

第46回 優秀環境装置

2020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2019年度「第46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。

昨年12月に発生した新型コロナウイルスは、パンデミックを引き起こし、いまだ終息の見通しが立たない状況にある。感染拡大は、生命と暮らしに大きな打撃を与え、広範囲に影響を及ぼす経済危機を引き起こし、様々な社会の不備も浮き彫りにした。

今回のパンデミックは、いつ顕在化するかわからないリスクに対し、常に監視・対応し続けることの重要性を我々に示している。これは地球温暖化などの環境リスクも同様と考える。

この災厄は我々に甚大な被害をもたらしたが、我々が経済を再起動させる中で、労働慣行や社会生活、消費に対する意識の変化は、低炭素で持続可能な未来を実現するためのイノベーションを喚起する、絶好のチャンスであるとも言える。

温室効果ガス排出削減や持続可能な社会を実現するための環境対策には、新たな技術革新が必須であり、ウィズコロナの社会において環境装置の果たす役割は非常に重要なものである。継続して革新的な技術開発が求められていることを改めて認識するものである。

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ます次第であります。

2020年7月

一般社団法人 日本産業機械工業会
会長 斎藤 保

第 46 回優秀環境装置

— 目 次 —

・ 第 46 回優秀環境装置審査報告	1
・ 第 46 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 「下水道の新たな高度処理装置（嫌気・同時硝化脱窒処理）」	5
・ 経済産業省産業技術環境局長賞 「AI・データ分析技術を導入した全自動一般廃棄物焼却装置」	21
・ 中小企業庁長官賞 「窒素（アンモニア）排水処理装置」	27
・ 日本産業機械工業会会長賞（応募申請書受付順） 「パルスジェット型汎用集塵装置（JX シリーズ）」	31
「濁水処理コスト 1/10 を実現した革新的膜処理装置（ECO クリーン）」	39
「ホットナイフ分離法による太陽光パネルの自動解体ライン」	59
「大型浄化槽（KTZ 型）」	67
「縮流吸音型騒音防止装置（リニアサイレンサー®）」	77

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 46 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、2019 年 9 月 9 日から 2019 年 10 月 18 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〔1 件〕、水質汚濁防止装置〔6 件〕、廃棄物処理装置〔2 件〕、騒音・振動防止装置〔1 件〕、土壌・地下水汚染修復装置〔1 件〕、再資源化装置〔3 件〕、その他の環境負荷低減に資する装置〔2 件〕の応募があった。複数の分野にわたる応募もあったことから、件数としては、合計 14 件であった。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 46 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 5 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とも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46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 技術顧問
(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)

高田 修三 経済産業省 製造産業局長
飯田 祐二 経済産業省 産業技術環境局長
前田 泰宏 経済産業省 中小企業庁長官
上田 康治 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
内山 一美 東京都立大学 大学院 都市環境科学研究科 教授
斎藤 保 一般社団法人日本産業機械工業会 会長
田中 信介 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 つくば西事業所 事業所長
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 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 招聘研究員
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 主任研究員
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
三代川洋一郎 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
IoT 技術推進部 主任研究員
庄野 勝彦 一般社団法人日本産業機械工業会 常務理事

第46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＞

「下水道の新たな高度処理装置（嫌気・同時硝化脱窒処理）」 東京都下水道局
東京都下水道サービス(株)
メタウォーター(株)

＜経済産業省産業技術環境局長賞＞

「AI・データ分析技術を導入した全自動一般廃棄物焼却装置」 J F Eエンジニアリング(株)

＜中小企業庁長官賞＞

「窒素（アンモニア）排水処理装置」 (株)オーイーエス

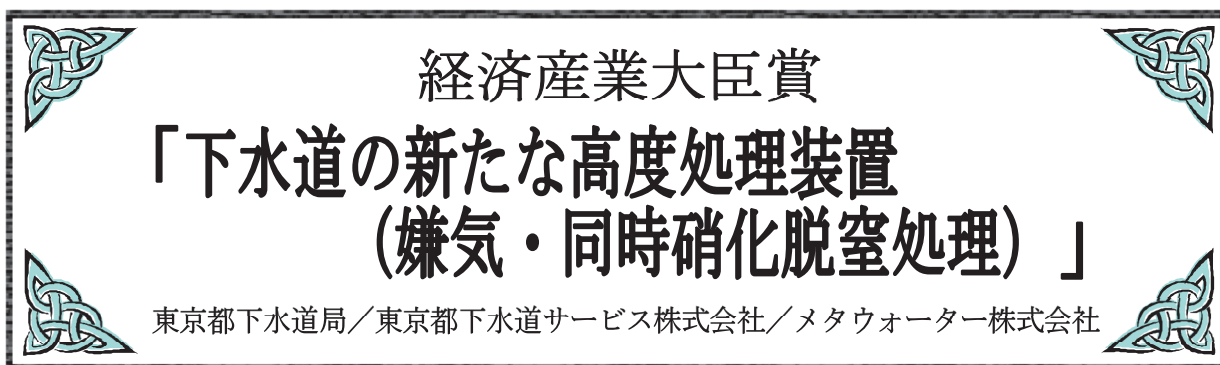
＜日本産業機械工業会会長賞＞ （応募申請書受付順）

「パルスジェット型汎用集塵装置（JX シリーズ）」 新東工業(株)
「濁水処理コスト 1/10 を実現した革新的膜処理装置（ECO クリーン）」 (株)流機エンジニアリング
「ホットナイフ分離法による太陽光パネルの自動解体ライン」 (株)エヌ・ピー・シー
「大型浄化槽（KTZ 型）」 (株)クボタ
「縮流吸音型騒音防止装置（リニアサイレンサー®）」 (株)ササクラ

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	1	1
水質汚濁防止装置	6	4
廃棄物処理装置	2	1
騒音・振動防止装置	1	1
土壌・地下水汚染修復装置	1	0
再資源化装置	3	1
その他環境負荷低減に資する装置	2	0
合 計	14 ^{**}	8

※複数の分野にわたる応募申請が含まれるため合計値は合いません。



1. 装置の詳細説明

本装置は、下水処理水の放流先が閉鎖性水域など水質基準の厳しい場合に、富栄養化の原因となる窒素、リンを除去する高度処理を目的とした装置である。

下水処理分野では、放流先である閉鎖性水域の環境改善を目的として、汚水中の BOD 除去に加えて、富栄養化の原因となる窒素、リンを除去する下水放流水の高度処理化が求められており、国が主導する流域別下水道整備総合計画に基づき、多くの下水処理場では嫌気無酸素好気法（以下、A20 法と記載）の整備計画が策定されている。しかし、高度処理化には膨大な建設コストが掛かり、さらには処理のための電気使用量が増加するといった課題もあることから、2013（平成 25）年時点での高度処理実施率は 41%¹⁾ に留まっている。このような背景から、従来型の高度処理技術に代わる、新たな省エネルギー型高度処理技術の必要性が高まっている。

以下に紹介する新たな高度処理技術＜嫌気・同時硝化脱窒処理＞（以下、本装置と呼ぶ）は、従来の高度処理法である A20 法と比較して電力使用量が少なく処理能力が高いため、水質改善と省エネルギーの両立を図ることができるとともに、既存施設の軽微な改造により低コストで早期に導入することが可能な深槽反応タンク用の革新的な下水高度処理装置である。

(1) 本装置の構成

本装置の構成を図 1 に示す。本装置は、主に以下の 4 つで構成される。

- 1) 深槽反応タンク設備
- 2) 水質センサー（硝酸等を測定する NO_x 計、アンモニアを測定する NH₄ 計）
- 3) 風量演算装置
- 4) 送風設備（ブロワ、送風管、風量調節弁）

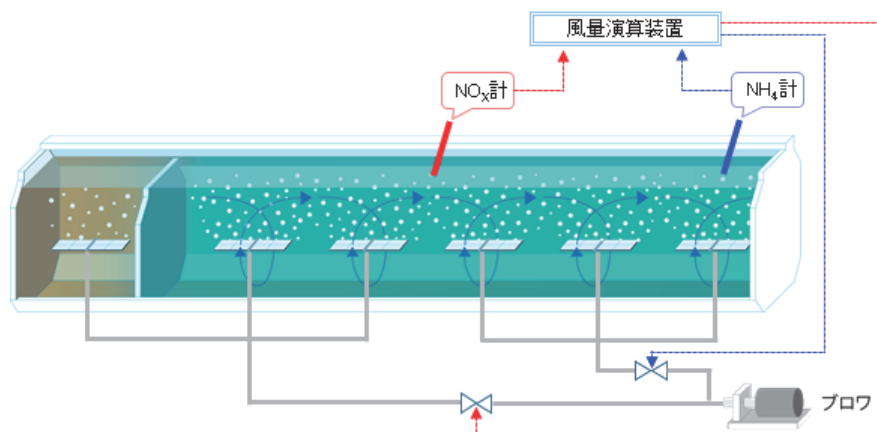


図1 本装置の構成

(2) 処理の原理

汚水処理では水中の汚濁物質を様々な手法により除去するが、下水処理においては活性汚泥と呼ばれる微生物の集合体を利用する方法（以下、活性汚泥法）が一般的であり、高度処理ではBODのほかに、閉鎖性水域の富栄養化原因となる窒素、リンが除去対象となる。

図2に従来の高度処理方式であるA2O法の反応タンクとイメージを示す。リンについては、反応タンク前段に嫌気槽を設け、嫌気好気活性汚泥法と同様の原理で生物学的リン除去を行う。

窒素については、概ね以下の二種類の生物反応によって除去されるが、通常はタンク内に設置される隔壁などによって空間を分割し、それぞれの反応を個別に進行させる。

- 1) 反応タンクと呼ばれる容器内に保持された活性汚泥に対して空気（酸素）を供給し、溶存酸素（以下、DO）の多い環境下でアンモニアを酸化（硝化）する。
- 2) アンモニアの酸化によって生じる硝酸などの窒素化合物は、空気の供給が無く、DOの少ない環境下において還元（脱窒）され、窒素ガスとなり大気中に放出される。

一方、本装置の適用対象である水深10m程度の深槽反応タンクでは、エアレーション装置から出た気泡によって旋回流を作り出し活性汚泥と下水に空気（酸素）を供給することで混合して汚水を処理する。我々は、その旋回流内で硝化反応や有機物の分解などによって酸素が消費されることで、旋回方向にDOの濃度差が生じることを突き止め、深槽反応タンク内に設置される隔壁などで空間を分割することなく、適切な空気量の調整のみにより硝化と脱窒を効率よく進行させる手法を検討した。図3に旋回流中でのDO濃度差発生イメージを示す。

具体的には、2つの水質センサーを活用し、以下の4つの観点から、好氣的処理に必要な最低量の空気を供給する風量制御を行う。

- ① 低DO濃度領域で脱窒可能な量の硝酸を、好気領域（硝化ゾーン）において生成させる
- ② エアレーション装置の下部や反応タンク下部に脱窒可能な低DO濃度領域（脱窒ゾーン）を形成する
- ③ 硝化を常に完了させ硝化細菌の活性と菌数を維持できるようにする
- ④ 脱窒に必要な水素供与体である有機基質を反応タンクの流下方向に可能な限り残存させ、

好気タンク（以下、同時硝化脱窒タンクという）内でより多くの脱窒が起きるようにする

このように硝化と脱窒にそれぞれ適した DO 濃度領域をバランス良く形成することは、従来のような反応タンク全体の送風量を一括制御する方法では困難である。

そこで本装置では、硝化反応と脱窒反応を同時に発生させるため、同時硝化脱窒タンクを前半と後半に分けて、2つの水質センサーにより個別に送風量を制御している。図4に本装置の反応タンクの構成と制御のイメージを示す。

具体的には、有機物濃度が高く脱窒が起こりやすい同時硝化脱窒タンク前半をNOx計により脱窒可能なNOx量を確保するように送風量を制御（①、②）し、後半はアンモニア計により硝化を確実に完了させつつ硝化に必要な最低の風量に制御（③、④）をしている。このようにして深槽反応タンクにおける同時硝化脱窒タンク内で硝化反応と脱窒反応を行うことで、A20法では脱窒のために必要であった無酸素タンクを設置することなく、窒素除去を行うことを可能とした。

また、本装置はA20法で用いる硝化液循環ポンプや、無酸素タンク用攪拌機の設置も不要であるため、A20法に比べて大幅に消費電力を低減することが可能である。

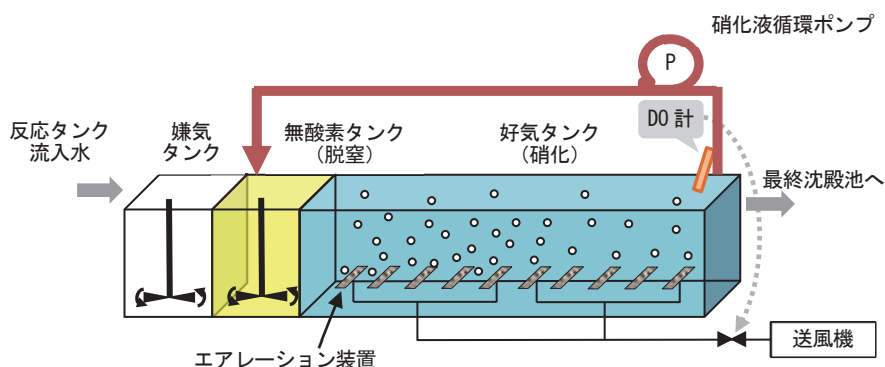


図2 従来技術_嫌気無酸素好気法（A20法）の反応タンク構成と制御のイメージ

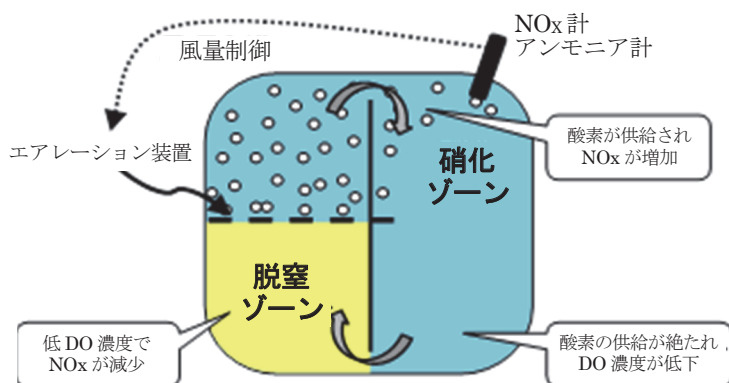


図3 旋回流中でのDO濃度差発生イメージ

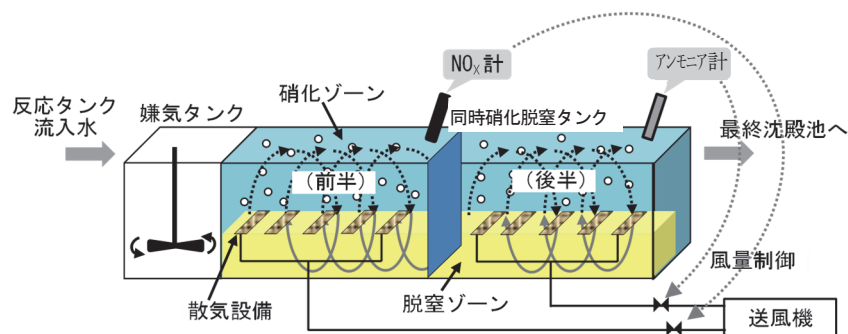


図4 新たな高度処理装置の反応タンクの構成と制御のイメージ

(3) 反応タンクの構造

本装置は、深槽式の同時硝化脱窒タンクを前半と後半に分けて送風量を制御することから、既存の標準活性汚泥法施設を改造して導入する場合は、以下の軽微な改造で済む。

- ・ 反応タンク内にリン除去に必要な嫌気タンクを確保するための仕切り壁を設置
- ・ 同時硝化脱窒タンクを前半と後半に分ける仕切り壁を設置

(4) 水質センサー

本装置では二種類の水質センサーを以下の用途で用いる。

① NO_x 計

同時硝化脱窒タンク前半の出口付近に設置し、硝化と脱窒のバランスを維持するように送風量を制御するために用いる。

② アンモニア計

同時硝化脱窒タンク後半の出口よりも少し上流に設置し、硝化を確実に完了させるとともに硝化に必要な最低の送風量に維持することで脱窒を促すために用いる。

(5) 風量演算装置 (新たな送風量制御手法)

本装置は、送風量の制御に従来の DO 計ではなく NO_x 計とアンモニア計を用いている。これら制御指標は単位送風量あたりの応答性が全く異なるため、制御手法は従来の PID (Proportional - Integral - Derivative) 制御ではなく、将来の状態予測が可能なモデル予測制御を用いる。

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

1) 開発の趣旨

我が国では、下水道施設において使用される電力が国内全体の使用量の約 1%と莫大な量となっている。地球温暖化防止の観点からも下水処理場での省エネルギー対策は重要である。このため、従来型高度処理技術である A2O 法に比べてイニシャル、ランニング双方のコストを低減可能な高度処理技術を開発する。

2) 背景

図5に全体計画で高度処理を位置付けている処理場の現状を示す。国土交通省が、2013（平成25）年1月から11月にかけて3回にわたって実施した高度処理に係る全国アンケート調査によると、全体計画で高度処理を位置付けている処理場は、全国の処理場数2,208箇所（4,192系列）のうち、約27%にあたる593箇所（1,645系列）であった。全体計画で高度処理を位置付けている処理場のうち、約44%の施設では高度処理が導入されていたが、事業計画で位置付けているものの高度処理を導入していない施設が約11%、事業計画に位置付けていない施設が約22%と、必要性が高いにもかかわらず取り組みに至っていない施設が多い。その理由として、耐用年数や費用等の問題から全面的な増改築が当面見込めない処理場が多数あることが挙げられる。

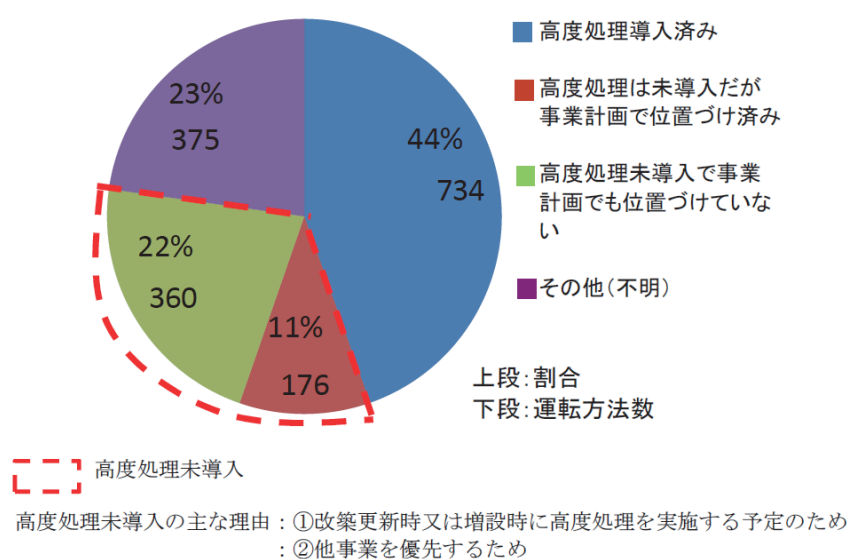


図5 全体計画で高度処理を位置付けている処理場の現状¹⁾

3) 開発の目標

A20法と比較して電力使用量が少なく、かつ処理能力も高く、水質改善と省エネルギーを両立させるとともに、既存施設の軽微な改造により低コストで早期に導入することが可能な装置を開発する。

4) 開発の経緯

2011年11月～2013年9月	簡易提供型共同研究を実施 件名：アンモニア計と硝酸計を組み合わせた曝気空気量の制御技術の開発 開発場所：芝浦水再生センター 本系深槽西系 共同研究先：東京都下水道局、東京都下水道サービス株式会社、メタウォーター株式会社
2013年11月	東京都下水道局技術管理委員会で新たな高度処理法としての要件を満たしていることから、実用化すべき技術として承認

2014年3月	プレス発表 『水質改善と省エネルギーの両立を図る「新たな高度処理技術」を開発しました～東京下水道の新技术～』
2015年4月	第1号機納入
2016年2月	「東京都下水道局経営計画2016」に本技術による高度処理の拡大を提示

(2) 共同開発

本装置は、東京都下水道局、東京都下水道サービス株式会社、メタウォーター株式会社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。

- ・東京都下水道局：
実施の運転手法の研究と改善、効率的な実運転の確立と実施、基礎原理の確立、設計手法開発と標準化
- ・東京都下水道サービス株式会社：
研究計画の立案、調査研究の主導、システム評価
- ・メタウォーター株式会社：
研究計画の立案、研究調査の実施、設備の建設、設計手法開発と標準化

3. 独創性

(1) 旋回流を活用した処理機構の発見

活性汚泥の混合と効率的な酸素供給の手段として、深槽反応タンクで用いられる旋回流に着目し、生物反応による旋回方向のDO挙動を詳細に調査した結果、反応タンク断面方向に生じるDO勾配を利用することで、旋回流に沿って硝化反応と脱窒反応を連続的に生じさせることができることを初めて発見した。

(2) 新たな制御指標の採用

人々の活動によって生じた汚水は下水管によって集められ下水処理場に流入する。このため、下水の量と質は時間とともに大きく変化し、処理に必要な空気の量も変動する。従来は下水処理では、反応タンク内における窒素の処理状況の変化をDO計などによって間接的に把握し、送風量を調整する手法が一般的である。送風量を徐々に増加させるような状況を想定したとき、送風を開始してしばらくは硝化反応に必要な酸素が速やかに消費されるため、酸素は残留せずDOは検出されない。一方で、硝化が進行しない、つまり汚水中のアンモニアが全て酸化された状態では余剰な酸素が生じ、DOとして検出されることになる。処理の安定性の観点から、DOの設定値を1～2mg/L程度に設定し、硝化が確実に進行するように維持する運転が一般的であるが、これは、硝化反応に必要な酸素よりも常に多くの酸素を供給することを意味し、エネルギーの無駄につながる。

一方、本装置では、処理対象となるアンモニアや硝酸といった物質を直接的かつリアルタイムに測定するため、処理状況に応じて常に必要最低限の空気供給を行うことができ、従来に比べて大幅なエネルギーの削減を実現した。

さらには、過剰な空気供給を防止することが、反応タンク内において脱窒反応に適した低DO

領域をより多く確保することにつながるため、結果として窒素除去効率の向上にも寄与する。

(3) 独自の風量制御手法

従来の送風量制御では、管理指標に DO 計を用いており、フィードバック制御の 1 つである PID 制御が用いられることが多く、本装置の制御も当初 PID 制御を検討し NO_x やアンモニア (図中では NH₄-N) の制御を試みたが、図 6 に示すように風量が大きく上下し、また、風量と NH₄-N 濃度の変化に時間のズレが生じた。この現象は、P、I、D それぞれの係数を調整しても解消できなかった。

その理由は、NO_x 計やアンモニア計で硝酸濃度やアンモニア濃度を計測し窒素処理の状況を直接把握して送風量を制御しようとするとき、これらの濃度変化は、微生物による硝化や脱窒といった代謝過程を経て現れるため、送風量を変化させてからその結果が現れるまでの時間(無駄時間や一次遅れ時間)が、DO 濃度に変化が現れるまでの時間よりも長くなるためである。

そこで本装置では、プロセスの動的モデルに基づいて未来の挙動を予測し制御するモデル予測制御 (Model Predictive Control) を送風量制御に用いて NO_x 設定値や NH₄-N 設定値に対する送風量の追従性と安定性を実現することに成功した。^{2) 3)} 図 7 はモデル予測制御時の NH₄-N と送風量の時間変動であり、アンモニア設定値に対する実測値と送風量の変化は、図 6 の PID 制御の結果に比べて極めて安定していることが分かる。

モデル予測制御は未来挙動を予測するフィードフォワード機能をベースに、予測と実測の差異を補正するフィードバック機能を兼ね備えた制御技術である。なお、予測と実測の差異の補正は、12 時間前までに蓄積したデータを参照しながら、類似する状況を再現するように行うが、類似する状況がない場合は、フィードバック機能にて補正を行う。

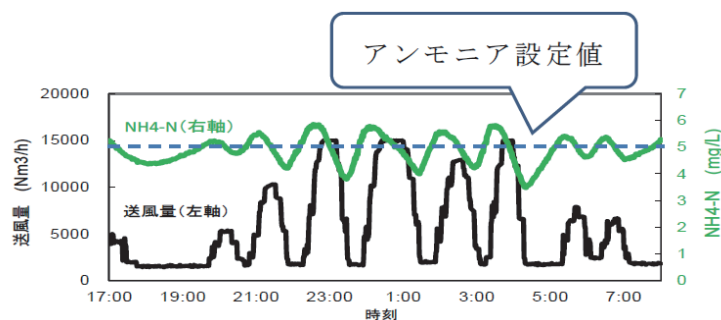


図 6 PID 制御時の NH₄-N 濃度と送風量の時間変動 (2012. 11. 7~8)

