

N-7 低出力マイクロ波前処理による脱水汚泥のメタン発酵促進

○高嶋 健伍¹・戸茱 丈仁¹・池本 良子^{2*}

¹金沢大学大学院自然科学研究科（〒920-1192 金沢市角間町）

²金沢大学理工学域環境デザイン学系（〒920-1192 金沢市角間町）

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

1. はじめに

近年、下水道の普及に伴い、産業廃棄物に占める下水汚泥の割合が増加している。下水汚泥のマテリアル利用は増加してきているとはいえ、汚泥中のバイオマスのうち76%が未利用の状態であり、これをいかに活用するかが今後の課題とされている。下水汚泥のメタン発酵は汚泥中の有機物をバイオガスに転換可能な優れた方法であり、多くの処理場で採用されているが、小規模下水処理場で多く採用されているオキシデーションディッチ法で発生する汚泥（OD汚泥）は、微生物分解性が悪く、発生活泥量が少ないことから、メタンガス回収技術が普及するに至っていない。

本研究室では、OD汚泥を運搬のために脱水した後、複数の処理場から集約して嫌気性消化を行うことを想定し、低出力マイクロ波照射を前処理に用いることを検討してきた。室内実験により前処理によるメタンガス発生量を比較した結果、低出力で長時間マイクロ波照射をした場合、未処理に比べメタン生成量が約1.5倍に増加することを報告した。また、下水処理場に連続照射試験機を設置し、その効果を調べた結果、ガス発生量が1.7倍に増加することを明らかにするとともに、照射汚泥をバイオマス混合消化実証試験機に投入し、ガス発生量が増加することを確認した¹⁾。しかし、マイクロ波前処理によるガス発生量増加機構は、いまだ明らかとなっていない。さらに、実証試験機では、OD汚泥のほか廃棄物系バイオマスの混合消化を行っていたため、マイクロ波照射による直接的な効果を定量的に示すことが困難であった。

そこで本研究では、様々な条件でのマイクロ波照射実験を行うことにより、ガス発生量増加機構について検討するとともに、前処理汚泥を用いた連続消化実験を行うことにより、マイクロ波前処理のメタン発酵促進効果を明らかにした。

2. 実験方法

(1) マイクロ波照射および加温実験

実験にはオキシデーションディッチ（OD）法を採用している、石川県中能登町鹿島中部クリーンセンターから採取した脱水OD汚泥を用いた。マイクロ波照射実験には、実験室内に設置したマイクロ波照射装置（μ Reactor Ex，四国計測工業）を用いた。加温には、定温恒温乾燥器（NDO-420，東京理科器械）を用いた。脱水OD汚泥50gを、プラスチック製のシャーレに等厚になるように広げ、ゆるくラップで覆った後、種々の条件でマイクロ波照射もしくは加温を行った。照射後の汚泥は、含水率を測定した後TSを3%に調整し、0.2μmろ液について溶存態有機炭素（DOC）濃度、溶存態窒素（DTN）濃度および揮発性脂肪酸（VFA）濃度を測定した。

別に、容量100mLのシリンジに、金沢市城北水質管理センターから採取した中温消化汚泥を全量30mLと前処理した汚泥3.84g（TS換算0.5g）を投入し、35℃の恒温室内で嫌気条件にて25日間振とう培養することにより、ガス発生量を求めた。同時に、処理前の汚泥についても同様の方法で、DOC、DTN、VFAとガス発生量を求めた。

(2) 室内連続メタン発酵試験

35℃の恒温室内に有効容積3Lの発酵槽を2系列設置し、投入汚泥濃度7%、SRT25日の条件で、連続消化実験を行った。Run 1には、前処理をしていないOD汚泥を、Run 2には、マイクロ波照射を行ったOD汚泥を基質として用い、平日1日1回の余剰汚泥の引き抜きと基質の投入を行った。マイクロ波は、(1)と同様の照射装置を用いて、500mLのガラスビーカーも底部に1.5cmに広げた汚泥約90gに対し、最大出力100W、温度80℃の条件で、60分間照射した（期間Ⅰ（0-125日目））。期間Ⅱ（125日以降）では、ビーカーをゆるくラップでおおって照射する条件に変更した。装置から発生したバイオガスはガスバックにより捕集し、湿式ガスメーターを用いて発生量を

