

## 【参考資料】

### 1. し尿処理における各社の技術的取り組み (2016 (平成 28) 年度時点)

- ・ 浅野アタカ株式会社  
(旧浅野環境ソリューション株式会社)
- ・ クボタ環境サービス株式会社
- ・ 栗田工業株式会社
- ・ 三機工業株式会社
- ・ JFEエンジニアリング株式会社
- ・ 水ing エンジニアリング株式会社  
(旧水ing株式会社)
- ・ 住友重機械エンバイロメント株式会社
- ・ 株式会社タクマ
- ・ 株式会社西原環境
- ・ 日立造船株式会社
- ・ 三井E&S環境エンジニアリング株式会社  
(旧三井造船環境エンジニアリング株式会社)
- ・ 三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社



## 『し尿処理技術・システムに関する我社の技術的な取り組み・社史』

浅野環境ソリューション株式会社 2017.03.03

### 1. はじめに

まず、浅野環境ソリューション株式会社の生い立ちからの説明をします。その前身をさかのぼると創業者の浅野總一郎が1918年(大正7年)に興した浅野物産株式会社が起源となります。浅野物産株式会社は総合商社であり、その中の水道工事部門が1937年に独立して浅野水道工業株式会社となり、1954年に社名変更して浅野工事株式会社となりました。

浅野工事株式会社から1982年に環境衛生施設の設計・維持管理・補修・改修を目的として分社・独立したのが、浅野環境ソリューション株式会社(2007年に浅野環境サービス株式会社から社名変更)となります。2004年に浅野工事株式会社が特別清算で会社解散した後、アタカ工業株式会社(現 日立造船株式会社)より資本参加を受けました。

浅野工事株式会社は総合建設業で、その中の技術本部がし尿処理技術やシステムの開発に携わってきました。その技術は浅野環境ソリューション株式会社に継承されています。し尿処理における技術開発の経緯は次項にて述べます。

ちなみに浅野とし尿の最初のかかわりは、創業者である浅野總一郎が1879年(明治12年)に神奈川県より横浜市で63ヶ所の公衆便所の設置とその汲み取りも含めて請負、生肥販売が成功したことで注目されたという記述が残っています。

(『浅野總一郎』:大正12年刊、浅野泰次郎・良三共著)

### 2. し尿処理における技術開発の経緯

1956年に国が『し尿処理基本対策要綱』を発表し、海洋投棄の原則廃止・し尿の陸上処理への切り替えを呼びかけました。1956年当時の陸上処理の主流技術は『嫌気性消化処理方式』でした。1958年ごろからは行政施策的指針の発表もあって、この『嫌気性消化処理方式』が急速に普及しつつありました。

この時期、当社でも国策に呼応してし尿処理技術の開発に着手し、1959年に当社独自のし尿処理法を開発、特許を出願しました。いわゆる『浅野式酸化し尿処理方式』です。さらに同方式に関する2件目の特許を1962年に提出しました。これはこれまでの『嫌気性消化処理方式』が1次処理として嫌気性発酵処理を行った後の消化液を希釈して曝気槽で処理するのに対して、『浅野式酸化し尿処理方式』はし尿を希釈しBODを調整してから曝気槽で処理するものです。当時としては最初から好気性処理法で処理を行う『浅野式酸化し尿処理方式』は画期的な処理方式でした。

社団法人 日本環境衛生工業会発行の30年史(平成4年発行)に次のような記述があります。

『昭和37年に酸化処理法(現:好気性処理法)による初めての施設が福岡県に出現した。その後この処理方式によるし尿処理施設は年々増加し、昭和50年頃にはし尿処理量は嫌気

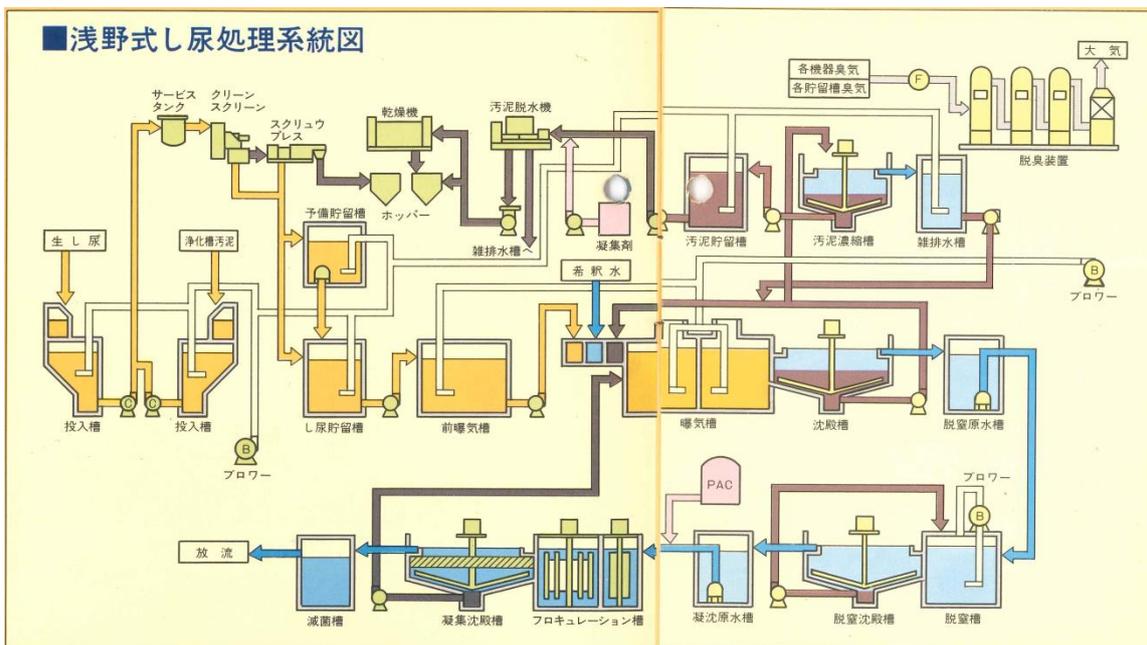
性消化法と肩を並べるまでに増加した。そして昭和 40 年代後半から昭和 50 年代前半頃まで主流技術として普及した。』

以後、我が国のし尿処理に関する研究開発が進む中で、さまざまな改良が重ねられてきました。し尿処理における技術の変遷は次項に記載します。

### 3. し尿処理における技術の変遷

浅野式酸化処理方式の 1 号施設は昭和 37 年に福岡県古賀町外 4 カ町清掃施設組合（現古賀市）で竣工し、その後 1980 年初頭までに 50 ヶ所を超える施設を建設してきました。当時の前処理設備は性能が現在と比較して劣っており、し渣類の回収が悪かったために貯留設備以降に悪影響を及ぼしていました。それを解消するために前処理設備に遠心分離機を組み込みました。これが後々の細砂除去装置の開発につながるようになります。

1970 年代には社会的に公害問題が顕在化し、環境保全の観点から高度な水質が要求されるようになり、凝集処理、オゾン処理、活性炭吸着処理等の高度処理が取り入れられるようになってきました。1980 年には当社でも浅野式酸化処理方式（一段活性汚泥処理方式）に脱窒素処理と凝集沈殿処理を組み込んだ施設の建設が行われました。当時のフローシートを下記に添付します。



また、この時期から閉鎖性水域の富栄養化の問題から、COD 総量規制や窒素除去が緊急の課題となり窒素除去が可能な『低希釈二段活性汚泥法（標準脱窒素処理方式）』が主流となってきました。本方式は、脱窒素槽を前段に、硝化槽を後段に設け硝化槽の混合液を前段の脱窒素槽に大量に循環する方式です。希釈水量が従来法の半分程度の 10 倍希釈であったことから『低希釈活性汚泥処理方式』と呼ばれ、1978 年制定のし尿処理施設構造指針で構造基準化され、1988 年の構造指針改定で『標準脱窒素処理方式』とされました。

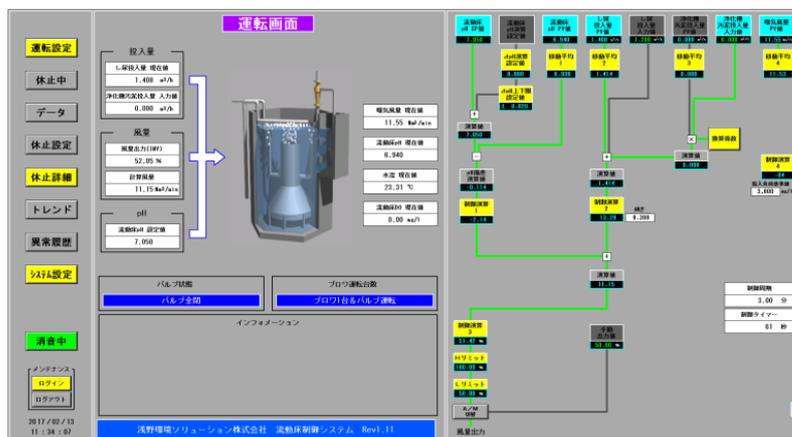
当社の施工実績では同方式を用い、凝集沈殿処理+オゾン処理を付加した第1号施設を埼玉県内に1981年に完成させています。以降、全国で22施設の建設を行っています。

1970年代から1980年代になるとオイルショックなどを契機として省エネルギーや施設のコンパクト化が要望されるようになりました。また、井水等の希釈水確保が難しくなってきたため、無希釈でし尿を処理する技術が要求されるようになりました。1975年に当時の厚生省は『新処理施設取扱要綱』により、市町村が構造指針に定められていないし尿処理施設を設置する場合の取り扱い要領を定め、新技術によるし尿処理施設にも国庫補助が受けられる道を開きました。この制度は当社を含め、新技術を目指すプラントメーカーにとっては非常に魅力的なものでした。

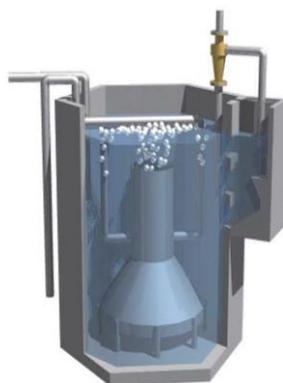
これらの背景の中で、当社でも1981年、埼玉県北本地区衛生組合し尿処理場内で流動床式高負荷脱窒素処理方式「サンドラシステム」の実証試験を開始し、翌年末システムが完成しました。

サンドラシステムの心臓部にあたる流動床には、微細な珪砂を投入し、この珪砂に微生物フイルムを固着させ粒子状の汚泥、生物粒子を製造します。この生物粒子により流動床内の汚泥濃度を汚泥返送することなしに標準脱窒素処理法の約2倍、12,000mg/L以上に安定して保つことを可能にしました。また、流動床は単一槽で硝化反応、脱窒素反応を同時に進行させるという他方式には無い特徴を備えており、窒素除去効率にも優れかつ運転管理も容易なシステムです。また、当時の処理機能制御方法はプログラマブル調節計によりし尿および浄化槽汚泥の投入量と槽内のpH値で制御するシステムでした。

開発当時は、搬入し尿量に対する浄化槽汚泥混入率も5~20%程度でしたが、合併浄化槽並びに農業集落排水処理施設より搬入される浄化槽汚泥量が急増し、搬入比率が逆転してきました。近い将来、浄化槽汚泥の搬入が100%になる施設も現実となってきました。搬入される浄化槽汚泥は、し尿に比べ濃度変動が激しく、このため流動床の運転が難しくなり、現在の風量コントロールシステムでは対応できない状況も発生してきました。このような背景の中で2001年に既存流動床の性能維持、浄化槽汚泥対応型施設へ対応するためにパソコンを用い高度な風量コントロールを可能とするシステムを開発しました。

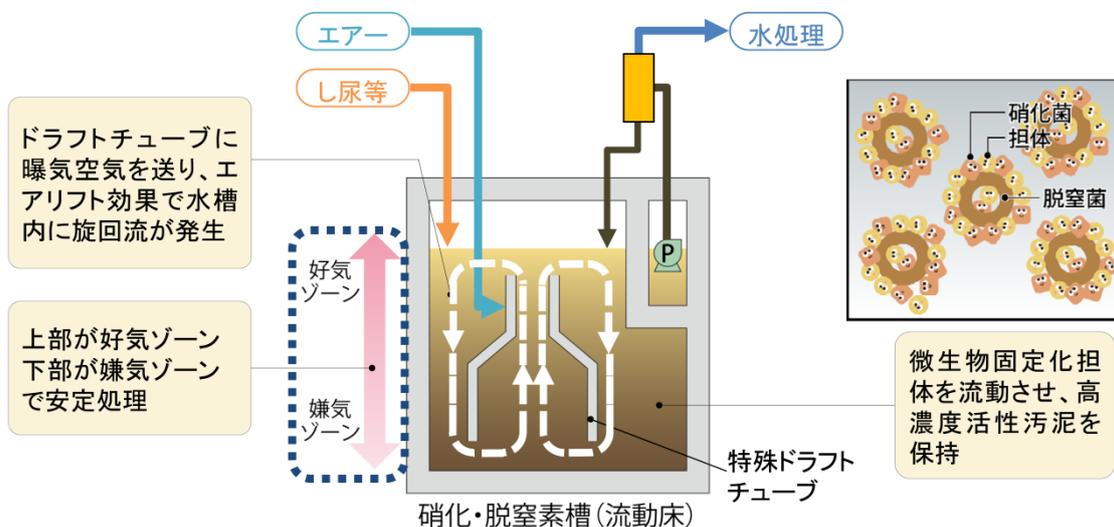


流動床制御システム画面



サンドラシステム模型

**硝化・脱窒素槽(流動床)に特長があるサンドラシステム**



1980年代後半から1990年代にかけて、高MLSS濃度を維持するための固液分離技術として、限外ろ過膜や精密ろ過膜などの膜分離技術を導入した『膜分離高負荷脱窒素処理方式』が開発されました。当社の「サンドラシステム」においては微生物固定化担体を用いているため、容易に高MLSS濃度を維持することが可能なので一段目の生物膜は不要ではありましたが、時世の流れで『膜分離高負荷脱窒素処理方式』の開発が必要となりました。

1988年末、サンドラシステム1号機である南大野衛生センター内で、サンドラシステムに限外ろ過膜を組み込み、更に処理性能をアップした膜分離高負荷脱窒素処理方式「サンドラMシステム」の実証試験を開始し、システムを開発しました。サンドラMシステムは、1992年に広島県高田郡衛生施設管理組合に1号機を納入したのを初めとし、現在までに8施設を建設しています。近年し尿処理施設に搬入される浄化槽汚泥量の急増に対応するため、浄化槽汚泥対応型処理方式としてサンドラシステムの仕上槽に自社開発の発泡樹脂担体(AKバイオプラス)を用いたAKプラスシステムの開発も完了し、あらゆる搬入状況に対応できるマルチ対応システムとしています。また、高濃度オゾンを利用して汚泥発生量自体を削減する『汚泥減量化システム』の開発を行い、現在2施設で稼働中です。

#### 4. 近年の開発経緯

1997年に旧厚生省は、従来の「し尿および浄化槽汚泥処理施設」に代えて新たに「汚泥再生処理センター」の整備事業を国庫補助対象としました。これは循環型社会構築を目的として、し尿処理にも資源循環型技術の導入を図るものです。

当社としては、まず、汚泥の堆肥化(コンポスト)技術の開発に取り掛かりました。1999年にコンポスト設備の第1号施設が稼働しました。通常の発酵槽での堆肥化だけでなく、電磁波を利用して殺菌後の堆肥化設備(1施設)や、蒸気の間接過熱による汚泥の乾燥後の堆肥化設備(3施設)、最近では平面スクリー搅拌式発酵装置を用いた堆肥化設備(1施設)等の計7施設が稼働しています。

もう一つのテーマとして、脱水汚泥の助燃剤化の開発があります。従来、サンドラシステム(流動床)ではスクリープレス型汚泥脱水機を用いて汚泥脱水を行っていました。通常であれば含水率が82%~78%程度の脱水汚泥でしたが、70%以下の含水率を安定した状態で運転するため濃縮スクリーン(濃縮機)とスクリープレス型汚泥脱水機の構造を改良し、且つ、脱水助剤(セルロース系短繊維)を添加するシステム『高効率脱水システム』を開発しました。この改良によって余剰汚泥の助燃剤化のみならず、し尿等の直接脱水(前脱水)においても安定した助燃剤を生成することが可能になりました。この『高効率脱水システム』は3施設で稼働中です。



平面スクリー搅拌式堆肥化装置



高効率脱水システム

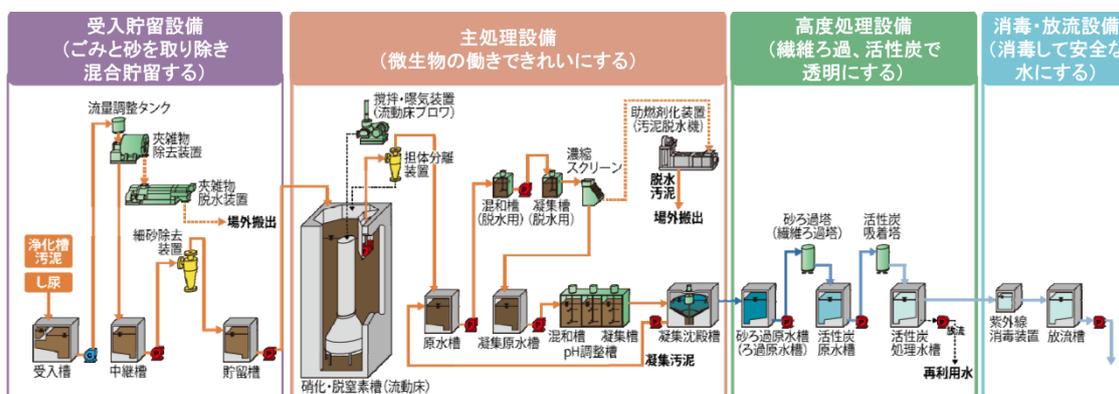
## 5. おわりに

し尿処理アーカイブスとして、当社のし尿処理における歴史を振り返ると『浅野式酸化処理方式(一段活性汚泥法)』⇒『標準脱窒素処理方式』⇒『高負荷脱窒素処理方式(サンドラシステム)』と生物処理に対する足跡が脈々と継続しています。それぞれのシステムはその時代の変化に伴って変遷を重ね、社会の要求にこたえてきました。既存の技術のバージョンアップを繰り返すことにより常に最新の技術となっているように思えます。プラントメーカーとしてはその柔軟な対応が企業の継続に繋がると確信します。

『サンドラシステム(流動床)』も確立した技術としてとらえていました。しかし、近年の低負荷運転や浄化槽汚泥の混入比率の増加など安定した生物処理の継続が難しくなっています。さらに省エネルギーや省スペースの要求に対応するために従来の仕上槽を無くした『一

槽式流動床』の開発を行い、実施設として長崎県対馬市にて 2015 年より稼働しています。同じく、風量制御システムも Ver4 になり、流動床制御システムに変化してきました。

客先のニーズに合わせて、下記の様な『一槽式流動床』+『高効率脱水システム』の提案も可能となってきました。



これからも基本を顧みつつ、し尿を衛生的に処理し、かつ再資源化するという社会的要請に対して、対応できる技術の開発とシステムの更新を継続することが大切と考えます。

最後にこれまでの主な特許出願の履歴を添付します。

発明の名称	特許出願提出日	備考
し尿酸化処理方式	昭和 34 年 12 月 30 日	
し尿酸化処理方式	昭和 37 年 8 月 28 日	
処理し尿脱窒方法	昭和 52 年 9 月 14 日	
低希釈し尿処理方式	昭和 54 年 2 月 26 日	
サンドラシステム	昭和 57 年 3 月 30 日	
活性汚泥の処理方法	昭和 61 年 7 月 25 日	
活性汚泥の硬化処理方法	昭和 62 年 3 月 3 日	微生物固定化
サンドラ M システム	平成元年 1 月 9 日	
水処理用微生物固定化担体	平成 9 年 10 月 2 日	樹脂担体(AK バイオプラス)
し尿の処理方法	平成 13 年 11 月 22 日	汚泥減量化

弊社のし尿処理における技術的変遷、社会貢献と今後の取り組み

クボタ環境サービス(株)

水処理営業部兼水処理プラント部 部長 岩尾 充

水処理事業部 技術開発課 課長 植地 俊仁

水処理営業部 技術第一課 課長 山本 哲也

1. はじめに

1.1 し尿処理の歴史

し尿処理はわが国特有の技術である。日本固有の肥溜め文化、下肥にその歴史的下地がある。現在でこそ、廃棄物として処理されているし尿であるが、昭和初期以前は肥溜めの糞尿が有価物（肥料）として活用されている。その後、人口の集中や化学肥料の普及によってし尿は廃棄物となるが、戦後の化学肥料不足でし尿は再び有価物となっている。このように、し尿が有価物、廃棄物の歴史を繰り返したことは様々な形で紹介されているところである。

肥料として糞尿が使われていたために、し尿が処理されてきた歴史は比較的浅く、本格的な処理は昭和 30 年頃から始まった。この背景には、人口の都市集中による汚物の溢れだしや、コレラ、赤痢のような水系伝染病対策があったことは周知のとおりである。この、し尿処理施設の建設を推し進めたのが、昭和 38 年に出された「し尿処理施設整備 5 カ年計画（第一次 5 カ年計画）」である。これにより処理施設建設が急ピッチで進められた。し尿処理施設整備 5 カ年計画は平成 12 年度まで、計 8 次にわたってなされた（表-1）。

表-1 し尿処理施設整備計画

年	項目
【整備計画に関する事項】	
昭和 38 (1963)年	第1次生活環境施設整備5カ年計画 (昭和38~42年)
42 (1967)年	し尿処理施設整備 5 カ年計画 (昭和42~46年)
47 (1972)年	廃棄物処理施設整備計画 (昭和47~50年度)
51 (1976)年	第4次廃棄物処理施設整備 5 カ年計画 (平成51~55年)
56 (1981)年	第5次廃棄物処理施設整備 5 カ年計画 (平成56~60年) 昭和60年度末で衛生処理率92% (実績: 89%)
61 (1986)年	第6次廃棄物処理施設整備 5 カ年計画 (昭和61~平成2年) 昭和65年 (平成2年度) 末で衛生処理率92% (実績: 90%)
平成 3 (1991)年	第7次廃棄物処理施設整備 5 カ年計画 (平成3~7年) 平成7年度末で衛生処理率93%
8 (1996)年	第8次し尿処理施設整備 5 カ年計画 (平成8~12年) 平成12年度末で衛生処理率99% (海洋投入の禁止) (第8次で5カ年計画は終了 衛生処理率⇒資源循環へ)

昭和 30 年から始まったし尿処理ではあったが、前例がなかっただけに、試行錯誤の連続だったようである。処理方式は下水にならって、嫌気性消化+散水ろ床法（後に嫌気性消化+曝気処理）、好気性消化処理と続いた。これらの処理方式では、様々なトラブルが聞こえている。

トラブルが聞こえてこなくなったのは、処理が安定した低希釈二段活性汚泥処理法（現在の標準脱窒素処理法（以下、「標脱」と称す））が開発されて以降である。ちなみに、標脱は昭和 50 年（1975 年）頃から各社で開発され出した技術である。

その後、昭和 55 年（1980 年）頃より無希釈での硝化脱窒素処理が、昭和 60 年（1985 年）頃より膜分離処理が実用化されてきた。浸漬型平膜を使った膜処理も、平成 4 年（1992 年）には既に実用化されていた。更に平成 6 年（1994 年）に、浄化槽汚泥の増加に対応した「浄

化槽汚泥対応型膜分離高負荷処理」も実用化された。

単なる衛生処理から循環型社会形成への移行に伴って、「し尿処理」から「汚泥再生処理センター」と名称が変更されたのが平成 10 年（1998 年）であり、し尿処理にもメタン発酵やコンポスト等の資源化技術を付加することになった。

し尿処理の技術の変遷と社会的要因を図-1 に示す。社会的要求があったとはいえ、5～10 年毎という非常に速い速度で技術開発がなされてきた背景の一つに、責任設計施工によるプラントメーカーへの一括発注方式があった。

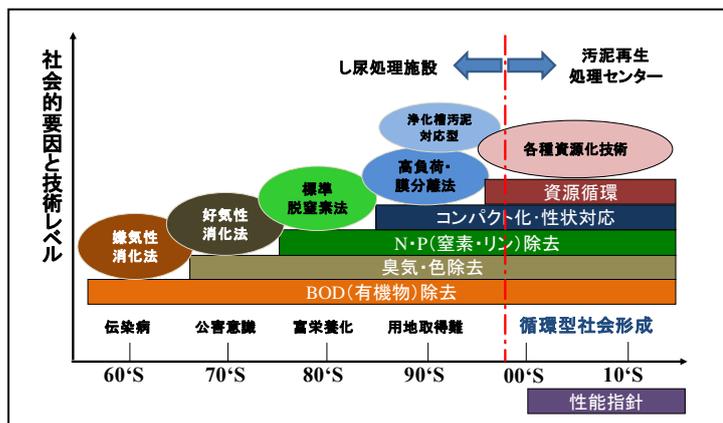


図-1 し尿処理技術の変遷と社会的要因

## 1.2 し尿処理と下水処理

し尿処理は、便槽に溜められたし尿を、管渠ではなくバキューム車で処理施設に搬入し処理する日本独自のシステムである。

し尿や生活排水の処理施設を図-2 に示す。

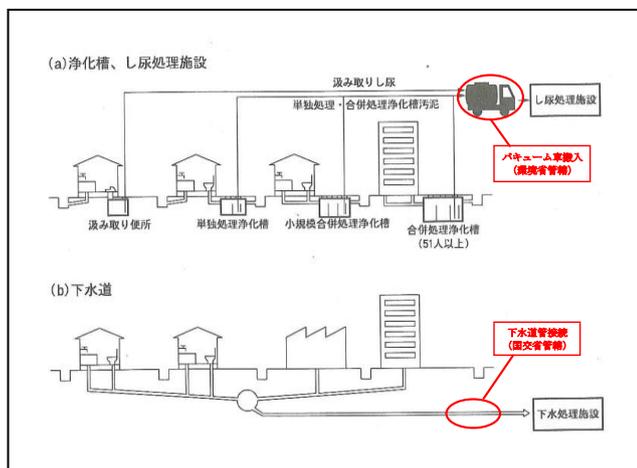


図-2 し尿処理と下水処理

平成 26 年度現在、日本のし尿処理の実態は、総人口 128,200 千人に対し、下水処理施設で処理されている人口が 93,700 千人（73.1%）、し尿処理施設で処理されている人口は 34,400 千人（26.8%）、その内訳は、汲取りし尿で 7,700 千人、浄化槽人口で 26,700 千人である（日本の廃棄物処理（平成 26 年度版）より）。水洗化率（下水道人口＋浄化槽人口）は 120,400 千人（93.9%）である（図-3）。

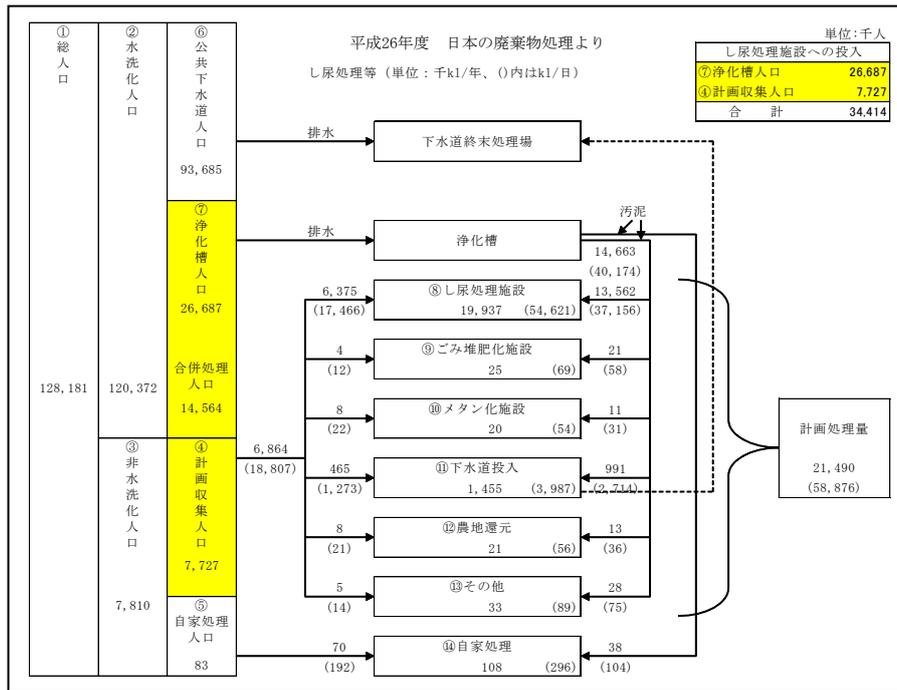


図-3 し尿処理形態別人口

し尿処理量、浄化槽汚泥処理量の変遷を図-4 に示す。

平成10年度(1998年度)には一日約90,000klであったし尿等(し尿+浄化槽汚泥)の処理量が、平成26年度(2014年度)には一日約60,000klに減少している。

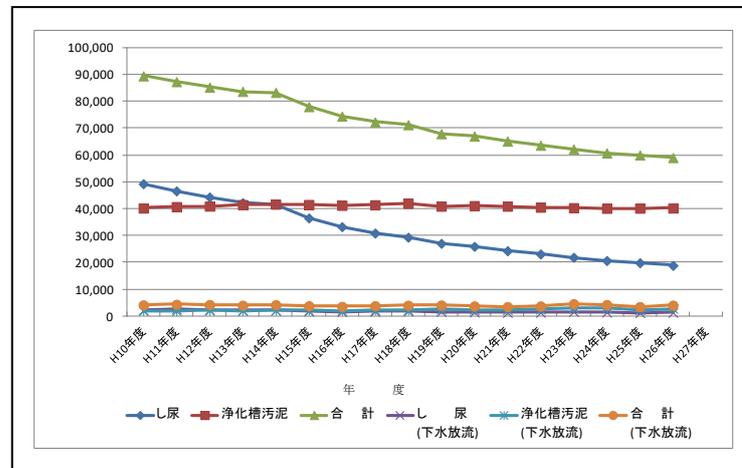


図-4 し尿等処理量の推移

生活様式の変化による、し尿の減少、浄化槽汚泥の横ばい化傾向は今後も続くであろう。また、今後、国・自治体の財政難と少子高齢化の進展の中で水洗化率向上に対し、下水道による面整備を推進するのか、浄化槽を推進し、汚泥をし尿処理施設で処理するのか、国の政策にかかってきている。し尿処理施設で「受入」「前処理」のみ行って下水道放流をする流れもできてきている。しかし、最も濃度の高い「発生源での汚濁物質」を、「周囲に拡散することなく」、「そのままの状態処理する」方法は、「他の生活排水や水道水で希釈され」、「管渠によって他と混合された汚濁物質」を処理する下水に比べ、はるかに効率的であることは、衛生工学を少しでもかじったことのあるものには常識である。同時に、し尿処理施設は、管渠等の面整備

無しに、単独の施設として完結している。一つの処理方式に偏ることなく、し尿処理施設や下水処理施設など、様々な処理形態の施設を持つことで、災害等に対するリスクを分散させることも可能である。多様化した処理形態が、強靱化社会形成に一役買うと考える次第である。

以上、し尿処理の歴史について述べてきたが、以下にクボタのし尿処理の歴史、技術開発、今後の取り組みについて述べる。

## 2. クボタのし尿処理

クボタの100年史によると、「鑄鉄管を通して水道界とのつながりがあり、この恩顧に報いるため、水道研究所を昭和36年に開設し、それがし尿処理事業の第一歩であった」と記されている。

し尿処理施設の初受注は昭和38年であり、西日本地区で広島県三次市(30kl/d)、東日本地区で筑西衛生組合(125kl/d)、いずれも嫌気性消化処理施設であった。その後、好気性消化、標脱、高負荷、膜分離と続き、現在までの施設建設実績は200施設を超えている。

### 2.1 嫌気性消化処理方式、好気性消化処理方式

嫌気性消化は、有機物をメタン発酵させ、エネルギーを回収できるすぐれた方式であり、現在は「エコ」の観点から見直されている技術である。

当時は発生したメタンガスで槽内が正圧になり、硫化水素等が外部に漏れ、周囲の臭い環境はかなり劣悪なものであったが、とりあえず「水系の衛生処理」目的で建設され続けた。その後、浄化槽汚泥比率の増加で投入し尿等のBOD濃度が低下し、ガス発生量も低下したため、処理が成り立たなくなり、建設されなくなった。弊社では、いち早く好気性処理の開発にも着手し、嫌気性消化処理の受注のわずか2年後である昭和40年には、早くも広島県瀬戸田町(当時)に施設を納入している。嫌気性消化は臭いとBOD濃度低下の問題を、好気性消化は処理の安定性の問題を抱えてはいたものの、より安定した、絶対的な処理方式である標脱が現れるまで弊社では両者の建設は続いた。

好気性消化処理は最終20倍希釈であるが、二段沈殿(前段:無希釈、後段:20倍希釈)法や長時間曝気法等、様々な処理方式があった。弊社でもより安定した処理を求めこれらの方式を改良しながら採用していたが、いずれの方式でも、沈殿槽での汚泥浮上や余剰汚泥の処理等の汚泥管理にトラブルがあったようである。この頃の技術を知る人間は皆現役を去り、その苦労話や技術の詳細を語れる者はいない。

### 2.2 標準脱窒素処理方式

し尿処理が格段に安定したのは、昭和52年頃に開発された標脱以降である。好気性消化で起こった汚泥浮上は、一部硝化された硝酸が沈殿槽で脱窒され、発生した窒素ガスに汚泥が付着したことが主原因であったが、窒素除去が可能になった標脱によって解決された。以降、汚泥の浮上がほとんど起こらず、次工程への汚泥の流出がなくなり、曝気槽の汚泥濃度管理が容易になった。また、この時期に、余剰汚泥の性状に適した汚泥脱水機や高分子凝集剤も開発され、脱水が安定したことで、水処理、汚泥処理ともに極めて安定してきた。

#### ① 混合分解法による硝化脱窒

生物学的硝化脱窒の原理は、し尿中のアンモニアを硝化させて硝酸にし、それをし尿中のBODを脱窒素源として脱窒するものである。脱窒素槽では硝化槽から循環された硝酸を含む

混合液にし尿を投入し、嫌氣的条件下でし尿中の BOD を水素供与体として脱窒する方法である。したがって、脱窒素槽は完全嫌氣にして脱窒を、硝化槽は好氣にして硝化させる、いわゆる硝化液循環法がこの生物学的硝化脱窒素処理の基本形であるが、弊社は、脱窒素槽も硝化槽も曝氣し、硝化と脱窒を同時に進行させる混合分解法を採用した。また、希釈水も前段と後段に分けて注入し、前段での脱窒素槽、硝化槽での硝化脱窒の安定や希釈水温による液温の低下防止を図った。弊社のフローを図-5 に示す。

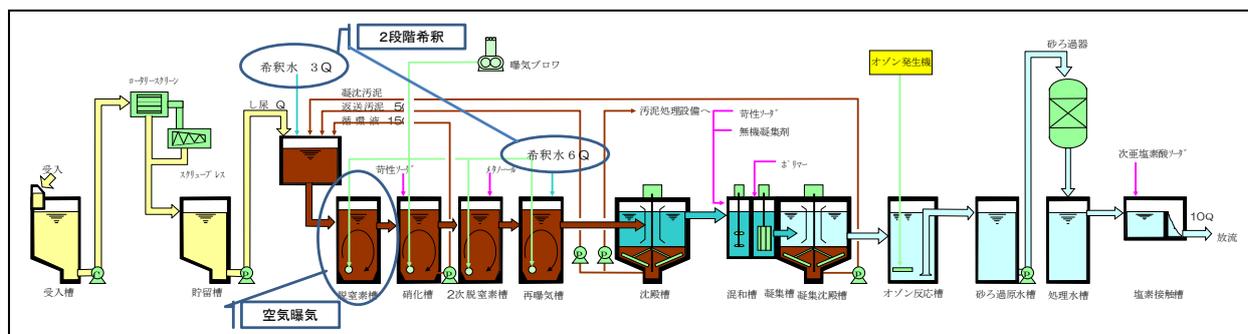


図-5 混合分解法による標脱のフロー

## ② 混合分解法の特徴

弊社の大きな特徴の一つである、「脱窒素槽でも曝氣する」いわゆる混合分解法に対して、当時、完全嫌氣でなければ脱窒しない、つまり、空気を吹き込みながらの脱窒、いわゆる好氣性脱窒などありえない、との批判は多々あったようである。脱窒菌は通性嫌氣性菌であり、メタン菌のような絶対嫌氣性菌とは異なる。酸素のある好氣的条件下では、酸素を、酸素の無い嫌氣的条件下では、硝酸、亜硝酸中の酸素を消費する菌である。酸素消費速度が速く、すぐに嫌氣的条件を作れるような雰囲気では、曝氣をしながらでも脱窒が起こることは今や常識となっている。液温が 30℃ 近くあり、活性の高い状態を維持できたことも、硝化・脱窒の同時進行を可能とした一つである。MLSS 濃度や負荷、温度が低く、汚泥の活性が低ければ、当然、完全嫌氣が必要となってくる。

弊社の好氣性消化処理の一つに、「前段を無希釈で 15 日間活性汚泥処理を行った後、後段で 20 倍希釈して更に活性汚泥処理をする方法」があった。この時、前段で窒素収支が合わない（除去されている）ことがわかり、これが弊社の混合分解法の原点であった、といわれている。これに硝化液循環を加え曝氣しながらでも脱窒することを確認し、標脱としての認可を受けた。混合分解法は、脱窒素槽でも曝氣し、硝化と脱窒を同時に進行させることで、循環液量を投入し尿量の 15 倍まで低減でき、他の標脱方式よりも少なくなるという利点を有している。

また、二次脱窒素槽でメタノールを注入しないことも特徴の一つであった。しかし、構造指針の改定により、メタノール注入方式に変更した。二次脱窒素槽の基準が、滞留時間から窒素負荷に変更され、メタノールを注入しない場合は、水槽容量を 3 倍にしなければならなくなったからである。

## 2.3 高負荷脱窒素処理方式

十分な希釈水や用地の確保が難しい自治体向けに、無希釈でコンパクトな処理技術が求められ、昭和 54 年（1979 年）より、深層反応槽を用いた無希釈処理方式の研究開発に着手した。場所は千葉県東金市の山武郡市広域行政組合内で、実証規模は 10kl/d、翌 55 年に指針外評価を受けた。高負荷法の一号機は群馬県の西吾妻衛生施設組合（40kl/d）である。

### ① 原理について

無希釈処理は 10 倍希釈の標脱よりも環境に与える汚濁負荷の全体量は少ないが、高い汚泥濃度を維持するだけの酸素溶解効率の高い曝気装置を用いることが必須条件である。弊社では、水深が深いほど酸素溶解量は増加することを利用した 10m 水深の深層反応槽（以下、「U-チューブ」と称す）（図-6）を用いて無希釈処理に対応させた。U-チューブは、気泡の上昇速度よりも早い流速で下降する水流中に空気を吸いこませると、空気は微細気泡となって水流と共に下降するという現象を利用したものである。

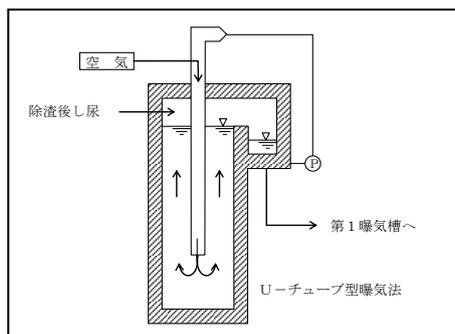


図-6 U-チューブの構造図

酸素溶解速度は 5m 水深の通常の曝気槽の 2 倍であるが、下降流管内で空気が微細化されるため、酸素吸収速度は、はるかに大きく、BOD の酸化やアンモニアの硝化だけを見ると非常に効率の良い曝気槽である。この時の空気量と溶存酸素濃度を制御し、脱窒も 1 槽で行う装置である。

### ② 制御について

標脱では脱窒素槽の入口から、硝化槽の出口まで、その場所毎で窒素濃度や BOD 濃度が変化する（図-7）。

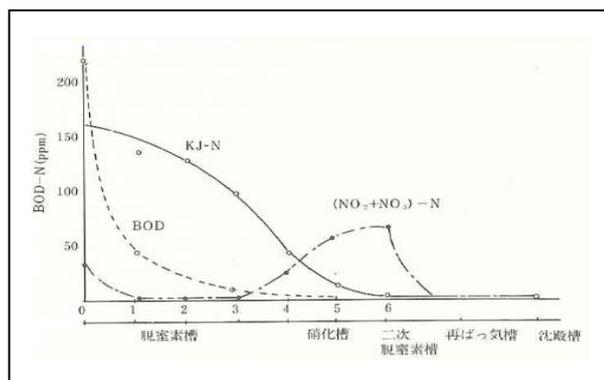


図-7 標脱における BOD、窒素の水槽別濃度変化

一方、U-チューブはほぼ完全混合に近く、各位置では濃度はほぼ同じである。これを時間で変化させる、つまり、(当時は) 90~120 分を 1 サイクルとして、サイクル内で空気量を変化させる方法を採用した。

1 サイクルを 30 分ずつ 3~4 パートに分け、最初のパートでし尿を投入し、その間は空気量を絞る。脱窒素槽の入口の状態に近く、脱窒を優先させるパートである。次のパートは空気量を増やし、し尿中のアンモニアの硝化と脱窒を同時に進行させる。脱窒素槽の後半部分の状態に

近い。残りのパートで空気量を更に増やし、残ったアンモニアを硝化させる、硝化槽の役割をさせる。これを順次繰り返すことで、U-チューブ 1 槽で硝化脱窒を行うものである。

主に U-チューブ内の溶存酸素 (DO) 濃度で監視をし、曝気風量はバルブの自動開度調整で行った。U-チューブ内にアンモニアが残留している状況では DO は 1mg/l 付近にあるが、アンモニアがなくなる (硝化が完了する) と一気に DO は上昇する。それを見て次サイクルの空気量を調整するものである。図-8 に、1 サイクルを 4 パートに分けた時の制御パターンを示す。

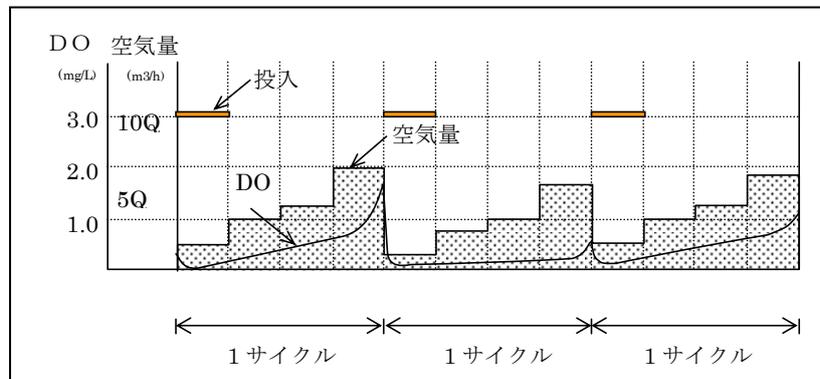


図-8 U-チューブでの制御例

工業計器のみで制御するには熟練を要した。硝酸過多やアンモニア過多で、なかなか T-N を低く抑えにくく、硝酸が 50mg/l 以上残留すると、沈殿槽で脱窒素が起り汚泥の大量浮上・流出という事態も発生した。誰でも運転できるようにするために、コンピュータ制御を導入したが、1980 年当時、パソコンは出始めで、24 時間連続運転しているようなものではなく、また、信頼性にも乏しい時代であった。

1 サイクルの空気量を積算し、1 サイクル終了時の DO が高ければ、次のサイクルで空気量を減らす。一方、1 サイクル終了時の DO が上がりきらなければ、次のサイクルの空気量を増やす、というものである。経時変化を見る方式は非常に画期的なもので、画面のグラフで窒素の挙動がわかるものであった。定点での数値からは想定のできないものであった。

また、計器の絶対値 (そもそも DO が 1mg/l 以下の数値は信頼性が低い) に頼らず、その傾向で制御ができる、というのも画期的なことであった。

その後、より感度の良い酸化還元電位 (ORP) を用いたり、1 サイクルの時間やパート数を変更したり、様々な工夫をし、現在に至っている。

コンピュータ制御にしてから水質が安定し、硝酸での過多での沈殿槽での汚泥浮上もほとんどなくなったが、汚泥管理が最重要管理項目であることに違いは無かった。膜分離の出現によってこの心配は完全に解消された。

### ③ 開発当初のコンピュータ制御

当時はまだコンピュータ自体が一般に浸透していなかったため「コンピュータを使わなければ運転できないようなし尿処理方式は売り物にならない」との批判が社内にあった。したがって、西吾妻ではコンピュータ制御をしていることは公表しなかった (タイマー等で運転ができるシステムも併設していた)。数年後、「某社はコンピュータで制御しているのにクボタはまだコンピュータ制御をしていないのですか?」、暗に「遅れていますね」との言葉を投げかけられ、わずか数年で時代は変わった、と痛感した次第である。

1980 年当時は、8 ビットのパソコンで動作も遅く、記憶媒体も数 10K バイトの 8 インチの

フロッピーディスクの時代であった。その後、5 インチ、3.5 インチのフロッピーディスクが、容量も 1M バイトが出現した。今のギガ、テラの時代からは想像もつかない時代である。

## 2.4 膜分離高負荷脱窒素処理方式

限外ろ過膜は食品分野（果汁、牛乳等の濃縮還元）に、RO 膜（逆浸透膜）は海水淡水化に用いられていたが、排水処理での使用例は、し尿処理で応用されてからである。

安定したとはいえ、無希釈・高負荷処理では、汚泥管理に難点があった。膜分離高負荷の開発は昭和 60 年（1985 年）より始め、翌 61 年（1986 年）に指針外評価を受けた。弊社の 1 号機は山梨県峡南衛生組合（平成元年 4 月稼働）である。

U-チューブを用いた高負荷法の稼働（昭和 57 年）からほどなく膜法の研究開発に着手している。まだ排水処理に用いられた例はなかった時代である。

### ① 限外ろ過膜（チューブラ膜）

弊社で採用した限外ろ過膜は、材質はポリオレフィン、分画分子量 20,000、直径 11.5mm、長さ 3.6m の 18 本並列のチューブラ膜モジュールであった。これを 6 本直列で配置したものを沈殿槽の代わりに用いた（写真-1）。



写真-1 限外ろ過膜の設置事例

排水処理への膜分離の適用で最も問題になるのが、「膜の閉塞」である。膜の閉塞には、流路閉塞と細孔内閉塞の二つがあるが、特に流路閉塞対策が課題であった。

流路閉塞は、除去しきれなかったし尿に含まれる繊維分や、曝気槽内の気液接触面にできた乾燥した汚泥のカスが原因である。弊社では二次除渣装置として、無薬注遠心脱水機を、さらに、膜の前にオートストレーナを設置し、膜の閉塞を防止した。ちなみに、ウェッジワイヤー式のスクリーンでは、目幅 0.7mm の微細目であっても、1,000mg/l 程度の粗繊維が残っているのに対し、遠心脱水機では 100mg/l 以下であった。細孔内閉塞に対しては、膜停止時の水置換と定期的な次亜塩素酸ソーダによる洗浄で回避した。

弊社の採用したチューブラ膜の他に、平膜式もあったが、実績はチューブラ膜が多かった。

### ② 膜性能比較論争

「膜を使うだけでし尿処理が完結する」、「し尿処理施設の性能は膜性能で決まる」と言われた時期もあった。膜が高価であるとのイメージのもとで、フラックスや COD 阻止率の高さが競われたものである。

し尿処理では、生物処理で分解される COD はほぼ決まっており、濃度を上げて、滞留時間を長くしても、それ以上はあまり分解できない。つまり、膜で COD の流出を阻止しても、その分、曝気槽内で COD が蓄積する（COD 濃度が上昇する）だけである。脱水での引抜きを無視すると、阻止率を上げれば膜原水槽の COD 濃度が上昇するだけであり、COD 阻止率はし尿処理の性能を左右するものではなかった。

同様にフラックスについても、フラックスを無理にあげれば、膜の洗浄頻度が増し、寿命が短くなる。逆にフラックスを落とした方がメンテナンスフリーにつながることにわかってきた。これが後の液中膜（浸漬型平膜）につながってきた。

し尿処理は水処理から高度処理、汚泥処理、脱臭等で成り立っている。膜は固液分離の一つの手段にすぎず、膜のみでし尿処理が完結するわけではない。膜の出現で一時期パニックになったが、し尿処理施設全体を見ることで膜の性能争いは終結した。以降は維持管理（閉塞防止対策）や維持管理費に移行した。

### ③ 浸漬型精密ろ過膜（液中膜：弊社登録商標）

膜の性能競争が一段落し、以降、維持管理性に重点が置かれるようになった。このような経過をたどり、チューブラ膜の採用からわずか 5 年後の平成 4 年（1992 年）度には既に液中膜に変更していた。

液中膜とは、「精密ろ過膜を用いた浸漬型膜ろ過装置」であり、平板に膜シートを張り付けた膜カートリッジ（図-9）50～200 枚を膜ケースに収めたもの（図-10）である。曝気槽内に設置（図-11）し、透過液を吸引する。活性汚泥（原水）は、散気管からの曝気によるエアリフト効果により、膜カートリッジ間の隙間を常時上向流で循環させ、膜間流速を維持し、膜面を洗浄するものである。

この液中膜はその後海外展開され、また、下水処理の分野でも使われるようになった。

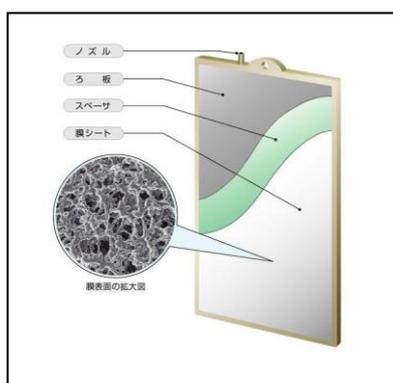


図-9 膜カートリッジ

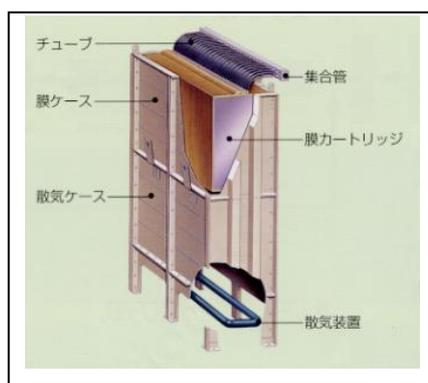


図-10 膜ケース

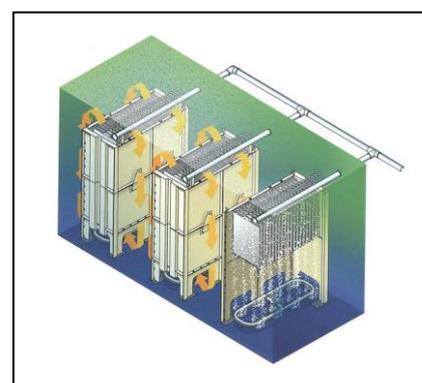


図-11 曝気槽内の設置例

## 2.5 浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素処理方式

汲み取り便所の減少、水洗化（下水、浄化槽）の増加の結果、し尿処理施設における浄化槽汚泥比率は年々増加していく。浄化槽汚泥は、濃度が薄く、性状の変動も大きいため、これらを合理的に処理する方法が浄化槽汚泥対応型脱窒素処理方式である。

従前より、弊社は浄化槽汚泥の安定化処理として、多重円板型の脱水機で浄化槽汚泥を処理し、そのろ液とし尿を生物処理していた。浄化槽汚泥対応型は、この浄化槽汚泥用の脱水機と、余剰汚泥用の脱水機を一つにまとめたものである。標準的なフローを図-12 に示す。この開発

に当たっては、他のプラントメーカーと3社共同研究を行い、平成6年（1994年）に指針外評価を得た。

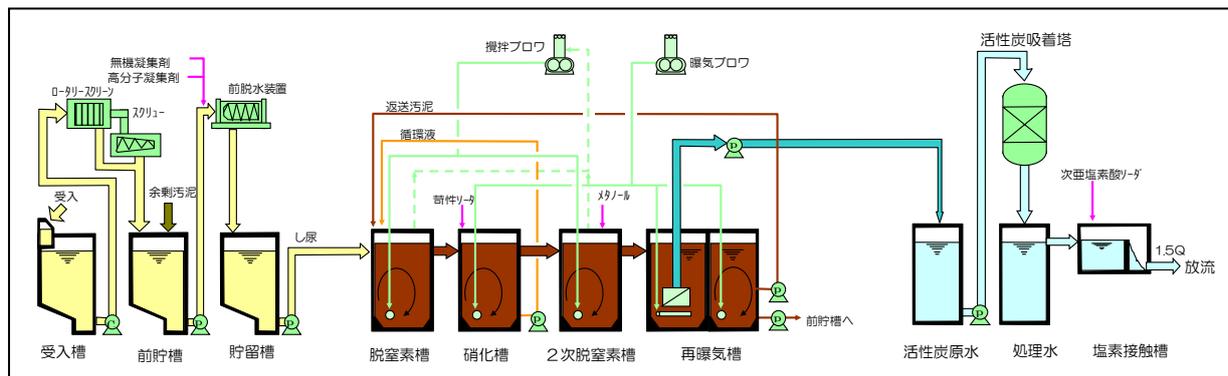


図-12 浄化槽汚泥対応型のフロー

標準脱窒素処理方式、高負荷脱窒素処理方式、膜分離高負荷脱窒素処理方式、浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素処理方式の4方式が現在でも主流であり、生物処理に関しては新たな方式は登場していない。

### 3. 構造指針と性能指針

#### 3.1 構造指針と指針外技術

し尿処理施設は国庫補助の対象事業である。し尿処理施設構造指針は昭和54年（1979年）に策定され、補助金と連動されていた。構造指針にはない「新しい技術」を補助対象施設とするには、「構造指針と同等以上」との「評価」を必要とした。評価された技術を「指針外技術」と呼び、評価機関として(財)全国都市清掃会議があった。高負荷や膜分離等で「指針外評価」というのはこのことである。

国庫補助事業は建設前年度に整備計画書を国に提出しヒアリングを受け、当該年度の「内示」後、入札（あるいは随意契約）でメーカーを決定する。指針外技術はこの整備計画のヒアリング前に、「事前協議」を必要とした。ヒアリング時には新技術を持ったメーカーの方式を採用する、つまり技術力でメーカーを決定できることを意味する。

指針外技術の評価を得るためには、10kl/d以上の施設規模で、1年間（四季）の実証が必要であり、実証の負担はかなり大きい。それだけに、よほど事業性、先見性を持っていなければ、実証試験は行えないというハードルの高さがあった。しかし、評価を受け、客先に受入れられる技術であれば、大きな先行者利益が期待できる方式でもあった。

高負荷法が構造指針に組み込まれた1988年以降、入札でメーカーを決定できるようになった。

膜分離技術も同様で、当時、三井石油化学、クボタ、荏原製作所、栗田工業、三菱重工の5社が指針外技術としての評価を持っていた。当然、指針外技術としての競争が継続するものと思っていたところ、膜事業推進のための官民共同研究を持ちかけられた。

この官民共同研究事業に、三井石油化学を除く4社＋評価書を持っていない5社が参加し、共通の方式として平成3年（1991年）10月に9社方式として「指針外の評価」を受けた。これにより、9社同一の技術を持つため、「整備計画提出」時にはメーカーを決定しておく必要が

なく、実質、内示後の入札が可能となった。

膜分離の共同研究以降、プラントメーカーが共同で新技術の開発を行い、同一技術を複数社が同時に持つようになってきていた。共同研究により各社の技術開発の負担は低減したが、開発者の先行者利益は得られにくい状況となった。

### 3.2 構造指針から性能指針へ

規制緩和の流れから、平成 12 年 10 月に「構造指針」が廃止され、新たに「性能指針」が策定された。構造指針が「事前検閲」的な要素を持っているのに対し、性能指針は「採用自治体の責任を重視した、事後承諾」的要素が強い。新技術の評価機関の定めも特にはなく、場合によっては、メーカーの独自データでも良いとされ、性能については採用した自治体が全責任を負う制度となった。しかし、一般廃棄物の設置届等、都道府県のチェックが入るため、実質「評価」制度は残っている。

## 4. し尿処理施設から汚泥再生処理センターへ

平成 3 年度から、ごみ焼却施設が、「衛生処理・減容化」から「循環型社会構築」に舵を切った。その後し尿処理にもその流れがくることは予想されていた。それに適合するよう、し尿からの資源回収構想、研究開発が平成 7 年頃より進められた。し尿処理全体の方向性に係る開発であり、プラントメーカー共同での技術開発が必要とされた時代でもあった。

し尿処理の開始当初の嫌気性消化、いわゆるメタン発酵を基軸とした開発であったが、元々し尿の濃度が低くなり、発生メタン量が減少したことから消滅した技術である。し尿の有機物濃度が減少している中、「水分は多いが、乾物カロリーの高い生ごみ」をし尿処理施設で受入れ、メタン発酵を行う方式の検討を開始した。当時、焼却におけるダイオキシン類発生の「諸悪の根源」とされた「生ごみ」をし尿処理側に取り込むものである。

弊社を含む 7 社、及び別途 6 社、更にはごみ処理メーカーとも、皆、欧州の技術を導入し、メタン発酵の研究を開始した。

ほぼ開発が完了した平成 9 年に、汚泥再生処理センターを補助対象施設とする通知があり、平成 10 年（1998 年）度より国庫補助対象は汚泥再生処理センターのみとなった。汚泥再生処理センターの定義は「し尿、浄化槽汚泥及び生ごみ等の有機性廃棄物を併せて処理するとともに、資源を回収する施設をいい、水処理設備、資源化設備及び脱臭設備等の付属設備で構成される」である。

### 4.1 メタン発酵

資源化として生ごみのメタン発酵を付加した汚泥再生処理センターは、平成 9 年度に新潟県で 2 件発注され、翌平成 10 年には、弊社を含む 7 社 JV で受注した長野県下伊那郡西部衛生施設組合（写真-2、3、図-13）も発注された。

その後、5 カ年で計 10 件以上発注されたが、ごみ焼却施設でのダイオキシン類対策が行き届き、「生ごみ」がし尿処理施設に入ってこなくなった。その結果、メタン発酵を付加した汚泥再生処理センターはその後低迷した。

現在、焼却とメタン発酵のハイブリッド型処理が「ごみ処理施設」として交付金対象となっているが、このメタン発酵技術はこの当時に開発されたものが基本となったものである。