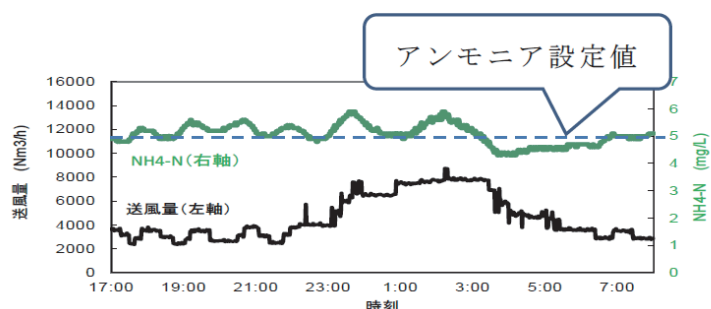


図 7 モデル予測制御時の NH₄-N と送風量の時間変動 (2012. 11. 4~5)

(4) 固定概念を覆す新たな高度処理技術

窒素除去を行う上では硝化反応と脱窒反応を効率よく進めることが重要である。しかしながら、二つの反応は異なる DO 環境を必要とするため、壁を設置して物理的に仕切るか、または時間的に DO の多少を切り替えることにより、双方の反応効率を最大化させることが重要と考えられてきた。また、壁によって反応タンクを仕切る場合、脱窒に必要な有機物が多く存在する流入部付近で脱窒することが効率的なため、下流側で硝化した硝酸などをポンプによって移送（硝化液の循環）する必要がある。さらには、脱窒環境の維持と活性汚泥の混合のために、専用の攪拌機を設置するため、付帯機器が多数必要となり、建設コストや消費電力の増加、維持管理負担の増大につながる。

一方、本装置の開発過程においては、壁による仕切りが無い状態であっても硝化と脱窒を両立できる可能性を見出し、それを具現化する様々な手法を取り入れることで、従来の常識にとられない全く新しい処理技術を確立し、これまで高度処理の普及を妨げていた全ての課題を解決することが可能となった。

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 6022536 号

/ 名称：排水の処理装置、排水の処理方法、および排水の処理システム、並びに制御装置、制御方法、およびプログラム

特許番号：第 5878231 号

/ 名称：排水の処理装置、排水の処理方法、および排水の処理システム、並びに制御装置、制御方法、およびプログラム

特許番号：第 6022537 号

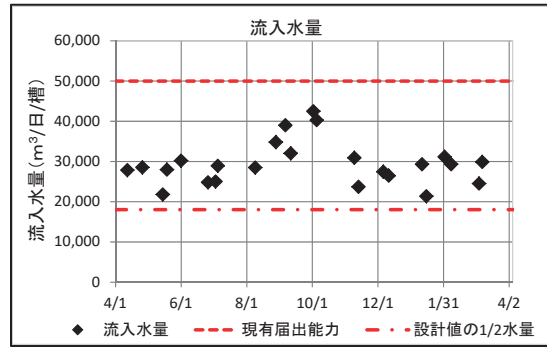
/ 名称：排水の処理装置、排水の処理方法、および排水の処理システム、並びに制御装置、制御方法、およびプログラム

5. 性能

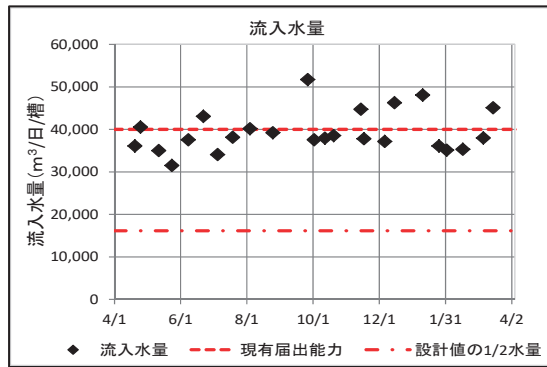
(1) 実施設における処理水質

高度処理に求められる主な水質基準として、水域の富栄養化の原因となる窒素とリンに加え、有機汚濁指標である BOD の 3 つが挙げられ、基準値は窒素（図中では T-N）が 20mg/L 以下、リン（図中では T-P）が 3mg/L 以下、BOD が 15mg/L 以下と定められている。そこで、稼働中の実施設（3センター）における流入水量の変動と処理水中の各指標について調査した結果を図 8～11 に示す。

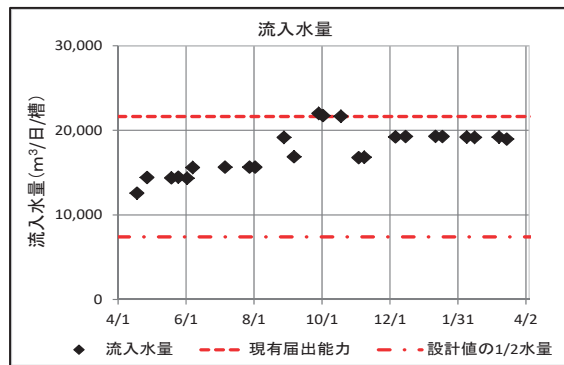
放流水の窒素、リン、BOD のいずれにおいても、年間を通じて常に基準値を満足しており、流入水量の変動に対しても安定的な高度処理が行われていることが分かる。



(ア) A 水再生センター

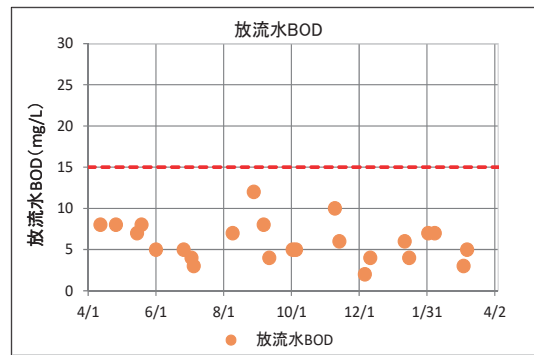
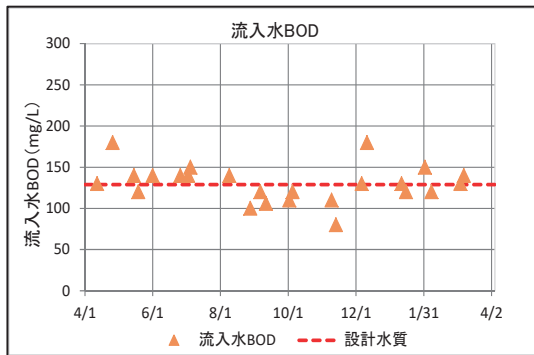


(イ) B 水再生センター

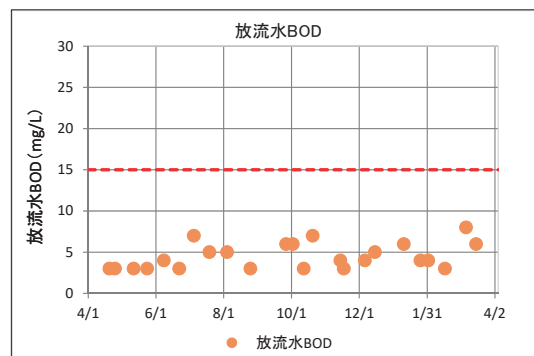
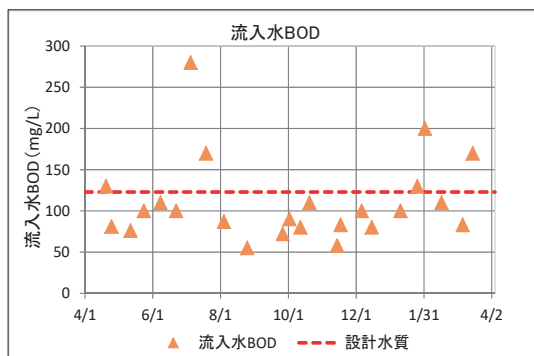


(ウ) C 水再生センター

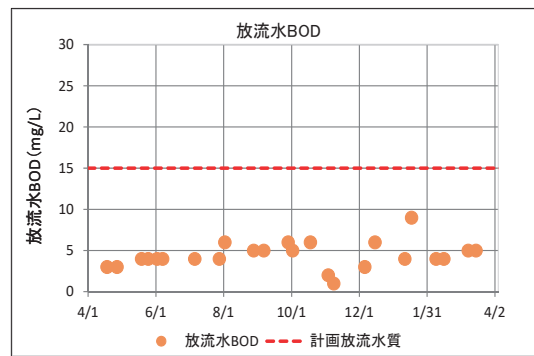
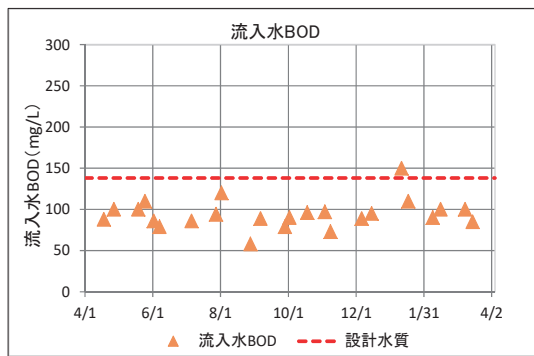
図8 流入水量推移



(ア) A 水再生センター

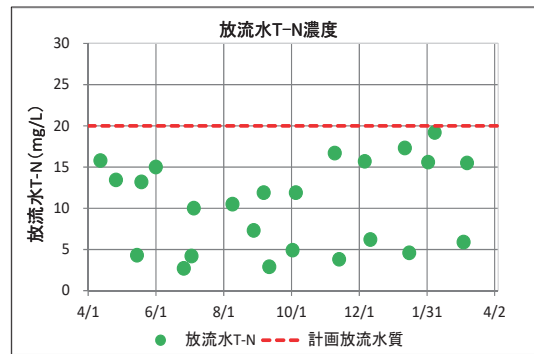
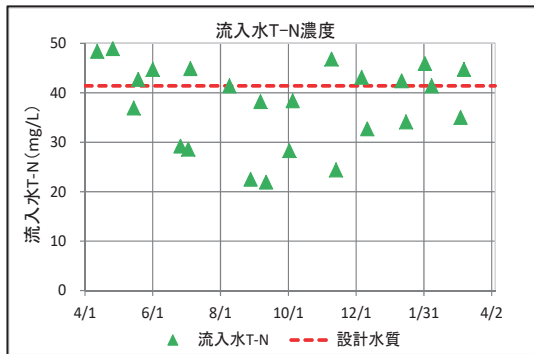


(イ) B 水再生センター

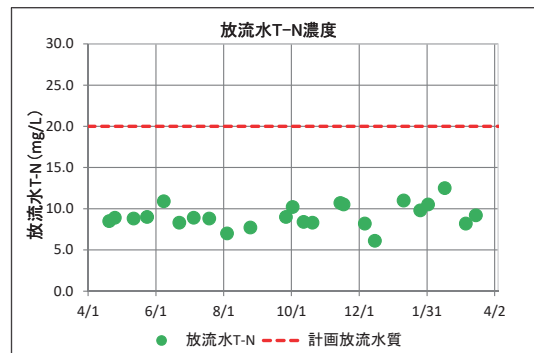
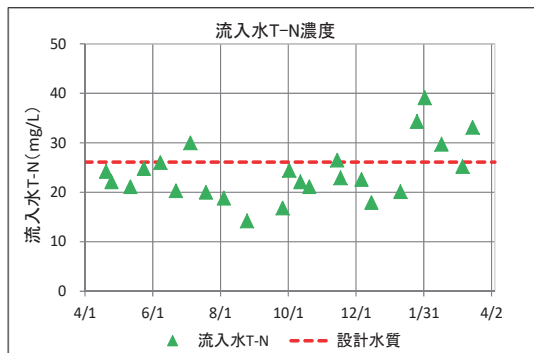


(ウ) C 水再生センター

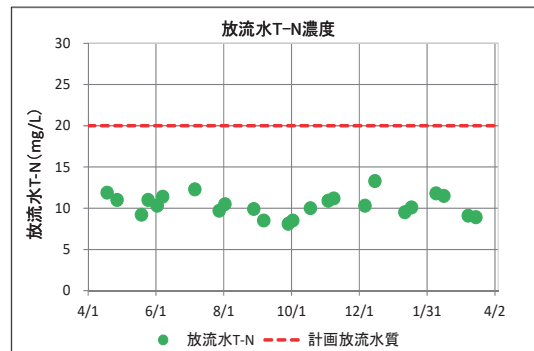
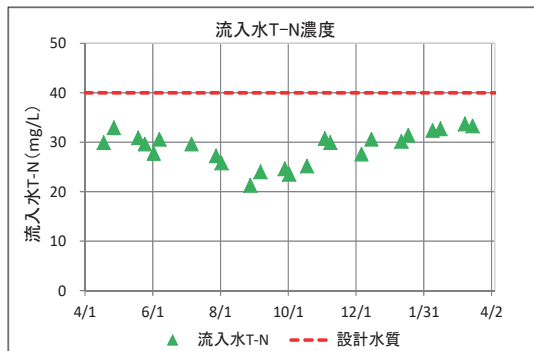
図9 反応タンク流入水と放流水のBOD



(ア) A 水再生センター

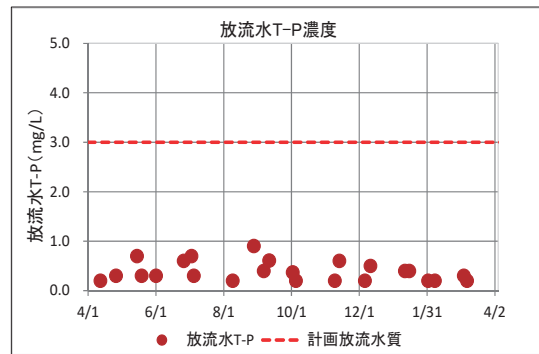
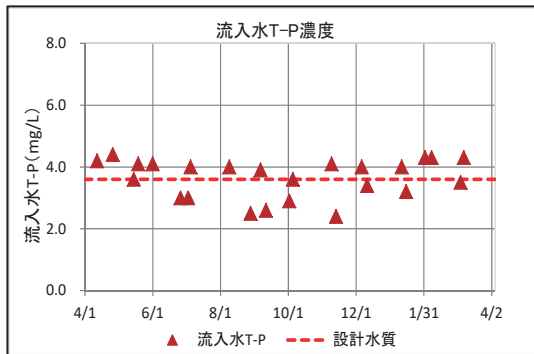


(イ) B 水再生センター

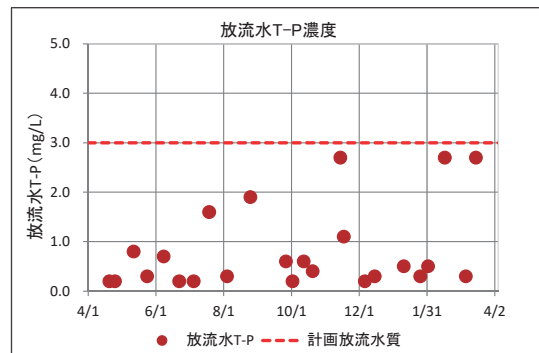
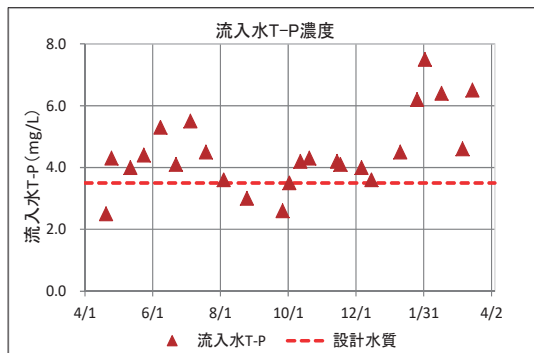


(ウ) C 水再生センター

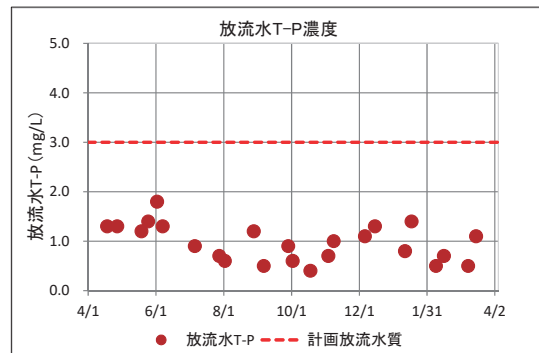
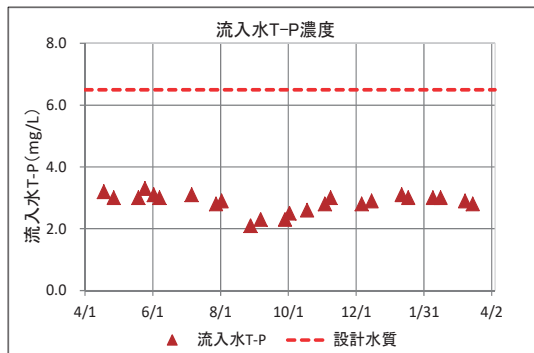
図10 反応タンク流入水と放流水の T-N 濃度



(ア) A 水再生センター



(イ) B 水再生センター



(ウ) C 水再生センター

図 11 反応タンク流入水と放流の水 T-P

(2) 流下方向における窒素処理状況と DO 分布⁴⁾

A 水再生センターにおいて休日に行った調査で得られた DO 濃度分布を図 12 に、無機態窒素の挙動を図 13 に示す。図 12 からエアレーション装置下部や反応タンク下部に低 DO 領域が形成されていること、図 13 から好気タンク前半では硝酸濃度が増加せずにアンモニア、亜硝酸、硝酸の無機態窒素の合計濃度が減少していること、また、後半でも無機態窒素の合計濃度が減少し脱窒が生じていることが確認できる。ただし、反応タンク出口に近づくにつれて硝酸濃度が増加するとともに無機態窒素の濃度減少幅は小さくなり脱窒が弱まっている。これは、脱窒に必要な水素供与体となる有機基質の濃度の減少や酸素消費速度の低下により脱窒に必要な低 DO 領域が減少したことによると考えている。

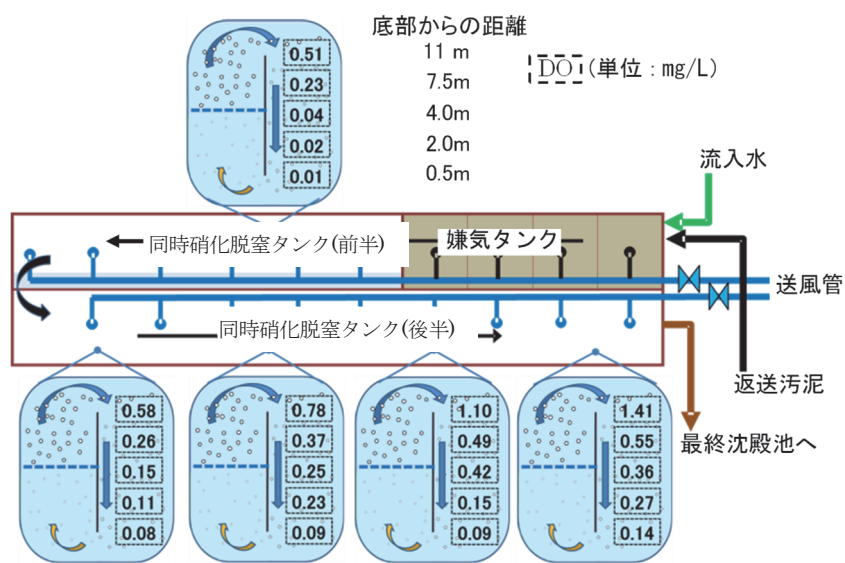
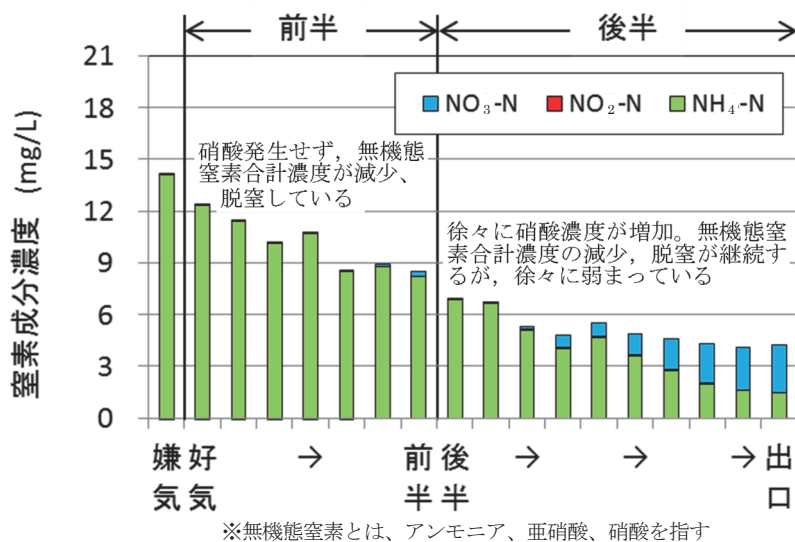


図 12 DO 濃度差の具体例



※無機態窒素とは、アンモニア、亜硝酸、硝酸を指す

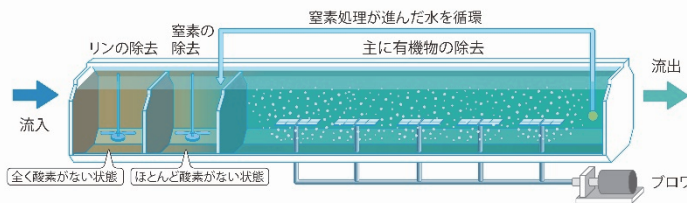
図 13 反応タンク内の無機態窒素^{*}の挙動例

6. 経済性

本装置と従来の高度処理法（A2O法）を、経済性の観点から比較した結果を図14に示す。本装置は従来高度処理法に比べて、電力使用量を2割程度削減可能であり、さらに処理能力が高いことから、例えば高度処理化に伴って土木躯体の増設（新しい反応タンクの設置）などを検討している下水処理場において、躯体の増設を不要とし、建設コストを大幅に削減できる可能性もある。

また、既存施設の軽微な改造により早期に導入することが可能であるため、工事期間の短縮による改造コストの低減や、A2O法で必要となる攪拌機や硝化液循環ポンプといった機器が不要であることから、点検・整備といった維持管理面での負担軽減にもつながり、人的負担の軽減が図れる。

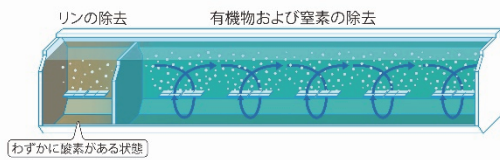
■ 高度処理 (A2O法)



処理水質	電力
窒素:65 リン:40	130

電気代が
約2割削減

新たな高度処理 (嫌気・同時硝化脱窒処理法)



	処理水質	電力
新たな高度処理 (嫌気・同時硝化脱窒処理法)	窒素:65 リン:40	100以下

※出典:東京都下水道局「アースプラン2017」

本法の特徴と従来技術との比較

項目	新たな高度処理装置	嫌気無酸素好気法
処理対象	BOD、窒素、リン	BOD、窒素、リン
反応タンク滞留時間	10.2~15.2時間 ^{※2}	16~20時間 ^{※1}
窒素除去率	60~70%程度	60~70%程度
リン除去率	70~80%程度	70~80%程度
制御に用いる水質計	NOx計、アンモニア計	DO計
無酸素タンク攪拌機	不要	必要

滞留時間（処理に掛かる時間）が短くなることで反応タンクを小さくでき、土木工費が削減できる

攪拌機や循環ポンプが不要になることで、機器設備費、メンテナンス費、動力費（電気代）が削減できる

※1:設計指針に記載の値

※2:本法、嫌気無酸素好気法において容量計算条件にて窒素除去率60~70%を得る値である。

図14 新たな高度処理技術と従来処理技術との比較⁶⁾

7. 将来性

国内の下水道を取り巻く社会情勢や環境は、「経営の合理化」「老朽化」「水質改善」「省エネ化」等の様々な課題を抱えており、各自治体は、これらの課題を同時に複数解決可能な新しい技術を求めている。

特に、高度処理化が義務付けられている下水処理場では、本装置を導入することによって早期に実現可能となり、加えて温暖化防止の観点から省エネルギー化が求められている多くの下水処理場に対しても非常に有効な技術である。

