

B-13 水熱反応処理の利用による厨芥のメタン発酵処理の高速化

大阪工業大学大学院工学研究科 ○宮西弘樹 岩本雅至
大阪工業大学工学部 石川宗孝 笠原伸介

1.はじめに...厨芥に代表される食品廃棄物の減量化、再資源化処理技術としてメタン発酵処理が注目されている。しかし、メタン発酵処理は、長い滞留時間が必要であり、施設が大きくなることが、問題点の一つとして挙げられる。そこで、著者らは、滞留時間の短縮を目的とした水熱反応を前処理として利用する高速メタン発酵処理システムの開発を行っている。本研究は、水熱処理条件が分解速度に及ぼす影響を検討するため、粉碎処理および水熱処理（処理温度 120～200℃、処理時間 60 min）した厨芥を用いた回分実験を行った。また、水熱反応処理の利用によるメタン発酵処理の滞留時間の短縮効果を検討するため、粉碎処理した厨芥と水熱処理（処理温度 160℃、処理時間 60min）した厨芥を基質として、HRT20～3.5 日の条件で半連続実験を行い、各 HRT における処理性を把握した。

2.実験方法および実験条件...表 1 に、回分実験の実験条件を示す。実験は、バイアル瓶（有効容積 200 ml）を用い、バイアル内を窒素ガスで置換後、種汚泥を 5000mg-VSS/L、基質を 1000mg/L となるように注入し、発酵温度 36℃、振とう回数 100 rpm の条件で行った。模擬厨芥¹⁾には、粉碎処理（10000rpm, 40 sec）したものを用いた。水熱処理は、オートクレーブ（耐圧硝子工業（株）社製 TEM-V1000N 型、有効容積 1 L）を用い、充填率 45 %、撹拌 500 rpm の条件で行った。処理圧力は、飽和蒸気圧のみであり、実測値を示す。種汚泥は、模擬厨芥と処理温度 160℃、処理時間 60 min で処理した厨芥により HRT20 日、発酵温度 35℃により約 2 ヶ月間馴致を行ったものをそれぞれ使用した。表 2 に、半連続実験の実験条件を示す。実験は、粉碎処理した模擬厨芥および水熱処理（160℃、60min）した模擬厨芥を用い、それぞれ対照系、水熱系とした。微量栄養塩類の不足を補うため、Fe、Ni、Co の塩化物が基質に対してそれぞれ 100、10、10 mg/L となるように添加した。槽内温度は、恒温機により 36℃とし、撹拌条件は、機械撹拌により 100 rpm とした。槽内 pH は、pH7.0 以下となった場合、重炭酸ナトリウムにより pH7.0 以上を維持した。基質の投入は、1 日 3～4 回行い、投入の 24 時間後に処理水を引き抜きした。処理水は、遠心分離（3000 rpm, 1 min）した汚泥の上澄み液とし、HRT と SRT を分離制御し、HRT に関係なく SRT を 30 日とした。VFA が一定と

表 1 回分実験の実験条件

実験	基質	水熱処理条件	基質濃度 (mg-C/L)	DOC/TOC (-)
		処理温度、処理時間、処理圧力		
1	模擬厨芥	未処理(粉碎処理のみ)	1000	0.35
2	水熱処理 厨芥	120℃, 60 min, 0.2 MPa		0.52
3		160℃, 60 min, 1.0 MPa		0.60
4		200℃, 60 min, 1.6 MPa		0.63

表 2 半連続実験の実験条件

HRT (day)	対照系			水熱系 (160℃, 60min)			
	20	10	5	20	10	5	3.5
TOC 容積負荷 (kg-C・m ⁻³ ・day)	2.7	5.5	11.0	2.6	5.3	10.6	15.1
DOC 容積負荷 (kg-C・m ⁻³ ・day)	1.8	3.5	7.1	1.1	2.3	4.6	6.6
pH (-)	6.7			5.6			
TS (g/L)	120.3			114.6			
SS (g/L)	79.2			46.8			
TOC (g-C/L)	54.8			51.8			
POC (g-C/L)	35.4			21.0			
T-N (g/L)	7.3			7.1			