図-2 下伊那西部衛生組合の外観



図-3 メタン発酵槽（同組合）

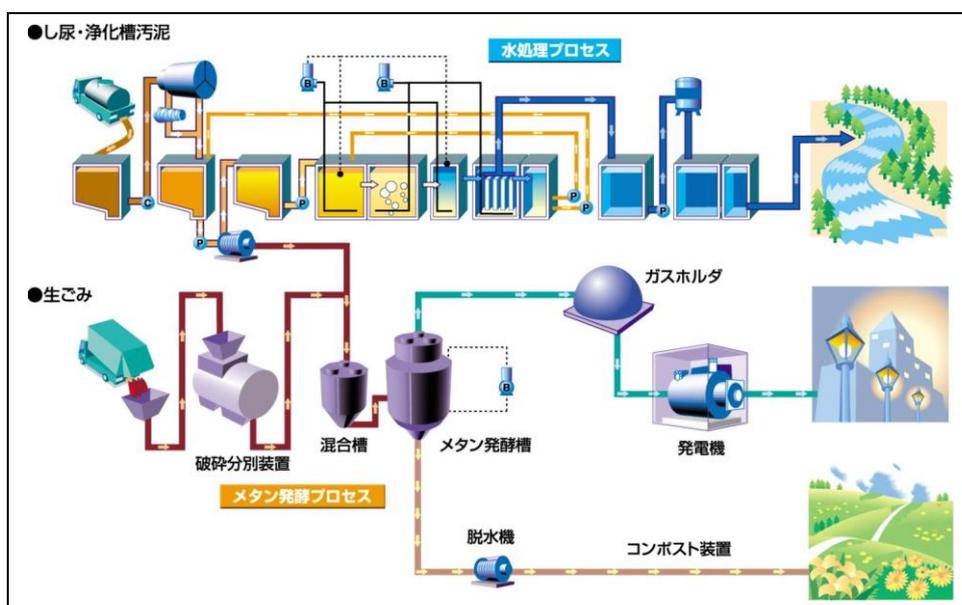


図-13 メタン発酵を具備した汚泥再生処理センターのフロー（例）

#### 4.2 その他の資源化技術

メタン発酵以外の資源化技術には、コンポスト、炭化、低温熱分解、リン回収、助燃剤化（脱水汚泥の含水率を70%以下にして都市ごみ焼却施設で焼却した場合、追加の補助燃料を使わずに焼却できることから、「70%以下の脱水汚泥をごみ焼却施設で焼却する場合には助燃剤と見なす」）等があり、現在に至っている。

#### 5. 今後のし尿処理への取り組み

生活様式の変化やニーズにこたえる形で、し尿処理技術開発はプラントメーカー主体で進められてきた。しかし、し尿処理量の減少で撤退や事業移管したメーカーも多く、クボタも会社分割により平成20年（2008年）1月にし尿処理部門はクボタ環境サービスに事業移管した。メーカーが再編された結果、技術開発は再び独自研究へ戻って行った。

し尿処理量は年々減少しているとはいえ、いまだ人口にして34,000千人分（一日60,000kl）のし尿等を処理しており、事業を継続しているメーカーには技術開発で社会的要求に応える責

務がある。

## 5.1 新たな技術開発

維持管理費の低減、管理の容易性を実現するため、弊社では ASB (Activation of Solid Bacteria : 土壌微生物活性化法) システムの開発を行っている。

1990 年代中ごろから、有用微生物群を使った処理が世に出てきた。理屈が解明されていないことや、常に菌を外部から補充する「菌売り」商売であったことから、し尿処理を扱っているものには、抵抗感が付きまとい、特殊な菌を扱うことはほとんど行われなかった。

一方、バチルス属細菌が優先化された活性汚泥法では、①汚泥発生量が低減される、②汚泥の沈降性が改善される、③臭気発生量が抑制される、等の効果が 20 年以上前から言われてきたのも事実である。弊社では、この活性汚泥中のバチルス属細菌を優先化する技術をし尿処理施設に適用させるための技術開発をおこなった。それを ASB システムと称している。

本システムの実証は、岩手県の釜石大槌地区行政事務組合 (釜石・大槌汚泥再生処理センター) で行った。実証は平成 23 年 11 月から開始され、約 1 ヶ月の馴養を行った後、ASB リアクタを槽内に設置した。

実証の結果、従来から言われていた通りの結果が得られた。汚泥発生量は 30%以上削減され、硫化水素濃度も減少した。また、SVI (Sludge Volume Index) も導入前の約 140ml/g から約 90ml/g まで改善された。原理も大分解明されてきたが、これを更に追及していく。

## 5.2 強靱化としてのし尿処理施設の役割

平成 23 年に東日本大震災が発生した。

弊社の建設した施設のある釜石市においても、下水道施設は甚大な被害を受け、ほぼ壊滅状態になった (表-2)。湾に面してあった下水処理場は津波により機能停止に陥り、ポンプ施設、管路施設も被災した。順次復旧はしたもののすべて復旧するのに約 4 年を要した。

表-2 下水道関連施設の被災状況

<p>[浸水・機能停止] (6カ所)</p>	<p>太平下水処理場 嬉石污水ポンプ場 汐立污水ポンプ場 鈴子雨水ポンプ場 鶏住居雨水ポンプ場 マンホールポンプ場</p>	
		
<p>[流出]</p>	<p>矢の浦水管橋(延長105mの内70m流失)</p>	
<p>[滞水]</p>	<p>管渠延長12.8km、マンホール550カ所</p>	
<p>[損壊・段差]</p>	<p>マンホール32カ所</p>	
<p>[土砂・瓦礫堆積]</p>	<p>雨水幹線7カ所、マンホール4カ所、 都市下水路1カ所</p>	

し尿処理施設は内陸にあった為、津波の被害は免れた。建屋は震度6弱の揺れにより、壁にクラックは入ったが、配管・機器類に損傷はなかった。通電が再開された直後に運転を再開した。震災後5日目のことである。ただし、凝集沈殿用の薬剤や活性炭が入手できなかったため、高度処理は運転を停止したまま、公共水域への放流基準を満足する、二次処理水（排水基準値はBOD：20mg/l以下、SS：70mg/l以下であるが、膜処理を用いていたため、SSの流出はない）での放流となった。

し尿処理施設への搬入量は、震災直後は減少したが、その後、①仮設トイレ、②仮設住宅の浄化槽汚泥、③被災家屋の撤去に伴う便槽からのし尿、及び浄化槽汚泥が増加した（写真-3～5）。施設能力を約20%上回る量となったが、上記ASBの実証や様々な工夫で難局を乗り切ることができた。



写真-3 仮設トイレ、仮設浄化槽



写真-4 廃屋のトイレ



写真-5 廃屋の浄化槽

他方、施設間の防災協定で対応した自治体もあったように聞いている。

自然流下を前提とする管渠網で面整備をしている下水道に比べ、バキューム車とし尿処理場だけで構成されているし尿処理は、震災時にも短期間で復旧でき、他の施設への搬入（輸送）も容易で融通のきく、災害に対して強靱な施設であったことが改めて実感された。

## 6. おわりに

し尿処理は日本特有の技術である。責任設計施工で発注されたことが各社独自の技術開発につながり、社会的にニーズにもすばやく対応できた。水処理では生物学的硝化脱窒技術もいち早く確立され、さらには無希釈でも希釈処理と同等程度の処理水を得られる技術も開発された。固液分離に膜を導入した技術も、排水処理分野では最初であった。この結果、環境に与える汚濁負荷は著しく低減した。資源化における「生ごみのメタン発酵」もし尿処理から派生した技術である。今回述べてはいないが、高度処理、汚泥処理、脱臭もメーカー主導で独自の技術開発が進められた。

生活様式の変化に伴い、し尿処理人口は平成元年度には約 75,000 千人であったものが 26 年度には約 34,000 千人まで減少している。見方を変えると、今なお日本の総人口の 30%弱の人がし尿処理施設の恩恵にあずかっていることにもなる。し尿と浄化槽汚泥の内訳もし尿 25,500 千 k<sub>l</sub>/年→6,900 千 k<sub>l</sub>/年（73%減）、浄化槽汚泥 11,300 千 k<sub>l</sub>/年→14,700 千 k<sub>l</sub>/年（30%増）となり、し尿処理施設から浄化槽汚泥処理施設へと形態を変えつつある。これらに合わせた新し

い処理技術の開発も進められている。

ストックマネジメントの観点から下水道との連携が言われて久しいが、し尿処理施設での無希釈処理と、希釈された下水処理施設での処理では同じ水質ではあっても、希釈倍率の違いから環境に与える負荷の絶対量は違ってくる。画一的に下水道との連携を論じるのではなく、環境負荷も同時に考慮し、柔軟性のある排水処理を考える時期に来ていると言える。

また、し尿処理施設は単独で環境基準を達成でき、震災等で管渠網が切断されても対応が容易な施設である。排水処理施設が巨大になればなるほど、被災した時の復旧に時間を要してくる。大規模震災や地球温暖化による大規模浸水の影響を受けやすいとみられる日本の公共インフラの強靱化を考えたとき、し尿処理施設も含めた様々な形態の排水処理施設を持つことで、災害等に対するリスクを分散させる方法も有意義なものとする次第である。

時代とともに、次々と新技術を開発してきたし尿処理技術を今後も社会に貢献できる施設として開発していくことがメーカーの責任と考える。

追伸：

本稿執筆中の平成 28 年 4 月 14 日に熊本で大地震（前震）が、続いて 16 日にも本震が襲い、多数の被害が出ているとの報道がなされています。地震で犠牲になられた方のご冥福をお祈りいたしますとともに、一刻も早い復興と、衛生問題も含めたライフラインの復旧を願っております。

# し尿処理技術・システムに関する栗田工業の

## 技術的な取り組み・社史

栗田工業株式会社

### はじめに

古来、日本では、し尿を貴重な肥料資源として利用し、昭和 20 年代前半までは都市部のし尿は、ほとんど農村部に還元されていた。しかし、昭和 20 年代後半に入り、化学肥料が増産されるようになると、都市で大量に発生するし尿を受け入れる農家は激減した。その結果、大・中都市は、山河や沿海への投棄をもってし尿処理としていた。しかも、経済復興は都市への人口集中を促していたため、事態は急速に悪化し、し尿処理は保健衛生上の問題として、GHQ からも厳しい指摘を受ける社会問題となった。

昭和 25 年(1950 年)、経済安定本部資源調査会は、同本部総裁に対し、「尿尿の資源科学的衛生処理勧告」を提言し、し尿収集の機械化(バキューム車方式)と嫌気性消化処理の合理性を述べた。これを受けて、厚生省は昭和 29 年「清掃法」を制定して、各市町村にし尿処理装置の建設を義務づけると同時に設計基準、維持管理基準並びに国庫補助の基準を定め、昭和 31 年 10 月には「尿尿処理基本対策要綱」(5 か年計画)を発表。し尿処理対策に本腰を入れる姿勢を示し、海洋投棄の原則禁止を強く指示した。種々の公害防止対策の整備に伴い、昭和 45 年(1970 年)、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」が制定されて、処理施設からの放流水の水質規制が定められたほか、社会的要請として臭気による 2 次公害の防止や施設の景観改善も求められるようになった。

## 1. し尿処理と汚泥再処理の変遷

厚生省は昭和 29 年(1954 年)に「清掃法」を制定して、各市町村にし尿処理施設の建設を義務付け、さらに昭和 31 年に長期 5 か年計画「尿尿処理基本対策要領」を発表して、し尿処理施設の本格整備に乗り出した。こうした社会情勢を背景として、栗田工業も昭和 33 年 5 月に建設業者登録を行って、入札参加資格を取得すると同時に中央研究所を中心として、し尿処理の研究を開始して、し尿処理分野への参入をはかった。

### 1) 嫌気性消化法(西独(現・独)、ピンチ・バマーク社からの技術導入)

当時、厚生省基準となっていた処理方法は「嫌気性消化法」と「散水ろ床法」であった。栗田工業は昭和 35 年に排水・下水処理に多くの実績を持つ西独(現・独)のピンチ・バマーク社と技術提携し、嫌気性消化施設に関する技術を導入した。バマーク社の消化槽は、上下円錐形という特徴的な形状を持ち、これにより攪拌循環に死角をなくし、通常、消化槽で発生する堆積物や浮遊物の減少を実現していた。栗田工業は総合研

究所に 500ℓ/d の実験装置を設置して実証試験を実施し、併せて、上下円錐型消化槽の強度計算を行うために容量 10m<sup>3</sup> のモデルを製作してストレインゲージによる歪みを測定するなど施工技術も確立した。

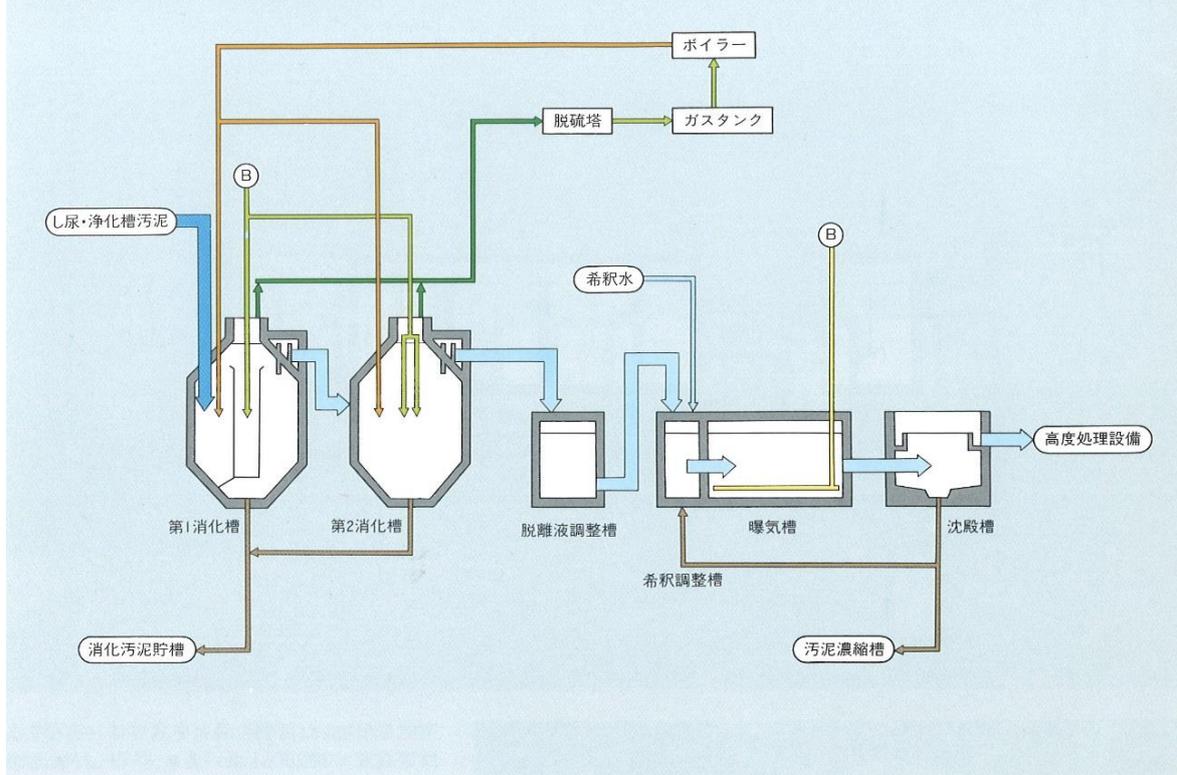
同時に並行して営業活動も展開し、昭和 36 年に広島県 F 市より 1 号機を受注した。これは上下円錐型消化槽、散水ろ床、沈殿池から構成される嫌気性消化処理方式で、1 万 5,000 人のし尿を処理する 15kℓ/d の処理量を有するものであった。



上下円錐型の地上部分が三角形だったことと、その多くが赤色に塗装されていたことから、「赤いとんがり帽子」と呼ばれ、親しみのあるものにしていった。

消化槽

嫌気性消化・活性汚泥法処理方式フローシート



## 2) 無希釈曝気法

昭和 30 年代の処理法は、先の嫌気性消化に 2 次処理として散水ろ床を組み合わせ  
ていた。しかし、開放構造の散水ろ床に発生する蠅や処理水の臭気などが問題視された。

そのため、より良好な処理を行うため、活性汚泥法による 2 次処理が採用されはじ  
めた。その活性汚泥処理が可能なのは、**BOD150mg/l** 以下という当時の下水処理をも  
とにした“常識“に基づき、**BOD2,500mg/l** 前後もある嫌気性消化槽からの流出液を、清  
水で 20 倍に希釈して処理していた。栗田工業もそれに従い、昭和 38 年に 300kℓ/d と  
日本最大規模の処理量をもつ希釈による活性汚泥法を採用した 1 号機を兵庫県 T 市・I  
市し尿処理組合に納入した。

しかし、この希釈曝気法は散水ろ床法の除去効果が不十分、ろ床蠅・臭気が発生する  
という問題を解決したが、一方、多量に使用する希釈水の温度による影響を受けること  
になった。希釈水を表流水に頼る施設では、冬季における処理機能低下への対策が新た  
な課題となるケースもあり、特に寒冷地においては顕著であった。そこで、嫌気性消化  
槽処理液の 30℃を超える温度を有効に活用し、生物処理に適した水温で処理するため、  
無希釈で活性汚泥処理を行う試みが始められた。

この「無希釈曝気法」は”生物処理の常識“に挑戦するもので、理解されにくかったが  
昭和 38 年に埼玉県 H 市の施設に日本で初めて無希釈+希釈の 2 段曝気法を実現した。  
この方式は攪拌循環の死角がないことで、安定した液を供給できるといった上下円錐  
型のピンチ・バマーク式消化槽の特徴が活かされたもので、し尿処理における無希釈曝  
気時代を切り開いた。

さらに希釈をやめ、無希釈曝気 1 段で処理する技術を実現させたのは、昭和 41 年に  
富山県 I 郡衛生施設組合へ納入した施設が 1 号機であり、以降、栗田工業の優位技術と  
して広く普及した。

## 3) 酸化処理とオゾン脱色を実用化

昭和 40 年代には、し尿処理も高効率・コンパクト化・管理の容易さが求められる  
ようになった。しかし、嫌気性消化法では、し尿投入室、消化槽、ガスタンク、活性  
汚泥等の各処理装置などの形状の違いがネックとなり、別々に独立したユニットとし  
て建設され、各装置がパイプで結ばれていたため、広い敷地面積を必要としただけで  
なく、効率的な臭気補集が困難で不快な処理場のイメージから脱しきれなかった。

そこで形状の揃えやすいユニットで構成でき、無希釈での活性汚泥処理の経験が活  
かせる好気性消化処理法＝酸化処理法の技術検討を進め、実用化研究を行った。この  
好気性消化法は、し尿を消化槽に入れ、そこに空気を吹き込み、好気性微生物により  
有機物を分解するもので、先の嫌気性消化法では 30 日分の消化槽を必要としたのに  
対して、短期間で処理が可能となり、さらに装置をまとめることができたため、高効  
率化と大幅なコンパクト化を実現し、昭和 47 年に大分県 H 地域広域市町村圏事務組  
合から 4kℓ/d の 1 号機を受注した。また、昭和 49 年に石川県 Y 町から受注した施設  
では、装置を建物内に密閉し、脱臭装置により不快臭を処理し、しかも外観にも配慮

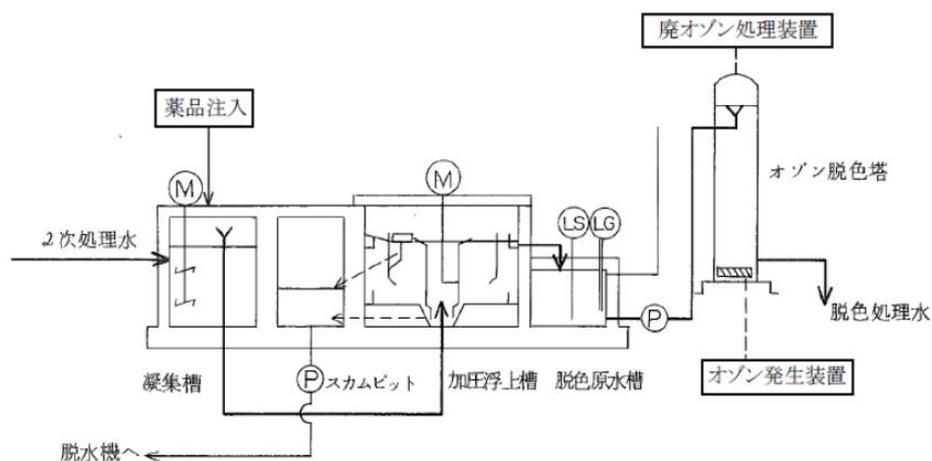
し、半地下式として処理場のイメージを一新するなど、好気性消化処理法はこの段階で処理技術的にも設計・施工面でほぼ完成された。

嫌気性消化法から好気性消化処理法へと変わることによって脱臭対策もやりやすくなったが、し尿処理に関係している人が悪臭と感じなくても、一般の人には悪臭と受け取られてしまう。そういった問い合わせに対応するために、活性炭脱臭設備を設置することを標準とし、どのし尿処理施設でも臭気対策は万全なものとなった。

次いで問題となったのが処理水の色であった。脱色法としては、当時からオゾンの酸化力を利用した方法が知られていたが、オゾンだけによる脱色は効率が悪くコストもかかるため、し尿には適用されなかった。そこで栗田工業は前処理として凝集処理をするなかで色度を除去し、仕上げをオゾンで行う方法を考案した。

凝集ではフロック分離を沈殿法で行うのが一般的であったが、栗田工業ではその効率性から加圧浮上法を採用していた。先の曝気法による好気性消化法では窒素が残留しており、アルカリ度も高いが、凝集剤を添加して低 pH 化すると、アルカリ度成分である炭酸がガス化してフロックを浮上させるという一石二鳥の効果があった。

この2段階の方法によるオゾン脱色法が日本で初めて実用化され、その1号機が昭和47年、長野県S環境衛生組合に納入された。



加圧浮上槽、オゾン脱色

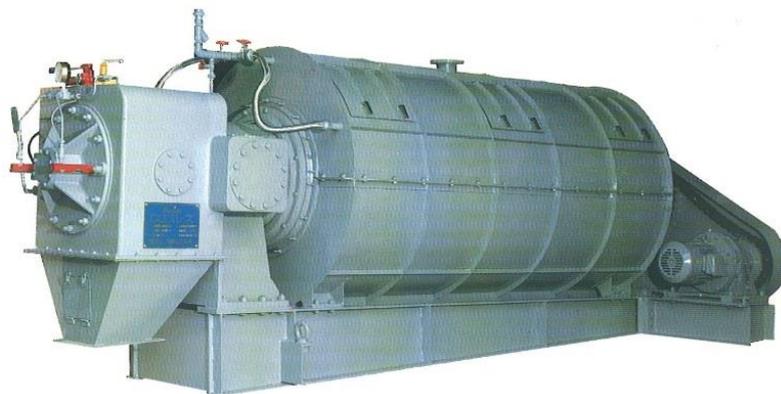


オゾン脱色塔

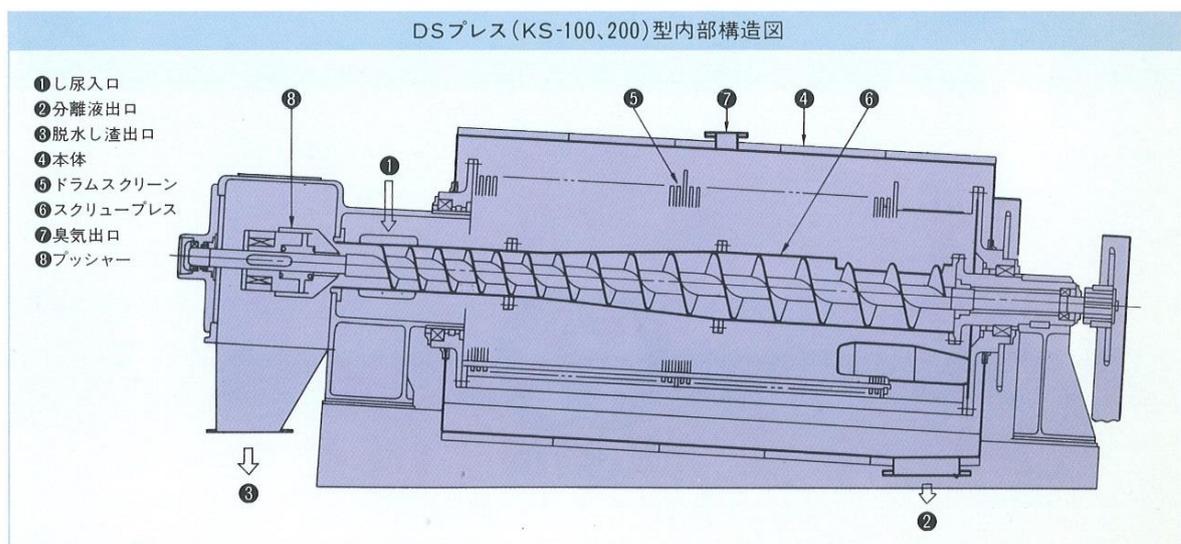
#### 4) 夾雑物除去装置などの特異技術の開発

この時期には、特筆すべき技術が幾つか開発されている。そのひとつは、夾雑物の除去装置である。

バキューム車で搬入されるし尿には、夾雑物と称される多量のゴムやビニル等が混入しており、処理工程でのポンプや配管の目詰まりの原因となっていた。昭和 47 年、長野県 S 環境衛生組合に日本最初のドラムスクリーン内にスクリュープレスが内蔵された夾雑物除去装置「DS プレス」を納入した。DS プレスは、スクリュープレス出口で再度圧搾脱水されるため、し渣の含水率が低く、設置面積も小さく臭気拡散もなく好評であり、以降、生物処理法の違いに関係なく、し尿処理施設の標準技術となった。本装置は目幅が 4~6mm の荒目スクリーンであったが、その後は目幅 1~2mm の細目スクリーンが採用されるようになってきた。



DSプレスKS-200型



## 5) 酸素曝気処理

昭和 55 年、埼玉県 T 清掃組合に納入した高濃度酸素曝気処理装置は、処理コスト削減と容易な脱臭・脱色を可能にする技術であった。

酸素発生器で 90%濃度の酸素をつくり、それを使って最初にオゾンをつくり、このオゾンで処理液の脱色を行う。次いで残留オゾンに触媒分解して酸素にし、それを活性汚泥処理の液中に吹き込み、処理効率を向上させた。

これにより、電力コストは空気を原料とする場合の 2 分の 1 となり、酸素曝気では、発生する排気ガス量が 200 分の 1 となった。こうして脱臭対象そのものが極端に減少したことで脱臭作業が容易になり、コストも大幅に減少し、効果と経済性の向上を実現した。

## 6) 浄化槽汚泥処理

浄化槽汚泥処理にも特長のある技術があった。家庭用浄化槽の普及により浄化槽汚泥発生量が急激に増加し、その処理方式が昭和 55 年に処理施設構造指針に加えられた。栗田工業は、早くから浄化槽汚泥処理技術の開発に取り組んでいたが、全国で初めての構造指針外技術として認可を受け、昭和 56 年に宮城県 M 衛生処理組合や愛知県 A 衛生処理組合に「1 段活性汚泥処理方式」を納入した。貯留した浄化槽汚泥を直接生物槽へ投入し、好気状態にするため、悪臭などの 2 次公害もなく安定した処理水が得られた。しかしながら、浄化槽汚泥が増えてもし尿がなくなるわけではないため、浄化槽汚泥専用処理を行うには設備が 2 系列以上となる。そのため、後述する「J システム」にて対応することとなった。

## 2. し尿の高度処理

### 1) 窒素除去への挑戦

昭和 53 年(1978 年)、瀬戸内海環境保全特別措置法や水質汚濁防止法が改正され、リン、COD 規制を目標とする水質総量規制が施行された。これを受けて各自治体の上乗せ基準が強化されると同時に、し尿処理施設への近隣住民の要求も厳しさを増し、施設の新設や更新時には窒素や COD、色度除去などの高度処理が求められた。

栗田工業は法規制に先駆けて昭和 42 年頃より、窒素除去の研究に着手。昭和 47 年に国内初となる硝化脱窒プラントの 1 号機を三重県 S 環境衛生組合より受注した。同所の処理水は瓢箪型の湾の最奥部から放流され、しかも場所が真珠養殖の盛んな的矢湾であったことから、高度処理が前提条件になった。

当時、窒素除去は BOD 処理後に行う「高度処理」と位置づけられていた。そこで BOD 処理プロセス、硝化プロセス、脱窒プロセスの 3 工程から成る「3 相汚泥方式」を開発した。そこでは曝気による好気性消化処理を行ったのちに硝化槽における硝化プロセスでアンモニア性窒素を硝酸化し、次いで、脱窒素の脱窒素プロセスで窒素ガス化する。各プロセスに付随する沈殿槽で、固液分離された汚泥の一部は余剰汚泥として系外引き抜き処理するが、主には、それぞれ返送汚泥として各プロセスに戻し、処理の転換を図った。

この方式では、苛性ソーダやメタノールなどの薬品代を含めたランニングコストが高くなり、また 3 相の沈殿槽や各槽への汚泥返送などにより装置も複雑になるため建設費も割高になったが、その優れた脱窒効果により受注が相次いだ。

### 2) ステップ脱窒の開発

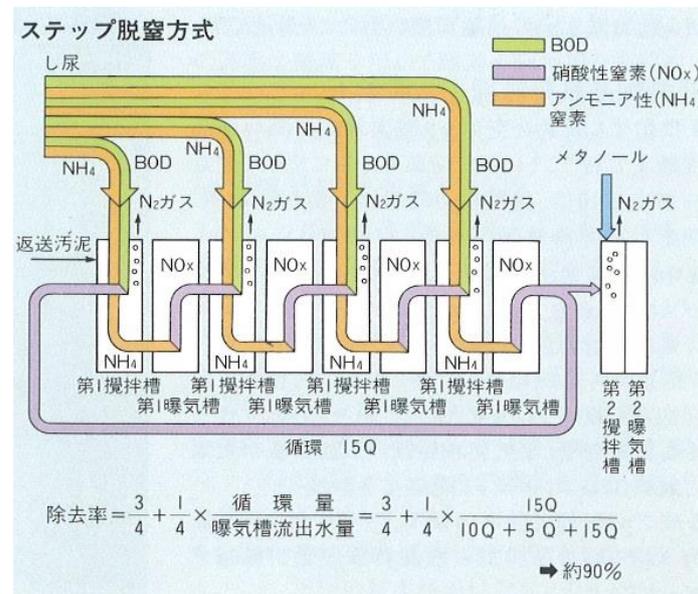
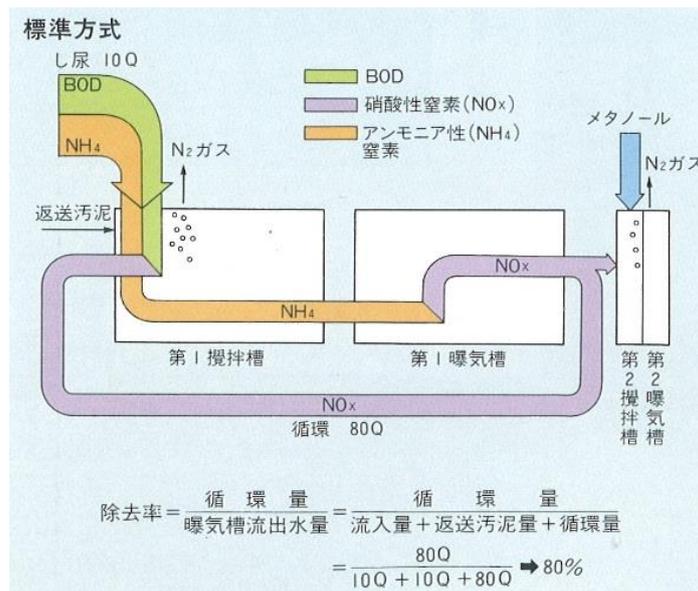
その後、苛性ソーダの使用量を 3 分の 1 に削減する 2 相汚泥方式を開発し、昭和 51 年には高度脱窒技術「ステップ脱窒」を実用化した。

これは硝化と脱窒を交互に繰り返すことによって脱窒を行うもので、し尿の BOD を利用して脱窒の効率化を図り、かつ脱窒で遊離するアルカリを回収して、硝化に戻す省エネ型処理方式であった。これにより脱窒を行う活性汚泥の反応速度を向上させるために使用されるメタノールは、3 相式の 10 分の 1 に大幅削減。硝化プロセスで生成する酸の中和のために必要であった苛性ソーダも、アルカリを回収することにより使用量は大幅に削減された。さらに、し尿を 4 等分して投入し、脱窒と硝酸化とを交互に繰り返すため、循環量を低減させることができ、標準法と比較して、効率的に処理を行える方式でもある。

この 1 号機は同年に高知県 K 清掃組合より受注。昭和 52 年には広島県 F 衛生センターより 150k $l$ /d の大型装置を受注するなど、省資源指向とも相まって順調に業績を拡大した。また同センターでは、酸化、脱窒、加圧浮上処理、脱色、塔外再生式ろ過装置、脱臭装置、多段式汚泥焼却など、多くの先駆的な設備を整然と配列し、すべてをテニスコート 2 面分の地下に収める国内初の「完全地下式し尿処理施設」を完成させて話題となった。

この窒素除去技術の完成により、し尿処理装置は水質的にも運転管理面でも従来とは明確な一線を画すことになった。それまでは低負荷時に硝化が進みすぎ、亜硝酸が蓄積して pH が低下する、蓄積した亜硝酸により COD が高まる、亜硝酸がオゾン消費し脱色が不完全になる、沈殿池で脱窒による窒素ガスが発生して汚泥を浮上させるなどの問題を引き起こすことがあった。しかし窒素除去により、低負荷時ほど運転は容易となり、処理水の COD 濃度・色度は低下し、汚泥の浮上も発生しなくなった。

この技術は最終的に「標準脱窒処理法」と呼ばれ、10 倍以下の希釈で従来以上の処理水が得られる方式として、昭和 54 年に厚生省の構造指針に採用された。



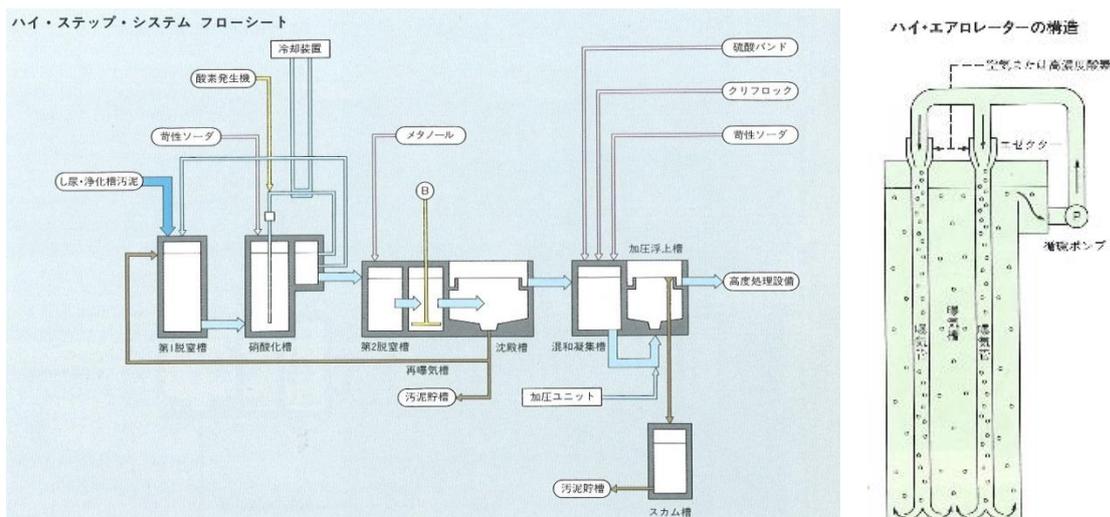
### 3) 低希釈・高負荷処理の実現

昭和 50 年代後半になると、一層省エネや省資源への社会的要求が高まるとともに、既設施設の更新需要が高まり、既存の施設を運転しながら同一敷地内での新設備建設が計画されるため、施設の小型化、高効率化がさらに求められるようになった。そこで検討されたのが低希釈、高負荷処理であった。

栗田工業は、昭和 55 年からステップ脱窒法をベースに高負荷脱窒処理の研究に着手した。昭和 38 年に嫌気性消化槽流出液の無希釈活性汚泥処理法を開発し、栗田工業には無希釈技術の蓄積があったが、嫌気性消化槽、及び好気性消化槽からの処理液の BOD は非常に高く、微生物による分解消化反応により発熱して液温も高いという問題があった。高温化は冷却装置を用いることで解決できたが、問題は高効率の酸素溶解法と高濃度での活性汚泥分離法であった。高濃度かつ高液温で微生物作用を高めれば、処理効率は向上する。高負荷処理を可能にするには酸素溶解技術が必要であった。

そこでまず、多量の酸素を供給するために、高効率酸素供給装置「ハイエアロレーター」を開発した。ポンプで硝化槽内の液を循環させ、エゼクターで空気を溶け込ませて大型の深層型硝化槽に吹き込むことにより、送り込まれた気体は気液 2 相流の乱れによってせん断され微細気泡となる。曝気管中を循環流によって送られてきた微細気泡は、曝気槽底部から均一に分散され理想的な全面曝気ができる。これにより従来の 10 倍の酸素溶解を実現させ、微生物の作用を一段と高めることに成功した。

また同時にコンパクト化と節水化を実現した。槽内の汚泥濃度(MLSS)を高濃度に保つことにより、対 MLSS 当りの速度は同じでも、槽  $m^3$  当りの硝化处理速度が従来法と比して速くなったことで水槽容量も小型化し、さらに施設全体のコンパクト化が可能となった。この低希釈高負荷脱窒処理システム「ハイステップ・システム」は昭和 57 年に完成し、昭和 61 年に福岡県 Y 衛生施設事務組合より 1 号機を受注した。



#### 4) 膜処理技術の適用

ハイステップ・システムの事業化が完了すると同時に、さらに高機能化を図る研究が進められた。脱窒工程が、硝化と脱窒の2工程を明確に区分し、それぞれの水槽（硝化槽、脱窒素槽）で処理することから、バッチ投入によるひとつの水槽（硝化脱窒素槽）で処理を可能とする技術開発、また高濃度液の固液分離を効率よく確実にを行うため、純水装置等で需要を高めていた分離膜を活用することを目的に進められた。1槽で硝化脱窒を行うため亜硝酸型脱窒が可能となり、メタノールや供給酸素の削減が図られると同時に、UF膜(限外ろ過膜)をスキッド化し膜面洗浄を全自動化した「フィルトカプセル」の開発とともに「NSシステム」が完成した。

NSシステムは流入負荷変動がある場合にも安定運転が可能であり、処理施設のコンパクト化と景観向上を可能にする画期的な技術であった。NSシステムは昭和62年、長崎県H清掃一部事務組合の第1号機受注を皮切りに業績を拡大し、今日のし尿処理の中核技術として普及している。その後、膜はチューブラ膜→浸漬膜へと変遷してきている。



フィルトカプセル



浸漬膜



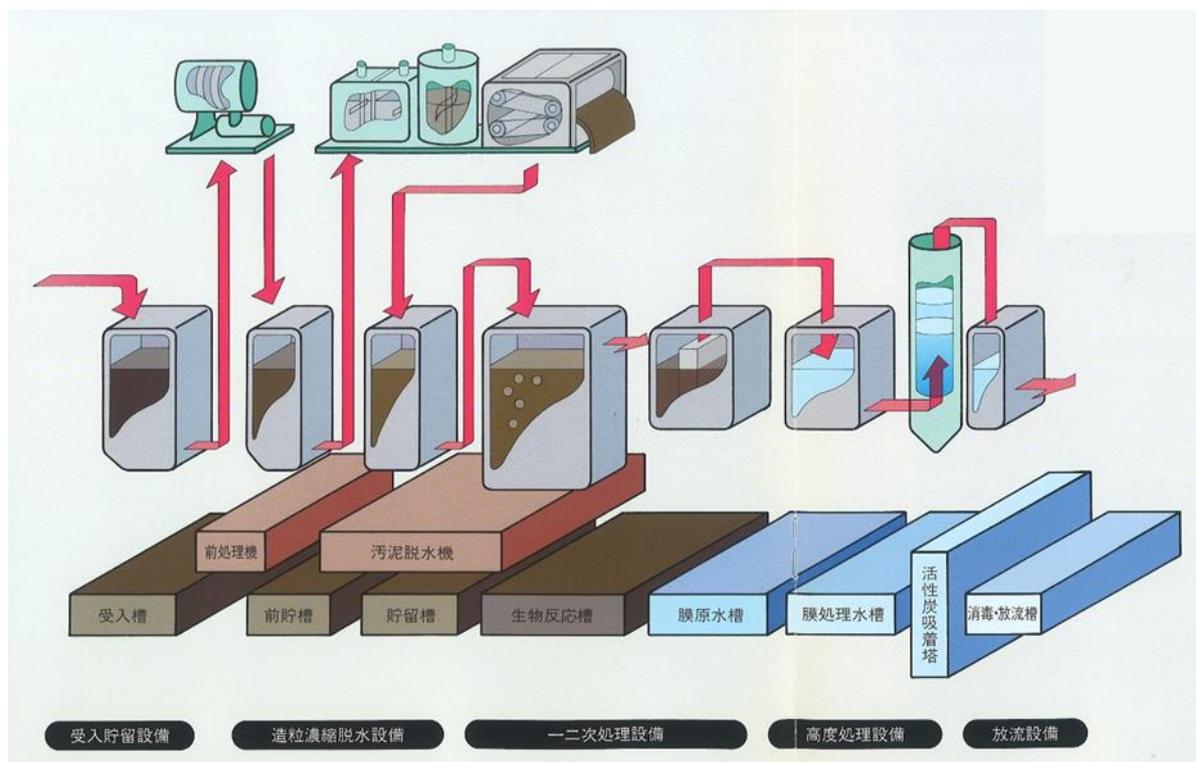
チューブラ型 UF 膜装置

### 3. 浄化槽汚泥対応型し尿処理の推進

近年、生活環境の改善の一環としてトイレの水洗化が急速に進んでいる。下水道が整備されていない地区での水洗化は、浄化槽で対応されることとなる。この浄化槽は、定期的に余剰汚泥を取り除く必要があるが、取り除いた汚泥は、し尿処理施設に収集され処理される。したがって、必然的に汲取りし尿が減少し、浄化槽汚泥の占める比率が高まることになる。

この現状に対応するため、栗田工業は平成4年(1992年)より廃棄物研究財団のヒューマンサイエンス基礎研究事業に参画し、A社とB社との共同研究に着手した。平成6年に浄化槽汚泥対応膜分離技術「Jシステム」を開発した。

これは浄化槽汚泥に凝集剤を添加して造粒・分離脱水し、固形物除去を行ったのちに生物処理を経て、浸漬膜で浮遊物質の分離処理をし、最後に活性炭吸着するもので、埼玉県T清掃施設組合の施設で実証試験を実施し、平成7年に厚生省国庫補助金事業として兵庫県H衛生事務組合より1号機を受注した。



Jシステム

## 4. し尿処理関連技術の開発

### 1) 生ゴミバイオガス化

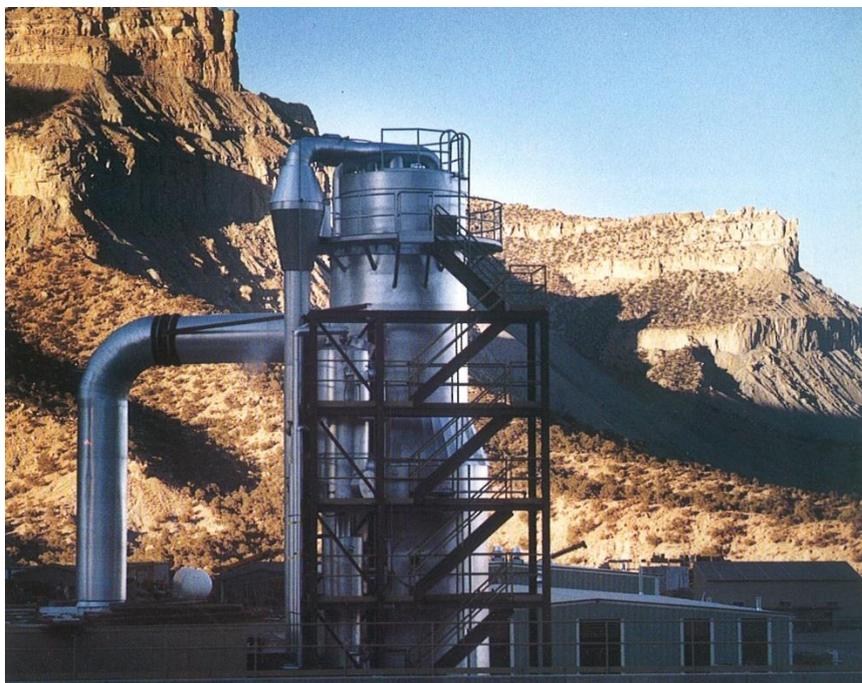
栗田工業は廃棄物研究財団による廃棄物資源化循環システム「メビウスシステム」の開発に関連 6 社とともに参画し、し尿や浄化槽汚泥に加え下水・農業集落排水汚泥、民間の有機汚泥、畜産排水、生ゴミや飲食店残飯などを一括処理する「高速メタン発酵を用いた汚泥再生処理技術」を開発した。平成 10 年に処理センター対応実証試験を行い、同財団の技術評価を取得した。

### 2) 脱塩

し尿処理の処理対象は、夾雑物、BOD 成分、COD 成分、窒素成分、りん、色度成分である。地域事情により、追加の処理対象成分や、処理対象成分の濃度低減を要求される場合がある。

平成 13 年、徳島県 A 衛生組合へは排水蒸発・結晶化装置を適用し、放流水中の塩化物除去を実現して、放流水の農業用水利用を可能にした。

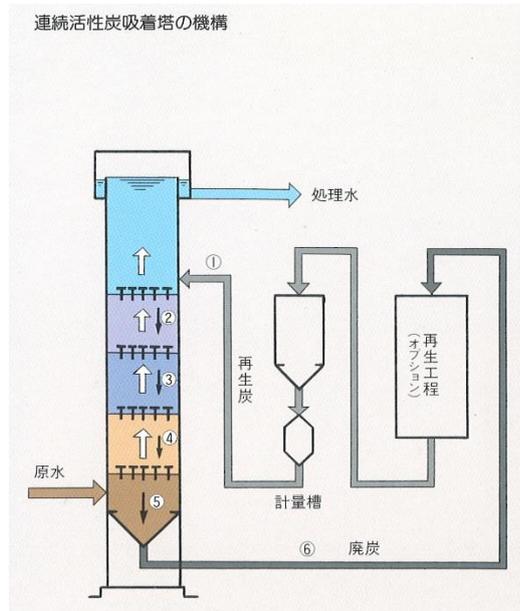
また、平成 19 年受注の三重県 T 広域連合の BOD、COD、SS、アンモニア性窒素の放流基準値は厳しい要求であったが、前述した A 衛生組合での処理水水質実績を踏まえ、同じく排水蒸発・結晶化装置を適用して、放流基準値を満足させた。



排水蒸発装置

### 3) 多段流動床活性炭吸着装置

活性炭吸着塔として一般的に固定床が使用されてきたが、実績を多数有する連続式多段流動床活性炭吸着装置（連続式アクティブリファイナー）をし尿処理に適用し、普及させている。この装置は、装置自体が小さく、活性炭吸着率が高く、操作性が容易なものである。



## 5. 汚泥処理の高度化と減容化

### 1) 脱水機の開発

従来、汚泥脱水の前処理方式としては塩化第二鉄や消石灰が使用されていた。その後、主としてビニル重合を用いた水溶性高分子凝集剤の開発により、ベルトプレス型脱水機や遠心型脱水機が広く用いられるようになった。

栗田工業でもいち早くこの技術動向に着目し、昭和 49 年(1974 年)にスポンジロールを使用したベルトプレス型脱水機(MSP フィルター)を開発した。次いで昭和 51 年に遠心脱水機(AP 型遠心脱水装置)の商品化に続いて、昭和 53 年には西独(現・独)・パサバント社からの技術導入により高圧ベルトプレス型脱水機(ハイドプレス)を発売した。このハイドプレスは、豊富な高分子凝集剤の技術を活かしたことで脱水性能が飛躍的に向上し、ベストセラーとなった。ハイドプレスの特徴として、カバーの設置により密閉性が向上し臭気対策が容易となっていること、耐食性向上のため水側壁部などの主要材質はステンレス鋼で耐久性に優れていることなどが上げられる。また、箱型の構造で汚泥のはみ出しやろ液・洗浄水の飛散がないため、作業環境を清潔に保つことができる。

環境保全への取り組みは、中小規模の排水処理施設用機器においても例外ではなく、平成 9 年には、ベルトプレス型が中心であった小型脱水機市場向けに汚泥造粒調質技術と円板モジュール脱水技術とを組み合わせた多重円板型脱水機(クイックローダー)を開発・発売した。同機は自己クリーニング構造を持つことで洗浄水を不要とし、汚泥の変動にも安定した脱水効果を示し、併せて低騒音、省エネルギーも実現。スキッド上にコンパクトに搭載していることから、据付けも簡単で、操作の簡易性により容易な運転管理を可能にした。



脱水機

## 2) 難濃縮化・難脱水化への対応

水処理における汚泥は、排水に含まれる有機・無機物質の除去処理によって発生するが、「減容化」とはその汚泥発生量を低減させるもので、脱水システムの改良による脱水ケーキの含水率を低下させる減容化と生物分解による減容化がある。

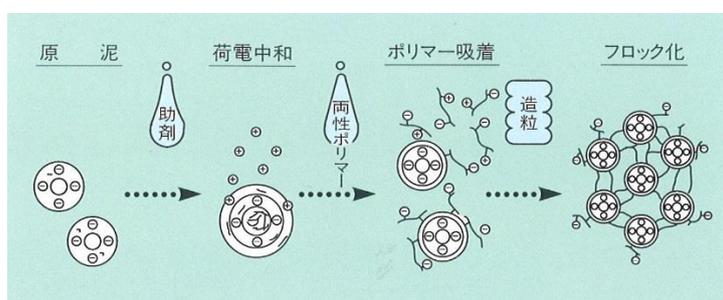
通常、汚泥の濃縮は汚泥処理プロセスの要ともいえる導入部に位置しており、濃縮の良否が後続プロセスや前段の水処理プロセスへ大きな影響を及ぼす。そのため、効率的で安定した新しい汚泥処理システムが求められている。

汚泥の濃縮法としては、従来、自然沈降による重力濃縮方式が主流であった。しかし分流式下水道の普及や食生活の変化により汚泥の性状も変化してきており、従来法では濃縮汚泥濃度や浮遊物質回収率が低下するなど十分な性能が得られない状況が増え、最近では遠心濃縮や加圧あるいは常圧浮上濃縮といった機械濃縮方式を採用する処理場も多くなってきた。

## 3) 造粒濃縮調整システム

平成元年(1989年)に従来の濃縮プロセスを一切必要としない特長的な汚泥処理システム「造粒濃縮法」を開発した。その処理プロセスは、まず水処理プロセスから発生した未濃縮汚泥に金属塩助剤(無機凝集剤)を添加。これにより汚泥のもつ負電荷を中和して、造粒フロックの核をつくるための汚泥改質を行う。次に改質された汚泥を特殊な凝集反応槽で両性高分子凝集剤により凝集させて攪拌。槽内壁面での転がり作用と混合・付着作用を繰り返すことによって造粒させる。このときに分離水だけを系外に排出することで濃縮も同時に行われる。最後に造粒濃縮によってペレット状になった脱水性のよい汚泥を脱水機で直接脱水する。

本システムでは、金属塩助剤を用いるため汚泥中のリンの固定化が可能となり、高度処理として実用化されはじめた生物学的リン除去法(嫌気好気活性汚泥法)から発生する余剰汚泥に対しても有効な処理技術である。本装置を応用して、し尿処理の直接脱水方式に適用している。



造粒濃縮機構



造粒汚泥

## 6. 資源化

平成に入り循環型社会形成推進という国の目標を受け、し尿処理施設整備事業制度も大きな変革期を迎えた。平成 9 年度からは単なる処理施設ではなく資源循環施設、いわゆる汚泥再生処理センターとする補助制度が採択され、資源化技術は必須条件となった。このような背景から、下記に示す設備等が納入されるようになった。

### 1) 汚泥肥料化（スラッジロースター）

スラッジロースターは汚泥の再資源化という観点で開発され、脱水汚泥の水分を完全に除去した後、さらに加熱を継続することにより有機分を分解、結合反応をさせ安定化させる。特長は、わずか 1 日で有機汚泥を農地還元に適した品質に改質し、原料の含水率や気象条件に影響されず、常に安定した品質の製品を得ることができることである。

完成した肥料は、速効性と遅効性の肥料効果を合わせ持ち、長期間保存しても悪臭、カビが発生せず、粒上で適度な硬さを保ち、ハンドリングに優れている。1 号機として平成 13 年、千葉県の K 衛生組合に納入され、他のし尿処理施設にも納入されている。

### 2) コンポスト化

コンポスト装置は多彩な方法があるが、ロータリーキルン型発酵装置では脱水機にフィルタープレス等を採用し、余剰汚泥等を脱水、汚泥の水分を 70%以下とし、コンポスト製品を返送して成分調整(50～56%)を行い、回転型の発酵装置に給泥する方法であり、平成 11 年に長崎県 T 保健福祉組合の汚泥処理として納入されている。本方法では脱水設備は大型化するが、コンポスト装置はコンパクトで空気源として温風を送り、密閉化構造であり、臭気対策は容易となる。

一方、自然エネルギー(太陽光)を利用したコンポスト装置を平成 16 年に熊本県 K 衛生施設組合に納入した。装置は原泥としては直接脱水汚泥を副資材や返送コンポストで水分調整された混合汚泥を使用してコンポスト化するもので、自社開発された全天候屋内(全面透明板)方式で太陽をエネルギーとして有効利用しているので、供給空気を加温する設備を設けてはいるが、使用はしていない。運転では 2 系列のスクープ方式で 1 日 1 回繰り返し運転をおこなっている。製品は自動で袋詰め後、地元へ還元し有効活用されている。

### 3) 汚泥助燃剤化

脱水汚泥の水分を 70%以下にすることでごみ焼却施設での助燃剤として利用することができるとして、交付金対象事業となった。脱水汚泥を水分 70%以下にする方法としては、フィルタープレス脱水機やスクリーンプレス脱水機等の使用が考えられ、前者は主として余剰汚泥等に対応される方式であることに対し、後者はし尿等を直接脱水する方式と大きく区分される。近年は浄化槽汚泥の増加に対応して直接脱水後の下水放流も増加してきている。

それに対して、し尿処理施設及び汚泥再生処理センターにおける前脱水処理(搬入浄化槽汚泥等の直接脱水)への適用を可能とすべく、高効率脱水システム(ダブルウェッジシナジープレス〔造粒濃縮機+特殊ワイヤーバレル式スクリュープレス脱水機等〕)の実証試験を平成27年に静岡県F施設で実施、脱水汚泥の水分70%以下や各水質の除去率等についても、一般財団法人日本環境衛生センターの評価を得ている。本装置は、平成28年に(株)クリタスで受注した埼玉県H施設にも採用されている。

#### 4) 油温減圧式乾燥システム(天ぷら法)

脱水汚泥を直接、加熱した油に投入し、減圧条件下で処理することが本システムの最大の特徴である。油は水よりも沸点が高いため、原料の水分が除去された後も常に流動性が保たれ、水分の蒸発を効率的に行うことが出来る。また、この操作を減圧条件下で行うため、さらに効率的に行うことが可能となっている。

生成される製品は油分の含まれる肥料として、有効利用が図られ、さらに使用する油は食用油を標準としているため、廃油の有効利用にも役立つことが出来るシステムである。平成17年に、岩手県M衛生処理組合へ納入されている。



油温減圧乾燥処理装置

## 7. 装置の保守・運転管理

昭和 40 年代半ばに規制が強化されたことも加わり、公害防止装置の設置数は飛躍的に増大した。これに伴い当時、排水規制の強化や水処理装置の大型化・高度化が進み、豊富な知識と経験をもつ専門家による運転管理業務の重要性が増大の一途をたどっていった。そこで昭和 50 年 4 月に栗田水処理管理(株)を設立し、栗田工業の納入した水処理装置の運転・維持管理を専門に行うことになった。

その後、昭和 63 年 3 月に栗田水処理管理(株)は栗田工業の 100%出資の関連会社となり、当初は地域別にあった会社を平成 9 年に(株)クリタスに統合した。

そして、平成 18 年以降には官公需連市場における建設工事業については既納入施設の維持管理、運転管理、メンテナンスを(株)クリタスが継続して対応することとした。

(株)クリタスでは施設の性能を効率的かつ長期的に発揮させるために、ストックマネジメントを活用した設備管理システムの運用や社内管理検定による運転管理品質向上を図っている。また、各種遠隔監視システムを用いた常時監視をラインナップし、多彩なニーズに適応できるようにしている。

さらに、従来の装置の保守・運転管理は、安心安全な稼働を主目的としていたが、多くの施設がインフラ施設としての老朽化問題に直面してきている現在、将来にわたって地域の住民サービスをどのように継続させていくのかといった視点が重要になってきている。そういった状況から、従来の設備ごとの修繕では最適な施設像の達成が難しく、搬入物基質や搬入量の変化等のニーズを取り込み、トータルコーディネートに基づいた延命工事が必要になっている。

(株)クリタスでは、延命工事時に地域のし尿処理の停滞を招かぬよう、処理を継続しながらの最適な工法を、運転管理や補修、工事のノウハウを総合的に取り込んで構築している。

以 上

## 1. し尿衛生処理の勃興と普及

三機工業のし尿処理とのかかわりは、第二次大戦後における公衆衛生の悪化とその後のわが国の制度・法令等の整備によるし尿の衛生的処理化の流れに沿って始まったといえる。

当社のし尿処理事業は、1952年（昭和27年）に東京都砂町にし尿消化槽の施工を行うことから始まった。また1954年（昭和29年）に、わが国初のし尿処理場（処理量4kL/日）を諏訪市に納入したのを皮切りに、昭和30年代前半には札幌、逗子、新潟、燕、下仁田、富岡、桐生、常盤、夕張、砂川、釧路、津、立川昭島、熊谷、青梅のし尿処理場を相次いで施工納入した。加えて1961年（昭和36年）神戸（東部：処理量360kL/日）および札幌（雁来：処理量250kL/日）、1963年（昭和38年）小倉戸畑（処理量273kL/日）などの大規模施設を含めて、昭和30年代のし尿処理場施工納入実績は、全国60ヶ所に及んだ。

当社におけるし尿の衛生処理技術は、し尿消化槽を用いた嫌気性消化処理方式が主であり、その技術は当時米国ドル・オリバー社との技術援助契約のうちの水処理技術を基盤としたものであった。このドル式嫌気性消化方式は旧厚生省の「し尿処理施設構造指針」にも採用されている。1956年（昭和31年）には、嫌気性処理後の一次処理水を二次処理するための散水ろ床と沈殿槽の組み合わせによるバイオフィルター方式を開発した。さらに、1963年には当社初の化学処理方式による施設を札幌市に開発納入するなどの成果によって、当社し尿処理事業の最盛期を形作った。

昭和40年代後半以降、下水道の普及に伴って終末処理場による処理が増加していき、当社し尿処理事業も年々下降気味となっていく。しかしながら、1965年（昭和40年）消化槽ガス攪拌装置の開発、1974年（昭和49年）小規模酸化処理方式の開発、二次処理における散水ろ床法から活性汚泥法への転換など技術の改善に努めてきた。

## 2. 環境問題への対応

1970年（昭和45年）に水質汚濁防止法が制定されて以来、公共用水域の水質汚濁などの環境問題への対応が要求されるようになり、放流水の水質改善に対応する必要がでてきた。このため処理施設建設にはBODのほかにCOD、SS、色度等の高度処理が求められる事例が多くなり、凝集沈殿処理、オゾン酸化処理、砂ろ過処理、活性炭吸着処理等の組み合わせによる高度処理の導入が進められた。さらに、公共用水域における富栄養化防止も社会的な課題となり、従来の嫌気性消化処理方式による有機物の除去のみではなく、窒素除去のための技術開発が迫られることになった。

こうした社会的情勢を反映して三機工業では、し尿中のBODを栄養源として生物化学的

に BOD と窒素を同時に除去する標準脱窒素方式となる「三機バイオデニプロセス」を 1981 年（昭和 56 年）に開発して市場導入した。

これは、微生物によりし尿中のアンモニアを酸化して亜硝酸、硝酸の形にする。この硝酸化された液を多量に循環し、生し尿と混合、攪拌することにより、BOD と窒素を同時に除去する循環式脱窒素技術となる。BOD は微生物の栄養源として消費（除去）され、亜硝酸、硝酸はその酸素分子が微生物の呼吸作用に利用されることにより、還元して無害な窒素ガスとして大気に放散（除去）されるものである（図 1 参照）。

