

TSK 技報

2021
December

No.24

月島機械株式会社

TSK技報 no.24 2021

TSK TECHNICAL REVIEW

TSK 月島機械株式会社
www.tsk-g.co.jp

論文1

創エネルギー型脱水焼却システムの
実証試験結果報告

論文2

AI技術を活用した創エネルギー型焼却システムの
自動制御に関する取り組み

TSK 月島機械株式会社

環境技術で世界に貢献する月島機械

当社は、1905 年の創業以来100 有余年にわたり、
産業の基盤となる装置・プラント設備や、日常生活に欠かせない上下水道設備、
さらには環境保全設備など、常に社会とそこに暮らす人々の想いに「技術」をもって応えてまいりました。
これからも私たち月島機械は、「最良の技術をもって産業の発展と環境保全に寄与し、
社会に貢献する」という企業理念のもと、これまでの技術をより進化させていく所存です。
また、国際社会全体の課題である地球温暖化防止のために、環境技術で世界に貢献してまいります。

企業理念

1. わが社は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. わが社は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. わが社は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

表紙の写真



アイスランドポピー咲く
兵庫県立公園あわじ花さじき

目次		
6	巻頭言 素人目線で考える技術を商売に繋げるヒント 月島機械株式会社取締役専務執行役員・プライミクス株式会社代表取締役社長 川崎 淳	
8	論文1 創エ ネルギー型脱水焼却システムの実証試験結果報告	河岸 正泰
16	論文2 AI技術を活用した創エ ネルギー型焼却システムの 自動制御に関する取り組み	深澤 淳基
24	技術・製品紹介1 TSK コンテナ ®システム _テスト設備の紹介	大関 淳矢
28	技術・製品紹介2 「中小規模処理場間の広域化に資するバイオマスボイラによる 低コスト汚泥減量化技術実証研究」の紹介	梅染 俊行
31	技術・製品紹介3 BIM 設計の取り組みに関して	平野 雄大
34	技術・製品紹介4 EW 押出型遠心分離機+クリーンフラッシュ ®ドライヤによる 脱水・乾燥工程の合理化の紹介	渡辺 健司
38	技術・製品紹介5 フィルミックス ®を用いたリチウムイオン電池材料の分散プロセス技術	川久保 舞子
42	技術・製品紹介6 下水処理場向け曝気用風量調整バルブと風量制御システム	呂 曉也・南 茂樹
46	実績紹介1 装置のリモート状態監視事例	阿部 研
49	実績紹介2 京都市上下水道局鳥羽水環境保全センター下水汚泥固形燃料化事業 蜂谷 祥之・原島 拓生	
52	実績紹介3 いわき市下水汚泥等利活用事業	木村 葵
54	関連会社紹介 三進工業株式会社	森 直人
56	解析グループ紹介 Part5 流体解析手法編 ～格子法と粒子法～	相馬 悠佑
58	R&Dセンター紹介 下水汚泥処理に関連する分析事例と創エ ネルギー型焼却炉関連の 分析事例紹介	日良 聡
62	月島茶房 「ドローン」から次世代空モビリティ「空飛ぶクルマ」へ	伊藤 央貴
64	月島今昔物語 分離	阿部 研
66	会社概要・編集後記	

CONTENTS		
6	Foreword	Tsukishima Kikai Co., Ltd. Board Member, Senior Managing Executive Officer PRIMIX Corporation President and CEO KAWASAKI Jun
8	Paper1 <i>Energy-generating dewatering incineration system</i>	KAWAGISHI Masayasu
16	Paper2 <i>Approaches to automatic control of Energy-Creating Incineration Systems using AI technology</i>	FUKASAWA Atsuki
24	Technology / Products 1 <i>TSK Container Handling System – Introduction of test system</i>	OOZEKI Junya
28	Technology / Products 2 <i>Introduction of “Demonstration research on low-cost sludge reduction technology using a biomass boiler to contribute toward widespread adoption of sludge treatment in small- and medium-scale plants”</i>	UMEZOME Toshiyuki
31	Technology / Products 3 <i>Effort to Building Information Modeling design</i>	HIRANO Yuta
34	Technology / Products 4 <i>Introduction of an improved dehydration/drying process through a combination of Escher Wyss Push Type Centrifuge and Clean Flash Dryer</i>	WATANABE Kenji
38	Technology / Products 5 <i>Dispersion process technology for Lithium-ion battery materials using Filmix</i>	KAWAKUBO Maiko
42	Technology / Products 6 <i>Aeration control valve and the aeration control system for sewage treatment plants</i>	LYU Xiaoye / MINAMI Shigeki
46	Introduction of products 1 <i>Remote monitoring test results for industrial equipment</i>	ABE Ken
49	Introduction of products 2 <i>Sewage sludge solid fuelization business at the Toba Wastewater Treatment Plant in Kyoto</i>	HACHIYA Yoshiyuki / HARASHIMA Takuo
52	Introduction of products 3 <i>Effective utilization of sewage sludge in Iwaki City</i>	KIMURA Aoi
54	Introduction of SANSHIN KOGYO Co., Ltd.	MORI Naoto
56	Introduction of CAE Group Part5	SOMA Yusuke
58	Introduction of R&D Center	HIRA Satoru
62	Tsukishima Teahouse	ITO Hiroki
64	Tsukishima Tales of Times Now Past	ABE Ken
66	Corporate Profile / Editor’s Note	



川崎 淳

月島機械株式会社
取締役専務執行役員
プライミクス株式会社
代表取締役社長

素人目線で考える技術を 商売に繋げるヒント

4月よりプライミクス株式会社（以下「PMX」と称す）の経営とは別に月島機械グループのものづくり改革を担当することになりました。まずは月島機械のものづくりからということになりますが、喫緊の課題は室蘭工場の稼働改善、換言すると単体機器事業の立て直しです。技術系出身でない私が今どんなことを考えて新たな任務に向き合っているか、あるいは、PMXでの経験をどう生かそうとしているかについてお話したいと思います。

最初に昨年月島機械グループの一員となったPMXの事業について触れたいと思います。PMXは高速攪拌技術を中核としたものづくり企業ですが、そのビジネスモデルは月島機械と似て非なるものです。一般に技術経営型の企業は自社の研究成果を商品化するために研究・開発・事業化・産業化と4つのステージがあり、各ステージに合わせた投資活動が行われます。PMXはお客様の各ステージに応じて製品をラインナップし、早い段階からお客様に密着してビジネス創出のお手伝いをしています。月島機械でもR&Dセンターで似たようなことをしていますが、商材に研究機があるとなれば相手に対する認知度が大きく異なります。このように、お客様とは「点」ではなく「面」でお付き合いするビジネスモデルなのです。

次に技術の集中という観点です。前述のとおり、基本的にPMXでは攪拌機しか作っていません。IT企業のGoogleが「探す」という技術に会社の知的資源を集中しているように、PMXでは「混ぜる」という技術に集中しています。このポジショニングと技術の掘り下げ方により、要求品質が厳しいとされる化粧品や医薬、食品、二次電池分野のお客様から長く愛される結果に繋がっています。PMXの技術を間近に見ると、改めて一つの技術を突き詰めることの大切さを感じることができます。

とは言え、PMXの経営や技術が安泰というわけではありません。PMXの製品が扱う液体、粉粒体の乳化、分散、混練は全般的に微粒子化へ進んでいます。今後、市場拡大が期待できる二次電池分野、あるいは、電子部品や医薬分野では超微粒子化の需要が高まり、PMXもその対応が求められます。具体的にはマイクロビーズミルや高圧ホモジナイザーのような高い剪断

力や分散力を持ち、かつ、非常に微細な粒子径を得られるような製品の開発です。会社としてやるべきことが絞りやすいのも一つの技術に特化する利点だと思います。

PMXの経験を踏まえて、本題である月島機械の単体機器事業の立て直しについてお話します。私はやるべきことは大きく二本立てだと思っています。一つはPMX同様、微粒子化に対応できる製品の展開、もう一つは室蘭工場のファシリティーを生かせる大型乾燥機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)の再生です。前者はすでに二次電池分野で実績がある渦流晶析機や現在開発中の後継機を足がかりに事業拡大を図りつつ、その他の機器でも微粒子化対応を進めることです。また、二次電池分野の主戦場は中国ですから、ここで勝負するならば顧客ニーズの早期対応とコストダウンの観点から多くの範囲で現地化が必要です。

続いて後者のSTDやIDDについては、いわずもがな最優先課題は競合と伍していくためのコストダウンです。そもそもイノベーションとはインベンション（発明）とイコールではありません。常に新しい技術をゼロから開発すればイノベーションが生まれるものではない。むしろ、イノベーションとは和訳で「新結合」や「新しい活用方法」と言い表されるように、新しい組み合わせが重要であって、組み合わせるもの同士は決して新しくなくてもよいのです。例えば、コストダウンのために設計を見直したり、調達・サプライチェーン（月島機械と協力会社との役割分担）の組み合わせを変えたり、工場での作り方を変えたり、こうした新しく変えた部分の組み合わせも立派な研究開発であり、イノベーション活動だと思います。

私のような素人目線が少しでも月島機械の技術開発やイノベーションのヒントとなり、あるいは、新たな商機に繋がられる何かを発見できればいいと願っています。

皆さんとともに次の10年を支える技術基盤を創って参りましょう。

創エネルギー型脱水焼却システムの 実証試験結果報告

Energy-generating dewatering incineration system



河岸 正泰
KAWAGISHI Masayasu
水環境事業本部
ソリューション技術部
熱技術グループ

Abstract

From 2020, the “Paris Agreement,” an international framework for global warming countermeasures, has entered the implementation stage; industries around the world have begun to move towards decarbonization. In Japan, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism has set performance indicators for waste heat recovery efficiency and power consumption reduction rates as requirements for future grants focused on the installation and reconstruction of sewage sludge incinerators. There are also moves toward decarbonization. It is accelerating.

Within this framework, we have developed an “energy-generating dewatering incineration system” that does not require auxiliary fuel and can generate more electricity than the amount consumed by the dewatering and incineration equipment. This system utilizes a “heated concentrated dewatering system” that uses incineration waste heat to reduce the water content of dewatering sludge, combined with a “supercharged fluidized incinerator” that has excellent energy efficiency to maximize heat extraction. By combining the “energy-generating incinerator system”, the maximum energy production is realized. A demonstration facility has been constructed at Center A and a verification test is being conducted. Here, we report the progress of continuous operation in the demonstration test, the findings obtained, and the effect of its introduction.

2020年度より地球温暖化対策の国際的な枠組みである「パリ協定」が実施段階となり、世界各国あらゆる業種が脱炭素に向けて歩み始めている。国内においても、国土交通省にて今後の下水汚泥焼却炉の設置・改築の交付金対象要件として廃熱回収効率や消費電力削減率に関する性能指標が設定されるなど、脱炭素に向けた動きが加速している。

このような背景を受け、補助燃料が不要で脱水・焼却設備で消費する電力以上の電力を発電可能な「創エネルギー型脱水焼却システム」を開発した。本システムは、焼却廃熱を利用して脱水汚泥の低含水率化を図る「加温濃縮脱水システム」と、省エネ性に優れた過給式流動焼却炉をベースとして最大限の抽熱を図る「創エネ型焼却システム」を組み合わせることで、最大限の創エネルギーを実現するものであり、実証設備をAセンターに建設し、実証試験を行っている。本稿では同実証試験における連続運転の経過および、そこで得られた知見と導入効果について報告する。

1 はじめに

2020年度より地球温暖化対策の国際的な枠組みである「パリ協定」が実施段階となり、世界各国あらゆる業種が脱炭素に向けて歩み始めている。一方、国内下水道事業に目を向けると、平成29年9月に国土交通省にて「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について」が通知され、今後の下水汚泥焼却炉の設置・改築の交付金対象要件として廃熱回収効率や消費電力削減率に関する性能指標が設定されるなど、脱炭素に向けた動きが加速している。

このような背景を受け、補助燃料が不要で脱水・焼却設備で消費する電力以上の電力を発電可能な「創エネルギー型脱水焼却システム」を開発した。本システムは、焼却廃熱を利用して脱水汚泥の低含水率化を図る「加温濃縮脱水システム」と、省エネ性に優れた過給式流動焼却炉をベースとして最大限の抽熱を図る「創エネルギー型焼却システム」を組み合わせることで、最大限の創エネルギーを実現するものであり、2019年より本システムをAセンターに建設し、実証試験を行っている。同実証では、焼却廃熱を使った加温濃縮脱水システムによる低含水率化と自然運転、抽熱工程におけるボイラ性能の継続維持、温室効果の高いN₂O排出量の削減を目標とし、1カ月間の連続運転試験を実施した。本稿では同連続運転の経過および、そこで得られた知見および導入効果について報告する。

2 実証試験概要と実証結果

2.1 システム概要

本開発で目指す創エネルギー型脱水焼却システム概要を図1に示す。同システムは、大きくわけて「加温濃縮脱水」工程と「創エネルギー型焼却」工程で構成される。

加温濃縮脱水工程では、加温濃縮部と加温脱水部によって構成され、焼却廃熱として排出される温排水によって汚泥を加温し、脱水阻害物質の排除・透水性向上・凝集剤との反応性向上の効果により、混合生汚泥で含水率70%以下の低含水脱水を実現する。

創エネ型焼却工程では、汚泥の低含水率化によって燃焼空気の予熱が不要となり、従来水分を蒸発させるために必要であった熱量を全て発電利用に回すことができ、最大限の抽熱が可能となる。また、基本フローは過給式流動炉をベースとしており、ファン・ブロワ類を過給機で代替することで、従来の気泡流動炉と比較して約50%程度の省電力が可能となる。最大限の抽熱による高効率発電と過給式流動炉による大幅な省電力の組み合わせにより、自然かつ設備で消費する電力以上の発電を行う創エネルギーが可能となる。

なお、本システムを構成する濃縮機、脱水機、焼却炉等の主要機器は、すでに当社にて実績のある機器・設備を使っており、組み合わせと運転条件の工夫により、創エネルギーを実現するものである。

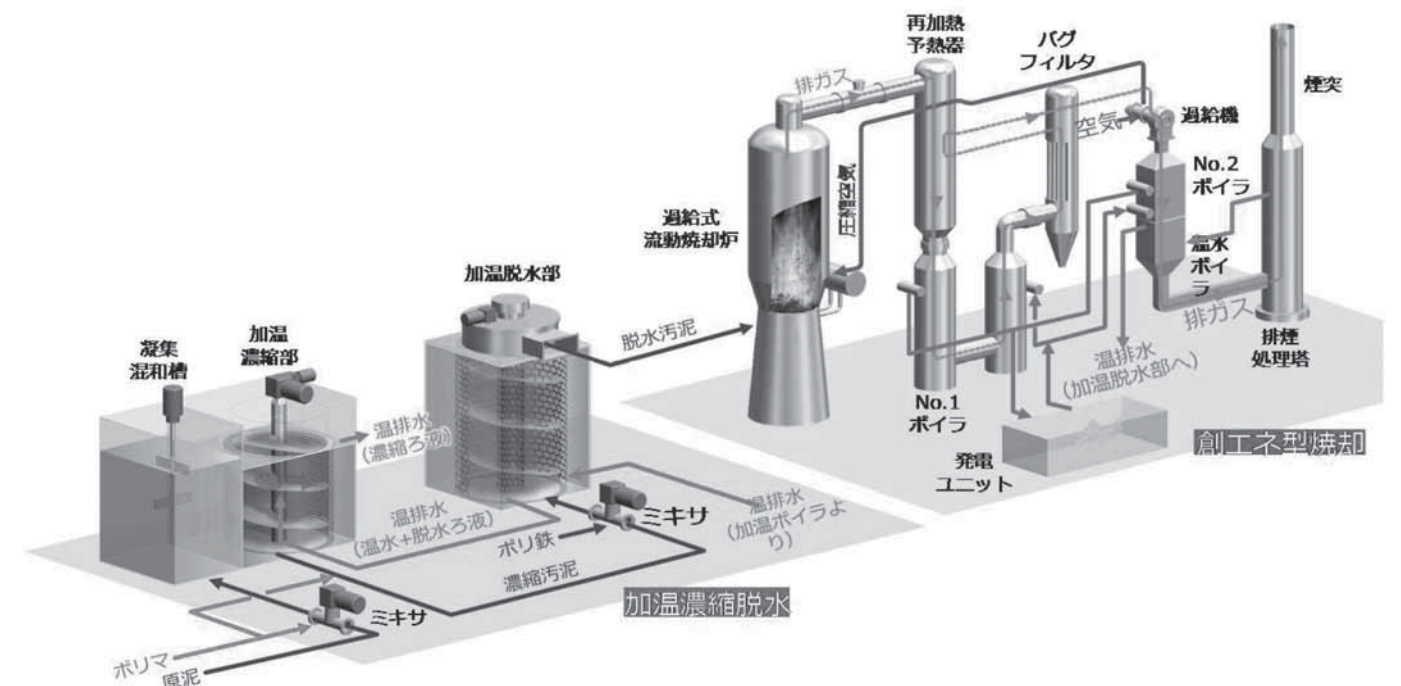


図1 創エネルギー型脱水焼却システム概要
Fig.1 Outline of Energy-generating dewatering incinerator system

2.2 実証試験設備概要

2019年よりA センターに実証設備を建設し、上述2.1のシステムの各要素技術の検証および連続運転による安定性の確認を行った。

表1に実証設備仕様、表2に実証条件、図2に創エネ型焼却システム実証設備の概略フロー、図3に設備外観写真を示す。また、本実証設備は、脱水汚泥195kg/h処理の小規模設備のため、商用機と異なる点が数点あり、それらを表3にまとめる。

実証設備は、加温濃縮脱水工程、焼却工程、抽熱工程、集塵工程、加温濃縮脱水用の廃熱利用工程により構成される。加温濃縮脱水工程は、加温濃縮部と加温脱水部で構成され、焼却廃熱による高温水の注入および2液薬注により低含水率脱水を行う。焼却工程では、約100kPaGの加圧条件で約850℃の燃焼を行う。抽熱工程では、集塵前の高温燃焼排ガスを廃熱ボイラに通風し、後段のバグフィルタ耐熱温度となる230℃以下まで抽熱を行う。集塵工程ではバグフィルタ(集塵温度約200℃)を使用し、集塵を行う。なお、本焼却システムのベースとなる過給式流動炉は、高温高压の燃焼排ガスを過給機に通すことで燃焼空気の圧縮を行うため、集塵後の条件では過給機の運転が困難になることから、集塵排ガスを再度炉出口の高温排ガスで過給機の使用が可能な温度まで再加熱し、過給機における仕事を考慮し、減圧弁にて減圧する(表3過給機参照)。廃熱利用工程では、排煙処理塔過冷却排水を温水ボイラで加熱し、加温濃縮脱水を効率よく行うこと

ができる80～90℃の温排水を作り、加温濃縮脱水工程に移送する。実証試験は、設備仕様となる脱水汚泥195kg/hの混合生汚泥を焼却炉に投入し、24時間連続運転を1カ月間実施した。その間、加温濃縮脱水工程で利用する熱源は焼却廃熱のみとした。

2.3 実証試験結果

2.3.1 連続運転結果

焼却廃熱を用いた加温濃縮脱水の1カ月連続運転経過を図4に示す。汚泥負荷率は、おおむね100%を維持したが、含水率65%付近において汚泥搬送系の圧力損失が上昇し、90%まで低下する運転が数日見られた。

脱水汚泥含水率は、焼却廃熱のみで65～71%を維持し、安定して運転できることを確認した。また、脱水時のポリ鉄添加率は、0.9～8.5%、平均4.5%の低薬注条件で推移し、焼却炉の自然域である含水率約70%以下まで脱水できることを確認した。

また、同図の「対乾燥熱量割合」は、加温濃縮脱水工程で使用した熱量を乾燥機で水分76%から70%まで乾燥した場合の熱量(当社計算値)で割った値であり、乾燥と比較して1/3以下の熱量で水分を除去できていることを確認した。これは、乾燥工程では蒸発潜熱分の熱量が必要であることに対し、本システムでは汚泥を所定の温度に加温する顕熱分の熱量で同じ水分量を除去できることによる。

表1 実証機の仕様
Table1 Demonstration machine specifications

項目	加温濃縮脱水システム	焼却システム
型式	濃縮:ろ液浸漬型濃縮装置	過給式流動焼却炉
機種サイズ	濃縮:1㎡機 脱水:0.8㎡機	φ1,350×14.1mH
定格処理能力	濃縮:10㎡/h 脱水:77kg-DS/㎡/h	195kg/h

表2 実証条件
Table2 Demonstration conditions

項目	条件
受入汚泥条件	重力濃縮汚泥:機械濃縮汚泥=1:1
濃縮汚泥濃度(TS)	2.9～3.6%
可燃分(VTS)	80～84%
高位発熱量	18,000～18,800kJ/kg
脱水汚泥含水率	71%以下目標
脱水汚泥処理量	195kg/h目標
焼却温度	850℃
燃焼圧力	100kPaG

表3 商用機との相違
Table3 Differences from commercial machines

項目	相違点
発電設備	発電設備は設置せず、熱媒体冷却後に循環利用(商用機は発電)
燃焼空気	小規模設備では放熱が過大となるため、燃焼空気ヒータで一定温度に加温(商用機は加温不要)
過給機	小規模設備では安定運転困難。すでに実用化している技術のため今回は省略。燃焼空気はルーツブロワで加圧(商用機は過給機で加圧)

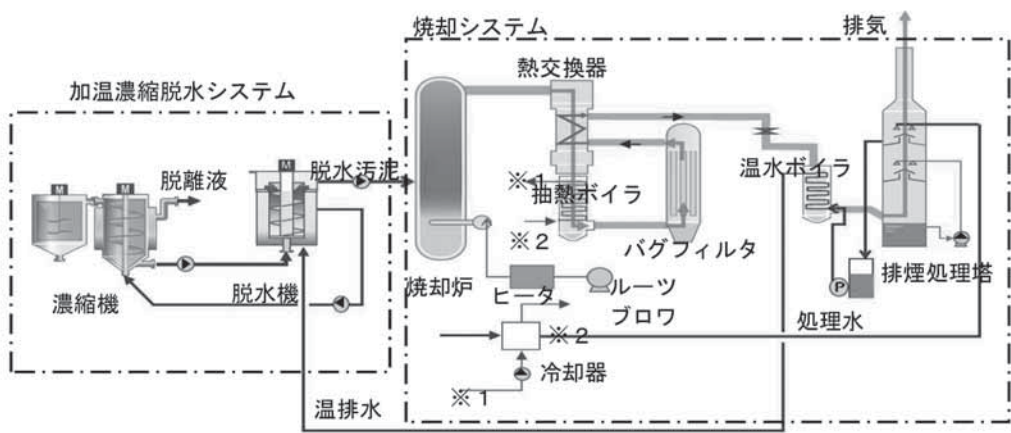


図2 創エネ型焼却システム実証設備 概略フロー
Fig.2 Outline flow of energy-generating incinerator system demonstration equipment

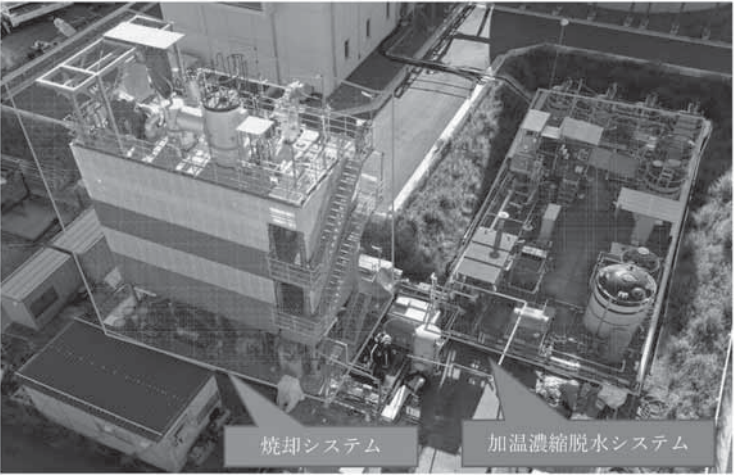


図3 創エネ型焼却システム実証設備 外観
Fig.3 External appearance of Energy-generating dewatering incineration system demonstration equipment

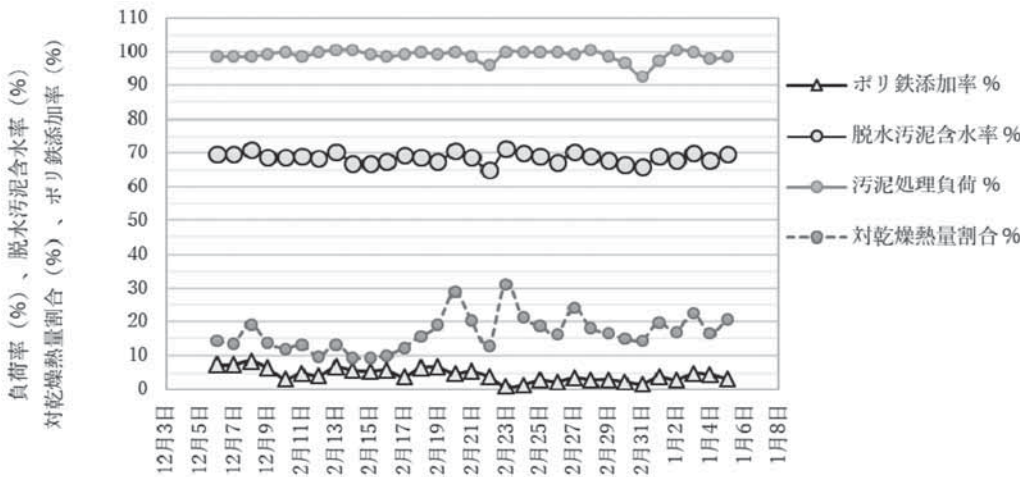


図4 加温濃縮脱水工程運転経過
Fig.4 Operation process of heating, concentration and dewatering process

2.3.2 N₂O 発生量について

炉内温度およびN₂O 排出量の経過を図5に示す。炉内温度は、砂層上部が700℃～800℃、フリーボード下部が900℃以上となり、フリーボードでの燃焼温度が局所的に高い運転となった。

これにより燃焼温度に大きく依存するN₂O 発生量は、日平均で0.15kg-N₂O/t-wet 以下となり、従来の流動焼却炉（高温焼却）の排出量0.645kg-N₂O/t-wetの1/4以下であることを確認した。

なお、N₂O 発生量とNO_x 発生量はトレードオフの関係にあることが知られているが、図6より、今回の燃焼温度である880～940℃程度の温度帯におけるNO_x 発生量は最大30ppm（生値）程度であり、大気汚染防止法施行規則で定められた規制値250ppm（O₂12%換算値）に対し、十分に小さい値であることを確認した。

2.3.3 炉内燃焼について

前項で述べたとおり、焼却における温度勾配は、砂層温度が比較的低く、フリーボード下部温度が局所的に高くなる傾向にあった。ベースとなる過給式流動炉では、100kPaG 以上の加圧下燃焼により酸素分圧が高くなり、結果として燃焼速度向上によりフリーボード温度が局所的に上昇する。

しかし、これまでの過給式流動焼却炉実績ではフリーボード温度は860～870℃程度であり、本実証結果はさらに高温燃焼の傾向が確認されており、加圧下燃焼のほかに別の要因が考えられる。従来の過給式流動炉と本実証炉の違いは、加温濃縮脱水工程の有無であるため、別要因が汚泥性状の変化にあるとみて脱水汚泥の揮発分の測定およびTG-DTA 試験を実施し、加温温度との相関の有無を確認し

た。加温温度と揮発分割合の関係を図7、加温温度と燃焼速度（TG-DTA 測定による分解速度）の関係を図8に示す。なお、TG-DTA 試験とは、試料の温度を変化させながら試料の重量変化測定（TG）および示差熱測定（DTA）を同時に行い、試料の分解・酸化反応（吸熱・発熱反応）を調査する手法の一つである。

図7より、加温温度と揮発分割合の関係は、正の相関がみられた。特に冬季においてこの傾向は顕著であり、夏季は送泥・貯留時に腐敗・消化が進むため、揮発性物質がすでに減った状態であるものと推察する。図8より、加温温度と燃焼速度の関係は、負の相関となっているが、縦軸がTG 線図における重量減量を示しているため、加温温度が高いほど燃焼速度（分解速度）が上昇していることを示唆する結果となった。

以上の結果より、本システムにおける炉内局所高温は下記要因によるものと推察する。なお、汚泥の加温により、粘度低下も起こるため、下記②の過程で分散性向上も加えている。

- ① 加温濃縮脱水工程において、低含水率脱水と同時に、汚泥が改質されて揮発分割合が増え、「燃焼しやすい汚泥」となる。
- ② 炉内に投入された加温濃縮脱水汚泥は、砂層上層部で速やかに分散・乾燥・熱分解・燃焼する。加圧下燃焼における燃焼速度上昇も合わせ、砂層中～下層での燃焼割合は従来炉と比較して少なく、結果としてフリーボード下部にて完全燃焼し、局所高温化する。

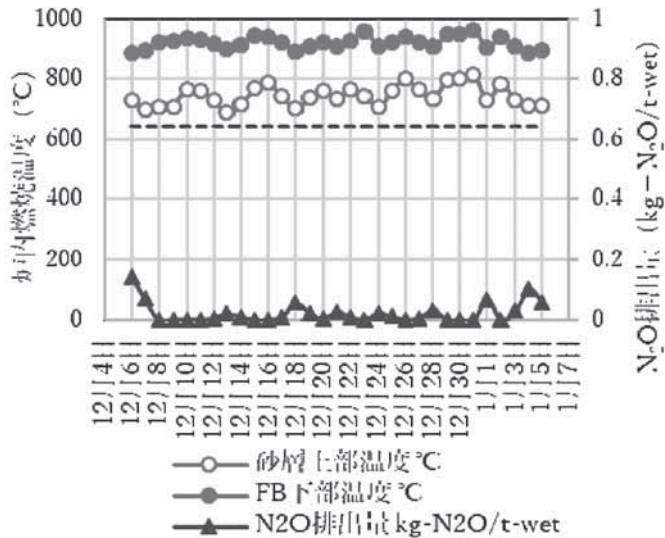


図5 炉内燃焼温度とN₂O 発生量経過
Fig. 5 Combustion temperature in the furnace and progress of N₂O generation

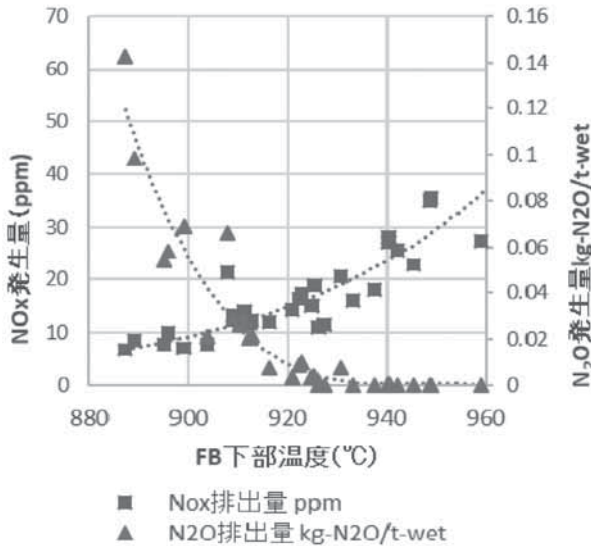


図6 燃焼温度とN₂O、NO_x発生量相関
Fig.6 Correlation between combustion temperature and N₂O and NO_x generation

