

第43回 優秀環境装置

平成29年6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平成28年度「第43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。

国内経済は、アベノミクス景気が52ヶ月を超えバブル期を抜いて戦後3番目の長さになっている。産業機械の受注についても2017年度は3年ぶりにプラス見通しとなっており、人手不足が顕著な物流関連の投資が増えるほか、IoTやAIなどの新技術への投資が活発になると見込んでいる。

また、輸出の回復が鮮明になっており、リーマンショックが起きた2008年9月以前の水準を回復し、東日本大震災が起きた2010年度以降、6年ぶりに黒字となった。米国経済が堅調だからこそ黒字転換であるが、米国の政権交代により、黒字基調が続けば米国からの風当たりが強まると言う不安材料もある。

一方、近隣のアジア諸国に目を向けると、一時期より経済の発展スピードは鈍化したもののインフラ整備をはじめとした経済成長を第一とした方針に変わりはなく、生産に直接関与しない周辺環境整備はどうしても後手となっているのが事実であり、依然として深刻な環境問題を抱えている。

我が国では、過去に深刻な環境問題に直面し、国、民間が協力して問題を克服してきた経験を有している。民間企業においては厳しい法規制に対応するため、環境装置の改良・開発に注力し、今日のような住み良い生活環境を作り上げ、持続可能な社会創りに大いに貢献してきた実績があり、この経験と実績が必ずや発展途上国に大いに役立つものと確信している。

本事業は優秀な環境装置・システムを表彰し広く公表することで、環境保全技術の研究・開発を一段と促進し、そうした技術・装置の普及により、地球環境の保全に資することを旨とするものである。

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

平成29年6月

一般社団法人 日本産業機械工業会
会 長 佃 和 夫

第 43 回優秀環境装置

— 目 次 —

・ 第 43 回優秀環境装置審査報告	1
・ 第 43 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 「高速加圧浮上装置 (H-DAF シリーズ)」	5
・ 経済産業省産業技術環境局長賞 「プラスチック材質選別装置 (エアロゾータⅢ)」	17
・ 中小企業庁長官賞 「楕円板型固液分離装置 (スリットセーバー)」	29
・ 日本産業機械工業会会長賞 (応募申請書受付順) 「バイオガスマイクロコージェネレーションシステム」	35
「ショットクリーニング装置を具備した高効率廃棄物発電ボイラ」	45
「フィルタレスオイルミストコレクタ (ミストイーターZ)」	55
「蒸留塔付き蒸発濃縮装置」	61
「六フッ化硫黄ガス回収装置 (SF6 ガス回収装置)」	69

一般社団法人日本産業機械工業会のホームページでは、カラーにて受賞装置の概要
をご覧ください。

http://www.jsim.or.jp/news2017/news_170622.html

第 43 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昭和 49 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、「持続可能な循環型経済社会」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、平成 28 年 9 月 5 日から平成 28 年 10 月 14 日までの約 1 ヶ月半にわたって公募した。

その結果、全国から大気汚染防止装置〔3 件〕、水質汚濁防止装置〔4 件〕、廃棄物処理装置〔3 件〕、再資源化装置〔3 件〕、その他の環境負荷低減に資する装置〔2 件〕の応募があった。複数の分野にわたる応募もあったことから、件数としては、合計 14 件であった。審査は、優秀環境装置表彰実施要綱及び優秀環境装置審査要綱の規定に基づいて次のような手順で慎重かつ厳正に行った。

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

次いで、優秀環境装置審査委員会において、審査WGから上程のあった評価報告を総合的に勘案し審査を行い、第 43 回優秀環境装置の経済産業大臣賞 1 件、経済産業省産業技術環境局長賞 1 件、中小企業庁長官賞 1 件、日本産業機械工業会会長賞 5 件を選定した。

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

第43回 優秀環境装置審査委員会名簿

審査委員会

(委員長)

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

(委員)

糟谷 敏秀 経済産業省 製造産業局長
末松 広行 経済産業省 産業技術環境局長
宮本 聡 経済産業省 中小企業庁長官
正田 寛 環境省 大臣官房審議官
小林 憲明 一般財団法人日本品質保証機構 理事長
久貝 卓 日本商工会議所 常務理事
庄山 悦彦 一般財団法人機械振興協会 会長
大宮 英明 一般社団法人日本機械工業連合会 会長
黒岩 進 一般社団法人産業環境管理協会 専務理事
大和田秀二 早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 環境資源工学科 教授
内山 一美 首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 教授
佃 和夫 一般社団法人日本産業機械工業会 会長
田中 信介 一般社団法人日本産業機械工業会 専務理事

審査WG

(主査)

竹内 浩士 国立研究開発法人産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域
研究戦略部 シニアマネージャー

(委員)

田中 幹也 国立研究開発法人産業技術総合研究所 環境管理研究部門 研究部門長
辰巳 憲司 国立研究開発法人産業技術総合研究所 環境管理研究部門
環境微生物研究グループ 客員研究員
加茂 徹 国立研究開発法人産業技術総合研究所 環境管理研究部門
資源精製化学研究グループ 上級主任研究員
名木 稔 一般社団法人産業環境管理協会 資源・リサイクル促進センター 所長
遠藤小太郎 一般社団法人産業環境管理協会 人材育成・出版センター 所長
鈴木 晴光 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部 統括主幹
栗山 一郎 一般財団法人日本環境衛生センター 技術顧問
石田 貴 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
庄野 勝彦 一般社団法人日本産業機械工業会 常務理事

第 43 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>

「高速加圧浮上装置 (H-DAF シリーズ)」 オルガノ(株)

<経済産業省産業技術環境局長賞>

「プラスチック材質選別装置 (エアロソータⅢ)」 ダイオーエンジニアリング(株)

<中小企業庁長官賞>

「楢円板型固液分離装置 (スリットセーバー)」 (株)研電社

<日本産業機械工業会会長賞> (*応募申請書受付順)

「バイオガスマイクロコージェネレーションシステム」 ヤンマーエネルギーシステム(株)

「ショットクリーニング装置を具備した高効率廃棄物発電ボイラ」 新日鉄住金エンジニアリング(株)
NS プラント設計(株)

「フィルタレスオイルミストコレクタ (ミストイーターZ)」 ホーコス(株)

「蒸留塔付き蒸発濃縮装置」 (株)サクラ

日本リファイン(株)

「六フッ化硫黄ガス回収装置 (SF6 ガス回収装置)」 (株)加地テック

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

※複数の分野にわたる応募申請が含まれるため合計値は合いません。



1. 装置の詳細説明

1.1 原理と構成

加圧浮上法とは、原水中の懸濁物質に微細気泡を付着させて、その微細気泡の浮力によって懸濁物質を浮上分離する上水（用水）や排水の清澄化方法の一つである。

加圧浮上法の原理概念図を図 1 に示す。原水の一部または処理水の一部に空気を添加し 0.2～0.5MPa に加圧すると、空気はその飽和濃度近くまで溶解する（飽和濃度は水温及び圧力により変化する）。この空気を溶解させた水を加圧水というが、加圧水を急激に常圧近くまで戻すと過剰に溶解した空気が微細なコロイダル・エア（気泡径：30～120 μm ）となって析出し、この微細気泡が原水中の懸濁物質（フロック）に接触・付着することにより、懸濁物質が浮力を得て、浮上分離が可能となる。

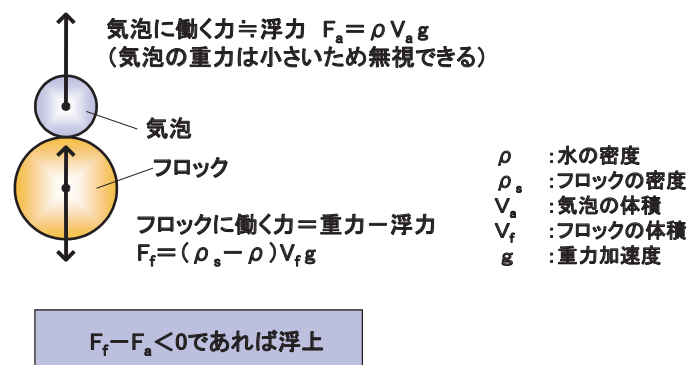


図 1 加圧浮上法の原理概念図

上水（用水）および排水原水中の懸濁物質は、一般的にコロイド状に分散していることが多いので、無機凝集剤（PAC、硫酸バンドなど）や高分子凝集剤を添加して凝集させ、フロック状にしてから分離されるのが一般的であり、この分離に加圧浮上法を適用する場合を凝集加圧浮上と呼ぶ。

凝集加圧浮上は、懸濁物質濃度が数十～約千 mg/L 程度の原水に適用され、10～30mg/L 程度の清澄な処理水が得られる。

加圧浮上を用いた処理システムとしては①処理水加圧法、②原水分流加圧法、③原水全量加

圧法の3つのプロセスがある。このうち②、③の方法は原水を直接加圧して空気を溶解させる方法であるが、懸濁物質が多く含まれる場合、空気溶解器での詰まりの問題等があり、加圧水生成のコントロールに困難が生じることがあるので、①の処理水加圧法が一般的に採用されており、本装置でもこの方法を採用している。

本装置のフローを図2に示す。前段で凝集剤やpH調整剤を添加し、フロック形成された原水は浮上槽の直前で加圧水と混合され、浮上槽内に導入される。微細気泡が付着することにより見かけ比重が軽くなったフロックは浮上槽内で上昇し、スカムとなって浮上槽表面に濃縮される。濃縮されたスカムは浮上槽表面を巡回するスカムスキマーにより掻き取られ、系外に排出される。原水等に含まれる砂等の比重の大きい粒子で、浮上しきれず下部に一部沈降した汚泥は、同様に浮上槽底面を巡回する汚泥スキマーにより掻き取られ、系外に排出される。また、固液分離された処理水は浮上槽下部集水管から水位調整堰を通過して排出される。一方、加圧水は処理水の一部を循環し、空気溶解タンクで0.4~0.5MPa程度の圧力で空気を強制的に溶解させることにより生成する。ここで生成された加圧水は浮上槽直前に配置された減圧弁により大気圧まで解放されると、直径30~40 μ m程度の微細気泡として析出し、フロック形成された原水と混合される。

本装置では、従来の加圧浮上装置よりも浮上槽のLVが大きいので、浮上槽が非常に小型化され、装置全体としてもコンパクトとなる。また、海外でいくつか採用実績のある改良型加圧浮上装置と比較しても、浮上槽LVは同等以上となるので、スペースメリットがあり、建設費の削減も可能となる。

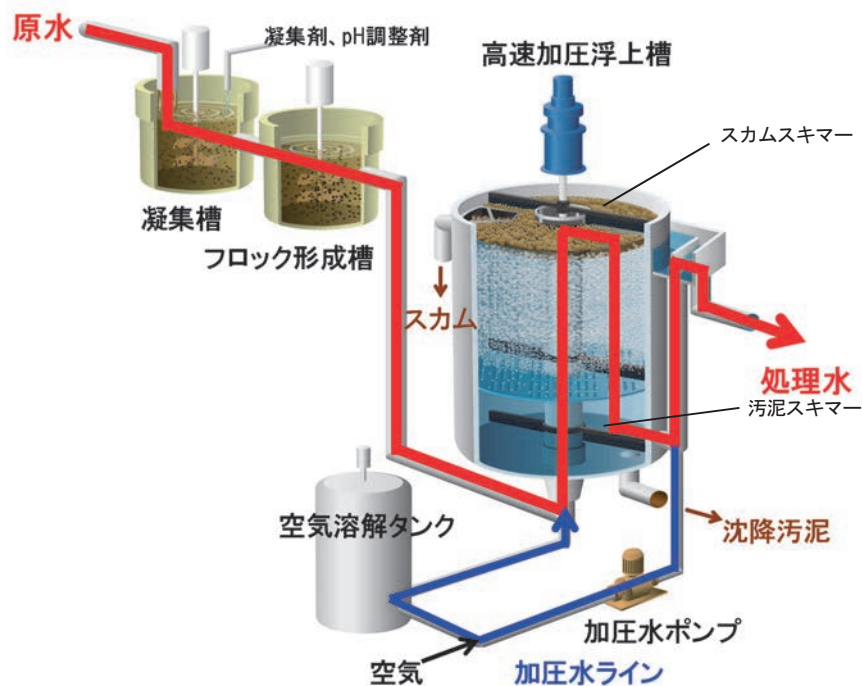


図2 高速加圧浮上装置フロー

国内で最も多く採用されている従来型加圧浮上装置の槽内の水流イメージ図を図3に、従来型加圧浮上装置の改良版として、欧米を中心とする海外での採用実績がある改良型加圧浮上装

置（矩形）の槽内の水流イメージ図を図 4、5 に、本高速加圧浮上装置の槽内の水流イメージ図を図 6 に示す。いずれの装置においても前段で無機凝集剤等添加し、フロック形成された原水は浮上槽の直前で加圧水と混合され、整流筒内（矩形装置の場合はコンタクトゾーン）で微細気泡と接触・付着された後、浮上槽内に導入される。この時、従来型装置では槽内の流れは図 3 で記した矢印の流れが主となる。すなわち、整流筒上部から浮上槽内に導入された原水は、浮上槽の内周壁に向かって流れ、そこに達すると内周壁に沿って下降する。この下降流の流速が速いと、浮力が十分でないフロックが下降流に伴い内周壁の下端を越え処理水側に流出するため、水質を悪化させる。このように内周壁に沿った下降流が早くなるのは、浮上槽内に浮上分離に使用されていないデッドスペースが多く存在するからであり、これらの傾向は流速を速めようとするほどより顕著になることから、従来型装置においては一般的に流速（LV）を 4～6m/h 程度に設定し、それ以上の値とすることはできない。

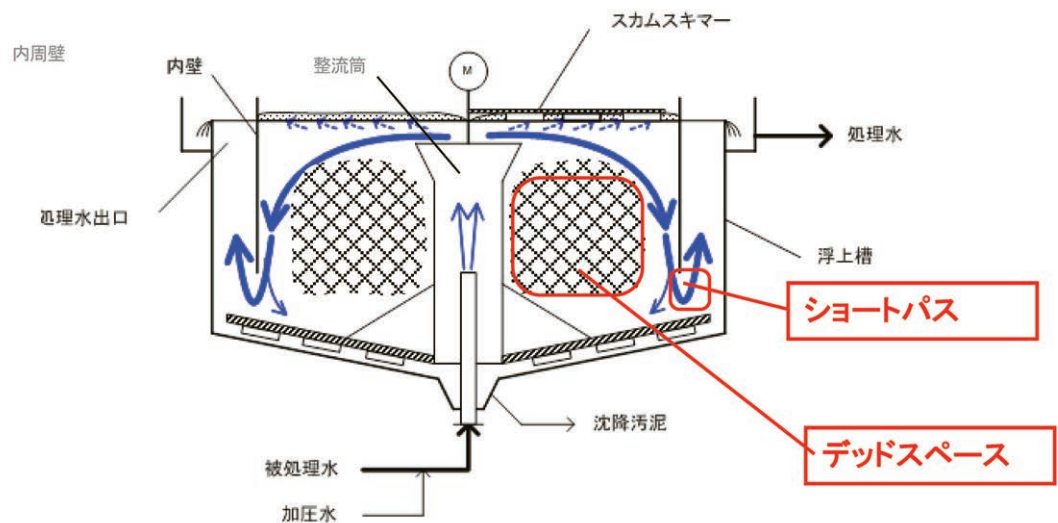


図 3 従来型加圧浮上槽内水流イメージ図

一方、国内の実績はないが、欧米等では従来型加圧浮上装置の改良版として図 4 のように槽内に整流装置を設置した加圧浮上装置が採用されるケースもある。これは矩形の装置であり、周壁の一端から供給された原水は、コンタクトゾーンで加圧水と混合されたのち、浮上槽内に導入され、他端側から処理水として排出される。このような構造においては、浮上槽の液面を流れる被処理水の流れは、本高速加圧浮上装置において整流筒から内周壁に向かって拡がりながら流れる被処理水の流れより速い流速となる（図 5）ため、浮上槽の流速を上げた場合、隔壁に沿って下降する下降流 V_0 の流速も速くなり、処理が悪化しやすい。よって改良型加圧浮上装置は従来型と比較して高 LV で通水できるものの、その通水 LV は 15～30m/h 程度で設計されることが多い。また、一般的に同じ処理量の装置を設計する場合、矩形装置の方が円形装置よりも高コストになるという課題もある。

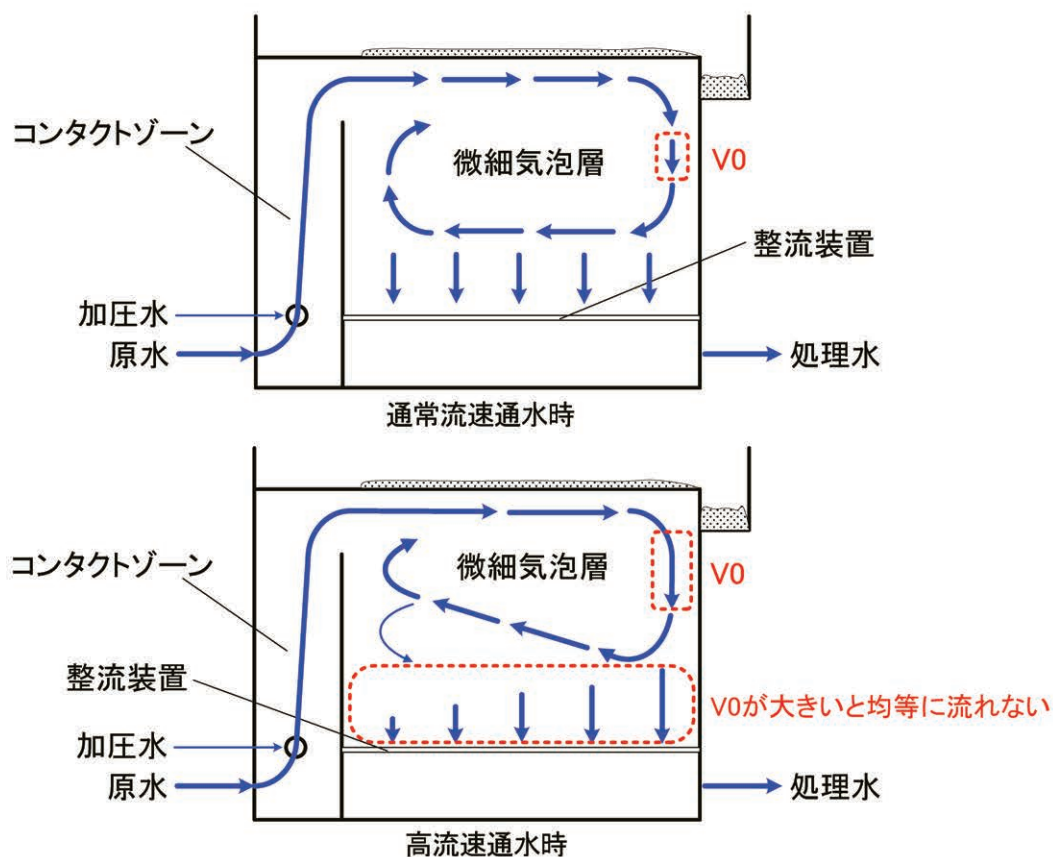


図 4 改良型加圧浮上槽内水流イメージ図
(上：通常流速通水時、下：高流速通水時)

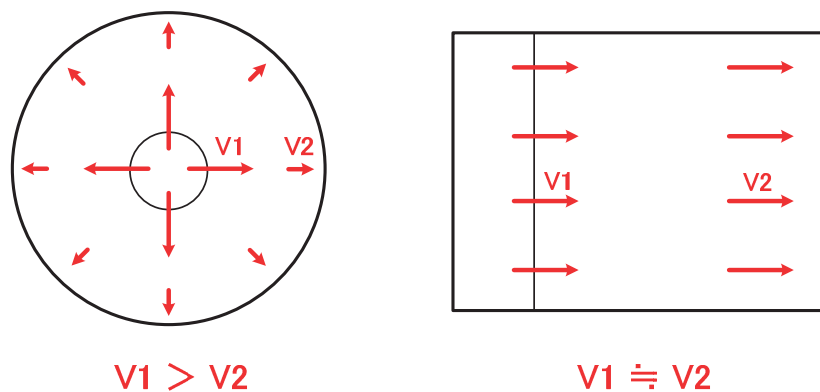


図 5 本高速加圧浮上装置（左）と改良型加圧浮上装置（右）の液面流れ比較
(装置上部から見た図)

今回開発を行った高速加圧浮上装置では従来型、改良型の課題を解決すべく、円形の浮上槽内に整流装置を設置することにより、さらなる高速化を実現させた。整流装置を設置することにより、浮上槽内の流れは図 6 で記した矢印のようになる。整流装置上部においては、浮上槽内周壁に沿って流れる下向流がそのままの流速で最下部へ流れることを防止するうえ、整流効果により整流装置上のどの場所でもほぼ均一な流れとすることができるため、LV が速くても

微細気泡を槽内に保持することができる。このため、槽内には、気泡ゾーン、整流ゾーンという二つのゾーンが形成される。気泡ゾーンにおいては、微細気泡が高密度に保持されることから、整流筒において微細気泡の付着が充分でなかったフロックや、微細気泡が外れて沈降を始めたフロック等に対しても、再度微細気泡を付着させることが可能となるため、処理能力を大幅に向上させることができる。このように、被処理物質の除去において、浮上槽全体を有効に使用することができるため、装置の小型化、浮上槽の高速処理が可能となる。また、この浮上槽全体を有効に使用するという効果は、図 5 で説明したように矩形装置よりも円形装置においてより顕著となるため、本高速加圧浮上装置は改良型加圧浮上装置と比較し、より速い LV での通水が可能となり、かつ建設コストも従来型、改良型と比較し、大幅に低減することができる。

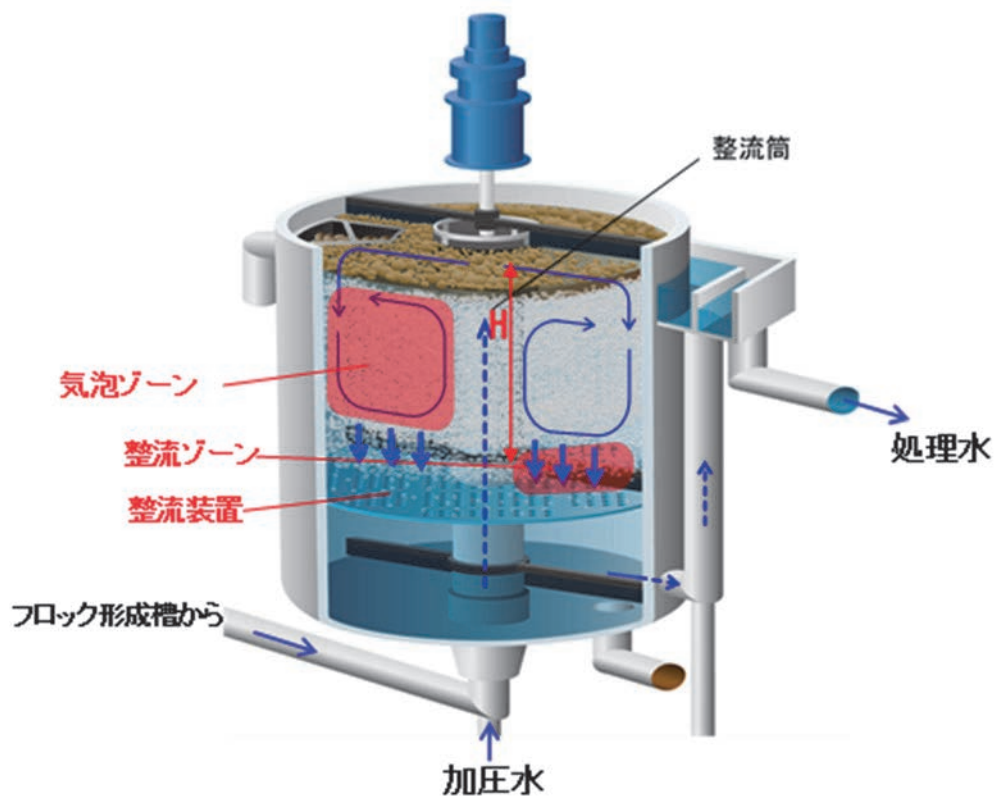


図 6 高速加圧浮上槽内水流イメージ図

今回の開発において最も技術の核となる整流装置に関しては、下記の項目についてベンチスケール実験、パイロットスケール実験で詳細な検討を行った。このうち、一例として、整流装置設置位置について、ベンチスケール実験機で検討した結果を図7に示す。この結果より整流装置の設置位置（浮上槽液面からの距離：図6のH）には最適な値があることがわかった。整流装置を適切な位置に設置することにより、浮上槽内に前述の気泡ゾーン、整流ゾーンを形成することができ、高速化処理が可能となることがわかった。

