

マイクロ波を用いた余剰汚泥削減に関する研究

Study on Reduction of Excess Sludge by Microwave

藤田 久雄 稲井 宏樹 安藤 真由美 島田 昭博
Hisao FUJITA Hiroki INAI Mayumi ANDOU Akihiro SHIMADA
近田 司*
Tsukasa CHIKATA

要 旨

返送汚泥の一部をマイクロ波照射によって基質化(可溶化)することで、余剰汚泥の生成量を削減する排水処理についての基礎実験を行った。その結果、懸濁物質(SS)の測定による細胞破碎の評価では、マイクロ波照射された汚泥の可溶化率はマイクロ波照射の到達温度に比例して増加することが確認できた。BODの測定による生分解性の評価(基質化)では、処理汚泥BODはマイクロ波照射の到達温度に比例して増加することが確認できた。最大可溶化汚泥のBODとの比率(基質化率)は、マイクロ波照射の到達温度が173℃の条件では73%、85℃の条件では44%であった。また、実験室規模の回分式活性汚泥実験により、マイクロ波を照射することで汚泥増加量が低減することが確認できた。

キーワード：汚泥 マイクロ波 可溶化 食品排水処理

I はじめに

食品製造工場において、排水処理に伴って発生する汚泥の大部分は余剰汚泥となっており、一般的には脱水、焼却及び埋立処分されている。産業廃棄物である余剰汚泥の処理費は1m³当たり約2～3万円と高額であり、食品製造工場にとって大きな負担となっている。また、埋立処分場の残余年数も少なく、産業廃棄物の減量化対策が求められている。

現在、汚泥減量化技術においては概ね2つの方法が研究、開発されており、①生物学的効果により余剰汚泥発生量を減少させる方法(発生抑制方式)と、②物理化学的に余剰汚泥を可溶化した後に生物処理する方法(再基質化方式)とがある。再基質化方式の余剰汚泥削減化技術としては、オゾン法、酸化剤法、超音波法、水熱反応などがある。^{1), 2)}

一方、マイクロ波照射は、極性基を有する分子を直接加熱して局所熱化学反応を促進することから、反応速度

の著しい向上、反応条件の大幅な緩和などの特徴があり、様々な分野への応用が検討されている³⁾。

そこで、財団法人かがわ産業支援財団地域共同研究部(旧：高温高压流体技術研究所)と共同して、佃煮製造業の活性汚泥排水処理施設から発生する返送汚泥の一部をマイクロ波(MW)を利用して可溶化し、この可溶化汚泥を曝気槽へ返送し生物学的に分解、消化して、排出汚泥を減量化する方法についての基礎実験を行った。マイクロ波照射による汚泥の可溶化特性及び実験室規模の回分式活性汚泥実験における余剰汚泥削減効果について検討を行った結果について報告する。

II 方法

1 マイクロ波照射による汚泥の可溶化特性

マイクロ波照射による汚泥の可溶化特性は、生菌数測定による殺菌性、懸濁物質(SS)測定による可溶化率及び処理汚泥のBOD測定による生分解性(基質化)を調べた。試料は佃煮製造業排水処理施設の汚泥を用い、自然沈降で濃縮を行った。実験条件を表1に示す。

マイクロ波照射は「マイルストーン社製 ETHOS1600」を使用し、濃縮汚泥40mlを温度センサー付100mlテフロ

* 高温高压流体技術研究所(現所属：日本化学機械製造株式会社 開発技術室)

ン容器に入れて照射強度 (300W, 500W, 800W), 照射時間 (15 秒, 30 秒, 60 秒) 及び到達温度と可溶性特性の関係について調べた。

生菌数測定は, R2A 培地で 25℃, 7 日間培養により実施した。また, 最大可溶性処理汚泥と比較するため, 濃縮汚泥に水酸化ナトリウムを加えて 1M アルカリ性としてマイクロ波 800W, 150℃, 30 分処理して可溶性特性を調べた。

