

TSK 技報

2020
December

No.23

月島機械株式会社

TSK技報 No.23 2020

TSK TECHNICAL REVIEW

TSK 月島機械株式会社
www.tsk-g.co.jp

論文1

焼却廃熱を有効利用した
加温濃縮脱水システムの開発

論文2

ダイナミッククロスフローろ過装置
BoCross[®]フィルタ

TSK 月島機械株式会社

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

目次

4	巻頭言 循環型社会への貢献	代表取締役社長 福沢 義之
6	論文1 焼却廃熱を有効利用した加温濃縮脱水システムの開発	倭 常郎
14	論文2 ダイナミッククロスフローろ過装置 BoCross®フィルタ	栗田 新平
22	技術・製品紹介1 アナモックスプロセスによる返流水中の窒素除去技術	木村 葵
26	技術・製品紹介2 創エ ネルギー型焼却システム	河岸 正泰
30	技術・製品紹介3 渦流式微粒子晶析装置の新展開	神戸 達哉
33	技術・製品紹介4 「COVID-19」による DX の加速と当社の ICT / AI活用技術について	矢澤 伸弘
37	技術・製品紹介5 プラント設計におけるレーザースキャナ	菅野 貴光
40	技術・製品紹介6 化粧品工業を支える高速攪拌技術	高橋 唯仁
45	技術・製品紹介7 TMオートストレーナ®の導入 / 実証試験考課について	日諸 銀之輔・萩 龍太郎
50	実績紹介1 市原市松ヶ島終末処理場における下水汚泥固形燃料化事業	服部 賢
52	実績紹介2 新河岸川水循環センターにおける創エ ネル受注実績	浅岡 祐輝
54	実績紹介3 大村市向け 濃縮分離型ベルトプレス脱水機の受注	後藤 秀徳
56	工場紹介 室蘭工場	吉田 光男
58	R&D 紹介 R&D センター	山本 真一
62	R&D 紹介2 実験装置の紹介	田屋館 利夫
64	国内関連会社紹介 サンエコサーマル株式会社	高須 利昌
68	解析グループ紹介 Part4 設計最適化編	本間 秀雄
70	月島茶房 混ぜる 〜乳化編〜	竹森 進也
72	月島今昔物語 ろ過	陳 貴吉
74	会社概要・編集後記	

CONTENTS

4	Foreword	FUKUZAWA Yoshiyuki President & CEO
6	Paper1 <i>Development of a thermal thickening and dewatering system by effectively utilizing the waste heat of incineration</i>	YAMATO Tsuneo
14	Paper2 <i>Dynamic Crossflow Filter BoCross® Filter</i>	KURITA Shimpei
22	Technology / Products 1 <i>Nitrogen removal technology from side stream by Anammox process.</i>	KIMURA Aoi
26	Technology / Products 2 <i>Energy-creating incineration system</i>	KAWAGISHI Masayasu
30	Technology / Products 3 <i>Development of Vortex Flow Crystallizer</i>	KAMBE Tatsuya
33	Technology / Products 4 <i>Acceleration of DX by the impact of “COVID-19” and introduction of the TSK ICT/AI technologies</i>	YAZAWA Nobuhiro
37	Technology / Products 5 <i>Laser scanner in plant design</i>	KANNO Takamitsu
40	Technology / Products 6 <i>Application of high-speed mixers in cosmetic industry</i>	TAKAHASHI Tadahito
45	Technology / Products 7 <i>Evaluation of TM auto-strainer installation and demonstration test</i>	HIMORO Ginnosuke / HAGI Ryutaro
50	Introduction of products 1 <i>Sewage sludge fuel conversion business at the Matsugashima Terminal Treatment Plant in Ichihara City</i>	HATTORI Ken
52	Introduction of products 2 <i>Energy generation incineration plant for the Shingashigawa Water Circulation Center</i>	ASAOKA Yuki
54	Introduction of products 3 <i>Order received for a concentration mechanism separate type belt press dehydrator for Omura City</i>	GOTO Hidenori
56	Introduction of factories	YOSHIDA Mitsuo
58	Introduction of R&D Center 1	YAMAMOTO Shinichi
62	Introduction of R&D Center 2	TAYADATE Toshio
64	Introduction of domestic affiliated companies	TAKASU Toshiaki
68	Introduction of CAE Group Part4	HONMA Hideo
70	Tsukishima Teahouse	TAKEMORI Shinya
72	Tsukishima Tales of Times Now Past	CHIN Takayoshi
74	Corporate Profile / Editor's Note	

表紙の写真



北海道室蘭市の室蘭湾に架かる「白鳥大橋」の朝

循環型社会への貢献



福沢 義之

代表取締役社長

当社は、今年創業115年目を迎えました。これまでの歴史を振り返りますと、先輩諸氏が「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、市場のニーズに応え、社会的な要請に貢献できる製品を提供し続けることで、多くのお客様との信頼関係を築き上げてきました。

TSK技報の巻頭挨拶として、改めて当社技術の歴史を振り返ってみますと、製糖プロセスをその起源としています。創業時の当社は、ほとんど輸入品で構成されていた産業機械を国産化することで、産業の近代化に貢献するという目標を掲げ、製糖プロセスを構成する「ろ過」、「晶析」、「遠心分離」、「乾燥」といったコアとなる技術の自社設計・製造を実現しました。そして、これら技術を繊維、肥料、鉄鋼などその時々成長分野に展開していくことで、産業の発展に貢献してきました。

1960～1970年代には、高度経済成長と共に水質汚染等の公害問題が顕在化し、その解消を目的とした社会インフラの整備が進みました。当社は、他社に先駆けて上下水道事業分野に「ろ過」、「乾燥」、「焼却」設備を納入するとともに、運転管理サービスを提供することで、この分野において確固たる地位を築き上げました。産業事業においても、廃液燃焼、固形廃棄物処理、排ガス処理などを展開し、環境保全に取り組んで来ました。

近年では、下水汚泥燃料化、消化ガス発電、二次電池製造関連設備など、クリーンエネルギー分野への取り組みを強化し、低炭素社会の実現に貢献しています。

このように、当社グループは、産業の発展、公害問題の解決、低炭素社会への貢献といった、その時々社会的要請に応えながら、自らの技術・事業領域を拡大し、発展してきました。

そして、近年における世界共通の社会的要請は、国連で採択された持続的な開発目標（SDGs）の達成ではないでしょうか。そこには2030年までに持続可能でより良い世界を目指す国際目標として17のゴールが示されています。今までの社会は、経済性が優先された大量生産・大量消費型の社会システムや生活様式のうえに成り立っていましたが、世界中の人々が「このままでは、われわれ人間社会が地球環境との調和を図りながら持続的に発展していくことは困難である」ということに気づきました。しかしながら、持続可能な循環型社会への転換を世界規模で達成していくための課題は多岐にわたります。新技術の開発や経済合理性の担保など、ある程度定量的に目標設定できる課題だけでなく、行政、規制、住民、流通など社会の構成要素たる全てのステークホルダーの利害関係が複雑に絡み合っている政治的課題も同時に解決していかなければなりません。

当社のような企業がSDGsの達成に直接的な貢献を果たしていくためには、社外との連携によるオープンイノベーションを意識した取り組みが重要になってきます。決して独りよがりにならず、社内に閉じこもることなく、視界を広く社外に目を向けることが重要です。ただ、もう一方でオープンイノベーションの枠組みにおいては、当社の存在意義を発揮し、当社の役割を果たしていくことが重要です。自分の役割を果たさない企業は、必要とされません。

年初からのコロナ禍の影響により、世界は新たな課題に直面しています。それは、「都市への人口集中による効率化と、グローバルイノベーションを前提にした資本主義経済の見直し」です。我々が慣れ親しんできた利便性と効率性を優先した生活様式にもう戻ることはできないのです。考えてみれば、地球創成期から現代に至るまで、地球上の度重なる大きな環境変化にも順応してきた生物のみが現在も生存を許されています。今回のコロナ禍に伴う大きな環境変化は、ほぼ人類にのみ影響を及ぼしています。この変化に順応できる者こそが、生存競争に生き残り、アフターコロナを勝ち抜いていくのです。当社もこの環境変化に順応し、そして大きく成長しなければなりません。

今回のTSK技報にも掲載されているAI、IoT技術などの進化や普及が、ニューノーマルと呼ばれている現在の我々のライフスタイルを実現可能なものになっています。さらに、DXのような技術革新が、今後も世の中の仕組みやプロセスを大きく変えていくと思います。新しい技術や情報に常に興味と好奇心を持ち、一人一人が愚直に研鑽を積み、エンジニアリング力を高め、唯一無二の技術を創造することができる企業として、皆さんと共に発展していきたいと思っています。

焼却廃熱を有効利用した 加温濃縮脱水システムの開発

*Development of a thermal thickening and dewatering system
by effectively utilizing the waste heat of incineration*



倭 常郎
YAMATO Tsuneo
研究開発部本部
研究開発部
研究開発グループ

Abstract

Tsukishima Kikai has developed a thermal thickening and dewatering system that significantly reduces the moisture content compared to a conventional system by effectively using the waste heat of the incineration equipment. This system has been demonstrated in the Toba Water Environment Protection Center of Kyoto city since 2019. The moisture content of this system was reduced by 4 pt compared to a conventional non-heating system by heating the sludge to 67°C in the case of mixed raw sludge. As a result of improvement in the reaction of the polyferric sulfate (PFS) with sludge due to the increase in sludge temperature, the moisture content decreased by 15 pt at a PFS dosage of 10% relative to the non-heating system. As for the supplying thermal effluent method, the sludge temperature could be highly increased by the cascade supply that provided the thermal effluent to the thickening machine following the dewatering machine. It was suggested that the cause of the improved dewaterability by thermal treatment was the collapse of the hydrated layer on the protein surface due to heat denaturation and the elution of cytoplasm due to cell membrane destruction. In contrast, there was no correlation between the decrease in viscosity and the decrease in moisture content due to the increase in sludge temperature.

TSKは焼却設備の廃熱（温排水）を有効利用することにより従来よりも大幅に含水率を低減させた加温濃縮脱水システムを開発し、2019年より京都市上下水道局下水道部鳥羽水環境保全センター内に本システムを設置し実証試験を行った。混合生汚泥を67°Cまで加温してから脱水することにより、無加温に比べて含水率が4pt低下した。汚泥温度上昇によりポリ硫酸第二鉄（PFS）と汚泥の反応が向上するため、PFS添加率10%の場合には無加温に比べて含水率が15pt低下した。

汚泥温度を最も高められる温排水の供給方法は、加温脱水機の後に加温濃縮機に供給するカスケード供給であった。汚泥加温により脱水性が改善される原因として、熱変性によるタンパク質表面の水和層の崩壊および細胞膜破壊による細胞質の溶出が大きく影響していることが示唆された。一方、汚泥温度上昇による粘度低下と含水率低下の因果関係は認められなかった。

キーワード：焼却廃熱、加温濃縮脱水システム、熱変性、含水率低減
Keyword: waste heat of incineration, thermal thickening and dewatering system, heat denaturation, moisture content reduction

1 はじめに

下水処理場から発生する汚泥は、燃料として高いポテンシャルを有するバイオマスであるものの、2018年度においても未だ66%が未利用のまま処分されている状況にある¹⁾。平成27年には下水道法が改正され、下水道管理者は、「発生汚泥が燃料または肥料として再生利用されるよう努めなければならない」とされており、平成29年には新下水道ビジョン加速戦略において、下水道事業における電力消費量をおおむね20年で半減させることが掲げられている。

このような背景から、月島機械（株）は補助燃料が不要で、脱水・焼却設備で消費する以上の電力を発電することができる『創エネ型焼却システム』を開発した。2019年より、本システムを京都市上下水道局下水道部鳥羽水環境保全センター内に建設して実証テストを行っており、システムの構成要素の一部である『加温濃縮脱水システム』において、良好な結果が得られたため、本稿にて報告する。

2 技術概要

2.1 全体フロー

図1に加温濃縮脱水システムの概略フローを示す。加温濃縮脱水システムは、加温濃縮部および加温脱水部より構成され、焼却設備の廃熱を有効利用することにより、焼却設備において自燃さらには創エネルギー可能な含水率まで脱水できるシステムである。加温濃縮部には、TS10%程度まで任意に濃度調整が可能な、ろ液浸漬型濃縮装置“ロノッシュ[®]”を採用し²⁾、加温脱水部には、ケーシングの外側に温水を満たし、スクリーン越しに間接加温を行うのに最適な縦型の金属ろ材脱水機³⁾を採用した。

焼却設備から供給された温排水は、まず加温脱水部のケーシング内に導入される。加温脱水部のスクリーンを温排水で水没させることにより、汚泥はスクリーンを介して間接加温されながら脱水される。次に、温排水は加温脱水部のケーシングからオーバーフローし、温排水ポンプにより加温濃縮部へと供給され、中空のスクリーシャフトを通して、加温濃縮部の内部の濃縮汚泥に供給され直接加温される。

2.2 加温濃縮脱水システムの特徴

本システムは、以下5つの効果により含水率を大幅に低減させることに成功した。

- ①タンパク質が熱変性し、タンパク質が保持していた水分が放出する。
- ②細胞膜の一部が破壊され、細胞膜内の水分が放出する。
- ③汚泥粘度の低下により、ろ過抵抗が減少する⁴⁾。
- ④汚泥温度の上昇により、汚泥固形物とポリ硫酸第二鉄（以下、PFS）の反応が向上する。
- ⑤温排水注入により汚泥が希釈されるもののM-アルカリ度が減少するため、PFSと汚泥固形物の反応が向上する。

近年、汚泥をTS8%程度まで濃縮した後にPFSを注入する後注入二液方式の脱水が普及し始めている⁵⁾。汚泥に含まれる重炭酸塩は、(式1) および (式2) に示されるようにPFSと反応し消費されるため、特にM-アルカリ度の高い消化汚泥においてPFS添加率の増大が課題であった。本システムは汚泥加温の効果のほか、特徴⑤のとおりPFS阻害物質であったM-アルカリ度が、ろ液（温排水）と共に汚泥中から除去されるため、より低いPFS添加率で含水率を低減させることが可能となっている。

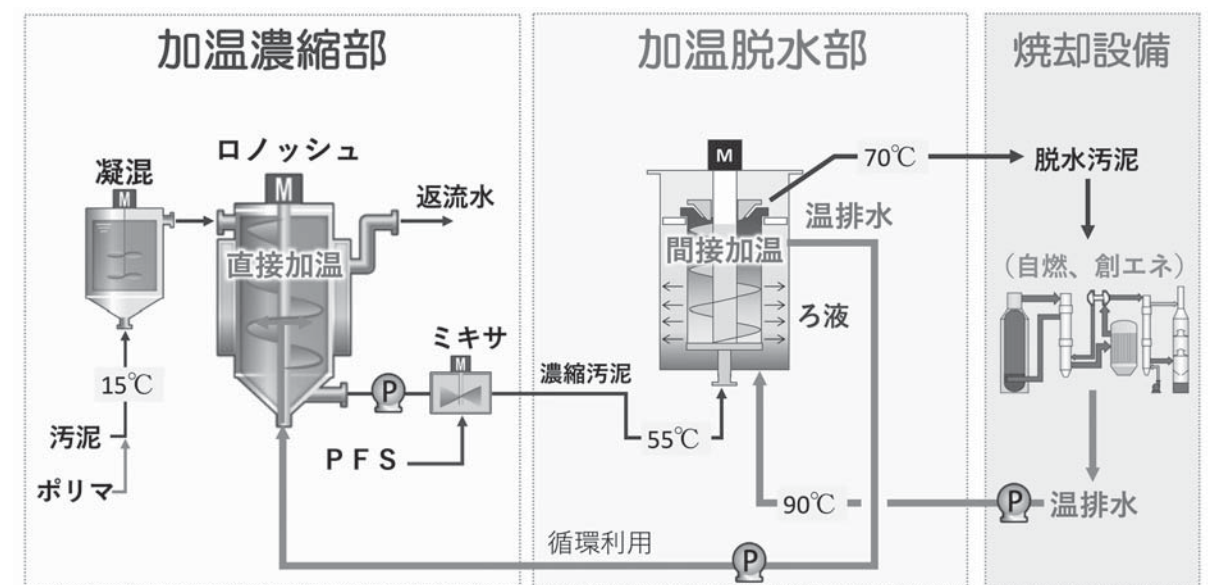
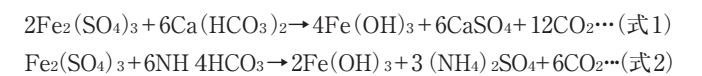


図1 加温濃縮脱水システムのフロー
Fig.1 Schematic flow of Thermal Thickening and Dewatering Process

3 実証試験

3.1 実証フィールド

図2に実証設備のフローを示す。実証機には加温濃縮部として、ろ液浸漬型濃縮装置1m²機、加温脱水部として二重円筒加圧脱水機0.8m²機を用いた。京都市上下水道局下水道部鳥羽水環境保全センター内に設置した実証設備では、重力濃縮汚泥、機械濃縮汚泥、消化汚泥の3種の汚泥を受泥している。混合生汚泥については、生汚泥と余剰汚泥の固形物比率が5：5となるように重力濃縮汚泥と機械濃縮汚泥を混合した。本実証では汚泥温度と脱水性の関係を明らかにするため、後段の焼却設備に左右されずに温排水温度を一定にする必要があったことから、温排水については砂ろ過水を蒸気で加熱し、温度を調整しながら実証を行った。

3.2 実証内容

(1) 脱水性能

表2に目標性能を示す。混合生汚泥および消化汚泥とも、まず加温濃縮機および加温脱水機の最適な運転因子（薬注率、濃縮汚泥濃度、圧入圧力、背圧閉止率など）を把握した上で、最適条件において無加温と加温脱水の比較を行った。

目標性能を全て達成することができれば、焼却設備において補助燃料を必要としない自然運転に加え、発電等創エネが可能となり、また焼却廃熱のみで加温脱水の熱源を賄うことができる。

(2) 汚泥温度に及ぼす温排水供給方法の影響

汚泥処理量1.6m³/h（TS3.7%）、温排水流量1m³/h（温度90℃）に条件を統一し、温排水の供給方法が及ぼす汚泥温度への影響について調査を実施した。温水供給方法は、①原汚泥に供給、②濃縮部（濃縮汚泥）に供給、③脱水部に供給した温排水を濃縮部にカスケード利用、の3ケースについて比較を行った。

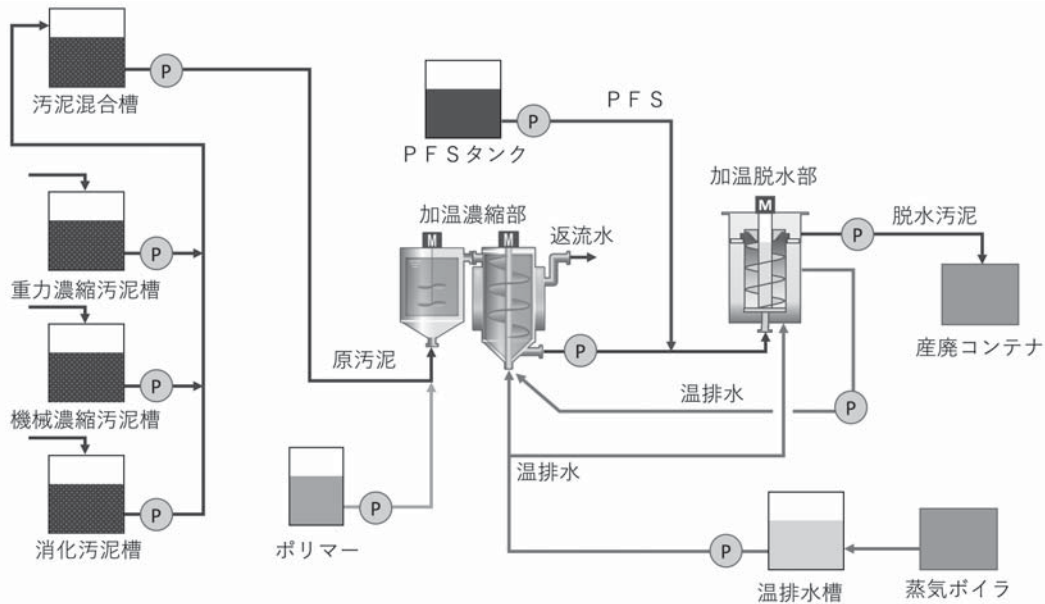


図2 実証設備のフロー
Fig.2 Schematic flow of demonstration plant

(3) 汚泥加温による脱水性の改善要因

汚泥加温により脱水性が改善される要因として、粘度低下によるろ過抵抗の減少、タンパク質が熱変性することによる水分の放出、細胞膜破壊による細胞内水分の溶出があげられる。どの因子が脱水性改善に大きな影響を及ぼしているのか、ラボスケールによる調査を実施した。

500mLの汚泥を三角フラスコに投入し、所定の温度条件（40℃～90℃、10℃刻み）にて1hr湯煎による加温処理を行い、加温処理した汚泥は直ちに冷却した。その後、3000G×10分間の遠心分離を行い、その上澄み液についてガラス繊維ろ紙（GF/B）によるプレろ過、さらには0.45μmの親水PTFEメンブレンによるろ過を行ってから分析を行った。表3に分析項目および分析方法を示す。汚泥粘度は、Brookfield社製の少量サンプルアダプターを用い、加温処理後の冷却はせず温度を一定に保ちながら測定を行った。タンパク質の熱変性については、溶解性粗タンパク質の上昇から判断し、細胞内水分の溶出については、アデニレート（ATP+ADP+AMP）の総和の上昇から判断した。

4 調査結果

4.1 脱水性能調査

(1) 混合生汚泥

図3に各脱水温度における、PFS添加率の影響調査の結果を示す。凡例は脱水汚泥温度を表している。汚泥温度15℃と67℃を比較すると、PFS無添加の条件では、含水率の差が4ptであったが、PFS添加率10%では15ptの差となった。無加温の15℃と比較して、汚泥温度が高くなるほど、またPFS添加率が高くなるほど含水率の差が開く結果となった。焼却設備において自然かつ創エネ可能な含水率71%を達成するためには、汚泥温度67℃まで加

温することにより、PFS添加率は2%程度の微量添加で達成できることが確認された（表2の目標性能を達成）。また、汚泥温度およびPFS添加率を制御することにより、含水率78%～62%と幅広く調整することが可能であるため、汚泥性状の変動や後段設備の要求に応えやすいといえる。

図4に脱水汚泥温度と含水率の関係を示す。PFS無添加の場合、汚泥温度15℃から40℃の上昇において含水率の低下はみられなかったが、55℃まで上昇させることにより含水率が約2pt低

表1 汚泥性状
Table1 Characteristics of sludge properties

項目	単位	混合生汚泥	消化汚泥
TS	%	3.74	1.26
VTS	%	82.4	68.1
繊維状物100Me'	%-SS	18.3	11.6
備考	-	生:余剰比=5:5	55℃高温消化汚泥

表2 目標性能
Table2 Target performance of demonstration test

項目	単位	目標値
薬注率	%-TS	従来同等
PFS添加率	%-TS	5
含水率	%	71
SS回収率	%	95
温水流量	m ³ /t-DS	17

表3 分析項目および分析方法
Table3 Analysis items and methods

分析項目	分析方法
溶解性粗タンパク質	ケルダール法（硫酸分解 ICP-AES）
ATP+ADP+AMP	A3法（ルシパック A3 water）
汚泥粘度	Brookfield HADV2T（スピンドルSC4-29）

下した。本結果から、55℃以上でタンパク質が熱変性し、含水率が低下したものと推測される。一方、PFS添加率10%では、汚泥温度15℃から40℃の上昇において含水率が約5pt低下した。これは温度上昇により汚泥とPFSの反応性が向上したことにより、含水率が低下したものと推測される。また、55℃において含水率が急激に低下しているが、PFSの反応性向上とタンパク質の熱変性の複合的な効果によるものと推測される。

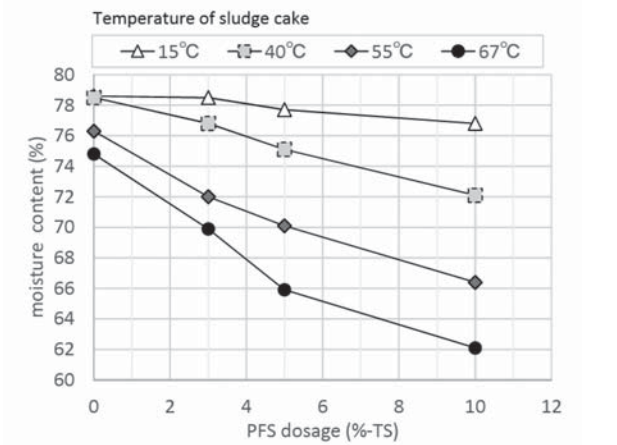


図3 各脱水汚泥温度における含水率に及ぼすPFS添加率の影響
Fig.3 Effect of PFS dosage on moisture content at each sludge cake temperature (mixed raw sludge)

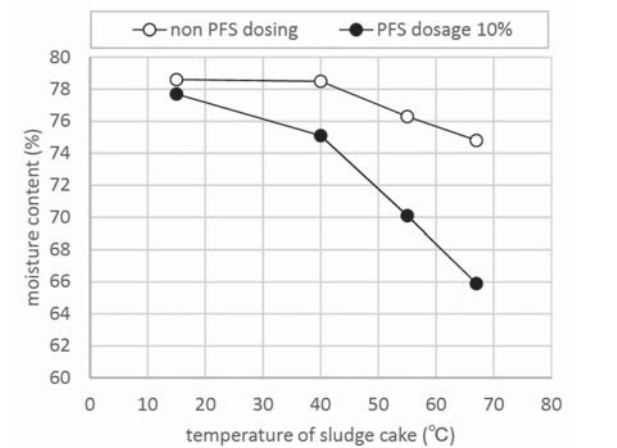


図4 脱水汚泥温度と含水率の関係
Fig.4 Relation between sludge cake temperature and moisture content (mixed raw sludge)

(2)消化汚泥

図5に各脱水温度におけるPFS添加率の影響調査の結果を示す。PFS無添加の条件では、汚泥温度80℃の方が含水率が悪化した。消化汚泥は、混合生汚泥に比べて繊維状物が少ないため、汚泥を加温すると流動性が著しく向上し、圧搾が効かなくなると含水率が悪化したものと推測される。ただし、PFS添加率10%以上で逆転し、汚泥温度80℃の方が含水率が低くなった。

図6に脱水汚泥温度と含水率の関係を示す。PFS無添加の場合、汚泥温度の上昇により含水率は悪化した。これは流動性が高まり、圧搾脱水が効かなくなったことが原因と推測される。PFS添加率10%の場合、脱水汚泥温度32℃から72℃までは含水率が横ばいであったが、78℃以上で含水率が低下した。今回対象汚泥は高温消化汚泥(55℃で管理)であり、78℃以上で高温消化菌のタンパク質が熱変性しているものと推測される。高温消化汚泥を対象にした加温脱水の場合、含水率を低減させるためには、汚

泥を78℃以上まで加温すること、さらにはPFS添加率が10%以上必要であることが確認された。

4.2 温排水供給方法と汚泥温度

図7に温排水供給方法と汚泥温度を示す。加温脱水部から加温濃縮部へのカスケード方式が最も汚泥温度が高くなる結果となった。汚泥が減容化される前の原汚泥に温排水を供給しても44℃までしか加温されないが、本システムにより汚泥温度は65℃まで加温できることが確認された。

カスケード方式の場合、加温脱水部から排出される脱水ろ液も温排水と共に加温濃縮部に循環され、濃縮汚泥に直接供給されている。これにより、汚泥が加温されるほか温排水に含まれるSS成分が濃縮汚泥に吸着されるため、システム全体のSS回収率が99%まで向上する副次的な効果も確認された(図8)。

4.3 汚泥加温による脱水性の改善要因

(1)汚泥粘度の影響

混合生汚泥を対象にせん断速度と粘度の関係を調査した。図9に各汚泥温度におけるせん断速度と粘度の関係を示す。実際には汚泥温度60℃、70℃の粘度についても測定を行っているがグラフからは割愛した。粘度とせん断速度の線図より、脱水汚泥は擬塑性流体であることが分かる。汚泥温度が高くなるにつれ、粘度は低下し、累乗曲線の傾き(k)および乗数(n)も減少しており、汚泥温度が高くなるほどせん断速度の影響を受けにくいことが確認された。

図10に汚泥温度30℃の粘度を1.0とした時の汚泥温度と粘度を示す。汚泥温度が30℃から60℃に上昇すると、粘度は約半分に低下しており、ほぼ水と同じ傾向を示していた。しかしながら、粘度と実証試験の含水率を比較すると、汚泥温度10℃から40℃の範

囲において、せん断応力は急激に低下しているものの含水率の低下はみられなかった。また、汚泥温度50℃から80℃の範囲において、せん断応力は緩やかになっているものの含水率は急低下しており、粘度と含水率には明確な相関は認められなかった。汚泥温度の上昇により、ろ過抵抗は減少しているものと考えられるが、含水率低減への影響度は大きくないといえる。ただし、汚泥粘度の低下は脱水汚泥の配管移送における圧力損失を減少させるため、汚泥搬送上のメリットは大きい。

(2)タンパク質熱変性の影響

タンパク質は水溶液中において、電離基の周りには電縮による水和、極性基の周りには水素結合による水和が起こり、タンパク質の周りには、いわゆる水和層が形成されている。この水和量の総和は、タンパク質1グラム当たり0.2～0.4gといわれ、この水和水は少なくともタンパク質に強く結合した水(A層)と、弱く結合した水(B層)の2層から構成される⁶⁾。特にA層の水は-70℃まで凍結せず、非常に強固にタンパク質と水和していることから⁷⁾、これを機械的に脱水することは困難であると窺える。タンパク質が熱変性し立体構造が壊れると、タンパク質の表面を覆っていた強固な水和層も崩壊するため、機械脱水において含水率の低減が期待できる。タンパク質が熱変性して低分子化された場合、固形状のタンパク質は溶解性へと変化していると考えられるため、汚泥の加温処理による溶解性粗タンパク質の増加をタンパク質の熱変性であると仮定した。

図11に混合生汚泥におけるタンパク質に及ぼす加温処理温度の影響を示す。溶解性粗タンパク質は汚泥温度50℃までは緩やかに増加しているものの、汚泥温度60℃で急激に増加し、約18%の不溶性粗タンパク質が溶解性粗タンパク質へと可溶化されていた。また、窒素(T-N)およびNH₄-Nは、汚泥温度の上昇による大きな変化はみられなかった。したがって、不溶性の粗タンパク質が溶解し、水溶性となるが、そのほとんどがアミノ酸を経てNH₄-Nまで

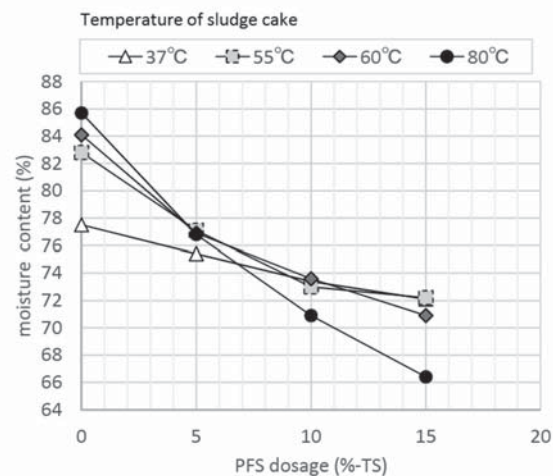


図5 各脱水汚泥温度における含水率に及ぼすPFS添加率の影響
Fig.5 Effect of PFS dosage on moisture content at each sludge cake temperature (digested sludge)

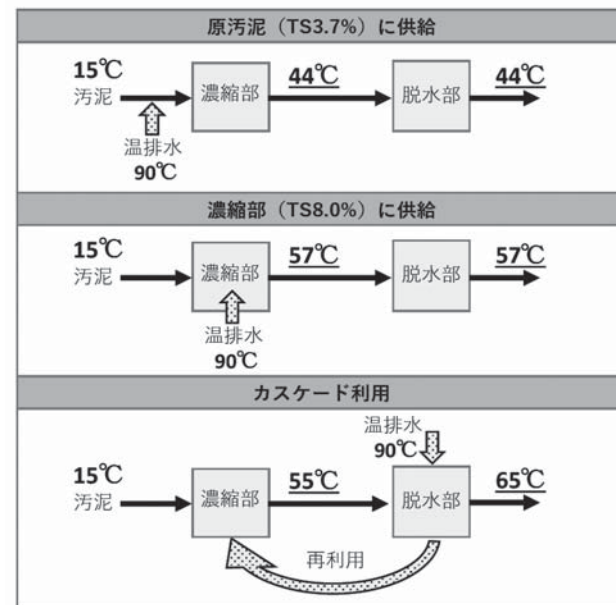


図7 温排水供給方法と汚泥温度
Fig.7 thermal effluent supply methods and sludge temperature

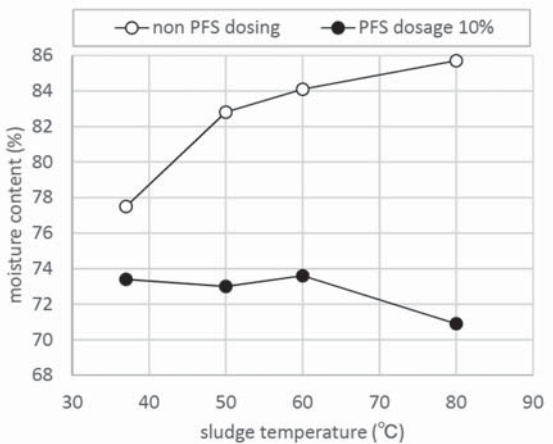


図6 脱水汚泥温度と含水率の関係
Fig.6 Relation between sludge cake temperature and moisture content (digested sludge)

