

し尿処理技術アーカイブズ –Hitziし尿処理技術の変遷–

Hitachi Zosen Archives: Night Soil Treatment Technology



奥野芳男	Yoshio Okuno	①
一瀬正秋	Masaaki Isse	②
高野剛彦	Takehiko Takano	③
小林英正	Hidemasa Kobayashi	④
鈴木憲亮	Toshiaki Suzuki	⑤

あらまし

わが国におけるし尿処理施設は、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受けて技術が多様化してきた歴史がある。本論文では、当社のし尿処理技術の変遷、特にわが国で初めて無希釈し尿処理を可能にし、現在まで104箇所の実績を誇る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の開発経緯を中心に述べる。また、循環型社会構築を目的として補助金の交付対象となった「汚泥再生処理センター」に不可欠な資源化技術の開発概要と、今後の汚泥再生処理センターの展望について述べる。

Abstract

Night soil treatment technologies in Japan have diversified against a backdrop of reinforcement of public water quality regulations and demand from society to realize a “sound material cycle.”

This paper presents Hitachi Zosen’s archives of night soil treatment technology with a focus on the IZ jet aeration system, which realized no-dilution treatment with a high-load nitrification-denitrification process for the first time in Japan, and is employed at 104 locations to date. It also provides a summary of the development process of recovery technologies essential to the Sludge Resource Recycling Treatment Centers (SRRTC) operating under a grant toward realizing the “sound material cycle,” as well as the future prospects for the SRRTC.

1. 緒言

英語でナイトソイル (night-soil) とも訳される「し尿」は、西欧においても肥料として農業利用された歴史がある^{1),2)}。三俣は、「屎尿経済の日英比較」の中で、「ナイトソイルという言葉は、肥料として農業利用する目的で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¹⁾。

し尿は、わが国でも古くから有機肥料として農地還元されてきた。都市部で貯留されたし尿は、米や金と交換されて近隣の農村部で農業利用されるという、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。

しかし、都市と農村との間で循環利用されていたし尿も、都市部の人口集中や化学肥料の登場によって需給バランスが崩れると、回収されずに廃棄され河川や海洋を汚染させるという結果となり、し尿は生活圏からの排除と処理の対象となった。

このような背景から、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は、収集したし尿を集約処理し、公共水域に放流するという重大な役割を果たしてきた。その後の公共水域の水質規制の強化や資源・エネルギー利用の効率化といった社会的な要請を受けて、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多様な技術開発が行われてきた³⁾⁻⁶⁾。

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」が国庫補助金の交付対象

① 環境事業本部 開発センター 博士(工学)技術士(衛生工学、総合技術監理)

② 環境事業本部 開発センター 技術士(上下水道、衛生工学、総合技術監理)

③ 環境事業本部 開発センター 技術士(衛生工学)

④ 環境事業本部 水処理ビジネスユニット

⑤ 環境事業本部 水処理ビジネスユニット 技術士(上下水道、総合技術監理)

となり、①堆肥化、②メタン発酵、③リン回収、④汚泥助燃剤化などの資源化技術が開発され、現在に至っている³⁾⁻⁶⁾。

日立造船株式会社は2014年、アタカ大機株式会社と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。当社は、1977年(昭和52年)、わが国で初めて無希釈し尿処理を可能とした高速曝気装置(IZジェットエアレーションシステム)による高負荷脱窒素処理方式(IZシステム)を開発した。IZジェットエアレーションシステムは、当時、東ドイツのヴェーレン中央工学技術院(Ingenieurtechnisches Zentralburo)で開発された高速曝気装置であり、当社は、オーストリアのフォーゲルブッシュ社から技術導入した。

本稿では、当社のし尿処理技術の変遷、特に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の開発経緯と、汚泥再生処理センターに不可欠な資源化技術の開発概要および今後の汚泥再生処理センターの展望について述べる。

2. し尿処理技術の変遷

日本のし尿技術の変遷を図1に示す。わが国のし尿処理施設は、第二次世界大戦終了後、都市部の人口の急激な増加に対して、し尿の農業利用が年々減少し、収集し尿の衛生処理が緊急の課題になったことが契機となっている^{4), 5)}。

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た。

2.1 嫌気性処理方式(CRPガス攪拌消化槽)