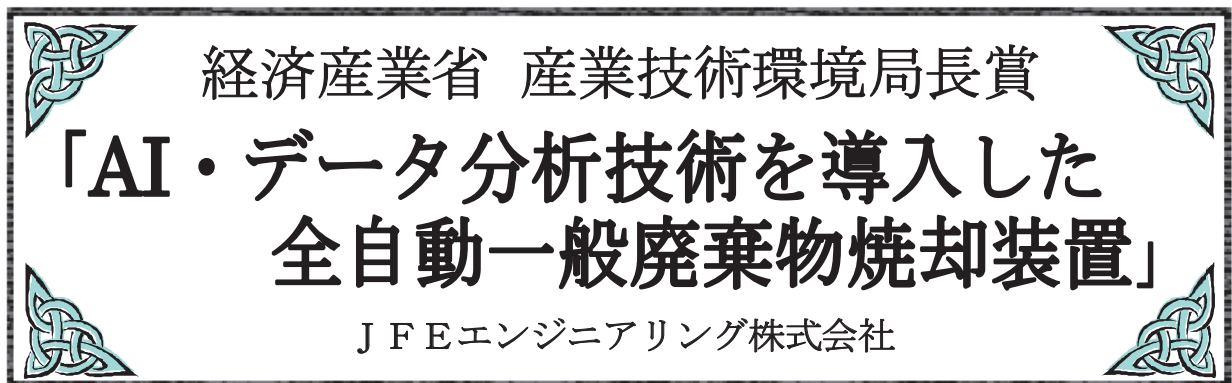
海外においても、北米・欧州地域では、国内の下水道環境と同様に、施設の老朽化や財源不足の問題を抱えており、本技術の需要は高いと想定している。特に、五大湖地域などの閉鎖性水域や、各国で上乘せ基準を設けている欧州では高度処理化ニーズが高い。

また、今後水質改善が求められる後進国など、下水処理場の整備を進めている各国に対しても需要が見込まれる。

これらのことから本装置の適用範囲は多岐にわたり、地球全体の水インフラ環境の保全への貢献に加えて地球温暖化対策に寄与することが期待される。

参考文献

- 1) 既存施設を活用した段階的処理の普及ガイドライン（案）
- 2) 高橋宏幸、草野吏、古屋勇治、2012、曝気空気量制御における高度制御技術の適用とその効果の検証、第49回下水道研究発表会講演集、pp. 1108-1110
- 3) 中村高士、葛西孝司、曾根啓一、鈴木重浩、高橋宏幸、2016、アンモニア計と硝酸計を用いた同時硝化脱窒処理技術の開発、環境システム計測制御学会誌、21（2, 3）、p21-25
- 4) 葛西孝司、曾根啓一、鈴木重浩、高橋宏幸、黒住光浩、坂根良平、2015、好気タンク内の脱窒を利用した新たな高度処理技術（同時硝化脱窒処理）の開発、日本下水道協会誌、Vol. 52、NO. 635、p114-122
- 5) 葛西孝司、池田広数、渡瀬誠司、松下勝一：「制限曝気A20法による水質改善効果および処理コストの比較」東京都下水道局技術調査年報2010 p. 139-150
- 6) 東京都ホームページ



1. 装置の詳細説明

本装置は、AI、データ分析技術を活用することにより、運転員が行う手動介入操作と同等の操作を自動的に実施する機能を備えたストーカ式の廃棄物焼却装置である。

一般的なストーカ式焼却炉には、自動燃焼制御装置 (Auto Combustion Controller: 以下 ACC) が適用されており、通常は ACC により安定した燃焼状態が保たれている。しかし、大きさ・形状・材質等が様々なごみが投入される焼却炉では、ごみ質の変動に対して、ACC では安定した燃焼状態を維持できず、運転員が常時燃焼状態を監視し、燃焼安定化のために介入操作 (以下、手動介入操作) を行う必要があった。

「AI・データ分析技術を導入した全自動一般廃棄物焼却装置」(以下、新型装置) は、複数のプロセスデータとごみの燃焼状態から、手動介入操作の内容をプログラム化した「自動運転システム」を従来の ACC と組み合わせて燃焼制御をする廃棄物焼却装置である。新型装置では、焼却炉の全自動運転が可能であり、手動介入操作が不要となった。図 1 に新型装置の燃焼制御イメージを、図 2 に燃焼制御の概要図を示す。

新型装置における自動運転システムの制御対象は以下の 4 項目であり、制御対象毎に動作条件を設定している。

- ・ 給じん速度 (ごみの供給量)
- ・ 火格子速度 (ごみの供給量、ごみの燃焼位置)
- ・ 一次空気流量 (ごみ燃焼用の空気量)
- ・ 二次空気流量 (燃焼管理温度調整用の空気量)

新型装置では、AI 技術を活用し、燃焼状態の良否を運転員の考えに近い形で数値化できる AI 燃焼画像解析システムを導入している。この画像データとプロセスデータを組み合わせた結果を基に、燃焼状態を見て運転員が行う介入操作を、全自動で代替できる。

従来装置では、運転員が各々の経験に基づき手動介入操作をするため、判断基準にばらつきがあり、操作の遅れ等もあった。一方、新型装置では、一定の動作条件で確実に自動介入操作が実施されるため、燃焼の安定性が向上する。これにより、以下の効果が実現できている。

- ・ 発電電力量の向上。
- ・ 燃焼管理温度低下時に増加する CO 濃度の低減。
- ・ 燃焼管理温度上昇時に増加する NOx 濃度を低減させる薬剤として噴霧する、アンモニアガス消費量の削減。

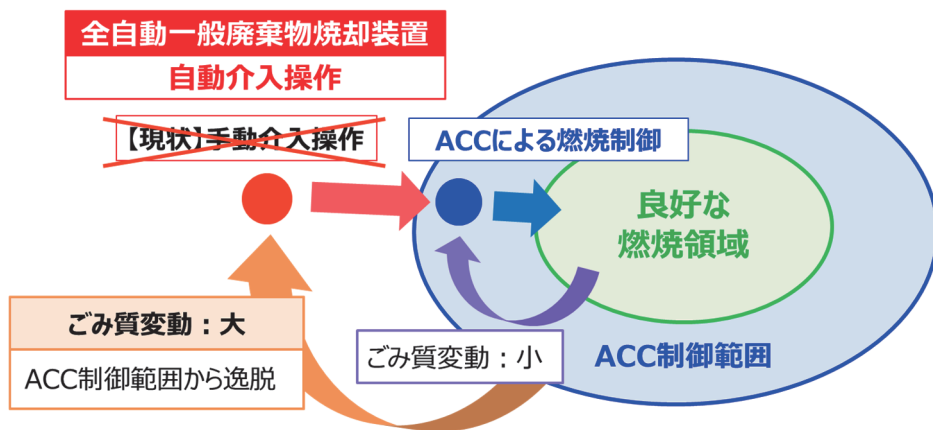


図1 AI・データ分析技術を導入した全自動一般廃棄物焼却装置による燃焼制御イメージ

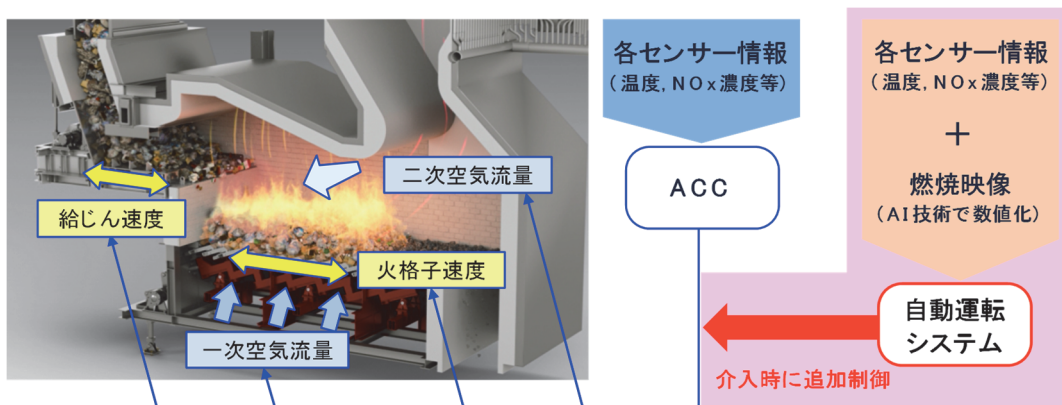


図2 AI・データ分析技術を導入した全自動一般廃棄物焼却装置の概要

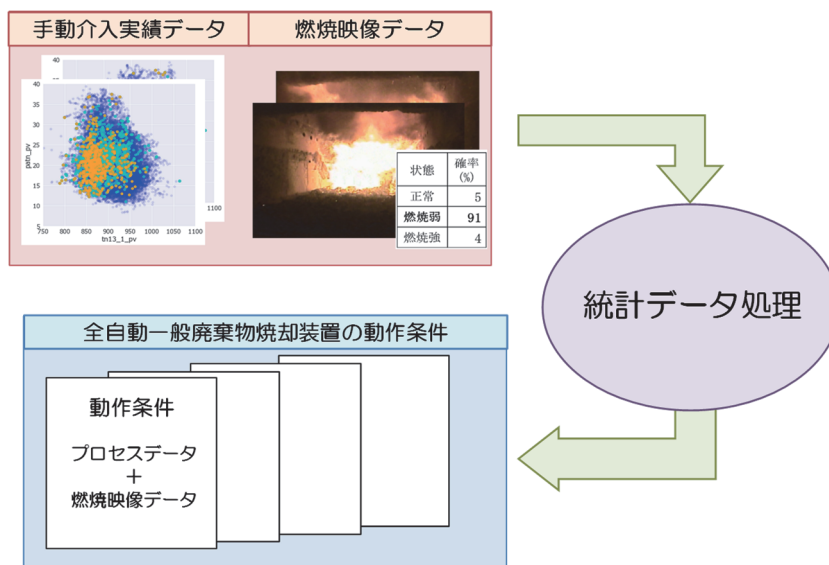


図3 全自動一般廃棄物焼却装置の動作条件算出イメージ

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

- ・開発の主旨：一般廃棄物処理施設のストーカ式焼却炉において、介入操作を自動化し、安定した燃焼状態の維持と環境負荷の低減を両立する。
- ・開発の目標：ストーカ式焼却炉において、新型装置が安定した燃焼状態を自動で維持する（介入操作回数ゼロでの運転）。

2014年～ 複数の運営施設で焼却炉運転データを収集・分析実施（現在も継続中）。

2016～18年度 AI 燃焼画像解析システムの開発と自動運転プログラムを搭載する新型焼却装置を1号機に向けて実証。

2018年10月 第1号機の運転開始。調整運転の後、性能を確認。

2019年4月～ 第1号機の実運用開始。

(2) 技術導入

AI 画像解析技術を活用し、燃焼状態を数値化する燃焼画像解析システムを構築した。本AI 機能では、入力された燃焼画像を、分類器に入力し、その燃焼画像がどの分類にどの程度の確率を有するかを判定して数値化する。この分類器は、過去の燃焼画像で学習し精度を高めることで運転員と同様な判断ができる。図4、図5に燃焼画像解析システムによる数値化の例を示す。

a) 燃焼状態が正常の場合（“正常” 確率90%）



- ・燃焼映像は1分毎にクラウドサーバへ保存される。
- ・保存された画像に対し、右記の数値化を実施する。

- ・燃焼映像の数値化（確率の形で数値化）
⇒ 燃切点の位置や、火炎の大小等で燃焼状態の安定性を数値化している
⇒ “正常” 以外の確率が高い場合は不安定な燃焼状態と判断する

図4 燃焼画像システムによる数値化例（正常な場合）

b) 燃焼状態が不安定な場合（“火炎前” [激しく燃焼している状態] 確率87%）



図5 燃焼画像システムによる数値化例（燃焼状態が不安定な場合）

この燃焼状態の数値化データは、関連するプロセスデータと組み合わせて、主として給じん装置と火格子の速度調整をしている。

3. 独創性

前述のとおり、ごみ焼却炉ではごみ質の急激な変動によって、図1に示す“ACC制御範囲”を逸脱することがあるため、安定した燃焼状態を維持するために手動介入操作が必要であった。手動介入操作実績データの分析により、“ACC制御範囲”を実質的に数値化することができ、これを自動運転システムの動作条件へ応用することで、新型装置では全自動運転が可能となった。

新型装置では、運転員と同様にプロセスデータ及び燃焼映像を組み合わせる形で、動作条件及び制御内容を定量化している。本取組みは、ストーカ式焼却炉の燃焼制御において、ほかに例が無い。

燃焼状態が悪化した場合の各装置の介入操作は、一定の動作条件で確実に自動操作が実施されるため、燃焼安定性が向上する。これにより、発電量の増加や薬剤使用量の低減が実現された。また、図6に示すように、燃焼管理温度の分布面積が20%低減されている。特に、燃焼管理温度の低下が抑制されたことからCO発生抑制とともにダイオキシンの発生リスクも低下していることを確認できる。

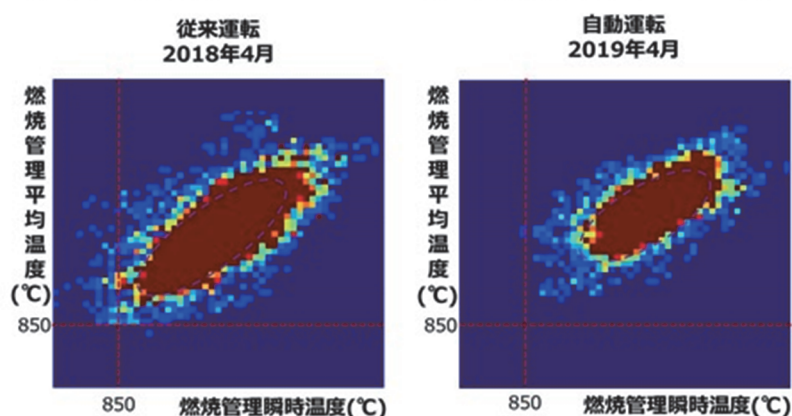


図6 燃焼管理温度の分布（新潟市新田清掃センター）

4. 特許の有無

次のとおり、特許を1件出願中。

出願番号：特願 2019-123411 / 名称：自動燃焼制御方法および自動燃焼制御装置

5. 性能

表1に、第1号機である新潟市新田清掃センターにおける、従来装置と新型装置の1か月間の運転結果及び新型装置の環境負荷低減効果を示す。新型装置は従来装置と比べ、発電電力量4%向上、CO濃度約52%低減、NOx濃度を管理する薬剤であるアンモニアガスの噴霧量が約30%減少を実現した。なお、下記データは監視制御装置（DCS）で作成している運転帳票のデータである。

このように新型装置は、焼却炉の安定した自動運転と環境負荷低減の両立が可能である。

表1 従来装置と新型装置の1か月間の運転結果及び新型装置の環境負荷低減効果

	従来装置 (2018年7月)	新型装置 (2019年7月)	環境負荷低減効果
煙突CO濃度 (1か月の平均値 ^{※1})	2.7 ppm	1.3 ppm	約52%低減
煙突NOx濃度 (1か月の平均値 ^{※1})	41.4 ppm	41.3 ppm	— ^{※2}
アンモニアガス使用量 (1か月の積算値)	266Nm ³	185Nm ³	約30%低減
	従来装置 (2018年)	新型装置 (2019年)	環境負荷低減効果
ごみ1tあたりの 発電電力量 (1年の平均値)	482.7 kW/t	503.4 kW/t	約4%向上

※1：1時間毎の平均値より算出

※2：煙突NOx濃度はアンモニアガスの噴霧量で制御しているため大きな低減は無く、参考値。アンモニアガス使用量の削減により環境負荷が低減される。

6. 経済性

表2に、従来装置と新型装置の経済性比較を示す。新型装置では、前章で整理した環境負荷低減効果に加えて、運転員による燃焼の監視や手動介入操作が不要となるため、人件費も削減できる。また、燃焼改善操作の品質が向上することや、燃焼管理温度が安定化することで熱変動が小さくなるため、焼却炉ボイラでの蒸発量の発生が安定するとともに、焼却炉の耐火物の劣化も中長期的に抑えられ、修繕費用の低減が見込める。

表2 従来装置と新型装置の経済性比較

	従来装置	新型装置
イニシャルコスト	100	105
装置費用	100	110
設置費用	100	100
ランニングコスト	100	70
人件費	100	60
修繕費	100	80
薬剤費	100	80
システム維持費	100	110
売電電力	100	104
総合 [※]	100	70

※運営期間全体でイニシャルコストとランニングコストを総合的に評価

年間ランニングコストを 30%削減できる効果のみでも、イニシャルコストの増加分を 2 年で回収できる見込みである。

7. 将来性

新型装置は、ストーカ式焼却炉の手動介入操作を自動化する機能を有する「自動運転システム」を組み合わせることにより、ストーカ式焼却炉の全自動運転を可能とするものである。このため、ACC の制御方式を変更することなく本装置を追加することができる。

今後、当社が新規に建設する施設への適用にとどまらず、当社が建設した既存で稼働している焼却炉にも本装置の機能を付加できる。さらに、ACC は各社が独自の装置を有しているが手動介入操作による燃焼安定化は必須であること、手動介入操作を代替する自動運転システムは ACC から独立していることから、新型装置は自社が建設した焼却炉以外にも軽微な変更で適用可能と思われる。

以上から、新型装置は、国内外問わず、ACC を有するストーカ式焼却炉へ広く適用できると考えている。

中小企業庁長官賞 「窒素（アンモニア）排水処理装置」 株式会社オーイーエス

1. 装置の詳細説明

本装置は、半導体・電子部品などの製造工場で発生する高濃度アンモニア排水を処理する装置である。

本装置は、放散塔と触媒燃焼装置からなる。放散塔に供給されたアンモニア排水は、温風によってアンモニアガスとして分離される。分離されたアンモニアガスは触媒燃焼により無害化される ($4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$)。

なお、従来装置では放散塔内での分離において水蒸気を必要としていたが、本装置では独自に開発した触媒により高濃度のアンモニアガス（最大濃度 1.8%）が処理可能なため、触媒燃焼により発生した分解熱を容易に回収でき、その分解熱を温風として利用することによって加熱にエネルギーを必要としない完全スチームレス化を達成している。

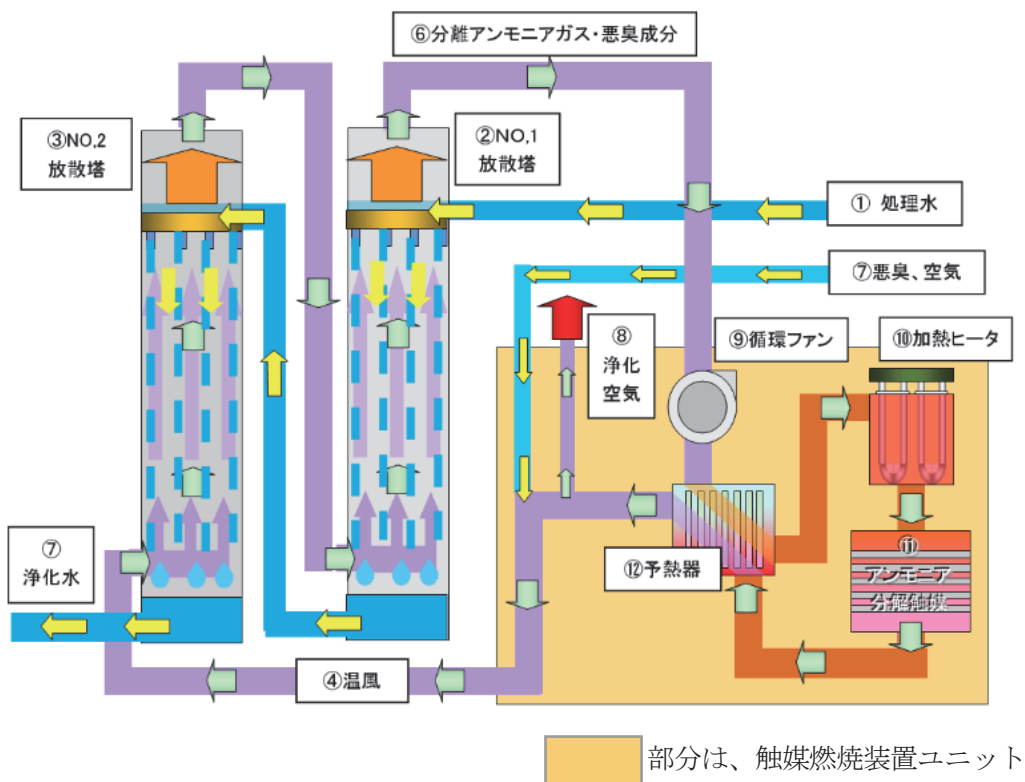


図 1 装置概略図

(1) 無害化処理の流れ

- 1) ①処理水（アンモニア排水；悪臭排水）を②放散塔に供給する。
- 2) ④温風を放散塔内に吹き込む。温風と排液との接触により、アンモニアは、⑥アンモニアガスとして分離する。
- 3) ⑥分離されたアンモニアガスは、⑫予熱器により、加熱される。
- 4) ⑥アンモニアガスを⑩加熱ヒータにより、適正な温度（350℃前後）にコントロールする。
- 5) 加熱されたアンモニアガスは、当社で開発を行ったアンモニア分解触媒により窒素 N_2 と水（水蒸気）へと無害化変換される（ $4NH_3+3O_2\rightarrow 2N_2+6H_2O$ ）。一般の燃焼装置では酸素との反応（ $NH_3+O_2\rightarrow NO_x$ ）で大量発生する窒素酸化物（ NO_x ）が殆ど生成しない。
- 6) 窒素に変換された排気ガスから、⑫予熱器により熱回収を行う。予熱器の熱回収により新たな処理ガスは加温されるため、加熱エネルギーをほとんど必要としない。
- 7) 熱回収を行った浄化ガスの一部（10%）を大気に⑧放出する。その他の浄化ガス（90%）は、新鮮な空気10%を取り入れアンモニア排水中からアンモニア分離する④温風として再使用する。

以上のシステムにより、アンモニア分解熱をエネルギー源に用いることで加熱エネルギーを消費せずアンモニア・悪臭排水を無害化変換する。処理水アンモニア濃度を30ppm以下に低減することができ、顧客の要望により設定・設計する。

2. 開発経緯

2002年より、アンモニア排水を水蒸気での分離・触媒分解装置を製造・販売していたが、世界的な CO_2 の削減気運を背景に、重油などから製造される水蒸気を使用しないシステムへの強いニーズがあり開発を開始した。

2013年	市場からのより一層の省エネ要請に基づき市場調査を開始 強いスチームレス要請に基づき自社でスチームレス化装置の基礎研究開始
2014年	スチームレス装置の試作機作成に着手
2016年	試作機完成 データ取り、問題点の改善作業開始
2018年	実機ベースの試験機完成 第1号機納入

3. 独創性

類似装置は大量の水蒸気を消費し放散塔内でアンモニア分離を行う方式だが、本装置はアンモニア分解時に発生した分解熱を利用することにより水蒸気の不使用を実現しており、ランニングコストにおいて1/10以下での処理が可能となっている。

また、類似装置の触媒ではアンモニア濃度1%を超えるガスを分解できないが、本装置では1.8%まで分解が可能な高性能触媒を開発した。これにより世界最高性能を確保している。

以上により、高濃度でのアンモニア処理が可能なことから分解熱が容易に回収でき、その分解熱を利用することで加熱にエネルギーを必要としない完全スチームレス化を達成している。

なお、完全スチームレス化により装置の小型化も実現しており、類似装置と比較して約1/2

のスケールで同量のアンモニアの分解処理が可能となった。

装置開発は全て当社の岐阜県垂井試験場で行っており、100%オリジナル製品である。放散塔の内部や排ガス処理装置の部品の一つまで省エネルギー化を目的に独自技術で開発設計を行い、実機ベースのスケールモデルを作製し、徹底した省エネ、高効率試験を繰り返し行った。

触媒についても自社で製造・研究開発を行っており、1.8%の高濃度のNH₃でも分解しN₂へ無公害変換が可能な高性能環境触媒は当社独自の技術として日々進化している。

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6189568号

／ 名称：アンモニア含有排水処理装置および該処理装置を用いたアンモニア含有排水の処理方法

5. 性能

温風を効率よく処理水と接触させることにより99%以上の浄化を行え、1.8%の高濃度にも十分対応できる。通常は処理水N濃度を30ppm以下としているが、5ppm以下にすることも可能であり、顧客ニーズに合わせた除去率を提案・設計している。

分離された高濃度アンモニアガスは、100%分解され大気放出される（当装置排ガスNH₃測定濃度0ppm）。

表1 触媒性能比較表

		類似装置	本装置
触媒性能	NH ₃ 最高処理濃度	10,000ppm	18,000ppm
	NH ₃ 分解温度	350℃	350℃
	最高使用温度	450℃	550℃
	空間速度 Sv. ※	5,000h ⁻¹	12,000h ⁻¹

※空間速度=処理ガス量(Nm³/h) / 媒体(触媒)量(m³)で表され数値が大きいほど、性能が良いとされる。

6. 経済性

触媒分解反応熱をエネルギーとして回収し、アンモニア分離・浄化に用いているため高い省エネルギー性能を実現した。また、管理も非常に容易で特に日々の管理を必要とせず、メンテナンス性にも優れている。高効率を追求し、装置の小型化にも取り組み、小設置面積のシステム化を達成したことで場所を選ばず設置が容易に行える。

