

N-6 低温マイクロ波前処理による 脱水汚泥へのメタン発酵促進

○小野 紘¹・池本 良子^{2*}・戸荊 丈仁¹・古 婷婷¹・田中 孝二郎³・
本多 了⁴

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系（〒920-1192 石川県金沢市角間町）

³株式会社アクトリー（〒924-0053 石川県白山市水澄町375番地）

⁴金沢大学理工研究サステナブルエネルギー研究センター（〒920-1192 石川県金沢市角間町）

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

1. はじめに

近年、エネルギー問題や地球温暖化問題の顕在化により、下水汚泥の処理過程に用いられるメタン発酵が注目を集めている。しかし、小規模な下水処理場では、水処理方式としてHRTが24時間～36時間¹⁾と長いオキシデーションディッチ法が数多く採用されており、そこから発生する汚泥（OD汚泥）は分解性が低いこと、および取り扱い汚泥量自体が小さいことの2点から、メタン発酵技術が普及するに至っていない。一方で、小規模な市町村でも管内に類似施設である公共下水道や農業集落排水処理施設、し尿処理場を同時に抱えている自治体も多く、それらの自治体では汚泥の処分費や処理場の維持管理費が財政を圧迫しており、メタン発酵によって汚泥の減容化、発生メタンガスの再生可能エネルギーとしての利用による汚泥処理費の低減が切に求められている。

そこで、本研究では、小規模な下水処理場にも適したメタン発酵システムを構築することを目的とし、OD汚泥に対しメタン発酵の前処理としてマイクロ波を照射し、発酵効率を高めることを試みた。下水汚泥へのマイクロ波照射によるメタン発酵前処理に関する既存の報告では固形物濃度5%程度以下の汚泥に照射している例が多いが、本研究では実稼働を想定し、固形物濃度15%程度と比較的水分の少ないOD脱水汚泥に、低温状態を保ちながら照射することにより、ガス発生量の増加や、発生残さの低減を図り、既存システムへの導入を目指した。

2. 実験方法

(1) 実験に用いた有機性廃棄物

回分式実験には、石川県鹿島郡中能登町の鹿島中部ク

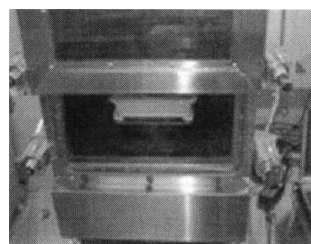


図-1 室内マイクロ波照射装置

表-1 照射条件

No.	試料名	制御温度 [°C]	処理時間 [min]	試料重量 [g]	TS [%]
1	10min-1	50	10	50.00	14.8
2	10min-2	50	10	50.00	14.6
3	10min-3	50	10	50.00	14.4
4	20min-1	50	20	50.00	15.9
5	20min-2	50	20	50.00	16.1
6	20min-3	50	20	50.00	16.2
7	30min-1	50	30	100.00	15.2
8	30min-2	50	30	100.00	15.0
9	30min-3	50	30	100.00	15.1
10	未処理	-	-	50.00	13.5

リーンセンターで発生するOD汚泥を用いた。また、連続式実験ではOD汚泥に加えて、町内の鹿西東部浄化センターで発生する集落排水汚泥、町内で発生するし尿、浄化槽汚泥、中能登町学校給食センターで発生する学校給食残さ、町内の豆腐工場から発生する油揚げ乾燥タイプ、油揚げ生タイプ（いずれも規格外廃棄品）の6種の有機性廃棄物を用いた。また、種汚泥として金沢市城北水質管理センターの中温消化汚泥を用いた。

(2) 室内マイクロ波照射装置による回分式消化実験

マイクロ波による前処理効果を確認するため、マイクロ波照射OD汚泥を用いて回分式実験を行った。マイクロ波の照射には図-1に示す照射装置（周波数2.45GHz、最大出力1500W）を用いた。照射条件を表-1に示す。照

射後の汚泥を用い、中温条件(35℃)で容積100mLのプラスチック製シリンジによる回分式実験を実施した。投入するOD汚泥は無機基質を用いて希釈を行い、TSを5%に調整した後、10mLを計量して投入した。その後、種汚泥20mLを投入して全量30mLとし、35℃の恒温室内で、約40日間150rpmで振とう培養し、ガス発生量を測定した。ブランクとして、消化汚泥のみを投入した系も準備し、ガス発生量を補正した。



図2 マイクロ波連続照射装置

(3) マイクロ波連続照射装置による回分式消化実験

石川県鹿島郡中能登町の鹿島中部クリーンセンターに設置したマイクロ波連続照射装置を用いて実験を行った。実験機(周波数2.45GHz、最大出力1,500W)の概要を図-2に示す。脱水汚泥の移送はモノポンプを用いた。処理場で発生するOD脱水汚泥に連続的にマイクロ波を照射し、照射後のOD汚泥を用いて回分式実験を実施した。照射出力と時間を変化させ、ガス発生量を測定した。照射条件および回分式消化実験条件を表-2に示す。

