



目次	CONTENTS
1 <巻頭言> 地域循環共生圏の創出 ～地域課題を解決するキーパーソン	
2 富士市東部浄化センターにおける高濃度消化・ 省エネ型バイオガス精製による効率的エネルギー 利活用技術実証研究 (B-DASH プロジェクト)	Demonstration of Efficient Energy Utilization Technology using High-Solids Anaerobic Digestion and Energy-Saving Biogas Purification at the Tobu Wastewater Treatment Plant in Fuji City (B-DASH Project)
8 施設・技術紹介	
10 ごみクレーン全自動化への取組み ～ごみピット 3D 計測技術の開発～	Development Work for a Fully Automatic Refuse Crane —Three-Dimensional Measurement of Refuse Pit—
15 廃棄物処理施設におけるデータ活用と 相互支援体制の構築	Data Utilization and Networking for Safer, Stabler Factory Operations
20 攪拌式凍結乾燥機 RHEOFREED®による 乾燥工程の高効率化 ～棚式凍結乾燥機より優れた乾燥性能～	High Efficiency Drying Using the Mixer-Type RHEOFREED Freeze-Dryer —Drying Performance Superior to Shelf-Type Freeze Dryers—
26 施設・技術紹介	
28 TOPICS	
34 論文発表一覧	

《誤記訂正のお知らせ》

No.16 Vol.2 通巻32号 / p.2の最下行

誤：神鋼環境メンテナンス(株) 水処理本部 技術部 第三技術室

正：環境エンジニアリング事業本部 水環境技術本部 上下水道技術部 下水技術室

地域循環共生圏の創出～地域課題を解決するキーパーソン



北海道大学大学院工学研究院 環境工学部門
循環共生システム研究室

教授 石井 一 英
Kazuei Ishii

第五次環境基本計画（2018年4月17日閣議決定）では、持続可能な開発目標（SDGs）およびパリ協定などの国際的な潮流を踏まえて、「地域循環共生圏」の創出が提唱されている。思い返せば、21世紀環境立国戦略（2007年6月1日閣議決定：低炭素社会、循環型社会、自然共生社会の統合的達成）からはじまり、第二次循環型社会形成推進基本計画（2008年3月閣議決定）での地域循環圏、それから昨今の脱炭素やゼロカーボンシティ（実質排出量ゼロ）の表明など、環境政策は“環境を守る”から“環境を創る”時代に大きく様変わりしようとしている。

これまでは、廃棄物や汚水は適正処理することが重要であり、その効率化のための技術開発が行われ、自治体からの発注に応ずる形でハードとソフトの整備が進められてきた。そして、施設の立ち上げから試運転、そして本稼働、維持管理などを通して技術者の育成がなされ、今日の環境保全を中心とした技術基盤に至っている。

ところで、地域循環共生圏とは、どのようなものだろうか？環境省の言葉を借りると、「資源循環、自然共生、低炭素、ひいては脱炭素といった環境施策のあらゆる側面を統合し、地域活性化という共通の目標を目指す総合的な概念です。その創造の要諦は、地域資源を再認識するとともに、それを活用することです。」とある。すなわち、地域資源を活かし、多様なパートナーシップにより地域の環境のみならず、経済や社会的な問題まで同時に解決しようとするものである。これまでの画一的な技術導入にとらわれずに、地域資源を活かした環境を創ることがキーポイントとなる。

さて、地域循環共生圏を構築するにあたっては、まず地域の主な関係者の頑張りに期待するが、実はアイデアが足りない、あってもそれを実現する技術が分からないなど、物事を進めるのに不十分な場合が多い。トータルな視点で地域をコーディネートできる“技術の分かるキーパーソン”が必要であると常々思っている。しかしこのような人材は少ないので、最近〇〇アドバイザー、〇〇コンシェルジュなどの専門家の派遣事業が多くなってきている。しかしこれも上手くいっているとは思えない。つまり、強い問題意識と複雑な問題を解決しようとする強い姿勢がその地域になれば、前に進まないのである。そこで私の思いは、「廃棄物処理施設や下水処理施設の運転や維持管理といった立場で活躍してきた技術者が、各地域の技術の分かるキーパーソンの1人になって地域循環共生圏創出に貢献して欲しい」ということである。地域循環共生圏を創るキーパーソンとして、地域の課題解決のためにひと肌脱いで、将来を見据えた良いハードとソフトの導入に貢献して欲しい。それだけの人材がプラントメーカーには存在するはずである。

富士市東部浄化センターにおける高濃度消化・省エネ型 バイオガス精製による効率的エネルギー利活用技術実証研究 (B-DASH プロジェクト)

Demonstration of Efficient Energy Utilization Technology using High-Solids
Anaerobic Digestion and Energy-Saving Biogas Purification at the Tobu
Wastewater Treatment Plant in Fuji City (B-DASH Project)



小野田草介*
Sosuke Onoda
博士 (工学)



佐藤朋弘*
Tomohiro Sato



渡邊航介*
Kosuke Watanabe



宮本博司**
Hiroshi Miyamoto

B-DASH プロジェクト (Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project) とは、国土交通省が実施する下水道革新的技術実証事業で、下水道事業における大幅なコスト縮減や省エネルギー・創エネルギー効果を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するものである¹⁾。

当社、日本下水道事業団および富士市からなる共同研究体は、平成30年度 B-DASH プロジェクトに採択され、平成30年度～令和元年度の2カ年にわたり国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究として、高濃度消化および省エネ型バイオガス精製に関する革新的技術の実証を行い、目標値を満足する結果が得られた^{2, 3)}。

The B-DASH Project is a MLIT program created specifically to promote research into innovative wastewater technologies. Its objectives are to significantly reduce costs and create energy-saving and energy-generating effects in wastewater service, and support Japanese enterprises in their efforts to expand the water business overseas. Joint research into high-solids anaerobic digestion and energy-saving biogas purification conducted by Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd., the Japan Sewage Works Agency, and Fuji City was selected for the B-DASH Project in 2018, which led to two years of corroborative testing (2018-2019) under NILIM contract and yielded good results.

Key Words :

嫌 気 性 消 化	Anaerobic digestion
メ タ ン 発 酵	Methane fermentation
バ イ オ ガ ス	Biogas
精 製	Purification
水 素	Hydrogen

【セールスポイント】

- ・投入汚泥を高濃度に濃縮することで消化槽の容量を大幅に削減可能
- ・シンプルな機器構成で不純物を一括除去できるバイオガス精製技術
- ・燃料電池自動車の初期需要を考慮した小規模設備とすることで、維持管理費の低減が可能な水素製造・供給設備
- ・余剰水素の有効利用を可能にする高濃度メタン生成技術

まえがき

第4次社会資本整備重点計画において、下水汚泥エネルギー化率は、2020年度に約30%とする目標が設定されているが、2018年度末時点で約23%にとどまっている⁴⁾。代表的なエネルギー化技術である消化技術は、導入にあたって大容量の槽を建設する必要があるため初期投資（建設費）が大きい。また、バイオガス利活用技術のひとつとして、これまでに研究実績のある水素製造・供給技術は、機器点数の多さから維持管理が煩雑化するほか、有資格者の選任や法定点検が必要であり、維持管理費の負担が重い。そのため、人員・財政に余裕がない中小規模自治体が有する処理場での採用が進んでいない。

以上の背景を踏まえ、本研究は、槽容量の大幅削減によって初期投資の削減が可能な高濃度消化技術、および従来技術よりシンプルな機器構成とすること等により維持管理を容易にした省エネ型バイオガス精製技術を実証し、国内下水処理場での汚泥消化・バイオガス利活用設備の普及を促進し、下水汚泥のエネルギー利用促進に貢献することを目的として実施した。

1. 実証フィールドの概要

実証施設設置場所：富士市東部浄化センター
 (静岡県富士市富士岡南260番地-1)

規模：日最大55 800 m³/d
 (処理人口約100千人)

排除方式：分流式

処理方式：

[水処理] 標準活性汚泥法

[汚泥処理] 濃縮→脱水→外部処分
 (焼却・再生利用)

2. 革新的技術の概要

2.1 構成

革新的技術の構成を図1、実証施設全景を写真1に示す。高濃度消化技術（高濃度濃縮装置、高濃度消化槽）、省エネ型バイオガス精製技術（バイオガ



写真1 実証施設全景

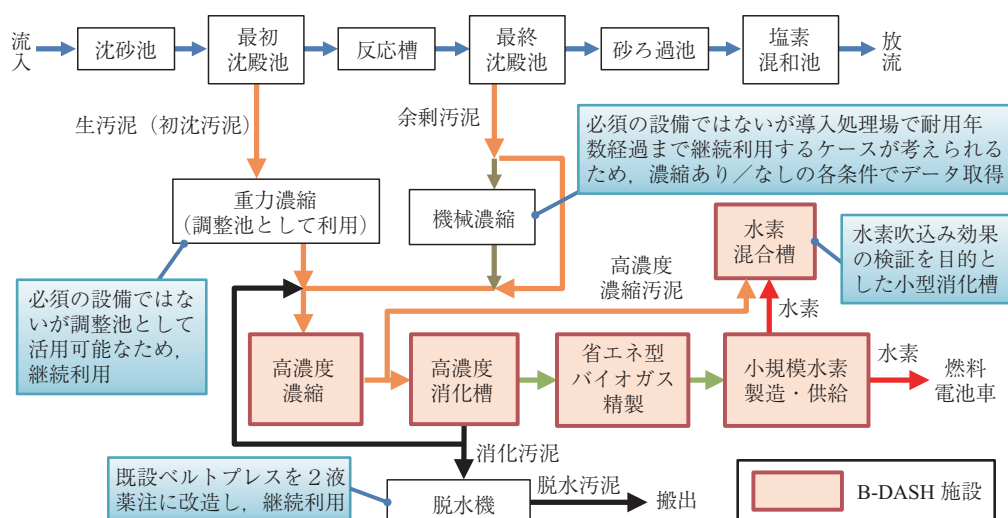


図1 革新的技術の構成

表1 設備の主仕様

設備名	容量・能力	主仕様
1) 高濃度濃縮設備 2) 高濃度消化設備 3) バイオガス精製設備 4) 水素製造・供給設備 5) 高濃度メタン生成設備 (水素混合槽)	350 kg-DS/h × 2 基 有効容積 1 000 m ³ バイオガス処理量 100 m ³ N/h 圧縮機能力 29.75 m ³ N/d 有効容積 3.9 m ³	スクリー式 銅板製, インペラ式攪拌機 高圧水吸収法 水蒸気改質, 充填圧力: 35 MPa 水素吹込み用消化槽

ス精製装置, 中圧ガスホルダ), 小規模水素製造・供給技術 (水素製造装置, 水素供給装置), 高濃度メタン生成技術により構成されている。

2.2 特徴

各設備の主な仕様を表1に示す。設備の処理汚泥量は日最大5.3 t-DS/dであり, これは実証処理場における発生汚泥を全量処理可能な規模である。

2.2.1 高濃度消化技術

高濃度化と消化日数の短縮により, 消化槽容量を従来の約1/3に削減できる技術である。消化汚泥を返送し原料汚泥と混合して濃縮することにより, アンモニア性窒素 (NH₄-N) を濃縮分離液に溶解させ, 消化阻害が生じないレベルに調整できるため, 従来と同等の消化性能, 脱水性を維持することができる。

2.2.2 省エネ型バイオガス精製技術

不純物の成分ごとに除去装置を設けることなくシンプルな機器構成で効率的に不純物を一括除去できる高圧水吸収法を原理とした技術である。従来よりも運転圧力を低下させるとともに, 除湿器での吸着能力を向上させることで, 水素製造装置で求められるメタン濃度, ならびに, シロキサンおよび硫化水素の除去性能を維持しつつ, 消費電力を低減することができる。

