

TSK 技報

TSK技報 no.25 2022

TSK TECHNICAL REVIEW

論文1

二次電池開発 新型晶析装置

論文2

排熱利用型TSA (Thermal Swing Adsorption) 式
消化ガス中シロキサン除去システムの開発

TSK 月島機械株式会社

www.tsk-g.co.jp

環境技術で世界に貢献する月島機械

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

表紙の写真



富士山と河口湖畔の桜と逆さ富士

目次

6	巻頭言 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 月島機械株式会社 調達管理本部 本部長 執行役員 森 孝行	
8	論文1 二次電池開発 新型晶析装置	津崎 裕也
16	論文2 排熱利用型 TSA (Thermal Swing Adsorption) 式消化ガス中 シロキサン除去システムの開発	川上 健志
22	研究紹介1 Flux 法による次世代正極活物質製造技術の開発	銅谷 陽・手嶋 勝弥
28	研究紹介2 光触媒を用いた難分解性成分の分解	奥田 直之
32	研究紹介3 小型4軸ロボットとIoT技術を用いた分析作業の 自動化システム実証研究紹介	藤平 祥孝・山本 稔
38	技術・製品紹介1 「中小規模処理場間の広域化に資するバイオマスボイラによる 低コスト汚泥減量化技術実証研究」の紹介	川上 健志・梅染 俊行
43	技術・製品紹介2 東部スラッジプラントにおけるエネルギー自立型焼却システム	町田 高穂・国分 剛
47	技術・製品紹介3 3D設計活用の拡大	三島 仁
50	技術・製品紹介4 樹脂製チェーンフライト式汚泥掻き寄せ機への PETチェーンおよび耐震機構の適用	小山 達也
54	技術・製品紹介5 自己循環式 CIP 溶解槽ミキシレータ®の紹介	西川 宏
58	技術・製品紹介6 パイロットプラント向け小型固液分離装置の紹介	古川 智浩
62	実績紹介1 中川水循環センターにおける汚泥消化設備の運転実績・効果	飯田 裕樹・澤原 大道
65	実績紹介2 大村市納入ロプレス®の実稼働について	栄野比 勝広
68	実績紹介3 ベトナム南部 フーミー 3特別工業団地における化学プラント建設実績	千葉 翔太郎
72	解析グループ紹介 Part6 流体解析手法編 ~格子法と粒子法その2~	相馬 悠佑
76	R&Dセンター紹介 下水汚泥由来の脂質分析方法	森 彰宏
80	月島茶房 ポイントサービスの今後を会計的視点で考える	松原 一樹
82	月島今昔物語 乾燥	諏訪 聡
86	会社概要・編集後記	

CONTENTS

6	Foreword Tsukishima Kikai Co., Ltd. Executive Officer Senior General Manager, Procurement Management Division MORI Takayuki
8	Paper1 <i>Development of a secondary battery: a new crystallizer</i> TSUZAKI Hiroya
16	Paper2 <i>Development of TSA (Thermal Swing Adsorption) system for removing siloxane from digestion gas using waste heat</i> KAWAKAMI Takeshi
22	Introduction of Research 1 <i>Production technology development for next-generation cathode materials using the Flux method</i> DOYA Yo / TESHIMA Katsuya
28	Introduction of Research 2 <i>Decomposition of refractory compounds using photocatalysts</i> OKUDA Naoyuki
32	Introduction of Research 3 <i>Introduction and demonstration of an automated jar testing system developed using a small 4-axis robot and IoT technology</i> FUJIHIRA Yoshinori / YAMAMOTO Minoru
38	Technology / Products 1 <i>Introduction of "Research on low-cost sludge reduction technology using a biomass boiler to contribute toward widespread adoption of sludge treatment in small- and medium-scale plants"</i> KAWAKAMI Takeshi / UMEZOME Toshiyuki
43	Technology / Products 2 <i>Energy self-sufficient incinerator system at Tobu Sludge Plant</i> MACHIDA Takao / KOKUBUN Takeshi
47	Technology / Products 3 <i>Expansion of the 3D design utilization</i> MISHIMA Jin
50	Technology / Products 4 <i>Application of PET chains and Earthquake resistant mechanism to Plastic chain flight type sludge collector</i> KOYAMA Tatsuya
54	Technology / Products 5 <i>Introducing the self-circulating CIP dissolving tank mixer "MIXILATOR"</i> NISHIKAWA Hiroshi
58	Technology / Products 6 <i>Introduction of a small scale solid-liquid separation equipment for a pilot plant</i> FURUKAWA Tomohiro
62	Introduction of Products 1 <i>Operational performance and effects of a sewage sludge digestion equipment at the Nakagawa Water Circulation Center</i> HIDA Yuki / SAWAHARA Hiromichi
65	Introduction of Products 2 <i>Actual operation of the Rono-press delivered to Omura City</i> ENOBI Katsuhiko
68	Introduction of Products 3 <i>Chemical Plant Construction in Phu My3 Specialized Industrial Park</i> CHIBA Shotaro
72	Introduction of CAE Group Part6 SOMA Yusuke
76	Introduction of R&D Center MORI Akihiro
80	Tsukishima Teahouse MATSUBARA Kazuki
82	Tsukishima Tales of Times Now Past SUWA Satoshi
86	Corporate Profile / Editor's Note

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

月島機械株式会社
調達管理本部 本部長
執行役員

森 孝行

「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」、当社の企業理念である。思い起こせば今から約30年前、北海道の大自然の中で育った私が修学旅行で夜行列車を乗り継ぎ夜明けの窓から見たのは、本来青空であるはずの空が大気汚染で薄暗い灰色で曇った東京の姿であった。「何とかしたい」、そこから私の進路が決まったように思う。

当社は、環境技術で世界に貢献するために水環境事業においては、嫌気性消化設備によりバイオガスを製造しそれを原料として発電、汚泥から固形燃料を製造し自給エネルギー使用や地域への熱供給、さらには地域バイオマスの有効利用による汚泥処理の広域化などを通じて循環型社会・脱炭素社会の構築、さらには再生可能エネルギーの創出に貢献しています。産業事業においては、リチウムイオン二次電池材料の正極活物質を製造するためにコア技術である晶析、固液分離、乾燥、混合、粉体

ハンドリングを活用し、二次電池関連の技術開発などを通じて温室効果ガス排出を抑制する取り組みを行っています。このように環境技術によって、持続的な開発目標 (SDGs) の達成に向けて、ESG戦略としてマテリアリティを抽出し、それらに向けて取り組みの方向性を示しています。今回の技報においてもこのようなテーマでの報告が多数なされており、当社技術の進歩が伺えます。しかしながらESG戦略の達成のためには、技術だけではなく顧客要求事項や適用される規制要求事項を満足するために顧客のニーズをいかに理解してその期待をいかに超えるか、目標に対するPDCAサイクルを確実に回すなどの従業員ひとりひとりが当社品質方針を理解すること、活動を行うにあたり地球環境に与える影響を認識評価し、経済的、技術的に可能な範囲で環境マネジメントシステムを推進していくことが重要です。そしてこれを行うことができるのは最も重要な経営資源である従業員の皆様です。

企業理念

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

個人の挑戦が個人の成長につながり、それが組織の成長となり、最終的に会社の成長となり正の循環となる。皆様とともに成功体験を重ねていきたいと考えています。

最近では米中貿易摩擦による外需低迷、新型コロナウイルス感染拡大影響による経済活動の抑制、ロシアウクライナ問題などにより、半導体などの調達難、輸送輸出の見通しが不透明、資源高の影響など調達範囲においてもとても大きな影響があります。調達としての視点でESG活動を見たときに、取引先と相互の企業価値の向上を目指した調達活動となるために、公平かつ公正で品質、価格、供給安定性、技術力、環境方針、安全確保、コンプライアンスなどの取り組みを総合的に考慮した合理性のある取引を行う必要があります。

このようにサプライチェーン上で社会的配慮を行うことが持続可能を目指す取り組みとなります。今後、調達方針、取引先の評

価選定、監視モニタリング、取引評価の要素に対してサステナビリティの要素を加えていく必要があると考えています。

当社は創業117年の歴史があり、先輩方の努力のおかげでここまで成長することができました。しかしながら、当社を取り巻く事業環境が急速に変化し、かつ企業に求められる責任に対して当社グループが持続的な成長を目指すために経営体制を持株会社体制へ移行することになりました。持株会社はグループ戦略および経営管理を担い、事業会社は意思決定の迅速化を図ることでグループ経営の効率化およびガバナンスのさらなる高度化を推進し、当社グループの企業価値向上を目指すことになります。

「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」この企業理念を改めて心に刻み込み、皆様とともにさらなる発展を目指していきましょう。

二次電池開発 新型晶析装置

Development of a secondary battery: a new crystallizer



津崎 裕也
TSUZAKI Hiroya
産業事業本部
単体機器技術部
新事業開発グループ

Abstract

The secondary battery market has been rapidly growing recently, together with the development of materials that improve battery performance, resulting in higher capacity and output. Reducing the particle size is an effective method to improve battery performance, which can be produced by adjusting conventional crystallization technology. Although the production of small fine particles needed for a higher battery performance is difficult, we succeeded in developing the crystallization method. The crystallizer can transfer high-efficiently strong shear force to the reaction field, which reduces the particle size. The developed technology reduced the particle size of the high-capacity battery materials down to an average of 1-3 μm , which to the best of our knowledge has never been done before.

近年、成長著しい二次電池市場では、さらなる高容量・高出力化などの電池性能の向上を目的とした材料開発もまた日進月歩で進んでいる。電池材料の性能を向上させる手段として、「微粒子化」は有効な手段であり、従来技術では、晶析工程でのプロセス条件の調整によって、微粒子を製造する製法が一般的に用いられてきた。しかし、より高性能を目指すためにさらなる微粒子化を図るには、従来の微粒子化技術だけでは、困難となってきている。本開発では、微粒子化に有効な強剪断力を高効率に反応場に伝達することで、従来技術では微粒子化が困難とされてきた高容量電池材料を平均粒子径 d50 で 1~3 μm まで微粒子化する晶析方法、および、晶析装置の開発に成功した。

キーワード：微粒子、剪断力、晶析装置、リチウムイオン電池、金属水酸化物、
Keyword：Fine particle、Crystallizer、Shear force、Lithium Ion battery、Metal hydroxide

1 はじめに

近年、電気自動車や電子機器の普及に伴い、二次電池市場の成長は著しく、2022年現在、約400GWhとされる世界市場は、2030年までに3~5倍の1,200~2,000GWhまで拡大すると予想されている。同時にさらなる高容量・高出力化などの電池性能の向上は、今後の電池市場の成長にも大きく影響を及ぼす課題であり、電池材料メーカー、電池メーカーでは、現在も日進月歩で技術開発が進められている。

電池材料は、大きく分けて、正極材、負極材、電解質、セパレータから構成されており、中でも正極材は、電池容量や出力といった電池性能を左右する主要材料である。

当社では、これまで正極材の主原料である金属水酸化物の製造法

である中和反応晶析法（共沈法）、および、晶析装置の開発に取り組んできた。そして、この度、正極材の高容量化に向けて、昨今、適用検討が進められているニッケル含有率90%以上のハイニッケル系金属水酸化物において、実現が困難とされていた微粒子（平均粒子径 d50 が 3 μm 以下の粒子）の製造に成功した。微粒子化による粒子の比表面積増大は、電池の高出力化に効果的であり、本開発技術により製造されたニッケル含有率90%以上のハイニッケル系金属水酸化物の微粒子材料は、高容量、かつ、高出力の機能を併せ持つ、高機能材料として期待される。

本稿では、本開発技術の概要、および、期待される効果について紹介する。

2 二次電池市場における技術動向

二次電池に求められる性能は大別して以下の4つである。

- (1) 高容量(高エネルギー密度)
- (2) 高出力
- (3) 低コスト
- (4) 安全性、長寿命

現在、車載用に普及しているリチウムイオン電池は、三元系とリン酸鉄系の二種類が主流であるが、それぞれに一長一短がある。三元系はエネルギー密度が高く、低温時にも比較的安定した出力が得られるため、小型でありながら、長い航続距離が必要とされる乗用車向けの電池として適用されてきた。しかし、希少金属のコバルトを用いるためコストが高いこと、エネルギー密度を高めるほど高温における安全性が低下するというデメリットがある。一方、リン酸鉄系は、コバルトを使用しないため、三元系よりコストで2~3割安く、熱安定性が高いため安全性の面でも勝る。反面、エネルギー密度が低く、出力も低いため、比較的航続距離が短く、電池の設置スペースに余裕のあるバスなどの大型車に搭載されるケースが多かった。(表1参照)

ただし、これは現時点の性能であり、日々の技術革新により、近い将来、電池材料の性能はさらに向上していくと考えられる。以下に、想定される今後の材料改良・改善の技術動向を示す。

【三元系の正極材料開発】

- ・さらなる高容量化 → ニッケル含有率の高いハイニッケル系金属水酸化物へ
- ・さらなる高出力 → 微粒子化
- ・コスト低減 → コバルトフリー

【リン酸鉄系の材料開発】

- ・高容量・高出力 → 微粒子化

表1 リチウムイオン電池の種類と比較
Table1 Types and comparison of Lithium ion battery

	三元系 (NCM, NCA)	リン酸鉄系 (LFP)
1. 正極材	NCM : LiNiCoMnO2 NCA : LiNiCoAlO2	LiFePO4
2. 性能		
(1) 電池容量	○ : 高容量	△ : 低容量
(2) 出力	○ : 高出力	△ : 低出力
(3) コスト	△ : 高コスト	○ : 低コスト
(4) 安全性、寿命	△ : LFP に比べ低い	○ : 三元系に比べ高い
3. 用途	車載、蓄電、電子機器	蓄電、バスなどの大型車両

また、次世代電池候補の一つである全固体電池は、現在の三元系における液体電解質を固体電解質に置き換えることで、三元系における高容量化に伴う安全性の低下を改善することが期待されている。

【全固体電池(次世代電池)】

- ・固体電解質の適用により、液体電解質を使用している従来のリチウムイオン電池における液漏れ、発火などの心配がなく、安全性が高い。
- ・液体電解質を使用した従来のリチウムイオン電池では、安全性の観点から使用できなかった電池材料が適用できるようになり、さらなる高容量化が期待されている。
- ・電解質が固体であるため、液体電解質に比べ、イオン伝導性が低く、出力を上げにくい。液体電解質と同等の伝導性を持つ材料開発が当面の課題。

以上の内容は、現在、二次電池分野で取り組まれている材料開発の一部であり、次世代電池用の材料開発は多岐に渡る。

ここで筆者が考えるのは、当社のような装置メーカーが当該分野の次世代材料開発に対し、貢献できる技術は何かである。

「高容量化」、「高出力」、「高い安全性」、「低コスト材料」などを目的とし、電池材料メーカー、電池メーカーが開発した電池材料の性能をさらに引き出すサポートとしてできることは何かを考えた時、「微粒子化」というキーワードが浮上してくる。同じ素材の材料においても、微粒子化することによって比表面積は増大し、反応性が向上する。そのもの持つ性能をさらに引き出す有効な手段である。

当社の開発技術におけるキーポイントは、従来、微粒子化が困難とされていた材料を「微粒子化」することである。現在、電池の高容量化を目的に適用が研究されているハイニッケル系金属水酸化物の微粒子化を事例として開発技術の概要と期待される効果を後述する。

3 技術課題

3.1 技術要求

リチウムイオン電池の機能性向上に向け、三元系リチウムイオン電池においては、さらなる高容量化とコストダウンのためにコバルト含有率を下げ、代わりにニッケルの含有率を上げたハイニッケル系金属水酸化物の適用が研究されている。従来の電池材料のニッケル含有率は50～70%であったが、昨今は、ニッケル含有率が80%以上の材料の実用化が進んでおり、すでに平均粒子径d50=3～15μmの粒度範囲で、用途別に粒子径の異なる材料が作り分けられている。しかし、平均粒子径d50が3μm未満の材料はほとんど流通していない。また、材料メーカーにおいて、さらなる高容量化を目的として研究段階にあるニッケル含有率90%以上の材料に至っては、3μm未満の材料の製造は困難とされている。

これは、正極材の高容量化のために金属水酸化物中のニッケル含有率を増加させるほど、中和反応晶析法で得られる金属水酸化物の粒子径が増大し易くなるためである。

この現象は、中和反応晶析による三元系金属水酸化物の生成プロセスにおける各金属の溶解度の差に起因する。原料液となるニッケル、コバルト、マンガンの硫酸塩水溶液に対し、反応液である苛性ソーダ、錯化剤としてのアンモニアを添加し中和反応晶析を行う場合、アンモニアと錯体を形成するニッケルとコバルトは錯体を形成しないマンガンに比べ溶解度が高く、さらに、ニッケルはコバルトに比べ溶解度が高い。すなわち、溶解度の順位は、高い順にニッケル>コバルト>マンガンとなる。このため、ニッケル含有率の増加は、溶液中における金属の溶解度を上げ、過飽和度を低下させる。過飽和度の低下は、核発生速度の低下と相対的な結晶成長速度の上昇を促し、粒子径の増大に繋がると考察する。

前項で述べたとおり、電池性能には、高容量化と同時に高出力化が求められる。微粒子化は電池の高出力化を引き出す有効な手段であると同時に、電池内における電池材料の充填密度を向上させる上でも効果的である。この意味で微粒子化が困難とされつつも、高容量化の材料として注目されているハイニッケル系金属水酸化物を微粒子化することは、高容量化と高出力化を両立させるために効果的な手段と考えられる。(図1)

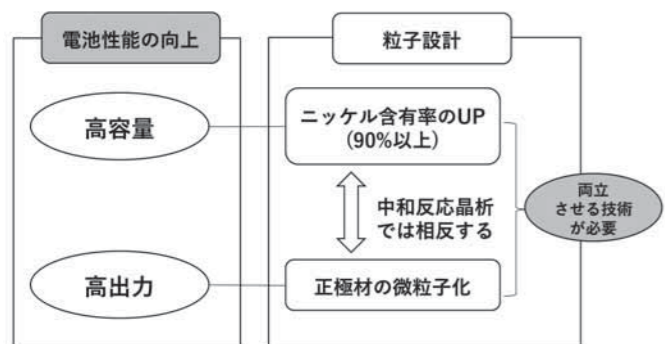


図1 電池性能向上のための技術要求
Fig.1 Technical requirements for improvement of battery performance

3.2 技術課題

本開発では、高容量・高出力を両立するためのハイニッケル系金属水酸化物の品質目標値を以下のように定めた。

1	ニッケル含有率	90%以上
2	平均粒子径 d50	3μm 以下

ニッケル含有率90%以上という目標値は、現在、各電池材料メーカーにて高容量化の目的で目標とされている数値を採用した。また、平均粒子径d50の目標値は、現時点の中和反応晶析技術では、製品品質の低下を引き起こすことなく微粒子化することが困難とされる3μm以下の微粒子領域とした。

3.2.1 プロセス条件による微粒子化と留意点

粒子径を小さくするために、晶析装置内における結晶の滞留時間を短くする、または、pH値を高くすることは一般的に知られている方法である。しかし、過度な滞留時間の短縮や高いpH値は、一次粒子の微細化や二次粒子の球形度(※1)の低下など、結晶品質の低下を引き起こす。球形度の低下は、電池内における正極材料の充填密度を低下させ、電池容量や出力の低下につながる。そのため、滞留時間やpH値の調整は、結晶品質を維持する範囲内で行うよう留意が必要である。

(※1) 球形度 = (粒子投影像の面積円相当径) / (粒子投影像の外接最小円の直径)

本方法は、ニッケル含有率の低い金属水酸化物の粒子径を小さくするためには有効な方法であるが、粒子径が大きくなりやすいニッケル含有率90%以上のハイニッケル系金属水酸化物においては、3μm以下の微粒子を生成する場合、過度の滞留時間の短縮や高いpH値設定を必要とする。図2に当社製渦流式晶析装置におけるニッケル含有率別、滞留時間と平均粒子径の相関関係を示す。

従来の攪拌槽型晶析装置に比べ、高い攪拌効率を有する渦流式晶析装置では、ニッケル含有率83%や90%以上のハイニッケル系金属水酸化物において、平均粒子径d50を3μm台まで微粒子化することを達成した。しかし、目標とする3μm以下の微粒子を生成するためには、さらに滞留時間の短縮やpH値を上げていくことになり、徐々に粒子形状が悪化していく。そのため、目標達成のためには、プロセス条件による調整以外にも微粒子化を図る手段の必要性が生じた。

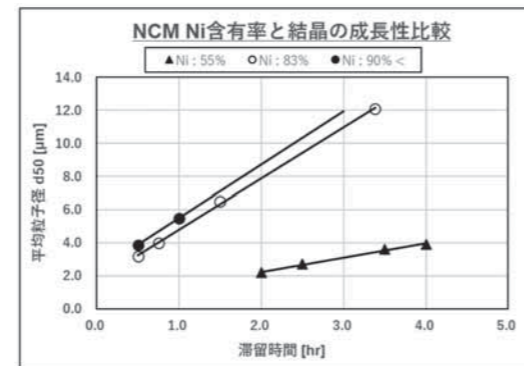


図2 滞留時間と平均粒子径の相関関係(ニッケル含有率別)
Fig.2 Correlation between residence time and average particle size

3.2.2 剪断力による微粒子化の課題

プロセス条件の調整以外に結晶を微粒子化する手段として、晶析装置における攪拌力や剪断力を上昇させることで粒子径の成長を抑制する技術が研究されている。以下に、従来の攪拌槽型晶析装置における技術課題を記す。

1) 剪断力の向上

従来の攪拌槽型晶析装置では、一つの攪拌翼で晶析装置内を均一攪拌するための循環流を形成することと反応場へ局所的に剪断力を与えるという二つの仕事を果たさなければならない。そのため、循環流へ動力を割いた分、剪断力は低下してしまう。逆に、動力を剪断力に割り振り過ぎると晶析装置内の均一攪拌に必要な循環流を十分確保できなくなる。(図3)

そのため、装置内を均一に攪拌するために最低限必要な循環流を確保しつつ、反応場へは強力な剪断力を伝達する機構、および、攪拌翼が求められる。

2) 剪断力の伝達効率の向上

中和反応晶析における反応時間は、0.001sec 未満と非常に短いため、晶析装置内における反応場は極微小な領域になる。一方、攪拌翼における高剪断領域は攪拌翼先端部であり、こちらもまた、極微小な領域である。これら二つの極微小領域が合致しなければ、効率良く攪拌翼の剪断力を反応場へ伝達することは難しい。その実現のためには、中和反応時間の短さを考慮し、攪拌翼直近へ原料液を供給しなければならない。しかし、高速で回転する攪拌翼の至近距離に固定の原料液供給配管やノズルを設置するには、装置が大型化するほどに高い製作精度が必要となる。工業規模の大型装置においても高い製作精度を必要とせず、極微小反応場へ高効率に強剪断力を伝達する構造設計が求められる。粒子形状の悪化などの品質低下を招くことなく、ハイニッケル系金属水酸化物の微粒子を製造する際の技術課題を図4にまとめる。微粒子化するための強剪断力を高効率に反応場へ伝達する技術が課題解決のキーになる。

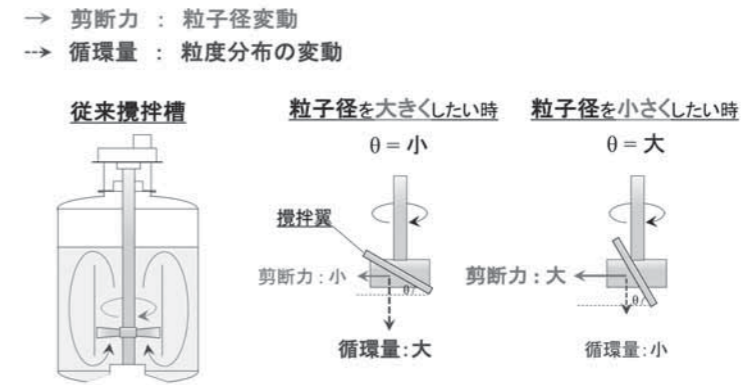


図3 従来の攪拌翼における課題
Fig.3 Issues of conventional agitation blades

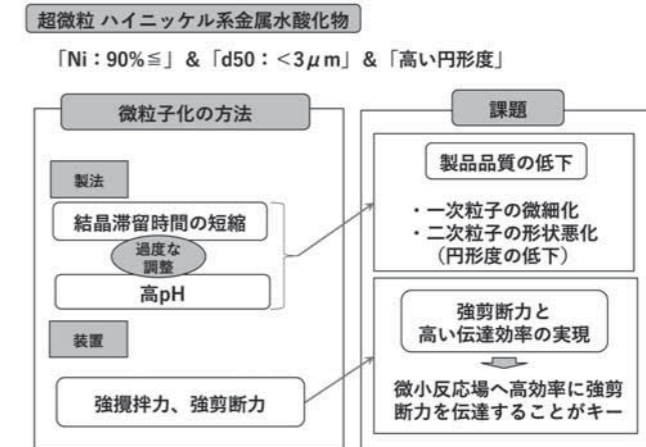


図4 ハイニッケル系金属水酸化物の微粒子化における技術課題
Fig.4 Technical issues to reduce the particle size of high nickel type metal hydroxide

4 開発の概要

4.1 開発コンセプト

開発機の概要を図5-aおよび5-bに示す。剪断力の伝達を担うリアクタ部と循環流を担う循環ポンプが配管で接続されたループ型の晶析装置である。剪断力と循環流の機能を分けることで、リアクタ部では剪断力に特化した攪拌を行うことができ、強い剪断力を反応場へ伝えることが可能となる。また、一般的な攪拌槽型晶析装置では、一つの攪拌翼で剪断力と循環流を担っているため、剪断力／循環流の比率は一定であるが、本開発機では、剪断力と循環流を個別に調整できるため、任意に剪断力／循環流の比率を変動させることができ、粒子径や粒度分布などの粒度制御性能が向上する。

また、晶析方法に応じた最適なカスタマイズが可能である。生産性重視の連続式晶析装置として使用する場合は、より装置のコンパクト化を図るため、配管のみのループ構造の採用が可能である。(図5-a) 一方、粒度分布の均一性を重視したバッチ式晶析装置として使用する場合は、一定の装置容量を確保するために、ループ配管の一部をタンクに切り替えることができる。(図5-b)

4.2 開発ポイント

前述のとおり、ハイニッケル系金属水酸化物の微粒子化には、以下の点に留意した設計が求められる。

- (1) 高い剪断力伝達効率
- (2) 強剪断力
- (3) 品質を維持できる範囲での滞留時間、および、pH値の調整

本開発機の開発ポイントは、この3点における性能向上にある。リアクタ内部の攪拌翼は、下部はプライミクス社製フィルミックス®に採用されている多孔円筒翼、上部はロータリージョイントを経由して攪拌軸内部を流下してきた原料液を噴霧する分散ノズルヘッダーで構成さ

れた回転噴霧式多孔円筒翼である。リアクタ内部は満液状態で攪拌されているため、軸シールにメカニカルシールを採用した完全密閉構造となっている。(図6)

4.2.1 高い剪断力伝達効率

極微小の反応場へ剪断力を高効率に伝達することが、微粒子化において肝要であることを先に述べた。

開発機の攪拌翼は、原料液を分散するノズルと攪拌翼が一体となった構造を採用しており、攪拌翼において最も剪断力が高い多孔円筒翼内外周へ至近距離から原料を噴霧することが可能である。原料液供給ノズルと攪拌翼が別に設けられた場合は、固定子である原料供給ノズルと回転子である攪拌翼間の距離を最小にするために高い製作精度を必要とする。これに対し、原料液分散ノズルと攪拌翼が一体となった本開発機の構造の場合、高い製作精度を要せず、原料液供給ポイントを多孔円筒翼の直近に配置することができる。

これにより、最も剪断力が高い多孔円筒翼内外周廻りを反応場にすることができ、反応場に対する剪断力の伝達効率を最大限まで引き上げることを可能とした。(図6-a)

4.2.2 強剪断力

剪断力は、単位距離当たりの速度差に比例する力として定義されている。(図7)すなわち、単位距離を短くし、かつ、その間の速度差を大きくするほど、剪断力は上昇する。

開発機では、微粒子化に必要な強剪断力を実現するために、プライミクス社製フィルミックス®における剪断力の設計思想に加え、原料供給ポイントから多孔円筒翼内周までの距離の最小化に配慮した。(図6-b)

以下が、設計における留意点である。

- 1) 多孔円筒翼を最大周速50m/sまでの高速攪拌
- 2) 攪拌翼から直接原料液を噴霧することで、原料液供給ポイントと多孔円筒翼内周の距離を最小化
- 3) 多孔円筒翼の穴を原料液と副原料、結晶スラリが通過する際に剪

断力を付与

- 4) 多孔円筒翼外周とケーシング内壁とのクリアランス調整による剪断力調整

4.2.3 製品品質を低下させない粒子径制御

剪断力と循環流の機能を分けたことにより、リアクタ部は剪断力の伝達に特化した攪拌が可能となったことを先に述べた。この機構改良による大きなメリットは、攪拌翼の周速調整のみで粒子径の制御が可能となったことである。これまでの滞留時間やpH値の調整に頼った粒子径制御から、滞留時間、pH値の設定値は一定のまま、攪拌翼の周速調整のみで粒子径の制御が可能のため、粒子径の制御性能は飛躍的に向上する。この機能性向上により、粒子形状の悪化を引き起こさない滞留時間、および、pH値を維持したまま、周速を上げていくことで、製品品質を低下させることなく、反応晶析では製造が困難な微粒子を得ることが可能となった。(図6-c)

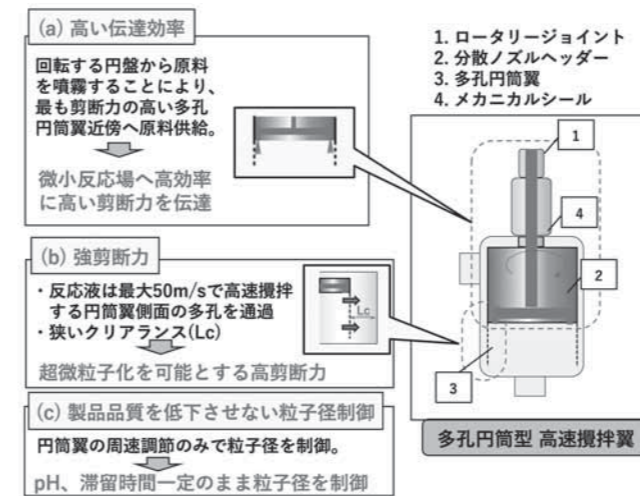


図6 リアクタ部の概略 Fig.6 Outline of Reactor

5 開発の効果

4項で紹介した開発ポイントの効果を以下で紹介する。

5.1 強剪断力

本開発機にプライミクス社製フィルミックス®に採用されている多孔円筒翼を採用するに至ったのは、一般的に強剪断力を生み出すとして知られているタービン翼との性能比較を行った結果、多孔円筒翼の方が、タービン翼に比べ、より効率良く微粒子化に必要な強剪断力を生み出せることが可能であることが立証されたためである。

同じサイズのリアクタにタービン翼、多孔円筒翼をそれぞれ設置し、同じ消費動力で攪拌を行ったところ、多孔円筒翼はタービン翼の1.25倍の外径の攪拌翼を3.3倍の周速で回転できることが確認された。(図8)

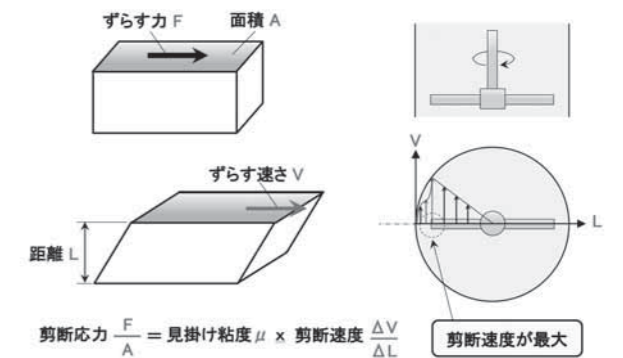


図7 剪断力と単位距離当たりの速度差の関係 Fig.7 Relation between shear force and velocity difference per unit distance

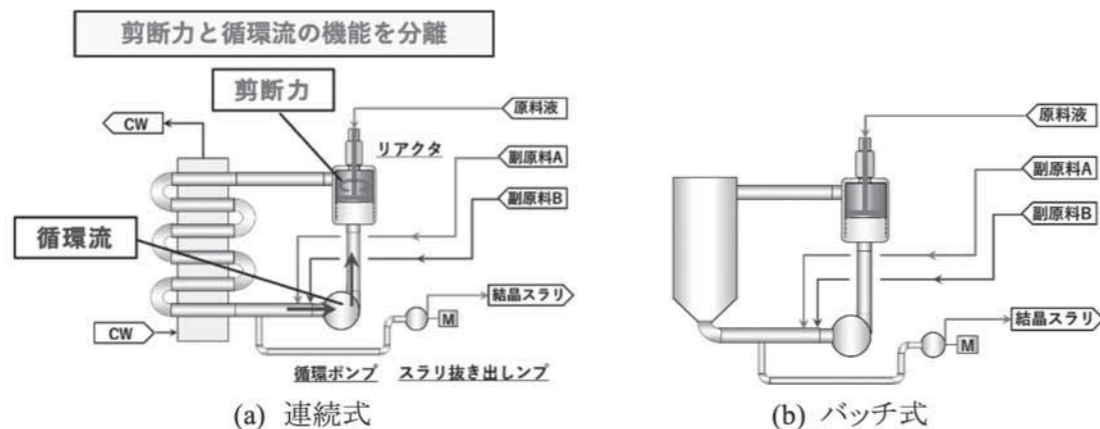


図5 開発機 概略図 Fig.5 Outline drawing of development machine

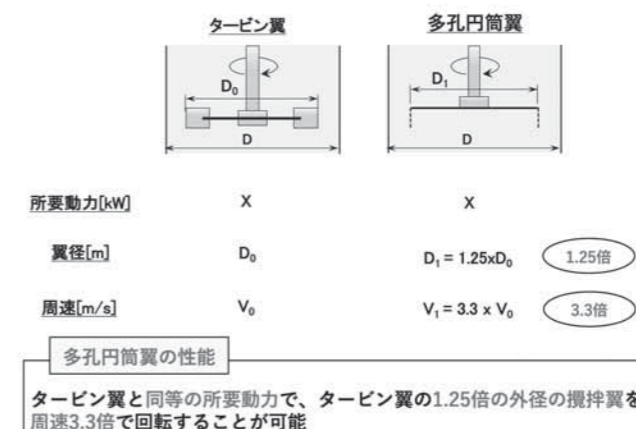


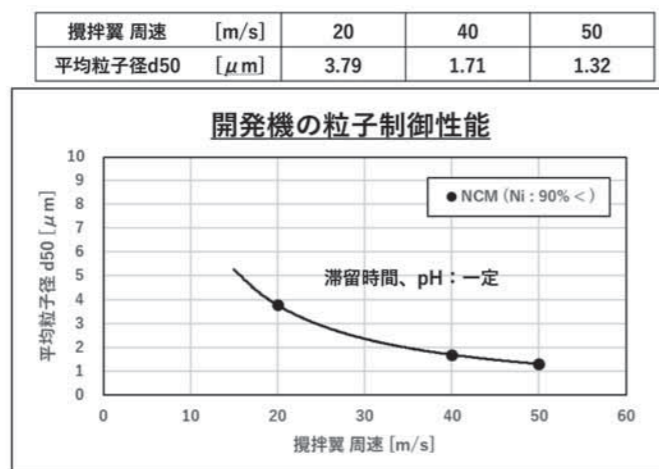
図8 多孔円筒翼とタービン翼の性能比較 Fig.8 Performance comparison of Porous cylinder blade and Turbine blade

これは、タービン翼に比べ多孔円筒翼の方が、同じ消費動力において、より強い剪断力を与えることができるということに加え、より広範囲で剪断力を調整することができ、粒子径の制御性能においても有利であることを意味する。

5.2 粒子径の制御性能

ベンチスケールの開発機を用いた連続晶析法にて、ニッケル含有率90%以上のハイニッケル系金属水酸化物の製造を行った。結晶の生産量は、1.65kg/h、循環ポンプによる循環流量を一定、滞留時間とpH値は結晶品質を低下させない条件で一定とし、攪拌翼の周速のみを変動させた。その結果、周速20m/sで平均粒子径d50=3.79 μ m、周速40m/sで1.71 μ m、周速50m/sで1.32 μ mの結晶を製造することに成功した。当初の開発目標である3 μ m以下を十分に満足した結果を得ることができた。また、これらの結果から、攪拌翼の周速とニッケル含有率90%以上のハイニッケル系金属水酸化物の平均粒子径d50との間に相関関係があるも確認できた。(図9)

この相関関係を見て分かる通り、本開発機で攪拌翼の周速を25~50m/sの範囲で調整することにより、平均粒子径d50を1.32~3 μ mの範囲で任意に制御することが可能である。従来の滞留時間やpH値の調整による粒子径制御に加え、周速による粒子径制御が加わったことで、より容易に微妙な粒子径制御を行うことが可能となった。当然、ニッケル含有率が50~80%台である従来材料に対しても、この制御法を適用することは可能であり、従来材料においても、粒子設計の調整範囲を広げることに寄与すると考える。



金属水酸化物 (三元系NCM、Ni:90%<) pH、滞留時間一定のまま、攪拌翼の周速調節のみで粒子径の制御が可能

図9 開発機の粒子制御性能
Fig.9 Particle size control performance in development machine

5.3 ハイニッケル系金属水酸化物の形状

結晶の微粒子化が達成できたとしても、粒子形状が悪ければ、電池内の充填密度の低下を招き、電池容量や出力の低下につながる。そのため、より球形度の高い粒子であることが望ましいとされている。

当社製渦流式晶析装置(以下「VFC」という)と開発機、それぞれで製造したニッケル含有率90%以上のハイニッケル系金属水酸化物の形状比較を図10に示す。比較する粒子径は、d50 = 3 μ m台、1 μ m台の2種類である。

まず、d50 = 3 μ m台の結晶において、VFCで製造した結晶と開発機で製造した結晶のどちらも二次粒子としての球形度は高い。ただし、一次粒子サイズを比較した場合、開発機で製造した結晶の方が、VFCで製造した結晶に比べ大きい。これは、開発機とVFCの剪断力の差に起因する。より剪断力の高い開発機では、VFCよりも滞留時間を長く、かつ、pH値を低く設定することができ。その結果、一次粒子の成長が促進され、粒子サイズを大きくすることができる。

次にd50 = 1 μ m台の結晶を比較した場合、結晶形状に明らかな差が生じてくる。VFCでは、微粒子化のために、d50=3 μ m台を製造した時の条件よりさらにpH値を高くした。その結果、さらなる一次粒子の微細化を招き、二次粒子の球形度が低下するまでに至った。一方、開発機では、前項5.2項で述べたとおり、滞留時間、pH値は、d50 = 3 μ m台の結晶を製造した時の条件と同じく一定のまま、攪拌翼の周速のみを上昇させて微粒子化を図った。これにより、一次粒子の微細化を引き起こすことなく、平均値として0.85以上の高い球形度を維持したままd50 = 1.32 μ m微粒子を得ることに成功した。

6 今後の展望

本稿では、ニッケル含有率90%以上のハイニッケル系金属水酸化物において、高い円形度を維持しつつ、平均粒子径d50を1~3 μ mまで微粒子化する晶析方法及び晶析装置を紹介した。これは、現時点の二次電池分野において達成が困難とされている技術領域である。そのため、今後より一層、「高容量化」「高出力化」を目指す電池材料開発において、当該微粒子晶析技術が革新技術として寄与することに期待する。また、次世代電池候補の一つである全固体電池の実用化が進めば、液体電解質を使用している現在のリチウムイオン電池では安全性の観点から使用できなかった電池材料の適用が容易となる。そうすると、本開発において微粒子化を達成したニッケル含有率90%以上のハイニッケル系金属水酸化物が正極材として適用される可能性も高くなると予想する。

しかし、昨今、正極材の微粒子化を検討している電池材料メーカーからは、仮に中和反応晶析において微粒子化を達成できたとしても、その後工程である洗浄ろ過、乾燥、焼成工程で微粒子を有効に処理する技術改良が伴わなければ、微粒子製造プロセスとしては完成しないため、晶析技術に限らず、微粒子製造プロセスとしての技術革新が今後の課題であるという話を良く耳にする。

当社には、長年培った晶析、ろ過、乾燥技術を持つ強みがある。そして、それぞれの技術は、現在さまざまな分野で求められている微粒子製造技術へ対応すべく、日々改良・改善を繰り返している。この強みを活かして、将来の二次電池分野における微粒子製造プロセスの構築に取り組んでいきたい。

7 おわりに

本開発では、二次電池分野における近未来の高機能化や次世代電池開発に寄与することを目的とし、電池材料の性能をさらに引き出す微粒子化技術の向上に取り組んできた。そして、これまで達成が困難とされていた正極材料の「微粒子化」とそれを実現するための「新型晶析装置」の開発に成功した。本開発を開始する契機となったのは、二次電池分野における機能性向上需要への対応であったが、本技術開発の目指す先は、二次電池分野に限らず、他分野においても、「微粒子製造プロセス」を展開していき、当社特有の微粒子製造技術を確立することである。世界の技術革新は日進月歩で進んでいる。常に世界に通用する技術を創出するためには、現状に留まらず、絶え間ない技術革新が必要である。

NCM前駆体 Ni: 90% <			
		渦流式晶析装置(VFC)	開発機
粒度 [μ m]	d10	1.5	1.13
	d50	3.89	3.79
	d90	6.65	6.87
スパン (d90-d10)/d50		1.32	1.51
SEM画像 (x10000)			
粒度 [μ m]	d10	0.53	0.41
	d50	1.37	1.32
	d90	2.43	2.48
スパン (d90-d10)/d50		1.42	1.57
SEM画像 (x20000)			

図10 ハイニッケル金属水酸化物の形状比較(当社比)
Fig.10 Comparison of particle shape of high nickel type metal hydroxide

排熱利用型 TSA (Thermal Swing Adsorption) 式消化ガス中シロキサン除去システムの開発

Development of TSA (Thermal Swing Adsorption) system for removing siloxane from digestion gas using waste heat



川上 健志
KAWAKAMI Takeshi
水環境事業本部
プロジェクト推進部
ソリューショングループ

Abstract

Recently, the utilization of digestion gas has become popular considering the need for renewable energy. In sewage treatment plants, many digestion gas generators are currently in operation. However, the operating costs limit the installation of generators. One of the most expensive factors for the removal of siloxane is the activated carbon. In this study, We introduce a TSA-type siloxane removal system from digestion gas using waste heat. We tested the system in a sewage treatment plant using laboratory-scale equipment and found a siloxane removal efficiency of 90%.

