

1. 背景・目的

小規模下水処理場において嫌気性消化を行っているところは少なく、小規模施設への展開を促進するために、拠点となる処理場に周辺の処理場からの下水汚泥や生ごみなどの有機性廃棄物を集約して嫌気性消化することで、効率的なエネルギー回収が期待でき、その際の下水汚泥運搬には脱水汚泥が有利である。また、下水汚泥の嫌気性消化は一般に基質の濃縮下水汚泥の固形分(TS)濃度が3.0%程度で行われているが、TS濃度を高めて消化を行うことで、消化槽容量を小さくできるだけでなく、消化ガス発生量の増加および加温用燃料の削減を可能にし、消化槽運転の効率化につながると考えられている。しかし一方で、高濃度消化はアンモニア等の蓄積による阻害(4000mg-N/L程度)が懸念されるため、適正な運転負荷を把握することが重要である¹⁾。

本研究では、高濃度バイオマス単独で嫌気性消化することに焦点を当て、以下のような目的とする。

- ・水処理方法の異なる脱水汚泥、比較対象として濃縮余剰汚泥を用いて回分実験を行い、脱水汚泥の消化特性を評価すること
- ・水処理方法の異なる脱水汚泥の基質 TS を 5.0%、7.5%、10.0%として滞留日数(HRT)30 日で連続実験を行い、それぞれの嫌気性消化の安定性と消化特性を評価すること

2. 実験方法

2-1 回分実験

① 消化特性を評価するために、水処理方法の異なる A 浄化センター(標準活性汚泥法)、B 浄化センター(OD 法)の脱水汚泥、比較対象として C 浄化センターと D 浄化センターの濃縮余剰汚泥を用いて回分式嫌気性消化実験を行った。

② B 浄化センターの脱水汚泥、余剰汚泥、B 浄化センターで実際に用いられている凝集剤を添加した余剰汚泥を用いて脱水汚泥の活性が低い要因を確認するために回分式嫌気性消化実験を行った。実験に用いた汚泥の性状を表 1 に示す。

実験条件は、①、②共に種汚泥 150mL、全液量 300mL、全液量基準の TS 濃度 3.0g/L で行った。種汚泥は長岡浄化センターから採取した消化汚泥を用いた。また、消化温度は中温条件(37°C)で実施した。測定項目は、ガス量、pH、ガス組成を 1、2、5、10、20 日で測定した。20 日目に開封し、TS、VS、S-COD、アンモニア性窒素濃度の測定をした。

2-2 連続実験

基質は、A 浄化センターと B 浄化センターの脱水汚泥を希釈して用いた。基質の性状については、表 1 に示した①A 脱水汚泥、①B 脱水汚泥の値と同様である。実験条件として種汚泥は

表 1 基質の性状

系列	TS (%)	VS (%)	VTS (%)	pH (-)	S-COD (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)
① A脱水汚泥	17.73	16.24	91.6	5.0	7430	389
① B脱水汚泥	18.22	14.85	81.5	7.0	2510	279
① C濃縮余剰汚泥	3.47	2.83	81.5	6.1	4270	204
① D濃縮余剰汚泥	3.18	2.85	89.5	6.3	4710	209
② B脱水汚泥	18.34	14.93	81.4	7.1	3003	259
② B余剰汚泥	0.73	0.6	81.7	6.6	411	17.6

252mL, 希釈脱水汚泥を 18mL, 全量を 270mL とした. 種汚泥は, 回分実験と同様に長岡浄化センターから採取した消化汚泥を用いた. HRT 30 日で, 系列は, 2 か所の浄化センターの脱水汚泥を TS 5.0%, 7.5%, 10.0%を各 1 連の 6 系列で行った. 初めの 2 回は 4 日毎に, その後は, 2 日毎に 18g を引き抜き, 投入を行い, pH, ORP, ガス量を測定する. 6 日毎にガス組成, 上澄みの測定を行った.

