

目次	CONTENTS
1 <巻頭言> 想像力を創造力に結びつけて 環境ソリューションを	
2 有価金属回収技術	Precious Metal Recovery System
8 当社の膜処理技術	KOBELCO ECO-SOLUTION's Technical Innovation of Membrane Technology
12 下部集水装置としての多孔板付き A/W 有孔ブロックの基本性能	Basic Performance of A/W Underdrain Block on Which Porous Plates are Installed
19 総説 エステプロセス [®]	General Introduction of S-TE PROCESS [®]
29 POPs 汚染物処理技術としての 「RH-SP 法」	RH-SP Process: Decontamination Process of Earthy Materials Polluted with POPs
34 製品・技術紹介	
37 要旨集	

想像力を創造力に結びつけて 環境ソリューションを



東北大学 多元物質科学研究所 教授

工学博士 **中 村 崇**

Takashi Nakamura

学問でも企業でも創造（Creation）が重要であり、学問では新学問の創造、企業では新産業の創造という表現が使用されます。もちろん創造は人間の持っている能力の中で最もなしい高度な行為ですから、「いかに実現するか課題」は難しすぎて、私には回答の用意はありません。ただ創造を成し遂げるためには、想像力（Imagination）が必要であるとはいえると思っています。特に環境問題を対象に仕事をおこなっている人は、想像力が重要です。環境は身の回りから地球、果ては宇宙まで環境です。特に20世紀後半以降は、単に従来の公害型のように発生元が特定され、その措置をおこなえば解決するような単純な問題ではなくなりました。大げさにいえば我々一人一人の行動が、トータルとして地球全体にかかわるようになってきたわけです。非常に些細なことやまたまったく目に見えないことでも大きく想像力を働かせて、これからの人間や生態系にどのような影響があるかを想像することが重要です。その想像は、環境問題を解決しようとする大きなモチベーションとなります。

たとえば、ごみを捨てるにあたってただポイ捨てをおこなうのと分別して回収するのではその後の環境に与える影響はプラスとマイナスでダブルで効いてきます。このようなことでもごみがどのように処分されるかもしくは資源化されるかを少し想像するだけで行動が変わります。環境を良くするのにこのようなことができたなら想像することが、学問や技術開発の始まりです。普通人間は自分からの物理的、時間的距離が遠い事項ほど頭の中に入りにくいわけですから想像力を働かせていないと環境問題など意識からなくなります。

約20年前に金属のリサイクルをどのようにおこなうかを研究始めました。そのときにまず思ったのが、リサイクルや廃棄物処理をおこなうと別の形のエミッションが発生し、その対応のためにエネルギーを使用せざるを得ず、いわゆる Trade off になることでした。そのとき漠然と「廃棄物を廃棄物で資源化」できないかと想像したことです。もちろん当時はダイオキシンの問題など知りませんでしたから単に有機系廃棄物の持つエネルギーや還元力が金属のリサイクルに有効に使えないかと思っていただけです。その後、全体の方角としてはそのような流れに進みました。

これまではリサイクルといっても大型ごみの廃棄物処理が中心であり資源問題を意識した形で進んでいませんでしたが、これから多くの国が OECD 諸国のような経済発展を遂げようと活動すると世界的規模でエネルギーや鉱物資源の供給が十分でなくなる可能性が生じます。特に資源小国であるわが国はこの視点が重要です。ある意味では大変な状況もあるかもしれませんが、このようなときほど“環境ソリューション”が求められます。悲観的にならずに想像力を働かせて何が重要か見定める必要があります。神鋼環境ソリューションの皆さんも想像力を発揮され、環境分野で創造的な事業を展開するためのソリューションを提供してください。ご健闘をお祈り申し上げます。

有価金属回収技術

Precious Metal Recovery System



技術開発本部開発企画室
前 背 戸 智 晴
Tomoharu Maeseto
(工学博士)

技術開発本部
水・汚泥技術開発部水処理室
島 田 光 重
Mitsushige Shimada

廃水中の有価金属回収処理技術、重金属除去処理技術としてセメンテーション¹⁾を利用した排水処理技術の確立を目指し、有価金属回収処理として廃水中からのインジウム回収処理試験、および、重金属処理として廃水中からの溶解性銅の除去試験をおこなった。前者については将来回収が必要とされる廃液晶パネル (LCD)、および、液晶製造工場でのエッチング廃液からのインジウム回収試験の2種類の試験をおこない、高い回収率でインジウムを合金として回収可能なことを確認した。また、溶解性銅除去試験については国内の非鉄金属製造工場においてフィールド試験をおこない平均85 %の銅除去性能を確認した。

The precious metal recovery system/heavy metal removal system from waste water is developing by the cementation technology. Indium recovery experiments from waste water have been carried out as a precious metal recovery application. On the other hand, soluble copper removal treatments have been experimented as a heavy metal removal application. Concerning the indium recovery application, an indium recovery from a waste liquid crystal panel (LCD) and from an etchant have been experimented. The high recovery ratio and recovery possibility as an indium alloy have been obtained. Soluble copper removal experiments have been carried out in the domestic nonferrous metal products factory using a waste water discharged from a copper products facility. 85 % of the average soluble copper removal ratio has been obtained.

Key Words :

有 価 金 属	Precious metal
回 収	Recovery
セメンテーション	Cementation
排 水 処 理	Waste water treatment
イ ン ジ ウ ム	Indium
銅	Copper

ま え が き

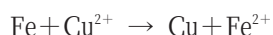
廃水中の重金属処理は通常は水酸化物として沈殿除去し、発生した水酸化物は産業廃棄物として処分がおこなわれている。水酸化物としてではなく合金状態で廃水中の重金属を除去できれば、その合金は

有価物として回収することが可能となる。近年、ゼロエミッションを目指し廃棄物排出量削減の取組みがおこなわれており、排水処理の分野でも処理・処分より、回収・リサイクルをとまなう排水処理技術を要望するユーザーの声が多くきかれる。セメンテー

ション技術¹⁾ 自体はスクラップ鉄を利用して古くから銅鉱業で使用されているが、回収される銅には鉄が混入しており純度は低かった。当社ではセメンテーション技術と超音波技術を融合させた新しい廃水中の有価金属回収技術・重金属除去技術を開発しており、今回、高付加価値な有価金属であるインジウム(In)の回収試験結果と一般的な重金属の代表である銅(Cu)の除去試験結果について報告する。Inはフラットパネルディスプレイ(FPD)や太陽電池などで使用される透明導電膜であるITO(Indium Tin Oxide)の原料であり、資源の安定供給のため経済産業省等でリサイクル技術開発²⁾³⁾や国家備蓄についての議論などもおこなわれている。InはITOターゲットなどリサイクルも進んでいるが、今回はリサイクルがおこなわれていない適用用途として液晶工場でのエッチング廃水からのIn回収と廃液晶パネルからのIn回収の試験をおこなった。

1. 技術概要

水溶液中に存在する還元電位が貴な金属イオン(イオン化傾向の小さな金属イオン)は、卑な金属イオン(イオン化傾向の大きな金属イオン)によって還元析出させることが可能で、Cuイオン(Cu^{2+})を含む水溶液中に鉄(Fe)をいれることで下記反応がおこり、水溶液中の Cu^{2+} がFeにより還元され金属Cuとして析出する。この操作をセメンテーションという。⁴⁾⁵⁾



金属イオンが水溶液中で単純な水和イオン(アコイオン)として存在している時には標準電位から還元の可能性がわかる。表1に各種金属イオンの標準還元電位を示す。回収にもちいることが可能な金属粒

子としては一般的に流通している鉄、亜鉛(Zn)、アルミ(Al)粒子がある。表1より水溶液中の金属イオンが Cu^{2+} もしくは In^{3+} であればFe、Zn、Alのいずれでも還元が可能であると予想できる。InをAl粒子をもちいて回収する場合の模式図を図1に示す。Alが Al^{3+} イオンとなって溶液中に溶け出し、溶液中のInイオン(In^{3+})がAlが失った電子を受取ってIn金属に還元されてAl表面に析出する。Inが析出したAl粒子を超音波処理することで析出したInを剥離させる。剥離したInはリアクタを通過する上向流によりリアクタから持ち出され、後段のフィルタで回収される。本技術の特長はこのようにAl粒子表面に析出したIn金属を高純度の合金の形で回収できることにある。

表1 各種金属イオンの標準還元電位

Electrode system	E°/V
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e} = \text{Mg}$	-2.37
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e} = \text{Al}$	-1.66
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e} = \text{Zn}$	-0.76
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e} = \text{Fe}$	-0.44
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cd}$	-0.40
$\text{In}^{3+} + 3\text{e} = \text{In}$	-0.34
$\text{Co}^{2+} + 2\text{e} = \text{Co}$	-0.28
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e} = \text{Ni}$	-0.25
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e} = \text{Sn}$	-0.14
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e} = \text{Pb}$	-0.13
$(2\text{H}^{+} + 2\text{e} = \text{H}_2)$	(0.0)
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cu}$	+0.34
$\text{Ag}^{+} + \text{e} = \text{Ag}$	+0.80
$\text{Pd}^{2+} + 2\text{e} = \text{Pd}$	+0.92
$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e} = \text{Pt}$	+1.2
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e} = \text{Au}$	+1.45

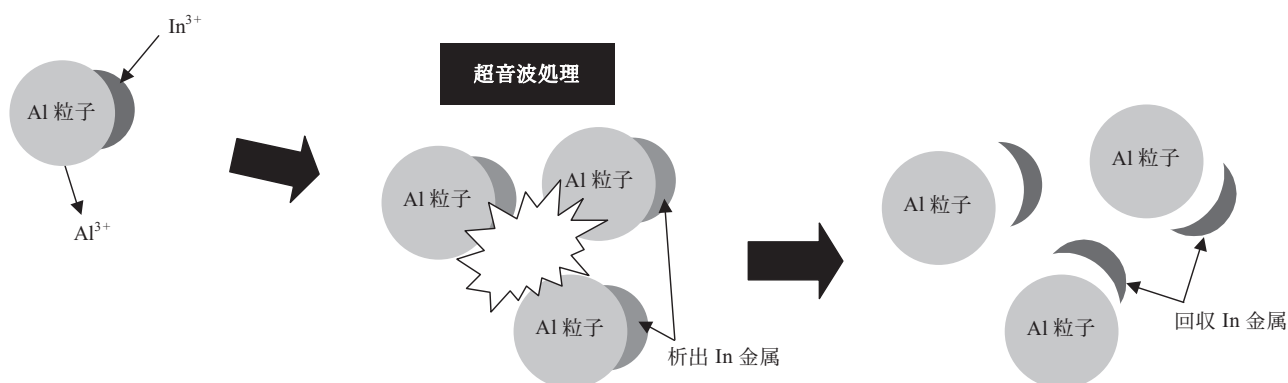


図1 セメンテーション法での有価金属析出、分離原理模式図

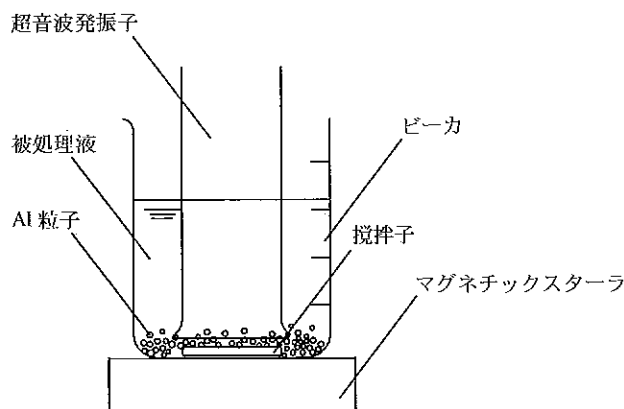


図2 ビーカ試験装置模式図

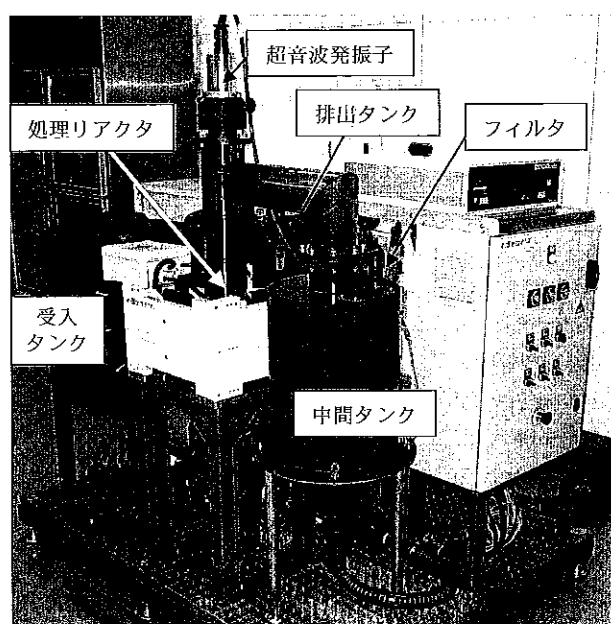


図3 循環型処理試験装置外観写真

2. 試験装置

図2にビーカ試験装置模式図を、図3に循環型処理試験装置外観写真と図4にその処理フロー模式図を、図5にパイロット試験装置外観写真を示す。循環型処理試験装置はバッチ処理であり、最大100L処理が可能、パイロット試験装置は連続処理であり最大処理量は15 m³/hである。

3. 廃LCDからのIn回収処理

3.1 試験方法

3.1.1 廃LCDからのIn溶出処理

廃LCDからのIn溶出処理は図6のような循環型溶出処理装置を使用しておこなった。微細に破碎された廃LCDがフィルタ内に入れられさらに内挿容器内に保持されている。内挿容器底部はメッシュ状であり廃LCD層を通過した塩酸水溶液は底部から排出される。溶出装置内に貯まっている塩酸水溶液

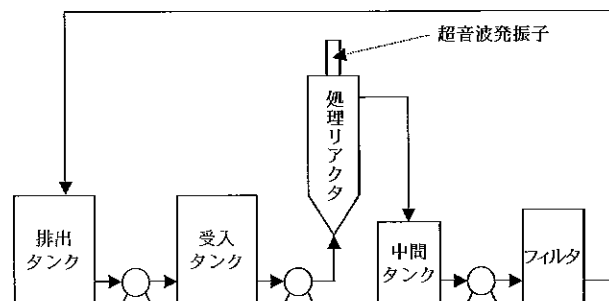


図4 循環型処理試験装置処理フロー模式図



図5 パイロット試験装置外観写真

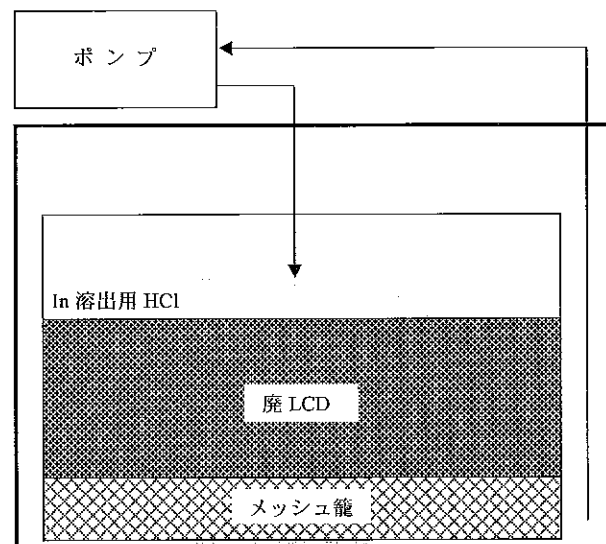


図6 廃LCDからのIn溶出試験装置模式図

はポンプで上部から廃LCDを保持している内挿容器上部へ送られる。この循環処理を継続することで廃LCDから塩酸水溶液へInを溶出させた。

3.1.2 In回収処理

ビーカ試験では図2のようにInを含む溶液とAlもしくはZn粒子をビーカに入れ攪拌しながら設定した条件下で超音波を印加した。循環型処理試験装置ではInを含む溶液をポンプでAlもしくはZn粒

子が充填されているリアクタへ上向流で送り、設定した条件下で超音波を印加し析出した In を剥離させ、上向流によりリアクタ外へ排出された In はフィルタ部で回収した。循環処理をおこなうことで被処理液中の In 濃度を低減させた。

3. 1. 3 除去率と回収率

ビーカ試験、循環処理試験ともに適切な処理時間ごとにサンプリングをおこない In 濃度を測定した。In 濃度の低減率が被処理液から In が除去された除去率であり、最大で除去率に相当する回収率が期待できる。本試験では処理量が少なく、還元析出した In を回収してその回収量から回収率を算出することが困難であったことから、除去率に相当する回収率がえられるものと考えた。

3. 2 試験結果

3. 2. 1 廃 LCD からの In 溶出試験結果

廃 LCD 中の In 含有量を分析した結果、400 mg/kg という結果がえられた。表 2 に溶出試験結果例を示す。廃 LCD 量に前記 In 含有量 (400 mg/kg) を掛けて廃 LCD に含まれる In 量 (A) を算出し、回収された塩酸量に塩酸中の In 濃度を掛けて塩酸中の In 量 (B) を算出した。 $(B/A) \times 100$ を溶出率として計算をおこなった結果、表 2 に示すように 98 % 以上の高い In 溶出率がえられた。ただし、この In 溶出率は破碎された廃 LCD のサイズと溶出処理に使用される塩酸水溶液の濃度および温度の影響を受ける。本溶出試験には 1 ~ 10 % の塩酸水溶液をもちいたが、いずれも高い In 溶出率がえられた。

