

# 汚泥減量化技術を組込んだ 食品廃棄物処理システム「PAMEDIS」

Food Waste Treatment System "PAMEDIS",  
Combined with Sludge Reducing Technology



技術本部水処理第三技術部技術室  
宮 本 武  
Takeshi Miyamoto  
隅 晃 彦  
Akihiko Sumi  
(技術士)

有機廃棄物のメタン発酵技術の普及が進まない原因の一つに、残渣の処分という問題がある。当社はこの問題を解決するため、好熱性細菌による汚泥可溶化工程をメタン発酵に組み合わせ、残渣を大幅に減量する技術を実用化した。

2003年11月より、5 t/dの生ごみと1 t/dの汚泥から890 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/dのメタンを回収する食品廃棄物処理プラントが稼働している。残渣を含んだ消化液は既設工場排水処理設備で処理される。ここで発生する汚泥を可溶化処理して再度排水処理設備にて分解することにより、事実上余剰汚泥の処分を不要とすることに成功した。

Methane fermentation for organic waste treatment is not popularized owing to difficulties in disposal of large amount of solid residue. As a solution, the waste treatment system PAMEDIS was developed by combining methane fermentation process with sludge solubilization process that utilizes thermophilic bacteria. A food waste treatment plant incorporated with the system has been operating since November 2003, producing 890 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/d of methane gas from 5 t/d of food waste and 1t/d of sludge. The digested liquid containing solid residue from fermentation process is treated at the existing wastewater treatment system. The sludge generated from this process is solubilized and returned to the wastewater treatment system, getting rid of disposal of excess sludge.

## Key Words :

食 品 廃 棄 物	Food waste
メ タ ン 発 酵	Methane fermentation
固 形 残 渣	Solid residue
汚 泥 可 溶 化	Sludge solubilization
好 熱 性 細 菌	Thermophilic bacteria

## まえがき

1990年代より、我が国では「循環型社会」をキーワードとして廃棄物処理関連の法整備が進められている。有機廃棄物処理分野においても、「バイオマス・ニッポン総合戦略」の策定、「食品リサイクル法」や農業分野の環境関連法規の施行など、循環

型社会の実現に向け積極的な施策がとられている。重要課題の一つである食品廃棄物処理分野においては「食品リサイクル法」が2001年に施行され、リサイクル率の向上が義務付けられた。同法の猶予期間終了が2006年に迫っており、食品廃棄物の処理は一つの節目を迎えることとなる。

各種処理技術のなかで、有機物からエネルギーを回収するメタン発酵技術が注目されている。しかしメタン発酵設備の設置に当っては、残渣の処分または利用先の確保が不可欠であり、このことが普及を妨げる一因となっていた。

当社は、好熱性細菌を利用した独自の汚泥減量化技術をメタン発酵に組み合わせることによりこの問題を解決し、食品工場にて実プラント1号機を稼働させることに成功した。本報ではこの技術について解説するとともに、実プラントの運転実績を紹介する。

## 1. 食品廃棄物のリサイクル

### 1.1 食品リサイクル法とリサイクル技術

有機廃棄物には、食品系・畜産系・木質系等様々なものがあり、その性状もスラリー状から固形のものまで幅が広い。

これらのうち、特に事業系食品廃棄物については、食品リサイクル法によりリサイクル率の20%向上が求められている。同法は一定規模以上の事業者には適用され、該当事業者は何かの方法でリサイクルをおこなう必要がある。表1に、代表的なリサイクル技術を挙げる。

### 1.2 メタン発酵の現状と課題

メタン発酵は、表1に挙げた各種の方法のなかで、

唯一エネルギー回収がおこなえる技術である。化石燃料の消費は大気中の二酸化炭素濃度を上昇させ、地球温暖化の原因になるといわれている。一方メタン発酵では、もともと地上にある有機物からメタンを取出しているため、化石燃料の消費を削減することができる。エネルギー源として使える物質のうち、木質系バイオマスなど、地上で循環利用できる化石燃料を使わずにすむものは「カーボンニュートラル」な資源と呼ばれているが、回収メタンもその一つである。

