第47回 優秀環境装置

2021年7月

主　催　　一般社団法人 日本産業機械工業会

後　援　　経　　済　　産　　業　　省

序

本書は経済産業省の後援のもと、一般社団法人日本産業機械工業会が実施した 2020 年度「第 47 回優秀環境装置の表彰事業」において受賞した優秀な環境装置の概要をまとめたものである。

本事業は優秀な環境装置・システムを表彰し公表することで、環境保全技術及び装置の研究・開発を一段と促し、これを普及させることにより、地球環境の保全に資することを目的としている。

一昨年 12 月に発生した新型コロナウイルスは、2021 年に入ってもなお感染拡大を続けている。コロナ禍で世界は危機的な経済停滞に見舞われたが、各国の種々対策に加え、ワクチン接種が新たに始まり、明るい兆しが見えつつある。我が国においても、今年 2 月には 30 年以上ぶりに日経平均株価が一時 3 万円台を回復し、コロナ禍で１年延期となった東京オリンピック・パラリンピックの開催を今夏に迎えるなど、「令和」の新しい時代を象徴する年となっている。本年を皮切りに我が国の経済活動が再度活発になることを期待したい。

また、一度落ち込んだ経済の回復にあたっては、「グリーンリカバリー」の呼び声のもとで脱炭素社会に向けた環境対策の取組が急速に進められている。米国バイデン政権が主導して開催された、今年 4 月の気候変動サミットでは、各国が温室効果ガス削減目標を打ち出した。我が国においては菅総理大臣が昨年 10 月の「2050 年カーボンニュートラル」宣言に続き、2030 年度の温室効果ガス削減目標について 2013 年度比「46%削減」と表明したが、この野心的な数値目標は、産官学の総力を挙げて、トランジションでの技術改良、長期的には革新的なイノベーションを継続して実行しなければならない。

古くは公害防止に端を発した環境装置産業は、長年にわたり環境負荷低減に貢献してきたが、温室効果ガス削減などによる持続可能な社会実現に向けて、環境装置に求められる役割は一層大きなものとなっていると考えられる。これを好機と捉え、絶え間のない努力、研鑽がもたらす更なる技術革新をもって責任と期待に応えられるものと確信する。

本事業の実施にあたり格別のご支援を賜りました経済産業省、環境省、中小企業庁、優秀環境装置審査委員会委員、優秀環境装置審査ＷＧ委員、並びに関係各位に厚く御礼を申し上げる次第である。

2021 年 7 月

一般社団法人 日本産業機械工業会

会 長　斎 藤　保

第 47 回優秀環境装置

― 目　　次 ―

・第 47 回優秀環境装置審査報告 ····· 1

・第 47 回優秀環境装置審査委員会名簿 ····· 2

・表彰装置及び応募数・受賞数 ····· 3

・経済産業大臣賞
「二点 DO 制御を用いた省エネ型 OD 装置」····· 5

・経済産業省産業技術環境局長賞
「消石灰を利用した酸性ガス高度除去集じん灰再循環システム」····· 17

・中小企業庁長官賞
「排ガス処理装置（デオライザー)」····· 25

・日本産業機械工業会会長賞（応募申請書受付順）
「マグネットセパレータ（ファインマグ)」····· 31
「UASB による排水処理装置（とくとく-ぶぶぶ)」 ····· 39

一般社団法人日本産業機械工業会のウェブサイトでは、カラーにて受賞装置の概要をご覧いただけます。
https://www.jsim.or.jp/commendation/

第 47 回 優秀環境装置審査報告

優秀環境装置審査委員会
委 員 長　指 宿　堯 嗣

優秀環境装置の表彰事業は一般社団法人日本産業機械工業会が経済産業省のご後援のもとに 1974 年度から実施しているもので、優秀な環境装置やシステムを表彰することにより、「持続可能な社会の形成」を実現するための環境保全技術の研究・開発及び優秀な環境装置の普及を促進し、我が国環境装置産業の振興を図ることを目的としている。

本年度の表彰事業は、2020 年 9 月 23 日から 2020 年 10 月 30 日までの約１ヶ月にわたって公募した。

その結果、全国から大気汚染防止装置〔2 件〕、水質汚濁防止装置〔2 件〕、再資源化装置〔2 件〕、合計 6 件の応募があった。審査は、優秀環境装置表彰実施要綱及び優秀環境装置審査要綱の規定に基づいて次のような手順で慎重かつ厳正に行った。

まず、優秀環境装置審査ＷＧにおいて、応募のあった環境装置に関し、その独創性、性能、経済性及び将来性の各指標について一次評価を行った上で、実地調査を行い、評価報告を取りまとめた。

次いで、優秀環境装置審査委員会において、審査ＷＧから上程のあった評価報告を総合的に勘案し審査を行い、第 47 回優秀環境装置の経済産業大臣賞 1 件、経済産業省産業技術環境局長賞 1 件、中小企業庁長官賞 1 件、日本産業機械工業会会長賞 2 件を選定した。

以上の受賞各装置は、いずれも地球環境の保全に極めて有効な環境装置として高く評価されたものであり、今後の普及を期待すると共に開発にあたられた各社のご努力に心から敬意を表したい。

第 47 回 優秀環境装置審査委員会名簿

審査委員会

（委員長）

指宿　堯嗣	一般社団法人産業環境管理協会　顧問 （元、独立行政法人産業技術総合研究所　環境管理研究部門長）

（委　員）

藤木　俊光	経済産業省　製造産業局長
奈須野　太	経済産業省　産業技術環境局長
角野　然生	経済産業省　中小企業庁長官
白石　隆夫	環境省　大臣官房審議官
小林　憲明	一般財団法人日本品質保証機構　理事長
久貝　　卓	日本商工会議所　常務理事
釜　　和明	一般財団法人機械振興協会　会長
大宮　英明	一般社団法人日本機械工業連合会　会長
黒岩　　進	一般社団法人産業環境管理協会　専務理事
大和田秀二	早稲田大学　理工学術院　創造理工学部　環境資源工学科　教授
斎藤　　保	一般社団法人日本産業機械工業会　会長
秋庭　英人	一般社団法人日本産業機械工業会　専務理事

審査WG

（主　査）

竹内　浩士	一般社団法人産業環境管理協会　執行理事　環境管理部門長

（委　員）

田中　幹也	国立研究開発法人産業技術総合研究所　広報部　審議役
辰巳　憲司	国立研究開発法人産業技術総合研究所　環境創生研究部門　客員研究員
加茂　　徹	早稲田大学　ナノ・ライフ創新研究機構　ナノプロセス研究所　客員教授
林　　直人	国立研究開発法人産業技術総合研究所　環境創生研究部門 資源価値創生研究グループ　研究グループ長
遠藤小太郎	一般社団法人産業環境管理協会　人材育成・出版センター　所長
栗山　一郎	一般財団法人日本環境衛生センター　技術顧問
藤本　裕之	公益財団法人日本下水道新技術機構　資源循環研究部　副部長
佐野　　亨	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構　環境部　主任研究員
星野　岳穂	東京大学大学院　工学系研究科　マテリアル工学専攻　特任教授
庄野　勝彦	一般社団法人日本産業機械工業会　参与

第 47 回 優秀環境装置
表彰装置及び応募数・受賞数

＜経済産業大臣賞＞

「二点 DO 制御を用いた省エネ型 OD 装置」　前澤工業㈱
国立大学法人　高知大学
日本下水道事業団

＜経済産業省産業技術環境局長賞＞

「消石灰を利用した酸性ガス高度除去集じん灰再循環システム」　日立造船㈱

＜中小企業庁長官賞＞

「排ガス処理装置（デオライザー)」　㈱アイエンス

＜日本産業機械工業会会長賞＞　（応募申請書受付順）

「マグネットセパレータ（ファインマグ)」　住友重機械ファインテック㈱
「UASB による排水処理装置（とくとく-ぶぶぶ)」　㈱エイブル

応募数と受賞数

分　　野	応募件数	受賞件数
大気汚染防止装置	2	2
水質汚濁防止装置	2	2
廃棄物処理装置	0	0
騒音・振動防止装置	0	0
土壌・地下水汚染修復装置	0	0
再資源化装置	2	1
その他環境負荷低減に資する装置	0	0
合　　計	6	5

経済産業大臣賞
「二点 DO 制御を用いた省エネ型 OD 装置」

前澤工業株式会社／国立大学法人　高知大学／日本下水道事業団

１．装置の詳細説明

１．１　はじめに

近年、我が国の下水道事業では、人口減少による流入水量の減少やこれに伴う使用料収入の減少、老朽化施設の増大に伴う改築更新費用の増加、熟練技術者の減少に伴う維持管理の脆弱化、消費電力量や温室効果ガス排出量の削減に対する社会的要請の高まりなど、様々な課題を抱えており、持続可能な下水道経営を実現するための方策の一つとして、水処理施設の運転の効率化が求められている。

二点 DO 制御を用いた省エネ型 OD 装置（以下、「本装置」という。）は、我が国の小規模下水処理場（処理能力 10,000 m^3/日未満）で最も多く採用されているオキシデーションディッチ法（以下、「OD 法」という）を対象とした技術であり、安定した処理水質と省エネルギー・省コストを同時に実現する装置である。また、本装置は、水温や水質等の流入条件によっては、従来の OD 法よりも高負荷条件、すなわち、処理時間を短縮することが可能であり、既存施設を活用した処理能力増強も可能とする装置である。

１．２　本装置の構成

本装置は、図 1 に示すとおり、縦軸水流発生装置、散気装置、溶存酸素計（以下、「DO 計」という）、送風機、並びに、本装置の特徴である「二点 DO 制御」を実装したコントロールユニットから構成される。

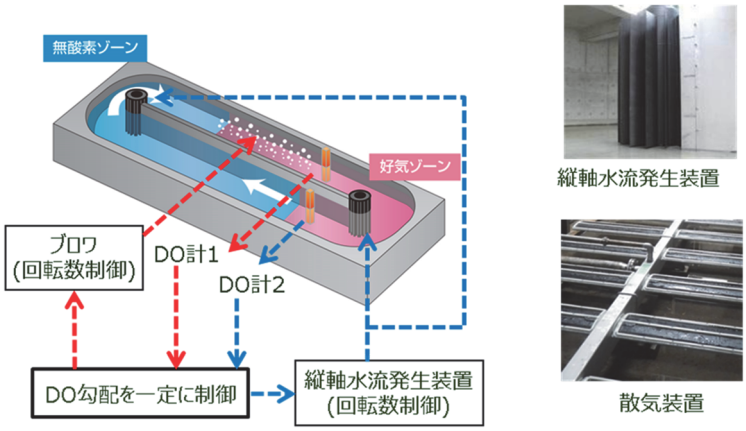


図 1　本装置の概略フロー（左）と主要構成機器（右）

１．３　本装置の特徴及び原理

OD 法は、無終端水路の反応タンクにおいて、主に機械式エアレーション装置を用いて、汚水を循環させながら曝気・撹拌を行う下水処理方式である。OD 法は、他の下水処理方式と比べて、低い負荷条件で処理を行うのが特徴であり、水理学的滞留時間（HRT）は 24～36 時間を標準としている。また、OD 法は、反応タンク内の活性汚泥浮遊物質（MLSS）濃度が高く、固形物滞留時間（SRT）が長いことから、硝化反応が進行する。そこで、従来の OD 法では、一般的にタイマー制御を基本とする間欠曝気運転を行うことで反応タンク内に時間的に好気状態と無酸素状態を交互に形成させ、硝化に伴う pH 低下を防ぎ、処理の安定化を図っている。そのため、流入負荷量の変動に対して、エアレーション装置の運転を柔軟に追随させることが難しく、省エネルギー化を図ることが困難であった。

本装置の特徴である「二点 DO 制御」は、図 1 に示すとおり、反応タンク内に設置した 2 箇所の DO 計の値を用いて、当該 2 点間の溶存酸素（DO）濃度の勾配が一定となるよう、曝気風量（送風機の回転数）と循環流速（縦軸水流発生装置の回転数）を独立して自動制御を行う。これにより、流入負荷変動とこれに伴う活性汚泥の酸素消費速度の変動によらず、反応タンク内に空間的に好気状態と無酸素状態を安定して形成させることが可能となり、連続曝気の条件下でも安定した処理が可能になるとともに、流入負荷量に応じた酸素供給が行われることにより、省エネルギー化も可能となる。

流入負荷量が増大した高負荷時の場合を例に二点 DO 制御の概念図を図 2 に示す。

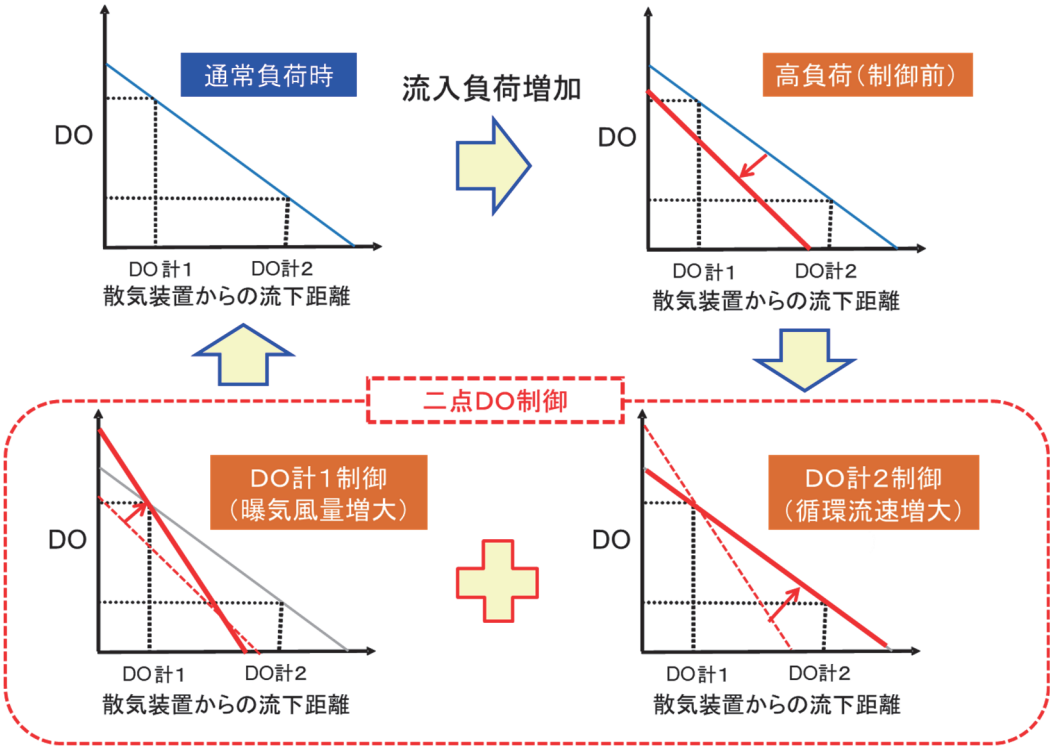


図 2　二点 DO 制御（高負荷時の場合）の概念図

流入負荷変動により、反応タンク内の酸素消費速度が変化し、DO 計を設置した二点間の DO 濃度の勾配は、通常時と比較して、高負荷時には急に、低負荷時には緩くなる。また、散気装置の下流に設置した DO 計 1 の値は、高負荷時には低く、低負荷時には高くなる。二点 DO 制御では、図 2 に示すとおり、DO 計 1 の値により、当該地点の DO 濃度を一定に保つよう、曝気風量を制御する。さらに、好気ゾーン末端に設置した DO 計 2 の値により、当該地点の DO 濃度を一定に保つよう、循環流速を制御する。これらの制御を独立して自動で行うことにより、流入負荷変動に対して二点間の DO 濃度の勾配を一定に保つことで、好気ゾーンと無酸素ゾーンの比率（1:1 を基本とする）を一定に保ち、安定した処理を可能としている。

本装置では、縦軸水流発生装置と散気装置、蛍光式 DO 計を用いることにより、実規模の OD 法の反応タンクにおける二点 DO 制御を可能とした。

１．４　本装置の構成機器

本装置の主要構成機器の名称及び形式・仕様等を表 1 に示す。

表 1　本装置の主要構成機器

機器名称	形式・仕様等
縦軸水流発生装置	縦軸型撹拌機（付属品：バッフルプレート）
散気装置	メンブレン式（ゴム製またはシリコン製）
DO 計	蛍光式（付属品：変換器、洗浄用空気圧縮機）
送風機	
コントロールユニット	