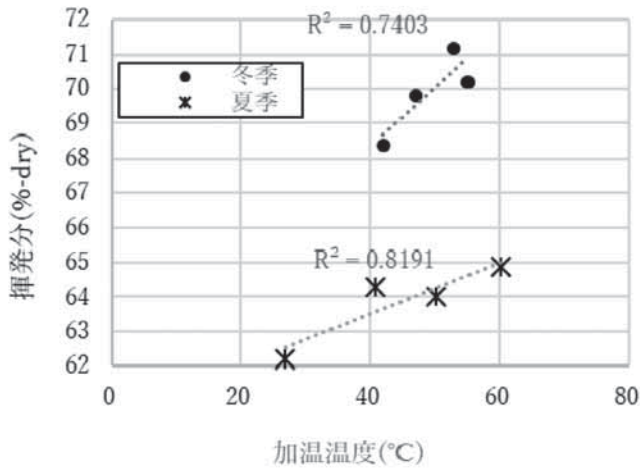


図7 加温温度と汚泥揮発分割合の関係
Fig.7 Relationship between heating temperature and sludge volatile content ratio

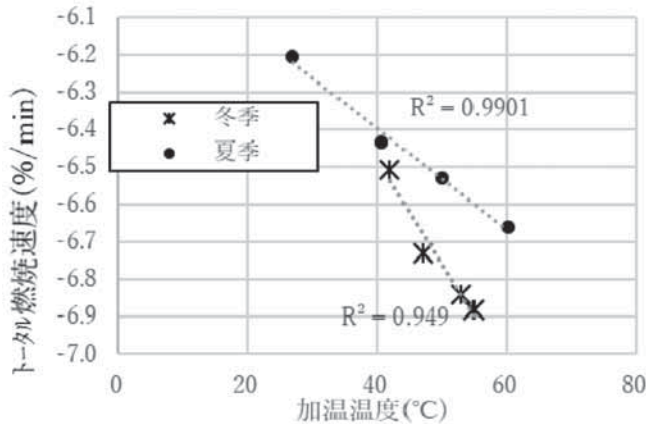


図8 加温温度と燃焼速度の関係
Fig.8 Relationship between heating temperature and combustion rate

2.3.4 ボイラ性能について

本実証では、小規模設備のため対応する発電ユニットがなく、実機における発電量は、ボイラの安定性（安定して抽熱できるか否か）で評価した。なお、本システムでは放熱量を最小限にとどめるため、排ガスラインに廃熱ボイラを設置して抽熱する思想としており、特に排ガス中ばいじん濃度 20 ～ 30g/Nm³ の環境となる集塵工程一次側のボイラは、ダストによる閉塞等が懸念される。このため、あえてスートブロワによる払落し機構を使用せず、1カ月の連続運転におけるボイラ性能の指標となる総括伝熱係数（以下 U 値）の経過を調査した。

図9の経過より、運転 U 値 / 設計 U 値は 150 ～ 160% 程度を維持しており、設計値以上の性能を継続して運転できることを確認した。なお、設計値を大幅に上回る性能となっている要因は、100kPaG 以上の圧力下であることから熱密度が高くなっていること、ボイラの構造によるものと推察している。また、出口排ガス温度は 180 ～ 190℃ 程度に安定しており、後段 バグフィルタの耐熱条件である 230℃ 以下の条件も満足していることを確認した。

以上より、本システムは、計画どおりの抽熱・発電が可能であると判断する。

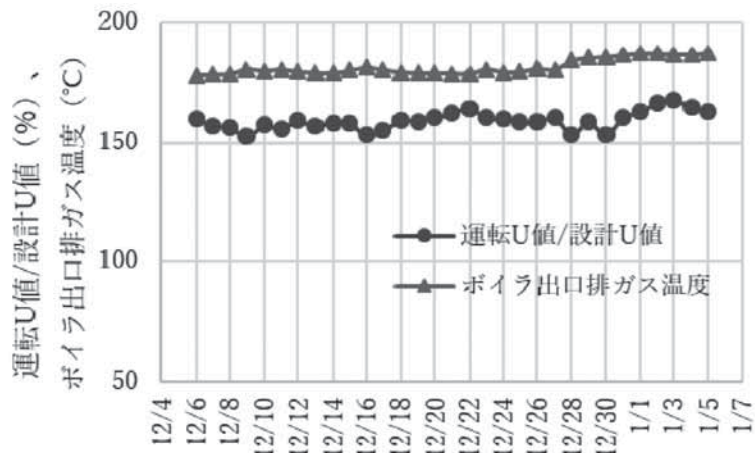


図9 ボイラ性能経過
Fig.9 Boiler performance progress

3 まとめ・将来の展望

3.1 実証結果まとめ

A センターにおける実証試験により、以下結論を得た。

▶ 焼却廃熱を用いた加温濃縮脱水

加温濃縮脱水工程では、ポリ鉄添加率約 5% および従来乾燥機の 1/3 以下の熱量（含水率 76% から 70% に乾燥）で自燃可能な含水率に脱水できることを確認した。

▶ N₂O 排出量の削減

加温濃縮脱水工程による汚泥改質および加圧下燃焼による燃焼速度上昇により、燃焼時に高温場が形成され、N₂O 発生量は従来の流動焼却炉（高温焼却炉）の 1/4 以下であることを確認した。

▶ 抽熱工程におけるボイラの性能維持

高温・高ダストの燃焼排ガスを通風する廃熱ボイラにおいて、性能の指標となる総括伝熱係数を安定して維持できることを確認した。

3.2 将来の展望

実証試験で得られた結果から、本システムの導入時の温室効果ガス排出量を試算し、従来の炉である気泡流動炉や過給式流動炉と固形物処理量を同規模（29t-DS/日 含水率 71% 時 100t-WET/日）として比較検討をした。試算結果を表 4 および図 10 に示す。

100t/日規模の創エネルギー型脱水焼却システムの場合、補助燃料はゼロとなり、発電によって約 200kW の創エネルギーが可能となる。また、N₂O 発生量は従来高温焼却炉の 1/4 以下となり、温室効果ガス発生量は高温焼却対応の気泡流動炉と比較して約 9 割減の効果が期待される。

本システムは、排水熱の利用等、下水汚泥が持つエネルギーポテンシャルを余すことなく利用し、消費以上のエネルギーを生み出す、いわばバイオマスエネルギー供給設備ともいえる。本開発が脱炭素社会実現の一助となることを期待する。

表 4 補助燃料使用と電力消費
Table4 Auxiliary fuel usage and power consumption

項目	気泡流動炉	過給式流動炉	創エネ型
汚泥種類	混合生汚泥		
処理規模	約 29 t-DS/日		
含水率	78%	78%	71%
助燃の有無	あり	あり	なし
電力消費	420kW 消費	220kW 消費	200kW 創エネ

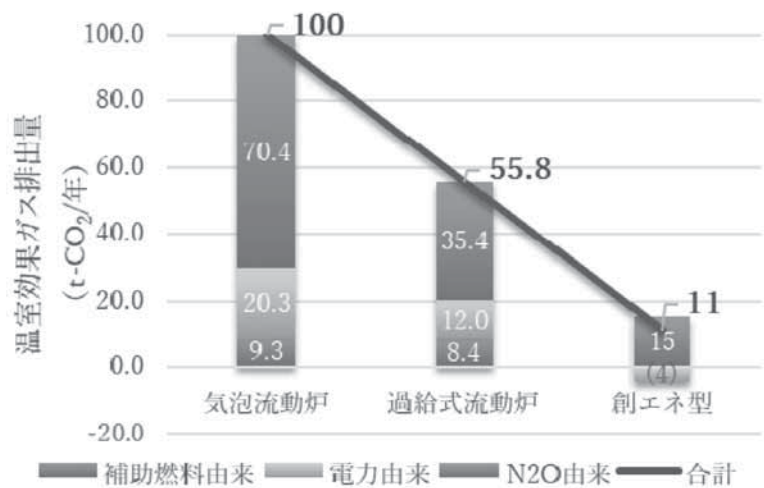


図 10 温室効果ガス排出量比較
Fig.10 Greenhouse gas emission comparison

4 謝辞

フィールド提供等のご協力をいただきましたAセンター関係者の方々に深く感謝の意を表します。

参考・引用文献

- 1) 優ら、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，pp1009-1011,2020
Yamato et al., Demonstration report of heating concentration dewatering system, 57th Sewerage Research Presentation, pp1009-1011, 2020

AI 技術を活用した創エネルギー型 焼却システムの自動制御に関する取り組み

Approaches to automatic control of Energy-Creating Incineration Systems using AI technology



深澤 淳基
FUKASAWA Atsuki
開発本部
研究開発部
研究開発グループ

Abstract

In recent years, the application of AI to parameter prediction and optimization has been attracting attention, and the number of cases in various tasks is increasing. In addition, examples of AI applied to plant equipment have been introduced at various conferences. As such, Tsukishima Kikai Company has also started to work on research and development related to AI. Here, the company decided to apply AI to a newly developed plant, an energy-generating incineration system, with the aim of automating controls that previously required human intervention. Specifically, we selected the parts of the system that required AI, and subsequently applied AI methods appropriate for each problem, such as machine learning, deep learning, and model predictive control. We verified the controllability by testing them in an actual plant. In this paper, we report the control results obtained through the verification and describe the future prospects of utilizing AI methods.

近年、AIを適用したパラメータの予測および最適化が注目されており、様々なタスクでの事例が増加傾向にある。また、プラント設備にAIを適用した事例も様々な学会で紹介されている。月島機械株式会社はこのような社会情勢に対応するため、AIに関する研究開発を取り組み始めた。今回 AI適用の対象を新規開発プラントである創エネルギー型焼却システムにし、人の介入が必要であった制御の自動化を目指した。具体的に、AIが必要な部分を選定し、それぞれの問題にあったAI手法を適用した。ここで定めるAI手法は機械学習、ディープラーニング、モデル予測制御のことを示し、実プラントにて検証を行うことで、制御性の妥当性を検証した。本稿では、検証によって得られた制御結果の報告と今後の展望について記載する。

キーワード：自動制御、ディープラーニング、モデル予測制御、機械学習、創エネルギー型焼却システム
Keyword: Automatic control, Deep Learning, Model Predictive Control, Machine Learning, Energy-Saving Incineration Systems

1 はじめに

近年、データ保存容量の増大や計算ツールの発展により、ビッグデータと呼ばれる大量のデータを扱ったAI技術が注目を浴びている。さらに、AI技術の1つであるディープラーニングの登場によって、プロ棋士に勝利したAlphaGoの活躍や画像認識コンペにおいてディープラーニングを使用したチームが圧勝するような出来事が重なり、注目度が高まってきている。現在は、インターネット上で有識者が作成したAIプログラムを無償公開（オープンソース）しているため、AI技術の適用が容易となっており、さまざまな産業分野で扱われ始めている。適用事例として製造業における部品の不良品検知や医療業における内視鏡画像

支援システム、自動車の無人自動運転、サービス業でのタクシー需要予測などがある¹⁾。上下水道プラント設備においても例外ではなく、また新下水道ビジョン加速戦略の取り組み方向性の1つとして、「人口減少等社会情勢の変化に柔軟に対応できる技術の導入促進」²⁾を掲げられていることから、下水道展や下水道研究発表会にて水処理設備の水質予測や設備の異常検知にAIを利用する取り組みが競合他社などからも発表されている。

このような社会情勢に対し、当社では新規開発した創エネルギー型焼却システムにAI技術を取り入れ、従来不可能であった部分への自動制御の適用・実現を目指した。本稿では、AI技術を適用した自動化システムの構築の要点(ポイント)と自動制御結果について報告する。

2 AI技術の定義付け

AI技術に関する定義は明確になっておらず、一般社団法人人工知能学会では、「大量の知識データに対して、高度な推論を的確に行うことを目指したもの」³⁾とされている。月島機械では、AI技術について、図1のように定義を行った。

今回、図1で定めたAI技術(最適化、機械学習、ディープラーニング)を用いて創エネルギー型焼却システムの自動制御を目指した。

3 創エネルギー型焼却システムにおけるAI技術による自動化システム

創エネルギー型焼却システムは、濃縮設備、脱水設備、焼却設備といった3つの設備を持ったシステムとなっており、それぞれの設備にて従来技術では自動運転が困難なプロセスがあるため、AI技術にて自動化を目指した。図2は、創エネルギー型焼却システムの簡易フローとなっており、AI技術適用箇所をAIポイントとして示している。

AIポイントごとに掲げている簡易的な内容について以下に記載する。詳細内容はこの後の節にて記載する。

AIポイント①：最適なフロック形成を目的とした制御であり、画像認識技術にて構築される。

AIポイント②：脱水機含水率安定制御で、脱水汚泥含水率の安定化を目的とする多入力系の回帰モデルを構築。

AIポイント③：焼却炉内温度安定制御であり、自然運転を目的とした予測型制御を構築。

3.1 濃縮設備とAIポイント①

濃縮設備における濃縮性能および後段の脱水設備における脱水性能は汚泥フロックの状態に依存する。最適な汚泥フロックを形成させるためには、汚泥に添加する高分子凝集剤の添加率やミキサおよび凝集混和槽の回転数を適切に運転する必要があるが、汚泥フロック形状の判別は人の目視や触覚に頼っており、自動化が困難とされていた。(以下、高分子凝集剤の添加率を「ポリマー薬注率」と称す。)

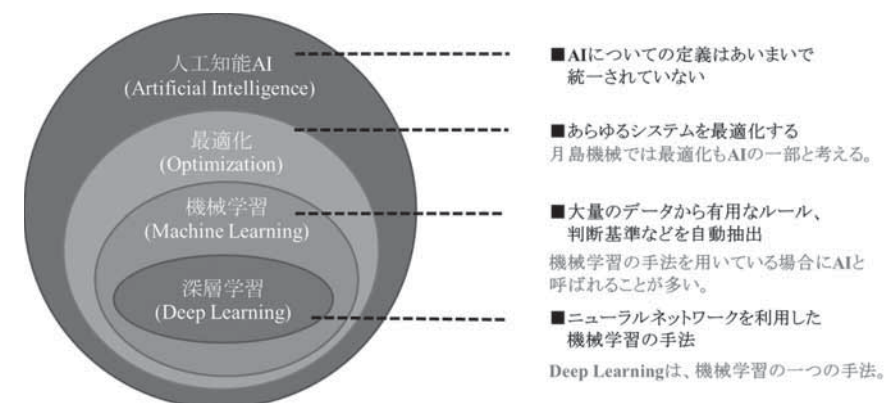


図1 月島機械でのAI技術に関する定義
Fig.1 Definition of AI by Tsukishimakikai Company

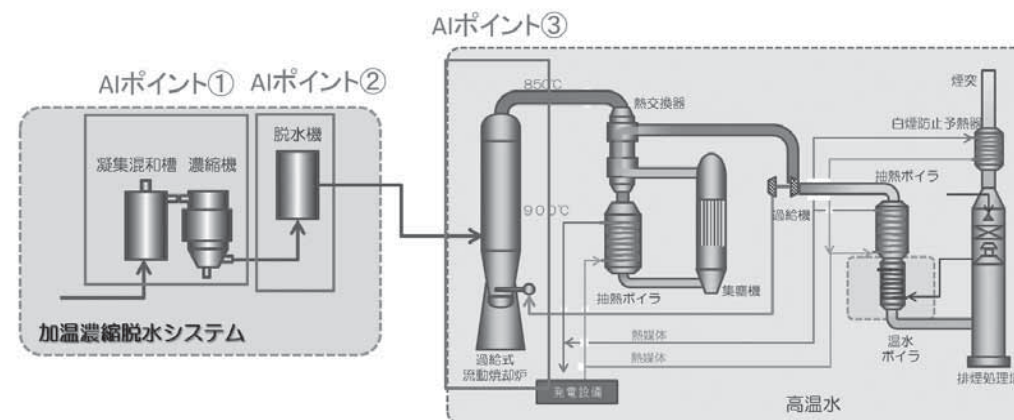


図2 創エネルギー型焼却システムの簡易フローとAIポイント
Fig.2 Process diagram of the energy-creating incineration system and AI applying points

図3のような運転では、人の運転経験によって汚泥フロクの判別結果が変わってしまうため、確かな制御が行えているか第三者目線からは判断できない。そのため、最適な状態を判断する定量的な指標が必要になった。従い、AIポイント①では、汚泥フロク状態を数値化し、自動制御に使用する。

3.1.1 汚泥フロク状態の数値化

濃縮設備（今回はロノッシュ®を対象とした）の凝集混和槽上部に取り付けられたカメラより汚泥フロク画像を検出し、画像からディープラーニングを使用することで汚泥フロク状態を特徴量として数値化する。図4は凝集混和槽上部から撮影した汚泥フロク画像である。

一般的にポリマー薬注率が最適であるほど汚泥フロクが大きくなり、ポリマー薬注率が過少でも過剰でも汚泥フロクは小さくなる。汚泥フロクが大きくなるほどフロク間の間隙が大きくなることに着目し、間隙を汚泥フロク状態の判別指標にするため、ディープラーニングの1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⁴⁾。この技術を使用することで、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、ハッチング部分は人が間隙と認識した領域、黒部分は

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。

図5における間隙の 픽セル 正答率は94.6%程度あり、精度よく間隙を認識できていることがわかる。また、この間隙領域は面積として算出できるため、汚泥フロク画像を数値化することができる。なお、数値化は汚泥フロク画像に写る間隙の平均面積値にて行った。

3.1.2 汚泥フロク状態の最適指標

AI技術によって間隙面積として数値化できることが分かったが、算出した数値と汚泥フロクの状態を関連付ける必要がある。今回の取り組みでは良い汚泥フロクの判断を加温効率と比較し、加温効率が高いほどフロクの状態が良いと定義した。加温効率とは、温水により汚泥フロクがどの程度温められたかを表す当社で使用している指標であり、高ければ高いほど汚泥フロクに熱が伝わっていることがわかっており、良い汚泥フロク形状の場合、温水からの熱伝導が良いため加温効率が高く表示される。この傾向を利用し間隙面積と加温効率の関係性をまとめたグラフが図6であり、加温効率が高まっている部分の間隙面積が最適間隙面積となる。

図6より濃縮設備に投入される混合汚泥流量に関わらず、間隙面積が1000～1500の範囲で加温効率が高まり、1250付近で最高になることがわかった。これにより、目標とすべき間隙面積が定められるため、フロクの状態をAIで判別、間隙面積を算出して、上記の目標値

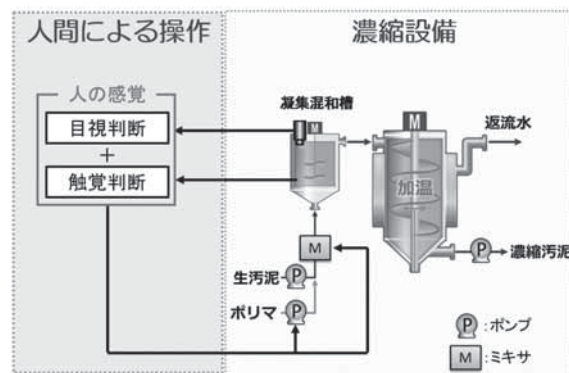


図3 濃縮設備における人の運転介入
Fig.3 Ordinal operation schematic of the dewatering system before applying AI system

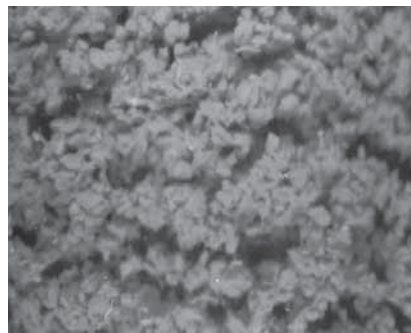


図4 汚泥フロク画像
Fig.4 Picture of sludge floc



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

に近づけられるようポリマー薬注率を操作してあげればよい。今回この操作の部分には時間遅れを考慮し、サンプルPI制御器を使用した。

3.2 脱水設備、焼却設備とAIポイント②、③

創エネルギー型焼却システムは、脱水機から排出された脱水汚泥がそのまま焼却炉へ送られるため、脱水汚泥含水率によって焼却炉内の燃焼状態が大きく変わってくる（焼却炉への脱水汚泥投入量は一定としている）。この焼却システムの大きな利点として、補助燃料を不要とした自然運転ができる点だが、そのためには焼却炉が求めている脱水汚泥含水率に制御する必要がある。今回実証で使用した焼却システムでは自然運転を継続して行うためには、焼却炉内の砂層温度680℃以上かつフリーボード温度が980℃以下の状態を保たないといけない。このような条件のもと、自然運転においては、以下の重要な運転管理項目がある。

- (1)：外乱の影響を考慮した上で焼却炉内の温度傾向を捉える。
- (2)：焼却炉内の温度傾向は脱水機から焼却炉までの搬送時間を考慮する必要がある。
- (3)：焼却炉内の温度傾向から最適な含水率を算出し、脱水機にて調整を行う。

これらの3つの運転管理項目を満足させるような運転を実施するために、AIポイント③は焼却炉内の温度傾向を予測し、自然運転が継続できる含水率を出力する制御システムを構築している。AIポイント②はAIポイント③から出力された含水率となるように脱水機を制御するカスケード型制御システムを構築する。

3.2.1 カスケード型制御システム

AIポイント②、③によるカスケード制御と創エネルギー型焼却システムの関係を図7に示す。

AIポイント③では、モデル予測制御を使用し、脱水機から焼却炉

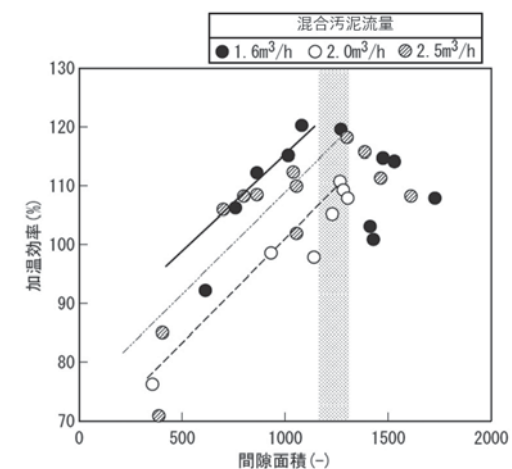
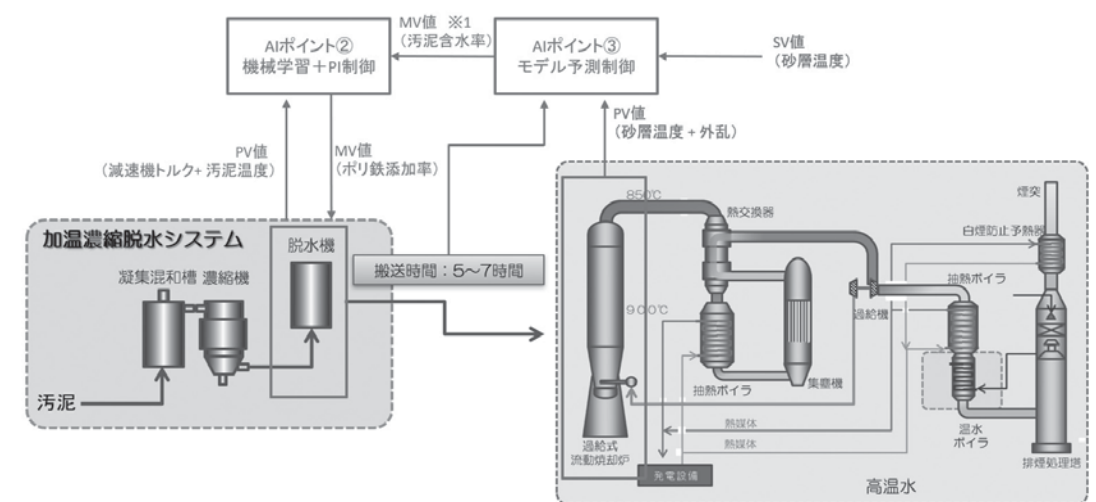


図6 加温効率と間隙面積
Fig.6 Thermal thickening efficiency and area of floc gap



※1 AIポイント②から見たらSV値となる。

図7 AIポイント②、③によるカスケード制御装置
Fig.7 Cascade control system of AI point 2 and 3

までの搬送時間を考慮した上で砂層温度を予測する。これによって、過去の運転状態も加味し、未来の挙動を予測した最適な含水率を出力できる。また、AIポイント③で出力された含水率となるようにAIポイント②で脱水性を向上させるために添加しているポリ硫酸第二鉄（以下、「ポリ鉄」と称す）添加率の制御を行っている。なお、ポリ鉄添加率は事前の調査結果より、脱水汚泥含水率を幅広く調整できることから採用した。AIポイント②では、「脱水機の軸トルク」と「汚泥温度」から「含水率」を予測する機械学習モデルを組み込んでいるため、このモデルを含水率計と見たてポリ鉄添加率の制御が行える。

3.2.2 モデル予測制御

モデル予測制御(MPC:Model-Predictive-Control)は、さまざまなプロセス産業界における適用が近年増加しており、化学工学の教科書に紹介されるほど有名な制御手法となってきた。このように注目度が上がっている理由として以下のようなことがあげられる⁵⁾。

1. 多入力多出力制御問題を取り扱うことができる。
2. プロセスの制約を考慮した上で、最適な操作量を出力することができる。
3. 焼却炉内温度のように時定数が長い問題にも適用がしやすい。
4. 計算機の性能向上とコストダウンが進み高速な演算を安価に構築できる。

MPCを組み込んだ制御ブロック図を図8に示す。

MPCは予測モデルと最適化器で構成されている。それぞれの役割

として、予測モデルは実プラントを模擬したモデルとなっており、ある操作量が与えられた場合に実プラントで出力される制御量を予測する。最適化器は予測モデルを使用して、未来を含めた最適操作量を算出する。

図9は実際に創エネルギー型焼却システムでMPCを行った結果のグラフになっている。MPCの制御対象は、温度制御に焼却炉までの膨大な搬送時間を加えたモデルのため、操作量を変えた影響が焼却炉に表れるまでに膨大な時間を要する。そのため、アグレッシブな制御をさせてしまうと大きく操作量を変更してしまうため、これが時間遅れを経て、大きなオーバーシュートとなり、途中で砂層温度を下げることができず設備の破損につながる可能性がある。このような設備破損トラブルを生じさせないため、操作量を緩やかに変更し、オーバーシュートを極力抑えるような砂層温度制御を目指した。図9の左図は800ステップ(1ステップを1分としている)まで制御した際に制御量(今回は砂層温度)がどのように変化するかを予測したもので目標値である赤線部にゆるやかに収束するように制御されているのがわかる。0から300ステップまでは、脱水機で既に生成された脱水汚泥が砂層温度にどのような影響を与えるか予測したもので、301ステップ以降は現在から未来の最適操作量を与えた場合に砂層温度がどのように変化していくかを表している。図9の右図は制御量を目標値に収束させるためにはどのような操作量(今回は脱水汚泥含水率)にするべきかを表したグラフとなっている。操作量の計算は600ステップまで先の未来に対して行っている。

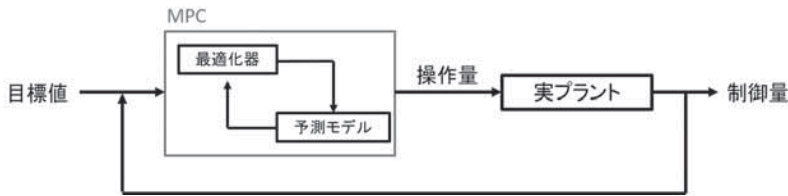


図8 MPCを組み込んだ制御ブロック
Fig.8 Control schematic of MPC

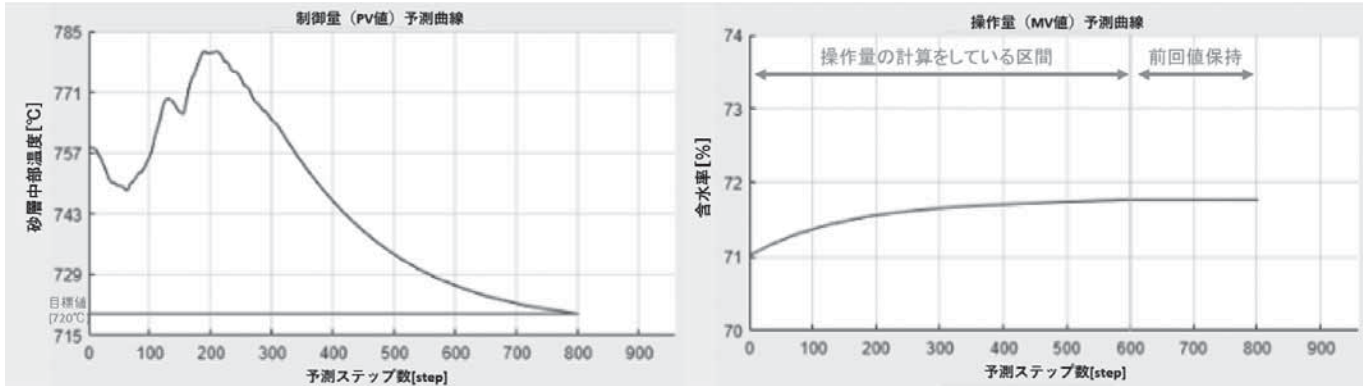


図9 MPCによる制御例
Fig.9 Example of control by MPC

3.2.3 含水率予測機械学習モデル

創エネルギー型焼却システムにおける加温脱水汚泥において、オンライン自動含水率計を設置した場合、汚泥温度の変化による精度誤差が問題となり制御に使用するのは難しい。今回は脱水機の運転データと含水率手分析値を使用して、運転データから含水率を予測する機械学習モデルを構築した。このようにあるデータから目的の値を予測することを回帰という。機械学習モデルの回帰手法として、線形回帰やサポートベクターマシーン、決定木、ガウス過程回帰、ニューラルネットワークなどがあげられるが、今回、含水率予測には線形回帰(重回帰)モデルを使用した。図10-1および図10-2では、運転データとして使用した減速機トルク(脱水機軸トルク)と汚泥温度、かつ手分析含水率の散布図から機械学習モデル(今回は線形回帰モデルを適用)を構築している。なお、図10-1は減速機トルク視点からみた図で、図10-2は汚泥温度視点からみた図となっている。これらの図から減速機トル

クが高くなると手分析含水率は低くなるような負の相関が見られ、汚泥温度についても、温度が高くなると手分析含水率が低くなる負の相関が見られた。図10-3では、機械学習モデルによって予測された含水率と手分析含水率を比較することで予測精度の検証を行った。また、回帰モデルの予測精度を表す指標として、今回はRMSE(Root Mean Square Error)を使用した。RMSEの算出は式(1)の通りで、値は低ければ低いほど、予測誤差がないことを表しており、正確な回帰モデルとなる。含水率の予測結果は0.87程度のため、予測誤差としては低い値となり、精度の高いモデルが構築できた。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - y_i)^2} \quad (1)$$

上式中のnは予測数、f1…fnは真値(今回は手分析含水率)、y1…ynは予測値となる。

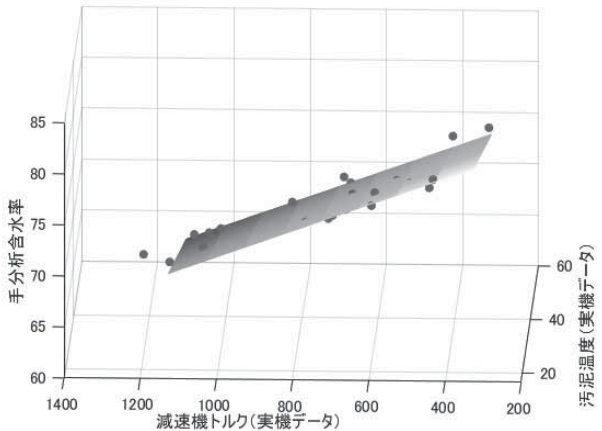


図10-1 含水率予測機械学習モデルの構築(パターン1)
Fig.10-1 Construction of machine learning prediction model for moisture content (Pattern 1)