1983 年（昭和 58 年）には、甲賀にて消化槽を脱窒素槽および第二脱窒素槽に転用し、嫌気性消化処理方式を標準脱窒素処理方式へと改造し納入した。その際の高度処理としては、凝集沈殿処理、砂ろ過処理、活性炭吸着処理を組み合わせた施設とした。

また、昭和 60 年（1985 年～）代には山形、清水と相次いで標準脱窒素処理方式の施設を施工納入した。その処理能力を表 1 に示す。

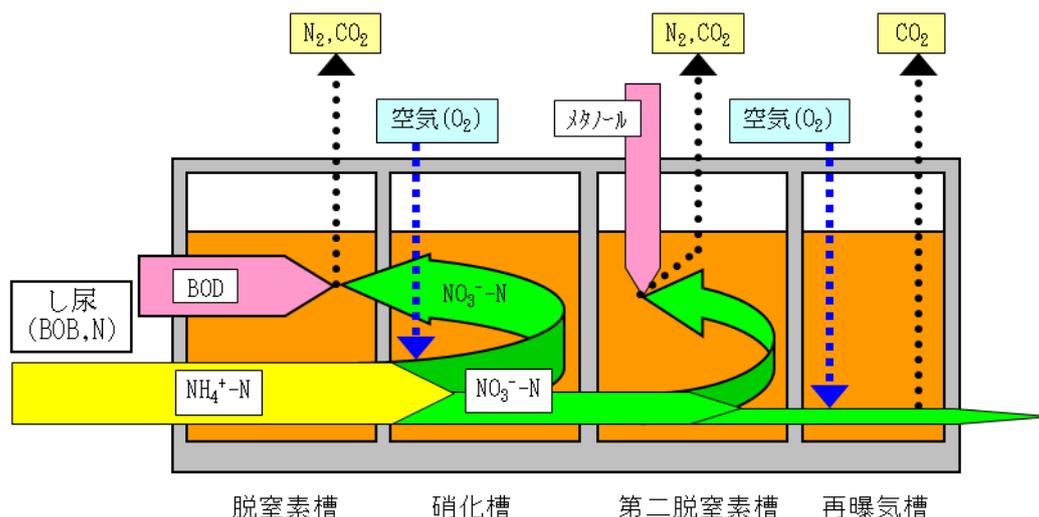


図 1 三機バイオデニプロセスの処理フロー

表 1 標準脱窒素処理方式の納入施設例

	山形	清水
計画処理量	220kL/日	200kL/日
処理方式	標準脱窒素処理方式(2系列)	標準脱窒素処理方式(1系列)
(高度処理)	凝集沈殿+オゾン酸化+ 砂ろ過+活性炭	凝集沈殿+オゾン酸化+ 砂ろ過
竣工	昭和 63 年 7 月	平成 3 年 3 月

1970 年代後半には、希釈水の入手困難や建設用地の広さ制限、放流先での量的な規制などの理由から節水型でコンパクトなし尿処理施設の要望が高まっていった。この要望を満

たすため、希釈水などの用水量を極力少なくし、単位容積当たりの汚泥負荷を増加させ、高濃度活性汚泥で処理を行う高負荷脱窒素処理方式や膜分離高負荷脱窒素処理方式が開発・実用化されていった。

当時、当社では浴室や洗面所などの排水を高度処理し、便器洗浄用水や散水用水などとして再利用するための中水道設備の新しいシステム（膜分離活性汚泥法）を開発し、1980年（昭和55年）に1号機を納入している。これは、技術提携していた米国ドル・オリバー社の限外ろ過膜（UF膜）による膜分離技術によるもので、ビル排水再利用システム（MSRシステム）と称されるものである。この時の膜分離装置は、キャニスターと呼ばれるSUS製の箱内にUF膜が設置された槽外設置型の装置であった。この膜分離技術を下水や産業廃水などの処理に転用することも試みられたが、し尿処理への導入には至らなかった。

### 3. 循環型社会形成への対応

1990年代には、廃棄物の減量化と再生の推進、廃棄物の適正処理の推進が求められる時代となり、し尿処理においても衛生処理のみならず循環型社会形成に寄与する施設が求められるようになった。このため、し尿や浄化槽汚泥に加えて生ごみなどの有機性廃棄物の受入と汚泥堆肥化やメタン発酵などの資源化を行う汚泥再生処理センターへの変換と対応技術の開発が必要となった。

当社では、資源化技術としてし尿処理汚泥と生ごみの混合メタン発酵技術とリン回収技術について他社と共同技術開発を行った。

混合メタン発酵技術は、財団法人廃棄物研究財団による廃棄物処理技術評価第14号「し尿処理汚泥等の廃水処理汚泥及びその他有機性廃棄物の混合メタン発酵処理技術—湿式粉碎選別機とメタン発酵槽を組合わせた方式—」を、当社含めた5社にて1999年（平成11年）に取得している。このシステムはREMシステムと称されるもので、その特徴は生ごみなどの有機性廃棄物に含まれている発酵不適物を高効率に選別・除去し高濃度スラリーを生成する湿式粉碎選別装置（バルパー）と、発生ガスの圧力を利用した無動力攪拌方式による中温メタン発酵槽（BIMA発酵槽：図2参照）の組み合わせにより、効率的メタンガスの回収と固形物の減量化が図れるシステムとなっている。

2006年（平成18年）に廃棄物処理技術評価第14号をベースにした設備を甲賀（処理量185kL/日、生ごみ200kg/日）に納入した。ただし、搬入する生ごみが、200kg/日と少ないことや公立病院の調理残飯であり金属類等の発酵不適物の混入が少ないことから、湿式粉碎選別機を用いずに小型の圧縮分別機を導入した。甲賀における資源化設備は、浄化槽汚泥とし尿処理汚泥を混合・濃縮した汚泥と生ごみをメタン発酵によりガス化し、汚泥乾燥機や温水ヒータの燃料として利用するとともに、発酵後の汚泥を汚泥乾燥機で肥料として有効利用するシステムとなっている（図3および図4参照）。

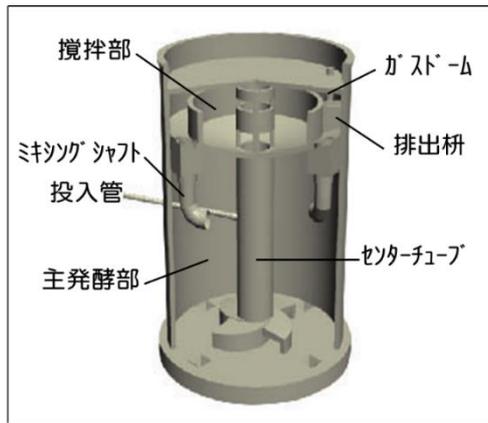


図2 メタン発酵槽の構造

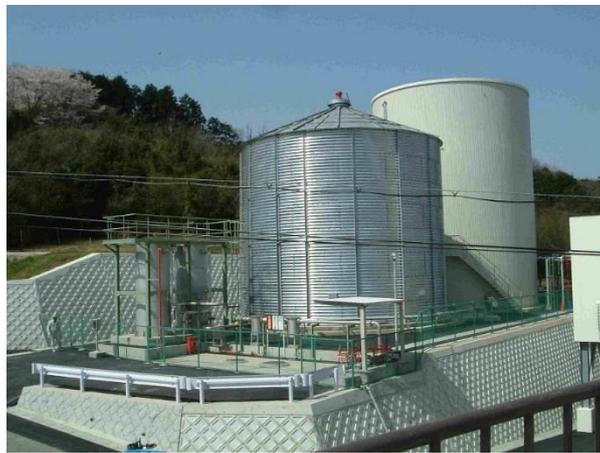


図3 メタン発酵槽：900m<sup>3</sup>（奥）とガスホルダー

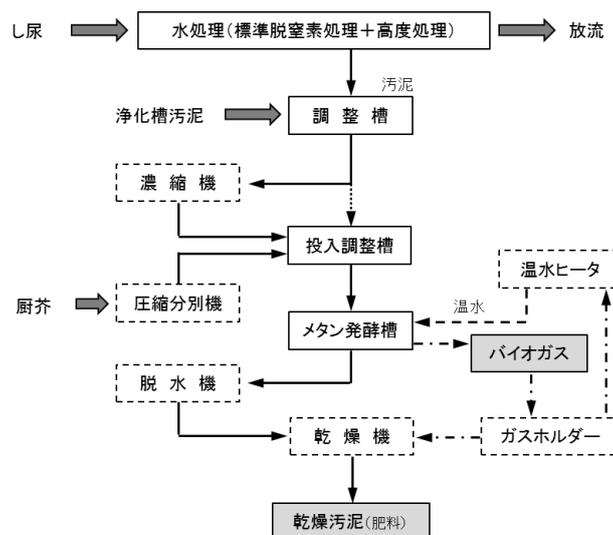


図3 混合メタン発酵による資源化概略フロー

リン回収技術は、2004（平成 16 年）に一般財団法人日本環境衛生センターによる廃棄物処理技術検証第 5 号「MAP 法によるリン回収資源化システム」の交付を、当社含めた 9 社にて受けている。これは、し尿および浄化槽汚泥を前処理する段階でマグネシウム剤を添加し、アンモニアの存在下でし尿等に含まれるリン酸と反応させ、リン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）としてリンを回収・資源化する技術である。

また、自社開発技術ではないが資源化設備として汚泥炭化技術を導入した汚泥再生処理センターを、2006 年（平成 18 年）南豆（処理量 43 k L/日、内漁業集落排水汚泥 3.2kL/日）に施工納入した。この汚泥炭化設備は、し尿処理汚泥を脱水・乾燥後に 2 段式の外熱式ロータリーキルンで約 600℃で乾留して炭化するもので（図 5 参照）、炭化品は、肥料やゴルフ場の融雪剤などとして有効利用されている。

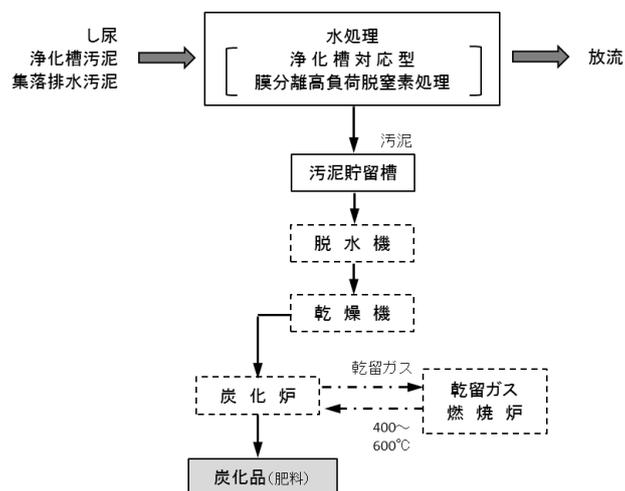


図 5 汚泥炭化による資源化概略フロー

#### 4. さいごに

三機工業では、戦後のし尿衛生処理の流れに沿い、その勃興期において全国に多くのし尿処理場を施工納入してきた。昭和 40 年代後半頃よりその事業規模は縮小していったが、社会的情勢にあった技術の改善・開発にも努めてきた。

ここ最近では、新規施設の納入実績は無いが、関連会社である三機化工建設において既存納入施設の維持管理業務や点検・補修・改造工事などを継続して行っている。それらの中で、施設の長寿命化や地球温暖化対策に即した基幹的設備改良への要望が高まっており、これもし尿処理に対する社会的情勢の一つとして捉え、その対応にも取り組んでいる。

—参考文献—

- 1) 三機工業株式会社社史編纂室編：三機工業七十年史 1925-1994, (1995)
- 2) 桜井敏郎：し尿処理技術の発展, 生活と環境, 平成 12 年 12 月号, P.76-81 (2000)
- 3) 松田圭二, 岩堀恵祐：し尿・汚泥集約処理システムの史的背景と処理技術の変遷, 用水と排水, 2016 年 6 月号, P.41-56 (2016)

## し尿処理技術の歴史

2018年3月

J F Eエンジニアリング株式会社

### 1. はじめに

当社が本格的にし尿処理に参入したのは、指針外施設技術の開発で「ディープシャフトによる一段活性汚泥法」を行った、1985年（昭和60年）からである。それ以前は協力会社と連携して、標準脱窒素処理施設、高負荷脱窒素処理施設、し尿処理の改造等を行っていた。その後、し尿処理技術の変遷とともに、高負荷膜分離処理施設、浄化槽汚泥対応型膜分離施設の建設を行った。さらに汚泥再生処理へと技術が変更され各種の方式で建設を行った。

### 2. 標準脱窒素処理方式

し尿の嫌気性消化方式以降で代表的な処理方式である標準脱窒素処理の100kℓ/日施設を龍ヶ崎地方衛生組合殿より受注し、1980年（昭和55年）に納入した。その後、岡山県西部衛生施設組合殿より210kℓ/日施設を受注し、1988年（昭和63年）に納入した。

1) 標準脱窒素処理方式及び改造等の納入実績を表1に示す。

表1 標準脱窒素処理方式及び改造等の納入実績

竣工西暦	竣工元号	納入実績	処理量 (kℓ/日)	処理方式
1980年	昭和55年	龍ヶ崎地方衛生組合殿（茨城）	100	標準脱窒素処理
1981年	昭和56年	佐土原町殿（宮崎）	984	地域し尿処理施設
1982年	昭和57年	岡山県西部衛生施設組合殿（岡山）	170	三次処理
1983年	昭和58年	日野市殿（東京）	60	改造（嫌気→標脱）
1984年	昭和59年	日野市殿（東京）	50	改造（嫌気→標脱）
1984年	昭和59年	川崎市殿（神奈川）	500	受入貯留設備
1987年	昭和62年	津市他四箇町村衛生施設利用組合殿（三重）	150	二次処理
1988年	昭和63年	岡山県西部衛生施設組合殿（岡山）	210	標準脱窒素処理
1999年	平成11年	栗野町吉松町衛生処理組合殿（鹿児島）	25	標脱改造
2002年	平成14年	八王子市殿（東京）	230	標脱整備

### 2) 標準脱窒素処理方式のフローシート

代表的な標準脱窒素処理方式のフローシート例を図1に示す。

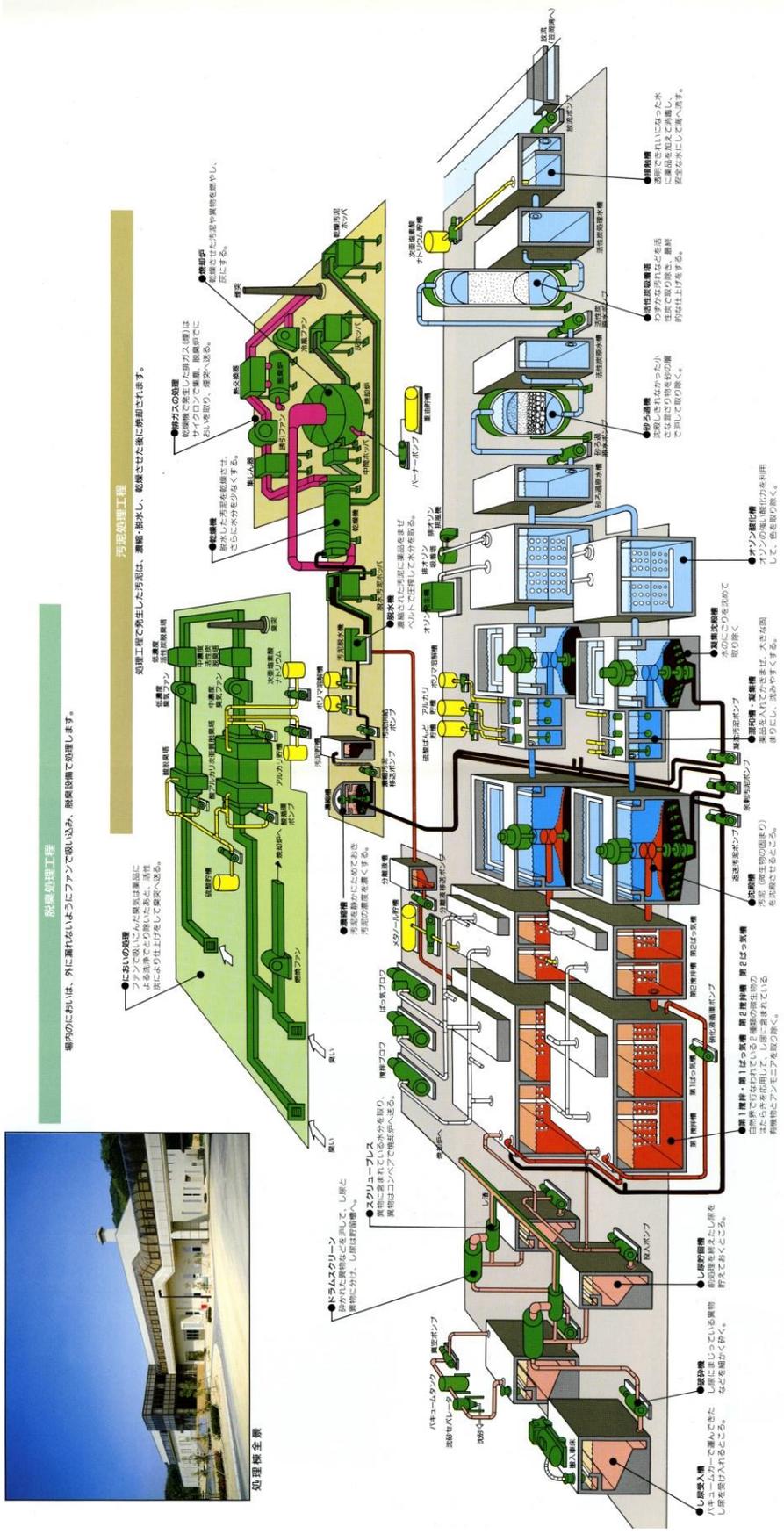


図1 標準脱窒素処理フローシート

## 2. 指針外施設技術の開発「ディープシャフトによる一段活性汚泥法」

本格的にし尿処理市場に参入するために、指針外施設技術の自社開発を行った。1985年10月（昭和60年）に社団法人全国都市清掃会議により「指針外施設評価基準」により評価NO.9を受けた。

### 1) 実証試験施設の概要

設置場所：龍ヶ崎地方衛生組合安代衛生センター内

規 模：10k1/日（除さし尿）

### 2) 実証試験施設のフローシート

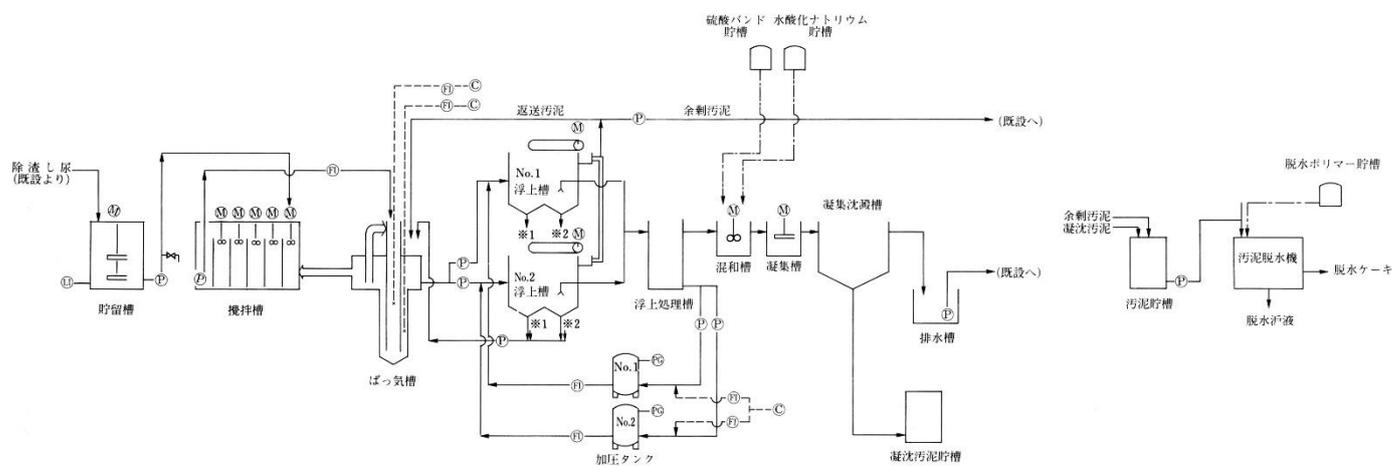


図2 実証試験施設フローシート

### 3) 処理概要

「ディープシャフトによる一段活性汚泥法」は、硝化液循環式の脱窒素活性汚泥法で特に希釈水を用いることなく攪拌槽、ばっ気槽で一段活性汚泥処理し、浮上槽で汚泥を分離する。攪拌槽では循環液中の硝酸性窒素がし尿中のBODの存在下で脱窒素除去され、ばっ気槽ではアンモニア性窒素が硝酸性窒素に硝化される。本プロセスでは循環液量を増加させることにより処理水の硝酸性窒素を減少させ攪拌槽、ばっ気槽各一段で所定の水質が得られる。

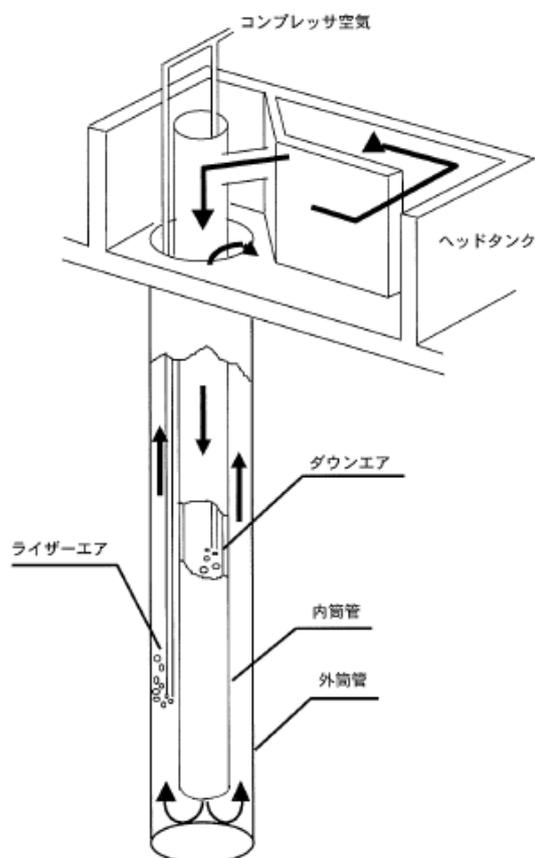
ディープシャフト内では、ばっ気によるエアリフト作用で大量の循環流が保たれており、この一部を攪拌槽へ分流させることにより大量の循環液が循環ポンプなしで得られる。

ディープシャフトから攪拌槽へ流入する循環液は、高濃度の溶存酸素と多量の微細気泡を含んでいるため攪拌槽前半部分は好気-嫌気遷移ゾーンとなっており硝化と脱窒素が同時に進行している。このためばっ気槽の負荷が軽減し、一段の脱窒素工程にもかかわらず、全窒素が低濃度化した処理水が得られる。

ばっ気槽流出液の一部は浮上槽へ流入し、ディープシャフト深部で溶解した窒素ガスなどが過飽和の状態から微細気泡となって汚泥表面に付着して析出するので汚泥は自然に浮上する。気泡の不足分は処理水を加圧水として戻すことにより補う。

浮上処理水中にはコロイド状の微細浮遊物質が残留しているので、これを除去するため硫酸アルミニウムを用いて凝集沈殿処理を行う。

ディープシャフトは図-3に示すように内部は二重構造となっており、内筒管と外筒管に分けられる。ディープシャフト上部にはヘッドタンクが設けられて気泡を分離する。槽内の液は内筒管を下降し外筒管を上昇する循環液を形成する。散気点より上部の内筒管は気泡を含まず、一方外筒管上部は気泡を多く含んでいるため液の見かけ比重が小さくなっている。この比重差によって、循環流が維持される。内筒管で散気された空気は循環流に乗って下方へ運ばれながら高い静圧により液中に急速に溶解込み活性汚泥に酸素を供給する。



液中への酸素の溶解込み速度は清水圧にほぼ比例するので、ディープシャフトの酸素供給能力は非常に大きくなり、活性汚泥の能力を最も活用できる。図3 ディープシャフト

#### 4) 納入実績

指針外施設技術の自社開発後、龍ヶ崎地方衛生組合殿より 102k1/日施設を受注し、1993年（平成5年）に竣工した。ディープシャフトの外径 1.6m×70m を実機施設建設し、始めて稼動した。

その後、ディープシャフト方式を高負荷脱窒素処理方式として、始良郡西部衛生処理組合殿（西始良クリーンセンター）から 195k1/日（し尿 77k1/日、浄化槽汚泥 118k1/日）を受注し、2000年（平成12年）に竣工した。この施設の特徴は敷地面積が狭く、通常のばっ気槽では配置が困難であり、ディープシャフトの設置面積が小さい特色を活かした施設となった。ディープシャフトの外径 2.6m×70m×2 系列である。現在は浄化槽汚泥が増加しているが問題なく、安定運転を行っている。



### 3. 高負荷膜分離処理方式の技術提携契約

当社はし尿処理の膜技術のノウハウを得るために、1994年（平成6年）3月に三井造船エンジニアリング株式会社（現 三井造船環境エンジニアリング）との間で、限外ろ過膜法し尿処理技術「アスメックス」に関する技術提携契約をした。アスメックスは社団法人全国都市清掃会議の評価報告書 No. 22 である。

#### 1) フローシート

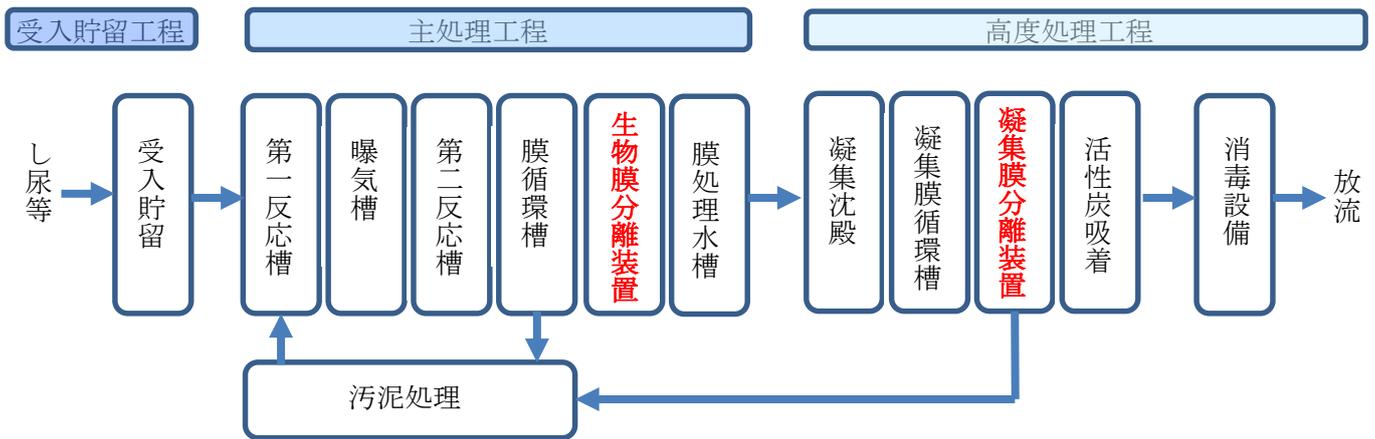


図5 アスメックスのフローシート

#### 2) 高負荷膜分離処理方式の特徴

- ・膜分離を採用することで、高濃度汚泥の固液分離が確実にでき、さらに硝化・脱窒素槽のMLSS制御が容易となる。
- ・大腸菌や有害微生物をほぼ完全に分離できるため、処理水の安定性は極めて高いものと言える。

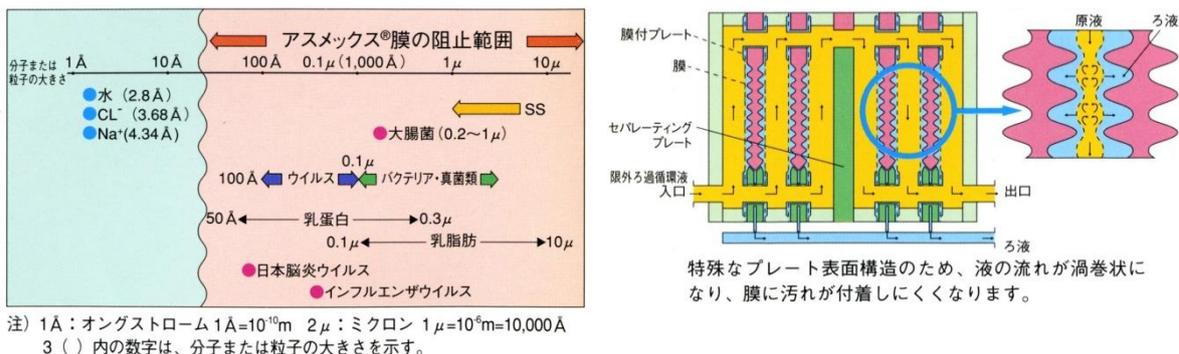


図6 限外ろ過膜のろ過性能とろ過機構

#### 3) 限外ろ過膜分離装置の改良

初期の限外ろ過膜は循環ポンプの動力が大きく、エネルギーコストが大きかった。その後改良を重ね省エネルギー化が促進した。型式とその特徴を表2に示す。

表2 限外ろ過膜装置の型式と特徴

型式	特徴
加圧式	当初の膜の型式で、循環ポンプが高圧、大容量で動力が大きい。透過水量が多く膜面積が小さい。
吸引式	散気により、クロスフローを維持する方式。省エネルギーであるが、透過水量が少なく膜面積が大きくなる。
循環吸引式（吸引併用式）	吸引と併用して、ポンプで循環することから大幅省エネルギーである。透過水量も比較的大きい。



図7 循環吸引式の膜モジュール

### 3) 膜分離高負荷処理方式の納入実績

膜分離高負荷脱窒素処理方式の納入実績を表3に示す。

表3 膜分離高負荷脱窒素処理方式の納入実績

竣工西暦	竣工元号	納入実績	処理量 (k $\lambda$ /日)	処理方式
1999年	平成11年	鹿島・藤津地区衛生施設組合殿（佐賀）	110	膜分離高負荷脱窒素処理
1999年	平成11年	薩摩郡東部衛生処理組合殿（鹿児島）	71	膜分離高負荷脱窒素処理
2000年	平成12年	三郡衛生組合殿（山梨）	61	膜分離高負荷脱窒素処理
2000年	平成12年	垂水市殿（鹿児島）	39	膜分離高負荷脱窒素処理
2001年	平成13年	河内長野市殿（大阪）	132	膜分離高負荷脱窒素処理

#### 4. 浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素処理方式（JAX プロセス）

近年、浄化槽の普及が進み、処理施設に搬入される浄化槽汚泥量がし尿量より多くなってきている。浄化槽汚泥は濃度が低いことから搬入量が増加すると性状、濃度も変動する。このような状況に対応するために、基本技術の「膜分離高負荷脱窒素処理方式（社団法人全国都市清掃会議昭和 61 年 2 月 17 日付け登録番号 22 号）（以下「基本技術」という。）の改良技術であり、浄化槽汚泥混入率が 50%以上のし尿の処理に適応可能な処理技術である。この技術は 1999 年 11 月に財団法人廃棄物研究財団より第 15 号の廃棄物処理技術評価を受けた。

##### 1) 基本技術と改良技術の相違点

基本技術のフローを図 8 に改良技術の処理フローを図 9 に示す。

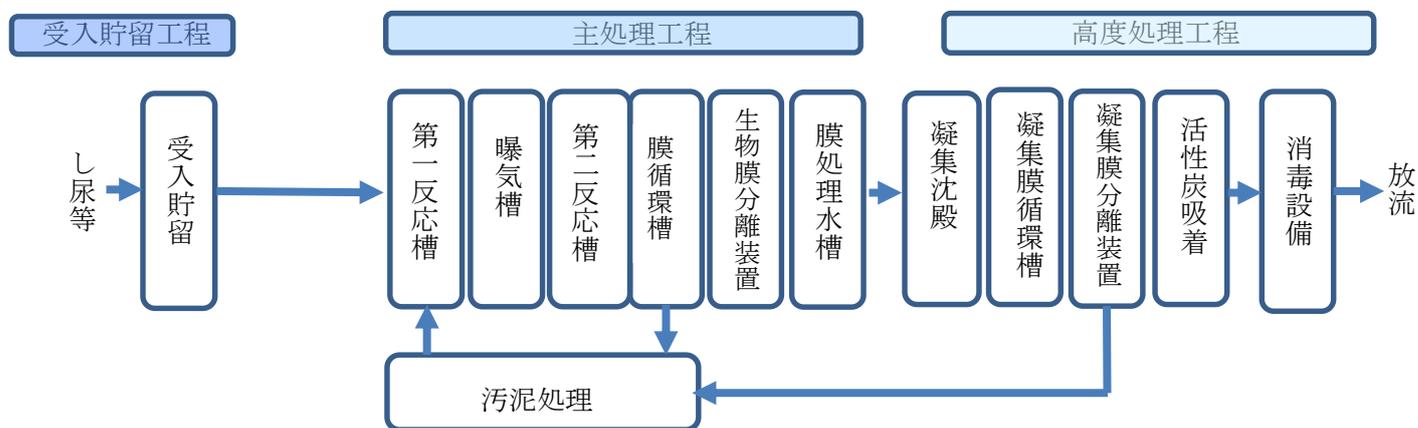


図 8 基本技術のフロー

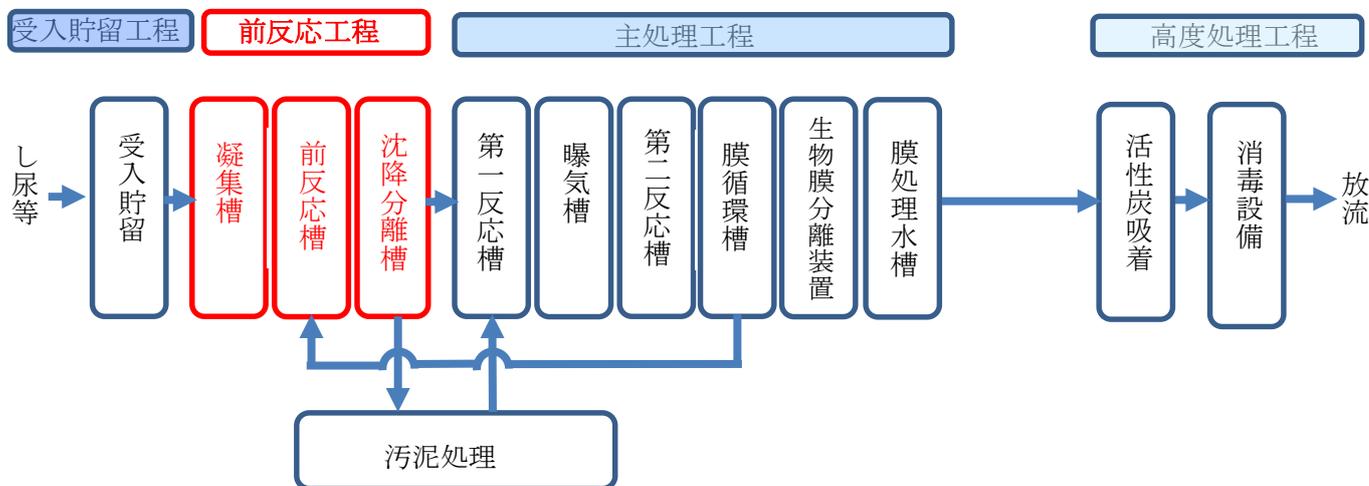


図 9 改良技術のフロー

改良技術と基本技術との相違点は以下のとおりである。

- (1) 改良技術は基本技術と異なり前反応工程を設置する。この前反応工程において、除さし尿等の凝集脱リン及び生物処理を行う。
- (2) 主処理工程に流入する原液は、基本技術における除さし尿等ではなく、前反応工程後の処理水とする。
- (3) 主処理工程において発生する余剰汚泥を前反応工程へ移送し、汚泥の引き抜き位置を前反応工程の沈降分離槽のみとなるように一本化する。
- (4) 高度処理工程においては、基本技術における凝集膜分離装置が不要となり、活性炭吸着処理で基本技術と同等の処理水質を得ることができる。

### 3) 実証試験の概要

設置場所：沼隈内海広域行政組合クリーンセンター内

規 模：1.0～1.5kl/日

実証期間：1997年（平成9年）12月～1998年（平成10年）10月

### 4) 前反応工程の除去率と設計基準

実証試験結果から前反応工程の除去率と設計基準を以下に示す。

表4 前反応工程における設計除去率

	BOD	COD	SS	T-N	T-P	n-ヘキサン抽出物質
除去率【%】	80	80	80	60	80	95

表5 主処理工程の設計基準比較

項 目		改良技術	基本技術
第一反応槽	BOD-MLSS 負荷 【kg-BOD/kg-MLSS/日】	0.17 以下	0.21 以下
曝気槽	T-N-MLSS 負荷 【kg-N/kg-MLSS/日】	0.05 以下	0.047 以下
第二反応槽	滞留時間 【日（対計画処理量）】	0.8	0.8
膜原水槽	滞留時間 【日（対計画処理量）】	0.5	0.5
運転 MLSS 濃度	【mg/l】	3,000～6,000	12,000～15,000
運転温度	【℃】	38 以下	38 以下

5) プロセスの特色と納入実績

浄化槽対応型膜分離高負荷脱窒素処理方式の特色を図 10 に、納入実績を表 6 に示す。  
また実際に納入したフローシートを図 11 に記載する。

**浄化槽汚泥対応型・膜分離高負荷生物脱窒素処理方式 (JAX)**

膜分離高負荷生物脱窒素処理方式を基本とし、浄化槽汚泥の混入比率が高い施設において適応するプロセスが「JAXプロセス」です。特徴としては、前処理でリン成分と有機物を除去することにより、後段の生物反応槽をコンパクトにし、膜分離装置は1段としています。これにより、建設費とランニングコストを低く押さえることができます。



**1 高効率な前処理プロセス**  
余剰汚泥の返送と凝集により、リン成分を効果的に除去することが可能です。

**2 安定した処理性能**  
前処理プロセスからの処理水質は、負荷が軽く安定しているため従来のプロセスより生物反応槽の維持管理が容易になります。



**3 低いランニングコスト**  
膜分離装置が1段のため、動力費が少なく経済的です。また、前処理プロセスにおいてシリカ系凝集剤を使用し、無機凝集剤の添加量を削減できます。

図 10 JAXプロセスの特色

表 6 浄化槽対応型膜分離高負荷脱窒素処理方式 (JAX) の納入実績

竣工西暦	竣工元号	納入実績	処理量 (k $\lambda$ /日)	処理方式
2003年	平成15年	吉城広域連合殿 (岐阜)	40	浄化槽汚泥対応型処理
2006年	平成18年	龍ヶ崎地方衛生組合殿 (茨城)	55	浄化槽汚泥対応型処理
2007年	平成19年	西豆衛生プラント組合殿 (静岡県)	44	浄化槽汚泥対応型処理
2008年	平成20年	霧島市殿 (鹿児島)	195	浄化槽汚泥対応型処理

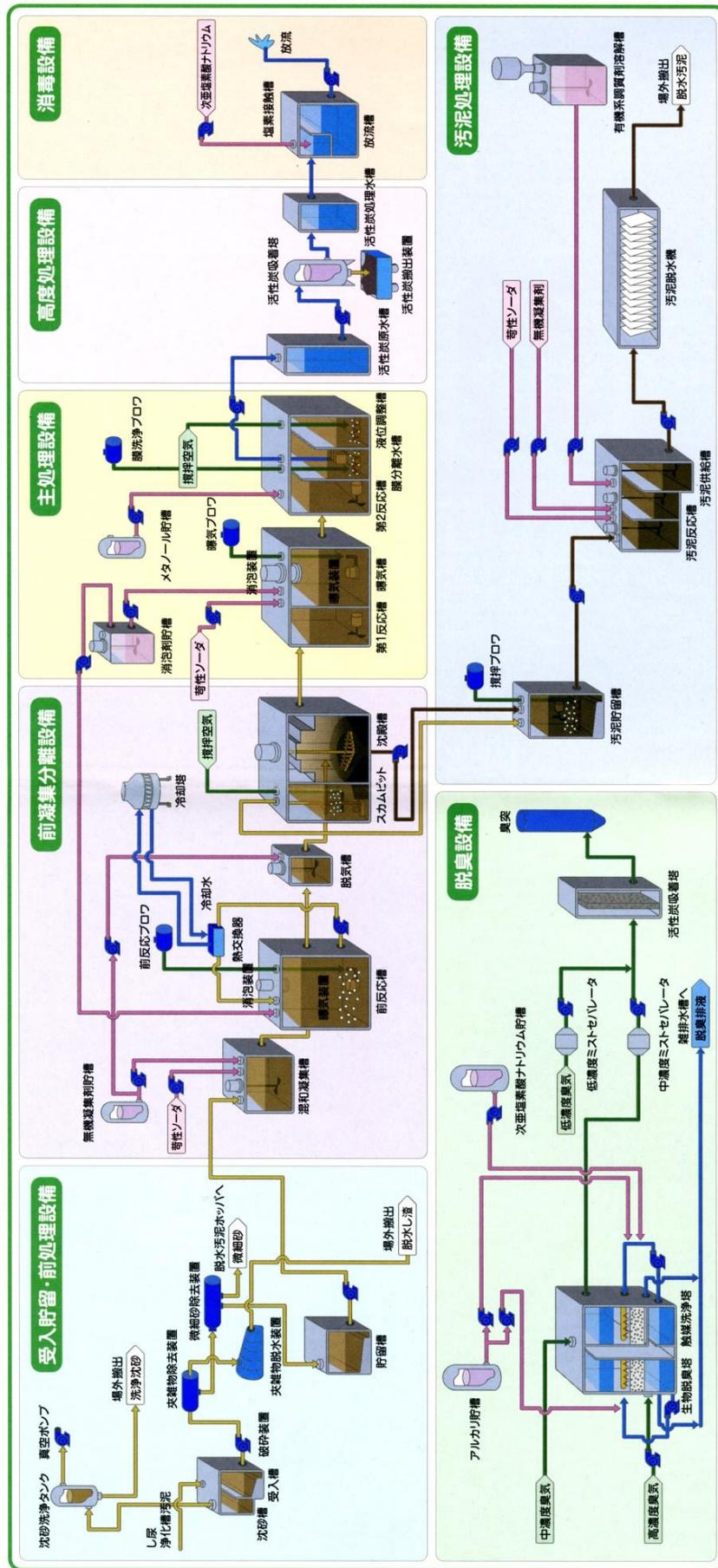


図 11 JAXプロセスのフローシート例

## 5. 汚泥再生処理センター

### I. メタン発酵システム

汚泥再生処理センター構想に対応する技術として、2000年1月に財団法人廃棄物研究財団より当社を含む7社が第23号の廃棄物処理技術評価（し尿処理汚泥等の廃水処理汚泥及びその他有機性廃棄物の混合メタン発酵—2段メタン発酵—）を受けた。本技術「リネッサシステム」は従来のし尿処理プロセスに、前処理装置及びメタン発酵装置等を含むメタン回収設備と汚泥再生設備からなる資源回収プロセスを付加した有機性廃棄物の処理技術であり、し尿処理等の廃水処理汚泥や生ごみ等の有機性廃棄物からメタンガス、コンポスト等の有価資源の回収を行うことが可能な技術である。

#### 1) メタン発酵のフロー

リネッサシステムのメタン発酵のフローを図12に示す。し尿処理プロセスに、中温と高温の2段メタン発酵槽と堆肥化装置等からなる資源回収プロセスを付加したシステムである。

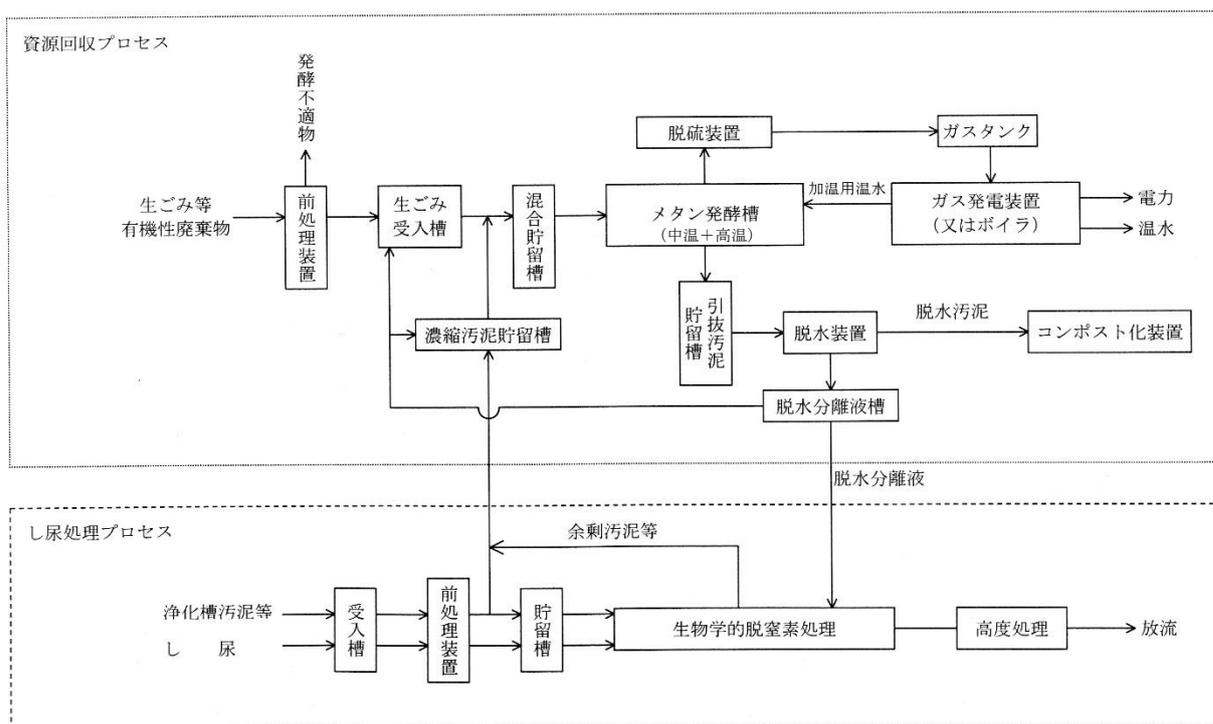


図12 リネッサシステムのフローシート

#### 2) 実証試験の概要

設置場所：上浮穴郡生活環境事務組合環境衛生センター内

実証期間：1998年（平成10年）5月～1999年（平成11年）2月

## II. MAP法によるリン回収資源化システム

昭和 61 年し尿処理施設の嫌気性消化槽で、配管に付着する白色スケールによる配管閉塞トラブルが度々発生し、このスケール成分がリン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）であることが判明したことから、スケール析出現象に着目した排水中のリン除去技術の開発が始まった。

平成 4～6 年にユニチカ(株)は日本下水道事業団と「汚泥処理返流水からの資源回収技術の開発」で共同研究を実施し、下水からのリン回収技術を実用化した。さらに、汚泥再生処理センターへの適応について当社とユニチカ（株）他 7 社で共同開発を実施し、平成 16 年 2 月財団法人日本環境衛生センターの「廃棄物処理技術検証事業」により認定され、検証結果書「廃技検 第 5 号」を取得した。

### 1) MAP法のフローシート

MAP法によるリン回収システムのフローシートを以下に示す。

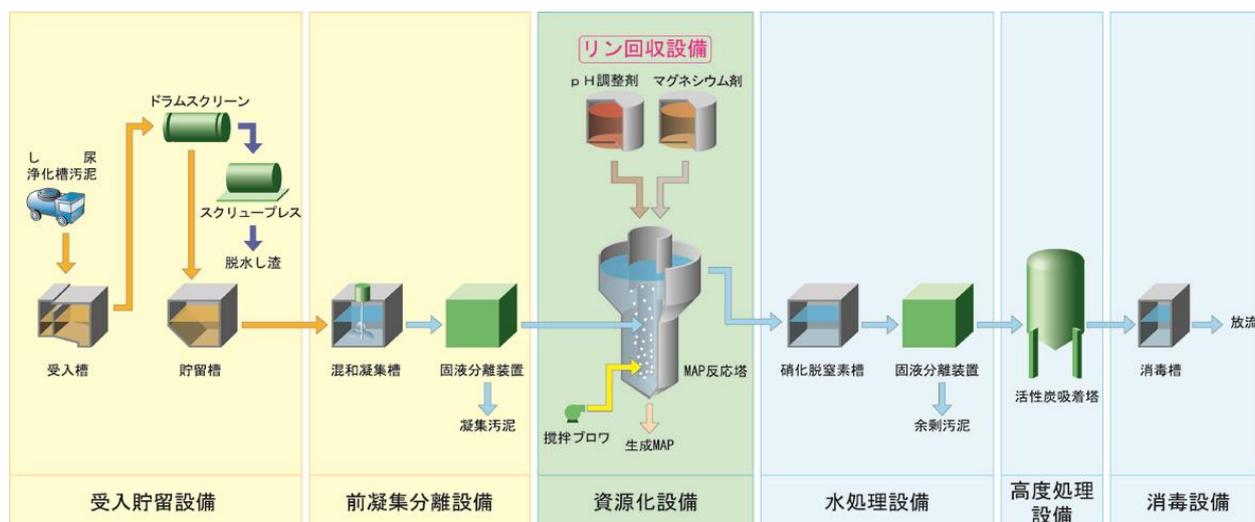


図 13 MAP法のフローシート

### 2) 処理の原理

本システムは、下水処理返流水やし尿、浄化槽汚泥の前処理凝集分離液等のリン酸とアンモニアを含む排水に対して、アルカリ領域でマグネシウム薬剤を添加して晶析反応を起こし、リン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）として回収資源化するものである。

本システムは、晶析反応を利用しているため、基本的には正リン酸イオン、アンモニウムイオン及びマグネシウムイオン以外の成分を粒子の内に取り込むことがなく、純度の高いMAP粒子が生成する。従来法に比べて汚泥の発生量が少なく、窒素、リンを同時に除去回収し、肥料性に優れた製品を回収することが出来る。

### 3) 構造

MAP反応塔は、二重筒構造になっており、原水は内筒部へ投入される。また、塔の下部

より散気することにより内筒と外筒を循環する流れを形成される。塔上部より、マグネシウム薬剤を注入し、塔内循環液の pH を 8.5～9.0 に調整することによって、原水中のアンモニアとリン酸は、マグネシウムと反応して、MAP の結晶が生成する。生成した MAP の結晶は、塔内の循環液にともなって流動しながら、成長して粒径が大きくなり塔下部(コーン部)に沈殿する。沈殿した MAP の結晶は定期的に引抜き、水切りして回収する。

#### 4) システムの特徴

- (1) 原水の水質変動に対して性能が大きく影響されることなく、MAP を安定して生成することが可能である。
- (2) く溶性リン酸 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 28.9%、く溶性苦土 (MgO) 16.0%、アンモニア性窒素 (N) 5.5%を含む緩効性肥料としての効果があり、「複合肥料の化成肥料」として肥料登録要件を満たしている。
- (3) 生成する MAP 粒子は 0.1～0.8mm の結晶であり、水切りするだけで含水率 30%以下にする事が可能である。
- (4) 施設の設置面積が少なくコンパクトであり、特殊な運転操作も必要なく、維持管理が容易である。

### Ⅲ. その他の汚泥再生処理センター

メタン発酵以外の汚泥再生処理センターとして、生ごみ受入れ、余剰汚泥の肥料化の設備を設置して納入している。その納入実績を表 7 に示す。

表 7 汚泥再生処理センター納入実績

竣工西暦	竣工元号	納入実績	処理量 (kλ/日)	処理方式
1999 年	平成 11 年	妻沼南河原環境施設組合殿 (埼玉)	45	高負荷脱窒素処理 生ごみ堆肥化
2001 年	平成 13 年	河内長野市殿 (大阪)	132	膜分離高負荷脱窒素処理 生ごみ堆肥化
2003 年	平成 15 年	吉城広域連合殿 (岐阜)	40	浄化槽汚泥対応型処理 汚泥の一部堆肥化
2006 年	平成 18 年	龍ヶ崎地方衛生組合殿 (茨城)	55	浄化槽汚泥対応型処理 乾燥汚泥の農地還元

## 6. 最新の技術

環境省の補助金ではないが、国土交通省の「社会資本整備総合交付金」対応で建設した官民連携のPFI事業の豊橋市バイオマス利活用センターを紹介する。

### 1) 施設の概要

発注者：愛知県豊橋市

受注者：株式会社 豊橋バイオウィル

(JFEエンジニアリング株式会社、鹿島建設株式会社、鹿島環境エンジニアリング株式会社、株式会社オーテックで構成する特別目的会社)

処理量：し尿・浄化槽汚泥 121m<sup>3</sup>/日、下水汚泥 351m<sup>3</sup>/日、生ごみ 59t/日

運営期間：2017年10月1日～2037年9月30日（20年間）

### 2) 施設の特徴

- ・ 下水汚泥、し尿・浄化槽汚泥、生ごみを電力と炭化燃料 100%エネルギー化
- ・ 豊橋市の温室効果ガス削減量は年間約1万4千トンになり、杉の木約100万本の植樹効果に相当

処理概略フローを図14、全景写真を図15に示す。

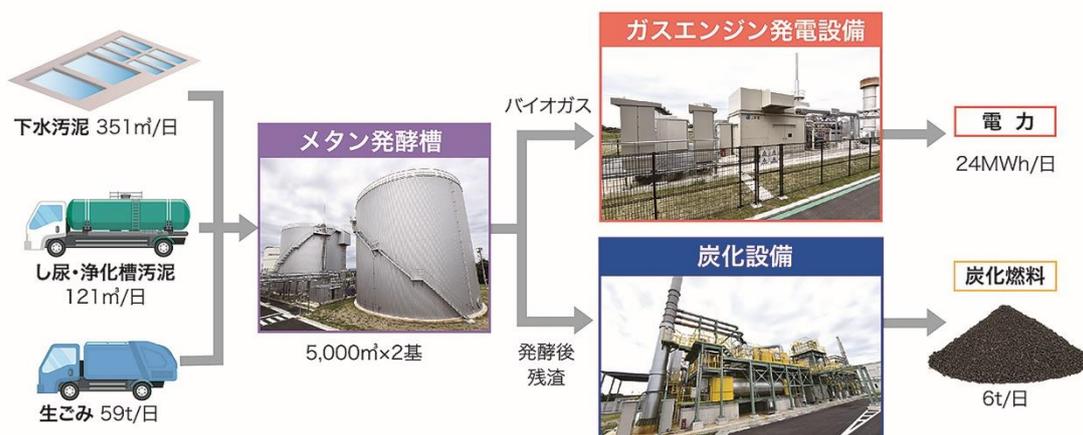


図14 処理概略フロー



図15 全景写真

## 7. おわりに

当社が本格的にし尿処理に参入して、40年弱が経過している。その間、社会情勢の変化、環境の変化、要請により処理技術がいろいろと開発され進歩してきた。今後はさらに循環型社会、省エネルギー、維持管理費の低減が求められ、さらにアセットマネジメントの観点から、超寿命化が求められてくる。また、発注方式も包括、DBO、PFI、コンセッションと単純に建設するだけでなく、運営のノウハウも要求されるようになってきている。

今後も当社は循環型社会に対応できる技術で、社会に貢献していく方針である。

—以上—

## 1. 諸言

日本では、古くから汲み取りし尿を肥料として農地に還元するなど、循環型社会形成の初歩的な段階であるし尿の有効利用が図られていた。しかし、社会経済の発展に伴い、農地還元の減少による汲み取りし尿の増加及び都市部への人口集中による伝染病予防・生活環境保全の観点からし尿の衛生処理が必要となり、昭和 24 年に「清掃法」（後に「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」となる）が制定され、汲み取りし尿の収集、処理が市町村に義務付けられ、し尿処理施設の整備が飛躍的に進むことになった。その後 60 年余りが経過したが、その間に様々な社会情勢の変化に対応して、法律等が改正されるとともに国庫補助事業による施設整備が進展し、し尿や浄化槽汚泥の廃棄物としての適性な処理が進められてきた。また、平成 9 年度より、循環型社会形成に向けた資源化施設として新たな役割を担う汚泥再生処理センター事業が始まり、環境保全や資源循環の観点から一層の充実化が進められている。

他方、自治体においてはし尿処理施設の老朽化対策としての更新需要があるものの、財政難や住民同意の困難性などの理由から、施設の更新が進まないという厳しい状況となっている。そのため、近年では既存施設をリニューアルや基幹的設備改良することにより、新たな施設として活用することや施設の長寿命化を図る自治体が増加している。

## 2. し尿処理事業の変遷

昭和 20 年代から 40 年代までは、し尿の衛生処理を目指した初期の基本的な処理技術の開発、普及の時期であった。すなわち、昭和 28 年に嫌気性消化処理方式による施設整備が国庫補助事業として始まり、昭和 31 年には化学処理方式の施設が出現し、さらに昭和 34 年には好気性消化処理方式の施設が建設された。これらの 3 方式による施設整備は年々進み、その後昭和 43 年には湿式酸化処理方式が登場した。当時のし尿処理施設の放流水基準値は、日間平均値で BOD : 30mg/L 以下（後に 20mg/L 以下となった）、SS : 70mg/L 以下であったが、昭和 45 年に入り、閉鎖水域における水環境の保全を図る必要から「水質汚濁防止法」が制定され、COD の総量規制が導入された。この対策として、放流水の水質改善が必要となり、凝集分離、オゾン酸化、砂ろ過、活性炭吸着等の高度処理設備を付加した施設が整備されることになった。さらに、閉鎖水域の富栄養化が問題となり、その対策として窒素除去技術が開発され、昭和 51 年に生物学的脱窒素処理方式の施設が初めて建設された。その後、昭和 54 年には循環式生物脱窒素法を基本とした低希釈二段活性汚泥法処理方式（その後標準脱窒素処理方式に改称）が「し尿処理施設構造指針」で規定され、窒

素も除去対象とした基本的なし尿処理システムが確立されることとなった。現在も本システムは、これ以降のし尿処理システムの根本となっており、重要な革新的技術であった。以降、昭和 40 年代後半から昭和 50 年代までは、前述した基本技術の改良時期にあたる。すなわち、昭和 53 年に高性能の曝気装置と高い MLSS を保持する生物反応処理を組み合わせた高負荷処理方式が指針外施設として認められたのを契機に高負荷処理の技術開発が進められ、高い MLSS を保持することにより生物反応槽のコンパクト化、低希釈処理化が可能となった。その後、高負荷処理技術は、昭和 63 年に高負荷脱窒素処理方式として構造指針化された。さらに、高負荷脱窒素処理方式の固液分離装置に分離膜（限外ろ過膜）を用いた膜分離高負荷脱窒素処理方式が開発され、昭和 63 年に初めて本方式による施設が稼働を開始した。

他方、浄化槽などの生活排水処理施設の普及に伴い、これらから排出される汚泥（以下、総称して浄化槽汚泥という）の処理施設への搬入が徐々に増加し、浄化槽汚泥対策が課題となってきた。その対策として、浄化槽汚泥専用処理方式が昭和 63 年に構造指針化され、平成 8 年には処理工程の前段に固液分離を組み込んだ浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素処理方式が実用化された。

