

第 50 回 優秀環境装置

2025 年 3 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 2024 年度「第 50 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。

今回で 50 回の節目を迎える本事業は、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で地球環境の保全に資することを目的としており、公害が大きな社会問題であった 1974 年に始まったものである。

環境装置産業は、その後、廃棄物処理におけるダイオキシン類問題や循環型社会構築に向けた再資源化への対応、廃棄物や水処理の過程からのエネルギー及び資源回収などに活動分野を広げてきた。さらに、カーボンニュートラルの実現に向けて、バイオマスの利活用や二酸化炭素の回収や有効利用の促進、そして、こうした活動を経済成長の機会へと転換していく「グリーントランスフォーメーション：GX」の実現に向けて取り組んでいる。

地球温暖化については、昨年 2024 年の地球全体の年平均気温は 2023 年に続いて過去最高を更新し、工業化以前からの気温上昇は 1.5℃を上回ったことが報告されている。我が国においても、同じく年平均気温が最も高い年となり、極端な寒暖差や記録的な大雨・大雪を観測する地域が見られ、各地に大きな被害をもたらした。このような状況も鑑み、環境装置産業は業界を挙げて、災害にも強い持続可能な社会を作っていくための更なる技術革新、様々な業界との協働による社会システムの確立等の取り組みを通じて、今後も社会に貢献していく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、資源エネルギー庁、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。

2025 年 3 月

一般社団法人 日本産業機械工業会
会 長 金花 芳則

第 50 回優秀環境装置

— 目 次 —

・ 第 50 回優秀環境装置審査報告	1
・ 第 50 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 「水噴射と圧力波を組み合わせた高効率ボイラクリーニング装置」	5
・ 経済産業省脱炭素成長型経済構造移行推進審議官賞 「大型磁気浮上式高速単段ターボブロワ（MAG ターボ/M55 型）」	15
・ 資源エネルギー庁長官賞 「メタネーション標準機」	27
・ 中小企業庁長官賞（応募申請書受付順） 「微細目固液分離スクリーン（ファインアーク®-60）」 「廃プラスチック油化装置（REP10000）によるケミカルリサイクルシステム」	35 45
・ 日本産業機械工業会会長賞（応募申請書受付順） 「微滴衝突式集塵装置」 「Dual Fuel バイオガス発電システム（6EY26LDF）」 「し尿処理過程で発生する余剰汚泥を減容する装置（ASB リアクタ）」 「多重板型スクリュープレス汚泥脱水機（ヴァルートデュオ）」 「回転ドラムスクリーン（セルフクリーン-スイングディスクスクリーン）」 「ごみピット 3D システムを活用したごみクレーン A I 自動運転装置」 「ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機（DSBP）」 「ごみ炭化燃料化システム」	57 65 73 83 89 101 113 127

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 50 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、2024 年 6 月 3 日から 2024 年 7 月 12 日までの約 1 ヶ月にわたって公募した。

その結果、大気汚染防止装置〔2 件〕、水質汚濁防止装置〔8 件〕、廃棄物処理装置〔8 件〕、騒音・振動防止装置〔1 件〕、再資源化装置〔5 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〔4 件〕、今回から表彰の対象となった化石資源の代替品製造装置〔2 件〕、その他環境負荷低減に資する装置〔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 24 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 50 回優秀環境装置の経済産業大臣賞、経済産業省脱炭素成長型経済構造移行推進審議官賞、今回から新たに設けた資源エネルギー庁長官賞をそれぞれ 1 件、中小企業庁長官賞 2 件、日本産業機械工業会会長賞 8 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 50 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)

伊吹 英明

経済産業省 製造産業局長

龍崎 孝嗣

経済産業省 脱炭素成長型経済構造移行推進審議官

村瀬 佳史

経済産業省 資源エネルギー庁長官

山下 隆一

経済産業省 中小企業庁長官

堀上 勝

環境省 大臣官房審議官

石井 裕晶

一般財団法人日本品質保証機構 理事長

畠山 一成

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 名誉教授

金花 芳則

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 理工学術院総合研究所 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

環境管理部門 副部門長 兼 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

サーキュラーエコノミー部 フロンチーム チーム長

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

赤松 史光

大阪大学 大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授

永山 純弘

一般社団法人日本産業機械工業会 常務理事

(最終委員会 2025 年 2 月 13 日現在)

第 50 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>

「水噴射と圧力波を組み合わせた高効率ボイラクリーニング装置」 JFE エンジニアリング(株)

<経済産業省脱炭素成長型経済構造移行推進審議官賞>

「大型磁気浮上式高速単段ターボブロワ (MAG ターボ/M55 型)」 川崎重工業(株)

<資源エネルギー庁長官賞>

「メタネーション標準機」 (株)IHI

<中小企業庁長官賞> (応募申請書受付順)

「微細目固液分離スクリーン (ファインアーク®-60)」 東洋スクリーン工業(株)

「廃プラスチック油化装置 (REP10000) による
ケミカルリサイクルシステム」 (株)リサイクルエナジー

<日本産業機械工業会会長賞> (応募申請書受付順)

「微滴衝突式集塵装置」 クリーン・テクノロジー(株)

「Dual Fuel バイオガス発電システム (6EY26LDF)」 ヤンマーエネルギーシステム(株)

「し尿処理過程で発生する余剰汚泥を減容する装置
(ASB リアクタ)」 クボタ環境エンジニアリング(株)

「多重板型スクリュープレス汚泥脱水機 (ヴァールトデュオ)」 アムコン(株)

「回転ドラムスクリーン
(セルフクリーン-スイングディスクスクリーン)」 三菱化工機(株)

「ごみピット 3D システムを活用した
ごみクレーン A I 自動運転装置」 カナデビア(株)

「ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機 (DSBP)」 月島 JFE アクアソリューション(株)

「ごみ炭化燃料化システム」 日本下水道事業団
川崎重工業(株)

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	1
水質汚濁防止装置	8	6
廃棄物処理装置	8	3
騒音・振動防止装置	1	0
土壌・地下水汚染修復装置	0	0
再資源化装置	5	1
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	4	4
化石資源の代替品製造装置	2	2
その他環境負荷低減に資する装置	1	1
合 計	24	13

※複数の分野に亘る応募申請があるため、分野別応募件数及び分野別受賞件数の合計値は、それぞれ応募申請件数及び受賞件数と一致しない。

経済産業大臣賞 「水噴射と圧力波を組み合わせた 高効率ボイラクリーニング装置」 JFE エンジニアリング株式会社

1. 装置の詳細説明

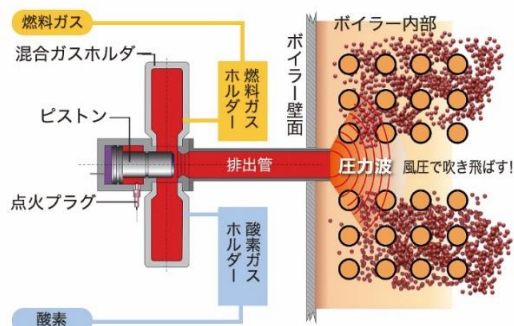
本装置は、ごみ焼却施設のボイラ伝熱面に付着した灰を除去するためのボイラクリーニング装置として、圧力波式と水噴射式のクリーニング装置を組み合わせた高効率ハイブリッドクリーニングシステムである。

圧力波クリーニング装置は、ボイラ全体に適用可能なクリーニング技術であり、特に対流伝熱室内の管群の付着灰除去に有効なシステムである。本装置はガスホルダー・着火装置を含む本体（図表 1）と、バルブパネル、制御盤等で構成される。ボイラ壁面から約 2m 四方内に装置が収まり、従来のスートブロワ、特に長拔差式と比較し非常にコンパクトなものである。そのため周囲の通行性を妨げない他、既存施設に追加設置する場合でもマンホール部に容易に取付可能である。図表 2 に圧力波クリーニング装置の付着灰除去原理を示す。燃料ガスと酸素を所定量・圧力で充填して点火することにより、ノズル部から圧力波がボイラ内に放出される。この圧力波により発生した風圧、振動で、伝熱面上の付着灰を広範囲に除去することが可能である。

水噴射クリーニング装置は、焼却炉運転中にボイラ放射室の清掃を可能とするシステムである。概略図を図表 3 に示す。本装置は水噴射ノズル、耐熱ホースを収納しているドラムユニット、ボイラ放射室への水噴射ノズル挿入口であるエントリーホップ、ポンプユニット及び制御盤で構成される。運転操作により、エントリーホップのゲートが開き、水噴射ノズル及び耐熱ホースが稼働中の放射室内へ挿入され、水噴射ノズルが回転しながら放射室頂部から底部まで



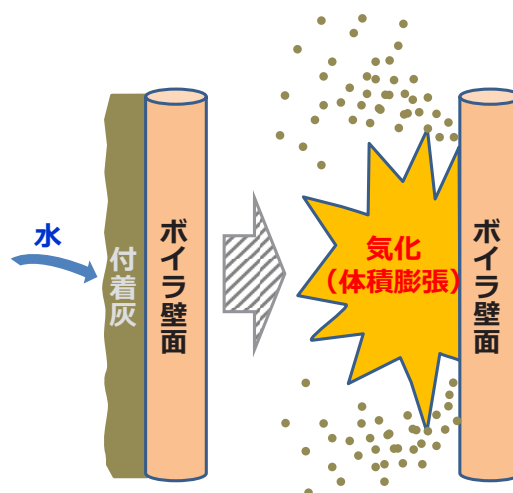
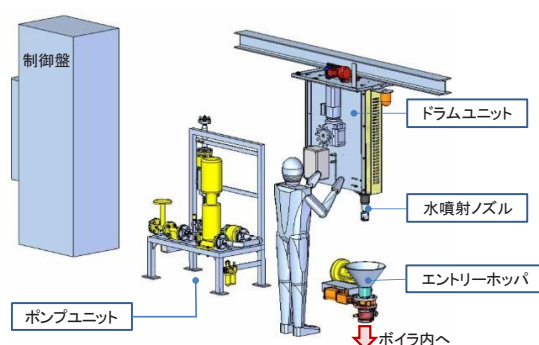
図表 1 圧力波クリーニング装置外観



図表 2 圧力波クリーニング装置付着灰除去原理

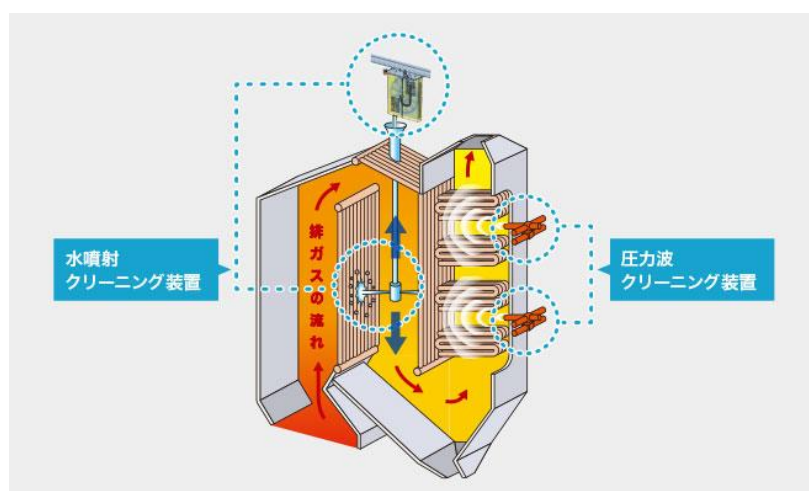
を数分間で1往復する。ホース挿入量の設定を変更することで、任意の高さ（範囲）だけの清掃も可能である。図表4に示すとおり、水噴射ノズルから噴射された水は、水冷壁管上の付着灰に接触し、蒸発する際の体積膨張により付着灰を除去する。水噴射ノズルが水を噴射しながらボイラ放射室頂部から底部まで往復することにより、水冷壁管の付着灰を万遍なく除去することが可能である。使用ユーティリティは水、計装空気、電源のみであるため、新設・既設問わず容易に設置可能である。また、消耗部品が少なくメンテナンスも容易である。

本書で述べるクリーニングシステムは、放射室に水噴射クリーニング装置、管群部に圧力波クリーニング装置を設置したものである。配置例を図表5に示す。



図表3 水噴射クリーニング装置概略図

図表4 水噴射クリーニング装置付着灰除去原理



図表5 ハイブリッドクリーニングシステム配置例

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

従来のボイラクリーニング装置は図表 6 に示すとおり、蒸気式スートブロワを対流伝熱室内の管群部付近に配置することが主流であったが、以下の課題があった。

- ・ 発電用蒸気の消費による発電効率低下と、それに伴う買電の発生
- ・ 蒸気煤吹きに伴うエロージョンによる伝熱管の減肉助長
- ・ ボイラ放射室の付着灰成長に伴う収熱効率の低下
- ・ 蒸気式スートブロワの損耗に伴う清掃能力低下や灰閉塞による計画外炉停止

そこで、当社は清掃範囲拡大・清掃能力向上による発電効率の改善とボイラの長寿命化を目指し、蒸気を使用しないクリーニング装置を放射室と対流伝熱室双方に設置する検討を開始した。当初は圧力波クリーニング装置のみを設置することを検討していたが、イニシャルコストとメンテナンスコストともに大きく改善できる水噴射式と圧力波式のクリーニング装置を組み合わせたハイブリッドクリーニングシステムを選択し、国内で初めて実用化した。以下に経緯を示す。

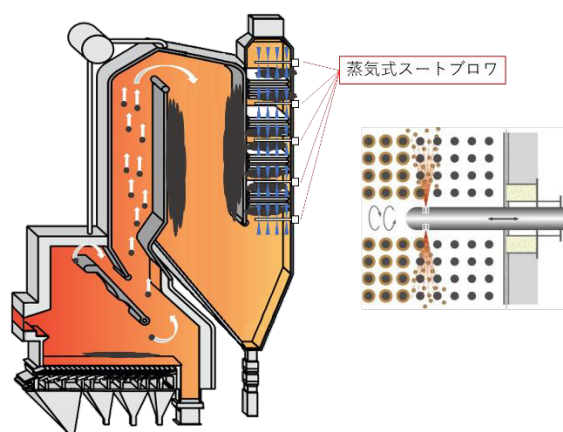
2015 年 2 月	圧力波クリーニング装置実証試験開始
2016 年 1 月	圧力波クリーニング装置商品化
2016 年 3 月	水噴射クリーニング装置実証試験開始
2016 年 12 月	水噴射クリーニング装置商品化
2017 年 12 月	第 1 号機納入

(2) 共同開発

なし

(3) 技術導入

なし



図表 6 蒸気式スートブロワ

3. 独創性

当社は圧力波式と水噴射式のクリーニング装置を組み合わせた高効率ハイブリッドクリーニングシステムを国内で初めて実用化した。前述のとおり、従来は蒸気式スートブロワの使用による発電用蒸気の消費が課題であったが、スートブロワ用蒸気が不要となり、発電効率の改善が実現した。さらに本システムの導入により長期にわたってボイラの収熱性能を高い水準で維持可能となったため、システム導入前に比べて売電量が約 17%改善した。加えて清掃能力・清掃可能範囲が拡大することで、定期点検時の清掃費を約 70%低減した。これらの効果によって、20 年間のコストが 99%低減される見通しを得た。詳細は「6. 経済性」に記す。

また焼却炉運転中においても、放射室の任意の範囲の清掃が可能である水噴射クリーニング装置と、対流伝熱室内の管群を含めた広範囲な付着灰の除去を実現する圧力波クリーニング装置を組み合わせることで、ボイラ全体が良好に清掃された状態に維持される。新規にボイラの建設、設計を行うにあたり、放射室の付着灰の清掃ができない従来方式では、特に時間経過に伴う付着灰の成長による伝熱量の低下をあらかじめ考慮して、伝熱面積に余裕を持たせる必要があった。本システムの導入によりその余裕が不要となり、伝熱面積の低減を可能とする。さらに放射伝熱面が良好な状態に保たれるため、過熱器入口ガス温度が適切に維持され、かつ過熱器の収熱効率をコントロールできるため、前述の蒸気使用量低下とは異なるアプローチによる発電効率の改善が期待できる。詳細は「7. 将来性」に示す。

4. 特許の有無

次のとおり、特許 5 件を取得済み。

特許番号：第 5971438 号 / 名称：ボイラのダスト除去装置及びダスト除去方法

特許番号：第 6693239 号 / 名称：ボイラのダスト除去装置及びダスト除去方法

特許番号：第 7358925 号 / 名称：ボイラのダスト除去装置及びダスト除去方法

特許番号：第 6863257 号 / 名称：廃棄物焼却炉ボイラの閉塞および腐食の抑制方法

特許番号：第 7153431 号 / 名称：ボイラの腐食防止装置及び腐食防止方法

5. 性能

第 1 号機納入先におけるシステム導入前後の付着灰除去性能及びその効果の比較を図表 7 に示す。システム導入前に比べ、システム導入後は明らかに付着灰除去性能が向上しており、それに伴う過熱器入口ガス温度低下、焼却性能の維持、連続運転日数の増加が確認された。

(1) 付着灰除去性能

図表 8 及び図表 9 は炉停止時に確認したボイラ第 2 放射室側面の内部状況である。水噴射クリーニング装置を使用しない場合は、200 日間操業時点において多量の灰が付着しているのに対し、使用した場合は同じく 200 日間操業時点において付着灰が明確に減少しており、水噴射クリーニング装置の高い付着灰除去性能を目視からも確認可能であった。図表 10 及び図表 11 は同じく炉停止中に確認した過熱器管の状況である。圧力波クリーニング装置を使用しない場合は、100 日間操業時点において多量の灰が付着しているのに対し、使用した場合は、200 日間操業時点において付着灰が明確に減少しており、圧力波クリーニング装置の高い付着灰除去性能についても目視にて確認可能であった。

図表 7 システム導入前後の比較

		システム導入前	システム導入後
付着灰厚	放射室	10 mm (図表 8)	3 mm (図表 9)
	管群部 (過熱器)	10 mm (図表 10)	3 mm (図表 11)
過熱器入口ガス温度		—	装置導入前－50℃
焼却量※		140 t/d 前後	150 t/d 前後
連続運転日数		100～150 日間	200 日間

※建設時定格焼却量：150t/d



図表 8 放射伝熱面

(水噴射クリーニング導入前、200 日間操業)



図表 9 放射伝熱面

(水噴射クリーニング導入後、200 日間操業)



図表 10 過熱器

(圧力波クリーニング導入前、100 日間操業)

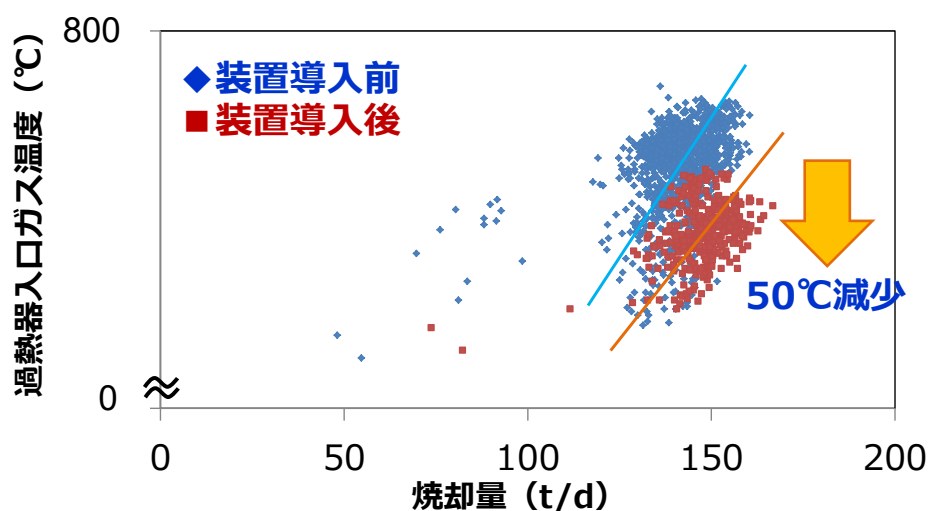


図表 11 過熱器

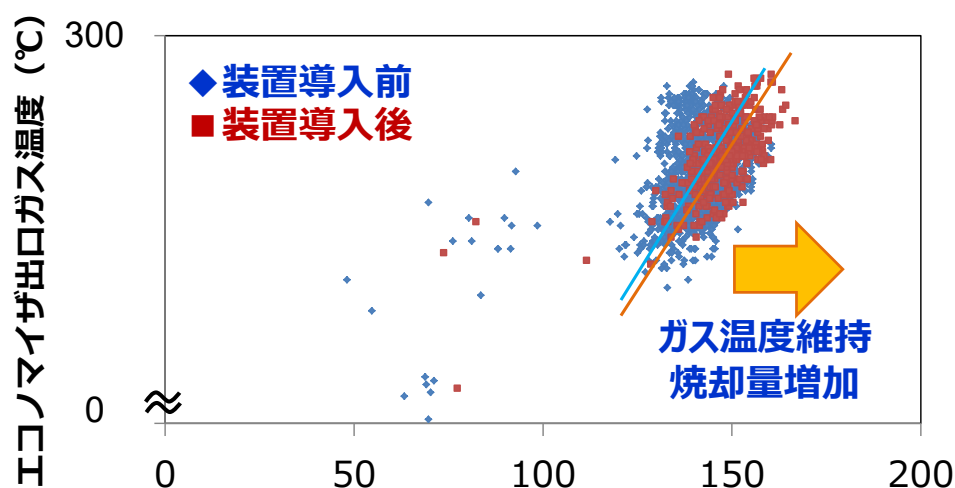
(圧力波クリーニング導入後、200 日間操業)

(2) ボイラ収熱向上

装置導入前後の過熱器入口ガス温度推移を図表 12 に示す。水噴射クリーニング装置導入により放射室が良好に清掃され、ボイラ本来の収熱性能を維持できたため、導入前よりも焼却量が僅かに増加しているにもかかわらず、ガス温度は約 50℃低い状況に改善された。次に装置導入前後のエコノマイザ出口ガス温度推移を図表 13 に示す。圧力波クリーニング装置導入により過熱器及びエコノマイザが良好に清掃されたため、ガス温度を維持できる状態に改善した。このことから、より多くの熱量が回収可能になったと言える。



図表 12 過熱器入口ガス温度

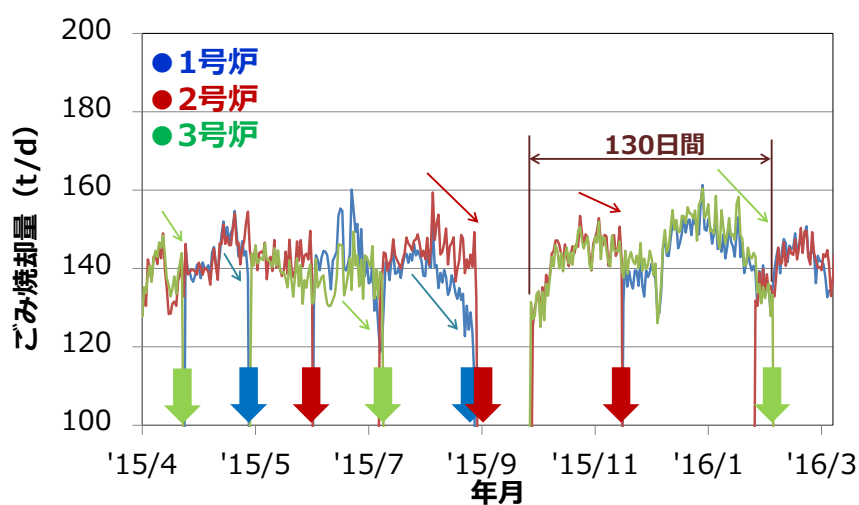


図表 13 エコノマイザ出口ガス温度

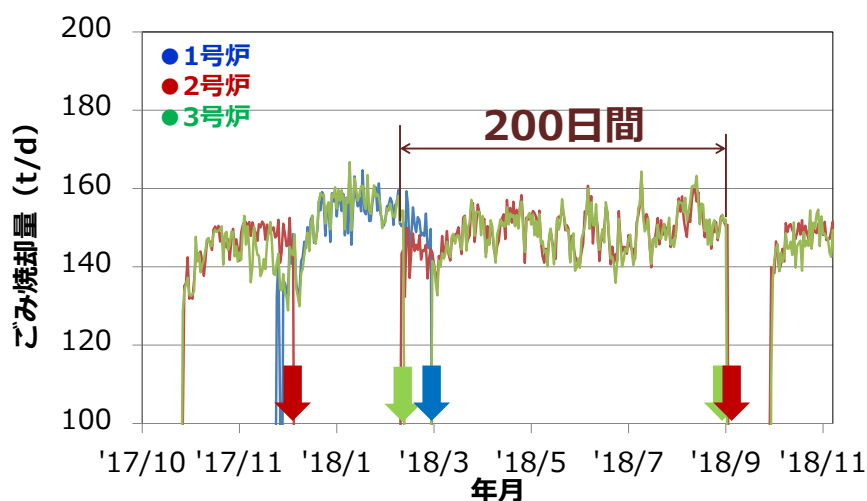
(3) 焼却量の安定化、連続運転能力の改善

本装置の導入により焼却量の安定化、連続運転能力の改善効果も見られた。図表 14 及び図表 15 に装置導入前後のごみ焼却量の推移を示す。装置導入前において、ごみ焼却量は 140t/d 前後を推移していたが、ボイラの収熱悪化によるガス温度上昇のため、徐々に焼却量を減らして立ち下げ・清掃を実施している状況であった。このとき運転日数はおよそ 100～150 日間であった。

一方、装置導入後は、(2) に示したボイラの収熱向上によるガス温度低下により、操業期間を通じてごみ焼却量は定格 150t/d 前後を推移し、焼却量を減少させることなく連続運転日数が約 200 日間まで改善された。



図表 14 ごみ焼却量推移 (装置導入前)



図表 15 ごみ焼却量推移 (装置導入後)

6. 経済性

以下3ケースにおける20年間の経済性比較を図表16及び図表17に示す。なお、申請システムはケース③である。

- ・ケース①：放射室にはクリーニング装置設置なし、管群部に蒸気式スートブロワのみ設置
- ・ケース②：放射室、管群部共に圧力波クリーニング装置を設置
- ・ケース③：放射室に水噴射クリーニング装置、管群部に圧力波クリーニング装置を設置

ケース①とケース②を比較すると、ケース②では装置費と機器メンテナンス費が増加するものの、清掃費低減と売電増加の金額効果の方が大きいため、20年間のコストを42%低減可能である。さらに、申請システム（ケース③）では圧力波式と水噴射式を併用することによって、装置費・機器メンテナンス費が大幅に削減可能である。これにより、ケース③はケース①と比較して20年間のコストを99%低減可能である。

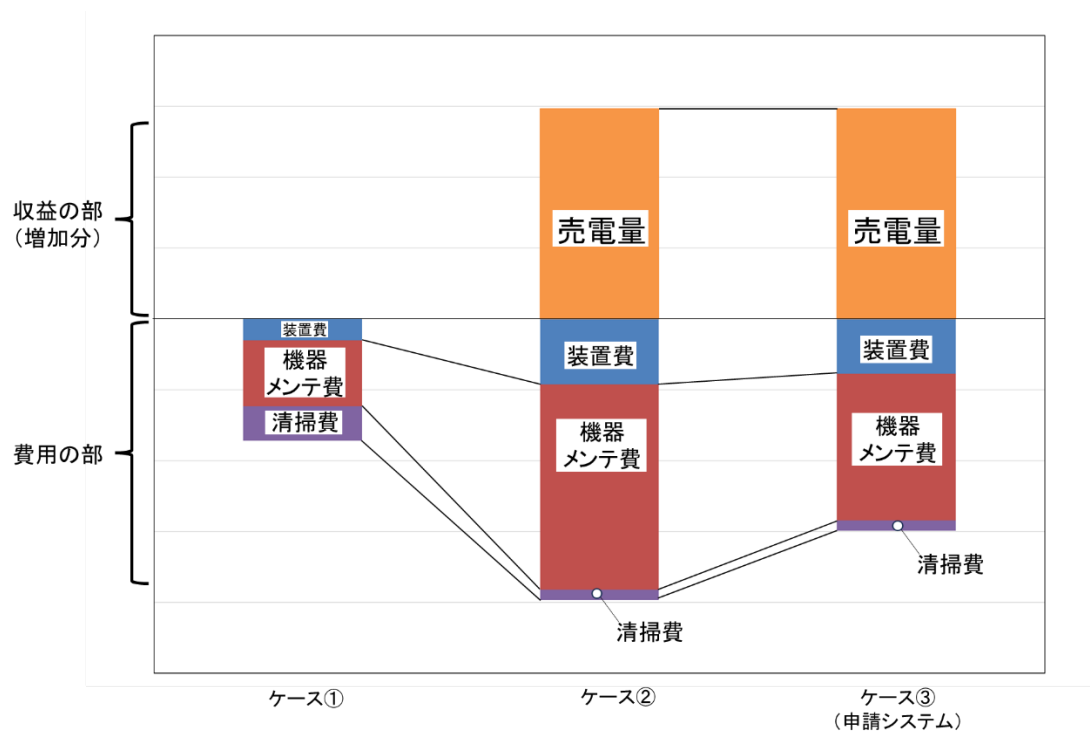
また、水噴射クリーニング装置の導入により、過熱器の雰囲気ガス温度が適切に維持され、過熱器の腐食抑制が可能となる。さらに、従来の蒸気式スートブロワでは蒸気での煤吹きに伴う過熱器のエロージョンが課題であったが、圧力波クリーニング装置は原理的にエロージョンを引き起こさないため、過熱器の損傷・減肉リスクが小さい。これらの効果により、上記に加え過熱器の寿命改善、交換コスト削減が見込めると考える。

さらに、水噴射クリーニング装置と圧力波クリーニング装置は従来の蒸気式スートブロワと比較して清掃能力が高いため、ボイラ閉塞等による計画外の炉停止リスクとそれに伴う費用が大幅に低減するといったコストメリットもある。

図表16 各装置構成における経済性比較（20年間）

		ケース①	ケース②	ケース③ (申請システム)
装置構成	放射室 管群	— 蒸気式スートブロワ	圧力波式 圧力波式	水噴射式 圧力波式
費用の部	装置費	18	54	45
	機器メンテナンス費	54	169	121
	清掃費	28	8	8
	小計	100	231	174
収益の部	売電量増加	0	-173 ※負の数値は 収益改善を示す	-173 ※負の数値は 収益改善を示す
	小計	0	-173	-173
合計		100	58	1

単位：％



図表 17 各装置構成における経済性比較 (20 年間)

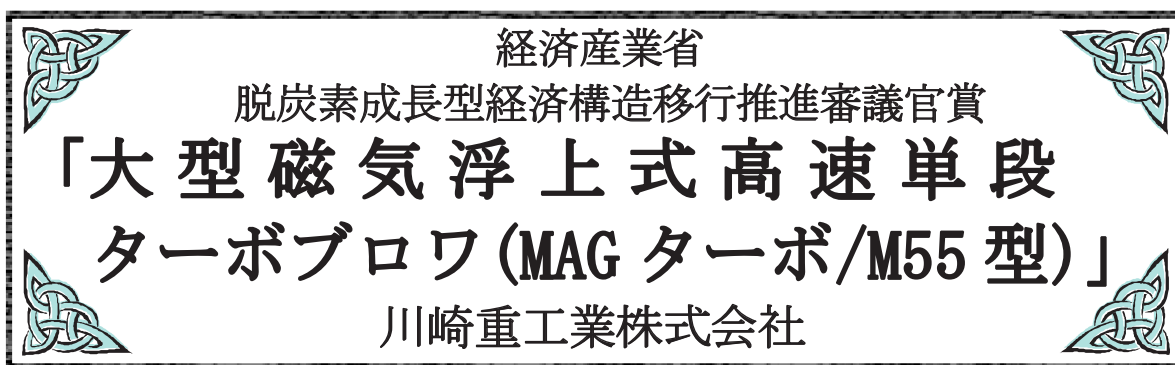
7. 将来性

本装置は現在国内 6 工場にて運用中であり、さらに 11 工場での導入が決定している。また、今後も新規工場及び既設炉へ積極的に導入予定である。なお、一般廃棄物処理工場のみならず、産業廃棄物処理工場への導入も可能である。

従来方式では焼却炉運転中にボイラ放射室内の付着灰の清掃ができないため、付着灰による伝熱量の低下をあらかじめ考慮し、伝熱面積に余裕を持たせる必要があった。しかし、水噴射クリーニング装置を設置して適切な運転頻度で清掃を実施する場合は、放射伝熱面が常に良好な状態に維持されるため伝熱面積の余裕が不要となる。そのため、本装置を導入することでボイラ放射室の伝熱面積を 12%削減しても、従来と同等の発電量を確保できると試算されている。ボイラ放射室の小型化は材料費や施工費等の削減に加え、省スペース化によるプラント全体への影響度も大きい。また、上述のとおり、従来はボイラ放射室の伝熱面積に余裕を持たせる必要があったため、焼却量の少ない部分負荷運転時に過熱器入口ガス温度が低下し、蒸気温度が上がり難いという課題があった。しかし、本設計の採用により部分負荷運転時においても過熱器入口のガス温度を適切に制御可能となる。その結果、ガス温度の過度な低下を防ぎ、蒸気温度を適切に維持できるため、発電効率は約 1.5%向上すると予測される。今後、プラスチックの分別が進み、ごみ発生量の低下が想定される中、運営期間中の総発電量の向上が期待できる。

また、このハイブリッドクリーニングシステムの導入により、過熱器入口のガス温度を適切に維持することが可能となる。これは、従来成し得なかった「ごみ焼却炉用ボイラの腐食環境制御」を実現できることを意味する。装置の特性上、摩耗リスクも抑えられ、過熱器の腐食減肉リスクが大幅に削減され、ライフサイクルコストを抑えつつ高水準かつ安定した発電が可能となる。

2050 年カーボンニュートラルの実現に向け、ごみ焼却炉においてもボイラの高圧化等による発電効率の向上が求められる昨今において、腐食リスクを最小限にしながら高水準かつ安定した発電を可能とする本システムの需要は高く、国内外市場への更なる展開が期待される。



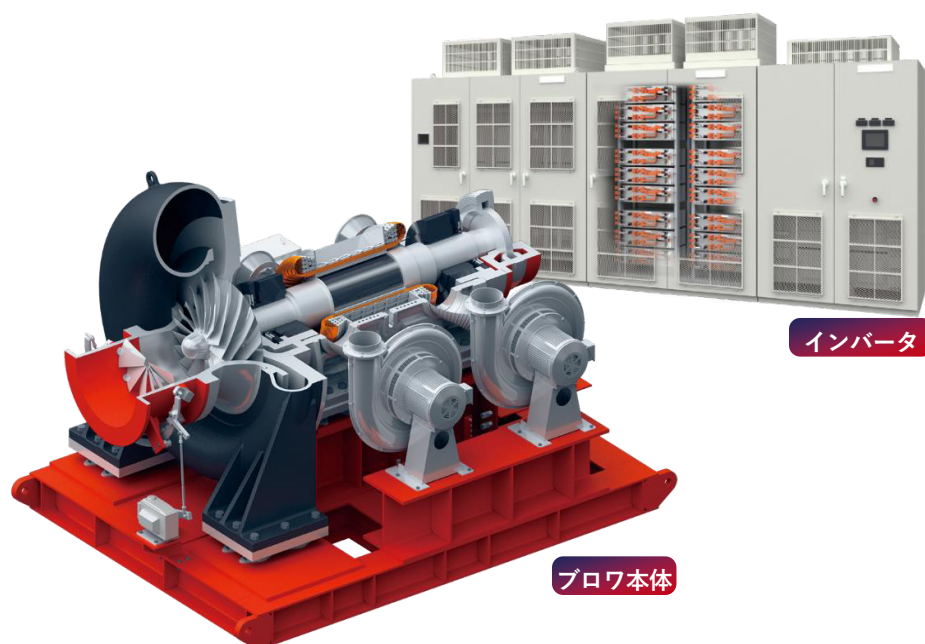
1. 装置の詳細説明

(1) はじめに

下水曝気ブロワとは、下水処理施設において曝気槽（生物反応槽）へ空気を供給するブロワ（送風機）である。曝気槽では下水曝気ブロワから吹き込まれた空気が微生物の働きを促し、下水中に含まれる汚濁物質を微生物に付着させて、沈みやすい汚泥に変えている。

全国の下処理施設では、国内で消費される電力の約 0.8%（約 7,500 百万 kWh/年）とかなり大きな電力が消費されている。その下水処理施設の中で最も多くの電力を消費する機器が下水曝気ブロワであり、その電力消費量は同施設全体の約 50%を占めている。すなわち日本の電力量の約 0.4%（約 3,750 百万 kWh/年）が下水曝気ブロワで消費されている。

そのため、下水曝気ブロワに対して、脱炭素・グリーン社会の実現に向けた高効率化・省エネルギー化のニーズが年々高まっており、そのニーズの高まりに応えるための製品が、この度、下水曝気ブロワとして国内に初めて納入した磁気浮上式高速単段ターボブロワ「MAG ターボ」シリーズの最大機種「MAG-M55 型」である（図表 1）。



図表 1 MAG-M55 型

(2) MAG ターボの特徴

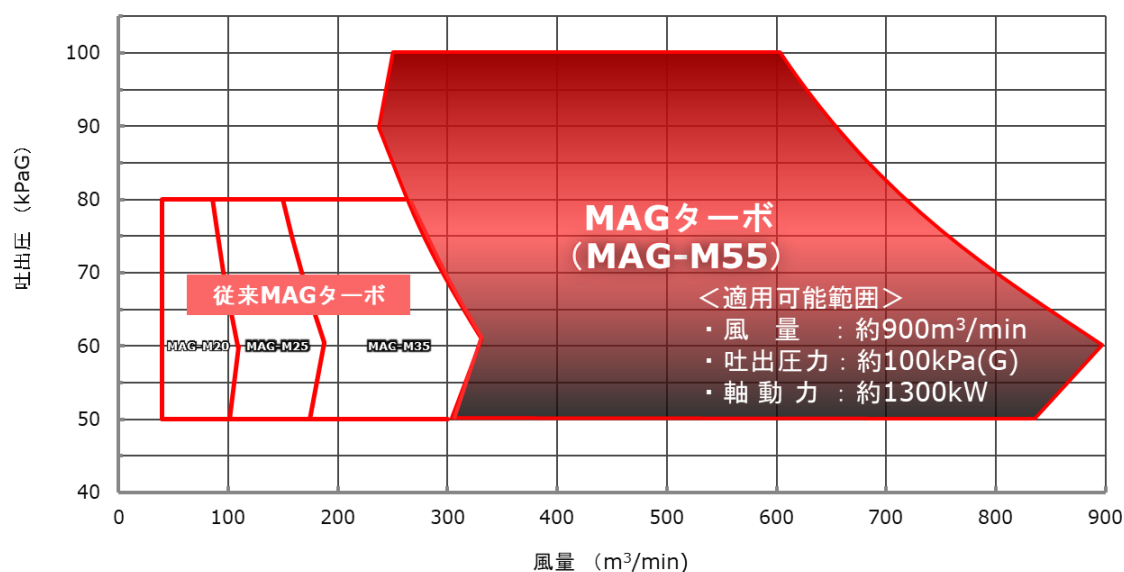
MAG ターボの最大の特徴は、インバータ制御式高速電動機のロータ端部に羽根車を直接取り付けた構造と、電磁力によりロータを浮上させる磁気軸受を採用していることにある。ロータが軸受と機械的に接触することなく高速回転することから、高効率・省エネルギーで運用することができる。さらに、インバータによる回転速度制御とインペラ前の空気入り口にある扇型の羽根を開閉して旋回流をつくるインレットバーン制御のデュアル制御による広い風量制御範囲と高い部分負荷効率の両立、コンパクトなパッケージ化と多様なレイアウト対応、潤滑油不要など従来の下水曝気ブロワにはない新たな機能が高く評価され、2004 年の初号機納入から現在に至るまで 200 台以上の納入実績を持つ。

過去の実績において、MAG ターボの導入により、下水処理施設の運用条件によっては最大約 30%の消費電力の削減を実現した例もあり、下水曝気ブロワとして日本全国の下水処理施設から排出される CO₂ の削減に貢献している。

(3) 適用範囲の拡大と高効率化

これまでの MAG ターボの適用範囲は、風量：最大約 300m³/min、モータ最大出力：約 400kW であったが、今回、大規模下水処理場向けに磁気軸受型ブロワでは当社初の出力規模となる MAG-M55 型を開発した。MAG-M55 型の適用範囲は、風量：最大約 900m³/min、モータ最大出力：約 1,300kW となり、これまでの適用範囲を大幅に拡大することが可能となった（図表 2）。

MAG ターボに搭載する斜流型インペラは約半世紀前に当社が自社開発したものだが、その形状や空気流路の設計は常に最先端の技術で進化を続けている。MAG-M55 型に搭載しているインペラの開発においても、CFD 解析などの最新技術を駆使して設計し高効率を実現した。また、インペラ設計は案件ごとの仕様（風量、圧力）に合わせた最適設計を実施することで、様々な仕様に対して高効率運転が可能となっている。



図表 2 MAG-M55 型の適用範囲

加えて、インバータによる回転速度制御とインレットベーン制御のデュアル制御により、広い風量制御範囲と高い部分負荷効率の両立を実現している。

さらに、MAG-M55 型を開発する上では、電気制御システムを大幅に見直し、最大出力 1,300kW に対応するためにインバータ電圧を 3000V/6000V 系の高圧電源に対応することで、電気設備から高圧で直接電源の供給を受けることが可能となった。また、MAG-M55 型では、従来の MAG ターボの約 10 倍の質量のロータを浮上させ高速回転させる必要があるため、磁気軸受制御システムの大幅な見直しを実施した。

以上のように、MAG ターボの特徴を活かしながら適用範囲を大幅に拡大することで、大規模下水処理場への納入を目指している。

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

日本国内は国土が狭いために分散された中小型の下水処理場が主流ではあるが、海外では大都市の処理を一括して行う大規模下水処理場が数多く存在している。国内外を問わず脱炭素・グリーン社会の実現に向けた高効率化・省エネルギー化のニーズが年々高まっており、大規模下水処理場への納入を目指し MAG-M55 型の開発を行った。

以下に開発経緯を示す。

2016 年度～2017 年度	要素技術開発、機器設計
2017 年度～2018 年度	試験機製作、工場試験
2019 年度～2020 年度	実証設備にて試験運転
2021 年度	第 1 号機納入

(2) 共同開発

本装置は、川崎重工業株式会社、株式会社明電舎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。

- ・川崎重工業株式会社：
磁気軸受システム開発、空力部品（インペラ・渦巻ケーシング等）開発
- ・株式会社明電舎：
ドライブシステム（電動機・インバータ）開発

(3) 技術導入

なし

3. 独創性

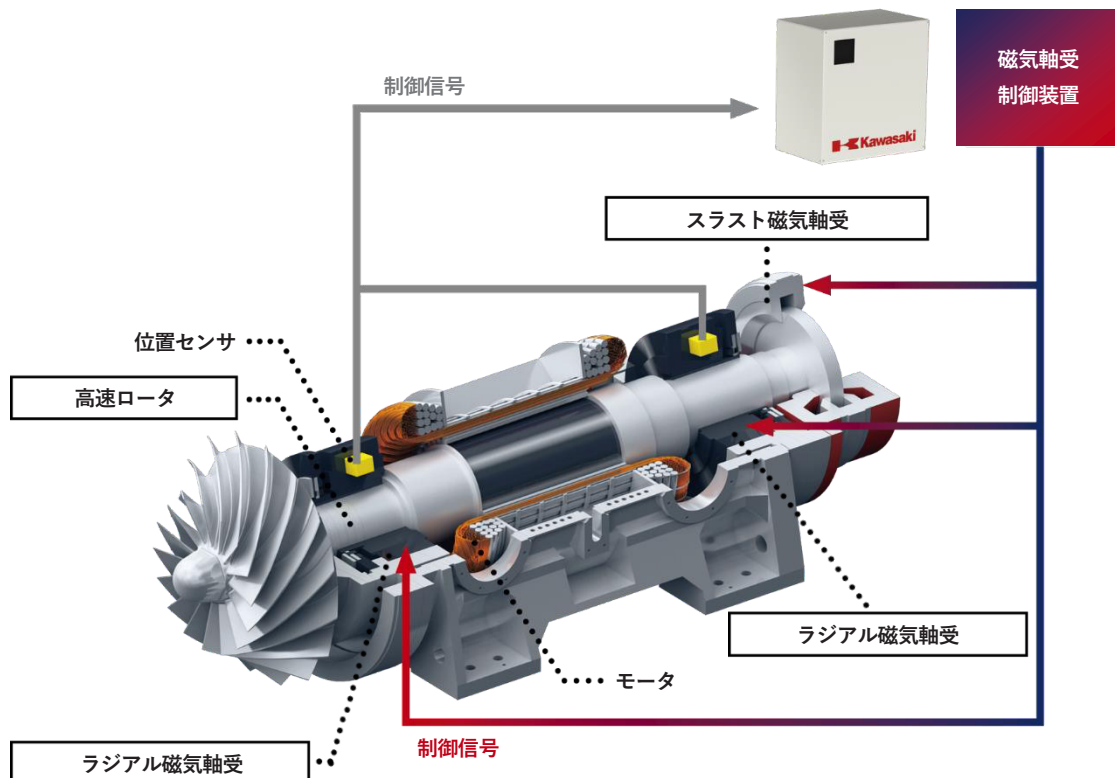
(1) 大型磁気軸受の開発

下水曝気ブロワは、最大約 30,000rpm の高速回転を必要とするターボブロワであり、従来のブロワは高速回転を実現するために、増速歯車や潤滑油システムを要する軸受など多数の機械部品を必要とした。そこで、これらの機械部品をなくして、非接触式の軸受を実現することができれば、従来のブロワを効率面・運用面で凌駕する革新的なブロワが成立すると考え、これを実現化するために採用したシステムが磁気軸受である。

磁気軸受は、ロータを電磁石の磁力により浮上させる機械的非接触の軸受であり、機械的な接触がないため潤滑油やグリースが不要であり、回転エネルギーをロスなくロータに伝えることができることから高効率を実現している。

MAG-M55 型では、従来の MAG ターボの約 10 倍の質量のロータを浮上させ高速回転させる必要があるため、磁気軸受制御システムを大幅に見直し大型磁気軸受を開発した。磁気軸受及び磁気軸受制御システムをブロワの製造メーカーである川崎重工業が開発製造することで、ブロワの特性に応じた安定した磁気軸受制御を実現している。