近年、再生可能エネルギーの需要の高まりから消化ガスの有効活用が活況である。そのため、下水処理場では多くの消化ガス発電機が運転されている。しかし、消化ガス発電機の運用コストが高いことが導入を困難にしており、コストの高い割合を占めるシロキサン除去用の活性炭が高額なことが課題である。本稿では活性炭吸着処理の前処理としての排熱利用型 TSA 式消化ガス中シロキサン除去システムの運転結果について報告する。下水処理場にてラボスケール装置を用いてシロキサン除去テストを実施し、90%除去が可能であることが明らかになった。

キーワード：シロキサン、排熱、TSA、吸着剤、消化ガス
Keyword: Siloxane, waste heat, TSA, adsorbent, digestion gas

1 はじめに

再生可能エネルギーの導入が活況の昨今、有機物を嫌気性条件下で発酵させた際に発生する消化ガスへの注目が高まっている。消化ガスの活用には、「①有機性廃棄物の減容化」「②消化ガスのエネルギー活用による化石燃料削減の推進」というメリットがある。

消化ガスの活用は下水処理場でも実施されている。下水処理場での消化工程は下水汚泥の減容化のために行われており、発生した消化ガスは消化槽の加温や発電に使用されている。近年はFIT制度および発電事業の発電分離により、下水処理場における消化ガス発電事業が成立するようになった。下水処理場における消化ガス発電所は、全国で40件以上が稼働している。(2022年3月時点)

しかし、下水汚泥消化ガス発電事業はFIT制度による経済的な支援があるために成り立つのが現状であり、運用コストの削減はさらなる消化ガス発電の普及・発展には不可欠である。消化ガス発電事業の運用

コストの最も大きな割合を占める費用の一つとして、「シロキサン除去用活性炭交換費」がある。消化ガス中のシロキサンは燃焼に伴い二酸化ケイ素に酸化され、消化ガスエンジン内部に蓄積し、消化ガスエンジンの故障や摩耗の原因となるため、除去が必要である。

本開発は、下水汚泥消化ガス発電事業の運用コストに大きな影響を与える活性炭使用量の大幅削減に寄与する技術である。開発技術は図1に示すとおり、シロキサンを吸着剤で吸脱着を繰り返し行うことでシロキサンを除去し、活性炭使用量を削減する技術である。本システムで使用するゼオライト系吸着剤は、シロキサンの吸脱着が可能であると同時に消化ガス中の水分も吸脱着が可能である。また、脱着時には消化ガスエンジンの排熱を利用するため、本稿では「排熱利用型 TSA (Thermal Swing Adsorption) 式消化ガス中シロキサン除去システム」と称する。放出下水処理場消化ガス発電所にてラボスケールの消化ガス中シロキサン除去実験を実施した結果、冬季および夏季ともに90%の平均除去率を達成した。本システムの導入に関する経済効果、

CO₂排出量削減効果を試算したところ、シロキサン除去に関するコストおよびCO₂排出量がそれぞれ85%減および91%減となった。また、放出下水処理場における気温と消化ガス中シロキサン濃度の関係について報告する。

2 実験方法

2.1 実験装置

実験装置のフローを図2に示す。

本実験装置は、吸着管に通気するガスを、消化ガスと再生ガスを交互に切り替えることで、吸着と再生を繰り返すシステムである。再生用の温風は電気ヒータにて発生させ、吸着管には補助ヒータを巻き付けて吸着管温度を一定に保った。

また、以下に実験の流れを説明する。

- ①〔吸着工程〕
消化ガスを再生後の吸着管に通気し、シロキサンを吸着させる。所定時間吸着後、再生工程に切り替える。
- ②〔再生工程〕
再生ガス(大気)を電気ヒータで所定温度に加熱し、保温したヒータ付吸着管に所定時間通気することでシロキサンを脱着し、大気に放出する。
- ③再生工程完了後、吸着工程に切り替える。
本実験はラボスケール試験のためヒータ付吸着管1本で実験を行ったが、実際のシステムでは「1+再生時間/処理時間」の吸着塔が必要になる。

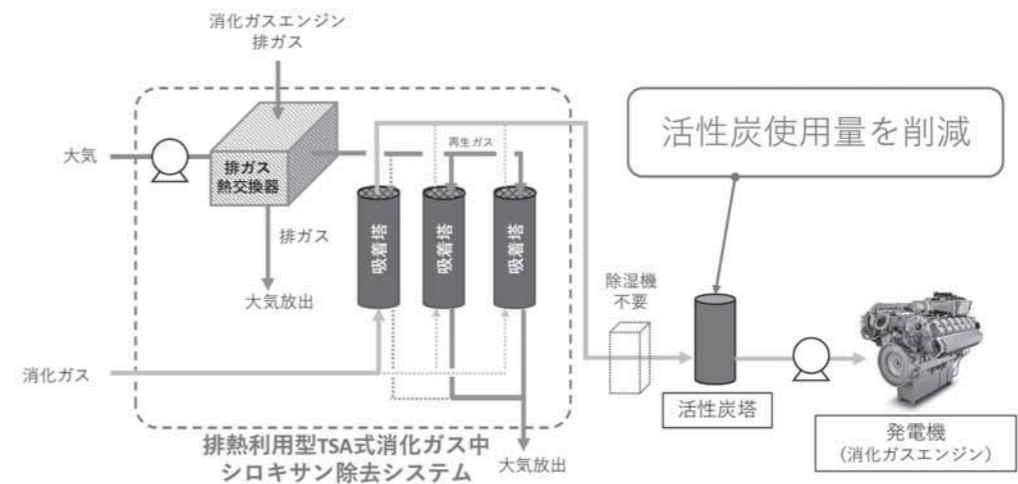


図1 排熱利用型TSA式消化ガス中シロキサン除去システムの概要
Fig.1 Outline of TSA system for removing siloxane from digestion gas using waste heat

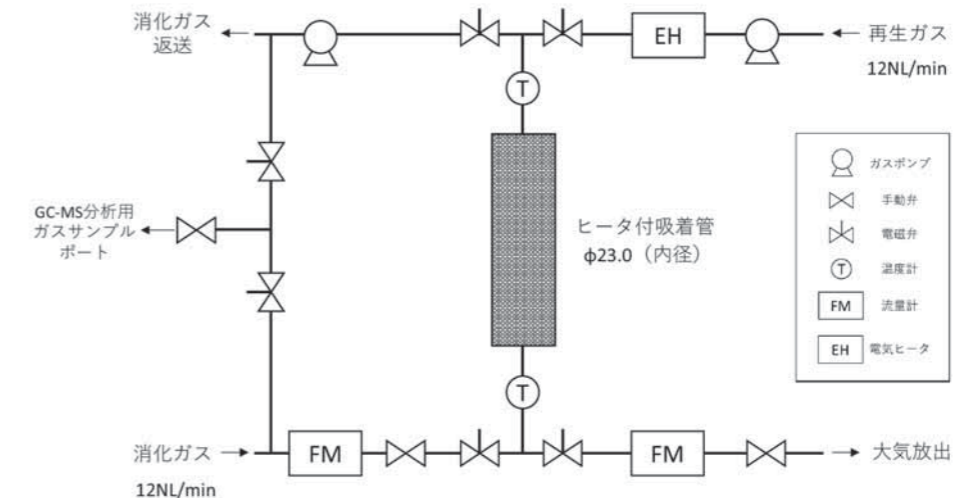


図2 実験装置フロー
Fig.2 Schematic flow diagram of test equipment

2.2 実験条件

実験条件を表1に示す。本実験では実際の消化ガスエンジン排ガスからの熱回収は実施せず、大気を電気ヒーターで加熱した再生ガスで吸着剤の再生を行った。

2.3 実験装置と既設消化ガス配管の関係

既設脱硫塔出口と冷却および昇圧する工程間の約1kPaの消化ガスの一部を実験装置に引き込み、処理後のガスは既設配管へ返送した。図3に消化ガスの処理フローと、採取ポイントを示す。

2.4 シロキサン濃度の分析方法

消化ガス中シロキサンは吸着管に捕集し、捕集したシロキサンをヘキサン抽出後、GC-MS分析に供した。本方法は従来の溶媒捕集法との比較試験を実施し、同等の結果が得られることを確認した。¹⁾ 分析装置仕様

- メーカー : アジレント・テクノロジー株式会社
- 型番 : Agilent 5977A GC/MSD
- カラム : Agilent J&W HP-5

3 実験結果

3.1 除去実験結果

図4, 5に除去実験結果を示す。実験装置入口(原ガス)濃度は25~170mg/m³程度と大きく変動しているが、実験装置出口濃度は0.1~20mg/m³程度で安定していることが分かる。また、除去率は冬季・夏季を通じて88.2%~98.7%で推移し、平均で90%を達成した。以下の式にて除去率の計算を行った。

$$\text{除去率} = (1 - \text{処理ガス濃度} / \text{処理ガス分析直前の原ガス濃度}) \times 100$$

また、図6に2021年8月13日に実施した分析結果と気温の推移を示す。気温の変化にともなって濃度が変動している傾向が確認された。

3.2 気温とシロキサン濃度の相関

図7に消化ガス中シロキサン分析結果と気温の年間の相関関係を示す。冬季から夏季にかけて気温とシロキサン濃度の正の相関が確認された。

表1 実験条件
Table1 Test condition

消化ガス流量	NL/min	12
再生ガス流量	NL/min	12
消化ガス空塔速度	m/s	0.5
再生ガス空塔速度	m/s	0.5
吸着管径	φ (mm)	23
吸着剤充填高さ	mm	400
吸着剤充填密度	kg/L	0.675
シロキサン目標除去率	%	90

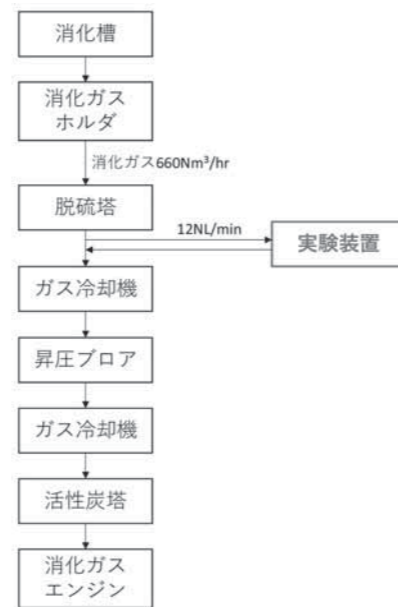


図3 消化ガスの採取ポイント
Fig.3 Sampling point of digestion gas

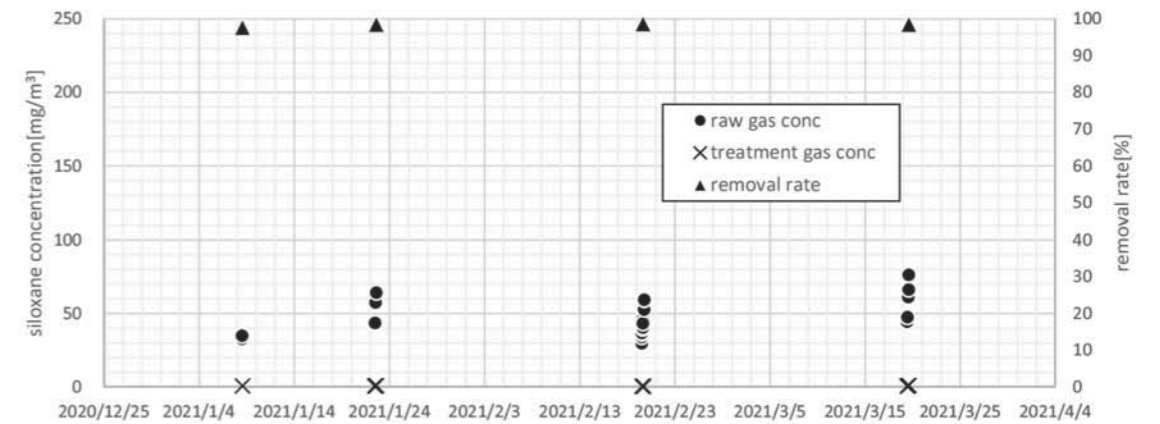


図4 冬季除去実験結果
Fig.4 Removal test result in winter

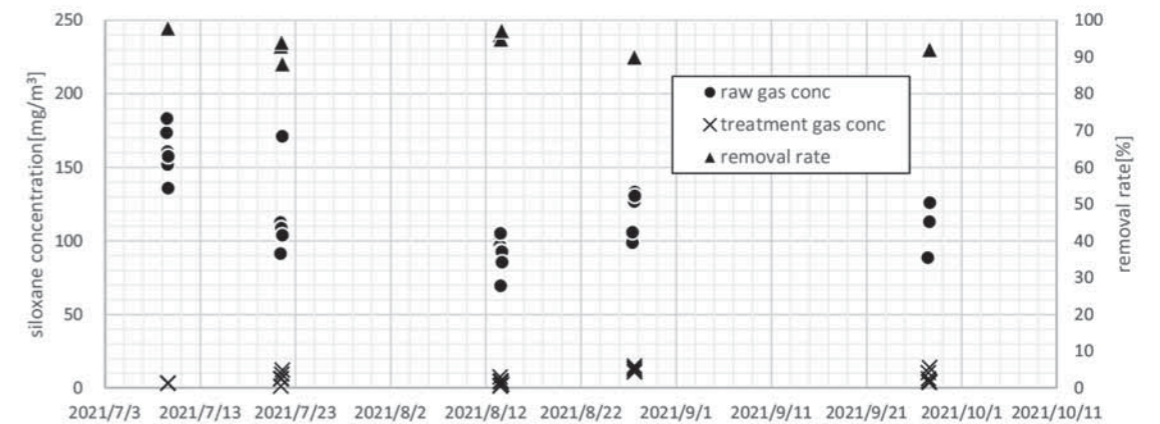


図5 夏季除去実験結果
Fig.5 Removal test result in summer

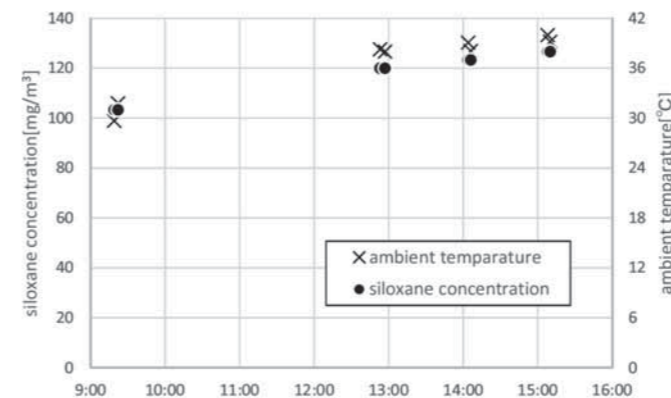


図6 シロキサン濃度と気温の推移(2021年8月13日)
Fig.6 Changes of siloxane concentration and ambient temperature on Aug.13th, 2021

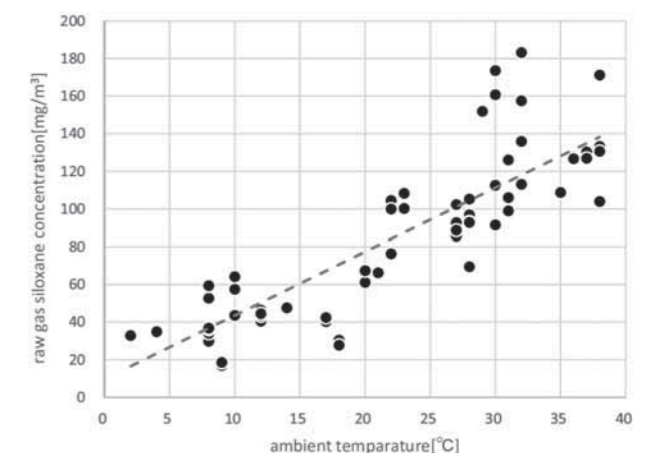


図7 気温とシロキサン濃度の相関
Fig.7 Relationship of siloxane concentration and ambient temperature

3.3 経済性試算

消化ガス発生量660Nm³/hの下水処理場に本システムを導入した場合の経済効果を、実際の運用コストを元に試算した。結果を表2に示す。年間18,190千円のコスト削減効果が確認され、削減率は85%となった。なお、本開発品は除湿機能も有しているため、除湿用のガス冷却を不要とした。除湿工程を不要とすることによるコストダウン効果があることも試算された。

3.4 CO₂削減効果

前述と同様の規模におけるCO₂削減効果を試算した結果を表3に示す。本システム用吸着材のCO₂排出係数は高いものの交換回数と充填量が少ないため91%のCO₂削減効果が推定される。また、除湿工程を不要とすることによるCO₂削減効果が大きいことも試算された。

4 おわりに

放出下水処理場消化ガス発電所にて下水汚泥消化ガスを用いた排熱利用型 TSA 式消化ガス中シロキサン除去システムのラボスケー

ル実験を実施した。結果は冬季および夏季90%の平均除去率を達成し、気温変化に伴ってシロキサン濃度が変化することが確認された。また、経済性およびCO₂排出量でも大きな効果が得られることも確認された。今後は実規模の実証実験を実施し、導入コストの精査、実規模での除去性能および実運用での経済性を評価する予定である。

謝辞

本開発にご協力いただいた放出下水処理場 FIT 事業関係各社担当者の皆様へ深く感謝の意を表します。

参考・引用文献

- 1) 日良聡、川上健志：吸着剤捕集・溶剤脱着法を用いた消化ガス中のシロキサン定量法の検討：第58回下水道研究発表会，pp-890-892(2021)

表2 本システムの導入効果
Table2 benefits of installation this system

		導入前	導入後
活性炭交換周期	回/年	3.00	0.30
活性炭交換単価	円/回	3,200,000	3,200,000
本システム用吸着剤交換周期	回/年	0.00	0.50
本システム用吸着剤交換単価	円/回	0	2,500,000
吸着剤交換費用合計	円/年	9,600,000	2,210,000
チラー電気容量	kW	100	0
冷水ポンプ電気容量	kW	10	0
本システム電気容量	kW	0	10
年間運転日数	日/年	300	300
電力単価	円/kWh	15	15
電力費合計	円/年	11,880,000	1,080,000
合計	円/年	21,480,000	3,290,000
削減効果	円/年	-	18,190,000

表3 本システムのCO₂削減効果
Table3 CO₂ eduction effect on installation of this system

		導入前	導入後
活性炭交換周期	回/年	3.00	0.30
活性炭交換量	kg・活性炭/回	632	632
活性炭CO ₂ 排出係数 ^{※1}	kg-CO ₂ /kg-活性炭	0.26	0.26
本システム用吸着剤交換周期	回/年	0.00	0.50
本システム用吸着剤交換量	kg-TSA吸着剤/回	0	200
本システム用吸着剤CO ₂ 排出係数 ^{※2}	kg-CO ₂ /kg-TSA吸着剤	1.4	1.4
吸着剤CO ₂ 排出量合計	kg-CO ₂ /年	493	189
チラー電気容量	kW	100	0
冷水ポンプ電気容量	kW	10	0
本システム電気容量	kW	0	10
年間運転日数	日/年	300	300
電力CO ₂ 排出係数 ^{※3}	kg-CO ₂ /kWh	0.441	0.441
電力CO ₂ 排出量合計	kg-CO ₂ /年	349,272	31,752
合計	kg-CO ₂ /年	349,765	31,941
削減効果	kg-CO ₂ /年	-	317,824

※1 活性炭CO₂排出係数出典 - 下水道における地球温暖化マニュアル平成28年3月

※2 TSA吸着材CO₂排出係数出典 - メーカー実績値

※3 電力CO₂排出係数出典 - 東京電力2020公表値

研究紹介

- 1 Flux法による次世代正極活物質製造技術の開発
- 2 光触媒を用いた難分解性成分の分解
- 3 小型4軸ロボットとIoT技術を用いた分析作業の自動化システム実証研究紹介

Flux 法による次世代正極活物質製造技術の開発

Production technology development for next-generation cathode materials using the Flux method



銅谷 陽
DOYA Yo
開発本部
研究開発部
研究開発グループ



手嶋 勝弥
TESHIMA Katsuya
国立大学法人
信州大学
先鋭材料研究所長
工学部 物質化学科
(兼務: 環境機能工学科)
卓越教授
学長特別補佐

Abstract

The function of single-crystal small particles and their production technologies in upgrading active cathode materials in secondary batteries has recently received a lot of attention. A higher pressing pressure and voltage compared to conventional batteries to increase ionic conduction and capacity in solid secondary batteries is expected from these next-generation batteries.

Finding battery materials with higher capacity, power, and lifetime needs continuous technology development. However, material functions are strongly influenced by crystal growth during high-temperature calcination processes.

We have promoted joint research with Shinshu University to achieve a highly functional single-crystal particle adopting the flux method and report herein the joint research results.

二次電池正極活物質の機能向上として小径単結晶粒子の機能、その製造技術に注目が集まっている。

次世代として期待される全固体電池では容量と固体間のイオン伝導を高めるため高プレス圧、高電圧といった過酷な環境下に晒される。

より高容量、高出力、高耐久な電池材料を求め、材料の見直し、製造法の検討が水面下で進められているが、これらの機能は高温焼成時の結晶成長過程の影響を強く受ける。

高機能単結晶粒子を得る手法として信州大学先鋭材料研究所と共同でFlux法の適用検討を進めており、ここに研究紹介の一例として報告する。

キーワード：リチウムイオン電池、全固体電池、正極活物質、結晶成長、単結晶
Keyword: Lithium ion battery (LIB), All solid battery, Cathode active material, Crystal growth, Single crystal

1 はじめに

CO₂排出削減に向けた機運が高まっており、蓄電技術、CO₂還元利用技術は世界が求める環境技術の最前線にある。

環境自動車、分散型電源への期待としてEV (Electric vehicle) 社会の到来が迫るなか、二次電池として主流となるLIB (Lithium ion battery) 向け正極活物質前駆体製造技術 (図1中 Co-precipitation) において小径粒子の生産性に優れた独自の渦粒式微粒子晶析装置を開発し、晶析・ろ過・乾燥といった当社機器を組み合わせたエンジニアリング事業を立ち上げてきた。^{1,2,3)}

反応晶析を磨けば晶析・ろ過・乾燥のパッケージ展開が可能とみていたが、正極活物質そのものは焼成工程における結晶成長プロセス (図1中 Calcination) が重要であり、結晶成長を制しなければ材料とその機能は語れない。図1に主要工程の概略を記す。

二次電池は電解液、セパレーター、導電助剤、バインダー、集電体、正極活物質、負極活物質など複数の主要材を組み合わせた小さなパッ

ケージプラントといえ、なかでも正極活物質はさらなる進展が望まれるキーマテリアルである。

各社それぞれの指標があるものの安全、高容量、高出力、高耐久はマテリアルに期待される電池機能の素である。これに加え安価で製造時、リサイクル時を含めCO₂排出量の少ない技術が求められる。

これらの要求レベルに到達したものはまだ存在せず、こと高容量、高出力、高耐久性はトレードオフの関係となる事象が多く、これらを最適化する上でも活物質の粒子径、結晶性の議論が重要となる。図2に電池性能にかかわる材料視点・製造技術視点の関係を記す。

そのようななかで全固体電池に観るような次世代技術向けに小径な単結晶粒子を求める声が高くなっており、Fluxを用いた結晶成長制御・粒子設計技術を磨くことは有力な解決策の一つといえる。

本研究はプロセス提案におよばず、小型実証前のマテリアル評価ステージの段階である。

本報ではFlux法によるマテリアルの特徴と電池材としての機能向上の一例を紹介するとともに、工業プロセスとしての可能性について述べる。

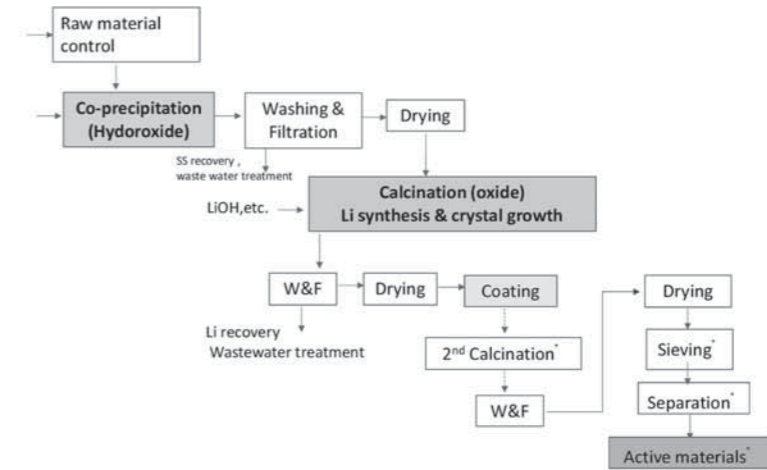


図1 二次電池正極活物質製造フローの一例
Fig.1 Example of active material production flow diagram for secondary battery.

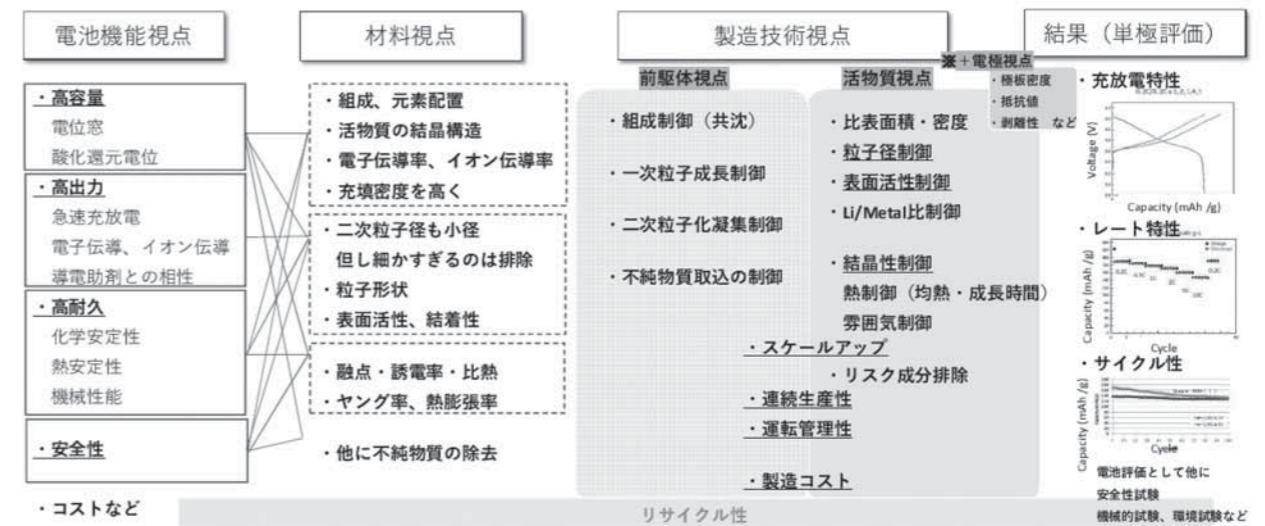


図2 電池機能に求められる材料と生産技術の関係
Fig.2 Relation of production technology to materials for battery function.

2 Flux法とは⁴⁾

2.1 Flux法の概要

水は代表的な溶媒であるが、活物質の結晶成長工程でみるような600°Cを超える高温場では水の代わりにさまざまなFluxを溶媒として用いることで高融点の物質(溶質)をFluxにより低融点化させ、溶液の冷却やFluxの蒸発操作を基に析出過程で結晶成長をコントロールできる。図3に示すとおり、溶液の過飽和度が結晶化の駆動力になる点で晶析と同じ原理である。

Fluxの一例としてNaClの場合、その融点は801°CとなるがKClを同量加えることで融点(正確には共晶点、共晶温度)は657°Cに低下する。⁴⁾

前駆体は水溶液中の反応晶析で析出する非晶質の水酸化物や炭酸化物であるが、これをLiと合成後、高温焼成により酸化物の結晶構造として成長したものが活物質である。Fluxは酸化物結晶の成長過程で融液として作用し活物質の結晶成長をコントロールする。

通常Flux法は溶質濃度30mol%以下(溶媒としてのFluxが70mol%以上)で操作するケースが多いところ、ここでは溶質濃度90mol%程度で操作する。Fluxが少量でも対流現象により均質な結晶成長が期待される。NaClの場合、1,000°Cで粘度は0.8mPa・sとなる。いわば水のような流体が結晶表面を流れながら作用するため、少量添加でもその効果を発揮する。本報に用いているFlux法は図4(c)に示すものである。活物質が溶液から析出するものではなくFlux作用で二次粒子が解けるステップを経て、解けた一次粒子が結晶成長していくものとなる。

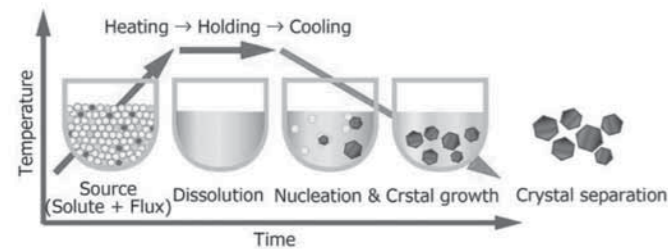


図3 通常のFlux法における結晶成長過程
Fig.3 Crystal growth process in the usual flux

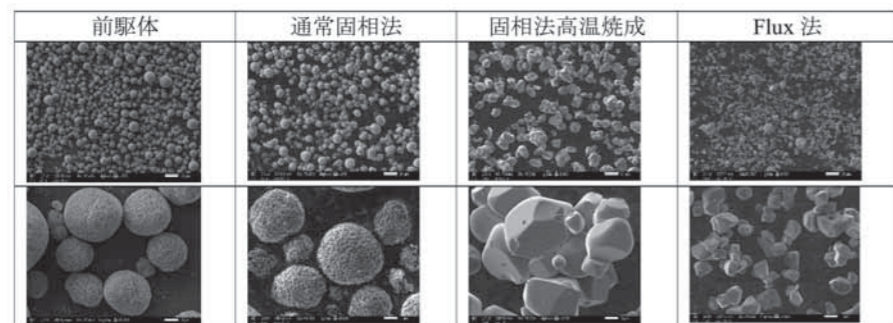


図5 製造法の違いによる活物質の一例(SEM像上段1,000倍、下段10,000倍)
Fig.5 Example of active materials due to differences in the production method.

代表的なFluxとしては酸化物、ハロゲン化物、金属があげられ、Fluxの選択により酸化物だけでなくホウ化物、ケイ化物、ハロゲン化物など様々な結晶を育成することができる。ルビー、サファイヤ、エメラルドなどの宝石もFlux法で作ることができる。

本報では通常固相法(従来法)との違い、Flux種の違いによる酸化物結晶の成長評価について紹介する。

2.2 固相法(従来法)との違い

通常用いられる活物質は図4(a)のとおり、前駆体粒子サイズが活物質のサイズに引き継がれる。

前駆体は一次粒子が凝集した二次粒子体を形成しているが、焼成工程により一次粒子が結晶成長し、二次粒子体の構造を維持している(通常固相法)。この粒子をさらに高温で焼成することにより結晶成長させると一次粒子間で結晶成長し、単結晶粒子を得ることができる(図4(b) 固相法高温焼成)。これは前駆体の二次粒子サイズが反映された結晶粒子となる。Fluxは前駆体一次粒子間の結合に作用しながら結晶成長をコントロールするため、前駆体一次粒子のサイズを反映させた小径な粒子群を得ることができる(図4(c) Flux法)。これはFlux法の大きな特徴である。図5にそれぞれの製造法により得られた活物質のSEM像を一例として示す。固相法(a)で得られる活物質は、電極構成における高いプレス圧に耐えられず粒子が崩壊する現象も報告されている。全固体電池では高容量化を図るため、粒子強度は重要な指標の一つとなる。⁵⁾

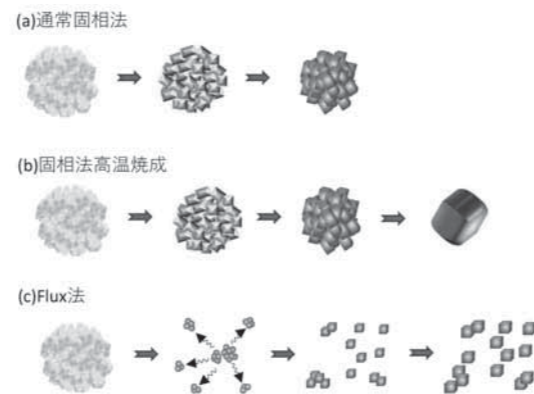


図4 製造法の違いによる結晶成長過程
Fig.4 Crystal growth mechanism due to differences in the production method.

3 活物質製造例

3.1 実験条件

本実験においては比較的容量が高く、耐久性も望めるNCM523(Ni:Co:Mn=5:2:3)を用いた結果概略を紹介する。Flux種としては①Fluxなし ②ホウ酸リチウム(Li₃BO₃)、③塩化ナトリウムと塩化カリウムの混合品(NaCl+KCl)、④ホウ酸(H₃BO₃)、⑤ ③+④の混合品(NaCl+KCl+H₃BO₃)を比較している。これら製造条件を表1に示す。

溶質量とは原料混合品のなかに占める前駆体モル比を記載したものである。Li源としてはいずれも炭酸リチウム(Li₂CO₃)を用いている。

3.2 製造例(SEM像)

図6にFlux種、高温保持時間の違いによる粒子生産例を示す。いずれも到達温度1,000°Cの比較例である。本研究によりFlux種の違

いにより結晶成長プロセスが異なることが判明した。ホウ酸イオンを伴う結晶成長場においては、二次粒子体が解けて1μm前後の細かな粒子群となっている。高温保持時間を長くするとFlux種の違いが顕著なものとなり、Flux種による結晶成長コントロールが可能となることを示唆している。図7にその想定メカニズムを記す。

表1 単結晶粒子化におけるFlux法製造条件例
Table1 Production conditions in various fluxes to single crystals.

No.	Flux種	Flux構成比	溶質量
1	No Flux	—	100 mol%
2	Li ₃ BO ₃	—	80 mol%
3	NaCl+KCl	4:5	90 mol%
4	H ₃ BO ₃	—	90 mol%
5	NaCl+KCl+H ₃ BO ₃	4:5:3	90 mol%

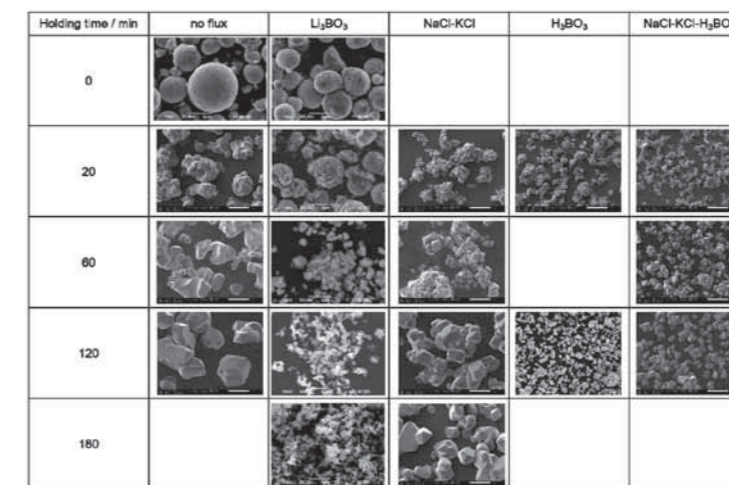


図6 Flux種、保持時間の違いによる単結晶粒子の生成(1,000°C, SEM像5000倍)
Fig.6 Time-resolved SEM images of crystals grown in various fluxes at 1000°C (SEM×5,000).

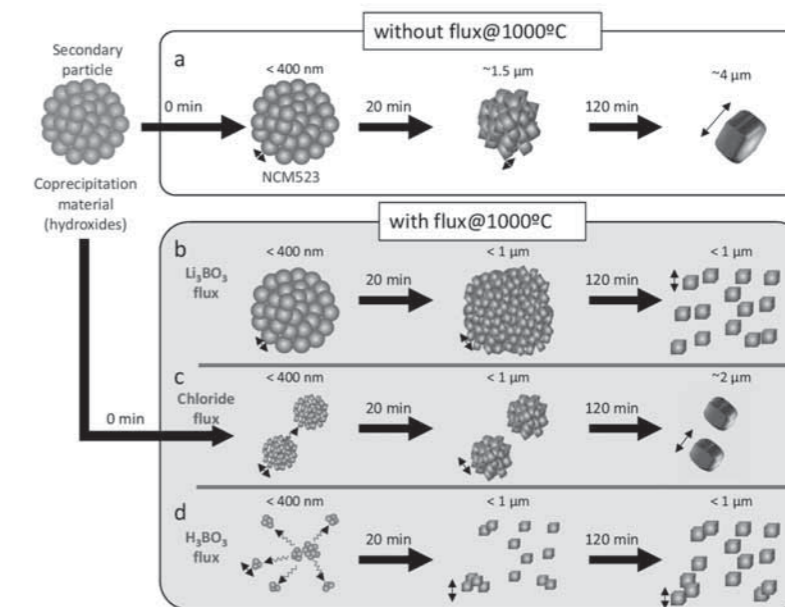


図7 Flux種の違いによる単結晶粒子の成長モデル
Fig.7 Model images of single-crystal production mechanisms in various fluxes.