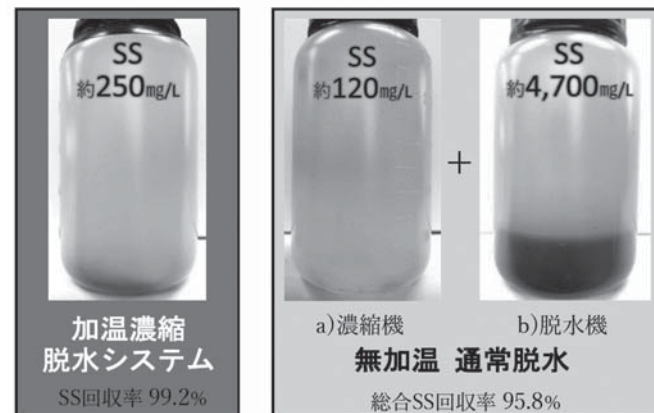


図8 SS回収率の比較
Fig.8 Comparison of SS capture rate

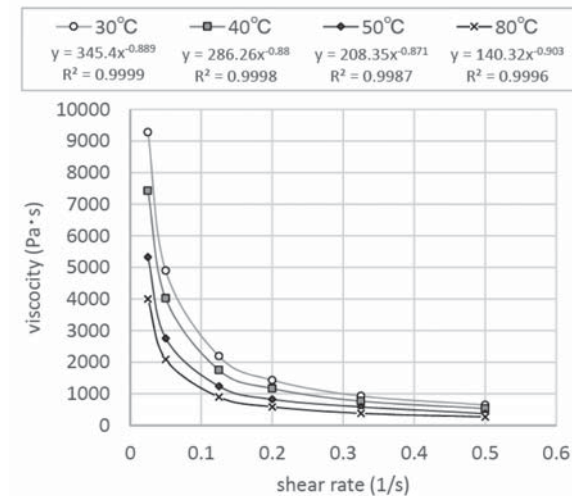


図9 各汚泥温度におけるせん断速度と粘度の関係
Fig.9 Relation between viscosity and shear rate at each sludge temperature

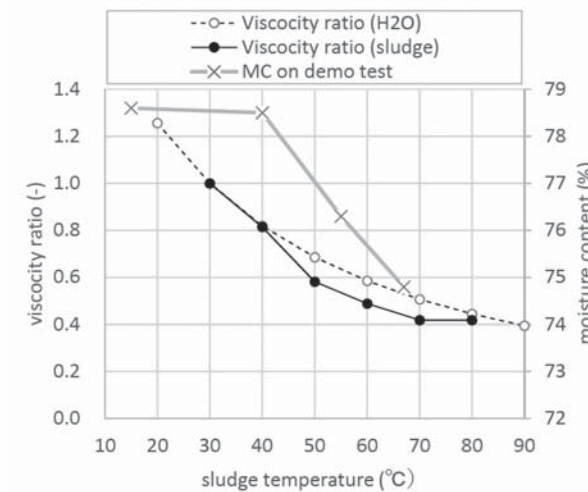


図10 汚泥温度上昇によるせん断応力と含水率への影響
Fig.10 Effect of rising sludge temperature on shear stress and moisture content

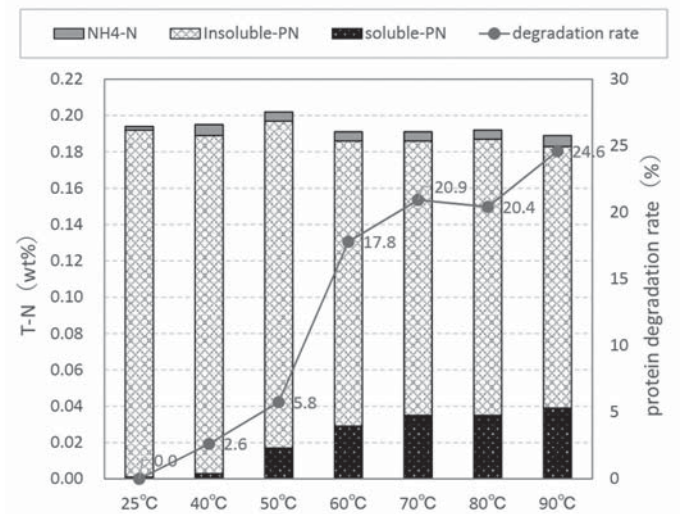


図11 タンパク質に及ぼす加温処理温度の影響
Fig.11 Effect of soluble crude protein on temperature of thermal treatment

分解が進行していないと考えられる。Keke Xiaoらと同様の傾向を示しており⁸⁾、混合生汚泥は約60℃でタンパク質の大半が熱変性しているものと推測される。

図12に溶解性粗タンパク質と実証試験における含水率の関係を示す。溶解性粗タンパク質の増加と含水率の低下が一致しており、タンパク質の熱変性が脱水性改善に大きな影響を与えていることが示唆された。

(3)細胞質溶出の影響

細胞内に含有される水分は、機械的に脱水することが困難であり、それゆえ微生物主体の余剰汚泥は極めて脱水が困難である。汚泥を加温すると細胞膜を構成していた膜内在性タンパク質が熱変性することにより、細胞膜の一部が破壊され細胞質が溶出するものと考えられる。細胞質の構成成分であるアデノシン三リン酸(ATP)の測定を試みることにしたが、ATPは加熱されるとADPおよびAMPまで分解されるため、ADPおよびAMPを酵素などによりATPに変換した後、その総アデニレート(ATP+ADP+AMP)とルシフェリンによる発光反応(相対発光量:単位RLU)を測定するA3法にて分析を行った⁹⁾。測定器にはキッコーマンバイオケミファ社製のルミテスター smartを、試薬にはルシパック A3 waterを用い、サンプル量は0.5mLに統一した。試薬との反応時間により相対発光量の数値が増減することから、同一サンプルにおいて複数回測定し、最大値をデータとして採用した。なお、本手法は相対比較でありATPの絶対量(mg/L)を測定できるものではない。

図13に溶解性総アデニレートに及ぼす加温処理温度の影響を示す。溶解性粗タンパク質は50℃以上で増加していたが、溶解性

総アデニレートは70℃以上から増加した。汚泥は雑多なタンパク質で構成されており、細胞膜を構成するタンパク質は70℃以上で変性し、細胞質を溶出させていることが示唆される¹⁰⁾。したがって、汚泥温度70℃以上においては細胞質(細胞内水)の溶出も脱水性改善の1つの要因と考えられる。

5 まとめ

- ①混合生汚泥を対象に加温濃縮脱水システムの実証を行った結果、汚泥温度67℃まで加温することによりPFS添加率2%で含水率71%に到達し、当初の目標性能を全て達成した。
- ②温排水の供給方法については、加温脱水部に供給した温排水を加温濃縮部にカスケード利用する方法が最も汚泥温度を高めることができた。またカスケード利用は、温排水に含まれるSS成分が濃縮部内の汚泥に吸着されるためSS回収率を99%程度まで高める副次的な効果も認められた。
- ③高温消化汚泥の場合、おそらく汚泥中の繊維分が少ないため、汚泥を加温すると流動性が高まりすぎることにより含水率が悪化した。ただし、PFS添加率10%以上では無加温脱水よりも含水率が低下することが確認された。
- ④汚泥加温により脱水性が改善される要因は、タンパク質が熱変性することによるタンパク質表面の水和層崩壊および細胞膜破壊による細胞質(細胞内水)の溶出が大きく影響していることが示唆された。一方、汚泥粘度と含水率低下の因果関係は認められなかった。

謝辞

本実証を行うにあたり、実証場所の提供や実証用汚泥の提供等、多大なご協力を頂いている京都市上下水道局の皆様に深く感謝の意を表します。

参考・引用文献

- 1. 国土交通省：都道府県別下水道バイオマスリサイクル率(平成30年度末)，国土交通省HP
- 2. 倭常郎：ろ液浸漬型濃縮装置における無機凝集剤後添加法による臭気抑制効果，第53回 下水道研究発表会講演集,pp1046-1048 (2016)
- 3. 小野基巳，高尾大，倭常郎：二重円筒加圧脱水機と他脱水機との比較，第44回下水道研究発表会講演集,pp823-825 (2007)
- 4. Dick R I, BALL R O: Sludge dewatering, Critical Reviews in Environmental Control, Vol.10, No.4, pp269-337 (1980)
- 5. 倭常郎，河野良輔：ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機の実証，第55回 下水道研究発表会講演集,pp1073-1075 (2018)
- 6. 月向邦彦：タンパク質の水和と分子体積・圧縮率，日本熱測定学会 学会誌，Vol31, No.4, pp186-193 (2004)
- 7. 右田正男：食品タンパク質と水，日本食品工合学会誌，第13巻，第9号，pp395-401 (1966)
- 8. Keke Xiao et al.: Comparison of different treatment methods for protein solubilization from waste activated sludge, water research, Vol122, pp492-502 (2017)
- 9. 場家幹雄ら：総アデニレート(ATP+ADP+AMP)を指標とする新規な清浄度検査(A3法)の開発，医機学，Vol.88, No. 3,pp357-363 (2018)
- 10. 澤井淳，五十嵐英夫，清水賢：加熱による細菌の損傷，日本食品微生物学会雑誌，Vol12 (2)，pp79-85 (1995)

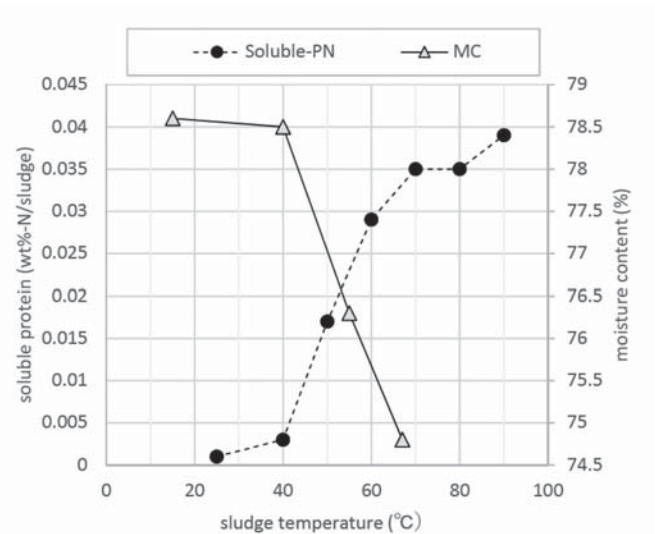


図12 溶解性タンパク質と実証試験における含水率の関係
Fig.12 Relation between soluble crude protein and moisture content on demonstration test

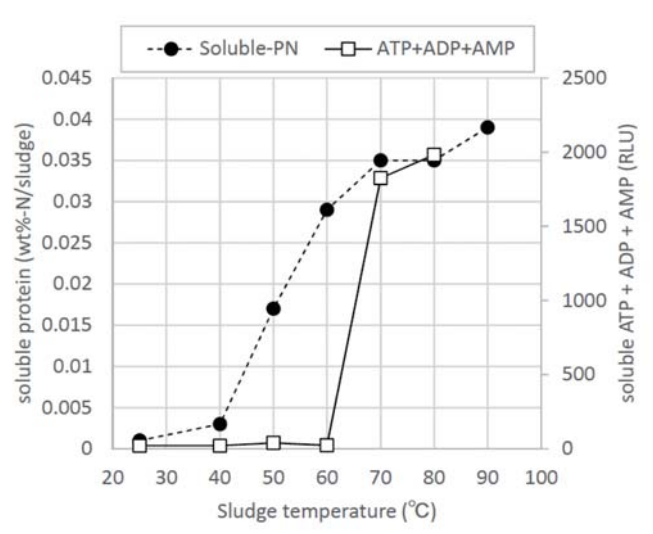


図13 溶解性総アデニレートに及ぼす加温処理温度の影響
Fig.13 Effect of soluble adenylate on temperature of thermal treatment

ダイナミッククロスフローろ過装置 BoCross® フィルタ

Dynamic Crossflow Filter BoCross® Filter



栗田 新平
KURITA Shimpei
産業事業本部
単体機器技術部
プロセスグループ

Abstract

In 2019, TSK signed the BoCross® filter License agreement with TSK's group company BOKELA. This filter is a technology that enables the filtration of fine particle slurry, such as sub-microns; this is a technology that TSK did not have before. This filter can apply a wide range of solid-liquid separation needs through various operating methods, such as concentration, washing, wet-classifying, and dynamic precoat filtration. By integrating this filter with various peripheral sensor and control technologies, it has become a more automated and sophisticated fine particle filtration system. Currently, various specific application studies are being conducted, mainly in the field of advanced materials.

2019年に当社関連会社であるBOKELA社とBoCross®フィルタに関する技術提携契約を締結した。本フィルタは、これまで当社が適用できる技術を持ち合わせていなかったサブミクロンなどといった微粒子スラリーのろ過を可能とする装置である。本装置はろ過濃縮・洗浄・湿式分級・ダイナミックプリコートろ過といったさまざまな運転方式により、幅広い固液分離ニーズへの対応を可能としている。種々の周辺センサや制御技術との組み合わせにより、より自動化・高度化された微粒子ろ過システムとして適用できるようになってきており、現在、先端素材分野を中心として、具体的な適用検討が進められている。

キーワード：クロスフローろ過、サブミクロンスラリー、洗浄、湿式分級、ダイナミックプリコートろ過
Keyword: Crossflow filtration, Sub-micron slurry, Washing, Wet-classifying, Dynamic precoat filtration

1 緒言

近年の化学産業では、サブミクロン・ナノ素材などといった新素材の開発が盛んに行われている。固液分離の単位操作において、当社はこれまで種々の固液分離装置を技術導入あるいは開発し、多様な用途分野へ適用してきた歴史があるが、サブミクロン領域における固液分離については、適用できる技術・装置を持ち合わせていなかった。サブミクロン領域まで微粒化したスラリーのろ過は、そのろ過抵抗が非常に大きいため、通常のケーキろ過ではろ過速度が著しく低下し、適用が不可能となる。このような微粒子スラリーのろ過に対しては、一般にクロスフローろ過方式が適用される。クロスフローろ過は、ろ材表面においてスラリー流速を発生させ、ケーキ層の生成を抑制しながらろ過を行う方式である (Fig.1) が、チューブラー型膜ろ過などといったポンプによるス

ラリー流速にてクロスフロー効果を発生させる方式は、高粘性スラリーのろ過やスラリーの高濃縮には適用ができない。BoCross®フィルタは装置内部の攪拌羽根により強制的なクロスフローを発生させるダイナミック・クロスフローろ過装置 (Fig.2) の一種であり、その独特な機構により、従来のろ過機では不可能であったさまざまな用途への適用を可能としている。BoCross®フィルタは当社関連会社であるBOKELA社が保有してきた技術である。BOKELA社が当社グループへ参入して以来、当社でも主に日本国内において、本装置の適用分野の開拓を進めてきており、2019年にはBOKELA社との技術提携契約の締結を完了し、現在では日本国内における製作・販売が可能となっている。本稿では、BoCross®フィルタの構造、基本原理、各種運転方式、用途分野などについて説明させていただく。

2 BoCross® フィルタの構造・機能・特徴

2.1 BoCross®フィルタの構造と作動原理

BoCross®フィルタの外観をFig.3に示す。BoCross®フィルタは、供給側・排出側 エンドプレートと一列に配置された複数の円盤状のフィルターモジュールで構成されている (Fig.4)。各フィルターモジュールはろ室を形成するチャンパーリングと、ろ材が両面に取り付けられたフィルタ固定プレートから構成され、それぞれのフィルタ固定プレートには、ろ液の排出ノズルが設けられている。各々のモジュール中心部には開口があり、各々のチャンパー内に配置されるスラリー攪拌羽根を固定する回転シャフトが、その開口部を貫通している。また、排出側エンドプレートには、濃縮液の排出ノズルが設けられている。装置全体は耐圧密閉構造 (標準設計圧力は0.7MPaG) となっており、容器内へ片持ち構造で貫通している回転シャフトの軸封にはダブルメカニカルシールを適用している。回転シャフトはダブルメカニカルシールを介して駆動モータへ連結されており、攪拌羽根はチャンパーリングの内部で高速回転を行う。チャンパーリングは冷却あるいは加温により、温度維持を可能とするよう、ジャケット構造となっているほか、上部にはエア抜きノズル、下部にはドレンノズルが設けられている。

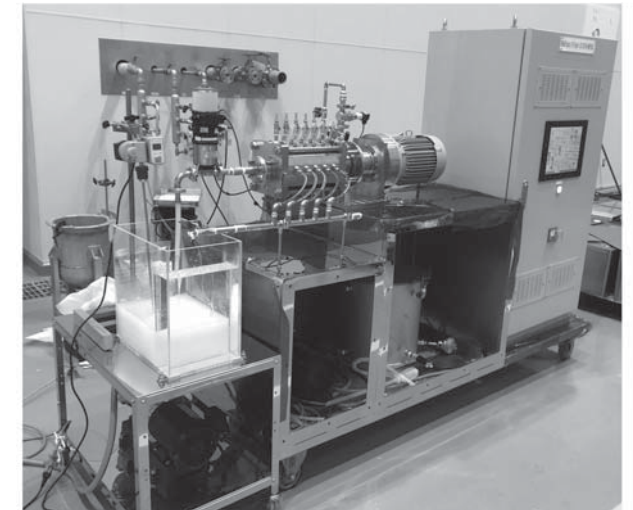


図3 BoCross®フィルタ外観
Fig.3 Appearance of BoCross® Filter

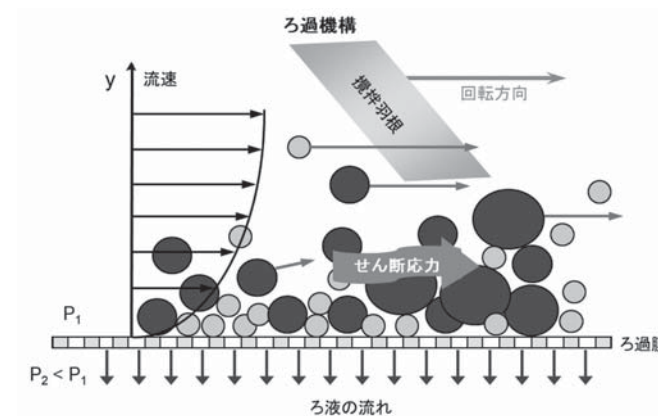


図1 クロスフローろ過模式図
Fig.1 Schematic diagram of cross flow filtration

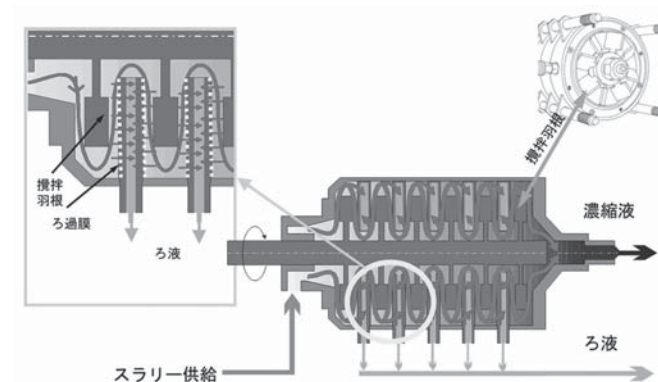


図2 BoCross®フィルタによるダイナミッククロスフローろ過
Fig.2 Dynamic cross flow filtration by BoCross® Filter

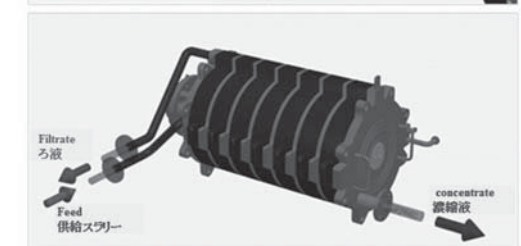
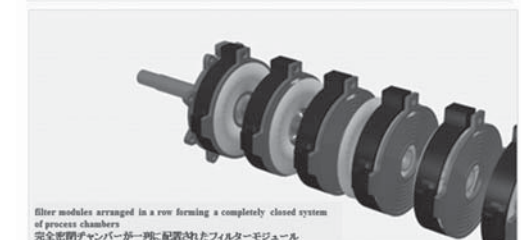
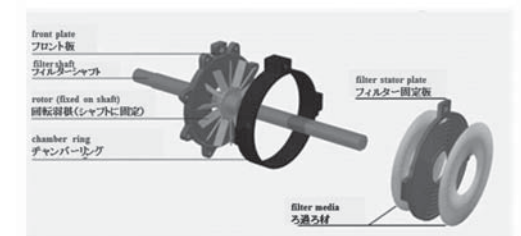


図4 BoCross®フィルタ構造図
Fig.4 Structure of BoCross® Filter

一般的なフィルタ廻りのフローをFig.5に示す。スラリーはスラリーポンプによりフィルタ内部へ圧入される。濃縮液排出ノズルは開度を制限された状態とし、これにより装置内部は加圧状態となる。通常、スラリー供給ラインには、圧力伝送器が装備され、スラリーポンプ回転数あるいは、濃縮液排出バルブ開度を制御することで、装置内部の圧力が一定となるように運転される。加圧状態となっているチャンバーと装置外の大気圧下へと連結されているフィルタ固定プレート間で、ろ材を介した差圧が発生し、スラリー中の母液はろ材を透過し、その液はフィルタ固定板のろ液溝を通して連続的に排出される。多段に配置されているそれぞれのモジュールから、ろ液が排出されるので、装置内のスラリーはチャンバーを通過するごとに濃縮され、濃縮されたスラリーは、濃縮液排出ラインに設けられた濃縮液排出バルブを介して排出される。チャンバーリングの内部ではスラリー中の微粒子固形物がろ材に捕捉されるが、チャンバー内で高速回転する攪拌羽根の作用により、ろ材表面にてスラリーの強力なクロスフロー流を発生させており、ろ材上には透過液の通過抵抗が非常に小さい薄いケーキ層しか形成できないため、ろ材表面における固体粒子層の形成による閉塞が回避され、ろ過速度の低下を抑制している。

2.2 BoCross®フィルタの機能と特徴

2.2.1 サブミクロン微粒子スラリーのろ過濃縮

本機能は、2.1 項に記載した運転により、スラリー中の母液をろ過し、微粒子スラリーの高濃縮を行う操作である。ろ材にはMF 膜（精密ろ過膜）やUF 膜（限外ろ過膜）が適用され、固形物を含まない完全に清澄なる液を得る。装置からの濃縮液の排出は供給ポンプの圧力に依存しているため、ウェットケーキ状までのろ過・脱液は不可能であるが、流動性に乏しいペースト状までのろ過濃縮操作が可能である。また、BoCross®フィルタではバッチ式、連続式の双方の運転操作方式が選択可能である。バッチ式運転方式はスラリータンクとフィルタ間でスラリーを循環させ、ろ液のみを系外へ抜いていく運転方式である。運転時間の経過に伴って、スラリータンクのレベルは低下し、系内の

2.2.6 制御

装置の運転は各種の制御運転により無人かつ自動での運転を可能としている。BoCross®フィルタの制御機能の一例をTable2に示す。

2.2.7 ろ材の選定

BoCross®フィルタ内部に装着されるろ材は駆動などをしない固定された平板状のろ材であるため、樹脂膜、ろ布、金属ろ材などさまざまなろ材を適用できる。処理用途に見合ったろ材の選定は非常に重要であるが、小型パイロット試験装置にて各種のろ材を比較検討することは多大な労力を要する。このことより当社では、ヌッチェ式真空ろ過装置（リーフテスタ）を応用した簡易ろ材選定試験装置を製作している。ろ材の表面にて、ハンディーの攪拌機により攪拌羽根を高速回転させることで、擬似的にBoCross®フィルタ内部でのスラリーの動きを再現している。本装置により、ろ液の清澄性、ろ液の排出速度を各種ろ材で対比較することができ、ろ材の選定作業を容易化した。ろ材選定試験装置の構造、外観をFig.7に示す。樹脂膜ろ材としてはPES（ポリエーテルサルホン）、PVDF（ポリフッ化ビニリデン）などの素材が用いられ、MF膜の場合、最少ポアサイズは0.05μm程度である。UF膜でのポアサイズは公称分画分子量（kD：キログルトン）で示される。（分画分子量が500kDa程度のUF膜で、0.05μm程度のポアサイズに相当する。）

表2 BoCross®フィルタの各種運転制御
Table2 Various operation control for BoCorss® filter

制御名称	制御対象	制御方法
ろ過圧力一定制御	供給ポンプインバータ 濃縮液排出バルブ開度	スラリー供給圧力を一定とする PID 制御
シール液圧力一定制御	シール液ポンプ	シール液圧力を一定とするPID制御
ろ材逆洗時間・逆洗間隔制御	ろ液排出バルブ・逆洗バルブ	タイマー制御
スラリータンクレベル制御	洗浄液供給バルブ	タンクレベルの一定制御
濃縮液排出制御	濃縮液排出バルブ	タイマーあるいは、フィルタ攪拌モータ電流値での濃縮液排出制御

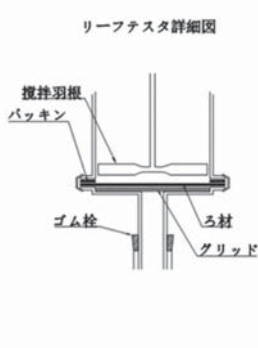
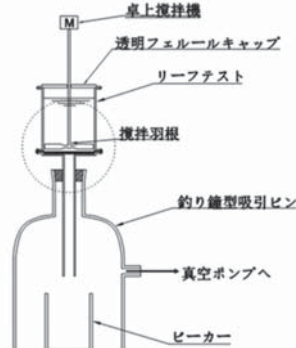
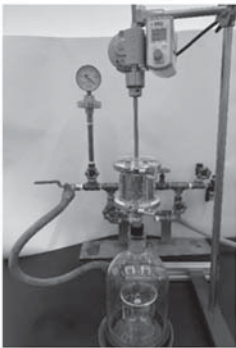


図7 ろ材選定簡易試験装置
Fig.7 Simplified testing apparatus for selecting a filter media

3 BoCross® フィルタの能力例(ろ過・洗浄)

3.1 濃縮ろ過

BoCross®フィルタのろ過性能は対象とするスラリーの性状、使用するろ材の種類に大きく左右されるが、運転操作の上で調整が可能な要素は、ろ過圧力と攪拌羽根の回転数となる。Fig.8、Fig.9に微粒子シリカー水スラリーを使用した、各ろ過圧力・攪拌羽根回転数における累積ろ液量の推移を示す。本グラフの傾きがろ過速度を示すこととなるが、本実験の範囲において、ろ過速度に与えるろ過圧力の影響は比較的限定的であり、クロスフローの効果を与える攪拌羽根回転数の影響度合いが大きいことが分かる。ろ過圧力を高めることは、ろ過の推進力を上昇させる方向である一方、ろ過膜表面でのケーキ層の生成を促進させ、ろ過抵抗を増大させる要因にもなり、ろ過速度に与える影響が相殺されているものと見られる。従って、適用するろ過圧力に見合った攪拌羽根回転数を設定することが重要と考えられる。Fig.10にはアルカリ系排水スラリーにおける高濃縮ろ過の試験結果を示す。チューブラー型などといった従来型のクロスフローろ過はスラリーの流路が狭いため、濃縮倍率が上がり、スラリー濃度が上昇すると、それに伴う圧力損失の増大により初期のスラリー流速を維持することができなくな

る。結果、濃縮倍率が上がるにつれ、ろ過速度は低下することになる。一方、BoCross®フィルタにおいては、濃縮倍率が上がっても、ろ過膜表面上におけるスラリー流速は低下しないため、高いろ過速度を維持でき、従来にない高濃縮が可能となる。これは後段設備の負荷軽減、ろ液が製品の場合では、歩留まりの向上などの点でメリットとなる。

3.2 洗浄

Fig.11には、2.2.2項に記載した方法による、顔料スラリーの洗浄運転データを示す。母液中には溶解塩分が含まれ、ダイアフィルトレーションにより、母液を洗浄水へ置換する操作を実施している。洗浄運転が進行するに伴い、BoCross®フィルタから排出される、ろ液の導電率は

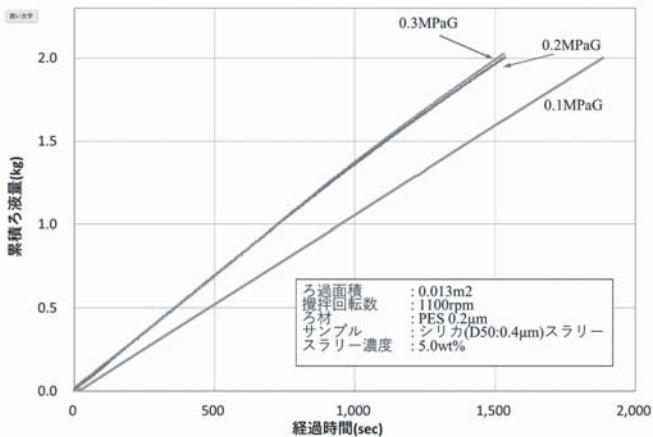


図8 各ろ過圧力におけるろ過速度
Fig.8 Filtration speed at various filtration pressure

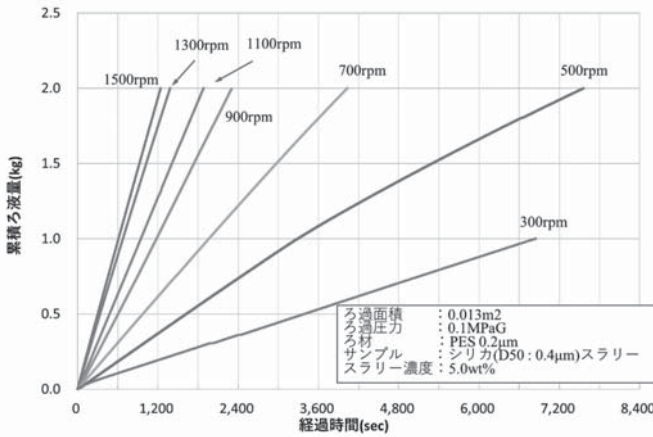


図9 各攪拌羽根回転数におけるろ過速度
Fig.9 Filtration speed at various stirrer speed

低下していく。基本的には希釈洗浄となるため、理論的には、片対数グラフに対して、導電率は直線的に低下する。一般に洗浄操作は初期濃縮により予めスラリー濃度を高めた状態から開始する。予備濃縮は不純物を含む母液の総量を減少させることであるため、洗浄開始後の導電率の低減傾きをより急低下させることができる。逆に洗浄開始時のスラリー濃度が低い場合、導電率の低下傾向の傾きは緩やかとなり、使用する洗浄液量は増加する方向となる。BoCorss®フィルタのひとつの大きな特徴はスラリーを高濃縮できるところにあり、初期濃縮の段階でできる限りスラリー濃度を高めることは、その後の洗浄操作において、洗浄液量・洗浄排水量の削減、洗浄運転時間の短縮につながり、これらは洗浄操作におけるプロセス上の大きなメリットとなる。

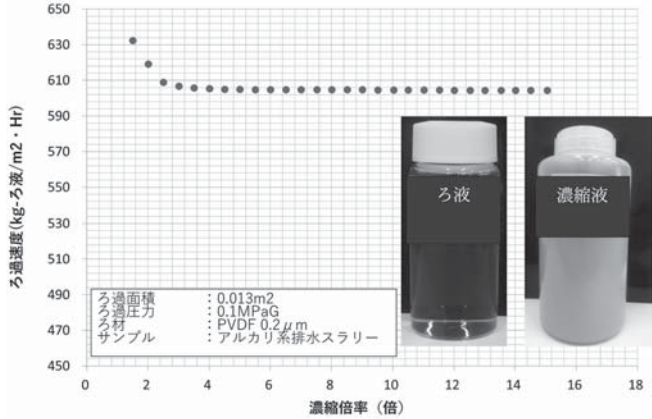


図10 高濃縮運転におけるろ過速度の推移
Fig.10 Transition of Filtration flux during high concentrating operation

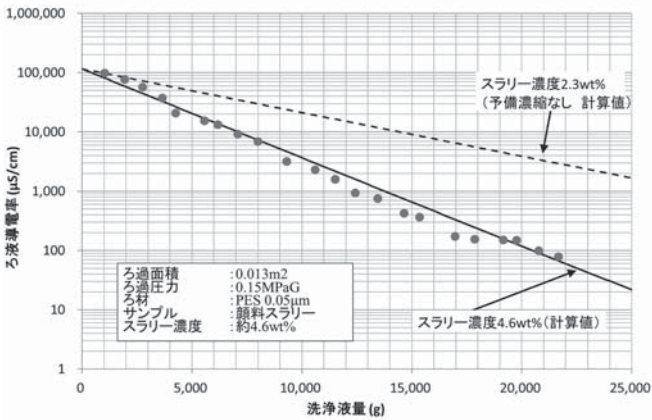


図11 洗浄運転におけるろ液導電率の推移
Fig.11 Transition of electro-conductivity of filtrate during washing operation

4 BoCross® フィルタの用途分野

BoCross®フィルタの適用検討が進められている用途分野の一例をTable3に示す。

これら用途分野の多くは、従来のろ過方式では適用できる装置がなく、その処理には、やむを得ずに多大な時間・ユーティリティーを要しているなどといった課題の改善検討として進められるケースが多い。また、検討案件の中には、強酸性液や金属コンタミを嫌う処理物などでの適用検討もあり、最近では、接液部に金属材料がない、ポリエーテルエーテルケトン(PEEK)樹脂コーティング仕様も新規にラインアップしている。PEEK樹脂は耐熱性、耐摩耗性、耐薬品性に優れたスーパーエンジニアリングプラスチックの一種である。

表3 最近のBoCross®フィルタの適用検討処理物(一例)
Table3 Recent application study for BoCross® filter (Example)

処理物分野	処理物	用途
導電ペースト	銀ペースト	濃縮・洗浄
	貴金属	濃縮・洗浄
顔料	微粒子顔料	濃縮・洗浄
電子材料	貴金属	濃縮・洗浄
ラテックス	ABS 樹脂ラテックス	粗粒カット
木質素材関連	ナノセルロース	濃縮
	生分解性樹脂素材	濃縮
合成樹脂	有機溶剤系排水	清澄ろ過による溶剤リサイクル
電池関連素材	金属微粒子	濃縮・清澄母液の回収

5 まとめ

本文中の運転データ例にも示したように、BoCross®フィルタによるろ過操作は、プロセス面で多くの利点を生み出し、独特なプロセス設計を可能としている。また、種々の周辺センサや運転制御との組み合わせにより、より自動化、高度化されたフィルタ設備として適用できるようになってきている。サブミクロンなどといった微粒子スラリーのハンドリングは特に先端素材分野において、日本国内を中心にニーズは今後も高まって行くものと考えられ、今後も継続した用途開拓、改良・開発を進めて行きたいと考えている。

技術・製品紹介

- 1
- アナモックスプロセスによる返流水中の窒素除去技術
- 2
- 創エネルギー型焼却システム
- 3
- 渦流式微粒子晶析装置の新展開
- 4
- 「COVID-19」によるDXの加速と当社のICT／AI活用技術について
- 5
- プラント設計におけるレーザースキャナ
- 6
- 化粧品工業を支える高速攪拌技術
- 7
- TMオートストレーナ®の導入/実証試験考課について

アナモックスプロセスによる 返流水中の窒素除去技術

*Nitrogen removal technology from side stream
by Anammox process.*

Abstract

Anaerobic digestion is one of the technologies for the effective use of sewage sludge; however, it produces a high concentration of nitrogen in wastewater. With the spreading of biomass mixed digestion to excess biogas, the nitrogen removal technology becomes more and more necessary.