表 1 マイクロ波照射の実験条件

No	項目	汚泥容量 ml	MW強度 W	処理時間 秒
1	対象	40	0	0
2	MW300W15S	40	300	15
3	MW300W30S	40	300	30
4	MW300W60S	40	300	60
5	MW500W15S	40	500	15
6	MW500W30S	40	500	30
7	MW500W60S	40	500	60
8	MW800W15S	40	800	15
9	MW800W30S	40	800	30
10	MW800W60S	40	800	60

1)。原水は, グルコースとペプトンを主成分とする人工排水を用いた。マイクロ波照射は, 曝気槽から一日 1 回, 一定割合の汚泥を抜き取り, 自然沈降させた濃縮汚泥に周波数 2450 メガヘルツのマイクロ波を照射して加熱, 室温冷却した後, 原水と混合して曝気槽へ投入した。生成汚泥量は曝気槽の MLSS を測定して, 汚泥変化量で求めた。

各 RUN において, RUN1 ではマイクロ波照射の有無及び BOD 容積負荷量 (原水) の有無, RUN2 ではマイクロ波の照射強度及び照射時間, RUN3 ではマイクロ波照射容量をそれぞれ変えることによる汚泥削減量変化を検討した。

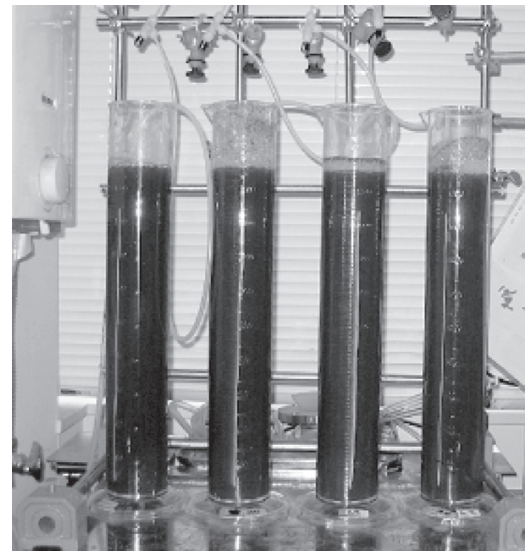


写真 1 2L メスシリンダー曝気槽

2 回分式活性汚泥実験における余剰汚泥削減効果

余剰汚泥削減効果は, 回分式活性汚泥実験における曝気槽内の汚泥変化量を対象系と比較して評価した。実験条件を表 2 に示す。

実験に使用した簡易曝気槽は有効容積 1.9L で, 活性汚泥は, 佃煮製造業排水処理施設の汚泥を使用した (写真

表 2 回分式活性汚泥実験の条件

項目		RUN 1				RUN 2					RUN 3				
		1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	3-1	3-2	3-3	3-4	
処理条件	曝気槽有効容積	L	1.9												
	初期のMLSS	mg/L	4420				4450					2510			
	運転日数	day	9	9	9	9	7	7	7	7	7	16	16	16	16
	BOD容積負荷量	g/L/day	0	0	0.395	0.395	0.395	0.395	0.395	0.395	0.395	0.395	0.395	0.395	0.395
MW照射条件	汚泥処理量	%	0	10	0	10	0	10	10	10	10	0	5	10	15
	照射容量	mL	—	65	—	65	—	70	70	70	70	—	30	60	90
	照射強度	W	—	500	—	500	—	500	500	1000	1000	—	500	500	500
	照射時間	S	—	60	—	60	—	80	40	40	20	—	210 ^(注)		
	到達温度	℃	—	80-85	—	80-85	—	92-96	58-66	92-96	58-66	—	90-98	90-98	90-98

(注) RUN 3のMW照射は3-2、3-3、3-4の各汚泥を6本の容器に入れ、一度に210秒照射した。

Ⅲ 結果及び考察

1 マイクロ波照射による汚泥の可溶化特性

マイクロ波照射強度、照射時間及び到達温度と、生菌数測定による殺菌性、懸濁物質 (SS) 測定による可溶化率及び処理汚泥の BOD 測定による生分解性 (基質化) の関係について調べた結果を表3に示す。

(1) 生菌数減少 (殺菌性) とマイクロ波照射強度・時間の関係

マイクロ波照射による汚泥生菌数は照射時間にほぼ比例して対数的に減少することが確認できた (図1)。また、汚泥生菌数はマイクロ波照射の到達温度と比例して対数的に減少し、到達温度が60℃以上で1オーダー (90%) 以上生菌数が減少することが確認できた (図2)。