Table.1 前処理条件および実験結果

前処理条件						実験結果					
CASE	前処理方法	出力(W)	制御温度(°C)	照射時間(min)	投入エネルギー(kJ/g-TS)	DOC濃度(mg/L)	VFA濃度(mgC/L)			DTN濃度(mg/L)	ガス発生量(mL/g-TS)
							ACE	PRO	Other		
1	マイクロ波	300	60	10	3.1	341	40	14	287	211	126
2				20	4.2	128	33	0	95	102	121
3				60	10.7	580	35	0	545	246	129
4			80	10	3.7	135	49	18	69	291	132
5				20	6.1	1229	64	15	1150	455	137
6				60	12.4	574	48	0	526	497	142
7			95	10	4.6	314	39	0	275	360	138
8				20	8.4	1055	27	0	1027	569	160
9				60	14.7	1036	21	0	1015	579	147
10	加温	-	60	60	-	106	40	25	41	237	120
11			80		-	840	55	0	786	547	134
12			95		-	736	9	0	727	571	148
13	未処理	-	-	-	-	49	0	0	49	71	112

計測するとともに、ガスクロマトグラフによりガス組成を分析した。週に1回、引抜いた消化汚泥のTS、VS濃度を測定するとともに、0.2μmろ液について、DOC、DTN（TOC/TN計）、VFA（イオンクロマトグラフ有機酸分析システム）およびタンパク質濃度（Lowry法変法²⁾）の測定を行った。

別に、本条件での照射汚泥のバイオガス発生量の増加量を調べるために(1)と同様な条件で回分実験を行い、ガス発生ポテンシャルを求めた。

3. 実験結果と考察

(1) マイクロ波照射条件とガス発生量

Table.1に前処理条件と処理後のDOC濃度、DTN濃度、バイオガス発生量を示す。いずれの条件でも、溶存態有機物濃度とバイオガス発生量は、前処理を行わないものと比較して増加した。マイクロ波照射時間が長いとガス発生量が増加する傾向がやや認められたが、大きな差はなかった。バイオガス発生量が最も多かったのはCASE8（95°C、20分）であり、未処理の約1.4倍であった。

Fig.1は、マイクロ波処理と加温処理の効果を比較したものである。両前処理ともに、温度が高いとガス発生量、

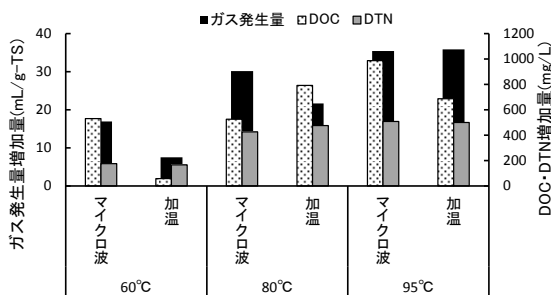


Fig.1 マイクロ波処理と加温処理の効果の比較

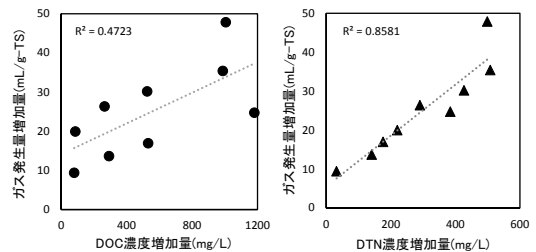


Fig.2 マイクロ波による DOC、DTN、ガス増加量の関係

溶存態有機物、溶存態窒素濃度が増加する傾向が認められた。制御温度95°Cでは、ガス発生量はマイクロ波照射と加温にほとんど差が認められないのに対し、60°Cおよび80°Cでは、マイクロ波照射のガス発生量の方がやや高い傾向が認められた。すなわち、マイクロ波照射には、加温以外の何らかの効果があることが期待される。

Fig.2に前処理によるDOC濃度およびDTN濃度とバイオガス発生量の増加量の関係を示す。溶存態窒素の増加量の方がガス発生量の増加量と高い相関性が認められたことから、マイクロ波照射により汚泥中の微生物の可溶化が促進されたことにより、ガス発生量が増加したものと考えられる。連続照射装置では、1700gの汚泥に対して1000W5分の照射条件で、ガス発生量が1.7倍になるという結果が得られており、その際の出口温度は80°C程度であった。本実験でのガス発生量増加が、それと比較すると非常に低かったのは、本実験条件では、照射装置がオープン型であり、ガス発生量照射出力に対して汚泥量が少なく、温度を低く保つために100W程度の出力で完結的な照射が行われていたためと考えられる。

(2) 室内連続メタン発酵試験

Fig.3に室内連続メタン発酵試験における累積メタンガス発生量、TS、VS、pH、DOC、DTNの日時変化を示す。

Run 1, 2ともに安定したメタン発酵が進行した。前処理した汚泥を投入したRun 2では、Run 1と比較してガス発生量が多く、期間Ⅰと期間Ⅱでバイオガス発生量に大きな違いはなかった。TSおよびVSは、Run2よりもRun1のほうが高く、Run2の方が汚泥の分解が進んでいることがわかる。一方、脱離液中のDOCはRun 2の方が高い傾向が認められた。前処理によって溶出した有機分が消化しきれずに残存した可能性がある。脱離液中のDTNは、Run 2の方が高く、たんぱく質の分解が進んでいることが示唆されるが、メタン発酵が阻害される濃度にはは到達していなかった。