3. 2. 2 廃 LCD In 溶出液からの In 回収試験結果

図 7 に廃 LCD In 溶出液からの In 回収試験結果を示す。縦軸が In 回収率であり、横軸には処理液 1 L が金属粒子 1 L と接触している時間をとった。これは横軸に処理時間をとるとビーカ試験と循環型処理試験装置で結果に差が生じることから、両者の結果が比較できるように前記接触時間を横軸に取り規格化したものである。いずれの結果も 90 % 以上の高い回収率がえられた。回収された In 回収物の SEM 写真を図 8 に、エネルギー分散型蛍光 X 線分光法 (EDS) の分析スペクトルを図 9 に示す。図 8 より還元析出し剥離した In 合金が凝集してスポンジ状の In 回収物となっていることがわかる。図 9 より In 回収物が In 主成分の合金であることがわかる。なお、循環型処理試験装置の 1 % 塩酸溶液での In 除去率が 90 % で終了しているのは処理を途中で止めたためであり、処理を継続することでビーカ試験同様の結果がえられるものと考えている。

表 2 In 溶出試験結果

	塩酸溶液中の In 濃度	塩 酸 量	廃 LCD 量	廃 LCD からの In 溶出率
①	750 mg/L	13 L	24 kg	100 %
②	670 mg/L	14 L	24 kg	98 %

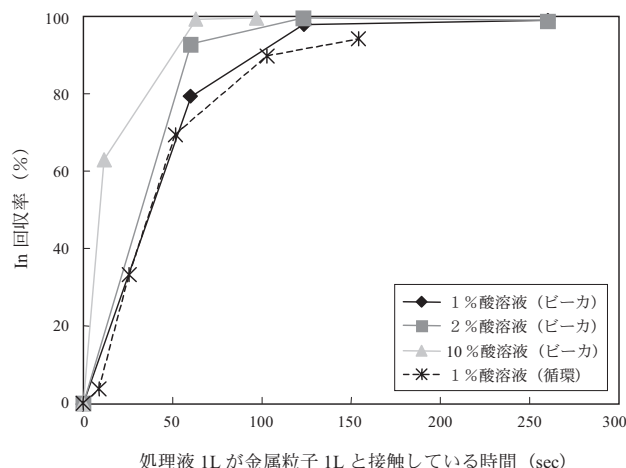


図 7 廃 LCD In 溶出液からの In 回収試験結果

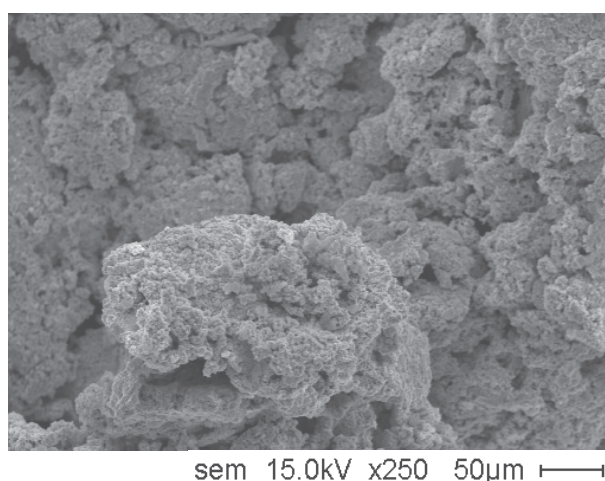


図 8 廃 LCD In 溶出液からの In 回収物 SEM 写真

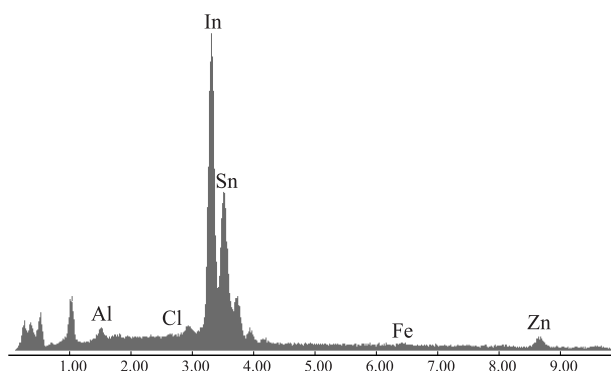


図 9 廃 LCD In 溶出液からの In 回収物の EDS 分析スペクトル

4. エッチング廃液からのIn 回収処理

4.1 試験方法

エッチング液については実廃液が入手できなかったため、一般的に使用されているシュウ酸エッチング液の廃液を模擬するために表3に示す組成液を使用して試験をおこなった。

In 回収試験は3.1.2と同様の方法でおこなった。

4.2 試験結果

試験結果を図10に示す。廃LCDの場合同様に90%以上の高い回収率がえられた。In 回収物も廃LCDの場合と同様なスポンジ状のIn 主成分の合金状態でえられた。

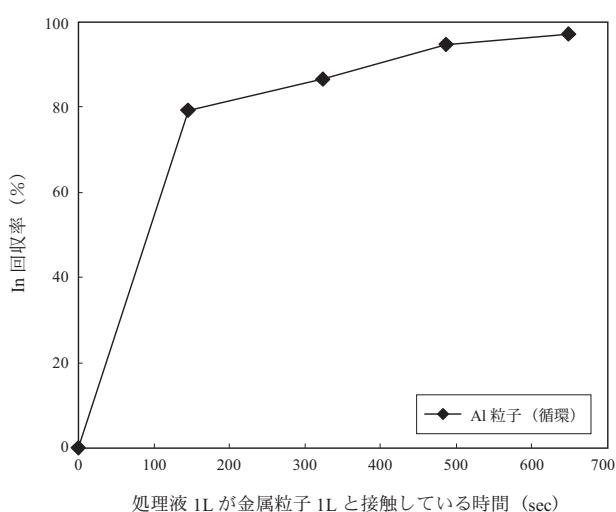


図10 シュウ酸エッチング廃液模擬液からのIn 回収試験結果

表3 シュウ酸エッチング廃液模擬液組成

	シュウ酸濃度 (wt%)	In 濃度 (mg/L)	Sn 濃度 (mg/L)
シュウ酸エッチング廃液模擬液	5	340	35

表4 Cu 除去処理結果 (実験および試運転)

項 目	溶解性 Cu 除去率	処 理 条 件		
		原水溶解性 Cu	処 理 温 度	Fe 充填高さ
実 験 結 果	88 %	95~120 mg/L	15.5~17.2 °C	1.5 m
装置計画値	84.6 % (95.8 %)	100 mg/L	15~20 °C	1.5 m
			20~40 °C	2.0 m
試 運 転	93.7~95.8	108 mg/L	20~21 °C	2.0 m

表5 Cu 除去試験結果 (実廃水処理)

試 験 期 間	原水溶解性 Cu	処理水溶解性 Cu	溶解性 Cu 除去率
'05/10/26~12/5	0.5~19 mg/L	0.2~3.8 mg/L	ave. 85.1 % 81.0~95.7 %

5. Cu 除去処理

5.1 試験方法

図11に処理フロー模式図を示す。国内の非鉄金属製造工場の実廃水を一部ポンプでパイロット試験装置へ送り連続処理（1パス処理）をおこなった。被処理液入口と処理液出口でサンプリングをおこない、サンプル中のCu 濃度を測定することで溶解性Cu の除去率を算出した。パイロット装置にはフィルタが備え付けられているが、本試験では最終廃水処理で発生するスラッジがCu 含有有価物として処理されていることから、還元析出したCu はフィルタで回収せずスラッジ中に含有されて回収されるという考えのもと試験を実施した。

5.2 試験結果

事前にサンプルを入手してビーカ試験を実施して試験装置を設計し、装置試運転時に模擬廃水（硫酸銅水溶液）にて性能を確認した。その結果を表4に示す。模擬液での試験はFe 充填高さ2mで実施し、おおむね装置計画値を満足する結果がえられた。次に、表5に実廃水を処理してえられた試験結果を示

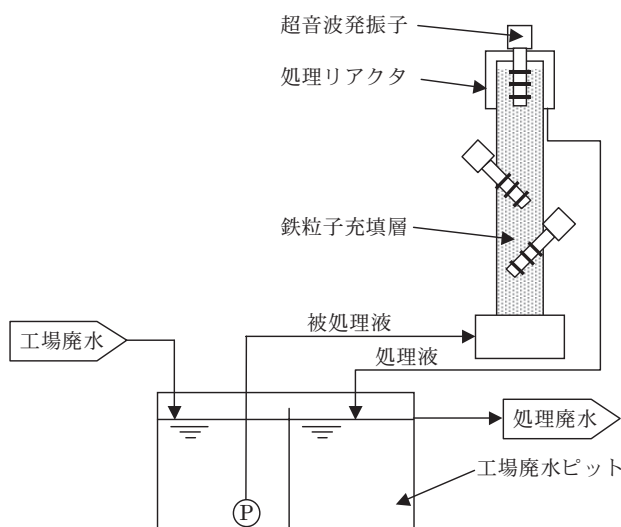


図11 Cu 除去処理フロー模式図

す。試験期間中の溶解性 Cu 除去率は平均で約85 % であり、装置計画値 (Fe 充填高さ1.5 m) を満足する除去率がえられた。一方で溶解性 Cu を還元するために溶出した溶解性 Fe は析出 Cu 量の1~1.5倍 (pH=5~7) であった。また、超音波発振子による摩耗等の影響で増加した SS 性 Fe は0.3 mol/L (約17 mg/L) であった。したがって、両者の和が処理後の廃水中の全 Fe 濃度の増加となる。

む す び

廃水中の有価金属回収処理技術、重金属除去処理技術としてセメンテーションを利用した排水処理技術の確立を目指し、有価金属回収処理として廃水中からの In 回収処理試験をおこない、重金属処理として廃水中からの溶解性 Cu の除去試験をおこなった。

- ① 廃液晶パネル (LCD) からの In 回収試験では、破碎された廃 LCD から98 %以上の高い In 溶出率がえられることを確認し、その In 溶出液から90 %以上の高い In 回収率で合金状の In 回収物がえられることを確認した。
- ② 液晶製造工場でのエッチング廃液からの In 回収試験では、シュウ酸エッチング廃水模擬液を使

用し廃 LCD の場合と同様に合金状の In 回収物を90 %以上の高い In 回収率でえられることを確認した。

- ③ 溶解性 Cu 除去試験については国内の非鉄金属製造工場においてフィールド試験をおこない平均85 %の Cu 除去性能を確認した。

資源の安定供給のためリサイクルが求められている In については実用化に向けて開発を進めており、まず国内での実用化をおこなった後に、韓国、台湾、中国といった FPD (Flat Panel Display) 工場のある近隣諸国への展開を図りたい。

[参考文献]

- 1) 柴田準次：資源と素材，Vol.113，No.12 (1997)，p.948-951
- 2) 上和野満雄ほか：月刊ディスプレイ，Vol.8，No.8 (2002)，p.83-93
- 3) 西田秀来：月刊ディスプレイ，Vol.8，No.4 (2002)，p.36-46
- 4) Biswas, A. K., Devenport, W. G.: Pergamon Press, p.272-278 (1976)
- 5) 江口元徳，矢沢彬：湿式製錬と廃水処理，p.214-218 (1975)，共立出版

当社の膜処理技術

KOBELCO ECO-SOLUTION's Technical Innovation of Membrane Technology



技術開発本部
水・汚泥技術開発部
真 鍋 恵
Megumi Manabe

近年、膜処理技術の進歩は目覚ましいものがあり、当社も膜処理技術の開発に精力的に取り組んできました。浄水処理では、生物処理と膜ろ過の組み合わせにより、薬品を使用しないで溶解性物質の除去を可能とした。下水処理や産業排水処理では、膜分離活性汚泥法を開発し、埋立浸出水処理では、簡単な前処理のみで RO 膜処理を可能とする DT モジュールシステムを開発した。また、海水淡水化処理では、2 段 RO 膜処理で安定したホウ素除去を可能とした。

Recently, membrane treatment technology has been remarkably progressed. In line with this trend, Kobelco eco-solution has earnestly worked on this technology, and developed many advanced products. For example, by combining biological treatment system and membrane filtration, dissolved organic matter has been successfully removed without the use of chemicals. Also membrane bioreactor has been developed for sewage and industrial wastewater treatment, and DT module system that is one of RO systems with simple pretreatment has been brought to the market of leached wastewater. In addition, for purification of seawater, 2 steps RO treatment system is provided which can remove Boron stably.

Key Words :

精密ろ過 (MF) 膜
限外ろ過 (UF) 膜
逆 浸 透 (RO) 膜
膜 ろ 過
膜分離活性汚泥法

Micro-filtration membrane
Ultra-filtration membrane
Reverse osmosis membrane
Membrane filtration
Membrane bio-reactor

ま え が き

わが国の水処理分野において、処理水質の高度化要求への対応として、膜処理技術の向上と膜コストの低下から、近年、膜処理法の導入が活発化している。

当社においても、精密ろ過 (MF) 膜、限外ろ過 (UF) 膜、逆浸透 (RO) 膜をもちいて、浄水処理、下水処理、浸出水処理、産業排水処理、海水淡水化処理など、さまざまな水処理分野での開発に取り組む実用化を図ってきた。本稿では、当社の保有する膜処理技術の概要を紹介する。

1. MF・UF 膜処理技術の概要

1.1 浄 水 処 理

従来の凝集・沈殿・砂ろ過といったプロセスをひとつのプロセスでおこなうことのできる新しい浄水処理方法である膜ろ過法は、1991年から始まった水道分野の官・学・民の共同プロジェクト「膜利用型新浄水システム開発研究」(MAC21)で本格的な開発に着手し、1993年に導入が開始された。また、1996年に国内でクリプトスポリジウムの集団感染が発生し、水道水の安全性確保の目的で膜ろ過法の導入が加速された。

表1 MF・UF膜一覧

膜 種	モジュール型式	膜 面 積	特 長
MF 膜	有機系 (PP, PVDF) 外圧式中空糸	15 m ² /モジュール	濁度変動への適応性が高く、100度以上の原水濁度にも対応可能である。
	有機系 (PVDF) 外圧式中空糸	50 m ² /モジュール	耐塩素性を有する PVDF をもちいることで、次亜塩素酸ナトリウムの注入が可能で高流束運転ができる。 高流束化により、設置面積を削減できる。
		72 m ² /モジュール	
	有機系 (PP, PVDF) 槽浸漬型中空糸	25 m ² /モジュール×4モジュール	膜を槽に浸漬させることにより、高い集積率がえられる。これにより設置面積が削減できる。 また、従来の沈殿池への設置も可能である。
UF 膜	有機系 (CA) 内圧式中空糸	50 m ² /モジュール	親水性の CA をもちいることで、高流束を長時間維持できる。
		125 m ² /モジュール×2モジュール	親水性の CA を使用。 大型の膜モジュールを使用することで、設置面積が削減できる。

さらに「膜利用型新高度浄水技術開発研究」(高度 MAC21)、「高効率浄水技術開発研究」(ACT21)、「環境影響低減化浄水技術開発研究」(e-Water)をととして技術力および信頼性の向上が図られ、現在では10万 m³/d 程度の大規模浄水場への導入の動きが生じている。

当社は、1991年から始まった MAC21に参画以来、高度 MAC21、ACT21、e-Water と10年以上にわたり浄水膜ろ過技術の開発に取り組んできた。

1. 1. 1 膜利用型浄水システムの特長

当社は1998年に第1号機を納入してから着実に実績を増やしている。処理の確実性・安全性から、浄水処理において今後主流となる技術である MF 膜・UF 膜の一覧を表1に示す。

外圧式中空糸 MF 膜は濁度変動への適応性が高く、空気による逆洗で優れた洗浄回復性を有する。

槽浸漬型中空糸 MF 膜は、水槽内に膜モジュールを浸漬設置し吸引により固液分離することから、既存の沈殿池やろ過池の活用が可能で省スペース適性を有する。

内圧式中空糸 UF 膜は高透過流束を長時間維持でき、大型の膜モジュールを使用することで設置面積の削減が可能となる。

1. 1. 2 ハイブリッド型膜ろ過システムの特長

ダム水などを水源とする場合は溶解性の有機物や色度、溶解性マンガ・鉄、アンモニア性窒素などを含み、さらに富栄養化による藻類の繁殖が原因となる異臭味の発生も予想される。膜ろ過のみではこれらの溶解性物質を除去できないが、生物処理と膜ろ過の組み合わせにより、薬品を使用しないで溶解性

物質を除去低減することを可能とした。このハイブリッド型膜ろ過システムは、安全性の確保、より自然でおいしい水、維持管理性が良い、薬品費の低減、発生汚泥量の減少などの特長を有する。

