

## 硫酸塩還元条件における余剰汚泥分解と関与する微生物群集

金沢大学大学院  
金沢大学理工研究域  
金沢大学理工研究域 正会員

西本 真也  
中木原 江利  
池本 良子

### 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、ホットスターラーで加温および攪拌を行った。運転条件を表1に示す。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、ペリスターポンプでTS6000mg/lに調整した汚泥を添加した。Run 2・3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た。生成した硫化水素を除くために後段に脱窒槽を設けた。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0.2 $\mu$ m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。

#### (2) 微生物群集解析

RUN3の期間1において、硫酸塩還元槽内温度が30 $^{\circ}$ C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Milettoら<sup>1)</sup>の方法に準拠した。

表1 運転条件

Run No.	1			2			3		
	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
種汚泥	返送汚泥(TS6000mg/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 $^{\circ}$ C	40 $^{\circ}$ C	室温	35 $^{\circ}$ C	40 $^{\circ}$ C	室温	30 $^{\circ}$ C	40 $^{\circ}$ C	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								

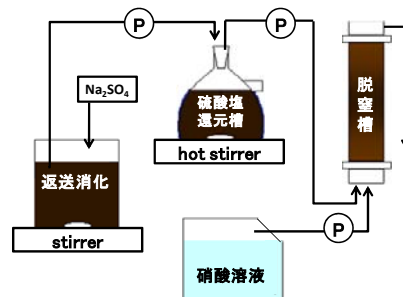


図1 実験装置

### 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0.2 $\mu$ mろ液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 $^{\circ}$ Cの期間2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。

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。

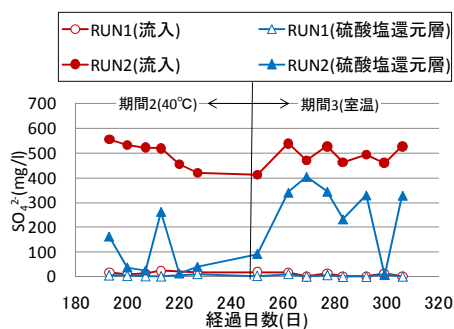


図2 硫酸塩の経日変化

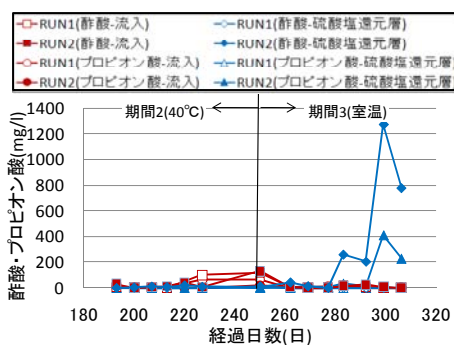


図3 有機酸の経日変化

図5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。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。

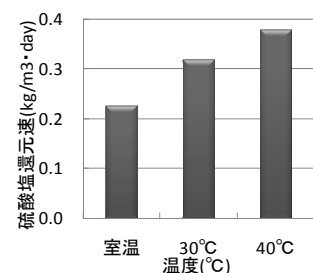


図4 硫酸塩還元速度

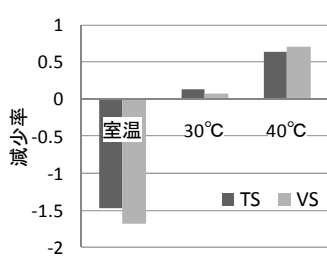


図5 汚泥濃度の減少率

(2) 微生物群集解析

Run 3 期間 1 (30℃) の流入返送汚泥および硫酸塩還元槽流出汚泥から DNA を抽出し、亜硫酸塩還元酵素を標的とした Nested PCR-DGGE 法を適用した結果を図6に示す。両汚泥で明らかに異なるバンドが検出された。検出されたバンドを切り出し、シーケンスを行った結果を表2に示す。流入汚泥中には *Desulfobulbus elongatus* や

*Desulfovibrio carbinolicus* に近縁の硫酸塩還元微生物が検出されたが、相同性が低かったことから同属ではない可能性がある。一方、硫酸塩還元槽流出汚泥には *Desulfobulbus propionicus* や *Desulfomicrobium escambiense* に近縁の硫酸塩還元細菌が検出されていた。これらは、不完全酸化型の硫酸塩還元微生物であることから、30℃以上の条件下で酢酸生成がみられなかったのは、メタン菌との共存による可能性が高いと考えられる。

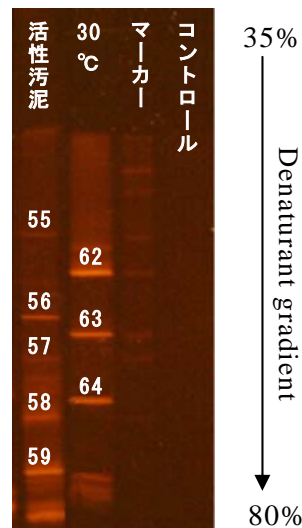


図6 電気泳動写真

表2 シーケンス結果

活性汚泥		30℃(硫酸塩還元槽内汚泥)	
No.	近縁種	No.	近縁種
55	<i>Desulfobulbus elongatus</i>	62	<i>Desulfobulbus propionicus</i>
56	<i>Desulfobulbus elongatus</i>	63	<i>Desulfomicrobium escambiense</i>
57	<i>Desulfovibrio carbinolicus</i>	64	<i>Desulfomicrobium escambiense</i>
58	<i>Desulfobulbus elongatus</i>		
59	<i>Desulfarculus baarsii</i>		
	相同性(%)		相同性(%)
	79		79
	65		94
	72		96
	67		
	67		

4. まとめ

硫酸塩還元条件における汚泥の分解は水温に大きく依存しており、低水温(20℃前後)では、不完全酸化型の反応が、30℃以上では完全酸化型の反応が進行した。dsr 遺伝子を標的とした硫酸塩還元微生物の解析を行った結果 30℃の条件では不完全酸化型の硫酸塩還元微生物が優占化していたことから、メタン菌の活動を抑制できればより速い硫酸塩還元処理が可能となると考えられる。

参考文献

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