さらに、循環型社会の形成に向けた取り組みの一環として、平成 9 年にし尿や浄化槽汚泥の他に有機性廃棄物も併せて処理するとともに資源化設備を備えた「汚泥再生処理センター」が構造指針化（その後、平成 12 年 10 月に「汚泥再生処理センター性能指針」に変更）された。これを機会にメタン発酵を代表とする資源化技術の研究開発が進められ、平成 12 年にはメタン発酵を組み込んだ汚泥再生処理センターが初めて稼働を開始した。

その後、更なる循環型社会の形成・推進に向けて、当初有機性廃棄物は生ごみが主流であり、収集体制や受入設備での異物混入等の課題が多く整備が停滞していた時期もあったが、農業集落排水汚泥等も有機性廃棄物として認められ、汚泥再生処理センターの建設が再び促進された。また、資源化技術の研究開発により、高効率脱水機により脱水汚泥含水率を 70%以下にしてごみ焼却施設等の補助燃料とする「助燃剤化」、枯渇が危惧されているリンをし尿から HAP や MAP として回収する「リン回収設備」が資源化設備として追加された。前述した「メタン発酵」や「助燃剤化」「リン回収」技術は、当時の排水処理分野では先進的技術であり、それをいち早く開発・実用化したのがし尿処理分野である。

### 3. 水 ing のし尿処理技術の歴史

水 ing は、1977 年に設立された荏原インフィルコエンジニアリングサービスを母体としており、1994 年の荏原製作所・荏原インフィルコの合併に伴い荏原エンジニアリングサービスへ改称、2009 年には総合水事業会社として発足、2011 年に水 ing に社名変更した。荏原インフィルコの時代より、水処理事業を継続して手掛けている。

以下に、水 ing のし尿処理技術の歴史について示す。

### 3-1. 世界のどこにも見本がない、日本独自のし尿処理への挑戦

#### ○.熱海市にし尿処理プラント第1号機を納入

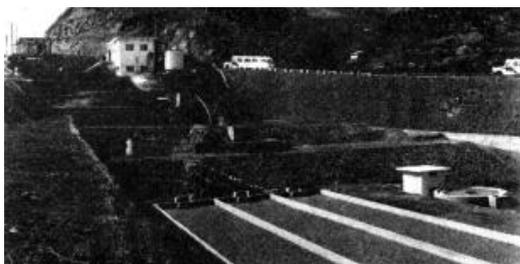
##### ■化学肥料の台頭で海に捨てられていたし尿

1956(昭和31)年、政府は「し尿処理基本対策要綱」を5ヵ年計画の形で発表した。海洋投棄の原則的廃止、総水洗化を目標として、公共下水道の整備、し尿浄化槽、コミュニティプラントによりこれを達成し、収集したし尿は処理施設で処理をするというものだった。当時は、安価な化学肥料が出回るようになり、し尿の肥料としての利用が激減していた。ところが、余ったし尿を処理する方法も捨てる場所もないため、やむなく海に廃棄していた。政府はそれを禁じ、陸上処理に切り換える方針を示したのである。こうして、諸外国に例のない、日本独自のし尿処理がスタートした。当初の主流となっていた処理方式は、嫌気性消化法といい、消化槽の中で嫌気性菌(酸素分子のない環境で生息する細菌)を繁殖させてし尿中の有機物を分解し、2次処理として、碎石の上に汚水を流して処理する散水ろ床方式が採り入れられていた、

水ing(旧荏原インフィルコ)は、1957(昭和32)年、この嫌気性消化法によるし尿処理プラントの1号機を静岡県熱海市に納入した。対象人口は25,000人、 $25\text{ m}^3/\text{d}$ の処理能力を有する装置だった。形式は3層式の汚泥分離型で、①第1槽で生し尿を消化すると同時に汚泥と液とに大別し、②第2槽(汚泥処理槽)で汚泥をさらに消化、③最後に第3槽(沈殿兼酸化層)で液を処理して処理効果を高めるという当時として最新の処理法で、専門家たちの注目を集めた。

翌年の1958(昭和33)年には、同じく3層式のプラントを神奈川県川崎市に完成させた。対象人口は160,000人で、処理能力は $165\text{ m}^3/\text{d}$ と、東京都に次いでわが国最大級のものだった。

▲写真：熱海市し尿処理場の全景



▲写真：川崎市し尿処理場の全景



##### ■嫌気性消化方式と活性汚泥法

川崎にプラントを完成させた年、水ing(旧荏原インフィルコ)は他に5都市においてプラントを完成させるとともに、施工中のプラントも10数ヵ所にも上るという躍進ぶりを見せ、あわせて新しい処理法の研究も活発化させた。

熱海と川崎の例に見られる嫌気性消化法と散水ろ床方式を組み合わせた処理方式は、1960年代半ばまでし尿処理技術の主流だったが、その浄化効率は、後の技術から見れば決して高いものではなかった。散水ろ床方式は、し尿に対して30～40倍の希釈水を必要とした。すなわち、水で薄めて放流するのに近い方式だったからである。

この流れを変えたのは、水ing（旧荏原インフィルコ）の技術陣だった。嫌気性消化後の2次処理に、曝気槽でバクテリアを繁殖させて有機物を分解する「活性汚泥法」を開発したのである。これにより、嫌気性消化法の浄化効率は飛躍的に高まった。

1960(昭和35)年、神奈川県平塚市に、し尿処理設備として日本初の活性汚泥設備が納入された。1リットル当たりのBOD(Biochemical oxygen demand=生物化学的酸素要求量)30mg以下、SS(suspended solids=浮遊物質)70mg以下の処理水が得られるものであり、この処理方式は1970年代前半まで主流となり、全国に普及していった。

し尿処理は、その後も技術革新を続け、好気性消化処理法、湿式酸化法、希釈曝気処理法などさまざまな処理方式が開発されていった。水ing（旧荏原インフィルコ）の技術陣は、こうした革新をリードしながら、さらに高度な研究課題と向き合っていた。し尿や下水中の窒素と磷を除去するというテーマである。そして、この研究が、やがて「デニパック・プロセス」という画期的な処理技術を生み出すのである。

### 3-2. し尿処理場の脱臭を皮切りに、さまざまな形に進化していった脱臭技術

#### ○世界最大級の直火式燃焼脱臭装置を納入

##### ■「アフターバーニング法」を日本へ

1967(昭和42)年、公害対策基本法が制定され、その4年後の1971(昭和46)年に、悪臭を規制する「悪臭防止法」が制定された。公害対策基本法の第2条で、悪臭が、大気汚染、水質汚染、土壌汚染、騒音、振動、地盤沈下に続く典型7公害の1つに指定されていたことが背景にあった。し尿処理施設、下水処理設備、廃水処理設備、汚泥処理設備などの公害関連設備を手がける水ing（旧荏原インフィルコ）においても、悪臭防止対策は眼下の課題だったため、脱臭装置の研究には早くから取り組んでいた。

最初に着目したのが「直接燃焼法」だった。この技術は、別称「アフターバーニング法」と呼ばれ、脱臭技術の最も進んでいた1960年代のアメリカで、悪臭公害の追放に成功していた。技術陣は、同国バーナーメーカーのエクリップス社やマキソン社の日本代理店と接触し、それらのバーナーを使った脱臭装置の開発の可能性について検討した。その結果、し尿処理場の高濃度臭気を対象に、し尿処理法の当時の主流だった嫌気性消化槽から発生する消化ガスを燃料として使用する「直火式燃焼脱臭装置」を開発。この装置は、脱臭効率が高いことに加え、高温・多湿なガスに適用可能、高濃度臭気成分を酸化分解できる、ダスト混入ガスに適用可能などの優れた特長を有していた。

1971(昭和 46)年、神奈川県平塚市の大神し尿処理場に、処理風量 40 m<sup>3</sup>/min の 1 号機を納入した。その後、燃料も LPG、都市ガス、灯油、A 重油などが使用可能となった。

#### ■直火燃焼法以後の脱臭技術の進化

直火ガス燃焼脱臭装置には 100%近い脱臭効果があり、この数値を満足させる脱臭方法は他に見られないものだった。

しかし、1973(昭和 48)年の第一次石油ショックに端を発した燃料費の高騰により、燃焼脱臭装置の市場が漸減し始めた。そのため、1970 年代後半からはこれに代わる独自の脱臭装置の設計を手がけることとなった。

脱臭技術に取り組み始めた当初の処理方式は、直火燃焼法をはじめ洗浄法、オゾン酸化法、吸着法だったが、各種の研究を進めるにしたがって、触媒法、微生物を利用した生物法、直火燃焼法の変法である蓄熱法などの技術蓄積がなされ、この蓄積から、「生物法」「活性炭吸着法」「薬液洗浄法」「蓄熱式燃焼法」というような新たな代表的脱臭技術が生まれていった(※)。

##### [生物法]

臭気成分を微生物で酸化分解する方法で、維持費が安く、ほとんどの業種に適用が可能である。微生物の馴至期間として 2~3 週間必要となる。

##### [活性炭吸着法]

臭気成分を活性炭で吸着除去する方法で、維持管理が容易な反面、維持費が高い。特性により除去できない物質があり、複数の種類の活性炭を組み合わせるケースが多い。

##### [薬液洗浄法]

臭気成分を薬品で気液接触させ、吸収・分解する方法で、維持費は安い計装計器類のメンテナンスに手間を要する。原臭気の濃度に応じて薬品濃度を選定すれば、一定の性能が期待できる。

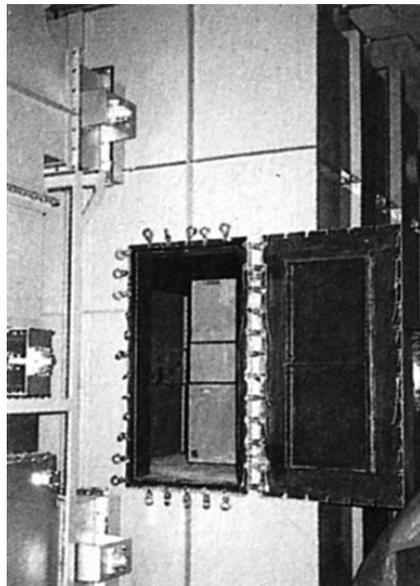
##### [蓄熱式燃焼法]

臭気成分を燃焼させ酸化分解する方法で、高い熱効率と省エネルギー化を図った蓄熱型排熱回収を備えており、ほとんどすべての業種に適用が可能である。

▲写真：生物装置



▲写真：カートリッジ式活性炭吸着塔



▲写真：薬液洗浄塔



写真9 薬液洗浄塔

▲写真：蓄熱式装置

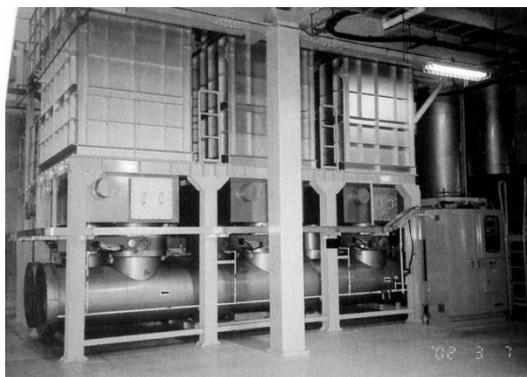


写真10 蓄熱式脱臭装置

3-3・窒素・リンの除去のスタンダードとなった、し尿処理の革命的プロセス

○循環式硝化脱窒素法「デニパック・プロセス」1号機納入

■富栄養化による公害に立ち向かう

し尿処理の歴史は、1956(昭和 31)年に「し尿処理基本対策要綱」が発表されたことに始まり、水ing (旧荏原インフィルコ) がその翌年に、し尿処理プラントの第1号を静岡県熱海市に納入したことは先述したとおりである。

し尿処理技術はその後も進歩し、好気性消化処理法、化学処理法、湿式酸化法、希釈曝気

処理法などが開発されたが、これらの処理方式による放流水質の国の規制は、BOD、SS、大腸菌群数に対してのみだったため、1970年代に入って、放流先水域の富栄養化という2次公害が表面化してきた。

富栄養化とは、水の中に窒素やリンなど、プランクトンが好む栄養物質が過剰に蓄積することに起因するもので、赤潮の発生や植物の青立ち(立ち枯れ)などの現象となって現われ、全国各地で水系の富栄養化が看過できない公害として顕在化しつつあった。水ing(旧荏原インフィルコ)の技術陣にとっても、し尿や下水の窒素・リンの除去は最大の開発課題であり、早くから研究に取り組んでいたが、数々の試行錯誤の結果に誕生させたのが、循環式硝化脱窒素法「デニパック・プロセス」である。1976(昭和51)年、島根県松江市の川向し尿処理場に、処理量100kl/dの1号機を納入した。

デニパック・プロセスの原理は、自然の窒素循環を利用して、窒素やリンを生物学的に取り除く「生物処理法」である。硝化菌と脱窒素菌という2種類の細菌の働きを利用して、し尿中のアンモニアなどの窒素化合物を無害な窒素ガスにするというもので、さらに、薬品による凝集分離、オゾン酸化、砂ろ過、活性炭吸着とプロセスを重ねて徹底的に浄化し、最後に塩素で滅菌する。その最終処理水の見目は飲料水に匹敵するものだった。

▲写真：松江市川向し尿処理場



▲地図：川向処理場の建設位置



■厚生省のし尿処理施設構造指針に

話が戻るが、川向し尿処理場が、デニパック・プロセスを採用した経緯について述べておきたい。

川向し尿処理場は、中海に注ぐ意宇川の河口に位置する。中海は5～8月になると赤潮が発生し、沿岸漁民に多大な被害を与えていた。また、当時は、「中海・宍道湖淡水化計画」が持ち上がっており、中海は淡水化された後、農林省の干拓事業により一部干拓され、中海の水は農業用水として利用されることになっていた(※)。このため処理場建設にあたっては、従来のBOD、SSの除去だけでなく、窒素、リンの除去を含めた富栄養化対策が必要だった。水ing（旧荏原インフィルコ）は、デニパック・プロセスの処理機能でこの要望に応えるとともに、施設的美観、臭気対策、騒音対策にも留意して建設にあたった。

川向し尿処理場が運転を開始すると、希釈倍率が12倍にもかかわらず、BOD、SS、窒素はいずれも10mg/L以下で、リンも1mg/L以下という、従来のし尿処理のイメージを一新させるデータを示した。この運転結果は内外の注目を浴び、デニパック・プロセスは急速に普及していった。1979(昭和54)年には厚生省のし尿処理施設構造指針に「低希釈二段標準脱窒素処理方式」として加えられ、後に「標準脱窒素処理方式」名称は変わったが、活性汚泥法により新設されるし尿処理施設は、ほとんどこの方式となった。

デニパック・プロセスの特長は次のようなものである。

- ①し尿の高濃度のBODと窒素を同時に高い効率で除去できる。
- ②硝化脱窒素法に必要なメタノール、アルカリを最小限に節減できる。
- ③脱窒素槽、硝化槽が多量の硝化循環液により希釈混合状態となるため、負荷変動が緩和される。
- ④MLSS濃度が高くBOD負荷が低いため、生物反応が十分に行なわれる。
- ⑤希釈倍率を10倍以下にすることができる。

デニパック・プロセスは、し尿処理施設にとどまらず、浸出水処理施設でも採用された。このように優秀性を社会に広く評価され、他社の追随を許さないまでの実績をあげたデニパック・プロセスは、公的にも認められ、1980(昭和55)年に環境庁長官賞、1982(昭和57)年には工業技術院長賞を受賞した。

※中海・宍道湖淡水化計画は1968年から工事が始まったが、世論の反対が強く1988年に計画延期となり、2000年に中止が決定した。

▲図：デニパック・プロセスのフロー図



#### ■無希釈処理を実現した「ニューデニパック・プロセス」

これまでも触れてきたように、し尿処理技術は、時代や社会情勢の変化によって著しい進歩を遂げてきた。そして、その変化は、循環式硝化脱窒素法の前にも再び訪れた。

デニパック・プロセスが登場してから間もなく、し尿処理は、希釈水の取水難、放流量・放流先の負荷量の低減、建設費・敷地面積の節減、省資源・省エネルギーという社会的な要請や制約を強く受けるようになっていた。こうした流れをいち早く察知して、水ing（旧荏原インフィルコ）が開発したのが、し尿処理技術では初の無希釈処理を実現した無希釈・高負荷脱窒素処理法である。希釈水を使用せず、各プロセスで使用する水だけでBODと窒素とを同時に高い効率で除去するという画期的な処理法で、デニパック・プロセスの進化形であることから、「ニューデニパック・プロセス」と名づけられた。

1981(昭和 56)年、厚生省に指針外施設として認可され、1983(昭和 58)年に滋賀県の伊香郡衛生プラント組合に第1号施設を納入した。その特長は次のようなものである。

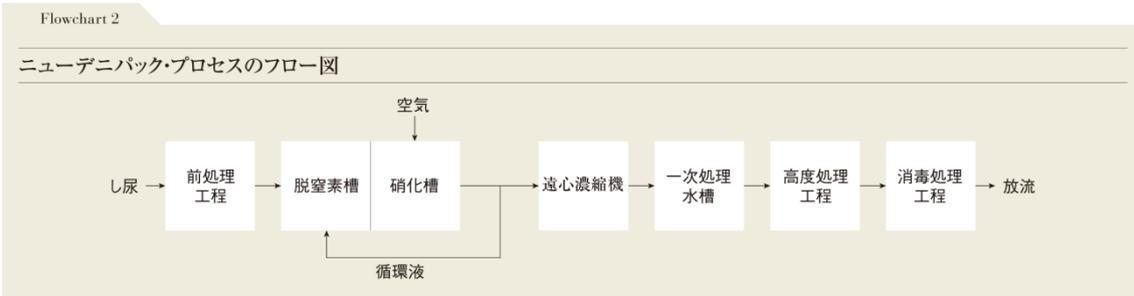
- ①希釈水を用いない処理方式である。
- ②容積負荷を高くとれるため、水槽容積が小さく処理施設がコンパクトになる。
- ③水処理と汚泥処理を一体化したことにより運転管理の合理化が図れる。
- ④脱水ケーキの含水率が低く、汚泥の乾燥、焼却工程の燃料費を節約できる。
- ⑤高負荷処理による曝気風量の低減や乾燥・焼却工程での燃料費の削減により、維持管理費が安い。
- ⑥処理水質がデニパック・プロセスと同等のため、処理水の汚濁総量負荷が90%程度まで低くなる。

ニューデニパック・プロセスは、その後も市場を拡大し、無希釈・高負荷脱窒素処理法の地位を高めていった。1986(昭和 61)年には、環境保全に関して画期的な成果をあげた技術に対して贈られる「環境賞」優良賞を受賞している。

#### ▲写真：伊香郡衛生プラント組合に納入した施設の水処理棟



▲図：ニューデニパック・プロセスのフロー図



■UF 膜分離法をプラスした「UF デニパック・プロセス」

ニューデニパック・プロセスで採用した高負荷脱窒素処理が主流になると、今度は固液分離に限外ろ過膜(UF 膜)を利用した膜処理技術「膜分離高負荷脱窒素処理方式」が注目されるようになってきた。

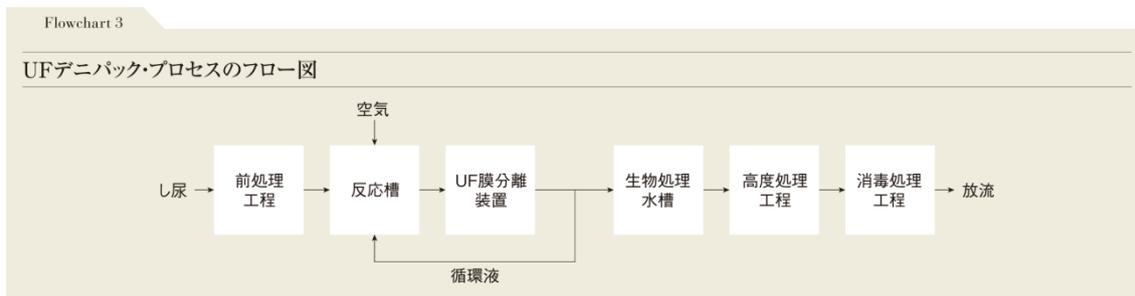
UF 膜は、主としてコロイド状物質を分離するろ過膜で、水、溶解塩類、低分子量の COD(Chemical Oxygen Demand=化学的酸素要求量)などは膜を透過し、SS、細菌、高分子量の COD などは膜分離できるという特性がある。

水 ing (旧荏原インフィルコ) は、ニューデニパック・プロセスを母体として、高負荷脱窒素処理法に UF 膜分離法をプラスした「UF デニパック・プロセス」を開発した。1988(昭和 63)年、実証プラントを神奈川県足柄上衛生組合に設置して運転を開始した。処理水水質は良好であり、技術陣はこの結果に自信を深めた。1992(平成 4)年には、静岡県伊東市のし尿処理施設に 1 号機を納入した。その特長は次のようなものである。

- ①固液分離に UF 膜を用いたことにより、汚泥の性状に左右されることなく安定した良好な水質が得られ、運転管理も容易である。
- ②UF 膜分離装置がコンパクトに設計しており、設置スペースが少なく建設費用が節減できる。
- ③場内雑排水、脱臭排水、脱水ろ過など、比較的 BOD 濃度の低い雑排水処理を生物系 UF 膜の後段で処理するため、UF 膜による固液分離の水量を最小限に抑えている。
- ④生物反応槽の水深は 10m とし、循環液を利用しエジェクターで空気を吸い込んでいるため、ブロワを設ける必要がない。
- ⑤高度処理以降は顧客のニーズに合わせ、凝集膜分離あるいは凝集沈殿のフローが自由に選べる。

UF デニパック・プロセスは、その後も進化し、1998(平成 10)年には、276kL/d という国内最大規模のシステムを岩手県胆江地区広域行政組合に納入するまでになった。

### ▲図：UF デニパック・プロセスのフロー図



#### ■浄化槽の混入比率が高い脱窒素処理を可能にした「Jシステム」

1990年代に入ってから、し尿処理施設への浄化槽汚泥の混入比率が高まってきた。浄化槽汚泥は生活廃水なので、油やその他の物質も含まれ、さらに濃度変動も大きく従来の処理方式では対応が難しくなってきた。これを受けて1996年に「浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素処理方式」のJシステムの開発がスタートした。2000年に当社1号機が稼働した。

Jシステムの特徴は、前処理と脱窒素槽の間に汚泥脱水機による固液分離が入っていることである。これによって、水処理に投入する汚濁負荷が、し尿や浄化槽汚泥を直接投入する従来の処理方式と比較して大きく削減出来る。施設のライニングコストの低減・施設がコンパクト化が可能となった。

## 4. 水ingのし尿処理技術への継続した挑戦

### 4-1. これまでの常識を覆した高効率脱水機

#### ■脱水汚泥含水率70%以下に挑戦した「バリュースラッジシステム」

平成15年に新しく資源化メニューとして認められた助燃剤化は、これまでは施設から発生する通常80～85%の含水率の脱水汚泥を、70%以下の低含水率まで脱水する技術である。この助燃剤を外部搬出先のゴミ焼却施設へ混焼率15%以下で投入するもので、ゴミ焼却施設で補助燃料を使わずに脱水汚泥の燃焼が可能で、脱水汚泥をし尿処理施設内で焼却処理するよりも維持管理コストやCO<sub>2</sub>発生量の面で優位性が高い。

また、浄化槽汚泥比率の増加から浄化槽汚泥対応型の処理方式や、し尿等の脱水希釈下水放流施設の建設が進み、資源化設備の中でも助燃剤化が最も多く普及している。

これまで助燃剤化となる含水率70%以下の脱水汚泥を達成する技術は、大型のフィルタープレス脱水機等の一部の機種に限られていたが、当社は独自技術である軸摺動式スクリュウプレス脱水機を利用したバリュースラッジシステム®を2002年に開発に着手し、2004

年に単品としてバリュースラッジシステム1号機を納入した。

従来し尿や浄化槽汚泥の処理は、混入するし渣分を除去した後、活性汚泥による生物脱窒素処理を行い、膜処理、凝集沈殿、砂ろ過や活性炭等を利用するのが通例であった。(図1：従来処理フロー例)

しかし、浄化槽汚泥混入率の増加と共に、浄化槽汚泥中の油分による機器や配管の閉塞、汚濁負荷変動による処理の不安定化といった問題が顕著となり、その対策として「浄化槽汚泥対応型」と呼ばれるし尿と浄化槽汚泥、余剰汚泥の混合汚泥を脱水し、その脱離液を処理する方法が増加している。(図2：浄化槽汚泥対応型処理フロー)

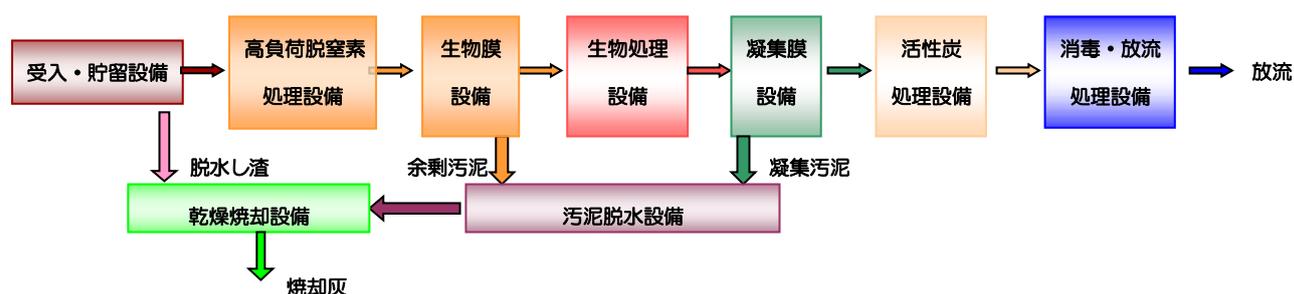
さらに、インフラの有効利用という観点から、し尿や浄化槽汚泥を直接脱水した脱離液を下水道排除基準値以下まで数倍希釈して放流する下水放流施設も年々増加している。(図3：脱水希釈下水放流処理フロー)

両施設で発生する脱水汚泥を助燃剤化の条件である含水率70%以下とするために、最も多く使用されている高効率脱水機は、軸摺動式スクリープレス脱水機(図4：脱軸摺動式スクリープレス脱水機写真)である。

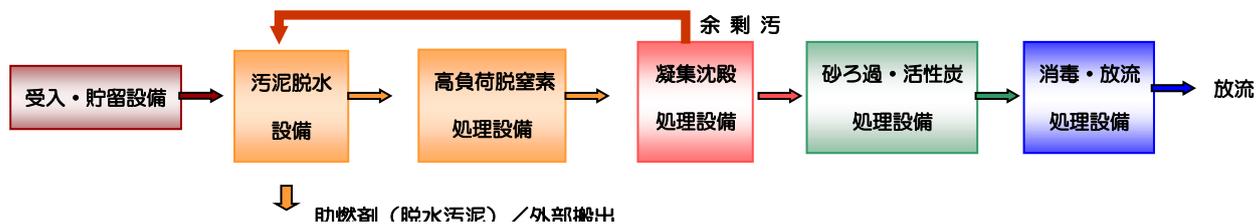
この脱水機は脱水汚泥の排出方向と並行にスクリー軸を動作させる機構(図5：軸摺動式スクリープレス脱水機の摺動機構)を有し、従来詰まりの原因であった含水率70%以下の硬く絞った脱水汚泥を、強制的に排出できるため連続運転を可能にしている。

また軸摺動式スクリープレス脱水機の前段には油分の影響を受けない濃縮機を設け、安定した濃度の濃縮汚泥を脱水機へ供給することで脱水性能の安定化を図っている。

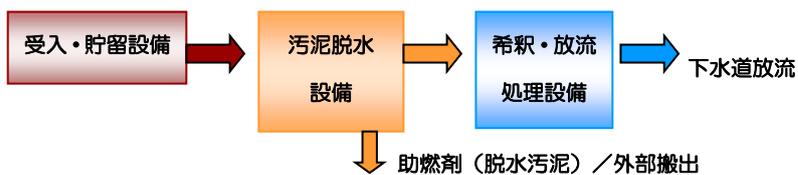
バリュースラッジシステム®は、この軸摺動式スクリープレス脱水機と濃縮機を組み合わせた高効率脱水システムとして、し尿や浄化槽汚泥を助燃剤化し、再利用・資源化するため、全国の施設に普及している。



<図1：従来処理フロー例（脱分種高負荷脱窒素処理方式）>



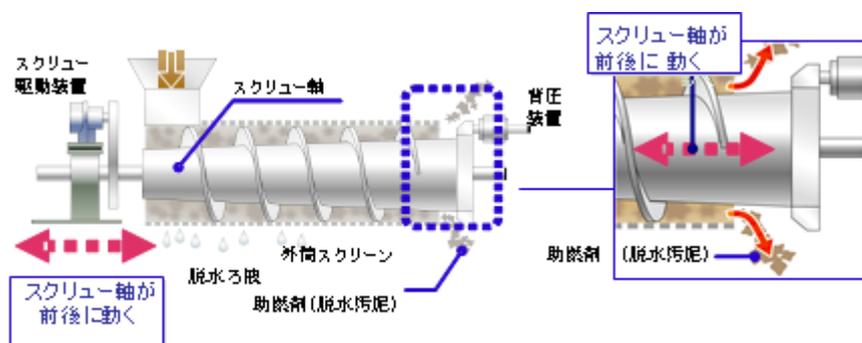
<図2：浄化槽汚泥対応型処理フロー>



<図3：脱水希釈下水放流フロー>



<図4：軸撹動式スクリープレス脱水機写真>



<図5：軸撹動式スクリープレス脱水機の運転機構>

#### 4-2. 更なる循環型社会形成を目指して

■「バリュースラッジシステム」「デニパック・プロセス」「リン回収（MAP 法）」の融合による「P デニライトシステム」の誕生

当社は助燃剤で多くの稼働実績をあげている脱水システムのバリュースラッジシステム®を発展させ、リン回収（MAP 法）も同時に行うシステム「P デニライトシステム®」を完成させた。2015 年 3 月に竣工し、同 4 月より供用を開始している施設で、し尿・浄化槽汚泥（以下、し尿等）直接脱水方式による脱水汚泥の助燃剤化と、分離液からのリン回収を同時に行う「P デニライトシステム」の 1 号機である。処理方式の概要として、処理フローを図 1 に示す。

搬入されたし尿等は、受入口から沈砂槽へ投入し、砂・小石等を除去した後、受入槽に流入する。受入槽のし尿等は、破碎装置で破碎し、貯留槽へ移送する。破碎したし尿等は硝化脱窒素処理設備から発生する余剰汚泥と混合し、薬品（無機凝集剤、高分子凝集剤）を注入して、高効率凝集装置を用いて、固形物を凝集させ、軸摺動式スクリーブプレス脱水機で脱水汚泥、濃縮分離液および脱水分離液に固液分離する。脱水汚泥は堆肥原料として外部搬出しているが、含水率は 70%以下で安定しており、助燃剤としても利用可能である。濃縮分離液はリン回収設備にてリン（MAP（リン酸マグネシウムアンモニウム））を回収するとともに、リン回収分離液は分離液槽に移送する。分離液槽では脱水分離液、リン回収分離液を混合貯留した後、硝化脱窒素処理設備へ投入、処理する。硝化脱窒素処理では、し尿等の一部無薬注投入制御方式を採用した。脱水用薬剤の注入を一時的に停止することにより、除渣し尿を分離液槽に流入させ、水処理設備への汚濁負荷を調整することで、

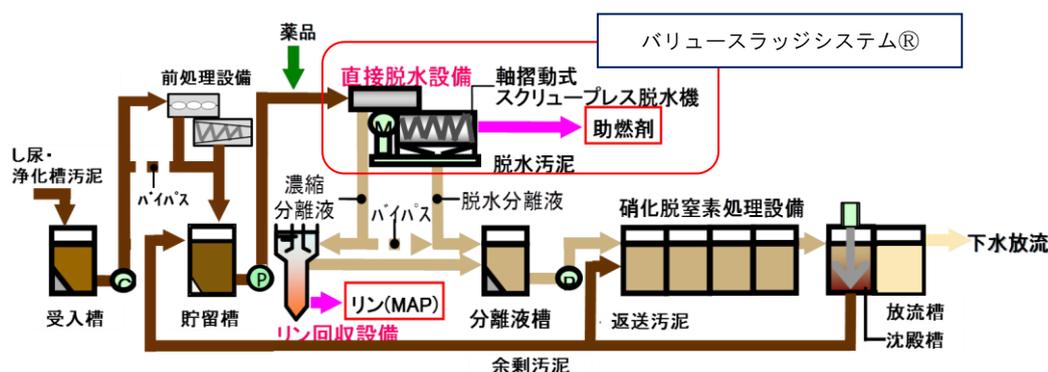


図 1 処理フロー

BOD/N 比を改善し、メタノールの使用量を低減する。生物処理後の処理水（沈殿槽上澄水）は、公共下水道を經由して処理後、公共水域に放流される。

処理方式の特徴として、以下に 3 点を示す。

##### 1) 直接脱水設備にバリュースラッジシステム®を採用

## 2) リン回収設備に MAP 法を採用

①リン回収は MAP 法を採用し、直接脱水設備の無機凝集剤（ポリ硫酸第二鉄（以下、ポリ鉄））添加前の濃縮分離液を原水として行う。濃縮分離液はし尿等に含まれるリンがそのまま残存しているため、生物処理水（膜透過水）を原水とする HAP 法よりも、効率よくリン回収が行える。

②MAP 法で回収する MAP（リン酸マグネシウムアンモニウム）は、肥料の三大要素のうち「リン(P)」と「窒素(N)」を十分に含んだ良質な化成肥料となる。肥料要素である苦土(Mg)も含有している。回収リン（MAP）は化成肥料の規格を満足することが独立行政法人農林水産消費安全技術センター（FAMIC）との協議を経て確認できている。

③MAP 法は原水の SS 濃度が 1,000mg/L 以下程度でよい場合、直接脱水設備の濃縮機（目幅 1 mm スクリーン）の分離水を原水として使用可能であり、リン回収設備の前段には膜分離設備が不要となる。

④リン回収を行うリアクタ（図 2）は連続運転が可能なツインリアクタ方式を使用する。



図 2 リン回収リアクタ

## 3) 水処理の固液分離に沈殿槽を採用

①直接脱水により水処理への投入負荷を低減することで、活性汚泥濃度を低くした運転が可能となり、沈殿槽による固液分離ができる。

②沈殿槽による固液分離を行うため、定期的な交換が必要な膜分離設備は必要ない。

汚泥再生処理センターの資源化要件である助燃剤化とリン回収を、同一施設で同時に行い、水処理まで行う処理方式を採用した当社の「Pデニライトシステム®」を紹介した。本システムにより、脱水汚泥の低含水率化、効率的なリン回収、安定した水処理、および維持管理費の低減を実現できた。また循環型社会形成へ向けて汚泥再生処理センターの価値を高めることも達成した。

## 5. 最後に

私がし尿処理に携わるようになった頃、「し尿処理は、永遠に不滅です」というスローガンが示されていた。当時は、し尿処理に関しては素人であり、下水道が普及していけば減少・衰退していく技術であると思っていたと記憶している。その後、20 年以上が経過した今、先輩の技術者達の考えが正しいことが証明されている。下水道の普及率が頭打ちとなり、し尿は減少しているが浄化槽汚泥は増加している。汚泥再生処理センター及びし尿処理施設は、減少しているが今後その減少率は鈍化すると想定される。

これから、人口減少や下水道との連携、震災への強靱化等により、し尿処理も変わっていかねばならない。たま、日本独自の技術であり、国内でも排水処理分野ではトップクラスの技術力を持ったし尿処理は、世界に通用する水処理技術でもある。循環型社会形成の更なる推進のための技術革新・社会のニーズに適した技術開発・地球規模での環境汚染防止のための海外での展開も視野に入れた事業展開を継続して行うことが当社の使命と考える。

**【参考文献】**

1) (社)全国都市清掃会議、(社)日本環境衛生施設工業会、(財)日本環境衛生センター、(財)日本環境整備教育センター、「し尿処理施設から汚泥再生処理センターへのリニューアルの手引書」

## 住友のし尿処理の歴史 ～ 技術的視点を主体に ～

### 1. 水処理の黎明期からし尿処理開始まで ～昭和 50 年

住友の水処理技術は住友機械の前身である別子銅山機械方が 1916（大正 5）年、現在の住友金属鉱山別子にシクナーを納入したことから始まる。その後は特筆すべき事柄も無く推移した。

戦後の混乱期を経て、我が国の経済成長は昭和 30 年代に入って急速に足取りを速め、同時に各種の産業排水による公害、東京をはじめ都市部への顕著な人口集中や、新しく開発される住宅地の拡大に伴い、生活排水による問題が各地で表面化した。

各地の自治体は、下水処理の拡大に当面し、生産の伸長にともなう産業界も廃水処理機能の強化を求められた。

水処理市場の拡大に伴い、住友社内では上下水道設備関係の商談が継続的に増加し、水処理設備への参入気運が高まり、官公需向けの第一号として大阪市千島処理場に 1963（昭和 38）年住友機械として初納入に至っている。

その後、上下水分野で受注を重ねるにつれて、都市下水を軸に、将来的に産業廃水を含めた水処理への本格的進出の機運が高まってきた。

し尿処理への参入気運も同時に高まることになり、民間廃水処理市場と併せてし尿処理市場への参入を徐々に行っていくことになった。

そのような情勢の中で、のちに住友機械と合併することになる浦賀重工では 1960 年（昭和 35）年より下水、し尿処理に関する機械設備を受注、納入しており、住友機械も 1963（昭和 38）年、大阪市を皮切りに京都、名古屋地区で上下水処理の受注を広げていた。

し尿処理分野の営業もこの頃より開始され、1964（昭和 39）年には第一号としてし尿処理施設の改造工事を受注し納入したが、新規建設工事を受注するまでには 1972（昭和 42）年まで待たなければならなかった。

1971 年（昭和 46）年、後述する住友重機械エンバイロテック（SJE）発足までのし尿処理関係の納入（受注）実績の一例を以下にあげる。

#### 1964（昭和 39）年

宮城県	栗原郡衛生処理組合	し尿処理施設改造工事	64.11 納入
佐賀県	杵東地区衛生処理組合	し尿処理施設改造工事	65.7 納入
高知県	宿毛市	し尿処理施設改造工事	65.9 納入

#### 1965（昭和 40）年

宮城県	志津川歌津衛生処理組合	し尿処理施設改造工事	66.8 納入
-----	-------------	------------	---------

1966（昭和41）年

大阪府 泉北環境整備施設組合第三事業所 し尿処理施設増改造工事 67.4 納入

1967（昭和42）年

大阪府 東大阪市清掃新田工場 し尿処理施設増改造工事 68.1 納入

愛知県 豊田市 し尿処理施設増改造工事 68.5 納入

1968（昭和43）年

大阪府 泉北環境整備施設組合第一事業所 し尿処理施設増改造工事 68.10 納入

大阪府 泉北環境整備施設組合第三事業所 し尿処理施設増改造工事 69.1 納入

北海道 滝川市他3ヶ町村衛生センター組合 し尿処理施設増改造工事 69.11 納入

1969（昭和44）年 以降住友重機械工業

北海道 道北環境衛生事業組合 し尿処理施設増改造工事 70.3 納入

静岡県 静岡市東部処理場 し尿処理施設汚泥処理工事 70.4 納入

静岡県 富士川町他2ヶ町村衛生処理組合 し尿処理施設改造工事 70.8 納入

島根県 松江市他5ヶ町村環境衛生組合 し尿処理施設増改造工事 70.8 納入

このように改造工事を主体として、細々と住友ではし尿処理市場への参入を継続していたが、し尿処理施設を納入する他社は先行して受注を重ねている。

嫌気性消化処理方式のし尿処理施設が初めて建設されたのは1957（昭和32）年で、酸化（好気性）処理は1962（昭和37）年であった。

当時し尿処理御三家と呼ばれた栗田工業、荏原インフィルコ、久保田鉄工の各社はし尿処理の黎明期である1960年代以降設備納入を開始し、その後のし尿処理に関する技術開発を先導している。

1953（昭和28）年にし尿処理施設建設に対する国庫補助制度が創設され、当初嫌気性消化処理方式のみに限定されていた補助対象がその後の改訂により1967（昭和42）年までに化学処理、酸化処理、湿式酸化処理まで補助対象が拡大された。

1966（昭和41）なし尿処理施設基準及び維持管理基準が策定され、嫌気性消化処理方式、化学処理方式、酸化処理方式の基準が定められ、1971（昭和46）年改定で湿式酸化処理が追加された。

これら一連の流れの中で日本独自のし尿処理施設の整備システムが構築され、その後の市場拡大へとつながっていった。

そのような流れの中で、1969（昭和44）年6月30日、浦賀重工のもつ下水、し尿実績と人材、公共事業への対応体制と住友機械の化工機事業部の水処理実績人材を集め、浦賀重工と住友機械は合併により住友重機械工業株式会社が発足した。

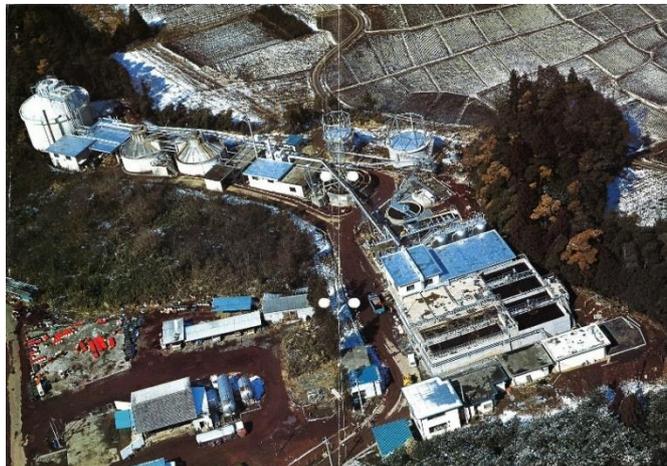
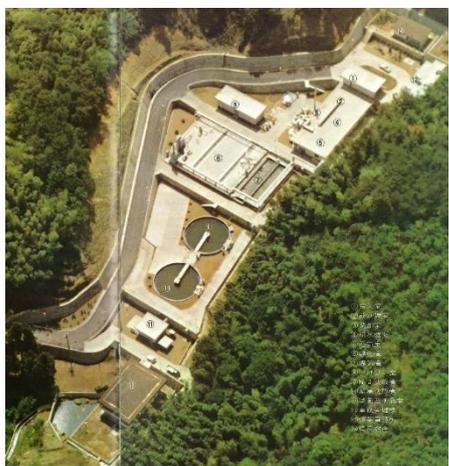
続いて、水処理技術の競争力強化のため1971（昭和46）年、米国エンバイロテック社と合併で住友重機械エンバイロテック株式会社（SJE）を設立し、水処理の主要機能を集約し、

総合的な水処理エンジニアリング会社として発展する基盤を得た。

SJE は民間廃水と上下水を主体とする体制で始まり、水処理市場拡大の時流によって拡大していった。

## 2. 技術蓄積期 1976（昭和 51）年～1985（昭和 60）年

1970（昭和 45）年以降、施設基準に則った嫌気性消化及び好気性消化処理方式のし尿処理施設建設件数が増加し、1976（昭和 51）年にはし尿処理施設構造指針が策定され、嫌気性消化、好気性消化及び湿式酸化処理の指針が定められ、指針に沿った施設に対して国庫補助がなされることとなった。



1976（昭和 56）年 好気性消化処理方式 1976（昭和 56）年 嫌気性消化処理方式  
住友納入のし尿処理施設

しかし、指針に沿わない技術は国庫補助の対象とならないため、指針外の技術に対しても一定の基準を満足する条件下で国庫補助の対象とする新処理方式の認可に対する例外規定が盛り込まれ、構造指針と同等以上の技術と評価される指針外技術評価を得ることで新技術を組み込んだ施設を補助対象とすることができた。

技術評価を得るための条件は 10kL/d 以上の施設規模で 1 年間（四季）の実証が必要とハードルが高く、実証の負担が大きかった。

それでも指針外技術を織り込んだ施設は各社技術の発展による他者に対する技術的差別化と先行者利益の獲得といった大きな成果が期待できるものであった。

1970 年代に入り、産業界の発展、都市の拡大等により公共用水域へ排出される汚濁負荷が飛躍的に増加し、公共水域の富栄養化による公害が顕著になるに従い、窒素、リン除去のプロセス技術の施設への組込が喫緊の課題となってきた。各社はそれらの問題を解決すべく窒素リン除去プロセス開発に取り掛かっていた。

住友も 1976（昭和 51）年、神奈川県平塚市の SJE 平塚研究所においてし尿処理技術の開発を開始している。

1975（昭和 50）年、荏原インフィルコ社が各社の先陣を切って生物学的脱窒素方法の原点となるデニパックプロセス（低希釈二段活性汚泥法）を開発、確立し、それが 1976（昭和 51）年の第一号施設の建設へとつながった。

その後 1979（昭和 54）年低希釈二段活性汚泥法は構造指針に採用され、のちに標準脱窒素処理法と名称が変わり、その後の活性汚泥法によるし尿処理施設はほとんどがこの方式で占められることとなる。

生物学的脱窒素プロセスを確立したのはし尿処理発の技術でその後の処理法の根本原理となるもので、まさに革新的技術であった。

住友も嫌気性消化、好気性消化の施設建設実績を重ねていたが、低希釈二段活性汚泥法の第一号は青森県の弘前地区環境整備事務組合殿向けの施設であり、荏原インフィルコ社の第一号施設から 7 年後であった。



住友納入のし尿処理施設 1983（昭和 58）年 低希釈二段活性汚泥（標準脱窒素）処理方式  
（添付資料 標準脱窒素処理方式）

デニパックプロセスの成功を目の当たりにする一方で、住友独自の生物学的脱窒素法のあらたな技術として間欠曝気の研究に 1980（昭和 55）年に着手している。

これは単一槽で曝気及び攪拌を交互に行うバッチ処理を基本とし、循環型の標準脱窒素法で必要な硝化槽及び脱窒素槽の 2 槽の機能を 1 槽で賄うことができるものである。

実証試験として茨城県湖北環境施設組合施設内でパイロット試験を 1 年間にわたって実施し、良好な成果を得て 1983（昭和 58）年にスミステップ法として全国都市清掃会議より指針外技術評価を取得した。

当方式は当時 10 倍希釈の低希釈二段活性汚泥法と呼称された循環脱窒素処理に対し、5 倍希釈でかつ窒素に関する処理水質を国内で初めて保証された技術であった。

この基本技術はその後当社の高負荷脱窒素処理、生物・凝集一体処理方式に展開されていった。  
（添付資料 スミステップ活性汚泥法）

1984（昭和 59）年、高効率散気装置である水中曝気装置（ハイレーター）を開発し、スミステップ法や標準脱窒素法における効率的な酸素供給を可能とし、その後、1988（昭和 63）年の深層曝気用のスミックスエアレータ開発により高負荷脱窒素処理法へと発展していった。

（添付資料 住友のハイレーター）

この頃は施設に搬入されるし尿の比率が高く、負荷も高かったが、浄化槽が急速に普及し始める時期で、浄化槽の普及に伴い、浄化槽汚泥の搬入量が徐々に増加するとともに、し尿が減少し、簡易水洗の普及に伴ったし尿の性状の希薄化が始まっていた。

その実績調査として 1980 年に「浄化槽汚泥の性状に関する研究」として下水道協会誌に発表した。

これは浄化槽から排出される浄化槽汚泥の性状について、1 年半にわたって継続調査し、その性状を明らかにしたもので当時としては貴重なデータであった。

この頃、し尿処理は希釈用水の取水難、放流量・放流先の負荷量低減、省資源・省エネルギーという社会的要請や立地の制約等を強く受けるようになっていった。

標準脱窒素法は非常に優れた技術であったが、希釈水による負荷調整を基本とする技術で、水槽も比較的大きかった。このような流れから各社は施設のコンパクト化、希釈水量の低減のため、高負荷処理の技術開発に着手していた。

住友もその流れによって開発をスタートしつつあったが、社内事情により 1984（昭和 59）年～1987（昭和 62）年までし尿処理関係の開発を休止しており、高負荷の処理の開発に遅れをとることになった。

1980（昭和 55）年、高負荷処理法は指針外技術に認可され、1982（昭和 57）年には高負荷処理方式の国内第一号施設が出現している。

住友の高負荷処理第一号機は 1990（平成 2）年であり、国内第一号施設の出現の 10 年後であった。



住友納入のし尿処理施設 2003（平成 15）年 高負荷処理方式

（添付資料 高負荷脱窒素処理方式 ニュースミステップシステム）

### 3. 技術発展期 1986（昭和 61）年～1996（平成 8）年

この時期は従来の好気性消化方式が標準脱窒素処理方式にとって代わり、高負荷処理の施設が徐々に建設されつつある時期であるとともに、膜分離高負荷脱窒素処理法の施設が建設され始める時期でもある。

住友は研究開発の休止期を経て 1988（昭和 63）年に開発を再開すると同時に、高負荷処理の技術確立を急いだ。神奈川県愛川町内のし尿処理施設でパイロット試験を 1 年間実施し、高効率散気装置を採用した深層曝気方式で 1989（平成元）年に全国都市清掃会議より高負荷処理の指針外技術評価を取得した。

ここで採用した高効率散気装置は後にスミックスエアレータとして上市され、スミステップ法と組み合わせた間欠曝気高負荷脱窒素処理法として住友の高負荷処理を代表する技術となっている。

それと同時に、各社が技術検討を始めていた膜分離装置のし尿処理への適用に関して、加圧式チューブラ膜の適用確認試験を行い、膜処理の適用を実現した。

1990（平成 2）年に住友が高負荷施設の第一号受注するときには、すでに膜の応用の技術で先行する各社（三井石化/三造エンジ、クボタ、荏原製作所、栗田工業、三菱重工業）は膜分離高負荷脱窒素処理の指針外技術評価を取得し、実用化の段階で、1988（昭和 63）年には膜分離高負荷脱窒素処理の第一号施設が出現している

膜分離高負荷では技術評価を得ていないため不利な状況であったが、膜事業推進のため官民共同研究事業が発足し、三井石化を除く先行 4 社と住友を含む技術評価未取得 5 社が参加し、共通の方式として 1991（平成 3）年に 9 社方式として技術評価を受けた。

これにより、膜分離は各社共通に保有する技術となり、その後、プラントメーカーが共同で新技術の開発を行い、同一技術を共有する流れが定着した。

住友の膜分離高負荷処理施設の第一号は 1990（平成 2）年、社内で N3 件と呼ばれるチューブラ膜を使用した 3 施設の連続受注であり、その後、1991（平成 3）年より高動力を要する加圧型膜処理を改善するため、日立プラント建設社と共同で低動力の負圧吸引型回転平膜の用途開発を行い、回転平膜を使用した膜分離高負荷脱窒素処理施設の第一号として、1993（平成 5）年最上広域市町村圏事務組合殿より受注した。

（添付資料 膜分離高負荷脱窒素処理方式 ハイピュアーシステム）

この頃、し尿処理施設に対する社内体制としてし尿処理事業専任営業体制がスタートし、技術部門は基本と実施設計を一体的に運営する体制であった。

1991（平成 3）年以降営業の成果もあり受注が増加してくる時期には基本設計と実施設計とを分離し、営業強化と建設能力の強化を行う体制へと移行した。

その結果、1992（平成 4）年以降ますます受注を増やすとともに、技術レベルの向上が著しい時期であった。

1992（平成4）年4月、SJEは環境事業のさらなる機能強化を目的にごみ焼却施設事業とともに住友重機械工業に統合された。

1993（平成5）年には受注額においてし尿処理施設業界で初めて1位となるなど、事業の勢いが増していた。

この時期に浄化槽の普及がさらに進み、し尿処理施設に搬入される浄化槽汚泥の比率が上昇し、BOD低下、SS上昇、BOD/TN比の減少に伴い処理の難易化がすすんでいた。その状況へ対応するべく、各社で浄化槽汚泥対応型の処理方式の開発がすすめられた。

その先駆としてクボタ、荏原インフィルコ、栗田工業の3社は共同で1994（平成6）年浄化槽汚泥対応型処理方式を開発し、廃棄物研究財団より廃棄物処理技術評価第1号及び第2号を取得している。

住友はそれに続き、1996（平成8）年に、アタカ工業等6社と共同で浄化槽汚泥対応処理方式の開発を実施し、1997（平成9）年に廃棄物研究財団より廃棄物処理技術評価第7号を取得している。この技術を住友としてスミマックシステムと名付けた。

（添付資料 住友の浄化槽汚泥対応型処理 スミマックシステム）

1996（平成8）年、浄化槽汚泥対応型処理の全国第一号施設が出現した。

#### 4. 技術充実期 1997（平成9）年～2006（平成18）年

1997（平成9）年に浄化槽汚泥対応型処理に関する廃棄物処理技術評価第7号を取得した後、本方式の住友の第一号施設として、膜装置に回転平膜を用いた施設を2000（平成12）年、宮崎県入郷地区衛生組合殿に、引き続き膜装置に浸漬型平膜を用いた施設を2004（平成16）年、茨城県湖北環境衛生組合殿に納入した。



住友納入のし尿処理施設 2004（平成16）年 浄化槽汚泥対応型処理（スミマック）

1998（平成10）年、膜分離装置の代わりに住友独自の高速凝集沈殿槽を使用したシステムを開発し、1999（平成11）年、廃棄物研究財団より廃棄物処理技術評価第12号を取得した。このシステムを住友としてスミスラッジシステムと名付けた。

（添付資料 住友の浄化槽汚泥対応型処理 スミスラッジシステム）

評価取得と同時に、1999（平成11）年、静岡県掛川市殿に対し、施設改造により高負荷処理設備を浄化槽汚泥対応型処理へ転換し、スミスラッジシステム第一号として納入した。この施設改造は浄化槽汚泥搬入比率の大幅な上昇に伴い、浄化槽汚泥対応施設とすることで施設能力を84kL/dより109kL/dへと増強するものであった。



住友納入のし尿処理施設 1999（平成11）年 浄化槽汚泥対応型処理（スミスラッジ）

1996（平成8年）から2000（平成12）年にかけて、回転平膜を採用した膜分離高負荷脱窒素処理施設を4件受注し、膜分離高負荷脱窒素に関する技術蓄積を継続した。



住友納入のし尿処理施設 2001（平成13）年 膜分離高負荷脱窒素処理（回転平膜）

膜分離装置はその後クボタの開発した浸漬型平膜が主流となり、浄化槽汚泥対応型処理では第2号施設以降で、膜分離高負荷脱窒素処理では2004（平成16）年の青森県下北地域広域行政事務組合殿以降浸漬型平膜を採用している。

1997（平成9）年、汚泥再生処理センター制度がスタートし、資源化設備としてのメタン発酵共同開発がスタートした。

メビウス方式のメタン発酵の実証試験を7社共同で神奈川県南足柄市において実施し、1998（平成10）年、廃棄物研究財団より廃棄物処理技術評価第8号を取得した。

汚泥再生処理センター1号納入施設として、長野県下伊奈郡西部衛生施設組合殿にクボタ社を幹事とする7社JVで受注、納入した。

（添付資料 住友のメビウスシステム）

その後住友単独で、汚泥再生処理センター方式では資源化設備として2000（平成12）年、北海道富良野地区環境衛生組合殿より国内最大級の大型生ごみ堆肥化設備、2002（平成14）年、長野県浅麓環境施設組合殿よりメビウス方式のメタン発酵槽設備では国内最大級の施設を組み込んだ施設を受注納入している。また助燃剤化技術として、青森県下北地域広域行政事務組合殿よりでスクリープレス型脱水機による助燃剤化設備を備えた施設を2004（平成16）年に受注納入している。

（添付資料 コンポストシステム）

このように資源化設備に関する技術についても蓄積拡大するとともに、汚泥再生処理の実績も積上げていた。

2000（平成12）年には1993（平成5）年に引き続いて2回目のし尿処理施設及び汚泥再生処理センターの受注額業界No1となるなど、事業及び技術の絶頂期を迎えた。

2000（平成12）年、新たな分野への進出検討として農産廃棄物処理に関する開発を開始し、畜糞メタン発酵開発としてエコファームを東京農業大学と共同で実施、2005（平成17）年まで継続した。回転平膜による高濃度化、高濃度アンモニア除去に対するストリッピング処理法を適用した開発であった。

（添付資料 住友のバイオガスシステム実証プラント）

続いて2001（平成13年）、ごみ焼却とメタン発酵のハイブリッド化の開発にも着手し、ごみメタン開発としてYmPJという社内名称で2006年（平成）まで開発を継続した。

この開発は神奈川県横須賀市内にパイロットプラントを設置し、都市ごみからの生ごみ回収とメタン発酵、及び発生したバイオガスを精製してパッカー社を走らせる技術を含んで実施され、のちの焼却とメタン発酵のハイブリット化技術、施設の先駆となる事例であった。

社内体制上はベテランの能力が円熟期に達し効率的に業務を行うことで業績を伸ばし続けた時期であるとともに、若手の増加に伴う技術の伝承も積極的に行われた時期であった。

## 5. 施設建設より施設の延命化、効率化へ 2007（平成 19 年）～

各自治体の財政圧迫、人口減少等により、近年ストックマネジメントが重要視される時代になってきており、施設の新設より如何に既存施設を長持ちさせるかに視点が移ってきている。

住友（住友重機械工業）では 2006（平成 18）年に社内事情により新規施設建設受注を停止し、2007（平成 19）年にはし尿処理施設に関する事業を住重環境エンジニアリング株式会社（SKE）に移管した。

それ以降、納入施設の延命化、効率化のための基幹改良工事に的を絞った技術展開を、施設の維持管理機能（オペレーション&メンテナンス）の強化と併せて行ってきた。

2011（平成 23）年より既納施設の基幹改良工事实績を積み上げ、施設の延命化、効率化に寄与している。

また、オペレーションとメンテナンスの効率化を目的としたトータルメンテナンス（包括的施設維持管理業務委託）の拡大に取り組んでいる。

住友として既納顧客への納入責任を果たすため、今後も顧客に対しタイムリーに、施設価値を維持向上させる技術を継続して提供していく所存である。

# タクマのし尿処理技術の変遷

(株)タクマ

## 1. はじめに

当社のし尿処理は、1962年(昭和37年)日本機工を買収し、さらにアメリカ・ウォーカープロセス(Walker Process Equipment INC)との技術提携の技術を引き継いだ時から始まった。アメリカ・ウォーカープロセス社が開発したガスリフター式ガス攪拌消化槽をベースに、日本機工が手がけていた会津若松市向けのプラントを引継いでこれを完成、運転を通じて技術を確認し、嫌気性消化方式の分野へ参入した。この方式は、完全に酸素を遮断した状態の槽内でメタン菌の働きによって有機物を分解する方式である。混合・反応を行う第1消化槽と固液分離する第2消化槽から構成され、35℃、30日間滞留の処理を行う。脱離液は希釈され好気性酸化処理を行い、消化汚泥は脱水処理を行う。負荷変動に強く、発生するメタンガスは加温に利用でき、エネルギー効率が良いことから、し尿処理の一時代を築いた。

当時、日本はまさに高度成長時代に突入するところであり、都市への人口集中、産業の発展、生活の向上などが大きなうねりとなって押し寄せてきつつあった。それにともない、各地において公共水域の汚染が始まり、社会問題となりつつあった時代である。

## 2. 嫌気性および好気性消化方式の時代

当社のガスリフター式ガス攪拌装置は、図1のように消化槽の中心部に円筒形のエダクターチューブを置き、その中にガスを吹き込むことによりエアリフトポンプの原理に基づき、液を下部から吸込み、上部に吐き出し槽内を攪拌、循環させるものである。

