特集・汚泥再生処理センターの動向

リネッサシステムについて

坂上 正 美*

1. はじめに

廃棄物の処理問題は都市における主要課題で、わが国では最終処分場の立地難から、減量化および無害化を目指して、焼却処理が多く採用されてきた。

しかし、ダイオキシンの排出等、燃焼ガスによる二次汚染の問題が顕在化している今日、焼却処理を見直す必要にせまられてきている。

一方、欧州で1980年代から開発が活発になった有機性廃棄物の嫌気性発酵（バイオガス化）処理を中心とした廃棄物の循環型社会形成への取り組みは、わが国の廃棄物問題を解決する一手法になると期待されている。

し尿処理の分野において、厚生省は平成9年度から、廃棄物の発生抑制、資源化を目的に、従来型の衛生処理（し尿処理）からリサイクル型し尿処理施設（汚泥再生処理センター）の建設を推進している。

このような社会的要求に対応するため、石川島播磨重工業・新日本製鐵・タクマ・東レエンジニアリング・日本鋼管・日立造船・三井造船の7社は共同で実証試験プラントを愛媛県上浮穴郡生活環境事務組合環境衛生センター内に設置し、現在試験を実施中である。

2. バイオガスプラント技術の導入経緯

2.1 海外のバイオガスシステム調査

わが国において、嫌気性発酵システムによる有機物の分解およびガス化技術は、1930年代からし尿や下水汚泥を対象にして開発、実用化されてきた。

一方、固形有機性廃棄物（主に家庭生ごみ）に関しては、サンシャイン計画¹⁾において取り上げられていたが、今日まで本格的な実用化には至っていない。

い。

この発酵技術の原型は1975～85年に米国 Pompano Beach のプラント²⁾であるが、欧州においても、1987年頃より北欧に実用プラントが建設されて以来、デンマーク・オランダ・ドイツ・ベルギー・スイス等々で急速に普及しはじめている。

欧州におけるバイオガスプラント技術を分類すると次のような項目で区分されている。

- ①固形物濃度：WET（6～10%DS）、DRY（25～40% DS）
- ②投入方式：連続、間欠
- ③発酵槽構造：完全混合、押出し流れ
- ④発酵温度：中温（35℃）、高温（55～70℃）

実用化プラントは、これらの各方式を組み合わせた種々の方式が混在している。1994年の IEA のバイオエネルギーに関するレポートから引用した分類図を図-1に示す。図内の下部の名称はメーカー名およびシステム名を示す。

我々は、一般廃棄物の減量化およびごみの発電効率向上や高品質 RDF 製造に対応するための質の改善による保有熱量の増大・安定化を主目的に調査した。その結果分別収集生ごみ処理システムおよび生ごみと家畜ふん尿との混合処理システムに注目した。

このうち生ごみ処理の、DRANCO (O.W.S 社)、KOMPOGAS (Bühler 社) の2方式と家畜ふん尿を中心に開発されてきた H.K.V (PRIKOM 社)、Schwarting-Uhde を加えた4方式について1995年に調査した。

2.2 バイオガスシステムの検討

DRANCO システムを採用したザルツブルグ市のバイオ廃棄物プラントは1993年12月に稼働し、家庭ごみのみを年間約20,000 ton 処理している。発酵方式は DRY（高固形物濃度）・連続投入・完全混合・

* 株式会社 水処理技術部
Masaharu SAKAGAMI

図ー1 欧州のバイオガスプラント技術分類図

高温型である。生ごみの入口汚泥固形物濃度を約30%で投入し、発酵日数30日程度で発酵する。発生ガス量は投入生ごみ重量あたり約150 Nm³/ton 回収できている。ピストン型の投入・循環ポンプで種付け・槽内攪拌し、加温は投入ポンプラインに設けられた蒸気混合器による蒸気直接加温方式のため、コンパクトな装置となっている。発生したガスを埋立処分場からの発生ガスと集合して、ガスエンジンで発電し、総発電量の約30%をプラント設備電力として使用していた。

KOMPOGAS システムは主に、スイス国内で採用されている分別生ごみ専用の発酵システムである。発酵方式は DRANCO システムと同様であるが、発酵槽の構造は押し出し流れ方式の円筒横型槽を採用しているのが大きな特徴である。このため、プラントは他のシステムとは異なり、屋内または地下に設置されており、外部から発酵槽が目視できないので、日本ではプラント外観上優位であると考えている。

H.K.V および Schwarting-Uhde システムは家畜のふん尿にガス発生量の多い有機性廃棄物（家庭生ごみ・レストランの厨芥・と殺場廃棄物等）を混合して処理するものである。

H.K.V システム採用の Herning プラントは WET（固形物濃度約10%）・連続投入・完全混合・高温発酵方式で、年間56,000 ton の処理をしている。

