

TSUKISHIMA TECHNICAL REVIEW

ISSN 2436-7516

# 月島技報

2023  
December

No.26

月島ホールディングス

## 論文1

創エネルギー型脱水焼却システムの  
AIによる30日間連続無操作運転達成報告

## 論文2

流動性能とせん断力の両立を目指した  
テレコルタ<sup>®</sup>の開発

 月島ホールディングス株式会社

Purpose

# 環境技術で世界に貢献し 未来を創る

当社グループは創業以来118年にわたり、技術で産業の発展と環境問題の解決に貢献してまいりました。これからも時代の変化や社会のニーズに合わせた技術を適用することで、世界的な社会問題である環境問題の解決に取り組み、豊かな未来を創ります。

## グループ企業理念

1. 最良の技術をもって産業の発展と環境保全に寄与し、社会に貢献します
1. 市場のニーズを先取りし、最良の商品とサービスを顧客に提供します
1. 創意と活力によって発展し、豊かで働きがいのある企業をめざします

# 月島技報

No.26  
2023

## 目次

|    |   |                          |
|----|---|--------------------------|
| 6  | 巻頭言<br>月島ホールディングス元年   | 月島ホールディングス株式会社 執行役員 森 孝行 |
| 8  | 論文1<br>創エネルギー型脱水焼却システムのAIによる30日間連続無操作運転達成報告                   | 矢澤 伸弘・山本 稔               |
| 18 | 論文2<br>流動性能とせん断力の両立を目指したテレコルタ®の開発                             | 西川 宏                     |
| 24 | 研究紹介1<br>加温脱水汚泥の燃焼特性  | 長沢 英和                    |
| 28 | 研究紹介2<br>二次凝集池攪拌機回転数抑制による省電力効果の検証                             | 竹田 竜輔・田村 繁生              |
| 32 | 技術・製品紹介1<br>伝熱管付ロータリー (TRT) ヒータの紹介                            | 石井 健太                    |
| 36 | 技術・製品紹介2<br>アンモニア (NH <sub>3</sub> ) の有効活用 (燃料化・再利用) と無害化処理技術 | 菊池 尚仁                    |
| 40 | 技術・製品紹介3<br>脱水乾燥システムによる下水汚泥肥料化の取り組み                           | 竹村 草太                    |
| 44 | 技術・製品紹介4<br>AI解析を用いたドローン活用技術による下水汚泥焼却炉内の点検報告                  | 篠木 一真                    |
| 46 | 技術・製品紹介5<br>クリーンサクシオン自動開袋機 (異物混入ゼロを目指した自動開袋機)                 | 瀧沢 憲治                    |
| 50 | 技術・製品紹介6<br>設計生産性を向上させるARやLiDARの活用事例                          | 音村 義和                    |
| 54 | 技術・製品紹介7<br>ホモミクサーMARK II 製品紹介                                | 中村 健二                    |
| 58 | 実績紹介<br>ドラム缶反転投入装置  | 新田 博文                    |
| 60 | 解析グループ紹介 Part7<br>流動層解析編                                      | 本間 秀雄                    |
| 63 | 分析グループ紹介<br>分析事例紹介 ～熱分析～                                      | 日良 聡                     |
| 66 | 月島茶房<br>特許情報の活用   | 小暮 宏幸                    |
| 68 | 月島今昔物語<br>粉体混合  | 山口 良二                    |
| 71 | 会社概要・編集後記   |                          |

表紙の写真



ジンベエザメ (絶滅危惧種)

## CONTENTS

|    |   |  |
|----|---|--|
| 6  | Foreword  | Tsukishima Holdings Co., Ltd. Executive Officer<br>MORI Takayuki |
| 8  | Paper1<br>Use AI to autonomously control the energy-generating dewatering incineration system for 30 consecutive days             | YAZAWA Nobuhiro / YAMAMOTO Minoru                                |
| 18 | Paper2<br>Development of TERCORTAR aiming at both the flow performance and shearing force   | NISHIKAWA Hiroshi  |
| 24 | Introduction of Research 1<br>Combustion characteristics of thermal dewatering sludge   | NAGASAWA Hidekazu  |
| 28 | Introduction of Research 2<br>Energy-saving derived from reduction control of mixer rotating speed in secondary coagulation basin | TAKEDA Ryusuke / TAMURA Shigeo                                   |
| 32 | Technology / Products 1<br>Introduction to thermal oil rotary tube (TRT) heater   | ISHII Kenta  |
| 36 | Technology / Products 2<br>Technologies to effectively utilize (use as fuel and reuse) ammonia and enable detoxification          | KIKUCHI Naohito  |
| 40 | Technology / Products 3<br>Methods to convert sewage sludge into fertilizer using dewatering and drying system                    | TAKEMURA Sota  |
| 44 | Technology / Products 4<br>Inspection report of incinerator using drone utilization technology with AI analysis                   | SHINOGI Kazuma   |
| 46 | Technology / Products 5<br>"Clean Suction" Automatic Bag Opener   | TAKIZAWA Kenji   |
| 50 | Technology / Products 6<br>Examples of using AR and LiDAR to improve design productivity  | OTOMURA Yoshikazu  |
| 54 | Technology / Products 7<br>HOMOGENIZING MIXER MARK II   | NAKAMURA Kenji   |
| 58 | Introduction of Products<br>Drum can inversion loading device   | NITTA Hirofumi   |
| 60 | Introduction of CAE Group Part7   | HONMA Hideo  |
| 63 | Introduction of Chemical Analysis Group   | HIRA Satoru  |
| 66 | Tsukishima Teahouse   | KOGURE Hiroyuki  |
| 68 | Tsukishima Tales of Times Now Past  | YAMAGUCHI Ryoji  |
| 71 | Corporate Profile/Editor's Note   |  |

# 月島ホールディングス元年

森 孝行

月島ホールディングス株式会社 執行役員



「月島ホールディングス元年」である。2023年4月に従来の月島機械株式会社を3社に分割し、経営と事業の分離を明確にしました。月島ホールディングス株式会社はグループ全体の経営管理や戦略の策定、管理部門による事業会社のサポートを行うとともにガバナンスの統括を行い、月島アクアソリューション株式会社は水環境事業を継承、月島機械株式会社は産業事業を継承しました。また、2023年10月には月島アクアソリューション株式会社はJFEエンジニアリング株式会社の国内水エンジニアリング事業と統合し、月島JFEアクアソリューション株式会社となりました。月島JFEアクアソリューション株式会社はシナジーと総合力を発揮することで国内上下水道分野におけるリーディングカンパニーを目指し、月島機械株式会社はEPCビジネスや単体機器の強化を図りながら、電池などの新しい事業領域への取り組みを行っていきます。

この持株会社体制への移行に伴い、企業パーパスも従来の「環境技術で世界に貢献する」から「環境技術で世界に貢献し未来を創る」と変更しました。私たちを取り巻く地球環境は大きな変化を迎えており気温上昇による気候変動をいかに抑えるかが大きな課題となっています。気温上昇を抑える解決策として再生可能エネルギーの活用やエネルギー効率を向上させる、社会が持続可能なシステムを構築するため電気自動車を普及されるなどがあります。当社グループとして気候変動を抑えるために当社グループの持つ技術を社会に提供していくことが世界的な社会問題の解決に至る、未来を創ることだとの結論に達し、「環境技術で世界に貢献し未来を創る」と企業パーパスを策定しました。

今回の技報においてもまさしく企業パーパスに合致した報告が多数なされています。

水環境においては、人口減少における技術の担い手不足といった課題に対して運転管理の自動化技術などのシステム開発、設計技術の品質低下を防ぐための3Dデータの活用、点群データの活用、ドローンの活用などによる空間設計精度向上などのこれらのデータはデジタルツインの概念を強化し、リアルタイムのモデルと現実の状況を結びつけることになるでしょう。また、下水汚泥焼却炉の温室効果ガス削減効果のためにN<sub>2</sub>O(温室効果がCO<sub>2</sub>の約300倍)を低減することが有効であるが、脱水汚泥含水

率の低下や熱回収による発電などによりこれを目指し、さらに脱水乾燥汚泥を肥料化するなど循環型社会の形成などに寄与しています。

産業事業においては、最近のニーズとしてリチウムイオン電池市場などをはじめ、高温処理・高気密性・カーボンニュートラルの要望が増えています。そのため、月島機械の主力製品であるスチームチューブドライヤーの技術をベースに熱源を熱媒油に変更した新たな製品の開発に取り組んでいるところです。リチウムイオン電池市場は今後も世界的に市場拡大が予想されている分野であるため今後の動向をしっかりと掴み客先のニーズと我々の技術がどう合致するのかを見定めていきたい。

解析関係については、従来、経験と暗黙の了解のように受け入れられてきた技術やプロセスに対して、最適化の余地があるかどうかは不透明であったため、解析を通じてその内部を把握することが注目されています。さらに、解析を通じて得られるデータと洞察は、新たなイノベーションの基盤ともなっており、設計やプロセスの革新を加速させています。最適設計がどこにあるのかという問いに対して、解析とデータ駆動のアプローチは、明快な答えを提供し、持続可能な未来の構築に貢献していくことになるでしょう。この新たなアプローチにより、我々は未知の可能性に挑戦し、問題の解決に革命をもたらすことができます。

この新たな体制とビジョンにより、月島ホールディングス元年は、持株会社体制への移行と企業パーパスの変更が特筆すべき一年となります。地球環境への課題が日増しに増大する中、私たちは再生可能エネルギー、エネルギー効率向上、電気自動車などの環境技術により、気候変動への解決策を提供し、持続可能な未来を築く使命を背負っています。

水環境、産業、エネルギー分野における技術の発展と革新に注力し、持続可能な社会を推進します。月島ホールディングスグループとして、環境技術で世界に貢献し、未来を創るという新たなビジョンに向かって進んでいきます。私たちの技術と情熱を結集し、未来の課題に挑戦し、解決策を提供していくことで、持続可能な社会への貢献を追求し続けます。未来への期待と共に、新たな一歩を踏み出す年となることでしょう。



## 論文

- 1 創エネルギー型脱水焼却システムのAIによる30日間連続無操作運転達成報告
- 2 流動性能とせん断力の両立を目指したテレコルタ®の開発

# 創エネルギー型脱水焼却システムのAIによる 30日間連続無操作運転達成報告

Use AI to autonomously control the energy-generating dewatering incineration system for 30 consecutive days



矢澤 伸弘 YAZAWA Nobuhiro  
月島JFEアクアソリューション株式会社  
技術企画センター DX推進室



山本 稔 YAMAMOTO Minoru  
月島JFEアクアソリューション株式会社  
技術企画センター DX推進室

## Abstract

With the decline in the population owing to the declining birth-rate and aging population, the issue of securing human resources to maintain infrastructure is becoming imminent. In addition, with the Paris Agreement of COP21 and government's declaration to achieve "carbon neutrality by 2050," nations are working toward realizing a decarbonized society with the aim of achieving overall zero greenhouse gas emissions. To solve these problems, sewerage facilities also need to develop new technologies.

Against this background, we utilized an autonomous control system that applies AI technology and achieved stable operation of the energy-generating dewatering incineration system, which we could operate for 30 consecutive days without human intervention. We present the overview of the developed system, and knowledge obtained about the autonomous system monitoring system assuming its automatic operation, and we also present the various effects of this system and monitoring system by implementation.

少子高齢化による人口減少社会が到来しておりインフラを維持していくための人材確保の課題も顕在化しつつある。また、COP21の「パリ協定」や政府から「2050年カーボンニュートラル」を達成し、温室効果ガスの排出を全体としてゼロを目指すことが宣言されたことなどにより、社会でも脱炭素社会の実現に向けた取り組みが本格化しており、下水道施設においてもこれらの課題を解決するための新しい技術の創出が求められている。

このような背景を受け、AI技術を応用した自律制御システムを活用することにより、当社が既に開発していた創エネルギー型脱水焼却システムを30日間、運転員の操作なしで安定運転を達成した。今回開発したシステムの概要と自動で自律運転されることを前提としたシステムの監視体制について得られた知見と導入効果について報告する。

キーワード：AI(人工知能), 創エネルギー, 自律制御, 無操作, 集中監視センター  
Keyword: AI, Energy-generating, Autonomously control, No-manual-operation, Centralized monitoring center

## 1 はじめに

近年、日本国内は少子高齢化による人口減少社会が到来しており、図1に示すとおり2020年時点において既に15～64歳の「生産年齢人口」が1995年のピーク時から14ポイント低下(1220万人減少)し、さらに2050年には36.5ポイント低下(3198万人減少)と予測されており、顕著な高齢化と労働人口減少がデータとしても明らかである。インフラを維持していくための人材確保についても今後、非常に厳しい状態となることが顕在化しつつある。

また、COP21の「パリ協定」や政府から温室効果ガスの排出を全体としてゼロを目指す「2050年カーボンニュートラル」が宣言されたことなどにより、脱炭素社会の実現に向けた取り組みが本格化している。当社グループの主な事業分野の一つである下水処理においても、これらの課題を解決するための新技術の創出が求められている。

このような背景から、AI技術を応用した自律制御システムを活用することにより、当社がすでに開発していた創エネルギー型脱水焼却システムを30日間、運転員の操作無しで実証設備を安定運転する検証を行った。ここでは、今回検証に適用した自律制御システムと自律運転されることを前提としたシステムの監視体制について、導入効果と得られた知見を報告する。

## 2 無操作運転のための技術

今回、以下二つの目標を達成するため、AI技術を含む自律制御システムを構築し、検証を行った。

また、自律制御システムによる安全で確実な操業を行うため、当社グループが保有する集中監視センターを活用した「設備と人の見守り機能」についても検証を行った。

- 目標①：自律制御システムによる無操作30日間連続自動運転
- 目標②：炉内温度安定化による温室効果ガス(N<sub>2</sub>O)削減

一般的に汚泥焼却炉は炉内温度を高温にキープすることにより温室効果ガスであるN<sub>2</sub>Oの排出量を低減できることが知られているが、温度を上げ過ぎると耐火材の劣化などが懸念されるため、許容範囲に限りなく近い高温で安定した温度制御が必要である。しかしながら、従来のPID制御や運転員による調整では、大きな時間遅れをもつ脱水機と焼却炉を組み合わせたプロセス全体の安定制御は困難であった。

本システムは、焼却炉の未来の状態を予測し、その予測結果から脱水機を制御することにより、従来成し得なかった「補助燃料が不要」でかつ「変動の少ない安定した炉内温度」を、運転員の操作無しで自動運転できることを目標としている。

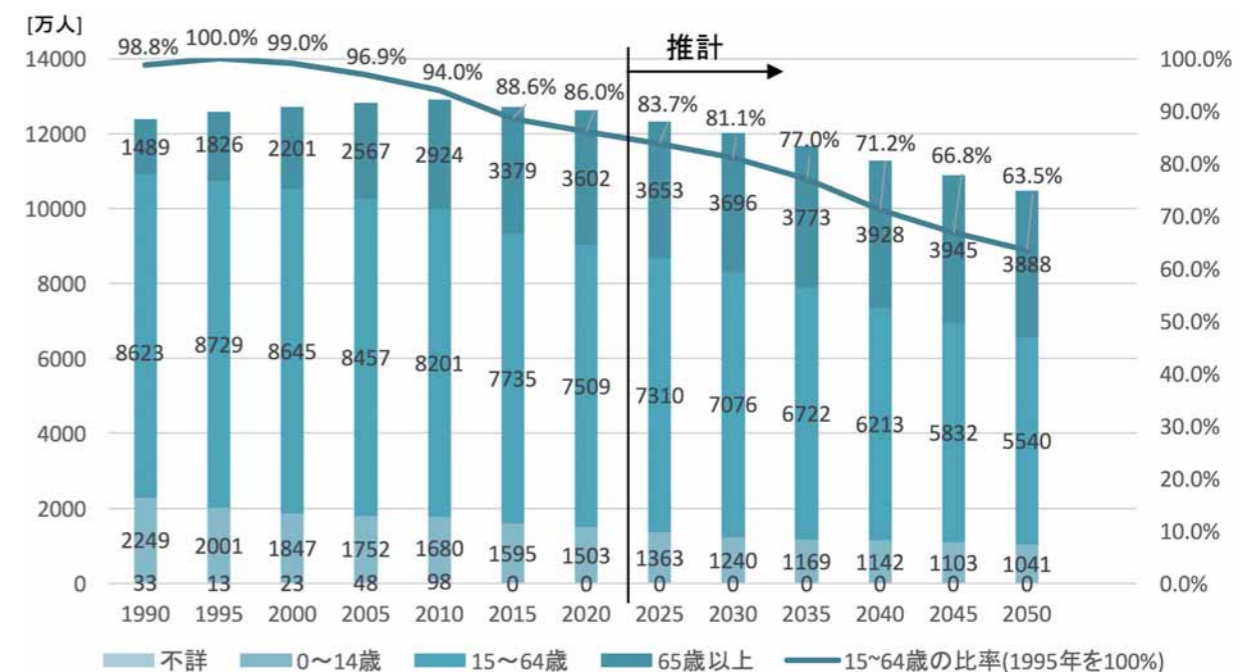


図1 生産年齢人口(15～64歳)の推移<sup>2)</sup>  
Fig.1 Trends in Japan's working-age population<sup>2)</sup>

2.1 自律型制御システムの概要<sup>3)</sup>

創エネルギー型脱水焼却システムは、「加温濃縮脱水工程（加温濃縮部と加温脱水部）」および「創エネルギー型焼却工程（過給式流動炉と高効率発電システム）」で構成されるシステムであり、補助燃料が不要で脱水・焼却設備に消費する電力以上の電力を発電可能な技術である。

また、それぞれの工程において、従来の制御技術では自動運転が困難なプロセスがあるため、AI技術により自動化し、運転員の操作が不要な自律型制御システムの構築を目指した。図2は、創エネルギー型脱水焼却システムの簡易フローであり、AI技術の適用箇所を枠で囲んでいる。

2.1.1 薬注率最適化AI

今回のシステムにおいて、加温濃縮脱水工程の性能は、高分子凝集剤の添加により得られる凝集フロクの形成状態に大きな影響を受ける。凝集フロクを最適な状態にするには、薬注率の調整を適切に行う必要があるが、凝集フロク形状の判別は、人の目視および場合によっては触覚などを駆使した熟練者の知見・技術に依存しているため、高分子凝集剤の添加量（薬注率）の調整は安定自動化が困難なプロセスの一つであった。

図3に薬注率の自動制御システムの概略構成を示す。凝集混和槽にカメラを設置して凝集フロクを撮影し、取得した画像にディープ

ラーニングの技術を応用することで凝集フロクの形成状態を特徴量として数値化し、薬注率の最適制御を構築した。

図4に実際に撮影した凝集フロク画像を示す。凝集フロクは、高分子凝集剤の薬注率が最適であるほど粗大化するため、フロク間の間隙が大きくなる。本システムは、間隙を凝集フロクの状態判別指標とし、ディープラーニングの一つであるセマンティックセグメンテーションを使用して間隙を識別できるAIモデルを構築した。

セマンティックセグメンテーションは意味領域認識技術であり、画像内のどの位置にどのような物体が存在するのかを画素単位で認識できる技術である。<sup>4)</sup>この技術を利用することで、図4の画像を図5のように間隙部だけ自動検出することができる。図5において灰色部分はセマンティックセグメンテーションによる間隙認識領域、水色部分は人が間隙と認識した領域、黒色部分は人とセマンティックセグメンテーションの認識が重なった領域となっている。これにより凝集フロクの良否を数値化することができ、人の経験に頼っていた薬注率の調整を自動化することを目指している。具体的には、検出した間隙部分の総和を「間隙面積」とし、薬注率を操作量として目標の間隙面積となるようサンプルPI制御にて制御している。

今回さらに、加温濃縮脱水工程を完全に無操作で自動運転するために薬注率最適化AIの機能として、高速ミキサの回転数を調整する「高速ミキサ制御」を組み込んでいる。高速ミキサには凝集剤と汚泥を混合する攪拌機が設置されており「汚泥流量」や「汚泥の質」によ

り回転数を最適に調整する必要がある。

今回、高速ミキサの回転数は、以下の式(1)により決定している。

$$\text{高速ミキサ回転数} S = \text{係数} A \times \text{汚泥流量} + \text{係数} B + \text{切片} C \dots \dots (1)$$

この式は当社が実験で得た汚泥流量に応じた係数Aに、「間隙面積」により補正する係数Bを含んだ式となっている。係数Bは汚泥性

状の変動などにより、設備運転中に変化させるための係数である。具体的には「間隙面積」が「あらかじめ設定した値」を下回った場合に、薬注率を固定して高速ミキサの回転数を増減させ、複数の回転数による間隙面積を取得し、間隙面積が最適となる回転数を「高速ミキサ回転数S」として代入し、係数Bとしている。図6に高速ミキサ制御と薬注制御の処理フローを示す。

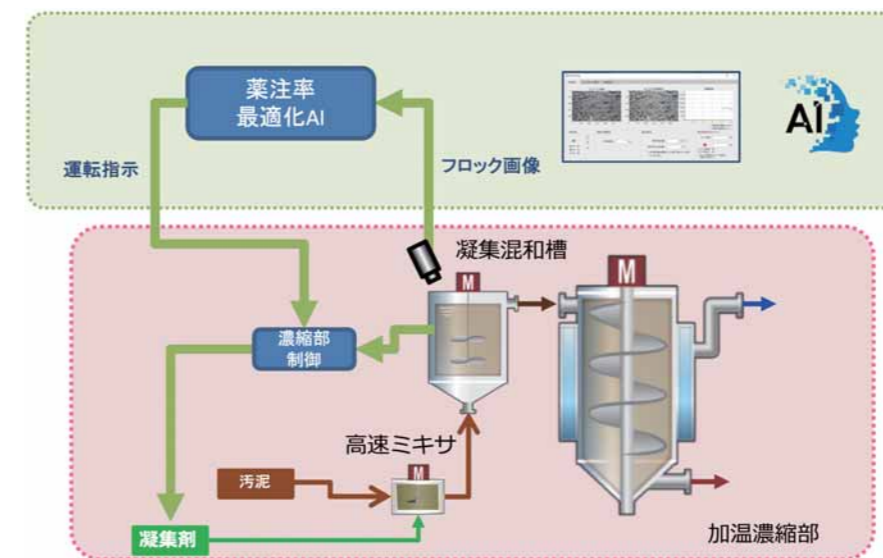


図3 凝集混和槽の画像認識による薬注率自動制御システム  
Fig. 3 Automatic chemical dosage control system using image recognition for sludge flocculator

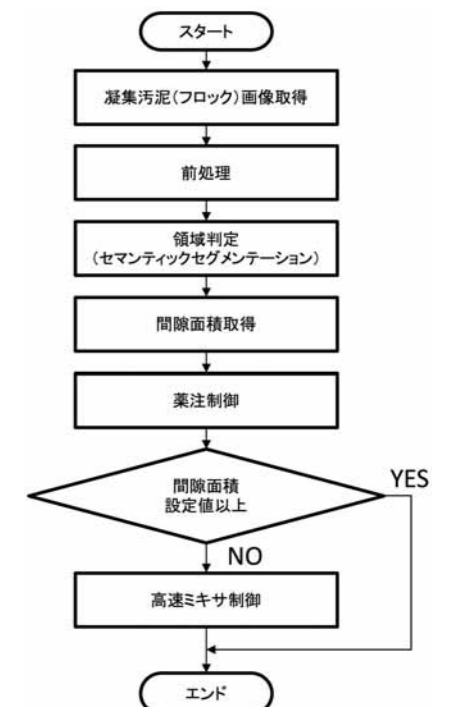


図6 高速ミキサ制御と薬注制御の処理フロー  
Fig.6 Flowchart of Mixer speed control and chemical dosing control

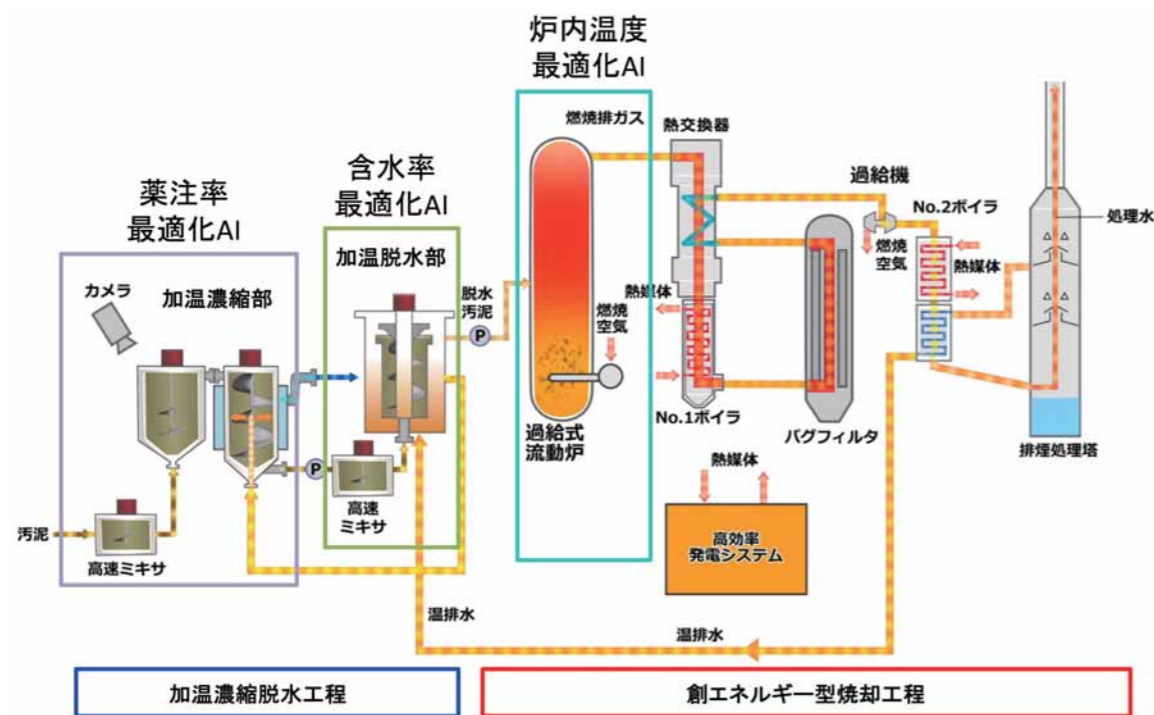


図2 創エネルギー型脱水焼却システムの簡易フローとAI適用箇所  
Fig.2 Simplified flow of energy-creating dewatering incineration system and AI application points



図4 汚泥フロク画像  
Fig.4 Picture of sludge floc

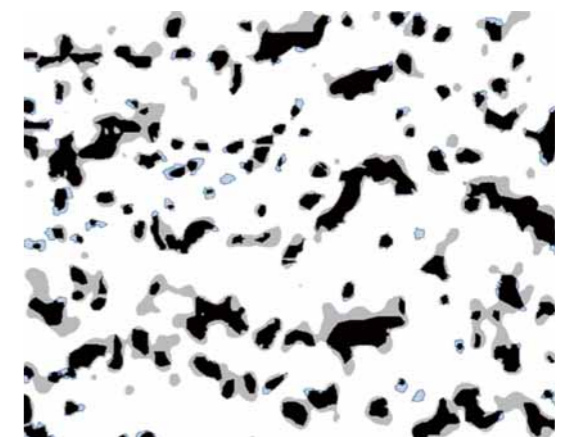


図5 セマンティックセグメンテーションによる間隙認識  
Fig.5 Prediction results of semantic segmentation for area of floc gap

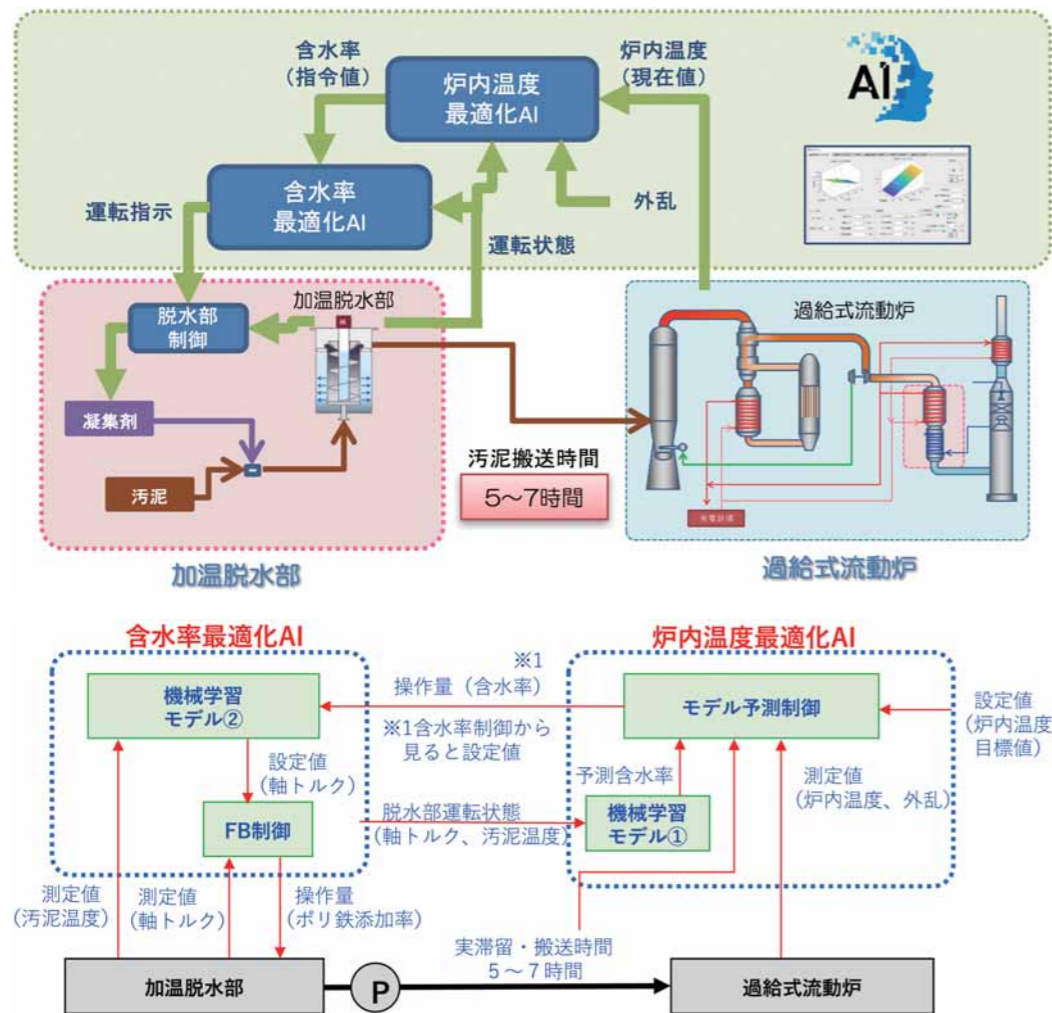


図7 加温脱水部と過給式流動炉の一体型制御システム  
Fig.7 Integrated control system for dehydrator and incinerator

2.1.2 含水率最適化AIと炉内温度最適化AI

この制御システムでは加温脱水部と過給式流動炉は連動して制御し、過給式流動炉の炉内温度の安定化を目指している。今回構築したシステムでは、「エネルギー効率の最大化」かつ、「温室効果ガス(N<sub>2</sub>O)の発生を最小限に抑える」ことを目的として、加温脱水部の含水率を制御することにより過給式流動炉の炉内温度を目的の温度になるよう制御している。構築したシステムは上位側に過給式流動炉の温度制御を配置し、下位側に加温脱水部の含水率制御を配置するカスケード型の制御を行っている。

図7の制御システムは、炉内温度を制御する「炉内温度最適化AI」と脱水部の含水率を制御する「含水率最適化AI」により構成され、それぞれの制御機能は以下となっている。