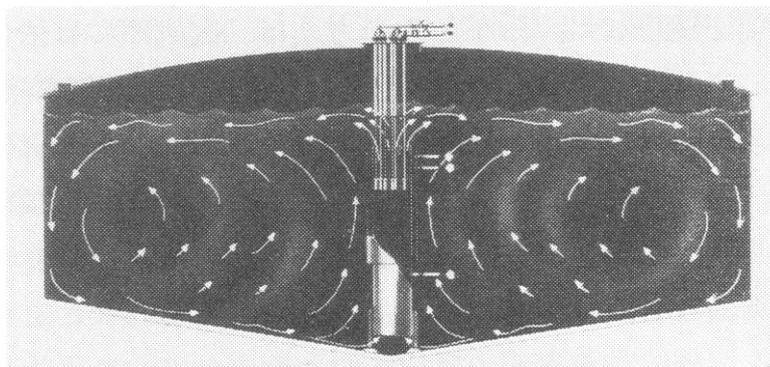


図1 ガスリフター式嫌気性消化槽概念図

当時多くの消化槽の攪拌は機械式が使われていたが、ガス攪拌方式は攪拌動力が小さく、機械部分がなく安全でメンテナンスが容易であるなどの優秀性が認められ、その後主流を占めるようになった。ガスリフター方式は、下水処理における消化槽ガス攪拌の一方式にもなった。

消化槽加温方式については、当時蒸気ボイラから発生する蒸気を直接消化槽に吹き込み加温する直接加温方式が一般的であった。これに対し当社のヒーテックスと呼ばれる温水ボ

イラと二重管式熱交換器の組み合わせた間接加温方式は、高温の蒸気による消化菌の死滅がなく、凝縮水による希釈もなく安定した加温ができ、しかも専門のボイラ技師が不要などの特徴から幅広く普及し、標準的な加温方式の一つとなった。

この嫌気性消化方式は、高濃度消化脱離液を活性汚泥処理などの二次処理を行う必要がある。この場合、脱離液は低濃度に下げなければならず、20倍という多量の希釈水が必要とされた。従来希釈水は地下水、河川水などの淡水でなければならぬとされていたので、臨海部や離島の場合は希釈水の確保が非常に困難であった。ここで海水の使用が考えられたが、活性汚泥処理の場合、塩素イオン濃度が5,000mg/L以上あると浄化機能が著しく低下し、實際上その使用は不可能とされていた。

当社は1963年日本住宅公団(現、住宅・都市整備公団)浜甲子園団地汚水処理場(処理人口18,000人)がたまたま海水の混入が多いことに注目し、その浄化機能について本多淳裕博士(当時大阪衛生研究所)らと協同で約2ヶ年にわたり調査、検討を行い、塩素イオン濃度が平均2,000~7,000mg/L(最大11,000mg/L)の変化に対しても、浄化機能が安定していることを確認した。この調査に基づき福島県会津若松市し尿処理場(90kL/日)で消化脱離液の人工海水希釈による活性汚泥処理の実験研究を行い、さらにその成果のもとに1965年宮崎市し尿処理場(100kL/日)を受注し、海水希釈の第1号プラントとして本格的な運転を開始した。塩素イオン濃度が15,000mg/L以上であっても十分活性汚泥処理性能を発揮できることを実証することにより、海水希釈による活性汚泥処理技術を確認し、嫌気性消化処理における海水希釈方式に大きな道を開いた。(図2)

当社は嫌気性消化方式の先駆者的役割をはたし、業界をリードし技術開発・発展に努め1977年までに38プラントの施設を納入した。しかし都市化が進むにつれ、嫌気性消化方式

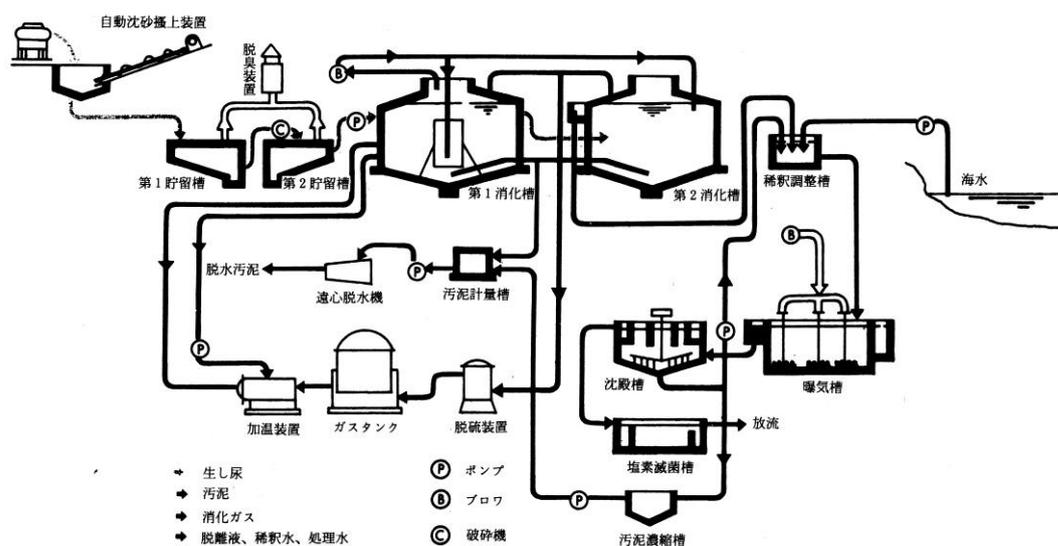


図2 海水希釈嫌気性処理方式のフローシート

は大きなタンクの外観、ガス臭気および脱窒素などの高度処理に対応できないなどの理由から、次第に採用されなくなっていった。

この方式に代わって消化槽に空気を供給し、好気性状態で有機物を分解する好気性消化方式が次第に採用されるようになってきた。当社は、1967年佐用郡衛生一部事務組合に18kL/日の酸化処理方式を、1977年南高西部浄化施設管理組合に18kL/日、1979年宮崎市に400kL/日の嫌気性消化から好気性への改造工事を受注建設した。しかしこの方式は二次処理には依然として20倍の希釈水が必要である上に、大きな水槽、大きな曝気用動力および排ガスの脱臭対策などが必要で、また発泡の問題が発生した。しかも1975年頃より、放流水域における富栄養化の問題が提示され、窒素除去の必要性が言われるようになってきたこととあいまって、この方式の採用された期間はあまり長くは続かず、次の段階に発展していった。

### 3. 低希釈二段活性汚泥法から高負荷法へ

1975年頃希釈水の問題の解決、汚濁物質の低減(特に窒素除去)を目的として開発された低希釈二段活性汚泥法(以下、低二法と記す)が登場し、主流を占めるようになった。低二法は、図3のように一次処理は第1攪拌槽、第1曝気槽から構成され、その間で液を循環させることによりBOD、窒素の同時除去を行うものである。攪拌槽で循環液中の $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ をし尿中の有機性炭素(BOD)をエネルギー源として脱窒素菌の働きによって $\text{N}_2$ ガスに還元除去し、曝気槽ではし尿中の $\text{NH}_4\text{-N}$ を硝化菌の作用により $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ に酸化する方式である。また二次処理として、第2攪拌槽では第1曝気槽から流出してきた少量の残留 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ をメタノール注入により脱窒処理し、第2曝気槽で残存メタノールを酸化分解するものである。この処理水は最終的に凝集砂ろ過、オゾン酸化処理などの高度処理をして放流される。

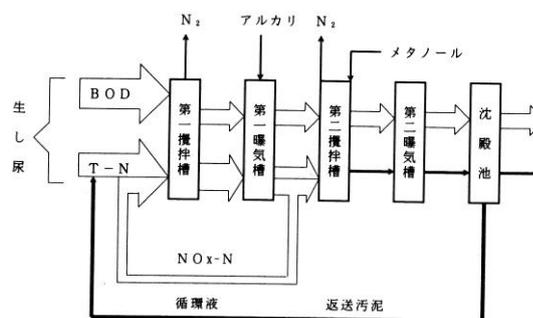


図3 低希釈二段活性汚泥法フロー

この処理水は最終的に凝集砂ろ過、オゾン酸化処理などの高度処理をして放流される。

嫌気性消化方式で確固たる地位を築いていた当社ではあったが、次の展開をはかるためには低二法の開発が急務であった。そのため1979年秦野市伊勢原市環境衛生組合し尿処理場内で、実証テストを(処理量14kL/日)開始した。1年間の実証テストの結果、当初の目標を達成し、低二法を技術確立した。しかし、1980年には高いMLSS濃度に保持された単一反応槽で無希釈生物処理を行い、さらに固液分離に機械式を採用することによって、従来に比べ槽容量が大幅に低減でき、処理効率の高い高負荷脱窒素処理方式が登場した。施設はすべて屋内式となり、非常にコンパクトで清潔感があり、し尿処理のイメージが一新された。当社はこの高負荷の技術開発に完全に立ち遅れ、し尿処理分野から大きく後退する状

況となった。

#### 4. 高負荷膜分離方式

1986年には高負荷脱窒素処理の固液分離に限外ろ過膜を使用した高負荷膜分離方式の第1号施設が登場し、またたく間に各社がこれに追随した。当社は再度この分野へ挑戦すべく、営業的空白期間に研究を続けてきた技術を発展させ、1989年に長野県裾花衛生センター内に高負荷・膜分離方式による脱窒素処理の実証プラント(10kL/日)を建設した。この処理方式は高いMLSS濃度(18,000mg/L)に保った反応槽と固液分離にUF膜を組合せたものである。当初、無希釈で処理水T-N20mg/Lをめざし実証テストを行い、反応槽のTN/SSの負荷0.05kg/kg・日以下でチューブラ型UF膜の透過流速 $1\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{日}$ 以上で運転し、さらに凝集加圧浮上、砂ろ過および活性炭吸着の高度処理により最終処理水BOD5mg/L以下、COD20mg/L以下、T-N20mg/L以下、T-P1mg/L以下の試験結果を得た。しかし実証試験中に他社9社が共同でT-N10mg/Lの技術評価を取得したため、当社も同等技術の開発が望まれ、引続きT-N10mg/Lの実証試験を継続し、さらに高度な処理技術を確立した。そして全国都市清掃会議に指針外施設としての技術評価を得るため申請を行い、1993年12月に評価を獲得し1994年1月登録され、タクマサーカムシステムとして本格的な営業展開を再開した。

タクマサーカムシステムの反応槽の循環概念図を図4に示す。反応槽は、曝気部、気泡分離部、攪拌部の3室からなり、曝気部に吹き込まれた曝気空気のエアリフト効果により槽内に強い循環流が発生する構造となっている。反応槽に投入されたし尿は槽内を循環しながら曝気、気泡分離、攪拌の各作用を受けながら硝化・脱窒される。

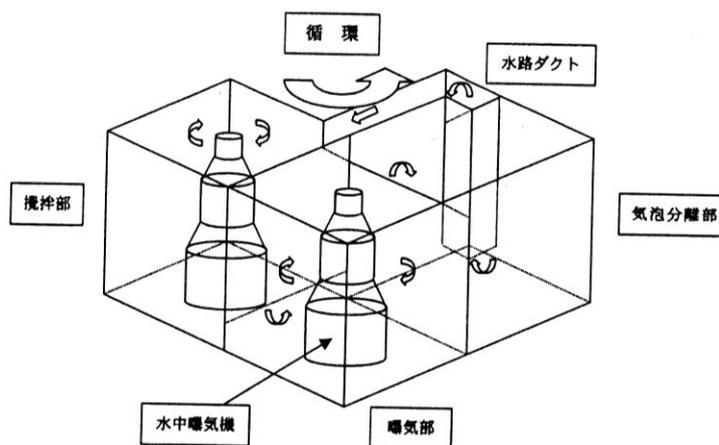


図4 タクマサーカムシステム 反応槽循環概念図

その後1997年に上浮穴郡生活環境事務組合殿に25kL/日の当該システムを納入した。処理フローを図4に示す。

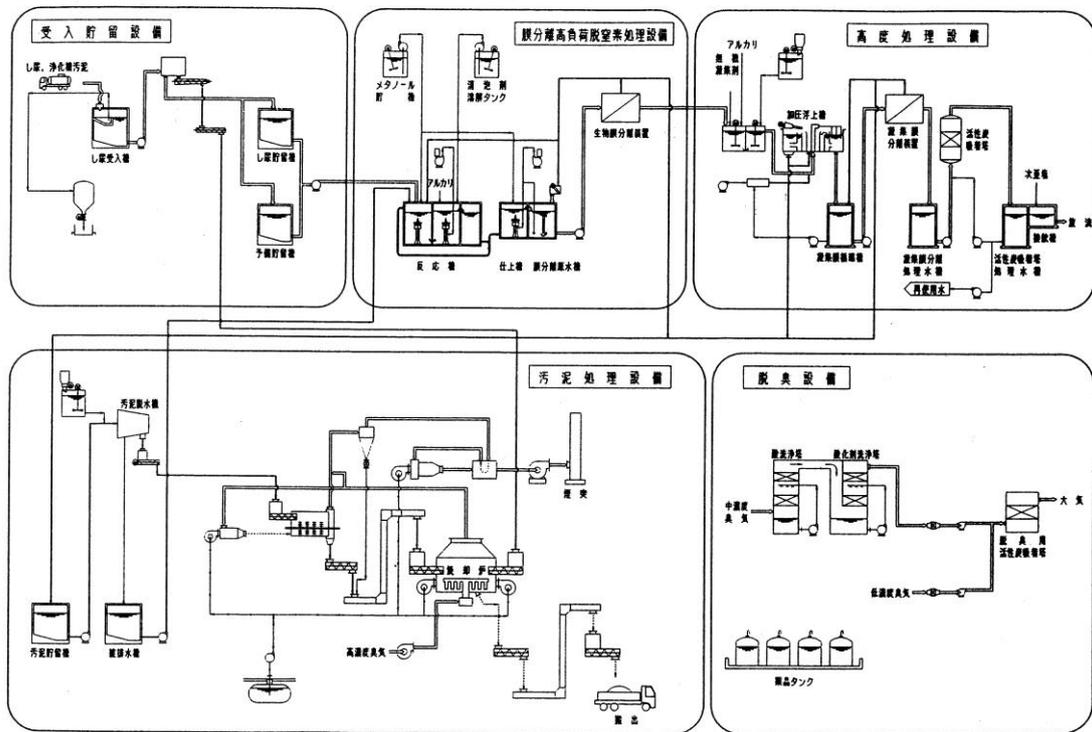


図4 上浮穴郡生活環境事務組合殿納入設備のフローシート

さらに、1999年に高砂市殿（90kL/日）、2001年に大宮市殿（179kL/日）、2003年に穂波町ほか2カ町衛生施設組合殿（152kL/日）を納入した。また、2006年には下水道放流方式で、富津市殿に高負荷脱窒素システム（68kL/日）を納入した。

## 5. 汚泥再生処理センター等への対応

1997年度より厚生省は廃棄物の発生抑制、資源リサイクルを目的に、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）の建設を推進するようになった。このような社会的要求に対応するため、当社を含む7社共同で実証試験プラントを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、1998年5月より約1年間にわたって実証試験を実施した。実証技術は「リネッサシステム」とよばれるもので、ドイツのシュバルティンク・ウーデ社より技術導入したメタン発酵技術である。し尿処理場より発生した余剰汚泥と、収集分別生ごみを対象とし、中温・高温メタン発酵槽の組合せにて処理を行うもので、実証試験の成果を基に、2000年1月には財団法人廃棄物研究財団の技術評価第23号を取得した。

また、し尿からのリン回収・肥料化を目的として、同様に当社を含む9社共同で大阪府河内長野市衛生処理場の協力により実証試験を実施し、財団法人日本環境衛生センターの廃棄物処理技術検証第5号「MAP法によるリン回収資源化システム」の交付を受けた。

## 6. さいごに

上記のように、タクマは昭和30年代よりし尿処理分野に参入し、嫌気性処理が主流であった時代を中心に、全国に多くのし尿処理場を納入してきた。時代の変遷とともに納入実績は減少しているが、一方で施設の長寿命化や地球温暖化対策としての基幹改良に対する要望もあり、これらに対して前向きに取り組んでいきたいと考えている。

以上

## し尿処理技術・システムに関する（株）西原環境の技術的な取り組み

株式会社 西原環境

### 1. 初めに

し尿処理技術の始まりは西原脩三の技術研究の原点でもある。昭和 25 年、経済安定本部資源調査会から「屎尿の資源科学的衛生処理勧告」（以下勧告）が出される。経済安定本部の総裁は吉田茂であり、内閣総理大臣が総裁を兼任していた。経済安定本部は、国費によって行われる一切の公共事業の計画および一般的監督責任を持ち、各省が公共事業を実施するときは、経済安定本部の認証を受けなければならなかった。つまり、この勧告は、日本の復興に重要な技術的かつ政策的な位置を占めていたのである。

この勧告の策定に西原脩三（以下西原）は専門委員として参画している。当時の委員は、科学処理小委員会長が下水試験法の原案作成した柴田三郎、メンバーには東大教授広瀬孝六郎、土壌肥料学者の東大教授春日井新一郎、公衆衛生院の洞沢勇、東京都の野中八郎等そうそうたる人々であった。すでに終戦直後の昭和 21 年、戦災復興院から学識経験者として任命されていた。日本の復興に精力的に参加していた西原は、引き続き勧告にも参加することになったのである。このことは、西原が市中のエンジニアとして稀有の存在であったことの表れでもある。

西原のし尿処理の歴史を紐解くにはもう少し歴史を遡らなくてはならない。大正 3 年、西原は伊庭邸に個人用浄化槽を施工する。その後大正 7 年、当時東洋一の高層ビルである東京海上ビルの浄化槽を施工する。処理規模は約 2000 人といわれている。数々の失敗から、西原は東京市の米元晋一や、内務省の近藤寅五郎、警視庁衛生検査所の西崎弘太郎、建築設計者の曾禰達蔵らの協力により竣工に漕ぎ付ける。そしてこのビルの竣工が水槽便所取締規則を生む。つまり、西原が設計した東京海上ビルと同じ方式である「腐敗槽+酸化槽+消毒槽」がこの法で初めて定められた浄化槽の基準となるのである。当時首都東京の三河島処分場でさえまだ竣工していない。三河島処分場の竣工は大正 11 年まで待たなければならなかった。目の前の首都東京の汚水処理問題は下水道の完成まで待てなかったのである。早期の法の制定が緊急の課題であった。当時の国力では下水道の完成はいつのなるかが予測できなかったのである。その後昭和 25 年 11 月、建築基準法が制定するまで水槽便所取締規則は継続するのである。

そして昭和 8 年、東京の綾瀬にし尿処理施設が出来る。180KL/日の綾瀬作業場である。当時としては最新の活性汚泥法によるし尿処理施設である。綾瀬は西原が基本設計を行ったと言われている。曝気槽の脇に写真中央に立つ、若き日の西原脩三と言われている写真が残っている。メタンガスは再利用し、浄化後の残渣は肥料化するため天日乾燥し、天井にはガラスを張った乾燥床が設計されていた。都心から離れた綾瀬にし尿処理施設を設けたのは近隣の農民のためであった。西原の設計思想にはし尿を衛生的に処理し、そこから得られた資源を自然に還元したいという考えがあった。いまでいう再資源化が西原の願いでもあった。折しも綾瀬作業場がそれを証明する事となった。資源の少ない日本は資源のある西欧諸国にとうてい勝てない。資源をつくり、何としても西欧に勝ちたいという日本人らしい発想である。この資源化の発想が、屎尿の資源科学的衛生処理勧告に明確に国策として引き継がれていったのであった。

そしてついに終戦を迎え、昭和 20 年 9 月 22 日、厚生省は G. H. Q から「公衆衛生対策に関する件 SCAPIN 48」で、上下水道及び汚物処理施設を早急に復旧すべしと命令をうける。以後 G. H. Q の日本の公衆衛生問題に関して厳しい指摘がつづく。この命令に伴い、西原は戦後すぐ現在の代々木公園にあった占領軍家族住宅「ワシントンハイツ」の汚水処分場を施工する、処理方式は 2 階槽式（イムホフ槽）+ 散水ろ床+消毒。この処

理方式は多くの住宅公団や駐留軍基地に引き継がれ、人口が都市部に集中してくる中で活躍していく。

そしてついに、昭和31年ネオ加温式促進消化処理方式の室蘭市東町し尿処理場が誕生する。こうして現在の西原環境のし尿処理の歴史が始まったが、その前に、西原脩三の多くのし尿処理の経験があったことを記載してこの序とする。



写真1 綾瀬作業場

## 2. 西原のし尿処理

### 2.1 ネオ加温式促進消化処理方式

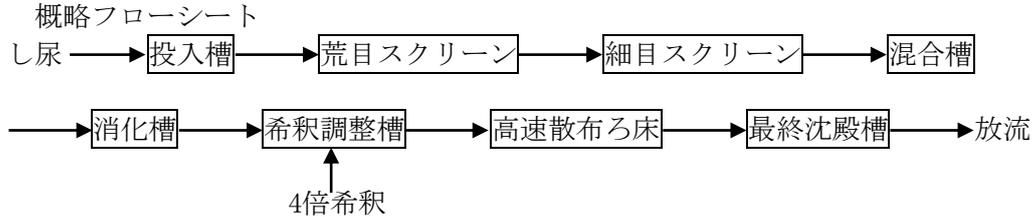
ネオ加温式し尿消化装置は、厚生省及び同庁の指導の下で各種処理装置について、種々検討の結果専門業者、西原衛生工業所の特許による促進消化処理方式に室蘭市の特異性を加味し、各専門家の意見及び研究を併せて考慮し、改良補足し、工事費の低コストと維持管理の節減に留意したものである。

#### (1) 処理方式の特長

処理方式の特長を下記に示す。

- ①特殊な装置と方法より汚物の消化作用を促進し、消化日数を半減し、消化槽の大きさを半減した単槽式15日促進消化法である。
- ②ごみ焼却炉を併置して本市のごみの処理を行うと共に、この排熱を消化槽の加温に利用し、補助燃料の石炭又は重油を必要としない。
- ③特殊な工夫により消化槽内の機械設備を省略したため、故障、修理が殆どない。
- ④各種機械の操作を正確・簡便にし、特に消化ガスの爆発に対する完全な制御防爆装備を有する。

(2) 各設備について



1. 真空ポンプ式汲取車等により搬出されたし尿は、先ず投入槽（平均1.2m×6.2m×深0.9m）に入り第一次（荒目）、第二次（細目）のスクリーンを経て、消化の支障となる固形物を除去し、自然流下により混合槽へ流入する。
2. 混合槽（径5.0m×深3.4m）は2槽を設け、各々攪拌機（5馬力電動機共）を設置し、交互に使用する。混合槽へ流入したし尿は、消化作用を促進するため、消化槽より返送汚泥及び脱離液にて混合攪拌され、汚物ポンプにより消化槽に送られる。
3. 消化槽は1槽で（径11.5m×平均深11m）容量約1140m<sup>3</sup>のもので特殊な構造となっている。消化槽に投入されたし尿は、35℃に常時加温され、嫌気性菌の醗酵繁殖により分解して、メタンガスを発生し、汚泥は沈殿し脱離液（上澄液）と分離する。発生メタンガスはガスボイラ及びごみ焼却炉の燃料として利用し、排熱は、直接加温され消化槽へ注入することによって、し尿の消化作用を促進する。  
一方促進した消化搬出汚泥は更に静置の状態において、充分の日数を経過したものを槽外に搬出して、堆肥化し、有効な有機肥料として利用する。また、消化槽には特殊浸水板を設ける事により、液面にスカムの発生を防止し、腐食しやすい機械設備を省略した。  
消化槽上部に分解された脱離液は、その排出量を1日24時間分に調節する希釈調整槽（径1.2m×深3.5m）へ自然流入し、本槽で清水を用いて4倍希釈し、最終沈殿槽からの処理水と放流水の一部をポンプで高速散布ろ床へ移送する。
4. 高速散布ろ床（11.4m×5.80m碎石層1.85m）へ入った液はろ床上に万遍なく散布され、ろ床材（碎石）の表面に発生する好気性菌により、更に浄化されて最終沈殿槽（径3m×深4.6m）へ流入し、上澄水（処理水）の一部は放流し、他は希釈水として、希釈調整槽に返送され、原液の希釈倍率を大きくして浄化効果の増進を図る。
5. 消化槽内し尿の消化作用により発生するメタンガスは脱硫塔を経て、最大発生量の3時間の貯量を有するガスタンクに貯留して、脱離液の加温に利用する。消化槽には電動機を近接させないで、又、漏電その他によるガス爆発の危険等を防止し、防爆装置には特殊の装備と工夫をしている。
6. ごみ焼却炉（1日処理量10t、火床数3）は、ごみの焼却により生ずる直接の発生熱を利用して脱離液を加熱し、夏期は殆ど発生ガスを使用することは無い。
7. ボイラ室（6.8m×7.4m）はガスボイラ1基、温液循環ポンプ3台（予備共）脱離液循環ポンプ2台（予備共）を、又汚物ポンプ室は5.8m×6.8mで汚物ポンプ2台（予備共）を設置し、消化槽温度自記計、ガスボイラ温度自動制御計、気泡式液面指示計並びに警報装置等の自動装置が備えてある為に、適確な作業が容易に行える。

(3) 施工実績

名 称：室蘭市東町処理場（写真2）

処 理 量：54kℓ/日

竣工年月：昭和31年2月

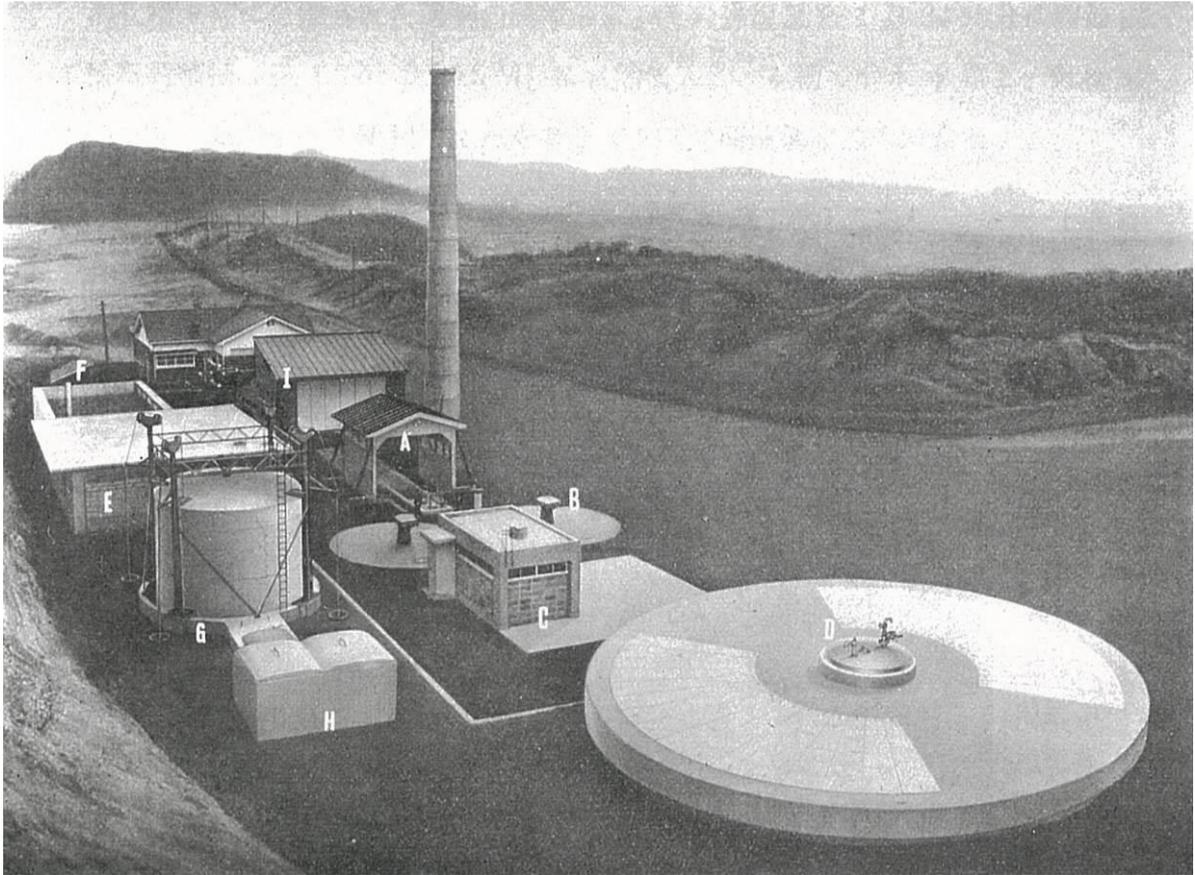


写真2

- |          |          |            |
|----------|----------|------------|
| A. し尿投入槽 | B. 混合槽   | C. ポンプ室    |
| D. ネオ硝化槽 | E. ガスボイラ | F. 高速散布ろ床  |
| G. ガス溜   | H. 脱硫槽   | I. ネオ塵芥焼却炉 |

## 2.2 ネオ無加温式し尿促進消化処理方式

本無加温式し尿消化装置は厚生省及び北海道庁の指導の下に各種処理装置について、種々検討の結果、専門業者西原環境衛生研究所の特許によるネオ促進消化処理方式を採用して、寒冷地としての地域の特異性に相応しい装置とし、建設費の合理性・経常費の節減・管理の安全簡易に特に留意したものである。

### (1) 処理方式の特長

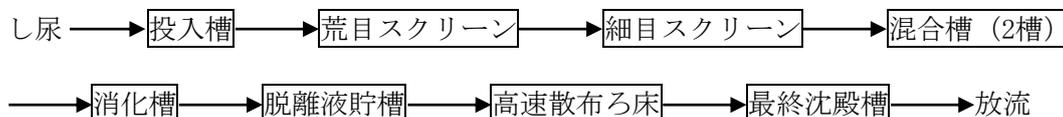
処理方式の特長を下記に示す。

1. 操作の安全性と簡易性及び経常費の節減を計るため、無加温式消化槽とし、加温装置を用いていない。
2. 独特な装置と方法により、し尿の消化作用を促進して、消化日数の短縮を計り、従って消化槽の大きさを削減した単槽式60日促進消化法である。
3. 消化槽内を静置の状態において消化しているが、スカムは絶対にできない。
4. 特殊な装置により消化槽内の機械設備を省略したので、故障修理がなく、電動機による発生ガス誘爆の危険がない。
5. 衛生的かつ容易にし尿の投入が出来る様、特殊な工夫をした投入設備を設置している。
6. 管理が昼間のみの作業で完了するため管理人1人でよいので、管理費の低減である。
7. 将来処理人口の増加した際でも、加温式として消化槽をそのまま、容易に処理出来る(4倍量の処理量が処理出来る)。

8. 促進消化法であるのでビタミンB<sub>12</sub>が従来の消化法より多量に生ずる。

(2) 各設備について

概略フローシート



1. 搬入されたし尿は投入槽へ投入され、一次（荒目）、二次（細目）、スクリーンを経て消化に支障となる粗大な固形物を除去して、自然流下により混合槽に入る。
2. 混合槽は2槽からなり、交互に使用する。本槽へ流入したし尿は、消化作用を促進するため、消化槽より返送された成熟汚泥及び種脱離液の2液を加え、特殊し尿ポンプにて攪拌混合されて、再びそのし尿ポンプを用いて消化槽に送られる。（1日各槽それぞれ1回操作）
3. ネオ無加温式促進消化槽は、2槽より成り、各槽それぞれ並列に用いる単槽式消化槽で、角型の特殊な構造を有するものである。本槽に投入されたし尿は、静置の状態において嫌気性の醗酵によりガス化及び液化して、汚泥は沈殿し、脱離液（上澄液）とに分離される。脱離液は脱離液貯槽（ポンプ室内）に1日分排出されて、後述の脱離液処理装置により更に浄化処理して下歌志内川に放流される。汚泥は乾燥し有機肥料として農家に還元する。

尚、本槽内では特殊な工夫により機械設備を用いなくても、スカムは絶対に発生しない。従って機械の故障腐蝕等の心配がない。

#### 4. 脱離液処理装置

脱離液はポンプ室内の脱離液貯槽より排出量を12.5時間分に調整して希釈調整槽へ自然流入し、本槽で清水と最終沈殿槽から返流水で希釈されたものを、特殊な循環ポンプで高速散布ろ床に送られる。高速散布ろ床へ送られた液は、ろ材上のノズルで万遍なく散布され、ろ材表面に発生する好気性菌により更に浄化されて、最終沈殿槽で沈澄した上澄水の一部は放流され、他は希釈調整槽に返送し、脱離液を希釈して再び高速散布ろ床へ送られる。

#### 5. ポンプ室（写真3）

消化槽にし尿を送る特殊な汚物ポンプ2台（予備共）・希釈脱離液を高速散布ろ床に送る特殊循環ポンプ1台及び消化促進用の脱離液循環ポンプ1台を装備し、過剰脱離液貯槽及び希釈調整槽を設置する。

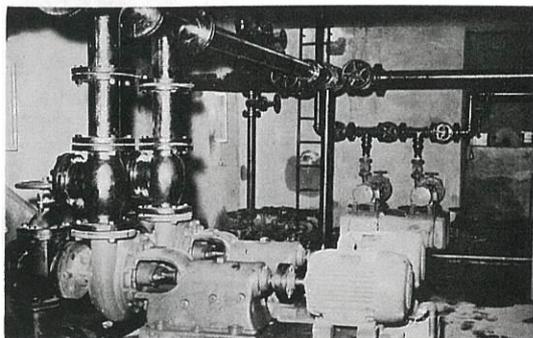


写真3 し尿ポンプ室内

#### (3) 施工実績

名称：上砂川処理場（写真4）

処理量：10k0/日

竣工年月：昭和32年6月

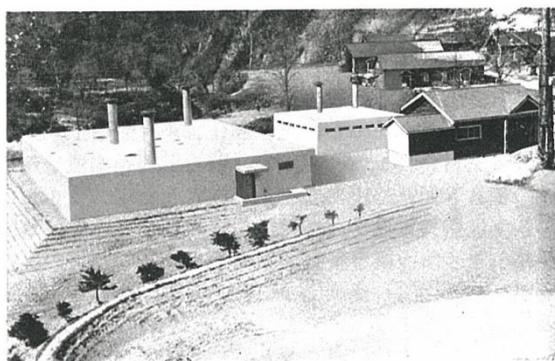


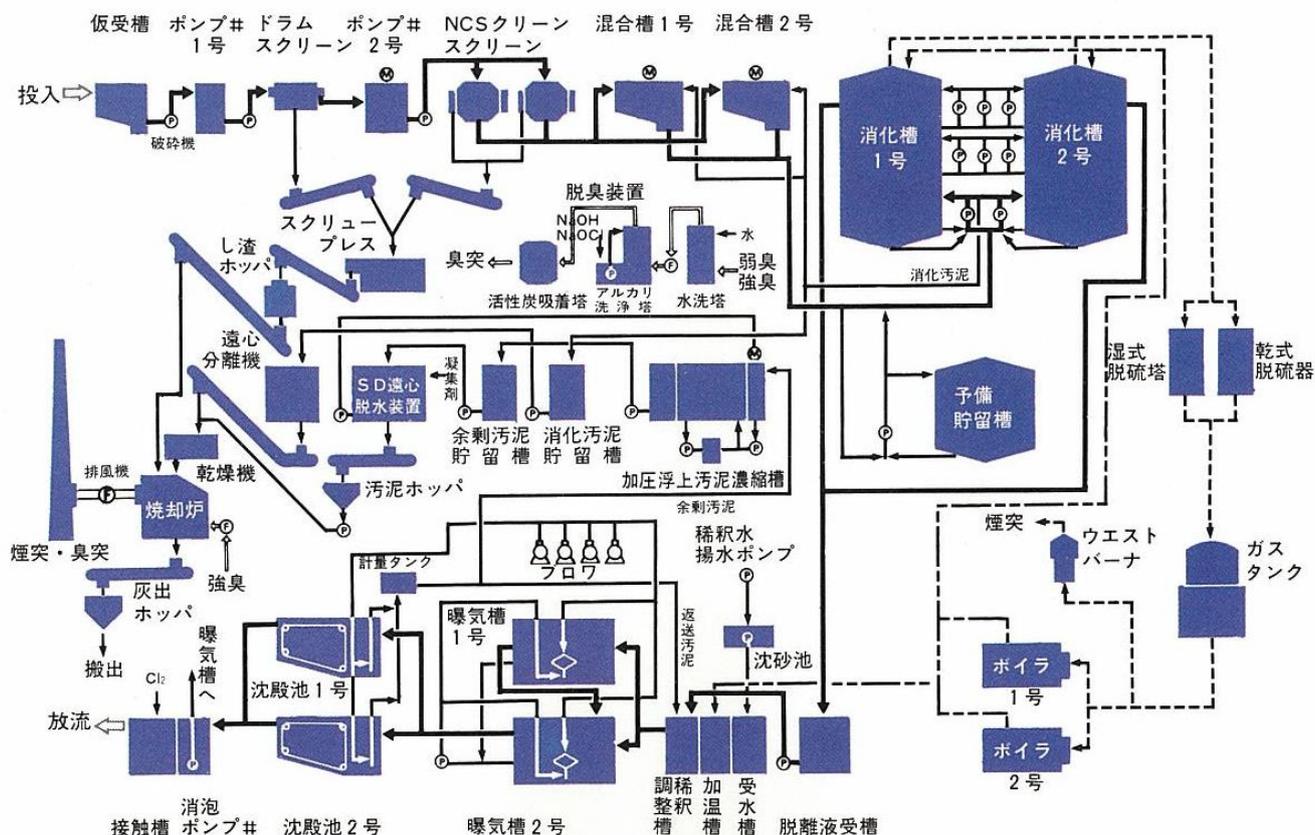
写真4 上砂川町処理場

### 2.3 嫌気性消化・活性汚泥処理方式

昭和40年になると、西原の処理方式は嫌気性消化・散布ろ床処理方式から、嫌気性消化・活性汚泥処理方式へ移行している。時代の要求に応じてよりBOD除去率が高い活性汚泥法が嫌気性消化法などの一次処理液の二次処理として採用されていた。

活性汚泥法は、好気性生物処理方式の代表的なものであり、汚水と活性汚泥を混合接触させ、空気を供給して汚水を活性汚泥で吸着・分解させて浄化するものである。

#### (1) フローシート



#### (2) 施工実績

名称：道北環境衛生事業組合衛生センター (図1)

処理量：70kℓ/日

竣工年月：昭和54年3月

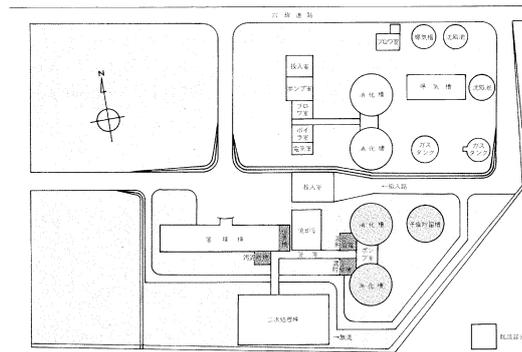


図1 配置図

## 2.4 西原NNDプロセス（低希釈二段活性汚泥処理方式）

低希釈二段活性汚泥法の処理工程の中心となる反応槽は、二つの攪拌槽、二つのばっ気槽、一つの沈殿槽で構成され、攪拌とばっ気が2段階に繰り返されるのが特長である。まず、第一攪拌槽には、活性汚泥中の脱窒菌が存在し、送られてきた前処理後のし尿と次の第一ばっ気槽から戻された循環液とを混合する。

嫌気状態のもとで攪拌すると、循環液中にあった硝酸性窒素は、脱窒菌の作用を受け、無害な窒素ガスに還元され、大気中に放散される。この際、ほとんどのBODも栄養源として消費して、炭酸ガスと水に分解される。

次に第一ばっ気槽では、好気性状態のもとで、ばっ気を続けると、硝化菌の働きによりし尿中のアンモニア性窒素を硝酸性窒素まで酸化する。このように、第一攪拌槽と第一ばっ気槽を有機的に組み合わせることにより脱窒処理が行われる。

第二攪拌槽では仕上げの脱窒を行う。窒素をより効率的に除去するため、この槽でメタノールを添加する。第二ばっ気槽で、残っているBODを除去するとともに、汚泥を活性化し、沈殿槽での固液分離性を良くする。沈殿槽で汚泥は沈殿分離される。

### (1) 処理方式の特長

処理方式の特長を下記に示す。

#### 1. 低希釈でできる

希釈水が少ない地域でも、10倍以下の低希釈で、20倍希釈と同等以上の処理水質を得ることができる。

#### 2. 公共用水域への汚濁負荷が低減される。

低希釈処理で、なおかつ良い処理水質を得ることから、放流する公共用水域の汚濁負荷量を、大幅に縮小することができる。

#### 3. 窒素の除去が高い。

循環式硝化脱窒法を組み入れているので、BODや窒素の除去に、従来の20倍希釈より高い除去率が得られ、処理水質も安定しています。

#### 4. 建設費が低廉で、かつ既存の施設が利用できる。

槽の容量が、従来の好気性処理方式と同程度ですから、既存の施設を改造して、処理量の増量と高性能化が可能です。

#### 5. 硝化・脱窒工程の動力費が安い。

硝化には多量の空気が必要ですが、酸素溶解効率JAS（ジェットエアレーションシステム）を使用しているので、消費動力は少なくなる。

#### 6. メタノール使用量が少ない。

水素供与体として、生し尿中の有機物を利用するため、メタノール使用量は少なくなる。

#### 7. 余剰汚泥量が少ない。

前処理にNCSクリーンを使用し、夾雑物を多量に除去するため、生物処理の負荷を軽減し、余剰汚泥の発生量が少なくなる。

8. 維持管理費が低廉

処理法の高率化をはじめ、上記各項の特長を発揮することにより、維持管理費が低廉できる。

9. 運転操作が容易で機能が安定

従来の好気性処理と同様に、運転が容易で、安定した処理水質が得られる。

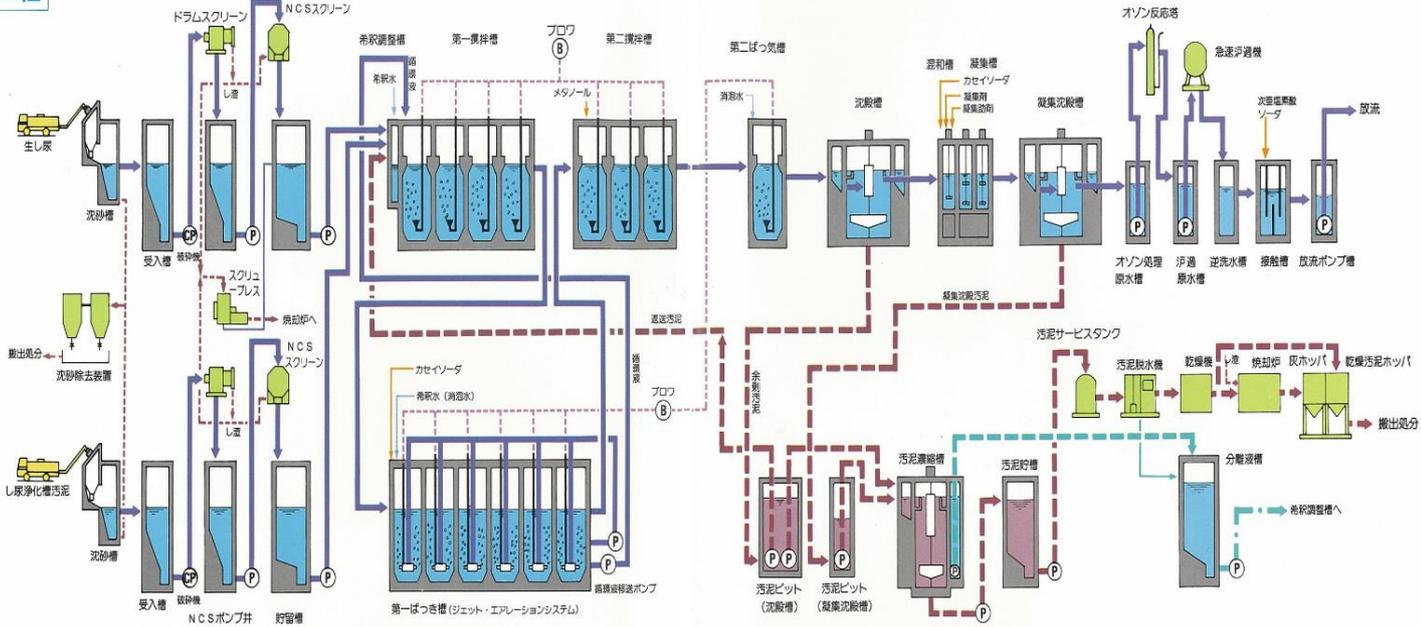
10. 脱臭装置が経済的

JASは、酸素溶解効率が高いので、送風量が少なくて済む。排気量を1/6~1/3に減らすことができる。

(2) フローシート



処理工程



(3) 施工実績

名称：三沢地区衛生センター (図2)  
 処理量：80kℓ/日  
 竣工年月：昭和59年8月

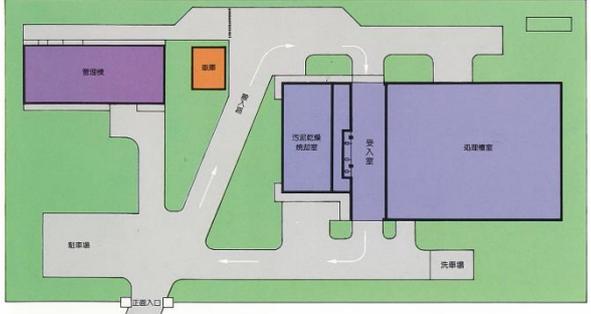


図2 配置図

2.5 標準脱窒素処理方式

標準脱窒素処理方式の処理工程の中心となる反応槽は、二つの攪拌槽、二つのばっ気槽、

一つの沈殿槽で構成され、攪拌とばっ気が2段階に繰り返されるのが特長である。

まず第一攪拌槽には、活性汚泥中に脱窒菌が存在し、送られてきた前処理のし尿と次の第一ばっ気槽から戻された循環液を混合する。

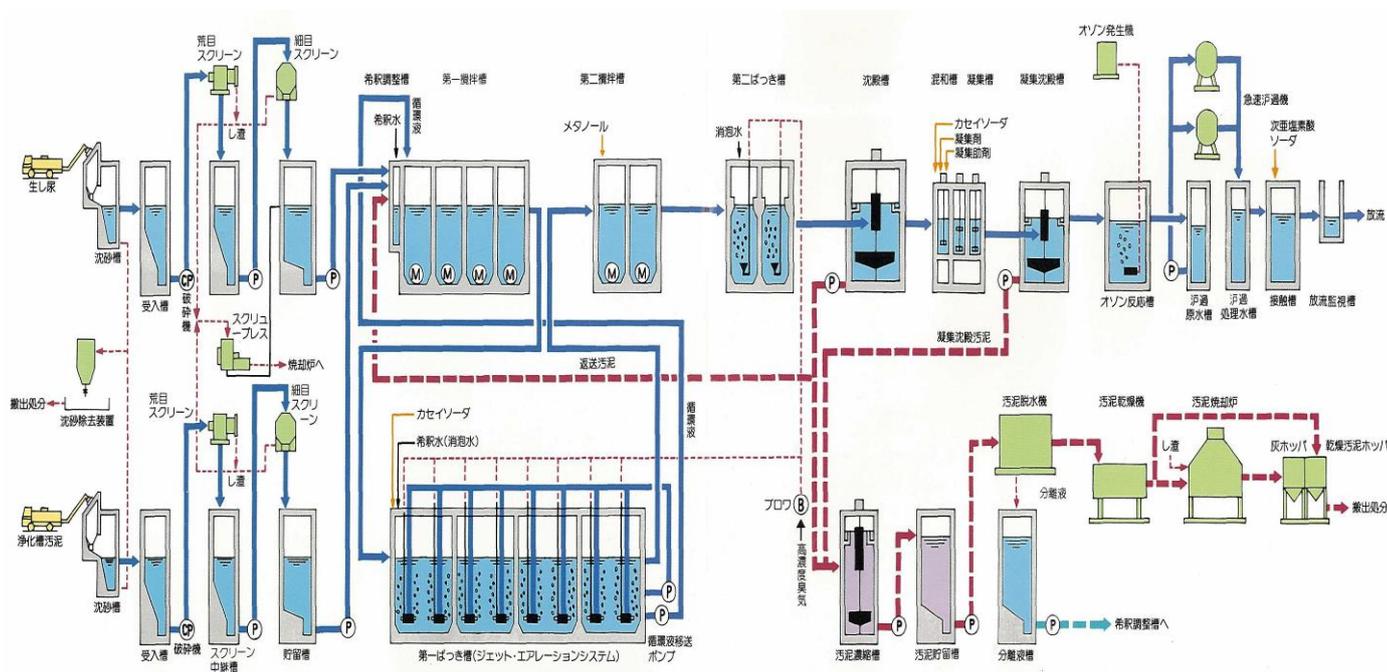
嫌気状態のもとで攪拌すると、循環液中にあった硝酸性窒素は、脱窒菌の作用を受け、無害な窒素ガスに還元され、大気中に放散される。

この際、ほとんどのBODも栄養源として消費し、炭酸ガスと水に分解される。

次に第一ばっ気槽では、好気性状態のもとで、ばっ気を続けると、硝化菌の働きによりし尿中のアンモニア性窒素を硝酸性窒素まで酸化する。このように、第一攪拌槽と第一ばっ気槽を有機的に組み合わせることにより脱窒処理が行われる。

第二攪拌槽では仕上げの脱窒を行います。窒素より効率的に除去するため、この槽でメタノールを添加する。第二ばっ気槽で、残っているBODを除去するとともに、汚泥を活性化し、沈殿槽での固液分離性をよくします。沈殿槽で汚泥は沈殿分離される。

(1) フローシート



(2) 施工実績

名称：東根市外二市一町共立衛生処理組合し尿処理施設 (図3)

処理量：160kℓ/日

竣工年月：平成2年11月

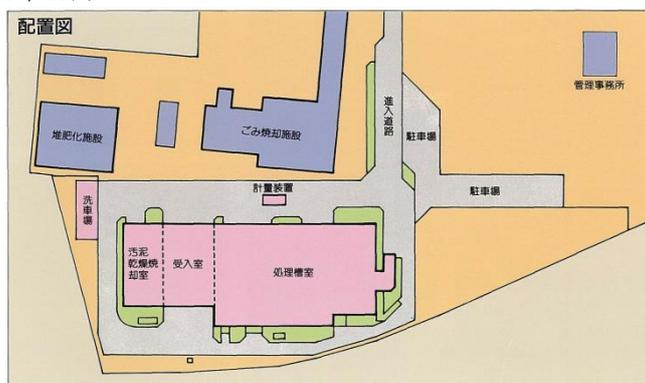


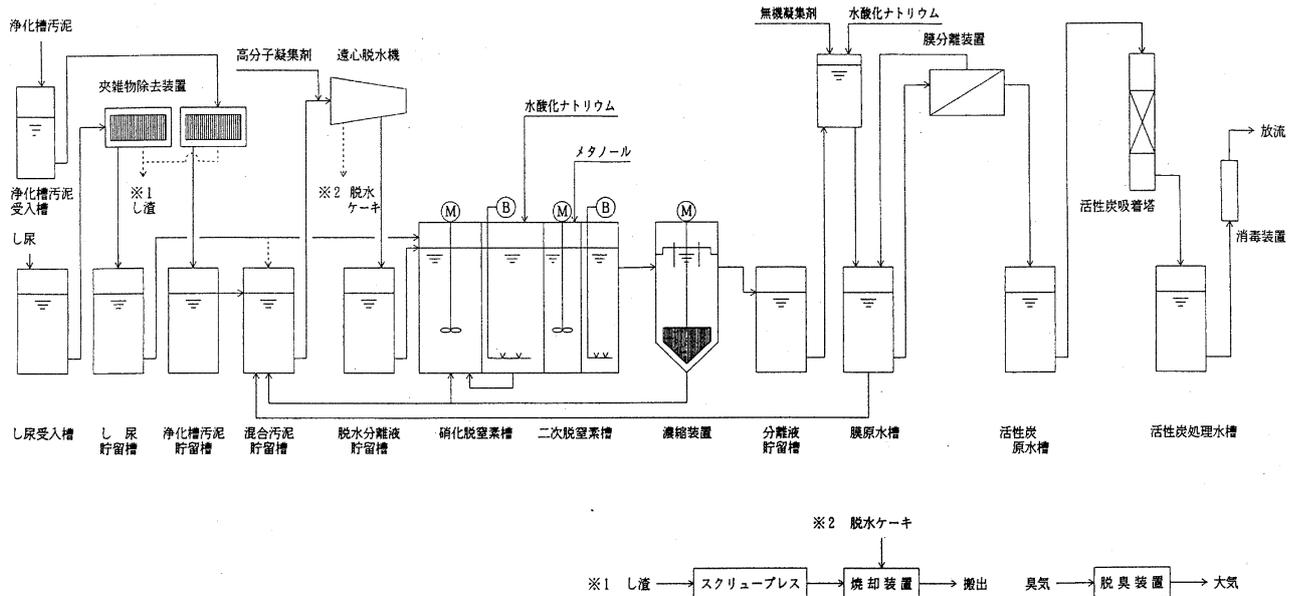
図3 配置図

## 2.6 膜分離高負荷脱窒処理方式

西原の処理方式は、浄化槽汚泥混入率の高い膜分離高負荷生物脱窒素処理に活性炭吸着による高度処理を組み合わせたものである。

夾雑物除去後のし尿及び浄化槽汚泥を無希釈のまま生物学的脱窒素及び凝集分離で処理し、凝集分離工程及び汚泥脱水工程を前処理工程に集約させることで処理設備全体をコンパクトにしている。

### (1) フローシート



### (2) 施工実績

名称：あだたら環境共生センター（写真5）

処理量：130kℓ/日，生ゴミ500kg/日，農業集落排水脱水汚泥75kg/日

竣工年月：平成 年 月

### (3) ゼノン膜プロセス マックバイオ（MF膜）

ゼノン膜の特長

① ろ過膜を反応槽内に設置し、直接固液分離を行うため、沈殿池が不要である。また、高MLSS運転ができるため、反応槽が小さくなります。このため、建設費、敷地面積の大幅な削減が可能である。

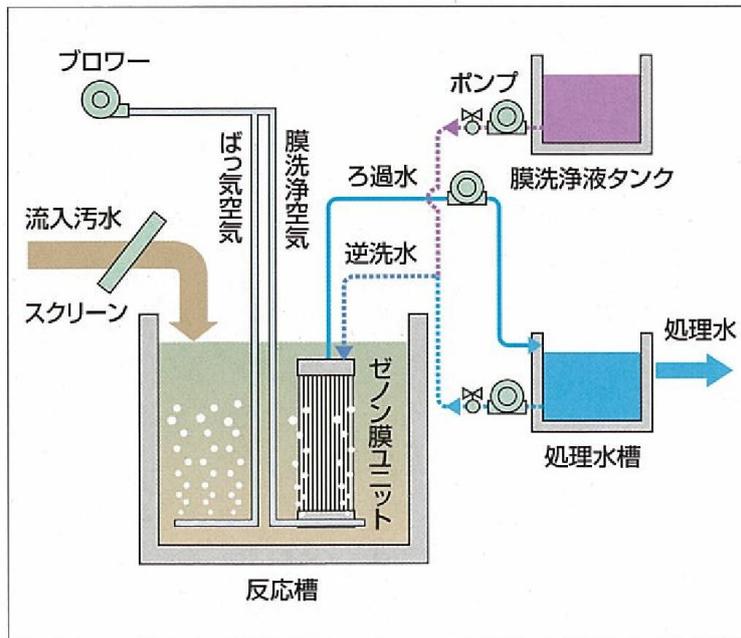
② PVDFをベースとした強度と耐久性に優れた中空糸膜である。

また、独特の洗浄機構により常に膜面をリフレッシュしているため、ろ過流速を高く保つことができる。さらに、精密ろ過膜の中でも孔径が $0.1\mu\text{m}$ 程度小さいため、高品質で安全性の高い処理水が安定して得られる。

③ 沈殿分離に関する活性汚泥の管理が不要である。

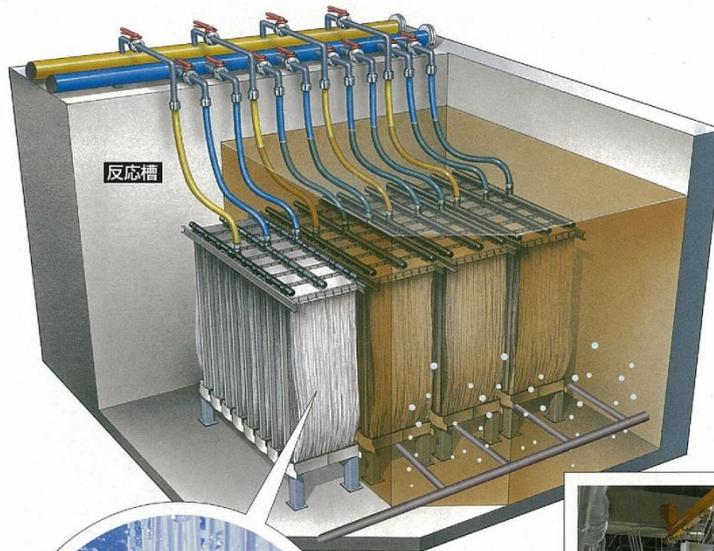
着脱が容易にカセット式膜モジュールの使用、膜洗浄の自動制御化により点検などの維持管理が容易である。

④ BODのみならず、NP除去及びナノろ過膜、逆浸透膜などとの組合せによる排水の再利用や水源への還元など、より高度な処理が可能である。

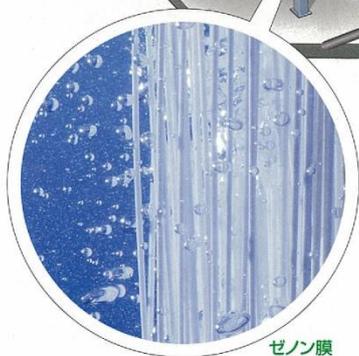


マックバイオのフローシート

### マックバイオの構造



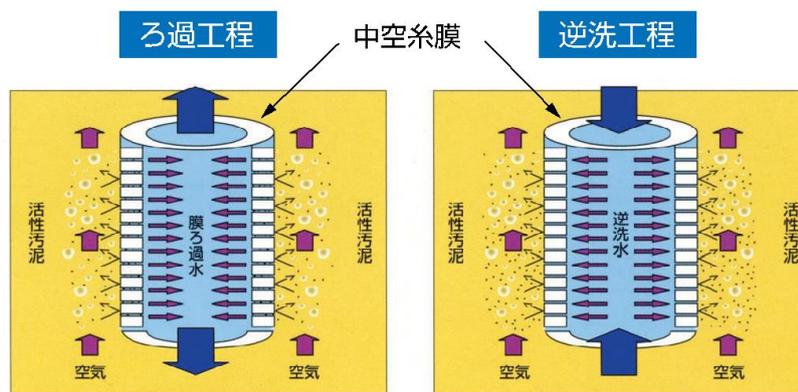
マックバイオは、活性汚泥法の反応槽内にゼノン膜を設置し、膜による固液分離で直接処理水を得るプロセスです。このため、新規の施設のみならず既存の施設へも簡単に適用できます。



ゼノン膜



モジュール配置・設置例



<ろ過・逆洗原理>



写真5 あだたら環境共生センター

### 3. 西原の最新技術

汚泥再生処理センターでは、汚泥の含水率70%以下とする助燃剤化設備が稼働しており、また、CO<sub>2</sub>削減を要件とした基幹改良事業も進められている。西原は遠心脱水機において約800台の総納入実績を有し、うち汚泥再生処理センター(し尿処理施設を含む)では約90台の納入実績がある。また、近年は助燃剤化設備対応化を目標に超低含水率型遠心脱水機の開発を進めて来た。その成果として、従来の高効率型遠心脱水機と比較し10ポイント以上の低含水率化が図られ、汚泥含水率70%以下を実現し、これまでに類を見ない超低含水率型遠心脱水機(以下、「SDRインパクト」と示す)の開発に成功した。

