

嫌気性消化のメタン生成相に及ぼす混合基質の影響

東北大学 学生員 ○林 秋 裕
同 学生員 桑 桑 嗣
同 正 員 松本順一郎

1. はじめに

嫌気性消化においては、下水汚泥、し尿および都市ゴミなどの廃棄物の主要な有機物である蛋白質、炭水化物、および脂質は分解を受けて最終的にメタンと二酸化炭素になる。嫌気性消化は実際に二相性であり、酸生成相およびメタン生成相の二相に分類される。二相消化法による嫌気性消化の機能向上に関する研究が数多く行なわれているが、高濃度基質のメタン生成相の浄化機構に関する研究は少なく、混合基質に対する菌体増殖の最適制御および物質代謝速度の均衡を考慮したプロセスの構成に関して、多くの未知事項が残されている。本研究は酸生成相における主要な発酵生成物である酢酸、プロピオン酸および酪酸を混合した基質を用いて、メタン生成相の基質消費、メタン生成、及び菌体増殖の特性について連続実験によって検討したものである。

2. 実験装置、材料および方法

実験装置は図-1に示すような基質投入、余剰混合液の引き抜きおよび生成ガスの循環による攪拌を連続的に行なうケモスタット型の嫌気的反應槽である。投入基質は実際のメタン生成相の基質となっている酢酸、プロピオン酸および酪酸を混合した合成基質で、混合基質の濃度はCODとして表示した。この合成基質の無機栄養塩の組成を表-1に示した。種汚泥は、仙台市南蒲生下水処理場の下水汚泥消化槽より採取した消化汚泥を、酢酸、プロピオン酸、 γ -酪酸をそれぞれ単一基質とするCOD濃度20000 mg/l の合成基質に3ヶ月以上馴致させた。実験は、酢酸汚泥、プロピオン酸汚泥、酪酸汚泥をそれぞれ容積で2:1:1の割合で消化槽に接種することによって開始し、混合基質中の酢酸、プロ

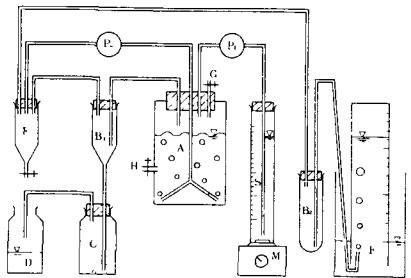


図-1 連続実験装置概略図
A: 反応槽, B, C, D: 混合液のoverflow system
E, F: ガス捕集システム, G: 分析用ガス採取口
H: 混合液の採取口, M: 攪拌器
P1: 投入基質ポート, P2: ガス循環ポート, S: 流量計

図-1 連続実験装置概略図

ピオン酸、 γ -酪酸の割合は酸生成相で生成される揮発性脂肪酸^{1,2,3,7}の割合を参照してそれぞれCODとして種汚泥と同様の比率で混合した。実験方法としては、菌体滞留時間(SRT)4.5日で一定とし、pH制御を行なう場合と行なわない場合について投入基質濃度を10000 mg/l から徐々に増大させ、総有機酸(TOA)、揮発性脂肪酸(VFA)、pH、菌体濃度(VSS)、ガス生成量およびメタンガス含有率などを測定した。実験温度は35±1℃に設定した。定常状態を得るために、各系においてSRTの約4倍の期間実験を継続した。これによって得られたデータより投入基質の許容濃度を求めるつもりである。

3. 実験結果および考察

図-2に投入基質濃度CODとして10000 mg/l ～40000 mg/l までの消化槽における残存揮発性脂肪酸濃度、およびガス生成速度の経日変化を示した。投入基質濃度を変化させた時には、反応容積あたりのガス生成速度が基質負荷速度の増大に伴って急激に増大することが示された。また基質負荷速度の急激な増大によって残存VFA濃度も一時に増大したが、時間がたつと徐々に減少し、SRTの3倍以上の期間運転を継続すると定常状態に達した。

表-1 基質の無機栄養塩

$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	700mg/l
NH_4Cl	850mg/l
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	250mg/l
KCl	750mg/l
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	810mg/l
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	420mg/l
NaHCO_3	6720mg/l
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	18mg/l

