

機械選別を適用した可燃ごみのメタン発酵技術の開発

資源エネルギー循環研究室 15331286 伊藤圭汰
指導教員 小松俊哉 姫野修司

1. 研究背景

バイオマス活用推進基本計画が平成 28 年 9 月に変更され、廃棄系バイオマスである食品廃棄物は現在の利用率 24%から 2025 年の目標値として利用率 40%が掲げられた¹⁾。上記から食品廃棄物の再利用が求められている。食品廃棄物の多くは一般家庭から排出される厨芥類が占めるが、収集コストの面より厨芥類の分別収集は進んでおらず、多くが可燃ごみとして混合収集された後、直接焼却されている。また、厨芥類は含水率が高いためごみの燃焼効率を低下させる要因となる。

このような背景より機械的処理と生物的処理を組み合わせる既存の収集システムを変えず廃棄物のエネルギー化・減用化を行う技術である MBT(メカニカル・バイオリジカル・トリートメント)技術が注目を集めている。本研究では、発酵適物のメタン発酵により、焼却量の削減、バイオガス発電によるエネルギー回収が可能と考え、メタン発酵実験とシステム評価を実施した。

2. 研究目的

発酵適物の減容化、エネルギー回収の観点から嫌気性消化法に着目した。本研究では、発酵適物の前処理方法、混合比、消化特性の把握を主な目的とした。また、発酵適物単独消化に関しては負荷の影響及び微量金属の添加量の把握とシステム評価を目的とした。本報告では、発酵適物単独の学内連続実験に焦点を置く。

3. 研究概要

発酵適物単独の学内連続実験を行うことにより消化特性への影響を把握した。

■発酵適物単独系(以下、単独系)は微量金属無添加では A 市、B 町の発酵適物共に酸敗が発生した。発酵適物単独系の運転を行うためには微量金属(Ni、Co)の添加が必要だといえる。

■学内連続実験において単独系における Ni、Co 添加量は 365mg/kg-TS では安定した運転が確認され、TS10%の条件では VS あたりのガス発生量は 636NmL/g-VS 以上を示した。

■学内連続実験において B 町の発酵適物のみの実験であったが Fe を同時に添加することで Ni、Co 添加量 16.3mg/kg-TS においても 2 滞留の間安定した運転が確認された。本報告では B 町由来の発酵適物を用いた連続実験結果を示す。

4. 実験条件と実験結果

4.1. 連続実験方法と連続実験条件

実験条件を表 1、表 2 に示す。投入及び引抜は 2 日毎、消化温度は 37°C、液量は 400mL で行った。条件 I は 3 系列とし、発酵適物単独、A 市条件で安定した運転が確認された Ni、Co 添加に加え、Ni、Co 以外で重要な Fe を添加した系列を設け HRT30 日で運転を行った。微量金属の添加量は Ni、Co は A 市条件と同じく 65mg/kg-TS、Fe は 250mg/kg-TS とした。条件 II は 3 系列とし HRT を 20 日に短縮した。Ni、Co65mg/kg-TS 添加に加え、Fe を 250mg/kg-TS 添加し、Ni、Co の添加量を 32.5、16.3mg/kg-TS に減らし、高負荷条件において Fe 添加によって少ない Ni、Co 添加で運転が行えるか検討した。

表 1 【条件 I】連続実験の運転条件

項目	単位	実験条件		
		無添加	Fe添加	Ni,Co添加
投入TS濃度	%	10.0		
投入VS濃度	%	6.88		
基質の投入量	g/2日	26.7		
HRT (滞留日数)	日	30		
VS負荷	kg-VS/m ³ ・日	2.29		
Ni、Co添加量	mg/kg-TS	-	-	65
Fe添加量	mg/kg-TS	-	250	-

表 2 【条件 II】連続実験の運転条件

項目	単位	実験条件			
		Ni,Co65	Ni,Co32.5 Fe250	Ni,Co16.3 Fe250	
投入TS濃度	%	10.0			
投入VS濃度	%	6.91			
基質の投入量	g/2日	40.0			
HRT (滞留日数)	日	20			
VS負荷	kg-VS/m ³ ・日	3.45			
Ni、Co添加量	mg/kg-TS	65	32.5	16.3	
Fe添加量	mg/kg-TS	-	250	250	

