

マイクロバブルによる余剰汚泥のオゾン前処理の効率化

資源エネルギー循環研究室 17327184

学部4年 濱口 宗秋

指導教員 姫野 修司 小松 俊哉

1. 背景および目的

現在、我が国で多く行われている活性汚泥法による処理によって発生する余剰汚泥は、難分解性の有機物を多く含むため、バイオマスの有効利用としてメタン発酵を行う際に、メタン発酵効率が悪い。そこで、余剰汚泥の前処理としてオゾン処理による可溶化で分解性を改善することで、メタン生成の効率が上がることが期待されている。一方、オゾンの生成はコストがかかるため、粒径が1mm以下で気体を効率よく溶かす特徴を持つマイクロバブルでオゾンを溶解させることで、余剰汚泥のオゾン処理を効率良く行うことが可能である。

本研究は、余剰汚泥をスタティックミキサーによるマイクロバブルでオゾン処理し、ガス液比（以下G/Lと呼ぶ）による余剰汚泥の可溶化への影響の評価を行い、オゾン処理後の汚泥でメタン発酵させた際のメタンガス発生量の変化を確認することを目的とする。

2. 実験方法および条件

2.1 オゾン処理実験

オゾン処理を行った際の、G/Lによる可溶化への影響を評価した。オゾンは放電式のオゾン発生装置を用いて生成した。本実験条件と使用した余剰汚泥の性状を表-1、表-2にそれぞれ示す。供給オゾン濃度は140mg/Lもとの、G/L:10~20%は循環10回、G/L:5%は、オゾン供給量を他の条件と合わせるため40回の循環を行った。循環を繰り返すごとに泡の発生量が増加するため、発生した泡はすべて消泡したものを反応槽に戻している。水質等の測定は、pH、汚泥

温度、排オゾン濃度、発生泡量、固形物濃度(TS)、有機物濃度(VS)、溶解性COD(S-COD)、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素を行った。

表-1 実験条件（オゾン処理）

	供給オゾン濃度 [mg-O ₃ /L]	オゾンガス流量 [L/min]	汚泥流量 [L/min]	G/L [%]
<u>G/Lによる変動を確認する実験</u>				
条件1	140	3.5	18	20
条件2	140	2.7	18	15
条件3	140	1.8	18	10
条件4	140	0.9	18	5
<u>供給オゾン濃度による変動を確認する実験</u>				
条件5	140	1.8	18	10
条件6	70	1.8	18	10

表-2 汚泥性状

TS	[%]	0.33-0.45
VS	[%]	0.26-0.36
VTS	[%]	77-81
S-COD	[mg/L]	25-44
アンモニア性窒素	[mg/L]	15-29
亜硝酸性窒素	[mg/L]	0.0-0.6
硝酸性窒素	[mg/L]	0.2-0.7

2.2 メタン発酵回分実験

オゾン処理した余剰汚泥を基質として20日間のメタン発酵回分実験を行った。消化温度は36±1℃の中温消化で、2、5、10、20日目でガス分析を行い、メタンガス発生量を測定した。表-3、表-4にメタン発酵回分実験の条件を示す。メタン発酵回分実験1は循環回数の影響を、メタン発酵回分実験2は同程度のS-CODが得られた際の、G/Lの影響を確認する目的で条件設定を行った。

表-3 実験条件 (メタン発酵回分実験 1)

循環回数	S-COD [mg/L]	G/L比 [%]	供給オゾン濃度 [mg/L]
0(未処理)	45		
1	60		
8	800	5	140
12	1000		
20	1500		

0(未処理)	25		
1	350		
2	560	15	140
4	940		
8	1300		

表-4 実験条件 (メタン発酵回分実験 2)

循環回数	G/L比 [%]	供給オゾン濃度 [mg/L]	S-COD	
			未処理 [mg/L]	処理後 [mg/L]
3	5		35	1000
4	10	140	25	930
6	15		35	940
12	20		45	880

