

北海道大学工学部 正員 清水 達雄
 北海道大学工学部 学生員 ○岡村 亨
 (株)東洋エンジニアリング 釜澤 正実
 北海道大学工学部 正員 那須 義和

1. はじめに 嫌気性消化プロセスによる汚泥処理の1つの大きな問題点は汚泥の可溶化が全プロセスの律速段階となり、長い消化日数を要することである。汚泥処理の高効率化を実現するために、最近汚泥を熱処理し、可溶化を図り、メタンガス回収率や消化率を向上させ、かつ生成した汚泥の濃縮性や脱水性の改善を図ろうとする研究が行われている。そこで本研究では(1)汚泥の可溶化がどの程度処理効率を増加させることができるか、(2)処理水質に及ぼす可溶化の影響、(3)蛋白質、炭水化物、核酸、脂質などの生体成分のメタンガスへの変換特性などを明らかにすることを目的として、実験的検討を行った。さらに二相嫌気性消化プロセスの汚泥処理への有効性を明らかにするために、可溶化した汚泥の連続処理を行い、消化率、ガス変換率、有機酸の生成および処理水質などに関して検討し、2~3の知見を得たので報告する。

2. 実験装置および方法 単相処理装置として沈澱槽を付設した操作容量2.5ℓの完全混合槽を用いた。二相処理装置として、酸生成槽には汚泥返送を伴う完全混合型反応槽(操作容量0.5ℓ)を用い、メタン生成槽には流動床型反応槽(2.0ℓ)を用いた。単相処理槽および二相プロセスの酸生成槽には汚泥の凝集効果が認められた軽石(粒径100μm以下、かさ密度1.1g/cm³)を20~30g/ℓ添加し、二相プロセスのメタン生成槽には微生物附着担体として軽石(粒径50~200μm)を60~80g/ℓ添加して連続処理した。温度は37℃に設定し、単相系処理槽および二相系メタン生成槽のpHは7.0に制御して運転した。単相系には無処理の生汚泥を、二相系には超音波で細胞壁を破壊した可溶化汚泥を供給して実験した。消化槽に投入した汚泥の組成を表1に示す。汚泥のVSSは約85%、蛋白質含有率約55%、核酸、

表1 投入汚泥の組成パーセント()は平均値

	灰残留物 HLSS	有機物 HLVSS	無機物 IL	TOC	TN	タンパク質	核酸	脂質	炭水化物
汚泥	100	86.3-84.4 (85.0)	15.6-13.7 (15.0)	45.7-39.3 (43.0)	11.3- 8.7 (9.0)	60.7-50.7 (54.2)	10.7- 8.5 (9.6)	10.7- 8.1 (8.1)	10.7- 6.1 (9.1)
超音波処理した汚泥の上澄水	100	89.0-84.3 (85.6)	15.7-10.9 (14.4)	58.2-42.2 (46.4)	15.7- 8.7 (8.2)	61.7-40.5 (49.9)	19.6- 9.4 (13.9)	13.8- 6.2 (8.7)	13.8- 6.2 (8.7)
超音波処理した汚泥の残渣	100	85.6-83.4 (84.5)	16.6-14.4 (15.5)	40.9-19.3 (34.0)	8.8- 3.8 (6.7)	52.7-43.1 (47.9)	7.6- 3.6 (5.6)	8.6- 2.5 (5.5)	13.5- 9.1 (12.0)

発振周波数約200KHz)を用いて、約3時間処理を行い、細胞壁を破壊することによって行った。

3. 実験結果および考察 汚泥の可溶化の効果を知るために、余剰汚泥を超音波処理して細胞壁を破壊して、細胞内成分を溶出させた汚泥を回分系で嫌気性消化を行った。無処理の生汚泥は可溶化が律速するために、有機酸の蓄積はほとんど認められなかったが、超音波処理を行い可溶化した汚泥では、酢酸、プロピオン酸、酪酸など各種の有機酸の蓄積が認められた(図1)。また超音波処理した汚泥を10,000rpmで遠心分離し、上澄液と残渣とに分

