

B-42 硫酸塩還元条件における余剰汚泥分解

○西本 真也^{1*}・池本 良子²・中木原 江利²・山下 恭広³

¹金沢大学大学院自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

²金沢大学理工研究域環境デザイン学類 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

³(独)農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究 (〒305-0901 茨城県つくば市池の台2)

* E-mail: rikemoto@l.kanazawa-u.ac.jp

1. はじめに

近年、下水汚泥からのバイオガス回収プロセスとして嫌気性消化が見直されているが、ガス回収率が低いことが欠点となっている。硫酸塩還元条件で汚泥の分解が進行することから、本研究では、汚泥を硫酸塩還元条件で低分子有機酸に分解可溶化し、バイオガス回収量を増大するとともに、生成した硫化物を水処理系の脱窒に利用する方法を想定し、硫酸塩還元条件での汚泥分解に関して基礎的な研究を行った。

2. 実験方法

(1) 実験装置の概要と運転方法

図1に示す実験装置を用いて、硫酸塩還元条件での連続汚泥可溶化実験を行った。硫酸塩還元槽は容積 500ml の吸引びんを用い、生成した硫化水素を除くために後段に脱窒槽を設けた。硫酸塩還元槽は水浴に設置して 35℃ に保ち、マグネチックスターラーで攪拌した。脱窒槽は同様の吸引ビンに発泡 PP 担体を投入し、種汚泥として返送汚泥 10ml を添加して実験を開始し、硫酸塩還元槽の流出水と、硝化液を想定した硝酸溶液を装置下層部に滞留時間を 1.5 日となるように供給した。Run 1 には金沢市城北水質管理センターから採取した返送汚泥を TS 6,000mg/l に濃縮したものを初期汚泥として硫酸塩還元槽に投入し、硫酸塩還元槽の滞留時間が 3 日となるようにペリスターポンプで TS を 6000mg/l に調整した汚泥を添加した。Run 2 は同様に TS 6000mg/l に調整した汚泥に硫酸塩を 500mg/l になるように添加して、実験をスタートした。実験開始から 193 日目に槽内の温度を 40℃ に変更するとともに、硫酸塩還元槽の滞留時間を 1 日、脱窒槽の滞留時間を 0.2 日とした。251 日目以降は恒温槽のトラブルによって室温となった。Run 3 は硫酸塩

を添加し、30℃、滞留時間 1 日の条件で再スタートしたものである。

定期的に流入汚泥と硫酸塩還元槽からの流出汚泥を採取し、TS を測定するとともに 0.2μm 濾液について陰イオン、陽イオン、有機酸、溶存有機炭素(NPOC)、溶存無機炭素(IC)、pH の分析を行った。

表 1 運転条件

Run No.	1			2			3		
運転期間	期間1 0~192	期間2 193~250	期間3 251~306	期間1 0~192	期間2 193~250	期間3 251~306	期間1 0~200	期間2 200~400	期間3 400~600
汚泥量	過剰汚泥(TS3600mg/L)								
滞留時間 (硫酸塩還元槽)	3日	1日	1日	3日	1日	1日	1日	1日	1日
温度	35℃	40℃	室温	35℃	40℃	室温	30℃	40℃	室温
滞留時間 (脱窒槽)	1.5日	0.2日	0.2日	1.5日	0.2日	0.2日	0.2日	0.6日	
硫酸塩添加	x			o			o		
硫酸塩濃度							500mg/L		

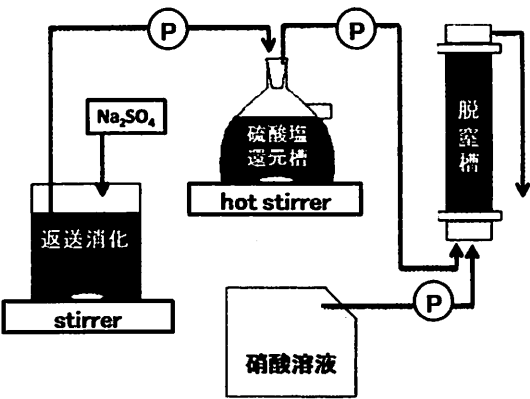


図 1 実験装置

(2) 微生物群集解析

RUN3 において、硫酸塩還元槽内温度が室温(20℃)・30℃・40℃の汚泥を 0.2g 採取し、UltraClean Soil DNA kit (Mo Bio Laboratories, Inc., USA)を用いて DNA 抽出を行なった。抽出した DNA を用い、硫酸塩還元微生物群集を把握するため、亜硫酸塩還元酵素(*dsr*)遺伝子をターゲットとした Nested PCR-DGGE 法による解析を行った。Nested PCR-DGGE は Mileto からの方法に準拠した。