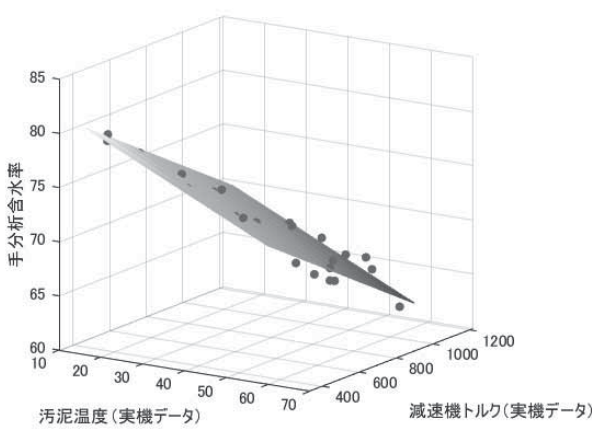


図10-2 含水率予測機械学習モデルの構築(パターン2)
Fig.10-2 Construction of machine learning prediction model for moisture content (Pattern 2)

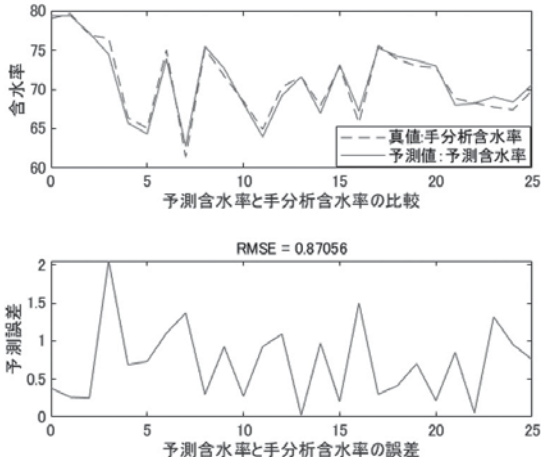


図10-3 含水率予測機械学習モデルの予測精度
Fig.10-3 Accuracy of machine learning prediction model for moisture content

4 結果と考察

結果と考察は、濃縮設備にて実施したAIポイント①と脱水焼却設備にて実施したAIポイント②、③とで分けて記載を行う。

4.1 AIポイント①の制御結果

汚泥フロックの画像をAI技術にて認識して、間隙面積を算出することにより、その間隙面積の目標値を1250に定め、ポリマー薬注率の自動制御を実施した。さらに加温効率が間隙面積の変動に併せてどのように変化するか確認した。結果を図11-1と図11-2に示す。

図11-1は、あらかじめポリマー薬注率を低い値から自動制御をかけたものである。薬注率が低い場合、ポリマーが不足し汚泥フロックが粗大化しないため、間隙面積と加温効率が低い値となっていた。そこから徐々に薬注率をあげることで汚泥フロックが粗大化し、間隙面積と加温効率が上昇した。図11-2はポリマー薬注率を高い値から自動制御をかけたものである。薬注率が高い場合、フロックが粗大化するため間隙面積が大きくなった。一方、加温効率については低くなっており、フロックが粗大化しすぎた影響で、フロック中心部まで加温され難くなったものと考えられる。最終的には、徐々に薬注率を下げることで間隙面積を1250付近へと収束させて加温効率が高まることを確認した。いずれの場合においても、薬注率は0.48%付近に落ち着き、目標間隙面積(1250±100の範囲)に収束し、加温効率も高まった。

4.2 AIポイント②、③によるカスケード制御結果

砂層中部温度の目標値を730℃と定めてAIポイント③とAIポイント②を連携した制御を行い、継続して自然運転ができるか検証した。自然運転が行えているかの判断は、補助燃料の投入量(重油投入量)によって導き出し、重油投入量が0[L/h]のとき自然が行えているものとした。制御結果を、図12に示す。

- ・連続自然期間：約6日間程度
- ・制御性：オーバーシュートはあるが、目標値付近で収束している。

脱水機におけるポリ鉄添加率を制御することにより、焼却炉に供給される汚泥の含水率を制御することができ、炉内の温度を安定化できることを示している。なお、この間はAIポイント①も機能しており、最適な汚泥フロック状態で運転されたものである。

5 まとめ

今回新開発した創エネルギー型焼却システムにAI技術を組み込むことで従来実現できなかった部分の自動制御を目指した。制御検証まで行い、実現できた部分と今後の課題を以下にまとめる。

- 実現できた部分
 - ・フロックの画像をAIで判断し、間隙面積を算出して、その間隙面積を最適値にするような制御を構築することにより濃縮機において、自

動制御システムを構築した。

- ・脱水、焼却においては、機械学習を用いたAIポイント②と最適化を用いたAIポイント③の組み合わせ制御を構築した。

- ・2つの制御系を組み合わせることにより連続自然運転を実施できた。

今後の課題

- ・汚泥の混合比の変更などによる性質が変化した場合の安定制御
- ・気候、天候や四季の影響を検討して、長期間での連続自然運転

今後さらに制御を改善することによりロバスト性を向上させ、またエネルギー効率なども最適化する自動運転を目指す。

参考・引用文献

- 1) 浅川伸一ら：ディープラーニングG検定(ジェネラリスト)公式テキスト, 翔泳社, 2018年
- 2) 国土交通省：新下水道ビジョン加速戦略(本文), 国土交通省HP, 2017年
- 3) 一般社団法人人工知能学会：一般社団法人人工知能学会定款, 一般社団法人人工知能学会HP, 2018年
- 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) Jan M.Maciejowski：モデル予測制御制約のもとでの最適制御Predictive Control with Constraints, 足立修一・菅野政明訳 学校法人東京電機大学東京電機大学出版局, 2005年

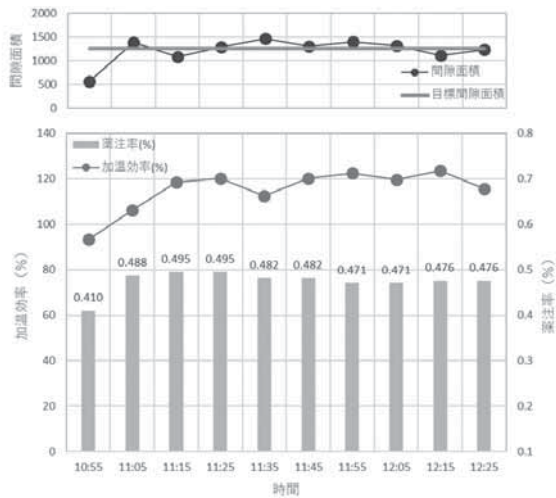


図11-1 ポリマー薬注率の自動制御結果(Case1)
Fig.11-1 Results of automatic control of polymer injection ratio (Case1)

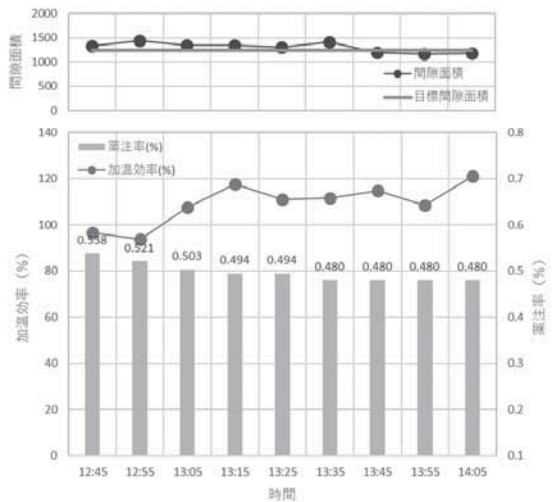


図11-2 ポリマー薬注率の自動制御結果(Case2)
Fig.11-2 Results of automatic control of polymer injection ratio (Case2)

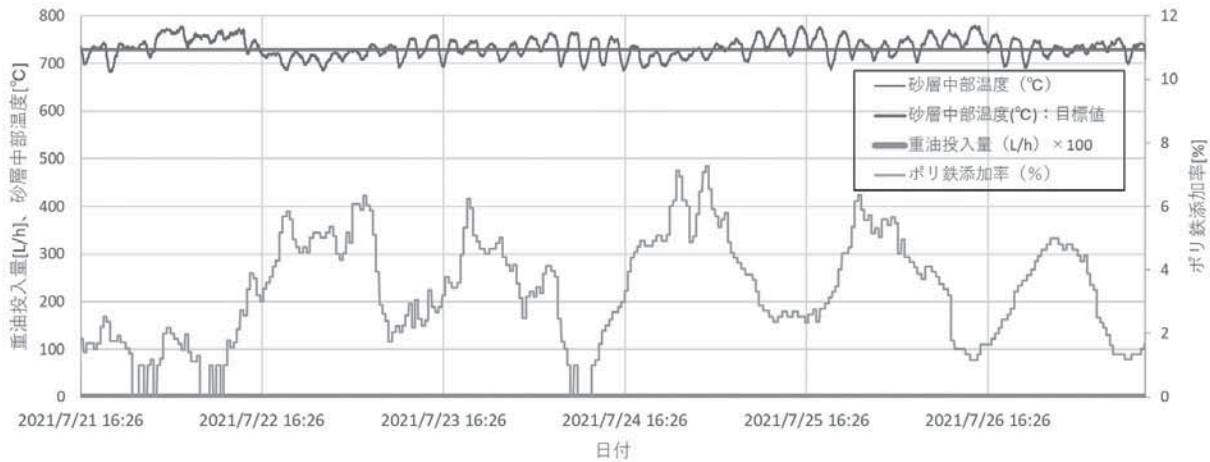


図12 砂層中部温度の自動制御結果
Fig.12 Results of automatic control of incinerator temperature

TSKコンテナ® システム _テスト設備の紹介

TSK Container Handling System – Introduction of test system



大関 淳矢
OOZEKI Junya
月島マシンセールス(株)
技術営業部
FA・電装グループ

Abstract

In recent years, efforts to improve the business environment through work system reform and evaluation of business continuity have been attracting attention. Factories are required to create an environment that improves productivity, safety, and quality as well as employee satisfaction, and the mechanization and automation of facilities are being promoted.

In the field of automation technology, we design and sell a powder-handling system that uses TSK Container as a mobile container. One of the features of TSK Container is that the valve can be opened and closed using the handle on the top. By using this container, it became possible to build a facility without chutes. As a result, our customers have highly valued and adopted the system that is free of contamination and can be easily adapted to various products. This time, I will introduce the redesigned test system of TSK Container for the purpose of improving test efficiency and further sales promotion.

近年、働き方改革による事業環境改善の取り組みや事業継続性の評価が注目されている。工場においては生産性、安全性、品質の向上と共に従業員満足度をも向上させる環境づくりが求められており、設備の機械化、自動化が進められている。

当社はこの自動化技術としてTSKコンテナ®を移動容器とした粉体ハンドリングシステムを手掛けている。TSKコンテナ®の特徴の一つに上部からバルブを開閉させる構造がある。このコンテナを使用することでシュートレス設備の構築が可能となった。その結果、コンタミレスで品種替えが容易な設備が実現、高い評価を頂きシステム採用が増えている。今回、テスト効率化と一層の販売促進を目的としてTSKコンテナ®のテスト設備をリニューアルしたので紹介する。

キーワード：コンテナ、粉体ハンドリング、計量
Keyword: Container, Powder handling, Weighing

1 はじめに

粉体工場では貯蔵・計量・混合・粉碎・造粒・篩分・充填等の主要設備とこれらの各設備間を繋ぐコンベア、空送設備、シュート等搬送設備が存在するが、特に粉体を取り扱う工程は人手を使って実施されることが多い。設備の自動化は、粉塵や騒音のなかで重労働をしている作業者を開放し、24時間連続して正確な動作ができる機械によって作業効率、安全性、品質の向上がはかれ安定して生産性を伸ばすことができる。そして労働人口減少のなかで人的リソースが確保できるようになる。人が直接関わる作業を減らすことで生産プロセスでの異物混入、コンタミを防止でき、システム管理された運転によってロット、トレーサビリティ管理はもちろん、突然の生産工程の変更にも素早く対応することができるなどのメリットがある。

近年、設備の自動化が進められている背景のなかで、自動化がはかれたコンテナハンドリング設備を実際に見ていただき、設備の機能を理解していただくことならびに、様々な粉種・性状に対する計量テ

ストを効率的に実施できることを目的として2020年にR&Dセンターのテスト設備をリニューアルした。このTSKコンテナ®システムのテスト設備について紹介する。

2 TSKコンテナ®システムの特長

TSKコンテナ®システムとはTSKコンテナ®を移動容器として使用した粉体ハンドリングシステムのことである。TSKコンテナ®は、粉体工場に適用する粉体ハンドリングの主要機器の一つであり、シャフトを有するコーンバルブをコンテナ上部から昇降させて粉体を排出する機構を有している。図1にTSKコンテナ®を2つ使用した計量ステーションを示す。このステーションでは、最上部の駆動装置で上側のコンテナのバルブを開閉して、下側のコンテナに計量排出する。図2は、実際の計量ステーションの画像となる。この上部駆動構造はコンテナハンドリングにおいて次の節で示す2点を実現した。

2.1 コンタミレス

コンテナ下部にはバルブ動作のための付帯機器が不要であるため、コンテナから別のコンテナ、もしくは次工程の装置などへシュートレス直接排出が可能である。シュートレスのため品種切替え時に手間のかかっていたシュート部の洗浄が不要となり、人が介在しないのでコンタミの発生リスクもない。

2.2 要求条件への多様性

バルブ口径を小径化することが可能となり、φ100、φ150、φ250の3種を標準化した。排出や計量に対して粉体性状と計量範囲、精度や時間といった条件に幅広く対応し最適なサイズを自由に選択できる。特に精度については排出バルブの開度制御(0.1mm単位)を利用したパラメーター動作により数gオーダーの高精度計量も実現し、ロス

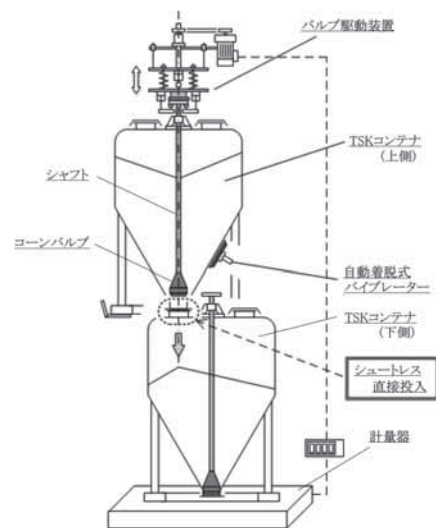


図1 計量ステーション概略図
Fig.1 Schematic illustration of the weighing station



図2 計量ステーション画像(コンテナ to コンテナ計量テスト機)
Fig.2 The weighing station for test

を減らして高品質にも対応できる。

ほかにもコンテナシステム全般における特長として、貯留・計量・混合・充填等の生産ロットをコンテナ単位で管理できること、粉塵が少なく良好な作業環境の実現や配置へのバリエーションが豊富で将来の計画にも柔軟に対応可能なことがあげられる。

3 テスト設備の構成

今回R&Dセンターに設置したテスト設備のプロットプランと全景を図3、図4に示す。テスト設備は、3つのステーション(①計量ステーション、②メンテナンスステーション、③将来用ステーション)と自動倉庫(④スタッカークレーン、⑤自動倉庫ラック)からなる設備である。

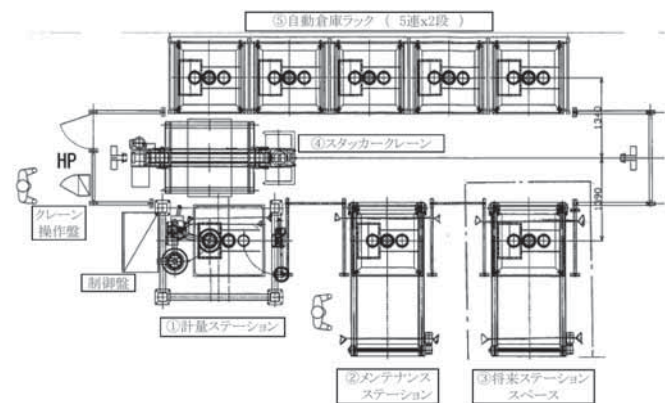


図3 テスト設備プロットプラン
Fig.3 A plot plan of the test system

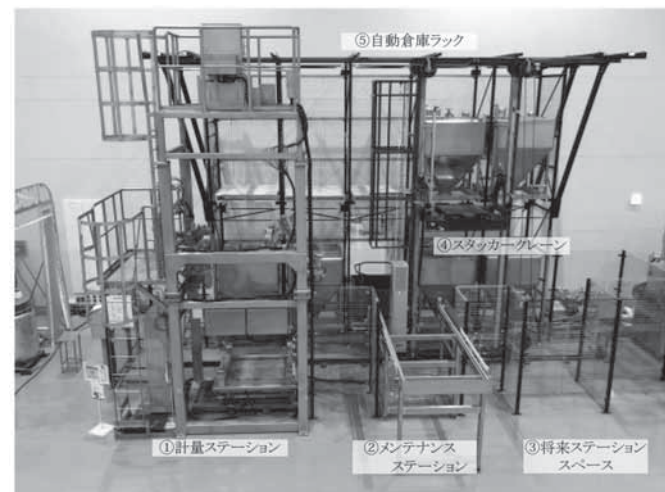


図4 テスト設備全景
Fig.4 Overview of the test system

3.1 自動倉庫

詳細として、最初に自動倉庫を図5に示す。定格荷重1トンのスタックークレーンおよび10棚(2段x5連)のラックで、1000LのTSKコンテナ®や□1200サイズのパレット積荷を保管、出入庫することができる(西部電機製)。

3.2 ステーション

次に3つのステーションについて説明する。①計量ステーションは、2019年、2020年の粉体工業展にも展示していたコンテナ to コンテナ計量テスト機である(図2)。粉体性状と計量範囲、精度や時間といった条件に最適なバルブサイズと計量パラメーターを導くためのテストを行うことができる。②はメンテナンスステーションとしている。本設備からコンテナや積荷の出し入れやバルブシール交換等メンテナンス作業、および洗浄テスト用ユニットを使用してコンテナの洗浄テストをここで行うことができる。③将来用ステーションはその他テスト用エリアとして確保しているもので、今後必要に応じて混合やその他テストを扱うエリアと考えている。

タッチパネルからの操作によりラックと各ステーションの移動及びテストを実施する。最大10個のコンテナを使用して、各種材料での計量テスト、コンテナからの排出確認テストなどができる設備となっており、お客様の要望に合わせて、無人での24hrの連続テストも実施することができる。

なお、補足となるが粉体計量テストはピーカーテストを行っておらず実機サイズで実施している。この理由は、一般的に粉体はスケールアップ時の相似性が成りたちにいくためであり、特に高精度の動作を伴うテストにおいては実機サイズのテストによってそのリスクを減らす必要があるためである。したがって、実際の運転時にはこのコンテナ設備を使用したテストで得られたデータをもとに試運転における調整が可能となり、短期間の立ち上げに貢献している。

3.3 PR用デモ運転モード

今回自動倉庫が加わり自動運転が可能なテスト設備となったことを活かして、来場のお客様へのPR用にデモ運転モードを作成した。操作パネルの開始ボタンひとつで一連の動作を行うので説明を含めて一人で対応できるためPRの機会が増える。デモ運転内容は倉庫に保管された2種類の原料を一つの計量コンテナに計量する動作で一連の流れは以下となる。

- ① 倉庫ラックから原料コンテナ A を計量ステーション上段に、計量コンテナを下段にセット
- ② 計量ステーションによる計量運転1回目(原料コンテナ A→計量コンテナ)を実施
- ③ 計量ステーション上段から原料コンテナ A を倉庫ラックへ返却し原料コンテナ B をセット
- ④ 計量ステーションによる計量運転2回目(原料コンテナ B→計量コンテナ)を実施
- ⑤ 計量ステーションから原料コンテナ B および計量コンテナを倉庫ラックへ返却して終了

これはコンテナハンドリングシステムを見たことのないお客様に実物のデモ運転によって設備イメージを実感して頂くための取り組みである。

デモ運転によるPRはFAのお客様のみでなく別件のテストでR&Dセンターに来場していただいたお客様にも20分程度の空き時間を利用して実施している。なお、デモ運転は残念ながらコンテナに粉体が入っていないので粉体排出の様子は動画で対応している。高精度計量を実現する粉体排出の様子、粉漏れや粉塵がほとんどない集塵の様子を映像で確認できる。

3.4 運用の成果

今までホイストクレーンやフォークリフトによって手動で行っていたコンテナの入出作業を自動で行えることになったため作業効率は各段に上がった。図7は、以前のテスト機を示す。この設備は、TSKコンテナ®を1基しか設置することができなかった。しかし、新しい設備においては、簡便にコンテナの上下を入れ替え繰り返しテストを行うことができ、バルブサイズの異なるコンテナに粉体を入れ替える作業も容易である。また、次のテスト用のコンテナも事前に準備することができ、効率的にテストを実施することも可能となった。

表1に実際にテストを実施した結果を示す。テストが必要な17種類すべての粉体原料サンプルに対して各計量テストを10回から20回程度実施して、計量精度を満足させるパラメーターを確立させている。このJOBでは、このように設備を使用してあらかじめ事前テストで計量精度の確認を実施し、得られた結果を建設後の実際のプラントにおける試運転にそのまま適用することで、効率的な試運転対応を行っていた。



図6 デモ運転操作画面
Fig.6 Operation screen for demonstration

4 おわりに

昨今、温暖化によって多発する異常気象や今も猛威を振るうコロナウィルス感染症のようなパンデミック、エビデミックでの事業継続性を担保する意味でも業務や取引で人の介在や現物での対応をできるだけ最小化する業務の自動化は選択肢の一つとなるであろう。このTSKコンテナ®を核としたコンテナハンドリングシステムは今後ますます注目される設備であり、今回紹介した新たなテスト設備を活用してお客様のニーズにあった設備提案を行い、販売を進めていきたい。

表1 計量テスト結果(抜粋)
Table1 Weighing test results

Sample No.	要求計量精度 min [±g]	計量設定値 kg	回数 回	平均 kg	精度(3σ) [±g]	平均時間 秒	合否結果	備考
1	±360	10.000	14	10.041	±84	66	○	
2	±160	10.000	10	10.062	±14	30	○	
3	±540	10.000	10	10.059	±19	37	○	
4	±1260	10.000	20	10.185	±246	65	○	当日、前日投入合計
5	±1200						×	計量不可能
6	±240	8.000	19	8.041	±137	84	○	
7	±360	10.000	10	10.062	±38	50	○	
8	±450	10.000	11	10.028	±60	87	○	
9	±495	16.500	11	16.729	±338	50	○	当日、前日投入合計
10	±292	10.000	20	10.064	±37	35	○	
11	±900	10.000	18	10.079	±60	25	○	
12	±360	10.000	12	10.050	±131	43	○	計量時間は11回分
13	±360	10.000	10	10.075	±46	31	○	
14	±180	6.000	10	6.022	±18	31	○	御立会テスト
15	±63	2.100	15	2.136	±54	32	※	
		16.000	13	16.063	±74	39		
16	±720	10.000	15	10.097	±131	70	○	
17	±3000	50.000	13	50.178	±322	44	○	

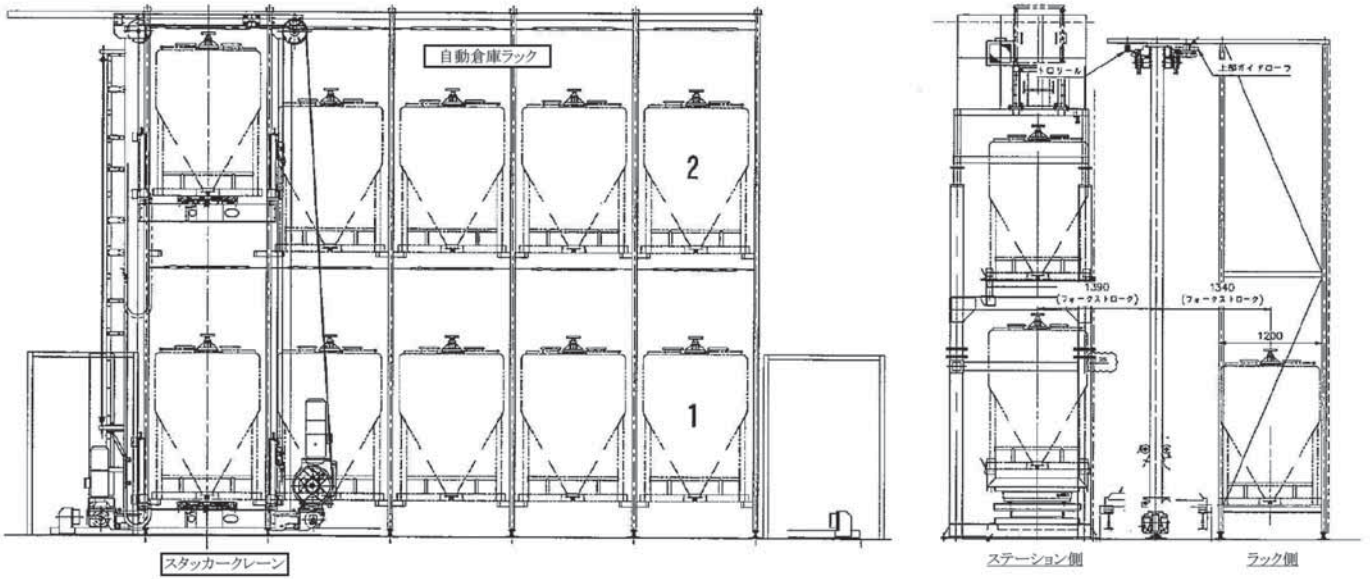


図5 自動倉庫
Fig.5 The automated warehouse



図7 以前の計量テスト機
Fig.7 The weighing test equipment used before

「中小規模処理場間の広域化に資するバイオマスボイラによる低コスト汚泥減量化技術実証研究」の紹介

Introduction of “Demonstration research on low-cost sludge reduction technology using a biomass boiler to contribute toward widespread adoption of sludge treatment in small- and medium-scale plants”



梅染 俊行
UMEZOME Toshiyuki
水環境事業本部
ソリューション技術部
プロポーザルグループ

Abstract

Sewage sludge biomass is expected to be utilized as fertilizer and biofuel. However, the use of technologies that convert sewage sludge into fertilizer and fuel is not widespread in many small- and medium-scale sewage treatment plants. Because the introduction of these technologies increases the cost burden, it is not easy to find users and maintain relationships with them. Therefore, to promote effective utilization and ensure sludge treatment in the wide sector comprising small- and medium-scale plants, we are developing a system that combines a low-cost dewatering and drying system and a biomass boiler. The characteristics of this demonstration technology are that construction costs can be reduced through using general purpose packaging equipment, and the energy present in sewage sludge can be effectively used in the treatment plant to contribute toward the reduction in fossil fuels use.

This paper introduces the characteristics of the demonstration technology in detail.