磁気軸受制御システムは、図表 3 に示すように、位置センサ及び磁気軸受（電磁石）、磁気軸受制御装置から構成される。位置センサは、ロータの両端のステータ側に設置されてラジアル方向、スラスト方向のロータ変位を検出する。位置センサで検出したロータ変位を磁気軸受制御装置にフィードバックし、磁気軸受に発生する吸引力を調整することにより、ロータを所定の位置に維持することができる。



図表 3 磁気軸受制御システム

＜磁気軸受を採用するメリット＞

1) 機械的非接触

機械的接触が無いことにより、高速回転を可能にするとともに、摩擦損失が少ないため、機械の高効率化が図れる。

2) 能動制御可能

電氣的な能動制御を行なうことができるため、ロータ振動を極めて低いレベルに抑制できるとともに、外乱に対してロータ位置を制御する能力にも優れている。また、運転状態を外部から監視・記録することができるなど、セルフモニタリング機能を有しており、高い信頼性を実現している。

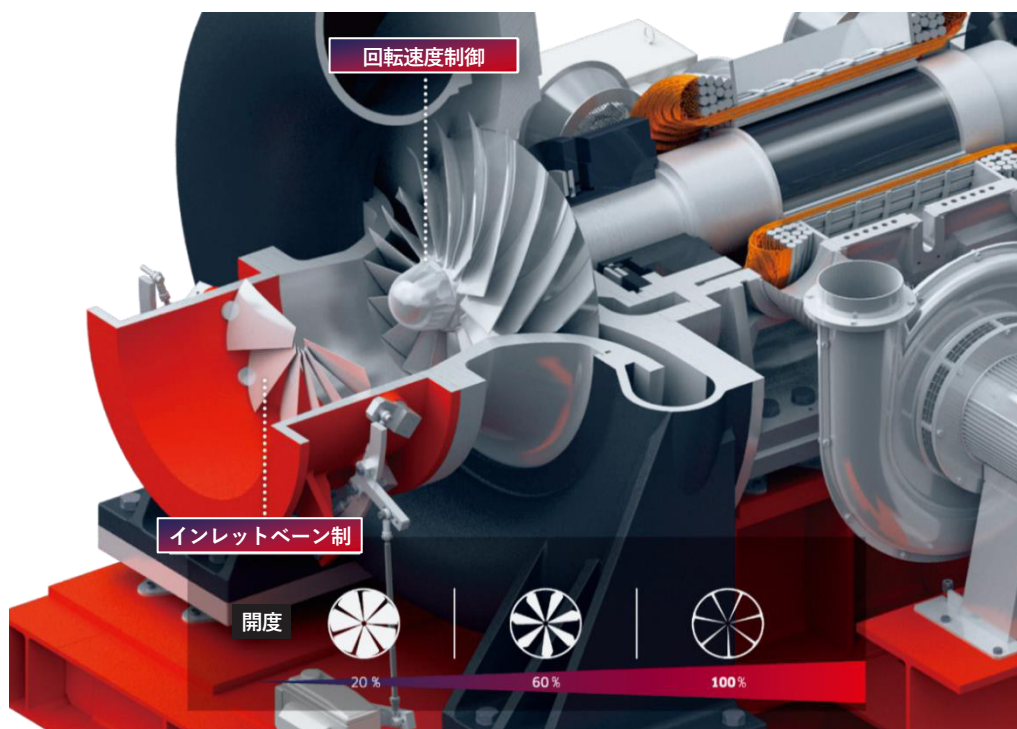
3) オイルフリー

磁気軸受を採用したブロワは、潤滑油やグリースが不要である。また潤滑油系統の補機類も不要となるため、システムの簡素化が図れ、メンテナンス作業を大幅に軽減することができる。

(2) 回転速度制御とインレットベーン制御のデュアル制御を大型機に採用

従来装置の多くは、回転速度は一定とし、インレットベーン制御のみで風量制御されている。一般にインレットベーンによる風量制御は部分負荷効率が良いとされているが、理論的に少風量側で昇圧能力が低下するため風量制御範囲が狭くなる。設計点をずらすことにより風量制御範囲を広くすることは可能だが、通常運転領域の効率が悪化する。

一方、本装置は、インレットベーン制御に加えてインバータによる回転速度制御により、回転速度を任意に変更することが可能である（図表 4）。通常運転領域の効率を悪化させることな



図表 4 回転速度制御とインレットベーン制御

く、インレットベーン制御における少風量側の昇圧能力の低下を回転速度を上昇させることで補い、広い風量制御範囲を確保している。またインレットベーン制御と回転速度制御を併用することによって高い部分負荷効率を実現しており、下水曝気ブロウとして要求される流入下水量の経年変化や季節、昼夜の変動に対しても効率良く運転をすることができる。

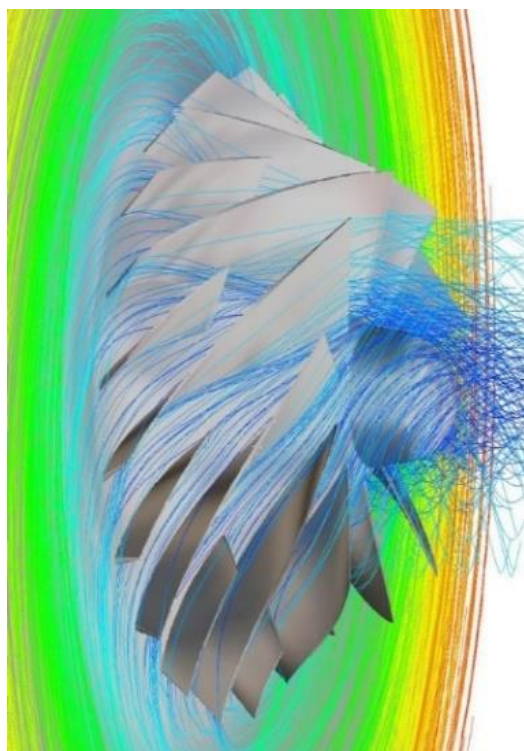
（３）大型高効率インペラの開発及びインペラ形状の最適化

当社は、1959～1964 年にかけて、斜流形インペラを搭載した歯車増速式単段ブロウを自社開発し、下水曝気ブロウとして最初に市場に投入した。インペラの形状や空気流路の設計は、その後も常に最先端の技術で進化し続けており、MAG-M55 型においても CFD 解析（図表 5）と遺伝的アルゴリズムを駆使した最適な形状探索により大型高効率インペラの開発を行った。

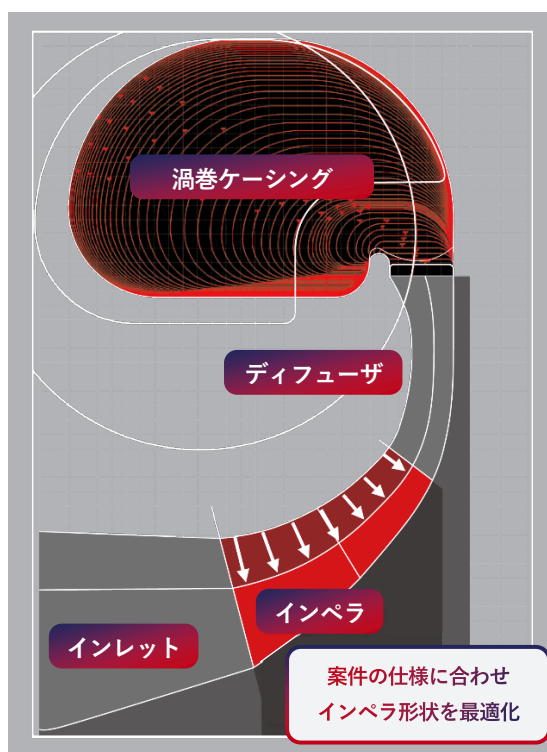
またインペラ設計は案件ごとの仕様（風量、圧力）に合わせ、流路形状を最適設計することで、様々な仕様に対して高効率運転が可能となっている（図表 6）。

（４）大型高性能高速ドライブシステムの開発

MAG-M55 型を開発する上で、最大出力 1,300kW に対応するためにインバータ電圧を 3000V/6000V 系の高圧電源に対応し、電気設備から高圧で直接電源を供給するなど、大幅なドライブシステムの見直しが必要になった。MAG ターボの最大の特徴は高い効率性能であるが、MAG-M55 型においても効率性能に妥協することなく大型高性能高速ドライブシステムの開発に成功した。



図表 5 CFD 解析



図表 6 インペラ形状の最適化

1) 大型高効率モータ

MAG-M55 型でも、従来の MAG ターボと同様に PM モータ(永久磁石同期電動機)を採用した。図表 7 に従来装置で多く採用される誘導電動機と PM モータの断面形状を示す。誘導電動機は誘導電流が生じることで発生する回転磁界の力でロータを回転させるが、PM モータはモータコイルに流した電流によって生じる回転磁界とロータ表面の永久磁石の磁力によってロータを回転させるため、誘導電流が発生せず、誘導電動機と比較して高効率である。

2) 高電圧高効率インバータ

本インバータはマルチレベル PWM 方式 (Pulse Width Modulation: パルス幅変調) を採用し、3,000~10,000V 級の高压受電に対応可能である。マルチレベル PWM 制御では、インバータの上流側に入力トランスが設置されており、下流側の各インバータセルに電圧を供給している。インバータの部分には、18 個のインバータセルがスター結線で設置されており、それぞれのインバータセルは約 635V の電圧を分担している。この回路構成によって、6,600V の高電圧を直接モータへ出力することが可能になっている ($635V \times 6 \text{ 個} \times \sqrt{3} = 6,600 \text{ V}$) (図表 8)。

マルチレベル PWM 方式を採用したことで、出力トランスが不要になり、インバータ効率は入力トランスを含めても 97% という高い効率を達成することができた。

3) そのほかの特徴

- ・電源供給ラインへの高調波抑制

入力トランスを介した多相整流により、電源ラインへの高調波を大幅に低減している。

- ・歪みの少ない電圧、電流波形の実現

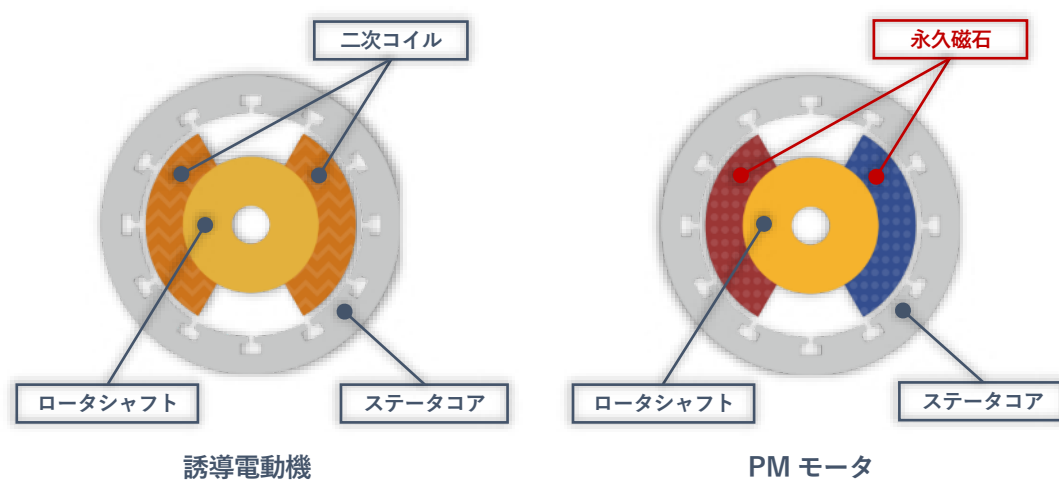
マルチレベル PWM 方式を採用することで歪みの少ない電圧、電流波形を実現した (図表 9)。

- ・高力率

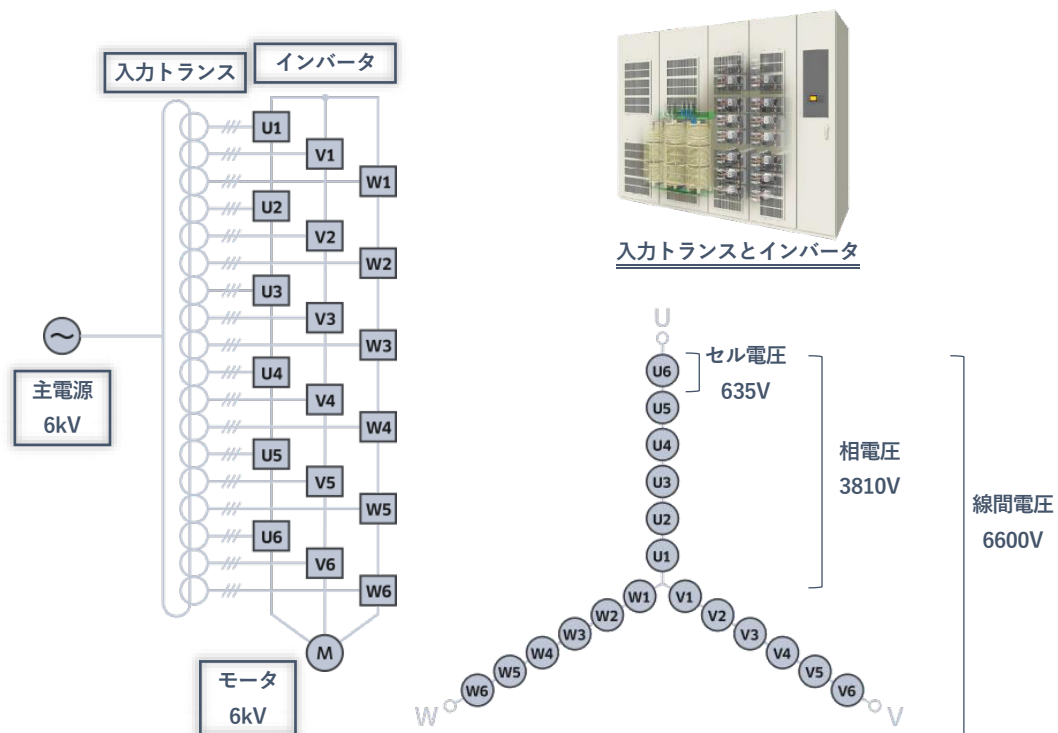
進相コンデンサなどの力率改善機器を必要としない高い力率を実現。

- ・容易なメンテナンス

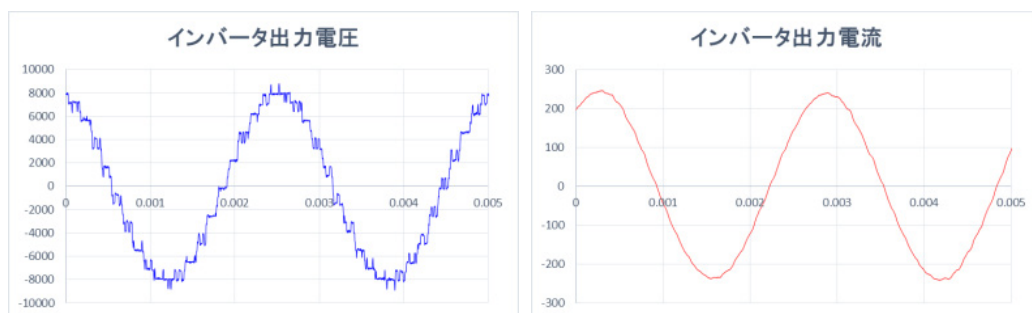
インバータセル、制御装置はユニット方式であり、短時間で交換が可能である。



図表 7 誘導電動機及び PM モータの断面図



図表 8 マルチレベル PWM



図表 9 インバータ出力波形

(5) 大容量高効率送風機による集約設置

従来、中・大規模下水処理場においては、中容量の送風機（直結式多段ターボブロワや歯車増速式単段ターボブロワ）を複数台設置し、運転台数の発停管理により送風機運転を行ってきたが、この方式では、送風機を複数台設置するため、消費電力量や維持管理労力が大きくなりやすいという課題があった。

MAG-M55 型のように大容量で高効率な送風機を少数台集約設置することにより、消費電力量及び維持管理労力の削減が可能となる。

なお、上記（１）～（３）は従来 MAG ターボ（小・中型機）で得た知見を活用した開発要素であり、（４）、（５）は MAG-M55 型（大型機）の開発における新規要素である。

4. 特許の有無

次のとおり、特許 2 件を取得済み。

特許番号：第 5192271 号 / 名称：磁気軸受装置

特許番号：第 6316270 号 / 名称：送風機の制御方法

5. 性能

(1) 従来装置から本装置への置き換えによる効果（約 4.2%の消費電力量削減）

海外のある大規模下水処理場をターゲットとして、従来装置（歯車増速式ブロワ）との性能比較を行った。計算条件は図表 10 及び図表 11、図表 12 のとおりである。1 日のうち大風量・中風量・小風量で 8 時間ずつ運転を行うと仮定し、季節の温度変化も考慮する。

この計算条件に基づき、1 年間の合計消費電力量及び平均電力を算出した結果、従来装置から本装置に置き換えることにより、約 4.2%の消費電力量の削減効果が確認された（図表 13）。

(2) 集約設置の効果（約 11%の消費電力量削減）

福岡県内の下水処理場において、既設機（従来装置）である鋳鉄製多段ターボブロワ全 6 台のうち、360m³/min×2 台を、実証機（本装置、高速軸浮上式ターボブロワ）720m³/min×1 台に集約して約 1 年間運用し（図表 14、図表 15）、省エネルギー効果を確認した。なお、実証期間中は実証機を主機、既設機を風量不足分補うための補機として運転を行った。

実施期間中の運転結果に基づき、実証機 1 台に集約する場合と既設機で複数台運転する場合の消費電力量を試算した結果、大容量高効率送風機に集約することにより、約 11%の消費電力量の削減効果が確認された（図表 16）。

図表 10 年間平均温度

項目	期間（各 4 ヶ月）		
	夏（5～8 月）	春（3～4 月）、秋（9～10 月）	冬（1～2 月、11～12 月）
平均気温	25 ℃	13 ℃	1 ℃

図表 11 仕様条件

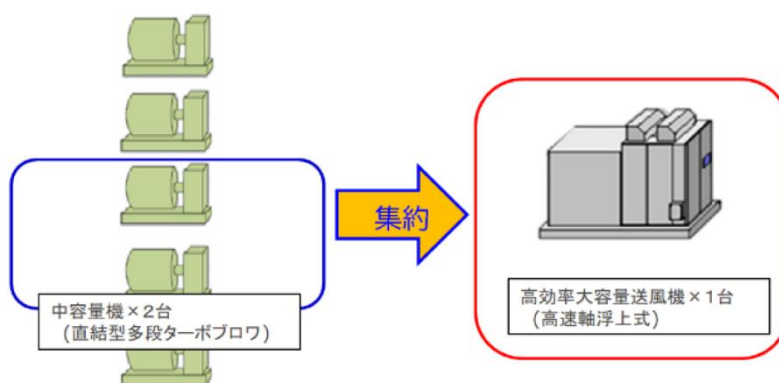
項目	仕様条件
湿度	60%
大気圧力	99.8 kPa(A)
吸込圧力	-0.5 kPa(G)
吐出圧力	80.2 kPa(G)
最大吸込風量（100%風量）	748 m ³ /min

図表 12 1 日の運用パターン

項目	大風量	中風量	小風量
吸込風量	90 %	72.5 %	55 %
運転時間	8 時間	8 時間	8 時間

図表 13 従来装置との性能比較

項目		本装置 (MAG-M55)			従来装置 (歯車増速式ブロワ)		
		夏 25 ℃	春、秋 13 ℃	冬 1 ℃	夏 25 ℃	春、秋 13 ℃	冬 1 ℃
各風量での電力	大風量	970 kW	918 kW	875 kW	1,000 kW	957 kW	928 kW
	中風量	791 kW	754 kW	722 kW	817 kW	784 kW	765 kW
	小風量	639 kW	610 kW	585 kW	659 kW	635 kW	618 kW
平均電力		763 kW			796 kW		
1年間の合計消費電力量		6,680,196 kWh/年			6,971,175 kWh/年		
消費電力量差		▲290,979 kWh/年 (約 4.2%の消費電力量の削減効果)			—		



図表 14 集約設置のイメージ

図表 15 実験概要

項目		実験概要
試験場所		福岡県 御笠川浄化センター
実証期間		2019年11月30日～2020年11月6日 (運転時間 8,052 時間)
機器諸元	実証機 (本装置)	型式 : MAG-M55 機種 : 高速軸浮上式ターボブロワ 720m ³ /min×63.7kPa …… 1 台
	既設機 (従来装置)	機種 : 铸铁製多段ターボブロワ 240m ³ /min×63.7kPa …… 3 台 360m ³ /min×63.7kPa …… 3 台

図表 16 実証機と既設機の消費電力量の比較

項目	実証機 (本装置)	既設機 (従来装置)	備考
日送気風量 (年間平均)	901,768 m ³ /日	516,411 m ³ /日	合計 1,418,179m ³ /日
各機種のみで 1年間運転した場合の 年間消費電力量 (計算値)	9,993,729 kWh/年	11,198,891 kWh/年	1年間の送気を実証機又は既設機 のみで行った場合の消費電力量
風量原単位※ (年間平均)	0.0193 kWh/m ³	0.0216 kWh/m ³	既設機と実証機の配管フローの違いによる吐出圧力差から発生する 動力差を補正
消費電力量差	▲1,205,162 kWh/年	—	約 11%の消費電力量の削減効果

※風量原単位：(各機種が1日に消費した電力量[kWh])÷1日に送気した風量[m³]

6. 経済性

5.(1)項に記載した従来装置と本装置とのイニシャルコストとランニングコストを比較する(図表17)。年間ランニングコストを7%削減したことにより、約9年でイニシャルコストの増加分を回収できる。

7. 将来性

国内外を問わず、環境負荷低減を求められる中で施設の老朽化は深刻化しており、高効率な装置の導入による消費電力量削減は世界共通の喫緊の課題である。本装置はこの課題に対する1つのソリューションであり、今後、国内外の大規模下水処理場への展開が十分に期待できる。

図表 17 イニシャルコストとランニングコスト比較表※

項目	従来装置 (歯車増速式ブロワ)	本装置 (MAG-M55 型)
イニシャルコスト	100	110
装置費用	100	118
設置費用	100	95
ランニングコスト	100	93
電気代	100	96
メンテナンス費用	100	79

※従来装置のイニシャルコスト、ランニングコストを100とした相対値

資源エネルギー庁長官賞 「メタネーション標準機」 株式会社 I H I

1. 装置の詳細説明

(1) 概要

本装置は、温室効果ガスである二酸化炭素 (CO_2) を、当社触媒を用いて、水素 (H_2) と反応させ、有価なメタンガス (CH_4) を製造する機器をコンパクトにパッケージ化した装置となっている。原料ガスの CO_2 及び H_2 並びにユーティリティ (パージ用窒素ガス [N_2]、冷却水及び電気) を供給し、合成メタン (e-methane) を製造する。

メタン製造にあたっては、制御装置 (PLC) にて運転を制御、監視し、PLC は外部と伝送通信可能となっている。

<主な仕様>

方式：サバティエ反応

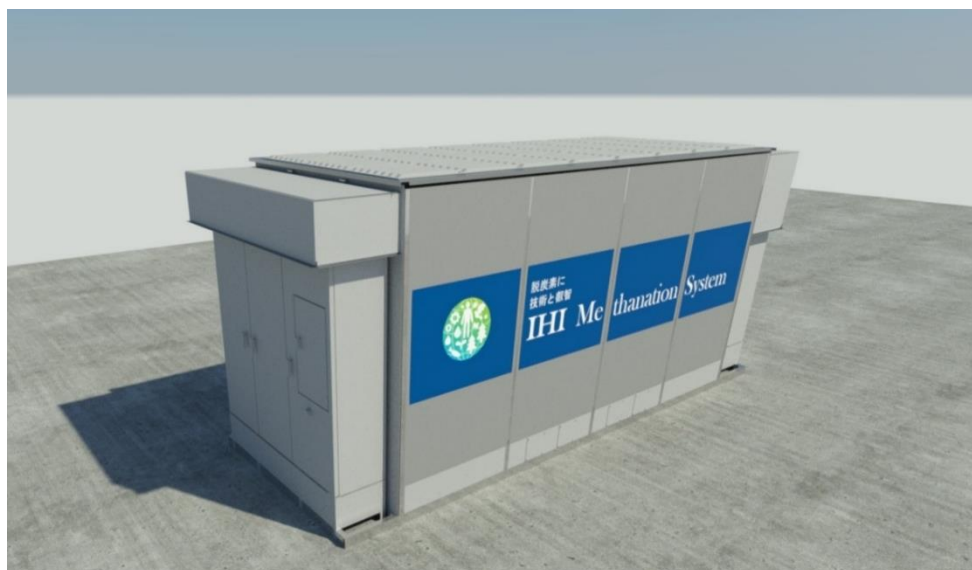
触媒：Ni 系 IHI 触媒

反応器：シェル&チューブ型・2 段式

合成メタン (e-methane) 製造量：12.5 Nm^3/h (低負荷運転も可能)

エンクロージャ寸法：幅 2,200mm×長さ 6,700mm×高さ 2,850mm

運転・保守支援システム：MEDICUS NAVI サービス (以下、M-NAVI サービス)



図表 1 本装置 (外観イメージ)

(2) プロセス概要

系統は以下で構成されている（図表 2）。

1) ガス系統

①ガス供給

水素及び二酸化炭素は、下流の流量調節弁にて水素を 50Nm³/h、二酸化炭素を 12.5Nm³/h の流量にそれぞれ調整し、混合ガス配管で合流される。

②1 段目熱交換器～1 段目反応器

合流後の混合ガスは、1 段目熱交換器において 1 段目反応器の 出口ガスと熱交換することでメタネーション反応開始に必要な温度まで昇温され、1 段目反応器上部に導入する。導入された混合ガスは、触媒上で以下のメタネーション反応によりメタンガスと水を生成する。



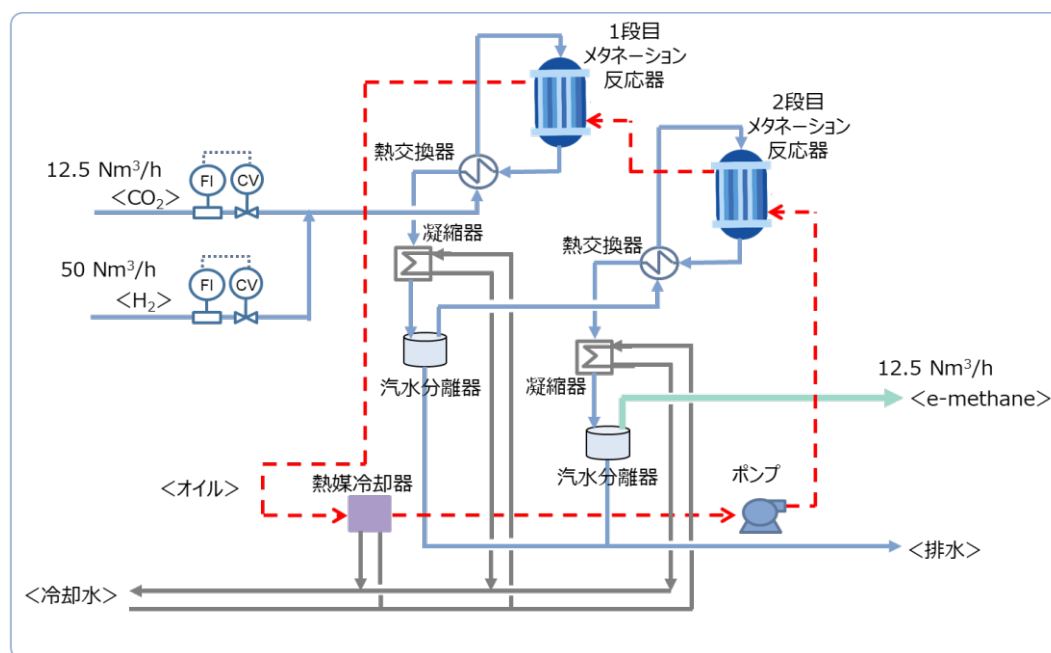
反応は発熱反応であり、反応の進行とともに反応器内の温度が上昇する。過度な昇温による触媒劣化を抑制するため、熱媒油を反応器内（反応管外部のシェル部）に導入し、反応熱を除去する。

反応で生成したメタン、水（気体）、未反応水素及び二酸化炭素が混合した粗製メタンガスとして、1 段目反応器下部より取出す。

反応圧力については、2 段目反応器を含めたガス系統全体を、下流の背圧弁で保持する。

③1 段目冷却

得られた粗製メタンガスは、1 段目熱交換器で混合ガスと熱交換、冷却された後、さらに 1 段目凝縮器で冷却する。この冷却で、粗製ガスに含まれる水分は凝縮し、1 段目汽水分離器にて分離する。分離された凝縮水は、汽水分離器のレベルコントローラにより排水系統に送水する。



図表 2 プロセスフロー概略図

④2 段目熱交換器～2 段目反応器

冷却除湿された粗製メタンガスは、2 段目熱交換器において 2 段目反応器の出口ガスと熱交換することで、メタネーション反応開始に必要な温度まで昇温し、2 段目反応器に導入される。導入された粗製メタンガスに含まれる未反応の水素及び二酸化炭素は、触媒上でメタネーション反応することでメタン濃度が高まり、2 段目反応器出口で所定メタン濃度の粗製ガスとなる。

⑤2 段目冷却

得られた粗製メタンガスは、2 段目熱交換器で混合ガスと熱交換、冷却された後、さらに 2 段目凝縮器で冷却される。この冷却で、粗製ガスに含まれる水分は凝縮し、2 段目汽水分離器にて分離され、製品メタンガスとなる。分離された凝縮水は、汽水分離器のレベルコントローラにより排水系統に送水する。

⑥製品メタンガス供給/排気系統への排出

冷却除湿された製品メタンガスの流量とメタン濃度をオンラインでモニタリングする。

得られた製品メタンガス濃度が所定濃度以上の場合、ガス利用設備等へ供給し、メタンガス濃度が所定濃度未満の場合は、ガス処理系統（フレアスタック等）へ排出する。

2) 熱媒油系統

本系統は、熱媒油を供給し、反応器での反応温度の維持及び反応熱を除去する系統である。

熱媒油は、ウォーミング時には電気ヒータにて常温から反応に必要な温度まで加温され、熱媒油ポンプにより反応器へ供給し、反応器を所定温度まで加温する。

運転時に熱媒油ポンプより 2 段目反応器、続けて、1 段目反応器へ供給する。各反応器を通過時に、反応熱により熱媒油温度が上昇する。各反応器で反応熱を除去した熱媒油は、熱媒油凝縮器への供給流量を調節することにより、温度を一定に調整する。また、熱媒油凝縮器にて温度調整される前の熱媒油をメタネーション装置外部に取り出して、反応熱を利用することができる。反応熱を利用する場合、熱媒油は反応に必要な温度にて本装置に戻す。

運転により昇温した熱媒油は膨張するため、膨張分を熱媒油タンクにて保持する。

また、低負荷運転時は、反応熱よりも放熱が大きくなる場合がある。その際、熱媒油は電気ヒータにて所定の温度まで加温して反応器へ供給する。

3) 冷却水系統

本系統は、冷却水を各凝縮器（以下）へ供給する系統である。

- ①1 段目凝縮器
- ②2 段目凝縮器
- ③熱媒油凝縮器
- ④熱媒油タンク

冷却水は約 32℃以下で装置取り合い入口から供給され、各凝縮器にてガス又は熱媒油と熱交換し、約 40℃以下で装置取り合い出口からユーティリティ設備（冷却塔等）に戻る。

4) 排水系統

本系統は、メタネーション反応により生じる凝縮水を排出する系統である。

1 段目反応器又は 2 段目反応器で生成した水（気体）は、熱交換器及び凝縮器にて降温されて凝縮し、1 段目汽水分離器又は 2 段目汽水分離器で気液分離され、貯蔵する。汽水分離器に貯蔵した凝縮水は定期的に排水処理等へ排出する。

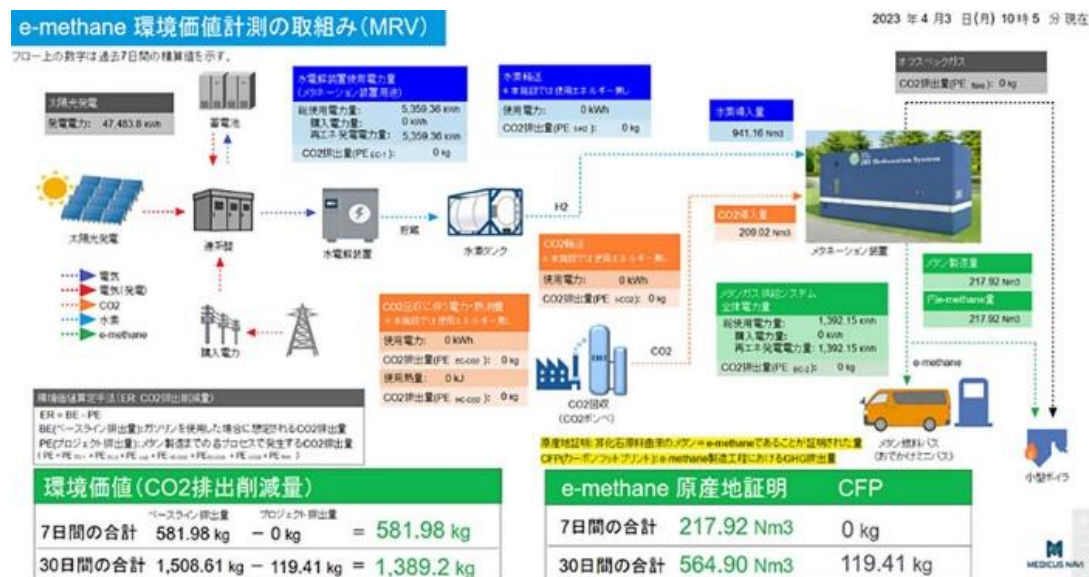
5) 排気系統

本系統は、混合ガスからの排気ガス（粗製メタンガスを含む）及び製品ガスからの余剰ガスを、系外へ排出する系統である。

例えば、混合ガスが所定の圧力を超えた場合、緊急対応としてガス供給上流に設置の安全弁が開き、ガスを本排気系統で排出する。同様に、製品ガスが所定のメタン濃度に満たない場合や、製品ガスの余剰分を不定期に本系統で排出する。

（4）リモート監視

M-NAVI サービスは、ILIPS（IHI Group Lifecycle Partner System）により収集したプラントの運転データを用いて、インターネット上の Web ブラウザ上で見ることができる「環境価値管理」や「遠隔監視」画面の提供、各種レポートの発行、合成メタン（e-methane）製造量、CO₂ 排出量の算出、プラント装置・構成機器のメンテナンス等（一部オプション対応）を行う標準サービスである。



図表 3 MEDICUS NAVI 「環境価値管理」画面 (例)

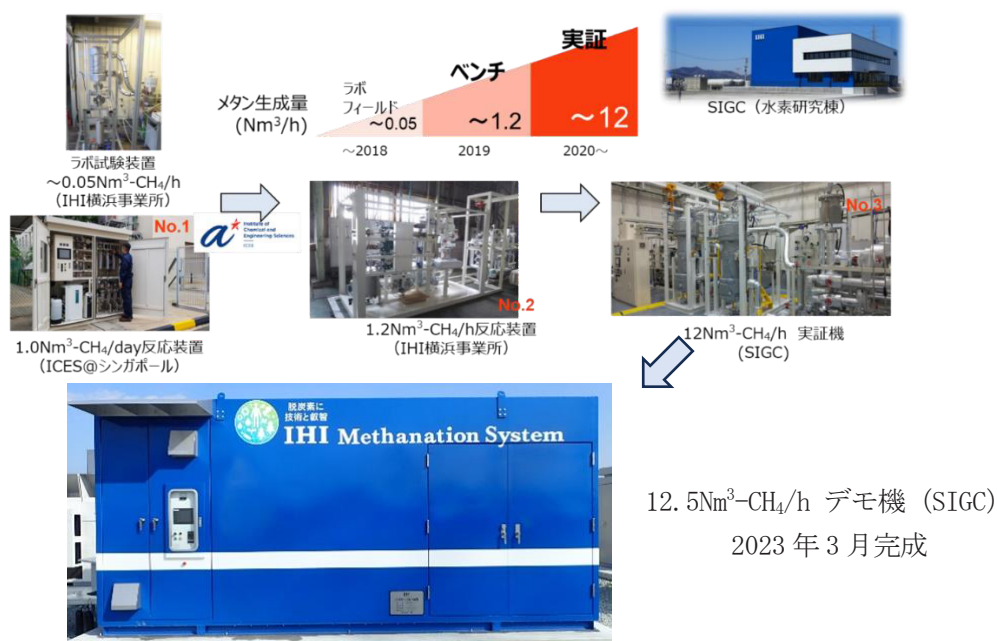
2. 開発経緯

(1) 開発経緯

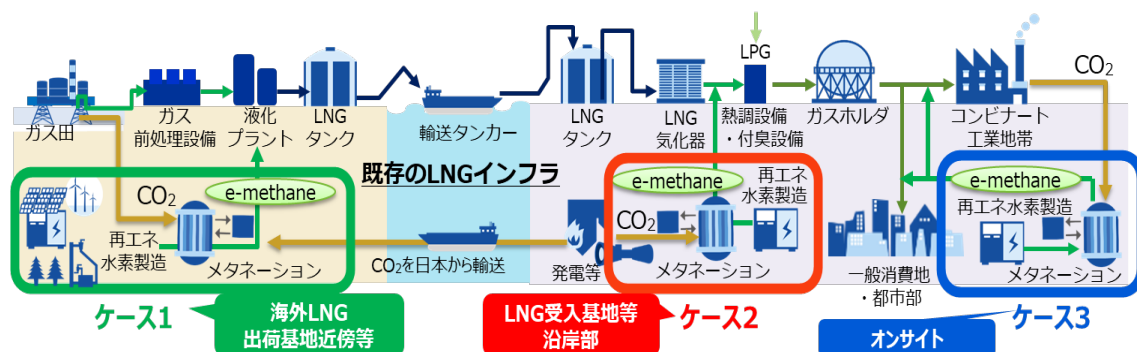
1) 背景

メタネーション反応プロセスのスケールアップとして、「ラボ試験（ $\sim 0.05 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ）」、「ベンチ試験（ $\sim 1.2 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ）」と段階的にメタネーション触媒の特性及び反応器の構造を評価した。その後、「実証試験（ $\sim 12.5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ）」をそうま IHI グリーンエネルギーセンター（Soma IHI Green Energy Center : SIGC、福島県相馬市）で行い、デモ機ではスケールアップ時の性能評価及び、システムとしての運用特性や安定性を確認した。

合成メタン（e-methane）の社会実装の形としては、原料となる CO_2 、再エネ水素供給源、LNG・都市ガスインフラ及びユースポイントへのアクセスの容易さから、以下に示す三つのケースを想定しており、各ケースに応じたスケールアップの検討を進めている。



図表4 12.5 $\text{Nm}^3\text{-CH}_4/\text{h}$ -デモ機へのスケールアップ



図表5 メタネーション社会実装の想定ケース

(ケース 1)

海外における再生可能エネルギーを利用した大規模な合成メタン (e-methane) 製造・日本への供給

(ケース 2)

都市ガス導管への供給が容易な LNG 受け入れ基地近傍での合成メタン (e-methane) 製造

(ケース 3)

国内 CO₂ 排出源及び余剰水素源におけるオンサイトでの合成メタン (e-methane) 製造

合成メタン (e-methane) のニーズをヒアリングする中で、工場や研究所、事業所におけるカーボンニュートラルに関する取り組みを検討する企業から、本格的に導入する前に試験運用したいという要望を受けることが多くあった。さらに、再生可能エネルギーの余剰電力活用として、オンサイトでメタネーションを実施したいといった声があった。それらのニーズを受けて、本装置を開発した。

2018 年	ラボ試験 (～0.05Nm ³ -CH ₄ /h) : 触媒の特性及び反応器の構造評価
2019 年	ベンチ試験 (～1.2Nm ³ -CH ₄ /h) : 触媒の特性及び反応器の構造評価
2020 年～	実証試験 (～12.5Nm ³ -CH ₄ /h) : スケールアップ時の性能評価、 システムとしての運用特性及び安定性の確認
2023 年度	第 1 号機納入

2) コンセプト

本装置は、メタネーション設備を小規模で、すぐに試験運用したい、または社会実装の「ケース 3: オンサイトメタネーション」のうち小規模の運用といったニーズを想定し、「トラックで輸送できるコンパクトさ」、「既存の水電解装置や水素ポンプでも活用できる能力」をコンセプトとした。必要な機器をコンパクトなエンクロージャ (筐体) にパッケージ化し、短期間かつ省スペースでの据付を実現した。また、設計の標準化により、短納期と低価格を可能とした。

(2) 共同開発

なし

ただし、触媒開発においては、シンガポール科学技術研究庁 (A*STAR: Agency for Science, Technology And Research) 傘下の研究機関である ISCE² (Institute of Sustainability for Chemicals, Energy and Environment) と共同開発したレシピをベースとし、当社にてさらに改良を加えたものである。

(3) 技術導入

なし

3. 独創性

メタネーション技術の核となる触媒は、比類なき性能を有している。特に、熱的耐性（耐シンタリング）と耐被毒性能に長けている。開発したメタネーション触媒の透過型電子顕微鏡(TEM)写真とその模式的な構造を示す（図表 6）。開発した触媒は、内部の Ni 粒子径が数 nm と極めて小さなサイズであり、その Ni ナノ粒子を包含する多孔質な酸化物マトリックスから構成されている。酸化物マトリックスはメソポーラス構造を有し、Ni ナノ粒子の保護層として作用する。そのため高温の反応場でも Ni 粒子同士の会合が抑制できシンタリングし難いという特徴がある。本触媒を用いることで長期間にわたり安定的に合成メタン（e-methane）を製造することが可能である。

また、標準設計による短納期、低価格で、トラック輸送可能なオール・イン・ワンのメタネーションパッケージとして、実装可能な品質での合成メタンを製造し、国内初の都市ガス導管注入を可能とした。

4. 特許

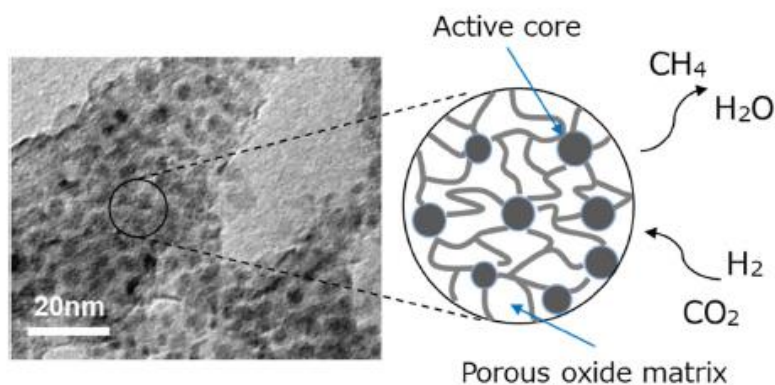
次のとおり、特許 2 件を取得済み。

特許番号：第 6203375 号 / 名称：メタン化触媒

特許番号：第 6279726 号 / 名称：メタン化触媒

5. 性能

標準機の合成メタン製造量は $12.5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ で、低負荷運転も可能。保証性能としての出口メタン純度は 95%以上である。原料となる CO_2 濃度に制限はなく、不純物としての硫黄 (S) 分は 0.2 ppm 程度でも前処理不要である。筐体サイズは幅 2,200mm×長さ 6,700mm×高さ 2,850mm である。



図表 6 IHI メタネーション触媒の TEM 写真と模式図

6. 経済性

合成メタン製造コストの大きな部分は、水素製造・再エネ電力コストが占める。従って足下では、大きなコストをかけず短期間でCO₂削減効果を上げられるソリューションとして、小規模な本装置をそれぞれの事業所の事情に合った形で実装することをお勧めしている。合成メタンの本格的な社会実装に向けては、これらのコストをいかに下げていくかが重要である。当社においても、設備のスケールアップ設計、触媒の長寿命化、余剰再エネ電力を有効活用する設備運転を実現するクラウドサービスの開発、環境価値を証明する信憑の発行サービスの開発により、合成メタンのコストダウンや高付加価値化により社会実装を後押しする施策を実施している。

7. 将来性

2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロとする、つまりカーボンニュートラルを目指すことを日本政府は宣言している。カーボンニュートラルへのソリューションの一つとして、メタネーションによる合成メタン（e-methane）製造技術の確立、実装が期待されている。

この技術は、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（経済産業省）において、次世代熱エネルギー産業のカーボンニュートラル化の具体策として挙げられている。メタネーションによって合成されたメタンは合成メタン（e-methane）と呼ばれ、再生可能エネルギーの水素キャリアの一形態であると同時に、回収CO₂の有力な利用先として期待されている。

カーボンニュートラルの実現に向けてCO₂排出削減量を環境価値として認証する動きがある。この認証に対応するために、当社ではお客様の水素製造装置から合成メタン（e-methane）の供給までの各機器・計器の運転データを基にインターネット上のWEBブラウザから「環境価値管理」や「リモートモニタリング」画面を提供する運転・保守支援システム「MEDICUS NAVI」サービスをおこなう。お客様の運転データはILIPS（IHI group Lifecycle Partner System）により収集され、遠隔から運転監視を行い、必要であればアドバイスを行う（ILIPSとは、当社グループの製品や装置のデータをクラウドサーバーに集積し、ライフサイクルビジネス活用するための当社グループ共通IoTシステムのことである）。

小型ではあるが、本装置を通じて、装置や運転、メンテナンスの知見を積み重ね、より経済的で、安心してお使いいただける装置（技術）へと進化させていく。そして、本装置を皮切りに、さらに経済的に成立しやすい数百～数万Nm³/hクラス（前項に示すケース1やケース2）につなげていく。