3. 結果および考察

(1) 脱離液の水質

図 2, 3 は Run 1, 2 の期間 2, 3 における、硫酸塩還元槽の流入および流出汚泥の 0.2L ろ液中中の、硫酸塩濃度と有機酸濃度の変化を示したものである。水温が 40℃の期間 1 では 500mg/l の硫酸塩がほとんど還元され 100mg/l 以下まで減少しているが、水温が室温に低下した期間 3 では、硫酸塩還元量が少なくなっていることがわかる。また、期間 2 ではほとんど有機酸の増大はほとんど認められないが、期間 3 では酢酸、プロピオン酸が増大していた。図 4 は、硫酸塩還元条件の Run 2, 3 の装置内の硫酸塩還元速度を水温別に示したものである。硫酸塩還元速度は水温に大きく依存することがわかる。

図 5, 6 は、硫酸塩還元量と重炭酸および有機酸の増加量の関係を示したものである。水温が 30℃以上では、硫酸塩の還元に伴い重炭酸が増大し、水温 40℃では、やや酢酸塩の増大が認められるものの、有機酸の生成量はわずかであった。一方、室温では、硫酸塩の還元に伴い、酢酸、プロピオン酸が増大していることがわかる。

これらの結果は、水温が高い時には、完全酸化型の硫酸塩還元反応が進行するが、水温が低下すると不完全酸化型に移行することを示している。

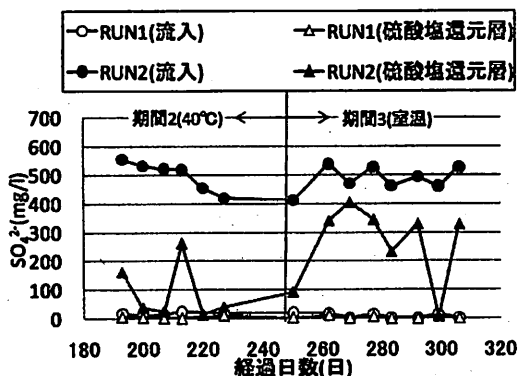


図 2 硫酸塩の経日変化

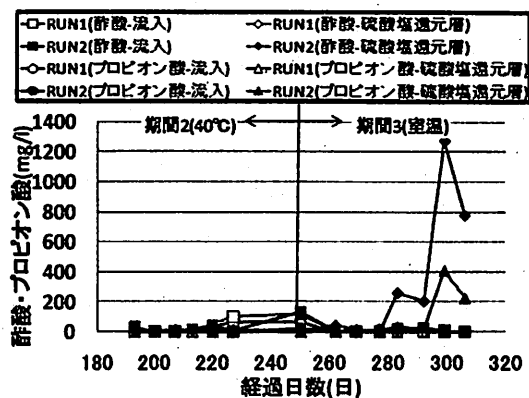


図 3 有機酸の経日変化

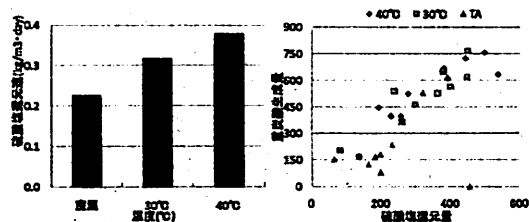


図 4 硫酸塩還元速度

図 5 硫酸塩還元量と重炭酸塩生成量の関係図

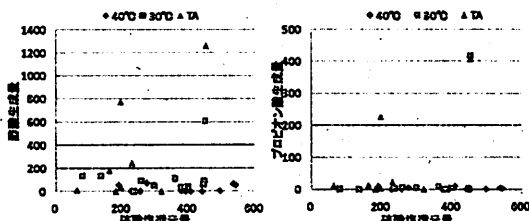


図 6 硫酸塩還元量と有機酸生成量の関係図

図 7 は、硫酸塩還元槽における TS および VS 減少率と水温の関係を示している。水温が 40℃のほうが 30℃より TS および VS 減少率が高いことから、汚泥分解が進行していることがわかる。硫酸塩還元率の増大以上に汚泥分解が進行しているのは、40℃では、メタン発酵も同時に進行したためと推定される。一方、室温条件では、硫酸塩還元速度は 40℃の半分程度で進行したにもかかわらず、汚泥はかえって増大している。槽内が粘り気のある汚泥に変化していたことから、硫酸塩還元条件で、有機酸以外に粘性物質が生成されたものと考えられる。粘性物質がメタン発酵に利用できれば、メタン発酵率を向上させることが期待できる。