表2 消費エネルギー（数値は計算値）

エネルギー消費 (6t/Hr)	類似装置	本装置
消費水蒸気量	1,000kg/Hr	0kg
消費電気量	50kWh	30kWh

表3 経済性比較（類似装置を100とする）

	類似装置	本装置
イニシャルコスト	100	60
装置サイズ	100	60
ランニングコスト	100	10
メンテナンス性*	100	50

※メンテナンス性について

本装置は、放散塔内での分離性能を高めている。放散塔を2塔化することにより放散塔の塔高は従来比で約1/2以下を達成しており、10mを超えるような高所作業を必要としないため、容易に放散塔内部洗浄をできる構造にしている。

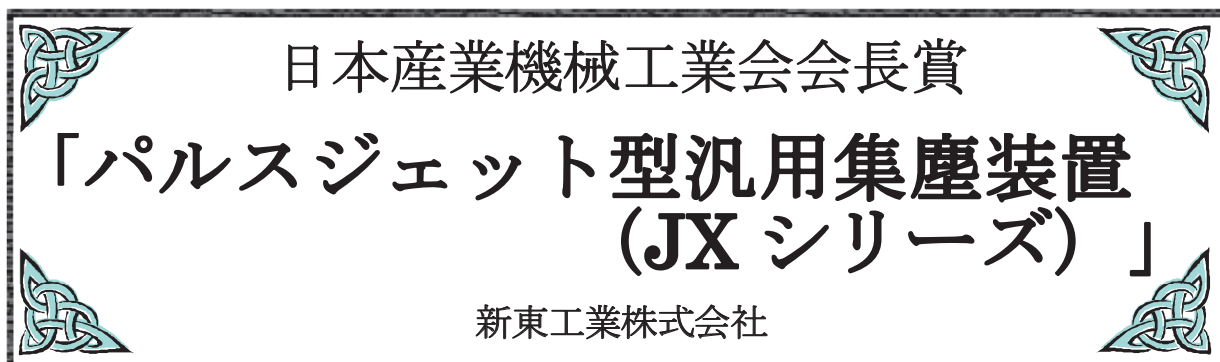
アンモニア分解装置は、小型ユニット化することにより全て手が届く所に配置し、容易に点検整備が行える。

また、触媒交換は、通常7～8名で3日程度の時間を要するが本装置では、小型カートリッジ化し、2名×4時間で交換が可能。

7. 将来性

現在は、半導体・電子部品メーカーへの展開が中心で1年に1基程度の納入体制となっている。化学品、食料品、バイオマス発電排水処理などからの引き合いも多いが体制不十分で対応しきれず他業種へは展開できていない。今後は、基礎研究を進め、早急に販売体制を整えることにより他業種へ積極的に展開したい。

また、排水規制は、世界中で進んでおり、発展途上国をはじめニーズは強まる傾向にある。独立行政法人日本貿易振興機構(JETRO)、公益財団法人国際環境技術移転センター(ICETT)をはじめ公共機関を通しての問い合わせも出始めており、ニーズは広がりを見せている。



1. 装置の詳細説明

本装置は、生産現場などで発生する粉じんを含む空気をフィルタでろ過することにより清浄化する集塵装置であり、圧縮空気を瞬間的に噴射することでフィルタに堆積した粉じんを払い落とすパルスジェット機能を有している。

(1) パルスジェット型集塵装置の構造について

集塵装置に搭載される一般的なパルスジェット型払落し装置の構造を下記に示す。

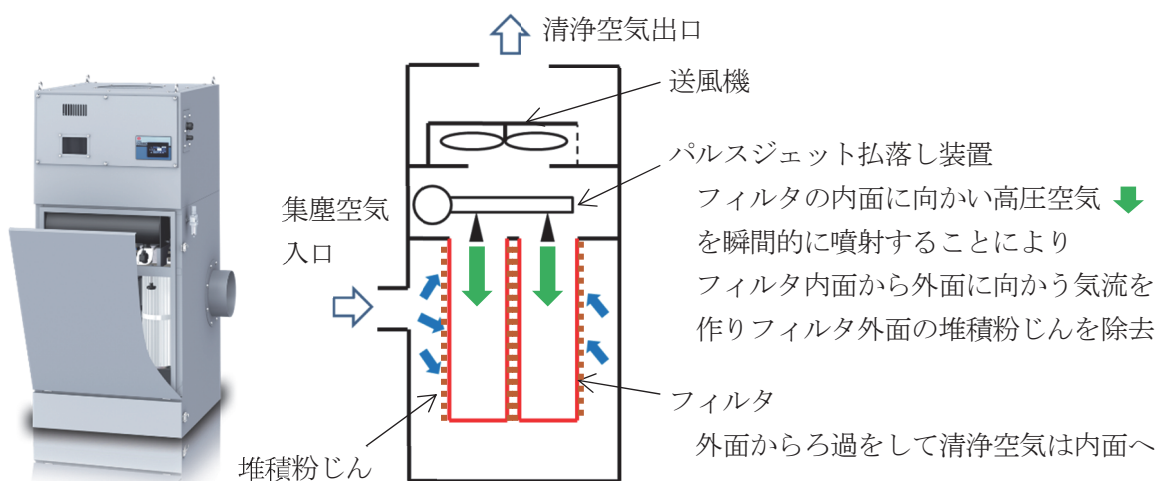


図1 一般的なパルスジェット型集塵機の構造

(2) 従来技術の問題点

フィルタの上部に設置されているノズル (A) から圧縮エアを瞬間的に噴射させ、そのエアと二次的に巻き込まれる周囲空気の効果によって、フィルタ表面に堆積した粉じんをフィルタ表面から離脱させ除去するというしくみであるが、構造上どうしても、噴射部からのエアはその慣性力によってフィルタのボトム部分 (B) に偏って導かれるため、この部分に払落しの効果が偏り、他の部分、特にトップ部分 (C) 付近に十分な効果を与えることが困難になる。従来はこの問題を解決するため、内部に干渉部品などを設けその問題の緩和させることもされていたが、その効果は十分ではなく、また、干渉物によって払落しのエネルギーが失われてしまう問題もあった。

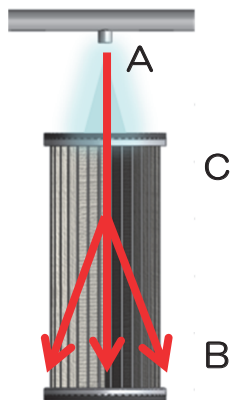


図2 従来型集塵機の払落し効果のイメージ

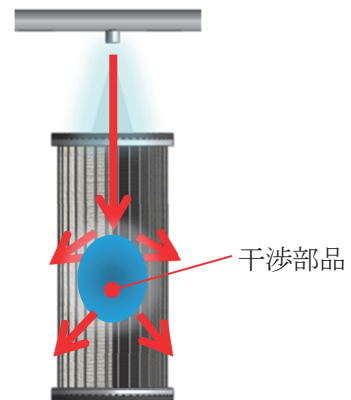


図3 従来型集塵機の払落し効果の偏りへの対策例

従来技術の場合、使用時間の経過とともにフィルタ上部には除去しきれなかった粉じんの堆積が徐々に進行するため、有効に機能するフィルタのろ過面積が減少していくことになる。その結果フィルタ抵抗（圧力損失）が上昇してしまうことがあった。

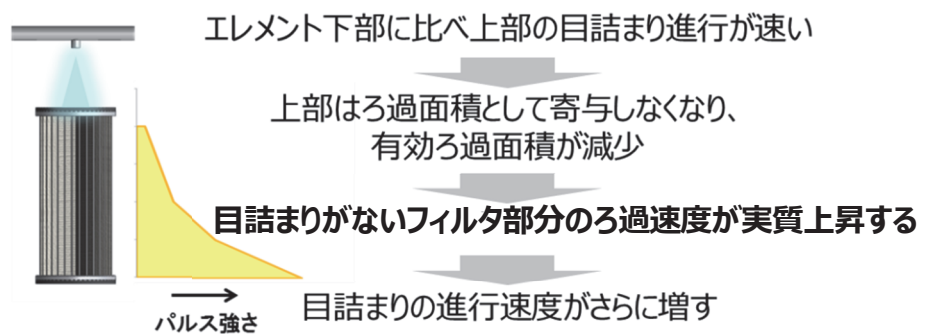
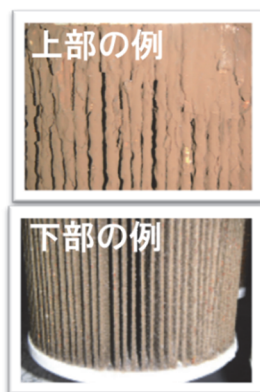


図4 従来パルスジェットの問題点

(3) 本装置の解決策

前述の問題を解決するために「対向パルスジェットシステム」を開発した。この方式では、対向する方向からパルスジェットを噴射させ、衝突をさせることでその部分の払落し効果を高めることができる。

それぞれのパルスジェットエアを任意のタイミング・時間で噴射する制御をすることによって、任意の場所で衝突させることを実現できる。このことによって、払落し効果を高める部分を任意にコントロールできるため、その衝突位置を変化させることによってフィルタ全域の粉じんの払落しを可能にした。

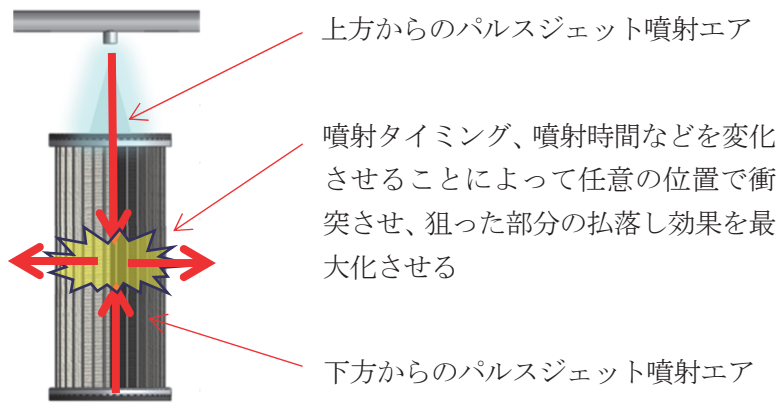


図5 対向パルスジェットシステム概要



図6 JXM型装置外観写真

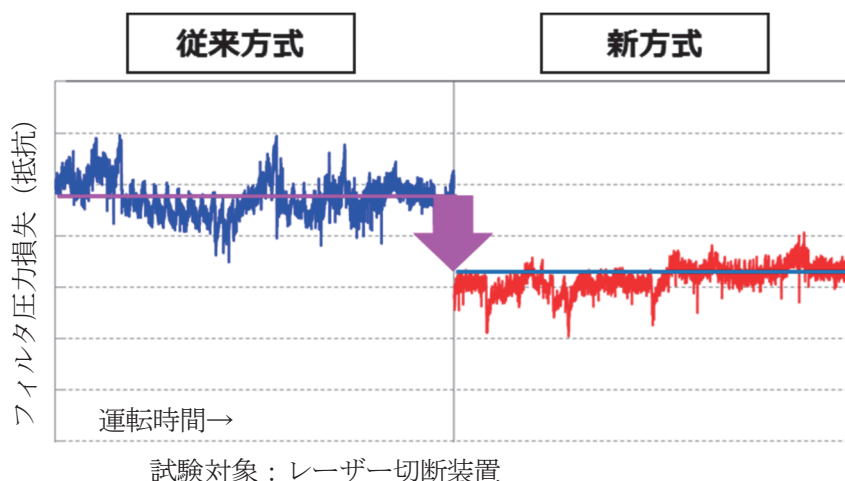


図7 従来方式と新方式とのフィルタ抵抗試験結果例

2. 開発経緯

(1) 開発の背景、目的

従来からパルスジェット型の集塵機は幅広いユーザ、用途に使われているが、フィルタの目詰まりによる吸引力の低下、あるいはその清掃や交換頻度が増加するなどの課題があった。特に、近年の加工装置の技術革新は著しく高性能化しており、その結果として加工装置から発生する粉じん量は増加の一途をたどっている。このことに伴い、集じん装置への負荷は増加するため、これらに対応できる技術、装置が求められていた。従来の手法で対応する場合、フィルタ数量（面積）を増加、高圧ファンを搭載するなどからの選択となり、大幅にインニシャル・ランニングコスト、設置スペースが増加してしまうという問題があった。これらの問題を解決するため、まず、集塵装置にとって最もフィルタの目詰まりが進行しやすい分野であるレーザー、プラズマ加工機を対象として新技術、装置の開発を開始した。この分野で十分な性能向上が確認できれば、他のほとんどの用途へ適用した場合でも同様な性能向上が期待できると考えた。

(2) 開発の目標

フィルタ抵抗（圧力損失）	20%削減
消費電力の低減	20%低減
※同使用条件において	

(3) 開発の経緯

2015年10月～	パルスジェット改良に着手・対応技術の模索
2016年	基礎試験、データ収集
2017年3月	プロトタイプ機による実証試験
2017年11月	第1号機納入

3. 独創性

この払落し効果に偏りが発生する問題は従来認識はされており、様々な工夫（干渉部品の設置など）によってその効果を平準化することへの対応をしてきたが、パルスジェット型払落し装置の宿命的な問題として完全な解決は難しいとされてきた。しかしながら、本装置は、単に平準化するのではなく、その効果が有効に発生する位置を任意かつ自動でコントロールしようとした発想に独創性がある。

従来方式

対向パルスジェット方式
上下のパルスタイミングを任意に変更
これをサイクルに作動させエレメント全体を払落
しする

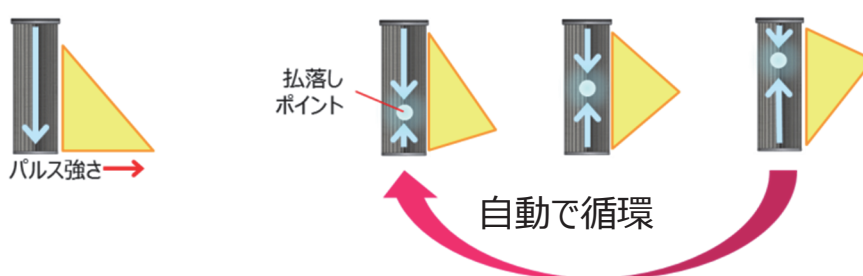


図8 対向パルスジェットの動作

また、このアイデアを実用化するにあたっては、交換時のメンテナンス性の悪化が最大の障害であった。フィルタ内で対向する方向からエアを噴出するためには、フィルタボトム側にもエアの吹き出し口を設ける必要があるが、単純にボトム部分にエア配管を接続する構造とした場合、フィルタ交換時には粉じんが堆積した装置内で、その配管の離脱、再取付が必要になるなど、交換の作業性が大幅に悪化してしまう。このため本装置では、フィルタ内部に独自の J 型のノズルを内蔵させることによって、この問題を解決した。この方法によって従来と全く同じ操作でフィルタ交換を可能にできる。この部分はこれまでにはない大きな独創性がある点である。

4. 特許の有無

次のとおり、特許 2 件を出願中。

出願番号：特願 2018-564149 / 名称：集塵装置およびその粉塵払落方法

出願番号：特願 2018-203602

/ 名称：集塵装置、集塵装置の制御方法、及び集塵装置の制御プログラム

また、次のとおり、意匠権 2 件を登録済み。

登録番号：第 1603402 号 / 名称：集塵機用フィルター

登録番号：第 1603403 号 / 名称：集塵機用フィルター

5. 性能

集塵装置に求められる性能は、その捕集性能と吸引能力であるが、本装置の解決策によってフィルタの目詰まり、すなわち圧力損失を大幅に低減させ、その結果吸引能力を長期間にわたって向上させることを実現した。

払落し効果によって改善されたフィルタ圧力損失のフィールド試験結果を下記に示す。

試験条件

試験対象装置	ファイバーレーザー加工機
風量	40 m ³ /min
フィルタ面積	42 m ²
ろ過速度	0.96m/min

表1 フィルタ圧力損失のフィールド試験結果

	新型 (対向パルス方式)	従来型 (片側パルス方式)	削減効果 %
圧力損失 (フィルタ抵抗)	1.5～2.0 kPa	2.5 kPa	40～20%
消費電力 ファン+圧縮エア分合算	4.5kW	5.82kW	23%



図9 従来方式と新方式とのフィルタ状態の比較例

6. 経済性

(1) ランニングコスト

従来装置と比較して、フィルタ抵抗を低く維持することが可能となるため、消費電力やフィルタ清掃頻度などの低減を実現し、その結果ランニングコストを大幅に削減することができる。

表2 ランニングコストの比較

		新型	従来型	削減効果
E_c	消費電力	77	100	-23%
M_c	コンプレッサメンテ費	71	100	-29%
Fc_c	フィルタ清掃	0	100	-100%
Fr_c	フィルタ交換	83	100	-17%
T_c	トータル	56	100	-44%

試算条件

- ・ 2,000h/年
- ・ 15 円/kWh

(2) イニシャルコスト

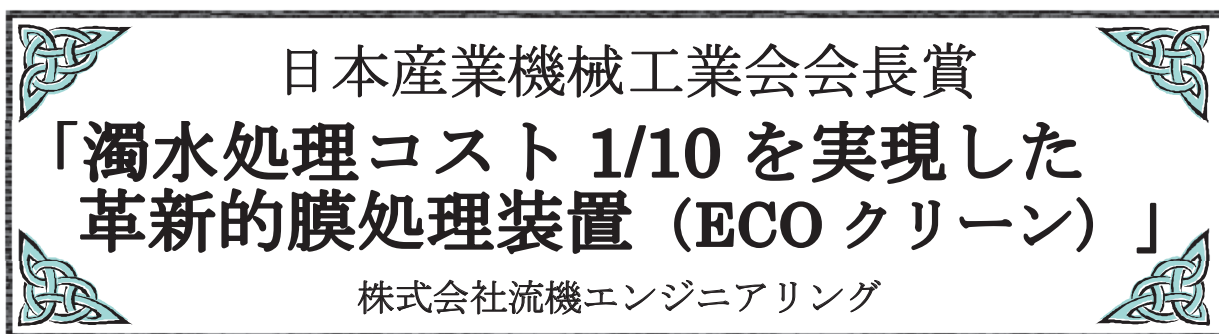
本装置はフィルタの目詰まりを抑制し、その圧力損失を低くすることができるため、使用条件によっては1ランク装置容量を下げた選定が可能になる。この場合はイニシャルコストが低減できることになる。同じ容量を持つ型式の選定でもコストアップを最小限に抑えたことから、1~2年のランニングコスト削減分で十分に回収可能である。

7. 将来性

新東工業では、工場における粉じん火災や爆発リスクへの対策としてダクトレス集塵を推進している。ダクト自体を無くしてしまえば、ダクト内における粉じんの堆積に起因する様々な問題を解消できる。その中で集塵機自体の火災爆発リスクを低減する対策として、水を使った湿式チャンバによる着火源の消火、燃えにくい難燃フィルタ、火災発生を最短で検出する火災センサとともに本集塵装置を組み合わせることで火災リスクを最小化する。本装置ではフィルタに残存する粉じんを最小限にすることによって、火災リスク低減へ大きく寄与できるものと考えている。

本装置は、近年高性能化が著しい各種加工装置に最適な集塵装置であり、既にレーザープラズマ加工機向けとして高い評価をいただき、従来装置からの移行が急速に進んでいる。しかし

ながら、このほかにもフィルタの目詰まりや火災が課題となっている対象は数多く存在し、本装置はその解決策になり得ると考えており、今後幅広く普及していく可能性が高いと考えている。



1. 装置の詳細説明

本装置は、大容量プリーツフィルタを用いて、工場や建設現場等から発生する排水中の濁質をろ過し清澄化する装置である。

地球上の利用可能な水資源は淡水 10,000km³と言われており、国連では SDGs (持続可能な開発目標) の中で、水資源の有効活用が求められている (ゴール 6: 水資源へのアクセス・水質・価格の改善)。上水・下水・産業用水・水質汚濁防止など水処理プロセス上流の濁質除去では、現在ほとんど凝集沈降 (浮上) 処理で行われている。

当社では大容量プリーツフィルタによる濁水処理技術を独自開発し、MF (精密ろ過) では不可能とされていた粘土質高濃度濁水の安定的清澄化が可能など、これまでにない画期的な性能・水質・価格を実現した。

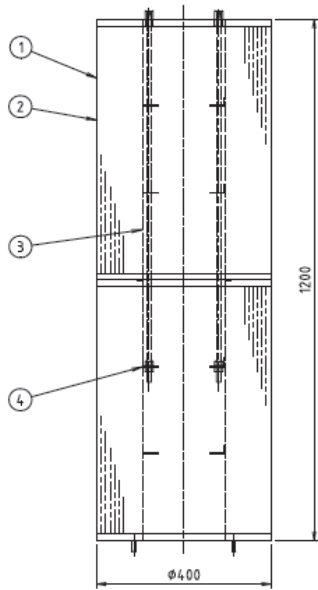
(1) 基本原理・構造

濁質の粒子をフィルタ膜面でトラップし、微粒子を物理的に除去することで清澄化する。フィルタの付着物を間欠的に洗浄除去し安定した運転ができる。

1) 大容量プリーツフィルタ

プリーツフィルタは山折りした襷が放射状に開いた円筒型の成形フィルタで、1本あたり 50m² である。襷内部には通水用のスペーサー (プラスチックメッシュ)、及び中心部にはインナーチューブが配置され流水路を形成している。インナーチューブはフィルタのろ過によって発生する、中心方向への圧力を受ける。プリーツフィルタは通水ろ過の高差圧に耐える構造で 0.3MPa の耐圧を有する。

フィルタ膜はポリエステル基材に親水性テフロンメンブレン膜をラミネートされており、そのろ過精度は、0.15μm×99.95%となっている。また、耐熱 120℃、pH3~11.5 の液が処理できる。図 1~3 にプリーツフィルタ形状を示す。



項目	名前	数量
1	フィルター	1
2	フィルター用スペーサー	1
3	インナーチューブ	1
4	補強リブ	4

<仕様>

ろ材 : 親水性テフロン
 金具部材質 : ステンレス
 フィルター面積 : 50m²

図1 プリーツフィルタ図面

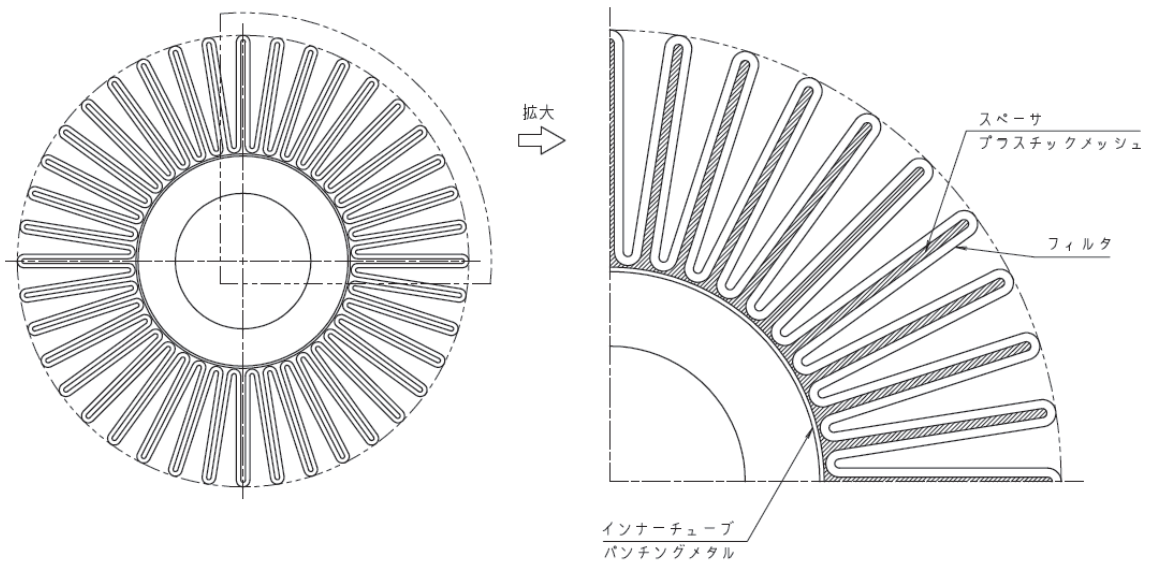


図2 フィルタ断面図



図3 プリーツフィルタ

2) フィルタベッセル

大容量プリーツフィルタを格納する耐圧容器で耐圧は 0.9MPa、上部はフェルールフランジになっており、フィルタの交換が容易にできる。またフェルールフランジにはフィルタに回転導入するサーボモーターを備える。