容量700 m³の発酵槽が3槽設備されていて、牛・豚のふん尿、油吸着土、家庭生ごみを各々発酵温度を変えて処理している。加温は温水による間接外部加温方式を採用し、槽内を機械攪拌する方式を用いている。プラント全体はシンプルな単槽型である。発生ガスによる回収熱量のうち、約10%をプラント全体の電力供給に、約16%をプロセスの熱源として利用している。残りの熱量のうち約16%を外部に電力供給し、約60%は熱供給プラントから外部へ送られている。

Schwarting-Uhde システムの Finsterwalde プラントは、連続投入・押し出し流れ・中温および高温発酵方式で、年間91,000 ton の処理をしている。容量900 m³の発酵槽を4槽（中温・高温槽各2槽）で構成されている。この方式は中温・高温の2段階発酵方式を採用することで巾広い有機性廃棄物を短い日数（発酵日数2段階で14日）で処理できる。また、押し出し流れ方式を採用することで、酸生成菌およびメタン生成菌の最適環境を確保している。加温は H.K.V 方式と同様、温水の間接加温方式を採用しているが、発酵槽内の攪拌は外部循環ポンプで1日に数回攪拌する方式である。また槽内に押し出し流れの効果を上げるためのじゃま板を設けることで攪拌効果を上げている。

4 システムの調査内容を表1にまとめた。嫌気性

表1 バイオガスシステム比較

システム名称	H. K. V	Schwarting-Uhde	DRANCO	KOMPOGAS
国 名	デンマーク	ドイツ	オーストリア	スイス
社 名	PRICOM A/S	Schwarting-Uhde GmbH	O. W. S	Bühler Ltd
プラント概要				
場 所	Sinding	Finsterwalde	Salzburg	Bachenbülach
処 理 量	56,000t/年 (混合有機物)	91,000t/年 (混合有機物)	20,000t/年 (家庭生ごみ専用)	10,000t/年 (家庭生ごみ専用)
投入原料固型物 濃度	10～15%	10～15%	17～32%	30%
発 酵 温 度	52℃, 60℃, 70℃	1 段目 37℃ 2 段目 55℃	55℃	65℃
発酵槽容量×槽数	700m ³ ×3 槽	900m ³ ×4 槽	1,800m ³ ×1 槽	350m ³ ×2 槽
発 酵 日 数	14 日	14 日	30 日	20 日
加 温 方 式	温水熱交換方式	温水熱交換方式	蒸気吸込方式	温水熱交換方式
攪 拌 方 式	機械攪拌方式	ポンプ攪拌方式	ポンプ攪拌方式	機械攪拌方式
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 堅型槽内攪拌機付発酵槽 ・ 高温・完全混合型発酵 ・ 低固形物濃度発酵 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 堅型槽内阻止板付発酵槽 ・ 中高温・押出し流れ 2 段発酵 ・ 低固形物濃度発酵 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 堅型槽外ポンプ循環式発酵槽 ・ 高温・完全混合型発酵 ・ 高固形物濃度発酵 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 横型槽内攪拌機付発酵槽 ・ 高温・押出し流れ発酵 ・ 高固形物濃度発酵

発酵処理は大きな発酵容量が必要であり、建設費が高価であることが主たる問題点である。この問題点を解決するため、高固形物濃度および高有機物負荷設計が可能な発酵システムとして、生ごみを専用処理できる KOMPOGAS (Bühler 社) の技術を、種々の有機性廃棄物に対応可能な処理技術として、家畜ふん尿と有機性廃棄物を同時処理できる Schwarting-Uhde 社の技術を国内立地条件についても留意して、技術移転することにした。

3. リネッサシステム

3.1 システムの概要

厚生省が提唱している「汚泥再生処理センター構想」は、し尿処理施設から発生する汚泥と種々の生ごみとを再利用（主にコンポストとして利用）する資源循環型社会の形成を目的としている。コンポスト化の原料であるし尿処理からの汚泥は通常水分85%程度で排出される。また、家庭から排出される生ごみの水分は80%程度であるので、混合後の平均水分は80%以上になる。したがって、「汚泥再生処理セ

ンター構想」に対して、WET 型の Schwarting-Uhde 方式を適用した後、コンポスト化するシステムを構築した。すなわち、原料からメタンガスを回収してプラント電力を賄い、同時に固形物を減量化した後、発酵補助材を添加したものを好気性発酵するシステムであり、有益なメタンガスと減量化した良質のコンポストを回収するシステムである。

3.2 システムフロー

リネッサシステムのフローシートを図-2に示す。

3.2.1 前処理システム

家庭生ごみ、し尿、家畜ふん尿、種々の有機性廃棄物の性状に合わせた前処理システムが必要である。すなわち、破袋・選別・調質を目的に、2軸破袋機・トロンメル分別機・ハイドロパルパー破碎分別機・磁選機等の単位装置を組み合わせ、原料に適した前処理システムを設計する必要がある。