The Anammox process is the most famous, cost-effective, energy saving, biological nitrogen removal technology, although not many SSTP have implemented this technology.

We have tried to operate the Anammox process on the SSTP site to treat thick effluent from biomass mixed digestion sludges.

下水汚泥の有効利用法のひとつである嫌気性消化を行うと、高濃度の窒素廃水が発生する。下水処理場におけるバイオマス資源の混合消化・発電事業の広がりとともに、廃水処理が必要とされる。アナモックスプロセスは、高濃度窒素廃水の代表的な処理方法であるが、実設備への適用は進んでいない。

一槽型アナモックスプロセスを用い、実下水処理場において、バイオマス混合消化を模擬した返流水処理試験を行ったので紹介する。

キーワード：窒素除去、返流水、アナモックス、嫌気性消化、消化ガス発電
Keyword: Nitrogen removal, Side stream, Anammox, Anaerobic digestion, Biogas generation

1 はじめに

月島機械では、下水処理場における消化ガス発電事業に力を入れており、2020年7月現在、民設民営FIT事業として17件の実績がある。消化ガスを発生させる嫌気性消化プロセスでは、固形物の分解に伴い溶解性窒素が増加し、高濃度の窒素排水となって水処理設備に返流される。放流先が湖沼・湾などの閉鎖性水域である下水処理場では、嫌気性消化による増加分を見逃せない。

また、近年、消化ガス発生量の増加や、設備の統合による処理の効率化などの目的から、消化槽に生ごみ・し尿といった外部バイオマス投入する事例が増えており、今後、嫌気性消化設備・脱水設備から水処理設備へ返流される窒素負荷はますます増えてくると考えられる。

そこで、返流水中の窒素を処理する手段として、一槽型アナモックスプロセスによる実地試験を行ったので紹介する。

2 アナモックスプロセスの特長

アナモックスプロセスとは、嫌気性アンモニア酸化により、生物学的に窒素を除去する方法である。下水処理場で一般的に採用されている硝化脱窒法では、汚水中に含まれる NH_4^+ を NO_2^- 、 NO_3^- まで酸化した後、脱窒菌が有機物を利用して NO_3^- を N_2 にすることで、窒素ガスが大気中に放出・除去される。一方、アナモックスプロセスでは、アナモックス菌による反応で NO_2^- と NH_4^+ が N_2 に変換され、有機物を必要としない。

このメカニズムにより、アナモックスプロセスは従来の硝化脱窒処理と比較して、

①省エネ、②省スペース、③汚泥発生量が少ない、処理方法であり、亜硝酸型硝化に必要な加温熱源として消化ガス発電の廃熱を利用することにより、さらに効率化が期待される。

今回試験を行った“一槽型 Anammox プロセス*”は、アンモニア酸化細菌とアナモックス菌が共存するグラニュール汚泥を用い、同一の

槽内でアンモニア酸化（亜硝酸型硝化）とアナモックス反応を行う技術である。アンモニア酸化とアナモックス反応を別々の槽で行う二槽式よりも機器点数が少なく、運転もシンプルである。

* “一槽型 Anammox プロセス”は栗田工業株式会社殿が実用化した技術であり、今回の試験に際して協力いただいた。

3 実地試験

3.1 試験条件

本技術を用いて、下水処理場における脱水ろ液からの窒素除去試験を行った。処理対象は次の2種類とした。初めに、消化汚泥脱水ろ液（ $\text{NH}_4\text{-N}$ =660 ～ 680mg/l）を用い、徐々に流入負荷（除去速度）を上げて、設備の立上げを行った。次に、場外で処理されている混合バイオマス（生ごみ、家畜糞尿等）の消化汚泥分離液を脱水ろ液に添加することで、模擬的に混合消化脱水ろ液（ $\text{NH}_4\text{-N}$ =900 ～ 1,100mg/l）を作製し、種々の処理試験を行った。試験装置の概要を図2に、試験に使用したグラニュールの外観を図3に示す。

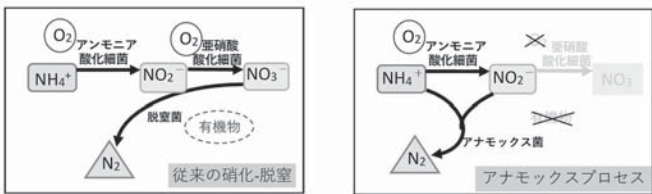


図1 反応メカニズムの比較
Fig.1 Comparison of Anammox process and the conventional process

表1 アナモックスプロセスの利点
Table1 Advantage of Anammox process

特長	従来の硝化脱窒に対する利点	消化ガス発電との組合せによる利点
アンモニア酸化は全体の2/3	曝気ブローの動力が小さい	発電廃熱を利用可能
脱窒の有機物不要	メタノール添加不要	消化汚泥はBOD/N比が小さい
余剰汚泥発生が少ない	汚泥処理が不要	—

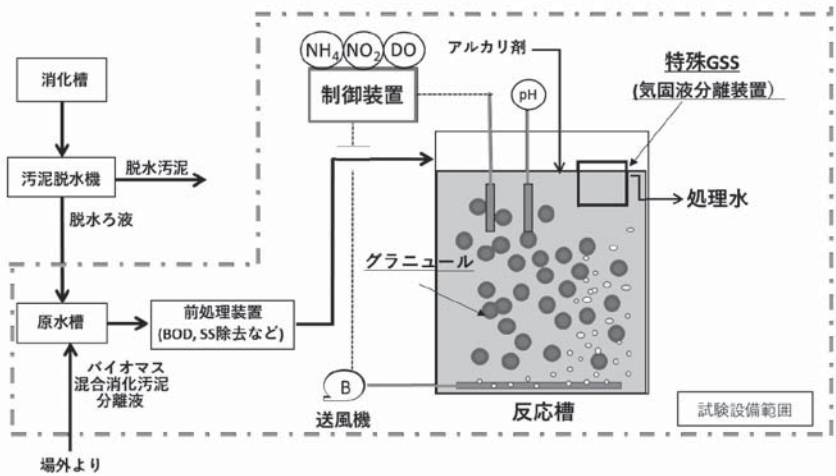


図2 “一槽型 Anammox プロセス” 試験設備フロー
Fig.2 The test process flow of the “single reactor for Anammox process” .



図3 試験に使用したグラニュール
Fig.3 Granules extracted from reactor.

3.2 試験結果

脱水ろ液のみの試験では、約1ヶ月で立上げ完了(流入負荷 1.0kgN/m³/日)し、さらに負荷を上げた結果、スムーズに処理が進行し、目標とした 1.5kgN/m³/日で除去率 70 ～ 80%を確認した。

混合 バイオマス を添加した試験では、原水の切替時に処理速度が低下したものの、その後徐々に負荷を上げ、最大 2.0kgN/m³/日の流入負荷に対し、平均 80 ～ 85%の窒素除去率を確認した。また、汚泥処理休止によりろ液が発生しない期間があることを想定した休止試験や、脱水設備の運転不良によりろ液中のSSが増大することを想定した影響調査を実施し、いずれもグラニュールが死滅するようなことはなく、1 ～ 3日程度のごく短期間で元の処理性能に戻る事が確認された。

4 “一槽型 Anammox プロセス” 導入効果の試算

バイオマス混合消化による窒素負荷の増大と、ろ液処理による放流窒素負荷の削減効果について試算した。表2に示す通り、Case1.2は一般的な下水汚泥の単独消化、Case3,4は外部から生ごみ等のバイオマスを受入れて混合消化する場合であり、Case2とCase4は脱水ろ液を本技術で処理すると仮定した。反応タンクにおける窒素除去率は一定(54%)とした。消化槽に投入するバイオマスは、下水汚泥と等量(1:1)とした。

試算結果を図5に示す。各工程における窒素量を、流入下水の窒素負荷を100とした割合で表記した。この試算条件では、通常運転のCase1では流入した窒素の37%が放流水により排出される。Case3のように消化槽へバイオマス投入することで系内の窒素負荷が37%増加し、放流窒素は7%増加した。このときCase4のとおり、ろ液処理を行うことで21%の窒素が除去され、放流窒素はCase1よりも少ない34%まで低減される結果となった。

5 まとめ

“一槽型 Anammox プロセス”を用い、実下水処理場において脱水ろ液中の窒素除去試験を行った。バイオマス混合消化を模擬したろ液処理では2.0kgN/m³/日の流入負荷に対し80 ～ 85%の除去率が得られ、モデル試算結果によると処理場流入窒素の約21%を除去可能と推算された。今後、消化ガス発電とともにバイオマス混合消化事業が広がった際、増加した窒素負荷を処理する技術として“一槽型 Anammox プロセス”の導入が期待される。

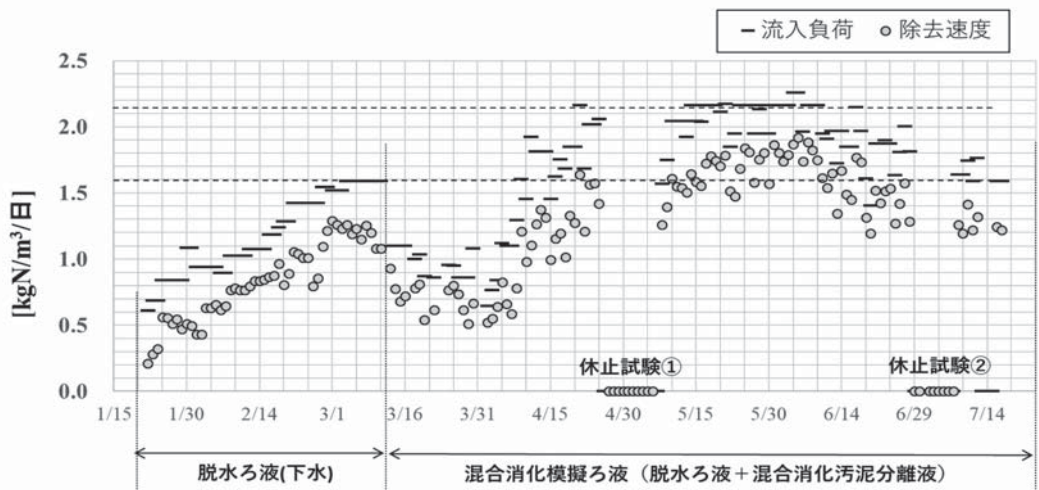


図4 流入窒素負荷と除去速度の推移
Fig.4 Change of the nitrogen load to the reactor and the removal rate.

表2 試算条件
Table2 The condition for the calculation.

Case1	Case2	Case3	Case4
下水単独消化	下水単独消化	バイオマス混合消化	バイオマス混合消化
ろ液処理無し	ろ液処理有り	ろ液処理無し	ろ液処理有り

<処理場規模> 下水流入水量・・・16,000m³/日
消化槽投入量・・・200m³/日 (下水汚泥 100m³/日, 外部バイオマス 100m³/日)
<脱水ろ液性状> NH₄⁺-N 濃度・・・1,100mg/L

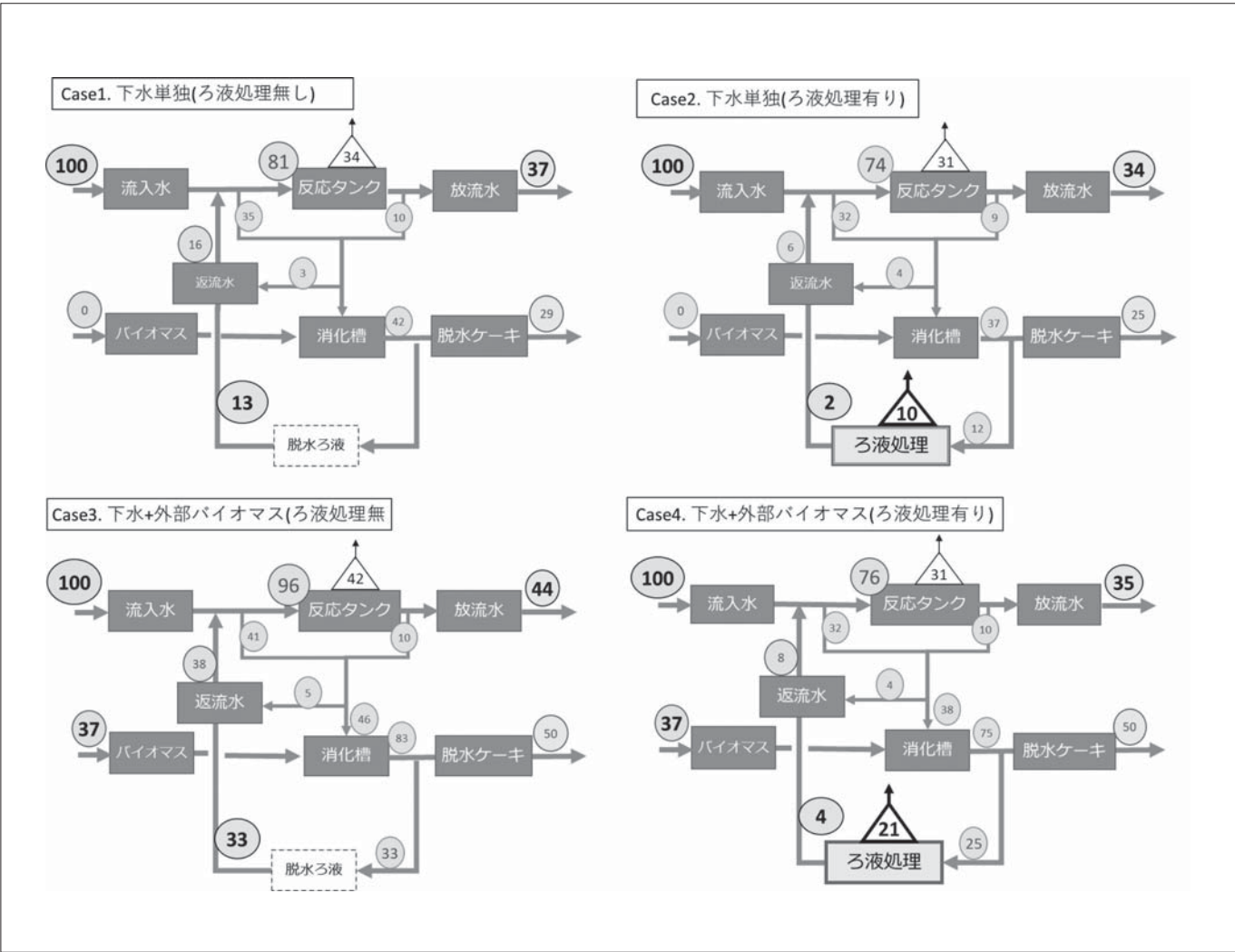


図5 下水処理過程における窒素フロー (○: 窒素量比 [%] △: 脱窒量 [%])
Fig.5 The nitrogen balance on the sewage treatment. (○: Nitrogen rate △: Denitrified nitrogen rate)

創エネルギー型焼却システム

Energy-creating incineration system



河岸 正泰
KAWAGISHI Masayasu
開発本部
研究開発部
研究開発グループ

Abstract

In recent years, there has been increasing momentum for global warming countermeasures, such as the implementation of the Paris Agreement. In Japan, in September 2017, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism notified the requirements for grants (the setting of performance indicators for waste heat recovery efficiency and power consumption reduction rate) to install and reconstruct incinerators in sewerage projects. Consequently, we started a demonstration test on an energy-creating incineration system that does not require auxiliary fuel and can generate more power than the power used.

This time, we will introduce “the energy-creating incineration system” that is currently undergoing a demonstration test.

昨今、パリ協定の実施等、世界的に温暖化対策への気運が高まっている。国内では、平成29年9月、国土交通省より、下水道事業における焼却炉の設置・改築について交付金対象要件（廃熱回収効率および消費電力削減率に関する性能指標の設定）が通知された。このような動向を受け、補助燃料を必要とせず、使用電力以上の発電を可能とする創エネルギー型焼却システムに関する実証試験に着手した。今回は、現在実証試験中である同創エネルギー型焼却システムについて紹介する。

キーワード：創エネ炉、発電
Keyword：Energy-creating incineration、Generator

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、今後一層の温暖化対策が必須となっている。そのことにより、国内では平成29年9月に国土交通省より「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・改築について、交付金対象要件に廃熱回収効率および消費電力削減率に関する性能指標が設定された。

このような背景から、今後は加速的に汚泥エネルギーの有効利用および発電による消費電力削減が進むものと予想され、当社においても補助燃料を必要とせず、使用電力以上の発電を可能とする創エネルギー型焼却システムに関する実証試験に着手した。

今回は、現在実証試験中である同創エネルギー型焼却システム（以下「創エネ型焼却システム」）について紹介する。尚、現在データ取得中のため、来年度の技報にて詳細報告とする。

2 システム概要

2.1 製品コンセプト

創エネ型焼却システムは以下のコンセプトに基づき、開発を行った。

- ①補助燃料を必要としない
- ②発電量が使用電力量を上回る（創エネルギー）
- ③N₂O削減率50%以下
- ④50%以下の低負荷運転にも適用可能

2.2 システムフロー

上述のコンセプトに対し、以下のシステムとした（①～④は製品コンセプトと整合）。また、システム概要を図1に示す。

①加温濃縮脱水システムの採用

加温濃縮脱水システムは、加温濃縮部と加温脱水部により構成され、焼却廃熱（温排水）を用いて加温し、低含水率脱水（混合生汚泥の場合、含水率70%程度）を実現。

それにより、焼却炉においては、自然かつ、余剰エネルギーの抽熱が可能となる。

②省エネ性に優れた過給式流動炉と高効率発電の組み合わせ

ベースとする過給式流動炉は、燃焼排ガスの圧力で過給機を駆動して圧縮空気を炉に供給し、高圧の燃焼排ガスは圧力の低い煙突側に自然排気されるため、流動ブロワと誘引ファンを不要とする。これにより、従来気泡流動炉と比較して40～60%の消費電力削減となる。

上記をベースとして、排ガス中のエネルギーを抽熱し、高効率発電で発電することで、発電量が消費電力を上回る創エネルギーを実現する。

なお、抽熱量を最大化（放熱を最小化）するために、抽熱ボイラは排ガスライン設置とした。また、バグフィルターは、乾式脱硫および低温バグフィルターを採用し、後段で最大限抽熱できるシステムとしている。

抽熱したエネルギーは、発電用に熱媒油または蒸気を熱媒体として、加温濃縮脱水熱源に排煙処理塔排水を熱媒体として利用している。

③加圧下燃焼によるN₂O低減

ベースとする過給式流動炉は、圧力下燃焼によって系内のO₂分圧が高くなり、燃焼速度が速い。これにより、炉内に高温燃焼領域を形成し、燃焼温度に大きく依存するN₂O排出量を大幅に削減できる。

④低負荷時にも炉内空塔速度を一定に保持

従来の気泡流動炉の場合、汚泥処理負荷を下げても砂層部の流動性を確保するために流動空気量は減らせないため、低負荷時に過大な空気比となって著しく燃費が悪化する。対して今回システムでは、ベースとする過給式流動炉の特性により、汚泥処理負荷を下げると運転圧力も下がり、圧力低下に伴って気体の体積は増加するため実風量を一定に保つことができる。これにより、砂層部の空塔速度および空気比も一定となるため、燃費悪化を抑制することができる。

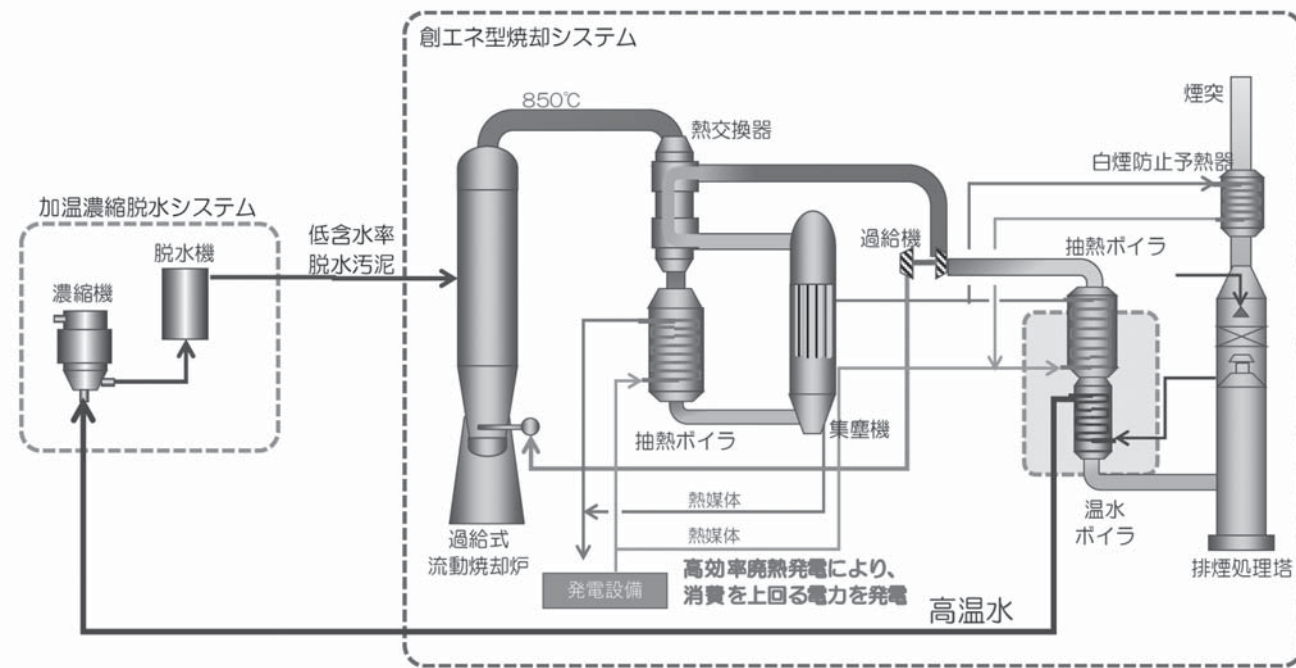


図1 創エネ焼却システムフロー
Fig.1 Schematic diagram of Energy-creating incineration system

3 実証試験概要

3.1 実証概要

京都市上下水道局下水道部鳥羽水環境保全センター内に土地を借用し、自主調査として実証施設を建設した。実証施設は、「濃縮脱水設備」と「焼却設備」の構成であり、同センター内の汚泥（重力濃縮汚泥、機械濃縮汚泥、消化汚泥）を受け入れ、濃縮・脱水後、焼却するフローとした。（全景は図2、実証フローは図3を参照）

3.2 経過

実証設備運転状況を図4に示す。汚泥負荷変動にかかわらず、焼却廃熱のみの加温により含水率約70%の脱水が連続して達成できている。今回実証に使用している汚泥は、比較的可燃分率が低く、自然しにくい汚泥であるが、加温濃縮脱水による低含水率化により、自然域に達していることを確認している。

4 今後の展開

実証試験において、焼却廃熱を利用した加温濃縮脱水による低含水率化は、良好な結果が得られている。今後、制御最適化、抽熱量の最大化、環境性能等の評価を行い、実機に展開していきたい。また、現在取得中のデータおよび同評価について、来年度技報にて報告する。

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汚泥のご提供等、多大なご協力を頂いている京都市上下水道局殿に深く感謝の意を表させていただきます。

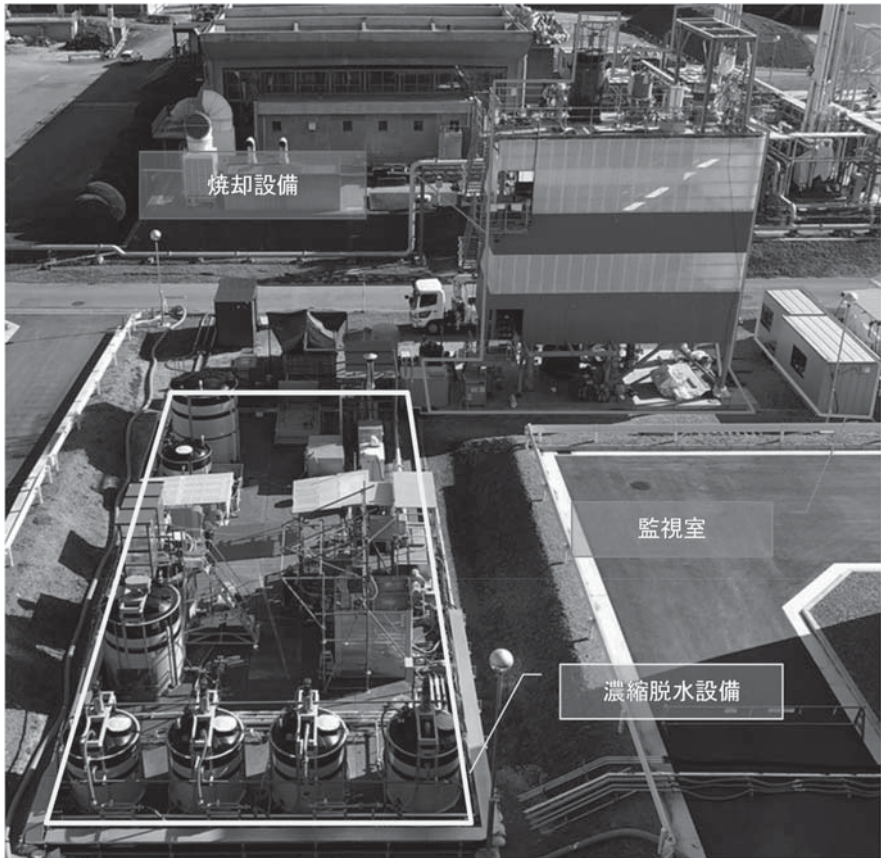
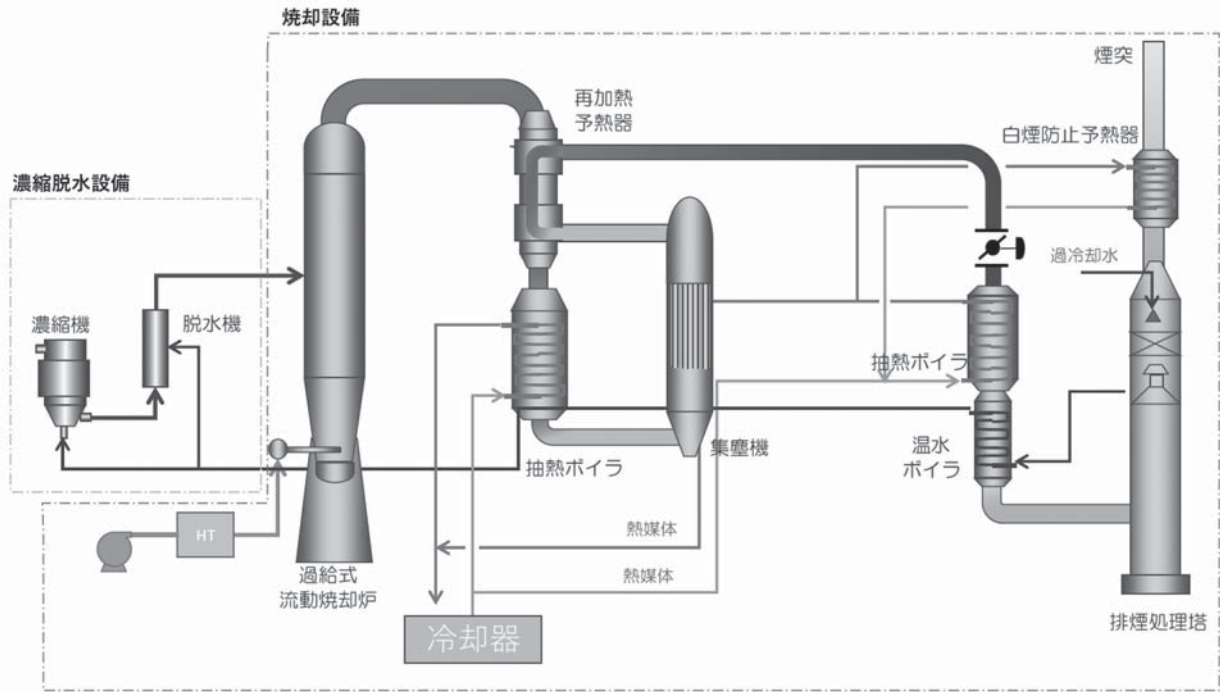
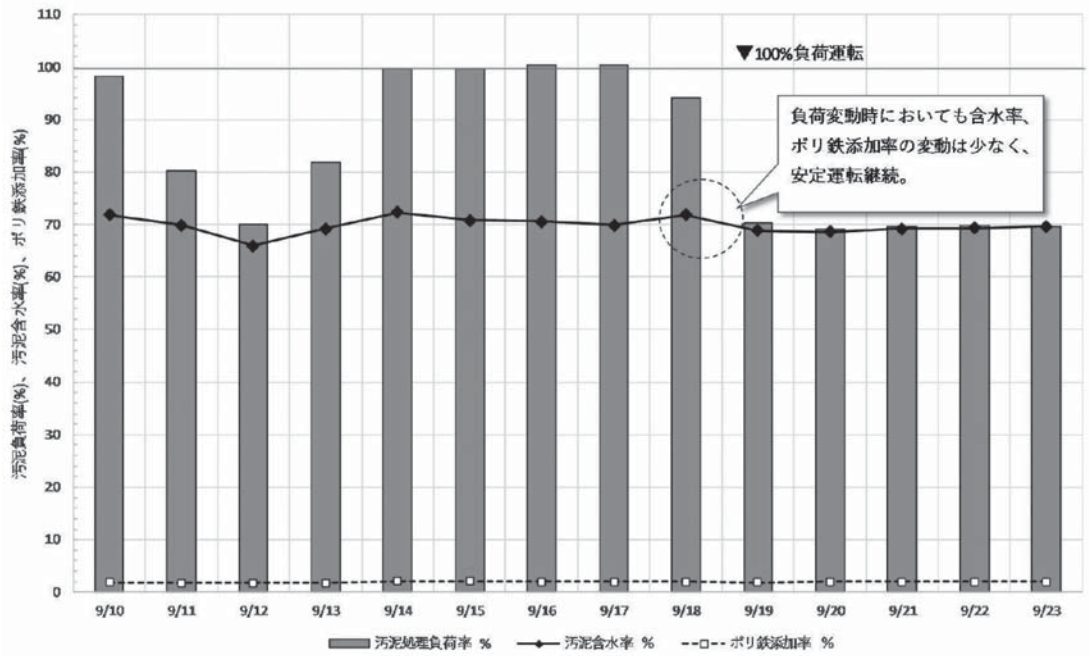


図2 実証設備全景
Fig.2 Full view of the demonstration facility



施設能力：4.68t/日(脱水汚泥として)

図3 実証フロー
Fig.3 Schematic diagram of the demonstration facility



投入汚泥条件
・種類 : 混合生汚泥
・強熱減量 : 79.7%
・高位発熱量 : 18,000 kJ/kg-dry

図4 実証経過
Fig.4 Demonstration progress

渦流式微粒子晶析装置の新展開

Development of Vortex Flow Crystallizer



神戸 達哉
KAMBE Tatsuya

開発本部
研究開発部
研究開発グループ

Abstract

Recently, the lithium-ion secondary battery (LIB) market has increased along with the electronics and Electric Vehicle (EV)/ Hybrid Vehicle (HV)/ Plug-in Hybrid Vehicle (PHV) market. From the LIB performance point of view, cathode material is very important in major component materials. Vortex Flow Crystallizer, called “VF-C”, was developed to produce a cathode material precursor. This equipment can make strong uniform mixing in the reactor as a reaction space. It allows the raw material to be mixed and dispersed very fast, so that the crystal can grow rapidly. Therefore, even if the crystal residence time is short, sufficient crystal growth is possible. This is the reason of high productivity as per equipment volume.

The co-precipitation method is used as a manufacturing method for the cathode material precursor. To apply such a reaction crystallization system, the high productivity of crystal sizes ranging from 4 to 6 microns in median size, called “fine particle”, has already been achieved. To expand application field, 10 micron over particle sample which is called “middle particle” is produced and large-scale VF-C equipment is aligned as scale-up type to be cost competitive.

