

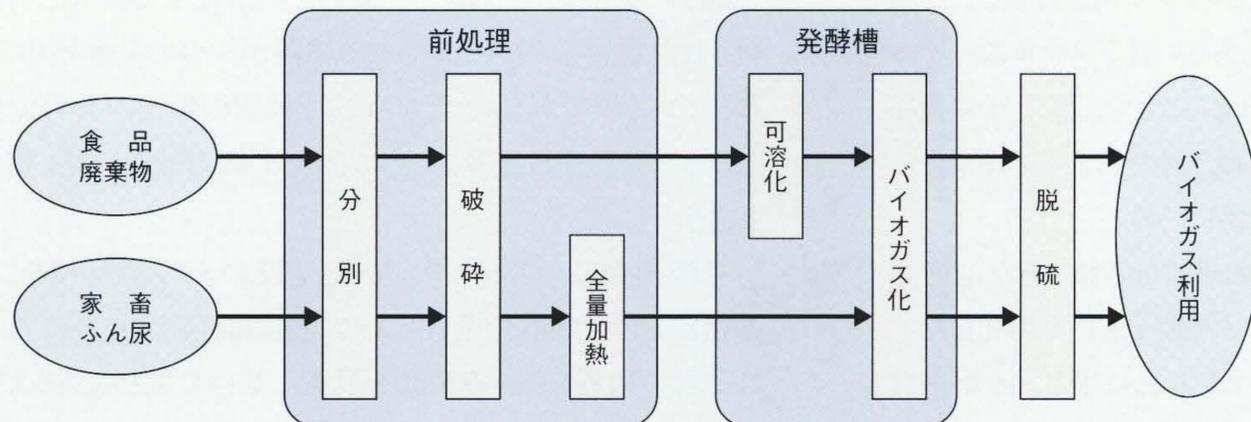
# 循環型社会に向けた有機性廃棄物の資源化システム

## Organic Wastes Recycling Systems for Resources Circulating Societies

紅林 利彦 Toshihiko Kurebayashi  
森 直道 Naomichi Mori

瀬並 寛之 Hiroyuki Senami  
吉田 直美 Naomi Yoshida

岡田 泰三 Taizô Okada  
北林 厚生 Atsuo Kitabayashi



### 日立グループの有機性廃棄物バイオガスシステム

日立グループは、家畜ふん尿や食品廃棄物からのエネルギー回収システムと、この技術を核としたリサイクルシステムの構築を目指している。



食品廃棄物と家畜ふん尿処理システム



家畜ふん尿処理システム

1999年以降、食品廃棄物や家畜ふん尿などのリサイクル関連法案の施行、廃棄物処理法の改正による排出者責任の強化などにより、有機性廃棄物のリサイクルにおける課題解決は、行政、生産者、消費者などにゆだねられるようになった。

有機性廃棄物のリサイクル法の一つとして、バイオガスシステムが着目されている。バイオガスシステムでは、食品廃棄物などをメタン発酵させてメタンガスを回収し、燃料電池やガスコージェネレーション、あるいはジメチルエーテル(DME)への改質技術と組み合わせることで、都市部や食品関連企業における食品廃棄物処理と同時に、省エネルギーや二酸化炭素の排出削減に寄与することができる。また、バイオガス化は、食品廃棄物の排出量が多く電力需要の大きい都市部で行えるので、新たな長距離に及ぶ送電線設置の必要がない。

今まで、有機性廃棄物のリサイクルについては主に

たい肥化が推進され、環境負荷の低減や農業生産の改善にもつながると考えられた。しかし、たい肥が予想どおり普及しなかったり、地域的には供給過剰を招くなどの課題が生じてきた。さらに、生ごみから作られたたい肥を農家に信頼して使ってもらうためには、品質保証の問題もある。

このような背景から、わが国では、1990年代からバイオガスシステムの実用化に向けた研究・開発が活発化してきた。

一方、従来はリサイクルが困難で主として焼却されてきた油脂系食品廃棄物についても、日立グループは、リサイクルシステムを開発し、実用化した。

日立グループは、産・官・学の連携の下に、有機性廃棄物の新たなリサイクル技術の開発を進め、リサイクル手段の拡大を図っている。これにより、対象となる廃棄物や地域特性に合った技術を提案し、循環型社会システムの構築に貢献していく。

## 1 はじめに

わが国の有機性廃棄物の排出総量は、年間2億8,000万tに及ぶ。これらについては、主にたい肥化が推進されてきた。しかし、たい肥が予想どおり普及しなかったり、地域的には供給過剰を招くなど新たな課題が生じてきた。

新たな有機性廃棄物のリサイクル方法の一つとして、エネルギー回収を目的としたメタン発酵システム(以下、バイオガスシステムと言う。)が着目されている。バイオガスシステムでは、食品廃棄物などをメタン発酵させてメタンガスを回収し、燃料電池やガスコージェネレーション、あるいはジメチルエーテル(DME)への改質技術と組み合わせることで、都市部や食品関連企業における食品廃棄物処理と同時に、省エネルギーや二酸化炭素削減に活用することができる。