3.2.2 発酵システム

リネッサシステムの中心設備である発酵槽は、嫌気性の2段階処理により、発酵時間を短縮し、安定

図-2 リネッサシステムフローシート

した有機物質の発酵を目指している。すなわち、嫌気性発酵の進行過程に応じて以下の2段階の発酵過程を設けるとともに、各発酵槽内部を分割して、各々の発酵過程に適応した菌体を保持するような構造になっている。同時に単一発酵槽の場合に懸念される投入物のショートパスにも対応できる構造で、安定した発酵物が得られる。

槽内は下部から上部へ自然な流れを発生させる構造であるため、必要時のみ循環ポンプによって攪拌するだけで良く、最小限の攪拌エネルギーで内部攪拌が可能となる。また、槽内に攪拌装置がないためシンプルな構造で設計できる。発酵槽の構造を図-3に示す。

1) No.1 発酵槽

中温発酵処理を目的として、内部温度を 37°C に維持することで、多種類の有機物を分解できる。

2) No.2 発酵槽

内部温度 55°C に保つことで、高温発酵処理する。2段目でこの方式を用いると、メタンガ

図-3 発酵槽構造図

スの発生を促進するとともに、病原性細菌を減少できるため、より安全な発酵物を回収で

きる。

3.2.3 脱水システム

発酵残さはベルトフィルターとスクリープレスを組み合わせた脱水システムを採用することで、従来よりも低水分の脱水ケーキを得ることができる。したがって、発酵残さのリサイクル面（コンポスト化）でも有利になる。

3.2.4 エネルギー回収システム

嫌気性発酵により発生するバイオガスは天然ガスと比較して約60％に相当する発熱量を有しているため、発電機やボイラの燃料として使用することができる。この場合、発生した電力でプラント電力を賄うとともに、発酵に必要な熱量を賄うことができるため、熱効率の良いシステム設計が可能である。

図－4 実証試験プラント基本フロー

4. 汚泥再生処理センター実証試験プラントの概要

実証試験プラントの基本フローを図－4 に示す。

4.1 基本フローおよび試験条件

愛媛県上浮穴郡久万町の上浮穴環境衛生センター内にリネッサシステムを用いた実証試験プラントを平成10年5月より運転開始している（写真1）。

既設処理能力25kl/日の膜分離高負荷脱窒処理施設からの余剰脱水汚泥とスーパー、給食センター、レストラン等々から排出される事業用一般廃棄物を混合して、メタン発酵処理する施設である。また、発酵残さの脱水ろ液はすべて既設し尿処理施設に送り脱窒処理する。試験条件を表2 に示す。

都市から発生する有機性廃棄物は事業用と一般家庭の分別生ごみから構成される。このうち、一般家庭の生ごみ分別はまだその必要性を認識された段階で一般化には至っていない。バイオガス化技術で先行している欧州での一般家庭の生ごみ分別実施例を参考にして、生ごみ対余剰汚泥の有機物比率を2：1～1：1.5の範囲で試験条件を決定した。

4.2 装置概要

実証試験プラントフローシートを図－5 に示す。

4.2.1 前処理装置

本実証試験では、ある程度生ごみのみが分別された業務用一般廃棄物を対象としている。したがって、前処理装置は破袋機＋トロンメル分別機とハイドロパルパー破砕分別機＋スクリーンの2つのシステム

写真1 実証試験プラントの全景

表2 試験条件

項 目	条 件
処 理 量	生ごみ : 600～1010kg/日
	し尿脱水汚泥 : 753～1300kg/日
	合計処理量 : 1763～1900kg/日
性 状	生ごみ : 水分 80%、有機物比率 90%
	し尿脱水汚泥 : 水分 85%、有機物比率 80%
発酵温度	1 段 目 : 37℃
	2 段 目 : 55℃
発酵日数	1 段 目 : 7 日
	2 段 目 : 7 日

における分級性能を調査した。

4.2.2 発酵槽

図-5 実証試験プラントフローシート

生ごみと脱水汚泥を10%の固形物濃度に調整した投入物を3.15 m³/日発酵処理するために、各々7日間の発酵日数を設定した。発酵槽は直径2.6m、高さ8mの縦長の構造で、内部は穴径40mmの多穴板により、5層に区分されている。熱交換器は外部ジャケット式で内部には数枚の攪拌翼を設けて、熱の伝達を促す機構になっている。

4.2.3 脱水機

まず、重力式のベルトフィルターで発酵残さの固形物濃度を約10%に前濃縮し、さらに低水分まで脱水可能なスクリュープレスで水分75%まで脱水するシステムを採用した。このシステムは複雑であるが、コンポスト化する場合、水分をできるだけ下げる目的でこの方式を採用した。