アンモニア性窒素やカビ臭物質などの除去には生物接触ろ過との組み合わせが有効で、溶解性マンガ・鉄の除去には鉄バクテリアによる自然ろ過との組み合わせが有効である。

1. 2 下水処理

下水処理分野では、膜透過流束が大きく取れないため必要膜面積が大きくなりコスト面で不利であるとの認識が大勢であったが、近年、膜コストの低下や高度な処理水質への要求などにより、処理の容易性・安定性への評価から膜分離活性汚泥法の導入が増える傾向にある。

当社は、1996～1997年度に平膜による浸漬型膜分離活性汚泥法の開発を建設省(現；国土交通省)土木研究所との共同研究で実施した。その後、平膜の長期実証試験で本システムの実用性を確認し、さらに2003年度からは、耐薬品性が高く機械的強度に優れたポリフッ化ビニリデン(PVDF)製の中空糸膜での実証試験をおこなってきた。

1. 2. 1 浸漬型膜分離活性汚泥法の特長

本方式は、従来の活性汚泥法における SS 除去のための最初沈殿池、最終沈殿池および砂ろ過施設の代替として、反応槽内に MF 膜を浸漬設置し物理的な固液分離をおこなうもので、以下の特長を有する。

- ① 処理プロセスの簡略化と省スペース
- ② 反応槽の水理学的滞留時間(HRT)が標準活性汚泥法と同等以下で有機成分のみならず窒素除去

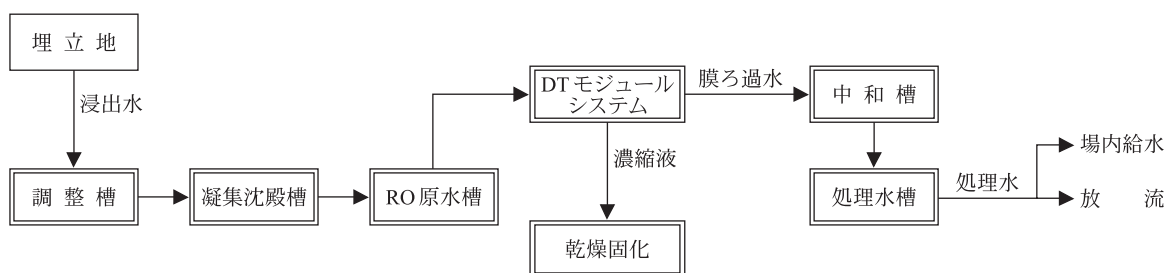


図1 処理フロー

表2 膜モジュールの主要仕様

モジュール仕様	
形状	槽浸漬型中空糸
膜材質	PVDF
有効膜面積	25 m ² /モジュール
平均膜孔径	0.1 μm

も可能

- ③ 孔径0.1μmのMF膜で固液分離するためSS除去が安定
- ④ 反応槽の汚泥滞留時間（SRT）を長く取ることができるため汚泥の自己酸化作用による汚泥減量化が可能

表2に中空糸膜モジュールの仕様を示す。

1.3 産業排水処理

下水処理分野と同様、コスト面で不利であるとの認識であったが、施設能力の増強や高度な処理水質の要求などにより膜分離活性汚泥法の導入が現実的な選択肢となりつつある。

1.3.1 浸漬型膜分離活性汚泥法の特長

当社では平膜またはPVDF製中空糸のMF膜を使用する。本方式は、反応槽内にMF膜ユニットを浸漬設置し、吸引による物理的な固液分離をおこなうもので、運転圧力も低く、膜分離装置としては省エネルギータイプである。

1.3.2 加圧型膜分離活性汚泥法の特長

本方式は、平膜のUF膜ユニットを反応槽外に設置する。活性汚泥混合液を循環ポンプで反応槽から膜モジュールへクロスフローで加圧供給することで膜ろ過処理水がえられる。浸漬型に比べ、運転圧力も高く、省エネルギータイプではないが、ろ過性の悪い汚泥の場合には適性を有する。

2. RO膜処理技術の概要

2.1 埋立て浸出水処理

わが国では、循環型社会形成推進基本法で唱える循環型社会への移行にともないゴミの減量化やリサイクルの推進が急務となっている。また、最終処分

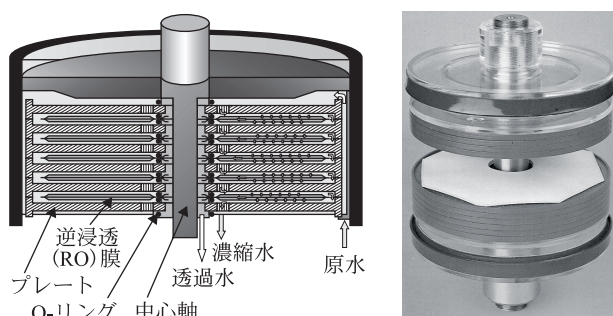


図2 DTモジュール構造

場の建設難から最終処分量の減容化のための努力がなされ、廃棄物の焼却処理の比率が高くなっている。このような焼却残さが主体で処分される埋立地からの浸出水は、高濃度の無機塩類と低濃度の難分解性有機物を含む傾向にある。無機塩類や溶解性の難分解性有機物を分離除去する技術として当社はRO膜処理技術に着目し、プレート＆フレーム型のRO膜モジュールシステム（DTモジュールシステム）を技術導入した。1996年に簡単な前処理と組み合わせることで水道水レベルの清澄な処理水がえられることを実証試験で確認し、1999年には実施設での供用を開始し、以後、本分野での実績を重ねながら技術を確認した。

2.1.1 DTモジュールシステムの特長

図1にDTモジュールシステムの浸出水処理フローを示す。DTモジュールは、簡単な前処理のみで、無機塩類などに加え、従来のBOD、COD、T-N、SSを直接処理できる技術である。埋立地からの浸出水は調整槽で貯留・均質化された後、DTモジュールのSS負荷を低減させる目的で凝集沈殿処理される。その後、炭酸カルシウムのスケール防止の目的でPH調整されDTモジュールへ供給される。

DTモジュールは、平膜とディスクと呼ばれるプラスチック製スペーサーを組合わせたモジュール（図2）であり、1段目RO膜および2段目RO膜による膜分離で水道水レベルの処理水質と高い回収率を確保する。DTモジュールは、原水の流路が広

表3 膜の主要仕様

モジュール仕様		
UF 膜	形状	スパイラル型 UF 膜
	膜材質	PVDF
第一段 RO 膜	有効膜面積	30 m ² /モジュール
	ろ過方式	全量ろ過
第二段 RO 膜	形状	中空糸型 RO 膜
	膜材質	三酢酸セルロース
第二段 RO 膜	ろ過方式	クロスフローろ過
第二段 RO 膜	形状	スパイラル型 RO 膜
	膜材質	ポリアミド系
第二段 RO 膜	ろ過方式	クロスフローろ過

表4 水質例

水質項目	単位	原水 (海水)	処理水 (生産水)
濁度	度	0.4	<0.1
色度	度	<1	<1
pH	—	8.2	7.5
蒸発残留物	mg/L	37 700	161
ナトリウム	mg/L	10 300	1.4
全硬度	mg/L	6 460	85
塩素イオン	mg/L	19 500	34
ほう素	mg/L	4.91	0.4
有機物等（過マンガン酸カリウム消費量）	mg/L	3.9	0.7

く独特の形状を有するスパーサーディスクの働きにより、膜の目詰まりや生物ファウリングを受けにくいため、従来の RO 膜では不可欠であった前段での高度処理を不要とすることを実現した。

本システムは、環境への負荷を極限まで抑えることのできる浸出水処理設備であることのみならず、

処理水の再利用においても優位性が高く、クローズド（無放流）システム処分場や既存施設の増設強化などに適性を有するシステムである。

2.2 海水淡水化処理

海水淡水化の方法として、RO 膜法、電気透析法、蒸発法があるが、わが国における水道用海水淡水化施設の特徴は、①離島地域の簡易水道、②500 m³/d 以下の小規模施設が大半であるため、エネルギー消費量が少なく、コンパクトで運転管理が容易な RO 膜法の採用が多い。一方近年では、40 000 m³/d（沖縄県）や50 000 m³/d（福岡市）の大規模施設で RO 膜法が採用され稼働している。

2.2.1 ほう素除去を目的とした二段 RO 膜処理システムの特長

海水中に 5 mg/L 程度含まれるほう素を水質基準以下にするため、当社は、高圧 RO 膜の後段に、ほう素の除去を目的とした低圧 RO 膜を配置した二段 RO 膜処理システムで安定した運転を実現した。

RO 膜の前処理は砂ろ過と UF 膜の組み合わせが有効であり、RO 膜でのほう素除去率は平均85 %を達成した。また膜の薬品洗浄は2回／年実施することで安定した性能を継続することができる。表3に膜仕様、表4に水質例を示す。

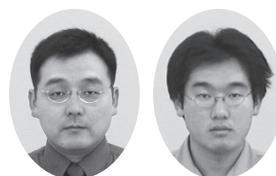
むすび

当社が取組んできた膜処理技術について概説した。その他にも、排水回収処理、下水処理水の再利用処理、汚染地下水処理、極性転換方式電気透析法（EDR）による地下水の硝酸性窒素除去処理など、さまざまな水へ膜処理技術の適用をおこなってきた。

さらに技術の研鑽に励み、顧客ニーズに応えていく所存である。

下部集水装置としての多孔板付き A/W 有孔ブロックの基本性能

Basic Performance of A/W Underdrain Block on Which Porous Plates are Installed



技術開発本部
水・汚泥技術開発部水処理室
石 山 明
Akira Ishiyama
技術開発本部
プロセス技術開発部廃棄物処理室
中 島 優 一
Yuuichi Nakajima

当社は、上水道をはじめ工業用水、下水三次処理等のろ過設備を広く納入してきた。そのろ過設備の要である下部集水装置については、空気／水洗浄式有孔ブロック（A/W 有孔ブロック）を採用し、ろ過／洗浄時の均等分配、損失水頭の低減、軽量化やメカニカルジョイントによる容易な運搬／据付作業を可能にした。今回、上水道ろ過設備向けとして、A/W 有孔ブロックの上面に取り付ける多孔板を開発し、ろ材支持砂利を不要とすることができた。本報では、この多孔板付き A/W 有孔ブロックの基本性能、設計基準、据付要領を報告する。

A/W underdrain block is applied to filtration systems for treatment of city water and industrial water, and tertiary treatment of sewage. The block, the key component of the filtration system, has such advantages as backwash with water and/or air, uniform flow distribution, reduced headloss, easy transportation and simplified installation work owing to light material and mechanical joint. Recently, for filtration systems for treatment of city water, porous plates installed on A/W underdrain block are developed, on which filter media are directly settled. This paper introduces basic performance, design criteria and installation method of A/W underdrain block on which porous plates are installed.

Key Words :

下 部 集 水 装 置
ろ 過 池
多 孔 板

Underdrain system
Filter
Porous plate

ま え が き

急速ろ過装置は上水をはじめ工業用水に広くもちいられてきたが、生活用水、農業用水の確保や水資源の有効利用、さらには公共水域の環境保全の面から、従来の分野のみならず、産業廃水さらには下水の三次処理用のろ過としても急速ろ過装置の重要性は高いといえる。このような広い範囲の用途に適合させるためには急速ろ過装置の各部分の機能も改善向上させる必要がある。とくに下部集水装置はろ過洗浄の効果に大きく影響する大切な役割を果たすものである。

当社はこれまで、ろ過設備の下部集水装置を多数納入してきた。その特長は、損失水頭が小さく、ろ過工程における集配水性および逆洗工程における分配性が均等というものである。これらの特長を継承するとともに、現地施工の簡素化を目的として、本体形状の変更、専用接続工具によるメカニカルジョイントへの変更といった点で既存集水装置を改良してきたものが A/W 有孔ブロックである。

A/W 有孔ブロック名称の「A」は「Air」の略称、「W」は「Water」の略称であり、空気、水それぞれ単独の洗浄への適用はもちろん、空気、水同時洗浄

に対しても適用ができることを意味する。

当社はさらに、上水道ろ過設備向けに改良を加え、A/W 有孔ブロックの上面に取付ける多孔質状の板（多孔板）を開発し、それを取付けた「多孔板付き A/W 有孔ブロック」とすることにより、ろ材支持砂利を不要とすることを可能とした。

1. 多孔板付き A/W 有孔ブロックの概要

1.1 構造

A/W 有孔ブロックの装置外観を写真1に、多孔板付き A/W 有孔ブロックを写真2に、それぞれ示す。

A/W 有孔ブロックは送水室と分散室に区分けされた二段構造になっており、その均圧効果によりブロック全面にわたって逆洗時の噴出流量の均等性を大きく向上させている。逆洗ポンプをもちいずに装置内部の洗浄用水で逆洗する自動ろ過装置への適用も可能である。1ブロックの本体寸法は270 mmW×382 mmH×1 248 mmL である。送水室の断面は逆洗時の水や空気の流速を低くおさえるため、十分な大きさをとっている。送水室と分散室の間には傾斜した仕切壁があり、水オリフィスと2段の空気オリフィスによって連通しており、さらにブロックの上部表面には小さい間隔であけられた多数の噴出オリフィスがあり、空気、水が全面から均等に噴出する。とくに空気は送水室上部の三角形状部に空気層が形成され、均等分配を可能としている。

ろ材支持砂利を不要とする多孔板は、厚さ20 mm のポリエチレン製であり、A/W 有孔ブロック上部表面を覆うように取付けている。多孔板の平均気孔径は、概ね400~500 μ m 程度であり、損失水頭を最小限に抑えることができる。

A/W 有孔ブロックは耐水性に優れ、十分な耐摩耗性を持つ発泡成形ポリエチレン製であり、平滑な表面と精密なオリフィス孔を有している。各ブロックはろ過装置の長さに応じて必要数が接合される。接合は作業の容易なメカニカルジョイントでおこない、空気や水の洩れは完全に防止される。

1.2 材質

ブ ロ ッ ク 高密度ポリエチレン

多 孔 板 高密度ポリエチレン

1.3 設計強度

多孔板付き A/W 有孔ブロックは最大逆洗流速時の内部圧力の2倍以上の圧に耐えられるよう設計してある。また、空気洗浄の初期および終期に起る動圧力に対しても十分な完全係数を加味している。また船積み、運搬、据え付け時に対する強度は十分見込んである。

製品特性は次のとおりである。

- 1) ブロック上面での耐圧力 0.25 Mpa 以上
- 2) 吸 水 性 0.01 %以下
- 3) 曲 げ 強 さ 617—764 MPa
- 4) 資機材等の材質に関する浸出試験

(厚生労働省告示第45号)

濁 度	0.1度以下
色 度	0.5度以下
有 機 物 等 (過マンガン酸カリウム消費量)	1.1 mg/L
残留塩素の減量	0.6 mg/L
臭いおよび味	異常なし
そ の 他 物 質	全て基準値以下

