

河川・湖沼の水環境は生活排水と産業廃水の流入により汚濁し、浄水場や生活排水・産業廃水を処理する下水処理場・廃水処理施設への高度水処理技術の導入に関心が高まっている。また、処理の際に発生する汚泥の量は増加傾向にあり、再利用を考慮した減容化(水分の減少化)汚泥処理が注目されている。当社では、食品工業などの高濃度有機廃水を処理する“メタン発酵バイオリアクタ”，下水処理水などを消毒・脱色・脱臭処理するための“オゾン発生器”，汚泥を脱水・乾燥によって減容し、土壌改良剤などとしての緑農地還元を容易にする“汚泥乾燥装置”など、環境調和型の技術を活(い)かし、資源循環社会の構築を目指している。

There has been growing interest in the application of advanced water treatment technologies to water purification plants, sewage treatment plants, and wastewater treatment facilities. In addition, with the amount of sludge generated at treatment facilities increasing, attention is being given to volume reduction technology for sludge treatment that takes recycling of resources into account.

Toshiba is applying environment-friendly technologies in these fields and striving to foster a society in which resources are recycled as much as possible.

## 1 まえがき

飲料水の安全確保と排水浄化や汚泥減容化を行うため、水処理・汚泥処理技術は人口の増加、産業の高度化とともに技術開発や改良が重ねられてきた。最近では地球環境を守る立場から新たなニーズが発生している。

水処理においては、従来の塩素滅菌処理では処理水中の有機物と反応して有害なトリハロメタンなどを生成し、生態系に悪影響を与える問題がクローズアップされたことで、有害物質を発生させない処理技術が求められている。

また、汚泥処理においては減容はもちろんのこと、農地への還元や処理工程で発生するバイオガスの有効利用など、資源循環社会を目指した技術が求められている。



図1. メタン発酵バイオリアクタ 高濃度廃水を嫌気性微生物であるメタン菌で処理する省エネルギー装置である。

Methane fermentation bioreactor

## 2 メタン発酵バイオリアクタ

### 2.1 システムの概要

このシステムは特に高濃度有機性廃水を、嫌気性微生物のメタン菌を固定化して処理するものである。有機物は低分子に分解後、酢酸などを経て最終的にメタンガスと炭酸ガスに分解される。メタン菌は自己造粒機能があり、粒状化されて直径1~2mmのグラニューールとなる。この段階で菌体密度が高くなり、生物化学的酸素要求量(BOD)値の大きな高濃度廃水の処理が可能となる。このタイプをUASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket: 上向流式嫌気性汚泥床)と呼ぶ。装置は上向流式の一つの沈殿池で、廃

水は装置底部の分配管から供給され、約2mのグラニューール層を上方へ緩やかに通過する間に浄化される。発生したガスは、上部のGSS(Gas Solid Separator: 気固液分離装置)で回収される。また、処理水はオーバーフローされる。図1にタンク形のリアクタを示す。標準の高さは6.5mで、廃水の負荷により面積の大きさが変わる。

リアクタ内の溶液中の水素イオン濃度(ペーハー: pH)は中性の7前後、温度は33~37℃にコントロールされる。pH計、温度計、レベル計、ORP(Oxidation Reduction Potential: 酸化還元電位)計などによって、ポンプ、電動弁などが自動制御される。日常の管理では、pHと温度の



管理が非常に重要となる。

## 2.2 特徴

一般的に長所として、以下のことなどが挙げられる。

- (1) 菌体の増殖速度が遅いため、余剰汚泥の発生量が少ない(標準活性汚泥法の約 1/10 程度)。
- (2) 菌体が酸素を必要としないため、曝(ばっ)気が不要となり電力消費が少ない(標準活性汚泥法の約 1/3 程度)。
- (3) 菌体濃度が高いため、設置面積が小さい(標準活性汚泥法の約 1/5~1/2)。
- (4) 発生したメタンガスをエネルギーとして有効利用できる(発電、ガスボイラなど)。

また、短所としては以下のことなどが挙げられる。

- (1) 菌体活性の最適温度が 37℃ であるため加温用の設備とエネルギーが必要である。
  - (2) 廃水中にイオン成分が多いと硫化水素に還元されて菌体に阻害を起こす。
  - (3) 油分と固形分が多い廃水では処理性能が低下する。
- 短所で挙げた(1)は菌の性質上解決策はないが、(2)、(3)について当社は以下の独自技術を保有している。

