

第49回 優秀環境装置

2023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2022年度「第49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。

地球規模で大きな影響を及ぼしてきた新型コロナウイルス感染症であるが、世界保健機関による最高レベルの警戒に当たる緊急事態の宣言発出から3年以上が経過し、依然として大きな脅威だとの警告とともに、本年5月にはこの宣言の終了が発表された。また、ロシアのウクライナ侵攻は長期化の様相を見せ、我が国もエネルギーや食糧の安全保障の観点から、様々な製品のサプライチェーンの見直し、国内での生産拠点の整備などが進められている。

一方、世界中で異常気象による様々な影響が出ている気候変動問題については、本年我が国で開催されたG7において、グローバルサウスを含めた国際社会全体で取り組むべき問題との認識から、各国の状況に合わせた多様な道筋が必要であることが、脱炭素に加えて循環経済、生物多様性に統合的に取り組むこととともに合意された。我が国においても、これまでに蓄積された様々な技術を更新しつつ、国内だけではなく、各国の実情に即して展開していくべきものとする。

環境装置産業は、公害が大きな社会問題であった1970年代より環境負荷低減に寄与してきた。その後も、廃棄物処理におけるダイオキシン類問題、循環型社会の構築に向けた対応、温暖化対策となるバイオマスの利活用や二酸化炭素の回収や有効利用など、時々の環境面の課題解決に取り組んできた。今後も、持続可能な社会の実現に向けた環境装置関連企業並びに工業団体などによる技術革新が、より良い社会の構築に貢献することを確信するものである。

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る次第である。

2023年7月

一般社団法人 日本産業機械工業会
会長 斎藤 保

第 49 回優秀環境装置

— 目 次 —

・ 第 49 回優秀環境装置審査報告	1
・ 第 49 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 「脱水乾燥システム」	5
・ 経済産業省産業技術環境局長賞 「下水汚泥固形燃料化システム（ジェイコンビシステム）」	21
・ 中小企業庁長官賞 「ヒータ式排ガス処理装置」	27
・ 日本産業機械工業会会長賞（応募申請書受付順） 「フレキシブル排水処理設備（ハイドロヴァンガード）」	35
「省電力送風装置（流動タービン）を用いた下水汚泥焼却設備」	45
「タール燃料を利用した排ガス処理装置」	57
「排水処理システム（AIS：アイエンス・イノベティヴ・システム）」	65

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/>

（右の QR コードからもアクセスいただけます。）



第 49 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、2022 年 10 月 11 日から 2022 年 11 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〔2 件〕、水質汚濁防止装置〔3 件〕、廃棄物処理装置〔3 件〕、土壌・地下水汚染修復装置〔1 件〕、再資源化装置〔3 件〕、温室効果ガス分離・回収・処理装置〔2 件〕、上記技術に付属したエネルギー・資源利活用装置〔1 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 9 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、その獨創性、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 49 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 4 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 49 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)

山下 隆一 経済産業省 製造産業局長
畠山陽二郎 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
小森 繁 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
東原 敏昭 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 招聘研究員
辰巳 憲司 元、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
上級研究員(研究院教授)
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 部長
森 智和 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
倉持 秀敏 国立研究開発法人国立環境研究所 資源循環領域 副領域長
石井 伸治 一般社団法人日本産業機械工業会 常務理事

(最終委員会 2023年6月6日現在)

第 49 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>

「脱水乾燥システム」

月島アクアソリューション(株)
日本下水道事業団

<経済産業省産業技術環境局長賞>

「下水汚泥固形燃料化システム（ジェイコンビスシステム）」

日鉄エンジニアリング(株)

<中小企業庁長官賞>

「ヒータ式排ガス処理装置」

クリーン・テクノロジー(株)

<日本産業機械工業会会長賞> (応募申請書受付順)

「フレキシブル排水処理設備（ハイドロヴァンガード）」

(株)水循環エンジニアリング

「省電力送風装置（流動タービン）を用いた下水汚泥焼却設備」

愛知県
日本下水道事業団
メタウォーター(株)
(株)クボタ

「タール燃料を利用した排ガス処理装置」

日工(株)
三機工業(株)

「排水処理システム

(AIS：アイエンス・イノベティヴ・システム)」

(株)アイエンス

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	3	3
廃棄物処理装置	3	1
騒音・振動防止装置	0	0
土壌・地下水汚染修復装置	1	1
再資源化装置	3	2
温室効果ガス分離・回収・処理装置	2	1
上記技術に付属したエネルギー・資源利活用装置	1	1
その他環境負荷低減に資する装置	0	0
合 計	9*	7*

※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

経済産業大臣賞 「脱水乾燥システム」

月島アクアソリューション株式会社 / 日本下水道事業団

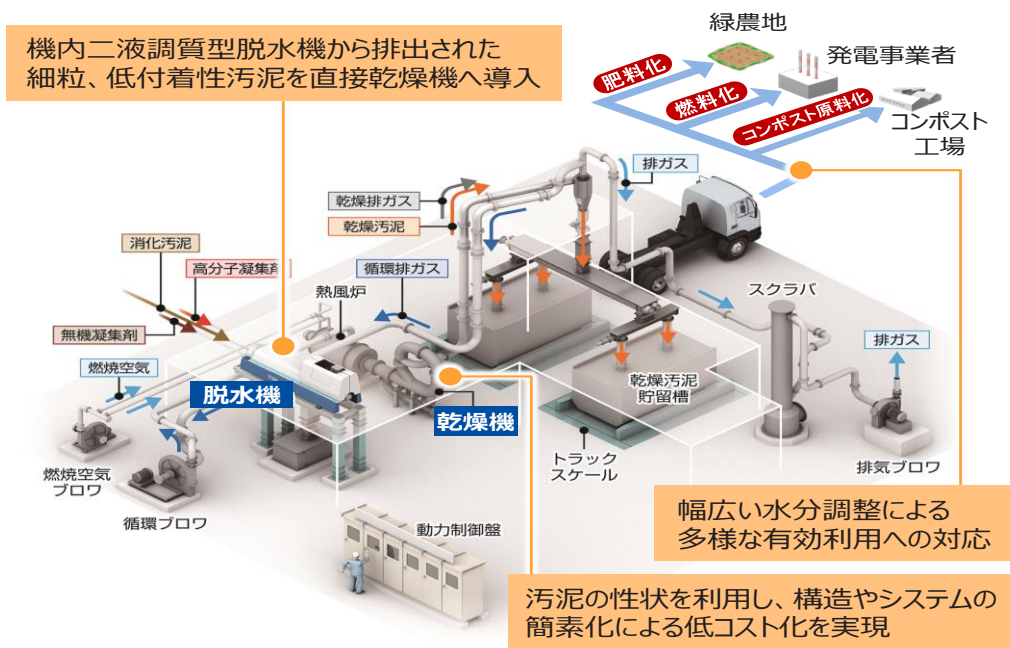
1. 装置の詳細説明

(1) コンセプト

脱水乾燥システムの概要を図表1に示す。本システムは、脱水機に高分子凝集剤と無機凝集剤を別々に添加する脱水方法を用いた機内二液調質型遠心脱水機を採用している。機内二液調質型遠心脱水機から排出される脱水汚泥は、従来の高分子凝集剤のみを添加する脱水方法に比べて、低水分かつ細粒状で粘性が低いという特徴がある。そのため、解砕機や搬送機器を排除した円環式気流乾燥機と組み合わせることが可能である。

機内二液調質型遠心脱水機と円環式気流乾燥機を組み合わせることにより、下水汚泥の脱水・乾燥処理を一体的に行うことで、システムの簡素化によるコストの削減に加え、乾燥効率の改善により省エネルギー化（従来技術に比べ45%低減）が可能である。

また、本システムでは、熱風温度を調整することにより10%から50%までの乾燥汚泥の水分調整ができ、様々な用途での有効利用が可能である。



図表1 脱水乾燥システム概要

(2) 全体フロー

設備フローを図表2に示す。脱水乾燥システムは大きく分けて、脱水設備と乾燥設備から構成されている。脱水設備は、機内二液調質型遠心脱水機、供給ポンプ（汚泥・高分子凝集剤・無機凝集剤）、振分コンベヤ及び排水槽から構成されている。乾燥設備は、円環式気流乾燥機、サイクロン、熱風炉、燃焼空気ブロワ、循環ブロワ、スクラバ、循環ポンプ、排気ブロワから構成されている。

処理対象となる汚泥は高分子凝集剤、無機凝集剤とともに遠心脱水機に供給され、機内の遠心場において固液分離作用を受け、脱水汚泥として排出される。脱水汚泥は乾燥機へ搬送される。

円環式気流乾燥機に供給された脱水汚泥は、熱風炉から供給された250～500℃程度の熱風と直接接触し、空気輸送にて円環内を循環しながら乾燥される。乾燥された汚泥は排気とともに空送され、サイクロンにて固気分離され、コンベヤを介して乾燥汚泥貯留槽に貯留される。

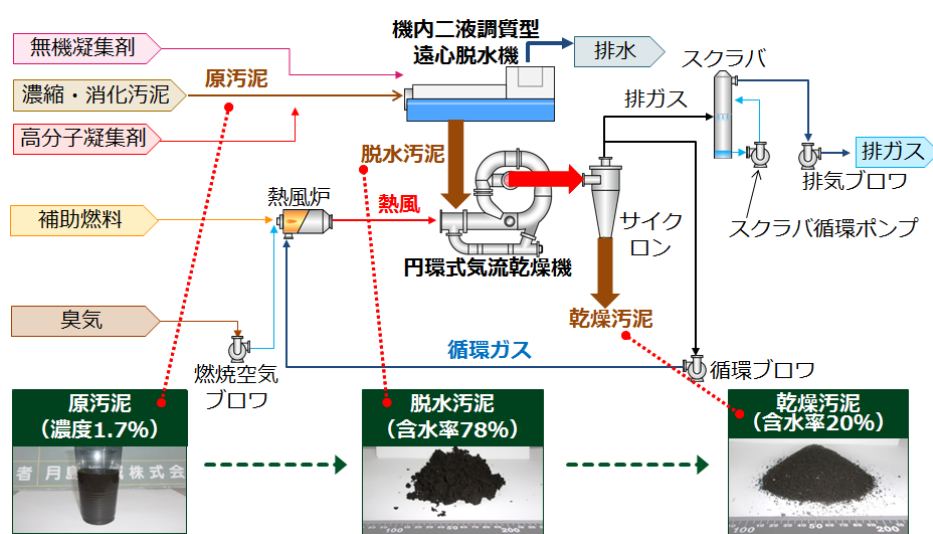
以上のように、脱水設備と乾燥設備をダイレクトに組み合わせることにより、機器点数が少ない低コストかつシンプルなプロセスを実現した。

(3) 各技術の解説

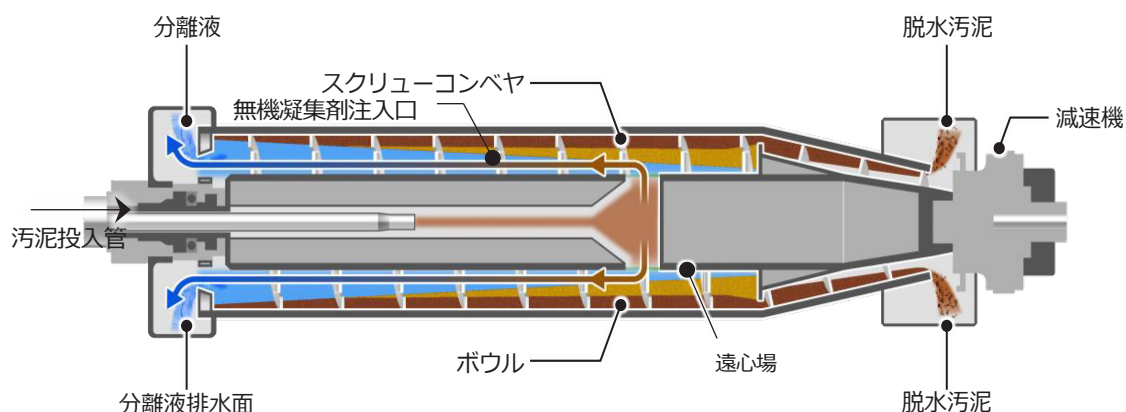
1) 機内二液調質型遠心脱水機

図表3に機内二液調質型遠心脱水機の基本構造を示す。

従来の遠心脱水技術では、汚泥と高分子凝集剤を汚泥配管にて混合し、脱水機に供給するが、本技術では、これに加えて無機凝集剤を機内の汚泥層に直接注入する。この無機凝集剤に含まれる鉄イオン（Ⅲ価）が汚泥粒子表面のマイナス荷電を中和することで、含水率が低減できると考えられている。また、鉄イオン（Ⅲ価）はpH3～4以上においては水酸化第二鉄を形成するが、この水酸化物は細かい粒子などを取り込み沈殿する作用（共沈作用）があり、汚泥粒子の固液分離性や圧密性の向上に寄与する。



図表2 設備フロー



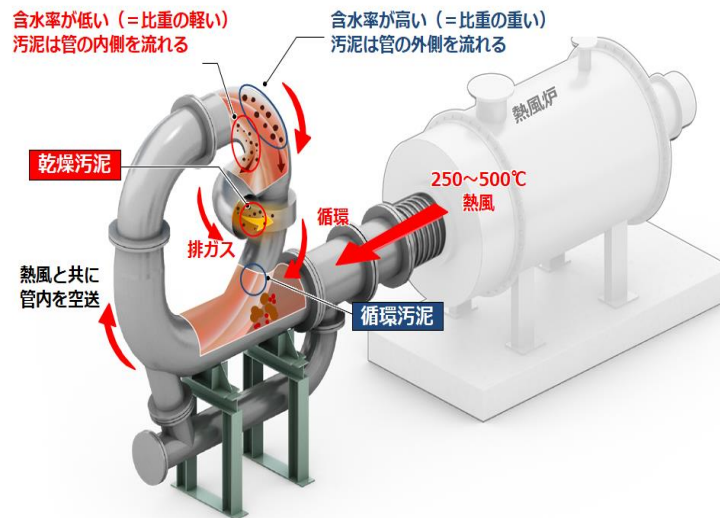
図表 3 機内二液調質型遠心脱水機の基本構造

本技術は、機内二液調質型遠心脱水機から排出される脱水汚泥が低含水であることに加え、脱水汚泥の形状が細粒状かつ低付着性であることに着目しており、後述する円環式気流乾燥機において気流に乗って空気搬送されやすい性状を有している。また、後述するベルトプレス脱水機と円環式気流乾燥機との組合せ試験について記載した。ベルトプレス脱水機の脱水汚泥は、板状の汚泥が脱水機より排出され、スパイラルコンベヤなどで運ばれていくうちに細かくなっていくので、円環式気流乾燥機での乾燥が可能である。

2) 円環式気流乾燥機

下水汚泥の乾燥処理に用いられてきた乾燥方式は、汚泥への伝熱方法によって分類されており、気流式や攪拌羽式等の熱風と汚泥を直接接触させる「直接加熱式」と、蒸気などを熱源として間接的に汚泥に伝熱する「間接加熱式」がある。本技術で採用した円環式気流乾燥機は、食品分野等で粉粒体の乾燥機として使用されてきたものであり、前者の直接加熱式に分類される。

円環式気流乾燥機は、図表 4 に示すように配管が鉛直方向に円環状に組み合わせられ、円環部の下側横に気流の入口、円環の途中の内側に気流の出口が設置されている。まず、この円環に気流を供給した場合、気流は円環に沿って循環しようとする流れと出口からの排出される流れに二分される。この状態で図中の円環部の下側に供給された汚泥は気流と接触し、そこで表面が乾燥されることでより付着しにくい状態となり、気流とともに円環状の配管で循環する。投入当初の汚泥は水分も多く比重が高いため遠心力により円環の外側を循環するが、循環している間に熱風と接触することで乾燥が進み、乾燥により比重が低くなった汚泥や粒径の小さい汚泥は円環の内側を循環するようになり、汚泥滞留時間が数秒～数分程度で円環の内側に設けられた排気口から排気と共に排出され、サイクロンにて固気分離される。



図表 4 円環式気流乾燥機の構造及び原理

2. 開発の経緯

(1) 開発経緯

近年、バイオマス資源として下水汚泥の利活用促進が国家的な施策として掲げられ、大規模処理場を中心に下水汚泥の燃料化事業が普及しつつある。

一方、中小規模処理場では依然として脱水汚泥は外部委託処分しており、下水汚泥の有効利用のため、新たな設備投資は財政的にも難しい状況にある。

このため、中小規模処理場における下水汚泥の有効利用の促進には、低コストかつ多様な有効利用用途に対応できる汚泥処理設備の確立が急務である。

こうした背景から、月島機械株式会社（当時^{※1}）を代表とする共同研究体は、機内二液調質型遠心脱水機と円環式気流乾燥機を組み合わせ、建設・維持管理費が低減でき、乾燥汚泥含水率の調整により多様な有効利用に対応できる脱水乾燥システムを開発した。

2016年度には国土交通省下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）として栃木県鹿沼市黒川終末処理場にて実証設備を建設し、性能評価を行い、2019年度に「脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術導入ガイドライン（案）」が発刊されている。さらに実証後も設備を継続活用し、乾燥汚泥の有効利用の一環として、栃木県鹿沼市及び渡辺パイプ株式会社と協力し、肥料や融雪剤としての有効利用にも成功している。開発の経緯としては以下のとおりである。

2014年度	開発プロジェクトスタート
2015年度	実験設備による現地実証試験スタート
2016～2017年度	B-DASH 実証研究
2018年度	B-DASH 終了後の自主研究並びに実運用開始、第1号機納入

¹ 現・月島ホールディングス株式会社。後に月島アクアソリューション株式会社が水環境事業を承継。

(2) 共同開発

本システムは、月島アクアソリューション株式会社、日本下水道事業団、鹿沼市、サンエコサーマル株式会社、鹿沼市農業公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。

- ・月島アクアソリューション株式会社：
設備設計・施工、試運転、運転管理、データ収集、実証評価
- ・日本下水道事業団：
研究計画の立案、設備設計・施工管理、試運転管理、有効利用検討
- ・鹿沼市：
フィールド提供、運転管理、データ収集
- ・サンエコサーマル株式会社：
有効利用検討（燃料利用）
- ・鹿沼市農業公社：
有効利用検討（肥料利用）

(3) 技術導入

特に無し

3. 独創性

本システムは以下に示す3つの独創性がある。

独創性1：脱水設備と乾燥設備を一体化することによるシステムの簡素化

独創性2：有効利用の用途に応じた幅広い含水率の調整機能の実現

独創性3：高効率な脱水技術と乾燥技術の組み合わせによる燃費低減（従来比45%減）

以下に解説を示す。なお、独創性3については性能に関する項目であることから、「5. 性能」で述べる。

(1) 独創性1：脱水設備と乾燥設備を一体化することによるシステムの簡素化

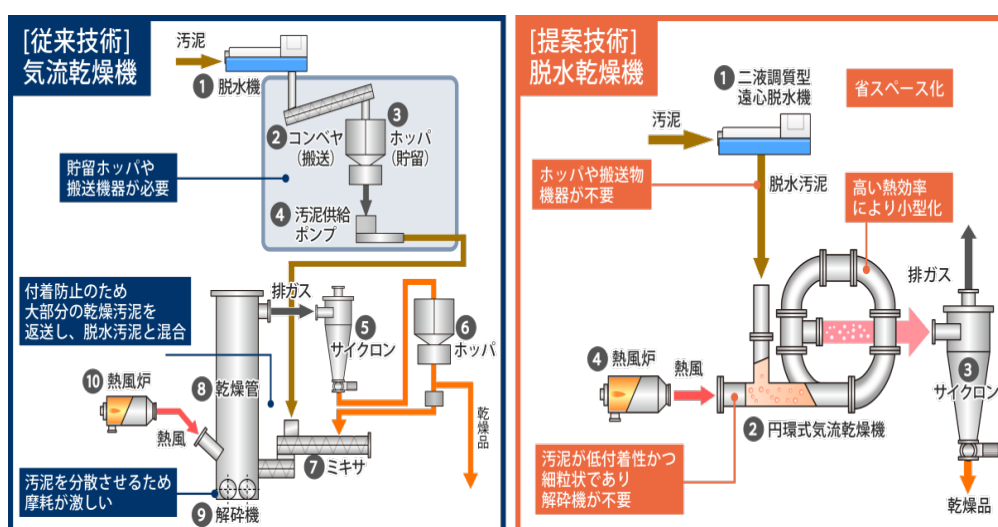
脱水乾燥システムは、機内二液調質型遠心脱水機と産業・食品分野等で利用されている乾燥機(円環式気流乾燥機)を組み合わせたシステムである。従来下水処理の脱水汚泥は塊状であり、さらに加熱面への付着性が強いことから、これを解消するために汚泥の分散や混合を行うための攪拌羽が必要であり、乾燥時間に長い滞留時間を要することから、過大な設備が必要であった。本システムでは、機内二液調質型遠心脱水機から排出される汚泥性状（低付着性および細粒状）に着目し、さらに乾燥機への気流の吹き込み位置及び量を最適化することで、従来では下水汚泥には適用が不可能と考えられていた気流乾燥機を採用することが可能となった。

図表5に示すように従来の気流乾燥技術では、汚泥の付着対策のため、乾燥汚泥の大部分を返送し、脱水汚泥と混合して乾燥機に再投入する必要があり、システムが複雑化していた。また、乾燥機内においても汚泥を分散させるために必要な解砕機の摩耗が激しく補修費が高額であった。

本システムでは、機内二液調質型遠心脱水機から排出された低付着性・細粒状の脱水汚泥が、円環式気流乾燥機で熱風と直接接触し分散作用を受けることで、複雑な付着対策構造が不要となる。これにより、従来技術に比べ、主要な機器点数の低減（従来10点→提案技術4点）や省スペース化（従来比50%低減）を実現し、建設費、維持管理費の縮減が可能となる。建設費、維持管理費の縮減については、「6. 経済性」で述べる。

(2) 独創性2：有効利用の用途に応じた幅広い含水率の調整機能の実現

図表6に従来の乾燥技術における適用含水率とその課題について示す。また、図表7に各種有効利用における適用範囲を示す。従来の技術では乾燥機の機構や原理上の制約から適用できる含水率領域が限定されていた。