メタン発酵はエネルギー面での利点から注目されており、国内でもすでにいくつかのメタン発酵プラントが稼働中である。しかし、発酵後の処理液中には、TS(全蒸発残留物)として30~50%程度の固形分や溶解成分が残っており、これらの有効利用や処理が課題となっている。直接液肥として消化液を利用できるケースを別にすれば、何らかの処理が必要であり、このことが普及を拡大を妨げる一因となっている。

この課題を解決するため、当社は、水処理の分野で実績のある独自の汚泥減量化技術「エステップロセス」をメタン発酵に組み合わせることにより、残渣を大幅に減量できるシステム「PAMEDIS」を開発した。

表1 食品リサイクルの技術

	処理後の形態	所要設備	利 点	欠 点
リサイクル技術				
直接再利用	飼 料	—	処理経費やエネルギーが最小	腐敗・変質成分により利用先に制約
乾燥飼料化	乾燥飼料	乾燥設備	高付加価値(保存性良)減量・安定化	ランニングコストが大きい成分により利用先に制約
発酵・堆肥化(1)	堆 肥	発酵設備 熟成スペース	化学肥料の低減 土壌改良効果	利用先確保が困難 塩分過剰のことが多い (1)処理時間と広大なスペース (2)熟成不十分
発酵・堆肥化(2) 一次発酵までのもの		発酵設備(単体機器)		
メタン発酵	エネルギー(熱、電気)	メタン発酵設備 エネルギー利用設備 (ボイラ・発電機等)	エネルギー回収 減量・安定化	残渣処理が高コスト 設備が比較的複雑
その他の処理方法				
炭 化	炭化物	脱水・乾燥設備 炭化設備	有機物回収 減量・安定化	ランニングコストが大きい 利用先の開拓が必要
脱水・焼却	灰	脱水・焼却設備	減量・安定化	リサイクルしたことにならない ランニングコストが大きい 処分先逼迫

## 2. PAMEDISの概要

### 2.1 概要

本技術は、図1に示す各プロセスから構成される。

#### ①前処理工程

食品廃棄物を受入れ、発酵不適物を取除いてスラリ化する。

#### ②メタン発酵・エネルギー回収工程

メタン発酵と発電設備により、食品廃棄物を分解し電力・熱エネルギーを回収する。

#### ③排水処理工程

メタン発酵処理液（消化液）をさらに処理する。ここで汚泥が発生する。

#### ④汚泥可溶化工程

発生した汚泥を可溶化し、分解しやすい状態にして処理工程に戻す。

詳細のフローについては、3章の実施例にて説明する。なお、この組合せプロセスについては、NEDO（(財)新エネルギー・産業技術総合開発機構）の2002年度地球環境保全技術開発事業として、パイロットスケールの実証試験を実施済みである。

### 2.2 構成技術の特長

本技術は、メタン発酵・エネルギー回収技術と汚泥減量化技術を組合わせたことを最大の特色としてい

る。以下に各技術の特長を示す。

#### 2.1.1 メタン発酵・エネルギー回収技術

廃棄物の性状に応じた多彩な前処理技術と、シンプルな消化槽、ガス発電技術からなる。

#### 2.1.2 汚泥減量化技術

当社が独自に開発した、微生物を利用した減量化技術である。好熱性細菌の一種である、*Bacillus stearothersophilus* の出す酵素をもちいて汚泥を可溶化し、分解しやすい状態にして水処理系へ戻すことにより、汚泥を二酸化炭素と水に分解する。

図2に、汚泥可溶化の概念図を示す。汚泥は、排水の生物処理において有機物を食べて増殖した微生物であり、分解しにくい細胞壁に取囲まれているため、通常の処理で分解・減量することは難しい。

ここで、汚泥を65℃前後の高温好気条件に保ち、好熱性細菌を共存させると、菌の出す可溶性酵素の働きで細胞壁が溶かされ、内部にあった易分解物質は細胞外へ出てくる。汚泥を可溶化設備と水処理系との間で循環させ、汚泥発生量と分解量とがバランスすると、有機物のほとんどは二酸化炭素と水に分解され、残渣の発生を極小化することができる。