#### (1) 構造概要

図4にSDRインパクトの構造概要を示し、写真6にSDRインパクトの外観を示す。SDRインパクトは、無機凝集剤と高分子凝集剤を併用する2液調質法(以下、「2液法」とする)専用の遠心脱水機である。

従来型遠心脱水機では供給汚泥ラインに無機凝集剤を注入する方法に対し、SDRインパ

クトでは、無機凝集剤を直接遠心脱水機本体へ注入する機構を採用した。脱水がある程度進んだ箇所(ドライビーチ部分)へ無機凝集剤を直接注入するため、より効果的に無機凝集剤を脱水に使用することができ、その結果、脱水汚泥含水率が大幅に低下した。

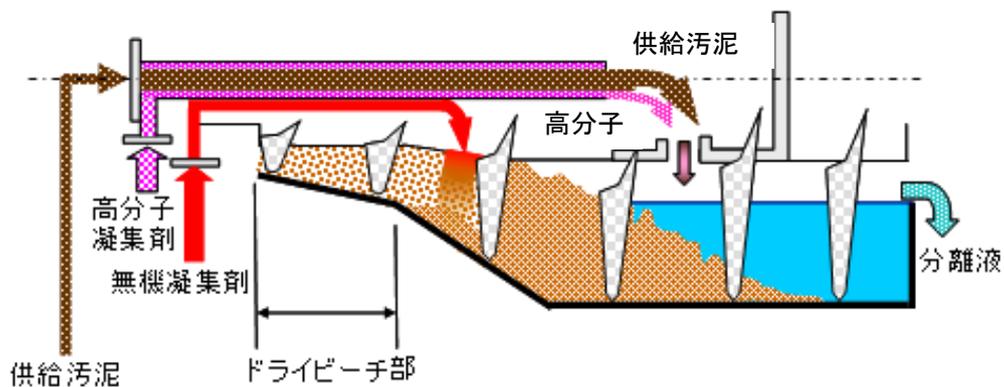


図4 SDRインパクトの構造概要



写真6 SDRインパクト外観

# 「日立造船株式会社のし尿処理技術－IZ高負荷脱窒素方式を中心として－」

日立造船株式会社

キーワード：し尿、浄化槽汚泥、硝化脱窒、膜分離、汚泥脱水、リン回収、

## 1. はじめに

し尿は、我が国では古くから有機肥料として農地還元されてきた歴史がある。都市部では、貯留されたし尿を近隣の農民が米や金と交換し、肥料として利用してきたといういわゆる都市部と農村部での循環型システムが構築されていた。

英語でナイトソイル（Night-soil）とも訳される「し尿」は、西欧においても農業利用されてきたことが最近の研究で示されている<sup>1)2)</sup>。三俣は、「屎尿経済の日英比較」の中で、イギリスでは「ナイトソイルと称された人の排泄物が、廃棄物としてではなく、肥料資源としてさかんに利用されてきた。」「ナイトソイルという言葉は肥料として農業利用される目的で、都市部において収集された人間の排泄物という概念を的確に表現している。」と述べている<sup>1)</sup>。

都市化の進展によって、排出と利用の需給バランスが崩れると、し尿は生活圏からの排除と処理の対象となる。14世紀のパリでは、「水にご注意（Gare L'eau）」と3度叫べば窓から何を投げ捨ててもよいとされ、窓から汚物が投げ捨てられていたという<sup>2)</sup>。このような状況の中で、西欧では、し尿を含む汚水をすばやく河川に放流する排水管が敷設され、ついで下水処理施設が発展したとみられる。

話を我が国に戻すと、し尿が貴重な肥料であった時代は、都市と農村との間で循環利用されていたが、化学肥料の登場と都市化の伸展によって、し尿の需給バランスが崩れ、し尿が回収されずに廃棄され、河川や海洋を汚染させ、その対策が必要とされた。我が国では、し尿を貯留し利用するという歴史から、貯留したし尿を収集し、し尿処理施設において集約処理するという他国に例のない独自の歴史を形成してきた。

公衆衛生の向上を図ることを目的として整備されたし尿処理施設では、その後の公共水域の水質規制の強化、循環型社会の構築といった社会的な要請をうけて技術が多様化し、①嫌気性消化方式、②好気性酸化方式、③湿式酸化方式、④標準脱窒素方式、⑤高負荷脱窒素方式、⑥膜分離高負荷脱窒素方式、⑦浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素方式、など独自の技術開発が行われてきた<sup>3)6)</sup>。そして1997年（平成9年）には、し尿、浄化槽汚泥だけでなくその他の有機性廃棄物を受け入れて再資源化を図る「汚泥再生処理センター」が国庫補助の対象となり、①堆肥化、②メタン発酵、③リン回収、④汚泥助燃剤化等の資源化技術が開発され現在に至っている<sup>3)6)</sup>。

日立造船株式会社は2014年、アタカ大機株式会社の吸収合併によりし尿処理分野の技術継承を行っている。

本稿では、当社のし尿処理技術の開発経緯、特に我が国で初めて無希釈し尿処理を可能としたIZジェットエアレーションシステムによる高負荷生物脱窒素処理方式、および汚泥再生処理センターに不可欠な資源化技術の開発経緯と今後の汚泥再生処理センターにおける展望について述べる。

## 2. し尿処理施設の現状

し尿処理形態別人口比率の変遷を図-1に示す。下水道人口比率の上昇に伴い、非水洗化人口（し尿人口という）比率は徐々に減少しており、農業集落排水施設人口を含む浄化槽人口比率も同様に、漸減の状態が続いている<sup>3)</sup>。

2014年度（平成26年度）におけるし尿処理施設の処理実績量は、汲み取りし尿638万kL/年、浄化槽汚泥1,356万kL/年の合計約1,994万kL/年である。これは、計画収集人口773万人、浄化槽人口2,639万人に相当し、し尿と浄化槽人口の比率は、総人口1億2818万人の約26.6%となっている<sup>3)</sup>。し尿処理施設も、その役割はし尿処理というよりは浄化槽汚泥処理に重心が移っているが、今後も下水道未整備区域の公衆衛生にとって重要な役割を担っている。

し尿処理方式別のし尿処理施設の処理能力の推移を図-2に示す<sup>3)</sup>。2014年度（平成26）におけるし尿処理施設の施設数およびし尿処理能力はそれぞれ、968施設、84,864kL/日であった。2014年までの20年間の処理方式を見ると、嫌気性処理、好気性処理、標準脱窒素処理、高負荷脱窒素処理、膜分離処理のいずれの処理方式も減少傾向にある。現在のし尿処理施設は、稼働から20年以上を経過した施設が過半数を占めており、老朽化が進行した嫌気性処理、好気性処理方式からその他の処理方式へ転換されていることがわかる。

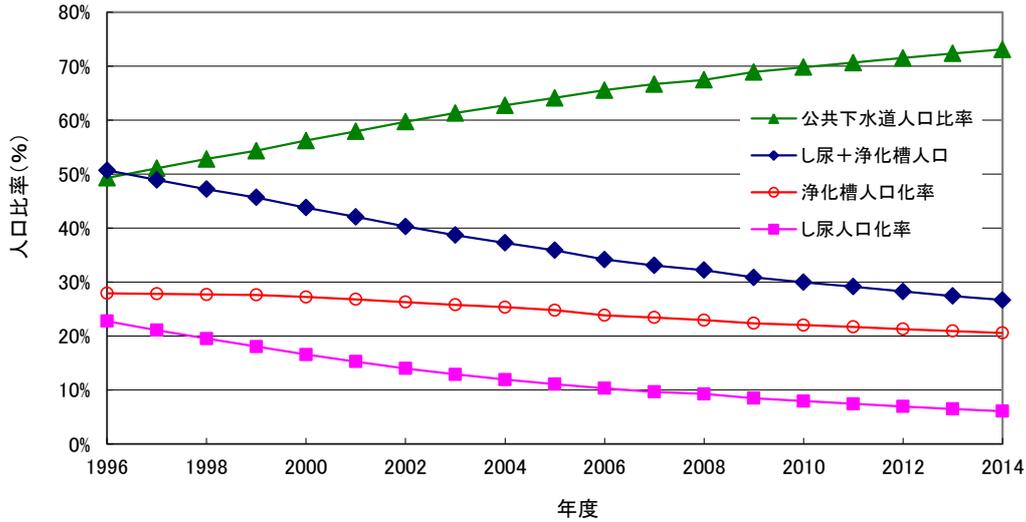


図-1 し尿処理状況の変遷<sup>3)</sup>

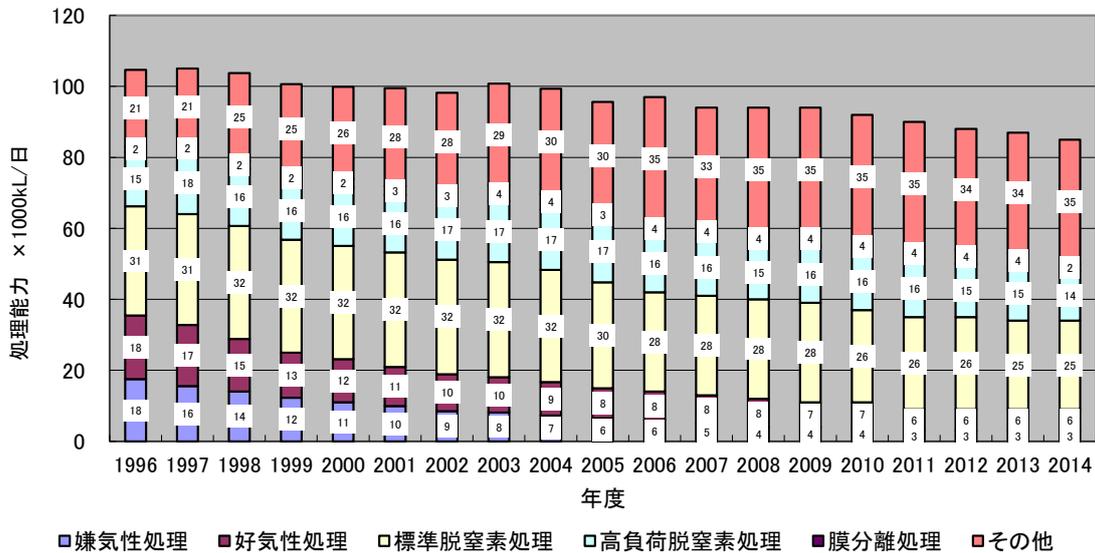


図-2 し尿処理施設の処理能力の推移<sup>3)</sup>

### 3. 日立造船株式会社のし尿処理技術の変遷

#### 3.1 嫌気性消化技術(CRPシステム)

我が国のし尿処理は、第二次世界大戦終了後し尿の農業利用が年々減少するなかで、都市部での人口の急激な増加に対して、収集し尿の衛生処理が緊急の課題になったことに端を発している<sup>4),5)</sup>。1950(昭和25)年「し尿の資源科学的衛生処理勧告」が発表され、し尿汲み取りの機械化、嫌気性消化法によるし尿の衛生化学的処理、下水道と水洗トイレの普及を方針とする勧告がなされた。1954(昭和29)年に「清掃法」が制定され、し尿処理施設の建設が国庫補助事業とされた。し尿の処理方式としては、「嫌気性処理方式」が1950～1960年代にかけて急速に普及し、1960年代になると、し尿処理業界全体で取り組まないと需要に追いつけない状況になっていた。

当時の安宅建設工業(株)は米国FMC社の実質的なライセンサー(技術実施権者)となっておりFMCシカゴポンプ方式の嫌気性消化技術「CRP(Continuous Recirculation Process)ガス攪拌装置」で市場に参入した<sup>6)</sup>。

CRPガス攪拌消化槽は、1946年米国シカゴポンプ社(1954年FMC社に吸収合併)によって考案さ

れた下水汚泥を対象とする嫌気性消化技術であり、消化槽において発生する消化ガスを一部循環して攪拌を行い、効率的に消化するものである。

本方式は、消化ガスを槽底中心部に設置した散気装置（サーキュラーヘッダーおよびシャーフューザー）から噴出させることによって、中心から柱状に上部に向かう上昇流と、上部表面から外周に向かう放射流によって、上昇、放射、下降という対流循環を行う。消化槽の後段には分離槽があり、CRP消化槽で一次処理された消化液を脱離液と汚泥とに分離する。分離された脱離液は、20倍希釈を行い、散水ろ床処理または活性汚泥処理で二次処理が行われる。

活性汚泥法による脱離液処理設備は、混合槽、曝気槽、沈殿池から構成され、混合槽では高濃度の脱離液を希釈水にて希釈し、曝気槽に移送する。曝気槽では活性汚泥と混合し好気性処理を行い、沈殿池で混合液の沈殿分離を行い放流する<sup>6)</sup>。

嫌気性消化方式は急速に普及したが、消化槽の所要滞留日数が長く広い敷地面積を必要とすることや、消化ガス中の硫化水素等による悪臭や腐食の対策が必要であることから、次第に採用されなくなり減少していった<sup>5),6)</sup>。

### 3.2 湿式酸化方式

1960年代には、嫌気性消化方式の短所である広い敷地面積や、生成する消化ガス中の硫化水素等による臭気問題を解決するため、「化学処理方式」「好気性処理方式」「湿式酸化方式」が開発され普及された。

湿式酸化処理は、1920年頃エルトフィシャー（スウェーデン）によって開発された物理化学処理の代表的な方式であり、1930年 Zimmerman 氏（米国）がパルプ廃液中のリグニンからバニラ香料の製造に成功し、1954年に下水汚泥の処理に応用したもので、製造者の名前をとり、ジンメルマン・プロセス“略称ジンプロ”と称されている<sup>7)9)</sup>。

本方式は、廃液中に溶解または懸濁している有機物等を高温、高圧下で、液中燃焼（酸化）することによって、汚濁物質を低減するプロセスである。物質が燃焼する場合、まずその物質の持つ水分が過熱して蒸発し、乾燥された物質の温度が発火点まで昇温されることが必要であるが、大部分が水である廃液を処理する場合、水の蒸発潜熱等に膨大なエネルギーを必要とする。このため、反応塔を高圧に維持することによって水分の蒸発を抑制し、液相を維持したまま比較的低い温度で液中燃焼させる方式である<sup>9)</sup>。米国ではパルプ廃水の他、セルロースやたんぱく質を多く含む下水汚泥や活性汚泥の処理に多く採択された。

我が国では、本技術を1964年（昭和39年）に当時の（株）新潟鐵工所が導入し、主にし尿や産業廃水を対象に設備納入を進めた。し尿処理では高温（170～260℃）・高圧（4.9～14.7MPa）の条件下で有機物を液中燃焼（酸化）させ、酸化液と酸化スラリー（灰渣）に分離する。酸化液は希釈して活性汚泥処理を行い、酸化スラリーは脱水し、場外搬出する。酸化処理で発生する熱量は反応塔内を高温、高圧に保つのに用いられ、反応時間が1時間程度と短く施設が小さくなる等のメリットがあるが、維持管理には高度な技術が必要であった<sup>8)</sup>。

我が国最初のし尿処理施設は1967年（昭和42年）に新潟県に建設され、国庫補助の対象となった。その後し尿処理33施設、産業廃水25施設、その他含め計59施設を設置した。2016年（平成28年）現在、し尿処理では千葉県、群馬県、茨城県下で3施設が稼動中である。

### 3.3 標準脱窒素処理方式

1970年代には社会的に公害問題が顕在化し、環境保全の観点から高度な水質が要求されるようになり、凝集処理、オゾン処理、活性炭吸着等の高度処理が取り入れられるようになった。また閉鎖性水域の富栄養化の問題から、COD総量規制や窒素除去が緊急の課題となり窒素除去が可能な「低希釈二段活性汚泥法（標準脱窒素処理方式）」が主流となった<sup>12)</sup>。

本方式は、脱窒素槽を前段に、硝化槽を後段に設け、硝化槽の混合液を前段の脱窒素槽に大量に循環する。し尿のアンモニア性窒素は、硝化槽において硝酸性窒素に硝化され、硝酸性窒素リッチとなった混合液が前段の脱窒素槽に大量に循環される。ここでし尿中のBODを脱窒反応に必要な有機炭素源として利用し窒素除去を行う方式である。

希釈水量が従来法の半分の10倍希釈であったことから「低希釈二段活性汚泥処理方式」と呼ばれ、1978年（昭和53年）制定のし尿処理施設構造指針で構造基準化され、1988年（昭和63年）の構造指針改定で「標準脱窒素処理方式」とされた。

当社は、1980年（昭和55年）に同方式を用いたし尿処理施設の第1号を大阪府で受注した後、9カ所の実績がある。

### 3.4 高負荷脱窒素処理方式（IZシステム）

1970年代から1980年代になると、オイルショックなどを契機として省エネルギーや施設のコンパクト化が要望されるようになる。1975年（昭和50年）、当時厚生省は、「新処理施設取扱要領」により、市町村が構造指針に定めのないし尿処理施設を設置する場合の取り扱い要領を定め、新技術によるし尿処理施設にも国庫補助が受けられる道を開いた。「新処理施設取扱要領」では、10kL/日以上の実証試験装置による1年間の運転データを当時厚生省の生活環境審議会に提出し、評価を受けなければならなかったが、新技術を目指すプラントメーカーにとっては魅力的な制度であった<sup>10,11)</sup>。

当社（当時、アタカ工業株式会社）は、高速曝気装置（IZ ジェットエアレーションシステム）をオーストリアのフォーゲルブッシュ社（Vogel Busch G.M.B.H.）から技術導入した。1977年（昭和52年）に、我が国で初めて無希釈し尿処理方式「高負荷脱窒素処理方式」を開発し、新技術による指針外技術の認可を受けた。本方式は、反応槽の微生物を高濃度に維持し、反応槽のコンパクト化・深層化が図れるとともに、無希釈でも放流基準を十分に満足する処理水が得られることから、希釈水の入手や建設用地の確保が困難なし尿処理施設の市場を席卷し、急速に普及した<sup>10,11)</sup>。

IZ ジェットエアレーションシステムは、東ドイツのヴェーレン中央工学技術院（Ingenieurtechnisches Zentrale Büro, Wohlen）で開発され、オーストリアのフォーゲルブッシュ社で酵母発酵、高濃度廃水の高負荷処理に適用された高速曝気装置である。このIZ ジェットエアレーションシステムを用いた高負荷脱窒素処理方式をIZ システムと称している<sup>10)</sup>。

IZ システム（高負荷脱窒素処理方式）は、従来の活性汚泥法と同様に好気性細菌と原生動物を利用して污水中の有機物を二酸化炭素に分解する方法であり、かつ単一槽で硝化脱窒を行う脱窒素処理方式である。IZ 反応槽の好気性細菌や原生動物から形成された活性汚泥フロックは、污水中の懸濁物質やコロイド粒子をエネルギー変換や細胞合成に利用し、BOD 酸化を行う。また単一槽のIZ 反応槽の中で、①IZ ジェットエアレーションシステムによってBOD 酸化と硝化反応に必要な酸素が供給されること、②硝酸性窒素がリッチとなった混合液をIZ 循環ポンプにより循環できること、③し尿の間欠投入により脱窒反応に必要な嫌気状態が確保され、同時にし尿中のBOD を脱窒時の炭素源として利用できること、これらの現象により高負荷の脱窒素処理が可能となったのである。

しかし、当時のし尿は、簡易水洗などがなく現在よりかなり高濃度であった。1979年度版のし尿処理施設構造指針によると、し尿のBOD 濃度は13,500mg/L、総窒素濃度は5,000mg/Lであり、下水のBOD<sub>200</sub>mg/L、総窒素30mg/Lに対してBOD で約68倍、窒素で約170倍であった。高濃度であるし尿は、IZ システムが登場するまで、水で10～30倍希釈して処理をおこなってきた。前述の低希釈二段活性汚泥法（標準脱窒素処理方式）でさえ、10倍希釈であり、9倍の希釈水を必要としたのである<sup>6)</sup>。

当社の技術陣は、それまでの基礎研究において、「高速の酸素移動速度を持つ曝気装置があれば、し尿は極めて短時間で処理でき、画期的な商品になる可能性がある。」ことを示唆していた。ただ、当時は、実用化されていた曝気装置には限界があり、本装置が、し尿の無希釈処理に適用できると判断されるまでには、いくつかの技術課題を解決する必要があった。

すなわち、IZ システムを完成させるためには、以下に示す4つの技術的ブレークスルーが必要であった。

- (1) 高速酸素移動速度の達成
- (2) 遠心分離機による高濃度混合液の固液分離
- (3) 消泡装置の開発
- (4) IZ 反応槽における高濃度臭気の生物脱臭

#### 1) 高速酸素移動速度

IZ ジェットエアレーションシステムの構造図を図-3に示す。IZ システムはIZ 反応槽、IZ 循環ポンプおよびオーバーフローシャフトによって構成される。IZ 循環ポンプによって槽底部から引き抜かれた混合液は、反応槽上部に設置されたオーバーフローシャフトに送られ、オーバーフローシャフト内で生じる水流の落下エネルギーを利用したエジェクタ効果により空気を吸引しながら反応槽に落下する。落下する水流は、吸引した空気と混合され、気液混合流となって反応槽に落下し、いわゆる噴流攪拌によって高速度の酸素移動を達成することができる。

IZ 反応槽での噴流攪拌は、噴流によるせん断力が加えられるせん断混合（I）とせん断混合に伴っ

て引き起こされる循環同伴流による混合（Ⅱ）により達成される。I Z反応槽では、この特異なフローパターンにより単一槽内において好氣的部分と、嫌氣的な部分が生じ、溶存酸素濃度（DO）はおおよそ3~0mg/Lに分布する。I Z反応槽は、この空間的要素に加え、し尿の間欠投入による時間的な嫌気・好気状態の繰り返しにより硝化、脱窒、BOD酸化を同時にかつ高度に行うことが可能となった。

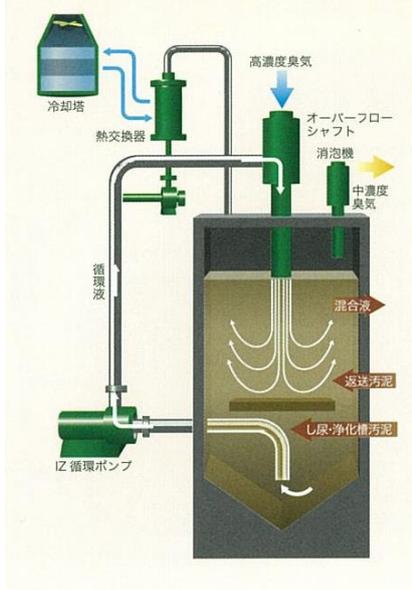


図-3 IZ ジェットエアレーションシステム原理図

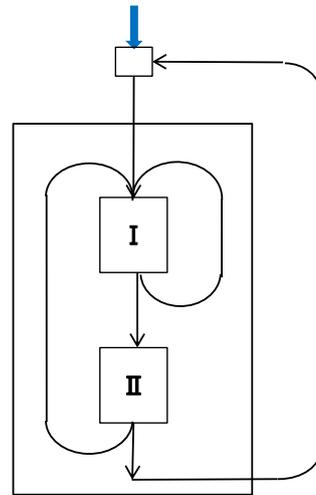


図-4 混合模式図

BOD容積負荷と酸素移動速度

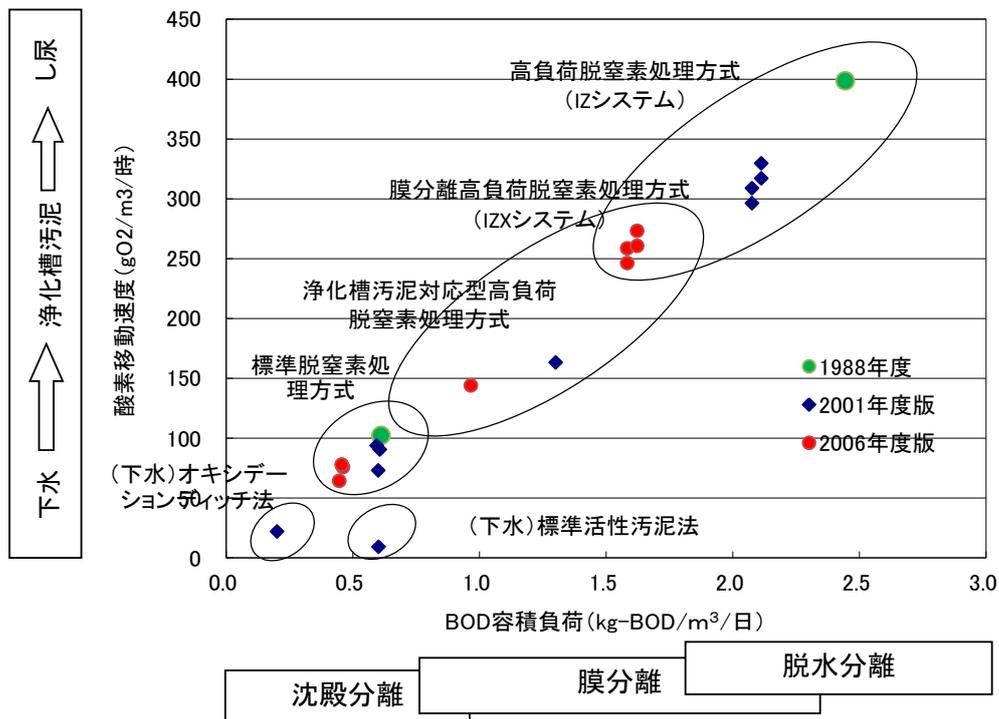


図-5 BOD容積負荷と酸素移動速度および各処理方式の関係

実証試験は、水上月夜野新治衛生センター内に、20kL/日の実証プラントを設置し、1956（昭和 51）年 4月～1957（昭和 52）年 7月の期間実施した。事前の清水試験では 290kgO<sub>2</sub>/日（30℃、槽容量 20m<sup>3</sup>）≒600g-O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h の高速の酸素移動速度を報告している<sup>10)</sup>。各処理方式における BOD 容積負荷と硝化槽容量あたりの酸素移動速度の関係を、1988 年度版のし尿処理施設構造指針解説および 2001 年度版、2006 年度版の汚泥再生処理センターの計画・設計要領のし尿、浄化槽汚泥の性状を用いて試算し、図-5 に示した<sup>4)12)16)</sup>。IZ システムの酸素移動速度は 200~400gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h となり、標準脱窒素法の 60~100gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h、下水の標準活性汚泥法 10~20gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h であるのに対して、標準脱窒素法の約 3~6 倍、

下水の標準活性汚泥法と比較すると約 10～20 倍の酸素移動速度であることがわかる。

また、無希釈の高負荷脱窒素処理では、反応槽混合液の MLSS 濃度が 15,000mg/L～20,000mg/L と高濃度となる。このため通常の微細気泡型ディフューザー方式では、目詰まりが生じて圧力損失が上昇し、ブロワの能力が不足するとともに、ディフューザーの洗浄、交換が必要となる。その点で IZ ジェットエアレーションシステムは IZ 循環ポンプとオーバーフローシャフトのシンプルな構造で目詰まりのない曝気装置であることが、無希釈処理を可能としている。

IZ システムのブレイクスルーは、この無閉塞の高速酸素移動速度を可能にした点にある。

## 2) 遠心分離機による固液分離

IZ システムの高負荷脱窒素処理方式のフローを図-6 に示す。

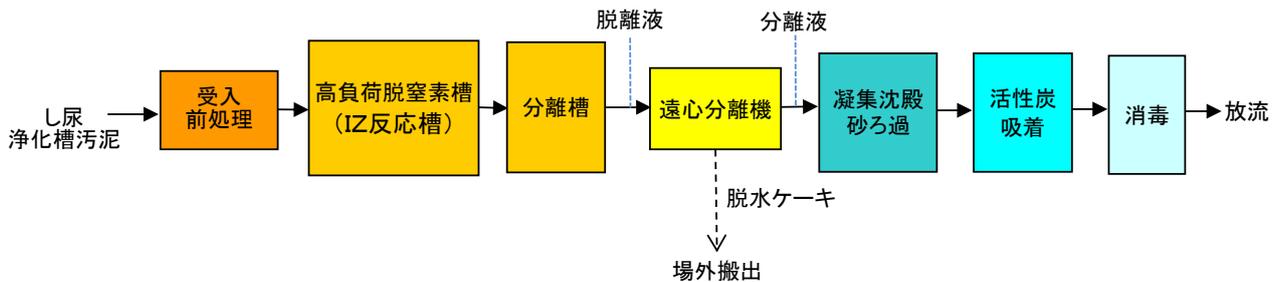


図-6 IZ システム(高負荷脱窒素処理方式)フロー

それまでの常識では、まず生物処理した混合液を分離槽（沈殿槽）で重力沈降させ、生物処理水と汚泥に分離し、分離した生物処理水は、高度処理を行い放流する。一方、沈降分離した汚泥は、脱水機により脱水し脱水ケーキとして場外搬出処分する方式が考えられた。

しかし、高負荷脱窒素処理方式では、混合液の MLSS 濃度が 15,000～20,000mg/L と高濃度であるため重力式では固液分離ができなかった。パイロット試験において混合液の重力沈降が困難であること、脱窒反応の窒素ガスで汚泥が浮上することを熟知していた技術陣は、その対策として分離槽の中間部から脱離液を引抜き、これを直接遠心分離機で固液分離することを思いついた。遠心分離機で脱水した分離液は、そのまま高度処理（凝集沈殿、砂ろ過、活性炭吸着）にかけることができる。

このことにより、シンプルで安定した固液分離が行える IZ システム（高負荷脱窒素処理方式）が完成したのである。

## 3) 消泡装置の開発

IZ 反応槽の所要滞留日数は数日であり、槽容量は小さくてすむ。その反応槽に対して強力な曝気を行うためすさまじい発泡が生じる。技術提携先のフォーゲルブッシュ社も、発泡については重要視していた。しかし、フォーゲルブッシュ社の消泡装置は、無希釈し尿処理における強力な発泡に対して十分な消泡機能を発揮できなかった。

し尿処理における泡は、粘性と比重が高く、泡をそのまま反応槽外に出してしまうと、反応槽の混合液そのものがなくなってしまう。また、発泡が生じている間は、IZ ジェットエアレーションシステムを稼働することもできず、し尿処理ができなくなってしまうのである。この泡の発生による問題は、物理的に泡を破碎する機械式消泡装置と消泡剤注入装置の併用によって解決した。

この消泡装置の開発が、IZ システム開発の大きな成功要因となったことは言うまでもない。

## 4) IZ 反応槽での生物脱臭

顧客にとって、し尿処理施設の最大の関心事は「臭気」であった。当時、し尿処理施設は臭気の問題から周辺住民から迷惑施設といわれた時期がある。特に、し尿貯留槽や前処理のし渣分離装置から発生する高濃度臭気の対策は課題であった。当時、高濃度臭気は併設される汚泥焼却炉で熱分解によって処理し、中濃度臭気は薬品洗浄を行う方式が一般的であった。しかし、汚泥焼却炉を休止している夜間や休日などは、臭気が付近に漏れて問題となる場合が多かった。

現場からの苦情に、「何とかならないか。」と考えていた技術者の一人が「IZ 反応槽の排ガスには臭いが無い。」ことに気が付き、「反応槽の曝気用の空気の代わりに臭気を給気すれば臭いが出なくなるのではないかな。やってみましょう。」と IZ シャフトの空気吸い込み口に臭気ダクトを接続した。予感的中し、臭気が消えたのである。

このことにより現在では常識とされている生物脱臭システムが完成された。この高濃度の臭気対策を行うことによって、顧客満足度を高め、また見学に来られる方々の脱臭機能への驚きと要求に応えるこ

とができ、その後の IZ システムの受注につながったのではないかと考えられる。

IZ システムの開発経緯を表-1 に示す。IZ システムは、1976 年（昭和 51 年）の実証試験（同時に第 1 号機）から 2016 年（平成 28 年）現在までに建設中および膜分離高負荷脱窒素処理方式（IZX システム）を含めて、のべ 104 カ所の施設が建設され、現在に至っている。

表-1 IZシステムの開発経緯<sup>10)</sup>

年 月	事 柄
1974 年（昭和 49 年）8 月	オーストリアの発酵関係のエンジニアリング会社であるフォーゲルブッシュ社（Vogel Busch G.M.B.H）と業務提携（昭和 50 年 6 月に日本政府より認可）
1975 年（昭和 50 年）5 月～ 同上 12 月	1. パイロット試験（300 L 規模） 目的：酸素移動試験、し尿処理試験 期間：昭和 50 年 5 月～12 月 場所：土浦市第二清掃事業所 結果：最高酸素移動速度 10kgO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> /時 2 日の滞留時間で BOD 除去率 95% NH <sub>4</sub> -N 除去率 88.2%
1976 年（昭和 51 年）4 月～ 1977 年（昭和 52 年）7 月	2. し尿処理実証試験（20kL/日規模） 期間：昭和 51 年 8 月～52 年 7 月 場所：水上月夜野新治衛生センター 規模：10kL/日、20kL/日 結果：BOD 除去率 96～98% NH <sub>4</sub> -N 除去率 90～98%
1977 年（昭和 52 年）9 月	3. 新処理施設取扱要領 発令 （昭和 52 年 6 月 10 日、環整第 46・47 号） 旧厚生省とし尿処理施設構造指針における新技术として国庫補助申請のため事前協議
1977 年（昭和 52 年）10 月～ 同上 11 月	4. 厚生省の新処理技術評価委員会 生活環境審議会し尿専門技術委員会にて審議
1977 年（昭和 52 年）12 月	5. 国庫補助対象技術として認定 し尿処理施設が国庫補助事業として認可 （昭和 52 年 12 月 24 日環整第 11 号）
1978 年（昭和 53 年）6 月	6. 青森県西北五衛生組合し尿処理施設で 高負荷脱窒素処理方式の運転開始

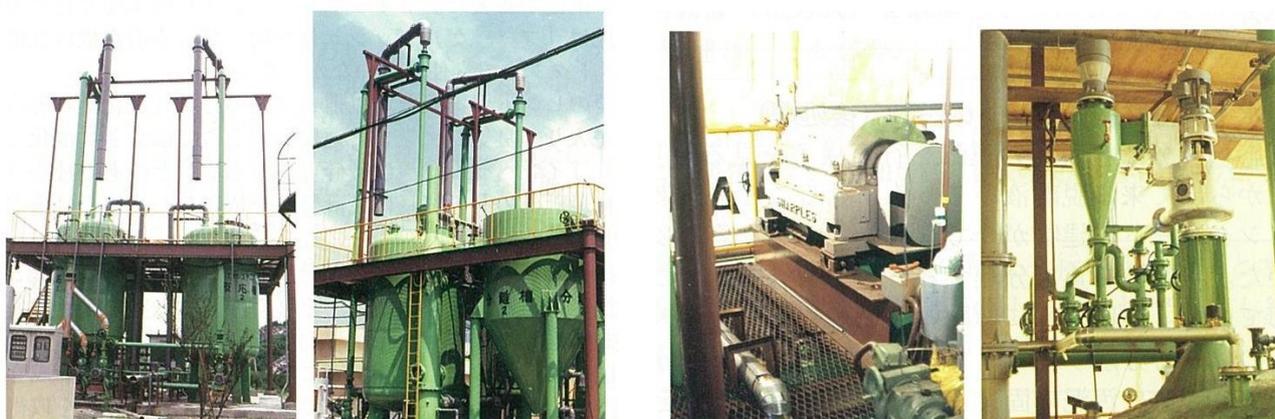


図-7 水上実証実験プラント(昭和 50 年当時)写真左より反応槽、分離槽、遠心分離機、消泡装置

### 3.5 膜分離高負荷脱窒素処理方式 (IZX システム)

1980 年代後半から 1990 年代にかけて、高 MLSS 濃度を維持するための固液分離技術として限外ろ過膜や精密ろ過膜などの膜分離技術を導入した「膜分離高負荷生物脱窒素処理方式」が開発された。本方式は、旧厚生省のヒューマンサイエンス基礎研究事業における官民共同プロジェクトとして 1986 年から 1991 まで実施された。

当社は、高負荷脱窒素処理方式に膜分離技術の適用をはかるための基礎的研究、パイロットテストおよび実規模での実証試験を実施した<sup>13)14)</sup>。

実証試験施設は、愛媛県伯方町環境衛生センター（処理規模：15kL/日）の稼働中であった IZ システムを膜分離方式として一部改造し使用した。実証試験は、1987 年（昭和 62 年）9 月から 1988 年（昭和 63 年）8 月に行った。

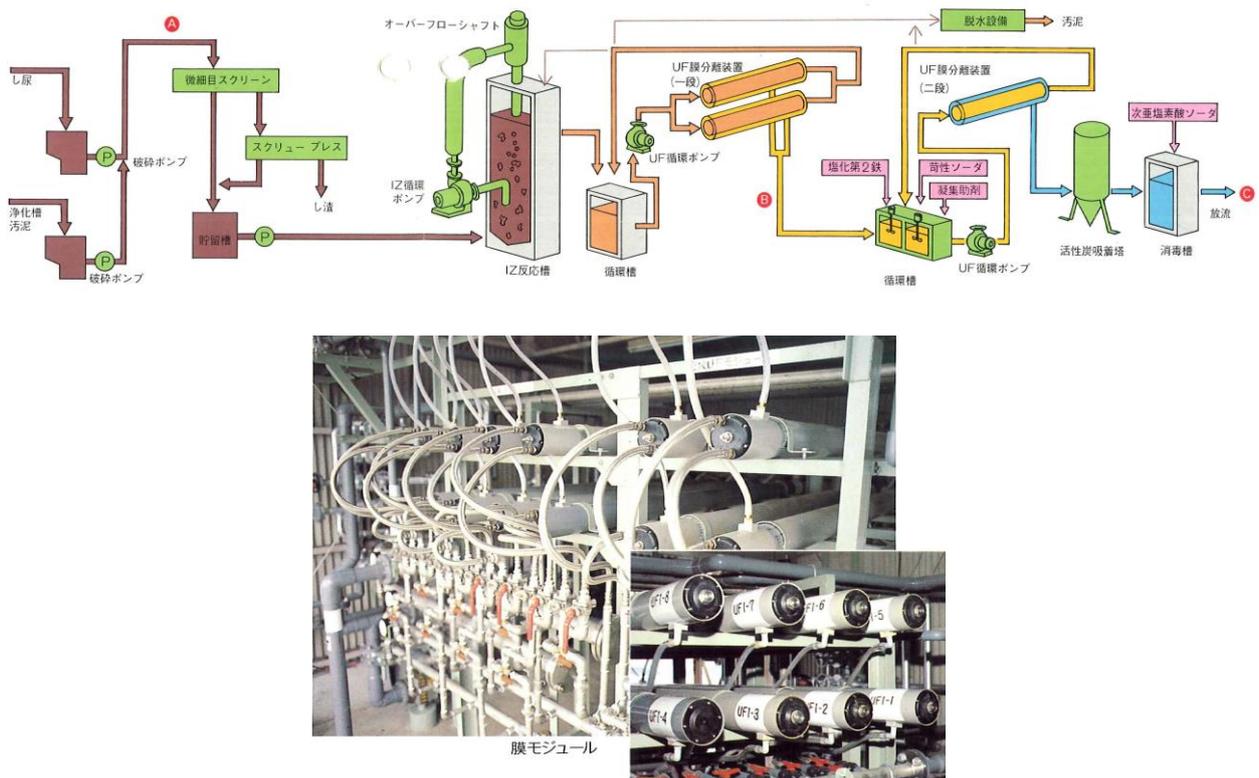


図-8 IZX システムフローとチューブラ型膜分離装置

#### 1) 膜分離高負荷脱窒素処理方式 (IZX システム) について

膜分離高負荷脱窒素処理方式（以下、IZX システム）の基本的な考え方は、無希釈処理でワンリアクター方式の特徴を持つ高負荷脱窒素処理方式 (IZ システム) の固液分離工程を膜分離工程に置き換えたものである。IZX システムの全般的な処理性能は、従来の IZ システムと比較して大きな違いはなく、高度な BOD 除去と窒素除去性能を有している。さらに、高度な分離性能を有する膜分離法の特徴を生かして反応槽混合液の高濃度 MLSS の保持と制御を行い、運転管理と汚泥管理を容易にしている。

IZX システムの重要な技術的特徴としては、以下の通りである。

- ① IZ システムのもつ単一槽での硝化・脱窒素技術の継承
- ② 工程用水以外の希釈水を用いない無希釈処理
- ③ 脱リン・脱色・COD 除去を達成する高度処理技術
- ④ 固液分離の確実性と維持管理操作の容易性
- ⑤ 微生物学的に安全な処理水の確保

#### 2) 膜分離装置

当社がまず初めに採用した膜分離装置は、チューブラ型膜分離装置であった。チューブラ膜は、1本のモジュール内に、内径 14mm のエレメントが 18 本入っており、エレメントの材質はポリオレフィン（分画分子量：20,000）の限外ろ過膜（以下、UF 膜）である。エレメントはモジュール端部のジョイ

ント内に設けられた溝によって18本のエレメントが直列に接続されており、モジュール1本あたりの膜面積は2m<sup>2</sup>/本であった。

前述のように生物処理については、IZシステムであるために硝化脱窒は安定していたが、膜分離装置を如何に安定運転するかが課題であった。

#### (1) 膜モジュールの選定

膜モジュールには直列タイプと並列タイプがあり、直列タイプでは1つのモジュールが1本の環状になるため、管内の循環流量が少なくてよいという長所と管内の圧力が大きくなるという短所がある。一方並列タイプのモジュールでは、循環流量は多くなるが、入口圧力は少なくてよいという長所があった。両者を比較した試験の結果、並列の場合18本のエレメントが部分的に閉塞してしまい、その場合に洗浄しても閉塞したエレメントの洗浄ができず、モジュール全体が閉塞するという状態になった。これらの検討から、直列タイプのモジュールを選定するに至ったのである。

#### (2) 前処理工程

膜分離装置を長期にわたって安定運転するためには、チューブラの流路閉塞の原因となるし尿中の粗大夾雑物や多量の繊維物を前段で除去し、膜分離装置への流入を防止しなければならない。

試験当初は、膜分離装置の閉塞が生じ、膜分離装置の前段に設けたスクリーンのし渣除去が日課となった。試験の結果、目幅0.7mmのスクリーンがし渣除去の目的を達成することを確認し、し渣分離装置のスクリーン条件として組み込むこととした。

#### (3) UF膜分離装置の洗浄

膜の分画機能によるコロイドあるいは高分子有機物のゲル層の形成と膜内部への蓄積から透過流束（フラックス）の低下が生じることは、膜分離装置に付随する現象である。この高度なる過機能を維持し、所定の透過量を確保するためには、薬液洗浄は有効かつ不可欠な条件である。

実証試験では、UF膜の運転管理を60～40 L/m<sup>2</sup>/時の範囲で行い、薬品洗浄を2～3ヵ月に1回程度実施するという運転条件を確立できた。

#### (4) COD分離性能の確認

UF膜の分画機能により高分子成分が反応槽内に蓄積しフラックスへの影響などを検討したが、反応槽内CODの数値が安定しており、系内の蓄積傾向はなかった。UF膜で阻止された高分子成分は、余剰汚泥として脱水ケーキへ移行し、系がバランスしていることが確認できた<sup>14)</sup>。

### 3) 技術評価と実績

1991年（平成3年）、当時の社団法人全国都市清掃会議（現、公益社団法人全国都市清掃会議）の処理技術委員会によって「膜分離高負荷生物脱窒素処理施設」として指針外技術として評価、登録された。一連の実証試験が終了後、実証試験で設置した膜分離装置は、若干の修繕工事を行い、そのまま伯方町環境衛生センターにおいてご利用していただき、第1号機となった。その後IZXシステムの実績は22施設に及んでいる。

## 3.6 浄化槽汚泥対応型高負荷脱窒素方式

### 1) 浄化槽汚泥対応型高負荷脱窒素方式について

浄化槽の普及に伴って、し尿処理場に搬入される浄化槽汚泥の量は増加傾向を示し、し尿の搬入量を上回る地域が多く見られるようになってきた。浄化槽汚泥の搬入比率は2002年度（平成14年度）に50%を超えて、2011年度（平成23年度）には65%に達している<sup>4)</sup>。

浄化槽汚泥は、①し尿に比較して搬入量と濃度の変動が大きく、生物処理への負荷変動も大きい。②浄化槽汚泥は、基本的には一度生物処理を経ているので溶解成分の濃度が低い。という特徴を持っている。これに対応するために、当社は、2種類の浄化槽汚泥対応型の処理システムを開発した。

一つは、浄化槽汚泥対応型高負荷脱窒素方式（DTA-Membraneシステム、以下DMシステム）であり、当時、財団法人廃棄物研究財団（現、公益財団法人廃棄物・3R研究財団）の第6号評価（1996年4月）を取得した<sup>15)</sup>。二つ目は、浄化槽汚泥混入率が高いし尿に対応した膜分離高負荷生物脱窒素処理方式（第7号評価、1997年1月）である<sup>16)</sup>。両者の違いは、前者が浄化槽汚泥を前段で凝集分離工程を組み込んでいるのに対して、後者は、前段に前脱水工程を組み込んでいる点にある。本稿では、DMシステムを中心に述べる<sup>17)</sup>。

### 2) DMシステムについて

DMシステムは、浄化槽汚泥の搬入比率が60%以上の場合に対応する膜分離高負荷脱窒素方式である。前段に浄化槽汚泥の凝集分離工程を組み込み、後段への負荷を軽減することで、処理設備をコンパクト化するとともに膜分離設備を一段にして、建設費と維持管理費の低減を図っている。

DMシステムの硝化脱窒素方式は、IZシステムの単一槽硝化脱窒素方式の理念を継承しており、曝気装置として曝気と攪拌の両機能を有した下向流水中攪拌式曝気装置（ドラフトチューブエアレータ、以下、DTA）を採用することにより時間的に槽内を好気、嫌気状態にしてBOD酸化と硝化反応、脱窒反応を交互に行っている。

本方式は、愛媛県伯方町に実証施設を建設し、1995年（平成7年）6月より1996年（平成8年）2月にかけて実証試験を実施した。図-9に本方式の概略フローシートを示す。

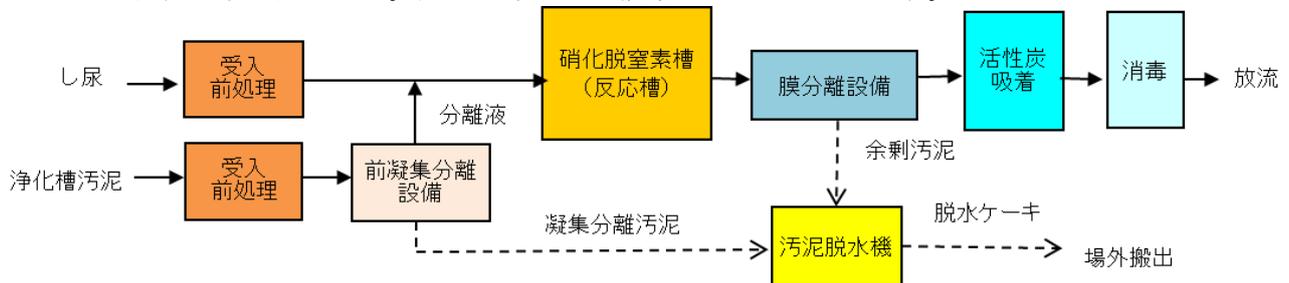


図-9 浄化槽汚泥対応型高負荷脱窒素方式(DMシステム)の概略フローシート

### (1) 受入・前処理設備

し尿・浄化槽汚泥は、受入室の受入口から投入され、砂・小石等を除去した後、ドラムスクリーンによりし渣を除去する。し渣を除去したし尿、浄化槽汚泥には無機凝集剤を添加し、浄化槽汚泥については高分子凝集剤を添加し凝集スクリーンにて凝集分離汚泥と分離液に固液分離する。し尿については分離液槽を経て硝化脱窒素槽に移送する。

### (2) 主処理設備

主処理工程では、硝化脱窒素槽と膜分離原水槽、膜分離装置で生物脱窒素処理を行う。膜透過水は、活性炭処理後、消毒して放流される。凝集分離汚泥および余剰汚泥は、汚泥脱水機にて脱水され、脱水ケーキは場外搬出处分する。

硝化脱窒素槽に採用している DTA は、インペラの回転により水流を生じさせるとともに、インペラ直下の散気管に供給された空気を微細な気泡にせん断する。微細な気泡と水流は、気液混合流となって槽内を循環するため気液接触時間が長くなり、高い酸素移動効率の達成と省エネルギー化が図られている。インペラの回転数とブロウの空気量を独立して制御できるため、曝気・攪拌の併用が可能な装置である（図-10）。

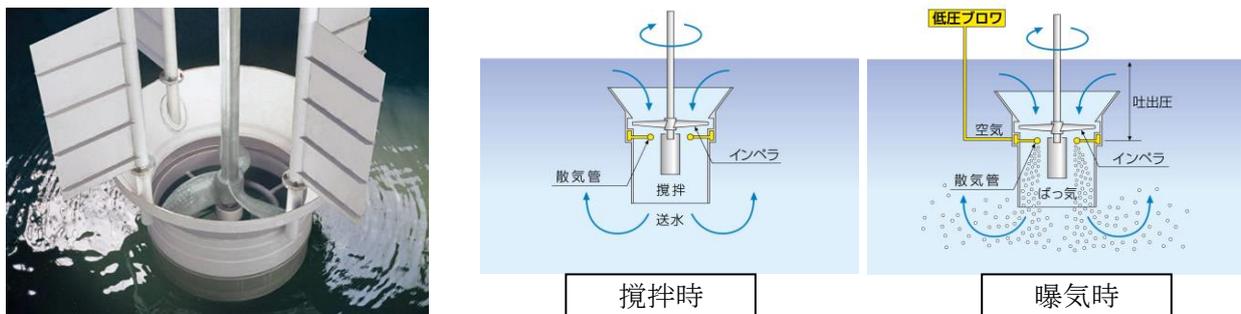


図-10 ドラフトチューブエアレーター(DTA)の外観写真と曝気、攪拌状況

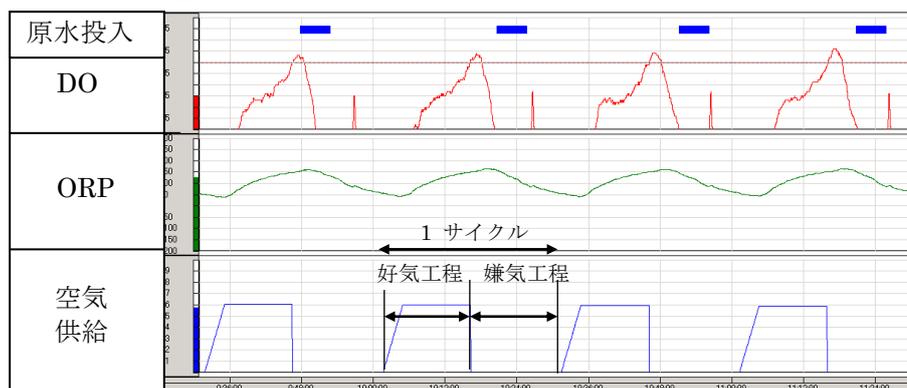


図-11 曝気槽における嫌気・好気の状態とDO、ORPの変化

硝化脱窒素槽の運転指標 DO、ORP と DTA 空気量の変化を図-11 に示す。硝化脱窒素槽では、単一槽で曝気（好気）と攪拌（嫌気）を時間的に区分し、硝化反応と脱窒反応を交互に繰り返す。さらに、曝気停止時に、し尿を間欠投入することによって、脱窒に必要な炭素源を有効に供給し、BOD 酸化、硝化、脱窒反応を効果的に行う。また、槽内の DO、pH、ORP 等の指標を確認しながら DTA の空気供給量の制御により安定した反応を行わせる。

### (3) 膜分離装置

し尿処理に採用されている膜分離装置は、主にチューブラ膜、回転平膜、浸漬膜、中空糸膜の4種類がある。当時の膜分離装置は、多くの動力を必要とするチューブラ膜から回転平膜、浸漬膜、中空糸膜などの吸引型の膜分離装置に移行しつつあった。

回転平膜は、円形ディスクの両面に有機膜（ポリスルホン系、分画分子量 75 万）を貼り付けた膜ディスクを回転軸に装着したものである。膜ディスクは、隣の回転軸に装着された膜ディスクと交互に配列され、回転しながら相互の影響により洗浄効果を発揮する構造となっている。原水である混合液は膜分離装置に送られ、膜透過液は、吸引ポンプにより膜面で分離され、回転軸を經由して系外に排水される。膜分離装置で濃縮された汚泥は、返送汚泥として硝化脱窒素槽へ返送され、一部は余剰汚泥として汚泥貯留槽に移送する。

膜分離装置は、その後中空糸膜、浸漬膜を用いた実証試験を行い、その性能を確認した後に実用施設に適用した。現在では、動力の消費が少なく薬品洗浄が容易な浸漬膜が多用されている。

## 3)実績

浄化槽汚泥対応型膜分離生物脱窒素処理方式（DM システム）の1号機受注は、群馬県奥利根アメニティパーク、し尿処理量 8kL/日、浄化槽汚泥 27kL/日であり、その後 20 施設の実績がある。

図-12 に奥利根アメニティパークの施設外観、図-13 に回転平膜膜分離装置の写真を示す。



図-12 DMシステム導入施設一号機、  
（群馬県奥利根アメニティパーク）



図-13 膜分離装置(回転平膜)

## 4. 日立造船株式会社の汚泥再生処理センター資源化設備の開発経緯

1997 年（平成 9 年）に、旧厚生省は、従来の「し尿および浄化槽汚泥処理施設整備事業」変えて新たに「汚泥再生処理センター」の整備事業を国庫補助対象とした。これは、循環型社会構築を目的としてし尿処理にも資源循環型技術の導入を図るものであった。汚泥再生処理センターは、「し尿、浄化槽汚泥および生ごみ等の有機性廃棄物を併せて処理するとともに、資源を回収する施設をいう。」と定義されており、その特徴は、受入対象物の拡大、資源回収設備の設置の2つの要件が必要とされる。

受入対象物の有機性廃棄物は、家庭厨芥や事業系生ごみの他、農業集落排水施設、下水道施設等の排水処理施設から排出される汚泥である。また、資源回収設備としては、メタン発酵、堆肥化、乾燥（肥料化）、炭化、汚泥助燃剤化、リン回収等による資源やエネルギーの回収再利用設備が対象となっている<sup>18)</sup>。

### 4.1 メタン発酵

#### 1)メタン発酵技術の特徴

メタン発酵とは、嫌気性微生物の働きによって有機物を分解させ、メタンガスや二酸化炭素を発生させるものである。メタン発酵における有機物の分解過程は、大きく分けて①可溶化・加水分解プロセス、②酸生成プロセス、③水素・酢酸生成プロセス、④メタン生成プロセスからなる。廃棄物処理の分野で

は、可溶化と酸生成を併せて酸発酵工程、水素・酢酸生成とメタン生成を併せてメタン発酵工程と呼ぶことが一般的である。生ごみ等を含む有機性廃棄物を対象としたメタン発酵は、発酵槽の固形物濃度によって、乾式（固形物濃度 15%以上）および湿式（固形物濃度 15%未満）に分類され、発酵槽温度により中温発酵（36℃程度）と高温発酵（55℃程度）に分類される<sup>18)</sup>。

## 2)実証試験

1995年から3年間、当時の国立公衆衛生院と財団法人廃棄物研究財団が主体となって進めた官民共同プロジェクト「液状廃棄物のエコ処理システムの開発」において、液状廃棄物の将来技術の研究開発を進め、当社を含むメーカー7社は、し尿汚泥や生ごみを対象とした高温の湿式メタン発酵技術を海外より導入した<sup>19)</sup>。導入したメタン発酵技術の実証プラントを神奈川県足柄上衛生組合内に建設し、1997年（平成9年）6月～1998年（平成10年）4月に実証実験を実施した。その結果、現、公益財団法人廃棄物・3R研究財団より「し尿処理汚泥等の廃水処理汚泥及びその他有機性廃棄物の混合メタン発酵技術」で技術評価書（第8号）を受領した<sup>20)</sup>。

### (1)前処理装置の選定

生ごみのメタン発酵の課題には、生ごみに混入するプラスチックや金属類など発酵不適物の選別除去がある。家庭生ごみや事業系生ごみは、分別収集されたものが前提となっており、破袋、破碎、分別装置が納入される。実際には選別不可能な夾雑物の混入がないように、排出側に分別協力していただくことが肝要である。

### (2)メタン発酵槽

メタン発酵槽は、必要加温熱量をできるだけ少なくできるように混合槽において高濃度の汚泥・生ごみのスラリー（10～15%）に調整し投入する。メタン発酵槽は高温メタン発酵槽（55℃）である。メタン発酵は、過負荷および阻害物質の混入に影響されるため、定期的に有機酸濃度およびアルカリ度の分析を行い、発酵液中の有機酸濃度の変化、特にプロピオン酸の過剰な蓄積に留意する必要がある。

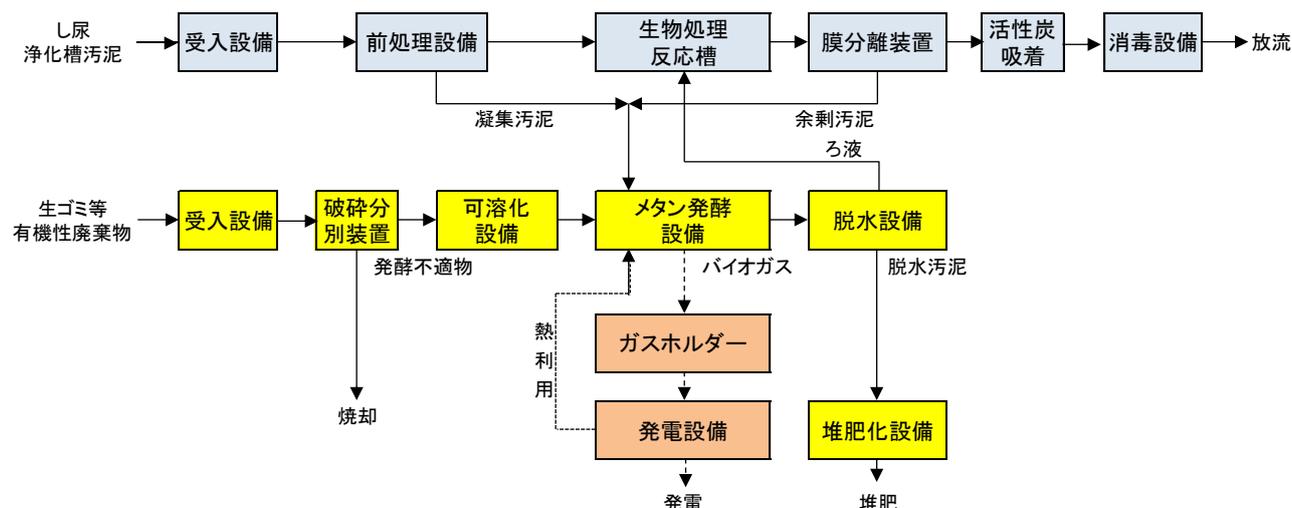


図-14 メタン発酵設備を備えた汚泥再生処理センターのフロー例



図-15 メタン発酵を備えた汚泥再生処理センター  
（新潟県舞平清掃センター）



図-16 メタン発酵槽 上部

### 3)実績

メタン発酵システムの1号機は、プラントメーカー7社JVにより下伊那郡西部衛生施設組合を受注した。その後当社単独の受注案件としては、新潟市、舞平清掃センター（し尿 58kL/日、浄化槽汚泥 91kL/日、生ごみ 1.8t/日）、北名古屋衛生組合鴨田エコパーク（し尿 14kL/日、浄化槽汚泥 96kL/日、生ごみ 7.14t/日）を建設し、現在稼働中である。