図表5 従来の気流乾燥機との比較

図表6 従来の乾燥技術の適用可能な乾燥汚泥含水率とその課題

機種	気流乾燥機	間接加熱式乾燥機	攪拌羽根付熱風乾燥機
概要	<p>低含水率かつ低比重な汚泥のみ回収 高含水率な汚泥は沈降 風速 4~5m/s 熱風 乾燥管 サイクロン ミキサ 解砕機</p>	<p>高含水率汚泥は塊状になり不適用 低含水率の汚泥はディスク摩耗の原因となる 排ガス ジャケット ディスク 乾燥品</p>	<p>高含水率汚泥は塊状になり攪拌羽根の強度不足や摩耗が激しい 排ガス サイクロン 乾燥品</p>
適用含水率	10~20%	20~40%	10~30%
課題	高水分では乾燥管内や解砕機への汚泥の付着があり低水分では解砕機の摩耗が激しい。	高水分では塊状となり、かつ付着の問題により排出できない。排出可能だが、ディスクの摩耗が激しい。	攪拌羽根の強度不足のため、運転できない。排出可能だが、攪拌羽根の摩耗が激しい。

一方、有効利用の用途によっては、含水率10%~50%程度の幅広い範囲で要求される。このため、乾燥設備導入後に社会情勢などの影響により有効利用の用途を変更することが難しく、結果的に乾燥設備導入の大きな障壁となっていた。

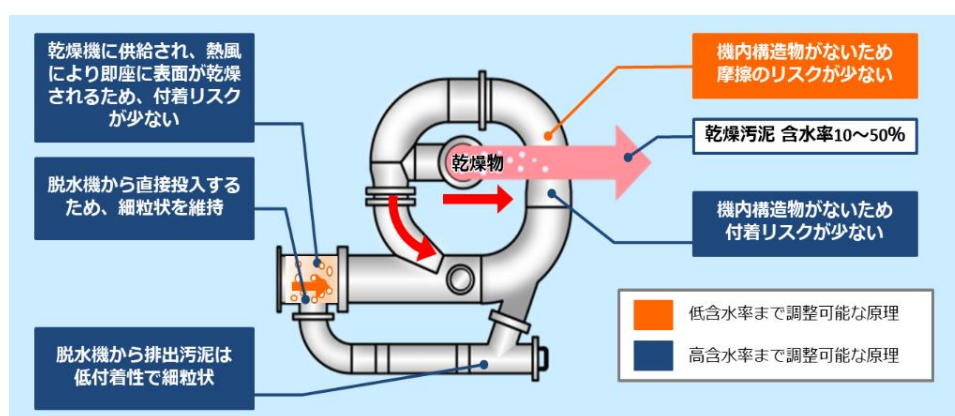
図表8に円環式気流乾燥機における適用含水率とその特徴を示す。脱水機から排出される水汚泥の性状（低付着性及び細粒状）を維持したまま乾燥機に直接投入し、汚泥表面を熱風で瞬時に乾燥させることで、付着性の問題を解消している。

このため、含水率50%程度の高含水率の領域についても安定的に運転することが可能である。また、円環式気流乾燥機の特長として、熱風の温度を上げることで乾燥汚泥含水率10%程度に調整することが可能であり、機内構造物がないことから他の乾燥機では解決できなかった摩耗の問題も改善している。

以上より、高含水率汚泥による付着の問題及び低含水率汚泥による摩耗の問題を解消し、乾燥汚泥含水率を10~50%程度に調整することで、様々な有効利用に対応できる。



図表7 各種有効利用への適用範囲



図表8 円環式気流乾燥機の特徴

4. 特許

次のとおり、特許 5 件を取得済み。

特許番号：第 6565097 号 / 名称：有機性廃棄物の処理装置および処理方法

特許番号：第 6678263 号 / 名称：有機性廃棄物の処理装置および処理方法

特許番号：第 6846920 号 / 名称：有機性廃棄物の処理方法および処理装置

特許番号：第 6869126 号 / 名称：汚泥の処理方法および処理装置

特許番号：第 7116606 号 / 名称：有機性廃棄物の処理方法および処理装置

5. 性能

(1) 高効率な脱水技術と乾燥技術の組み合わせによる燃費低減（従来比 45%減）

「3. 独創性」の独創性 3 の解説として記載する。

脱水乾燥システムは、低含水率化が可能な脱水技術の適用により蒸発水分量を低減し、さらに熱効率の高い乾燥技術を組み合わせることで、これらの相乗効果により、従来に対して乾燥に要する熱量を 45%低減（同じ固形物量を処理した場合）できる。

$$\text{低減率} = 100\% - (\text{蒸発水分量の低減}^1) 78\% \times \text{乾燥必要熱量の低減}^2) 70\% = 45\%$$

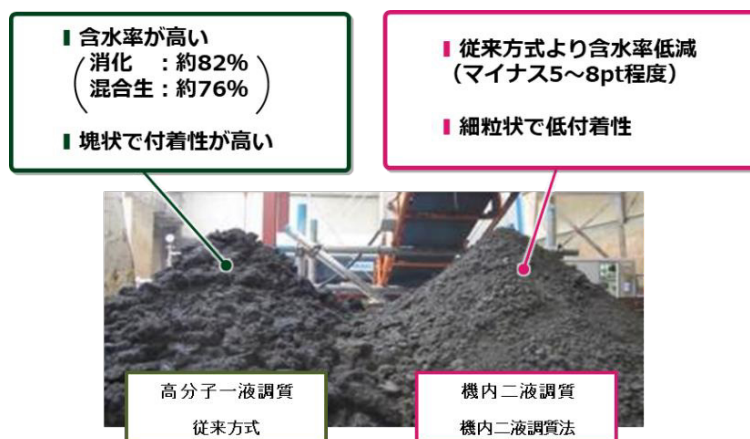
式中の 1) 及び 2) について、以下に述べる。

1) 蒸発水分量の低減（従来比 78%）

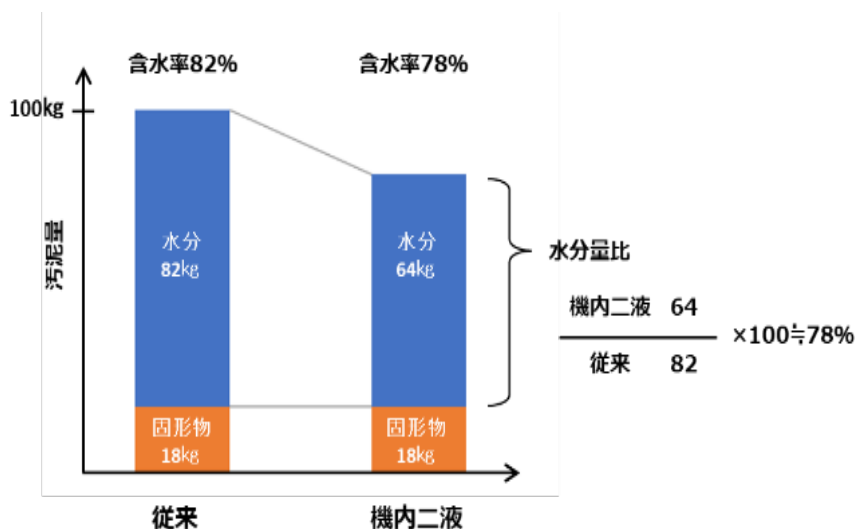
「1. 装置の詳細説明」にて前述したように、機内二液調質型遠心脱水機は無機凝集剤を脱水機内に直接供給することで脱水汚泥の含水率を低減することが可能である。

図表 9 に脱水汚泥の含水率とその状態を示す。消化汚泥に対する従来の脱水技術（高分子一液調質）での含水率が 82%程度であるのに対し、本技術では 74~77%以下の含水率が達成可能である。

図表 10 に汚泥中の水分量における従来（含水率 82%）と機内二液（含水率 78%）の比較を示す。本技術を適用し、含水率を 4pt 低減することで乾燥工程における蒸発水分量が 78%程度に低減できることがわかる。



図表 9 脱水汚泥の状態と水分



図表 10 汚泥中の水分量の比較

2) 乾燥必要熱量の低減 (従来比 70%)

図表 9 に示したように機内二液調質型遠心脱水機から排出された汚泥は粒状であり固／気界面が大きい特徴がある。また、「1. 装置の詳細説明」に記載したように円環式気流乾燥機は大量の熱風を使い、管内を循環させる乾燥原理を有する。このため、本システムではこれらの相乗効果により、従来の気流乾燥機に比べて、乾燥熱効率が低い利点がある。具体的には従来の気流乾燥機の乾燥熱効率が 50% (当社比) であるのに対し、円環式気流乾燥機では 70～75% と 1.5 倍程度の効率が得られる。

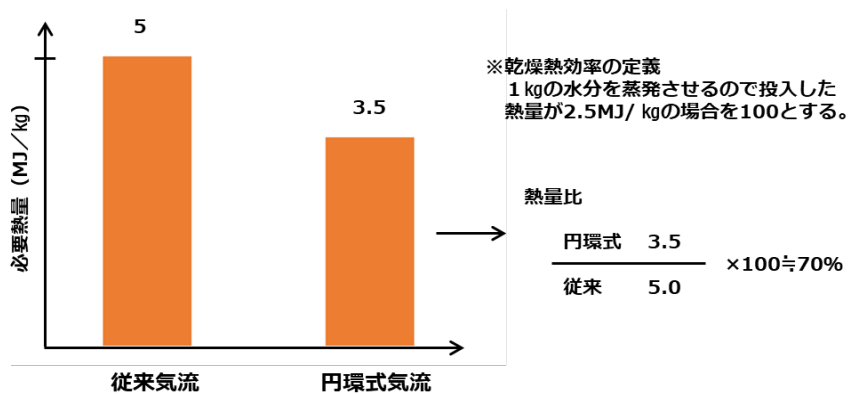
図表 11 に 1 kg の水分を蒸発させるのに要するエネルギー量の比較を示す。乾燥熱効率が低い円環式気流乾燥機では従来の気流乾燥機に対して、70% 程度のエネルギーで同量の水分を蒸発させる能力を有している。

(2) 乾燥汚泥の有効利用について

1) 肥料利用

図表 12 に乾燥汚泥の肥料成分の分析結果を示す。分析結果から窒素及びリンを豊富に含み、また、有害成分・溶出試験 (データは割愛) にも問題がなく、肥料として利用可能であることが確認された。

次に、この乾燥汚泥を鹿沼市農業公社の圃場で実際の作物に施肥した結果について報告する。図表 13 に大豆、飼料米を栽培した結果を示す。成分分析結果からも分かるように下水汚泥は窒素やリンを豊富に含む良質な肥料原料であるが、カリウム分が極端に少ない。このため使用に際しては、化学肥料を併用しカリウム分を補充することで、対照区 (化学肥料のみを施肥) と同等以上の収量が得られた。こうしたことから、特性に合わせた使用方法を示すことにて十分肥料としての活用が可能であるといえる。



図表 11 単位蒸発水分量あたりの必要熱量

図表 12 肥料成分 分析結果

対象汚泥	結果
亜鉛 mg/kg	433
窒素 %	5.83
りん酸 %	4.26
加里 %	0.2
石灰 %	1.51
銅 mg/kg	466
水分 %	16.8
C/N 比	5.91

図表 13 肥料利用試験結果

作物	大豆		飼料用米		
	試験区	対照区	試験区	対照区	
圃場	15a	15a	28.5a	31.6a	
施肥	化学肥料	20kg	30kg	塩化カリ 9kg/10a	50kg
	汚泥肥料	180kg	—	172kg/10a	—
収量	26kg/a	23kg/a	73.0kg/a	66.3kg/a	

2) 燃料利用

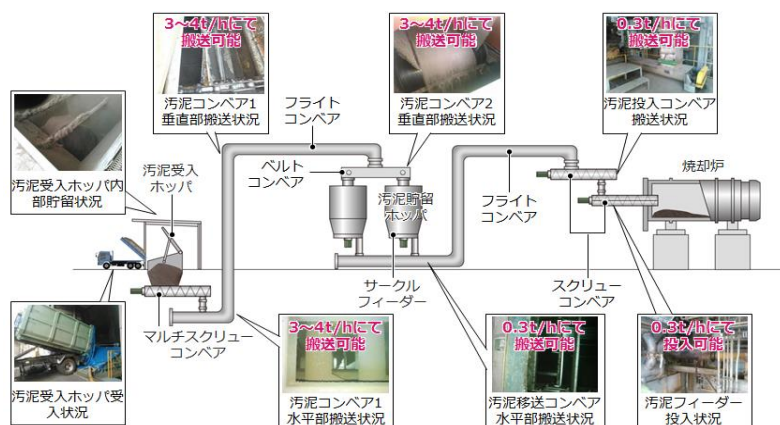
図表 14 に乾燥汚泥の燃料成分の分析結果を示す。

成分分析結果から消化、混合生両汚泥ともに発熱量、含水率ともに JIS Z7312 (BSF-15) を満足していることが確認された。また、共同研究体の構成員であるサンエコサーマル株式会社の焼却発電設備にて年間を通じて乾燥汚泥（消化汚泥）を使用結果については、搬送や貯留などの設備面については図表 15 に示す。

乾燥汚泥は搬送、貯留工程や燃焼工程においても問題がなく、実用上燃料として活用可能であることが確認された。

図表 14 燃料成分分析結果

対象汚泥		消化	混合生	JIS BSF-15
含水率	%	12	14	20 以下
灰分	%	18	11	—
総発熱量 MJ/kg	乾基準	19	20	
	湿基準	17	17	15 以上



図表 15 サンエコサーマルにおける乾燥汚泥利用フロー

6. 経済性

脱水乾燥システムを導入した場合の経済的なメリットを示す。前述したように中小規模の下水処理場では、有効利用や焼却設備が無く、脱水汚泥を外部委託処理するケースがほとんどである。以上より、ここでは従来の処理方法として脱水処理との比較を示す。

(1) 検討条件

図表 16 に試算の対象となる処理場の処理条件と単価設定を示す。

(2) 試算条件

1) 建設費

建設費については設備一式の機械工事も掌分（機器、据付・配管・機械基礎、動力制御盤及び二次側配線工事）を想定し、比較には耐用年数 15 年とした場合の年価にて評価を行った。なお、建設費には交付金、補助金は考慮しないものとした。

2) 維持管理費

図表 17 に維持管理費の試算条件を示す。維持管理費としては、補修費、薬剤（高分子凝集剤、無機凝集剤）、電力費及び燃料費を考慮した。処理性能に関わる数値は、B-DASH 実証研究のガイドライン（国総研資料 第 1058 号 B-DASH プロジェクト No. 23 脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術導入ガイドライン（案））の値を使用した。燃料費は場内の消化ガスの有効利用を図ることを前提とし、費用は計上しないものとした。（概ね処理場で発生する消化ガスの 50～70%程度を使用） 人員については、日勤は脱水担当者が兼任し、夜間は中央監

視室の夜勤にて対応することを前提とし、増員は考慮しないものとする。なお、本運用方式は第1号機での実運用を元としている。

(3) 試算結果

図表 18 に試算結果を示す。従来の脱水設備のライフサイクルコストは汚泥処分費が全体7割程度大きなウエイトを示していることが分かる。一方、脱水乾燥システムは、従来の脱水設備単体よりも建設費、電気代、補修費などが増加する傾向にあるが、乾燥による汚泥の減容化並びに燃料・肥料としての付加価値の創出により、汚泥処分費が大幅に低減できる傾向があり、ライフサイクルコスト合計で約20%以上の低減効果があることが分かる。

図表 16 対象処理場の処理条件と単価設定

処 理 条 件	汚泥種	消化汚泥		
	水処理方式	標準活性汚泥法		
	汚泥濃縮方式	分離機械濃縮		
	汚泥処理方式	消化→脱水		
	汚泥量 t-ds/日	最大	3.75	
日平均		3.00		
単 価 設 定	汚泥処分費	有効利用	利用先までの運搬費として5,000円/t	
		産廃処分	運搬費込みで23,000円/t	
	薬品費	高分子	1,000円/kg	
		無機	50円/kg	
	電力	15円/kg		
燃料	処理場で発生する消化ガスを使用する			

図表 17 維持管理条件

		従来	脱水乾燥システム
脱 水	高分子注入率	1.9%	1.9%
	無機注入率	0%	20%
	脱水汚泥含水率	82%	78%
乾 燥	燃料原単位	—	275L/t-ds
	乾燥汚泥含水率	—	20%
そ の 他 条 件	電力原単位	3kw/m ³	635kW/t-ds
	稼働条件	335日/年、24h稼働	
	補修費	メーカー想定値とする	

図表 18 試算結果

		従来（脱水）	脱水乾燥システム
建設費	建設費年価	14	40
維持 管理費	高分子凝集剤	11	11
	無機凝集剤	0	6
	電気	1	6
	汚泥処分	69	3
	補修	4	12
合計		100	78

7. 将来性

(1) 脱水乾燥システムを活用したエネルギー循環型バイオマス集約モデルについて

脱水乾燥システムを導入した下水処理場をバイオマス集約拠点としたエネルギー循環型のモデルを図表 19 に示す。

本モデルは、中核となる下水処理場を周辺処理場の汚泥や WET 系バイオマスの集約拠点施設として位置づけることが出発点といえる。まず、小規模の下水処理場においてはその規模や立地に合わせ、濃縮汚泥や脱水汚泥の形態で集約し、拠点施設において消化、乾燥処理を行うことで、エネルギー化が図れる。同様に、従来は他部局で管理されていたし尿や生ゴミといった WET 系バイオマスについても集約することで、エネルギー化が可能となる。最後に乾燥された汚泥は地域社会で燃料化物や肥料としての活用に加え、現在 B-DASH 実証研究中のバイオマスボイラを拠点施設に導入することで、場内で汚泥のエネルギーを活用することが可能となる。

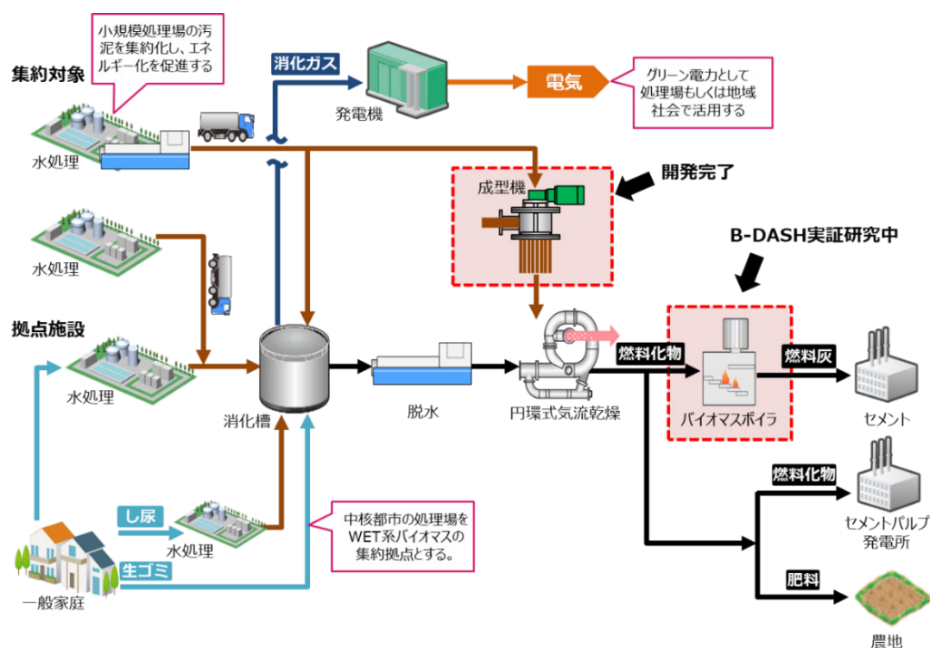
これはあくまで一例ではあるが、各市町村の財政、立地、状況に合わせて、これらの技術を組み合わせることで、全国の自治体が抱える広域化の推進、バイオマスの利活用等の課題解決と経済合理性を両立することができる画期的なモデルが確立できる。

(2) 更なる技術開発について

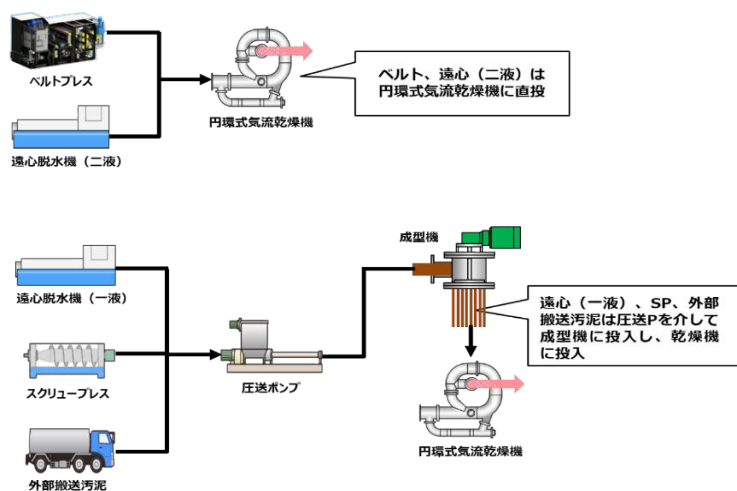
以下に、新たな技術開発を紹介する。

1) 各種脱水機種への円環式気流乾燥機の適用

脱水乾燥システムの最大のポイントは脱水汚泥をそのまま乾燥機に投入することで、システムの簡素化や乾燥の効率化が図れる点である。一方、処理場の更新計画においては、既設脱水機を更新することができず、このシステム全体を納入することが難しいケースもある。こうした事例に対応するため、様々な脱水機種と円環式気流乾燥機の適用性について検討を行った。この結果、ベルトプレス、機内二液遠心脱水機は乾燥機に直接投入することが可能であり、その他の機種については脱水汚泥を乾燥しやすい形状に調整する成型機を開発することで、現在下水道事業で採用されているすべての機種が適用可能となった。また、外部の処理場から運搬された汚泥についても適用が可能となった。