4.2.4 コンポスト装置

脱水した発酵残さと発酵促進物を混合調製した後、堅型ミキサー方式のコンポスト化装置で10～14日間、一次発酵する。

4.3 主要設備

本試験プラントの主要装置として、前処理装置、加温装置、発酵槽装置および脱水装置等の機器仕様を表3に示す。

このうち、攪拌機付温水加温熱交換器、阻止板付発酵槽および重力ベルトフィルター等

は、国内初の試験装置であり、個々の機器能力を把握することも今回実証試験の主要な目的である。

4.4 工程

平成10年5月初めより機器調整を始め、5月後半から汚泥を投入し馴致試験を開始した。その後、7月初めから生ごみに対する馴致に入り、順調に基質へ馴養してきたので、8月初めよりRUN 1の実験負荷にセットした。その後1ヶ月の馴致期間を経て、

表3 主要設備仕様

機器名称	数量	機器仕様
破袋機	1	二軸式 処理能力 0.3 t/時
分別機	1	トロンメル式 処理能力 0.3 t/時
汚泥熱交換器	2	攪拌機付温水加温式 交換熱量 41,000kcal/時
No. 1 発酵槽	1	鋼板製円筒堅型 2.6m ^φ ×8m ^H (有効容量 24m ³)
No. 2 発酵槽	1	鋼板製円筒堅型 2.6m ^φ ×8m ^H (有効容量 24m ³)
脱水機	1式	重力ベルトフィルター＋スクリュープレス式 処理量 1.0m ³ /時
ガスタンク	1	チューブ型乾式 容量 100m ³

表4 実証試験工程表

	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
原料分析		↔								
分別装置性能調査			↔							
脱水機葉注調査			↔							
馴致状況調査				↔						
RUN-1試験				↔	↔					
RUN-2試験						↔	↔			
RUN-3試験								↔	↔	
コンポスト試験					↔	↔	↔	↔	↔	

(注) ↔ は馴致期間、↔ はデータ収集期間を示す。

順調にガス発生量が増加、安定状態に入ったので、9月初めより RUN 1 に入り、実証試験を開始した。今後、生ごみと余剰汚泥の比率を変化させた3条件で、発酵状況を把握する。

現段階では来年1月末に実証試験のデータ収集を終え、3月末に最終報告書をまとめる予定である。概略試験工程を表4に示す。

また、本実証試験は財団法人廃棄物研究財団の技術開発支援・評価事業として、実証試験を実施している。

5. おわりに

共同試験者7社が技術導入した Schwarting-Uhde 社の発酵技術はドイツ国内の酪農産業発展とともに顕在化してきた、ふん尿による環境汚染の対策として開発された技術である。

有機性廃棄物を資源と考え、環境保護と有益な廃棄物再資源化の促進を目指して、種々の法改正による促進を背景に、ドイツでは再利用される有機性廃棄物量はかなり増加している。同時に、栄養分に富む有機性廃棄物が、食品産業や農業だけでなく、家庭からも収集され、農業用にリサイクルされてきている。

また、いくつかの再利用するシステムのうち、有機性廃棄物の多くが不均質で高水分のため、好気性堆肥化に適せず、これらの廃棄物の活用や再循環には嫌気性発酵が適切な方法と考えている。しかし、家畜のふん尿や水処理施設からの余剰汚泥は栄養バ

ランスが悪く、嫌気性発酵が抑制される。したがって、嫌気性発酵を経済的なシステムにするには、他の生ごみや有機性廃棄物を混合して処理することが重要である。ドイツの農村地域では、消化汚泥のコンポスト化による土地還元も容易であり、また、バイオガスプラントのメリットも認識されたのか、生ごみ等と家畜ふん尿の混合処理施設が1996年までの3ヶ年で139から370ヶ所に急増している³⁾。

一方、わが国において、厚生省の提言している「汚泥再生処理センター構想」を具体化するために、ドイツでの例をみると、嫌気性発酵処理技術は有効な方法であることが今後、認識されていくものと考えられる。

近日、本実証試験での成果を発表する予定であり、これらのデータが汚泥再生処理センター構想実現のための一助になれば幸いである。

謝辞：本実証試験を実施するにあたり、多大なる御援助頂きました上浮穴郡生活環境事務組合ならびに環境衛生センターの皆様謹んで謝意を表します。

参考文献

- 1) 本多淳裕他：廃棄物のメタン発酵，サイエンティスト社，(1981)
- 2) IEA: Biogas From Municipal Solid Waste, ANAEROBIC DIGESTION OF MSW, (1994)
- 3) P. Weiland: CO-DIGESTION OF AGRICULTURAL, INDUSTRIAL AND MUNICIPAL WASTES, 5th FAO/SREN-Workshop, (1997)