表-2 照射条件および回分式消化実験条件

No.	前処理条件				発酵条件		
	マイクロ波出力 [W]	処理時間 [min]	固形物濃度 [%]	照射対象量 [g]	温度 [℃]	添加量 [g-dry weight]	基質TS [g/L]
1-0	-	-	17.3	-	35	0.3	10
1-1	600	5.0	17.3	1,700	35	0.3	10
1-2	600	15.0	17.3	1,700	35	0.3	10
1-3	800	5.0	17.3	1,700	35	0.3	10
1-4	800	15.0	17.3	1,700	35	0.3	10
2-0	-	-	11.7	-	35	0.3	10
2-1	200	15.0	11.7	850	35	0.3	10
2-2	200	30.0	11.7	850	35	0.3	10
2-3	400	7.5	11.7	850	35	0.3	10
2-4	400	30.0	11.7	850	35	0.3	10

(4) マイクロ波連続照射装置による連続式消化実験

石川県鹿島郡中能登町の鹿島中部クリーンセンターに設置したマイクロ波連続照射装置により照射したOD汚泥を用いて、連続式実験を実施した。本実験は戸荻らが報告したOD汚泥と廃油揚げを主体とする7種の廃棄物系バイオマスの高濃度混合消化実験²⁾と合わせて実施した。なお、実験は実稼働を想定し、中能登町で発生する他の有機性廃棄物6種(し尿、浄化槽汚泥、接触酸化汚泥、学校給食残さ、油揚げ生タイプ、油揚げ乾燥タイプ)と混合比率を固定し、同処理場に設置した有効容積1m³の発酵槽に連続混合投入する形で実施した。基質投入および消化汚泥の引き抜きは1日2回の頻度にて実施し、中温条件(37℃)、滞留日数は25日として実験を行った。実験の概要を図-3に、実験条件を表-3に示す。

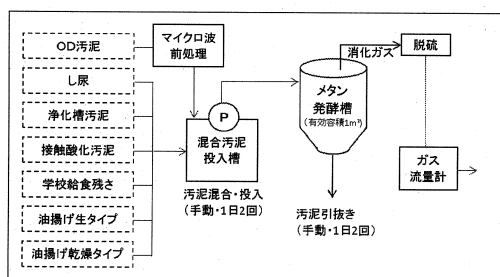


図3 連続実験の概要

表-3 連続実験条件

投入基質(滞留日数25日間) 37℃								
OD汚泥 (kg/日)	集産排水 汚泥 (kg/日)	浄化槽汚泥 (kg/日)	し尿 (kg/日)	生ごみ (kg/日)	油揚げ(生) (kg/日)	油揚げ (乾燥) (kg/日)	底物平均 固形物濃度 (%)	平均有機物 含有 (kg/m ³ ・day)
22.0	0.7	10.2	15.0	0.7	0.4	0.8	8.8	2.5

3. 実験結果

(1) 室内マイクロ波照射装置による回分式消化実験

実験結果を図-4に示す。本実験では対象汚泥の温度を50℃に制御し、10、20、30分と照射時間を変化させたが、投入固形物1gあたりのガス発生量はそれぞれ166、172、169mlとなり、大きな違いは見られなかった。これは、温度制御中は常時マイクロ波を照射し続けているわけではなく、300W以下の出力で間欠的に照射されていたことが原因と考えられる。ただし、未照射のOD汚泥に対してのガス発生量はいずれも1.68~1.74倍となっており、低温状態においてもマイクロ波照射による一定の効果が見られた結果となった。DOC(溶存有機炭素)については、

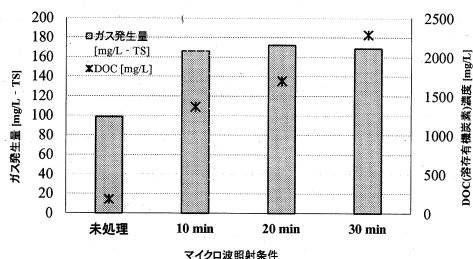


図4 平均ガス発生量とDOC濃度の結果

それぞれ1362mg/L、1692mg/L、2286mg/Lと照射時間が長くなるにつれて大きな値となったが、ガス発生量との明確な関連性は見られなかった。

(2) マイクロ波連続照射装置による回分式消化実験

実験結果を表-5に示す。投入基質TS1gあたりのガス発生量は、照射対象量を1,700gとした1系では、No.1-4において、未照射汚泥に対して最大の1.7倍となった。照射対象量を850gとした2系ではNo.2-4において最大の1.5倍となった。いずれも投入基質固形物1gあたりの投入照射エネルギー量が増加するにつれ、ガス発生量が増加する傾向であった。余剰汚泥（TS5%程度）へのマイクロ波照射回分実験ではガス発生量が41～52%増加したという報告がある³⁾が、1系ではそれを上回る結果となった。余剰汚泥へのマイクロ波照射においては、照射時の固形物濃度が高いほどガス発生量が多いとの報告もあり⁴⁾、本実験におけるマイクロ波照射時のOD汚泥の固形物濃度は17%程度と高かったことが影響したと考えられる。1系でのガス発生量増加率が2系での結果よりも大きな値となっているが、未照射のOD汚泥からのガス発生量が2系の方が大きかったため、実験に用いたOD汚泥の難分解性部分が少なかったことが理由として考えられる。