図表 19 脱水乾燥システムを活用したエネルギー循環型バイオマス集約モデル



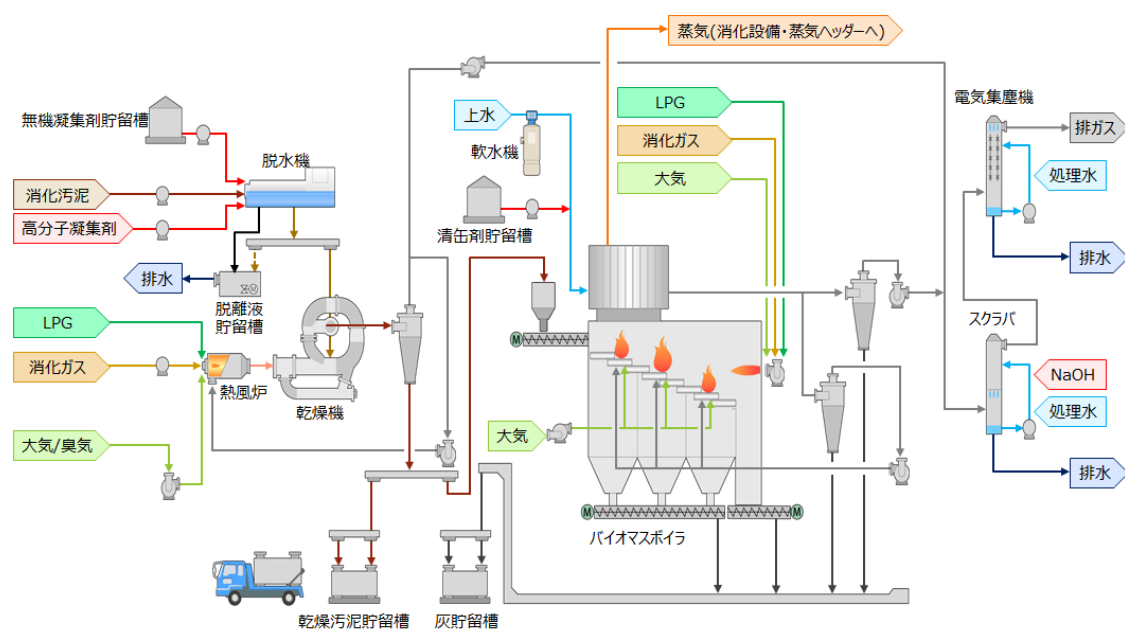
図表 20 各種脱水機との組み合わせパターン

2) バイオマスボイラによる乾燥汚泥のエネルギー利用

乾燥した汚泥が地域社会で有効活用できることが最も理想的なスキームといえるが、処理場の立地、ユーザーの存在、汚泥運搬などすべて要素を満足する必要がある、全国の処理場でこれが成立することは難しいといえる。

こうした処理場においては、場内で燃料化物をエネルギー資源として活用する手段も有効であると考え、本システムから発生する乾燥汚泥を燃料として熱利用をバイオマスボイラの開発に着手し、2020年度採択のB-DASH実証研究において実証試験を実施している。(図表21に実証フローを示す)

このボイラを活用すれば、乾燥汚泥のエネルギーを廃熱、蒸気、温水といった形で、処理場内で有効活用することができることから、近隣に有効利用ユーザーが存在しない地域での一つの打開策になると考えられる。



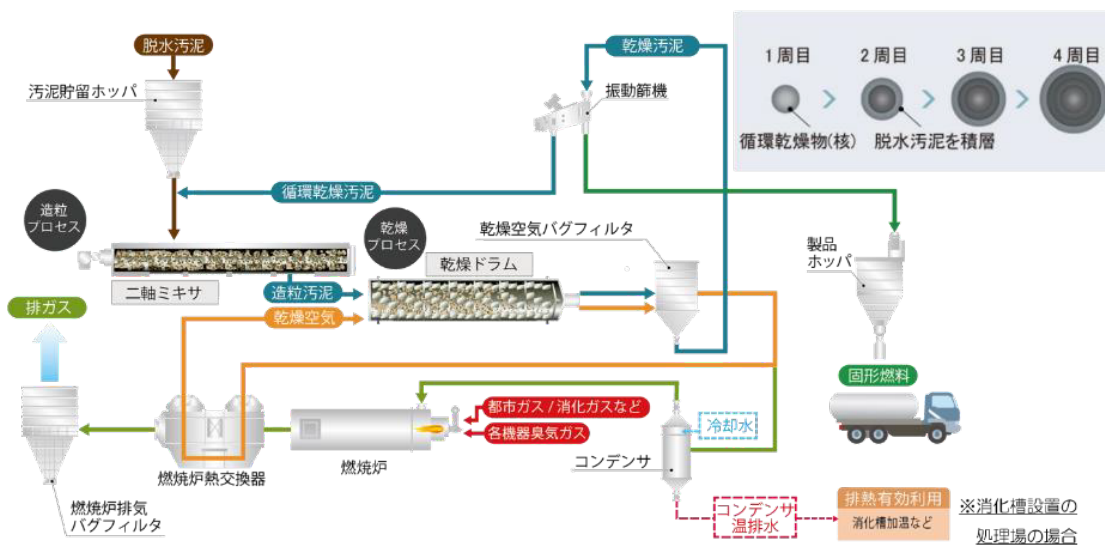
図表 21 脱水乾燥システムとバイオマスボイラを組合せたフロー

経済産業省産業技術環境局長賞 「下水汚泥固形燃料化システム (ジェイコンビシステム) 日鉄エンジニアリング株式会社

1. 装置の詳細説明

下水汚泥固形燃料化システム（ジェイコンビシステム）は、下水汚泥を代表とする有機性脱水汚泥を、球形状の造粒乾燥物（ペレット）として固形燃料化するシステムである。システムの概略フローを図表1に示す。本システムは、二軸ミキサで下水汚泥の粘着性と水分を利用して循環造粒乾燥物（核粒子）に汚泥を薄膜状に塗布し攪拌造粒する「造粒プロセス」と、乾燥ドラム内で約400℃の熱風により乾燥する「乾燥プロセス」で構成される。

造粒乾燥物は振動篩により分級され、所定のサイズとなったものを製品ペレットとして排出し、それ以外のサイズの造粒乾燥物は、「造粒プロセス」に戻される。また、乾燥ガスは、臭気や粉塵を系外に排出しない負圧循環方式を採用しており、引き抜かれた一部ガスは、蒸発水相当量の水分を凝縮させた後、燃焼炉で燃焼脱臭し、系外へ排出する。なお、下水処理場の消化槽から発生する消化ガス（下水汚泥のメタン発酵により生じるカーボンニュートラルなバイオガス燃料）を本システムの補助燃料として利用することができ、これにより更なるライフサイクルコストの最適化（経済性向上）と温室効果ガス排出量の大幅な削減（環境負荷軽減）が図れる。



図表1：ジェイコンビシステム 概略フロー（造粒・乾燥プロセス）

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

近年、地球温暖化防止に向けた取り組みの一環として、再生可能エネルギーの開拓が盛んに進められている中、バイオマスが新しいエネルギー源として注目されている。中でも、下水汚泥（＝下水処理場で発生する主に微生物からなるバイオマス）は、その集積性や安定性（量、質）等に優位性があるため、特に注目を集めている。

そこで、この下水汚泥を固形燃料に加工し、石炭代替物等として火力発電所等で混焼利用することを実現すれば、地球温暖化防止に貢献するとともに、従前果たせなかった下水汚泥の長期安定的なリサイクルを実現することも可能となる。

当社では下水汚泥の有効利用による低炭素、脱炭素社会への貢献を目的に、下水汚泥が有する熱量を損なうことなくハンドリング性の良いペレット状燃料に加工できる「造粒乾燥方式による下水汚泥燃料化技術」をスイスコンビ社より技術導入した。2004～2006年には日本下水道事業団との共同研究を実施し、日本の地理特性や下水汚泥性状に合わせた設備仕様の変更・運転方法の検証を行い、本システムの開発を進めた。2008年、当社は前述の初期開発に加え、性状の異なる複数の下水汚泥の集約処理に対応するシステム制御及びスケールアップ対応を行った実証機である脱水汚泥燃料化施設を民間施設に納入、2013年には第1号機の納入に至った。

1) 日本下水道事業団との共同研究（2004～2006年）

- ・本システムを実際の下水処理場内に設置し、乾燥ペレットの製造試験を実施。
- ・本試験により以下の項目について確認した。
 - ①燃費が良好であり、乾燥ペレットが石炭代替等として有効利用されることによるCO₂削減量が、本システムからのCO₂排出量を上回ること。
 - ②排ガス及び排水等の環境基準を満足すること。

2) 民間脱水汚泥燃料化施設への適用（2008年）

- ・複数の下水処理場から集約される汚泥受入に対する対応 ⇒ カスケード制御の導入
- ・汚泥処理能力 20ton/日（技術導入初期）から 30ton/日へのスケールアップ

3) 第1号機納入（2013年）

- ・固形燃料に係る臭気への対応（活性炭添加による汚泥由来固形燃料の臭気低減対応）
- ・立ち上げ及び立下げ手順の簡素化を実現（半自動化、二流体の適用）
- ・汚泥処理能力 30ton/日から 70ton/日^{※1}へのスケールアップ

4) 第1号機納入後の対応（2014年～）

- ・本システムからのCO₂排出量削減を目的として、補助燃料として木チップを採用 ⇒ 木チップ燃焼設備を導入（2017年）
- ・市街地立地に合わせ、本システムからの臭気漏洩対策を強化 ⇒ 臭気源となる汚泥系統設備の屋内化、臭気モニタリング機器の設置（2017年）

¹ 自治体案件の多くは汚泥処理能力 70ton/日以上が求められる。

(2) 共同開発
共同開発者無し

(3) 技術導入

スイスコンビ社より造粒乾燥方式に関する技術を導入。導入後、日本国内の下水処理事情に合わせた設備仕様への変更並びに、設計・建設、維持管理運営等を行政と民間事業者が連携して取り組む官民連携事業（PPP/PFI）における効率的な事業運営の観点から、以下の改善を実施。

- 1) スイスと異なる日本特有の密集した居住環境への対応 ⇒ 脱臭炉による臭気対策
- 2) 日本の汚泥に適用した運転方法の確立 ⇒ 造粒手順・評価方法（触診）を確立
- 3) 本システムのライフサイクルコスト改善及びCO₂排出量削減
⇒ 排ガス再循環装置の導入による使用補助燃料（都市ガス等）の燃費改善
- 4) 維持管理性の向上 ⇒ 二流体ノズルの導入による設備の立上・立下の時間短縮ならびに過乾燥リスクの低減による安全性向上

3. 独創性

(1) 造粒乾燥方式の採用

汚泥の有機分をほぼ全量保持した高カロリー・低灰分の固形燃料を安定的に製造、石炭等の代替燃料として全量有効利用されCO₂削減効果の最大化に貢献。

(2) 均一粒径の造粒

1～5mm程度の均一粒径に造粒するため、他の汚泥燃料化方式と比べて粉塵が少なく取り扱いが容易。下水汚泥含水率が変動した場合には、過乾燥または乾燥不足が発生し、造粒が難しくなったり、粒径にばらつきが出たりする。そこで下水汚泥含水率が変動した場合には、水分蒸発に必要な熱負荷の変動に伴い、乾燥ドラム内温度が変動するが、乾燥ドラム温度に応じて燃焼量が自動的に調整されるカスケード制御を導入し、汚泥燃料の品質安定化を実現している。

(3) 下水汚泥の性状変動に強いシステム

本技術は下水汚泥の熱分解を伴わないため、下水汚泥中の有機分（強熱減量や発熱量）の変動が本システムの運転に影響せず、幅広い含水率（70～85%）、多様な有機汚泥（消化・未消化汚泥等）に対応可能。

(4) 熱分解を伴わないプロセス

焼却や炭化と異なり焼却灰等副生物の発生がないほか、助剤・添加物も不要。そのため副生物の最終処分や助剤・添加物の購入が不要であり、維持管理コストを低減することが可能。

(5) バイオマスエネルギーの補助燃料利用

消化ガスや木チップなどのバイオマスエネルギーを本システムの補助燃料として使用可能で、これによりランニングコストの最適化とCO₂排出量削減効果の最大化を図ることが可能。

(6) 粉塵・臭気漏れ対策

乾燥ガスは閉回路で負圧循環されるため、粉塵・臭気の漏れない。

(7) 立ち上げ・立ち下げ時間の短縮等による汚泥の過乾燥対策

設備構成がシンプルで、運転の立ち上げ・立ち下げの時間が短く、定期修繕期間も短いため、設備稼働率が高く、また運転操作や保守が容易であり安全性が高い。下水汚泥処理においては、日々発生する汚泥をいかに毎日安定的に処理できるかが重要である。

技術導入当初は設備の立ち上げは徐々に温度を上げ、立ち下げは自然冷却を基本としていたため、相応の時間がかかるとともに、系内の下水汚泥の量が定格より少なかったり、本システムに送泥された下水汚泥の含水率が低かったりする場合に、過乾燥リスクが高まる。そこで、立ち上げ・立ち下げの時間短縮による設備稼働日数の確保と、過乾燥リスク低減による安全性向上を目的として、二流体ノズルを導入。水の噴霧によって乾燥ドラム内の水分蒸発量(温度)調節を行い、立ち上げ・立ち下げ時の系内の汚泥量減少時や運転中に乾燥ドラム内温度が高くなった場合にも、タイマーにドラム内の水分蒸発量を制御できるため、汚泥の過乾燥による発熱リスクを低減している。

4. 特許の有無

次のとおり、特許4件を取得済み。

特許番号：第 6594168 号 / 名称：汚泥乾燥装置及び汚泥乾燥方法

特許番号：第 6298776 号 / 名称：分級バグフィルタ

特許番号：第 6249882 号 / 名称：汚泥乾燥装置および汚泥乾燥方法

特許番号：第 6192448 号 / 名称：汚泥乾燥装置

5. 性能

他固形燃料化方式である炭化方式との比較として、下水汚泥固形燃料化システムの技術評価に関する報告書(2008年3月 日本下水道事業団発行)に基づき、図表2に示す。

6. 経済性

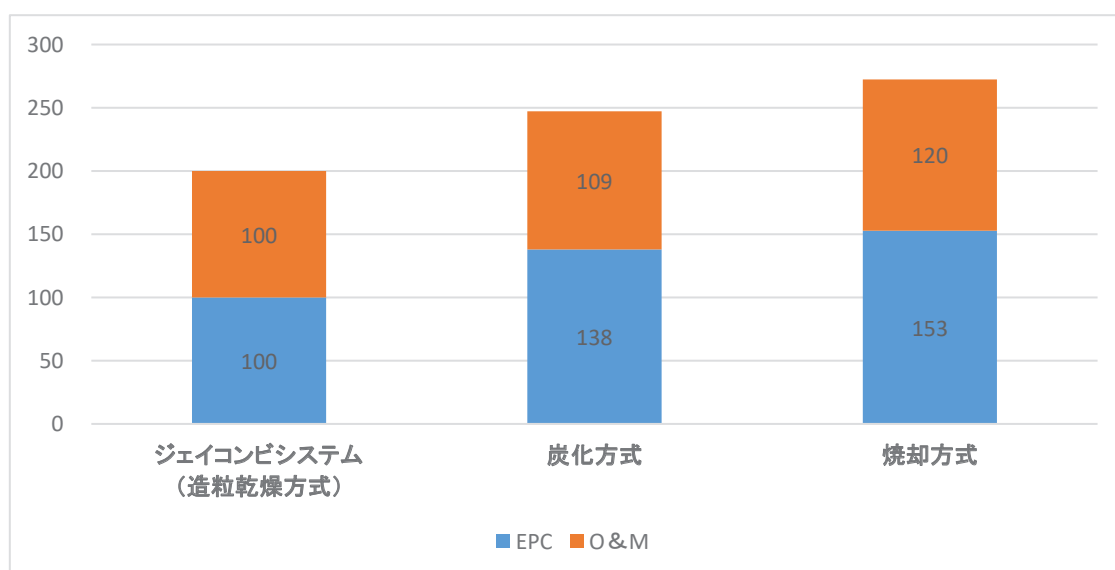
各汚泥処理方式の経済性対比結果を図表3に示す。本システム(造粒乾燥方式)のインシヤルコスト(設計・建設に係る費用)とランニングコスト(維持管理・運営に係る費用)をそれぞれ100とした場合、炭化方式ではインシヤルコストは138、ランニングコストは109、焼却方式ではインシヤルコストは153、ランニングコストは120となる。図表3作成にあたっては、以下の試算条件にて算出した金額を使用した。

(試算条件)

下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン(2017年度版)等を用い、汚泥処理能力60ton/日×1系列規模、事業運営期間を20年間と仮定、またインシヤルコストに関しては流域下水道に係わる国庫補助適用(インシヤルコストのうち2/3補助)を想定し、当社にてインシヤルコストとランニングコストを概略推算、本システムの各費用をそれぞれ100として他方式の費用と比較している。

図表2 本システムと他固形燃料化方式（炭化燃料化システム）との比較

項目		本技術 (乾燥燃料化システム)	炭化燃料化システム	補足
設備構成		造粒・乾燥設備で構成する汚泥系+燃焼炉・熱交換器で構成する乾燥ガス系	乾燥機・炭化炉で構成する汚泥系+炭化炉から排出される排ガスを処理する排ガス系+廃熱回収系統	—
設備特性	設備構成	排ガス処理設備が不要のため、機器点数が少ない	<ul style="list-style-type: none"> ・熱分解を伴うため排ガス処理設備が必要 ・発熱対策として、造粒処理、薬剤処理、加湿処理等の設備が必要 	乾燥は設備構成がシンプルで維持管理性が高い
燃料特性	総発熱量	汚泥を熱分解せず、汚泥の固形分のすべてを燃料として回収するため発熱量が高い	汚泥の熱分解を伴うため、乾燥に比べ発熱量が低い	乾燥は汚泥燃料の発熱量が高いため、 <u>温室効果ガス削減効果が高い</u>
	破砕性 (HGI)	18~20 (石炭よりも硬い)	50~60 (粉状のものから造粒しているため、脆い)	乾燥は型崩れせず粉塵発生を抑制し、 <u>粉塵爆発、臭気拡散リスクを低減</u>
	安全性	自己発熱性が小さい	自己発熱性が大きい	乾燥は酸化発熱しにくく、同じ温度下においても炭化に比して発火までの時間が長い



図表3 ジェイコンシステム（造粒乾燥方式）と他方式（炭化・焼却）との対比

7. 将来性

昨今の石炭等のエネルギー価格高騰と、脱炭素の急激な流れを受け、石炭の約 2/3 の総発熱量^{※2}を有し、カーボンニュートラルなバイオマス燃料である下水汚泥固形燃料に対する利用先（石炭火力発電所等）からのニーズは急増している。

石炭等代替燃料として汚泥固形燃料を有効利用することは、目に見える形で脱炭素化に貢献しうる施策となるため、今後、炭素税の導入等も予想される中、下水汚泥が持つカロリー価値を損なわないエネルギー回収効率の高い本システムは、今後も相応の需要が見込まれるものと考えられる。

また、本システムで製造される汚泥固形燃料は、肥効性の高い肥料としての利用が可能である。下水汚泥資源のエネルギー利用拡大と併せ、肥料利用拡大にも注力し、下水道事業を通じた循環型社会の実現に貢献してまいりたい。

² 汚泥燃料の総発熱量は原料となる脱水汚泥の性状に依るが、概ね以下の想定とした。
総発熱量：石炭 6,000kcal/kg 汚泥燃料 4,000kcal/kg

中小企業庁長官賞

「ヒータ式排ガス処理装置」

クリーン・テクノロジー株式会社

1. 装置の詳細説明

(1) はじめに

近年、持続可能な社会を実現するための開発目標(SDGs)が叫ばれはじめ、あらゆる産業分野で地球環境に配慮した商品開発が求められている。半導体業界も例外ではなく、半導体製造過程のさまざまなプロセスにおいて、環境負荷の低い素材の使用、省エネ稼働する装置の開発が求められている。

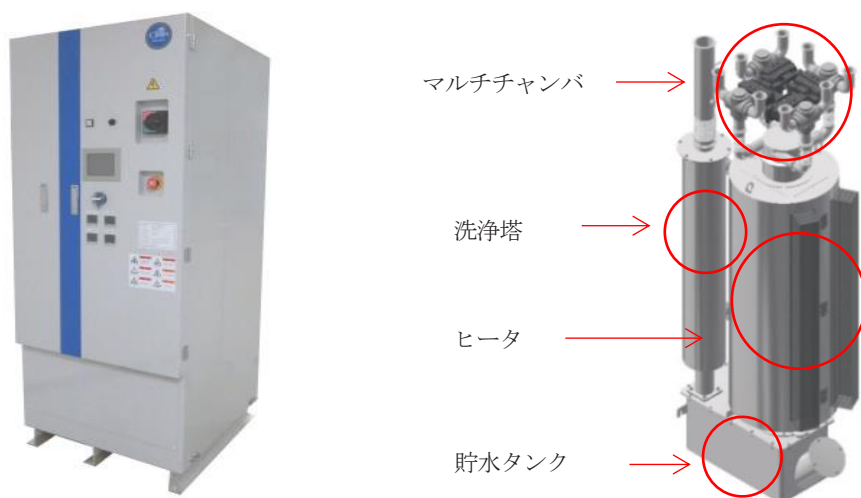
半導体の排ガス処理装置は、半導体製造過程の中でも主に CVD 工程やエッチング工程で排出される排ガスを処理することを目的としている。CVD 工程においては、デポジットガスとしてシラン (SiH_4)、ホスフィン (PH_3) 等が用いられ、クリーニングガスとして三フッ化窒素 (NF_3)、八フッ化プロパン (C_3F_8) 等が用いられる。エッチング工程では、塩素 (Cl_2) や臭化水素 (HBr) などのハロゲンガス、またクリーニングガスとして四フッ化メタン (CF_4)、六フッ化硫黄 (SF_6) 等が用いられる。これら排ガスには、人体に有害なもの(可燃性ガス、ハロゲンガス)から、地球温暖化係数が高いもの(PFC ガス)まで、物性的に様々なものがあり、これらを一度に処理するには熱分解処理を行うのが最も効果的である。従来、熱分解処理を行う排ガス処理装置としては、燃料ガスを用いるバーナ燃焼式が一般的であったが、環境負荷を考えて近年は電熱ヒータ式が主流になりつつある。本装置は従来のヒータ式排ガス処理装置において常識として考えられたことを、弊社独自の発想で覆し今までにない究極のエネルギー効率を実現した、環境に配慮した新たなヒータ式排ガス処理装置である。