（1）縦軸水流発生装置

縦軸水流発生装置の構造を図 3 に示す。縦軸水流発生装置は、反応タンク内のコーナー部に設置し、周波数制御により回転数を変化させることで、循環流量を制御する。

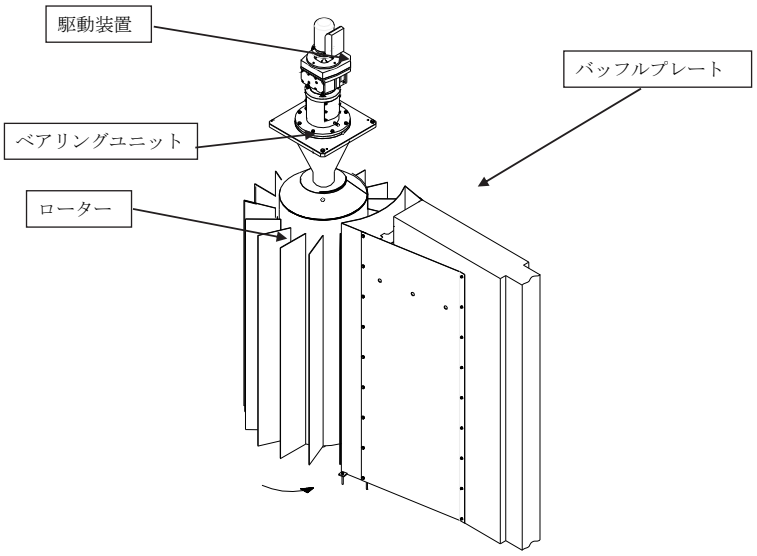
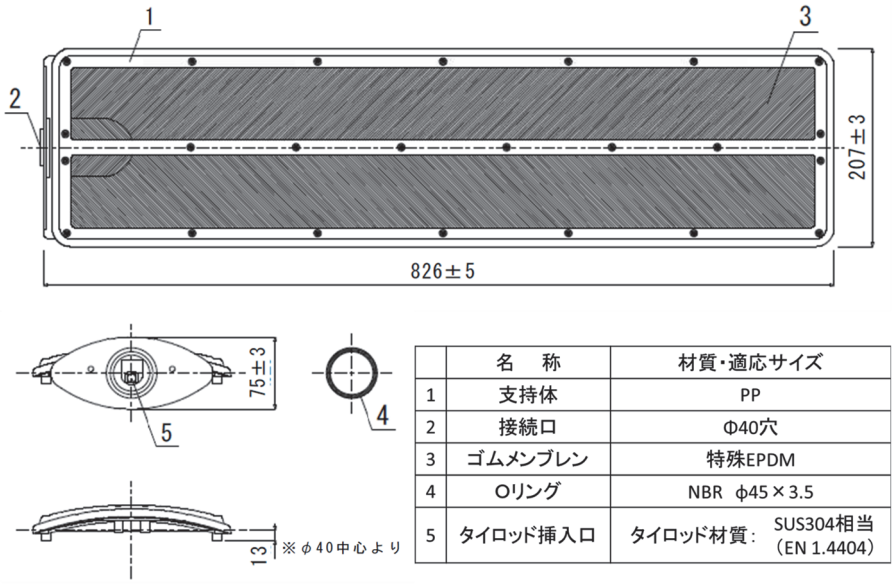


図 3　縦軸水流発生装置の構造

撹拌羽根は流れ方向に鉛直の平羽根で、水深方向の断面形状が同一のため、水面を表面曝気する一般的な機械式エアレーション装置と比較して、極めて水位変動に強い構造となっている。また、損失抵抗の大きいコーナー部に設置することで消費エネルギーの軽減を目指しているほか、水中に稼動部品が無くメンテナンスが容易である。

（2）散気装置

散気装置の参考図を図 4 に示す。散気装置には、酸素移動効率が良いメンブレン散気装置を用いる。送風機の運転は連続運転を基本とするが、低負荷時等には間欠運転を行うことがあるため、散気装置は目詰まりの生じない材質を選定する必要がある。そのため、セラミック製及び樹脂製の散気装置は、目詰まりの問題から間欠運転には不向きである。そこで、本装置では、材質は合成ゴム製またはシリコン製の低圧損で圧損上昇予防装置が不要なメンブレン散気装置を基本とする。



	名　称	材質・適応サイズ
1	支持体	PP
2	接続口	Φ40穴
3	ゴムメンブレン	特殊EPDM
4	Oリング	NBR　φ45×3.5
5	タイロッド挿入口	タイロッド材質：　SUS304相当（EN 1.4404）

図 4　散気装置（参考図）

（3）送風機

送風機は、反応タンク内に設置した散気装置へ酸素供給を行うものである。送風機は、送風量及び送気圧に応じて選定する。

（4）DO 計

DO 計は、反応タンク内の DO 濃度を測定する装置で、散気装置の下流と好気ゾーンの末端の 2 ヶ所に設置する。本装置では、電解液や隔膜の交換が不要で、保守の必要がほとんどなく、測定毎に光学的なゼロ点補正を行うため、長期間にわたり安定した測定が可能であることから、蛍光式 DO 計を用いる。

（5）コントロールユニット

コントロールユニットは、プログラマブルコントローラ、タッチパネル等からなる箱型の装置で、反応タンク内の 2 箇所に設置された DO 計が設定値になるように PID 制御（二点 DO 制御）を行うものである。

２．開発経緯

２．１　開発の趣旨及び目標

OD 法は、下水中の有機物の除去に加えて、高度な窒素除去が可能であることや、標準活性汚泥法などと比較して維持管理が容易で、負荷変動にも強いことから、中小規模の下水処理場に適した下水処理方式として広く普及している。2017（平成 29）年度末現在、OD 法（高度処理 OD 法を含む）は、全国の下水処理場の約半数（2,145 箇所中 1,038 箇所）で採用されており、処理能力 10,000 m^3/日未満の小規模下水処理場の約 7 割（1,445 箇所中 1,016 箇所）で採用されている[1)]。

OD 法を採用する小規模下水処理場では、中短期的には下水道普及率の向上や広域化・共同化による施設統廃合に伴う流入汚水量の増加、し尿や浄化槽汚泥などの受入れに伴う流入負荷量の増加、設備更新に伴う一部施設の運転休止などにより、既存施設の処理能力の不足が想定される一方、長期的には将来の人口減少に伴う流入汚水量の減少が予想される下水処理場が少なくない（図 5 参照）。一方、下水道経営は、OD 法を採用する中小都市の方がより厳しい状況にあり、さらに今後は、人口減少に伴う使用料収入の減少や施設の老朽化による改築更新費の増大などにより、より厳しい経営環境となることが想定されるため、より一層のコスト縮減が求められている。

従来の OD 法では、１．３で述べたとおり、低い負荷条件（HRT24～36 時間）において、タイマー制御を基本とする間欠曝気運転を行うことにより、処理の安定化、維持管理の容易化を図っている。そのため、従来の OD 法では、上述した課題に対して、運転方法の変更などにより柔軟に対応するのが困難であることが実情であった。

そこで、上述した課題に対応するため、従来の OD 法よりも高負荷条件、具体的には 24 時間以下の HRT、最短で 12 時間の HRT において、従来の OD 法と同等以上の有機物・窒素の安定処理、消費電力の削減を目標として、本装置の開発を行った。

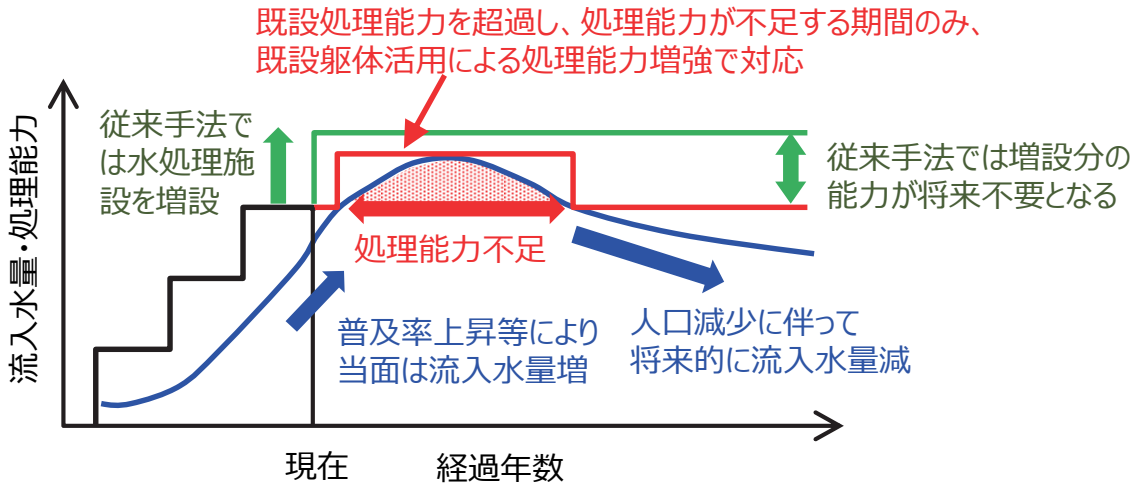


図 5　長期的な流入水量変動への対応の概念図

２．２　開発の経緯

2000～2004 年度　高知大学により、人工下水を用いたラボスケール（装置容量８L）での基礎研究を実施。二点 DO 制御を考案。

2004～2008 年度　前澤工業と高知大学の共同研究により、実下水を用いたベンチスケール（装置容量 300　L）で、二点 DO 制御の特性の評価、実規模へのスケールアップに向けた検討を実施。

2008～2010 年度　前澤工業と高知大学、日本下水道事業団の共同研究により、実規模（反応タンク容量 1,750 m^3）での実証試験を実施。

・共同研究名称：エネルギー消費抑制型下水処理技術の開発
　－高負荷二点 DO 制御を用いた効率的な OD 法の開発－
・実証試験場所：高知県香南市野市浄化センター

2011 年 4 月　第 1 号機納入
※ 香南市へ実証試験設備を引渡し、実運用を開始。

2014 年 7 月　日本下水道事業団の新技術Ⅰ類に選定。

なお、本装置は、前澤工業株式会社、国立大学法人　高知大学、日本下水道事業団が共同で開発を行った。それぞれが担当した開発の内容は、次のとおりである。

・前澤工業株式会社：
　実証試験設備の設計・建設、運転管理、水質分析、試験データの整理、実証試験成果のまとめ
・国立大学法人　高知大学：
　各種調査・性能確認、試験データの解析、実証試験成果のまとめ
・日本下水道事業団：
　実証試験成果の評価、設計手法・維持管理手法、普及展開方策の検討

３．独創性

（１）二点 DO 制御の考案

本装置の開発は、高知大学・藤原拓教授（現・京都大学）の「二重管型反応装置の硝化脱窒プロセスへの適用に関する研究」に端を発する。藤原教授は、二重管型反応装置では、約 10 時間の HRT でゾーン運転による窒素除去が可能であることや、縦型の二重管型反応装置を横置きすれば OD 法の反応タンクとなることから、OD 法を高負荷運転することにより、反応タンク内の酸素消費速度を増加し、ゾーン運転による窒素除去が可能になると考え、本装置の基礎研究に着手した。

実験に先立つ理論解析の結果、操作因子として DO 循環速度（＝曝気部 DO 濃度×循環流量／反応タンク容量）が重要であることを明らかにし、人工下水を用いたラボスケール実験により実証した。この実験結果を踏まえ、DO 循環速度を制御する技術として、反応タンク内の 2 箇所の DO 濃度に基づき、曝気風量と循環流量を独立に制御する「二点 DO 制御」を考案し、特許を取得した[2)]。

（２）ゾーン運転の実現

従来の OD 法と本装置の比較を表 2 に示す。

低負荷条件での運転を前提とする従来の OD 法では、連続曝気によるゾーン運転は困難であり、タイマー制御による間欠曝気方式とすることで、時間的に好気状態と無酸素状態を形成させ、硝化・脱窒反応を進行させることにより、処理の安定化、維持管理の容易化を図っている。

これに対して、本装置では、１．３に示すとおり、反応タンク内の 2 箇所の DO 計の値を用いて、当該 2 点間の DO 濃度の勾配が一定となるように、曝気風量と循環流速を独立して制御することにより、流入負荷変動等の影響によらず、連続曝気式の反応タンク内に好気ゾーンと無酸素ゾーンを安定して形成させることを可能とした。これにより、本装置では、水質や水温などの流入条件によっては、従来の OD 法よりも高負荷条件、すなわち、短い HRT での運転が可能となった。

表 2　従来の OD 法と本装置の比較

項 目	従来の OD 法	本装置
HRT	24～36 時間(標準)	12(最短)～24 時間 ※流入条件による
曝気方法	間欠曝気	連続曝気
制御方法	タイマー制御 ※DO 制御との組合せもあり	二点 DO 制御
好気・無酸素状態の形成方法	時間的に形成	空間的に形成 (ゾーン形成)
有機物除去性能	同 等	
窒素除去性能	同 等	

（３）消費電力の削減

本装置では、５.（３）で後述するとおり、一般的な縦軸型機械式エアレーション装置と比較して、30%程度の消費電力削減が期待できる。

本装置における消費電力の削減は、以下に示す二つの要因により達成される。

１）二点 DO 制御による削減効果

本装置では、１．３で述べたとおり、流入負荷変動に応じた酸素供給が行われることにより、消費電力が削減される。

２）高効率な機器による削減効果

曝気と撹拌を１台で行う従来の機械式エアレーション装置に比べて、散気装置の酸素供給効率が高く、消費電力が削減される（図 8 参照)。

（４）高負荷運転による処理能力の増強

本装置は、（２）で述べたとおり、水質や水温などの流入条件によっては、従来の OD 法よりも高負荷条件、すなわち、短い HRT でも安定処理が可能である。

そこで、本装置では、汚水処理施設の統廃合による流入水量増加やし尿・浄化槽汚泥などの受け入れによる流入汚濁負荷増加などの事象に対して、処理能力増強に伴う水処理施設の増設が不要になるなど、コストの縮減が可能となる。

４．特許の有無

次のとおり、特許３件を取得済み。

特許番号：第 4230310 号　/　名称：排水処理装置及びその運転方法
特許番号：第 5725869 号　/　名称：排水処理装置及びその運転方法
特許番号：第 5863409 号　/　名称：排水処理装置

５．性能

本装置の性能について、野市浄化センターにおける実証試験成果により説明する。

（１）処理水質

実証試験期間中の有機物（生物化学的酸素要求量：BOD）及び窒素の反応タンクの流入水質及び処理水質の推移を図６に示す。

処理水 BOD は、実証期間中全てにおいて、下水道法施行令に定める OD 法が適合する計画放流水質区分の上限値 15 mg/L 以下であり、年間平均値は 3mg/L であった。

処理水の全窒素（T-N）濃度は、実証期間中全てにおいて概ね３ mg/L 以下（年間平均値 1.3 mg/L）であり、安定して 90％程度の窒素除去率が得られた。

以上のとおり、本装置では、従来の OD 法よりも高負荷条件（短 HRT）でも、安定的に有機物及び窒素の除去が可能である。

（２）高負荷運転

実証試験期間中の HRT は、平均で 16.5 時間、最短で 12.3 時間であり、標準的な HRT（24 時間）の約 1.5～2 倍の高負荷条件において、上述したとおり、安定した有機物及び窒素の除去が可能であった。

以上のことから、本装置では、水質や水温などの流入条件によっては、従来の OD 法よりも高負荷条件（短 HRT）を採用することが可能である。

（３）消費電力量

実証設備設置前後の同一反応タンクにおける消費電力量原単位（処理水量１ m^3 あたりの水処理消費電力量）の比較を図 7 に示す。当該反応タンクの定格の処理能力に相当する流入水量 1,750 m^3/日における消費電力量原単位は、既設の従来装置（スクリュー型エアレーション装置）では 0.38 kWh/m^3 であったが、本装置では 0.125 kWh/m^3 となり、従来装置の約３分の１に削減された。

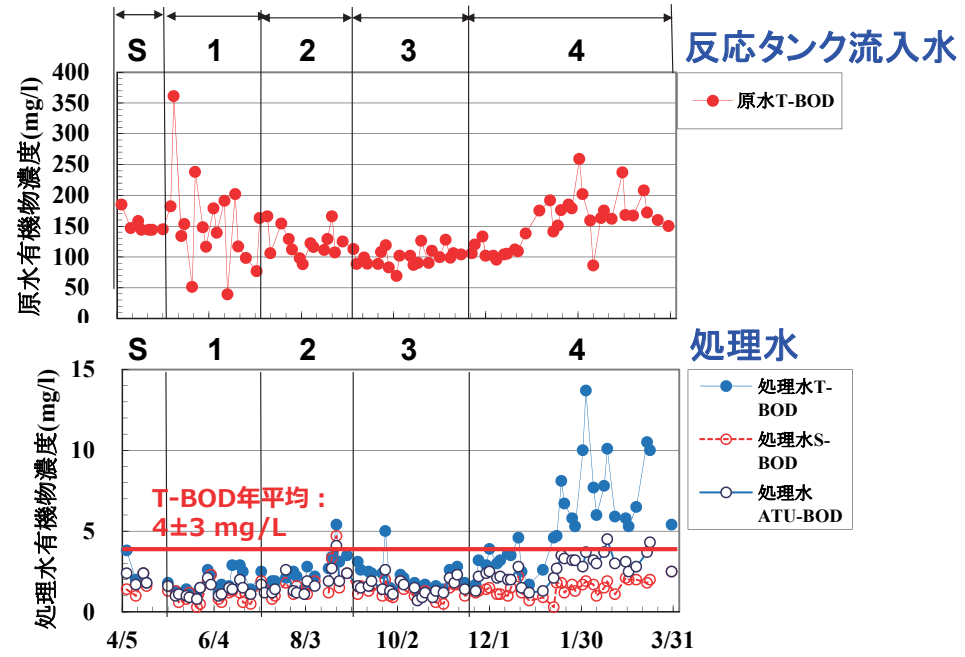
各種の OD 用エアレーション装置の消費電力量原単位（除去 BOD1 kg あたりの曝気装置電力消費量）の比較を図８に示す。本装置の消費電力量原単位は 1.0 kWh/kgBOD であり、従来の OD 用の各種エアレーション装置と比較して 2 割以上削減された。本装置では、従来の OD 法で広く使用されている縦軸型機械式エアレーション装置と比較した場合、約 30％の消費電力量の削減を期待できる。