2.2.3 小規模水素製造・供給技術

燃料電池自動車の初期需要を考慮した小規模設備とすることで, 有資格者の確保および法定点検が不要となり, 従来より少ない負担で水素製造・供給設備の導入を可能とする技術である。

2.2.4 高濃度メタン生成技術

余剰水素を有効活用するため消化槽に返送し, メタンを再生成する技術である。消化槽に水素を吹き込むと, 消化槽内に存在する水素資化性メタン生成菌の働きにより, 消化槽内 CO₂ からメタンが生成され, バイオガス中のメタン濃度を上昇させることができる (図2)。

本実証においては, 短期間の委託研究期間内に高濃度消化技術の検証と並行して実証を行うため, 水素吹込み用の消化槽 (水素混合槽) を併設した。

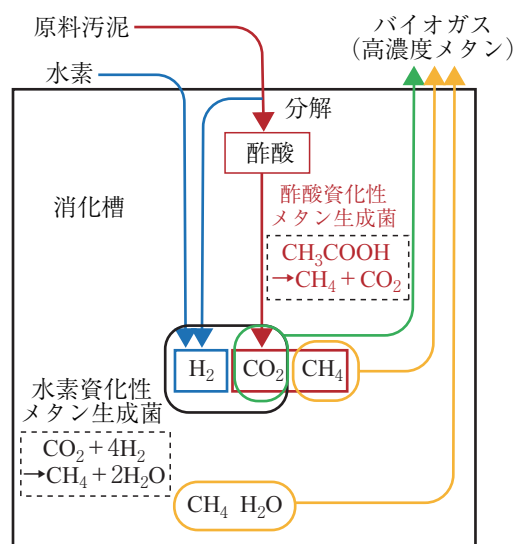


図2 消化槽への水素吹込みによるメタン生成反応

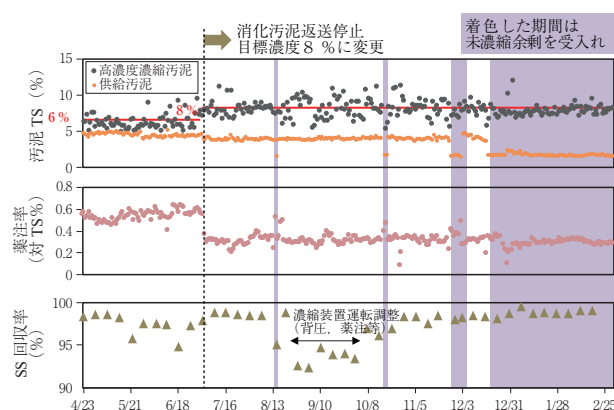


図3 高濃度濃縮装置での汚泥 TS, 薬注率, SS 回収率 (定格時)

3. 実証試験結果

3.1 高濃度消化技術

3.1.1 高濃度濃縮の安定性

2019年4月より定格負荷での濃縮運転を開始し, 初沈汚泥, 余剰汚泥, 返送消化汚泥の混合汚泥を TS (Total Solids; 全蒸発残留物濃度) = 6 % 以上 (原料汚泥 TS = 8 % 相当) に濃縮可能であることを確認した (図3)。消化槽内の NH₄-N が管理値以下であったため, 7/3より消化汚泥の返送を停止し,

目標濃度を8%としたが問題なく濃縮することができた。薬注率は、返送消化汚泥の混合割合により0.3~0.6%対TS程度、SS回収率は概ね95%以上を維持した。余剰汚泥については、既設機械濃縮による濃縮汚泥を受入れた条件と、革新的技術の基本フローに合わせ未濃縮汚泥(TS=0.8~1.0%)を受入れた条件(図3の着色期間)の両方で運転を行い、いずれも濃縮可能であることを確認した。

3.1.2 高濃度消化の安定性

消化槽投入TS量は、ほぼ全期間にわたり設計の日最大値を上回り、とくに5~6月および11月以降に高い状況となった(図4)。これは実証開始後、重力濃縮槽からの汚泥引抜を速やかに行うよう運用変更した結果、重力濃縮槽における回収率が上昇し、汚泥量が増加したためである。消化汚泥TSは5~6月は5%前後まで上昇した(図5)。これは投入負荷が高い状況で、既設脱水機を消化汚泥対応とするための運転調整の期間中、消化汚泥引抜量を

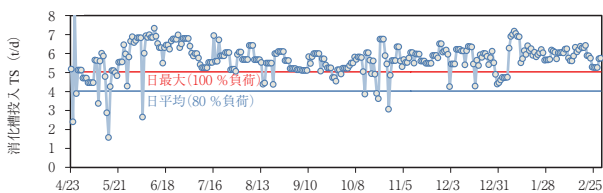


図4 消化槽投入TS量(定格時)

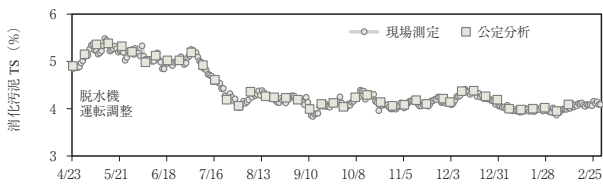


図5 消化汚泥TS(定格時)

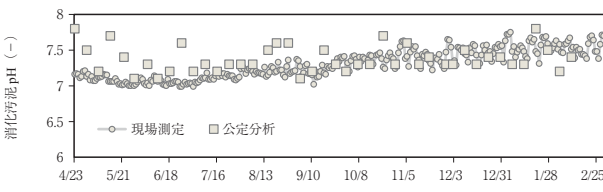


図6 消化汚泥pH(定格時)

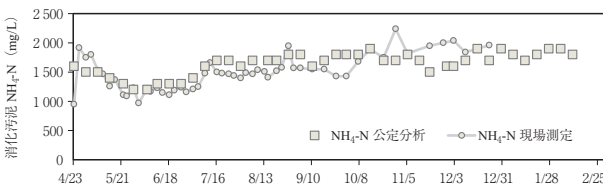


図7 消化汚泥NH₄-N(定格時)

減じたためである。7月以降は4%前半で安定した。

図6, 7に、定格時の消化汚泥pH, NH₄-Nを示す。pHは7~8を維持した。NH₄-Nは消化汚泥を返送している期間は1500 mg/L以下で、管理値を大きく下回ったため、7/3以降消化汚泥の返送を停止し、その後は1500~2000 mg/Lで推移した。

図8にバイオガス量の推移を示す。定格負荷となつてから滞留時間の3倍が経過した7月以降は2400 m³N/d程度まで上昇し、設計日最大負荷である4.4 kg/m³d以下のVS(Volatile Solids; 強熱減量。主に有機物を示す。)負荷においては、投入VS当りバイオガス量は目標値である500 m³N/t-VS以上を満足した。

3.2 省エネ型バイオガス精製技術

図9にバイオガス処理量当りの電力原単位(バイオガス精製装置に供給したバイオガス量当りの消費電力量)を示す。電力原単位はバイオガス量が少ないほど上昇する傾向があり、バイオガス量2400 m³N/d(100 m³N/h)における四季平均の電力原単位は0.43 kWh/m³N-バイオガスであった。一方、同じく高圧水吸収法を原理とし平成23年度B-DASHで実証された大規模処理場向け精製技術では、電力原単位はバイオガス量2400 m³N/d(100 m³N/h)において0.6~0.7 kWh/m³N-バイオガス程度である⁵⁾。したがって、今回実証した精製技術は約30%の電力低減が可能であることが示された。

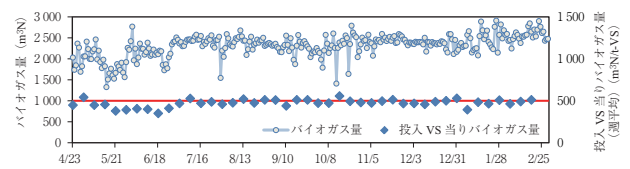


図8 バイオガス量, 投入VS当りバイオガス量(定格時)

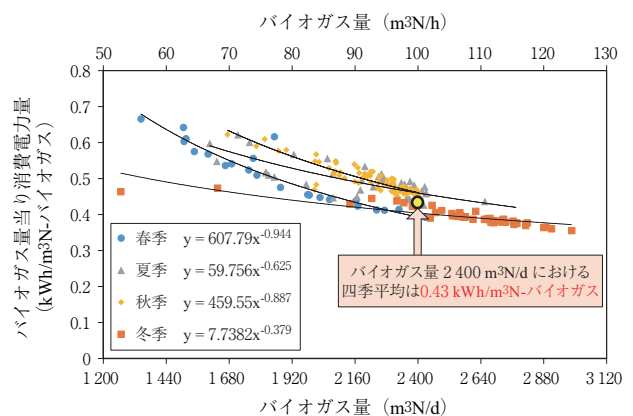


図9 省エネ型バイオガス精製装置の消費電力原単位

表2 バイオガス組成

		2019/8/27		2020/1/31	
消化槽		高濃度消化槽 1 000 m ³	水素混合槽 3.9 m ³	高濃度消化槽 1 000 m ³	水素混合槽 3.9 m ³
吹込み条件		水素吹込みなし	昼間のみ 1.6 NL/min 吹込	水素吹込みなし	常時 2.0 NL/min 吹込
CH ₄	%	56	59	56	51
CO ₂		41	35	40	27
N ₂		0.5	2.2	2.6	1.6
O ₂		<0.1	0.6	0.8	0.6
H ₂		<0.05	2.5	<0.05	21
メタン濃度 (CH ₄ + CO ₂ を100%とする)		58	63	58	65

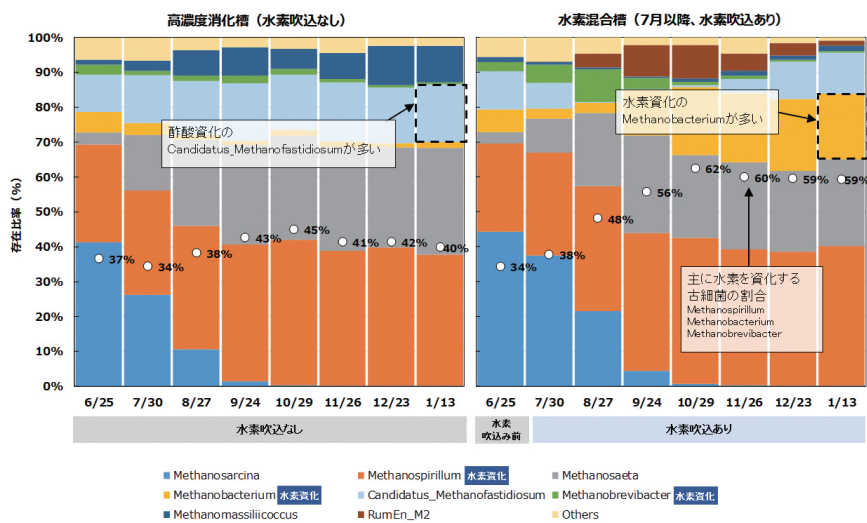


図10 高濃度消化槽および水素混合槽における古細菌存在比率

なお、精製バイオガス中の不純物濃度（硫化水素濃度、シロキサン濃度）については、四季を通じて目標値（硫化水素濃度：0.1 ppm 以下、シロキサン濃度：1 mg/m³N 以下）を満足した。

3.3 小規模水素製造・供給技術

精製ガスを原料として製造した水素ガスの品質（純度および不純物濃度）は、四季を通じて燃料電池車燃料品質規格（ISO14 687-2）を満足した。

また、製造した水素ガスは水素供給装置を用いて実際に市販の燃料電池自動車に充填し、燃料として活用した。

3.4 高濃度メタン生成技術

3.4.1 水素吹込みによるメタン濃度上昇

5/23に水素混合槽（有効容積5 m³／発酵容積3.9 m³）に種汚泥として高濃度消化槽の消化汚泥を投入し、高濃度濃縮汚泥の投入を開始した。さらに7/14より水素混合槽への水素吹込みを開始した。12