(2) 本装置の構成と原理

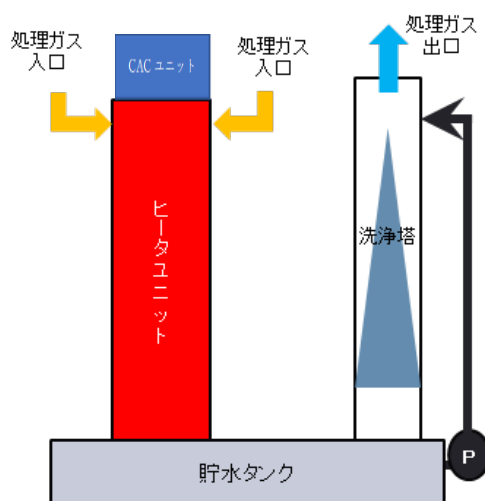
本装置は SiH_4 ガスや PFC ガスをまず電熱ヒータで熱分解し、副生成物として出てくるフッ化水素 (HF) や粉体(二酸化ケイ素 [SiO_2]) を後段の水洗浄塔で洗浄除去する構成となっている(図表 1)。半導体製造工程で排出される有害ガスには、これら可燃性ガスや PFC ガス以外にもハロゲンガス (Cl_2 , HBr , 三塩化ホウ素 [BCl_3]) 等があり、さらに前段製造装置で発生した粉体も含まれる。これらも後段の洗浄塔にて処理される。ガスの導入部にはマルチチャンバが設置され、そこで前段装置の各チャンバからくるガスが混合されて反応炉に流入する。また、ヒータと洗浄塔の下部には貯水タンクがあり、ここで粉体が捕集される。

従来のヒータ式排ガス処理装置は前段に洗浄塔があり、前段洗浄塔 - ヒータ - 後段洗浄塔の構成が一般的である(図表 2)。前段に洗浄塔を設置することによって、前段装置から流れ込む粉体の除去とヒータでのガス分解に必要な水分を供給することができる。ただ、逆にこの前段

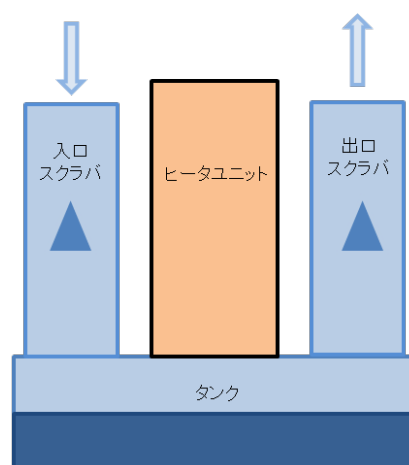
洗浄塔が粉体を作り出してしまいうこともあり、その対応として、配管にヒータジャケットを巻く必要が生じることもあった。本装置はヒータの上部に弊社独自技術である CAC(Clean Technology Anti-corrosion)ユニットが設置されている。これは一種の水供給ユニットで、ここから必要なときに必要なだけの水分を供給することができる。またこのCACユニットはマルチチャンバ部に設置されているので、ヒータからの余熱を有するマルチチャンバ部で、ガスの混合と水の蒸発を同時に行うことで、ここが予備反応炉の形で機能する。これにより本装置は前段洗浄塔を必要とせず、洗浄塔からヒータユニットへの配管を無くすことができるので、この配管部にヒータジャケットを巻く必要もなく、更なる消費電力削減が可能となる。



フロー図



図表 1 本装置の外観、構成部品、フロー



図表2 一般的なヒータ式排ガス処理装置のフロー

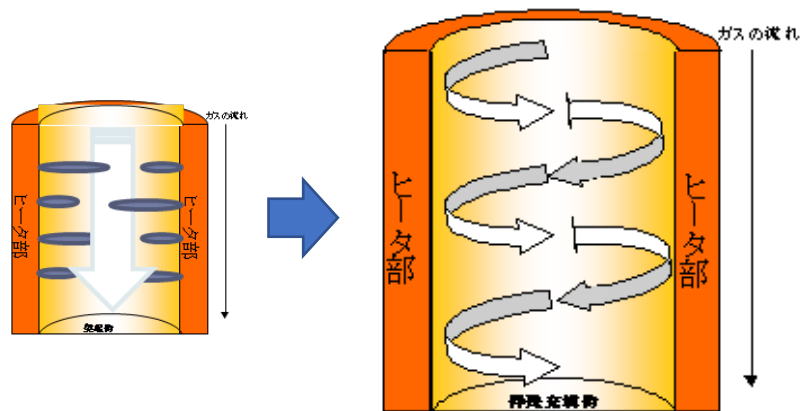
(3) ヒータユニットの特徴

本装置は発熱部であるヒータに直接ガスを当てる直接加熱方式ではなく、ヒータと処理ガスが直接接触することがない間接加熱方式を採用している。これは腐食性ガスによってヒータ自身が損傷することや、流入してくる粉体によってヒータ表面が覆われ、性能が著しく低下することを防ぐことが第一の目的である。また、直接加熱方式のヒータ式排ガス処理装置においては、ガスに熱を効率的に伝えるために、ガスの滞留時間を長く保つべくガスの流速を遅くする設計になっている。ただし、反応炉内に一定の温度ムラを生じることは避けられない。

これに対して我々は敢えてガスの流速を速くすることで、反応炉内の温度を均一化し、熱伝導率を上げようと考えた。あらゆる加熱炉の反応容器の内部には、「不働態層」と呼ばれるガスが澱みのように固定化して、結果として伝熱を妨げるように働く空気層が存在する。当初は反応炉内に突起物を設け、表面積を拡張することで熱交換率をあげることを試みたが、その後、ガスを炉内に旋回流で投入して、炉内にガスがスパイラル状に流れるよう工夫することで、この不働態層を強制的に動かし攪拌させ、熱伝導効率を高め、炉内の温度均一化に成功した。これをスパイラル機構と呼んでいる(図表3)。スパイラルをより効率化するために、炉内に特殊充填物を設置し、ガスの反応流路を最適化するための工夫がなされている。これらの工夫によって、ヒータ熱のガスへの伝熱という点において、究極の効率化を実現し、低い運転エネルギーでのガス処理が可能となった。

この特徴的な構造に加え、ヒータ上部には弊社独自のCACユニットが設置されている。これにより更なる反応の効率化、配管腐食の抑制を行っている。従来のヒータ前段に洗浄塔があるタイプの装置では、ヒータに流入する水分量を制御することが難しい。この方式であれば、必要なときに必要なだけの水分を供給することができるため、ヒータに余分な負荷をかけることがない。このCACユニットに関してはすでに特許を取得している。

上記、スパイラル機構及びCACユニットが弊社ヒータ式排ガス処理装置の大きな特徴である。その後も様々な工夫を重ねて効率化を図ることで、ヒータの常用温度を高め、今まではヒータ式での分解処理が難しかったガスまでも処理が可能となった。



図表 3 スパイラル機構

2. 開発経緯

本装置はその開発当初から、間接加熱ということ最大のテーマとした。常識的には、間接加熱はガスが直接ヒータに触れないのだから、熱伝導的に不利になると考えるのが普通である。ただ、直接加熱方式はヒータの近傍での熱伝導は良くても、反応炉内に必ず一定の温度ムラが生じ、温度が低いところからガスがすり抜けてしまう。我々は、間接加熱では炉内に熱源がないというデメリットを逆手にとって、構造最適化によって炉内の温度を均一化し、低温部でのガスのすり抜けを防ぎ、熱効率を上げることができるのではないかと考えた。最初期のヒータのみの方式は、炉内に突起物を多く設け、炉壁の表面積をできるだけ広くし、ガスに乱流を起こさせることで炉内を攪拌し、温度均一化を試みた。この当時はヒータ式での主な処理対象ガスは可燃性ガスのシラン (SiH_4) 等であったので、この方式でも十分有用であった。

しかし、時代の変化に伴いヒータ式で処理すべきガスの種類が増え、PFC ガスのような比較的難分解性のガスも処理する必要が生じてきた。その場合、上記ヒータのみでは対応ができなかった。また PFC ガスが分解すると副生成物としてフッ化水素 (HF) が発生するため、水洗浄塔でこれを取り除く必要も生じた。そこで後段に洗浄塔を取り付けたタイプの開発に着手した。この時にガスの熱伝導率を高めるための新たな方法として、ガスを旋回流で速い流速で炉内に流すスパイラル機構を見出した。この機構により、炉内に生じる不働態層を薄くできることが分かり、熱交換効率が飛躍的に向上した。

さらに、反応に必要な水分を供給することと、炉内の腐食を抑えることを目的にヒータ上部に設置する水添加ユニットである CAC システムを開発した。この方法により、前段に水洗浄塔を設ける必要がなくなり、必要な水分を必要だけ供給できるようになり、ヒータのエネルギーロスを大幅に減らすことができた。その後、反応炉内のさらなる構造最適化を進め、今までのヒータ式では処理が難しかった難分解性のガスまで処理可能となり、ヒータ式排ガス処理装置の可能性を押し広げることに成功した(図表 4)。



図表 4 処理対象ガスとそれに対応する排ガス処理装置

- 2000年1月～ 初期のヒータのみのタイプの開発に着手
(処理対象ガスはSiH₄等の可燃性ガスがメイン)
- 2002年1月～ ヒータの後段に水洗浄塔を組み合わせたタイプの開発に着手
ガスに熱を効率的に伝える機構としてスパイラル機構を搭載
(処理対象ガスをPFCガスにまで拡大)
- 2004年9月～ ヒータ上部に水添加システムとしてのCACユニットを搭載
ガス入口のマルチチャンバと合わせて、更なる効率化、シンプル化を実現
- 2006年12月～ 本装置の初期モデル完成
- 2017年9月～ スパイラル機構の更なる改善により今までは対応が困難であったガス
にまで処理対象範囲を拡大することに成功
- 2018年5月 第1号機納入

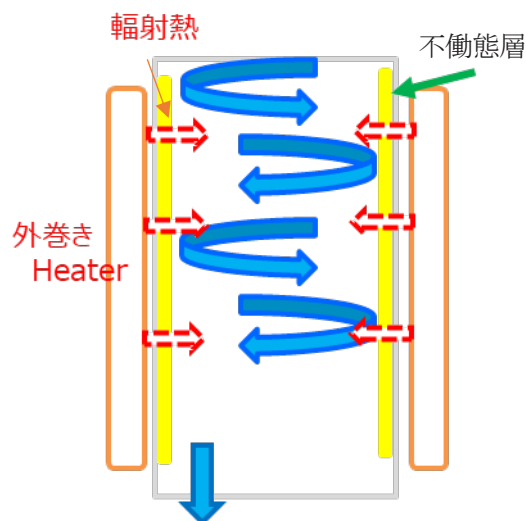
(2) 共同開発
なし

(3) 技術導入
なし

3. 独創性

図表5は反応炉内の構造を模式的に表したものである。間接加熱方式を採用する場合、ガスの反応に必要な熱はそのすべてが輻射熱として供給されることになる。輻射熱は伝導熱と違って空間を通して伝わるので、ガスに熱を効率的に伝えることができるように、炉内を自由に設計することができる。

また、ガスの反応促進を考える場合、ガスの流速を遅くしてガスの滞留時間を長くとり、反応時間を長くしようとするのが一般的である。下式はガスの初期濃度と反応後の濃度、及びそれらの反応時間の関係を表した式である。



図表 5 反応炉内の構造

$$C_A(t) = C_{A0} \exp(-kt)$$

$C_A(t)$: t秒後の濃度 C_{A0} : 初期濃度 t : 時間 (秒)

反応後の濃度 C_A を低くするためにできるだけ反応時間 t を長くとるために、ガスの流速を遅くしようとするのが一般的だが、開発にあたって敢えてガス流速を早くすることで熱交換率の向上ができないかと考えた。その発想のもとになったのは反応炉内にできる不働態層の存在である。この不働態層という空気の断熱層はヒータ方式、プラズマ方式、バーナー燃焼方式等、熱による排ガス処理を行う装置には必ず存在し、その状態は消費電力に大きく影響する。反応を効率化するためには、単純に温度を上げれば良いのではなく、いかにこの不働態層を薄く制御することが出来るかがポイントとなる。様々な試験を行った結果、線速を一定以上に上げることで、実際にガスの分解効率が向上することを見出した。さらにこのガスの流し方をスパイラル状にすることで、ガスが炉内全体に行き渡る形となり、反応炉内の温度均一化が実現できたほか、処理対象ガスの流量が変化した場合でも偏流が生じず安定した性能を発揮することを見出した。

また、PFC ガス対応の初期の装置には、我々が想定していたよりも配管腐食が激しいという問題があった。そこで、水分を上部からヒータ部に直接供給し F 分をフッ素 (F_2) ではなく、フッ化水素 (HF) にすることで配管腐食を抑えられないかと考え開発したのが弊社独自の水供給ユニット CAC (Clean Technology Anti-Corrosion) システムである。本システム開発の結果、配管腐食抑制の効果が認められたため特許出願している。

その後、我々はこのシステムを更に発展させ、反応に必要な水分も供給すること、また必要な時だけ水分供給を行い、必要でないときは止めることでヒータ負荷を下げることを実現した。さらにこの水分の供給の仕方も工夫し、ガスの旋回流に上手く乗るように内部構造とのマッチングも図った。この CAC システムもスパイラル機構同様、従来にはなかった発想により実現したものである。ヒータ部分に直接水を入れるとヒータに負荷がかかるため、一般的には避けられるが、実際には前段に水洗浄塔がある場合はヒータ部に水分が結果として流れ込んでくる。

しかも、ガスの流れがある限り常に流れ込んでくる。水供給ユニットにすることで、必要な時に必要なだけ流すことができ、大幅なエネルギー削減を実現した。

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4340522号 / 名称：フッ素化合物を含有する排ガスの処理方法及び処理装置

5. 性能

(1) エネルギー効率

本装置の最大の特徴は熱交換効率が高いことによる消費電力の低さである。同じ条件のガスを処理するときの消費電力は従来装置の約半分まで済む(図表6)。

(2) 処理性能

本装置はスパイラル機構により、熱交換効率を最大限高めたことにより、今までのヒータ式では処理が困難であったガスまで処理が可能となった。その一例として一酸化二窒素(N_2O)ガスの従来装置との処理性能比較を図表7に示す。排ガスは物質により分解のしやすさに違いがあり、ヒータ式の装置で対応できないガスはプラズマ式かバーナ式で対応するのが一般的であった(図表4)。本装置は、ヒータ式排ガス処理装置の適用範囲を押し広げることに成功し、従来のヒータ式排ガス処理装置で対応可能であったガス(NH_3 、 SiH_4 、 NF_3 等)も全く問題なく処理することができる。

(3) 耐久性・安全性、運転・操作性、維持管理性

本装置は、間接加熱方式を採用しているため、処理ガスがヒータ線に直接触れることがなく、ヒータはほぼ半永久的に使えるほどの優れた耐久性を持つ。また、従来のバーナ式のように燃料を使用しないので爆発の危険もなく、プラズマ式のような高電圧を使うこともないため、極めて安全に使用することができる。装置は前面に取り付けられた操作パネルにてタッチ操作で簡単に操作可能である。また、PLCには外部出力のEthernet端子を有し、工場全体の中央監視システム(CMS)に繋ぐことで、リアルタイムで運転状況をモニタリングすることができ、維持管理性にも優れる。

図表6 処理風量150L/min時の消費電力比較

	本装置消費電力(kW)	従来装置消費電力(kW)
Single仕様	6.5	12.5
Dual仕様	6×2ユニット	—

図表7 本装置と従来装置の N_2O 除害性能比較

	本装置	従来装置
N_2O 除害効率(%)	92~99%	70~92%

6. 経済性

本装置は、熱交換効率を極限まで高め、 N_2O 等の難分解性ガスにまで対応でき、しかも消費電力を従来装置に比べて48%低減することができる。また、導入CDA(エア)量も半分まで下げることができるため、ランニングコストが従来製品に比べ、約半分となる。

7. 将来性

半導体業界においては今後も更なる微細化やウエハサイズの大口径化が進み、プロセスの排出ガス量はますます増えることが予想され、さらに分解効率としても従来は90%でよかったものが95%、さらに99%までといった方向に進みつつある。この状況の中で排ガス処理装置に今まで以上の高性能が求められるのは必至である。それと同時に、顧客の設備費導入費用の削減、用力費用の削減に対する要請も益々高まっており、本装置のような独自の発想によるユニークな装置の存在は、業界において益々重要になってくると考える。現に、まだ本格的な市場展開には至っていないが、処理風量を従来の1.7倍にまで高めた新たな装置の開発も行っている。今後、当社ヒータ式排ガス処理装置の更なる市場展開が期待される。

日本産業機械工業会会長賞 「フレキシブル排水処理設備 (ハイドロヴァンガード)」 株式会社水循環エンジニアリング

1. 装置の詳細説明

(1) 装置概要

本装置は、建設工事現場や工場等で発生する濁水、有害物質を含有する汚染水等を浄化する、移動・組立・解体が容易な小型の排水処理設備である（図表1、図表2）。本装置は、反応槽、沈殿槽、フィルター槽、処理水槽、汚泥脱水槽で構成される（図表3、図表4）。反応槽へ流入した濁水等の原水は、粉体凝集剤が添加され、攪拌されることでフロックを形成する。フロック状の固形物は沈殿槽において沈降分離し、水中の微細な固形物はフィルター槽において除去される。浄化された水は一旦、処理水槽へ貯留され設備系外へ排出される（図表5）。なお、処理水槽には濁度計やpH計を設置することも可能である。また、沈殿槽の沈殿物は汚泥脱水槽において固液分離され、固形物（脱水汚泥）は産廃処理される。

従来設備は主にステンレス等の金属製であるが、本設備はターポリン（ポリエステル基布を軟質塩ビ樹脂で両面から挟み込んだ折りたたみ可能な素材）を採用することにより、設備の軽量化や小型化を実現し、運搬及び設置費用の削減（従来設備の1/3以下）や、人力による設置と設置時間の短縮（3人で20分）が可能となった。



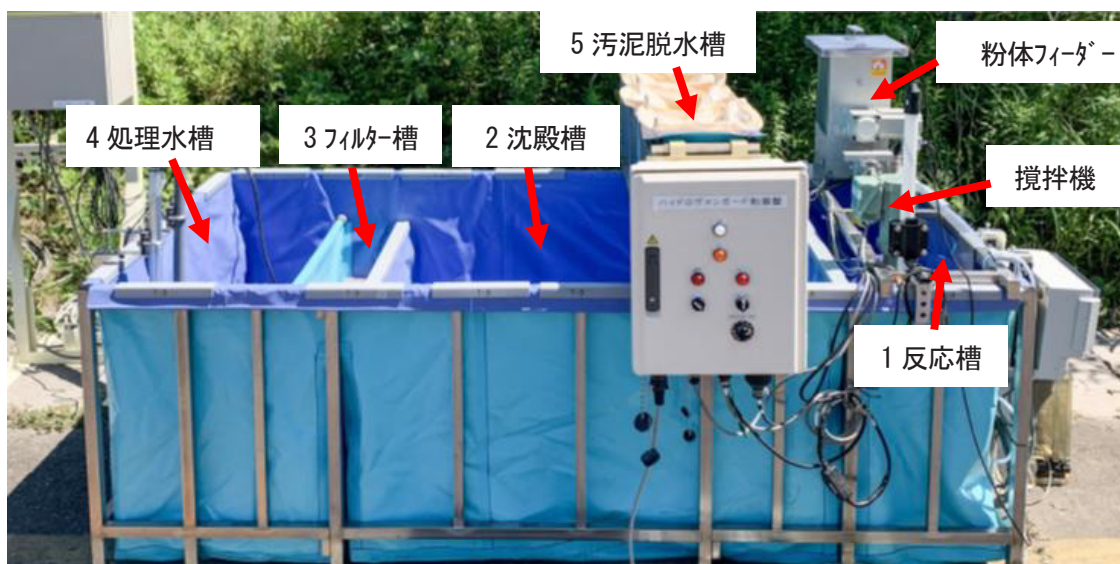
図表1 装置の写真

図表 2 装置の仕様

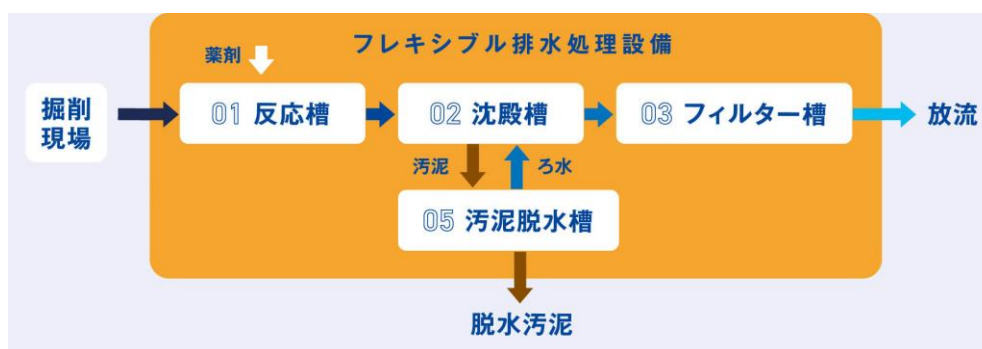
項目	規格 / 仕様
処理能力	2.0m ³ /h
設置面積	幅 1.6m×長さ 3.4m×高さ 1.3m
使用電力	1.2KVA (AC100V) 15A×2 口
乾燥質量	300kg (単体最大重量 30kg)
使用薬剤	粉体凝集剤

図表 3 装置の構造

項目	規格 / 仕様	備考
本体	フレキシブル素材ターポリン	
骨組	ステンレス	
配電盤	100V 仕様	
粉体フィーダー	凝集剤を供給する装置	
脱水槽	沈殿した汚泥を固液分離する簡易装置	
原水ポンプ	原水を申請装置に供給するポンプ	
処理水ポンプ	汚水等排水を凝集処理後に排水するポンプ	
汚泥ポンプ	凝集処理し沈殿した汚泥を脱水層に汲み上げるポンプ	
濁度計	排水時の濁度管理をする計器	オプション
pH 計	排水時の pH を管理する計器	オプション