(1) 炉内温度最適化AI

炉内温度最適化AIには「機械学習モデル①」と「モデル予測制御」が組み込まれている。「機械学習モデル①」では加温脱水部の状態からリアルタイムに含水率を予測し、「予測含水率」を「モデル予測制御」に入力する。「モデル予測制御」では加温脱水部と過給式流動炉の現在までの運転状況および長い汚泥の搬送時間も考慮し、未来の炉内砂層温度を予測している。また、「モデル予測制御」の内部には最適化演算器が組み込まれており、目標の砂層温度にするための「目標となる最適な含水率」を演算・出力する。

(2) 含水率最適化AI

含水率最適化AIでは、炉内温度最適化AIから出力された最適含水率となるように加温脱水部を制御している。この含水率最適化

AIには、「機械学習モデル②」と「FB(フィードバック)制御」が組み込まれている。「機械学習モデル②」は過去の運転データで学習されており、「目標となる最適含水率」と「汚泥温度」の入力から制御に必要な「軸トルク」が予測され出力される。機械学習モデル②から出力された「軸トルク」となるように無機凝集剤(ポリ硫酸第二鉄)の注入率を「FB(フィードバック)制御」により制御し、目標となる含水率になるよう脱水部を制御している。

2.2 遠隔監視システム

今回、自律型制御システムを創エネルギー型脱水焼却システムに導入することにより、運転員による制御システムの操作は不要となることを目指している。現場の人員を削減するため以下の監視対応項目を追加検証を行った。

- (1) 集中監視センターを活用した「人員」と「設備」の見守り
- (2) 設備監視カメラ
- (3) IoTカメラによる現場アナログゲージの自動読取り装置
- (4) バイタル情報(心拍数・転倒)自動検知システムによる見守り

2.2.1 集中監視センターを活用した「人員」と「設備」の見守り

これまで夜間に最低2名の運転員が必要であった人員を1名に削減可能になると考え、今回夜間の監視は現場に1名を配置し検証を行った。

この人員配置により「安全で確実な操業」を行うため、当社グループで既に稼働中であった「集中監視センター」を活用し、現場のオペ

レータの休憩時等は遠隔地から監視することとし、運転員の見守りと制御システムの監視を遠隔地から行う検証を行った。

2.2.2 設備監視カメラ

集中監視センターから運転員と設備の安全を遠隔監視するため、日常点検ルートなど必要箇所「設備監視カメラ」を追加設置し、遠隔から設備の状態を監視できる体制とした。

2.2.3 IoTカメラによる現場アナログゲージの自動読取り装置

実証設備は、建設当初は無人数化を想定していなかったため、現場のアナログゲージの指示値の確認が定期的に必要であり、夜間の現場巡視点検が必要であった。夜間1名による監視体制での現場巡視点検については安全上の課題があったため、先に記載の監視カメラの設置とIoTカメラによる現場アナログゲージの自動読取り装置を新たに設置し、夜間の現場巡視点検を不要とした。

2.2.4 バイタル情報(心拍数・転倒)自動検知システムによる見守り

現場1名体制において運転員の急な体調不良や不測の事故を「完全に防ぐ」ことは不可能と考え、迅速な対応を可能とするため、「スマートウォッチによる心拍数などのバイタル情報の自動監視」と「運転員の転倒を自動検知」するシステムを導入した。図8にバイタル情報自動検知システムのイメージ図を示す。スマートウォッチによる心拍数の監視については自社開発のシステムを採用した。

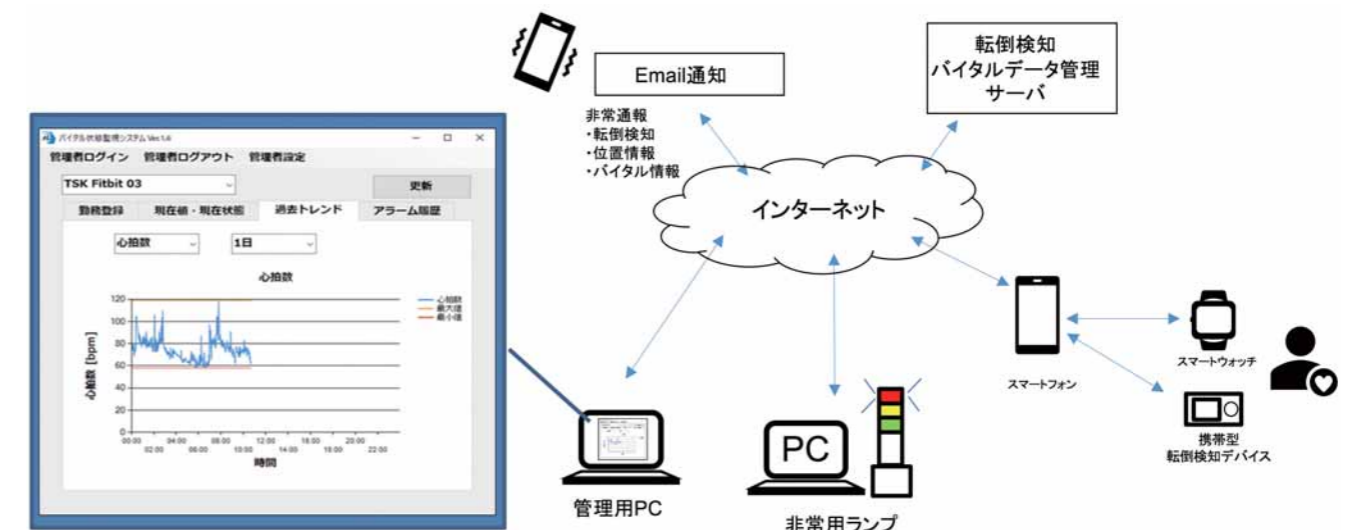


図8 バイタル情報自動検知システムのイメージ  
Fig. 8 Image of automatic vital information detection system

2.3 検証結果

2.3.1 自律型制御システムの検証結果について

自動運転については、運転員の操作無しで目標①とした「自律型制御システムによる無操作30日間連続自動運転」を達成した。表1に自律型制御システム(AI)導入前・後の手動操作回数を示す。AI導入前は汚泥性状が変化した場合に加温濃縮脱水工程の薬注率などの調整や熱回収システムの温度調整が必要となっていたが、AI導入により操作が不要となった。

さらに、目標②とした「炉内温度安定化による温暖化ガス(N<sub>2</sub>O)削減」については、N<sub>2</sub>O排出量をさらに低減するため、「制御パラメータの変更」を期間中に3回行った。表2に制御パラメータ変更前・後のN<sub>2</sub>O排出量と、図9に30日間連続運転のトレンドグラフと制御パラメータ変更のタイミングを示す。

2.3.2 制御パラメータの変更について

(1) 変更①: 含水率予測モデルのパラメータ変更

炉内温度最適化AIに組み込んだ機械学習モデル①では、式(2)により加温脱水部から排出される汚泥含水率を予測している。線形回帰式を採用しており容易に係数A,Bまたは切片Cにて予測モデルの精度を上げられるようにしている。

$$\text{予測含水率} W = \text{係数} A \times \text{減速機トルク} + \text{係数} B \times \text{汚泥温度} + \text{切片} C \dots (2)$$

減速機トルクと汚泥温度から含水率を予測しているが、実証前半の運転データから予測精度を確認した結果、予測モデル構築時において特に低い減速機トルク範囲のデータが不足していると思われる予測誤差が発生していた。そこで係数A, Bおよび切片Cを調整するこ

とにより含水率の予測精度を向上させた。図10に精度向上のイメージを示す。

(2) 変更②: 薬注率最適化AI制御のパラメータ変更

制御パラメータの「変更②」では、長期間運転することにより雨天時などの汚泥性状が変化した際に2.1.1項で説明した「高速ミキサ制御」が過敏に反応してしまうことを防ぐため、高速ミキサ制御に入るための閾値を小さくし、薬注制御による運転期間を長くする措置を取り、薬注率最適化AIの挙動を安定化させた。

(3) 変更③: 目標の炉内砂層温度の変更

制御パラメータの「変更③」では、目標となる砂層温度のパラメータを730℃から740℃に上げている。これは制御パラメータの変更①と②により、炉内の温度が安定し運転上の制約となる温度付近まで目標値を上げることが可能となったためである。制約条件を超えた運転をしてしまうと「耐火材の劣化」や「リン焼結による排気ダクトの閉塞」の問題が発生するが、炉内温度を自律型制御システムにより安定化させることで、運転目標温度と制約条件温度のマージンを極限まで小さくすることが可能となった。

表1 AI導入前と導入後の操作回数比較  
Table1 Comparison of the number of manual operations before and after application of AI

|        | AI導入前      | AI自律運転                           |
|--------|------------|----------------------------------|
| 手動操作回数 | 2,417回/30日 | 0回/30日間<br>3回/制御パラメータ変更(図9変更①~③) |

表2 制御パラメータ変更前後のN<sub>2</sub>O排出量比較  
Table2 Comparison of N<sub>2</sub>O emissions before and after control parameter change

単位: kg-N<sub>2</sub>O/t-wet

| 変更前(6/22~7/13) |       |       |       | 変更後(7/14~7/22) |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|
| 最大値            | 最小値   | 平均値   | 標準偏差  | 最大値            | 最小値   | 平均値   | 標準偏差  |
| 0.174          | 0.000 | 0.046 | 0.043 | 0.038          | 0.000 | 0.012 | 0.012 |



図9 30日間連続運転のトレンドと制御パラメータ変更タイミング  
Fig.9 Trend of 30-day continuous operation and control parameter change timing

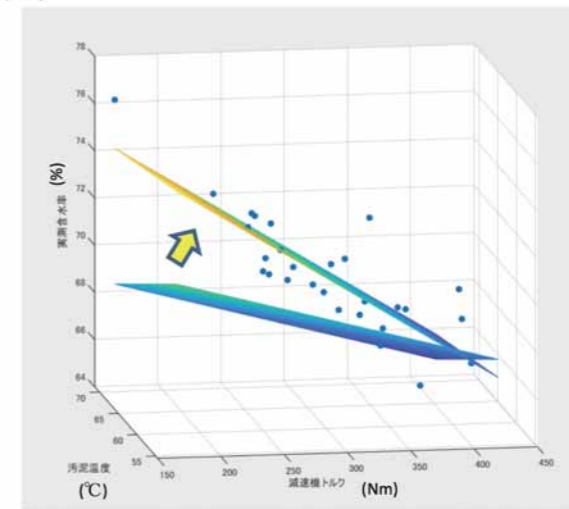
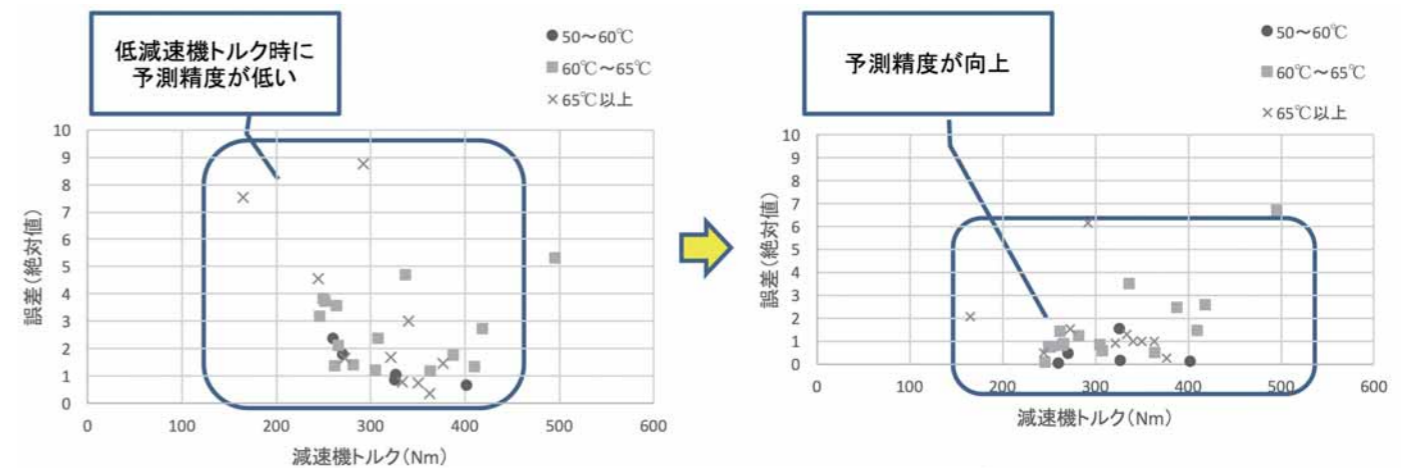


図10 含水率予測モデルの精度向上  
Fig.10 Improved accuracy of moisture content prediction model



### 2.3.3 遠隔監視システムの検証結果について

今回のAIを活用した「自律型制御システム」と「集中監視センター」の組み合わせによる遠隔監視システムのイメージについて図11に示す。また、導入効果の検証結果を表3に示す。

検証により「自律型制御システム」と「集中監視センター」を組み合わせることで今回の設備の場合、3名の人員削減効果が期待できることが実証された。また、今回対象としたプロセスは熱を扱うプロセスであり安全のため最低1名の運転員を現場に配置しているが、安全上の課題や法規上の問題をクリアすれば将来的にはさらなる人員削減効果が期待できる。

## 3 今後の展望

今回、創エネルギー型脱水焼却システムにて従来熟練者の知見・技術が必要で自動化が難しかったプロセス(工程、操作)の自律制御を目指し、AIの技術を活用することにより安定した運転を実現し、実証炉で30日間の無操作自律運転を確認した。今後は、内閣府から提唱されているSociety5.0にもあるような「超スマート社会」<sup>5)</sup>を目指し、より精度の高い制御や、長期安定化を進め、ロバストかつ最適な自動・自律運転が可能なシステムの構築を目指していく。



図11 「自律型制御システム」と「集中監視センター」の導入イメージ  
Fig.11 Installation image of "autonomous control system" and "centralized monitoring center"

表3 「自律型制御システム」および「集中監視センター」の導入効果  
Table3 Effects of application of "autonomous control system" and "centralized monitoring center" 単位：人

| 職種                  |      | AI制御適用なし | AI制御適用後 |
|---------------------|------|----------|---------|
| 現場長                 |      | 1        | 1       |
| 日勤維持管理班             |      | 2        | 2       |
| 運転班<br>(シフトオペレーション) | A班   | 2        | 1       |
|                     | B班   | 2        | 1       |
|                     | C班   | 2        | 1       |
|                     | D班   | 2        | 1       |
|                     | 交代要員 | 1        | 1       |
| 遠隔監視員               |      |          | 1       |
| 合計                  |      | 12       | 9       |

### 参考・引用文献

- 1) 脱炭素ポータル(環境省)ホームページ  
[https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon\\_neutral/about/](https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/about/) (2023年8月1日現在)  
外務省ホームページ  
[https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w\\_000119.html](https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000119.html) (2023年8月1日現在)
- 2) 「令和5年版高齢社会白書」(内閣府)を加工して作成  
[https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2023/zenbun/pdf/1s1s\\_01.pdf](https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2023/zenbun/pdf/1s1s_01.pdf)  
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r04/html/nd121110.html>
- 3) TSK技報 No.24 2021 December 月島機械株式会社  
AI技術を活用した創エネルギー型脱水焼却システムの自動制御に関する取組み
- 4) 斎藤康毅：ゼロから作るDeep Learning—Pythonで学ぶディープラーニングの理論と実装、オライリジャパン、2016年
- 5) 内閣府ホームページ「第5期科学技術基本計画」  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html> (2023年8月1日現在)

# 流動性能とせん断力の両立を目指した テレコルタ®の開発

Development of TERCORTAR aiming at both the flow performance and shearing force



西川 宏 NISHIKAWA Hiroshi  
プライミクス株式会社  
経営企画本部 乳化分散技術研究所 新製品開発課

## Abstract

Dissolver-type blades (Homodisper in PRIMIX) are widely used in high-speed stirrers for the purpose of dissolution and dispersion. The main purpose of these stirring blades is to shear the treatment liquid, wherein the fluidity is not high. Therefore, in many cases, the position of the stirrer is manually moved to manage the stirring of highly viscous processed materials. Therefore, to increase the stirring efficiency, we developed a novel stirring blade, the TERCORTAR, with the aim to increase both the flow performance and shearing force. We utilized the CFD analysis to develop this blade efficiently, owing to its widespread popularity in the recent years, and were able to develop it efficiently. This study describes the development method and knowledge obtained during the process of development.

溶解、分散目的の高速攪拌機の羽根としてディゾルバー型の羽根（プライミクスではホモディスパーに当たる）が広く用いられているが、この攪拌羽根は処理液にせん断を掛けることを主目的にしており、高粘度液での流動性はあまりよくない。そのため、粘度の高い処理物に対しては攪拌機的位置を手動で動かして何とか攪拌されている場合も多い。そこで、攪拌の効率化に貢献すべく流動性能とせん断力の両方を目指して新たな攪拌羽根テレコルタ®を開発した。開発には近年普及が急速に進んでいるCFD解析を活用し、効率的に開発を行うことができた。本稿ではその開発手法と開発で得られた知見を記載する。

キーワード：高速攪拌機、攪拌、溶解、分散  
Keyword : High-speed stirrer, Stirring, Dissolving, Dispensing

## 1 はじめに

当社は乳化、分散、溶解、混合等を目的にした高速攪拌機を多数ラインナップしており、中でも一番構造が簡単で、古くから広く使われているのがホモディスパー（図1）である。処理液にせん断をかけることを主目的にした羽根のため、高粘度液においては液の流動性はあまりよくない。高粘度液を攪拌する場合には槽全体を攪拌するアンカー翼を組み合わせた複合型ミキサーが用いられる。複合型ミキサーは攪拌槽と一体構造となるため、単独のホモディスパーと比べると価格差が非常に大きい。ホモディスパーを単独で用いる場合、手で攪拌位置を変えながら運転して、槽内の流動を確保しているケースも多い。こういった状況から処理液を流動させることを主目的にした攪拌羽根レヴィアスタ®（図2）を2016年に開発した。本機は吐出力が強い反面、処理液にせん断がかかりにくい。そのためダマがつぶれにくい原料では処理時間が長くなるという欠点があった。また、レヴィアスタ®はその形状が複雑なため、製造コストが高かった。そこで、流動性能とせん断力の両方を目指して開発した攪拌羽根がテレコルタ®（図3）である。本論文ではテレコルタ®の開発で得られた知見を紹介する。

## 2 新攪拌羽根の開発

### 2.1 開発のコンセプト

- 以下に掲げる3つの点を開発コンセプトとして開発を推進した。
- ①流動性能：ホモディスパーより流動性を高めるため、プロペラ形状とする。
  - ②せん断力：形状を工夫し、ホモディスパーと同程度のせん断力を発生させる。
  - ③コスト：製作コストを抑えるため、鋼板を折り曲げて製作できる構造とする。

### 2.2 CFD解析による羽根形状の最適化

開発コンセプトから鋼板を折り曲げて製作できるプロペラを種々考案し、CFD解析を行った。流動性とせん断力で評価する必要があるが、CFD解析でせん断力を計算することが難しいため、羽根接液面近傍の液の速度勾配が大きい部分を「せん断速度が高い」、すなわち「せん断力が高い」と考えて評価した。流動性は縦断面の流速分布図で評価した。その結果、図4のような三枚翼プロペラが流動性能が高く、

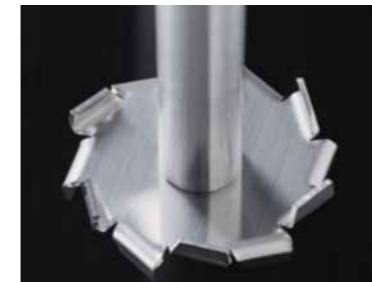


図1 ホモディスパー  
Fig.1 Homodisper



図2 レヴィアスタ®  
Fig.2 LEVIASTAR



図3 テレコルタ®  
Fig.3 TERCORTAR

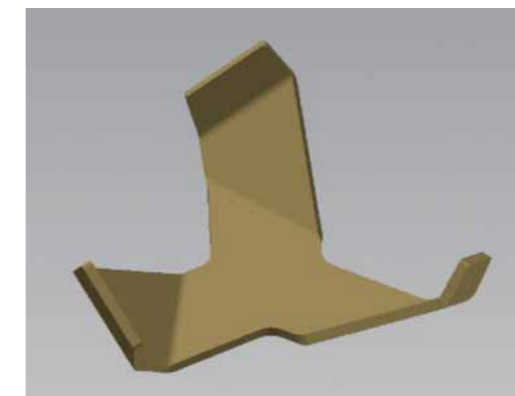


図4 三枚翼プロペラ  
Fig.4 Three blade propeller

せん断力も強いと推定された。強い吐出力を得るため3枚の翼には折り曲げて翼角を持たせている。また、せん断力を強めるため、ホモディスペーを模して翼の先端を折り曲げている。図5の羽根側面図に示すとおり、同じ羽根径で比較すると、翼先端を折り曲げた方が軸心から遠い部分の表面積が広がる。この部分は軸心から遠いため周速が速くなり、せん断力も強くなると考えられる。

折り曲げ角度を最適化するため、折り曲げ角度を変化させた攪拌羽根をCFD解析し、羽根近傍の速度勾配の大きさと広さで評価した結果が表1である。この結果から、製品化を目指し翼根元折り曲げ角度30~50°、翼先端折り曲げ角度45~60°の範囲で、流動性、せん断速度、羽根の応力を見ながら調整した結果、図6の形状にたどり着いた。図6に示すとおり、CFD解析ではホモディスペーより流動性が良く、せん断力も強いと推定された。

### 2.3 最適化した三枚翼プロペラのテスト

CFD解析で最適化した図6の三枚翼プロペラのせん断力を評価するため、カーボンブラックの分散テストを行った。攪拌羽根のせん断力を直接測定することはできないため、比較的再現性の高いカーボンブラックの分散結果でせん断力の評価とした。最初に翼先端折り曲げの効果を検証するために、翼先端を折り曲げる前のもとの折り曲げた後のものでテストを行った。羽根の最大外径が異なるため、最大外径の周速を合わせている。結果は図7のとおりである。翼先端折り曲げ後の方が分散のエネルギー効率が良く、より分散が進む結果となった。理論上、相似形の攪拌羽根では動力は回転数の3乗、羽根径の5乗に比例するため、同じ周速では動力は羽根径の2乗に比例する。<sup>1)</sup>従って、羽根径の小さい翼先端折り曲げ後の三枚翼プロペラの方が羽根径の大きい翼先端折り曲げ前の三枚翼プロペラより動力が高いということは、翼先端を折り曲げた方がより動力がかかる形状であると言える。翼先端を折り曲げた方が分散のエネルギー効率が良く、動力も高いことから、翼先端の折り曲げは分散性能に対し良い影響を与えていると言える。次に、同径のホモディスペーとの比較を行った。結果は図8のとおり、ホモディスペーの方が分散が進む結果となった。

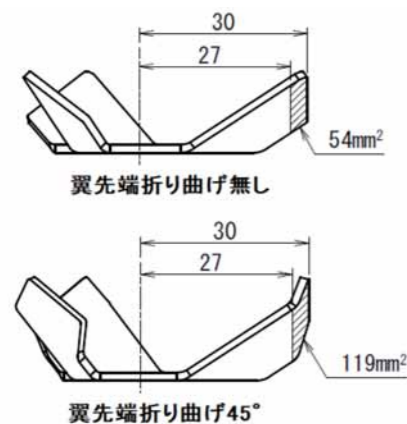


図5 翼先端折り曲げによる先端部表面積の違い  
Fig.5 Difference in tip surface area due to tip bending

表1 三枚翼プロペラのCFD解析による剪断力評価表  
Table1 Shear force evaluation table by CFD analysis of three-bladed propeller

| 翼根元折り曲げ角度 | 翼先端折り曲げ角度 |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|           | 30°       | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° |
| 10°       | ×         | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   |
| 20°       | ×         | ×   | ×   | ×   | △   | △   | ×   |
| 30°       | ×         | ×   | ×   | ○   | ○   | △   | ○   |
| 40°       | ×         | ×   | △   | △   | △   | ○   | ○   |
| 50°       | ×         | △   | △   | △   | ○   | ×   | ×   |
| 60°       | ×         | △   | △   | △   | ×   | ×   | ×   |

羽根接液面近傍の液の速度勾配の高さと広さを評価  
 ○ 最高値が高く、高い部分が多い  
 △ 最高値は高くないが、高い部分が多い  
 × 最高値が低く、高い部分も狭い

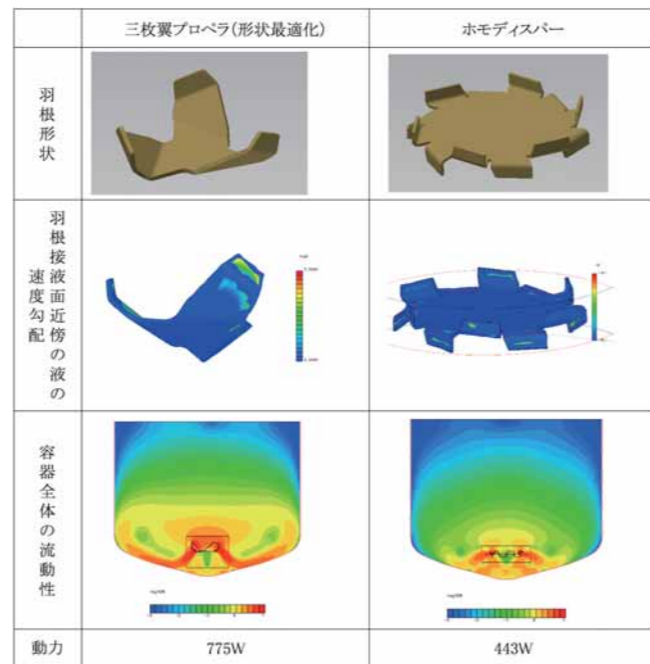


図6 最適化した三枚翼プロペラとホモディスペーの形状とCFD解析結果  
Fig.6 Optimized 3-bladed propeller and homodisper geometry and CFD analysis results

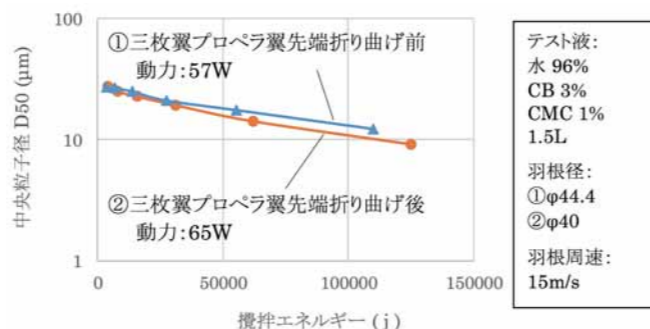


図7 カーボンブラック分散テスト結果(翼先端折り曲げ前後の比較)  
Fig.7. Carbon black dispersion test results (comparison before and after blade tip bending)

### 2.4 泡の影響と対策

分散テストではホモディスペーの方が3割ほど動力が高いが、CFD解析の結果では三枚翼プロペラの方がホモディスペーより動力が高かったため、CFD解析から予想される結果とは異なる。CFD解析では泡を考慮していないため、泡の影響が疑わしいと考えられる。羽根の周りに泡があると空転のような状態になってしまうため、羽根から液に加わる力が減り、動力が下がり、せん断力も下がる。

改めて水中で運転の様子を観察したところ、羽根の周りに泡が溜まる様子が確認できた。航空機の主翼先端に圧力差によって発生する翼端渦と同様の渦が翼先端に発生し、渦による遠心力により泡が渦

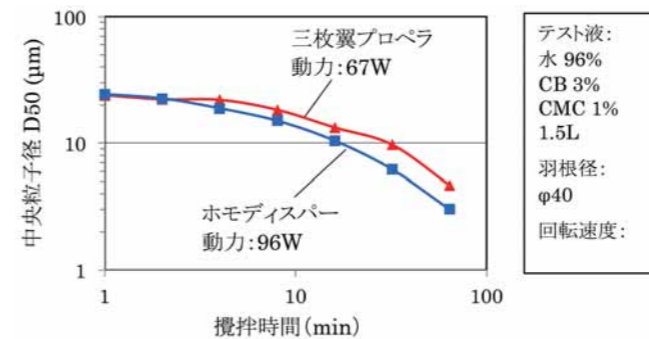


図8 カーボンブラック分散テスト結果(三枚翼プロペラとホモディスペーの比較)  
Fig.8. Carbon black dispersion test results (comparison between three-bladed propeller and homodisper)

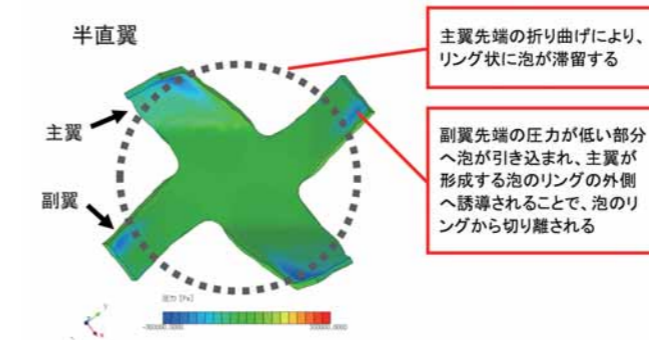


図9 半直翼による泡対策  
Fig.9. Countermeasure against bubbles by combination blade propeller

| 主翼径 | 副翼径   | 泡離散目視 |
|-----|-------|-------|
| φ40 | φ47.1 | ×     |
|     | φ45.6 | △     |
|     | φ45.1 | △     |
|     | φ44.2 | ○     |
|     | φ42.8 | ×     |

図10 泡の離散状況の目視評価  
Fig.10. Visual assessment of bubble breakup

の中心にとどまっていると推察した。そこで、この泡を渦の外側へ誘導する副翼を加えることを考案した。形状は図9のとおりで、以降半直翼と呼ぶ。先端を折り曲げた翼を主翼、先端を折り曲げない翼を副翼と呼ぶ。

副翼が翼端渦の中を通ることで渦が弱まり、さらに副翼先端に発生した負圧部分により泡を引き寄せ、翼端渦の外側へと誘導し、翼端渦から離散することを狙っている。

この半直翼を試作し、水中で運転した結果、連続的に泡が離散する様子が確認できた。副翼を最適化するため、副翼の長さを変え泡の離散状況を目視で評価した。結果を図10に示す。主翼の長さの約1.1倍が一番効果が高いことが分かった。続いて副翼の折り曲げ角度の最適化のため、主翼折り曲げ角度30°と45°に対し、副翼折り曲げ角度、液粘度、羽根回転速度を変えて運転時の動力測定を行った。平均所要動力を図11に示す。動力が高い羽根が泡だまりが少なく良い羽根だろうということで評価した結果、主翼角30°、副翼角45°が最適であると判断した。

続いて泡の溜まりにくさを既存の攪拌羽根とも比較するため、水に界面活性剤を入れて攪拌するテストを行い、発生した泡の高で評価した。結果を図12に示す。半直翼は既存の攪拌羽根よりも泡立ちが少ないという結果となった。

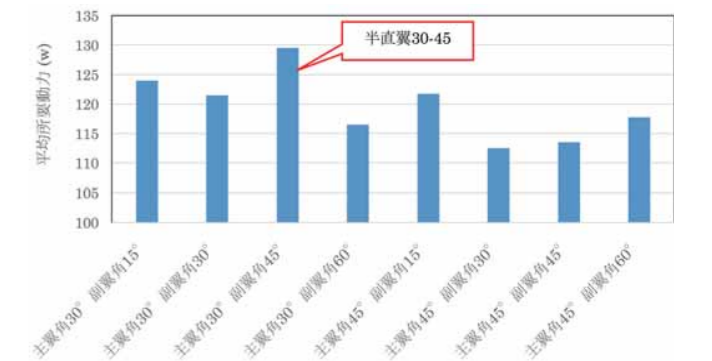


図11 半直翼角度と所用動力  
Fig.11 Combined blade propeller angle and required power

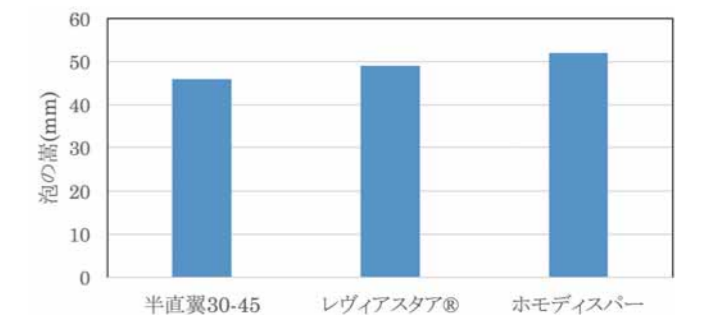


図12 泡立ち比較  
Fig.12. Comparison of amount of generated foam

2.5 形状決定

半直翼の最適角度が分かったところで、ホモディスパーと分散力の比較テストを行った。結果を図13に示す。三枚翼プロペラではホモディスパーより分散力が低い結果だったが、半直翼30-45ではホモディスパーと同等の分散力を示した。増粘剤の溶解テストでもホモディスパーより流動性が良く、早く溶解できたことから、形状はこの形に決定した。溶解テストの結果を図14に示す。