3.3 結晶評価例

ここでは④NaCl+KCl+H₃BO₃混合Fluxを用いた粉末X線回折(XRD)結果を図8に示す。

①No Flux品と比較してピーク強度の増加、ピークの明確化、ピーク幅の低減がうかがえる。

結晶学的特性については図9に示すとおり、カチオンミキシングI₀₀₃/I₁₀₄、ヘキサゴナルオーダーリング(I₀₀₆+I₁₀₂)/I₁₀₁、結晶子サイズはミラー指数003面におけるピーク幅の半値幅(FWHM: full width at half maximum)を指標として評価している。

カチオンミキシングは本来Liが収まる層状空間にNiなどのカチオンが入りこむことが原因と考えられ、Liイオン移動の抵抗に繋がるものと解釈される。慣習的に1.2以上の値を目安にしている。⁶⁾

ヘキサゴナルオーダーリングは原子配列を六方晶でアレンジしたときの整列度合いといえるが、強度比0.5以下の値で評価している。結晶子サイズはピーク幅の半値幅(FWHM)が小さいほど大きいものと解釈される。結晶子は結晶粒の中で単結晶としてみなすことができる最小の部位を示している。いずれも閾値があり、かつ電池性能との直接的な相関があるものといえないため、ここでは相対比較に留めている。

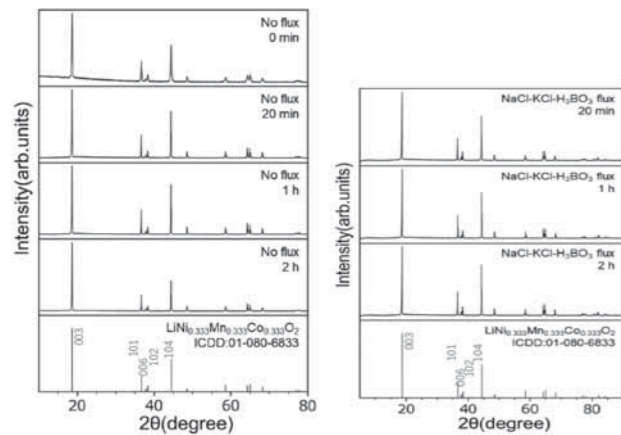


図8 結晶回折結果の一例 (No Flux, NaCl-KCl-H₃BO₃ Flux)
Fig.8 Example of X-ray diffraction (No Flux, NaCl-KCl-H₃BO₃ Flux)

3.4 電池性能評価の一例

ここではレート特性、1Cでのサイクル性が改善した例を図10で紹介する。

先に述べたとおり、結晶成長度合の優劣が電池性能には直結しない。電池評価においては集電体との密着性、導電パス、電解液劣化抑制など他の因子を含めた最適化検討が必要となり、検証は複雑多岐なものとなる。そのため電池容量、レート特性、サイクル特性については相対的な傾向把握・目安として捉えている。特にサイクル特性については極板(集電体)間との剥離現象による性能低下や電解液の劣化が主要因と考えられ、極板との密着性の改善が大きく作用するが、比較的結晶子が大きく、粒子径の小さいLi₃BO₃ FluxやNaCl+KCl+H₃BO₃ Fluxを用いた粒子のレート特性、サイクル性が向上している。

4 Flux法の工業化に向けて

冒頭に述べたとおり、本研究はプロセス提案におよばず、小型実証前のマテリアル評価ステージの段階である。

ここまでマテリアル自体の特性について述べたが、工業化に向けて

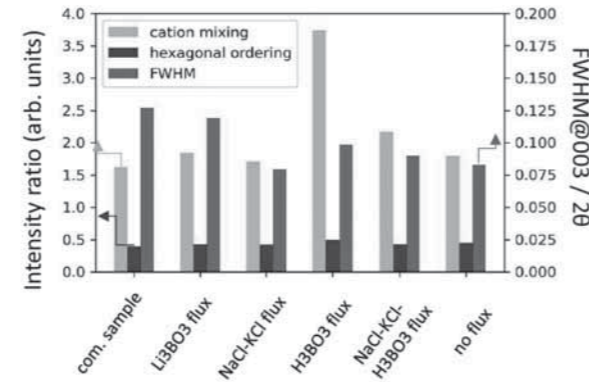


図9 結晶学的特性評価
(カチオンミキシング、ヘキサゴナルオーダーリング、半値幅、NCM523、1000°C)
Fig.9 Crystallographic characteristics of cation mixing, hexagonal ordering, and FWHM of NCM523 crystals grown in various fluxes at 1000 °C.

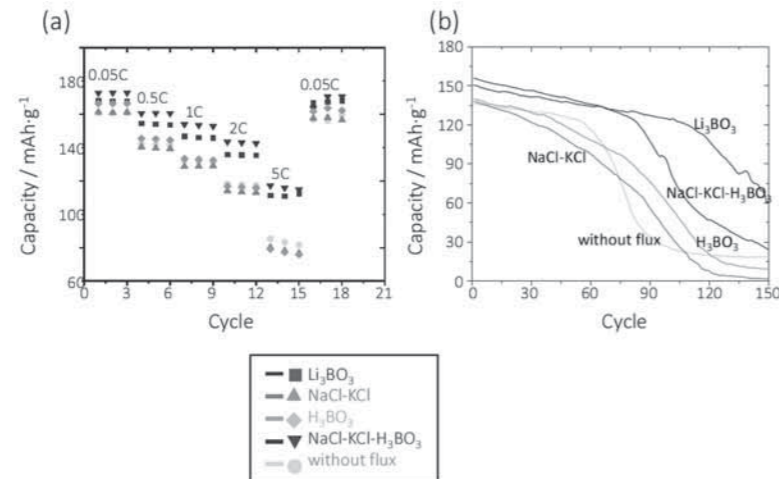


図10 コインセル評価の一例(2.8-4.3V,25°C, NCM:AB:PVDF=90:5:5)
(a)レート特性、(b)サイクル特性
Fig.10 Evaluation of half cell type coin battery ,(a)C-rate test (b)Cycle performance test at 1C

課題も山積みである。

しかし、すでに業界で普及しているローラーハースキルンを用いることで本法の適用は可能となる。前駆体製造技術における渦流式微粒子晶析装置については発明・開発・商品化・顧客開拓まですべて一貫通貫で実施してきたが、Flux法自体の適用はプロセス+エンジニアリングの領域で展開可能なものとする。

工業化視点でのポイントとしては以下のとおりと考えている。

- ・製造時間が短縮化
キルン炉長を短く、若しくは生産量のアップが期待可能。(図11ヒートパターンの違い)
- ・通常固相法より高温焼成が必要
ただし、高耐久性が期待される単結晶構造を得るには従来固相法においても高温焼成が必要となるため、目的とする単結晶品を得るためのエネルギー投入量はFlux法と同様になる。
- ・Flux粒子解砕工程、Flux洗浄工程の追加
各種解砕ミル、安価なる過洗浄機で対応可能であり、既設ラインに過剰リチウム洗浄工程がある場合は兼用可能となる。

図12に従来設備を100とした場合のFlux法設備費の想定を示す。焼成後のFlux洗浄、解砕のコスト増など設備費トータルとして1割ほどのアップを想定している。焼成工程におけるキルンコストは逆に抑えられる可能性を残すもののここでは差がでないものとしている。

運転コストについてはその構成比において原料コストが半分以上を占めること、熱エネルギーコストも同等となることからほぼ同等を想定している。

この他に後工程となる電極形成塗工プロセスにおける均一塗布性、プレス圧と電極密度の向上、リサイクルにおける活物質機能の回復など実装に向けた取組は多岐に渡る。

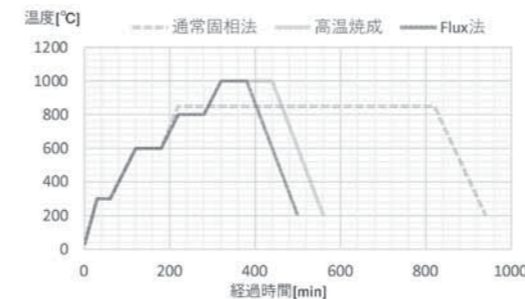


図11 結晶成長工程におけるヒートパターンの一例
Fig.11 example of heat pattern for calcination process.

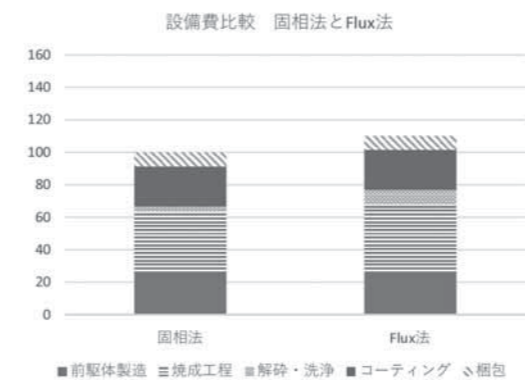


図12 設備費の比較
Fig.12 Comparison of equipment cost

5 おわりに

次世代の正極活物質に求められる安全性・耐久性を具備した活物質粒子を得る手法としてFlux法の可能性について検討してきた。

1μm程度の小径粒子を得るには前駆体を構成する一次粒子そのものが重要となり、活物質粒子そのものは結晶成長段階、Fluxによる高温焼成プロセスが担うものとなる。逆をいえばFlux法において前駆体二次粒子サイズはさほど重要とならない。単結晶粒子化において前駆体に要求されるべき事象は、いかに均一均質な一次粒子を析出し、解けやすい構造を持たせるかがキーとなる。

Fluxによる結晶成長コントロールは1μm前後の単結晶粒子群を製造するのに適した方法であり、高耐久で高出力・高容量を兼ね備えた性能優位性において大きな期待値を持っている。

しかしながら実ラインでの検証、品質管理コスト面での価値判断を含め数年単位の開発と実施検証が必須である。そのため現時点で即座のプロセス提案に至るものとはなり得ないが、次世代材料の検討においてFlux法の適用余地は十分に残されており、すでにユーザーへのサンプル提供も進み実用化に向けチャレンジが続いている。

Flux法の適用検討は電池材料に留まらず、無機イオン交換材、触媒、人工光合成材の研究を継続している。これら製造技術とマテリアル、マテリアルを用いた環境ビジネスへの展開を目指し、市場展開への準備を進めていきたいと考えている。

6 謝辞

Flux法とは別に濃縮操作を伴う反応晶析による粒子径コントロール⁷⁾、高分子ネットワークによる粒子成長制御も開発済みである。電池マテリアルに留まらずこれら製造技術を基に環境マテリアルを磨き、環境技術を育成することで低炭素社会、CO₂還元社会に向けた事業に繋げていく所存である。ここにカスタマーならびに協力会社等社外協力者へ感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 銅谷陽, 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, No.21, pp.6-13 (2018)
- 2) Doya Y., Reaction crystallization in secondary battery materials, SCEJ 85th Annual Meeting (2020) S305
- 3) 銅谷陽: 二次電池材料製造のための晶析技術と化学装置, 化学装置, pp.50-53 (2014)
- 4) 大石修治、宍戸統悦、手嶋勝弥、フラックス結晶成長のはなし、日刊工業新聞社
- 5) Kazuyuki Shishino, Tetsuya Yamada, Kazunori Fujisawa, Masashi Motoi, Tatsuo Hatakeyama, Katsuya Teshima, Growth of Polyhedral LiNi0.5Co0.2Mn0.3O2 Crystals in a Molten Li3BO3 Flux and Their Role in Electrode Density and Dispersion Design, ACS Appl. Energy Mater. 2022, 5, pp.2747-2757
- 6) 井手本 康、松井 貴昭、リチウム二次電池正極活物質Li_x(Mn,Co,Ni,M)O₂(M=Al,Ti,Fe)の物性、結晶・電子構造、熱力学的安定性と電池特性、Electrochemistry, 75, No.10, pp.791-799
- 7) 銅谷陽, 無機微粒子に関する晶析事例 SCEJ 52nd Autumn Meeting Okayama (2021) VS116

光触媒を用いた難分解性成分の分解

Decomposition of refractory compounds using photocatalysts



奥田 直之
OKUDA Naoyuki
開発本部
研究開発部
研究開発グループ

Abstract

Photocatalytic treatment is an advanced oxidation process and effective method to decompose refractory compounds. However, high turbidity and/or chromaticity of the wastewater attenuate the light and effectivity of the treatment. Therefore, we studied a two-step treatment in which we treated the wastewater with UV irradiation and aeration to reduce the turbidity and/or chromaticity were reduced and then added the photocatalyst to the reaction system at the range where it worked effectively. We applied this method to the filtrate of hydrothermally treated sewage sludge with a soluble COD-Cr of 2,200 mg/L and chromaticity of 3,400 units. The reaction times of the first and the second steps were 18 h and 12 h, respectively. As a result, turbidity and chromaticity decreased to the effective range of the photocatalyst in the first step, and finally, the reduction of COD-Cr and chromaticity from raw wastewater reached 90% and 99%, respectively.

光触媒処理は促進酸化法の一つで難分解性成分を分解する効果的な方法である。しかし濁度や色度の高い廃水に対しては、光が減衰するため光触媒が有効に働かない場合がある。そこで、前段処理にてUV照射とエアレーションにより濁度や色度を光触媒が有効に作用する領域まで低減させたのち、後段処理にて光触媒を加え酸化を進める二段処理を検討した。溶解性COD-Crが2,200 mg/L、色度が3,400度である汚泥水熱処理ろ液に対し本方法を適用した。前段処理を18時間、後段処理を12時間行った結果、前段処理にて濁度と色度は光触媒が有効に作用する範囲に低下し、最終的に原水のCOD-Cr分解率は90%、色度低減率は99%に達した。

キーワード：光触媒、促進酸化法、難分解性成分、濁度、色度
Keyword: Photocatalyst, Advanced Oxidation Process, Refractory compound, Turbidity, Chromaticity

1 緒言

水処理における難分解性成分は、活性汚泥などの生物処理で分解され難い有機物を指し、着色や臭気を伴う場合や微量でも人体に悪影響を及ぼす物質の場合があり環境への影響が問題視されている。難分解性成分は、染色工場排水、食品加工排水、医薬原料製造排水、浸出水、下水ほかさまざまな排水に含まれるが、通常は放流基準に応じて活性炭、オゾン、薬剤、凝集沈殿などの方法で処理される。しかし対象物質によっては、十分に除去されなかったり、二次廃棄物が発生したり、投入エネルギーが大きくなるなどの課題があり、水処理コストを引き上げる要因の一つとなっている。そのため近年は促進酸化法（AOPs）と呼ばれる技術が注目されている。促進酸化法は、オゾン、紫外光、光触媒、過酸化水素、フェントン試薬などを単独または併用することに

よりきわめて強い酸化力を持つヒドロキシラジカル(OHラジカル)やスーパーオキサイドラジカル(O₂⁻)等の活性酸素種(ROS)を発生させ、対象物質を酸化分解する方法である¹⁾。ヒドロキシラジカルは、酸素酸化処理では分解が困難な物質も分解できるうえ、生成後速やかに消滅するため二次処理を必要としない。その一方で薬剤コストや消費電力が大きくなる場合もあり、できるだけ効率よく作用させるための研究が進められている。当社は、活性酸素種を発生させる方法として光触媒に着目した。光触媒の作用メカニズムは次のとおりである。まず光触媒(主に酸化チタンが使われる)に光があたって電子がエネルギーの高い状態に移り(励起)、電子が抜けたところに正電荷を持った穴(正孔)が発生する。空気中や水中でこの反応を行うと、酸素は電子と、水分子は正孔と反応しいずれも活性酸素種を生じる(図1)。

光触媒を用いる方法には、以下の利点がある。

- ▶ 薬剤を使用せず、原理的には光のみで処理できる。
- ▶ 一般的な酸化チタンを用いており、入手が容易でコストも低い(貴金属を含む場合でも回収可)。

しかしながら、光触媒による水処理が実用規模で実施された例は少なく、その多くが実験室レベルにとどまっている。実用化を阻害してきた要因の一つは処理液の着色や濁りである。原水に着色があると、その吸収波長の光は透過せず反応容器内で照射光が減衰し、光触媒が受け取ることのできる光量が著しく減る。また液中の浮遊物質による懸濁も光触媒粒子の受光量に大きく影響する。さらに光触媒微粒子自身による入射光の減衰も考慮しなければならない。液中にコロイド状態で懸濁した光触媒微粒子(1μm未満)は、光を吸収するほか、粒径に応じて複雑に光を散乱するためである。このように、着色や懸濁のある原水に対しては従来の粉末微粒子の光触媒は有効に作用しないという問題がある。

こうした背景の下、当社は国立研究開発法人産業技術総合研究所(以下「産総研」という)と共同で、原水が着色している場合や懸濁物質が多く含まれる場合にも光触媒を効率的に使用して分解する方法を検討してきた。ポイントは以下の2点である。

- ① 粒状に加工した光触媒を用いることで、光触媒自身が原水の濁度を上昇させることなく処理効率を高く保つ。

- ② UV+エアレーションで濁度や色度をある程度除去した後、光触媒を加えてさらに分解を進める(二段処理)。
- イメージを図2に示す。なお、①は産総研が共同研究以前に開発していた技術であり²⁾、②は本研究で開発した技術である。

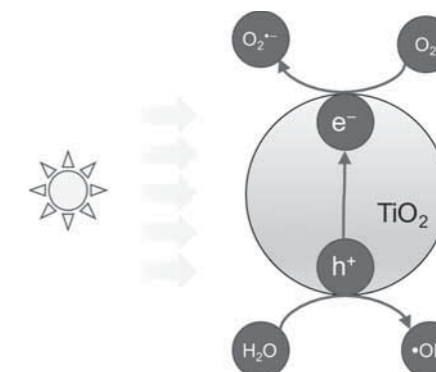


図1 光触媒における活性酸素種の生成
Fig.1 Generation of reactive oxygen species in photocatalysts

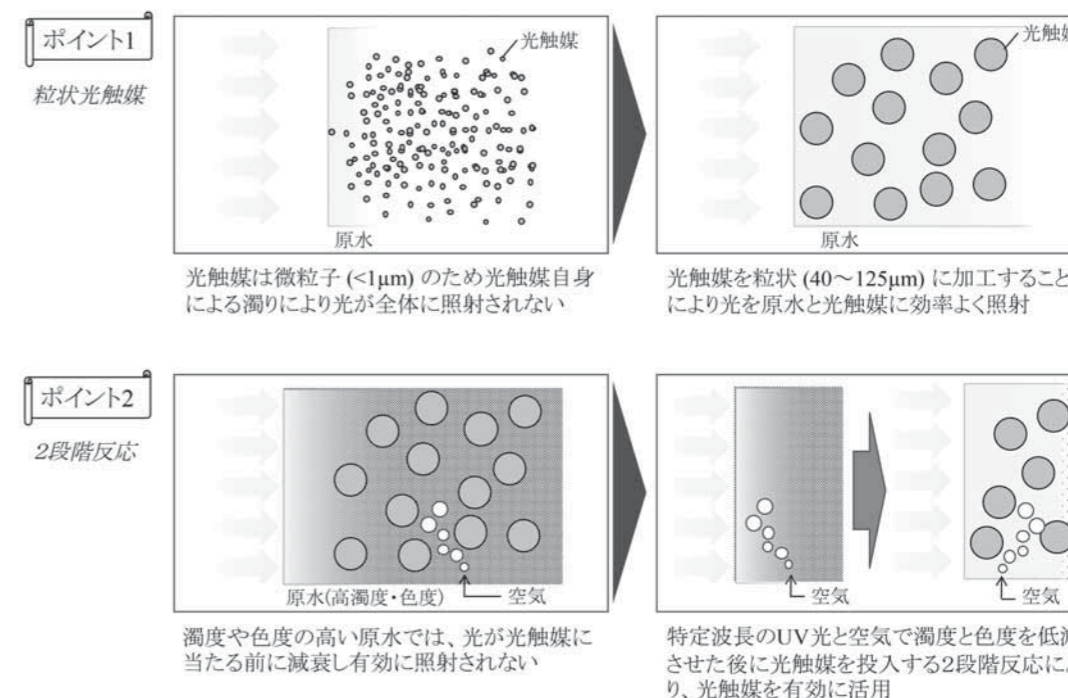


図2 開発技術のポイント
Fig.2 Outline of this study

2 方法

実験条件を表1～3に示す。光源には200nm以下の波長を出さないオゾンレスランプを使用した。原水には、下水汚泥を水熱処理(180℃、30分)した後、20日間嫌気消化して、消化汚泥を脱水した分離液を使用した。下水汚泥を水熱処理すると、糖質とタンパク質の加熱によりメラノイジンなどが生成し³⁾、分離液は茶褐色に呈色する(水熱処理しない場合は無色～淡黄色)。表1に示すとおり、原水の溶解性COD-Cr(以下「COD」という)は2,200 mg/L、色度は3,400度であった。この色度は光触媒の有効範囲を超えているため、そのままでは効果が期待できないことが予想された。そこで、まず原水にUV照射+エアレーション処理を施し色度を低減させた後に、光触媒を加えUV照射+エアレーション処理を施す「二段処理」を適用した。

3 結果

原水のCOD残存率、色度残存率、濁度残存率を処理時間に対してプロットしたものを図3に示す。前段分解処理により、照射時間18

時間までCODは66%が分解、色度は80%まで低下、濁度は96%まで低下した。この間、対数プロットで直線的に減少した。比較のため窒素ガスを散気した場合には減少速度が1/5以下と小さかったことから、空気の供給が必要であることが分かった。前段処理での分解は、UVC波長域の紫外線で直接励起された有機物が溶存酸素と反応して活性酸素種を生成しつつ進むと推察される。このためUVAやUVBと比べ原水中の有機成分の励起種を生成しやすいUVC波長域の紫外線照射が特に有効だった。18時間処理後の色度は680度であり、光触媒が有効になる色度範囲内に入ったと考えられたため、粒状Pt/TiO₂を加えて後段処理を開始した。その結果、18～30時間の間にCODと色度の残存率が再び大きく減少した。R254とR390の対数プロットにおける傾きから分解速度を比較すると、粒状Pt/TiO₂の添加によりCODの分解速度は3.7倍に、色度の分解速度は2.8倍に増加した。増加の理由は、適度な凝集により強い光吸収を示す粒状光触媒⁴⁾にUVC～UVA波長域の紫外線を照射することでバンドギャップ励起により電子と正孔の対を生じ、これらが酸素や水と反応して多くの活性酸素種が生じた結果だと考えられる。分解前の原水および処理水の写真を図4に示す。処理前は黒に近い褐色の液色であった原水が

30時間の前後段処理でほぼ透明になった。表4に分解前後の原水の分析値を示す。前段+後段処理によってCOD分解率は90%、色度低減率は99%に達した。

4 結言

下水汚泥を水熱処理した分離液に対し、以下を確認した。
 ● 前段処理では、UV照射+エアレーションを6h×3回行うことにより、COD分解率が66%、色度低減率が80%に達した。
 ● 後段処理では、光触媒を加えUV照射+エアレーションを6h×2回行うことにより、最終的にCOD分解率が90%、色度低減率が99%に達した。
 本研究により、原水が高く着色している場合や懸濁物質が多く含まれている場合にも効率的に光触媒を作用させ非常に清澄な処理水を得られることが明らかになった⁵⁾。今後の製品化までの検討課題としては、対象排水や要求水質に応じた照射条件の最適化、装置設計、スケールアップ要素の検証、実証試験(エネルギー消費、コスト評価含む)などがあげられる。道半ばではあるが、本研究のような当社にとって

新しい技術を継続的に探索し開発していくことで、水環境の保全ならびに低炭素社会の実現に少しでも寄与できればと考えている。

<謝辞>

本研究は国立研究開発法人産業技術総合研究所 材料・化学領域 ナノ材料研究部門 高機能ガラスグループ、神 哲郎博士、櫻井 宏昭博士の主導の下で実施しました。厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Pablo Fernández-Castro, Marta Vallejo, Ma Fresnedo San Román, Inmaculada Ortiz, Insight on the fundamentals of advanced oxidation processes. Role and review of the determination methods of reactive oxygen species, Journal of Chemical Technology & Biotechnology, Vol.90, pp.796-820 (2015)
- 2) 特開2021-41331号公報
- 3) William Barbar, Sludge Thermal Hydrolysis, IWA Publishing, pp.68-78 (2020)
- 4) Hiroaki Sakurai, Masato Kiuchi, Tetsuro Jin, Macroaggregation effect of TiO₂ nanoparticles on the photocatalytic activity and post-reaction separation for aqueous degradation of organic compounds, Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol.9, 104936 (2021)
- 5) 特願2021-135148、特願2021-135150

表1 実験条件
Table1 Experimental conditions

項目	条件
原水	水熱処理汚泥の脱水分離液(桐山ロート®用ろ紙No.5Cによりろ過前処理) COD-Cr 2200 mg/L, 色度 3400度
反応器	石英ビーカー, アクリル蓋
光源、照射方法	オゾンレス高圧水銀ランプ(波長>240 nm), ビーカーの底面から照射
攪拌	モーター攪拌
通気	ガス噴射フィルターで散気
反応液量	180 ml
光触媒	Pt/TiO ₂ (Pt 0.3 wt%, 粒状 40~125 μm), 添加量 3.0 g/L

表2 処理条件
Table2 Processing conditions

処理	全処理時間	処理方法
前段処理	0~18時間	UV照射+エアレーション処理 6h×3回
後段処理	18~30時間	一段処理の4回目からPt/TiO ₂ を加え6h×2回

表3 分析および評価方法
Table3 Analysis and evaluation methods

項目	分析・評価方法
COD-Cr	254 nmの吸光度 (A254) と実測値(下水試験法)の検量線から定量
色度	390 nmの吸光度 (A390)
濁度	870 nmの吸光度 (A870)
BOD	下水試験法
TOC	燃焼酸化-赤外線式TOC分析法
残存率	COD-Cr、色度、濁度それぞれの原水の吸光度に対する比率

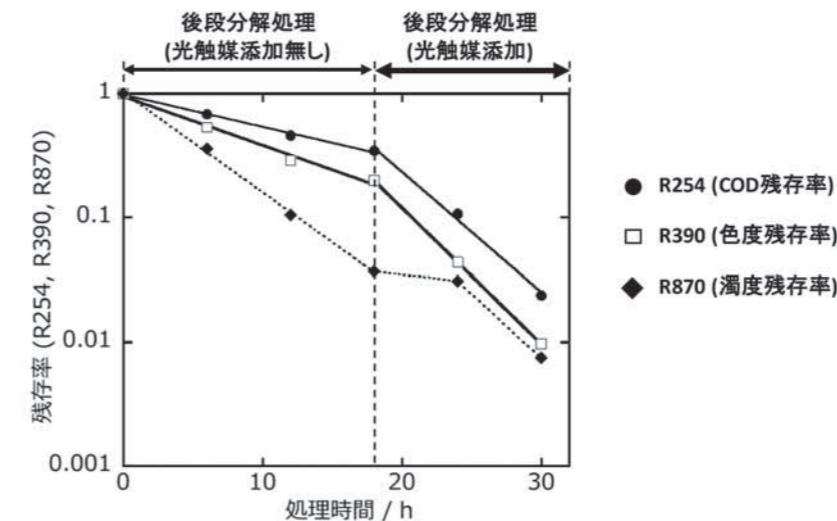


図3 前段および後段処理におけるCOD、色度、濁度の変化
Fig.3 Changes in COD, chromaticity and turbidity after the first and second step treatments

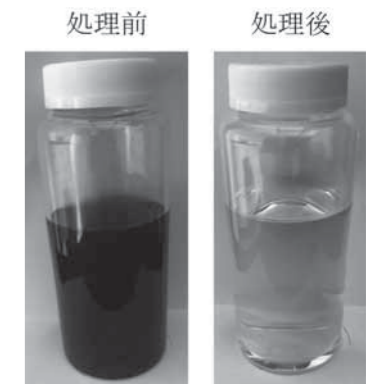


図4 原水および処理液の写真
Fig.4 Photographs of raw and treated wastewater

表4 原水および処理液の組成
Table4 Composition of raw and treated wastewater

	原水	前段処理後	後段処理後	全分解率 (%)
COD-Cr (mg/L)	2200	770	220	90
BOD (mg/L)	110	—	76	31
TOC (mg/L)	880	—	130	85
色度 (度)	3400	680	30	99
pH (-)	8.1	6.8	6.6	—

小型4軸ロボットとIoT技術を用いた 分析作業の自動化システム実証研究紹介

Introduction and demonstration of an automated jar testing system developed using a small 4-axis robot and IoT technology



藤平 祥孝
FUJIHIRA Yoshinori
室蘭工業大学
大学院工学研究科
もの創造系領域
ロボティクスユニット
システム制御工学研究室
助教



山本 稔
YAMAMOTO Minoru
開発本部
研究開発部
研究開発グループ

Abstract

In this study, we proposed an inexpensive system that combines a small 4-axis robot and IoT technology with an existing jar tester (floc tester). The system can remotely and automatically analyze water quality at water treatment plants (WTP). We confirmed the effectiveness of the system by installing a prototype at an operating WTP. The system automates the jar testing process including transporting beakers, injecting raw water and chemicals, running and stopping the jar tester, and photographing flocs. This study presents the overall framework of the developed system and the design of the IoT devices used for each process.

本研究では、浄水場における水質管理のための分析作業を遠隔化・自動化するため、既存のジャーテスタに小型4軸ロボットとIoT技術を組み合わせた安価なシステムを提案し、試作と動作確認を行った。某浄水場にて実証した結果、分析用ビーカーの運搬から、原水や薬液の注入、ジャーテスタの運転・停止、フロクの撮影までの一連の工程を自動化できることを確認した。本稿では、開発したシステム全体の枠組みと分析作業の各工程におけるIoT エッジデバイスの設計について紹介する。

キーワード：ラボオートメーション、社会実装、水処理プラント
Keyword: Laboratory automation, social implementation, water treatment plants

1 緒言

人口減少社会・節水型社会の到来により水道事業の収入は減少していくと予想されている¹⁾。そのような中で水道事業を維持していくためには、作業の自動化・省力化による浄水場の維持管理の新しい形での最適化が求められている。

浄水場では、凝集剤注入量を決定するために、ジャーテスタを用いた凝集評価試験(以下「ジャーテスト」という)が行われている。一般的には浄水場の監視室と試験室は離れているため、この試験作業を遠隔化・自動化ができれば浄水場の管理スタッフの負担の軽減や省人化が期待できる。

すでに、ジャーテスト専用の自動装置はいくつか開発されているが²⁾、どれも設置スペースや導入コストの問題から普及していないのが現状

である。そこで本研究では、既存のジャーテスタに卓上小型4軸ロボットとIoT技術を組み合わせた安価な遠隔化・自動化システムを開発し、試作することで現場への導入可能性について検討した。

既存の設備を利用した自動化は、産業用ロボットや協働ロボットを用いる場合もあるが、設置スペースやコストの面から導入は難しいと判断し、近年普及してきた省スペースで安価な卓上小型4軸ロボットを採用した。

しかしながら、卓上小型4軸ロボットは、産業用ロボットに比べ可動範囲が狭く可搬重量も小さいため、既存のジャーテスタにそのまま適用して作業させることはできない。そのため、外付けのIoT技術を用いて遠隔化・自動化することにより卓上小型4軸ロボットの短所を補うシステム構成の構築を図った。近年ではIoT技術を用いた実験室の遠隔化³⁾も行われているものの、システムの構成方法についてはまだ発展途上であるため、まず、現状のジャーテスト作業の工程を分析し、必要

な自動化システムの仕様や機能について検討した。その後、実際に工程ごとのエッジデバイスと全体を管理するシステムの設計・試作を行い、それらを統合し一連の動作確認を行った。

2 システム全体の概要

2.1 対象作業

2連ジャーテスタを用いた図1の作業を対象とした。なお、水質試験法において使用するビーカーは1,000mLと定められているが、選定した小型ハンドロボットの可搬重量の関係から、今回500mLに変更して実証を行った。

2.2 自動化システムのコンセプト

本研究では、産業用ロボットより安価で扱いやすいDOBOT社製小型4軸ロボット DOBOT Magician(以下「DOBOT」という)を用いた自動化システムについて検討する。DOBOTの動作範囲は前方リーチ230mm程度、可搬重量は500g程度であるため、DOBOT単体で分析作業の全工程を自動化することは困難である。

本システムのコンセプトは、図1の分析作業の各工程を担当するIoTシステムを構築し、各IoTシステムとDOBOTをネットワークでつなぎ連携させることで、既存のジャーテスタを活かした低コストの自動化システムの確立である。全体の外観を図2、システム構成を図3に示す。

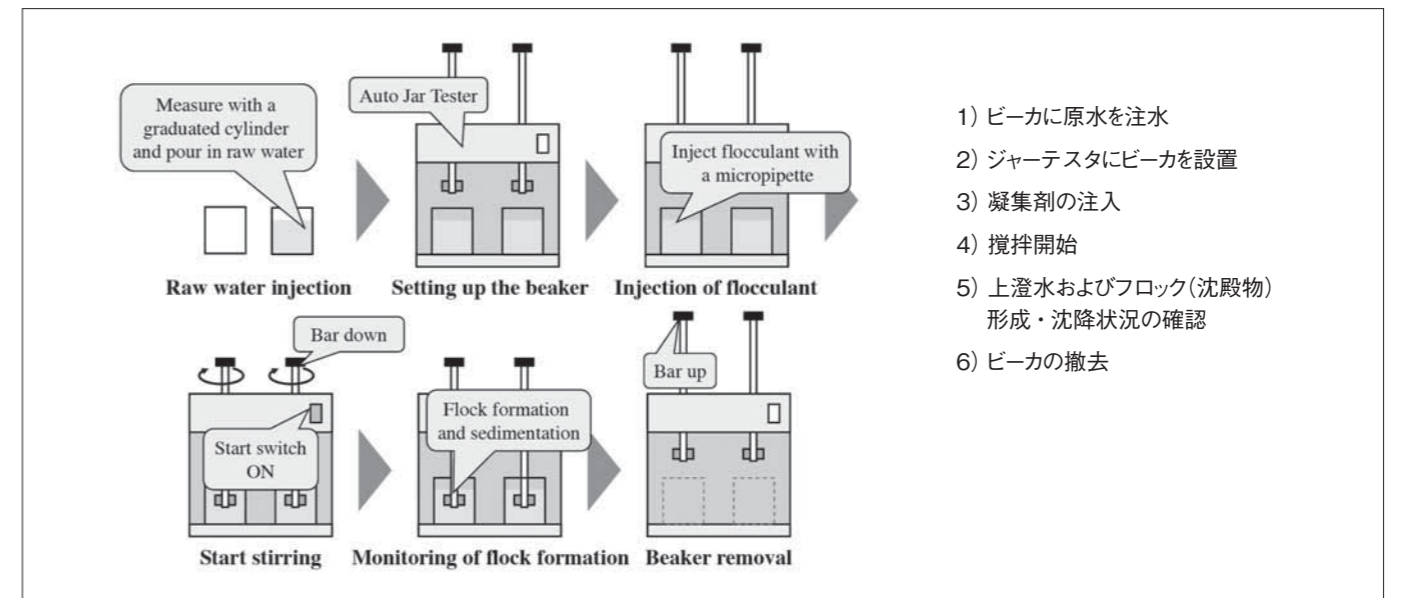


図1 対象タスクの流れ
Fig.1 Workflow of Task

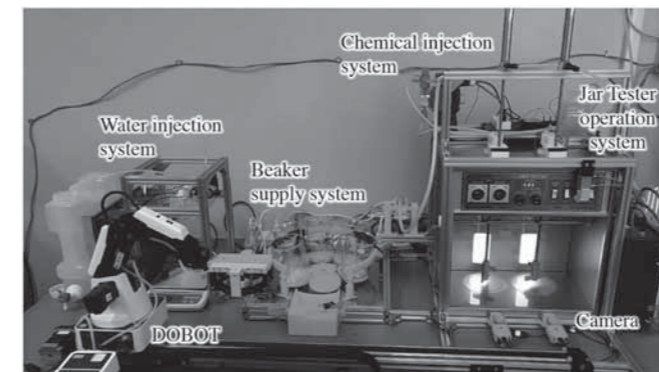


図2 開発システムの全体像
Fig.2 Overview

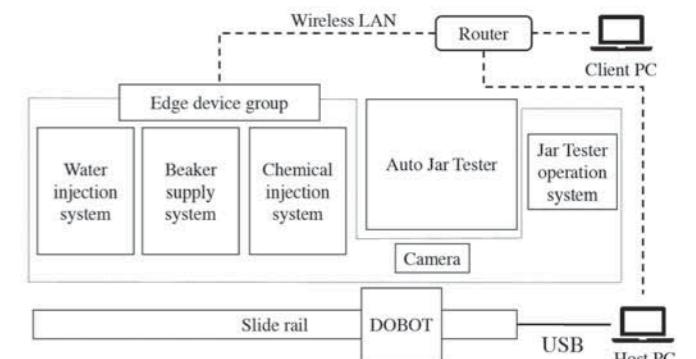


図3 開発したシステム構成
Fig.3 System configuration

3 各工程の自動化システム

3.1 搬送

DOBOTにはピーカハンドリング用に設計・製作したグリッパを取り付け、各工程にピーカを搬送する。図4に製作したグリッパの外観を示す。グリッパはエアシリンダを用いて平行開閉を行う機構になっている。このグリッパには、ピーカを落とさないようにセルフロック機構を設けた。その機構を図5に示す。ピーカを把持した際に、グリッパのパーツAの両側に生えている4つの突起部に設けられた溝に、左右のパーツBのばね機構の突起がピーカの荷重で下がってはまることで、グリッパがピーカの自重により左右に開かないセルフロック機構となっている。

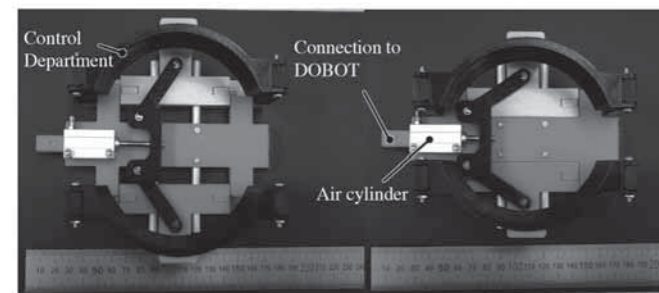


図4 ピーカ取扱用グリッパの写真
Fig.4 Picture of gripper for beaker handling

3.2 ピーカ供給システム

図6にピーカ供給システムの外観を示す。ステッピングモータを用いてターンテーブルを回転させピーカを供給する。ピーカはターンテーブル外側に設けられたフェンスに沿いながら回転し、供給口のスロープに排出される。供給口にはリミットスイッチを搭載し、ピーカの有無を検知することでターンテーブルの動作を制御する。