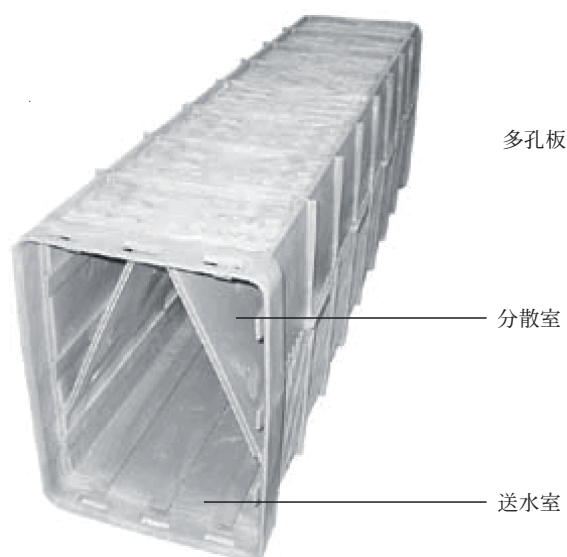


写真1 A/W 有孔ブロック

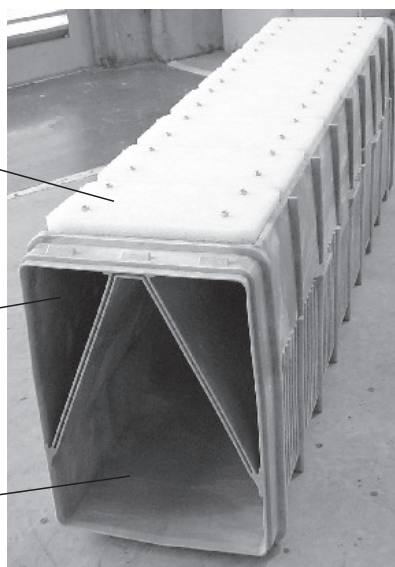


写真2 多孔板付き A/W 有孔ブロック

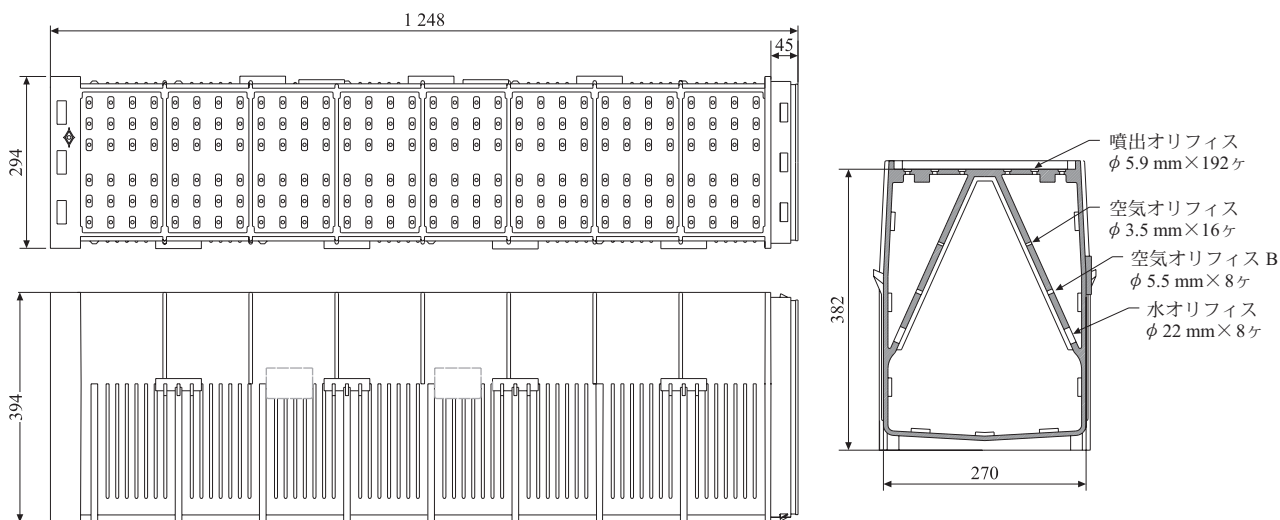


図1 A/W 有孔ブロックの外観図

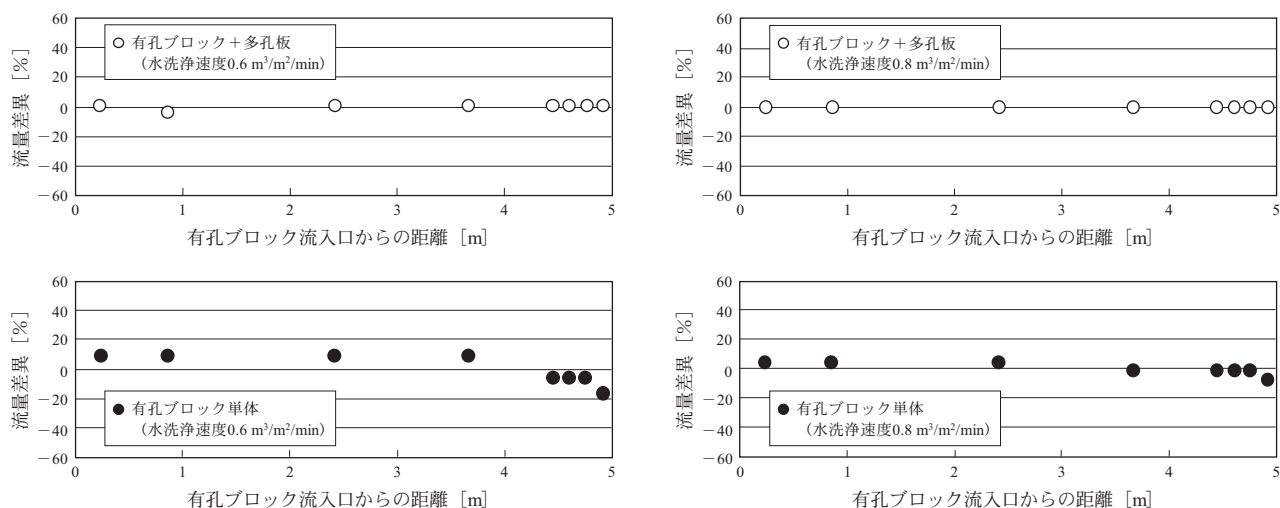


図2 A/W 有孔ブロックの水洗浄時の流量均等性

1. 4 形状および寸法

A/W 有孔ブロック本体の形状と寸法を図1に示す。従来品より全長で約0.3 m 延長したこと、両端の接続部を改良したこと、上面のリブを増やしたことなどにより、実用強度が増している。

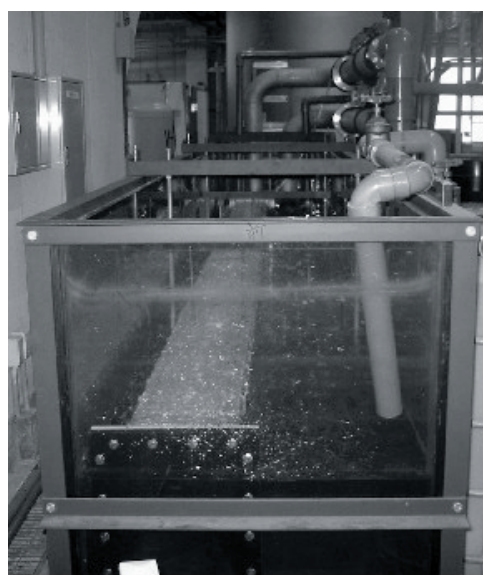
2. 多孔板付き A/W 有孔ブロックの特長

2. 1 流速の均等性がよい

一般に流速の均等性はろ過・洗浄にはきわめて重要である。とくに低流速の個所は洗浄不良となるおそれがある。

A/W 有孔ブロックは二段構造による均圧効果により、あらゆる流速において逆洗中の均等性が維持される。図2に逆洗時の均等性を示す。

これは、写真3に示す全長6 m (A/W 有孔ブロックは4本接続して全長5 m) の水理実験水槽にて、



水槽全長：6 m
ブロック全長：5 m (4本接続)

写真3 水理実験水槽

有孔ブロック上に計量ボックス（写真4）を設置して水洗浄をおこない、ボックスで囲まれた区間の噴出水を計量して、水洗浄時の流量均等性を定量的に評価した。

有孔ブロック単体では末端側の流量が若干低下するものの概ね均等であった。これは、断面の二段構造による均圧効果によると考えられる。実際のろ過池では、上部に支持砂利を載せるため、さらに均圧化され、流量均等性が安定する。

一方、多孔板付き有孔ブロックでは、上部に支持砂利を載せなくても、流量均等性が安定した。これは、多孔板による均圧効果によるものと考えられる。

2.2 損失水頭が小さい

均等性を保持しながらも、ろ過面積に対する噴出孔全面積の開口比が大きいため、逆洗時の損失水頭を小さくすることができる。A/W 有孔ブロックの損失水頭を図3に示す。



写真4 水量均等性計量ボックス

たとえば、他のストレーナ型や有孔管型などの集水装置では、水逆洗流速0.6-0.7 m/minにおいて500-1500 mmAqであるが、A/W 有孔ブロックでは150-200 mmAq 程度である。

また、多孔板付きA/W 有孔ブロックについて、水洗浄速度が0.6~1.0 m³/m²/min では多孔板による損失水頭が概ね100 mmAq 程度に収まることわかった。多孔板付き有孔ブロックでは支持砂利が不要となるので装置の高さおよびろ過水位を200 mm 以上低く設計することができる。

2.3 施工性がすぐれている

発泡成形ポリエチレン製で軽く、1ブロック当たり13 kg 程度、多孔板付きでも17 kg 程度であり、運搬が容易である。ブロック間の接合は特殊設計された工具をもちいた簡単な取付け作業で完全に漏水を防ぐことができる。

2.4 耐食性、耐圧性がよい

質的安定性があり、耐食性、耐摩耗性に優れる。強度も十分あり、下向きの荷重に対しては0.25 MPa 以上の強度がある。

2.5 空気・水洗浄ができる

A/W 有孔ブロックは特殊断面構造により送水室の上部に空気層が構成され、均等な空気洗浄あるいは空気・水の同時洗浄がおこなえる。

2.6 安定した空気洗浄

一般の空気洗浄としてストレーナや多孔管方式などでは噴出口の間隔が大きく「デッドスペース」が生じ、ろ材の汚染が進行したり、噴出時の圧力変化によりエア・バインディングが起り、支持床を乱したりする。

A/W 有孔ブロックは送水室から分散室へは空気調節オリフィスで空気量と圧力を調整した上、ブロック上部の全面に設けられた多数の噴出オリフィスか

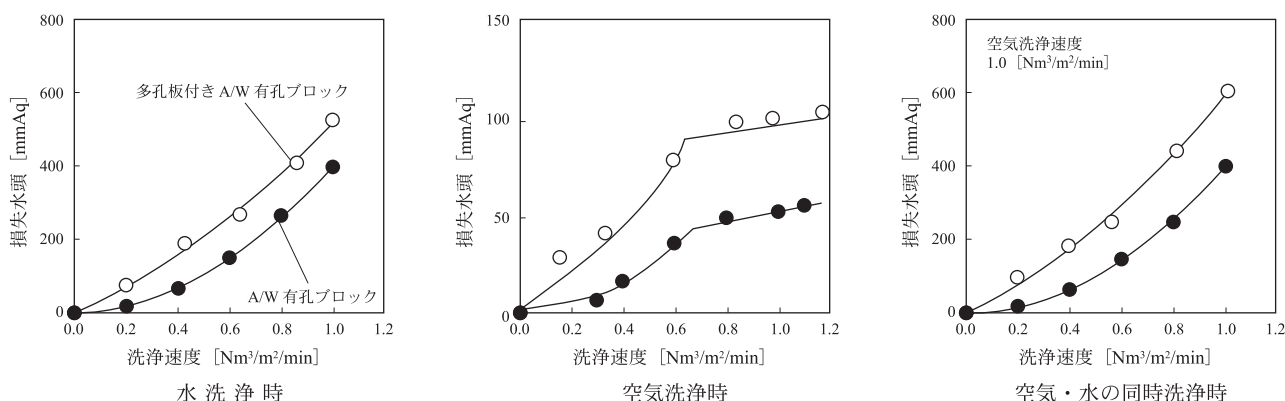


図3 A/W 有孔ブロックの損失水頭

ら空気を均等に噴出させるので「デッドスペース」や「エア・バインディング」は起らず、安定した空気洗浄ができる。多孔板付きの場合は、さらに気泡が細分化する。

3. 各種集水装置の比較

他の集水装置と A/W 有孔ブロックとの比較を表 1、2 に示す。A/W 有孔ブロックは、空気・水の噴出均等性が良好で、損失水頭がとくに小さく、施工が容易、噴出間隔が小さい、空洗併用可能といった特長がある。

4. 設計基準

4.1 逆流洗浄速度

0.4～1.2 m/min（使用ろ材や水温により決める）
一般には0.6～0.8 m/min である。

4.2 空気洗浄速度

0.3～1.4 Nm/min
一般には0.8～1.2 Nm/minである。

4.3 トラフの配置

越流する縁の間隔は1.5 m 以下とする。

4.4 A/W 有孔ブロックの設置寸法

A/W 有孔ブロックの外型寸法は270 mm×382

mmH×1 248 mmL である。

4.5 空気洗浄管

ろ過池の洗浄はろ過効果に大きく影響をおよぼすため、ろ層全体が均等に洗浄できる方式とする必要がある。そこで当社では A/W 有孔ブロック内に必要空気量を確実に送り込むために、I チューブ式空気洗浄管の設置を標準とする。とくに空気、水の同時洗浄をおこなう場合は、従来の空気洗浄管では管から噴出した空気は逆流洗浄流により横流れし、所定の集水装置に入らない可能性が考えられるため、直接に空気を下部集水装置に送る I チューブ方式が必要とされる。

〔付記〕配管材質は PVC、SUS のいずれかを使用する。

5. 据 付

5.1 事前確認

最初にろ過装置本体内部の寸法と底盤の水平度を調べる。

5.2 A/W 有孔ブロックの据付

A/W 有孔ブロックはろ過装置の長さに合わせて、ラテラル1組ごとにあらかじめ組立て、水平基準モ

表 1 集水装置の比較

項 目	A/W 有孔ブロック	ホイラー型	ストレーナ型	有 孔 管 型
構 造	角型二段構造	倒角錐型	ディスク型 スリット型	有孔枝管
材 質	高密度ポリエチレン	本体：コンクリート 成型球：磁製	合成樹脂	鋼管 PVC 管
噴出孔径 (mm)	5.9	12—16	(間隙) 0.2—3	6—12
開 孔 比 (%)	1.45	0.25—0.4	(取り付け短管) 0.25—0.4	0.2
逆流流量 均 等 性 (±%)	3以下	3以下	2—5	3—5
逆 洗 時 損失水頭 (mmAq)	150 (多孔板付きは250)	700—900	500—1 000	700—1 500
底盤より の 高 さ (mm)	400 (多孔板付きは+10)	800—1 200	300—700	200—500
評 価	均等性良好 損失水頭がとくに小さい 施工容易 噴出間隔が小さい 空洗併用可能	耐久性良好 均等性良好 施工困難 池深が大となる 噴出間隔が大きい	施工容易 閉塞し易い 噴出間隔が大きい 損失水頭大	施工容易 腐食・磨耗あり 均等性悪し 損失水頭大

〔注記〕逆流洗浄時損失水頭は逆流洗浄流速0.6 m/min 時の値を示す。

表2 各種有孔ブロックの比較

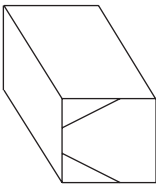
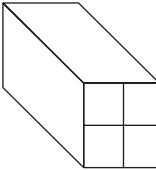
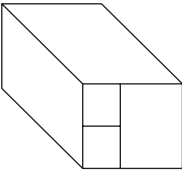
項 目		A/W 有孔ブロック	陶磁器製有孔ブロック	
			標 準 型	自 動 逆 洗 型
断 面 形 状				
材 質	高密度ポリエチレン	陶磁器製	同	左
重 量 (kg/個)	13 (多孔板付きは+4)	43	41	
ろ 層 (mm)	600以上	600以上	600以上	
砂 利 層 (mm)	200以上 (多孔板付きは0)	200以上	200以上	
池底より砂層上面までの高さ (mm)	1 190以上 (多孔板付きは1 000以上)	1 075以上	1 250以上	
流路方向でのブロックの接合方法		メカニカルジョイントで嵌合させ、側部下部にモルタルを敷く。	単に突合せて設置したのち下部に均しモルタルと上面V溝部にモルタル充填	同 左
噴 出 孔	孔 径 (mm)	5.9	4	6
	孔 数 (個数/m ²)	531	510	490
開 孔 比 (%)		1.45	0.64	1.46
[ろ過面積に対する噴出孔全面積]				
逆洗時損失水頭 (mmAq)	逆洗流速0.6 m/min 時	150 (多孔板付きは250)	750	165
逆洗時の流量均等性 (±%) (流路長さ9 m において)		3以下	2以下	3以下
価 格 (据え付け費含む)	据え付け費が安い	標準価格	材料費が割高になる	
耐 久 性	大	もっとも大	もっとも大	同 左
耐 衝 撃 性	もっとも大	少々劣る	少々劣る	同 左
据え付け作業	きわめて容易	繁雑 (重機類必要)	繁雑 (重機類必要)	同 左
評 価	損失水頭小さく、均等性良好。 現地作業が容易で、割安になる。 ブロックの接合は確実である。 必要に応じて空洗併用可能。	損失水頭小さく、均等性良好。 耐久性に優れている。 現地作業が繁雑である。 ブロックの接合に難点がある。	損失水頭小さく、均等性良好。 耐久性に優れている。 現地作業が繁雑である。 ブロックの接合に難点がある。	



写真5 A/W 有孔ブロックの接続



写真6 A/W 有孔ブロックの据付

ルタルの上に設置する。この場合、断面内部の空気オリフィスが $\pm 6\text{ mm}$ 以内となるように水平を確保する。

ろ過室全面に設置した後に、ラテラル相互の間隙へモルタルをブロック上端より 10 mm 程度下げた位置まで充填し、水平にならす。

A/W 有孔ブロックの取付け作業を写真5～7に示す。

5.3 最終検査

各ブロック上端の高さが $\pm 6\text{ mm}$ の範囲内である



写真7 モルタル充填

ことを確認する。

A/W 有孔ブロック上面の噴出孔、多孔板付きの場合は多孔板自体が塞がったり汚れていないかを念に調べる。3日以上放置したのち徐々に通水する。

支持床やろ材がすぐ充填されない場合はシートなどで全面を覆い、ブロックの破損や汚れとくに噴出孔、多孔板付きの場合は多孔板自体が閉塞されるのを防ぐ。

むすび

A/W 有孔ブロックは、これまで当社で20年以上の実績のある下部集水装置の特長を継承し、さらにメカニカルジョイントが可能で、簡素な据付作業を実現化した。

また、上水道ろ過設備向けとして、損失水頭の小さい樹脂製の多孔板を A/W 有孔ブロックの上面に取付けることにより、ろ材支持砂利を不要とすることを可能とした。

今後、この多孔板付き A/W 有孔ブロックの優位性を生かし、上水道ろ過設備へ幅広い適用が期待される。

総説 エステプロセス®

General Introduction of S-TE PROCESS®



技術開発本部
水・汚泥技術開発部水処理室
長 谷 川 進
Susumu Hasegawa
(工学博士・技術士)

エステプロセス®は、生物処理法の最大の課題である余剰汚泥の減量化技術として、自然界に生存する好熱性細菌（以下「好熱菌」と略す）を利用するという世界で初めての当社独自のプロセスで、すでに、10件以上の実績を有している。また、世界最大手の水処理メーカーであるオンデオ・デグレモン社がエステプロセス®の有効性を認めて技術導入するなど、世界的にも評価された技術である。

エステプロセス®は、汚泥を好熱菌の分泌する酵素により可溶化し、それを通常の生物で無機化（消滅）するという、自然界の生物の特性をうまく生かした効率的な技術で、条件によってはゼロディスチャージも可能で、運転経費を従来の半分以下にできる。近年では、食品廃棄物、畜産廃棄物のバイオマス再資源化設備に本技術を適用することにより、固形物残渣の排出が少ない資源化設備として貢献している。

We have developed a novel activated sludge (AS) process, in which no excess sludge is generated. It comprises the conventional AS process with thermophilic aerobic sludge digester in which excess sludge are solubilized by thermophilic enzyme, so we call hereafter the digester S-TE reactor. The sludge generated from the AS step is solubilized by thermophilic bacteria (e.g. *Bacillus* sp.) in S-TE reactor, and returned to an aeration tank, in which complete mineralization is carried out by mesophilic bacteria. The S-TE reactor is operated at 60-65 °C with hydraulic retention time of 1-2 days. Special isolated bacteria is initially inoculated to the S-TE reactor, but no additional inoculation seem to be needed since these bacteria can form spores and survive even under mesophilic condition. No excess sludge was generated when 3-fold amounts of the excess sludge is subjected to the S-TE reactor. According to our estimates, total operation costs for the S-TE PROCESS® is reduced to 30-50 % of those of conventional dewatering process. Recently a food waste methane fermentation plant combined with S-TE process has been operating, and producing valiant methane gas without excess sludge.