4.2. 連続実験結果

図 1、図 2 にバイオガスの発生量推移を示す。

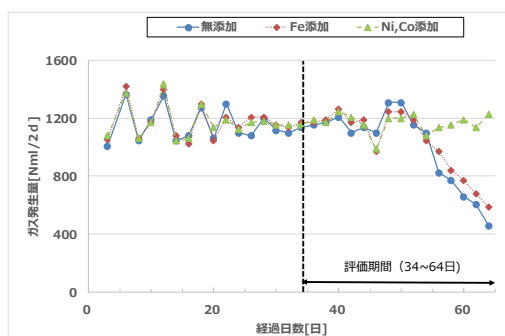


図 1 【条件 I】各系列のバイオガス発生量の推移

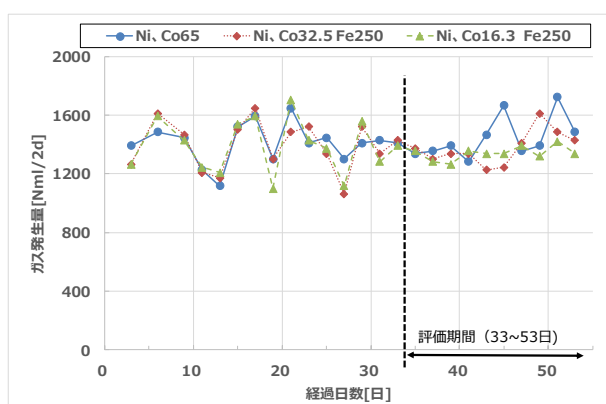


図 2 【条件 II】各系列のバイオガス発生量の推移

条件 I は、Ni、Co を添加した系列は安定したバイオガス発生を示したが、無添加、Fe 添加系列は約 50 日以降バイオガス発生量が低下した。条件 II は、Ni、Co65mg/kg-TS 添加した系列が最もバイオガス発生量が多いが、すべての系列で 2 滞留以上(53 日)の間バイオガス発生量の低下は発生しなかった。

表 3、表 4 に消化特性を示す。

表 3 条件 I 消化特性

項目	単位	結果	
		B町結果 Ni,Co添加	A市結果 Ni,Co添加
pH	-	7.51	8.05
消化汚泥TS	%	4.68	4.13
消化汚泥VS	%	2.86	2.51
TS分解率	%	53.2	58.7
VS分解率	%	71.4	74.9
溶解性COD	g-COD/L	1.61	1.26
アンモニア性窒素	g-N/L	0.57	0.63
消化ガス発生量	NmL/2日	1167	1418
メタン含有率	%	57.1	60.6
VSあたりのガス発生量	NmL/g-VS	636	664
VSあたりのメタンガス発生量	NmL-CH ₄ /g-VS	363	402
ガス発生倍率	Nm ³ /t-投入発酵適物	43.8	50.5

表 4 条件Ⅱ消化特性

項目	単位	系列		
		Ni, Co65	Fe250 Ni,Co32.5	Fe250 Ni,Co16.3
pH	-	7.38	7.32	7.32
消化汚泥TS	%	5.07	5.29	5.31
消化汚泥VS	%	2.68	2.81	2.86
TS分解率	%	49.3	47.1	46.9
VS分解率	%	61.2	59.4	58.6
溶解性COD	g-COD/L	2.34	2.15	2.37
アンモニア性窒素	g-N/L	0.67	0.52	0.68
バイオガス発生量	NmL/2日	1443	1381	1345
メタン含有率	%	52.1	51.4	51.2
投入VSあたりのガス発生量	NmL/g-VS	522	500	487
投入VSあたりのメタンガス発生量	NmL-CH ₄ /g-VS	272	257	249
ガス発生倍率	Nm ³ /t-投入発酵適物	35.9	34.4	33.8

表 3 に消化特性として Ni、Co 添加系列の 34～64 日の平均値、同条件で運転した A 市結果を示した。TS、VS 分解率は A 市結果の方が高く、分解性は A 市発酵適物が良いと考えられる。投入 VS あたりのガス発生量は Ni、Co 添加系列は 636NmL/g-VS であり、A 市発酵適物よりは低かったが、十分に高い値であった。Ni、Co 65mg/kg-TS 添加系列においては、A 市結果と同様に発酵が不安定になる pH の低下、消化汚泥の TS、VS の増加、溶解性 COD やアンモニア性窒素の増加、メタン含有率の低下が見られず、良好な結果が得られた。