- (1) 硫化水素阻害を防ぐストリッピング技術
  - (2) 油分除去技術(乳製品廃水対象)
  - (3) 凝集剤無添加で高品質飼料化・堆(たい)肥化する固液分離技術(焼酎(ちゅう)廃液、畜産糞(ふん)尿対象)
- さらに二相式処理、化学的酸素要求量(COD)除去、窒素除去などをこのシステムに組み込んだ新しいメタン発酵処理システムを開発中である。

## 2.3 事例

### 2.3.1 食品廃水処理

食品工業には多様な生産品目があり、廃水の種類も多く、それぞれに適した処理方法が求められる。ここではいくつかの例を図 2 に示す。一般に油分の多い廃水では凝集加圧浮上装置、デンプン質や固形分の多い廃水では酸生成槽などが前処理として使われる。また、河川放流では嫌気性

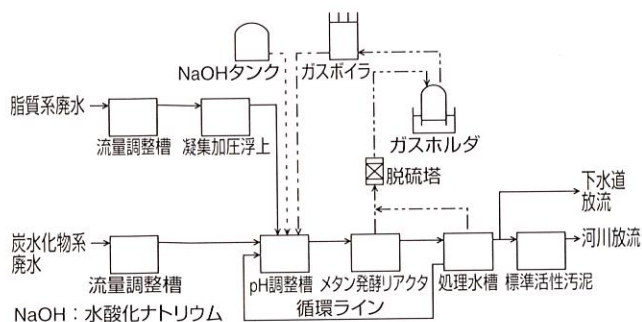


図 2. 食品工場廃水処理フロー 食品工場における基本的な廃水処理のフローを、2 種類の原水系統と、河川放流、下水放流で示す。

Schematic diagram of food factory wastewater treatment

処理の後に好気性処理を行い放流されるが、下水道の場合にはアクタ処理水がそのまま放流されることが多くなっている。表 1 に下水道放流における原水と処理水の諸元を示す。

表 1. 廃水の諸元

Basic properties of wastewater

項目	原水	処理水
流量(m <sup>3</sup> /日)	200	200
BOD(mg/l)	3,000	300
SS(mg/l)	400	100
n-Hex(mg/l)	20	10
pH(-)	4	6~8

SS: 水中の浮遊物質 n-Hex: ノルマルヘキサン中質物質

このシステム(メタン発酵法)の導入による、従来方式とのランニングコストの比較は以下のとおりであり、1年間で約 1 千万円のメリットがでる。

- (1) 標準活性汚泥(従来法): 40,800 円/日
- (2) メタン発酵法: 7,600 円/日

### 2.3.2 畜産糞尿処理

飼養規模の拡大、飼養地と住居の混在化、地域住民の環境保全への関心の高まり、水質などの規制強化により畜産農業における環境保全ニーズは高まる一方である。

当社のシステムは、国が推進する「地域畜産環境整備対策法案」に添っており、堆肥化による堆肥づくり、処理過程で発生するメタンガスを利用した発電が可能である。このシステムを導入した場合の主なメリットを下記に挙げる。

- (1) 凝集剤を添加しないため、高品質な飼料や良質な堆肥化ができる。凝集剤のコストもかからない。一例を挙げると、糞尿受入量 200 m<sup>3</sup>/日、堆肥化原料(固形分)の含水率が約 80% の場合、完熟堆肥を約 6 t/日(約 16 m<sup>3</sup>)造り出すことが可能である。
- (2) 処理過程で発生するメタンガスで発電を行い、所内の設備に電力として供給できるので、従来の活性汚泥法に比べてランニングコストが低く抑えられる。一例を挙げると、糞尿受入量 200 m<sup>3</sup> 日、BOD が 60,000 mg/l の場合、発電可能電力は約 5,000 kWh/日である。
- (3) 活性汚泥脱臭処理を行い、臭気を最小限に抑制できる。
- (4) 脱窒素、脱リン、脱色処理を行うので河川や閉鎖水域への放流が可能である。

### 2.3.3 焼酎廃液処理

従来、焼酎の蒸留廃液は海上投棄されていたが、海上投棄規制条約の締結で 2001 年から投棄が禁止となるため、適切な処理が急務となっている。

当社のシステムは凝集剤無添加の固液分離と省エネルギータイプのメタン発酵処理により、高品質な飼料化と、下



水や河川に放流できる水処理が可能である。また、メタンガスによるエネルギーの有効利用が可能なシステムである。このシステムを導入した場合の主なメリットを以下に挙げる。

(1) 凝集剤を添加しないため、高品質な飼料や良質な堆肥化ができる。凝集剤のコストもかからない。

一例を挙げると原水受入量 200 m<sup>3</sup>/日、飼料または堆肥化原料(固形分)の含水率が約 90% の場合、完熟堆肥を約 12 t/日(約 30 m<sup>3</sup>)造り出すことが可能である。