3. 実験結果と考察

3-1 回分実験

① 消化特性を評価するための回分実験

正味の投入 VS あたりのガス発生量を図 1 に示す. 1 日目のガス発生量は, 濃縮余剰汚泥の C, D, そして脱水汚泥の A, B の順に高かったが, 20 日目には, A は 614, B は 285, C は 454, D は 509(NmL/g-VS)となった. A と同じく脱水汚泥である B は最もガス量が低くなったことから, 脱水汚泥間でガス量の差が出ている要因として水処

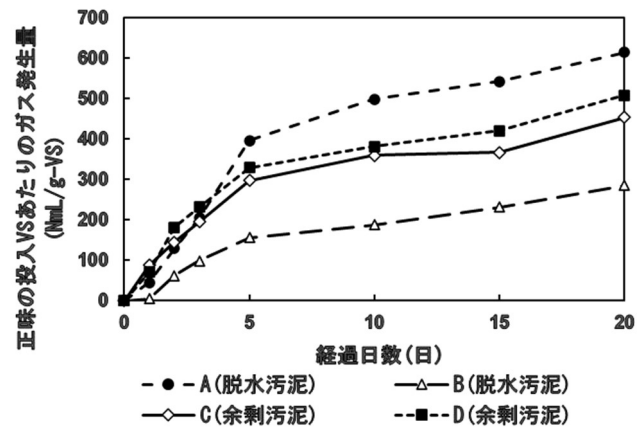


図 1 正味の投入 VS あたりのガス発生量

理方法の違いが考えられる. これは, OD 法は低負荷で水処理が行われているため, 発生する汚泥に易分解性有機物が少ないことが考えられる.

終了時 20 日目の消化特性を表 2 に示す. 正味の投入 VS あたりのバイオガス発生量では, A の脱水汚泥は, B の約 2 倍のバイオガス発生量となった. 濃縮下水汚泥での中温消化では, 正味の投入 VS 当たりのバイオガス発生量は 500(NmL/g-VS)程度であるとされているが, C, D は同程度となった. そして脱水汚泥である A は大きく上回る投入 VS あたりのバイオガス発生量となった. 分解率については, A の分解率は TS, VS とともに C, D より高かった. 一方で B は最も高い結果となったが, B の TS, VS 共に測定ミスがあったのではないかと考えられる.

また, S-COD は脱水汚泥の方が高い値を示したが, アンモニア性窒素濃度は系列間それぞれで大きな差はなかった. メタン含有率にも大きな差はなかった.

表 2 消化特性

項目	単位	ブランク	A浄化センター	B浄化センター	C浄化センター	D浄化センター
pH	-	7.7	7.3	7.5	7.3	7.4
TS分解率	%	10.0	15.8	20.2	10.7	13.3
VS分解率	%	0.3	18.1	22.3	15.5	17.5
正味のTS分解率	%	-	35	54	13	24
正味のVS分解率	%	-	67	90	61	65
溶解性COD	g-COD/L	0.28	1.04	0.83	0.30	0.41
アンモニア性窒素	g-NH ₄ -N/L	1.28	1.35	1.38	1.38	1.40
累積ガス発生量	NmL	187	693	421	520	597
正味のガス発生量	NmL	-	506	235	333	410
正味の投入VS当たりのバイオガス発生量	NmL/g-VS	-	614	285	454	509
メタン含有率	%	69.4	71.7	73.3	67.6	74.3

② 脱水汚泥の活性が低い要因を確認するため回分式嫌気性消化実験

正味の投入 VS あたりのガス発生量を図 2 に示す。1 日目では、B(余剰汚泥+凝集剤)、B(余剰汚泥)、B(脱水汚泥)の順に高くなった。また、脱水汚泥については、①に示した前回の回分実験と同程度の活性だった。B(余剰汚泥)は、B(余剰汚泥+凝集剤)より 2 日目でガス発生量が高くなり、3 日目には B(余剰汚泥+凝集剤)は B(余剰汚泥)より 24%の低下が見られた。その後 5 日目で 25%、10 日目で 23%、15 日目で 22%、20 日目で 21%の低下と同程度の低下率で推移した。凝集剤を添加したことにより低下したことから、B の脱水汚泥の活性が低い要因として、水処理方法が OD 法であること以外に凝集剤による影響があると考えられる。しかし、文献によると、標準活性汚泥法の余剰汚泥に対して、TS あたり 1.0%以下の凝集剤の添加では阻害を起さず、3.0%以上の添加の場合に阻害を起す、また凝集剤の種類によって阻害程度は異なると報告されている²⁾。本研究での凝集剤の添加は TS あたり約 0.3%にも関わらず投入 VS あたりのガス発生量に差が生じた。したがって、B で使用している凝集剤は阻害効果が高いことが考えられる。しかし、1 回のみの実験結果であり、今後再現性や要因についてさらに検討していく必要がある。