図表 4 装置の構成



図表 5 装置の処理フロー

(2) 装置の組み立て方法

以下、1)～3)及び図表6に本装置の組み立て方法を示す。

1) 骨組を配置する

パーツ毎に番号が付与されているので番号順に組立てる。

はめ込み式でありボルト/工具など使用しない。

2) 骨組のを組み立て

組み立てが完了したら、ガタツキなどを点検し、下部にあるアジャスターで隙間を調整する。

3) 水槽部分の設置

水槽部分の材質はフレキシブルであり隅々までシワ/タルミを伸ばし固定する。

(3) 排水処理工程

以下、1)～5)及び図表7に本装置の排水処理工程を示す。

1) 反応槽

原水(濁水等)が反応槽に流入し、粉体フィーダーより薬剤を投入し攪拌機で攪拌する。原水と薬剤が反応し原水中の濁質分(有害物質含む)が凝集し、フロック(微細な濁質分と薬剤が凝集形成した固まり)を形成する。

2) 沈殿槽

反応槽で形成されたフロック状の固形物が反応槽内で浮遊して水と一緒に沈殿槽に流れ込み沈殿槽下部に沈降する。フロックが沈殿すると濁れの取れたきれいな上澄水となる。固形物と上澄水が分離した状態となる。

3) フィルター槽

大きく形成したフロックは沈殿槽に沈降するが微細なフロックは上澄水に浮遊した状態でフィルター層に流れ込むので設置してあるフィルターでトラップする。

4) 処理水槽

微細なフロックの取れた上澄水が処理水として貯留する。

貯留した処理水は濁度/pHで管理して、設置してあるポンプで排水する。

5) 汚泥脱水槽

沈殿槽で沈降したフロック状の固形物をポンプで汲み上げ脱水槽にいれ、重力式で固液分離する。分離した固形物は産廃場で適正に処理する。



図表6 本装置の組み立て方法



1) 反応槽内部・粉体フィーダー・攪拌機



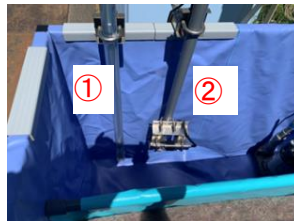
2) 沈殿槽内部



3) フィルター槽内部



4) 処理水槽内部・①濁度計/②pH計（オプション）



5) 汚泥脱水槽内部

図表7 本装置の排水処理工程

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

当社はこれまでに排水処理装置の小型化、簡易化、省エネ化にこだわり開発を行ってきた。そんな折、原子力防災を支援する組織から「平常時はコンパクトに収納し、非常時に簡単に使える排水処理装置が欲しい」という要望を受け 2018 年に開発に着手した。第 1 号機は 2019 年に完成し納入した。

なお、「ハイドロヴァンガード」は、「Hydro (水)」と「Vanguard (前衛・先駆け)」を組み合わせた名前である。本設備は小型であり、持ち運び・組み立てが簡単にできるので、従来の水処理装置が入れないような、小さな場所・狭い場所に、誰よりも先駆けて入り、水処理をすることが出来るという意味をこめている。

2018 年～2019 年	素材調査・技術開発・試作
2019 年～2020 年	第 1 号機納入

(2) 共同開発

なし

(3) 技術導入

なし

3. 独創性

現在、国内外で使用されている排水処理装置は鋼製(鉄製/ステンレス製)がほとんどである。用途は多様であるが、いずれの機器も中型/大型トラックに積み込み、クレーンで現地に設置する方式が取られている。また、使用しない時も倉庫で広いスペースを使って保管されている。

そこで、「平常時はコンパクトに」というコンセプトのもと、装置の素材を鋼製に拘らず検討した結果、非常時に消防署等で簡易水槽に使用している素材「ターポリン」に辿り着いた。ターポリンはポリエステル基布を軟質塩ビ樹脂で両面から挟み込んだ構造をしており、強度、柔軟性及び防水性に富んだ素材である。排水処理装置では折り畳みができる素材「ターポリン」を使用しているのは、国内において当社のみである。

4. 特許の有無

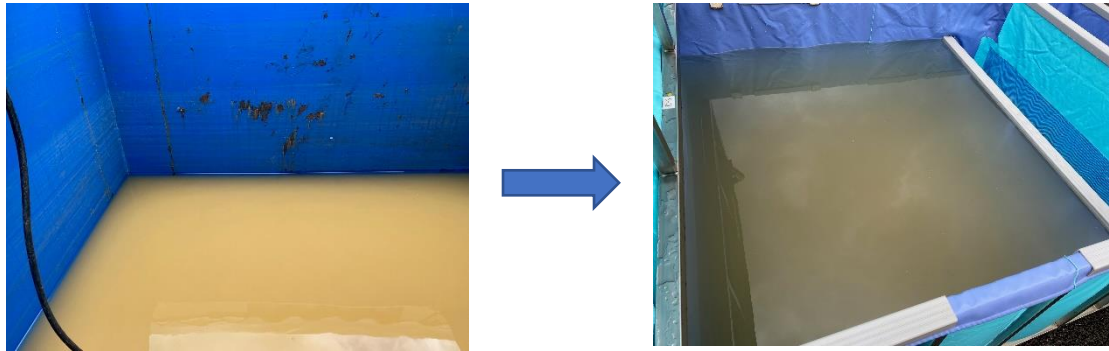
次のとおり、特許 1 件を取得済み。

特許番号：第 6829452 号 / 名称：フレキシブル排水処理装置

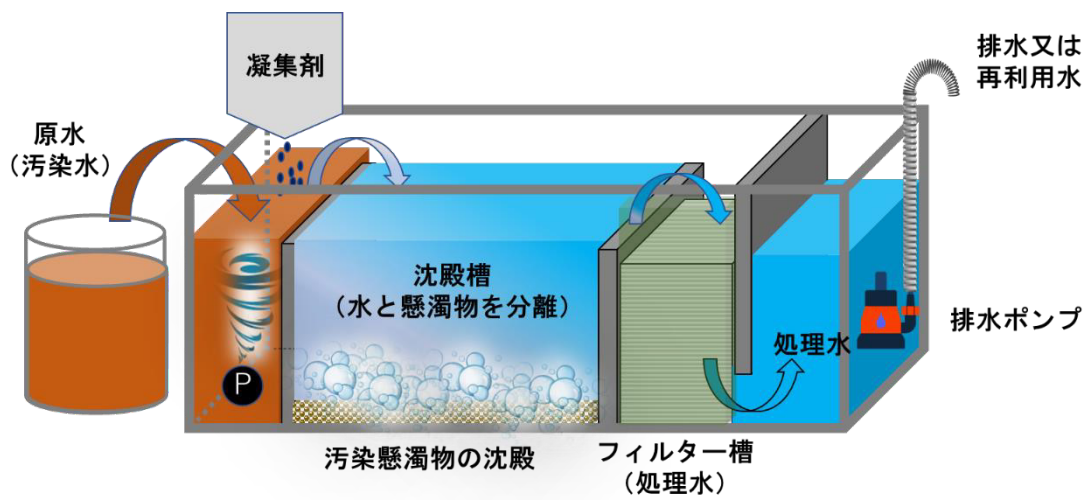
5. 性能

本装置は工事現場或いは工場等で発生する濁水処理及び重金属等混じりの汚染水を浄化処理装置である。例えば濁水(濁度 10,000ppm)であれば 10ppm に処理し、鉛含有汚染水(0.1mg/L)であれば 0.001mg/L 以下に処理が可能である。濁水処理について、図表 8 に処理前後の写真を、図表 9 に処理のイメージを示す。

本装置の性能を示すにあたり、従来装置(鋼製)と比較した(図表 10)。



図表 8 原水タンクの濁水と浄化処理装置による処理後の比較



図表 9 濁水処理のイメージ図

図表 10 従来装置（鋼製）と申請装置との性能比較表

項目	従来装置（鋼製）	申請装置
概要（写真）		
（内容）	従来装置は鋼製が一般的である。 上記装置は当社製品である。	申請装置は固定観念にとらわれず新素材であるフレキシブルな装置とした。
処理能力	2.0m ³ /h（一例）	2.0m ³ /h
耐用年数	8年（総合工事業用設備）	5年（メーカー情報）
電 源	100V 1.5KVA	100V 1.2KVA
安 全 性	無機系の薬剤を使用するので安全である	
操 作 性	複数の薬剤を使用するので運転管理は熟練が必要である。	薬剤は1剤であり電源を入れると半自動で運転できる。 半自動：薬剤の調整は手動
維持管理性	鋼製であり酸性の薬剤を使用する場合があるので、さび等の腐食があり運転後のメンテナンスが必要である。	素材が軟質塩ビ樹脂であり腐食性はなく、使用後でも水で洗浄すれば簡単に汚れを除去できる。
環境因子	移動：4t車以上の車両により運搬 設置：クレーンで設置 電工/配管工が必要	移動：軽自動車で運搬 設置：人力2名で設置 電工/配管工は不要

6. 経済性

経済性については従来装置（鋼製）と申請装置についての比較を図表 11 に表す。従来装置（鋼製）とは国内で一般的に流通している装置のことであり、処理能力は申請装置と同等である。この比較表は申請装置であるフレキシブル排水処理設備「ハイドロヴァンガード」の国土交通省新技術情報提供システムにおける比較表（図表 12）を参考とした。

申請装置（100）は従来装置（46）と比較すると約 54%削減ができる。これらの要因は装置を小型軽量化したことによる申請装置のイニシャルコストの低減が大きい。また、申請技術は移動が軽自動車 1 台で可能であり運搬、設置費用が低減できる。

図表 11 従来装置（鋼製）と申請装置についての比較

	従来装置（鋼製）	申請装置	備 考
イニシャルコスト			
装置使用費用	100	33	
装置整備費用	100	33	
装置設置費用	100	27	
ランニングコスト			1ヶ月使用の場合
労務費（設置・撤去）	100	9	
労務費（運転管理）	100	100	
電気量（発電機）※1	100	100	
材料費（薬剤費）	100	100	
	100	46	54%削減できる

※1：電気量について、申請装置と従来装置は可搬式発電機での比較をしている。一般的に申請装置は短期間で使用されるので可搬式の発電機での電力供給の場合が多い。上記、比較表は申請装置と従来装置を同一条件である可搬式発電機で比較しているので経済性は同一である。ただし、従来装置は長期間使用が多く、従量電灯量で使用されることがある。申請装置（可搬式発電機の電気量）と従来装置（従量電灯量の電気量）を比較した場合には申請装置の電気量が3倍になる。申請装置の電気量が3倍になっても全体の経済性は従来装置と比較して53%削減できる。

図表 12 本装置と従来装置（鋼製）の比較

申請装置と従来装置（鋼製）の比較							
	従来装置（円）		申請装置（円）		従来装置と申請装置の比率		
経済性	2,964,300		1,374,000		46%		
従来装置（鋼製装置）							
項目	仕様	数量	単位	単価	金額	摘要	
ラ	労務費	配管工（設置・撤去）	10	人	23,500	235,000	100
ラ	労務費	電工（設置・撤去）	10	人	25,700	257,000	100
ラ	労務費	普通作業員（運転管理）	10	人	21,600	216,000	100
ラ	機械経費	クレーン付トラック運転 4t積 2.9t吊	5	日	39,000	195,000	100
イ	機械賃料	鋼製排水処理設備 使用料	1	月	750,000	750,000	100
イ	機械賃料	鋼製排水処理設備 整備費	1	回	750,000	750,000	100
ラ	機械経費	発動発電機運転 3kVA ガソリン	30	日	2,710	81,300	100
ラ	材料費	薬剤 1.0kg/m ³	320	kg	1,500	480,000	100
合計					2,964,300	100	
申請装置							
項目	仕様	数量	単位	単価	金額	摘要	
ラ	労務費	普通作業員（設置・撤去）	2	人	21,600	43,200	9
ラ	労務費	普通作業員（運転管理）	10	人	21,600	216,000	100
ラ	機械経費	軽自動車運転 バン	2	日	26,500	53,000	27
イ	機械賃料	ハイドロヴァンガード使用料	1	月	250,500	250,500	33
イ	機械賃料	ハイドロヴァンガード整備費	1	回	250,000	250,000	33
イ	機械経費	発動発電機運転 3kVA ガソリン	30	日	2,710	81,300	100
ラ	材料費	薬剤 1.0kg/m ³	320	kg	1,500	480,000	100
合計					1,374,000	46	

出典：国土交通省新技術情報提供システムより引用（NETIS 登録番号：KT-220036-A）

7. 将来性

地球上の水は約 97.5%が海水、約 2.5%が淡水という割合で存在している。その淡水も 8 割以上が氷山、氷河、地下水として存在し、地表面にあつてすぐに使える水資源は全体の約 0.01%である。今後、世界の人口は 2050 年には約 97 億 3000 万人になると予測されている。そのため 2050 年には深刻な水不足が予想される。

水に関する事業には、「水源開発」、「工業用水供給」、「水の再利用」、「上水道供給」、「下水道処理」、「海水の淡水化」など様々なものがあり、これらの事業は世界各国の大手企業が取り組んでいる。2025 年の世界水ビジネス市場では 86.5 兆円が見込まれており、水の再利用では 2.1 兆円と見込まれている。

当社では「水の再利用」をテーマに掲げ、中小企業しかできない水の再利用に取り組んでいく考えである。現在は、工事現場の濁水排水処理、工場地下水の有害物混じり排水処理、放射性物質混じり排水処理など全国で手掛けている。これらの排水基準に適合した浄化処理水を河川或いは下水道に流している。人口増加とともに深刻な水不足が予測されている現状では当社が手掛けている浄化した水をそのまま排水処理をするのではなく、現在の排水を更に浄化してリサイクルをすることにより、一般生活水に再利用できる可能性がある。狭い日本の地形から見ても大型プラントではなく、人力でも簡単に移動組立ができるコンパクトな装置が必要となると考えられ、今後国内においても小型水処理装置の普及が見込まれる。その分野でも特に、本設備の需要が期待できる。

国外では 2022 年より日本貿易振興機構（JETRO）の事業に参画し、東南アジアに視察をするなど、海外展開も視野に入れている。本設備はコンパクトに収納すると 1.0m 角の収納ボックスに入るためコンテナ便で輸出することが可能である。

今後は、申請装置と IT を組み合わせた中小企業ならではの装置開発を行い、国内外に展開していく考えである。

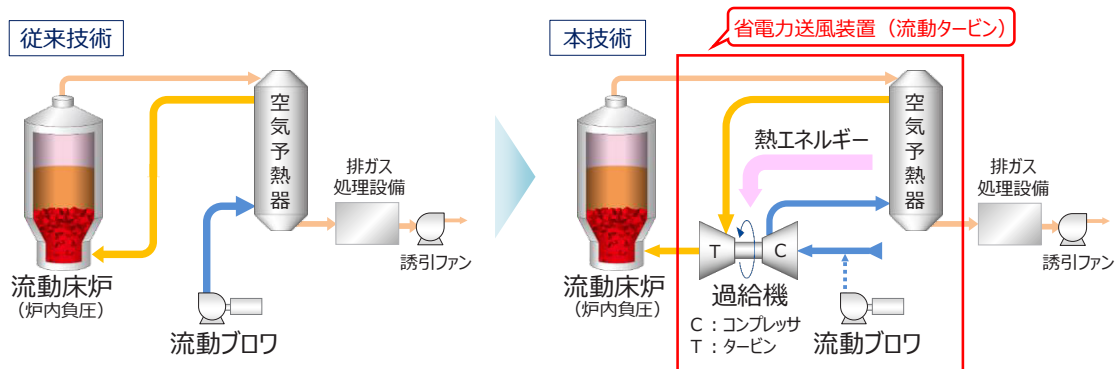
日本産業機械工業会会長賞
「省電力送風装置（流動タービン）」
を用いた下水汚泥焼却設備
 愛知県／日本下水道事業団／
 メタウォーター株式会社／株式会社クボタ

1. 装置の詳細説明

本装置は、下水汚泥を焼却する流動焼却炉（以下、流動床炉という）に省電力送風装置が組み込まれた下水汚泥焼却設備である。流動床炉への燃焼空気経路に流動ブロワ（送風機）と「過給機」を直列に配置し、送風に必要な負荷を焼却排ガスの熱エネルギーで駆動する「過給機」が担うことで、焼却設備に占める約4割の流動ブロワ消費電力を削減するものである。流動ブロワの消費電力削減によって、電力由来CO₂の排出量も削減される。

図表1に焼却設備の概略フローを示す。燃焼空気は、まず空気予熱器（熱交換器）に流入する前に「コンプレッサ」で加圧され、さらに空気予熱器において燃焼排ガスの熱エネルギーで加熱される。そして、高温高圧となった燃焼空気は「タービン」を駆動した後に、流動床炉へ送風される。このとき、過給機は熱エネルギーで駆動されるため、送風に必要な負荷を過給機で負担した分だけ、流動ブロワが必要としていた電力を削減することができる。

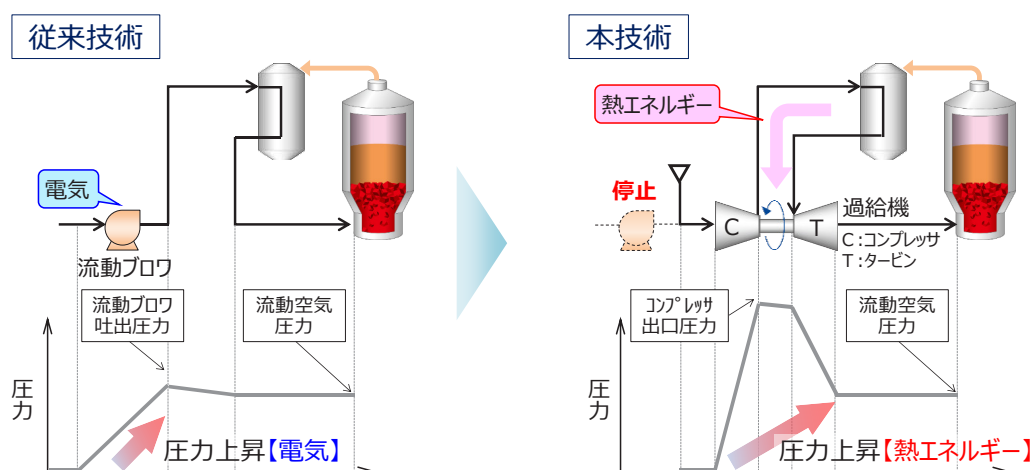
図表2に燃焼空気経路の圧力挙動を示す。燃焼空気は過給機を通過する際に、コンプレッサで加圧された後にタービンで減圧する。過給機入口（=コンプレッサ入口）より過給機出口（=タービン出口）の圧力が上昇した分だけ、過給機の効果で流動ブロワの負荷を軽減して、消費電力を削減する。



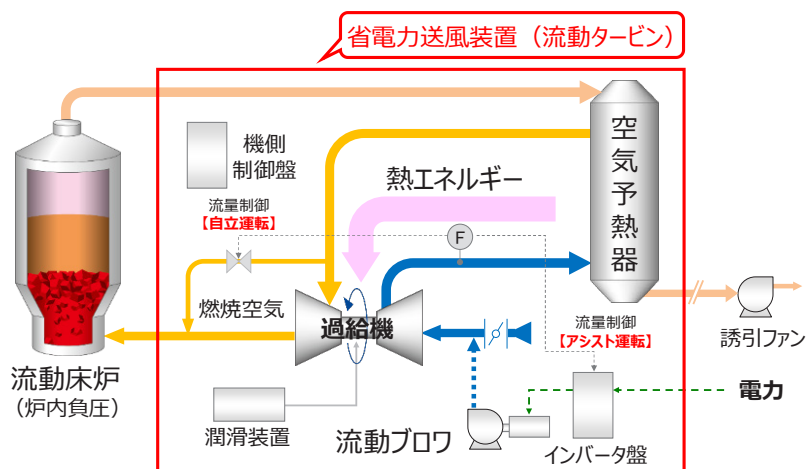
図表1 省電力送風装置(流動タービン)を用いた下水汚泥焼却設備

省電力送風装置の機器構成を図表 3 に示す。同装置は、流動ブロワから流動床炉へ向かう燃焼空気経路に「過給機」を組み込み、焼却排ガスの熱エネルギーを利用して過給機を駆動することで、流動ブロワの機能を代替するものである。主要機器は、過給機と空気予熱器、インバータ駆動の流動ブロワである。また、補機として過給機の軸受保護を目的とした潤滑油供給設備や運転状態に応じて送風経路の切替え等を制御する機側制御盤等も備える。

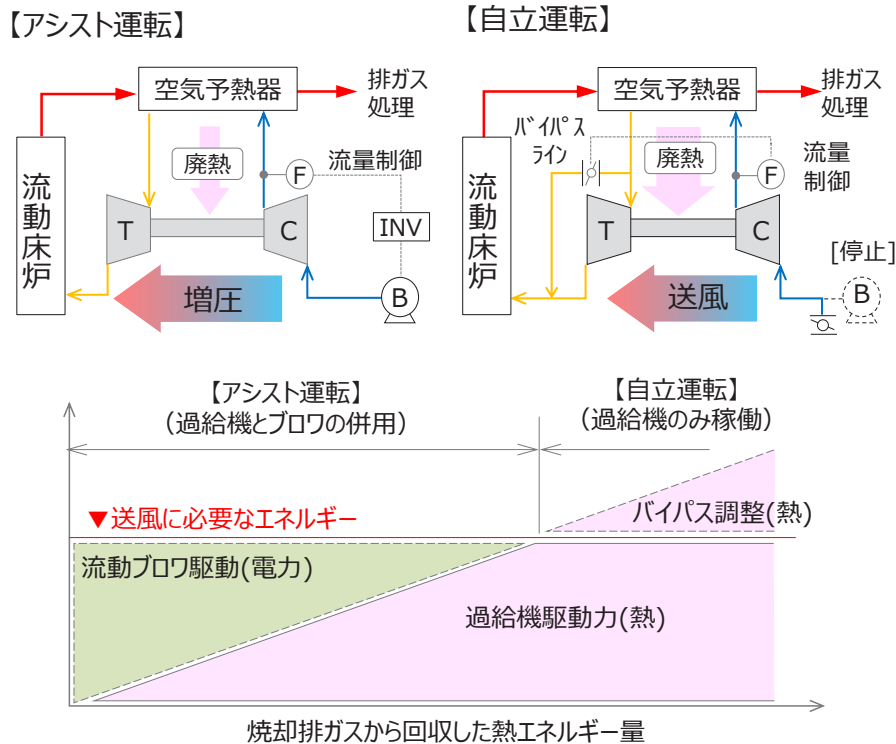
省電力送風装置は、焼却排ガスから回収した熱エネルギー量に応じて、2 種類の運転制御方法を自動的に切替える(図表 4)。熱エネルギー量が少ない場合、過給機と流動ブロワを併用して、過給機での「増圧」分に対して流動ブロワで不足分を補い燃焼空気量を調整する。インバータによって流動ブロワの出力を抑えた分だけ省電力を図ることができる。過給機と流動ブロワを併用して運転する状態を「アシスト運転」と称する。熱エネルギー量が増加し、流動ブロワの補助を必要としない状態になると、過給機単独で送風する。その場合、タービンをバイパスする高圧空気の量を制御して、燃焼空気量を調整する。このとき、流動ブロワを停止しているの、より一層の省電力を図ることができる。過給機単独で運転する状態を「自立運転」と称する。この運転モードを自動制御することにより安定的な燃焼空気の供給が可能となる。