（４）運転操作性

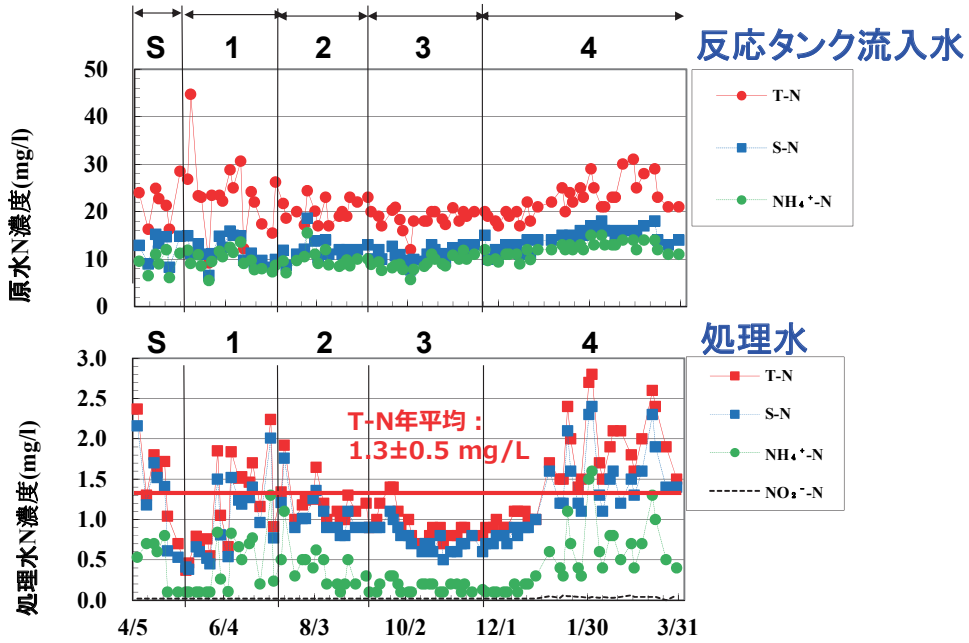
本装置は、反応タンク内に設置した 2 箇所の DO 計の値を用いて曝気風量と循環流速を独立して自動制御するため、経験豊富な運転管理技術者に頼らず、最適な運転が可能となり、日々の運転管理業務負担を軽減することが可能である。

（５）維持管理性

縦軸水流発生装置は、駆動部が反応タンク外部にあり、水中部にメンテナンス箇所がないため、維持管理が容易である。また、DO 計は、蛍光式を採用しているため、電解液や隔膜の交換が不要で、保守の必要がほとんどなく、維持管理が容易である。



① 有機物濃度



② 窒素濃度

［各 RUN の平均 HRT］ RUN1：15.4h、RUN2：14.8h、RUN3：15.4h、RUN4：18.3h

図６ 実証試験における有機物及び窒素濃度の推移

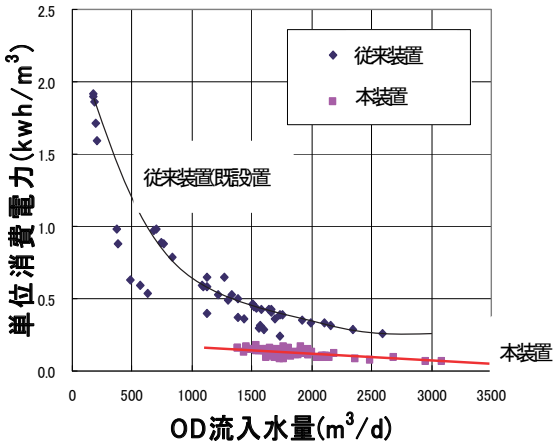


図７　実証設備設置前後の
消費電力量原単位の比較

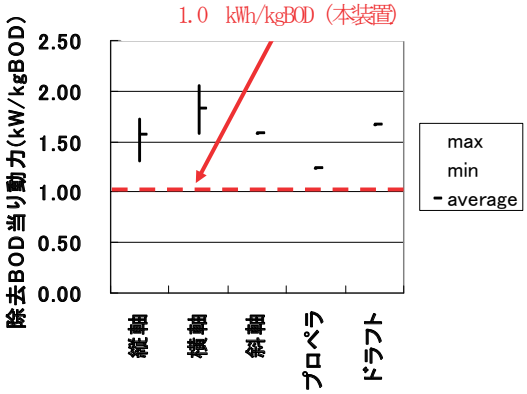


図８　各種 OD 用エアレーション装置
との消費電力量原単位の比較

６．経済性

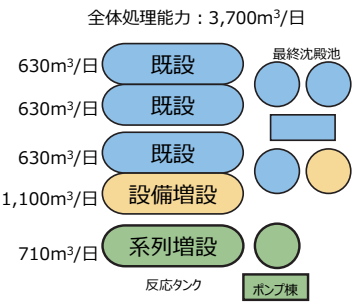
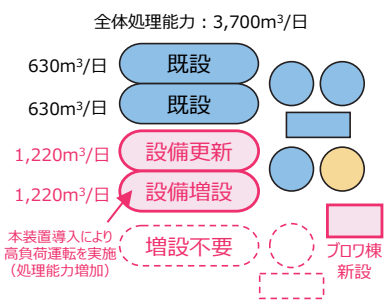
本装置の経済性について、本装置を納入した下水処理場における本装置導入前後でのコスト比較を例に説明する。本装置導入前後の施設整備内容及び建設・維持管理コストの比較を表 3 に示す。

本下水処理場では、し尿や農業集落排水の受入れにより、流入負荷量が増加し、既存施設では処理能力が不足する一方、将来的には人口減少により流入水量の減少が予想されている。これに対して、既設と同じスクリュー型エアレーション装置（以下、本章において「従来装置」という）を用いた既計画では、既設の水処理施設（反応タンク及び最終沈殿池、以下同じ。）1 系列の設備増設に加え、新たに水処理施設 1 系列の増設が必要であった。これに対して、本装置を導入した新計画では、既設の水処理施設 1 系列の設備増設に加え、既設の反応タンク 1 池の従来装置を本装置に更新し、2 池で高負荷運転（HRT 約 20 時間）を行うことにより、水処理施設の増設が不要となった。

この結果、新計画では、本装置導入により機械・電気設備はコスト増となるが、反応タンク（土木躯体）の増設が不要となるため、土木・建築工事がコスト減となり、建設コスト全体では 5%減となった。また、本装置の消費電力量は、従来装置と比較して約 2 分の 1 となるため、既設を含む下水処理場全体の電力費は 27%減となり、補修費と合わせた維持管理コストでは 29%減となった。この結果、建設年価と合わせたライフサイクルコストでは、従来装置を用いた既計画と比較して、本装置を導入した新計画では 14%削減となった。

以上のとおり、本装置は、従来装置と比較して、機械・電気設備の建設コストは若干割高となるものの、高負荷運転による処理能力増強に伴う土木躯体増設の回避による建設コスト縮減や消費電力量の削減などによる維持管理コスト縮減のため、ライフサイクルコストでは有利となる。

表３　本装置導入前後のコスト比較例

項　目		既計画 （従来装置による増設）	新計画 （本装置導入による増設・更新）
施設整備イメージ図			
施設整備内容		設備増設１系列 躯体・設備増設１系列	設備増設１系列 既設設備更（反応タンクのみ）新１池
建設コスト（増設・更新費用）	土木・建築	100	69
	機械・電気	100	107
	合　計	100	95
維持管理コスト（年間）	電力費	100	73
	補修費	100	67
	合　計	100	71
ライフサイクルコスト（年価）		100	86

注１：新計画の建設コストおよび維持管理コストは、既計画を 100 とした場合の比率である。

注２：建設コストは、既設３池に対して増設または改築に要する費用である。

注３：維持管理コストは、既設の従来装置を含む下水処理場全体での費用である。

注４：ライフサイクルコストは、建設年価（耐用年数：土木・建築 50 年、機械・電気 20 年）と維持管理コスト（年間）の合計を表す。

７．将来性

本装置は、これまでに 9 箇所の下水処理場で導入決定され、うち 7 箇所の下水処理場ですでに供用している（2021（令和 3）年 6 月現在)。9 箇所の下水処理場における本装置導入の目的は、以下に示すとおりであり、主に処理能力増強によるコスト縮減の観点から導入されていることが分かる。

① 既存施設の処理能力増強による水処理施設の増設回避　　：7/9 箇所
② 処理区統合に伴う既存施設の処理能力増強　　：4/9 箇所
③ し尿等受入れに伴う既存施設の処理能力増強　　：2/9 箇所
④ 既設処理方式から OD 法変更に伴う設置面積や建設コストの縮減：2/9 箇所

下水道経営は、OD 法を採用する中小都市の方がより厳しい状況にあり、さらに今後は、人口減少に伴う使用料収入の減少や施設の老朽化による改築更新費の増大などにより、より厳しい経営環境となることが想定されるため、より一層のコスト縮減が求められている。一方、事業運営の効率化を図る観点から、広域化・共同化の推進が求められており、今後、汚水処理施設の統廃合やし尿・浄化槽汚泥などの受入れなどに伴って既存施設の処理能力が不足するケースが増加することが予想される。本装置は、上述したとおり、既存施設を活用して処理能力を増強することで、このようなニーズに対応することが可能である、また、本装置は、公益社団法人日本下水道協会の「下水道施設計画・設計指針と解説」の最新版（2019（令和元）年 9 月発刊）において、OD 法の省エネルギー化や処理能力増強を可能とする技術として掲載されている。以上のことから、本装置の国内における今後更なる普及拡大が期待できる。

一方、海外においても、都市部への人口流入に伴う汚水量増加により処理能力の増強が求められる地域、放流先が国際河川や閉鎖性水域などで高度な窒素除去が必要とされる地域などにおいて、本装置の導入が有効であり、今後、普及展開が期待できる。さらに、下水道技術者が育っていない新興国においても、本装置は自動制御により安定した処理性能を確保できるため、普及展開が期待できる。

参考文献

1）公益社団法人日本下水道協会（2020）「平成 30 年度版下水道統計 第 75 号」
2）藤原拓（2014）二点 DO 制御オキシデーションディッチ法の開発～着想から実用化まで～，化学工学，第 78 巻第 12 号，p. 869-872.

経済産業省 産業技術環境局長賞

「消石灰を利用した酸性ガス高度除去集じん灰再循環システム」

日立造船株式会社

１．装置の詳細説明

ごみ焼却発電施設は地域のエネルギーセンターとして大きな期待が寄せられている一方で、ごみ焼却排ガスには塩化水素（以下、HCl）や硫黄酸化物（以下、SOx）に代表される酸性ガスが含まれており、多くの施設で大気汚染防止法よりも厳しい自主規制値が設定されている。従来、酸性ガスを除去する方法としては、湿式洗煙塔で苛性ソーダ水溶液と中和反応させる湿式処理法、ろ過式集じん器に吹き込む消石灰などのアルカリ粉末と中和反応させる乾式処理法がある。

乾式処理法はアルカリ粉末と酸性ガスの気固反応であり、酸性ガス量に対して余剰なアルカリ粉末を供給しなければならない。このため、ろ過式集じん器で捕集された集じん灰は酸性ガスと反応していないアルカリ粉末を多く含んだまま、最終処分されている。本装置は、この未反応のアルカリ粉末を含む集じん灰をろ過式集じん器に戻し、徹底的に再利用することで余剰なアルカリ粉末量を減らすことを目的としたものである。

図1に示す本申請システム『消石灰を利用した集じん灰再循環システム』は、供給するアルカリ粉末に消石灰を用い、ろ過式集じん器と、集じん灰をろ過式集じん器上流煙道に再供給するための再循環装置で構成される。この再循環装置を構成する主要機器は、一時的に集じん灰を貯留するタンク、及びこの貯留タンクに集じん灰を搬入するコンベヤとろ過式集じん器上流煙道に集じん灰を供給するコンベヤとシンプルなシステムである。

（1）ろ過式集じん器

複数本のろ布が内部に挿入されており、焼却炉から発生するばいじん、酸性ガスと反応した消石灰、及び余剰に吹き込まれた消石灰の捕集を行う。捕集された集じん灰は、圧縮空気により間欠的に払い落とされる。

（2）集じん灰再循環装置

搬送コンベヤ：　ろ過式集じん器で捕集された集じん灰を、一時貯留タンクへ搬送する。

一時貯留タンク：ろ過式集じん器からの集じん灰は連続して排出されず、間欠的に払い落とされるため、集じん灰の循環を継続して行うために、一旦貯留する目的で設置している。

定量供給機：　ろ過式集じん器への循環側と集じん灰処理設備への排出側のそれぞれに集じん灰を供給する。

循環コンベヤ：　ろ過式集じん器入口の煙道へ集じん灰を搬送する。

排出コンベヤ：　施設外へ搬出するための集じん灰処理設備へ集じん灰を排出する。

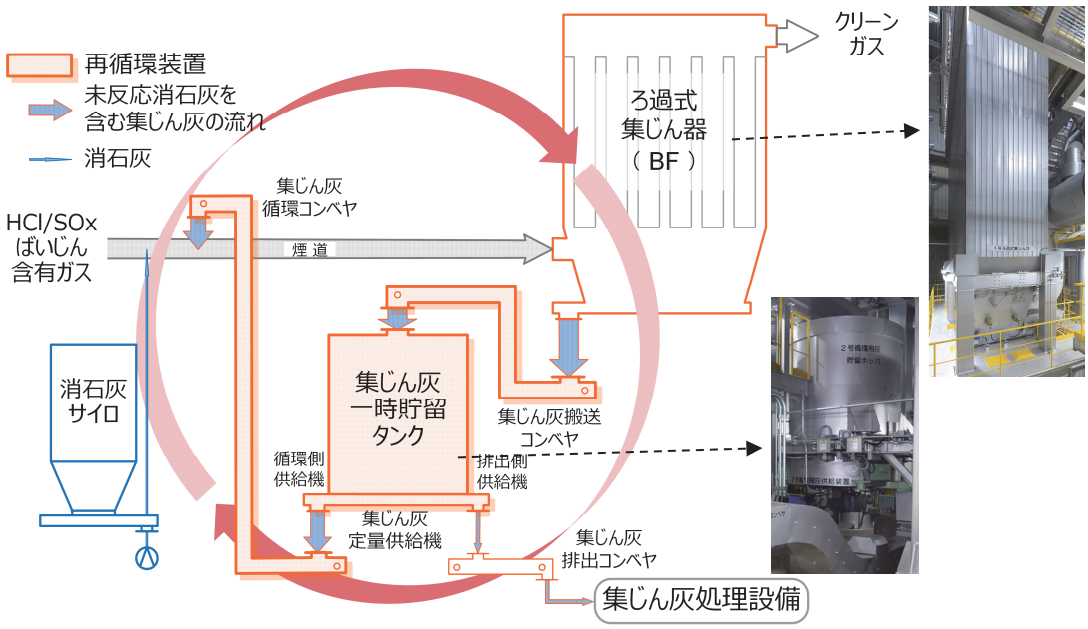


図１　本システムの構成（左：概略図、右：実装置の写真）

２．開発経緯

（１）開発の背景

従来、排ガス中のHCl及びSOxの保証値が10 ppm以下の施設に対しては、多量な消石灰を必要とする乾式処理設備ではなく、湿式洗煙設備が採用されていた。しかし、湿式洗煙設備は排水処理設備が必要であり、さらに湿式洗煙塔出口の温度の低い排ガス（60℃程度）の再加熱に蒸気を使用するため発電効率が低下すること、機器点数が多くイニシャルコスト及び建屋が大きくなることなど、施設の建設・運営面で課題があった。

このような中、当社は、大型施設向けの消石灰を含む集じん灰に水を加えて反応させる反応塔とろ過式集じん器で構成される集じん灰再循環システムの採用や、施設規模を問わないアルカリ粉末に重曹を採用した重曹を含む集じん灰再循環システム開発、といった湿式処理の代替を進めてきた。さらに、当社は、小規模施設にも適用できること、重曹よりも安価な消石灰を使用すること、湿式処理が対象とする保証値に対応できること、を目標として、本システムを開発することとした。

（２）開発経緯

本システムの開発にあたり、既設清掃工場に実証機を設置し、実証試験を実施した。試験条件としては、国内の最も厳しい水準であるHCl及びSOx濃度の規制値10 ppmを想定して本システムを運転するとともに、規制値20ppm及び50 ppmを想定した運転も行った。

2014 年度	集じん灰再循環による消石灰削減量の試算、試験装置検討、実証試験施設調査
2015 年度	実証試験製作、据付工事
2015 年 8 月～2016 年 3 月	実証システムによる実証試験
2016 年 8 月	ニュースリリースによる社外発表
2016 年 11 月	浅川清流環境組合（第 1 号機）より本システムを含む新可燃ごみ処理施設整備・運営事業を受注
2020 年 3 月	第 1 号機納入

３．独創性

酸性ガスの中和に消石灰を用いた集じん灰には、消石灰とHClとの反応によって生成する塩化カルシウムが含まれる。塩化カルシウムは潮解性を有することから、塩化カルシウムを多量に含む集じん灰は吸湿しやすく、ハンドリングが難しい。そのため、安定的に集じん灰をろ過式集じん器上流煙道に供給することが課題であった。

本システムでは上記課題を解決するため、下記3点を工夫した。これらの工夫により、シンプルな機器構成で安定的に集じん灰を再供給することができた。

（１）貯留タンクからの集じん灰の安定供給
（２）集じん灰の移送にコンベヤ方式の採用
（３）集じん灰の煙道への供給は、鉛直に投入

以上により、集じん灰の循環を、タンク、供給機、コンベヤなどシンプルな機器構成によって

実現している。集じん灰の移送に、空気あるいはろ過式集じん器出口の排ガスによる気体輸送を行う場合、集じん灰中の塩化カルシウムが潮解しないように、空気や排ガスの温度を加熱する必要がある。この場合にはコンベヤ移送動力よりも多いヒータ電力が必要となる。また、集じん灰中の未反応消石灰をより反応性を高めるために粉砕機の使用も考えられるが、元々10 μm前後の微粉消石灰を更に粉砕する必要動力は大きい。

