特集・汚泥再生処理センターの動向

REM システムについて

久 芳 良 則*

1. はじめに

従来、欧州、なかでもドイツ、オーストリアなどにおいては、家庭ごみなどの有機性廃棄物をエネルギー源や資源としてとらえ、埋め立て処分場からバイオガスを回収して発電を行うシステムやコンポスト化が実施されてきた。しかし、このガス化方式については、処分場不足や環境問題から処分場の基準が見直され、今後用いることができなくなっており、既設処分場の掘削・再生も実施される状況にある。現在では嫌気性リアクターを用いたこれら有機性廃棄物のメタン発酵によるエネルギー回収、発酵残渣のコンポスト資源化が積極的に進められている。

日本においても、廃棄物の排出抑制、資源化・再利用、未利用エネルギーの活用、適正な処理処分など資源リサイクル社会を推進する「循環型経済社会の構築」が求められている。厚生省が平成9年に示した「汚泥再生処理センター」構想、(財)日本環境衛生センターによるエコランド計画などは、これら廃棄物処理の方向性を示したものであろう。

REM システム^{*)}は、従来のし尿処理施設に生ごみや各種有機汚泥の受入れを可能とし、資源化・リサイクル機能を備えた技術である。特に湿式粉碎選別装置(パルパー)を前処理に使用して選別機能を強化し、ごみの受入れを容易にするとともに、資源化物としてのコンポストの品質を向上させ、また、無動力式メタン発酵槽を採用して省エネルギー化を図るなど、雑多な混合物であるごみなどの受入れに対応したシステム構成としている。

以下にシステムの概要、技術的特徴および実証試験結果等について紹介する。

なお、実証試験は、浅野工事(株)、三機工業(株)、(株)

新潟鐵工所、三井鉱山(株)および三菱化工機(株)を構成員とするREM システム研究会により実施されたものである。

2. システム概要

REM システムの施設構成図を図-1に示した。従来のし尿処理施設に新しく付加された各工程について概略を説明する。

2.1 ごみ等受入れ・前処理工程

ピット&クレーン方式またはバンカー方式によりごみを受け入れ、100~250 mm程度に破碎を行う。次に、破碎ごみはパルパーにおいて必要量のプロセス水を添加し、有機物のスラリー化、発酵不適物の選別分離を行う。

2.2 メタン発酵工程

し尿処理工程からの余剰汚泥は、その他の有機汚泥と混合し、必要に応じて濃縮し、ごみからの有機スラリーと混合してメタン発酵槽に投入する。これらの混合有機スラリーは、1日数回に分割して投入し、投入量に応じた消化液が排出される。消化液は固液分離後、し尿処理工程にて一連の水処理後放流または再利用される。

2.3 ガス利用工程

発生したメタンガスは安全装置を介して乾式ガス貯留バッグに貯留される。メタンガスは脱硫後ガス発電装置またはガスボイラーに供給し、電気、蒸気、温水などを回収、有効利用する。

2.4 消化汚泥処理工程

メタン発酵処理後、固液分離された消化汚泥はコンポスト装置により好気性発酵を行い有機汚泥肥料や土壌改良剤としての有効利用を図る。また、炭化处理を行って土壌改良材他への有効利用先を広げることも可能である。

*三井鉱山(株) 新製品開発部
Yoshinori KUBA

図ー1 REMシステム施設構成図

3. 技術的特徴

3.1 パルパーの機能と特徴

廃棄物の処理・リサイクル・資源化を行ううえで、分別・選別はシステムやプロセス上大変重要である。REMシステムでは、後工程のメタン発酵効率および資源回収としてのコンポスト製品の品質などを考慮して、不適物の排除率がよい湿式粉碎選別装置(パルパー)を前処理設備として用いている。

パルパーの基本仕様を表1に示した。パルパーは特殊な羽根形状を持つ攪拌機を備えており、強力な粉碎力により、有機物のスラリー化およびプラスチックなど発酵不適物に付着している有機物の洗出を行う。運転はバッチ方式で行われ、プラスチックな

