを形成することが出来ると言える。
- ② 11 週経過後の投入 TOC 当たりガス発生率と処理水質に No.1 ~ No.3 リアクターで差がなかったこと、及びリアクター保持汚泥量及びグラニュール粒径分布にも差がなかったことから、TOC 負荷は 0.11~0.19 kg/kgd 程度の範囲ではグラニュール形成に影響しないと言える。

4. 2. 3 汚泥の増殖率

VSS 増加率 (除去 TOC 当たりの VSS 増加量) を菌体の増殖量を現す指標として用い、次の式より求めた。



第10図 TOC除去量の経日変化
Fig. 10 Time course of TOC removal rate.

$$\text{VSS 増加率} = \Delta X / \Delta \text{TOC}$$

ΔX : 測定期間の全 VSS 増加量 (kg)

ΔTOC : 測定期間の除去 TOC 量 (kg)

$$\Delta X = \Delta \text{VSS}_R + \Delta \text{VSS}_W$$

ΔVSS_R : 測定期間のリアクター内
VSS 増加量 (kg)

ΔVSS_W : 測定期間の処理水流出 VSS 量 (kg)

No. 1 リアクターについて、12週目から15週にかけて4週間の TOC、SS 収支計算とリアクター内 VSS 量の変化を測定して VSS 増加率を計算した。

計算の結果、VSS 増加率として0.09 が得られた。なお、増殖によって増加した VSS の内3/4は処理水に流出しており、リアクターに残留するのは約1/4であった。

リアクターに残留する VSS の割合は1/4と一定になるのではなく、リアクターの構造や運転条件によって変化するものと考えられる。

4. 3 負荷停止及び水温低下の影響調査

No. 1 リアクターで負荷を停止すると同時に加温を停止した時、10日後のリアクターの水温は12℃に低下していた。負荷供給及び加温停止の直前と、再開した後の TOC 除去量を比較することによって、高温メタン発酵処理に対する負荷停止及び水温低下の影響を調査した。TOC 除去量の測定結果を第10図に示す。

なお、TOC 除去量は次の式を用いて計算した。

TOC 除去量 (kg/m³·d)

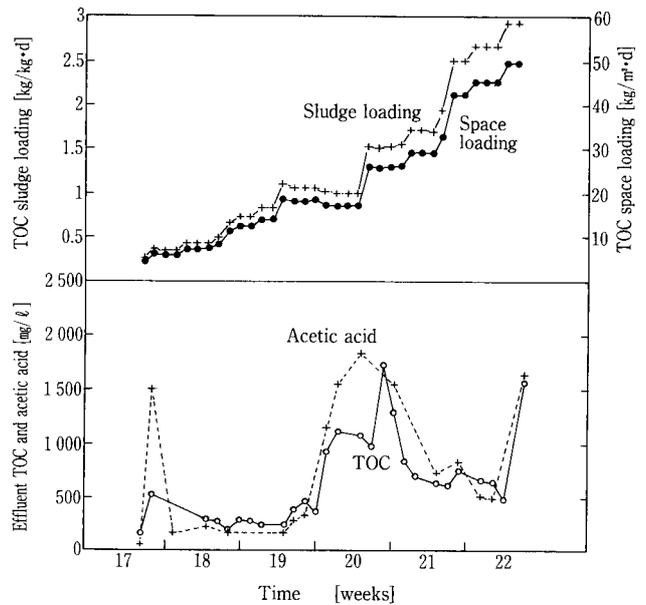
$$= \frac{\text{投入 TOC 量} - [\text{リアクター内 TOC 増減量} + \text{流出 TOC 量}]}{\text{リアクター反応容積}}$$

負荷停止前の TOC 除去量は9.0 kg/m³·d であったが、負荷供給再開直後は3.4 kg/m³·d に低下した。しかし、8日間で元の能力に復帰し、一時的な負荷停止及び水温低下の影響は小さかった。

4. 4 処理可能な最大 TOC 負荷調査

(1) 処理状況

第11図に TOC 負荷及び処理水の TOC、酢酸濃度の経日変化を示す。



第11図 最大TOC負荷の調査実験結果
Fig. 11 Thermophilic methane fermentation performance, at maximum TOC loading.