一方、日立グループは、主に焼却処分されてきた油脂系食品廃棄物をリサイクルするシステムを開発し、実用化した。

ここでは、日立グループのバイオガス化技術と、油脂系食品廃棄物のリサイクル化の要素技術について述べる。

## 2 バイオガスシステム

わが国では、1950年代に個人農場向けとして、鶏ふんなどを使った小規模なバイオガスシステムが普及した。2000年前後からは、生ごみを対象として処理量20~50 t/d規模以上の

システムの導入が検討され始めた。

一般的なバイオガスシステム例を図1に示す。前処理装置で夾(きょう)雑物が除去された発酵原料(有機性廃棄物)は、原料調整槽に送られる。ここで、原料は、かくはんなどによって10%程度の固体濃度に均一化される。均一化された原料は、メタン発酵槽に供給される。メタン発酵装置で発生したバイオガス中の硫化水素は、脱硫塔で除去され、精製メタンガスとして貯留される。消化液は、水処理後に放流される。

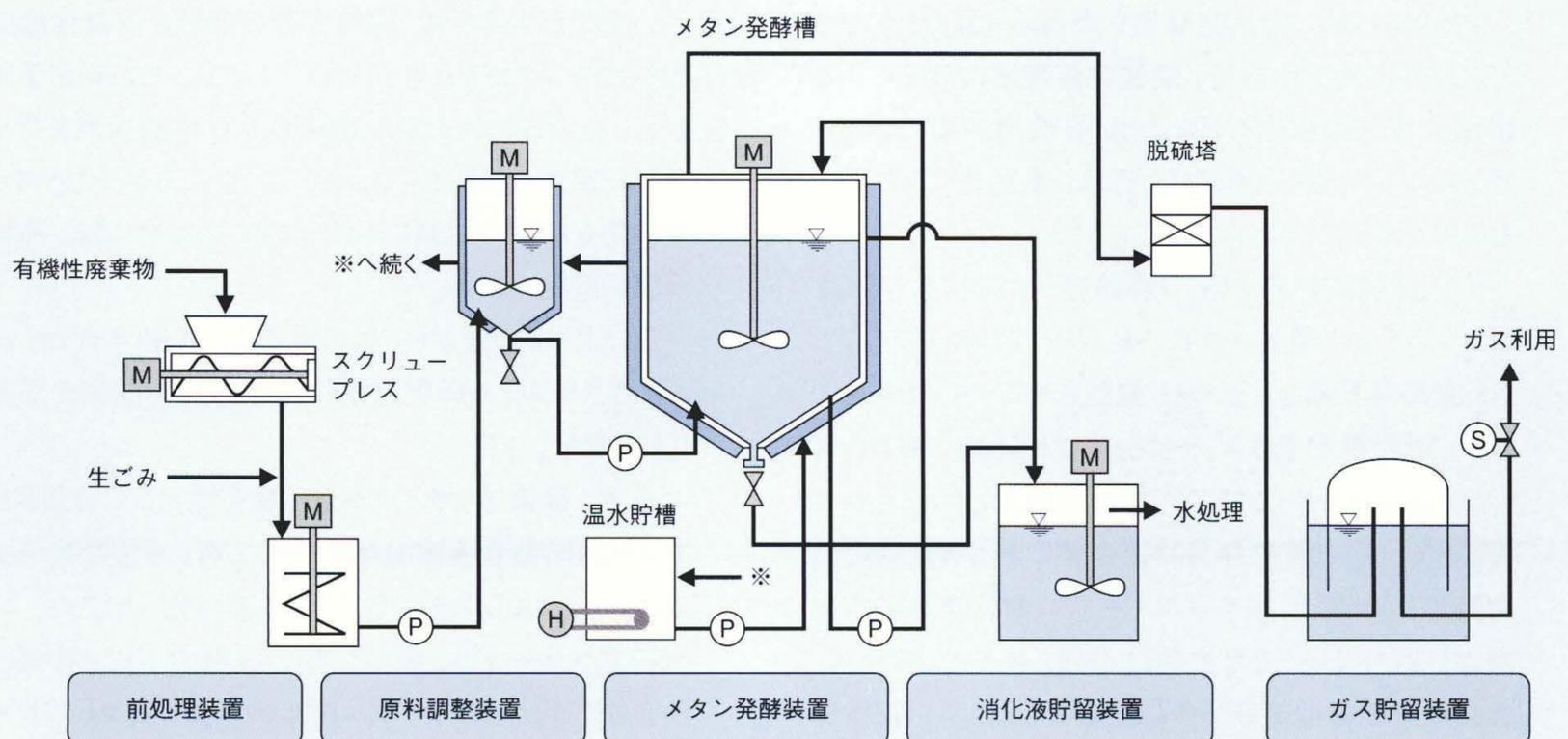
バイオガスシステムには、発酵槽が1槽のシステムと2槽のシステムの2種類がある。

図1の発酵システムは、有機物を可溶化する細菌と、可溶化された物質をメタン発酵させる細菌が一つの発酵槽中に共存している例である。したがって、2種類の細菌が共存できるプロセス条件を設定することになる。この方式を「1槽2相式」と言う。

発酵槽が二つのシステムでは、図1のメタン発酵槽を二つの槽に分け、可溶化過程とメタン発酵過程を別々の槽で、それぞれの過程を担う細菌類を最適な条件で保持できるようにバイオガス化する。この方式は「2槽2相式」と呼ばれ、脂質やタンパク質など難分解性物質を多く含む廃棄物などの処理に適している。