４．特許の有無

次のとおり、特許１件を出願中。

国際出願：WO 2018/101029 / 名称：排ガス処理装置および焼却設備

５．性能

ここでは、主に本システム単体の性能を示す。

（１）湿式処理法と同等の排ガス処理性能を実現

実証試験において、本システムを長期連続運転した結果を図2に示す。ここで、煙突入口（ろ過式集じん器出口）HCl及びSOxの規制値は10 ppmを想定して運転した。

本運転期間中のろ過式集じん器入口（バグフィルター入口）HCl濃度は平均400 ppm程度に対し、煙突入口のHCl及びSOx濃度の最大値はいずれも10 ppmを下回った。また、ろ過式集じん器入口HCl濃度が約300 ppmから2倍以上の約630 ppmに上昇した際にも、煙突入口のHCl及びSOx濃度は安定的に10 ppm以下を満足した。これより、本システムは湿式処理法と同等の排ガス処理性能を有することを確認した。

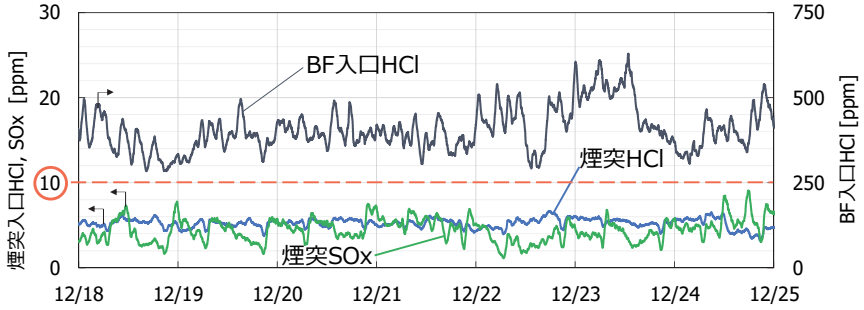


図２　本システム運転時の HCl と SOx の１時間平均値の挙動

（HCl 及び SOx 濃度は酸素 12%換算値）

（２）消石灰使用量の削減

図3に、実証試験において確認した、本システムによる消石灰削減効果を示す。試験条件は、HCl 及びSOx濃度の想定規制値が3条件（10 ppm、20 ppm、50 ppm）、集じん灰循環率が2条件（4倍と6倍）の計6条件であり、集じん灰を循環しないときの消石灰使用量と比較した。ここで、集じん灰循環率とは、集じん灰発生量に対する集じん灰循環量の比であり、集じん灰発生量は消石灰供給量とばいじんの合計量となる。例えば、消石灰供給量が50、ばいじん量が50、集じん灰循環量が400の場合、集じん灰循環率は4倍（=400/(50+50)）となる。

いずれの条件においても集じん灰を循環することで、消石灰使用量を2～4割削減することができた。特に、規制値50 ppmの6倍循環条件で最も高い47%の削減率を得た。また、いずれの規制

値条件でも集じん灰循環率を増加させることで消石灰削減率が向上した。これは循環率が増加するに従って、集じん灰に含まれる未反応消石灰が系内に長く滞留し、反応する時間が増加したためである。例えば、規制値10 ppm条件において、4倍循環では削減率が21%であったが、6倍循環では27%に向上した。

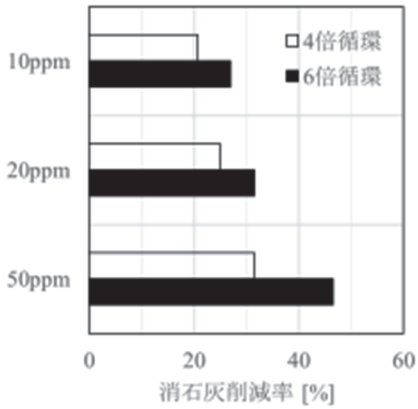


図３　各条件における消石灰使用量の削減率

（３）消石灰使用量の削減による副次的効果

図3の消石灰使用量の削減に応じた消石灰の購入費用を抑えることができ、最終処分費も削減できる。このようなコストメリットは近年の自治体の財政難解消の一助となり、規制値が50ppm程度の厳しくない施設にとっても本システムは貢献できる。また、残余容量が逼迫している最終処分場の負荷軽減にも貢献できる。

（４）安全性・維持管理性

従来の乾式処理法と同様に、本システムは完全自動制御されている。このため、定常運転時の手動介入は不要であり、焼却炉が緊急停止したときは自動で停止する。

また、従来の乾式処理法に比べて、増加する機器点数はコンベヤ、タンク、定量供給機に抑えており、維持管理の負担は大きく変わらない。さらに、湿式処理法と比較して、湿式洗煙設備（湿式洗煙塔及び洗煙循環水槽、循環ポンプ、減湿冷却塔の付帯機器）や排水処理設備が不要であるため、大幅に機器点数が少なく、点検整備箇所及び故障発生頻度は減少する。

６．経済性

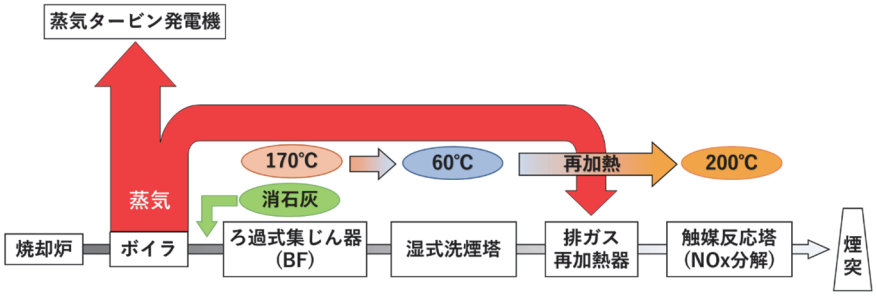
本システムの導入を想定した施設と、湿式処理法の導入を想定した施設について、経済性を比較した。

酸性ガスを高度に除去できる湿式処理法を図4（１）に示す。この処理法では、焼却炉から排出される燃焼ガスはボイラで熱回収したのち、ろ過式集じん器でばいじんを除去し、湿式洗煙塔でHClやSOxが苛性ソーダ水溶液と反応して10 ppm以下まで除去される。しかしながら、洗煙塔通過後の低温排ガス（約60℃）を触媒反応塔のNOx分解温度（約200℃）まで蒸気を用いて再加熱する必要があるため、発電に使用できる蒸気量を消費し、発電効率を低下させるという欠点がある。これに対して、図4（２）に示す本システムは、湿式処理法と同等の酸性ガス除去性能を有しているため、湿式洗煙塔を省略して発電に使用する蒸気量が増加する。

本システム（図４（２））と湿式処理法（図４（１））の経済性を比較するため、湿式処理法のコストを100%として本システムを相対評価した結果を表１に示す。ここで、モデル施設としてはごみ処理能力500 t/日（250 t/日×2炉）、HCl 及びSOxの規制値10 ppm、集じん灰循環率４倍を採用した施設を想定した。

本システムは湿式洗煙塔が不要であるため、排ガス処理設備の建設費は湿式処理法の29%と大幅に削減できる。また、施設を20年間運転した際の運転収益は1.15倍に向上し、これは発電量の向上による売電収入の増加が大きく貢献している。さらに、本システムの建設費を含めた20年間の収益は、湿式処理法の1.40倍となる。

（１） 湿式処理法



（２） 本システム（乾式処理）

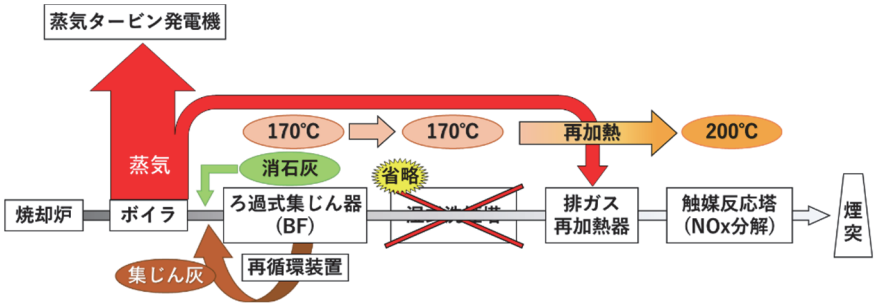


図４　ごみ焼却発電施設におけるHCl及びSOx規制10 ppm対応の排ガス処理フロー

表１　湿式処理法との比較による本システムの経済性評価

	本システム	湿式処理法
比較対象の排ガス処理設備(+洗煙排水処理設備)の建設費（機器・建設・経費・土建費）	29%	100%
20 年間の運転収益	115%	100%
薬品購入・最終処分費用	112%	100%
排ガス処理薬品費用（消石灰、苛性ソーダ、洗煙用液体キレート）		
洗煙・プラント排水処理薬品費用		
飛灰処理薬品・最終処分費用		
電力収益	114%	100%
炉運転時売電費		
炉停止時の買電費		
建設費を含めた 20 年間の運転収益	140%	100%

＜主な試算条件＞

ごみ処理能力500 t/日（250 t/日×2炉）、稼動日数280日/年、

HCl及びSOxの規制値10 ppm、ろ過式集じん器出口温度170℃

湿式洗煙塔出口温度60℃、触媒反応塔運転温度200℃

７．将来性

酸性ガスの排出基準値が50 ppm程度とそれほど厳しくない施設においても、消石灰使用量を4割程度削減し最終処分量も低減できるため、酸性ガス排出基準値にかかわらず適用している。また、近年諸国でもごみ焼却に伴う環境問題が重視されており、排出基準値は厳しくなる傾向にある。本システムは厳しい排ガス基準を満足し、蒸気量の節約により発電量を増やせるため、海外市場への展開も大きな期待が寄せられている。

中小企業庁長官賞
「排ガス処理装置（デオライザー）」

株式会社アイエンス

１．装置の詳細説明

本装置は、あらゆる産業分野で有害排気ガスや塵埃を捕捉する湿式スクラバー装置である。

従来型の充填式湿式スクラバーは、気液接触を行うために充填剤が使われているが、十分な気液接触が行えていないため、ガスや塵埃の捕捉が不十分で設備が大きく、メンテナンスに時間を要する等の課題があった。また、水により補足した塵埃や有機物はタンク内で腐敗し、臭気を発することもあった。

本装置ではこれらの課題を解決し、より高い捕集効率を実現している。

（１）本装置の構成

本装置の主要構成部材を図１に示す。

・特殊なパンチングメタルシート 10 枚を積層した「カートリッジ式スクリーン」
・スクリーンの上下から噴射する「シャワーノズル」
・気液分離をするための「デミスター」
・循環水を浄化する「アクアブラスター」

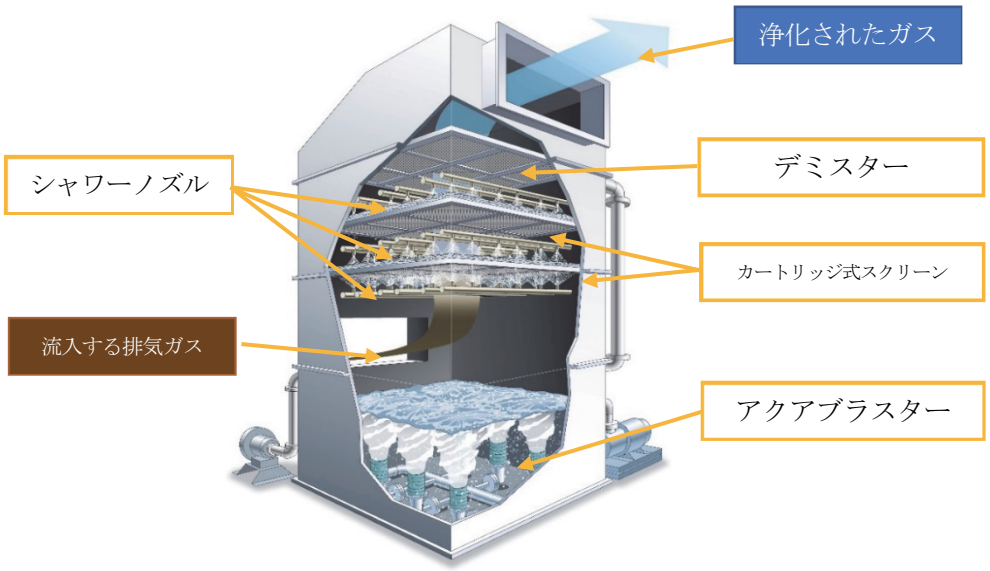


図１　排ガス処理装置（デオライザー）

（2）排気ガスの流れと各部位の機能

装置入口から流入した排気ガスは、1 段目のカートリッジ式スクリーンを通過する。この時、粒径の大きい塵埃やオイル成分はスクリーン下面に付着し易いので、下方からのシャワーノズルの水流で除去することにより、目詰まりを防いでいる。

カートリッジ式スクリーンには上段からもシャワーノズルで水が噴射され、深さ 40～50㎜の水膜がスクリーン上に保持されている。スクリーンを下から通過した排気ガスは小さな気泡となり、この水膜を通過することで 100％の気液接触率が実現される。

カートリッジ式スクリーンは 2 段構成となっており、1 段目を通過した排気ガス成分や細かな塵埃をこの 2 段目のスクリーンの水膜で更に捕捉する。

最上段には気液分離を行うデミスターが設置されている。洗浄された排気ガスは、このデミスターで水滴を除去し機外に放出する。

（3）循環水の流れと各部位の機能

排気ガス及び塵埃の捕集に使われる水は循環して繰り返し使われている。循環水はシャワーノズルによりスクリーンに噴射され、排気ガス成分や塵埃を含んだ水が下部のタンクに落ちてくる。

下部のタンクには当社オリジナル製品のアクアブラスターが設置されている。この装置は排水処理の散気装置として使われており、有機物を分解することにより硫化水素や腐敗臭の発生を抑えることができる。タンク内の水はポンプによりシャワーノズルへ送られ、装置内で循環する。

２．開発経緯

（1）開発経緯

従来型の充填式湿式スクラバーは、気液接触効率、メンテナンス性、設備の大きさ、循環水の腐敗についての課題を抱えていた。それらの改善を望む顧客から要望に応えることにより、環境負荷の低減と生産性の向上に貢献する。

（2）開発目標

上記 4 つの課題全てにおいて、従来型よりも優位性を示すことができる装置を開発する。

（3）開発経緯

2004 年～	アクアブラスターを内蔵した気液接触効率の高いスクラバーの開発を開始
2005 年～2006 年	プロトタイプを製作、実験を重ね設備の改良を行う
2007 年	旧型の第 1 号機を納入
2016 年	スクリーン形状・ノズル形状・メンテナンス開口部のワンタッチ開閉化等の改良を行う
2017 年	第 1 号機納入

３．独創性

（１）100％の気液接触効率を実現

排気ガス及び塵埃の捕集においては、補修効率を上げつつ、低圧損、目詰まりの少なさを実現することが重要である。

特殊なパンチングメタルシート 10 枚を積層した「カートリッジ式スクリーン」による表面張力と、それに当てる噴射水量及び流入ガス量のバランスにより、深さ 40～50 ㎜の水膜をスクリーン上に保持させている（図 2）。スクリーン下面から通過した排気ガスは小さな気泡となり、この 40～50 ㎜の水膜を通過することで 100％の気液接触率が実現される。

このスクリーンは、水は目開きから落とすこと無く保持するが、ガスは下面全体の目開きから通過させることができるもので、パンチングメタルシートの形状、厚さ、枚数と各種運転条件での試験を重ね、これを実現することに成功した。

（２）メンテナンス性の向上

従来型の充填剤に代わり、カートリッジ式スクリーンを採用することで、交換の作業時間が 30 分程度と作業時間が約 1/10 に低減された。

（３）コンパクト性の実現

従来型の充填剤に代わり、カートリッジ式スクリーンを採用することで、同等の捕集能力を得るために、従来型では充填剤に 1,700 ㎜もの高さが必要になるが、約半分の 980 ㎜で実現が可能となった。

（４）循環水の浄化機能を付加

当社は、本装置を開発する以前から、排水処理メーカーとして装置の製造販売を行ってきた。当社オリジナル製品のアクアブラスター（図 3）は排水処理の散気装置として使われており、溶存酸素効率の高さと強い撹拌力により微生物による有機物分解能力を最大化することが可能であり、市場で高い評価を得ている。この排水処理技術を本装置に組み込むことにより、捕捉した有機物の腐敗を防ぎ、腐敗臭を防ぐだけでなく、スラッジの発生をも抑制するしくみである。

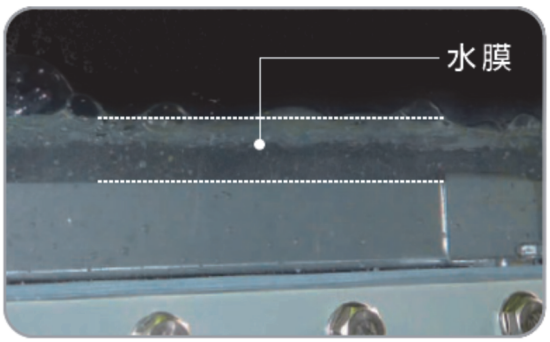
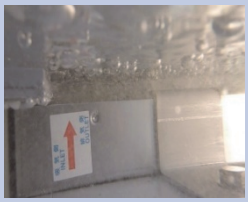
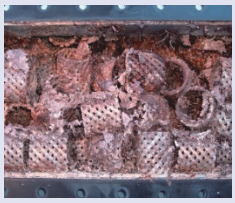