中小企業庁長官賞 「微細目固液分離スクリーン (ファインアーク®-60)」 東洋スクリーン工業株式会社

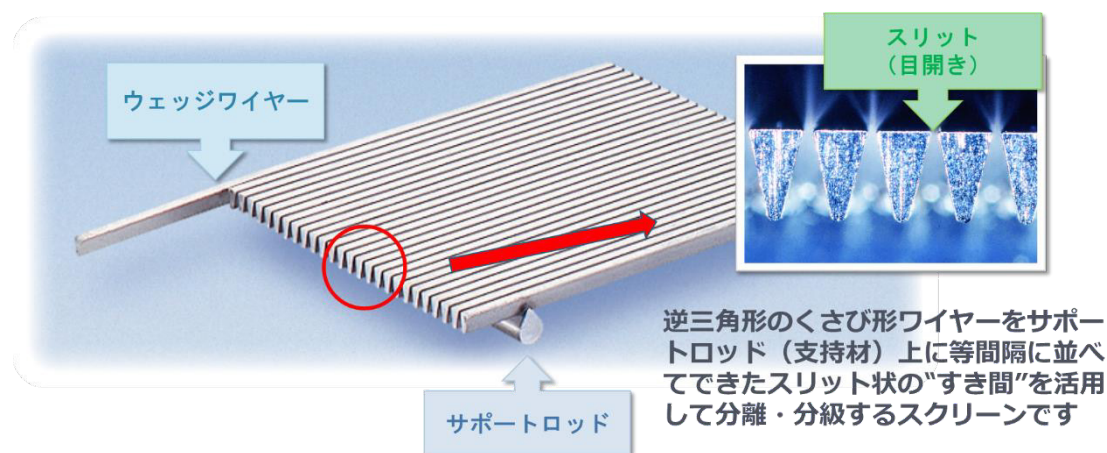
1. 装置の詳細説明

本装置は、排水工程での固形分（SS）をスクリーンで回収除去することで、排水負荷の低減を目的とした微細目固液分離装置（ファインアーク®-60）である。金属スクリーン「ウェッジワイヤースクリーン」を備えており、固液分離精度は $20\mu\text{m}$ 級である。図表1に本装置の外観写真、図表2にウェッジワイヤースクリーンの断面構造を示す。

本装置を用いて、化学業界では生産用水や排水中の微細樹脂粉回収、リサイクル業界ではペットボトル破砕片の回収、食品業界では漬物排水のぬか回収、総菜製造工場排水中の微細な食品残渣の回収、さらに雨水排水中の異物除去や、池や濠からのアオコを回収しており、様々な業界で生産性向上や環境改善を図っている。



図表1 ファインアーク®-60



図表2 ウェッジワイヤースクリーン断面構造

（1）ウェッジワイヤースクリーン

図表2に示すとおり、ウェッジワイヤースクリーンは逆三角形の異形線を等間隔に並べた構造である。材質は主にステンレスであり、また補強材となるサポートロッドと全点溶接されており、頑丈で破れにくく長寿命である。ワイヤー間に短形状に形成されるスリット（目開き）は表層に存在し、深層になるにつれ開口は広がる。スクリーンの大敵である目詰まりはほぼ表層のみで起こる表面ろ過であるが、深層ろ過と異なり、表層の洗浄や逆洗浄により、処理能力を容易に回復できる。スクリーン表面は平らであるので、引っ掛かりも少なく、固形物の滑りも良い。一度目詰まりしたらスクリーンを廃棄・交換するのでなく、洗浄することにより繰り返し半永久的に使用できるため、維持管理コストの削減と廃棄物の削減に繋がる利点があり、環境対応製品といえる。

（2）処理メカニズム

本装置は図表3に示すとおり、静置されたスクリーン上部に噴射圧力口を設置したシンプル構造である。処理したい原液をスクリーンに対して接線方向にノズルで噴射し、スクリーン上で微細粒子を回収し、スクリーン下にろ液を通過させる処理メカニズムである。コンパクトで軽量化（スクリーンは手で脱着可能）、供給ポンプのみの低電力消費、微細高精度スクリーンを利用することにより処理フローを簡素化している。

（3）食品工場の排水工程における近年の課題

コロナ禍をきっかけとした中食の需要増加により、コンビニやスーパーの総菜向け食品工場の生産量が増加している。行楽シーズンや年末年始等の繁忙期に排水負荷が増加し、既存排水施設の能力を超過する場合が発生しており、曝気槽における発泡や汚泥の沈降性悪化等の排水処理不良が問題となっている（図表4）。

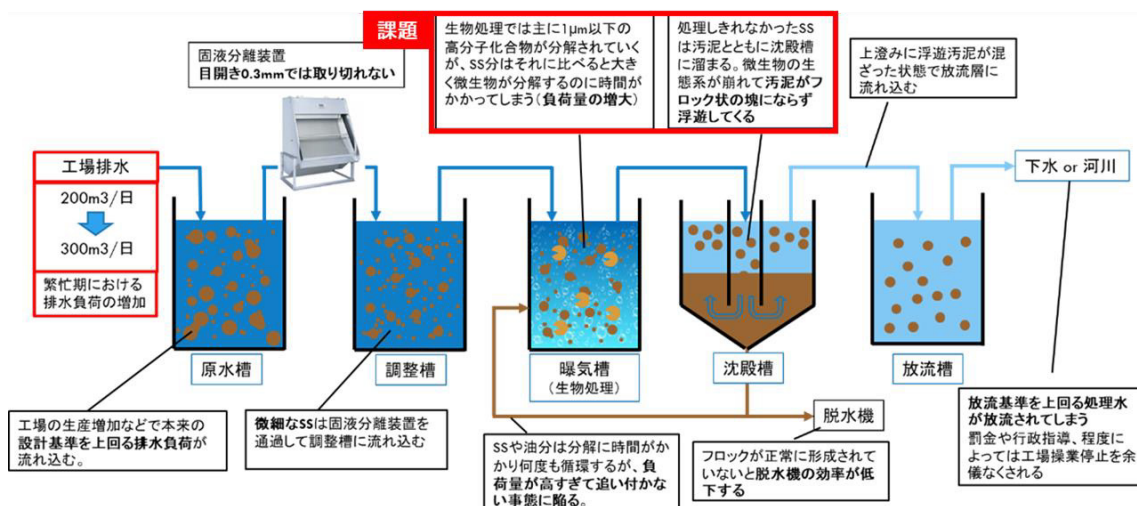
このような排水処理設備の過負荷問題に対する従来のソリューションは、加圧浮上装置の追加導入や水槽増設となるが、イニシャルコスト及びランニングコストが高く、さらに省エネ性も低い。食品工場が法で定められた排水基準を大きく超過する場合は、上述の装置や曝気槽の増強、若しくはその他の環境装置の導入を必要とするが、繁忙期など季節限定における排水基

準超過の場合は、過剰設備となってしまう、投資対効果が低くなる。実際、プラントメーカーは数千万から億単位の増設提案が多く、さらに、ユーザ側の増設スペースが不足する場合もあり、ユーザと折り合いがつかないことが多い。

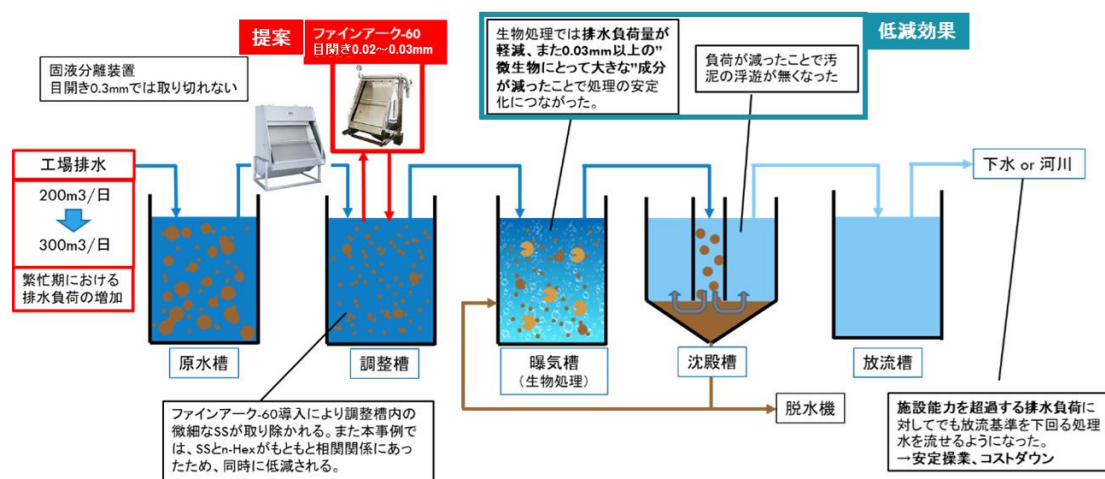
本装置は、曝気槽の増強や加圧浮上装置といった大きな設備投資をすることなく、固形分(SS)や BOD、ノルマルヘキサン抽出物質を回収し、排水負荷を軽減しながら排水基準を満たす省エネな環境装置であり、本課題に対して新しい解決手段を提案するものである（図表 5 参照）。



図表 3 処理メカニズム



図表 4 コンビニやスーパー総菜向け工場で発生している問題



図表 5 ファインアーク®-60 を用いた新しいソリューション提案

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

金属スクリーンによる固液分離分野において、従来装置の微細目振動スクリーンは、最小で $45\mu\text{m}$ 級の固形分を回収できる金網を備えている。ウェッジワイヤースクリーンを用いた当社製品は、従来 $100\sim 150\mu\text{m}$ 程度の分離精度であったが、微細異形線ワイヤーメカの調査開拓から極細ワイヤーの形状、精度開発及びスクリーン自動溶接機に纏わる各因子の洗い出しから繰り返しの改良に伴い、均一かつ高精度の微細スリット $20\mu\text{m}$ レベルの精度開発に成功した。

また、この微細スリットを評価する手段として従来は目視で測定していた手法から顕微鏡方式でスリットを拡大化させて測定する方式を見出し独自の測定方法を開発した。その後、さらに数 μm レベルまで計測できる装置を開発し、現在はスイッチ一つでスリットを自動計測できる装置の開発に至る。これにより均一した微細スリット精度の確認が可能となった。

現在は、更なるスリットの制御開発を推進し、世界最小の $5\mu\text{m}$ のスリット幅を実現した。これにより、金属スクリーンの固液分離装置において、従来の排水用途から、今まで処理が困難であった生産設備用途に拡大展開することが可能となった。

一方で、本装置はプロダクトアウトによる開発商品であるため、マーケットの調査及びテストによる性能評価を必要とし、需要の高い市場を見極めながら、拡販活動を行っている。

2016 年	ファインアーク®-60 完成
2018 年	食品工場の排水負荷軽減 (米ぬかを主とした食品残渣の除去) を目的としたテスト開始
2022 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

本装置では、固液分離精度 $20\mu\text{m}$ を備えた高強度の金属スクリーンの開発、動力不要の傾斜型スクリーンの採用、ウェッジワイヤーによる高開口率スクリーンの実現に伴い、従来の排水市場で使用される従来装置（微細目振動スクリーン）では達成できなかった固液分離精度、省エネ性、省スペース化を実現している。

（１）固液分離精度 $20\mu\text{m}$ を備えた高強度の金属スクリーンの開発

本装置と従来装置である微細目振動スクリーンとの性能比較を図表 6 に示す。微細目振動スクリーンは、最小で約 $45\mu\text{m}$ 級の固形分を回収できる金網を備えた固液分離装置であるが、固形分が金網に詰まりやすい課題がある。この目詰まりを解消するために高圧洗浄を行うが、微細目になるほど金網を構成するワイヤーの線形が細くなり、破れやすくなるため、都度スクリーンを交換する手間が生じている。

本装置が備える金属スクリーンは、微細目振動スクリーンの金網と比較すると、ワイヤーとサポートロッドを組み合わせた構造のため（図表 2 参照）、スクリーン強度が高く、 2MPa の高圧洗浄が常時可能である。特に、食品工場の排水に含まれるノルマルヘキサン抽出物質はスクリーン表面に固着しやすく、除去するには高圧洗浄が必須となる。

金属スクリーンによる食品工場の排水負荷軽減において、本装置は、従来装置と比較して、固液分離精度が高く、高強度スクリーンによる高圧洗浄が可能であるため、細かな食品残渣の回収効率が高く、優位性を確保できていると考えている。

（２）動力不要の傾斜型スクリーンの採用

上述の微細目振動スクリーンは、電動機より揺動軸を回転させ金網を揺動させるため、分離・回収した固形分は揺動によって、スラッジ受けに搬送される。本装置のスクリーンは、シーブ形状かつワイヤー表面が滑らかとなるように溶接で製作されており、スクリーン上部から吐出

図表 6 金属スクリーンを用いた従来装置との比較

	単位	従来装置 (微細目振動スクリーン)	本装置 (ファインアーク®-60)
固液分離精度	μm	45 (350 メッシュ相当)	20
処理量	m^3/h	30	24
サイズ (L×W) ※1	m	約 1×2	約 0.9×0.9
スクリーン交換頻度 (スクリーン強度)	—	大 (小)	小 (大)
洗浄圧力	MPa	0.7	2.0
消費電力※2	kW	0.4 (スクリーン振動用電動機)	0 (動力不要)

※1 サイズは同じ処理量の装置で比較

※2 消費電力はスクリーン装置のみであり、洗浄や原水供給用ポンプは含まない

する処理液は自重のみで固液分離しながら、スクリーン下部方向に固形分が滑り落ち、そのままスラッジ受けで回収される。スクリーン下部に堆積してスラッジ受けに運ばれない固形分は強制的に洗浄装置で洗い流されるため、動力は必要としない。

(3) ウェッジワイヤーによる高開口率スクリーンの実現

サプライヤと協働して、25CF というワイヤー幅 $250\mu\text{m}$ の線材を開発した。ワイヤー幅を小さくしたことにより高開口率のスクリーンが実現でき、液切れ性能が向上した。ウェッジワイヤーの開口率は、スリット幅/（ワイヤー幅+スリット幅）で算出される。

例えば、スリット幅 $20\mu\text{m}$ を $500\mu\text{m}$ 幅のワイヤーを用いて製作すれば、開口率は 3.8% であるが、 $250\mu\text{m}$ 幅のワイヤーを用いて製作すれば開口率は 7.4% となり、開口率は約 2 倍となる。ワイヤー変更に伴う高開口率化によってスクリーン上の液切れ性能が向上し、スクリーンサイズを小さくできるため、装置の省スペース化に大きく寄与する。図表 6 に示すとおり、従来装置と比較して、本装置は約半分以下のサイズである。

4. 特許の有無

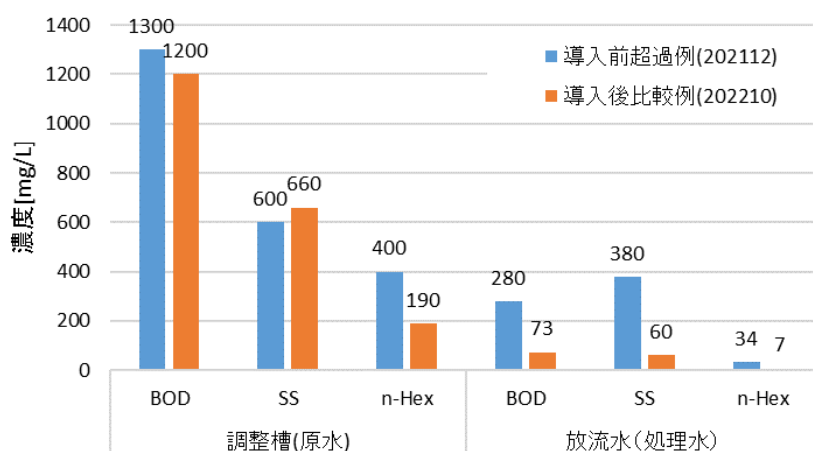
なし

5. 性能

本装置であるファインアーク®-60 を実際に導入したユーザの排水処理例（米ぬかを主とした細かな食品残渣の回収）を基に性能を説明する。問題である食品工場の排水基準の一時的な超過を解決し、さらに従来装置と比較してメンテナンスフリーを実現した。

(1) 固形分除去による BOD 及び油脂類（ノルマルヘキサン抽出物質、n-Hex）の低減効果

食品工場で本装置を導入した前後の放流水の濃度比較を図表 7 に示す。本装置の導入前において、調整槽に入る原水の BOD、固形分（SS）、ノルマルヘキサン抽出物質が槽の設計基準と比較して高く、その結果、生物処理槽が正常に機能せず、下水に流れる放流水が高い値となる。



図表 7 本装置を導入した前後の放流水の濃度比較（排水基準超過月）

BOD 及び固形分 (SS) の排水基準 600mg/L に対して、それぞれ 280mg/L、380mg/L となり、ノルマルヘキサン抽出物質は、排水基準 30mg/L に対して 34mg/L であり、一過性であるが超過している。

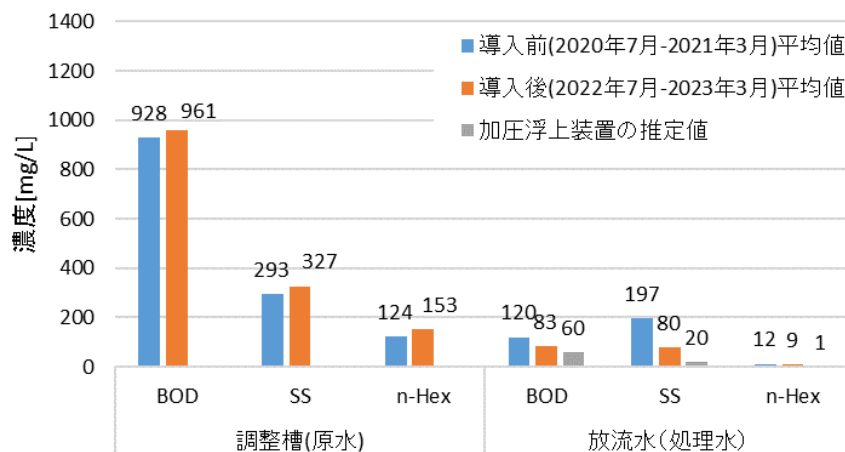
スリット幅 30 μ m のスクリーンを備えた本装置を導入し、調整槽に入る固形分 (SS) を循環運転で除去した結果、SS 由来の BOD とノルマルヘキサン抽出物質の値も併せて軽減され、曝気槽の負荷が軽減された。本装置の導入前と比較して、導入後は BOD と固形分 (SS) は充分小さい値で推移しており、ノルマルヘキサン抽出物質については排水基準内に収まっている。

さらに、本装置を長期間試運転した結果を図表 8 に示す。本装置の導入後は、導入前と比べて BOD、固形分 (SS)、ノルマルヘキサン抽出物質が全体的に低減する。参考値となるが、加圧浮上装置を導入した場合の排水負荷低減効果を算出した。加圧浮上装置の導入後は、本装置の導入後よりも BOD、固形分 (SS)、ノルマルヘキサン抽出物質は低減されており、加圧浮上装置の負荷低減効果を 100 とした場合、本装置は BOD61、固形分 (SS) 66、ノルマルヘキサン抽出物質 27 の効果となる。

また、図表 9 から本装置導入前の沈殿槽は汚泥が沈降せず、上澄みに浮遊し、放流水に混入して放流されてしまうことがあったが、本装置の導入後は汚泥が沈降しており、正常に生物処理槽が機能することを確認した。

(2) メンテナンスフリー

本装置は、スクリーンの上部に洗浄機を備えており、2MPa の圧力でスクリーンを間欠運転で洗浄する。本案件の洗浄パターンは、3 分スクリーンを洗浄し、15 分洗浄休止を 1 サイクルとしたものである。

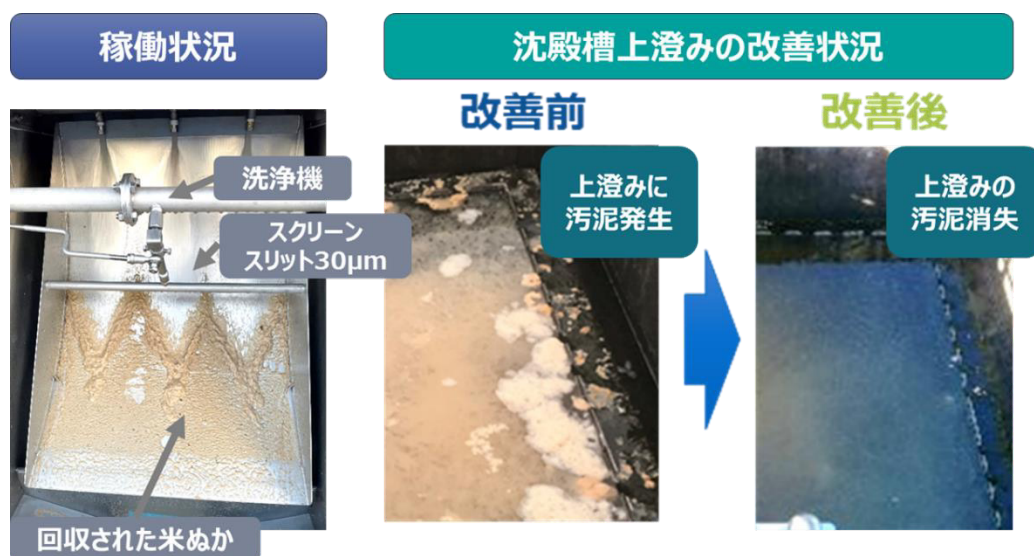


※加圧浮上装置の効果の推定値は下記計算で算出

(1) 加圧浮上装置の導入後の調整槽 (原水) = $BOD \times 0.5$ 、 $SS \times 0.1$ 、 $n-Hex \times 0.1$ (経験則による)

(2) 放流水の BOD、SS、n-Hex = (1) で算出した数値 $\times$ (導入前の放流水 / 調整槽の割合)

図表 8 本装置を導入した前後の放流水の濃度比較 (導入前後 9 か月間の平均)



図表 9 ファインアーク®-60 稼働後の沈殿槽上澄みの改善状況

運転スクリーン上に堆積した細かな食品残渣が洗浄によってダスト受けに送られると同時に、スクリーン自体の目詰まりも解消されるため、連続で運転できる。また、スクリーンは高寿命であり、駆動部がないため交換部品を必要とせず、メンテナンスフリーである。

一方で、従来装置である加圧浮上装置を導入する場合は、pH を測定しながら薬品を注入する必要がある。そのため、薬品残量の確認、pH の測定器の洗浄、槽の状態を考慮した薬品の注入量を調整しなければならず、管理が必要となる。

6. 経済性

加圧浮上装置を従来方式として、本装置との経済性比較を図表 10 に示す。

(1) 省スペース化

250t の調整槽に対応する加圧浮上装置の導入において、約 3m×4m (浮上槽 φ2m+水槽 1.5m×1.5m) のスペースが必要であるが、本装置では 0.9m×0.9m のスペースしか必要とせず、94% の省スペース化が図れる。また、設置においても、原水供給口とろ液排出口の配管を繋ぐのみで、容易である。

(2) 排水負荷の低減効果

本装置の排水中の BOD、固形分 (SS)、ノルマルヘキサン抽出物質の負荷軽減効果は、加圧浮上装置の効果を 100 とした場合、BOD61、SS66、ノルマルヘキサン抽出物質 27 となる。新規プラントの建設時においては、加圧浮上装置の導入が望ましいが、既設設備の能力が不足、かつ季節的な要因による場合は、後述のとおり、本装置の方がイニシャルコスト及びランニングコストの低減が図れ、メリットが大きい。

(3) イニシャルコスト

本装置はスクリーンのみのシンプル構造であり、従来装置と比較して、約 73% のコスト削減

が見込める。

(4) ランニングコスト

ランニングコストは、消費電力と薬液代と産廃費用を合わせたものであり、従来装置に比べて、本装置は 96%低減できる。

(5) 省エネルギー

消費電力について、本装置は原水供給ポンプ及び洗浄用ポンプの電力のみ必要とし、加圧浮上装置に対して 39%を低減できる。

(6) 省資源

薬液代について、加圧浮上装置は PAC などの凝集剤と、凝集剤を添加した際に酸性となった液を中性にするための苛性ソーダ等の中和剤といった薬液を注入する必要があるが、本装置は薬液を必要としない。

図表 10 ファインアーク®-60 の経済性評価

		従来方式 (加圧浮上装置)	申請装置 (ファインアーク®-60)	備考
装置サイズ		100	6.75	設備設置も容易
排水負荷 低減効果	BOD	100	61	図表 8 から算出
	SS	100	66	図表 8 から算出
	N-H	100	27	図表 8 から算出
イニシャルコスト		100	27	スクリーンのみの単純な構造で安価
ランニングコスト		100	3.1	—
	消費電力	100	61	原水供給ポンプ、洗浄ポンプの動力も含む
	薬液代	100	0	薬液は不使用
	産廃費用	100	2.5	—

7. 将来性

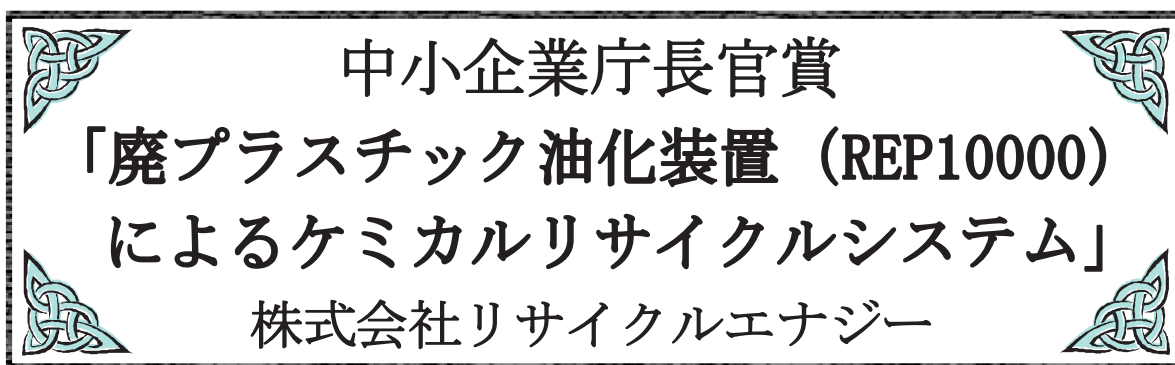
固液分離を目的とした金属スクリーンにおいて、スリット幅 $5\mu\text{m}$ を実現した類似の技術はなく、国内外で競争優位性があると考えている。これまでは排水業界の「捨てる水」をターゲットにしてスリット幅 $20\sim 30\mu\text{m}$ の本装置を拡販してきたが、今後はさらに付加価値の高い工作機械業界向けクーラント液などの「再利用水」にスリット幅 $5\sim 10\mu\text{m}$ のスクリーンを用いてアプローチしたいと考える。以下に示す業界に対して、更なる高精度スリット技術を適用した本装置を市場要求に合わせながらカスタマイズし、環境負荷低減に向けて推進していく所存である。

(1) 電子機器向けプリント基板の業界への応用

プリント基板の研磨工程において、研磨された Cu の微粒子 ($10\mu\text{m}$ 前後) 及び研磨剤のアルミナが工作機械のクーラント液中に多く混入し、既設フィルタのろ布が短期間で目詰まりする課題がある。本装置をプレフィルタとして導入することで、既設フィルタのろ布のメンテナンスインターバルが通常の 2 週間から 1~2 か月と長くなることが期待される。さらに、目詰まりしたろ布の洗浄工程の回数削減による人件費の低減効果があり、また、回収した Cu を有価物として売却・再利用することも可能となる。

(2) 脆性材加工業界への応用

アルミナ、炭化ケイ素、石英ガラスなどの脆性材料の加工現場では、 $5\mu\text{m}$ 前後の加工粉が発生し、工作機械に備えられたクーラントタンクが汚染される。特に、半導体業界向けの素材加工の場合、加工精度が重要視されるため、使用するクーラント液は異物が入っていないことが好ましい。既存のユーザは、遠心分離機を主に使用しているが、 $5\mu\text{m}$ 前後の異物の回収量が少なく、また高回転モータによるクーラント液の攪拌が起こり、大量の泡が発生する課題がある。本装置でスリット幅 $5\mu\text{m}$ 級のスクリーンを使用すれば、遠心分離機の固液分離精度よりも高い $5\mu\text{m}$ 前後の異物を回収できる上、遠心分離機で発生する泡の抑制効果も期待できる。



1. 装置の詳細説明

本装置は、リサイクルされずに産業廃棄物となっていた廃プラスチックをケミカルリサイクルする装置である。図表 1 に本装置の外観写真を示す。全体構成図は図表 2 のとおり。

- ①破砕機・・・・・・・・・・塊やフィルムなどあらゆるものを破砕
- ②空気搬送・・・・・・・・・・破砕したプラスチックを自動搬送
- ③搬送ルーダ・・・・・・・・・・溶かしながら反応釜まで搬送
- ④反応釜・・・・・・・・・・400～500℃で分解
- ⑤生成油蒸留塔・・・・・・・・・・重質成分を反応釜に戻す（特許取得）
- ⑥分留装置・・・・・・・・・・分解ガスを設定した温度に冷却し、必要な成分の油を得る
- ⑦オフガスライン・・・・・・・・・・油にならないガスを燃料として使用（特許申請中）
- ⑧一次受けタンク・・・・・・・・・・生成油の一次受けタンク
- ⑨静置槽・・・・・・・・・・生成油の成分チェックを行う
- ⑩残渣（炭化物）抜出装置・・・・生産を止めることなく、残渣を抜き出す（特許申請中）

上記①、②は市場から高性能な装置を探した。③は押出機メーカーに油化装置専用の仕様を依頼し製造を委託した。④～⑩の自社開発油化装置と組み合わせることで、ケミカルリサイクルシステムとした。

本装置の特徴として、⑤生成油蒸留塔を設置することで、分解が十分でない重質分を反応釜に戻しているため、生成される油は低温でも固化しない油となる。従来の油化装置では常温でも固まる油が生成されるため、輸送や使用用途が制限されていた。

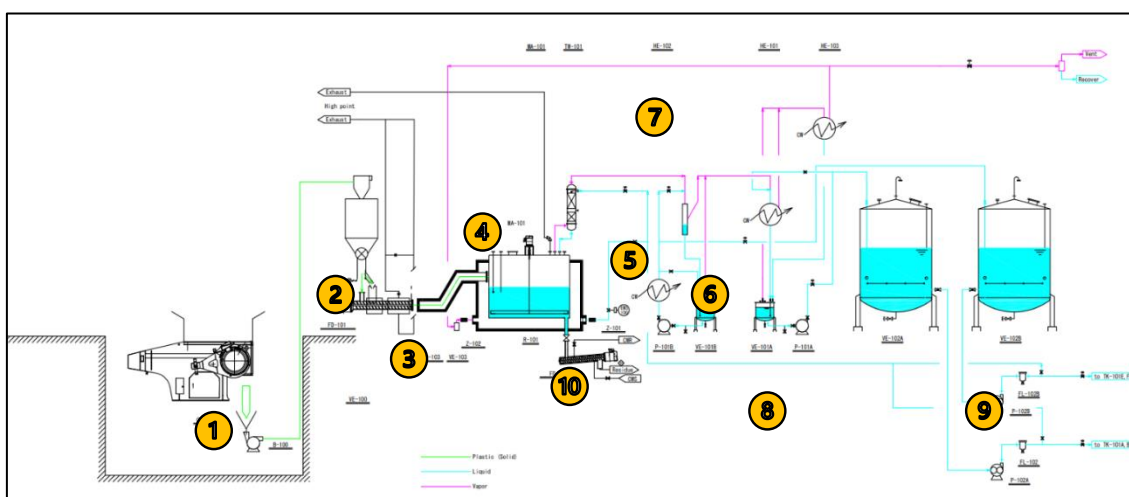
本装置であれば、輸送や使用用途に問題が生じることはない。また、自社で分析機器を所有しているため、製造した生成油の品質のチェックをリアルタイムに行うことができる（図表 3）。⑨静置槽では、生成油の分析結果がでるまで貯蔵しておき、成分に問題ないことを確認の上、貯蔵タンクに移送する。

廃プラスチック投入量の約 15%は分解ガスを冷やしても油にならない⑦オフガスとなる。発生したオフガスを④反応釜の燃料として使用することで、ランニングコストを抑えることができ、環境にも配慮した装置にすることができる。

⑩残渣抜出装置は、一定量（投入量の 3～5%）発生する残渣（炭化物）を取り出す装置である。従来は、残渣を取り出すために反応釜内に人が入り、回収作業が必要となるため、装置を止めて温度が下がるまで約 8-10 時間待つ必要があった。さらに生産を再開する際には、3～4 時間の昇温作業が必要となる。そのため従来式のバッチ方式では生産量に制限があった。



図表 1 油化装置外観写真



図表 2 全体構成図

図表 3 分解油分析器及び項目一覧

分析項目	分析装置	分析方法
成分分析	ガスクロマトグラフ	社内法
引火点	ペンスキー・マルテンズ密閉型引火点測定装置	JIS K 2265
流動点	手動流動点測定器	JIS K 2269
水分	カールフィッシャー水分計	JIS K 2275
動粘度	キャノン・フェンスケ動粘度計	JIS K 2283
蒸留性状	自動蒸留試験装置	JIS K 2254
密度	浮標密度計	JIS K 2249
残留炭素分	マイクロ残留炭素分試験機	JIS K 2270
灰分	電気炉	JIS K 2272
酸価	自動滴定装置	JIS K 2501
塩基価	自動滴定装置	JIS K 2501
セタン指数	算出式	JIS K 2280
全硫黄	蛍光 X 線分析装置	JIS K 2541
全塩素	蛍光 X 線分析装置	社内法
全窒素	微量元素分析装置	JIS K 2609

本システムは最小限の降温（約 2 時間程度）で、残渣排出装置による残渣排出を行い、直ぐに連続生産を開始することができる。よって、従来式のバッチ生産方式と比較して約 2 倍の生産量が可能となった。

上記のような運用を行うことによって、高効率な運転と生成油の品質をコントロールすることが可能となったため、廃プラスチックを油に戻して、もう一度、プラスチックを作る原料（原油代替）として化学会社での使用が実現し、資源循環が可能となった。

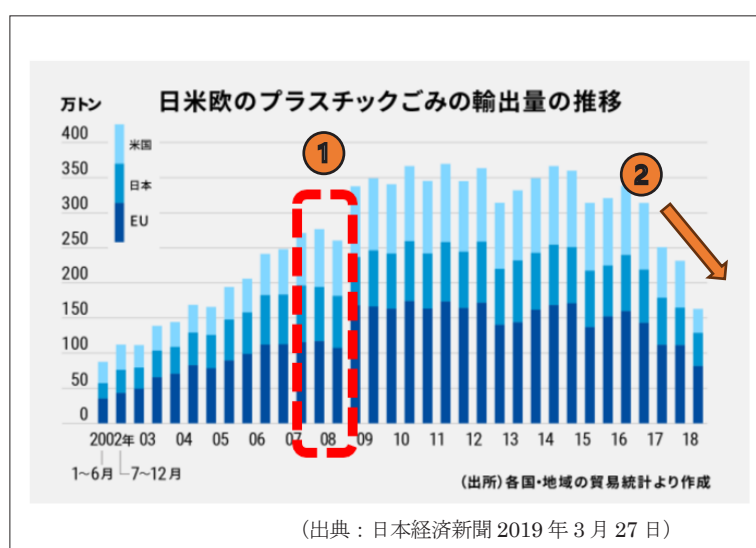
2. 開発経緯

（1）開発経緯

弊社は、設立当初より、廃プラスチックを含むプラスチック原料の取り扱いを行っている。プラスチック製品工場から排出される廃プラスチックを有価物として購入しマテリアルリサイクルを行っている。マテリアルリサイクルでは廃プラスチックを新たなプラスチック製品の原料となる再生ペレットに加工し、国内・外に販売を行っている。

ケミカルリサイクルを研究するきっかけとなったのは、2008 年リーマンショックによる世界的経済の混乱時である。原油価格の暴落をうけてプラスチック原料も大幅に価格が下がったことでマテリアルリサイクルも大混乱に陥った。さらに顧客の生産調整も頻発し、再生ペレットをはじめプラスチック原料の販売が滞った。このような現象は世界中で起こっており、その際に大きな問題となったのが、マテリアルリサイクル用に有価物で売買されていた廃プラスチックが行き場を失い、産廃物となってしまうことであった。

この頃、廃プラスチックを日本から中国やベトナムなどアジアに輸出して、アジア等の輸入国でリサイクルする流れが旺盛であった。それが経済の混乱によって輸出が滞ってしまい（図表 4_①）、有価物で売買されていた廃プラスチックは行き場を失い、産業廃棄物へ一変してしまった。その後も、2017 年に中国が環境汚染を防ぐため輸入を禁止したことから、廃プラスチックの輸出は大幅に減少している。（図表 4_②）



図表 4 廃プラスチック輸出の推移

当時、廃プラスチックを有価物として取り扱えるリサイクル方法は、マテリアルリサイクル以外には無く、マテリアルリサイクルの市場からあふれたものは、処理費用を支払って産業廃棄物（サーマルリサイクルを含む）にするほか選択肢が無かった。

当社は「廃プラスチックを有価物として扱える他のリサイクル方法を模索すべきではないか。」と思い調査を開始し、ケミカルリサイクルに行き着いた。さらに、国内で発生する廃プラスチックは国内で処理したい、との思いもあった。

ケミカルリサイクルを始めるにあたり、まずは日本国内でマテリアルリサイクルされていない、廃プラスチックをケミカルリサイクルの対象原料とした。

対象の廃プラスチックは輸出されているか、またはサーマルリサイクルで処理されている。その中からケミカルリサイクルの材料として適している PP 及び PE、PS 樹脂を選定し、装置開発の取組みを始めた。開発当初より、廃プラスチックを有価で購入してケミカルリサイクルできる油化装置を開発し、産業廃棄物ではないケミカルリサイクルのビジネスモデルを目的とした。

以下に開発経緯を示す。

2010 年～2011 年	市場調査、ラボ機製作、実験 ・ 市場調査：ケミカルリサイクル対象の材料調査 ・ ラボ機製作：触媒接触分解方式（油化）に取り組む。 ・ 実験：実験と分析、改良を繰り返す。
2011 年～2015 年	実証機（1 号機、2 号機、3 号機）製作、実験 ・ 実証機 1 号機：触媒による接触分解方式の油化装置。 実験と改良を繰り返し行う。 ・ 実証機 2 号機：触媒による接触分解方式の油化装置。 1 号機の改良点を 2 号機に反映。実験と改良を繰り返し行う。 ・ 実証機 3 号機：現在の熱分解方式の油化装置。 熱分解方式の研究を開始。
2015 年～2016 年	JICA 民間提案型普及・実証事業 ・ 南アフリカへ実証機を納入、実験 ・ 生成油を発電機燃料（内燃機関）として使用 ・ フォークリフト燃料として使用
2016 年 3 月	第 1 号機納入
2018 年～2022 年	実証機（4 号機）製作、実験

（2）共同開発
なし

（3）技術導入
なし

3. 独創性

本装置では、独自開発の生成油蒸留塔を採用することによって、従来課題であった常温で固化する廃プラスチック分解油（生成油）の問題を解決し、生成油を化石資源の代替えとして化学会社に販売することでプラスチックの再資源化を実現した。

また、オフガスの燃料利用や反応釜の廃熱有効活用等により、ケミカルリサイクルの懸念材料であった新たなエネルギーの投入を最小限に抑えることで二酸化炭素排出抑制と、高コストとされているランニングコストの抑制を実現した。

さらに、残渣拔出装置の設置や高効率な運転方法により、生産量は従来の油化装置の2倍以上を可能とした。

（1）独自開発の生成油蒸留塔（特許取得済）

本装置では、生成油蒸留塔を設置することで、反応釜で分解したプラスチック分解ガスの成分を安定させることができる。

仮に当社の生成油蒸留塔を設置せずに熱分解（油化装置）を行うと、反応釜で分解したガスに、分解が不十分な未分解ガス（ワックス成分）が混ざって出てきてしまい、液化（生成油）した際に低温で固化する油になってしまう。

当社の生成油蒸留塔では、反応釜から発生する分解ガスを還流することで未分解ガスは再度、反応釜に戻る仕組みになっている。生成油蒸留塔により分解ガスを安定させることで、生成する油は低温でも固化することのない油となり、輸送の問題をクリアして、化石資源の代替使用が可能となった。

（2）反応釜内の液面確認（特許取得済）による高効率な運転を実現

油化装置を効率よく安全に運転するには反応釜内の樹脂及び分解油量を知る必要があるが、反応釜内の温度は400℃以上であり、その温度に耐えられる液面計がなかった。よって、当社では複数の温度計を設置しその温度の違いにより反応釜内の分解油量を推定した。

油化装置の運転では、反応釜に廃プラスチックが、搬送ルーダにより軟化した状態で投入され、反応釜の熱により液体になり、その後気体（分解ガス）となるため、常に状態変化が起こっている。さらに投入する廃プラスチックの種類によって、分解速度に違いがあるため、時間計測で管理できるものではない。そのため、投入量（搬送ルーダ）を把握しても反応釜の液量を推測することは不可能であった。

仮に反応釜内の残量を把握できなければ、安全を考慮して投入量を制限する運転方法となり、生産量が大幅に減るため、効率の良い運転が不可能となる。

当社では、複数の温度計の温度差で液量を推定することができたが、温度計の設置位置は独自開発によるものである。反応釜には攪拌機を設置しており、一定の速度で羽根が回転している。そのため温度計の設置位置は、回転羽根に干渉せず、且つ正確な温度を計測できる位置に設置する必要があるが当社では最適な設置を実現した。

（3）オフガスの有効利用

分解ガスから液化（生成油）しないオフガスは、反応炉を加熱し、樹脂を分解、ガスを発生させるための燃料として使用できるルートを確立し、有効利用している（特許出願中）。

油化装置稼働中は、オフガスのみで反応釜の燃料を賄うことができるため、加熱のために新たなエネルギーの追加投入が不要となった。

仮に当社のオフガス利用ルートがない場合は、化石燃料などを使用する必要があり新たな二酸化炭素を排出してしまう。

本装置では、エネルギーの有効活用で新たな二酸化炭素の発生を抑制するとともにオフガス（メタン及びエタン、プロパン、ブタンなど）を大気に放出することなく利用することで、リサイクルによる環境負荷にも配慮している。

（４）廃熱の有効活用

本装置では、廃プラスチックを熱によって分解するため、反応釜を 400℃～500℃に加熱する。その際に発生する熱を利用して、搬送ルーダ（押出機）の熱源を賄っている。従来、搬送ルーダは電気により 230℃～300℃の熱をヒータに加えて使用されている。

当社では、油化装置専用の搬送ルーダをメーカーに製作依頼し、ヒータに代わる加熱方法として、反応炉を加熱した燃焼ガスの廃熱を利用している。そのため、新たなエネルギーを加える必要がなく、ランニングコストも大幅に抑制できる。

搬送ルーダの電気使用量を比較すると、廃熱を有効活用することで、加熱部分のヒータに電気使用がなくなり、電気の使用はスクリュウを動かすモータのみとなり、電力使用料金は約 3 割の削減となる。

（５）残渣拔出装置

油化装置で廃プラスチックを熱分解すると、分解ガスにならない残渣（炭化物）が一定量発生し、反応釜に蓄積していく。本装置の残渣拔出装置では発生した残渣の排出をする際、運転を止めることなく排出を可能とした。

従来は、反応釜に蓄積した残渣を排出するために、反応釜の中に人が入り残渣を回収する作業が必要であった。そのために冷却時間（降温）が 10～12 時間必要となり、バッチ式の運転であった。

バッチ式の運転は生産効率が悪い上、昇温・降温を頻繁に繰り返すことによる装置のダメージも多くなる。

本装置では、残渣排出に必要な降温・昇温を最小限に抑えた高効率な連続運転が可能となったため、バッチ式と比べて約 2 倍の生産が可能となった。

4. 特許の有無

次のとおり、特許 4 件を取得済み、3 件を出願中。

特許番号：第 6129801 号 / 名称：廃プラスチック油化处理装置

特許番号：第 6100223 号 / 名称：廃プラスチック油化处理装置

特許番号：第 7005042 号 / 名称：廃プラスチック油化处理装置

特許番号：第 7145524 号 / 名称：廃プラスチック油化处理装置

出願番号：特願 2023-145115 / 名称：廃プラスチック油化处理装置

出願番号：特願 2023-145119 / 名称：廃プラスチック油化处理装置

出願番号：特願 2023-145117 / 名称：廃プラスチック油化处理装置

5. 性能

油化装置に加えて、破碎機及び空気輸送、搬送ルーダ等高効率な設備の組み合わせを行い、一体の設備としてケミカルリサイクルシステムとした。

設備全体の効率化が図れることにより、ランニングコスト削減や生産効率の向上が可能となる。

(1) 残渣拔出装置による連続運転

本装置は残渣拔出装置を採用し、生産能力を向上させている。

従来型の残渣排出を行った場合との生産能力（処理量）の違いは図表5のとおりである。

(2) オフガスと廃熱の有効利用

本装置はオフガスラインを設置し、反応釜の燃料として有効利用している。

また、反応釜で発生した廃熱を搬送ルーダのヒータの代替えとして利用している。

従来型は反応釜の燃料は化石燃料を使用し、搬送ルーダのヒータは電気を使用していた。

本装置は従来型と比べて、大幅なコスト削減となっている。

従来型との違いは図表6のとおりであり、1時間あたり9,500円のコスト削減になっている。

上記によって、ランニングコストが抑えられていることから、ランニングコストが問題視されているケミカルリサイクルでも事業性が成り立っている。

オフガスと廃熱の有効利用に絞った年間削減コストは以下のとおり。

- ・申請装置（24h稼働、300日/年）0円
- ・従来装置（10h稼働+3時間昇温、300日/年）37,050,000円

図表5 残渣拔出装置による生産量の違い（1日あたりの生産/1,000kg/h処理装置）

	処理量	生成油生産量	備考
申請装置	20,000kg	16,000kg	運転：10時間→残渣拔出：2時間→ →運転：10時間→残渣拔出：2時間
従来装置	10,000 kg	8,000kg	運転：10時間→冷却：10時間→ →清掃：1時間→昇温：3時間

図表6 オフガスと廃熱の有効活用によるコスト（1時間あたり/1,000kg/h処理装置）

		反応釜燃料	搬送ルーダ	備考
申請装置	使用量	なし	なし	・反応釜燃料→オフガス利用 ・搬送ルーダ→廃熱利用
	コスト	0円	0円	
従来装置	使用量	51ℓ	140kw	・A重油→100円/ℓ想定 ・電気→32円/kw想定
	コスト	5,100円	4,400円	