3. 結果および考察

3.1 各 G/L における消費オゾン量・排オゾン量への影響

図-1 に G/L 5~20% の供給オゾン量の内訳を示す。有機物の可溶化に使われた割合は G/L が低いほど多く、G/L 15% から急激に排オゾン量が増加することにより、G/L が高くなるにつれ、有機物が可溶化に使われた割合が減少したことが分かる。この結果から、G/L が低い場合はオゾンの消費効率が高いことが言える。また、G/L が高い場合の消費効率が低い理由は、溶解速度を超えた過剰なオゾンガスの供給によって、一部のオゾンが余剰汚泥の分解のために消費されず、排オゾンとして気相に多く排出してしまうことが原因と考えられる。高効率でオゾン溶解および消費を行う場合、G/L 10% 以下が望ましいと考えられる。

発生した排オゾンは、活性炭吸着分解法や触媒分解法などで処理することができる。

また、オゾンは不安定な分子であるため、時間が経てば安全な酸素へと変化する。

図-2 に各 G/L の汚泥 1kg (=1L) 当たりのオゾン消費量ごとにおける S-COD の推移を示す。各 G/L とも類似した推移であることから、異なる G/L においても、S-COD の増加量に大きな変化はないことがわかる。すなわち、G/L による S-COD 増加量への影響は小さく、S-COD 増加量はオゾン消費量によることが分かった。

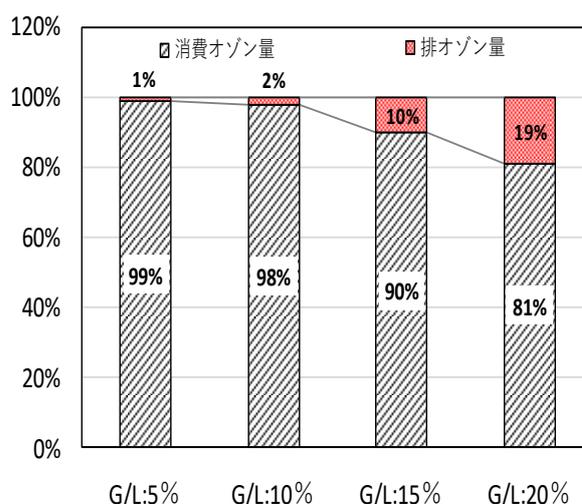


図-1 供給オゾン量の内訳

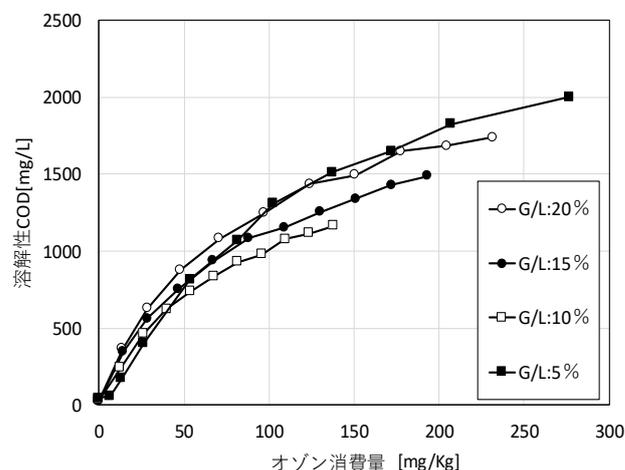


図-2 オゾン消費量ごとにおける S-COD の推移

3.2 メタン発酵回分実験におけるメタンガス発生量

余剰汚泥の可溶化 (有機物の分解) は、オゾンが余剰汚泥中の細菌類と反応し細胞壁が破壊

され、細菌類に含まれた有機物などが液相に溶出することで起きる。しかし、メタン発酵にてバイオガス (CH_4+CO_2) を生成させるには、液相に溶出した生物分解性有機物 (炭水化物, タンパク質, 脂質等) から、モノマー (糖, アミノ酸, 高級脂肪酸等) に分解し、さらにモノマーから中間体の揮発性脂肪酸 (酪酸, プロピオン酸, 酢酸等) まで分解させることによって、余剰汚泥はメタンを含むバイオガスを生成できる物質になる (図-3) [1]。