バイオガスシステムの原料は、家畜ふん尿と食品廃棄物に大別できる。おのおのの原料の特徴は、前者は尿由来のアンモニアを、後者は脂質やタンパク質を多く含むことである。

メタン発酵菌は37~55℃で活性を示す。家畜ふん尿をバイオガスシステムの原料とした場合には、アンモニアの影響が



注：略語説明

M(Motor), P(Pump), H(Heater), S(Switch)

図1 一般的なバイオガスシステムの基本構成

一般的なバイオガスシステムは、前処理装置、原料調整装置、メタン発酵装置、消化液貯留装置、およびガス貯留装置から成る。

表1 原料別バイオガスシステムの特徴

家畜ふん尿と食品廃棄物を原料とした場合のバイオガスシステムの特徴をそれぞれ示す。

原料	原料の特徴	システムの違い
家畜ふん尿	アンモニアを含む。	・1槽式システム ・中温発酵
食品廃棄物	脂質、タンパク質を含む。	・2槽式または1槽式システム ・高温発酵または中温発酵

少ない37℃の発酵温度に、食品廃棄物の場合には、反応速度が高められる55℃にそれぞれ設定されている例が多い。原料別のバイオガスシステムの特徴を表1に示す。

### 3 各種バイオガスシステムの実施例

原料別の実施例について以下に述べる。

#### 3.1 家畜ふん尿のバイオガスシステム

日立グループは、関東地方で、乳牛ふん尿を用いた処理規模5 t/dのバイオガス化実証実験を2002年7月から2004年3月まで行う。このシステムのフローを図2に示す。このシステムは1槽2相式であり、家畜ふん尿スラリーの全量加熱処理工程をシステムに組み込んでいる点が特徴である。

受け入れた家畜ふん尿については、発酵槽の前段槽内で、その全量に対して70℃で1時間の加熱処理を行う。

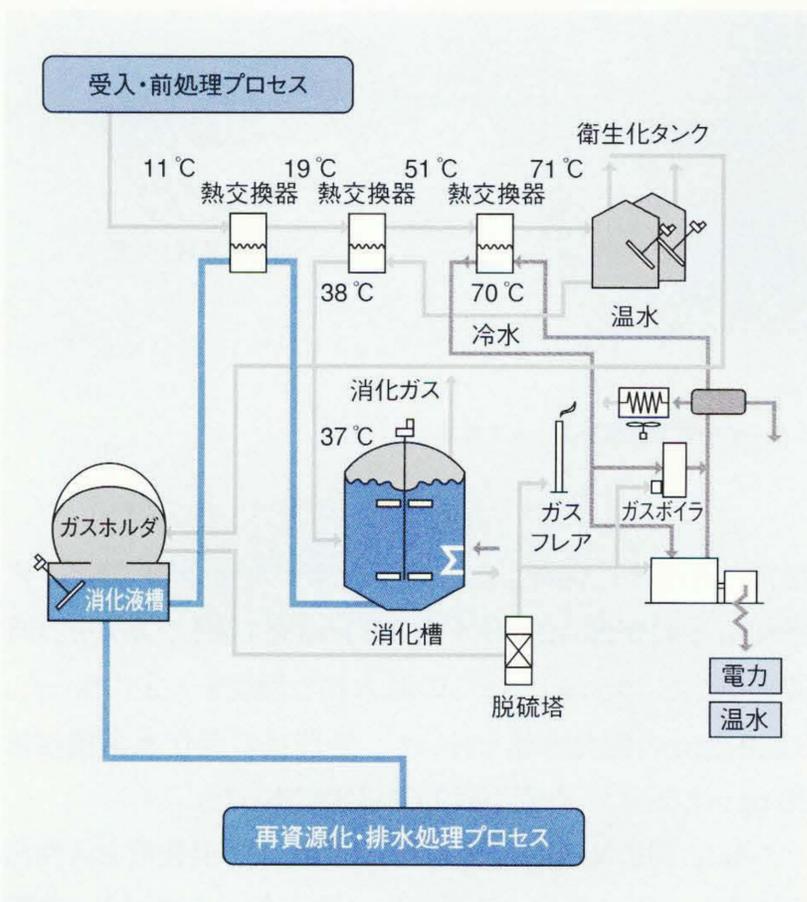


図2 バイオガスシステムのフロー(家畜ふん尿)

この方式の最大の特徴は、ふん尿スラリーを全量加熱処理する点である。このことは、消化液の液肥としての安全性とバイオガス化の効率向上に寄与する。

この過程によってメタン発酵を阻害する雑菌を減少させ、メタン発酵の安定化を図っている。さらに、消化液を液肥として用いる場合も、雑菌や種子類を不活性化するのに効果的である。加熱には、乱流効果によって閉そくを防ぎ、粘性の高い家畜ふん尿どうしに対しても効果的な熱交換器を用いた。

この熱交換器により、70℃までいったん昇温させた原料は発酵温度(37℃)まで下げられ、メタン発酵槽に供給される。

#### 3.2 食品廃棄物のバイオガスシステム

日立グループは、2000年3月から約2年間、北見市、北見工業大学、および株式会社栗本鐵工所と、食品廃棄物のバイオガス化の共同研究を実施した。なお、この研究のうち、2001年7月から2002年2月までの分は、財団法人廃棄物研究財団の技術開発支援事業として行ったものである。システムフローを図3に示す。