ベッセルには、原水入口・スラリー排出・清澄水出口があり、フィルタの洗浄再生用スリットノズルを備える（図4）。

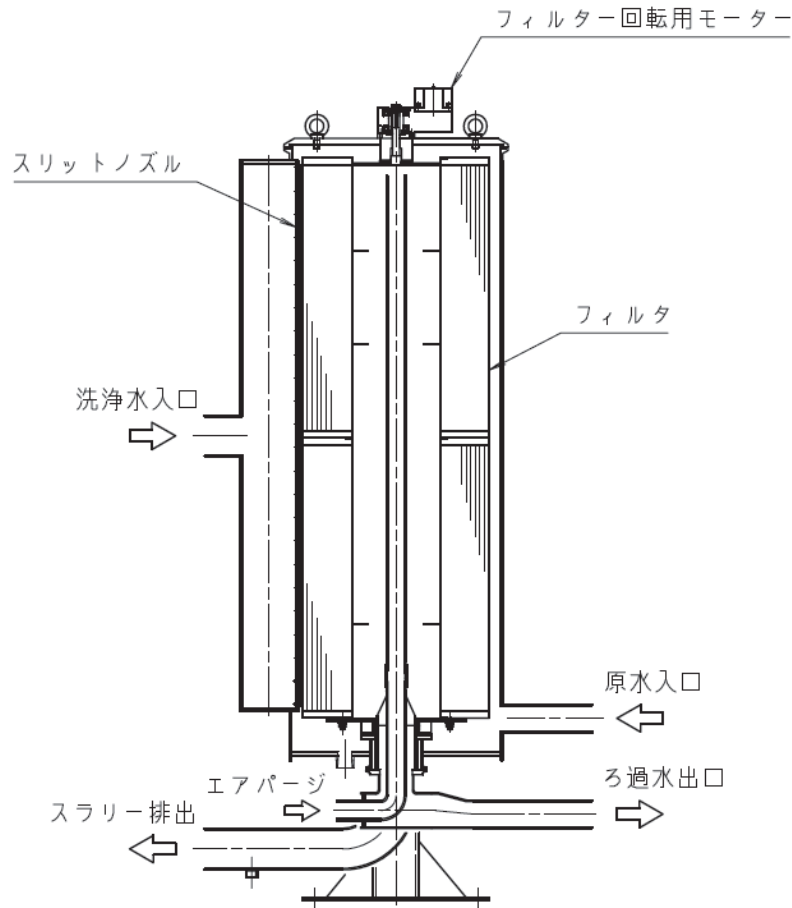


図4 ベッセル単体図

(2) 処理フロー

- 1) 原水ポンプにより、ストレーナーを介して、フィルタベッセル内に押込まれた内部のフィルタで微粒子を除去・清澄化して排出される。
- 2) ろ過が進むとフィルタ膜面に微粒子が凝集し、ケーキ層に成長する。
- 3) ケーキ層は通水を阻害するので、定期的にフィルタ再生を行う。フィルタ再生モードでは、原水入口・清澄水出口を閉じ、洗浄水入口、スラリー排出口を開け洗浄モードに入る。
- 4) ビーズタンクの洗浄ポンプで樹脂ビーズが混合した原水を吸引しベッセル内スリットノズルによりフィルタに吹付、同時にフィルタを回転させることでフィルタの全表面を洗浄し、付着物を剥離・再生する。洗浄モードは3分で完了する。
- 5) 洗浄が完了すると、ろ過モードに戻る。
- 6) 洗浄で回収したフィルタ付着物スラリーはサイクロンで樹脂ビーズを分級し、濃縮スラリーのみ排出される。

図5にシステムのフローを、図6に膜処理フローを、図7、8に装置全体写真をそれぞれ示す。

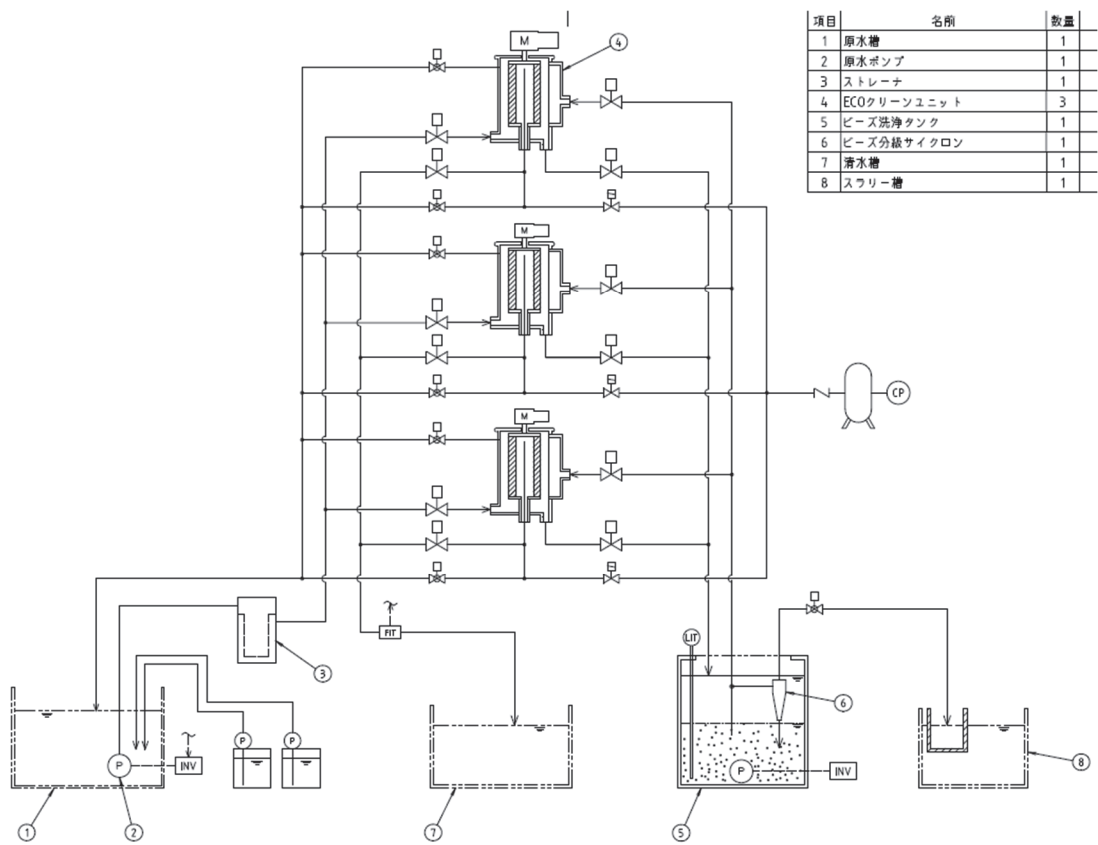


図5 ECOクリーン 処理フロー

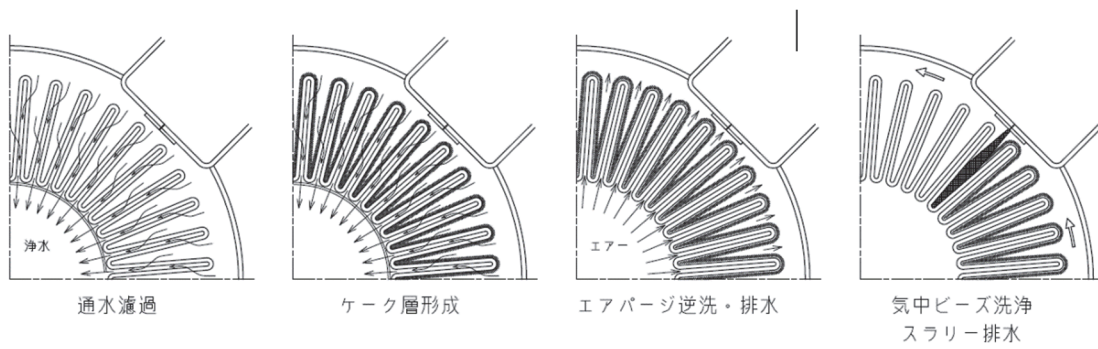


図6 膜処理フロー



図7 ECO クリーン全体写真



図8 ECO クリーン全体写真2

(3) 技術的特長

- 1) 独自のプリーツフィルタにより、ろ過通水性・洗浄排出性が良く、高濃度濁質ろ過に耐え、高 FLUX を実現（中空糸の 10 倍）。

※FLUX＝フィルタ 1m²あたり、時間あたり流量 L/h

- 2) 親水性テフロンメンブレン膜により、高澄清度で水質を保持。
- 3) 独自のビーズ混合洗浄方式により、膜面付着物を完全に再生するため連続安定運転が可能。
- 4) フィルタはベッセルに密閉化収納され、コンパクトで設置場所を選ばない。
- 5) メンテナンスが容易でフィルタ交換は 10 分以内で可能。
- 6) 耐熱 120℃、pH3～11.5、SS 0～10,000mg/L（最大）と原水の適用範囲が広い。

2. 開発経緯

(1) 開発背景

近年、排水基準の強化、水循環利用によるコストダウン、再利用水質の要求向上など水処理装置への性能要求が高まっている。一方、ほとんどの水処理装置では「凝集沈降方式」が主流であり、中和剤・凝集剤・キレート剤・吸着剤など薬品を多用している。また、高度処理では砂ろ過装置・バグフィルタ等使い捨てフィルタが必要である。水質、価格の改善の要求に応えるために、従来の「凝集沈降方式」に替わる、新しい水処理技術が期待されていた。当社では、大容量プリーツフィルタの技術を保有しており、濁水ろ過装置への応用研究を進めてきた。

(2) 開発主旨

1) 現状の MF ろ過装置の課題

- ① 中空糸・平膜など MF は活性汚泥処理 MBR に採用され普及しているが、粘土質高濃度濁水や工業用排水処理では、膜付着物の目詰まり再生が困難で採用されていない
- ② 低濃度濁水でもイニシャルコスト及びランニングコストが高い
- ③ 目詰まり防止対策及びフィルタ交換など維持管理が困難

2) 凝集沈降方式の課題

- ① 薬品コストが高い、また濁度・流量の増加に追従できず、排水基準をオーバーする流出事故がある
- ② 装置が大きく、フットプリントが大きい、基礎工事費・設置費が高い
- ③ 高度処理では、砂ろ過・使い捨てフィルタが必要でランニングコストが高い
- ④ 凝集スラリーの脱水絞り性が悪い
- ⑤ 脱水ケーキは産業廃棄物となるため運搬・処分コストがかかる

3) 水再生ニーズ

近年の水道水コストの上昇、下水コストの上昇を考慮して排水（放流）せず、高澄清化処理し再利用するニーズが大きく、これまで以上に水質や処理コスト低減の要求が高くなっている。

これらの課題を解決していくために、大容量プリーツフィルタを採用した画期的な濁水処理装置「ECO クリーン」を開発した。

(3) 開発目標

粘土質高濃度濁水の処理は、凝集沈殿方式が主流であったが、省スペースで大容量処理かつ目詰まりしない装置を膜処理技術で実現することを目標とした。

(4) 開発経緯

2010年	低 FLUX、逆洗再生方式の開発 高周波バイブレータ方式の併用 パルスショック+逆洗方式の実証
2011年	FLUX 能力向上の開発 プリーツフィルタ 大面積化 耐高差圧構造の試作評価 ナノファイバーフィルターのトライ
2012年	第1号機納入 親水性 PTFE 膜の開発（高澄清度の研究） FLUX 特性・洗浄再生方法の研究
2013年	物理ファウリング防止の研究 ノズル外面洗浄方式の研究 気中、外面洗浄試験機（50 m ² ）試作 高粘度クロスフロー方式の研究 プリコート方式の研究
2016年	不可逆的物理ファウリング防止方式の研究 コロイド粒子制御方法の開発（目詰まり因子）

	スリットノズル気中洗浄方式開発
	ビーズ洗浄方式の開発
2018年	実証機においてろ過・洗浄再生 2000 サイクル検証
	物理ファウリング、不可逆的物理ファウリングの防止方法確立
	バイオフィアリング予防法確立
	イオン化物スケールファウリング予防法確立
	フィルタ再生フィルタリユース方法の確立

3. 独創性

(1) 粘土質高濃度濁水の清澄化

粘土質高濃度濁水のろ過の最大の課題は、フィルタ表面に急速にケーキ層が形成され、ろ過差圧が上昇することや、その差圧によってケーキ層が圧密され、逆洗及び水流洗浄では目詰まりが回復できないことにある。代表的な MF の中空糸・平膜では、バブリング法が採用されているが、高濁度の洗浄再生は不能としている。

プリーツフィルタは、フィルタが襞（ひだ）状に折られており、外に向かって放射線状に隙間が広がり、原水の入り口、付着スラリーの排出性に優れている。この形状を利用して、プラスチックビーズを混入した洗浄水を吹き付け、フィルタ表面を強力に洗浄し、完全に再生できる。また、インナーチューブはフィルタ差圧により、押しつぶそうとする力が作用するが、オリフィス形状の耐圧リングを配置し、高差圧に耐え、通水ろ過清澄化できる。

(2) 装置ユニット

耐圧ベッセルにフィルタを1本ずつ収納してあり、洗浄再生、運転制御装置がユニット化されている。設置工事が容易で、設置スペースが小さく、処理水量の増加に伴う増設も容易である。濁度や原水流量の増加に対し、ポンプ押込圧力を上げることにより、短期的には20～50%の処理容量拡張が可能である。

(3) ファウリング防止技術

プリーツフィルタに適したビーズ洗浄方式による再生を主として、各種ファウリング要因に対し独自の防止技術を組み合わせ、安定したろ過を行える。

1) 可逆的物理ファウリング

① 原因

原水に含まれる濁度物質（無機・有機）はフィルタへの通水・ろ過により、フィルタ表面で凝集・堆積しケーキ層を形成する。ファンデルワールス力（分子間引力が作用して粒子吸着）で強く密着する。ケーキ層は透水性が悪いため、一定の流量を通水しようとするるとろ過抵抗（フィルタ差圧）が上昇する。ケーキ層は経時的に厚くなり圧密され、フィルタ表面に強く密着する。

表1 200kPa 定圧力のケーキ保持量と FLUX の変化
(ゼオライト濁水：中心粒子径 2 μ m)

保持量	ケーキ圧	FLUX	50m ² あたりの通水量
初期		3900LMH	195m ³ /h
250g/m ²		1600LMH	80m ³ /h
500g/m ²	0.5mm	1200LMH	60m ³ /h
750g/m ²		900LMH	45m ³ /h
1,000g/m ²	1mm	680LMH	34m ³ /h
1,250g/m ²		520LMH	26m ³ /h
1,500g/m ²		380LMH	19m ³ /h
1,750g/m ²	1.7mm	300LMH	15m ³ /h

② 対策

i) ケーキ層の剥離

洗浄等でケーキを除去することで FLUX の回復ができる。ろ過量と洗浄再生強度のバランスが重要でフィルタにダメージを与えないことが前提である。固く圧密されたケーキの剥離には、洗浄時間、洗浄強度が必要で、ケーキが残留せず洗浄時間も短くて済む運転条件を導くため、試験・分析した結果、ケーキ保持量は 1,000g/m²以下、好ましくは 600g/m²以下で設定する。またケーキの圧密とフィルタ表面への密着強度を緩和するためろ過差圧の上限を設定し、定流量制御する。

ii) 逆洗

フィルタの内側より外面に向け急速逆洗 (5 秒 1,400LMH) を行なうことにより、ケーキ付着面を剥離しやすくする。逆洗通水直後はベッセル内を排水し、空気で満たす。

iii) 気中ビーズ洗浄

スリットノズルより板状の水噴流をフィルタに水撃する。一方、フィルタは 0.5～0.7rpm で回転させ、一回転しフィルタ全表面を洗浄する。洗浄水に砂状の樹脂ビーズ (表面が平滑な球状) を 20～30%混合し、プリーツフィルタ襲表面のケーキを洗浄・剥離する、樹脂ビーズは水流中で自由粒子としてふるまい、フィルタ表面を擦って密着したケーキや表面吸着層を短時間で完全に除去する。図 9 にビーズ洗浄の模式図を、図 10 に表面吸着状況を、図 11 にビーズ洗浄効果を示す。

iv) 洗浄スラリー処理

洗浄水はベッセル内から排水した原水を使用し、ビーズ洗浄によりスラリー濃度は濃縮され、濃縮倍率 50 倍以上となる。高濃度スラリーはサイクロンでビーズ分級後、外部に排出する。

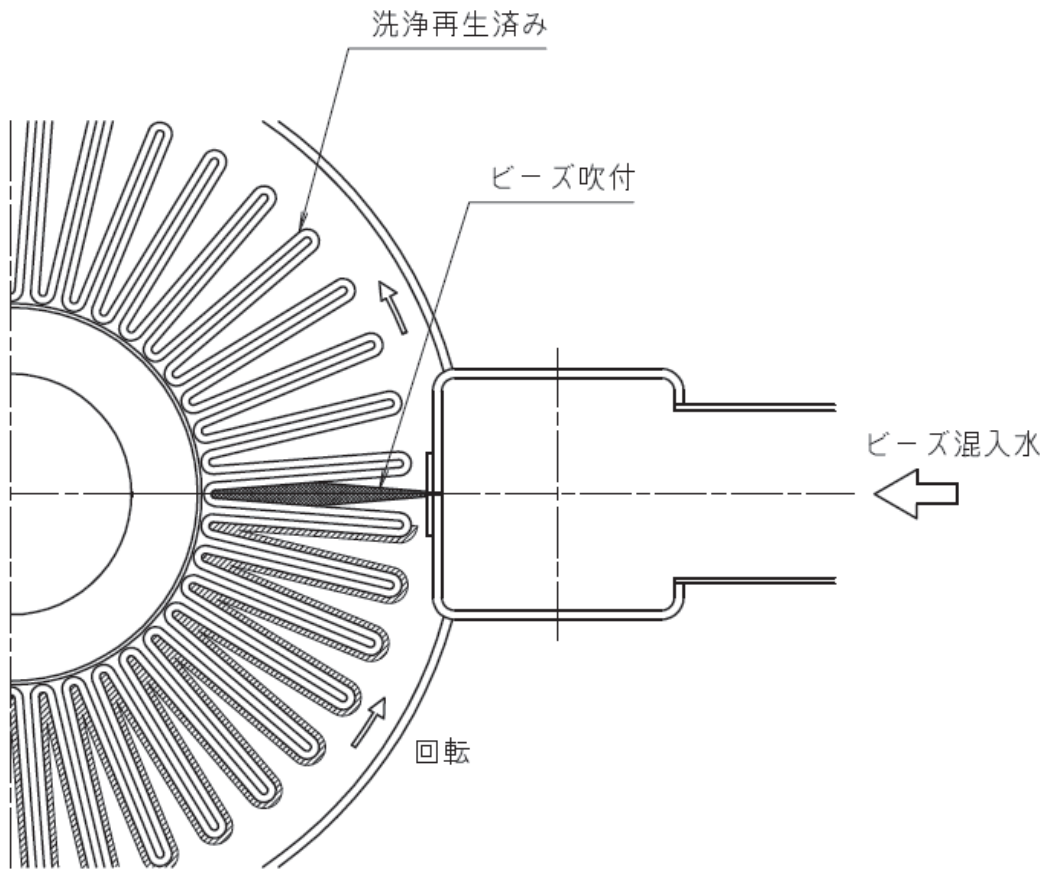


図9 ビーズ洗浄 模式図



図10 表面吸着状況写真

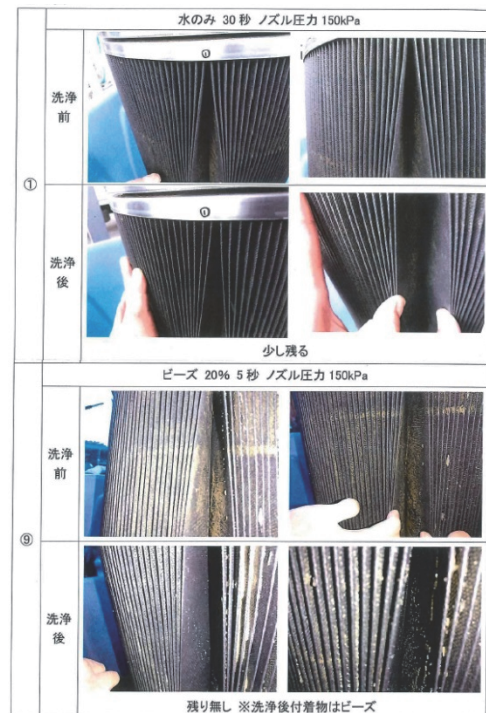


図11 ビーズ洗浄効果

2) 不可逆的物理ファウリング

① 原因

原水中に含まれる微粒子には、フィルタ表面で捕捉されずフィルタの内部に侵入・基材フィルタ層内でトラップする粒子がある。このろ過の「深層目詰」は基材のアクスタ層に内部トラップされるため、物理的な洗浄除去は不可能で徐々にろ過流量が減少する。

- ・フィルタ精度 $0.15\ \mu\text{m}$ より大きい粒子

→ PTFE 薄膜でトラップ

小さい粒子は PTFE 膜から流下し、基材アクスタ層にトラップされ溜まる。

- ・粘土質コロイド 1~100nm、フミン酸コロイド 50~70nm

→ 基材アクスタ層 厚さ $610\ \mu\text{m}$ 内部に深層トラップ

「深層目詰」を起こすコロイド粒子の有無・濃度は静置した上澄液をレーザーポインタで透過し、光散乱（チンダル現象）で判断できる。ろ過積算量に比例して目詰差圧が上昇することを確認している。

② 対策

i) 無機凝集剤、PAC（ポリ塩化アルミニウム）を微量添加・急速攪拌し、コロイド粒子の電荷（マイナス）を中性化（ Al_3+ 電荷）することで凝集し、PTFE 膜表面にトラップ、ち密な表面ろ過層を形成し、基材アクスタ層へ浸入させない。

ii) PAC 投入量は無機濁水のコロイド粒子濃度に比例していると考えられ、粘土質 SS $3,000\text{mg/L}$ では 10ppm の添加量で制御できた。実際には添加量を事前試験し、安全側で運用する。この投入量は凝集沈降方式の $1/10$ 以下である。

※サンプル液テスト用自動機を開発し、50 回の繰り返し試験で深層目詰まりしない最適値を設定。

iii) フィルタ表面では、初ろ過時に PAC 添加量を多く投入し、一次形成層を作る。コロイド凝集付着により一次形成層が作られるため、これが安定して、PAC 添加無しでもある程度の期間は運転可能であることを確認している。

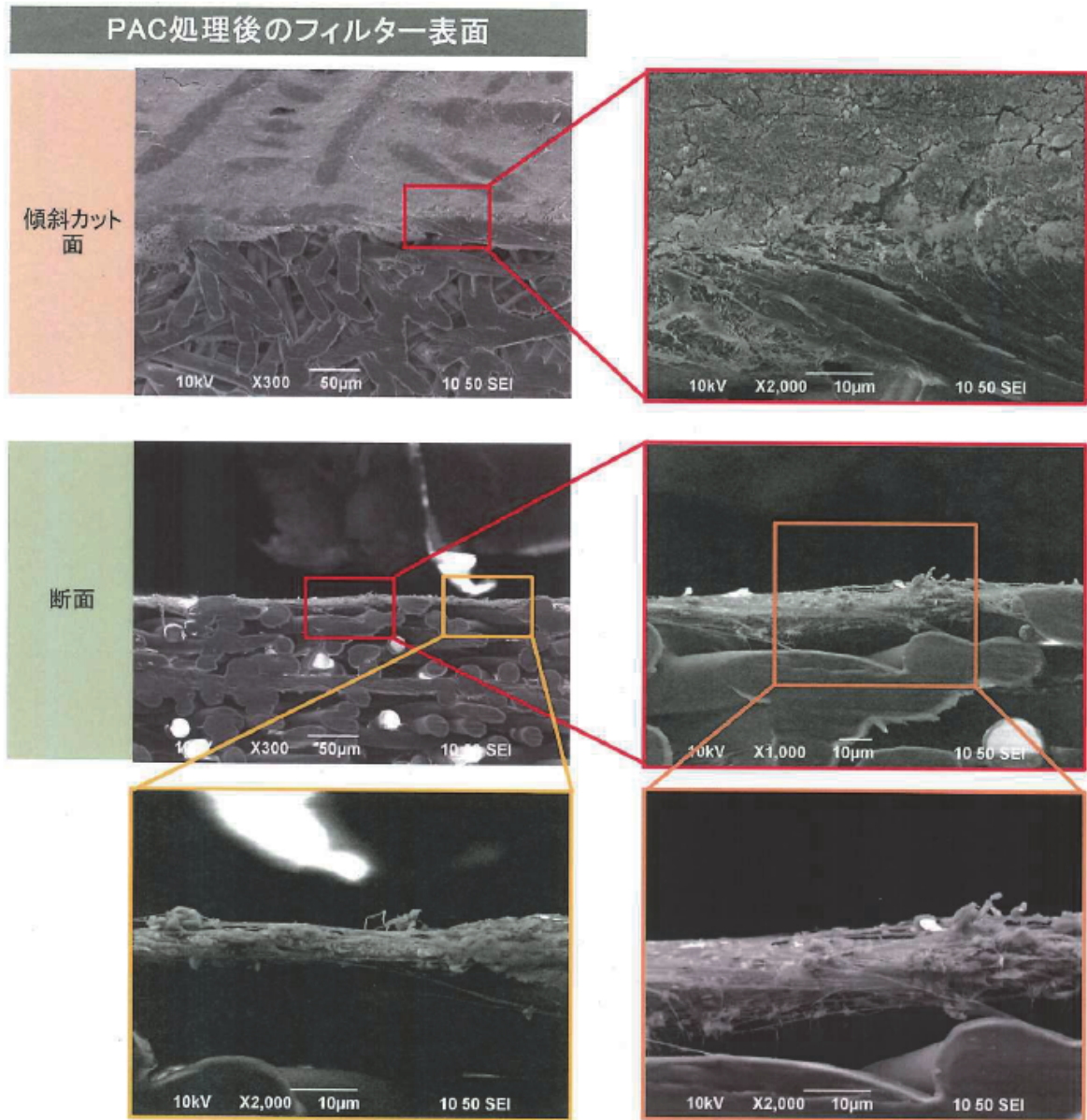


図12 コロイド粒子表面ろ過 SEM 写真

3) バイオフィウリング

① 原因

原水中のバクテリアや雑菌がフィルター表面で繁殖し、その分泌物（糖鎖質）がフィルター全体にコーティングされ通水を阻害する。お風呂の“ぬめり”と同様で、水温

(15℃以上) や有機物含有量によって発生状況は左右される。

② 対策

- i) 原水中のバクテリアや雑菌を抑制するため、次亜塩素酸ナトリウムを適量添加する。無機濁水 30℃では 2ppm、冬場は 1ppm 添加。
- ii) ビーズ洗浄方式では、洗浄サイクル毎にフィルタ表面の“ぬめり”を完全に除去し、常にフレッシュな膜面を維持することで菌コロニーや分泌物を繁殖させない効果がある。