図表 2 燃焼空気経路の圧力挙動



図表 3 省電力送風装置の機器構成



図表 4 過給機の運転状態

2. 開発経緯

下水汚泥については、1994 年の下水道法改正による汚泥減量化の努力義務規定の創設や、埋立処分地の不足による汚泥処分費の高騰などを受けて、その減量化・安定化を目的とした汚泥焼却設備の建設が進み、うち約 9 割の焼却施設で流動床炉が採用されている。

流動床炉は、炉内に珪砂を充填し(以下、砂層という)、炉下部より燃焼空気を供給して砂層を流動化することで、高温の砂粒子と脱水汚泥との接触により効率的に焼却処理するものである。砂層の流動状態を安定維持するために必要な流動ブロウは、炉入口で 20~25kPa 以上の圧力が必要となるため、流動ブロウ(送風機)の消費電力量は焼却設備全体の中で最も多く、約 4 割を占める。そのため、流動床炉の省電力化は長年の課題となっていた。

一方で、世界規模で気候変動対策が求められるようになり、下水道分野では 2014 年 7 月に国土交通省の下水道政策研究委員会がとりまとめた「新下水道ビジョン」に基づき、水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化を目指して、下水処理場の省エネ・創エネなどの取組みが進められてきた。さらに 2017 年に策定された「新下水道ビジョン加速戦略」では、概ね 20 年で下水道事業における電力消費量の半減を目標とすることが示された。

このような背景のもと、愛知県、日本下水道事業団、メタウォーター株式会社、株式会社クボタは、2018 年度から 2021 年度にわたり、流動床炉(負圧)の安全性をそのままに流動ブロウの消費電力を削減することを目的に、過給機を用いた省電力送風装置(流動タービン)に関する共同研究を行った。

(1) 開発経緯

2014 年度～	メタウォーター(株)及び(株)クボタは、過給機を用いた省電力送風装置に関する開発を各々開始
2018 年度～2021 年度	愛知県、日本下水道事業団、メタウォーター(株)、(株)クボタは、過給機を用いた省電力送風装置(流動タービン)に関する共同研究を実施。実証フィールドを愛知県流域下水道豊川浄化センターとし、省電力送風装置を3号焼却設備(70wet-t/日)に設置して約2年間の実証試験を実施
2021 年度	第1号機納入

(2) 共同開発

本装置は、愛知県、日本下水道事業団、メタウォーター株式会社、株式会社クボタ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。

- ・愛知県：
既設焼却設備の運転及びデータ取得、維持管理性と省エネ性に関する性能評価と改善立案、運転技術の確立
- ・日本下水道事業団：
共同研究の統括、実証試験全体の計画立案と性能評価、普及展開に向けた経済性評価と技術確立
- ・メタウォーター株式会社：
実証試験設備の運転及びデータ取得、実証結果(性能、維持管理性等)の評価と改善、設計手法の確立、実証設備の設計・建設
- ・株式会社クボタ：
実証試験設備の運転及びデータ取得、実証結果(性能、維持管理性等)の評価と改善、設計手法の確立

(3) 技術導入

無し

3. 独創性

(1) 流動床炉の安全性をそのままに焼却設備の消費電力を削減

省電力送風装置を用いた焼却設備は、従来の流動床炉と同様に焼却炉内及び排ガス経路は負圧のままで、焼却排ガスから回収した熱エネルギーで過給機を駆動して流動ブロワの消費電力を削減し、焼却設備の消費電力を約4割削減するものである(図表5参照)。

焼却炉や排ガス経路の圧力は従来どおり負圧で運転することができるため、従来と同様に排ガスの漏れ出しリスクが無く、また、過給機は従来の燃焼空気経路に設置しクリーンな空気でも過給機を回転させるため、故障リスクが低い。

(2) 既設焼却設備への適用が可能

焼却排ガスから熱エネルギーを回収するために排ガス経路に設ける空気予熱器は、従来焼却

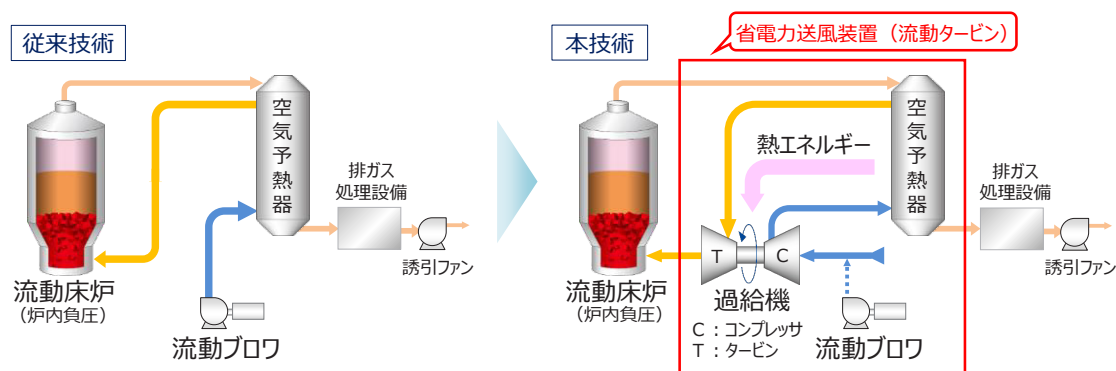
設備と同様の設置位置である。よって、本技術は、新設だけでなく、既設設備への増設にも導入可能である。この場合、流動炉本体や排ガス処理設備は既設設備を利用し、流動ブロワはVVVF化(インバータ化)が必要である。

(3) 幅広い焼却炉への適用

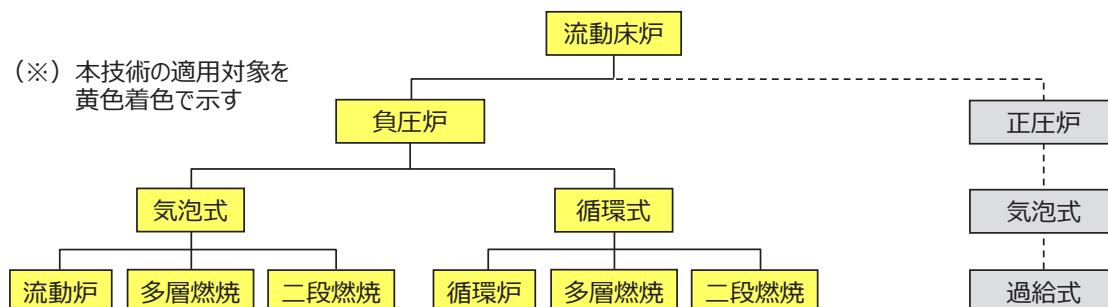
省電力送風装置は、焼却炉内及び排ガス経路が負圧の流動床炉に設置する流動ブロワの代替機能を有する。よって、全国焼却設備の約9割を占める「焼却炉内圧力が負圧の流動床炉(気泡流動床式、循環流動床式)」に適用可能である(図表6)。

(4) 過給式流動焼却システムとの比較

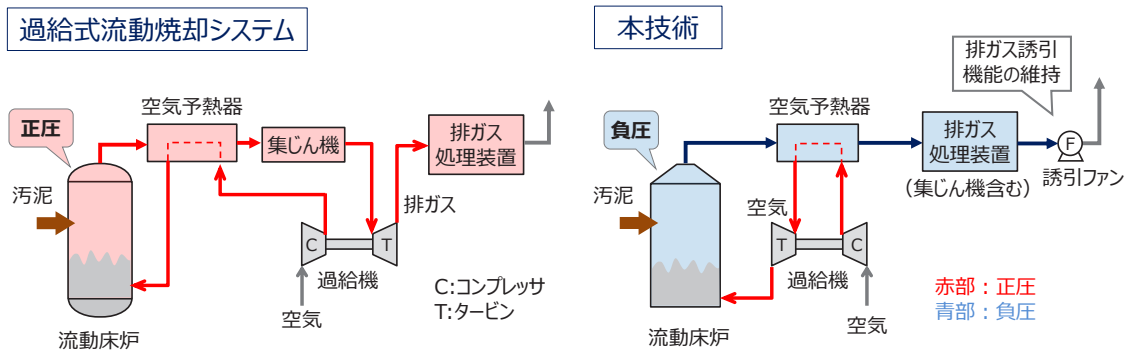
焼却設備に過給機を用いた別のシステムとして過給式流動焼却システムがある。このシステムは、高温排ガスを直接、過給機へ供給し、過給機の駆動エネルギーとして利用するもので、誘引ファンを使用せず排ガスを流動床炉外へ送り出すため、流動床炉内及び排ガス経路は正圧となる。一方で、省電力送風装置を用いた焼却設備は、過給機の設置位置が異なり(図表7参照)、空気予熱器を介して間接的に熱回収した高温空気を過給機の駆動エネルギーとして過給機へ供給するものであり、流動床炉内及び排ガス経路は負圧で運転可能である。



図表5 省電力送風装置(流動タービン)を用いた下水汚泥焼却設備(再掲)



図表6 本装置の適用先



項目	過給式流動焼却システム	本技術
炉内圧力	正圧 (120~140kPaG)	負圧 (排ガスの漏洩リスクなし)
過給機の駆動流体	排ガス	空気
既設設備導入	全面改築が必要	既設部分改造で導入可能

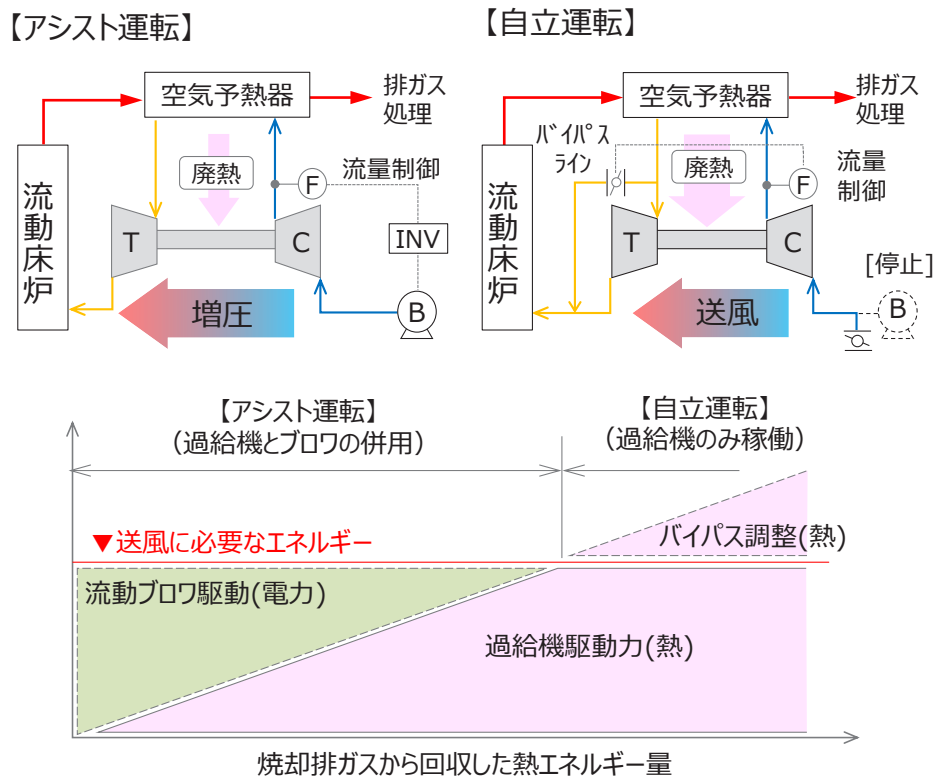
図表 7 過給式流動焼却システムとの比較

このように、省電力送風装置を用いた焼却設備は、過給式流動焼却システムのように正圧運転でなく、従来の焼却設備と同様に負圧で運転するため、排ガスの漏れ出しリスクが無い。また、過給式流動焼却システムは排ガスで過給機を回転させるが、省電力送風装置を用いた焼却設備では、クリーンな空気で過給機を回転させるため、故障リスクが低い。

さらに、既設焼却設備に適用する際の改造範囲は、過給式流動焼却システムに比べて大幅に少ないため、昨今の下水道事業の財政難に鑑みた場合、既存設備を延命化しながら省電力を図ることも可能である。

(5) 燃焼空気量の安定性

前述の通り、省電力送風装置は、焼却排ガスから回収した熱エネルギー量に応じて、2種類の運転制御方法を自動的に切替えて使い分ける(図表 8)。従来の焼却設備は流動ブロワに電力を供給して燃焼空気を流動床炉へ供給していたが、本技術は排ガスが持つ熱エネルギーを空気予熱器により間接的に回収して過給機の駆動源とするため、焼却排ガス量(熱エネルギー量)の変化に応じて、必要となる燃焼空気量を安定供給する技術が必要であった。そこで、「自立運転」のために過給機タービン部(T)をバイパスするラインを設け、「アシスト運転」のために流動ブロワをインバータ駆動とすることで、熱エネルギー量の変化に応じて応答よく無段階に燃焼空気量を制御することが可能となった。また、回収する熱エネルギー量に応じて自動的にアシスト運転と自立運転を切り替える機能も設け、従来同等の運転操作(燃焼空気量の設定)を実現した。



図表 8 過給機の運転状態(再掲)

4. 特許の有無

次のとおり、特許 8 件を取得済み、4 件を出願中。

①メタウォーター株式会社 (特許 4 件、出願 2 件)

特許番号：第 6301676 号 / 名称：廃棄物処理設備

特許番号：第 6266440 号 / 名称：廃棄物処理設備および廃棄物処理方法

特許番号：第 6683531 号 / 名称：廃棄物処理設備

特許番号：第 6765842 号 / 名称：廃棄物処理設備

出願番号：特願 2021-202271 / 名称：焼却システム

出願番号：特願 2021-202272 / 名称：焼却システム及び潤滑油供給システム

②株式会社クボタ (特許 4 件、出願 2 件)

特許番号：第 6490466 号 / 名称：廃棄物処理設備及び廃棄物処理設備の操炉方法

特許番号：第 6580398 号 / 名称：廃棄物処理設備及び廃棄物処理設備の運転方法

特許番号：第 7156922 号 / 名称：廃棄物処理設備及び廃棄物処理設備の運転方法

特許番号：第 7156923 号 / 名称：廃棄物処理設備及び廃棄物処理設備の運転方法

公開番号：特開 2019-39582 / 名称：廃棄物処理設備の運転方法及び廃棄物処理設備

公開番号：特開 2021-96040 / 名称：廃棄物処理設備の異常検出方法、廃棄物処理設備の異常検出装置及び廃棄物処理設備の操炉方法

5. 性能

(1) 流動ブロワの消費電力削減効果

省電力送風装置は、焼却排ガスの熱エネルギーにより過給機を駆動させることで流動ブロワを停止し、流動ブロワの消費電力を100%削減可能である。

【実証試験結果】

豊川浄化センター3号焼却設備(設備規模：70t/日-wet)を用いた実証試験における、流動ブロワの消費電力削減効果を図表9に示す。実証試験は2020年2月から2022年3月まで約2年間において、季節変動への対応性を評価する試験と1年間の長期運転確認を実施した。図表9に示すとおり、いずれの試験においても、過給機は自立運転(流動ブロワ停止状態＝流動ブロワ回転速度指令0%)により流動ブロワの消費電力は100%削減を達成した。但し、流動ブロワ駆動用インバータ盤の待機電力や補機設備の消費電力が必要なため、これらを考慮すると、流動ブロワの消費電力削減率は92%程度であった。

実証試験結果を用いて、70t-wet/日処理時の年間(330日)消費電力削減量、及びCO₂削減量を試算した。技術導入前の流動ブロワの消費電力は、各試験の燃焼空気流量の平均値4,640m³/hより95kWとした(この消費電力は、焼却設備全体の約36%を占める)。また、技術導入後の消費電力は、補機設備等の実績値8kWとする。以上より、技術導入による省電力効果は差し引き87kWとなり、流動ブロワ消費電力の年間削減量は、年間を通して自立運転だったことから689,040kWh/年となった(図表10)。電力由来CO₂の年間削減量は、電力由来のCO₂排出係数を0.318kgCO₂/kWhとして、約219t-CO₂/年となった。

(2) 焼却性能

本技術は従来の流動床炉に省電力送風装置を組み合わせるものであるため、本技術は排ガス性状に影響せず、組み合わせる流動床炉の焼却性能に依る(例：N₂O排出量)。また、過給機タービン部(図表11の「T」部)を通過する空気は回転力を得るために温度が低下するが、過給機タービン部の出口空気を排ガスで間接加熱することで(図表11)、流動床炉の燃料使用量は導入前と同等になる。そのため本技術導入前後の焼却性能は、導入前の性能と同等である。

図表9 流動ブロワの省電力効果

試験名	汚泥 投入量 [t/日]	燃焼空気 量 [m ³ /h]	フーボード 上部温度 [°C]	流動ブロワ 回転速度 指令 [%]	導入前 消費電力 ① [kW]	導入後 消費電力 ② [kW]	消費電力 削減率 ※ [%]
冬季(2020年2月)	70	4,520	849	0	94	8	92
春季(2020年5月)	70	4,490	855	0	94	7	93
夏季(2020年7月)	70	4,800	864	0	97	7	93
秋季(2020年11月)	70	4,550	849	0	94	8	92
冬季(2021年2月)	70	4,800	860	0	97	8	92
春季(2021年5月)	70	4,700	861	0	96	7	93
夏季(2021年8月)	70	4,610	845	0	95	7	93
平均値	70	4,640	—	0	95	8	92

※) 流動ブロワの消費電力削減率(③) = (① - ②) / ①

なお、実証試験より、焼却設備に関する排ガス性状、騒音、振動、悪臭、水質などの環境性能は、従来と同等であることを確認している。

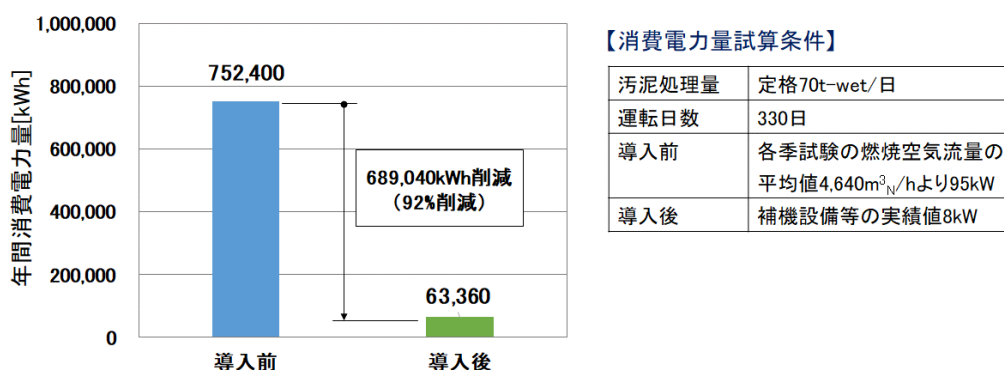
(3) 耐久性・安全性

省電力送風装置に用いる過給機は高速回転機器であることから軸受の保護が必要である。そのため、軸受への潤滑油供給機能を有し、過給機製造会社が規定する圧力や温度を満足するために、潤滑油ポンプや各種制御を構築する。また、非常停止や停電などの異常時には、過給機を速やかに停止させると共に、過給機軸受を保護するために潤滑油の供給を継続するなどの配慮を要する。これらの対策により、過給機軸受は、過給機整備間隔とする1年以上の耐久性を有する。

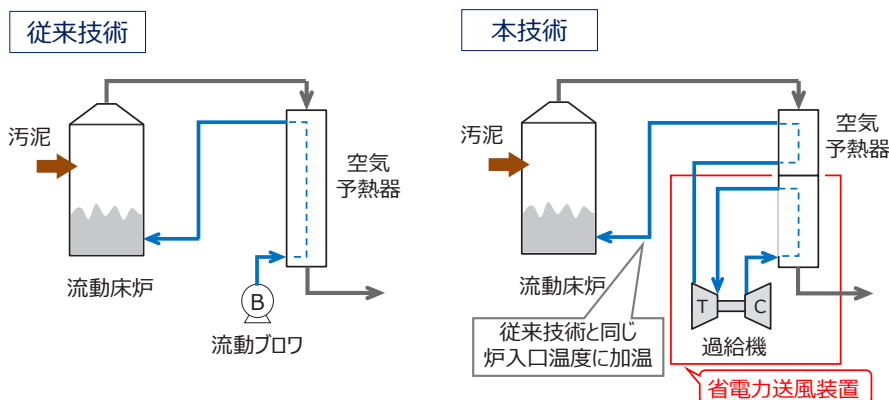
省電力送風装置以外の機器構成は従来の流動床炉と同様であるため、同装置以外の機器に関する耐久性、安全性は、従来の焼却設備と同等である。