電子分野及び EV/PHV/PHEVなどの電気自動車分野の成長により、近年ますます活性化しているリチウムイオン電池 (LIB) 市場において、性能を決める上で重要な材料として正極材がある。当社はこの正極材の前駆体 (プレカーサー) を製造する技術として渦流式微粒子晶析装置 (以後“VF-C”) を開発した。この技術は反応場となるリアクター内に強力な均一攪拌場を形成することで、反応原料を速やかに混合・拡散し、粒子成長を促している。そのため、滞留時間が短い中でも十分な粒子成長が得られ、単位容積当たりの生産性が高いことが特徴である。正極材前駆体の製造方法として用いられている共沈反応のような反応晶析分野へ適用するにあたり、メディアン径 (d50 粒径) で 4 ～ 6 μm 程度の小粒径の前駆体 (以後“Fine 品”) での高い生産性は実証済みである。今回、この VF-C の更なる適用分野の拡大を目的として、d50 粒径にて十数 μm 程度の前駆体 (以後“Middle 品”) のサンプル生産を行った結果の紹介、及び、コスト競争力を上げるためにスケールアップ機として新たにラインナップした大型機の紹介を行う。

キーワード：渦流式微粒子晶析装置、リチウムイオン二次電池、正極材前駆体、反応晶析、ツイン化、スケールアップ、Middle 品への適用
Keyword：Vortex flow crystallizer, Lithium ion secondary battery, Precursor of cathode material, Reaction Crystallization, Twin type, Scale-up, Application for Middle particle

1 はじめに

LIB には年々市場で求められる性能・品質 (容量・出力・安全性・耐久性など) が高度化しており、各部材においても同時に要求品質が向上するとともに、安価且つ大量に生産する技術が求められている。正極材においては、その粒度分布・タップ密度・粒子形状等の品質がとりわけ評価されることが多く、各品質の制御方法が正極材前駆体・活物質メーカーのノウハウとなっている。

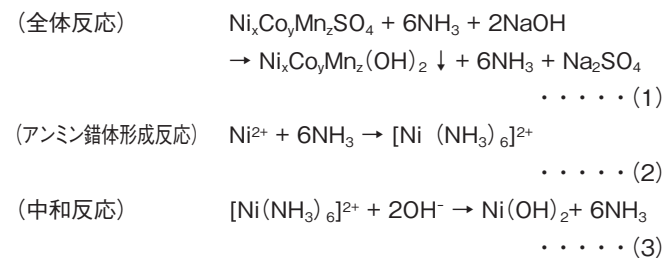
本稿では、上記市場要求に対応すべく、VF-C により製造可能な粒径範囲の拡大、コスト競争力 UP の観点からスケールアップした試みなど、実証した結果を報告する。

2 渦流式微粒子晶析装置 (VF-C) の概要

VF-C は主にリアクター、滞留槽、循環ポンプ、接続配管等から構成されるユニット装置である。リアクター内で発生させた強攪拌場に主原料が供給されることで、原料の速やかな混合・分散が得られることを特徴としており、当該強攪拌場は循環ポンプによる循環流をリアクター入口部の原料供給部に定量的に送ることで形成している。滞留槽は結晶の成長に必要な滞留時間を確保する役割を担っている。強攪拌場の利用により、高い操作過飽和度 (= 結晶生産量 / 循環量) においても良好な球状粒子が得られると共に高い生産性をもち、また流入流速を調整することで粒子径やタップ密度をコントロールすることが可能になるなどの特徴をもつ^{1)～4)}。図1に代表的な VF-C のフローを示す。

3 適用対象

現在 EV などの車載用 LIB 向けで代表的な正極材として、NCM (ニッケル、コバルト、マンガン) 三元系材料があり、以下の共沈反応により正極材前駆体 (NCM 水酸化物) が生成される。ここでは、錯化剤としてアンモニア水を使用している。



この NCM 水酸化物の原料となる NCM 硫酸塩水溶液をリアクター部に供給すると、金属イオンは反応場に存在する NH₃ と錯体を形成し、その後アルカリ域の液中にて OH⁻ と反応し、NCM の水酸化物が形成される。(2) の反応は錯体形成時の反応速度定数で k=10⁴ M⁻¹S⁻¹ 程度⁵⁾、(3) の反応は k=10¹⁰ ～ 10¹¹ M⁻¹S⁻¹ という極めて速い速度で進行する。核発生と粒子成長のコントロールのためにアンモニアが用いられ、結晶形状は微細な核 (一次粒子) の凝集結晶の形をとる。いずれにしても、反応速度の大きい反応系であり、NCM 硫酸塩水溶液の供給直後の液分散が粒子制御 (核発生・核成長および凝集制御) の観点で非常に重要な反応系となる。

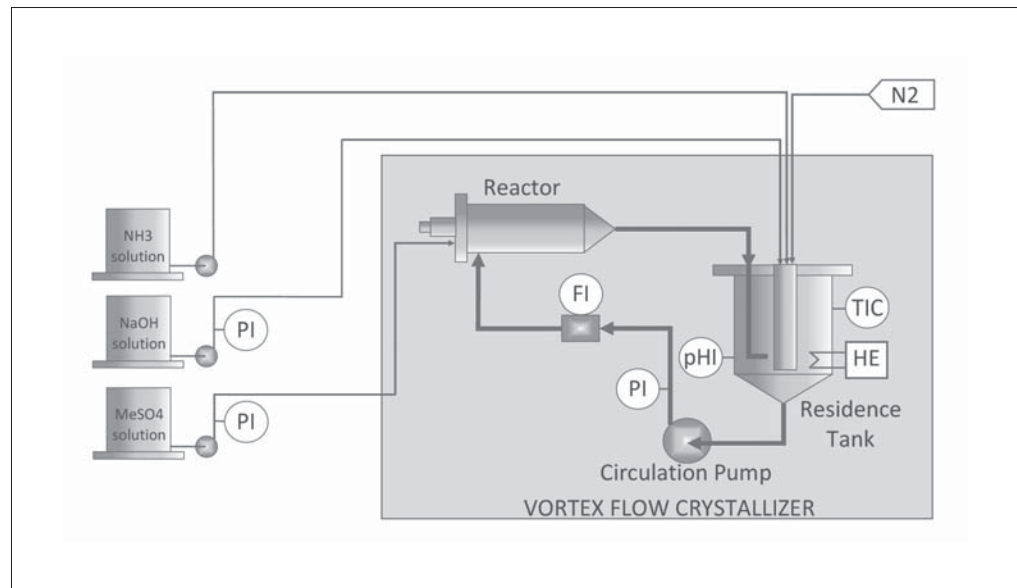


図1 渦流式微粒子晶析装置の概略フロー
Fig.1 Process Flow of Vortex Flow Crystallizer

4 製品粒径範囲の拡大

EV向けのNCM三元系の正極材料としては、現在世間でもMiddle品(d50粒径にて十数 μm 程度)が市場の流通の大半を占めており、当該領域での販促も視野に入れ、小サイズのテスト機(以後“D50”)、実機サイズのテスト機(以後“D200”)、および実機サイズのスケールアップ機(以後“D300”)にてMiddle品の製造確認を行った結果を紹介する。表1に、製造したMiddle品サンプルの粒度分布およびSEM写真を示す。比較のために、過去に製造したFine品サンプルの結果も合わせて示す。いずれのラインナップのVF-Cにおいても、Middle領域のサンプル製造が可能であることを確認でき、Fine～Middle品領域の結晶サイズの作り分けが可能な装置であることを実証した。

5 新規ラインナップ

これまでのVF-Cの主な販売機のラインナップとしてはD50、D200(VF-Cのラインナップ呼称。数値はリアクター径[mm]を意味する)があげられるが、1ユニットあたりの生産量を上げるため、スケールアップしたD300のテスト機を新規に製作し、Middle品向けNCM正極材前駆体を対象とした実証テストを行った。製造したサンプル例は表1に記載のとおりである。テストにおいては、操作因子の中で、循環量・パス数・操作pH・リアクター部入口流速・滞留時間等の各パラメータの調整を行った。

月産千トン規模の設備を想定した場合には、表2に示すとおり、D300を採用することで従来装置(D200)よりも大幅に機器点数を削減でき、よりコンパクトな設備設計が可能になった。また、市場で主流

となっている攪拌槽タイプと比較しても、TWIN化(1ユニット当りリアクターを2基並列で設置)を図ることで必要装置数を同等とすることができ、かつ装置容量当たりの生産量を大きくすることが可能なため生産性の高さを改めて確認できた。これにより、D300がコスト競争力のある装置として新たにラインナップに加わった。

6 まとめ

今回は主にVF-CによるMiddle品製造への適用拡大や新規ラインナップ製品(D300)を紹介した。今後ますます市場では微粒子へのニーズが高まってきており、本装置もコスト競争力向上と適用分野の拡大により、市場拡大の機会が到来している。今後、さらに技術のブラッシュアップを行い、当社の微粒子晶析技術の先駆的装置として更なる活躍が期待される。

参考文献

- 銅谷：渦流式微粒子晶析装置を用いた電池材料生産技術の開発 TSK技報 pp.6-13 No.21 2018
- 銅谷：二次電池製造のための晶析技術と化学装置 化学装置 pp.50-53 2014年3月号
- 森、銅谷：渦流式微粒子連続晶析装置 分離技術 pp.44-48 第46巻4号(2016)
- 反応凝集粒子の製造方法、リチウムイオン電池用正極活物質の製造方法、リチウムイオン二次電池の製造方法及び反応凝集粒子の製造装置、特許公報、特許第5466732号(P5466732)
- 舟橋、田中：分析化学者のための熱力学と反応速度論Ⅶ JAPAN ANALYST pp.1035-1049 Vol 18 (1969)

表1 VF-Cを用いたFine品およびMiddle品のサンプル製造例
Table1 Example of Fine and Middle particle samples using VF-C

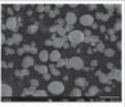
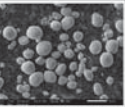
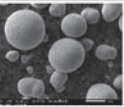
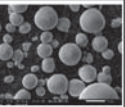
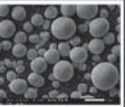
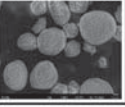
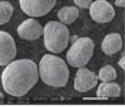
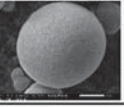
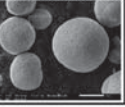
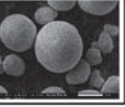
分類	項目	単位	サンプル1	サンプル2	サンプル3	サンプル4	サンプル5
テスト対象	テスト装置種別	-	D50	D200	D50	D200	D300
	対象粒度		Fine	Fine	Middle	Middle	Middle
粒度	d10粒径	[μm]	2.4	2.5	5.9	4.9	4.7
	d50粒径	[μm]	5.3	5.6	12.5	11.2	10.3
	d90粒径	[μm]	9.5	9.9	23.9	21.6	19.8
	(d90-d10)/d50	[-]	1.3	1.3	1.4	1.5	1.5
SEM画像	x 2,000倍	-					
	x 5,000倍	-					

表2 Middle品製造向け晶析装置比較例
Table2 Crystallizer comparison table for Middle particle

項目	単位	攪拌槽	VF-C		
			D200 D300		
			Single	Single	Twin
装置容量当たり生産量	kg/h/m3	7.3	22.5		
必要装置数比 (攪拌槽タイプを1とした場合)	-	1.0	4.7	2.0	1.0

技術・製品紹介 4

「COVID-19」によるDXの加速と 当社のICT／AI活用技術について

Acceleration of DX by the impact of “COVID-19” and introduction of the TSK ICT/AI technologies



矢澤 伸弘
YAZAWA Nobuhiro

経営統括本部
情報システム部
開発グループ

Abstract

Due to the effects of the latest coronavirus infection “COVID-19,” digital transformation (hereinafter referred to as DX) is accelerating worldwide. In addition, our company (TSK-G) has launched the “ICT / AI Utilization Technology Development Project” to promote the use of digital technology and ICT technology, including AI.

As project activities, we aim to contribute to society through environmental protection and achieve sustainable development using “remote monitoring and control,” “image recognition,” and “time-series data analysis” technologies.

新型コロナウイルス感染症「COVID-19」の影響により全世界でデジタルトランスフォーメーション(以下DX)が加速している。当社においてもデジタル化技術の活用を推進する「ICT/AI活用技術開発プロジェクト」が発足し、AIを含むICT技術の活用推進を始めている。

プロジェクトの活動として「遠隔制御技術」「画像認識技術」「時系列データ解析技術」などを活用し環境保全、持続可能社会の実現による社会貢献を目指している。

キーワード：ICT AI DX デジタル化 機械学習 画像認識技術 時系列データ解析技術
Keyword：ICT, AI, DX, digitization, machine learning, image recognition technology,time series data analysis technology

1 はじめに

本稿を執筆している現在も、新型コロナウイルス感染症「COVID-19」の影響が続いており、健康被害をはじめ経済活動への深刻な影響から、世界中でいまだ大きな脅威となっている。こうした状況下の中、当社の事業にも少なからず影響がでており、多くのメンバーが在宅での勤務や、建設現場の確認や試運転をリモートで行う「リモートワーク」を余儀なくされている。

今から2年前の日本では「COVID-19」が問題となる前であり、リモートワークはほとんど普及していない状況であったが、当社のヨーロッパの顧客ですでに進んだWEB技術を活用したビデオ会議などによるリモートでのコミュニケーションが進められていた。当社としても、2019年に3カ年計画として正式発足した「ICT/AI技術活用技術開発プロジェクト」などで遠方の顧客・大学とのコミュニケーションにはビデオ会議の活用を開始し、ICT技術を活用した効率化の試行を始めていたが、当時はプロジェクト内の活用にとどまる限定的なものであった。

しかし、現在の「COVID-19」による影響により、世の中は一気にデジタル化へ舵をきることになり、ビデオ会議のような技術も世界中に普及した。当社としてもこのような急峻な世界環境の変化の中で顧客ニー

ズや新しい要求に「迅速に」「スピード感」を持ち、これまで以上にAIを含むICTを活用した技術をビジネスに取り入れ、対応していく必要があると考えている。

2 当社の取組み

前述のとおり、当社も「ICT/AI技術活用技術開発プロジェクト」が発足し、デジタル化技術の調査および検証、また技術開発を進めており、現在までの活動の一部を紹介する。

2.1 遠隔制御技術(スマートグラス、IoT カメラとゲートウェイ)

遠隔からの監視・制御や状態を把握するニーズに合致する技術として、スマートグラス、IoT カメラおよびゲートウェイの技術を紹介する。ここで紹介する技術を活用し、遠隔地から試運転を支援する「リモートコミッショニング」や遠隔地を対象とした「リモート検査」などにも応用が可能である。

2.1.1 スマートグラス

「スマートグラス」は、現場にいるメンバーがウェアラブル端末であるスマートグラスを装着し、作業支援者が遠隔地から音声や画像を共有

し作業支援を実現する「遠隔作業支援ソリューション」である。図1に、サン電子(株)が提供するスマートグラスを活用し、当社グループの月島テクノメンテサービス(株)の現場にて導入検証した事例を示す。

2.1.2 IoT カメラ

ここで紹介するIoT カメラは、LiLz(株)が提供する現場のアナログゲージを自動読取記録できるソリューションであり、クラウドにて自動記録したデータの確認が可能となる。図2に、IoT カメラによる現場アナログゲージの読取イメージを示す。

2.1.3 インターネットゲートウェイ

次に、「インターネットゲートウェイ」は今回の技術紹介の中では、「現

場の設備と遠隔地の監視側をインターネット経由で接続するための現場伝送装置」と定義する。構成は図3の遠隔制御ソリューション全体イメージのように、機能としてはVPN接続し遠隔地から現場機器の監視やメンテナンスを行うことや、クラウド上のサーバとのデータ送受信が可能となる。この技術によりネットワークに接続可能な機器は、暗号化通信と認証技術によりセキュア(安全、堅牢)に遠隔地からアクセスすることが可能となり、トータルで遠隔制御サービスのソリューションを提供することが可能となる。

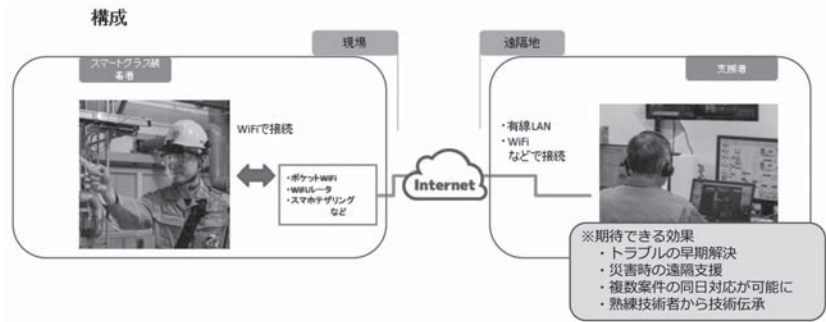


図1 スマートグラスのシステムイメージ^{*1}
Fig.1 Image of SmartGrass system^{*1}



図2 IoTカメラによる現場アナログゲージの読取イメージ^{*2}
Fig.2 Image of IoT camera for field analogue gauge reading^{*2}

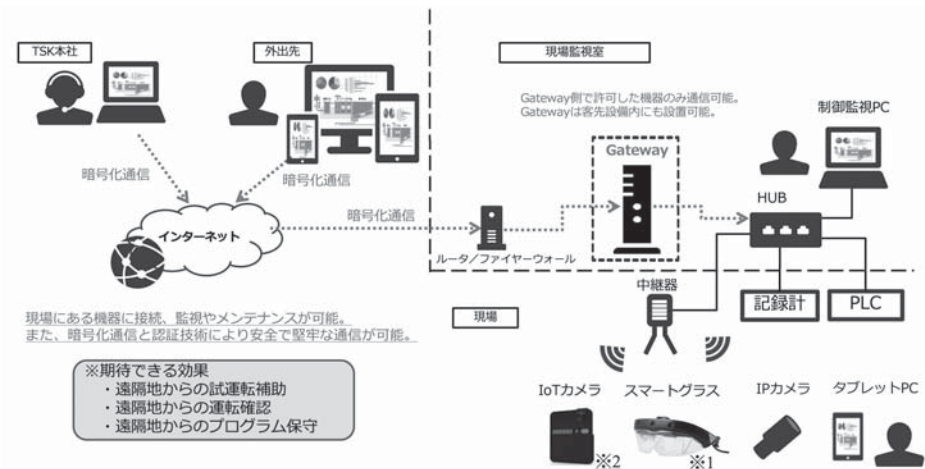


図3 遠隔制御ソリューション全体イメージ
Fig.3 Overall image of remote management solution

2.2 画像認識技術(画像解析とAIの融合)

当社は、活動方針の一つとして、現時点で一般にAIと呼ばれている機械学習やディープラーニングなどの最新技術を当社の持つ従来技術と融合し、活用していくことを目指し活動している。その中の一つとして注目している技術に「ディープラーニングによる画像の認識技術」がある。従来の画像処理技術では、人の認識を上回することは不可能とされていた。しかし、ディープラーニングの登場により人の感覚により近く、場合によっては、人の認知能力を凌駕する性能を発揮するシステムの構築が可能となってきた。この技術を当社のフィールドに適用すべく、現在実用化に向け、検証試験を行っている。

図4の事例は、汚泥の脱水状態を画像認識技術により判断する事例である。

2.3 時系列データ解析技術(運転データ解析とAIの融合)

画像認識技術と同様に大量に蓄積された「時系列データの解析技術」も、最近のコンピュータ技術の発達とクラウドサービスなどにより大量のデータを容易に収集することができるようになり、活用の幅が広がっている。

当社もセンサーデータや故障・操作履歴といった時系列データを解析し、オペレータの運転ノウハウの抽出や異常予知などのソリューション構築に取り組んでいる。図5に、時系列データ解析技術のイメージを示す。

2.4 モデル予測制御技術(モデル予測制御とAIの融合)

20年以上前から「モデル予測制御」という技術がプラント業界では注目されており、従来計算速度の速いコンピュータに実装されていた技術をPLCのCPUに組み込むなど、いろいろな取り組みがされてきた。当社としてはこれまで、モデル予測制御の技術検討のみで実装実績はなかった。しかし、近年のコンピュータ技術の発展と、データ解析技術の飛躍的向上から実機適用への検討を再開した。

モデル予測制御では、コンピュータの中にプロセスの反応を同定(予測)する「予測モデル」を内蔵する。この予測モデルを使うことにより、未来のプラントの応答を予測し最適な制御を行うことが可能となる。

この技術と近年のデータ解析技術を融合し、従来自動化をあきらめていた時定数の大きいプロセスや多変数の干渉が発生するプロセスに対しての自動化や安定化を目指している(図6、図7参照)。

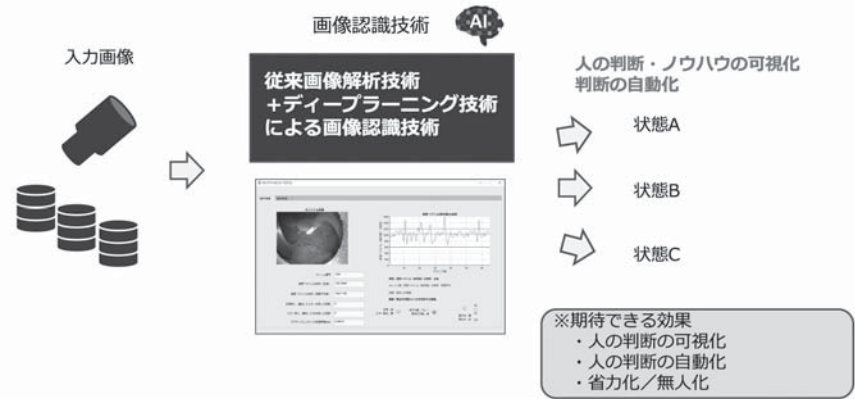


図4 画像認識技術のイメージ
Fig.4 Image recognition technology

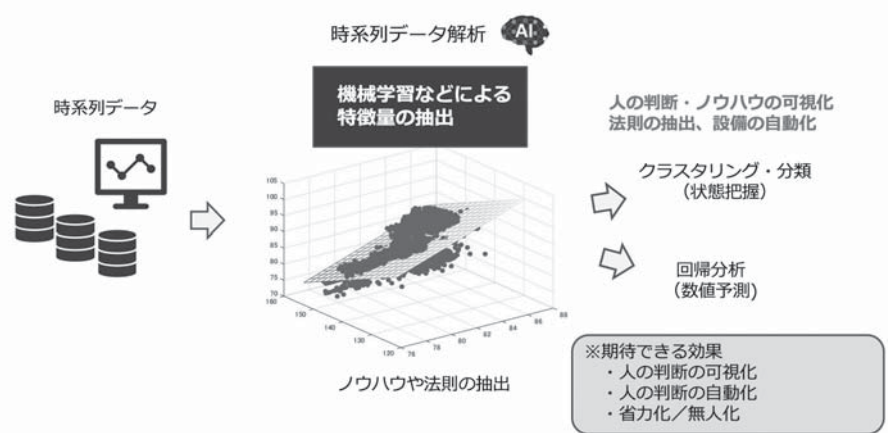


図5 時系列データ解析技術のイメージ
Fig.5 Time-series data analysis technology

3 おわりに

ここに紹介した技術以外にも、ドローンやロボット、広帯域伝送技術など多くの新しい技術がAIと呼ばれる機械学習技術とともに目覚ましく発展している。当社で活動中のICT/AI活用技術開発プロジェクトとしても、このようなICT/AIやロボティクス技術を活用した新しい技術を、当社グループ全体のビジネスに応用し、「効率化・最適化・省人化・自動化」の4つの視点からさまざまなツールの実証・導入検討を協業している当社関連会社とともに引き続き実施していく。また、これら最新技術を当社の技術として取り込み、環境保全、持続可能社会の実現を通じて社会へのさらなる貢献を目指していく所存である。

4 謝辞

現在、フィールドテストに多大なるご協力いただいている自治体様、事業協同運営会社様、ならびに共同研究で技術開発や技術指導をいただいている大学様や企業様に厚く御礼を申し上げ、感謝する次第です。

参考文献

- *1：スマートグラス「AceReal One」（サン電子(株)カタログ資料から画像・図を引用）
AceRealはサン電子(株)の登録商標です。
- *2：IoT カメラ「LiLz Gauge」（LiLz(株)カタログ資料から画像・図を引用）
LiLzはLiLz(株)の登録商標です。

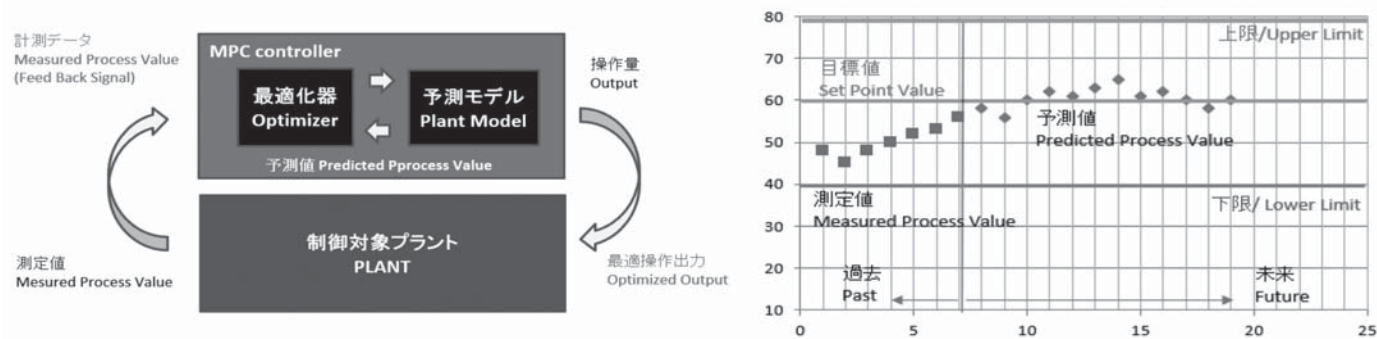


図6 モデル予測制御技術
Fig.6 Model Predictive Control technology

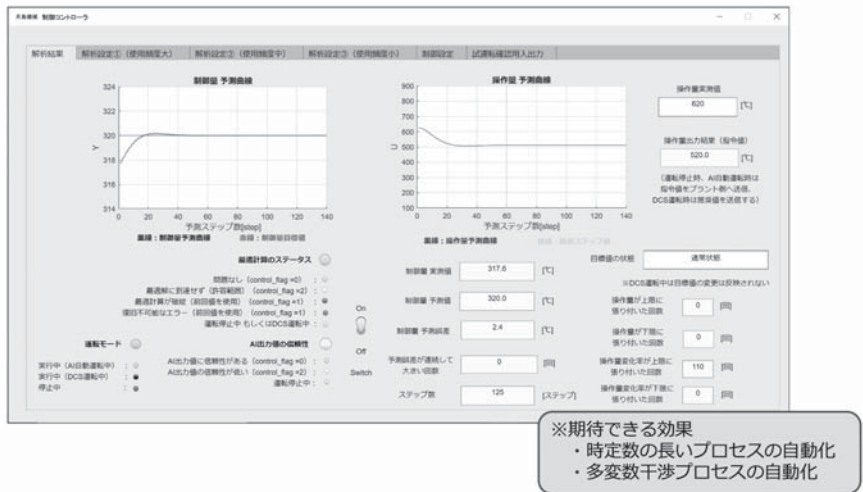


図7 当社で開発中のモデル予測制御システム
Fig.7 TSK Model Predictive Control system

技術・製品紹介 5

プラント設計におけるレーザースキャナ

Laser scanner in plant design



菅野 貴光
KANNO Takamitsu
水環境事業本部
プラント技術部
エンジニアリンググループ

Abstract

A laser scanner is a measuring device that measures distances at a speed of about Million times/second, and the measurement distance is about 100 m. This device is currently available worldwide as it can safely measure high places and a wide range in a short time. It has been widely used in recent years; it has been installed in automobiles and iPads and is becoming a standard technology.

Herein, we will introduce the operational status of the laser scanner introduced in 2018 in collaboration with the Plant Engineering Department of the Environment Business Division and TSUKISHIMA Technology Maintenance Service CO., LTD.

Essentially, the laser scanner is a tool that captures the real world into the virtual space. We will also introduce the potential possibilities for future plant design.

レーザースキャナとは約百万回 / 秒の速度で距離測定を行う計測機器であり、計測距離も百 m 前後であり、高所を安全にかつ広範囲を短時間で計測できるものとして現在世界中で使用されている。近年では自動車や、iPad にも搭載され身近な技術になりつつある。

今回は、水環境事業部プラント技術部と月島テクノメンテサービス株式会社殿の共同で2018年に導入した、レーザースキャナの運用状況を紹介します。

なお、レーザースキャナの本質は現実世界を仮想空間に取り込むツールであり、今後のプラント設計の将来展望についてもあわせて紹介する。

キーワード：Laser Scanner(レーザースキャナ)、Digital-Twin(デジタルツイン)、Building Information Modeling(BIM) , i-Construction, i-Gesuido
Keyword：Laser Scanner, Digital-Twin, Building Information Modeling(BIM), i-Construction, i-Gesuido

1 はじめに（緒言）

現在、プラント設計は他の建設業と同様に少子高齢化による熟練技術者の減少、職場環境の魅力低下にともない技術後継者の不足と規模縮小、またメカ系などの製造業と比較して現場工事を主体とするため生産性の技術改善や改革が遅れ、その結果、他業界に比べて生産性が低く、改善が必要不可欠という状況になっている。これらは、建設業と同様にプラント設計および建設が労働集約型による単品受注生産という産業構造も原因のひとつである。

これらのことは国土交通省においても問題を重要視しておりi-Constructionやi-Gesuidoといった施策を展開し、生産性向上が進められている。この状況は海外やプラント業界として規模がもっとも大きい石油業界でも同様の傾向となっている。

当社では1990年代より3DCADを導入し、近年ではBIM設計としての3D統合モデル化、ドキュメント運用を技術系事務部門による

Document handling teamによる運用切り替え、地下埋設物の地中レーザマッピングなど各種生産性向上を図っているが今回はそのなかの技術との一つとして月島テクノメンテサービス株式会社殿と共同で導入した3次元現場計測器であるレーザースキャナを紹介する。

2 主部

2.1 導入したレーザースキャナの計測原理と性能について

計測原理： 回転するミラーの中心に赤外線レーザー光線を放射する。このミラーは、スキャン対象環境で垂直回転方向にレーザービームを偏向させ、周囲のオブジェクトからの散乱光がスキャナに戻る。散乱光を信号点として処理し、結果として得られるのは、スキャナの環境の3次元のデータセットである点群となる。この点群はレーザースキャナに内蔵されたカメラで撮影された写真と合成され、着色処理される。また、撮影された写真はソフトで処理合成され、360°画像として保存される。

主な性能

- ・Laser class 1
- ・三次元位置精度 10m: 2mm / 25m: 3.5mm
- ・ビーム径(出口) 2.12mm
 - ※ビーム径の50%以下であればフィルタリング機能によりデータ処理で除去が可能
 - ※粉塵化、小雨などの状況でも計測が可能
- ・IP 規格 IP54 ※雨天時でも使用可
- ・重量(バッテリーを含む) 4.2kg
 - ※レーザースキャナの中では最軽量モデル
- ・サイズ 230 x 183 x 103mm

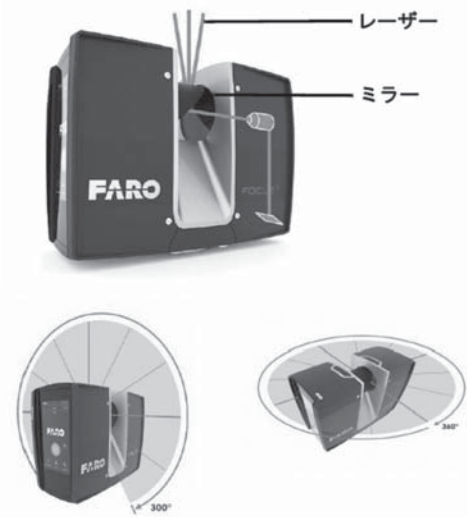


図1 レーザースキャナの計測原理
Fig.1 Measurement principle of Laser scanner



図2 レーザースキャナの計測状況
Fig.2 Measurement status of laser scanner

2.2 主な生産性の改善内容

- ・高所、開口部上部なども仮設不要で地上から安全にかつ設計者のみで計測が可能。
 - ・寸法測定は計測データからパソコン上で調べられるため計測漏れが減少。
 - ・写真も同時に自動撮影され360°画像として保存されるため、撮影忘れが減少。
 - ・設計者、設計会社間で計測データはクラウドで共有することができ、画像を見ながら設計が可能。
 - ・点群と3D モデルを合成することで取り合い位置の確認や自動干渉チェックが可能。
 - ・点群をオルソ画像化することで既設図がない場合でも簡易的な既設平面図を作成することが可能。
- ※オルソ画像とは、データ上の像の位置ズレをなくし地図と同じく、真上から見たような傾きのない、正しい大きさと位置に表示される画像のこと。

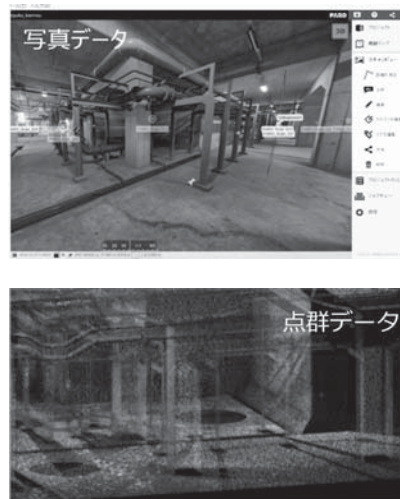


図3 計測データ
Fig.3 Measurement data

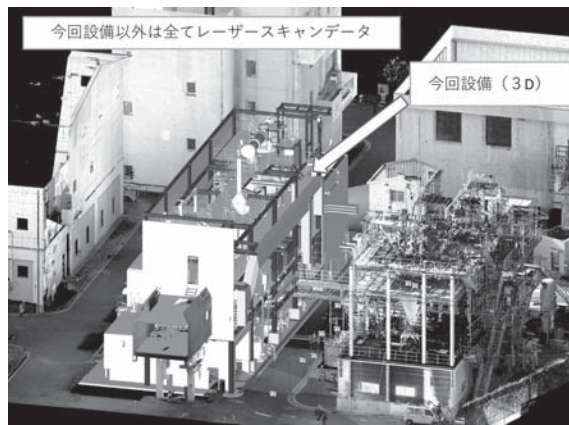


図4 3D データとの統合モデル
Fig.4 Integration with 3D data

2.3 運用状況

当社プラント技術部ではレーザースキャナの導入後垂直立ち上げに成功し、現在はほぼ全ての案件で現地計測を行っている。また、計測およびデータの編集もグループ内のサポート体制が確立し、レーザースキャナに不慣れな担当者であっても滞りなく対応できるようになっている。

これは業界においても異例の運用実績であり、3次元計測業界のフォーラムで発表した際も好評を得た。なお、主な客先は公官庁であり、計測に理解が得られやすい環境であったことも幸いした。

2.4 運用の成功事例

- 1) 焼却炉排ガスダクトの移設
既設排ガスダクトを、高所の既設ベルトコンベヤとパイプラックとの間、既設配管が多数ある既設建屋とパイプラックの間を約180mに渡って施工する工事であった。レーザースキャナで広範囲かつ高所の既設情報を計測し、ダクト設計を行った。その結果、干渉なく工事完了。
- 2) 空気予熱器更新工事 空気予熱器の搬入ルート検討
建屋内に設置されている焼却設備の空気予熱器更新工事において、既設建屋内をレーザースキャナで計測し、干渉物を事前に判明させ、また干渉物を最小にする最適な搬入ルートを検討した。干渉なく工事完了。なお、取り込みルートは3D アニメーション化を行い工事側に説明した。

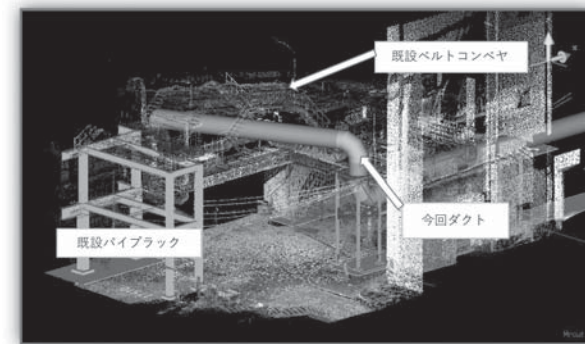


図5 既設構造物のレーザースキャンデータとダクト3D設計
Fig.5 Laser scan data of existing structures and duct 3D design

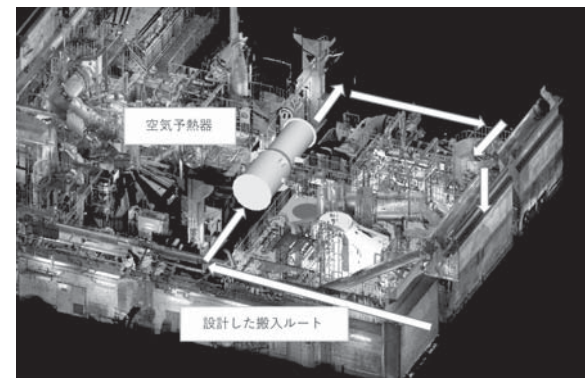


図6 空気予熱器搬入ルート
Fig.6 Air heatexchanger carry-in route

3 まとめ(結論)：全体として得られた結論、将来への展望等。

レーザースキャナによる3次元計測とは単に現場計測ツールをコンベックスから変更し効率化を図ったものではなく、現実空間である現場を仮想空間に取り込むことが真の目的である。仮想空間上に現場を再現し、そこに3D 技術を駆使しプラントを設計、建設、試運転を完了させ、完了したプラントを現実世界で再現(建設)するというデジタルツインの概念を実現するための技術の一つである。現在、当部ではプラント系3Dによる配管設計だけでなく、機器、架台の3D設計化も進めている。鋼板製消化槽を含む同一処理場内での複数PJでは3Dにて建設における重機配置検討も実施した。今後はテクノメントと協力しVRによる維持管理性の確認なども行っていく予定である。これにより設計のデジタルツイン化を進めている。

国土交通省では適用範囲が土木工事であるが3次元データを契約図書とする試行ガイドライン(案)が2019年に制定され、日本下水道事業団においても2017年より3次元モデルの利用についてテストが実施されている。今後、市場が3次元化、デジタル化を要求してくることは必須であり、当社プラント技術部においてもこれからの環境を見据えたプラント設計を進めていく。

4 謝辞

機材の購入、トレーニングや各種サポートとしてファロー・ジャパン株式会社殿、2000年代より3次元計測フォーラムに参加させていただき、さまざまな情報をいただいた合同会社スパーポイントリサーチ殿には厚く御礼を申し上げ、感謝の意を表します。

参考文献

- 国土交通省 i-Construction ホームページ
<https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html> (2020年9月現在)
- 国土交通省 i-Gesuidoの推進についてホームページ
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000603.html (2020年9月現在)

化粧品工業を支える高速攪拌技術

Application of high-speed mixers in cosmetic industry



高橋 唯仁
TAKAHASHI Tadashito
プライミックス株式会社
乳化分散技術研究所

Abstract

Cosmetic products are the mixtures of various types of ingredients in many formulations, which simultaneously require uniformity and long-term storage stability. Thus, in cosmetic industry, high level of dispersion and emulsification technique is necessary, and many types of high-speed mixers have been extensively used to improve the quality and stability of the products. This article describes the application of thin film spinning high-speed mixer Filmix (FM). As FM has been designed for nanometer-level particles and is characterized by uniform particle size distribution, it is considered a suitable tool for the cosmetic products. As expected, FM showed remarkable improvement in storage stability. In addition, a few examples of product quality improvement were observed, such as reduction in the surfactant amount during emulsification and UV light protection via the effective dispersion of TiO2 fine particles.