2.6 特許申請

羽根形状が確定したことから特許申請の準備を進めることとなった。特許をなるべく広い範囲で、かつ確実に取得できるよう翼角度の範囲を限定することになり、図15のように一般的な翼の根元でひねった形状の三枚翼プロペラを翼角度を変化させて解析を行った。評価結果を表2に示す。表1と表2を比較するため、翼角度を水平面との角度で表した

散布図が図16である。図15のような形状にしても、折り曲げで作った三枚翼プロペラと同じような角度で羽根接液面近傍の液の速度勾配が上がる事が分かる。しかしながら、折り曲げで作った三枚翼プロペラの方が流動性は同程度ながら、速度勾配はより高まる結果だった(図17)。

プロペラ翼は効率よく液流を作るため、翼の根元でひねるのが一般的であるが、折り曲げで作った三枚翼プロペラは接線方向に迎え角を持つため、軸方向に加え遠心方向への力が液に加えられる。そのため、遠心力と相まって液の速度が高まり、羽根接液面近傍の液の速度勾配が増すと考えられる。

これらの結果を元に、図18を最適な羽根形状として以下の2点で特許申請を行い、2020年にテレコルタ®という名称で販売を開始した。

- ①翼先端を折り曲げることでせん断力が向上する羽根角度範囲
- ②翼先端を折り曲げた羽根と折り曲げない羽根を組み合わせることで泡の滞留を軽減できること

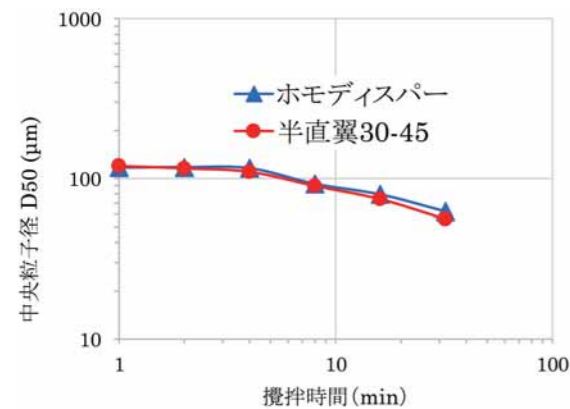


図13 カーボンブラック分散テスト(半直翼とホモディスパーの比較)  
Fig.13 Carbon black dispersion test (comparison between combined blade propeller and homodisper)

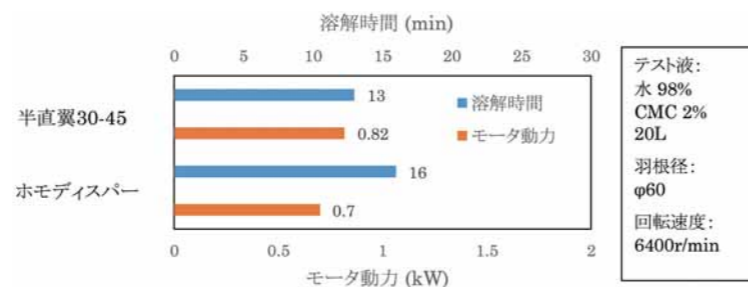


図14 増粘剤溶解テスト結果(CMC2%水溶液)  
Fig.14 Thickener dissolution test result (CMC 2% aqueous solution)

表2 翼の根元でひねった三枚翼プロペラのCFD解析による剪断力評価表  
Table2 Shear force evaluation table by CFD analysis of three-bladed propeller

|                         |     | 翼先端折り曲げ角度 |     |     |     |     |      |      |
|-------------------------|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|------|------|
|                         |     | 50°       | 60° | 70° | 80° | 90° | 100° | 110° |
| 翼根元ひねり角度<br>(水平面に対する角度) | 5°  | ×         | ×   | △   | ×   | ×   | ×    | ×    |
|                         | 10° | ×         | △   | △   | △   | △   | △    | ×    |
|                         | 20° | ×         | △   | ○   | △   | △   | △    | ×    |
|                         | 30° | ×         | △   | ○   | ○   | △   | △    | ×    |
|                         | 40° | ×         | △   | △   | △   | △   | △    | ×    |
|                         | 50° | ×         | ×   | ×   | △   | ×   | ×    | ×    |

羽根接液面近傍の液の速度勾配の高さと広さを評価

- 最高値が高く、高い部分が多い
- △ 最高値は高くないが、高い部分が多い
- × 最高値が高くない、高い部分も狭い

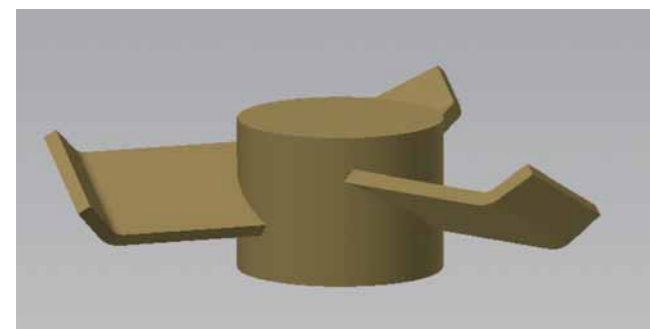


図15 翼の根元でひねった三枚翼プロペラ  
Fig.15 A three-bladed propeller twisted at the root of the blade

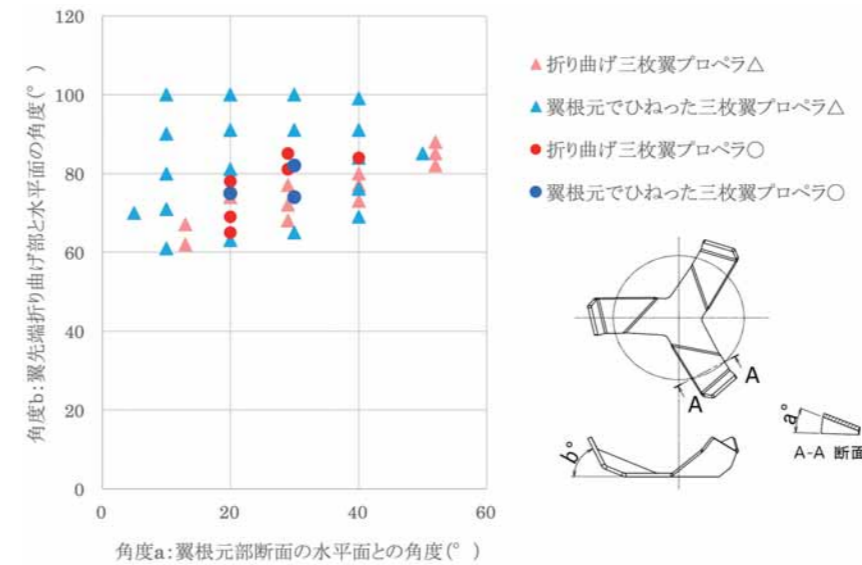


図16 CFD解析によるせん断力評価散布図  
Fig.16. Shear force evaluation scatter plot by CFD analysis

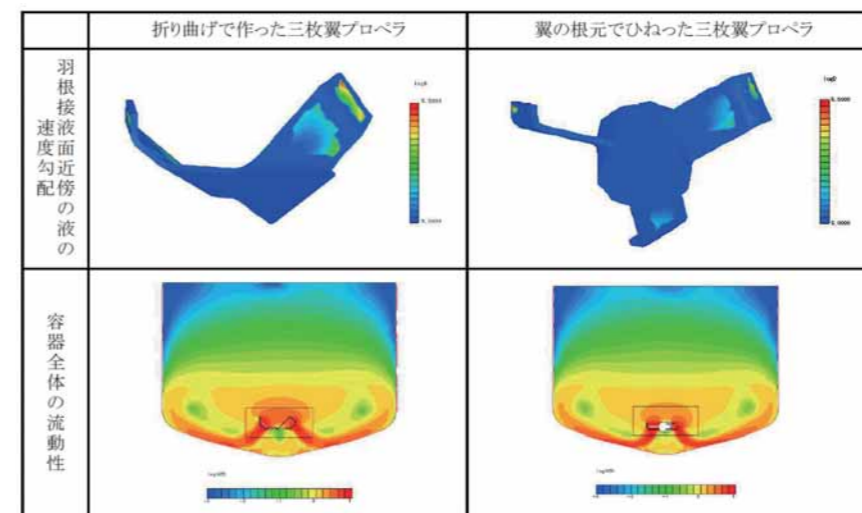


図17 折り曲げで作った三枚翼プロペラと翼の根元でひねった三枚翼プロペラのCFD解析結果比較  
Fig.17. Comparison of CFD analysis results for a three-bladed propeller made by bending and a three-bladed propeller twisted at the root of the blade

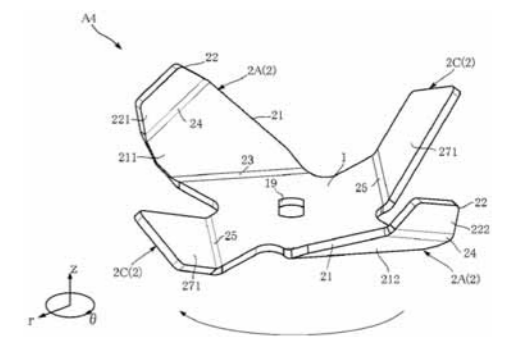


図18 特許申請した最適な羽根形状  
Fig.18 Optimal blade shape for which patent has been applied

3 まとめ

高い流動性能と強いせん断力を持った攪拌羽根を低コストで作ることを目指し開発を行ってきたが、

1. 翼先端を折り曲げることでせん断力が上がる
2. 翼端渦により滞留する泡を角度と長さの違う副翼を設けることで解消できる

を発見し、コンセプト通りの攪拌羽根が開発できた。2020年に販売を開始し、その後改良を加え2023年7月現在まで既に40台以上を受注・販売している。2022年には特許が登録となり(特許第7082856号)、当社独自の攪拌羽根として他社製品との差別化を図り、今後さらに販売を伸ばせるよう期待している。

参考・引用文献

- 1) 永田進治, et al.:化学工学便覧, 改訂三版, p.1078

# 加温脱水汚泥の燃焼特性

Combustion characteristics of thermal dewatering sludge



長沢 英和 NAGASAWA Hidekazu  
月島JFEアクアソリューション株式会社  
技術企画センター 研究開発室

## Abstract

In sewage sludge incineration facilities, it is effective to reduce the N<sub>2</sub>O to reduce the greenhouse gases. It was observed from the operation of the demonstration facility that the thermal dewatered sludge from the thermal thickening and dewatering system produced lesser N<sub>2</sub>O emissions than the conventional dewatered sludge.

Therefore, composition analysis, bench scale test, and thermal analysis of the dewatered sludge were conducted, and the combustion characteristics were considered.

下水汚泥焼却設備において、温室効果ガスを削減するためにN<sub>2</sub>Oを低減することが有効である。実証設備の運転から加温濃縮脱水システムの加温脱水汚泥は従来の脱水汚泥と比較してN<sub>2</sub>O排出量が少ない結果を得られた。

この結果に関して、脱水汚泥の組成分析、ベンチスケールテスト、熱分析を行い、燃焼特性についての考察を行ったので報告する。

キーワード：下水汚泥、焼却、地球温暖化ガス、N<sub>2</sub>O  
Keyword : Sewage sludge, Combustion, Greenhouse gas, N<sub>2</sub>O

## 1. はじめに

下水汚泥焼却炉の温室効果ガス排出量を抑制するためには、脱水汚泥の含水率を低くし補助燃料を削減すること、燃焼時に発生するN<sub>2</sub>O（温室効果がCO<sub>2</sub>の約300倍）を低減することが有効である。他に電力使用量を減らすこと、熱回収をして発電することで排出量を抑制できる。

加温脱水汚泥は、濃縮汚泥を温水による加温とポリ鉄添加により低含水率に脱水する「加温濃縮脱水システム」による脱水汚泥で、これを過給式流動焼却炉で燃焼すると、従来の高温焼却炉と比較してN<sub>2</sub>O発生量が少ない傾向がある。本稿では加温脱水汚泥と従来脱水汚泥の燃焼時のN<sub>2</sub>O発生状況の比較を行うとともに、加温脱水汚泥の性状変化や燃焼特性について報告する。

## 2. 実証設備におけるN<sub>2</sub>O発生量

図1に、加温濃縮脱水システムの脱水汚泥を創エネルギー型焼却システムで焼却する実証設備<sup>1)</sup>のフローを示す。実証設備は小型であり放熱割合が大きくなるため、放熱分を補う目的で燃焼空気を加熱するヒータ（電気式）を設置した。脱水汚泥処理量は195kg/h規模であり、従来方式での濃縮脱水処理も可能である構造にしている。

### 2.1 運転方法

加温脱水汚泥の焼却では、含水率が低いため下記のように運転している。

- ①従来砂層部へ供給している補助燃料を使用しない。
- ②従来脱水汚泥の焼却では含水率が高いため空気予熱器で流動空気を650℃程度まで加熱しているが、この加熱温度を数100℃以上低くして運転する。
- ③低含水率であると脱水汚泥の粘度が高く圧送動力が大きくなる。一方、加温状態では加温脱水汚泥の粘度は低いので、圧送動力を抑えるため脱水機出口から保温したまま焼却炉に供給する。

### 2.2 N<sub>2</sub>O発生量

従来脱水汚泥と加温脱水汚泥の炉内温度とN<sub>2</sub>O排出原単位の間係を、図2と図3に示す。創エネルギー型焼却システムで採用している過給式流動焼却炉はフリーボード下部が最高温度となるため、フリーボード下部温度を炉内温度としてN<sub>2</sub>Oを比較した。どちらも炉内温度とN<sub>2</sub>O発生量には負の相関があり、高温であるほどN<sub>2</sub>O発生量が少なくなる。また、従来脱水汚泥と加温脱水汚泥について同じ最高温度での原単位を比較すると、加温脱水汚泥のN<sub>2</sub>O発生量が従来脱水汚泥より少なくなっている。

## 3. ベンチスケールでの燃焼試験

同じ温度でN<sub>2</sub>Oの排出原単位が異なる原因を調べるため、ベンチスケールで燃焼試験を行った。試験は、ガラス管内の下部に焼結金属を分散板として設置し、その上に流動砂を入れて流動焼却炉を模擬して、透明電気炉で加熱した。透明電気炉は保温材の代わりに金を蒸着したガラス管が赤外線を反射する構造をしており、高温にすると金の蒸着面が透けて電熱線の隙間から内部を見ることができる。従来脱水汚泥と加温脱水汚泥をバッチで供給して燃焼状態を目視で観察した。

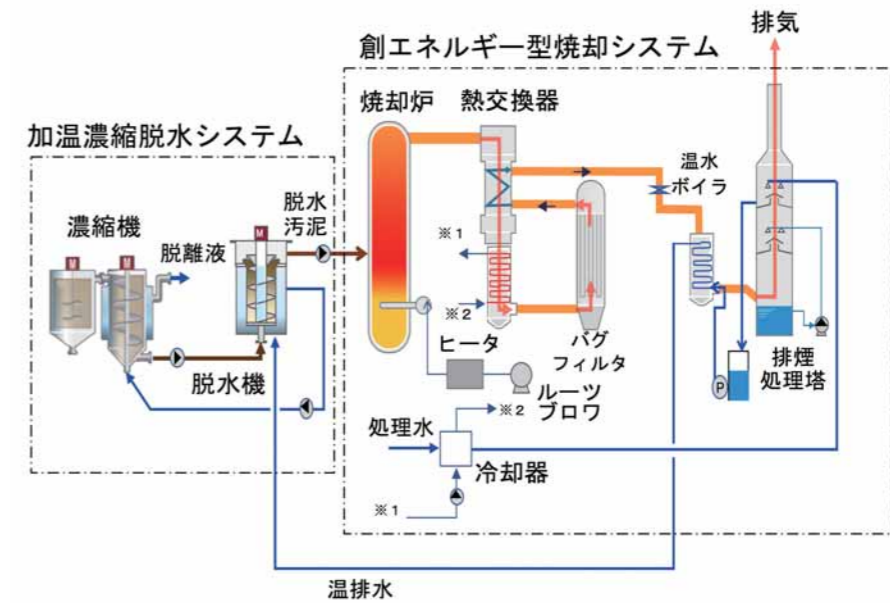


図1 実証設備フロー  
Fig.1 Schematic flow of the demonstration facility

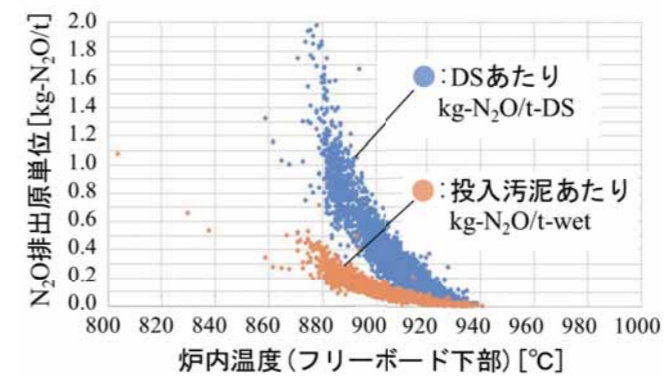


図2 温度とN<sub>2</sub>Oの相関(従来脱水汚泥)  
Fig.2 Correlation between temperature and N<sub>2</sub>O emissions (conventional dewatered sludge)

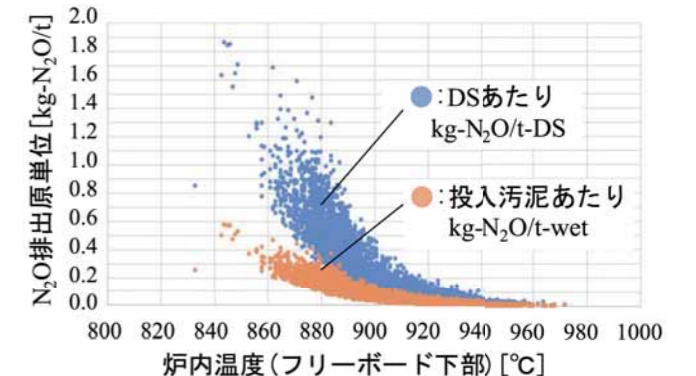


図3 温度とN<sub>2</sub>Oの相関(加温脱水汚泥)  
Fig.3 Correlation between temperature and N<sub>2</sub>O emissions (thermal dewatered sludge)

試験装置を図4に、試験条件を表1に示す。試験では、含水率の差異を無くすために加温脱水汚泥は水を添加し従来脱水汚泥と同じ含水率74.3%に調整した。また、脱水汚泥は6gを細長く成形して上部から供給した。

従来脱水汚泥と加温脱水汚泥を各1個ずつ同時に供給したときの様子を図5に示す。どちらも脱水汚泥を供給すると、砂層上部で燃焼をはじめ、火炎と火の粉が全体的に上がる。脱水汚泥は形状を保ち砂層部に少し埋まった状態で汚泥表面から炎を出しながら燃焼する。その後、汚泥は赤熱し、おき火燃焼となり、おき火燃焼では、比重が小さいため、砂層表面を跳ねながら燃焼する様子が観察できた。燃え切る時間はどちらも6分程度でほぼ同じであった。燃焼は、(水の蒸発+揮発+チャー燃焼)と進むが、含水率を同じになるように調整している(揮発+チャー燃焼)の時間がほぼ同じであることから、従来脱水汚泥と加温脱水汚泥の燃え方の違いは含水率の差異による影響が大きいと考えられる。

表1 ベンチスケール試験条件  
Table1 Test conditions for bench scale tests

|          |           |
|----------|-----------|
| 炉内径      | φ55mm     |
| 脱水汚泥供給量  | 6g/個      |
| 含水率(調整)  | 74.3%     |
| フリーボード温度 | 850℃      |
| 砂層温度     | 700℃      |
| 燃焼空気量    | 10 NL/min |
| 砂層空塔速度   | 0.25m/s   |
| 砂層高さ     | 150mm     |
| 流動砂      | 5号ケイ砂     |

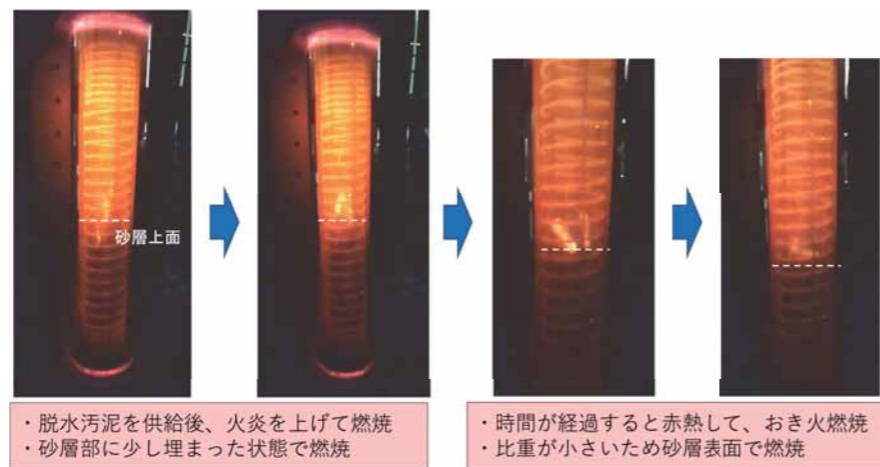


図5 燃焼状態  
Fig.5 Combustion process

表2 脱水汚泥分析結果  
Table2 Dewatered sludge analysis results

|                                |         | 従来脱水汚泥 | 加温脱水汚泥 |
|--------------------------------|---------|--------|--------|
| 含水率                            | %       | 73.1   | 62.1   |
| 灰分                             | dry%    | 21.1   | 19.6   |
| 固定炭素                           | dry%    | 16.7   | 15.7   |
| 揮発分                            | dry%    | 62.2   | 64.7   |
| 高位発熱量                          | J/g-dry | 17,800 | 17,900 |
| 炭素                             | dry%    | 41.0   | 41.1   |
| 水素                             | dry%    | 6.21   | 6.34   |
| 酸素                             | dry%    | 26.5   | 27.8   |
| 窒素                             | dry%    | 4.53   | 4.47   |
| 硫黄                             | dry%    | 0.88   | 0.97   |
| 塩素                             | dry%    | 0.04   | 0.04   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | %(灰)    | 17.8   | 18.9   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %(灰)    | 8.7    | 9.5    |

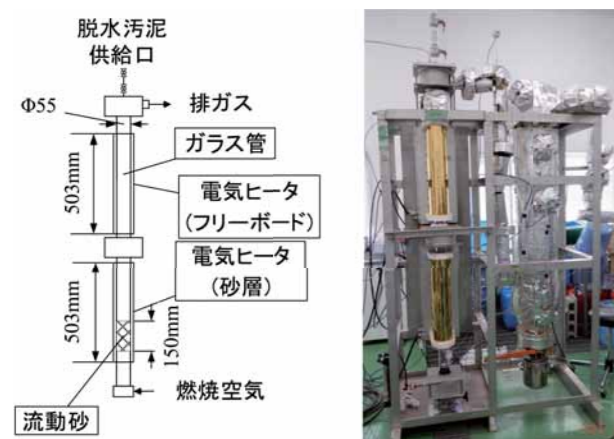


図4 ベンチスケール試験装置  
Fig.4 Bench-scale test equipment

## 4. 脱水汚泥の性状の違い

混合生汚泥を脱水した従来脱水汚泥と加温脱水汚泥の分析結果を表2に示す。加温脱水汚泥は、脱水機出口で60.2℃まで加温したものである。

加温脱水汚泥は、含水率が低いため補助燃料を必要としない自然運転が可能であり、熱回収量も大きくなる。含水率低下は加温によるタンパク質の熱変性<sup>2)</sup>によると考えられるが、この時、汚泥の一部が改質することにより揮発分が大きくなる。また、脱水時に添加するポリ鉄により鉄分が増えるほか、リンの割合が多くなっている。<sup>3)</sup>

次に表2の加温脱水汚泥の熱分析結果を図6に示す。分析は、脱水汚泥を乾燥後に粉碎したものを試料とし、雰囲気は模擬排ガス(N<sub>2</sub>:70%、O<sub>2</sub>:18%、CO<sub>2</sub>:12%)とした。

重量変化曲線より昇温開始後、2分過ぎから緩やかに減量を開始

し、5分付近(雰囲気温度約200℃)と7分付近(同約340℃)で重量変化の傾きが変化している。その後、約12分後(同約700℃)で重量減少は終了している。このことと熱変化曲線より、昇温開始から200℃までは水分を含む低沸点物質の揮発、200℃から340℃の間に熱分解、その後、700℃の間でチャー(固定炭素)の燃焼が起きていると推測される。

表3に、従来脱水汚泥と加温脱水汚泥の熱分析結果から重量の減少量とその時間(揮発+チャー燃焼)による減量速度と、従来脱水汚泥の減量速度との速度差割合を示す。

減量速度は、従来脱水汚泥と比較して加温脱水汚泥が大きく、加温温度が高くなるほど大きくなっている。減量速度差は、60.2℃の加温脱水汚泥では割合として7.3%と小さな値ではなく、これは、加温脱水汚泥の揮発分が高いため同じ温度でも揮発分が一気に燃え、燃焼速度が大きくなっていると考えられる。さらに、含水率が低いと燃焼温度が高くなりやすい。

## 5. 考察

流動焼却炉で脱水汚泥を焼却する場合、供給した脱水汚泥はまず砂層で水分の蒸発が起こる。水分の蒸発とともに可燃分が熱分解し、揮発分とチャーになる。揮発分は砂層で一部が燃焼し、その後フリーボードで燃焼する。固定炭素であるチャーは砂層でおき火燃焼し、細かくなると排ガスに同伴されフリーボードで燃焼する。

ベンチスケール試験結果から含水率の影響が大きいことを考えると、従来脱水汚泥では含水率が高いため補助燃料を供給し流動空気温度を高くしているが、水分の蒸発には時間が掛かると考えられる。また水分が蒸発した部分から熱分解と部分燃焼が起こるため、熱分解と燃焼にも時間が掛かると考えられる。一方、加温脱水汚泥は低含水率であるため水分の蒸発時間が短くなり、さらに、揮発分が多いこともあり従来脱水汚泥より速く燃焼すると考えられる。なお、設備では、供給した汚泥は水の蒸発と燃焼とともに解砕されるため、従来脱水汚泥と加温脱水汚泥で解砕状態の差異については別途考慮する必要があると考えられる。

N<sub>2</sub>Oの生成と分解を、文献調査<sup>4),5)</sup>結果に過給式流動焼却炉の特性を加味し図7にまとめた。砂層上部で脱水汚泥の乾燥と熱分解が起こり、熱分解ガスのHCN、NH<sub>3</sub>からN<sub>2</sub>Oが生成する。反応速度が速いためN<sub>2</sub>Oの生成が短時間で完了し、その後は、フリーボード中下部の高温域でN<sub>2</sub>Oが分解する。火炎ラジカル部分が最高温度となり、N<sub>2</sub>Oが最も分解されると考えられる。

### 参考文献

- 1) 河岸正泰, et al: 創エネルギー型焼却システムの実証実験報告, 第58回下水道研究発表会, pp.461-463 (2021)
- 2) 倭 常郎, et al: 加温濃縮脱水システムの実証報告, 第57回下水道研究発表会, pp.1009-1011 (2020)
- 3) 倭 常郎, et al: 加温濃縮脱水システムにおける返流水の性状, 第58回下水道研究発表会, pp.854-856 (2021)
- 4) 成瀬一郎, et al: 乾燥下水汚泥燃焼域における窒素酸化物の生成・消滅特性とその機構, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol.21, No.5, pp.193-201 (2010)
- 5) 成瀬一郎, et al: 気泡流動層石灰燃焼場におけるN<sub>2</sub>Oの生成特性とその機構, 化学工学論文集, Vol.20, No.2, (1994)

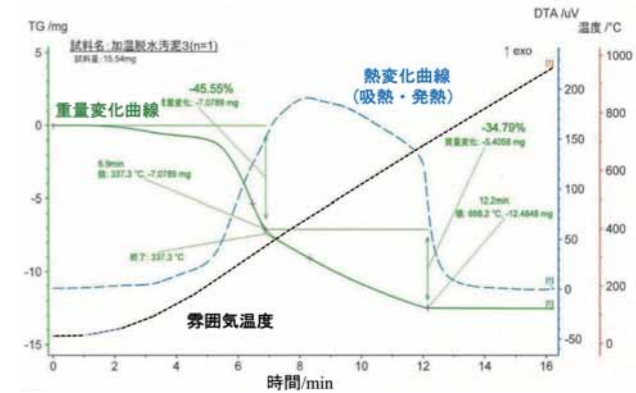


図6 熱分析結果  
Fig.6 Thermal analysis results

表3 脱水汚泥の減量速度  
Table3 Weight loss rate of dewatered sludge

|               | 減量速度       | 速度差割合 |
|---------------|------------|-------|
| 従来脱水汚泥(26.8℃) | -6.2 %/min | -     |
| 加温脱水汚泥(40.7℃) | -6.4 %/min | 3.7 % |
| 加温脱水汚泥(50.1℃) | -6.5 %/min | 5.2 % |
| 加温脱水汚泥(60.2℃) | -6.7 %/min | 7.3 % |

・減量速度は、熱分析による時間(揮発+チャー燃焼)あたりの重量の減少量である。速度差割合は、従来脱水汚泥の減量速度に対する加温脱水汚泥の減量速度の差を示す。

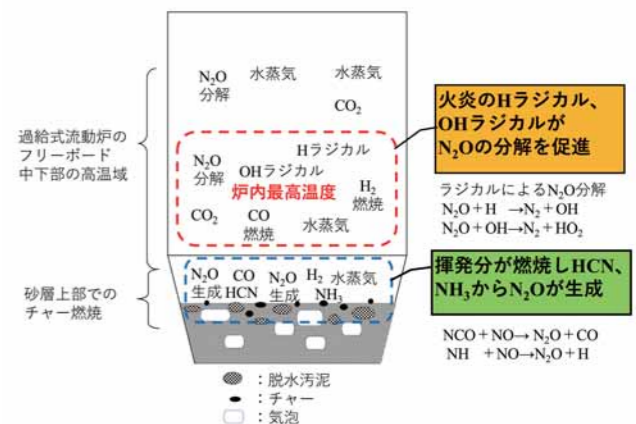


図7 N<sub>2</sub>Oの生成と分解  
Fig.7 N<sub>2</sub>O formation and decomposition

## 6. おわりに

今回の知見により、新設焼却炉だけでなく、既存焼却炉でも焼却条件の見直しによりN<sub>2</sub>Oを低減できることが示唆された。新しい知見を共有することで、さらなるN<sub>2</sub>O低減に貢献していきたい。

# 二次凝集池攪拌機回転数抑制による 省電力効果の検証

Energy-saving derived from reduction control of mixer rotating speed  
in secondary coagulation basin



竹田 竜輔 TAKEDA Ryusuke  
月島ジェイテックメンテナンス株式会社  
西日本維持管理部 維持管理第二課 庭窪事業所



田村 繁生 TAMURA Shigeo  
月島ジェイテックメンテナンス株式会社  
維持管理技術部 水道課

## Abstract

TSUKISHIMA & J TECHNOLOGY MAINTENANCE SERVICE CO., LTD. have contracted the operation management of the Niwakubo water treatment plant (WTP) of the Osaka Water Supply Authority. The WTP consumes significant amount of electric power owing to the full-scale renewal in the narrow area and introduction of the advanced water treatment system. To control the high electricity cost, regularization of the power consumption during its operation is imperative. As a measure to comply with the request from the Osaka Water Supply Authority to achieve carbon neutrality, we surveyed the power-saving methods while maintaining the water quality on the plant operation management. We prepared a technical proposal of the operation method for secondary coagulation process, and then we investigated it in the contract of the WTP. Accordingly, we found that the reduction control of the mixer rotating speed, in addition to diluting the impact for water quality in the biological treatment building, resulted in significant power savings, approximately 944 MWh, i.e., 60.2% reduction in the total electricity consumption. As the result, we accomplished 3% reduction in the annual electricity bill of the WTP.