下水汚泥は肥料や燃料として有効利用が期待されるバイオマスである。しかしながら、多くの中小規模の下水処理場では肥料化や燃料化の普及が進んでおらず、費用の負担増や、ユーザーの確保が容易でないことがその一因となっている。そこで、中小規模の下水処理場における有効利用ならびに広域化を推進するため、低コストの脱水乾燥システムとバイオマスボイラを組み合わせたシステムの開発を進めている。本実証技術の特徴は、パッケージ化された汎用機器の使用により建設費が抑制される点と、下水汚泥のもつエネルギーを処理場内で有効利用することにより、化石燃料の削減に寄与できる点があげられる。

本稿では、実証技術の特徴の詳細について紹介する。

キーワード：下水汚泥処理、燃料化、有効利用、バイオマスボイラ、脱水乾燥システム
Keyword：Sewage sludge treatment, Biofuel, Effective utilization, Biomass boiler, Dewatering and drying system

はじめに

多くの中小規模の下水処理場では、脱水汚泥を外部委託処分しているが、その処分費は下水処理に係る維持管理費用の中で大きなウェイトを占めており、自治体の財政を圧迫している。平成27年5月の下水道法改正により、下水道事業者は下水汚泥を肥料や燃料として有効利用することが努力義務として課せられている。低コストの肥料化・燃料化システムも開発されてきたが、地域によっては有効利用ユーザーの確保が難しい場合もあり、肥料化・燃料化普及の障壁になることが想定されている。燃料化物（乾燥汚泥）を下水処理場内で熱として有

効利用できれば、下水処理場のエネルギー自立化に寄与するが、既存の熱利用設備である焼却設備は中小規模の下水処理場ではスケールメリットが期待できないため、事業採算性の観点から導入が困難な状況である。また、中小規模の下水処理場を効率的に管理する手法として広域化は有効な手段だが、集約した拠点における設備の建設費負担が大きいこと、化石燃料などのエネルギー使用量が増加することから、設備の導入は進んでいない。

そこで、中小規模の下水処理場におけるエネルギー自立化および広域化を促進するため、低コストの脱水乾燥システムとバイオマスボイラを組み合わせたシステムの開発を進めている。月島機械株式会社、

日鉄セメント株式会社、高砂熱学工業株式会社、国立大学法人室蘭工業大学、室蘭市水道部の5者からなる共同研究体にて、国土交通省が実施する下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）において、「中小規模処理場間の広域化に資するバイオマスボイラによる低コスト汚泥減量化技術」を提案し、令和2年度実証研究として採択された。実証フィールドとした、室蘭市蘭東下水処理場内に実証設備を建設し、令和3年8月から試運転を開始し、9月半ばから実負荷運転を開始したところである。本実証研究は、令和3年度末までの実施を予定している。

2 実証技術の特徴

本実証技術は、平成28年度B-DASH実証技術である脱水乾燥システムにてバイオマスボイラに適した燃料化物を製造することにより、低コストのバイオマスボイラと組み合わせた技術である。これにより、従来中小規模の処理場でも、処理場内で下水汚泥をエネルギー化して、蒸気等の熱利用を可能とした技術である。

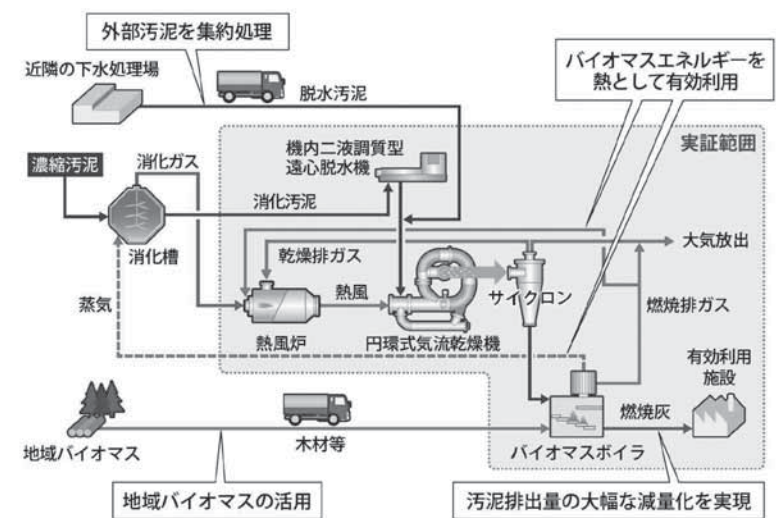


図1 実証技術の概要
Fig.1 Overview of demonstration technology

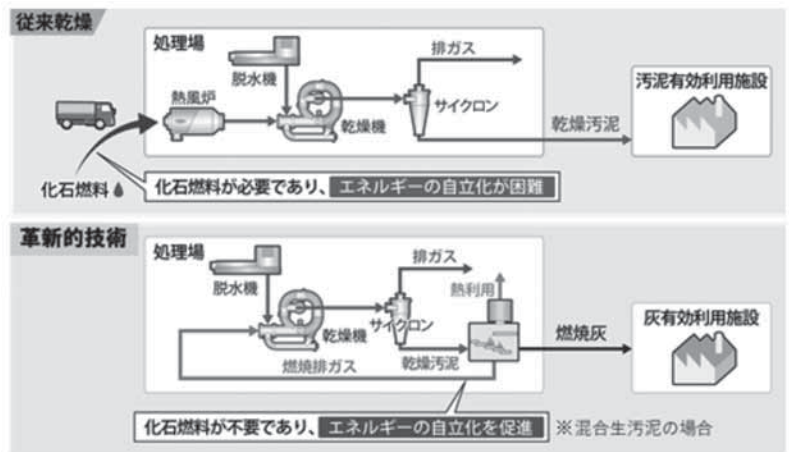


図2 革新的技術による汚泥処理の化石燃料削減
Fig.2 Innovative technology to reduce fossil fuels in sludge treatment

(3) 汚泥処理の広域化および地域バイオマスの活用促進

本実証技術は、地域の汚泥やバイオマスを受け入れて、処理場内の汚泥乾燥や暖房などの熱需要に有効利用することも可能になる。従来技術の場合、拠点施設に汚泥を集約することにより、拠点施設の化石燃料使用量が増加することが、拠点施設への集約および広域化普及の障壁となっていた。一方、本実証技術を導入し、拠点施設において汚泥のエネルギー化、有効利用を図れば、汚泥を集約した場合でも化石燃料使用量の増加が抑制され、拠点施設への集約および中小規模処理場の広域化の推進が期待される。これにより汚泥処理の広域化および化石燃料の削減が可能になる。また、木質チップ等のドライ系バイオマスはバイオマスボイラに、し尿等のウェット系バイオマスは水処理に投入することでエネルギー

有効利用が可能になる。これにより、さまざまな地域資源の循環利用が可能となり、拠点施設が下水汚泥を集約する機能だけでなく、資源循環社会構築における基幹施設としての機能を有することが期待される。

3 おわりに

実負荷運転では、脱水乾燥システム、バイオマスボイラともに順調に立ち上がっており、熱回収に関するデータなど、実証データを収集しているところである。実証研究にて本実証技術の性能評価を行うとともに、本実証技術の普及展開のため、ガイドライン化を目指す。

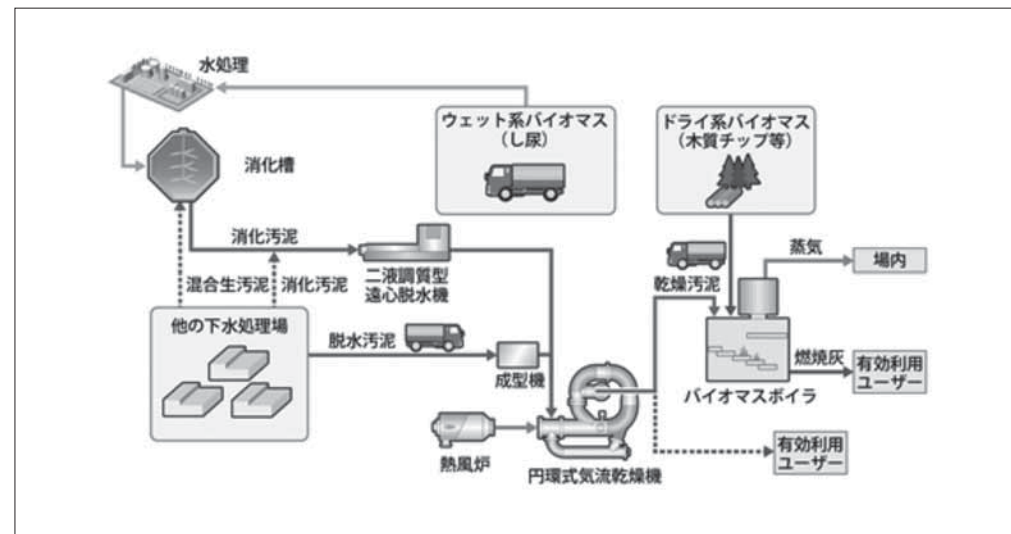


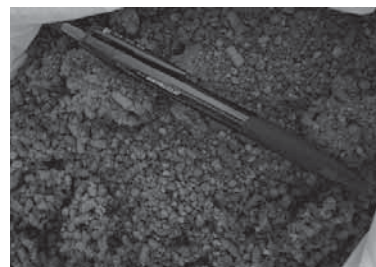
図3 実証技術による下水処理広域化および地域バイオマスの活用
Fig.3 Widespread adoption of sludge treatment and effective utilization of regional biomass



乾燥汚泥



バイオマスボイラ燃焼状況

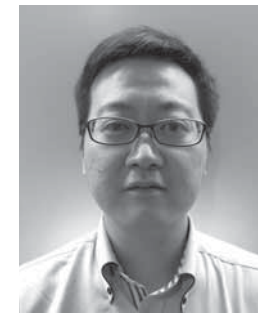


燃焼灰

図4 実証設備での乾燥汚泥の燃焼状況
Fig.4 Combustion of dried sludge in the demonstration equipment

BIM設計の取り組みに関して

Effort to Building Information Modeling design



平野 雄大
HIRANO Yuta
水環境事業本部
プラント技術部
BIMデザイングループ

Abstract

In recent years, MLIT(Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism) has been actively promoting Digital Transformation in(DX) public works projects.

DX refers to transforming products, services and business models based on the needs of customers and society by utilizing the latest technologies, including data and digital technology.

3D-Computer Aided Design(3D-CAD) was introduced in the 1980s. We started utilizing EYECAD and by April 2021 with the introduction of the 3D Scanner, 3D-CAD design had improved dramatically. A new Building Information Modeling design group was established to promote accuracy and productivity in real world design.

近年、国土交通省などが公共事業においてDXを強力に進める動きが活発化している。

DXとは、Digital Transformation(デジタル変革)の略でデータ、デジタル等の最新技術を活用し顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革することを指す言葉である。

当社では1900年代に3D-CADであるEYECADの運用を開始、2019年の据置型3Dスキャナの導入を機に、3D-CADによる空間設計が一気に加速、2021年4月、空間設計精度・生産性向上を推進すべく、BIMデザイングループを新設した。

キーワード: Digital Transformation (DX)、Building Information Modeling (BIM)
Keyword: Digital Transformation (DX)、Building Information Modeling (BIM)

1 はじめに

BIMとは固有の形状、数量、要素の属性(プロパティ)を持つオブジェクトで構成された3Dモデルのことをいう。またオブジェクトに価格、納期といった任意の情報を与えることも可能で、プラント完成後のライフサイクルマネジメントにおいてもBIMの活用が期待される。

高性能ビューワソフトでは3D空間上に1D(=ドキュメント)、2D(=図面)、3D(=3Dモデル・点群)、4D(=時間軸)と区分される各データを統合することが可能で、当社ではこれを統合モデルと呼んでいる。以下にBIMをベースとした統合モデルを紹介する。

2 統合モデルについて

2.1 スキャンデータ(点群と写真)

3Dレーザースキャナはレーザー距離計で最大1秒間に500万点の3次元位置情報¹⁾を測定し、ほぼ同時に360°全周囲写真の撮影も行う。

3Dレーザースキャナの導入により人の手では達成できないほどの膨大な情報を短時間で正確に取得することが可能となった。その質の高い情報を使って、例えば取得した点群のうち、撤去予定範囲の点群を消去することで、プラント建設における時間軸を統合モデルに表現することができるようになるなど、関係者との情報共有が容易になった。

¹⁾1: 当社所有のFARO FOCUS S70 3次元位置精度10m:2mm/25m3.5mm
[FARO]⇒FARO Technologies, Inc. の登録商標

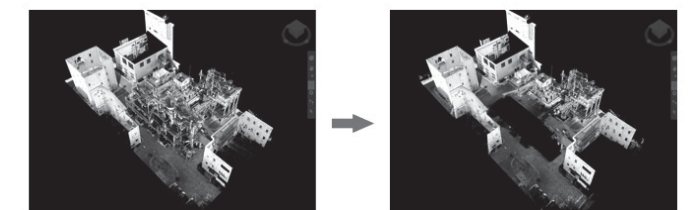


図1 点群の消去前、消去後
Fig.1 Before and after removing the point cloud

2.2 BIM (3D モデル)

BIM(3D モデル)の作成は、対象物に合わせた専用ソフトで設計するのが一般的である。

当社の場合、配管設計では施工図の半自動生成や、工事BQの自動算出が可能なプラント配管設計用3Dソフトを、タンクや排ガスタクトなど製品設計は機械設計用3Dソフト、架構などの大規模鉄骨設計は鉄骨構造設計用3Dソフト^{*2}と、用途に合わせて使い分けている。
^{*2}: 協力会社にて使用している。

2.3 統合モデル

点群と各種BIM(3D モデル)の統合は高機能統合ビューワソフトを使用している。高機能ビューワソフトを使用することにより、異なるファイル形式の2D・3Dモデルをインポート、統合することができる。
また、モデルにはEXCEL[®]やEメールのように任意のリンクを与えることが可能で、例えば図面や仕様書などのオンプレミス環境のファイルとのリンクや、URLを与えればWEBサイトにも直接リンクが可能となる。これにより未来の完成図書は統合モデルのオブジェクトをクリックすることで図面にアクセスできるようになるかもしれない。

これまで図面という2D空間でしか表現できなかったプラントの未来の姿を、統合モデルは仮想(BIM)と現実世界(点群)を組み合わせることで、高いビジュアライゼーション効果(見える化)が発揮される。また、これまで手作業であった各設計要素間の干渉チェックは、統合モデルを作成することで、システムによる自動干渉チェックが可能となり設計者の生産性向上に寄与する。

^{*3}: [EXCEL] ⇒ Microsoft Corporation の登録商標

3 統合モデルの新たな利用方法

3.1 AS BUILT SCAN

これまでスキャンデータは、設計を進めるために必要な既設情報の取得に使用していた。今回新たな試みとして、工事完了時にプラントの3Dスキャンを実施することで、完成後の空間をPC上で確認することができるようになった。
AS BUILT SCANが大きく関わる要素として保温施工がある。当社の主要製品である汚泥焼却炉などの熱を利用する設備では大量の保温施工が行われるが、その出来形はある程度の標準はあるものの、細

部においては施工業者の力量に依存する部分が多い。

保温不良による酸露点腐食など、保温施工に起因する不具合の検証や、改造・補修工事における保温材の一時撤去範囲の検討など、これまで図面では確認できなかった現場の実際の出来形を容易に確認できるようになる。

また別途工事などの出来形も正確に取得できることから、定期修繕、大規模補修工事時の計画立案や、不具合発生時の対策検討が机上で容易に行うことができる。

3.2 工事エリアのビジュアル化

実際の搬入経路、メンテナンス動線、工事区画などの仮設設備モデルと点群を組み合わせた統合モデルを作成することで、客先を含めた工事関係者が今後の影響を容易に把握することができるようになると考えている。図2に示す統合モデルは比較的安価なプラント配管設計用3Dソフトで作成するなど、作成するモデルの特徴に合わせた3DCADソフトを使用している。

4 まとめ、将来の展望

豊富な知識・経験が必要な2D図面のみの設計手法と比べ、統合モデルの場合、空間認識能力が高まり、経験が浅い設計者でも仮想現実のなかで各設計要素の完成形を容易に理解できるようになった。

各設計要素間の干渉においては必ず「どちらが変更するか?」が争点となり、双方なるべく変更したくないと思うのが通常である。一方、統合モデルによる見える化は「どちらが変更するのが妥当か」といった判断要素においても、一定の客観性を提供できることから解決までの時間を大幅に短縮できる。

現状、当社のBIMには建設に必要な情報しか入力していないが、運転、メンテナンス、補修工事、更新工事といったプラントに関する全ての履歴情報を取り込んだデジタルツインを達成することで、プラントライフサイクルマネジメントへの活用を目指す。

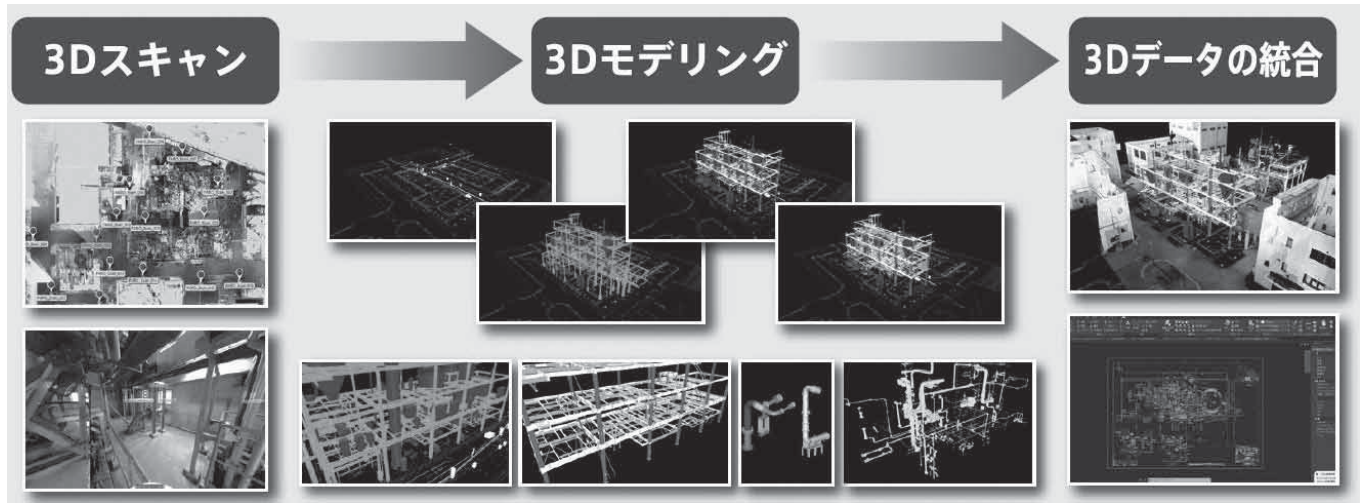


図2 統合モデル作成フロー
Fig.2 Integrated model creation flow



図3 AS BUILT SCAN
Fig.3 AS BUILT SCAN

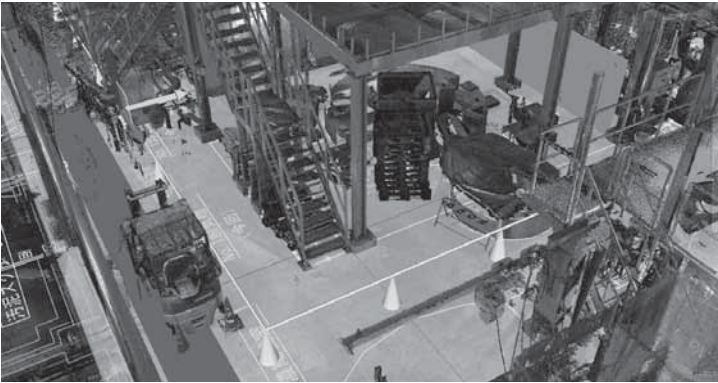


図4 施工計画作成例
Fig.4 Construction plan creation example

EW押出型遠心分離機＋クリーンフラッシュ®ドライヤによる脱水・乾燥工程の合理化の紹介

Introduction of an improved dehydration/drying process through a combination of Escher Wyss Push Type Centrifuge and Clean Flash Dryer



渡辺 健司
WATANABE Kenji
産業事業本部
単体機器技術部
プロセスグループ

Abstract

In many cases, the dehydrated cake obtained from a dehydration step has properties, such as adhesiveness and cohesiveness, that are problematic for material handling. A dehydrated cake with high adhesiveness can cause blockages in a hopper or adhesion in material-handling equipment; a highly coagulated dehydrated cake reduces drying performance.

In this paper, we have proposed solutions to these problems and examined the simplification of equipment and improvement to drying efficiency.

多くの場合、脱水工程から得られる脱水ケーキは、付着性や凝集性といったハンドリングする上で問題となる性質を持っている。付着性が高い脱水ケーキはホッパでの閉塞や搬送機での付着を発生させ、また、凝集性の高い脱水ケーキは乾燥性能を悪化させる。本稿では本課題の解消を行うとともに、設備の簡略化、乾燥効率の向上を検討したものである。

キーワード：直接加熱乾燥、気流乾燥、旋回流、押出型遠心分離機
Keyword：Direct heat drying, Flush drying, Vortex flow, Push type centrifuge

1 緒言

EW (Escher Wyss) 押出型遠心分離機 (以下「EWC」と称す) は連続的に供給されるスラリを高速回転するスクリーン上で遠心ろ過、脱水し、バスケットの往復動作により、連続的に脱水ケーキを排出する遠心分離機であり、高い処理能力と脱水性能を有している。

クリーンフラッシュ®ドライヤ (以下「CFD」と称す) は粉体に直接加熱ガスを接触させて乾燥させる連続式の気流乾燥機である。高速で流れる加熱ガス中に脱水ケーキを供給し、旋回流のガス流れの中で乾燥を行うことで、高い熱効率が得られる乾燥機である。

EWCの脱水ケーキ排出部はケーキ受けリングと呼ばれる、排出ケーキを補足し流通するガイドが設けられており、この内部ではケーキ掻取羽根がバスケットとともに高速で回転し、脱水ケーキを飛散させずに一方向へ排出する。この機構により、EWCから排出される脱水ケーキは以下のような状態で排出される。

- ・脱水ケーキは掻取羽根の機構により、塊状ではなく、細かく解砕された状態で排出される。
- ・遠心力の慣性で一定の方向性と速度を持って排出される。
- ・定量的に安定排出される。

このEWCから排出される脱水ケーキの状態はCFDへ脱水ケーキを供給する際に配慮すべき“脱水ケーキが解砕された状態”で“定量的に供給される”という条件が満たされていることから、この二機種の組み合わせによる工程の合理化の検討を行った。

2 各機器の特徴と構造

<EWCの特徴>

- ・幅広い適用性・・・120種を超える処理物に対して適用実績を有している。
- ・高い脱液性能・・・低含液率を確保し後工程の乾燥負荷を大幅に軽減できる。
- ・大容量処理・・・完全連続運転であり、省設置スペースにて大容量処理が可能。
- ・高いケーキ洗浄性能・・・厚く均一に形成されたケーキ層上へ洗浄液を供給する事により効率の高いケーキ洗浄が可能。
- ・完全密閉対応・・・溶剤系処理物等に対し、完全密閉構造をとることが可能。

<EWCの構造・機構>

スクリーンが装着されるバスケットは2段構造となっており、1段・2段バスケットともに同一速度で高速回転を行う。1段バスケットのみ一定のストロークで油圧ピストンによる往復動作を行う。

フィードパイプより供給されたスラリは高速回転する1段目バスケットのスクリーン上で遠心ろ過・脱水され、形成されたケーキ層は1段目バスケットの往復動作により順次2段目バスケットのスクリーン上へ押し出され、ケーキ洗浄および遠心脱水された後にケーキ受けリングを介して排出される。2段目バスケットからは遠心力により、360°全方向へ排出されるが、ここでケーキ受けリングを設け、リング内部を流通させることで、バスケット回転の接線方向に脱水ケーキを集めて排出している。ケーキ受けリングの内部では、脱水ケーキの閉塞を防止する目的で、掻き取り羽根がバスケットと同一速度で回転しており、これにより、遠心力により圧密した脱水ケーキの解砕も行われている。一般的にウェットケーキは付着性が高く、粒子同士が付着凝集し、塊状となることが多いが、EWCの高速回転から排出されるウェットケーキは、掻き取り羽根の作用によ

り、解砕された状態での排出となる。(図1、2参照)

<CFDの特徴>

- ・シンプルな構造・・・可動部がなく、装置内部洗浄が容易
- ・高い乾燥効率・・・旋回流の効果で、高い乾燥効率が得られる。
- ・省スペース・・・流路が渦巻状のため、装置がコンパクト
- ・広範囲の粒度対応・・・機内のダンパー調整により、排出ケーキ水分の調節が可能

<CFDの構造・機構>

円筒横型のケーシング内には渦巻状の流路が設けられており、一般的な気流管式乾燥機に比べコンパクトな構造となっている。ケーシング内は外周層、中間層、内周層の3層に分かれており、各層の間には内部ダンパーが設けられている。このダンパーの開度調節をすることで、ガス流れをワンパス以外に、各層を循環する流れとすることが可能である。正面カバーは全面が開く構造で機内へのアクセスが容易である。(図3参照)

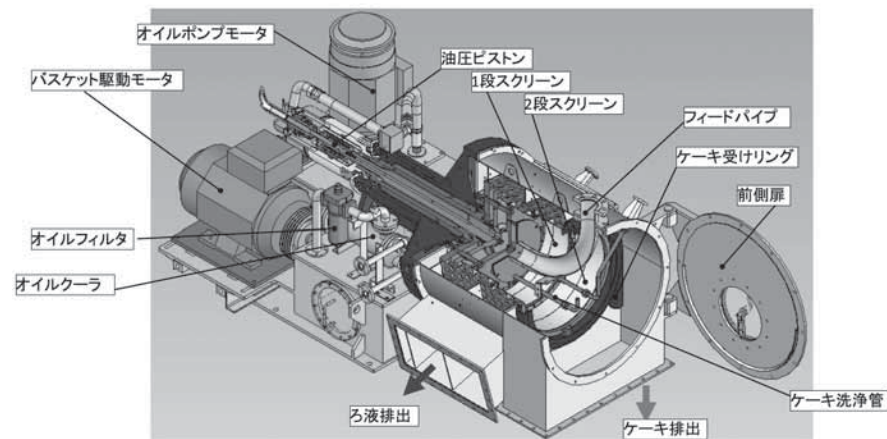


図1 EWC 概略構造図
Fig.1 Configuration of EWC

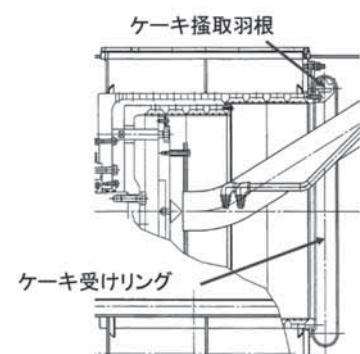


図2 ケーキ受けリング部分 構造図
Fig.2 Configuration of Cake discharge Ring

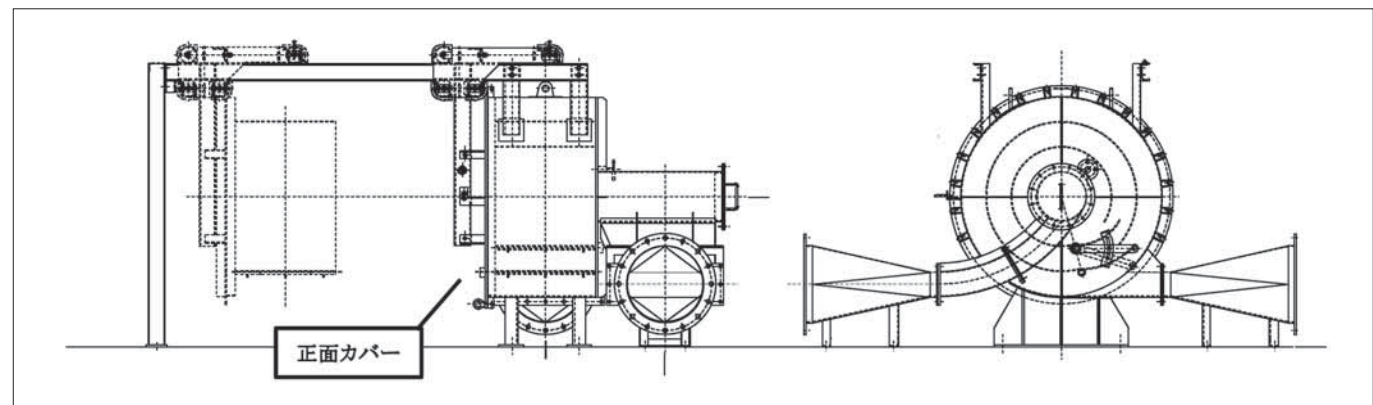


図3 CFD 概略図
Fig.3 Outline of CFD

高速の加熱ガスとともに供給された脱水ケーキは、渦巻状の流路により発生する旋回流の効果で激しく分散され効率よく乾燥が促進される。また、凝集によって塊状となり乾燥しづらい脱水ケーキに対しては、ダンパーを開けることで、旋回流に伴う遠心力の影響で次の層に移動させず、装置内滞留時間を長くすることが可能となる。そして、乾燥が進み塊がほぐれたものから次の層へと移動するため、粒子凝集による未乾燥や乾燥のばらつきを防ぐことができ、均一な乾燥製品を得ることができる。(図4参照)

3 EWCとCFDの組合せによる特徴

従来の脱水・乾燥工程では脱水機から排出されたケーキは一旦ケーキ受けホッパで貯留され、その後、定量供給機で乾燥機へ送られるが、貯留時に脱水ケーキの凝集が強固になるため、乾燥機前段に分散機を設置するケースが多く見られた。(図5参照)

一方で、前述のようにEWCの高速回転場から排出される脱水ケーキはウェットケーキでありながら分散状態が良好であるため、その後の乾燥処理を考えると理想的な状態といえる。また、排出される脱水ケーキ

は方向性と速度と定量性を有しており、EWCからの結晶排出の方向を気流搬送の方向に向けることで、加熱ガスによる気流搬送に寄せやすい状態となり、気流管内部でのウェットケーキの閉塞等が生じにくい。

本プロセスでは脱水機と乾燥機の間に貯留槽、解砕機、定量供給機といったマテハン機器は存在せず、脱水ケーキは脱水機から良好な分散状態で連続的に排出されて加熱ガスと共に乾燥機へ直接送られるため付着閉塞トラブルを防ぐことが可能となる。また、加熱ガスは乾燥機での熱交換後に乾燥の排気ガスとなるが、これを乾燥品の空気輸送システムとして利用して遠方での製品回収が行える。(図6、7参照)

- これより以下のメリットがあげられる。
- 乾燥効率のアップ・・・実証試験における熱容量係数比が約1.4倍に向上(分散供給の効果による)
- 機器点数の削減・・・ケーキ受けホッパ、定量切出しスクリュウ、分散機が不要
- 設置エリアの縮小・・・約L3m×W2m×H3mのスペースが縮小される。(CFD容積が2m³とした場合)
- 加えて、脱水工程と乾燥工程をセットで検討することにより、脱水ろ

液の顕熱を乾燥用の加熱ガスの予備加熱源として回収するといった、熱エネルギー回収を考慮したプロセス構築も可能となる。

4 市場ニーズ

本プロセスは脱水・乾燥工程の合理化提案であり、新規導入設備のみならず、EWCと気流乾燥機が採用されている既存設備の改善にも適用可能で市場のニーズは高いと考える。具体的な対象処理物として、ABS・MBS樹脂、セルロース等の製造ラインへの適用を想定している。

5 まとめ

今回、EWCとCFDによる脱水・乾燥設備の合理化と題して、当社の脱水・乾燥技術の組合せによる設備改善案を紹介した。

EWCは国内、海外を問わず、生産性、脱水性能が高く評価されている脱水機である。一方で、機械脱水の限界点があり、その先にある低水分化には乾燥工程が必須となる。ここで、処理効率が高いプロセスを構築するためには、設備構成を簡素化させ、且つ、高い熱効率で乾燥さ

せることが重要であり、今回紹介したEWCとCFDとの組合せは簡素で高効率な組み合わせプロセスのひとつであると考えらる。

当社は各種単位操作技術を有していることから、各工程間の組み合わせによる最適化検討を行えるユニークなメーカーである。個々の単位操作技術の改良改善はもちろんのこと、今後はこのような組み合わせによる合理化検討について積極的に取り組み、当社技術によって社会貢献をしていきたい。

参考文献

- 1) 月島機械 百年の技術 P117 (2005)
- 2) 長野一徳、諏訪聡、高田哲夫 クリーンフラッシュ流体解析(2003)
- 3) 佐藤澄人：2019 TSK技報 p.30-33 (2019)

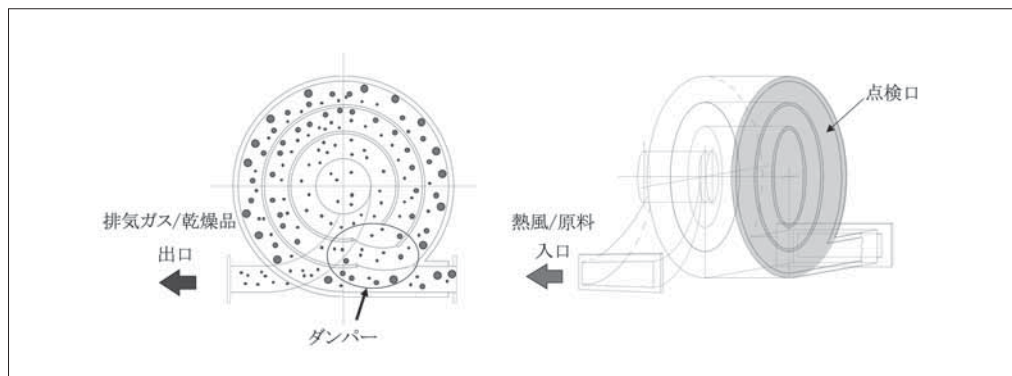


図4 CFD 概略構造図
Fig.4 Configuration of CFD

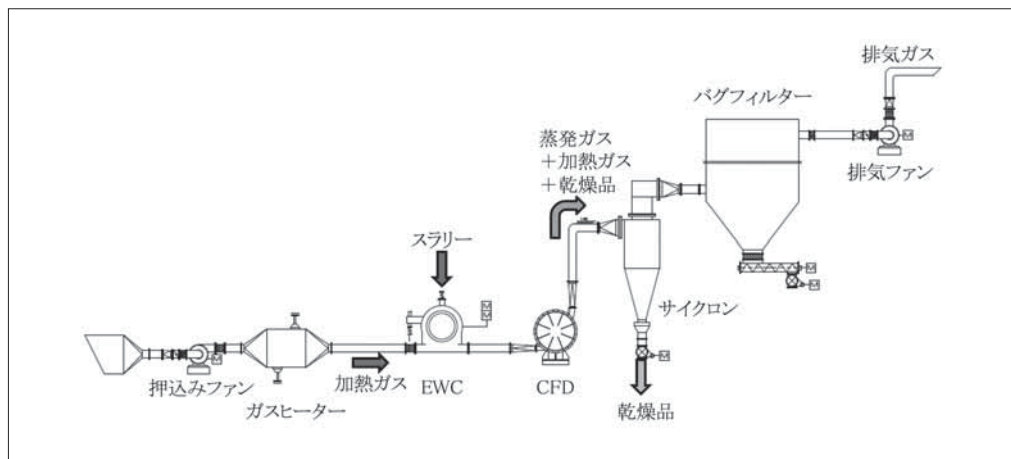


図6 EWCとCFDの組合せによる合理化フロー
Fig.6 Improved process flow by combining EWC and CFD

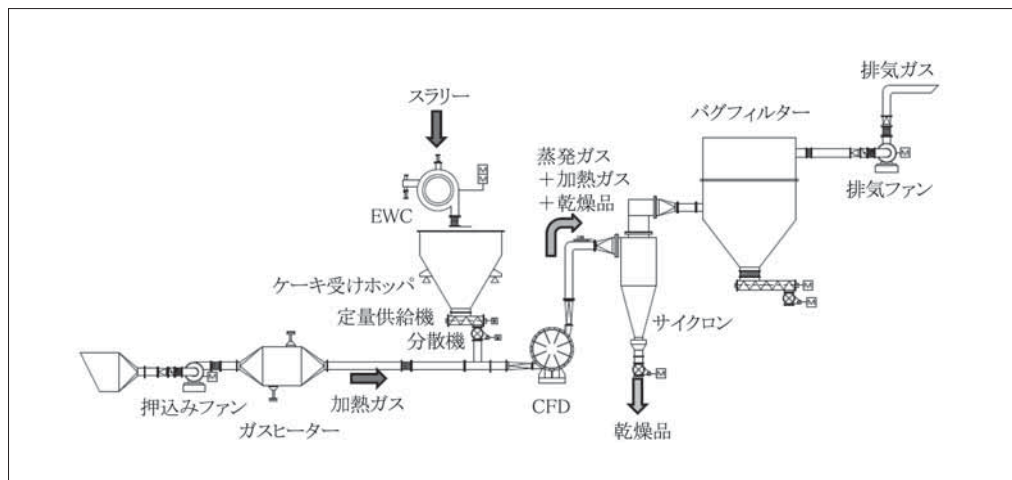


図5 従来フロー
Fig.5 Conventional process flow

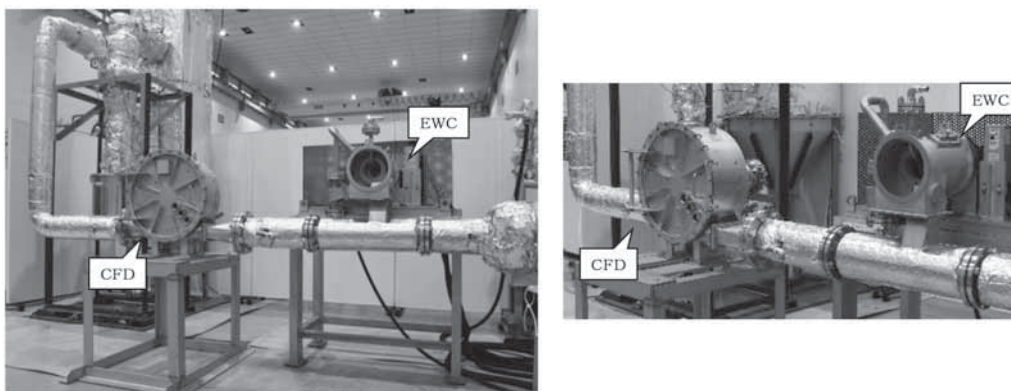


図7 EWCとCFDの組合せたテスト装置
Fig.7 Test machine by combining EWC and CFD

フィルミックス®を用いたリチウムイオン電池材料の分散プロセス技術

Dispersion process technology for Lithium-ion battery materials using Filmix



川久保 舞子
KAWAKUBO Maiko
プライミクス株式会社
乳化分散技術研究所
PEACE用途開発課

Abstract

The electric vehicle (EV) market has grown because of efforts to reduce global greenhouse gas emissions and improve battery performance. To this end, we have developed an electrode slurry manufacturing process for lithium-ion batteries. It uses a Continuous Dispersion Mixing (CDM) process for electrode materials and we have applied it to the production equipment of lithium-ion batteries for hybrid electric vehicles (HEV) and EV at home and abroad. Moreover, lithium-ion batteries for vehicles have been required to improve battery performance for higher energy output; therefore, electrode materials which have high battery performance have been selected. In this article, we introduce our efforts to develop an electrode material dispersion process for EV using the thin-film spin system high-speed mixer, Filmix, the central mixer of the CDM process.