3.3 注水システム

図7に注水システムの構成図を示す。ダイヤフラム式ポンプと電子天秤を用いてタンク内に溜めた原水をピーカに定量注水する。

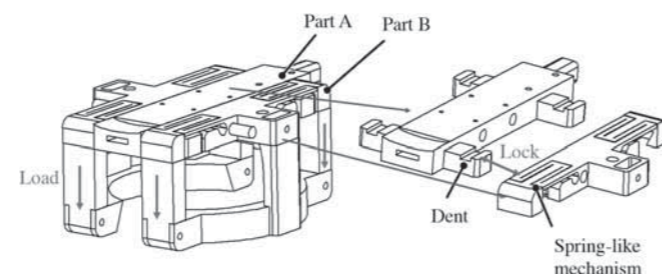


図5 開発したグリッパのセルフロック機構
Fig.5 Self lock system for the gripper

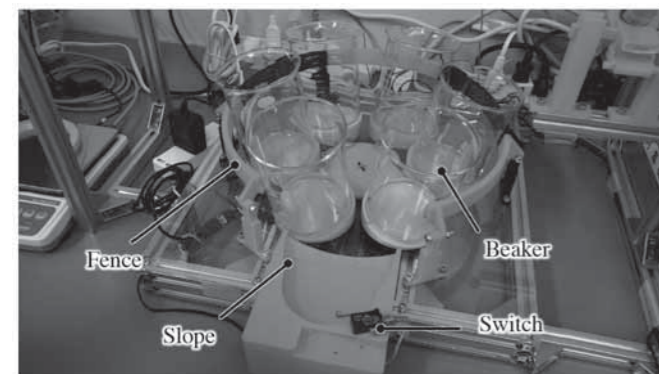


図6 ピーカ供給システムの写真
Fig.6 Beaker supply system

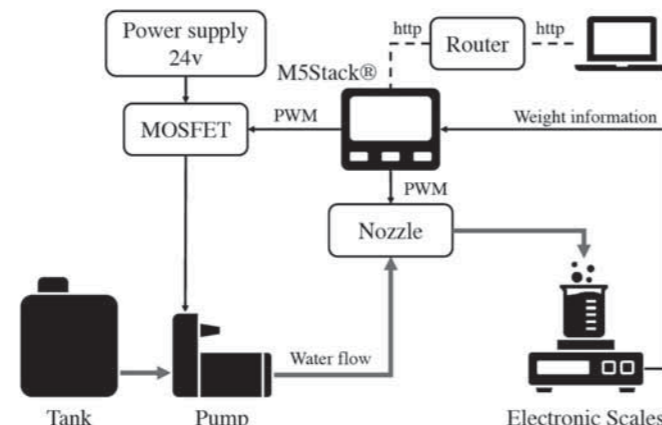


図7 注水システムの構成図
Fig.7 System configuration of water supply system

M5Stackは Shenzhen MingZhan Information Technology Co., Ltd.の登録商標です。

3.4 薬注システム

図8に薬注システムの構成図を示す。薬液の注入量は数mlから数十mlのオーダーであり、細かく注入量を調整するケースが想定されるので、パルス駆動型ポンプを用いて薬液を注入するシステムとした。ポンプのノズルには図9のようなDOBOTのグリッパと接続するための治具が取り付けられており、ジャーテスト内のピーカ近傍までノズルを近づけて薬液を注入する。図9のようにグリッパの前端とノズルの治具にはそれぞれマグネットが内蔵されており、グリッパ前端を治具に差し込むようにして接続できる。治具のグリッパの差し込み口にはテーパを設けており、差し込みの際の位置の誤差にロバスタな設計としている。また、ノズルを置いておくスタンドにも同様にテーパを施している。ノズルをグリッパから取り外すときはノズルをスタンドに上から置いて、その後グリッパを水平に引くとグリッパからノズルの治具が外れる機構となっている。

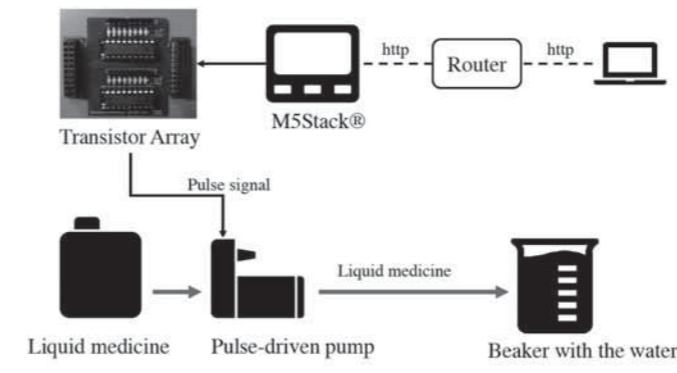


図8 薬品注入システムのシステム構成
Fig.8 System configuration of chemical dosing system

3.5 ジャーテストの操作システム

DOBOTの稼働範囲や可搬重量では、図1のジャーテストの上部に位置する攪拌棒を上げ下げすることや攪拌開始スイッチを操作することは困難である。そこでジャーテストの攪拌棒にエアシリンダを接続し攪拌棒の上下動を行う。また、攪拌開始のスイッチも同様にエアシリンダでON、OFFを制御する。

3.6 フロック形成の監視システム

図10にフロック形成を監視するためのカメラシステムの写真を示す。本システムでは、攪拌中および攪拌後のピーカをカメラで撮影する。ピーカ設置時のDOBOTの軌道との干渉を避けるため、サーボモータで撮影時のみカメラが起き上がる機構を搭載している。カメラで撮影された画像はHost PCにhttpリクエストを受けて送信、保存され、作業者がClient PCから撮影画像を確認できるようなシステムとなっている。

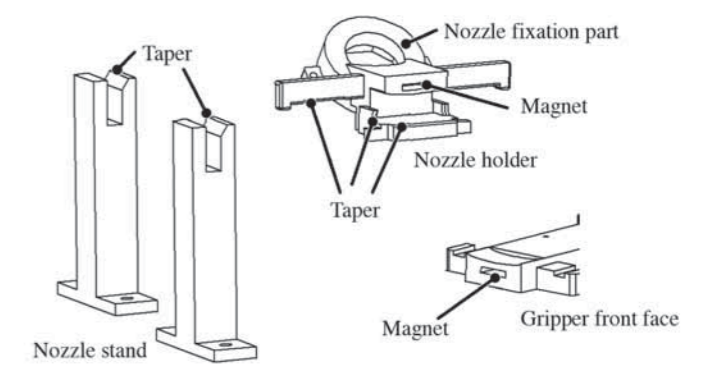


図9 噴射ノズルホルダとスタンド
Fig.9 Injection nozzle holder and stand

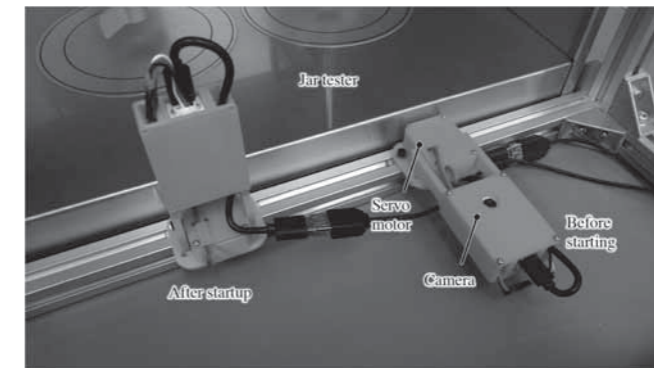


図10 カメラシステムの写真
Fig.10 Camera system

4 動作確認

図11に今回試作したシステムでの自動化したジャーテストの動作フローチャートの概要を示す。この流れに沿うように、基幹システム上で動作プログラムを作成し動作確認した。

なお、本実証については某浄水場の水質試験室を借用して装置(図12)を設置し、実際の原水を使用して実証した。

取得した画像(図13)については、今後どのように活用していくか検討を進めていく予定である。

5 結言

本研究では、浄水場における水質管理のための分析作業を遠隔化・自動化するため、既存のジャーテストに小型4軸ロボットとIoT技術を組み合わせたシステムを提案し、試作と動作確認を行った。

分析用ビーカーの運搬から、原水や薬液の注入、ジャーテストの運転・停止、フロックの撮影までの一連の工程を自動化することができた。本システムに新たにエッジデバイスを追加していくことで対象の分析作業だけでなく他の作業も含めた遠隔化・自動化システムに拡張可能である。今後は実際の現場にて再度実証実験を行い、現在は未実装であるビーカーの排出・洗浄システムや遠隔からのテストデータや画像の取得、さらには画像の自動評価システムの開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 総務省, "水道事業についての現状と課題", 2018.
- 2) 山口太秀, "浄水処理の新技术 凝集アナライザの開発 集塊化開始時間測定法による凝集剤注入率制御の適用例," 環境浄化技術, vol.11, pp.62-67, 2012.
- 3) Prakash K. R., Santhosh M. S., Purushothama G. K. and Ramya M. V., "An Approach to Convert Conventional Laboratories Into IoT-Enabled Laboratories," International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies (IJWLTT), Vol.16(5), pp.108-120, 2021.

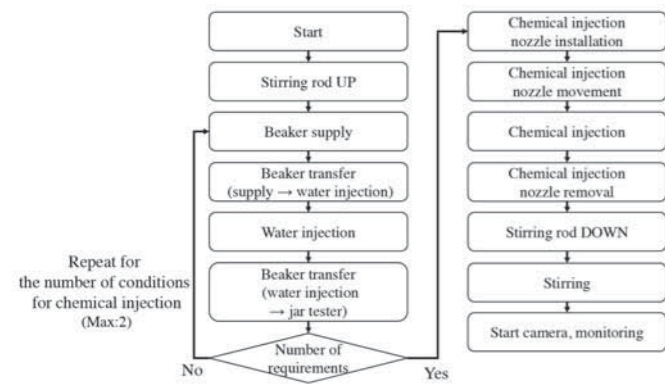
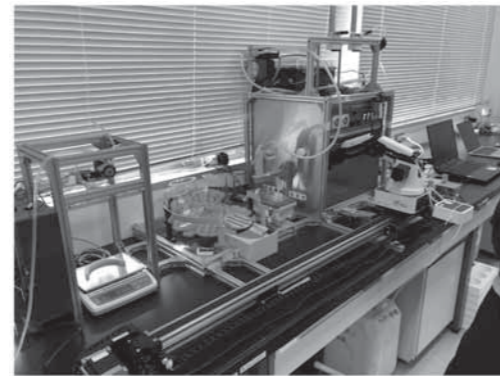


図11 動作フローチャート
Fig.11 Operation flowchart



現地実証
(設置状況)

図12 現地設置状態
Fig.12 Actual installation condition



図13 ジャーテスト開始前と静置10分後
Fig.13 Before jar test and 10 min after stopping agitation

技術・製品紹介

- 1 中小規模処理場間の広域化に資するバイオマスボイラによる低コスト汚泥減量化技術実証研究
- 2 東部スラッジプラントにおけるエネルギー自立型焼却システム
- 3 3D設計活用の拡大
- 4 樹脂製チェーンフライト式汚泥掻き寄せ機へのPETチェーンおよび耐震機構の適用
- 5 自己循環式CIP溶解槽ミキシレータ®の紹介
- 6 パイロットプラント向け小型固液分離装置の紹介

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

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



川上 健志
KAWAKAMI Takeshi
水環境事業本部
プロジェクト推進部
ソリューショングループ



梅染 俊行
UMEZOME Toshiyuki
水環境事業本部
プラント技術部
上下水エンジニアリンググループ

Abstract

Sewage sludge biomass can be utilized as fertilizer and biofuel. However, the technology that converts sewage sludge into fertilizer and fuel is not widely available in many small- and medium-scale sewage treatment plants. Because the introduction of these technologies increases the cost burden, it is not easy to find users and maintain a close relationship with them. Therefore, to promote effective utilization and ensure sludge treatment in the wide small- and medium-scale plants sector, we developed a system that combines a low-cost dewatering and drying system and a biomass boiler. The advantages of this demonstration technology are the reduced construction costs due to the use of general-purpose packaging equipment and effective use of the energy present in sewage sludge in the treatment plant that contributes to the reduction in fossil fuels use. This paper introduces the results of the research.

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

本稿では、実証研究の成果を紹介する。

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

1 はじめに

国家的な施策として、下水汚泥のバイオマス資源としての利活用が推進されている。すでに2016年度に採択されB-DASH実証研究で実施された『脱水乾燥システム』¹⁾等の技術により、低コストで汚泥を乾燥することで処分費の低減は図れるが、地域によっては有効利用先の確保が困難なケースも多い。一方、地方自治体は、管理体制(人)、施設管理(モノ)、経営管理(カネ)における課題を抱え、従来の下水道事業の持続が困難な状況にある。中小規模処理場の上記課題に対して、スケールメリットを活かせる広域化は有効な手段といえるが、従来の焼却炉では集約の拠点施設のコスト面の負担が過大となり、普及展開が難しい。以上より、低コストで汚泥を減量化し、エネルギー化を図る有効利用技術の確立が急務といえる。こうした背景から、月島機械(株)・日鉄セメント(株)・高砂熱学工業(株)・室蘭工業大学・室蘭市水道部共同研究体は、先述した『脱水乾燥システム』と汎用的なバイオマスボイラを組み合わせ、低コストかつ多様なバイオマス利用を可能としたエネルギー化技術(実証技術)を開発した。また、本実証技術は、汚泥やバイオマスを燃焼し、場内でエネルギー利用を行うことから、有効利用先の確保の問題を解決し、汚泥集約の

拠点施設において化石燃料依存からの脱却を図り、広域化の促進に資することができる。(図1 実証技術概要参照)

本実証技術は、2020年度に下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)として採択され、国土技術政策総合研究所の委託研究により実証研究を実施している。実規模レベルの実証設備を設計・建設し、2021年9月から設備の性能評価等を行っている。本稿は、本技術の処理データや導入効果について紹介する。

2 実証研究方法

2.1 実証フィールド

実証設備が設置されている北海道室蘭市蘭東下水処理場は、標準活性汚泥法の処理場であり、現有処理能力は48,000m³/日(日最大)、汚泥処理は、「分離濃縮→消化→遠心脱水→外部委託処分(主としてセメント原料として有効利用)」となっている。今回の実証研究では消化槽から引き抜いた消化汚泥を対象とした。また、外部バイオマスの受入れ試験として、近隣の北海道伊達市伊達終末処理場で採取した脱水汚泥と伊達市で間伐材を原料に生産されている木質ペレットを試験に用いた。

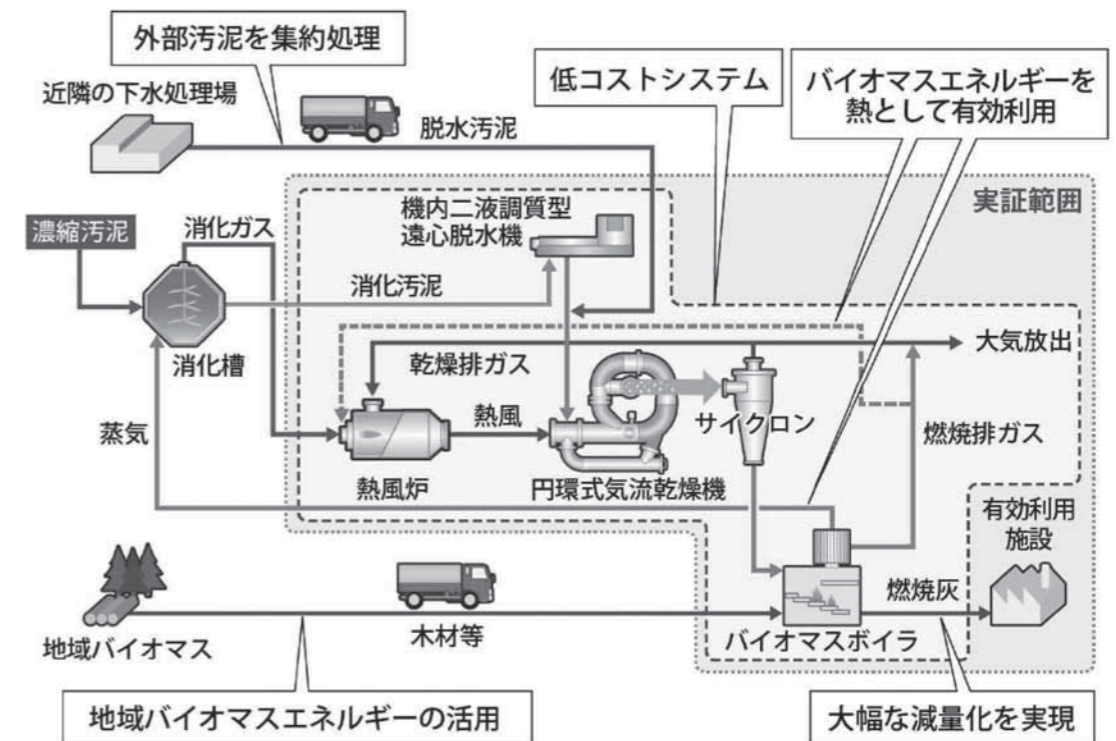


図1 実証技術概要
Fig.1 overview of demonstration technology

2.2 実証設備概要

図2に実証設備フローを示す。対象汚泥は、機内二液調質型遠心脱水機にて含水率78～79%に脱水された後、円環式気流乾燥機(以下「乾燥機」という)において400℃程度の熱風にて含水率10～15%程度に乾燥されサイクロンで固気分離される。乾燥汚泥は、バイオマスボイラで燃焼され、蒸気ボイラで、蒸気として熱回収される。蒸気は、消化槽の加温や館内暖房として利用される。実証設備では、消化槽加温ボイラで使用量が減少する消化ガスを燃料に熱風炉を使って乾燥に必要な熱を供給するが、消化ガスを利用できない処理場では、バイオマスボイラで発生する熱を乾燥に利用する。

入を目指しており、基幹処理場に本実証技術を導入し、2箇所の被集約対象処理場から脱水汚泥を集約処理した場合のLCCの評価を行った。評価対象としては、それぞれの処理場で従来の脱水汚泥を処理委託する場合(以下「従来脱水」という)および基幹処理場で従来の焼却設備により集約処理した場合(以下「従来脱水+焼却」という)とした。なお、従来技術の建設費、維持管理費についてはバイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル²⁾から費用関数により算出し、本実証技術については今回の実証で得られた結果をもとに、建設費、維持管理費(修繕、燃料、電気、凝集剤、人件費)を試算して評価した。

2.3 研究内容

(1) 運転の安定性の検証

バイオマスボイラの最適運転状態に関する調査として、空気比、給気バランス、滞留時間、排ガス循環量の影響調査を行い、四季を通じた代表条件での運転性能の把握を行うとともに、ボイラ内部状況の確認を定期的に行い、処理の安定性を評価している。ここでは秋と冬のデータのみを示す。

(2) 広域化への適用性の検証

北海道伊達市で採取した脱水汚泥を、成型機を介して乾燥機に供給することで、他の下水処理場の脱水汚泥も乾燥処理できることを確認した。また、北海道伊達市で製造された木質ペレットを専断にて試験し、バイオマスボイラにおいてドライ系バイオマスのエネルギー利用が技術的に可能なことを確認した。

(3) ライフサイクルコスト(以下「LCC」という)の評価

本実証技術は中小規模下水処理場での汚泥の集約処理への導

3 結果

3.1 運転の安定性の検証

表1に運転条件と結果を、図3に供給乾燥汚泥量とボイラ効率の関係を示す。定格95kg/hrに対して70～95kg/hrの負荷調整が可能で、ボイラ効率としては60～70%程度であり、これは脱水汚泥性状等の条件にもよるが、バイオマスボイラで乾燥汚泥の生産に必要な以上の熱を回収可能であることが明らかになった。スクラバ出口でのばいじん濃度は0.3g/Nm³未満であり、大気汚染防止法のバイオマスボイラの規制基準を満足している。排ガス中のN₂O測定値を投入脱水汚泥1tあたりに換算したN₂O排出量原単位を示す(表2)。バイオマスボイラは、低排出型の焼却炉と同程度のN₂O排出量原単位であった。

表1 運転条件および結果
Table1 operational condition and result

項目	単位	21/9 秋季	21/11 秋季	22/2 冬季
汚泥処理量	m ³ /h	5.5	5.0	6.0
汚泥濃度	%	1.6	1.58	1.5
高分子凝集剤注入率	%	1.8	2.2	2.7
無機凝集剤注入率	%	12	20.3	20.5
消化ガス使用量(重油換算)	L/t-ds	279	273	271
電力	ボイラ kWh/t-ds	126	126	126
ボイラ熱効率	%	77.3	73.3	77.2
ばいじん濃度	g/Nm ³	0.26	0.24	0.27
灰未燃分率	%	1.7	1.9	1.2
脱水汚泥含水率	%	78	78.1	79.0
乾燥汚泥含水率	%	8~14	18.6	14.9
N ₂ O濃度	ppm	—	27	30

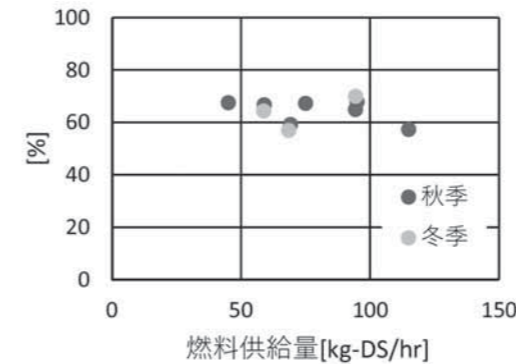


図3 供給量とボイラ効率
Fig.3 fuel supply VS boiler efficiency

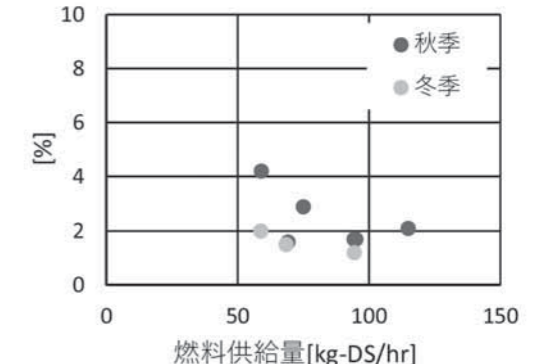


図4 供給量と灰未燃分
Fig.4 fuel supply VS unburned components

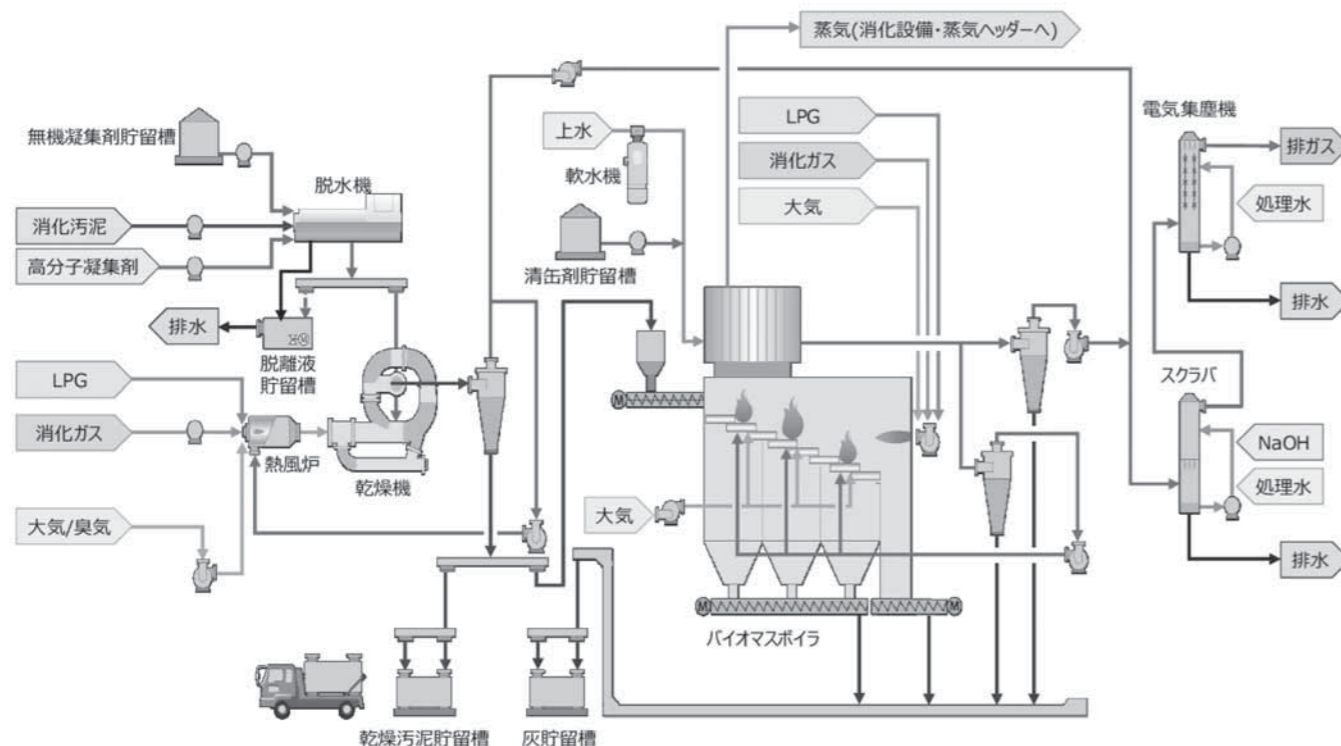


図2 実証設備フロー
Fig.2 flow sheet of demonstration facility

表2 N₂O排出量原単位の比較
Table2 N₂O emission base unit

機種	原単位(kg-N ₂ O/t-wet)
高分子・流動炉(通常)	1.51 ³⁾
高分子・流動炉(高温)	0.645 ³⁾
高分子・多段炉	0.882 ³⁾
多段吹込燃焼式流動炉(高温) 二段燃焼式循環流動炉(高温) ストーカー式	0.263 ³⁾
過給式流動炉	0.214 ³⁾
バイオマスボイラ(今回)	0.228

3.2 LCC 評価

表3に検討条件を示す。脱水汚泥量が合計15.5t/日(含水率78%)程度発生する中小規模処理場の集約処理で導入を想定した。従来脱水と比較した場合、建設費は上昇するが汚泥処分費の低減効果によりLCC削減効果が得られる見込みである。

4 まとめ

本実証研究では、バイオマスボイラを用いることで、乾燥に必要な熱量相当の蒸気回収を行うことができ、中小規模処理場へ集約処理した場合での導入検討では、従来技術に対してLCCの低減効果が得られ、十分導入効果が得られる見込みである。今後は、春季と夏季の調査を行い、四季データを揃えて年間を通じた運転の安定性を評価し、バイオマスボイラの自動制御についても検討する予定である。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所、脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術導入ガイドライン(案)、2019
- 2) 公益社団法人日本下水道協会、バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル、2003
- 3) 国土交通省、下水汚泥エネルギー化技術 ガイドライン(平成29年度版)、2018

表3 導入検討条件(単価:全国平均値、国交省調査による)
Table3 condition of installation study

項目		内容	
条件	脱水汚泥発生量	合計最大19t/日(平均15.5t/日)	
	水処理	標準活性汚泥法	
	汚泥処理	分離機械濃縮(消化無)	
単価	汚泥処理	脱水汚泥	15,000円/t
		焼却灰	18,000円/t
	薬品	高分子790円/kg、無機37円/kg	
	電力	17円/kWh	
	A重油	80円/L	

東部スラッジプラントにおけるエネルギー自立型焼却システム

Energy self-sufficient incinerator system at Tobu Sludge Plant



町田 高穂
MACHIDA Takao
水環境事業本部
プラント技術部
熱エンジグループ



国分 剛
KOKUBUN Takeshi
水環境事業本部
プラント技術部
上下水エンジニアリンググループ

Abstract

In most cases, dewatered sludge contains approximately 80% moisture, and during the incineration process, fuel such as gas or oil is used to keep the temperature inside the incinerator at approximately 850°C. Recently, dewatered sludge has become highly combustible while dehydrated sludge has a low moisture content due to advances in dehydration technology. Incineration at approximately 850°C can be achieved without fuel by using the combustion heat of the organic matter in the sludge. The use of these so-called “self-combustion” sewage treatment plants has increased. At the Tobu Sludge Plant, by reducing the moisture content of the dewatered sludge to 71–74%, the use of “self-combustion” that does not require fuel, generation of excess heat in the incinerator, and use of the excess heat to generate power are possible. As a result, an “energy self-sufficient incineration system” is introduced that covers the power consumption of the incineration facility with the power generated. This “energy self-sufficient incineration system” is realized by combining Tsukishima Kikai’s ultra-low water content dehydration technology, a supercharged fluidized combustion system with excellent power saving, and binary power generation technology.

従来多くの場合、脱水汚泥には80%程度の水分が含まれ、焼却工程では、都市ガスやA重油などの補助燃料を使用して、焼却炉内温度を約850°Cに保ち、燃焼させることが一般的であった。近年、汚泥の高可燃分による汚泥保有熱量の上昇と、脱水技術の進歩による脱水汚泥の低含水率化が進み、補助燃料を使用せずに、汚泥の保有する有機分の燃焼熱量により、約850°Cでの焼却を行う、いわゆる“自然”運転を行う下水処理場が増加してきた。

東部スラッジプラントでは、脱水汚泥を71～74%まで低含水率化することで、補助燃料を不要とする“自然”のみでなく、焼却炉において余剰熱量を生み出し、余剰熱量でつくる蒸気により発電を行うことで、発電電力により焼却設備の消費電力を賄う“エネルギー自立型焼却システム”が導入される。

この“エネルギー自立型焼却システム”は、当社が保有する超低含水率型脱水技術と、省電力性に優れた過給式流動燃焼システム、およびバイナリー発電技術の組み合わせにより実現している。

キーワード: 下水汚泥 脱水 焼却 過給器 発電 汚泥
Keyword: sewage sludge, dehydration, incineration, turbocharger, power generation, sludge

1 はじめに

下水汚泥は、濃縮・脱水工程での汚泥からの水分の分離、焼却工程で水分の蒸発と有機分の燃焼による減容化と無機化が行われてきた。

従来多くの場合、脱水汚泥には80%程度の水分が含まれ、焼却工程では、都市ガスやA重油などの補助燃料を使用して、焼却炉内温度を約850°Cに保ち、燃焼させることが一般的であった。近年、汚泥の高可燃分による汚泥保有熱量の上昇と、脱水技術の進歩による脱水汚泥の低含水率化が進み、補助燃料を使用せずに、汚泥の保有する有機分の燃焼熱量により、約850°Cでの焼却を行う、いわゆる“自然”

運転を行う下水処理場が増加してきた。

東部汚泥処理プラントでは、日本最大級の脱水汚泥300ton処理設備において、含水率を71～74%に低含水率化する超低含水率型脱水機(60m³/hr×3基)を採用した脱水設備と、エネルギー自立型焼却設備(300t過給式流動焼却炉、125kW級バイナリー発電機4基)を組み合わせることで、補助燃料を不要とする“自然”のみでなく、焼却設備の電力も不要となる“エネルギー自立型焼却システム”を導入する。

この“エネルギー自立型焼却システム”は、当社が保有する超低含水率型脱水技術と、省電力性に優れた過給式流動燃焼炉、およびバイナリー発電技術の組み合わせにより実現している。

2 超低含水率型脱水技術の紹介

2.1 超低含水率型脱水技術

超低含水率型脱水技術とは、東京都下水道局との共同研究において、年間の大部分を脱水汚泥含水率71%以下とし、汚泥の性状が悪化した場合でも脱水汚泥含水率74%以下（無機凝集剤による二液脱水）の条件を達成した技術である。

当社は、本技術において低動力型高効率遠心脱水機を採用している。

2.2 低動力型高効率遠心脱水機 概要

遠心脱水機は、高速で回転する回転体（ボウルとスクリーコンベヤ）に汚泥と高分子凝集剤を供給し、遠心力で汚泥を分離し、分離した汚泥をスクリーコンベヤで排出する。汚泥は遠心力とコンベヤ搬送の過程で圧密、圧搾脱水される。

低動力型高効率遠心脱水機は、従来の遠心脱水機と比較して消費電力を約50%低減（当社比）した省エネ型の遠心脱水機で、電力消費が抑えられ、温室効果ガス排出量の削減に寄与できる。機内二液調質型に対応しており、脱水汚泥のさらなる低含水率化が可能である。遠心脱水機は他の脱水機に比べ、コンパクトで大容量、防臭性が高く、自動運転のため取扱いも容易であり、ろ材を用いないため難脱水性汚泥への適用性も高い。

その他、当社低動力型高効率遠心脱水機は以下の特徴を有している。

■省エネルギー

本体軽量化およびターボジェット（動力回収セキ）設置による省エネ化

■省メンテナンス

現地分解整備が可能な構造で、予備コンベヤと交換することでオーバーホール時も約1週間で運転再開が可能（従来は1～2ヶ月）

■省スペース

インラインデザイン（電動機を脱水機の軸上に配置）の採用で従来の約50%のスペースで設置が可能

■脱水性、分離性に理想的なスクリーデザイン

独自のスクリーピッチとバップルコーンは汚泥に圧密・圧搾力を与え、オープンフライトスクリーは乱流を抑え分離液の清澄性を向上

図1に低動力型高効率遠心脱水機の基本構造を、図2に脱水原理、図3にターボジェット構造を示す。

① 基本構造

ボウル、スクリーコンベヤ、減速機、メインモータおよび差速用モータで構成される。

② 脱水原理

供給された汚泥および高分子凝集剤は、機内で混合され凝集フロックを形成し、凝集フロックは遠心力を受けて固液分離し、固形物はスクリーコンベヤによりボウル円錐部へ搬送され、バップルコーンによる強い圧密脱水作用を受け、低水分の脱水汚泥となり排出される。分離液は反対側の円筒ボウル端部より排出される。

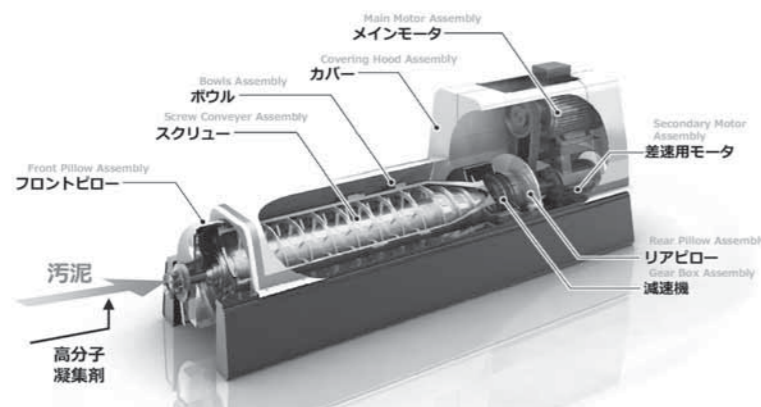


図1 低動力型高効率遠心脱水機の基本構造
Fig.1 Basic structure of low-power, high-efficiency centrifugal dehydrator

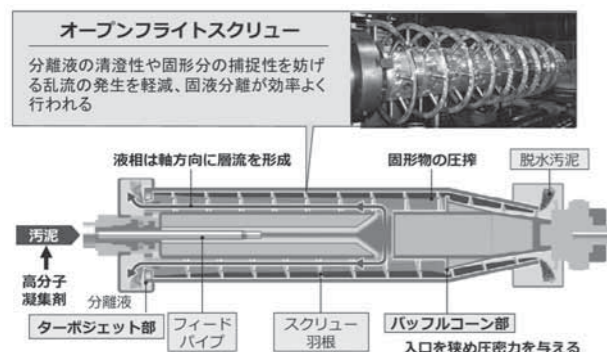
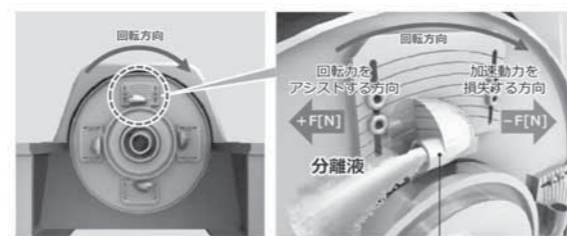


図2 脱水原理
Fig.2 Dehydration principle



ターボジェット
ボウルの回転により与えられた加速動力を方向転換回転方向と逆向きに噴射することで回転力をアシスト
図3 ターボジェット構造
Fig.3 Structural drawing of a turbojet

3 エネルギー自立型焼却システムの紹介

エネルギー自立型焼却システムとは、東京都下水道局との共同研究において、含水率71～74%、可燃分76～90% / DSにおいて、以下の目標性能を満足し、認証されたシステムである。

N₂O 排出量 : 1.15kg-N₂O/t-DS以下

使用電力量 : 161kWh/t-DS以下

補助燃料 : 不要

(立上げ、立下げ時および含水率74%以上時を除く)

発電目標単価 : 14円/kWh以下

※焼却炉における使用電力量を、発電電力量が年間で上回る

当社は、過給式流動焼却炉にバイナリー発電設備を付帯させるシステムにおいて、熱収支計算による回収熱量、発電量および建設費・維持管理費の検討を行い、目標性能、経済性、維持管理性の観点で評価される共同研究により認証を受けた。

本システムの最大の特徴は、過給式流動焼却炉の省電力性を生かし、それほど多くの発電を行わなくてもエネルギー自立を達成できる点である。本技術のベースとなっている過給式流動焼却炉のフローを図4に示す。

過給式流動焼却炉の最大の特徴は、燃焼排ガスの圧力で過給機を駆動し圧縮空気を炉に供給することで、従来必要であった流動ブロワの消費電力を不要とし、高圧の燃焼排ガスを圧力の低い煙突側に自然排気することで誘引ファンも不要としている点である。東部汚泥処理プラントの処理規模300t炉において、流動ブロワと誘引ファンの消費電力は合計約500kWに相当する。

過給式流動焼却炉は、焼却設備全体の消費電力の6割以上を占めるこの2つの送風機の消費電力を削減している非常に省電力性に優れたシステムである。目標性能の使用電力量161kWh/t-DSについては、過給式流動焼却炉の採用により達成している。

過給機を用いた汚泥燃焼システムの原理を図5に示す。圧力下（従来の気泡焼却炉の2倍程度）で下水汚泥を燃焼させ、その燃焼排ガスにより過給機のタービン翼を駆動させることで、タービン翼の1つの軸で繋がれたコンプレッサ翼が回転することで発生する圧縮空気を炉に供給するものである。

省電力ほどではないが、優れた特徴として、炉表面からの放熱熱量が小さいメリットも有している。加圧燃焼により、燃焼に必要な空気、燃焼後の排ガスともに従来気泡流動炉の2倍程度の圧力であり、気体が圧縮された状態での燃焼となる。このことにより、従来気泡流動炉の炉径の約65%とコンパクトな焼却炉となり、炉の表面積を低減する

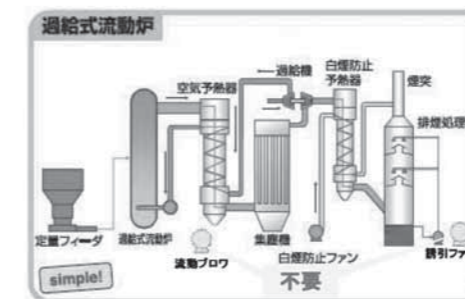
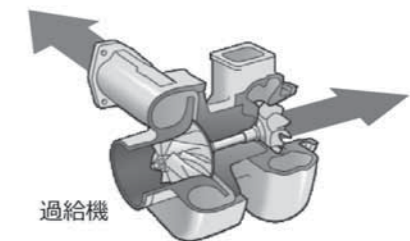