Key Words :

好 熱 性 細 菌

Thermophilic bacteria

汚 泥 減 量

Sludge reduction

可 溶 化

Solubilization

バチルス ステアロ

Bacillus stearotherophilus

サーモフィラス

まえがき

都市下水、有機性工場廃水に対して生物処理法が広くもちいられているが、増殖した生物が余剰汚泥（産業廃棄物）として排出されることが昨今の重大な問題とされている。

余剰汚泥の発生量は年間約1億トンともいわれ、わが国の廃棄物総量の約20%を占めており、昨今のロンドン条約による海洋投棄の禁止¹⁾や埋立地を確保することが困難になってきているなかで、その処理・処分が大きな社会問題となっている。2001年循環型社会形成推進基本法が施行され、3R (Reuse, Reduce, Recycle) の原則にしたがい、余剰汚泥の農地還元など再利用の取組みも積極的におこなわれているが、重金属の問題、利用先確保、安定供給の問題が残されており、現実的には、脱水処理後、焼却あるいは溶融して有効利用する方法が主流となっている。しかしながら、今後、焼却などをしない地球環境にやさしい、経済的かつ簡易な汚泥減量化技術 (Reduce) が望まれている。

一方で、近年、「汚泥減量化の基本は汚泥を極力出さないようにすることである」とのコンセプトから、汚泥の発生量を大幅に低減するプロセスの提案がなされている。水処理系から発生する汚泥を可溶化して通常の微生物が容易に分解できる形にし、可溶化液を水処理系の反応槽に戻して分解することにより発生汚泥量を削減する方法で、汚泥を可溶化する方法として、オゾン法、²⁾ 機械的破碎法、³⁾ 水熱

法⁴⁾ (当社のレセルシステム[®]等)、超音波法、⁵⁾ 生物法⁶⁾などが提案されている。

本稿では、当社が開発した好熱性細菌（以下、好熱菌と略する）を利用した汚泥減量化技術について、その技術の中核となる好熱菌の特性を中心に、原理から実設備例までを総説する。

1. エステプロセス[®]の概要

開発当初、「好熱菌で汚泥を可溶化して消滅する」と説明すると、「眉唾物」との印象をもたれることがあり苦労した。確かに、世の中には「特殊微生物」を謳い文句とする技術がごまんとあるが、実際に信頼されている技術は数少ない。全てが「眉唾」というわけではないが、多くの場合、「特殊微生物」の特性をよく理解しないでもちいているため、謳い文句の効果がえられていないようである。たとえば、当社の好熱菌も温度を間違えると効果が激減する。そこで、まず、汚泥可溶化好熱菌について、その特性をよく理解できるよう以下に詳述する。

1.1 汚泥可溶化の原理

人が食物を食べると、食道、胃、腸を移動する過程で、いろいろな酵素が分泌され、可溶化、低分子化され、体に吸収されていく。微生物は、人間のような複雑な消化器官は持ち合わせていないため、それらを分業することになる。すなわち、ある種の微生物は、**図1**に示すような、有機性固形物を可溶化する酵素を分泌して、固形物を可溶化する。さらに別の微生物がそれらをより低分子化する酵素を分泌

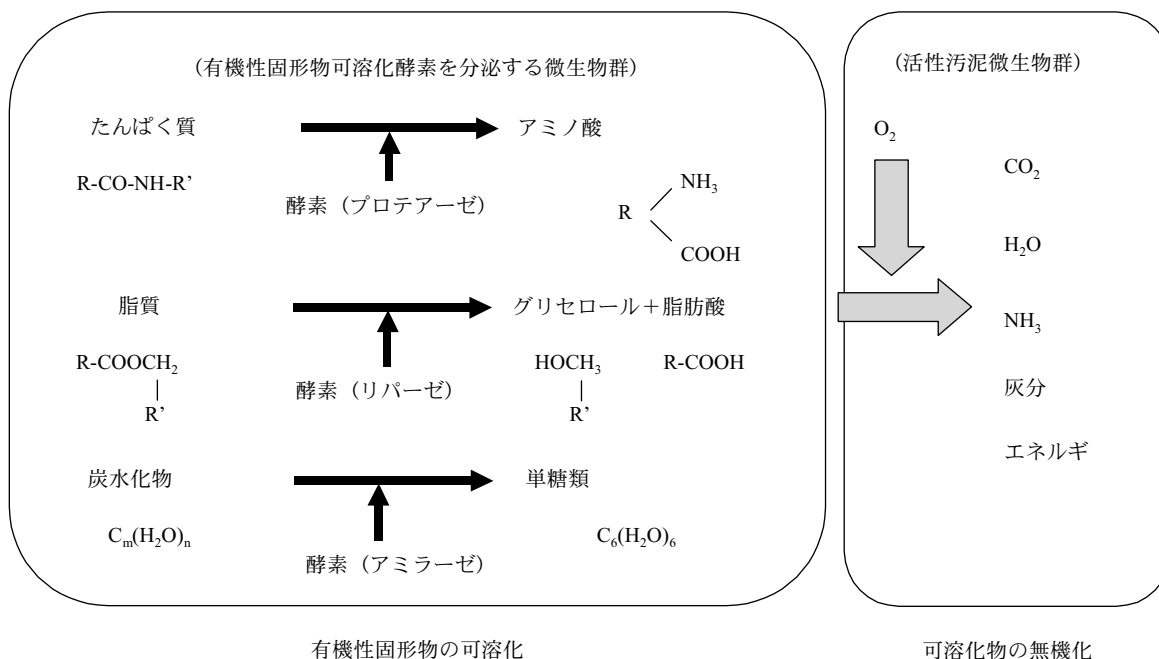


図1 有機性固形物の生分解

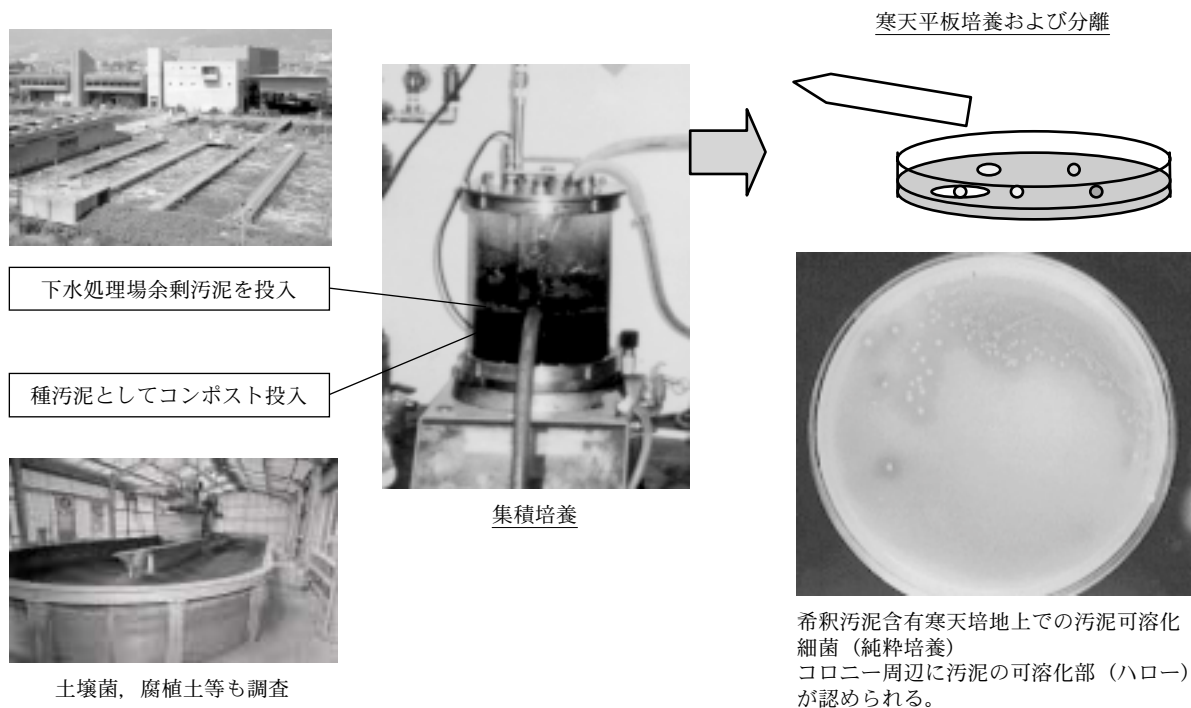


図2 汚泥可溶化細菌の分離

し、最終的に微生物に取込まれ、無機化される。たとえば、たんぱく質を資化する場合は、まず、プロテアーゼにより各種アミノ酸に分解され、さらに分解する必要がある場合は、脱アミノ作用、脱炭酸作用を触媒する酵素により分解代謝されていく。同様に、脂肪は、リパーゼにより脂肪酸とグリセロールに分解され、脂肪酸は、さらに、 α -酸化や β -酸化により低分子化されていく。また、炭水化物は、たとえば、アミラーゼにより分解され、グルコースは解糖系に入り、好気条件においては、二酸化炭素と水にまで酸化される。

1.2 汚泥可溶化細菌の分離

コンポスト、腐植土、土壌などを分離源とし、下水汚泥を基質として馴養した培養液から汚泥を可溶化する細菌の分離を試みた。図2に分離法の概要を示す。培養液の一部を希釈汚泥を含む寒天平板上に塗抹し、コロニーを形成させ、コロニー周辺に汚泥可溶化部（ハロー）が認められたものを汚泥可溶化細菌として分離した。可溶化部は、寒天中の懸濁汚泥が透明になるため容易に認知できる。また、寒天中の懸濁汚泥が透明化することは、汚泥の可溶化が、単に汚泥を死滅させるだけでなく文字通り溶かしていることを示している。

当社は、65℃を最適生育温度とし、プロテアーゼおよびアミラーゼを安定して活発に分泌する SPT2-1 株を汚泥可溶化好熱菌（汚泥可溶化酵素を活発に分

表1 SPT2-1株の菌学的性質

形態的性質		生理学的性質	
細胞の形	桿菌	無機窒素の利用	+
運動性	+	オキシダーゼ	+
孢子	+	カタラーゼ	+
グラム染色	+	酸素に対する態度	好気～通性嫌気
		生育温度の範囲	55～75℃
		生育 pH の範囲	5.5～8.5

増殖制限因子がない場合の倍化時間は20～30分

泌する好熱性細菌を総称して以後 S-TE（Sludge solubilization by thermophilic enzyme）菌と称す）として分離した。37℃の中温条件で培養した培養液からも分離を試みたが、いずれのコロニー周辺にも汚泥の可溶化部は認められなかった。

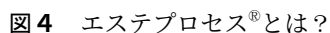
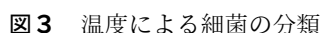
1.3 S-TE 菌の効用

SPT2-1株は *Bacillus stearothermophilus* に分類される病原性のない安全な細菌で、自然界から分離されたものである。SPT2-1株の細菌学的性質を表1にまとめる。この細菌は好気性条件下（通性嫌気性細菌であるため、嫌気条件下でも生残できる）の60～70℃で活発に増殖し、強力な汚泥可溶化酵素を分泌して汚泥を溶解する。また、孢子（芽胞）形成能を有しており、孢子になると、種々のストレス（温度変化、毒性物質の混入、乾燥等）に晒されても死滅することなく生残することができる。

エステプロセス®は、水処理系から引抜かれた余剰汚泥を高温条件に保った S-TE 槽で可溶化し、可溶化汚泥を再び水処理系へ循環返送するというきわめて簡単なフローである（図 4）。このようにプロセスが簡略化されるのは、これら特性を有する SPT2-1 株ならではの効用である。

S-TE 菌を生育させるためには、温度を60～65℃に維持する必要がある。通常、生物処理系から排出

一方で、細菌類を包む粘性物質が可溶化されると、細菌類が酵素にアタックされやすい状態になり、好熱菌による可溶化の効率を向上させる効果を生み出す。



(2) 体外酵素分泌の効用

人間のように酵素を生成する能力を有していても体外に分泌できなければ、周囲の固形物を可溶化することはできない。SPT2-1株はグラム陽性菌で体外に酵素を分泌するため、菌を培養しながら酵素をえることができる。すなわち、培養液そのものが酵素液となり、効率よく汚泥を可溶化できる。

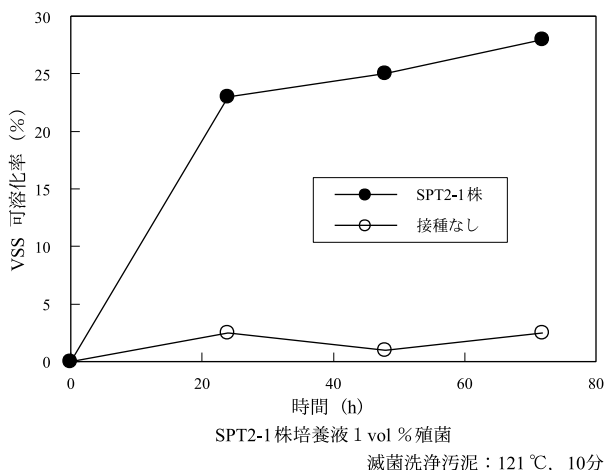
写真1は、SPT2-1株の純粋培養液の上澄みを希釈汚泥を含む寒天培地上に塗抹したものである。好熱菌が存在しないにもかかわらず、見事なハローが形成されたことから、SPT2-1株が汚泥可溶化酵素を体外に分泌していたことがわかる。

図5に、SPT2-1株による汚泥の可溶化を示す。ここで試験に供した汚泥は、前述の熱による可溶化の影響を除外するため滅菌洗浄（121℃で10分間オー



写真1 SPT2-1株培養液の上澄みを希釈汚泥を含む寒天培地に滴下。汚泥が溶解した透明部が観察される。

写真1 SPT2-1株上澄み液による汚泥の可溶化



トクレープ処理して、高速遠心後3回洗浄）した汚泥をもちいた。SPT2-1株を接種した場合は、滅菌洗浄汚泥を25～30%可溶化した。一方、接種しない場合はほとんど可溶化されなかった。また、SPT2-1株の培養液を高速遠心した上澄み液についても同様に滅菌洗浄汚泥の可溶化能を調べたところ、好熱菌を除外したにもかかわらず、15～20%の可溶化率がえられた。この結果より、SPT2-1株が培養液中に酵素を分泌していることが確認された。

(3) 大腸菌なみの増殖速度

SPT2-1株を標準培地で培養した場合の増殖速度は大腸菌なみで、その倍化時間は20～30分程度である。したがって、通常の活性汚泥法のように、反応槽に生物を維持するために汚泥を返送する必要はなく、一過式での培養が可能である。

(4) 耐熱性酵素の効用

通常、化学反応は温度が高いほど速くなる。酵素触媒反応においても同様で、これが、近年、精力的に好熱菌が研究されている理由でもある。SPT2-1株が分泌する酵素も耐熱性で、SPT2-1株の最適生育温度（65℃）付近で最高活性を示す。しかし、逆に、温度が低下すると活性も低下し、50℃以下では失活する。したがって、この酵素が通常温度条件（15～35℃）で運転される水処理系に戻されても、失活するため、活性汚泥に悪影響を及ぼすことはない。

(5) 胞子形成能の効用

前述のように、SPT2-1株は*Bacillus*属に分類され、胞子形成能を有する。本菌がS-TE槽から流出して水処理系に返送された場合、大部分は死滅するが、一部は胞子を形成して生残する。胞子は、沈殿池で固液分離され、余剰汚泥とともに再びS-TE槽に投入される。S-TE槽で高温条件に晒された胞子