図２　スクリーン上の水膜

図３　アクアブラスター

表１　従来型装置とデオライザーとの比較表

	従来の充填材式スクラバー		デオライザー	
気液接触効率		これまでの樹脂製充填材では、気液接触効率が、75％程度であった。		SUS304製10枚積層式パンチングスクリーンを使用して、排ガスを細分化し、40㎜の水膜を形成することで、気液接触効率を100％とした。
メンテナンス性		風量によっては、数千個単位となる樹脂製濾材を取り出して洗浄する必要があったので、交換に3日ほど時間を要していた。		誰でも簡単に素早くスペア交換できるカートリッジ式なので、作業時間を１／10、費用を1／4にまで抑えることに成功した。
コンパクト性		アンモニア排ガス 捕捉効率対比 100ppm→1ppm以下 充填材：1,700mm 圧力損失：100mmAq		アンモニア排ガス 捕捉効率対比 100ppm→1ppm以下 ｽｸﾘｰﾝ：40㎜×2段 圧力損失：80㎜Aq
循環水浄化機能		これまでのスクラバーは、捕捉した塵埃や有機物がタンク内に溜まって積層し、腐敗していた。		当社、排水処理技術であるアクアブラスターを内蔵している事で、循環水の腐敗を防ぎ、有機物の分解まで行うことができるので、スラッジ抑制が可能。

４．特許の有無

次のとおり、特許１件を取得済み。

特許番号：第 6775837 号　／　名称：排気浄化システム

５．性能

（１）処理性能

従来型の湿式充填式スクラバーとデオライザーで、珈琲焙煎での排気ガス捕捉性能の比較を行った結果、トータル捕捉率が 58.2%から 89%に向上した。結果を表 2 に示す。また、デオライザーの排気ガス捕捉性能を各種工場排水等で評価した結果を表 3 に示す。

（２）耐久性・安全性

耐久性は、SUS304 製で厚みが 4 ㎜以上のため、堅牢性、耐熱性に優れており、安全面でも簡単に破損することがないので、安全である。

（３）維持管理

維持管理については、500 ㎜×500 ㎜×厚み 40 ㎜、重さ 3.5 ㎏のスクリーンをカートリッジ式で交換するだけなので、誰でも短時間で交換が可能である。運転・操作性についても、ほぼ自動運転が可能で運転管理者を選ばない。

表２　従来型装置とデオライザーの排気ガス補足データ比較

珈琲焙煎排気ガス　補足比較データ			
対象	原ガス	デオライザー	従来の充填式スクラバー
メチルメルカプタン	4.400	0.620	2.000
硫化水素	13.000	1.100	4.100
硫化メチル	0.180	0.001	0.086
二硫化メチル	0.057	0.022	0.035
アセトアルデヒド	14.000	1.700	5.900
プロピオンアルデヒド	1.400	0.100	0.980
ノルマルブチルアルデヒド	0.087	0.010	0.085
イソブチルアルデヒド	0.660	0.140	0.630
ノルマルバレルアルデヒド	0.160	0.003	0.055
イソバレルアルデヒド	0.450	0.093	0.490
トータル捕捉率		89.0%	58.2%

表３　デオライザーの排気ガス捕捉性能

捕捉性能			
	【食品工場】 ｲﾝｽﾀﾝﾄ麺製造排ガス 捕捉効率：95% 場所：滋賀県		【鋳造工場】 鋳造排ガス 捕捉効率：91% 場所：滋賀県
	【化学工場】 フェノール排ガス 捕捉効率：86% 場所：滋賀県		【製薬工場】 漢方薬製造排ガス 捕捉効率：95% 場所：奈良県
	【化学工場】 GBL・PGE排ガス 捕捉効率：PGE95% GBL83% 場所：滋賀県		【製油工場】 圧搾時排ガス 捕捉効率：84% 場所：奈良県

６．経済性

本装置は、イニシャルコストは従来装置を上回るが、簡易で短時間でのメンテナンスを可能にしたことによりメンテナンス費用を 1/4 に抑えることが可能である（表 4)。そのため、年間ランニングコスト 60%以上削減を達成したことにより、3 年で回収できる。

また、耐用年数では、FRP 製の従来装置が 10 年程度であるのに対し、本装置は SUS304 製であり 20 年以上使うことが可能である。

表 4　従来装置との経済性比較表

	従来装置	本装置
イニシャルコスト（装置費用）	100	130
ランニングコスト	100	37
電気代	100	100
メンテナンス費用	100	25

７．将来性

現在のところ、国内外とも競合品はないと考えられ、改良品で特許を取得（海外特許出願含む）したので、国内販売はもちろんのこと、海外にも販売展開を図れる製品である。

また、国内では SDG s への意識の高まりから環境負荷低減に向けた排気ガス処理の需要が増えており、排気ガス燃焼装置がエネルギーコスト等の面で一息ついた今、大手企業がデオライザーの捕捉効率に着目し、販売代理店として活発に販売活動を行ってくださっており、案件数も飛躍的に伸びてきている。

日本産業機械工業会会長賞

「マグネットセパレータ（ファインマグ）」

住友重機械ファインテック株式会社

１．装置の詳細説明

本装置は液体内の微細磁性金属粉を固液分離し、脱水を行う装置である。固液分離装置としては一般的にはフィルタ装置や遠心分離装置が挙げられるが、本装置はそれらの装置と比べ微細金属粉の連続分離と脱水が可能であること、ろ材を必要としないこと、省電力、省スペースといった面で優れている。

近年、工作機械で使用される各工具は長寿命化が求められており超硬工具の生産量が増加している。超硬はレアメタル（タングステンカーバイド及びコバルト）が主な原料であることから工具メーカーでは資源（超硬工具製造工程で発生する超硬研磨微細紛）の有効活用のためリサイクルが推進されている。しかし超硬研磨微細金属粉は磁性が弱く、従来マグネットセパレータによる固液分離が難しいことから、フィルタ装置によるろ過や沈殿方式による固液分離を行っている場合が多く、メーカーによってはリサイクルを行わず産業廃棄物として処分されることもある。

本装置は従来マグネットセパレータの利点を生かしつつ、磁力を２倍の 0.9 T まで高めることで超硬微細金属粉の回収が可能となった。

（１）本装置の構成

本装置の構成を図１に示す。本装置は機能別に以下５つで構成される。

１）マグネットドラムユニット

液体内に浮遊する微細金属粉をマグネットドラム内部に装着された永久磁石によってマグネットドラムの外筒に吸着させ、常時回転している外筒によって微細金属粉を液面から外に搬送し固液分離する（図２参照）。

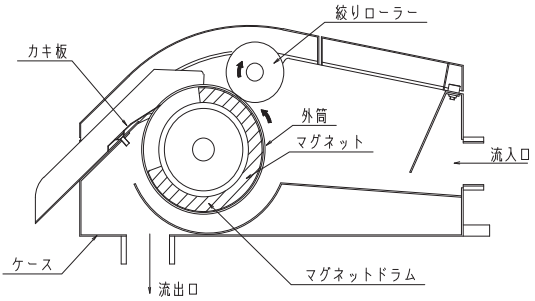


図１　マグネットセパレータ構造

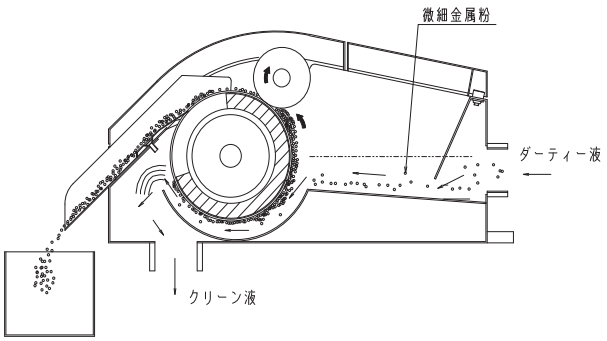


図２　微細金属粉回収

2）絞りローラユニット

微細金属粉に含まれる水分をマグネットドラムと絞りローラ間を通過させることで脱液する。

3）駆動ユニット

小型インダクションモーターの動力を駆動チェーンユニットでドラムに伝達する。

本装置の駆動ユニットはピンギヤ方式を採用しており駆動部品の脱着が容易な構造となっている。

4）カキ板

ドラムによって搬送されてきた微細金属粉をマグネットドラムから分離する。

5）ケース

すべてのパーツを構成する筐体。

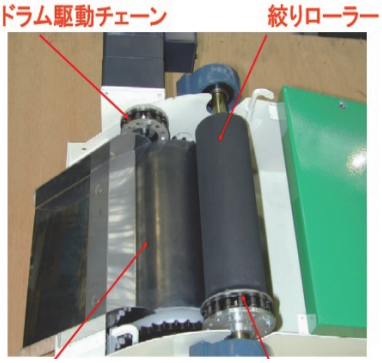


写真１　マグネットセパレータ構造

（2）固液分離機能の原理

1）マグネットと鉄粉との間に働く吸引力

$$Fm = Vp \cdot C \cdot B \cdot dB/dX \quad \cdots\cdots(1)$$

Ｆｍ　：吸引力
Ｖｐ　：粒子体積
Ｃ　：係数
Ｂ　：空間磁場の強さ
ｄＢ／ｄＸ：距離に対する磁場の変化率

式において吸引力は空間磁場の強さＢと変化率（ｄＢ／ｄＸ）の相乗積に対して比例関係にある。よってマグネットの形状や配列については相乗積が大きくなるよう設計を行っている。空間磁場の強さと空間磁場の変化率は反比例の関係にある。本装置はドラム表面から最遠距離における磁場を高めることで吸引力を高める設計を行っている。

2）流体内での粒子の流体抵抗

$$Fd = C \cdot A \left(\rho v^2/2\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

ニュートン抵抗則

Ｃ：抵抗係数でレイノルズ数の関数

$$Re = Dp \cdot vp/\mu \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

Ｄｐ：粒子直径
ｖ　：流体速度
ρ　：流体密度
μ　：粘性係数
Ａ　：粒子の投影面積

層流域　10^{-4}＜0.3　　：　C＝24/Re
中間域　2＜Ｒｅ＜500　：　C＝10/√Re
乱流域　500＜10^{5}　　：　C＝0.44

3）マグネットが粒子を吸引する条件
マグネットに粒子が吸引する条件は（4）式のとおりとなる。

$$Fm > Fd \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

（3）構造
1）マグネットドラム
マグネットドラムは外筒、主軸、端円板、マグネットホルダ、マグネット、ヨークで構成されており端円板にはラジアルベアリングとオイルシールが装着されている。マグネットはマグネットドラム頂点から3/4装着されており外筒と端円板が回転しマグネットは固定され回転しない。

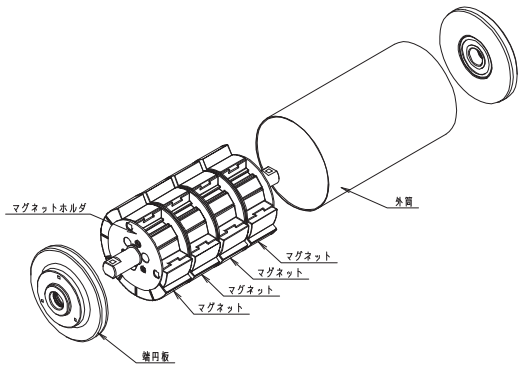


図3　マグネットドラム構造

①特徴
・外筒はSUS304磨きパイプを使用しており、窒化処理により1200 HVまで硬度を高めている。そのため傷が入りにくく長期的に安定した性能が維持できる。
・マグネットは固定されており回転せず外筒と端円板が回転する。
マグネット固定により、カキ板はマグネットが無く磁場は発生しない部分で機能するため、磁性金属粉をドラムから分離する際負荷が少なく掻きとり効率が良い。また、絞りローラ近郊はマグネット配列により磁力線を円周方向に向かって飛ぶようにマグネットを配置しているため、絞りローラへの微細金属粉による刺さりが少なく脱水機能低下が少ない。
・高磁力化
マグネット配列は円周方向に隣り合うマグネットが同極となっており、その間には強磁性材料のヨークが装着されている。そのことにより隣り合うマグネットの磁気エネルギーはヨークに集中することとなりドラム表面に高い磁力を発生させることができる。

2）絞りローラ
絞りローラは反発弾性力の高いゴム材質を使用しており、絞りローラとマグネットドラム間に高い圧力をかけることができる。
絞りローラの角度はマグネットドラム頂点から約35°傾いた状態でドラム中心に向かって圧力が掛かる構造で、掛けた圧力に対し力が分散しにくい。絞りローラを35°に傾けることにより、脱水された液体はドラム下部に流れやすくなっている。

3）絞りローラ強制駆動
ドラム側面に配置されたスプロケットと絞りローラに設置されたチェーンユニットにより、

絞りローラは強制的にマグネットドラムの周速と一致する構造となっている。マグネットドラムに微細金属粉が吸着し、マグネットドラム表面の摩擦係数が小さい状態でも絞りローラはスリップしない構造となっている。そのため偏摩耗が発生しにくく長期間安定した脱水性能を維持することができる。

４）カキ板

への字形状となっており、マグネットドラムによって搬送された微細金属粉はカキ板の弾性力によってマグネットドラムに常時一定の圧力を掛けて接触する。そのため掻きとり性能が高く掻きとり効率が良い。

５）フレーム

すべてのパーツの筐体。大部分のパーツはオーステナイト系ステンレスで製作しており錆びにくく磁力の影響を受けない。駆動系部品の摩耗防止のため液体の流路と両端の駆動部品スペースには仕切りを設けている。

２．開発経緯

（１）開発趣旨

超硬材料研削加工で発生する微細金属粉（タングステンカーバイド、コバルト等）の回収装置としてろ材を必要としない、連続処理が可能なマグネットセパレータを開発する。

（２）背景

国内で使用される希少金属(レアメタル)の多くは中国で発掘され先進国に出荷されている。しかし発掘の際、多くの自然が破壊され地球環境に大きな影響を与えている。そのため金属加工業界では加工により発生した超硬微細金属粉を回収し、リサイクル活動が行われている。

しかしフィルタによる回収はリサイクル率が低くろ材の産業廃棄物も発生する。そのため、マグネットセパレータによる超硬微細金属粉の回収装置を開発した。

（３）目標

超硬研磨市場において産業廃棄物の出ない超硬回収装置を提供する。

（４）経緯

2013 年 4 月～2013 年 9 月	反発磁気回路式マグネットセパレータの設計実施
2014 年 4 月～2014 年 7 月	試作用反発磁気回路マグネットドラム組立治具製作
2014 年 7 月～2014 年 10 月	社内テスト実施
2015 年 2 月～2015 年 6 月	工具メーカー3 社でモニター開始
2015 年 9 月	本装置販売開始
	第 1 号機納入
2016 年 4 月	メンテナンス性向上のため一部部品修正

３．独創性

（１）反発磁気回路の採用

従来のマグネット配列は、マグネットドラム中心方向に極性を持たせており、マグネットドラム中心に対し円周方向に異極のマグネットを配置している。その場合、マグネット組立が容易といったメリットはあるが大幅に磁力を高めることはできない。マグネットドラムの磁力を高める手段としてマグネット配列を変更し反発磁気回路を採用した（図４参照）。

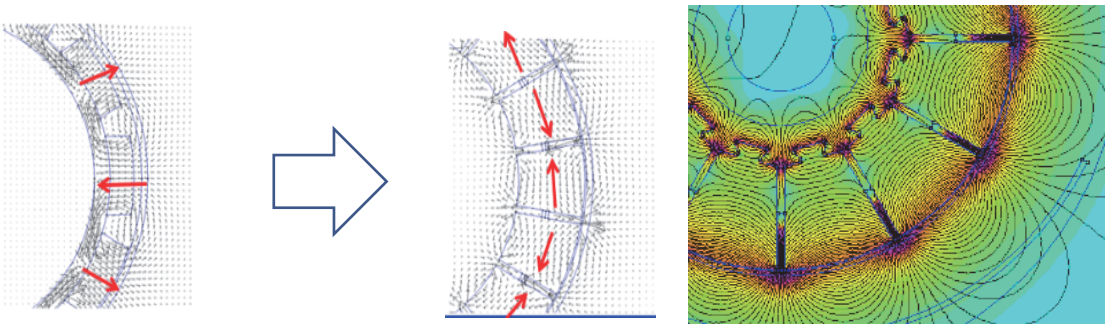


図４　従来マグネットセパレータのマグネット配列から反発磁気回路への変更

４．特許の有無

次のとおり、特許５件を取得済み。

特許番号：第 4785913 号　／　名称：回転ドラム型磁気分離装置

特許番号：第 4948514 号　／　名称：回転ドラム型磁気分離装置

特許番号：第 5143300 号　／　名称：回転ドラム型磁気分離装置

特許番号：第 6218390 号　／　名称：回転ドラム及び回転ドラムの製造方法

特許番号：第 6774734 号　／　名称：回転ドラム型磁気分離装置

５．性能

（１）磁性金属粉回収性能

社内研削盤で従来マグネットセパレータ（K）と本装置（UK）の性能比較を実施し、JIS B 9930 準拠（計数法）、JIS B9931 準拠（質量法）で評価を行った。

テストは水溶性クーラント液を使用し、研削物は炭素工具鋼（SK3）を円筒研削盤で研削量が一定になるようにトラバースさせて研削し、マグネットセパレータ通過前の液（ダーティー液）と通過後の液（クリーン液）をそれぞれ採取し平均値をグラフ化した。

図５は計数法による結果で、5 μm～100 μm 以上の粒子をそれぞれ５段階に分け画像処理で各個数を計測した。ダーティー液の粒子別個数に対し、クリーン液の粒子別個数の割合を従来マグネットセパレータ（K）と本装置（UK）でグラフ化している。