図-3に定常状態での残存揮発性有機酸濃度、菌体濃度、メタンガス含有率およびメタン生成速度と基質負荷速度の関係を示した。これによれば、SRT 4.5日の系においてはMLVSS濃度が基質負荷速度の増大に伴って増大することが知られる。残存VFA濃度は基質負荷速度が2.25 g/l.dayから4.47 g/l.dayに増大すると急激に増大することが知られるが、その後基質負荷速度9.20 g/l.dayまでの残存VFA濃度はほぼ一定となっていた。次の段階の実験基質負荷速度(11.50 g/l.day以上)における残存VFA濃度のデータはまだ得られていないので、残存VFA濃度と基質負荷速度の関係は結論を出すには至っていない。なお、メタンガスの含有率は基質負荷速度の増大と共に減少するが、表-2示したメタンガスのCOD比率はほとんど変わらないので、基質負荷速度の増大に伴ってメタンガスの生成量が高くなることは知られる。本実験には、基質負荷速度2.25 g/l.dayの場合、pH 7.60を示したため、pHを濃硫酸で設定値の7.1~7.3の中性範囲に制御する必要があつたが、負荷速度4.47 g/l.day~9.20 g/l.day(投入基質濃度20000 mg/l~40000 mg/l)の場合はpH制御は必要でなかった。

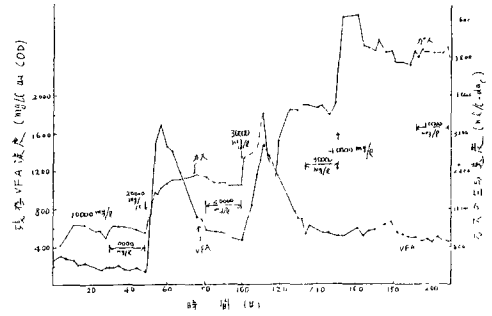


図-2 中性域の残存VFA濃度およびメタン生成速度の経日変化

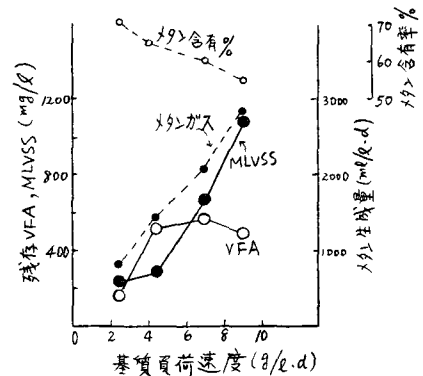


図-3 定常値と基質負荷速度の関係

図-4に比メタン生成速度と比基質消費速度の関係を示した。最小二乗法による直線回帰から、消費された揮発性脂肪酸のメタンへの転換割合を推定すると、投入基質濃度40000 mg/lまでの値は0.972 g CH₄-COD/g VFA-CODであった。この値は理論的な転換割合1 g CH₄-COD/g VFA-CODと良く一致している。

表-3に各基質負荷速度の優占メタン菌種の位相差顕微鏡(600倍)による観察結果を、まとめて示した。単一基質として酢酸を用いた二相消化法のメタン生成相における優占メタン菌種は、SRTとpHによって変化し、短いSRT、低pH域に耐性を持つハ連球菌群の基質代謝活性は桿菌群より優れていると報告されている⁴⁷⁾。本実験は消化槽内で優占となるメタン菌群は、基質負荷速度によって変化し、基質負荷速度が高くなると、高い基質代謝活性を持つ球菌およびハ連球菌が次第に増大した。

4. おわりに

メタン生成菌の基質代謝、増殖およびメタン生成は、基質負荷速度9.20 g COD/l.dayのところまで良好に生じており、これは高い基質代謝活性を持つ球菌およびハ連球菌に優占菌種が遷移したためであると考えられる。

(参考文献): 1. Ghosh, S., et al: JWPCF, vol. 47, No. 1, 1975

2. Massey, M. L., et al: JWPCF, vol. 40, No. 9, 1978

3. 矢口, 野池, 松本: 第36回年次学術講演会講演摘要集, 1980

4. 張, 野池, 松本: 土木学会論文報告集, 第320号(1982), 第333号(1983).

表-2 CODの物質収支

Substrate Loading %	Inf COD		Eff COD %			Recovery %
	%	CH ₄	VSS*	VFA		
2.25	100	100.3	2.8	1.8	104.9	
2.225	100	87.6	2.6	2.8	93.2	
4.47	100	91.2	1.7	2.7	95.6	
7.00	100	85.6	2.7	1.9	90.2	
9.20	100	85.3	3.3	1.2	87.8	

* 固相生成: C₂H₄O₂N

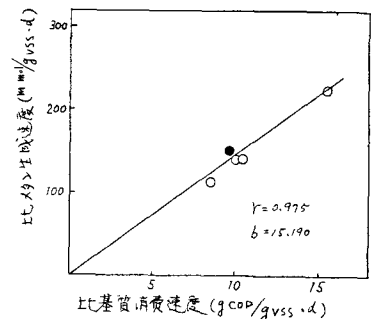


図-4 比メタン生成速度と比基質消費速度の関係

表-3 各基質負荷速度の優占メタン菌種

基質負荷速度 g/l.day	2.25	4.47	7.00	9.20
優占菌種	球菌 桿菌	球菌	球菌	球菌