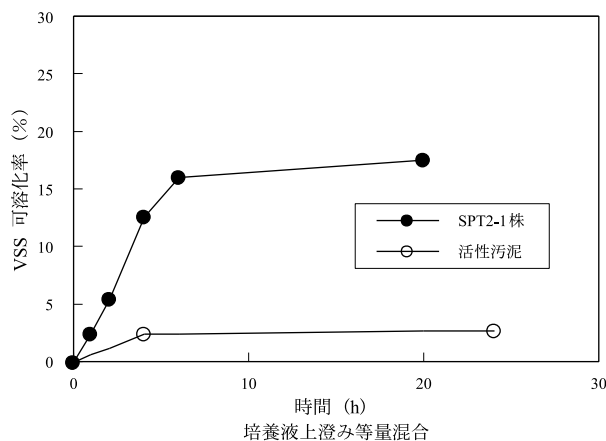


図5 SPT 2-1株による滅菌洗浄汚泥の可溶化

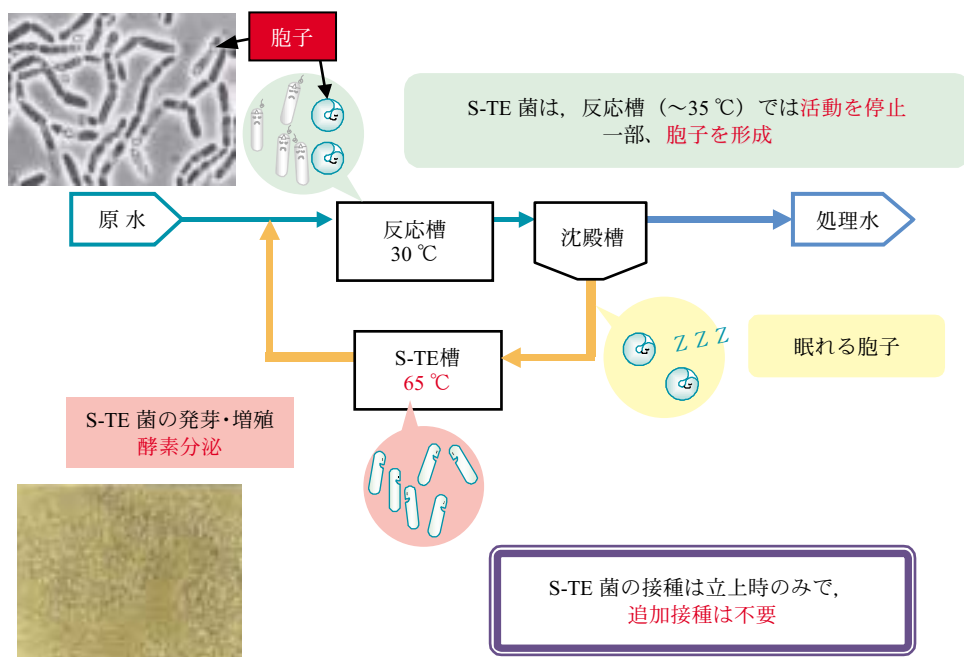


図6 SPT2-1株の有効性

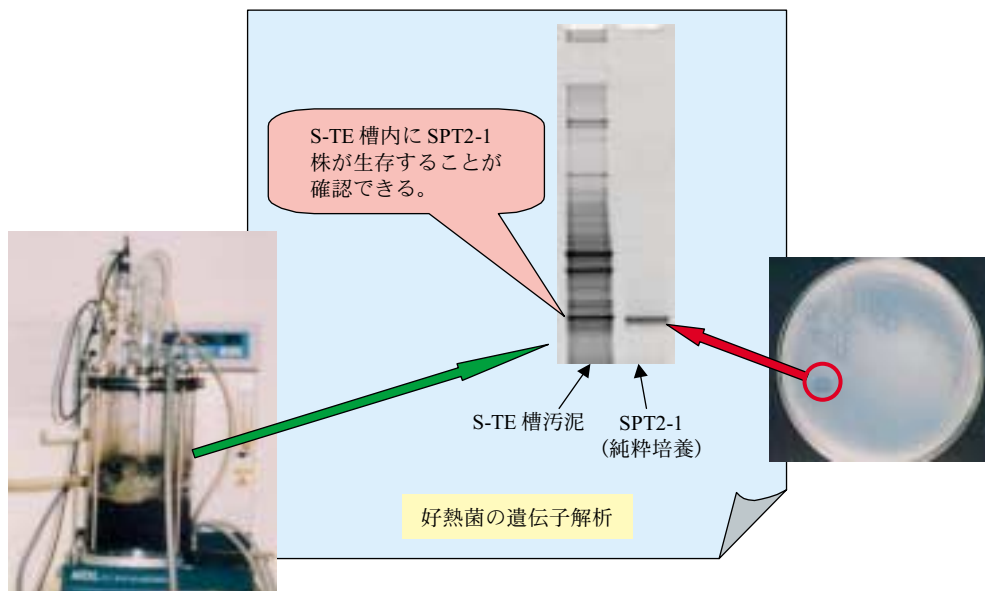


図7 遺伝子解析によるS-TE槽診断

は、再び発芽して増殖し、5時間程度で十分な数となる。したがって、一度S-TE菌を接種すれば、系内の汚泥を入替えない限り、追加接種の必要はない。(図6参照)

図7は、運転立上げ時SPT2-1株を接種した後、3年間運転後のS-TE槽内汚泥の遺伝子解析(DGGE解析)結果を示す。S-TE槽には種々雑多(死滅菌も含む)の微生物種を示すバンドが認められるが、確実にSPT2-1株のバンドが確認されている。

(6) 生物学的異化代謝(呼吸)の効用

SPT2-1株は、有機炭素を酸化してエネルギーを与える従属栄養細菌で、有機炭素を呼吸により二酸化炭

素にまで無機化する。S-TE槽において、呼吸に要する十分な酸素を供給すると、S-TE菌は可溶化した有機物の30～50%を無機化することができる。したがって、他の物理化学的可溶化法に比べ、水処理系に返流される可溶化有機物の負荷量が30～50%軽減されることになる。すなわち、水処理系への返流負荷の影響が他方にくらべ少ないといえる。

2. エステプロセス®の理論⁹⁾

2.1 ゼロディスチャージの理論

プロセス全体の汚泥収支から定常状態を仮定して、汚泥減量化率を求めると次式のように表される。(詳細は文献9)参照)

$$\text{汚泥減量化率} = \frac{Q_s}{Q_w} \times (\beta - Y_r \cdot \gamma) \quad (1)$$

ここで、

Q_s : S-TE 槽投入汚泥量 (L/d)

Q_w : 余剰汚泥量 (L/d)

Y_r : 反応槽内汚泥収率 (kgSS/kgBOD)

β : S-TE 槽を一過した場合の可溶化率 (—)

γ : S-TE 槽を一過した場合の BOD 溶出率 (—)

BOD 溶出率が可溶化率に比例すると仮定すると、 Y_r は定数と考えられることから

$$\text{汚泥減量化率} = k \cdot \beta \cdot \left(\frac{Q_s}{Q_w} \right) \quad (2)$$

ここで k 値は可溶化された物質が無機化される割合を示す。

式(2)より、汚泥減量化率は S-TE 槽での可溶化率 (β) と汚泥循環率 (Q_s/Q_w) の積に比例することが分かる。

人工廃水をもちいた室内実験および実廃液をもちいた現地テストでえられた結果を基に、式(2)の $\beta \times (Q_s/Q_w)$ と汚泥減量化率の関係を図 8 に点綴した。両者はほぼ直線関係にあり、式(2)の k 値がほぼ 1 であることがわかる。このことは、可溶化された物質が水処理系でほぼ完全に無機化されていることを示唆している。

通常、S-TE 槽での処理時間を 1 日程度で運転すると、 β 値は 0.3～0.35 であるため、ゼロディスチャージを達成するには、汚泥循環率 (Q_s/Q_w) を 3 以上で運転すればよいことがわかる。

2.2 難可溶化物質の挙動

難可溶化物質が全て原水固形物由来であると仮定すると、原水固形物由来の難可溶化固形物の流入と処理水および汚泥引抜きによる難可溶化固形物の系外持出しがバランスして反応槽内難可溶化固形物割合が一定になる条件では、次式が成り立つ。(詳細は文献 9) 参照)

$$W = \frac{\zeta_{ni}}{Y \cdot \zeta_n} \quad (3)$$

ここで、

W : 処理水中の固形物も加味した汚泥引抜率 (—)

Y : 流入固形物に対する汚泥転換率 (—)

ζ_{ni} : 原水固形物中の難可溶化物の割合 (—)

ζ_n : 反応槽内固形物中の難可溶化物の割合 (—)

難可溶化固形物の定量は困難であるが、式(3)によ

り、汚泥を一部系外に引抜くことにより反応槽内難可溶化固形物の割合を一定に維持することができる。

無機物の蓄積についても同様に考えることができるが、一般的に汚泥が可溶化されて溶出した無機物は、ある程度活性汚泥微生物中に蓄積されるが、微生物の蓄積能にも限界があるため、蓄積能を超えた無機物は微生物には取込まれず、処理水中に排出される。

2.3 エステプロセス®の特長と適用上の留意事項

(1) エステプロセス®の特長

① 余剰汚泥の大幅減量化

余剰汚泥の発生が大幅に減量化され、条件によってはゼロディスチャージも可能である。

② 短時間での立上げが可能

S-TE 菌の増殖と汚泥可溶化酵素生産に最適な装置設計により 1 日で装置立上げが可能である。

③ 安価な運転費

汚泥の可溶化に細菌をもちいるため、運転費が安価である。従来の脱水・搬出する処分方法にくらべ処理費用が 1/2～1/3 に削減できる。(図 9 参照)

④ 簡単な維持管理

S-TE 槽内の温度を 60～65℃ に保持し、好気条件に保つ以外、面倒な維持管理は不要である (汚

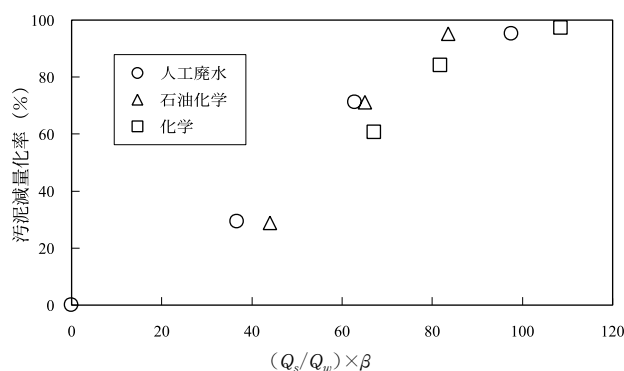


図 8 可溶化処理汚泥量と汚泥減量化率の関係

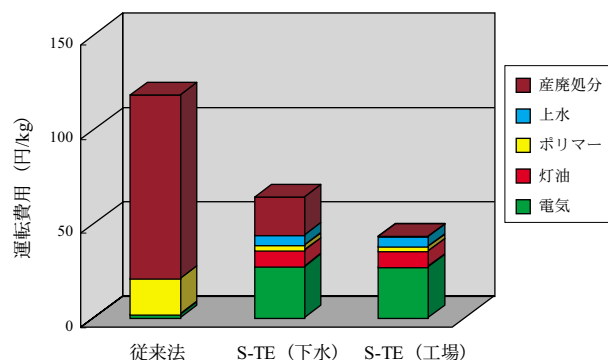


図 9 エステプロセス®の経済性

泥管理は不要)。また、特殊な知識や技術を必要としない。

⑤ 環境と調和したプロセス

エステプロセス®は化学薬品を使用せず、自然界に生存する安全な微生物を使用するため、環境に優しいプロセスである。

(2) 適用上の留意事項

① 高温処理するため高温において熱変質したり、不溶化してしまうものには、前処理で除去するなど適用に工夫を要する。

② 水処理系の負荷上昇

本来増殖菌体分として系外に引抜く汚泥を可溶化して水処理系に返送するため、本流水処理系の負荷が上昇する。ただし、S-TE 槽においても無機化が進行するため、他の物理化学的可溶化法にくらべると、返流負荷は1/2程度ですむ。

③ 負荷上昇にともなう曝気動力の上昇

負荷上昇に見合う曝気の増加が必要になる。通常、S-TE 槽排気ガスを脱臭と曝気量補充の目的

で水処理系活性汚泥反応槽に通気する。

④ リンは除去できないため、リン除去が必要な場合は、別途検討を要する。このことは、逆に、水処理系にリンを栄養塩として添加している場合は、添加量を少なくできることを意味する。

3. 実設備例

エステプロセス®は、下水への適用を目的に、1998年から2001年にかけて日本下水道事業団（JS）と共同研究を実施している（写真2）。実証機はそのまま実用機として稼動しており、稼動実績を基にJSより技術評価を受けている。また、農業集落排水への適用についても（社）地域資源循環技術センター（JARUS：旧（社）日本農業集落排水協会）より汚泥量調整機構として技術評価を受けている。

本技術は、世界最大手の水処理メーカーであるデグレモン社をはじめ、国内大手水処理メーカー2社にも技術供与しており、すでに、フランスにおいて、50 000人規模の下水処理場に欧州1号機が稼動している（写真3）。



写真2 下水処理場実証機

共同研究実証設備

水処理設備

処 理 方 式	OD 法
反応タンク容積	400 m ³
発 生 汚 泥 量	25~30 kg/d

S-TE 槽

容 積	4.4 m ³
滞 留 時 間	2 日（1~3 日）



写真3 世界に羽ばたくエステプロセス®

設備概要

水処理設備

処 理 方 式	オキシデーションディッチ
処 理 人 口	50 000 人
発生汚泥量	2 900 kg/d

S-TE 槽

容 積	500 m ³
滞 留 時 間	2 日
温 度	65 °C

欧州 S-TE 1 号機（Vannes WWTP）

2005年6月稼動

Degremont 社施工

表2にエステプロセス®の実績をまとめる。下水や原水中に難分解物質が含まれる事例において、一部汚泥を引抜き運転をおこなっているが、それ以外ではゼロディスチャージの運転をおこなっている。

エステプロセス®は、それ単独でも「汚泥を発生しない排水処理プロセス」として有用な技術であるが、当社の高負荷処理あるいはメタン発酵技術と組み合わせることにより、他社技術を凌ぐ当社独自のメニューとしてランクアップされる。

3.1 PABIO MOVER との組合せ

PABIO MOVER は排水と酸素と微生物の「高い接触効率」および「高い酸素供給効率」がえられる高負荷型の好気性生物処理装置である。

化学製品および電子工業用高純度薬品などを製造する工場において、増産にともなう既設排水処理設備（活性汚泥法）の負荷増強を計画するにあたり、当社のPABIO MOVERを紹介するとともに、排水

の処理過程で発生する余剰汚泥の減量化に有効なエステプロセス®を付加することを提案し、「汚泥消滅型高負荷排水処理装置」としてセットで採用いただいた。設備フローを図10に示す。

約700 kgBOD/d から2 400 kgBOD/d の負荷増強に対し、600 m³ のPABIO 槽を設け、負荷増強後の推定余剰汚泥発生量715 kgDS/d を完全消滅させるため、155 m³ のS-TE 槽を設置した。PABIO 槽でのBOD除去率は、90 %以上、設備全体としては、98.4 %と良好な処理性能がえられており、汚泥引抜きゼロ運転が達成されている。

3.2 メタン発酵との組合せ

食品廃棄物処理分野において「食品リサイクル法」が施行され、事業所系食品廃棄物については、リサイクル率の20 %向上が求められている。リサイクルの一法として、メタン発酵は容易にエネルギー回収が可能であることから注目を集めているが、発酵後の消化液の処理が問題になっている。欧米のように直接液肥として利用できる場合は問題ないが、国内では、そのような地域はごく限られており、後段に水処理設備を設置するのが一般的である。そこで、メタン発酵残渣を極力少なくするため、メタン発酵消化液の処理にエステプロセス®を適用したシステムを提案し、採用いただいている。システムの概略フローおよび写真を図11に示す。

5 t/d（含水率60 %）の生ゴミを180 m³ の消化槽でメタン発酵し、回収したメタンガスを利用して60 kW の発電機およびボイラでエネルギーを創出している。メタン発酵後の消化液は、排水処理設備に投入され、排水処理設備から排出される1 t/d の余剰汚泥は、80 m³ のS-TE 槽で可溶化処理して水処理系に返流することにより減量化している。本設備においても汚泥引抜きゼロを達成している。

表2 エステプロセス®の実績

納入先	処理汚泥量 (kg-DS/d)	汚 泥 減量化率	納入 年度	業 種
N 町	22	70～80	2001	下 水
H 社	330	80	2002	食 品
M (株)	5 000	70～80		化 学
S (株)	100	90		電 気
(株) N	72	100	2003	化 学
N (株)	715	100		食 品
KK	450	100		食 品
A (株)	10	100		食 品
AM (株)	140	100	2004	食 品
LP	400	100		電 気
(株) M	1 100	稼動中	2005	食 品
H 市	540	目標80～90		畜産他