各国での温室効果ガスの排出量ゼロに向けた取り組みや電池性能の向上を背景に電気自動車 (EV) へのシフトが加速している。当社ではリチウムイオン電池の電極材料を効率的に分散できる連続式の電極スラリー製造設備である「CDMプロセス (CDM: Continuous Dispersion Mixing)」を開発し、ハイブリッド車 (HEV) やEV用リチウムイオン電池の製造設備を中心に国内外での納入実績を伸ばしてきた。一方で、車載用のリチウムイオン電池には高エネルギー化による性能向上が要求されていることから、高性能の電池材料採用が進んでいる。本稿では、この CDM プロセスの中心ミキサーである薄膜旋回型高速ミキサー「フィルミックス®」を用い、EVをはじめてとした車載用電極材料分散プロセス開発への取り組みを紹介する。

キーワード：高速ミキサー、分散、連続式プロセス、リチウムイオン電池、電極スラリー
Keyword: High-speed mixer, Dispersion, Continuous process, Lithium-ion battery, Electrode slurry,

1 はじめに

リチウムイオン電池はスマートフォンや電気自動車 (EV) など幅広い用途で使用されているが、中でもEV向けのリチウムイオン電池は各国の環境規制を背景に需要が急速に高まっており、高エネルギー化による性能向上とコストの低減が強く求められている。当社では2006年より専任部門を立ち上げてリチウムイオン電池分野での電極製造設備開発に取り組み、業界に先駆けて電極スラリーの連続製造プロセス「CDMプロセス (CDM: Continuous Dispersion Mixing)」を開発した。従来のスラリー製造は混練ミキサーによるバッチ方式で行われていたが、連続式のCDMプロセスでスラリーを製造することで生産効率が飛躍的に向上することから、電極スラリー製造設備として国内外で実績を伸ばしてきた。当社では、このCDMプロセス技術と量産設備の開発過程で得た知見を基に、近年の車載用電極材料に

対応する電極スラリー分散プロセスの技術開発を続けている。本稿では、このCDMプロセスの中心技術である薄膜旋回型高速ミキサー「フィルミックス®」を用いた車載用リチウムイオン電池の電極材料分散プロセスの技術開発について紹介する。

2 CDM プロセスの概要

車載用の電池製造工場では大規模な製造ラインが稼働しており、従来のバッチミキサー方式では装置の台数が非常に多くなるといった課題があった。これに対し、連続式によるスラリー製造ラインでは省スペース化によって生産効率を向上させることが期待できる。図1にCDMプロセスの基本フローを示す。活物質や導電材、バインダー、溶媒をプレミキサーで予備混合を行った後、一定の流量でフィルミックス®に送り込み、循環させることなくone-passで分散処理を行って電極

スラリーを製造する。従来のバッチ式プロセスと比較すると、半分程度の設備スペースで電極スラリーを製造することが可能である。¹⁾このCDMプロセス技術の中心となる分散装置がフィルミックス®である。

3 薄膜旋回型高速ミキサー「フィルミックス®」の分散効果

図2にフィルミックス®の概要を示す。攪拌部は円筒状の回転ホイールと筒状の容器から構成される。ホイールが高速で回転することで容器内に遠心力が発生し、処理物は容器の壁面に沿って薄膜状の旋回流を形成する。この流れ場の中で生じる大きなずり応力によって処理物の分散が容器の壁面全体で進行する。従来設備として電極材料の分散に用いられたバッチミキサーでは分散エネルギーを与える部分が羽根の先端など局所的であるのに対し、フィルミックス®は容器の壁面全体で分散させることが可能であり、分散時間を短縮することができる。

フィルミックス®ではずり応力による分散によって粒子に損傷のない分散が可能である。²⁾特に近年の電池材料ではハンドリング性や電池性能向上のため活物質にコーティングなどの表面改質を行う場合

が多く、活物質のポテンシャルを最大限に引き出すためには、材料に損傷を与えず均一に分散させる技術が求められる。図3にバッチミキサー (プライミクス製、ハイビスティスパーミックス) を用いて従来の固練り法で製造したスラリーとフィルミックス®で製造したスラリーのLiNi_{0.5}Co_{0.2}Mn_{0.3}O₂ (NCM523) 粒子の粒度分布を示す。リファレンスとしてNCM523粉末を測定し、平均粒子径は12.97 μmであった。バッチミキサーとフィルミックス®を用いた電極スラリーは、NCM523の他に導電剤としてのカーボンブラックや、PVDF バインダーが混在した状態で粒度分布測定を実施している。バッチミキサーを用いて製造した電極スラリーでは平均粒子径が10.22 μmとリファレンスに比べて微粒化する傾向がみられたが、フィルミックス®を用いて製造した電極スラリーでは、平均粒子径が12.32 μmであった。これはNCM523リファレンスの粒子径とほぼ一致しており、NCM523粒子が微粒化せずに分散できていることが分かる。

導電剤の分散についてもフィルミックス®を用いることで有用な知見が得られている。³⁾このようなフィルミックス®の特長をコアテクノロジーとして、近年の電極スラリー製造プロセス課題に取り組んでいる。

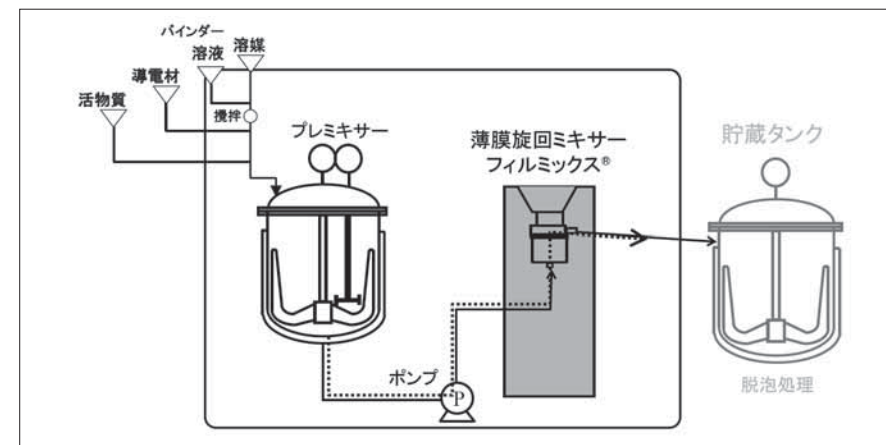


図1 電極スラリー連続製造設備 CDM プロセス
Fig.1 Continuous electrode slurry manufacturing process, CDM process

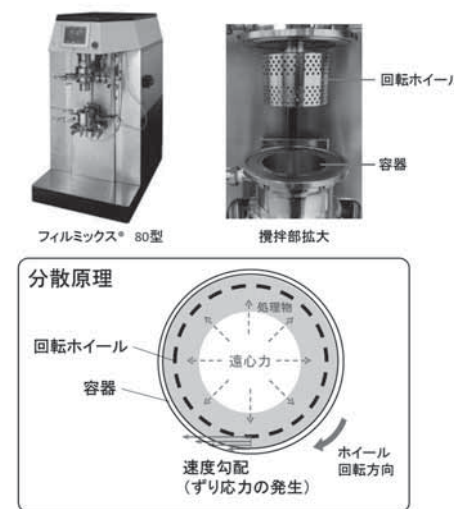


図2 フィルミックス フィルミックス®の構造と分散原理
Fig.2 Filmix structure and dispersing principle

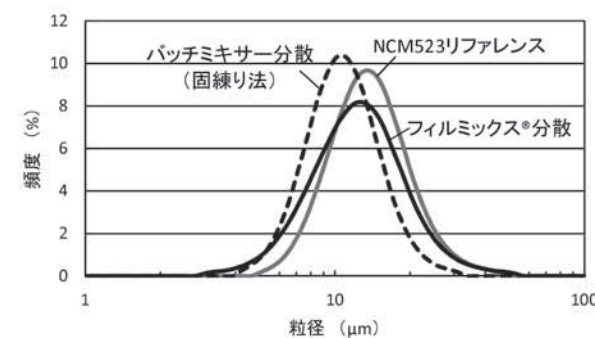


図3 NCM523を用いた正極スラリーの粒度分布
Fig.3 Particle size distributions of electrode slurry with NCM523

4 車載用電極材料を用いた電極スラリー製造事例

4.1 高固形分率での電極スラリー製造

リチウムイオン電池の電極は電極材料を溶媒中に分散させてスラリー化し、金属箔に塗布した後、溶媒を乾燥させてプレスすることで製造されるが、製造現場では電極スラリーの固形分率を上げて塗布膜の乾燥時間や回収溶媒量を削減するコストダウンへの取組みが進められている。しかし、高固形分率でのスラリー製造は塗工に適した粘度調整が難しく、さらにはスラリーの保存安定性に課題がある(図4)。当社ではこのような高固形分率スラリーに対して、導電剤とバインダー溶液を先にフィルミックス®で分散させることによって、スラリー性状が飛躍的に改善することを見出した。⁴⁾ 図5にバッチミキサーで製造した電極スラリーと導電剤をフィルミックス®で先に分散する方法(フィルミックス®導電剤スラリー分散法)で製造した電極スラリーの保存経過時間に対する粘度安定性を示す。正極材料には活物質にNCM523、導電剤にカーボンブラック、バインダーにPVDFを用いた。スラリーの固形分は塗工可能な粘度範囲からできるだけ高い固形分率を選択し、同一の固形分でスラリーを製造した。バッチミキサーでは、活物質の微粒化

を抑制するために固練りなしの分散方法でスラリーを製造したが、1日間経過後で粘度が上昇し、その後も増粘する傾向が見られた。一方のフィルミックス®導電剤スラリー分散法では、バッチミキサーで分散したスラリーよりも仕上り直後の粘度が低下し、保存経過時間に対する粘度安定性も大幅に改善された。これらの電極スラリーについて、メッシュフィルターを用いたスラリー濾過テストを実施したところ、フィルミックス®導電剤スラリー分散法では濾過性の改善がみられた。導電剤をフィルミックス®で先に分散することで導電剤の凝集体が解砕されてスラリー性状が改善したと考えられる。フィルミックス®導電剤スラリー分散法で製造した電極スラリーについて、塗布電極を作製して直径11mmの正極板を打ち抜き、対極に金属Liを用いたCR2032型コインセルでの電極特性評価を実施した。充放電時の作動電圧範囲は2.5～4.2V、作動温度は30℃とした。0.1Cでの放電容量(150mAh/g以上)を100%としたときのレート特性評価を表1に示す。3Cレートで70%以上の容量維持率を示し、10Cレートでも充放電が可能であることを確認できた。以上より、導電剤を先にフィルミックス®で分散させることで高い固形分率においても導電剤の分散状態が改善し、保存安定性の高い電極スラリーの製造が可能であることが分かった。

4.2 SiO/黒鉛複合負極材料のスラリー製造

負極材料については高容量活物質のシリコン酸化物などの実用化が進んでいるが、これらの活物質は充放電時の体積変化により電極構造にひずみが生じ、サイクル寿命が低下するという課題がある。電極構造の劣化を抑制するために、従来バインダーよりも強固な結着性を有するポリアクリル酸やポリイミドなどのバインダーが選択されているが⁵⁻⁷⁾、このようなバインダーの性能を最大限に引き出して電池特性を向上させるためには電極材料を均一に分散させる技術が必要とされる。ここで、フィルミックス®を使用してバインダーにポリイミドを用いた負極スラリーを製造し、電池特性や電極構造について検証した事例を紹介する。⁸⁾

負極材料に一酸化ケイ素(SiO)と黒鉛(天然黒鉛/人造黒鉛=2/1)、ポリイミドバインダー(宇部興産製、ユピア®-LB-2001)を用い、高速分散機ホモディスパー(プライミクス製)のみで分散したスラリーと、ホモディスパーで分散したスラリーをさらにフィルミックス®で分散したスラリーをそれぞれ製造した。得られた電極スラリーを金属箔に塗布して電極を作製し、電池特性とSEM観察を実施した。電極特性評価には対極にLi金属を用いたCR2032型コインセルを作製し、作動電

圧範囲は1.2 - 0.01Vで0.2Cレートでの充放電測定を行った。図6に各電極断面のSEM像とEDS マッピングを示す。フィルミックス®分散を追加した電極ではSi元素の検出量が増加し、均一に分散している様子が観察された。図7にそれぞれの分散方法で製造した電極スラリーの電極の初期充放電曲線を示す。ホモディスパーのみでスラリー製造を行った電極では放電容量が458mAh/gであるのに対し、フィルミックス®分散を追加した電極では放電容量473mAh/gを示し、放電容量が向上した。フィルミックス®分散を追加することでSiOが均一に分散され、SiOの利用率が改善して放電容量が向上したと考えられる。

5 まとめ

フィルミックス®を用いた車載向けリチウムイオン電池の電極材料分散技術開発の取り組みについて報告した。フィルミックス®の特長である粒子損傷のない均一な分散によって保存経過時間に対する粘度安定性の高い電極スラリーが製造できる。また、電極材料を均一に分散することで、シリコン系負極の緻密な電極構造の構築に役立てることができる。

車載用リチウムイオン電池を取り巻く環境は近年めまぐるしく変化しており、特に全固体電池をはじめとした次世代二次電池の開発競争は世界的に激化している。このような状況のなかで当社でも次世代二次電池材料の分散技術の開発に取り組んでおり、電池産業の更なる発展に貢献したいと考えている。

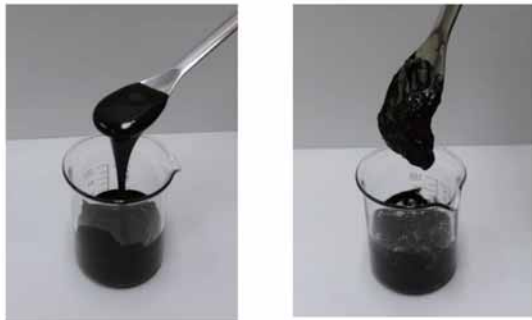


図4 電極スラリーの粘度安定性
Fig.4 Viscosity stability of electrode slurry

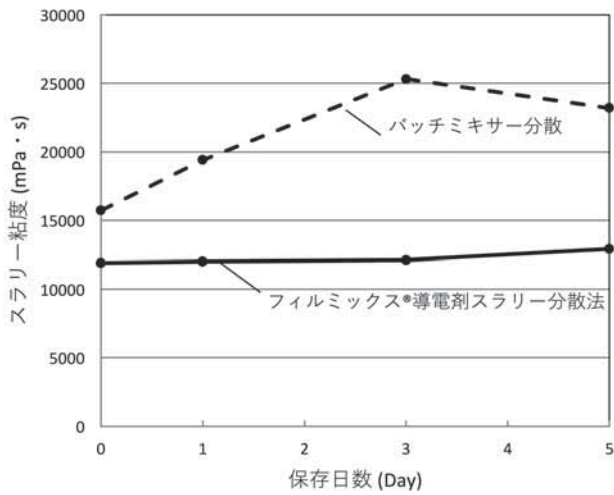


図5 フィルミックス®導電剤スラリー分散法で製造したスラリーの保存経過時間に対する粘度安定性
Fig.5 Viscosity stability of the electrodes slurry prepared by the process using Filmix

表1 フィルミックス®導電剤スラリー分散法で製造した正極のレート特性評価
Table1 Rate performance of the electrode slurry prepared by process using Filmix

放電レート	0.1C	0.2C	0.5C	1C	3C	5C	10C
放電容量維持率	100%	97.1%	94.5%	91.0%	76.9%	51.8%	23.1%

作動電圧範囲:2.5-4.2V 作動温度:30℃

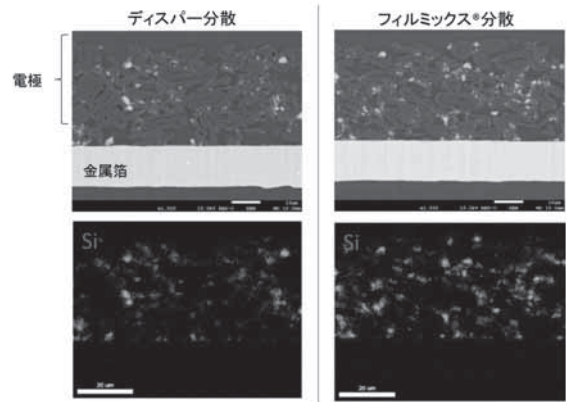


図6 SiO/黒鉛複合負極の断面SEM/EDS
Fig.6 SEM/EDS analysis of SiO/Graphite composite anode cross section

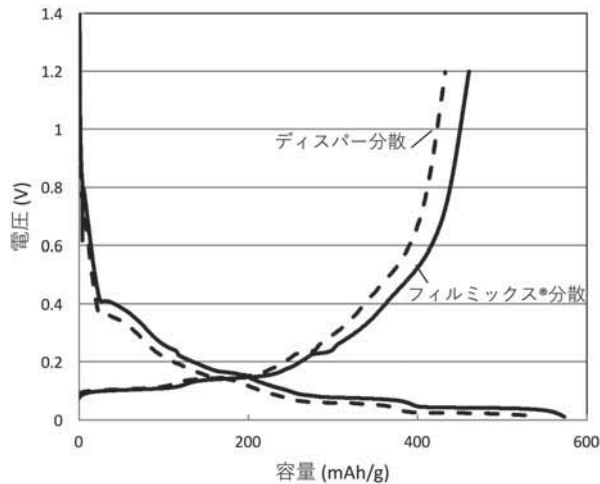


図7 SiO/黒鉛複合負極の初期充放電曲線
Fig.7 Initial charge and discharge curves of the SiO /graphite composite anode

下水処理場向け曝気用風量調整バルブと風量制御システム

Aeration control valve and the aeration control system for sewage treatment plants



呂 曉也
LYU Xiaoye
月島テクノメンテサービ株式会社
エンジニアリング本部
水機械技術部
エンジニアリング課



南 茂樹
MINAMI Shigeki
月島テクノメンテサービ株式会社
エンジニアリング本部
プラント技術部
FIT事業技術課

Abstract

The power consumption of the aeration blower of a sewage treatment plant (STP) is highest in the wastewater treatment process. To improve the energy efficiency of STPs, we have developed a new aeration control valve of slide gate valve structure, for more accurate dissolved oxygen control in the aeration tank. A shortage of controlling performance on butterfly valves, which are often used in domestic STPs, makes it difficult to utilize automatic aeration control in their daily operation, thus hindering energy-saving operations. Fundamental tests of a new slide gate valve for measuring flow characteristics showed that valve flow coefficient (Cv) values changed linearly while the slide gate valve opened, and the Cv hysteresis error generated by valve opening direction was very small. The aeration volume controllability of the new slide gate valve was much greater than that of the butterfly valve, which resulted in a more precise air flow control. Presently, scaled-up slide gate valves are being manufactured and installed for field tests at S City STP. Future plans involve the commercialization of the automatic aeration control system, combining the new slide gate valve and aeration blower.

下水処理場における汚水処理設備の運転で電力消費量が最も大きな曝気ブロウ設備の動力削減を目標に、流量制御特性に優れた曝気用風量調整バルブの商品化を進めている。風量調整バルブの能力向上で自動制御運転を容易にすれば、下水処理場運転の省エネ効果が期待できる。考案して試作した曝気風量調整用のスライドゲートバルブの試験機で基本性能を調査した結果、新開発したバルブは、バルブ開度の変化に伴ってCv値がリニアに変化し、ヒステリシス差も小さいので、精密な風量調整が可能で、曝気風量の制御がより容易である。これらの結果をもとに、風量調整バルブの実用機を製作してS町下水処理場でフィールドテストを実施している。今後、開発した曝気風量調整用のスライドゲートバルブと送気ブロウを組み合わせた曝気風量自動制御システムの商品化へ進める計画である。

キーワード：風量制御バルブ、自動制御、Cv値(容量係数)、DO(溶存酸素量)
Keyword: Aeration control valve, Automatic control, Cv value (Valve flow coefficient), DO (Dissolved oxygen)

はじめに

下水処理場は多くの電動機を使用し、国内総電力量の約0.7%を消費する多電力消費施設である¹⁾。その下水処理場の汚水処理で消費電力の約1/3は反応タンクへの送風用曝気ブロウが占め²⁾、曝気ブロウ運転の適正化は、下水処理場の省エネで重要な課題である。

多くの下水処理場には反応タンクのDO(溶存酸素量)などを指標とする風量自動制御システムが導入され、ブロウの適正な運転制御が考慮されている。しかし、実際の運転では自動制御が利用されず、運転者の監視による手動運転を実施している施設が多い。当社が水処理施設の運転管理を受託する15箇所の下水処理場にアンケートを行った結果、DO一定風量自動制御運転を実施している処理場は1箇所のみで、それ以外の処理場では手動で風量を調整していた。その原因の一つとして、風量調整用のバタフライバルブは精密な風量制御が難しく、自動制御システムでバルブを制御しても反応タンクへの送風量の調整が難しい。

これらの問題を解決するために、当社では風量調整により優れたバルブと制御システムに着目し、開発と商品化を進めているので紹介する。

2 DO一定風量自動制御システムの効果確認

S町下水処理場は、DO一定風量自動制御システムを設置しているが、システムの調整がうまく作動せず、運転員による手動風量調整を20年以上実施してきた。これを調整して風量自動制御運転を開始した結果を表-1に示す。開始後5ヶ月間の平均送風量は手動調整の前年度よりも27.7%減少し、また下水処理場全体の受電電力量も5.0%減少した。ブロウのモータ駆動力は、回転速度すなわち送気風量の3乗に比例するので、図-1のようにブロウの動力変動を安定化することは、大きな省エネ効果につながる。

なお、S町下水処理場は反応タンク1系列運転の処理場である。そのため、風量調整バルブは100%開度に固定し、ブロウのインバータ制御で風量自動制御を行っている。一方、大多数の下水処理場では図-2のように複数系列の反応タンクを運転するので、系列毎の空気量調整にはブロウ制御に加えて風量調整バルブによる風量制御が必要となる。

3 風量調整バルブの開発

3.1 型式の検討³⁾

風量調整バルブは下水処理機能の心臓部に直結する機器であり、故障による停止は公共下水道の機能不全につながる非常に重要な機器なので、長期間の安定運転が求められる。日本の下水処理設備では電油操作器を付帯したバタフライバルブが一般に使用されている。それに対して、ヨーロッパやアメリカなど一部の国では、より精密な風量調整での省エネ化を目的に、金属シャッターを利用したダイヤフラムバルブも採用され始めている。

日本市場への商品化を考えると、この形式のダイヤフラムバルブは

表1 S町下水処理場でのDO一定風量自動制御の効果
Table1 Advantages of DO constant aeration control at S-City sewage treatment plant

受電電力量 [kWh/day]	手動風量調整(2020年度)	984
	自動風量制御(2021年度)	934
	自動制御での減少率[%]	5.0%
曝気空気量 [Nm ³ /day]	手動風量調整(2020年度)	6,641
	自動風量制御(2021年度)	4,804
	自動制御での減少率[%]	27.7%

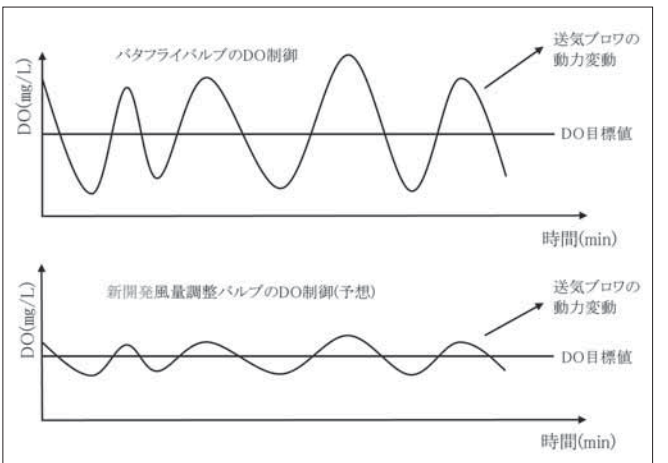


図1 ブロウ動力変動
Fig.1 Shaft power fluctuation of the aeration blower

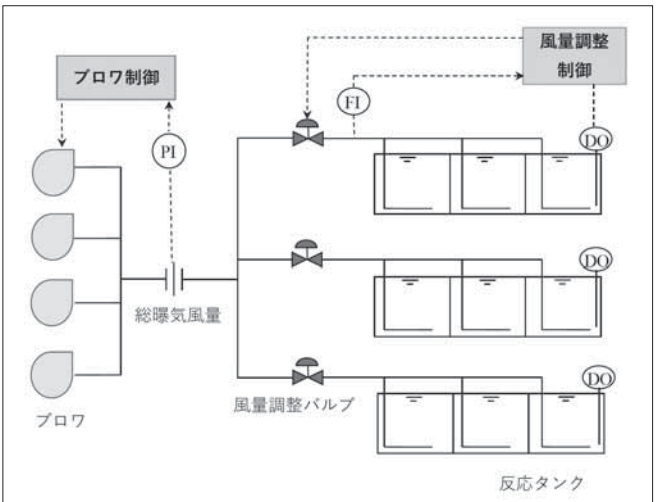


図2 反応タンクの曝気ルート
Fig.2 Aeration route of the aeration tank

風量制御性能に優れるが、構造が複雑で商品化での販売リスクが懸念される。また、下水処理場は日本全国に普及しているので、新設よりも既設バタフライバルブとの交換需要が主になると予想される。そこで、構造がシンプルでバルブ市場での認知度が高くかつ精密な風量制御が可能と予想されるスライドゲートバルブを基本構造として開発に着手した。

3.2 開発するバルブの基本構造

バルブ専門会社((株)日菱、大成工業(株))を共同開発パートナーとして協力を仰いで、バルブの開発を進めた。バルブ価格は同一口径のバタフライバルブと同程度を目標にした。一般に下水処理場は、荒天時の流入負荷増大などを考慮して、大きな余裕率の設備設計を行う。そのため、風量調整バルブも通常時の運転では、低開度域での風量調整が必要になる。バルブの設計では、同一口径のバタフライバルブと比較して同等以上の最大通気能力(Cv値)を保持しながら、低開度域でも精密な風量調整が可能となるように、バルブ開口部のゲート板形状を工夫した。ゲート板形状は、開度60%以下では風量変化がより緩やかで、かつ低開度の0%近傍まで一定の風量調整が可能な設計とした。また、下水処理場への設置レイアウトは縦置きに加えて横置きでも設置可能な構造とした。新しく開発した風量調整バルブの写真を図-3に、また、バルブ流量の予想特性を図-4に示す。このバルブは特許と意匠を出願中である。

3.3 基本性能調査

開発した風量調整バルブ(スケールアップ前の最終試作品)と市販のバタフライバルブ、および海外の下水処理場で採用されているダイヤフラムバルブについて、それぞれ50Aのバルブを用意してCv値を測定した。調査は、旧市川研究所と新八千代事業所で実施した。ここで、Cv値とは流体の流れやすさを示す固有の係数で、値が大きいほど同一圧力損失条件で通過する流量が大きくなる。バルブ2次側を水槽4m負荷、および無負荷の条件で測定した各バルブ全開時Cv値の

結果を表-2に示す。バタフライバルブ全開時のCv値と比較すると、新開発風量調整バルブ(スライドゲートバルブ)は1.4倍、ダイヤフラムバルブは1.6倍の通気能力を有する。また、新開発した風量調整バルブはバタフライバルブ(電油操作器含む)より約3割の機器コスト削減が見込まれて、コスト面でも有利と予測される。

次に各バルブの曝気風量制御性を考察する。全開時のCv値は各形式のバルブで相違するため、それぞれのバルブごとに、測定した最大Cv値を100%として各開度でのCv値を%換算したグラフを図-5に示す。Cv値変化率の曲線の傾きは、特に低開度での流量制御性が重要なので、開度0～40%付近での変化に着目して評価した。バタフライバルブは、開度10%～20%以下の低開度域や開度90%以上の高開度域ではCv値が変化しない。また、開度15%以上から85%以下の部分では、Cv値は開度変化に伴ってS字形に増減する。その結果、バタフライバルブは開度変化に伴う通過流量の変化が急激で風量制御が難しく、また低開度域や高開度域では風量制御が不能である。一方、金属シャッター型ダイヤフラムバルブと新開発した風量調整バルブでは、バルブ開度に伴うCv値変化がよりリニアで、開度上昇と減少間での流量偏差(ヒステリシス差)も少ない。低開度域や高開度域でもバルブ開度の変化に伴ってCv値がリニアに変化するので、開度の全域で曝気風量の精密な制御が可能で自動運転がより容易になることを確認した。