嫌気性処理方式に関して、当社(当時の安宅建設工業)は米国FMC社の実質的なライセンサー(技術実施権者)となり、米国シカゴポンプ社の嫌気性消化技術「CRP(Continuous Recirculation Process)ガス攪拌装置」で市場に参入した⁶⁾。

CRPガス攪拌装置は、1946年シカゴポンプ社(1954年FMC社に吸収合併)によって考案された下水汚泥用の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循環して攪拌を行い、効率的に消化するものである。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^{5), 6)}。

2.2 湿式酸化方式(通称:ジンプロ)

1960年代には、嫌気性処理方式の短所である広い敷地面積や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」が開発され普及した^{4), 5)}。

湿式酸化処理は、1920年頃エルントフィシャー(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年ジンメルマン(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

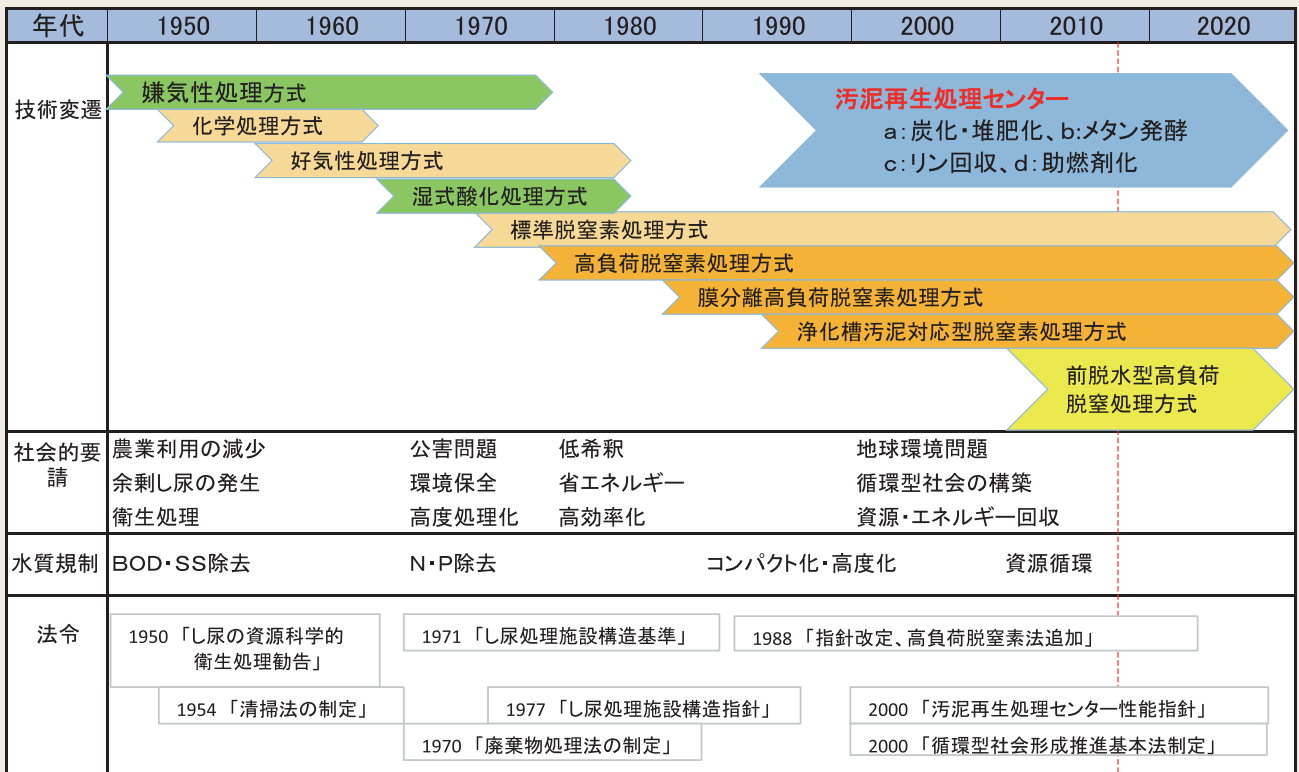


図1 日本のし尿処理技術の変遷³⁾

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^{7)~9)}。

わが国では、1964年（昭和39年）に本技術を当時の株式会社新潟鐵工所（2004年当社が環境関連事業を吸収）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。酸化処理で発生する熱量を利用して反応塔内を高温、高圧に保ち、反応時間が1時間程度と短く施設が小さくなるなど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⁸⁾。