4) 溶解イオンスケールファウリング

① 原因

原水には溶解イオン物質が含まれていることが多い。

溶解イオン物質はろ過通水中に温度・圧力・pH 等の変化によりフィルタ内部で析出・粒子化し「深層目詰」で通水を阻害する。井水・河川水はイオン化物の分析が必要。

- ・スケールファウリングを起すイオン物質の例
カルシウム・鉄・マンガン・マグネシウム・シリカ・塩化物

② 対策

- i) イオン物質により方法は異なるが、前処理（酸化）により粒子化することで表面ろ過できる。



- ii) シリカイオンは吸着剤も市販されているが、選択的吸着効率が低く、コストも高い。また、シリカイオン以外の共存物質もファウリング原因となっているため、フィルタを入替し系外で酸洗等により、目詰まりを回復させリユースする。

(4) 維持管理

- 1) メンテナンスフリーで自動運転が可能
- 2) ろ過データを連続ロギングし、予防保全に役立てる
- 3) フィルタ交換は 10 分で可能、デッドタイムを最小化
- 4) 目詰まりフィルタは薬洗により再生復活可能、リユースによりコストを削減できる

(5) 装置の独創性のまとめ

表2に本装置の独創性のまとめを示す。

表2 装置の独創性のまとめ

装置の特徴	実現した技術
粘土質高濃度濁水のろ過	<ul style="list-style-type: none">・洗浄性が良いプリーツフィルタ・ビーズ洗浄で付着ケーキを完全にフラッシュ・インナーチューブの高耐圧化
高澄清度の水質を保持	<ul style="list-style-type: none">・親水性テフロン膜・出口濁度管理
高FLUXを実現	<ul style="list-style-type: none">・プリーツフィルタの大面積化 (50m²)・高差圧ろ過 (インナーチューブ耐圧)
メンテナンスが容易	<ul style="list-style-type: none">・個別ベッセル収納・上部蓋解放容易・フィルタ交換容易化
連続安定運転が可能	<ul style="list-style-type: none">・ファウリング防止技術・高差圧可能、定流量制御・短時間で洗浄
高温処理可能	<ul style="list-style-type: none">・高温ろ過 (120℃以下) 殺菌

(6) 類似製品の比較

表3に類似装置の比較を示す。

他社MFろ過装置及び凝集沈降方式砂ろ過装置との比較では、全ての項目で圧倒的な優位性があることを確認した。

表3 類似製品比較 (比較基準量粘土質 SS1, 000mg/L 30m³/h)

	ECO クリーン	M 社中空糸	P 社中空糸 (海外)	N 社平膜	M 社バネ式	凝集沈降方式
フィルタ	プリーツ	外圧型中空糸	内圧型 中空糸	高分子 フィルタ	バネ、プ リコート 併用	砂ろ過 φ 1, 800 × 2 台
精度	0. 15 μ m	0. 4 μ m	0. 08 μ m	5~8 μ m	30~60 μ m	600 μ m
主な用途	全ての濁水	MBR、 RO 前処理	高濁度処理用	工事用濁水	工業排水	濁水処理
原水許容濃度	10, 000mg/L	500mg/L	2, 000mg/L	1, 000mg/L	1, 000mg/L	5, 000mg/L
フィルタ 許容差圧	300kPa	200kPa	200kPa	70kPa	500kPa	-
出口清澄度	0. 1mg/L	0. 1mg/L	0. 1mg/L	2mg/L	2mg/L	2mg/L
フィルタ 再生方法	気中ビーズ洗 浄	逆流・バブリ ング	クロスフロ ー方式	洗浄ブラシ	逆洗 (プ リコー ト)	逆洗 (砂)
大腸菌除去	ND	ND	ND	不可	不可	不可
平均 FLUX	500LMH	25LMH	50LMH	50LMH	1, 500LMH	砂 6, 500LMH
コロイド 粒子対策	PAC 10ppm	無	無	無	無	PAC 250ppm
バイオフィ ルム対策	次亜+ビーズ 洗浄	次亜・薬洗	次亜・薬洗	無	無	-
フィルタ 交換性	容易 (10 分)	難	難	難	難	難 (砂)
フィルタ再 生リユース	可 (酸洗)	難	難	不可	不要	-
常用電力 (30m ³ /h)	3. 7kW	2. 2kW+プロワ 11kW	45kW	2. 2+15kW	15kW	14kW
設置寸法・ 重量	φ 450×1, 300 × 2 台 0. 6t	φ 1, 200×2m × 2 台 2t	φ 250×2m× 12 本 2t	2. 2×2. 7× 6. 2m 6t	φ 1, 100× 1, 200 1t	2. 3×6m φ 1. 8×2 16t

4. 特許の有無

次のとおり、特許 12 件を取得済み。

特許番号：第 6175783 号 / 名称：ろ過装置

特許番号：第 6145939 号 / 名称：濾過方法およびその装置

特許番号：第 6183606 号 / 名称：濾過装置および濾過方法

特許番号：第 6098023 号 / 名称：コンベアリターンベルトの洗浄装置及びコンベアリターンベルトの洗浄方法

特許番号：第 6160017 号 / 名称：濾過装置及び濾過方法

特許番号：第 6074530 号 / 名称：排水処理方法

特許番号：第 6186046 号 / 名称：濾過装置

特許番号：第 6215408 号 / 名称：濾過方法

特許番号：第 6442014 号 / 名称：被処理液の処理措置及び処理方法

特許番号：第 6532516 号 / 名称：濾過装置及び被処理液の濾過方法

特許番号：第 6680856 号 / 名称：濾過装置及び濾過方法

特許番号：第 6694662 号 / 名称：濾過装置

5. 性能

(1) 適用原水

1) 水道・工業用水用取水・下水汚水・産業排水・建設濁水・環境水質保全

2) 原水物性

PH3～11.5

温度 2～120℃

3) 許容濃度

粘土質 (SS) 10,000mg/L 以下

(2) ろ過 FLUX 設定

従来の MF に対し、10 倍以上の FLUX を実現。

表 4 本装置のろ過 FLUX

粘土質濁水	平均 FLUX	50m ² 1 本当り
清水	3900LMH	195m ³ /h
1,000mg/L	500LMH	25m ³ /h
3,000mg/L	300LMH	15m ³ /h
5,000mg/L	200LMH	10m ³ /h

(3) 清澄度

ろ過水出口 0.1mg/L 以下 (入口 2,000mg/L において)

(4) フィルタ精度

0.15 μm × 99.95% 大腸菌・バクテリアを 100%除去
 クリプトスポリジウム・鉄バクテリア除去

(5) 耐圧

ろ過最大差圧 0.3MPa
 ベッセル耐圧 0.9MPa

6. 経済性

他社類似製品及び凝集沈降方式との比較検討では圧倒的な経済優位性を実現している。

表 5 経済性 類似製品の比較 (比較基準量粘土質 SS1,000mg/L 30m³/h)

	ECO クリーン	M 社 中空糸	P 社中空糸 (海外)	N 社平膜	M 社バネ式	凝集沈降方式
フィルタ	テフロン メンブレン ブリーツ 0.15 μm	外圧型 中空糸 0.4 μm	内圧型 中空糸 0.08 μm	高分子 マイクロ フィルタ 平板 5~8 μm	ブリコート 併用 30~60 μm	砂ろ過 ϕ 1,800 ×2 台
イニシャルコスト	100%	180%	200%	210%	140%	160%
設置工事費	100	150%	200%	600%	100%	1,500%
フィルタ面積	100m ²	1,200m ²	600m ²	600m ²	17m ²	5m ²
フィルタ寿命	4 年	6 年	4 年	2 年	15 年	2 か月
フィルタコスト	100%	900%	900%	800%	720%	110%
フィルタ年間コスト	100%	600%	960%	1,300%	190%	-
消耗品	100%	500%	500%	-	1,660%	2,130%
電力コスト	100%	360%	1,200%	470%	410%	380%
維持管理	1h×52 週	1h×52 週	1h×52 週	1h×365 日	1h×365 日	4h×365 日
管理コスト	100%	100%	100%	700%	700%	2,800%
ランニングコスト	100%	410%	950%	670%	510%	940%

消耗品は薬品・ブリコート・砂

表 6 トンネル濁水処理比較 (条件：30m³/h 濁土 3,000mg/L 運転日数 365 日/年)

	凝集沈降方式	ECO 方式
処理装置	集中一括処理	・分散処理 ・切羽集水ろ過 ・坑内/ヤード排水処理 ・プラント練水再利用
フットプリント	60~80m ²	4m ² ×3 か所
設置・組立・撤去工事費 基礎含む@250,000 円	¥3,000,000	¥750,000 切羽・プラント・ヤード
清澄度	20mg/L 以下	0.1mg/L 以下
処理量拡張性	難あり	150%拡張可能
※薬品消耗品	¥3,500,000	次亜・PAC ¥380,000
電気料金@25 円/kWh	¥5,256,000	¥1,138,800
	24kW×24h×365×25	5.2kW×24h×365×25
脱水ケーキ処分@12,000 円/m ³	¥2,040,000 170 m ³ ×12,000	現場処分可能 高分子凝集剤不使用
同運搬費@25,000 円/回	¥1,075,000 43 回×25,000	現場処分可能
運転員@34,000 円/日	¥9,384,000 276 日×34,000	流出なし/自動管理 無人化
総コスト	¥24,255,000/年	¥1,368,800/年

※費用対効果に鑑み、薬品を使用せず利用することも可能。

7. 将来性

本装置 (ECO クリーン) は適用能力が高く、ほとんどの水処理でメリットを創出できる。その中でも凝集沈降方式+砂ろ過装置や使い捨てフィルタとの比較ではランニングコストを 1/10 と圧倒的なコストメリットが得られる。また、薬品攪拌層やシックナーが不要で、装置の設置フットプリントも 1/10 になる。これまでのテスト依頼案件や海外事例から市場を展望すると多様な展開が期待される。

- ・分散型・小規模浄水施設 RO 前処理 (海外市場への展開が可能)
- ・下水 MBR の省エネ化 (バブリング不要高 FLUX)
- ・下水汚泥濃縮 (50~100 倍濃縮) 脱水前処理
- ・除染土壌洗浄、減容化、汚染水前処理
- ・アスベスト含有排水浄化

- ・浄水場 洗砂排水処理
- ・しゅんせつ、レアアース泥の濃縮・汚濁防止
- ・鉱山排水処理、ダム排水処理

これらのニーズに対応するため、装置の大容量化（125m²）、脱水装置の開発とシステム化を企画・進行中である。

なお、本装置は優位性が高いため広範なニーズが見込めるが、水処理ビジネスはろ過・澄清化だけで完結するわけではなく、中和・脱色・COD、BOD 対策・RO との組合せなど、高度なソリューションが必要で、これらの技術を取り込み、社会の要求である SDGs の達成に貢献していきたい。

日本産業機械工業会会長賞

「ホットナイフ分離法による太陽光パネルの自動解体ライン」

株式会社エヌ・ピー・シー

1. 装置の詳細説明

本システムは、太陽光パネル（以下、パネル）のガラスと金属をリサイクルするため、自動で分離回収する解体ラインである。ジャンクションボックス（以下 J-Box）やアルミフレームをパネルから自動で分離した後、カバーガラスを割らずにそれ以外の部材と分離し、ガラスと金属の完全リサイクルを可能にした画期的な中間処理ラインである。

以下に一般的に最も流通している結晶シリコン系パネルの構造を断面図で示す。

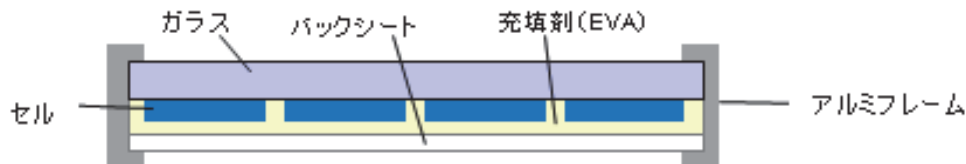


図1 パネルの断面図

結晶シリコン系パネルは、発電素子である太陽電池セルを複数枚、直列に接続し、配列したものを、表側にカバーガラス、裏側にバックシート等の保護部材を配して封止材を固着させて製造する。さらに4辺をフレーム（通常アルミ製）で挟み込んで、風雨から保護し、銅線ケーブルを擁している J-Box（電気の取り出し口）を裏面に取り付けて完成する。

表1は想定されるリサイクル対象のモジュール（＝パネル）の仕様である。

表が示すとおり、パネルにはその重量の6～7割程度を占めるカバーガラスのほかに、アルミや銅などの有価金属が含まれている。また、表には記載がないものの、銀もわずかに含まれている。当社が開発したパネル解体ラインは、こうした有価物を効率的に、かつ低価格で回収し、リサイクルすることを目的としている。

本解体ラインは J-Box 分離装置、フレーム分離装置、ガラス分離装置という3つの装置で構成されている。

まず J-Box 分離装置にて、パネル裏面の J-Box を分離し、J-Box に含まれる銅線を回収する。次にフレーム分離装置にて短辺、長辺それぞれのフレームを2本ずつ分離し、アルミを回収する。最後にガラス分離装置にて、約300℃に加熱した刃（以下ホットナイフ）をパネルの封止材（EVA）部分に当接させることで、カバーガラスを割ることなくその他の部材と分離する。

これにより、銅、アルミ、そして金属を含まない板状ガラスを分離することができ、リサイクルしやすい状態で有価物を回収することができる。

表1 想定されるリサイクル対象のモジュールの仕様

●結晶Siモジュールの想定

項目		単位	値
モジュール寸法	長さ	m	1.670
	幅	m	1.000
	周辺長	m	5.340
	面積	m ²	1.670
モジュール出力		W	240.0
モジュール効率			14.4%
構成材料	セル(結晶シリコン)	kg/枚	0.377
	フロントカバー(ガラス)	kg/枚	12.500
	フレーム(アルミ)	kg/枚	3.200
	充填材(EVA)	kg/枚	1.109
	周辺シール(プラスチック)	kg/枚	
	バックカバー(プラスチック)	kg/枚	1.131
	電極材料(銅/はんだ)	kg/枚	0.084
	端子ボックス(プラスチック)	kg/枚	0.300
	ビス(鉄)	kg/枚	0.100
	合計	kg/枚	18.800

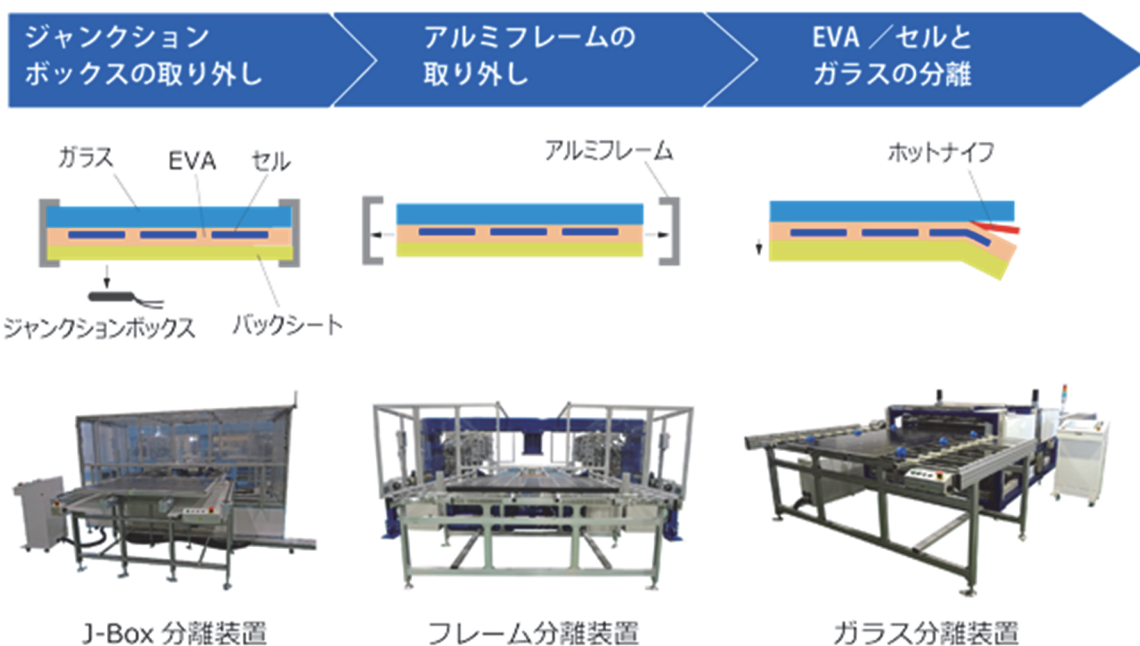


図2 パネル解体ラインの処理フロー

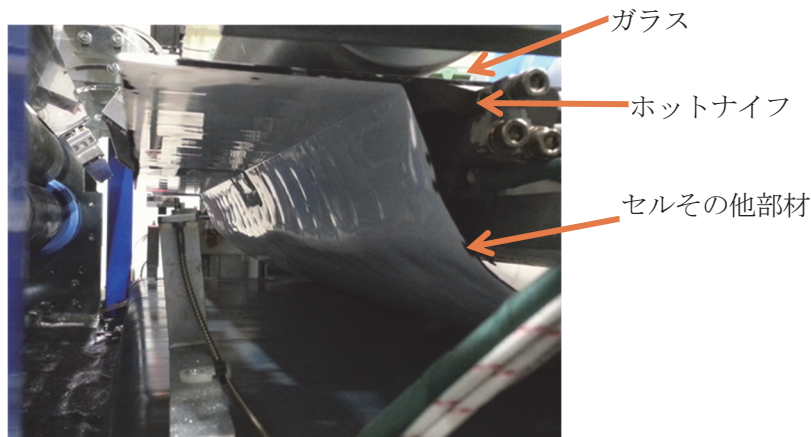


図3 ガラスの分離の様子

2. 開発経緯

再生可能エネルギー全量買取制度（FIT 制度）が 2012 年に施行されて以来、日本のパネルの導入量は飛躍的に増加し、2018 年末現在、累計で約 56GW で世界第 3 位に入っている。

パネルには、前述のとおりカバーガラス、銀や銅などの有価物が含まれているが、同時に鉛などの有害物質も含まれている。このため、廃棄処分には、管理型最終処分場における適正な処理が不可欠である。

一方、将来的には大量の使用済みパネルが排出されると予想されている。経済産業省・資源エネルギー庁は 2018 年 11 月、2035 年～2037 年頃にパネルの排出量がピークを迎え、年間約 17～28 万トンのパネルが排出されるとの試算を公表した。

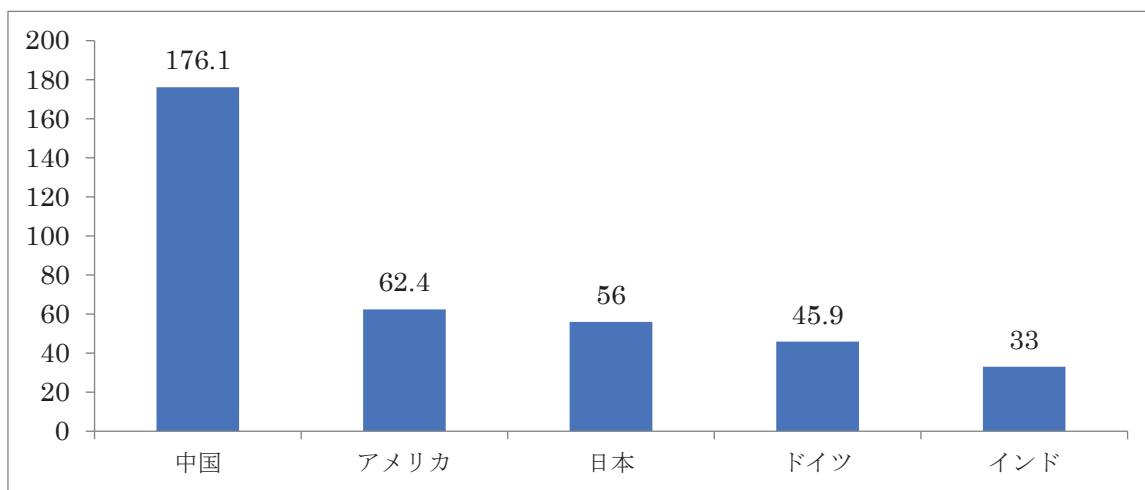
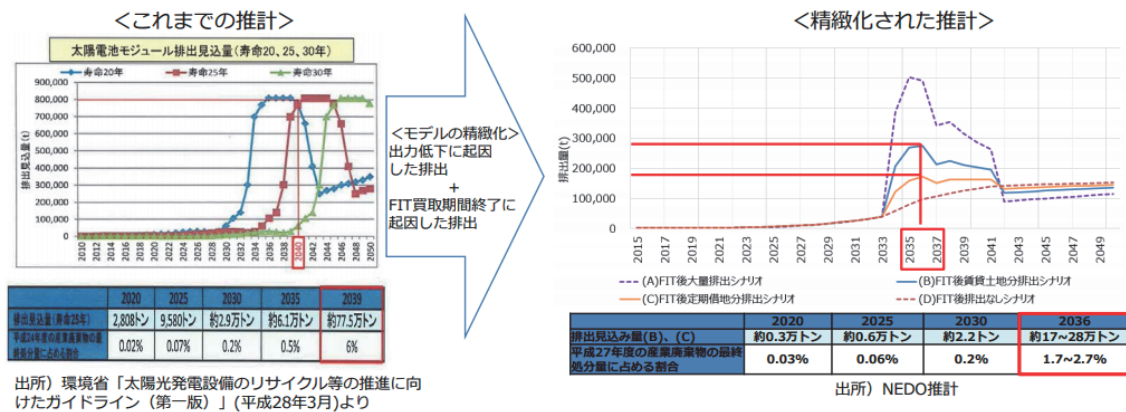


図4 2018 年末時点の太陽光発電累計導入量 上位 5 か国
(REN21 及びドイツ連邦ネットワーク庁のデータを元に当社にて作成)



(出典：資源エネルギー庁)

図5 使用済みパネルの排出量推計

FIT終了後の排出量には、出力低下及び土地の所有形態(定期借地、賃貸、または所有)の2点が大きく影響すると想定し、現実に即した4つのシナリオを準備したものである。環境省が2016年3月に発表していた、2040年に年間77万トンとの推計からは大きく下がっているものの、現在でも台風や水害その他の災害等で被災したパネルや、何らかの不具合があるパネルが全国で多数排出されており、その適正な処分やリサイクルのための早急な体制づくりは急務である。

当社は2014年から、低コストで効率的なパネルのリサイクルに向けて研究開発を進めてきた。同年7月から2015年2月にかけては、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受けて「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト」に国立研究開発法人産業技術総合研究所、はんだを専門とする株式会社日本スペリアとともに参画した。その際、「可溶化法を用いた使用済み太陽電池からの資源回収技術の開発」プロジェクトのフェーズB・スタディ(FS)を実施し、当社の担当であるガラス分離装置の開発を完了した。このFSにおいて、当社の分離技術が採用となり、あらためて2015年4月から2018年12月にかけて、産業廃棄物処理業者である株式会社浜田とともに「ホットナイフ分離法によるガラスと金属の完全リサイクル技術開発」として採択され、処理コスト5円/Wに向けた実証試験を行った。その結果、処理コスト目標を上回る3円/Wを達成したものである。