月までは昼間のみ1.6 NL/min、2020年1月より常時2 NL/min 吹込んだ（それぞれ0.4、0.5 NL/min/m³-発酵容積）。この吹込み量は、事前に実施したラボ試験にて求めた、メタン濃度を5ポイント上昇させるための吹込み量に基づき設定した。

表2に高濃度消化槽と水素混合槽のバイオガス組成をガスクロマトグラフにて分析した結果を示す。水素混合槽におけるメタンと二酸化炭素の合計に対するメタンの割合が、水素を吹込んでいない高濃度消化槽に対して5～7ポイント程度上昇していることが確認された。

3.4.2 微生物叢解析

水素吹込みによる微生物叢の変化を確認するため、次世代シーケンス解析（NGS 解析）による高濃度消化槽および水素混合槽の消化汚泥中の古細菌の微生物叢解析を行った。図10に古細菌の存在比率を示す。水素混合槽への水素吹込みを開始した7

月以降、両槽の微生物叢に違いが認められた。水素混合槽では *Methanobacterium* 等の水素資化性古細菌の存在比率が高く、高濃度消化槽では *Candidatus_Methanofastidisum* 等の酢酸資化性古細菌の存在比率が高いことがわかった。本結果から、水素吹込みによるメタン濃度の上昇が、水素資化性古細菌の増加による可能性が示唆された。

む す び

高濃度消化技術、省エネ型バイオガス精製技術、小規模水素製造・供給技術、高濃度メタン生成技術により構成される革新的技術の実証試験を行い、以下の結果を得た。

- ・原料汚泥 TS 濃度 8 % の高濃度消化において、設計日最大負荷である $4.4 \text{ kg/m}^3/\text{d}$ 以下の VS 負荷においては、投入 VS 当りのバイオガス発生量 $500 \text{ m}^3\text{N/t-VS}$ 以上を満足することができた。
- ・省エネ型バイオガス精製技術において、大規模処理場向け従来技術に比べ電力原単位を約 30 % 削減することができた。
- ・精製ガスを原料とした小規模水素製造において、燃料電池自動車燃料品質規格を満足する水素ガスが得られた。

・余剰水素ガスの有効利用として実施した高濃度メタン生成技術では、小型の消化槽内に水素を吹込むことによりバイオガス中のメタン濃度が 5～7 ポイント程度上昇することが確認された。

なお、本成果は、当社、日本下水道事業団および富士市からなる共同研究体が受託した平成30年度・令和元年度国土技術政策総合研究所委託研究「高濃度消化・省エネ型バイオガス精製による効率的エネルギー利活用技術実証研究」によるものである。

[参考文献]

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部 水 処 理 研 究 室：<http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/bdash.htm>
- 2) 小倉ら：高濃度消化・省エネ型バイオガス精製による効率的エネルギー利活用技術実証研究，第56回下水道研究発表会講演集（2019）
- 3) 小倉ら：高濃度消化・省エネ型バイオガス精製による効率的エネルギー利活用技術実証結果，第57回下水道研究発表会講演集（2020）
- 4) 国土交通省：都道府県別下水汚泥エネルギー化率（平成30年度末），<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/seweraage/content/001320628.pdf>
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所：B-DASH プロジェクト No.2 バイオガスを活用した効果的な再生可能エネルギー生産システム導入ガイドライン（案）（2013），p.135

生物診断（遺伝子解析技術による微生物の定量および群集解析）

生物学的排水処理においては、汚泥（MLSS）濃度などの管理が行われています。これに加え、実際に処理に参与している微生物の種類や量をモニタリングすることで、より高度な維持管理を行うことができる場合があります。

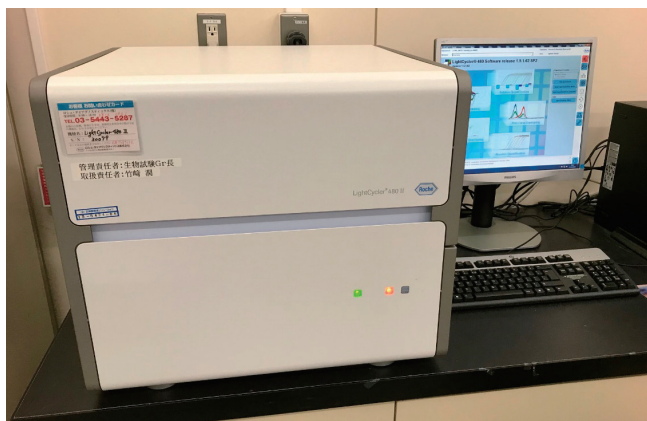
もともと、活性汚泥などの環境試料の中に存在する微生物の検出は培養法で行われてきました。しかし、環境中の微生物のうち、通常の培養法で検出できる微生物はごく一部であり、ほとんどは培養が非常に困難であることが明らかになっています。

当社では、生物学的排水処理の維持管理に有用な情報となる汚泥中の微生物の種類や量を解析するため、培養を伴わない遺伝子解析技術を利用した生物診断を実施しています。ここでは、実施頻度の高い「定量解析」と、最近開始した「網羅的微生物群集解析」についてご紹介します。

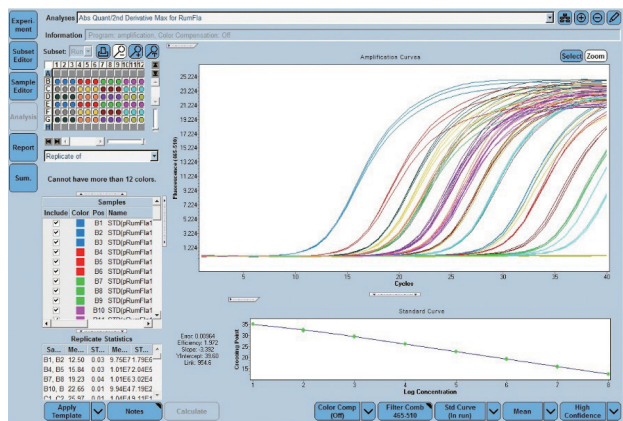
1. 特定微生物の定量解析

新型コロナウイルス検査でも採用されているリアルタイム PCR 法により、着目している微生物がどれくらい存在するかを高精度・高感度に測定します。PCR（Polymerase Chain Reaction）法とは、特定の遺伝子の断片を増幅し、目的物の検出・調査に十分な量まで増やす技術です。

例えば、新型コロナウイルス感染者の陽性確認では唾液などから、下水中のウイルス検査では下水流入水から、当社の生物診断では汚泥などから、それぞれの試料に適した方法で DNA（デオキシリボ核酸：生物の遺伝情報が書込まれた生体高分子）や RNA（リボ核酸：同上）を抽出し、リアルタイム PCR 法でウイルスや微生物を定量します。関西熱化学株式会社など、排水処理設備をお持ちのお客様から定期的に数種類の微生物の定量解析を当社にご依頼頂き、維持管理の指標として活用頂いている実績があります。検出事例がある微生物として、工場排水・下水処理分野ではアンモニア酸化細菌・亜硝酸酸化細菌・硝酸還元細菌などの硝化脱窒に参与する細菌、メタン発酵分野ではメタン生成古細菌、上水処理分野では鉄・マンガン酸化細菌などがあります。



リアルタイム PCR 装置
(Roche 社製 LightCycler® 480 system II)



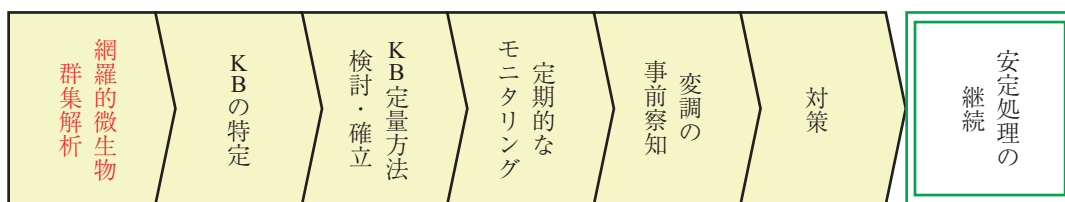
リアルタイム PCR 装置
解析結果表示画面の例

2. 網羅的微生物群集解析

次世代シーケンス解析という手法により、試料から抽出した微生物群の DNA 塩基配列を網羅的に解析し、試料中に存在する微生物の構成と存在比率（どんな微生物が、どんな比率で存在するのか）を推定します。

この解析で使用する次世代シーケンサーでは、1回の解析で従来の DNA シーケンサー（96 well タイプ）に比べて最大約20,000倍の数の DNA 塩基配列データが得られるため、試料中に存在するほぼ全ての微生物の網羅的な検出が可能です。活用方法の例として、排水処理の状況が良い時と悪い時にそれぞれ数回ずつ網羅的微生物群集解析を実施し、処理水質との関連性を統計解析によって明らかにし、処理性能を左右する微生物（キーバクテリア；KB）を特定する、という方法が挙げられます。さらに、KBを特定した後は、リアルタイム PCR 法でKBを定期的に定量解析して排水処理の安定化の指標にする、という利用も考えられます。

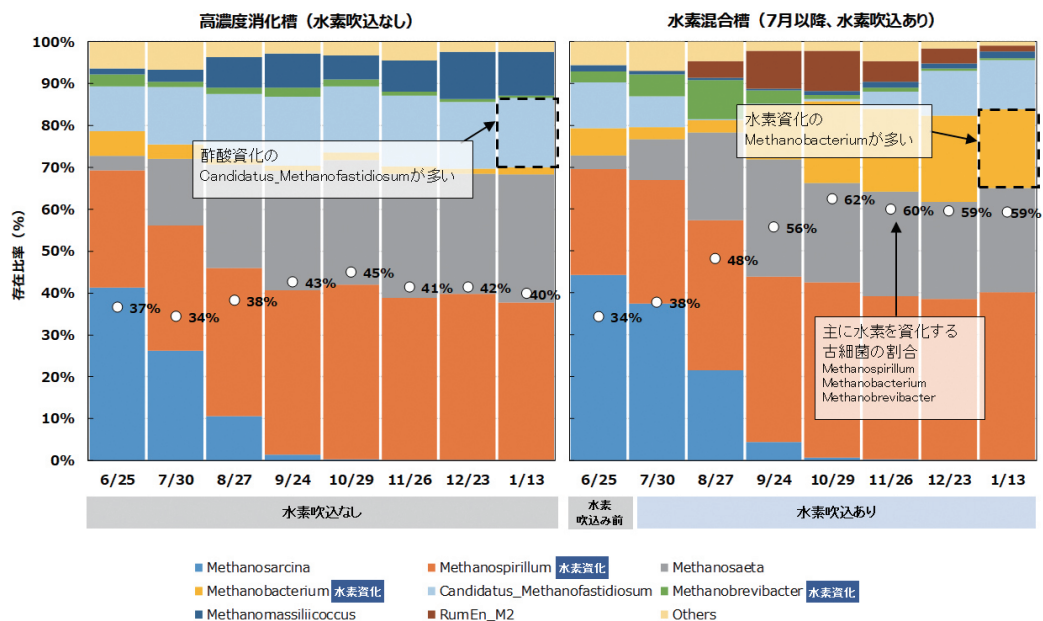
なお、網羅的微生物群集解析を実施する場合は、試験方法や試料採取方法に注意点がありますので、事前に（できれば試験計画等の立案前に）ご相談下さい。