当社が運転管理業務を受託している大阪広域水道企業団庭窪浄水場(WTP)では、用地の制約がある中での既存施設の全面更新および高度浄水処理の導入により、電力消費量が多い状況にあり、電気料金の高騰などの観点からも、電力消費量の抑制は重要な課題となっている。大阪広域水道企業団ではカーボンニュートラルの推進として様々な取組を行う中、当社では受託業務における技術提案に沿って電力削減などを検討し、浄水処理工程における二次凝集の処理方法について、省電力効果と水質の面からそれぞれ検証を行った。その結果、二次凝集池攪拌機回転数を抑制することで、二次凝集設備が設置されている生物処理棟の年間電力消費量を約944MWh(約60.2%)削減可能であった。これは、庭窪浄水場の年間電力消費量の3%に相当するもので、水質への影響を最低限に抑えつつ大きな省電力効果が得られた。

キーワード：省電力、二次凝集、攪拌機回転数、直接ろ過  
Keyword：Power-saving, Secondary coagulation, Mixer rotating speed, Direct filtration

## 1. はじめに

当社が運転管理業務を受託している大阪広域水道企業団庭窪浄水場は、施設能力約203,000m<sup>3</sup>/日と規模が大きく、用地制約のある中での既存施設の更新や高度浄水処理の導入により、場内施設の階層化やポンプなどの動力使用、そして近年の電力料金の高騰により電力消費量の抑制が課題となっている。

また、大阪広域水道企業団では、カーボンニュートラルの推進として、省エネルギーの取り組み(設備更新時のダウンサイジング、省エネ機器などの導入、送配水運用の効率化)、使用エネルギーの脱炭素化の取り組み(水力・太陽光発電設備の導入、環境配慮型の電力調達、VPP「仮想発電所」の実施)をそれぞれ進めている。<sup>1)</sup>

運転管理業務の受託者である当社は、浄水処理の運転方法の改善として二次凝集池の攪拌機回転数を抑制することで電力消費量を削減する技術提案を行い、それに沿って検証を行った。

## 2. 庭窪浄水場の浄水処理

図1に庭窪浄水場の浄水処理フローを示す。設備更新の履歴としては、1998年にトリハロメタンやカビ臭物質などの対策としてオゾン・粒状活性炭処理などの高度浄水処理施設、2005年にはアンモニア態窒素、溶存マンガンの対策として生物接触ろ過池施設、および原水の低濁化の対策として二次凝集池と多層ろ過池によるマイクロフロック法(直接ろ過法)を導入した。

マイクロフロック法は、高い攪拌強度により高密度のマイクロフロックを形成することで沈殿処理を行わず直接ろ過をする方法で、低濁度原水に対して凝集剤注入量を最小限に抑えることができる。しかしながら、この高い攪拌強度を維持するため、二次凝集池では1列3段の攪拌機(1台当たり出力15kW)で比較的高い回転数で処理を行っている。この二次凝集池の攪拌機は計18台(2系統×3列×3段)設置さ

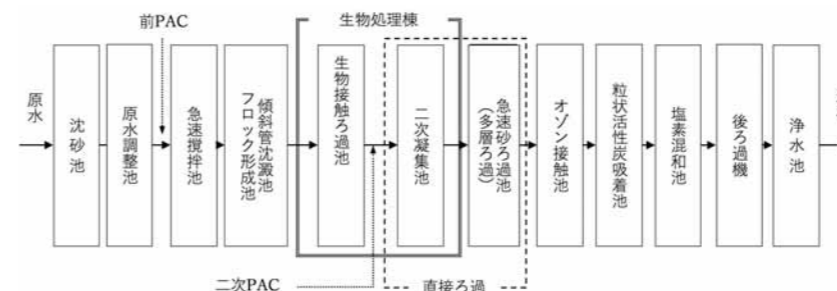


図1 庭窪浄水場浄水処理フロー図  
Fig.1 Treatment process flow diagram of Niwakubo WTP

れているため電力消費量も多く、浄水場全体の約6%を占めている。

また運転方法として、通常時では凝集剤(PAC)の使用量を抑制するため、前段の凝集沈殿処理(急速攪拌池～傾斜管沈殿池)は必要最低限とし、マイクロフロック法を主体とした浄水処理(以下、二次凝集処理)で運転を行っている。原水が高濁度の場合は、前段の凝集沈殿処理を十分にを行い、生物接触ろ過池へ流入する処理水の濁度を最小限に抑えた処理を行っており、急速ろ過法+後PAC処理に近い処理方法(以下、前PAC処理)となっているが、二次凝集池攪拌機の回転数は変更せず処理を行っていた。

以上の二次凝集池攪拌機が占める割合が多い電力消費量と2種類の浄水処理による運転方法を踏まえ、二次凝集池攪拌条件の変更による省電力の効果と、それらが処理水質へ与える影響について検証を行った。

## 3. 検証内容

表1に二次凝集池攪拌の条件を示す。攪拌条件は、従来の攪拌条件である「条件a(20rpm, 20rpm, 20rpm)」のほか、3段目攪拌機の回転数を落とした「条件b(3段目18rpm)」、「条件c(3段目14rpm)」、「条件d(3段目10rpm)」また、1～3段目すべての回転数を落とした「条件e(5rpm, 5rpm, 5rpm)」とした。b～dについては、GCT値が1.6～2.0となるよう回転数を設定した。

表2に二次凝集処理、前PAC処理におけるPAC注入率を示す。この薬注条件は現状の運転管理時と変更はない。

これら異なる攪拌および薬注条件の6通りの組み合わせ(二次凝集処理-攪拌条件a、b、c、dおよび前PAC処理-攪拌条件a、e)の条件下で浄水処理を行い、二次凝集池攪拌機の電力消費量、および各浄水工程における濁度、ろ過損失水頭を調査し、省電力効果ならびに処理水質に与える影響をそれぞれ検証した。

表1 二次凝集池攪拌条件  
Table1 Mixer operation condition of the secondary coagulation basin

| 攪拌条件 | 攪拌機回転数 (rpm) |          |          | GCT値 (設計値) |
|------|--------------|----------|----------|------------|
|      | 1段目          | 2段目      | 3段目      |            |
| a    | 20 (180)     | 20 (180) | 20 (180) | 2.1        |
| b    | 20 (180)     | 20 (180) | 18 (154) | 2.0        |
| c    | 20 (180)     | 20 (180) | 14 (105) | 1.8        |
| d    | 20 (180)     | 20 (180) | 10 (64)  | 1.6        |
| e    | 5 (23)       | 5 (23)   | 5 (23)   | -          |

※括弧内は攪拌強度(sec-1)

表2 PAC注入率  
Table2 PAC dosing rate

| 処理方法   | PAC注入率 (mL/m <sup>3</sup> ) |       |
|--------|-----------------------------|-------|
|        | 前PAC                        | 二次PAC |
| 二次凝集処理 | 5                           | 7～9   |
| 前PAC処理 | 15～22                       | 3     |

## 4. 検証結果と考察

### 4.1 電力消費量基礎調査(2021年5月実施)

表3に二次凝集池攪拌機の1段当たりの回転数における電力消費量を示す。電力消費量は攪拌機の回転数を20rpmから15rpmに落とした場合で38.2%、10rpmで65.5%、最低回転数である5rpmで83.1%削減可能であることがわかった。

表4に調査結果より算出した攪拌条件における電力消費量、および従来の攪拌条件である条件aからの削減率の想定値を示す。条件aから3段階目回転数のみを落とした条件b～dでも、5～22%の省電力効果があると試算された。

### 4.2 処理性調査(2021年9月～2022年3月実施)

表5に各条件における平均濁度・平均損失水頭を示す。なお、本調査期間中の処理対象となる沈砂池出口水の平均濁度は5.0度であった。

#### 4.2.1 処理水濁度

沈砂池処理水の濁度は、二次凝集処理に比べ、凝集沈澱処理を十分に行っている前PAC処理が良好な値を示しているが、生物接触ろ過処理後ではその差が小さくなり、二次凝集、急速ろ過処理まで行くと、その差はほぼ同等となる。

表3 攪拌機回転数における1段当たりの電力消費量

Table3 Mixer rotating speed versus power consumption per unit stage

| 回転数<br>(rpm) | 平均電力消費量 (kWh) |      |      | 1段当たりの削減率<br>(%) |
|--------------|---------------|------|------|------------------|
|              | 1段目           | 2段目  | 3段目  |                  |
| 20           | 26.9          | 27.8 | 28.0 | —                |
| 15           | 17.0          | 17.0 | 17.0 | 38.2             |
| 10           | 9.3           | 9.6  | 9.6  | 65.5             |
| 5            | 4.7           | 4.6  | 4.6  | 83.1             |

表5 各運転条件における平均濁度・ろ過損失水頭

Table5 Mean turbidity and mean filtration hydraulic head in each operating condition

| 運転条件   |      | 濁度 (度) |      |        |       | ろ過損失水頭 (m)      |                   |
|--------|------|--------|------|--------|-------|-----------------|-------------------|
| 処理方式   | 攪拌条件 | 沈砂池出口  | 沈澱池  | 生物接触ろ過 | 急速ろ過  | 1時間上昇値<br>(m/H) | 48時間後<br>(初期0.4m) |
| 二次凝集処理 | a    | 5.0    | 1.60 | 0.48   | 0.026 | 0.021           | 1.43              |
|        | b    |        |      |        | 0.021 | 0.024           | 1.56              |
|        | c    |        |      |        | 0.021 | 0.025           | 1.61              |
|        | d    |        |      |        | 0.048 | 0.029           | 1.81              |
| 前PAC処理 | a    | 0.98   | 0.33 | 0.027  | 0.011 | 0.94            |                   |
|        | e    |        |      | 0.041  | 0.009 | 0.84            |                   |

攪拌機回転数を低下させた影響については、二次凝集処理、前PAC処理ともに、急速ろ過処理水の濁度はやや上昇傾向となったが、いずれも約0.02～0.05度の範囲であり、濁度への影響は小さいとみなせる。また、庭窪浄水場のろ過処理水濁度の管理基準値は0.07度未満であるため、濁度に関する運転管理上の影響は、ほぼ無いものと考えられる。

#### 4.2.2 ろ過損失水頭

二次凝集処理では、1時間当たりの上昇値が攪拌機回転数の低下に伴いやや上昇する傾向が見られ、条件dでは条件aと比較し0.008m上昇した。一方、前PAC処理では、条件aから条件eで1時間当たりの上昇値は0.002m減少した。双方とも増減の絶対値は大きくないものの、全体的に見ると二次凝集処理の1時間上昇値は前PAC処理の2倍程度であり、ろ過池にかかる負荷は大きい。48時間後のろ過損失水頭の管理基準値は2.3m以下であるため、2種類の浄水処理におけるろ過損失水頭はいずれも基準範囲内であり、運転管理上の影響はほぼ無いものと考えられるが、今後の課題としたい。

### 4.3 実運用(2022年4月～2023年3月実施)

2つの調査結果および運転状況などを考慮し、「二次凝集処理-条件d」および「前PAC処理-条件e」の2条件を主体とした実運用を、年間を通して検証した。表6および図2に二次凝集設備のある生物処

表4 攪拌条件別想定電力消費量図

Table4 Mixer rotating speed versus expected power consumption

| 攪拌条件(回転数)    | 電力量 (kWh) | 削減率 (%) |
|--------------|-----------|---------|
| a (20,20,20) | 82.3      | -       |
| b (20,20,18) | 77.6      | 5.7     |
| c (20,20,14) | 69.4      | 15.7    |
| d (20,20,10) | 63.8      | 22.5    |
| e (5,5,5)    | 13.9      | 83.1    |

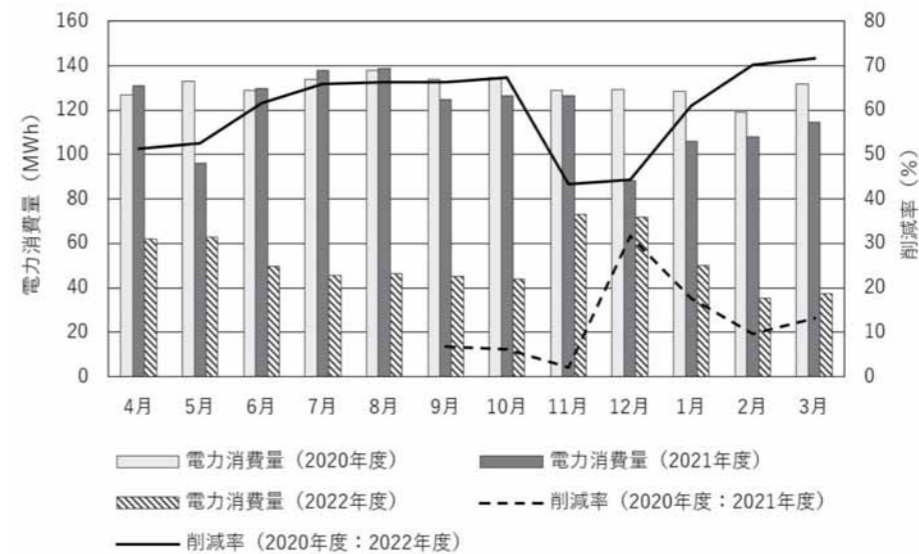


図2 生物処理棟月別電力消費量

Fig.2 Monthly electricity consuming of biological treatment building

表6 生物処理棟月別電力消費量

Table6 Monthly electricity consuming of biological treatment building

|     | 20年度        | 21年度        |          | 22年度        |          |
|-----|-------------|-------------|----------|-------------|----------|
|     | 電力消費量 (MWh) | 電力消費量 (MWh) | 削減率* (%) | 電力消費量 (MWh) | 削減率* (%) |
| 4月  | 127.0       | 130.9       |          | 61.9        | 51.2     |
| 5月  | 132.8       | 96.1        |          | 63.0        | 52.6     |
| 6月  | 129.0       | 129.9       |          | 49.6        | 61.5     |
| 7月  | 133.7       | 137.9       |          | 45.5        | 66.0     |
| 8月  | 138.1       | 138.6       |          | 46.6        | 66.3     |
| 9月  | 133.9       | 124.7       | 6.8      | 45.1        | 66.3     |
| 10月 | 134.8       | 126.6       | 6.1      | 44.0        | 67.4     |
| 11月 | 129.0       | 126.3       | 2.1      | 73.1        | 43.3     |
| 12月 | 129.2       | 88.4        | 31.6     | 71.8        | 44.4     |
| 1月  | 128.7       | 105.9       | 17.7     | 50.3        | 61.0     |
| 2月  | 119.2       | 107.8       | 9.6      | 35.4        | 70.3     |
| 3月  | 132.0       | 114.6       | 13.2     | 37.5        | 71.6     |
| 年間  | 1,567.3     | 1,427.6     | 8.9      | 623.7       | 60.2     |

\*各年度の削減率は2020年度と比較した数値

理棟の月別電力消費量を示す。

2021年度の電力量削減率は処理性調査の期間であり、短期間で6つの運転条件を実施したことから2020年度比で8.9%減に留まった。

2022年度(実運用期間)では、電力消費量が最も少ない「前PAC-条件e」が運転期間の多くを占めた6月～10月、および1月～3月は2020年度比で60%以上削減されていた。また、生物処理棟の年間電力消費量は約623MWhとなり、2020年度の消費量約1,567MWhと比較し、約944MWh(約60.2%)の削減となった。これは浄水場全体の年間電力消費量の約3%削減に相当する。また、CO<sub>2</sub>排出量に換算すると約330t-CO<sub>2</sub>/年の削減となった。<sup>2)</sup>

## 5. まとめ

水質への影響を押さえた省電力効果のある浄水処理を検討し、二次凝集池の攪拌機回転数を制御することで、電力消費量の低減が確認できた。しかしながら、二次凝集処理時のろ過損失水頭の増加については、ろ過池洗浄頻度の上昇などに繋がるおそれもあることから状況に応じた処理方法および攪拌条件など、より効率的な運転方法を検討していく。

### 参考文献

- 1) 北口和雅, et al.: 大阪広域水道企業団におけるカーボンニュートラルに向けた取組, 令和4年度水道研究発表会講演集
- 2) 環境省: 令和4年電気事業者別排出係数一覧より算出

## 6. おわりに

大阪広域水道企業団では、カーボンニュートラルの推進として様々な取り組みを実施している。庭窪浄水場の運転管理業務受託者としても、浄水場の運転管理方法の提案など、その取り組みに協力していく。

本検証にあたり、多大なご協力をいただいた大阪広域水道企業団に感謝の意を表します。



# 伝熱管付ロータリー (TRT) ヒータの紹介

Introduction to thermal oil rotary tube (TRT) heater



石井 健太 ISHII Kenta  
月島機械株式会社  
計画部 機器プロセスグループ

## Abstract

Recently, the demand for high-temperature, gastight, and carbon-neutral heat treatments has increased in the lithium ion battery (LIB) and similar markets.

As the dryers in the TSK's lineup (i.e. steam tube dryer (STD) and inclined disc dryer (IDD)) render it difficult to meet these requirements, it was necessary to develop a new equipment.

In this section, we introduce the thermal oil rotary tube (TRT) heater, which was developed based on the STD structure to meet these requirements.

近年、リチウムイオン電池(LIB)市場などにおいて、高温・気密かつカーボンニュートラルな熱処理の要求が高まっている。TSKラインナップのスチームチューブドライヤ(STD)、インクラインドディスクドライヤ(IDD)ではこれらの要求を満たすことが難しく、構造の見直しが必要であった。

このセクションでは、これらの要件を満たすために、STD 構造に基づいて開発された伝熱管付ロータリー (TRT) ヒータを紹介する。

キーワード：高温熱処理、気密性、熱媒油

Keyword : High-temperature heat treatment, Gastight, Thermal oil

## 1. 緒言

当社ではスチームチューブドライヤ(STD)やインクラインドディスクドライヤ(IDD)といった主にスチームを熱源とした間接加熱型の乾燥機を取り扱っているが、近年ではリチウムイオン電池(LIB)市場などをはじめ、加熱処理に対して高温処理・高气密性・カーボンニュートラルといった観点の要望がふえている。

STDやIDDの標準構造では、スチーム熱源温度は200℃前後が限度となり、さらなる高温化を実現するためには構造の見直しが必要である。そこで、前述の課題に着目し、当社の主力製品であるSTDの技術をベースに、熱源として熱媒油(Max400℃目標)を適用し、従来構造を再検討した伝熱管付ロータリー (TRT) ヒータの開発を行った。現時点で設計温度340℃までの検証が完了したので本稿で紹介する。

## 2. 構造・特徴

### (1) 特徴

TRTヒータは図1の様にSTDをベースとした構造を採用することで、以下に示す特長を持っている。

- ・大量処理が可能  
シンプルな構造のため単位長さ当たりの伝熱面積が大きく確保でき、大量処理に適用できる。
- ・高温処理が可能  
加熱源に熱媒油を採用することで、蒸気を使用した場合よりも高い温度帯での処理ができる。
- ・運転が容易  
運転は熱源管理のみで、連続運転が容易である。
- ・高い攪拌性およびマスフロー性  
回転するシェルにより掻き揚げ、攪拌しながら伝熱管の熱を伝熱し、均一な製品が得られる。  
また、比較的均一なマスフローが得られる。
- ・高气密性  
特殊シール構造により外気の流入または内部からのガスの漏れを防げる。
- ・低い環境負荷  
蒸気で熱回収をする場合、復水回収時にフラッシュによる熱ロスが発生するが、熱媒油の場合では、相変化が無いためこのような熱ロスを防げる。また、熱媒油の加熱に再生可能エネルギー由来の電力を利用することで、環境負荷の低減、脱炭素に貢献できる。

表1 適用可能熱媒  
Table1 Comparison of applicable heating medium oils

|             | 合成系熱媒油A          | 合成系熱媒油B          | シリコン系熱媒油       | 熔融塩              |
|-------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| 最高使用温度 [°C] | 340              | 400              | 400            | 550              |
| 使用時圧力       | 常圧               | 加圧               | 加圧             | 常圧               |
| 状態(常温)      | 液体               | 液体               | 液体             | 固体               |
| 懸念事項        | 高温域では早期劣化の可能性はある | 高温域では早期劣化の可能性はある | 浸透性が高いため、漏れやすい | 常温で固体のため、取り扱いが困難 |

### (2) 熱媒油の選定

TRTヒータはSTD構造をベースとしているため、従来構造と同様に熱媒油は伝熱管に流し、伝熱管の外皮に処理物が接触することで加熱処理が行われる方式となる。

熱媒油はLIB用正極材製造プロセスでの適用を想定し、300℃以上で使用可能な表1の中から選定を行った。表中の性質より、シリコン系熱媒油と熔融塩の適用は困難と判断し、合成系熱媒油を採用し検討を進めた。

### (3) シール構造

TRTヒータは高温加熱処理を目的とすることから、装置全体が高温となり汎用的な部品、構造が採用できない部分が多々ある。その一つとして回転部のシール構造がある。

高温になる回転シールの一般的な構造は接触面をジャケット構造にして冷却することが多い。TRTヒータのような容器回転型のシール部は一般的な冷却方式で冷却することは困難なため、新構造の冷却方式(特許出願中)を構築し、STDで多数実績のあるシール材を採用することで、外気の流入および機内ガスの漏れが極めて少ないシール構造にすることが可能となった。

この新シール構造は実装置と同径のシールテスト機を用いて検証試験を行い高温での運転が可能なることを確認した。結果は図2に示すとおりシールの許容温度を大きく下回る温度に維持できる十分な冷却効果を確認することができた。これによりTRTヒータには新シール構造を採用することとした。

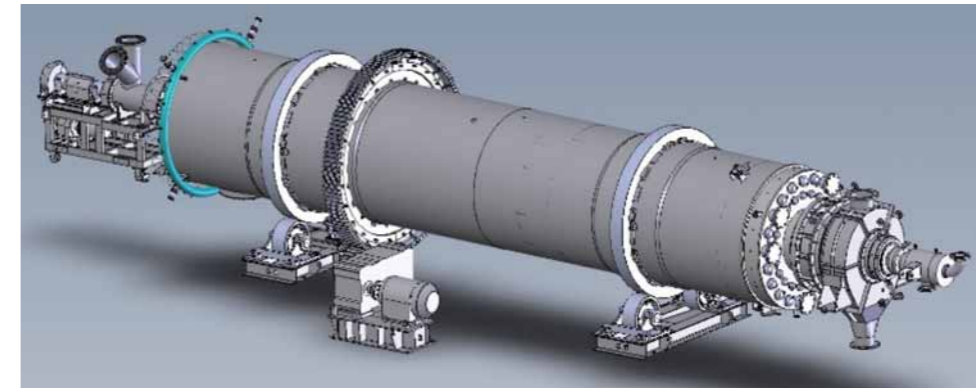


図1 TRTヒータ外形図  
Fig.1 Appearance of TRT heater equipment

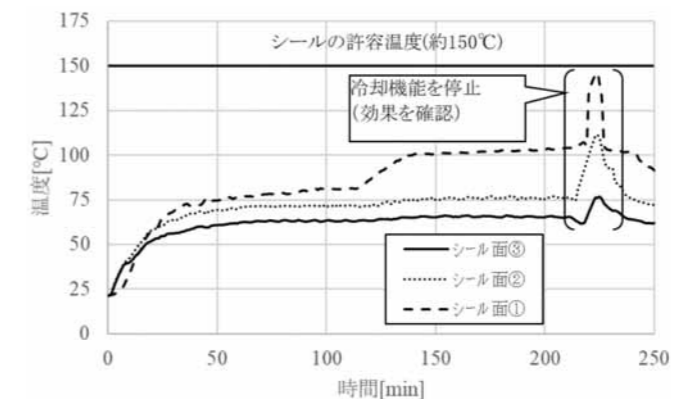


図2 シールテスト結果  
Fig.2 Results of seal test

(4)ロータリージョイント

高温化に対応する2つ目の課題はロータリージョイントである。高温の熱媒油は粘度の低下による漏れや内部部品の熱膨張を考慮する必要がある。この課題については、ロータリージョイントメーカーの協力を頂きながら、当社テスト装置に組み込み、実際的高温運転(340℃)にて実証テストを行い対策した。

また、さらなる高温域(400℃)で使用可能なテスト装置を活用して課題を抽出しながら、技術開発を継続している。

(5)支持部

高温化に対応する3つ目の課題はTRTヒータの支持部である。STDはシェルとタイヤがしっかりと固定されることで、タイヤの内面でシェルの滑りを抑えているが、TRTヒータはシェル温度が高く、シェルとタイヤの熱膨張差から過度の応力がシェルに生じてしまう。そこで、TRTヒータの足回りは高温条件で使用されるロータリーキルンのシェ

ルとタイヤの固定方法の設計思想をベンチマークとすることで課題を解決した。

(6)熱媒油の流路

熱媒油流路はTRTヒータ性能に大きく影響するファクターとなるが、熱媒油が均一かつ所定の伝熱係数が得られる流速となるような流路設計としている。

### 3. 加熱性能

2章で紹介したシール構造検証試験のほかにも本装置開発にあたり、バッチおよび連続テスト装置(図3)を用いて加熱性能の検証試験を実施した。なお、検証には処理物としてシリカサンドを使用した。

バッチテスト結果を図4、連続テスト結果を図5に示す。

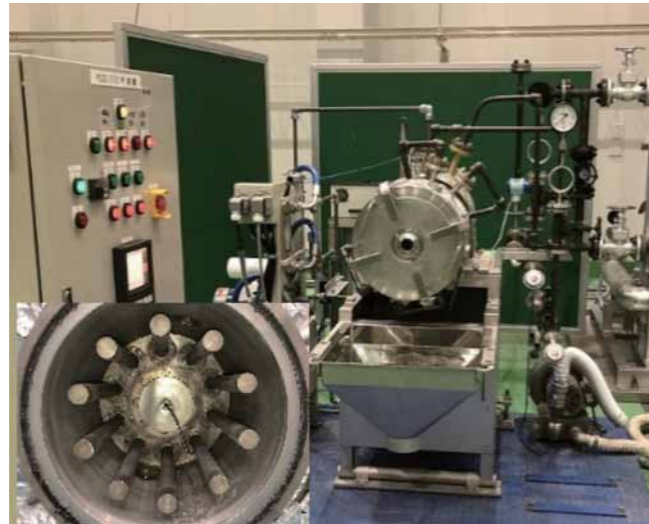


図3 バッチテスト装置 写真  
Fig.3. Appearance of batch test equipment

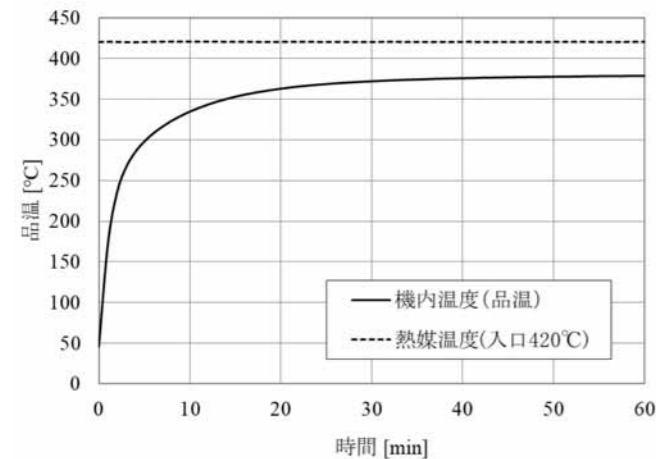


図4 バッチテスト結果 昇温カーブ  
Fig.4 Temperature rise curve of batch test

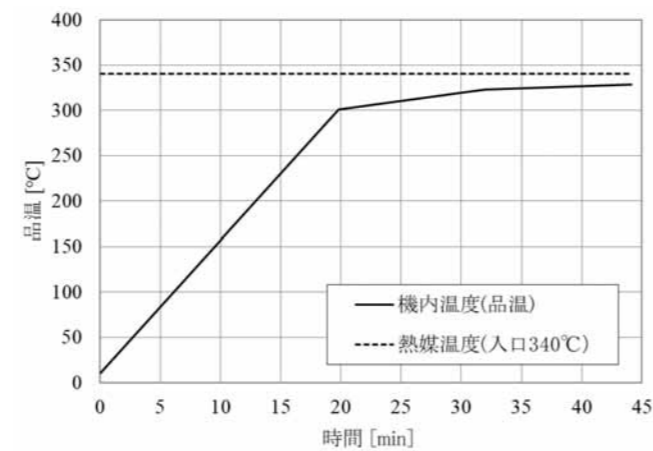


図5 連続テスト結果 昇温カーブ  
Fig.5 Temperature rise curve of continuous test

バッチテスト結果より、熱媒油420℃を使用することで、品温370℃の到達を確認できた。連続テストでは、熱媒油340℃を使用することで、品温320℃の到達を確認できた。また、テストは約180min連続で実施したが、運転に支障をきたすような問題は確認されなかった。

なお、バッチテスト結果より総括伝熱係数Uは約13 kJ/m<sup>2</sup>C hとの結果が得られている。

### 4. 他機種との比較

TRTヒータと類似する他機種との比較を表2に示す。

それぞれの機種には最適な温度範囲があるため、適用するプロセスの温度帯により、最適機種を選定することが望ましいと言える。TRTヒータの場合、ロータリーキルンタイプよりも高い総括伝熱係数Uが得られると考えられる。これはTRTの持つ攪拌性、ホールドアップ、回転速度などの項目が要因としてあげられる。また、利用可能な伝熱面積も大きく、サイズを小さくできるため、最適温度帯によっては強い優位性が発揮できる。

一方、温度230℃以下の場合、スチームを加熱源とするため総括伝熱係数Uが大きく取れるSTDに優位性があり、400℃以上の場合、電気を加熱源とするためさらなる高温対応が可能なロータリーキルンタイプに優位性がある。

表2 各機種比較表  
Table2 Performance comparison of various heaters

|   | スチームチューブドライヤ(STD) | 伝熱管付ロータリー(TRT)ヒータ | 電気加熱式ロータリーキルン |
|---|-------------------|-------------------|---------------|
| 加熱源                                       | スチーム              | 熱媒油               | 電気            |
| 最適温度 [°C]                                 | 100~230           | 230~400           | 400 以上        |
| 総括伝熱係数U [kJ/m <sup>2</sup> C h]           | 15~30             | STD Uの0.8~0.9     | STD Uの0.3~0.4 |
| 機内ホールドアップ [%]                             | 20                | 20                | 10 以下         |
| ホールドアップあたりの利用可能な伝熱面積* [m <sup>2</sup> /m] | 4                 | 4                 | 1.5           |

\*本値は本体内径が約2 mとした場合の検討結果となる。

# アンモニア(NH<sub>3</sub>)の有効活用(燃料化・再利用)と無害化処理技術

Technologies to effectively utilize (use as fuel and reuse) ammonia and enable detoxification



菊池 尚仁 KIKUCHI Naohito  
月島環境エンジニアリング株式会社  
技術開発部 開発グループ

## Abstract

In recent years, while carbon neutrality has been in focus, NH<sub>3</sub> is gaining attention as one of the candidates for carbon-free fuels. In addition, NH<sub>3</sub> is used as an industrial raw material in many industries, and the demand for its processing equipment is high accordingly.

In this article, our company will introduce our NH<sub>3</sub> combustion technology and NH<sub>3</sub> diffusion treatment technology, which meet these demands.