このシステムでは、可溶化槽とメタン発酵槽とを分けることにより、システムの効率向上を図った。

食品廃棄物は破碎され、発酵不適物が除去されて可溶化槽へ至る。可溶化槽では、通気条件下で約1日かけて加水分解が行われる。

可溶化液は、後段の固液分離過程を経て、メタン発酵槽へ供給される。ここでは35～39℃の中温発酵を採用した。

12月から2月までの厳冬期でもバイオガス中のメタン濃度は約60%であり、所定の性能が得られた。

2002年4月からは、バイオガス発生量の増加、消化汚泥量の削減、およびシステムのコンパクト化を目的に、有機性廃棄物のバイオガス化処理技術の高度化研究(経済産業省補助事業)に取り組んでいる。

#### 3.3 家畜ふん尿・食品廃棄物のバイオガスシステム

日立グループと東京農業大学は、2001年度に、農林水産省の技術開発支援事業「地域新生・食品産業活性化技術開発事業」を財団法人食品産業センターから受託し、茨城県里美村をフィールドとして共同研究を行った。ここでは、この地域内で特徴的な牛ふんと食品廃棄物を、エネルギーや農業資源として総合的に循環利用するための基本的システムの構築を試行した。システム例を図4に示す。

このシステムでは、畜産農家から排出された家畜ふん尿と、給食施設や食品産業から排出された事業系の食品廃棄物を同時に投入し、バイオガス化する。ガスについては、電気や熱に変換して場内と畜舎のエネルギーとして用いる。バイオガス化後に発生する消化汚泥と消化液は、たい肥や液肥としてそれぞれ有効利用される。処理規模50 kg/dのバイオガス化発酵パイロットプラントを茨城県里美村に設置し、家畜ふん尿と食品廃棄物を原料に、約半年間の連続実験を行った。このプラントの外観を図5に示す。