網羅的微生物群集解析の活用例

【網羅的微生物群集解析の実施例】

富士市東部浄化センターで実施した B-DASH プロジェクトにおけるメタン生成古細菌の解析結果



高濃度消化槽および水素混合槽における古細菌の存在比率

高濃度消化槽と水素混合槽から定期的に消化汚泥をサンプリングし、微生物全体の DNA を抽出した後、メタン生成古細菌を対象に解析を行いました。その結果、水素吹込みを開始した7月以降で両槽の微生物群集に違いが現れ、水素を吹込んだ水素混合槽では水素吹込み無しの高濃度消化槽よりも水素資化性メタン生成古細菌の存在比率が高くなっていったことが分かりました。

ごみクレーン全自動化への取組み ～ごみピット3D計測技術の開発～

Development Work for a Fully Automatic Refuse Crane —Three-Dimensional Measurement of Refuse Pit—



眞野文宏*
Fumihiko Mano



上村祥平**
Shohei Uemura



渡邊 圭*
Kei Watanabe



伊藤 正***
Tadashi Ito



江口 徹****
Toru Eguchi
博士 (工学)

将来的な労働人口減少リスクに対するごみ焼却施設の運転省力化・自動化の一方策として、当社では「ごみクレーン全自動化」を推進している。その要素技術の一つとして、ごみピット内に貯留しているごみ高さ情報を、複数の測距センサを用いてリアルタイムかつ高精度に計測する技術を開発した。測距センサには、レーザ方式と両眼ステレオ方式の異なる方式の組み合わせ手法を採用した。クレーンバケットやごみ山の影など計測の死角領域には独自の補正処理を行い、ごみピット全面を安定して計測できることを確認した。

We are trying to realize a “Fully Automatic Refuse Crane (FARC)” for incineration plants as a labor-saving solution to likely future decreases in the working population. As an elemental technology, we have developed a way to accurately measure the height of waste in the refuse pit in real-time using several range sensors. The range sensors combine laser and binocular stereo principles into an original detection system. The system is additionally equipped with original corrective processing for dead-angle areas behind the crane bucket and piled waste, thus it is proven to assuredly measure the whole surface of the waste in the pit.

Key Words :

ごみ焼却施設	Incineration Plant
ごみクレーン	Refuse Crane
自動運転	Automatic Operation
3D計測	Three-dimensional Measurement

【セールスポイント】

- ・運転員の熟練度合によるごみ攪拌操作の格差がなくなり、安定操業が図れる。
- ・省人化によるLCC低減が図れる。

まえがき

少子高齢化に伴う労働人口の減少、地方財源の縮小などの社会環境の変化を背景に、近年ごみ焼却をはじめとする施設においてDBO（Design, Build and Operation）による長期包括案件が増加している。また一昨年環境省からは「持続可能な適正処理の確保

に向けたごみ処理の広域化およびごみ処理施設の集約化について」の通知が発表され、今後も広域化・集約化が進められる中で受注競争が激化していくことが予測される。これらを背景に、廃棄物処理事業においてはさらなる運営の効率化が課題となっている。

具体的には、労働人口の減少において、熟練運転員の確保が困難となっており、省力化・自動化が求められている。また長期包括案件の増加では、さらなるLCC（Life Cycle Cost）低減が求められている。これらを解決する手段として、近年IoT/AI技術を活用した自動化による省力化への取組みが活発になっている。

ごみ焼却施設の操業には、各所で人手の関わる作業があるが、その1つに安定燃焼に影響するごみピットでの攪拌や積替え、給じん装置への投入等のクレーンワークがあり、従来よりこれらは熟練運転員の操作に依存している。ごみクレーンの自動運転機能には、クレーンメーカーが提供する機能もあるが、量や性状が変動する家庭ごみを対象とするごみクレーンでは、しばしば使用できない状況が発生する。例えば、ごみ搬入の多い時間帯では最適なごみ攪拌状態が維持できない状況が発生するため、クレーン運転員を確保しなければならない状況にある。

この課題に対し当社では、(株)神戸製鋼所と共同でごみクレーンの完全自動化を目指し、2018年より技術開発に着手した。本報では開発中のごみクレーン全自動運転システムの概要および、その要素技術の一つであるごみピット3D計測技術の詳細について述べる。

1. ごみクレーン全自動運転システムの概要

当社の目指すごみクレーン全自動化システムの全体像は図1に示すとおりである。熟練運転員の操作技術と同システム上で再現するために、「認識」、「判断」、「操作」の観点で機能要件を整理した。

(1) 認識機能

運転員の視覚情報から把握されるごみの堆積状況や攪拌状況を認識する機能であり、これには図1①のごみピット3D計測機能や画像認識技術による②のごみ種識別機能を活用する。

(2) 判断機能

認識機能で得たごみ情報などからその時点で最適な操作（攪拌／積替／投入）を選択し、バケット移動先の目標地点を決定する（③クレーン動作計画機能）。

(3) 操作機能

動作計画機能が決定した目標地点へ向けて、現状のマニュアル運転と同水準の高速かつ正確なバケット動作を実現する（④高速化制御機能）。

現在、早期技術確立を目標に上記の各機能の開発を並行して進めているが、本稿では認識機能の一つを構成するごみピット3D計測技術について、次節以降で詳しく紹介する。

2. ごみピット3D計測技術

従来のごみ高さ計測は、ごみ積替えや攪拌作業時にクレーンバケットがごみ面に到達する時の高さ情報で都度更新することで表現していたが、ごみ搬入や積替え作業などの外乱により多くの領域ではリアルタイムにごみ高さを正確に把握できていなかった。また測距センサを用いる計測では、クレーンバケットやごみ山の影となる死角領域の精度が課題であったが、今回これらを解決する独自技術（ごみピット3D計測技術¹⁾）を開発した。

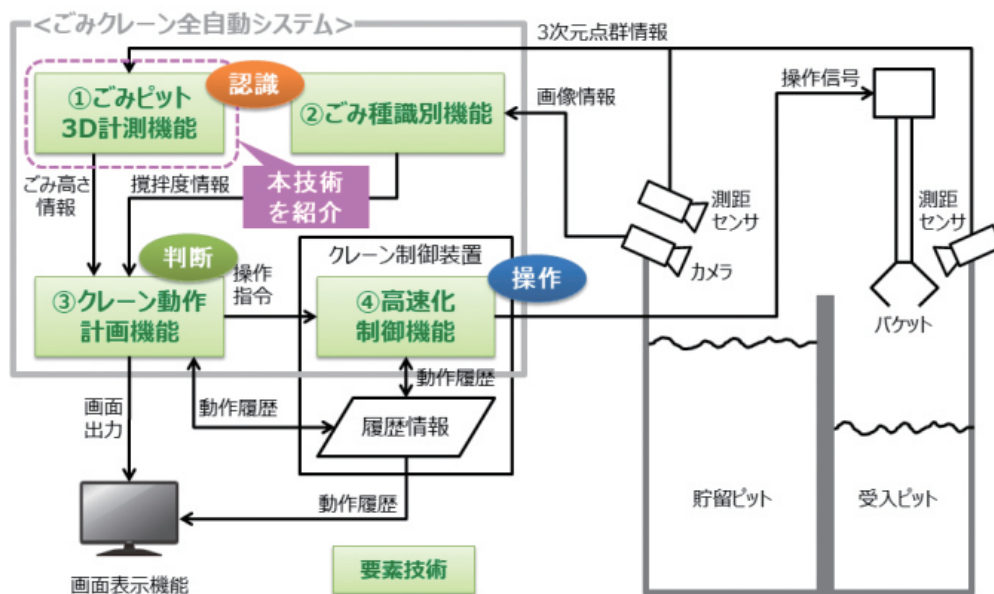


図1 ごみクレーン全自動化の全体像

2.1 ごみピット3D計測の機器構成

ごみピット3D計測を達成するための機器構成の模式図を図2に示す。開発技術ではごみピットの壁面上に測距センサを設置して3D計測を行うが、測距センサ1台では、クレーンがごみ面よりも手前に存在する場合、それが障害物となり正確なごみ高さを取得できない可能性がある。そこで本技術では測距センサを2台使用し、互いを対向させて設置する構成とした。これにより死角なくごみピット全面のごみ高さを計測できる効果が期待される。

測距センサの測定方式(図3)は、1台がレーザー方式、1台が両眼ステレオ方式である。レーザー方式の測距センサは、2D計測が可能な測量センサと回転ステージを組合わせたものである。また両眼ステレオ方式の測距センサは、市販の産業用カメラ2台を組合わせることによるステレオカメラを採用した。

2.2 ステレオカメラのキャリブレーション

ステレオカメラのキャリブレーションでは、チェ

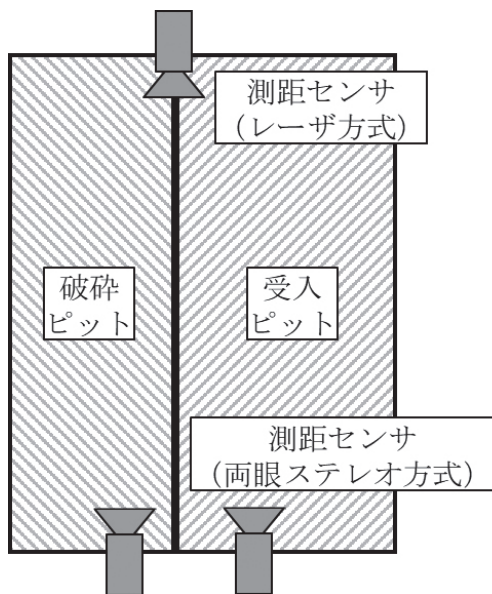


図2 ごみピット3D計測の機器構成模式図
(受入・破砕2段ピット方式の平面図)



図3 測距センサ(左:レーザー方式, 右:両眼ステレオ方式)

ッカーボードを用いる手法が一般的であるが²⁾、ごみ高さの計測ではチェッカーボードをピット内に持込むのは困難である。本技術では、ピット壁面上の目盛を使った独自のキャリブレーション手法を構築した。以下に詳細を記す。

2.2.1 3D座標系に存在する物体をカメラで撮影したときの画像座標値

図4は全体座標系 $\Sigma 0$ とステレオカメラ上で定義されるカメラ座標系 $\Sigma 0'$ 、およびその位置関係を示したものである。

$\Sigma 0$ と $\Sigma 0'$ の原点は、 $\Sigma 0$ で x 方向に L_x 、 y 方向に L_y 、 z 方向に L_z だけ離れている。 $\Sigma 0$ での座標 (x_0, y_0, z_0) に存在する物体について、 $\Sigma 0'$ での座標 (x'_0, y'_0, z'_0) は、ステレオカメラの設置角度を $\Sigma 0$ の x 軸まわりに θ と定義すると、式(1)で表される。

$$\begin{bmatrix} x'_0 \\ y'_0 \\ z'_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L_x \\ L_y \\ L_z \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 (1)}$$