(2) 可溶化率とマイクロ波照射強度・時間の関係

マイクロ波照射による汚泥の可溶化率は、懸濁物質 (SS) を測定して次の式により求めた。

$$\text{可溶化率} = 100 \times (\text{処理前の懸濁物質} - \text{処理後の懸濁物質}) / \text{処理前の懸濁物質}$$

マイクロ波照射時間及び強度を大きくすると、可溶化率は高くなり (図3)、可溶化率はマイクロ波照射の到達温度に比例して増加することが確認できた (図4)。マイクロ波照射 800W60 秒の処理で到達温度が173℃の条件では、可溶化率48%であったが、到達温度が122℃以下の条件では、可溶化率は19%以下であり、大部分は可溶化には至らないことが分かった。また、比較試験として実施したアルカリ添加とマイクロ波照射を併用した処理 (MW150℃ 30分+1M NaOH) の可溶化率は91%であった。

(3) 生分解性 (基質化) とマイクロ波照射強度・時間の関係

マイクロ波照射による汚泥の生分解性 (基質化) を調べるため、処理汚泥の BOD を測定した。処理汚泥 BOD はマイクロ波照射時間に比例して増加し、照射強度を大きくすると処理汚泥 BOD は増加した (図5)。また、処理汚泥 BOD はマイクロ波照射の到達温度にほぼ比例して増大することが確認できた (図6)。

アルカリとマイクロ波を併用処理した最大可溶化処理汚泥 BOD との比率 (基質化率) は、マイクロ波照射の到達温度が173℃の条件では73%、到達温度85℃では44%と100℃以下の条件でも、高い生分解性が確認できた (表3)。

表3 マイクロ波照射による汚泥の可溶化特性の実験結果一覧

No	項 目	到達温度 ℃	生菌数 個/mL	可溶化率 %	処理汚泥BOD	
					mg/L	比率(%注)
1	対 象	26	35000000	-	-	-
2	MW300W15S	42	39000000	6	1280	31
3	MW300W30S	58	9000000	6	1470	35
4	MW300W60S	85	660000	11	1860	44
5	MW500W15S	53	15000000	3	1200	29
6	MW500W30S	78	970000	13	1700	41
7	MW500W60S	122	110000	19	2590	62
8	MW800W15S	69	780000	8	1440	34
9	MW800W30S	104	210000	16	2170	52
10	MW800W60S	173	<300	48	3060	73
11	MW150℃30分+1MNaOH	150	<300	91	4180	100
注)	BODの比率は「MW150℃30分+1MNaOH」で処理した可溶化率91%処理汚泥のBODに対する比率					