（３）安全性の確保

本装置では、反応釜に安全弁を設置することで安全性を高めている。

また、搬送ルーダから反応釜のライン配管は、分解ガスが逆流しない構造としている。

油化装置の運転で最も危険とされている、配管に閉塞が生じた際の対策としては、本装置では反応釜内の液面確認が可能なため、仮に配管閉塞が生じた場合には直ぐに異変に気付くことができる構造となっている。

（４）油化装置を含むケミカルリサイクルシステムの操作性

本装置では、破砕機、空気搬送機、搬送ルーダ、油化装置のそれぞれの供給を自動で制御しており、手動介入がなくても運転操作を可能としている。

例えば、反応釜からの発生する分解ガスの量を自動計測しており、分解ガス量に応じてオフガスバーナからの熱量をコントロールする。また、反応釜の液面量によって、搬送ルーダの供給量がコントロールされ、搬送ルーダの供給が少ない場合は、空気搬送機も破砕機も連動して運転を制御する仕組みとなっている。

（５）維持管理性

本装置は、化学プラントであるため定期的な修繕期間を設けてメンテナンスを行うが、当社は配管も含めて自社設計しているので、メンテナンスの容易さを考慮の上、設計を行っている。

また、化学プラントではあるが１つずつの構造はシンプルに設計しているため、メンテナンスは容易である。

6. 経済性

本申請の油化装置は現時点で国内には殆ど設置されておらず、従来装置と比べることは困難であるため海外プラントや過去に国内で稼働していたプラントとコストを比較した（図表 7）。

本装置のインシヤルコストが低い理由としては、シンプルな構造にある。また、油化装置は近年の急激なりサイクル需要の高まりによって、注目を集める形となった。

よって、世界的にも油化技術は多いとは言えず、直ぐに装置を導入したい場合は、技術を保有している会社とライセンス契約を行って、導入するケースが多い。そのため、装置費用も高額になっている上、ライセンス契約により生産量に応じてフィーが発生する仕組みとなっているので、他社のランニングコストは非常に高額となっている。したがって現時点では当社のコスト競争力は高いといえる。

図表 7 投資とランニングコストの比較

	申請装置	従来装置A	従来装置B	従来装置C	備考
インシヤルコスト	1	2.7倍	3.2倍	1.8倍	処理量1tあたりのコスト
ランニングコスト	1	3.3倍	4倍	2.5倍	生成油 1kgのコスト

7. 将来性

廃プラスチック油化装置を含むケミカルリサイクルシステムは、今後の廃プラスチックリサイクルの資源循環には必要不可欠なシステムといえる。一度きりの使い捨てではなく、循環型であるサーキュラーエコノミーを実現するために、国内外でケミカルリサイクルが急速に広がっている。

ケミカルリサイクルは、「プラスチック資源循環法」（2022 年 4 月施行）で企業が求められる基本方針である行動にも沿った形となっている（図表 8）。

また、廃プラスチックリサイクルにおいて、一般社団法人プラスチック循環利用協会の資料「プラスチックリサイクルの基礎知識 2023」によると、2021 年の国内における廃プラスチックの総排出量は約 824 万トンであり、この排出された廃プラスチックのうち、サーマルリサイクル（リカバリー）で再利用されたものが約 511 万トン（約 62%）と多く、次にマテリアルリサイクルが約 177 万トン（約 21%）、ケミカルリサイクルにおいては 29 万トン（約 4%）にとどまっておりプラスチックの資源循環を行うためにはマテリアルリサイクルとケミカルリサイクルの割合を増やすことが急務となっている（図表 9）。



図表 8 プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律（出典：環境省）

■廃プラスチックの総排出量・有効利用量・有効利用率の推移

（単位＝万t）

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
廃プラ総排出量	1,006	1,005	994	998	912	945	952	929	940	926	879	860	863	861	850	822	824
マテリアルリサイクル量	185	204	213	214	200	217	212	204	203	199	173	174	177	188	186	173	177
ケミカルリサイクル量	29	28	29	25	32	42	36	38	30	34	30	29	27	26	27	27	29
サーマルリサイクル量	368	457	449	494	456	465	496	502	535	534	498	492	506	507	513	509	511
合 計	582	688	692	733	689	723	744	744	767	768	701	695	710	720	726	710	717
有効利用率（%）	58	69	69	73	75	77	78	80	82	83	80	81	82	84	85	86	87

出典：（一社）プラスチック循環利用協会

図表 9 廃プラスチックの総排出量・有効利用量・有効利用率の推移

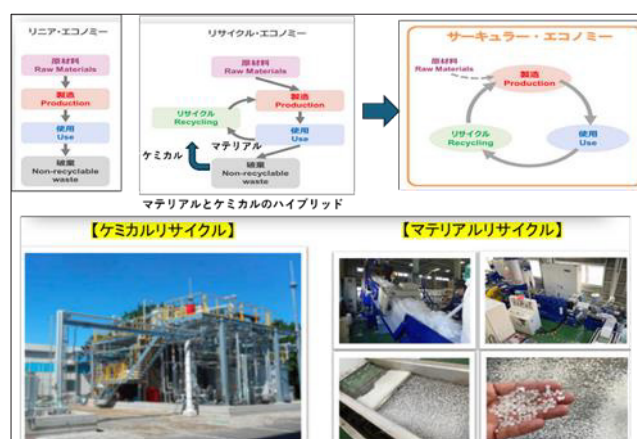
また、焼却を伴わないリサイクルを増やすことで、二酸化炭素排出量削減の効果も大きい。単純焼却はもちろん、廃プラスチックリサイクルの 62%を占めるサーマルリサイクルも二酸化炭素の排出につながるため、焼却を減らせば、二酸化炭素排出量の削減が可能となる。

一方、マテリアルリサイクルの課題もある。マテリアルリサイクルは単一素材のプラスチックでなければならず、複合素材の多い日本ではマテリアルリサイクルができる廃プラスチックが限られている。

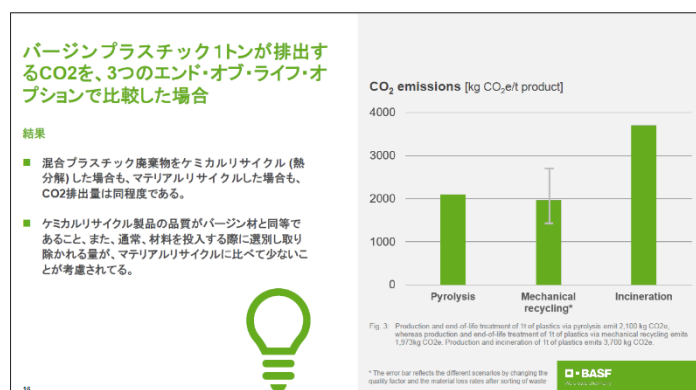
今後は、「モノ (mono) マテリアル (material)」(単一素材化) により、マテリアルリサイクルできる素材も増える方向ではあるが、リサイクル素材として回収されるにはタイムラグが発生する。

さらに、マテリアルリサイクルでは品質の低下が発生してしまう。熱履歴による劣化や不純物の混入などが避けられない。

そこで、当社が取り組んでいるのはマテリアルリサイクルとケミカルリサイクルのハイブリッドリサイクルである (図表 10)。マテリアルリサイクルは品質課題が残るが、再生されたリサイクルペレットは LCA 評価では CO₂ 排出量削減効果が非常に高い。一方で、マテリアルリサイクルには適していない廃プラスチックはケミカルリサイクルが必要となる。ケミカルリサイクルの LCA 評価の参考は下記の図表 11 のとおりである。



図表 10 ケミカルリサイクルとマテリアルリサイクルのハイブリッド



図表 11 ケミカルリサイクルの LCA (出典: BASF)

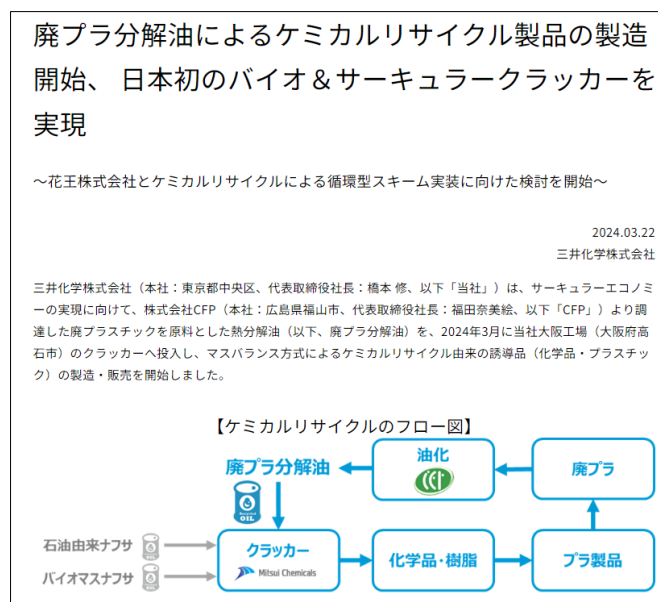
世界的なプラスチックリサイクルの流れは、欧州をはじめとしてリサイクル材の使用を義務付けていく方向である。規制は欧州のみにとどまらず、プラスチック製品に対するリサイクル率向上の流れはさらに強まっている。直近では、車のリサイクル規制が欧州から発表された。この規制を達成するためには、PCR 材（市場で使用済みの製品を回収、再生資源化）のリサイクルが不可欠になるため、複合素材の対応が必須になる。また、車から排出される廃プラスチックも複数種類のプラスチックが混合されているものが多いため、マテリアルリサイクルだけでは対応が難しく、ケミカルリサイクルの両方で対応するハイブリットが必要になる。

ケミカルリサイクルは、複合された廃プラスチックも化学反応により分子レベルにまで分解、油を生成するため、化学会社で化石資源の代替えとして使用できる。ケミカルリサイクルのメリットの一つとして、リサイクル品であるにもかかわらず、バージン素材の品質が手に入ることである。

よって、食品フィルムや医療関係にもリサイクル品が使用できることになる。

本装置では、2024 年 3 月に日本で初めて廃プラスチックから出来た生成油を化学会社のクラッカーに直接入れることができた（図表 12）。今後、ケミカルリサイクルが進むことで化石資源の使用量抑制が可能となる。さらに、ケミカルリサイクルの生成油からプラスチック原料となり、再度プラスチック製品となることで、理想的な循環サイクルが形成されるとともに、廃プラスチック処理により排出される二酸化炭素の排出量を大幅に削減することができる。

今後、ますますリサイクルが必要となってくる中で、当社のケミカルリサイクルシステムは必要としていただけるシステムであると確信している。



図表 12 化学メーカーによる廃プラ分解油の製造事例（出典：三井化学㈱）

日本産業機械工業会会長賞

「微滴衝突式集塵装置」

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、PM2.5 と称される微小粒子状物質や工場や自動車からの排気ガスなどによる人体への健康被害が問題となっている。世界保健機関（WHO）の報告によれば、世界人口の99%は大気汚染に関するガイドラインレベルを超えた空気環境下で生活しており、その原因物質となる有害ガスや粉塵などは、肺がんや呼吸器疾患アレルギーの原因となるだけでなく、気候変動にも大きな影響を与えると指摘されている。

このような汚染物質を抑制するためには発生源からの大規模な放出抑制が重要とされ、半導体業界においても多くの企業で排出規制に取り組んでいるものの、無害処理された排気ガスと同時に排出される微小粒子（二酸化ケイ素〔SiO₂〕）などに対しては、まだ多くの企業で排出規制が進んでおらず、排出規制に取り組んでいる企業でも、その多くが水スクラバ又は繊維充填層からなるバグフィルタなどを使用している。

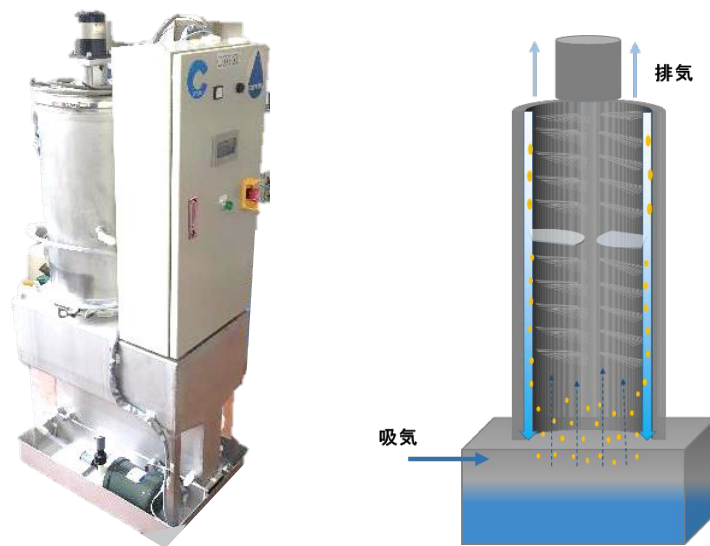
しかし、液滴を噴霧しガスを接触反応させる水スクラバでは、噴霧する液滴径が大きいうえ、衝突速度が遅いため、微小粒子に対しての捕集能力はほとんど無く、削減効果には限界がある。

また、繊維充填層からなるバグフィルタは、捕塵能力は高いものの湿度の高い環境や微小粒子から粗大粒子まで広い範囲の粒子処理をする環境では短期間での目詰まりなど継続的な使用は難しく、高性能バグフィルタの前段にプレフィルタと呼ばれる中程度の性能のフィルタを設置し、粗大粒子を先に捕集している。ただし、通常このプレフィルタにも繊維層からなるフィルタが用いられるため、大気中の湿度又は粒子濃度が高い環境ではバグフィルタ同様、目詰まりによって頻繁にプレフィルタの交換が必要となり、交換による装置停止やフィルタごみの処理等、経済性や環境性に課題が残る。

そこで当社は、既存の課題を解決すべく新たな衝突攪拌システム（Hight-speed Impact Mixing System）、通称HIMシステムを搭載した湿式集塵装置を開発した。本装置は、フィルタレスでありながら、微小粒子から粗大粒子まで広い範囲の粒子を継続的に安定して分離回収することを可能にしたことで、フィルタ交換による装置停止やフィルタごみの削減を実現した。

(2) 本装置の構成と原理

本装置はモータ駆動のらせん状のブラシを一軸で高速駆動させることで粉体と液滴を強制的に衝突させ、粉体を分離回収させることを基本とするHIMシステム搭載型湿式集塵装置である（図表1）。



図表 1 装置外観、内部イメージ

粉体を分離回収する主要部分の構成は大きく 3 つに区分けされている。まず、装置に流入した多くの粉体は、高速回転するらせん状のブラシと、そのブラシによって微細な状態となり拡散された液滴が高速で強制的に衝突攪拌することで捕集分離される。分離された粉体は容器側面を流れる水により粉体回収用貯水槽に回収される。

すり抜けた一部の粉体は、高圧シャワーによって微細化された液滴と衝突するさえぎり効果によって捕集された後、重力沈降によって粉体回収用貯水槽に回収される。

最後まですり抜けた粉体は、湿度の低いブラシと衝突することでブラシに捕集凝縮され、脱水された水滴と一緒に遠心分離され、容器側面から粉体回収用貯水槽内に回収される。

この異なる強制衝突と高速攪拌を組み合わせることで、広い粒子範囲の粉体を捕集することを可能とした。

また、高圧シャワーに使用する水は、粉体を回収した貯水内の水を循環使用することもできるため、給排水設備の無い環境でも連続使用が可能となる。

(3) 本装置の特徴

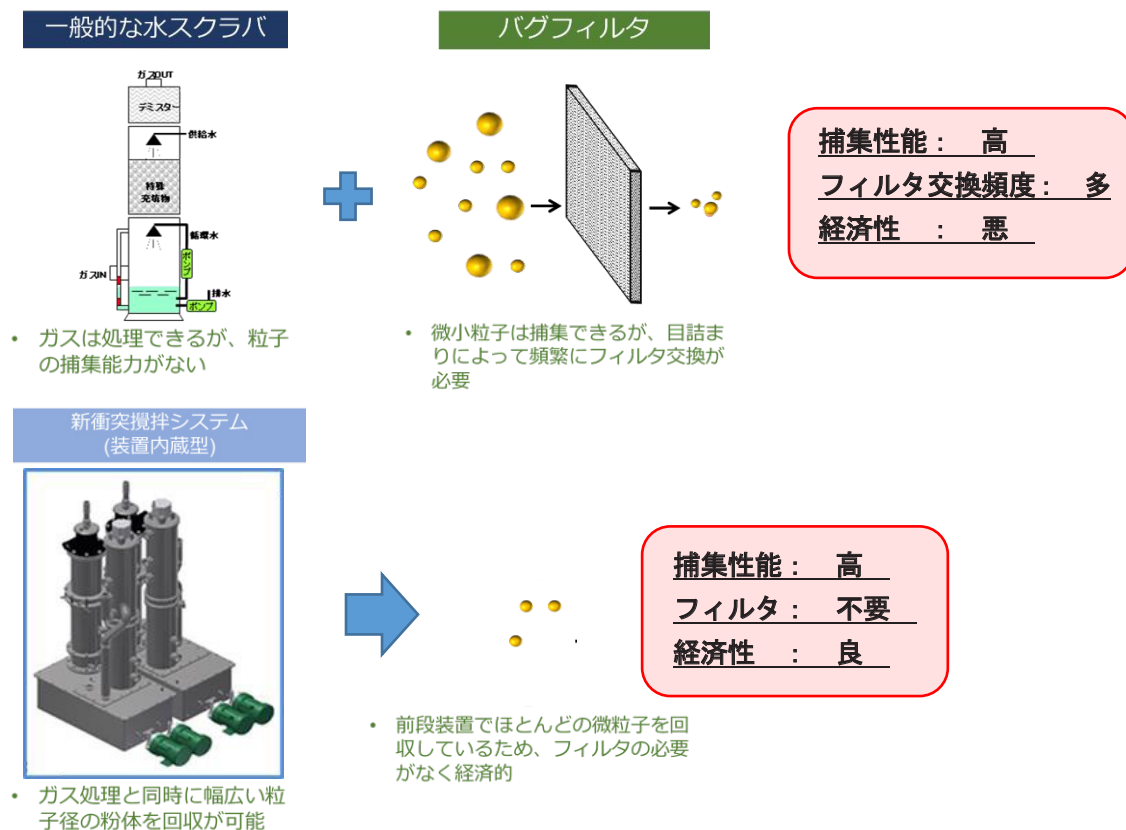
一般的に水スクラバの能力は液滴径と衝突速度が重要なファクターとされている。本装置は液滴を高速回転するブラシに高速で衝突させる新たな HIM システムを搭載し、今までにない小さな液滴を高速で粒子に衝突攪拌させることで、粗大粒子から微小粒子まで幅広い範囲の粒子をフィルタレスで目詰まりさせることなく、水のみで連続回収することを可能としたことが最大の特徴である。

本装置が必要とする用力は、水と電気のみということに加え、核となる HIM システム部分のみを既設の配管や排ガス処理装置に組み込むこともできるため、大幅なコストをかけることなく、ガス処理と幅広い粒径の集塵を同時に行うハイブリット装置に改造することが可能になる(図表 2)。

また、連続運転を基本とする半導体製造工場などでは、工場に設置されているバグフィルタの交換回数を減少させるとともに装置のダウンタイムを削減させるなど経済的かつ環境にも優しい装置となっている（図表 3）。



図表 2 捕集性能と経済性



図表 3 従来システムとの比較

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

PM2.5 の排出規制に取り組んでいる多くの企業が湿式又は繊維充填層からなるバグフィルタのほか、電気集塵式、サイクロン式など幅広い方式の装置を採用している。ただし、それぞれの回収方法には対象とする粒子径や風量によって得意不得意エリアが存在するため、環境や目的、処理対象粒径によって最適な方式を選定する必要がある（図表 4）。

しかし、工場から排出される粉体及び大気中に存在する粉体の粒子径は幅広く、金沢大学理工研究域フロンティア工学系にて過去に調査した結果においても、様々な性質の粉体が存在することが確認されている（図表 5）。そのため、全ての粉体を回収するには高エネルギーと高インシヤルコストの装置が必要になるなどの課題があった。

そこで、粒子径に関係無く、長期的かつ安定的に回収できる装置開発ができれば、排出規制対応が進んでいない多くの企業や、インフラ整備が進んでいない新興国でも導入しやすく、環境改善に寄与できるのではという思いから開発に至った。

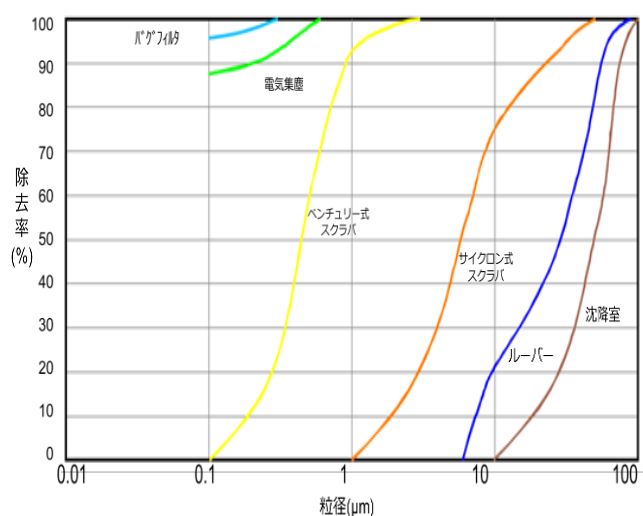
2017 年 5 月	新湿式集塵装置開発プロジェクトスタート
2017 年 9 月	現在形の原点となる回転体を使用した試作機完成
2018 年 8 月	外部測定機関にて重量法での処理能力測定実施
2018 年 11 月	金沢大学にてカウント法での処理能力測定実施
2018 年 12 月	初号機完成
2019 年 1 月	粉塵処理機能搭載型排ガス処理装置完成
2019 年 5 月	第 1 号機納入

(2) 共同開発

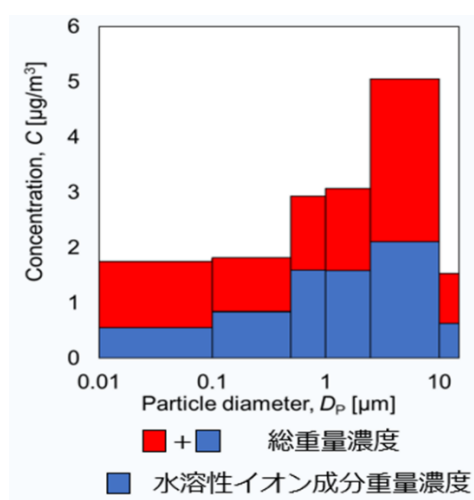
なし

(3) 技術導入

なし



図表 4 一般的な方式別回収能力図



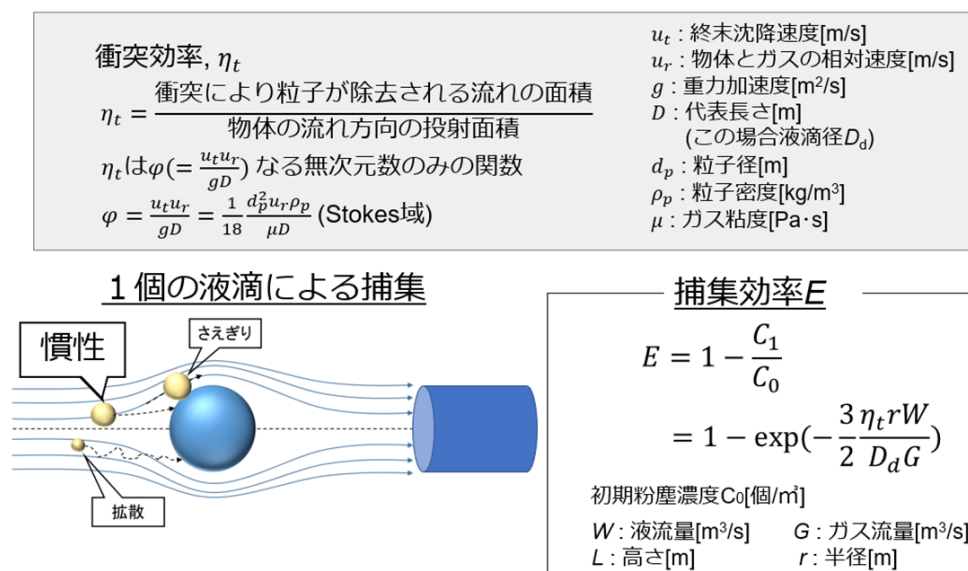
図表 5 大気中微粒子の粒子径分布

3. 独創性

水を使う湿式粉体回収装置は各種存在しており、慣性衝突、拡散、さえぎりによる機構を利用したものである。中でも効果的と言われている、慣性衝突を利用した集塵装置であれば粗大粒子はほぼ回収することが可能とされ、以下のようにスクラバ理論も存在する（図表 6）。

ただ、1 μm 以下の微小粒子を回収するには高いエネルギーを必要とするため、粒子速度を上げる必要があり、その方法として高出力ブロワや送風機やポンプ等の使用が必要となる。また、エネルギーの上昇とともに圧力損失も上昇し目詰まりしてしまう問題点があった。

本装置は、当社が独自開発した HIM システムにより、低エネルギーで粉体と微細な水滴を超高速で衝突させることを可能とし、粒子自身の速度を上げることも無く一般的な充填塔型湿式集塵装置と同じ低い圧力損失でありながら、1 μm 以下の微小粒子までも目詰まり無く連続的に集塵することを実現した（図表 7）。



図表 6 スクラバ理論

型式	充填塔	ロートクロン	回転噴霧	ベンチュリー	本装置
形状					
捕集可能粒子径 (μm)	>1.1	0.7~1.1	0.4~0.6	<0.1~0.4	>0.04
圧力損失 (KPa)	0.2~2.0	0.18~2.8	0.4~1.0	3.0~20.0	0.2~0.6

図表 7 本装置を含む湿式集塵装置一覧

4. 特許の有無

次のとおり、特許1件を得済み。

特許番号：第6739085号 / 名称：粉塵含有気体処理装置

5. 性能

(1) エネルギー効率

新規で湿式粉体回収装置を導入するとなった場合、方式によって差はあるもののフィルタ式で本システム同等の処理風量を確保するためには、最低限設備(ブロワ)だけでも2,000W以上は必要となる。本システムの機能を保持するのに必要な電力は現時点で400W程度であるが、今後改善を重ねることで150W以下になる可能性もあり得ると考える(図表8ss)。

(2) 処理性能

金沢大学理工研究域フロンティア工学系瀬戸章文教授協力のもと測定を実施した。実験経路は、粒子発生装置であるアトマイザー、本装置、流量調整用のポンプからなる。アトマイザーから噴霧したシリカ粒子を含む液滴を、ドライヤーの中を通過させ乾燥発生させたものを試験粒子として使用した。その試験粒子をHEPAフィルタに通過させた空気で希釈し、捕集装置前後で光散乱粒子計数装置(OPC)を用いて粒子個数濃度を計測し、下記の計算式で捕集効率を算出した。その結果、0.3 μ mの粒子で87%、0.5 μ mより大きな粒子は100%捕集されていることが確認された(図表9)。

また、実際の排ガス処理装置から排出されている粉体を使用した外部機関による試験においても、99%の除去率が確認された(図表10)。

6. 経済性

本システムは、粉体の回収において一般的に使用されるフィルタを使用していないため、目詰まりすることが無く、連続運転を必要とする工場や施設での効果が期待できる。

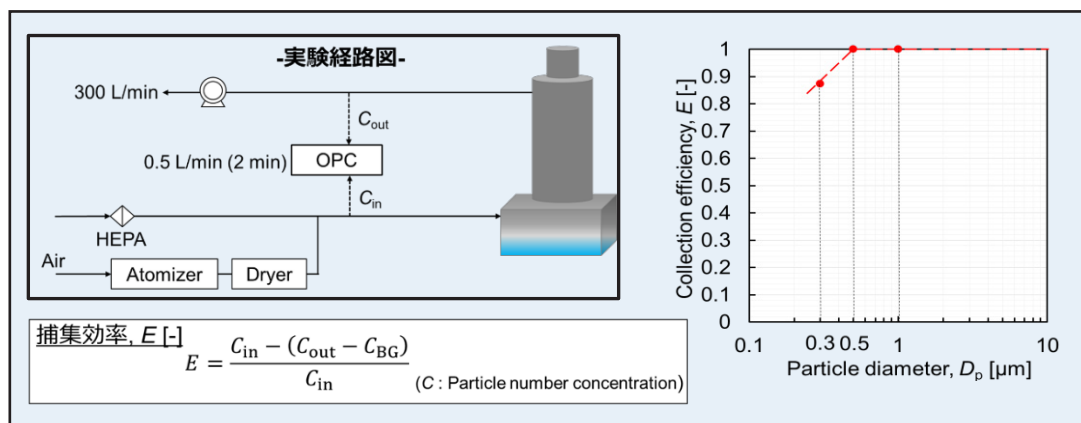
また、フィルタを使用しないため、メンテナンス性は良く、フィルタ交換にかかる費用も一切不要となり経済性を高めることが期待できる。

図表11に半導体工程における、粉体が多く発生するプロセス条件下で、粉体及びガス処理を全て自社装置で処理するのに必要な設備導入費とランニングコストの比較を示す。新システムを既存装置に組み込むため、装置自体のイニシャルコストは既存装置にフィルタを設置する改造に比べ13%高く、消費電力も4%高くなってしまいが、フィルタを使用しないため、保守費を削減することができる。なお、既存装置に取り付けるフィルタは新システムと同等の能力を持つ自社フィルタでの比較とした。

図表8 従来装置と本装置との消費電力比較

	消費電力
従来装置(フィルタ式)	1800W～2300W
本装置	400W～800W

処理風量：1m³/minで比較



図表 9 実験経路図と試験結果

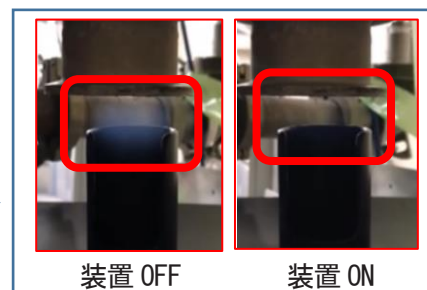
スクラバーによるダスト除去率の計算結果(平成 30 年 8 月 3 日測定)

測定場所	測定時刻	ダスト投入量 (g)	出口側ダスト量 (g)	ダスト除去率 (%)
スクラバー出口	11:56~12:26	38.4	0.6	99

備考

1: 出口側ダスト量はダスト流量×試料採取時間より算出した。

2: ダスト除去率は $(1 - (\text{出口側ダスト量} / \text{投入量})) \times 100$ より算出した。



図表 10 外部機関試験結果

図表 11 従来装置と本装置の経済性比較

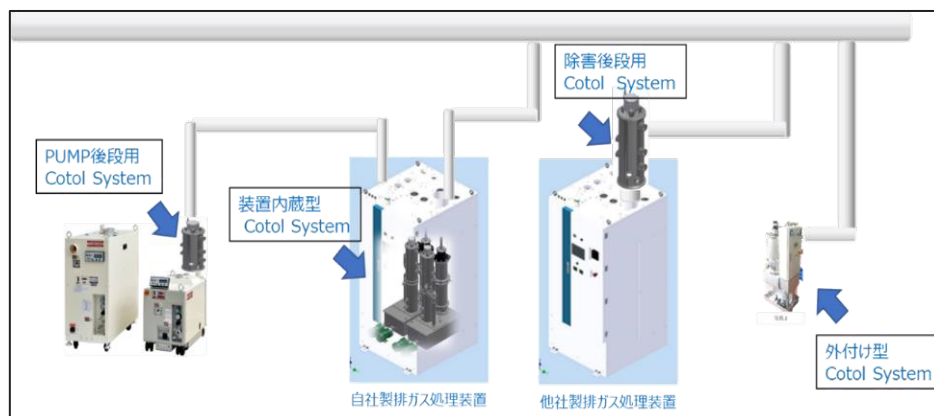
		従来装置 (装置+フィルタユニット)	本装置 (新システム内蔵装置)	従来比
イニシャルコスト (既存装置を1として)		1	1.13	13% UP
ガス処理量		200L/min	200L/min	同等
用力	消費電力	1	1.04	4% UP
	使用水量	1	1	同等
保守	フィルタ交換 (SiO ₂ :約30L処理/回)	4回	0回	100% DOWN

7. 将来性

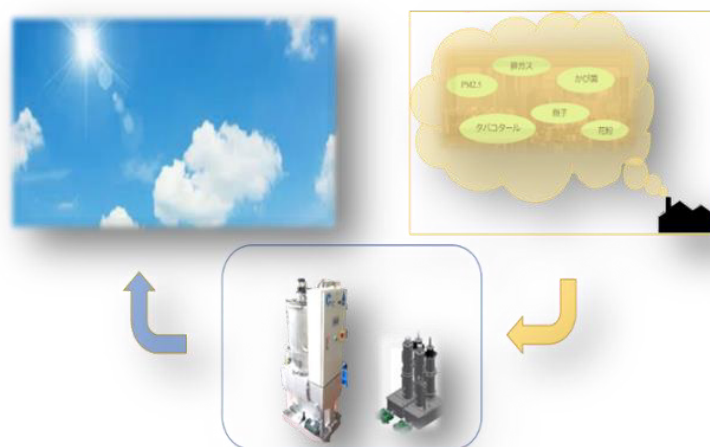
現在、本装置の主要機構を組み込んだ排ガス処理装置は、排気ガスと一緒に微小粒子（二酸化ケイ素〔SiO₂〕）を処理する目的で半導体工場に多く採用されているが、本システムであれば場所を選ばず使用できるため、半導体工場内においても更なる発展が見込まれる。（図表 12）

また、本装置は電気と水のみで機能するため、半導体工場だけでなく、金属加工、化学プロセスなどの工場や施設、火力発電所や廃棄物処理施設などのエネルギー施設にも使用でき、建設現場や土木工事現場では、作業によって発生する粉塵を除去することにも使用できる（図表 13）。そのほか、目的に応じて装置サイズを変えることができるため、装置サイズを大きくし、回転数をさらに上昇させることで、より液滴径を小さくさせ攪拌衝突速度を増すことで、集塵性能を上げることも可能となる。

その他、環境モニタリングなど粒子の捕集によって環境データを分析することにも使用でき、大気汚染や粉塵除去の課題に対処するための有力なツールとして使用できると考えられる。



図表 12 半導体工場内での使用イメージ



図表 13 他分野への展開イメージ

日本産業機械工業会会長賞 「Dual Fuel バイオガス発電システム (6EY26LDF)」 ヤンマーエネルギーシステム株式会社

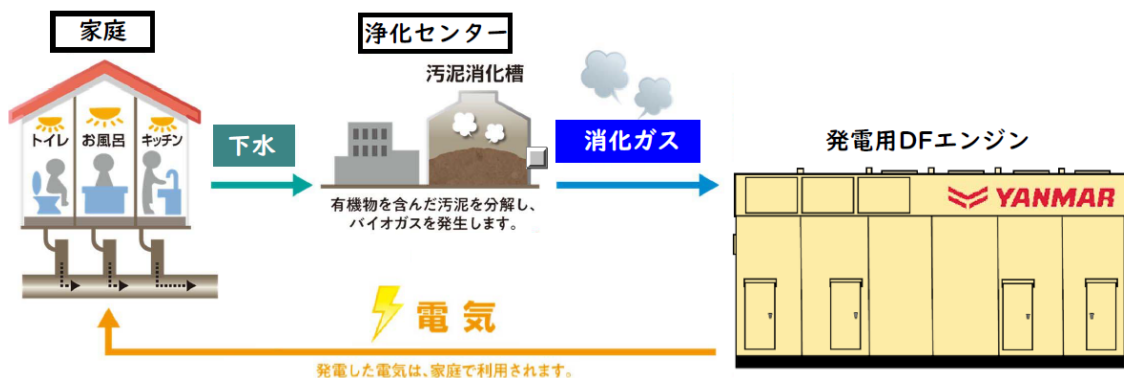
1. 装置の詳細説明

本システムは、大規模な下水処理施設や食品工場などで発生する下水汚泥や食品残渣などをメタン発酵させて得られるバイオガスを燃料として、デュアルフューエルエンジン（以下、DFエンジン）でMW級の発電を行うシステムである（図表1及び図表2参照）。

バイオガスは、下水汚泥や食品残渣から生成されるため、燃焼時に排出される二酸化炭素(CO₂)は生物由来の炭素としてカーボンニュートラルな燃料に位置づけられており、温室効果ガス(GHG)の削減に貢献する手段として注目されている。持続可能なエネルギー源であるバイオガスの有効活用は、環境問題の解決に向けた重要な対策となり得ると考えられる。

しかしながら、バイオガスは生物由来のため、ガス組成の変動が生じやすい。従来のエンジンではガス組成の変動幅を制御することが困難であり、その結果、エンジン制御対応範囲を超える変動が生じると、始動不能などの深刻な問題が発生する可能性があった。

本装置は、この課題を解決するために、DFエンジンを導入した。DFエンジンは、ディーゼル燃料とガス燃料の2種類の燃料供給系を併せ持つことを特徴としている。ディーゼル燃料のみで運転するディーゼル運転モードと、ガス燃料を主燃料とするガス運転モードの二つの運転モードが存在し、任意に切り替えて運転することが出来る。ガス運転モードでは微量のディーゼル燃料を火種（着火源）として噴射するため、ガス運転モード専用のマイクロパイロットディーゼルインジェクタを備えている。燃焼が不安定となる冷機時や始動時はディーゼル運転モードで運転し、燃焼状態が安定した後にガス運転モードに切り替える。燃料組成変動の大きいバイオガスに対して安定した運転を行うことで、その課題を解決した。図表3にDFエンジンの運転パターンの例を示す。



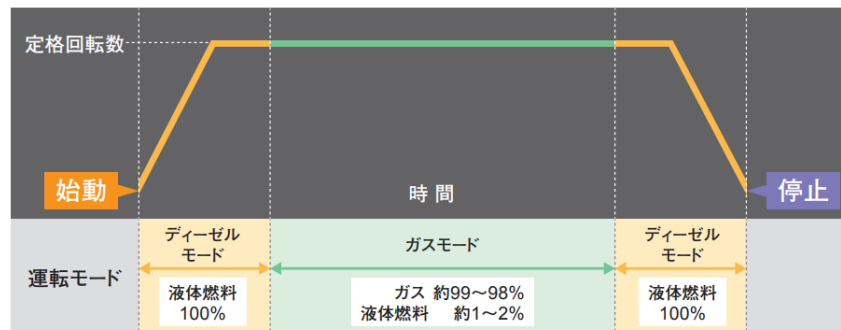
図表1 本装置の活用イメージ

図表 2 本装置の主要目

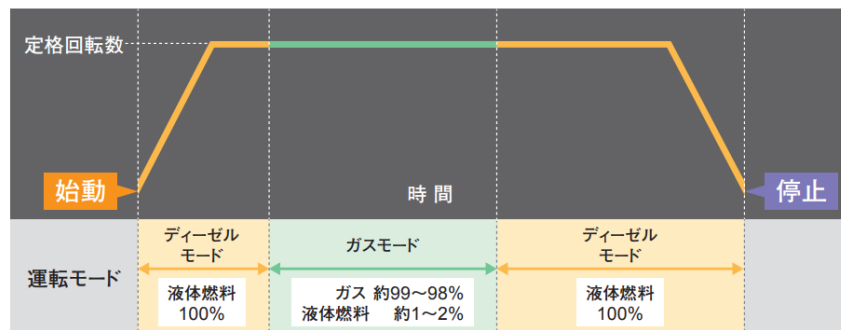
			形 式	6EY26LDF		
項 目			単 位	別置ラジエータ冷却仕様		
発 電 ユ ニ ッ ト	発 電 機	周 波 数	Hz	50	60	
		定 格 出 力	kW	990		
		形 式	—	ブラシレス三相交流同期発電機		
		電 圧	V	6600（3300、440、400、220、200）		
		極 数	P	8	10	
	エ ン ジ ン	力 率	—	0.8（遅れ）		
		定 格 出 力	kW	1075		
		形 式	—	立形直列水冷 4 サイクル デュアルフェューエルエンジン		
		シリンダ数	—	6		
		内径 × 行程	mm	Φ260 × 385		
		回 転 数	min ⁻¹	750	720	
		回 転 方 向	—	出力軸（ハズミ車）より見て右		
		使用燃料	ディーゼルモード	—	A重油（JIS1種2号相当以上、セタン指数≥45） 軽油（JIS2号相当以上、セタン指数≥45）	
			ガスモード	主燃料	バイオガス CH ₄ 濃度：50～65%、水分≤100ppm、硫化水素≤10ppm、シロキサン≤0.1ppm 供給圧力0.4MPa以上（0.4MPa未満の場合はガス圧縮機が必要です）	
				副燃料	A重油（JIS1種2号相当以上、セタン指数≥45） 軽油（JIS2号相当以上、セタン指数≥45）	
		潤 滑 油	—	APIサービス分類 CD級		
		始 動 方 式	—	エアモータ式		
		燃 焼 方 式	—	直接噴射方式（ディーゼルモード）／希薄燃焼パイロット着火方式（ガスモード）		
		潤 滑 方 式	—	歯車ポンプによる自動注油式		
		冷 却 方 式	—	別置電動ポンプによる強制循環清水冷却式		
		過 給 方 式	—	排気ガスタービン（空気冷却器付）		
		大気汚染防止法	—	適用		
		発電ユニット質量（水、油含）			kg	37500（エンジン＋発電機＋共通台床）

■ 運転イメージ

通常運転時



通常運転時、
ガス供給に支障が
発生した場合



ガス供給に支障が発生した場合、瞬時にディーゼルモードへ切替

図表 3 本装置の運転イメージ

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

これまで弊社になかった 1MW 級のバイオガスラインナップに加えることを早期に実施すべく、既に実績のある船用補機の転用化を図り開発を完了させた。

1) 開発目標

- ① 耐久性
- ② 燃焼安定性の確保
- ③ バイオガス熱量低下や供給量不足時（大規模長時間停電時）でも継続した定格出力運転可能な装置

2) 開発日程

2020 年 6 月	開発要望書提出、審議
2020 年 12 月	単気筒エンジンによる試験開始
2021 年 5 月	商品化開始
2022 年 11 月	第 1 号機納入

(2) 共同開発

本装置は、ヤンマーエネルギーシステム株式会社とヤンマーパワーテクノロジ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。

- ・ヤンマーエネルギーシステム株式会社：
開発要望、システム設計、受注、納入、工事、試運転
- ・ヤンマーパワーテクノロジー株式会社：
特殊仕様審議会、試験、商品化審査会、付帯システム設計、製作

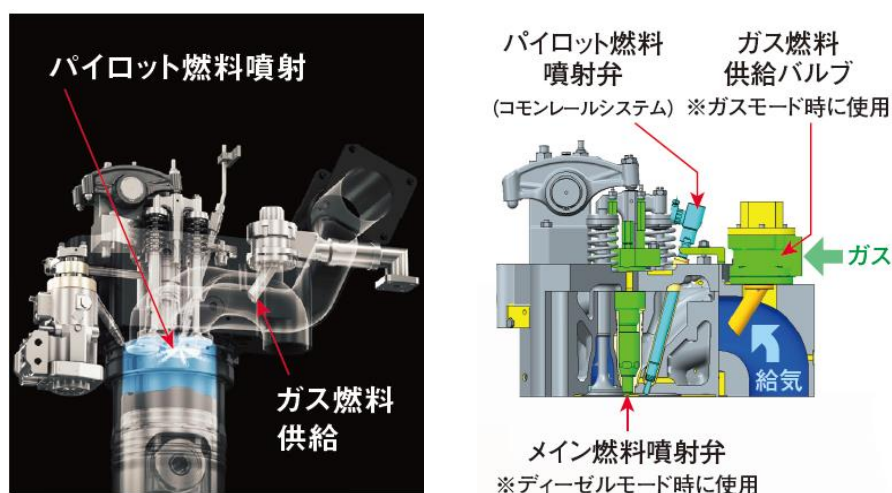
3. 独創性

(1) パイロット噴射弁の採用

本装置ならではの特征として、これまでは着火に点火プラグを採用していたが、液体燃料をパイロット化し着火する仕組みを採用した（図表 4）。パイロット燃料噴射によるディーゼル着火は、ガス燃料への強力な着火性を有し、燃焼機能を安定させている。

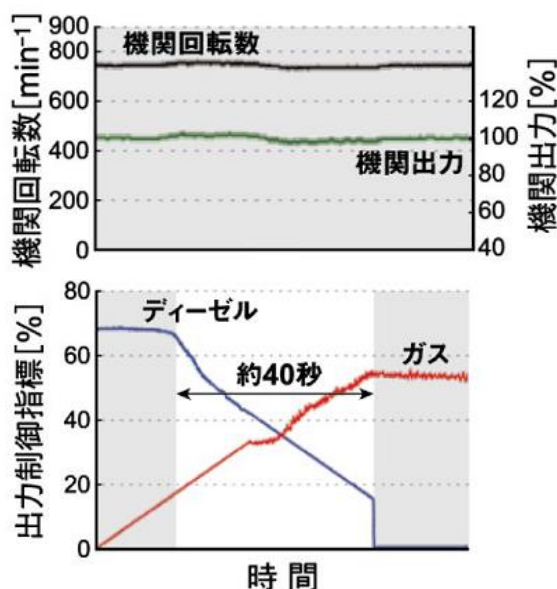
(2) 燃料切替え機能

本装置には、ディーゼル燃料とガス燃料の 2 つの燃料を使い分けて運転することが可能であり、出力などに制限がなくディーゼルモードからガスモードへの切替えが可能である。（図表 5）