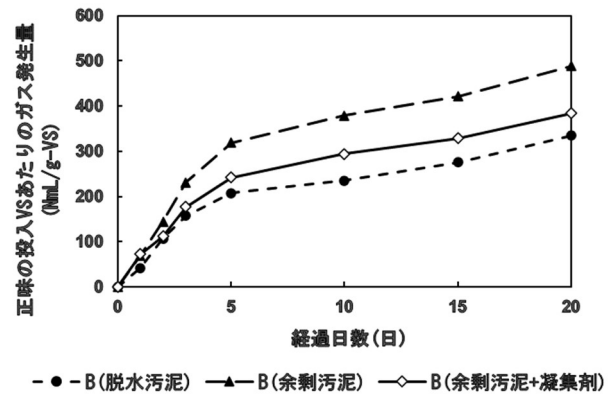


図 2 正味の投入 VS あたりのガス発生量

3-2 連続実験

連続実験の実験条件について表 3 に示す。TS 5.0%、7.5%は図 3、TS10.0%は図 4 にバイオガス発生量を示す。TS 5.0%、7.5%については、回分実験と同様にバイオガス発生量は A の方が高かった。馴致期間(8 日目)を終えた 10 日目以降は継続的な低下もなく、安定した運転が行われた。一方で TS 10.0%は、1 滞留目以降から徐々に低下していった。特に A は 1 滞留目までは B と TS 5.0%、7.5%と同様な傾向だったが、低下が激しく、48 日目を過ぎてからは同程度のガス発生量となった。

10 日目以降の消化特性について表 4 に示す。A の TS5.0%、7.5%の運転での投入 VS あたりのガス発生量は、448、399(NmL/g-VS)であり、通常の濃縮汚泥の嫌気性消化の一般値(500 NmL/g-VS)に近い値であっ

表 3 連続実験の実験条件

	TS(%)	VS(%)	HRT(日)	VS負荷(kg・VS/m ³ ・日)
A5.0	5.0	4.58	30日	1.53
A7.5	7.5	6.87		2.29
B5.0	5.0	4.07		1.36
B7.5	7.5	6.11		2.04
A10.0	10.0	9.16		3.05
B10.0	10.0	8.15		2.72

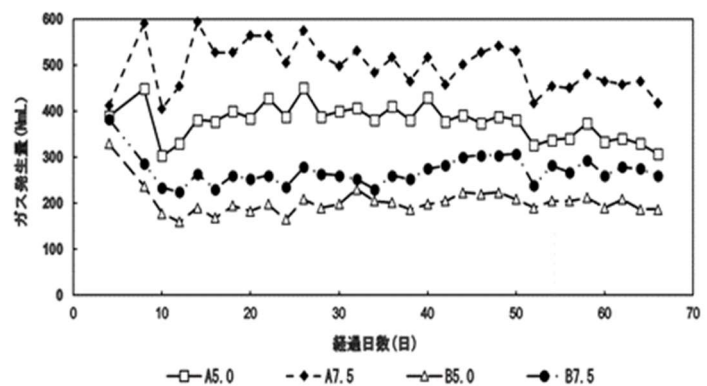


図 3 TS 5.0%、7.5%のバイオガス発生量

た。一方で、Bの5.0%、7.5%は、265、234(NmL/g-VS)であった。全系列ともpH、ORPは至適範囲内であった。しかし、アンモニア窒素濃度はAのTS10.0%で阻害レベルを上回った。このことからA、B共にTS5.0%、7.5%では安定した運転が行われているが、TS10.0%では、S-CODの顕著な上昇はなかったが、アンモニア性窒素濃度が高くなり、ガス発生量も低下していることから、特にAは、今後安定した運転が困難になると考えられる。