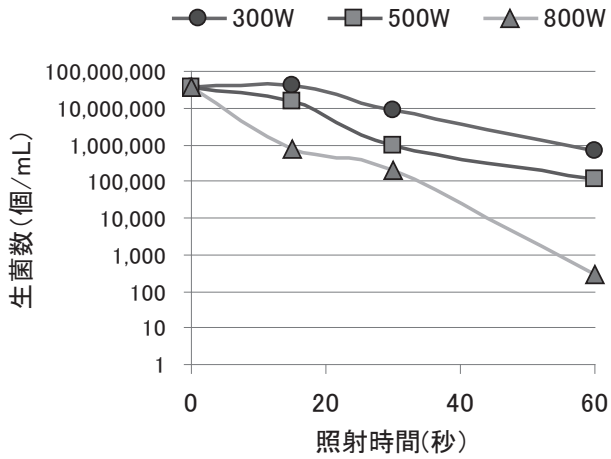


図1 生菌数減少とマイクロ波照射強度・時間の関係

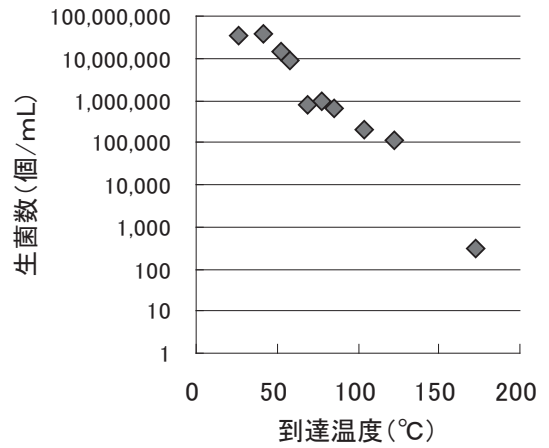


図2 生菌数減少と処理到達温度の関係

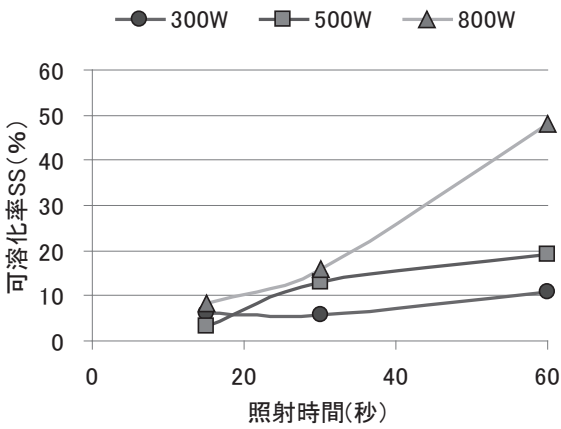


図3 可溶化率とマイクロ波照射強度・時間の関係

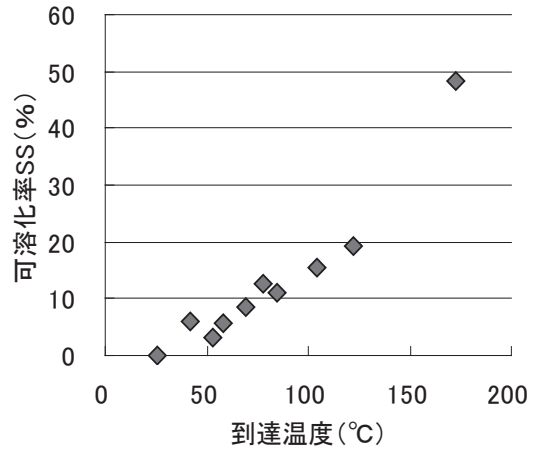


図4 可溶化率と処理到達温度の関係

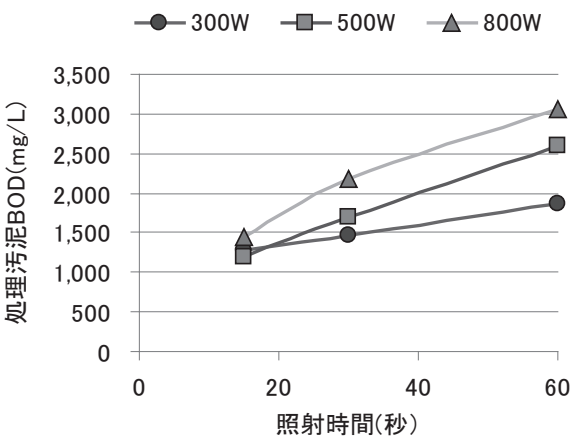


図5 処理汚泥 BOD とマイクロ波照射強度・時間の関係

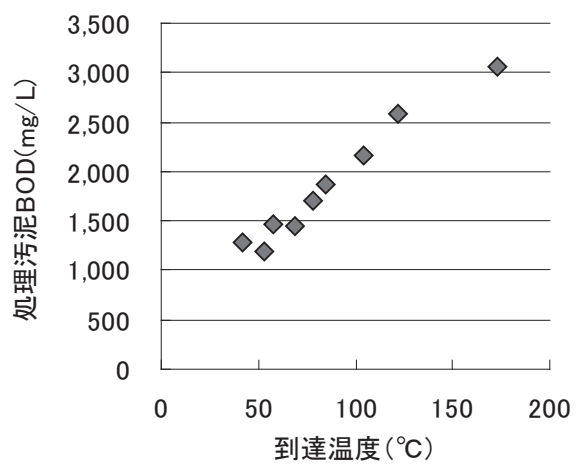


図6 処理汚泥 BOD と処理到達温度の関係

2 回分式活性汚泥実験における余剰汚泥削減効果

(1) マイクロ波照射の有無及びBOD容積負荷量(原水)の有無による汚泥削減効果 (RUN1)