Fig4は連続試験での溶存態タンパク質濃度の変化を示している。マイクロ波前処理によりタンパク質が未処理の約10倍になるが、メタン発酵9割が分解されており、脱離液中のたんぱく質濃度は、Run 1と同程度であった。

Table2 は、メタンガス収率とVS分解率についてまとめたものである。マイクロ波前処理によってメタンガス収率が1.3倍、分解率が1.6倍になった。同様の照射条件で前処理した汚泥のメタンガス発生ポテンシャルを求めたところ、0.11 (NL) であり、連続処理により、前処理の効果が高まることが期待される。しかし、本照射条件での効果が低いために、より、効果の高い方法を検討し、連続試験を行う必要がある。

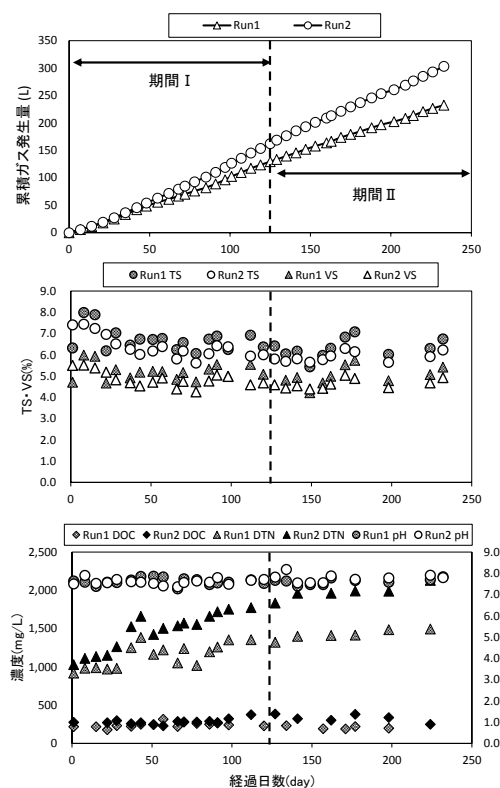


Fig3 室内連続メタン発酵試験結果の日時変化

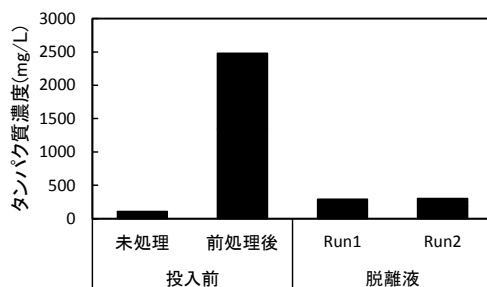


Fig4 溶存態タンパク質濃度測定結果

Table2 発生ガス分析結果

	Run 1	Run 2
CH ₄ 発生量(NL/day)	1.00	1.30
CH ₄ 発生量(NL/g-VS)	0.09	0.12
CH ₄ 濃度(%)	64.5	64.2
VS分解率(%)	12	19

4. 結論

脱水OD汚泥を用いてマイクロ波照射処理実験を行うとともに、照射汚泥を用いて連続メタン発酵試験を行った結果、以下のことがわかった。

- (1) 制御温度が低い場合には、マイクロ波照射によるDOC、DTNおよびガス発生量増加効果は、加温処理よりも高かったことから、加温以外にマイクロ波そのものによる効果があると推定された。
- (2) 前処理による溶存態タンパク質の増加とガス発生量の増加に関連性が認められたことから、汚泥中のタンパク質の溶出が促進されることが、ガス発生量の増加につながると推定された。
- (3) 連続消化実験を行った結果、マイクロ波前処理により、メタンガス収率と汚泥分解率が明らかに増加した。メタンガス収率は、回分実験で得られたガス発生ポテンシャルよりも高く、連続消化による分解率向上が示唆された。
- (4) マイクロ波前処理により溶存態タンパク質が約10倍に増加したが、メタン発酵によりほぼ除去された。

参考文献

- 1) 小野紘, 池本良子, 戸菊丈仁, 古婷婷, 田中孝二郎, 本多了: 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, 第51回環境工学研究フォーラム講演集, pp.15-17, 2014
- 2) B. Frlund, R. Palmgren, K. Keiding, P.H. Nielsen "Extraction of extracellular polymers from activated sludge using a cation exchange resin" Water Res., 30, pp. 1749-1758, 1996