図表 4 ディーゼルエンジン内部

◎ディーゼル▶ガス切替時



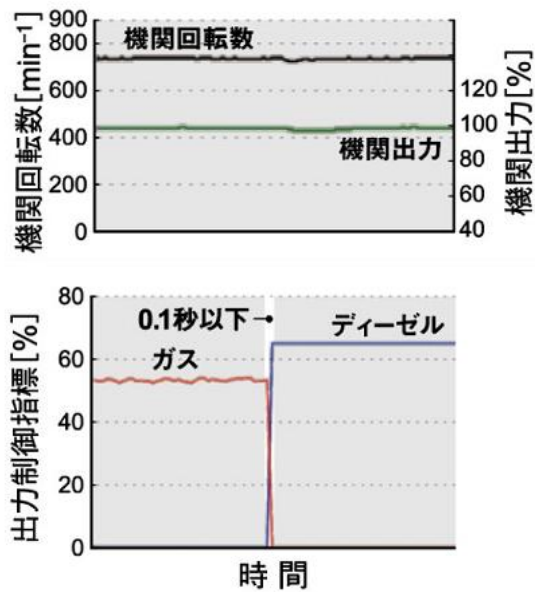
図表 5 燃料切替時の機関回転数及び出力制御

また緊急時（災害時など）にはガスモードからディーゼルモードへ安全かつ瞬時に出力などを制限することなく移行することができる。（図表 6）

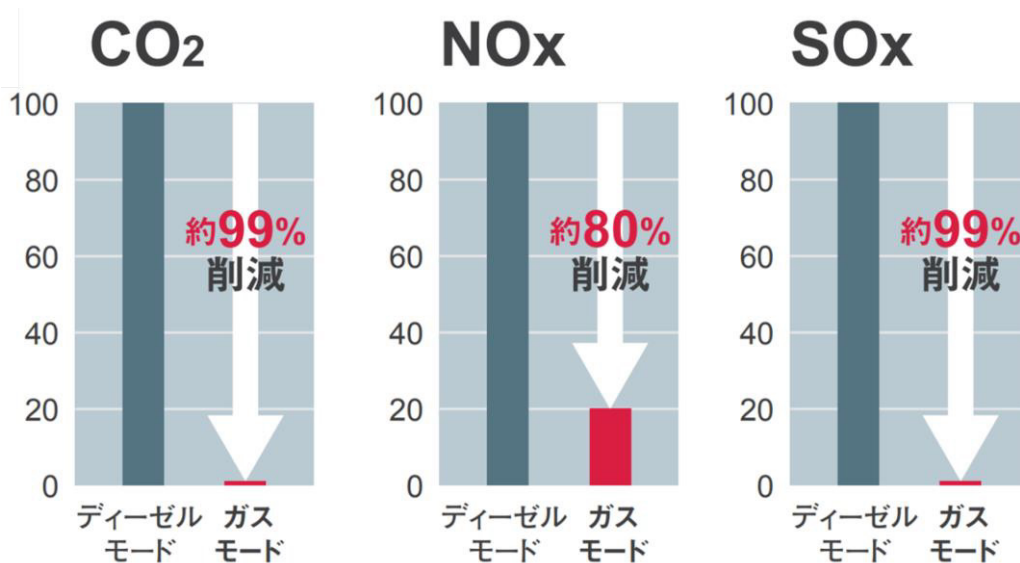
（3）環境負荷低減に貢献

ガス運転モードはディーゼルエンジンモードと比べ、CO₂を 98～99%、NO_xを 75～80%、SO_xを 98～99%低減することができる（図表 7）。

◎ガス▶ディーゼル緊急切替時



図表 6 緊急切替時の機関回転数と出力制御



図表 7 ディーゼル運転モードを 100 とした時のガス運転モードの各排出量
(6EY26LDF 冷却塔仕様の場合)

4. 特許

なし

5. 性能

(1) DF バイオガス性能

本システムの耐久性に関しては、「安定した運転で故障しにくいこと」と「ガス運転継続不能時でも運転が可能」という点である。起動性能としてディーゼルエンジンによる始動のため、気温・湿度などの環境による影響を受けず、どのような環境でも始動ができる。またパイロット噴射によるディーゼル着火は、ガス燃料への強力な着火性を有し、安定した燃焼性能を実現するため、始動させる際の始動不能や燃焼の不安定性などのトラブルが少ないことは高い耐久性を持っているといえる。

災害時などによりガス運転継続不能な状況では、瞬時にディーゼルモードに切替えし、発電電力を確保することができる。すなわちエンジン出力を低下させることなく発電出力を維持することができるといえる。

さらにディーゼルモードの他にも混焼モードでの運転継続が可能である。ディーゼル燃料とガス燃料の両方を同時に使うことで、ガス燃料の不足時であっても、ディーゼル燃料の不足時であってもいずれかの燃料配分を制御して対応することが可能である。これまでバイオガス発生量によって出力が制限されたり、エンジンでの使用困難な際にフレアスタックによる余剰燃焼を行ってきたが、バイオガスの有効かつ継続的な消費が可能になった。

(2) 従来の点火プラグ方式から見た DF 機の優位性

従来の点火プラグ方式と比べ DF 機のエンジンの優位性を図表 8 に示す。

図表 8 性能等比較表

項目	本システム	スパークインジェクション バイオガス仕様
起動性能	○：ディーゼルエンジンによる正確な始動	×：熱量および季節(気温、湿度) 変動の影響により、軌道不能に至る可能性あり
発電端効率	○：中速によるメカロス小 ➡大ボアによる体積効率高	×：高速の為メカロス大 ➡小ボアにより体積効率小
発熱量変動による 燃焼安定性	○：高エネルギー点火による着火及び燃焼 安定性の改善が可能	×：スパークプラグ点火エネルギー限界による 燃焼安定性改善が困難
ガス運転 継続不能時	○：①ディーゼルモードによる運転継続 ➡発電電力確保が可能 ②混焼モードで運転継続 ➡バイオガスの継続的な消費可能	×：エンジン重故障 ※複数台設置の場合は、スタンバイ機起動 ※エンジン起動ができない場合、バイオガス燃焼器 によって焼却

6. 経済性

パイロット着火方式の特徴は、従来の点火プラグでの着火に替えパイロットインジェクタから微量の液体燃料を噴射し、筒内のガスへ着火させることである。パイロット燃料は微量であるが点火プラグに対して約 8,000 倍という強力な着火エネルギーを有するため、確実な着火性に加え、燃焼が安定し、効率が向上する。パイロット着火用燃料弁は、点火プラグの寿命が 1,000 ～2,000 時間であるのに対し、約 6,000 時間のメンテナンスで対応可能である。これにより、点火プラグの交換費用が掛からないため、メンテナンス費用を大幅に削減できる（図表 9）。

イニシャルコストが従来設備と比べて高額だが、確実な着火による発電機会損失削減や発電機効率向上により 10～15 年でコスト回収を目指す。

7. 将来性

当社には同型式で気筒数の異なるエンジンがあり、またシリンダボアが 220mm のものもある。これらの DF 化も短期間に開発できるものと考えており、販路拡大を目指していきたい。

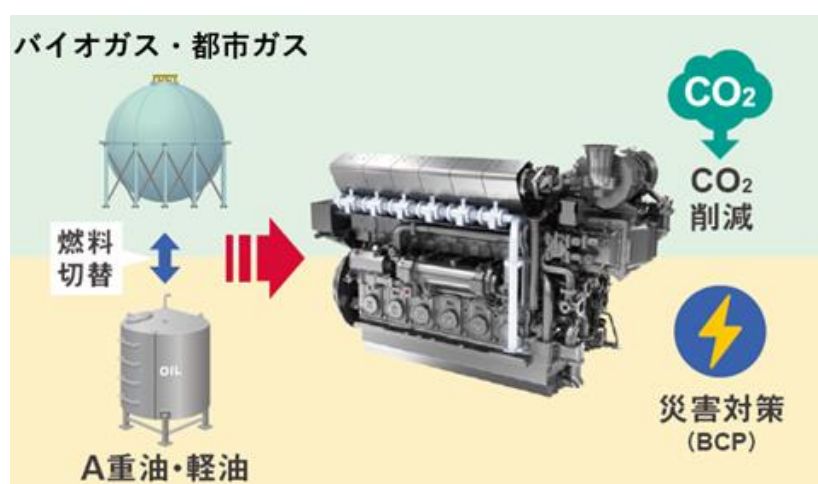
さらに事業継続計画（BCP）や停電災害時に、都市ガス入手困難な場合でもエンジンを駆動させることが可能であることから、バイオガス燃料だけでなく新たな市場での普及を目指せると考えている（図表 10）。

図表 9 従来システムと本システムの経済性比較（年間 4,000 時間稼働）

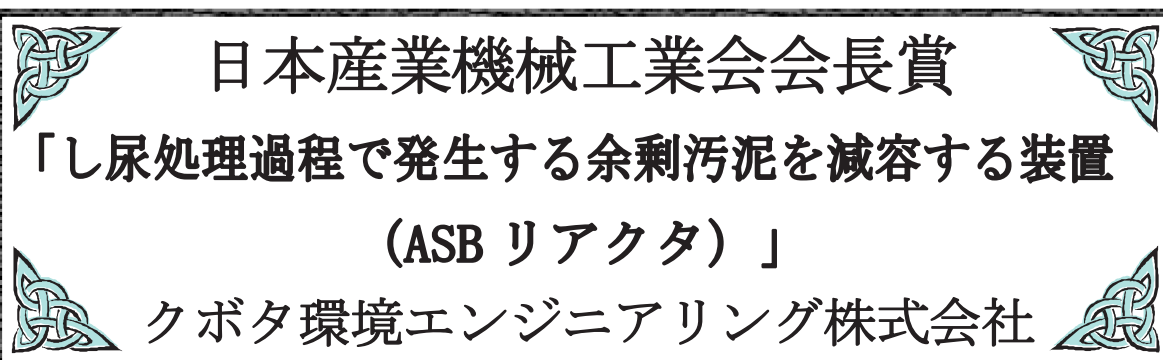
	従来システム (火花点火式ガスエンジン)	本システム (デュアルフューエルエンジン)
売電料金	100	119
燃料費	100	79
ランニングコスト	100	60

※燃料ガス（消化ガス）：80 円/m³N、液体燃料（A 重油）：70 円/L、売電：39 円/kWh とする。

※システム毎に消化ガス消費量が異なるため同量換算とした。



図表 10 本システムの運用イメージ



1. 装置の詳細説明

(1) ASB システム

ASB システムは、し尿処理分野で開発された水処理システムである。腐植物質と天然ミネラルを水処理系に供給することで、土壌微生物を活性化させ、余剰汚泥削減の効果を引き出すことができる（余剰汚泥削減以外の効果として、臭気低減、汚泥の改質等〔沈降性・脱水性の向上〕もある）。

(2) ASB リアクタ

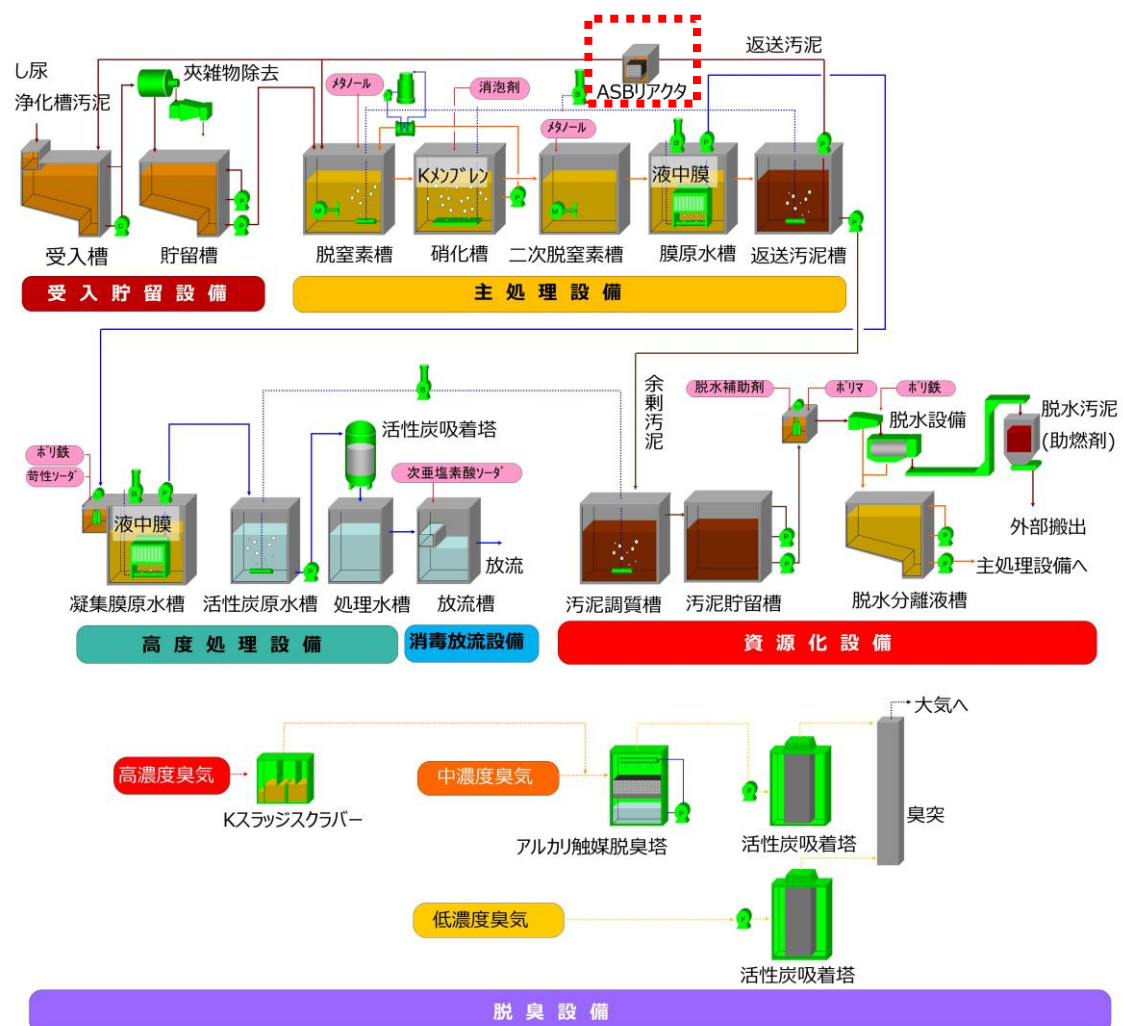
ASB システムでは、し尿処理の返送汚泥ラインに腐植物質と天然ミネラルを充填した ASB リアクタ（以下、本装置）を設置する。図表 1 に本装置、図表 2 に ASB システムフローを示す。

本装置に活性汚泥を循環・供給することで、土壌微生物の活性を促す。従来方式である槽内型リアクタは民間の排水処理で利用される際に、生物処理水槽内に浸漬されていた。民間の排水処理施設の多くは水槽上部を開放した設計となっているが、し尿処理施設（汚泥再生処理センター）では、悪臭防止の観点から生物処理槽や固液分離槽の各処理槽が密閉状態に維持される。密閉水槽はメンテナンス用の小さな蓋が設けられるに過ぎないため、定期整備のためのリアクタの出し入れが困難であった。そこで我々は、し尿処理施設での適応を検討し、メンテナンス性を考慮した槽外型リアクタを開発した。

開発時の問題は、本装置への繊維分の混入であった。し尿処理施設では、搬入物に含まれるトイレットペーパー等のし渣が処理系に流入する。前処理設備で、し渣の大半は除去されるが、溶解した繊維分の一部が生物処理槽に流入する。繊維分がリアクタに混入すると、活性汚泥と腐植物質、天然ミネラルの接触効率が低下し、ASB システムの効果を十分に発揮できないことが懸念された。そこで、本装置では 2 種類の繊維分の混入防止機構を開発した。これらを設けることで、さらにメンテナンス性が向上し、ASB システムの安定化を実現した。



図表 1 本装置



図表 2 ASB システムフロー

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

近年、地球温暖化の進行に伴い、災害が頻発・激甚化しているため、あらゆる分野で温室効果ガス排出量削減に関する取組が必要となっている。し尿処理分野でも 2010 年に温室効果ガス排出量を削減する基幹的設備改良事業が交付金対象となったことから、温室効果ガス排出削減に関する技術のニーズが高まっていた。

し尿処理では、水処理方法として活性汚泥法が広く利用されている。活性汚泥法（図表 3）は、自然発生的に生育した微生物群を利用して有機汚濁物質を分解、除去する優れた水処理方法である。しかしながら、活性汚泥法の残渣である余剰汚泥は廃棄物であり、処理費用が発生するだけでなく、処分時に温室効果ガスを排出する要因となっていた。

一方、活性汚泥法を利用した他の有機性排水処理の分野では、30 年ほど前から活性汚泥中の *Bacillus* 属細菌等を活性化することにより、従来の活性汚泥法に比べて有機性汚濁物質の分解・除去能の向上、汚泥発生量の低減、臭気の抑制などの効果を発現できることが報告されていた。そこで、当社では、この活性汚泥中の *Bacillus* 属細菌等を活性化する技術に着目し、し尿処理分野へ適応できるよう、ASB システムの開発に着手した（図表 4）。

2011 年	槽内型リアクタによる実証試験開始
2013 年	本装置（槽外型リアクタ）による実証試験
2014 年	一般財団法人日本環境衛生センター 廃棄物処理技術検証事業 第 8 号取得
2017 年	第 1 号機納入

(2) 共同開発

なし

(3) 技術導入

本装置の開発にあたり、A 社の腐植物質と天然ミネラルを水処理系に供給する排水処理システムをし尿処理向けに導入・開発した。その後、当社において、リアクタを水槽外に設置する方式を採用し、繊維分による閉塞防止機構に関する開発を行った。これらの技術開発により、メンテナンス性能を向上させることができた。



図表 3 活性汚泥法の特徴



図表 4 ASB システムの特徴

3. 独創性

(1) ASB システムのし尿処理への適応

A 社から導入した排水処理システムのし尿処理への適応性を検証した。検証結果は、(一財)日本環境衛生センターの廃棄物処理技術検証事業(以下、技術検証という)により、し尿処理の有識者からなる評価委員会で評価された。技術検証では、ASB システムが汚泥再生処理センター性能指針(水処理設備)における放流水質の性状を満足すると同時に、「汚泥発生量の減少」、「汚泥沈降性の改善」、「汚泥脱水性の向上」、「高濃度臭気の低減」の特徴を有することが認められた。ASB システムは当社の独自技術であり、し尿処理分野で認知されている。

(2) 優れたメンテナンス性

従来の槽内型リアクタは、以下の問題があった。

- 1) リアクタ表面に繊維分が付着し、閉塞する。
- 2) 上記対策のための清掃、日常点検や定期整備時にリアクタ引き上げ作業が必要である。
- 3) 引き上げたリアクタを整備する仮置きスペースが必要である。

本装置は水処理設備の返送汚泥配管中に設置する槽外型の装置とすることで、メンテナンス性を向上させた。

(3) 繊維分の閉塞防止機構

リアクタ内部の ASB ミネラル・ASB ペレットを充填した充填室は、パンチング構造となっており、これが繊維分により閉塞すると、充填剤と汚泥の接触効率が悪くなる。これを解決するために、以下 2 つの繊維分閉塞防止機構を開発した。

1) 繊維分フィルタ自動逆洗機構

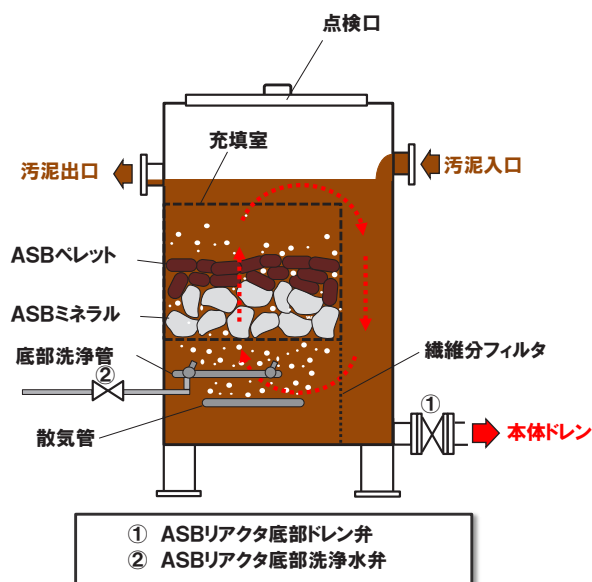
図表 5 は、繊維分フィルタ自動逆洗機構を備えた ASB リアクタである。(以下、本装置タイプ 1 とする。)

本リアクタ内部では、散気により旋廻流が生じている。

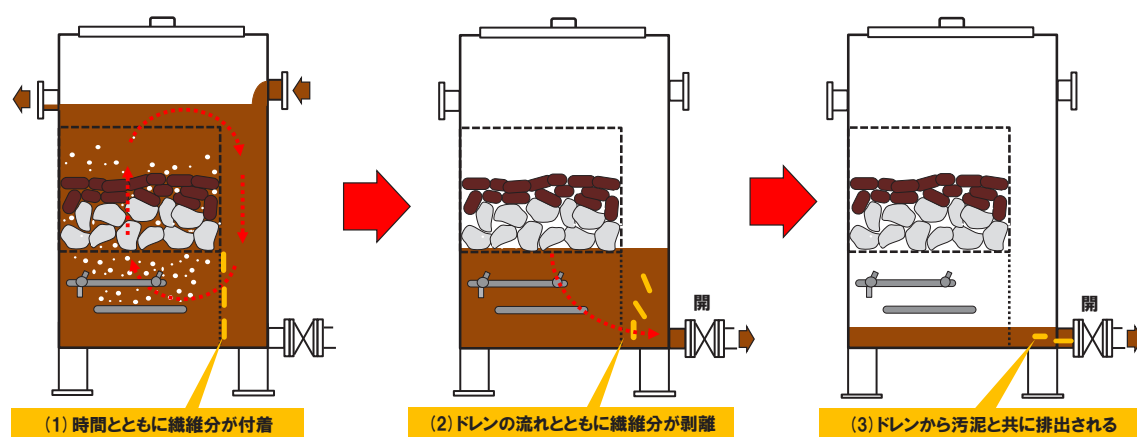
リアクタ内に汚泥が供給され続けると、図表 6(1)のように、繊維分フィルタ部に徐々に繊維分が付着していく。繊維分による閉塞を防止するため、定期的に本装置の底部ドレン弁を開き、

本体内部の汚泥をドレン（排水）する。このドレン弁が開くと、図表 6(2)のように、排水される液の流れとともに繊維分フィルタに付着した繊維分が剥離・逆洗される。最後に液とともに繊維分が装置より排出されることで本装置内の繊維分を除去することができる（図表 6(3)）。

（特許第 6253442）



図表 5 本装置タイプ 1

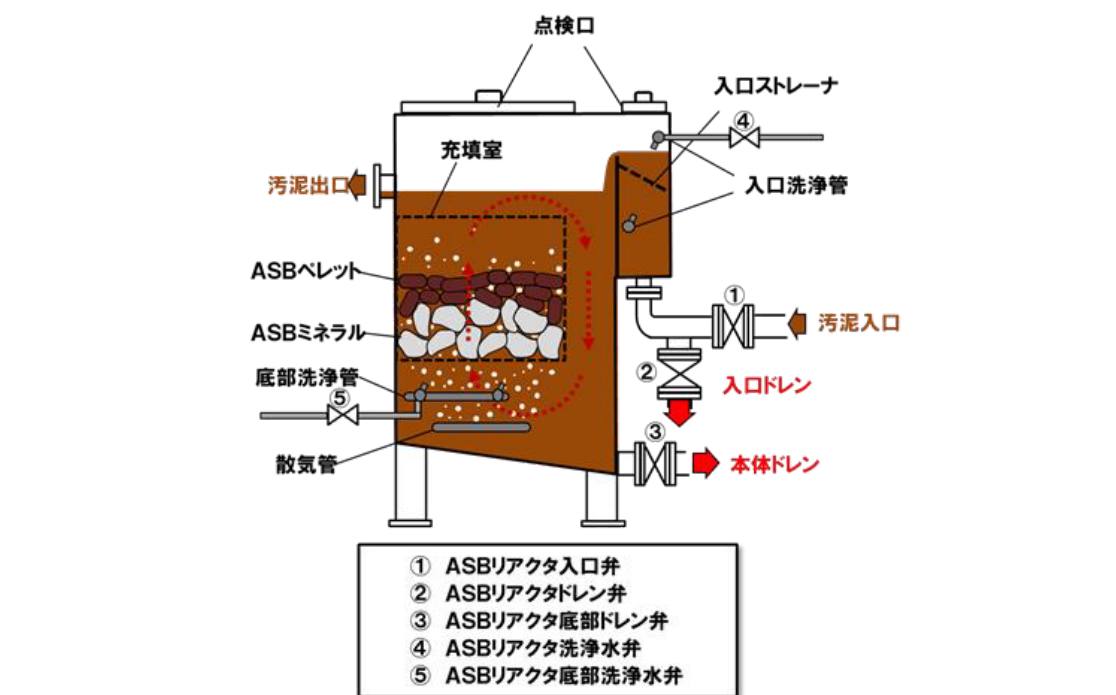


図表 6 繊維分の自動洗浄機構

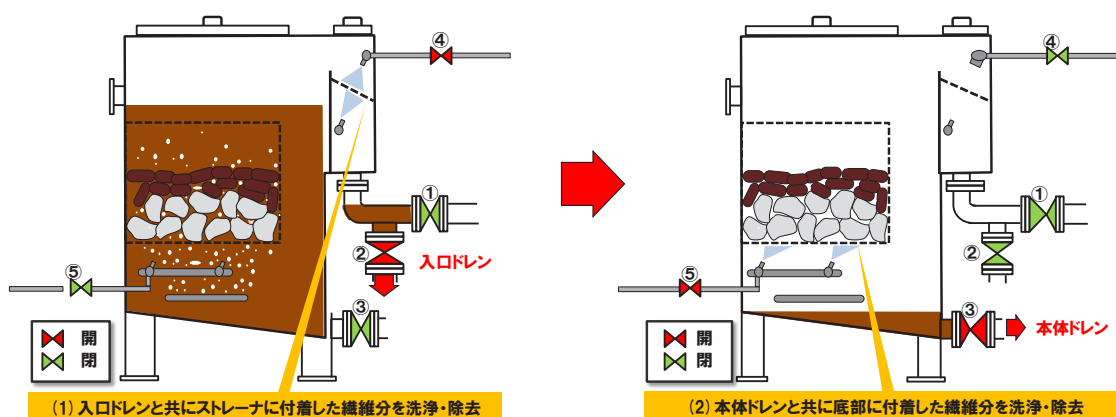
2) 流入口での繊維分除去機構

図表 7 は、入口に繊維分除去機構を備えた ASB リアクタである（以下、本装置タイプ 2 とする）。本リアクタは、入りロストレーナ部でリアクタに流入する繊維分を除去する機構を有する。入口部を定期的に洗浄・ドレンすることで、リアクタ内への繊維分の流入を防止・排出する。また本体ドレンを定期的に行い、底部洗浄することで充填部の繊維分付着を防止・排出する（図表 8）。（特許第 6505545）

近年では、入りロストレーナの代わりに、繊維分を受ける簾を設けて定期的に除去するタイプも設置されている。



図表 7 本装置タイプ 2



図表 8 流入口での繊維分除去機構

4. 特許の有無

次のとおり、特許 2 件を取得済み。

特許番号：第 6253442 号 / 名称：生物処理用リアクター、水処理設備、及び生物処理用リアクターの運転方法

特許番号：第 6505545 号 / 名称：生物処理用リアクター、生物用リアクターの運転方法及び水処理設備

5. 性能

(1) 処理性能

本装置と槽内型リアクタの ASB システム導入による汚泥削減率の比較をすると、汚泥削減率は、本装置において 38.6%、槽内型リアクタで 34.5%であった。この結果から、本装置の処理性能は従来方式と同等以上であることを確認した。

(2) 耐久性・安全性

槽内型リアクタと比較して本装置の耐久性は同等である。リアクタの参考耐用年数は 7～10 年である。また、槽外型とすることにより、引き上げ点検の際の開口作業が無くなり、安全性は大幅に向上した。

(3) 運転性・操作性

本装置は槽内型リアクタと比較し、補器類の追加はなく、運転性・操作性は同等である。

(4) 維持管理性

1) 繊維分自動洗浄機構による維持管理性の向上

従来の槽内型リアクタの場合、水槽に混入した繊維分が、リアクタ表面に付着し、活性汚泥と腐植物質、天然ミネラルが接触する効率を低下させる原因となっていた。本装置は、前述の繊維分フィルタ自動逆洗機構や流入口での繊維分除去機構により繊維分を効果的に除去・排出できるため、維持管理性は向上している。

2) 槽外型構造による定期点検の維持管理性向上

本装置の定期整備頻度は年間 1～2 回である。定期点検の主な内容は、腐植物質および天然ミネラルの補充である。従来の槽内型リアクタでは、点検の際に、リアクタの引き上げ作業が必要であった（図表 10）が、本装置では、引き上げ作業が不要である（図表 11）。また、本装置は槽外型であるため、日常の目視点検や清掃も可能となり、維持管理性は大幅に向上した。



大きな開口での吊り作業

図表 9 槽内型リアクタの引き揚げ作業（左）と点検作業（右）



図表 10 槽外型リアクタの点検作業

6. 経済性

本装置の導入による経済性をイニシャルコスト、ランニングコスト、回収年数の観点で評価した（図表 11）。その結果、イニシャルコストは 1,180 万円、ランニングコストは年間 300 万円削減と試算され、約 3.9 年の運用でイニシャルコストを回収できる。本装置の耐用年数である 10 年運用した場合、試算規模（45kL/日）でイニシャルコストを回収しても、なお、約 1,800 万円のコストダウンが見込まれる。また、従来装置と比較した場合、処理性能が同等であるため、経済性は同等と考えられる。

7. 将来性

日本の人口減少が進む中で、し尿処理施設数も緩やかに減少していくことが予想されている。一方で、下水処理施設が整備されていない農・山・漁村等の中小規模自治体で一定のニーズが残る。全国の地方自治体において、税収の縮減により廃棄物処理行政への予算確保が困難なっていることから、本装置を導入し、経済的なし尿処理施設の運用に貢献していく。

また、本装置の余剰汚泥削減効果により、汚泥の焼却処分量の低減や脱水設備に関する薬品使用量削減により、CO₂ 排出量を削減できる。本装置は、2050 年カーボンニュートラル達成に貢献できる技術であると考えている。

8. その他（SDGs への貢献）

本装置は、し尿処理施設において、水処理を効率的に行い水質汚濁防止に貢献するだけでなく、発生する余剰汚泥の削減や臭気低減により、CO₂排出量の削減・持続可能な社会形成に貢献できる（図表 12）。今後も持続可能な社会の形成、カーボンニュートラル達成に向け、当社は、社会に貢献できる装置・技術の開発に努めていく。

図表 11 本装置導入による経済性評価^{※1}

項目	単位	未導入	本装置導入	増減
イニシャルコスト	万円	0	1,180	1,180
ランニングコスト	万円/年	1,250	950	-300
1. ASBリアクタ整備費 ^{※2}	万円/年	0	70	70
2. 電気代	万円/年	0	40	40
3. 脱水汚泥処分費	万円/年	840	540	-300
4. 脱水無機凝集剤費	万円/年	220	160	-60
5. 脱水高分子凝集剤費	万円/年	190	140	-50
イニシャルコスト回収年数	年	3.9		

※1 し尿：浄化槽汚泥＝1：1、45kL/日処理の場合

※2 充填剤の交換を含む

図表 12 ASB システム・ASB リアクタの該当 SDGs

SDGs	項目
 9 産業と技術革新の基盤をつくろう	9.4 環境に配慮した技術・産業プロセスの導入によるインフラ改良・産業改善
 12 つくる責任 つかう責任	12.5 廃棄物の発生防止、再利用の実施

日本産業機械工業会会長賞 「多重板型スクリープレス汚泥脱水機 （ヴァルードデュオ）」 アムコン株式会社

1. 装置の詳細説明

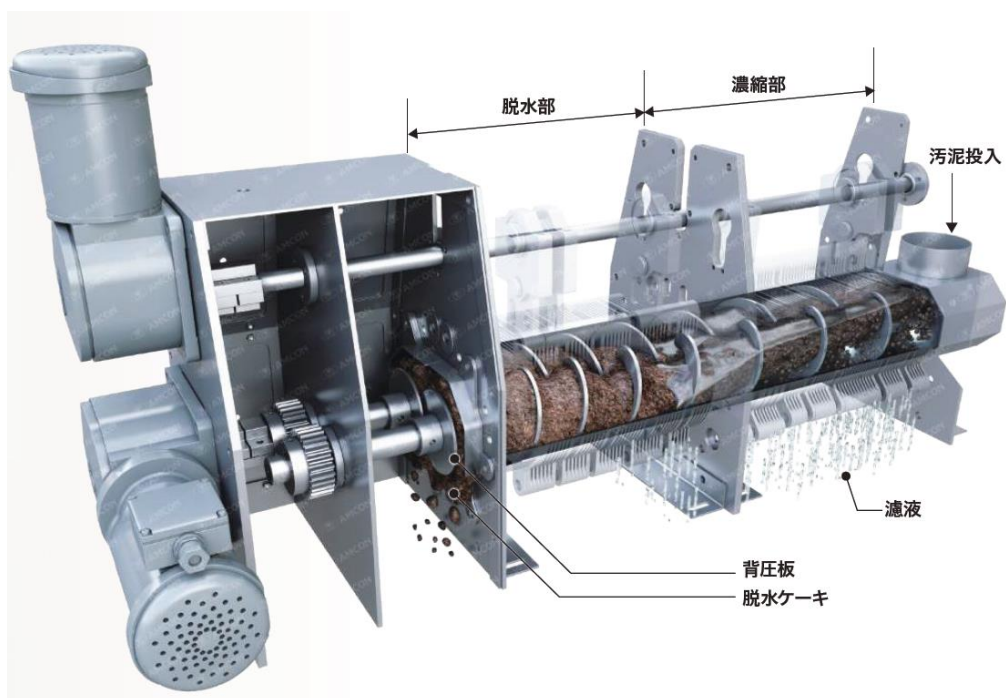
本装置（ヴァルードデュオ）は、下水処理や工業生産過程などで発生する汚泥から水分を絞り脱水する装置である。図表 1 及び図表 2 に、そのろ過体の外観と構成を示す。ろ過体は、固定したリング（固定リング）と上下に動くリング（可動リング）とが隙間を保って交互に積層しており、そこに汚泥の搬送と圧密を担うスクリーを 2 本通した構造となっている。スクリーの回転とともに汚泥を排出側に搬送し、背圧板の効果によって圧力がかかり脱水を行う。その詳細の処理フローを図表 3 に示す。

- （1）汚泥貯留槽から送られてきた汚泥を、配管内に搭載されたインラインミキサーで高分子凝集剤と反応させる。
- （2）そこからさらに凝集混和タンクで攪拌混合をすることで、効率的な脱水をするために適当なブロック（汚泥が凝集剤によりかたまりにまとめられた状態）を形成させる。
- （3）ブロック状となった汚泥はシリンダーユニットに送られ、まず前段の濃縮部で重力により多くの水分を抜く。後段の脱水部で内圧を高めて脱水が行われる。
- （4）脱水された汚泥は、背圧版によって出口側から更に圧力が加えられ、含水率約 60～85% 程度の脱水ケーキとして排出される。

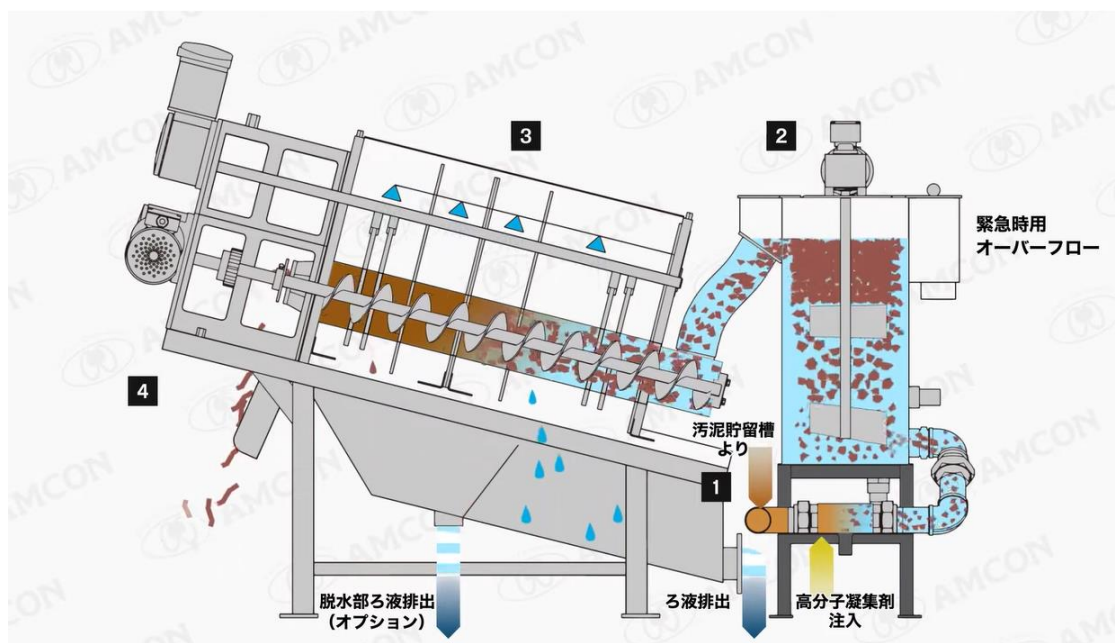
1 本のシリンダーに 2 本のスクリーを通す構造を用いた脱水機は、従来品と比較して消耗品コストの大幅な削減や脱水性能減衰を減らすこと、従来では対応が難しかった汚泥種へも対応が可能となった。



図表 1 シリンダーユニット断面図



図表 2 シリンダーユニット全景



インラインミキサー



凝集混和タンク



シリンダーユニット



脱水ケーキ排出口

図表 3 機内処理模式図

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

2017 年当時、従来モデルの発表から 30 年近くが経過しており、抱えていた製品課題、特に 1) 消耗品交換コストが高い、2) 経年劣化による脱水性能の減衰、3) 繊維質や無機分の多い詰まりやすい汚泥への対応難、これらの解決もコンセプトと設定して、下記の経緯のとおり、開発プロジェクトを開始した。

2017 年	開発プロジェクト始動
2018 年～2020 年	試作機による実証試験
2021 年	製品発売開始
2022 年	第 1 号機納入

(2) 共同開発

なし

(3) 技術導入

なし

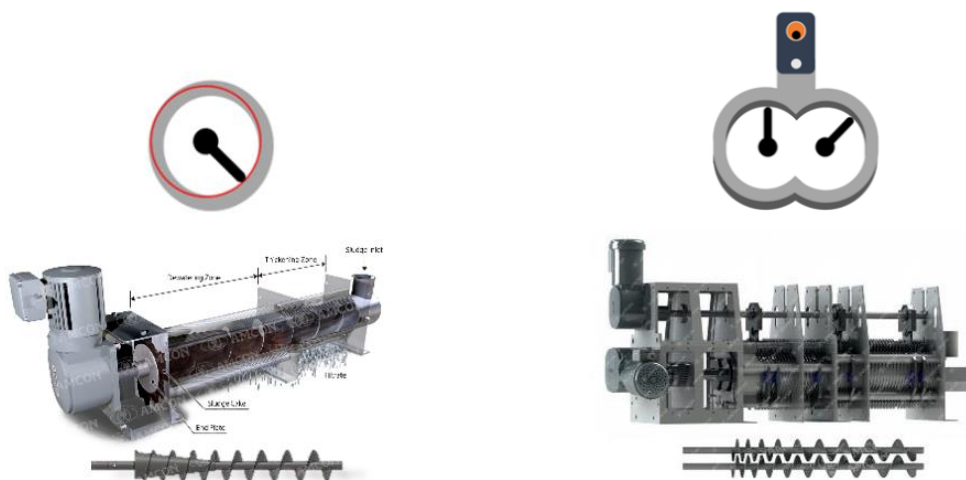
3. 独創性

(1) 製品の長寿命化

従来モデルは、リングとスクリューが物理的に接触するため、長期間運転するとやがて消耗してしまう部品であった。しかし、図表 1 のとおり、リング上部に外部駆動シャフトを設けることにより、可動リングとスクリューの寿命を飛躍的に改善した。図表 4 にその動作原理のイメージを示す。従来製品（左）については、灰色で示すリングが赤い円上においてスクリューと接触をしている一方、本装置（右）は外部駆動シャフトがスクリューの回転に合わせてリングをわずかに持ち上げるような動作する。これによりリングとスクリューとの物理的接触が皆無となり、結果として部品の長寿命化はもちろん、消耗による脱水性能の減衰を極小化、長期間にわたって脱水性能を維持することができる。図表 5 に示すとおり、交換部品コストは、当社従来モデルと比較して約 52%の削減を達成した。

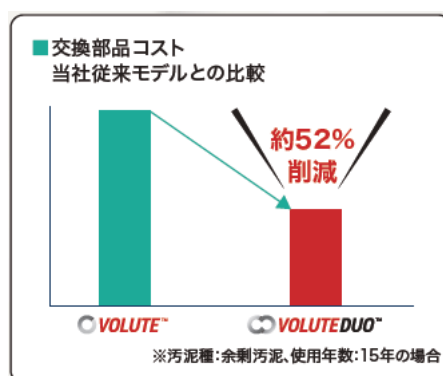
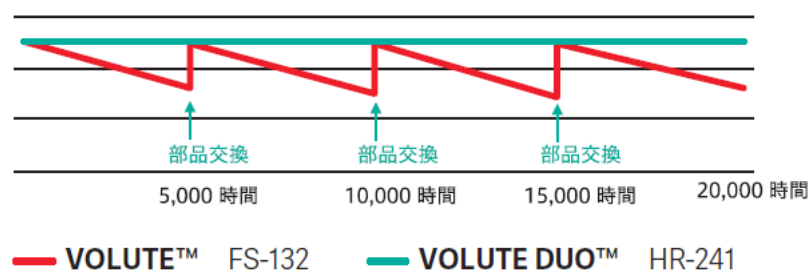
(2) あらゆる汚泥種への対応

ろ過体を構成する可動リングが目詰まりを防止するセルフクリーニング機構となっている本装置や従来装置は、ベルトプレスや遠心脱水機では目詰まりしやすい含油率の高い汚泥の脱水にも対応している。さらに、一つのろ過体内にスクリューを 2 本搭載することで、従来モデルでは十分な脱水が難しかった繊維状物質や無機分の多い汚泥でも安定した脱水性能を発揮することに成功した。ろ過体内では、2 本のスクリューがそれぞれ内側に向かって回転し、スクリューの羽が閉塞の原因となる汚泥の内部固着を砕きながら搬送することで、ろ過体が詰まりにくくなり安定した運用が可能となった。



図表 4 従来モデル（左）と本装置（右）のスクリーと可動リングの動作概念図

当社従来モデルとの比較



図表 5 交換部品コストの比較

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 6697832 号 / 名称：固液分離装置

なお、アメリカ、カナダ、中国、台湾、ヨーロッパ諸国でも同特許を取得。

5. 性能

(1) 低濃度汚泥への対応

一般的に、低濃度汚泥をそのままの状態です脱水機に投入しても十分な結果（含水率等）を得ることは困難とされており、脱水機前段の濃縮設備（濃縮槽等）にて濃縮が必要となる。しかし、本装置は汚泥の濃縮も脱水も1つのろ過体で処理する一体構造のため、TS0.2%程度（※）の低濃度汚泥であっても、脱水機の前段に濃縮設備を設けずに直接汚泥の投入が可能となる。不要となる濃縮設備と貯留設備の建設コスト・運転コスト削減に貢献する。

※TS とは、試料を蒸発乾固させた時の残留物質の重量を指す。試料中における浮遊物と溶解物の総量で、試料全体の総量との百分率（%）で表す。全蒸発残留物ともいう。

(2) 運転・操作性・維持管理性

各種センサーやタイマーを用いた自動運転制御により全自動無人運転が可能である。人手による始動や停止の操作が必要なく、省人化に貢献する。消耗品や目詰まりの少なさから日常のメンテナンス項目も少なく、特別な知識や技術がなくても直感的に操作が可能である。また、本装置のスクリーモーター電流値を常にモニタリングし、過負荷による運転停止に至ることを未然に防ぐ安定運転支援制御を搭載。スクリーモーターの負荷状況を適正值に制御し機器の稼働停止を未然に防ぐことで、継続的に安定した脱水処理を実現する。

(3) 快適な作業環境への貢献

遠心脱水機とは異なり、高速回転体を持たない本装置から発生する騒音や振動はごくわずかなものであり、快適な作業環境の確保を可能とする。周囲環境への影響を考慮した防音対策や床の振動対策工事も不要で、機械設置以外のコスト削減にも貢献する。さらにシリンダーユニットのカバーは、物体の巻き込みや汚泥の飛散を防ぎ、安全かつ衛生的な運転を可能とする。

6. 経済性

経済性の比較は、汚泥脱水機の運用上で特に重要とされるランニングコストのうち「消費電力」と「洗浄水量」に設定し、図表6にまとめる。比較対象とする機器は、数ある汚泥脱水機の処理方式の中でも主流である遠心脱水機とベルトプレス脱水機とする。

(1) 消費電力

遠心力で汚泥から水を分離させる遠心脱水機は、回転体を1分あたり数百回高速回転させるために大量の電力を消費する。加えて騒音と振動も大きい。一方、本装置のスクリーは1分間に約2～4回転という低速回転で動作するため、遠心脱水機と比較して約5分の1という極めて少ない電力消費で経済的に運用が可能である。

図表6 消費電力と洗浄水量の比較（処理量45kg-DS/hでの比較）

	消費電力[kW/h]	洗浄水量[m ³ /h]
本装置	3.05	0.08
従来装置（遠心脱水機）	14.7	2.5
従来装置（ベルトプレス脱水機）	3.5	4.6

（２）洗浄水量

洗浄水とは、「脱水機が物理的に圧力をかけて脱水するがゆえに、ろ過体自体に付着する汚泥を洗い流す為の水」のことをいう。とくに、網を掛けたローラーで汚泥に圧力をかけ脱水するベルトプレス方式では、ろ過体の目が詰まらないように常時高圧かつ大量の水で洗浄をし続けている。一方、本装置はろ過体を構成する可動リングが目詰まりを防止するセルフクリーニング機構となっているため、ベルトプレスと比較して約 57 分の 1 のシャワー洗浄での運用が可能となる。

（３）トータルライフコスト

図表 7 に汚泥脱水機の一般的な使用年数である 15 年間使用した場合のトータルコストを示す。本装置は従来装置（ベルトプレス）と比較して、インシヤルコストは高額だが、ランニングコストの低減により総合的に高い経済性を持っている。その他の方式（遠心脱水機及びスクリーンプレス脱水機）と比較しても本装置のインシヤルコストは同等かそれ以下であり、ランニングコストの優位性のため、トータルライフコストで経済性が高い。