わが国最初の湿式酸化方式のし尿処理施設は1967年（昭和42年）に新潟県に建設され、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。その後、COD（Chemical Oxygen Demand）総量規制や窒素除去などの高度な水質要求により採用が徐々に減少し、2017年（平成29年）時点で、し尿処理では千葉県、群馬県、茨城県下で3施設が稼働中である。

2.3 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、活性炭吸着など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^{4)・5)}。

当社は、1980年（昭和55年）に本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箇所の実績がある。

2.4 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）、当時の厚生省（現、環境省）は、市町村が構造指針に記載のないし尿処理施設を設置する場合の「新処理施設取扱要領」を定め、新技術によるし尿処理施設にも国庫補助金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、プラントメーカーにとっては新技術開発を目指す要因となる制度であった^{10)・11)}。

前述のように当社（当時、アタカ工業株式会社）は、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から技術導入した。1977年（昭和52年）に、わが国で初めて無希釈し尿処理方式IZシステムを開発し、新技術による指針外技術の認可を受けた。

本方式は、反応槽のコンパクト化・深層化を図り、反応槽の微生物を高濃度に維持し、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^{10)・11)}。

IZジェットエアレーションシステムを高濃度のし尿処理に適用した「高負荷脱窒素処理方式」をIZシステムと称している¹⁰⁾。

IZシステムは、好気性細菌と原生動物を利用して汚水中の有機物を分解するとともに、単一槽で硝化脱窒を行う生物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、汚水中の懸濁物質やコロイド粒子中の有機物を二酸化炭素に分解し、エネルギー変換や細胞合成に利用する。単一槽のIZ反応槽の中では、①IZジェットエアレーションシステムによってBOD（Biochemical Oxygen Demand）酸化と硝化反応に必要な酸素が供給されること、②硝化反応により硝酸性窒素を生成した混合液をIZ循環ポンプにより循環させること、③し尿の間欠投入により脱窒反応に必要な嫌気状態を確保し、④同時にし尿中のBODを脱窒用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BOD酸化と脱窒素の同時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BOD200mg/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倍希釈して処理を行ってきた。低希釈二段活性汚泥法という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⁶⁾。

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。しかし当時は、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
- ④IZ反応槽における高濃度臭気の生物脱臭

2.4.1 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2に示す。本システムはIZ反応槽、IZ循環ポンプおよびオーバーフローシャフト（以下、IZシャフト）から構成される極めてシンプルなシステムである。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IZシャフトに送られ、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。

吸引した空気と混合された水流は、気液混合流となって反応槽に落下し、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

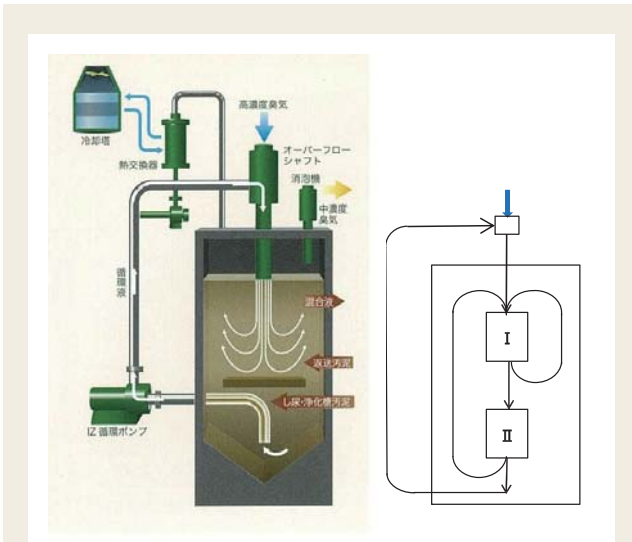


図2 IZジェットエアレーションシステムの概要図と混合模式図

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。IZ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、DO(Dissolved Oxygen)濃度はおよそ0~3mg/Lに分布する。