実験では、まずスクリーンプレスを用いて原料からわらくず

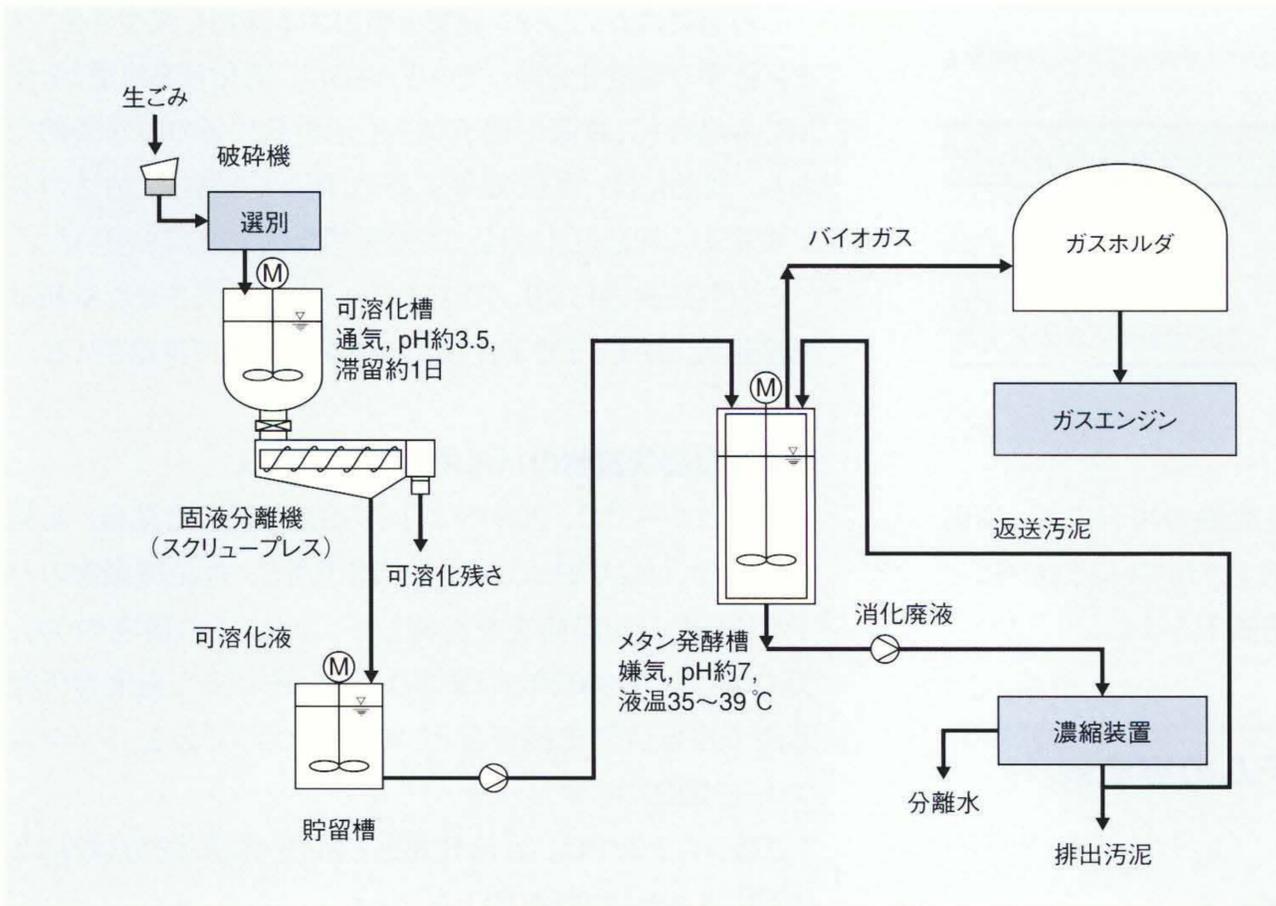


図3 北見市における実証試験のフロー

発酵不適物を除去した後、通気条件下で加水分解し、固液分離後に液体部分をメタン発酵の原料としている。

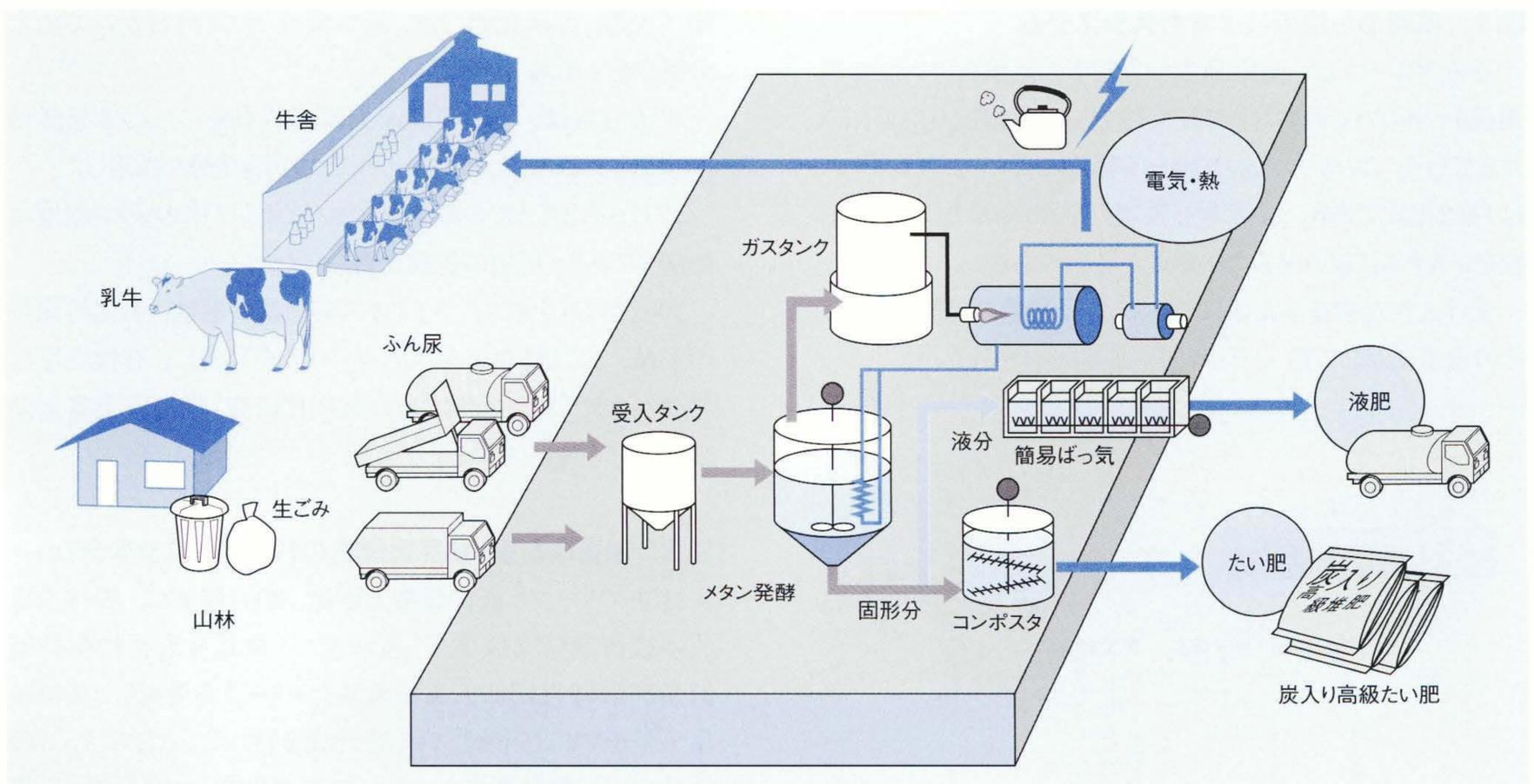


図4 地域内資源循環システムの概要

地域特有の廃棄物の性状や特性に合わせた処理方法を有機的に組み合わせた、省エネルギー型の資源循環システムを提案している。

などの夾雑物を除き、バイオガス化させた。分離されたわらくずは、たい肥化原料として利用できる。投入原料1 t当たり20～25 kWhの電力が得られることを確認した。

バイオガス化で発生したガスには、硫化水素(H<sub>2</sub>S)が含まれている。これまでは、鉄系触媒によってこれを除去していた。ここでは、硫化水素を生物的に除去することを目的に、「包括固定化担体」を利用する方式を試みた。その概略を図6に示す。