(4) 運転操作性、維持管理性

省電力送風装置は、焼却排ガスの熱エネルギー量変化に応じて、過給機単独の「自立運転」と流動ブロワ併用の「アシスト運転」を自動的に切り替える。燃焼空気量の設定などの運転操作は従来どおりで、従来の運転維持管理に関わる人員で設備運用が可能である。



図表 10 3号焼却設備の年間消費電力削減量の試算



図表 11 流動床炉の燃料使用量を従来同等とする方法

6. 経済性

省電力送風装置を導入した場合の費用回収年試算結果を図表 12 に示す。全国に設置されている焼却炉の設備規模を考慮して、焼却設備規模 100t-wet/日として試算した。本技術導入に伴う増加費用は電力費の削減分により回収可能であることを確認できた。なお、図表 12 の建設費は新設の場合に増加する費用を例示しており、既設設備に導入する場合は設備実態に応じた検討が必要となる。

図表 12 費用回収年試算結果例

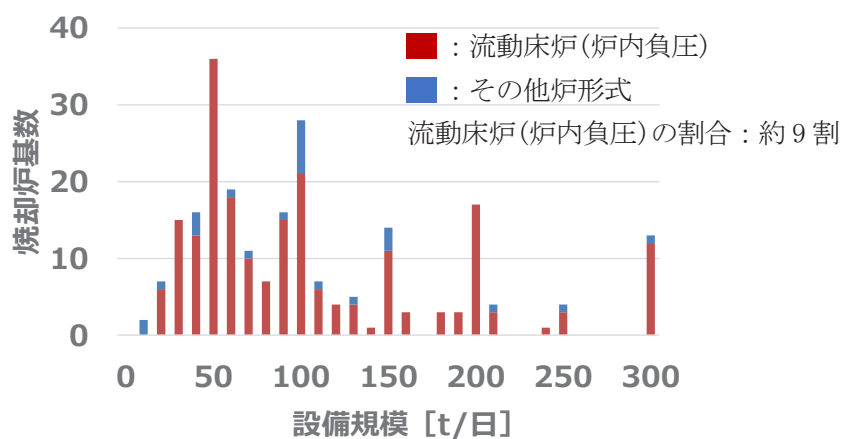
項目		単位	導入後	備考
電力費削減	流動ブロワ 電力費 ^{注1)}	百万円/年	-13.7	運転日数330日/年 電力単価15円/kWh
建設費増加	自治体負担費	百万円	66.7	補助率2/3
	自治体負担費	百万円	90.0	補助率0.55
補修費増加	平均費用	百万円/年	4.5	
回収年数	補助率2/3	年	7.3	建設費÷ (電力削減費-補修費)
	補助率0.55	年	9.8	

注1) 従来焼却設備100t/日の流動ブロワ消費電力125kWに対し、削減率92%を加味し115kWhの電力費削減とした。

7. 将来性

世界的な潮流である脱炭素社会の実現に向けて、下水処理場の脱炭素化も今後加速される中、全国の下水処理場に設置されている焼却設備の省電力は重要な課題である。また、国土交通省は地方公共団体に対し、「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について」(国水事第38号；2017年9月15日)を通知し、下水道事業における省エネルギー、創エネルギーの推進を図っている。

全国の下水処理場に設置されている流動床炉(炉内負圧)の基数は、焼却設備全体の約9割を占める(図表13)ことから、本技術の適用対象は多く、脱炭素社会の実現に向けてエネルギー効率の優れた本技術の普及が期待できる。



図表13 全国の焼却炉基数 [2021(令和元)年度 下水道統計より]

日本産業機械工業会会長賞
「タール燃料を利用した排ガス処理装置」
 日工株式会社／三機工業株式会社

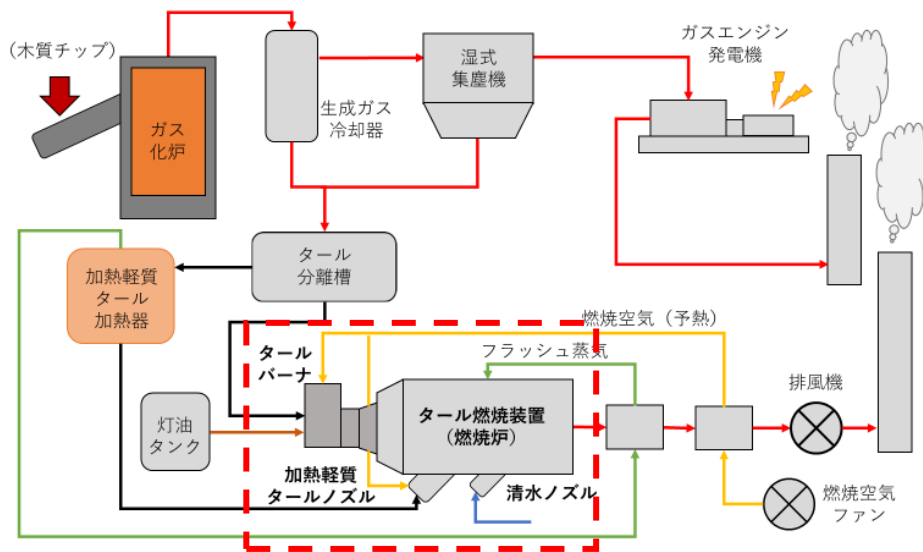
1. 装置の詳細説明

(1) はじめに

本装置は、より高い発電効率が見られるガスエンジン方式の木質バイオマス発電所において、発生するタールを燃料として利用し、臭気成分を含む排ガスを処理する装置である。

本装置を導入した木質バイオマス発電所でのフロー図を図表1に示す。最初にガス化炉が設置されており、ガス化炉から発生した木質ガスは生成ガス冷却器及び湿式集塵機においてタール除去を行った後、レシプロガスエンジン発電機に導入される。タール除去の過程で冷却されたことにより、凝縮水として大量のタール水が発生する。

タール水はタール分離槽に貯蔵された後、比重分離により重質タールと加熱軽質タールに分けられ、重質タールはそのままバーナの燃料として利用される。一方、加熱軽質タールには木質由来の有機化合物を含むフェノール、クレゾール、酢酸メチル等のほか、原料由来の水分も多く含まれるため、そのまま燃料利用することは困難である。そこで、タールを濃縮して利用するために、水分を蒸発させる過程で大量のフラッシュ蒸気が発生する。この蒸気には木質由来の炭化水素が含まれ、低沸点の芳香族系の物質など臭気成分を多く含んでいるため、図表1中の点線枠内のタール燃焼装置で高温に昇温し無害化処理を行う。



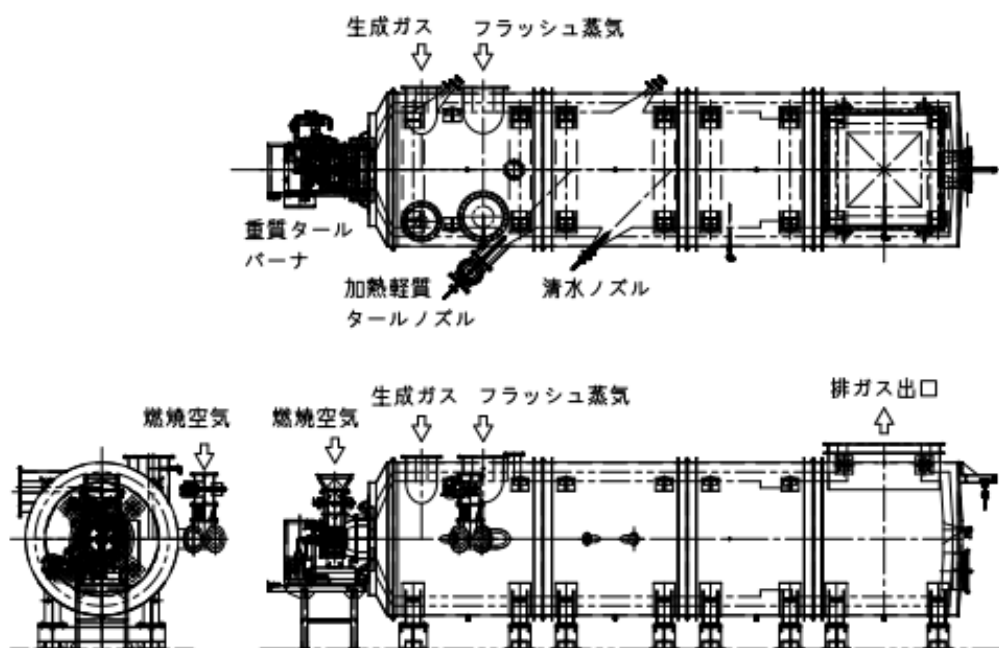
図表1 バイオマス発電所フロー図（点線枠内が開発した装置）

(2) 装置の構成

本装置の全体図を示す(図表2)。本装置は重質タールバーナ(図表3)、加熱軽質タールバーナ(図表4)、燃焼炉(図表5)で構成される。重質タールバーナはノズルを2本設置しており、完全停止からの立ち上げ時のみ灯油を使用し、運用時には廃熱を回収した予熱空気を利用し、重質タールを燃料として使用するバーナである。加熱軽質タールバーナは、予熱空気を利用し、特殊なセパレートノズルを設置したバーナである。そして、燃焼炉は内面にキャストブルを施工し、高温耐熱構造になっている。

(3) タール燃料を利用した排ガス処理装置

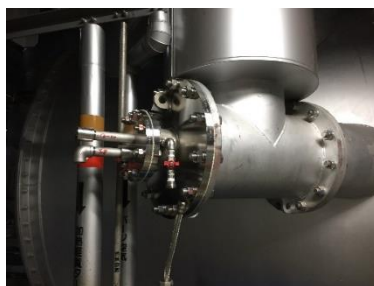
バイオマス発電所内で発生する木質ガスは、洗浄が必要な場合や、熱交換器などで廃熱回収をすることがある。その際にガス中の成分が凝縮し、大量のタールが発生する。これらのタールは一般的に廃棄物処理されるが、本装置ではこれらのタールを燃料として利用し、発生する熱を熱源として設備内で発生する臭気の強いガスを無害化できる装置である。



図表2 タールを利用した排ガス処理装置全体図



図表3 重質タールバーナ



図表4 加熱軽質タールバーナ



図表5 燃焼炉

従来は、これらの木質系の排ガス処理はバーナ1基で高温に昇温する直接燃焼で無害化処理を行っている。しかし、木質バイオマス発電所で発生する燃料由来の排ガスは、季節による原料中の水分量の変動や構成成分のバラつき、運用操作によるプラントバランスにより、発生する排ガスの量や含まれる水蒸気の量が安定しないことがある。その結果、バーナ1基では無害化する必要温度に至らないことや、温度のハンチングなどが発生し、排ガスの無害化処理が不安定になる。これらの問題点を改善するために、本装置では加熱バーナを2基使用し、1段燃焼で排ガスを予熱し、2段燃焼で完全無害化する方式による排ガス処理装置を開発した。

2. 開発経緯

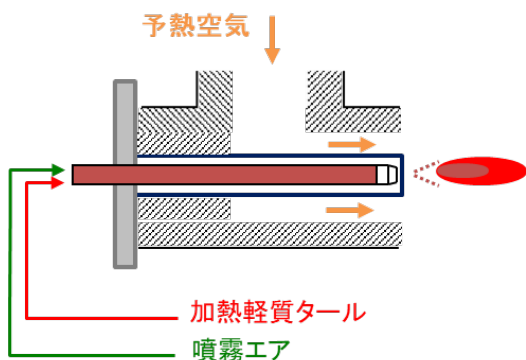
(1) 開発経緯

木質バイオマス発電所内では始動時に発電機へ導入できない不安定な木質ガスやタールの発生過程から各機器でフラッシュ蒸気が発生する。木質ガスは一酸化炭素（以下、CO）を含み、発生するフラッシュ蒸気（タール含有水の蒸気）は芳香族性の炭化水素や木粉、有機化合物を含む酸性系のガスである。従来は、可燃性成分の排ガスを処理をする場合に直接燃焼式排ガス処理装置を使用しており、無害化処理能力はバーナ1基で十分発揮する。しかし、発生する排ガスに水分やフラッシュ蒸気が入る場合には、バーナ1基では処理能力が低下し、能力が不安定になる。

そこで、排ガスを安定化処理するために、2段燃焼方式の排ガス処理装置を開発した。本装置の1基目のバーナでは導入されたガスを800℃まで昇温する。続いて2基目のバーナでは更に950℃まで昇温して排ガス中の可燃性ガスや臭気成分を含む有機化合物を燃焼し、酸化分解の無害化処理を行う。一般的にはこの2段燃焼方式を実施する場合、バーナを2基使用するため、化石燃料を大量に使用し、二酸化炭素排出量や燃費に課題があった。また、バイオマス発電所で発生するタールを含んだ洗浄水は一般的に産業廃棄物として処分されるため、運用時に発生するタールは廃棄物処分費用が発生し、コストが掛かっている。

そこで、本装置ではプラント内で発生するタールを燃料として利用することで、化石燃料の削減と廃棄物処理費用の削減ができるようにした。発生するタールは、排ガスの洗浄水を静置することで重質タールと軽質タールに比重分離される。1基目の重質タールを使用する重質タールバーナは日工株式会社の既製品を使用し、2基目の加熱軽質タールを使用する加熱軽質タールバーナについては、動粘度が高くタール温度を低下させないこと、及び燃焼効率を高めるために微粒化することを重点に置き、新たに共同開発した。

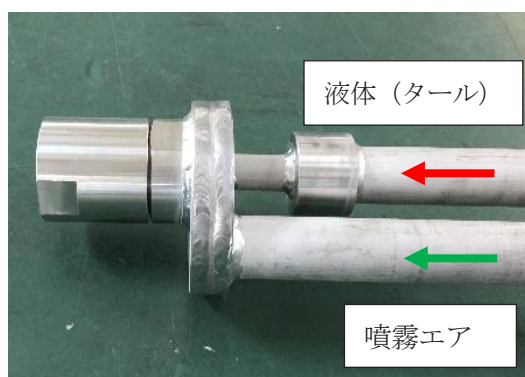
開発当初、図表6に示すように二重管で構成されている二流体ノズルを使用した。この方式で加熱軽質タールを噴霧すると噴霧エアの温度で加熱軽質タールの温度が低下しノズル内部でタールが詰まる現象（図表7）が起きた。そのため、開発した加熱軽質タールバーナで採用した特殊ノズルでは、図表8に示すように、タールと空気が混合する位置をノズル先端近傍にし、混合したあとの経路を短くすることにより、ノズル内での閉塞を抑制した。それに加えて2本管の液体部分に250～300℃の予熱空気がより多く接触できるノズル設置位置関係にし、加熱軽質タールを問題なく運用できるようにし、重質タールと加熱軽質タール両方を利用可能にした。また、立ち上げ時などにタールがない場合でも運転できるように1基目のバーナでは灯油も使用可能とし、プラントの状況に応じて排ガス処理装置が対応できるようにしている。



図表6 加熱軽質タールバーナ



図表7 従来ノズル断面



図表8 特殊二流体ノズル

- 2007年 日工株式会社による重質タールバーナの開発開始
- 2008年 重質バイオマスバーナ1号機をアスファルトプラントに導入
- 2015年 タールを利用した排ガス処理設備の開発開始
- 2016年 タール燃焼炉設計
日工株式会社、三機工業株式会社による加熱軽質タールバーナの共同開発開始
- 2017年 第1号機納入

(2) 共同開発

本装置は、日工株式会社及び三機工業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。

- ・日工株式会社：
2段燃焼方式で重質タールバーナを使用できるように排ガス処理設備の設計を行った。
- ・三機工業株式会社：
加熱軽質タールを使用するための条件設定と加熱軽質タールバーナ開発を行った。

(3) 技術導入

なし

3. 独創性

(1) 燃焼方式

本装置では、1 段目のバーナは炉内中心に火炎を位置するよう位置している。燃焼室に導入されるガスは火炎中に直接入れると燃焼状態が悪化するため、重質タール火炎の周囲に炉の内壁を沿うように巡回導入する。この方式により、重質タールは最大の燃焼効率を維持しつつ、導入ガスを輻射熱により 800℃まで昇温する。

次に、2 基目のバーナから噴射された加熱軽質タールは、水分とタールを含んだ状態で噴霧燃焼される。1 段目に輻射熱で昇温された導入ガス中が加熱軽質タール火炎中を通過することで、排ガス中の温度が 950℃まで急激に昇温される。燃焼炉内の 2 段目燃焼が行われる箇所の内径を一部小さくする（断面積約 30%減）ことで、炉内中心に向かって速度が上昇して酸素との混合を良くし、その結果燃焼速度を上昇させている。

このように本装置では、2 基のバーナを設置することで、プラント内で発生する有害ガスを無害化しつつ、発生する産業廃棄物であるタールを最大限利用し、化石燃料の使用量削減を実践できる方式として独創性を持たせている。

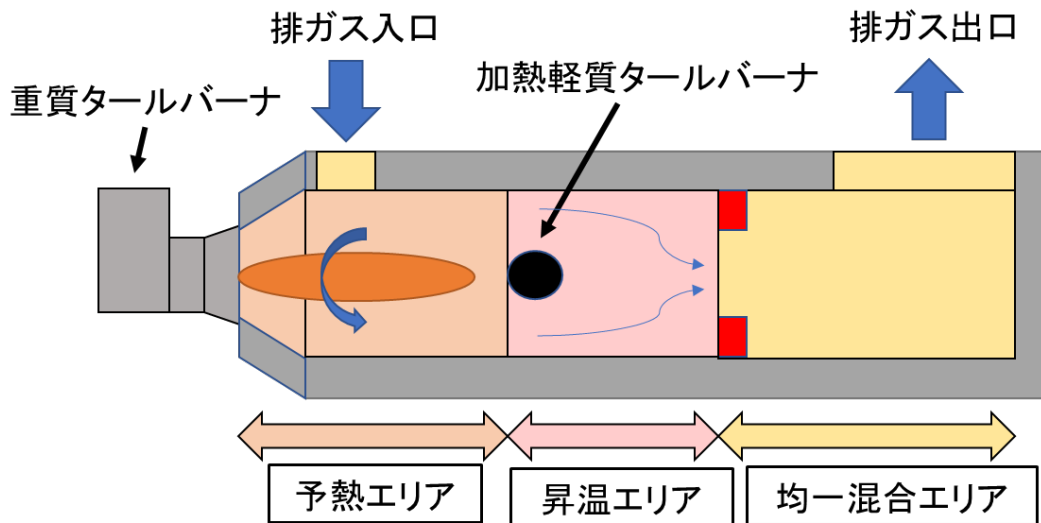
(2) 燃焼炉

排ガス処理装置の燃焼炉は、図表 9 に示す 3 エリアに分かれる。フラッシュ蒸気（以下、排ガス）は重質タールバーナの火炎上部から導入され、重質タールの予熱エリアを巡回しながら通過し予熱される。そして、加熱軽質タールバーナで昇温され、均一混合エリアで排ガスの温度を均一にしてから排ガス出口へ移動する構造である。

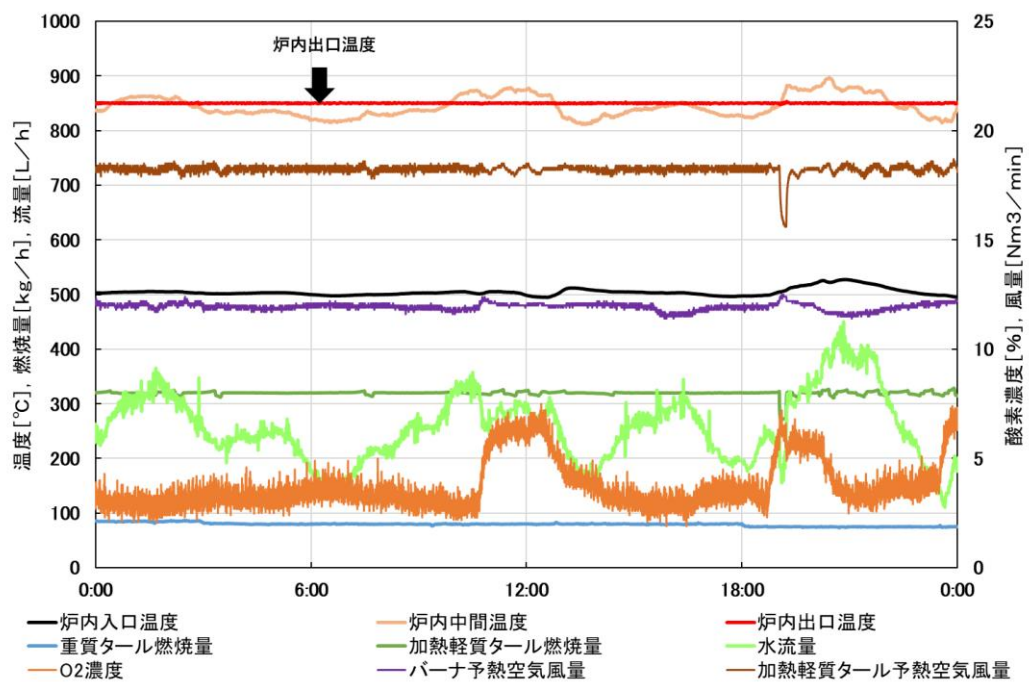
(3) 温度制御

炉内の温度制御は出口の温度計で制御される。重質タール及び加熱軽質タールの熱量変動が大きい場合、炉内の温度が低くなる場合には灯油を利用し、高い場合には昇温エリアに設置している清水ノズルを噴霧して炉内の温度を維持している。ただし、年間を通して灯油を使用するのは木材の含水率が高くなる春の期間だけで、その他の時期はほぼタールを熱源として稼働している。

図表 10 に示す運転データより、炉内の中間温度は 800～900℃に変動しているが、矢印の炉内出口温度は 24 時間ほぼ一定で安定した温度で運用している。このように季節変動の中で重質タールバーナ及び加熱軽質タールバーナの負荷変動が大きくても炉内出口の温度は安定して運用することが可能である。