化粧品は、様々な成分を含み、その削形も多様であると同時に、均一性と長期の保存安定性が要求される。そのため、化粧品業界では高品質の製品を生み出すために特に高い乳化分散技術が要求され、その目的で様々な高速攪拌機が用いられており、その品質や安定性の向上に貢献している。本報では、薄膜旋回型高速攪拌機フィルミックス (FM) の化粧品への応用について述べる。FMはナノ粒子の分散に適した設計思想の下、粒度分布のシャープ化を特徴とするため、化粧品製造に適した機種の一つと考えられる。その結果、FMを用いることにより保存安定性が向上すると同時に、乳化における界面活性剤の減量化および微粒子酸化チタンの分散における紫外線防御効果の増加など、化粧品の品質の向上に攪拌機が寄与する事例が認められたので紹介する。

キーワード：高速攪拌、乳化、分散、化粧品、ナノ粒子、粒度分布、紫外線防御
Keyword: high speed mixer, emulsification, dispersion, cosmetics, particle size distribution, UV protection

1 はじめに

プライミックス株式会社は、1949年に国内最初ホモミキサーの製造販売を開始して以来、湿式高速攪拌装置のトップメーカーとして、幅広い産業分野の技術革新に寄与し社会に貢献してきた。その中で、特に化粧品産業の占める比率は非常に大きく、年度による変動はあるものの、近年の業界別売上実績では、50.4%（2018年度）、49.2%（2019年度）と2年連続して約半数を化粧品業界が占める結果となっている。このように、当社と化粧品業界は古くから非常に深いつながりがあり、とりわけ、高速攪拌機ホモミキサー、ホモディスパー、および複合型攪拌機アヂホモミキサー®、コンビミックス®は、化粧品の開発、製造に携わる者であれば、誰でも一度は使ったことがある定番機として業界に浸透している。

このような背景を踏まえ、本稿では当社技術の柱の一つである高速攪拌機を用いた乳化分散技術に関して、化粧品に関わる事例を中心に紹介する。

2 化粧品工業の特徴と技術的ニーズ

化粧品工業には、他の業種とは大きく異なるいくつかの特徴がある。一つは多成分系であること。化粧品には、水性原料、油性原料、粉末原料、増粘剤、保湿剤、薬剤、香料、添加剤などさまざまな成分が配合されており、その数は少ないもので数種類、多いものでは数十種類におよぶものもあり、これだけの原料を均一、安定に配合するためには高い乳化分散技術が要求される。加えて、化粧品には、ローション、乳液、クリーム、ジェル、スティック、ワックス、エアゾール、シート、ペンシルなどさまざまな削形が存在するほか、中には意図的に多層式にしている製品もある。そのため、処方最適化と同時に、その削形に見合った製造装置、攪拌装置の選択も重要なファクターとなる。さらに、最も特徴的なのは「多品種少量生産」である。中にはシャンプー、石けんなどのトイレタリー製品のように比較的大型バッチで生産される製品群もあるが、それでも他の化学工業などに見られるような大規模装置による大量生産の対極にあり、大部分の製品が小ロットで生産される。しかも製品

数が多いため、限られた生産ラインで複数の異なるアイテムを生産することが多い。これらの特徴を考慮に入れたとき、製造装置に求められる機能としては、多様な成分、削形に適合する優れた乳化、分散、混練機能と同時に、製品切り替え時の分解、洗浄、滅菌、乾燥、組立てなどの工程を効率的かつ簡便に行うこともまた考慮に入れる必要がある。

3 化粧品製造工程と製造装置

このように、化粧品製造には他の産業と異なる特徴があり、化粧品製造に使用される製造機器の種類もまた多様である。表1に削形別に用いられる攪拌機の分類を示す。機種選定にあたっては、粘度をは

表1 処理媒体の粘度別に使用される攪拌機の分類、使用目的とその作用 Table1 Summary of the mixers used in cosmetics classified by the viscosity of the products			
	粘度 ← 低 高 →		
削形	リキッド・ローション	クリーム・乳液・ゲル	スティック・ペースト・石けん
状態	液体	液体、半固体	半固体、固体
使用機器 (プライミックス 取扱製品)	低速攪拌機 (プロベラ翼、アンカー翼等)	高速攪拌機 低速攪拌機	ブラネタリーミキサー (リボン型、スパイラル型等)
使用機器 (その他)		高圧乳化機 超音波乳化機	ニーダー、メディアミル(ボールミル、ビーズミル)、ジェットミル、ロールミル、コロイドミル
主目的	混合、可溶化、均一化、熱交換	乳化、分散、解砕、熱交換	混合、分散、混練、分散、解砕、均一化
作用	マクロな液流動	局所的なせん断力、衝撃力、キャビテーション	攪拌力、摩擦力、衝撃力

じめとする必要な諸物性を十分に理解した上で、攪拌操作に必要な機能が局所的なせん断力なのか、全体的な液流動なのかを考えると同時に、生産量（生産個数、総量、時間当たりの量）、バッチ式あるいは連続式の選択などの諸要素が加わってくる。高速攪拌機の機種を選定するヒントとして、横軸にせん断力、縦軸に処理液の流動性をとった図1のような機種別のダイアグラムが参考になる。また、ワックス系の高粘

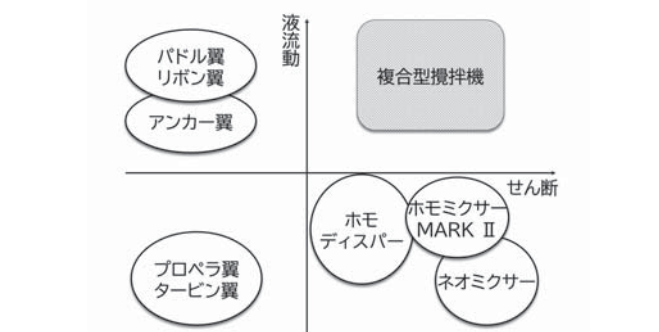


図1 液流動性とせん断力指標にした各攪拌機の位置付け
Fig.1 The diagram of high speed mixers indicated by the shear stress and liquid flow

度媒体に顔料粉末を高濃度で分散する必要がある製品、たとえばリップクリーム、口紅、ファンデーション、練り歯磨きなどには、当社オリジナルのひねりブレードを有し、混練機能に優れたブラネタリーミキサー・ハイビスミックス®、および複合型のハイビスディスパーミックスなどが

汎用されている。このように、当社では化粧品のさまざまな削形に対応できるラインナップがあると同時に、データのフィードバックから新しい攪拌部のデザインも積極的に行っている。

近年、ナノテクニーズに対応した機種として薄膜旋回型高速ミキサー、フィルミックス® (FM) が登場した。FMは、極めて均一かつ温和な条件での高速攪拌を実現し、低粘度流体から高粘度スラリーに至るまで、幅広い粘度領域に対応できる高速攪拌機である。本機は微粒化力、均質化力に優れ、微粒化と、粒度分布のシャープ化、すなわち粒子径のそろった微粒子分散物を得ることができるのが一つの特徴となっている。その内部構造を図2に示す。容器の内径より若干小さい

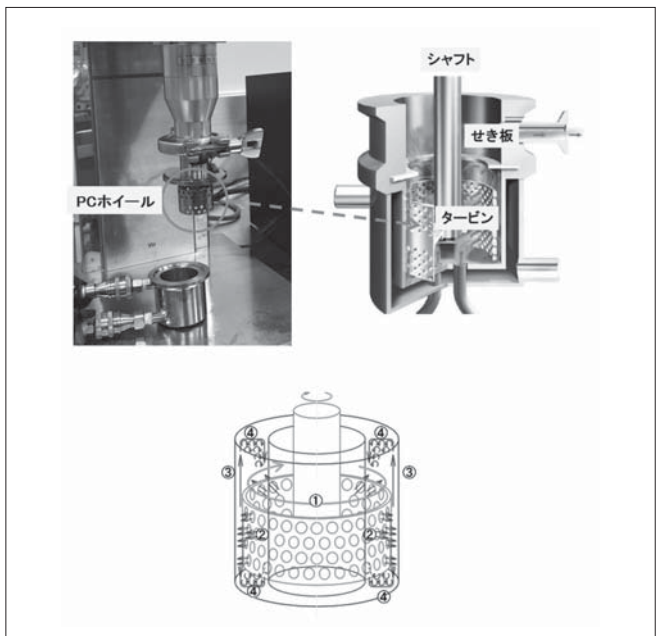


図2 薄膜旋回型ミキサー、フィルミックスの構造と攪拌原理
Fig.2 Structure and indicated liquid flow profile of thin-film spinning high speed mixer, Filmix®

径の攪拌部 (PC ホイール) が高速回転する構造になっており、処理液に遠心力を与え、壁面での循環流により粒子にせん断力を与えて分散するという攪拌原理である。大まかな流れのイメージは、①タービンと等速で回転する旋回流が、②高速回転より生ずる遠心力によりタービンの細孔から容器壁面への流れとなり、③壁面に衝突した液体は底面およびせき板方向への上下方向の流れを生じ、④この循環流によって生じる液膜上の速度差によってせん断力が発生し、乳化分散に寄与していると考えられる。FMは、すでにリチウムイオン電池の電極材作製に活用され、次世代の高性能電池製造に対する応用が検討されている¹⁻³⁾。一方で、O/W エマルションにおける液滴径の均一化^{4,5)}も確認されている。元来、FMはナノ粒子の微粒化および粒子デザインに適した機種として設計されており、粉体微粒子原料、あるいは微細な乳化粒子など、ナノサイズの粒子が原料として用いられる化粧品製造にも威力を発揮することが期待されている。

そこで本稿では、粒度分布のシャープ化にターゲットを絞り、高機能性化粧品に対応した乳化、分散に関するFMの活用事例について具体例を紹介する。

4 高速攪拌による機能向上の事例(乳化と微粒子分散)

2000年に米国クリントン大統領が国家ナノテクノロジーイニシアティブ(NNI)を提唱してから、ナノテクノロジーが俄然注目を集めるようになった。しかしながら、NNIからほぼ20年が経過したにもかかわらず、ナノテクの実用化は十分とは言えない。例えば微粒子分散系を例にとると、時に「粒子そのものは小さいはずだが、微粒子としての機能がなかなか発現しない」、あるいは「溶液やスラリー中で本来の機能が出ない」など、さまざまな問題に直面しているのが実情である。その理由の一つとして、素材そのものの開発が先行し、その加工技術にあまり目が向けられなかったことがあげられる。特にナノサイズの超微粒子は、全体の表面積が大きくなるため、トータルの界面自由エネルギーが過剰な状態にあるため、界面積をできるだけ小さくしようとする力が働き、極めて凝集しやすい性質をもつ。その結果、通常の顔料粉体に比べ、粒子径のばらつきによる不均一化、粒子の凝集による沈殿、あるいは自己組織化やネットワーク形成による、ゲル化などの好ましくない現象を引き起こし、微粒子のサイズ効果が全く再現できなくなる場合が少なくない。さらに、一次粒子径のサイズばかりに気を取られ、実際に機能するためには、粒度分布がそろっていることの重要性を見逃してきたことも理由の一つである。すなわち、実際に機能発現に効いてくるのは、粒子固有の一次粒子径の値より、むしろ組成物内で機能を発揮し得る至適な粒子径および粒度分布と考えるべきであって、実用的にはその条件にできるだけ近づけるための高い分散技術が要求される。

以上のような現状を踏まえ、FMを用いて粒度分布をシャープにすることにより微粒子の機能を効果的に引き出した事例を以下に紹介する。

4.1 乳化と高速攪拌技術

乳化は、多相系混合物を扱う上で非常に重要な技術である。特に化粧品では、適切な保存状態で性状及び品質が3年間変化しないという保存安定性が求められている。化粧品に消費期限が記載されていないのは3年の品質安定性が保証されているからである⁶⁾。従って、他の産業にも増して高い乳化技術が要求されるため、現在よく用いられる乳化法は、化粧品メーカーの研究員により開発されたものが非常に多い⁷⁻¹¹⁾。しかしながら、乳化物は熱力学的には準安定状態であり、平衡論的には乳化状態は必ず崩壊して二相分離の方向に進む。それは水相と油相の間には、常に界面張力が存在しエネルギー過剰な状態にあるためである。従って、乳化系には、界面張力によって生ずるエネルギー障壁をより小さくするための乳化剤(界面活性剤や両親媒性高分子など)と、エネルギー障壁を超える動力を与えるための攪拌操作の両立が必要であり、攪拌機の性能もまた良い乳化物を得る条件の一つである。

図3に、乳化崩壊のパターンを示す。乳化物の崩壊過程は大きく分けて、①乳化粒子が浮上、または沈降するクリーミング、②乳化粒子同士が付着して集合体を形成する凝集、③乳化粒子が合体して成長する合一があり、最終的に水相、油相の二相に分離する。

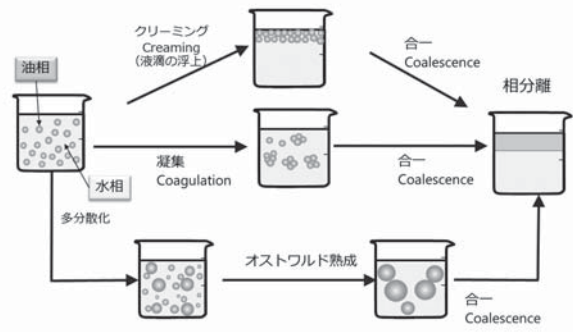


図3 乳化物の崩壊過程
Fig.3 Processes of emulsion disruption

乳化および分散系において、乳化粒子径を r 、連続相と分散相の密度差を $\Delta\rho$ 、粘度を η としたとき、乳化粒子の浮上(または沈降)速度 v は、下記Stokes式により表される。

$$v = \frac{2r^2\Delta\rho g}{9\eta} \quad (1)$$

クリーミングはStokes式において、浮上速度 v が大きい場合にあたる。すなわち、粘性がほとんどない系では、同一処方の乳化系の安定性は粒子径の二乗に比例し、その値が小さいほど、浮上速度が小さくなり、クリーミングを起こしにくくなる。

また、安定な乳化系を形成するには、乳化粒子が小さいことばかりでなく、その粒子径がそろっていることも重要なファクターとなる。乳化粒子径にばらつきがある場合は粒子が成長しやすくなることが知られており、その現象は、油相の飽和溶解度を S_0 、粒子径 r の乳化粒子の溶解度を S 、界面張力を γ 、分子量を M 、密度を ρ としたとき、次に示すKelvin式で説明することができる。

$$\ln \frac{S}{S_0} = \frac{2\gamma M}{r\rho RT} \quad (2)$$

すなわち、連続相に対する分散相の溶解度はゼロではないため、粒子の大きさ(曲率)の違いにより、溶解度に差が生じ、小さな液滴の方が溶解しやすく、その結果過飽和状態になった分散相が大きな液滴に取り込まれる。この現象をオストワルド熟成(Ostwald ripening)という。液滴の粒度分布にばらつきがある場合は、この小粒子から大粒子への拡散が盛んになるため、大きな液滴はより大きくなり、水相から分離しやすくなるため、二相分離が促進される。

乳化の崩壊と粒度分布との関係を明らかにするために、典型的な水中油型(o/w)乳化物である牛乳を3種類用意し、しばらくたてのノンホモ牛乳2種と、ホモジナイズ処理された加工乳の安定性を比較した(図4)。

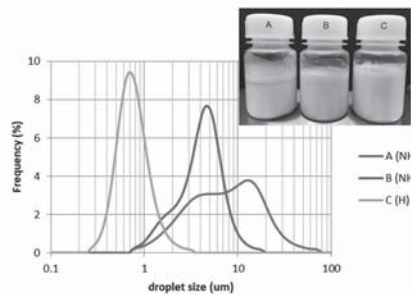


図4 ホモ牛乳とノンホモ牛乳における乳化粒子径の分布と安定性の比較
Fig.4 Comparison of the droplet size distribution and stability between homogenized and non-homogenized milk.

サンプルA、Bはノンホモ牛乳、Cはホモ牛乳である。まず、BとCの粒度分布を比較してみると、Cはホモジナイズ処理により粒子径が非常に細かくなっているのに対し、Bの粒子径は大きく、Cが均一状態を保っているのに対しBではクリーミング現象が起こっているのがわかる。さらにAの場合、粒度分布が非常にブロードなパターンを示しているため、クリーミングに加えてオストワルド熟成が生じていると考えられ、油相が分離して表面に油の層を形成している。このように、粒度分布は乳化物の安定性に対して大きな影響を与え、微細な乳化粒子を安定に保つためには、粒度分布のシャープ化が必要であることがわかる。

このような事実を踏まえ、筆者らは高速攪拌機による乳化粒子径のコントロールが乳化物の安定化に寄与すると考え、クリーミングしやすい比重の軽い油分($\rho=0.85$)を用いて、油相濃度2%の単純な水中油型(O/W)乳化系の安定化を検討した。まず、FMと、汎用機であるホモミキサーMARK II(MII)を用いて粒度分布と安定性との相関を調べた結果を図5に示す。FM、MIIとも、攪拌速度に依存して非常に

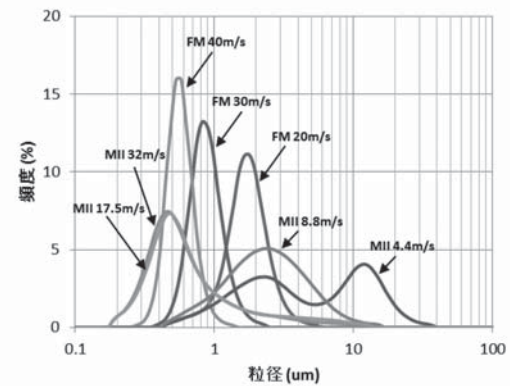


図5 FMとMIIにおける乳化粒子径の分布。油相(比重0.85)2%、乳化剤1%、水相97%
Fig.5 Droplet size distributions of the emulsions prepared using FM and MII at different peripheral speeds.

微細な乳化粒子を生じ、いずれの場合も平均粒子径がサブミクロン領域になることによりクリーミング抑制効果が認められ、FMを用いた場合、よりシャープな粒度分布となった。さらに、乳化剤濃度を変化させてその平均粒子径を調べたところ、FMを用いることによって、安定化のために必要な乳化剤量を減量化できることが分かった。(図6)。化粧品では、

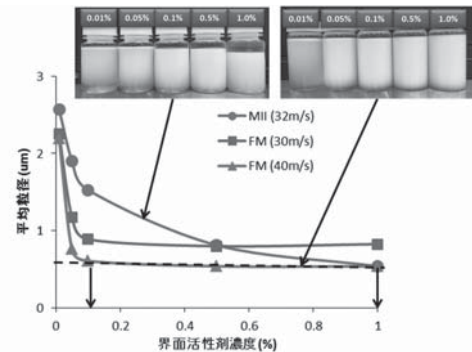


図6 界面活性剤(乳化剤)濃度と平均粒子径(D50)の関係。FMを用いることにより、低濃度の乳化剤で微細な乳化粒子が得られ、クリーミングが抑制される。
Fig.6 The correlation between the surfactant concentration and the average droplet size (D50). FM provides stable emulsion with smaller amount of surfactant.

皮膚への影響が懸念されるため、乳化剤フリー乳化に対する消費者のニーズは高い。少なくとも長期の保存安定性が要求される化粧品において界面活性剤を完全に除くことは不可能であるが、この結果のように、機種を選択によって、乳化剤の減量化が可能であるというのは非常に興味深い結果である。

4.2 紫外線防御と高速攪拌技術(ナノ粒子の分散)

次に、微粒子酸化チタンの分散を例にして、FMのナノ粒子分散効果について述べる。酸化チタンは、化粧品原料として汎用される原料であり、隠ぺい力の高い白色顔料用グレード(一次粒子径100~500nm)、および紫外線散乱効果の高い微粒子酸化チタングレード(同5~50nm)に分類され、いずれもサブミクロン領域の微細な粒子が用いられる。これらの中で、紫外線散乱用に用いられる微粒子酸化チタンは、一次粒子径が、いわゆるナノ粒子の領域にあるため特に凝集しやすい性質を持ち、通常の顔料粉体に比べ分散が困難である。このような粒子の分散には、表面処理により連続相へのぬれ性や粒子同士の斥力を向上させるという、化学的なアプローチと同時に、機械的エネルギーを加える解凝集工程もまた重要である。

ナノ粒子の分散という課題にもFMは有効である。図7は、FMの周速を変えて高速攪拌処理したときの分散安定性を比較したものである。

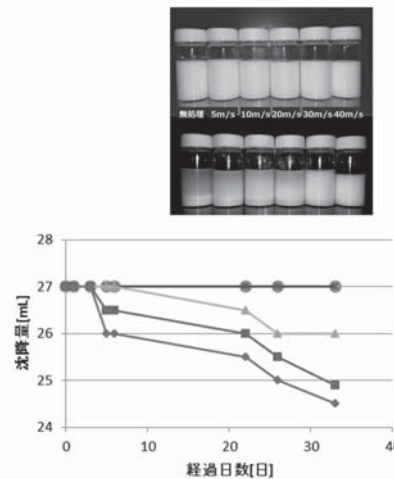


図7 周速を変えて高速攪拌処理した酸化チタン分散物調製1か月後の外観写真と、メシリンダー法による経時安定性の評価。濃厚相の高さを沈降した量とした。図中に攪拌時の周速を示す。
Fig.7 The sedimentation profile and the effect of peripheral speed on the sedimentation volume of TiO₂ dispersion stored at room temperature.

図に示すとおり、高速でFM処理することにより、明らかに微粒子酸化チタンの分散安定性が向上した。実際にメシリンダー法を用いて、沈降体積の経時変化をプロットしたところ、図に示すように高速で攪拌することにより、明らかな分散安定性の向上が認められた。これは粒子が解凝集されて粒度分布がシャープになったことより、Stokes式(1)における沈降速度 v が小さくなったためと考えられる。

ナノ粒子の粒度分布のシャープ化は、その保存安定性ばかりでなく、さまざまな物性に影響を与えることが知られている。その一例として、日焼け止め化粧品に表示されるSPF(sun protection factor)を指標として、分散性の向上が紫外線遮蔽効果に寄与した事例を紹介する。

サンスクリーン化粧品は、微粒子酸化チタンや微粒子酸化亜鉛のような無機系の紫外線散乱剤と、特定波長の紫外線を吸収する有機系の紫外線吸収剤が配合されている。ところが、有機系の紫外線吸収剤は敏感肌や子供の皮膚に刺激を与えることがあるため、近年では、紫外線吸収剤を含まないノンケミカル品が好まれるようになり、無機系の紫外線散乱剤の効果をより引き出す処方開発が求められている。筆者らは、可視光散乱における減衰係数が粒度分布と相関があることをすでに報告しており¹²⁾、紫外線遮蔽効果もまた、粒子の分散状態に依存することが予想された。そこで、実際の製品系での紫外線遮蔽効果を確認するために、FMまたはMIIを用いて、周速を変えて微粒子酸化チタンの分散物を予め調製し、それを含む表2のような処方のクリーム状のサンスクリーン製剤のSPFを、SPFアナライザーを用いて評

表2 SPF測定用サンプルの成分と配合量。
Composition A: O/W, Composition B: W/O
Table2 Formulations of the test samples for SPF measurement

Ingredients	Composition A (%)	Composition B (%)
Liquid paraffin		45
Dimethicone	10	
Stearic acid	2	
Stearyl alcohol	2	
Distearyldimonium hectorite		1.5
Carboxymethyl Cellulose	0.4	
PEG-10 dimethicone		2
PEG-hydrogenated castor oil	1	
1,3-BG	10	5
Titanium oxide	(hydrophilic) 5	(hydrophobic) 5
Dionized water	up to 100	up to 100

価し、微粒子分散時の周速との相関を調べた。その結果を図8に示す。この場合も微粒子分散時の周速とSPF値に良い相関関係が認め

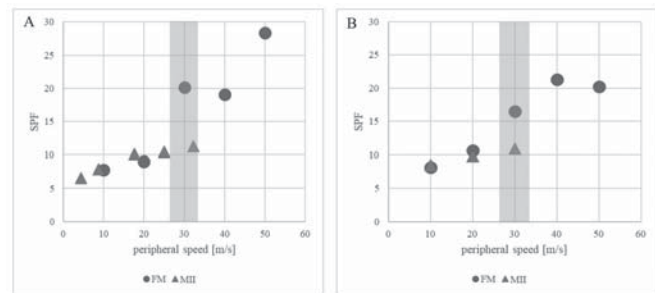


図8 微粒子酸化チタン分散時の周速とSPFとの関係。
A) O/W クリーム、B)W/O クリーム

Fig.8 SPF values of (A) o/w and (B) w/o sunscreen creams prepared using premixed TiO₂ dispersion. Shaded sections indicate the critical rotor speed area for the drastic increase. Two-way arrows represent the difference in SPF value at the critical speed.

られ、酸化チタンの分散性が紫外線遮蔽効果につながるということがわかった。さらに興味深いことに、FMとMIIを比較した場合、低速領域ではほとんどSPF値に差がなかったのに対し、分散にFMを用いた場合、周速が30m/sを超える領域でSPF値の急激な増加が認められ、しかもクリーム製剤がO/W、W/Oにかかわらず、全く同じ結果であった。この急激な変化については現在さまざまな角度から解析中であるが、おそらく、25m/s付近を境に、処理液の流動性に急激な変化が起こり、微粒子

の分散が促進されたためと予想された。この現象については、現在その流動特性の詳細な検討を行っている。

5 まとめと今後の課題

以上、本稿では化粧品工業に絞り、技術的ニーズと高速攪拌機の寄与について述べた。特に乳化分散系では、平均粒子径ばかりでなく、その粒度分布にも注目すべきであり、そのための攪拌工程の選択もまた重要なファクターであることが示された。今回の事例も含め、化粧品製造における製造装置の側から取り組むべき課題として、次のような項目があげられる。

- 攪拌方法による機能向上、または新しい使用感触(テクスチャー)の追求。ナノ粒子などの高機能素材の性能を引き出す分散技術の開発。
 - 界面活性剤フリー、ノンケミカル、オーガニック志向など、変化する消費者ニーズへの対応。
 - 時間、エネルギーなど、多方面のコスト削減。例えば、増粘剤の溶解工程の短縮。低温調製を可能にする攪拌工程の効率化。
 - 製品切り替え頻度が高いことに対応する洗浄工程の効率化
 - 生産の自動化、IoT化、リモート化など、時代が求めるニーズへの対応。
- 筆者らは、これらの課題に対して、既存の攪拌機の活用、データからのフィードバックによる既存装置の改良と新規攪拌装置のデザイン、およびそのプロセス化の検討を継続的に行っている。

当社乳化分散技術研究所[®]は、高速攪拌技術を含む生産プロセスの更なるイノベーションを目的として1998年に設立され、攪拌機および乳化分散技術のパイオニアとして今日まで数多くの経験とデータを蓄積してきた。これらのデータを活かしたプライミクスのミキシング理論をプライミクソロジー(Primixology)と呼び、化粧品工業のみならず、高付加価値製品を創出する各産業に対し、技術情報発信、来社テスト(Primixology Challenge)、および共同研究を通じて社会に貢献してきた。今後も高速攪拌技術の活用をベースにしながら、製造工程トータルのプロセスエンジニアリングとして、各産業の「作り方改革」に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 大島積、コンバーテック、36、76-79 (2008)
- 2) 大島積、粉体技術、5、423-430 (2016)
- 3) M. Kawakubo, M. Matsui, S. Ishikawa, A. Hirano, O. Yamamoto, Y. Takeda and N. Imanishi: Electrochemistry, 82, 642-646 (2014)
- 4) Y. Nagai, A. Asa, K. Ishizu, J. Cosmet. Chem. Jpn 39, 26-30 (2005)
- 5) A. Shundo, J. Cosmet. Chem. Jpn., 42, 30-35 (2008)
- 6) 昭和 55年 10月 9日付薬発第 1330号
- 7) 特開昭51-55783公報 (1976)。
- 8) Toshiyuki Suzuki, Hiroko Takei, Seiji Yamazaki, J. Colloid Interface Sci., 129, 491-500 (1989)
- 9) Hiromichi Sagitani, J. Am. Oil Chem. Soc., 58, 738-743 (1981)
- 10) 鷲谷広道、服部孝男、鍋田一男、永井昌義、日化誌、1399-1404 (1983)
- 11) 山口道広、熊野可丸、戸辺信二、油化学、40, 491-496 (1990)
- 12) Tadahito Takahashi, Hiroaki Miyamoto, Takahiro Kono, Hiroki Gonome, Jun Yamada, Akihito Shundo, J. Soc. Cosmet. Chem., 51, 142-146 (2017)

TM オートストレーナ[®]の導入/実証試験考課について

Evaluation of TM auto-strainer installation and demonstration test



日諸 銀之輔
HIMORO Ginno
エンジニアリング本部
プラント技術部
プラント技術課

萩 龍太郎
HAGI Ryutaro
エンジニアリング本部
プラント技術部
プラント技術課

Abstract

In some facilities, such as sewage treatment plants, recycled sewage water with a flow rate and stable quality is used for various purposes. In contrast, recycled water causes nozzles and strainers (20-60 mesh) to clog because of suspended solid (SS) contained in water. Therefore, we requested the TM auto-strainer to stabilize the function of the facilities and make the maintenance easier. Some installation cases are shown below.