IZシステムは、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、硝化および脱窒を同時にかつ高度に行うことが可能となった。

1976(昭和51)年、IZシステムの実証プラントが水上月夜野新治衛生センター内に建設され、20kL/日の実証試験を実施した。実証試験の事前に行った清水試験では $290\text{kgO}_2/\text{日}$ (30°C 、槽容量 20m^3) $\approx 600\text{gO}_2/\text{m}^3/\text{時}$ の高速の酸素移動速度を達成している¹⁰⁾。

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、2001年度版および2006年度版の汚泥再生処理センター計画・設計要領のし尿、浄化槽汚泥の性状を用いて試算し、図3に示した^{4)・12)}。IZシステムの酸素移動速度は $200\sim 400\text{gO}_2/\text{m}^3/\text{時}$ となり、標準脱窒素法が $60\sim 100\text{gO}_2/\text{m}^3/\text{時}$ 、下水の標準活性汚泥法が $10\sim 20\text{gO}_2/\text{m}^3/\text{時}$ であるのに対し、標準脱窒素法の約3~6倍、下水の標準活性汚泥法の約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MLSS(Mixed Liquor Suspended Solid)濃度が $15,000\text{mg/L}\sim 20,000\text{mg/L}$ 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IZシャフトのみの目詰まりのない構造により、無希釈処理を可能としている。IZシステムのブレークスルーは、

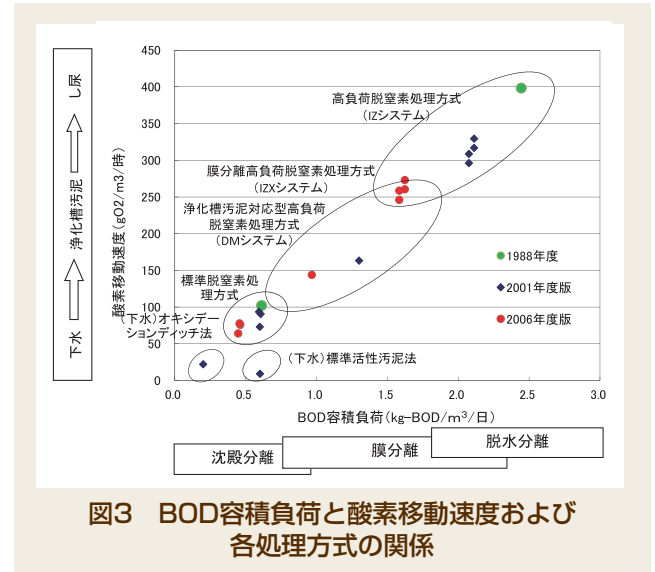


図3 BOD容積負荷と酸素移動速度および各処理方式の関係

この無閉塞の高速酸素移動速度を可能にした点にある。

2.4.2 遠心分離機による固液分離

IZシステムのフローを図4に示す。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に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する方式が考えられた。

しかし、前述のようにIZ反応槽混合液のMLSS濃度が $15,000\sim 20,000\text{mg/L}$ 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把握していた技術陣は、その対策として分離槽の中間部から分離液を引抜き、これを直接遠心分離機で固液分離することを考案した。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システムが完成したのである。

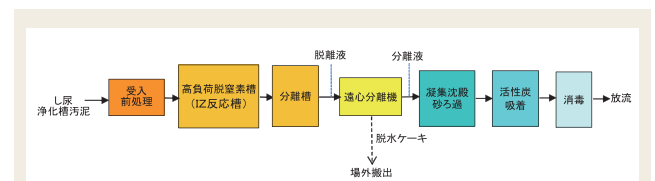


図4 IZシステム(高負荷脱窒素処理方式)フロー

2.4.3 消泡装置の開発

IZ反応槽の所要滞留日数は数日であり、槽容量は小さい。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、無希釈し尿処理の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無くなってしまふ。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。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(図5)。

2.4.4 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污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、污泥焼却炉を休止している夜間や休日などに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。その予感的中し、臭気が消えたのである。

この時、現在では常識とされている生物脱臭システムが完成した。この高濃度の臭気対策により顧客満足度を高め、見学に来られる方々の脱臭機能への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と考えられる。



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2017年(平成29年)現在までに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箇所の施設が建設されている。