表1 パルパー基本仕様

基本仕様	投入方法 : バッチ式, 60min/1バッチ 固形分濃度 : 固形分10～15%に調整 操作時間 : 投入・排出10～15min., 粉碎20～30min. 排除率 : 90～95%
------	--

どの軽量物はレーキまたはスクリーンにより洗浄・排出され、金属・石などの重量物は槽下部より洗浄・排出される。パルパーの運転は自動化されているこ

写真1

パルパー (2種)

図-2 BIMA構造図

と、有機ごみの処理は密閉容器の中で行われ、発酵不適物が洗浄後に取り出されることなど、運転管理面、臭気対策上優れた特徴を有している。

写真1に実証試験に用いた2種類のパルパーを示した。これらのパルパーは、発酵不適物の分離機構に差があるが、基本機能は同じである。

3.2 BIMA 発酵槽の特徴

1) 撹拌機構

BIMA 発酵槽の内部構造を図-2に示した。BIMA 発酵槽はコーン状の仕切り壁を介して上部室と主発酵部の上下に分割されている。主発酵部で発生するガスをコーン状の仕切り壁の下部に閉じ込めることによるガス圧を利用して上部室に液の一部を押し上げ水位差を発生させる。均圧弁の開放によって、上部室の液が落下し、このときの大きなエネルギーを撹拌に利用している。

BIMA 発酵槽の撹拌原理¹⁾は、位置エネルギーを動力源とした撹拌方式である。センターチューブを落下した液は下部の撹拌翼により旋回流となり主発酵部を撹拌する。また、ミキシングシャフトからの落下液は主発酵部の上部に注がれスカム発生を防止する。撹拌回数はガス発生量および1回あたりの撹拌量によって決定されるが、通常6～8回/日程度である。

このように、槽内撹拌機、プロワー、ポンプなどの機器を必要としないため、メンテナンスなど維持管理も容易である。また、発酵槽の加温は、蛋白変性を起こさない程度の温水を循環して槽全体を加温する方式を用いている。

2) 撹拌動力

BIMA 発酵槽の撹拌力について以下のように概略の試算を試みた。

計算条件：BIMA 発酵槽容量 1000 m³

撹拌容量 (V_{mix}) 25%

平均差圧 (Δh) 2 m

計算式： $E_{mix} = 2.72 \times 10^{-3} \times \Delta h \times V_{mix}$

$$= 2.72 \times 10^{-3} \times 2 \times 250$$

$$= 1.35 \text{ kW h}$$

撹拌は実績では5秒以内に終了する。したがって1回あたりの撹拌力としては、972 kWに相当する。一般的な槽内撹拌動力は0.1 kW/m³程度であり、この場合約100 kWの設備動力を必要とすることになる。以上、簡単に比較することは困難であるが、BIMA 発酵槽は大きな撹拌能力を有していると考えられる。

4. 実証試験

本実証試験は「汚泥再生処理センター」構想および「エコランド計画」²⁾に対応する技術の確立を目的としてREM システム研究会によって実施されたものである。

4.1 設置場所

栃木県栃木市 栃木衛生センター内

4.2 試験期間

平成9年10月～平成10年10月

4.3 施設規模

人口3万人規模の都市を想定した。実証施設の処理規模は実施施設の1/15程度とし厨芥量および収集し尿を処理した場合に発生する余剰汚泥量から次のように基本的な処理規模を設定した。

厨芥 0.6 t/日

汚泥 0.24 t/日 (TS 10%)

4.4 試験設備

実証試験の基本処理フローを図-3に示す。試験設備は、破砕機、パルパー、メタン発酵槽 (25 m³)、乾式ガスホルダー (200 m³)、脱水機、エネルギー回収装置 (温水ボイラー) およびコンポスト装置などで構成されている。なお、パルパーは軽量物をパルパー本体から掻き出す一体型パルパー (容量：4 m³) および別置きのスクリンで選別する分離型パルパー (容量：2 m³) の2種類を用いた。