なった際に定常状態として、約 20 日間の分析を行い、その平均を各 HRT の測定結果とした。

3.結果および考察

3.1 分解速度に及ぼす水熱処理の影響...図 1 に、TOC の経時変化を、図 2 に、TOC 分解速度と水熱処理条件の関係を示す。経過時間 12 hr に注目すると、未処理と比較して 120, 160 °C は大きく低下しており、経過時間 12 hr までの TOC 分解速度は、未処理と比較して 120~200 °C がそれぞれ 1.6, 1.8, 1.1 倍程度であった。このことから、120, 160 °C については、分解速度が向上することが確認され、滞留時間の短縮が可能であることが示唆された。しかし、200 °C は、未処理とほぼ同様の結果となり、向上効果は確認されなかった。また、経過時間 96 hr に注目すると、未処理および 120, 160 °C は、2600 mg-C/L まで低下しており、基質がほぼ分解されたのに対して、200 °C は、2750 mg-C/L までしか低下せず、基質が残存することが確認された。熱処理した汚泥を基質とした場合、175 °C 付近が最適な処理温度であり、それ以上の温度では嫌気性細菌に対して阻害を起こす難分解性物質が生成されると報告²⁾されており、本実験でも、200 °C において難分解性成分が生成されたため、DOC/TOC が 0.63 と最も高く、加水分解が最も進んだ条件であるにも関わらず、分解速度が向上しなかったと考えられる。これら結果より、可溶化が進む条件が適切な水熱処理条件でないことが示唆され、半連続実験では、TOC 分解速度が最大であった 160 °C, 60 min の条件を用いた。

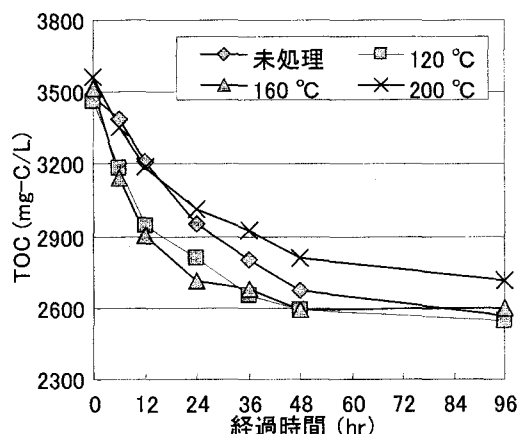


図 1 TOC の経時変化

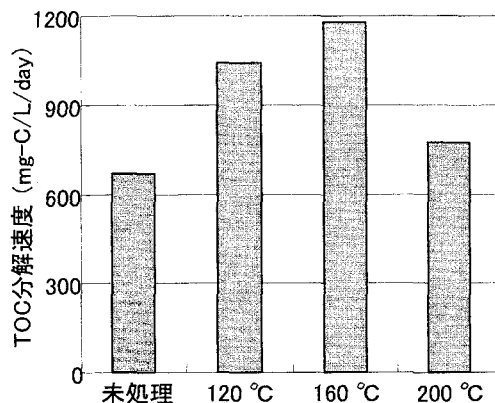


図 2 TOC 分解速度と水熱処理条件の関係

表 3 各 HRT の定常状態における各管理指標

項目	対照系		水熱系		
	20	10	20	10	5
HRT (day)	20	10	20	10	5
ガス発生量 (NL/day)	7.8	13.1	8.1	15.6	29.6
メタンガス濃度 (%)	57	58	57	59	57
pH (-)	7.6	7.4	7.5	7.3	7.3
VFA (g-C/L)	0.15	1.58	0.12	0.74	1.10
NH ₄ ⁺ -N (g/L)	0.93	2.17	0.93	1.48	1.79

3.2 水熱処理の各 HRT の処理性に及ぼす影響...ここでは、メタン発酵処理での HRT を 20~3.5 日と段階的に短縮し、嫌気性細菌の馴致を行いつつ、各 HRT における処理性を検討した。表 3 に、各 HRT の定常状態における各管理指標の平均値を示す。対照系に注目すると、ガス発生量は、HRT10 日までは、段階的に増加し、メタンガス濃度は HRT に関係なく 56~57% 程度であった。pH は 7.5 以上で安定しており、VFA は、メタン発酵に阻害を及ぼす濃度 (4000 mg-C/L)³⁾ 以下であった。NH₄⁺-N についても、阻害濃度 (4000~5000 mg/L)⁴⁾ 以下であった。しかし、HRT を 5 日まで短縮した場合、VFA は定常とならず高濃度に蓄積し、ガス発生量が著しく低下した。このことから、対照系では、HRT5 日での処理は困難と判断し運転を終了した。運転終了時のガス発生量は、8.1 NL/day であり、pH, VFA, NH₄⁺-N は、それぞれ 7.1, 5.6 g-C/L, 2.14 g/L となり、VFA の阻害により運転が困難となったと考えられる。一方、水熱系に注目すると、HRT5 日までは、ガス発生量は段階的に増加し、メタンガス濃度

は HRT に関係なく 57~58 %程度であった。pH は 7.3 以上で安定しており、VFA、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ともに阻害濃度以下であった。しかし、HRT を 3.5 日まで短縮した場合、VFA は定常状態とならず、ガス発生量が著しく低下した。このことから、水熱系では、HRT3.5 日での処理は困難と判断し、運転を終了した。運転終了時のガス発生量は、10.2 NL/day であり、pH、VFA、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は、それぞれ 7.0、6.4 g-C/L、2.01 g/L となり、対照系と同様に VFA の阻害により運転が困難となったと考えられる。これら結果より、安定した運転を行える HRT は、対照系、水熱系においてそれぞれ 10、5 日となり、水熱処理の利用により、HRT を対照系の半分まで短縮できることが確認された。