なお、汚泥中の無機物と一部の難分解性有機物はガス化できないため、処理水中に無機塩、SS、

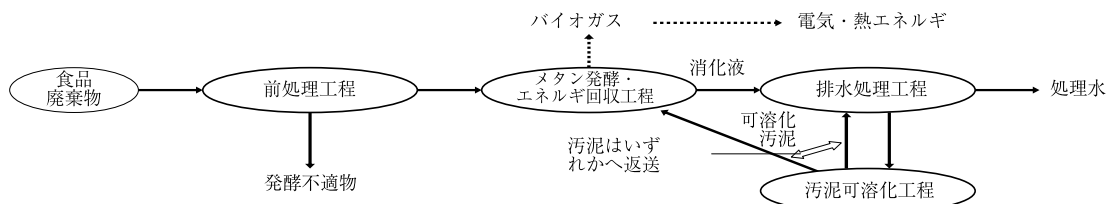


図1 PAMEDISの構成プロセス

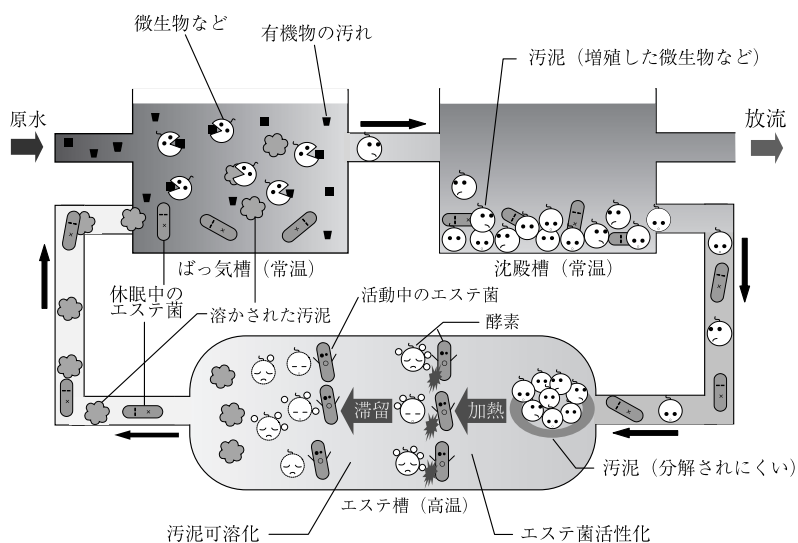


図2 汚泥可溶化の概念図

COD成分として残留する。残留する物質の量は、汚泥の構成成分と分解性の大小により左右されるが残留物が少なく、放流規制をクリアできる場合については、実質的に汚泥の処分量をゼロにすることが可能である。放流できない量の残渣が出る場合は、脱水処分等が必要となる。

この技術は、本報で紹介する事例以外に、下水・排水処理の分野において2004年6月現在で官需向け1件、民需向け7件の実績がある。

### 3. 適用例一食品工場廃棄物の処理

#### 3.1 設備概要

国の平成14年度「食品リサイクル総合対策事業」の補助金を受け、食品工場に第1号機を納入した。工場が発生する各種の食品廃棄物のうち、生ごみをメタン発酵設備で処理しエネルギー回収をおこなう。他に別工程で生おからが発生するが、これは乾燥させて良質の飼料原料として販売している。