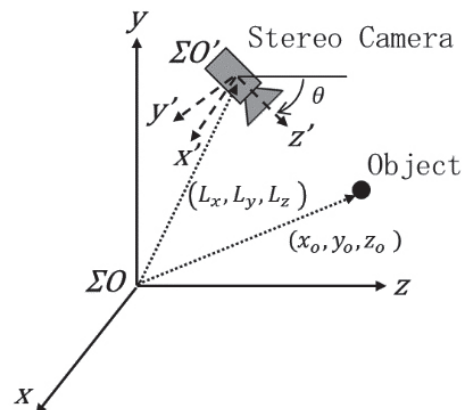


図4 全体座標系 $\Sigma 0$ とカメラ座標系 $\Sigma 0'$

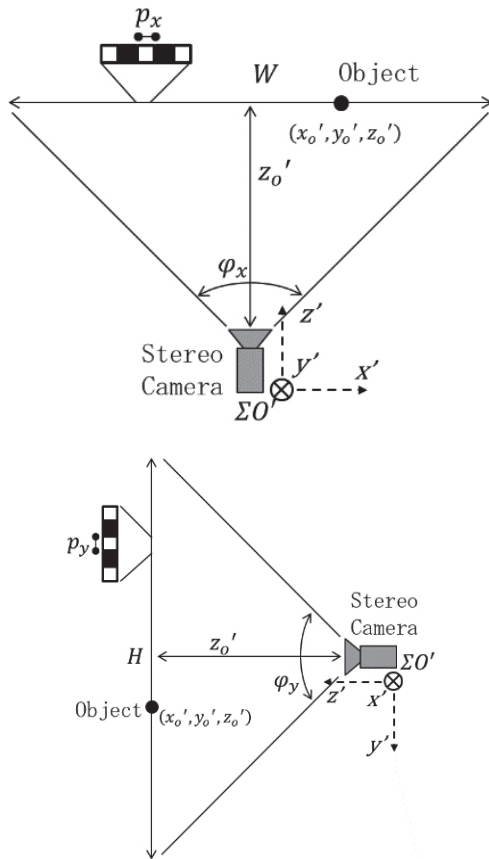


図5 $\Sigma 0$ における物体位置とカメラ視野角・画素数の関係（上段：水平方向，下段：鉛直方向）

また図5は、 $\Sigma 0'$ における物体の3D位置と、カメラ視野角・画素数の関係を表した模式図である。

水平方向のカメラ視野角・画素数をそれぞれ φ_x, W 鉛直方向のカメラ視野角・画素数をそれぞれ φ_y, H と定義すると、撮影画像の水平方向の1ピクセルに相当する長さ p_x と鉛直方向の1ピクセルに相当する長さ p_y は、それぞれ式(2)、(3)で表される。

$$p_x = \frac{z_o' \times \tan(\varphi_x/2)}{W/2} \quad \dots \text{式 (2)}$$

$$p_y = \frac{z_o' \times \tan(\varphi_y/2)}{H/2} \quad \dots \text{式 (3)}$$

さらに、撮影された物体の理論画像座標値(X_0^{th}, Y_0^{th})は、それぞれ式(4)、(5)で表される。

$$X_0^{th} = \frac{x_o'}{p_x} + \frac{W}{2} \quad \dots \text{式 (4)}$$

$$Y_0^{th} = \frac{y_o'}{p_y} + \frac{H}{2} \quad \dots \text{式 (5)}$$

2.2.2 ピット内に堆積したごみ位置の3D座標演算アルゴリズム

ごみピット3D計測では、まずピット壁面上の複数の目盛について、実際に撮影された画像の座標値(X^{re}, Y^{re})と、式(1)～式(5)を元に演算された理論画像座標値(X^{th}, Y^{th})を算出する。実画像座標値(X^{re}, Y^{re})と理論画像座標値(X^{th}, Y^{th})は、レンズの歪みなどの影響で差が生じるため、算出したそれぞれの画像座標値を参照して、実画像座標値から理論画像座標値へと補正するための校正式(式(6))を最小二乗法などで構成する。

$$(X^{th}, Y^{th}) = f(X^{re}, Y^{re}) \quad \dots \text{式 (6)}$$

また、ピット内に堆積したごみの実画像座標値についても、ステレオカメラの特徴量マッチング³⁾などから算出する。ごみの実画像座標値をピット壁面上の目盛と同様に式(6)に代入することで、理論画像座標値を算出することができる。そして、ごみの理論画像座標値に対し、式(1)～式(5)を逆算することで、 $\Sigma 0$ におけるごみの3D点群座標を算出することができる。

図6は、上記のアルゴリズムを基に実際のピット



図6 両眼ステレオ方式によるごみ高さ取得結果

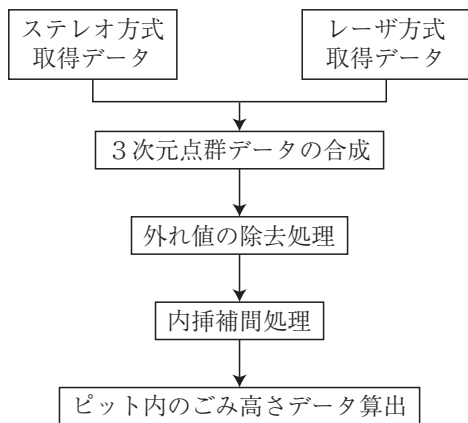


図7 3D点群データ処理アルゴリズム

内のごみ高さを計算し3D表示した結果の一例である。破碎ピット・受入ピットだけでなく、仕切り上にあるごみ高さもおおむね再現されており、本キャリブレーション手法の有効性を確認することができる。

2.3 3D点群データ処理アルゴリズム

3D点群データ処理アルゴリズムの概略を図7に示す。ごみピット全面のごみ高さを算出するために、レーザ方式、ステレオ方式それぞれで取得した3D点群データを合成した後、外れ値の除去処理、内挿補間処理の2つの処理を実行するアルゴリズムを考案した。

以下に詳細を記す。

2.3.1 外れ値の除去処理

運転中のクレーンの映込みなどを、外れ値として判断して除去する。3D点群データはごみ面より下部の情報を取得できないことを利用し、ここではピットを格子状の区画に分割し、それぞれの区画で高さが最小の点以外の点群を除去する独自のフィルタ処理を行った。図8に外れ値の除去処理結果の一例を示す。処理前はピット中央部にクレーンの映込みが見られるが、処理後ではごみ面の概形を保ったままクレーンの映込みを除去できている。

2.3.2 内挿補間処理

前項の外れ値処理で得られた点群データを参照点として、点群データの存在しない領域に関して内挿補間を行う。この点群データの存在しない領域は、クレーンやごみ山の影となり測量センサの死角となった箇所のことを指す。ここでは、ごみピットの長手方向に点群データを分割し、分割された点群データごとに線形補間を行う手法を用いた。

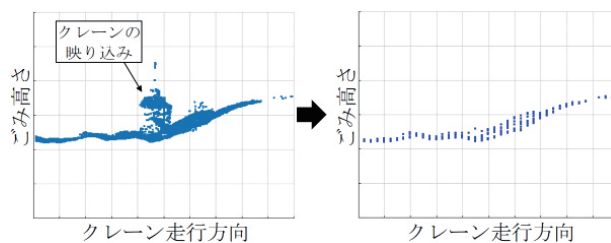


図8 外れ値の除去処理結果

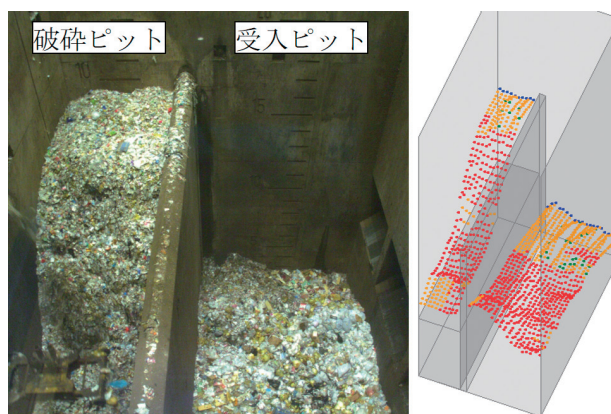


図9 現地3D計測結果

2.4 ごみピット3D計測結果

操業プラントにおける3D計測結果の一例を図9に示す。ピット内の画像より、運転中のクレーンが映込んでいることがわかるが、3D計測結果では外れ値として除去されていることが確認できる。また、クレーンやごみ山の影となった箇所では内挿補間がほどこされており、周囲の3D点群データから妥当な推定高さが算出されていることも確認できた。

むすび

本技術により、ごみピット内のごみ形状をリアルタイムかつ高精度に把握することができるようになった。これにより常に状況が変化し続けるごみ形状に対し、最適な動作を行わせることが可能になる。今後は、開発を進めている判断技術、操作技術と組合せてごみクレーン全自動化の実証を進め、自動化の効果を検証していく。

[参考文献]

- 1) 小野雄基ほか：AI・IoTを活用したごみ焼却施設の自動運転の高度化、環境技術(2020年4号), p.189-194
- 2) 井口征士, 佐藤宏介：三次元画像計測(1990), p.91-99, 昭晃堂
- 3) 奥富正敏ほか：デジタル画像処理(2004), p.218-237, CG-ARTS協会

廃棄物処理施設におけるデータ活用と相互支援体制の構築

Data Utilization and Networking for Safer, Stabler Factory Operations



小野雄基*
Yuki Ono

近年、AI、IoT技術が発達しており、プラントの運転自動化に向けた活用に関する研究が進められている¹⁾。廃棄物処理施設においても、プラント操業にかかる運転員数が縮減する中で、運転・操業から得られるデータから有効なデータを選別蓄積し、運転・操業にフィードバックすることで、より安定安全なプラント操業ができる仕組み作りが進められている。事業所がもつノウハウの蓄積方法としての電子マニュアルの検討、安全確保のためのウェアラブル端末によるバイタルデータの取得、データ活用による運転異常や機器トラブルの未然予測のためのBIツールの検討、そして事業所間同士のデータやノウハウ共有を強化するための事業所間ネットワークについて試験を実施、これら技術の活用可能性を確認した。

In recent years, progress in AI and IoT technologies has fueled research into factory automation¹⁾. With the number of personnel involved in operations shrinking, ways to more stably and safely operate factories are being pursued by selecting, compiling and feeding back useful data from operations. This paper reports on continuing research into electronic manuals as a method for storing know-how owned by business establishments, the acquisition of vital data via wearable terminals as a means for ensuring safety, and BI tools that utilize data to predict operational abnormalities and equipment troubles, as well as testing of internal networks for sharing data and know-how between business offices.

Key Words :

事業所間ネットワーク	Network between business offices
電子マニュアル	Electronic manual
BIツール	Business Intelligence tool
ウェアラブル端末	Wearable equipment

【セールスポイント】

- ・事業所間ネットワークシステムの構築により、他事業所と情報交換を促進し、運転ノウハウを共有するとともに、相互に運転を支援することができる。
- ・電子マニュアルによるノウハウ蓄積方法の確立、マニュアル活用により新人の早期戦力化が可能である。
- ・BIツールによるプラント操業データを図示化し、プラント安定操業を支援することが可能である。
- ・ウェアラブル端末により運転員のバイタルデータを取得し、運転員の状況を把握し安全状態管理が可能となる。
- ・災害被災時に、中央監視センターは全て機能不全となるのに対して、事業所間ネットワークは災害時リスクを回避することが可能である。

まえがき

新設の廃棄物処理プラントでは、民間事業者がプラントの設計・建設に加えて運営・維持管理を一括して請け負う DBO (Design Build Operation) 方式が主流となっている¹⁾。プラントの稼働後20~25年の長期にわたり、将来的なごみ量やごみ質の変化への対応も視野に効率的な運営が求められている。具体的には、日常運転・維持管理のための適正運転や機器の計画的なメンテナンスの解析が重要²⁾で、AI、IoT 技術の活用によりプラントから得られるデータを用いた運転改善やメンテナンス頻度の最適化の取組みが有効である。

一方で、日本国内では人口減少に伴い、地域によってプラントの運転を担う運転員の人材確保が重大な課題となりつつある。プラントの自動運転技術の高度化が進む中、限られた人材で効率的な操業を行うために、操業ノウハウの蓄積と共有、人材育成と運転支援体制、運転員の安全管理体制の構築といった課題が、今後顕在化してくると考えられる。

そこで、効率的な操業に向けた総括的な課題解決のための当社独自の取組みとして、運転改善や安定化、ノウハウ共有と人材育成のための事業所間ネットワークと電子マニュアル環境の構築、データ活用による安定運転のための BI ツール活用、安全状態管理のためのウェアラブル端末について導入について報告する。