G/L5%とG/L15%で処理した汚泥をメタン発酵した際のメタンガス発生量を図-4, 図-5にそれぞれ示す。G/L5%では、S-COD 815mg/L (オゾン消費量 55mg/kg) まで、未処理と同程度のメタンガス発生量で、S-COD 1500mg/L (オゾン消費量 140mg/kg) までメタンガスの増加が続いていることが分かる。一方、G/L15%では、S-COD 350mg/kg (オゾン消費量 15mg/kg) まで、未処理と同程度のメタンガス発生量で、S-COD 940mg/L (オゾン消費量 70mg/kg) 以上は、メタンガスの増加は起きていない。G/L15%は、G/L5%よりも少量のオゾン消費量 70mg/kg でメタンガス発生量が頭打ちになっていることが分かる。高いG/Lでオゾン処理した余剰汚泥は、メタンガス生成に寄与する有機物である中間体までの分解が速く行われていると考えられた。

図-6に各G/Lの未処理とオゾン処理した汚泥 (S-COD 900mg/L程度) のメタンガス発生量を示す。G/Lが高いほど、未処理に対するメタンガス増加率が高くなる傾向を示した。未処理の汚泥からのガス発生量がそれぞれ異なるのは、毎回用いる汚泥の性状が異なっているためと考えられる。図-5の循環4回目の系 (S-COD 940mg/L) 以上は、メタンガスが増加していないことから、G/L 15%は循環4回のオゾン処理で、可溶化が十分に行えていると言える。G/L 20%も S-COD 900mg/L 以上ではガス発生量が変わ

らないと仮定した場合、オゾン処理による余剰汚泥の可溶化で約 20%のメタンガスの増加が可能と言える。G/L 5~10%は、図-4より、メタン生成に寄与する有機物の分解が遅く、可溶化が十分に行われずメタンガス増加率が 10%と低くなったと考えられる。しかし、S-COD 1000mg/L 以上でもメタンガスが増加しており、未処理の系 (S-COD 25mg/L) から循環 20 回目の系 (S-COD 1500mg/L) までオゾン処理した汚泥のメタンガス増加率は 18%であったことから、オゾン処理を続け溶解性 COD を増やすことで、G/L 15%と同様に約 20%の増加率まで可溶化できると考えられた。

本研究でのメタン発酵回分実験の結果から、S-COD の増加が必ずしもメタン発酵におけるガス発生量の増加につながる指標になりえないと考えられる。S-COD の中でもメタン発酵に寄与する中間体までの分解が行われない場合、メタンガス発生量の増加につながらないと考えられた。今後、高いG/Lによるオゾン処理がメタン生成に寄与する有機物まで分解しているかを確認する必要がある。