4.5 試験方法

4.5.1 処理対象物

図－3 実証試験基本処理フロー

対象となる有機物のうち、厨芥としては主にホテルおよびスーパーの事業系ごみを用い、また、汚泥はし尿処理施設の余剰汚泥および浄化槽汚泥を使用した。事業系ごみはビニール袋入りで収集され、袋のまま直接または破碎機にて破碎後バルパーに投入した。また、一部収集可燃ごみについても、破碎後バルパーに投入した。搬入ごみは組成分析を行い事業系ごみと収集可燃ごみの特性を把握した³⁾。

4.5.2 前処理

バルパーは、試験規模が小さいことから週2～3回稼働させた。プロセス水を添加して固形物濃度10～15%とし有機物をスラリー化した。選別したプラスチック、布、木片などの軽量物の一部は固形燃料や炭化物製造試験に供した。金属、ガラス、石・砂などの重量物は廃棄処分を行った。

4.5.3 メタン発酵

以下に示す4項目の試験を実施した。

RUN1：厨芥
 RUN2：厨芥＋余剰汚泥
 RUN3：厨芥＋余剰汚泥＋浄化槽汚泥
 停止・立上げ：正月・盆等想定の停止・立上げ

発酵槽内は、メタンガスを燃料とした温水ボイラーで温水を製造し、中温発酵に適した $35 \pm 2^\circ\text{C}$ に保持した。投入有機物は攪拌回数に応じて分割投入を行った。

4.5.4 エネルギー回収、資源化

消化ガスは実証施設が小型のためボイラー燃料として使用し、メタン発酵槽加温用の温水を製造した。消化汚泥は脱水後、コンポスト試験、炭化試験に供した。脱水分離液は既設し尿処理設備にて処理した。

4.6 試験結果

4.6.1 発酵不適物の選別結果

2種類のバルパーの運転から、事業系ごみの選別性能を求めた結果を表2に示す。また、分離型バル

表2 バルパーによる選別性能

項 目	一体型	分離型	設計目標値
有機スラリーTS濃度	10.1	10.3	10
厨芥回収率	91.6	91.6	90以上
軽量物除去率	95.5	95.9	95以上
重量物除去率	98.0	97.1	95以上
プラスチック除去率	95.2	95.5	95以上

注) 軽量物：プラスチック＋木竹＋繊維類
 重量物：不燃物

パーの物質収支を図－4に示す。一体型バルパーについての物質収支は文献³⁾を参照願う。

いずれの型式においても軽量物、重量物ともに95%以上の除去率を示しており予想以上の選別性能を有することが確認できた。選別重量物はスプーン・フォーク・瓶栓などの金属類、ビール瓶などのガラス破片および骨・貝殻等である。選別砂については貝殻・卵殻が多く、いわゆる砂は少ない。

紙は紙質にもよるが多くのパルピングされ有機スラリーに混入する。一部はガス化されているものと思われる。

4.6.2 メタン発酵性能

図－5に厨芥および余剰汚泥を投入したRUN2における投入負荷とガス発生量の経日変化を示した。有機物負荷の割合は、有機物スラリーとして $3.44 \text{ kg} \cdot \text{VTS}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ (83.7%)、汚泥が $0.67 \text{ kg} \cdot \text{VTS}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ (16.3%)であった。

また、厨芥、汚泥、消化液の分析結果を表3に示す。BIMA槽内の温度は $36.6 \pm 0.4^\circ\text{C}$ で安定であった。

定常の負荷において、BIMA発酵槽内の揮発性総有機酸は $1,000 \text{ mg}/\ell$ 程度であり、そのうち90～95%は酢酸で、プロピオン酸の蓄積は少なかった。

また、攪拌回数は、1日あたり8～10回であり十分な攪拌回数を維持できた。

ガス発生量は有機物kgあたり 0.580 Nm^3 、分解

図-4 分離型パルパー物質収支 (事業系厨芥処理)

図-5 混合液投入量とガス発生量の経日変化 (RUN2)

