

N-1 嫌気性消化における機械的な汚泥破碎処理の検討

ユニチカ(株) ○山田健二、名和慶東、井手幹夫、田村敏雄

1. はじめに：

下水処理場からは年間、約 330 百万 m³ の汚泥が発生し、その処分費用や埋め立て地の確保が大きな問題となっている。嫌気性消化法は、汚泥が減量化・安定化されるだけでなく、メタンガスが回収できる汚泥処理方法として広く用いられている。しかし、長時間の処理が必要である割に、減量化率が低いという問題があり、消化汚泥のさらなる減量化、資源化が望まれている。筆者らは、嫌気性消化した消化汚泥（以下、消化汚泥）を石臼式粉碎機と湿式ピーズミルで機械的に破碎（以下、機械的破碎）し、嫌気性消化槽に返送するプロセスの開発を行っている。機械的破碎により消化汚泥中の有機物の分解を促進し、余剰の消化汚泥発生量の低減とメタンガス回収量の増大を目的としており、既存の嫌気性消化施設へ容易に適用が可能なプロセスである。これまで、機械的破碎した消化汚泥（以下、破碎汚泥）を用いた回分式嫌気性消化試験を行い、消化汚泥中有機分の減量化およびメタンガス回収量の増加が認められることを報告した^{1) 2)}。今回は、30L 規模の嫌気性消化試験装置により実施に合わせた条件での検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験方法：

2. 1. 供試汚泥

実処理場より採取した中温嫌気性消化汚泥（TS=25g/L、VS=17g/L）を種汚泥とし、同処理場の濃縮汚泥（TS=46g/L、VS=39g/L）を投入汚泥として用いた。

2. 2. 半連続式嫌気性消化試験

試験は図 1 に示す嫌気性消化試験装置（消化槽容量 30L、以下、消化装置）を用い、2 系列（対照系、破碎系）同時に行った。消化装置の運転条件は表 1 に示す。汚泥馴致は SRT=30 日と設定し、消化汚泥引抜と濃縮汚泥投入を行った。馴致期間は 14 日間とし、通算 63 日間の消化試験を行った。馴致期間は SRT=30 日に比べて約半分であるが、同一処理場の濃縮汚泥を用いているため消化汚泥は安定しており、消化ガス発生量も安定していた。また、破碎処理の効果は、通算 42 日目（破碎処理 28 日目）以降の分析値について解析を行った。

馴致後、対照系はそのままの条件で運転を継続した。破碎系は消化汚泥引抜と濃縮汚泥投入は継続し、さらに 1 日 1 回、消化槽内汚泥 0.9L（3.3％）を機械的破碎処理し、消化槽に返送した。

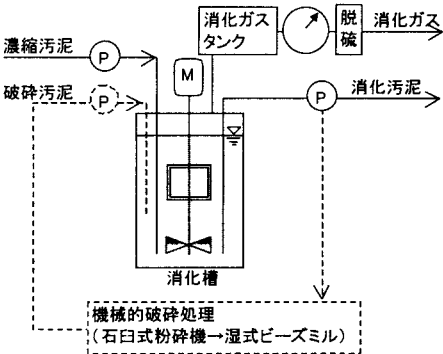


図 1 嫌気性消化試験装置の概要
(破線は破碎系のみ)

表 1 消化装置の運転条件

消化槽内汚泥量	27L
消化温度	35±2℃(ジャケット保温)
攪拌	機械攪拌、回転数 70rpm (1 分間攪拌、4 分間停止)
SRT	30 日
投入引抜量	0.9L/日
破碎処理量	0.9L/日(破碎系のみ)

2. 3. 汚泥の機械的破碎処理

消化装置の消化槽から引抜いた消化汚泥を石臼式粉碎機、湿式ビーズミルの順に破碎処理を行った。それぞれの処理条件は、表2に示す通りである。

2. 4. 分析

発生消化ガス量は、一旦消化ガスタンクに貯留しガスメーターにより測定した。発生消化ガス組成は、ガスクロマトグラフ（TCD 検出器）で分析した。汚泥成分等は、下水試験方法に準じて分析した。また、溶解性成分は、遠心分離（3,000rpm×20分）した上清とした。