流量および水質が安定している下水再生水は、污水处理設備の用水等さまざまな用途へ活用されている。一方、下水再生水のSS(Suspended solids:不溶性物質)等が増加することにより、洗浄ノズルやストレーナ(20～60mesh)が目詰まり、様々な施設機能の障害および維持管理負荷の増大が問題となっている。そこで、これらの対策として、下水再生水の有効利用に特化したTMオートストレーナ[®](以下 本装置)を開発し、施設機能の安定化および維持管理負荷の削減を実現した。

以下にその導入事例を紹介する。

キーワード：下水再生水の有効利用／施設機能の安定化
Keyword: Effective use of reclaimed water / stabilizing the function of the facilities

1 はじめに

流量および水質が安定している下水再生水は、污水处理設備の用水等さまざまな用途へ活用されている。一方、下水再生水のSS(Suspended solids:不溶性物質)等が増加することにより、洗浄ノズルやストレーナ(20～60mesh)が目詰まりし、さまざまな施設機能の障害および維持管理負荷の増大が問題となっている。そこで、これらの対策として、下水再生水の有効利用に特化したTMオートストレーナ[®](以下 本装置)を開発し、施設機能の安定化および維持管理負荷の削減を実現した。

以下にその導入事例を紹介する。

Recycled sewage water the flow rate and quality are stable is used for various purposes in some facilities such as sewage treatment plants. On the other hands, recycled water causes nozzles and strainers(20-60mesh) clogging because of SS (Suspended Solid) included the water. Therefore, we invited TM auto-strainer that could make the function of the facilities stabilized and the maintenance easier. Some installation cases are shown below.

2 目詰り要因と対策

洗浄ノズルやストレーナに目詰りするSS分の特性を①②に記す。

- ①生物皮膜(図1) 下水再生水に含まれる細菌は速い流速でも付着しやすく、ろ過面に付着後、分泌する粘液に有機物や砂等の無機物が付着成長する。
- ②ストレーナの間隙が後生生物(サカマキガイ、イトミミズ、ミズムシ等)によって目詰まる。

また、生物皮膜に後生生物類の卵等が付着し、孵化、成長する。(図2)

①②によって閉塞付着したSS類が、常時圧入され続けることにより目詰まり量が増加して洗浄し難くなることから、初期の閉塞段階で効果的に洗浄することが重要となる。

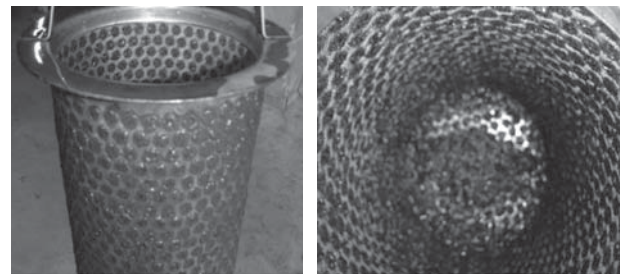


図1 生物皮膜による閉塞 (Y型ストレーナ スクリーン 40mesh)
Fig.1 Blockage by biofilm (screen of Y-type strainer 40 mesh)

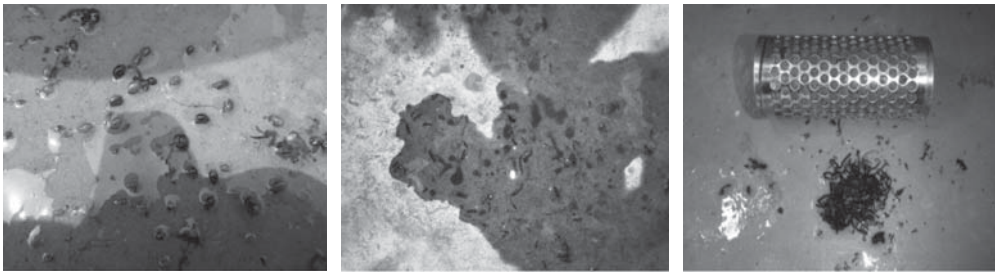


図2 後生生物 左：サカマキガイ 中：ミズムシ 右：イトミミズ
Fig.2 Metazoa that blocks screen (left: Pond Snail, center: Corixidae, right:Tubifex)

3 TM オートストレーナ®の特徴

本装置はベルヌーイの定理を利用したオートストレーナである。
まず、圧送された原液(0.2MPa以上)を装置内に固定した円筒スクリーンの内側から外側へ通過させることでろ過を行う。通常ろ過時は、円筒スクリーン下部ではろ過水の一部が自己洗浄することで、捕捉したSS類が円筒スクリーン内部の上部側から閉塞される。(図3)上部側にSS類が堆積すると、下部に向かって断続的にSS類が堆積し圧力損失が増加する。設定された圧力損失値(1～20kPa)の超過、または設定洗浄時間(60分)で洗浄工程を開始する。

洗浄工程 開始：第1段階：排水バルブが全開し、円筒内部に堆積したSS類が、原液の一部と一緒に系外に排出され、比較的容易に剥離するSS類が主である。(図4)洗浄工程 第2段階：エアーシリンダ先端に付属する洗浄円盤が、円筒スクリーンと非接触の状態で、円筒スクリーン内部を2/3の深さまで2回往復する。(図5)その際、洗浄円盤と円筒スクリーンの隙間部において、流体の流れが絞られることで、円筒スクリーン外側からの吸引効果によりバックフラッシュ(図6)が発生し、第1段階で残存したSS類を剥離する。

洗浄工程 完了：排水バルブが全閉となり、通常ろ過となる。



図3 通常ろ過時
Fig.3 Before cleaning process

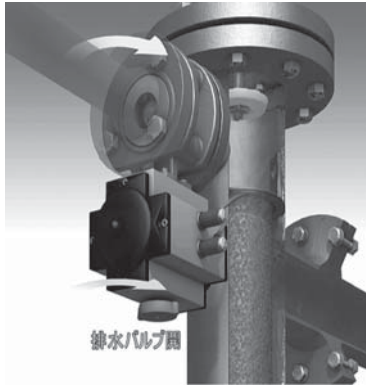


図4 洗浄工程 第1段階
Fig.4 First process of cleaning

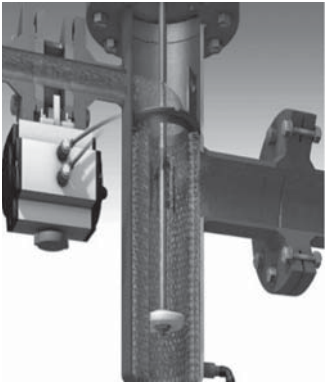


図5 洗浄工程 第2段階
Fig.5 Second process of cleaning

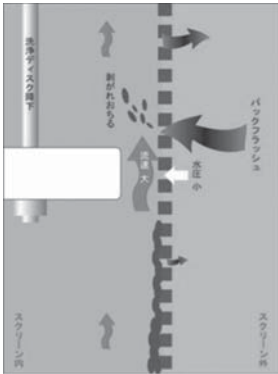


図6 洗浄工程 第2段階
Fig.6 Second process of cleaning

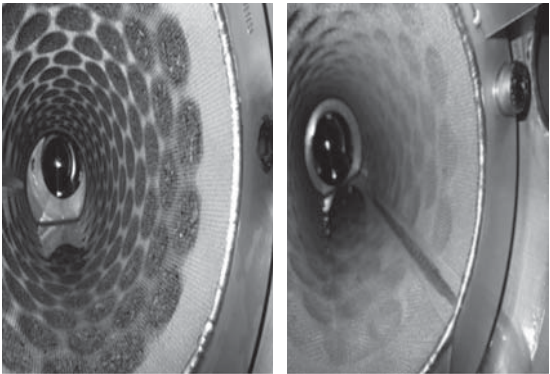


図7 洗浄工程 前後 左：洗浄前 右：洗浄後
Fig.7 After cleaning process (left: before, right: after)

なお、本装置は、電源(100V)と圧縮空気(0.5MPa以上)にて作動可能であり導入検討(複式ストレーナ入替)がしやすいことや、構造を簡素化することで部品点数を少なく、現地維持管理にて保守点検および部品交換が容易な装置としているのも特徴の一つである。

4 導入事例について

①脱水機用の洗浄ノズル閉塞対策

ベルトプレス脱水機や金属ろ材脱水機において、洗浄ノズルの閉塞(図8・9参照)は脱水機ろ過面の洗浄不足となり、脱水性能低下に大きく影響する。洗浄ノズルの閉塞を抑制するためには、前段に設置された目幅の狭いストレーナ(最低80mesh推奨)ほど改善されていくが、手動ストレーナの場合は目詰り頻度が多くなり、脱水性能低下および維持管理負荷増大につながる問題がある。現状、脱水機前段には40～60meshの手動ストレーナを設置してこれらの問題の抑制化を図っているが、脱水性能低下や洗浄流量変動等を確認してから復旧するため、対応が後手にまわる傾向にあった。そこで、洗浄ノズルの閉塞抑制および維持管理負荷削減を目的に、本装置を既存ストレーナに入替した結果を表1に記す。ベルトプレス脱水機では、洗浄ノズルの閉塞が解消され貫通洗浄が維持できること

により、脱水ケーキの剥離安定化(SS回収率向上)と、前段ストレーナの切替・復旧作業の維持管理負荷削減を実現した。スクリーンレス脱水機でも同様に洗浄ノズルの閉塞が解消され、ろ過面の洗浄が効果的に維持できたことにより、維持管理負荷削減および脱水性能の安定化(図10)を実現した。

②焼却設備 ストレーナ閉塞対策

焼却設備において、用水量や質の低下は、冷却水配管閉塞による機器損傷リスク増加および設備停止(インターロック)を発生させ、その復旧作業や設備安定運転への支障等に大きく影響を及ぼしている。そこで、本装置を導入した結果、用水性状悪化においてもこれらの不具合が解消され、維持管理負荷の削減および焼却設備の安定運転化を図ることが確認できた。(表2)

5 今後の予定

下水再生水の利用は、循環型社会への取り組みや、水資源の有効利用に大きく貢献できるものであり、今後も大きく広がるものと考えている。今後は、さらなる性能向上を図り、維持管理負荷の削減および水資源の有効利用に取り組んでいきたいと考える。

表1 導入効果1
Table1 Effect after installation

脱水機	現状 維持管理洗浄頻度	再生水 性状	導入装置 ※6ヶ月	脱水性能
ベルトプレス 洗浄時期 ：運転中連続	40mesh 複式ストレーナ 切替 7 日/1 回 清掃時間：20 分/1 回 ノズル清掃：1 ヶ月 1 回 清掃時間：60 分/1 回	砂ろ過水 60m ³ /h 0.6MPa	80mesh 本体分解洗浄 3 ヶ月/回 清掃時間：30 分/1 回 洗浄ノズル：清掃無	剥離安定化
年間清掃時間	導入前		導入後	
ストレーナ	17.3 時間		2 時間	
ノズル	12 時間		0 時間	
導入効果	年間で費やした清掃時間の 93%（27.3 時間）削減			
スクリーンレス 脱水機 洗浄時期 ：6H に 1 回 30min	60mesh 複式ストレーナ 切替 3 日/1 回 清掃時間：20 分/1 回 ノズル清掃：3 ヶ月 1 回 清掃時間：240 分/1 回	砂ろ過水 80m ³ /h 0.5MPa	100mesh 本体分解洗浄 3 ヶ月/回 清掃時間：30 分/1 回 洗浄ノズル：清掃無	含水率安定化 図 10 参照
年間清掃時間	導入前		導入後	
ストレーナ	40.6 時間		2 時間	
ノズル	16 時間		0 時間	
導入効果	年間で費やした清掃時間の 96%（54.6 時間）削減			

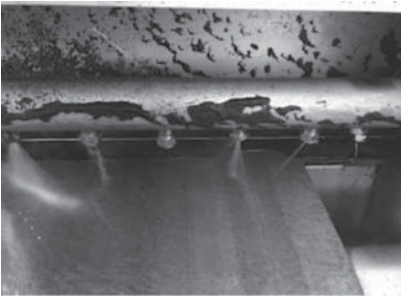


図8 洗浄ノズル閉塞
Fig.8 Blocked nozzle

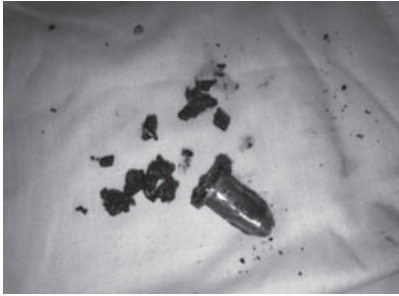


図9 閉塞物
Fig.9 Objects that blocked nozzle

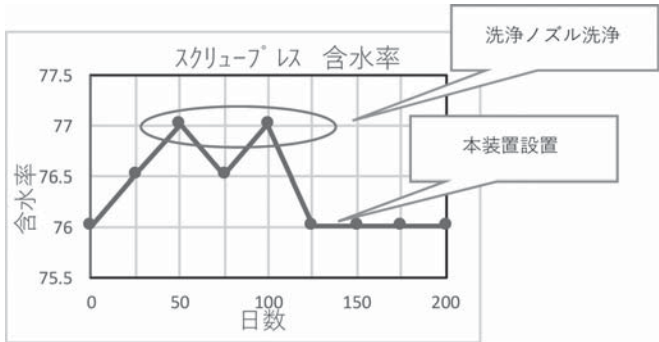


図10 スクリュープレス脱水機
Fig.10 Water content of cake after dewatering screw press

表2 導入効果2
Table2 Effect after installation

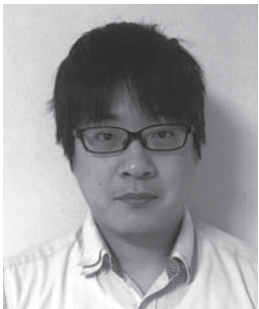
焼却炉	現状	維持管理	洗浄頻度	用水性状	導入装置 ＊6ヶ月	備考
炭化炉 用水受入部 65A	60mesh U型ストレーナ 切替1日4～6回 清掃時間：30分程度 ※水質悪い			砂ろ過水 60m ³ /h 0.2MPa	80mesh 本体分解洗浄 1～3ヶ月 1回 清掃時間：30分/1回	維持管理負荷 大幅削減
年間清掃時間 導入前	912.5時間			導入後	6時間	
導入効果		年間で費やした清掃時間の99%（906.5時間）削減				

実績紹介

- 1 市原市松ヶ島終末処理場における下水汚泥固形燃料化事業
- 2 新河岸川水循環センターにおける創エネ炉受注実績
- 3 大村市向け 濃縮分離型ベルトプレス脱水機の受注

市原市松ヶ島終末処理場における 下水汚泥固形燃料化事業

*Sewage sludge fuel conversion business
at the Matsugashima Terminal Treatment Plant in Ichihara City*



服部 賢
HATTORI Ken
水環境事業本部
ソリューション技術部
新事業グループ

Abstract

In March 2020, the Tsukishima Kikai (TSK) Group signed a basic contract with Ichihara City for the sewage sludge fuel conversion business at the Matsugashima Terminal Treatment Plant.

This business will be carried out using the Design Build Operate (DBO) method. Construction work will be conducted by a joint venture (JV) consisting of Ueno Industrial Co., Ltd. The maintenance and operations for 20 years will be conducted by a special purpose company (SPC) established by investing with Tesco Co., Ltd.

The fuel conversion system applied in this business is a circulated flush drying system, which is the first order received by TSK.

The sewage sludge fuel produced in this business will be used as a coal alternative fuel.

月島機械グループは2020年3月に市原市と松ヶ島終末処理場下水汚泥固形燃料化事業（以下、本事業）の基本契約を締結した。本事業はDBO（Design Build Operate）方式で、建設工事は（株）上野工業所と共同企業体（JV）を構成し、20年間の維持管理運営はテスコ（株）と当社で出資して設立する特別目的会社（SPC）にて業務を行う。

本事業で採用する固形燃料化方式は円環式気流乾燥方式であり、当社として円環式気流乾燥機の初受注案件となる。固形燃料化施設で製造した燃料化物は、石炭代替燃料として有効利用する。

キーワード：市原市、下水汚泥燃料化、円乾式気流乾燥機
Keyword：Ichihara City, sewage sludge fuel conversion, circulated flush dryer

1 はじめに

市原市には3つの終末処理場があり、現在は松ヶ島終末処理場において、他2終末処理場の汚泥を集約して焼却処理をしている。老朽化した焼却炉の更新にあたり、市原市では松ヶ島終末処理場で下水汚泥固形燃料化事業を実施する方針を固めた。2018年12月に本事業の実施方針を公表し、2019年12月に優先交渉権者として当社グループが選定され、2020年3月に基本契約を締結した。

固形燃料化技術には、下水道革新的技術実証事業（B-DASH）で実証した円環式気流乾燥機を採用しており、本事業が円環式気流乾燥機の初号機案件となる。

また本事業はDBO方式であり、固形燃料化施設の新設工事に加え、同施設および既存汚泥処理施設の20年間の維持管理運営を含んだ事業である。

本稿では、本事業の概要および固形燃料化施設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 DBO
- (2) 期間 設計・建設 3年
維持管理運営 20年
- (3) 範囲 固形燃料化施設の設計、建設
固形燃料化施設の維持管理運営
既存汚泥処理施設の維持管理運営

2.2 設計建設期間（2020年3月～2023年3月）

設計建設期間においては、市内企業である（株）上野工業所と建設JVを構成して建設を行う。

2.3 維持管理運営期間（2023年4月～2043年3月）

維持管理運営期間では、テスコ（株）と出資して設立するSPCにて事業運営を行う。当社がSPCの代表企業としてSPCマネジメントや固形燃料化物の売買を行い、テスコ（株）が維持管理運営マネジメントを行う。

3 固形燃料化施設

3.1 固形燃料化施設概要

- (1) 処理方式 円環式気流乾燥方式
- (2) 施設能力 29.25t-wet /日×2系

3.2 円環式気流乾燥機の特長

円環式気流乾燥機は、円環状の乾燥機に熱風を供給して脱水汚泥を乾燥する方式であり、図2に示すよう駆動部のない非常にシンプルな構造となっている。乾燥機に供給された脱水汚泥は円環内を循環することで乾燥が進み、相対的に比重が小さくなったものから排出される。

乾燥汚泥の含水率は、乾燥機に供給する熱風温度を調整することにより、10～50%程度に調整することが可能であり、乾燥汚泥の用途に応じて任意に設定することができる。本事業においては、石炭代替燃料として乾燥汚泥を有効利用することから、乾燥汚泥の含水率は20%程度としている。

3.3 固形燃料化施設の概略フロー

概略フローについて図3に示す。脱水汚泥は円環式気流乾燥機により乾燥し、乾燥排ガスとともにサイクロンに搬送され、固気分離される。固気分離された乾燥汚泥は、乾燥汚泥ホップで一時貯留された後、有効利用先で利用される。

サイクロンで固気分離された乾燥排ガスは循環利用され、熱風炉で加熱して乾燥熱源として乾燥機に供給される。乾燥排ガスの一部はスクラバに供給され、除塵・除湿される。スクラバ排ガスは、脱臭炉において燃焼脱臭されて大気開放される。この際、脱臭炉の前段に設置した熱交換器において、脱臭炉排ガスによりスクラバ排ガスを予熱することで燃費低減を図っている。

4 おわりに

下水道法改正により下水汚泥を肥料または燃料化することが努力義務となっており、気流乾燥機はそのニーズに合致した装置である。本事業では市原市で発生する下水汚泥全量を有効利用するとともに、本事業を通じて全国の自治体へPRしていくことで、国内の下水汚泥有効利用推進に努めていく所存である。

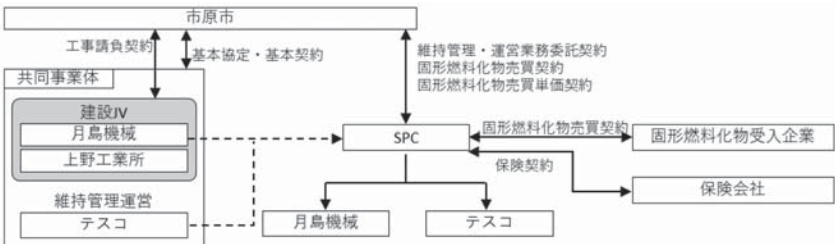


図1 事業運営体制
Fig.1 Business management system

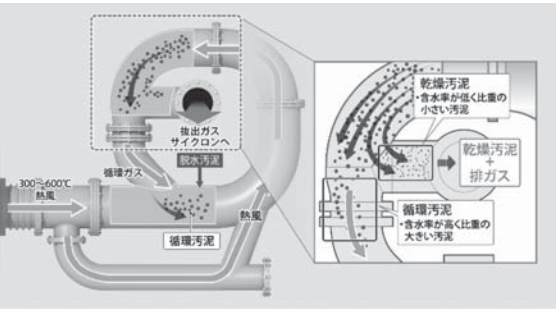


図2 円環式気流乾燥機の構造
Fig.2 Construction of circulated flush dryer

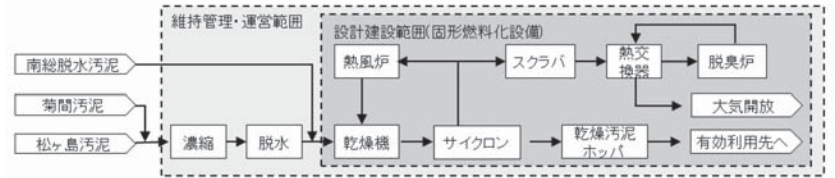


図3 固形燃料化設備の概略フロー
Fig.3 System flow of the sewage sludge fuel conversion plant

新河岸川水循環センターにおける創エネ炉受注実績

Energy generation incineration plant for the Shingashigawa Water Circulation Center

Abstract

Saitama Prefecture formulated “The stop global warming, Saitama navigation 2050” and ”Saitama Prefecture global warming strategy action plan”, which promote the reduction of greenhouse gas (GHG) emissions. TSUKISHIMA KIKAI Co., LTD. (TSK) received the order of incineration plant construction for the Shingashigawa water circulation center in Saitama Prefecture from Japan Sewage Works Agency. TSK will construct an incineration plant that combines a pressurized fluidized bed incinerator with a waste heat boiler and a generator. This system will achieve less environmental burdens and will be more energy-efficient than conventional systems. This construction will contribute to the reduction in GHG emissions under the Saitama Prefecture policy. This article introduces an energy generation incinerator plant for the Shingashigawa Water Circulation Center.

埼玉県では「ストップ温暖化・埼玉ナビゲーション2050」及び「ストップ温暖化・埼玉県庁率先実行プラン」を策定し温暖化対策を促進している。月島機械株式会社は、日本下水道事業団から埼玉県新河岸川水循環センター向け焼却設備工事を受注した。本工事では、省エネ性能の高い過給式流動炉に廃熱ボイラと発電機を付帯させることで、さらなる環境負荷の低減とエネルギー効率化を図った焼却設備を納める。これにより埼玉県の施策に貢献するものである。新河岸川水循環センターに納入予定の創エネ炉について紹介するものである。

キーワード：埼玉県、日本下水道事業団、過給式流動炉、創エネ、発電
Keyword：Saitama Prefecture, Japan Sewage Works Agency, PFBI, Energy generation, Generator

1 はじめに

埼玉県では「ストップ温暖化・埼玉ナビゲーション2050」および「ストップ温暖化・埼玉県庁率先実行プラン」を策定し温暖化対策を促進している。これを受け、県下水道局では、下水道施設を対象とした「流域下水道地球温暖化対策実行計画」を策定し、埼玉県の温室効果ガス排出量の削減に大きく寄与してきた。今後、さらなる地球温暖化対策の促進および低炭素社会の実現を目指すには、新技術導入による温室効果ガス排出量のさらなる削減を考慮していく必要がある。そのため今回の汚泥焼却設備改築にあたっては、省エネルギーに加え、

焼却炉の廃熱発電による創エネ型プロセスを採用した新2号汚泥焼却設備を建設することとなった。

対して近年下水処理場でのバイオマス利用、創エネルギー、発電需要の高まりを受け、当社では省エネ性能に優れた次世代型下水汚泥焼却システムである「過給式流動炉」を開発し、多数の下水処理場に納め、省エネ・地球温暖化防止に貢献してきた。本工事では低炭素、省エネルギーを実現可能な従来の過給式流動炉をベースに廃熱発電設備を付帯させることで、さらなる環境負荷の低減とエネルギー効率化を図った創エネ型プロセスを採用した焼却設備を納める。

2 システム概要

2.1 工事概要

新河岸川水循環センターの汚泥焼却設備は、2号焼却炉が昭和63年、3号焼却炉が平成6年、4号焼却炉が平成18年に稼働している。今回は第2汚泥処理棟に隣接した敷地に新2号焼却炉を建設する。新2号焼却炉は、令和6年4月共用開始を目指すものとし、関連工事である土木・建築および電気設備工事を別途工事として予定している。工事概要を表1に、工事工程を表2にそれぞれ示す。

表1 工事概要 Table1 Outline of construction	
工事名称	右岸流域処理場汚泥焼却設備工事
建設地	埼玉県和光市新倉6丁目
ご注文主	日本下水道事業団
処理規模	170t-wet/d
炉型式	過給式流動焼却炉
工期	2024年3月18日

表2 工事工程 Table2 Construction schedule				
	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
基本設計				
別途土木工事				
別途建築工事				
別途電気工事				
機械工事（当社）				
試運転				

2.2 設備概要

図1に焼却設備概略フローを示す。本設備では脱水汚泥のほかに、し渣・沈砂の混焼も可能なシステムとなっている。排ガスエネルギーのさらなる有効利用を図るため、廃熱ボイラと再

加熱器を過給機前段に設置した。廃熱ボイラで発生する熱源は発電設備に供給され発電に使用する。再加熱器により集塵機から出てきた排ガスを再び加熱し、過給機の駆動に必要なエネルギーを増加させる。追加する熱交換器は空気予熱器と同じ型式のシェル&チューブ式を採用する。白煙防止予熱器における排ガスの加熱方式を直接加熱から蒸気間接加熱に変更することで、白煙防止ファン本体の動力を削減する。本設備では自然状態（補助燃料を使用せず、汚泥の持つエネルギーのみで燃焼が可能な状態）での運転が可能であり、定格運転時の補助燃料は不要である。

2.3 入札結果

入札方式は総合評価方式（技術提案審査型）となっており、下記評価項目について提案を行い受注に繋がった。

2.3.1 温室効果ガス排出量の削減に関する技術提案

過給式流動炉の特長である局所高温領域が形成されることによるN₂Oの削減効果と、創エネ型プロセスを採用することによる電力由来の温室効果ガス削減により高い温室効果ガス削減率を提案した。

2.3.2 消費電力削減率の向上に関する技術提案

過給式流動炉は従来気泡流動炉に比べ約40～60%の消費電力削減効果が期待できる設備である。さらに今回の創エネ炉では廃熱ボイラと発電機を付属することで従来気泡流動炉に比べ約80%の高い電力消費削減率が見込める。

2.3.3 点検補修費の低減に関する技術提案

焼却炉、空気予熱器、集塵機、排煙処理塔における点検補修費低減につながる提案、および焼却灰焼結対策を提案した。

3 おわりに

近年、下水処理場でのバイオマス利用、創エネ需要は高く、発電設備を付帯した焼却設備の導入に意欲的な地方自治体は増えつつある。このような社会のニーズに応えていくとともに、今後、今回同様の創エネ炉を拡販することで低炭素・脱炭素社会の実現に貢献していきたい。

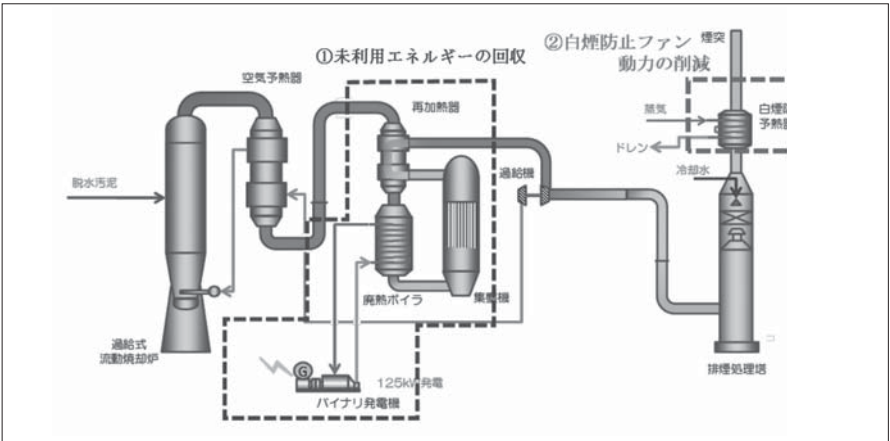


図1 焼却設備概略フロー
Fig.1 schematic diagram of incinerator plant

大村市向け 濃縮分離型ベルトプレス脱水機の受注

Order received for a concentration mechanism separate type belt press dehydrator for Omura City



後藤 秀徳
GOTO Hidenori
水環境事業本部
ソリューション技術部
下水グループ

Abstract

The problem with the conventional belt press dehydrator is that the processing amount per installation area is small and that the dehydrator has an open structure. Therefore, a deodorant cover is required, and the installation area is large. However, it is widely used because it is highly adaptable to the fluctuations in sludge properties and can be stable against sludge that is difficult to dehydrate.

By combining a belt press dehydrator with a concentrator, Tsukishimaikai has developed a “concentration mechanism separate type belt press dehydrator” designed to solve the abovementioned problems while maintaining the features of the belt press dehydrator. We received an order for the first machine from Omura City.