COD_{cr}あたりでは0.318 Nm³であった。厨芥のみの場合³⁾より低くなったが、汚泥からのガス発生量、分解率が低いことによるものと考えられる。

表4にRUN 1, 2, 3の試験結果にもとづく物質収支結果を示す。固形物減容化率、有機物分解率、COD_{cr}分解率は、厨芥単独のRUN 1よりも余剰汚

泥等を含むRUN 2, 3で低くなっている。投入有機物あたりのガス発生量についても同様の傾向がみられるが、除去COD_{cr}あたりのメタンガス発生量は0.310~0.325 Nm³とほぼ同様となった。

4.6.3 停止・立上げ試験結果

約4 kg VTS/m²・日の標準負荷で運転後、8日間

表 3 工程別分析結果(RUN2)

工程	項目	単位	平均	最大	最小	測定回数
有機スラリー	COD _{cr}	%	15.4	17.6	13.6	8
	BOD	%	9.30	10.3	8.82	8
	TS	%	10.4	11.0	9.68	8
	VTs	%	9.42	9.91	8.77	8
	T-N	mg/kg	3,548	4,010	2,770	8
	NH ₄ -N	mg/kg	261	330	187.0	8
	T-P	mg/kg	387	463	204	8
	T-VFA	mg/kg	2,556	3,800	1,360	8
余剰汚泥	COD _{cr}	%	12.6	13.6	11.3	8
	BOD	%	1.43	1.73	1.21	8
	TS	%	10.3	10.9	8.99	8
	VTs	%	8.41	8.91	7.14	8
	T-N	mg/kg	7,204	8,360	6,330	8
	NH ₄ -N	mg/kg	587	712	446	8
	T-P	mg/kg	1,650	2,160	1,230	8
	T-VFA	mg/kg	105	190	27	8
BIMA 槽	T-VFA	mg/kg	1,168	1,270	902	8
	Temp	°C	36.6	36.9	36.2	8
消化液	COD _{cr}	%	4.86	5.68	4.50	8
	BOD	%	0.93	1.130	0.710	8
	T-S	%	3.61	3.81	3.47	8
	VTs	%	2.62	2.80	2.51	8
	T-N	mg/kg	4,793	5,170	4,210	8
	NH ₄ -N	mg/kg	2,518	2,760	2,330	8
	T-P	mg/kg	610	632	588	8
	T-VFA	mg/kg	1,030	1,350	764	8
消化汚泥	COD _{Mn}	mg/ℓ	633	815	459	8
脱水分離液	BOD	mg/ℓ	1,794	2,720	1,150	8
	SS	mg/ℓ	621	805	530	8
	T-N	mg/ℓ	1,650	1,800	1,450	8
	NH ₄ -N	mg/ℓ	1,509	1,710	1,340	8
	T-P	mg/ℓ	37.8	62.0	15.0	8

表 4 物質収支結果

項 目	単 位	デ ー タ		
		RUN1	RUN2	RUN3
TS減容化率	%	75.3	66.9	64.9
VTs分解率	%	80.5	73.0	70.3
COD _{cr} 分解率	%	72.0	69.2	65.3
発生ガス量	Nm ³ /kgVTs	0.629	0.580	0.553
発生メタン量	Nm ³ /kg△ COD _{cr}	0.310	0.318	0.325

△COD_{cr} : COD_{cr}分解量

投入停止した。ガス発生量は停止後2日間で20%まで減少し、8日目には8%まで減少した。9日目に80%負荷で投入を開始したが、ガス発生はすぐに回復し3・4日で所定のガス量に回復した。温度、攪拌を維持すれば1週間程度の短期の停止は発酵の活性に大きな影響を与えないことが明らかになった。

5. 資源化試験結果

5.1 汚泥堆肥化試験

消化液を脱水機で脱水後、その脱水汚泥（含水率74.0～78.2%）を用いてコンポスト装置に供した。コンポスト装置は堅型および横形のパドル式を用いた、前者はヒーター、後者は加熱空気を使用して加温可能な装置である。運転開始時はいずれも種菌を使用し、徐々に脱水汚泥を増加させて1ヶ月間の定常運転を行った。製品コンポストの肥料成分の分析結果は表5の通りであり、十分品質基準を満たすものであった。また、有害成分について含有量、溶出試験を行ったが、いずれも基準値以下であり、特殊肥料としての使用が可能である。