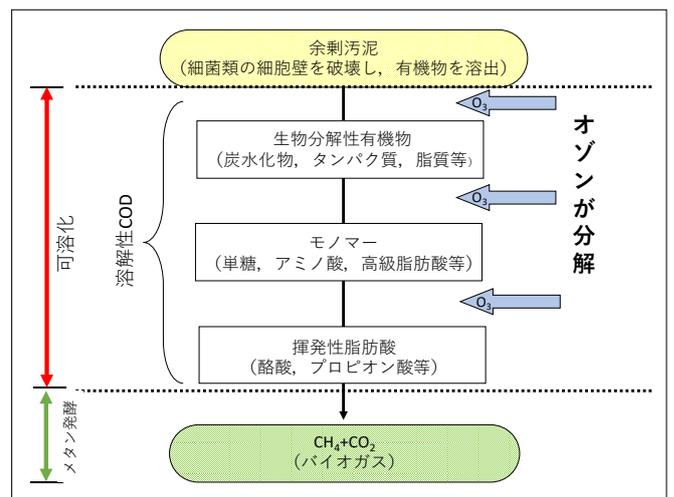


図-3 メタン発酵における物質変換の概要

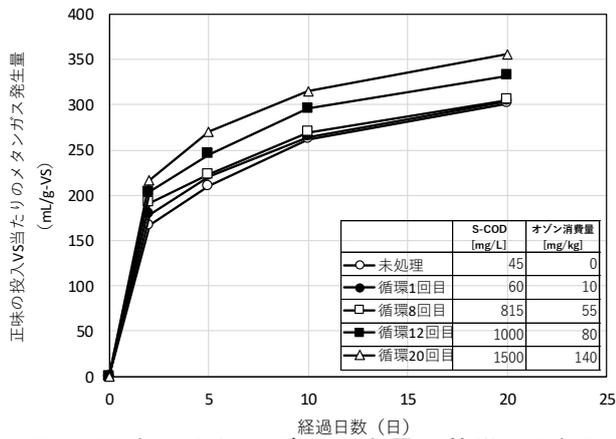


図-4 正味のメタンガス発生量の推移 (G/L5%)

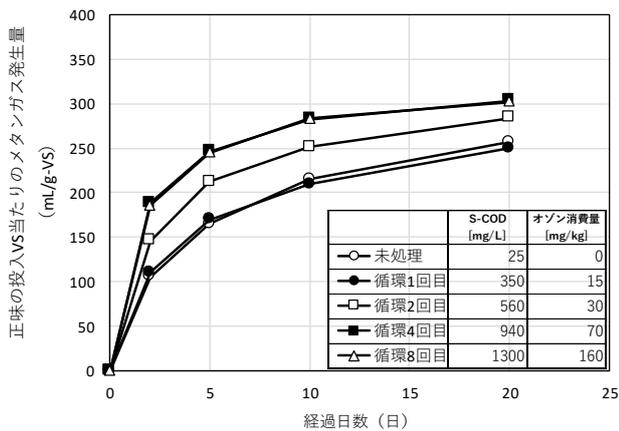


図-5 正味のメタンガス発生量の推移 (G/L15%)

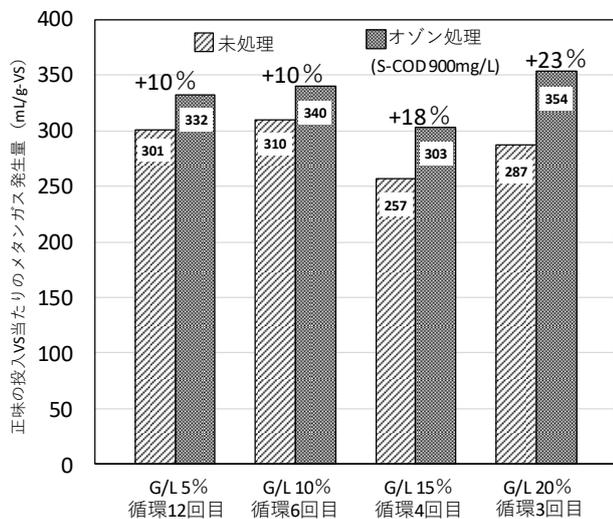


図-5 各 G/L のメタンガス増加率

4. まとめ

本研究結果から、オゾン処理は難分解性である余剰汚泥の可溶化に効果があったと言える。各 G/L がメタンガス生成に与える影響は、同程度の S-COD でもメタンガス増加率は、高 G/L で約 20%だったのに対し、低 G/L は約 10%と

やや低かった。高い G/L によるオゾン処理は、排オゾンが発生するが、循環回数が少なく、消費オゾン量を抑え、メタンガスの増加率が大きいことより、効率よくオゾンを溶解させることができれば、メタン発酵時のバイオガス増加につながることを示唆された。

5. 参考文献

[1] 野池達也, メタン発酵, 技報堂出版, (2009), pp.4-5