設置場所：

生活協同組合コープこうべ

六甲アイランド食品工場（神戸市東灘区）

処理対象：

・生ごみ 5t/d（水分60%）

パン、豆腐、麺等の製造過程で発生

・汚泥 1t/d（水分80%の脱水ケーキ換算値）

排水処理の過程で発生

・おから 13t/d（水分90%）

設備構成：図3にブロックフローシートを示す。

・メタン発酵設備（写真1）

原料槽 27m<sup>3</sup>

消化槽 180m<sup>3</sup>

発電機 60kW（写真2）

・生ごみ破袋分別設備（写真3）

・汚泥可溶化設備（写真1）

可溶化槽 80m<sup>3</sup>

・圧縮減容化設備

・おから乾燥設備

#### 3.2 設備の構成と運転方法

図3のブロックフローにて、設備の構成と運転方法を説明する。

##### 3.2.1 メタン発酵および汚泥可溶化

上枠内の中央～下段は、設備の中核となるメタン発酵および汚泥の可溶化に関わる部分である。以下に詳細を示す。

① 生ごみは、生ごみ破袋分別設備に投入され、

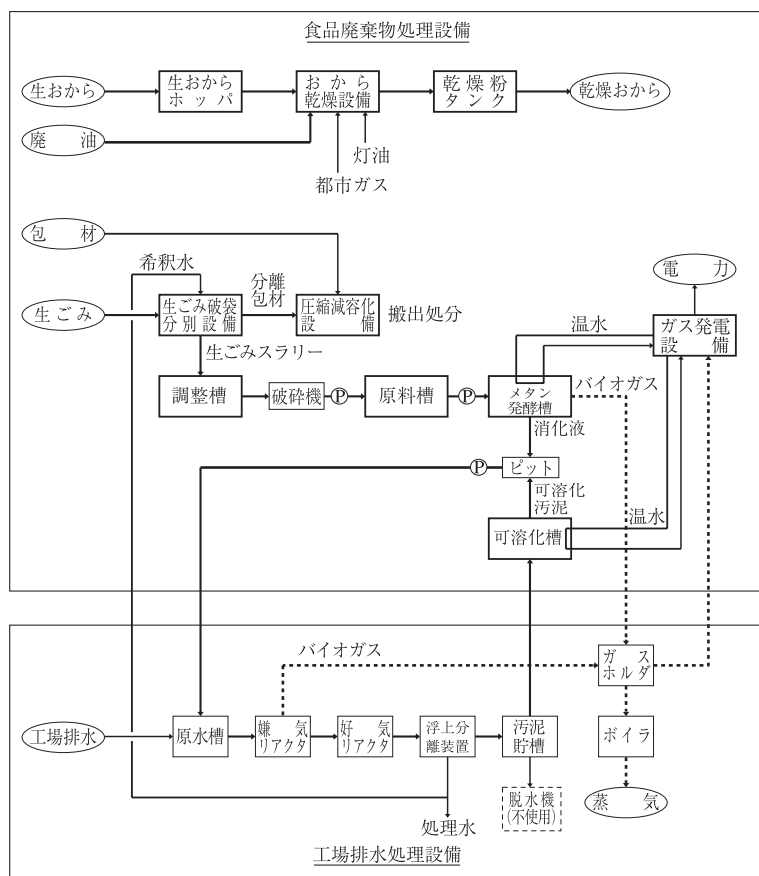


図3 ブロックフローシート



写真1 メタン発酵/汚泥可溶化設備



写真2 発電設備



写真3 生ごみ破袋分別設備

ここで発酵に適さない包材を分離する。生ごみは破碎され、調整槽に貯留される。破碎の過程で希釈水が投入され、ごみはメタン発酵に適した濃度に調整される。ここで、分離された包材は隣接の圧縮減容化設備へ空気搬送される。

- ② 調整槽が一定レベルに達すると、後段の破碎機およびポンプが起動し、生ごみスラリをさらに粉碎しながら原料槽に送る。
- ③ 原料槽からメタン発酵槽へ生ごみスラリを連続で供給し、メタンを含んだバイオガスを発生させる。発酵は55℃の高温発酵とし、反応速度を高めて発酵槽を小型化している。
- ④ メタン発酵処理液（消化液）は、工場排水処理設備（下側の槽）に送られる。ここで嫌気性処理、好気性処理により浄化され、発生した汚泥は加圧浮上設備にて回収される。
- ⑤ 回収された汚泥は、可溶化槽に送られる。ここで汚泥は65℃に加温され、槽内で活発に活動する好熱性細菌の出す酵素により可溶化され、分解しやすい形となる。
- ⑥ 可溶化された汚泥は再度工場排水処理設備に戻され、分解される。浮上分離で回収された汚泥は全量可溶化槽に送っており、一定のところで発生量と分解量がバランスする。
- ⑦ 発生したバイオガスは脱硫後、排水処理設備から発生するガスとともにガスホルダにいったん貯留される。
- ⑧ ガスはガス発電設備に導かれ、ガスエンジンにて60 kWの電力に変換される。この時発生す