図表9 排ガス処理装置概要



図表10 運転データ

4. 特許の有無

次のとおり、特許1件を出願中。

公開番号：特開 2020-193764

/ 名称：木質バイオマス発電施設にて発生する木質系のタール含有廃水の処理方法

5. 性能

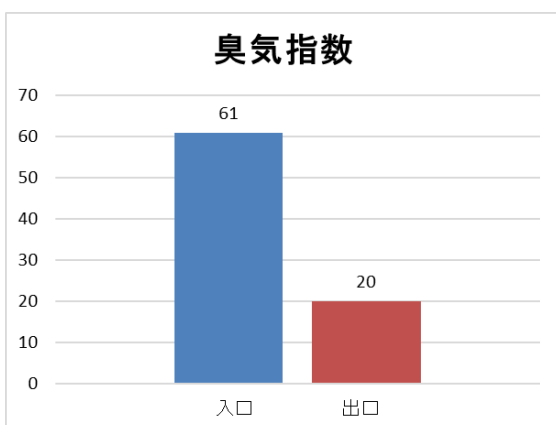
第1号機を納入したバイオマス発電所では一日90tの木質チップを燃料とし、約2,000kg/hのタール含有水が発生する。これを燃焼炉の熱を利用して濃縮すると約100kg/hの重質タールと約130kg/hの加熱軽質タールが発生する。また濃縮過程でフラッシュ蒸気が約2,200kg/h発生する。また、近隣設備から発生した重質タールを約20kg/h燃料として購入し、利用できる余裕もあり、化石燃料を極力使用しない運用を可能にしている。

タールを燃料として使用した状態で燃焼炉の入口と出口の排ガスをサンプリングし臭気指数を測定した。その結果、排ガス処理性能は図表11に示すように、入口臭気指数61(臭気濃度1,300,000)に対して出口臭気指数20(臭気濃度100)であり、65%削減した。臭気指数30以下はほぼ無臭である。また、木質由来の全炭化水素(Total Hydrocarbon 以下 THC)濃度は図表12に示すように、入口は144,302ppm(酸素濃度4%換算)に対し、出口は定量下限値以下になっているため、大気へ排気される排ガスは無臭で無害である。

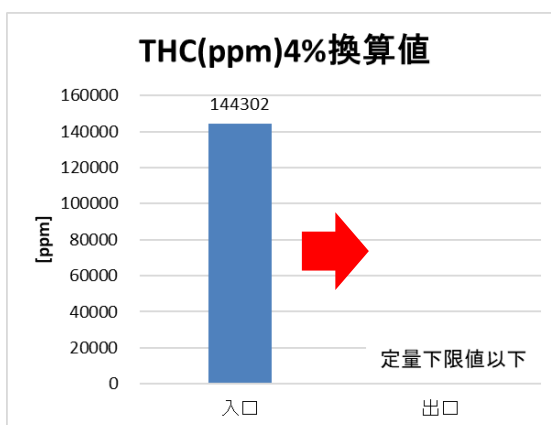
安全性に関しては、従来の装置と同等である。メンテナンス性はバーナが2基になるためにメンテナンス部分は増えている。重質タールバーナは従来のバーナ同等のメンテナンス頻度で良い。加熱軽質タールバーナはノズルを定期的に交換してメンテナンスする必要がある。運用中も交換可能であるため、連続運転しながらのメンテナンスが可能である。

6. 経済性

従来のバイオマス発電所では、木質ガスの洗浄で発生したタールは産業廃棄物処理をしていた。また、排ガス処理に灯油104L/hを使用している。申請装置以外でのインシヤルコスト及びランニングコストは従来と変わらないため、申請装置のインシヤルコストとランニングコストを比較する(図表13)。申請装置では、排ガス処理に使用していた灯油は1ヶ月に1度の燃焼炉の立ち上げ時のみ使用し、安定運転時には灯油使用量をゼロにすることが可能である。また、タールを燃料に用いるため、産業廃棄物処理費もゼロとなる。インシヤルコストとランニングコストを比較すると約1ヶ月で費用回収が可能であり、設置費用は約1年で回収可能である。



図表11 臭気指数



図表12 THC濃度

図表 13 イニシャルコストとランニングコスト比較表^{*1}

	従来装置	申請装置
イニシャルコスト		
排ガス処理装置費用	100	111
ランニングコスト		
燃料代	9.13	0.10
電気代	0.23	0.98
メンテナンス費用	0.01	0.03
産廃費用	2.22	0.00
合計	11.58	1.11

7. 将来性

2050年に向けてカーボンニュートラルが要求される中、バイオマス発電所はさらに増加していくと考えられる。バイオマス発電所ではタール及び有害な排ガスが発生するので、排ガス処理を行う熱処理炉に本装置を導入することにより、化石燃料を極力使用しない排ガスの無害化装置として今後のカーボンニュートラルへの対応装置として、かつ大気汚染を防止する装置として環境改善に貢献できる。一般社団法人日本有機資源協会（JORA）と一般社団法人木質バイオマスエネルギー協会（JWBA）の見通しでは2021年から2030年までに343基のバイオマス発電所が設置される見通しである。

(https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/030_03_00.pdf)

¹ 従来装置費用を100とした場合の相対値

日本産業機械工業会会長賞
「排水処理システム
(AIS : アイエンス・イノベィティヴ・システム)」
株式会社アイエンス

1. 装置の詳細説明

本装置は、独自に開発した散気装置「アクアブラスター」を用いた、食品工場等の産業排水処理システムである。

従来装置の課題であった、余剰汚泥発生量の大幅削減、加圧浮上装置の不要化、硫化水素や脂肪酸などの悪臭発生防止、運転管理の簡素化で人件費の削減を実現したものである。

(1) 処理フロー

排水を微細スクリーンに通し、調整槽に送り込み、計量槽で一定量を曝気槽に送り込む、基本的には通常の処理と同様であるが、流量調整槽でも曝気を行い、曝気槽を多段槽にしたことが特長である（図表1参照）。微生物については目的に応じて、投入なし、高性能菌随時投入、活性汚泥投入の3通りとしており、下水放流の際は微生物を投入せず、原水に含まれている菌とアクアブラスターによる曝気のみで放流基準値をクリアしている。



(2) 処理メカニズム

槽内に設置した散気装置「アクアブラスター」に空気を送り込むと、エジェクター作用で下部から水とスラッジを吸い上げ、気液混合する。空気を含んだ原水を特殊羽根に秒速 30m の高速で衝突させることで、微細気泡を発生させ、油脂分や SS 分 (suspended solids : 水中に懸濁している不溶解性物質) を粉砕して溶解性 BOD に変換することで微生物の捕食性が向上し、かつ酸素が充足されるため、好気分解効率が格段に上昇する。(図表 2 参照)

このアクアブラスターを搭載した本装置は溶存酸素濃度を安定的に 0.6mg/L 以上 (微生物が好気呼吸の代謝を行える最低濃度) に維持することができるため、ブドウ糖 (有機物) 1mol を 38mol の ATP (アデノシン三リン酸) に変換することが可能となる。それ以下の酸素濃度では、微生物が硫酸塩などで呼吸を行う嫌気呼吸となり、代謝効率が悪くなるため副生成物として硫化水素が発生し、2mol の ATP しか生成できないため、好気処理とは約 20 倍の差が生じ処理不良となる。

機器構成としては、SS スクリーン、ブロワ、散気装置、ポンプ、微生物注入ユニット (必要に応じて) とシンプルなものとなっているため、運転管理者を選ばない。



図表 2 アクアブラスターの構造

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

一般的に調整槽で曝気は行われませんが、食品コンビナート総合排水処理場の流量調整槽 1,500t に当社の散気装置「アクアブラスター」を設置したところ、滞留時間が6時間しかないにも拘らず、BOD及びノルマルヘキサン抽出物質がともに80%以上除去され、硫化水素も100ppmからゼロに削減できたことに端を発している。

その他のアクアブラスターの納入先でも、食品工場や自動車工場、化学工場などから、既設の散気装置との交換により、電気代の削減や余剰汚泥の発生抑制、悪臭の防止、加圧浮上の不要化、管理者の不要化等の高評価を多数得られたため、その特徴を活かした水処理システムの構築に着手した。

2010年	調査開始
2011年	既設設備改造工事 ブロウ運転時間の削減等に関する実験開始
2012年	容積負荷の解析、実験プロセスの構築
2013年	第1号機納入

(2) 共同開発

なし

(3) 技術導入

なし

3. 独創性

(1) アクアブラスターにおける微細気泡の発生

本装置に組み込まれている散気装置「アクアブラスター」は外見だけであれば類似品もあるが、内面の端に突起が付いているのみで、流体の力が最大となる中心部が空洞であるため、その力を十分に有効利用していない。アクアブラスターでは、その強い力を利用して水中に酸素を効率よく溶かし込むべく、微細気泡を発生させる方法を次のとおり考えた。

- 1) 気液混合された溶液を狭い空間に押し込み、開放時に微細気泡を発生させる。
- 2) シートキャビテーション（例として飛行機の羽から空気が離れるときに発生するキャビテーション）を起こすように飛行機の翼を模した形状の羽根を設計した。
- 3) バブルキャビテーション（カルマン流と呼ばれる渦流を発生させることで生じる気泡）を発生させるよう圧力差が生じる溝を数多く設けた。
- 4) 鋭い三角錐の突起を多く設けることでカルマン流の発生を狙ったほか、突起の先端に水流が衝突することによる陰イオン等の発生を狙った。（風が松葉の先に当たると陰イオンが発生することがあるという文献を参考）

通常は物質を破壊するため発生を抑制する必要があるキャビテーション効果を利用すること

から、材質の検討を併せて行った。その結果、ナイロン素材の耐摩耗性を評価し実用化に踏み切った。一方、ステンレスでは6mmのものが1年間で1mmにまで擦り減った。

これら技術を活かし、当社で総合設計できるように構築したものがアイエンス・イノベティヴ・システム（AIS）である。

（2）アイエンス・イノベティヴ・システム（AIS）のシステム構築

本装置では、以下のとおり案件毎に調査、実験を行うことで各排水に最適なシステム構築を図っている。

1) 徹底した事前確認作業と解析

産業排水処理設備の多くが従来の排水処理計算式で設計されているが、悪臭の発生や処理不良等で期待された機能を果たしていない事例は多い。そこで、排水を負荷数値だけで計算するのではなく、現地に実験機を持ち込み、3～5検体の実験を行うことにより、トランス脂肪酸や塩分や糖分、また殺菌成分などの生分解阻害物質を含んでいないかなどを綿密に調べている。その実験結果を独自で解析し、経験値と重ねることで適切な設計を行っている。

2) 独自の設計概念

独自の曝気方法を基に、排水毎に空気量計算を行っている。高負荷変動した際にも微生物が確実に「完全好気呼吸の代謝」を行えるように余裕を持った空気量で設計しており、通常負荷時には、インバータで周波数を下げたり、間欠曝気を行ったりするなど、「引き算の概念」で、その時の負荷に応じた最適なエネルギー効率のポイントで処理を行うシステムであり、電気消費量を効果的に抑えることができる。

なお、「完全好気呼吸の代謝」とは、1molのブドウ糖（有機物）を38molのATP（アデノシン三リン酸）に変換させることである。周囲に悪臭が発生しているような嫌気呼吸の代謝では2molのATPしか生成できないため、最大で約20倍近い分解効率の差が生じていることになる。したがって、嫌気呼吸環境で臭気が発生している場合、電気消費が効率的に行われていないと考えられる（図表3参照）。

3) 油脂分やSS分を砕いて溶解性BODに変換

アクアブラスターにより、油脂分やSS分などの有機物を溶解性のBODに変換し、微生物が捕食分解しやすくなる（粒子径が1/5になれば、体積は1/500となる）。それにより、BOD汚泥転換率を抑え、余剰汚泥の発生を大幅削減を実現しており、さらに滞留時間を稼げれば余剰汚泥の発生をゼロにすることも可能である。

なお、油脂分が多い鶏肉加工工場で加圧浮上装置や薬剤を使用せず処理できていることから、2019年に有識者による現地調査を行った結果、油脂分やSS分などの粒子が粉碎されていることが判明した（図表4）。

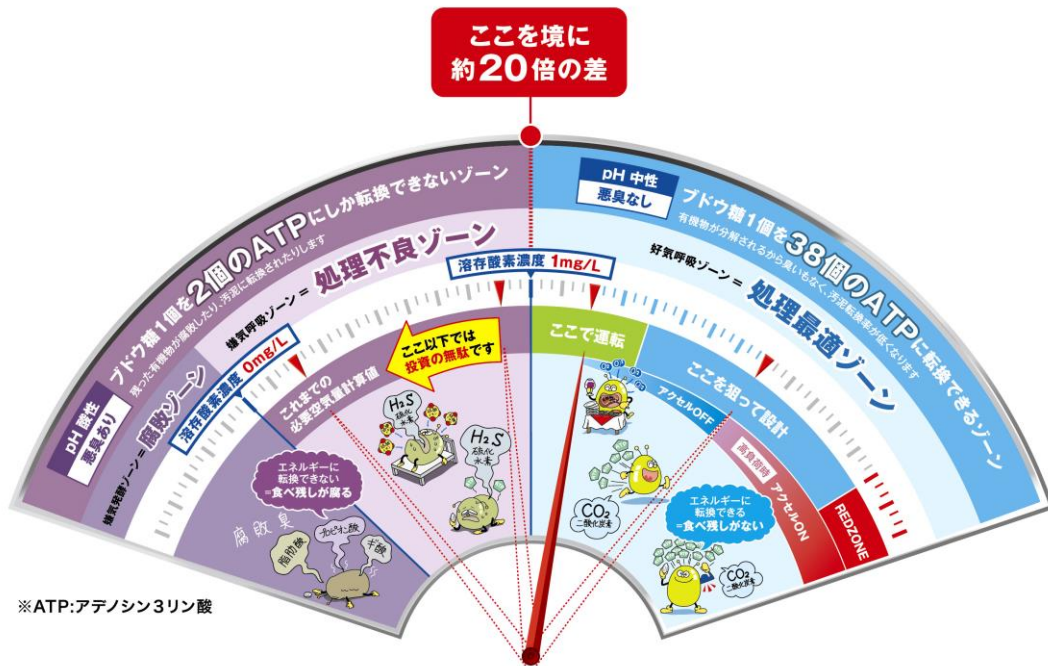
4) 運転管理の簡素化

下水放流の際の除害設備においては、加圧浮上装置や活性汚泥法を使用せず、アクアブラ

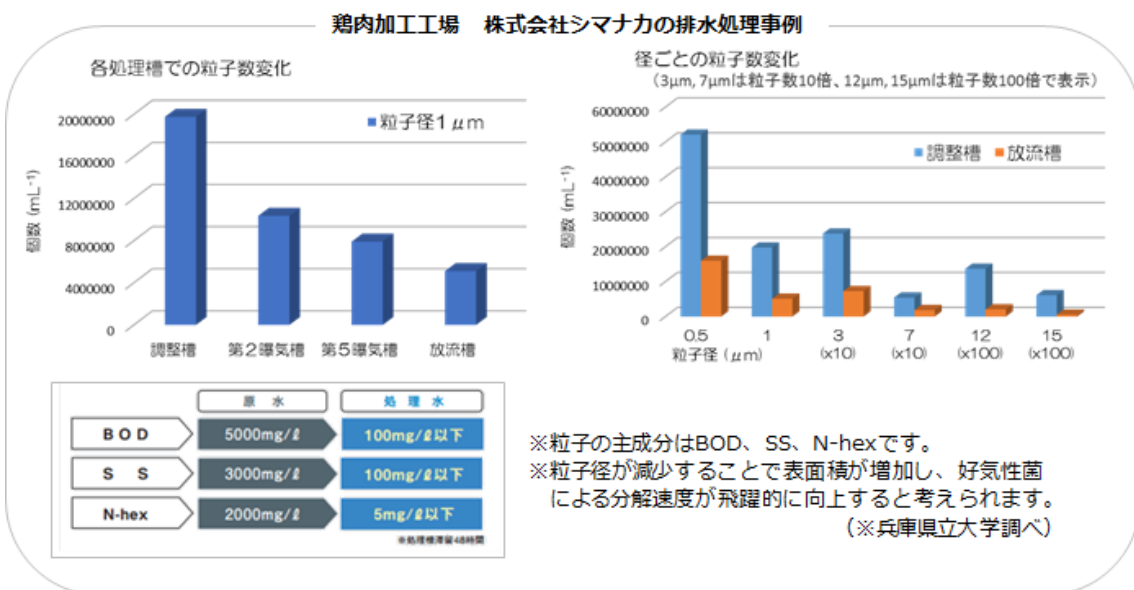
ターの曝気だけで処理を行うため、特別な技能を持った運転管理者が不要のシステムである。人が介在するのは固液分離スクリーンのし渣回収だけのため、人件費が削減できる。

活性汚泥法の現場においても、MLSS 濃度や沈殿槽の汚泥界面管理が安定することで、管理者の手間を大幅に減らすことができる。

前述の食品コンビナートの総合排水処理施設において、1,500t の調整槽にアクアブラスターを94本設置しているが、浮上及び沈降汚泥の回収ゼロを10年間継続中である。



図表3 溶存酸素濃度による微生物の呼吸の違い



図表4 鶏肉加工工場における排水処理事例

5) 汚泥処理不要の除害設備

下水放流時の除害設備として使用する場合、活性汚泥を使用せずに SS 分も含めて放流基準値内に収めるため、汚泥の処理作業や処理費用が発生しない。

6) 硫化水素・腐敗臭の悪臭発生防止

従来の排水処理施設では臭気の発生が容認されていたが、AIS は排水流入直後や高負荷時でも、常時 0.6mg/L (好気呼吸限界値) 以上の溶存酸素濃度を維持できる独自設計を確立しているため、脱臭装置や薬品などを一切使用することなく、硫化水素や脂肪酸などの悪臭発生防止 (原材料臭除く) を実現している。

4. 特許

次のとおり、特許 1 件を取得済み。

特許番号：6646500 号 / 名称：汚水浄化用の気泡発生装置及び排水浄化方法

5. 性能

上述のとおり本装置は、案件毎に最適な設計を行っているため、定量的に性能を示すことが難しい。そこで本装置を実際に導入したユーザの排水処理例を 3 点示す (図表 5)。

そのほか、本装置の特徴を以下に示す。

- (1) 負荷変動に強い。
- (2) 既設改造で容積負荷を 2 倍に上げた実績があり、コンパクトな水槽設計が可能。
- (3) 効率の良いポイントで処理を行うため、無駄な電気を消費しない。
- (4) 原水値が設計内であれば、確実に放流基準値を遵守できる。
- (5) 汚泥処理や薬注などの手間がなくなるので、作業従事者を削減できる。
- (6) 硫化水素や脂肪酸などの腐敗臭の発生を防止する。

図表 5 本装置による排水処理例

項目 (mg/L)	河川放流事例① (カット野菜工場)		河川放流事例② (ハンバーグ製造工場)		下水放流事例 (鶏肉加工工場)	
	原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水
BOD	920	7	1,900	3	1,600	24
COD	830	222	840	14	880	120
SS	960	7	1,000	6	1,700	47
n-hex	8.7	1	260	5 未満	200	1 未満
T-N	100	4.8				
T-P	14	0.5				

6. 経済性

メンブレン式散気装置における通常活性汚泥法を従来装置として、本装置との経済性比較を図表6に示す。

イニシャルコストは、樹脂製の散気装置と比較して、ステンレス素材のアクアブラスターを使用するため20%上がる。

だが、ランニングコストにおいては、様々な点で従来装置と比べて大幅なコストダウンに繋がっている。

電気消費については、一般に多く使用されているメンブレン式散気装置と比較すると圧力損失差が200～700mmAq程度あり、電気消費量に換算すると3～11%の電気消費量が削減できる。また、処理の負荷に応じてブロワの周波数を加減するため、最大限効率の良いポイントで運転ができる。

汚泥処理費用においては、河川放流で40～90%削減され、下水放流の除害設備では加圧浮上装置も不要で、SSを300mg/L未満に収めるので、最大100%削減可能である。

凝集剤は、リン除去を除いて不要となる。発泡性が非常に高い排水の場合は消泡剤を少量点滴したケースはある。

メンブレン式の散気装置は、1年で溶解効率が20～30%下がると言われており、数年に一度の交換が必要となるほか、水槽の水を抜くのに費用と手間が発生する。一方、アクアブラスターは、10年以上交換の必要がないため交換コストも発生しない。

下水放流時では、スクリーンで固液分離されたし渣の回収以外に作業は発生しない。最近では、活性汚泥法での河川放流時でも自動監視運転を併用することによりほぼ無人化に成功している。

硫化水素や脂肪酸臭が発生することがないため、鶏肉加工工場のほか、タコやイカなどの臭気強い海鮮物工場、食鳥工場においても脱臭装置を使用していない。

図表6 本装置と従来装置（メンブレン式散気装置における通常活性汚泥法）の経済性比較

No.	項目	従来装置	本装置	備考
1	イニシャルコスト	100	120	散気ユニットは高くなる。
2	ランニングコスト	-	-	-
	消費電力	100	70～80	処理ポイントに周波数設定
3	汚泥処理費	100	0～60	下水放流除害設備ではゼロ
4	薬品代	100	0～10	リン除去のみ凝集剤使用
5	散気装置交換費（3年）	100	0	10年以上交換不要
6	メンテナンス費	100	10	スクリーンのし渣のみ回収
7	脱臭経費	100	0	脱臭機不要

7. 将来性

国内外で類似の技術が見当たらないことから、世界で競争力のある技術と考えており、以下の応用が考えられる。

(1) ビルピットへの応用

都内を始め、都市部で大問題となっているビルピットにも数か所採用されており、悪臭や害虫、害獣の発生も抑制している。都会の地上で下水臭を感じることもあるが、その原因のほとんどがビルピットであると言われている。これは新興国でも同様に、ビル建設や街づくりの段階から AIS をスペックインすることで、臭気は未然に防がれ、害虫も減り、pH も上昇して油分も分解することから下水道への負荷を抑制することができ、経費の削減が期待される。

(2) 鉱物油含有排水への応用

バスの操車場において、下部洗浄やエンジンフラッシング（エンジン内部の洗浄）作業で発生する排水に含まれる鉱物油分解も可能である。また、鉱物油が含まれる工業系の循環水浄化にも使用されており、1 週間の水交換を半年や 1 年に延命している。

(3) 塗装工場への応用

塗装の循環ピットにも採用されており、塗料スラッジの減容や腐敗臭の発生を防止し、循環水の交換サイクルを 4~10 倍に延命している。

— 非 売 品 —
禁無断転載

第 49 回
優秀環境装置

発 行 2023 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