従来のベルトプレス脱水機は、設置面積当たりの処理量が少ない、脱水機が開放構造であるため防臭カバーが必要となり設置面積が大きいといった課題がある。しかしながら、下水汚泥性状の変動に対して適応性が高く難脱水汚泥に対して安定した運転ができるという特長から、広く用いられている。

月島機械は、ベルトプレス脱水機に濃縮機を組み合わせることにより、ベルトプレス脱水機の特長はそのままに、上記課題を克服することを目的とした「濃縮分離型ベルトプレス脱水機」を開発し、大村市より1号機を受注した。

キーワード：下水汚泥、ベルトプレス脱水機
Keyword：Sewage sludge, belt press dehydrator

1 はじめに

従来のベルトプレス脱水機は、設置面積当たりの処理量が少ない、脱水機が開放構造であるため防臭カバーが必要となり設置面積が大きいといった課題がある。しかしながら汚泥性状の変動に対して適応性が高いため、有機物が多くかつ繊維状物が少ない難脱水性汚泥に対して安定した運転ができるという特長から、広く用いられている。

月島機械は、ベルトプレス脱水機に「ロノッシュ®」を組み合わせることにより、ベルトプレス脱水機の特長はそのままに、上記課題を克服することを目的とした「濃縮分離型ベルトプレス脱水機 (Concentration mechanism separate type belt press dehydrator)」(以下「CSBP」という)を開発し、大村市より令和2年度に1号機を受注した。なお本技術は同年度に日本下水道事業団より「ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機」という名称にて新技術I類に選定されている。

2 CSBPのシステム構成

CSBPのシステム構成を図1に示す。CSBPは大きく分けて、濃縮部と脱水部から構成される。まず濃縮部では、処理対象となる原汚泥(汚泥濃度はTS2.0%程度)に高分子凝集剤(以下「ポリマー」という)が注入され、ポリマー混合用ミキサーで500min-1程度の急速攪拌を行った後、凝集混和槽による攪拌で凝集汚泥を形成させる。凝集汚泥はロノッシュ®に投入され、内部で固液分離および、ろ液の排出が行われることで、汚泥濃度6～8%程度まで高濃度濃縮される。

濃縮汚泥は濃縮汚泥引抜ポンプによりポリ硫酸第二鉄(以下「ポリ鉄」という)混合用ミキサーを経て、「高濃度対応型フィード装置」に供給されるが、この際に濃縮汚泥にポリマーが再度注入される。濃縮汚泥は、脱水部に設置された高濃度対応型フィード装置に投入され、フィード装置内部でろ過濃縮が進行することでフィード出口の汚泥濃度はTS10%程度にまで達し、厚み・幅とも均一化された後、ベルトプレス脱水機の圧搾ロールにより脱水されて脱水汚泥として排出される。

上記のように汚泥にポリマーを注入し凝集させた後に濃縮を行い、濃縮汚泥にポリマーを再度注入させた後、脱水を行う方式を「一液方式」という。また、消化汚泥などの難脱水性汚泥を対象として、汚泥にポリマーを注入し凝集させた後濃縮を行い、濃縮汚泥にポリマーとポリ鉄を注入させた後、脱水を行う方式を「後注入二液方式」という。

3 CSBPの特長

CSBPの構造を図2に示す。
CSBPは以下の特長を有している。
(1) ろ過速度の向上

濃縮部と脱水部の独立により、各装置は濃縮および脱水に適した構成となっている。濃縮部と脱水部の独立に伴い運転条件をそれぞれ最適化できるため、CSBPは従来の高効率型ベルトプレス脱水機(以下「高効率型BP」とする)の性能値と比較し、ろ過速度が増加した。すなわち従来の高効率型BPよりろ布幅の狭いCSBPにて、同等の処理能力を発揮することが可能となった。

(2) 機器のダウンサイジング
ベルトプレス脱水機の脱水部前段で投入前に汚泥のろ過濃縮が完了しているため、高効率型BPの重力ろ過ゾーンなどを省略することが可能となった。これらの省略およびろ過速度増加の複合効果により、CSBPはロノッシュ®が付加されているが、同等の処理能力を持つ3m幅の高効率型BPに比べて、総合的に2m幅のCSBPでは全体容積および設置面積、動荷重が削減される。

(3) 消化汚泥などの難脱水性汚泥に対して少ないポリ鉄注入量で脱水汚泥含水率を低減
ポリマーに加えてポリ鉄を注入する二液方式は、高密度のフロックが凝集されるため、フロック内の汚泥粒子と直接結合しない状態で存在する自由水が抜けやすく、脱水汚泥含水率の低減に有効である。し

かし消化汚泥は汚泥の腐敗・発酵の指標であるアルカリ度が高く、濃縮前の汚泥にポリ鉄を注入する場合、注入量が多いことが難点であった。CSBPでは、ろ液排出後の濃縮汚泥にポリ鉄を注入する後注入二液方式が可能であることから、ろ液へのポリ鉄の流出を最小限に留め、効率的に作用させることができる。よって、ポリ鉄添加率20%程度と少ないポリ鉄注入量で脱水汚泥含水率の低減が期待できる。

4 まとめ

今回、大村市より1号機を受注したCSBPは、脱水性能を維持し、ろ過速度を1.5倍程度に向上させることで、従来の高効率型BPと同等の処理能力を有しつつも小型化されたベルトプレス脱水機である。消化汚泥にポリ鉄を注入する後注入二液方式との組み合わせによる汚泥含水率の低減も可能であることから、客先のライフサイクルコスト削減に寄与できる。またその他の地方公共団体でも汚泥処分費削減といった課題を抱えているところは多く、同課題を解決するために積極的な提案を行っていく所存である。

参考文献

- 1) 倭ら：ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機の実証,第55回下水道研究発表会講演集,pp.1073-1075 (2018)
- 2) 後藤ら：ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機の開発,第56回下水道研究発表会講演集,pp.1148-1150.(2019)

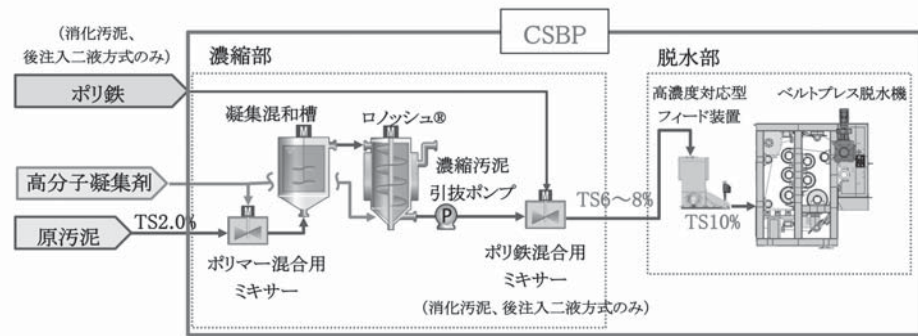


図1 CSBPのシステム構成
Fig.1 Schematic flow of CSBP

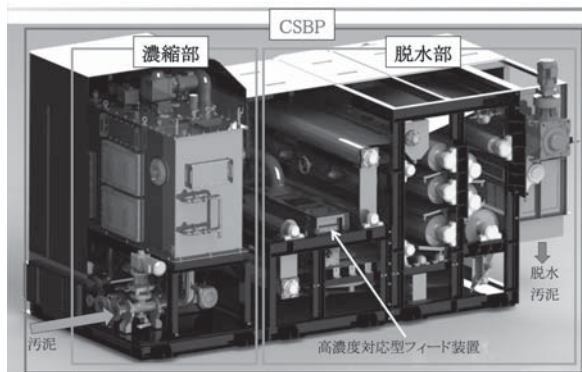


図2 CSBPの構造図
Fig.2 Structure of CSBP

室蘭工場

産業事業本部 室蘭工場 吉田 光男

1. はじめに

月島機械唯一の製造拠点である室蘭工場が操業して1年半が経過した。一方、市川事業所も今年1月に八千代事業所へ移転し、工場機能の一部が室蘭工場八千代分室として業務を開始した。これらの体制も含め、改めて室蘭工場を紹介する。

2. 背景

移転前の市川工場は、2000年の分社化以降「月島テクノマシナリー株式会社」として操業していたが、中国勢の台頭など外部環境の影響により収益が悪化し、2012年に月島機械市川工場として再スタートした。その後、社内での製造部門の位置づけの議論を経て、工場移転との結論に至った。

2017年4月からFSおよび移転工事の予算化作業を経て、2018年4月から工事開始。その後、1年間かけて工場棟内のレイアウト整備、市川工場からの設備移設を実施。2019年4月1日操業開始に至った。電子ビーム溶接機(以下、EBWとする)の移設に関しては、市川工場での受注残生産継続とM社殿への移設工事の影響もあ

り、2019年末からの工事着手となったが、2020年4月からは生産可能な状況となっている。

3. 全体像

敷地面積等の比較は、「表1 市川工場と室蘭工場の比較」を参照されたい。単純な面積比較では約30%まで縮小しているが、市川事業所は研究所をはじめとした他部門分も含まれるため一概に比較はできない。工場棟の比較では、解りやすく表現すれば、市川工場の第一工場に全てを集約したイメージとなる。これを実現するための一つの方策として、移設設備を大幅に絞り込み(単純な台数比較では約50%)を行い、汎用工程については道内協力会社との連携で補い、特に大型の工作機械については日本製鋼所(以下、JSWとする)の機械工場を活用する前提の生産体制としている。

また工場棟内は、二つのライン(JSW構内の慣習に従い1線・2線と呼称)に分かれており、1線側を大型製缶機器の加工エリア、2線側を設備関係のラインおよびろ過機・分離機の組立エリアとし、1・2線の半完成品の往来を二つのトロック台車に対応している。「図1 工場内図」を参照されたい。

表1 市川工場と室蘭工場の比較

面積		市川工場		室蘭工場		
敷地	約85,000m ² (旧市川事業所全体)			約26,000m ² (JSWからの借地総面積)		
	工場棟	第一工場	60mW×240mL	14,400m ²	第一ライン	35mW×182mL
第二工場		30mW×280mL	8,400m ²	第二ライン	30mW×264mL	7,920m ²
クリーンルーム		20mW×100mL	2,000m ²	クリーンルーム	なし	
その他	60,200m ²			11,710m ²		
クレーン容量	50ton (max)			500ton (max)		
加工能力						
最大製品径	10m			8m (注1)		
最大製品長さ	60m			60m		
成形可能板厚	100mm			100mm		

注1：工場棟の搬出開口部の制約による

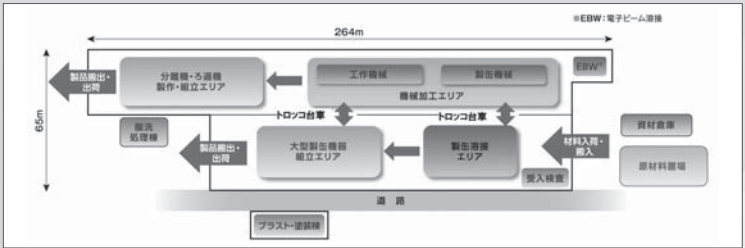
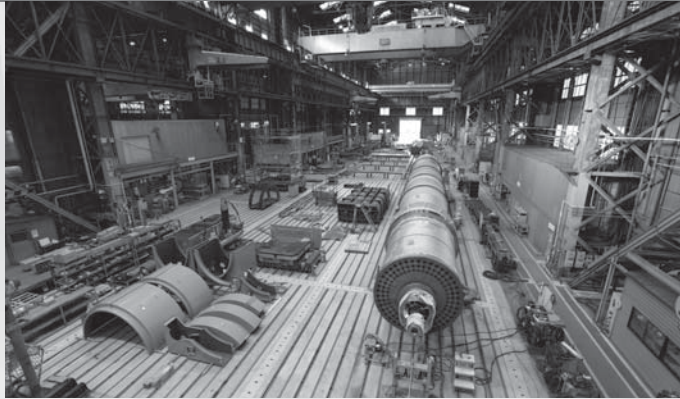


図1 工場内図



一方、従来JSWはここで、100ton超の重量物の製品を製作していたことから、天井クレーンに関しては大容量である。使い勝手の面では多少難があるが、製作能力に対してはプラスに作用する。なお、表1に示す加工能力において最大製品径が市川工場に比べダウンしている点については、注記に示すとおり「搬出開口部の制約によるもの」であるが、市川工場時代も実際にはこのサイズの製作実績はないため、現実的には影響はないものと考えている。また製作エリアの不足分についても、負荷の増減に応じてJSW構内のスペースを借用することで柔軟に対応している。

なお、圧力容器製造のための海外規格に関しては、市川工場同様に米国機械学会(ASME)・中国特殊設備製造許可(SEL)・韓国ガス安全公社(KGS)の認証を順次取得予定(SELは取得済)であり、受注活動に支障をきたさぬように進めていく。

4. 協業のメリット

協業関係により室蘭構内(JSWと室蘭工場)の取引における相互協力を約束している。さらに輸出案件に関しては、市川工場同様に保税蔵置場の許可を取得済であり、JSWの専用バスを利用することで、外航船が直接接岸できるメリットがある。

その他、モノづくり以外の分野での協業もいくつか具体的に検討が進んでいる。

5. 現状の課題

①教育

操業に伴い新たに合流した出向社員、派遣社員においても月島機械のモノづくりと共通する職種に関しては、検査員の技量も含め高い基礎技能を有していると評価しているが、月島機械特有の技能(板の切断、曲げ等の製缶機械)や仕上げ組立については、経験に依存する部分が多く、早急な育成のために計画的な教育プランを設けてスキルアップを図っているところである。また月島機械の製品に関する知識習得も技能面でのスキルアップ・モチベーションアップに欠かせないものと考え、単体機器技術部の協力を得て教育プランに反映している。

②サプライチェーン

操業1年目はJSWとの関りが深い地元企業との取引からスタートしたが、2年目に入り調達部が道内サプライチェーンの拡大を推進し、室蘭工場も連携し開拓を進めている。また、引き続きご協力いただく関東圏の協力会社からの納品については、八千代分室を活用しつつ全体最適を図っていく。

③生産性向上

適正な直間比率を踏まえ要員計画も進めていく。間接費を下げるためには、現在工場に限定して運用している生産管理システムを全社システム(特に設計・調達)と連携を図るなどの拡張と合わせ、今以上に機能を活用し、システムチックに最適な工程計画・山積み・工程管理する手法を実現していく。

設備に関しては、大きな投資は難しい部分はあるものの、クレーンを始めとした物流面での課題を優先して解決していきたい。

6. 将来の目指す姿

全社的な営業活動の受注目標を支える意味では、求められる単体機器製造の生産能力を維持するために、内外作比率(および内容)を見直し、限られた生産能力でも高い工場出荷額を実現しなければならない。

一方で、マザー工場として継承すべき技術の取捨選択、新規に取り組むべき製造技術開拓、またEBWの有効活用(受託加工)や、移転時のテーマの一つであったJSW製品(圧力容器等の製缶溶接構造物)の製作委託をどう実現するか、といった課題も多い。これらの課題を一日も早く克服し、国内の大型製缶工場の新たな姿として業界に発信していきたい。

7. 八千代分室について

八千代事業所内の八千代分室は、従来業務としては、室蘭工場のアフターサービス機能を担っており、部品JOBの検査・出荷、持込整備、定修SV派遣などを行う。さらには、R&Dセンターと連携して開発機の組立を行い、これを通し製作上の課題解決とノウハウの確立を行うことをミッションとしている。

8. おわりに

赴任者においては、室蘭での生活を1年間経験することで、特に冬の厳しさに対する不安などは多少解消され、それ以上に夏が過ごしやすいことを実感しており、この環境も生産性向上に欠かせない要素である。

地域における月島機械室蘭工場の認知度はまだまだ低く、優秀な人材を確保するためにも、地元雇用貢献も欠かせない企業活動となる。月島機械グループのものづくりセンター工場として存在感を示すと同時に、道内の製造業界の活性化に一役買い、新たな需要・雇用を生み出して地元貢献にも繋げていきたい。

R&D センター

開発本部 R&D センター 山本 真一

1. 概要

当社は2020年1月に千葉県八千代市にR&D センターを開設した。千葉縣市川市に旧研究所および工場を併設していたが、生産体制の再構築を目的として2019年4月に室蘭工場が開設し、今回新たな開発拠点として「R&D センター」を開設した(図1、図2)。敷地面積は5,000坪、主な建物は以下の3棟であり、本報では主にR&D センターについて紹介する。

(1) 事務所棟

(月島機械(株) R&D センター、月島環境エンジニアリング(株))

(2) 実験棟

(月島機械(株) R&D センター、月島環境エンジニアリング(株)、月島マシンセールス(株))

(3) 技術センター棟

(月島機械(株) 室蘭工場分室、月島テクノメンテサービス(株))



図1 R&D センター外観
Fig.1 Bird's-eye view of R&D center.



図2 事務所棟正面
Fig.2 Entrance of office building.

2. R&D センターのコンセプト

2018年6月に八千代事業所建設プロジェクトが組織された。設備設計にあたり、R&D センターのコンセプトを「技術のショールームとして来場者に当社の技術力を実感していただける設備とする」、「技術革新が進む中、時代の変化に応じた技術創出ができる設備とする」とした。そこで、技術部門や事業部の代表者と連携を図り、研究開発の推進および新規受注獲得を強力に支援できるよう、以下のような設備にすることとした。

(1) 当社技術のショールーム機能を備える。

(2) 食品分野や電池材料分野などの実験にも対応可能なクリーンな環境を提供する。

(3) 実験状況をWebでリモート監視でき、データベースを有効活用できるなど、最新の情報技術を駆使し利便性を図る。

(4) グループ会社の実験装置も配置し、当社グループの総合力を提供できる施設とする。

3. R&D センターの設備紹介

R&D センターは事務所棟、実験棟から構成されており、事務所棟は事務所、分析室、ショールーム、技術員執務室、アメニティなどを有している(図3、図4)。実験棟は単位操作技術ごとに分けられた13室の実験室と共同研究などに利用可能な多目的実験室(図5)、ベンチスケールの実験場(図6)、比較的大型の実験が可能なパイロット実験場(図7)から構成されている。実験棟には晶析、ろ過、遠心分離、乾燥、混合、計量、焼却といった主要単位操作装置が配置されており、適用開発、プロセス開発に活用されるとともに、来場者に一連の当社技術をご覧いただくことができる。一方、開発の秘匿性に応じた実験を可能にするため、離隔ブース設備も備えている(図8)。付帯設備としては受変電設備、ボイラ設備、圧縮空気設備、窒素発生設備などのユーティリティーが備わっている。実験の際に発生する粉塵は局所排気システムで除塵して系外への排出を可能にし、各実験室は用途に応じて乾式、湿式のドラフトを備えている。また、分析室ではドラフトによる室内吸気量が増加した際、吸気風量に応じて外気を最適に供給することで室内の圧力が極端に陰圧にならないように調整できるなど、作業環境改善も図られている。分析機器は多種多様かつ最新のものをラインアップし、依頼者の目的に応じた分析を可能にしている(図9)。主な実験機器、分析機器を表1、表2に示す。さらに、実験排水および分析排水を生物処理、砂ろ過、活性炭吸着にて浄化する排水処理設備(20m³/日)を備えるとともに、電気エネルギー消費を管理するシステムも設置し、環境負荷軽減に配慮した設備となっている(図10)。



図3 事務所棟1階展示スペース
Fig.3 Exhibition space on the first floor in office building.



図4 事務所棟2階展示室
Fig.4 Exhibition room on the second floor in office building.



図5 実験棟多目的実験室
Fig.5 Multipurpose laboratory in experimental building.



図6 実験棟ベンチスケール実験場
Fig.6 Bench scale experimental area in experimental building.

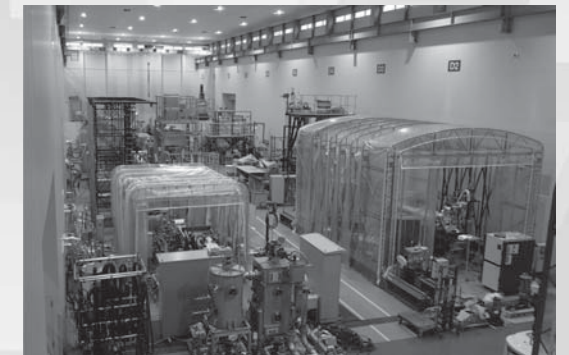


図7 実験棟パイロット実験場
Fig.7 Pilot scale experimental area in experimental building.



図8 開発案件向け離隔ブース
Fig.8 Separated booth for special projects.



図9 事務所棟 分析室
Fig.9 Chemical analysis room in office building.



図10 排水処理設備
Fig.10 Wastewater treatment facility.

表1 R&Dセンターの主な実験機
Table1 Experimental equipment of R&D center.

単位操作区分	実 験 機 名 称
晶 析	DP型晶出装置,渦流式晶出装置,掻取型晶析装置
ろ 過	水平ベルトフィルタ,圧搾ブロー型脱水機, BoCross®フィルタ,ろ過乾燥機
分 離	エッシャー・ウィス押出型遠心分離機,吊下型遠心分離機
濃 縮	ロノッシュ®(ろ液浸漬型濃縮装置)
吸 着	ISEP(連続式吸着装置),CSEP(クロマト分離装置)
乾 燥	スチームチューブドライヤ,インクラインドディスクドライヤ, 流動層乾燥機,円環式気流乾燥機
混 合	ユニバーサルミキサ,横型ミキサ
計 量	粉体コンテナハンドリングシステム
焼 却	燃烧試験装置,粉体回収試験装置

表2 R&Dセンターの主な分析機器
Table2 Analytical equipment of R&D center.

主な分析項目	分 析 機 器
元素・金属分析	元素分析装置(CHNS),ICP-OES,原子吸光光度計,
	水銀分析装置,TOC
X線分析装置	波長分散型蛍光X線分析装置(XRF),X線回折分析装置(XRD)
	エネルギー分散型蛍光X線分析装置(EDS)
クロマトグラフィー	HPLC,GC,GC/MS,イオンクロマトグラフィー
熱分析	示差熱分析(TG-DTA),発熱量分析,融点分析装置
形態観察	走査型電子顕微鏡(SEM/EDS),デジタルマイクロスコープ
粉体特性	レーザー回折粒度分布,パウダーテスター,篩い分け粒度分布
物性調査	回転式粘度計,デジタル硬度計,レオメーター(テクスチャーアナライザー)
上下水道関連	COD,BOD等有機汚染物質分析,流れ分析計(全窒素,全リン)
	上水・下水試験全般,污泥分析
ガス分析	自動ガス分析計(SO ₂ ,NO,NO ₂ ,N ₂ O,CO,CO ₂ ,O ₂ ,Hg)
	臭気分析(臭気官能試験,特定悪臭物質)

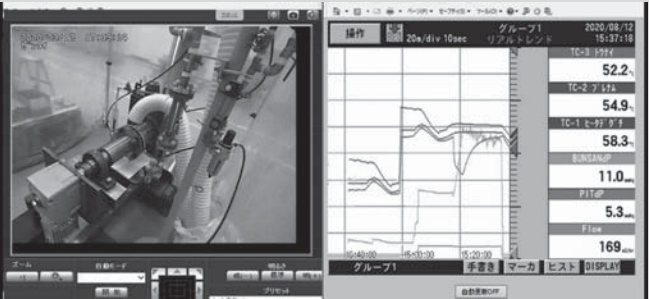


図 11 実験リモート監視システム
Fig.11 Web remote monitoring system.



図 12 Web 版分析結果検索システム
Fig.12 Web searching system of analytical data.

4. 実験リモート監視システム

ここでは、新たな取り組みである実験リモート監視システムについて紹介する。このシステムは当社の ICT/AI 活用技術開発プロジェクトの協力を得て具体化されたものである。カメラ、データロガー、中継器、制御盤などから構成され、実験棟内に設置された中継器を介して各自の PC やスマートフォンで実験状況をリモート監視することが可能なシステムである。実験の状況を映像で見ることに加え、実験装置に接続されたセンサから表示される温度、圧力、風量、電流値などのオペレーションデータもリアルタイムで確認することができる(図 11)。カメラ操作やデータの表示切り替えもリモート操作することができ、必要に応じ記録保存することが可能である。実験リモート監視システムを使用することで、長時間の連続実験の監視や Web による顧客立会実験も可能となった。Web 立会実験の場合、実験ごとに ID とパスワードを発行する仕組みとなっており、万全のセキュリティ対策を講じている。前述の排水処理システムにもリモート監視・操作システムが採用されており、今後の実験設備への展開を検討している。

5. 分析データベース

1995 年から分析結果のデータベース構築に取り組み、社員が広く利用できる環境を整え、2015 年にシステムを大幅に刷新し利便性を高めてきた。過去の分析結果から、例えば上下水道分野では組成の経年変化などを確認することができ、また産業分野では原料・製品の代表的な物性変化を容易に比較できるなど、多くの情報を得ることができる。近々、Web 版検索システムを導入する計画であり、各自の PC からデータベースへのアクセスを可能にし、在宅勤務や出張先においても容易に分析 データを利用できる環境を整備する予定である(図 12)。

6. R&D センターによる開発支援

開発から実用化までの流れでは、基礎検討、スケールアップ、評価といったプロセスを繰り返すこととなる。ラボ実験で基礎データを採取し、そこで得られたデータをもとにスケールアップした実験設備を計画し検証する。ラボ実験、パイロット実験で得られた試料は物理、化学分析を行い、運転データと併せて評価を行うことで、最適な設備条件を見出す。R&D センターには開発の一連の流れを強力にサポートする 2 つの組織、実験グループと分析グループがある。

実験グループはこれらの開発実験がスピーディーに行えるよう、技術者の意図する実験設備を具現化するためにソフト、ハードの両面からサポートすることが主な役割である。計画段階では技術者から開発内容、要望、意向をヒアリングし、エンジニアリングに関する不足部分は実験グループで補完する。実験装置組み上げ段階では技術者の作成したフローシートを基に、機器、補機、配管、計装品などを選定し組み上げる。実験設備をフィールドテストで使用する場合、現地で組立てや据付を指導するスーパーバイザーの派遣

も行う。実験実施段階では問題点の抽出、改善などにも対応し、実験の計画から実行、改良改善まで総合的にサポートし、開発推進に寄与している。技術者の意に沿った実験を社外に依頼することなく可能とする環境があることは、当社の大きな強みである。

分析グループでは開発段階のラボ実験、パイロット実験、実用化後の試運転にかかわる分析を受けており、依頼者の要望に応じた最適な手法を用い、迅速に対応する体制を整えている。上下水道事業関係では処理技術の進歩に伴い分析技術も多様化、高度化が要求されている。最近では污泥焼却施設における排ガス中の硫酸ミスト分析について、JIS 法と並行してスパイラル管凝縮法を活用し、技術開発推進や課題解決に寄与している。¹⁾一方、産業事業関連では電池材料開発に初期の段階からかわり、原料の組成分析や中間生成物の評価にも取り組んでいる。また、各種工場や事業所から排出される廃液や固形廃棄物、排ガスの処理にかかわる分析を通して、環境負荷低減を目的とした技術開発推進にも貢献している。

7. おわりに

R&D センターは当社の技術が進化し続けるために技術者が課題解決に挑む場であるとともに、それらの技術を俯瞰することができるショールームである。創業以来取り組んできた単位操作技術の開発推進を通して、「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、最新技術を駆使し新技術創出のためのさまざまなリソースを提供し技術開発の支援をしてゆく。

【参考文献】

- 1) TSK 技報 p36-37. (No.21) .2018

実験装置の紹介

月島環境エンジニアリング株式会社
プラント計画部 研究実験グループ
田屋 舘 利夫

1. はじめに

月島環境エンジニアリング(株)研究実験グループは、研究所の移転に伴い八千代事業所内R&D センターを活動の拠点とし受注前の引合業務において設計への反映を目的とした基礎試験、受注後の管理工事業務において発生する確認試験、ならびに顧客からの

要請により有償で実施する受託試験を主な業務として、技術力の向上、プロジェクトの受注、トラブル対応に貢献している。以下にこれらの試験で使用する当社所有の実験装置を紹介する。

2. 実験装置の紹介

2.1 実験棟に常設の実験装置

実験棟に常設された最も使用頻度が高い3つの実験装置を以下に紹介する。

2.1.1 液中燃烧装置

液中燃烧装置は、石油化学工業から医薬品製造、製紙など多岐にわたる廃水を焼却処理でき、さらにダイオキシンなどの二次公害を最小まで抑える当社が開発した燃烧装置である。

実験装置の写真を図1に示す。

実験装置は燃烧炉、液中冷却缶、ガス冷却器、ベンチュリースクラバーおよび除害塔で構成される。燃料をバーナーに供給し燃烧させ高温ガスを発生させる。廃液は燃烧炉肩部の噴霧ノズルより燃烧炉に噴霧・供給され有機物はCO₂、H₂Oになり排出される。燃烧排ガスは冷却缶に吹き込まれ冷却され、ガス冷却器、ベンチュリースクラバー、除害塔を経由して大気に排出される。

実験装置の仕様は、 燃烧負荷 20,000kcal/hr、廃液処理量 3kg/hr、燃烧最高温度 1300℃である。

2.1.2 粉体回収装置

有機金属含有液(オルガノシラン、アルキル Al など)、金属溶解液などを燃烧し、有機物はCO₂、H₂Oとなり除害後大気に放出され、原料中に含まれる金属を酸化物粉体として回収する燃烧装置である。

実験装置の写真を図2に示す。

実験装置は燃烧炉、熱交換器、バグフィルター、クエンチャー、

除害塔で構成される。燃料をバーナーに供給し燃烧させ高温ガスを発生させる。廃液は燃烧炉肩部の噴霧ノズルより、燃烧炉内に噴霧・供給され有機物はCO₂、H₂O、SiO₂、Al₂O₃になる。燃烧排ガスは、熱交換器および空気との混合により冷却してバグフィルターに供給されて、粉体はバグフィルターで分離、回収される。粉体を取り除かれた燃烧排ガスは、クエンチャーで冷却した後、除害塔を経由して大気に排出される。

実験装置の仕様は、 燃烧負荷 20,000kcal/hr、廃液処理量 3kg/hr、燃烧最高温度 1300℃である。

2.1.3 触媒湿式酸化装置

高温・加圧の条件で廃水中の有機化合物、窒素化合物、硫黄化合物等のCOD成分を固体触媒により液相酸化・分解する酸化装置である。

実験装置の写真を図3に示す。

実験装置は廃水供給ポンプ、コンプレッサー、加熱器、反応器、冷却器、気液分離器で構成される。廃水と空気を混合後、加熱器で加熱し反応器に供給する。反応器では廃水中の有機物が酸化されCO₂、H₂Oに分解される。反応器で処理された処理水は冷却器で常温まで冷却され、気液分離器で液とガスを分離し、排ガスは圧力調整弁、処理水は液レベル調節弁により解圧され、排出される。

実験装置の仕様は、 反応温度 270℃、反応圧力 8MPa、廃液処理量 2kg/hrである。



図1 液中燃烧炉
Fig.1 Submerged Combustion System



図2 粉体回収装置
Fig.2 Ultrafine Particle Recovery System



図3 触媒湿式酸化装置
Fig.3Catalytic Wet Air Oxidation Wastewater Treatment System

2.2 その他の実験装置

その他の実験装置について紹介する。

・TSA(Temperature Swing Adsorption)型溶剤回収装置

粒状活性炭を用いた吸着層で溶剤を吸着し、蒸気で脱着する。その後、真空ポンプで系内を負圧にすることにより脱着効率を高める溶剤吸・脱着装置である。

・PSA(Pressure Swing Adsorption)型溶剤回収装置

吸着と脱着時の系内圧力を変更することで吸着・脱着を行う圧カスイング吸着装置である。VOCが低濃度でも濃縮装置不要でコンパクトかつコストダウンを実現した装置である。

・BMB ストリッパー

排水中に含まれるVOC成分を蒸留し除去・回収する装置である。特殊な充填塔を使用することにより、通常の蒸留塔と比較し蒸気の使用量が少なくでき高性能な装置である。



図4 TSA 型溶剤回収装置
Fig.4 Temperature Swing Adsorption



図5 PSA 型溶剤回収装置
Fig.5 Pressure Swing Adsorption



図6 BMB ストリッパー
Fig.6 BMB Stripper



図7 BMB アブソーバー
Fig.7 BMB Absorber

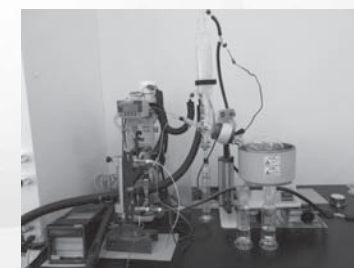


図8 ロータリーエポレーター
Fig.8 Rotary Evaporator

3. おわりに

今回紹介した実験装置を使用し、今後も技術力の向上、プロジェクトの受注、トラブル対応に貢献していきたいと考えている。

サンエコサーマル株式会社

新廃棄物焼却設備および高効率熱回収設備のご紹介

サンエコサーマル株式会社
高須 利昌

1. はじめに

サンエコサーマル（以下、「SET」）は、1997年に竣工した一般廃棄物焼却設備および産業廃棄物焼却設備の2系列および蒸気タービン発電設備1基を保有し、約23年間稼働している。

23年が経過し老朽化が進んだSET設備のリニューアルプロジェクト（Sun-Eco-Renewal - Project）として、2018年に1期工事：

現存一般廃棄物焼却設備更新工事（SRP-1）に着手し、PJ関係者のご協力のもとに2020年9月末に竣工を迎えた。

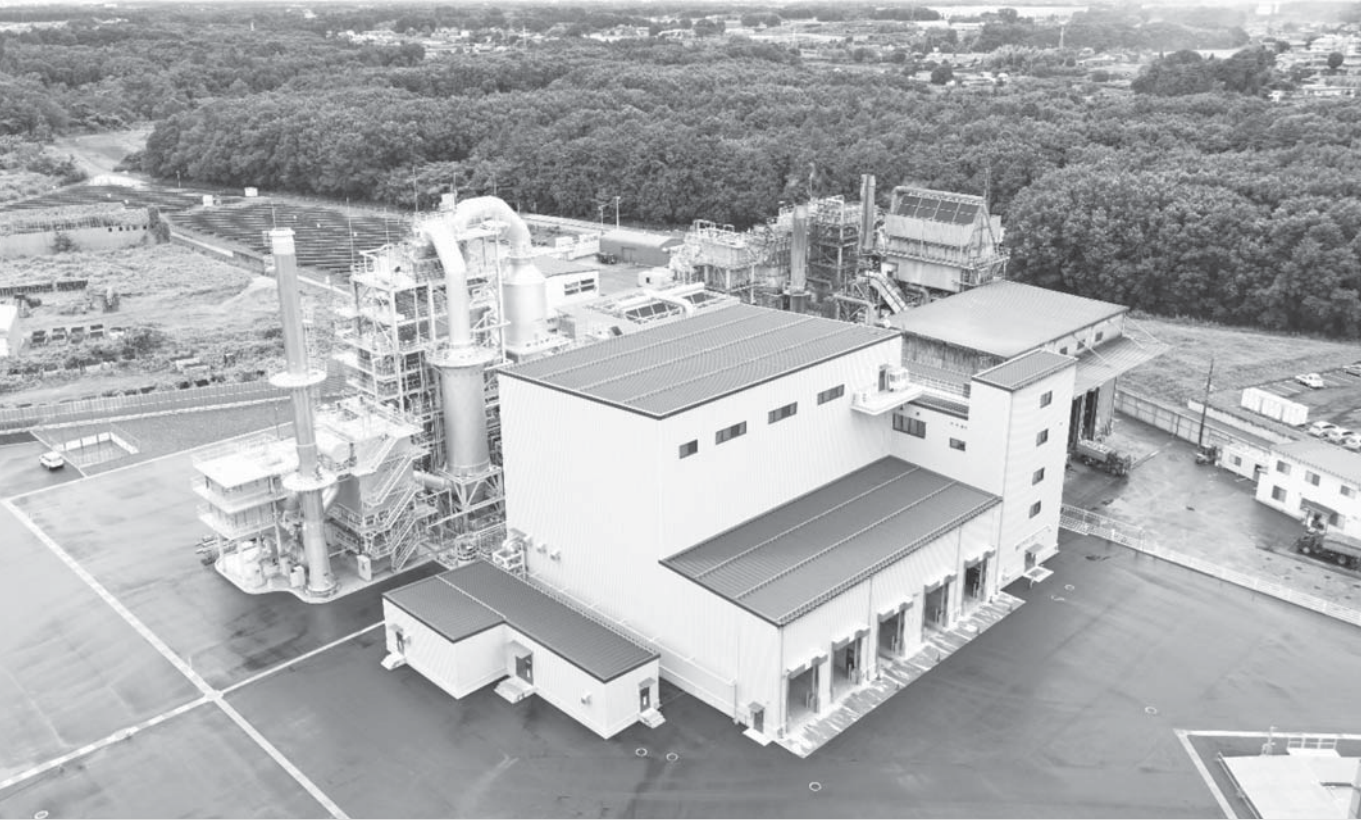
本稿では、上記の更新工事にて建設した新廃棄物焼却設備（以下「新焼却設備」）、高効率熱回収設備のご紹介および今後の展望について記す。

2. プロセス選定

SETは現存設備を23年間稼働させてきた中で、一廃の高カロリー化（廃プラ等増加によるもの）と産廃の分別推進（難燃性廃棄物による設備運転阻害要因の変化）など、一廃と産廃の性状変化を経験してきた。人々の生活様式や各種法規制の変化に伴い廃棄物性状も変化していくが、更新後の新焼却設備においては現時点で想定されるSETの受入廃棄物の将来予測をしたうえで、最適なプロセスとして図1のプロセスを採用した。廃棄物焼却設備は、2002年より前に建設・稼働した既設炉とそれ以降に建設・稼働された新

設炉とで各種排ガス規制値には違いがある（以下表1参照）。

新焼却設備の各種排ガス規制値は新設炉扱いとなり既設炉比で値が厳しくなっている。また、2018年4月より施行された改正大気汚染防止法における所謂「水銀規制」への対応が必要となるため、排ガス中からの水銀除去を目的とした活性炭注入設備を新規に追加するなど、現時点および今後想定される処理レベルを勘案し決定した。