19週から20週目に TOC 負荷1.0 kg/kg·d で実験している途中で、原水の TOC 濃度を3000 mg/l から6000 mg/l に変更した時、処理水の TOC 濃度は第11図に示すように400 mg/l から1000 mg/l に上昇し、処理水酢酸濃度も300 mg/l から1600 mg/l に上昇した。しかしながら、TOC 除去率は負荷アップの目安である80%を維持していたのでさらに負荷アップした。TOC 負荷を1.5 kg/kg·d に高めたとき一時的に処理水 TOC は悪化し、1700 mg/l となったが、その後徐々に回復し830 mg/l まで下がった。

TOC 負荷1.7~2.6 kg/kg·d の範囲ではほぼ同じ処理性能が得られ、処理水 TOC は600~1000 mg/l、TOC 除去率は85~90%であり、処理水酢酸濃度は500~800 mg/l であった。しかし、TOC 負荷を2.9 kg/kg·d に高めると処理水 TOC は1600 mg/l に上昇し、TOC 除去率は約73%に低下した。この時の処理水酢酸は1600 mg/l であり、メタン発酵処理が十分に行われていなかった。

処理水質とは別に、TOC 負荷1.9 kg/kg·d 以上になると、リアクター内での発泡が著しくなり、2.9 kg/kg·d では泡に伴って流出するグラニュールが増加する等運転管理上の問題が生じた。

(2) グラニュールの粒径分布

第9図に示した15週経過後のグラニュールの粒径分布は、粒径1~2 mmの割合が最も多く全体の約60%を占め、0.5~1 mmと0.25 mm未満の懸濁汚泥が15~20%で、2 mm以上と0.25~0.5 mmが3~8%であった。

しかし、21週経過後のグラニュールは粒径1~2 mmの割合が21%に大幅に減少し、グラニュールが細化する傾向がみられた。その分1 mm以下の割合が増加し、特に粒径0.25~0.5 mmのものが4%~23%に増加した。

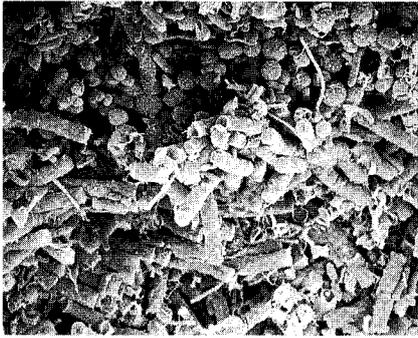


写真 1 (イ)実験開始時
種グラニュール (中温グラニュール)
Photo. 1 Start up
Seed granule (Mesophilic granule)
SEM photograph of
1~2 mm granules. (×5 000)

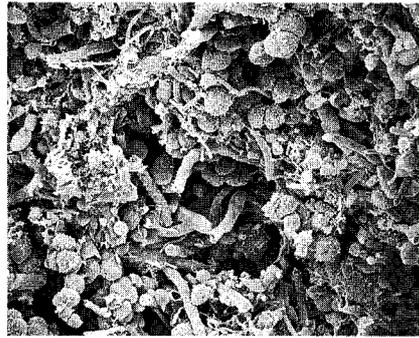


写真 2 (ロ)11週経過後
Photo. 2 After 11 weeks
SEM photograph of
1~2 mm granules. (×5 000)



写真 3 (ハ)21週経過後
Photo. 3 After 21 weeks
SEM photograph of
1~2 mm granules. (×5 000)

この原因としては、粒径1~2 mmのグラニュールが選択的に流出したケースと、リアクターの中で1~2 mmのグラニュールが微細化して、0.25~0.5 mmと0.5~1.0 mmのものが増加したケースが考えられる。