3. 結果および考察：

3. 1. 破碎効果

消化槽内汚泥を破碎処理した結果を表3に示す。

機械的破碎処理により、BOD、CODcr、汚泥有機分の溶解性成分が約2倍に増加し、それらの溶存率（＝溶解性成分値／全体値×100）も増加し、汚泥有機分の可溶化が促進された。さらに、BODは全体濃度も増加しており、汚泥全体の易生分解性も向上したと考えられた。

一方、窒素、りん、汚泥無機分については破碎処理による変化が少なく、わずかながら可溶化（微細化）が促進された。

3. 2. 消化ガス発生量

消化ガス発生量の経日変化を図2に示す。

破碎系の平均消化ガス発生量は22.5（L／日・消化槽）であり、対照系の21.2（L／日・消化槽）に比べ、約6％増加した。また、メタン含有率は両系列とも約61％であった。

ここで、2系列の消化ガス発生量の差を単純に破碎処理による影響のみと仮定した場合、破碎汚泥有機分当たり約0.08L／gVSの消化ガスが増加すると計算された。また、濃縮汚泥有機分当たりの消化ガス発生量は、約0.6L／gVSであった。

3. 3. 引抜汚泥量

累積引抜汚泥量（SS）の経日変化を図3に示す。

2系列とも投入汚泥量の約50％が減量化した。さらに、2系列を比較すると、平均引抜汚泥量は、破碎系が16.1（gSS／日・消化槽）であり、対照系の18.2（gSS／日・消化槽）に比べ、約11％減少した。

表2 破碎処理条件

石臼式粉碎機	
機種	CERENDIPITOR MKCA6-3
石臼種類	SiC、46#
石臼間隙	20μm
回転数	1,600rpm
湿式ビーズミル	
機種	DYNO-MILL KDL
ビーズ	ガラス0.25～0.5mmφ、充填率85%
クリアランス	50μm
周速	6.8m/min
滞留時間	5min

表3 破碎処理の結果

		全体		溶解性成分 ²⁾		溶存率(%) ³⁾	
		破砕前	破砕後	破砕前	破砕後	破砕前	破砕後
pH	-	7.9	8.1				
BOD	mg/l	3,200	4,600	1,300	2,900	41	63
CODcr	mg/l	27,500	28,000	5,800	10,500	21	38
T-N	mg/l	2,900	3,000	1,900	2,100	66	70
T-P	mg/l	530	630	190	240	36	38
汚泥全体 ¹⁾	mg/l	24,400	24,100	5,700	9,200	23	38
有機分 ¹⁾	mg/l	16,500	16,200	3,700	6,500	22	40
無機分 ¹⁾	mg/l	7,900	7,900	2,000	2,700	25	34

1)汚泥全体、有機分および無機分に関する溶解性成分は、全体から固形分を差し引いた値を示す

2)溶解性成分 遠心分離(3,000rpm×20分)した上清

3)溶存率(%)=溶解性成分値/全体値×100

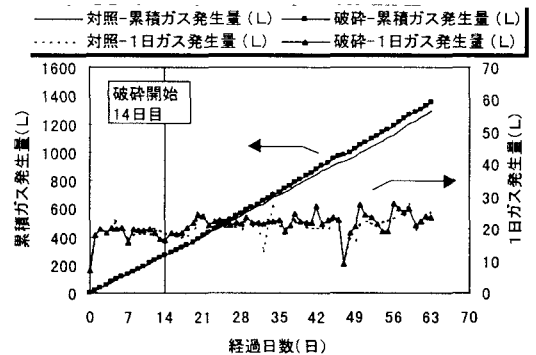


図2 消化槽当たりの消化ガス発生量

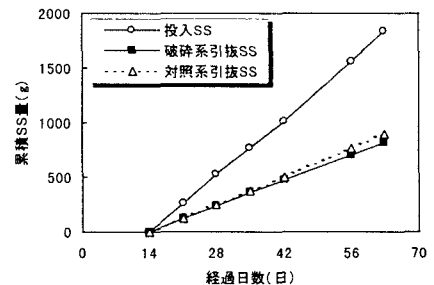


図3 累積引抜汚泥量(SS)