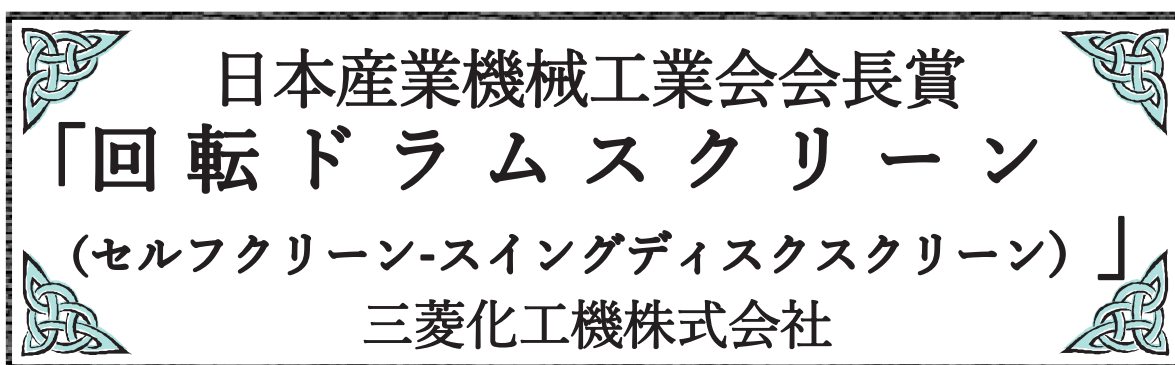
7. 将来性

人類が経済活動を行う限り、汚泥の発生を完全になくすことはできない。いまだ世界では適切な汚泥処理を行わず、深刻な土壌汚染や地下水汚染を招いている国や地域が存在する。世界的に環境への意識が高まっている中、今後さらに生まれてくる需要を掴み、本装置をはじめとした汚泥処理技術を通して環境問題改善に貢献していきたい。

弊社は 2022 会計年度には海外市場売上が国内市場を超え、従来モデルでも 77 以上の国々で食品、下水処理場、中間処理場をはじめ、幅広い業界への納入実績を有している。本装置は、さらに繊維分や無機分の多い汚泥種に対応できるようになったことから、2021 年の製品発売からわずか 3 年で、月間 10 件以上の継続的な問い合わせ、引き合いを受けている。世界をターゲットに、新たな業界・施設へのさらなる普及を見込んでいる。

図表 7 本装置と従来装置（ベルトプレス）のトータルライフコスト比較（15 年間）

	従来装置 (ベルトプレス脱水機)	本装置
インシヤルコスト	100	102
ランニングコスト	100	70
電力消費量	100	87
洗浄水使用量	100	2
メンテ費用	100	120
トータルライフコスト	100	86



1. 装置の詳細説明

(1) はじめに

今日の下水道事業は、少子高齢化による労働力不足や更新時期を迎えた老朽化施設への対応、また処理場内での温室効果ガスの排出削減など様々な課題を抱えている。そのため、使用する機器についても省人化、メンテナンス性の向上、維持管理コストの低減と言った課題解決に資する機能追加と同時に、後段設備の円滑な運転のため汚泥内に含まれる夾雑物を確実に除去し、浚渫等による消化槽の停止期間短縮に貢献するといった機能の高度化も求められる状況にある。

当社が 1977 年に発売した回転ドラムスクリーン/スイングディスクスクリーン(SDS)は、確実な夾雑物の除去性能から、下水処理場やし尿処理場向けに発売以来 500 台を超える納入実績を有する装置である。しかし、前述のとおり新たなニーズや課題に対応するべく、従来の安定的で確実な処理機能に新たな機能を追加して、2018 年にセルフクリーン-スイングディスクスクリーン(SC-SDS、以下本装置)を開発発売した。

(2) 構造

主な構成部品として、回転ドラムスクリーン、3 段回転スクレーパ、駆動装置、洗浄装置及び制御盤などで構成される(図表 1)。回転ドラムスクリーンが回転することによりスクリーン面で捕捉したし渣を回転スクレーパで除去する機構を有している。流入部の水位検知により回転ドラムスクリーンの回転数制御を行い、間欠運転及び低速～高速の変速運転を行う。また、運転停止時に回転ドラムスクリーンと回転スクレーパが正転・逆転することにより自動的に自己清掃運転を行うことで、人力によるスクレーパ部の清掃作業を無くす機能を持たせたものである。

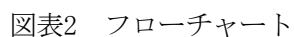
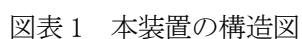
(3) 主な用途

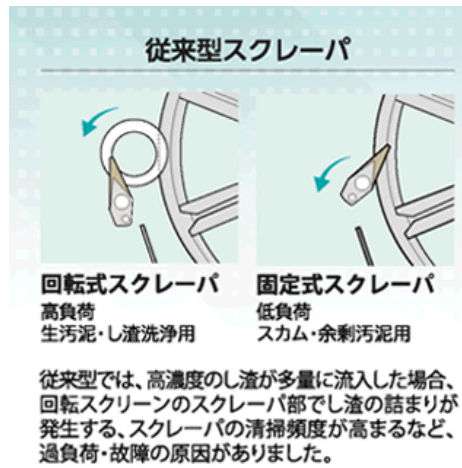
本装置は、主に汚泥処理設備の前処理設備として、汚泥濃縮設備の受入れ部(分配槽)の前段に設置される。(図表 2:  部)

使用用途としては、後段汚泥処理設備(濃縮タンク・消化タンク等)でのトラブル防止を目的として、水処理設備からの引抜汚泥(生汚泥・余剰汚泥)中の夾雑物(し渣)を分離回収することを目的としている。

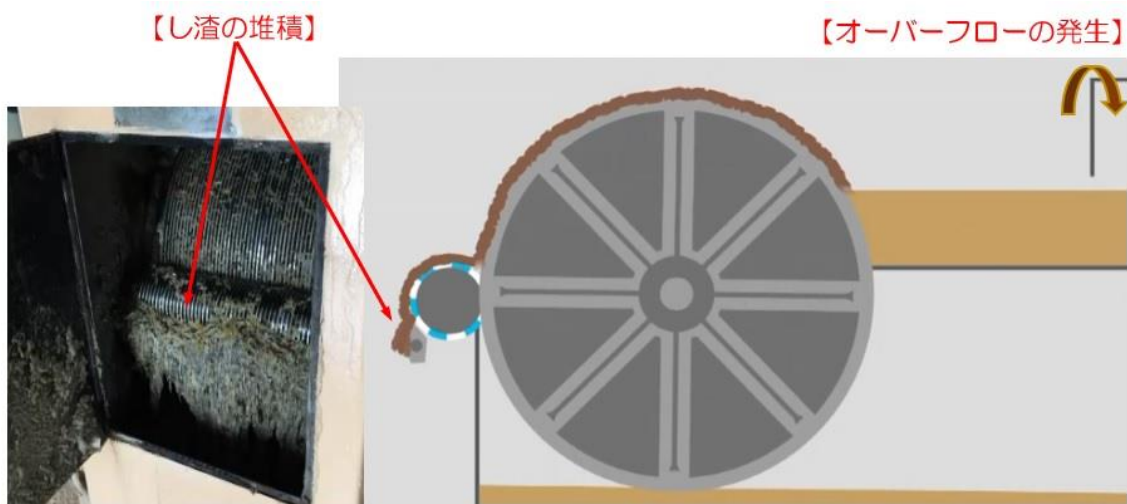
従来型ドラムスクリーンではし渣掻き取りスクレーパ部へのし渣の堆積が発生し、スクレーパの清掃頻度が高まるなど、維持管理上の負担や故障の原因となる懸念があった。また、スク

従来型スクレーパの構造を図表3に、従来型SDSの課題を図表4に示す。





図表3 従来型スクレーパ図



図表4 従来型SDSの課題

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

従来型の回転ドラムスクリーン/スイングディスクスクリーン(SDS)は 1977 年に当社及び三起鉄工株式会社によって共同で開発し販売をおこなってきた装置である。発売後は当社が主に販売と設計を行い、同社が製造を担ってきた。しかし、汚泥前処理設備に用いられる汚泥スクリーンは、し渣分離除去という用途から苛酷な設置環境にあり、安定的な除去性能確保のために人為的な(し渣除去)清掃作業を必要とする。当社の回転ドラムスクリーンにおいてもスクレーパ部に残るし渣の除去が必要であり、スクリーンドラムの回転数が一定速運転のため、集中豪雨等で流入側高水位時にオーバーフローした場合、し渣の捕捉量が減少するなどの課題があった。

これらの解決方法として、同社において取得した特許(詳細は第4項)を元に、当社と共同で装置化及び性能確認に取り組み、下記4点を開発目標として本装置を共同で開発した。

- ①スクレーパ部に残るし渣を自動的に清掃する機能を追加
 - ②流入部水位による回転ドラムスクリーンの回転数制御でオーバーフローの軽減を実現
 - ③従来型と同等以上のし渣捕捉率を確保
 - ④間欠運転を取り入れた回転数制御により、電力消費量を削減
- 以下に開発経緯を示す。

2016 年 07 月	特許出願 (特願 2016-143064)
2016 年 08 月	装置の開発開始
2017 年 08 月	下水処理場向けスクリーンとして実証試験開始
2018 年 06 月	特許出願 (特願 2018-111964)
2018 年 08 月	本装置を販売開始
2019 年 09 月	下水用スクリーンとして初号機納入
2021 年 06 月	日本下水道新技術機構/建設技術審査証明書取得に向け作業開始
2022 年 03 月	日本下水道新技術機構/建設技術審査証明書取得
2023 年 12 月	脱水機構付きタイプを販売開始

(2) 共同開発

本装置は、三菱化工機株式会社、三起鉄工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。

・三菱化工機株式会社：

設計、市場調査(課題抽出、需要把握)、基礎設計、性能試験・評価、フィールド試験・評価、公的審査申請・取得

・三起鉄工株式会社：

詳細設計(構造)、仮製作

3. 独創性

(1) 本装置の改良点

自己清掃運転時には、正逆運転＋スクレーパ部への洗浄シャワーにて、きれいに清掃され、し渣堆積の防止を実施する。

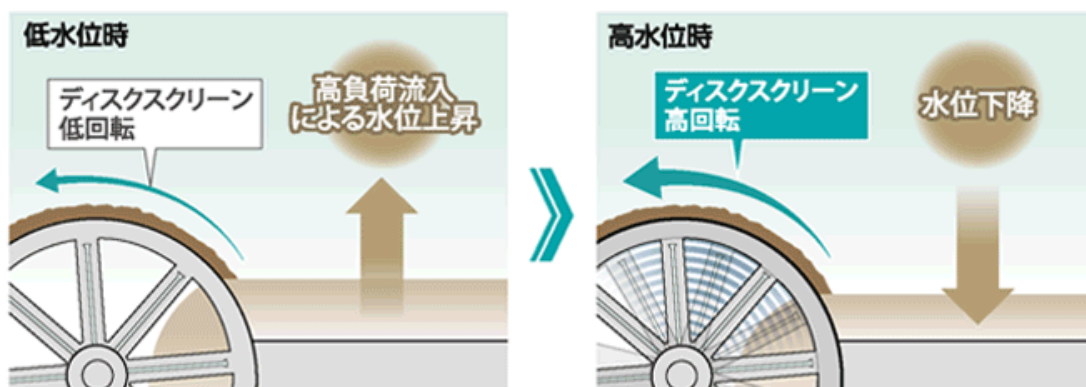
ドラムスクリーンは、流入部水位に応じてインバーター制御による変速運転 ($1\sim 4\text{min}^{-1}$) することで、処理能力を増加させオーバーフロー発生の抑制が行える。

スクレーパ部の構造イメージ、ディスクスクリーン回転機構を図表5及び図表6に示し、本装置の構造の詳細を図表7、運転制御方法を図表8に示す。

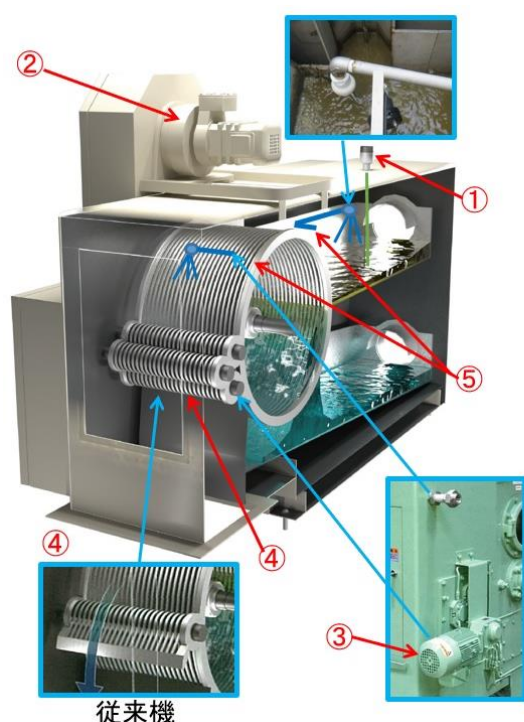
図表7に示すように、回転ドラムスクリーン、3段回転スクレーパ、駆動装置、洗浄装置及び制御盤により構成される。回転ドラムスクリーンが回転することによりスクリーン面で捕捉したし渣を回転スクレーパで除去する機能を有している。図表6に示すように、流入部の水位検知により回転ドラムスクリーンの回転数制御を行い、間欠運転及び低速～高速の変速運転を行う。また、運転停止時に回転スクリーンと回転スクレーパが正転・逆転することにより自動的に自己清掃運転を行うことで、人力によるスクレーパ部の清掃作業を無くす機能を持たせたものである。



図表5 スクレーパ部イメージ図



図表6 ディスクスクリーン回転数制御機構図



	番号	項目	当該機 MH340TR -IAS	従来機 MH340R
回転数制御	①	液位検知	ガイドパルス式液位計	無し
	②	回転ドラムスクリーン用駆動装置(0.4kW)	インバータ駆動(変速可能)	バイエル変速駆動(一定速)
自己清掃機能	③	3段目回転スクレーパ用駆動装置(0.4kW)	インバータ駆動(変速可能)	無し
	④	分離除去の構造	回転スクレーパ(3段式)	回転スクレーパ+固定スクレーパ
その他	⑤	洗浄管(スプレーノズル式)	液位計用(1)+回転スクレーパ用(2)	回転スクレーパ用(1)
	⑥	制御盤	機器付属	別途、電気設備工事

図表 7 本装置詳細構造図

4. 特許の有無

次のとおり、特許 2 件を取得済み（共同開発者の三起鉄工株式会社 中向政彰氏）。

特許番号：第 6673769 号 / 名称：ディスクスクリーン装置及び運転方法

特許番号：第 6795202 号 / 名称：ディスクスクリーン装置の運転方法

5. 性能

(1) 自己清掃機能

自己清掃機能には、運転停止時に回転ドラムスクリーンと 3 段回転スクレーパの正転・逆転動作及び洗浄水噴霧により自動的に清掃を行う。これにより 3 段回転スクレーパ部の間に堆積したし渣を自動的に清掃することができる。

本装置の運転制御方法を図表 8 に、従来型（固定速運転）と本装置（自己清掃運転）のし渣堆積状況の比較を図表 9 に示す。

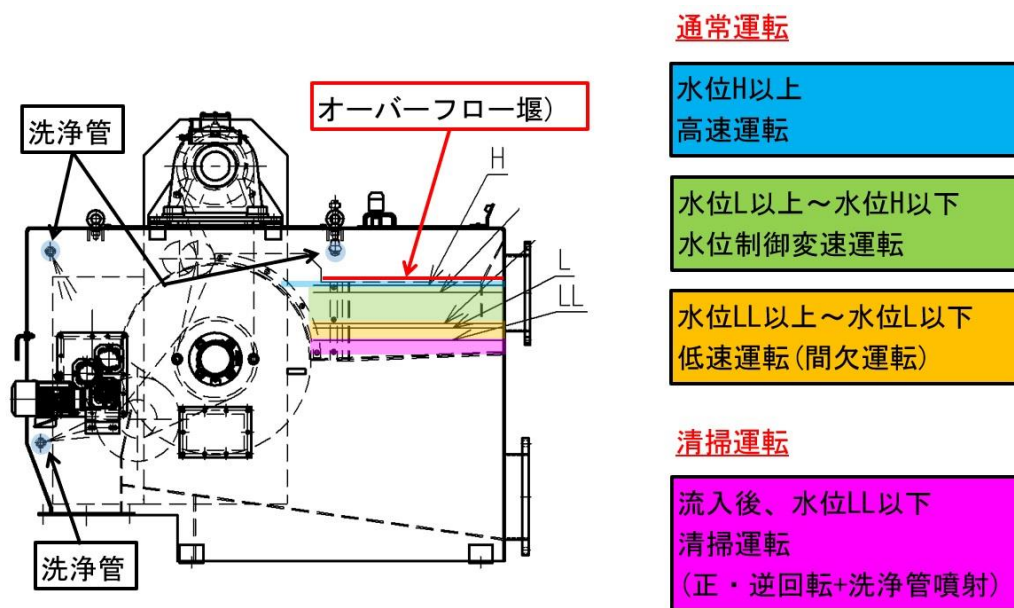
(2) 水位追従運転

流入部に水位を測定する機能を有しており、流入部水位に追従して回転ドラムスクリーンが、流入部の水位により、 0min^{-1} 、 $1\sim 4\text{min}^{-1}$ の低速～高速で可変速運転することで、回転速度を制御し、オーバーフロー発生を軽減することができる。

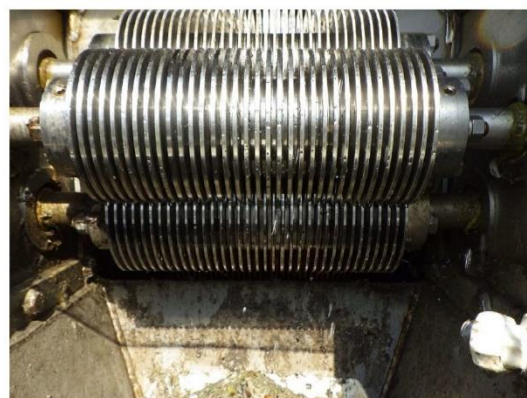
次の条件下での水位追従運転により、オーバーフロー発生の抑制を確認した。

〈条件〉流量： $0.8\text{m}^3/\text{分}$ 、時間：5 分、試験水：汚泥濃度約 1%

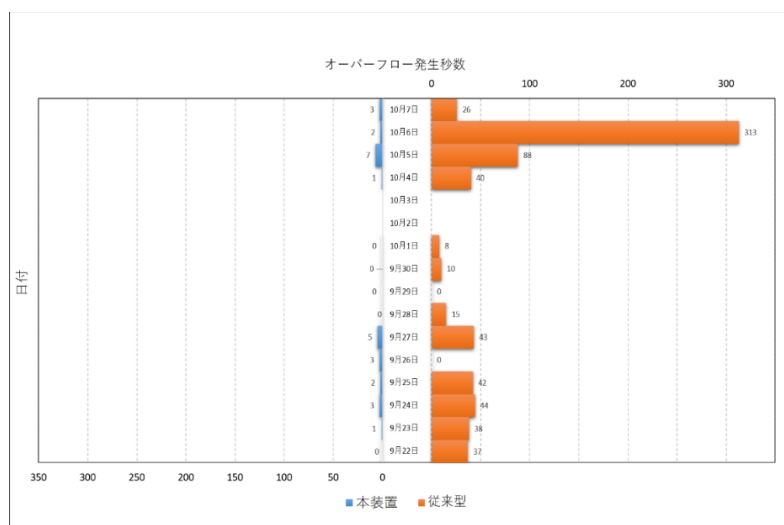
流入水位の上昇に伴い回転ドラムスクリーンの回転速度が上昇することで、オーバーフローの発生を抑制できることを目視により確認した。同じ条件で、従来型（固定速 1min^{-1} ）を運転し、オーバーフロー発生時間の確認をした。オーバーフロー発生秒数比較を図表 10 に示す。



図表8 本装置の運転制御



図表9 従来型（左）、本装置（右）のスクレーパ部し渣堆積状況の比較



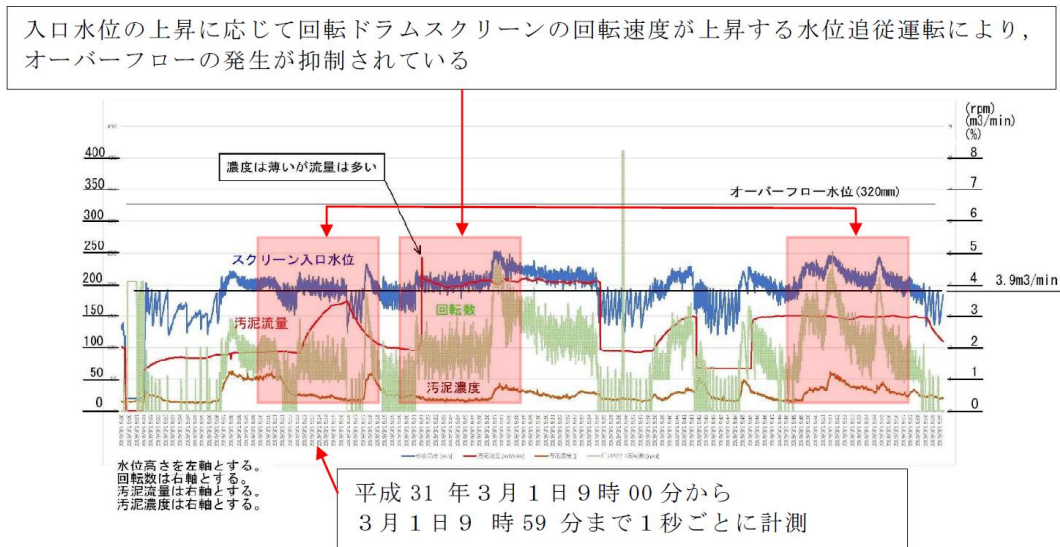
図表10 オーバーフロー発生秒数比較

(3) 省エネルギー

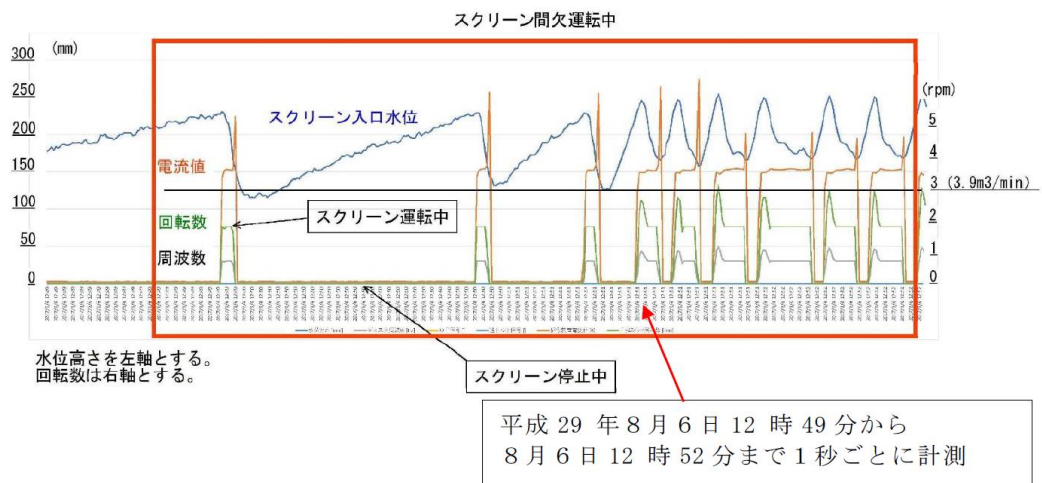
消費エネルギーは、従来型では投入汚泥ポンプと連動した連続運転が行われるため、運転時間に応じたエネルギー消費となっていた。

本装置では、水位検知による間欠運転により、消費電力を大幅に削減できる。

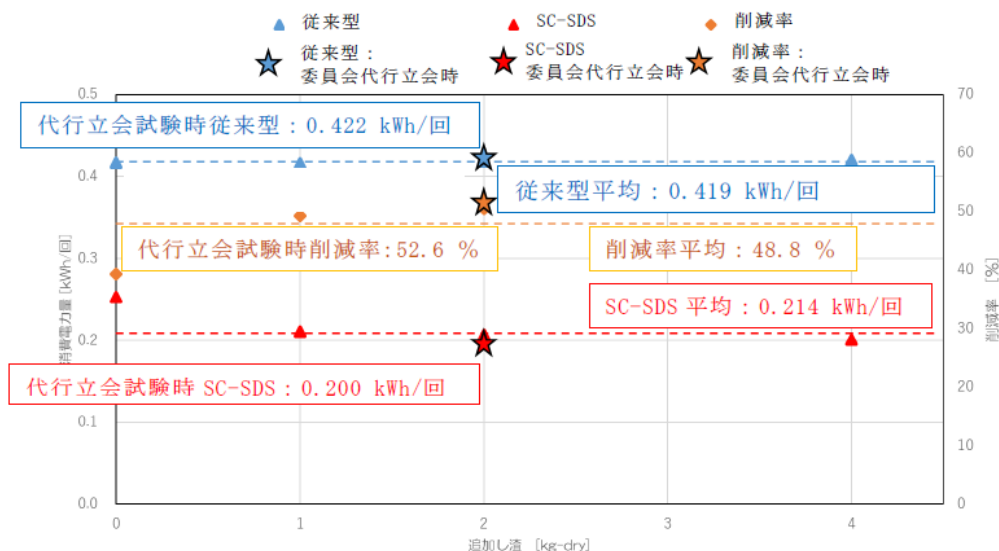
実証試験を行った処理場でのスクリーン入口水位、回転数等の経時変化を示す。間欠運転によりスクリーン停止時間を長く確保できる場合には消費電力が最大でほぼ半減することを確認した。



図表 11 実証試験時の推移高さと回転数、汚泥流量、汚泥濃度の相関一例



図表 12 間欠運転の状況一例



図表 13 電力量削減状況の一例

(4) し渣捕捉率

従来型では投入汚泥の負荷変動(流入当初の濃い汚泥やし渣の塊の流入)によりオーバーフローするとし渣捕捉量が減少するが、本装置では回転ドラムスクリーンの回転数制御を行うことはし渣の補足を阻害しない。

次の条件下において、本装置は従来型(固定速)と同等以上のし渣の捕捉を確認した。

〈条件〉汚泥濃度約1%、約4m³の汚泥にし渣を1、2、4kg-dryをそれぞれ追加した同一の試験水を、流量0.8m³/分で5分間、個別に本装置と従来型に流入させたときのし渣捕捉率を比較し、本装置は従来型と同等以上のし渣を捕捉できることを確認した。

ケース1：追加投入し渣無し。

ケース2：1 kg-dry (ケース1+1 kg-dry)

ケース3：2 kg-dry (ケース2+1 kg-dry)

ケース4：4 kg-dry (ケース3+2 kg-dry)

「試験回数および試験順序」

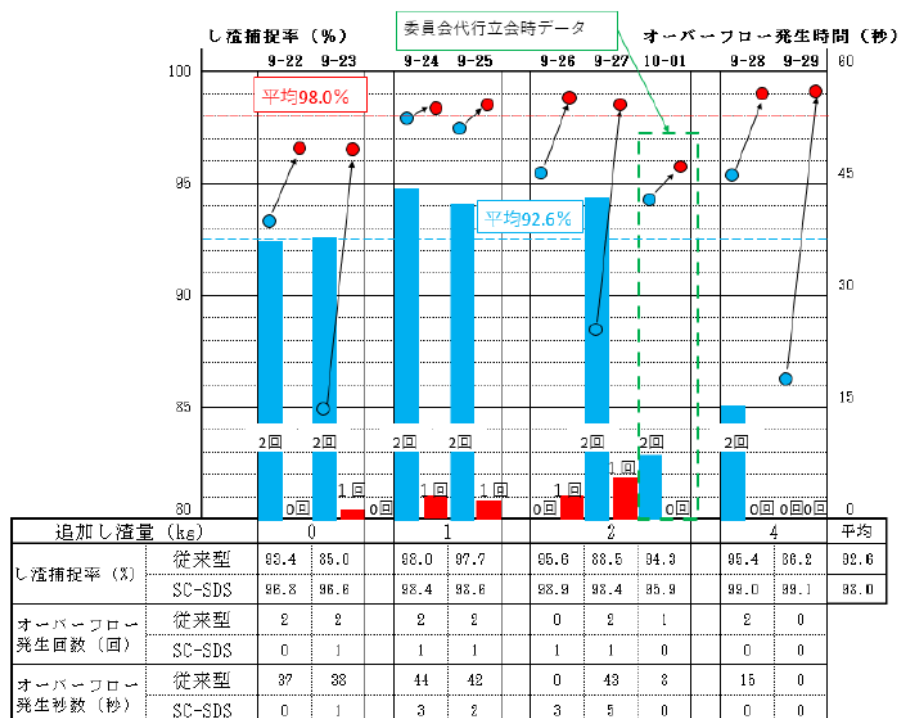
試験回数：本装置、従来型を各々2回、同一試験水にてし渣量を変え4試験水で計8回実施した。

図表14に示すとおり当社試験では、従来型に比べオーバーフロー発生時間を大幅に短縮することができ、し渣捕捉量の結果から求めたし渣捕捉率も向上する結果を得ている。

(5) 保守性

本装置では回転ドラムスクリーンとスクレーパ部の間に堆積したし渣の人力による清掃作業を軽減できる。

維持管理者へのヒヤリングにより、従来型では日常点検において1日複数回、人力によるスクレーパ部のし渣の除去作業が必要であったのが、本装置では除去作業を行う必要が無いことを確認した。



【 凡 例 】

- : 従来型のし 渣 捕 捉 率
- : SC-SDS のし 渣 捕 捉 率
- : 従来型の
オーバーフロー発生時間
- : SC-SDS のオーバーフロー
発生時間

【 追加し 渣 量 補 足 説 明 】

- (1) 追加し 渣 量 は 9 月 22 日 実 施
状 態 を 0 と し , 追 加 投 入 し
た 累 計 し 渣 量 を 示 す。
- (2) TS 濃 度 は , 9 月 22 日

図表 14 し 渣 捕 捉 率 と オ ー バ ー フ ロ ー 時 間

6. 経済性

本装置においては、従来機種に比較して自己清掃機能などを追加し高機能化を図ったため、導入機器費については約20%程度価格アップとなり、据付工事費についても従来機器と同程度になると試算する。しかし納入後に間欠運転により運転時間が最大で約50%減になると試算した場合には装置の動力アップ（回転スクレーパー用動力）を考慮しても約60%の動力費となると試算しており、部品の長寿命化による交換部品費の縮減（85%）を考慮して、15年間の使用期間で比較を行うとトータルコストで約85%の導入コストとなると試算している（図表15）。

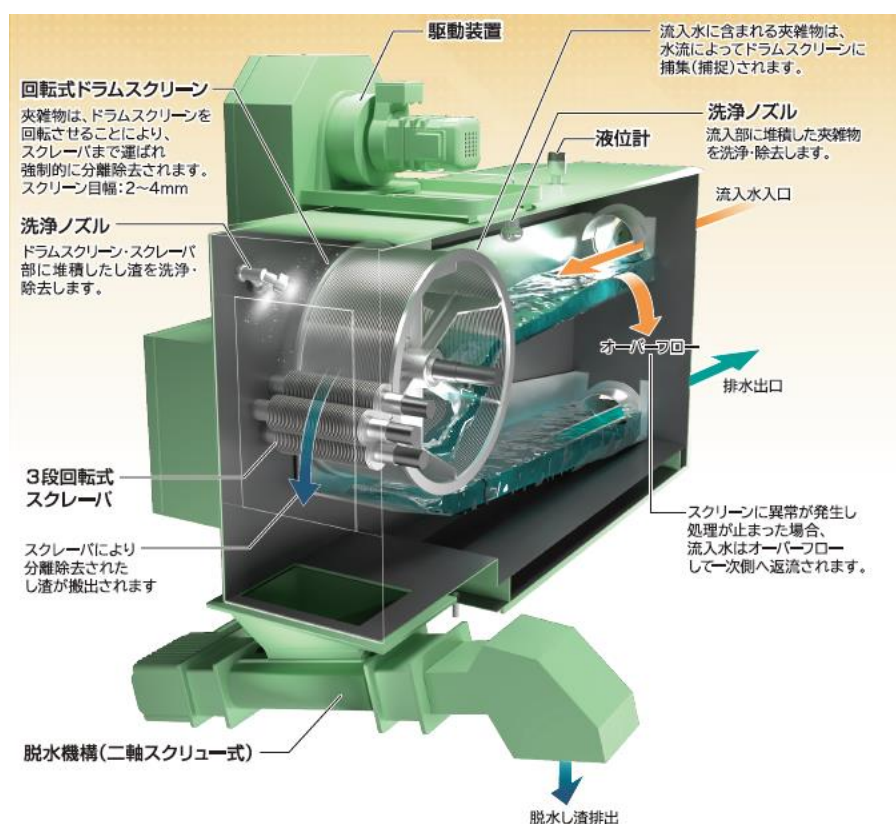
また、数値的な試算に織り込むことは困難であるが、従来機に要していたスクレーパー部の清掃作業やオーバーフローした際に要する対応費用が大幅に縮減されることを考慮すると、実際には数値的試算以上の経済上のメリットがあるものと考ええる。

図表15 従来機種と本装置の経済性比較

		従来機種(SDS)	本装置(SC-SDS)
イニシャルコスト	機器費用	100	120
	設置費用	100	100
ランニングコスト	電気代(間欠運転により運転時間を半分になると想定)	100	60
	部品交換費用	100	85
トータルコスト(15年)		100	85

7. 将来性

下水道施設を中心として既に7件の納入実績を有するが、本装置の更なる用途拡大や多様なニーズに対応するため、2023年に脱水機構を追加したモデルをラインナップへ追加した（図表16）。これはし尿処理場や、今後需要増が見込まれる下水処理場でのし尿受け入れ設備においては、その使用環境から臭気対策などを理由に分離除去した夾雑物を速やかに脱水する必要があるためである。また、従来型及び他のスクリーンの場合には、スクリーンのほかに別途脱水機を設置する必要があったが、ユニット化を実現したことにより、大幅な設置スペースの削減も可能にした。このモデルの追加により、これまで納入実績の多い下水処理場のみならず、し尿処理場や下水処理場でのし尿受け入れ設備への納入増が見込まれ、高い将来性を有していると考ええる。



図表16 脱水機構付きセルフクリーニングディスクスクリーン

日本産業機械工業会会長賞 「ごみピット 3Dシステムを活用した ごみクレーン A I 自動運転装置」 カナデビア株式会社

1. 装置の詳細説明

(1) 従来のごみクレーン自動運転装置

ごみ焼却発電施設で稼働するごみクレーンは、走行と横行、巻上の駆動装置を備えた3軸制御の天井クレーンで、開閉動作によりごみを掴むバケットを上昇・下降することで、搬入されたごみを移送し、焼却炉にごみを投入する設備である（図表1）。焼却炉は24時間連続運転であり、クレーンオペレータの負担は大きく、ごみクレーンの自動運転化の要求は高い。当社では、ごみクレーン自動運転装置を開発し1981年に1号機を納入して以降、国内に110装置以上を納入してきた。

ごみクレーン自動運転装置は、ごみクレーンの各軸の位置とバケットで掴んだごみの重量などを認識し、バケットが振れないように各軸の速度を制御しながら目標位置までごみを移送する。従来のごみクレーン自動運転装置の構成図を図表2に示す。

従来の自動運転では、図表3に示すようにバケットの大きさにより、ごみピットをマトリクス上に分割したブロック単位（番地）で管理しており、ブロックの集合である運転エリアを任意に設定することができる。図表3の例では、積替元エリア（D1-D12）から積替先エリア（A7-B12）へごみの移送を行いながら、焼却炉ホップのごみが少なくなると投入エリア（A1-B6）のごみを掴んで焼却炉への投入を自動運転で実行する。

また、バケットがごみに着地すると、重量の変化とワイヤロープの繰り出し長から該当番地のごみの堆積高さ（ごみレベル）を計測しており、ごみピット全域のごみレベルを把握している。

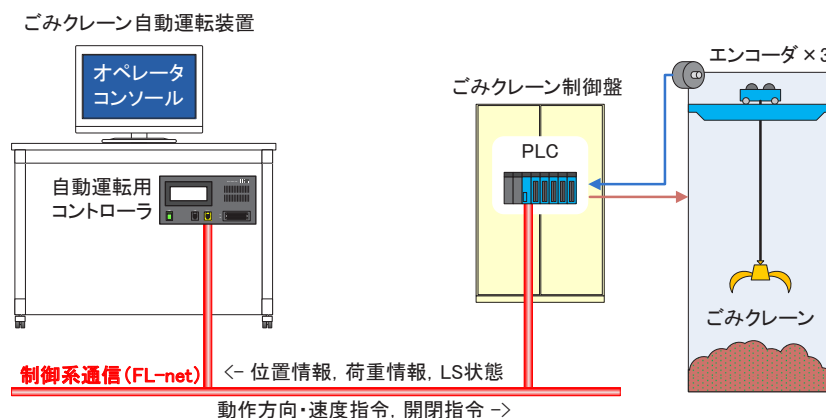


日立造船株式会社 環境事業本部
インキュベーション推進部 インスタグラムから引用

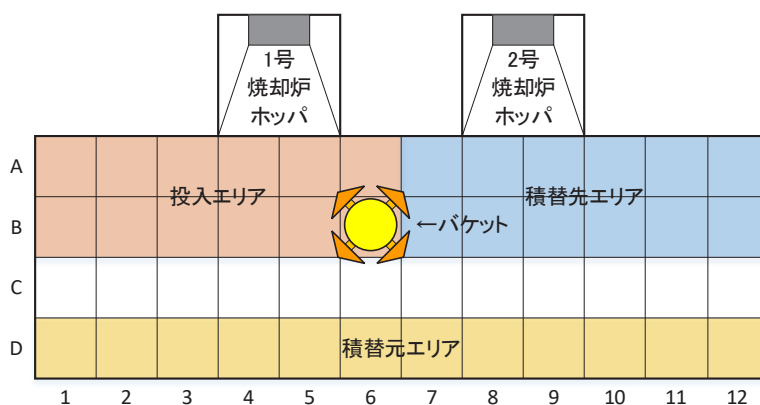
図表 1 ごみ焼却発電施設のごみクレーン

図表 4 に自動運転で把握しているごみレベルの例を示す。自動運転でごみを掴む際は、エリア内で最もごみレベルの高い番地を選択し、積替先エリアにごみを投下する際は、エリア内で最もごみレベルの低い番地を選択することで、できるだけごみレベルを平坦にし、自動運転でも安定してごみを掴める状態を維持している。

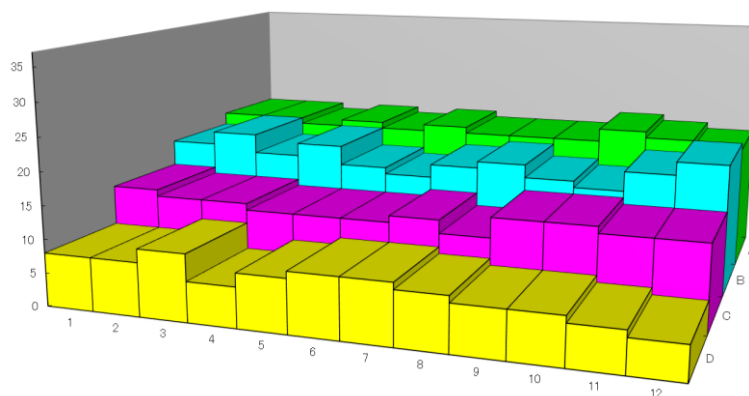
以上のように、ごみクレーン自動運転装置は、ごみピットの状況により、オペレータが適宜運転エリアを設定・変更することで、ごみピットを適正に維持し、焼却炉に安定してごみを供給する装置である。



図表 2 従来のごみクレーン自動運転装置の構成図



図表 3 ごみピットの番地、運転エリア



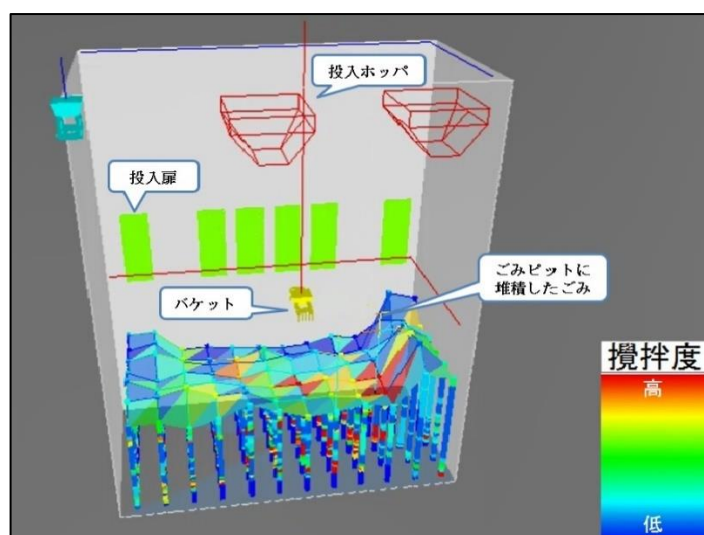
図表 4 ごみピットレベル

（２）ごみピット 3D システム

ごみ焼却発電施設において良好な燃焼状態を維持し、発電量を安定させるためには、前段のごみピット内でごみを十分に攪拌し、ごみ性状を均質化しておくことが重要である。

ごみピット3Dシステムは、ごみ投入扉からの搬入、ごみクレーン動作、及びごみレベルの変化からごみピット内のごみの移動をトレースし、ごみピット全域のごみ情報（攪拌度、搬入日別含有率）をマッピングして管理するもので、図表5に示すように三次元のごみピット情報を可視化できるシステムである。

ここで、攪拌度はごみの混ざり具合を示す独自の指標であり、ごみクレーンによるごみの掘み、投下によって値を加算し、その度合いは投下高さなどにより変動する。また一定期間移動しないごみは攪拌度の値を減算することで、圧密され燃焼し難いごみに変化する様子を再現している。



図表 5-1 ごみピット 3D システムの表示画面（攪拌度表示）



図表 5-2 ごみピット 3D システムの表示画面（搬入日別含有率表示）

熟練したオペレータはごみの色や細かさなどを見て、表層部のごみの状態を把握しているが、4班2交代で運転しているため、目視できない深層部を含めたごみピット全域の情報を次の班へ伝達するのは困難である。ごみピット3Dシステムの特長は、オペレータが目視可能な堆積したごみの表層部だけでなく、深層部までごみ情報を可視化できる点である。

しかし、攪拌度や搬入日別含有率の計算は、ごみレベルの変化にも依存しており、ごみレベルの検出精度が要求される。前述のようにバケットがごみに着地した際にはワイヤロープの繰り出し長から計測するが、ピット内にごみを投下した場合や、投入扉からごみが搬入された場合は、ごみの重量や投入扉の在車信号を元にごみレベルを推定している。

ごみレベルの推定誤差による影響を少なくするため、ごみピット3Dシステムのオプション機能として、LiDAR (Light Detection And Ranging) によるごみレベル計測が選択可能である。ごみピット上部のホップステージに設置した2台のLiDARにより、ごみピット全域のごみの堆積状態を一定周期で計測し、計測した正確なごみレベルの変化を元に攪拌度や搬入日別含有率を算出する。図表6にLiDARで計測したごみピットの堆積データを示す。

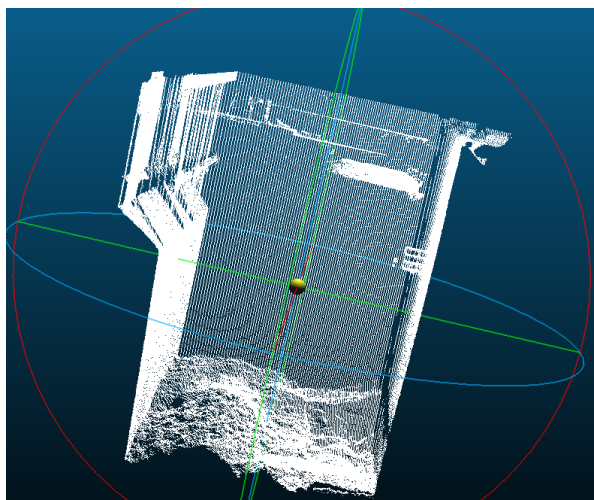
(3) ごみクレーンAI 自動運転装置

ピット全域のごみ情報を活用することで、より安定した効率のよい自動運転を実現するため、ごみピット3Dシステムを核に、AIアルゴリズムを実装してごみクレーンAI自動運転装置を開発した。

従来のごみクレーン自動運転装置は、オペレータが設定した運転エリアに従い、ごみレベルによって掴み番地、投下番地を決定していたが、ごみクレーンAI自動運転装置は、次の機能によりごみクレーンの動作を決定する。

1) AI投入機能

ごみピット3Dシステムで管理しているごみピット情報に基づき、攪拌度の高いごみを優先的に投入することで安定燃焼に寄与できる。しかし、攪拌度の指標のみで運転を継続するとごみピットのごみレベルが偏ったり、段差ができていたりすることで、ごみを掴み難い状態になり、供給量が安定しなくなる。



図表6 LiDARで計測したごみピットの堆積データ

AI投入機能は供給量を安定させるために、攪拌度とごみレベルの二つの指標から投入に最適なごみのつかみ位置をファジィ推論で決定し、ごみクレーン自動運転装置に指令する機能である。投入ごみの攪拌度の急激な変化を抑えながら、運転しやすいピットを維持することができる。

2) 昼間AI自動運転機能

一般的な昼間のごみクレーンの運転では、搬入ごみがプラットホームに溢れないよう、搬入ごみが堆積するごみ投入扉下のエリア（受入エリア）からごみの積替えが必要である。燃焼状態に影響を及ぼす異質ごみ（剪定ごみ、破碎ごみ、汚泥など）が纏まって搬入された場合には、ごみピット内の広い範囲にばら撒いて攪拌している。

昼間AI自動運転では、上述した運転を自動で行うために、ごみ搬入時間帯には搬入車両をできる限り妨げないよう、ごみ投入扉からのごみ搬入とごみクレーンの干渉が最小限になるような掴み位置に変更して運転している。また、ごみピット上方に監視カメラを設置して、映像を解析することで異質ごみの搬入を検出し、検出された異質ごみの位置と優先的なばら撒き運転をごみクレーンに自動的に指令する機能である。図表7は異質ごみ（破碎ごみ）の搬入を検出してばら撒いた際のごみピットの状態である。