図６はダーティー液とクリーン液のサンプル濃度を測定し、ダーティー液に対しクリーン液の割合をグラフ化している。

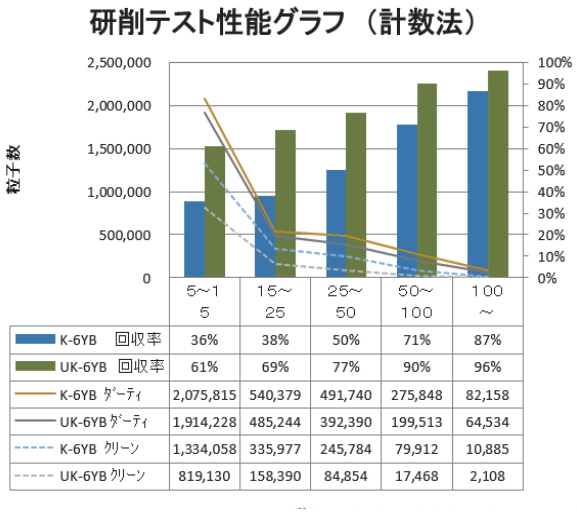


図５　計数法による微細金属粉回収率比較

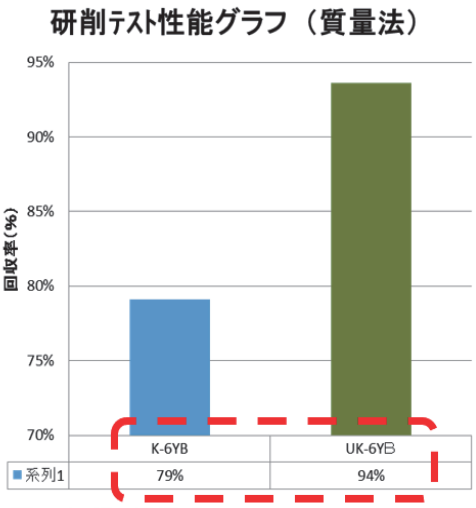


図６　質量法による微細金属粉回収率比較

写真２は微細金属粉（四三酸化鉄　平均径 3.4 μm）の回収テスト状況写真である。視覚的に本装置を通過する液体の状態が分かるようにケースを透明アクリルで製作し内部を確認できる構造としている。右端の流入箱には四三酸化鉄濃度 0.05 wt%の濃度の黒く濁った液体が常時約 10 L/min の流量で流入しており、同流量がマグネットセパレータに流入している。本装置により固液分離された液体はマグネットセパレータ下部の箱に透明になって流出している。写真３では本装置によって微細金属粉が脱水され回収されていることが分かる。

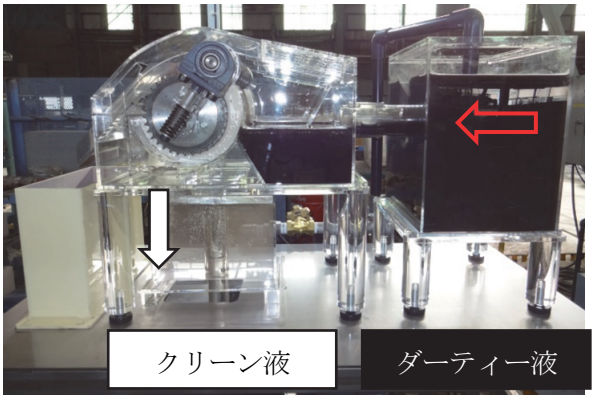


写真２　微細金属粉（四三酸化鉄）による実験

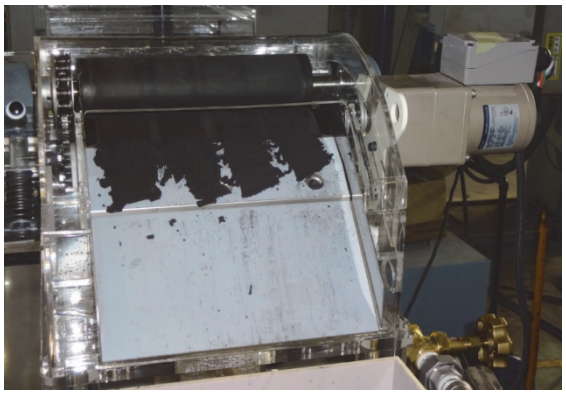


写真３　微細金属粉（四三酸化鉄）回収

６．経済性

O社でのモニター実施１か月間の有価物超硬微細金属粉回収量を計測した結果、超硬微細金属粉の回収量は約 15 kg/月、有価物としての買い取り単価は当時 1,400 円/kg であったことから、月当たりの買い取り価格は 15kg×1,400 円＝21,000 円となる。年間では 21,000 円×12 か月＝252,000 円/年となる。結果、本装置の購入投資に対し 3.5 年で回収可能と判断できた。

フィルタ装置では、フィルタ費用に年間 97,440 円（フィルタ単価 2,030 円）、フィルタ取り替えに 0.5 時間の人件費、使用済みフィルタの産業廃棄物処理費用とランニングコストがかか

っていた。本装置導入後、超硬微細金属粉が脱水された状態で回収できることから、手間がかからない点を評価いただけた。また、本装置で回収された超硬微細金属粉は「純度が高い」「脱水された状態」であることから、有価物として価値が高くなり経済性の面で効果があることが分かった。

7．将来性

採掘や製錬による地球環境破壊を低減させ、レアメタルやその化合物を長期的かつ安定的に産業に供給する上でレアメタルのリサイクル活動は今後も各企業で推進されると思われる。

本装置は従来のフィルタ装置と比較し「生産性向上」「ローコスト」といった観点から「回収した超硬微細金属粉の脱水不要」「連続処理が可能」「フィルタ交換不要」「回収した超硬微細金属粉に不純物が混在しにくい」といった利点があり、今後各企業に対しレアメタルのリサイクル活動で役立つ装置になると考える。

日本産業機械工業会会長賞

「UASB による排水処理装置（とくとく-ぶぶぶ）」

株式会社エイブル

１．装置の詳細説明

１．１　従来の代表的な排水処理(好気性生物処理)

従来、排水処理は、好気性バクテリアによる生物分解処理法が主として用いられてきた。代表的な方式として、活性汚泥法や生物固定床法等がある。

これらはいずれも水中を好気状態(ブロワ等により水中に酸素を溶かした状態)にすることで、好気性バクテリアを活性化し、水溶性の汚れ(バクテリアにとっての餌)を捕食させ排水の浄化を達成している。

また、この方式の特徴として、水中の汚れを捕食したバクテリアは増殖する(汚泥転換する)ため、過剰に増殖したバクテリアは引き抜かなければならない。

引き抜かれたバクテリア(汚泥)は脱水処理により、固液分離され、汚泥脱水ケーキとして系外に排出され、産業廃棄物として処分される。含水率が高い脱水ケーキはその処理コストが大きく、問題となっている。

以上のように、従来の排水処理では、好気性状態にするための電力、増殖した汚泥の廃棄物処理に大きなコストをかけてきた。近年これらの処理による温室効果ガス排出が問題視されている。

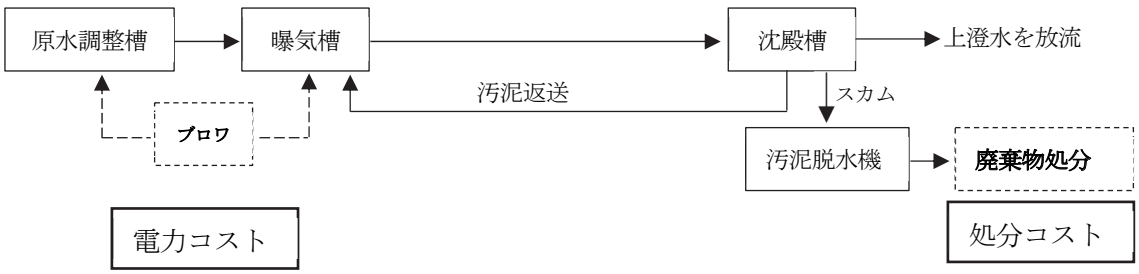


図１　従来の好気性処理(活性汚泥法)

１．２　新たな排水処理メタン発酵処理方法(嫌気性生物処理)

これら好気性処理に対し、嫌気性バクテリアによるメタン発酵処理方式【UASB 法】はかねてより注目されてきた方法である。

嫌気性バクテリアは、酸素の溶けていない水中で活動する水生バクテリアであり、この特性から、空気供給用のブロワを使う必要がない。従来法では電力コストの 50～80%を占めていたブロワが不要になり、大幅なコスト削減が可能である。

また、好気性バクテリアは汚泥転換率が BOD 量に対して 30%程度(CODcr 量に対して 20%)であるのに対し、嫌気性バクテリアは 3%程度であり、汚泥処分コストが 90%削減できる。

さらに、水中の有機物を分解する際に一部をメタンに変換するため、二酸化炭素排出量の削減と、発生したメタンをバイオガスとして回収し、エネルギーとして再利用できるため、環境負荷を減らすことができる。

これら多くのメリットを持った UASB 法であったが、従来技術では解決できない問題点があった。それは懸濁物質や油分が一定数値を超えると生物反応阻害を起こし、処理不能に陥ることである。油分 30 mg/L、懸濁物質 300～500 mg/L が上限であった。

特に、大豆製品、菓子・デザート等製造工場、食肉・魚類加工工場、あるいはその他の食品製造排水のほとんどには多量の懸濁物質と油分が含まれているのが通常である。

したがって、従来の UASB 法では上記を含まない排水、例えば、糖類・有機酸・α でんぷん・アルコール等の溶解性物質を含む排水に限定されていた。

従来の活性汚泥法 ・空気供給ブロワの電力コスト大 ・汚泥転換率大のため処理コスト大 ・CO_2 排出量大	現状のメタン発酵装置 UASB ・空気供給ブロワの電力コスト 50～80%減 ・汚泥転換率 1/10 のため処理コスト 90%減 ・CO_2 排出量小
現状の UASB 法の問題点	
懸濁物質や油分を含まない一部の排水にしか適用できない。	

従来の排水処理と現状

本装置ではほとんどの食品工場で UASB 法が適用可能である

１．３　本装置「UASB による排水処理装置(とくとく-ぶぶぶ)」

本装置、「UASB による排水処理装置(とくとく-ぶぶぶ)」は従来の UASB 法では処理不能であった多量の懸濁物質と油分を含む排水を比較的容易な手法で処理可能とした。

処理システム内は大きく UASB-TLP と可溶化の二つのシステムによって運用されている。

図 2　納豆排水工場 UASB 実装置写真

（１）処理システム内説明①【UASB-TLP】

１）UASB-TLP 装置構造について

処理システム内装置の主体をなすのが当社のメタン発酵装置【UASB-TLP】である。

本体材質は、大型装置(リアクター容積 400 m^3 を超える装置)の場合コンクリート製、中型以下の場合 FRP 製で製作する。

メタン発生過程で副生成物として、炭酸ガスや硫化水素ガスも含まれ、これらは腐食性が強いため、耐腐食性に勝る FRP が有効である。

大型装置ではコンクリートにFRP コーティングを施し､中型以下ではFRP タンクを使用する。図 3 に UASB-TLP 本体図を示す。

槽内はじょうご型分離板を逆さまに配置し、2 段以上の分離槽で形成されている。

最下部に原水入口管、上部には集水装置を配置し、更に最上部にはバイオガス取出し管を設置する。

また、じょうご型分離板は順位、逆位のいずれも可能であり装置の大きさや排水の特性により、順あるいは逆位のいずれかを選択して設置する。

槽は大きく、下部～中部の反応ゾーン(乱流ゾーン)と上部の層流ゾーンに分けられる。

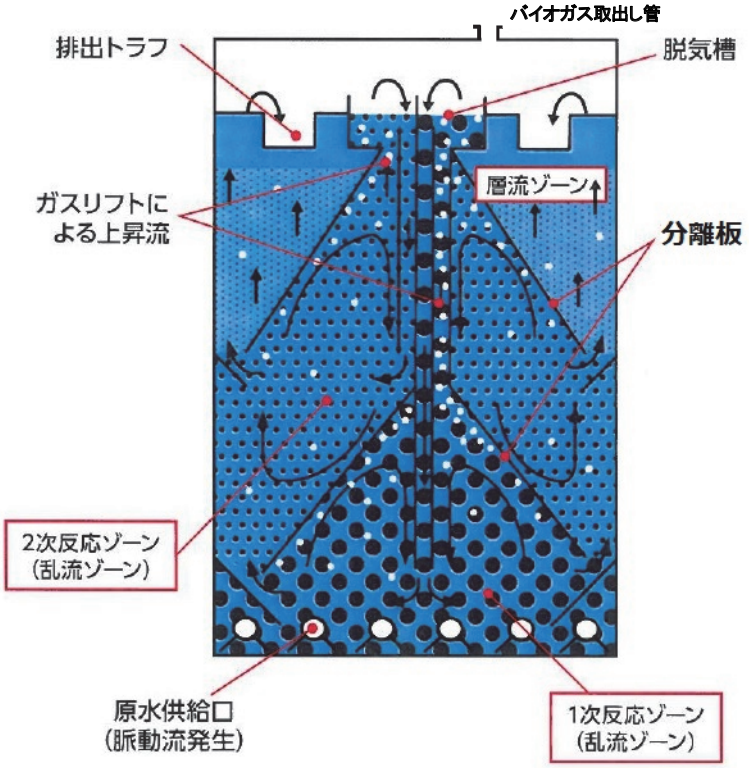


図 3　メタン発酵装置 UASB-TLP の概念図

①反応ゾーン

反応ゾーンでは、バイオガスの発生を利用した乱流が巻き起こるように設計されている。

まず、バイオガスの発生は、原水をパルス供給(2～5 分間に一回ポンプ ON)で送り込むことで、断続的に発生させる。これにより、装置内のバイオガスが一定間隔で吹き上がるため、強い撹拌力を得ることができる。

発生ガスはじょうご型分離板で中心部に集め、上部中央の脱気層まで、ガスリフト(ガスによるエアリフト)で、反応ゾーン内に上昇流を作りだす。ガスは水とグラニュールを上部に吹き上げた後、脱気層で気体と液体に分かれ、バイオガス取出し管から槽外に排出される。

ガスと分離した排水とグラニュールは、乱流ゾーンに流入し槽内の乱流を促進しながら、更に反応が進んでいく。

②層流ゾーン

上部の層流ゾーンでは、未反応の有機物が全体濃度の数パーセント存在するが、緩やかに層流を形成しながら仕上の分解を進める。

処理を終了した水は上部の排出トラフから排出される。

上記のように、UASB-TLP は他の単一層型 UASB とは大きく異なる構造を持ち、その反応性や槽内の菌体の動きに違いがある。

そのことについて、UASB-TLP の原理を交えつつ特殊な構造がもたらす効果について下記にて説明していく。

２）UASB-TLP の原理について

①メタン菌(嫌気性微生物)による分解反応

UASB の槽内には、グラニュールと称されるメタン菌の塊が排水の分解を行っている。

原水がメタン菌の表面や内部で接触し、分解反応が起こるが、この分解によりメタンガスが発生する。

メタン発酵における反応時間は原水の濃度や質によって異なるが、概ね 1～10 時間程度が必要である。

図 4　メタン菌による酢酸の生物分解

②当社 UASB-TLP の反応性

当社 UASB-TLP は縦方向に 2～4 段に区切られた反応槽の中で、反応が進んで行く。

最下段(原水入口付近)では、酸発酵菌とメタン菌の混合体であり、上段に水が移動するにつれ、メタン菌比率が上がっていく。

他の単一層の装置に対して、多段反応を利用することで、より高性能を得ることができる。一般的に利用されている単一反応槽では、ターンオーバーと称されるガス浮上による上下逆転

流が発生するので、未反応原水が一部処理水側に流出して、水質を悪化させる。
本装置は当初から二層以上の縦型に反応槽を配置しているので、未反応流出率はほぼゼロとなり、良質の処理水を得ることができる。
さらに、最上段層においては概ね反応が終了した水を送り込む。ここでは、未反応の物質を更にポリッシングするが、ガス発生がわずかなので、発生ガスにより流れを乱されることなく通常の固液分離装置のように層流を形成しながらわずかに残存するBODを除去し、極端に処理水の質を上げることができる。
反応は各段で行われ、複数回調査したデータ(ジャム製造排水)では最下段での除去率は、CODcr76%、BOD82%、中段でCODcr87%、BOD95%、最上段でCODcr92%、BOD97%であった。
各段の内部、上下左右は、ほぼ同じ濃度であり、反応は完全混合系であることが示された。
反応は固体(菌体)と液体(排水)による固液反応である。
一般的に固液反応速度は粒径の二乗に反比例するといわれており、当社 UASB-TLP はグラニュール粒径に着目し設計されている。

③弊社グラニュールの反応性
原水の供給をパルス供給し、強い乱流を生むことは上記にて説明したが、そのほかにもいくつかの有用な効果をもたらす。
グラニュール菌体には自らが発生させたガスがまとわりつき、排水との接触が阻害される。強い乱流が菌体周辺のガスを取り除き接触阻害を防ぐことができる。
また、パルス供給で一気にガス浮上するグラニュールは水のせん断力により、一定以上の粒径に造粒しなくなる。
他社グラニュールは3～4 ㎜直径であるのに対し、当社グラニュールは0.5～2 ㎜直径である。粒径が小さく、菌体の表面積が増えるため、反応性が向上する。
社内実験では、他社グラニュールと当社グラニュールを比較したところ約4倍の性能を示した。

（2）処理システム内説明②【可溶化】
本技術の特徴は、排水中に含まれる有機性懸濁物質(タンパク質、でんぷん粒子等)、油分を一度加圧浮上装置により浮上スカムとして分離し、可溶化槽にて水溶性の物質に変換(可溶化)させ、再び排水に混合してメタン分解させることにある。