近年、カーボンニュートラルが課題となる中、NH<sub>3</sub>はカーボンフリー燃料の1つとして注目されている。また、NH<sub>3</sub>は工業原料として多くの産業で利用されており、それに伴い処理設備の需要も高い。

本稿ではこれらの需要に対応する当社の技術として、NH<sub>3</sub>燃焼技術及びNH<sub>3</sub>放散処理技術について紹介する。

キーワード：NH<sub>3</sub>、燃料化、無害化、放散、回収、再利用  
Keyword：Ammonia, Fuel use, Detoxification, Diffusion, Reuse

## 1. はじめに

近年、CO<sub>2</sub>排出量削減に向けたカーボンニュートラルな燃料利用が取り組まれている中、NH<sub>3</sub>はカーボンフリー燃料の1つとして注目されている。また、NH<sub>3</sub>は工業原料として多くの産業で利用されており、製法や流通ルートが確立されているため、燃料への転用や余剰分、未利用分の回収に対する需要は高い。

本稿ではこれらの需要に対応する当社の技術として、NH<sub>3</sub>燃焼技術及びNH<sub>3</sub>放散処理技術について紹介する。

## 2. NH<sub>3</sub>燃焼技術

### 2.1 当社の焼却処理装置

当社では、従来からさまざまな排水、排ガスに対応する焼却処理設備を扱っており、NH<sub>3</sub>を含有する排水、排ガスの処理においても多くの実績がある。ここでは、NH<sub>3</sub>の焼却処理が可能な設備として、当社独自の技術により開発した液中燃焼装置を紹介する。

装置の構造を図1に示す。本装置における各機器の機能を以下に解説する。

#### (1) パーナ部

燃料を燃やして高温の熱風を発生させる。このパーナ部に使用する機器として、当社ではオリジナルの「ボルテックスパーナ」を保有している(図2)。本パーナは、燃焼空気を独自の構造により旋回させながら供給することで火炎は短炎となり、高負荷燃焼を可能としている。

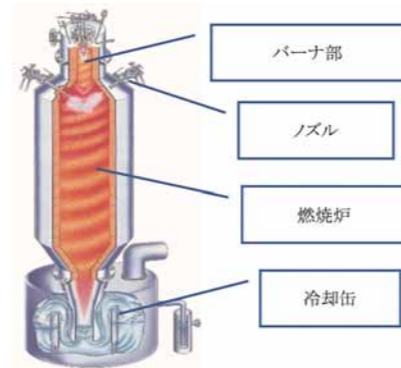


図1 液中燃焼装置の構造図  
Fig.1 Structure drawing of submerged combustion equipment



図2 ボルテックスパーナ  
Fig.2 Vortex burner

#### (2) 燃焼炉

水、排ガスを上部に設置されたノズルより供給し、パーナからの高温ガスにより必要な炉内温度及び滞留時間を維持することで分解/無害化する。

#### (3) 冷却缶

水と効率よく接触させることで、燃焼炉で無害化処理された排ガスを瞬時に冷却させる。

当社では、液中燃焼装置におけるNH<sub>3</sub>焼却処理の実績を活かし、NH<sub>3</sub>を燃料とした適用試験を試験装置規模で実施し、実用化に目途をつけた。

## 2.2 NH<sub>3</sub>燃料化の実証試験

### 2.2.1 試験の概要と試験装置

R&Dセンターに設置した小型の液中燃焼試験装置を用いて、次の

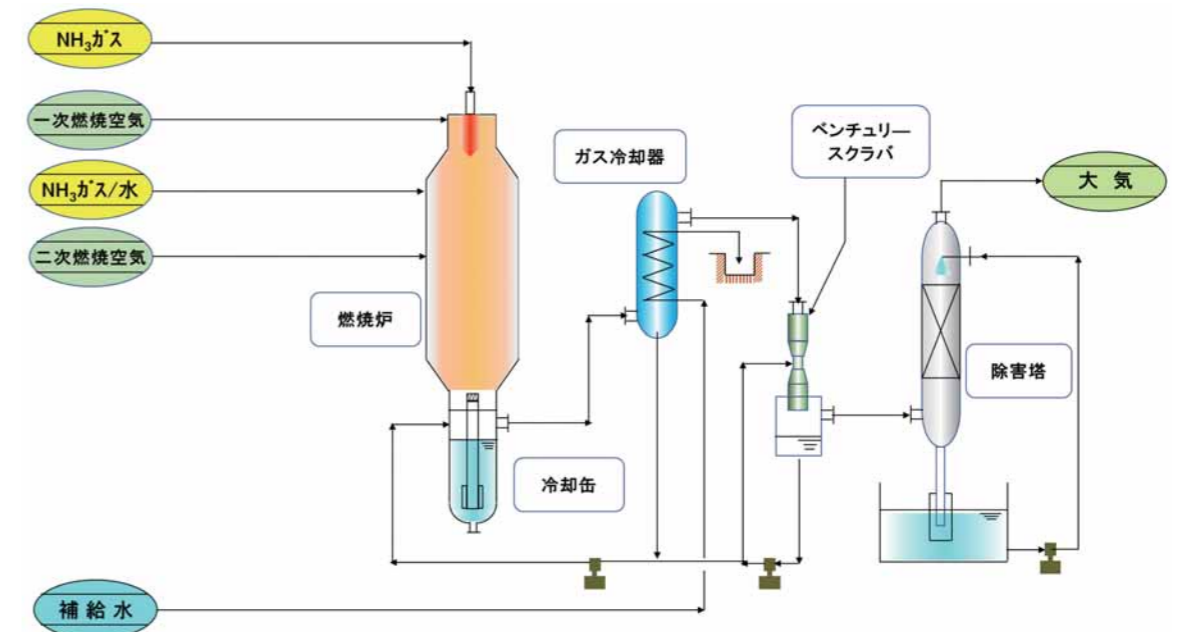


図3 液中燃焼試験装置フロー図  
Fig.3 Process flow diagram of submerged combustion unit system

表1 試験条件  
Table1 Test condition

| Run No. | 燃焼条件  |
|---------|---|
| 1-1     | ①通常燃焼:一次燃焼空気中で空気過剰率1.0以上(酸化燃焼)  |
| 1-2     | ①2段燃焼<br>一次燃焼空気中で空気過剰率1.0未満(還元燃焼)<br>二次燃焼空気中で空気過剰率1.0以上(酸化燃焼)                           |
| 2-1     | ①2段燃焼<br>一次燃焼空気中で空気過剰率1.0未満(還元燃焼)<br>二次燃焼空気中で空気過剰率1.0以上(酸化燃焼)<br>②燃焼炉に水を供給(2-2との比較用として) |
| 2-2     | ①2段燃焼<br>一次燃焼空気中で空気過剰率1.0未満(還元燃焼)<br>二次燃焼空気中で空気過剰率1.0以上(酸化燃焼)<br>②炉内脱硝:燃焼炉にアンモニア水を供給    |

2点について確認を行い、NH<sub>3</sub>の燃料適用の可否を評価した。

#### (1) NO<sub>x</sub>を規制値以下に抑制

大気汚染防止法の「廃棄物焼却炉(連続炉)」における規制値250ppm(O<sub>2</sub>濃度12%換算値)を下回ること。

#### (2) 未燃NH<sub>3</sub>の抑制

NH<sub>3</sub>が十分に高い分解率で燃焼されていること。  
本試験で使用した試験装置のプロセスフローを図3に示す。

### 2.2.2 試験結果と評価

試験条件を表1に、炉内温度とNO<sub>x</sub>値の結果を図4に示す。

図4よりRun1-2の2段燃焼(酸化/還元燃焼)では、Run1-1の通常燃焼と比較して、NO<sub>x</sub>は1/4程度まで低減したが、目標値の250ppmを下回ることができなかった。次のステップとして、Run2-2でNH<sub>3</sub>水を供給する炉内脱硝により目標値を大幅に下回る87ppmを達成するこ

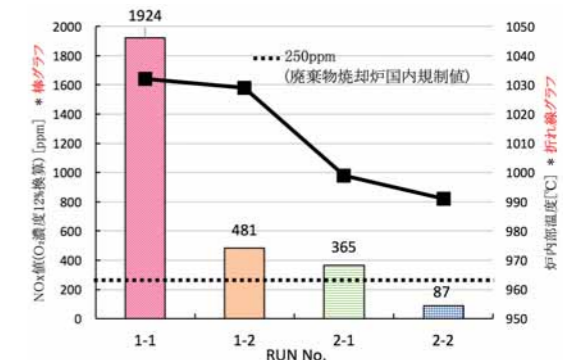


図4 炉内温度とNO<sub>x</sub>値  
Fig.4 Incinerator temperature and NO<sub>x</sub> value

とができた。また、Run2-1では、Run1-2の運転に水を供給するだけでNOxが100ppm近く低下している。これは炉内温度変化でも確認できるように水の供給により炉内温度が30℃程度低下したことでNOxの発生が抑制されたと考えられ、適正な温度管理も重要であることを裏付けている。

燃焼炉出口の排ガス分析から、供給されたNH<sub>3</sub>は、すべての条件で99.99%以上の高い分解効率であることが確認された。

また、温暖化防止の観点からは、地球温暖化係数(GWP)がCO<sub>2</sub>の約300倍となるN<sub>2</sub>Oの排出について注意する必要があるが、すべての条件で0~数ppm程度の排出濃度であることが確認された。

### 2.3 NH<sub>3</sub>燃料化の展望

本試験から液中燃焼装置において、NH<sub>3</sub>専焼による燃料化の実用に目途をつけた。今後、カーボンフリー燃料であるNH<sub>3</sub>の有効利用へ向けて大きく貢献できる可能性があり、さらなる技術の向上を目指して開発を進めていく。

## 3. NH<sub>3</sub>放散処理技術

### 3.1 NH<sub>3</sub>含有排水の発生設備

各種産業におけるNH<sub>3</sub>を含む排水の主な発生源には、昨今、世界的な供給不足が話題となっている半導体製造設備をはじめとして以

下のような設備がある。

- (1) 半導体製造設備
- (2) 貴金属回収、精製設備
- (3) 電気/電子材料設備
- (4) 下水道設備
- (5) ボイラー設備
- (6) COG(コークス炉ガス)精製設備

ここでは、これらの設備から排出されるNH<sub>3</sub>含有排水について、多くの納入実績を有する放散処理によるNH<sub>3</sub>排水処理について紹介する。

### 3.2 NH<sub>3</sub>排水の放散処理

#### 3.2.1 NH<sub>3</sub>排水の放散処理の概要

放散処理は、水蒸気や空気と排水を放散塔と呼ばれる気液接触装置にて向流接触させ、NH<sub>3</sub>を排水から分離させる処理方法である。放散塔の塔頂からNH<sub>3</sub>含有ガス、塔底から処理水が排出される。NH<sub>3</sub>を回収する場合、水蒸気放散では安水・硫酸・塩安水溶液として回収することが可能である。またNH<sub>3</sub>を分解、無害化処理する場合、水蒸気放散、空気放散とも、触媒による分解、燃焼による分解のいずれも可能である。

放散塔はその内部でガスと液を向流で接触させる装置であり、内部には気液接触効果を高める充填物が充填されている(図5)。この充填物の種類と充填高さによって、放散塔のNH<sub>3</sub>分離性能が決まる。

当社では高性能の不規則充填物「テラレット®」(図6)を製造販売しており、吸収用・放散用充填物として多く利用されている。

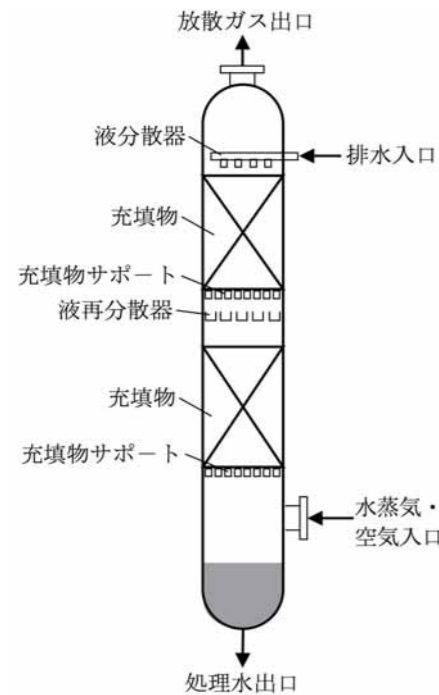


図5 放散塔模式図  
Fig.5 Diffusion tower schematic diagram



図6 高性能不規則充填物「テラレット®」  
Fig.6 High performance irregular packing 「TSKE Packing」

#### 3.2.2 蒸気放散によるNH<sub>3</sub>回収プロセス

放散媒体として水蒸気を用いた場合、放散されるNH<sub>3</sub>は安水として回収することができる。プロセスフローを図7に示す。また、回収安水に硫酸を加えることで硫酸水溶液、塩酸を加えることで塩安水溶液として回収することもできる。

#### 3.2.3 空気放散によるNH<sub>3</sub>触媒分解プロセス

放散させたNH<sub>3</sub>に回収メリットが無い場合は、空気放散したのち触媒にて窒素と水に酸化分解する。

分解する際に発生する熱は、放散塔のエネルギーとして再利用する。このため排水中のNH<sub>3</sub>濃度が十分に高い(5,000ppm以上)場合、外部から熱エネルギーを加えずともNH<sub>3</sub>の放散、分解処理が可能である。プロセスフローを図8に示す。

### 3.3 NH<sub>3</sub>放散処理設備における当社の優位性と展望

当社は、長年にわたり、NH<sub>3</sub>排水の放散処理設備の納入実績を重ね、それにより培われた以下の強みを持つ。これらの優位性を活かしながら、今後もさらなる製品の魅力を高めることを目指し研究開発を継続していく所存である。

#### (1) プロセスシミュレータを用いた最適設計

豊富な実績データを基にプロセスシミュレータを活用したプラント設

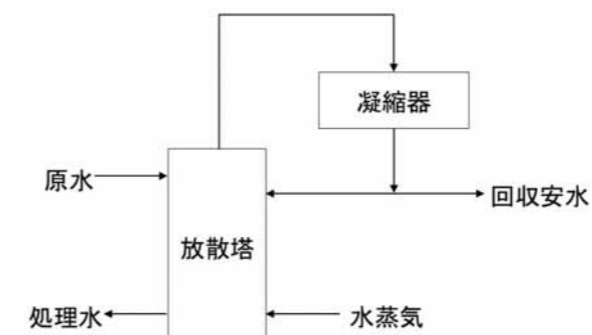


図7 蒸気放散プロセス  
Fig.7 Vapor diffusion process

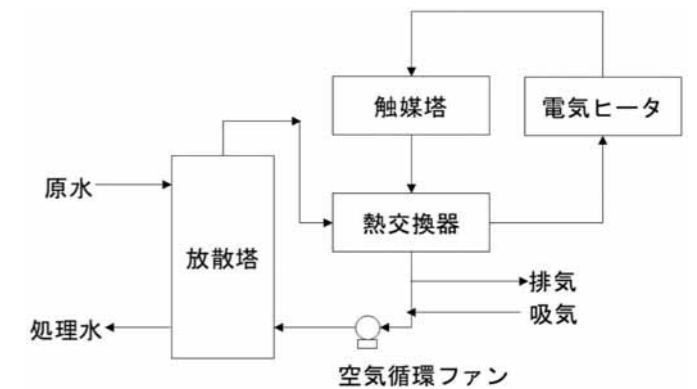


図8 空気放散プロセス  
Fig.8 Air diffusion process

計により、コンパクトで効率の良い、最適設計が可能である。

#### (2) 自社製充填物による豊富な技術知見と経験

当社は自社製の高性能不規則充填物を保有しているため、最適な充填物の選定、インターナルスの設計ができる。また、設備建設時においても商業運転開始までのスムーズな立ち上げが可能である。

## 4. おわりに

本稿では、当社のNH<sub>3</sub>活用/処理技術について紹介した。当社は、その他にも多くの環境技術を保有しており、それらの活用と更なる技術開発の取り組みを推進し、より良い社会環境の創造に向けて環境課題解決に貢献していく。

# 脱水乾燥システムによる下水汚泥肥料化の取り組み

Methods to convert sewage sludge into fertilizer using dewatering and drying system



竹村 草太 TAKEMURA Sota  
月島JFEアクアソリューション株式会社  
下水事業部 下水計画部 ソリューション1グループ

## Abstract

In recent years, utilization of sewage sludge as a biomass resource is being promoted as a national policy. To promote the effective utilization of sludge in small and medium-sized treatment plants, low-cost sludge treatment equipment that can respond to various effective utilization applications is required. Therefore, we developed a dewatering and drying system to meet these demands, and conducted demonstration and performance evaluation in the 2016-2017 demonstration project (Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project : B-DASH project). Aiming at effective use of dried sludge, in cooperation with Kanuma City, Tochigi Prefecture and Watanabe Pipe Co., Ltd., we have developed a new sales channel that dispels the conventional image. As a result, we successfully utilized the characteristics of the dried sludge produced by the dewatering and drying system to effectively use it as a lawn fertilizer in golf courses and as a snow-melting agent, which has both snow-melting and fertilizing effects.

近年、バイオマス資源として下水汚泥の利活用促進が国家的な施策として掲げられるなか、中小規模処理場における汚泥の有効利用促進のために、低コストかつ多様な有効利用用途に対応できる汚泥処理設備が求められている。これらの要求に応えるべく脱水乾燥システムの開発を行い、2016～2017年度の国土交通省下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）にて実証、性能評価を行った。乾燥汚泥の有効利用の一環として、栃木県鹿沼市および渡辺パイプ株式会社との協力により、従来のイメージを払拭した新たな販路の開拓を行った。その結果、脱水乾燥システムにより製造された乾燥汚泥の特徴を活かし、ゴルフ場などの芝生用肥料や融雪効果と肥効を併せ持った融雪剤としての有効利用に成功した。

キーワード：脱水、乾燥、下水汚泥、有効利用、肥料化  
Keyword : Dewatering, Drying, Sewage sludge, Effective utilization, Fertilizer

## 1. はじめに

近年、バイオマス資源として下水汚泥の利活用促進が国家的な施策として掲げられ、大規模処理場を中心に下水汚泥の燃料化事業が普及しつつある。一方、中小規模処理場では依然として脱水汚泥は外部委託処分している。中小規模処理場における汚泥の有効利用の促進のために、低コストかつ多様な有効利用用途に対応できる汚泥処理設備が必要となる。

月島機械(株) (現 月島JFEアクアソリューション株式会社)、サンエコサーマル(株)、日本下水道事業団、鹿沼市、(公財)鹿沼市農業公社の5者から構成される共同研究体は、機内二液調質型遠心脱水機と円環式気流乾燥機を組み合わせ、建設・維持管理費が低減でき、乾燥汚泥含水率の調整により多様な有効利用用途に対応できる脱水乾燥システムを開発した。2016年度には国土交通省下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）として栃木県鹿沼市黒川終末処理場にて実証設備を建設し、性能評価を行い、2019年度に『脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術導入ガイドライン(案)』が発刊されている。さらに実証後も設備を継続活用し、乾燥汚泥の有効利用の一環として、鹿沼市および、渡辺パイプ株式会社と協力し、肥料や融雪剤としての有効利用にも成功している。

## 2. 技術概要

図1に示すとおり、脱水乾燥システムは機内二液調質型遠心脱水機から排出された細粒、低付着性汚泥を直接、円環式気流乾燥機へ投入することで、下水汚泥の脱水・乾燥処理を一体的に行う設備である。脱水・乾燥処理を一体化することでシステムや機器構造が簡素化されるため、コストの削減や省エネルギー化が可能となる。また、本技術では、熱風温度を調整することにより10～50%まで乾燥汚泥の含水率調整ができ、様々な用途での有効利用が可能である。

## 3. 汚泥肥料の現況

下水汚泥を乾燥した汚泥は、有機成分を多く含む肥料として活用可能ではあるが、一般的に市場に流通する有機質肥料や堆肥とは区別された「汚泥肥料」として、いわば“特別扱い”を受けている。また、「下水」や「汚泥」といった言葉のイメージもあり、農作物への施肥を避けるユーザーもいることから、一般の販路での販売は難しいのが実状である。

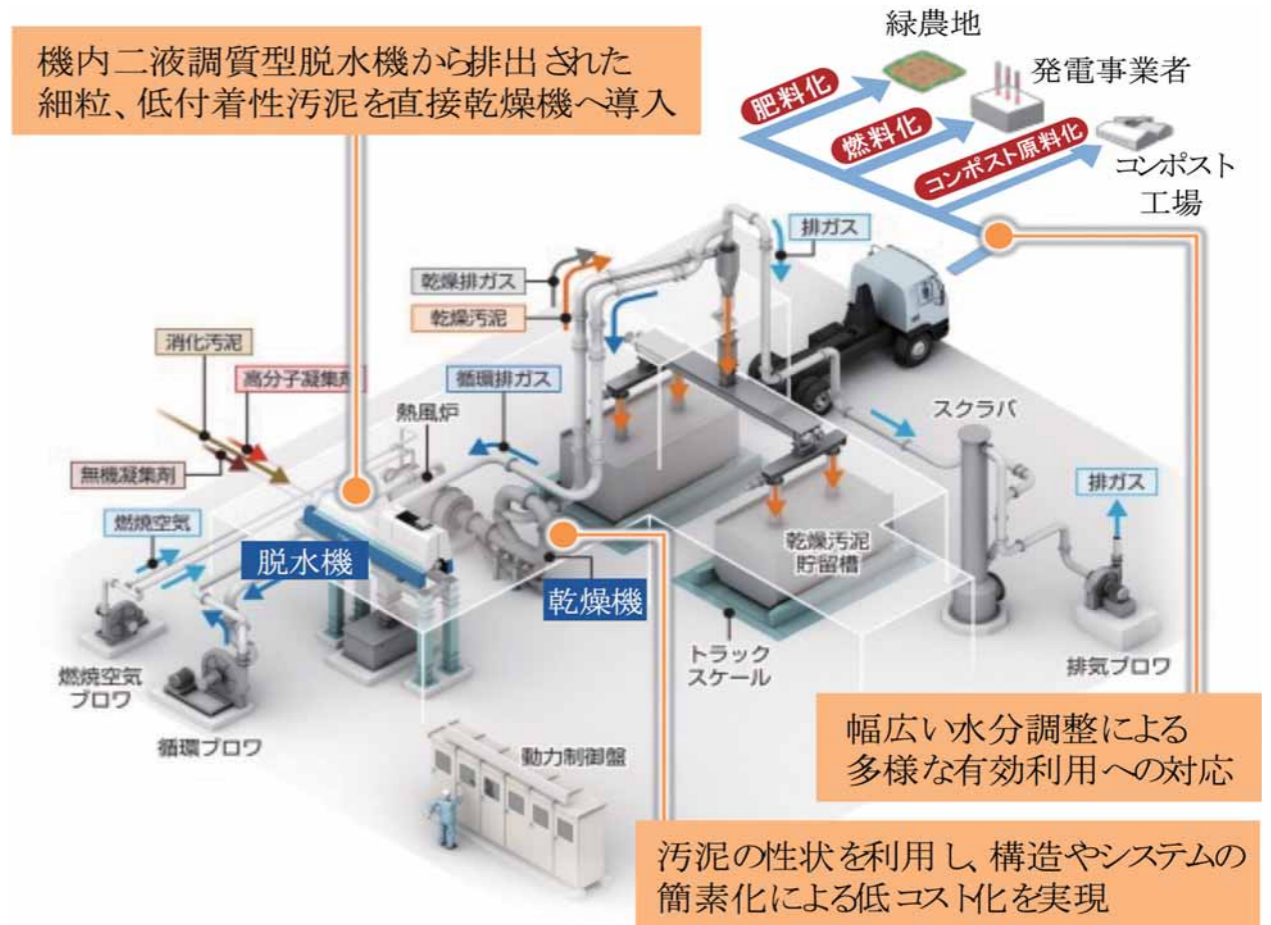


図1 脱水乾燥システム概要  
Fig.1 Overview of dewatering and drying system

## 4. 乾燥汚泥の商品化

脱水乾燥で処理された乾燥汚泥は、気流により短時間で乾燥することから焦げ臭が抑えられ、粒状になる特徴があり、肥効も期待できることを実証研究にて確認している。このような特徴を活かし、農業資材などを取り扱う大手メーカーの渡辺パイプ株式会社とタイアップし、従来のイメージを払拭した新たな販路の検討を行い、乾燥汚泥の商品化に成功している。

現在商品化に成功している2つの商品を図2に示す。1つ目はゴルフ場などの芝生の肥料として活用できる「ファインターフ」である。同商品は、ゴルフ場で使用されている散布機への対応が可能であり、さらに肥効も十分期待できる。2つ目は積雪地域で用いられる融雪剤として活用できる「呼春」である。同商品は、乾燥汚泥の物性（黒色および軽比重）を活かし、散布後も雪上に残留し、日光を浴びることで融雪効果を発揮する。また、融雪後は肥効も期待でき、従来品（塩化カルシウム）のような塩害も無い。



図2 乾燥汚泥を用いた肥料および融雪剤 (出典：渡辺パイプ株式会社 資料)  
Fig.2 Commercialization of fertilizer and snow melting agent using dried sludge

## 5. 製品化までの流れ

乾燥汚泥の製品化までの流れと留意点を示す。

### ①製造工程について

乾燥汚泥の性状としては問題ない一方、保管期間における性状変化の懸念があった。このため、含水率による保存状態への影響を検討した結果、含水率が30%以上では保存中に発酵し、製品として販売できないことから、運転調整により含水率20%以下で生産したうえで保存する必要があることが分かった。

### ②保存工程について

適切に含水率を管理しても、完全に密閉された容器で保存した場合、発酵などの問題が生じる。このため、通気性のある容器に乾燥汚泥を充填したうえで降雨の影響がない場所で保管する必要があることが分かった。

### ③パッキング工程について

下水汚泥に元から含まれるし渣分を始めとした様々な不純物や、まれに排出される機器内部に付着した塊状の汚泥などの混入はユーザー側の心象を害するだけでなく、散布機の閉塞などにも繋がることから、出荷する袋への充填前に回転式選別機にて不純物を除去する必要があることが分かった。

## 6. 肥料および融雪材としての効果について

図3に実際のゴルフ場に既存の肥料と「ファインターフ」を施肥した芝生の状況を示す。両系列ともに芝生の育成状況は良好であり、「ファインターフ」は既存肥料と同程度の肥効があるといえる。図4に実際のゴルフ場に一般的な融雪剤(A剤:粒状、B剤:液状)と「呼春」を散布した状況を示す。A剤、B剤、「呼春」ともに融雪効果は認められるが、「呼春」散布区については液状であるB剤と同等程度の融雪効果が確認され、晴れの日の条件において一般的な融雪剤と同等以上の融雪効果があるといえる。

## 7. まとめ

本稿では脱水乾燥システムを用いた下水汚泥の肥料化の実績について報告した。下水汚泥などの未利用資源の利用拡大が掲げられ、農林水産省および国土交通省において下水汚泥資源の肥料利用の拡大に向け、新たな公定規格である「菌体りん酸肥料」についての検討といった取り組みが加速している。これらの動きを含め下水汚泥の有効利用については肥料利用に限らず時勢に遅れることなく対応していく必要がある。

「ファインターフ」、「呼春」は渡辺パイプ株式会社の登録商標です。

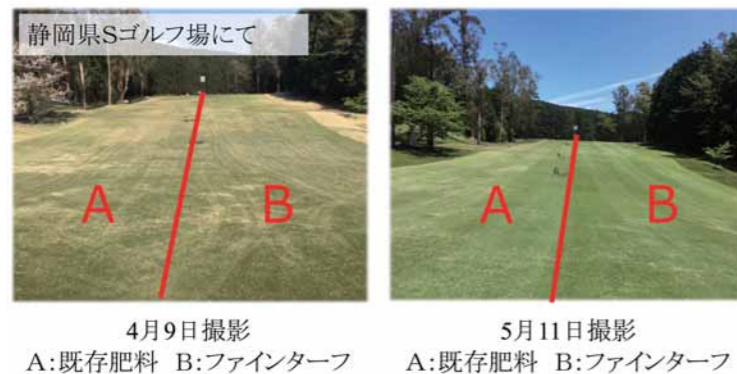


図3 ゴルフ場での施肥効果(「ファインターフ」)  
Fig.3 Fertilization effects on golf courses (FINETURF)

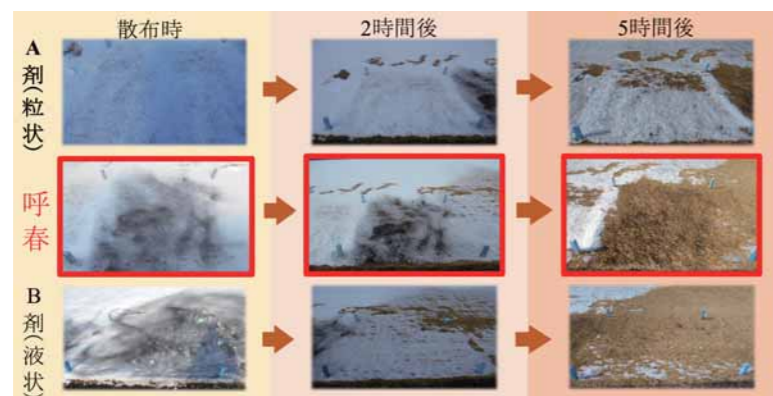


図4 ゴルフ場での融雪効果(「呼春」)  
Fig.4 Snow melting effects on golf courses (KOHARU)

# AI解析を用いたドローン活用技術による 下水汚泥焼却炉内の点検報告

Inspection report of incinerator using drone utilization technology with AI analysis



篠木 一真 SHINOGI Kazuma  
月島ジェイテクノメンテサービス株式会社  
エンジニアリング本部 プラント技術部 熟技術課

## Abstract

Labor-saving and cost reductions are the crucial requirements for inspection work in sewerage incineration facilities. This inspection of the internal furnace is generally carried out visually, which is costly.

The miniaturization of drones has rendered it possible to fly the drone in confined spaces and dusty environments, enabling exact inspections. Using the drone, we, the Tsukishima Holdings Group, aim to improve the efficiency of inspections, and thus diagnose the deterioration of the refractory materials in the incinerators. Additionally, by applying the AI method for furnace wall diagnosis, it is possible to determine whether the refractory repairs are required, and the progress of refractory deterioration can be monitored. Accordingly, criteria for judging the diagnosis can be standardized and efficient inspections method can be established. In this report, we present a case study of furnace inspection using drones.