る廃熱は温水として回収し、メタン発酵および汚泥可溶化の熱源として使用する。

- ⑨ 余剰のバイオガスは、工場側のボイラにて、蒸気製造の燃料として使用される。

### 3.2.2 おから乾燥

図3のフローの、食品廃棄物処理設備の枠内上段に、おから乾燥設備のフローを示す。この設備では、工場から出る廃油を主燃料として熱風を発生させ、乾燥おからを製造している。乾燥することにより保存性が大きく向上し、付加価値の高い製品となっている。

### 3.3 運転実績

設備は2003年11月より試運転を開始、同年12月より全量の食品廃棄物での運転を続けている。図4に、運転実績に基づくマテリアル・エネルギーバランスを示す。

#### 3.3.1 ガス発生

メタンガスは、メタン発酵設備から820 m<sup>3</sup>/d、工場排水処理設備から330 m<sup>3</sup>/d発生している。排水処理で発生するメタンのうち、メタン発酵の消化液と可溶化汚泥の流入による増加分は70 m<sup>3</sup>/dである。したがって、生ごみと汚泥に由来するメタンの合計は890 m<sup>3</sup>/dとなる。

#### 3.3.2 メタン発酵前後のスラリ性状の変化

表2に、メタン発酵前後の原料・消化液の性状の変化を示す。メタン発酵槽入口、すなわち希釈後の原料濃度は、水分で平均88.8%、TSとして11.2%であった。これに対し消化液のTS濃度は2.62%であり、76.6%の分解率となった。同様に、有機物

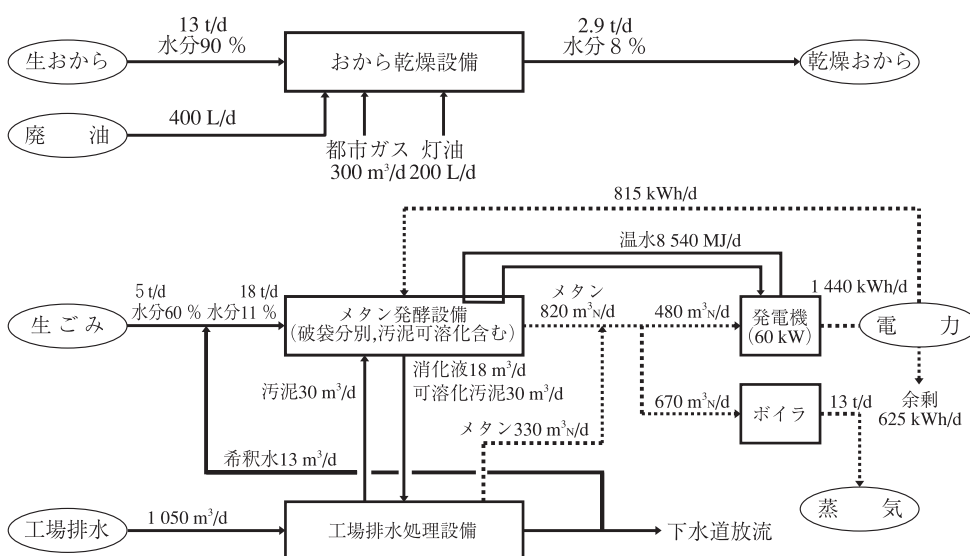


図4 マテリアル・エネルギーバランス

表2 原料および消化液の性状と分解率

		原 料		消化液	分解率
		希釈前計算値	メタン発酵槽入口	メタン発酵槽出口	
水分	%	59.7	88.8	97.4	—
TS (全蒸発残留物)	%	40.3	11.2	2.62	76.6
VTS (揮発性 )	%	39.2	10.9	2.32	78.7
CODcr	mg/L	525 600	146 000	39 100	73.2