(2) 処理過程で発生するメタンガスで発電を行い、所内の設備に電力として供給できるので、従来の活性汚泥法に比べてランニングコストが低く抑えられる。

一例を挙げると、原水受入量 200 m<sup>3</sup>/日、BOD が 40,000 mg/l の場合、発電可能電力は約 4,000 kWh/日である。

### 3 オゾン発生器

#### 3.1 概要

このシステムは、オゾンのもつ強い酸化力で、ウイルス・細菌の消毒、異臭味の除去、着色成分の分解などを実現するものである。特に、近年下水処理においては、水に含まれるフミン質や胆汁酸化物などによる着色・臭気などの除去を行うことを目的に、高度処理として徐々に導入されつつある。システムの中心となるオゾン発生器は、図3に示すような円筒形缶体をしており、内部に多数のステンレス管と、これに同軸に差し込まれた筒状のガラス放電管を配置している。オゾンは放電管とステンレス管の空隙(げき)に起こる高圧の無声放電により酸素から作られ、発生量は付属のインバータにより制御されている。システム全

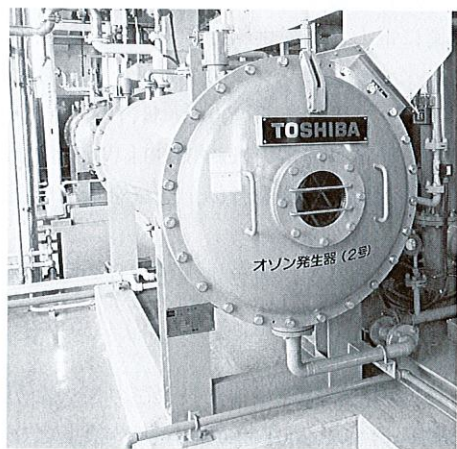


図3. 処理場に導入されたオゾン発生器 下水のリサイクルに使用されている。

Ozone generator in wastewater treatment plant

体は、このオゾン発生器に加えて、原料空気供給装置(あるいは酸素富化装置)、オゾン化空気を下水や廃水に接触させる散気装置とオゾン発生器などの機器内部を冷却する冷却装置からなる。

#### 3.2 特長

オゾン発生器を使った水処理は、消毒、脱色、脱臭などの複合的な効果をもち、かつ水中にオゾンが長時間残留しないので、水生生物への影響がほとんどない。

当社のオゾン発生器の特長として以下が挙げられる。

- (1) 放電管の電極にステンレス皮膜を用いているため、耐食性に優れている。
- (2) 一つのステンレス管に両側から2本の放電管を入れたコンパクトな設計にして、2段階の放電によりオゾン発生効率を向上させている。
- (3) ステンレス管と端板の溶接により、完全な水漏れ防止と容易な保守点検を実現している。
- (4) 原料空気の露点を-60℃以下に下げ、オゾン発生効率を向上させている。
- (5) 内部の冷却水温度と空気温度の分布を三次元でシミュレーションし、最適な缶体設計を行っている。

#### 3.3 事例

図4にオゾン発生器を用いた実際の下水処理システムのフローシートを示す。オゾン発生器は上下水道、し尿処理、工場排水だけでなく、プールや風呂、水族館や養魚場、工場製造工程、半導体関連、食品関連<sup>(1)</sup>、医療関連、パルプ関連などに広く適応されている。

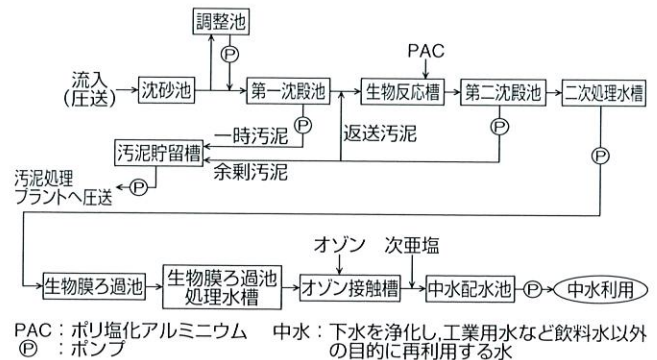


図4. 下水リサイクルシステムのフロー 下水の一部にオゾンを加え、脱色や脱臭などを行い中水として再利用するもの。

Schematic diagram of treated sewage water recycling system

### 4 汚泥乾燥装置

#### 4.1 概要

下水処理の過程で大量に発生する汚泥は水分を多く含むため、処理する際に多くの労力と経費を必要とし、取扱い困難な廃棄物としてさまざまな問題を抱えていた。このシ



システムは含水率96～99.5%の汚泥を遠心薄膜乾燥機の採用により、含水率50%程度にし、汚泥の大幅な減量・減容化が図れ、汚泥の処理コストを大幅に低減することを可能としたものである。