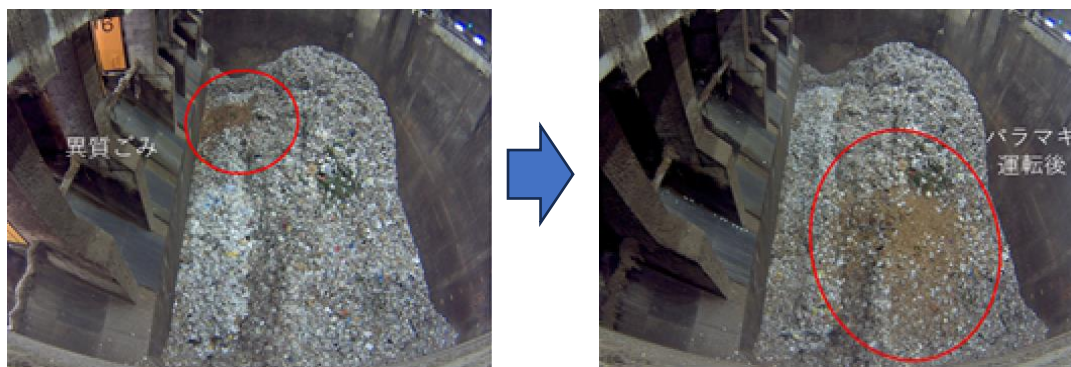
昼間の作業は多岐に渡るため、マルチエージェントを応用したアルゴリズムにより、どの作業を優先して実行するかを決定している。

3) 夜間AI自動運転機能

一般的な夜間のごみクレーンの運転では、翌日に焼却炉へ供給するごみの攪拌・積上げと、翌日の搬入に備えて受入エリアのごみを掘下げる。

夜間AI自動運転は、昼間AI自動運転で積替えたごみと受入エリアのごみを混合しながら（攪拌度を上げながら）積替えることで翌日のごみを確保するため、遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm）を用いて最適な積替え手順を決定し、ごみクレーンに自動的に指令する機能である。最適な積替え手順を演算する際は、次のパラメータを入力する。

- ① 翌日に焼却炉へ供給するごみの量（作りこむごみの目標体積）
- ② 焼却に適したごみの攪拌度（作りこむごみの目標攪拌度）
- ③ 翌日朝までに掘下げる受入エリアのごみレベル（目標掘下げ高さ）



図表7 異質ごみ（破碎ごみ）を検出してばら撒いた際の状態

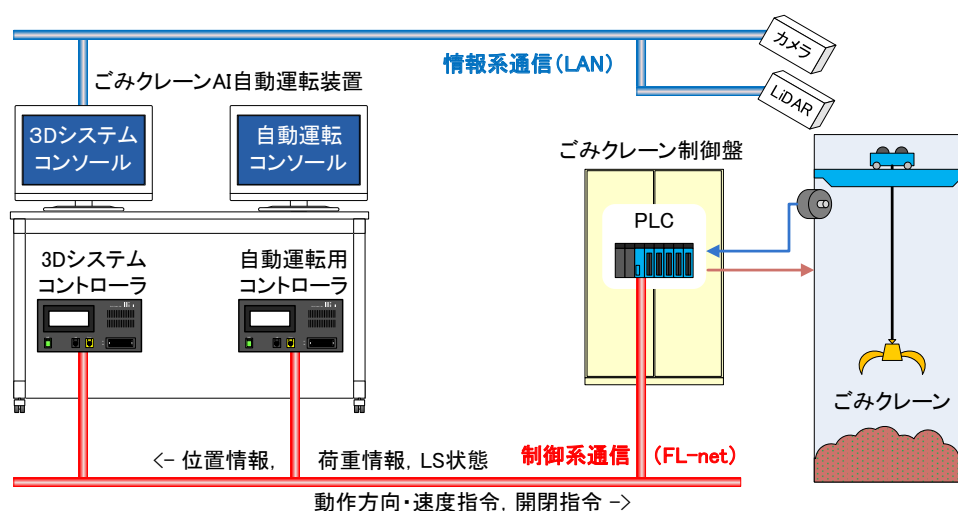
上記の入力した目標値を全て達成した時点でごみクレーンを自動的に休止させる（焼却炉への投入のみ継続）ことで、無駄な運転を少なくし省エネ及び消耗部品の劣化抑制にも寄与する。

（４）装置の構成

図表8にごみピット3DシステムとごみクレーンAI自動運転システムの構成図を、図表9に外観を示す。

従来のごみクレーン自動運転装置では、自動運転用コントローラが内部に記憶しているごみレベル情報を元に自動運転の作業と行先（番地）を決定するが、ごみクレーンAI自動運転装置では、自動運転用コントローラが作業と行先（番地）を3Dシステムコントローラに問い合わせ、3Dシステムコントローラの指示のとおりにごみクレーンを制御する。

なお、ごみクレーンAI自動運転装置では、従来の自動運転モードとAI自動運転モードを任意に切替できる。



図表 8 ごみピット 3D システムとごみクレーン AI 自動運転装置の構成図



図表 9 ごみピット 3D システムとごみクレーン AI 自動運転装置の外観

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

ごみ焼却発電施設における燃焼の安定化には、ごみクレーンによるごみの均質化が最も効果的であるが、ごみクレーン操作とごみピット運用は、熟練運転員の経験に委ねるところが大きい。

当社では、1980年代からごみクレーン自動運転装置を納入してきたが、近年の計算機の性能向上により、ビッグデータやAIアルゴリズムの実装が可能になった。これらを活用し、熟練運転員の経験に代わって、ごみピット運用の自動化とごみクレーン自動制御の高度化を目指した。

以下に開発経緯を示す。

2013～2014 年度	ごみピット管理指標（攪拌度）の調査・開発
2015～2016 年度	ごみピット 3D システムの開発・実証
2017～2018 年度	AI 投入機能の開発、夜間 AI 自動運転機能の開発
2019～2020 年度	昼間 AI 自動運転機能の開発、ごみクレーン AI 自動運転の実証 第 1 号機納入
2021～2023 年度	ごみクレーン AI 自動運転の長期運用・応用実証

(2) 共同開発

本装置は、カナデビア株式会社、東京二十三区清掃一部事務組合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。

- ・カナデビア株式会社：

実証試験による AI 自動運転技術の確立及び本装置の設計・設置・試運転、データ収集・分析、本装置の改善

- ・東京二十三区清掃一部事務組合：

実証試験期間の施設運転、本装置・新技術の評価、課題の抽出など技術開発に有益な情報の提供

(3) 技術導入

なし

3. 独創性

ごみピット内のごみの状態を検出するため、ごみピット上部からのカメラ画像を解析する手法は多く研究されているが、検出範囲は撮影可能なごみの表層部に限られる。

ごみピット 3D システムで管理する攪拌度は独自に開発した指標で、ごみの燃焼のしやすさを数値化し、ごみピットの深層部までマッピングしたものである。

さらに、夜間 AI 自動運転機能では、燃焼に適した攪拌度のごみを必要量だけ生成するために、遺伝的アルゴリズムを用いて最適な積替え手順を決定しており、他に例がない。

4. 特許の有無

次のとおり、特許 7 件を取得済み。

特許番号：第 6381395 号 / 名称：ごみピットにおけるごみ攪拌状態の表示装置

特許番号：第 6632490 号 / 名称：計算装置、計算装置の制御方法、制御プログラム、
および記録媒体

特許番号：第 6651309 号 / 名称：ごみクレーン運転装置

特許番号：第 6659474 号 / 名称：クレーン制御装置、クレーン制御装置の制御方法、
制御プログラム、および記録媒体

特許番号：第 6714437 号 / 名称：ごみクレーン運転装置およびごみクレーン運転方法

特許番号：第 6812311 号 / 名称：情報処理装置、情報処理方法、および制御プログラム

特許番号：第 7025520 号 / 名称：情報処理装置、情報処理方法、および制御プログラム

5. 性能

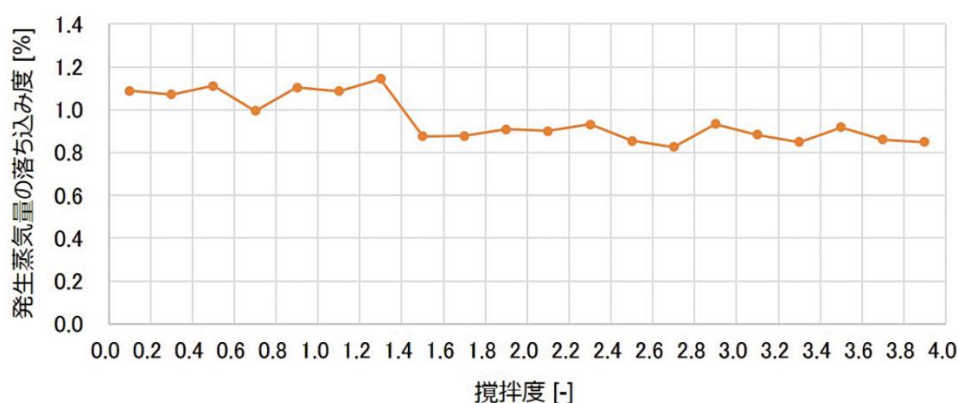
(1) 燃焼状態の安定化

実証試験において、本装置を連続運転した結果を報告する。まず、実証施設（300t/日×2炉）において、最適な攪拌度を調査した。攪拌度と発生蒸気量の落ち込み度の関係を図表10に示す。なお、ここでの発生蒸気量の落ち込み度とは、発生蒸気量（SV-PV）/SVが正数のときのみを抽出し、攪拌度毎に平均化した値である。

攪拌度が1.4以上のとき、発生蒸気量の落ち込み度は減少し、燃焼状態の安定化に寄与することが確認できた。このことから、ごみの均質化の指標となる攪拌度の閾値は1.3とした。

2020年12月18日～12月24日の7日間において、本装置を実証施設で運用した（以下、入運転）。また、比較データは本装置を運用していない期間とし、同年10月13日～10月19日の7日間とした（以下、切運転）。

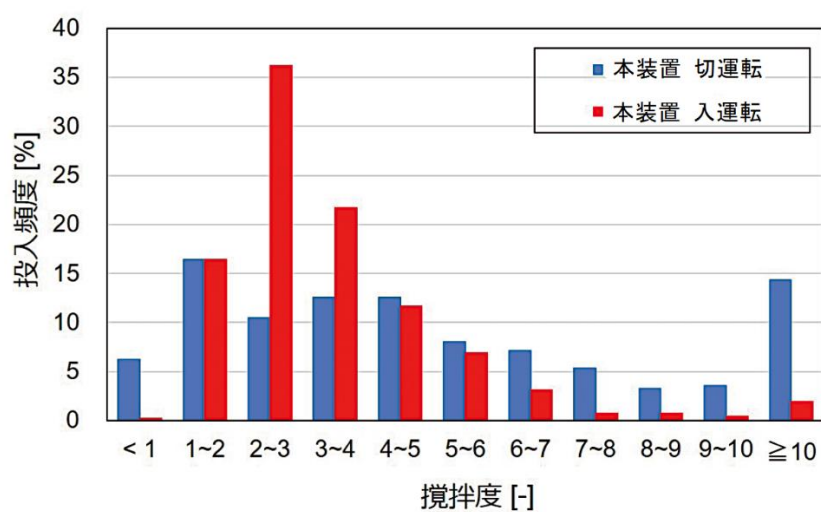
運用試験期間中における、焼却炉に投入されたごみの攪拌度の評価結果と攪拌度の度数分布を図表11と図表12にそれぞれ示す。また、この期間中の発生蒸気量（PV-SV）/SVの標準偏差を図表11に併記する。



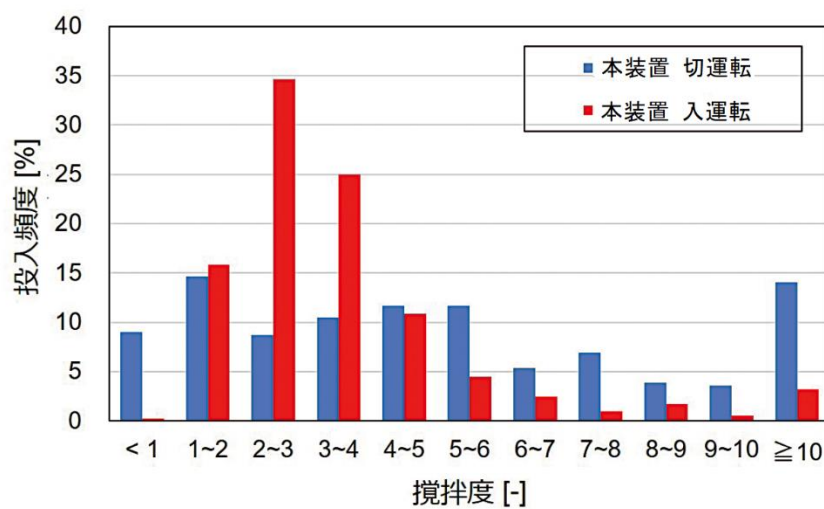
図表 10 攪拌度と発生蒸気量の落ち込み度の関係

図表 11 投入ごみの攪拌度の評価結果

	本装置 切運転 2020/10/13～10/19		本装置 入運転 2020/12/18～12/24	
	1 号炉	2 号炉	1 号炉	2 号炉
平均攪拌度	5.3	5.4	3.4	3.6
攪拌度 1.3 未満の 投入頻度 [%]	12.2	15.9	3.6	3.7
発生蒸気量 (PV-SV) /SV の 標準偏差 [-]	0.022	0.024	0.017	0.017



(a) 1 号炉



(b) 2 号炉

図表 12 本装置の入切運転における焼却炉投入ごみの攪拌度の分布

本装置を運用することにより、均質化されていないごみ（攪拌度1未満）や必要以上に攪拌されているごみ（攪拌度4以上）の投入頻度は減少した。特に、本装置運用時における攪拌度1.3未満の投入頻度は、1号炉では12.2%から3.6%に、2号炉では15.9%から3.7%に低減でき、これに伴って発生蒸気量（PV-SV）/SVの標準偏差も小さくなり、本装置は燃焼状態の安定化に大きく貢献することができた。この結果は、2023年3月に納入した1号機から3号機においても同様の傾向が得られることを確認した。

さらに、夜間AI自動運転機能の「攪拌度1.3以上のごみを所定量確保できた時点でごみクレーンを休止」の効果によって、必要以上にごみが攪拌されることがなくなり、攪拌度の平均は低く抑えられた。

運用試験期間中のごみクレーンの稼働状況（1日平均）を図表13に示す。

昼間AI自動運転の「ごみクレーン1台による受入エリアからのごみ積替え」が機能したことにより、本装置運用中は1基のごみクレーンで攪拌・積替えを対処することができた。また、夜間AI自動運転のごみクレーン休止の効果も加わり、総移動距離を35.5kmから32.7kmに約8%低減でき、消費電力量を714kWhから662kWhに約7%削減できた。

（2）自動化率の向上

前項の実証施設とは条件の異なる施設での導入効果を検証するため、別の施設（140t/日×3炉）に本装置を導入し、入運転と切運転のごみクレーン自動化率（自動運転時間/稼働時間）を比較した。評価期間のごみピット状況は図表14に示すとおり同程度の条件である。

評価期間のごみクレーン自動化率を図表15に示す。本装置の入運転時は自動化率が99.0%となり、切運転時と比較して35.2ポイント向上した。特に昼間の自動化率が大きく向上（60.8ポイント）しており、昼間AI自動運転機能によって効率的に受入エリアからの積替えと、異質ごみのばら撒きができたことで、手動介入することなく運転できたと言える。また、本装置の入運転期間を通じて燃焼に影響を与える問題は発生しなかった。

さらに長期間の運転状況を確認するため、実証完了した装置を現場に引渡し、常勤の運転員のみで運用を継続した。本装置引渡し前後における月単位での自動化率を図表16に示す。2022年12月21日に本装置を引渡して以降、自動化率が向上したことが確認できる。また、2023年3月には昼間AI自動運転機能における異質ごみのばら撒き動作の調整を行い、手動介入回数を減らすことができ、定常的に98%以上の自動化率を達成した。

図表 13 ごみクレーンの稼働状況（1日平均）

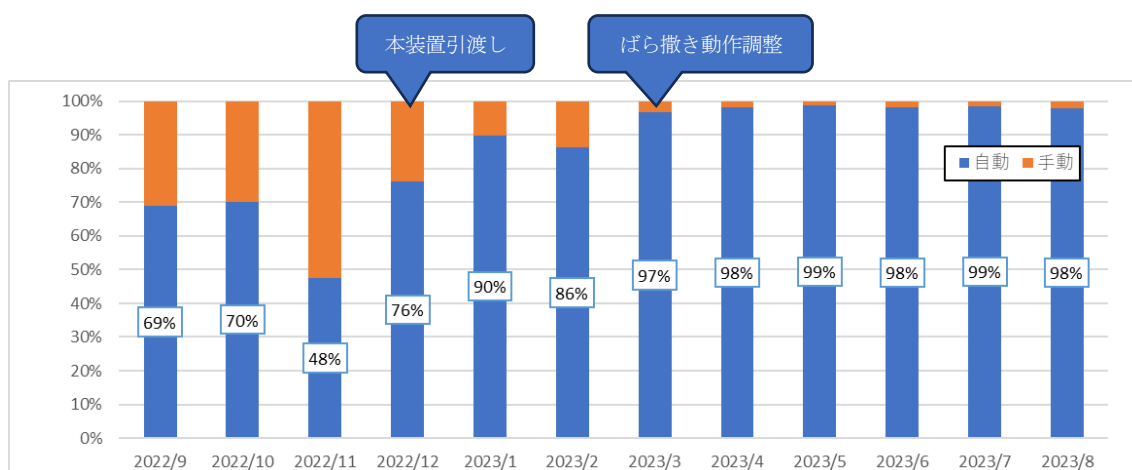
	本装置 切運転 2020/10/13～10/19	本装置 入運転 2020/12/18～12/24
2基運転時間 [min]	109	0
移動距離 [km]	35.5	32.7
消費電力量 [kWh]	714	662

図表 14 評価期間のごみピット状況

	本装置 切運転 2022/6/20～6/26	本装置 入運転 2022/6/13～6/19
平均ごみピット残量 [m ³]	3,424	3,555
平均ごみピット占有率 [%]	46	48
平均搬入量 [t/日]	249	243
平均焼却量 [t/日]	257	255

図表 15 評価期間のごみクレーン自動化率

	本装置 切運転 2022/6/20～6/26	本装置 入運転 2022/6/13～6/19	差分
自動化率 [%]	63.8	99.0	35.2
昼間の自動化率 [%] 7 時～16 時	38.3	99.1	60.8
夜間の自動化率 [%] 16 時～翌 7 時	89.4	98.9	9.5



図表 16 本装置の入切運転における焼却炉投入ごみの攪拌度の分布

6. 経済性

本装置を導入した際の費用効果は施設規模によっても異なるが、5.（1）の燃焼状態の安定化で報告したとおり、ごみクレーンの稼働時間及び移動距離を抑えることができるため、消費電力と維持補修費の削減が期待できる。また、安定燃焼により発電も安定することで、確実な売電収益を得ることができる。

さらに、5.（2）で報告した自動化率の向上は省力化、省人化に直結し、施設の運転コストの削減に寄与する。

図表17に従来のごみクレーン自動運転装置との比較を示す。

7. 将来性

2050年カーボンニュートラルの実現に向け、処理過程でGHGを排出するごみ焼却発電に課題はあるものの、再生可能エネルギーの中でも太陽光発電や風力発電と比べて安定した電力を供給できることから、今後も果たす役割が期待されている。本装置がごみ焼却発電の安定稼働に寄与することは報告のとおりである。

また、全世界では人口増加により廃棄物処理プラントの市場規模も成長が続く。処理方式に限らず、ピット&クレーンによる供給方式は効率が良く、処理物の均質化には本装置の技術を転用することも可能と考えている。

一方、国内では少子高齢化により、施設運転員の確保や、クレーン運転の技術伝承が困難になることが予想され、本装置による省力化、省人化に期待できる。さらに、コロナ禍のようなパンデミックや災害などにより通常の運転体制を確保できない場合でも、本装置によってごみピット状態の共有が容易にできるため、遠隔からのサポートを含めサステナブルな運転体制の提供が可能となる。

図表 17 従来のごみクレーン自動運転装置との経済性比較

	従来装置	本装置
イニシャルコスト	100	294
保守費（20年）	100	277
人件費（20年）	100	65
トータルコスト（20年）	100	77

日本産業機械工業会会長賞

「ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機 (DSBP)」

月島 JFE 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) 対象汚泥について

下水処理場に流入した下水を標準活性汚泥法にて処理する際に初沈汚泥や余剰汚泥が発生するが、これらを混合した汚泥を混合生汚泥と呼ぶ。また混合生汚泥などを嫌気性条件の下で微生物処理し、メタンガスや二酸化炭素などに分解（嫌気性消化）した際に発生する汚泥を嫌気性消化汚泥と呼ぶ。なお混合生汚泥は消化されずそのまま汚泥脱水機で処理するケースも多く、本装置においてはこれらの嫌気性消化汚泥及び混合生汚泥を対象汚泥とする。

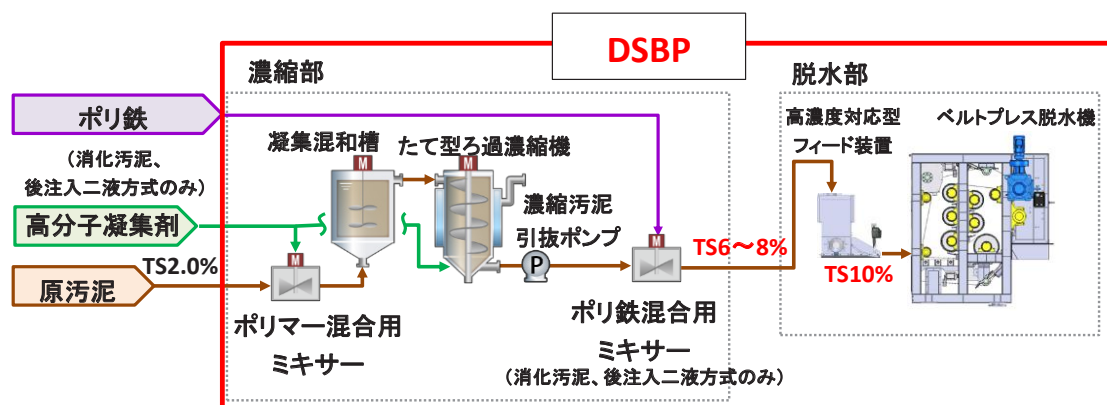
(2) 概略フロー及び構造

本装置の概略フローを図表 1 に、構造を図表 2 にそれぞれ示す。本装置は大きく分けて濃縮部と脱水部から構成され、それらを組み合わせ一体型とした装置である。濃縮部は、ポリマー混合用ミキサー、凝集混和槽、たて型ろ過濃縮装置、濃縮汚泥引抜ポンプ、ポリ鉄混合用ミキサーから構成される。なおポリマーとは高分子凝集剤を、ポリ鉄とはポリ硫酸第二鉄を意味する。脱水部は、高濃度対応型フィード装置、ベルトプレス脱水機から構成される。

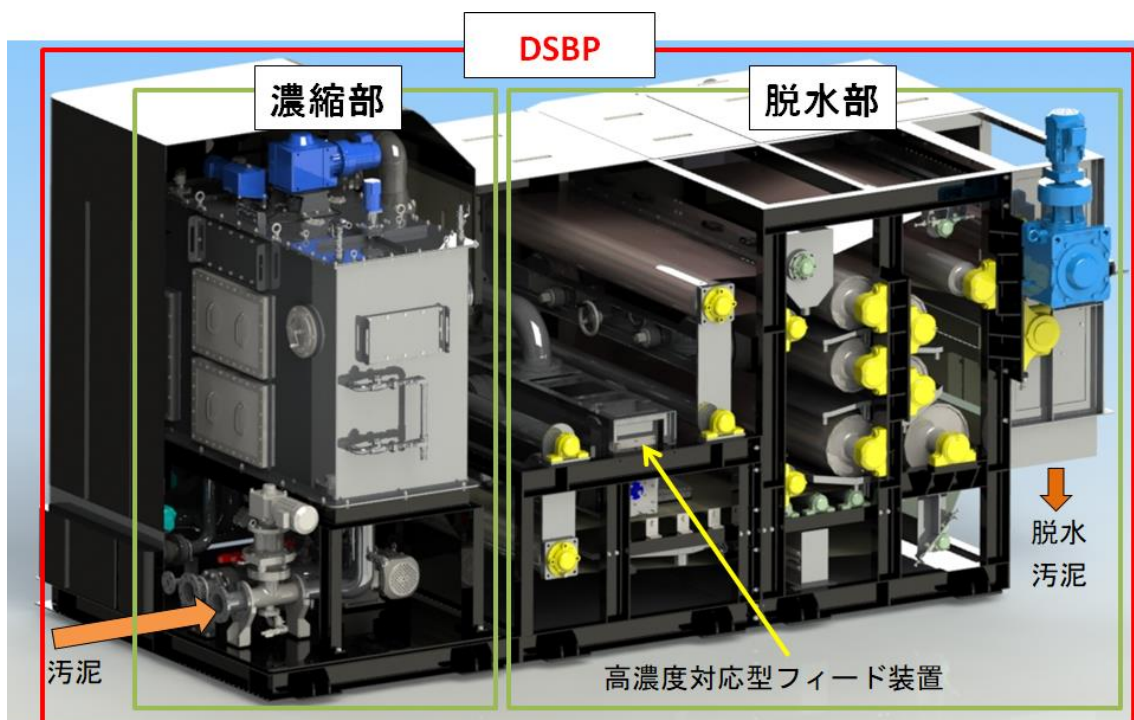
濃縮部においては、処理対象となる原汚泥（TS2.0%程度）にポリマーが注入され、ポリマー混合用ミキサーで 500min^{-1} 程度の急速攪拌を行った後、凝集混和槽による攪拌で凝集汚泥を形成させる。凝集汚泥はたて型ろ過濃縮装置の上部に投入され、(3)の1)で後述するようにスクリーンで下方に搬送されながらスクリーンにより固液分離が行われ、汚泥濃度 6~8%程度まで高濃度濃縮される。濃縮汚泥は濃縮汚泥引抜ポンプによりポリ鉄混合用ミキサーを経て、高濃度対応型フィード装置に供給されるが、この際に濃縮汚泥にポリマーが再度注入される。

脱水部においては、高濃度対応型フィード装置に濃縮汚泥が投入され、フィード装置内部でろ過濃縮が進行することでフィード出口の汚泥濃度は TS10%程度にまで達し、厚み・幅方向とも均一化された後、ベルトプレス脱水機の圧搾ロールにより脱水されて脱水汚泥として排出される。

なお上記したように汚泥にポリマーを注入し凝集させた後濃縮を行い、濃縮汚泥にポリマーを再度注入させた後、脱水を行う方式を以下「一液方式」とする。また汚泥にポリマーを注入し凝集させた後濃縮を行い、濃縮汚泥にポリマーとポリ鉄を注入させた後、脱水を行う方式を以下「後注入二液方式」とする。



図表 1 本装置の概略フロー



図表 2 本装置の構造

(3) 要素技術の解説

1) たて型ろ過濃縮装置

① 本体構造

たて型ろ過濃縮装置の外形図及び、各部の名称を図表 3 に示す。たて型ろ過濃縮装置は、汚泥をろ過するための円筒型スクリーンユニット、汚泥を下方へ移送するスクリーユニット、スクリーンを汚泥とろ液で水没させるためのケーシング、スクリーユニットを駆動するためのスクリー駆動部、スクリーンユニットを回転させるためのスクリーン駆動部から構成される。

スクリーンユニットは主にパンチングプレートで構成され、運転中はスクリーン面の更新を

目的としてスクリーユニットとは逆方向に常時回転する。

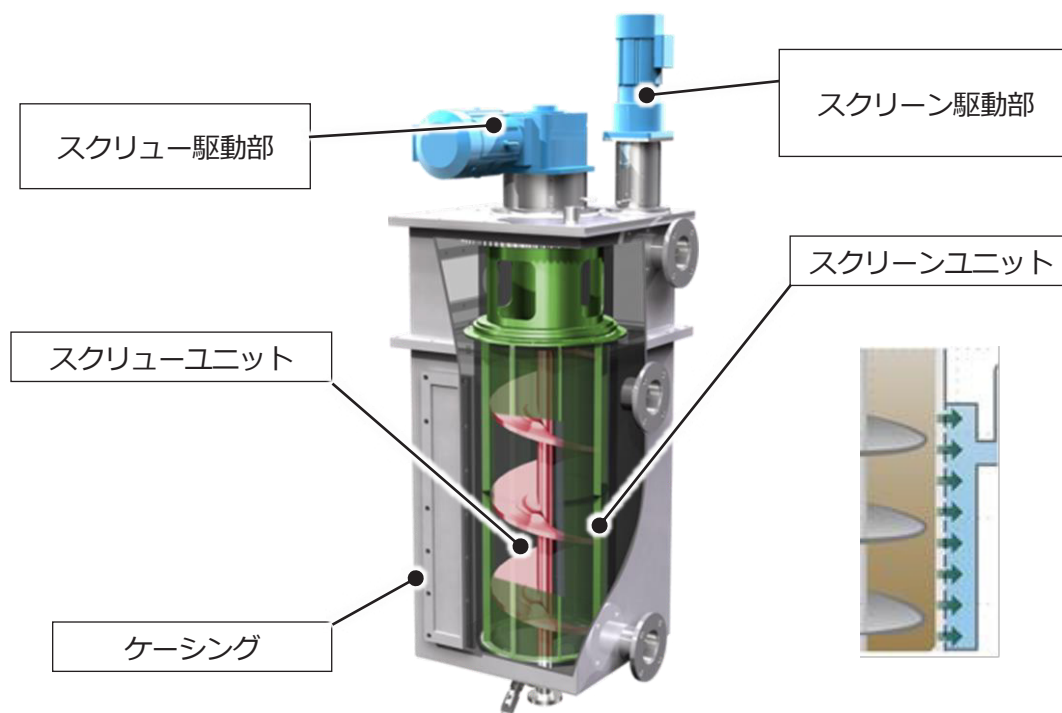
スクリーユニットはスクリー軸にスパイラル上の羽根を取り付けたものであり、スクリーン内側に充填された汚泥を下方へ移送する機能を有している。

ケーシング内部は運転中において常にろ液で浸漬された状態で運転され、ろ液はオーバーフローにてケーシングの外へ排出される。スクリーン駆動部はスクリーンユニットを回転させるための装置で、回転数を調整するためにインバーターモーターを採用している。スクリー駆動部はスクリーユニットを回転させるための装置で回転数を調整するため、同様にインバーターモーターを採用している。

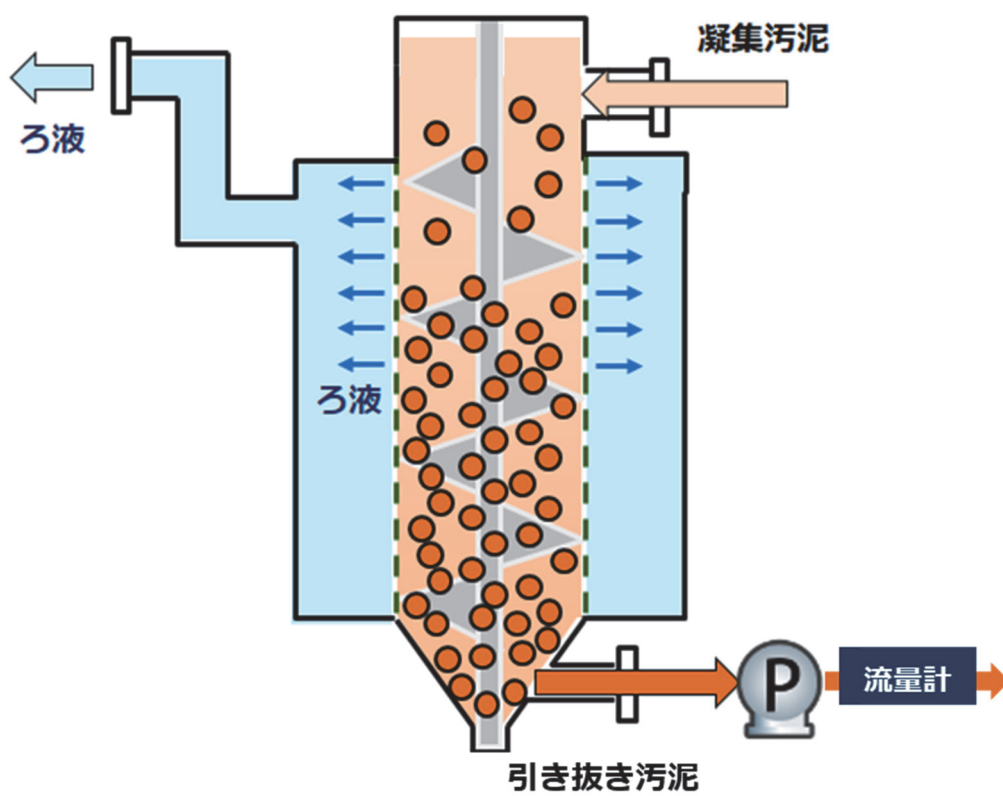
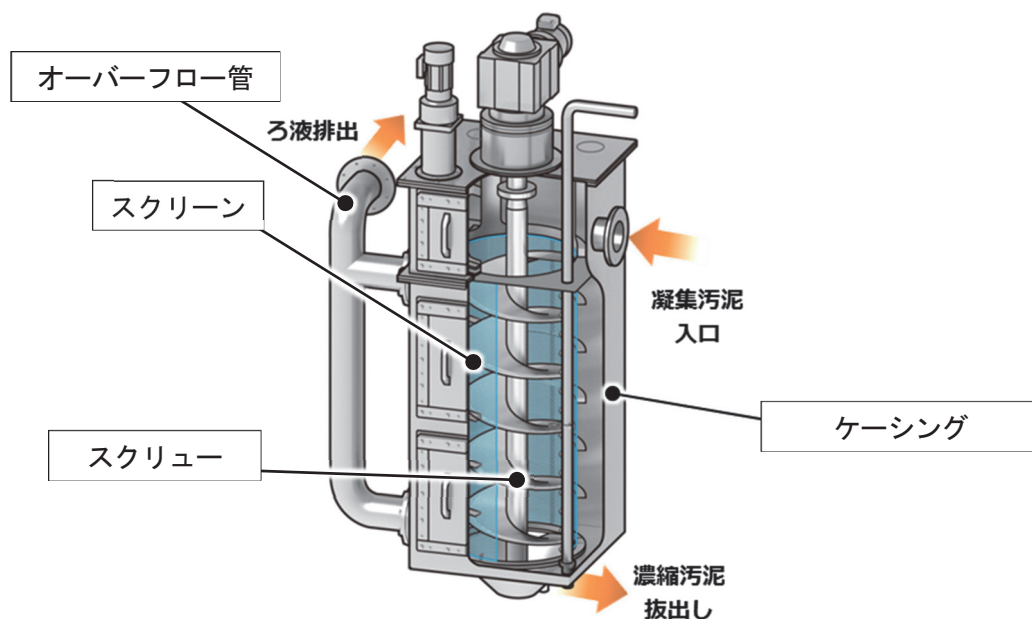
②濃縮原理

たて型ろ過濃縮装置の濃縮原理は以下のとおりである。(図表 4)

- a. 凝集剤と調質された凝集汚泥が、ケーシングの凝集汚泥入口より連続供給される。
- b. 凝集汚泥は設置されたスクリーンを介して、ろ過されることにより濃縮される。
- c. スクリーン内に設置されたスクリーは一定速度で回転しているため、ろ過濃縮された汚泥が下方へ移送される。
- d. 汚泥出口まで移送された濃縮汚泥は、ポンプによって引き抜きが行われる。従来の高効率型ベルトプレス脱水機（高効率型 BP）ではろ過速度や薬注率等の調整を行うものの、結果として成り行きであった濃縮汚泥濃度を任意に設定することが可能である。
- e. ろ過濃縮時に発生するろ液は、オーバーフロー管より外部へ排出される。



図表 3 たて型ろ過濃縮装置の外形及び各部の名称



図表 4 たて型ろ過濃縮装置の濃縮機構

③微圧ろ過

図表 5 に従来の濃縮機とたて型ろ過濃縮装置の濃縮イメージを示す。従来のろ液側が大気開放された濃縮機械（スクリーン濃縮機、ベルト濃縮機）ではスクリーン内面と外面の圧力差が大きく、ろ過流速が高くなるが、スクリーン内面への汚泥層形成によるろ過面の目詰まりを引き起こしやすい。一方で、ろ液排出口がスクリーンよりも上部に配置されているたて型ろ過濃縮装置の場合は、ろ過圧力が、投入汚泥液面とろ液排出口液面の差のみ（約 200mm、2kPa 程度）しかないため、スクリーン内面の汚泥層が形成されにくいという特徴がある。

④特長

たて型ろ過濃縮装置の特長は下記のとおりである。

a. 安定したろ過性能

微圧ろ過方式により、安定したろ過性能を長時間維持できる。

b. 濃度コントロールが容易

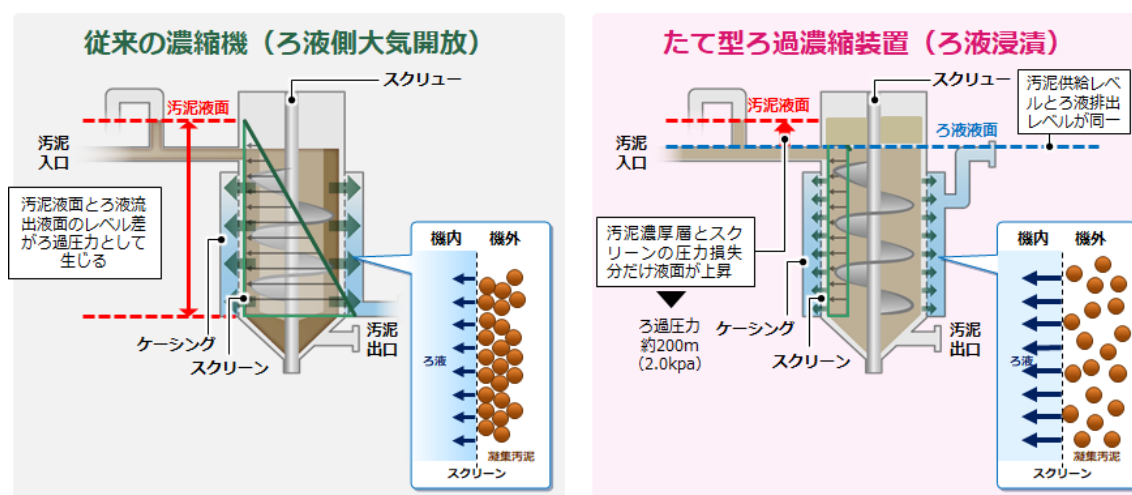
濃縮汚泥の引抜き量の制御により濃縮倍率を調整することが可能である。従来方式ではろ過速度や薬注率等の調整を行うものの、結果として成り行きであった濃縮汚泥濃度を、4～10%の範囲で任意に設定することが可能である。

c. 低振動・低騒音

スクリーン及びスクリーンはともに $1\sim 8\text{min}^{-1}$ 程度の低速回転のため、振動、騒音が少ない。そのため防振装置や防音カバーの必要がなく、取扱いが容易で摺動部の磨耗が少ない。

d. 密閉構造であるため臭気対策が容易

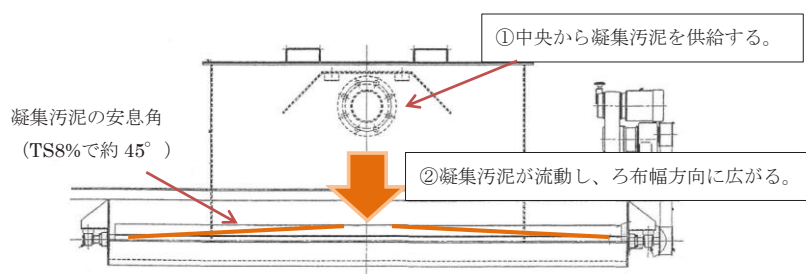
本体ケーシング内が密閉式のため臭気漏洩が発生しにくく、臭気対策が基本的に不要であり作業環境が良好である。



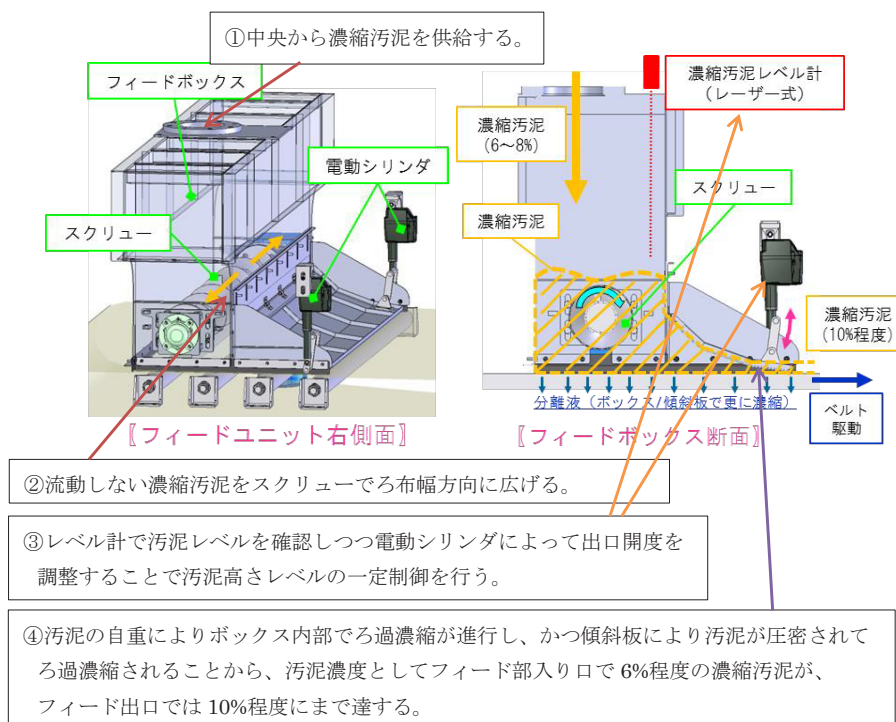
図表 5 微圧ろ過のイメージ

2) 高濃度対応型フィード装置

図表 6 に従来フィード装置の概念図を、図表 7 に高濃度対応型フィード装置の概念図を示す。たて型ろ過濃縮装置により TS6～8%程度まで汚泥を濃縮し、流動性を失った状態で脱水機に投入されるため、図表 6 に示す従来フィード装置ではろ布上に均一にフィードすることが困難である。そこで、図表 7 に示す高濃度対応型フィード装置を用いる。濃縮汚泥は、フィードボックスの中心に投入され、汚泥の安息角（TS8%で約 45° ）により汚泥をろ布幅方向に広げつつ、スクリューを駆動させることで汚泥が左右に均される。汚泥がフィードボックスの内部全体に広がった状態で、ろ布を駆動させ、ろ布と汚泥との摩擦力によりボックスから汚泥が引き出される。フィードボックスの上部にはレーザー式のレベル計が、汚泥出口部には開度を調整する傾斜板がそれぞれ設けられている。レベル計でフィードボックス内部の汚泥高さレベルを確認しつつ電動シリンダーで出口開度を調整し、汚泥高さレベルが一定となるようにフィード量を制御している。



図表 6 従来フィード装置の概念図



図表 7 高濃度対応型フィード装置の概念図

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

下水処理場に流入した下水の処理過程で発生する汚泥の水分を減らし、汚泥を減容化させる汚泥脱水機には様々な種類が存在する。その中でも主流とされている圧入式 SP は、脱水性の良い混合生汚泥の場合、低動力、低含水率、高処理量で運転できるものの、消化汚泥などの難脱水汚泥の場合、SS 回収率が悪化し、高薬注率の運転や処理量を落とした運転を余儀なくされるケースが多い。一方、従来の高効率型 BP は難脱水汚泥に対して安定した運転ができるが、処理量が少ない、機器が大きく臭気対策が難しいといった課題を持つ。そこで高効率型 BP の長所を維持しつつ上記課題を克服することをコンセプトとした新型ベルトプレス脱水機の開発に着手し、日本下水道事業団とともに共同研究に取り組んだ。以下に開発経緯を示す。

2016 年	新型ベルトプレス脱水機の開発コンセプト、技術方針の検討
2017 年	小型試験機を製作、同試験機による現地試験の実施
2018 年～2019 年	日本下水道事業団と共同研究を実施
2020 年	日本下水道事業団の新技术 I 類に DSBP 登録
2021 年	第 1 号機納入

(2) 共同開発

本装置は、月島機械株式会社（当時※）、日本下水道事業団が共同で開発を行った。それぞれが担当した開発の内容は、次のとおりである。

- ・月島機械株式会社：
設備設計・施工、試運転、運転管理、データ収集
- ・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、実証評価

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

(3) 技術導入

なし

3. 独創性

本脱水機は以下に示す 3 つの独創性がある。

- (1) ろ過速度の向上
- (2) 機器のダウンサイジング
- (3) 消化汚泥などの難脱水性汚泥に対して少ないポリ鉄消費にて脱水汚泥含水率を低減

(1) ろ過速度の向上

濃縮部と脱水部の独立により、各装置は濃縮及び脱水に適した構成となっている。これに伴い運転条件をそれぞれ最適化出来るため、本装置は従来の高効率型 BP と比較し、ろ過速度が増加した。言い換えると従来の高効率型 BP よりろ布幅の小さい本装置にて、同等の処理能力を発揮することが可能となり、ろ過速度の向上が可能となった。

(2) 機器のダウンサイジング

ベルトプレス脱水機の脱水部前段で投入前に汚泥のろ過濃縮が完了しているため、高効率型 BP の重力ろ過ゾーン及び楔状加圧脱水域を省略することが可能となった。この省略及びろ過速度増加の複合効果により、本装置はたて型ろ過濃縮装置が付加されているが、総合的には高効率型 BP に比べて全体容積及び設置面積、動荷重は削減され、機器のダウンサイジングが達成される。

(3) 消化汚泥などの難脱水性汚泥に対して少ないポリ鉄消費にて脱水汚泥含水率を低減

ポリマーに加えてポリ鉄を注入する二液方式は、汚泥とポリ鉄が接触することで高密度のフロック（微粒子の凝集物）が形成されるため、微粒子間の水分が抜けやすく脱水汚泥含水率の低減に有効である。しかし消化汚泥はアルカリ度が高く、濃縮前の汚泥に注入する場合、凝集に最適な pH 調節を行うための必要量が多いこと、更に汚泥中の水分にポリ鉄が溶出することで汚泥との接触確率が下がることから、ポリ鉄の消費量が増えることが難点であった。