包括固定化担体は一辺約3 mmの立方体で、硫黄酸化

細菌を高濃度に保持した高分子含水ゲル化合物である。直径50 mmのカラムに担体を約200 mm充てんし、ガスを24時間通気した。カラムは、30℃の温水槽で温度を一定に保った。3,500 ppmの硫化水素を注入し、処理後の硫化水素濃度は20 ppmとなった。除去率は99%以上であった。

さらに、同じ包括固定化担体を利用して、消化液を活性汚泥処理した際に発生する硝酸塩の除去効果を調べた。処理水をカラムに24時間通水した。その結果、硝酸態窒素濃度550 ppmに対し、脱窒後の処理水のそれは340 ppmであり、

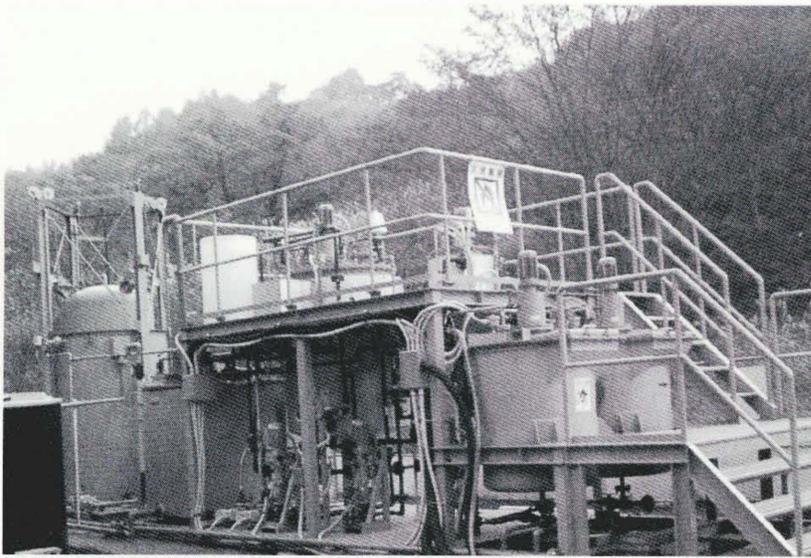


図5 茨城県里美村に設置したパイロットプラントの外観

食品廃棄物や家畜ふん尿を原料に、半年間の実証試験を行った。処理規模は50 kg/dである。

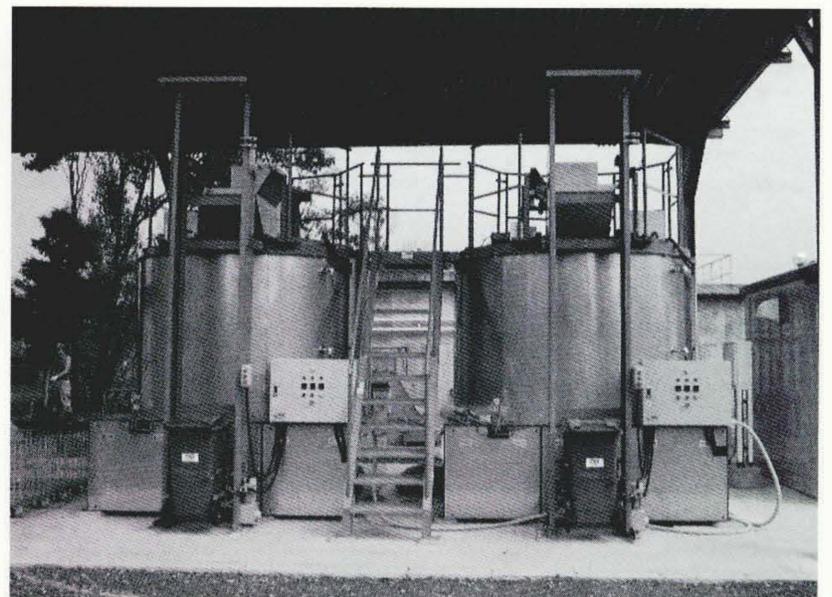


図7 油脂系食品廃棄物発酵装置の外観

発酵処理能力は150 kg/d×2系列で、出来上がったたい肥は、茨城県内の畑作農家で土壌改良剤として利用されている。

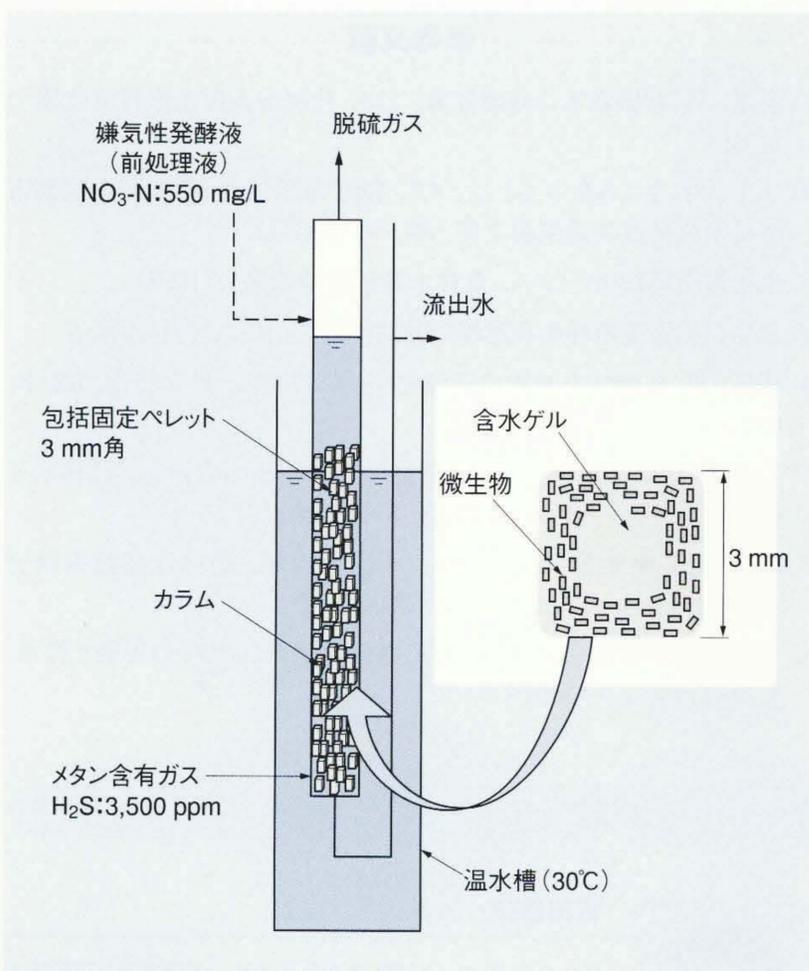