まず、汚泥のタンクより遠心濃縮機へ送られ、遠心濃縮機において汚泥の含水率を85～90%に下げる。その後、遠心薄膜乾燥機へ送り含水率を50%程度にして排出する。このとき、乾燥機から出る抽気ガスはスクラッパ(排ガス処理装置)による水洗浄および触媒脱臭装置により脱臭し、大気へ放出する。当社では大規模な処理場向けの据置型に加え、小規模な処理場が広域に点在している地方でも効率良く安価に処理が可能な図5の移動式汚泥処理車を実用化している。

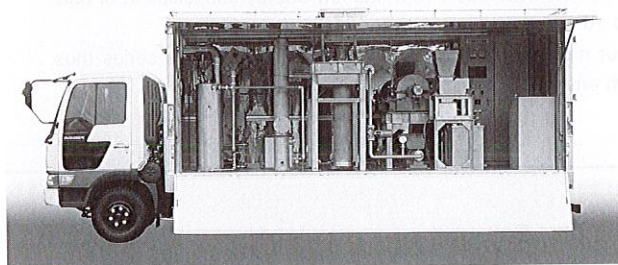


図5 移動式汚泥処理車 脱水、乾燥、ボイラ、制御盤などを搭載し、汚泥を車内で一貫処理できる。

Mobile sludge treatment vehicle

#### 4.2 特長

従来品の5tトラックタイプを改良し、システム全体のコンパクト化によって4tトラックへの積載を実現した。普通免許での運転が可能となったほか、新たに発電機を搭載することで処理場側に電源がない場合にも処理が可能になるなど、使いやすさを追求した。以下に移動式汚泥処理車の特長を挙げる。

- (1) トラックに汚泥脱水機やスクラッパ、遠心薄膜乾燥機、ボイラなどを搭載しており、複数の農業集落廃水処理施設などを巡回することが可能である。据付け型の汚泥処理設備を複数設置する場合に比べ高効率・低コストで運用ができる。
- (2) 排出された乾燥汚泥は粒形状で取扱い性に優れ、土壌との混合が容易なため土壌改良剤または堆肥として農地還元が可能である。このシステム処理後は含水率50%程度と自然に発酵する状態で、特別な処理は不要である。

(注1) 分電盤、水道栓、灯油タンク、流入水槽および放流水槽などの設備

- (3) 現在、移動式汚泥処理車としては汚泥の脱水(含水率80%)まで行うものが一般的であるが、当社では乾燥により含水率を50%まで下げることが可能である。
- (4) 設備運転中の設備調整はいっさい必要とせず、いったん設備を立上げれば無人運転が可能である。運転に関する特別な技術や専門知識は不要であるので設備立上げが容易である。
- (5) 従来製品に比べシステム全体のコンパクト化を図り、4tトラックへの積載を実現した。このことにより普通免許での運転が可能となった。農道などの狭い道でも小回りが利き、さらに扱いやすいものとなった。
- (6) 取合い設備<sup>(注1)</sup>を準備するほかは、現地据付け工事作業が不要である。

#### 4.3 事例

地方自治体や水処理メーカー向けに4t～8t車が今年度数台導入されている。

### 5 あとがき

これらの技術は環境に与える負荷が低く、同時にエネルギーの有効利用、リサイクルといった資源循環型社会のニーズに対応しうるものであり、人を取り巻く生態系、さらに地球規模といった、広域への影響を考えた技術に進化する必要がある。

今後は水の再利用や処理、処理後の汚泥の有効利用するための処理や加工技術が必要となってくるであろう。

当社ではさらに埋もれているニーズを発掘し、保有している技術を駆使して資源循環型社会の構築に貢献していきたい。

### 文献

- (1) 食品産業環境保全技術組合、食品産業における新たな展開、東京、恒星社厚生閣、1998、359p.



西島 衛 NISHIJIMA Mamoru

環境事業推進本部 環境システム技術部参事。  
水処理システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。  
Environmental Management Business Group



稲葉 道彦 INABA Michihiko, D.Eng.

官公システム事業部 環境システムエンジニアリング部参事、工博。オゾン設備のシステムエンジニアリング業務に従事。日本金属学会会員。  
Government & Public Corporation Systems Div.



田村 博 TAMURA Hiroshi

官公システム事業部 環境システムエンジニアリング部主務。  
水処理システムのエンジニアリング業務に従事。  
Government & Public Corporation Systems Div.