本装置では濃縮汚泥、つまり水分を一定量除去した汚泥にポリ鉄を注入する後注入二液方式が可能であることから、汚泥中水分へのポリ鉄流出を最小限に留め、汚泥に対して効率的にフロック化を促進させることが可能である。以上より少ないポリ鉄消費にて脱水汚泥含水率が低減できる。

4. 特許の有無

次のとおり、特許 2 件を取得済み。

特許番号：第 6789261 号 / 名称：濃縮装置、ベルトプレス型脱水機、およびベルト型脱水機

特許番号：第 6927923 号 / 名称：濃縮方法および脱水方法

5. 性能

本装置の脱水性能を高効率型 BP と比較する形にて示す。

(1) 嫌気性消化汚泥における脱水性能

嫌気性消化汚泥における本装置と高効率型 BP の脱水性能を図表 8 に示す。なお高効率型 BP の脱水性能は一般的な嫌気性消化汚泥に対する標準性能であり、本装置の脱水性能は実際に用いた嫌気性消化汚泥の性状における脱水性能である。本装置で用いた嫌気性消化汚泥は一般的な嫌気性消化汚泥と比べると TS 及び繊維状物がやや高い一方で VTS が 10pt 以上高く、標準より難脱水性の汚泥であると考えられる。難脱水性の汚泥であることから本装置のポリマー薬注率は高効率型 BP と比較し 0.5pt 増えてはいるものの、本装置の後注入二液時には高効率型 BP の 1.5 倍のろ過速度であるにも関わらず、脱水汚泥含水率を-2pt 減少させることが可能である。

(2) 混合生汚泥における脱水性能

混合生汚泥における本装置と高効率型 BP の脱水性能を図表 9 に示す。なお高効率型 BP の脱水性能は一般的な混合生汚泥に対する標準性能であり、本装置の脱水性能は実際に用いた混合生汚泥の性状における脱水性能である。本装置で用いた混合生汚泥は一般的な混合生汚泥と比べると TS 及び繊維状物がやや低くかつ VTS が 2pt 高いことから、標準より難脱水性の汚泥であると考えられる。難脱水性の汚泥であるにも関わらず本装置は高効率型 BP と同等の脱水汚泥含水率をろ過速度 1.5 倍かつポリマー薬注率が 0.5pt 低い条件にて達成している。なお混合生汚泥においては消化汚泥のように後注入二液方式は設定していない。これは混合生汚泥が消化汚泥と比較し比較的脱水性が良く、一液調質でも脱水汚泥含水率を十分に低くすることができるためである。

図表 8 嫌気性消化汚泥における脱水性能

			高効率型BP 一液調質 標準性能		DSBP 一液調質 脱水性能		DSBP 後注入二液 脱水性能	
脱水対象汚泥性状	水処理方式		標準活性汚泥法		標準活性汚泥法		標準活性汚泥法	
	汚泥の種類		嫌気性消化汚泥		嫌気性消化汚泥		嫌気性消化汚泥	
	強熱減量(VTS)		70 ~ 67		81 ~ 77		81 ~ 77	
	供給汚泥濃度(TS)	機械式 (%)	1.0		1.3程度		1.3程度	
	繊維状物(100メシ)		5	—	5	10	5	10
ベルトプレス脱水機	脱水汚泥含水率		83	—	—	84	—	81
	ろ過速度[kg-D S/m ² ・h]		60	—	—	90	—	90
	固形物(SS)回収率		90以上	—	—	90以上	—	95以上
	薬注率(対TS:無機)		—	—	—	—	—	20以下
	薬注率(対TS:ポリマー)		1.7以下	—	—	2.2以下	—	2.2以下

図表 9 混合生汚泥における脱水性能

				高効率型BP 一液調質 標準性能		DSBP 一液調質 脱水性能		
脱水対象汚泥性状		水 処 理 方 式		標準活性汚泥法		標準活性汚泥法		
		汚泥の種類		混合生汚泥		混合生汚泥		
		強熱減量(V T S)	(%)	86 ～ 83		88～ 85		
		供給汚泥濃度(T S)	機械式	(%)	3.5 程度		3.1程度	
		繊維状物(100メッシュ)		(%)	10	20	10	20
ベルトプレス脱水機	機械濃縮	脱水汚泥含水率	(%)	－	79	－	79	
		ろ過速度[kg・D S/m ² ・h]		－	140	－	210	
		固形物(S S)回収率	(%)	－	93以上	－	93以上	
		薬注率(対T S：ポリマー)	(%)	－	1.3以下	－	0.8以下	

6. 経済性

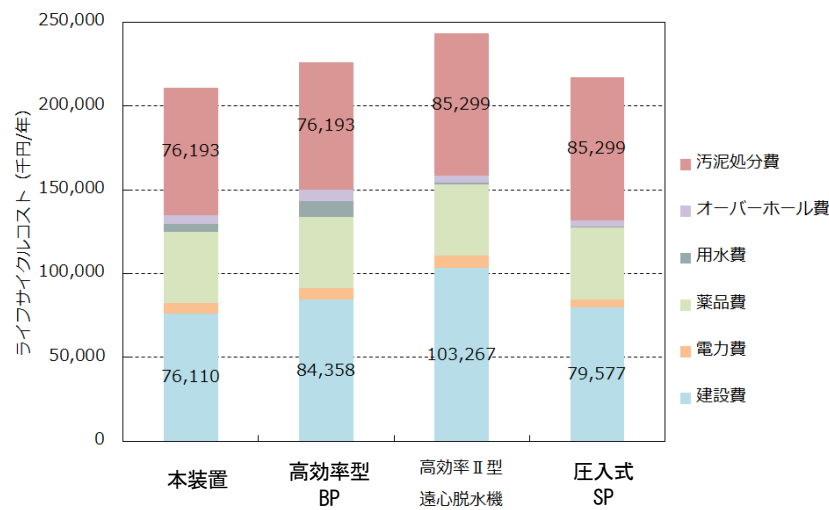
大規模下水処理場を対象とし、本装置と高効率型 BP、高効率Ⅱ型遠心脱水機、圧入式 SP における 15 年間のライフサイクルコスト算出及び比較を行った。算出における基本条件を図表 10 に、脱水機諸元表を図表 11 に示す。なお図表 11 にて示すように各脱水機の 1 台あたりの処理能力が異なることから、必要処理量に対する最適台数も異なるため、算出においては、維持管理コスト等も加味し設置台数を各脱水機における最適台数としている。各脱水機における年間辺りのライフサイクルコストを図表 12 に示す。本装置が最も安価なライフサイクルコストとなった。

図表 10 基本条件

条件	大規模下水処理場
計画 1 日最大汚水量	100,000 m ³ /日
計画流入 S S 濃度	150 mg/ℓ
計画放流 S S 濃度	10 mg/ℓ
排除方式	分流式
水処理方式	標準活性汚泥法
濃縮方式	重力＋機械濃縮（分離濃縮）
脱水対象汚泥	混合生汚泥
調質	一液調質
強熱減量（V T S）	83～86%
汚泥濃度	3.5%
繊維状物（100 メッシュ）	20%
脱水機運転時間	24 時間/日、7 日/週
脱水汚泥処分方法	焼却処分

図表 11 脱水機諸元表

	機種	本装置	高効率型 BP	高効率Ⅱ型 遠心脱水機	圧入式 SP
	項目				
大規模処理場 （混合生）	脱水機容量 及び設置台数	ベルト幅 1.5m ×3 台（内予備機 1 台）	ベルト幅 2.5m ×3 台（内予備機 1 台）	処理量 30m ³ /h ×2 台（内予備機 1 台）	スクリーン径 φ1000 ×2 台（内予備機 1 台）
	1 台あたりの 処理能力	210kg-DS/m・h ×1.5m =315kg-DS/h	140kg-DS/m・h ×2.5m =350kg-DS/h	30m ³ /h (736kg-DS/h)	(1000/300) ^{2.2} ×47= 664kg-DS/h
	薬注率	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%
	脱水汚泥含水率	79%	79%	81%	81%
	固形物回収率	93%	93%	95%	95%



図表 12 各脱水機における年間あたりのライフサイクルコスト

※図表 12 における各費用においては以下の算出とした。

汚泥処分費：A 重油費と焼却炉電力費の合算

オーバーホール費：定期修繕費用

用水費：脱水機の運転・洗浄時に必要とする水量と用水単価を乗算した費用

薬品費：高分子凝集剤及びポリ硫酸第二鉄それぞれの必要量と薬品単価を乗算し、それらを合算した費用

電力費：脱水機及び補機の運転・洗浄時に必要とする電力量と電力単価を乗算した費用

建設費：脱水機価格＋補機価格＋工事費の合算

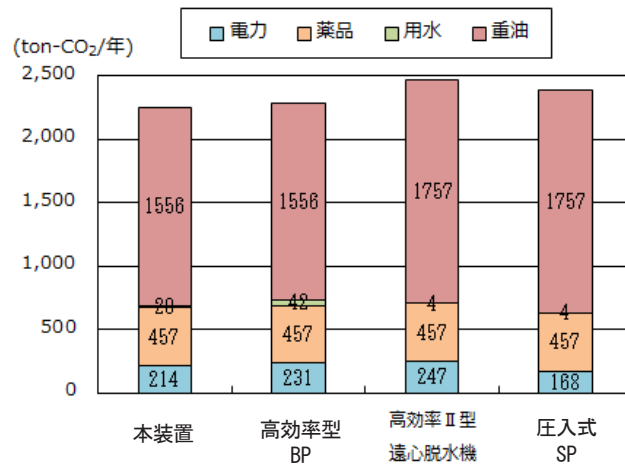
7. 将来性

(1) CO₂ 排出量削減による脱炭素貢献

大規模下水処理場を対象とし、本装置と高効率型 BP、高効率Ⅱ型遠心脱水機、圧入式 SP における年間 CO₂ 排出量の算出及び比較を行った。算出における基本条件及び脱水機諸元表は先に示した図表 10 及び図表 11 を用いている。比較結果を図表 13 に示す。本装置は他機種と比較し CO₂ 排出量が少なく、脱水機更新時において他機種から本装置に変更することにより CO₂ 排出量の削減効果が得られ脱炭素に貢献することができることから、普及拡大が見込まれる。

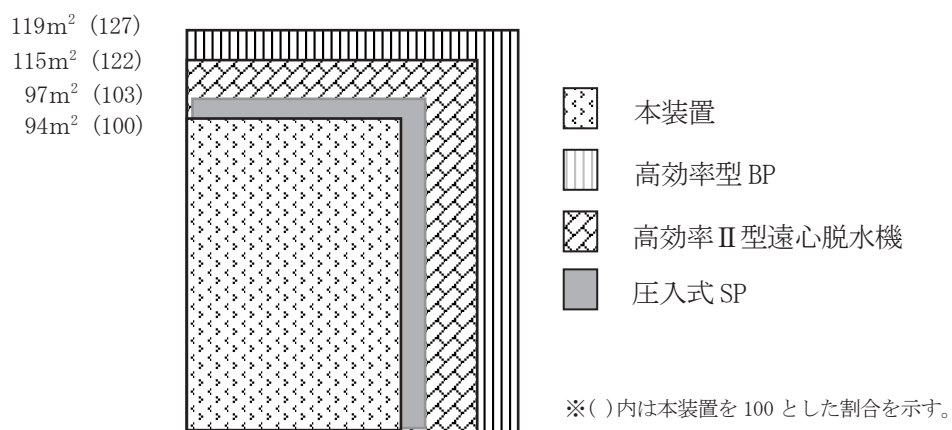
(2) 設置スペースの低減

大規模下水処理場を対象とし、本装置と高効率型 BP、高効率Ⅱ型遠心脱水機、圧入式 SP における設置スペースの確認及び比較を行った。確認における基本条件及び脱水機諸元表は先に示した図表 10 及び図表 11 を用いている。比較結果を図表 14 に示す。本装置は他機種と比較し設置スペースが少なく、設置場所の制限や制約が比較的少ない。また下水道事業の広域化に伴い下水処理場を統合する際においては、既存の限られたスペースにおいてより多くの台数を設置することが可能であり、広域化への対応も可能である。

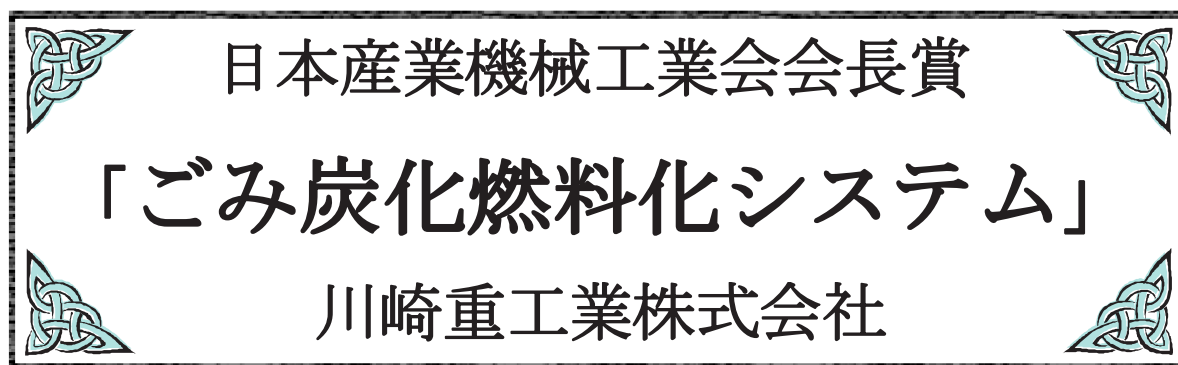


図表 13 各脱水機における年間 CO₂ 排出量

※図表 13 における CO₂ 排出量においては、電力、薬品、用水、重油それぞれの必要量に、排出係数を乗算して算出した。



図表 14 各脱水機における設置スペース



1. 装置の詳細説明

本システムは、図表 1 に示すとおり、一般廃棄物等から炭化燃料を製造し、施設外の化石燃料使用施設でバイオマス由来の代替燃料として利用することで、脱炭素社会に貢献するシステムである。

本システムでは、実績のある事業用火力発電所を始め、ごみ処理施設やアスファルトプラントでの利活用に加え、近年注目されている炭素固定化・貯留等多くの利用先候補がある。このように地域で発生したごみを炭化燃料化し、地域で利用することや固定化して貯留することで地域循環共生圏の確立を実現することができる。

本システムのごみ炭化燃料化施設で炭化燃料製造する工程について、図表 2 に示すフローに沿って説明する。

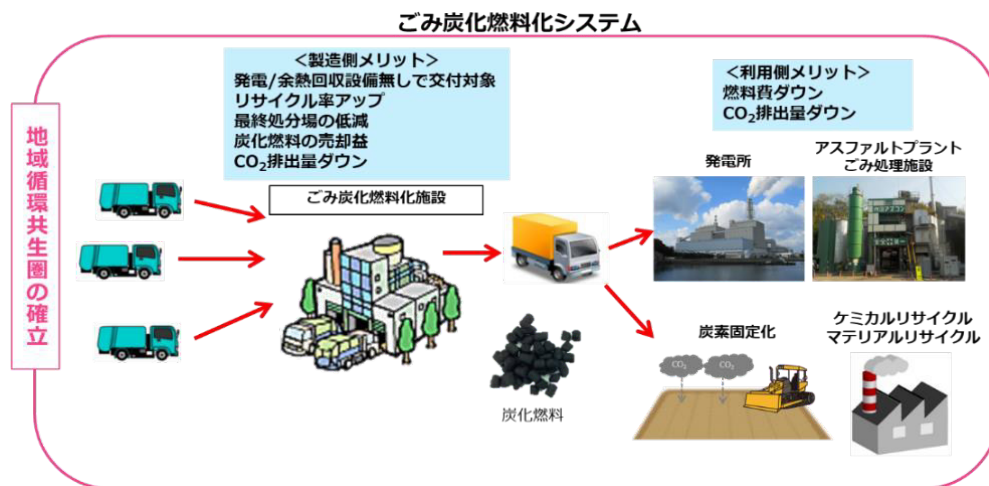
1) ごみ受入設備

プラットホームからごみピットに搬入されたごみを破碎し、破碎ごみピットより給じん機に供給する。ごみと合わせてし尿・下水汚泥も処理しており、その量は供給するごみ量に対して 15% 以上の実績で処理可能である。

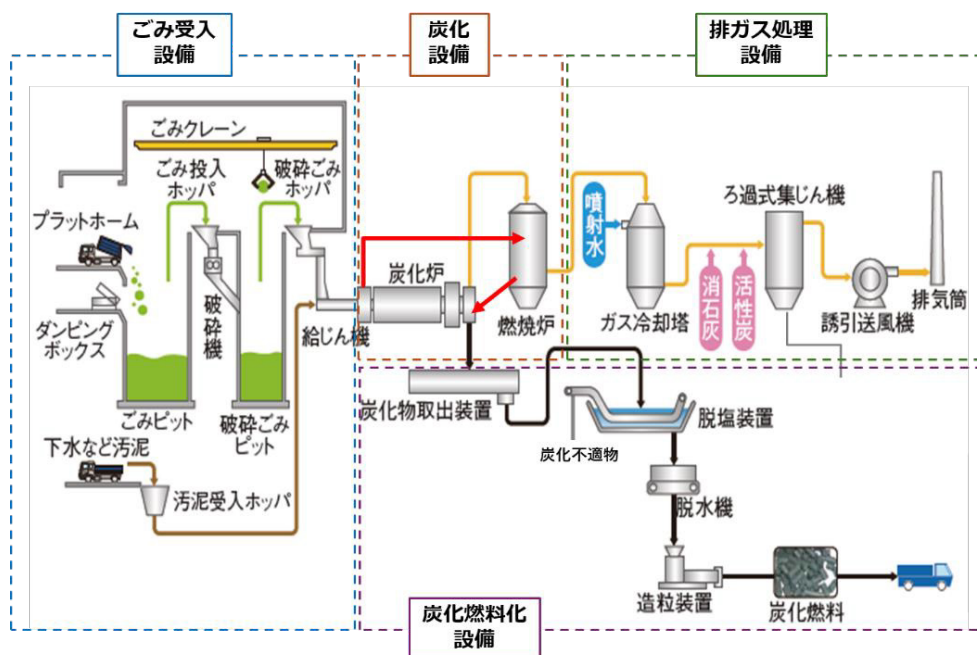
2) 炭化設備

破碎されたごみと汚泥（以下、破碎ごみ）を、図表 3 に示す 450℃ に加熱された炭化炉（約 15m の「間接外熱キルン炉」）に供給し、低酸素状態で 1 時間程度加熱する。

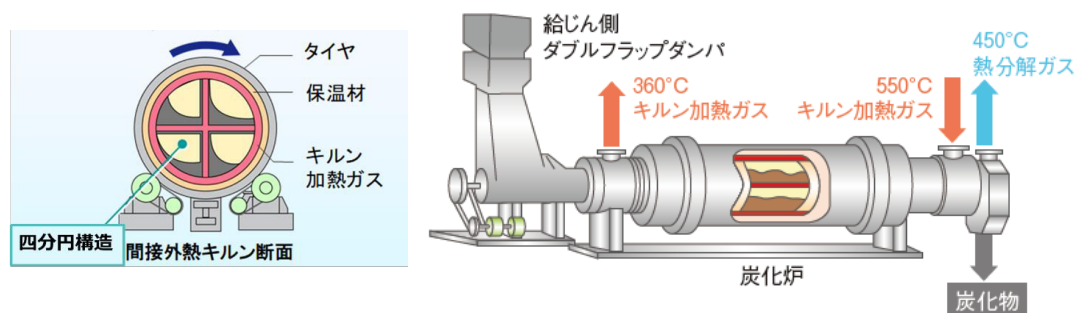
炭化炉内で破碎ごみから炭化水素や一酸化炭素等の熱分解ガスが発生させ、後段の燃焼炉で 850℃ 以上に燃焼制御しごみ炭化用の熱として炭化炉で利用する。このように、ごみの自己熱を利用して炭化することが特長の 1 つである。炭化炉内部は十文字状に四分円構造とすることで、伝熱面積と、熱交換の効率を上げることを実現し、単筒型と比較しコンパクトなサイズで設置可能である。得られた炭化物は、炭化物取出装置で冷却させ、脱塩装置に供給する。



図表 1 ごみ炭化燃料システム



図表 2 ごみ炭化燃料製造施設フロー図



図表 3 炭化炉（間接外熱キルン炉）

3) 排ガス処理設備

炭化炉で利用した循環ガスは、燃焼炉で 850℃以上に再加熱した後、ガス冷却塔にて急冷することでダイオキシン類の発生を抑制している。

ガス冷却塔で冷却されたガスに消石灰と活性炭を吹込み、図表 4 に示す施設の排ガス基準値を遵守し、排気筒より排気している。なお、排ガス量は、ごみ焼却方式と比較して、約 20%少ないため、周辺環境への影響を低減している。

4) 炭化燃料化設備

脱塩装置に供給された炭化物は、0.2-0.4%程度まで塩素濃度を低減可能な、独自の方法で脱塩するとともに、鉄・アルミ・炭化不適物を取り出す設備を設けており、資源回収と炭化燃料の品質を向上している。これは、破碎ごみの塩素濃度は 1-3%程度であり、さらに炭化処理を行うことで塩素分は炭化物に濃縮するため、炭化物を利用先で使用する場合、塩素による利用先施設の腐食等のリスクや異物混入による損傷が生じるためである。最終的には、脱水と造粒の工程を経て図表 5 に示す搬送性が良い形態で利用先へ搬出する。

炭化燃料の発熱量は 16,000kJ/kg 以上（乾燥条件：無水）であり、燃料として十分な発熱量を有している。参考のために、その他の炭化燃料の性状を含め図表 6 に示す。

図表 4 排ガス基準値 (O₂ 12%換算値) 導入実績例

ばいじん	0.01 g/Nm ³ 以下
硫黄酸化物	100 ppm 以下
窒素酸化物	150 ppm 以下
塩化水素	100 ppm 以下
一酸化炭素	30 ppm 以下 (4 時間平均)
水銀	50 μg/Nm ³ 以下
ダイオキシン類	0.1 ng-TEQ/Nm ³ 以下



図表 5 炭化燃料

図表 6 炭化燃料の性状

項目	炭化燃料
低位発熱量 (無水)	16,000 kJ/kg 以上
水分	30～35 %
炭素分	25～28 %
揮発分	14～23 %
灰分	20～27 %
燃料比	1.2～1.8 %

2. 開発経緯

(1) 開発経緯

2006 年～2010 年	国内企業が一般廃棄物の炭化燃料製造実証試験事業を実施
2010 年	国内企業が開発断念、当社へ技術継承
2010 年～2012 年	商用化、連続運転システムの技術開発
2012 年	第 1 号機受注
2015 年	第 1 号機納入
2016 年～2018 年	性能向上技術開発
2018 年～2021 年	炭化燃料利用先拡大実証事業を実施
2022 年～	炭化物貯留 (CCS) 研究開発

(2) 共同開発

なし

(3) 技術導入

上記 (1) に示す。

3. 独創性

本システムの独創性について、一般的なごみ処理方法のごみ焼却方式と比較して説明する。

ごみ処理施設には、ごみエネルギーを地域を含めた外部に供給、一般廃棄物最終処分場の残余年数の確保、ごみのリサイクル率の向上、2050 年カーボンニュートラルに向けた脱炭素化が求められている。本システムは、これらの要求に対して、貢献できるシステムである。

(1) 廃棄物エネルギーの回収

近年、大規模なごみ処理施設では、ごみを焼却しその熱を利用して、発電等でエネルギー回収することが主流となっている。しかし、全施設の 40%程度を占める 70t/日以下の小規模施設では、経済的な理由でボイラ・タービンを用いた発電設備を付帯することは困難であるため、単純焼却を採用している施設が多くあり、効率的なごみエネルギーの回収ができないことが知られている。

本システムでは、炭化燃料を製造することでごみエネルギーの 30～35%を回収することが可能である。このエネルギーを 50%程度のエネルギー回収率を実現している大規模な火力発電所で利用することでごみの 15～17%のエネルギーを回収・利用することができる。

(2) 最終処分量の低減

従来のごみ焼却方式では、ごみに含まれる灰分を主灰と飛灰で搬出される。一方、本システムでは、ごみ中の多くの灰である主灰が、炭化燃料に含まれるため、ごみ処理施設の最終処分としては飛灰のみを搬出する。このことにより、ごみ焼却方式の最終処分量と比較して、約 80%削減することができ、多くの自治体で課題となっている最終処分場の逼迫を抑制することができる。図表 7 に示す導入実績例の最終処分率の推移では、運用開始前後で最終処分率が 12%程度から 4%程度まで低減した。

(3) リサイクル率の向上

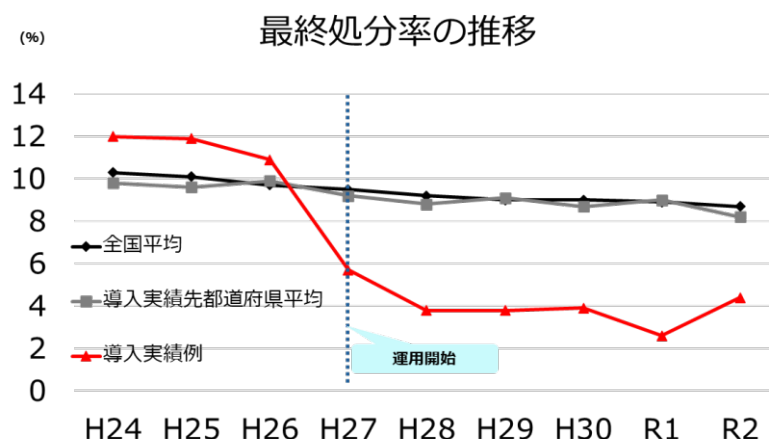
炭化燃料は、ごみの再生利用となるためリサイクル率の向上に寄与する。図表 8 に示す導入実績例のリサイクル率の推移は、運用開始前後で 15%程度から 30%程度まで向上した。

(4) CO₂ 排出量の削減効果（脱炭素化）

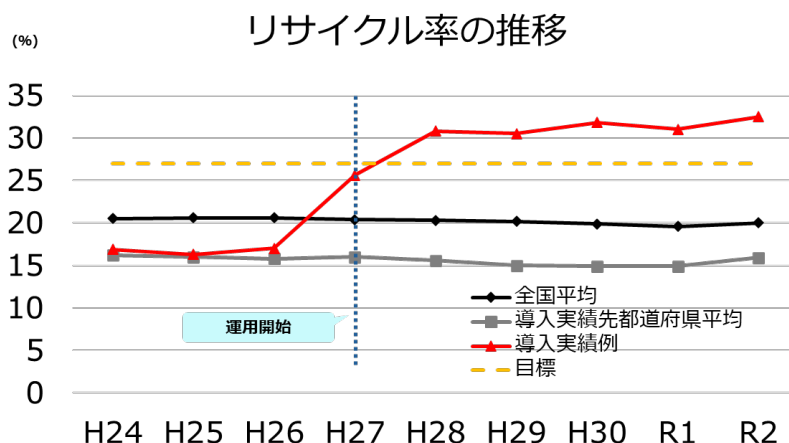
本システムでは、炭化燃料を製造し、施設外の化石燃料使用施設にて利用する。化石燃料の代替燃料として利用されるため、利用まで含めたトータルシステムで、代替した燃料が排出する CO₂ を削減することができる。

分かりやすさのために、利用先での CO₂ 削減分をシステム削減分としてごみ焼却方式である単純焼却と比較すると、図表 9 に示すとおり石炭代替では 51%、重油代替では 29%削減することができる。

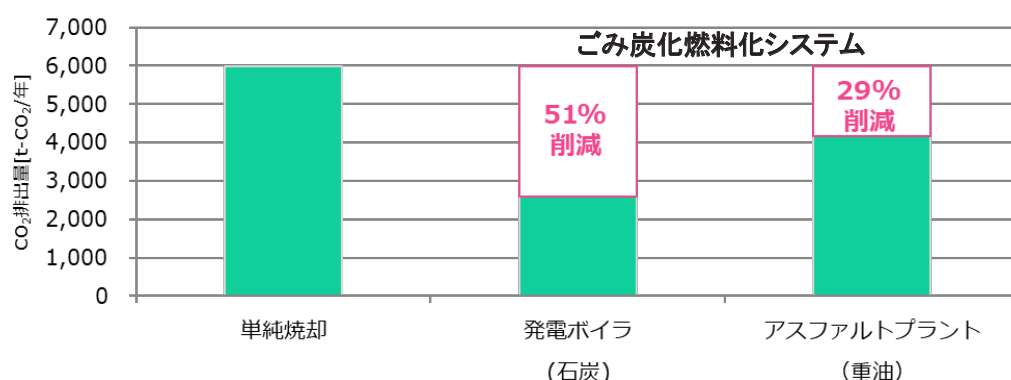
試算条件としては、ごみ中のプラスチック割合は 15%、処理量 30t/日、24 時間、280 日稼働とし、本システムには、炭化燃料の運送時に発生する CO₂ 排出量(12t/回、往復 50km)を含んでいる。利用先の候補として、事業用大規模火力発電所での石炭代替（導入実績例）と「7. 将来性」でも述べるように液体燃料である重油を代替するアスファルトプラントで試算している。



図表 7 最終処分率の推移 導入実績例



図表 8 リサイクル率の推移 導入実績例



図表 9 本システムの CO₂削減効果

4. 特許の有無

次のとおり、特許 2 件を取得済み、1 件を出願中。

特許番号：第 6839995 号 / 名称：ロータリーキルン

特許番号：第 6865638 号 / 名称：ロータリーキルン及びその運転方法

出願番号：特願 2020-152184 / 名称：炭化物の脱塩装置及び方法

5. 性能

ごみ燃料化方式は、炭化燃料化方式も含めこれまで様々な方式の施設が建設されたが、爆発事故、燃料価値の低さにより利用されない等が原因で現在は採用され難くなっている。本システムは、これまでのごみ燃料化方式が抱えていた課題を多く解決しているため、その性能について説明する（図表 10）。

（1）燃料の安全性

ごみを炭化せずに固形化したごみ燃料は、自然発火や発酵を起こしやすく、火災・爆発を引く起こす可能性があることが知られている。そこで、炭化し固形化した燃料の危険性を確認するためにごみ炭化燃料をガラス瓶に入れ 26±1℃の環境下で密閉 11 日間保持した発酵試験を実施し、発酵ガスが発生しないこととともに、自然発火温度が 100℃以上であることを試験で確認している。この温度はバイオマス発電等で使用されている木質チップの自然発火温度（60～80℃）よりも高いため、分析値からも安全性の高い燃料であることが分かる。

（2）燃料の品質と価値

ごみを炭化した燃料であっても、ごみがプラスチック等を多く含むため、塩素濃度が高くなる。本システムでは、開発した脱塩装置を設置して塩素濃度 0.4%以下を達成している。

（3）起動用、補助燃料の使用量

ごみ炭化施設の多くは、准連続式施設であり、起動・停止のために化石燃料を使用し、運転中は、補助燃料を使用して燃料化している。本システムでは、24 時間運転を行い、ごみの自己熱を利用しているため、起動停止用の燃料、補助燃料の利用量を抑制している。

図表 10 従来方式と本システムとの性能比較

従来のごみ燃料化方式の課題	項目	本システム
自然発火や発酵を起こしやすい。	安全性	発酵しにくく、自然発火温度 100℃ 以上で発火しにくい。
ごみ由来の燃料のため、高塩素濃度であるため、利用先施設の腐食リスクがある。	品質 燃料価値	塩素濃度 0.4%以下と事業用火力発電所の燃料基準を達成。 有価で引取りされている実績あり。
准連施設で起動・停止が多く、補助燃料も多く使用している。	燃料使用量	24 時間運転で起動・停止が少なく、ごみの自己熱で炭化しているため、燃料の使用量が少ない。

6. 経済性

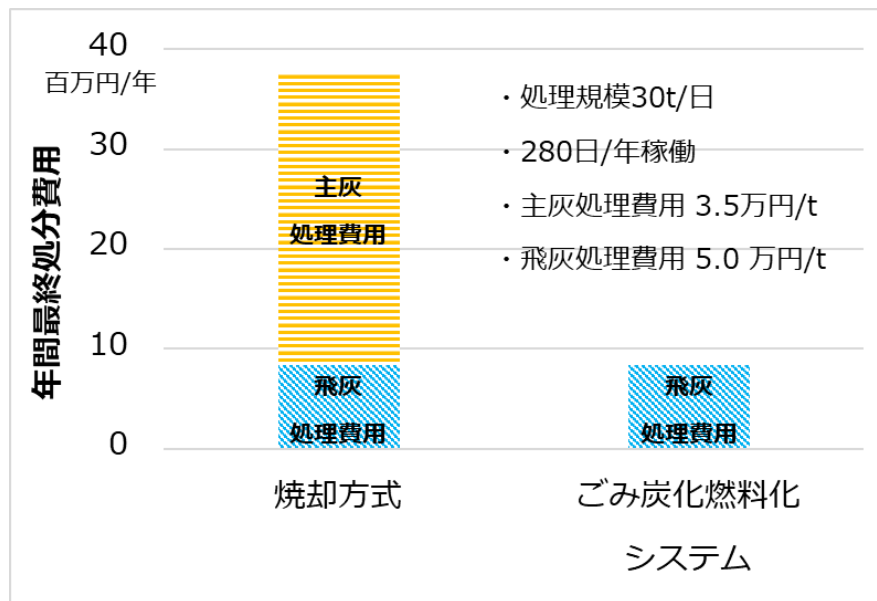
本システムとごみ焼却施設とを比較して本システムが特に経済性に優れている項目を 2 点説明する。

(1) ごみ焼却方式との比較

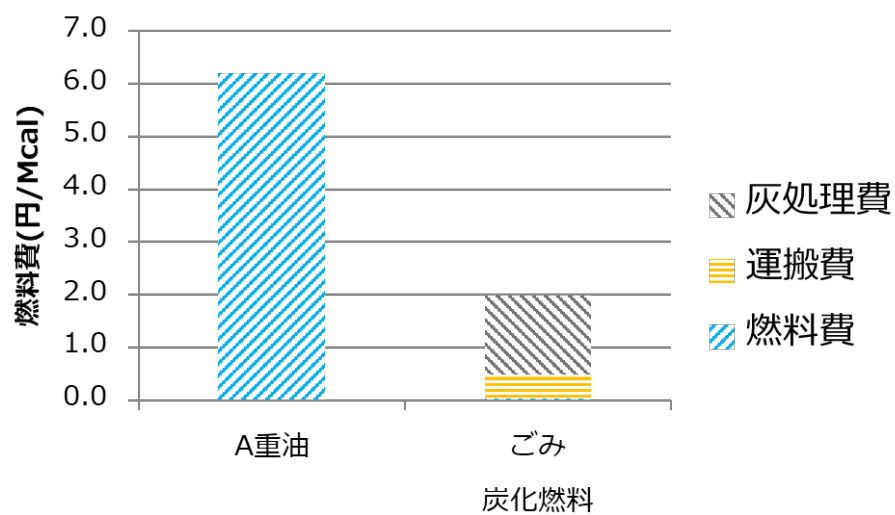
本システムは、ごみ焼却方式と比較して最終処分費用を低減できる。本システムでは、主灰は炭化燃料に含まれるため、最終処理費用を低減することができ、その費用は図表 11 に示すとおり、処理量 30t/日・280 日/年の稼働施設の場合、約 29 百万円/年を削減可能と試算される。加えて、最終処分場の延命化にも貢献することができることから、最終処分場の整備に必要な費用の削減効果も見込める。

(2) 炭化燃料利用先の経済性

本システムの炭化燃料は、利用先が利用するには、燃料費用がかかるが、発熱量当たりの燃料費用は化石燃料等と比較して安価である。これは、上述のように自治体は主灰の最終処理費用を負担せずに燃料として収入を得られることから、安価で販売が可能となるためである。炭化燃料の販売価格は、自治体によって変わるが、100 円/t と仮定した各種燃料とのコスト比較では、図表 12 に示すとおり、A 重油と比較して 4 円/Mcal 程度安く利用することができ、炭化燃料利用先にとっても経済性の良い燃料である。



図表 11 最終処理費用の経済性



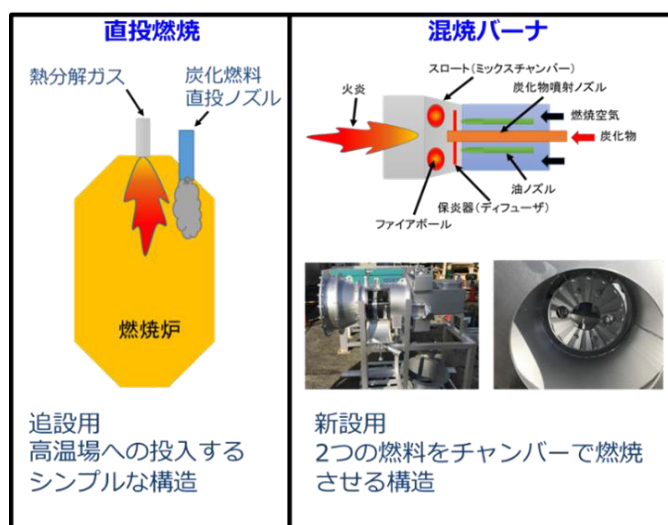
図表 12 ごみ炭化燃料の経済性

7. 将来性

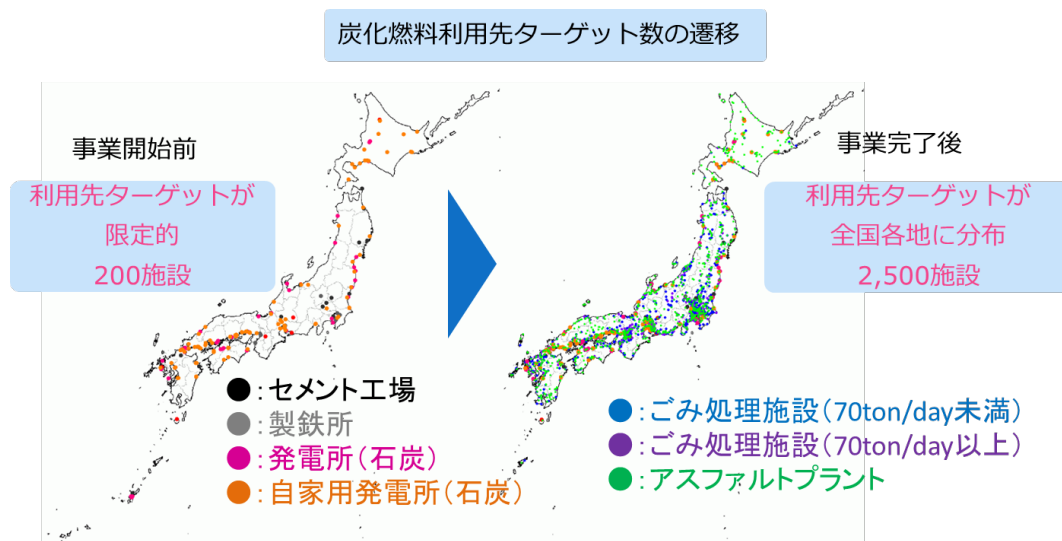
(1) 炭化燃料の利用先拡大

ごみの燃料化施設を建設する場合、燃料の利用先を確保することが重要である。そこで当社は、利用先を拡大するために、2018～2021 年度に環境省委託事業「中小規模廃棄物処理施設における先導的廃棄物処理システム化等評価・検証事業」にて、日工株式会社とともに開発事業に取り組んだ。

開発事業前は、火力発電所、自家用発電所等国内に約 200 施設の限定的な利用先であったが、開発事業後は、図表 13 に示す液体燃料と混焼できる燃焼システムにより全国に広く分布するごみ処理施設やアスファルトプラント 2,500 施設（図表 14）で利用できるようになった。



図表 13 環境委託事業で開発した燃料システム



図表 14 炭化燃料利用先候補の拡大

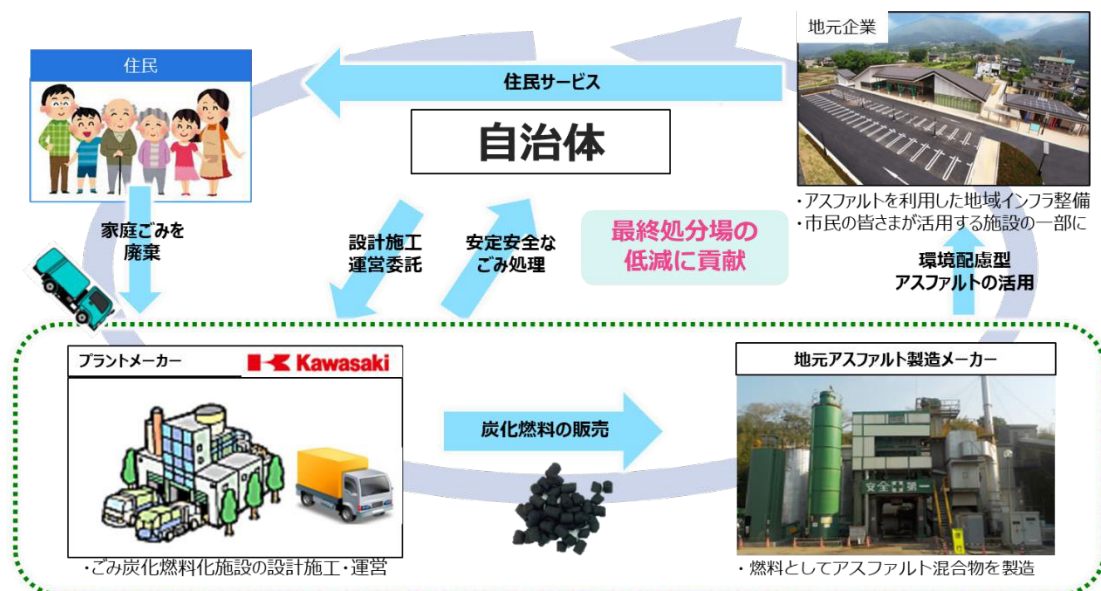
アスファルトプラントでは、必要なタイミングで稼働させる准連続式を採用している施設が多く、化石燃料を多く利用している。液体燃料に20～50%混焼（熱量比）させ、問題なく稼働することを確認するとともに、炭化燃料に含まれる灰がアスファルト合材に含まれ、材料の一部として代替することができ、アスファルト合材の強度等に問題ないことを確認した。この場合、図表 11 に示す炭化燃料の費用のうち、大きな割合を持つ灰処理費用が無くなるため、更に炭化燃料の経済性がよい燃料となる。

この開発事業により、図表 15 に示すような、環境配慮型のアスファルト合材を地域で活用でき、地域循環型社会の推進にも貢献することが期待できる。

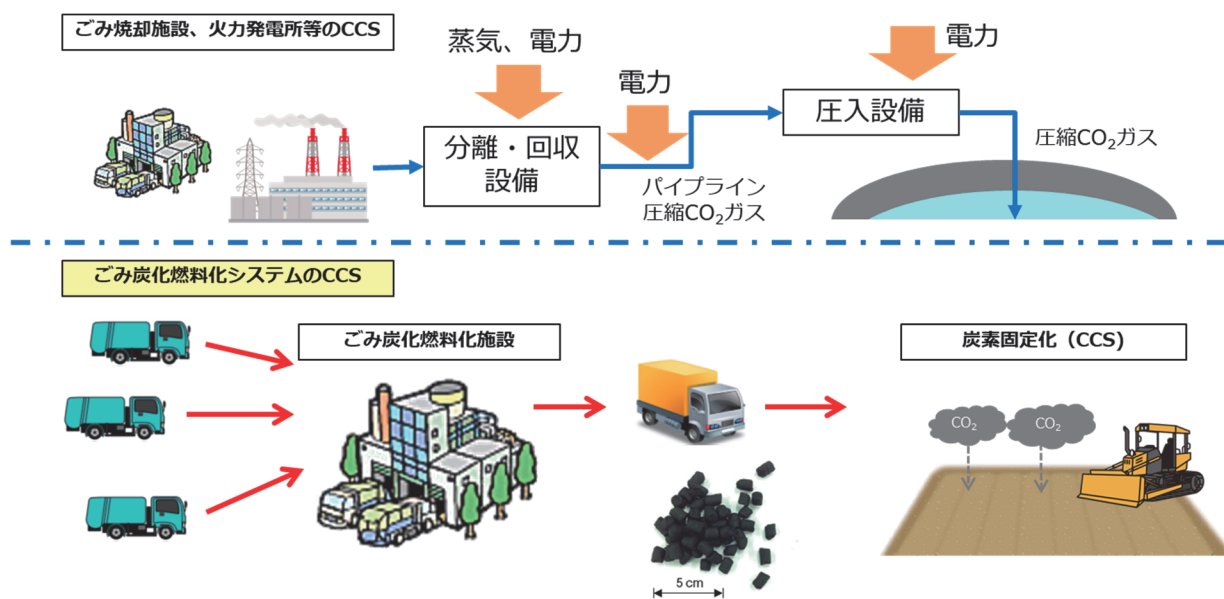
さらに、脱炭素社会への貢献や燃料（化石燃料、バイオマス燃料）の高騰のため、その他の施設（製錬所、バイオマス発電所）からの炭化燃料の利用要望による実証試験やケミカルリサイクルやマテリアルリサイクルでの利用の検証も行うなど、様々な方面で将来性のある燃料である。

（２）炭化燃料による炭素固定化・貯留

脱炭素社会へ向けて、火力発電所等では排ガス中の CO₂ 回収及び利用又は貯留を行う事業が活発に行われている。CO₂ 回収・貯留には、蒸気や電力を多く使うが、本システムでは、ごみを処理する過程で炭素分を固定化することが可能であるとともに、固定化された炭化物を最終処分場の覆土材等に利用することで図表 16 に示すように大規模 CCS（Carbon dioxide Capture and Storage）と比較して簡単に脱炭素社会に貢献することができる。



図表 15 アスファルトプラントでの炭化燃料利用による地域循環型社会イメージ



図表 16 本システムの CCS イメージ

— 非 売 品 —
禁無断転載

第 50 回
優秀環境装置

発 行 2025 年 3 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 0 3 - 3 4 3 4 - 6 8 2 0