1. 事業所間ネットワークと電子マニュアル環境の構築

1.1 目的

プラントの運転、運営、整備に関する知識が個人ノウハウ化していることが多く、事業所内でのノウハウの共有化や個人差の平準化に課題があった。新プラント立上げ時やプラント運転員の入替わりが生じた際、経験の浅い運転員の技術を、早急に各種運転操作やプラント点検を一人で行える水準にまで引上げることが求められる。

そこで、各々の事業所がもつノウハウを共有し、限られた人材でも新規プラントの早期安定操業を担保するとともに、相互に運転状況を監視できる体制により効率的な操業を実現することを目的とし、事業所間ネットワークを構築した。

また、マニュアル作成ソフトを導入することで、マニュアル作成を簡易化し、時間をかけずにマニュアル整備を進められるようにするとともに、デジタルデータとしてマニュアルを整備することで、事業所間で共有できるようにする。

1.2 事業所間ネットワークの構成

各事業所に KVM^{*1} システムを導入することで、事業所が相互に DCS 画像を確認することができる環境を整備した。これにより相互に運転状況を確認できるとともに、互いの運転を操作できる環境が整えられ、必要に応じて相互に運転を支援することができる。さらに、Microsoft Teams[®] を用いて事業所間でのコミュニケーションを可能としている。これにより、他施設での運転状況について、運転員同士で相互に状況を確認することができる体制を構築した(図1)。

1.3 事業所間ネットワークの運用方法および効果

図1に示すように本ネットワークでは、事業所間に複数のネットワーク網を構築し、異なるネットワークにより、事業所間で連携をとることを特長としている。各々のネットワークで得られる効果を以下にまとめる。

1) 遠隔ネットワーク

遠隔地の事業所をつなぐ目的は、災害発生時に同ネットワーク内の事業所が同時に被災し、支援が行えなくなることを防ぐことである。近年日本各地で発生している災害時に、中央監視センターが被災すると、遠隔監視システムがすべて機能不全に陥るが、事業所間ネットワークでは、安全に他事業所の運転や停止を行えるよう支援できるシステムとなっている。

また遠隔地をつなぐグループ A では、同じ炉形式の事業所をつなぐことで、自事業所と近い設備構成で運転監視が可能であり、運転状況に応じたアドバイスやノウハウの共有が可能である。

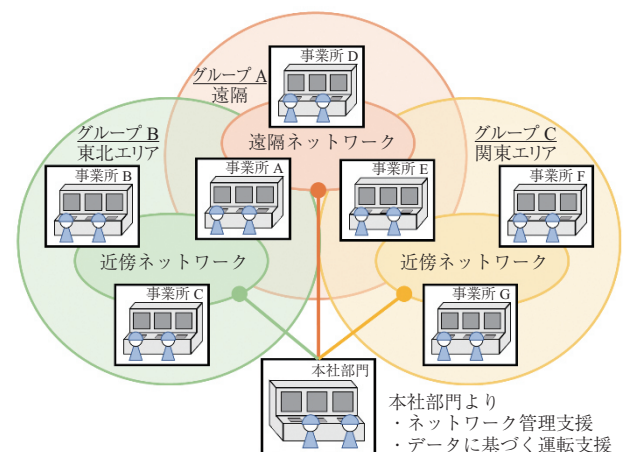


図1 事業所間ネットワークイメージ図

*1 セキュリティ対策のされたコンソールを通して、KVMの機器に接続されている全てのサーバに遠隔でアクセスし、モニタリング監視や制御を可能とするネットワークシステム。

2) 近傍ネットワーク

グループBやグループCでは、近傍地域における事業所間をつなぐことで、物理的な支援を速やかに実施できることを可能とし、人や物の融通を行うことが今後想定されている。

3) 本社部門からの支援

事業所グループ間において、操業にかかるノウハウを共有する一方で、本社からは各事業所から得られる運転データを解析し、機器損耗や用役費の少ない運転方法を提案し、効率的な運転の支援が可能である。

1.4 電子マニュアルの共有化

今回マニュアル作成ソフト Teachme Biz[®]を採用し、タブレット端末の使用により、経験年数の浅い運転員でもマニュアル作成が可能な簡易性を確認した。また、デジタルデータとしてマニュアルを整備することで、必要なマニュアルに即時アクセスできる利便性、事業所間での共有化の有用性について確認した。

1.5 今後の課題

1) 支援内容のステップアップ

事業所間ネットワークのシステム導入により、各事業所から他事業所のDCSにアクセスできる環境となり、他事業所からの運転操作も可能となる。現在は、通常運転時に事業所間でのコミュニケーションを実施し、互いのノウハウの共有を行っている。表1に示すように、今後は各種運転に係る設定値の共有、改善点の提示に結び付けるステップ2に展開を進めていく。さらに、緊急時における遠隔事業所からのDCS監視(ステップ3)やDCS操作(ステップ4)も実施できるよう計画を進めている。

2) データ管理システムの構築

遠隔ネットワークと電子マニュアルの環境整備を

通じて、事業所における運転操業に関する課題やノウハウが蓄積されている。一方で、近傍ネットワークでは、機器メンテナンスや工事に関するノウハウが蓄積している。今後はこれらのデータを組み合わせ、長期運転のコストダウンやより効率的な操業につなげていきたい。また、作業標準以外にも、新人教育マニュアルの整備や各種報告資料の作成、データの保存管理が可能である。他事業所のノウハウや設備補修や改善事例を、一括管理にも活用していきたい。

2. BIツールによる運転支援システムの構築

2.1 目的

廃棄物処理プラントでは、プラントの運転情報として温度、圧力、空気流量といったデータを常時取得している。従来は、事業所運転員が随時プロセスデータを監視し、また、一定周期ごとにデータが事業所内のサーバーに保存され、このデータを基に帳票が作成されていた。長期的なデータの変化をとらえるためには、データを都度グラフ化して比較する必要があった。

BI (Business Intelligence) ツールを使って自動的に運転データを可視化することで、連続運転における各種データの傾向をつかみ、長期データから最適な運転状況の判断を行うことが可能である。

2.2 データの収集

図2にデータの収集イメージおよび図示化したデータの利用先を示した。従来より取得している帳票データや用役データを、クラウドに取込み、様々な場所(端末)からデータにアクセスできる体制を構築した。

2.3 BIツール活用例と結果

データ図示化のためのBIツールにはQlikView[®]を用いた。QlikViewによるデータ図示例を図3に示す。

表1 遠隔支援システムの導入ステップ

	ステップ①	ステップ②	ステップ③	ステップ④
①運転相談および確認【目的(1)】 ・ 普段困っていることの相談 ・ DCS画面で、温度や圧力といった運転状況の確認	○	○	○	○
②運転設定条件確認【目的(2)】 ・ PIDやPV等の設定値の確認		○	○	○
③運転監視【目的(3)】 ・ DCSによる運転監視を、他事業所で実施(DCSの操作は含まない)			○	○
④運転操作【目的(3)】 ・ 操作を含めてDCS運転を監視操作				○

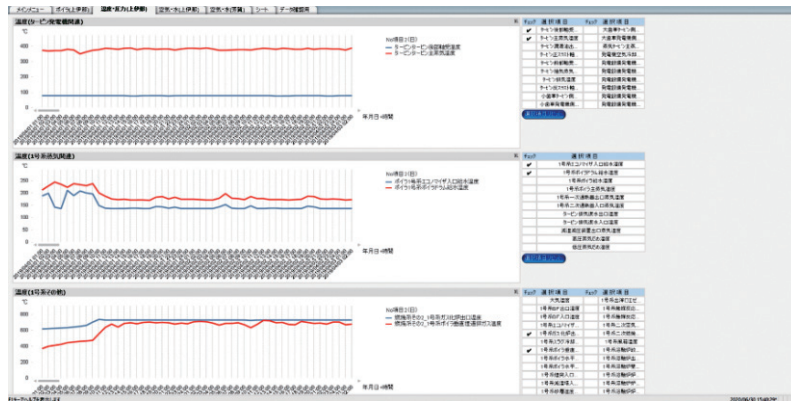


図3 データ図示例 (Qlik View)

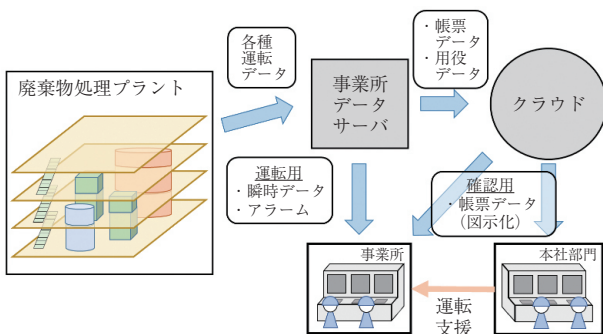


図2 プラントデータの活用イメージ図

データを図示化することで、事業所運営メンバーにてプラント運転の傾向を容易に把握し、プラント運転の変化に気づくことが可能となった。

また、各施設の帳票データをクラウド上に移行して一括管理しており、複数施設のデータを比較することが可能である。例えば、用役費の異なる施設を本社にて比較検証することで、その原因を解明し、各施設へフィードバック、さらに他施設へ展開することが可能である。

2.4 今後の方針

データを収集する施設を随時増やし、各施設へのフィードバックを行うとともに、運転データや用役データに加えて各施設のメンテナンスデータを取込み、より一貫したデータ管理システムを構築し、データに基づく効率的な操業支援を追求していく。

3. ウェアラブル端末による運転員の安全状態管理

3.1 目的

AI, IoT 機器の導入等により自動運転の高度化³⁾や現場作業の省力化が進む中、プラントの点検作業における運転員の安全状態管理も重要となってくる。

ウェアラブル端末の活用により、運転員のバイタ



図4 ウェアラブル端末 (腕時計式) 装着例



図5 バイタルデータ表示画面

ルデータを取得し、炉室内作業時の体調不良等の異常を検知し監督者に通知することが可能となる。

3.2 試験方法および試験結果

腕時計式ウェアラブル端末 (みまもり Watch[®], 図4) の試験を実施した。整備班員がウェアラブル端末を装着し、防護服を着用して炉室内作業を行ったところ、心拍数上昇に伴いアラートが発報されることを確認し、Web画面で確認することができた (図5)。

アラート発報を管理者が確認することにより、通常では気付かない作業員の体の異常に気付くことができ、適宜休憩を取ることで、熱中症による事故を防ぐ可能性があることを確認することができた。

3.3 今後の方針

本年度より試験運用を開始し、アラート検知ができることを確認した。長期運用によりデータを蓄積し、アラートの活用やウェアラブル端末の運用を展開していく。

む す び

廃棄物処理プラントにおいて自動運転技術の高度化が進む中、効率的な操業や人材確保の課題解決に向けた当社独自の総括的な取組みとして、事業所間

ネットワークと電子マニュアル環境の構築、運転支援システムの構築、ウェアラブル端末を活用した安全状態管理の有効性について紹介した。

今後も、回転式ストーカ炉、ガス化溶融炉、ガス化燃焼炉の各機能の価値を最大化するため、災害発生時の緊急対応も含む安全管理体制の構築も視野に、効率的な操業を追求していく所存である。

[参考文献]

- 1) 平成22年度廃棄物処理施設官民連携推進部会調査報告書 PFI/PPP 推進協議会 (2010年), p2
- 2) 廃棄物処理施設長寿命化総合計画作成の手引き (ごみ焼却施設編) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課 (2010年, 2015年改訂), p10
- 3) 小野ほか: 環境技術 Vol49, No.4 (2020年), p189-19

攪拌式凍結乾燥機 RHEOFREED[®] による乾燥工程の高効率化 ～棚式凍結乾燥機より優れた乾燥性能～

High Efficiency Drying Using the Mixer-Type RHEOFREED Freeze-Dryer
—Drying Performance Superior to Shelf-Type Freeze Dryers—



岸 勇佑*
Yusuke Kishi



小川智宏*
Tomohiro Ogawa



前背戸智晴*
Tomoharu Maeseto
博士 (工学)

凍結乾燥は長期保存が可能な乾燥製品を得る優れた方法として知られ、食品・医薬分野で広く用いられている。その一方で、乾燥時間、製品回収性、洗浄性などに課題がある。これらの問題を解決するため、当社は真空乾燥機であるコニカルドライヤをベースに、攪拌式凍結乾燥機「RHEOFREED—レオフリード—」を開発し、上市した。低含水率品、高含水率品の凍結乾燥を攪拌式凍結乾燥機と棚式凍結乾燥機で実施し、攪拌式凍結乾燥機 RHEOFREED は棚式と比べ乾燥速度が3倍と優れた乾燥速度を示すことを確認した。

Freeze-drying is a well-known method of long-term storage and widely used in the fields of food and medicine. But, there are issues such as drying time, product recovery and cleaning. In order to solve these issues, we developed the mixer-type “RHEOFREED” based on a conical vacuum dryer, and compared it against a shelf-type freeze-dryer. In freeze-drying tests of products of both low moisture content and high moisture content, it was confirmed that the mixer-type RHEOFREED had an excellent drying rate that was 3 times faster than that of the shelf-type freeze-dryer.