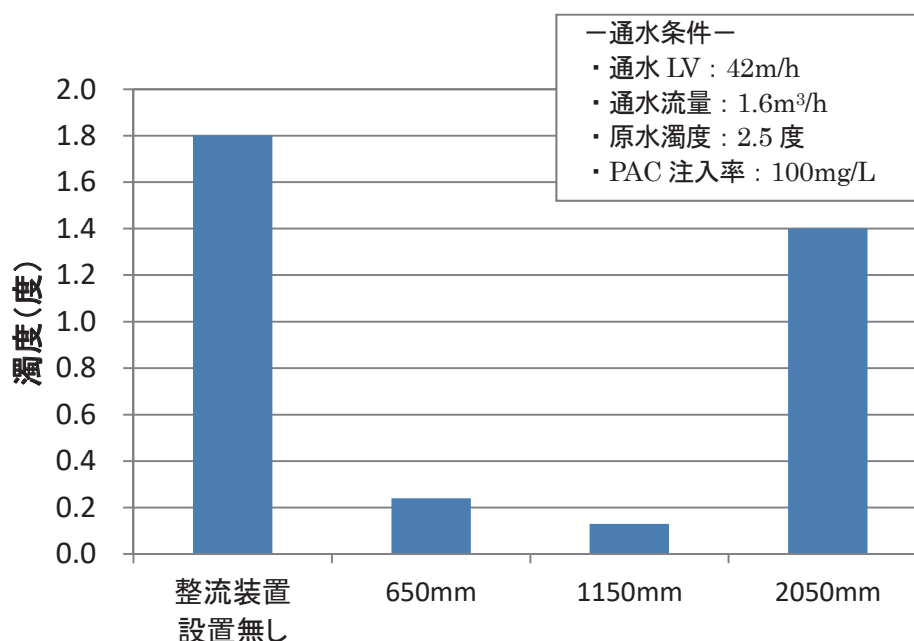


図7 整流装置設置位置と処理水濁度の関係

<整流装置に関する検討項目>

開口率 / 小孔径 / 小孔配置 / 設置位置 / 設置方法 / シール方法
厚さ / 材質 etc

さらに、整流装置の設置の他に、以下に記載の部品および構造（図8参照）に関しても最適化を実施し、LV=20~40m/h という高速化を実現した。

また、同時に空気溶解タンク（図2参照）構造の見直しにより、空気溶解効率の改善を図り、従来型のタンク容量（従来型タンク滞留時間=5分）の1/5となる新型空気溶解タンク（滞留時間=1分）も開発し、コンパクト化およびコストダウンを達成している。

<その他検討項目>

整流筒構造 / 浮上槽入口部構造 / スキマー構造 / 加圧水混合部構造
減圧弁 etc

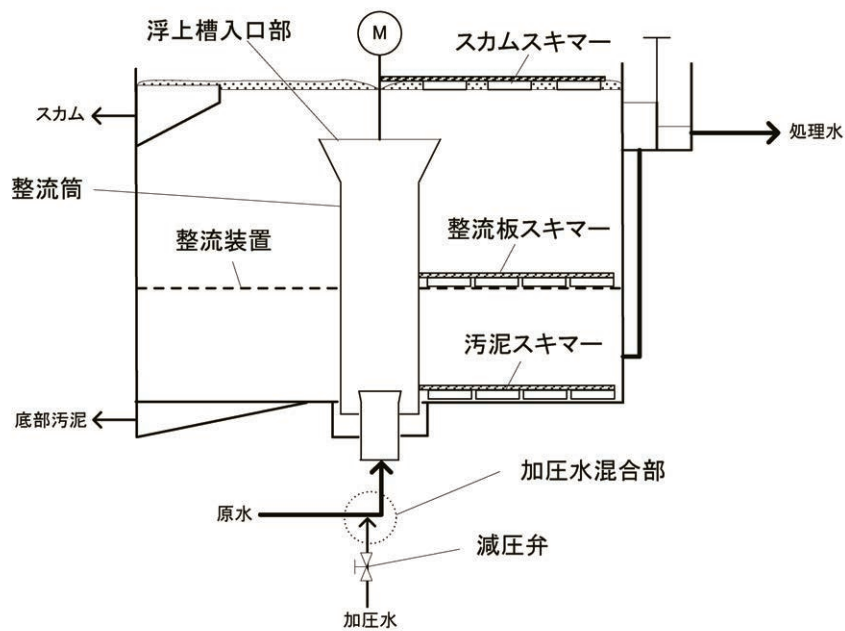


図 8 検討事項

1. 2 装置の特徴

本装置の特徴を以下に記す。

(1) 設置面積の大幅な縮小

- ・従来型加圧浮上装置と比較して設置面積 75～88%削減
- ・改良型加圧浮上装置と比較しても設置面積最大 63%削減

(2) 設備費の削減

- ・装置をコンパクトにすることにより、従来型加圧浮上装置と比較して 22～51%低コスト化を実現
- ・改良型加圧浮上装置と比較しても 13～49%低コスト化を実現

(3) 優れた汚泥濃縮性

加圧浮上処理においては浮上スラムを掻き取る際に同伴される水の量を沈澱処理の場合と比較して少なくすることができることから、一般的に汚泥濃縮性は沈澱濃縮と比較して良好となる。さらに、本装置ではスキマー回転速度を最適化することにより従来型、改良型では 1%程度であった浄水汚泥濃度を 2%以上に濃縮可能である。また、汚泥の脱水性改善も可能となることから、後段設備（濃縮槽、脱水機）もダウンサイジング可能となる。

(4) 処理水水質の安定

整流装置の設置により浮上槽内の流れを最適化することにより、 $LV=20\sim40\text{m/h}$ の高 LV 通水時においても従来型、改良型加圧浮上装置と同等の処理水水質を得ることができ

る。また、凝集沈澱処理では冬場の低水温時はフロックの沈降速度が低下するため処理が悪化しやすいが、加圧浮上処理の場合、低水温時は空気溶解量が増え、供給できる微細気泡量も増えることから良好な処理が可能となり、年間を通して安定した処理水水质を得ることができる。

(5) 維持管理負担削減

スカムスキマーに加え、整流板スキマー、汚泥スキマーも備えているため、詰まり等の問題が生じることはなく、維持管理にかかる負担は少ない。最長3年半ノーメンテナンスでの運転実績あり。

2. 開発経緯

加圧浮上装置は、IT 周辺産業や化学、石油精製、食品工業、紙・パルプ、繊維・染色、自動車、メッキ工業などあらゆる産業において多数採用されている。その用途は純水製造、飲料水製造向けの用水処理から、種々の排水処理、汚泥濃縮のための汚泥処理と多岐にわたる。

一般的に加圧浮上装置は凝集沈澱装置の沈降速度と比較してフロックの浮上分離速度が高いため、設置スペースを抑えることができ、かつ年間を通して安定した処理ができるという特徴を持つ。通常の凝集沈澱装置が $LV=0.5\sim 1\text{m/h}$ の範囲で設計されるのに対し、従来型の加圧浮上装置は $LV=4\sim 6\text{m/h}$ の範囲で設計されることが多いので、設置スペースは4~12分の1に削減されるという利点がある。しかし、近年は、特に用地に制約がある民間工場で大水量を処理するような場合には、従来型加圧浮上装置でも設置スペースが膨大となり、貴重な用地を浪費せざるを得ず、かつ建設費が高くなるという課題があった。

そこで、これらの課題に対して、以下のような革新的な技術目標を立て、高速加圧浮上装置 H-DAF シリーズの開発に着手した。

- ① 浮上分離槽 $LV=20\text{m/h}$ 以上（原水ベース）
- ② 建設費 20%以上削減（従来型加圧浮上装置と比較して）

従来型装置で通水を行うと、前述のように槽内には浮上分離に使われないデッドスペースができ、ショートパスの流れが生じる。このような装置で流速を上げて処理を行おうとすると、処理水質は悪化する。よって従来型加圧浮上装置では、 $LV=4\sim 6\text{m/h}$ の範囲で運用せざるを得ない。改良型装置として、矩形槽内に整流装置を設置したのも海外では一部導入されているが、通水 LV は最大でも 30m/h であり、設置コストが高いという課題がある。これらの課題に対し、弊社で開発を進めた高速加圧浮上装置 H-DAF シリーズは、従来型加圧浮上装置の水の流れを解析し、水の流れをコントロールするという発想に基づき、浮上槽内に整流装置を組み込むことで、高効率・省スペース・低コスト化を可能としたものである。

開発としては、ベンチスケール試験により、浮上槽内に整流装置を設置することにより、 LV が槽内平均 LV と等しくなり、微細気泡が上昇する「整流ゾーン」と、気泡が高密度に保持され、一旦下がったフロックも再浮上する「気泡ゾーン」を形成することで、浮上槽内全体を無駄なく有効に使うことができることを確認した。そのうえで、霞ヶ浦浄水場において、約 $15\text{m}^3/\text{h}$ のパイロット試験（添付資料 2）により、 $LV=20\sim 40\text{m/h}$ という高流速条件下でも従

来装置同等の処理水質となることを検証した。本装置は高速加圧浮上装置（商品名：H-DAF シリーズ）として 2010 年に 1 号機を実用化し、2017 年 3 月現在で 40 基以上の納入実績となっている（H-DAF シリーズ：塔径 ϕ 1000~3200（標準処理量 15~160m³/h）5 機種シリーズ名称）。以下に開発の流れを記す。

- 2007 年 4 月～ 高速化のための既存技術調査
- 2007 年 9 月～ ベンチスケール実験機による高速化技術検討
- 2008 年 6 月～ パイロットスケール実験機による高速化技術検討
- 2009 年 9 月～ 霞ヶ浦浄水場での実証実験
- 2010 年 3 月 実装置仕様確定
- 2010 年 8 月 第一号機納入

3. 独創性

従来型加圧浮上装置の改良版として、槽内に整流装置を設置した矩形の加圧浮上装置が海外の一部では導入されている。この改良型加圧浮上装置は通水 LV が 15~30m/h 程度と、従来型装置と比較すると大幅な高速化が可能となっているものの、建設コストが高いという課題がある（表 3 参照）。そこで弊社では、高効率・省スペース・低コスト化を同時に実現すべく、円形の高速加圧浮上装置の開発に着手した。これは一般的に、同じ処理量の装置を設計する場合、円形装置の方が矩形装置よりも低コストとなるためである。しかし、単純に矩形装置で導入されている整流装置を円形装置に導入しただけでは、高速化は実現できない。これは円形装置の方が矩形装置と比べて浮上槽入口部から浮上槽内部へ原水を均等に分配するのが難しく（片流れが生じやすく）、かつ浮上槽内全体の流れも複雑となるためである。また、図 7 で示したように整流装置の設置位置も単純に矩形装置と同様にすればいいというわけではなく、円形装置に適した設置位置があることが基礎検討の結果わかった。弊社では、この他にも整流装置開口率、小孔径、小孔配置、整流筒構造、浮上槽入口部構造等、種々の最適化を図り、加圧浮上装置の高効率・省スペース・低コスト化を実現した。

本装置は、円形の加圧浮上装置を LV=20m/h 以上の高速処理に適用した世界でも初の試みであり、従来型装置、改良型装置と比較して大幅なコストダウンも達成した非常に独創的な装置となっている。

4. 特許

本装置の関連特許は次のとおりである。

- 登録番号：第 4885169 号 / 名称：浮上分離装置
- 登録番号：第 5393065 号 / 名称：浮上分離装置
- 登録番号：第 4825850 号 / 名称：浮上分離装置、整流装置及び整流装置用分割セル
- 登録番号：第 5697920 号 / 名称：浮上分離装置
- 登録番号：第 5524775 号 / 名称：浮上分離装置
- 登録番号：第 5886518 号 / 名称：浮上分離装置
- 登録番号：第 5497873 号 / 名称：浮上分離装置

5. 性能

本装置の性能を従来型、改良型加圧浮上装置と比較したものを表 1 に示す。本装置は従来型、改良型加圧浮上装置と比較して、処理水水質同等で、設置面積、スカム濃度、清掃頻度の点で、下記のようなメリットがある。

表 1 従来型・改良型装置と本装置の性能比較

	従来型加圧浮上装置	改良型加圧浮上装置	高速加圧浮上装置 H-DAF シリーズ
処理水水質	同等		
設置面積*	100	16.7～33.3	12.5～25
スカム濃度	～1%	～1%	～2%
清掃頻度	1年～	半年～1年 〔整流装置・底部堆積 汚泥除去〕	1年～

※従来型を 100 とした場合の相対値

6. 経済性

本装置に関する原価を従来型加圧浮上装置と比較したものを表 2 に、改良型装置と比較したものを表 3 に示す。コストは処理量 160m³/h の従来型加圧浮上装置 (φ6300、LV=5m/h) の原価を 100 とした場合の相対比で示した。改良型加圧浮上装置の値は弊社の試算結果である。原価には浮上槽材料費・製作費・輸送費・現場組立費を含んでいる。

装置規模が大きくなるほどコストダウンメリットが出やすく、本設備の導入により従来型加圧浮上装置と比較して 22～51%、改良型加圧浮上装置と比較しても 13～49%のコスト削減を図れる。なお、本装置のランニングコストは従来型、改良型と同等である。

表 2 従来型装置と本装置の経済性比較

処理流量 (m ³ /h)	従来型加圧浮上装置	高速加圧浮上装置 H-DAF シリーズ	コスト削減率 (%)
16	23	18	22
35	36	24	33
63	50	31	38
100	70	39	44
160	100	49	51

表 3 改良型装置と本装置の経済性比較

処理流量 (m ³ /h)	改良型加圧浮上装置	高速加圧浮上装置 H-DAF シリーズ	コスト削減率 (%)
16	21	18	13
35	33	24	27
63	47	31	34
100	66	39	41
160	96	49	49

※各コスト比、コスト削減率は小数点以下を四捨五入して表示。

7. 将来性

加圧浮上装置は、IT 周辺産業や化学、石油精製、食品工業、紙・パルプ、繊維・染色、自動車、メッキ工業などあらゆる産業において多種多様な用途で採用されており、今後も省スペース、低コスト化のニーズから、導入が期待される装置である。本装置は、特に省スペース、低コスト化という観点から、従来型装置、改良型装置と比較し、著しい発展を遂げており、近々の課題である国内工業地帯での敷地の確保、処理コストの低減、排泥量の削減等のニーズに応える非常に有望な装置である。

経済産業省 産業技術環境局長賞

「プラスチック材質選別装置 (エアロソータⅢ)」

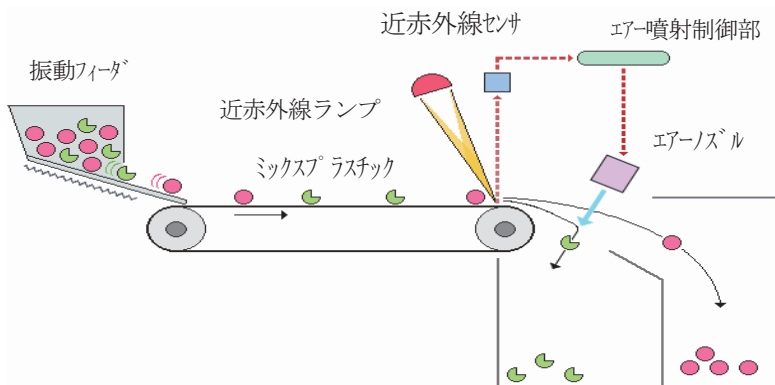
ダイオーエンジニアリング株式会社

1. 装置の詳細説明

エアロソータⅢの構造は、①選別対象物を貯留しベルトコンベヤ上に均一に分散させる振動フィーダ、②搬送中の対象物に近赤外光を照射するハロゲンランプ、③対象物に当たり跳ね返った近赤外光をセンサでとらえスペクトル分光し、あらかじめ登録されたスペクトルと照合し、プラスチック材質を高速で識別する識別制御システム、④噴射エアノズル、で構成する。

エアノズルは幅方向に 4mm ピッチで配置しているため、5～25mm の小粒形を選別することが可能である。

従来主流であった選別方式の静電選別装置での課題である 2 種類での選別、選別許容サイズが 4～8mm と小さい、汚れに弱い、プラスチックの選別材質が変わるごとに機器調整が必要等の問題を解決した。



エアロソータⅢのフロー図

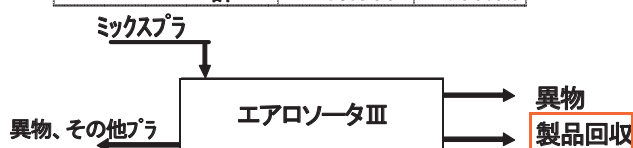


エアロソータⅢ実用機外観

ミックスプラ45kgの材質構成

材質	重量(kg)	比率(%)
PP	11.280	25.1%
ABS	9.660	21.5%
PS	2.575	5.7%
その他プラ	3.435	7.6%
黒プラ	13.655	30.3%
ゴム類・軟質ゴム	1.710	3.8%
電線	1.935	4.3%
アルミ	0.654	1.5%
基板	0.032	0.1%
ウレタン付着	0.064	0.1%
計	45.000	100.0%

ミックスプラスチック品手選別後の原料構成写真



単一材質プラ PP、ABS、PSの選別実績

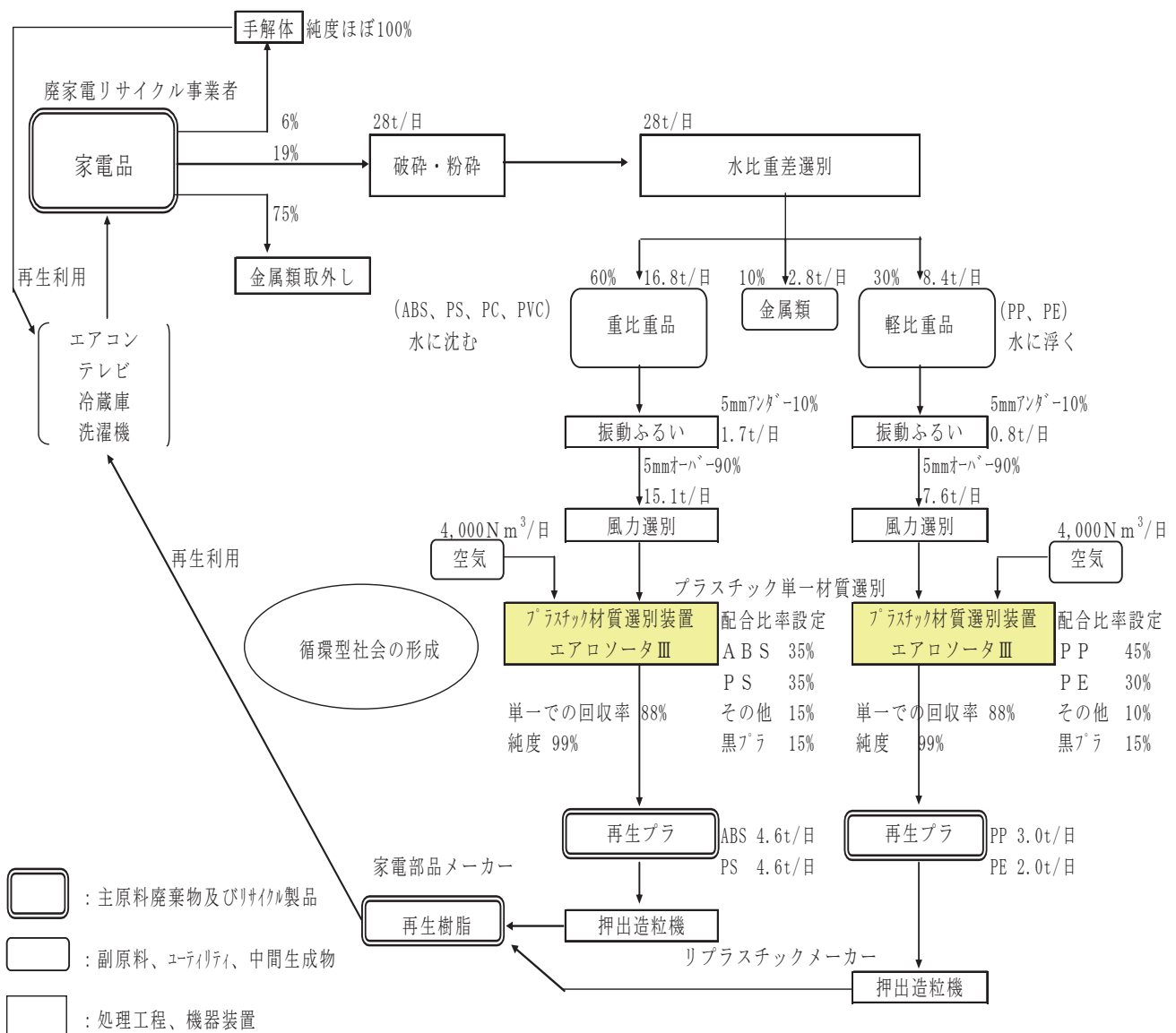
材質	純度(%)	回収率(%)
PP	99.95	95.0
ABS	99.80	89.0
PS	99.55	85.0

大手家電リサイクル事業者の選別実績の一例

検 出 方 式	近赤外線式材質識別
選 別 方 式	圧縮空気による吹き降ろし
装置長さ・幅・高	4.7m×2m×2.78m
コンベヤ幅	1,400mm
コンベヤ速度	120～170m/分
処 理 量	0.5～0.7 t /時
選 別 粒 度	5～25mm

エアロソータⅢ機器仕様

家電リサイクル全体の処理工程の中で、リサイクルプラスチックメーカーでエアロソータⅢを2台使ったマテリアルリサイクルフローを下図に示す。



2. 開発経緯

第34回優秀環境装置表彰において、プラスチック選別装置(エアロソータ)を応募申請した経緯がある。この平成20年当時の選別装置名はエアロソータⅠであり、軟質系容器包装プラスチック品の材質識別を目的としたものであった。

エアロソータⅠは、近赤外線ファイバーセンサをライン幅方向に31mmピッチで配置し、選別対象物の大きさは35mm～300mmである。それに対しエアロソータⅢは、硬質系廃家電プラスチック品の材質識別を目的とした新開発であり、近赤外線ラインカメラセンサ1台をコンベヤ中央上部に配置し、エア噴射ノズルピッチは4mmで幅方向に318個配置し、選別対象物の大きさは5mm～25mmとし、材質選別後すぐに押出造粒機に投入できる仕様である。

(1) 開発主旨

家電リサイクル工場(全国で A・B グループ計 48 工場)では、手解体で取外し可能なプラスチックは再生利用されているが、解体できないものは約 5~25mm に小さく粉碎されミックスプラスチックとなり、「その他有価物」としてサーマルリサイクル(燃料化)や埋立処分及び海外輸出されている。従来技術では、再利用可能な純度まで選別し高速・大量に処理する装置は無く、長時間の処理か手作業が必要であった。廃家電メーカーやプラスチックリサイクルメーカーから、細かく粉碎したミックス品を選別し単一材質のプラスチックにリサイクルしたいとの要望が強かったため装置開発を実施した。

(2) 開発目標

平成 19 年より取り組んできた廃家電ミックスプラスチックから単一材質の選別を行える実用化装置は、選別処理量が 500kg/hr 以上は必要であること、さらに選別後純度が 95% 以上必要であることがわかってきた。そのためには、装置を高速化し、高速化で材質を認識し、高速化でコンベアより飛び出した対象物を的確にエアで選別する、3つの課題を解決することが目的であった。

(3) 開発経緯

平成 19 年 11 月	近赤外線方式で 30mm アンダの硬質プラスチック選別を行う装置(エアロソータⅡ)開発に着手
平成 22 年 11 月	愛媛県 えひめ中小企業応援ファンド事業 テーマ「大量迅速処理を可能とする廃棄硬質プラスチックの高精度材質選別装置の開発」で事業採択。
平成 22 年 12 月	ファンド事業で選別装置エアロソータⅢの技術開発に着手。
平成 23 年 6 月	エアロソータⅢ実用化選別装置(選別処理量 500kg/hr 以上、選別純度 98%以上)を完成。大手家電リサイクル事業者からの廃家電粉碎品を使い選別テストを繰り返し実施し、選別純度 98%以上を達成。
平成 24 年 3 月	実用機として完成させたエアロソータⅢ 1号機をプラスチックリサイクル事業者に納入据付。

なお、本装置は、ダイオーエンジニアリング株式会社と愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻 岩本幸治氏(当時大学院助教)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通りである。

- ・ダイオーエンジニアリング株式会社：
プラスチック材質選別装置の機械設計、電気設計、制御設計
- ・岩本幸治氏(愛媛大学)：
流体力学の分野でエア噴射の打合せを行い、プラスチックを噴射するタイミング設定の方法等噴射技術のアドバイスを得て、制御設計に活かした。

3. 独創性

近赤外線によりプラスチックの材質を識別しエアノズルで対象物を噴射選別装置は、本装置の他に T 社製と P 社製がある。

	ダイオーエンジニアリング(株)	T 社	P 社
材質識別方式	近赤外線式	近赤外線式	近赤外線式
検出方式	ハイパースペクトルイメージング分光方式	ミラーを利用したポイントスキャン方式	ミラーを利用したポイントスキャン方式
選別方式	エアノズル噴射方式	エアノズル噴射方式	エアノズル噴射方式
エアノズルピッチ	4mm	12.5mm	12.5mm
廃家電硬質プラ選別納入実績	6 台	2 台 (大手家電メーカー)	無し
粉碎プラ形状	5mm～25mm (平均 10mm)	20mm～40mm (選別後、細かく粉碎している)	無し