2.5 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、当時の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年まで実施された。

当社は、高負荷脱窒素処理方式に膜分離技術の適用を図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^{13), 14)}。

実証試験は、当時、愛媛県伯方町環境衛生センター(処理規模:15kL/日)において、稼働中であったIZシステムを膜分離方式に改造し使用した。実証試験は、1987年(昭和62年)から1988年(昭和63年)に行った。

2.5.1 IZXシステムについて 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装置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、運転管理と污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。

- ①IZシステムの単一槽での硝化・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膜分離による固液分離と污泥濃度管理の容易性

し尿処理での膜分離の適用は、現在一般的となった膜分離活性汚泥法(MBR: Membrane Bio Reactor)につながった。

2.5.2 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(UF: Ultrafiltration Membrane)である(図6)。

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) し渣分離装置の選定

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



図6 チューブラ型膜分離装置(1989年当時)

の閉塞が生じ、膜分離装置の前段に設けたストレーナ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。

(2) 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。試験の結果、ろ過機能を維持するため、UFのフラックスを60～40L/m²/時の範囲で行い、2～3ヵ月に1回程度の薬品洗浄という条件を確立した¹⁴⁾。

(3) COD分離性能の確認

UF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が懸念されたが、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で阻止された高分子成分は、余剰汚泥として系外に排出され、系がバランスしていることが確認できた¹⁴⁾。

2.5.3 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」、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、そのまま当時の伯方町環境衛生センターにおいてご利用いただき、第1号機となった。

その後、し尿搬入率の減少による原水の低濃度化や汚泥濃度管理の容易性から、次第にIZXシステムの採用が増加し、実績は22施設に及んでいる。

2.6 浄化槽汚泥対応型高負荷脱窒素方式

2.6.1 浄化槽汚泥対応型について

1990年代後半になると浄化槽の普及に伴い、し尿処理場に搬入される浄化槽汚泥搬入比率は増加傾向を示し、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、2011年度(平成23年度)には65%に達している⁴⁾。

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、一度生物処理を経ているため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、

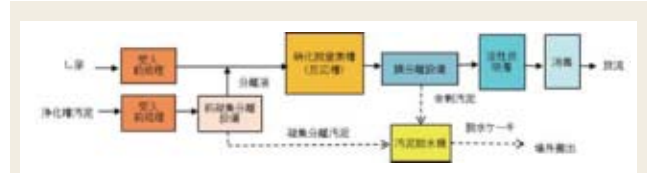


図7 浄化槽汚泥対応型高負荷脱窒素方式(DMシステム)の概略フローシート

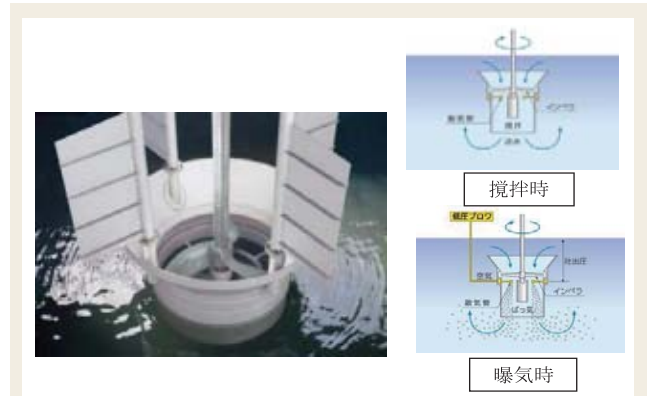


図8 ドラフトチューブエアレーター(DTA)の外観写真と曝気、攪拌状況

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。

本章では、その一つである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)について述べる。

2.6.2 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(図7)。

DMシステムは、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プロワ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8)。

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、酸化還元電位などを指標としながらDTAの空気供給量を制御し、安定した硝化脱窒処理を行う。