図 3 に、定常状態での各 HRT の SS、POC、TOC の各分解率と HRT の関係を示す。HRT20 日に注目すると、SS、POC、TOC 分解率は、対照系において、それぞれ 66、69、71%であったのに対し、水熱系は、それぞれ 74、79、76 %となり、水熱系が SS および POC 分解率は 10 %程度、TOC 分解率は 5%程度高い結果となり、TOC 分解率において、水熱反応処理の利用による大幅な分解率が向上は確認されなかった。このことから、十分な HRT を確保できる場合、水熱処理が必要ないと考えられる。一方、HRT を 10 日に

短縮した場合、対照系は、各分解率がそれぞれ 55、58、59 %程度まで低下したのに対して、水熱系は、それぞれ 71、75、78 %となり、HRT20 日とほぼ同様の分解率での処理が可能であった。また、水熱系は、対照系において運転が困難であった HRT5 日においても各分解率がやや低下する程度であり、3.1 の結果に示されたように水熱処理により、厨芥の分解速度が向上したことにより、短い滞留時間でも高い分解率を維持できたと考えられる。これら結果より、各分解率を低下せずに、処理を行うのに必要な滞留時間は、対照系および水熱系において、それぞれ 20、5 日となり、水熱反応処理を利用することにより、HRT を 5 日まで短縮しても高い分解率を維持できることが確認された。

4.まとめ...本研究は、水熱反応処理を利用した厨芥の高速メタン発酵システムを提案し、水熱反応処理を利用したメタン発酵処理の処理性の把握を行った。以下に、得られた知見を示す。

1) TOC 分解速度は、粉碎処理のみと比較して処理温度 120、160 °Cにおいて 1.6、1.8 倍となり、水熱処理により分解速度が向上することが確認された。しかし、200 °Cでは、TOC 分解速度は、粉碎処理とほぼ同様であり、また、基質が分解されずに残存することが確認され、難分解性物質の生成が示唆された。

2) 未処理の厨芥および水熱反応処理 (160 °C、60min) した厨芥を HRT20~3.5 日の条件で半連続実験を行った結果、各分解率を低下することなく処理を行うのに必要な HRT は、粉碎処理、水熱処理においてそれぞれ 20、5 日であり、水熱処理の利用により滞留時間を短縮できることが明らかとなり、本システムの有効性が確認された。

参考文献...1) 竹崎義則 他：厨芥由来固形物の生物学的可溶化に関する性能評価、日本水処理生物学会誌、第 37 巻、第 4 号、pp.173-181 (2001)、2) 高島正信 他：下水汚泥の嫌気性消化における物理化学併用プロセス形態の実験的検討、環境工学研究論文集、第 40 巻、pp.303-320 (2003)、3) Hajarnis, S. R: Revival of *Methanobacterium formicicum* after its inhibition by high concentrations of ammonia., *Lett Appl Microbiol*, Vol.18, No.5, Page254-256 (1994)、4) 片岡直明 他：生ごみの中温及び高温メタン発酵における生ごみ組成の影響と動力学的解析、用水を廃水、第 43 巻、第 3 号、pp.12-19 (2001)

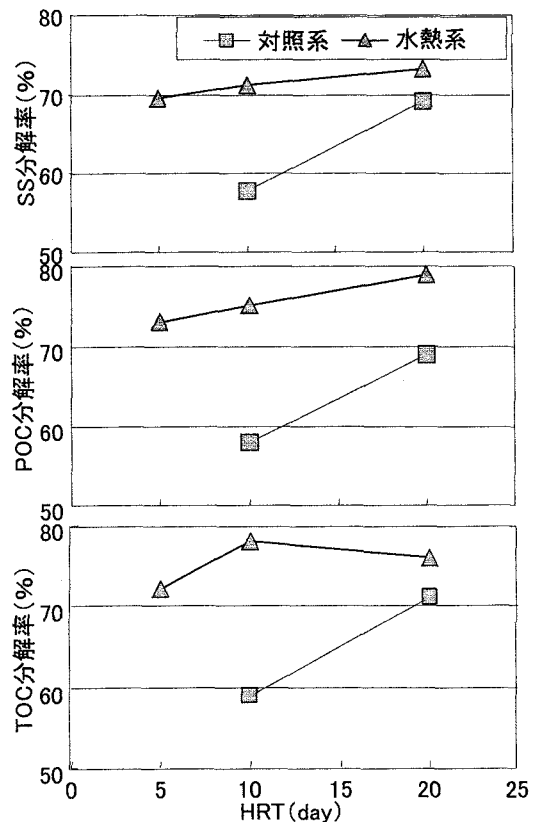


図 4 定常状態での各 HRT の SS、POC、TOC 分解率