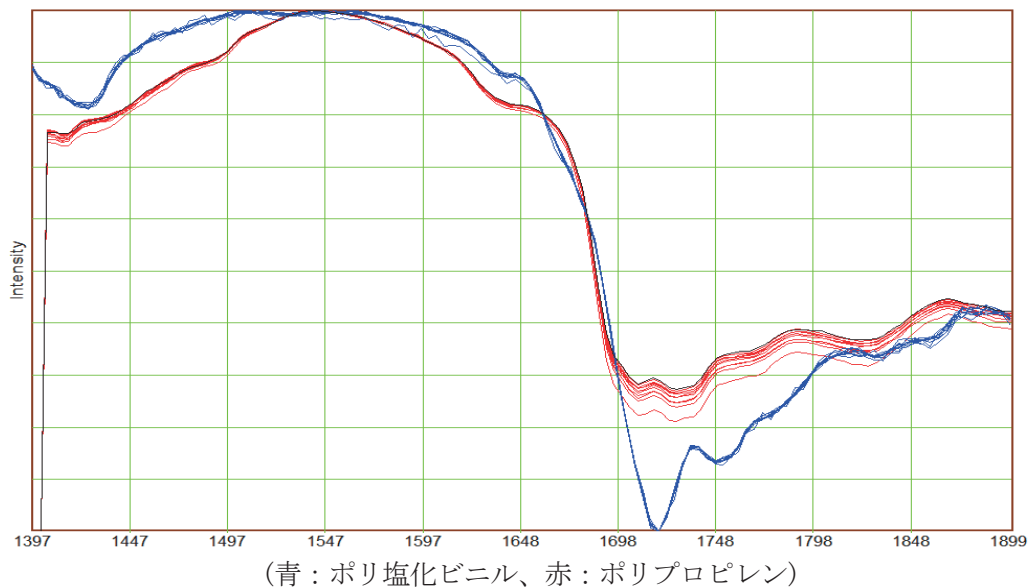
10mm 前後に粉碎した廃家電硬質プラスチック品を近赤外線とエアノズルを使い材質選別しているのは当社の選別装置のみである。T 社は数年前に大手家電メーカーに 2 台納入しているが、プラスチック形状は大きく、選別後に細かく粉碎する方式である。P 社も軟質系の容器包装プラスチック選別を手がけるが、小粒径プラスチック選別の納入実績はない。

10mm 前後に粉碎した硬質プラスチックを選別するのに、同等に比較できる装置は大手家電メーカーが行っている、静電選別装置であると考え、後述に静電選別装置との比較を行う。

当社のプラスチック材質選別装置（エアロソータⅢ）の特徴として、近赤外線センサで材質判別されその後 2m/秒でベルトコンベヤをエアノズルまで流れてくる、100mm の距離を進む間の、わずか 0.05 秒の間にタイムラグ無く正確に動作し、わずか数 mm の小さな選別対象物を狙って打ち落とす判別・動作アルゴリズムである。さらに、正確に解析され制御するエアノズルの吹き出し中心口が 4mm ピッチで隣接するという緻密な噴流制御装置の 3 つの技術構成から成る。

以前の近赤外線ラインセンサは高速識別することは可能であったが、材質識別を行うデータ量が少なかったため識別精度に問題があった。近年の近赤外線ラインセンサは性能が向上し、識別性能も向上したが、これを管理するシステムも高速大量処理を要求されるようになった。これに対応するため、高速リアルタイムコントローラを用いたプログラミングを行い、0.001 秒単位での識別データの授受、エアノズルへの信号の伝達を可能とし、高速・大量処理での選別を可能とした。

エアロソータⅢが使用する材質識別アルゴリズムの波形データを下図に示す。



従来主流であった静電選別方式は、処理物のサイズが均一で2種類のミックスプラスチックのみから選別する場合は優秀な選別装置である。ただし、破碎された処理物のサイズを均一にしようとした場合、大量のロス品が発生してしまう。また、ミックスプラスチックは2種類以上から構成されており、使用方法は限定されてしまう。

これに対して近赤外線式センサを利用したエアロソータⅢはサイズの限定が少なく、複数のミックスプラスチックの中から任意の材質を取り出すことができる。これは廃家電、廃自動車のように多品種から高品質に材料を取り出しリサイクルする用途には非常に適している。

下表に近赤外線を用いた選別装置と従来主流であった静電選別装置との比較を示す。

項目	近赤外線式選別装置 エアロソータⅢ	静電選別装置 (某大手委家電リサイクル事業者)
構造	近赤外線を利用し、エアで任意の材質プラを選別する。	原料プラ同士を摩擦させ、原料を材質ごとに＋に帯電し電極でプラを引き寄せて選別する。
選別サイズ	5～25mm	4～8mm(これ以上は精度が落ちる)
選別精度	純度:85～95% 回収率:70～90%	純度:90～95% 回収率:70%
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・ミックスプラに対応可(任意の材質) ・選別許容サイズの幅が大きい ・ある程度の汚れに対応 	<ul style="list-style-type: none"> ・材質の分かった黒色プラを選別可能 ・材質に帯電率の差があれば近赤外線で識別できないものでも選別できる可能性あり
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・黒色プラの材質選別ができない 	<ul style="list-style-type: none"> ・2種類での選別となる。もしくは帯電率が一番高いものと低いものしか選別できない ・許容サイズ幅が小さい ・プラの材質が変わるごとに調整必要

4. 特許

特許なし

※ ただし関連特許及び商標登録は以下の通り

1) 特許番号：第 5528014 号 / 名称：プラスチック選別装置

内容：選別コンベア上にエアを吹きかけ、プラスチック材の走行姿勢を安定化させプラスチック材とコンベアスピードを同調させる機構を装備したプラスチック選別装置。

2) 特許番号：第 5367145 号 / 名称：黒色廃プラスチックの材質選別装置

内容：廃家電等の黒色プラスチックの材質を識別する選別装置

○特許商標登録：特許庁登録 第 5221819 号「エアロソータ」プラスチック選別装置

5. 性能

選別の方式、選別サイズ形状等異なるため、厳密な比較は困難であるが、静電選別装置及び T 社の近赤外線とエアノズル方式による選別装置との性能比較を下記に示す。

	ダイオーエンジニアリング(株) 近赤外線－エアノズル	大手家電リサイクル事業者 静電選別装置	大手家電リサイクル事業者 T 社近赤外線－エアノズル
選別サイズ	5～25mm	4～8mm (これ以上は精度が落ちる)	20～40mm (選別後に細かく粉砕)
選別精度	純 度:85～95% 回収率:70～90%	純 度:90～95% 回収率:70%(推定)	純 度:不明 回収率:不明 (選別時の粒度が大きすぎる)
選別環境	国内の四季環境には影響されにくい	一定温度、湿度に保った部屋 の中で選別する必要がある	国内の四季環境には影響されにくい
選別能力 コンベヤ速度	500kg/時間 120m/分	500kg/時間 落下方式(落下速度不明)	350kg/時間 120m/分

(1) 処理能力・性能

廃家電ミックスプラスチック品から特に ABS、PS を選別する。処理量は 500～700kg/時間、選別純度は 85～95%、単一材質回収率は 70～90%である。

(2) 耐久性、信頼性

平成 24 年 3 月に 1 号機を納入後、現在までに 5 社へ 6 台納入している。操業時間は約 10 時間/日であるが、4 号機・5 号機を納入した大手家電リサイクル事業者では 24 時間/日操業を行っており、納入後 2 年 6 か月経過している。大きなトラブルはなく、使用されている。

(3) 操作性、維持管理性、安全性

運転操作は1面のタッチパネルで容易に行うことができ、手動・自動運転モードがある。操業時は自動モードで「運転」ボタン1つを押せば全体運転となり、停止時は「停止」ボタンを押す。選別したい材質は画面上で容易に選択できる。選別装置(2m 幅×4.7m 長×2.78m 高) 周囲に安全カバーで覆い観音扉で開閉できる。



運転画面の例

(4) リサイクル(リユース)製品の品質等

平成 23 年 10 月、エアロソータⅢで大手家電リサイクル事業者のミックスプラスチック品から単一材質選別した PP、ABS、PS を、プラスチック物性分析機関の株式会社 DJK 千葉テクニカルセンターで再生原料の物性分析を行った。以下に結果を示す。

物性分析項目				PP		ABS		PS	
				エアロ ソータⅢ	バージン値	エアロ ソータⅢ	バージン値	エアロ ソータⅢ	バージン値
①	MFR (メルトフローレート)	JIS K-7210	g/10min	40	30	18	21	4.7	5.5
②	密度	JIS K-7112	g/cm3	0.91	0.91	1.077	1.07	1.05	1.05
③	曲げ強さ	JIS K-7111	Mpa	36.4	36	73.4	73	59.4	52
④	曲げ弾性率	JIS K-7111	Mpa	1,380	1,350	2,460	2,400	2,540	2,400
⑤	引張降状応力	JIS K-7162	Mpa	26		45.6		26.8	
⑥	引張破壊応力	JIS K-7162	Mpa	21.3	26	40.5	44	29.2	30
⑦	シャルピー衝撃強さ (ノッチ有)	JIS K-7111	KJ/m2	5.7	6.5	15	15	11	10

①リサイクル製品の有用性・品質

物性分析結果から、再生したプラスチックとバージン材の物性値はほぼ同等である。
1号機据付後、生産された再生プラスチック品を造粒機にかけてペレット化した。
造粒工程もスムーズに行えた。現状の再生利用品の用途はプラスチック雑貨や建具内
装材等への利用がされている。

②安全性・無害性

選別装置で選別した高純度の単一材質プラスチックであり無害である。

③同種のリサイクル製品と比較しての特長

他社が静電選別装置で材質選別している ABS、PS のサンプルを、当社エアロソー
タⅢで材質構成を確認した結果、純度は 94～95%であった。異種材質のプラスチック
が混入していたと考えられる。他社リサイクル品と比較して当社品は高純度であった。

④同種のバージン原料製品と比較しての長所及び短所、並びに短所をカバーする具体的
方法

上表にエアロソータⅢで選別した家電主要プラスチックの PP、ABS、PS とバー
ジン材との物性分析を比較している。曲げ強さ、弾性率、衝撃強さはバージン材とほ
ぼ同等の物性である。MF R(流動性)、引張応力は劣ってはいるが、再生利用プラス
チックとして使用用途は多いと考える。

6. 経済性

従来の静電選別方式と処理量 500kg/時間で比較すると、コストを低く抑えられると推測され
る。静電選別装置は、仕様が一切明らかでないため推定値を示す。T社の近赤外線エアノ
ズル方式選別装置との比較も推定値で示す。

	従来装置 静電選別装置	エアロソータⅢ	T社 近赤外線・エア
イニシャルコスト	100	40	40
装置費用	100	50	50
設置費用	100	30	30
ランニングコスト	100	60	60
電気代	100	60	60
メンテナンス費用	100	70	70

現在はサーマルリサイクルや単純焼却・埋立処分されているものをマテリアルに再生利用す
ることができ、再生利用する分の新たな石油を使用する必要がなくなる。省資源・省エネルギ
ーの大きな効果につながると考える。

ミックスプラスチックの価格は約 5 円/kg と低価格であるが、このミックスプラスチックから高純度の単一材質のプラスチックを選別すれば、約 110 円/kg(ABS の場合)の高付加価値の再生プラスチックに変えることができる。この再生プラスチックを造粒してペレット品にすると約 140 円/kg となる。しかしバージンペレット品は約 190 円/kg とさらに高く、再生利用していくためには再生プラスチックペレット品を成形加工し品質検証を継続していくことが必要である。プラスチック再生事業は 1~2 年後には売上高が数倍になると見込まれ、プラスチック再生利用が普及し、雇用も伸びることが期待できる。

リサイクルプラスチックメーカーにエアロソータⅢを 1 台設置し、家電品主要プラ ABS、PS、PP を単一材質選別する場合のコスト計算を下記に示す。

〔設定条件〕

○家電リサイクル事業者からリプラスチックメーカー（リプラメーカー）が、廃家電ミックスプラを購入し、単一材料プラに再生し造粒ペレット化し出荷する場合とする。

○家電リサイクル事業者で異物（ウレタン、電線、金属等）を除去

	円/kg
現状ミックスプラ	5
リプラメーカーがミックスプラを購入	7
引取運賃	10
水比重差・粉碎・脱水乾燥・風力ふるい	15
エアロソータⅢでの材質選別	15
造粒ペレット化	30
計	77

○エアロソータⅢでは、乾式選別のため水は使用しない。

○作業時間は 8 時間/日、年間操業 276 日、処理量 500kg/時間、ABS、PS、PP 白プラの回収率を 88%とする。

○ミックスプラの材質構成

ABS	35%	その他プラ	2%
PS	25%	黒プラ	15%
PP	20%	その他	3%
		計	100%

○機器動力

本体駆動コンベヤ	2.2kW	二次製品ファン	0.5 kW
振動フィーダ	1.5 kW	コンプレッサ	22.0 kW
集塵機	2.2 kW	照明ランプ	2.3 kW
垂直コンベヤ	0.4 kW	盤クーラ	0.4 kW
循環コンベヤ	0.4 kW	カメラヒータ	0.2 kW
一次ドロップファン	0.5 kW	パワーサプライ	12.0 kW
二次ドロップファン	0.5 kW	計	45.1 kW

○単価

	再生プラ	再生ペレット	バージン価格
ABS	110 円/kg	140/kg	190/kg
PS	60/kg	90/kg	140/kg
PP	80/kg	110/kg	160/kg

	割振 時間	500kg 内訳	操業 日数	単価 メット	年間 メット	選別後プラ生産量内訳
	時間/日	kg	日/年	円/kg	千円/年	
ABS	4.0	161	276	63 (140-77)	10,346	500kg×0.35×0.85×4 時間/日×276 日/年=164.2t/年
PS	2.4	115		13 (90-77)	915	500kg×0.25×0.85×2.4 時間/日×276 日/年=70.4t/年
PP	1.6	92		33 (110-77)	1,237	500kg×0.20×0.85×1.6 時間/日×276 日/年=37.52t/年
その他		132			832	その他の選別残渣はペレットにはできないが、1 円/kg の有価物としてボイラ燃料とする。 (ABS+PS+PP)272t 1,104-272=832t/年
計	8.0	500			13,330	

○原料購入費

費目	コスト(千円/年)	内訳
原料費	7,728	リプラメーカーが家電リサイクル事業者からミックスプラを年間1,104t購入 7 円/kg×1,104,000kg/年=7,728 千円

○再資源化経費

費目	コスト(千円/年)	内訳
副材費	100	消耗品 100 千円/年とする
動力燃料費	837	45.1kw×0.7×8hr×12 円/Kwh×276 日/年=837 千円
減価償却費	2,615	設備費用 35,000 千円/台×0.9×0.083=2,615 千円 耐用年数 12 年 定額法による
設備保全費	800	800 千円/年とする コンベヤベルト交換 500 千円/年、ランプ、電磁弁交換他 300 千円/年
人件費	2,500	操業員 1 名 2,500 千円/年 原料製品ハンドリング作業、前処理(ふるい・風力選別)も兼ねるため、 5,000 千円/年・名の 1/2 の配分とする
その他	0	特に無し
計	6,852	

導入以前の経費		再資源化技術・装置・システム導入後の経費と収益			
自社中間処理経費	0 千円/年	再資源化経費	6,852 千円/年	再生品販売収入	33,449 千円/年
産廃処分費	0 千円/年	二次産廃処分費	0 千円/年	選別後残渣有価物	832 千円/年
原料購入費	0 千円/年	原料購入費	8,832 千円/年		
		引取運賃	11,040 千円/年		
計	0 千円/年	計	26,724 千円/年	計	34,281 千円/年

メリット：収入－経費＝34,281 千円/年－26,724 千円/年＝7,557 千円/年

7. 将来性

従来主流であった静電選別方式による材質選別を行う場合、大規模な恒温恒湿制御の部屋が必要である。さらに汚れに弱いこと、選別する許容サイズ幅が小さい等、従来の静電選別方式では制約が予想され、近赤外線方式のエアロソータⅢが今後普及する可能性が高いと思われる。

エアロソータⅢの開発実用化をきっかけとして、選別噴射制御部は技術確立したため、識別センサ部を入替することで、種々な選別装置実用化が可能となる。エアロソータⅢ以外にも、更なる金属・レアメタル材質選別装置の開発や黒色プラスチックの材質選別装置の開発が必要となる。これらの材質選別装置の開発により、廃家電品や廃自動車、小型家電等の最終工程で大量に発生する金属・プラスチック混合粉碎品から、選別困難な黒色プラスチックやレアメタルも含んだ金属の材質を、乾式かつワンスルーで高速・大量に識別し、材質毎に回収が可能となる。

このため、今まで多量に埋立・焼却などの産廃処分費用を要していたものが、ワンスルーで高速・大量に材質選別を行い有価な再生品として利用できること、及び乾式処理であり二次廃棄物もなく、プラスチックの再利用により焼却処分が不要となり CO₂ が低減することから循環型社会、低炭素社会構築が促進される。

中小企業庁長官賞

「楕円板型固液分離装置（スリットセーバー）」

株式会社研電社

1. 装置の詳細説明

本装置は、食品加工工場、畜産農場等で発生する汚水を固形物（汚泥）と処理水に分離、脱水する楕円板型固液分離装置である。

原水は前段で凝集剤によりフロック（2mm 以上）が形成された後、本装置に導入され、そのうち固形物は楕円板群の回転により排出口へ搬送され、液体はスリットバーの隙間を通過し分離される。

従来の円板型は、隣接する円板同士の間隔が広く固形物による目詰まりが発生したが、本装置は楕円板を 90° 位相差で交互に配置し、楕円板の口径を排出部方向に段階的に小さくする工夫を行い、さらに楕円板群の上部にエアシリンダー付圧搾傾斜板を設置することによって固形物の目詰まり防止や固形物の含水率低下を達成した。また、従来装置に比べコンパクト（設置面積 1/3、重量 1/9）であり、イニシャルコスト・ランニングコスト共に約半分が削減可能となった。

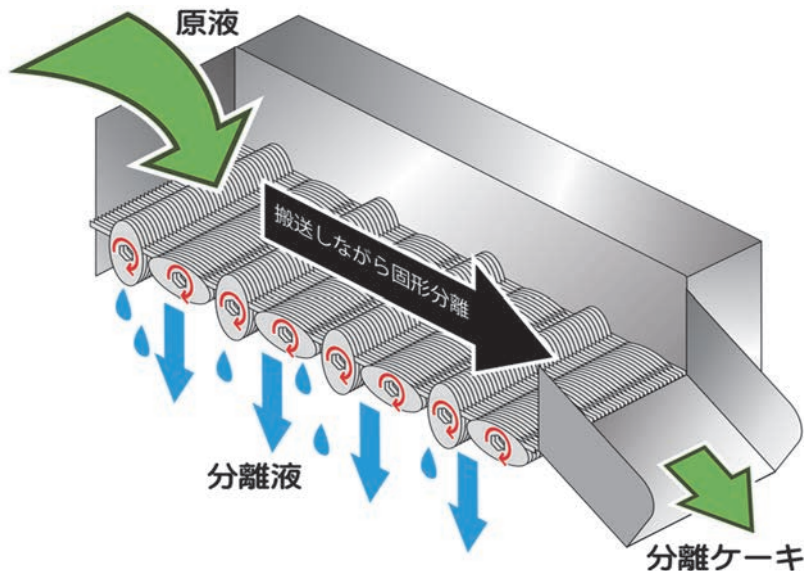


図 1. 固液分離装置（スリットセーバー）構造概略図

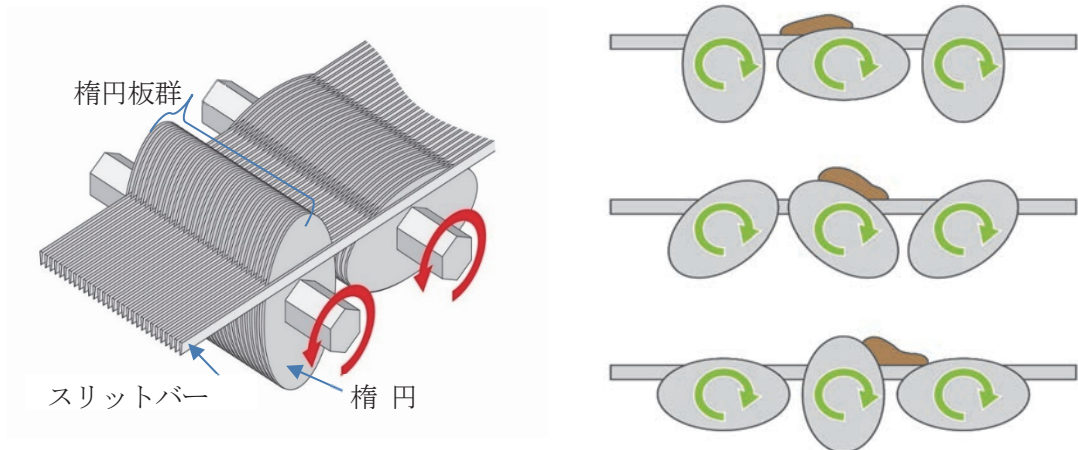


図2. 楕円板群の構造図

楕円板群は90°位相差で交互設置されており、1mm 間隔に配列されたスリットバーの間を回転楕円板が回転する。

回転楕円板群が固形物を搬送するとともにスリットバー間を閉塞する固形物を除去し、目詰りがなく固液分離が可能である。

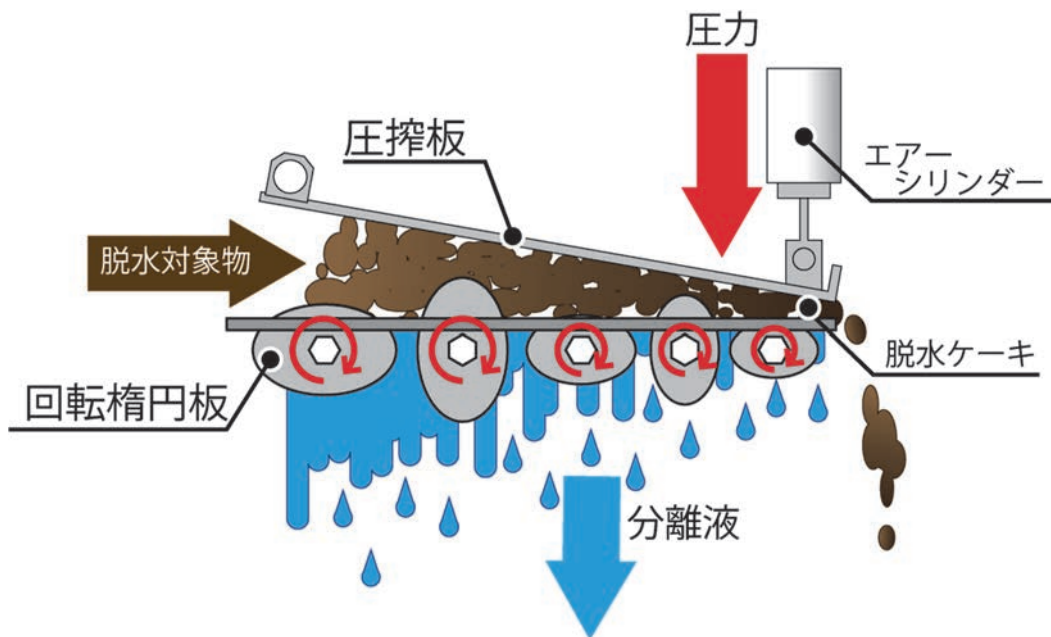


図3. エアシリンダー圧搾板による脱水構造

排出方向に向けて搬送楕円板群口径を段階的に小さくし、その上部にエアシリンダー付圧搾板を設置することで、固形物の含水率を低下させる機構である。

2. 開発経緯

(1) 開発主旨

固液分離装置は、ベルトプレス型、遠心分離型、スクリープレス型等が一般的に用いられているが、ベルトプレス型は、ろ布目詰り対策用の逆洗浄が必要であり、ろ布の交換についても煩雑な作業が必要である。遠心分離型やスクリープレス型は、大型かつ高重量のために大容量の稼働電力が必要である。さらに高速回転部の摩耗部材の補修には、精密作業が要求される。

そのため電力消費が低く、コンパクトでメンテナンスも容易で安定的に運転できる装置のニーズがあり、この要望に応えるため開発に着手した。

(2) 開発目標

低電力、小型化、修理・補修が簡単なオープン型でかつ高効率な脱水機能を備えた固液分離機装置の開発を目的とした。具体的な脱水性能については、従来装置(他社多重円板型)の固液分離装置と比較して以下を目指した。

- ・養豚場活性汚泥脱水ケーキについては、含水率を5ポイント以上向上させる。
- ・消化汚泥の脱水ケーキについては、含水率を2ポイント以上向上させる。
- ・汚濁水のCOD、BOD、ノルマルヘキサン回収率75%を5ポイント以上向上させる。

(3) 開発経緯

～平成13年7月	楕円板型装置の開発
平成13年8月～平成15年5月	スリットバーの改良
平成15年6月～平成17年10月	エアシリンダー付圧搾傾斜板に関する開発
平成17年10月～平成18年8月	楕円板形状の改良
平成18年9月～平成20年8月	楕円板材質、スリットバーの改良 (図4参照)
平成20年8月	第1号機納入

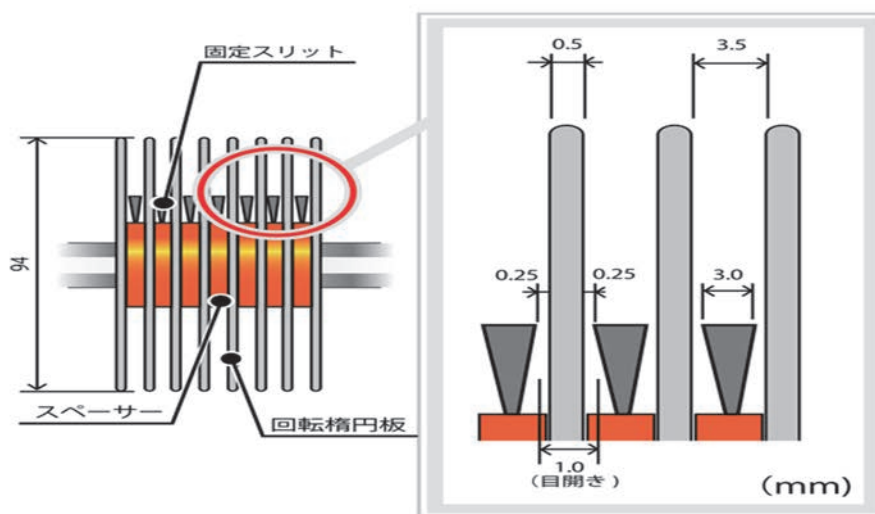


図4.回転楕円板と固定スリットバーの構造

1mm 間隔のスペーサーに 0.5mm 厚楕円板を固定し、スリットバー間を回転する楕円板との接触を少なくして耐摩耗を向上させ、圧搾板からの加圧応力によるたわみを少なくした。