また、有機分（VSS）に関しては、約 13％減少した。

3. 4. 除去率

各成分の投入汚泥に対する除去率を表 4 に示す。
水質に関して、BOD 除去率は、破碎系と対照系ともに約 80％であり、わずかながら破碎系が高い値であった。また、CODcr 除去率は、破碎系の方が全体では 3％高い値であったが、溶解性成分の除去率は破碎系の方が 5％低い値であった。このことは、溶解性成分にガス化されにくい成分が増加したことを示唆した。また、窒素、りんは両系列とも、全体としてあまり除去されず、可溶化が進み溶解性成分として引抜かれた。

汚泥に関して、有機分（VSS）の除去率は、破碎系の方が 5％高い値であった。一方、無機分（FSS）は両系列ともほとんど除去されなかった。このことから、機械的破碎により汚泥有機分が除去されやすくなることが分かった。

3. 5. 炭素の物質収支

炭素の物質収支を 1 日当たりの COD 換算割合として図 4 に示す。

COD 換算による炭素の物質収支は、ほぼ合っていた。投入された炭素分のうち、メタンガスへ転換された割合は、破碎系、対照系それぞれ 61％、57％であった。また、可溶化やガス化されずに固形有機分として残った割合は、それぞれ 31％、35％であった。すなわち、本実験では、1 日当たり消化槽内汚泥量の 3.3％を機械的に破碎処理することにより、投入有機炭素分の約 4％が余分に、可溶化およびガス化された。

4. 結論：

半連続式嫌気性消化試験において、消化槽内汚泥量の 3.3％を毎日機械的に破碎処理することにより、何もしない対照系に比べ、消化ガス発生量が約 6％増加し、累積引抜汚泥量（gSS）が約 11％減少することが分かった。また、炭素分の変化として考えると、投入有機炭素分の約 4％が余分にガス化することが分かった。したがって、実施設に合わせた条件でも、機械的な汚泥破碎処理により、余剰の消化汚泥発生量が低減し、メタンガス回収量が増加することが確認できた。

5. 参考文献：

1) 名和ら (1998)、ミル破碎工程を含む嫌気性消化の効率化プロセス、第 35 回下水道研究発表会講演集、pp. 852-854
2) 山田ら (1999)、機械的破碎工程を含む嫌気性消化の効率化プロセス、第 33 回日本水環境学会年会講演集、p. 279

表 4 各成分の除去率

除去率 ¹⁾ (%)	全体		溶解性成分 ²⁾	
	破碎系	対照系	破碎系	対照系
BOD	82	82	83	80
CODcr	58	55	55	60
T-N	7	0	-100	-90
T-P	14	6	-22	-6
SS	56	51		
VSS(有機)	65	60		
FSS(無機)	2	-4		

1) 除去率(%)=(1-引抜汚泥の値/投入汚泥の値)×100

2) 溶解性成分 遠心分離(3,000rpm×20分)上清

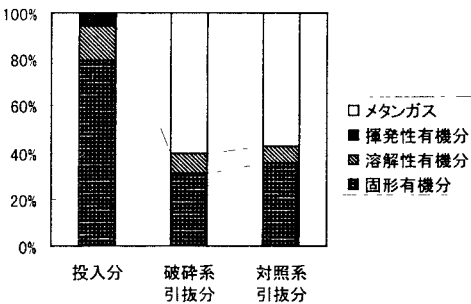


図4 炭素の1日当たりのCOD換算割合