図4 過給式流動焼却炉
Fig.4 Supercharged fluidized bed incinerator



燃焼排ガスの圧力で過給機を駆動し、圧縮空気を炉に供給。
→流動ブロワ不要

高圧の燃焼排ガスは圧力の低い煙突側に自然排気。
→誘引ファン不要

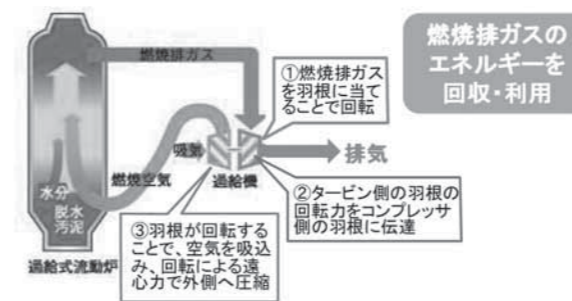


図5 過給機を用いた汚泥燃焼システム
Fig.5 Sludge combustion system using turbocharger

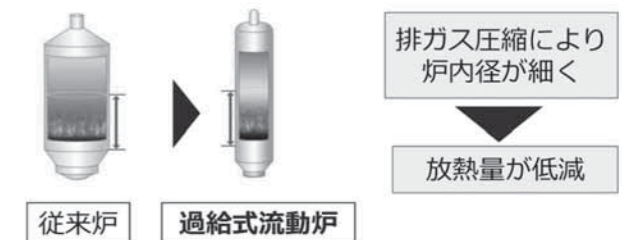


図6 過給式流動焼却炉の放熱低減
Fig.6 Supercharged fluidized bed incinerator with reduced heat dissipation

ことができる。表面積が小さいことは、放散熱量の低減に寄与し、より多くの熱量を発電側に使用することができることに繋がっている。

エネルギー自立型焼却炉は、前述の過給式流動焼却炉の省電力性を強化し、廃熱ボイラとバイナリー発電設備を組み合わせたものである。図7にシステムの概略フローを示す。

従来、焼却炉に必要な燃焼用空気は、焼却炉での補助燃料使用量削減を目的として、850℃の燃焼排ガスをを用いて、燃焼空気を空気予熱器にて650～700℃に予熱して焼却炉に供給している。東部汚泥処理プラントでは、前述の脱水汚泥の低含水率化により、300℃～450℃程度の燃焼空気を炉に供給することで、補助燃料を使用しない“自然”運転を実現することができる。そのため、空気予熱器で予熱された燃焼空気ラインにボイラを設置し、650～700℃の燃焼空気を熱源として蒸気を生成するフローとしている。

このボイラ設置の目的は、過剰な熱量を炉に供給することを防止するためにボイラにて抽熱して燃焼空気温度を下げる（調整する）ことが主目的であり、蒸気の生成は副産物の意味合いが強い。従来は、補助燃料の注入量により炉内温度を850℃に維持する制御を行うが、本システムは焼却炉に供給する燃焼空気の温度を調整することにより、850℃焼却を維持する設計である。

燃焼排ガスは焼却炉→空気予熱器→集塵機→過給機を経て白煙防止予熱器に入るが、この白煙防止予熱器にて、排ガスのエネルギーを用いて常温空気を約400℃に加温している。この加温空気ラインにも廃熱ボイラを設置し、蒸気を取り出すプロセスとしている。さらに省

電力性を強化するため、白煙防止空気も過給器からの圧縮空気をエゼクタに導入し、エゼクタで増風した空気を白煙防止予熱器に送ること

で、定常運転時は白煙防止ファンも停止させることができ、省電力性も強化している。燃焼空気ラインと白煙防止空気ラインの2つの廃熱ボイラで生成した蒸気を熱源として、バイナリー発電機に供給して発電を行っている。バイナリー発電機はORC技術（Organic Rankine Cycle：有機ランキンサイクル）を用いた排熱発電装置である。温水や熱媒体を熱源として発電装置を駆動させるものであり、発電装置では、熱源から沸点の低い「代替フロン」を蒸発させ、その蒸気によってタービン発電機を回転させることにより発電している。

東部汚泥処理プラントでは、含水率71～74%の範囲において、発電電力により焼却設備での消費電力を賄うエネルギー自立運転を達成する。

4 おわりに

この東部汚泥処理プラントのエネルギー自立型脱水焼却設備は、2021年7月に低動力型高効率遠心脱水機の脱水設備工事、2021年11月にエネルギー自立型焼却システムの焼却設備工事を、いずれも当社が受注した。エネルギー自立を担う脱水から焼却までの機械設備工事を、当社単独で設計・製造・建設する初めてのプラントとなり、2026年に竣工を迎える予定である。

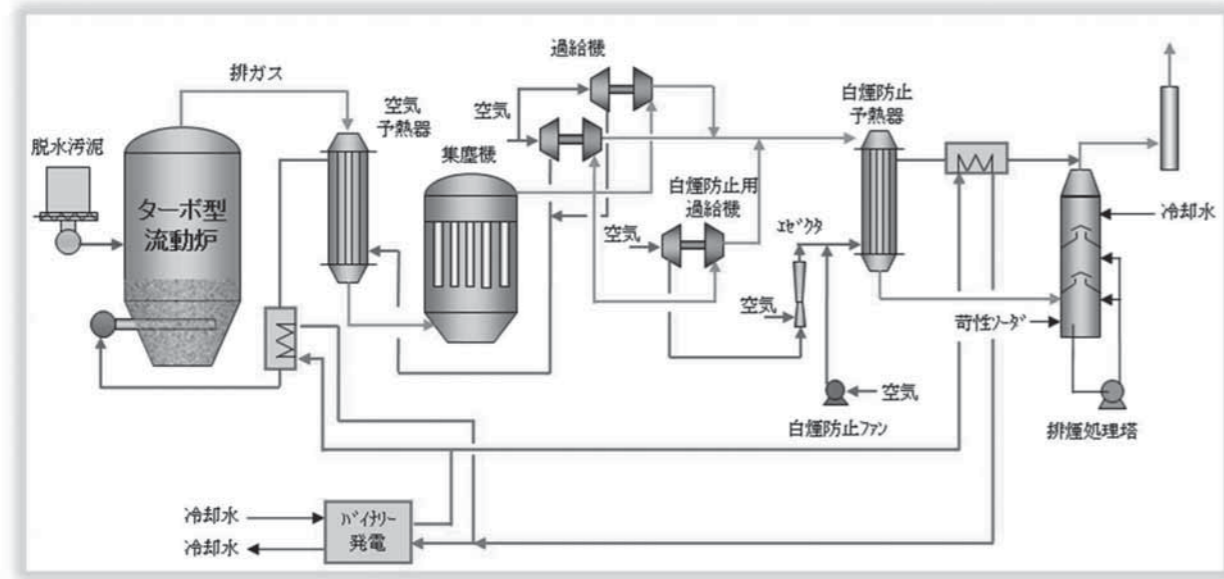
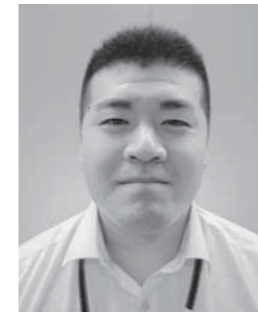


図7 エネルギー自立型焼却炉概略フロー
Fig.7 Energy self-sufficient incinerator outline flow

3D 設計活用の拡大

Expansion of the 3D design utilization



三島 仁
MISHIMA Jin
水環境事業本部
プラント技術部
BIMデザイングループ

Abstract

Recently, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) has been promoting Building information modeling (BIM) in public works projects to improve productivity¹⁾. BIM refers to constructing an information models with attribute information such as material, dimensions, and quantity, in addition to 3D shape information (3D model) created on a computer.

We are operating an integrated model that combines 3D CAD and a stationary 3D scanner to reproduce the existing plant and surrounding environment as a point cloud in a BIM model with attribute information. The effective use of 3D scanners, which can acquire accurate information on existing facilities, contributes to improved design accuracy in water and sewage facilities, where scrap-and-build is common. Currently, we continue to expand the effective use of BIM design and introduce new technologies to further improve spatial design accuracy and productivity.

Herein, we will present examples of our most recent efforts: chute design using Autodesk Inventor, VR review of 3D models, and the use of piping work volume historical data.

近年、国土交通省は公共事業における生産性向上のため BIM活用を推進している¹⁾。BIMとは Building Information Modelingの略称であり、コンピュータ上に作成した3次元の形状情報(3Dモデル)に加え、材質・寸法・数量などの属性情報を併せ持つ情報モデルを構築することを指す言葉である。

当社では3DCADと据え置き型3Dスキャナを組み合わせ、属性情報を持った BIMモデルに既設プラントや周辺環境などを点群で再現した統合モデルを運用している。スクラップ&ビルドが多い上下水設備において、正確な既設情報を取得できる3Dスキャナの効果的な運用が設計精度向上に寄与している。現在も空間設計精度と生産性のさらなる向上を目指し、BIM設計の有効利用法の拡大や新規技術の導入などを展開している。今回は直近の取り組みとして、Autodesk Inventorを利用したシュート設計、3DモデルのVRレビュー、配管工事量ヒストリカルデータ活用の事例を紹介する。

キーワード：Building information modeling (BIM), Virtual reality (VR)
Keyword：Building information modeling (BIM), Virtual reality (VR)

1 はじめに

当社では1990年代より3DCADを、2018年に据え置き型3Dスキャナを導入しており、BIMモデルに既設プラントや周辺環境などを点群で再現した統合モデルを運用するなど、空間設計精度や生産性を向上させるための取り組みを行っている。

今回は直近の取り組みとして、Autodesk Inventor[®]を利用したシュート設計、3D設計案件のVRレビュー、配管工事量ヒストリカルデータの利用の3つをそれぞれ紹介する。

※ AUTODESKINVENTOR：Autodesk, Inc.の登録商標である。Autodesk Inventorのスクリーンショットは、Autodesk社の提供で転載している。

2 主部

2.1 Autodesk Inventorを利用したシュート設計

機器設計用3DCADソフトウェアであるInventorを用いてシュートを設計した事例を紹介する。

3DCADで作成したシュートの3Dモデル(図1)は、構造を容易に確認することができる。さらに、建屋や機器・配管の3Dモデル、既設建造物の3Dスキャンデータと合わせて統合モデルとすることができる。統合モデル上では、ハンドホールへのアクセスや点検のしやすさなどが3Dで表示されるため非常に分かりやすく、社内関係者内での内容確認が簡単に短時間でできるようになった。(図2)

また、3Dモデル上で検証、確認または承認をおおむね完了させてから作図を開始することで、図面上だけで検証、確認、承認を行うプロセスよりも高精度かつ高効率な設計ができる。

2.2 3D設計案件のVirtual Reality (仮想現実)レビュー

Virtual Reality (以下「VR」という)を利用した設計レビューを紹介する。VRレビューでは、VRヘッドセットを着用すると設計した3Dモデルが1/1スケールで立体化して表示される。結果として、経験の浅い人や設計担当以外の人でもバルブの位置や通路幅、ヘッドクリアランスなど運用性に関わる要素を確認しやすくなるという効果が得られた。

また、設計レビューの指摘もVRで確認すると実感しやすく、指摘事項の理解度が大幅に向上する。加えて、データの数だけプラントを疑似体験できるため、設計者の成長を助ける教育ツールとしてVRが有用であるとわかった。

VR空間では付属のコントローラーを手に持つことで視界に手が表示されるようになり、歩いたり手を動かしたりすれば映像も追従する(図3)。3Dスキャンを行った現場の表示も可能で(図4)、まるで建設後のプラントを歩いているような感覚になるため、通路幅や障害物の高さ等を人間の視点でリアルに体感できる。そのため、運用性についての検証が容易になった。

2.3 配管工事量ヒストリカルデータの利用

配管工事量ヒストリカルデータの利用について紹介する。当社ではプラント業界での経験則であるDB、Bm、DB/Bm比率、サポート重量など配管工事量を示す各種指標を、流体、配管口径、材質などのカテゴリごとに分析・比較している。

これによりプラントごとの配管工事量の傾向をつかむことが容易になり、見積もり精度を向上させることができる。さらに分析・比較したデータをグラフ化することで視覚効果を高めている。(図5、6)

タ(過去実績)として配管工事量を分析することで、新規案件の見積もり精度を向上させることができる。

このほかにも、新型3Dスキャナ、低価格帯汎用3DCAD、AR (Augmented reality) の運用テストを通じて、統合モデルのさらなる運用改善、設計者の生産性向上に取り組んでいる。

3 おわりに

今回紹介した3DCADによるシュート設計やVRによる体験型レビューは、設計者のみならず関係者の視覚的認知能力を高め、2D図面などの従来手法と比べると設計精度、生産性ともに大幅に向上させることができる。また、過去に作成した統合モデルはヒストリカルデー

参考文献

- 1) 国土交通省 BIM/CIM関連基準・要領等(令和4年3月)
技術調査:BIM/CIM関連基準・要領等(令和4年3月) - 国土交通省 (mlit.go.jp)

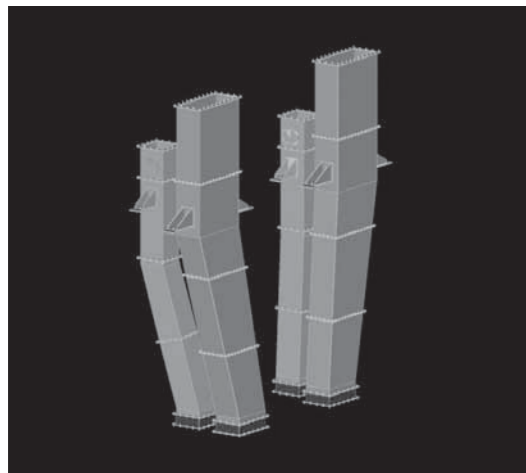


図1 シュートの3Dモデル
Fig.1 3D model of the chute

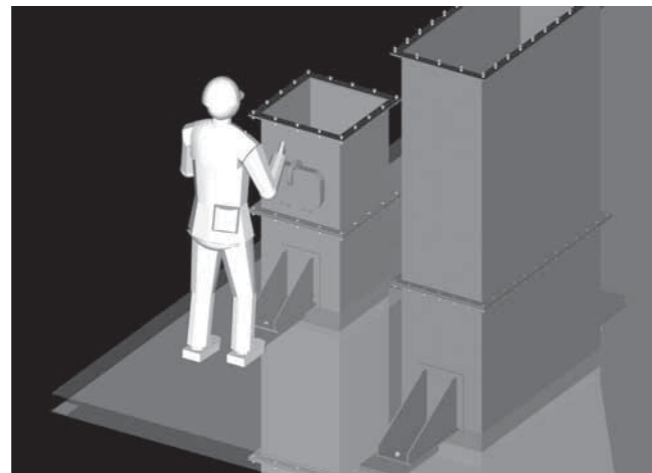


図2 シュートのメンテナンス性の検討
Fig.2 Considering the maintainability of the chute



図3 VRレビューの様子
Fig.3 VR review

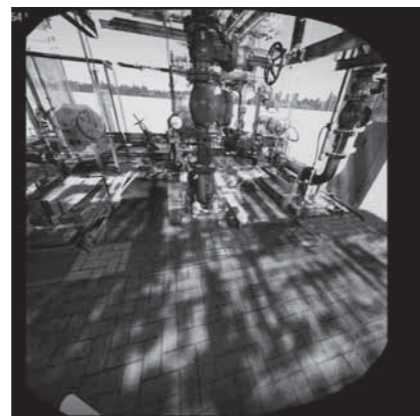


図4 3DスキャンデータのVR表示
Fig.4 VR view of 3D scan data

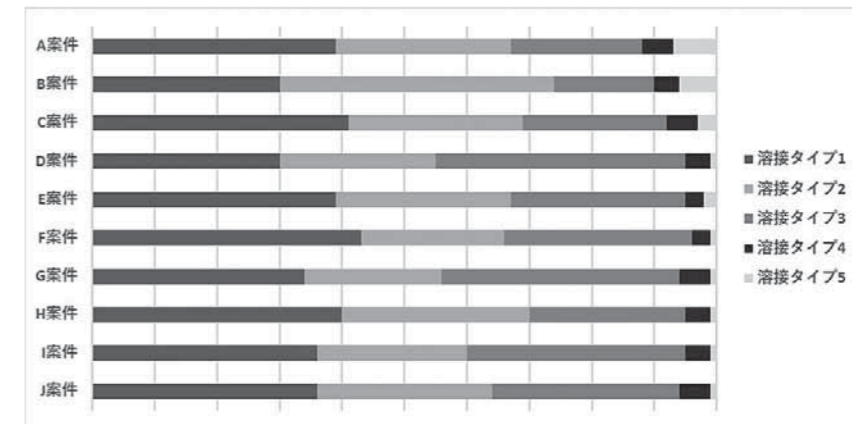


図5 施工方法別の溶接量のグラフ
Fig.5 Graph of welding quantities classified by construction method

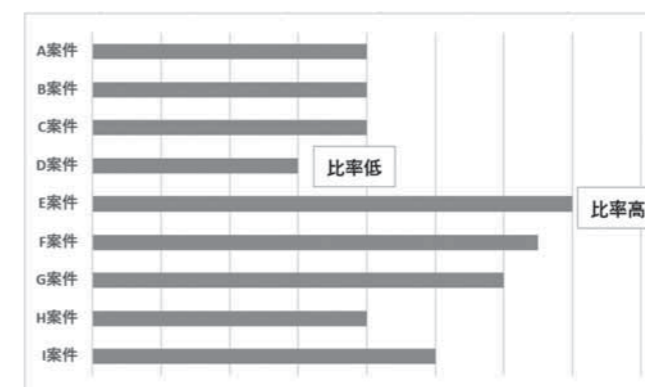


図6 サポート重量に関する比率のグラフ
Fig.6 Graph of ratios for support weight

樹脂製チェーンフライト式汚泥掻き寄せ機へのPET チェーンおよび耐震機構の適用

Application of PET chains and Earthquake resistant mechanism to Plastic chain flight type sludge collector



小山 達也
KOYAMA Tatsuya
月島テクノメンテサービス株式会社
エンジニアリング本部

Abstract

In a plastic chain flight type sludge collector used in the first and final sedimentation tanks of sewage treatment plant, the main chain has been broken due to highly acidic condensation water. Therefore, we focused on polyethylene terephthalate (PET), which is an environmentally friendly material with excellent acid resistance and commercialized the chain. In addition, Conventional products were imported from overseas, and the delivery was extremely unstable due to the influence of the new coronavirus, however the PET chains are domestically manufactured products, enabling short delivery and stable production. Prototypes were repeatedly produced, and acid resistance tests and breaking strength tests were verified. In the acid resistance test, acid erosion was reduced compared to conventional products. In the breaking strength test, the results satisfied the guaranteed breaking strength and average breaking strength specified in the Japan Sewerage Works Agency's standard specifications. Based on these results, the system was delivered to the M sewage treatment plant together with the floating type chain flight sludge collector in 2022, and is currently in operation. In addition to the development of the PET chain, we developed a 4-shaft chain flight type sludge collector with an earthquake resistant mechanism. This mechanism has cutouts at both ends of the flight, through which the running rails are passed. Currently, the company is conducting public relations activities where the combination of a PET chain and an earthquake-resistant mechanism is packaged and promoted as a chain-flight type sludge collector with excellent earthquake resistance and environmental resistance.

下水処理場の最初沈殿池、最終沈殿池で使用される樹脂製チェーンフライト式汚泥掻き寄せ機において、酸性の高い結露水によって本体チェーンが破断する事象が発生した。そのため、従来品より耐酸性に優れ、かつ環境に優しい材質であるポリエチレンテレフタレート（以下「PET」という）に着目しチェーンの商品化を行った。なお、従来品は海外からの輸入品であり、新型コロナウイルスの影響で納期面も非常に不安定であったが、PETチェーンは国内生産品であり、短納期かつ安定した生産が可能である。試作品の製作を繰り返し、耐酸性試験および破断強度試験の検証を行った。耐酸性試験では、従来品と比較し酸による浸食が低減された。破断強度試験では、下水道事業団標準仕様書に規定されている保証破断強度および平均破断強度を満たす結果となった。これらの結果をもとに2022年に浮上型汚泥掻き寄せ機とともにM下水処理場に納め、現在稼働中である。また、PETチェーンの開発と合わせて耐震機構を付帯した4軸型チェーンフライト式汚泥掻き寄せ機の開発も行った。本機構はフライト両端に切り欠きを設け、そこに走行用レールを通す機構であり、走行用レールのみで耐震機構を具備した構造となった。現在はPETチェーンと耐震機構の組み合わせをパッケージとし、耐震・対環境性に優れたチェーンフライト式汚泥掻き寄せ機としてPR活動を行っている。

キーワード：ポリエチレンテレフタレート、樹脂製チェーンフライト式汚泥掻き寄せ機、浮上型汚泥掻き寄せ機
Keyword: Polyethylene terephthalate (PET), Plastic chain flight type sludge collector, Floating type chain flight sludge collector

1 はじめに

チェーンフライト式汚泥掻き寄せ機は耐食性を高めるため樹脂化が進められてきた。当社では、他社に先行してオールプラスチック製汚泥掻き寄せ機を開発したが、近年、長納期化や高コスト化、他社でもプラスチックチェーンの採用を進めたことにより競争が激化している。また、プラスチックチェーン自体も酸性の高い結露水による破断や、昨今の環境問題への意識変化、東日本大震災による脱輪の頻発など、樹脂製チェーンフライト式汚泥掻き寄せ機を取り巻く環境が変化している。当社では、これらの問題を解決するためにPETチェーンと耐震機構の開発を行った。

PETチェーンとは主材質にPET(ポリエチレンテレフタレート)を用いたプラスチックチェーンであり、PETの特徴は耐酸性、耐薬品性、耐摩耗性に優れ、さらに環境に優しい材質である。

1.1 プラスチックチェーンの破断事象

他社製の樹脂製チェーンフライト式汚泥掻き寄せ機において、プラスチックチェーンが破断する事象が発生している。長期にわたり槽内を空にした状態で保管した際、結露水が濃縮し酸性濃度が高くなる。高

濃度酸性の結露水がプラスチックチェーンに滴下することで、浸食し、強度が低下する。この結果、プラスチックチェーンの破断が生じていたと考えられる。このため日本下水道事業団機械設備標準仕様書(令和2年度)において“使用材料に耐酸性の低い合成樹脂を含む場合は、機器の取扱留意事項および運転管理方法等を明記した銘板を槽上に設置すること”と記載されるようになった。

2 PETチェーンの性能確認

2.1 耐酸性試験

PETの耐酸性を評価するための試験方法としてASTM D543による方法がある。各プラスチックメーカーがこの試験方法に基づき試験を実施しており、PETが耐酸性に優れていることはすでに証明されている。当社ではさらに実際のチェーンを用いて実証試験を実施した。試験体として使用したのは従来のプラスチックチェーンT(材質:ポリアセタール(以下「POM」という))と、PETチェーンの2種類である。試験方法は硫酸濃度30%(常温)を滴下する暴露試験を行った。試験結果を図1に示す。試験結果から分かるとおりPOM製チェーンは酸に浸食されたがPETチェーンは特に変化は見られなかった。

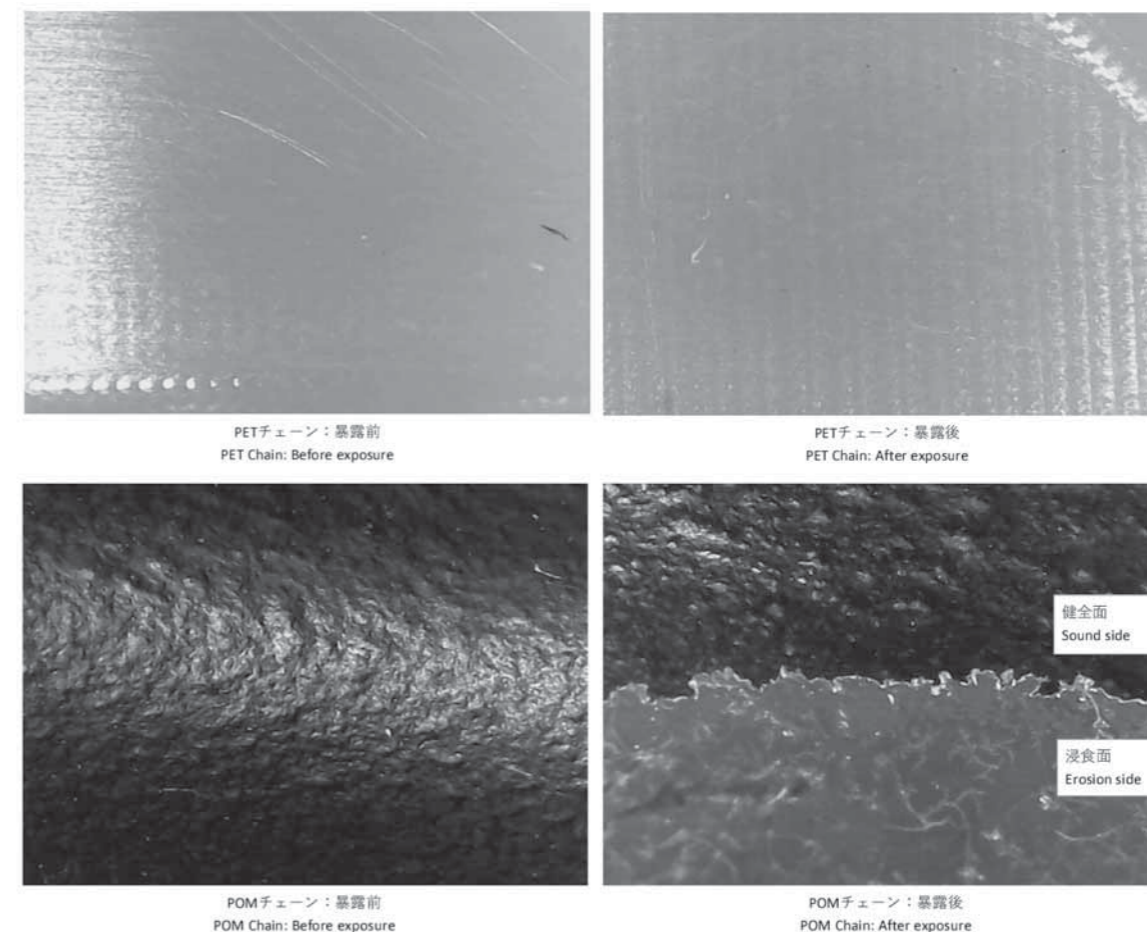


図1 耐酸性試験結果
Fig.1 Result of acid resistance test

2.2 破断強度試験

日本下水道事業団機械設備標準仕様書(令和2年度)にプラスチックチェーンの破断強度は保証(最低)破断強度24.5kN以上、平均破断強度29.4kN以上と規定されている。繰り返し改良を加えた結果、PETチェーンの破断強度は図2に示す結果を得ることができた。試験結果から分かる通り試験体3本の破断強度は31.7kN以上であり、機械設備標準仕様書記載の数値を上回る結果となった。

2.3 摩耗試験

加速試験機を製作しPETチェーンの摩耗試験を行った。摩耗測定箇所はピン穴径、ピン径、バレル径の3点を評価する。摩耗試験方法は、掻き寄せ速度17.35m/min(最終沈殿池に使用する速度の約58倍)の試験機を製作し、113日間運転させることにより18年間に相当する運転期間の摩耗確認を実施した。試験結果を図3に示す。摩耗値は大きい箇所0.54mmとなった。この数値は当社がすでに納入している他処理場での従来チェーンの摩耗値と比較してほとんど差がなく、経年使用にも十分に耐える結果となった。

3 耐震機構の開発

東日本大震災により樹脂製チェーンフライト式汚泥掻き寄せ機の上り軸間で脱輪する事象が頻発した。スロッシングによりスプロケットから本体チェーンが脱輪したことが原因である。スロッシングとは、地震によって槽内の水面が揺動する事象であり、金属チェーンにおいては重量

が重い影響を受けにくかったが、プラスチックチェーンは軽量のため影響をより受けやすかった。そのため日本下水道事業団機械設備標準仕様書においても“地震によるスロッシングが生じて脱輪が発生しにくい装置を具備する。”と記載された。これにより、他社は耐震化のための部品を追加対応しているが、当社では走行用のレールのみで耐震化も兼ねる構造の開発を行った。

3.1 機構の検討

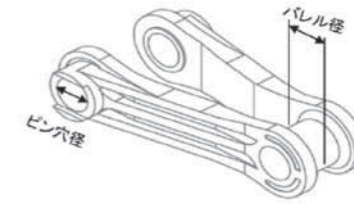
フライト両端中央に切り欠きを設け、そこにレールを通すことにより走行用のレールのみでスロッシング対策を兼ねることが可能となった。また、フライトの切り欠き部とレールが直接接触しないようフライトにはシューを取り付け、摺動性を高めた。通常走行時は切り欠きの上部のシューがレールに摺動しながら走行し、地震時は切り欠きの下部のシューがレールに接触することで脱輪を防止する構造である。構造図を図4に示す。本構造で試験機を作成し、2.3 摩耗試験と同時に稼働確認を行った。なお、本機構は特許取得済である。

4 おわりに

樹脂製チェーンフライト式汚泥掻き寄せ機においてPETチェーンを採用することにより、本体チェーンの耐酸性の向上、環境に優しい材質への変更とともに耐震化を図った。現在は、PETチェーンと耐震機構を組み合わせた樹脂製チェーンフライト式汚泥掻き寄せ機として、販売拡充に向けて取り組んでいる。

バレル径	試験前	試験後	差	判定結果
①	36.35	36.21	0.14	良
②	36.51	36.48	0.03	良
③	36.4	36.28	0.12	良

ピン穴径	試験前	試験後	差	判定結果
①	22.92	22.72	0.2	良
②	23.1	22.56	0.54	良
③	22.96	22.75	0.21	良



ピン	測定箇所	試験前	試験後	差	判定結果
①	A I	22.38	22.1	0.28	良
	A II	22.35	22.31	0.04	良
	B I	22.23	22.13	0.1	良
	B II	22.29	22.25	0.04	良
	C I	22.3	22.21	0.09	良
②	A I	22.65	22.41	0.24	良
	A II	22.42	22.4	0.02	良
	B I	22.3	22.18	0.12	良
	B II	22.62	22.27	0.35	良
	C I	22.41	22.17	0.24	良
③	A I	22.26	22.1	0.16	良
	A II	22.3	22.26	0.04	良
	B I	22.34	22.1	0.24	良
	B II	22.51	22.25	0.26	良
	C I	22.44	22.23	0.21	良
	C II	22.27	22.21	0.06	良

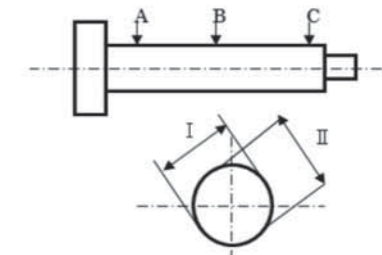
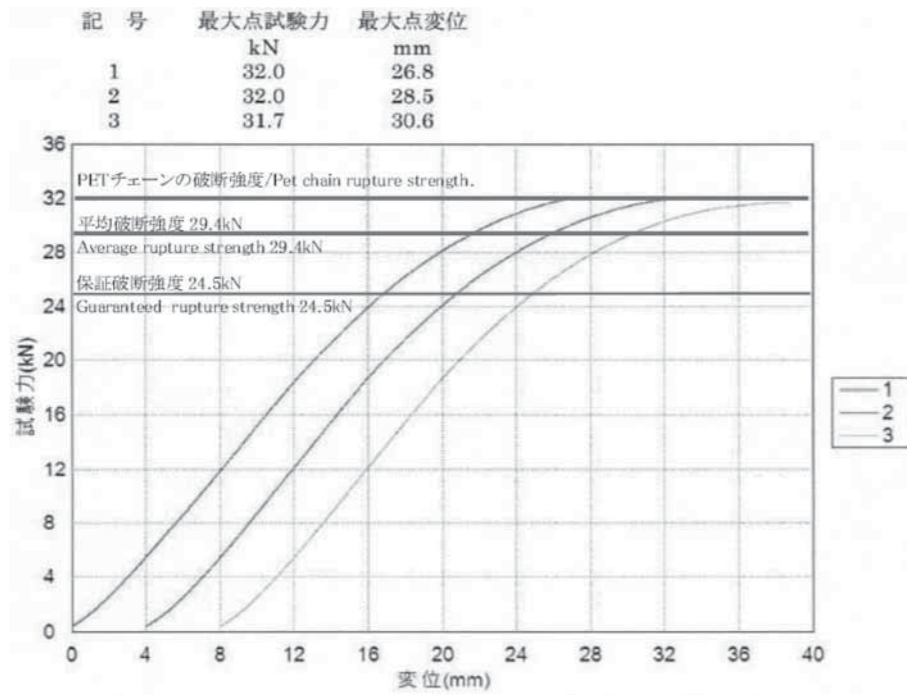


図3 PETチェーンの摩耗試験結果
Fig.3 PET chain wear test results



※試験力0kNにおいて変位が0mm、4mm、8mmとなっているが見やすさを考慮して位置を調整している。
*The displacement at 0 kN test force are 0 mm, 4 mm, and 8 mm. The positions are adjusted for visibility.

図2 PETチェーンの破断強度試験結果
Fig.2 Results of PET chain rupture strength test

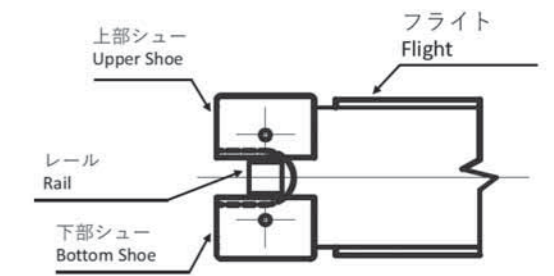
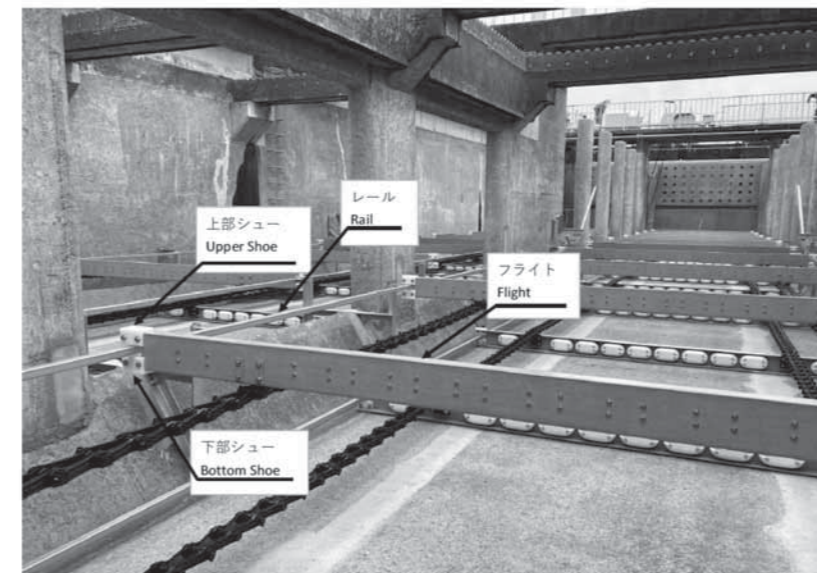


図4 耐震機構
Fig.4 Earthquake-resistant mechanism

自己循環式CIP溶解槽ミキシレータ®の紹介

Introducing the self-circulating CIP dissolving tank mixer “MIXILATOR”



西川 宏
NISHIKAWA Hiroshi
プライミクス(株)
経営企画本部
乳化分散技術研究所
新製品開発課

Abstract

Recently, the labor shortage in domestic factories has become an issue. In 2017, we developed “MIXILATOR” a dissolving tank mixer that supports a clean in place (CIP) that contributes to labor savings for our customers. The mixer drives coaxially with the mixing blades that stir the inside of the tank and circulation blades installed under the tank that have dispersing and pumping functions. The agitator features a single motor capable of agitation inside the tank, external circulation, and circulation cleaning. Three types of mixing blades were prepared to support a wide range of viscosities, but those for high viscosity did not allow CIP self-circulation cleaning, and the dissolution time was long for materials that easily clumped. We solved these problems with newly developed mixing blades, for which we summarize the improved “MIXILATOR” features, which were launched in August this year.