の指標となるVTS (揮発性蒸発残留物), CODcr (化学的酸素要求量)の分解率は、それぞれ78.7%, 73.7%であった。

### 3.3.3 汚泥の減量

排水処理でもともと発生していた汚泥、消化液と可溶化汚泥の投入により増加した汚泥の合計が、加圧浮上設備で回収されて可溶化槽へ送られる。平衡に達した後の回収量は30 m<sup>3</sup>/dであり、これが可溶化して再び排水処理設備へ返送される。分解量と発生量はバランスしており、設備の運転開始以来、脱水機の運転は必要とされていない。

### 3.3.4 エネルギーバランス

メタンは、発電機および蒸気ボイラの運転にもちいられている。

発電機ではメタンを480 m<sup>3</sup>/d消費し、出力60 kW, 1 440 kWh/dの電気を生み出している。おから乾燥を除いたメタン発酵設備全体 (生ごみ破袋分別設備, 圧縮減容化設備, 可溶化設備を含む)の消費電力量は815 kWh/dであり、発生電力の57%で運転が可能である。余剰電力625 kWh/dは工場内で有効利用され、省エネルギーに貢献している。

なお、メタン発酵と直接関係しないおから乾燥設備までを含めても、新設分の消費電力の総量は1 620 kWh/dである。メタン発酵での発生電力1 440 kWh/dにて、おから乾燥を含めた電力のほぼ90%に相当する量をまかなっている。

発電により発生する余剰熱は、温水としてメタン発酵槽と可溶化槽に供給し、発酵温度・反応温度維持にもちいている。

また、余剰ガス850 m<sup>3</sup>/dは、蒸気ボイラの燃料として有効利用している。

### 3.3.5 おから乾燥

400 L/dの廃油を主燃料とし、不足分を都市ガスと灯油で補いながら、13 t/dの生おからより2.9 t/dの乾燥おからを製造している。

## 3.4 効 果

おから乾燥を含む食品廃棄物処理設備の導入効果により、工場全体でのリサイクル率は、62%から96%とより高い水準に到達した。

さらに費用面でも大きな効果をもたらし、生ごみおよび汚泥処分費の削減、エネルギー収支の改善、乾燥おからの売却益等により、導入前にくらべて年間9 000万円もの収支改善効果が出るに至った。

## 3.5 ま と め

- 1) 食品工場を対象に、メタン発酵と汚泥可溶化技術を組合わせた廃棄物処理設備を導入し、残渣の処分を不要とすることに成功した。
- 2) 前処理とメタン発酵、可溶化の動力および熱源は、全て生ごみから取出したエネルギーでまかなうことができた。
- 3) 併設のおから乾燥設備と合わせ、工場全体のごみリサイクル率を96%まで向上させるとともに、ごみ処理にかかる経費を削減し、年間9 000万円の収支改善効果を生むことができた。

## 5. 今後の課題

- 1) 異なる種類の食品廃棄物への対応  
今回の事例は比較的分解しやすいものが多く、投入形態も安定していた。今後は異なる成分、異なる搬入形態の食品廃棄物処理など、複雑なケースにも対応できるよう、知見を蓄積する。
- 2) コストダウン  
投資効果の大小にかかわらず、いかなるケースにおいても初期投資は少ないことが望ましい。普及促進に向け、更なるプラント建設コストの低減をおこなう。
- 3) 発電方式の技術革新への対応  
今回はコストと実績から現時点でもっとも現実的であったガスエンジンを採用したが、マイクロガスタービンや燃料電池の採用も検討し、よりメリットの大きいものを使用する。

## む す び

メタン発酵技術には大きなメリットがあり、循環型社会の確立に向けて今後の普及拡大が期待される。そのなかにあって、今回報告した技術は、残渣の処理という従来型のメタン発酵技術の弱点を克服し国内事情にマッチした有望な技術であると確信する。今後さらに技術改良とコストダウンに努め、より導入しやすい設備に仕上げていく。