Key Words :

凍 結 乾 燥	Freeze drying
真 空 乾 燥	Vacuum drying
攪 拌 式	Mixer-type
乾 燥 時 間	Drying-time

【セールスポイント】

- ・生産コストダウンにつながる乾燥時間、洗浄時間の短縮
- ・乾燥速度が棚式凍結乾燥機の3倍以上
- ・スラリー状、液体状の原料共に優れた乾燥速度

まえがき

凍結乾燥は、固体から気体への昇華を利用した乾燥方法である。しかし乾燥に長時間を要し、乾燥時間が数日単位となることから、乾燥時間の短縮が望まれている。当社では、優れた洗浄性を持つコンタミレス機器である真空乾燥機のコニカル

ドライヤ (N-CDB)¹⁾ をベースに攪拌式凍結乾燥機を開発し、過去2報において、その性能について報告してきた^{2) 3)}。パイロット機での検証も進み、一定の性能を確認したため、流動を意味する接頭語 RHEO を用いて RHEOFREED—レオフリードと命名し、2020年度に上市した。

本稿では、一般的な凍結乾燥方法である棚式凍結乾燥機と攪拌式凍結乾燥機 RHEOFREED の乾燥性能の差、主に乾燥速度の差について紹介する。

1. 凍結乾燥

1.1 凍結乾燥の原理

凍結乾燥は、固体（氷）から気体（水蒸気）への状態変化（昇華）を利用した乾燥方法である。凍結乾燥は三重点以下の高真空・低温領域にて、固体（氷）から液体（水）を経ずに、気体（水蒸気）に昇華させる乾燥法である。凍結乾燥を行った製品は風味を保ち、かつ多孔質で復水性に優れるため、乾燥食品などで広く普及している。また、熱劣化や組織破壊が少なく、各種機能性成分等の保持に適しており、注射剤やバイオ医薬品分野では不可欠な製造技術となっている。また、乳酸菌・酵素・タンパク質・ペプチドのような弱熱性原料への適用も検討されている^{4~8)}。

1.2 棚式凍結乾燥機

凍結乾燥機には噴射式、翼回転式、振動式、容器回転式と様々な種類があるが、一般的には棚式凍結乾燥機が用いられる。棚式凍結乾燥機は、トレイに原料を充填した状態で棚式凍結乾燥機内の過熱棚段に乗せ、棚板からの熱伝導またはヒータ等の熱源からの輻射熱によって加熱する方法である。製品最終形状が粉末の場合、トレイから乾燥片を取出し、さらに粉碎機で粉末化して回収する。

棚式凍結乾燥機では、昇華速度が拡散速度より早い状態で乾燥が進むと、製品が再融解するコラプスと呼ばれる現象が起こり、凍結部が収縮、崩壊し始め、融解、発泡へ至る。その場合、望んだ製品が得られないため、凍結乾燥の速度が制限され、乾燥時間が長くなる原因となる。

棚式凍結乾燥は古くから用いられている技術ではあるが、乾燥条件等のノウハウ化、プログラム化された運転管理が必要な「難しい」乾燥方法であり、

乾燥時間、製品回収作業性、トレイの洗浄作業性に改善要素をかかえる他、機器コストや運転コストの高さが指摘されている²⁾。

2. 攪拌式凍結乾燥機

2.1 攪拌式凍結乾燥 RHEOFREED とは

当社では、容器回転型真空乾燥機 N-CDB の構造をベースとした機能性食品向けの攪拌式凍結乾燥機を開発し、商品名 RHEOFREED レオフリードとして上市した。2019年12月には、1号機である小型3Lテスト機が食品用途向けに納品された。現在も食品、電材、高機能材料向けのテストを数多く行い、医薬向けにも対応できるよう検討している。

攪拌式凍結乾燥機の特長は

- 1) 粒子表面からの乾燥
- 2) 伝熱面更新による伝熱促進
- 3) 昇華蒸気の拡散抵抗低減
- 4) 製品の均質化、粉末化

である²⁾。伝熱面は混合・攪拌によって常に更新され、昇華蒸気が拡散しやすくなることで乾燥が促進される。また、棚式よりも熱の伝達効率が高いため、乾燥温度を低温化して熱劣化を防ぐことができる。さらに、N-CDB が本来持つ優れた洗浄性により、バッチ間の洗浄作業時間の短縮が可能である。

その他、耐酸性、耐アルカリ性をもたせたり、原料回収時に原料を封じ込めながら回収することも提案可能である。

2.2 RHEOFREED のプロセスフロー

RHEOFREED のプロセスフローを図1に示す。基本的なフローは棚式と同様で、熱媒循環装置、本体、コールドトラップと真空ポンプのユニットで構成される。RHEOFREED では予備凍結の代わりに凍結材料を作る前処理工程が必要であり、原料種によって凍結粉碎・凍結噴霧等を使い分けて、乾燥試料（凍結粉）を製造する。乾燥後の製品は排出口から回収可能で、粉末状の乾燥製品が得られるため、

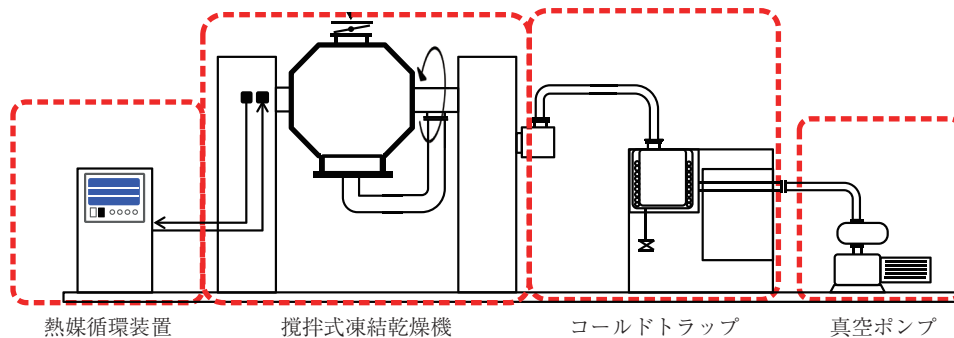


図1 RHEOFREED のプロセスフロー

表1 RHEOFREED 機器仕様

項目	機器仕様		
乾燥機	3 L 機	20 L 機	160 L 機
主用途	凍結乾燥可否判断用	スケールアップ検証	パイロットテスト
最大仕込量	1.2 L	8 L	60 L
内径	160 mm	300 mm	600 mm
温調設備	冷温ブライン循環装置 (-20℃～20℃)		冷温ブライン循環装置 (-20℃～40℃)
コールドトラップ	FDU-2110 (-80℃, 捕水量 3 L)		フィンチューブ式 (-45℃, 捕水量30 L)
真空排気系	0.75 kW 油回転式真空ポンプ 0.75 kW メカニカルブースタ		2.2 kW 油回転式真空ポンプ (排気量1 300 Lt/min.)



写真1 3 L 機



写真3 160 L 機



写真2 20 L 機

棚式凍結乾燥後の製品で不可欠の乾燥後の粉碎工程が不要である。

2.3 機器仕様

2020年7月現在 RHEOFREED には、凍結乾燥可否判断用の小型3 L 機、スケールアップ向けに新たに製作したスケールアップ検証用20 L 機、160 L パイロット機がある。3 L、20 L、160 L 機の機器仕様および形状を、表1、写真1～3に示す。また原料仕込量によってオーダーメイドで缶体容量の変更が可能である。3 L 機、20 L 機ではテスト対応を

行っており、味噌・レモン・ブルーベリーなどの食品、顔料、機能性材料、電子材料などの実績がある。160 L パイロット機では、乾燥時間短縮に向けた実証テスト中であり、30 kg 原料の凍結乾燥時間を大幅短縮できるよう検討を行っている。

スケールアップ検証用20 L 機、160 L パイロット機では、乾燥機内に温度センサおよび圧力センサを設置し、外套温度や真空配管部圧力などと合わせて機内を常時モニタリングすることで、製品の状態を常に把握することができる。

3. 棚式凍結乾燥機、攪拌式凍結乾燥機の比較

3.1 試験方法

棚式、攪拌式の両凍結乾燥機の性能については、投入や回収時の原料の形状や伝熱形式が異なるため単純な比較は困難である。今回は棚式凍結乾燥では仕込時に用いたバットの底面積を、攪拌式凍結乾燥では原料投入時に缶体に接している粉碎原料の面積を伝熱面積として定義し、乾燥速度を単位伝熱面積と時間当たりの昇華量 $\text{kg/m}^2/\text{hr}$ で表し比較を行った。

試験には、棚式凍結乾燥機はドライチャンバー

DRC-1000（東京理化学）を、攪拌式凍結乾燥機はRHEOFREED 小型 3 L 機を使用した。真空排気系は同等のものを使用した。原料としては、低含水率では長芋、高含水率品では凍結乾燥の賦形剤（保護材）として利用されるデキストリン 1 % 水溶液を用いた（表 2）。

3.2 長芋を用いた検討




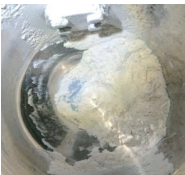
3.2.1 試験条件

ミキサーでスラリー状にした含水率約 70 % の長芋を、低含水率原料の凍結乾燥比較品として用意した。棚式凍結乾燥機では、バットに厚さ 10 mm になるように充填し、棚式凍結乾燥機内で -40 °C で凍結した後に 500 g を凍結乾燥した。攪拌式凍結乾燥機では、内部に予備凍結構造を持っていないため、-60 °C のフリーザで凍結させブロック状に粉碎し 500 g を凍結乾燥した。棚式凍結乾燥機の昇温条件は過去の実施例を参考に行った。攪拌式凍結乾燥の昇温条件は品温が外套温度に到達し、かつ缶体内の真空度が十分に下がりきったことを確認した後に昇温を行った。

表 2 実験項目

項目	原料	乾燥温度範囲	含水率
低含水率	長芋	0~30 °C	約 70 %
高含水率	デキストリン	0~20 °C	99 %

表 3 長芋による凍結乾燥試験結果

乾燥方法		棚式	攪拌式
機器内部の写真	乾燥前		
	乾燥後		
水分率 (wt%)	乾燥前	74.3	69.6
	乾燥後	3.5	3.4
乾燥時間 (hr)	1 次	12	12
	2 次	28	8
	合計	40	20
乾燥速度 (kg/m ² /hr)		0.12	0.39