3. 独創性

従来装置（円板型）は隣接する円板との間隔が広いこと固形物の目詰りが課題であった。この問題を解決するため円板を楕円板にし、位相差 90°で交互に設置することで隣接楕円板との間隔が小さくなり、目詰りを解消することができた。

また、回転楕円板としたことで固形物の搬送能力が向上し、処理能力が増加したため装置の小型化が可能となった。

さらに楕円板上部にエアシリンダー付の圧搾傾斜板を設置し、かつ搬送出口に向け楕円板径を段階的に小さくすることで、脱水能力が向上した。

固定スリットバーは逆三角形型の下部が開いた構造体にする事で固形物の排出が容易になると共に、楕円板には耐摩耗性素材の高硬度鋼を採用し、圧搾板による圧力応力によるたわみを減少させ、耐摩耗性を向上させた。

4. 特許

本装置の関連特許は次のとおりである。

特許番号：第 3974785 号 / 名称 固液分離装置

公開番号：特開 2007-307512 / 名称 固液分離装置

実用新案登録：第 3181644 号 / 名称 固液分離装置

5. 性能

(1) 脱水性能

- ・ 活性汚泥の脱水性能（養豚場の活性汚泥）

固液分離装置	脱水ケーキ含水率
従来装置（他社多重円板型）	81%
本装置	76%

- ・ 消化汚泥の脱水性能（食料品製造業の消化汚泥）

固液分離装置	脱水ケーキ含水率
従来装置（他社多重円板型）	84%
本装置	82%

・水産加工工場の汚濁水中 BOD、COD、ノルマルヘキサン抽出物回収率

計量対象	単位	原水 水質	回収ろ液 水質	本装置での 回収率
生物科学的酸素要求量 (BOD)	mg/L	980	12	98.8 %
化学的酸素要求量 (COD)	mg/L	6,800	20	99.7 %
ノルマルヘキサン抽出物質量	mg/L	29	5.5	81.0 %

(2) 耐久性・安全性

・本装置は、楕円板を耐摩耗性高硬度鋼としメンテナンス性を向上した。

○食品スープ製造工場の排水処理での例 (PH≒5.5)

固液分離装置	材質	メンテナンス時間
従来装置 (他社多重円板型)	ステンレス SUS304	2 年間
本装置	鋼硬度 328HV	3 年間

(3) 運転・操作性

本装置は汚濁水流入量に対して凝集剤の比例制御、楕円板の回転制御により自動運転が可能である。通常の運転管理は、凝集剤と汚濁水を混合する反応槽での凝集物の状況確認、簡易水分分析器による汚濁水含水量、脱水ケーキ含水率、分離液水質分析 (清澄度、pH、COD) の観察により、運転調整を行う。

通常と異なる変化が生じた場合は、以下の項目の運転調整を行う。

- ① 凝集剤の添加量
- ② 反応槽の攪拌速度
- ③ 凝集物の大きさと分離水清澄度
- ④ ケーキの脱水に適正な含型圧搾板のエアシリンダー圧
- ⑤ 楕円板の回転数

上記の内、日常的に調整する項目は①～③のみであり④、⑤は初期設定時に調整すれば、ほとんど変更なく自動運転が可能である。

(4) メンテナンス

従来装置は密閉式のため、装置を解体しメンテナンスする必要があるが、本装置はオープン型のため目視で確認でき、交換の必要がある部品のみを取り外してメンテナンスできる。

本装置の維持管理には、日常点検、定期点検、オーバーホールの 3 項目がある。本装置は、構造がシンプルであり低速運転で可動部分が少なく、駆動装置は楕円板を回転する 1 台のみのため、維持管理は容易で費用も安価である。

6. 経済性

他社多重円板型脱水機との比較（ドライスラッジ換算処理量 40～60kg/時間）

	従来装置 (他社多重円板型)	本装置
イニシャルコスト	100	50
装置費用	100	45
設置費用	100	50
ランニングコスト	100	55
電気代	100	10
ガス代	—	—
薬品代	100	100
メンテナンス費用	100	50

本装置は構成部品が少なく、イニシャルコストは 1/2、設置面積は 1/3、重量は 1/9 のため、装置費用 45%、設置費用が 50%である。

円板枚数は 1/3、重力 1/3 で、円板の重なりが無い構造でしかも楕円板とスリットバーとの隙間があり、回転負荷が少ないため電気代も 1/10 である。

排水処理用高分子凝集剤の薬品代は同等であるが、メンテナンスは他社が密閉式のため装置を解放で 2 人×1 日=2 人工数と円板交換で 2 人×1 日=2 人工数の合計=4 人工に対し、本装置はオープン型で固定スリットバー1 部品を取り外すことで全のスリットバーが取り出せる構造になっており、楕円板交換を含めて 2 人×1 日=2 人工数で対応できるため、メンテナンス費用は 1/2 である。

7. 将来性

食品関連排水（給食センター等の残飯処理、余剰汚泥処理）、公共下水道、研磨排水、水性塗料滓、グリストラップ排水、廃油等固液分離、河川湖沼の水質浄化、掘削泥水（トンネル工事、掘削工事等）、等の市場を開拓する予定。

日本産業機械工業会 会長賞

「バイオガスマイクロコージェネレーションシステム」

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

本装置は、下水処理施設、廃棄物処理施設、食品工場、畜産農家等において発生するバイオガスを燃料として電気と温水を併給する小型コージェネレーションシステムである。

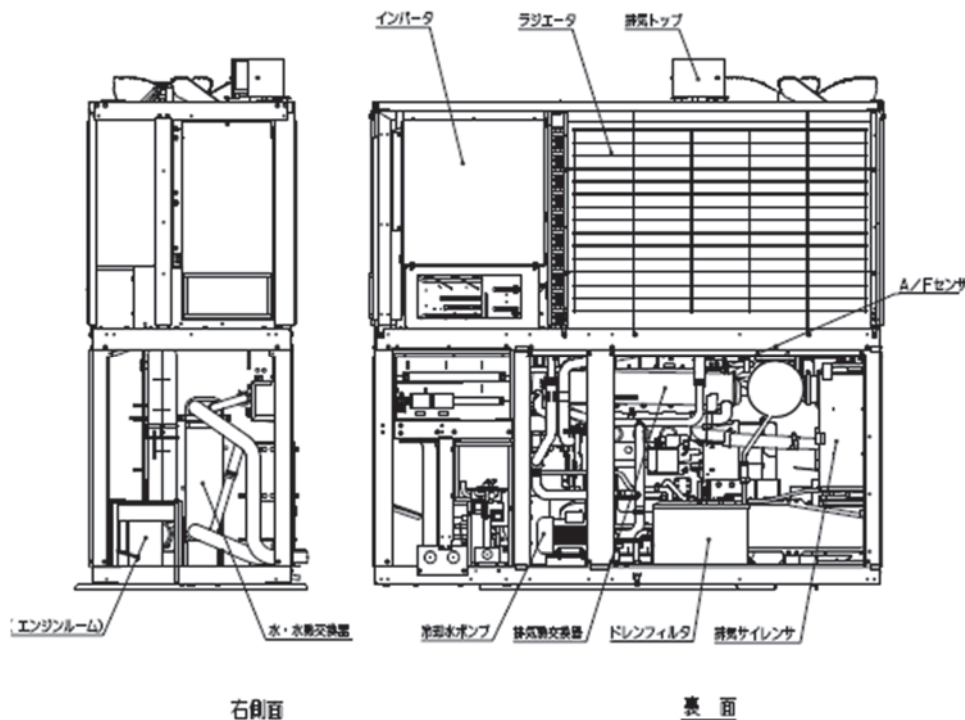
従来、コージェネレーションシステムは発電出力 100～1,000kW 規模の大型が多いが、本装置は発電出力 25kW と小型でありながら発電効率 32%（従来装置 30%）、総合効率 84%（従来装置 80%）を達成した。

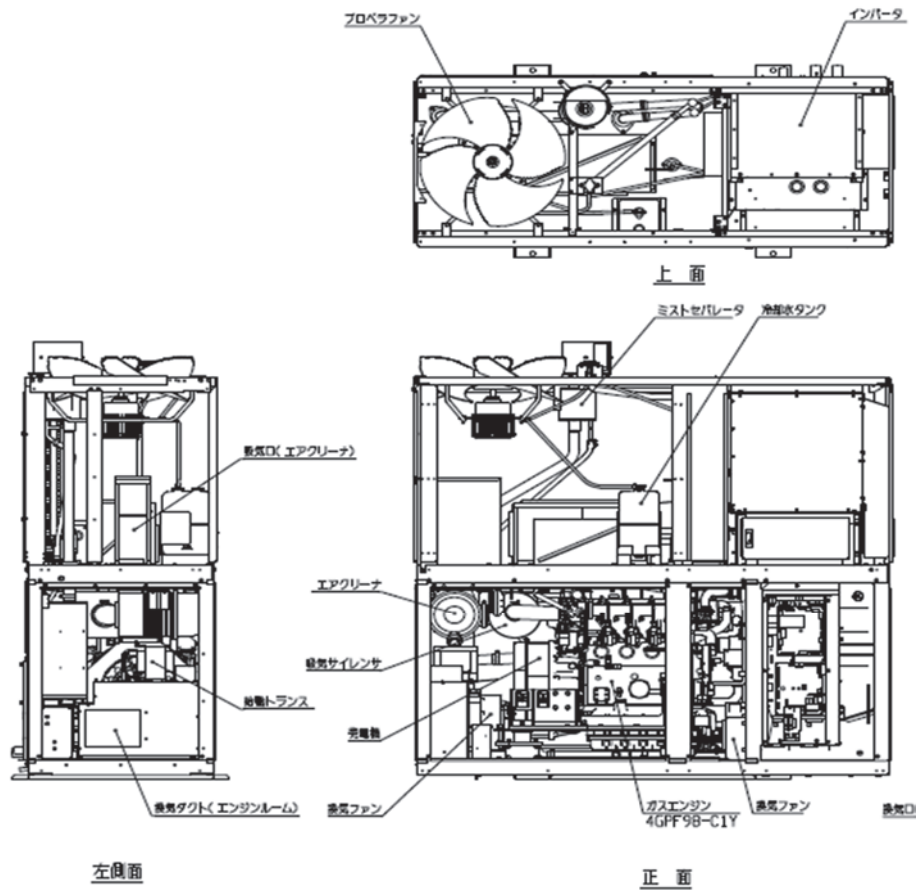
また、ガスの発生量に応じて複数の装置を連結あるいは増設して利用することが可能であり効率的な運転を行うことが出来る。

(1) 装置の構造

① 内部構造

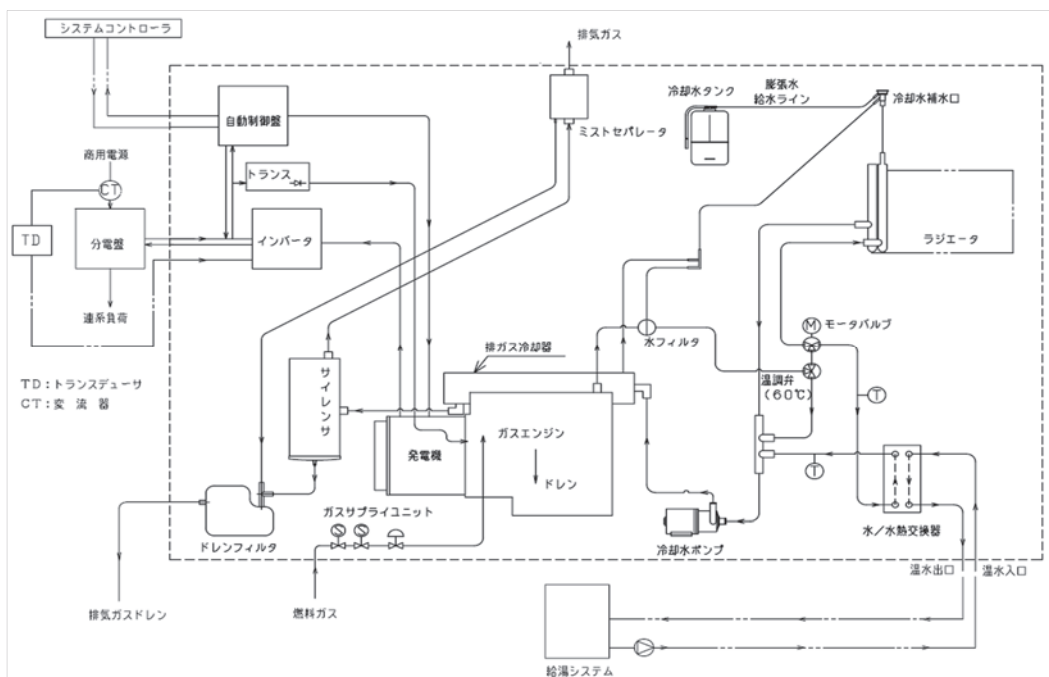
エンジン、発電機、インバータ、ラジエータ、熱交換器等のコージェネに必要な部品をコンパクトにパッケージング





② 内部システムフロー

エンジンからの排熱を水/水熱交換器を経由して温水利用先へ循環させる。利用しきれない温水はラジエータから放熱が可能である。発電機から発生した電力はインバータを経由して商用系統へ送電（系統連系）する。

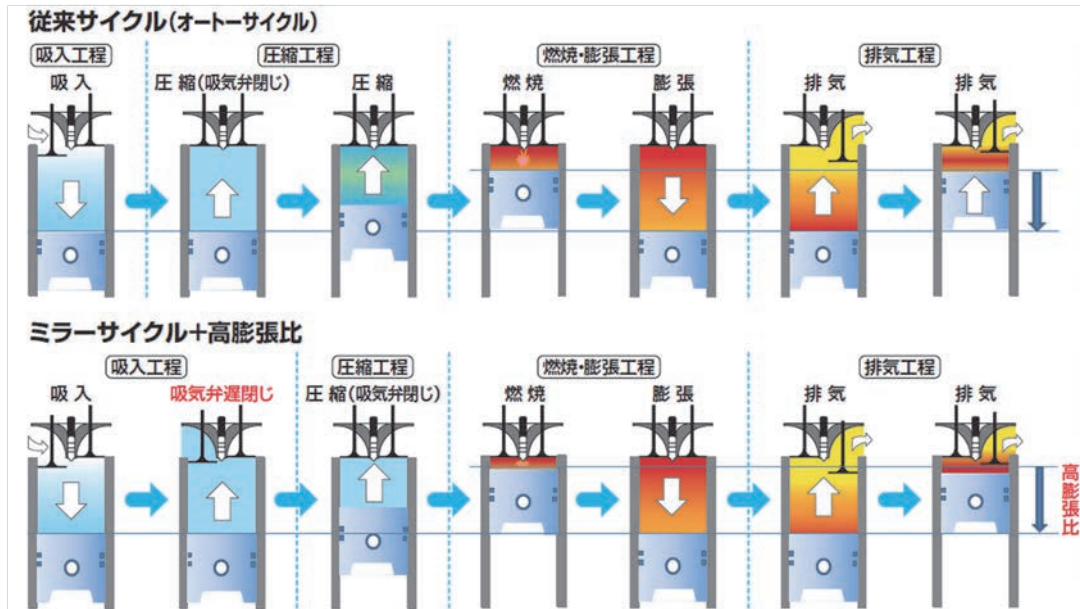


(2) ガスエンジン

① ミラーサイクル+高膨張比の採用

従来サイクル（オットーサイクル）からミラーサイクル化によりポンピングロスを低減し、高膨張化することによりエンジンの熱効率を向上させた。

圧縮比 10 : 1 に対して膨張費を 11 : 1 としている。

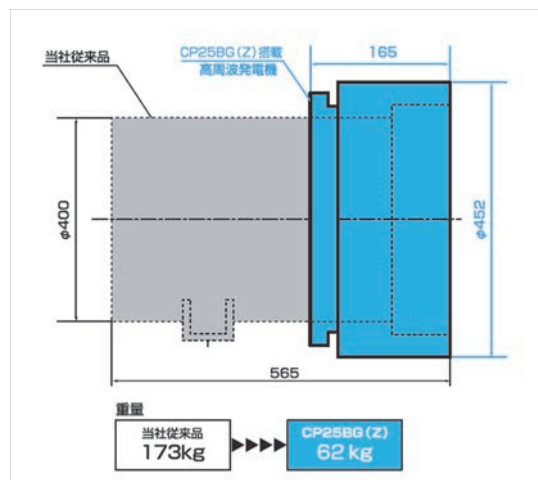


② バイオガス専用ミキサーと制御マップの開発

ベース機の都市ガス 13A 機に対して熱量が半分以下のガスになるため、ミキサーのベンチュリー系を 1 サイズダウンさせ燃料リッチのセッティングとし、あわせて点火タイミングをリタードさせた。

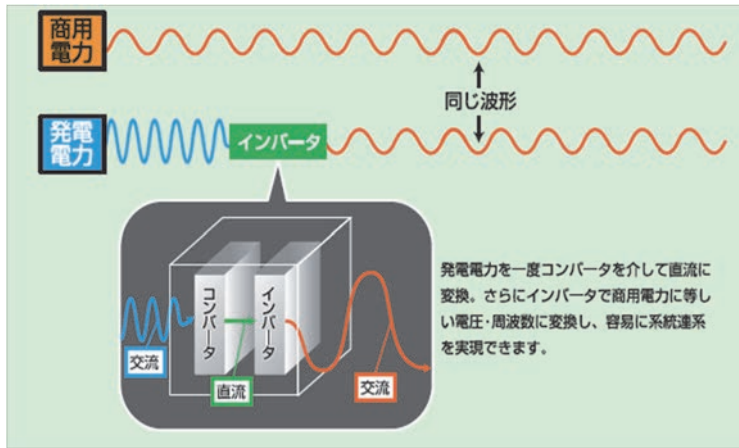
(3) 発電機

従来の同期発電機から高周波発電機に変更することで省スペース化（ $0.071 \text{ m}^3 \rightarrow 0.026 \text{ m}^3$ 63%減）、重量の低減（ $173\text{kg} \rightarrow 62\text{kg}$ 64%減）が実行できた。



(4) インバータ (パワーコンディショナ)

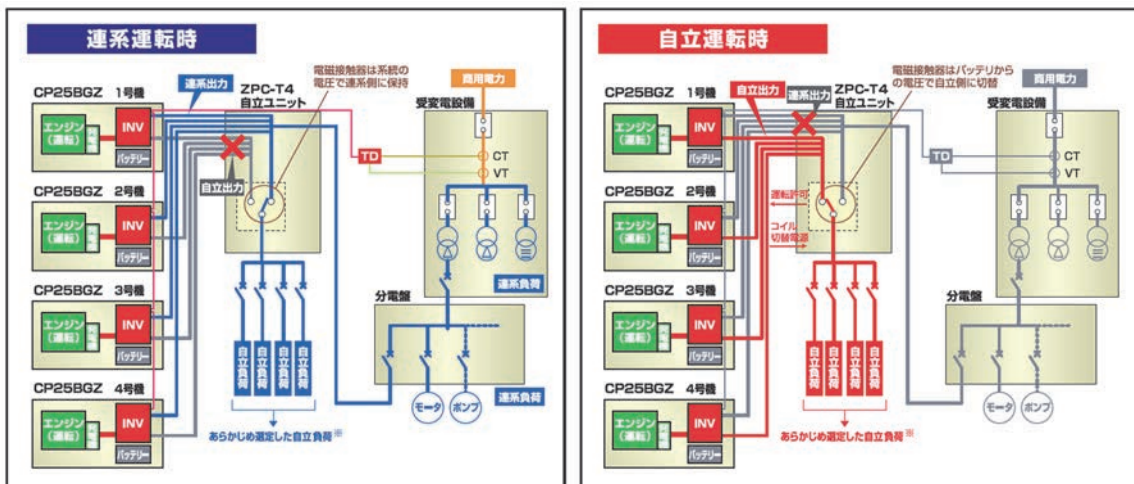
高周波発電機の採用に伴い、交/直流-直/交流の PCS (パワーコンディショナ) を搭載した。また、PCS 搭載によりエンジン回転数を 1,750~1,900min⁻¹ で可変することで高効率運転を実現した。



高周波発電機出力
AC340V,253Hz
↓
直流 DC390V
↓
AC202V,50/60Hz
商用系統へ連系

(5) 停電時の複数台並列運転

通常時には電力会社の電力網と連系運転を行い、停電時にはあらかじめ選定した自立負荷へ給電することが可能である。また最大4台まで同時給電することが出来るため、停電時においても比較的容量の大きい負荷設備への電力供給も可能となる。



2. 開発経緯

(1) 開発主旨

都市ガス市場における小型コージェネレーション装置の開発・設計・製造・販売・メンテナンス等は大手都市ガス会社との協業により、確実な販売・メンテナンス手法を確立している一方で、下水処理施設、畜産農家、食品工場、バイオマスセンター、廃棄物処理施設等の動植物に由来するバイオガスや、温泉等に付随して発生する自噴ガスへの対応は、顧客からの販売要望に対して都度、都市ガス仕様を改造し販売するという対応を行っていた。(特別改造品)

(2) 開発目標

当初はあくまで改造品としての販売だったが、改造部品の調達遅延やメンテナンスメニューの未整備などの課題が噴出し、顧客に迷惑をかける事例が発生した。そこで、本製品を正規商品として開発・設計・製造・販売し、メンテナンスメニューについても市場導入機のデータを確認し、バイオガス仕様を標準化されたモデルとして市場に投入することとした。

(3) 開発経緯

平成 14 年 2 月	市場要望により都市ガス用小型コージェネレーション装置を改造して低カロリーガスに対応できるよう改造し、販売を行った。(特別改造品)
平成 14 年 4 月	下水処理場、バイオマス利用施設等へコージェネレーション装置導入状況を調査、顧客へのヒアリングを実施。
平成 17 年 4 月	顧客ヒアリング結果より、低カロリーガス仕様の目標値をさだめ、開発試験を開始。
平成 19 年 4 月～	本装置をカタログモデルとして、限定販売を開始する。 但し、下水処理場のバイオガス（消化ガス）にはシロキサンが含まれるため、除去技術が確立するまでは、販売対象を畜産農家、食品工場、バイオマスセンター、廃棄物処理施設のバイオガスに限定した。
平成 20 年 2 月～	シロキサン除去装置の性能検証のため、岩手県北上浄化センター（下水処理施設）で実証試験を実施。
平成 20 年 4 月	下水処理施設での実証検証を終了し、本装置の正式販売を開始。 業界の新聞・雑誌等で製品を大々的に公開。
平成 21 年 3 月	第 1 号機納入。
平成 24 年 4 月	本装置に A/F センサーを搭載し、メタン濃度変動の追従性を高めた。

3. 独創性

(1) 低カロリーガスエンジンの開発

弊社従来システムである都市ガス 13A 機をベースとし、低カロリーガスに対応するため、新たにミキサー・制御マップを開発した。

(2) 遠隔監視システム＋メンテナンス体制

① 遠隔監視システム

従来の装置：遠隔監視システムは都度、設備毎に構築するため一貫性がない。

本装置：1984 年から運用している遠隔監視システムにより、遠隔監視センターを中心に全国の支社・支店・営業所、メンテナンス協力会社の対応まで一貫体制を整備している。

② メンテナンス体制

従来の装置：遠隔監視は実施しているが、メンテナンス体制が整備されていないため、現地調査・部品調達・現地乗り込み、復旧までに 1～3 ヶ月程度を要する。

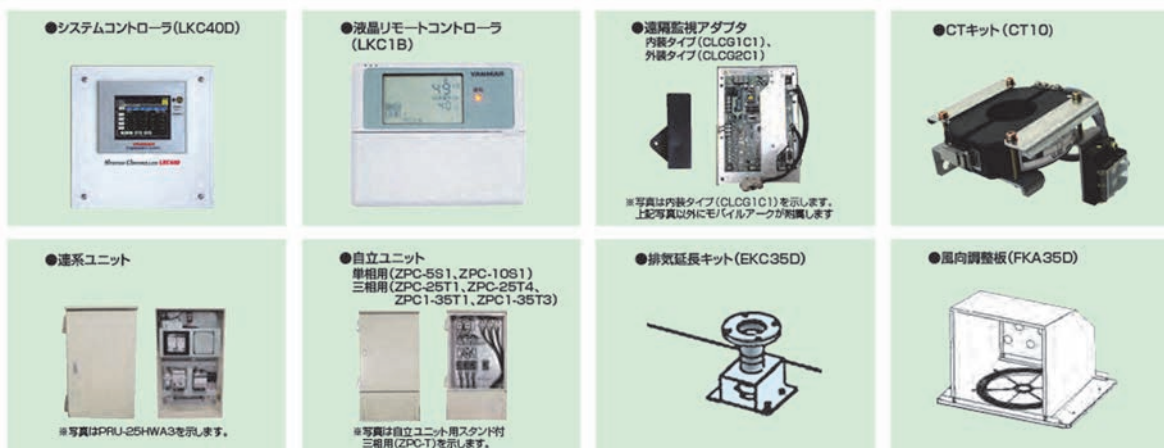
本装置：遠隔監視とリンクしたメンテナンス体制が整備されている。
 緊急時のトラブルも、リモートサポートセンターを中核として情報共有し、
 早期対応が可能である。