図6 包括固定化担体を利用する方式の概要

硫化水素を効率的に除去する方法として検討中である。

約40%の除去効果があった。ここで用いた包括固定化担体は、バイオガス中の硫化水素を効率よく除去できるとともに、バイオガス化後の排水中の窒素除去が可能であり、有効な方式であることを確認した。

メタン発酵後の消化液を約100倍に希釈し、エンサイの水耕栽培を実施した結果、乾物の質量が通常の水耕栽培の約1.2倍という良好な成績を得た。

## 4 油脂系食品廃棄物のリサイクル

油脂系食品廃棄物はリサイクルが困難で、そのほとんどは

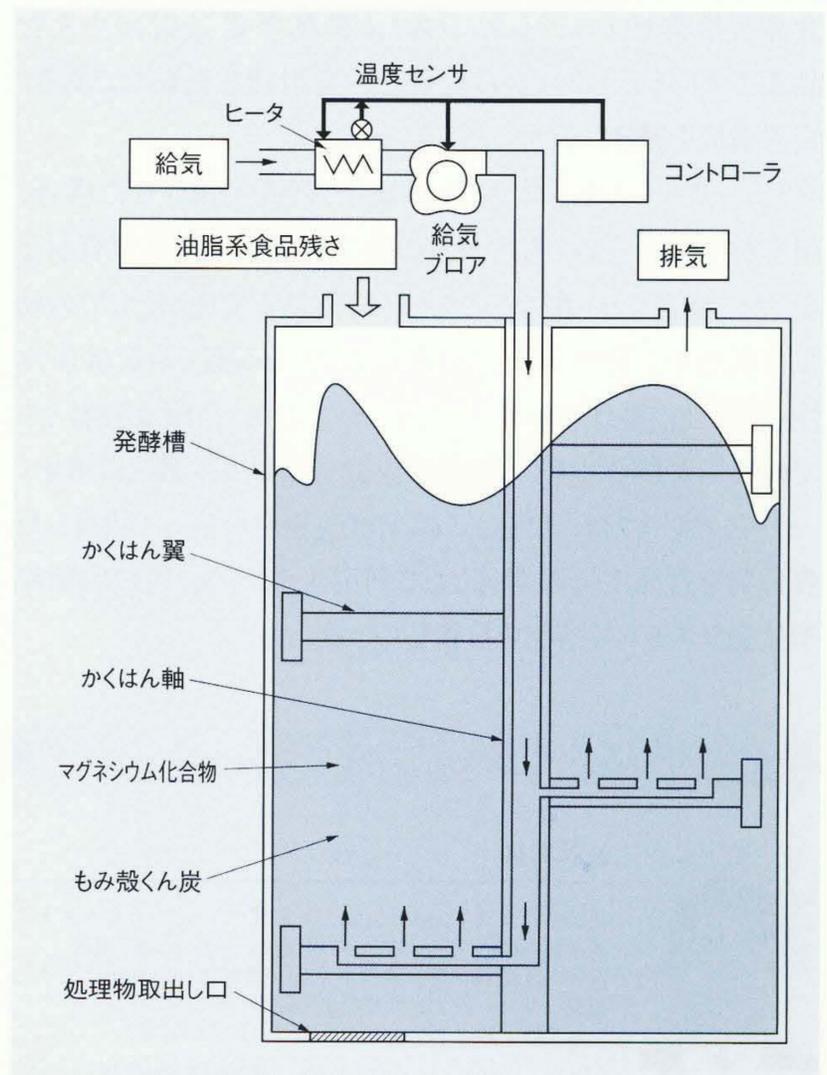


図8 油脂系食品残さ発酵分解装置の概略構造

発酵分解が難しい油脂系食品残さに発酵副資材を加えることにより、発酵を促進させている。

焼却処理されてきた。今回、油脂系食品廃棄物の処理システムを開発し、製品化した。その外観を図7に示す。

油脂系食品廃棄物は、以下のような特性を持っている。

- (1) 粘性が高く塊状になるため、内部まで酸素が入りにくく、嫌気状態となる。
- (2) 発酵分解過程で発生する脂肪酸により、系が酸性となって発酵が停止する。