2.6.3 実績

DMシステムは、1996年に当時の財団法人廃棄物研究財団より技術評価書(第6号)を

取得した。1号機受注は、群馬県奥利根アメニティパーク(処理量:し尿8kL/日、浄化槽汚泥27kL/日)であり、その後20施設の実績がある。

3. 汚泥再生処理センターの資源化技術の開発

1997年(平成9年)に、当時の厚生省は、従来の「し尿および浄化槽汚泥処理施設整備事業」に変えて新たに「汚泥再生処理センター」の整備事業を国庫補助金の交付対象とした。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など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、家庭系生ごみや事業系生ごみの他、農業集落排水施設、下水道施設などから排出される汚泥である。また、資源化技術としては、堆肥化、メタン発酵、リン回収、汚泥助燃剤化などであり、これらの資源やエネルギーの回収設備が対象となっている。汚泥再生処理センターにおける資源化技術については、すでに開発を終え、実施への導入が行われている。本章では、その概要を述べる。

3.1 メタン発酵システム(メビウスシステム)

メタン発酵システムは、生ごみなどの有機性廃棄物を受け入れ、生成するメタンガスによりエネルギー回収する技術である。プラントメーカー7社の共同実証試験を経て、当時の財団法人廃棄物研究財団より、「し尿処理汚泥など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技術」で技術評価書(第8号)を取得した。メタン発酵システムは、新潟市舞平清掃センターなど3箇所を建設し、現在稼働中である。

その後、メタン発酵システムは生ごみなど有機性廃棄物を対象としたバイオガス事業(当社、WTMシステムなど)として展開されるようになり、汚泥再生処理センターでの採用は減少している。

3.2 リン回収システム(HAP法、MAP法)

し尿、浄化槽汚泥などからリン回収する技術であり、ヒドロキシアパタイト(HAP)として回収するHAP法と、リン酸マグネシウムアンモニウム(MAP)のMAP法がある。両者は、浄化槽汚泥混入率や前脱水型などの条件によって使い分けている。

HAP法においては、2003年(平成15年)に当時の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。2009年(平成21年)にリン回収設備(HAP[®]システム)を採用した1号機として仙北市汚泥再生処理センター(秋田県)が竣工した。その後、汚泥再生処理センターでの実績は、6施設まで増加している。

MAP法においては、2004年(平成16年)に当時の財団法人日本環境衛生センターより、「MAP法によるリン回収資源化システム」で廃棄物処理技術検証(第5号)を取得した。2017年(平成29年)にMAPシステムを採用した紀南環境衛生施設事務組合向け汚泥再生処理センター(和歌山県)が竣工している。

3.3 助燃剤化システム(SFシステム) 助燃剤化システムは、脱水汚泥の含水率を70%以下とし、焼却施設における助燃剤とする技術である。2009年(平成21年)、茨城県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(SF: Super Flakeシステム)の実証試験を行い、当時の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」を取得した。

2009年(平成21年)に福島県伊達地方衛生処理組合、衛生センターに第1号機を納入し、その後、2017年(平成29年)に稼働した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。

3.4 下水道放流システム(EZシステム) 下水道放流型し尿処理において、前処理の夾雑物除去装置と脱水設備を一体化し、脱水汚泥を含水率70%以下に助燃剤化する技術(EZ: Equalization dewatering システム)である。2011年(平成23年)、当時の財団法人日本環境衛生センターより、「下水道放流型し尿処理システム性能調査報告書」を取得した。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、現在、7件の実績まで伸ばしている。

4. 今後の汚泥再生処理センターの展望

4.1 し尿処理の現状 2015年度(平成27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615万kL/年、浄化槽汚泥1,354万kL/年の合計約1,969万kL/年である。これは、計画収集人口720万人、浄化槽人口2,602万人に相当し、し尿と浄化槽人口の比率は、総人口1億2804万人の約26%となっている¹⁵⁾。し尿処理施設、汚泥再生処理センターの役割は、し尿処理というよりは浄化槽汚泥処理に重心が移っており、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。

また、2015年度(平成27年度)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945施設、83,391kL/日である¹⁵⁾。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、老朽化した施設の更新が課題となっており、浄化槽汚泥比率などの条件に適応したシステムへの変換が望まれている。

4.2 前脱水型高負荷脱窒素処理システムの開発 2017年3月、一般財団法人日本環境衛生センターより、2つのシステムの性能調査報告書を取得した。

- ①前脱水型膜分離高負荷脱窒素処理システム¹⁶⁾
- ②前脱水型高負荷脱窒素処理システム(沈降分離方式)¹⁷⁾

この2つのシステムの特徴は、浄化槽汚泥混入比率の

高いし尿に対応したシステムであり、前処理工程に脱水機を配置し、脱水汚泥の含水率を70%以下にして「助燃剤」利用できることである。このことにより、汚泥再生処理センターの要件である資源化設備を具備することができる。