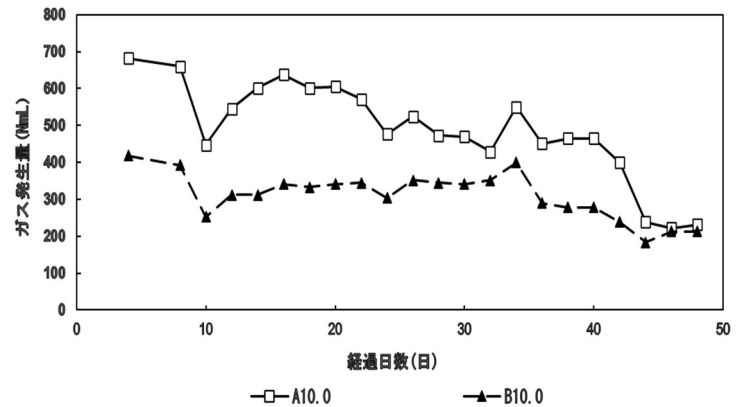


図4 TS 10.0%のバイオガス発生量

表4 10日目以降の消化特性(平均値)

	ガス量(NmL)	pH(-)	ORP(mv)	投入VS当たりガス発生量(NmL/g-VS)	メタン含有率(%)	アンモニア性窒素(mg/L)	S-COD(mg/L)
A5.0	370	7.7	-306	448	67.2	2860	999
A7.5	495	7.7	-315	399	66.4	3480	1950
B5.0	201	8.0	-308	265	66.7	1900	780
B7.5	265	7.9	-317	234	66.8	2370	1160
A10.0	479	7.8	-319	289	64.3	4360	2250
B10.0	305	7.8	-310	195	64.7	2690	1090

4. まとめ

- 1) A浄化センターの脱水汚泥は、2か所の浄化センターの濃縮余剰汚泥よりも活性が高く、嫌気性消化に適する脱水汚泥であった。
- 2) B浄化センターの脱水汚泥は、A浄化センター、2か所の濃縮余剰汚泥より活性が大幅に低かった。要因として、OD法を採用しているB浄化センターでは低負荷で水処理が行われているため、発生する汚泥に易分解性有機物が少ないことが考えられる。また、脱水工程で使用される凝集剤による阻害も考えられた。
- 3) TS5.0%、7.5%での連続運転は継続的なガス発生量の低下やアンモニアによる阻害も見られず、pH、ORPも至適範囲内であり、安定した運転が行われた。
- 4) A浄化センターのTS5.0%、7.5%の運転での投入VSあたりのガス発生量は、448、399(NmL/g-VS)であり、通常の嫌気性消化の一般値(500 NmL/g-VS)に近い値であった。一方で、B浄化センターの5.0%、7.5%は、連続運転においても低く、265、234(NmL/g-VS)であった。
- 5) TS10.0%での運転は1滞留目を超えてからのガス発生量の低下やアンモニアの蓄積が見られたことから、運転を継続しても破綻する可能性が大きいと考えられる。

以上より、脱水汚泥においてTS7.5%までは安定した運転が可能であると考えられる。また、本研究では、単独での嫌気性消化を想定した研究を行ったが、下水汚泥の一般的な嫌気性消化において脱水汚泥を混合する影響についても検討することが今後必要である。

参考文献

- 1) 日高 平,津森 ジュン:都市下水処理場の脱水汚泥の中温嫌気性消化に及ぼす固形物濃度の影響,土木学会論文集 G,Vol.70,No.7,III_433-III_440,2014
- 2) 坂本勝, 室谷憲男 李玉友, 野池達也:下水処理余剰汚泥の嫌気性消化に及ぼす高分子凝集剤の影響,環境技術,Vol.33 No.8, 631-638,2004