下水汚泥処理施設の焼却設備において、点検の省力化・省コスト化が求められている。炉内点検は目視点検が主流だが、足場設置により、コストがかかっていた。

現在、ドローンの小型化が進み、狭小空間および粉塵環境化での飛行が可能となり詳細確認ができるようになった。月島ホールディングスグループとして、ドローン活用による点検の効率化や焼却炉内耐火物の劣化診断を目指している。炉壁診断にAIを活用することで、耐火物補修の可否の判断が可能となり、耐火物劣化の進行が把握できる。また、判断基準が標準化され、効率的な点検が確立できる。今回、ドローンを活用した炉内点検の事例を報告する。

キーワード：ドローン、設備点検の効率化、汚泥焼却炉  
Keyword：Drone, Efficiency of inspecting, Sludge incinerator

## 1. はじめに

近年、上下水道施設の更新に伴いPPP事業が多く採用されており、省人化かつ安定的な運営が求められている。IT技術の進化やデジタル化が広範囲で進み、ドローンを使った点検は、省力化・省コスト化が求められている現在において有用であり、その活用が期待されている。また、ドローンの小型化や防塵化が進んだことにより、狭小空間や粉塵環境下での飛行が可能となり、下水汚泥の焼却炉内部の点検にも適用できるようになった。さらに、ドローンの撮影データを蓄積することで、経年変化が把握できるため、補修の予測を見通すことができ、より効率的かつ高度な管理に期待できる。本稿は、AI解析を活用した焼却炉内におけるドローン点検の事例について報告する。

## 2. 焼却炉点検方法

従来の焼却炉内点検は、人が炉内に入り、足場を組み、ガスガンなどの付属機器や炉内耐火物の状態を確認するため、資材の搬出入を含め、時間とコストを要していた。また、ダイオキシンの曝露や酸素欠乏環境だけでなく、夏場には熱中症のリスクがあり、安全対策も必要だった。ドローン点検では、足場が不要なため、点検期間の短縮、省コスト化が可能となり、また炉内作業が少なくなるため、点検員の安全確保も容易となる。今回のドローン点検は、付属機器および耐火物の状態を確認するとともに、炉壁全周の撮影を行った。撮影データから3Dモデルを作成し、平面画像(オルソ画像)へ展開した。この画像をもとにAI解析を行い、耐火物の劣化状態の確認を行った。今回点検に使用したドローンのスペックは、以下のとおりである(表1、図1)。<sup>1)</sup>

表1 ドローンスペック  
Table1 Specifications of the drone

|       |                                 |
|-------|---------------------------------|
| サイズ   | 191mm×179mm×54mm<br>(プロペラガード含む) |
| 重量    | 185g(バッテリー含む)                   |
| 飛行時間  | 最長8分間                           |
| 無線周波数 | 2.4GHz(操縦用)/5.7GHz(映像伝送用)       |
| カメラ   | 解像度:FHD 60fps (LED照明有り)         |
| モーター  | 防塵モーター                          |
| バッテリー | 850mAh                          |



図1 ドローン外観  
Fig.1 Appearance of the drone

## 3. 焼却炉内点検結果

撮影動画よりキャプチャーした画像(図2)で、ノズルの閉塞や、クリンカーの有無、金物などの変形等の確認を行った。粉塵環境下においても、鮮明な画像であることから、従来の目視点検と同等レベルで確認することができ、炉内目視点検はドローン点検で代替可能と判断した。耐火物状態の確認は、AIによる画像解析による診断を行った。図3にAIの解析結果を示す。AIによる診断では、耐火物のクラック幅ごとに色分けし、その全長も積算した。継続的にデータを収集することで、劣化の進捗が把握でき、的確な補修計画を立案することが可能となる。一方、課題としては、AI診断によるクラック検出精度は十分ではないため、ソフト改良などの精度の向上が必要と考えられる。また、耐火物劣化には剥落や迫り出し、支持金具の露出等も判断材料とすることから、AI解析結果だけでなく、その他損傷状態を含め、補修の要



図2 炉内撮影画像(左：ウォーターガン/右：ガスガン)  
Fig.2 Inside the incinerator (Left : water gun / Right : gas gun)

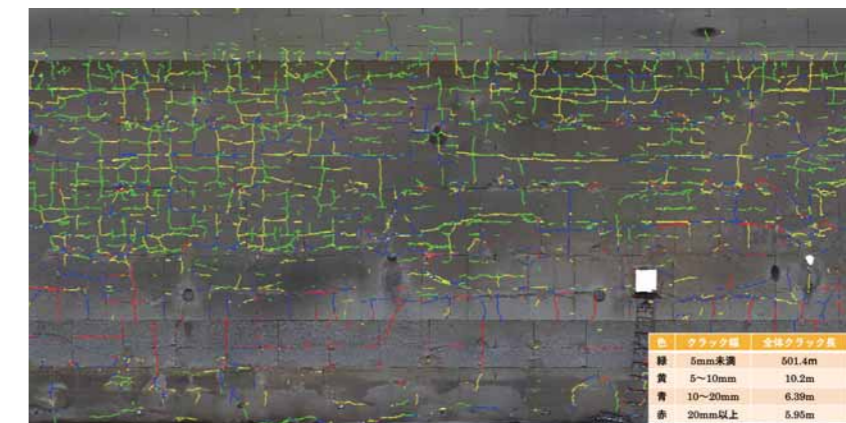


図3 オルソ画像  
Fig.3 Ortho image

否を総合的に判断する必要がある。

以上のことより、AI解析を用いた耐火物診断は、現状は簡易点検のサポートツールとしての運用が考えられる。

## 4. 今後の展開について

ドローンによる焼却炉内点検は、足場を組まず点検が可能であり、炉内での足場設置は補修が必要な場合のみとなることから、補修費の軽減や工期の短縮が可能となり、省人化・省コスト化に寄与できる。また、AIによる画像解析結果を含め、総合的に耐火物状態の診断を行うことで点検精度の向上が可能である。

今後は、解析品質の向上のため、AIへの追加学習や解析ツールのカスタマイズなどを検討していく。

## 5. おわりに

点検補修の効率化が求められているなか、ICT/AIを活用した技術は年々進化しており、インフラ点検に対するドローンやAI技術を使用した効率的な点検に期待が高まり、今後導入が加速すると予想される。今回報告したような新しいデジタル技術の活用や精度の向上を通じて、より効率的な設備保全を目指していきたい。

## 参考文献

1) 関 弘圭 (株)Liberaware : 狭・高・暗所を点検可能な小型ドローン, 検査技術, Vol.26, No.1 (2021年)

# クリーンサククション自動開袋機 (異物混入ゼロを目指した自動開袋機)

“Clean Suction” Automatic Bag Opener



瀧沢 憲治 TAKIZAWA Kenji

月島機械株式会社  
プラント設計部 FAグループ

## Abstract

Owing to the recent labor shortage, the “Clean Suction Automatic Bag Opener” developed 27 years ago in collaboration with a pharmaceutical company, with the goal of achieving ZERO contamination during the bag opening process, is gaining attention.

Furthermore, we have added the advanced function of opening various types of powders with one bag opener.

This study introduces the unique functions of this bag opener.

27年前に開袋時の異物混入ゼロを目標として製薬会社と協同で開発したクリーンサククション型自動開袋機への問い合わせが、昨今の人手不足を反映して多くなっている。異種多粉体を1台の開袋機で兼用開袋する機能を追加し、より高性能となったのでご紹介する。

キーワード：開袋機、粉袋、自動、異物混入防止、吸引式

Keyword：Bag opener, Powder bag, Automatic, Contamination prevention, Suction type

## 1. はじめに

生産現場の自動化を考える場合、粉入り紙袋のような不定形物体の取り扱いには難しい部類に属し、自動化が遅れる部分である。原材料粉体が入った紙袋を開けて中の粉体を取り出す作業は、生産量の多い大手企業の工場でも人手作業となっている場合が多い。単調な作業であり、できれば機械にやらせたいと誰もが考えるところである。

人手不足により工場の省人化が叫ばれる中、紙袋を切断して内部粉体を取り出す自動開袋機は、近年特に注目される装置である。また、製品に混入する異物ゼロへの要求は、食品分野、二次電池製造現場等で年々厳しくなるばかりで、自動開袋機の導入を考える場合、開袋時の異物混入を防ぐことができるのかが1つの大きな課題となる。

月島機械は、1996年に製薬会社と共同でクリーンサククション開袋機を完成させた。この開袋機は、紙袋開袋時の製品への異物混入をいかに防ぐかを最重要課題として計画および設計されたもので、他に類を見ない特長を多数有していた。しかし、斬新な装置ではあったが、吸引排出のため要する開袋時間が長く、構造的に複雑で高価ということもあり、その後の受注は無かった。

初号機完成から26年が経過した2022年、2号機の受注を果たすことができた。市中に存在する一般的な自動開袋機は装置内部に粉を排出するため、品種の違う粉体を開袋すると内部で粉が混じってしまい、1品種の粉体原料に1台の自動開袋機の設置が必要であった。クリーンサククション開袋機は、装置内部に粉体を排出するのではなく、吸引ノズルにより内部粉体を吸引して空気輸送で排出する方式を採用しているため、ノズルと空送配管のみを粉体の種類分用意すれば、開袋機本体は1台で多数の粉体を兼用開袋することが可能である。設置スペースの削減になるとの客先からの評価を受けたことで受注に繋がった。

開袋作業における異物混入ゼロを目標に開発したクリーンサククション開袋機に、このたび多品種の粉体を1台の開袋機で兼用する機能を追加したのでここに紹介する。

## 2. 開袋時に混入する異物について

紙袋から内部粉体を取り出す際に発生する異物としては、表1のものが考えられる。

表1 開袋時に製品へ混入の恐れがある異物  
Table1 Contamination when opening the powder bag

| 異物発生原因       | 存在場所        | 異物                   | 対処方法          |
|--------------|-------------|----------------------|---------------|
| 袋の付着物に由来するもの | 袋表面の付着物     | ①昆虫<br>②ほこり          | 開袋前の袋表面エアブロー等 |
|              | 内袋と外袋との間の異物 | ③ゴミ                  | 除去は困難         |
| 袋切断に由来するもの   | 紙袋自身        | ④引き裂き時の紙片<br>⑤切断面の紙粉 | カッター切断能力の強化   |

一般的な自動開袋機の場合でも、開袋前に紙袋表面をエアブローすることによって付着するホコリや虫類をある程度清掃することができるが、袋のシワ内に入り込んだ異物が本当に除去できているかという心配が必ず付きまとう。また、外部のエアブローだけでは、内袋と外袋に存在している異物まで除去することはできない。

開袋時においては必ず袋を切断する必要があるが、切断面から紙粉が発生し、製品へ混入する可能性がある。また、刃の切れ味が悪く袋を引き裂くような現象が起きた場合、引きちぎられた紙片も異物の原因と成り得る。(図1、2参照)

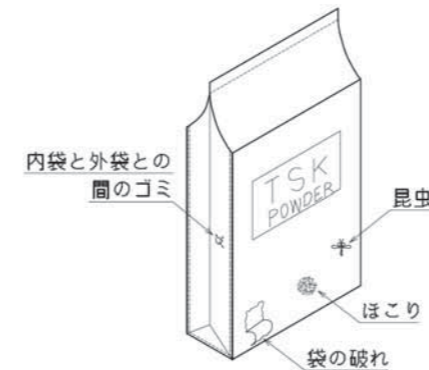


図1 付着物に由来する異物  
Fig.1 Contamination originating from bag adherents

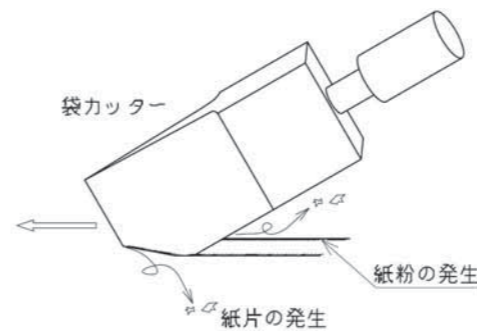


図2 袋切断に由来する異物  
Fig.2 Contamination originating from bag cutting action

## 3. クリーンサククション開袋機の構造

クリーンサククション開袋機は、上述のような異物をいかに製品粉体へ混入させないかを追求して開発された自動開袋機である。図3に全体図を示す。装置は5ブロックに分かれる。ブロックごとの機能を以下に説明する。

### 3.1 整袋部

紙袋は、真空パッドを使用したデパレタイジングロボット等を用いて開袋機の整袋部に供給される。整袋部では吸着搬送により変形した袋の形が整えられ、かつ袋が装置の中心へと位置決めされる。整袋部出口にはバーコードリーダーが設置され、粉の種類が識別される。

### 3.2 開袋部

開袋部では紙袋の切断が行われる。袋の中央部が、ロボットに取り付けられたカッターにより「コ」の字状に切断される。

カッター刃はエアブローにより清掃された後、画像処理装置により刃こぼれが無いかの検査を受ける。刃こぼれが無いことが確認された後に、紙袋は次工程に送られる。

### 3.3 吸引排出部

コンベヤにより運ばれた紙袋は、すり鉢状のテーブル上へ設置される。「コ」の字に切断された開口部へ吸引ノズルが差し込まれ、内部

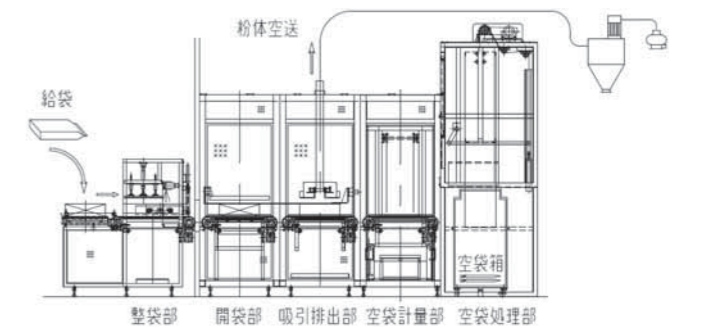


図3 クリーンサククション開袋機全体図  
Fig.3 Clean suction automatic bag opener general assembly drawing



粉がノズルから吸引排出される。すり鉢状のテーブルは外部より振動を受けるので、内部粉は吸引ノズルの方へすり鉢の傾斜に沿って集まり、吸引後の残粉は微量となる。

吸引ノズルと空送配管は粉の種類分用意され、品種替え時は自動で交換される。吸引ノズルの格納場所にはエアブロー装置があり、使用後のノズル先端は洗浄される。

### 3.4 空袋計量部

内部粉が吸引排出された空袋は、空袋計量部へ送られる。計量器で空袋の重量を計測し、内部粉が正常に排出されたことを確認する。

### 3.5 空袋処理部

空袋は空袋箱内へ落下し、上部から圧縮を受けることにより減容化される。空袋箱が満杯となると警報が発報され、オペレータに系外排出を促す。

## 4. クリーンサクシオン開袋機の特長

### 4.1 吸引排出方式の採用

一般的な開袋機の場合、紙袋切断後に袋を逆さまにして振動を与

える等で内部粉を排出する。この時に袋に付着していた異物が製品に混入する可能性が高くなる。吸引排出方式では、袋表面に開けた開口部から粉を吸い出すので、袋表面異物が混入する可能性は極めて低くなる。また、内袋と外袋との間に存在するゴミの製品への混入リスクもほぼ無くなる(図4参照)。開袋機内部に多量の粉が付着する一般的な開袋機と比べ、内部をクリーンな状態に保つことができるので、清掃が容易という特長も併せ持つ。

### 4.2 超音波カッターの採用

紙袋に入った粉を外部へ取り出す場合、袋の切断は避けられない。切断にはレーザー光を使用するような方法も考えられるが、熱により製品粉体に悪影響を与えてしまう可能性もある。そこでカッター刃の使用は必要不可欠と考え、切断時の紙粉発生を極力無くす方法として超音波カッターを採用している。

超音波カッターは、超音波レベルの周波数の微小振動を切断刃に与えることにより、切断性能を大幅に向上させた装置である。通常の刃物では表面を押し潰してしまうようなケーキの切断などにも使用されている。図5は超音波振動を与えずに紙を切断した際の写真である。図6は同じ刃に超音波振動を与えて、同じ紙を切断した写真である

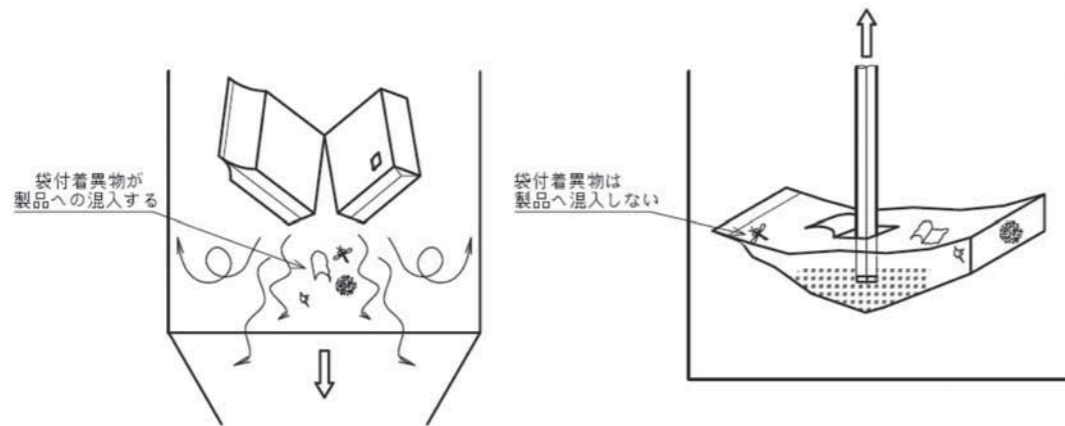


図4 粉体排出時の異物混入過程  
Fig.4 Contamination process during powder discharge



図5 超音波振動を使用しない場合の切断面  
Fig.5 Cutting surface without the use of ultrasonic vibration



図6 超音波振動を使用した場合の切断面  
Fig.6 Cutting surface with the use of ultrasonic vibration

が、こちらには紙粉が見当たらない。

しかしながら、刃物を使用する場合はどうしても刃こぼれ片の製品混入が懸念される。そこで、上述のように袋切断後に画像処理により刃こぼれが無いことを確認した後に、内部粉を吸引排出するシステムとしている。

### 4.3 最小限の切断距離

一般的な開袋機の場合、紙袋の切断距離は袋全周となる。しかし、クリーンサクシオン開袋機の場合は、吸引ノズルを差し込むだけの開口があれば良いので、1辺が150mm程度の「コ」の字状の切断距離だけでよい。紙袋切断時に発生する紙粉の発生量は、切断距離におよそ比例すると考えると、切断距離が短ければ短いほど紙粉発生量も少なくなる。例えば800mm×500mm×150mmの一般的な大きさの紙袋の場合、「コ」の字状に切断することにより切断距離は1/3以下となり、紙粉発生量も1/3以下になると考えられる(図7)。

切断距離が1/3になれば、カッター刃の寿命も3倍となり、一挙両得である。

### 4.4 異種多粉体を1台の開袋機で兼用する、吸引ノズル自動交換装置

一般的な開袋機は開袋機内部に多量の粉が付着するが、クリーンサクシオン開袋機の場合は吸引排出を採用しているため、開袋機内部がクリーンな状態に保たれる。この特長を活かすと、吸引ノズルと空送配管を複数用意することにより、異種多粉体を1台の開袋機で兼用することが可能となる。図8に吸引ノズル自動交換装置を示す。ノズルは内部粉を吸引するために上下動するが、水平方向にも移動可能なアクチュエータを取り付けた。品種交換時は水平方向にノズルを搬送し、ノズル保管場所でノズル交換することで、異種多粉体を1台の開袋機で兼用することが可能となった。

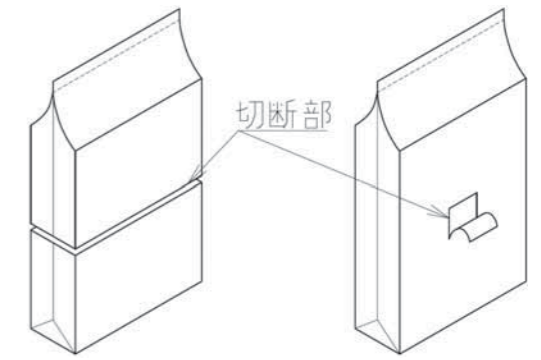


図7 袋切断距離の違い  
Fig.7 Difference in Bag Cutting Distance

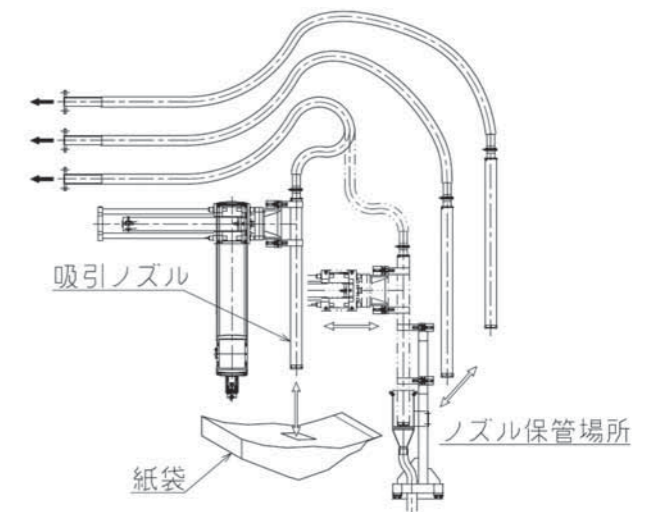


図8 吸引ノズル自動交換装置  
Fig.8 Automatic suction nozzles exchanger

## 5. まとめ

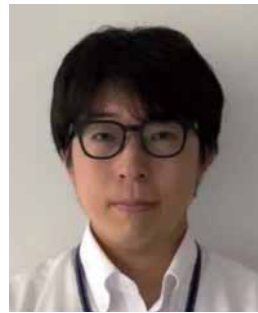
以上、クリーンサクシオン開袋機の構造と特長を紹介した。本機は製品への異物混入を特に嫌う医薬品紙袋の開袋用として開発した、他社に類をみない月島機械独自の装置である。今回吸引ノズル自動交換装置を追加したことで、異種多粉体の袋を1台の開袋機で兼用できることとなり、使用用途が広がったものと考えている。

### 参考文献

1) 瀧澤憲治: 異物混入ゼロを目指した、異種多粉体兼用自動開袋機〜ニュークリーンサクシオン開袋機〜, 化学装置, 2023年3月号

# 設計生産性を向上させるARやLiDARの活用事例

Examples of using AR and LiDAR to improve design productivity



音村 義和 OTOMURA Yoshikazu  
月島JFEアクアソリューション株式会社  
下水事業部 水・汚泥設計部 下水エンジニアグループ

## Abstract

In plant construction, there is a growing need to improve productivity in the design process to meet the challenges posed by the changing social conditions. To improve the design productivity, there is a growing movement to accelerate the use of 3D data.

Examples of 3D data include the 3D models and point cloud data. 3D models are the information that expresses the shape of a target structure in three dimensions, and point cloud data is a set of point data with three-dimensional coordinates obtained through 3D surveying.

In this presentation, we will introduce examples of our efforts to improve the design productivity by utilizing 3D data, including the use of digital tools, such as AR, in order-drawing-based site checks and LiDAR scanners.

プラント建設では社会情勢の変化に伴う課題に対応するため、設計プロセスにおいて生産性の向上が求められている。そして、設計生産性の向上を図るため、3Dデータの活用を加速化を進める動きが活発化している。

3Dデータの例としては、3Dモデルや、点群データが挙げられる。3Dモデルとは、対象とする構造物等の形状を3Dで立体的に表現した情報を指すもので、点群データとは、3D測量によって得られた3D座標を持った点データの集合である。

今回は3Dデータを活用した設計生産性を向上させる当社の取り組みとして、ARを用いた発注図ベースでの現場確認、LiDARスキャナといったデジタルツールの活用事例を紹介する。

キーワード：ICT、3Dデータ、AR、LiDAR  
Keyword：Information and Communication Technology, Augmented Reality, Light Detection And Ranging

## 1. はじめに

プラント建設は都度設計での現場工事であり、設計の不具合がそのまま現場での手直しとなるが、昨今、熟練技術者の減少、および少子高齢化に伴う将来の人手不足という課題を抱えており、設計品質の低下が懸念されている。当社では、設計品質の向上のため、3Dデータの活用促進、点群データの活用による空間設計精度向上に取り組んできた。今回は、Augmented Reality(以下ARという)、LiDARスキャナの活用事例について紹介する。

## 2. 活用事例

### 2.1 AR技術活用の概要

ARとは、建設現場の映像に2D、3Dの設計図を映し出すことができる技術である。ARを用いて映し出された設計図は実寸大であり、建設現場で確認することでパソコンのディスプレイで見るとより具体的に干渉の有無や施工性、操作性といった完成イメージを捉えることができる。ただし、現時点ではハードウェアやソフトウェアの性能上、映し出せる映像に制限がある。

専用ゴーグルを装着して使用すると、設計段階でも現場検証を行うことができる。ゴーグルを通して見えるAR映像は別端末でも共有することが可能であり、複数人で同時に現場検証を行うこともできる。また、専用ゴーグルを使用せずタブレット端末のみでARによる現場検証を行うこともできる。タブレット端末でのARは、ゴーグルでのARと異なりディスプレイの表示範囲に映像が限定されるが、タブレットだけで完結するため利便性が高い。

### 2.2 ARを用いた現場確認

ARを用いた活用方法として、受注後ただちに発注図でARによる現場確認を行うことで早期に発注内容の不具合を確認できるということがある。

図1は、既設消火栓ケースの扉の開閉の軌跡と今回新設するポンプとの干渉の有無を検証し、発注図の配置の妥当性を検証した事例を示す。左側に映っているのはタブレット画面で、ARゴーグルを装着した人の視界が映し出されている。ゴーグルには新設ポンプの3Dモデルが映し出されており、実物の消火栓ケースの扉を開閉することで干渉の有無を確認している。



図1 発注図ベースでの既設消火栓と新設ポンプの配置干渉確認  
Fig.1 Interference check on construction area using AR

### 2.3 LiDARスキャナの概要

当社では、据え置き型レーザースキャナを用いて建設場所の点群データ化を行っている。点群データは同時に撮影された写真データと統合され、距離が計測できる写真データとしての共有や、新規設備を設計している3Dデータと既存設備の形状、寸法データを統合し視覚的に干渉の有無や動線を確認することに使われている。

LiDARスキャナもレーザースキャナと基本的な原理は同じであり、主に自動運転センサーとして用いられているものである。

スマートフォン、タブレット端末の一部機種に搭載されたLiDARスキャナで取得した点群データを図2に、据え置き型レーザースキャナで取得



図2 LiDARスキャナで取得した点群データ  
Fig.2 Point cloud data acquired by LiDAR scanner

したものを図3に示す。据え置き型レーザースキャナは固定して使用するため点群の取得精度が高く、個人差が生じにくい。また、取得した点群データは、計測距離は十数m程度対応可能で、点群間距離も数mmであり密度が高いのが特徴である。一方、LiDARスキャナはタブレット端末などを人手で操作するため個人差が生じやすい。計測距離は5m程度と短く、点群間距離が数cmであるため点群データの密度は低いが実用上では問題がない。また、LiDARスキャナは固定治具がなく設置作業も不要で即座にスキャンができる手軽さから3Dデータの活用を促進するデジタルツールになりつつある。

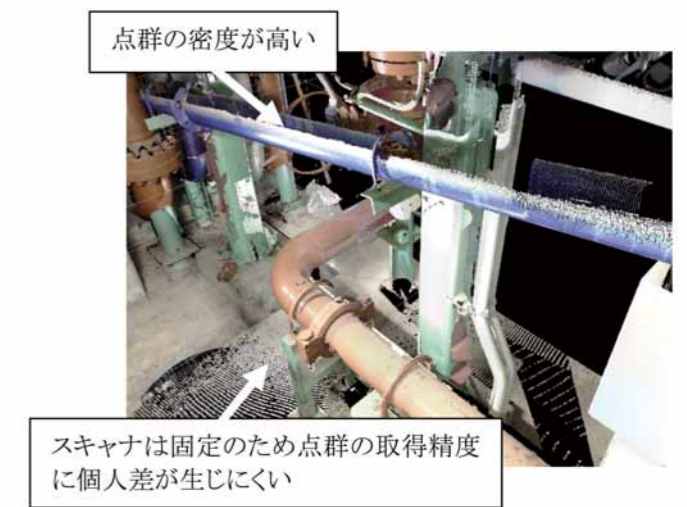


図3 当社保有据え置き型レーザースキャナで取得した点群データ  
Fig.3 Point cloud data acquired by our ground-based laser scanner

#### 2.4 LiDARスキャナを用いた機器配置、配管ルート検討

LiDARスキャナには、据え置き型レーザースキャナに比べ、計測が容易、作業効率が高いという利点がある。そのため、建設場所が複数かつ、複雑な配管接続場所が複数ある案件での早期設計検討用、または変更が生じた、点群を取りこぼした等でピンポイントのエリアにて再度点群を取得したいときに有効である。LiDARスキャナで取得した点群を設計で活用した事例を図4に示す。既設設備の位置情報と今回更新配管を設計している3Dデータを重ねることで干渉等の問題がないか、配管ルートが妥当かどうか確認した。

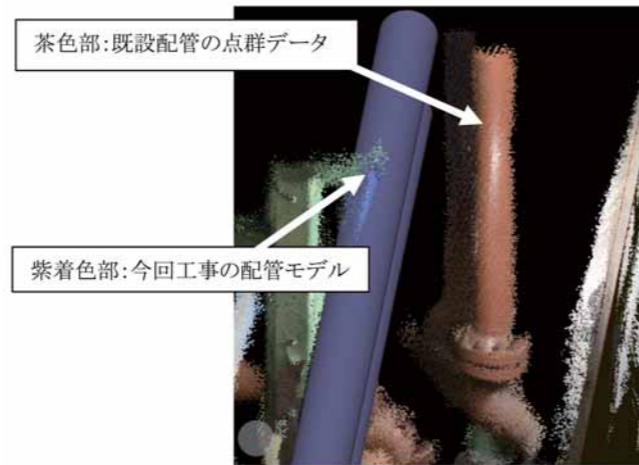
さらに、スマートフォンおよび、タブレットというハードウェアに起因した利点もある。当社保有の据え置き型レーザースキャナは三脚を使用して点群を取得する。そのため、三脚の据付が安定する場所、脚部を開くスペースのある場所など、使用できる箇所が制限されてしまう。一方、スマートフォンおよび、タブレットのLiDARスキャナは、人の手で固定しての使用が可能のため上述した状況においても点群を取得することが可能である。

### 3. おわりに

既設更新、増設におけるプラント設計では設計者による現場確認が必須である。また、経験の浅い若手技術者の教育とともに新しいツールを利用した視覚的で分かりやすい設計手法の開発も重要である。ARを用いた現場確認では、早期の段階で設計上の問題を確認することができ、設計手戻りによるコスト、時間損失の低減につなげることができる。

また、LiDARスキャナと据え置き型レーザースキャナは、各々の利点を活かして用途を使い分けることで点群取得の作業効率の改善、取得範囲の拡大が期待できる。

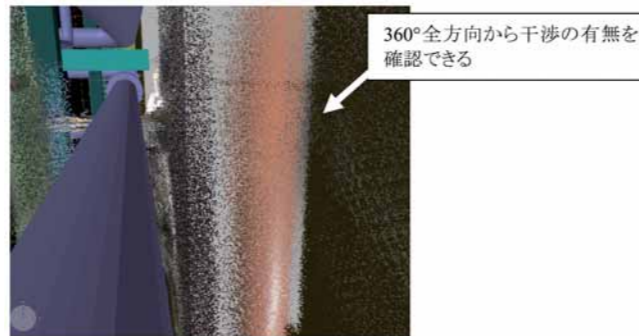
建設現場でのデジタルデータとデジタル技術を活用し生産性を向上させることは国土交通省も推進しており、<sup>1)</sup> 今後も様々なツールを駆使し、設計品質の向上に努めていく。



茶色部:既設配管の点群データ

紫着色部:今回工事の配管モデル

図4 LiDARスキャナで取得した点群データを用いた配管ルート検討 視点その1  
Fig.4 Examining pipeline routes using point cloud data obtained by LiDAR scanner, perspective 1



360°全方向から干渉の有無を確認できる

図5 LiDARスキャナで取得した点群データを用いた配管ルート検討 視点その2  
Fig.5 Examining pipeline routes using point cloud data obtained by LiDAR scanner, perspective 2

#### 参考文献

1) 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター, 令和3~7年度, 令和2年3月25日200807\_04jizen.pdf(p.2)

# ホモミクサー MARK II 製品紹介

## HOMOGENIZING MIXER MARK II



中村 健二 NAKAMURA Kenji  
プライミクス株式会社  
技術本部 機器設計部 機器設計課

### Abstract

HOMOGENIZING MIXER MARK II is a successor model of the T.K. HOMOGENIZING MIXER, Japan's first high-speed rotary shearing mixer, which has been manufactured and sold since 1949. The T.K. HOMOGENIZING MIXER was developed with the advent of emulsion paste for textile printing in the dyeing industry, and is a representative batch-type emulsifying and dispersing machine that has been subsequently used to manufacture emulsified products and suspension chemicals in various industries, such as cosmetics, pharmaceuticals, food, and chemicals. It has become an effective agitator.

HOMOGENIZING MIXER MARK II, combined with the models equipped with low-speed blades, has become Primix's main product that is delivered to major industries, including cosmetics, pharmaceuticals, food, and chemicals.