近年国内工場の人手不足が課題となるなか、お客様の工場での省力化に貢献すべく2017年にCIP対応溶解槽ミキシレータ®を開発した。ミキシレータ®は槽内を攪拌する混合羽根と、槽下に設置した分散とポンプ機能を持った循環羽根を同軸で駆動する。モータ1台で槽内攪拌と外部循環、循環洗浄を行うことが特徴の攪拌機である。幅広い粘度に対応するため3種類の攪拌羽根を用意していたが、高粘度対応用の攪拌羽根だとCIP自己循環洗浄ができないこと、ダマになりやすい材料だと溶解時間が長くなることが課題だった。新しく開発した攪拌羽根によりこれらの課題を解決し、今年(2022年)8月より販売を開始した改良版ミキシレータ®について、その改善点を中心に紹介する。

キーワード：溶解槽、増粘剤、ミキサー、CIP、分散機
Keyword: Dissolver, Thickener, Mixer, CIP, Dispenser

1 はじめに

近年日本では少子高齢化による労働人口の減少、雇用のミスマッチ、新興国での賃金上昇等を背景にした生産工場の国内回帰等により国内工場での人手不足が大きな課題となっており、各企業では生産工程の自動化など省力化が進められている。当社ではこのようなお客様のニーズに応えるべく、攪拌機の運転の中で人手のかかる洗浄工程を自動化するCIP(装置洗浄)に対応したCIP/SIP(装置殺菌)対応の真空乳化装置クリアスタア®、CIP対応の溶解槽ミキシレータ®を開発し販売している。今回は2017年に販売を開始し、今年(2022年)8月から改良版を発売したCIP対応溶解槽ミキシレータ®について紹介する。

2 ミキシレータ®の概要

ミキシレータ®は槽内を攪拌する混合羽根と、槽下に設置した分散とポンプ機能を持った特殊循環羽根を同軸で駆動することで、モータ1台で槽内攪拌と外部循環、循環洗浄を行うことができる。(図1参照)溶解操作時にはプロセスラインにバルブを切り替え外部循環を行い、素早く槽内を均一化する。洗浄操作時はCIPラインにバルブを切り替え、洗浄ノズルから洗浄水を噴射し槽内の洗浄を行う。外部に洗浄用ポンプを設置することなく機器単体でCIP洗浄できることが最大のメリットである。

3 旧型ミキシレータ®の課題

旧型ミキシレータ®は幅広い処理物、粘度に対応するため、槽内攪拌用の混合羽根を図3の3種類用意している。標準はディスクカレントで、剪断力が必要な場合はホモディスパー、高粘度溶液にはレヴィアスタア®を適用する。

課題1 高粘度対応と自己循環洗浄の両立

槽下に設置した特殊循環羽根に空気を吸い込むと吐出性能が大幅に下がり自己循環洗浄ができなくなるため、ボルテックスを抑制するための邪魔板が必要で、この邪魔板は混合羽根により使い分ける必要がある。ディスクカレントとホモディスパーは比較的小さな邪魔板でボルテックスを抑制することができるが、レヴィアスタア®は攪拌力が非常に強いので大きな邪魔板が必要になるが、大きな邪魔板では高粘度

液の流動を妨げてしまう。そこで混合羽根と逆回転の液流を作る図4のヒトデ型邪魔板を開発したが、図5の写真のように邪魔板で流れ方向を変えるため液流に強弱ができ、容器淵に滞留部が生じてしまう。これにより付着したダマが消えずに、所定濃度の溶液を調製できないという問題がある。

課題2 ダマになりやすい高粘度溶解の時間短縮

ミキシレータ®を使い増粘剤カルボキシメチルセルロース(以下「CMC」という)2%水溶液(粘度2500mPa・s)を各混合羽根で溶解した場合、ホモディスパー、ディスクカレントでは流動せず、レヴィアスタア®でなら溶解できるが、溶解時間が長い。これはレヴィアスタア®は液を吐出する力は強いが、効率よく液を吐出するため処理液に剪断力がかけにくくダマがつぶれにくいと考えている。

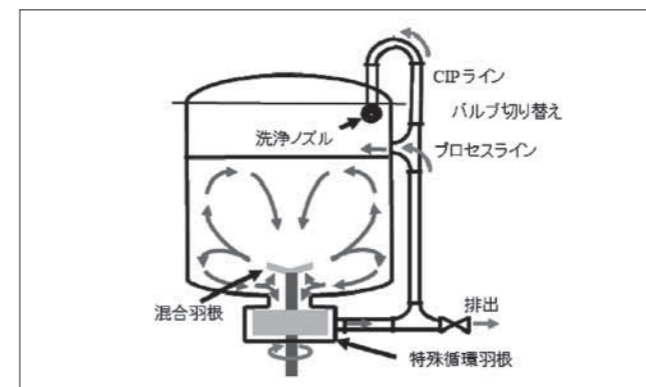


図1 ミキシレータ®フロー図
Fig.1 Flow diagram of MIXILATOR

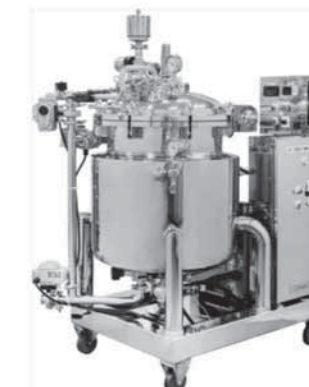


図2 ミキシレータ®外観
Fig.2 External appearance of MIXILATOR

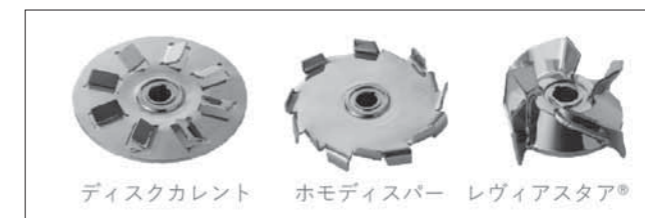


図3 旧型ミキシレータ®混合羽根
Fig.3 Mixing blades for old type MIXILATOR

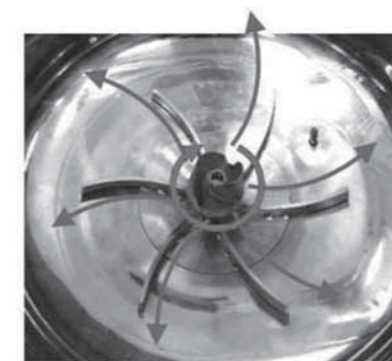


図4 ヒトデ型邪魔板
Fig.4 Baffle for LEVIASTAR



図5 ヒトデ型邪魔板滞留部
Fig.5 Stagnation by baffle for LEVIASTAR

4 改良版ミキシレータ®の変更点

変更点1 処理液により使い分けていた3種類の混合羽根をテレコルタRに一本化

2020年に発売した分散力と液流動を両立したテレコルタRにより、混合羽根を交換せずに幅広い処理物、粘度に対応できるようになった。溶解時間は表1のとおり高粘度の溶解時間が短縮され、低粘度の溶解でも3種の混合羽根の中で分散力が最も優れたホモディスパーと大差ない結果となった。洗浄運転時は図6のようにテレコルタRの吐出方向が斜め上方向であるため、洗浄水の張込量を減らすと洗浄水が槽壁まで飛び散り、比較的小さな邪魔板でボルテックスを抑制することができ、高粘度溶解とCIP自己循環洗浄の両立が可能となった。

変更点2 高額なポンプケーシングのコストダウン

旧型ミキシレータ®の特殊循環羽根を収めるポンプケーシングは図8のようにポリウレタン形状であるため、エンドミルでの切削加工となり、加工費が高額となっている。これを図9のように円筒状にすることで、旋盤で加工することが可能となり、加工費を大幅に下げることができた。しかしポンプケーシングを円筒状にすると吸い込んだ空気が抜けにくくなり、高粘度物の溶解では泡が溜まり吐出しなくなってしまった。そこで図10のようにポンプケーシングの天井部に泡抜き穴を設け、吸い込んだ空気を排出するようにした。図11はポンプケーシング内の泡の動きをCFD(数値流体力学)解析した結果である。ポンプケーシング天井の泡抜き穴から泡が抜ける様子が確認できた。図12はCFDによる槽内の流動解析結果で流れ方向が示されているが、泡抜き穴を設ける

だけではポンプ部への吸込み流れにより排出した泡がそのままポンプ部へ吸い込まれてしまうことが予想される。そのため、泡抜き穴に煙突のような短管も設置した。これらにより、図13のとおり溶解操作時の外部循環量は旧型ミキシレータと大差ない程度に改善された。この泡抜き構造については特許出願している。

5 おわりに

2017年に販売を開始したミキシレータ®だが、当初からの課題であった高粘度溶解とCIP自己循環洗浄の両立をようやく達成し、今年(2022年)8月より改良版の販売を開始できることとなった。2017年の販売開始以来、CIP/SIP対応真空乳化機クリアスタア®の溶解槽を中心として250Lから3000Lまで累計12台販売しているが、改良版の販売開始することで今後さらなる販売拡大を期待している。

表1 CMC水溶液溶解時間比較
Table1 Dissolve time for CMC aqueous solution

	処理液	CMC1%水溶液	CMC2%水溶液
	粘度	1500mPa・s	25000mPa・s
旧型ミキシレータ	混合羽根	ホモディスパー	レヴィアスタア®
	溶解時間	25分	45分
改良版ミキシレータ	混合羽根	テレコルタR	テレコルタR
	溶解時間	30分	30分

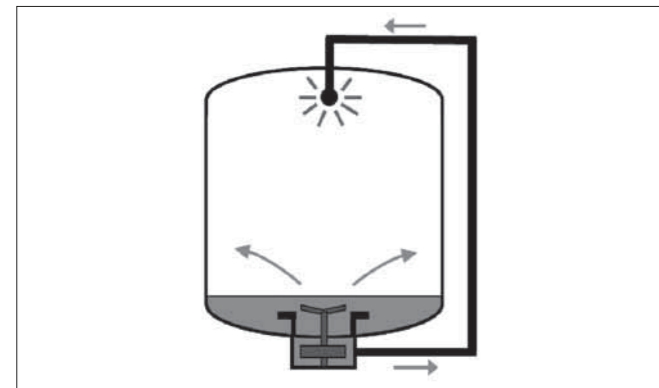


図6 改良版ミキシレータ®洗浄運転時フロー
Fig.6 Flow diagram of new MIXILATOR

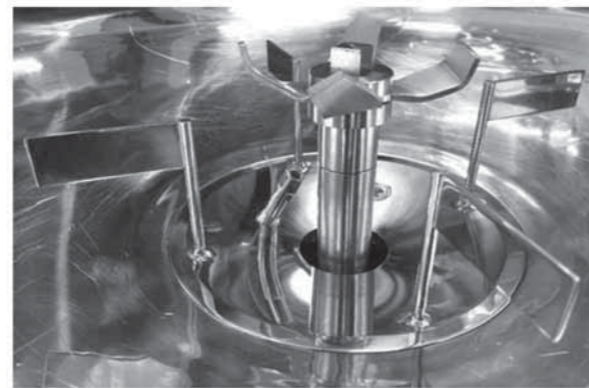


図7 改良版ミキシレータ®混合羽根と邪魔板
Fig.7 Mixing blades and baffle for new MIXILATOR

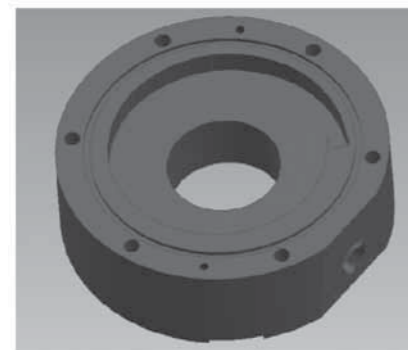


図8 旧型ミキシレータ®ポンプケーシング
Fig.8 Pump casing for old MIXILATOR

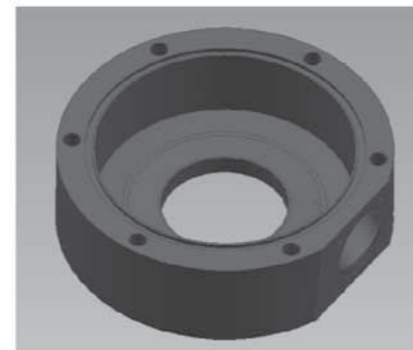


図9 コストダウン型ポンプケーシング
Fig.9 Pump casing of cost down type

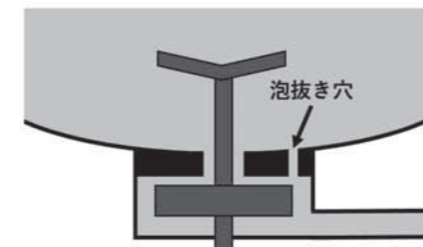


図10 ポンプケーシング天井泡抜き穴
Fig.10 Bubble outlet hole of pump casing

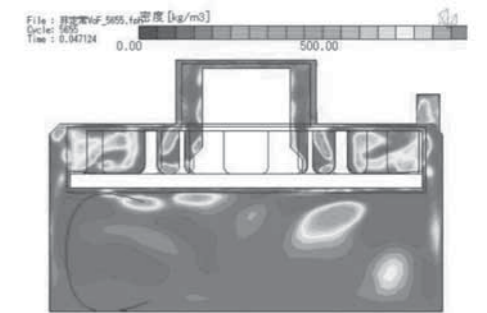


図11 ポンプケーシング内泡のCFD解析結果
Fig.11 CFD analysis results of bubble in pump casing

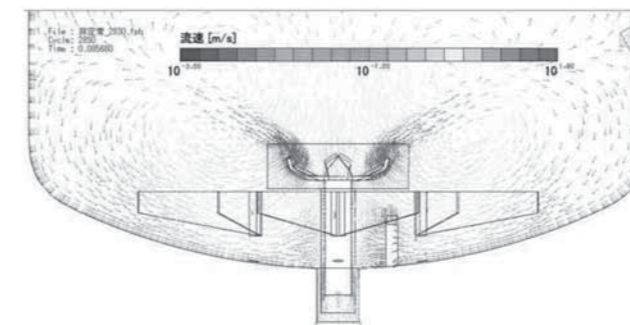


図12 ミキシレータ®容器底流れCFD解析結果
Fig.12 CFD analysis results of MIXILATOR vessel bottom flow

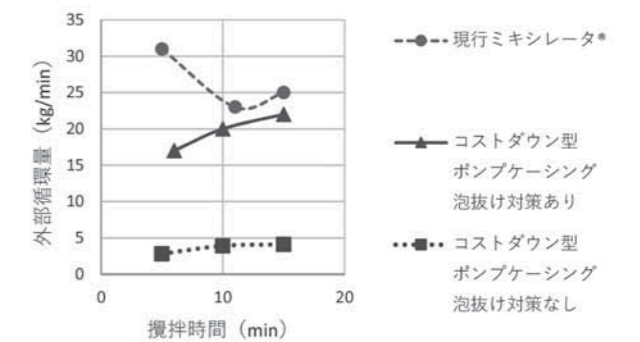


図13 ミキシレータ®外部循環量比較 (CMC2%溶解操作時)
Fig.13 Comparison of external circulation volume

パイロットプラント向け 小型固液分離装置の紹介

Introduction of a small scale solid-liquid separation equipment for a pilot plant



古川 智浩
FURUKAWA Tomohiro
産業事業本部
単体機器技術部
プロセスグループ

Abstract

When considering the applications of solid-liquid separation equipment to a new process, it is necessary to perform pilot scale testing using small equipment after beaker scale testing.

Small-scale pilot test equipment that has the same functions as commercial equipment and can realize the same operating conditions of commercial equipment is very important for smooth process verification.

Recently, there has been much demand for testing using a smaller sample size. This paper introduces a small-scale solid-liquid separation equipment that has been improved to meet these demands.

新規プロセスへの固液分離装置の適用を検討する場合、ビーカースケールでのテストを経た後、小型のパイロット機でのテスト検証を行う必要がある。そのため商用機と同等の機能を有しており、商用設備の運転状態を再現できる小型のテスト装置は検証をスムーズに行う上で必要不可欠であり、近年はより少量サンプルでの試験需要が多い。

本稿ではこれらの需要を満たすべく改良を進めてきた小型の固液分離装置について紹介する。

キーワード：小型テスト装置 固液分離 パイロットプラント
Keyword: Small scale test equipment, solid liquid separation, pilot plant

1 はじめに

種々の固液分離プロセスを検討する上で最適な装置を選定するためには、対象処理物の物理的・化学的な性質および処理後の達成要求品質を十分に考慮した上でテスト検討を進める必要がある。

固液分離装置の選定検討ステップとしては、まず始めにビーカースケールの試験設備によって適用機種の種類を絞り込みを実施し、同時にサイジングや運転条件決定のために必要なデータを採取する。次にそこで定めた適用機種および処理条件の妥当性を証明するために商用機と同等の機能を有する小型の試験装置を用いたパイロット試験が必要となる場合が多い。

また、新規プロセスの開発では商用規模の生産設備を建設する前段階の実証設備として小規模のベンチ、パイロットプラントなどを構築し、一定期間の小規模生産によるプロセス検証が必要な場合もあり、このような要求に対応する小型パイロット装置の存在が必要となってくる。

ほかに、顧客での製品開発段階においては、開発される粉体製品のユーザー性能評価として一定の物量を確保するなど、ビーカースケールでは対応できない試作を求められることもあり、この意味でも小型のパイロットテスト装置の存在は重要となる。

本稿では、上記要求を満たすべく準備を進めてきた当社の小型のテスト装置群を紹介する。

2 固液分離装置の選定プロセス

一般的な固液分離装置の選定プロセスは以下のようにになっている。

(1) ビーカーテスト

処理物の物性、要求される品質などの情報からあらかじめ適用可能と考えられる候補機種の種類を絞り込みを行い、ビーカーテストの実施内容を検討し、少量の実液テストサンプルを用いてビーカースケールでの試験を行う。

当社では表1のようなビーカースケールでの固液分離試験装置を保有している。

(2) パイロットテスト、ベンチプラントでの検証

ビーカーテストの結果を元に小型試験装置を用いて連続テストを行う。パイロットテストではビーカーテストと比べて約10～100倍程度のテストサンプルが必要となる。このパイロットテストにおいて、得られた粉体製品の品質評価、装置の性能評価、またスラリの供給安定性、排出安定性などといったビーカースケールの試験では確認できない事項の観察評価を行うとともに、工業化する際の問題点の洗い出しも行う。

必要に応じて、顧客にて計画・建設されるベンチまたはパイロットプラントにこのような小型パイロット装置が組み込まれ、長期での運転検証が実施されるステップが踏まれることがある。

(3) スケールアップ検討／詳細設計

試験結果に基づいて商業規模における機器のサイズ検討、洗い出された問題点の対策を盛り込んだ詳細設計を行う。

3 パイロットテスト用小型試験装置

当社では、多様な顧客要望に対するために上述のようなベンチ、パイロットスケールでの適用検討用として、表2のような小型の試験装置群を保有している。これらは当社内での試験目的のみならず、販売機としても活用される。

表1 ビーカースケール固液分離装置一覧
Table1 List of beaker-scale liquid-solid separation equipment

No.	名称	仕様	1回のテストでの必要量	単位操作技術	当社適用機種
1	真空リーフテスタ	ろ過面積：0.004m ² - 0.0075m ²	約20L	真空ろ過	水平ベルトフィルタ
2	圧搾リーフテスタ	ろ過面積：0.0079m ²	約20L	真空ろ過/圧搾脱水	水平ベルトフィルタ+圧搾ブロー脱水機
3	攪拌リーフテスタ	ろ過面積：0.004m ² - 0.0075m ²	約10L	クロスフローろ過	BoCross® フィルタ
4	加圧リーフテスタ	ろ過面積：0.019m ²	約10L	加圧ろ過	フィルタプレス、Hi-Bar フィルタ
5	遠心チューブテスタ	最大遠心効果 1000G	約10L	遠心脱水	EW押出式遠心分離機
6	遠心スピントスタ	最大遠心効果 2000G	約10L	遠心沈降	デカンタ

表2 パイロットスケール小型試験機一覧
Table2 List of small-scale pilot test equipment

No.	名称	仕様	単位操作技術	適用範囲
1	水平ベルトフィルタ	ろ過面積：0.1m ²	真空ろ過	粒子径：5μm～100μm
2	水平ベルトフィルタ+ 圧搾ブロー脱水機	ろ過面積：0.1m ² 圧搾圧力：0.4MPaG以下	真空ろ過/圧搾脱水	粒子径：5μm～10μm
3	BoCross®フィルタ	ろ過面積：0.013m ² ろ過面積：0.13m ² ろ過面積：0.26m ²	クロスフローろ過	粒子径：0.1μm～100μm
4	EW押出式遠心分離機	φ100型 φ180/230型	遠心分離	粒子径：100μm以上

代表的なパイロットテスト機器の概要を以下に記載する。

(1) 水平ベルトフィルタ(0.1m²)

ケーキ洗浄に特化した連続式の真空ろ過機。

連続走行するろ布上にスラリを供給し、ろ布の進行方向に沿って往復動するろ布下方に設置される真空トレイからの吸引により、連続的に真空ろ過を行う。また、ろ液をケーキ洗浄液として再利用する向流多段洗浄などの洗浄操作により、ケーキ洗浄水量の削減も可能となっている。

テスト機のろ過面積は0.1m²と小型だが、向流多段洗浄の適用も可能となっているなど、商用機とほぼ同等の機構・機能を有しており、十分な運転検証を行うことが可能となっている。必要な補機類はユニット化されており貸し出し試験なども対応可能となっている。また最近では、同0.1m²水平ベルトフィルタをさらに改良、コンパクト化した設計も行っており、顧客向けパイロットプラント用途としての納入実績を有する。

(2) 圧搾ブロー脱水機

水平ベルトフィルタの後段に一体連結される連続加圧ブロー型二次脱水装置であり、難脱水ケーキの含液率を大幅削減するオプション機構である。水平ベルトフィルタからのろ過・洗浄後のケーキは圧搾ブロー脱水機へと供給され、ブロードラム部分では、加圧ベルトによる高面圧での圧搾脱水に加え、高圧エアブローによるブロー脱水が行われ、真空ろ過や従来の圧搾脱水では到達し得なかった低含液率のケーキを得ることが可能である。後段乾燥

機のエネルギー負荷を大幅に削減できるほか、含液率を大幅低減することでウェットケーキのハンドリング性を大幅に改善することが可能である。本パイロット試験装置は、商用実機と同等の操作条件（圧搾・ブロー圧力）で脱水することが可能となっているため、実設備を想定した検証が可能である。

(3) BoCross® フィルタ(0.013m² - 0.26m²)

微粒子スラリの高濃縮・ろ過・洗浄操作が可能なダイナミッククロスフローろ過機。

スラリのクロスフロー（せん断応力）を装置内部の攪拌機構によって発生させることにより、サブミクロン、ナノ粒子スラリなどにおいて高濃度濃縮された状態においても高いろ過速度を維持するため、一般的なクロスフローろ過機よりも高濃縮処理を実現する。「微粒子スラリのろ過濃縮」「微粒子スラリの洗浄」「シングルミクロンサイズ以上の湿式分級」などの操作が可能となっている。テスト機においてはろ過濃縮、洗浄、分級などのさまざまな操作に対応できるように多様なセンサー（圧力計、温度計、密度計、導電率計など）を備えており、それらを用いた複雑な制御運転も可能である。特にろ過面積0.013m²の機器に関してはBoCross® フィルタ本体に加えて動力制御盤、スラリポンプ、タンクなど補機類も

含めた一体型ユニットとなっており、電源、冷却水、圧縮空気等といったユーティリティをつなぐのみで即運転が可能であり、特に貸し出しでの試験ニーズに対して柔軟に対応することが可能である。

(4) EW 押出式遠心分離機

粒子径で100μm以上のスラリの脱水、洗浄に適用される連続式遠心分離機である。コンパクトで処理能力が大きく、金属スクリーンを採用しているため耐久性に優れており、かつ補機なども必要としない装置となっている。適用されてきた処理物も300種以上と非常に幅広い適用性を持っている。

PM230型試験装置は標準的な2段バスケット型のほか、スラリの予備濃縮を行うプレシクナ装置を取り付けた単段バスケット構造にも変更可能なものとなっている。また、φ100型の小型試験機では電動サーボシリンダーを用いた押し出し方式を採用しており、さらなるコンパクト化を図っているほか、気流乾燥機であるクリーンフラッシュ®ドライヤとの一体連結も可能であり、連続での脱水・乾燥試験にも対応可能である。

(5) 吊下型遠心分離機

製糖用途で多数の納入実績を有するバッチ式遠心分離機であるが、近年、製糖用途以外への適用を検討する目的で、小型試験

装置を製作している。テスト機のバスケット径はφ400mm、容量は19Lと小型だが、掻き取り機構、ケーキ洗浄機構、スクリーン洗浄機構、バスケットバルブ等の商用大型機と同等の機能を有しているほか、ケーキ排出部にはスクリーン洗浄水の切り換え用ガッターも取り付け可能となっている。また運転可能な遠心効果も実機相当としているために最大遠心効果は1300G程度となっている。スラリ供給～ケーキ洗浄～脱水～結晶排出の各運転工程でのバスケット回転数や運転時間をスラリ性状に合わせて設定でき、全自動で各工程(1サイクル)を運転可能となっている。

小型試験装置においては、ある程度幅広い処理物に対応した仕様にて標準化することで、設計費や検査費などといったコストを最低限に抑えることが重要となる。

5 おわりに

今回、パイロットプラント向け小型固液分離装置の紹介をさせていただいた。

これらの機器は、パイロットテストあるいは、ベンチ・パイロットプラントにて生産設備と同様の運転状況を把握できる点で非常に有用である。

今回紹介したすべてのテスト装置を当社 R&D センターに所有しており、遅滞なくテストができる環境となっている。顧客要望に応じてこれらの小型のテスト装置を使用したテストを年間40件以上実施しており、小型の固液分離装置の需要は非常に高い。

今後はより多様な処理物に対応でき、またさまざまな運転データが取得できるようにテスト機をブラッシュアップしていき、またそれらをテスト機として安価に販売できるような仕組み作りにも注力していきたい。

4 ベンチ、パイロット用小型装置の標準化

これら小型のパイロット試験装置類はその性質上、多様な処理物に適用することが求められる。多様な運転操作ができ、かつ実機に等しいスケールアップデータが採取できることが求められる。

一方でこのような小型の試験装置を販売機ととらえた場合、小型機は商用大型機に比べてスケールメリットがなく、購入費用が割高になってしまう課題がある。そのため、処理物ごとに個別の特殊設計をしているのは、非常に高額な機器になってしまう場合がある。この課題を踏まえ、

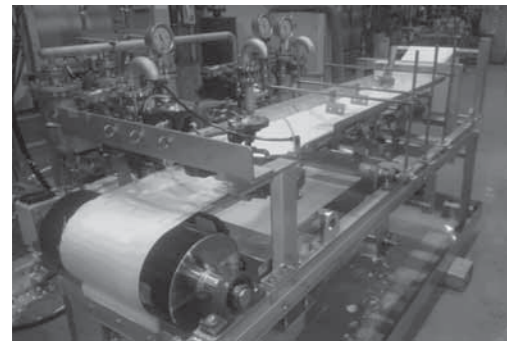


図1-1 パイロットテスト用装置
Fig.1-1 Horizontal belt filter small-scale test equipment for pilot test



図1-2 販売用テスト装置
Fig.1-2 Horizontal belt filter small-scale test equipment for sale

図1 水平ベルトフィルタ小型試験機(0.1m²)
Fig.1 Horizontal belt filter small-scale test equipment(0.1m²)

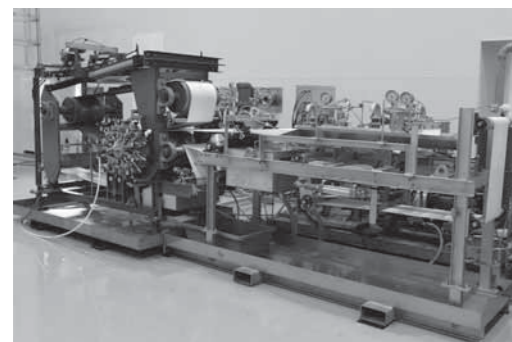


図2 水平ベルトフィルタおよび圧搾ブロー脱水機小型試験機(0.1m²)
Fig.2 Horizontal belt filter and compression blow dehydrator small-scale test equipment



図3 BoCross® フィルタ小型試験機(0.013m²)
Fig.3 BoCross® filter small-scale test equipment(0.013m²)

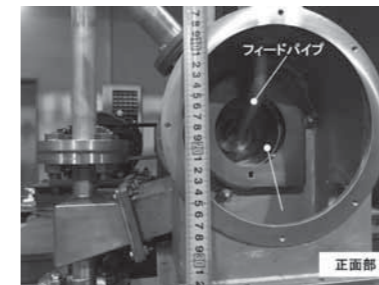


図4-1 前側部分
Fig.4-1 Front part

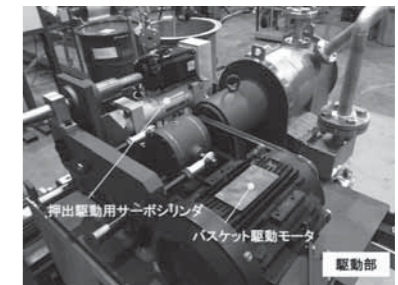


図4-2 後側部分
Fig.4-2 Back part

図4 EW 押出式遠心分離機小型試験機(φ100型)
Fig.4 EW push type centrifuge small-scale test equipment(Type φ100)

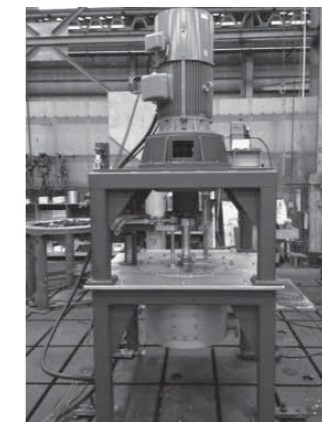


図5 吊下型遠心分離機小型試験機(φ400型)
Fig.5 Fully automatic batch type centrifuge small-scale test equipment(Type φ400)

中川水循環センターにおける汚泥消化設備の 運転実績・効果

Operational performance and effects of a sewage sludge digestion equipment at the Nakagawa Water Circulation Center



飯田 裕樹
IIDA Yuki
水環境事業本部
プラント技術部
上下水エンジニアリンググループ



澤原 大道
SAWAHARA Hiromichi
水環境事業本部
プロジェクト推進部
ソリューショングループ

Abstract

Tsukishima Kikai Co., Ltd. has completed several constructions of sludge treatment equipment for the Nakagawa Water Circulation Center. In addition, we received and completed an order from the Japan Sewage Works Agency to support the start-up of the sludge digestion equipment after the construction. After the sludge digestion equipment operates on a full scale, almost all the raw sludge can be treated, and the generated digestion gas can be used as fuel for the No.4 fluidized bed incinerator and power generation of the gas engine.

当社は中川水循環センター向けの汚泥処理設備に関する工事を完了した。また、工事完了後の汚泥消化設備の立上げ支援に関する業務を日本下水道事業団から受注し完了している。汚泥消化設備が本格稼働することで初沈汚泥のほぼ全量処理が可能となり、発生した消化ガスは4号焼却炉の燃料やガスエンジンの発電に利用されている。

キーワード：埼玉県、日本下水道事業団、鋼板製消化タンク、消化ガス、発電
Keyword: Saitama prefecture, Japan Sewage Works Agency (JS), steel digestion-tank, digestion gas, power generation

1 はじめに

中川水循環センターは、埼玉県にて管理されている流域下水道のうち、3番目に大きな処理能力を持つ下水処理施設である¹⁾。当該センターでは汚泥処理に関する複数の工事が発注され、当社でもいくつかの工事を受注した²⁾。他社所掌の範囲も含まれるが、本工事によってJS新技術I類に登録された「高濃度対応型ろ過濃縮・中温消化システム」および「下部コーン型鋼板製消化タンク」を有する設備が初めて完成した。一例として汚泥消化タンク(下部コーン型鋼板製消化タンク)の写真を図1に示す。また、本工事によって完成した汚泥消化

施設のプロセスフローを図2に示す。

工事完了後は、「埼玉県中川流域下水道汚泥エネルギー化事業に係る技術的援助業務」の一環として汚泥消化施設の立上げ業務(以下「消化立上げ業務」という)を行い、安定的に消化ガスを供給できる汚泥消化施設の運用を達成した。また、埼玉県下水道局は汚泥消化施設の導入により令和4年度(第15回)国土交通大臣賞「循環のみち下水道賞」でグランプリを受賞されている³⁾。

本報告では、汚泥消化施設の導入の経緯および見込まれる効果と消化立上げ業務の評価に使用した実際の運転データの一例を紹介する。

2 導入の経緯とその効果

本消化施設を導入するに至った経緯と、導入後に見込まれる効果について以下に記載する。

2.1 経緯

埼玉県下水道局は8流域・9つの水循環センターで県行政人口の75%にあたる約558万人の下水を処理している。温室効果ガスの排出が約27万トン(CO₂換算・年間)であり、この量は埼玉県庁の事業全体の排出量の約6割に達する。特に、下水処理で発生する汚泥の

焼却によって発生する温室効果ガス「一酸化二窒素」の影響が大きい(温室効果は二酸化炭素の約300倍)。このため、下水汚泥を減らす取り組みが必要になっている³⁾。

2.2 効果

温室効果ガスの削減に関して、具体的には以下2項目の効果が見込まれる。

(1) 汚泥消化タンク(9,000 m³×4基)

汚泥消化タンクで下水汚泥を減量し汚泥の焼却量が減少することで、埼玉県下水道局全体の排出量の約5%に相当する12,400ト



図1 汚泥消化タンク(下部コーン型鋼板製消化タンク)の写真
Fig.1 The picture of sludge digestion tank (Steel-plate sludge digestion tank).

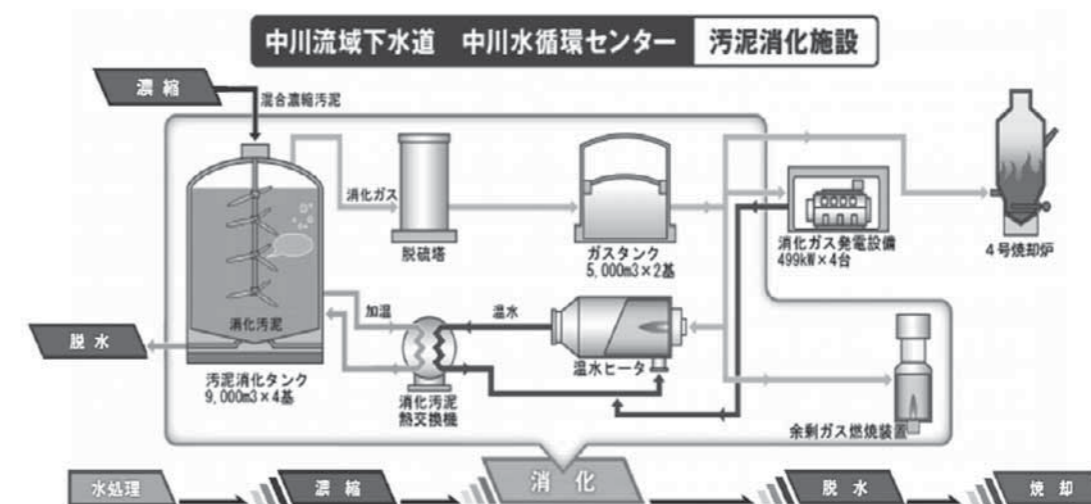


図2 中川水循環センターにおける汚泥消化施設のプロセスフロー⁴⁾
Fig.2 Process flow of digestion equipment at Nakagawa Water Circulation Center.

ン-CO₂/年の温室効果ガスが削減される見込みである(一般家庭 約3,100世帯分)³⁾。

(2) バイオガス発電機(499 kW×4基)

FIT制度を活用し、下水汚泥由来バイオガス(消化ガス)のクリーン電力を供給することで、温室効果ガス4,600トン-CO₂/年削減される見込みである(一般家庭 約1,100世帯分)³⁾。年間発電量は925万kWhになる見込みである(一般家庭 約2,100世帯分相当)⁵⁾。

ほかにも本消化施設の導入により、下水道資源(バイオガス)の有効活用(焼却炉の燃料代替)や汚泥処理・処分の効率化(汚泥減容化)による運転コスト削減などの効果も見込まれる⁵⁾。

3 運転実績

図3に、消化立上げ業務中における汚泥消化タンクへの汚泥投入量と消化ガス(バイオガス)発生量の推移を一例として示す。2021年4月下旬頃から汚泥の汚泥消化タンク内への投入を開始した。消化立上げ業務中は、汚泥消化タンクからのガス発生量や消化汚泥性状等を分析し、汚泥投入量を増やしてもタンク内の汚泥の消化反応に悪影響がないことを確認しながら、汚泥投入量を段階的に増やした。汚泥投入量に変動があるので消化ガス(バイオガス)発生量は多少増減しているものの、汚泥投入量の増大に伴い、消化ガス(バイオガス)発生量も増加していることから、汚泥消化タンクの消化反応は順調といえる⁶⁾。

また、汚泥消化タンクから発生する消化ガス(バイオガス)の性状は有効利用可能なレベルにあり、当時の供給先であった焼却施設の

助燃用バーナや汚泥消化タンクの加温設備、余剰ガス燃焼装置で順調な燃焼を継続していた⁶⁾。また、ガス発生量も消化ガス発電装置(バイオガス発電機)の稼働を見込んで十分な量が確保されていた⁶⁾。

4 おわりに

昨今、世界的に気候危機が叫ばれており温室効果ガスの削減が急務となっている。下水処理場内の汚泥処理施設においても、汚泥消化タンクでの汚泥の減量化、焼却量の減少および汚泥由来のバイオガス(消化ガス)を用いたクリーン電力の創出は温室効果ガスの削減の観点から注目度が高い。本業務で得られた知見を基に、さらなる技術向上に努めていく所存である。

参考・引用文献

- 1) 彩の国 埼玉県, 埼玉の下水道2021 ~安心・安全支える下水道~, 埼玉県ホームページ, P.25
- 2) 加藤良介, 中川水循環センターにおける鋼板製消化タンクほか受注実績, TSK技報 2019 No.22, P.38 ~ 41
- 3) 埼玉県下水道局, 令和4年度(第15回)国土交通大臣賞(循環のみ下水道賞) グランプリ 中川水循環センターの汚泥消化・バイオガス発電システム導入, 国土交通省ホームページ, P.2
- 4) 埼玉県中川下水道事務所, 設備担当主な業務の紹介(改築), 埼玉県ホームページ
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部, 令和4年度下水道事業予算概算要求の概要, 国土交通省ホームページ, P.25
- 6) 埼玉県, 日本下水道事業団, 月島機械株式会社, 令和3年度 中川流域下水道中川水循環センター 汚泥エネルギー化事業に係る技術的援助業務委託 業務実施報告書

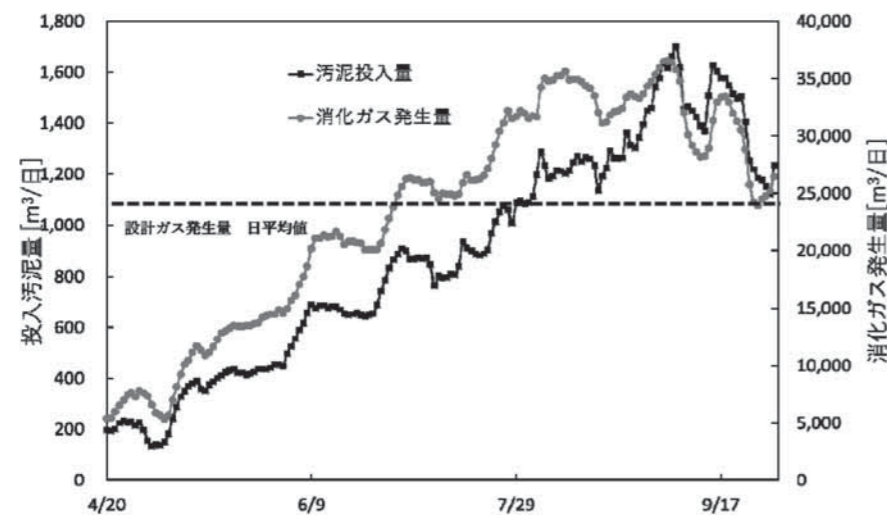


図3 消化立上げ業務中の汚泥投入量と消化ガス(バイオガス)発生量の推移⁶⁾
Fig.3 Progress of sludge input amount and digestion gas volume.

大村市納入口ノプレス®の実稼働について

Actual operation of the Rono-press delivered to Omura City



栄野比 勝広
ENOBI Katsuhiko
水環境事業本部
プラント技術部
上下水エンジニアリング

Abstract

This is widely used because it is highly adaptable to fluctuations in sludge properties and can operate stably with sludge that is difficult to dehydrate.

The small installation area of conventional belt press dehydrators limits the processing performance. Because the dehydrator has an open structure, a deodorizer cover is required to increase the installation area. By combining a belt press dehydrator with a concentrator, Tsukishima kikai developed a Rono-press that aims to overcome the above problems while maintaining the key features of the belt press dehydrator. We received an order for the first unit from Omura City in 2020, which started services in July 2021. In this paper, we report the operating results after the start of treatment operations and the results of the trial calculation of the maintenance and management costs due to the introduction of the Rono-press.