以下に第1号機納入までの経緯をまとめる。

2014年～	調査・研究開始
2014年7月～2015年2月	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクトに参画。 「可溶化法を用いた使用済み太陽電池からの資源回収技術の開発」をテーマとし、当社の担当であるフレーム分離装置、ガラス分離装置を開発。
2015年4月～2018年12月	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクトに参画。

「ホットナイフ分離法によるガラスと金属の完全リサイクル」をテーマとし、ホットナイフ分離装置の改良及び実証を実施。

2017年11月

第1号機納入

3. 独創性

廃棄されたパネルは、比較的取り外して回収しやすいフレーム（アルミ製）を除いて、そのまま破碎処理され、埋め立てられている。前述のとおり、将来的に急増する廃棄パネルの処理問題に対処するため、欧州や日本など、太陽光発電が普及している各国でリサイクルに関する取組みが始まっている。その一方、破碎せずに資源を効率的にリサイクルする手法については、依然として模索中であり、確立されていない。

当社は、パネルを製造するための装置一式を世界50か国以上へ提供してきた実績がある。パネルの製造工程には、太陽電池セルやカバーガラスなどを圧着封止するラミネーション工程や、不要な端部を切除するトリミング工程が含まれるが、これを製造とは逆の解体という視点から見直して、今回の機構を着想したものである。

ラミネーションでは、封止材によって、太陽電池セルとカバーガラス、バックシートを圧着封止するが、解体する場合は封止材が溶融する温度でパネルを加熱すれば、カバーガラスとその他の部材を分離することができる。その際、トリミング工程で用いている加熱した刃（ホットナイフ）を、固着した封止材の部分に当接することで、ガラスを割らずに封止材層と分離できる機構を構想した。

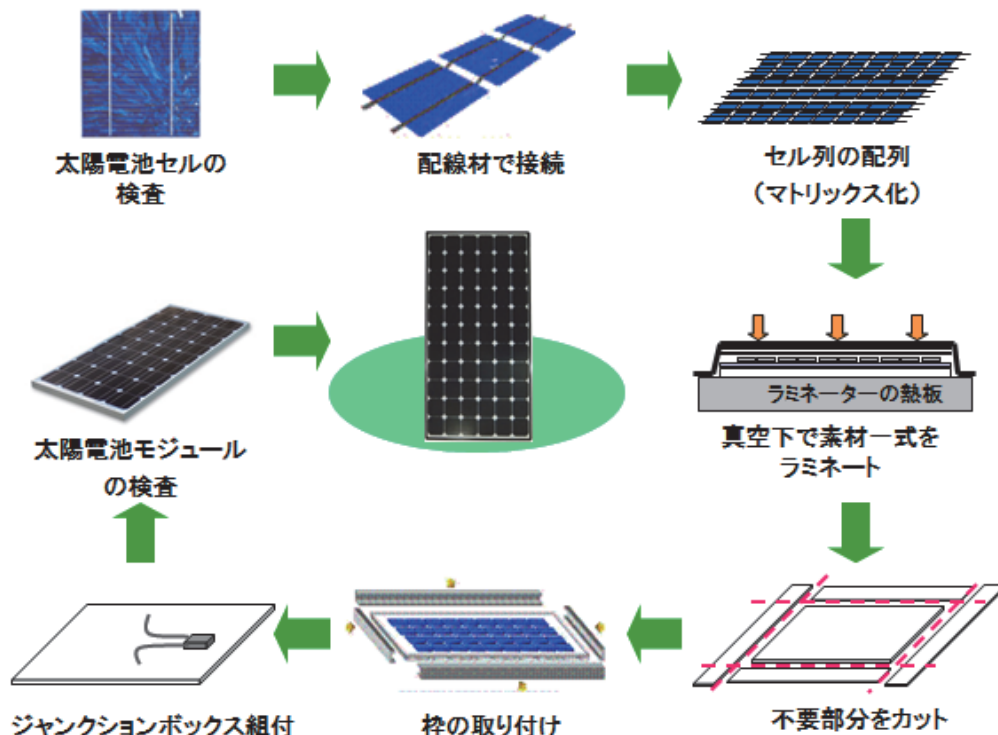


図6 太陽電池の製造工程

ガラスについては、価値が高い板ガラスの原料として回収することができれば、売却単価を上げることが可能になる。ただし、板ガラスの製造工程においては、異物の混入がないことが重要な条件となる。このため、分離後のガラス上に封止材がほぼ残らないように分離することが求められる。

封止材の残膜厚の目標値を設定するにあたり、ガラスメーカーから聞き取りを行ったところ、2mの高さからガラスを落としたとき、名刺大に割れる必要があるとのことであった。当社で行った実験では、残膜厚が0.1mmであれば名刺大に割れることがわかったため、残膜厚0.1mmを目標とした。

なお、開発当初は、ホットナイフを1枚刃機構で構成していたが、この構成では目標値に達しないことがわかった。また、ホットナイフの位置を調整して目標値を達成しようとする、ガラスが割れてしまう場合もあった。このため、構成を2枚刃機構とし、2段階で分離するよう変更すると、残膜厚を安定的に0.1mmとすることができた。

最終的にはパネルの端部から数cmの位置に第1のホットナイフを当接し、封止材層を数cm除去した後、この部分に第2のホットナイフを当接して残りの封止材層を分離する機構とした。

ホットナイフの材質については、処理コストの低減を図るため、交換まで2,400枚の耐久性を持つことを目標とした。S45C、SACM645、SKD11などの様々な材質を評価し、分離性能と高耐久性を兼ね備えた材質の選定を行った結果、細粒超硬合金を採用することとした。これにより、交換まで2,500枚の耐久性を達成した。

なお、他社の手法については、パネル全体を炉で加熱する機構や、ガラスを板状で回収するためにその他の部材を削り取る手法などが考案されている。しかしながら、装置が大掛かりになったり、処理時間が長くなったりするなど、検討すべき課題が発生している。また、これらは製品化されていないため、詳細比較は実質的に困難である。

当社の手法であれば、予熱機構とホットナイフ機構、搬入出機構というシンプルな機構で実現できるため、ガラスとその他の部材の分離にはスペースを取らない。

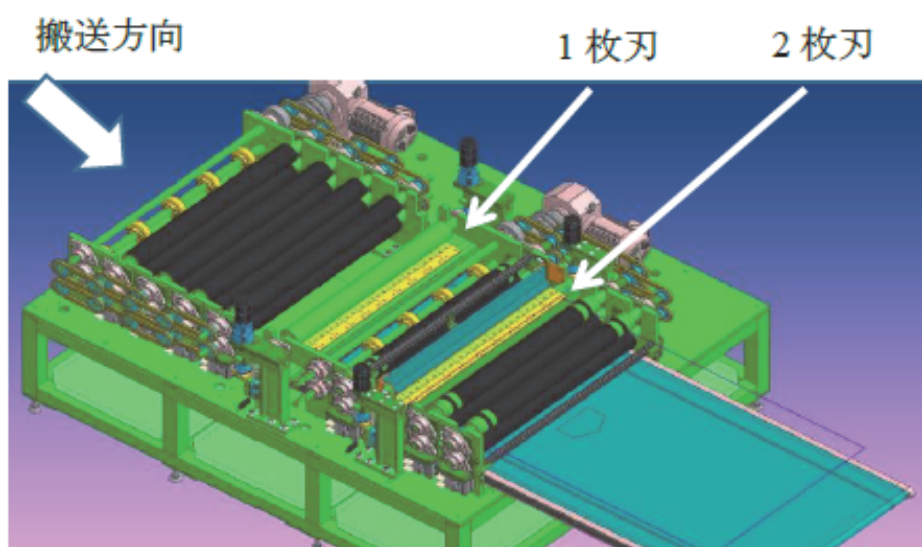


図7 ホットナイフ分離装置の構成

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6133475号 / 名称：太陽電池パネルの枠分離装置

特許番号：第6271468号 / 名称：太陽電池モジュールのリサイクル装置

特許番号：第6271686号 / 名称：太陽電池モジュールのリサイクル装置

このうち第6133475号はフレーム分離装置に、第6271468号と第6271686号はガラス分離装置に関するものである。

5. 性能

分離性能は、前述のとおり、封止材の残膜厚0.1mm以下を達成している。

本ライン一式はCE規格に準拠しており、また、耐久性についても強度の高いチェーン駆動方式を採用し、安全性の高い材料を選定している。また、パネルサイズが変更されても自動的にホットナイフの調整が行われるため、操作性も高い。操作はタッチパネル式となっており、オペレータはストレスの少ない操作が可能である。また、ホットナイフなどの消耗品の交換や保守が容易な構造とすることで、維持管理性を高めている。

6. 経済性

ライン一式による処理コストは、出力240Wのパネルを一日240枚処理し、年間270日稼働するとして、3円/Wという低コストを実現した。

管理型最終処分場の処理費用は平均で15,000円/m²であり、パネル1枚あたりで換算すると、1,200円となる。当社の開発した解体ラインを用いて処理した場合、処理コストは3円/W(720円/枚)であるため、管理型最終処分場における処理費用に比べ、4割もコストを抑えることができる。

また、回収した有価物も、パネルのサイズや年式、使用状況等によって違いはあるものの、おおよそ以下のような金額で販売が可能である。

アルミフレーム：90～110円/kg

セルシート：10～200円/kg

J-Box ケーブルのみ：約100円/kg

(注：金額は2019年12月時点の参考価格)

さらに、ホットナイフの耐久性は2,500枚を処理できるため、ランニングコストも低く抑えられる。

なお、従来はパネルを産業廃棄物として粉碎して埋め立て処理を行っており、パネルの解体装置は存在していなかった。

7. 将来性

太陽光パネルの導入量は、今後も世界的に増加すると考えられている。

これに伴い、廃棄パネルの数も将来的に大幅に増加することが見込まれている。

日本だけに限ると、前記の経済産業省の廃棄パネル予想のとおり、年間17万トンとすれば、当社の太陽光パネル解体ラインの処理能力が年間1,218トンであるため、単純に解体ライン130台以上に相当する。このため、全国の産業廃棄物処理業者に本パネル解体ラインを販売し、パ

ネルのリサイクル体制を構築することを目指している。

また、海外市場、特に欧州や北米など、太陽電池市場が早くから形成されてきた市場への展開も図る。

8. その他

本装置については、当社においても工場に導入し、パネルの中間処理サービスを本年より開始している。これにより、ガラスが割れたパネルに対応する機構や、さらなる機能の改善に向けた研究開発を継続的に行っている。

また、アルミと銅の分離に特化した機能を持つ簡易型フレーム・J-Box 分離装置も開発・発売した。これは電力のみを動力源とするため、発電機とともにトラックに積載すれば、太陽光発電所などの現場でアルミと銅を分離・回収でき、輸送コストの削減に寄与するものである。当社は、今後も市場の形成状況を見極めつつ、パネルのリサイクル市場を牽引していく所存である。

日本産業機械工業会会長賞

「大型浄化槽（KTZ 型）」

株式会社クボタ

1. 装置の詳細説明

本装置は、下水道整備区域外のマンション、病院、工場、公共施設等の大規模な建築物から排出される生活排水を処理する浄化槽である。

本装置では、前段（固液分離槽、嫌気ろ床槽）で流入汚水中の夾雑物を除去し、後段（担体流動槽等の生物反応槽、ろ過槽、処理水槽）で有機物を生物処理し、発生した汚泥を固液分離することで清澄な処理水を得る。

まず従来装置の浄化槽各単位装置の構造と機能は次のとおりである。固液分離槽は、流入汚水中の夾雑物・固形物等を分離し貯留する。嫌気ろ床槽は、ろ材を充填させた「ろ床」を汚水が通過する際に固形物や浮遊物質が分離され、ろ床内の嫌気性微生物により有機物の嫌気分解と硝酸・亜硝酸性窒素の脱窒を行う。担体流動槽は、槽内に充填した流動担体に固定化される好気性微生物により有機物の分解及びアンモニア性窒素の硝化を行う。担体ろ過槽は、担体流動槽で有機物を分解した際に発生した汚泥を、槽内に充填されたるろ過担体でろ過し清澄な処理水を得る。また、槽内に設けたエアリフトポンプにより槽内水を固液分離槽へ常時循環させる。処理水槽は担体ろ過槽でろ過した処理水を一時的に貯留するとともに、担体ろ過槽で捕捉できなかった剥離汚泥を固液分離し汚泥の槽外への流出を防止する。消毒槽は、消毒剤を処理水に接触・溶解させ滅菌を行う。放流槽は、水中ポンプ等で槽内に貯留された処理水を浄化槽外に放流する。

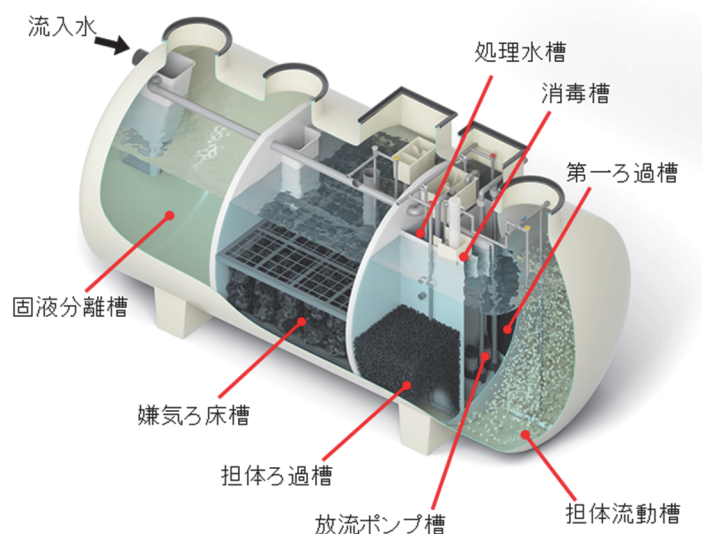


図1 大型浄化槽(KTZ型)概略図

同処理性能の他メーカーの類似装置と弊社従来装置及び本装置の比較を表1、図2に示す。メーカーごとに槽名称は異なる場合がありますが、図2の処理フローをみると類似装置の「予備ろ過槽」は従来装置の「嫌気ろ床槽」と同じ機能である。類似装置と従来装置は、一般的でほぼ同じ処理フローであることがわかる。類似装置や従来装置にはなかった第一ろ過槽を担体流動槽の前に設けた処理フローは、本装置開発の技術上の大きなポイントである。また、従来装置同等の処理性能を確保しながらスポンジ担体採用による担体流動槽容量の縮減、流入汚水による堆積した汚泥の巻き上げ・攪拌を抑制することで少ないスペースでより汚泥の濃縮貯留化を可能にし、固液分離槽・嫌気ろ床槽の容量を縮減させるというポイントも本装置のコンパクト化に繋がった。

表1 類似装置・従来装置と本装置の仕様範囲比較

処理方式		類似装置	従来装置	本装置
人槽範囲	(人)	51~1500	51~1840	51~2380
日平均汚水量範囲	(m3/日)	10.2~139.0	2.55~92.0	2.55~119.0
型式の槽本数範囲	(本)	1~6	1~3	
処理水質	BOD	(mg/L) 20以下		
	SS	(mg/L) 15以下	20以下	10以下

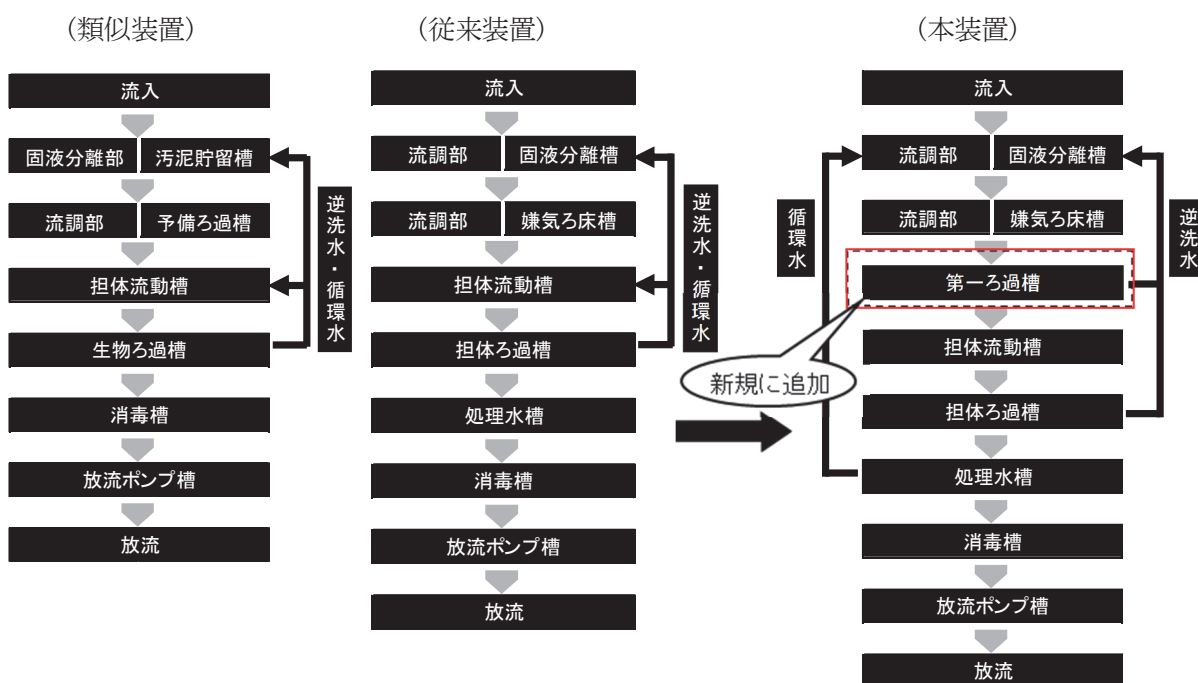


図2 処理フロー比較

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

1) 開発の背景

世界各国が各産業分野で温室効果ガスの削減に取り組む中で、浄化槽についても積極的な取り組みが推進されている。環境省が、「省エネ型浄化槽システム導入推進事業」として、2000（平成12）年以前に設置された建築基準法に定める旧構造基準及び新構造基準の大型浄化槽（60人槽以上）を省エネルギー効果が高い浄化槽への入れ替えに際して、定められた工事に要する経費の1/2を補助する制度も、その一つである。既設浄化槽の改修は、流入する汚水を継続して処理しながらの施工となるため、新たに浄化槽を設置するスペースが必要となる。そのスペースの確保という観点から、狭小地にも設置できる浄化槽本体のコンパクト化は市場からの要望である。その市場からの要望に応え、従来機をさらにコンパクト化した大型浄化槽を開発することにより、既設浄化槽の改修のみならず、新設に際しても施工費の低減に貢献することができる。

大型浄化槽は、日本国内においては約1,500件/年の需要があり、市場ではコンパクト型〔処理性能：放流BOD(生物化学的酸素要求量)20 mg/L以下〕の設置が9割を占めており、本装置の開発ではそのコンパクト型市場の中でも最も市場ニーズが高い200人槽以下をターゲットとし、顧客の施工費を大幅に低減できるようにコンパクト化することを開発コンセプトとした。

2) 開発目標

- ・全長従来装置比約80%にコンパクト化した製品の開発
- ・200人槽(日平均汚水量40m³/日)以下をFRP本体槽1本構造に収める
(10トン車で輸送する場合に積載可能な長さを1本槽の最大長さとしており当社従来装置は200人槽の条件では1本槽に収まらず本体槽2本構造)

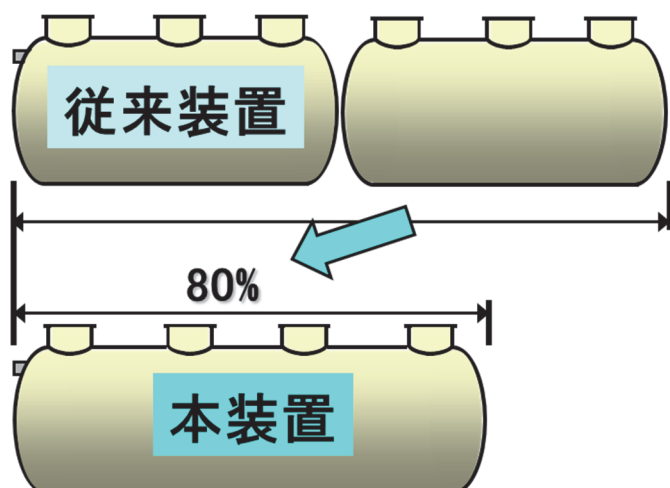


図3 従来装置と比較した本装置の目標



図4 大型浄化槽施工写真
(上：2本槽、下：1本槽の写真)

3) 開発経緯

2010年	従来装置に替わる大型浄化槽の開発に着手。 基礎試験により汚水処理フロー改良を重ね、現在の構造の採用に至る。
2014年7月～2015年6月	一般財団法人日本建築センター浄化槽試験所にて性能評価試験を実施し性能評価取得。
2015年9月	本装置の認定関連(国土交通大臣認定、型式適合認定、型式認定)取得完了。
2015年10月	販売開始
2015年11月	第1号機納入

3. 独創性

本装置の処理フローを確立するため、ろ過方法、流動担体の材質や充填量、嫌気ろ材の形状や充填量、循環水量、ばっ気風量等様々な検討を行い従来装置の処理性能を維持しながら本装置を目標どおりコンパクト化を達成できたポイントは次の3点である。

① 二段ろ過方式の採用 [SS(浮遊物質)除去能力の向上]

図4のように一段目の第一ろ過槽では汚水中のSS(浮遊物質)をろ過し、次槽の担体流動槽への流入を抑制する。従来装置には無かった第一ろ過槽を追加したことで担体流動槽への負荷が下がり、処理効率が向上したことで担体流動槽容量を減らすことにつながった。その後の二段目の担体ろ過槽で、担体流動槽で発生した汚泥をさらにろ過しSS(浮遊物質)を除去する構造としたことで従来装置より清澄な処理水を得ることができる構造になっている。この第一ろ過槽は、円筒状のろ過担体(材質:ポリプロピレン)と槽底部の逆洗管(材質:PVC)のみで構成されるシンプルな構造とした。下降流で汚水が、ろ過担体を充填したろ過槽を通過するときに浮遊物質が捕捉される。ろ過担体が閉塞しないように浄化槽への汚水流入が無い時間帯(主に夜間)に1日1回以上の頻度にて槽底部から逆洗管でエア一洗浄する。後段の担体ろ過槽も同構造とし、管体軸方向に対し処理水槽・消毒槽・放流槽を間に挟んだ対称位置に配置した。

大型浄化槽は作業者が浄化槽管体(直径2,500mm)の中で、ガラス繊維に樹脂を含浸させ、FRP部品を貼り合わせて作る部分が多い。第一ろ過槽を追加することで、小さい人槽になるほど浄化槽内の仕切板で区切られた各槽の容量が小さくなり、作業スペースが狭く製作が困難になることが懸念された。ろ過槽自体を従来装置よりもシンプルな構造に見直したことで、二段ろ過部・処理水槽・消毒槽・放流槽を本体組立前にオフラインにて一体型の形状でユニット化し、組立時に部品として浄化槽管体内に組み付ける製法に改善することで解決した。

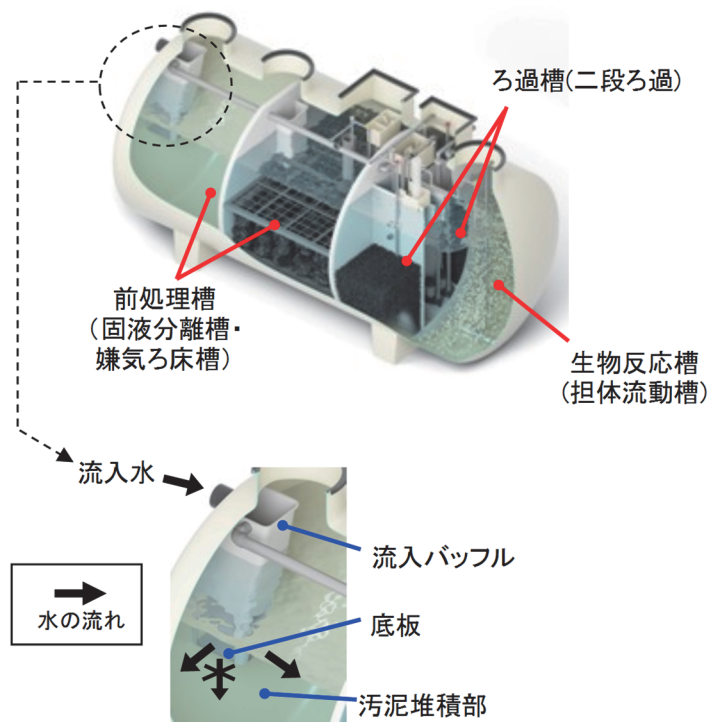


図5 本装置のポイント

② スポンジ担体の採用

従来装置に使用していた流動担体(材質：ポリプロピレン)に代わり担体の表面だけでなく内部にも微生物が固定化され、単位容積あたりの微生物量を増やすことができるスポンジ担体(材質：ウレタン)を採用した。適正な充填率を決定するために社内試験にて担体流動槽容量に対し充填率を振って確認した。担体量が多いほど固着される生物量が増え処理能力が上がるが、設定している空気量では担体が十分に槽内巡回しなくなる充填率がわかり、それを上限として性能面とコスト面で適正な充填率を決定した。①項の前段のろ過槽(第一ろ過槽)による流入負荷低減効果によって、本装置の担体流動槽を従来装置の約 75%の容量としコンパクト化を実現した。