表 4 に消化特性として条件Ⅱは 33～53 日の平均値を示した。TS、VS 分解率、バイオガス発生量は Ni、Co の添加が多い系列ほど高かったが、大差はなかった。VS 負荷量の増加によって VS 当たりのガス発生量は低下したが、ガス発生量自体は増加し、また Fe 添加により Ni、Co の添加を減らすことができた。

4.3 重金属の測定結果

消化後の消化汚泥の有効利用用途として、建材や肥料が挙げられる。肥料への利用には肥料取締法の基準を満たす必要があり、対象物質に Ni が含まれている。Ni の添加量によっては基準を超過する恐れがあるため、発酵適物の微量金属含有量の分析を行った。表 5 に肥料取締法の対象物質を示す。

表 5 肥料取締法対象物質

項目	名称	規制値(mg/kg-TS)
As	ヒ素	50.0
Cd	カドミウム	5.00
Hg	水銀	2.00
Ni	ニッケル	300
Cr	クロム	500
Pb	鉛	100

表 6 に発酵適物の微量金属含有量を固形物換算した値を示す。学内設備では特別な前処理の必要がある As、Hg は測定ができないため、新潟県環境衛生中央研究所に分析を委託した。

表 6 発酵適物中の重金属含有量

項目	含有量(mg/kg-TS)			
	発酵適物(A市)	発酵適物(A市)委託	発酵適物(B町)	発酵適物(B町)委託
As	-	1.12	-	1.22
Cd	0.94	0.97	0.64	0.24 0.24
Hg	-	0.04	-	<0.01
Ni	19.9	14.3	14.1	15.3 16.7
Cr	18.6	18.4	15.3	21.4
Pb	4.60	6.94	12.1	3.44
Co	3.30	1.33	2.57	2.38 2.43
Fe	-	3780	7030	7940

分析結果より、学内分析と委託分析の結果において、B町発酵適物のPbの結果以外は大きな差は見られず、学内分析結果も概ね正しいと考えられる。再度委託したCd、Ni、Coは2回とも同等の値であった。FeはB町が多く、その他の物質は大きな差は見られなかった。また、発酵適物の微量金属含有量は規制値を十分に下回っていた。

5.システム評価

5.1.可燃ごみの機械選別

得られた実験データを基に、実規模に適用した場合のシステム評価を行った。表7に両自治体の人口、ごみ排出量^{2, 3, 4)}、表8に可燃ごみを100kgとした場合のA市、B町の破碎選別による回収物の重量、TSの一例を示す。

表 7 A市、B町の人口、可燃ごみ処理量

項目	単位	A市	B町
収集区域人口	人	803,025	5057
年間可燃ごみ排出量	t/年	304,674	1,599
一人当たりごみ排出量	g/日	1,037	866.3

表 8 可燃ごみの機械選別後の重量、TS

A市結果	可燃ごみ	ロールスクリーンによる粒度選別			→	セパレーションセイザーによる破碎選別(目幅通過物+中間物)			焼却削減率
		目幅通過物	中間物	大型物		発酵適物	燃烧適物	燃烧物 (大型物+燃烧適物)	
全体重量 (kg)	100	43.5	29.5	27.0	21.5kg 加水	53.4	41.1	68.1	31.9
水分(kg)	53.7	28.1	10.7	10.3		39.1	21.2	31.5	
TS(%)	46.3	35.4	63.7	61.9		26.8	48.4	53.7	
B町結果	可燃ごみ	ロールスクリーンによる粒度選別			→	セパレーションセイザーによる破碎選別(目幅通過物のみ)			焼却削減率
		目幅通過物	中間物	大型物		発酵適物	燃烧適物	燃烧物 (中間物+大型物+燃烧適物)	
全体重量 (kg)	100	76.5	12.7	10.8	2.1kg 加水	48.4	30.2	53.7	46.3
水分(kg)	60.1	49.1	6.7	4.3		36.0	15.2	26.2	
TS(%)	39.9	35.8	47.2	60.2		25.6	49.7	48.7	

A市条件はロールスクリーンによって目幅通過物が43.5kg、中間物が29.5kg得られた。この合計73kgをセパレーションセイザーに通し、破碎選別を行った。セパレーションセイザーの負荷の増加に従って加水を行っており、計21.5kg加水した。破碎選別によって発酵適物が53.4kg、燃焼適物が41.1kg得られた。燃焼適物と大型物の合計重量は68.1kgであり、機械選別の導入により焼却量を31.9%削減可能な試算結果となった。