従来のベルトプレス脱水機は、汚泥性状の変動に対して適応性が高く、難脱水汚泥(高VTS(強熱減量)、低繊維状物)に対して安定した処理ができるという特長があるものの、他の脱水機種よりも処理量が比較的少なく、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った。

当社は、ベルトプレス脱水機にたて型ろ過濃縮装置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ロノプレス®を開発した。なお本技術は令和2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。大村市より令和2年度に1号機を受注し、令和3年7月に供用開始した。図1に納入したロノプレス®を示す。本稿では供用開始後の運転実績およびロノプレス®導入による維持管理費の試算結果を報告する。

キーワード: 大村市 ロノプレス®
Keyword: Omura city Rono-press

1 はじめに

従来のベルトプレス脱水機は、汚泥性状の変動に対して適応性が高く、難脱水汚泥(高VTS(強熱減量)、低繊維状物)に対して安定した処理ができるという特長があるものの、他の脱水機種よりも処理量が比較的少なく、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った。

当社は、ベルトプレス脱水機にたて型ろ過濃縮装置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ロノプレス®を開発した。本技術は令和2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。大村市より令和2年度に1号機を受注し、令和3年7月に供用開始した¹⁾。図1に納入したロノプレス®を示す。本稿では供用開始後の運転実績およびロノプレス®導入による維持管理費の試算結果を報告する。

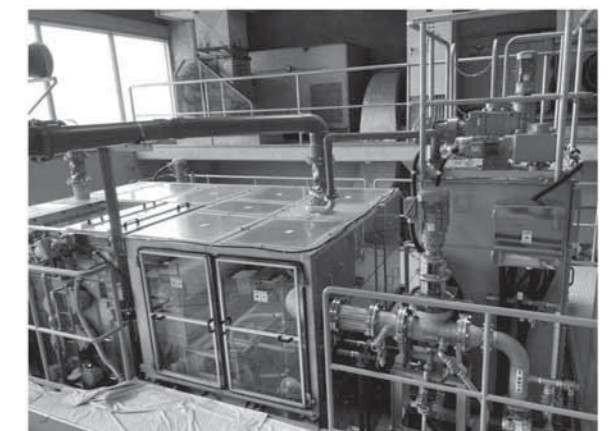


図1 納入したロノプレス®
Fig.1 Rono-press delivered

2 ロノプレス®のシステム構成

ロノプレス®のシステム構成を図2に示す。ロノプレス®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1%程度)に高分子凝集剤が注入され、高分子凝集剤混合用ミキサーで急速攪拌を行った後、凝集混和槽による攪拌で凝集汚泥を形成させる。凝集汚泥はたて型ろ過濃縮装置に投入され、内部で固液分離が行われることで、汚泥濃度6~8%程度まで濃縮される。

濃縮汚泥に再度高分子凝集剤が注入された後、ポリ硫酸第二鉄(以下「ポリ鉄」という)が注入され、ポリ鉄混合用ミキサーを経て高濃度対応型フィード装置に供給される。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装置出口の汚泥濃度は10%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。

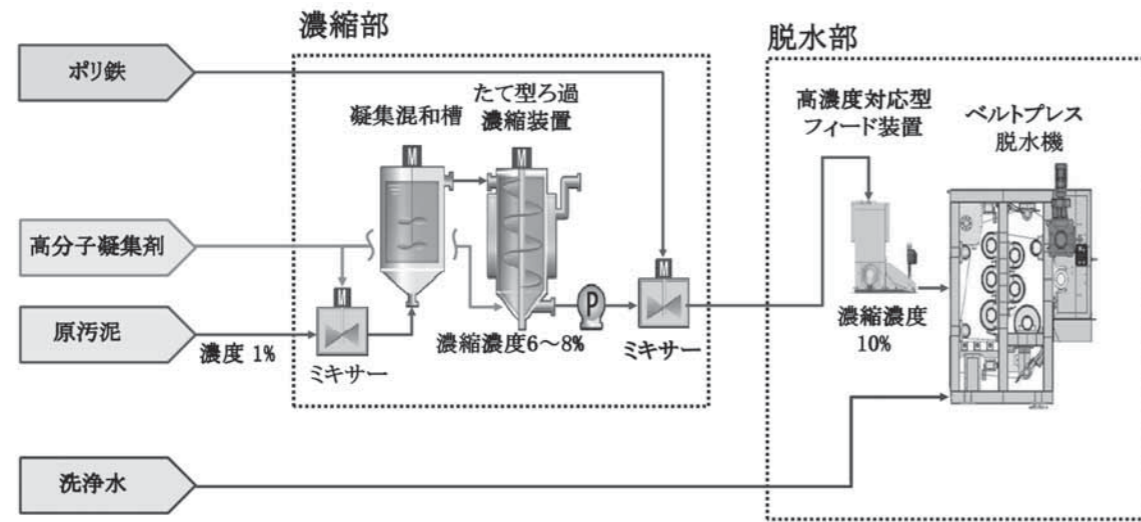


図2 ロノプレス®概略フロー
Fig.2 Rono-press outline flow

3 ロノプレス®の運転実績

3.1 運転実績

大村浄水管理センターでは現在、高効率ベルトプレス脱水機(以下「高効率BP」という)1台とロノプレス®1台の組み合わせで運用している。表1に2021年12月~2022年2月の高効率BPとロノプレス®の運転結果を、図3に同期間における含水率を示す。ロノプレス®はろ過速度、高分子凝集剤薬注率、ポリ鉄添加率、含水率、全ての設計値(目標値)を達成した。ロノプレス®は安定して含水率79%で運転できており、高効率BPの含水率83%に対して4pt低減できることを確認した。

3.2 ポリ鉄添加率の影響調査

図4にポリ鉄添加率の影響調査の結果を示す。ポリ鉄を添加しない1液調質で運転した場合、含水率は83%となり、ポリ鉄添加率を10%増加させるごとに含水率は2ptずつ低下した。

表1 運転結果(消化汚泥濃度1.2%)
Table1 Operation results (digested sludge concentration 1.2%)

項目	高効率BP	ロノプレス®	
	運転データ	設計値	運転データ
ろ布幅	3 m	2m	2 m
供給汚泥量	16 m³/h	—	16 m³/h
ろ過速度	64 kg-DS/m²·h	90 kg-DS/m²·h	96 kg-DS/m²·h
高分子凝集剤薬注率	1.2%	1.6%	1.2%
ポリ鉄添加率	添加なし	20%	19.4%
含水率	83%	80%	79%

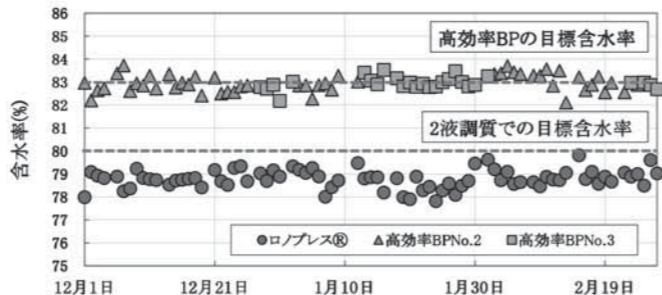


図3 ロノプレス®と高効率BPの運転比較
Fig.3 Operation comparison between Rono-press and high-efficiency BP

ロノプレス®は、高効率BPに対して1.5倍のろ過速度で同等の含水率が得られている。すなわち、ろ布幅3mから2mにダウンサイジングが可能であり、高効率BPに対し、容積比約57%低減、面積比約25%低減(当社比)に成功した。

4 高効率BPとロノプレス®の維持管理費の比較

表2に維持管理費の試算条件、図5に試算結果を示す。ロノプレス®はポリ鉄代と電気代が高効率BPに比べ高額となるものの、汚泥処分費が大幅に削減されるため、トータルの維持管理費は削減が可能である。ロノプレス®を1台導入すると維持管理費が6%削減、ロノプレス®2台導入すると維持管理費が12%削減される試算結果となった。

5 おわりに

今回、大村市より受注したロノプレス®は納入後安定した稼働を続けており、薬注率や含水率などのすべての設計値を満足していることを確認した。ロノプレス®は高効率BPに対し、含水率が4pt低下するため、ロノプレス®を1台導入することにより年間維持管理費を6%削減、2台導入により12%削減可能である。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・引用文献

- 1) 後藤：大村市向け濃縮分離型ベルトプレス脱水機の受注、TSK技報、2020年 No.23 42-43

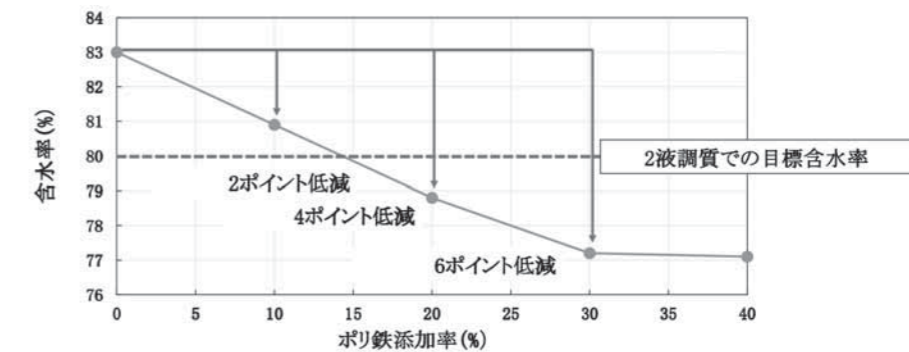


図4 ポリ鉄添加率と含水率の推移
Fig.4 Transition of FPS addition rate and moisture content

表2 試算条件
Table2 Trial calculation conditions

項目	ケース1	ケース2	ケース3
	高効率BP×2台	高効率BP×1台 ロノプレス®×1台	ロノプレス®×2台
処理固形物	1052t/年		
処理量(1台当たり)	125 m³/day (7時間運転)		
高分子凝集剤薬注率	1.19%		
無機凝集剤添加率	添加なし	19%(ロノプレス®のみ)	
含水率	高効率BP 83%	高効率BP 83% ロノプレス® 79%	ロノプレス® 79%

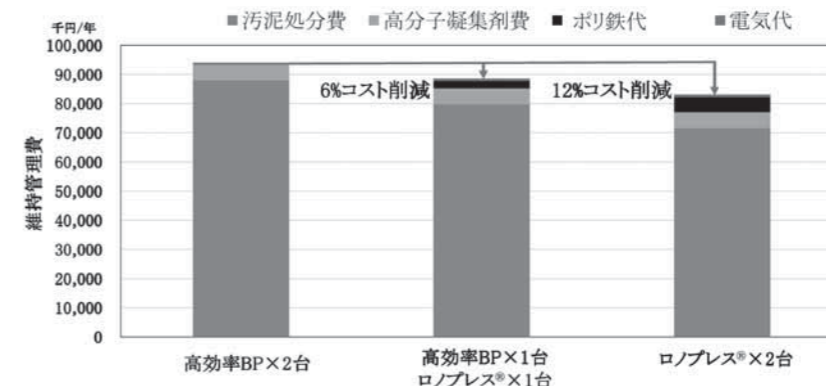


図5 脱水機運用別による維持管理費の比較
Fig.5 Comparison of maintenance and management by dehydrator operation

ベトナム南部 フーミー 3 特別工業団地における 化学プラント建設実績

Chemical Plant Construction in Phu My3 Specialized Industrial Park



千葉 翔太郎
CHIBA Shotaro
TSK エンジニアリング
タイランド
エンジニアリング部

Abstract

TSK ENGINEERING (THAILAND), hereafter "TET," received the order from Arakawa Chemical Vietnam Co., Ltd in July 2020. The main product of the factory would be an internal paper strengthening agent. The construction area is located in the Phu My 3 specialized industrial park, Vietnam.

This is the first project for TET to perform as the main contractor outside Thailand.
This article summarizes the development of the project.

月島機械株式会社タイ現地法人 / TSK ENGINEERING (THAILAND) (以下「TET」という) は2020年7月に荒川化学工業株式会社とベトナム南部バリアブントウ省フーミー 3 特別工業団地における製紙用紙力増強剤生産用化学プラント建設工事 (以下「本工事」という) の基本契約を締結した。

本工事は TET 単体で対応する初めてのタイ国外案件であり、本稿ではその実績について紹介する。

キーワード: TSKタイ、ベトナム、化学プラント
Keyword: TSK ENGINEERING (THAILAND), Vietnam, Chemical Plant

1 はじめに

ベトナムは2022年第一四半期(1~3月)のGDP成長率が前年同期比5.03%と発表されており、2021年同期の4.72%、2020年同期の3.66%を上回っている。新型コロナ流行前の2019年同期は6.85%であり、今後の経済成長を見越して日系企業に限らず多くの外資企業が進出している。¹⁾

TSK ENGINEERING (THAILAND) (以下「TET」という) でも東南アジア圏の経済成長を好機ととらえ、タイのみに限らず、今後の事業拡大を検討している。

本工事においては受注段階ですでにコロナの影響を受けており、工期完了までコロナ禍における対応が必要とされた。そのような状況下でも当初の工期通りでの引き渡しを達成した。

2 ベトナムにおける建設工事

2.1 建設地紹介²⁾

フーミー 3 特別工業団地 (以下「PM3」という) は2014年に認可を受けたベトナム南部バリアブントウ省に位置する工業団地である。総開

発面積は1032haを有し、3つのフェーズを予定して現在でも開発が進められている。

建設中の空港や港から近く、また、ホーチミンからのアクセス環境が良いといった利便性から、日系企業を中心に工場建設が進められており、前向きに進出を検討している企業も多岐にわたる。

本工事は第1フェーズの敷地に建設を行った。



図1 PM3 特別工業団地立地³⁾
Fig.1 Location of Phu My3 Specialized Industrial Park

2.2 工事概要

本工事は2021年12月引き渡し計画として2020年7月に正式契約を締結した。建設工事開始までの許可申請は多岐にわたり、コロナ情勢や申請先の変更にも影響され、非常に難儀した。工事概要を表1に、工事工程を表2にそれぞれ示す。

2.3 工事体制

月島機械(株)としてはベトナムに現地法人を有さないため、ベトナムにおける建設工事遂行のためにプロジェクトオフィスを設立した。プロジェクトオフィスの位置づけとしては、期間が限定された特定の短期プロジェクトを対象とし、現地法人の設立なしにベトナムでの建設工事への参加が許可されるものである。

本工事にて、客先との主契約はそのプロジェクトオフィスとすることで、窓口を一本化するとともにベトナムでの工場建設工事を可能とした。

2.4 建設工事開始に向けた関係省庁認可

先に記載したとおり、建設工事を開始するにあたって関係する申請・認可は多岐にわたった。

事前段階の状態でも工業団地からの許可、申請段階においては環境局、消防、ハノイ化学局(バリアブントウ省建設局 → ハノイ建設局 → ハノイ化学局へと申請先が変更)、工業団地管理局への申請・承認が必要とされた。

主たる申請内容・申請先・計画日・実績を表3に示す。

表3において、計画日と実績の差は大きくコロナに影響されたためである。

3 設計段階・コロナ禍における現場工事での対応

3.1 設計体制

本契約以前より、主となる現場業務のサブコンにはベトナムで経験豊富な日系業者を採用することで、設計段階から円滑な仕様決定を可能にし、引き渡し後の迅速なアフターサービスを可能な体制とするよう想定していた。

また、ベトナムでの購入先を新規開拓するとともに、ベトナムで調達が可能ない機器や計器に関してはタイで調達・ベトナムに輸送することで、仕様・納期・コストの面で最適な対応を行った。

表1 工事概要
Table1 Outline of Construction Works

建設地	ベトナム バリアブントウ省 フーミー3 特別工業団地
面積	約 30,000 m ² (将来用地含む。今回は1期工事)
ご注文主	荒川化学工業株式会社
生産能力(想定)	約 40,000 トン/年
工期	2020年7月22日 ~ 2021年12月14日

表2 工事工程
Table2 Construction Schedule

	2020年			2021年		
	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q
建築申請・許可	[Progress bar]					
土木・建築工事	[Progress bar]					
機械工事	[Progress bar]					
配管工事	[Progress bar]					
電気工事	[Progress bar]					
試運転	[Progress bar]					

表3 建築申請内容と申請先、計画日と実績
Table3 Contents of Construction Permit, Government Ministry, Schedule and Actual Date of Approval
※ 初期段階においてはバリアブントウ省建設局

申請内容	申請先	計画日	実績
建築申請許可認可	フーミー3 特別工業団地	2020年4月30日	2020年5月29日
EIA環境申請承認	環境局	2020年6月30日	2020年8月28日
消防申請	バリアブントウ消防	2020年6月15日	2020年8月7日
基本設計承認	ハノイ化学局(※)	2020年7月20日	2020年12月8日
杭工事実施許可	工業団地管理局	2020年8月31日	2020年9月25日
地上部実施設計許可	ハノイ化学局(※)	2020年10月1日	2021年1月18日
地上建設許可	工業団地管理局	2020年10月20日	2021年2月3日

3.2 コロナ禍における現場工事

ベトナムにおいては、2020年および2021年3月までは国内感染はほぼ確認されず、入国者を対象とした隔離が必要とされるだけであった。

2021年4月に国内感染が発生するとそこから爆発的に感染者が増加し、一日当たり数人程度の感染者数が6月には一万人を超え、8月には十万人を超えた。

現時点では「ウィズコロナ」に切り替わり、ベトナムへの入国においても日常生活においても制限はない状況になっている。

感染者の増加に伴い規制も厳しくなり、最も厳しい時期では宿泊先と現場間の往復以外認められず、買い物許可ですら月に一回の頻度だった。

そのような状況下においても、客先からの協力も得ながら現場工事を進めることで工期通りの引き渡しを達成することが出来た。この達成の主たる要因を振り返ると以下の項目が挙げられる。

- ・受注以後、月に一回の頻度で工程会議を設けることで、申請段階で遅れが生じた際には全体工程への影響を把握・対応することができた。コロナ対応で何か問題が生じた際も状況を全体共有することができた。
- ・日々の設計の中では、日本・タイ・ベトナムと3か国で時差や祝日、コロナ禍への対応も異なる中、仕様の早期確定や長納期品の早期手配に向け、円滑かつ迅速なコミュニケーションに努めた。(必要な期日までに承認返却やメールの返答をいただくことで、スケジュールを含めた社内調整の計画が容易であった。)
- ・加えて、キントーンという図書管理システムを用いることにより、客先およびベンダー間において、最新版の図書や承認状況、各スケジュールも把握することが可能であり、全体工程に基づいた図書スケジュールを作成し順守することで図書遅延由来での現場工事工程への影響を最小化することができた。

・現場工事においては非常に多くの制約があったが、日系のサブコンを多く採用していたため、コロナに限らず問題が生じた際には現状の把握や、今後の計画策定等の議論が最短かつ最適に収束させることができた。

・TETからの現地出張者3人は最も長い者で連続14ヵ月にわたり一時帰国せず現地に滞在して工事およびコロナ禍対応にあたり、省外から来られない客先およびサブコンの日本人からの信頼を獲得できた。苦難な状況下でも客先およびサブコンと意識・目標を統一・共有していくことで成果に結びついたと強く感じている。

一方で、申請段階に生じた遅延はコロナ禍が大きな要因とはいえ、事前に認識しておけば円滑に進められることができた内容もあったと痛感している。次の案件においてはより能動的に取り組めるよう、この申請過程で得た知見や経験を社内における共有情報として蓄積に努めたい。

4 おわりに

近年、ベトナムではGDPの成長にみられるように、経済の成長が著しく、新規の工場建設が増加している。今後も同様にベトナムでの化学プラント建設を中心に案件を模索し、TSK ハノイ駐在員事務所 武井所長とも連携していきたい。

参考・引用文献

- 1) JETRO ホームページ
<https://www.jetro.go.jp/biznews/2022/04/9fa3b7cf414e3410.html>
- 2) フーミー3特別工業団地ホームページ
<http://www.phumy3sip.com/ja-JP/default.aspx>
- 3) 日鉄物産 ホームページ
<https://www.nst.nipponsteel.com/business/infra/vietnam.html>

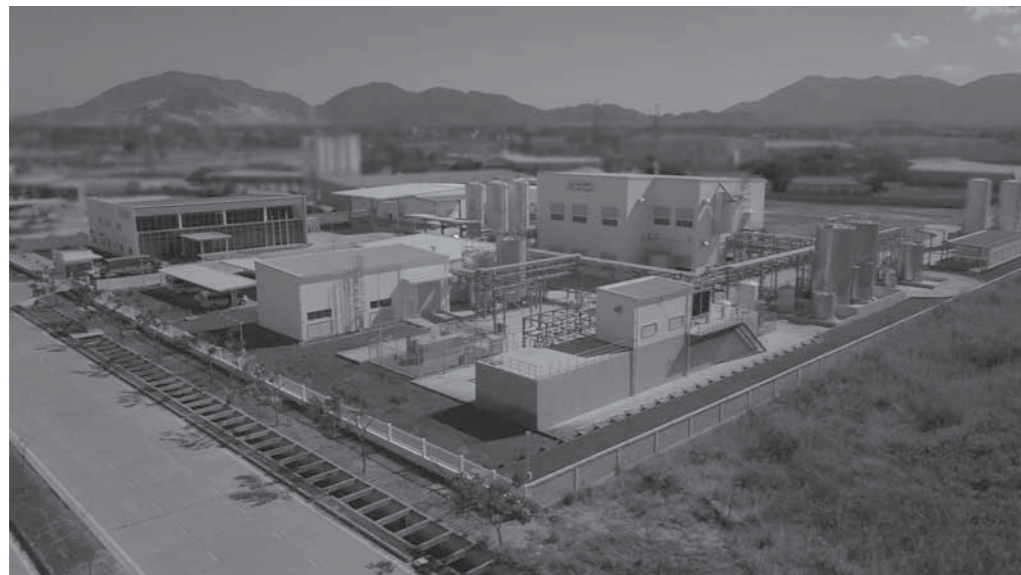


図2 建設現場写真
Fig.2 Site Photo

解析グループ紹介Part6
流体解析手法編 ~格子法と粒子法その2~

R&Dセンター紹介
下水汚泥由来の脂質分析方法 森 彰宏

月島茶房
ポイントサービスの今後を会計的視点で考える

月島今昔物語
乾燥

流体解析手法編 ～格子法と粒子法その2～

開発本部 研究開発部 解析グループ 相馬 悠佑

1. はじめに

前回紹介では、代表的な流体解析手法である格子法(有限体積法)と粒子法について概要を説明した。

<格子法と粒子法の違い>

格子法：検査体積を通過する流れを観測して流体の挙動を再現。多くの流体解析ソフトで採用。

粒子法：粒子の運動を観測することで流体の挙動を再現。自由表面の解析が得意。

今回は、視覚的にわかりやすい例として攪拌槽の自由表面を含む流体解析を取り上げ、解析手順の違いや文献との比較結果について紹介する。ここで自由表面とは気体と液体の境界面を指す。

2. 流体解析における自由表面の再現

格子法と粒子法では自由表面の再現方法に次のような違いがある。

2.1 格子法による自由表面の再現

格子法で自由表面を捕捉する方法に Volume of Fluid 法(以下「VOF法」という)がある。これは計算領域のメッシュ分割により生成された検査体積ごとに気相と液相の体積分率を計算し自由表面を捕捉する方法である。自由表面の再現度はメッシュサイズに依存し、詳細に解析する場合は自由表面近傍のメッシュの細分化や、滑らかな関数による自由表面の捕捉を行う。

なお今回の解析では自由表面が安定した状態のみを計算するこ

ととし、VOF法を用いた定常解析を行い、液相の体積分率カウンター図により自由表面を可視化した。

2.2 粒子法による自由表面の再現

粒子法では液相部分のみを粒子でモデル化し、移動する粒子により自由表面を再現する。非圧縮性流体を対象とするMPS法では粒子数密度を計算し、粒子が自由表面に属しているかを判定している。自由表面上の粒子や飛沫のような孤立した粒子では集合している粒子に比べて粒子数密度が小さくなる。

3. 攪拌槽の自由表面の解析

物質や熱の移動、反応促進などさまざまな目的で用いられる攪拌において、自由表面に関するトピックとして攪拌槽中心の自由表面のくぼみに着目した研究が古くから行われている。この自由表面のくぼみは攪拌翼と供回りする固体的回転域と関係し、攪拌槽内の混合の良否に影響を与える場合がある。文献¹⁾では攪拌槽内の流体挙動を考察する上で重要な固体的回転域半径を予測する方法として次式が提案されている。

$$r_c = \sqrt{r_H(r_H^2 - \sqrt{r_H^2 - \frac{2g}{\omega^2} h_{v1}})}$$

[記号]

- r_c : 固体的回転域半径 [m]
- r_H : 自由表面が静止液面と交差する半径 [m]
- h_{v1} : 攪拌槽中心での自由表面低下量 [m]
- g : 重力加速度 [m/s²]
- ω : 回転数 [rad/s]

今回は邪魔板無しの攪拌槽を対象に、自由表面のくぼみを格子法と粒子法で再現し固体的回転域半径を予測することを目的として流体解析を実施し、文献¹⁾の結果と比較した。図1に解析対象概略図を、表1に解析に用いた物性値をそれぞれ示す。文献¹⁾に倣い、解析対象は内径240 [mm]の円筒容器とし、中心に6枚パドル翼を設け、攪拌回転数を130、150、170 [rpm]と変化させた。

図2に解析手順の概略を示す。格子法では液相および気相の計算領域にメッシュを配置し、自由表面が静止状態になるように液相・気相の体積分率を初期化した後に定常解析を行った。計算負荷低減のため、形状および回転方向の流れの周期性を利用して図3のように計算領域の1/6の範囲を切り取り、切断面に周期境界条件を適用した。格子法では平均メッシュサイズを2.5 mmとして解析を実施した後に、メッシュの細分化により解析精度の向上を試みた。

粒子法では静止状態の液相の部分のみに粒子を初期配置した後に時刻歴解析を行った。なお、整列した状態で初期配置した粒

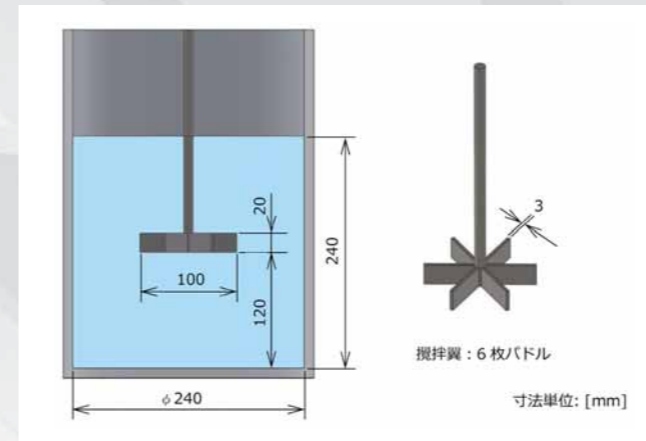


図1 解析対象概略図
Fig.1 Schematic diagram of analysis target

表1 物性値
Tab.1 Material properties

物性名称	単位	気相：空気	液相：水
密度 ^{※1}	Kg/m ³	1.188	998.2
粘度 ^{※1}	Kg/(m・s)	1.824×10 ⁻⁵	1.002×10 ⁻³
表面張力係数 ^{※2}	N/m	—	7.275×10 ⁻²

※1：20 [°C]、0.1 [MPa]における空気および水の物性値、文献²⁾より
※2：20 [°C]における空気に接する水の表面張力、文献³⁾より

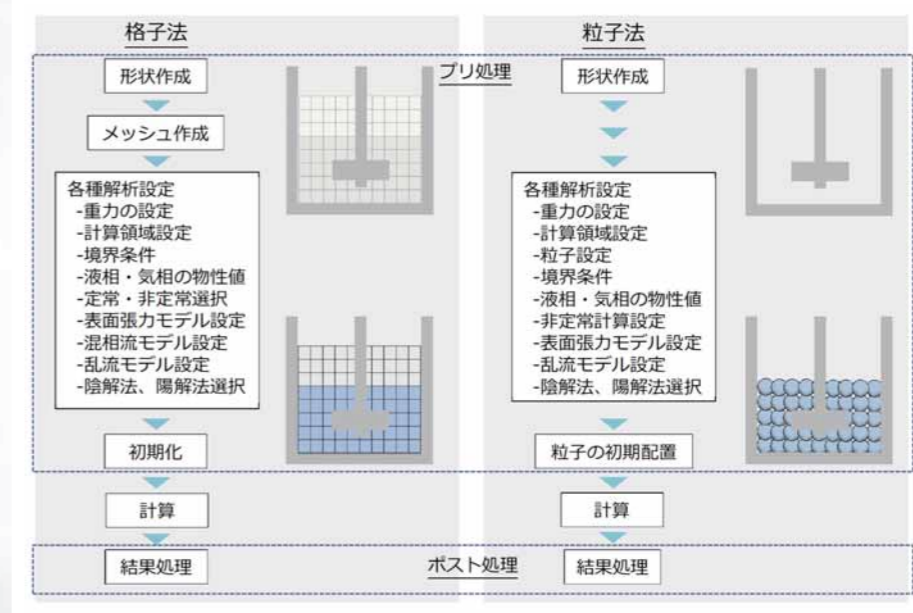


図2 解析手順
Fig.2 Analysis procedure

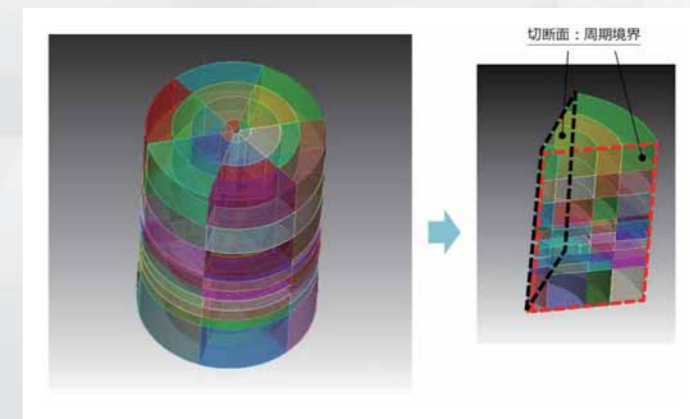


図3 1/6モデル
Fig.3 1/6 model

子は計算開始直後に重力の影響で粒子の隙間を埋めるように若干移動するため、自由表面が安定してから攪拌翼を回転させた。粒子法では粒子サイズを5 mm、2.5mmの場合で解析を実施したところ、単純な粒子サイズの細分化では解析精度の向上が見られなかった。そのため、計算時間の観点から粒子サイズを5 mmとし、粒子の接触角や粒子の付着力の大きさに影響を与えるパラメータ等を調整することにより、解析精度の向上を試みた。

図4に格子法および粒子法による自由表面の可視化結果を示す。また、図5に回転数と自由表面の高低差および固体的回転半径の関係を示す。併せて自由表面の高低差 ($h_{v1}+h_{v2}$) および固体

的回転半径 r_c の算出値を文献¹⁾と比較した結果を示す。いずれの解析においても回転数が大きい方が攪拌槽中心の自由表面の位置が低下する傾向が再現されている。各解析手法による固体的回転半径 r_c の予測精度についてはまだ改善の余地が残されているが、トライ&エラーを通して自由表面の低下量である h_{v1} の精度の改善が可能であることがわかった。また、固体的回転半径 r_c は文献¹⁾では回転数によらずほぼ一定の値をとるのに対し、解析結果ではばらつきが大きくなるものの各解析手法での平均値に対して±10%程度に収まった。

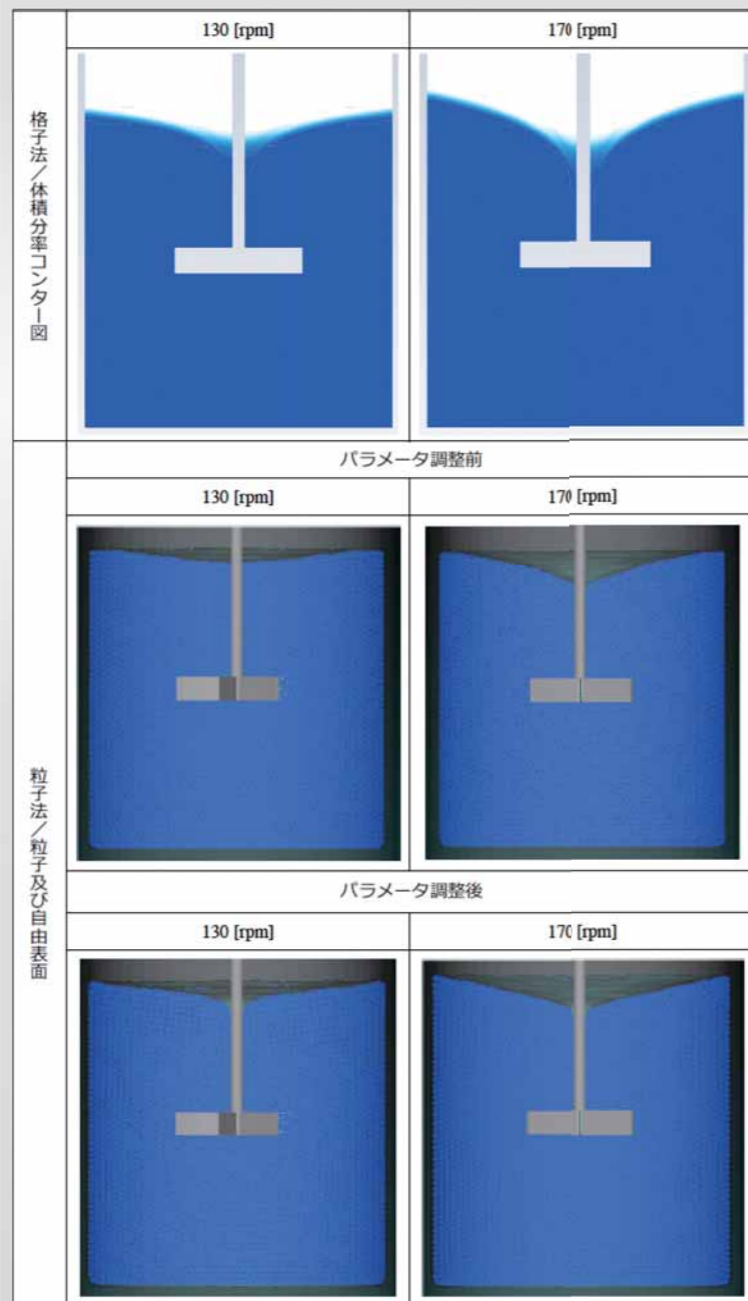


図4 自由表面の可視化結果
Fig.4 Free surface visualization result

4. おわりに

今回は格子法と粒子法で自由表面を含む攪拌槽の流体解析を実施し、解析手順の違いや文献値との比較を行った。いずれの手法においても自由表面の再現が可能であることが確認された。格子法と

粒子法はアルゴリズムが大きく異なるため単純比較しにくい面があるが、さらなる精度向上や所要時間などの観点で深掘りした調査を行い、各手法のメリットを生かした使い分けに繋げていきたい。

参考文献ほか

- 1) 亀井登、平岡節郎、加藤禎人、多田豊、数内賢太:パドル翼を備えた攪拌槽の液自由表面形状に及ぼす邪魔板寸法の影響, 化学工学論文集, 第25巻, 第1号, p12-17
- 2) 日本機械学会: 伝熱工学資料, 改定第5版, p291-296
- 3) 化学工学会: 化学工学便覧, 改定第6版, p96

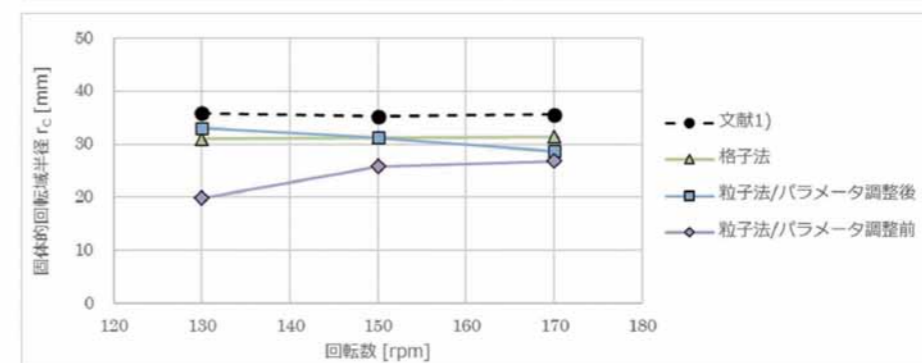
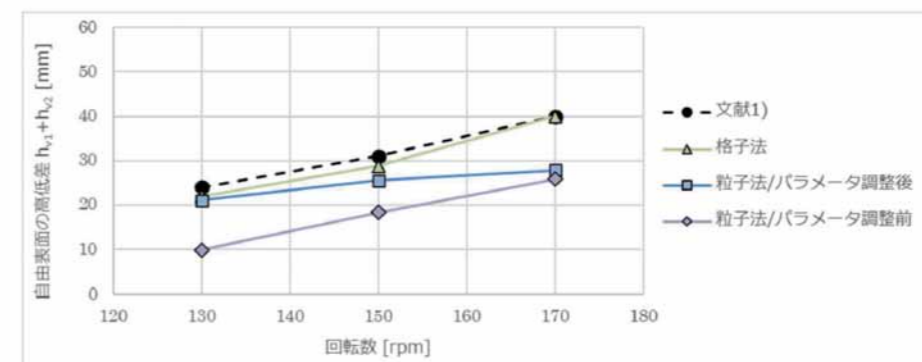


図5 回転数と自由表面の高低差および固体的回転半径の関係
Fig.5 Relationship between rotation speed and height difference of free surface, radius of cylindrical rotating zone

下水汚泥由来の脂質分析方法

開発本部 R&D センター 分析グループ 森 彰宏

1. はじめに

脂質とは、国際純正・応用化学連合 (IUPAC) の定義によると、生物から単離される無極性溶媒に可溶 (水に不溶) な物質を総称したものとされている。¹⁾ さまざまな化合物が脂質に分類されるが、代表的なものには、脂肪酸と呼ばれるカルボン酸、あるいは脂肪酸がグリセリンとエステル結合したトリグリセリド (アシルグリセロール、油脂と呼ばれる) があげられる。下水汚泥中に含まれる代表的な脂肪酸の種類と物性値を表1に示す。

下水汚泥には、一般家庭や事業所などから下水道に排出される動植物油由来の脂質成分が含有される。下水処理施設、汚泥処理

施設において脂質は、悪臭の発生、スケールやスカムの発生、汚泥の沈降性・脱水性の低下、活性汚泥処理や汚泥の嫌気性消化への阻害など、さまざまな障害の原因となる。²⁻⁴⁾

当社は下水処理、汚泥処理の多くの装置を手掛けている。当社 R&D センター分析グループでは、前述のような影響を与えうる下水汚泥由来の脂質に対して、分析方法の探索と知見習得に取り組んでいる。近年の検討の結果、従来の分析手法では確認できなかった金属石鹸由来の脂肪酸濃度を推算でき、存在形態別の脂肪酸濃度を示すことができるようになった。本稿では、関連する分析技術を紹介する。

表1 下水汚泥に含まれる代表的な脂肪酸とその物性値⁵⁾
Table1 Properties of typical fatty acid contained in sewage sludge⁵⁾

種別	名称	示性式	C 個	C=C 個	分子量 g/mol	融点 °C
飽和脂肪酸	ミスチン酸	C ₁₃ H ₂₇ COOH	14	0	228.4	54.1
	パルミチン酸	C ₁₅ H ₃₁ COOH	16	0	256.4	62.6
	ステアリン酸	C ₁₇ H ₃₅ COOH	18	0	284.5	70.5
不飽和脂肪酸	オレイン酸	C ₁₇ H ₃₃ COOH	18	1	282.5	13.3~16.2
	リノール酸	C ₁₇ H ₃₁ COOH	18	2	280.5	-5.2~-5.0
	α-リノレン酸	C ₁₇ H ₂₉ COOH	18	3	278.4	-11.3~-11.0

2. 脂質の分析方法と分析事例

A 下水処理場における濃縮汚泥と、同処理場で採取された油脂状固形物 (図1) の、脂質成分の分析結果を表2に示すとともに、以下でそれぞれの分析項目について述べる。

2.1 脂質の総量 - 粗脂肪、ノルマルヘキサン抽出物質

下水汚泥試料中の脂質の総量を示す分析項目として、当社では粗脂肪と称し、食品分析法に準拠した方法を主に採用している。乾燥試料に対してジエチルエーテルによるソックスレー抽出を行い、抽出物の総量を乾燥重量あたりの重量%として表示する方法である。このとき、IUPACの定義に含まれない、生物由来ではないがジエチルエーテルに可溶性、蟻や鉱物油なども含んだ値として定量される。本例における粗脂肪の値は、表2に示すとおり、濃縮汚泥で7.8dry%、油脂状固形物では49.2dry%であった。

また、本例では実施していないが、同じく脂質の総量を示す分析項目に、「ノルマルヘキサン抽出物質」がある。下水試験方法 (JIS K 0102 に準拠) に規定されている公定法であり、環境省が定める