ホモミクサー MARK IIは、1949年から製造販売を開始した日本初の高速回転剪断型攪拌機T.K.ホモミクサーをモデルチェンジしたものである。T.K.ホモミクサーは染色業界における捺染用エマルジョン糊の出現とともに開発され、その後化粧品・医薬品・食品・化学品などあらゆる産業界の乳化製品や懸濁化成品の製造に使用されるバッチ式乳化分散機の代表的な攪拌機となった。

ホモミクサー MARK IIは今では低速翼と組み合わせた機種も合わせて、化粧品・医薬品・食品・化学品などあらゆる産業界に納入するプライミクスの主力製品となっている

キーワード：高速回転剪断型攪拌機、乳化、微粒化、高粘度、キャビテーション  
Keyword：High-speed rotary shearing mixer, Emulsification, Atomization, High viscosity, Cavitation

## 1. はじめに

ホモミクサー MARK II (図1) は約40年におよぶ販売実績がある高速回転剪断型攪拌機T.K.ホモミクサー (図2) をモデルチェンジしたものである。T.K.ホモミクサーは戦後米国から入ってきた油性顔料をうまく混ぜることができなかったため、当社が相談を受け開発した日本初の高速剪断型攪拌機である。開発当初は油性顔料が使われた捺染用エマルジョン糊製造用として販売していた。その後、用途開発を行い化学品、化粧品、食品、医薬などあらゆる産業界の乳化製品や懸濁化製品の製造に使用されるようになった。この過程の新たなユーザーニーズに対し、T.K.ホモミクサーは課題を抱えることとなる。この課題を解決すべく開発されたのがホモミクサー MARK IIである。本稿ではホモミクサー MARK IIを紹介する。



図1 ホモミクサー MARK II 630型 外観  
Fig.1 External appearance of HOMOGENIZING MIXER MARK II MODEL630

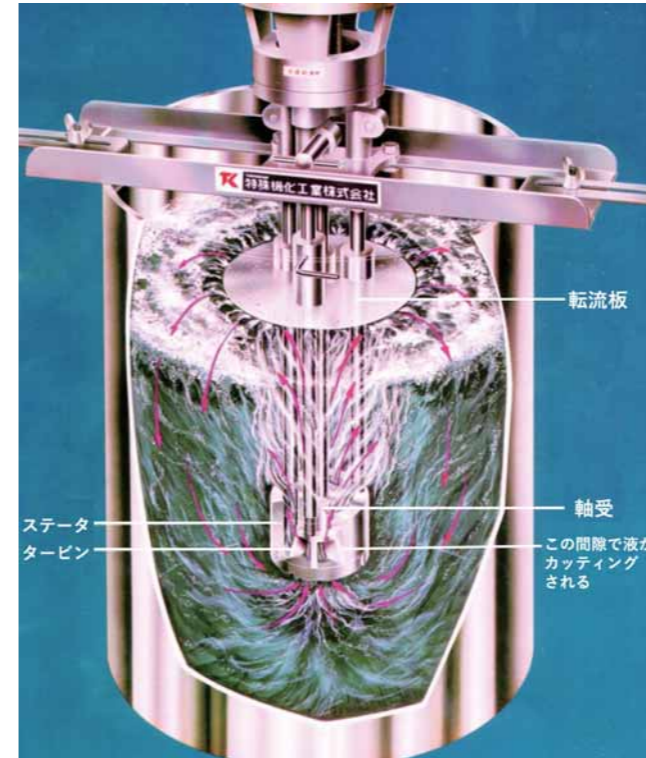


図2 T.K.ホモミクサー 構造と液の流れ  
Fig.2 Structure and Flow diagram of T.K.HOMOGENIZING MIXER



図3 T.K.ホモミクサー普通型(低粘度用) 攪拌部  
Fig.3 Mixing section of T.K.HOMOGENIZING MIXER

## 2. T.K.ホモミクサーについて

T.K.ホモミクサーの攪拌部は、高速で回転する羽根(タービン)と静止している吐出口の有る固定部(ステータ)で構成される(図2、3)。タービンの高速回転による吐出力と、タービン・ステータ間の隙間(0.5mm)による剪断力により、マクロな循環作用とミクロな微粒化作用で均一微粒子の乳化・分散処理を行うことができる。このタービン・ステータ構造の高速剪断型攪拌機は、油性顔料用として開発し染色業界にまず認められた。その後、スケールアップ要素の体系付けを、東京工業大学化学工学研究室と共同研究として行った。そして、さまざまな用途開発により化学製品の合成ゴム、磁気テープ、ポリカーボネート、化粧品の乳液、口紅、クリーム、リンス、食品のマヨネーズ、豆腐、ドレッシング、ソース、医薬の注射液、点眼薬、造影剤など多くの用途で使用されることとなった。あらゆる産業のさまざまな用途に使用されることにより、新たなユーザーニーズによる課題が発生した。T.K.ホモミクサーに対する課題は、①粘度により異なる攪拌部形状が必要、②洗浄性の向上、③メンテナンス性の向上となる。そして納入実績の増加にしたがい、T.K.ホモミクサーの寡占市場は、他社の模造品が台頭してきたこと、スケールアップに際しタービン・ステータが厳密な幾何学的相似を適用できていないことが課題④としてあげられた。

課題① T.K.ホモミクサーの攪拌部は普通型(低粘度用)と高粘度型がある。普通型(低粘度用)は数千mPa・s(いちごジャムやケチャップ程度)までの液体攪拌に特化した直線の羽根形状の遠心力吸引型である。数千mPa・sを超える粘度では吐出能力が極端に低下し適用不可となる。数千mPa・sを超える処理物では、乳化・分散力は低くなるが高粘度でも吐出能力が落ちにくい容積式のスクリー型羽根の高粘度型を使用することとなる。そのため処理物によってはもう1台攪拌機を用意する必要があった。課題② 洗浄性の向上について、T.K.ホモミクサーにより攪拌時間短縮や処理物の仕上がりは良くなったが、多品種少量生産による品種替えが多くなった。これによる生産効率改善のため、洗浄時間短縮に取り組むお客様が増えた。課題③ メンテナンス性の向上については、タービン・ステータの隙間0.5mmに起因する。この狭い隙間ゆえに必要な、液中で摺動するタービン軸と軸受けが消耗品となる。また、生産コスト削減の取り組みやお客様の人員削減から機械を整備する人員が減り、メンテナンス性に対する要望が上がっている。当時の状況から、故 古市修二会長(特殊化学工業(現プライミクス)創設者)の「ホモミクサーはちっとも変わらんとらん」という言葉を思い起こすまでもなくモデルチェンジに取り組んだ。

### 3. ホモミキサー MARK IIの特徴

T.K.ホモミキサーをモデルチェンジするにあたり、初めに課題①に対し、高粘度の処理が可能で低粘度液での微粒化効果に優れるタービン・ステータについて開発を行った。タービン開発においてキャビテーションの気泡崩壊時のエネルギーが、攪拌に影響を与えることに着目した。高速ビデオカメラにより発生状況を確認し、領域が広がる羽根の形状試作を行った。キャビテーション発生領域(図4)は、羽根が立つほど広がる傾向にあり、羽根が立つと高粘度液の吐出が低下し、マクロなミキシング力が落ちてしまう。次の要素を性能評価指数として、タービンの形状を決定した。(1)微粒化速度、(2)粘性マクロミキシング力、(3)キャビテーション発生領域、(4)逆転吐出力、(5)攪拌ヘッド形状係数など。これらの項目について、従来型の普通型(低粘度用)と高粘度型のタービン・ステータとの比較評価を行った。すべてにおいてT.K.ホモミキサーを上回るタービン・ステータを目指し試作を繰り返した。最終的に羽根の回転方向はリードを切った高粘度液の吐出に有利な形状とし、羽根の回転方向の裏面はストレートを通り越して凹型の曲面羽

根とした。これらの改良により、キャビテーション領域も広く高粘度液も吐出できるタービン(図5)となった。このタービンはロストワックス製法で裏面を独特な曲面形状とした。容易に模造品を製作されにくくなり、且つ、幾何学的相似のシリーズ化を行うことで課題④の対策となった。

次に課題②洗浄性の向上について、接液部はネジ、ボルト、ナットを無くすことにより洗浄性が増し、分解組み立てが容易になった。また、逆転可能にすることで羽根の裏面や容器底に液流が発生し、洗浄性が良くなっている。逆転によってフローパターンが変わるため、粉体投入時の巻き込み(図6)が促進される。粉体溶解力が向上し、容器底部の固形物の巻き上げも可能となった。課題③メンテナンス性の向上については、前述の通り分解組み立てが容易となっている。特にタービン・ステータの固定をねじ込みから止め輪とした。お客様でもタービン取外し時に焼き付くことなく、ステータも取り外すことが可能なので消耗品のタービン軸受の交換が容易になっている。生産機についてはタービン軸をタービンと分割することで、消耗品としてタービン軸のみ交換する構造とした。そして、メンテナンス期間を延ばすため、ベアリングを2段にしてタービン軸とタービン軸受の負荷を減少させた。これらの課

題対策に加え、コストダウン、部品の共通化を進め、製品の各基準書、手順書についてまとめあげた。コストダウンは各部品の機能分析を行い個数、形状を決定した。一例として、ステータロッドは本数を生産機は4→3本、卓上機は3→2本に減らした(図7)。副次的な効果として、液の流動性向上効果が得られた。

このホモミキサー MARK IIは単体でご使用いただいているお客様も多いが、高粘度液や大型容器になると攪拌効率が悪くなるため、低速攪拌機と組み合わせた複合機(図8~10)により攪拌可能な処理液条件の範囲を広げている。

### 4. まとめ

日本初の高速回転剪断型攪拌機としてT.K.ホモミキサーが世に出て、あらゆる産業界で使われるようになり、都度遭遇した課題を解決すべく開発したホモミキサー MARK II。標準機を販売するだけでなく、その業界に合わせた特別仕様対応を行うことで、無くてはならな

い攪拌機としてお客様から認知される存在となっている。ホモミキサー MARK IIのタービンはロストワックス製法のため大型は標準処理量5000Lの5000型を最大としている。今後、生産量増大に伴う大型化の要望が増加傾向にあり、さらなる大型化が必要になる。また、液中で摺動するタービン軸とタービン軸受についても異物混入条件が厳しくなっている。より厳格なコンタミ防止機構や、処理物による焼き付き防止について、構造や材質への改良要望がある。また、処理物の仕上がりが粒径にはより細かくしたい要望がある。回転数を上げてタービン周速を上げて対応する場合もあるが、キャビテーションによる損傷が発生することもある。これらの要望に対してもプライミクスは、日夜研鑽に努め研究開発を進めている。現在の実績を横展開するだけでなく捺染糊、合成ゴム、磁気テープ、CD用ポリカーボネート、医薬化粧クリーム、ドレッシング、注射液、造影剤など時代に合わせた先端製品の用途開発を行っている。各業界の技術革新に貢献するプライミクスの主力製品ホモミキサー MARK IIである。



図4 キャビテーション発生領域(α)  
Fig.4 Cavitation area (α)



図5 ホモミキサー MARK II 攪拌部  
Fig.5 Mixing section of HOMOGENIZING MIXER MARK II



図6 逆転運転時の液の動き  
Fig.6 Liquid flow of reverse operation

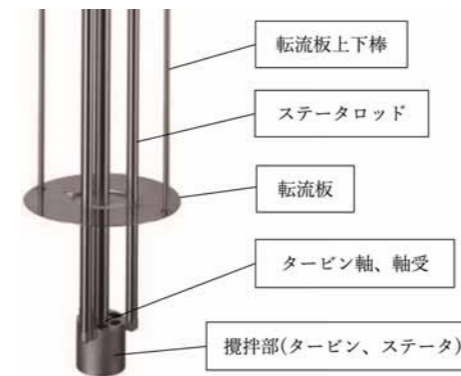


図7 ホモミキサー MARK II 構造  
Fig.7 Structure of HOMOGENIZING MIXER MARK II



図8 アチホミキサー®攪拌部  
Fig.8 Mixing section of AGI HOMO MIXER



図9 コンビミックス®攪拌部  
Fig.9 Mixing section of COMBI MIX



図10 ハイビスディスパーミックス攪拌部  
Fig.10 Mixing section of HAVIS DISPER MIX

# ドラム缶反転投入装置

Drum can inversion loading device



新田 博文 NITTA Hirofumi  
月島機械株式会社  
プラント設計部 FAグループ

## Abstract

The drum can inversion loading device is a system designed for safely handling powders that pose health hazard risks. It automatically inverts and pours the contents of a 200-L drum can into hoppers or similar containers in a sealed condition. The device is fully enclosed, preventing the release of dust and spillage of powder, thus safeguarding the health of workers. Owing to the proper curvature of the flexible hose and optimization of powder flow, it enables a safe and smooth inversion loading. Durable hoses are used to withstand the wear. The design ensures that the powder does not mix with the atmosphere during pneumatic conveyance, and it is also compatible with the drum cans with inner bags and measuring devices. The device is customizable, allowing for design and fabrication according to specific drum can dimensions and specifications. As a result, it enhances the safety and efficiency of powder handling in the industrial sector.

ドラム缶反転投入装置は、健康被害リスクのある粉体を安全に扱うための装置で、200Lドラム缶の粉体を密閉状態でホッパー等へ自動で反転投入する装置である。本装置は完全に密閉され、発塵や粉こぼれを防ぎ、作業者の健康を保護する。フレキシブルホースの適切な曲率と粉の流れの最適化により、安全かつスムーズな反転投入が可能で、ホースの耐久性も高いものを採用している。空送時に粉体が周囲の環境と接触しない設計で、内袋付きのドラム缶や計量装置との組み合わせも可能である。装置はカスタマイズ可能で、特定のドラム缶寸法や仕様に応じて設計・製作を行っている。この結果、工業分野での粉体取り扱いの安全性と効率が向上した。

キーワード：健康被害防止、発塵防止、作業者の安全性、密閉性、二次電池、電子部品材料

Keyword：Prevention of health hazards, Dust prevention, Worker safety, Air-tightness, Rechargeable battery, Electronic component materials

## 1. 背景

近年、工業生産における効率向上が急募されている一方、作業者の安全性確保も同時に重要視されている。中でも、粉体の取り扱いは、健康被害のリスクが伴うため、その安全性が特に求められている。従来のドラム缶反転投入機は、粉塵の発生という問題を抱えていた。これを解決すべく、「ドラム缶反転投入装置」が開発された。

本稿では、ドラム缶反転投入装置の特長、機能、そして実績について詳細に検証し、その有効性と可能性を考察する。

## 2. ドラム缶反転投入装置について

ドラム缶反転投入装置の動作と特長について、以下に概説する。

### 2.1 動作

ドラム缶反転投入装置の動作は以下のとおりである。

- (1)ドラム缶はフォークリフトなどの搬送装置でドラム缶搬送コンベア上に載せる。
- (2)人手にて蓋クランプを外す。
- (3)蓋脱着装置でドラム缶の蓋を取り外す。
- (4)ドラム缶搬送コンベアでドラム缶クランプの位置へ移載させる。
- (5)ドラム缶にフレキホース付きシュートを接続させ、クランプする。
- (6)モータにて昇降回転軸を中心にドラム缶を回転させつつ、上昇させてドラム缶を完全に反転させる。
- (7)受けホッパーにドラム缶内容物を全量排出させる。
- (8)全量排出後はドラム缶を回転させつつ下降させる。
- (9)クランプ開放後、シュートを切離し、蓋脱着装置に移載させ蓋を取り付け、次工程へ搬送させる。

### 2.2 密閉性と安全性

装置は完全に密閉され、発塵が極めて少ない。フレキシブルホース

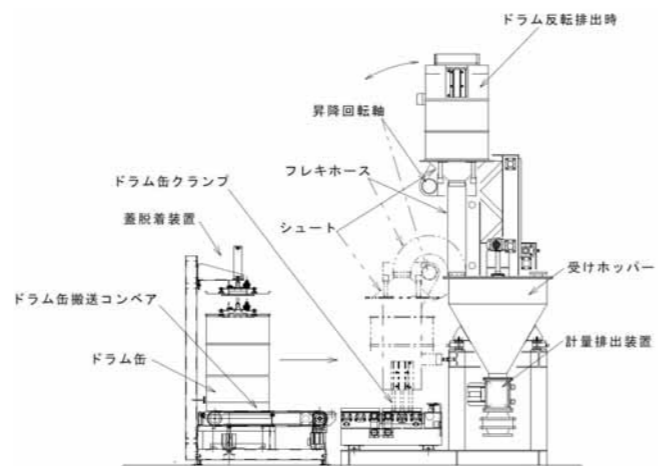


図1 ドラム缶反転投入装置説明図  
Fig.1 Illustration of drum reversing and feeding device.

の曲率半径や粉の流れが最適化されているため、安全に作業が行える。

### 2.3 多機能性

反転投入時に粉体が大きと混合せず、さらに内袋がある場合でも使用が可能である。また計量装置と組み合わせることで、計量排出も可能である。

### 2.4 カスタマイズ

顧客の要望に応じて、ドラム缶の寸法や仕様に合わせた設計製作が可能である。

## 3. 具体的な改善項目

ドラム缶反転投入装置は、様々な改良を経て、現在の仕様に進化してきた。以下に具体的に改善した項目について述べる。

### 3.1 投入シュートの改良

従来のドラム缶反転投入機では粉塵が多く発生していたが、投入シュートをドラム缶開口部に密着させることで、粉体の排出がスムーズに行われるよう改良した。

### 3.2 大口径化と排出性の向上

来年度納入予定のB社向けの装置では、フレキホースをφ150からφ300へと大口径化することで、適用粉体の幅を大幅に向上させている。

### 3.3 バイブレータの追加と静電気防止

投入シュートにはバイブレータが追加され、粉体の排出を促進する機能を追加した。またフレキホースは樹脂製であり静電気が容易に発生するため、ホースには静電気防止機能付きタイプを採用し、安全性を向上した。

### 3.4 スムーズな粉体排出と防爆対応

ドラム缶の昇降や反転時に動作するモータをインバータ駆動とし、昇降・反転速度を変化させる事により、スムーズな粉体排出を可能とした。また粉塵爆発を考慮し、すべてのモータを防爆対応としている。

## 4. 実績と事例紹介

以下にこれまでの納入実績と事例を紹介する。

### 4.1 A社向け装置(2012年納入)

二次電池を構成する物質の取り扱いに使用。投入能力は3缶/20分(500kgDS/H)で、効率的かつ安全に作業を行っている。

### 4.2 B社向け装置(2024年10月納入予定)

電子部品材料の取り扱いに使用予定。投入能力は8缶/30分/2基(max. 3,200kgDS/H)とし、A社向けから大口径化するなどの改良を行っている。



図2 ドラム反転投入機実機写真(A社向け)  
Fig.2 Photo of actual drum reversing and feeding device (For company A)

## 5. まとめ

ドラム缶反転投入装置は、工業分野での粉体取り扱いにおいて、作業者の安全性と生産効率の向上を実現する画期的な装置である。特長をまとめると以下のとおりとなる。

- (1) 粉塵の飛散を防止することで、作業者の健康を確保するとともに、粉塵爆発を防止することで安全性も担保できる。
- (2) バイブレータ設置や大口径化により、様々な粉体に対応できる装置となった。
- (3) お客様の要望に応じたカスタマイズが可能で、かつ装置の持つ多機能性により、生産効率の向上にも寄与できる。

これまでの実績を通じてその有効性が確認されてきたが、機能向上や新たな用途の開拓により今後のさらなる進化が期待される。

## 6. 最後に

本ドラム反転装置にはまだまだ改良の余地があると考えている。今後も技術の進歩とともに、より優れた製品を提供していく所存である。

# 流動層解析編

月島ホールディングス株式会社  
R&Dセンター 解析グループ  
本間 秀雄

## 1. はじめに

「近代技術としての流動層は、硫化鉱焙焼炉(1879)や、ウインクラー式ガス化炉(1922)に始まります」、「これらに代わり流動層技術の自立と普及を可能にしたのは、石油産業の展開の中から生まれた流動接触分解(FCC)技術でした」<sup>1)</sup>その後、気泡挙動などの研究の進展により、ごみの焼却や熱分解などの環境分野、ガス化などのエネルギー分野、造粒などの材料製造分野へ応用されていった。近年では、バイオマスや水素製造などの再生可能エネルギー・脱炭素化といった分野でも流動層技術は広く活用されている。

固体粒子を液体のように扱う流動層技術の模式図を図1に示す。多孔板で区切られた装置の上部に固体粒子を充填し、下部から流動用流体を流す場合、徐々に流量を増加していくと、ある量までは

固体粒子は静止状態のまま、流体は固体粒子の間をすり抜けていく(図1-A)。さらに流量を増加させると、固体粒子は沸騰する液体のような流動化状態に入る(図1-B)。この状態からさらに流量を増加させると固体粒子は輸送状態となり装置外に排出される(図1-C)。固体粒子には砂などの、さまざまな物質を使用し、流動用流体には、ガス・液体のいずれも使用可能である。

流動化状態の固体粒子の激しい動きは、①投入された物質を細かく砕く、②投入物質—固体粒子—流動用流体の間で熱や水分の移動を速める、③流動層内の温度を均一にする、といった優れた作用を有する。そのため流動層は幅広い分野で応用されている。<sup>2)</sup>

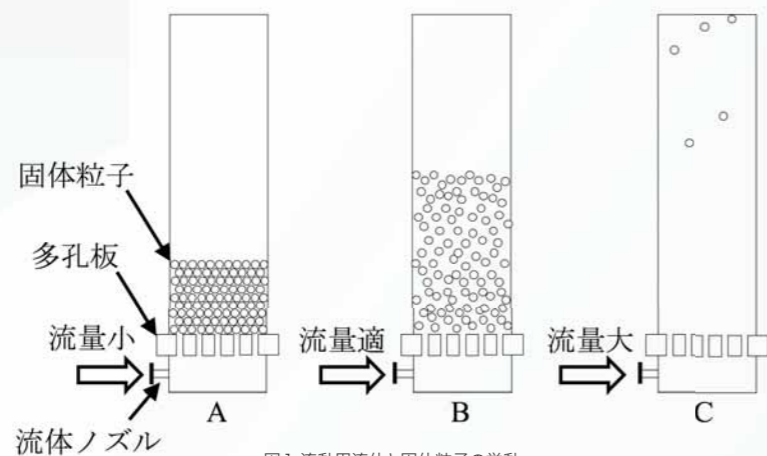


図1 流動用流体と固体粒子の挙動  
Fig.1 Behavior of flowing fluids and solid particles

## 2. 流動層解析技術

高温下や加圧下で運転される流動層は内部の目視確認や直接的な測定が困難なことが多い。そのためコールドモデルや圧力、光、音波、X線、電気容量、電気抵抗などの間接的な測定による固体運動の推測が行われてきた。近年コンピュータの性能向上に伴い、数値シミュレーションによる流動層解析が実装置サイズの計算でも現実的な期間で実施可能となってきている。

### 2.1 流動層解析の手法

流動層解析の代表的な手法を次に示す。いずれも粒子同士の衝

突や摩擦、堆積が考慮される。

**二流体モデル(格子法)**: 固体粒子群を巨視的に見て連続体として取り扱い、流動用流体との二流体として格子法で計算する手法。ある領域が固体粒子と流動用流体のどちらで占められているか、それぞれの比率(体積分率)で表現される。

**【利点】**粒子数の制限を受けないため、比較的大きな装置も解析が可能。

**【欠点】**個々の固体粒子の挙動は追うことはできない。

**離散要素法**: 固体粒子の運動を追跡し流動用流体と相互に力を及ぼし合うとして計算する手法。

**【利点】**挙動を高精度に再現できる。固体粒子の付着力、反応、伝熱を考慮しやすい。

**【欠点】**衝突過程を計算するため、粒子数が多いほど計算時間がかかる。計算負荷の関係で扱える粒子数に制限がある。

**直接法**: 粒子よりも小さい分解能により個々の固体粒子表面を境界として再現し、境界内部は固体粒子の内部、境界外部に流動用流体が存在するとして、境界上で相互作用を直接計算する手法。

**【利点】**現象のモデル化(簡略化)が少ない。得られる情報の精度が最も高い。

**【欠点】**微小な固体粒子の表面を形状として再現する必要があるため、粒子数が多いほど計算時間がかかる。計算機負荷が最も大きい。

これらの手法のうち、本稿では格子法における二流体モデルについて述べる。

### 2.2 流動層解析の変数

二流体モデルに特有な流動層解析の変数は、図2に示すようなものがある。

## 3. 解析グループの流動層解析への取り組み

当社グループにおける流動層を応用した製品として焼却炉、熱分解炉、乾燥機、晶出機がある。流動層焼却炉の開発において、排ガス中の温暖化ガス削減を目的とした内部状態を把握するニーズが高まっている。解析グループでは、コンピュータ上で汎用ソフトウェアによる流動層解析を実施することで、実験では得にくい内部状態の把握、および定量的な評価に取り組んでいる。

### 3.1 流動層解析検討事例

二流体モデルを使用した流動層解析により、実験装置における砂層の持ち上がり高さの再現を行った事例を紹介する。解析モデルや結果を図3に示す。

#### ■対象設備

流動層焼却炉実験装置(透明電気炉を使用しており、砂層の状態の観察が可能) φ55mm×H750mm

#### ■目的

砂層の持ち上がり高さの再現による流動層解析の妥当性確認

#### ■手法

二流体モデル

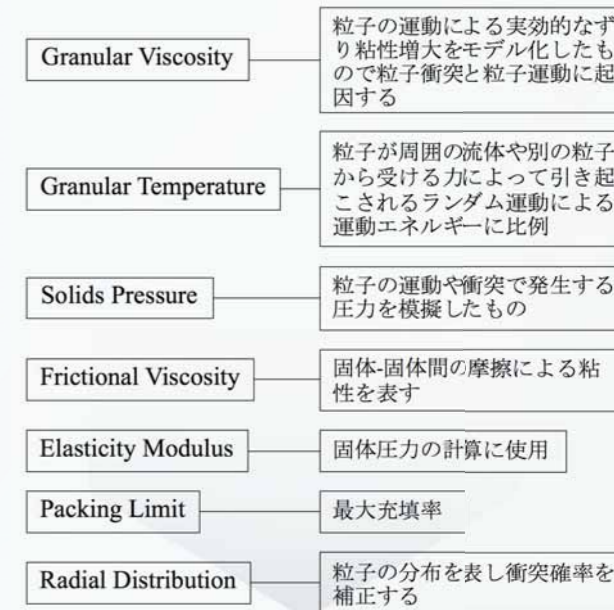


図2 流動層解析の変数  
Fig.2 Parameters of fluidization bed analysis

#### ■使用ツール

汎用流体解析ソフト

#### ■固体粒子

川砂、粒径0.57mm、真密度2600kg/m<sup>3</sup>、充填率0.58、静置高さ150mm

#### ■ガス流速

0.74m/s(710°C)

#### ■結果

流動層焼却炉実験装置外観を図3(1)に、解析モデルを図3(2)に示す。また、通気前後の流体解析結果をそれぞれ図3(3)～図3(5)に示す。砂の体積分率が高いほど赤く、ガスの体積分率が高いほど青く表示しており、砂中のガスは気泡に相当する。解析結果では静止位置からの持ち上がり高さは70～180mmとなった。実験装置内砂層の持ち上がり高さ50～150mmと比較し、変動幅で1.1倍、最大高さで1.2倍の結果となり、解析結果は実験装置の砂層の持ち上がり高さと同程度の結果が得られた。

# 分析事例紹介 ～熱分析～

## 1. はじめに

当社グループの主力機器には、晶析や乾燥、焼却といった熱の出入りを伴う反応を利用するものが複数存在する。各種単体機器の開発やプラントの計画・設計の際、原料や処理物の組成分析や物性測定などを行っているが、これらの分析の多くは分析対象物の定常状態における試料の性状を評価するものである。一方で、熱分析は試料の熱的性質を捉えることができ、組成分析等では得ることができない試料の熱挙動の把握が可能である。

熱分析は、JIS K 0129において「物質の温度を一定のプログラムによって変化させながら、その物質のある物理的性質を温度の関数として測定する一連の方法の総称(ここで、物質とはその反応生成物も含む)」と定義され、<sup>1)</sup> 表1に示すとおり測定対象となる物性によって様々な技法がある。R&Dセンターでは熱重

量測定(Thermogravimetry : TG)と示差熱分析(Differential Thermal Analysis : DTA)を組み合わせた熱重量-示差熱分析装置を保有している。

本稿ではTG-DTAの測定原理を解説するとともに、これまでに実施したTG-DTA分析装置を用いた分析事例の一部を紹介する。

表1 主な熱分析技法  
Table1 Major thermal analysis methods

| 技法       | 英語名(略号)                                | 測定対象     |
|----------|--|----------|
| 熱重量測定    | thermogravimetry(TG)                   | 質量       |
| 示差熱分析    | differential thermal analysis(DTA)     | 熱変化(温度差) |
| 示差走査熱量測定 | differential scanning calorimetry(DSC) | エンタルピー   |
| 熱機械測定    | thermomechanical analysis(TMA)         | ひずみ      |
| 発生気体分析   | evolved gas analysis(EGA)              | 発生気体     |

## 2. TG-DTAの測定原理

JIS K 0129において、TG及びDTAは次のように定義されている。

**TG** : 試料の温度を一定のプログラムによって変化または保持させながら、その試料の質量を温度または時間の関数として測定する方法

**DTA** : 試料及び基準物質の温度を一定のプログラムによって変化させながら、その試料と基準物質との温度差を温度の関数として測定する方法。

TG-DTA分析装置は、上記二つを組み合わせた装置であり、加熱に伴う試料の重量変化および熱変化を同時に記録することができる。TG-DTA分析装置の構成を図1に示す。装置は主に天秤機構部とヒーター部、温度センサー(熱電対)から構成されており、天秤機構部はメーカーによって上皿方式、水平方式、吊り下げ方式などがあり、図1は上皿方式の模式図である。TG、DTAのそれぞれの測定原理について以下に記す。

**TG** : 試料に重量変化が起こると、天秤のメインビームが傾く。この傾きを検出器が検出し、コイルに電流を流し発生した電磁力を用いて傾きを元に戻す。この時の電流値は重量変化に対応するため、電流値の変化を重量変化として記録する。

**DTA** : 試料と基準物質の温度を試料ホルダー内部に設けた熱電対で測定し、両者の温度差をDTA信号として記録する。<sup>2) 3)</sup>

得られた試料の重量変化、熱変化(吸発熱)から、試料の熱挙動を推定することができる。図2にTG-DTA分析装置によって検出できる主な現象と、TG曲線、DTA曲線のモデルを示す。しかし、あくまで