図-14 にメタン発酵設備を備えた汚泥再生処理センターのフローシート例、図-15 に舞平処理施設の施設外観を図-16 にメタン発酵槽上部の写真を示す。

## 4.2 リン回収

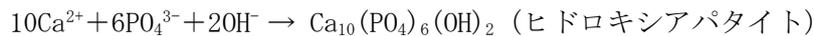
### 1)リン回収について

リンは、あらゆる生物にとって欠かすことのできない必須元素の一つであり、肥料の重要成分になっている。日本では、国内で消費するリンのほとんど全量を輸入に頼っている。そこで、汚泥再生処理センターにおいて、し尿、浄化槽汚泥に含まれるリンを再資源化するためのリン回収技術が開発された。2015年度における我が国のし尿と浄化槽汚泥の処理対象人口 3,460 万人から、その人口に対する生活排水に含まれるリン量が 12,600t-P/年であり、し尿処理施設および浄化槽から年間 8,130t-P/年が放流され、汚泥として年間 4,500t-P/年が排出されると試算されている<sup>21)</sup>。

従来のし尿処理施設では、リンは余剰汚泥および凝集汚泥として焼却処分されることが多かったが、下水と比較してリン濃度が高く、水系からのリン回収技術が適用しやすいことから晶析法によるリン回収技術が開発された。晶析法にはヒドロキシアパタイト（以下、HAP）を析出させるHAP法とリン酸マグネシウムアンモニウムを析出させるMAP法がある。ここでは、HAP法に絞って述べる。

#### (1)HAP法の原理

HAP法は、リン酸イオンとカルシウムイオンが反応して、難溶解性のヒドロキシアパタイトを生成する晶析反応を利用している。基本的な化学反応式を以下に示す。



#### (2)HAPシステムのフロー

汚泥再生処理センターでのHAPシステムのフローシートとリン回収設備の概要図を図-17、図-18に示す<sup>22)</sup>。本技術は、生物学的脱窒素処理設備の後段にリン回収設備を設け、生物処理水中のリン酸イオンにカルシウムイオンを添加し、さらに苛性ソーダにてpHを調整することで過飽和としたリン酸溶液からHAPを晶析させる。晶析槽にはHAP粒子を種晶として流動化させておき、種晶の表面にHAPを晶析させる。晶析したHAPは晶析槽底部から晶析槽混合液とともに引抜き、直接フレコンバックに移送し水切りを行う。フレコンバックには、回収HAPの脱水と保管の両機能を持たせている。

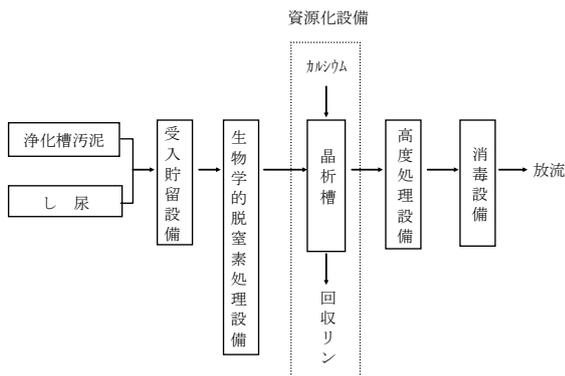


図-17 HAPシステムのフローシート<sup>22)</sup>

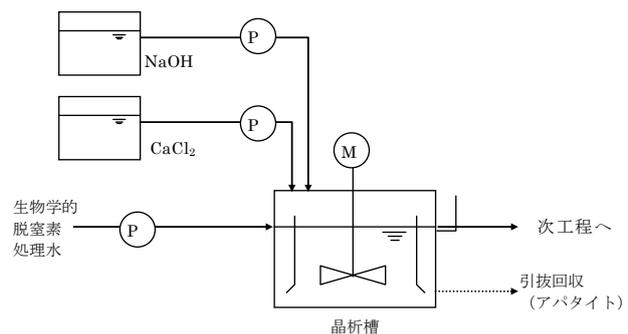


図-18 リン回収(HAP)設備の概要図<sup>22)</sup>

### 2)実証試験

し尿、浄化槽汚泥からのリン回収技術について、当社を含む7社共同で茨城県那珂湊衛生センターの敷地内に実証プラントを建設し、2002年（平成14年）から2003年（平成15年）にかけて、実証試験を実施した。実証試験では、晶析槽のpH、Ca濃度、晶析槽の混合液濃度（種晶）および晶析槽温度がリン回収率に影響を及ぼすことを示した。

2003年（平成15年）に一般財団法人日本環境衛生センターより「し尿と浄化槽汚泥からのアパタイト法によるリン回収システム」で廃棄物処理技術検証、第3号を取得した<sup>22)</sup>。



図-19 リン回収設備を設置した汚泥再生処理センター  
(秋田県仙北市汚泥再生処理センター)



図-20 晶析槽と回収 HAP

### 3)実績

リン回収設備を資源化設備として採用した1号機、仙北市汚泥再生処理センター（秋田県）が2009年（平成21年）に竣工した（図-19）。図-20に晶析槽および回収 HAP の写真を示す。その後、HAP 法による汚泥再生処理センターの実績は、5施設まで増加している。

## 4.3 助燃剤化

### 1) 電気浸透式汚泥脱水機による助燃剤化

汚泥再生処理センターの資源化設備として、脱水汚泥の含水率を70%以下にすることによる助燃剤化設備が認められている<sup>16)</sup>。電気浸透式汚泥脱水機は、電気浸透という汚泥粒子の間で生じる水の移動現象を利用した脱水技術であり、従来の圧搾力による閉塞が少ないため、効率的な脱水が可能である。

電気浸透式汚泥脱水機（商品名：スーパーフレック）の構造図を図-21に示す<sup>23)</sup>。一次脱水機で前脱水した脱水ケーキ（含水率83%前後）を定量的に電気浸透部へ供給する汚泥供給部と電気浸透部本体から構成されている。電気浸透部においてドラム（陽極）と金属ベルト（陰極）の間に挟まれた前脱水ケーキは、一定電圧下で印加されることで、前脱水ケーキ中の水分がろ布を介して金属ベルト（陰極）側へ移動する。一方、ろ布上に残る低含水率の脱水汚泥は、ろ布の移動と共に系外へ排出される。

なお、脱水に要するエネルギー（電力量）は脱水される水分量に比例するため、効率よく脱水するには、電気浸透部へ供給する前の一次脱水機において十分に脱水することが重要である。

図-22に前段に一次脱水機を組み合わせた電気浸透式汚泥脱水機を示す。

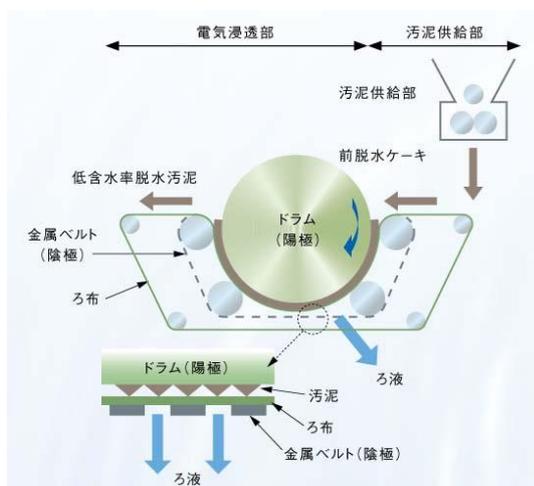


図-21 電気浸透式汚泥脱水機の構造



図-22 電気浸透式汚泥脱水機の外観

## 2) 実施における性能調査

平成 21 年 6 月～7 月、茨城県常陸太田市に建設された常陸太田市里見クリーンセンターにおいて電気浸透脱水機の性能を調査し、一般財団法人日本環境衛生センターより「電気浸透式脱水システム性能調査報告書」を受領している<sup>24)</sup>。

## 3) 実績

平成 21 年 4 月に福島県伊達地方衛生処理組合、衛生センター（浄化槽汚泥対応型 85kL/日）に第 1 号機を納入した。

その後、平成 29 年に稼働予定の鳥取県日野町衛生施設組合を含めて、23 施設で 46 台の実績となっている。

## 4. 4 下水道放流システム(EZシステム)

### 1) 下水道施設との連携

下水道の普及に伴い、収集し尿や浄化槽汚泥が減少している市町村では、処理の効率化を図る観点から下水道と連携した処理システムを採用する事例が増加してきた。し尿処理施設においても、下水道の普及によりし尿および浄化槽汚泥の搬入量自体が低下することから、し尿処理施設を従来の河川放流型から下水道放流型に改造する事例もある。

当社は、下水道への投入を前提としたし尿処理方式において、「夾雑物除去装置」と「脱水設備」を一体化し、脱水汚泥含水率を 70%以下にする助燃剤設備として、下水道放流型し尿処理システム(以下、EZ システムという)を開発した。

### 2) EZ システムの開発

EZ システムを開発するため、埼玉県春日部市環境センター内に実証施設を設置させていただき、2010 年(平成 22 年)10 月～12 月にかけて実証試験を実施した。実証設備の性能および実証試験データを一般財団法人日本環境衛生センターに評価していただき「下水道放流型し尿処理システム性能調査報告書」を 2011 年(平成 23 年)3 月に受領した<sup>25)</sup>。

### 3) EZ システムの特徴

EZ システムは、し尿、浄化槽汚泥の処理にあたって、あらかじめ下水道部局と取り決めた水質まで脱水処理、水質調整を行い、下水道の所定地点に投入するためのものである。

EZ システムは、受入、前処理設備、汚泥脱水設備、希釈調整・投入設備および脱臭設備から構成され、その特徴は以下の通りである。

#### ① 汚泥助燃剤化設備として循環型社会形成推進交付金事業の対象

脱水汚泥含水率は 70%以下であり、脱水汚泥をごみ焼却施設の助燃剤として利用できる。

#### ② し渣の処分が不要

し尿および浄化槽汚泥中のし渣を有効利用しており、し渣の処分が不要である。

#### ③ 汚泥処分費の低減

低含水率化により処分対象汚泥量が減少し、汚泥処分費の低減が見込まれる。

#### ④ 前処理(除渣設備)が不要

除渣設備が不要であり、簡素化された下水道放流設備を構築することが可能である。

#### ⑤ 希釈水量等の低減

放流水質の実績によっては、希釈倍率を低く設定することが可能であり、放流水量の低減により下水道料金等の節約が見込まれる。



図-23 汚泥濃縮装置



図-24 汚泥脱水設備

#### 4) 実施例

沖縄県東部清掃施設組合汚泥再生処理センターを1号機として受注した(図-23、図-24)。

処理能力：し尿7kL/日、浄化槽汚泥100kL/日、農業集落排水脱水汚泥0.3m<sup>3</sup>/日

処理方式：固液分離脱水処理、希釈放流

資源化設備：スクリープレス脱水機により汚泥助燃剤とし、焼却施設に搬出。

下水道の普及とともに収集し尿、浄化槽汚泥が減少している市町村においては、処理の効率化や合理化の面で、下水道施設と連携した処理システムを採用した事例がみられ、今後も下水道放流システム(EZシステム)が増加していくものと見込まれている<sup>4)</sup>。

#### 5. おわりに

し尿処理アーカイブとして、当社のし尿処理における歴史を振り返ると、やはりIZジェットエアレーションシステムによる高負荷硝化脱窒素処理方式が念頭にくる。し尿を無希釈で処理し、無色透明な処理水を得る。そのために、いくつかの困難な局面で技術のブレークスルーを行った。企業は常に変化していかなければ生き残ってはいけないといわれる。無希釈高負荷処理として一世を風靡したIZシステムも変遷をかさねて、し尿から浄化槽汚泥への転換、すなわち低濃度、低負荷に対する対応が必要になってきた。今も受注を続けているIZシステムは、IZ循環ポンプの回転数制御だけでなくいくつかの工夫を制御に生かして、低負荷に対しても柔軟に対応できるシステムを構築している。

一方、汚泥再生処理センターにおける資源回収技術を見ると、メタン発酵、堆肥化、リン回収、助燃剤化とさまざまな資源化技術に挑戦し実用化しているが、受け入れるし尿、汚泥、生ごみ等の搬入物の性状によって、資源化技術についてもその変化に対応していく必要がある。

下水道の普及とともに、収集し尿・浄化槽汚泥が減少している市町村、あるいは人口減少によって下水道施設、し尿処理施設に余裕がでていく市町村においては、し尿処理と下水処理の連携は、生活排水処理の効率化、財政負担および環境負荷の低減などの面で有効であり、今後も採用されるケースが増えてくると考えられる。一方、地震が多い我が国では、下水道だけに依存するリスク、すなわち生活排水が流せない状況になることも既に現実の問題として体験していることから、浄化槽や汚泥再生処理センターのような分散型処理施設やし尿、汚泥などの収集運搬システムの併用が災害時のリスク分散の上で必要ではないかという意見もある。

し尿は、「屎尿」の文字が当てられる。いずれも「尸：しかばね垂」の中で「屎は米のしかばね」、「尿は水のしかばね」と教えられてきた<sup>26)</sup>。前述のように英語ではナイトソイルと訳され、西欧でもし尿が貴重な有機肥料として利用されていたことを知り、古(いにしえ)の知恵に感嘆の思いがする。人の排泄物であるし尿のもつ資源としての価値を再利用していくことはできないのか。し尿アーカイブを振り返る中で、し尿と浄化槽汚泥およびその他の有機性廃棄物を資源として再利用するという汚泥再生処理センター構想の理念は、現在も的を射ているように思えてならない。し尿を衛生処理し、かつ再資源化するという社会的要請に対して、今後も新たな技術開発を行い、要望されるシステムを提供していきたい。

## 参考文献

- 1) 三俣延子：尿尿経済の日英比較－物質循環論からの考察－経済学論叢、pp173-193、(2009)
- 2) 久馬一剛：農業に於ける下肥（ナイトソイル）の利用、肥料科学、第 35 号、pp75-108、(2013)
- 3) 日本の廃棄物処理 平成 26 年度版、環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課(2016)
- 4) 江口正章：生活排水処理に果たすし尿処理施設の役割について、都市清掃、第 66 巻、第 314 号、p368-375 (2013)
- 5) 井上雄三：し尿処理の歴史と汚泥再生処理センター、都市清掃、Vol.57、p431-437 (2004)
- 6) 産業用水調査会：し尿処理ハンドブック、pp201-210 (1961)
- 7) 田所正晴：神奈川県におけるし尿処理施設の変遷、神奈川県環境科学センター研究報告、No.34、pp1-13、(2012)
- 8) 東島壽夫：湿式酸化による有機性排水処理、環境管理、Vol31、No.8、(1995)
- 9) 児玉威：日本におけるし尿処理の歴史、用水と廃水、Vol.23、No.12、pp1397-1407、(1981)
- 10) 山下耕作：IZ 式高負荷し尿処理施設について、用水と廃水、Vol.20、No.9、(1978)
- 11) 石田宏司：無希釈し尿処理誕生物語、環境浄化技術、Vol.6、No.9、(2007)
- 12) 社団法人全国都市清掃会議：厚生省水道環境部監修、し尿処理施設構造指針解説－1988 年版－
- 13) 社団法人全国都市清掃会議：膜分離高負荷生物脱窒素処理施設、処理技術評価委員会評価書、No.13、1991 年 10 月
- 14) 鈴木憲亮：膜分離技術を適用したし尿処理システムの開発、第 10 回全国都市清掃研究発表会 講演論文集 pp26~28、(1989)
- 15) 財団法人廃棄物研究財団：廃棄物処理技術評価－第 6 号－、浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素処理方式、1996 年 4 月
- 16) 財団法人廃棄物研究財団：廃棄物処理技術評価－第 7 号－、浄化槽汚泥混入率の高いし尿に対応した膜分離高負荷脱窒素処理方式、1997 年 1 月
- 17) 芝田賢二：浄化槽汚泥対応型膜分離生物脱窒素処理方式におけるファジー制御の運転事例、第 24 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、P404-406、(2003)
- 18) 社団法人全国都市清掃会議：汚泥再生処理センター等施設整備の計画・設計要領、2006 改訂版
- 19) 財団法人廃棄物研究財団：液状廃棄物のエコ処理システムの開発研究要旨集、1997 年度
- 20) 財団法人廃棄物研究財団：廃棄物処理技術評価－第 8 号－、し尿処理汚泥等の廃水処理汚泥及びその他の有機性廃棄物の混合メタン発酵処理技術、1998 年 7 月
- 21) 早稲田大学総合研究機構リンアトラス研究所：平成 27 年度リンアトラス研究所研究報告書、廃棄物や副産物に含まれるリン資源の活用技術開発の現状、課題および解決の方策に関する調査、pp33-50、(2015)
- 22) 財団法人日本環境衛生センター：廃棄物処理技術検証－第 3 号－、し尿と浄化槽汚泥からのアパタイト法によるリン回収システム、2013 年 9 月
- 23) 牛田雅也：電気浸透式脱水機を用いた汚泥減容効果について、第 29 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、P252-254、(2008)
- 24) 財団法人日本環境衛生センター：電気浸透式脱水システム性能調査報告書、2010 年 3 月
- 25) 財団法人日本環境衛生センター：下水道放流型し尿処理システム性能調査報告書、2011 年 3 月
- 26) ごみの文化・尿尿の文化編集委員会：ごみの文化・尿尿の文化、技報堂出版、(2006)

# し尿処理技術の歴史

2017（平成 29）年 3 月  
三井造船環境エンジニアリング株式会社

## 1 はじめに

1977（昭和 52）年し尿処理構造指針が制定され、当時の国庫補助事業対象の処理方式は、嫌気性消化処理方式、好気性消化処理方式、湿式酸化処理方式のみであったが、新処理方式（指針外施設）の認可に関する例外規定が設けられ、当社が超低希釈の加圧曝気処理方式し尿処理を開発するきっかけとなった。

本書では、当社がし尿処理の技術開発に着手した 1977（昭和 52）年以降のし尿・汚泥再生処理事業の歴史および主処理や資源化方式等の技術的内容について述べる。

三井造船環境エンジニアリング株式会社のし尿処理事業は、三井造船株式会社グループと旧三井鉱山株式会社水処理事業の三井造船株式会社への営業譲渡による技術を承継している。

当社し尿・汚泥再生処理技術は、社会情勢や制度・法令等の変化に対応し、以下のような変遷を遂げてきた。

- ・ 1982（昭和 57）年～1995（平成 7）年  
加圧曝気処理方式による高負荷脱窒素処理  
その後、し尿性状の希薄化や浄化槽汚泥の増加等により、常圧式の高負荷脱窒素処理が普及
- ・ 1987（昭和 62）年～2007（平成 19）年  
限外ろ過膜分離式高負荷脱窒素処理  
その後、浸漬膜（精密ろ過膜）を利用した膜分離高負荷脱窒素処理が普及
- ・ 1998（平成 10）年～現在  
REM システムによるメタン発酵との組み合わせ処理  
応用技術としてバイオマス利活用施設が誕生
- ・ 1999（平成 11）年～現在  
浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素処理
- ・ 2004（平成 16）年～現在  
固液分離＋下水放流の普及
- ・ 2012（平成 24）年～現在  
前脱水（助燃剤化）＋生物学的脱窒素処理（河川放流または下水放流）

## 2 当社し尿・汚泥再生処理事業の沿革

会社沿革とし尿・汚泥再生事業の節目となる出来事を表1に示す。

表1 沿革

西暦	和暦	概要
1977	昭和 52	株式会社三井三池製作所が加圧曝気処理方式し尿処理の開発に着手。
1980	昭和 55	超低希釈 加圧曝気方式し尿処理が厚生省指針外施設として認可を受ける。
1982	昭和 57	株式会社三井三池製作所のし尿処理事業等を三井三池化工機株式会社へ分社化。
1983	昭和 58	循環加圧曝気方式 無希釈高負荷脱窒素法が厚生省指針外施設の認可を受ける。
1983	昭和 58	超低希釈 加圧曝気方式し尿処理施設 1号機が竣工。(瀬高町外二ヶ町衛生組合)
1984	昭和 59	三井石油化学工業株式会社と三井造船エンジニアリング株式会社共同で平膜型限外ろ過膜分離式高負荷処理 (アスメックス(ASMEX)) の開発に着手。
1985	昭和 60	循環加圧曝気方式 無希釈高負荷脱窒素処理 1号機が竣工。(栃木地区広域行政事務組合)
1986	昭和 61	平膜型限外ろ過膜分離式高負荷処理が、膜分離方式し尿処理の日本第 1号として厚生省指針外施設の認可を受ける。
1986	昭和 61	日本アクアペックス株式会社設立。中水道・し尿処理 ASMEX の営業開始。 同時に三井造船エンジニアリング株式会社も、し尿処理 ASMEX の営業開始。
1988	昭和 63	限外ろ過膜分離式高負荷処理方式し尿処理施設 1号機が竣工。(秋田県五城目町)
1989	平成元	標準脱窒素処理方式の技術を取得。
1991	平成 3	三井造船エンジニアリング株式会社が日本アクアペックス株式会社を子会社化。
1993	平成 5	三井鉱山株式会社が三井三池化工機株式会社を吸収合併し水処理事業を引き継ぐ。
1999	平成 11	浄化槽汚泥混入率の高いし尿に対応した膜分離高負荷脱窒素-前曝気凝集分離脱リン法を適用した方式-の技術評価を財団法人廃棄物研究財団より取得。(技術評価第 11号)
1999	平成 11	浄化槽汚泥混入率の高いし尿に対応した膜分離高負荷脱窒素-前反応分離脱リン法を適用した方式-の技術評価を財団法人廃棄物研究財団より取得。(技術評価第 15号) : 5社共同開発
1999	平成 11	REM システムに対する財団法人廃棄物研究財団の技術評価を取得。(技術評価第 14号) : 5社共同開発
2000	平成 12	リネッサシステムに対する財団法人廃棄物研究財団の技術評価を取得。(技術評価第 23号) : 7社共同開発
2000	平成 12	REM システム 1号機が竣工。(新潟県東蒲原広域衛生組合)
2001	平成 13	三井造船エンジニアリング株式会社の環境部門を三造環境エンジニアリング株式会社へ移管。

2002	平成 14	浄化槽汚泥混入率の高いし尿に対応した膜分離高負荷脱窒素－前曝気凝集分離脱リン法を適用した方式－ 1 号機が竣工。(郡上広域連合)
2003	平成 15	循環加圧曝気方式高負荷脱窒素処理以外では当社初となる高負荷脱窒素処理方式の汚泥再生処理センターが竣工。(大牟田市)
2004	平成 16	MAP 法によるリン回収資源化システムに対する財団法人日本環境衛生センターの技術検証結果書を取得。(技術検証第 5 号) : 9 社共同開発
2004	平成 16	膜分離高負荷脱窒素処理に当社初の浸漬型平膜 (精密ろ過膜) を採用した汚泥再生処理センターが竣工。(小山広域保険福祉組合)
2004	平成 16	三井造船株式会社へ三井鉱山株式会社水処理事業を営業譲渡、同時に三井造船エンジニアリング株式会社を統合。
2005	平成 17	資源化に当社初の炭化設備を採用した汚泥再生処理センターが竣工。(羽生市)
2006	平成 18	バイオガスシステム、液肥利用等を組み込んだ大木町有機資源循環施設が竣工。(農水省補助事業)
2007	平成 19	三井造船株式会社上下水道事業を三造環境エンジニアリング株式会社へ移管。
2007	平成 19	三造環境エンジニアリング株式会社より三井造船環境エンジニアリング株式会社へ社名変更。
2008	平成 20	三井造船株式会社し尿処理事業権利義務を三井造船環境エンジニアリング株式会社へ承継。
2010	平成 22	前脱水 (スクリュープレス) ・汚泥助燃剤化方式による汚泥再生処理センターが竣工。(日野市)
2011	平成 23	汚泥助燃剤化用電気浸透式脱水機性能調査報告書を財団法人日本環境衛生センターより取得。
2012	平成 24	種晶アパタイト法リン回収装置性能調査報告書を財団法人日本環境衛生センターより取得。
2012	平成 24	前処理用高効率脱水機 (水分自動制御型) の性能調査報告書を財団法人日本環境衛生センターより取得。
2013	平成 25	汚泥助燃剤化に電気浸透式脱水機 1 号機を採用した汚泥再生処理センターが竣工。(西海市)
2015	平成 27	当社初の種晶アパタイト法リン回収装置および水分自動制御型スクリュープレスを採用した汚泥再生処理センターが竣工。(宇和島地区広域事務組合)
2016	平成 28	みやま市よりバイオマス利活用施設建設工事を受注。
2017	平成 29	国内最大規模 484 k L/日の前脱水 (汚泥助燃剤化) + 生物学的脱窒素処理方式の汚泥再生処理センターが竣工。(和歌山市)
		現在までのし尿・汚泥再生処理センター受注件数は 70 施設以上 ～現在に至る～

注) 自治体名、団体名、社名等は当時の名称を示す。

### 3 加圧曝気処理方式

加圧曝気処理方式によるシステムとして、BOD 除去を主目的としたシステム I と、BOD 除去に窒素除去を付加したシステム II について述べる。

#### 3.1 加圧曝気処理 システム I（高負荷処理：BOD 除去を主目的）

##### （1）経緯

三井造船環境エンジニアリング株式会社（以下、当社と言う。）（当時の株式会社三井三池製作所）は、1977（昭和 52）年より高 BOD 濃度産業廃水を無希釈処理する加圧式高濃度活性汚泥処理装置（1979（昭和 54）年「日本産業機械会長賞」を受賞）を基本技術とした、超低希釈「加圧曝気処理方式し尿処理」の開発に着手した。

その後、1977（昭和 52）年 6 月～1978（昭和 53）年 4 月、当時の滋賀県八日市衛生センター内に 1 kL/日し尿処理パイロットプラントを建設し試験を約 1 年間実施、基礎データの収集および四季にわたる処理性の確認を行った。

1979（昭和 54）年 4 月～1980（昭和 55）年 5 月、東京都東久留米市柳泉園組合に加圧曝気処理方式 10 kL/日し尿処理実証プラントを建設し、1 年以上の実証試験を行った。

1980（昭和 55）年 4 月、実証試験結果に基づき、一般財団法人日本環境衛生センター（当時の財団法人日本環境衛生センター）より、厚生省構造指針に示す施設性能と同等以上の性能を有することが証明され、同センターの技術評価を受けた。

1980（昭和 55）年 12 月、公益社団法人全国都市清掃会議（当時の社団法人全国都市清掃会議）の技術審査（評価報告書第 7 号、技術名称：加圧曝気処理方式し尿処理施設）を経て、厚生省指針外施設として厚生省の認可を受けた。

1981（昭和 56）年 11 月、超低希釈加圧曝気処理方式し尿処理施設 1 号機（90 kL/日）をみやま市（当時の瀬高町外二ヶ町衛生組合）より受注し、1983（昭和 58）年 12 月に竣工した。

本処理方式は、その後、窒素除去を付加した循環加圧曝気処理方式による無希釈高負荷脱窒素処理へ進化した。

##### （2）加圧曝気処理し尿処理システムについて

###### （a）概要

本システムの発展技術である「3.2 循環加圧曝気方処理式 システム II（高負荷脱窒素処理）」を参照のこと。

###### （b）処理フローシート（評価報告書第 7 号）

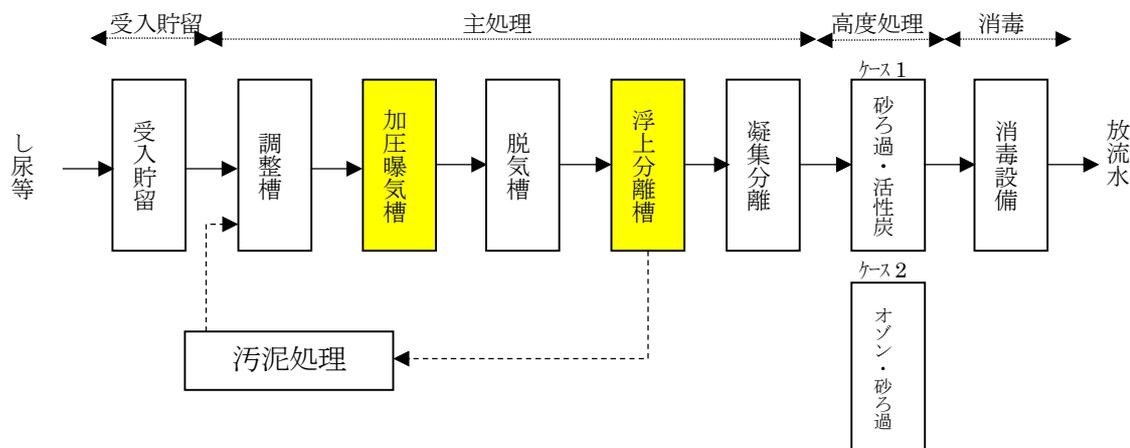


図1 加圧曝気処理フローシート（システムⅠ）

### 3.2 循環加圧曝気処理方式 システムⅡ（高負荷脱窒素処理）

#### （1）経緯

BOD 除去を主目的とした前項の加圧曝気処理方式に窒素除去を付加したシステムの開発を行った。

1981（昭和 56）年 3 月、栃木地区広域行政事務組合衛生センター内に、循環加圧曝気処理方式による 10 kL/日し尿処理実証プラントを建設し、無希釈高負荷脱窒素処理の開発試験に着手した。

1981（昭和 56）年 12 月～1982（昭和 57）年 7 月、同施設でし尿処理実証試験を実施し、無希釈高負荷脱窒素処理プロセスの開発に成功した。

1982（昭和 57）年 9 月、一般財団法人日本環境衛生センター（当時の財団法人日本環境衛生センター）より、循環加圧曝気処理方式による無希釈高負荷脱窒素プロセスの技術評価を受けた。

同月、循環加圧曝気方式による無希釈高負荷脱窒素処理方式 1 号機（50 kL/日）を栃木地区広域行政事務組合より受注し、1985（昭和 60）年 3 月に竣工した。

加圧曝気および循環加圧曝気処理方式は、1980 年代（昭和 50 年代後半～昭和 60 年代前半）の当社し尿処理の主流として、1995（平成 7 年）までに 10 施設を納入した。

1983（昭和 58）年 2 月、省エネ脱窒素プロセスとして開発した循環加圧曝気処理方式による無希釈高負荷脱窒素法は、公益社団法人全国都市清掃会議（当時の社団法人全国都市清掃会議）の技術審査（評価報告書第 18 号、技術名称：循環加圧曝気処理方式し尿処理施設）を経て、厚生省指針外施設として認可を受けた。

1983（昭和 58）年 6 月には、第 9 回優秀公害防止装置で加圧曝気式無希釈脱窒素廃水処理装置が日本産業機械工業会長賞を受賞した。

1986（昭和 61）年 3 月には、循環加圧曝気方式し尿処理施設（90 kL/日）を韓国東海市に納入し海外展開を図った。

1988（昭和 63）年し尿処理施設構造指針の改定において、本処理方式は高負荷脱窒素処理方式のひとつとして、構造指針に取り込まれるに至った。

その後、加圧曝気を採用しない膜分離高負荷脱窒素処理方式等の出現により、循環加圧曝気処理方式の納入は 1995（平成 7）年が最後となった。

（2）循環加圧曝気式高負荷脱窒素処理システムについて

（a）概要

当時、従来の処理方式（嫌気性処理方式、好気性処理方式、低希釈二段活性汚泥方式）の希釈倍率 10～20 倍に対し、循環加圧曝気式高負荷脱窒素処理方式では無希釈でし尿を処理することができる画期的なものであった。

除渣し尿は前曝気分離槽により、不活性の SS の可溶化と分離除去を行い、投入し尿等の性状と処理の安定化を図る。

加圧曝気槽では活性汚泥を高濃度（MLSS18,000～20,000 mg/L）に維持し、加圧（0.16 MPa）して溶存酸素濃度を高め、軸流攪拌機で高い酸素供給能、高い酸素溶解効率および均一な混合を達成する。

これにより無希釈、高負荷処理が可能となり、施設がコンパクトになり、維持管理費が安くなる。

加圧曝気槽で硝化された液は調整槽へ循環することで、槽内 pH の安定と脱窒素効果の向上を図る。

固液分離には加圧浮上を採用し、高濃度汚泥（MLSS40,000 mg/L）の返送を行う。浮上分離処理水は凝集沈殿によりリン等を除去する。

高度処理にはオゾンまたは活性炭吸着を採用する。

表 2 に加圧曝気処理システム I、II の主な諸元の比較を示す。

表 2 加圧曝気処理 システム I、II の比較

主要諸元		システム I (高負荷：BOD 除去)	システム II (高負荷脱窒素)
主工程滞留時間	日	1.7	5.3
加圧曝気槽圧力	MPa	0.3	0.16
MLSS 濃度	mg/L	18,000～20,000	18,000～20,000
加圧曝気槽滞留時間	日	1	1
加圧曝気槽 BOD 容積負荷	kg-BOD/m <sup>3</sup> ・日	10	10
主工程全窒素汚泥負荷	kg-N/kg-MLSS・日	0.11～0.13	0.04～0.05

(b) 特徴

- ①無希釈処理で希釈水を必要としない。
- ②設備がコンパクトで省スペース。
- ③従来方式に比べ、省エネルギー、省資源で経済的。
- ④連続投入処理で維持管理が容易。
- ⑤メタノールの添加が不要。

(c) 処理フローシート（評価報告書第 18 号）

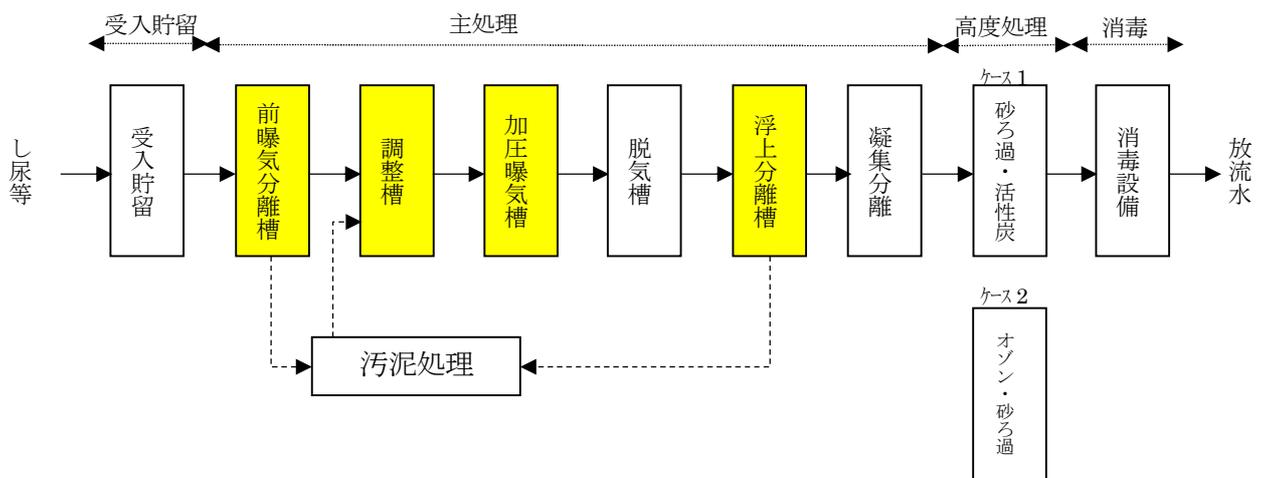


図 2 循環加圧曝気式高負荷脱窒素処理フローシート（システムⅡ）

(d) 硝化脱窒素の仕組み、構造等

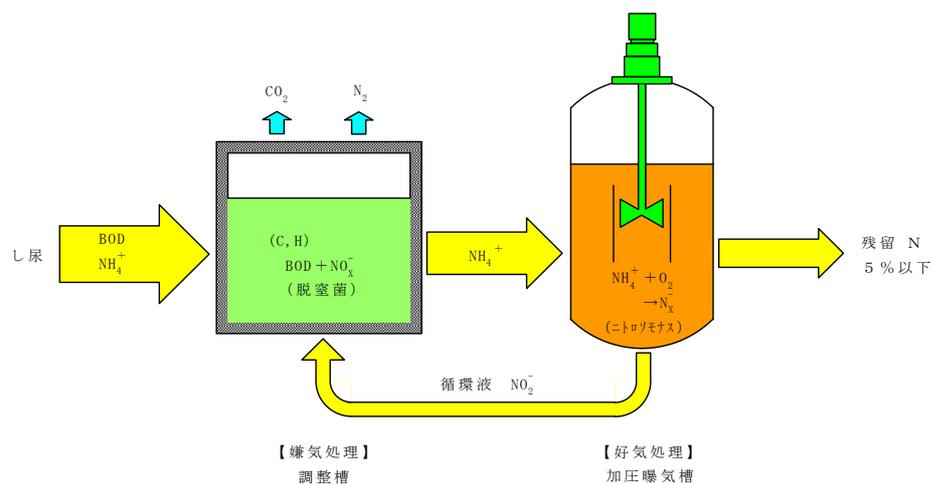


図 3 硝化脱窒素の仕組み

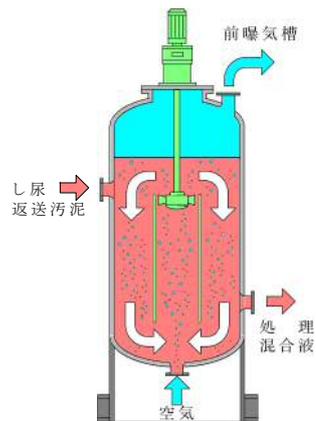


図4 加圧曝気槽断面図



写真1 加圧曝気槽設置例

## 4 高負荷脱窒素処理方式

### (1) 経緯

2000（平成12）年10月、大牟田市より当社最大規模の高負荷脱窒素処理方式汚泥再生処理センター建設工事を受注し、2003（平成15）年3月に竣工した。（当社（当時の三井鉱山株式会社）、他1社のJV）

- ・施設名：大牟田市東部環境センター
- ・処理量：359 kL/日（し尿241、浄化槽汚泥118）、厨芥1.9 t/日
- ・水処理：高負荷脱窒素処理＋高度処理
- ・資源化：堆肥化

近年は、膜分離を行わない高負荷脱窒素処理方式が増加傾向にある。

### (2) 高負荷脱窒素処理システムについて

#### (a) 概要

主処理工程は、複槽式硝化脱窒素槽で連続投入により硝化脱窒素処理を行う。

固液分離は重力沈降方式を採用。

硝化槽の攪拌曝気には、加圧曝気処理の応用技術として、高い酸素供給性能を有する軸流攪拌曝気装置（ダイナフォイルエアレータ）を使用する。

#### (b) 特徴

- ①ダイナフォイルエアレータによる省エネルギー化を図る。
- ②連続投入で安定した運転ができる。
- ③維持管理費が安い。

#### (c) 処理フローシート

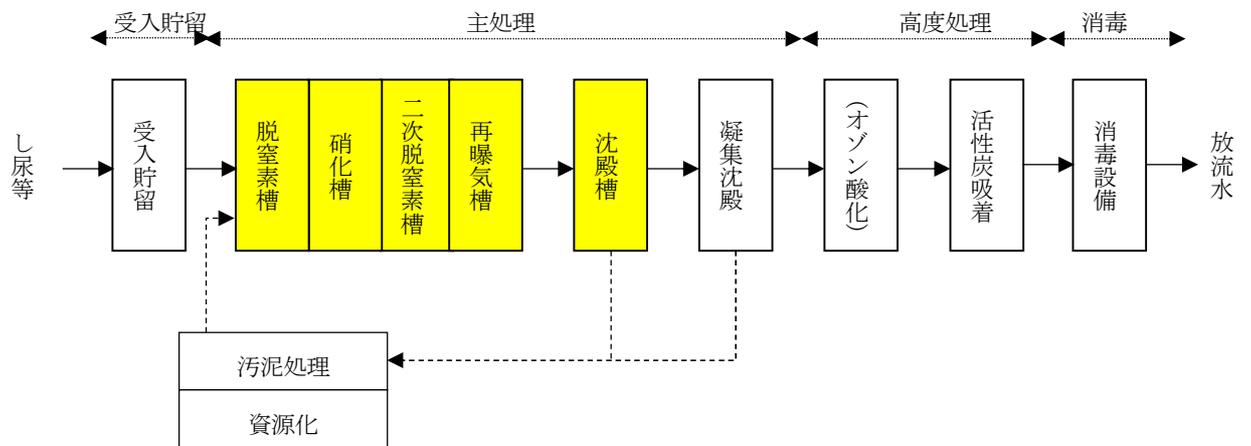


図5 高負荷脱窒素処理フローシート

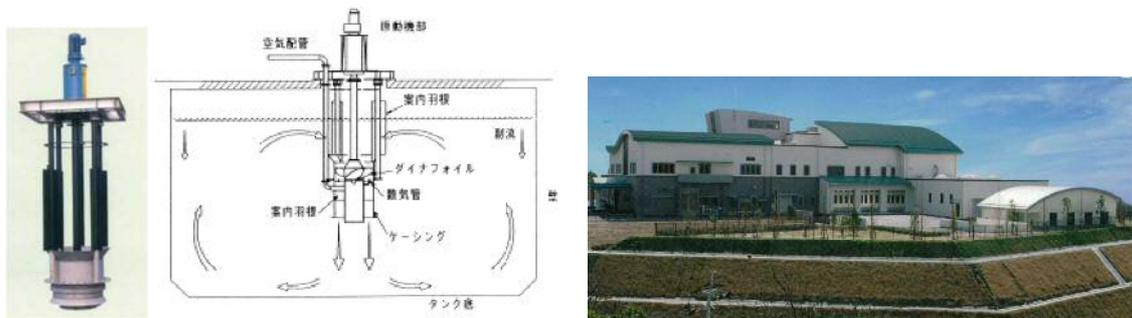


図6 ダイナフォイルエアレータ

写真2 大牟田市東部環境センター

## 5 膜分離高負荷脱窒素処理方式

### 5.1 平膜型限外ろ過膜分離式高負荷脱窒素処理 (ASMEX システム)

#### (1) 経緯

1982 (昭和 57) 年 3 月、三井化学株式会社 (当時の三井石油化学工業株式会社) がフランスのローヌ・プーラン社より平膜型限外ろ過膜装置の技術を導入し、中水道設備への販売を開始した。当社 (当時の三井造船エンジニアリング株式会社) は、協力会社として設計・工事を支援した。

1984 (昭和 59) 年 10 月～1985 (昭和 60) 年 9 月、三井化学株式会社 (当時の三井石油化学工業株式会社) と当社 (当時の三井造船エンジニアリング株式会社) 共同で膜型バイオリアクタのし尿処理への応用実証を図るため、千葉県市川市衛生処理場にて、平膜型限外ろ過膜分離式高負荷脱窒素処理 (ASMEX) による 10 kL/日し尿処理実証プラントを建設し、1 年以上の実証試験を行った。

1986（昭和 61）年 2 月、公益社団法人全国都市清掃会議（当時の社団法人全国都市清掃会議）の技術審査（評価報告書第 22 号、技術名称：し尿処理施設・限外ろ過膜分離式高負荷処理方式）を経て、厚生省指針外施設、膜分離方式し尿処理の国内第 1 号として厚生省の認可を受けた。

1986（昭和 61）年 9 月、限外ろ過膜分離式高負荷脱窒素処理方式し尿処理施設 1 号機（20 kL/日）を秋田県五城目町より受注し、1988（昭和 63）年 3 月に竣工した。（受注：三井化学株式会社（当時の三井石油化学株式会社）、契約：当社（当時の日本アクアペックス株式会社））

1986（昭和 61）年 10 月、当時の日本アクアペックス株式会社を設立し、中水道限外ろ過膜処理・し尿処理 ASMEX の営業を開始した。当時の三井造船エンジニアリング株式会社も、し尿処理 ASMEX の営業を開始した。

以降、ASMEX システムは 1986（昭和 61）年～2006（平成 18）年にかけて、当社 20 箇所以上の施設に納入した。（膜分離装置単体納入は除く）

1987（昭和 62）年 6 月、当社（当時の三井造船エンジニアリング株式会社）は、日本アクアペックス株式会社を子会社化し、三井化学株式会社（当時の三井石油化学工業株式会社）より ASMEX の販売権、限外ろ過膜の販売権を取得した。当時の日本アクアペックス株式会社は、中水道設備を専門に行うことになった。

その後 1992（平成 4）年～1997（平成 9）年にかけて、当社（当時の三井造船エンジニアリング株式会社）は、当時の三井三池化工機株式会社を含むメーカー 6 社と ASMEX システムの技術提携契約書を締結し技術供与を行った。

## （2）ASMEX システムについて

### （a）概要

除渣し尿等無希釈で高負荷脱窒素処理を行い、平膜型限外ろ過膜により固液分離する方式で、処理水（膜透過水）は活性炭吸着処理等による高度処理を行い消毒・放流する。

秋田県五城目町 1 号機納入以降は、生物膜分離と凝集膜分離の二段膜方式が普及した。一段目は高負荷で硝化脱窒した生物汚泥の固液分離に使用し、二段目は COD、リン、色度等を除去するための凝集反応後の固液分離に使用する。

その後、凝集膜に代わり凝集沈殿＋砂ろ過塔を採用するケースも出現し特に問題ないことが確認できた。

### （b）特徴

- ①汚泥の沈降性等の良し悪しに関係なく確実に固液分離を行え、処理水質が安定する。
- ②限外ろ過膜を使用するため病原性の細菌等も阻止できる。
- ③生物反応槽の MLSS を高濃度に維持でき、汚泥管理がしやすく運転管理が容易。
- ④沈殿槽、砂ろ過塔が不要になり施設がコンパクト。
- ⑤高負荷処理のため無希釈処理ができる。

### （c）平膜型限外ろ過膜分離装置の改良

技術導入初期は膜循環ポンプ動力が大きかったが、その後、改良を重ね省エネルギー化を図り現在に至っている。(表 3)

表 3 平膜型限外ろ過膜分離装置の改良

型式	方式	特 徴	消費動力例 (膜面積 30.8 m <sup>2</sup> )
加圧循環式	外圧式	初期の設備。システムはシンプルだが、循環水が高圧、大流量で循環ポンプ動力が高い。	37kW
循環吸引式	吸引併用式	消費動力を大幅に低減。循環ポンプと吸引ポンプを併設。	25%以上削減
クロスド循環式	循環配管クロス化	最新の省エネルギータイプ。循環配管をクローズし、循環動力を有効利用。	50%以上削減

表 4 膜の主な仕様

項目	生物膜	凝集膜
膜素材	ポリアクリロニトリル共重合体	ポリフッ化ビニリデン
分画分子量	20,000	40,000
許容 pH 範囲	1~10	1~14
使用上限温度	60℃	60℃
細孔径	80~100Å	80~100Å



写真 3 循環吸引式クローズ膜

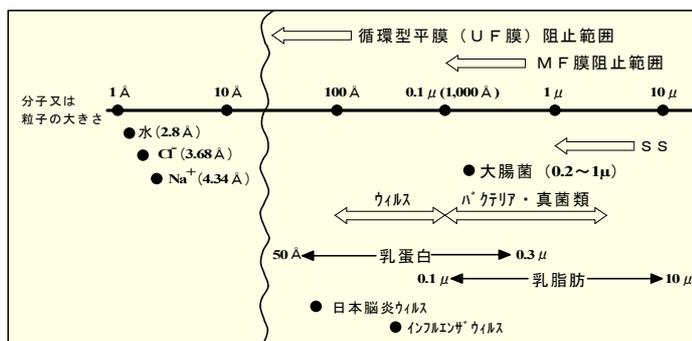


図 7 膜の分離性能 (UF 膜、MF 膜)

(d) ASMEX 処理フローシート (評価報告書第 22 号)

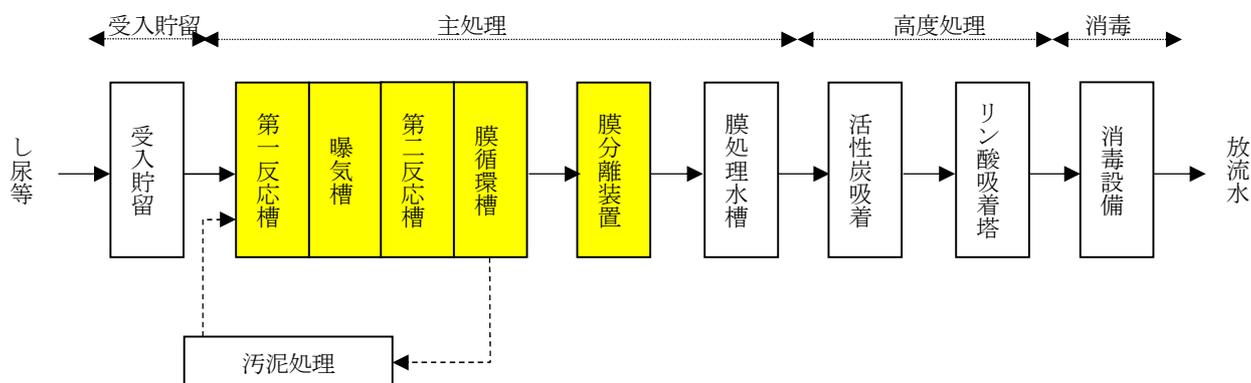


図 8 ASMEX 処理フローシート (評価報告書第 22 号)

(e) ASMEX 処理フローシート：二段膜方式 (生物膜+凝集膜)

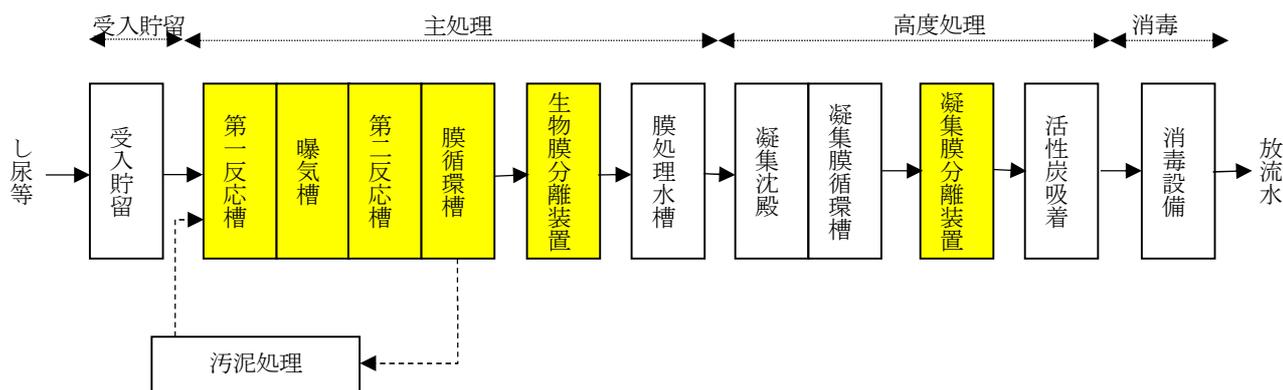


図 9 ASMEX 処理フローシート (二段膜方式)

## 5.2 浸漬型平膜分離式高負荷脱窒素処理

2001 (平成 13) 年 8 月、小山広域保健衛生組合より、膜分離高負荷脱窒素処理に当社では初の浸漬型平膜 (精密ろ過膜: MF 膜) を採用した汚泥再生処理センター建設工事を受注し、2004 (平成 16) 年 3 月に竣工した。(当社 (当時の三井鉱山株式会社))

- ・施設名: 小山広域保健衛生組合環境衛生センター
- ・処理量: 191 kL/日 (し尿 48、浄化槽汚泥等 143)、厨芥 1.4 t/日
- ・水処理: 膜分離高負荷脱窒素処理+高度処理
- ・資源化: 堆肥化

基本的な硝化脱窒素槽のプロセスは ASMEX システムに準じている。

近年は、消費動力が比較的小さい精密ろ過膜利用による浸漬型平膜の採用が多くなり、当社では本方式を採用した施設が 10 箇所以上に及んでいる。

高度処理用の凝集膜については、維持管理費の安価な凝集沈殿＋砂ろ過方式の採用が多くなっている。

## 6 標準脱窒素処理方式

1979（昭和 54）年の構造指針一部改定で追加された低希釈二段活性汚泥処理方式（標準脱窒素処理方式）で、当社（当時の三井三池化工機株式会社）は、1993（平成 5）年に小林市（旧須木村）へ標準脱窒素処理方式 1 号機が竣工後、9 施設に納入している。

処理プロセスは標準脱窒素処理方式の硝化液循環法に準じている。

希釈倍率は、脱窒素槽入口の BOD<sub>1,200</sub> mg/L 程度になるように設定するため、従来の希釈倍率は 10 倍程度であったものが、近年は浄化槽汚泥の増加や汲み取りし尿の低濃度化等に伴い、5 倍希釈以下で運用する事例も増えてきた。

また、前段に前凝集分離との組み合わせにより、高負荷脱窒素処理と同様に無希釈で運用する事例も出現してきた。

## 7 浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素処理方式

当社は本処理方式の技術評価を第 11 号と第 15 号の 2 件取得している。本書では、当社納入実績の多い第 11 号を主に説明する。

### 7.1 廃棄物処理技術評価第 11 号方式

#### （1）経緯

1997（平成 9）年 3 月～1998（平成 10）年 2 月、栃木地区広域行政事務組合衛生センター内に「浄化槽汚泥混入率の高いし尿に対応した膜分離高負荷脱窒素処理－前曝気凝集分離脱リン法を適用した方式－」による 1.0～1.5 kL/日し尿処理実証プラントを建設し、1 年間の実証試験を行った。1999（平成 11）年 1 月に公益財団法人廃棄物・3R 研究財団（当時の財団法人廃棄物研究財団）の技術評価第 11 号を取得した。（開発者：当社（当時の三井鉱山株式会社））

1999（平成 11）年 5 月、郡上市（旧郡上広域連合）より、本処理方式の 1 号機を受注し、2002（平成 14）年 3 月に竣工した。

- ・施設名：郡上市環境衛生センター
- ・処理量：90 kL/日（し尿 24、浄化槽汚泥 66）、厨芥 1.5 t/日
- ・水処理：浄化槽汚泥の混入率の高い膜分離高負荷脱窒素処理＋高度処理

・資源化：堆肥化

当社では、本処理方式を現在まで 8 施設に納入している。

最近では、膜分離を採用しない浄化槽汚泥の混入率の高い高負荷脱窒素処理の実績も出てきた。

(2) 本システムについて

(a) 概要

本技術は、従来の循環加圧曝気処理方式の前曝気分離技術の応用と膜分離高負荷脱窒素処理方式の組み合わせにより開発した。

前曝気凝集分離工程では、除渣したし尿・浄化槽汚泥に単純曝気を行った後、無機凝集剤、高分子凝集剤を添加し、重力沈降分離させる。

主処理工程では、重力沈降した上澄水を硝化脱窒素処理後、膜分離により固液分離する。膜処理水は高度処理（活性炭吸着）・消毒後放流する。

(b) 特徴

- ①し尿・浄化槽汚泥を曝気することで負荷の均一化および沈降分離性の改善を図る。
- ②前曝気凝集分離工程でリンの除去や BOD、窒素等の負荷低減を行うため生物処理槽の容量が小さくできる。
- ③高度処理は凝集膜分離が省略され、活性炭吸着のみとなる。
- ④余剰汚泥を前曝気槽に移送することで、汚泥脱水を一元化できる。

(c) 処理フローシート（技術評価第 11 号）

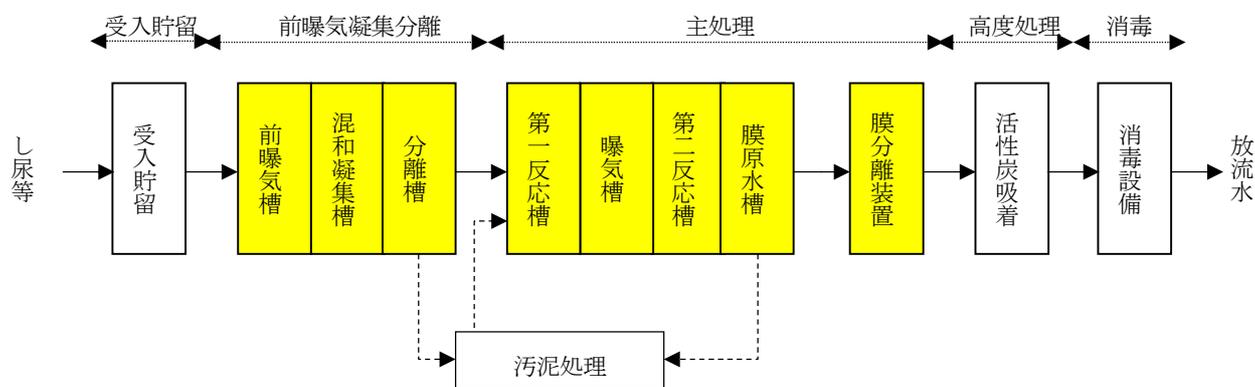


図 10 浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素処理フローシート（技術評価第 11 号）

7.2 廃棄物処理技術評価第 15 号方式

(1) 経緯

1997（平成 9）年 12 月～1998（平成 10）年 10 月、福山市内海し尿処理場（旧広島県沼隈内海広域行政組合クリーンセンター）内に「浄化槽汚泥混入率の高いし尿に対応した

膜分離高負荷脱窒素処理—前反応分離脱リン法を適用した方式—による 1.0～1.5 kL/日し尿処理実証プラントを建設し、11 ヶ月間の実証試験を行った。1999（平成 11）年 8 月に公益財団法人廃棄物・3R 研究財団（当時の財団法人廃棄物研究財団）の技術評価第 15 号を取得した。（当社（当時の三井造船エンジニアリング株式会社、三井造船株式会社）を含む 5 社共同開発）

（2）システム概要

（a）概要

前反応工程では、除渣したし尿・浄化槽汚泥に無機凝集剤、シリカ系凝集剤を添加し単純曝気処理し、重力沈降分離させる。

主処理工程では、重力沈降した上澄水を硝化脱窒素処理後、膜分離により固液分離する。

膜処理水は高度処理（活性炭吸着）・消毒後放流する。

（b）特徴

第 11 号方式に準じる。

（c）処理フローシート（技術評価第 15 号）

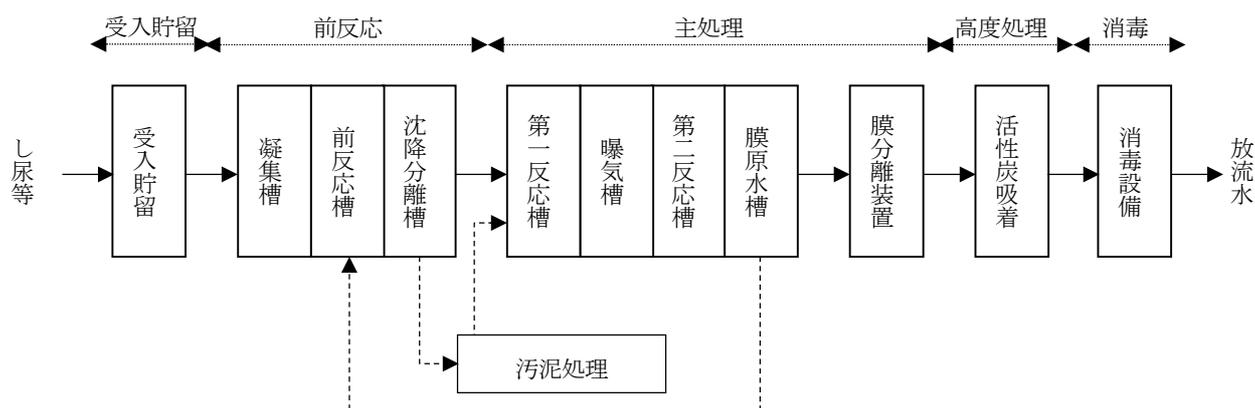


図 11 浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素処理フローシート（技術評価第 15 号）

## 8 メタン発酵

汚泥再生処理センターとエコランド計画に対応する技術として、共同開発により、技術評価第 14 号（REM システム）と第 23 号（リネッサシステム）の 2 件取得している。当社納入実績を有する第 14 号を中心に説明する。