硫化水素を除去するために設置した脱窒槽では、硝酸塩の減少と硫酸塩の増加が認められた。図 8 は硫酸塩増

加量と硝酸塩減少量の関係を示したものである。図中の実線は硫黄脱室により硫酸塩の増大と硝酸塩の減少が進行したと仮定した場合の両論線である。硫酸塩還元槽の水温が 30℃以上で有機酸が生成されなかった条件では、両論線とほぼ一致していることから、硫黄脱室が優先的に進んだことがわかる。一方、有機酸や粘性物質が生成された室温の条件では、脱室量が硫黄脱室の両論線よりも多かったことから、有機酸や粘性物質が脱室に利用されたことが推定される。図 9 は、硫酸塩還元条件の Run 2, 3 の脱室装置内の脱室速度を水温別に示したものである。脱室速度は水温に大きく依存することがわかる。

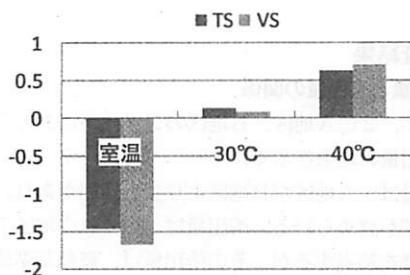


図 7 汚泥濃度の減少率

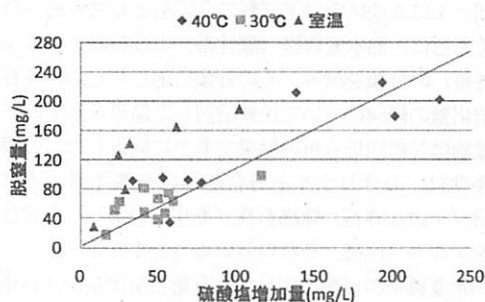


図 8 脱室槽における硫酸塩増加量と硝酸塩減少量

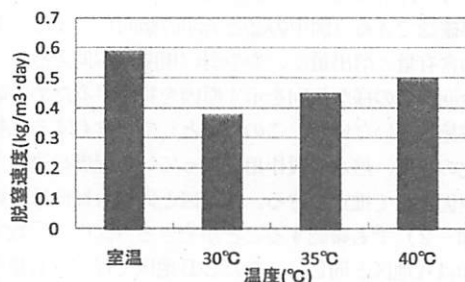


図 9 脱室速度の温度依存性

(2) 微生物群集解析

硫酸塩還元槽内温度 20℃・30℃・40℃条件下の汚泥

から DNA を抽出し、亜硫酸塩還元酵素をコードした DSRmixF-DSRmixR を用いた Nested PCR-DGGE 法を適用した結果を図 10 に示す。30℃と 40℃では類似したバンドパターンがみられたが、20℃は、30℃・40℃と比較して、類似のバンドが多く検出されているものの、バンドパターンが異なっていた。前述したように、30℃以上の条件では、硫酸塩還元条件で汚泥由来の有機物の完全酸化が進行し、20℃前後では、有機酸の生成が確認されている。30℃以上の条件では、不完全酸化型の硫酸塩還元微生物により生成された有機酸をメタン菌が利用した可能性もあるが、硫酸塩還元微生物の優占種がやや変化した可能性を示唆するものである。

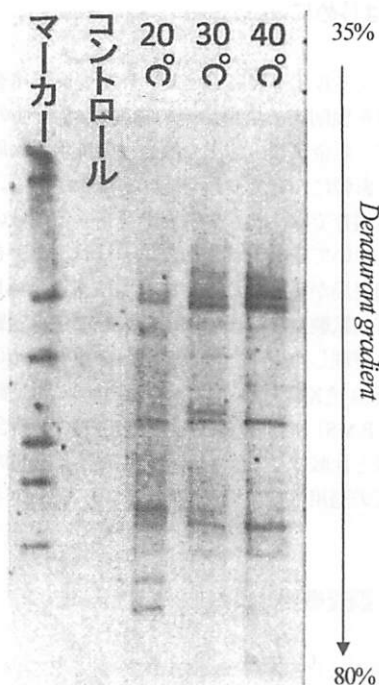


図 10 電気泳動写真

4. まとめ

硫酸塩還元条件では、汚泥の硫酸塩還元は水温に大きく依存しており、低水温では、不完全酸化型の硫酸塩還元が、30℃以上では完全酸化型の硫酸塩還元が進行した。低水温では硫酸塩還元速度は低いですが、生成された有機酸や粘性物質が脱室に利用できたことから、これらの生成物がメタン発酵に利用できれば、メタン発酵率を向上させることができることが期待できる。

参考文献

1) Gerard Muyzer et al. (1993) Appl. Environ. Microbial. 59 (3), 695-700.