１）可溶化の処理工程
本技術の基本的な排水処理工程をブロックフローとして図5に示す。
ブロックフロー中の加圧浮上装置によって、排水は水溶性有機物と、有機性懸濁物質や油分に分離される。分離された有機性懸濁物質と油分は可溶化槽に移され、10～30 日間の滞留で70～90%程度可溶化される。

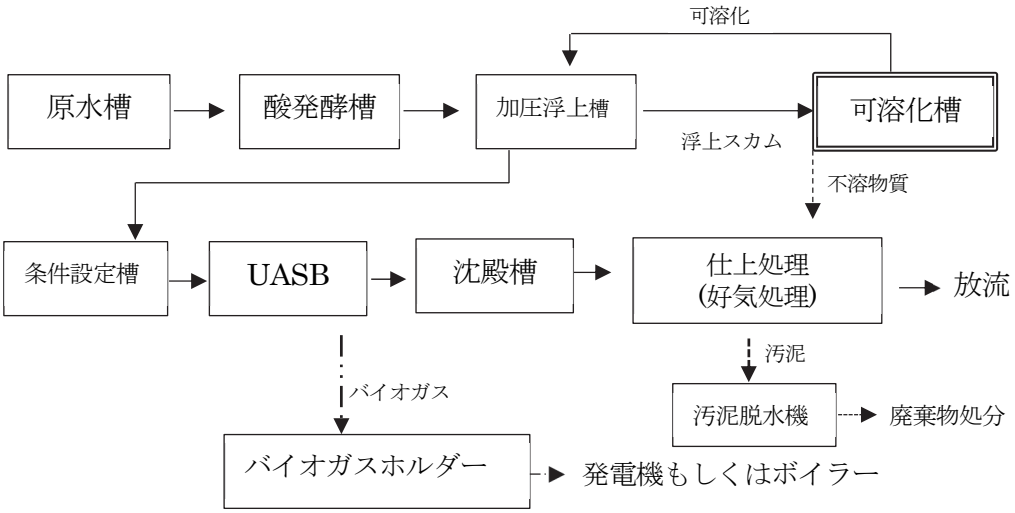


図５　装置ブロックフロー

これにより、一度分離した有機性懸濁物質と油分を再び排水中に戻し分解処理できるようになる(図 6)。可溶化された有機性懸濁物質と油分は原排水中の水溶性有機物とともに、UASB-TLP(生物処理槽)に送られ、分解される。

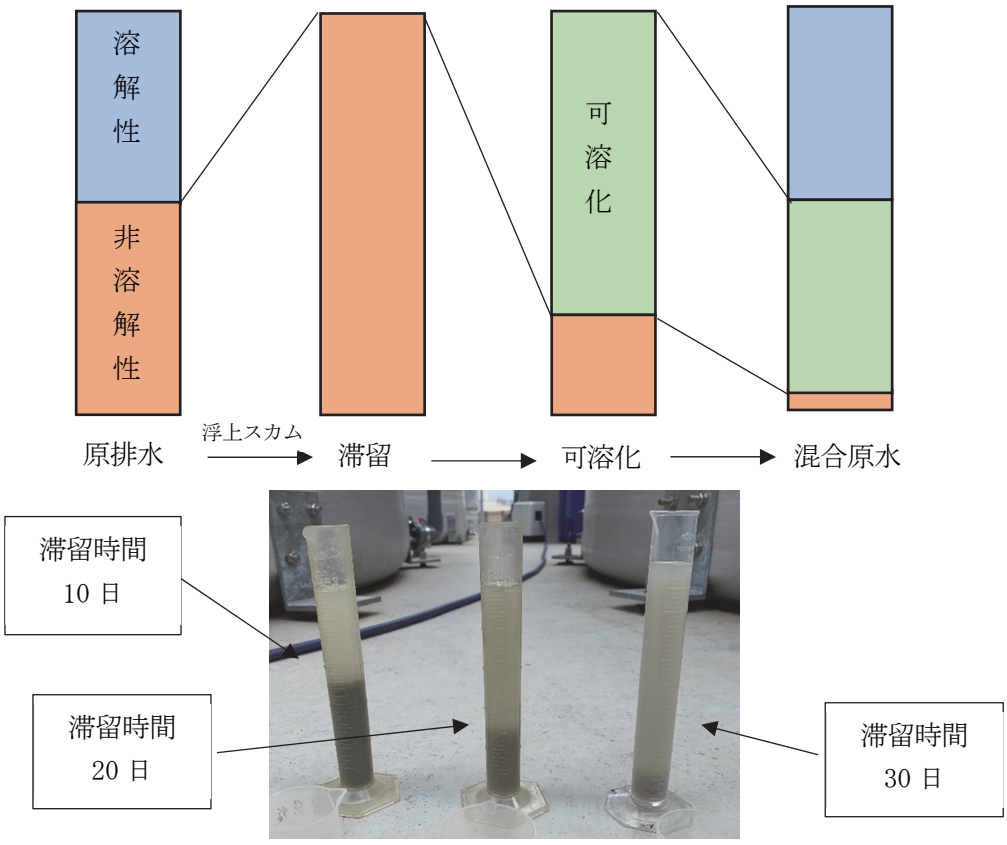


図６　排水の可溶化(写真　納豆排水の場合)

２）可溶化の原理

油分や固形物を含む排水から、浮上分離して高濃度に濃縮したスカムは、pH を中性に保つよう調整し、上下に分離しない程度の撹拌を継続することによって、約 30 日程度で油分や固形物が水中に溶け出す現象を発見した。

これらは、食品工場等の原料に含まれている分解酵素の働き、または高濃度かつ多種類にわたって含まれるバクテリアから分解酵素が供給されていると理解しており多くの工場排水で同様の挙動を示し、再現性があった。

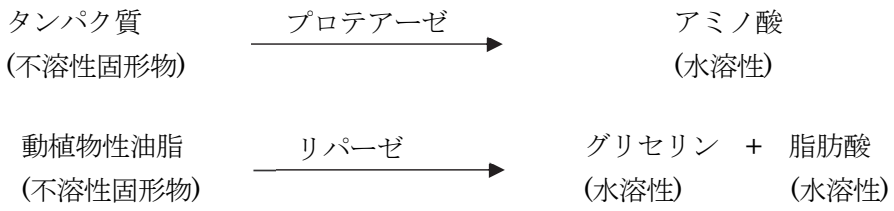


図７　可溶化槽内反応

３）可溶化装置

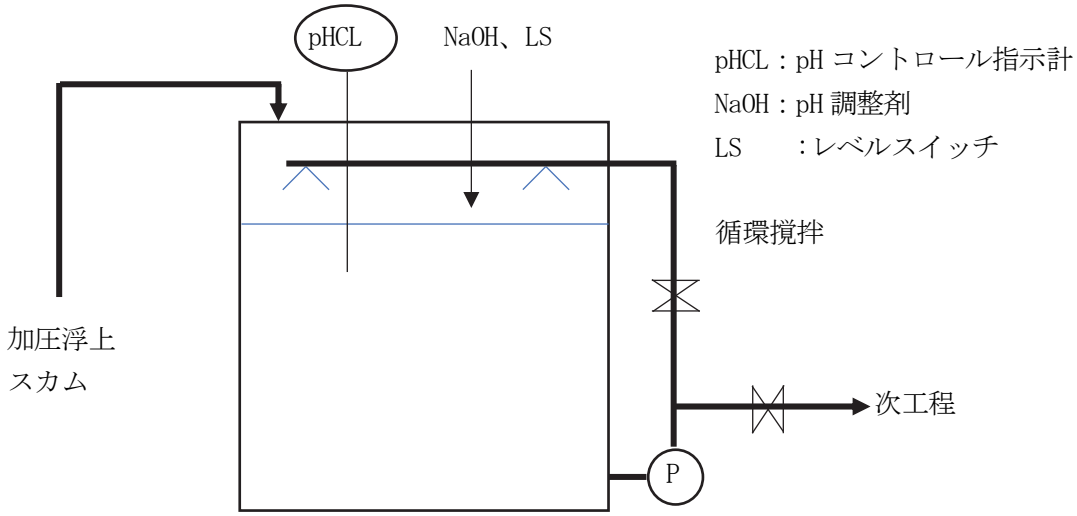


図８　汚泥可溶化槽

４）スーパー加圧浮上装置

可溶化の処理工程内で油分と懸濁物質を分離する装置である当社装置「スーパー加圧浮上装置」について下記に示す。

①装置原理

加圧浮上装置とは除去したい水中の粒子(懸濁物質や油分)に微細な空気の泡を付着させて、粒子全体を軽くし、水中から浮かせて分離し、下部から清澄な水を得る方法である。

上部に浮いた泥状の粒子はスキマーと呼ばれる掻き取り装置で分離される。

一般的に水中の粒子を沈めて除去する方法(沈降法)に比べ、浮かせて除去する方法(浮上法)は 20 倍以上の速さで分離させることができる。

したがって装置の面積が 1/20 程度になり、省スペースな装置である。

また、水質も一般的な沈殿装置を上回る良質なものを得ることができる。

微細な空気の作り方は、加圧タンクと呼ばれるタンクに 6 kg/cm^2 の圧力で空気を送り込み、併せて 4～5 kg/cm^2 の圧力で水を送り込むことにより空気を水に溶かす。

このようにして作った加圧空気を大気圧に開放すると、外見上は真っ白な微細空気(気泡)ができる。

ここで析出した微細空気が粒子の表面あるいは粒子フロックの内部に入り込み、付着して全体を軽くして浮上させる。

粒子は気泡が付着しやすいように凝集剤によりフロックの粗大化及び多孔質化するほうが効果的である。

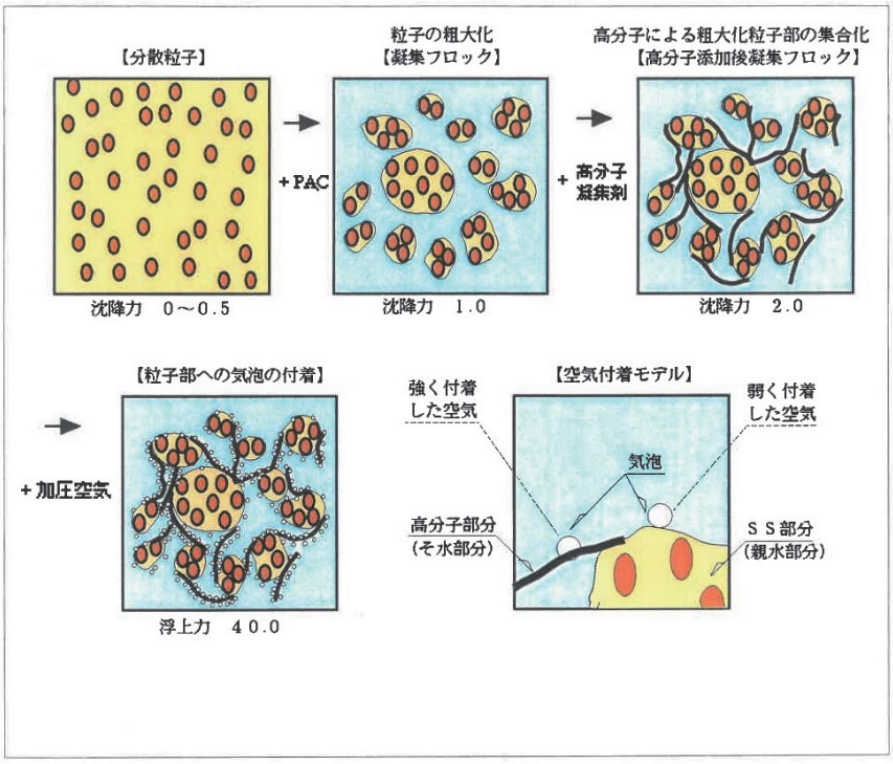


図 9　加圧浮上装置の浮上原理

②装置構造

図 10 にスーパー加圧浮上装置の構造と一般的な加圧浮上装置の構造を示す。

原水と加圧水は垂直部で接触させるので、懸濁物質に対して微細気泡が付着しやすく、その結果として処理水に流出する懸濁物質を最小限にすることができる。

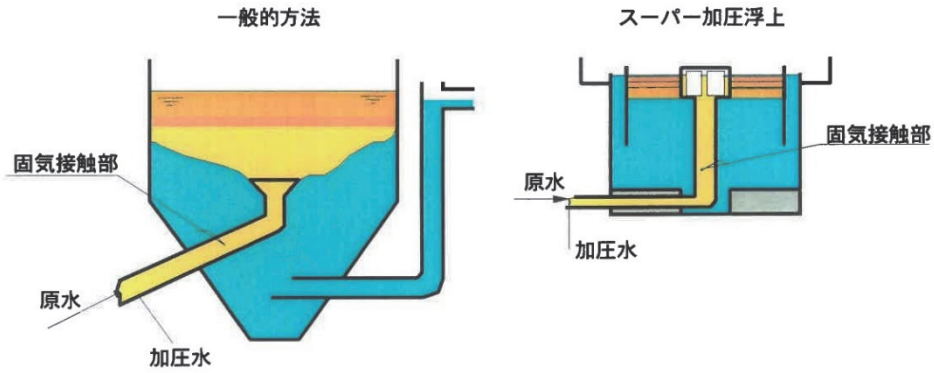


図 10　当社スーパー加圧浮上装置と一般的な加圧浮上槽との構造的な違い

１．４　環境負荷について

有機性懸濁物質や油分の可溶化によって、これまで適用することができなかった原料精製、製菓製パン、麺類製造、乳・肉・卵、園芸食品（ジャム、トマトジュース等）、水産加工、酒類、飲料、特殊食品、外食産業に UASB 法を適用可能になった。

前述したとおり、UASB 法は電力コスト、処理コストが低く、何よりも環境負荷の少ない優れた処理システムである。

表 1 に UASB 法と活性汚泥法の年間二酸化炭素ガス発生量を比較したものを示す。これからの脱炭素社会において、UASB 法は従来の活性汚泥法に対して、環境負荷が低いことが解る。本装置が、今まで UASB 法を適用できなかった工場で稼働することにより、省コストで環境負荷の低い新しい工場排水処理が実現可能になった。

表 1　UASB 法と従来活性汚泥法との二酸化炭素発生量比較

CODcr 1 t/日当たりの排水を基準とした比較

比較項目	UASB 法	CO_2 発生量 (t/年)	好気処理法	CO_2 発生量 (t/年)
使用電力(kWh/年)	120,000	**68.5**	582,000	**332**
汚泥発生量(焼却処分量)	44	**10.4**	440	**104**
発電量(kWh/年)	288,000	**-164**	—	—
合計		**-85.1**		**436**
UASB に対する、好気処理により発生する CO_2 発生量		**521.1 t-CO_2/年**		

※換算係数　電力　　0.571 kg-CO_2/kwh

汚泥焼却　236.4 kg-CO_2/kg-脱水ケーキ

２．開発経緯

２．１　開発経緯

（１）開発年表

2017 年 2 月～	UASB 法の欠点改善のための探索実験を開始
2017 年 2 月～3 月	不適要因である物質の分離方法探索
2017 年 3 月～10 月	不適要因物質の可溶化実験
2017 年 10 月～2018 年 2 月	実験結果を元に実装置を設計
2020 年 1 月	第 1 号機納入

（２）開発の趣旨(2017 年 2 月～)

以前より、懸濁物質の多い豆腐や納豆工場あるいはその他油分を含む排水では UASB 法による技術提案は難しいことと、実際に、排水中に一定の油分と一定以上の懸濁物質を含んでいる場合に UASB 法を適用したが成功に至らなかった事例が多くあることを見聞していた。

この状況において、その対策法について別の観点からいくつかの知見を有していたので、対策案を実験した。

（３）UASB 法への適用を可能にさせる手法の探索(2017 年 2 月～3 月)

１）手法は UASB 法に不適要因であるエマルジョンや、そうでない油分及び有機性懸濁物質を排水中から分離することを第一目標として実験に着手した。

一般的には微細気泡を用いる加圧浮上装置の適用が想定される。条件としては無薬注又は少量の高分子凝集剤の利用に限定した。実験して見た限りでは油分や懸濁物質の除去率は 30～40%程度であり、完全に分離することができなかった。PAC 等の無機凝集剤の添加により、除去率は上がったが、いたずらに汚泥を増加させるので検討外とした。

２）次に、UASB 方式では必須の前段酸発酵処理後の排水について、同様に加圧浮上処理を施した。その結果、油分や SS の除去率は 80～98%を得た。

実験は大豆を用いた製造排水、ハムソーセージ製造排水、デザート製造排水、菓子類製造排水、その他業界を代表する排水についても追加実験を行ったが、いずれも十二分な除去率を示し、処理水 n-Hex 30 mg/L、懸濁物質 100 mg/L 以下を得た。

排水中の懸濁物質等の分離方法は判明したが、問題は加圧浮上処理で 2～4%の懸濁物質濃度に濃縮した分離物（通称スカム）の処理方法である。

例えば、脱水処理は身近な技術として存在するが、油分を含む脱水ケーキを産業廃棄物として外部に出すことは一般的に禁止されている。

３）濃縮分離物可溶化の試み(2017 年 3 月～10 月)

そこで、浮上分離スカムの処理について別途検討を加えた結果として、pH3.5～5.5 程度でスカムを分離した後、pH を中性に保ち、撹拌しながら 10～30 日程度の滞留をさせることにより 70～90%が溶解することを突き止めた。油分やタンパクあるいは有機化合物が脂肪酸、グリセリン、アミノ酸、α でんぷん、その他の可溶性物質に変わったと思われる。

pH を中性に保つことにより、菌体が活性化して分解酵素を発生させたものと理解している。

また、油分が分解し難い動物性油脂の場合には少量の油分解酵素を添加することも効果的であった。

４）可溶化したスカムの処理(2017 年 10 月～2018 年 2 月)