以上の基本性能調査の結果をもって、新開発した風量調整バルブの下水処理場でのフィールドテスト実施を決定した。

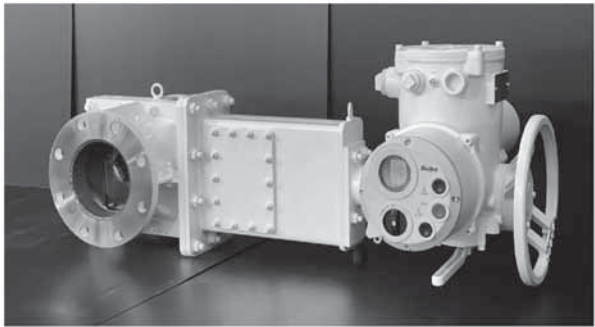


図3 新開発風量調整用スライドゲートバルブ
Fig.3 New aeration control slide gate valve

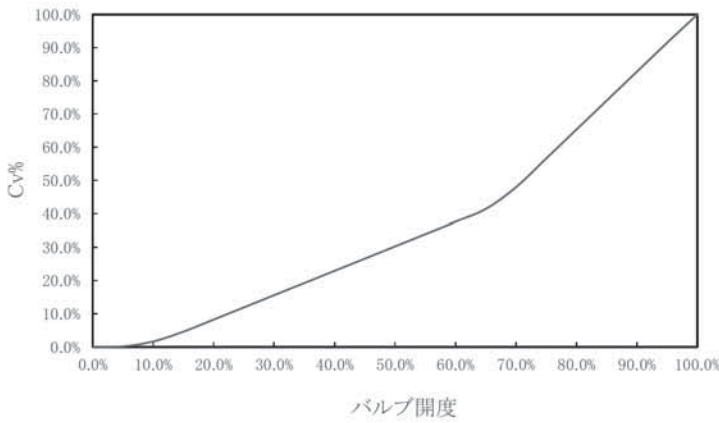


図4 新開発風量調整バルブの予想流量特性
Fig.4 Prediction of flow rate characteristics of the new aeration control valve

表2 各バルブの開度100%Cv値測定結果
Table2 Cv values of the fully opened valves

バルブ種類(50A)	測定時の背圧条件	開度100%Cv値 平均値(範囲)	開度100% Cv値比較	口径毎のコスト比率(予想)	
				100A	200A
新開発風量調整バルブ (スライドゲートバルブ)	無負荷	139~158	1.4倍	100A	1
	水槽4m負荷	142~158		200A	1.6倍
ダイヤフラムバルブ	無負荷	145~180	1.6倍	100A	1.5倍
	水槽4m負荷	175~185		200A	2.4倍
バタフライバルブ	無負荷	100~110	1	100A	1.3倍
	水槽4m負荷	100~105		200A	2.0倍

3.4 耐久試験

口径200Aの新開発した風量調整バルブを使用して開閉連続動作試験を実施した。試験の結果、3万回の往復開閉連続運転をクリアし、故障停止や異音、弁板やベアリングの摩損などの問題は確認されなかった。

3.5 フィールドテスト

開発した風量調整バルブ(150Aと200A)およびテスト用のDO一定風量自動制御システムをS町下水処理場に設置させていただき、実設備での曝気風量自動制御調査を2021年4月から開始して現在もテストを継続している。設置状況を図-6に示す。新開発の風量調整バルブは、DOの増減に対応してバルブ低開度領域でも曝気風量の精密な調整が可能であり、DO一定自動制御でバルブ開度を自動調整する運転を実施することで風量が微調整されて、DO変化の偏差がより小さくなることをこれまでの運転で確認した。

4 商品化への課題

下水処理場運転の省エネ化推進に向けて、開発した風量調整バルブの技術的有効性を確認した。今後の商品化に向けて、以下の課題を検討し、解決していきたい。

- 1) 風量調整バルブは下水処理場で重要なプロセスを担う商品であり、商品化の達成には、長期間の実証運転が不可欠である。次の開発

ステップとして、複数系列の反応タンクを備えた大規模な下水処理場でのフィールドテスト実施を検討する。

- 2) 新開発した風量調整バルブ技術を中心に、ブロー制御も含めた自動制御ユニットを構築し、総合的な省エネルギーシステムの商品化を検討する。

5 おわりに

下水処理場運転の省エネ化を目標に、曝気風量の精密制御が可能なバルブを開発した。今後は要素機器類の機能向上とデジタル制御技術を融合した下水処理場曝気風量制御システムの構築で、処理場運転のさらなる省エネ化に取り組んでいく。

謝辞

開発した風量制御バルブとテスト用DO一定風量自動制御システムの設置と運転調査の実施をご承諾くださった、S町役場下水道管理ご担当部課に感謝します。

参考文献

- 1) 国土交通省：下水道における資源・エネルギー施策の現状分析（第3回下水道施策研究委員会資料4-2）、1（2013）
2) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：下水処理場のエネルギー最適化に向けた省エネ技術導入マニュアル(案)、10-11（2019）
3) 呂曉也、近藤洋正、南茂樹：曝気風量制御用バルブの流量制御特性の調査（第2報）、第58回下水道研究発表会、905-907（2021）

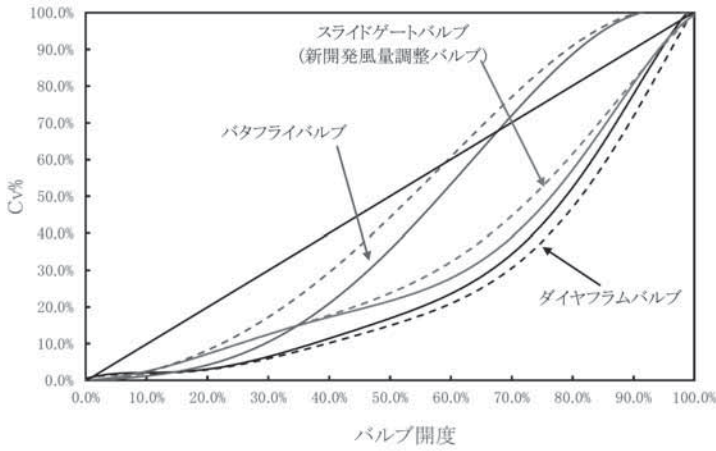


図5 バルブ開度とCv% 各バルブの比較
実線は100%→0 にバルブ開度を変化させて測定した場合
破線は0→100% にバルブ開度を変化させて測定した場合
Fig.5 Flow characteristics of aeration control valves
Solid line is measured from fully opened to fully closed (100%→0)
Dotted line is measured from fully closed to fully opened(0→100%)

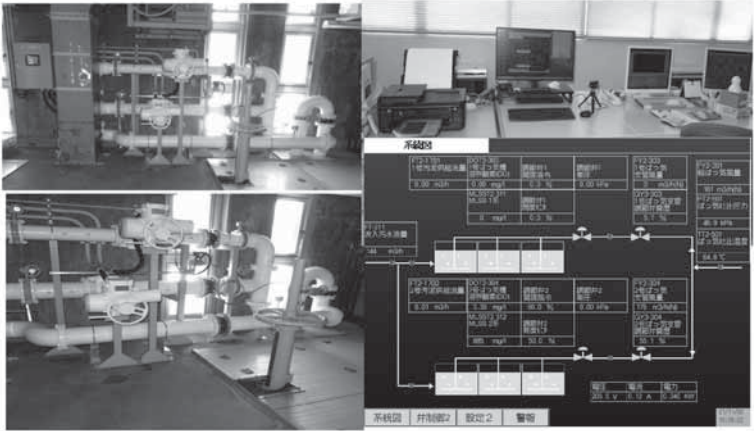


図6 S町に設置した大型機の現場写真
Fig.6 Picture of the scaled-up valve at S city

装置のリモート状態監視事例

Remote monitoring test results for industrial equipment



阿部 研
ABE Ken
産業事業本部
単体機器技術部
設計第一グループ

Abstract

The necessity for the use of remote monitoring devices for industrial equipment has increased during the COVID-19 pandemic. Tsukishima Kikai (TSK) researched the advanced operation and maintenance of batch type centrifuges in cooperation with Mitsui Sugar Co., LTD. between 2019 and 2021.

This research focused on fault diagnoses of bearings as well as the visualization of supplied and separated slurry conditions.

産業用装置のリモート状態監視は、ベテラン技術者がすぐに現場で状況把握しがたいコロナ禍において、更に必要性が増している。月島機械株式会社は、2019年から3か年にわたり、三井製糖株式会社殿と「製品用分離機の運転・保全の高度化」の共同研究を実施した。この共同研究において、軸受の故障診断やスラリー供給状や分離状態の可視化を実現できた。

キーワード：コロナ禍、リモート状態監視、振動周波数分析
Keyword：COVID-19 pandemic, remote monitoring, vibration frequency analysis

1 はじめに（緒言）

月島機械グループは、さまざまな製造プラントに設備を提供している。所定の性能を試運転で確認した後、顧客に設備をお引渡しするが、その後の故障対応やメンテナンス対応も実施してきている。近年のコロナ禍のように、技術者が直接現地で対応できない状況下においては、離れた場から設備の状態を可視化できるセンシング装置が有効である。従来の設備には無い、新たなセンシング装置で測定されたデータに基づき、顧客と当社の技術者が装置の状態を遠隔で把握し合えた事例を紹介する。

2 リモート状態監視に対する顧客ニーズ

月島機械グループの砂糖用分離機である吊下分離機は、高速回転機械でかつ食品用途であることから、設備故障によって発生する製品への機械由来の異物混入を避けるために、日々の点検や定期整備を行うことが重要な機械である。特に国内の精製糖工場においては、年2～3回の定期修繕期間以外は連続稼働し続けるため、過去から慣習的に決めてきた交換・整備周期でメンテナンスを実施してきた。リスク回避のために、まだ使えそうである部品も新品に交換してきた一方で、納入当時から20年以上経過している分離機も増加していることもあり、運転中に故障する場合もゼロではない。

従って、さらなる安定稼働信頼性の向上とメンテナンスコスト最小化のため、従来の使用期間基準ではなく、部品の劣化状態を判断して交換するメンテナンス管理手法に切り替えたいとの顧客ニーズがある。また、分離状態や、バスケット内の洗浄が確実に行われているかは、結晶缶の運転操作が切り替わる度に直接分離機を現物確認してきたが、中央操作室で確認できるように、センシング装置で可視化したいニーズもあった。

これを実現するために、2019年度から2021年度まで、三井製糖株式会社殿との共同研究を実施した。この主な成果を以下に記載する。

3 リモート状態監視の事例

3.1 軸受の故障診断

軸受ハウジングに振動計を設置し、振動周波数分析を行うことで、軸受の故障診断が可能かな否かを確かめた。図1に軸受構造図を示す。吊下分離機は軸受ハウジングが揺動できる特殊構造を有しているため、通常運転でも軸受ハウジングが揺動しており、このため一般的な回転機器の軸受部よりも振動値が大きい。振動周波数分析による軸受の故障診断自体は、古くから知られている手法であるが、通常運転時の揺動や振動で、軸受が故障したときに発生する振動周波数のみを切り出して診断可能かを把握する事が課題であった。図2に分解して損傷が確認された軸受写真を、図3に振動周波数結果を示す。

異音を発生させながら運転していた分離機の軸受をセンシング診断した結果、損傷を示す特定周波数が検知された。また、この軸受を現物確認した結果、実際に損傷が発生していたことが確認できた。

3.2 供給状態、排出状態の可視化

バスケット内に均一にスラリーが供給されていることと、排出不良が発生していないこと、バスケット洗浄後のケーキ残りが発生していないことを把握するために、超音波センサでスラリー厚みなどバスケット内の各所までの距離を測定した。

図4にセンサ設置写真を、図5に超音波センサ測定結果を示す。超音波センサは温水・スチーム洗浄時には検知できず有効ではないが、スラリー供給時にはこの外乱影響は受けず上・中・下3か所で厚みの違いを識別でき、均一にスラリー供給されていることをセンサで認識できた。

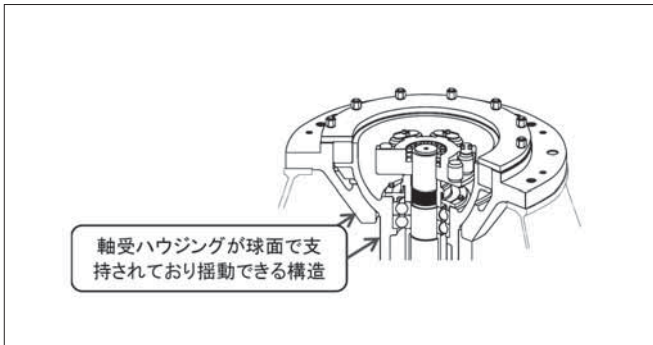


図1 軸受構造図
Fig.1 Bearing Unit of batch type centrifuge

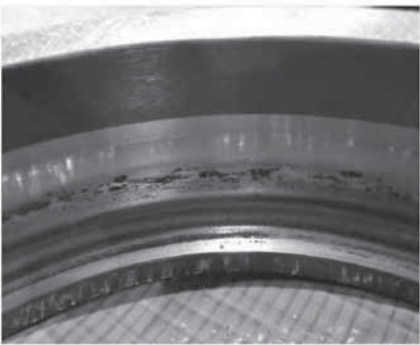


図2 分解して損傷が確認されたベアリング写真
Fig.2 Damaged Bearing

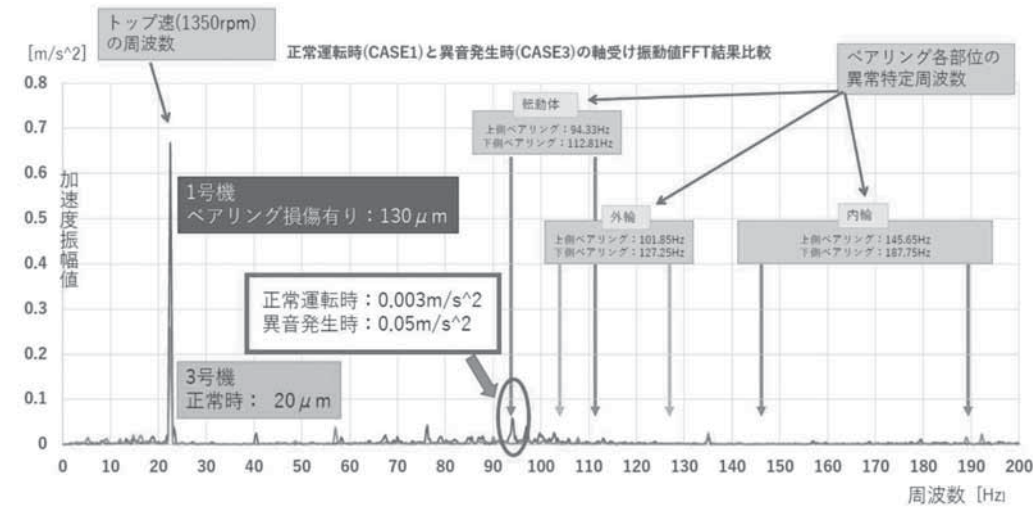


図3 周波数分析結果
Fig.3 Frequency analysis result of bearing diagnosis

るケーシングに振動計を設置して振動検出し、同時軸で騒音測定した結果、分離している状態を振動データのみで検知できることがわかった。図6にケーシング振動と脱蜜時に発生する音の相関図を示す。ベテランオペレータの技量や感覚にたよらず、ケーシング振動値の増減値を用いることで遠隔で分離状態を把握できることがわかった。

4 まとめ（結論）

装置の特性として、通常時でも振動が大きく、スチーム・温水洗浄も用いる吊下分離機は、振動や画像による装置の状態把握が難しいと当初は考えていた。ケーシング振動と分離タイミングの相関性が確認されるなど、視点をかえる等の工夫をすることで、遠隔での状態監視が可能であることが解った。当社の技術者の現地派遣が困難な場合

のみならず、顧客においてもシフト勤務体制などでベテランが常に現場で対応しがたいコロナ禍での対応を経ることにより、ベテラン技術者の経験や感覚に頼らないリモート状態監視の重要性は高まっている。さらには、センシング装置の測定データは、機器の運転維持管理のAI対応化にも有効であり、自己診断、自動制御を有する機器開発にも繋げていきたい。

5 謝辞

本実証を行うにあたり、実証場所のご提供や実証用スラリのご提供等、多大なご協力をいただいている三井製糖株式会社殿に深く感謝の意を表させていただきます。

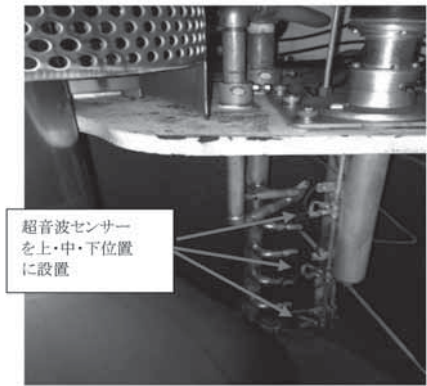


図4 超音波センサー設置図
Fig.4 Installation position of ultrasonic sensor

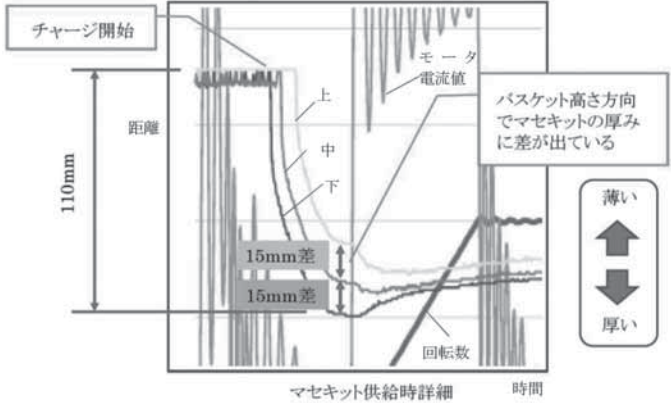
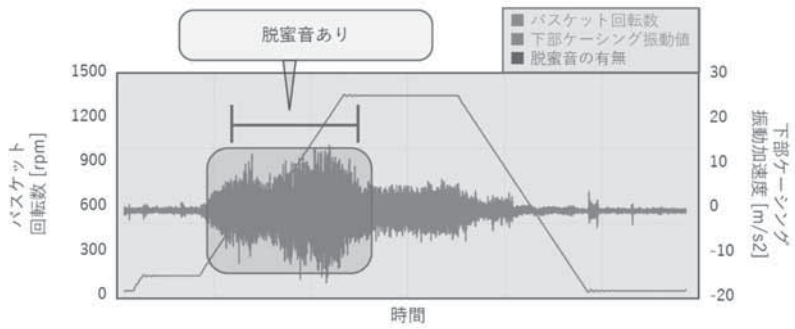


図5 超音波センサー測定結果
Fig.5 slurry thickness measurement result by ultrasonic sensor

■ 下部ケーシングの振動と脱蜜音の有無の相関（洗糖3号）

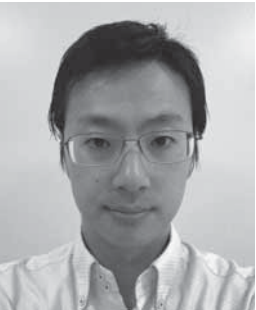


▶ 下部ケーシングの振動増幅範囲と脱蜜音の可聴範囲が一致

図6 ケーシング振動と脱蜜音の相関図
Fig.6 Correlation chart of casing vibration and separation sound

京都市上下水道局鳥羽水環境保全センター 下水汚泥固形燃料化事業

*Sewage sludge solid fuelization business
at the Toba Wastewater Treatment Plant in Kyoto*



蜂谷 祥之
HACHIYA Yoshiyuki
水環境事業本部
ソリューション技術部
プロポーザルグループ



原島 拓生
HARASHIMA Takuo
水環境事業本部
PPP事業推進室
マネジメントグループ

Abstract

The Kyoto City Water Supply and Sewage Bureau has established a sewage sludge fuel conversion facility at the Toba Wastewater Treatment Plant with the aims of sewage sludge utilization, waste reduction, and greenhouse gas reduction. The Tsukishima Kikai group signed a basic contract with Kyoto city for the Toba Wastewater Treatment Plant Sewage sludge solid fuelization business in May 2018. The facility was designed and constructed from June 2018 to March 2021, then commenced operation and maintenance from April 2021. This is the first sewage sludge fuel conversion project operated by the Tsukishima Kikai Group.

京都市上下水道局では、下水汚泥の有効利用、廃棄物の削減、温室効果ガスの削減を目的とし、鳥羽水環境保全センターに下水汚泥固形燃料化施設の整備を行った。月島機械グループでは、2018年に下水汚泥固形燃料化事業に関する基本契約を締結した後、2018年度から2020年度まで設計・施工を行い、2021年度からは維持管理・運営を開始した。本事業は、設計・建設から維持管理・運営までを、一貫して月島機械グループのみで請け負っており、本体制で行う下水汚泥燃料化事業としては初めての案件である。

キーワード：下水汚泥燃料化、ライフサイクルビジネス、官民連携、温室効果ガス、循環型社会
Keyword：Sewage Sludge Fuel Conversion, Life Cycle Business, Public Private Partnership, Greenhouse Gas, Recycling-Based Society



図1 鳥羽水環境保全センター全体
Fig.1 External View of Toba Wastewater Treatment Plant.

1 はじめに

京都市は、鳥羽水環境保全センター(図1)の既設焼却炉の改築更新にあたり、廃棄物となる焼却灰の発生量を削減し最終処分場の延命化を図るとともに、下水污泥の有効利用促進および温室効果ガス排出量の削減を目的とし、下水污泥固形燃料化事業を公募した。月島機械グループでは、低温炭化方式による下水污泥固形燃料化事業を提案し、落札した。2018年度に京都市と基本契約を締結、2020年度までに施設の設計・施工を行い、2021年度からは当社と月島テクノメンテサービス株式会社にて設立した株式会社バイオコール京都鳥羽(SPC:特別目的会社)により、20年間の維持管理・運営を開始した。

本稿では、本事業の概要および特長について紹介する。

2 事業概要

2.1 事業概要

- (1) 事業名称 鳥羽水環境保全センター下水污泥固形燃料化事業
 - (2) 事業内容 下水污泥固形燃料化施設の設計・建設、維持管理・運営、炭化燃料製造・有効利用
 - (3) 事業方式 DBO方式
 - (4) 事業期間 設計・施工期間 2018年6月～2021年3月
維持管理・運営期間 2021年4月～2041年3月
- 下水污泥固形燃料化事業の事業概要を図2に示す。

2.2 事業実施体制

月島機械グループは過去6件の燃料化事業受注実績を有するが、当社がSPC代表企業として実施すること、月島機械グループが設計・施工から維持管理・運営を一貫して請け負うのは、今回が燃料化事業で初となる。

当社が、過去経験を踏まえ、集大成ともなる燃料化施設を設計・建設した。また、代表企業として安定確実なSPC運営と炭化燃料の有効利用を行っていく。月島テクノメンテサービス株式会社は、鳥羽水環境保全センター污泥処理設備の運転管理に30年近く携わり現場を熟知している。燃料化の維持管理ノウハウ、最新のIT技術を掛け合わせ、効率的な維持管理・運営を行っていく。

3 施設概要

3.1 施設概要

- | | |
|-------------|---------------------|
| (1) 処理方式 | 低温炭化方式 |
| (2) 施設能力 | 脱水污泥 150 t-wet/日×1基 |
| (3) 計画污泥処理量 | 脱水污泥 49,500 t-wet/年 |
| (4) 炭化燃料製造量 | 約 6,100 t/年(年平均生成量) |
| (5) 炭化燃料性状 | 高位発熱量 約 16 MJ/kg |

3.2 概略フロー

下水污泥固形燃料化施設の概略フローを図3に、施設外観を図4に示す。

脱水污泥は、污泥乾燥機にて水分20～30%まで乾燥後、炭化炉(熱風式外熱キルン)にて、低酸素条件下で加熱し炭化を行う(処理温度:250～350℃程度、処理時間:1時間程度)。製造された炭化燃料はホッパにて一時貯留された後、火力発電所等に運ばれ、石炭代替燃料として有効利用される。

炭化工程で発生する熱分解ガスおよび污泥乾燥機からの排ガスは、再燃炉にて燃焼後、排煙処理塔などで排ガス中のばいじんや酸性成分などの大気汚染物質を除去した後、大気放出する。

3.3 施設の特長

- (1) 燃料の価値を最大化する低温炭化技術
下水污泥を低い温度域で炭化することで、燃料として重要となる「高発熱量」「低臭気」「低自然発火性」の全てを兼ね備えた価値の高い石炭代替燃料を生み出す。
 - (2) エネルギー効率の最大化と温室効果ガス排出量の削減
燃焼排ガスの廃熱を、廃熱ボイラや熱交換器にて熱回収し、污泥乾燥機熱源の蒸気・各バーナ用の燃焼空気として利用するといった、エネルギーを余すことなく活用する工夫を施している。
- また、焼却から当燃料化技術への転換と炭化燃料の石炭代替利用で約17,000 t/年の温室効果ガス排出量削減が期待され、これはスギの木約200万本分(40年生のスギが1年間で吸収する二酸化炭素の量(8.8 kg/本)で換算)に相当する。

- (3) 污泥の有効利用と循環型社会の構築

本施設では、今まで廃棄物として処分されていた下水污泥をエネルギー資源に転換し、地域に電気エネルギーとして還元される。廃棄物発生量の削減、最終処分場の延命化を図るとともに、循環型社会の構築に貢献している。

4 おわりに

本施設は、4月1日から運営を開始し、関係者の尽力もあり、ここまで当初計画どおり順調に稼働している。今後20年間の運転を通じ、その役割を確実に果たしていくとともに、得られたノウハウを活かし、今後のさらなる技術改善・新規事業の開拓に努めていきたい。

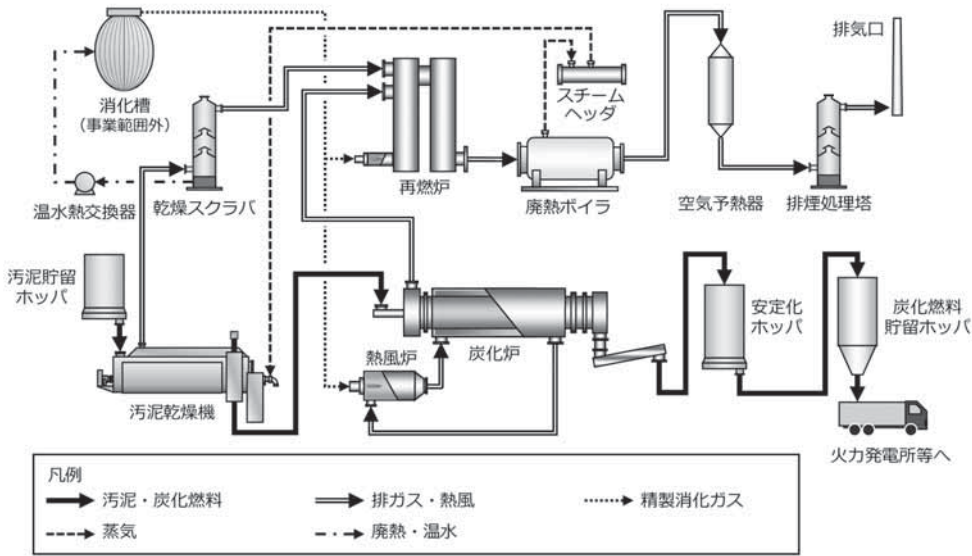


図3 燃料化施設フロー
Fig.3 System flow of sewage sludge fuel conversion facility.

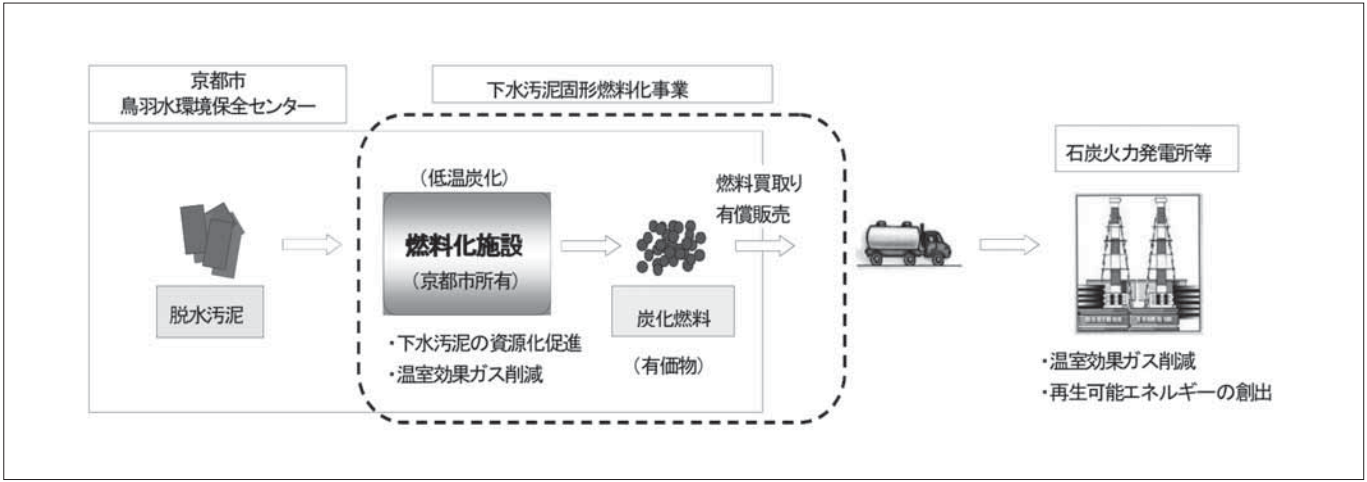


図2 事業概要
Fig.2 Scheme of the sewage sludge fuel conversion business.



図4 燃料化施設外観
Fig.4 External view of sewage sludge fuel conversion facility.

いわき市下水汚泥等利活用事業

Effective utilization of sewage sludge in Iwaki City

Abstract

In December 2020, the Tsukishima Kikai (TSK) Group signed a basic contract with Iwaki City for a sewage sludge utilization project. This project includes the development of an anaerobic digestion and fuel conversion system and the thermal recycling of sewage sludge from Iwaki City at the Chubu Sewage Treatment Center.

Construction of the plant will be conducted in a joint venture (JV) between four companies. Beginning from April 2024 and for the next 20 years, its operation and maintenance will be conducted by a special purpose company (SPC) established by three companies.