累積生成汚泥量は、原水を与えないで運転する系列では経過日数に比例して減少し、原水を与えて運転する系列 (RUN1-3, RUN1-4) では、経過日数に比例して増加した (図7)。また、原水を与えて運転する系列では、マイクロ波照射系列 (RUN1-4) は、対象系列 (RUN1-3) と比べて、汚泥発生量が48%減少した (図8)。

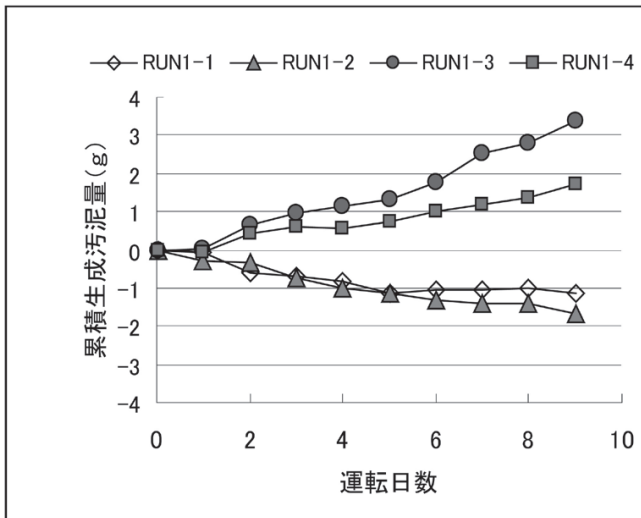


図7 累積生成汚泥量の経過 (RUN1)

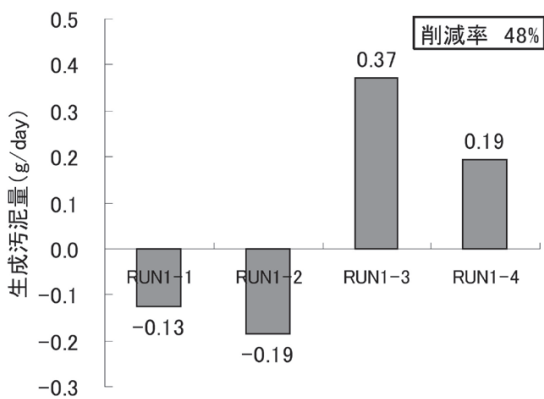


図8 余剰汚泥削減率 (RUN1)

(2) マイクロ波の照射強度及び照射時間による汚泥減量効果 (RUN2)

余剰汚泥の減少率は、図9のとおりで、マイクロ波照射時間が長いと、汚泥減少率も高いことが確認された。また、マイクロ波照射による到達温度は 500W40 秒と 1000W20 秒照射が約62℃、500W80 秒と 1000W40 秒照射が約94℃で同じであった。

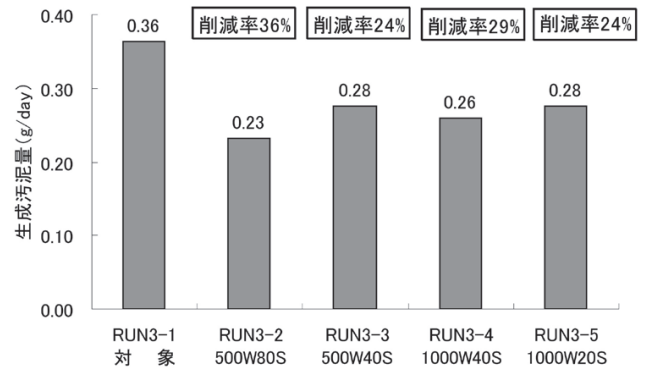


図9 生成汚泥量及び余剰汚泥削減率 (RUN2)

(3) マイクロ波照射容量の変化による汚泥減量効果 (RUN3)