これは一般論であり、実際は測定対象物質の組成や試料の背景などを考慮した上で試料の熱挙動を推定する。

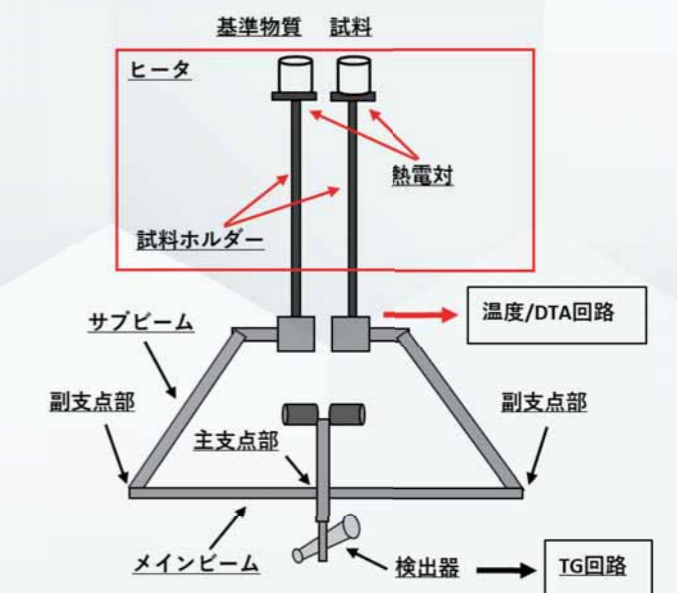


図1 TG/DTA装置構成  
Fig.1 TG/DTA Device configuration

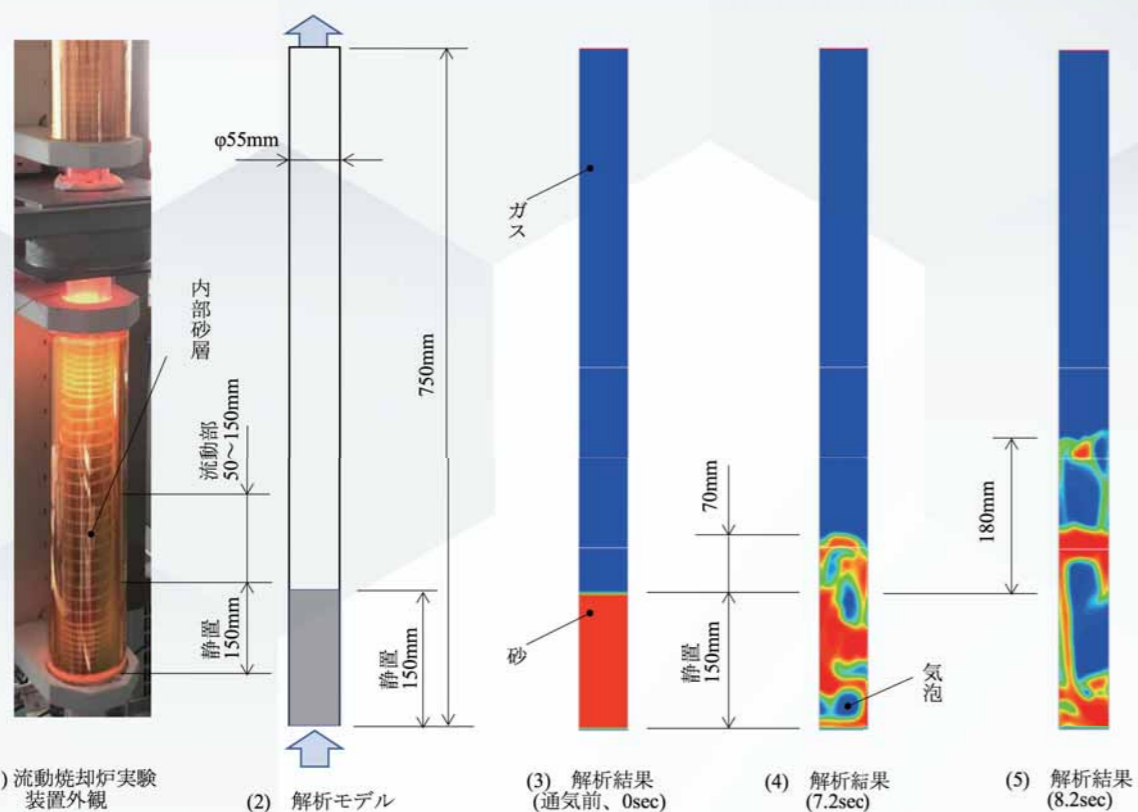


図3 流動層解析検討事例  
Fig.3 Examination case of fluidization bed analysis

## 4. おわりに

今回、二流体モデルを使用した流動層解析を行い、簡略化した解析モデルであったがおおむね良好な結果が得られたと考える。

今後は、文献調査などとおして流動層解析にかかわる知識や技

術力向上を図るとともに、開発案件や実案件に適用しながら気泡や固体粒子の挙動を適切に再現・評価できる有用な手法の検討を進め、当社グループ製品のさらなる改良に繋げていきたい。

### 参考文献

- 1) 森滋勝, et al.: 化学工学の進歩 26 流動層, (1992年)
- 2) 月島機械株式会社, 月島機械百年の技術, (2005年)



### 3. TG-DTA分析装置を用いた分析事例

#### 3.1 水酸化ニッケルの分解反応率の推定

リチウムイオン電池の正極材原料にも用いられる水酸化ニッケルは、約230℃に加熱することで分解し、水を失って酸化ニッケルとなる。<sup>4)</sup> 水酸化ニッケルの分解に伴う重量減少率は理論上19.4%となることから、加熱処理したサンプルの重量減少率を測定することで、水酸化ニッケルの分解反応率を推定することが可能である。

図3に水酸化ニッケル加熱試験サンプルのTG-DTA測定結果から算出した水酸化ニッケルの分解反応率を示す。加熱温度は220℃、270℃、320℃、370℃、400℃、450℃、600℃の7条件であり、横軸は加熱時間、縦軸はTG-DTA測定結果から算出した水酸化ニッケルの分解反応率を表している。分解反応率は以下の式から算出した。

$$\text{水酸化ニッケル分解反応率(\%)} = \frac{\text{サンプルの重量減少率(\%)}}{\text{理論重量減少率(19.4\%)}} \times 100$$

結果から以下のことがわかる。

- ① 220℃で3時間加熱しても分解はほとんど起こらない。
- ② 270℃で2時間加熱することで50%強が、3時間加熱することで70%弱が分解する。

| 反応現象 | TG曲線 | DTA曲線 | 反応現象  | TG曲線 | DTA曲線 |
|------|------|-------|-------|------|-------|
| 熱分解  |      |       | 昇華・蒸発 |      |       |
| 燃焼   |      |       | 転移・融解 |      |       |
| 酸化   |      |       | 結晶化   |      |       |
| 還元   |      |       | ガラス転移 |      |       |

図2 反応現象と対応するTG曲線・DTA曲線の模式図  
Fig.2 Schematic diagram of various reaction phenomena and corresponding TG and DTA curves

③加熱温度が高いほど分解は進行し、また、分解速度も速くなる。上記のとおり、加熱条件の違いが酸化ニッケルの分解反応率に与える影響を確認することができた。

#### 3.2 下水汚泥炭化物の酸化熱測定

下水汚泥炭化物の鉄化合物の酸化に伴う自己発熱性を評価するために、TG-DTAを用いた酸化熱測定を実施した。<sup>5)</sup> TG-DTAは前述のとおり、試料と基準物質の温度差を検出しており、発生熱量全てを回収しているわけではない。また、反応後の試料の蓄熱を基準物質との温度差として検出してしまうなど、反応熱を算出するには誤差要因が多く、本来は定量に不向きな装置である。しかし、吸発熱時に検出されるピーク面積と熱量が比例することが知られているため、融解熱量既知の標準物質の融解ピークを測定することで熱量補正係数(比例係数)を求め試料ピーク面積に掛けることで、半定量的ではあるが炭化物の酸化熱量を算出した。

使い捨てカイロの例からもわかるとおり鉄化合物の酸化は空気中で容易に起こるため、酸化熱を測定するための試料は採取後、常温下で酸素を遮断した状態で保管した。また、前処理はグローブボッ

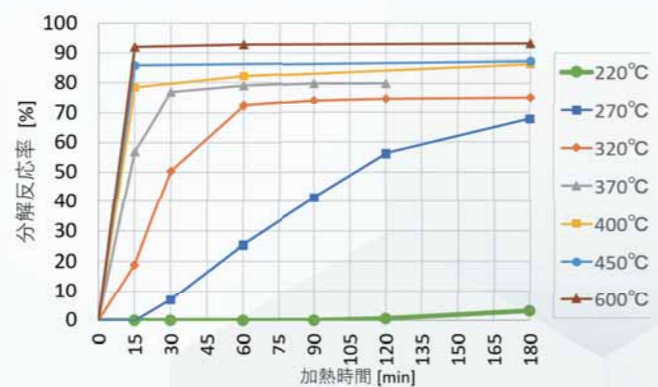


図3 水酸化ニッケルの分解反応率  
Fig.3 Decomposition reaction rate of nickel hydroxide

クスを用いて不活性雰囲気内で行った。

酸化熱を測定する際は、試料中の水分や低沸点化合物の影響を排除するため、まず窒素雰囲気下で90℃まで昇温後、重量変化が無くなるまで保持した。その後90℃のまま空気雰囲気に切り替え、

切り替え直後の発熱ピーク面積から酸化熱量を算出した。

図4に試料中の鉄含有量と酸化熱量の関係を示す。鉄化合物の形態の違いはあるが、両者には正の相関が見られ、試料中の鉄化合物が自己発熱に寄与していることが確認できた。

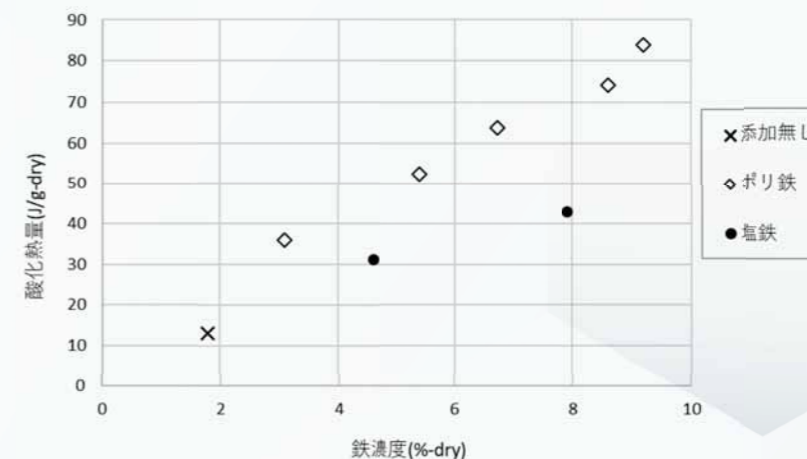


図4 鉄濃度と酸化熱量の関係  
Fig.4 Relationship between Fe concentration and heating value due to oxidation

### 4. おわりに

TG-DTAは非常にシンプルな構造であり測定操作も簡便であるが、正しいデータを得るためには測定サンプルや測定の目的に応じて最適な前処理手法や測定条件を選択することが重要である。また、上記事例のように、得られたデータを活用することで未知の事象解明につなげることができる。

現在、TG-DTAを用いた新たな評価手法の試みとして、以下の内

容に取り組んでいる。

- ① 下水汚泥や廃棄物の燃焼特性の評価
  - ② 焼却灰の溶融特性の評価
  - ③ 燃料化物(乾燥汚泥・炭化物)の安全性評価
- 上記取り組み以外にも様々な要望に対応できるよう、技術向上に努めていく所存である。

#### 参考文献

- 1) JIS K0129 熱分析通則
- 2) 一般社団法人 日本分析機器工業会ホームページ
- 3) 津越敬寿, 熱分析, ぶんせき pp.568-574 (2017)
- 4) 化学大辞典 共立出版株式会社
- 5) TSK技報 2019, No.22, P12-19, 論文: 鉄化合物を含む下水汚泥炭化物の発熱特性



# 特許情報の活用

月島ホールディングス株式会社 法務部

小暮 宏幸

## はじめに

研究成果を保護し、有効に活用するため特許権を取得することは研究活動を行う上で重要なミッションの一つです。特許権は、法的に認められた権利であり、もし他人の特許権を無断で使用すれば紛争リスクとなることはご存知のとおりです。このように事業活動を左右することにもつながる権利である一方、フォーマットが標準化された技術情報としての側面があります。今回は、情報分析の観点から特許情報とその活用事例についてご紹介します。

## 特許情報

特許権は、権利を取得したい発明(技術)を世界中に公開すること、また各国で要求される審査を通過することを条件に権利が付与されます。そのため各国で指定された様式に基づく情報提供が要求され、提供された情報の多くは、提供から1年6か月後に特許公開情報として誰でも閲覧が可能となります。

これらの情報は各国ごとにウェブ上で確認することができます。なお、2021年の主要国特許出願件数は、日本約29万件、中国約159万件、米国約59万件<sup>1)</sup>であり、これらの情報が日々公開されています。

公開された情報には次の内容が記載されています。

- ・出願日(書類提出日)、公開日
- ・技術分類コード
- ・権利内容(どのような発明か)
- ・発明者の氏名/権利者の氏名
- ・発明の詳細な内容
- ・発明の内容によっては試験データ(試験条件や試験装置、試験結果)

また、提出された発明がどのような審査の過程を経ているか、また権利の維持状況、権利者情報等の付帯情報が特許庁から経過

情報として公開されています。これらの情報を組み合わせてさまざまな目的に応じた分析を行います。

## 分析事例

### 1) 技術動向分析

特定技術分野における特許出願状況を調査分析するものです。  
主な用途

- ① 開発テーマの探索、開発開始前の特許侵害確認
- ② 特許出願前の従来技術調査

図1、図2は、固形廃棄物の焼却技術に関する調査を行ったものです。上位2社は継続的な出願を行っているものの複数の企業では出願縮小していることが分かります。また新規参入した企業は見られないことも確認できます。

### 2) 特定企業分析

各企業が保有する特許情報を分析するものです。  
主な用途

- ① 競合他社、顧客企業の開発動向調査
- ② 提携先、M&A候補の探索、保有技術の評価

図3、図4は、大手水処理会社の保有特許の時系列で分析したものです。大学や大手企業との共同出願数は少なく単独発明が多数を占める事(図3赤枠)、また、主要の水処理技術の他に、近年は運転管理、設計支援に関する特許出願(図4赤枠)が増えており、ソフトウェア関連の開発に注力し始めている傾向が分かります。

## おわりに

情報分析技術の進歩により低コストで多彩な情報分析が可能になっています。また、特許情報だけでなく、企業情報等を加え複合的に分析を行う事例も増えており、活用の機会が広がっています。

図1 固形廃棄物焼却技術 出願推移

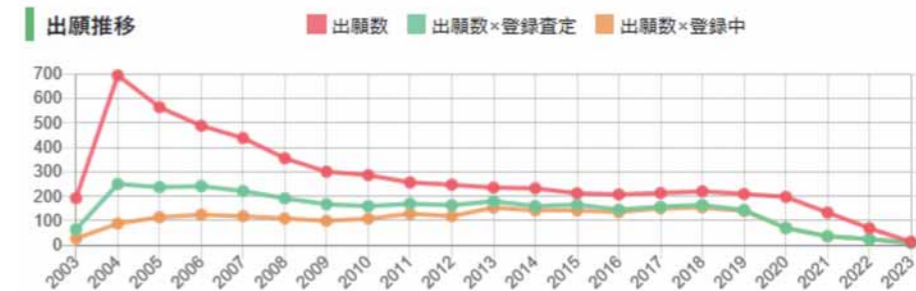


図2 固形廃棄物焼却技術 出願人別出願推移



図3 特定企業 出願概要分析



図4 特定企業 技術別出願推移



参考文献 1) 特許行政年次報告書, 2023年版, p10

# 粉体混合

月島機械株式会社 役員室  
山口 良二

粉体混合機・TSK—MTIミキサについてお話をさせていただきたいと思ひます。

## 1. MTIミキサの出自

粉体混合をいつたいつからやっていたのかと言ひますと、1988年2月のドイツMTI社との提携からとなります。それからですので約35年の歴史となります。今回その歴史を紐解いてみたいと思ひます。

まずMTI社はドイツ北部のデトモルト市で1980年代初頭に創業し、ユニークな各種ミキサを世に送り出してきたミキサ専門のベンチャー企業です。歴史としては約40年となります。(しかしながら新型コロナによるロックダウンなどによりMTI社は経営に行き詰まり、身売りして現在はチェッペリンググループの1社となっています。) 粉体の混合機として業界で有名なものとしてはドイツのヘンシェルミキサというのがあります。ヘンシェル社も北ドイツの会社でして、MTI社も技術の源流はヘンシェル社からきています。(ヘンシェル社も同じくチェッペリンググループの1社になっています。) ヘンシェル社は実はもう一つ歴史上で名前が出てきます。それは第二次世界大戦中のドイツの戦車の砲塔でして、ヘンシェル砲塔とボルシェ砲塔という名前がでてきます。ボルシェ砲塔のボルシェはあのスポーツカーのボルシェです。性能は分かりませんが恰好だけ見るとやはりボルシェ砲塔のほうが恰好良く見えます。

## 2. 黎明期の主な用途

MTIミキサやヘンシェルミキサの開発上の主な用途はプラスチックです。じつはプラスチック樹脂というものはさまざまな添加剤を加えないとまったく使えないしろものなのです。プラスチック樹脂にその用途に応じ

た添加剤を混ぜ込むのがこのミキサです。どんなものを添加するかと言ひますと、まず色です、正確に言うと顔料です。色のついていないプラスチックはありません。次は耐紫外線強化材で、プラスチックの樹脂は陽の光にとっても弱いのです。柔軟材も入ります。プラスチック樹脂は固くもろいのです。ほかに難燃材、安定材、増量剤などさまざまな添加剤が加えられます。押し出し成型の前段にそれらを十分混ぜ込む必要があります。でもいろいろな添加剤が入りますがそれらは量としてはほんの少しなのです。また添加剤は値段が高いのでなるべく少なくしたいのです。そのため、添加した少量の添加剤が均等に混ざっていないと性能のばらつきがでてしまいます。だからミキサには結構シビアな要求があります。CDの透明なポリカーボネート製のケースをご存じと思ひますが、じつは原料樹脂はちょっと黄色い色をしていて、製品はうすくブルーに染められています。このブルーに染める顔料ですがどれくらいの分量を混ぜるかと言ひますと、50kg容量で100Lぐらいの樹脂に耳かき一杯ぐらいのほんの少しです。ユニバーサルミキサはこれを均等に混ぜないとイケないのです。



図1 EM100B型ユニバーサルミキサ



図2 EM500B型ユニバーサルミキサ



図3 EM500B混合槽内

## 3. 適用分野の拡大

商売としてはプラスチックだけでは限られてしまいます。他の分野への適用をさがしてゆく必要があります。プラスチック以外にどのような分野へMTIミキサの適用分野を広げていったかをご紹介しますと思ひます。プラスチックの次の分野はガスケット、ジョイントシートとなります。私が担当案件を数多くこなしていた2000年以前だとトンボの1000番のガスケットは良く使いましたがそのガスケット類です。年代としては80年代の終わりから90年代前半です。

この当時は主原料として石綿・アスベストが使われていましたがその発癌性が問題となってきていて、石綿からアラミド繊維への原料の転換が起こっていました。石綿は安くて性能が良くて混ぜやすかったのですが、代替のアラミド繊維は高価でとても混ぜにくい代物でした。なるべく少なく配合して均一に分散させる必要があったのです。

ちょうど新しいミキサが求められているタイミングでして、ガスケット、ジョイントシート、自動車のブレーキ材のコンパウンド製造用にMTIミキサが採用されました。

次の分野は人造大理石です。プラスチックですが大理石調のキッチンカウンターやお風呂に使われました。年代は90年代後半からです。

BMC (Bulk Molding Compound) とも言われお風呂や洗面台、キッチンなどでちょうど使われ始めたところでしたが、ガラス繊維が補強材で使われており、これを樹脂に混ぜ込むのに各社苦労されていました。MTIミキサは原料を一括して投入して、混合すると数分で混合混練りが完了します。ですがこの当時ガラス繊維は別のミキサで予備混合して、繊維を開いて(開繊と言ひます)から投入し、液状の原料樹脂とそれなりの時間をかけて混合・混練りをしていました。しかし時間をかけて混練りすると肝心のガラス繊維が折れてしまうというジレンマを抱えていました。当時私たちが一括投入して数分で仕上がると言ひても、どのお客様にもまったく信じてもらえませんでした。とにかくテストしてくださいとお願いしてやっとテストしてもらい、実際の混合を見て初めて驚きとともに納得していただけていました。納得いただけたらもちろんすぐ受注となりました。

次は小麦粉のプレミキシングです。これは2000年頃からでしょうか。

パン、ホットケーキやドーナツなどは製粉会社で砂糖や卵、バターなどを小麦粉と混ぜてミックス粉を作り、それをパン屋さんやお菓子屋さんにお卸すようになりました。このミックス粉を混ぜるのにMTIミキサが使われています。特にバターやショートニングなどの固形の油脂分を混ぜ込むのが得意でして、10kgのバターの塊があつという間に混ぜ込まれて見えなくなってしまうのには本当に驚かせられます。小麦粉の世界は1バッチが大きく1トンが標準となります。よって2000Lや2500Lのユニバーサルミキサの大型機が適用されます。



図4 EM2000B型ユニバーサルミキサ

## 4. 「チョッパ」～MTIミキサの特長

ジョイントシート、人造大理石、小麦粉プレミックスの3分野ですが、なぜMTIのユニバーサルミキサが適用されたかと言ひると、それはチョッパの存在です。チョッパは混合槽壁に取り付けられていて高速で回転する混合羽根です。



図5 チョッパ

高速で回転して材料に剪断力を与えるのですが、これがアラミド繊維を開く、ガラス繊維を開く、固形油脂を細かくするなどの作用により短時間の混合を実現しています。このチョッパの存在により混合と剪断という機能が分離していることが、TSK—MTIユニバーサルミキサの大きな特長です。

これら主要3分野以外のどんなものがあるかと言いますと、

- ・お菓子でウエハースにはさまれたチョコレートペーストの混練り
- ・焼結金属用鉄粉のプレミックス
- ・IC封止材の混合
- ・電池材料
- ・粉体塗料
- ・医薬品原体、農薬原体
- ・PVC樹脂冷却
- ・小麦粉冷却

などがあります。

## 5. 乾燥機／冷却機としてのMTIミキサ

MTIミキサは今までお伝えしてきましたように混合機ですが、もう一つの側面があります。それは乾燥機としての側面です。2010年頃からはどうか。ミキサと同じ構造でバッチの乾燥機として使うことができます。あるお客様からミキサの一種としてではなく別の商品として扱うべきと言われて「バキュームミキシングドライヤ」と名づけました。ジャケットから加熱し、真空ポンプで減圧して乾燥します。バッチでのppmオーダーまでの精密な乾燥が可能となりますし、また大きな乾燥性能も発揮します。実績で金属粉の乾燥において平米時間当たり80kg～90kgのデータがあります。

この頃はテスト依頼も乾燥関係が混合より多くなり、R&Dセンターでのテストも乾燥主体となってきています。

MTIミキサシリーズにはいろいろなミキサがあります。いままでお話ししてきたのは主にユニバーサルミキサですが、他のミキサたちも少し説明させていただきます。

- ・システムミキサ: 堅型高速ミキサと横型クーラーミキサのコンビネーションミキサ (PVC用)
- ・反転ミキサ
- ・横型ミキサ

などがあります。

横型ミキサは粉体当たりの伝面を大きく取れるので、粉体の冷却用のミキサとして採用されています。PVC樹脂の冷却、小麦粉の冷却などです。



図6 K400型横型ミキサ

反転ミキサは混合槽を分離しミキサ本体と合体して反転させるともユニークなミキサです。ミキサへの投入と排出を機能分離していることが特長で、FAの粉体計量システムとのコラボレーションも実現しています。

当社の機械は大量生産用の連続機が多いのですが、MTIミキサはバッチにこだわり、混合や乾燥の分野で特長ある機械となっています。



図7 MM500反転ミキサ



図8 MM500反転ミキサ混合時

## 6. MTIミキサが拓く新分野

さてこれからですが、近年は持ち込まれる案件は難易度の高いものが多くなってきています。プラスチックをただ混ぜるだけと言った単純な案件はほとんどありません。混合後に乾燥するものなどテストも時間のかかるものが多くなっています。これらの案件をお客様と一緒にじっくり取り組んで、新しい世界を切り開いてゆきたいと考えています。

# 会社情報

## 会社概要

|         |  |        |  |
|---------|--|--------|--|
| 名称      | 月島ホールディングス株式会社<br>TSUKISHIMA HOLDINGS CO.,LTD. | 従業員数   | 3,556名(連結) 104名(単体)(2023年10月1日現在)  |
| 代表取締役社長 | 川崎 淳   | 本社     | 〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1<br>TEL.03-5560-6511 FAX.03-5560-6591               |
| 創業      | 明治38年(1905年)8月                                 | 八千代事業所 | 〒276-0022 千葉県八千代市上高野1807番3<br>R&Dセンター<br>TEL.047-494-4300 FAX.047-494-4321 |
| 資本金     | 6,646百万円                                       |        |  |

## 関連会社・事業所・事務所

|  |  |
|--|--|
| 月島JFEアクアソリューション(株)<br>〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1<br>TEL.03-5560-6031 FAX.03-3533-4103   | 月島機械(株)<br>〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1<br>TEL.03-5560-6427 FAX.03-3536-0575  |
| 東日本支社・東京支店<br>〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1<br>TEL.03-5560-6541 FAX.03-5560-6593   | 室蘭工場<br>〒051-0006 北海道室蘭市茶津町35-2<br>TEL.0143-57-1100/1101 FAX.0143-57-1102/1103   |
| 関東支店<br>〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1<br>TEL.03-5560-6542 FAX.03-5560-6593   | 室蘭工場八千代分室<br>〒276-0022 千葉県八千代市上高野1807番3<br>TEL.047-419-6770 FAX.047-419-6777   |
| 西日本支社・大阪支店・関西支店<br>〒541-0048 大阪市中央区瓦町3-6-5(銀泉備後町ビル)<br>TEL.06-6229-1331 FAX.06-6229-1415   | 〈海外〉<br>ジャカルタ駐在員事務所<br>Jakarta Representative Office<br>Setiabudi Atrium 2nd Floor, Unit 207 Jl. HR. Rasuna Said Kav. 62, Kuningan, Jakarta 12920, Indonesia<br>TEL. +62-21-521-0491/0492 FAX. +62-21-521-0490 |
| 札幌支店<br>〒060-0807 札幌市北区北七条西4-1-2(KDX札幌ビル)<br>TEL.011-726-0510 FAX.011-726-0520   | ヨーロッパ駐在員事務所<br>Europe Representative Office<br>Tullastraße 64 76131, Karlsruhe, Germany<br>TEL. +49-721-9-64-56-785 FAX. +49-721-9-64-56-10  |
| 仙台支店<br>〒980-0014 仙台市青葉区本町1-11-2(SK仙台ビル)<br>TEL.022-227-9267 FAX.022-223-0316  | ムンバイ駐在員事務所<br>Mumbai Liaison Office<br>903A, Raj Horizon, Ramdev Park Road, Mira Road East, Thane 401107, Maharashtra, India<br>TEL. +91-9967645572  |
| 横浜支店<br>〒231-0012 横浜市中区相生町3-56-1<br>(KDX 横浜関内ビル 12 階)<br>TEL.045-651-7331 FAX.045-664-5086   | 月島環境エンジニアリング(株)<br>〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1<br>TEL.03-6758-2310 FAX.03-6758-2324  |
| 名古屋支店<br>〒450-0003 名古屋市中村区名駅南1-17-29(広小路ESビル)<br>TEL.052-581-2378 FAX.052-581-1624   | 月島ビジネスサポート(株)<br>〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1<br>TEL.03-3533-4824 FAX.03-3536-0968  |
| 中国支店<br>〒730-0015 広島市中区橋本町10-10(広島インテス)<br>TEL.082-227-3093 FAX.082-223-8771   | サンエコサーマル(株)<br>〒322-0017 栃木県鹿沼市下石川737-55<br>TEL.0289-72-0371 FAX.0289-72-0381  |
| 福岡支店<br>〒810-0062 福岡市中央区荒戸2-1-5(大濠公園ビル)<br>TEL.092-741-5736 FAX.092-761-4806   | 大同ケミカルエンジニアリング(株)<br>〒530-0053 大阪市北区末広町3-3(大同パークサイドビル)<br>TEL.06-6312-6621 FAX.06-6312-6626  |
| 沖縄営業所<br>〒901-2131 沖縄県浦添市牧港2-54-2(沖縄土木設計ビル)<br>TEL.098-874-5793 FAX.098-874-6262   | 三進工業(株)<br>〒210-0861 神奈川県川崎市川崎区小島町4-4<br>TEL.044-266-0272 FAX.044-266-0271   |
| 技術拠点/川崎オフィス<br>〒212-0013 川崎市幸区堀川町580番地ソリッドスクエア西館   | プライミクス(株)<br>〒656-2306 兵庫県淡路市夢舞台1-38<br>TEL.0799-72-0080 FAX.0799-72-0040  |
| 〈海外〉<br>ハノイ駐在員事務所<br>Hanoi Representative Office<br>Unit 13-03A, Prime Centre, 53 Quang Trung Street, Hai Ba Trung District, Hanoi, Viet Nam<br>TEL. +84-(0)24-3766-9965/9967/9968<br>FAX. +84-(0)24-3766-9969 |  |
| 月島JFEアクアソリューション(株) グループ会社  |  |
| 月島ジェイテクノメンテサービス(株)<br>〒135-0031 東京都江東区佐賀1-3-7(月島ホールディングス永代ビル)<br>TEL.03- 5245-7150 FAX.03- 5245-7155   |  |
| 月島ジェイアクアサービス機器(株)<br>〒436-0038 静岡県掛川市領家1450番地<br>TEL.0537-24-5531 FAX.0537-24-5518   |  |

## 関連会社(海外)

|  |  |
|--|--|
| TSKエンジニアリング タイランド(株)<br>TSK ENGINEERING THAILAND Co.,Ltd. «TET»<br>14th Floor, Room No.1404, United Center Building, 323 Silom Road, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand<br>TEL. +66-2-231-1726 FAX. +66-2-231-1731 | 月島エンジニアリング マレーシア(株)<br>TSUKISHIMA ENGINEERING MALAYSIA Sdn. Bhd. «TEM»<br>月島エンジニアリング シンガポール(株)<br>TSUKISHIMA ENGINEERING SINGAPORE Pte. Ltd. «TES»<br>Suite 16.04-05, 16th Floor, Wisma MCA, 163 Jalan Ampang, 50450 Kuala Lumpur, Malaysia<br>TEL. +60-3-2162-8679 FAX. +60-3-2162-8377 |
| 月島機械(北京)有限公司TSK ENGINEERING CHINA CO., LTD.<br>A1207, Vantone New World Plaza, No.2, Fu Cheng Men Wai St., Beijing, China<br>TEL. +86-10-8590-6595 FAX. +86-10-8590-6593   | TSKエンジニアリング 台湾(株) TSK ENGINEERING TAIWAN Co.,Ltd. «TETA»<br>6th Floor, No. 24, Minsheng West Road, Zhongshan District, Taipei City, Taiwan R.O.C<br>TEL. +886-2-2523-6975 FAX. +886-2-2521-1429  |
| BOKELA GmbH<br>Tullastraße 64 76131, Karlsruhe, Germany<br>TEL. +49-721-9-64-56-0 FAX. +49-721-9-64-56-10  |  |



### 月島ホールディングス株式会社ホームページへの掲載のお知らせ

月島技報は、ホームページからも閲覧できます。過去に発行しましたTSK技報もご覧いただけます。これにより、バックナンバーの技術情報が検索確認できるほか、いままで冊子版をお届けできていなかったお客様にも広くご覧いただけます。環境技術で世界に貢献し未来を創る、月島ホールディングスグループの技術情報をぜひご利用ください。

▶ <https://www.tsk-g.co.jp/tech/research/techreview>

## 編集後記

私たちは2023年4月より持株会社体制へ移行し、「月島ホールディングス株式会社」として新たなスタートを切りました。技報は創刊号より「TSK技報」として発行してきましたが、「月島技報」と改め、グループ会社の研究開発成果や新製品を紹介していくこととしました。今号はグループ6社から時代の変化や社会ニーズに合わせた最新技術を紹介させていただきます。これからも多くの方々に月島ホールディングスグループの技術情報をお届けできるよう努めて参ります。

山本 真一

|  |                          |
|--|--------------------------|
| 月島技報 NO.26 2023<br>発行日：2023年12月15日 問い合わせ先：giho@tsk-g.co.jp |                          |
| 発行：月島ホールディングス株式会社 技報編集委員会                                  |                          |
| 総責任者：森 孝行  |                          |
| 編集委員長：山本 真一  |                          |
| 副編集委員長：本間 友基   | 小林 俊樹 越智 崇               |
| 編集委員：上田 厚志   | 石井 究 栗田 新平 津崎 裕也         |
| 柴川 満   | 新田 博文 菊池 尚仁 竹森 進也 久保田 昌宏 |
| 新川 正人  | 長谷川 雄一 今井 淳一 近藤 尚子       |
| 鈴木 健治  | 坂田 英子                    |

2312500A・N