木村 葵

KIMURA Aoi

水環境事業本部
ソリューション技術部
下水グループ

月島機械特別企業グループは、2020年12月にいわき市といわき市下水汚泥等利活用事業（以下、「本事業」という）の基本契約を締結した。本事業は、いわき市で発生する下水汚泥、浄化槽汚泥等を中部浄化センターにおいて嫌気性消化し、固形燃料化物としてサーマルリサイクルするものである。建設工事は当社含む4社で協同企業体（JV）を構成して実施する。維持管理運営は、当社含む3社で出資して設立する特別目的会社（SPC）にて、令和6年4月から2年間実施する。

キーワード：いわき市、下水汚泥、浄化槽汚泥、活用

Keyword : Iwaki City, sewage sludge, septic tank sludge, utilization, recycle

1 はじめに

福島県いわき市は、東北6県の中で仙台市の次に人口が多い30万人都市である。現在、公共下水道としては北部・東部・中部・南部の4つの処理区で汚水処理を行っており、各浄化センターで発生する下水汚泥は、中部浄化センターに集約し、焼却した後に建設資材として有効利用している。

本事業では、下水汚泥を再生可能エネルギーとして活用するため、中部浄化センターに嫌気性消化設備およびバイオガス発電設備を建設する。さらに、消化汚泥は固形燃料化し、嫌気性消化や汚泥乾燥の熱源としてサーマルリサイクルすることで、温室効果ガスの削減に寄与することを目的としている。

本稿では、事業の概要について紹介する。

2 事業概要および事業実施体制

2.1 事業概要

- (1)方式 PFI (BTO方式)
(2)事業範囲

① 基幹事業

基幹事業では、中部浄化センターに浄化槽汚泥等受入施設お

よび機械濃縮設備、嫌気性消化設備、固形燃料化設備(脱水・乾燥)を建設する。さらに南部浄化センターに浄化槽汚泥等受入施設を建設する。

図1に中部浄化センター事業概要を示す。各浄化センターより受入れた下水汚泥・し尿/浄化槽汚泥(以下「下水汚泥等」という)を嫌気性消化し、固形燃料化設備にて固形燃料化物を製造する。なお、固形燃料化物は、付帯事業へ売却する。嫌気性消化設備から発生するバイオガスは、前処理後に貯留する。

② 付帯事業1 (バイオガス発電事業)

①の嫌気性消化で発生したバイオガスをSPC※¹⁾がいわき市より買い取り、民設民営のFIT事業において発電し電力会社へ売電する。電力会社の供給網を通じて地域社会に電力を供給するとともに、発電廃熱は基幹事業に返還して嫌気性消化設備の加温に有効利用する。

※1 SPC：本事業の維持管理運営のために設立する特別目的会社。
事業実施体制は後述する。

③ 付帯事業2（未利用地利活用事業）

中部浄化センター内の未利用地に熱供給設備を建設し、SPCがいわき市より買い取った固形燃料化物を熱エネルギーに変換し、基幹事業に供給して乾燥の熱源として利用することで、温室効果ガスの削減に寄与することを目指す。熱供給設備より排出された

燃焼灰は、再生骨材や再生盛土材等のリサイクル資源として活用する。

④ 付帯事業3（提案バイオマス処理事業）

近隣の農園にて発生している「商品化できないトマト」を液化し、これをSPCが有価物として買い取り、バイオガスの生成原料として利用することを計画中である。

2.2 期間

- (1) 南部浄化センター 設計建設 ～令和5年3月
(2) 中部浄化センター 設計建設 ～令和6年3月
維持管理運営※2) 令和6年4月～令和26年3月
- ※2 浄化槽汚泥等受入施設は設計建設のみ

2.3 事業実施体制

設計建設期間は、当社を代表企業とする建設JVにより業務遂行する。一方、維持管理運営期間は、当社、運転管理・修繕工事を担う維持管理会社、セルフモニタリング・付帯事業運営を担うコンサルタント会社の3者が出資するSPCが運営主体となり、20年間の事業を実施する。

3 設備の特長

3.1 嫌気性消化設備

主機の汚泥消化タンクには、鋼板製消化タンク(3,900m³×2槽)を採用し、施工期間を短縮する。また、補機として生物脱硫装置、メン

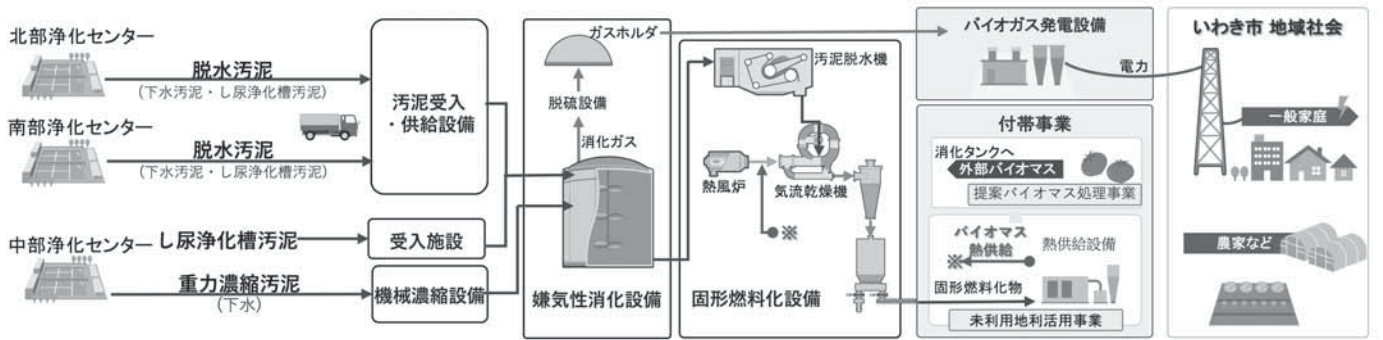


Fig.1 The outline of the project (Chubu sewage treatment plant)

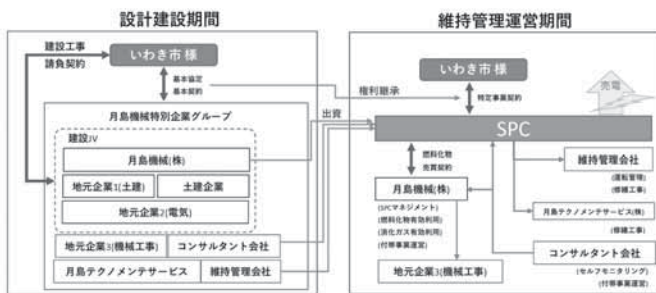


Fig.1 The structure of the project implementation

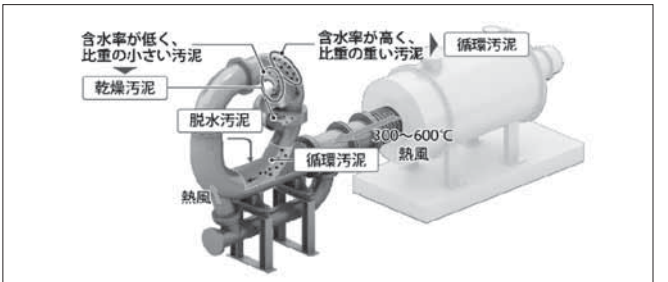


Fig.3 Overview of the circulated flush dryer

三進工業株式会社

三進工業株式会社 森 直人

1. はじめに

三進工業株式会社は、1954年、川崎市川崎区日ノ出町にて創業した工事会社です。その後1971年、周辺の住宅化が進んだこともあり、現在の川崎市川崎区小島町の工業団地へ移転しました。現在は、耐震性の向上と執務スペースの拡大、改善を目的として、事務所棟の建て替えを行っており、2022年5月に新事務所棟ならびに新第一工場が竣工する予定です。



図1 新事務所棟ならびに新第一工場完成予想図(2022年5月竣工予定)
Fig1. Rendering of new office building and first factory
(Scheduled to be completed in May 2022)

2. 技術の変遷

創業当初は、貯槽類の製作据付、水道本管の製作敷設、橋梁の架設等を主な仕事としてスタートしました。これらの仕事では、丸物の製缶製作から据付までを一気通貫で行っており、当社の技術基盤を作った時期でもありました。

その後、化学、石油、製紙、製鉄、ビール工場等の機器製作・据付や煙突の建設等に仕事の範囲を広げ、多くの実績を作っていました。当時の工事は、現場ごとに仮設クレーンを設置して行う工法だったため、クレーン製造認可を取得し多くの仮設用クレーンを製作しました。当時のジンポールデリックや複動ウィンチを巧みに使いながらの工法は、緻密で壮大なものだったと聞いております。

さらに仕事の範囲を広げるため、工業団地への移転とともに工場を拡張し、第1種圧力容器、高圧ガス設備、ボイラー等の製造認可

を取得しました。加えて、電気事業法、ガス事業法、原子力関連の溶接認可を取得し、製造技術、建設技術を伸ばしていきました。これらの認可取得で培った技術により、法規が関係する製造・建設の仕事は現在の当社の強みとなっています。

その後、1997年に「電気事業法に基づく溶接施工管理認定工場資格」を取得し、電気事業法に関わる溶接部は、当社の自主検査が認められるようになりました。この資格取得により、ごみやバイオマスによる発電プラントの建設工事、メンテナンス工事においても当社の業務範囲が広がりました。

以上の変遷を経て、プラント機器の製作、据付、メンテナンスをトータルでサポートできる会社として現在に至っています。

3. 工場製作

製造部では、熱交換器や蒸気だめなどの圧力容器からモニュメントまで各種製造を行っています。とりわけ、電気事業法や高圧ガス保安法などの適用を受けるものについては、溶接の施工法も多数保有しており、各種検査も含めた対応ができます。さらに、ボイラーの蒸気を連絡する蒸気管などは、工場でプレファブし現場で建設本部が組み立てるといったこともあり、電気事業法に則った形で連携できるようにしています。

また、補修工事における熱交換器のリチュービングは当社の腕の見せ所でもあります。長年の使用で腐食・劣化した多数のチューブ

を抜管し、新しいチューブを拡張して取り付ける作業は、最初から最後まで気が抜けない技術と根気がいる作業です。補修工事ではプラント停止期間が決まっているため、無事に完了できればほっとするとともに、客先からは感謝と高い評価をいただくことができます。

腐食した塔の部分更新も技術を要する仕事です。径の大きな塔の中間部を輪切りで撤去し、新しい側板や内容物を現地で合わせていく作業は、限られた工程の中、製造部の総合的な技術を活かすところ。このような製缶・溶接技術に対する挑戦とこだわりは、「現代の名工」2名の輩出に繋がっています。

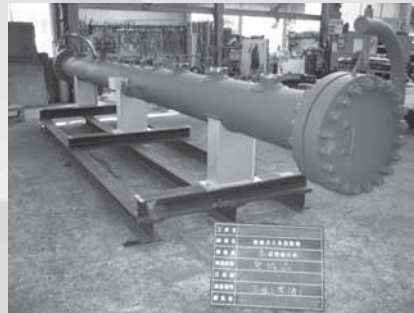


写真1 蒸気だめ
photo1 Steam reservoir production



写真2 エアフィンクーラー リチュービング
photo2 Air fin cooler retubing



写真3 モニュメント
(東京サンケイビルイベントスペースフラット)
photo3 Monument production(TOKYO SANKEI BUILDING,Ohtemachi Tokyo)

4. 建設工事

建設本部においては、これまで各種プラントの据付を幅広く手掛けてきましたが、現在の主力はごみ焼却発電やバイオマス発電に関するプラント建設やメンテナンス工事となっています。お客様に対してはプロジェクト全体を見越した提案を心掛け、品質と安全に対する高い意識を持って臨んでいます。

工事は、「段取り八分、仕事二分」だと先輩や協力会社の方々から懇々と教えられ引きつがれてきました。段取りとは仮設のことを指しますが、当社では机上の計画段階から段取りが始まっていると考え

ています。特にお客様からご提示いただいた工程については、全体工程、後工程、関連工事も考慮しながらチェックします。工程組み替えの提案や支給品の納期調整など、工程の進捗安定化を図ることも重要な段取りとなっています。

一方、工事の上で最優先であるのは安全です。作業員一人一人に作業手順とルールを遵守してもらうことが必要です。そのため、現場安全教育と安全パトロールを何度も繰り返します。また、当社は多くの建設用機材を保有しており、熟練者によって丁寧に整備されています。特に吊り上げに関わる機材については、自社で整備された安心できる機材を使用することで、現場の安全が支えられます。



写真4 ボイラー組立
photo4 Boiler installation



写真5 排水機場ポンプ据付
photo5 Drainage pump station construction

5. 今後の展開

当社の主力工事であるごみ焼却発電やバイオマス発電の建設において、民間製品認証制度を活用したいというお客様が増えてきました。本制度は、電気事業法が適用される電気工作物の溶接検査において、従来のボイラー・タービン主任技術者に替わって認証資格を持つ民間工場が検査を代行するというものです。当社は、この認証取得に向け昨年よりプロジェクトチームを立ち上げ、仮審査を経て2021年末に認証を取得する予定で活動しています。取得後は、この資格を強みにして受注拡大を目指します。

6. おわりに

三進工業は、多くの工事で環境の整備や産業の発展に寄与してきました。これからも、社名の由来である「前進、前進、また前進」を信条とし、経験と技術をおしみなく提供していきます。ご安全に。

流体解析手法編 ～格子法と粒子法～

開発本部 研究開発部 解析グループ 相馬 悠佑

1. はじめに

流体解析は流れ場や熱の移動などをコンピュータによる数値計算でシミュレーションする手法で、装置の内部や外部の流れ場の状態を予測し可視化することができる。装置開発の場面では、計測困難な場所のデータ取得や装置を製作せずにケーススタディを行える点で実験を補う有用なツールとなりえる。当社では以前より格子法の一種である有限体積法ベースの流体解析ソフトを使用してき

2. 格子法と粒子法の違い

2.1 離散化手法

実際の流体は空間・時間ともに連続的に変化しており、これは微分方程式の形で数式化することができる。しかし、コンピュータでは離散的な値しか扱えないため、連続的な微分方程式を離散的な代

ており、20年以上の実績がある。また、最近では粒子法ベースの流体解析ソフトも使用を始め、メッシュが不要である点から複雑な形状の装置内部の流れ解析に適用し検討を進めている。以下に格子法と粒子法の概要を紹介し、両者の違いについて述べる。なお、ここでは格子法は流体解析に最もよく用いられる有限体積法を指すものとする。

数方程式に変換(離散化)する必要がある。数式化では、質量と運動量保存則に加え、解析対象に応じてエネルギー保存則や乱流モデルなどのさまざまな物理モデルが用いられる。格子法と粒子法の違いはその離散化手法であり、図1に示すように格子法(有限体積法)では検査体積によって、粒子法では粒子によって、それぞれ離散化する。そのため、図2のように格子法は検査体積を通過する流体を、粒子法は粒子の運動を観測することで流体の挙動を再現するという違いがある。

2.2 解析の流れ

図3に格子法と粒子法における大まかな解析手順を示す。2つの方法の大きな違いに、計算領域を離散化するためのメッシュ作成

の有無がある。プリ処理において、格子法はメッシュ作成に比較的多くの時間を要するが、流れの変化の激しい部分のように詳細に解析が必要となる領域は局所的にメッシュサイズを小さくして精度を高めることができる。粒子法はメッシュ作成が不要でありプリ処理にかかる時間は少ないが、局所的に粒子サイズを変えることができないものが一般的である。よって、詳細な解析を行いたい領域が局所的であっても領域全体にわたり小さい粒子で計算することとなる。

2.3 液面表現の容易さ

変動する液面を含む解析において、格子法では液面挙動を予測してからメッシュサイズ等を設定するため知識と経験が必要となる。これに対し、粒子法では流体を粒子の集合体で表現するため液面が大きく変動したり飛沫が分裂・集合したりする場合でも容易に解析をおこなうことができる。

2.4 格子法と粒子法の比較

流体解析における格子法と粒子法の比較について以下に述べ、表1にまとめた。

- (1) プリ処理時間の長さ
粒子法ではメッシュ作成が不要のためプリ処理にかかる時間が短い。
- (2) 大変形を伴う液面表現
粒子法は飛沫や急激に変化する液面を表現するのに向いている。
- (3) 扱える物理モデルの多さ
格子法の方が市販ソフトに実装されている物理モデルが多い。
- (4) メッシュ・粒子の粗密化
格子法では場所にに応じてメッシュに粗密をつけることが容易である。
- (5) 定常解析の可否
粒子法では粒子の時間変化を計算するため基本的に非定常解析となる。
- (6) ソフトウェア選択枝の幅
粒子法の市販ソフトは数が少なく、格子法のものより後発である。

両手法の計算時間については一概に比較することが難しく今後の検討課題としたいが、メッシュ・粒子の数が多くほど計算時間は増加するため、メッシュの粗密化によるメッシュ数削減が可能な格子法の方が一般的な粒子法よりも計算時間を短くできると考えられる。

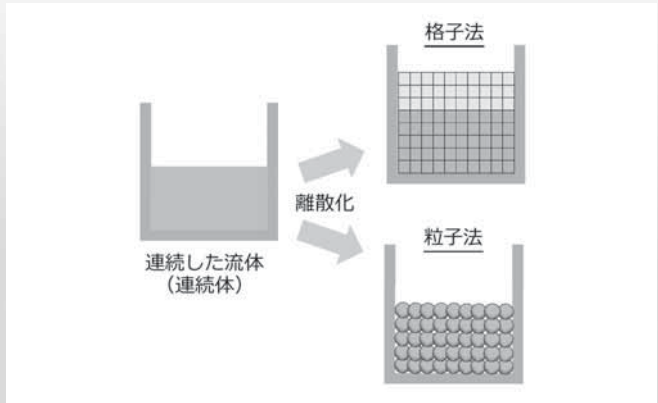


図1 連続体の離散化
Fig.1 Discretization of continuum

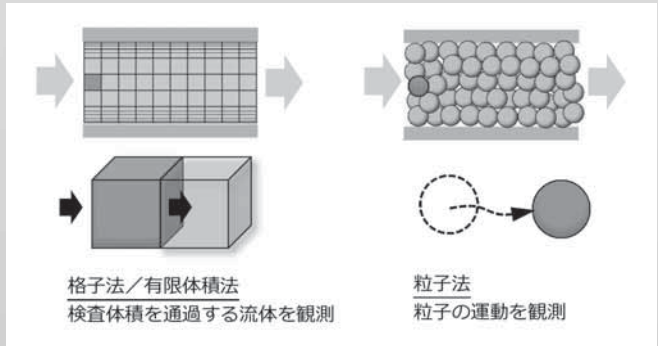


図2 検査体積と粒子
Fig.2 Control volume and particle

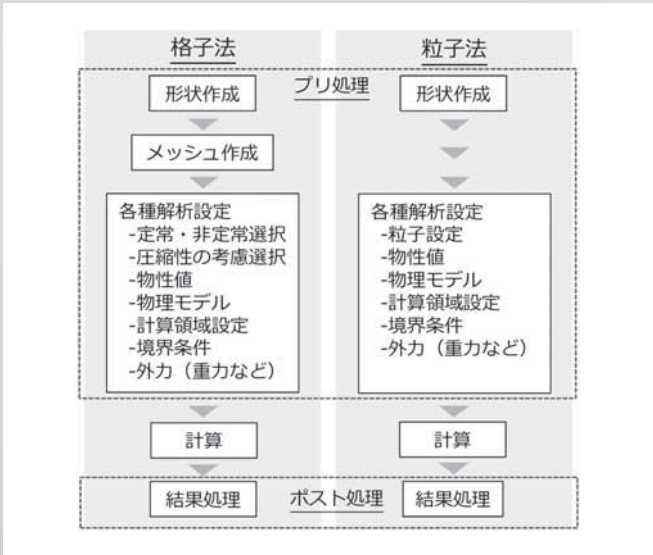


図3 解析手順
Fig.3 Analysis procedure

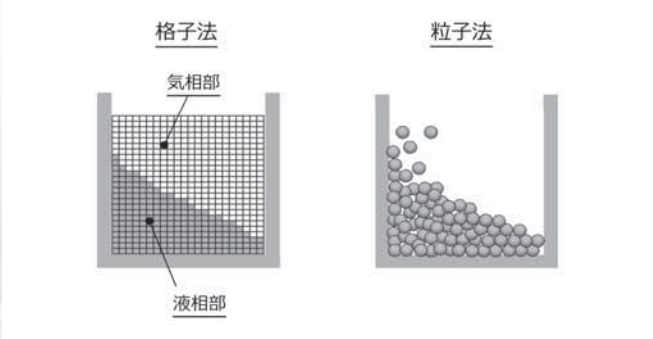


図4 変動する液面を含む流体解析
Fig.4 Fluid analysis including fluctuating liquid surface

3. おわりに

今回は流体解析に用いられる格子法と粒子法の概要について紹介した。

格子法による流体解析については、社内でも多数の実績があり粒子法に比べて信頼度が高い。今後はさらに多種多様な物理モデルを使いこなし、カスタマイズ技術にも力を入れ、より高度な解析

技術で当社装置の開発をサポートしていきたい。粒子法による流体解析については、メッシュフリーである点を上手く利用し複雑形状の解析対象へ適用していく。いずれの解析手法においても解析結果はあくまで近似解であるため、実験結果との比較による精度検証を行いながら解析技術向上に努めていきたい。

表1 格子法と粒子法の比較
Tab.1 Comparison of Lattice method and Particle method

比較項目	格子法	粒子法
(1) プリ処理の所要時間の長さ	△	○
(2) 大変形を伴う自由表面	△	○
(3) 扱える物理モデルの多さ	○	△
(4) メッシュ・粒子の粗密化	○	△
(5) 定常解析の可否	○	×
(6) ソフトウェア選択枝の幅	○	△

下水汚泥処理に関連する分析事例と 創エネルギー型焼却炉関連の分析事例紹介

開発本部 R&D センター 分析グループ 日良 聡

1. はじめに

当社は浄水場、下水処理場など官公庁分野向けの装置開発、製造、プラント建設とその維持管理を主要事業としており、特に下水道分野では、汚泥濃縮機、脱水機、乾燥機、焼却炉といった幅広い装置開発・改良を進めている。当社R&D センター分析グループでは、近年下水道分野の装置開発に深くかかわる事例が多く、上記の装置開発の過程で、装置性能の評価を目的に下水汚泥や排ガス、燃料化物、焼却灰、処理水など多岐にわたる分析を行っている。

2. 下水汚泥処理にかかわる分析項目と汚泥加温試験の分析結果

2.1 脱水性評価にかかわる分析(下水汚泥性状分析)

下水汚泥を水蒸気で直接加熱または間接加熱することにより汚泥の粘度が低下し、また細胞内の水分が放出されるなど保水力の低下により脱水性が向上することは古くから研究されており¹⁾、加熱によるタンパク質の分解に関する研究も多く見られる^{2) 3)}。当社では近年、100℃以下の比較的低温の加熱による脱水性向上に関する研究を進めている。下水汚泥の濃縮・脱水装置の開発・改良には供給汚泥性状の把握が必要であり、表 1 に一般的な汚泥性状分析項目と分析方法を示す。また、表 2 に汚泥の脱水性に影響

下水汚泥の分析には、下水試験法、下水汚泥分析法といった公定法に準じた分析方法のほかに、目的に応じて異業種の分析手法を活用、改良することで確立した分析方法も存在する。

本稿では、一般的な下水汚泥処理に関する分析事例と、創エネルギー型焼却システムのプロセス開発過程で実施した汚泥濃縮、脱水および焼却にかかわる最新の分析事例を報告する。

響を与える指標を示し、影響の大きい項目について以下に詳細を述べる。

◎アニオン度

汚泥粒子のもつ負電荷量であり汚泥調質におけるカチオン要求量に相当するため、この値が高いと高薬注率となる傾向がある。また、生分解により生成した多糖類・タンパク質は高いアニオン度を有する。一般的に多糖類・タンパク質は親水性を有し、かつ非常に微細であるため凝集剤の反応が悪く脱水性は低下することから、アニオン度の上昇は難脱水性の多糖類・タンパク質含有量の上昇にも関係している。

◎粗タンパク質

前述のとおり、多糖類・タンパク質の上昇により難脱水性の粘質物が増加、また、タンパク質は内部水を包含するため粗タンパク質濃度の上昇に伴い脱水性は低下する。粗タンパク質は、汚泥中の有機態窒素分をタンパク質含量に換算した値である。

◎繊維状物・粗繊維

下水中には植物由来およびトイレットペーパー由来の繊維分が

表 2 脱水性指標
Table2 Index of sludge dewatering property.

項目	濃度	脱水性
汚泥濃度(TS)	低い	⇒ 悪い
懸濁物質(SS)	低い	⇒ 悪い
繊維状物(粗浮遊物)	低い	⇒ 悪い
有機分 (VTS/Ig-loss)	高い	⇒ 悪い
電気伝導度	高い	⇒ 悪い
Mアルカリ度	高い	⇒ 悪い
粗タンパク質	高い	⇒ 悪い
アニオン度	高い	⇒ 悪い
CST	長い	⇒ 悪い

多く含有しており、これらは凝集フロックの構造体の一部となるため形成される凝集フロックが補強される。繊維状物、粗繊維濃度の低下に伴い凝集フロック強度が低下するため脱水性は低下する。

2.2 加温脱水効果の理論的裏付け

下水汚泥中の窒素 (T-N) の形態は、図 1 に示すとおり区分される。加温脱水による脱水効率向上の要因を考察するために、有機態窒素から算出されるタンパク質の加温による可溶化に着目した。表 3 に汚泥加温温度と組成分析結果を示す。加温温度と混合生汚泥中の溶解性・不溶性粗タンパク質、アンモニア態窒素 (NH₄-N) の濃度比、および懸濁物質中の粗タンパク質溶解率の関係を図 2 に示す。結果から以下のことがわかる。

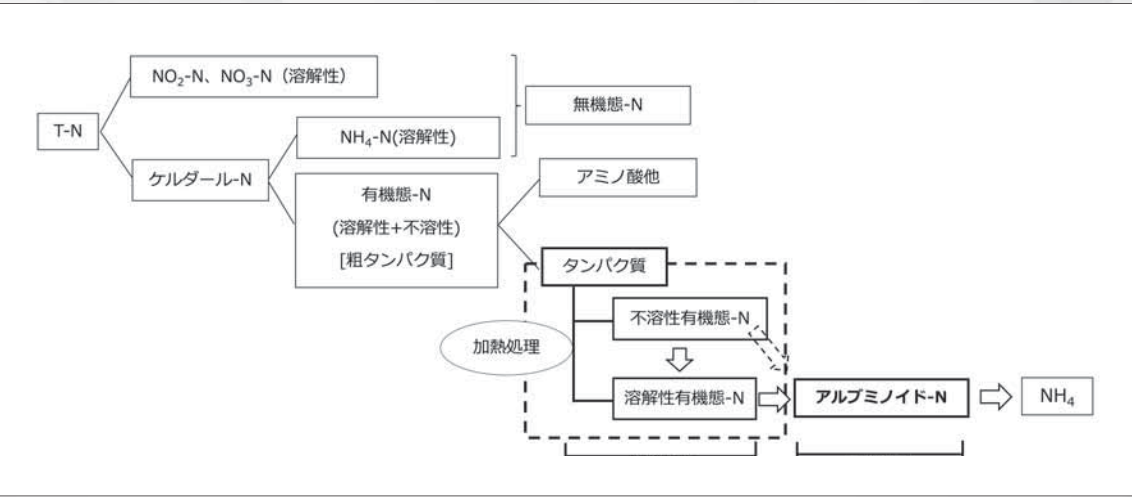


図 1 下水汚泥中の窒素の形態
Fig.1 Classification of nitrogen in sludge.

表 3 汚泥加温温度と組成分析結果-1
Table3 Sludge temperature and analysis results-1.

加温 温度 (℃)	TS wt%	SS wt%	DS wt%	粗タンパク質*1			NH ₄ -N wt%	SSの 可溶化率*2 %
				合計 wt%	不溶性 wt%	溶解性 wt%		
無加温	3.93	3.47	0.46	1.20	1.19	0.01	0.002	0.2
40℃	3.95	3.54	0.41	1.18	1.16	0.02	0.006	0.6
50℃	3.99	3.56	0.43	1.23	1.12	0.11	0.005	3.2
60℃	3.97	3.55	0.42	1.16	0.98	0.18	0.005	5.3
70℃	3.97	3.55	0.42	1.16	0.94	0.22	0.005	6.2
80℃	3.93	3.52	0.41	1.17	0.95	0.22	0.005	6.4
90℃	3.91	3.46	0.45	1.14	0.90	0.24	0.006	7.2

*1 粗タンパク質は窒素(N)×6.25として算出

*2 (溶解性粗タンパク質+NH₄-N)/SS

- ① 汚泥を加温することで、本来不溶性であるタンパク質の一部が可溶化する。
- ② タンパク質の溶解率は50℃から増加し、70℃で約16%となり、それ以上の温度では微増となる。
- ③ NH₄-N 濃度は大きく変化しないことから、汚泥加温によるタンパク質のアンモニアへの分解率は低い。

下水汚泥中の粗タンパク質は図 1 に示すとおり、生物由来のタンパク質および分解物であるアミノ酸などから構成されているが、タンパク質の中には難分解性、易分解性のものが混在していると考えられる。易分解性タンパク質割合を推定するために、アルブミノイド窒素を定量した⁴⁾。アルブミノイド窒素はタンパク質が分解され、アンモニアやCO₂に至る中間段階の物質と定義されている。

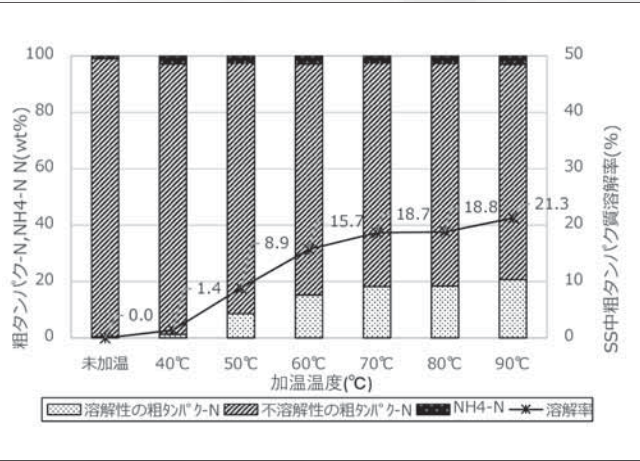


図 2 汚泥加熱温度と粗タンパク質・NH₄-N分析結果(混合生汚泥)
Fig.2 Analysis results of crude protein and NH₄-N of mixed sludge after heated various temperature.

混合生汚泥の未加温汚泥および70℃加温汚泥についてケルダール窒素、アルブミノイド窒素、アンモニアを定量した結果を図3に示す。未加温汚泥中には難分解性のタンパク質が約74%存在しているが、70℃加温により約68%まで減少した一方、易分解性タンパク質は約25%から約29%に上昇し、その一部はアンモニアまで分解している。また、図3下部のグラフに示す通り未加温汚泥ではほとんどが不溶性タンパク質であるが、70℃加温により溶解性タンパク質が約18%まで上昇した。このことから、加温によって溶解したタンパク質の一部はアミノ酸等の易分解成分へと変化したと推測される⁵⁾。

以上の結果から、100℃以下の低温の加温でも汚泥中のタンパク質の一部が溶解するとともに、分解が進行することが確認された。表3より、混合生汚泥のSS中の約30%を不溶性粗タンパク質が占めており、加温温度70℃以上ではその約20%が溶解およびNH₄-Nに分解される。その結果、SSの約6～7%が可溶化することになり、このことは、タンパク質の可溶化および分解が加温脱水の脱水効率向上に寄与している可能性を示唆している。

3. 燃焼計算にかかわる脱水ケーキの分析

下水汚泥脱水ケーキの主な分析項目を表4に示す。強熱減量や揮発分・発熱量といった工業分析結果および炭素・水素・窒素といった有機元素組成結果は、焼却設備計画における燃焼計算に用いる。また、有機元素組成分析結果の中の燃焼性硫黄や燃焼性塩素は、焼却により発生する有害物質濃度の推定に用いる。

3.1 下水汚泥の燃焼反応

加温脱水が汚泥焼却に与える影響を把握するため、加温温度を27℃～60℃に変えた場合の脱水ケーキの工業分析、有機元素組成および熱重量－示差熱分析(TG-DTA)を実施した。TG-DTA装置は、試料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重量変化および熱変化を測定する装置であり、試料の反応現象を捉えることができる。脱水ケーキのTG-DTA曲線の例を図4に示す。試料は105℃で乾燥後粉碎したものをを用い、昇温速度

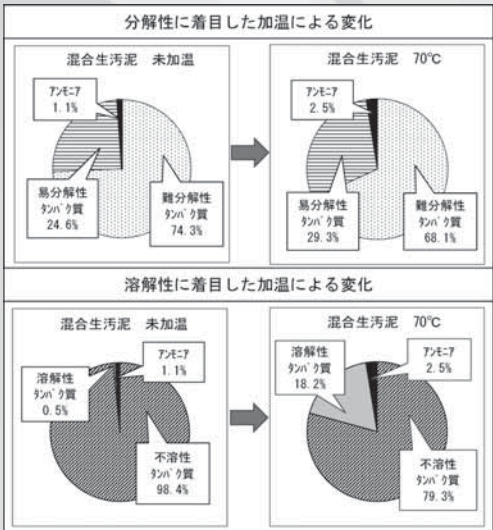


図3 未加温汚泥と加温汚泥のケルダール窒素に占めるタンパク質およびアンモニアの比率
Fig.3 Ratio of protein and ammonia in Kjeldahl nitrogen of raw sludge and heated sludge.