(3) 省エンジニアリング、コンパクト設計

従来の装置：物件毎に都度、盤設計や、電力会社と接続に必要な設備を設計しなければならない。

本装置：オプション設定を豊富に取り揃えることで、省エンジニアリング化を図った。



(4) ロングメンテナンスインターバル、定額メンテナンス

① メンテナンスインターバル

他社従来の装置：500～2,000 時間内に交換部品・メンテナンスが必須。

本装置：8,760 時間（1年）に1回、交換部品・メンテナンスを実施。

本装置は1年に1回のメンテナンスで十分な装置の発電・温水の出力を確保できる。

② 定額メンテナンス

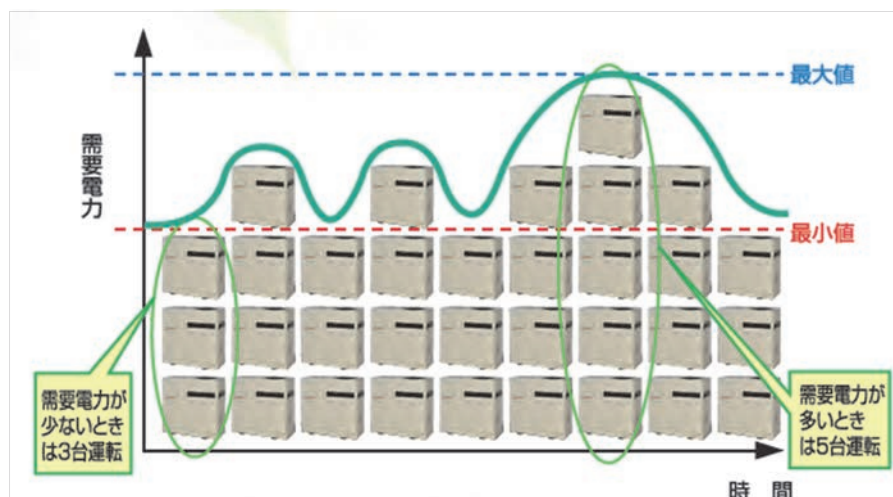
他社従来の装置：年度毎に対応するメンテナンスの内容が変わるため、積み上げ方式を採用。

本装置：都市ガス仕様の製品メンテナンス+バイオガス対応のメンテナンス項目により都市ガス仕様のメンテナンス+ α で対応するため、定額制で対応が可能。

(5) 複数台運転制御

他社従来の装置：大型1台設置もしくは中型2～4台設置

本装置：最大30台まで設置が可能。システムコントローラにより台数制御運転、ローテーション運転、スケジュール運転に対応する。ガスの発生量等に応じた台数制御を行うことにより効率的な運転と停止リスクの低減。



4. 特許

なし

5. 性能

(1) 性能

小型化したにも関わらず、従来の装置よりも総合効率、発電効率が高い。

形式	本装置	従来の装置 海外製小型 コージェネレーション	類似装置 マイクロガスタービン
定格出力	25 kW	70 kW	95 kW
消化ガス消費量	13.01 Nm ³ /h	40 Nm ³ /h	56.51 Nm ³ /h
発電効率	32 %	30 %	28 %
温水回収効率	52 %	50 %	48 %
総合効率	84 %	80 %	76 %
NOx 値	300 ppm	350 ppm	30 ppm
騒音値	62 [dB]	85 [dB]	68 [dB]

(2) 耐久性・安全性

従来の装置の耐久性・安全性は社内の試験場で自主検査、社内検査による検証によって確保していた。本装置の耐久性・安全性は、都市ガス仕様の製品時に、大手ガス会社の試験場にて耐久試験を実施し、共同評価を実施した上で、確保している。

(3) 運転・操作性

従来の装置の運転は盤側プログラムのため、運転設定の変更も専門員による設定対応が必須であった。本装置の運転は、液晶リモコンもしくはタッチパネルを組み込んだシステムコントローラによって運転設定を実施する。設定もお客様ご自身で簡単にタッチパネルによる変更が可能である。

(4) 維持管理性

従来の装置の維持管理は、定期点検以外の突発的アラームはお客様からの連絡によって認識していた。本装置の維持管理は、突発的なアラームも含め、遠隔監視センターで常時監視しており、お客様と情報を共有した状態での対応が可能である。

6. 経済性

当社の従来装置との比較による。

	従来装置 (当社従来装置)	申請装置	備考
イニシャルコスト			
装置費用	20,000[千円]	12,000[千円]	流通により異なる
設置費用	15,000[千円]	15,000[千円]	基礎、付属機器込み
ランニングコスト			
電気代	—	—	発電電力より給電
排ガス分析費用	200[千円/年間]	不 要	大防法に該当しない
薬品代	50[千円/年間]	不 要	ラジエータがあり薬品不要
メンテナンス費用	8[円/kWh]	4.5[円/kWh]	当社従来機との比較
遠隔監視用通信費	48[千円/年間]	メンテナンス費に含む	

7. 将来性

現在、経済産業省主導の再生可能エネルギーの特別措置法、固定価格買取制度（FIT 制度）や、国土交通省の下水汚泥有効利用等の方針（2030 年 30%）など未利用の再生可能エネルギーの有効活用が政府方針で打ち出されている。

（1）国内市場

① 下水処理施設：約 150 箇所＋新規消化槽建設予定約 200 箇所

- ・国土交通省は下水処理場から発生する汚泥の有効利用に対して「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン」を策定し、汚泥減容の副産物である消化ガス有効利用推進が記載されている。
- ・全国約 2,000 箇所の下水処理施設の内、消化ガスが発生する設備（消化槽）を保有している処理場施設は 300 箇所、未利用箇所が 150 箇所となっている。
- ・消化槽の新規建設対象設備となる下水処理場が全国に約 200 箇所程度存在する。

② 産業廃棄物処理施設・食品工場等：300 箇所

- ・食品リサイクル法が H25 年 7 月 31 日に改正され、廃棄物からのメタン回収が盛り込まれた。これに伴って約 2700 の食品事業所が対象となるが中小企業が多いため、大規模な設備投資が難しく、現存する 300 箇所のバイオガス発生施設更新の際、導入設備の対象となる

③ 個人経営の牧場から株式形式の大規模ファーム：100 箇所

- ・全国に牧場約 20,000 箇所が点在するが、その殆どが個人経営となるため、大規模な設備投資は望めない。現存する 100 箇所のバイオガス発生施設更新の際、導入設備の

対象となる。

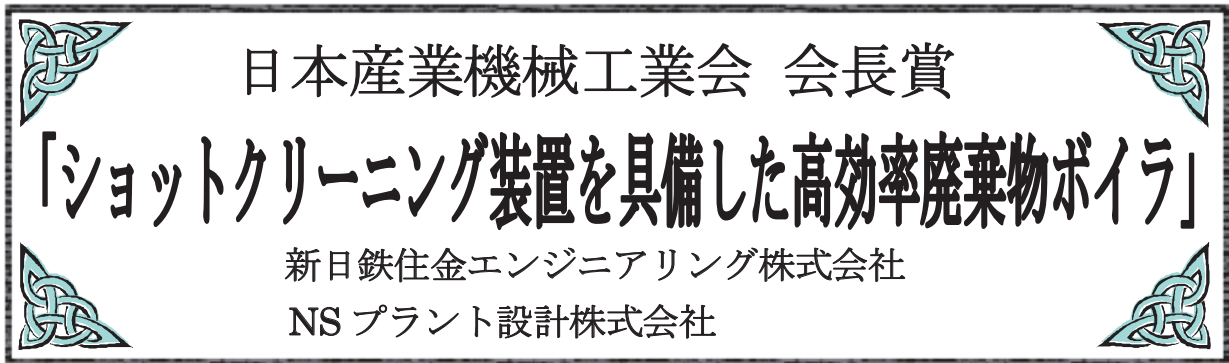
- ④ 自噴ガス：発電設備導入のための障壁があるが、未利用の自噴ガスは国内に存在する。
- ・自噴ガスを有効利用するために、鉱山保安法の遵守や鉱区設定がされている。
土地所有者≠鉱区設定者となるため有効利用の際、調整が必要である。
 - ・自噴ガスの有効利用のために有資格者の選任が必須となっている。

上述の通り、未利用のバイオガス市場は数多く存在し、再生可能エネルギー有効活用の国の方針とあわせて、今後の伸びが期待できる。

(2) 海外市場

① 東南アジア圏、中国圏

ベトナム、インド、中国からの引合はあるが、その殆どが当社メンテナンスのインフラ整備されておらず、新規納入はこれからの対応となる。唯一、台湾には PR 用試験機を現地で稼働させた。台湾の顧客より内示を頂いている。海外市場においては海外メーカーとのコスト競争という課題があり、大幅な伸張は難しいが、メンテナンス網が構築できたエリアより、メンテナンスを前面に押し出した販売を実施する。



1. 装置の詳細説明

本装置は、廃棄物処理施設において、廃棄物のもつエネルギーを回収する、「高効率廃棄物発電ボイラ」である。廃棄物処理施設では、廃棄物の燃焼熱を蒸気として回収し、発電に利用するためボイラが設置されているが、廃棄物の持つダスト成分により伝面が汚れ、蒸発量が低下する。このため発電量の最大化に向け、ボイラの伝面性能維持、即ちダスト除去装置の高度化が求められている。

一般的なダスト除去装置として、高圧蒸気のでダストを除去する「スートブロー式」が採用されているが、広い設置空間を必要とし、またダスト除去に使用する高圧蒸気は、本来発電に利用できるため、スートブロー運転時に発電量が低下する課題があった。

また噴射蒸気由来のドレンやリーク蒸気により、ドレンアタックによる水管損傷や腐食の発生リスクもあった。課題を以下にまとめる。

- ① ダスト除去に高圧蒸気を使用（発電用蒸気を消費）
- ② 噴射蒸気到達範囲が限定的（伝面性能悪化＝発電量低下、定期清掃による整備費増）
- ③ 装置が長尺・多数であり広い設置空間が必要（建設費増）
- ④ 噴射蒸気（ドレンアタック）による伝熱管摩耗（整備費増）

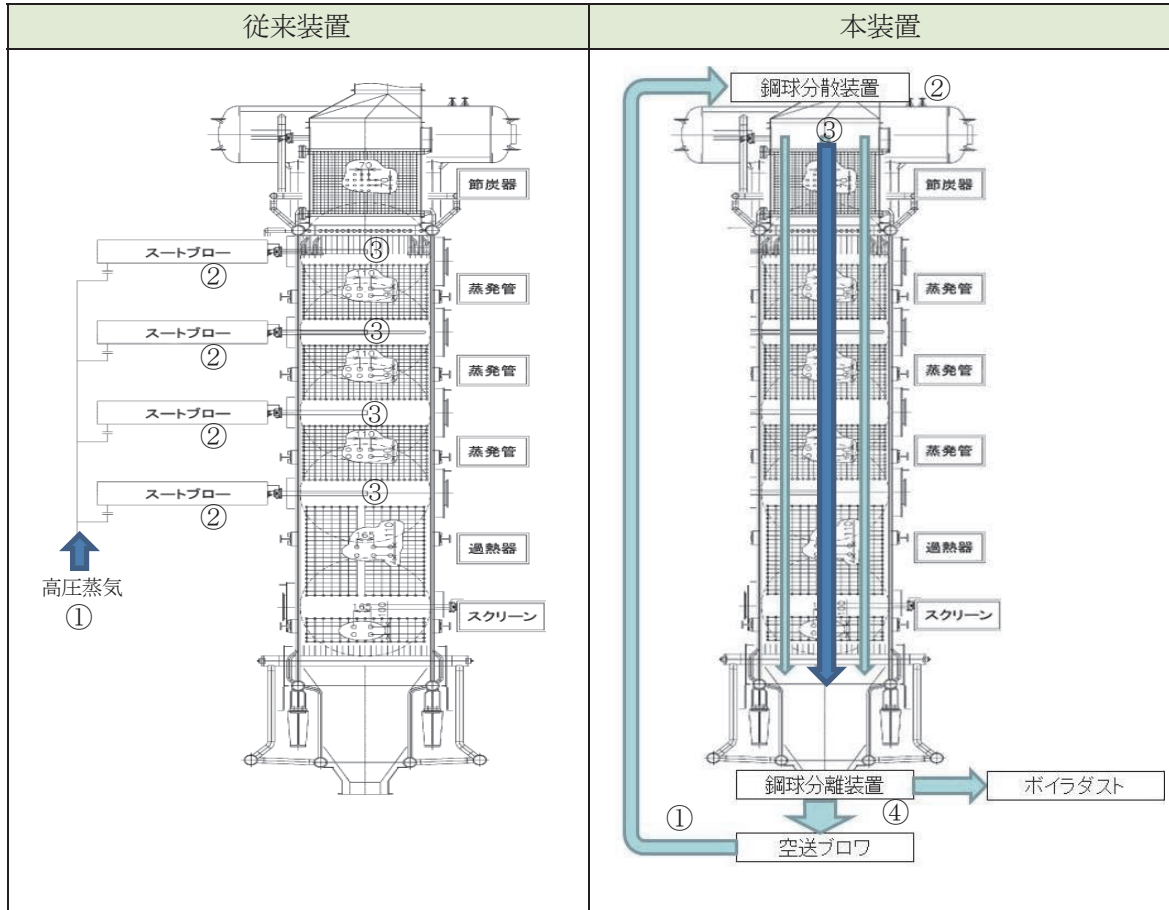
これらの課題を解決するため、古くから火力発電所の低温熱交換器で使用されてきた、鋼球をボイラ上部から分散落下させ、鋼球の落下衝撃によりダストを除去する技術である「ショットクリーニング式」を、難易度の高い高温領域まで適用可能にする装置として確立し、この方式に最適化したボイラを構築した。効果を以下にまとめる。

- ① ダスト除去に高圧蒸気を不使用（発電用蒸気の確保＝消費電力の低減）
- ② 全範囲のダスト除去可能（伝面性能維持＝発電量低下防止、定期清掃不要）
- ③ ボイラ本体、ダスト除去装置共コンパクト化（建設費低減）
- ④ 噴射蒸気（ドレンアタック）による伝熱管摩耗リスクなし（整備費低減）

本装置は従来装置のスートブロー式ボイラに比べ優れた点が多く、ボイラのダスト除去に有

効であり、廃棄物の熱回収率向上に貢献できる装置である。
 本装置と従来装置のストブロー式ボイラの比較を以下に示す。

(1) 装置概略図 (図中の○数字は、次項ダスト除去フロー参照)

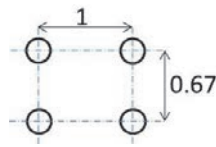
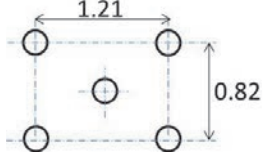


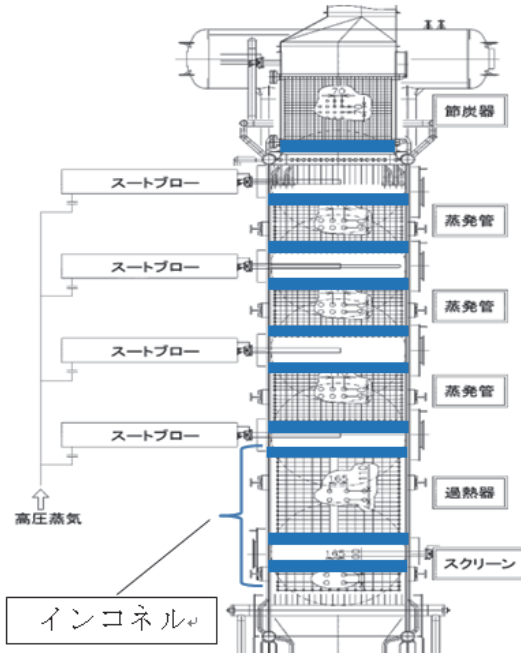
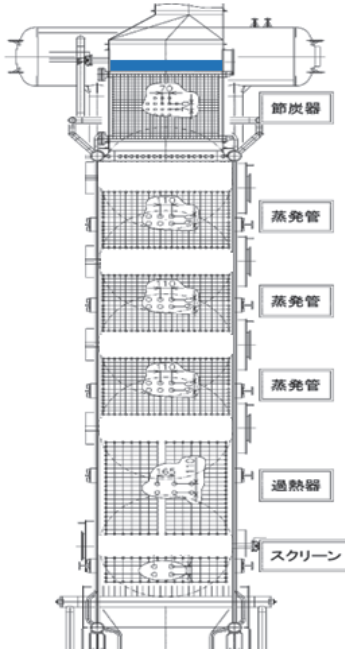
(2) ダスト除去フロー

従来装置	本装置
<p>①高圧蒸気弁開</p> <ul style="list-style-type: none"> ノズル先端より高圧蒸気噴射 <p>②蒸気ノズル前後進</p> <ul style="list-style-type: none"> ノズルをボイラ内に挿入、前後進運転 <p>③ダスト除去</p> <ul style="list-style-type: none"> 高圧蒸気のでダストを除去 <p>④高圧蒸気弁閉</p> <ul style="list-style-type: none"> 高圧蒸気弁閉 除去したダストは下部より排出 <p>⑤運転頻度</p> <ul style="list-style-type: none"> 制限あり (蒸気使用による発電量減) 6～8時間毎に運転 	<p>①鋼球搬送</p> <ul style="list-style-type: none"> 空送ブロウにてボイラ上部へ鋼球空送 <p>②鋼球分散</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼球分散装置にて鋼球分散落下 <p>③ダスト除去</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼球の衝撃でダストを除去 <p>④鋼球回収</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼球分離装置で鋼球とダストを分離 回収した鋼球は再使用 <p>⑤運転頻度</p> <ul style="list-style-type: none"> 運転制限なし 1時間毎に運転

(3) 特徴

設置空間を大幅に削減できるコンパクトな装置でありながら、スートブロー式を上回るダスト除去効果を発揮することで、常にクリーンな伝面を維持し発電量低下を防止。

従来装置	本装置
<p>【ダスト除去機構】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高圧蒸気によるダスト除去 ・ 蒸気ノズルをボイラに挿入し、幅方向に前後進しながら高圧蒸気を噴射 ・ 運転頻度の制限あり（契約電力制限） ⇒伝面汚れ発生（発電量低下） <p>【ダスト除去性能】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 噴射蒸気到達範囲が限定的、全範囲除去困難（発電量低下） <p>【ダスト除去装置設置空間】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ スートブロー装置の設置空間は、挿入するノズル長からボイラと同幅必要 ・ 噴射高圧蒸気の到達範囲により、一定間隔で複数台のスートブローが必要 <p>【ボイラ設置空間】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水管配置は蒸気到達に適した格子配置 ・ 水管ピッチは、スートブロー噴射蒸気の到達範囲により決定 	<p>【ダスト除去機構】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 鋼球衝撃によるダスト除去 ・ 空送により鋼球搬送及び分散吹込み 鋼球は水管に衝突しながら重力落下 ・ 運転頻度の制限なし ⇒常に伝面性能維持（発電量低下防止） <p>【ダスト除去性能】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水管及び側壁ダストを全範囲除去可能 ⇒伝面性能維持（発電量低下防止） <p>【ダスト除去装置設置空間】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ボイラ下部の鋼球分離装置、上部の鋼球分散装置及び空送配管のみ ・ 鋼球分散装置及び垂直式ボイラの採用により、1系列で広範囲な除去可能 ・ スートブロー式に比べコンパクト ダスト除去装置設置空間比：0.2 <p>【ボイラ設置空間】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水管配置は鋼球衝突に適した千鳥配置 ・ 水管ピッチは、鋼球とダスト通過サイズにより決定（スートブロー式より短縮）  <ul style="list-style-type: none"> ・ スートブロー式に比べコンパクト ボイラ本体設置空間比：0.74

従来装置	本装置
<p>【設備リスク】</p> <ul style="list-style-type: none"> 蒸気ドレンアタックによる水管損傷 蒸気到達範囲に消耗品プロテクタ設置 高温域はプロテクタ材質が高価 <p>■ プロテクタ範囲</p> 	<p>【設備リスク】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼球アタックによる水管損傷 吹込み初速による鋼球運動エネルギーの高い最上段に消耗品プロテクタ設置 <p>■ プロテクタ範囲</p> 

(4) 発電量低下防止

本装置は蒸気不使用であり、かつ従来装置に比べ消費電力が低いため運転頻度の制限を受けず発電量低下を防止できる。

高圧蒸気を使用するスートブローは、運転に必要な蒸気量と伝面性能回復による蒸気量とを比較し効率的に運転する必要がある、特に小型炉の場合には、スートブロー運転時の発電量低下による電力デマンドオーバー（契約電力超過）の懸念もあるため、運転回数が制限される。

本装置は、スートブロー式で使用していた高圧蒸気を発電に利用できるだけでなく、運転間隔の短縮により伝面汚れを抑制可能である。

図1に運転間隔とボイラ出口温度の概念図を示す。運転間隔が短縮されるほどダスト付着を抑制できるため、ボイラ出口温度の上昇が抑制され、面積差分の熱回収が期待できる。以上により、従来装置に比べ発電量低下を防止できる。

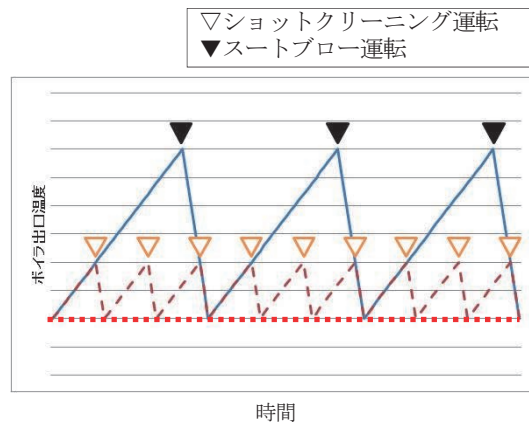


図1 運転間隔—ボイラ出口温度 概念図

2. 開発経緯

- ・ スートブロー装置の設置空間、高圧蒸気使用及びドレンアタックによる整備費負担などの課題解決に向け、新たなダスト除去技術を模索
- ・ 世にあるダスト除去技術を調査し試験を実施 ⇒ 十分な効果得られず自社開発を選択
- ・ 以下のコンセプトで開発を開始

① 建設費削減

- ・ スートブロー空間の削減
- ・ 水管ピッチの短縮によるボイラコンパクト化

② 整備費削減

- ・ 蒸気ドレンを発生しない除去装置
- ・ 付着ダスト除去性能の向上（定期清掃の削減）

③ 発電量増

- ・ 伝面の経年汚れ防止
- ・ 高圧蒸気不使用

- ・ 古くから火力発電所の低温熱交換器のダスト除去に使用されてきた「ショットクリーニング方式」に着目
- ・ 廃棄物発電ボイラの高温領域まで適用可能な装置確立に向け開発加速

平成 16 年～平成 18 年	ダスト除去装置調査
平成 18 年～平成 18 年	コンセプト決定、基本プロセス・設備構成・仕様構築
平成 18 年～平成 19 年	模型試験（鋼球分散性確認、スケールアップ検討）
平成 19 年～平成 20 年	実機予備試験（鋼球搬送・分散データ取得、課題抽出・対策）
平成 20 年	実機第 1 号機施設受注
平成 23 年	実機第 1 号機竣工
平成 23 年	実機の運転データを元に改良継続

なお、本装置は、新日鉄住金エンジニアリング株式会社とNSプラント設計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通りである。

- ・新日鉄住金エンジニアリング株式会社：
 - 基本プロセス立案、設備仕様決定、模型試験、実機試験、試験評価、最適化
- ・NSプラント設計：
 - 設備詳細設計、試験補助、試験評価、最適化

3. 独創性

ショットクリーニング式自体は従来技術であるが、本装置を廃棄物発電ボイラの高温域まで適用するためには、難易度の高い多くの課題を解決する必要があった。

(1) 高温領域への対応

ー従来技術は低温領域のみを対象としており、高温腐食雰囲気への対応が必要

【独創性】

- ・垂直式ボイラ水管群配置を工夫し、鋼球吹込み装置を低温領域へ配置
- ・炉内腐食ガスから装置を保護する鋼球吐出遮断弁を開発
- ・使用済み鋼球の冷却装置の開発