表2 油脂系食品廃棄物を原料とした製品の成分

油脂系食品廃棄物を原料とした製品は、窒素、リン酸、およびカリウム成分とも含量が1%未満であるが、土壌改良材に適している。

成分	組成(%)
水	30.0
全窒素	0.8
全リン酸	0.9
全カリウム	0.6
塩分	0.3
粗脂肪	3.5

この対策として、多孔質で粘性低下効果がある珪酸を多く含むもみ殻くん炭と、弱アルカリ性で微生物活性を妨げないマグネシウム化合物の2種類を発酵副資材として用いた。もみ殻くん炭とマグネシウム化合物は、発酵原料に合わせて適正に配合する。

このシステムは、農林水産省の補助事業である「2000年度食品製造業ゼロエミッションシステム構築事業」を財団法人食品需給研究センターから受託し、実用化したものである。装置構成を図8に示す。

シュークリームを主体とした洋菓子残さを発酵させた場合、副資材全体を含めても投入量の約 $\frac{1}{3}$ に減量した農業資材となった。窒素やリン酸などの含量は1%以下で肥料としての効果は低いが、発酵副資材として用いたもみ殻くん炭は保水性・透水性に優れていることが知られており、土壌改良材としての利用が期待できる。製品の成分分析結果を表2に示す。

日立グループは、現在、この土壌改良材を使って栽培した農作物を食品工場の素材として利用するような、地域内循環型社会システムの構築を目指している。

## 5 おわりに

ここでは、循環型社会に向けた有機性廃棄物の資源化システムについて述べた。

有機性廃棄物の資源化と循環型システムの構築では、「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律」の施行を受け、整備が進んでいる。有機性廃棄物のリサイクルは生活に密着している重要な課題であり、関係者それぞれの役割分担が必要である。

日立グループは、今後も、産・官・学の連携の下に、地域に適した社会システムの構築を提案していく考えである。

### 参考文献

- 1) 西尾, 外:有機栽培の基礎知識, 118, 社団法人農山漁村文化協会(1999)
- 2) 下平, 外:生ごみを中心としたメタン発酵実証試験, 第23回全国都市清掃研究発表会講演論文集, 89~91(2002.1)
- 3) 生物系廃棄物リサイクル, 農林水産技術情報協会(1998)
- 4) 食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律, 農林水産省
- 5) 相馬, 外:有機性廃棄物の資源化・活用システム, 日立評論, 82, 8, 497~500(2000.8)
- 6) 牛久保:食品廃棄物の現状と食品リサイクル法への対応, 農林水産技術研究ジャーナル, Vol. 25, 3, 5~10(2002.3)
- 7) 羽賀:畜産廃棄物のリサイクルの現状と課題, 農林水産技術研究ジャーナル, Vol. 25, 3, 11~17(2002.3)
- 8) 市町村及び食品製造業における有機性廃棄物処理の実態と課題, 農業総合研究所(2001.2)

### 執筆者紹介

#### 紅林利彦



1989年日立製作所入社, 電力・電機グループ 社会システム事業部 環境システム本部 環境ソリューション部 所属  
現在, 一般廃棄物, 産業廃棄物, 農林畜産廃棄物に関する環境ソリューション事業提案に従事  
日本土壌肥料学会会員  
E-mail: toshihiko\_kurebayashi @ pis. hitachi. co. jp

#### 森 直道



1971年日立プラント建設株式会社入社, 環境システム事業本部 環境装置事業部 開発部 所属  
現在, 産業廃水・廃棄物を対象に生物処理技術を中心としたシステム開発に従事  
工学博士  
日本水処理生物学会会員, 環境システム計測制御学会会員  
E-mail: n-mori @ hitachiplant. co. jp

#### 瀬並寛之



1994年日立金属株式会社入社, 環境システムカンパニー 環境技術センター 所属  
現在, メタン発酵と汚泥減容化技術の開発に従事  
E-mail: hiroyuki\_senami @ hitachi-metals. co. jp

#### 吉田直美



1986年バブコック日立株式会社入社, 環境プラント技術本部 ガス化溶融炉プロジェクト部 所属  
現在, メタン発酵システムの基本計画・開発に従事  
化学工学会会員  
E-mail: yoshida-n @ kure. bhk. co. jp

#### 岡田泰三



1979年日立那珂エレクトロニクス株式会社入社, 計器設計・開発本部 所属  
現在, 有機性廃棄物発酵分解装置と排水処理装置の開発設計に従事  
E-mail: okada-taizo @ naka. hitachi-hitec. com

#### 北林厚生



1970年日立住宅設備株式会社入社, 株式会社日立空調システム 事業統轄本部 所属  
現在, 環境試験装置および環境関連システムの営業に従事  
日本防菌防黴学会会員, 日本食品科学工学会会員, 日本医療福祉設備学会会員, バイオメディカルサイエンス研究会会員, 日本実験動物環境研究会会員  
E-mail: a-kitaba @ hitachiacs. co. jp