スカムを可溶化できたことで、分離し、処理工程系外に排出する必要がなくなった。まだ不溶な油分や懸濁物質が 10%ほど残っているので、前段の浮上分離槽に戻すこととした。

再び分離することで、不溶物質が UASB 処理工程に混入することを防ぐことができ、再び可溶化工程に戻すことができる。また、後段の好気性生物処理により分解される割合が増え、廃棄物質処分量を更に減らすことができる。

本研究は 2018 年に概ね終了した。

３．独創性

有機性の工場排水を排出する業種は食品工業では数多く存在する。

また、製紙関係、化学関係、医製薬関係等合わせて 5,000 社以上あり、多くが UASB 方式に適用不可として見放されてきた。

40 年あまりの UASB 方式の歴史の中で、懸濁物質を分離する手法は存在したが、可溶化し、処理工程に戻す手法は存在しなかった。

これまで、UASB 法という電力コスト、産業廃棄物処理量ともに少なく、CO_2 排出量削減も可能な優れた技術の適用が一定の範囲に限られていた。

この状況の中で、全ての有機性排水に UASB 方式を適用させる方法としてシステム化した本装置「とくとく-ぶぶぶ」は、懸濁物質等の分離に加圧浮上設備を組み込み、分離した物質を可溶化槽にて可溶化して、排水中に含まれるほぼすべての汚泥物質を UASB 法で処理するというシステムを確立した初めての装置である。

３．１　処理第 1 段階

具体的にはまず、第 1 段階として、通常実施されている酸発酵工程を設ける。酸発酵工程においては、ばっ気等の空気撹拌は行われず機械撹拌によって実施する。

つまりは、水中に含有する物質を腐敗させることを目的としている。

物質は低分子化し、有機酸を生成する。その結果として pH が下がり、溶解性の油分は析出し易くなり、また、タンパク質は等電点に近づくためにデンプン、油分等を抱え込みながら析出、凝集する。

また、タンパク質を含まない排水においてもやや凝集力が低いが同じように凝集する。この反応は水中の pH が 3.5～6 の範囲で実現することができる。

またタンパク質を含まない排水においても、pH が下がり、更に一定の時間を経過することによって生成した乳酸カルシウム等によって凝集して、同じような挙動になる。

３．２　処理第 2 段階

第 2 段階は、析出した物質の濃縮工程である。析出物はタンパク、油分、デンプンその他の有機性物質である。

これらは非水溶性であるために分離技術は加圧浮上処理が適切である。

酸発酵処理後の排水に懸濁物質乾物当たり 0.1～1%程度の陽イオン性高分子凝集剤を添加してより大きなフロックを生成させ、加圧した空気を溶かした加圧水と接触させると析出物は浮上する。

排水の種類によっては高分子凝集剤の添加が不要の場合もある。

浮上物を分離すると水側の水質は油分や固形物のほとんどが除去され、UASB 処理に適した水になる。一方、分離した固形物側は 2～3%濃度のスラリーになる。

３．３　処理第３段階

第３段階においては、濃縮分離したスラリーの処理である。一般的には、スラリーは脱水機を利用して脱水ケーキとして系外に取り出した後に別途処分される。

しかし、本システムでは濃縮されたスラリーを可溶化した後に UASB によりメタン発酵処理する。

可溶化の方法が、工業的に成り立つ条件は

○第１に、濃縮を上げて貯槽を小さくすることにある。

○第２に、析出した固形物を効率よく可溶化することである。

可溶化の手法は、スラリーに含まれる各々の物質によって多少は異なるが、基本的には分解酵素の働きや腐敗菌によるもので、pH を 6～8.5、水温 25～40℃、撹拌機能を持たせることが必要である。

物質的に可溶化の方法は多少異なるが、例えば、大豆製造排水においては当初から大豆に含まれると思われる油分分解酵素やタンパク質分解酵素あるいは納豆菌と思われる働きで 10～30 日の滞留で 70～90%を水に可溶化することができた。

可溶化物は有機酸類やグリセリン、又はアミノ酸類であり、これらは容易に UASB 法によって処理することができる。

また、他の事例として、洋菓子製造排水や食肉等製造排水についても同様の結果を得た。

場合によっては、油脂分解酵素やタンパク分解酵素を添加することも有効である。

これらの操作を可溶化として表せば、可溶化の条件は概ね以下に示すとおりである。

pH	6.0～8.5
水温	20～40℃
撹拌	SS 成分が上下に分離しない程度の撹拌が必要
所要日数	10～30 日

また、生デンプンを多く含む排水の場合は 70℃以上に加熱して、デンプンを可溶化した後に酸発酵工程に戻すことも有効な手段の一つである。

以上の一連の手法を合理的かつ実用的な手法で確立、実施した例はほかに存在しない。

脱炭素社会の構築が風雲急を告げる中で、その答えの一つとなるべきものである。

本提案は、従来の原水側の制約を無くし、UASB 法を従来の何十倍もの市場に展開することにより脱炭素社会の実現の一助になり得る。

４．特許の有無

次のとおり、特許２件を取得済み、１件を出願中。

特許番号：特許第 4620383 号　/　名称：メタン発酵処理方法

特許番号：特許第 5560343 号　/　名称：メタン発酵処理装置

出願番号：特願 2020168701　/　名称：メタン発酵排水処理装置

５．性能

５．１　装置サイズ

国内の下水処理場や民間の工場排水処理方式として一般的な活性汚泥処理方式に比べ、1/30 の容積で処理できる。

５．２　消費電力

約 50～80%削減。

５．３　産業廃棄物発生量

約 90%削減。

５．４　バイオガス

処理時の発生気体中組成はメタンガスが 70～90%含まれるため、ボイラー設備や発電機への利用が可能である。

現在、本装置に利用されている UASB 装置が導入されている施設にて発電機一台当たり、バイオガス発生量 9 m^3/h において、25 kWh の発電が継続されており、トラブルは発生していない。

５．５　処理水質

１）第一号機

水量　　：400 m^3/日

排出時間：16 時間/日

表２　第１号機水質条件

	原水水質	負荷量	処理水	放流基準
pH	5.0	―	8.3	5.8～8.6
BOD　【mg/L】	1960	1080 kg/日	10	80(60)
SS　【mg/L】	1740	200 kg/日	29	100(70)
n-Hex　【mg/L】	181	64 kg/日	10 以下	80

２）従来の UASB 法との比較

UASB 装置内にグラニュールを投入すると水質に徐々に慣れ、短時間だけ良好な水質を得ることができるが、油分や懸濁物質によるグラニュール表面付着による性能劣化が生じ、更に比重の軽い油分付着や粒子内発生ガス滞留のため比重が軽くなり、槽外へ流亡し、性能がゼロになる。新たにグラニュールを投入しても同じことを繰り返す。

本装置では油分や懸濁物質を可溶化することで、これら不具合を解消している。

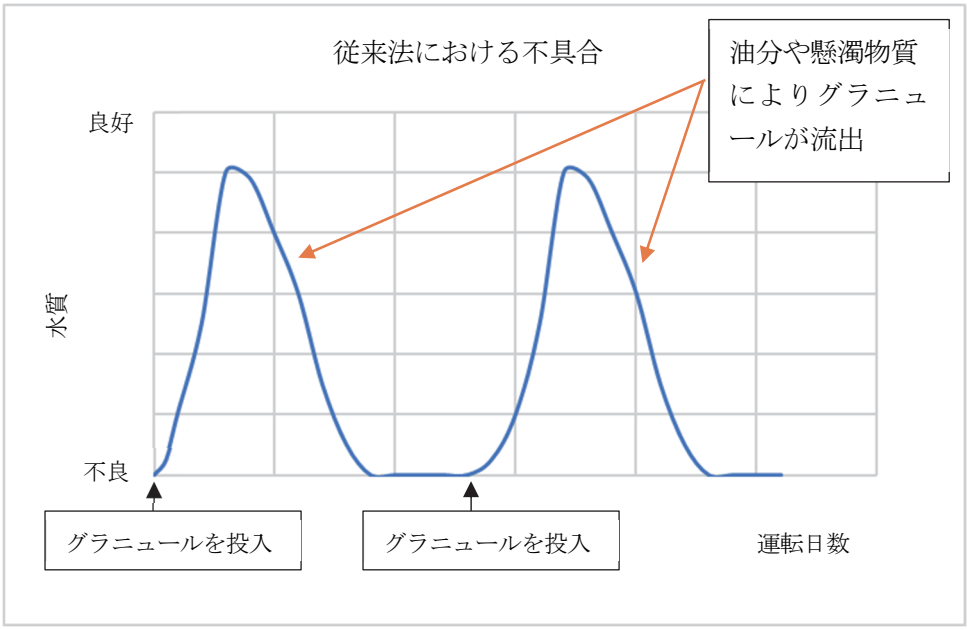


図 11　従来の UASB 法により納豆排水等を処理した場合の水質変化

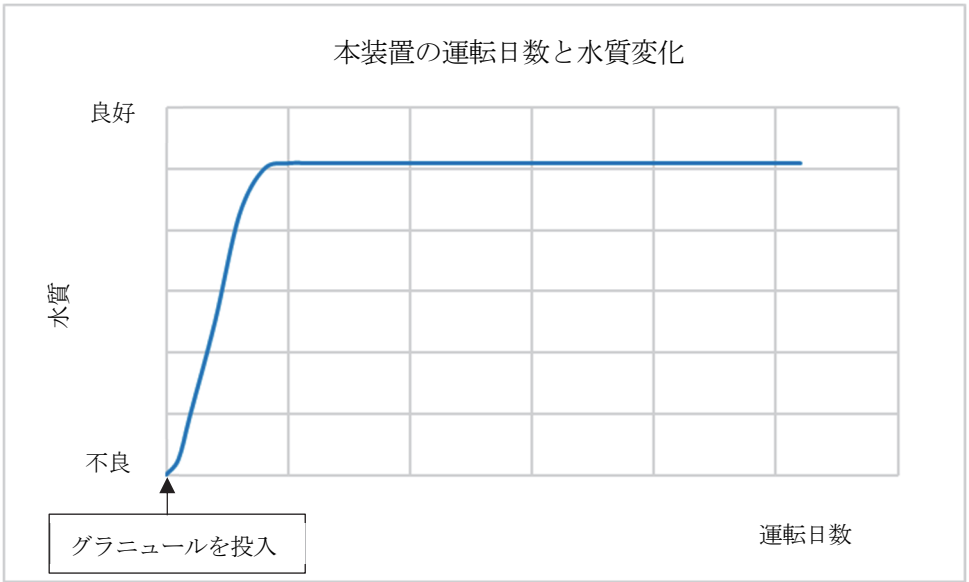


図 12　本装置「とくとく-ぶぶぶ」により納豆排水等を処理した場合の水質変化

６．経済性

第１号機に関して、表３に従来装置、本装置のイニシャルコスト、表４に従来装置、本装置のランニングコストを示す。

従来装置とは好気性生物処理装置「活性汚泥処理法」である。

活性汚泥処理法はブロワにより空気を供給し、排水中の汚れを好気性バクテリアにより処理する装置である。

表３　従来装置、本装置イニシャルコスト

イニシャルコスト	従来装置	申請装置
土木、建築費用	￥150,000,000	￥24,000,000
機械設備費用	￥120,000,000	￥216,000,000
合計	￥270,000,000	￥240,000,000

表４　従来装置、本装置ランニングコスト(1年間当たり)

ランニングコスト	従来装置	申請装置
電気代	￥14,000,000	￥3,180,000
産業廃棄物処分費	￥14,235,000	￥1,095,000
薬品代	￥13,000,000	￥8,900,000
スチーム発生量	―	￥-11,500,000
メンテナンス費用	￥5,000,000	￥5,000,000
合計	￥46,235,000	￥6,675,000

※第１号機納入先への仕様報告の算出に基づく。

７．将来性

地球温暖化ガス排出量の削減は地球規模の必須要件である。本装置は、国策として示されている脱炭素社会実現のための一つの答えである。

水処理におけるコストや CO_2 排出量という従来の課題に対し、エネルギーを回収し、脱炭素社会を形作ることの一助となれるようになったのは、特質すべき事項といえる。費用対効果も優れており将来的な拡大を見込むことができる。

現在稼働している従来処理方式(活性汚泥法等)の排水処理設備は国内に無数に存在する。

それらがUASB法に代わることで、電力コスト、産業廃棄物量削減、CO_2排出量削減、エネルギー回収等、脱炭素社会の望まれる要件を満たすことができる。

本技術は国内の同業他社にも実施していただき、また国際的にはワールドワイドの特許申請を実施して、世界的普及を計りたいと考えている。

７．１　「とくとく-ぶぶぶ」による電力削減量及びCO_2削減量の試算

○2050年における予想

①「とくとく-ぶぶぶ」を800社が採用することを想定する。

②一社当たりの排出CODcr量を500 kg-CODcr/day(≒300 kg-BOD/day)と想定する。

（1）電力削減量

1）発電量

1日当たりのCODcr処理量は次式となる。

800社　×　500 kg-CODcr/day ＝ 400,000 kg-CODcr/day

上記より、1日当たりのメタン発生量が次式となる。

400,000 kg-CODcr/day×0.8×0.35 m^3-CH_4/kg-CODcr ＝ 112,000 m^3-CH_4/day

※除去率80%とする。

上記より1日当たりの発電量は次のようになる。

112,000 m^3-CH_4/day×25 kWh / 8 m^3-CH_4 ＝ 350,000 kWh/day・・・①

2）節電量

従来の装置から「とくとく-ぶぶぶ」に切り替えた場合、節電量は下記のようになる。

800社×500 kg-CODcr/day・社×1.4 kWh/kg-CODcr = 560,000 kWh/day・・・②

※従来装置からUASB式に切り替えた場合にCODcr1kg当たり1.4kWhの節電になる。

3）余剰熱量の利用

利用する発電機の発電効率は32%とする。残りの68%は排気及び冷却水ファンを通じて外部に排出されるが、排熱利用システムを利用することで48%を回収し、最終的なエネルギー効率は80%になる。

回収した熱はボイラー用水の余熱、暖房用、汚泥乾燥用、または原水が低水温の場合の原水昇温等に利用される。

これらの熱利用は、発電量に換算すると発電効率32%で発電した1)発電量の350,000 kWh/dayを上回る。

余剰熱量の利用 ＝ 350,000 kWh/day以上・・・③

①、②、③より、予想される電力削減量は1,260,000 kWh/dayとなり、約石炭火力発電所3基程の節電が可能となる。

（2）CO_2削減量

1）発電、節電によるもの

【電力削減量】×0.571kg-CO_2/kWh ＝ 719,460 kg-CO_2/day

＝ 719 t-CO_2/day・・・①

2）排水処理で発生する汚泥の減少分

従来法排水処理設備の汚泥発生量は、1日当たりのCODcr処理量の20%が汚泥として発生する。発生した汚泥は多くの水を含むため、脱水し、含水率85%程の脱水ケーキとなるため、下記のような量になる。

400,000 kg-CODcr/day×0.2×1/(1-0.85) ＝ 533 t-脱水ケーキ/day

本装置の脱水ケーキ発生量は従来法の1/10である。

そのため、脱水ケーキ量削減によるCO2削減量は下記になる。

533 t-脱水ケーキ/day×0.9×236.4 kg-CO_2/t-脱水ケーキ ＝ 113,401 kg-CO_2/day

＝ 113 t-CO_2/day・・・②

【CO_2削減量】＝ ①+② = 832 t-CO_2/day

火力発電所 CO_2 排出係数 1 kWh/kg-CO_2 とすれば、

832,000 kg-CO_2×1 kWh/kg-CO_2 ＝ 832,000 kWh/day

石炭火力発電所 2 基弱分の CO_2 排出量に匹敵する。

上記のとおり、本申請技術の採用によって、2050 年には

【節電量】1,260,000 kWh/day・・・石炭火力発電所約 3 基程度。

【CO_2削減量】832 t-CO_2/day・・・石炭火力発電所約 2 基分弱程度。

となる。

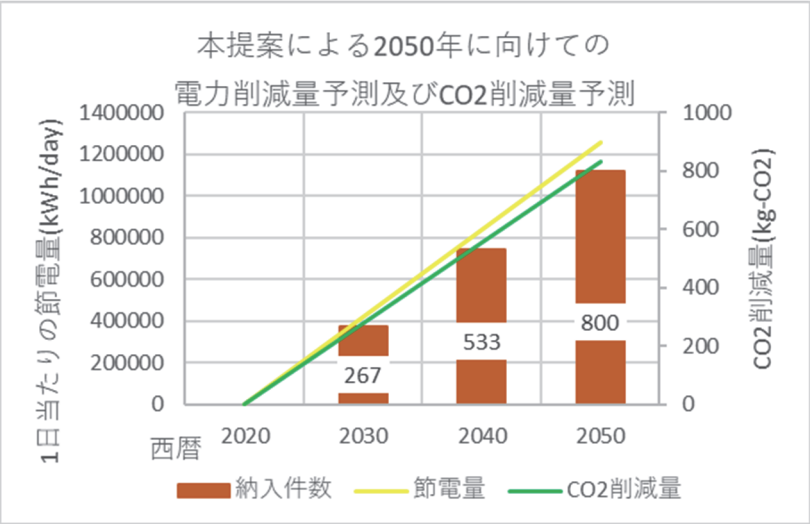


図 13　本提案による 2050 年電力削減量及び CO_2 削減量

— 非　売　品 —
禁無断転載

第 47 回
優秀環境装置

発　行　　2021 年 7 月

発行者　　一般社団法人 日本産業機械工業会
〒105－0011
東京都港区芝公園三丁目５番８号
電話　０３－３４３４－６８２０