(2) ライフサイクルコストを最小化した鋼球搬送方式の選定と実現

ー従来技術は機械搬送式（コンベヤ）であり、コスト高や設備空間多大
ー適正鋼球サイズの探求およびスケールアップに向けた鋼球空送式の構築

【独創性】

- ・空送方式を採用
- ・空送により得られた鋼球の運動エネルギーを鋼球分散性に利用
- ・空気輸送管1本から、複数個所に吹込みを実現する方向切替弁を開発

(3) 鋼球分散性の実現

ー全範囲ダスト除去可能を実現するための、鋼球を均一分散させる装置の構築

【独創性】

- ・空送により吹き込まれた鋼球を分散する、可動式衝突板を開発

(4) ダストと鋼球分離性の実現

ー分離性の確保

ー鋼球回収後の再利用に向けた空送ライン（インジェクタ圧）との縁切り

【独創性】

- ・ 耐久性の高いトロンメル方式を採用し、塊・鋼球・灰を分離
- ・ 空送ラインとの縁切り機能を備えた、鋼球切出しフィーダを開発

4. 特許

本装置の関連特許は次のとおりである。

特許番号：第 5079465 号 / 名称：ショットクリーニング装置およびショットクリーニング装置のショット球回収方法

特許番号：第 5250862 号 / 名称：ロータリー式粉粒体切出装置

特許番号：第 5390225 号 / 名称：ショットクリーニング装置の鋼球回収装置及び鋼球回収方法

特許番号：第 5415793 号 / 名称：ショットクリーニング装置の鋼球回収装置及び鋼球回収方法

特許番号：第 5840063 号 / 名称：ショットクリーニング用のショット球散布装置_ショット球散布方法及びボイラー

特許番号：第 5844208 号 / 名称：ショットクリーニング用のショット球散布装置_ショット球散布方法及びボイラー

特許番号：第 5904852 号 / 名称：ロータリー式粒体切出装置

特許番号：第 5946682 号 / 名称：ロータリー式粒体切出装置

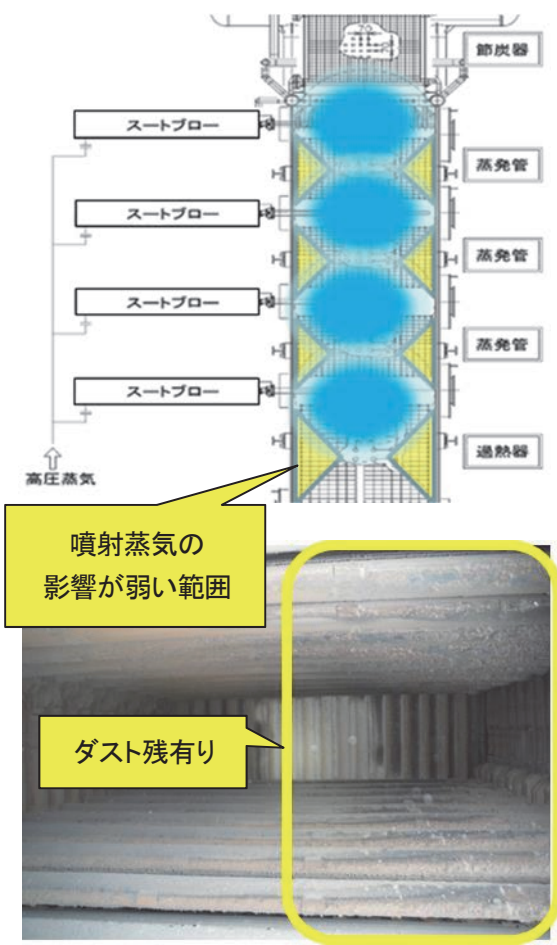

出願番号：特願 2012-105772 / 名称：ショットクリーニング用のショット球回収装置及びボイラー

5. 性能

(1) ダスト除去性能

① 内部状況

スートブロー式は噴射蒸気の影響が弱い範囲にダスト付着が残るが、本装置は定期清掃無しでも目立った付着は見受けられない。

従来装置	本装置
	<p>【対象施設仕様】</p> <ul style="list-style-type: none"> ボイラ仕様：300℃×2.45MPa <p>【ショットクリーニング運転条件】</p> <ul style="list-style-type: none"> 運転時間：10min/h×24回/炉/d 鋼球供給量：40kg/min <p>【ダスト付着状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> 稼働後3年経過 定期清掃なし 全範囲に目立った付着無し 

② ダスト除去性能（短期評価）

図2に1日におけるショットクリーニング運転（1回/h）と同規模炉におけるスートブロー運転（1回/8h）のボイラ出口温度を示す。ショットクリーニングはスートブローに比べ運転間隔が短いため、ボイラ出口温度の上昇が抑えられ熱回収ロスが少なく、その分蒸発量＝発電量を多く確保できる。

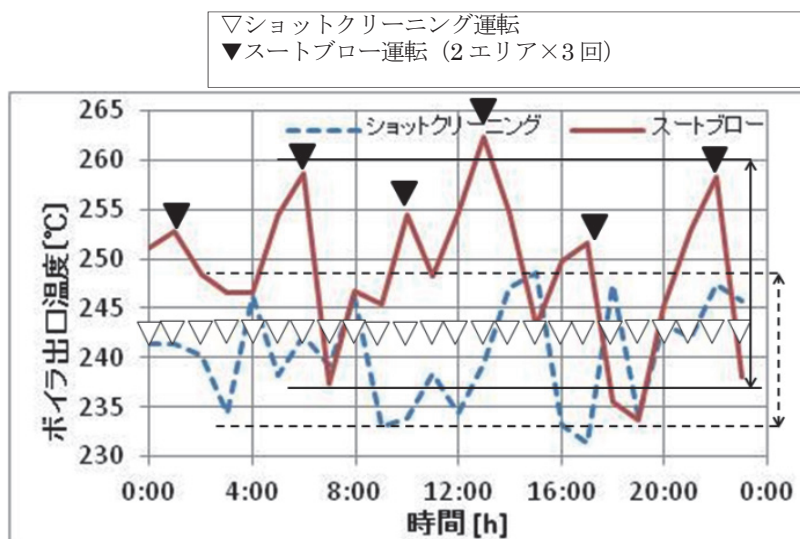


図2 運転間隔－ボイラ出口温度

③ ダスト除去性能（長期評価）

図3に、一年間におけるボイラ入熱量と蒸発量の年間推移を示す。廃棄物処理施設では、ごみのカロリー変動など入熱が変動するが、同じ入熱量に対する蒸発量の変化から、ダスト付着による伝面性能の低下を監視できる。

本装置は、年間変動が小さく、定期清掃無しでも長期に渡り伝面が維持されていることが分かる。比較として、スートブロー式を採用している施設の蒸発量推移を図4に示す。2015年7月から翌2016年6月のデータを示す。2015年6月と11月に定期清掃を実施しているが、清掃後から経年による伝面汚れが蒸発量を徐々に低下させていることが分かる。

本装置は従来装置に比べ、長期に渡り安定的に伝面性能を維持できるため、蒸発量の低下を防止でき、その分発電量を多く確保できる。

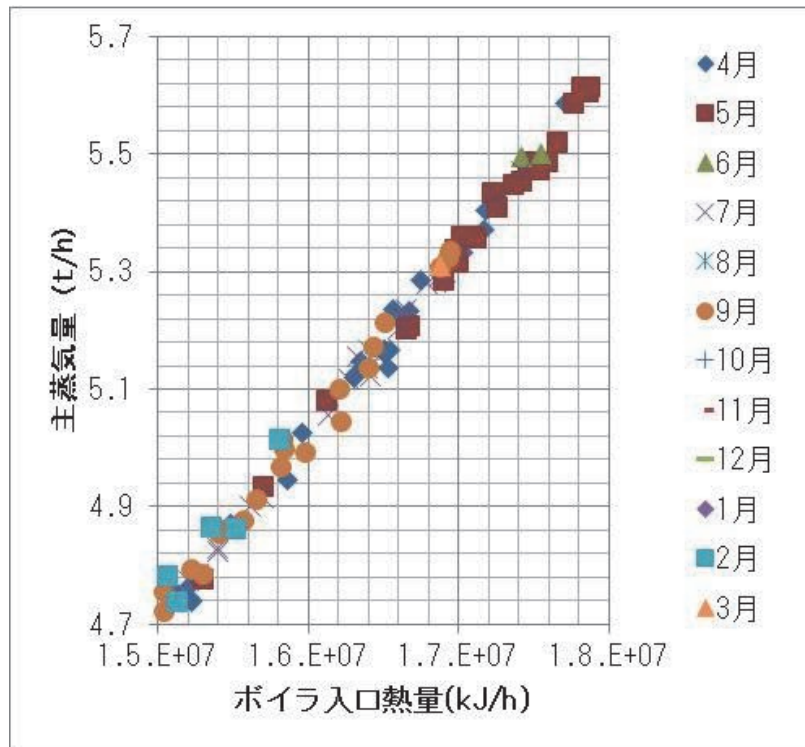


図3 ボイラ入熱－蒸気量推移
(本装置)

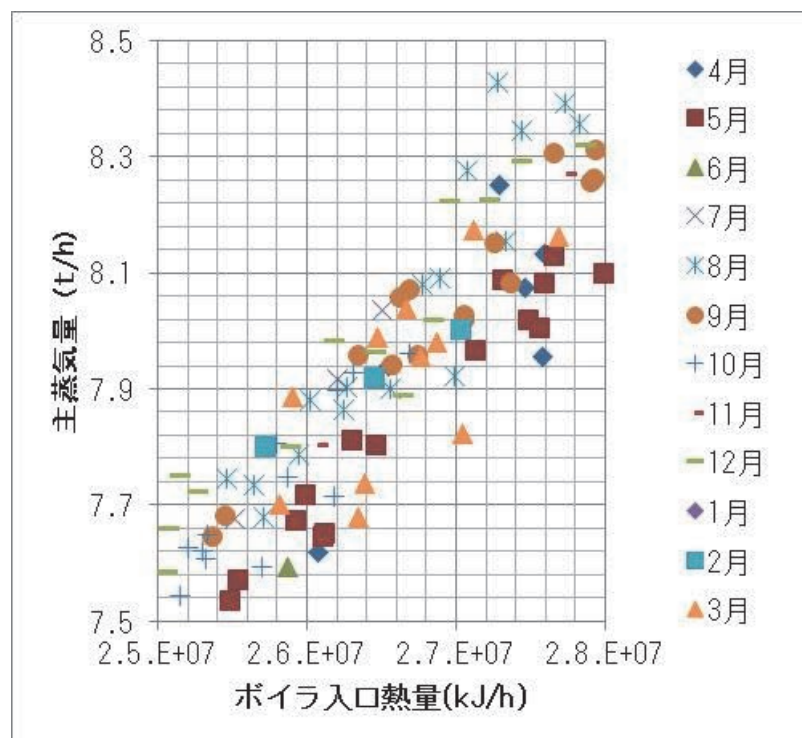


図4 ボイラ入熱－蒸気量推移
(従来装置)

6. 経済性

従来装置と比較すると、ボイラおよびダスト除去装置のコンパクト化によるイニシャルコストダウン、消費電力低減およびメンテナンス費削減によるランニングコストダウンが以下の通り期待できる。

また伝面性能維持による発電量増（「5. 性能」参照）も見込めるが、従来装置との定量的比較が困難なため割愛した。

	従来装置	本装置
【イニシャルコスト】		
ボイラ本体費用	100	100
ダスト除去装置費用	100	50
建築物費用（ボイラ本体空間比）	100	74
建築物費用（ダスト除去装置空間比）	100	20
【ランニングコスト】		
設備整備費（鋼球損失分含む）	100	100
消費電力※	100	11
定期清掃	100	0

※スートブロー消費電力は、使用する高圧蒸気量からの発電相当量とした。

消費電力削減効果の一例を以下に示す。

- ① スートブロー消費電力（同規模炉実績）
 - 240kWh/回×3回/炉/d
 - = 720kWh/炉/d
- ② ショットクリーニング消費電力
 - 20kW×(10/60)h/回×24回/炉/d
 - = 80kWh/炉/d
- ③ 消費電力差
 - ① - ② = 640kWh/炉/d
- ④ 年間削減電力量
 - 640kWh/炉/d×220d/年×2炉
 - = 281,600kWh/年

消費電力削減分は廃棄物発電として FIT 単価にて売電可能であり、

- ⑤ 売電収入増加分
 - 281,600kWh/年×15円/kWh
 - = 422万円/年の収入改善が見込める。

7. 将来性

今後の案件にも適用拡大中であり、また既存施設に設置されているダスト除去装置をスートブロー式からショットクリーニング式に変更することで、売電収入や維持費用の改善が見込める。すでに1施設で、既存施設に適用した実績がある。

今後は国内だけでなく、海外についても適用の可能性があり、大いに期待できる。

日本産業機械工業会 会長賞

「フィルタレスオイルミストコレクタ (ミストイーターZ)」

ホーコス株式会社

1. 装置の詳細説明

本装置は、主に工作機械加工において発生するオイルミストを捕集・回収する装置であり、その特徴は小径の多連サイクロンを用いたフィルタレス構造にある。

サイクロン円筒上部の接線方向からオイルミストを含む空気を導入し、筒内部に旋回流を発生させ遠心力でオイルミストを分離する。分離されたオイルはサイクロン下部からドレンとして排出、清浄化された空気は上部からファンを通じ放出される。

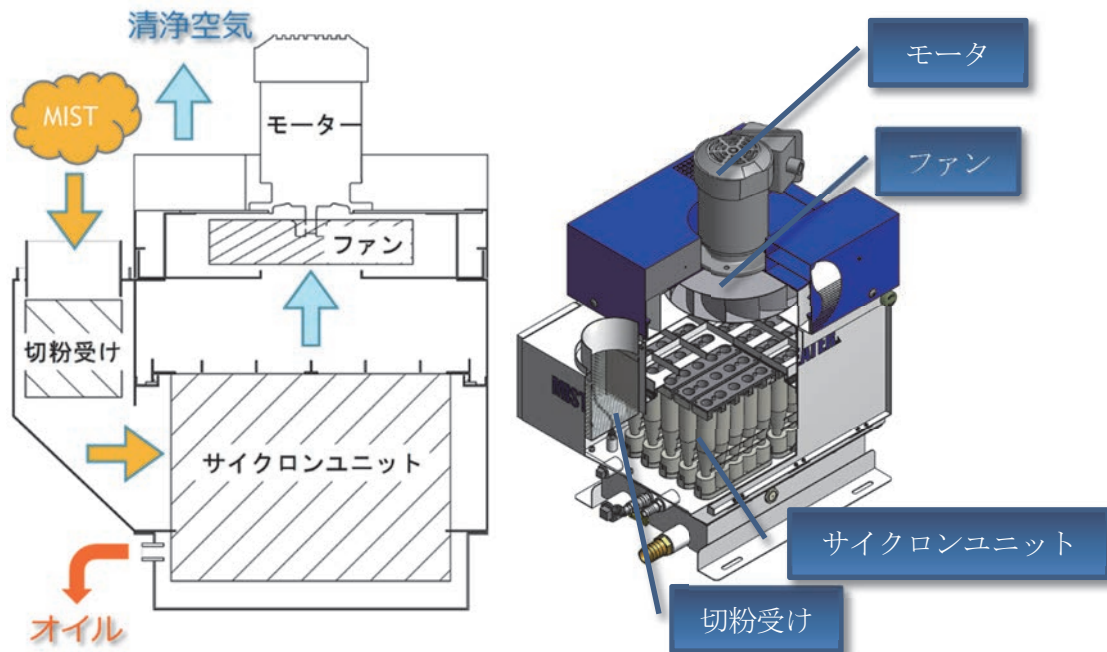
なお、多連サイクロンは本数の増加と共に圧力バランスが崩れ、再飛散により捕集効率が低下する弱点があったが、本装置はドレン管下部を水封し、さらに水封上部空間とサイクロン二次側を連通管で繋いだ独自の圧力調整機構により克服し高い捕集性能 ($2\mu\text{m}$ 以上 99%) を達成した。また、空気抵抗が減ったことで従来装置に比べ消費電力を 50%削減出来る。



フィルタレスオイルミストコレクタ(ミストイーターZ) 外観

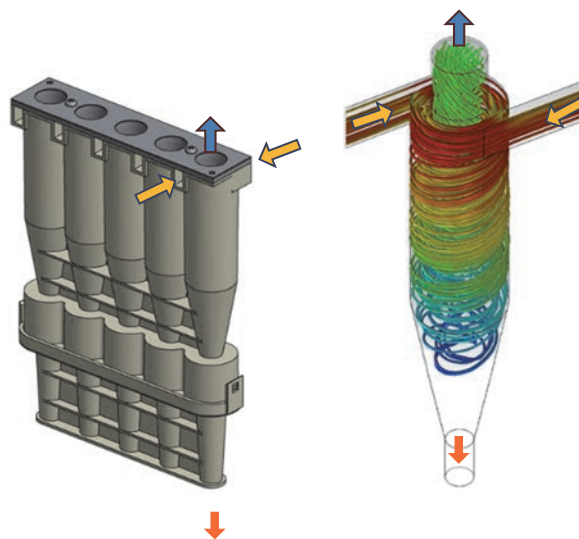
① 内部フロー

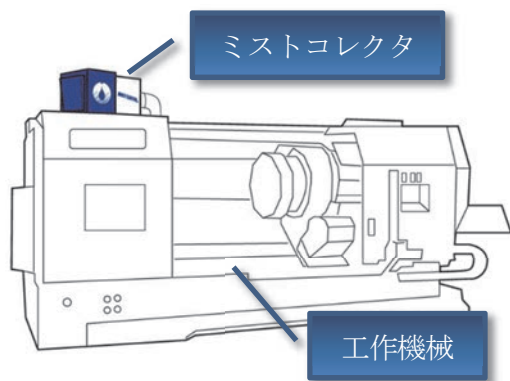
モータによりファンを駆動し機内へ空気と共にオイルミストを吸引する。切粉を吸込んだ場合は切粉受けにて捕集する。オイルミストはサイクロンユニットにて遠心分離され、捕集したオイルはドレンとして機外へ連続排出する。



② 捕集原理

サイクロン筒上部の接線方向から気流を導入し、筒部に旋回流を発生させる。旋回流が下降する間に遠心力でオイルミストを分離する。分離したオイルはサイクロン下部より排出され、清浄化された空気は反転流となり上昇し放出される。





工作機械への個別設置例

2. 開発経緯

(1) 開発主旨

近年注目が集まるフィルタレスオイルミストコレクタ市場において、従来に無い高機能(省エネ・高捕集性能・長寿命)な機種を開発し、シェア拡大を図る。

(2) 開発目標

- ・従来比 消費電力 50%削減
- ・捕集性能 2 μ m以上 98%以上
- ・目詰まりを起こし難い捕集機構の構築

(3) 開発経緯

平成 23 年 10 月	検討開始
平成 23 年 12 月	サイクロン部捕集性能テスト装置製作
平成 24 年 1 月	サイクロン部基本性能確認・改良検討
平成 24 年 2 月～ 5 月	試作 1 号機検討・製作
平成 24 年 6 月～ 8 月	試作 1 号機実証
平成 24 年 8 月	サイクロンユニット射出成型計画
平成 24 年 8 月～9 月	製品版 1 号機製作
平成 24 年 10 月	製品版 1 号機実証
平成 24 年 10 月	新製品新聞発表
平成 24 年 11 月	JIMTOF2012 へ出品
平成 24 年 12 月	サイクロンユニット射出成型完成
平成 25 年 1 月	受注開始
平成 25 年 1 月	第 1 号機納入

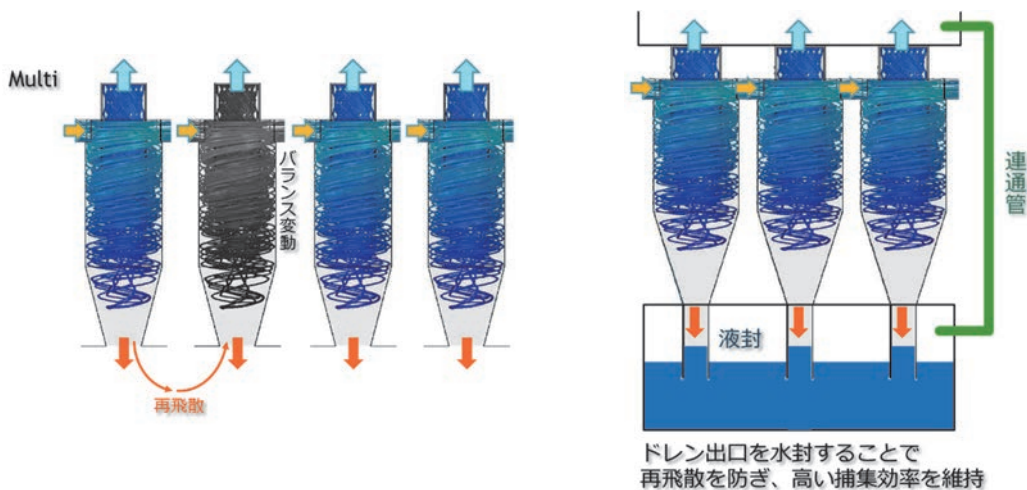
3. 独創性

フィルタレスオイルミストコレクタは複数のメーカーが製造・販売を行なっているが、各々捕集機構が異なる。大きくは「遠心分離式」「デミスタ式」「強制衝突式」「回転ディスク式」に分類出来る。

方式	捕集機構	省エネ	高捕集効率	長寿命
遠心分離式 多連サイクロン	小径サイクロンを多連配置	○	○	○
遠心分離式 単体サイクロン	大径サイクロン	○	△	○
デミスタ式	金属等のメッシュ構造体による 濾過	○	×	△
強制衝突式	ファン出口等流速の早い気流を 衝突板へぶつけて捕集	×	○	△
回転ディスク式	回転円盤にスリットを設け、通過 時に円盤へ衝突捕集	×	○	×

多連サイクロン式を採用しているのは本装置だけであり、唯一「省エネ」「高捕集効率」「長寿命」の三つを実現している。ただし、通常が多連サイクロンは、サイクロン本数の増加と共に再飛散、バランス変動により捕集効率が低下する弱点を有する。しかし、本製品は独自の圧力調整機構によりその弱点を克服している為、高捕集効率を実現出来た。

まず、ドレン管下部を水封することで再飛散を防いだ。しかし、これだけではオイルミストコレクタの吸込み抵抗が増すと負圧が大きくなり、水位が上昇し封液がサイクロン旋回流に乗って飛散してしまう。そこで水封上部空間とサイクロン二次側とを繋ぐ連通管を設けることにより、負圧がキャンセルされて水位は一定以上には上昇しなくなる。なお封液は、捕集するオイルと同じものを予め満たしておけば、捕集により増加した量だけオーバーフローされるので液量管理の煩わしさは無い。本技術は国際出願中である。



4. 特許

本装置の関連特許は次のとおりである。

国際公開番号：WO2014061201A1 / 名称：マルチサイクロン式コレクタ

出願先：日本、ヨーロッパ、韓国、中国、タイ（米国、台湾については特許取得）

米国特許番号：第 8,945,290 号

台湾特許番号：I-517904

5. 性能

タイプ	メーカー名	型式	風量 (m ³ /min)	捕集効率(% (2μm 以上)	モータ容量 (kW)
多連サイクロン	本製品	ME-05Z	10	99	0.4
単体サイクロン +慣性衝突板	ホーコス (従来機)	ME-10FZ	10	97	0.75
デミスタ式	A 社	—	13	97 以下 ※1	0.75
強制衝突式	B 社	—	10	99	0.75
回転ディスク式	C 社	—	8.5	99.9	0.75

※1 カタログ値の記載無し 弊社測定に基づく

① 耐久性・安全性

発売から 4 年経過するが、サイクロンユニットを含めて消耗品は発生しておらず高い耐久性を有する。また、唯一の可動部であるファン吸込み部に安全網を設けるなど、安全にも十分配慮している。

② 運転・操作性

通常メンテナンスは一面から且つ、工具レスで行えるので、高い操作性を有する。

③ 維持管理性

フィルタの在庫管理も必要なく、風量の低下も起きないので、定期点検の管理のみでよい。

6. 経済性

従来装置と比較すると、内部抵抗の削減により、消費電力を約 50%削減。消耗品がなく、メンテナンス期間が長く、作業時間も短いのでランニングコスト半減。

	従来装置	申請装置
イニシャルコスト 装置費用	100	110
フィルタ代	100	0
電気代	100	50
メンテナンス費用	100	50

※従来装置：当社フィルタ式オイルミストコレクタ（同風量）

年間ランニングコスト 50%削減を達成したことにより、0.8年で回収できる（運転条件：16時間/日 20日/月 16円/kWh）。

他社製品と比較すると、イニシャルコストは最安値とはなっていないものの、消費電力を約 50%削減している為、電気代を加味した5年間トータルコストでは最安値となる。

	イニシャルコスト(A)	ランニングコスト(B) (年間電気代)	(A)+(B)×5 5年間コスト
申請装置	¥327,000	¥24,576	¥449,880
A社	¥484,000	¥46,080	¥714,400
B社	¥250,000	¥46,080	¥480,400
C社	¥286,000	¥46,080	¥516,400

※比較対象：フィルタレスオイルミストコレクタ（同風量）（運転条件：16h/day 20day/month 16円/kWh）。

7. 将来性

フィルタレス、電力消費量 50%削減のメリットから、既存フィルタ式からの置換え需要も多くある。また、オイルミストコレクタのセットメーカーはイニシャルコストの低いものを選択しがちではあるが、エンドユーザから本装置を指定してもらえることも増えてきている。

更に、今までのフィルタ式オイルミストコレクタはフィルタの在庫、消耗品の供給などの煩わしさが理由で、海外ユーザから採用を躊躇されていたが、本製品はフィルタ及び、消耗品が無いので、普及の可能性が広がっている。

日本産業機械工業会 会長賞
「蒸留塔付き蒸発濃縮装置」
 株式会社ササクラ
 日本リファイン株式会社

1. 装置の詳細説明

多量にエネルギーを消費する蒸留操作においては、以下に記載のとおり従来から省エネルギー化が検討されていた。しかし、それぞれに課題があり、省エネルギー化を達成できていない。

従来の技術_その1:

塔底部の液をリボイラで加熱蒸発させ、蒸留塔で蒸発蒸気中の高沸点溶剤を分離し、塔頂より高沸点溶剤を分留した蒸気を取り出し、コンデンサで冷却水などにより凝縮させ、処理水と濃縮液に分離する装置が一般的に知られている。

しかし、このような装置ではコンデンサで蒸気の潜熱を冷却水等に廃棄するため、熱エネルギーの有効利用が図れない。

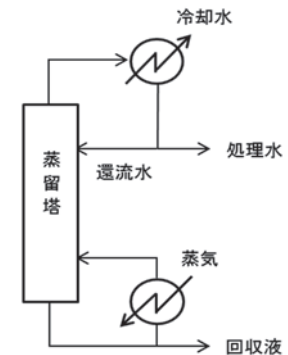


図1.従来技術_その1

従来の技術_その2:

蒸留装置の省エネルギー化を図る方法として、高圧蒸気を駆動蒸気として塔頂部の蒸気の一部をエゼクターで吸引してリボイラに送り、リボイラの加熱源とする方法もある。

しかしながらこの方法も相当量の高圧駆動蒸気を必要とし、この駆動蒸気の熱量に相当する塔頂蒸気が余分になって、その潜熱がコンデンサに廃棄されることになり、十分な省エネルギー化が図れないという問題がある。また、2 効用にする場合も同様に最終段塔頂の蒸気潜熱がコンデンサに廃棄される。

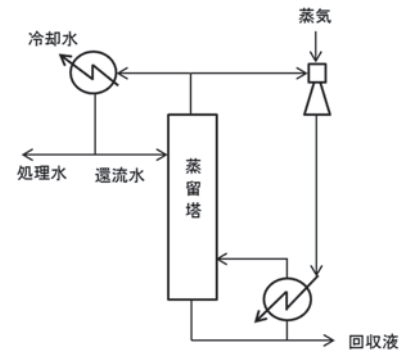


図2.従来技術_その2

従来の技術_その3:

塔頂部からの蒸気の潜熱を全量利用する方法として、MVR (Mechanical Vapor Recompression) 方式が考えられるが、なかなか実用機として広がらなかった。MVR 方式では、塔頂の低い温度の蒸気を塔底の最も高い濃縮液を加熱できる温度 (濃縮液温度+伝熱温度差) まで圧縮する必要がある。従来の場合、この圧縮温度が大きいいため蒸気圧縮機が高速タービン方式となり、実用

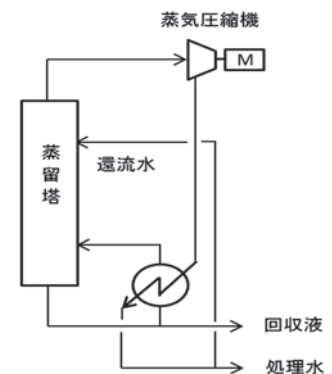


図3.従来技術_その3

化の妨げとなっていた。タービン式になると構造が複雑でスペシャリストによるメンテナンスが必要になるためである。また、圧縮比が高く、蒸気圧縮機の動力も大きくなる。

本装置は、リボイラとして高い伝熱性能を有する“水平管式蒸発器”と“蒸気圧縮機”との組み合わせを特徴とする MVR 蒸留濃縮装置であり、従来技術の問題点・課題を解決した。

(1) 当社の MVR 蒸留濃縮装置概要と作動原理

水平管式蒸発器は、後述する海水淡水化技術で古くから培ってきた技術であり、水平管式蒸発器とヒートポンプ（当社では蒸気圧縮機をヒートポンプと称する。）を組み合わせた装置が、当社の VVCC 型濃縮装置であり、VVCC 型濃縮装置に蒸留塔を組み合わせた装置が今回の装置である。本装置の概略フローを図.4 に示し、作動原理を以下に記述する。

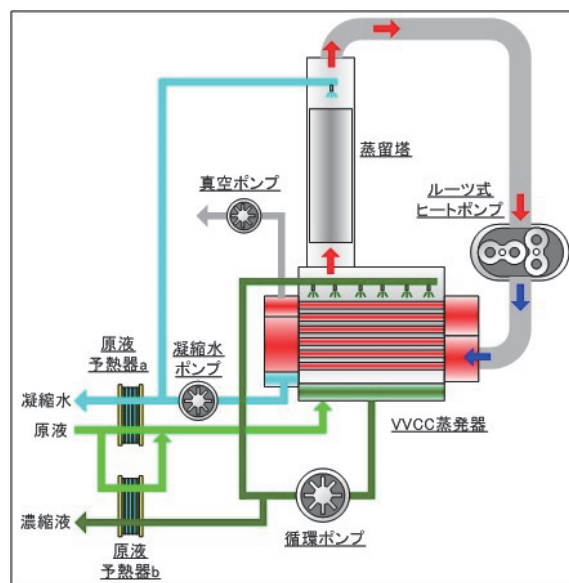


図4 蒸留塔付き濃縮装置概略フロー

<作動原理説明>

- ① 蒸発器内は、真空ポンプで常に真空が維持されており、原液は循環ポンプにより蒸発器上部から伝熱管群に均一に散布され、管外を薄膜状に流下する。
- ② 伝熱管表面にて蒸発した蒸気は蒸留塔を通過し、高沸点溶剤をほとんど含まない蒸気となってからヒートポンプに取り込まれ圧縮・昇温され、加熱源として伝熱管内部に送り込まれる。
- ③ 伝熱管内では蒸気が高流速で流れるため、凝縮液膜が薄く、非凝縮ガスや凝縮液膜による伝熱抵抗が小さくなる。管外も薄膜蒸発であることから、液深による非平衡温度差もほとんどなく、高い伝熱性能を有することになる。このため、わずかな温度差で蒸発と凝縮を繰り返すことができる。伝熱管内で凝縮した蒸気は、凝縮水となって系外へ排出される。
- ④ 原液の濃縮が進み、所定の濃度まで濃縮された液（濃縮液）は、循環ポンプにて循環ラインから分岐され系外に排出される。

起動時には熱源としての蒸気を使用するが、順調に蒸発運転が進めばヒートポンプ動力と、バックアップ用の若干量の蒸気のみで濃縮運転が可能である。

水平管式蒸発器では、加熱側も減圧で運転を行うため、压力容器適用外となる。法定点検が不要となるほか、構造的な法的制約を受けない。

(2) 当社で用いられるヒートポンプ

当社のターボ式ヒートポンプは送風機用のブロワを真空蒸気圧縮用に開発を重ねたものであり、以下の特徴を持っている。

<当社ヒートポンプの特徴>

- ・回転数が低い (3,000~4,500rpm)。
- ・大風量・高圧縮ヒートポンプのインペラー形状は3次元羽根を採用し、高効率。(効率=~75%)
- ・真空下での運転に加えて、動力、回転数が低く、ベアリング、シール部分が高寿命。
- ・騒音値が比較的低い。大風量の大型濃縮装置でも防音壁なしで、装置機側1mで85dB程度。
- ・ヒートポンプに付帯する補機、センサー類の点数が少なく、制御、構造ともにシンプルで操作、メンテナンスが容易。
- ・ターボ式ヒートポンプの1台あたりの圧縮温度は4~9℃程度であるが、これ以上の圧縮温度が必要な場合は、ヒートポンプを直列に複数台設置して圧縮温度差を確保することが可能。
- ・蒸発量が小~中規模 (~60ton/日蒸発) のものについては、1台で圧縮温度が20℃とれるルーツ式ヒートポンプを採用する場合がある。

	当社のターボ式ヒートポンプ	従来のコンプレッサー
基本システム	送風機としてのブロワを真空蒸気圧縮用として開発したもの。飛沫同伴、ミストなどにも強く、シンプルでメンテナンスが容易。	高速タービンとしてのシステムとなり、複雑でスペシャリストによるメンテナンスが必要。
メンテナンス性	ドライシール、軸受部品を約5年に一度交換するのみで、あとは潤滑油、グリースの定期注入、交換のみ。	高速回転のため、インペラー、軸受等の損傷が激しく部品交換の頻度が多く、かつ高価となる。 海外製は国内在庫がない場合もある。
回転数	3,000~4,500rpm	10,000~30,000rpm 海外製は低速で5,000rpm程度のももある。
騒音	モータファンが主の音源で最大でも80~85dB	非常に大きく、コンプレッサー室として建屋内に別基礎を設けて収納する場合もあり。
軸受	オイルバス方式で軸受冷却を兼ねたシール水のみ	油冷却器用の冷却水、軸封用の蒸気、油ポンプ用の電源等のユーティリティが必要。
インペラーへのミスト付着対策	過熱蒸気によるミスト付着は、減温水スプレーによる減温方式を採用しており、ミスト付着無し(常に凝縮水で洗浄されている)。	減温水スプレーが不可のため、完全なミスト除去と付着した場合の定期的な分解洗浄が必要。

表1 当社のターボ式ヒートポンプと従来の圧縮機

2. 開発経緯

(1) 開発主旨

蒸留装置における省エネルギー化

(2) 開発目標

2重効用の販売価格、ランニングコストを想定し、蒸留塔付き蒸発濃縮装置のランニングコスト差を考慮したトータルコストが、2重効用のトータルコストを2年で逆転すること。

(3) 開発経緯

平成 26 年 04 月～	共同開発の検討開始
平成 26 年 11 月	サクラから日本リファインに水平管式蒸発器を納入
平成 26 年 12 月～	日本リファインにて水平管式蒸発器と蒸留塔、蒸気圧縮機を組み合わせてパイロット試験機を完成、確認試験開始
平成 27 年 06 月	第 1 号機受注
平成 28 年 01 月	第 1 号機納入

なお、本装置は、株式会社サクラと日本リファイン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通りである。

- ・株式会社サクラ：蒸発器、蒸気圧縮機的设计・製作
- ・日本リファイン株式会社：蒸留塔的设计・製作

3. 独創性

一つ目の特徴としてリボイラに「水平管式蒸発器」を採用したことが挙げられる。

従来のリボイラの方式として採用されている「垂直管式」や「浸管式」では伝熱係数が低く、大きな伝熱温度差が必要になり、圧縮比の大きな蒸気圧縮機が必要になっていた。本装置におけるリボイラは上述の「水平管式」を採用しているため、

- ①伝熱係数が非常に高い
- ②ヒートフラックスを小さくできる（伝熱面積を大きくとれる）、という利点がある。

①については、前述の<作動原理説明>を参照。また、非常に薄肉の伝熱管を採用していることも伝熱係数の向上に寄与している。

②について、水平管式においては伝熱管に小さな径を採用しているため、小さな胴体に無理なく大きな伝熱面積を有することが出来るのである。

伝熱の基本式である $Q=U \times A \times \Delta T$ において、

(Q =交換熱量、 U =伝熱係数、 A =伝熱面積、 ΔT =有効温度差)

「水平管式」においては U および A が大きく出来るので、同じ交換熱量であれば従来の方式と比べて ΔT が小さくできる。従来の方式では有効温度差 $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$ 程度だったものが、「水平管式」を採用することで $\Delta T=3.0^{\circ}\text{C}$ 程度まで下がることにより、蒸気圧縮比を小さくでき、省エネルギー化を達成した。概要を表 3. 比較表にまとめたので参照。

表 3. 各種方式比較表

	従来方式-① 浸管式	従来方式-② 垂直管式 ※1	申請方式 水平管式
伝熱係数	× (悪)	○ (やや良)	◎ (非常に良)
伝熱面積と 本体寸法	◎: コンパクトにまとまっている。	△: 伝熱管径が大きく、本体寸法もしくは伝熱温度差が犠牲になる。	◎: コンパクトにまとまっている。
伝熱温度差 ΔT	× (悪) ΔT≒20℃	○ (やや良) ΔT≒6～℃	◎ (非常に良) ΔT=3～℃
省エネルギー化 (COP) ※2	×: 温度差が大きく、MVR の適用が困難。基本的に蒸気加熱方式となり、この場合 COP≒1。2重効用としても COP≒2 程度となる。	○: MVR の適用は可能で、ある程度の省エネ化は達成できる。伝熱温度差が大きい分、省エネ性はやや劣る。 COP≒14	◎: 伝熱温度差がもっとも小さいため、蒸気圧縮機の消費動力が最も小さくなり、省エネ性で有利。 COP=21
COP 計算条件			
沸点差	3.0	3.0	3.0
ΔT	20.0	6.0	3.0
必要圧縮温度	23.0	9.0	6.0
蒸気圧縮機効率	—	60%	60%

※1: 文献などからの推定値。

※2: 蒸気圧縮機の動力のみで算出。

株式会社サクラとしての MVR の取り組みは、1983 年に VVC 型海水淡水化装置の初号機を納入し、海水淡水化装置で積み重ねた技術を応用して 1987 年に濃縮用途に VVCC 型濃縮装置として販売を開始した。高い伝熱性能を持つ蒸発器と自社設計・製作のターボ式ヒートポンプ（当社では蒸気圧縮機をヒートポンプと称する）やルーツ式ヒートポンプを用い、各種プロセス溶液や排水からの水回収・有価物回収・溶液の減容化等、目的に合わせて最適なシステムを提案し、幅広い業界にご使用され、ご評価をいただいている。

2 つ目の特徴は 8 項で述べる 1 号機においてのみの適用となる項目であるが、蒸気圧縮式 (MVR) と蒸気加熱式を組み合わせた『ハイブリッド式』を採用していることである。高濃度まで溶剤を濃縮する場合は沸点の差が大きくなるが、この場合、以下の問題点が生じる。

- ・問題点_その 1: MVR 方式を適用するには圧縮比が大きくなり、蒸気圧縮機のコスト、消費動力が大きくなりすぎて現実的でない。
- ・問題点_その 2: 濃度の薄い範囲で MVR を採用し、高濃度範囲は蒸気加熱式と 2 段階に分けて蒸留することで省エネ化は達成できるが、低濃度域と高濃度域で、二つの蒸留塔が必要になり、イニシャルコストの増加となる。(図 5 参照)

ここで『ハイブリッド式』(図.6)を採用することで、沸点の低い低濃度時はヒートポンプで、沸点の高い高濃度時は蒸気加熱と運転を切り替え、高濃度回収液を最後に排出するというバッチ運転とすることで、省エネルギー性を保ちつつ、低コスト(蒸留塔1基で対応)、高濃度まで濃縮を可能としている。

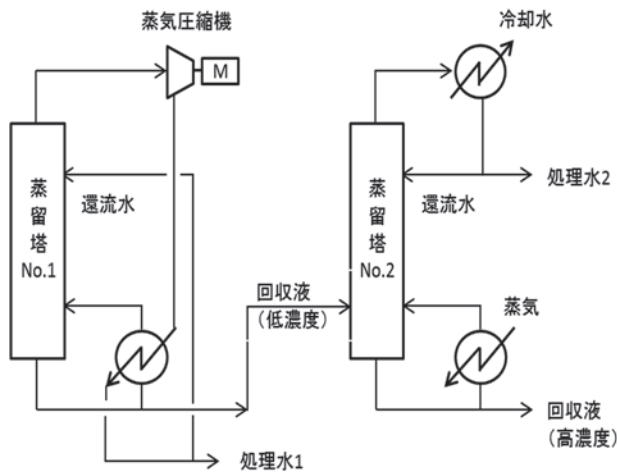


図5.従来技術(連続運転)

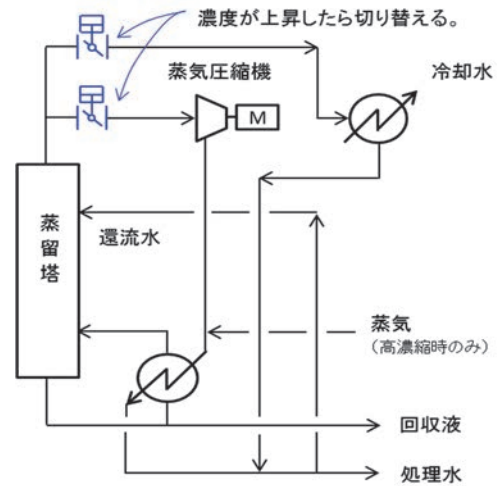


図6.ハイブリッド式(バッチ運転)

4. 特許

本装置の関連特許は次のとおりである。

公開番号：特開平 5-237302 / 名称：蒸留装置

※他、2件出願中

5. 性能

(1) 従来装置との比較

前述の表3ご参照。

(2) 運転・操作性

本装置は自動運転が可能ないように計送品、自動弁が設置されており、シーケンス制御により全自動運転となっている。消泡剤など新規に補充する薬品の投入は必要になるが、それ以外は特別な操作や調整を必要としない。

また、装置の運転中は各パラメーター(圧力、温度、流量)を監視しており、各設定値を超えた場合は、外部へ警報を出力し、装置は安全に自動停止する。

6. 経済性

本装置と従来装置の比較を表.6 に示す。

*他のヒートポンプ式との比較は、正確な情報が無いため、割愛する。

<比較条件>

a) 原液流量	14,400 kg/日	原液溶剤濃度	5.37 wt%
b) 処理水流量	13,556 kg/日	処理水溶剤濃度	<0.1 wt%
c) 濃縮液流量	844 kg/日	濃縮液溶剤濃度	約 90 wt%
d) 蒸気コスト	5.0 円/kg		
e) 電気コスト	12 円/kWh		
f) 冷却水コスト	5.0 円/m ³	g)稼動時間	330 日/年

表 6. 従来装置との比較

	従来装置 (2重効用)		申請装置 (ヒートポンプ式)	
イニシャルコスト比	100		150	
ランニングコスト比	100		31	
ランニングコスト詳細				
・蒸気	16.3 ton/日	26,895 千円/年	2.88 ton/日	4,752 千円/年
・冷却水	1,680 m ³ /日	2,772 千円/年	352 m ³ /日	580 千円/年
・電気	12 kWh/日	380 千円/年	1,008 kWh/日	3,991 千円/年
・合計	30,047 千円/年		9,323 千円/年	

(注) 申請装置ではイニシャルコストが増加するが、年間ランニングコストで約 70%削減を達成したことにより、～2.5年で回収できる。

7. 将来性

溶剤はさまざまな分野で洗浄剤や剥離剤として使用されており、近年ではリチウムイオン 2次電池の部品製造に多量の溶剤が使用されており、今後も使用量は増加する見込みである。

ここで、本装置は以下の役割を担うことで、今後、環境負荷低減に大きく貢献することができる。

① 排水の濃縮資源化

各工場にて使用済みとなった希薄な溶剤を濃縮することで、濃縮液が有価物として回収できる。

② 排水の産廃ゼロ化

排水から溶剤成分を低濃度まで分離除去することで、環境負荷を低減。また、処理水を製造ラインに再利用することも可能で、①とあわせて排水の産廃ゼロ化が可能。

③ ヒートポンプによる省エネ

蒸気圧縮に多量のエネルギーを消費しては意味が無いが、高伝熱性能の水平管式蒸発器を採用することで実用的な MVR 型蒸留装置を実現できる。

日本産業機械工業会 会長賞

「六フッ化硫黄ガス回収装置 (SF6 ガス回収装置)」

株式会社加地テック

1. 装置の詳細説明

本装置は、ガス変圧器、ガス遮断器、ガス絶縁開閉器等（以下、筐体と呼ぶ）に使用される六フッ化硫黄ガス（SF6）を回収、精製する装置である。SF6 を圧縮機と真空ポンプで回収し、ダストを除去後、空冷凝縮器で冷却しボンベに液化貯蔵する。

本装置は、SF6 の臨界圧力（液化圧力）5.0 MPa まで昇圧出来るオイルレス圧縮機を開発することにより、常温での液化回収を達成した。また、オイルレス圧縮機（トランクタイプ）によりオイル除去用のフィルターが不要となり、常温での液化が可能のため冷凍機を使用する必要がなく、従来装置に比べコンパクト化（体積比 55%削減）、省エネルギー化、低コスト化を実現した。さらに真空ポンプのインバータ制御により、圧縮機と真空ポンプのマスバランスが改善され回収時間を短縮出来る。

(1) 装置の原理及びフロー

1) 装置の原理

- a. 筐体に封入されている気体状の SF6 ガスを大気圧までは圧縮機で回収し、大気圧以下になると真空ポンプが連動し、任意の圧力（Min.10Torr=1.33kPa）まで回収する。
回収するガスは、吸着塔（DR(F):水分を除去する）及び、アフターフィルター（AF:ダスト等を探る）を経由し、圧縮機で 4.5MPa まで昇圧しボンベに液体で貯蔵される。ボンベに充填された SF6 ガスは、規定重量（40kg）に達すると自動停止する。

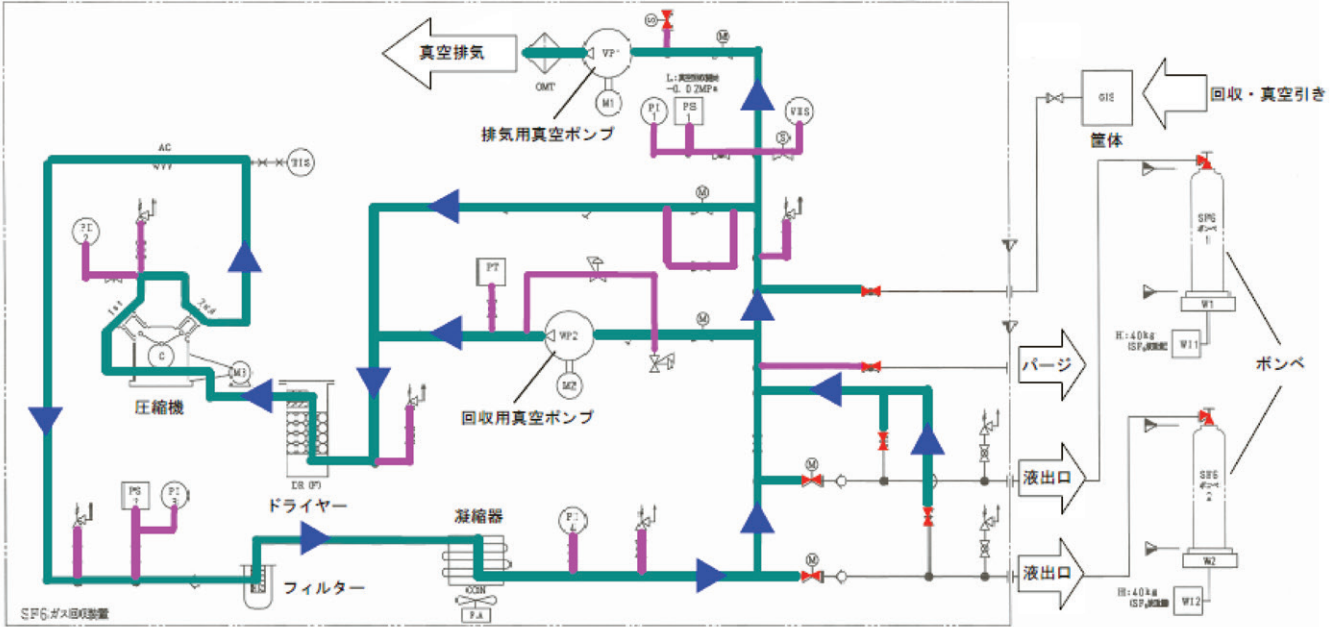
2) 機器構成及びフロー

- ① 回収装置内の真空引きを行う。（図-1 参照）
装置内に空気又は他のガスが混入した場合は其の都度行うが、SF6 ガスが大気圧状態で残っている場合は、②項から行う。
- ② 筐体と回収装置をフレキシブルホース等で繋ぎ込んだ場合は、ホース内の真空引きを行う。（図-2 参照）
これは、ホース内の空気を排気することが目的である。
- ③ 筐体内の SF6 ガスをボンベへ回収する。（図-3 参照）
筐体の定期点検等の開放検査等を行う場合、一時的にガスボンベへSF6ガスを回収する。
- ④ 筐体を開放点検した後、筐体内の空気排気を行う。（図-4 参照）