サンエコサーマル施設全景
Photo: Facility and Building

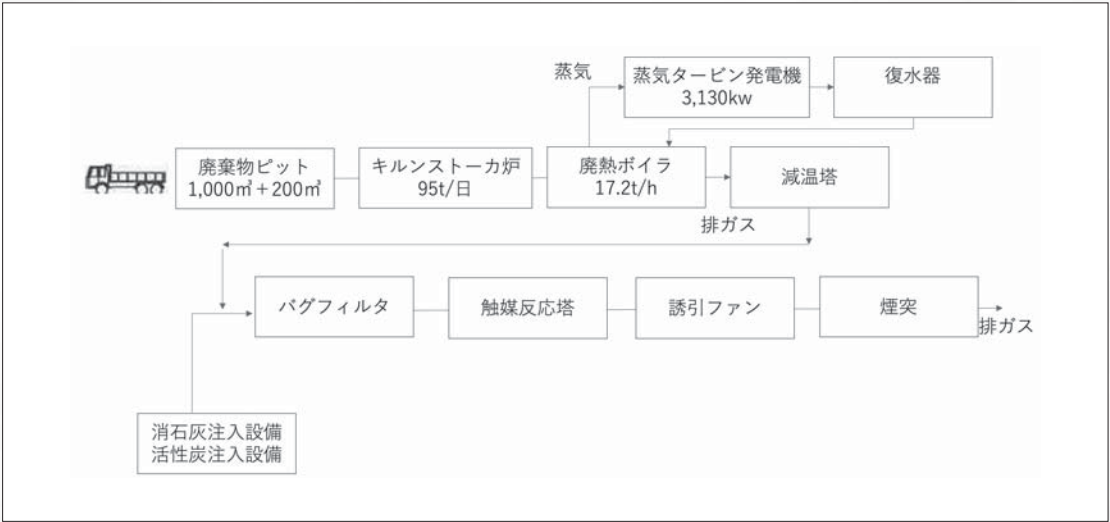


図1 設備フロー
Fig.1 Equipment flow

表1 各種排ガス規制値
Table1 Waste exhaust gas regulations

法令	旧規制値（既設一廃炉に適用）	現規制値（新設炉に適用）
大気汚染防止法	ばいじん：0.04g/N m³	ばいじん：0.04g/N m³
	HCL：700 mg/N m³	HCL：700 mg/N m³
	水銀：50 μg/m³	水銀：30 μg/m³
ダイオキシン類対策特別措置法	ダイオキシン：1.0ng-TEQ/N m³	ダイオキシン：0.1ng-TEQ/N m³

3. 炉形式の選定および混焼許可の取得

SETは多種多様な廃棄物を受入・焼却していることに加え、今後は液状廃棄物の受入を計画していたことから、流動性の高い泥状廃棄物や飲料・調味料等の液状廃棄物の焼却対応を進めること、焼却排ガスからの熱回収のレベルを上げることで発電効率向上を進めることなど、複合的要望へ対応可能な炉としてキルンストーカ炉を選定した。

さらに今回の更新に際しては、栃木県廃棄物担当部局への新焼却設備設置の行政手続きを進めるにあたり、一廃と産廃の混焼化の許可取得が最大のポイントであった。現存炉では一廃炉、産廃炉それぞれ専焼にて稼働しているが、一廃と産廃はそれぞれの処理需要に波があり、特に一廃は搬入タイミングおよび搬入量のコントロールが効きにくい。これを解消するため一廃と産廃の混焼化をすることで、搬入廃棄物区分に左右されることの少ない焼却設備稼働の実現が可能となった。

表2 キルンストーカ炉・二次燃焼炉仕様
Table2 Spec of incinerator

機器名称		仕様
キルン ストーカ炉	キルン部	φ 3, 760mm×8, 100mmL（直胴部）
	ストーカ部	火格子面積 9. 47 m ²
二次燃焼炉		φ 4, 800mm×8, 800mmL（直胴部）

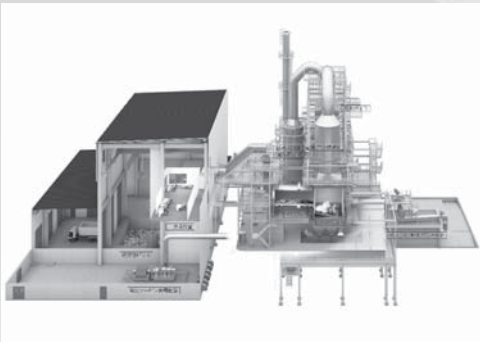


図2 キルンストーカイメージ図
Fig.2 Image of kiln gasification system



写真1 キルンストーカ炉写真
photo1 Kiln gasification system

4. 高効率熱回収設備の概要

SETの現存設備においては、2,400kWの蒸気タービン発電設備が稼働している。これはSET事業の特徴の一つである「サーマルリサイクル」の基幹設備である。新焼却設備においてもさらなるサーマルリサイクルの強化を図るため、以下仕様の高効率熱回収設備を導入した。

今回導入した熱回収設備の発電出力は3,130kWであり、既存発電設備能力2,400kWと合わせると5,000kW超の発電出力となる。自己消費分を差し引いても4,000kW近い送電（売電）が可能となることから、SRP-PJ計画段階の2016年に実施された東京電力パワーグリッドによる電源接続プロセスに応募し、SETとして5,000kW分の送電枠を確保した。東京電力パワーグリッド側での送電ライン整備が2023年1月完了予定にて進められており、左記以降は特別高圧線での送電（売電）を行う予定である。



写真2 廃熱ボイラ
photo2 Waste heat boiler

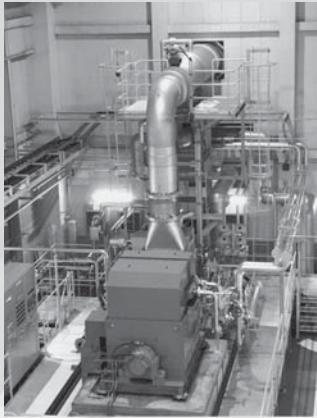


写真3 蒸気タービン
photo3 Steam turbrnes

表3 熱回収設備仕様
Table3 Spec of heat recovery equipment

機器名称	仕様
廃熱ボイラ	蒸発量 17. 2t/h 3. 1MPa（400℃過熱）
蒸気タービン	3, 130kW 抽気復水タービン
復水器	復水量 16, 022kg/h

5. 中央操作室での監視機能

新焼却設備における監視機能として、横河電機製DCSシステムによる中央監視設備を導入・新設した。当該システムにおいては、複数のタブレット端末によるDCS機能のモバイル化も実現し、操作室に設置したDCS画面と同一の画面をタブレットにて操作することおよびタブレットにて主要プロセス機器操作と設備状況確認を可能とした。これはSET運転課が設備の巡回点検をする際に、点検時の主要機器のコントロールができることで、点検作業時の安全性確保と機能性を持たせたものである。

また、現存産業廃棄物焼却設備の中央監視機能（上記と同様の横河電機製DCSシステム）も新焼却設備内の中央操作室に移設し、同中央操作室にて新旧焼却設備および発電設備を一括してコントロールすることが可能となった。



6. 今後の展望

今回完工した新焼却設備において、老朽化により稼働率が低下していた一般廃棄物焼却設備の更新は完了した。今後は新焼却設備の継続工事である特別高圧受変電設備の設置と、現存産業廃棄物処理設備の更新が控えている（2期工事：SRP-2 ロータリーキルン・ボイラ・発電機他の更新工事）。

また昨今、「100年に一度」などと言われていた自然災害は毎年のように頻発し、自治体等は災害廃棄物処理業務が大変重要なものとなっている。SETが立地する鹿沼市においても2019年10

月の台風19号にて市内の一部が被災したが、SETは鹿沼市と「災害時における廃棄物処理等の協力協定」を締結していたことから、2019年10月中旬には当該協定が初めて発動され、約200tの災害廃棄物の受入処理を行った。1期工事および2期工事にて整備する設備は廃棄物処理を効率的に行うとともに、重要な社会インフラである廃棄物処理・発電設備としての安定稼働を心掛け、地域社会における安全・安心な生活環境維持に資する業務が遂行できるよう、引き続き努めていく所存である。

設計最適化編

1. はじめに

新型コロナウイルスの世界的大流行を契機として「新たな働き方」を探る動きが高まり、競争力強化に繋がる生産性の向上がこれまで以上に求められている。設計最適化技術は、設計検証業務の自動化による省力化・効率化や、先入観にとらわれないデザインが可能であることから、品質向上かつコスト削減が達成可能な技術と見込まれる。

2. 設計最適化技術

実際の設計では目的や制約が複数存在し、それらが互いにトレードオフの関係にあるケースが多い。振動機器架台の最適設計問題を例にとれば、目的には応力、変位、重量の最小化などがあり、制約には振動機器との共振回避などがある。ここで、応力や変位を小さくしようと強度を上げると、重量アップや、共振域に入ってしまうトレードオフ問題に突きあたる。そこで、さまざまなアルゴリズムを駆使して設計仕様を探索する設計最適化技術が、制約を満たしつつ複数の目的に対してバランスのとれた解を求めるための有効な手段と考えられる。設計最適化技術には主に次のようなメリットがある。

- ・プログラムにより自動的に探索を進められるため、設計担当者による繰り返しの検討時間を削減できる。
- ・アルゴリズムによる探索のため、設計担当者の先入観に左右されない最適値を探索できる。
- ・パラメータごとに寄与度や相関性などを可視化でき、要点の絞り込みや意思決定のサポートに活用できる。

2.1 設計最適化分類

設計最適化の手法は図1に示すように分類される。

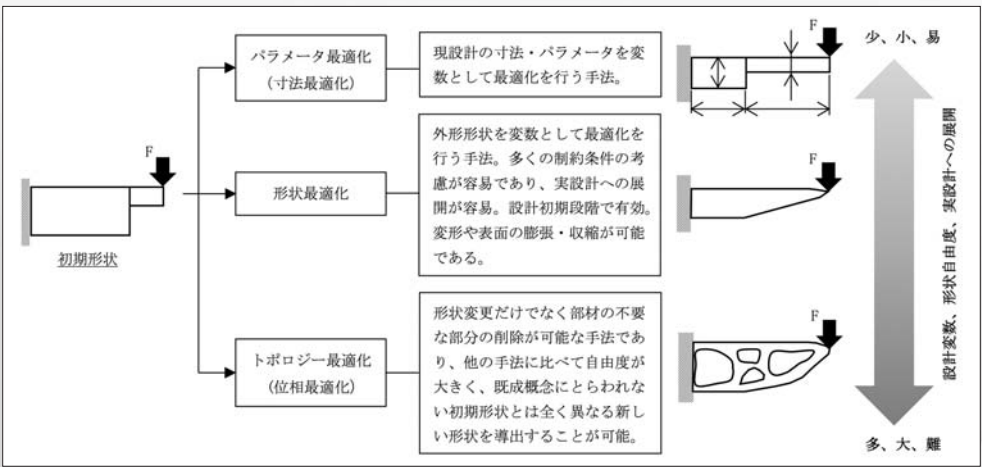


図1 設計最適化手法分類
Fig1 Category of design optimization method

3. 解析グループの設計最適化技術への取り組み

解析グループでは、設計検証用にコンピュータ上で汎用ソフトウェアによる多様なシミュレーションを実施しており、それらと設計最適化技術を連携させることで、検討作業の自動化、製品の品質向上、コスト削減が可能となる。現在、市販ソフトウェアによるトライアルや大学との共同研究を通して効果的な使用方法の検討を進めている。

3.1 パラメータ最適化検証事例

適用可否の検証のため、取り組んだパラメータ最適化検討事例を次に紹介する。これらはシミュレーションソフトとの連携が比較的容易である。シミュレーションモデルや結果を図2～図7に示す。

開発本部 研究開発部 解析グループ
本間 秀雄

3.1.1 蒸留塔プロセスの最適化検討事例

- ・対象設備、性能：蒸留塔、混合液の蒸留
- ・最適化の動機：低コストかつ高性能な蒸留塔の仕様を求める。
- ・使用ツール：「最適設計支援ソフト」+「PRO/II™」（定常状態プロセスシミュレーションソフト）+「Excel」（最適設計支援ソフトとPRO/II間のインターフェース）
- ・目的：最小理論段数、最小蒸気量、最大留出流量
- ・変数：理論段数（10段～20段）、フィード段、リポイラー蒸気量、還流比
- ・制約条件：留出液中製品濃度、リポイラー熱量、還流比
- ・成果：制約を満たし目的を達成する解の集合である図3のような散布図が得られた。その中から、図2の最適な蒸留塔が得られた。これはベテラン技術者と同じ結果であった。両者を比較すると、結果を得るまでの所要時間は同程度だが、設計最適化は探索計算が自動であるため人間の作業時間は約50%減となった。

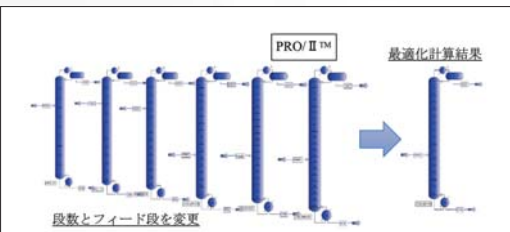


図2 定常状態プロセスシミュレーション検討過程と最終結果
Fig2 Examination process of steady state process simulation and result

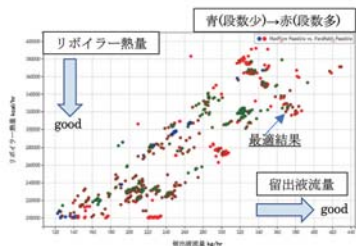


図3 最適化計算結果の散布図
Fig3 Scatter plot of optimization calculation result

3.1.2 冷却塔内における整流板形状の最適化検討事例

- ・対象設備、性能：冷却塔、高温ガスをスプレーにより冷却
- ・最適化の動機：スプレーの冷却効果を発揮するための整流板による塔内ガスの偏流解消。
- ・使用ツール：「最適設計支援ソフト」+「汎用流体解析ソフト」
- ・目的：中心断面の鉛直上向き最大速度最小化、圧力損失最小化、整流板合計長さ最小化
- ・変数：整流板長さ、整流板配置（水面からの高さ、壁からの距離）
- ・制約条件：整流板を必ず5枚作成する。板間の隙間を50mm以上とする。
- ・成果：冷却塔外形を図4に、整流板の各変数を図5に示す。また、最適化前と後の流体解析結果をそれぞれ図6と図7に示す。最適化前はガス流れの大きな偏りが見られたが、最適化後は偏りが減少した。最適化前に対して、鉛直方向最大速度48%減、圧力損失61%減、整流板長さ37%減の結果となった。

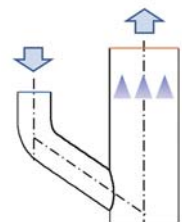


図4 冷却塔外形図
Fig4 Outline drawing of cooling tower

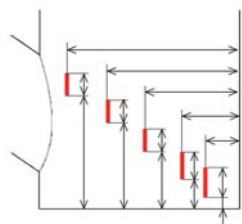


図5 変数
Fig5 Parameters

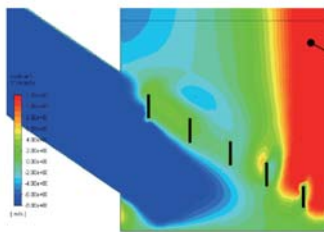


図6 鉛直上向き速度（最適化前）
Fig6 Vertical upward speed of gas (before)

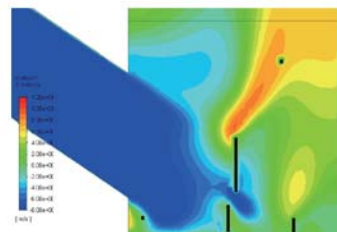


図7 鉛直上向き速度（最適化後）
Fig7 Vertical upward speed of gas(after)

4. おわりに

2つの事例から設計最適化技術には、品質向上かつコスト削減が達成可能なポテンシャルがあると考えている。今後は、パラメータ最適化を開発案件や実案件に適用しながら実測などとの比較検証も行い、有用性がある技術へと高めていきたい。

また、設計最適化技術の最新動向（深層学習との組み合わせなど）を調査しつつ、より自由度が高く性能改善が期待できる形状最適化、トポロジー最適化にも積極的に取り組んでいきたい。

混ぜる ～乳化編～

プライミクス株式会社 技術部 竹森 進也

1. はじめに

犬猿の仲、呉越同舟、不倶戴天、…。世の中には水と油のように混ざり合わない関係を表す言葉がいくつもあります。

ただ、水と油は例外で、界面活性剤の力を借りると乳化して混ざり合うことができます。さらに、高速攪拌技術を組み合わせると、乳化処理にさらなる付加価値を与えることができます。本コラムでは、乳化をキーワードに当社高速攪拌機を用いた乳化設備の一端をご紹介します。

2. 乳化

歯磨き粉、マヨネーズ、シャンプーなど乳化を利用した製品は、まさに私たちのおはようからおやすみまでの至るところで欠かせないものになっています。乳化は、「水と油のように互いに溶解しない液相の一方が他の一方に微細な液滴として分散したもの」と定義※¹されています。

乳化させるためには、機械的な剪断力により液滴を微細化する方法や、界面活性剤を用いた物理化学的な方法がとられます。

水と油をコップの中に入れると、水相と油相に分離します。水と油とが接する界面では、液体内部と比較して分子間力などの相互作用が低下するため、エネルギーが高く不安定な状態になります。この状態を回避するために、界面はなるべく小さくしようとします。その結果、水と油の接する面積が最小になります。比重差があるため、重い水は下に、軽い油は上に分かれ、結果として上下に分離することになります。

では、どのようにして水と油が混ざるのでしょうか。ここで登場するのが、界面活性剤です。食品分野では界面活性剤のことを乳化剤といいます。乳化剤は、水に馴染みやすい水酸基と馴染みにくい疎水基であるカルボン酸基をもつエステル化合物が用いられます。乳化剤を用いると、界面では、水側には水酸基が向けられることになり、界面の水は、乳化剤の水酸基部分と相互作用がありエネルギーは安定化し、界面張力が低下します。一方の油相の界面も乳化剤の疎水基と相互作用することで、エネルギーが安定化するため、界面張力が低下します。これにより、油が乳化剤に覆われた状態となり水中に分散し、見かけ上、油が溶解したように見えます。この例では、油滴が、水中に分散しているので、oil in waterとして存在しているので、このような状態を専門用語でo/w型と表現されます。逆に水滴が油液中に分散している状態はw/o型と表現されます。

余談ながら、化粧水ではw/o型は、しっとりしながらもみずみずしい、o/w型は、さっぱりとしながらもうるおいがあるといった効果があるようです(筆者は化粧水などとは縁遠い生活をしているので実感はないのですが)。さらにはw/o/w型やo/w/o型もあります。

ここでようやく高速攪拌機の登場です。乳化分散した溶液に高速攪拌機で高い剪断力を与えると、分散している液滴径は、剪断力により小さくなります。攪拌機回転数、攪拌時間を変更することにより、粒子径の制御が可能です。液滴径を変えることで乳化製品の効能が変わり、製品にこれまでにない付加価値を与えることができます。

3. 当社プラント事例

当社攪拌機は、化粧品、食品、化学品、医薬品と応用範囲はさまざまですが、機器構成は、水系原料の溶解槽、油系原料の溶解槽およびそれらを混ぜる乳化槽からなります。Fig. 1に概略フローを示します。原料は、水、油およびこれらに溶解させる副原料となります。溶解槽それぞれにて、各原料は混合され、加温されて溶解されます。各槽で得られた溶解液は乳化槽に移送され、高速攪拌により乳化処理されます。乳化槽は、高速攪拌機のアチホモミクサー®と低速攪拌機のパドルミクサーの2機の攪拌機を有します。アチホモミクサー®は、乳化液に剪断力を与えることで、製品粒径などの製品品質を制御する役割を果たします。一方、パドルミクサーは、高粘度な槽内において、アチホモミクサー®により局所的に剪断力を受けた液を槽全体に循環させることで、槽内液の液滴径を均一にする役割を果たします。所定時間攪拌されたのち、乳化製品が得られます。製品は、乳化槽底部より排出されます。製品排出後、攪拌機と容器上部の蓋部分が油圧ユニットにより上昇し、人手にて内部が洗浄されます(洗浄はCIPも可能です。この場合は、アチホモミクサー®ではなくクリアスタア®という当社別製品となります)。

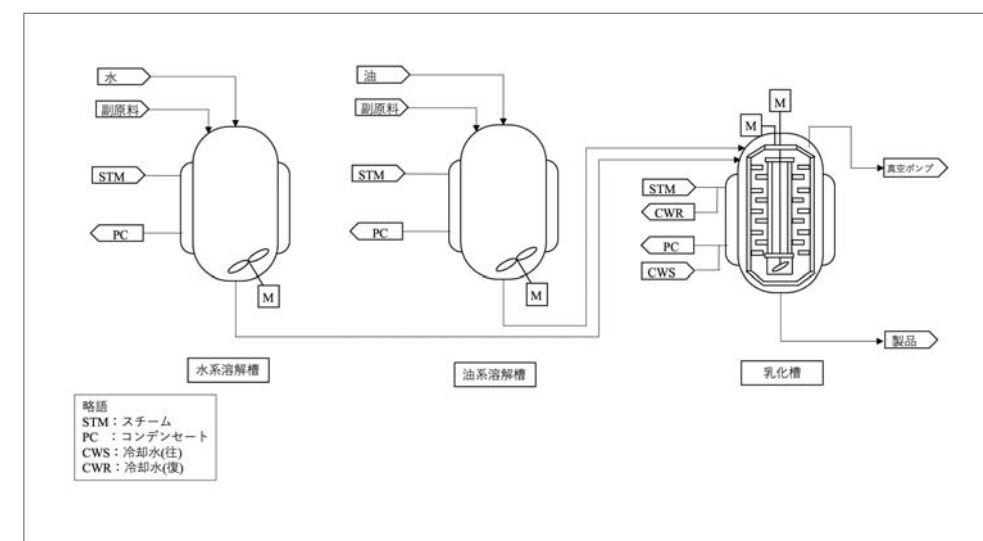


Fig. 1 乳化概略フロー

4. おわりに

当社の乳化槽攪拌機は、高速と低速というお互いの長所を生かしながら、今日もどこかで混ざり合わない2つを仲良く結びつけるお手伝いをさせていただいております。

本日は、社会を攪拌機から支えているプライミクスの乳化攪拌機のご紹介でした。

ろ過

本コラムでは、主に若手社員向けに月島機械グループの技術の歴史と今を紹介します。第2回目の今回のテーマは「ろ過」技術です。関連会社を含む月島機械グループのろ過技術の特徴は、競合他社に比べて対応分野の範囲が広く、対応機種も非常に多いことです。本コラムでは、各機種を大まかに分類して紹介します。

まず、ろ過とはどのような単位操作をさすのでしょうか？一般に粒子が液中に懸濁しているものをスラリーといい、このスラリー中の固形物をろ材により分離する操作をろ過といいます。また、同様に気体中のダスト等の固形物を分離する操作もろ過といいます。このときろ過は、主に重力、圧力、圧搾力等により行われます。なお、慣習的に同じスラリー中の固形物をろ材で分離する操作でも、遠心力により行われるものは、「遠心分離」に分けられます。このように定義づけると少し難しいように思えますが、ろ過操作は目で見てわかる、非常にシンプルで身近な単位操作です。浄水器のフィルタ、茶こしの金網、掃除機のエアフィルタ等もろ材であり、日常生活でもろ過操作は行われています。

このような、日常に身近なろ過操作の歴史は古く、紀元前からすでにお酒の分離でろ過操作が行われていたと言われています。清涼な飲み水の確保もままならない時代ですから、お酒の魅力は今も昔も変わらないといったところでしょうか？なお、工業用としてろ過機が使用されるのは、このずっと後で中世以降になります。飲み水のろ過で砂ろ過が行われていたようです。19世紀になると、ヨーロッパやアメリカで、現在でも使用されているフィルタプレスやドラムフィルターの開発が行われ、これらのろ過機が上水分野や鉱山分野で一部使用されるようになりました。アメリカで起きたゴールドラッシュにより、開発が加速的に進んだと言われています。20世紀の前半には、上水分野や鉱山分野に限らず、さまざまな分野で、現在でも使用されているろ過機に近い形の工業用ろ過機が使用されるようになりました。

上記がろ過技術およびろ過機の大まかな歴史ですが、月島機械グループのろ過技術の歴史はどうでしょうか？さまざまな工業用ろ過機が製作された20世紀前半は、月島機械グループは同じ固液分離操作である遠心分離機を製作しておりましたが、まだ本格的にはろ過機事業には参戦していません。月島機械グループの場合、本格的にろ過機事業に参入したのは、1960年にアイムコ社からろ過機技術を一括導入した以降になります。この時に導入した機器の一つのベルトフィルタ（ろ布走行式連続真空ろ過機）（図1）は、上下水の脱水設備として採用されました。また、民間の非鉄・化学分野でも採用され、民間分野では現在でも販売されています。

産業事業本部 単体機器技術部 プロセスグループ
陳 貴吉

その後、表1に示すように、1960年代、1970年代にかけて次々と海外各社の技術を導入し、多くのろ過機を製品群に加えてきました。これらの主要技術の導入は、ヨーロッパやアメリカ等の先進国技術をキャッチアップする上で必須事項でした。また、導入した技術をもとに独自の自社開発も行ってきました。この時代に自社開発した代表的な機種の一つに、高脱水能力と大型化を実現したDCフィルタ（ろ布走行式圧搾機構付きフィルタプレス）（図2）があり、現在でも上水分野での主力製品の一つです。月島機械㈱グループの技術が先進国に追いついた1980年代以降は、自社によるブラッシュアップや開発が中心になりますが、最近ではBOKELA GmbH社が月島機械㈱グループのグループ会社になり、サブμ



図1 ベルトフィルタ

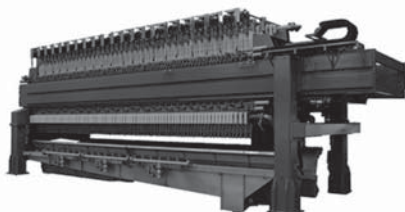


図2 DC フィルタ

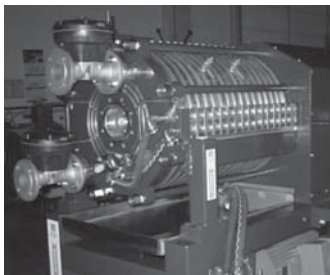


図3 BoCross® フィルタ

mの粒子にも対応できるBoCross® フィルタ（図3）等が製品ラインナップに加わりました。このような歴史を経て、現在までに民間分野だけでも、各産業分野へ30機種以上の機器の納入実績があります。市場競争力の問題で、現在これまでに機器のすべてを取り扱っているわけではありませんが、競合他社と比べても非常に多くの機種の納入実績があるといえます。

このように月島機械グループは多種のろ過機の実績がありますが、都度市場の要求に合わせて対応してきた結果かと思われます。各種ろ過機は、大まかにろ過方式で、重力ろ過式、真空ろ過式、加圧・圧搾脱水式の3つに分けられます。なお、ろ過機の中には上記の方法での分類の難しい、重力ろ過と圧搾脱水を組み合わせたベルトプレス（図4）のような機器もあります。これらに分類されるろ過機は、表2に示すようにそれぞれ利点・欠点があり、どれが優れているというわけではありません。その時々トレンドや処理物ごとの適性に合わせて、選定や開発が行われました。今後、いろいろなるろ過機に触れる機会があった際には、ろ過方式を確認してい

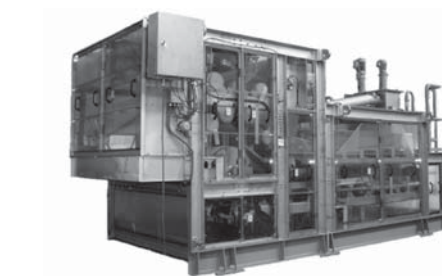


図4 ベルトプレス（高効率率ベルトプレス脱水機：上、濃縮分離型ベルトプレス脱水機（イメージ図）：下）

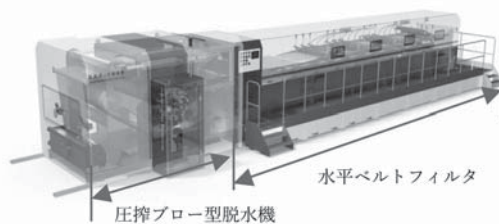


図5 水平ベルトフィルタおよび圧搾ブロー型脱水機（イメージ図）

ただき、どのような理由で選定されたか想像していただけると面白いと思います。ろ過操作は、状況が目で見えて確認できる取っ付きやすい技術分野ですので、チャレンジしてください。選定理由を掘り下げるとろ過方式以外に、連続・バッチ処理等の運転方式や固形物の排出方式とのそのほかの理由が見えてくるかと思います。

現在月島機械グループでは、月島機械㈱、月島マシンセールズ（株）、BOKELA GmbHの3つの会社でろ過機を販売しています。各社で各担当者が、新しい技術の開発に挑戦しています。私自身は、月島機械㈱の民需用ろ過機の計画業務を担当し、主に水平ベルトフィルタおよび圧搾ブロー型脱水機のブラッシュアップおよび大型化の検討をしています。水平ベルトフィルタおよび圧搾ブロー型脱水機（図5）は、二次電池材料等に代表されるような、粒子径が5～15 μmの粒子の洗浄脱水操作に適用される機器です。ブラッシュアップ・大型化により、競争力を高めるよう努力しています。

表1 ろ過技術導入例（1960, 70年台）と関連自社開発製品例

	機種	機器の分類	技術導入元	自社開発品例
1	ベルトフィルタ(図1)	円形連続式真空ろ過機	アメリカ アイムコ社	
2	ウクライナフィルタ	縦型バッチ式加圧ろ過機	ソ連	
3	横型フィルタプレス	横型バッチ式加圧ろ過機	イタリア ディーメ社	TMフィルタ、DCフィルタ(図2)
4	ベルトプレス	圧搾脱水機	オーストリア アンドリッツ社	濃縮分離型ベルトプレス脱水機(図4)
5	水平ベルトフィルタ	水平型連続式真空ろ過機	オランダ パネビス社	シンクロフィルタ 圧搾ブロー型脱水機（図5）

表2 ろ過方式と特徴

	ろ過方式	特徴	主な機械
1	重力式	①ろ過・脱水能力が、かなり低い。 ②ろ過のための動力源を必要としない。 ③機器の構造がシンプル。 ④連続処理機の製作が容易で、大量処理が可能。	砂ろ過機 ベルト濃縮機
2	真空式	①ろ過・脱水能力が低い。 ②真空ポンプ等の真空源が必要。 ③ろ室のシールを考慮する必要がほぼなく、機器の構造がシンプル。 ④連続処理機の製作が容易で、大量処理が可能。	ベルトフィルタ 水平ベルトフィルタ トレイフィルタ
3	加圧式・圧搾式	①ろ過・脱水能力が高い ②押込ポンプや加圧エア等の圧力源が必要。 ③ろ室のシールを考慮する必要があり、機器の構造が複雑。 ④固形物が多い処理物に適用できる、連続処理機の製作が難しく、大量処理が難しい。	フィルタプレス ベルトプレス（※1） 圧搾ブロー型脱水機 BoCross®フィルタ（※2）

（※1）ろ過は重力式、脱水が圧搾式
（※2）濃縮ろ過もしくは、ふるいろ過をする装置

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	592名(グループ2,556名)(2020年3月末現在)
創業	明治38年8月	売上高	単体：542億円　連結：1,003億円(2020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	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
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	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
大阪支社	〒541-0048 大阪市中央区瓦町3-6-5(銀泉備後町ビル) TEL.06-6229-1331　FAX.06-6229-1415	〈海外〉	
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	TSKハノイ駐在員事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Hanoi Representative Office Unit 13-03A, Prime Centre, 53 Quang Trung Street, Hai Ba Trung District, Hanoi, Viet Nam TEL. +84-(0)24-3766-9965/9967/9968　FAX. +84-(0)24-3766-9969	
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	TSKジャカルタ駐在員事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Jakarta Representative Office Setiabudi Atrium 2nd Floor, Unit 207 Jl. HR. Rasuna Said Kav. 62, Kuningan, Jakarta 12920, Indonesia TEL. +62-21-521-0491/0492　FAX. +62-21-521-0490	
横浜支店	〒231-0015 横浜市中区尾上町4-47(リスト関内ビル) TEL.045-651-7331　FAX.045-664-5086	TSKヨーロッパ駐在員事務所 Tullastraße 64 76131, Karlsruhe, Germany TEL. +49-721-9-64-56-785　FAX. +49-721-9-64-56-10	
名古屋支店	〒045-0003 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	TSKムンバイ駐在員事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Mumbai Liaison Office 903A, Raj Horizon, Ramdev Park Road, Mira Road East, Thane 401107, Maharashtra, India TEL. +91-9967645572	
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		
関西事務所 (産業事業本部 営業部)	〒541-0048 大阪市中央区瓦町3-6-5(銀泉備後町ビル) TEL.(06)6206-1210　FAX.(06)6220-2900		

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	〈海外関連会社〉
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	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
月島環境エンジニアリング(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-12-1 (KDX晴海ビル) TEL.03-6758-2310　FAX.03-6758-2324	月島環保機械(北京)有限公司 TSK ENGINEERING CHINA CO., LTD 702, Block B, Winter Less Center, 1st Xidawang Rd, Chaoyang District, Beijing, China. TEL. +86-10-8590-6595　FAX. +86-10-8590-6593
月島マシンセールス(株)	〒135-0031 東京都江東区佐賀1-3-7 (月島機械永代ビル) TEL.03-5621-5911　FAX.03-5621-5912	BOKELA GmbH Tullastraße 64 76131, Karlsruhe, Germany TEL. +49-721-9-64-56-0　FAX. +49-721-9-64-56-10
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)内) TEL.03-3533-4824　FAX.03-3536-0968	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
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	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
三進工業株式会社	〒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	



編集後記

Editor's Note

TSK技報 NO.23 2020
発行日:2020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
編 集 委 員 長:横幕 宏幸
副編集委員長:本間 友基
編 集 委 員:新川 正人

小林 俊樹
長谷川 雄一
津崎 裕也
島田 純
荒井 健
内山 信江

左 淳
谷口 智彦
河岸 正泰
越智 崇

栗田 新平
上田 厚志
鈴木 健治
駒場 真由美

地震・台風・コロナなど、我々人類を取り巻く環境は厳しさを増していく中、我が国の新リーダーは「2050年温室効果ガス排出量ゼロ」を掲げました。我が社は“最良の技術をもって産業の発展と環境保全に寄与し、社会に貢献すること”を理念とし、“技術・サービスで地球環境をまもり社会に貢献すること”を世間に約束しました。進歩を続ける月島機械グループ技術の1つ1つが地球環境保全貢献へとつながっていくという誇りと使命を胸に今日もまた更なる進歩を目指して頑張りましょう。