### 8.1 REM システム

（1）経緯

1997（平成 9）年 10 月～1998（平成 10）年 8 月、栃木地区広域行政事務組合衛生セン

ター内に、「し尿処理汚泥等の廃水処理汚泥およびその他有機性廃棄物の混合メタン発酵処理—湿式粉碎選別機とメタン発酵槽を組み合わせた方式—」(REM システム)による実証プラントを建設し、11 ヶ月間の実証試験を行った。(当社(当時の三井鉱山株式会社)含む5社共同開発)

1999(平成11)年6月、公益財団法人廃棄物・3R研究財団(当時の財団法人廃棄物研究財団)の技術評価第14号を取得した。

1998(平成10)年7月、新潟県東蒲原広域衛生組合より、REM システム1号機を受注し、2000(平成12)年3月に竣工した。(当社(当時の三井鉱山株式会社))

- ・施設名：阿賀町汚泥再生センター
- ・処理量：し尿等 22.3 kL/日(し尿 13.1、浄化槽汚泥 9.2)、  
厨芥 3.5 t/日(生ごみ 0.5、下水汚泥 1.3、農集汚泥 1.7)
- ・水処理：膜分離高負荷脱窒素処理＋高度処理
- ・資源化：メタン発酵＋堆肥化

## (2) REM システムについて

### (a) 概要

従来のし尿処理プロセスに、湿式粉碎選別装置(パルパー)、メタン発酵槽(BIMA 発酵槽)、堆肥化装置等からなる資源回収プロセスを付加した有機性廃棄物処理技術(REM システム)。

し尿処理における余剰汚泥と受入厨芥をメタン発酵処理してバイオガスを回収し、消化汚泥の脱水分離液をし尿処理施設で処理する。

### (b) 特徴

- ①し尿、浄化槽汚泥、生ごみ、汚泥、残渣、家畜ふん尿等、多くの有機性廃棄物の処理が可能。
- ②メタン発酵の前処理に使用するパルパーは発酵不適物の除去性能が良いのでメタン発酵効率が高く堆肥等の品質も向上する。
- ③BIMA 発酵槽は無動力攪拌装置のため省エネルギー、槽内に機器が無くメンテナンスフリー。
- ④設備構成がシンプルで維持管理が容易。

### (c) 処理フローシート(技術評価14号)

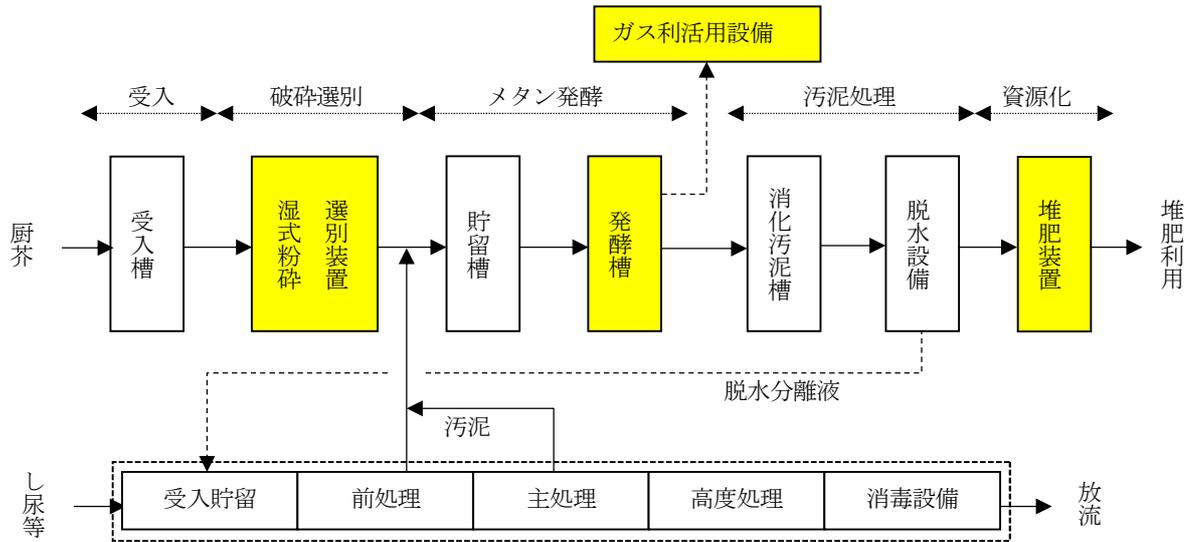


図 12 REM システムフローシート (技術評価第 14 号)

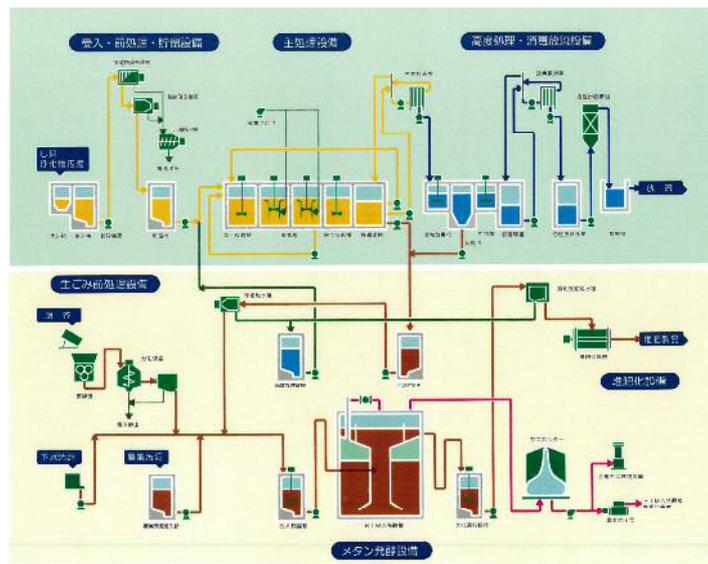


図 13 阿賀町汚泥再生センター フローシート



写真 4 阿賀町汚泥再生センター



写真 5 BIMA 発酵槽(左)とガスホルダ

## 8.2 リネッサシステム

### (1) 経緯

1998（平成10）年5月～1999（平成11）年2月、愛媛県久万高原町（旧上浮穴郡生活環境事務組合）環境衛生センター内に、「し尿処理汚泥等の廃水処理汚泥およびその他有機性廃棄物の混合メタン発酵処理－2段メタン発酵方式－」（リネッサシステム）による実証プラントを建設し、10ヶ月間の実証試験を行った。（当社（当時の三井造船株式会社）含む7社共同開発）

2000（平成12）年1月、リネッサシステムに対する公益財団法人廃棄物・3R研究財団（当時の財団法人廃棄物研究財団）の技術評価第23号を取得した。

### (2) リネッサシステムについて

#### (a) 概要

従来のし尿処理プロセスに、中温と高温方式の2段階メタン発酵槽および堆肥化装置等からなる資源回収プロセスを付加した有機性廃棄物処理技術（リネッサシステム）。

し尿処理における浄化槽汚泥および余剰汚泥と受入厨芥をメタン発酵処理してバイオガスを回収し、消化汚泥の脱水分離液をし尿処理施設で処理する。

#### (b) 処理フローシート（技術評価23号）

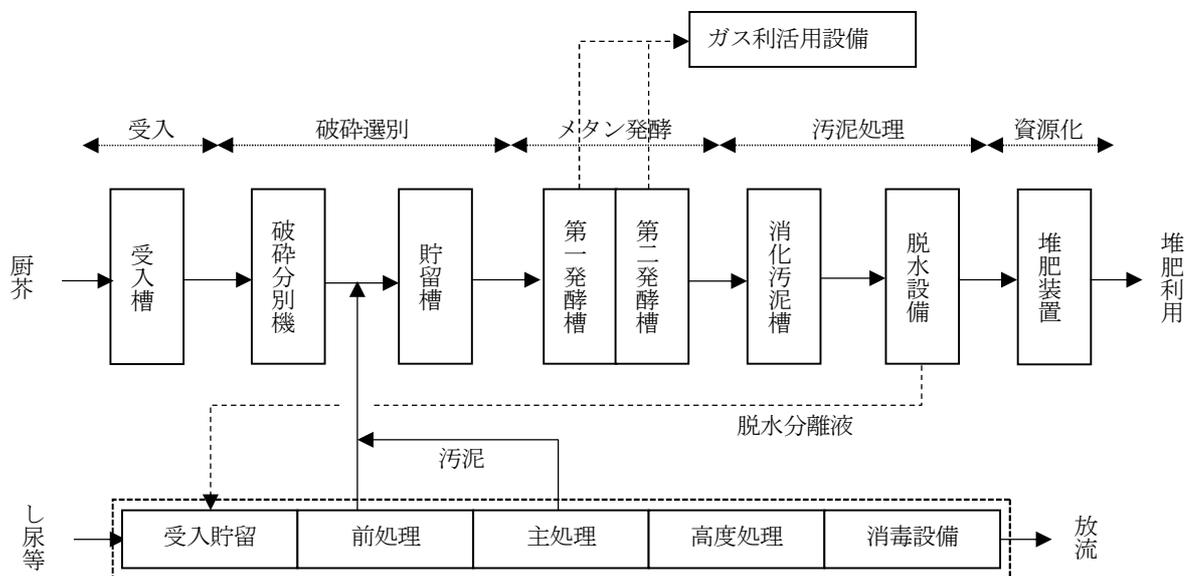


図14 リネッサシステムフローシート（技術評価第23号）

## 8.3 バイオマス利活用施設

2000（平成12）年3月に竣工したREMシステム1号機以降、納入が途絶えていたが、REMシステムを基本技術とした有機資源循環型バイオマス利活用施設の納入事例を紹介

する。(表5)

表5 バイオマス利活用施設納入事例

竣工年	納入先	施設名称	施設規模	処理方式	備考
2006年 (平成18年)	大木町	おおき循環センター「くるるん」	し尿：7kL/日 浄化槽汚泥：30.6kL/日 生ごみ：3.8t/日	資源化：メタン発酵 * 消化液は液肥利用 水処理：高負荷脱窒素処理 * 処理水は再利用	農林水産省交付金事業
2010年 (平成22年)	三浦地域資源ユース株式会社 (第三セクター)	三浦バイオマスセンター「BIMAステーション三浦」	し尿：17.9kL/日 浄化槽汚泥：46.8kL/日 農作物残渣：20t/日 水産加工残渣：0.5t/日 下水汚泥：3.9t/日	資源化：メタン発酵＋堆肥化 水処理：膜分離高負荷脱窒素処理＋高度処理 * 処理水は再利用	農林水産省交付金事業
2018年 (平成30年) (予定)	みやま市	みやま市バイオマスセンター	し尿：42kL/日 浄化槽汚泥：78kL/日 家庭系生ごみ：5.3t/日 事業系生ごみ：2.3t/日 産業系食品廃棄物：2.3t/日	資源化：メタン発酵 * 消化液は液肥利用 水処理：高負荷脱窒素処理＋高度処理 * 処理水は再利用	環境省交付金事業



写真6 おおき循環センター



写真7 三浦バイオマスセンター



写真8 みやま市バイオマスセンター（完成予想図）

## 9 下水道放流施設

下水道放流は、下水道処理施設の有効活用およびし尿・汚泥再生処理センターの建設費低減のため近年増加傾向にある。

### 9.1 前処理（除渣）＋希釈・下水道放流

下水道処理施設に余裕がある場合や希釈水が大量に確保できる場合に限定される。

希釈倍率は、下水道排除基準値（BOD600 mg/L、SS600 mg/L）の場合、20倍程度が

目安となる。

希釈水は井戸水を利用することが多い。下水処理場内に設置する場合は、下水処理水が利用される。

当社は、2008（平成 20）年日立市滑川クリーンセンター（13 kL/日）竣工以降 5 件の納入実績を有す。

## 9.2 固液分離（脱水）＋希釈・下水道放流

固液分離（脱水）には、助燃剤化しない場合（含水率 80～85%）と助燃剤化（含水率 70%以下）の 2 パターンがある。

近年は、両者ともに脱水分離液を 5 倍程度に希釈後、下水道へ放流するケースが多い。2001（平成 13）年 9 月、当社初の本システム 1 号機となる固液分離（脱水）処理方式のし尿処理施設を狭山市より受注し、2004（平成 16）年 3 月竣工した。（当社（当時の三井造船株式会社）

当社の本処理方式は、4 件の納入実績を有す。（内 1 件は助燃剤化）

## 9.3 生物学的脱窒素処理＋下水道放流（無希釈）

無希釈または低希釈での下水道放流が要求される場合に適用される。

当社実績は、1995（平成 7）年寒川町に循環加圧曝気処理による下水道放流施設を納入以降、5 件の実績を有す。当社の下水道放流の生物学的脱窒素処理方式には、循環加圧曝気処理、標準脱窒素処理、膜分離高負荷脱窒素処理、浄化槽対応型高負荷脱窒素処理方式の実績がある。

# 10 資源化設備

## 10.1 堆肥化設備

汚泥再生処理センター性能指針が示された 2000 年代（平成 10 年代）の当社実績の資源化設備は、堆肥化設備が主流であった。近年は、地域によっては堆肥の需要が少なくなり、以前に比べると堆肥化設備の計画は少なくなっている。

当社の堆肥化設備の方式は、規模や立地条件により横型発酵槽（パドル攪拌式）と自社製ジェットエアー・コンポスターを使い分けている。

2004（平成 16）年 1 月、初めてジェットエアー・コンポスターを採用した、ふくおか県央環境施設組合の汚泥再生処理センター建設工事を受注し、2006（平成 18）年 6 月に竣工した。

- ・施設名：ふくおか県央環境施設組合汚泥再生処理センター
- ・処理量：146 kL/日（し尿 107、浄化槽汚泥等 39）
- ・水処理：膜分離高負荷脱窒素処理＋高度処理
- ・資源化：堆肥化

ジェットエア・コンポスターは、以下の特徴を有している。

- ①圧縮空気により切返し攪拌を行うため、発酵槽内部には攪拌機等の駆動装置がなく、耐久性に優れ維持管理が容易。
- ②負荷変動に応じた運転が容易にできる。（供給空気量、切返し頻度、発酵槽温度管理）
- ③密閉構造で臭気・粉塵対策が容易である。

堆肥化設備は、両方式併せて 19 件の納入実績を有している。（汚泥再生処理センター制定前含む）

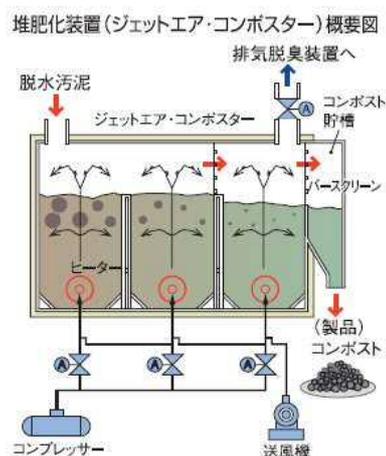


図 15 ジェットエア・コンポスター概念図 写真 9 ジェットエア・コンポスター設置例

## 10.2 炭化設備

2003（平成 15）年 7 月、羽生市より資源化設備に当社初の炭化設備を採用した汚泥再生処理センター建設工事を受注し、2005（平成 17）年 3 月に竣工した。

- ・施設名：羽生市汚泥再生処理センター
- ・処理量：60 kL/日（し尿 3＋浄化槽汚泥 57）、厨芥 0.2 t/日
- ・水処理：浄化槽汚泥混入比率の高い膜分離高負荷脱窒素処理方式＋高度処理
- ・資源化：炭化

その後、地球温暖化防止等により、汚泥再生処理センターでは化石燃料を使用する炭化設備の計画は停滞し、2010（平成 22）年に三次市へ 2 号機納入以降、受注が途絶えている。



写真 10 炭化炉設置例（三次市）

### 10.3 助燃剤化設備

2010（平成 22）年以降、資源化設備に汚泥助燃剤化を採用する事例が増え現在の主流となっている。

#### （1）スクリープレス

2008（平成 20）年 6 月、日野市より当社初の前脱水（スクリープレス）による助燃剤化設備を採用した汚泥再生処理センター建設工事を受注し、2010（平成 22）年 3 月に竣工した。

- ・施設名：日野市クリーンセンター汚泥再生施設
- ・処理量：20 kL/日（し尿 4、浄化槽汚泥 16）、生ごみ 0.05 t/日
- ・処理方式：固液分離（助燃剤化）＋希釈・下水道放流

#### （2）水分自動制御型スクリープレス（スマートプレス）

##### （a）経緯

2011（平成 23）年 11 月～2012（平成 24）年 3 月、九州地区の汚泥再生処理センターにおいて、処理量 1,000 kg<sup>-wet</sup>/hr（10 kg<sup>-ds</sup>/hr）の高効率脱水機（水分自動制御型スクリープレス）による汚泥助燃剤化の実証試験を行った。

同年 3 月、一般財団法人日本環境衛生センター（当時の財団法人日本環境衛生センター）より汚泥助燃剤化のための、前処理用高効率脱水機（水分自動制御型）性能調査報告書を取得した。

水分自動制御型スクリープレスは、2015（平成 27）年 7 月竣工の宇和島地区広域事務組合へ最初に導入した。当施設の資源化はリン回収で、汚泥助燃剤化が目的ではないことから、本方式による汚泥助燃剤化用脱水機としては、2016（平成 28）年 6 月稼働開始の和歌山市が 1 号機になる。

水分自動制御型スクリープレスによる汚泥助燃剤化は、現在までに 4 施設（建設中含む）の実績を有している。

- ・施設名：和歌山市 青岸汚泥再生処理センター
- ・処理量：484 kL/日（し尿 53、浄化槽汚泥 431（集落排水汚泥含む））
- ・水処理：前脱水＋生物学的脱窒素処理＋高度処理

・資源化：助燃剤化

(b) 特徴

- ①独自技術の水分計により脱水汚泥の含水率を連続測定することができる。
- ②水分計による自動制御運転により、原料の性状変動への対応が容易で、連続監視を行いながら脱水汚泥含水率 70%以下を維持できる。
- ③構造がシンプルで駆動箇所が少なく、交換部品が少ない。
- ④回転数が低く運転動力が小さい省エネルギー機器である。
- ⑤独自のスクリー形状により、無閉塞で高効率の運転ができる。
- ⑥前段に濃縮機を設け原料性状の変動を吸収し、安定した脱水性能を維持する。

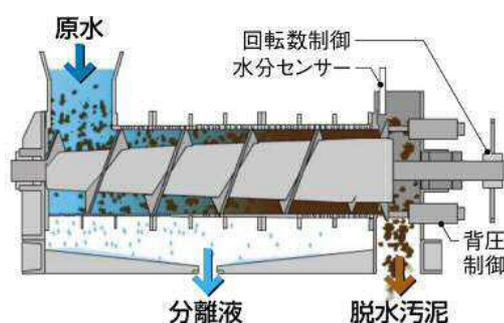


図 16 スマートプレス概念図



写真 11 スマートプレス設置例

(3) 電気浸透式脱水機 (e-ダイナプレス(EDP))

(a) 経緯

2009 (平成 21) 年 1 月～12 月、高効率脱水機として電気浸透式脱水機を技術導入し、栃木地区広域行政事務組合衛生センター内で、電気浸透式脱水機による汚泥助燃剤化の実証試験を行い効果の確認を行った。

2010 (平成 22) 年 6 月、西海市より汚泥助燃剤化に電気浸透式脱水機 1 号機を採用した汚泥再生処理センター建設工事を受注し、2013 (平成 25) 年 3 月に竣工した。

- ・施設名：西海市汚泥再生処理センター
- ・処理量：74 kL/日 (し尿 30、浄化槽汚泥等 44)
- ・水処理：高負荷脱窒素処理＋高度処理
- ・資源化：助燃剤化および炭化物原料化

2010 (平成 22) 年 8 月～2011 (平成 23) 年 3 月、大牟田市東部環境センター内で、処理量 200 kg-wet/hr 以上の電気浸透式脱水機による汚泥助燃剤化実証試験を行った。

同年 3 月、一般財団法人日本環境衛生センター(当時の財団法人日本環境衛生センター)より汚泥助燃剤化用電気浸透式脱水機性能調査報告書を取得した。

現在までに、電気浸透式脱水機は 2 施設へ 6 台納入している。

(b) 電気浸透式脱水機の原理

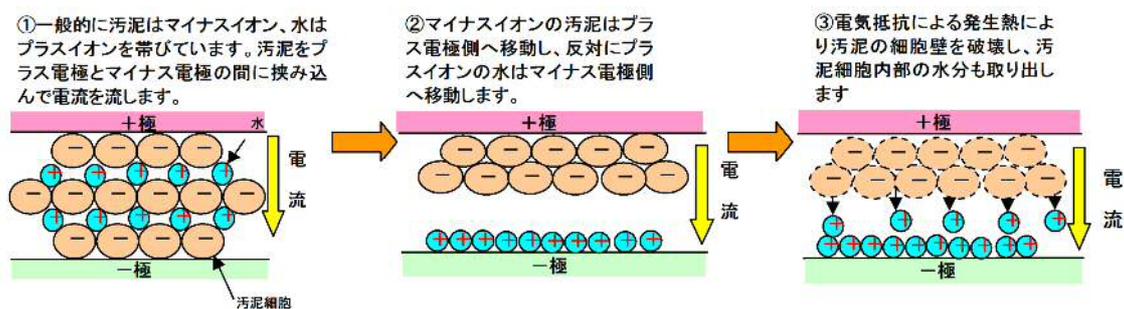


図 17 電気浸透式脱水機の原理

(c) 特徴

- ①脱水補助剤の添加が不要で、余剰汚泥等を電気浸透の作用で含水率 70%以下に脱水する。
- ②使用する薬品は、前段の一次脱水機で使用する高分子凝集剤のみで薬品使用量が少ない。
- ③汚泥性状の変化に対しては、印加電圧の調整で容易に対応できる。

(d) 設置例



写真 12 電気浸透式脱水機（西海市）



写真 13 電気浸透式脱水機（三原市）

10.4 リン回収設備

(1) 種晶アパタイト法（SRAP システム）

(a) 経緯

2011（平成 23）年 9 月～2012（平成 24）年 2 月、大牟田市東部環境センター内で、処理量 1 m<sup>3</sup>/日の種晶アパタイト法リン回収試験装置による実証試験を行った。

同年 2 月、一般財団法人日本環境衛生センター（当時の財団法人日本環境衛生センター）より種晶アパタイト法リン回収装置性能調査報告書を取得した。

2012（平成 24）年 11 月、宇和島地区広域事務組合より種晶アパタイト法リン回収装置 1 号機、汚泥脱水機には水分自動制御型スクリュープレス（スマートプレス）を最初に採用した汚泥再生処理センター建設工事を受注し、2015（平成 27）年 7 月竣工した。

- ・施設名：宇和島地区広域事務組合汚泥再生処理センター
- ・処理量：220 kL/日（し尿 130、浄化槽汚泥 90）
- ・水処理：膜分離高負荷脱窒素処理＋高度処理
- ・資源化：リン回収

(b) SRAP システムについて

当社独自のリン回収技術で、従来の HAP 法の欠点を解消したシステム。



(ア) 概要

- ・生物処理後の処理水にカルシウム剤を添加し、生物処理水に含まれるリン酸と反応させ HAP（ヒドロキシアパタイト）として効率的に回収する。
- ・種晶としてケイ酸カルシウム肥料を利用し、種晶アパタイト方式により種晶の表面に HAP を晶析させる。
- ・晶析が進み、径が一定以上になってから引き抜き、水切り後、製品を回収する。
- ・運転はカルシウム添加と pH 調整のみであり容易。
- ・回収した製品は肥料取締法の「副産リン酸肥料」としての規格を満たす。  
製品は、く溶性リン酸の含有率 15%以上、含水率 20%以下。

(イ) 特徴

- ①製品の含水率が低くなり、水切れが良いため乾燥工程が不要。
- ②回収した製品は粒径 2 mm 以上となり、製品化工程での粉塵の発生がない。
- ③生物処理水から回収するため、製品の臭気は殆ど無く衛生的。

(ウ) 処理フローシート等

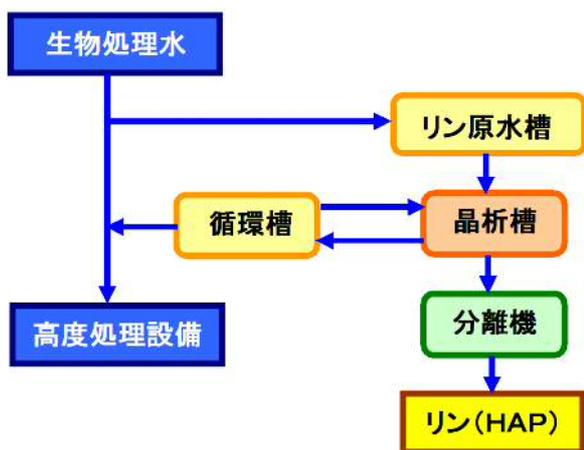


図 18 システム概略フローシート

写真 14 回収製品 (HAP)



写真 15 リン晶析塔 左：上部、右：下部（宇和島地区）

## (2) MAP 法

当社は他社との共同研究で MAP 法の技術評価を取得している。納入実績がないため詳細の説明は省略する。

### (a) 経緯

2003（平成 15）年 1 月～2003（平成 15）年 9 月、大阪府河内長野市衛生処理場内に、MAP 法によるリン回収資源化システム 5 m<sup>3</sup>/日実証プラントを建設し、9 ヶ月間の実証試験を行った。（当社（当時の三井造船株式会社、三井鉱山株式会社）含む 9 社共同開発）

2004 年 2 月、一般財団法人日本環境衛生センター（当時の財団法人日本環境衛生センター）の技術検証結果書（廃棄物処理技術検証第 5 号、技術名称：MAP 法によるリン回収資源化システム）を取得した。

### (b) MAP システムの概要

し尿および浄化槽汚泥の前処理工程で Mg 剤を添加、アンモニアの存在下でし尿等に含まれるリン酸と反応させ、リン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）として回収、資源化するシステム。

し尿等に高分子凝集剤を添加し凝集分離、SS 除去後、MAP 反応槽で Mg 添加、アルカリ性で MAP を晶析させる。MAP 分離後の処理水は主処理設備で処理する。

### (c) 処理フローシート

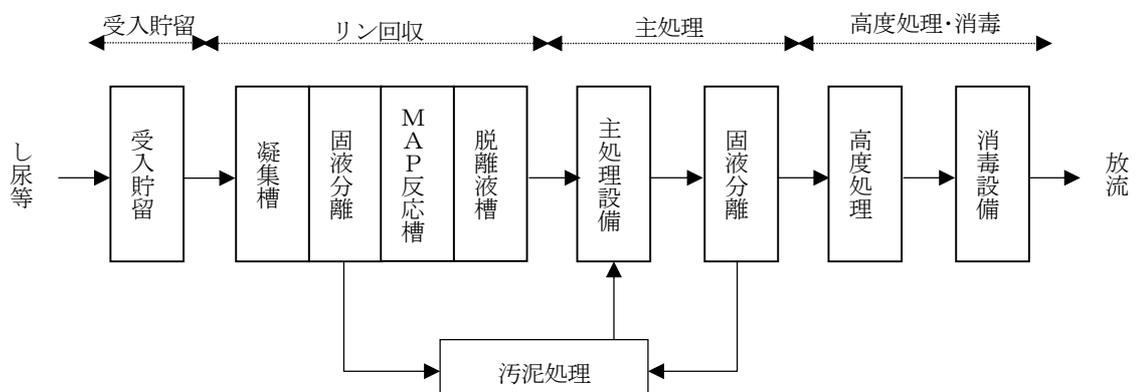


図 19 MAP システムフローシート

## 10.5 メタン回収設備

メタン回収設備については、「8 メタン発酵」を参照のこと。

## 11 おわりに

当社がし尿処理に本格的に参入した 1980（昭和 55）年以降、し尿・汚泥再生処理技術は社会情勢や制度・法令等の変化に追従し変遷してきた。

近年は下水道放流の増加等もあり、維持管理費の低減が望まれる一方、ストックマネジメントによる施設の長寿命化が求められている。

高負荷処理等の新技術の登場により、1980 年代～1990 年代（昭和 50 年中盤～平成年代初頭）に建設された施設も 25 年以上が経過し、施設の老朽化が見られる。

今後は施設のリニューアルや基幹的整備等、施設を運転しながら工事を行うスクラップアンドビルド方式的な難易度の高い工事の増加も予想され、当社は同種工事の経験を生かして取り組んでいく所存である。

水処理技術については、技術開発がほぼ収束し、今後は省エネ運転や主に脱臭や汚泥処理等の周辺技術の改善・開発、運転の省力化についても継続して進めていくことになる。

施設の長寿命化については、水槽防食のウエイトが大きい。現在のコンクリート水槽防食は日本下水道事業団編著の「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術および防食マニュアル」がベースとなっているが、防食のトラブルも報告されており、同マニュアルに加え、し尿・汚泥再生処理独自の知見も必要と考える。

また、近年は 2011（平成 23）年の東日本大震災、2016（平成 28）年の熊本地震等の大規模な自然災害が頻発しており、それらに対応した施設の強靱化が求められている。それらに関連し、BCP（事業継続計画）により、災害等の緊急事態が発生したときに被害や地域への影響を最小限に抑え、施設の継続や復旧を図るための計画も必要になると考える。

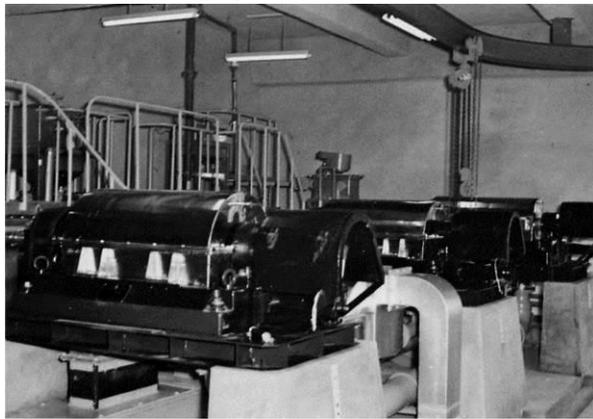
以上

# 三菱重工のし尿処理装置（汚泥再生処理センター）

わが国独特の開発技術であるし尿処理装置は、昭和25年（1950）、経済安定本部資源調査会が政府に対して「し尿の資源科学的衛生処理勧告」をおこなったことが発端となり、バキューム車によるし尿収集と、し尿処理施設における集約処理として発達した。

その後、し尿処理施設は鋭意整備が進められた結果、一時は全国で約1,400プラントが稼働し、わが国総人口の過半数が依存し、公衆衛生の水準向上と、公共用水域の水質保全に大きく貢献する社会資本となった。し尿処理はわが国独自の技術で、ここまで、絶えず時代の最先端技術をプラントとして具現化しながら進化を続けてきた。

30年代初めまでに建設されたし尿処理施設は、下水汚泥処理技術をベースにした嫌気性消化処理方式で汚泥処理は天日乾燥床式であった。三菱重工は34年、天日乾燥床に代わる汚泥処理の方法として、遠心脱水機による消化汚泥処理の実証テストを神奈川県逗子市に建設認可を得て実施し大成功を収め、まず脱水機メーカーとして業界へ参入した。その後、先発プラントメーカー各社を通して、全国約100プラントに商品名MSD（Mitsubishi Super Decanter）として、消化汚泥用遠心脱水機をほぼ独占的に納入した。この実績がし尿処理プラントメーカーとして発展する基礎となった。



三菱MSD型遠心脱水機

し尿処理の目的は、

- (1) 有害微生物の除去（安全性）
- (2) 腐敗性有機物の除去（安定化・減量化）
- (3) 感覚的不快原因物質の除去（臭気・色）
- (4) 富栄養化現象促進物質の除去（窒素・リン）

にあり、これらに関する技術に順次改良・改善を加える一方、技術の開発導入に努めてきた。処理プロセスは、前処理・主処理・高度処理・脱臭処理、そして汚泥処理の5ブロックの技術から構成され、そのなかの「主処理設備」である生物処理方式名を、そのし尿処理の方式名として採用している。他の4つのブロックの技術も順次開発・改良され、あらゆる要望が実現できる総合技術体系を確立するに至った。

また、し尿処理施設は事業所・家庭などに設置された浄化槽から発生する浄化槽汚泥や他の生活排水処理汚泥（コミュニティプラント、農業集落排水処理など）の処理施設としての役割も担っており、生活様式の変化により浄化槽が普及し、浄化槽汚泥などの量が増加すると、これに対応した処理技術の開発もおこなわれた。

平成8年（1996）には当時の厚生省から「衛生処理を目的としたし尿処理施設建設は、ほぼ目標を達成し、従来方式の施設は国庫補助対象としない」との判断がなされ、し尿処理施設は新たに国庫補助対象となった汚泥再生処理センターへと転換されることとなった。

汚泥再生処理センターは、従来方式によるし尿処理装置に、循環型社会形成の国の方針のもとにし尿処理施設から発生する汚泥と生ごみを混合して、メタン発酵によるエネルギー利用や汚泥を資源化し循環利用をはかる設備を付加するもので、新時代のし尿処理施設としての期待が寄せられた。

しかし、当時の自治体ではごみ焼却炉のダイオキシン排出抑制対策が最優先課題であったこと、また、し尿処理施設へ生ごみを搬入することのハードルの高さにより、思ったほど普及せず市場も急激に冷え込んでいった。その後の自治体の財政難はこの傾向に拍車を掛けることになった。

15年頃に至っては市場の急激な縮小により、多くのし尿処理プラントメーカーは蓄積した技術をもって他分野への展開を余儀なくされた。三菱重工も新たに排出規制された家畜排泄物処理や、リサイクルが義務化された食品廃棄物処理の分野へ進出を図ることになった。

そして18年1月、し尿処理装置は三菱重工から三菱重環へ事業譲渡された。さらにその後、新規施設建設から撤退し、メンテナンス事業を中心とする新たな時代へ入っていくこととなった。

---

## 1. 嫌気性消化処理方式

---

昭和38年（1963）、佐賀県唐津市向け60 k $\ell$ /日を初号機として納入以来、45年に完成した帯広市向け80 k $\ell$ /日までの約8年間に、プラント数15基、総処理量1,225 k $\ell$ /日の納入実績を本方式によってあげた。



三原市浄化場向け し尿嫌気性消化処理装置  
および高速酸化処理装置

本方式のランニングコストは、他方式に比べて低廉ではあるが消化槽容量がし尿量の約30日分という大容量で広い敷地を要すること、また、発生する消化ガスによる臭気問題などが原因で建設が減少し、45年の帯広市向けプラントを最後に、高速酸化処理方式へ移行していった。

初期には、し尿中の夾雑物を破碎したまま消化槽へ投入したため、槽内でスカム（浮きカス）の発生を引き起こし、機能の低下とメンテナンスに苦労した。しかし、これは43年に開発されたロータリスクリーンを前処理設備として採用することにより解決された。

また、消化槽処理液（脱離液）は、高速散水ろ床によって処理していたが、酸素源をろ床の自然通風に求めたため、水温の下がる冬期には効率低下が著しく処理水質の悪化を招いた。そこで42年に完成の北海道帯広市向け90k $\ell$ /日からは、その処理方法を活性汚泥法（曝気槽）に転換した。

消化槽の加温は、初期の温水ボイラによる間接加温から、蒸気ボイラによる直接加温へ改良によりスケールトラブルが解消され、かつ熱効率の向上が図られた。また、発生ガス中の硫化水素の除去には、初めは、鉄切削片と鋸屑とを混合して作った吸着剤を利用して水酸化鉄とし、これに硫黄を結合させて除去していた。

その後ペレット状成形脱硫剤（日産ケメトロン）が市販され、操業の面から非常に便利になった。44年に完成の長崎市、45年に完成の高崎市向けでは、更に処理の安定と維持費の経済性を考慮し、湿式脱硫方式（硫黄回収式タカハ

ックス法)を採用した。これはガス中の硫化水素を吸収する吸収塔と吸収液を空気により酸化再生する酸化塔とに区分して、吸収液中に析出した硫黄をろ過回収し硫黄による二次公害防止と、水処理の安定化をおこなうことができた。

## 2. 高速酸化処理方式

昭和35年(1960)、三菱重工は日本コンポスト研究所の酸化処理方式に着目して業務協定を結び、38年に埼玉県蓮田市白岡町向け14 kℓ/日を初号機として納入以来、56年に完成した相模原市向け250kℓ/日までの約20年間に、プラント数82基、総処理能力5,823kℓ/日を全国各地へ建設した。

このうち、44年の広島県安芸津町向けを含む11基、483 kℓ/日は、海水希釈によるものである。また、53年の愛知県瀬戸市以降、海部津島地区、小野田市、相模原市の4基、410ℓ/日は、浄化槽による水洗便所の普及に対応するため浄化槽汚泥専用処理施設を設けたものである。

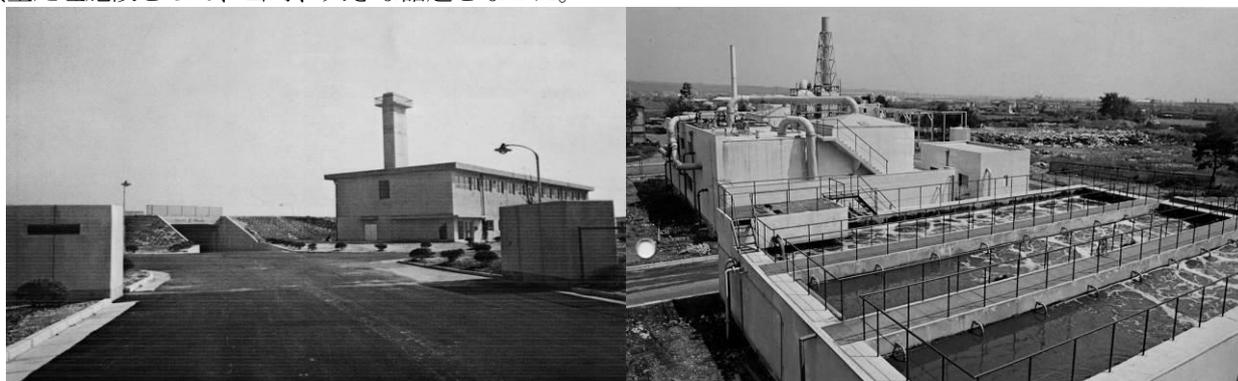
高速酸化処理方式は、し尿中の夾雑物を直接遠心脱水機で除去するなど、嫌気性消化処理方式に比べて、

- (1) スカム発生および配管閉塞が皆無
- (2) 処理日数が10分の1で施設がコンパクト
- (3) メタンガスなど危険を伴う悪臭ガスの発生がない

などの特徴をもつ画期的なプロセスとして評価され、昭和41年度日本機械学会賞を受賞した。

一方、「公害対策基本法」(42年)、「廃棄物処理法」(45年)などの公布は、汚泥処理および脱臭処理技術やCOD(化学的酸素要求量)総量規制に対する高度処理設備の開発を促し、新しい技術の実用化へと発展、まさに百花繚乱の拡大期を迎えた。

草創期の処理水槽は、工程ごとに独立して設置していたが、処理水槽の一体化を経て、今日のワンビルディング(処理棟一体方式)へと進展した。47年に完成した大阪府寝屋川市向けは、水槽上部の建屋を覆土した古墳型処理施設として、当時、大きな話題となった。



寝屋川市全地下式し尿高速酸化処理装置

東京都西多摩地区し尿高速酸化処理装置

汚泥処理設備は、高分子凝集剤の出現に伴って、真空脱水機から毛細管脱水機、そしてベルトプレス脱水機へ、さらには遠心脱水機へと低動力化・密閉化が進み、その姿も面目を一新した。

「悪臭防止法」(46年)の公布は、初期のアンモニア・硫化水素の除去を主眼とした水洗浄+アルカリ洗浄から、現在の、高濃度臭気は燃焼または生物脱臭方式、中濃度臭気は薬液洗浄(酸・アルカリ・次亜塩素酸ソーダ)+活性炭吸着方式が定着し、その処理評価も、特定の悪臭成分の除去率から、官能試験による複合臭の臭気濃度評価へと変化していった。

COD総量規制に対する高度処理技術については、48年に神奈川県衛生研究所と共同研究を開始し、厚木市にパイロットプラント建設の認可を得て鋭意開発に努め、凝集沈殿+ろ過処理方式を開発した。同年に「瀬戸内海環境保全臨時措置法」が公布され、COD総量規制が取り入れられた。三菱重工は52年に岡山県和気赤磐地区向けに高度処理設備の初号機を納入し、併せてオゾン酸化による脱色装置も完成した。

その後、高度処理を付加したプラントは、7年間で9プラントあったが、本方式は、水域の富栄養化現象の原因である窒素を十分に除去できないことから、次第に建設が減少し、56年の相模原市向けが最後のプラントとなった。

### 3. 標準脱窒素処理方式 (三菱二段脱窒素法)

高速酸化処理方式の約20年間は、公害規制の強化とあいまって関連技術が開発されたが、今日の水質規制値に対しては窒素除去が不完全であった。そこで三菱重工は、昭和49年（1974）に神奈川県衛生研究所と共同して脱窒素法の研究に着手した。



埼玉県加須市に建設した三菱二段脱窒素法の実証プラント

本研究は、ベンチスケールテストによって「三菱二段脱窒素法」を確立し、53年に10kℓ/日の実証プラントを埼玉県加須市に建設の認可を得て設置し、各種運転データの取得とデモンストレーションをおこなった。

54年に熊本市向けに50kℓ/日標準脱窒素処理方式の初号機を納入以来、平成13年3月までに、プラント数26基、総処理量2,982kℓ/日を納入した。

本方式では、従来の20倍希釈から10倍以下の希釈で処理を可能にし、さらにCOD除去率も飛躍的に向上した。また、併設される高度処理設備は、凝集沈殿＋砂ろ過＋オゾン酸化（または活性炭吸着）で構成され、無色透明な処理水が得られた。また、投入室も自動扉で密閉化が図られるなど、すべての感覚的不快原因をも取り除いた施設となった。

こうしたことが処理施設の建設地選択を自由にし、屋上テニスコート（広島市、三重県鈴鹿市）、管理棟に屋内バレーコート（広島市）、敷地内にゲートボール場（鹿児島県肝付東部、熊本県御船町）、公園（青森市、鈴鹿市、広島市）を併設し、地域社会の中心的な公共施設へと変貌を遂げた。



屋上テニスコートと隣接ゲートボール場がある鈴鹿市し尿処理施設

また、各種の水質自動計測計器の開発は、データロガとの組合せによる自動記録および自動制御技術を進展させ、省力化・自動化に大きく貢献した。

#### 4. 高負荷脱窒素処理方式 (RAシステム)

標準脱窒素処理方式は、硝化反応に関して、従来の活性汚泥法に比べ約4倍程度の空気量が必要で、更に使用電力量の増大と大きな反応水槽を必要としたことから、これらの節減のために、三菱重工は昭和53年（1978）から無希釈高負荷脱窒素処理方式の基礎調査を開始した。

標準脱窒素処理方式の活性汚泥濃度を約3倍に高めて無希釈処理することにより、反応水槽の小型化と省資源・省エネルギーを達成することを本方式の開発目標においた。

無希釈処理を実現するには、

- (1) 無希釈し尿の高い酸素消費速度に対する高効率酸素供給方法（酸素供給能力の増大）
- (2) し尿の好気性消化に伴う液温上昇（酸化反応熱）による生物学的反応阻害の防止（液温制御）
- (3) し尿の無希釈および高濃度汚泥による発泡の抑制と制御（曝気強度の減少と消泡制御）
- (4) 残留するCODや高濃度着色源（色度）の除去（活性炭吸着処理）

これらを同時に解決することが必要で、なかでも曝気装置の選択が重要であった。

そこでロータリアトマイザに着目し、54年から三菱重工横浜研究所でベンチスケールテストを開始した。

本テストでは、無希釈し尿を高濃度活性汚泥下で高性能曝気をおこない、低溶存酸素濃度（低DO）を維持すると硝化反応は亜硝酸型となり、同時に単一槽において硝化脱窒素反応が生起するという窒素除去機構が確認できた。この結果、生し尿中のBODのみを有機炭素源として高効率脱窒をおこない、若干残留する酸化態窒素は活性汚泥の内性呼吸を利用して完全除去を図る。すなわちメタノールを添加しない無希釈・無薬注の脱窒素処理法「RAシステム」（Rotary Atomizer System）を開発した。

55年、埼玉県加須市に実証プラント建設の認可を得て実証試験をおこない、58年に（社）全国都市清掃会議（全都清）に指針外施設申請をおこなった。そして、63年には秋田市向け230 kℓ/日の初号機を完成させた。以来平成9年3月までに、プラント数17基、総処理能力1,504 kℓ/日を納入した。



秋田市し尿高負荷脱窒素処理施設の全景

本方式は、プロセスの構成上、不可欠な機器冷却水と薬品溶解水のみで処理できることから、従来、工業用水や海水の希釈により冬期生物系の処理が不安定であった既存施設のお客様からも、施設更新時の処理方式として大いに受け入れられていった。

## 5. 膜分離高負荷処理方式

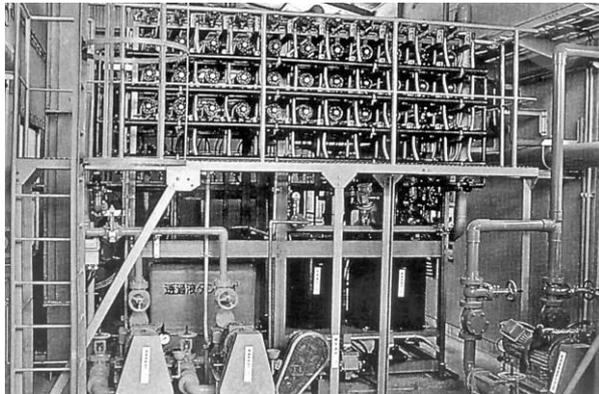
(RUシステム、USシステム)

高負荷脱窒素処理方式の固液分離は重力沈降方式を採用したため、維持管理費は低廉となったが、標準脱窒素処理方式に比べて沈殿槽の所要面積が大きくなり、かつ高濃度の汚泥を分離するため、生物相の変調を阻止しにくいという問題を含んでいた。

そこで本方式は、固液分離に限外ろ過膜を用いた膜分離方式を取り入れるとともに、反応槽容量を増加して反応槽における窒素除去機能を向上させ、第2脱窒素工程を不要とする大幅なシステム改良を図ることとした。昭和61年（1986）に埼玉県加須市のRAシステム実証プラントを改造して実証試験を行い、62年に全都清に指針外施設として申請し、評価を得て平成2年には、岡山県和気赤磐地区向けに60ℓ/日の初号機を完成させた。

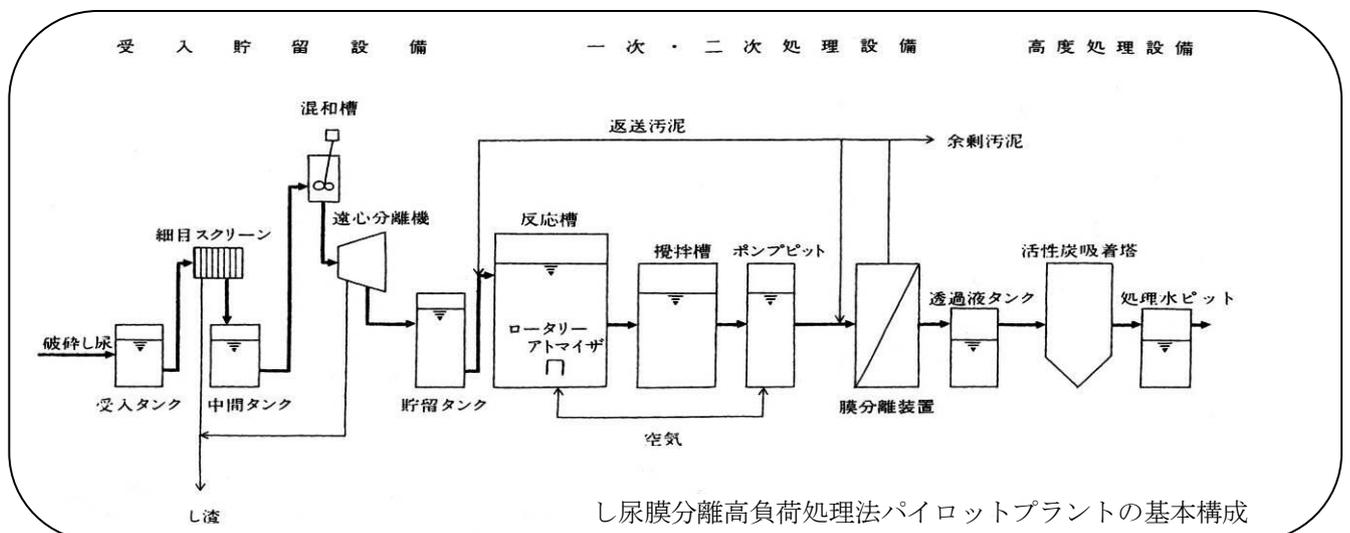
膜分離装置は、活性汚泥を限外ろ過膜によって加圧ろ過する。膜は数十オングストローム（ $10^{-10}\text{m}$ ）以下の粒子しか透過しないため、活性汚泥を分離濃縮するための固液分離装置は不要となり、かつ砂ろ過装置も不要にする画期的なもので、シンプルなプロセス構成を実現するとともに、膜洗浄の自動化もおこない、全プロセスの完全自動化を実現した。

本方式は、し尿処理のすべての目的を実現し、商品名「RUシステム」（Rotary Atomizer and Ultra Filtration）として拡販をおこない、平成18年までに、プラント数15基、総処理量1,606 kℓ/日を納入した。



和気赤磐地区向けし尿処理装置の膜分離初号機

その後、更に浄化槽汚泥混入率の増加を考慮した浄化槽汚泥対応型膜分離方式について、（財）廃棄物研究財団（廃研財団）から技術評価を取得し、「USシステム」（Ultra Filtration of septic tank sludge）として商品化した。



「USシステム」は浄化槽汚泥混入率50%以上の場合を対象に、浄化槽汚泥を単独もしくはし尿と混合脱水し、その分離液を主処理へ投入するもので、後段への汚濁物質負荷を低減したため、従来の生物膜分離、凝集膜分離の二段膜分離を一段化し、更に施設のコンパクト化を図った。本方式は、次節で紹介する奈良県生駒市向け施設に採用している。

このようにして、し尿処理施設の活性汚泥は限外ろ過膜による分離技術を確立した。

そして、この技術を応用し、平成7年には渇水対策のために、長崎市クリーンセンターの放流水の一部を脱塩処理（塩化物イオン濃度を上水基準値の200mg/l以下）する装置を実機化し納入した。本装置は1日約1,500m<sup>3</sup>のし尿処理放流水の内、150m<sup>3</sup>/日を施設内と隣接する文化交流センターへ再利用水として供給するもので、前処理除濁装置として凝集砂ろ過、UF膜（Ultra Filtration）を備え、逆浸透膜（RO膜（Reverse Osmosis Membrane））により脱塩処理をおこなう。RO膜は海水淡水化に用いられる膜で長船、長研の協力を得て実用化したもので全国で初めての装置である。



平成7年長崎クリーンセンターへ放流水脱塩処理装置を納入

## 6. 汚泥再生処理センター

し尿処理施設の建設にあたっては国庫補助事業となるかどうかが自治体にとって重要な要件であった。しかし平成8年（1996）以降、従来のし尿処理施設に施設から発生する余剰汚泥と外から搬入する生ごみを混合処理しエネルギー回収や、資源回収する資源化設備を付加した方式（汚泥再生処理センター）のみ補助金交付の対象となった。

三菱重工は、9年に廃研財団のもとで、共同研究を開始した。そしてフィンランドのサイテック社からメタン発酵技術の実施権を取得し、汚泥と生ごみを混合したメタン発酵装置の実機化に備え神奈川県内で約1年間の実証テストをおこなった。翌10年には同財団より技術評価を取得し三菱メビウスシステムとして商品化した。

そして、同年に奈良県生駒市より、し尿80 k<sup>3</sup>/日、生ごみ2.6 t/日処理の初号機を受注した。本施設は資源化設備としてメタン発酵設備（三菱メビウスシステム）、バイオガス発電設備、堆肥化設備などを備え、さらに水処理設備は浄化槽汚泥対応型膜分離方式（USシステム）を採用した。まさしく、最新技術を組み合わせた施設として全国的にも注目され、完成後は多くの見学者が訪れることとなった。

三菱メビウスシステムは、主に事業系生ごみを破碎した後、し尿汚泥と混合し、高温発酵により有機物を分解してバイオガス化するもので、従来の嫌気性消化処理との違いは発酵槽内の汚泥濃度を高濃度に維持し、早い反応速度で処理する点にある。このため発酵槽（サイテック社より技術導入）は独自の縦型形状とし、特殊

スクリー型攪拌機を用いている。この三菱メビウスシステムは、13年度の優秀環境装置として（社）日本産業機械工業会会長賞を受賞した。



汚泥生ごみ混合調整槽



メタン発酵設備

### 生駒市汚泥再生処理センター資源化設備（三菱メビウスシステム）

当初、汚泥再生処理センターでは、生ごみの搬入と、メタン発酵か堆肥化設備の設置が必須条件であった。しかし、自治体にとって、このハードルの高さが一因となり、事業量が大幅に減少した。その後、環境省（厚生省より環境分野を移管）は普及をはかるために、生ごみの代わりに下水汚泥や農業集落排水汚泥の搬入も良いこととし、また資源化設備についても、炭化、助燃料化、リン回収などとレパートリを増やしたが、自治体の財政難も追い討ちし、市場の回復は期待できない状態となった。

三菱重工は汚泥再生処理センターとして、生駒市向け以降18年までの6年間で、坂出宇多津地区（85kℓ/日、膜分離高負荷＋堆肥化）、羽島市（70 kℓ/日、標準脱窒素＋堆肥化）、富美山地区（200kℓ/日、生ごみ0.5t/日、膜分離高負荷＋堆肥化）、上五島地区（69 kℓ/日、生ごみ3t/日、膜分離高負荷＋メタン発酵＋堆肥化）、和気赤磐地区（72 kℓ/日、膜分離高負荷＋外部堆肥化）、大野広域（80 kℓ/日、生ごみ1t/日、膜分離高負荷＋堆肥化）、安芸市（30 kℓ/日、生ごみ0.1 t/日、膜分離高負荷＋堆肥化）、唐津市（77 kℓ/日、膜分離高負荷＋堆肥化＋コンクリートブロック化）の8プラント、総処理能力763 kℓ/日を納入した。

このようなし尿処理施設（汚泥再生処理センター）の建設に伴う社会的ニーズと窒素・リンなどの水質規制の強化に対し、たゆまぬ技術開発をおこなってきた結果、難しいといわれていたし尿などの処理技術は、現在あらゆる排水処理の中でも最先端にある。また、学界においても、水処理技術の進歩は、30年代、40年代は下水処理が牽引していたが、50年代以降はし尿処理が牽引したというのが定評となっている。

残念ながら、三菱重工のし尿処理施設の建設は唐津市が最後の施設となった。



唐津北部衛生処理センター



地下ブロウ・ポンプ室

しかし、今後のアフターサービス事業のニーズに答えるためにおこなってきた開発製品の『電解脱窒素装置』および『細砂除去装置』は単体機器として受注実績を上げてきている。また、電解脱窒素システムは平成16年の「2004ウェステック展」に出展しウェステック大賞2004（新技術部門）を受賞、細砂除去装置は20年に（社）日本産業機械工業会より「第34回優秀環境装置表彰」にて経済産業省産業技術環境局長賞を受賞した。物作りの原点に戻って、過去に開発した遠心脱水機、ロータリアトマイザ、消泡機のようなヒット商品になることを期待する。

また、し尿処理装置（汚泥再生処理センター）で培った高度な水処理技術およびメタン発酵技術は、新たな排水処理事業への展開として食品廃棄物処理、家畜排泄物処理へ応用している。

---

## 7. 食品廃棄物処理・家畜排泄物処理

---

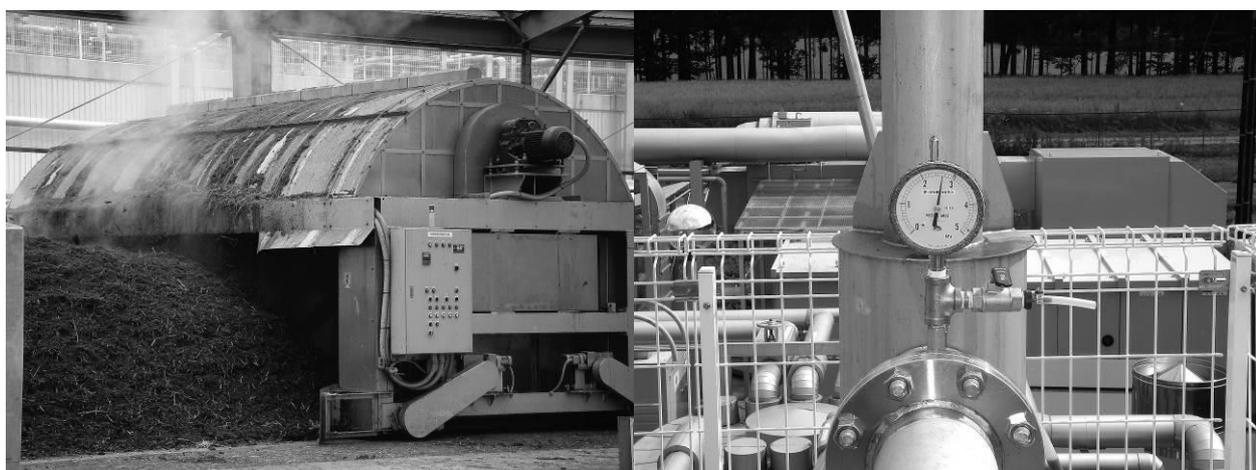
平成12年（2000）度以降、し尿処理装置（汚泥再生処理センター）市場の急激な縮小により、し尿処理技術を他分野へ応用し新規の事業開拓をしていくことが重要な課題となった。その可能性として期待したのが11年度に施行された家畜排泄物法と、13年度に施行された食品リサイクル法であった。

13年には全農と協力し家畜排泄物の堆肥化設備、脱窒素型の排水処理設備を推奨型としてPRを開始した。その結果、14年には全農畜産施設サービス（株）（全農筑波畜産中央研究所）へ家畜排泄物の排水処理設備を、また岩手県紫波町へ堆肥化設備を納入した。

さらに、16年には三菱重工も出資したSPC「（株）バイオマスパワーしずくいし」よりバイオマス利活用施設を受注した。本施設は家畜排泄物59t/日と食品廃棄物26t/日の処理施設でメタン発酵によるメタンガス化発電、メタン発酵液の液肥化、脱水家畜排泄物の堆肥化をおこなう施設で、岩手県の小岩井農牧（株）内に建設された。

また、16年に東京スーパーエコタウン事業の一環としてバイオエナジー（株）より処理能力110t/日の食品廃棄物メタン発酵施設である城南島食品リサイクル施設を受注し、両施設とも18年に完成した。

これらの施設は、処理物の処理費と発電した電力の売電費、および副産物（堆肥など）の売却費で事業収入を得て、事業を営んでいる。施設の安定運転には、メタン発酵装置の運転技術はもとより、搬入物の量、性状の安定化と前処理をいかに効率的におこなうかが重要な課題である。



バイオマスパワーしずくいしの堆肥化装置

バイオマスパワーしずくいしのメタン発酵装置



バイオマスパワーしずくいしの全景  
(小岩井農場内に建設)



城南島食品リサイクル施設へ天皇陛下行幸  
(出典：バイオエナジー（株）ホームページより)



城南島食品リサイクル施設メタン発酵槽