累積生成汚泥量は、経過日数に比例して増加した (図10)。また、汚泥減量化率は、マイクロ波照射汚泥量が5%の系列 (RUN3-2)、10%系列 (RUN3-3)、15%の系列 (RUN3-4) でそれぞれ 23%、43%、48%であり。マイクロ波照射の汚泥量が多いほど汚泥削減効果も高くなることが確認できた (図11)。処理水質のBODは、マイクロ波照射量にかかわらず良好であった (表4)。

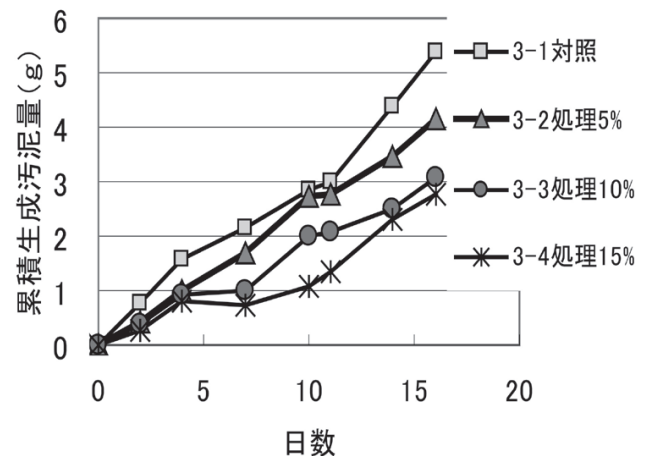


図10 累積生成汚泥量の経過 (RUN3)

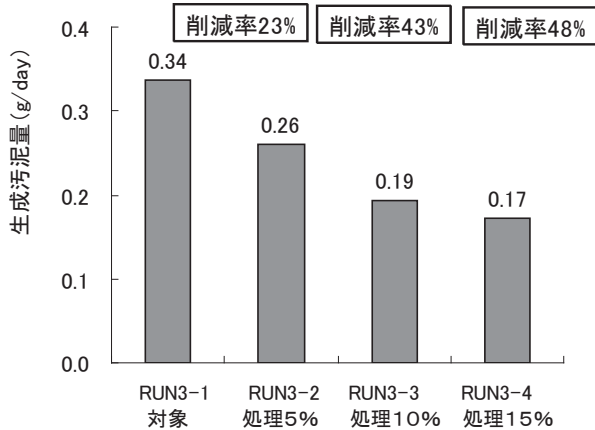


図11 生成汚泥量及び余剰汚泥削減率 (RUN3)

表4 処理水のBOD

項目	単位	RUN3-1	RUN3-2	RUN3-3	RUN3-4
処理水BOD	mg/L	12	26	20	33

IV まとめ

- 1 処理汚泥の生菌数を測定した殺菌性の評価では、生菌数はマイクロ波照射到達温度に比例して対数的に減少し、到達温度が60℃以上で1オーダー(90%)以上生菌数が減少することが確認できた。
- 2 懸濁物質(SS)の測定による細胞破碎の評価では、可溶化率はマイクロ波照射の到達温度に比例して増加することが確認できた。マイクロ波照射の到達温度が173℃の条件では可溶化率は48%であったが、到達温度が122℃以下の条件では、可溶化率は19%以下であった。

- 3 BODの測定による生分解性の評価では、処理汚泥BODはマイクロ波照射の到達温度に比例して増加することが確認できた。アルカリとマイクロ波を併用処理した最大可溶化処理汚泥BODとの比率(基質化率)は、マイクロ波照射の到達温度が173℃の条件では73%、到達温度85℃では44%と100℃以下の条件でも、高い生分解性が確認できた。
- 4 実験室規模の回分式活性汚泥実験により、マイクロ波を照射することで汚泥増加量が約50%低減することが確認できた。

文献

- 1) 今井剛, 荒金光弘, 樋口隆哉: 可溶化技術を用いた汚泥処理に関する研究展望, 廃棄物学会論文誌, **19**, 1-8(2008)
- 2) 平石明: 余剰汚泥減量化技術の最新動向, 環境浄化技術, **9**, 1-6(2010)
- 3) 加藤俊作: マイクロ波加熱の生物科学への応用, 高温高压流体技術研究会ニュースレター, **47**, 2-15(2009)