21週目の流出グラニュールの全流出汚泥に占める割合は約5%と少なく、また、1~2 mmのグラニュールだけが特に多く流出していなかったことから、グラニュールは槽内で微細化したものと考えられる。

(3) 最大 TOC 負荷について

TOC 負荷2.6 kg/kgd 及び2.9 kg/kgd における TOC 除去率は、それぞれ約85%、73%であったことから、本実験の高温グラニュールの処理可能な最大 TOC 負荷は2.6 kg/kgd となる。

しかし、TOC 負荷1.9 kg/kgd 以上となるとリアクター内での発泡が著しくなることや、グラニュールが細化する傾向にあったこと等、運転管理上の問題を考えると、実用的な TOC 負荷1.5 kg/kgd 程度とするのが望ましい。

TOC 負荷1.5 kg/kgd の場合、TOC 容積負荷は第11図に示すように30 kg/m³d となり、非常に高い処理能力を持った装置になると言える。

メタン発酵装置の処理性能は COD_α 負荷で現されることが多いが、COD_α 負荷は通常、TOC 負荷の2~3倍の値となるため、高温 UASB 法の COD_α 負荷は60~90 kg/m³d となる。

4.5 菌相の顕微鏡観察

(1) 光学顕微鏡観察

Run 1 から Run 4 を通しての汚泥の菌相を光学顕微鏡により観察した。リアクター内の汚泥を粒径0.25 mm未満の懸濁汚泥と粒径1~2 mmのグラニュールに区別して、それぞれ400倍で観察した結果は次のように要約される。

粒径0.25 mm未満の懸濁汚泥については処理期間の経過に伴い、*Methanosarusina* が増加していた。なお、*Methanosarusina* は形状及び大きさの異なる2種類が存在するように見受けられた。一方、粒径1~2 mmのグラニュールでは、メタン菌に変化は見られず、ほとんどが *Methanothrix* であるように見受けられた。Metha-

nosarusina はほとんど見あたらなかった。

400倍の倍率では、特に1~2 mmのグラニュールを構成するメタン菌の内、高温菌と中温菌の差を判別出来なかったため、電子顕微鏡により観察した。

(2) 電子顕微鏡観察

下記の、三つの期間の1~2 mmのグラニュールを電子顕微鏡により5 000倍と20 000倍でそれぞれ観察した。

(イ)実験開始時…種グラニュール (中温グラニュール)

(ロ)11週経過後…TOC 負荷=0.2 kg/kgd

(ハ)21週経過後…TOC 負荷=1.9 kg/kgd

写真1~3に(イ)~(ハ)を5 000倍で撮影したものを示すが、(イ)と(ロ)では、桿菌と球菌の割合はほぼ同じで、桿菌は太めのものが多いが、(ハ)では桿菌の割合が増加し、長くて細目のものが多くなっている。球菌は(イ)~(ハ)のいずれも *Methanosarusina* と酸生成菌が共存しているように見受けられる。

桿菌と球菌をそれぞれ別個に20 000倍で観察した結果、写真3に示した(ハ)の時点の長くて細目の桿菌、及び丸みを帯びたくびれた接合部を持つ太めの桿菌が、種グラニュールで見受けられなかったことから、高温メタン菌ではないかと推定される。

球菌については、(イ)~(ハ)いずれも外観はほぼ同じで差は見られなかった。

む す び

中温グラニュールを種グラニュールに用いることによって、比較的容易に高温グラニュールを形成出来ることが判った。また、高温 UASB 法は COD_α 負荷にして60~90 kg/m³d という非常に高い処理能力を有していることが確認された。

本プロジェクトの高温 UASB 法に関する今後のスケジュールは、実ごみや模擬ごみ等各種のごみを物理化学的に可溶化した液を連続処理実験し、実用化に向けた基礎研究を1994~1995年度まで実施する予定になっている。

〔参考文献〕

- 1) 本多淳裕他：廃棄物のメタン発酵 理論と実用化技術、P.46、(株)サイエンス社 (1980)