技術供与先の実績：民間工場 2 件 （2003、2004年度）
下水処理場 1 件 （2005年度：フランス）

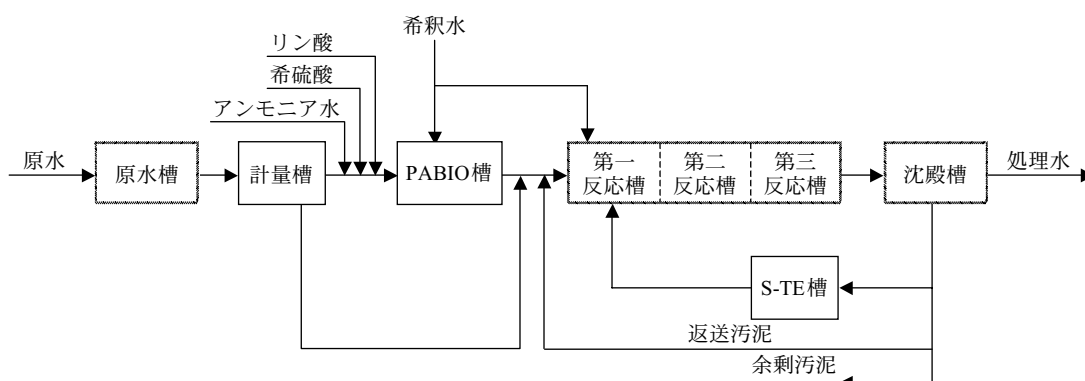


図10 汚泥消滅型高負荷排水処理装置

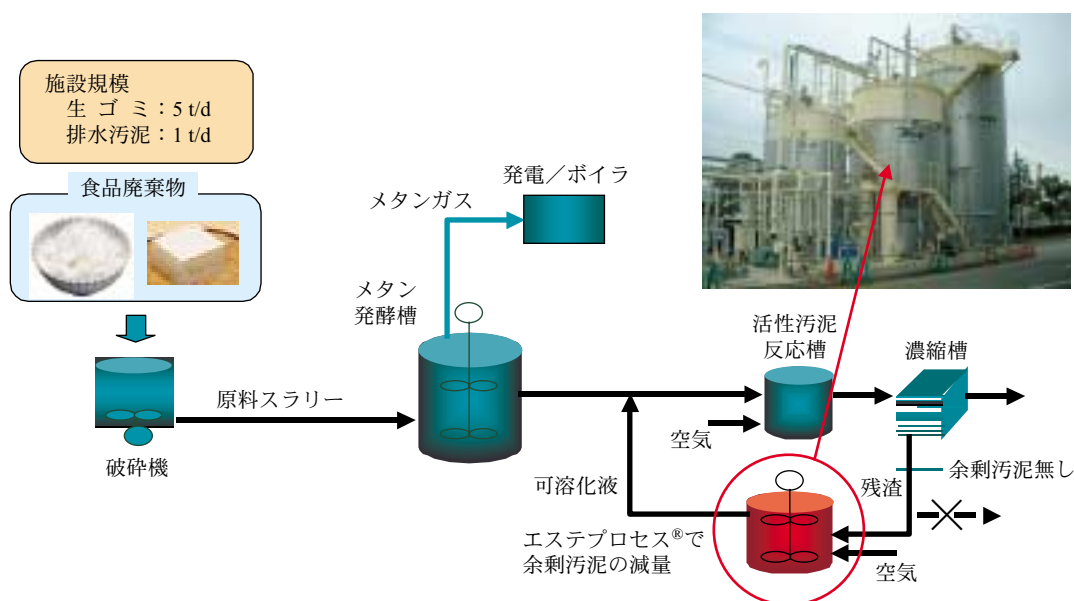


図11 食品廃棄物処理への適用

む す び

自然界で生成されるあらゆる有機物は微生物によって分解されるといっても過言ではない。そうでなければ、その物質がどんどん蓄積されて地球がその物質で埋め尽くされることになる。生物学的排水処理設備から排出される余剰汚泥についても同じで、効率的におこなえば完全分解が可能である。水処理技術、脱臭技術に生物学的方法が適用されてきたように、汚泥処理技術においても生物学的方法が採用されていくことを期待する。

【参考文献】

- 1) 河崎哲久：ロンドン条約附属書 I の改正に伴う産業廃棄物の海洋投入処分の規制強化について，いんだすと，Vol.10, No.9 (1995)，p.38-42
- 2) H. Yasui, M. Shibata: An Innovative Approach to Reduce Excess Sludge Production in the Activated Sludge Process, Wat. Sci. Tech., Vol.30, No.9 (1994), p11-20
- 3) 名和慶東：ミル破碎工程を含む汚泥減容化の研究，環境技術，Vol.28, No.8 (1999)，p.562-565
- 4) 奥田友章，村上定瞭，笠原伸介，石川宗孝：水熱反応を利用した余剰汚泥削減型活性汚泥法に関する研究，環境工学研究論文集，Vol.39 (2002)，p.43-54
- 5) 見手倉幸雄，古崎康哲，榊原隆司，安藤卓也，笠原伸介，石川宗孝：超音波を利用した余剰汚泥削減システムに関する研究，環境工学研究論文集，Vol.39 (2002)，p.31-41
- 6) 桂健治，三浦雅彦，長谷川進：好熱性微生物を利用した余剰汚泥が発生しない活性汚泥プロセス，水環境学会誌，Vol.21, No.6 (1998)，p.360-366
- 7) 大島泰郎監修：極限環境微生物ハンドブック第1版 (1991)，p.36-51
- 8) 李玉友，野池達也：余剰汚泥の嫌気消化に及ぼす前熱処理および滞留時間の影響，水質汚濁研究，Vol.12, No.2 (1989)，p.40-49
- 9) 日本下水道事業団，神鋼パテック株式会社：好気性好熱細菌による下水汚泥の減量化に関する共同研究報告書（第1報）平成13年12月

POPs 汚染物処理技術としての 「RH-SP 法」

RH-SP Process: Decontamination Process of Earthy Materials Polluted with POPs



技術開発本部
プロセス技術開発部新規プロセス室
石 井 豊
Yutaka Ishii
小 倉 正 裕
Masahiro Ogura
技術開発本部プロセス技術開発部
川 井 隆 夫
Takao Kawai
(工学博士・技術士)

当社が開発してきた「RH-SP 法」は、「還元加熱法 (RH)」と「金属ナトリウム分散体法 (SP 法)」を組合わせたものであり、PCB、ダイオキシン類、有機塩素系農薬に代表される POPs (残留性有機汚染物質) に汚染された土壌、汚泥、港湾や河川の底質などを対象とした無害化技術である。当プロセスは間接加熱方式を採用、処理に必要な供給熱量とは無関係にプロセスガス量を必要最小限に設定できるとともに、スクラバー排気処理方式採用により二次燃焼方式に比較して系外への排気量が非常に少なく、処理温度も 600 °C 以下の省エネルギー型処理技術であり、大気をはじめとする周辺環境への負荷影響が非常に小さいのが特長である。本報告は大型試験装置をもちいた試験結果を主体に報告したものであり、これまでの試験の結果、各種 POPs 物質に汚染された土壌のみならず、汚泥、河川や港湾底質にも本処理法の適用が可能であることを示した。本技術はいずれの試験でも周辺環境への影響対策の妥当性が確認され、処理の確実性に加えて安全性も確保されており、実用化レベルにある。

The "RH-SP Process" developed by Kobelco-Eco Solutions is a combined process of Reductive Heating Process (RH) and Sodium Dispersion Process (SP) to decontaminate soil, sludge, and sediments of river and bay area contaminated with "POPs (Persistent Organic Pollutants)" such as PCB, Dioxins, and Organic Chlorinate Agricultural Chemicals. Since the indirect heating process is applied, process gas volume does not depend on heat supply but is able to reduce to a minimum, and as the oil scrubbing system is also applied as exhaust gas treatment, the exhaust gas volume of this process is very small compared with a secondary combustion method. Also as contaminated materials are treated below 600 °C in oxygen deficient atmosphere, this process is also a lower energy consumption system and the detrimental impact to the environment is very small. This report mainly describes the results of our experiments using a large pilot scale plant, showing that the RH-SP Process is also applicable to sludge, sediments in river or bay area as well as POPs contaminated soil. Since we have confirmed through our experiments that the RH-SP Process has scarce detrimental impact to the environment, the RH-SP Process has already achieved a practical use level in terms of safety as well as treatment reliability.

Key Words :

還元加熱法	Reductive heating process
金属ナトリウム分散体	Sodium dispersion oil
POPs (残留性有機汚染物質)	Persistent organic pollutants
汚染土壌	Contaminated soil
PCB	Polychlorinated biphenyl
ダイオキシン類	Dioxins
有機塩素系農薬	Organic chlorinate agricultural chemicals

まえがき

PCB, ダイオキシン類, DDT などの有機塩素系農薬に代表される残留性有機汚染物質 (POPs) による汚染は生態系や環境への影響が懸念され, これら汚染物の処理が求められている。2004年5月には国際条約 (ストックホルム条約) が発効し, 日本でも処理が推進されているが, POPs そのものに限らず汚染土壌, 河川底質などの適切な処理も必要となっている。

POPs 汚染物の処理技術の基本としては, 確実に処理できること, 単純なプロセスであること, 二次汚染物や有害副生成物の発生がないこと, 排ガスや廃棄物の発生が少ないことなどが挙げられる。¹⁾

これらの条件を満たす技術として, 当社は「還元加熱 (RH) 法」と「金属ナトリウム分散体 (SP) 法」とを組み合わせた処理プロセス「RH-SP 法」を開発し, 本技術の有効性を検討してきた。

本報では, パイロット規模装置による POPs 汚染土壌, 底質などへの本法の適用性を中心に検討をおこなってきた結果を報告する。

1. RH-SP 法とは

RH-SP 法の処理プロセス概念を図1に示す。

RH-SP プロセスは還元加熱 (RH) 法による汚染物質の浄化工程, および金属ナトリウム分散体 (SP) 法による排ガス洗浄油の浄化工程から構成される。

POPs に汚染された土壌, 汚泥, 河川や港湾の底質, 浚渫土などを還元加熱炉に連続的に供給し, 汚染物中の POPs 物質は窒素雰囲気下, 350~600℃での還元加熱処理により除去する。脱着除去された汚染物質はプロセスガス中に含まれるため, 排ガス処

理装置 (油スクラバー) で捕捉, 清浄化する。

なお, 本プロセスは間接加熱方式を採用しているため, 処理に必要な供給熱量とは無関係にプロセスガス量を定めることができることから, 処理ガス量を必要最小限に制御できるため, 排気処理設備の小型化が可能となる。

プロセスガス洗浄油は定期的に汚染物質濃度を分析し, 管理濃度を超えた時点で SP 法をもちいてバッチ処理で無害化する。SP 法処理では, ガス洗浄油に金属 Na 分散体を添加し, 90℃で脱塩素化反応をおこない POPs 物質を分解する。処理済み油はプロセスガス洗浄油として再利用する。廃アルカリは, 分析により無害化を確認後, 産業廃棄物として適切に処分する。

汚染物から分離した水分は油スクラバーで凝縮分離回収して活性炭処理し, 分析により安全性を確認後, 系内で再利用する。

2. 試験設備

試験に使用した設備はバッチ式小型回転炉 (基礎試験 (トリータビリティ) 用), 50 kg バッチ式処理装置, 500 kg/d 連続式処理装置, 5 t/d 連続式処理装置である。それぞれの設備外観を写真1~4に示す。

なお, 5 t/d 連続式処理装置は平成15, 16年度, 経済産業省近畿経済産業局の地域新規産業創造技術開発費補助事業で開発, 設計製作したものである。

3. 試験方法とサンプリングおよび分析評価

試料を 20 mm 以下に調整し, 試験試料とした。バッチ式処理装置の場合は回転炉内へ汚染物を装入し窒素雰囲気下で加熱処理した。連続式処理装置の場合はあらかじめ加熱炉を処理温度まで昇温してお