また、No.2-1とNo.2-3では投入基質固形物1gあたりの投入エネルギーをいずれも1,816J/g-TSとして、照射出力および時間を変化させたが、ガス発生量増加率はともに1.2倍と顕著な差は見られなかった。照射出力の変化によるガス発生量への影響は小さいとの報告もあり^{3) 5)}、本実験においても同様の結果となった。

(3) マイクロ波連続照射装置による連続式消化実験

実験結果を表-6に示す。マイクロ波照射汚泥を混合投入した期間における投入混合汚泥VS1gあたりのガス発生量は0.34L/g-VSとなり、マイクロ波照射汚泥を混合投入する直前の28日間の投入混合汚泥VS1gあたりのガス発生量は0.28L/g-VSに比べて21%の増加が見られた。OD汚泥以外の有機性廃棄物のガス発生量が回分実験の報告値²⁾と同等であり、OD汚泥のみでガス発生量の増加があったと仮定すると、マイクロ波照射によるOD汚泥のガス発生量は約1.5倍であったと推測できる。

4. まとめ

本研究では、石川県鹿島郡中能登町鹿島中部クリーンセンターから発生するOD脱水汚泥を用いて、マイクロ波照射によるメタン発酵前処理効果について検討を試みた。以下に得られた成果を示す。

- 1) 室内マイクロ波照射装置による回分式消化実験結果から、50℃制御下での低温マイクロ波照射においても、ガス発生量の増加が確認された。
- 2) マイクロ波連続照射装置による回分式消化実験結果から、投入エネルギー量が増加するにしたがって、ガス発生量が増加する傾向となった。

表-5 回分式実験結果

No.	照射出力 (W)	照射時間 (min)	投入エネルギー (J/g-TS)	ガス発生量 (mL/g-TS)	ガス発生量増加率
1-0	-	-	0	93	-
1-1	600	5.0	614	113	1.2
1-2	600	15.0	1,841	138	1.5
1-3	800	5.0	818	132	1.4
1-4	800	15.0	2,455	155	1.7
2-0	-	-	0	157	-
2-1	200	15.0	1,816	191	1.2
2-2	200	30.0	3,632	200	1.3
2-3	400	7.5	1,816	183	1.2
2-4	400	30.0	7,265	233	1.5

表-6 連続式実験結果まとめ

項目	マイクロ波照射なし	OD汚泥のみ マイクロ波照射
期間日数	28	49
投入基質の平均TS濃度 (%)	8.8	8.3
投入基質の平均VS濃度 (%)	7.5	7.1
平均有機物負荷 (kg/m ³ /day)	2.49	2.38
投入基質TS1gあたりのガス発生量 (mL/g-TS)	0.23	0.29
投入基質VS1gあたりのガス発生量 (mL/g-VS)	0.28	0.34
平均メタン濃度 (%)	65	64
平均VS分解率 (%)	37%	40%

- 3) マイクロ波連続照射装置による連続式消化実験結果より、他の有機性廃棄物との混合汚泥からのガス発生量の増加が見られOD汚泥からのガス発生量が増加していると推測できた。

これらの結果より、マイクロ波照射はメタン発酵の前処理として有用性が高いことが示された。

謝辞：本研究にあたり、地方自治体等の関係各位に多大なる協力をいただいております。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版（後編），2009
- 2) 戸蒔丈仁，池本良子，古婷婷，小野紘，日高平，津森ジュン，柳井敦，木野下裕茂，清水浩之：OD汚泥と廃油揚げを主体とする7種の廃棄物系バイオマスの高濃度混合消化，環境工学研究論文集，2014掲載決定
- 3) M. Kuglarz, D.Karakashev, I.Angelidaki：Microwave and thermal pretreatment as methods for increasing the biogas potential of secondary sludge from municipal wastewater treatment plants, Bioresource Technology 134, 290-297, 2013
- 4) B.Tnag, L.Yu, S.Huang, J.Luo, Y.Zhuo：Energy efficiency of pre-treating excess sewage sludge with microwave irradiation, Bioresource Technology 101, 5092-5097, 2010
- 5) K.Sólyom, R.B.Mato, S.I.Pérez-Elvía, M.J.Cocero：The influence of the energy absorbed from microwave pretreatment on biogas production from secondary wastewater sludge, Bioresource Technology 102, 10849-10854, 2011