排水基準の項目の一つに指定されている。排水規制値に関連する分析の場合は、本法を採用する。

2.2 脂肪酸組成分析 - 誘導体化-GC/FID

脂質成分に対し、脂肪酸の単離および脂肪酸メチルへの変換 (誘導体化) を行ったのち、水素炎イオン化検出器を用いたガスクロマトグラフ (GC/FID) で測定することで、脂肪酸濃度を定量する。

従来は脂質成分である、ジエチルエーテル抽出物 (以下「エーテル抽出物」という) を対象に測定を行い、遊離脂肪酸やアシルグリセロールのほか、ステロールなど化合物の一部を構成する脂肪酸を含め一括で定量して脂肪酸濃度としてきた。本例においては、表2中エーテル抽出物に示すとおり、脂肪酸濃度は濃縮汚泥で合計3.1dry% (試料全体に対して。以下同様)、油脂状固形物では合計17.0dry%であり、いずれの試料においてもパルミチン酸が最も濃度が高く、ついでオレイン酸、ステアリン酸の順に高かった。

一方で、ジエチルエーテル抽出残渣 (以下「エーテル抽出残渣」という) に対しても同様の誘導体化-GC/FID分析を試みたところ、表2中エーテル抽出残渣に示すとおり、濃縮汚泥では合計0.8dry%であったのに対し、油脂状固形物では合計22.9dry%の脂肪酸が定量され、脂肪酸はエーテル抽出物よりエーテル抽出残渣の方が約6dry%多く含むことが確認された。エーテル抽出残渣側に含まれる脂肪酸の存在形態としては、脂肪酸が金属元素と結合して生成した金属石鹸、および生体組織成分と強固に結合また

は含まれておりエーテルなどで容易に抽出されない脂質 (ここでは「難抽出性脂質」という) が考えられる。

2.3 金属石鹸の存在確認と濃度推定

2.3.1 金属石鹸の存在確認

まず、油脂状固形物に含まれる金属元素組成確認のために、蛍光X線分析を行った結果を表3に示す。無機元素のうちCaが約47%Ash (CaOとして) を占めることが確認された。

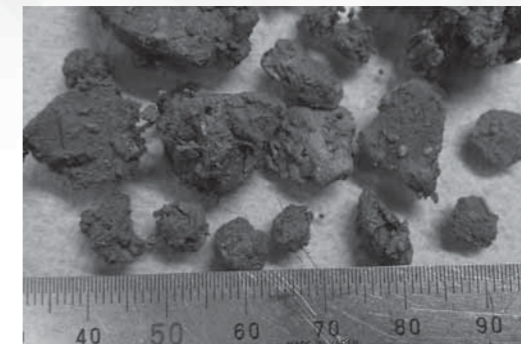


図1 油脂状固形物
Fig.1 Fat-like solids

表2 脂質成分分析結果
Table2 Analysis results of lipid components

分析項目	単位	濃縮汚泥			油脂状固形物		
		全体	エーテル抽出物	エーテル抽出残渣	全体	エーテル抽出物	エーテル抽出残渣
粗脂肪	dry%	7.84	---	---	49.2	---	---
ミスチン酸	dry% (試料全体 に対して)	---	0.12	0.04	---	0.78	0.89
パルミチン酸		---	1.2	0.25	---	7.6	15
ステアリン酸		---	0.58	0.11	---	2.5	6.4
オレイン酸		---	0.89	0.22	---	4.3	0.47
リノール酸		---	0.28	0.12	---	1.6	0.08
α-リノレン酸		---	<0.01	0.03	---	0.08	<0.01
(脂肪酸6種の合計値)	---	3.1	0.8	---	17.0	22.9	

表3 無機元素組成測定結果
Table3 Analysis results of inorganic composition

試料名	単位	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO	BaO
油脂状固形物	%Ash (注)	0.3	2.7	3.5	12.4	4.1	8.0	0.3	0.6	47.0	1.2	0.2	16.4	0.1	0.3	2.7

(注)600°C灰化試料を測定、各金属元素は酸化物として濃度を表示

次に、油脂状固形物のエーテル抽出残渣のX線回折ピークパターンを図2に示す。図中には、油脂状固形物のエーテル抽出残渣に多く含まれていた、パルミチン酸とステアリン酸の各Ca石鹸試薬のX線回折ピークパターンを併記しているが、油脂状固形物のエーテル抽出残渣には、これらCa石鹸試薬に特徴的なピークと同角度にピークが確認された。

以上のことより、この油脂状固形物にはCa石鹸が含まれていると推定される。

2.3.2 金属石鹸濃度推算方法

Ca石鹸はエーテルに不溶と考えていたが、オレイン酸Ca石鹸についてはジエチルエーテルによるソックスレー抽出で抽出されることが試薬を用いた試験により判明したため、より正確に金属石鹸濃度を求めるためには、ジエチルエーテルに抽出されるオレ

イン酸Ca量を求める必要があることがわかった。そこで、図3に示すとおり、エーテル抽出物中のCa濃度を誘導結合プラズマ発光分光分析法(ICP-OES)で測定し、それがオレイン酸Ca由来であるものと仮定して、エーテル抽出残渣側のオレイン酸量に合算(エーテル抽出物側からは減算)することで、金属石鹸および難抽出性脂質としてのオレイン酸濃度を推算することとした。

本件の油脂状固形物に適用した結果を表4に示す。エーテル抽出物中のオレイン酸のうち1.2dry%がCa石鹸由来であったとみなされ、その結果、油脂状固形物のうち24.1dry%が金属石鹸および難抽出性脂質由来の脂肪酸であると推算された。さらに、これに粗脂肪の値を加えると約73dry%となり、この油脂状固形物の70dry%以上が脂質成分ならびに金属石鹸で構成されていることが示唆された。

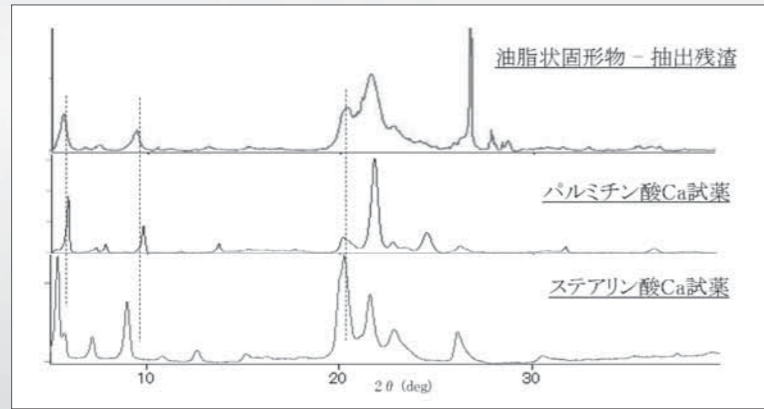


図2 油脂状固形物エーテル抽出残渣のX線回折ピークパターン
Fig.2 XRD peak pattern of diethyl ether extraction residue of fat-like solids

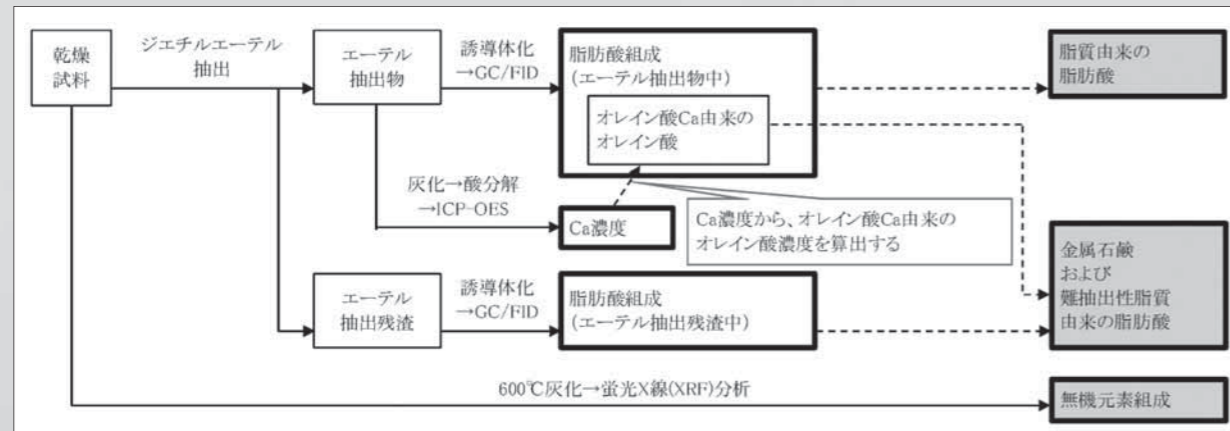


図3 分析および推算フローチャート
Fig.3 Flowchart of analysis and estimation

表4 金属石鹸濃度推定
Table4 Estimation of the concentration of metal soaps

分析項目	単位	油脂状固形物			分析項目	単位	油脂状固形物		
		全体	エーテル抽出物	エーテル抽出残渣			全体	脂質由来	金属石鹸および難抽出性脂質由来
粗脂肪	dry%	49.2	---	---	粗脂肪	dry%	49.2	---	---
ミスチン酸		---	0.78	0.89	ミスチン酸		---	0.78	0.89
パルミチン酸		---	7.6	15	パルミチン酸		---	7.6	15
ステアリン酸		---	2.5	6.4	ステアリン酸		---	2.5	6.4
オレイン酸	dry% (試料全体に対して)	---	4.3	0.47	オレイン酸	dry% (試料全体に対して)	---	3.1	1.6
リノール酸		---	1.6	0.08	リノール酸		---	1.6	0.08
α-リノレン酸		---	0.08	<0.01	α-リノレン酸		---	0.08	<0.01
(脂肪酸6種の合計値)		---	17.0	22.9	(脂肪酸6種の合計値)		---	15.8	24.1
Ca		---	0.082	---					

抽出物中のCaがオレイン酸Ca由来であるとすれば Ca 0.082dry%に相当するオレイン酸は1.2dry%

エーテル抽出残渣のオレイン酸濃度に1.2dry%を加算した値が、金属石鹸および複合脂質由来のオレイン酸であるとする。(脂質由来はエーテル抽出物から1.2dry%を減じる)

3. おわりに

本稿では、従来からの総脂質および脂肪酸濃度の測定方法を紹介するとともに、油脂状固形物の分析を通じて明らかになった金属石鹸の存在確認方法および濃度推算方法について記載した。この分析技術により金属石鹸を含む形態別の脂肪酸濃度を示すことができるようになり、下水処理場や汚泥処理設備内での脂質成分の石鹸化を含む挙動把握、発生由来の推定や処理方法検討などに活用されている。

本稿では、下水汚泥由来の脂質分析方法と銘打って紹介したが、その起源から、食品成分や民間企業向け排水処理設備などにも遡って展開可能であると思われる。ある分野向けに得た分析技術をほかの分野にも適用していくことで、当社グループ会社の取り扱うさまざまな技術領域に役立つ分析データの提供ができるよう努めていく。

参考文献ほか

- 1) IUPAC Gold Book, <https://goldbook.iupac.org/terms/view/L03571> (2022年7月21日現在)
- 2) 公益社団法人 日本下水道協会編: 下水試験方法(上巻)2012年版, p.377 (2012)
- 3) 村上定暲, 竹内正美, 西村基弘: 生活排水中の油分の性状と処理における問題, 環境技術, 第26巻, 第3号, pp.155-159 (1997)
- 4) 小松俊哉, 花木啓祐, 松尾友矩: 嫌気性処理における不飽和高级脂肪酸の阻害および分解過程, 衛生工学研究論文集, 第26巻, pp.1-8 (1990)
- 5) 日本化学会編: 化学便覧 改訂4版 基礎編II, 丸善(1993)



ポイントサービスの今後を会計的視点で考える

経営統括本部 財務部 主計グループ 松原 一樹

1. はじめに

「期間限定、ポイント〇〇倍!」「〇〇〇円以上の購入で〇〇〇ポイントをプレゼント!」このような広告やのぼりを見たことがある人は多いのではないのでしょうか。私はこれを見ると、いろいろと買っておこうとして、余計なものまで買ってしまう。気がついたときにはポイントカードが財布からあふれていました。野村総合研究所の調査によると2020年度の民間のポイント発行額は約1兆400億円、政府による発行も併せると約1兆4,000億円に達し、ポイント市場は拡大傾向にあります。¹⁾このようにポイントサービスは皆さんの生活の一部となっていますが、ポイントの会計処理が2021年度より変更されたのはご存じでしょうか。今回は会計的な視点からポイントの今後について考えます。

2. ポイントサービスの概要

ポイントサービスとは商品やサービスを購入金額等に応じて、ポイントを付与するサービスのことをいいます。ポイントの用途は企業によってさまざまです。代表的なものとして、顧客は1ポイント=1円で、次回以降の購入代金の一部に充当したり、商品と交換したりすることができるサービスがあります。また、ポイントには大きく分けて「自社ポイント」と「共通ポイント」の2種類があります。前者はその企業の独自ポイントで使用範囲はその企業のみに限られます。(図1²⁾参照) 後者については企業やグループの垣根を越えて、複数の企業で貯めたり、使用したりできるポイントです。(図2²⁾参照)

3. ポイントの会計基準

会計処理は2021年度より適用となった「収益認識に関する会計基準³⁾」により大きな変更がありました。図3⁴⁾がその比較図です。

適用される以前は2008年7月「ポイント及びプリペイドカードに関する会計処理について(改訂)⁵⁾」というガイドラインのみでした。この本文ではポイントサービスの会計基準について「我が国においては、ポイントについて個別の会計処理の基準等は存在しておらず、ポイント発行企業は、企業会計原則等に則り会計処理をしている。」と記載されており、具

体的な基準はありませんでした。そのため企業の多くはポイントの販売促進の費用として計上し、ポイントの付与や使用が売上高に影響することはありませんでした。

それが収益認識に関する会計基準の適用により、ポイントの付与は商品販売と別の取引として識別し、取引価格を配分しなければならないとしています。そして使用時や有効期限の到来による失効時に収益を認識します。つまり、付与したポイントは将来の売上高として捉えられるようになりました。

これにより企業の売上高は適用前と比較すると全体額が減少し、計上する時期が後ろ倒しになります。株式会社AOKIホールディングスの2022年3月期の有価証券報告書⁶⁾によるとポイントやギフトカードに関する収益について、当会計基準を適用したことにより売上高が34億56百万円減少したと記載されています。売上高は会社の規模や価値を測る重要な指標の一つです。複数年の売上高を比較する場合、売上高の減少は印象が悪く、企業は回収する方法を検討するでしょう。

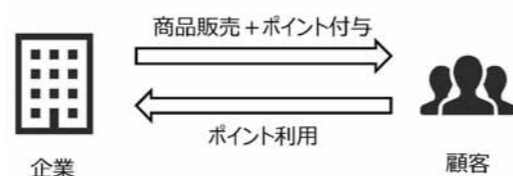


図1: 自社ポイントの仕組み²⁾

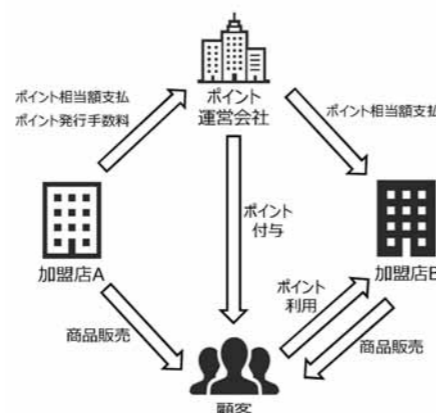


図2: 共通ポイントの仕組み²⁾

4. ポイントサービスの今後について

私は会計基準の適用を通して、ポイントサービスの戦略が見直されると考えます。私が考える施策は2点です。

1点目は有効期限の短期化です。失効しないポイントは売上高として計上できません。例として、有効期限が最後の買い物から1年後までの場合、失効することが少なく、長期間使用されないポイントが増加していきます。このような事態を改善するために、有効期限を短くしたり、期間限定ポイントを増加させたりすることで、定期的に売り上げが回収できることに加え、顧客にポイントを使用することへの意識付けをすることもできます。

2点目はポイントの使用を促すキャンペーンの実施です。冒頭でも述べたとおり、近年は集客のためにポイント付与率を一時的に増加させるなど、ポイントの「付与」に力を入れていました。しかし、今後は売り上げ回収のためにも積極的に使用させる方法を検討すべきでしょう。例として、使用できる店舗や商品を増加させることやポイントを使用した購入で試

供品や限定品をプレゼントするなどのキャンペーンがあげられます。

このように、企業はポイントサービスの戦略を練り直す必要があります。近年はポイントサービス自体を終了する企業もあり、今後のポイント市場にも影響がありそうです。私の身の回りでは期間限定ポイントが増えたり、ポイント制度の改悪に関するニュースをよく耳にしたりするようになりました。会計基準の変更がその要因の一つかもしれません。皆さんも保有しているポイントのルールや有効期限が変更されていないか、ぜひ、確認してみてください。

5. おわりに

今回の会計基準の変更は皆さんの身近なポイントにまで影響がある大きなものでした。当社ではポイントサービスは実施しておらず、ポイントに関する検討は不要でした。しかし会計基準の適用や変更は適宜実施されます。これらによる当社への影響を分析し、当社にとって最適な対応を選択することも財務部の重要な業務の一つです。

【設例】

- A社はポイントサービスを販売促進のために実施している。顧客の購入金額に対して20%分のポイントを付与している。
- 顧客が1,000円分の商品を購入したため、200円分のポイントを付与した。…①
- 次の支払では1,000円購入したうち、100円分のポイントが使用された。…②
- 未使用のポイントは100円分、失効したポイントは無かった。過去のポイントの使用実績率は100%である。…③

※売上原価の仕訳は省略し、消費税等は考慮しない。

【適用前】

①商品販売+ポイント付与	②ポイント使用	③ポイント未使用分(期末)
現金 1,000円	現金 900円	現金 900円
売上 1,000円	売上 1,000円	売上 1,000円
	販売費 100円	
	ポイント引当金 100円	ポイント引当金 100円

③過去のポイント使用実績率に基づき、使用見込み率を算出する $100 \times (1 - 0\%) = 100$ 円
※ポイント失効分について特種の会計処理は行わない

【適用後】

①商品販売+ポイント付与	②ポイント使用	③ポイント失効分(期末)
現金 1,000円	現金 900円	現金 900円
売上 833円	売上 900円	売上 900円
契約負債 167円	契約負債 83円	売上 83円

①売上分: 833円
= $1,000 \times 1,000 / (1,000 + 140)$
ポイント: 167円
= $1,000 \times 200 / (1,000 + 140)$

②ポイント: 83円
= $167 \times 100 / 200$

③ポイント失効分: 0円
= $167 \times 0 / 200$
※ポイント失効分について特種の会計処理は行わない

【適用前後の会計処理の比較】

①【商品販売+ポイント付与】ポイントに関する会計処理はしない	①【商品販売+ポイント付与】販売価格のうち、ポイント分の売上高を減少
②【ポイント使用】ポイント分の売上高を販売促進費として計上	②【ポイント使用】ポイント分の売上高を計上
③【期末】ポイント未使用分のうち、使用見込み分を引当金(将来の費用)計上 →販売価格を売上高として、ポイント分は費用として計上	③【期末】ポイント失効分を売上高計上(未使用分の処理は無し) →ポイント付与時に将来の売上高として計上、費用としての計上は認められない

図3: 「収益認識に関する会計基準」適用前後の会計処理の比較⁴⁾

参考文献

- 2020年度のポイント・マイレージ年間最少発行額は1.4兆円を突破 https://www.nri.com/jp/news/newsrelease/lst/2021/cc/1125_1 (2022年8月現在)
- 他社運営共通ポイントの付与と使用に係る消費税の取扱いと仕訳例；消費税法一問一答アプリ公式HP <https://shouhizei-quiz.com/?p=4699> (2022年8月現在)
- 収益認識に関する会計基準 https://www.asb.or.jp/wp-content/uploads/shueki20200331_02_20200706.pdf (2022年8月現在)
- ポイント利用時の会計処理・仕訳は？買手・売手・個人事業主ごとに徹底解説！；TOKIUM(トキウム)；経費精算・請求書受領クラウド <https://www.keihi.com/column/20755/#table-of-content-3> (2022年8月現在)
- ポイント及びプリペイドカードに関する会計処理について(改訂) https://www.fsa.go.jp/singi/singi_kinyu/dai2/siryoku/20080702/02.pdf (2022年8月現在)
- 株式会社AOKIホールディングス 2022年3月期有価証券報告書 <https://disclosure.edinet-fsa.go.jp/E01EW/download?1665122854278&uji.bean=ee.been.parent.EECommonSearchBean&uji.verb=W0EZA104CXP001003Action&SESSIONKEY=1665122853843&s=51000KYF>

乾燥

産業事業本部 単体機器技術部 諏訪 聡

1. はじめに

乾燥とは、水分あるいは溶剤を含む材料に熱を与えて水分(溶剤)を気化蒸発させて、固体製品(または水分あるいは溶剤)を分離する操作である。これは熱を与えて水分(溶剤)を蒸発させる点から、相変化を伴う熱と物質の同時移動現象の典型例であり、多量の熱エネルギーを消費する操作である。そのため、乾燥装置の熱効率を向上させ、省エネルギーを図るとともに、プロセスを最適化する必要がある。また機能性材料の製造においては、乾燥工程が製造プロセスの最終位置にあって、乾燥後の材料の品質が製品品質に直結する場合が多い。したがって乾燥過程での品質の確保、新しい機能の付与が極めて重要である。

本稿では、この化学プロセスとして非常に重要な位置づけであり、当社の主力商品の一つである乾燥装置について、そのアウトラインを述べる。

2. 月島機械の乾燥装置について

筆者が1987年に入社し、プラント技術部乾燥1課に配属された際に、当時の上司から勧められた書籍が桐米良三編「乾燥装置」である(図1)。これは昭和41年に出版された、その方面の専門書として最初に編纂されたもので、その当時から当社に限らず、同業他社もバイブル、虎の巻、座右の書として活用してきたものである。

さて、その「乾燥装置」の冒頭には、乾燥操作の特異性として、乾燥対象物は成形品、粉粒状、泥状、糊状さらには液状材料と、極めて多岐に渡るものであり、また製品の要求品質も一様ではない。そのため処理する乾燥機も多くの種類があり、言い換えれば万能の乾燥機はあり得ないとある。

当社でも、創業時から製糖、製塩用として熱風ロータリドライヤを数多く納入し、その後のさまざまな製品の要求品質に対応するため、気流乾燥機、通気バンド乾燥機、振動乾燥機など、多種多様の乾燥装置を提案、納入してきた。

現在ではスチームチューブドライヤ(以下「STD」という)、インクラインドディスクドライヤ(以下「IDD」という)などの間接加熱乾燥機、流動層乾燥機、クリーンフラッシュ®ドライヤなどの直接乾燥機、月島マシネールス(株)で取り扱っているバキュームミキシングドライヤなどが当社の主要商品となっている。

2.1 スチームチューブドライヤ(STD)

当社のSTDは、1957年に米国ジェネラルアメリカン社からの技術導入により製造販売が始まり、これまでに国内、海外を合わせて500台以上の納入実績がある。前述の「乾燥装置」にもSTDの技術紹介があり、技術導入直後である昭和40年当時から、非常に注目されていた装置であったことがわかる。

これまで技術導入元のアメリカをはじめ、中国、インド、韓国、台湾、イギリスなど世界各地に輸出されており、特に世界各地のテレフタル酸(以下「TPA」という)プラント用乾燥機では高い市場占有率があり、国際的にも高く評価されている。またTPA以外にも、付加価値の比較的高い合成樹脂パウダーの乾燥、コークス炉装入炭の調湿乾燥、鉍石の予備乾燥などに適用されている。(図2)



図1 桐米良三編 「乾燥装置」

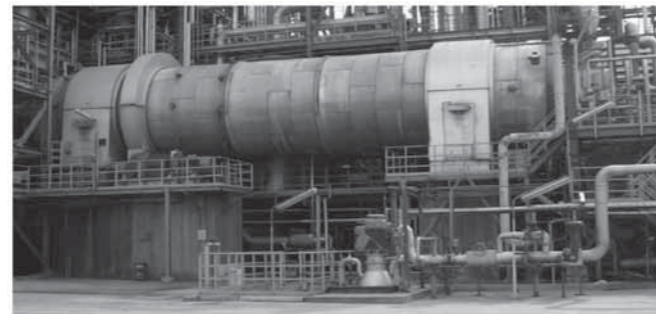


図2 テレフタル酸(TPA)プラント用乾燥機
Fig.2 TPA dryer

近年では電池材料分野や、新しい化成品への適用など、今後も新しい分野への展開が図られる装置である。

ところで、この世界各地に設置された当社のSTDは、Google Mapの衛星写真でも確認することができる。

以前、とあるTPAライセンスから、世界各地のTPAプラントには、ほぼ共通して当社のSTDが設置している。そのためGoogle Map航空写真で世界各地のTPAプラントを観察すると、そのサイズ、その台数などからプラント規模、プロセスの概要、稼働状況が推定できるという話を聞いたことがある。

当社製品で、世界各地で人工衛星に認識できる装置は他に例がなく、これまでの特殊設計と、精度ある製造技術の賜物であると思っている。

2.2 インクラインドディスクドライヤ(IDD)

1970年代より、環境保全のニーズの高まりによって、余剰汚泥を乾燥、焼却等による減容化が求められるようになった。この処理に伴って臭気処理対策が必要になり、それに対応できる密閉型間接加熱方式の乾燥機として開発されたのが、IDDである。(図3)

1980年から大都市の焼却汚泥の予備乾燥機として100台以上の納入実績を上げた。また1990年代には、国内民間ユーザーから汚泥乾燥設備の引き合いがあったとき、国内での下水汚泥乾燥の実績を背景に、受注活動が助けられた。

今後は、特に付着性のある微粒子化成品への適用などの、新しい分野への展開が図られる装置である。

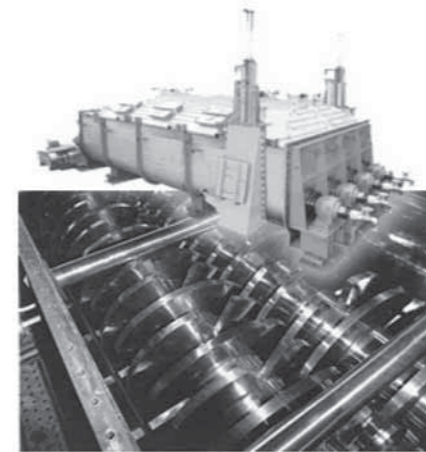


図3 インクラインドディスクドライヤ(IDD)
Fig.3 Inclined Disc Dryer

2.3 流動層乾燥機

流動層乾燥技術は、第二次世界大戦後に出現した乾燥法の一つで、日本国内では1950年代から研究者によって開発、実用化されている。当社でも1964年から副生硫安用に、1965年以降から現在に至るまで、肥料関係、化学品、樹脂、石炭等に、多数の納入実績を上げている。また、その後の実績を重ねるなかで、加熱エレメント内蔵型流動層とスプレー反応流動造粒の開発を行っている。

加熱エレメント内蔵型流動層は、流動状態になっている粉体層内にパネル構造型加熱エレメントを挿入して間接的に熱を与えるもので、流動用加熱ガスを削減することができ、その結果、流動層乾燥機本体ならびに付属機器をコンパクトにすることができる。当社のパネル構造型エレメントは、ポリプロピレン、ポリエチレン、ABS樹脂等に適用され、さらにはテレフタル酸用流動乾燥機として、世界初の適用例もある。(図4、図5)



図4 加熱パネル内蔵型流動層乾燥機
Fig.4 Fluid Bed Dryer with Heat Element

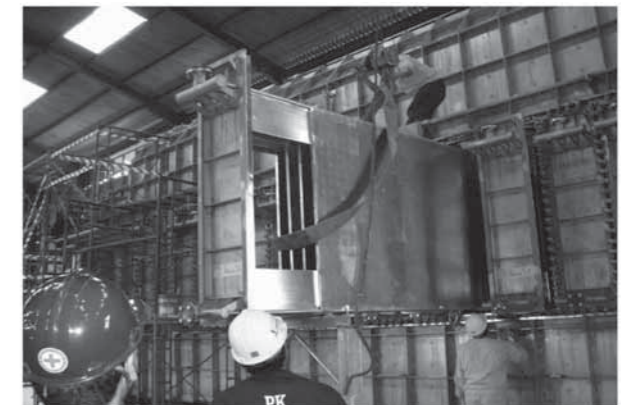


図5 パネル構造型エレメント
Fig.5 Plate Type Heat Element

スプレー反応流動造粒装置は、1960年代、高温に流動した珪砂に液体の苛性ソーダを噴霧して、ガラス原料であるメタ珪酸ソーダを製造する技術として開発したものである。その後、炭酸ガスと苛性カリを流動層内で反応させ、粒状の炭酸カリを製造する技術開発に成功して、国内各地に、さらには海外にもプラントが建設された。1990年代には、この流動造粒技術を応用して、コンパクト洗剤の原料基材に添加剤をコーティングする装置や、融雪剤、吸湿剤として使われる粒状塩化カルシウムの製造設備を納入している。(図6)

3. 乾燥技術の将来

さて、筆者が2022年3月まで代表幹事として所属していた日本粉体工業技術協会乾燥分科会では、乾燥技術の将来として、以下の4つのキーワードから紹介した。

- 省エネルギー

CO₂排出削減の観点からの省エネルギー乾燥プロセス、クリーンエネルギーを利用した乾燥技術の提案
- 環境・安全対策

洗浄性向上、クロスコンタミ対策、廃棄物の減容化・再資源化、クローズド化による無公害化プロセス
- プロセスの最適化

乾燥プロセスの上下流プロセスを含めた総合的観点からの最適化の検討
- 品質制御

サブミクロン・ナノ粒子、機能性材料、先端バイオ材料の乾燥における品質制御と、新機能の付与

いずれも、乾燥技術に携わるものにとっては注目していく必要があるが、特に各単位操作技術を保有している当社としては、乾燥装置の前段工程(ろ過分離工程)との取り合いを考えた「プロセスの最適化」と、微粒子、機能性材料の乾燥における「品質制御」が、各ユーザーに対しての当社への期待であり、強みであると感じている。

4. おわりに

筆者は、2015年から機器拡販推進室に3年間、2018年から営業部関西グループに2年間所属し、既設乾燥機に関する稼働状況、ユーザーの設備選定に関して、従来よりも、緊密に話を伺うことができた。そのなかで現場では、乾燥装置の適正な機種選定、正しい操作方法について悩まれていることを知り、単位操作としては成熟、確立されたものとはいえ、まだまだ改善の余地があり、技術提案が求められているものと実感している。

今後は、従来の装置では対応が難しい性状への適用も増えてくるものと想定される。これまでに蓄積された技術を基に、改めてお客様への提案を続けていきたいと考えている。

■参考文献

- 1) 桐栄良三編「乾燥装置」旧刊工業新聞社P9 (1966)
- 2) 諏訪聡「スチームチューブドライヤの適用と大型化の検討」当社技報 P26 No.3 (2005)
- 3) 「3-2 インクラインドディスクドライヤ」月島機械 百年の技術 P126 (2005)
- 4) 「3-3 流動層乾燥機」月島機械 百年の技術 P132 (2005)
- 5) 諏訪聡「特集：協会を支える分科会活動乾燥分科会」粉体技術 P268-268, Vol.14, No.4 (2022)

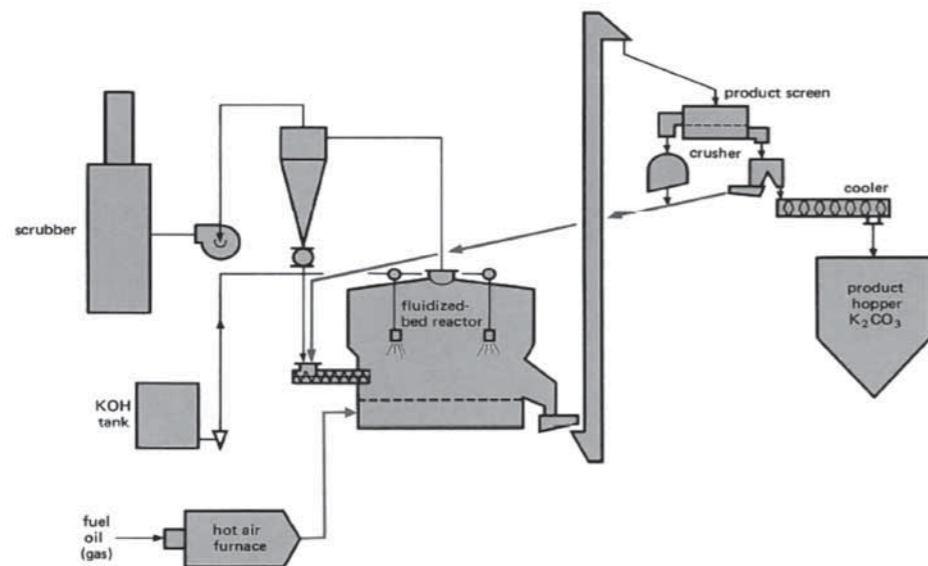


図6 スプレー反応流動造粒装置
Fig.6 Fluidized bed reactor for K₂CO₃

会社情報

会社概要
事業所
関連会社

会社概要

名称	月島機械株式会社 (Tsukishima Kikai Co.,Ltd.)
代表取締役社長	福沢 義之
創業	明治38年(1905年)8月

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
東京支社	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 TEL.03-5560-6541 FAX.03-5560-6593
大阪支社	〒541-0048 大阪市中央区瓦町3-6-5(銀泉備後町ビル) TEL.06-6229-1331 FAX.06-6229-1415
札幌支店	〒060-0807 札幌市北区北七条西4-1-2(KDX札幌ビル) TEL.011-726-0510 FAX.011-726-0520
仙台支店	〒980-0014 仙台市青葉区本町1-11-2(SK仙台ビル) TEL.022-227-9267 FAX.022-223-0316
横浜支店	〒231-0012 横浜市中区相生町3-56-1(KDX横浜関内ビル) TEL.045-651-7331 FAX.045-664-5086
名古屋支店	〒450-0003 名古屋市中村区名駅南1-17-29(広小路ESビル) TEL.052-581-2378 FAX.052-581-1624
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
広島営業所	〒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
沖縄営業所	〒901-2131 沖縄県浦添市牧港2-54-2(沖縄土木設計ビル) TEL.098-874-5793 FAX.098-874-6262
室蘭工場	〒051-0006 北海道室蘭市茶津町35-2 TEL.0143-57-1100/1101 FAX.0143-57-1102/1103

関連会社

月島テクノメンテサービ ス(株)	〒135-0031 東京都江東区佐賀1-3-7 (月島機械永代ビル) TEL.03-5245-7150 FAX.03-5245-7155
サンエコサーマル(株)	〒322-0017 栃木県鹿沼市下石川737-55 TEL.0289-72-0371 FAX.0289-72-0381
月島環境エンジニアリ ング(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 (月島機械(株)ビル内) TEL.03-6758-2310 FAX.03-6758-2324
月島マシンセール ス(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 (月島機械(株)ビル内) TEL.03-5560-6561 FAX.03-5560-6590
月島ビジネスサポ ート(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 (月島機械(株)ビル内) TEL.03-3533-4824 FAX.03-3536-0968
大同ケミカル エンジニアリ ング(株)	〒530-0053 大阪市北区末広町3-3 (大同パークサイドビル) TEL.06-6312-6621 FAX.06-6312-6626
三進工業(株)	〒210-0861 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) 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 名古屋市中村区名駅南1-17-29 (月島機械(株)名古屋支店内) お問い合わせ先: 月島機械(株) 水環境事業本部 PPP事業推進室 TEL.03-5560-6540 FAX.03-5560-6584

資本金	66億4680万円
従業員数	605名(グループ2,765名)(2022年3月末現在)
売上高	単体：410億円 連結：931億円(2022年3月期)

〈海外〉

ハノイ駐在員事務所
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

ジャカルタ駐在員事務所
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

ヨーロッパ駐在員事務所
Europe Representative Office
Tullastraße 64 76131, Karlsruhe, Germany
TEL. +49-721-9-64-56-785 FAX. +49-721-9-64-56-10

ムンバイ駐在員事務所
Mumbai Liaison Office
903A, Raj Horizon, Ramdev Park Road, Mira Road East,
Thane 401107, Maharashtra, India
TEL. +91-9967645572

(株)バイオコール京都鳥羽 〒601-8027 京都市南区東九条中御霊町49-1
(月島テクノメンテサービス(株)京都営業所内)
お問い合わせ先:
月島機械(株) 水環境事業部 PPP事業推進室
TEL.03-5560-6540 FAX.03-5560-6584

〈海外関連会社〉

TSKエンジニアリングタイランド(株)
TSK ENGINEERING (THAILAND) Co.,Ltd. ≪TET≫
14th Floor, Room No.1404, United Center Building,
323 Silom Road, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand
TEL. +66-2-231-1726 FAX. +66-2-231-1731

月島機械(北京)有限公司
TSK ENGINEERING CHINA Co.,Ltd. ≪TSKC≫
A1207,Vantone New World Plaza,No.2,
Fu Cheng Men Wai St.,Beijing,China
TEL. +86-10-8590-6595 FAX. +86-10-8590-6593

BOKELA GmbH
Tullastraße 64 76131, Karlsruhe, Germany
TEL. +49-721-9-64-56-0 FAX. +49-721-9-64-56-10

月島エンジニアリングマレーシア(株)
TSUKISHIMA ENGINEERING MALAYSIA Sdn. Bhd. ≪TEM≫
月島エンジニアリングシンガポール(株)
TSUKISHIMA ENGINEERING SINGAPORE Pte. Ltd. ≪TES≫
Suite16. 04-05, 16th Floor, Wisma MCA,
163 Jalan Ampang, 50450 Kuala Lumpur, Malaysia
TEL. +60-3-2162-8679 FAX. +60-3-2162-8377

TSKエンジニアリング台湾(株)
TSK ENGINEERING TAIWAN Co.,Ltd. ≪TETA≫
6th Floor, No.24, Minsheng West Road, Zhongshan District, Taipei City, Taiwan
R.O.C.
TEL. +886-2-2523-6975 FAX. +886-2-2521-1429



月島機械株式会社のホームページへの掲載のお知らせ

TSK技報は、ホームページからも閲覧できます。過去に発行しましたTSK技報もご覧いただけます。これにより、バックナンバーの技術情報が検索確認できるほか、いままでTSK技報冊子版をお届けできていなかったお客様にも広くご覧いただけるようになります。環境技術で世界に貢献するTSKグループの技術情報をぜひご利用ください。



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

編集後記

新型コロナ、ウクライナ有事に端を発する世界的な混乱は、原料価格の高騰などにも影響を及ぼし、私たち製造業にとっても先の見通せない不安感をもたらしました。そのような状況下でしたが、技報執筆者から送られてくる原稿に目を通すと、熱のこもった内容が記載されており、将来に向け技術開発に取り組む技術者たちの力強さを感じました。今回の技報では、論文、技術紹介に加え、研究紹介も掲載いたしました。これからも多くの方々に月島機械グループの技術情報をお届けできるよう努めて参ります。

山本 真一

TSK技報 NO.25 2022

発行日:2022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:山本 真一

副編集委員長:小林 俊樹

編集委員:新川 正人

本間 友基

長谷川 雄一

谷口 智彦

石井 究

荒井 健

鈴木 健治

新田 博文

菊池 尚仁

太田 なぎさ

倭 常郎

駒場 真由美

上田 厚志

河岸 正泰

越智 崇

竹森 進也

久保田 昌宏

内山 信江

2212550A