①回収装置の真空引き

図 - 1

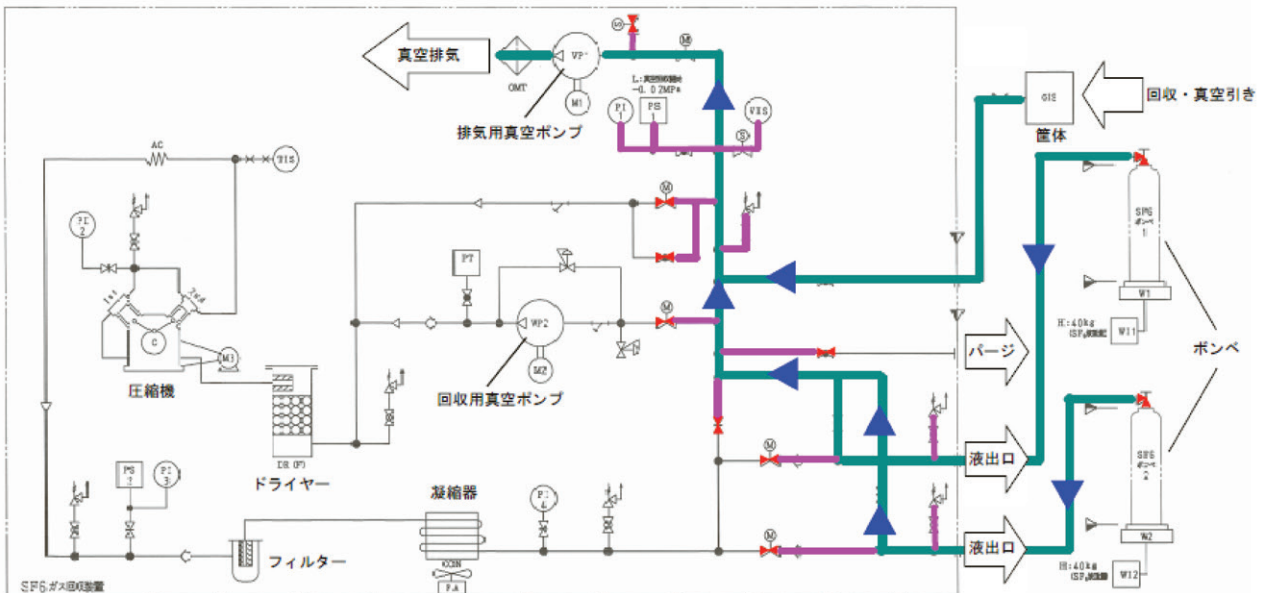
— : ガス流れ
 — : ガス流れに繋がるライン



②ホースの真空引き

図 - 2

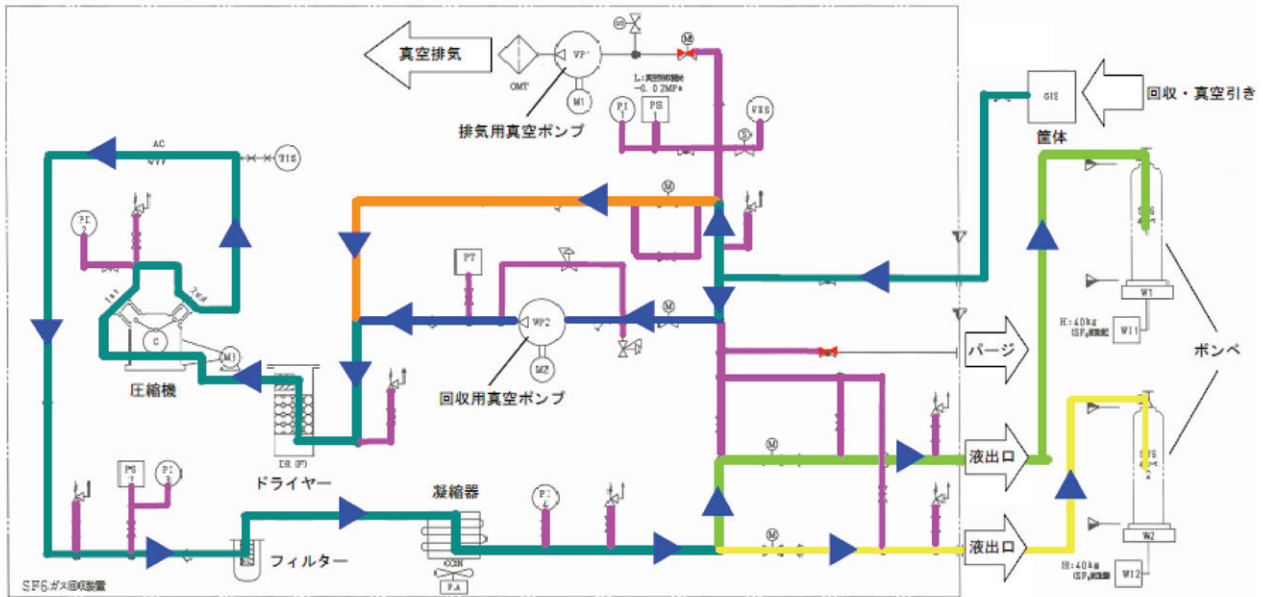
— : ガス流れ
 — : ガス流れに繋がるライン



③回収運転

図 - 3

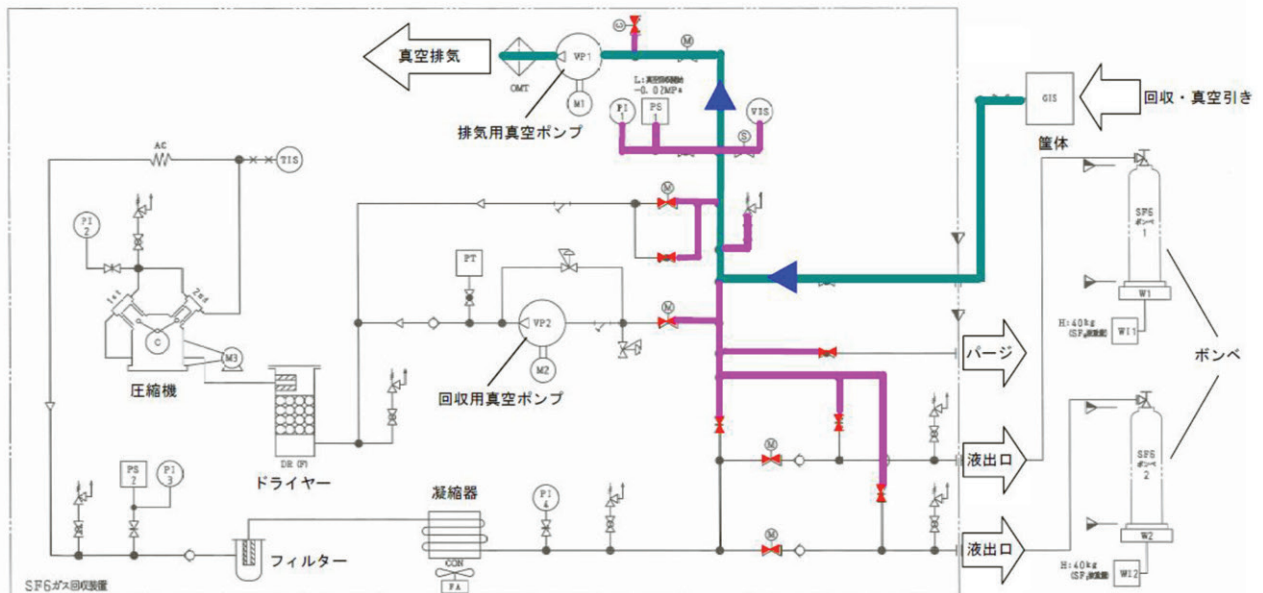
- (Green) : ガス流れ
- (Orange) : ガス流れ(-0.02MPaより高压)
- (Light Green) : ガス流れ(ポンベ1回収時)
- (Purple) : ガス流れに繋がるライン
- (Blue) : ガス流れ(-0.02MPa以下)
- (Yellow) : ガス流れ(ポンベ2回収時)



④ガス絶縁機器の真空引き

図 - 4

- (Green) : ガス流れ
- (Purple) : ガス流れに繋がるライン





2. 開発経緯

当社では高圧オイルレスコンプレッサの製造技術を生かし、電力メーカが保有する発電所や変電設備のガス絶縁機器・ガス遮断器等に封入されている SF6 ガスを高圧昇圧（最高圧力 5.0MPa）し、空冷で液化回収する新たな発想の装置開発に成功した。

従来の SF6 ガスを強制冷却し液化する方法に比べ冷凍機、蒸発器などが不要となり、コンパクト化・低コスト化を実現した。また、オイルレス圧縮機の採用により油分を混入しないクリーンな SF6 ガスを回収できる装置であり、国内・海外での価格・品質面で競争力強化となる。

SF6 ガスは 1997 年の「気候変動に関する国連枠組条約第 3 回締約国会議（COP3）」において、CO₂ やメタンなどととも排出削減目標の対象となった。こうした環境規制の動きに、関連業界から設備の保守点検時などにガスを 100%回収し、精製、再充填する対応を要求された。

重電機、電力メーカ向けに空気遮断器や断路器用高圧空気コンプレッサを納入してきた当社は、SF6 ガス回収再生システムにおいても商品展開してきた。その実績は 40 余年の間に国内外で 600 セット余りを納入、国内で 80% の高シェアを維持している。

さらなる排出規制強化による本格的な普及期の到来を予測し、重電機器メーカを中心に納入していた大型回収装置に加え、低コストを追及する電力メーカの導入を促すため価格競争力のある小型高性能装置の開発に注力、商品化を進めてきた。

従来の給油タイプの圧縮機で SF6 ガスを回収するとガス内にオイルが混入する。このオイルを除去するためにフィルターを回収装置内に設置する必要がある。

装置の小型化、軽量化を図るためには、いかに付属機器類を削減するかが課題となり、それには 5.0MPa まで昇圧できるオイルレスの圧縮機が不可欠となった。

さらにインバータ制御の可能な真空ポンプとのシステムを構築することによりさらなる省エネ化を計った。

平成 16 年～平成 17 年	5.0MPa オイルレス圧縮機の開発
平成 17 年～平成 18 年	試作機の製作及び検証
平成 20 年～平成 21 年	インバータ真空回収装置の開発
平成 22 年～平成 23 年	5.0MPa 圧縮機とインバータ真空回収ユニットの模擬試験を開始

- 平成 24 年 5.0MPa 圧縮機とインバータ真空回収ユニットの実用第 1 号機を納入
- 平成 27 年～平成 29 年 受変電設備メーカー向けに地下受変電設備の対応回収装置として 5 台を納入

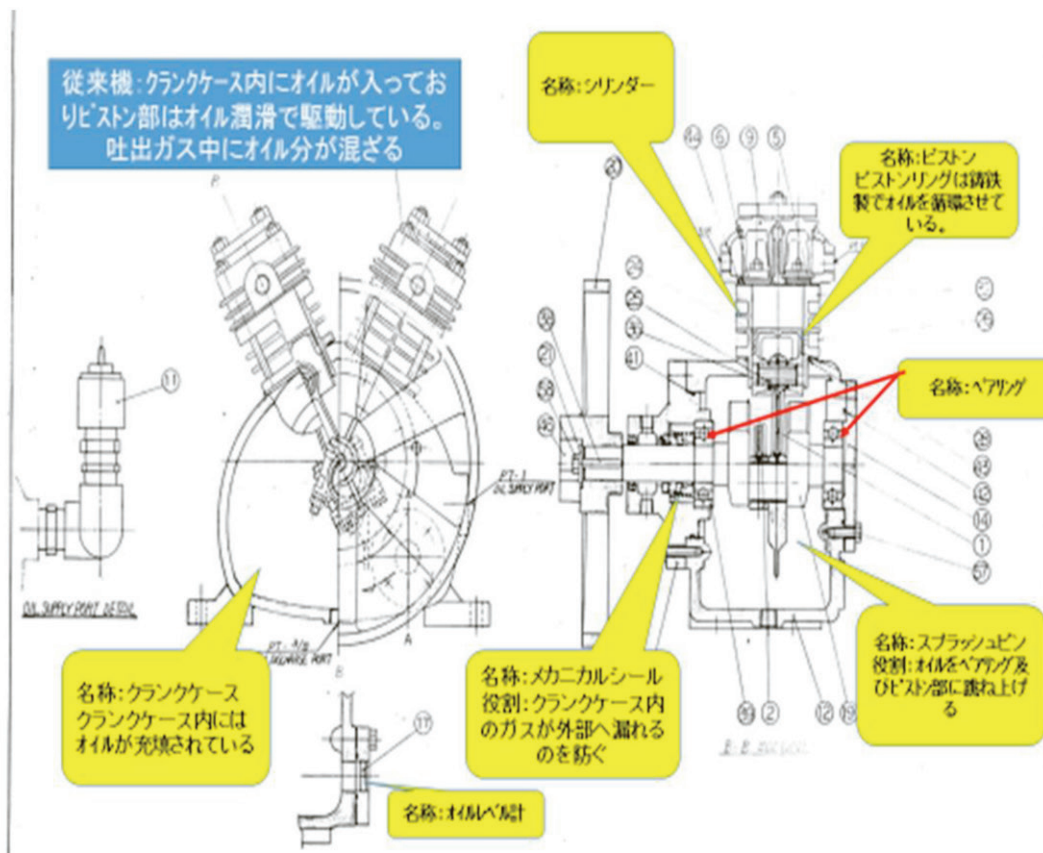
なお、本装置は、株式会社加地テックと大陽日酸東関東株式会社が共同で開発を行った。それぞれが担当した開発の内容は次の通りである。

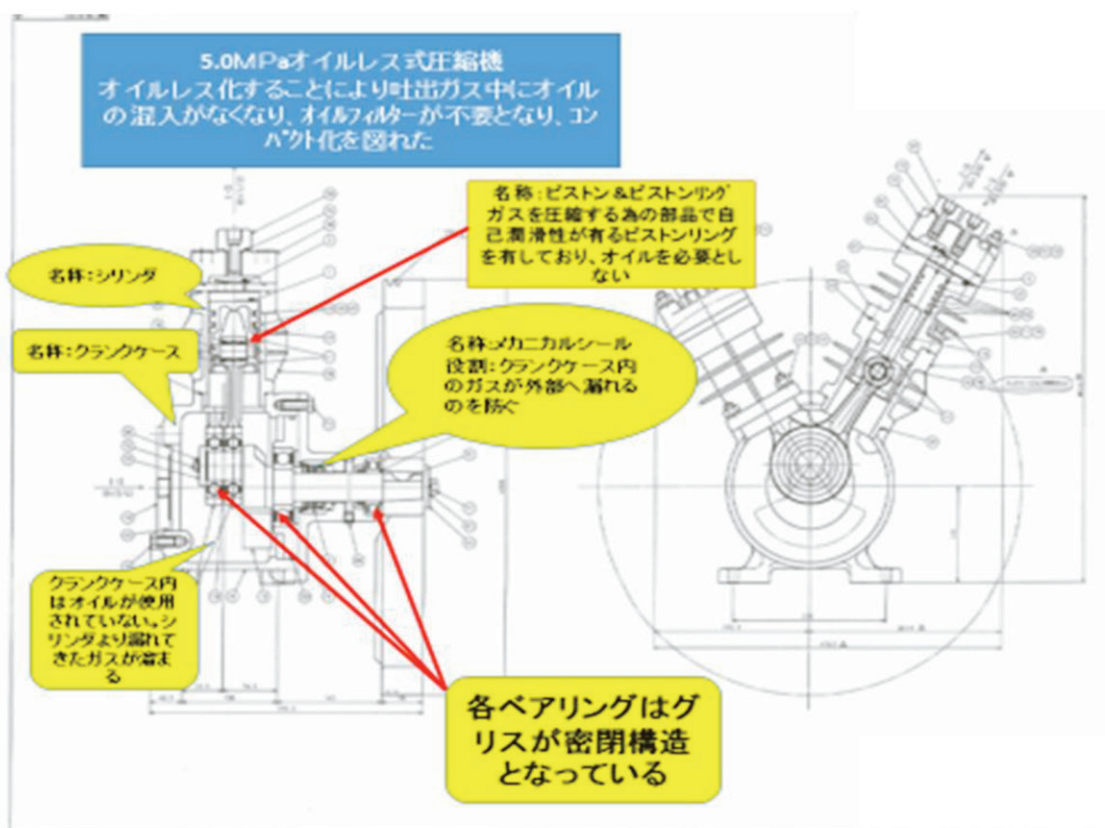
- ・株式会社加地テック：
 - 圧縮機とインバータ付真空ポンプ連動のシステム構築、実証試験、実用化
- ・大陽日酸東関東株式会社：
 - 真空ポンプ用インバータ開発、及び実証試験

3. 独創性

従来機の圧縮機は、3.62MPa までしか昇圧出来ず、かつ、吐出ガス中にオイル分が混入する給油タイプであった。

5.0MPa まで昇圧できるオイルレス・無漏洩のガス圧縮機を開発し、使用する事によりオイルを除去するためのフィルターが必要なくなり、コンパクト化、メンテナンスコストの削減、そして環境に優しい装置となった。





5.0MPa まで昇圧出来る機械を開発したことにより、SF6 ガスの特性を活かし、常温でも液化させる事が出来る装置となった（次項の SF6 の基礎特性及び蒸気圧線図参照）。

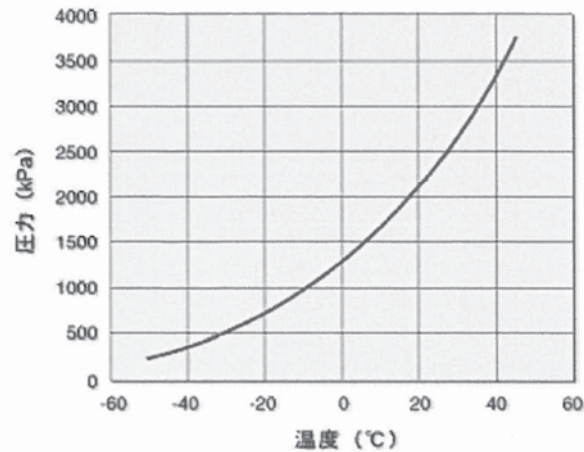
常温でも液化させることの出来る機械を開発することにより、従来液化させるために必要であった冷凍機が不要となり、コンパクト化・省エネを図ることができた。

また、真空ポンプをインバータ制御することにより圧縮機と真空ポンプのマスバランスを理論値の回収時間に近づけて制御することが出来る装置となった。

SF₆の基礎特性

化学式	SF ₆	
分子量	146.05	
昇華点	-63.9℃ (1atm)	
融点	-50.8℃ (224kPa)	
沸点	-63.9℃ (1atm、昇華)	
臨界定数	温度	45.60℃
	圧力	3764kPa
	密度	729kg/m ³
比重	(空気=1)	5.11 (20℃、1atm)
密度	(気体)	6.04kg/m ³ (25℃、1atm)
	(液体)	1,339kg/m ³ (25℃)
蒸気圧	1,264kPa (0℃)	
	2,109kPa (20℃)	
	3,327kPa (40℃)	
表面張力	8.02mN/m (-20℃)	
粘度	(気体)	1.5×10 ⁻⁵ Pa·s (25℃、1atm)
	(液体)	27.7×10 ⁻⁵ Pa·s (25℃)
屈折率	1.000783 (0℃、1atm)	
絶縁油への溶解度	0.408mLSF ₆ /mL油	
水への溶解度	0.0063mLSF ₆ /mL水	
SF ₆ への水の溶解度	0.01%	
絶縁耐力	2.3~2.5 (N ₂ =1)	
誘電率	1.002 (25℃、1atm)	
誘電正接=tanδ	<2×10 ⁻⁷ (25℃、101kPa)	
オゾン破壊係数(CFC-11=1)	0	
地球温暖化係数 (CO ₂ =1)	22,200 (積分期間=100年)	
大気寿命	3,200年	

SF₆の蒸気圧



4. 特許

なし

5. 性能

(1) 従来品との比較

・従来の回収装置：

給油式圧縮機・油回転式真空ポンプを使用しており、圧縮機の吐出圧力は 3.62MPa が最大圧力であったため、冷凍機にて強制液化させ貯蔵した。

・本装置：

オイルレス圧縮機は 5.0MPa まで昇圧できる圧縮機を開発し、ドライタイプのインバータ制御付真空ポンプとの組み合わせを完成することにより、コンパクトで環境に優しい機械とした。

従来は、真空回収ポンプで回収し、圧縮機で吸入出来ないガスはバイパス弁にて真空ポンプ側に戻したり、または、真空ポンプの回収能力を落としたりする制御方法で対応した。

本装置の制御システムは圧縮機の背圧を検知し、圧縮機の回収能力を 100%生かした状態で真空回収ポンプをインバータによる無段階に制御する方法が特徴で、従来のマスバランス回収システムに比べ回収時間が約 1/2 に短縮出来る制御が特徴である。真空回収ポンプの標準品及び複数台をインバータで無段階に制御することで、真空回収ポンプの能力及び稼働領域がワイドレンジでの運転ができ、大型の真空ポンプを使用しなくとも大幅な回収時間の短縮ができる。また、使用機器の制御要素が少なくなり、設備製造コストを抑えることができる。

本装置の制御のメリットとしては、下記のとおり。

- ① 回収時間が従来対比で約 1/2 となり、大幅な回収時間の改善ができる。
- ② 無段階のマスバランス制御により圧縮機の稼働時間も短縮でき、耐久性が改善できた。
- ③ 真空回収ポンプと圧縮機の分割タイプの回収装置では、一体型に比べ真空回収時での回収ホース内の圧力損失が少なくなり、一体型で限界とされたホースの長さ約 100m を 300m に延ばしても一体型のホースの長さ (20m) 程度と同じ回収能力が得られる。これは、真空回収ポンプを回収設備側に設置でき、回収設備から離れた場所に設置した圧縮機までのマスバランス制御が真空領域ではなく、大気圧以上の領域で制御できるため、分離型でも回収時間の短縮が可能となった。一体型回収装置は主に地上の変電設備で使用し、分割型回収装置は地下変電所に使用する。地下では、作業スペース及び持込みに制限があるため、分割型とし各ユニットをコンパクト化している。

	従来装置	申請装置	備考
吐出圧力	3.62	*5.0	単位：MPa 回収貯蔵圧力の比較
オイル使用	有	無	クランクケース内
吐出ガスオイル含有量（精製能力）	5	0	ppm
オイルフィルタ	有	無	
冷凍機	有	無	液化させるための機器
装置大きさ	100	55% Less	体積比率
重量	100	25% Less	
真空ポンプ	油回転式	ドライタイプ	
真空ポンプ用インバータ	無	有	起動電流の削減が出来る
回収したガスの貯蔵容器	ストレージタンク	ボンベ	保安検査の削減が出来る

*5.0MPa にすることにより、SF6 ガスを常温でも液化することが出来る

(2) 耐久性

本装置は、圧縮機・真空ポンプ等の回転機とフィルター・ドライヤ等の容器及び計器類で構成されており、定期点検を行えば、半永久的に使用できる装置である。

(3) 安全性

万が一不具合が起きた場合は安全装置が作動し、自動停止する構造となっている。

(4) 運転・操作性

筐体及びボンベにホースを接続し、各運転（回収・真空引き等）を行う。各運転は運転ボタンを押し、終了時は自動で停止する。

(5) 維持管理性

高圧ガス保安法に基づき管理する必要がある。法定点検を行うことにより、細部に亘り点検が出来、不具合・事故等を未然に防ぐことができる。

6. 経済性

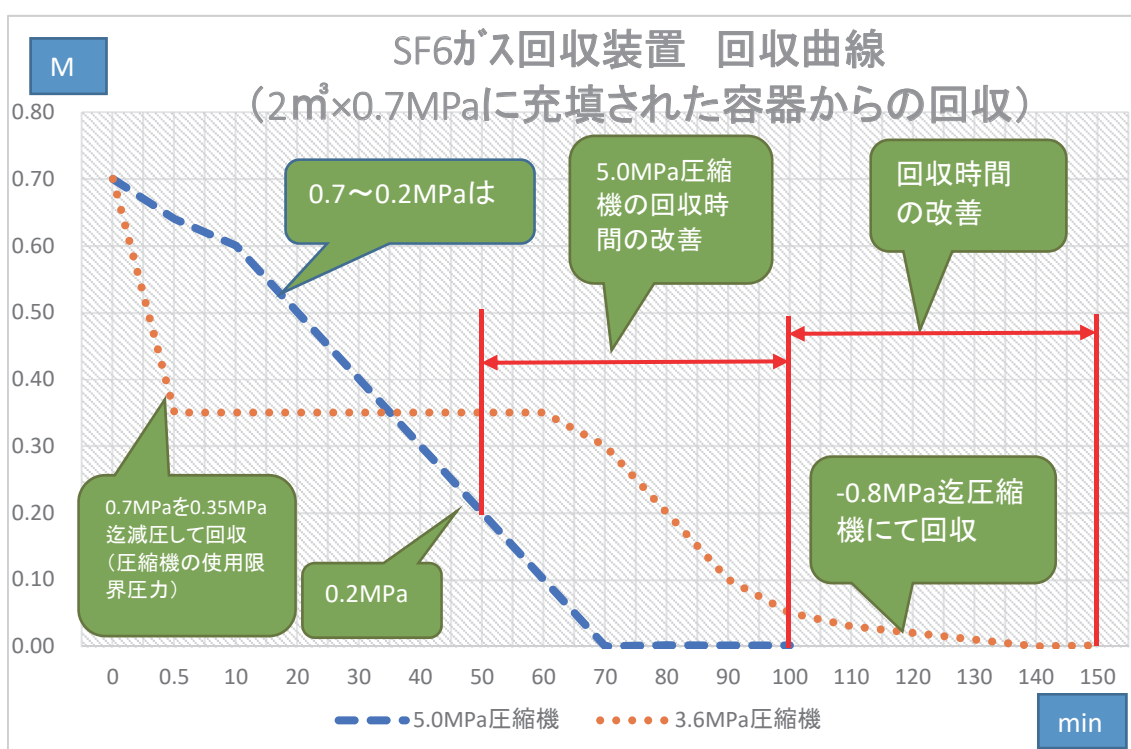
本装置は、従来品の装置と比較すると設置スペースで 55%(体積比率)、重量で 25%削減出来た。

従来の装置は、圧縮機が 3.62MPa まで昇圧する機械であるが、液化をさせるのに冷凍機が必要である。5.0MPa 迄昇圧する事の出来るオイルレス圧縮機が開発できたことにより小型の凝縮機で SF6 ガスの液化が実現できた。また、回収用の真空ポンプをドライタイプにし、オイルフィルタを削除し、さらにインバータ方式にすることによりランニングコストの削減が出来た。これらにより、装置のコンパクト化、軽量化が実現できた。圧縮機のオイルレス化とドライ真空ポンプの採用により、回収された SF6 ガス中のオイル混入は、従来装置：5ppm ⇒ 本装置：0ppm となった。

	従来装置	申請装置
イニシャルコスト	100	80
装置費用	100	70
ランニングコスト	100	90
電気代	100	90
メンテナンス費用	100	*50~100

※メンテナンス費用は、初回の開放検査で部品の再使用を検討し、更なる削減が出来る。

2m³×0.7MPaG のガスが封入されている機械を回収した場合の従来機との比較表



7. 将来性

過去 40 年に亘り SF6 ガス回収装置を販売してきたが、給油式の装置及び大型の装置で老朽化した機械が多く存在し、廃油の処理、高圧ガス保安法の対応に苦慮されている顧客が多く見受けられる。現在、こうした顧客への本装置の導入を推進しているところであり、海外の顧客からの引き合いにも対応中である。

—非 売 品—
禁無断転載

第 43 回
優秀環境装置

発 行 平成 29 年 6 月

発行者 一般社団法人 日本産業機械工業会
〒105-0011
東京都港区芝公園三丁目 5 番 8 号
電話 03-3434-6821