60℃ /minで1000℃まで加熱した。なお、測定雰囲気は模擬燃焼空気(N₂:70%,O₂:18%,CO₂:12%混合)とした。図中、実線で示した曲線は重量変化を、点線は雰囲気温度をそれぞれ示しており、昇温開始後2分過ぎ(雰囲気温度100℃)から緩やかな減量を開始し、5分付近(同200℃)と7分付近(同340℃)で重量減少の傾きが変化していることがわかる。その後約13分後(同740℃)で重量減少は終了している。一方、長破線で示した曲線は熱変化を示しており、マイナス側へのシフトは吸熱を、プラス側へのシフトは発熱をそれぞれ意味する。昇温開始後はゆるやかに吸熱し、5分過ぎから激しく発熱、その後13分過ぎに発熱反応が終了していることがわかる。以上のことから、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、340℃から740℃の間でチャー(固定炭素分)の燃焼が起きていると推測される。

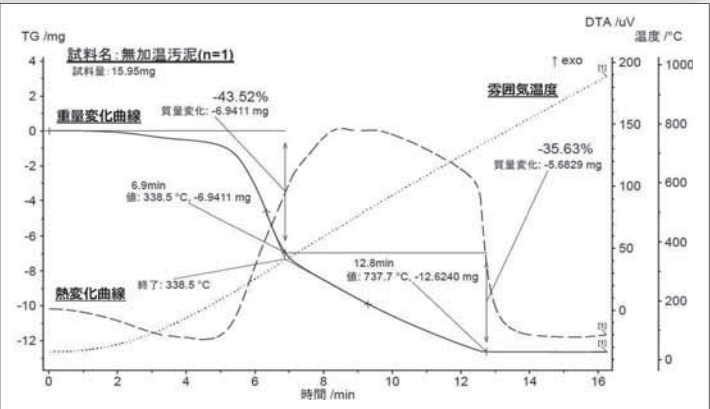


図4 TG-DTA測定結果例
Fig.4 TG-DTA measurement example of sludge.

3.2 加温脱水の燃焼特性への影響

汚泥加温温度が燃焼特性に与える影響を調査した。表5に加温温度と組成分析結果を、また図5に汚泥の加温温度と揮発分の関係をそれぞれ示す。夏季と冬季の汚泥性状の違いによると思われる差異はあるものの、加温温度の上昇に伴い脱水ケーキ中の揮発分が増加していることがわかる。図6に揮発分割合とTG-DTA曲線から算出した揮発分放出速度の関係を示す。揮発分割合の増加

表5 汚泥加温温度と組成分析結果-2
Table5 Sludge temperature and analysis results-2.

	加温温度 (℃)	含水率 (%)	灰 (%-dry)	固定炭素 (%-dry)	揮発分 (%-dry)
冬 季	42	68.5	19.3	12.3	68.4
	55	64.7	17.4	12.4	70.2
	47	70.9	18.2	12.0	69.8
	53	69.1	16.2	12.6	71.2
夏 季	27	73.1	21.1	16.7	62.2
	41	72.5	19.4	16.3	64.3
	50	67.3	19.4	16.6	64.0
	60	62.1	19.4	15.7	64.9

に伴い、揮発分放出速度が上昇していることが確認された。

図4に示す通り、燃焼反応時間は揮発分放出時間とチャー燃焼時間の合算であり、全重量減少量を全反応時間で割った値をトータル燃焼速度とした。加温温度とトータル燃焼速度の関係を図7に示す。汚泥の加温温度上昇に伴い汚泥の焼却速度が上昇しており、このことから汚泥の加温は脱水効率向上だけでなく、燃焼速度上昇にも影響を与える可能性が示唆された。

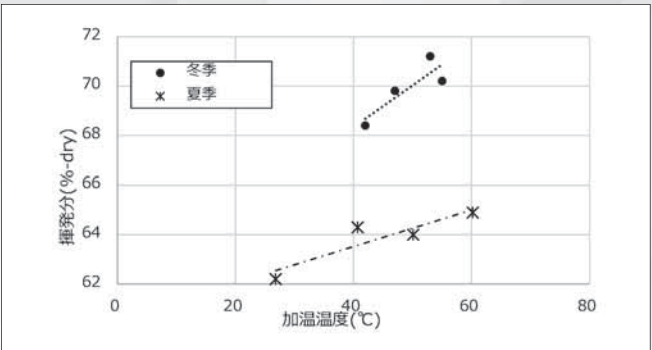


図5 汚泥加温温度と揮発分割合の関係
Fig.5 Relationship between sludge heating temperature and volatile matter concentration.

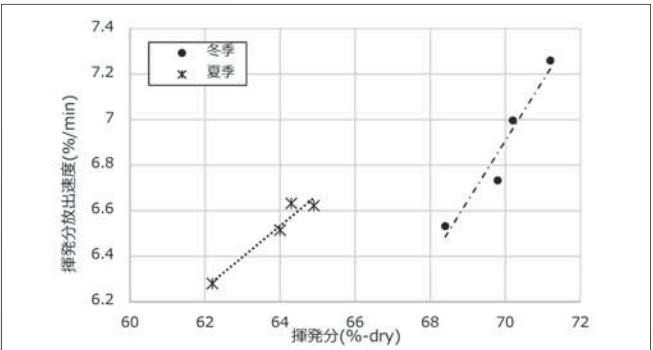


図6 揮発分割合と揮発分放出速度の関係
Fig.6 Relationship between volatile matter concentration and volatile matter release rate.

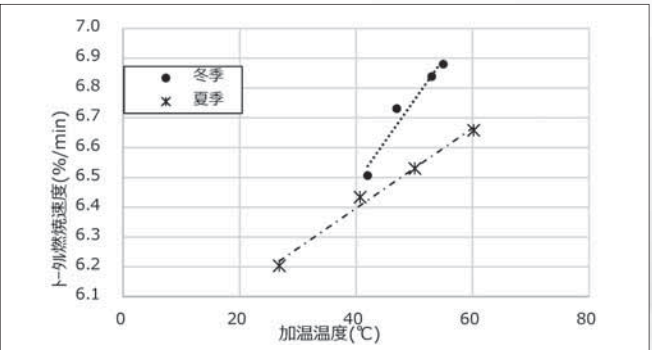


図7 汚泥加温温度と燃焼速度の関係
Fig.7 Relationship between sludge heating temperature and combustion rate.

4. おわりに

分析グループでは公定法に則った分析だけでなく、目的に応じた最適な分析内容の提案や分析手法の選択と実施、データ解析と考察を行うことで、上記のような現象解明にも取り組んでいる。今

後もさらなる分析技術の向上を図り、下水汚泥処理を含めた当社技術の発展、新規技術開発に貢献したいと考えている。

【参考文献】

- 1) 諸橋由昭,山根亮輔,浪岡知昭ら,水蒸気加熱処理による下水汚泥の脱水性向上に関する研究,日本機械学会論文集,第74巻,第744号,pp.148-154(2008)
- 2) A. Donoso-Bravo, S. Perez-Elvira, E. Aymerich et al., Assessment of the influence of thermal pre-treatment time on the macromolecular composition and anaerobic biodegradability of sewage sludge. Bioresource Technology, Vol 102, No.2, pp.660-666(2011)
- 3) Liao Xiacong, Li Huan, Zhang Yuyao et al., Accelerated high-solids anaerobic digestion of sewage sludge using low-temperature thermal pretreatment, International Biodeterioration & Biodegradation, Vol.106 pp.141-149 (2016)
- 4) 日本薬学会編 衛生試験法・注解,金原出版株式会社, page1072 (1990)
- 5) 王偉,平岡正勝,武田信生ら,嫌気性消化プロセスの前処理とする下水汚泥の熱処理に関する研究 -汚泥固形物の可溶性反応を中心として, 衛生工学研究論文集, 第24巻,pp.41-51(1988)

「ドローン」から次世代空モビリティ 「空飛ぶクルマ」へ

開発本部 研究開発部 研究開発グループ 伊藤 央貴

図1:「さあ、空を走ろう。」¹⁾



1. はじめに

すでに身近となったドローンや、現在さまざまな研究機関や企業にて開発が進められている「空飛ぶクルマ」の話題をよくニュースなどで見かけます。経済産業省のホームページでも図1「さあ、空を走ろう。」¹⁾のようなイメージ動画が紹介されており、私たちの生活で空の物流や移動手段を気軽に利用できる時代がすぐそこに来ているのかもしれません。

2. 当初はドローンから

我が国では2017年に経済産業省をはじめとする官民協議会にて「空の産業革命に向けたロードマップ」²⁾を作成しました。当初は小型無人機(ドローン)の安全な利活用のための技術開発と環境整備を目的とし、2020年代では有人地帯における目視外飛行(ドローン自体の操縦は遠隔地にて行い、場合によっては基本的な航行は自動飛行となっている)を目指すというものです。

現在では通信や宅配などの大手企業とドローンメーカーが協業し、小型無人機で目視外による長距離飛行を行い、本土・離島間や山間地への物流を目的とした実証試験が盛んに行われております。今後はこの飛行する地域を人口密集地区でも行えるよう、飛行精度の向上や、墜落するようなことがあっても安全に降下するよう高い安全性を持った機体の開発が期待されています。

イメージ動画とはなりますが、YouTubeにて「Amazonの近未来的なドローン配達を始める」³⁾と検索するとでてくる動画のように、大きな母船で荷物の届け先まで向かい、最後に住宅まで届ける際はドローンにて各軒先まで届けるということは、近い将来、良く目にするような光景かも知れません。

ドローンの自動飛行が実現に向け機体の開発が進められるのと平行してドローンを飛行させるための法整備やルール作りも行われております。今後は人口密集地区におけるドローンの目視外自動飛行などを行うためには免許の取得が必要になります。ただ今のところ(2021年9月執筆時)は200g以上のドローンを飛行させる際は、国土交通省への届け出および許可が必要という従来のルールどおりで、免許がなくても許可が下りれば飛行させることは可能です。

3. 空飛ぶクルマの登場

ドローンの急速な発展と同様に今後の社会で発展していくと思われる「空飛ぶクルマ」についてご紹介します。

クルマとは書いていますがその形状などには正式な定義はなく、「電動・垂直離着陸型・無操縦者航空機」⁴⁾と定義されています。ポイントは電動で自動操縦がされ、垂直離着陸ができる機体を空飛ぶクルマと呼んでいます。海外ではUAM(Urban Air Mobility)やeVTOL(Electric Vertical Take Off and Landing)と呼ばれています。

空飛ぶクルマは世界各国で機体の開発が進んでおります。機体市場、エアタクシーや保険などのサービス市場ともに有望市場として発展していくと思われます。

高度経済成長時代に多く建設されました橋やトンネル、高速道路など陸のインフラは既に長期間使用されてきているため、これらを補修、維持していくためには膨大な費用を要することが考えられます。また陸のインフラ整備にも限界があります。都市部では人口が集中していき交通渋滞がさらに深刻化されることが考えられ、地方部では山間地域など既存のインフラ整備を維持したり、新たにインフラ整備をするにはコストがかかってしまうため、ドローン活用がその解決策として期待されます。

また我が国では人が住んでいる離島が400程度⁵⁾あり、これらの島々へモノの輸送、人の輸送の新たな手段としての活躍が期待されます。

冒頭で紹介した経済産業省のホームページ動画のように、日常で使用する車が空飛ぶクルマと併用され、空飛ぶクルマは、ある高度が空飛ぶクルマ専用の空路となり一般人が簡単に航行できることが想定されます。はじめは緊急性がある救急やレスキューなどの用途に適用がはじまるかもしれません。

4. おわりに

今後、「空飛ぶクルマ」など映画や小説の世界で登場した技術がどんどん世の中で実現していく時代が来ている。ICT技術のカンブリア紀ともいべきこの時代に我々月島機械グループもこの波に乗れるようアンテナの感度をあげていきたいと思います。

参考文献

- 1) 経済産業省ホームページ 「さあ、空を走ろう。」(イメージ動画)
(https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/airmobility.html)
- 2) 官邸ホームページ (<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryou7.pdf>)
(<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryou8.pdf>)

- 3) YouTube「Amazonの近未来的なドローン配達を始める」(<https://www.youtube.com/watch?v=ccwIBCwOUf4>)
- 4) 経済産業省ホームページ (https://www.meti.go.jp/press/2018/12/20181220007/20181220007_01.pdf)
- 5) 国土交通省ホームページ 第17回国土審議会離島振興対策分科会配布資料
(https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kokudoseisaku11_sg_000050.html)

分離

「分離」は、晶析やろ過、乾燥などの単位操作のひとつで、「遠心分離」のことを当社では分離と略して使っています。「遠心分離」とは、重力の数百・数千倍の遠心力場において固液分離を行う操作で、遠心沈降と遠心ろ過のふたつに大別されます。遠心沈降はスラリー中の固液の比重差で分離する操作です。円筒の中にスラリーを入れて円筒を回転させると、遠心力によって比重の大きい固体は円筒の内壁にへばりつき、比重の小さい液体は円筒の内側に清澄化した状態で分離されます。一方、遠心ろ過は、ろ布・スクリーン等のろ材を介して分離する操作です。スラリーに含まれる液体が抜ける穴（ろ材）を円筒にあけて回転させると、液体が穴から排出されて脱水されます。このような回転容器を有し遠心分離を行う装置を総じて「遠心分離機」と呼びます。固液ではありませんが家庭用のサイクロン式掃除機などは固気の遠心沈降の原理を利用しています。また、家庭用の洗濯機は遠心ろ過の原理ですので、イメージしていただけたらと思います。

月島機械グループは、創業当時から製糖プロセスへ設備を提供してきており、遠心分離機の歴史は古く、1915年に国産第一号の砂糖用遠心分離機を設計・製作・納入しています。製糖プロセスでは、結晶缶で砂糖溶解液から結晶を晶出させてできた糖液と砂糖結晶の混合物をつくります。これを白下またはマスキットと呼びます。この白下から砂糖結晶を取り出すときに、遠心分離機が使われます。遠心分離機には、一定の高速回転数場へスラリーを連続的に供給・分離し、脱水固形物やろ液を連続的に排出する連続式と、供給→分離→排出を順番に繰り返し行う回分式があります。店舗で販売されているグラニュー糖などの精製糖はバッチ式遠心分離機である吊下分離機（図1）が適用されます。吊下分離機は回分式

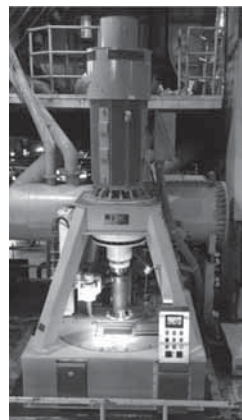


図1 吊下分離機

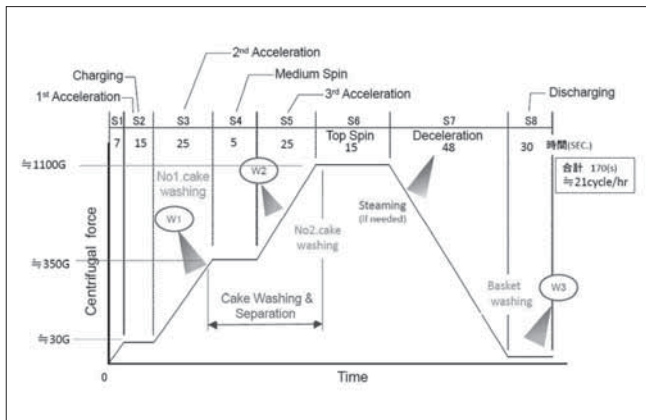


図2 回分式遠心分離機の運転サイクル

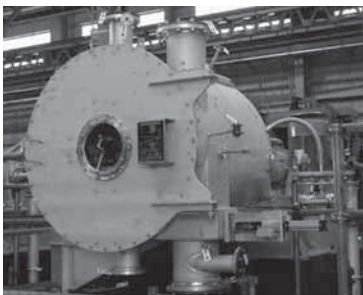


図3 押出型遠心分離機

産業事業本部 単体機器技術部 設計第一グループ
阿部 研

遠心ろ過装置に分類されます。砂糖結晶を高速回転場で破碎させないために、回転数をさげてスクレーパ装置で掻き取り排出する機構を有すること、どろどろした白下から糖液と結晶を分離するために十分な脱液時間を取れることがこの工程に吊下分離機が適用されている理由です。図2に回分式の運転サイクルを示します。現在も省電力化やコンタミ防止などを目的とした、さまざまな改良を加えた吊下分離機を国内外に販売しています。

日本の高度成長期には、さまざまな化学プロセス向け遠心分離機として、1952年にスイスのエッシャー・ウイス社（現Ferrum社）と技術提携した押出型遠心分離機（図3）を多数製造・販売してきました。この分離機は連続式遠心ろ過に分類されます。バスケット内固形物を、バスケットを前後に往復運動させることで装置外へ排出する機構を有します。図4に構造図を示します。先の回分式と比較し、加速、減速を繰り返さないため、電力消費量が少ないことや、スラリー供給と脱水固形物排出が連続で行われるために処理量が多い特長があります。また、連続式分離機には、バスケットが円筒ではなく円錐形のコニカル型分離機もあります。円錐大径側に固形物が自然に向かい、排出されますので、押出型遠心分離機と比較して処理量がさらに大きく、構造がシンプルなため安価であるというメリットがありますが、脱液時間やケーキ洗浄時間を確保しにくいデメリットもあります。高度な脱液性やケーキ洗浄性を求める製品に対しては、押出型遠心分離機の方が優位であり、脱液前のスラリーを濃縮して対応処理量を増加させることが可能となるプレシクナ装置を押出型分離機自体に搭載するなど、現在も進化した製品を提供しています。

1990年代になると、下水処理用としてデカンタ型遠心分離機を製造・販売してきました。こちらは連続式遠心沈降に分類される装置です。デカンタは、遠心力を発生させるために高速回転する横型のボウル中にスクリュコンベアが組み込まれている遠心分離機です。ボウルとスクリュコンベアに回転差をつけることで、ボウル内壁に遠心沈降した脱水ケーキを排出します。図5にデカンタの構造図を示します。下水汚泥特有の臭気対策がろ布を用いるろ過機と比較し容易であることや、ろ材を使用しない分離機構であるため、ろ材目詰まりによる性能低下を起こさず、また、スラリー性状変動によってケーキ含水率が変化してしまった場合においても、スクリュコンベアの回転数を自動可変制御させることによって滞留時間を変化させ、所定の含水率へアジャストすることが可能です。1997年には当時の下水処理用としては世界最大級の80m³/h処理機を製造・販売しました。昨今の働き方改革下では考えられませんが、設計部門も製造部門も徹夜続きで取り組んでいました。

2000年代に入ると、下水用脱水機は高分子凝集剤の進化とともに、スクリュプレス型ろ過機が主流になっていきました。遠心脱水機と比べて消費動力が少なく、製造コストや整備コスト安価であることが特徴です。

また、2010年代には、海外向け砂糖用分離機は安価な中国製

造品と競合するようになってきました。従来の設計・調達・製造の枠組みにとらわれない製造コスト削減が遠心分離機には求められ始めました。

現在、下水用デカンタは世界各地に製造拠点を有するアンドリッツ社と提携し、低動力型デカンタを納入しています。国内顧客の更なる低含水率化ニーズを満たす機内2液注入構造や、耐摩耗性に優れた構造にカスタマイズしています。また、海外向け砂糖用吊下分離機では、中国での本体製造を2013年から開始しました。ケーシングをコーン型から4本柱型型に変更するなど、コストダウン設計も実施してきています。

これまで説明いたしました、各々の遠心分離機の特徴を表1に示します。遠心分離機は、高速で回転する機械であるため、設計不具合や製作精度が悪い部品が故障に直結してしまう、ある意味危険な機械です。このため、製品寿命を迎えるまで安心して使える遠心分離機を提供できるメーカーは顧客からも選別され、限られています。月島機械グループの創業当時から現在に至るまで培われた設計・製造ノウハウを絶やさず進化させていくとともに、時代と共に変化する製品群や製造プラントに適合する遠心分離機を提供することで、月島機械グループの発展に貢献していきたいと考えています。

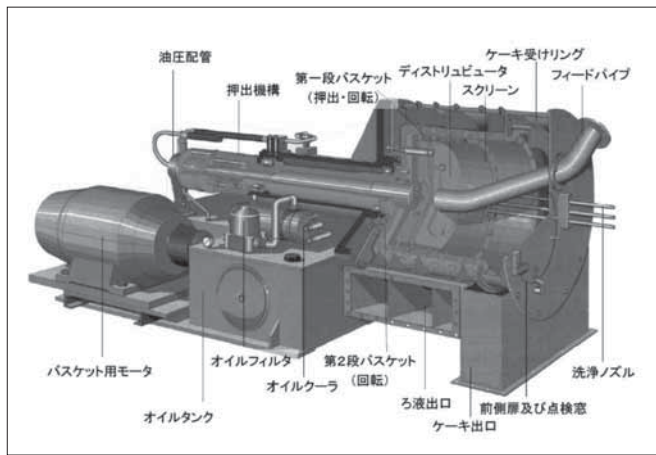


図4 押出型遠心分離機の構造図

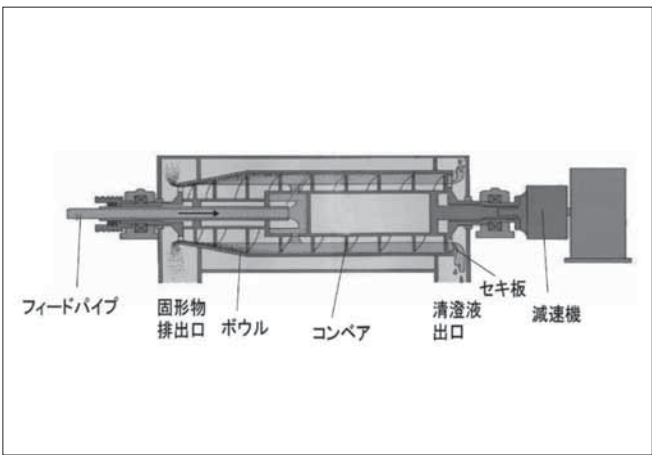


図5 デカンタ型遠心分離機の構造図

表1 遠心分離機の機種別の特徴比較

機種	押出型	コニカル型	デカンタ型	吊下分離機
分離方式	連続式/遠心ろ過	連続式/遠心ろ過	連続式/遠心沈降	連続式/遠心ろ過
最大遠心効果(G)	800～1400	1400～1700	2000～3000	1000～1400
機器サイズ比較	小	小	大	特大又は複数台必要
最小結晶粒径	平均150μm程度	平均150μm程度	10μm程度	200μm程度
ケーキ洗浄性比較	良	可	可（スクリーンボウル型のみ可）	優
結晶破碎比較	大	大	中	小
適応	ケーキ洗浄を必要とするもの 低含水率を求めるもの	比較的ろ過性のよいもの	分離液に清澄性を求めるもの	ケーキ洗浄を必要とするもの 低含水率を求めるもの 少ない結晶破碎を求めるもの
用途	硫安、ビスフェノールA、ABS樹脂等	塩化カリウム、硝酸アルミニウム等	下水処理、高密度ポリエチレン等	砂糖、ブドウ糖等

会社概要			
名称	月島機械株式会社 (Tsukishima Kikai Co.,Ltd.)	資本金	66億4680万円
代表取締役社長	福沢 義之	従業員数	640名(グループ2,761名)(2021年3月末現在)
創業	明治38年(1905年)8月	売上高	単体：420億円　連結：905億円(2021年3月期)

事業所			
本社	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 TEL.03-5560-6511　FAX.03-5560-6591	八千代事業所	〒276-0022 千葉県八千代市上高野1807-3 [R&Dセンター]TEL.047-494-4300　FAX.047-494-4321 [室蘭工場八千代分室]TEL.047-419-6770　FAX.047-419-6777
東京支社	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 TEL.03-5560-6541　FAX.03-5560-6593		
大阪支社	〒541-0048 大阪府中央区瓦町3-6-5(銀泉備後町ビル) TEL.06-6229-1331　FAX.06-6229-1415		
札幌支店	〒060-0807 札幌市北区北七条西4-1-2(KDX札幌ビル) TEL.011-726-0510　FAX.011-726-0520		
仙台支店	〒980-0014 仙台市青葉区本町1-11-2(SK仙台ビル) TEL.022-227-9267　FAX.022-223-0316		
横浜支店	〒231-0012 横浜市中区相生町3-56-1(KDX横浜関内ビル) TEL.045-651-7331　FAX.045-664-5086		
名古屋支店	〒450-0003 名古屋市中村区名駅南1-17-29(広小路ESビル) TEL.052-581-2378　FAX.052-581-1624		
広島支店	〒730-0015 広島市中区橋本町10-10(広島インテス) TEL.082-227-3093　FAX.082-223-8771		
福岡支店	〒810-0062 福岡市中央区荒戸2-1-5(大濠公園ビル) TEL.092-741-5736　FAX.092-761-4806		
沖縄営業所	〒901-2131 沖縄県浦添市牧港2-54-2(沖縄土木設計ビル) TEL.098-874-5793　FAX.098-874-6262		
室蘭工場	〒051-0006 北海道室蘭市茶津町35-2 TEL.(0143)57-1100/1101　FAX.(0143)57-1102/1103		

関連会社			
月島テクノメンテサービス(株)	〒135-0031 東京都江東区佐賀1-3-7 (月島機械永代ビル) TEL.03-5245-7150　FAX.03-5245-7155	(株)バイオコール京都鳥羽	〒601-8027 京都府京都市南区東九条中御霊町49-1 (月島テクノメンテサービス株式会社京都営業所内) お問い合わせ先: 月島機械株式会社 水環境事業部 PPP事業推進室 TEL.(03)5560-6540　FAX.(03)5560-6584
サンエコサーマル(株)	〒322-0017 栃木県鹿沼市下石川737-55 TEL.0289-72-0371　FAX.0289-72-0381		
月島環境エンジニアリング(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 (月島機械(株)ビル内) TEL.03-6758-2310　FAX.03-6758-2324		
月島マシンセールス(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 (月島機械(株)ビル内) TEL.03-5560-6561　FAX.03-5560-6590		
月島ビジネスサポート(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 (月島機械(株)ビル内) TEL.03-3533-4824　FAX.03-3536-0968		
大同ケミカルエンジニアリング(株)	〒530-0053 大阪府大阪市北区末広町3-3 (大同パークサイドビル) TEL.06-6312-6621　FAX.06-6312-6626		
三進工業(株)	〒210-0861 神奈川県川崎市川崎区小島町4-4 TEL.(044)266-0272　FAX.(044)266-0271		
プライミクス(株)	〒656-2306 兵庫県淡路市夢舞台1-38 TEL.(0799)72-0080　FAX.(0799)72-0040		
寒川ウォーターサービス(株)	〒253-0106 神奈川県高座郡寒川町宮山4058-6他 (寒川浄水場内) お問い合わせ先: 月島機械株式会社 水環境事業本部 PPP事業推進室 TEL.(03)5560-6540　FAX.(03)5560-6584		
尾張ウォーター&エナジー(株)	〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南1-17-29 (月島機械株式会社名古屋支店内) お問い合わせ先: 月島機械株式会社 水環境事業本部 PPP事業推進室 TEL.(03)5560-6540　FAX.(03)5560-6584		

〈海外関連会社〉	
TSKエンジニアリングタイランド(株) TSK ENGINEERING (THAILAND) Co.,Ltd. 《TET》 14th Floor, Room No.1404, United Center Building, 323 Silom Road, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand TEL. +66-2-231-1726～30　FAX. +66-2-231-1731	
月島環保機械(北京)有限公司 TSK ENGINEERING CHINA Co.,Ltd. A1207,Vantone New World Plaza,No.2, Fu Cheng Men Wai St.,Beijing,China TEL. +86-10-8590-6595　FAX. +86-10-8590-6593	
BOKELA GmbH Tullastraße 64 76131, Karlsruhe, Germany TEL. +49-721-9-64-56-0　FAX. +49-721-9-64-56-10	
月島エンジニアリングマレーシア(株) TSUKISHIMA ENGINEERING MALAYSIA Sdn. Bhd. 《TEM》 月島エンジニアリングシンガポール(株) TSUKISHIMA ENGINEERING SINGAPORE Pte. Ltd. 《TES》 Suite16. 04-05, 16th Floor, Wisma MCA, 163 Jalan Ampang, 50450 Kuala Lumpur, Malaysia TEL. +60-3-2162-8679　FAX. +60-3-2162-8377	
TSKエンジニアリング台湾(株) TSK ENGINEERING TAIWAN Co.,Ltd. 《TETA》 6th Floor, No.24, Min Sheng, W.Road, Taipei 104, Taiwan R.O.C. TEL. +886-2-2523-6975～6　FAX. +886-2-2521-1429	



月島機械株式会社のホームページへの掲載のお知らせ

冊子での配布のみとなっていたTSK技報が、ホームページからも閲覧できるようになりました。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TSK技報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るようになります。環境技術で世界に貢献するTSK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/technoreview>



編集後記

昨年からのコロナ禍により、社会に大きな変化が起こり、ニューノーマルと呼ばれる新しい常態がいくつか生まれ、情報のWEB化もさらに進みました。遅ればせながら月島機械が発行しているTSK技報がホームページから閲覧していただけるようにWEB化しました。在宅勤務などの新しい働き方において広く活用していただけるとともに、より多くの方々に月島機械グループの技術情報をお届けします。わたしたちは絶え間なく変化していく社会にすばやく対応できる技術革新をこれからも目指していきます。

吉村 知規

TSK技報 NO.24 2021			
発行日:2021年12月15日		問い合わせ先:giho@tsk-g.co.jp	
発行:月島機械株式会社 技報編集委員会			
総 責 任 者:横幕 宏幸			
副 責 任 者:吉村 知規			
編 集 委 員 長:横幕 宏幸			
副編集委員長:吉村 知規		山本 真一	小林 俊樹
編 集 委 員:新川 正人		長谷川 雄一	左 淳
上田 厚志		栗田 新平	津崎 裕也
河岸 正泰		今井 淳一	鈴木 健治
越智 崇		倭 常郎	駒場 真由美
			本間 友基
			谷口 智彦
			石井 究
			荒井 健
			内山 信江
			20121320A