図6 スポンジ担体

③ 前処理槽(固液分離槽・嫌気ろ床槽)の汚泥貯留方法

図5、7のように本装置の汚水流入側にある流入バップルに底板を設け、流入する汚水が直接真下に流れることなく横方向に分散する構造とした。前処理槽底部に堆積した汚泥の巻き上げ・攪拌を抑制することで、少ないスペースでより汚泥の濃縮貯留化を実現し前処理槽の容量を縮減した。

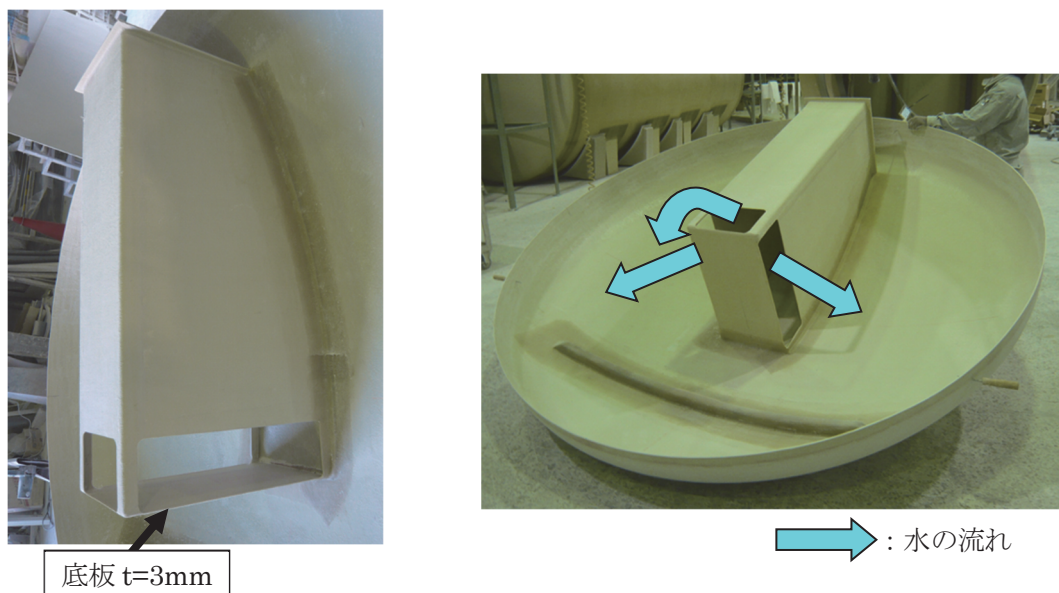


図7 流入バップル

上記①～③のポイントを中心にした技術開発により、開発目標を実現した本装置を製品化した。

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6632202号 / 名称：浄化槽

5. 性能

(1) 処理性能

浄化槽を製品化するために第三者機関による性能評価試験を実施し処理性能の公的な評価を得た。試験は実機と同じ設計基準の各単位装置で構成されるミニプラント試験槽に汚水を約6か月間流入させ、低温負荷試験(13℃試験)と恒温負荷試験(20℃試験)の2つの結果を評価し、申請(BOD:20mg/L以下、COD:30mg/L以下、SS:20mg/L以下)した処理性能が得られるかを確認する。また、流入水量を変動させて試験を行った。

試験結果(平均値)は表2のとおり、コンパクト化した本装置であるが従来装置の処理性能を表す数値と比較しても高い処理性能であることがわかる。



図8 性能評価試験写真

表2 第三者機関による性能評価試験結果(処理水質)比較

(単位：mg/L)

		BOD	COD	SS
試験 結果	従来装置	18.4	24.0	4.5
	本装置	11.7	17.7	3.6

BOD：生物化学的酸素要求量、COD：化学的酸素要求量

SS：浮遊物質

(2) 維持管理性

本装置の維持管理には、保守点検・定期清掃の2項目がある。保守点検とは、浄化槽の作動状況、施設全体の運転状況、放流水の水質等を調べ異常や故障を早期に発見し予防的処置を講ずる作業で、その頻度は3か月に1回以上として認定を得ている。

定期清掃とは浄化槽の使用に伴い必ず発生する汚泥、スカム等を槽外へ引き出し、槽及び機器等を清掃する作業で浄化槽の機能を長期にわたって維持するために不可欠な作業で、その頻度は6か月に1回以上としている。

従来装置の点検頻度は4週に1回以上と本装置より多かつたことから、維持管理する項目はさほど増えておらず維持管理を請け負う業者への点検費用が安価で済む。清掃頻度は、従来装置と同様であるため汚泥引き抜き処分費用についても同等となる。

1) 保守点検

保守点検は、一般的な項目である浄化槽内各槽の運転状況確認が主体となる。異常や消耗がある場合には調整、交換、補充が必要となる。

2) 定期清掃

定期清掃は、一定時間ごと浄化槽に貯留・堆積したスカムや余剰汚泥の搬出と異物や生物膜が付着した箇所清掃が主体となる。

表3 維持管理の主要点検項目一覧

点検場所	点検項目	保守点検	定期清掃
浄化槽	流入・放流管渠の異物・閉塞有無の確認・除去	○	
	各槽の水位異常有無の確認	○	
	担体流動槽ばっ気状況異常・発泡有無の確認	○	
	散気管の点検・掃除・交換	○	
	流調エアリフトポンプ水量確認・調整	○	
	流調計量器・循環計量器の汚泥付着有無の確認・除去	○	
	循環エアリフトポンプ水量確認・調整	○	
	逆洗水移送エアリフトポンプ水量確認・調整	○	
	各槽の水温・透視度・pH・DO(溶存酸素)測定	○	
	各槽の臭気有無の確認	○	○
	固液分離槽汚泥堆積状況の確認・清掃		○
	固液分離槽スカム状況の確認・清掃		○
	嫌気ろ床槽汚泥堆積状況の確認・清掃		○
	嫌気ろ床槽スカム状況の確認・清掃		○
	処理水槽スカム状況の確認・除去	○	○
	消毒槽スカム状況の確認・除去	○	○
	滅菌用消毒剤残量の確認と補充	○	
	機械設備	ブロワ消耗品(オイル)の点検・補充	○
ブロワ消耗品(ダイヤフラム・ベルト・エアフィルタ)の点検・交換		○	
ブロワ運転音の異常有無の確認・調整		○	
計装設備	水道メーターによる平均汚水量の確認	○	
制御機器	ろ過槽手動逆洗状態確認	○	
	タイマー設定値の確認・調整	○	
	警報有無の確認	○	

6. 経済性

本装置の経済性を、市場において需要が高い70人槽・日平均汚水量14m³/日の条件にて評価した。本装置は従来装置と比較して3か月に1回の保守点検頻度で認定を取得しており、ランニングコストで約18%の削減が図れる。また、20%の設置スペースの削減により、施工費も約12%削減できる。

表4 経済性比較(70人槽、流入BOD200mg/Lの場合)

		従来装置	本装置
処理方式		ピークカット流量調整型 固液分離嫌気ろ床 担体流動ろ過循環方式	担体流動ろ過循環方式
人槽 (人)		70	
日平均汚水量 (m ³ /日)		14	
総容量 (m ³)		23.18	17.46
寸法	全長 (mm)	5,450	4,350
	全幅 (mm)	2,500	2,500
	全高 (mm)	2,800	2,800
ブロワ	消費電力 (W)	400	380
処理水質	BOD (mg/L)	20	
メンテナンス性	保守点検頻度	4週に1回	3ヶ月に1回
	清掃頻度	6ヶ月に1回	
	逆洗操作の作業性	電磁弁1個で切替	電動弁1個で切替
経済性	本体槽	100	80
	施工費	100	88
	維持管理費 (保守点検費, 清掃費, 電力費, 補修費)	100	82
	省スペース	100	80

7. 将来性

大型浄化槽 (KTZ 型) は、浄化槽に求められる、「施工費を削減できるコンパクト性」という市場からの要望に応える将来性の高い大型浄化槽である。水処理プラントをパッケージ化した浄化槽は、工場で生産された製品をそのまま設置現場へ運搬し施工するため工期が短く、環境負荷低減の効果が早いという利点がある。日本国内のみならず、東南アジアなど海外の下水道の普及が進んでいない地域でも、水環境を改善する分散型汚水処理施設として普及することが期待されている。

日本産業機械工業会会長賞 「縮流吸音型騒音防止装置 (リニアサイレンサー®)」

株式会社ササクラ

1. 装置の詳細説明

本装置は、発電装置等の排ガス騒音を低減させる消音器である。従来型の消音器の課題を解決し、同等の消音性能を発揮しながらも小型化を実現している。

(1) 従来装置① (拡張・共鳴型消音器)

拡張型消音器は、図 1 に示すようにパイプの断面積を変化させることで、拡張室内で音波を反射させ、その反射波と入射波との干渉により消音させるものである。

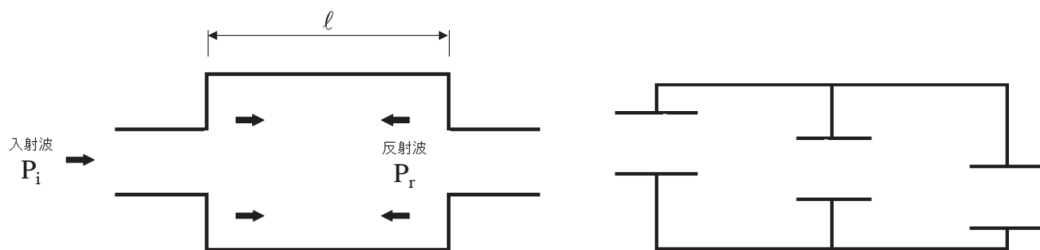


図1 拡張型消音器 (左：基本形 右：内ダクト付き二段拡張型)

一般的な排ガスサイレンサは、この拡張型消音器の派生型であり、内ダクト付き二段拡張型などとなっている。

拡張型消音器の主な特徴は、以下の①～③である。

- ① 減音効果を得ることができる周波数が離散的である (図 2 のように減音の効果が現れる周波数が飛び飛びになっている)
- ② 消音器の外径が排ガス管より大きく膨らむ
- ③ 排ガス流路に対して突起した仕切り板が必要となる

しかし、これらの特徴は以下に示す課題の要因にもなっている。

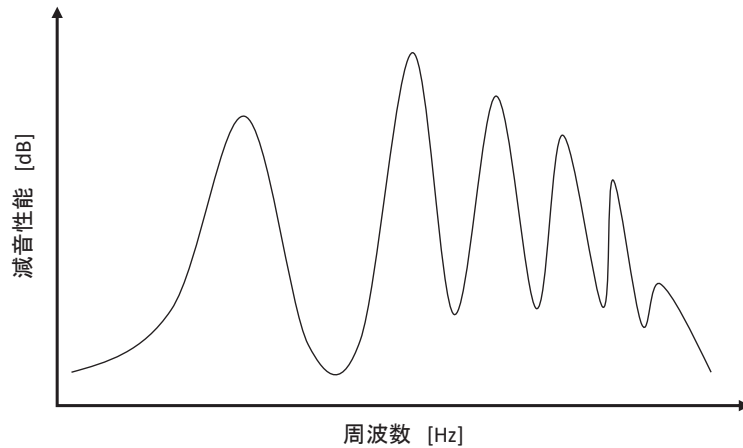


図2 拡張型消音器の減音性能と周波数の関係

まず、減音周波数が離散的であることは、音源の周波数特性によっては大きな減音効果を得ることができる反面、音源の周波数特性と減音特性が合わなければ、ほとんど減音効果を得ることができないことを意味する。また、音源の周波数特性が変動する場合に、消音器の減音特性がこれに追従できず、結果的にほとんど減音効果を得ることができないという課題もある。

次に、外径が大きく膨らむことで、過密な排ガス管システムに配管レイアウトの不自由さを強いるという課題がある。

最後に、排ガス流路に対して突起した仕切り板があることで、これが空気抵抗となり、消音器圧力損失値が大きくなっている。

(2) 従来装置② (吸音型消音器)

吸音型消音器は、ガス流路の外側に吸音材を配置し、音エネルギーを熱エネルギーに変換させる(吸音)ことで音を減衰させるものである。吸音型消音器の模式図を図3に示す。

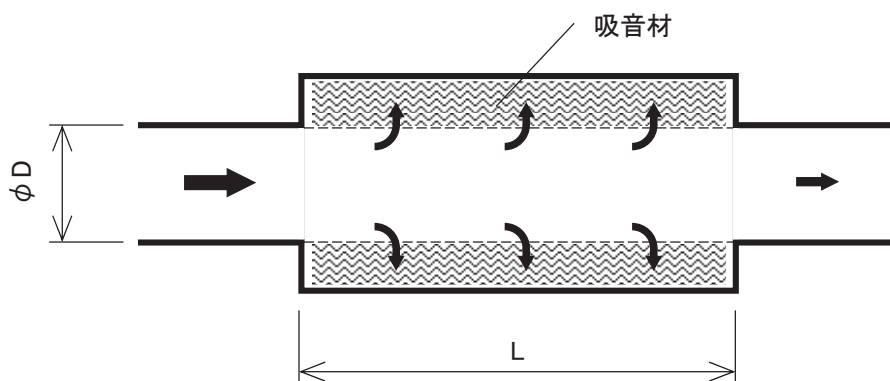


図3 吸音型消音器

本タイプの消音器は当社も従来から販売しており、取合口径(D)と全長(L)の関係 L/D が同じであれば減音性能はほぼ同じであることがわかっている。

吸音型消音器を排ガスシステムに使用するとき、拡張型と同等の減音量を満足するためには、吸音型は全長を拡張型の数倍長くしなければならないという課題がある。

(3) 当社縮流吸音型消音器（本装置）

本装置は、従来装置②の吸音型消音器を発展改良したもので、消音器内部のガス流路を同心円状に縮流し、かつ流路を平滑に保ちつつ、消音器外径を取合い径より若干張り出させ、吸音層厚さを確保している（図4）。

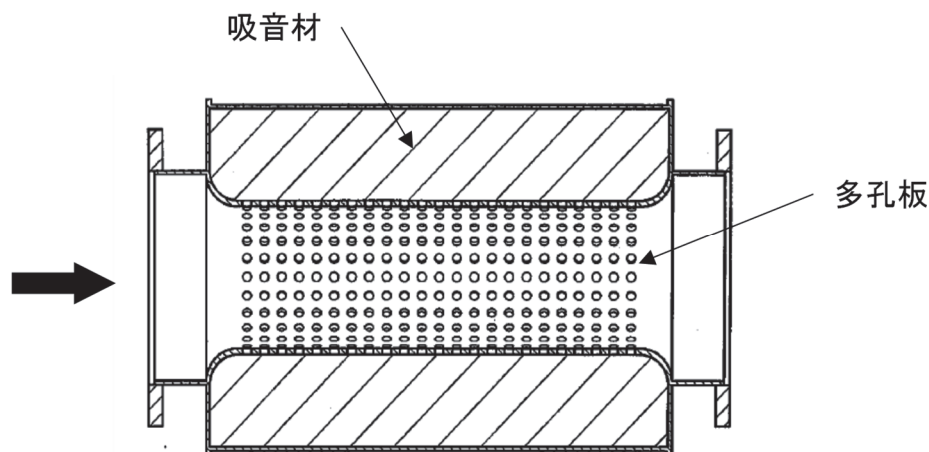


図4 縮流吸音型消音器

減音のメカニズムは吸音型消音器と同様で、消音器内部に充填した吸音材によって音エネルギーを熱エネルギーへ変換させることであるが、以下の点において従来の吸音型消音器を上回る減音性能を実現している。

- ・ 流路を絞ることにより、見かけ上の口径(D)が小さくなり、全長(L)が同じでも従来の吸音型消音器と比べて L/D が大きくなり減音性能が向上する。
- ・ 吸音層が厚くなることで、低い周波数帯での吸音効率が向上する。
- ・ 断面積変化により音が反射することで減音性能が向上している。

上述の構造により、広範な周波数帯で高い減音量を確保しつつ、圧力損失値を低く抑えることに成功した。

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

現代社会において、地球環境保護への取組みは重要な課題となっている。特にここ数年、新興国の急速な工業発展による大気汚染は深刻化の一途を辿り、多くの国で呼吸器疾患患者数を増大させている。この問題に対して、いま世界規模で動力機器（設備）の排出ガス規制を強化する動きが加速している。例えば、海運・造船業界では、国際条約によって、2020年1月以降一般海域を航行する全ての船舶に、燃料油中の硫黄分濃度の規制値を強化（低減）することを義務付けている。

このような背景において、当社は排ガスシステムの設計自由度を高め、排ガス浄化装置の設置を容易にすることを目標として、本装置（新型排ガス消音器）の開発を着手するに至った。本装置の開発コンセプトを、「消音器全長1mで10dBの減音効果を確実に得ること」とし、従来の排ガス消音器を如何にミニマムなものへ変容し得るかを追求した。

既に、排ガス浄化装置の設置が進む造船分野において、先行機の実船搭載、本装置の実船で

の性能試験を行い、本装置の性能に確たる裏付けを得ることができ、開発を完遂することができた。

2015年に顧客から高性能かつミニマムな消音器の開発要請があり、本装置の先行機となる消音器を開発したことが端緒である。その後、当社無音風洞実験設備（サクラ音響ラボラトリー）において、本開発品に至るまで複数種の消音器の実験を繰り返し行った。来歴は以下のとおりである。

2015年	先行機の開発に着手
2016年	先行機の風洞実験後、製作、試験を完了
2017年12月	本装置の開発構想を取りまとめ
2018年8月	本装置の実験計画を立案
2018年10月	風洞実験を実施
2018年10月	第1号機納入
2019年4月	実機で運用開始
2019年6月	実機で性能試験を実施
2019年9月	無音風洞実験及び実機試験の結果を取りまとめ、開発を終了

3. 独創性

本装置の独創性は、ガス流路の断面積変化による減音と、吸音層の拡大による減音を組み合わせることで、広範な周波数帯で高い減音量を確保し、全長1mで10dBの減音を実現したことである。さらに、流路を滑らかな直線上とすることで、圧力損失の低減も実現した。

また従来からの消音装置の減音性能は、文献による推定計算もしくは、現地測定によるものがほとんどであったが、本装置の開発においては本装置と従来装置を、当社音響ラボラトリーにて規格（ISO 7235（Acoustics - Laboratory measurement procedures for ducted silencers and air-terminal units - Insertion loss, flow noise and total pressure loss））に基づいた測定方法により減音性能及び圧力損失値を評価し比較した。

表1及び図5に同じ10dB減音としたときの、本装置と拡張型消音器（従来装置）の各寸法と圧力損失値の比較を示す。

表1 従来品との比較

項目	従来装置	本装置
減音の方式	内ダクト付き二段拡張型	縮流吸音型
取合管径	300A（入口・出口は偏芯）	350A
胴体径	825mm	558mm
長さ	1,800mm	1,000mm
重量	350kg	260kg
減音性能 ^{※1}	約10dB	約10dB
圧力損失値 ^{※2}	753Pa	584Pa

※1 A特性音圧レベルのオーバーオール値

※2 風洞試験において圧力損失係数を計測し、運転風量・温度に設定した換算値

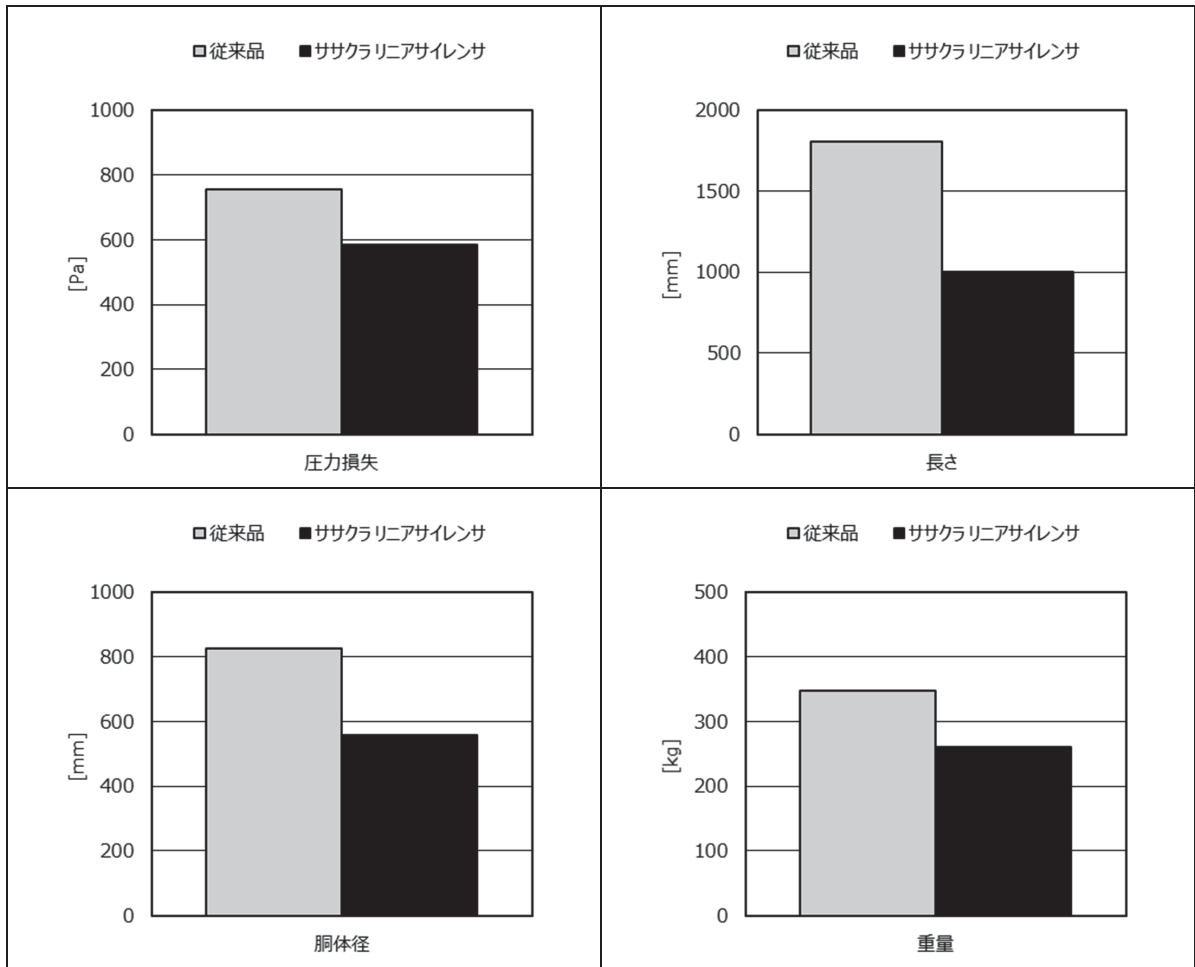


図5 従来品との比較グラフ

4. 特許の有無

次のとおり、2件の意匠権を登録済み。

登録番号：第1644193号 / 名称：消音器

登録番号：第1644194号 / 名称：消音器

5. 性能

3項に記載のとおりである。

6. 経済性

特に以下の用途において、従来品との置き換えによる配管システムのトータルコストの縮減効果が期待できる。

- ① 建築市場における、給排気通風機または空調システム用消音器及びダクトシステム全体

コスト

- ② プラント市場における、給排気通風機用消音器及びダクトシステム全体コスト
- ③ 中・小型船舶建造市場における、発電機関排ガス用消音器及び排ガスシステム全体コスト
- ④ 小型船舶及び漁船建造市場における、主機関排ガス用消音器及び排ガスシステム全体コスト

また騒音対策装置は騒音問題発生後に設置すると、本体コストに加え改造工事費も発生し、多大なコストが発生する。本装置は減音性能・圧力損失特性などが試験により確立しているため、事前の予測計算等で消音器が必要となる場合に予め設置することが可能になる。これにより事業全体のトータルコストを縮減することができる。

7. 将来性

本装置が適用できる音源は、内燃機関に限らず送風機など幅広く普及しているものである。また、内燃機関では世界規模での排出ガス規制が強化されてきており、内燃機関の排ガス系統において、消音器に割くべきスペースを縮減、あるいは消音器を廃してでも、排ガス浄化装置を設置するという動きが広がることが予想される。

本装置の採用により、限られたスペースにおいても消音が可能となり、静粛な音環境の実現（住環境の改善・作業環境の改善・作業員の安全衛生・法規制値の達成等）に貢献するものである。

— 非 売 品 —
禁無断転載

第 46 回
優秀環境装置

発 行 2020 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 03-3434-6821