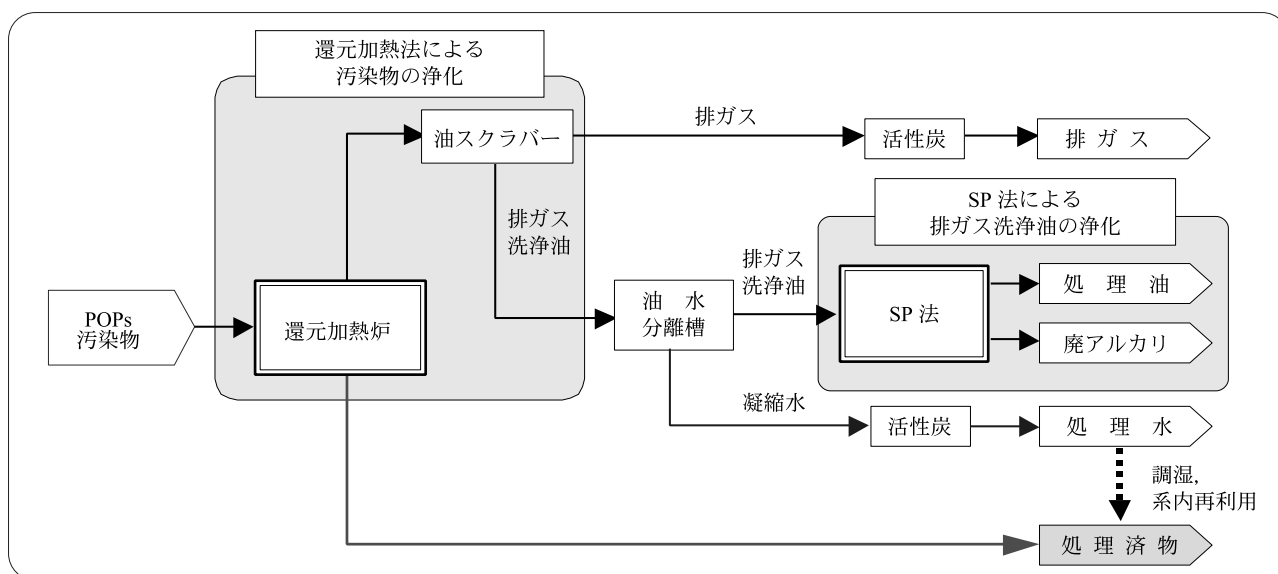


図1 RH-SP 法の処理プロセスの概念

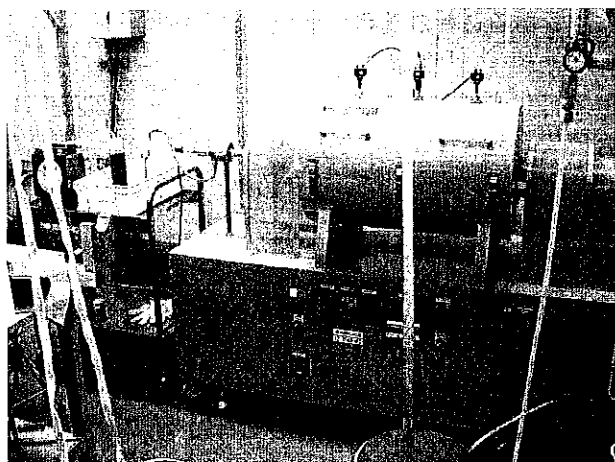


写真1 2L バッチ式小型回転炉

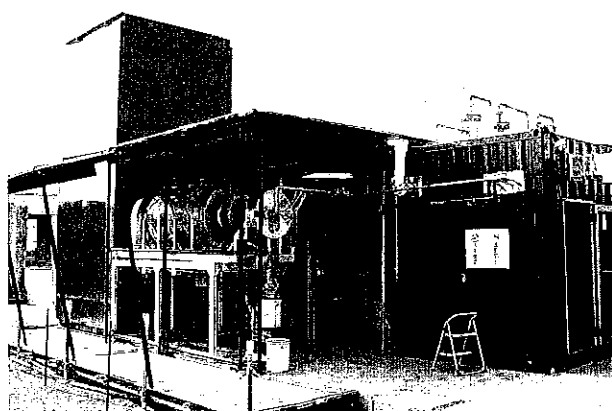


写真3 500 kg/d 連続式処理装置

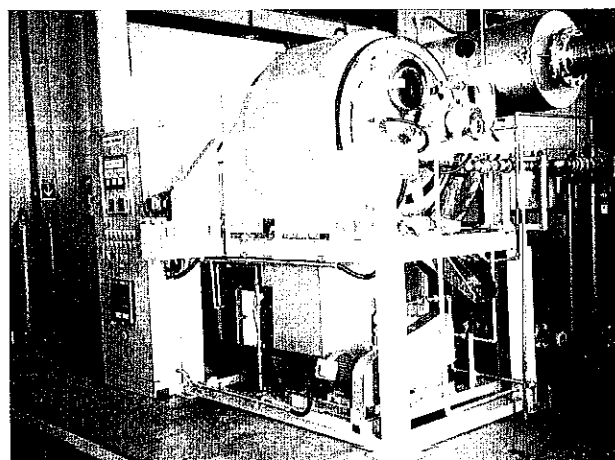


写真2 50 kg バッチ式処理装置

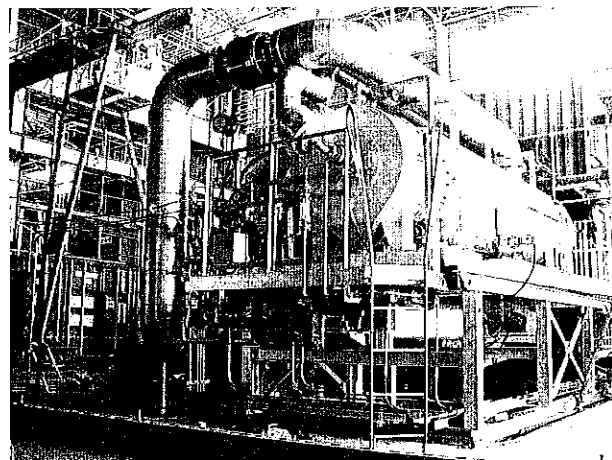


写真4 5 t/d 連続式処理装置

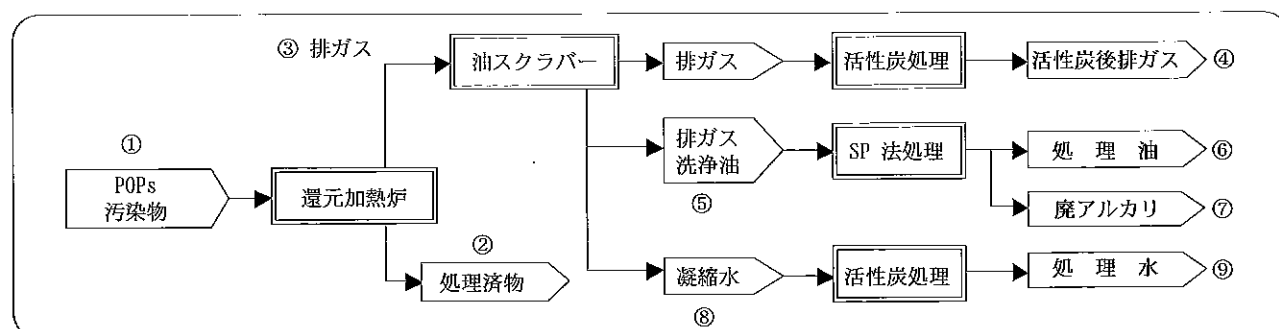


図2 処理試験における試料サンプリング箇所 (①～⑨)に示す位置

き、汚染物を定期的に供給し、還元加熱処理をおこなった。

ダイオキシン類、PCB、有機塩素系農薬等、無害化処理を目的とする POPs については図2に示す箇所での試料サンプリング後、分析をおこない、処理性能を評価した。

土壌、底質については処理後の処分方法を考慮し、

埋立基準ならびに土壌環境基準項目について分析をおこなった。系内で発生する排水は環境基準項目、一般水質項目について分析をおこなった。

また、処理試験前後、および試験中の周辺環境への影響調査のため、作業環境、環境大気 (POPs、粉じん等) を測定した。

4. 実施例と結果

試験実施結果を表1に示す。

4. 1 高濃度ダイオキシン類汚染土壌²⁾

平成15年度、環境省はダイオキシン類汚染土壌の浄化技術について、より実用に即した技術の普及促進を図ることを目的として、処理技術の選定、実証調査を実施し、その結果と併せて当該技術の総合評価をおこなった。

本試験はその一環として実施されたもので、5 t/d 連続式処理装置をもちいた高濃度ダイオキシン類汚染土壌の処理試験を実施した。試験にもちいた総試料量は1 967 kgであった。ダイオキシン類の除去率は99.9997 %以上がえられ、出口排ガス中のダイオキシン類濃度は0.00014～0.017ng-TEQ/m³で環境基準値以下であった。

4. 2 ダイオキシン類汚染港湾底質³⁾

平成15年度、国土交通省北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所が実用可能なダイオキシン類汚染底質処理技術調査として、富岩運河のダイオキシン類汚染港湾底質をもちいて実証試験をおこなった。

試料 360 kg をもちいて処理した結果、処理底質中のダイオキシン濃度は1.6 pg-TEQ/g と非常に低い値を示し、ダイオキシン類の除去率も99.96～99.998 %を示したことから、処理効率を上げる余地

が十分あることが確認された。

本結果は、「港湾における底質ダイオキシン類分解無害化処理技術データブック」⁴⁾として2005年3月に公表されている。

4. 3 ダイオキシン類、PCB 汚染土壌、コンクリート、瓦礫⁵⁾

2 L の小型回転炉を使用して、コンクリート、瓦礫などを含む、ダイオキシン類、および高濃度 PCB の複合汚染土壌をもちいて還元加熱処理を実施した。

ダイオキシン類濃度 57 000 pg-TEQ/g、PCB 含有量 3 400 mg/kg、PCB 溶出量0.0024 mg/L の汚染土壌を還元加熱処理した結果、ダイオキシン類濃度は70 pg-TEQ/g となり基準値を満たした。PCB については含有量10 mg/kg、溶出量は不検出 (0.0005 mg/L 未満) となり、PCB 除去率も 99.7 %であった。

4. 4 PCB 汚染污泥^{6), 7)}

2 L 小型回転炉により PCB 汚染污泥 (濃度 19～26 mg/kg) を処理した結果、処理済污泥中の PCB 濃度は 0.0066 mg/kg 以下、ダイオキシン類濃度は処理後 14 pg-TEQ/g 以下となった。また、処理済污泥の PCB 溶出試験ではいずれも 0.0001 mg/L-検液未満となった。

50 kg バッチ設備により PCB 汚染污泥を 40 kg 処理した結果、処理済污泥の残留 PCB は 0.0038 mg/kg、

表1 試験実施結果一覧

項目		高濃度 ダイオキシン類 汚染土壌	ダイオキシン類 汚染港湾底質	ダイオキシン類、 PCB 汚染土壌、 コンクリート、瓦礫	PCB 汚染污泥		BHC 汚染土壌	PCB 汚染土壌	農薬汚染土壌
設備規模		5 t/d 連続式	5 t/d 連続式	2 L バッチ式	2 L バッチ式	50 kg バッチ式	500kg/d 連続式		5 t/d 連続式
総試料量		1 967 kg	360 kg	0.75 kg	0.4 kg	40 kg	600 kg	80 kg	1 519 kg
処理速度		65～100 kg/h	40 kg/h	0.25 kg	0.1 kg	40 kg	20 kg/h	10 kg/h	50～100 kg/h
処理前	PCB 含有量 (mg/kg)	—	—	3 400	1.8～24	26	—	53	—
	ダイオキシン類 含有量 (pg-TEQ/g)	1 100～3 100	4 400～9 500	57 000	—	130	0.02～2.2	1 200	—
	その他の POPs 含有量 (mg/kg)	—	—	—	—		4.3～8.5	—	BHC : 0.4～2 354 エンドリン : 0.18 DDT : 0.067
処理後	PCB 含有量 (mg/kg)	—	—	10	0.0014～0.0066	0.0038	—	0.0004	—
	ダイオキシン類 含有量 (pg-TEQ/g)	0～0.029	0.13～1.6	70	0.39～14	0.93	<10	0.24	—
	その他の POPs 含有量 (mg/kg)	—	—	—	—		不検出	—	BHC : <3.1×10 ⁻⁴ エンドリン : 不検出 DDT : <4×10 ⁻⁵

残留ダイオキシン類は 0.93 pg-TEQ/g となった。溶出試験では、PCB の溶出は 0.0001mg/L-検液未満を示す結果がえられた。

排ガス中の PCB 濃度は、活性炭充填槽後で 0.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ダイオキシン類は活性炭充填槽後 0.038ng-TEQ/ m^3 を示し、PCB の排出基準値、およびダイオキシン類の排出基準値以下であることを確認した。

この試験は PCB 含有汚泥処理技術評価を受けるために実施したもので、平成17年に技術評価を終了した。本結果は「PCB 処理技術ガイドブック（改訂版）」⁶⁾に掲載されている。

4.5 BHC および PCB 汚染土壌⁷⁾

平成17年度、沖縄県産業振興公社の沖縄産学官共同研究推進事業として、沖縄特有の土壌をもちいて BHC および PCB 模擬汚染土壌を調製し、還元加熱処理により汚染物を除去した後の土壌の有効利用法の検討をおこなった。

BHC 汚染土壌処理については、沖縄特有の土壌 3 種類について BHC 模擬汚染土壌を 4.3~8.5 mg/kg に調製し、合計 600 kg の試料に対して RH-SP 処理を実施した結果、いずれの処理済み土壌からも BHC は検出されず、土壌の種類にかかわらず適切に処理できることを実証した。

PCB 汚染土壌 80 kg をもちいて処理試験をおこなった結果、処理済土壌からの PCB 溶出量は 0.0005 mg/L（検出限界）以下で土壌環境基準を満たした。

試験設備の周辺環境測定の結果、BHC および PCB 処理試験実施前後ともに BHC 濃度、PCB 濃度、ダイオキシン類濃度は管理指針値あるいは基準値以下を示し、本試験による周辺環境への影響は認められなかった。

BHC および PCB 処理済み土壌と堆肥とを混合して植栽試験をおこなった結果、いずれの場合も植物の生育に問題は見られず、処理済み土壌が緑化基盤材として有効利用できることを実証した。

4.6 農薬汚染土壌⁸⁾

環境省平成16年度「POPs 汚染土壌浄化技術基礎調査」の一環として、過去に埋設された有機塩素系農薬汚染土壌の RH-SP プロセスによる無害化試験をおこなった。

1519 kg の試料をもちいて処理した結果、処理済み土壌からの溶出量は BHC が 0.0006 mg/L 未満、DDT 類が 0.0004 mg/L となり、農薬環境管理指針値（BHC : 0.0025 mg/L, DDT 類 : 0.0125 mg/L）を満たした。

むすび

POPs 汚染物の処理技術としての還元加熱 + 金属 Na 分散体処理法（RH-SP 法）について大型試験装置をもちいた試験結果を主体に報告した。

これまでの試験の結果、各種 POPs 物質に汚染された土壌のみならず、汚泥、河川や港湾の底質にも本処理法の適用が可能であることを示した。

本プロセスは間接加熱方式を採用し、処理に必要な供給熱量とは無関係にプロセスガス量を設定できることから処理ガス量を必要最小限に制御できること、また排気処理はスクラバー方式を採用することにより二次燃焼炉が不要となることから、系外への排気量が非常に少なく、周辺環境大気への負荷も非常に小さいのが特長である。したがって、排気処理設備も小型で済む。また、処理温度 600 °C 以下の省エネルギー処理技術であり、環境に優しい処理システムとなっており、本報に述べたように各種汚染土壌や底質の無害化に有効な処理技術として技術評価をえてきた。

本技術はいずれの試験でも周辺環境への影響対策の妥当性が確認され、処理の確実性に加えて安全性も確保されており、実用化レベルにあるといえる。

さらに技術に磨きをかけ、皆様のご要望にお応えできるようにしていく所存である。

【参考文献】

- 1) 川井隆夫：PCB、ダイオキシン類汚染土壌等処理技術と試験事例、環境資源工学会シンポジウム「リサイクル設計と分離精製技術」第9回「土壌汚染の現状と土壌浄化への分離技術の適用」資料集（2004）、p.42-49
- 2) 小倉正裕、村上吉明、泰永順久、川井隆夫：還元加熱（RH-SP）法によるダイオキシン類汚染土壌処理、神鋼環境ソリューション技報、Vol.2, No.1（2005）、p.36-42
- 3) 小倉正裕、川井隆夫、峯松麻成、川西龍一：総合還元加熱法による底質中ダイオキシン類の無害化処理、ヘドロ、No.96（2006）、p.58-62
- 4) 国土交通省北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所：港湾における底質ダイオキシン類分解無害化処理技術データブック（2005）
- 5) 小倉正裕、川井隆夫：還元加熱法による高濃度 PCB 汚染土壌処理、第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集（2004）、p.1328-1330
- 6) 財団法人産業廃棄物処理事業振興財団：廃棄物処理法新処理基準に基づく PCB 処理技術ガイドブック（改訂版）（2005）、p.584-585
- 7) 琉球新報（2006年7月25日）
- 8) 環境省：報道発表資料（2005年11月4日）：「平成16年度 POPs 汚染土壌浄化技術基礎調査」対象技術の評価結果等について

有機性廃棄物のリサイクルを促進する 「日田市バイオマス資源化センター」

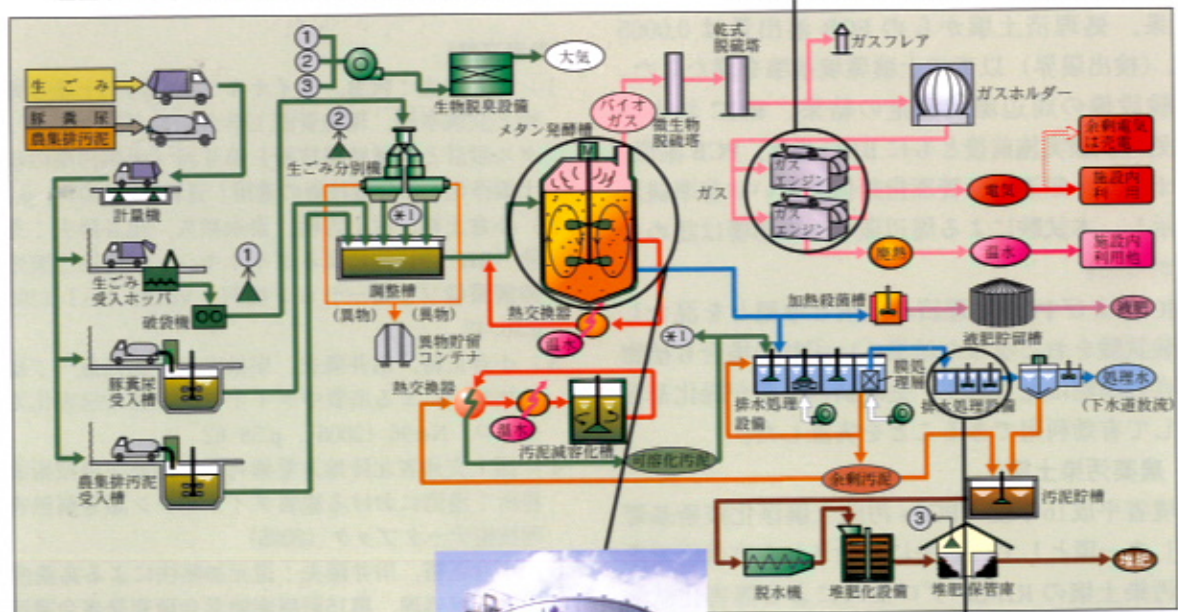
日田市バイオマス資源化センターは、豚糞尿（50 t/d）、生ごみ（24 t/d）、農業集落排水汚泥（6 t/d）の3種のバイオマス（合計80 t/d）を国内最大級（1900 m³）のメタン発酵槽でガス化し、エネルギーの形で再資源化する設備として、2006年4月より運転を開始しました。メタン発酵液の後処理にエステロプロセスを組み込むことで、発生する余剰汚泥量を大幅に減量化することができます。メタン発酵液の一部を液肥に、余剰汚泥を堆肥化して農地還元することで、有機性廃棄物の包括的なリサイクルを実現します。



日田市バイオマス資源化センター全景（15 452 m²）



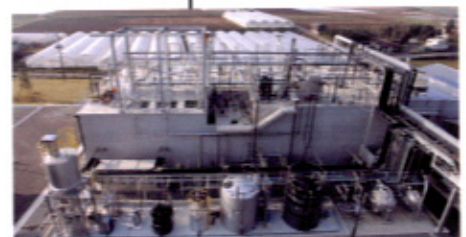
バイオガス利用設備 ガスエンジン（170 kW×2基）



原料受入・管理棟



メタン発酵槽（1 900 m³）



排水処理設備（硝化・脱窒・脱リン・S-TE）

次世代の浄水処理技術 「膜ろ過設備」

現在、水道設備においては、富栄養化による水道水源の悪化や、クリプトスポリジウムといった耐塩素性原虫類による水系汚染の発生など、多様化する原水水質問題に対応できる浄水処理技術として、凝集沈澱・砂ろ過法に替わる、より高度な固液分離技術が求められています。

神鋼環境ソリューションの膜ろ過設備は、従来法に替わる固液分離技術として、当社が長年培ってきた浄水処理技術と膜分離技術を結集した、高性能、省スペース、容易な維持管理を特長としたシステムです。



兵庫県赤穂郡上郡町殿 大枝新浄水場納入 浄水量 8 570 m³/d

PCB 使用電気機器一貫処理技術

本技術は、PCB を使用した電気機器等の汚染部材から PCB を取り除き、取り除いた PCB の無害化処理を“SP プロセス”と“SED プロセス”の融合により一貫しておこなう技術です。PCB の抜油、汚染機器の解体・分別、部材別の溶剤洗浄、真空加熱分離による除染、金属ナトリウム分散体との化学反応による無害化処理等、安全で確実な、数々の技術が結集されています。



—溶剤再生ステーション—
使用後の溶剤を蒸留・再生する



—油処理ステーション—
PCB を脱塩素化無害化処理する



—解体ステーション—
汚染機器から PCB を抜き取り、
洗浄に適した形状に解体する



—洗浄ステーション—
汚染機器を溶剤洗浄する