5.2 固形燃料化試験

パルパーで選別排出された軽量物200 kgに生石灰を製品に対して約2%添加し、固形燃料の製造試験を行った。分析結果を表6に示す。直接ごみから製

表 5 製品コンポストの有効肥料成分分析結果および基準値

分析項目	単位	品質基準値 (し尿汚泥堆肥)	実験結果 1 (横形パドル式)	実験結果 2 (堅型パドル式)	分析方法
窒素全量	%	2 以上	5.65	4.35	肥料分析法4. 1.1
リン酸(P2O5)全量	%	2 以上	2.35	2.23	肥料分析法4.1
カリウム(K2O)全量	%	—	0.44	0.95	肥料分析法4.3
炭素—窒素比率	—	20以下	6.61	7.33	CNコード法
アルカリ分	%	25以下	8.4	5.3	肥料分析法4. 5.2
有機物量	%	35以下	65	66	強熱減量法
水分	%	30以下	29	29	肥料分析法3

表6 固形燃料分析結果(無水ベース表示)

項 目	単位		分析方法
水分	%	3.53	JIS M 8812
灰分	%	9.37	JIS M 8812
揮発分	%	79.75	JIS M 8812
固定炭素	%	10.88	JIS M 8812
C	%	55.1	CHNコーダ計
H	%	8.8	
N	%	1.79	JIS M 8812
O	%	23.73	JIS M 8812
全-S	%	0.04	JIS M 8812
可燃性-S	%	0.01	JIS M 8812
全-Cl	%	1.74	チオシアン酸第2水銀
可燃性-Cl	%	1.4	チオシアン酸第2水銀
F	%	<0.01	JIS K 0102-34
高位発熱量	kcal/kg	6,410	JIS M 8814
低位発熱量	kcal/kg	5,950	JIS M 8814
かさ比重	—	0.456	JIS Z 8807

造した固形燃料の発熱量3,300～4,000 kcal/kgに対し、今回製造したものは約1.5～1.8倍程度の熱量を持ち、瀝青炭程度の燃料価値があり、資源として十分再利用可能といえる。

6. 経 済 性

本試験結果から試算すると、1 t の厨芥 (TS=22%, VTS=0.9×TS) から160～180 kWh の電力を回収できる。膜方式浄化槽汚泥対応型し尿処理において電力消費量を kℓ あたり40 kWh とすれば、たとえば25 t の厨芥を搬入によって100～113 kℓ 処理相当の消費電力を回収できることになり、維持管理費用のコスト削減が可能である。建設費は厨芥処理のための設備が増加することから、増加するが、ごみ

処理施設とあわせたトータルシステムとして考えると従来とほぼ同等もしくは若干低減できる。

7. お わ り に

従来、焼却・埋め立て・海洋投棄等の処分をされていたごみや廃棄物中の有機物から、エネルギーを回収し、コンポストなどの再生利用を図るという課題に対して、本システムは十分対応可能な技術である。特徴を整理して以下に示す。

- ①湿式粉碎選別装置（パルパー）を使用することにより、不純物混入をある程度許容できるため、対象とするごみの範囲を広く収集することも可能である。
- ②BIMA 発酵槽は、発生ガス圧による攪拌機構を持っているのため、外部動力が基本的に不要である。また中温発酵のため、必要加温熱量が少なく、したがってし尿処理汚泥や浄化槽汚泥のみでも加温に必要なエネルギーをまかなうことができる。
- ③消化汚泥は、コンポストや炭化物として資源回収できる。また、脱水分離液は既存のし尿処理施設（生物学的脱窒素処理方式等）にて処理することは容易である。
- ④有機廃棄物処理系は工程数を少なくするとともに、自動化を図ることによって維持管理面に配慮をしている。

注) REM システム: Recycling Energy of Organic Materials System

文 献

- 1) 配管と装置, 平成8年8月号, pp22-29
- 2) 生活と環境, 平成8年7月号, pp31-38
- 3) BIO INDUSTRY, 平成10年10月号, pp19-27