B町条件においては、目幅通過物が76.5kgを占めた。目幅通過物をセパ同様にレーションセイザーに通し、破碎選別を行った。また、条件1と同様に2.1kgの加水にとどめている。破碎選別によって発酵適物が48.4kg、燃焼適物が30.2kg得られた。燃焼適物と中間物、大型物の合計重量は53.7kgであり、機械選別の導入により焼却量を46.3%削減可能な試算結果となった。

また、発酵適物に含水率の高い厨芥類が選別されたため燃焼物のTSは可燃ごみより上昇し、燃焼効率の上昇が期待できる。

5.2. 試算結果

表9に事業性評価で用いた連続実験結果、選別結果を示す。

表9 事業性評価に用いた連続実験結果等

項目	単位	A市結果	B町結果
人口	人	803025	5057
ごみ収集量	t/年	304673	1599
ごみ収集量	t/日	834.7	4.38
一人当たりのごみ排出量	g/日	1037	866
ごみ100kg当たりの発酵適物TS量	kg-TS	14.3	17.9
ごみ100kg当たりの発酵適物VS量	kg-VS	11.4	12.3
メタン含有率	%	60.3	57.1
投入VSあたりのガス発生量	NmL/g-VS	692	636
VSあたりのメタンガス発生量	NmL-CH ₄ /g-VS	417	363
発酵適物TS	%	26.8	37.3
ごみ100kg当たりの発酵適物TS量	kg-TS	14.3	16.9
ごみ100kg当たりの発酵適物VS量	kg-VS	11.4	11.7
消化槽容量	m ³	29496	230
ごみ100kg当たりのガス量	Nm ³ /0.1t-ごみ	7.89	7.43
ガス発生倍率	Nm ³ /t-ごみ	78.9	74.3
TS分解率	%	56.9	53.2
ごみ100kg当たりの消化汚泥TS量	kg-TS	6.16	8.36
ごみ100kg当たりの脱水汚泥量(TS20%と仮定)	kg	30.8	41.8
脱水汚泥量を考慮しない焼却削減率	%	31.9	46.3
脱水汚泥量を考慮した焼却削減率	%	1.08	4.51
年間ガス発生量	m ³ /年	2.40×10 ⁷	1.19×10 ⁵
バイオガス低位発熱量	MJ/m ³	22	
バイオガスエネルギー	kWh/年	1.47×10 ⁸	7.26×10 ⁵
発電効率	%	35	
バイオガス発電量	kWh/年	5.14×10 ⁷	2.54×10 ⁵
1世帯当たりの電力消費量	kWh/年	4397	
バイオガス発電で賄える電力	世帯	11692	58
	人	29229	144
	%	3.6	2.9

排出した可燃ごみの全量機械選別、メタン発酵を行った場合、バイオガス発電によりA市は約3.6%、B町は2.9%の年間電力消費量を賄える試算結果となった。焼却削減量は表8より30~40%であった。なお、脱水汚泥を全量焼却すると仮定した場合、焼却削減率は全条件で10%を下回り、脱水汚泥の焼却は望ましくなく、肥料等の汚泥のリサイクル利用が必要であると考えられる。

6.まとめ

- ・A市由来、B町由来共に発酵適物単独連続実験では、65mg/kg-TSのNi、Co添加により、TS10%の条件で投入VSあたりのガス発生量は636NmL/g-VS以上を示した。
- ・Fe単独の添加では効果は低かったが、Ni、Coとの同時添加によりNi、Coの添加を減らしても運転が安定した。
- ・排出ごみの全量機械選別を行い、メタン発酵を行った場合、30~40%の焼却削減が可能で、バイオガス発電により約3%の年間電力消費量を賄える試算結果となった。

参考文献

- 1) 環境省：産業廃棄物処理施設の設置、産業廃棄物処理業の許認可に関する状況(平成27年度実績)
- 2) 政令市における1人1日あたりのごみ量(平成27年度)
(https://www.city.niigata.lg.jp/shisei/gyoseiunei/sonota/fuzokukikankonwakai/fuzokukikan/sechikikan/kankyo/haikibutsu/council/newpage1/h29seisoushingikai.files/H29_01_04_01shiryousankou.pdf)
- 3) B町 可燃ごみ受入状況の推移
- 4) B町 人口統計