前脱水することにより、後段への有機物、窒素負荷を軽減し、硝化脱窒素処理設備の規模を小さくすることができる。硝化脱窒素槽の曝気装置としても、微細気泡型メンブレンディフューザーを採用することができ、曝気による動力の低減を図ることができる。

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下水道放流システムが採用され、今後とも増加すると予想される。沈降分離方式のシステムは、下水道放流に対応可能であり、硝化脱窒と沈降分離により、下水放流時の希釈倍率および維持管理費の低減が図れる。

今後、浄化槽の普及により浄化槽汚泥混入比率が高くなった市町村において、前脱水型の2種類の高負荷脱窒素処理システムへの要望が高まると考えられる。

5. 結 言

し尿処理技術アーカイブズとして、当社のし尿処理における歴史を振り返ると、IZジェットエアレーションシステムによる高負荷脱窒素処理方式が念頭に浮かぶ。し尿を無希釈で処理できるIZシステムの開発には、いくつかの困難な局面で技術のブレークスルーがあった。技術は常に変化していかなければ生き残ってはいけないと言われる。無希釈高負荷処理として一世を風靡したIZシステムも、し尿から浄化槽汚泥への転換、低濃度、低負荷への対応が必要になってきた。今も受注を続けているIZ・IZX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活かして、柔軟に対応できるようシステムを改善している。また、汚泥再生処理センターにおいても、メタン発酵、堆肥化、リン回収、助燃剤化など、いろいろな資源化技術に挑戦し、今も技術開発を継続している。

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においては、し尿処理と下水処理との連携や統合は、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、今後とも採用されるケースが増えてくる。一方で、地震などの災害が多いわが国では、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現実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は、災害時のリスク分散の上では今後とも必要であると考えられる。

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汚泥再生処理センター構想の理念は、今後とも有用であると確信する。し尿を衛生的に処理し、かつ再資源化する社

会的要請に対して、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：屎尿経済の日英比較－物質循環論からの考察－経済学論叢、**2009**、173-193.
- 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、**2013**、35、75-108.
- 3) 環境省、日本環境衛生センター：平成28年度し尿処理技術・システムに関するアーカイブズ作成業務報告書、**2017**、20.
- 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、**2013**、66（314）、368-375.
- 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、**2004**、57（261）、5-11.
- 6) 産業用水調査会：し尿処理ハンドブック、**1961**、201-210.
- 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、**2012**、34、1-13.
- 8) 東島壽夫：湿式酸化による有機性排水処理、環境管理、**1995**、31（8）、21-27.
- 9) 児玉威：日本におけるし尿処理の歴史、用水と廃水、**1981**、23（12）、3-13.
- 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、**1978**、20（9）.
- 11) 石田宏司：無希釈し尿処理誕生物語、環境浄化技術、**2007**、6（9）、65-69.
- 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**.
- 13) 社団法人全国都市清掃会議：処理技術評価委員会評価書、膜分離高負荷生物脱窒素処理施設、**1991**.
- 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、**1989**、26-28.
- 15) 日本の廃棄物処理 平成27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、**2017**.
- 16) 一般財団法人日本環境衛生センター：浄化槽汚泥混入比率の高いし尿に対応した前脱水型膜分離高負荷脱窒素処理システム性能調査報告書、**2017**.
- 17) 一般財団法人日本環境衛生センター：浄化槽汚泥混入比率の高いし尿に対応した前脱水型高負荷脱窒素処理システム（沈降分離方式）性能調査報告書、**2017**.

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株)

環境事業本部 開発センター

奥野芳男

Tel : 0774-71-8745 Fax : 0774-71-8746

E-mail : okuno_yo@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation

Environment Business Headquarters

Yoshio Okuno

Tel : +81-774-71-8745 Fax : +81-774-71-8746

E-mail : okuno_yo@hitachizosen.co.jp



奥野芳男



一瀬正秋



高野剛彦



小林英正



鈴木憲亮