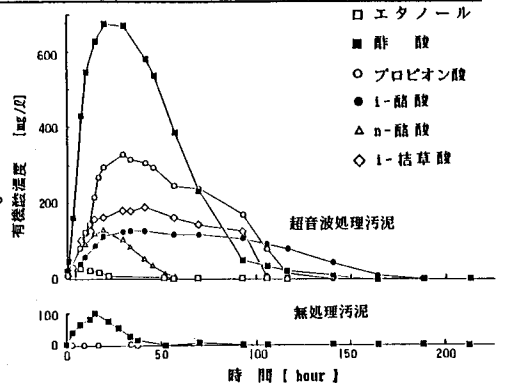


図1 回分処理系における有機酸濃度の経時変化

化成分は有機酸に変換され易いが、一方細胞壁を主成分とする残渣は有機酸に変換され難いことが判明した。

回分実験の結果から、汚泥を可溶化することによって、処理の効率化が可能であることが示唆されたので、単相嫌気性消化プロセスよりも処理効率の向上が期待できる二相嫌気性消化プロセスを用いて、VSS濃度で15,000 mg/lの可溶化汚泥を投入して連続処理実験を行った。無処理の生活污水を投入した単相処理槽と可溶化汚泥を投入した二相系メタン生成槽内の溶存TOC濃度を比較すると、単相系の方がわずかに低い値であるが、顕著な差が認められないことから、可溶化し細胞内成分を溶出させた汚泥を処理することによって汚泥成分のメタンガスへの変換量は大きくなることが明らかになった。しかし処理水中の溶存全窒素濃度は、可溶化汚泥を投入する二相プロセスの方が生活污水を投入する単相プロセスよりも1.5倍高いという結果が得られ、可溶化することによって処理水の水質が悪化することが示唆された。有機酸濃度は滞留時間が10日より長い場合には、単相および二相プロセスともに極めて低い値であったが、滞留時間が5日に短縮されるとわずかに蓄積されるが、二相プロセスの方が単相プロセスよりも低い値であった。

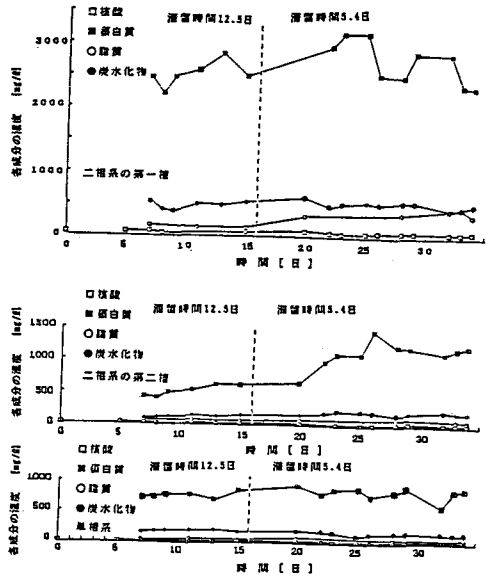


図2 連続処理系における蛋白質、炭水化物、脂質、核酸の経日変化

細胞壁を破壊することによって可溶化する細胞内成分である蛋白質、炭水化物、脂質および核酸の分解特性を明らかにするために、これらの成分の濃度変化を検討した(図2)。処理槽内におけるこれらの成分の残存濃度は単相および二相プロセスともに核酸、脂質炭水化物、蛋白質の順に高くなった。核酸、脂質および炭水化物は比較的低濃度にまで処理が可能であるが、生体成分として含有率が最も高い蛋白質が500 mg/l以上残存した。生活污水を投入した単相プロセスでは汚泥の可溶化が律速するために、滞留時間を短縮しても各生体成分の残存濃度は増加しないが、可溶化汚泥を投入する二相プロセスでは滞留時間を短縮すると残存蛋白質濃度が増加することから、蛋白質成分の中で比較的難分解性のものが存在することが明らかになった。図3は単相および二相プロセスでのガス発生速度の経日変化を示したものである。二相系でのガス発生速度は単相系の2.5~3.8倍であり、滞留時間を短縮すると両者のガス発生速度の差は大きくなった。表2は連続処理系における消化実験の結果をまとめたものである。可溶化汚泥の消化率は無処理汚泥に比べて2倍以上であり、ガス変換率も2.5~4倍程度増加している。このようなことから、可溶化された汚泥を二相嫌気性消化プロセスを用いて、処理することによって大幅な効率改善が可能であると考えられる。

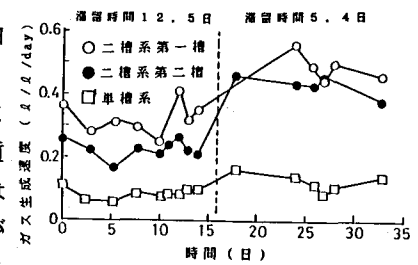


図3 連続処理系におけるガス発生速度の経日変化

表2 連続処理系における汚泥の消化実験結果

汚泥	無処理汚泥 (単相処理系)	超音波処理汚泥 (二相処理系)		
		0.6	1.5	
TOC負荷 (kg/d/day)	0.6	1.5	0.6	1.5
滞留時間 (day)	12.5	5.4	12.5	5.4
汚泥				
全固形物 (g/l)	16.9	19.0	16.9	19.0
有機物 (g/l)	14.5	15.8	14.5	15.8
無機物 (g/l)	2.6	2.8	2.2	2.8
汚泥のTOC (g/l)	7.8	8.1	7.8	8.1
消化率 (%)	30.0	26.6	61.3	59.4
ガス変換率 (%)	19.0	10.0	48.9	40.6
ガス発生速度 (l/d/day)	0.22	0.28	0.57	1.13
投入有機物当たり の生成ガス量 (l/g-VSS)	0.19	0.10	0.49	0.40
ガス組成				
CH ₄ (%)	68.0	66.8	75.2	75.0
CO ₂ (%)	32.0	33.2	24.8	27.9

可溶化汚泥の消化率は無処理汚泥に比べて2倍以上であり、ガス変換率も2.5~4倍程度増加している。このようなことから、可溶化された汚泥を二相嫌気性消化プロセスを用いて、処理することによって大幅な効率改善が可能であると考えられる。