3.2.2 試験結果

棚式と攪拌式を比較した結果および乾燥前後の写真を、表 3 に示す。棚式凍結乾燥機では 1 次乾燥 12 時間、2 次乾燥 28 時間の計 40 時間で乾燥が終了し、攪拌式凍結乾燥機では 1 次乾燥 12 時間、2 次乾燥 8 時間の計 20 時間で乾燥が終了した。棚式凍結乾燥機ではブロック状、攪拌式凍結乾燥機では粉末状の製品が得られた。単位伝熱面積と時間当たりの昇華量で表した攪拌式凍結乾燥機の乾燥速度は棚式凍結乾燥機の 3.25 倍となった。また攪拌式に使用した外套温度の運転で棚式の棚温度の設定を行い、棚式凍結乾燥を行った。結果は、20 時間で含水率 13.4 % と乾燥途中だった。攪拌式外套の温度運転に従って棚式凍結乾燥の運転を実施すると、同一含水率まで乾燥が行えないことを確認している。

3.3 デキストリンを用いた検討

3.3.1 試験条件

デキストリンは凍結乾燥の保護材として利用されており凍結乾燥機の評価によく利用される。今回は 1 % デキストリン水溶液 500 g（デキストリン 5 g）を用いて高含水率の凍結乾燥品の比較を行った。棚式凍結乾燥機にてバット内にデキストリン水溶液を満したところ、500 g で厚さ 20 mm となった。棚温度 -40 °C で 4 時間予備凍結を行った。棚式凍結乾燥ではそのまま棚温度を 0 °C に上げ凍結乾燥を開始した。攪拌式凍結乾燥では予備凍結品をブロック状に破碎したものを乾燥製品とし、-20 °C に冷却した缶体内に投入後、外套温度を 0 °C にし凍結乾燥を行った。棚式凍結乾燥では、含水率が攪拌式凍結乾燥製品近くになるまで条件の検討を行った。攪拌式凍結乾燥では、内部の水分が十分に昇華したことを確認した後に 2 次乾燥 20 °C を行った。

3.3.2 試験結果

棚式凍結乾燥の結果を表 4 に示す。まず No.1 の試験では品温が 0 °C に達してから 6 時間の保持を含む 36 時間の 1 次乾燥、品温が 20 °C に達してから 6 時間の保持を含む 9 時間の 2 次乾燥を行い、計 45 時間で終了した。含水率は 15.8 % と高く、目標の 5

表 4 棚式凍結乾燥結果

No	乾燥時間 (hr)			含水率 (wt%)
	1 次乾燥	2 次乾燥	合計	
1	36	9	45	15.8
2	42	20	62	6.5
3	50	20	70	5.5

%前後には至っていなかった。No.2の乾燥時間62時間では、含水率が後述する攪拌式凍結乾燥品より高かった。再度 No.3にて1次乾燥50時間、2次乾燥20時間で乾燥を行った。No.3では、乾燥が終了したサンプルの含水率は5.5%であった。乾燥製品は綿菓子状の多孔質の製品になっていた。No.3の、1次乾燥50時間、2次乾燥20時間の計70時間をデキストリン1%の棚式での乾燥時間とした。

デキストリンの乾燥結果について棚式と攪拌式を比較した結果を、表5に示す。攪拌式凍結乾燥では、1次乾燥29時間、2次乾燥3時間の計32時間であり、乾燥製品は粉末状で含水率は5.7%であった。攪拌式では、乾燥速度が3.5倍となっており、これは装置回転の攪拌による粒子表面からの乾燥、粒子の伝熱促進によって製品が熱に伝わりやすいことによるものと考えられる。

また、攪拌式は、乾燥時間の短縮だけでなく、攪拌混合による製品の均質化により品温の測定が容易で1次乾燥、2次乾燥の終了するタイミングが把握しやすい利点がある。

4. スケールアップに関して

当社の攪拌式凍結乾燥機のスケールアップには当社真空乾燥機と同様のスケールアップ式が適用できる。既報³⁾で述べたように、乾燥時間 θ は下記式で表される。

$$\theta = \frac{m\lambda + MC_p(T_2 - T_1)}{U \cdot A \cdot \Delta T + q} \quad (1)$$

θ : 乾燥時間 [s]

λ : 氷の昇華潜熱 [J/kg]

m : 昇華される氷の重量 [kg]

M : 原料粉体重量 [kg]

C_p : 原料粉体の平均比熱 [J/kg·K]

T_1 : 初期粉体原料温度 [K]

T_2 : 乾燥後粉体原料温度 [K]

U : 総括伝熱係数 [W/K·m²]

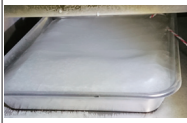



q : 攪拌熱 [W]

A : 伝熱面積 [m²]

総括伝熱係数は粉体性状や攪拌方法、加熱方法によって異なる値となることから、真空乾燥機においては、小型テスト機などで総括伝熱係数を求め、実機乾燥時間の設計を行う⁹⁾のが一般的である。

そのため、凍結乾燥可否判断用の小型3L機と合わせて当社のテスト機にてスケールアップを検討できるよう、スケールアップ検証用20L機によ

表5 デキストリンによる凍結乾燥試験結果

乾燥方法		棚式	攪拌式
機器内部の写真	乾燥前		
	乾燥後		
水分率 (wt%)	乾燥前	99	99
	乾燥後	5.5	5.7
乾燥時間 (hr)	1次	50	29
	2次	20	3
	合計	70	32
乾燥速度 (kg/m ² /hr)		0.19	0.67

り性能評価を行っている。20L機は缶体内の温度、圧力だけでなく時間ごとの昇華量など詳細なデータを収集し、乾燥メカニズムを把握できるようにしている。

これまで各テスト機にて、フィルタ面積の増大による真空度改善、昇温開始時間の短縮、回転数増大による昇華量促進などによる乾燥時間の短縮に取り組んでいる。160Lパイロット機では、果物系の原料30kgにおいて、フィルタ面積を増加させることにより乾燥時間を当初の半分以下に短縮可能な事も確認している。今後も様々な原料にて乾燥データを蓄積し、乾燥時間短縮につながる運転方法などの研究を継続する。

むすび

棚式凍結乾燥機と攪拌式凍結乾燥機小型3L機にて低含水率、高含水品の凍結乾燥を行い、攪拌式凍結乾燥で棚式凍結乾燥に対し乾燥時間が半分以下、乾燥速度が約3倍と優れた性能を示すことを確認した。

RHEOFREEDでは装置が大きくなるほど乾燥時間が長くなるが、フィルタ面積の増加、運転データからのフィードバックによる昇温時間、装置回転数の変更により大幅な時間短縮が可能になると考えており、他にも回収作業性向上、洗浄作業性向上、後粉碎工程不要など、様々なコスト低減策をとることが可能になる。また真空乾燥機コニカルドライヤ(N-CDB)以外に、ろ過機能付きコニカルドライヤ(CDF)でろ過後のケーキを凍結乾燥する検討や、真空乾燥機PVミキサーにて自己凍結による凍結原

料作製から凍結乾燥を適用可能かの検討も行っている。凍結原料作製方法の検討を含め、チラー、コールドトラップ、真空ポンプとRHEOFREEDのユニット化、また、さらなる乾燥時間の短縮、滅菌やCIP洗浄機能の付加といった検討を継続する。様々な分野の凍結乾燥に挑戦し、凍結乾燥機ユーザ各位の乾燥時間短縮をはじめとした生産性改善に寄与していく所存である。

[参考文献]

- 1) 竹井一剛ほか：クリーンドライヤ「N-CDB」, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.11 (2015), p.30-36
- 2) 椿野直樹ほか：凍結乾燥への攪拌式真空乾燥機の適用, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.14 (2017), p.32-37
- 3) 小川智宏ほか：攪拌式凍結乾燥機の開発, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.15 (2019), p.33-37
- 4) 相良泰行：フリーズドライ技術の発展フリーズドライ食品の開発と最適加熱温度条件の探索法, 月刊フードケミカル, Vol.31 (2015), p.18-29
- 5) 中川究也：凍結乾燥の基礎と実務への応用プロセスの最適化に向けた数学モデルの解法と使い方, 情報機構 (2016)
- 6) 大竹聡敏ほか：凍結乾燥 創薬への応用 (前編), *Pharm Tech Japan*, Vol.30 (2014), p.235-246
- 7) Julia Christina Kasper *et.al* : Recent advances and further challenges in lyophilization, *Eur J Pharm Biopharm*, Vol.85 (2013), p.162-169
- 8) Robert H. Walters *et.al* : Next Generation Drying Technologies for Pharmaceutical Applications, *J Pharm Sci*, Vol.103 (2014), p.2 673-2 695
- 9) 小川智宏：医薬向けの新しいろ過乾燥技術, 化学装置, Vol.47 (2005), p.52-57

神戸市水道局から「上ヶ原浄水場再整備等事業」を受注 ～浄水場施設の建設・運営～

当社は、三井住友建設株式会社・メタウォーター株式会社・神鋼環境メンテナンス株式会社・株式会社日水コンと「神鋼環境ソリューショングループ」を構成し、神戸市と「上ヶ原浄水場再整備等事業」に関する基本協定を1月30日に締結いたしました。当社・三井住友建設株式会社・メタウォーター株式会社・神鋼環境メンテナンス株式会社が出資する特別目的会社「株式会社上ヶ原ウォーターサービス」（以下 SPC）と神戸市の間で事業契約を3月10日に締結いたしました。

本事業は、神戸市上ヶ原浄水場の上水施設の設計・建設（既設撤去含む）業務および15年にわたる運営維持管理業務を行うものです。

本事業では、上ヶ原浄水場を再整備し、良質な水を安定的に供給する上水施設を新設するとともに、民間事業者による効率的な施設運用が行われることを目的とし、神戸市水道事業として初となる PFI 法に基づく事業方式が採用されています。

今回の事業では、神戸市の自己水源である千苺貯水池を水源とし、リスク分散の観点から水系が異なる阪神水道系の上水、および工業用水道へのバックアップ機能を有する施設として、凝集沈澱・活性炭吸着・急速ろ過のフローを備えた最大70 000 m³/d を処理する施設を再整備します。

カビ臭などの水質異常にも対応でき、また水位差を最大限活用した省エネルギー施設となり、災害時でも浄水処理が継続できるように非常用発電を備えます。既設老朽化と水需要減少に鑑み、神戸市における次の100年の安定給水に向け、浄水場再整備においてはコスト縮減と効率的な施設運用を目指します。

当社はこれまでの建設・運転で培ったノウハウを生かし、安心・安全な上水道サービスを提供してまいります。

【上ヶ原浄水場再整備等事業の概要】

①事業内容 上ヶ原浄水場浄水施設の設計・建設（5年間）、運営・維持管理業務（15年間）

(1) 設計・建設業務担当

機械設備工事：当社

土木・建築工事：三井住友建設株式会社

電気設備工事：メタウォーター株式会社

設計業務・工事監理業務：当社、株式会社日水コン

(2) 運営・維持管理業務担当

運転管理・水質管理・保全管理・災害／事故対策：当社、神鋼環境メンテナンス株式会社

電気設備保守：メタウォーター株式会社

②工期・履行期間

(1) 整備期間（設計・建設）：2020年4月から2025年3月まで（5年間）

(2) 運営業務：2025年4月から2040年3月まで（15年間）

③契約者 株式会社上ヶ原ウォーターサービス（SPC）

当社・三井住友建設株式会社・メタウォーター株式会社・神鋼環境メンテナンス株式会社が出資する特別目的会社

④施設能力 1日計画最大処理水量：70 000 m³/d

⑤本事業の特長

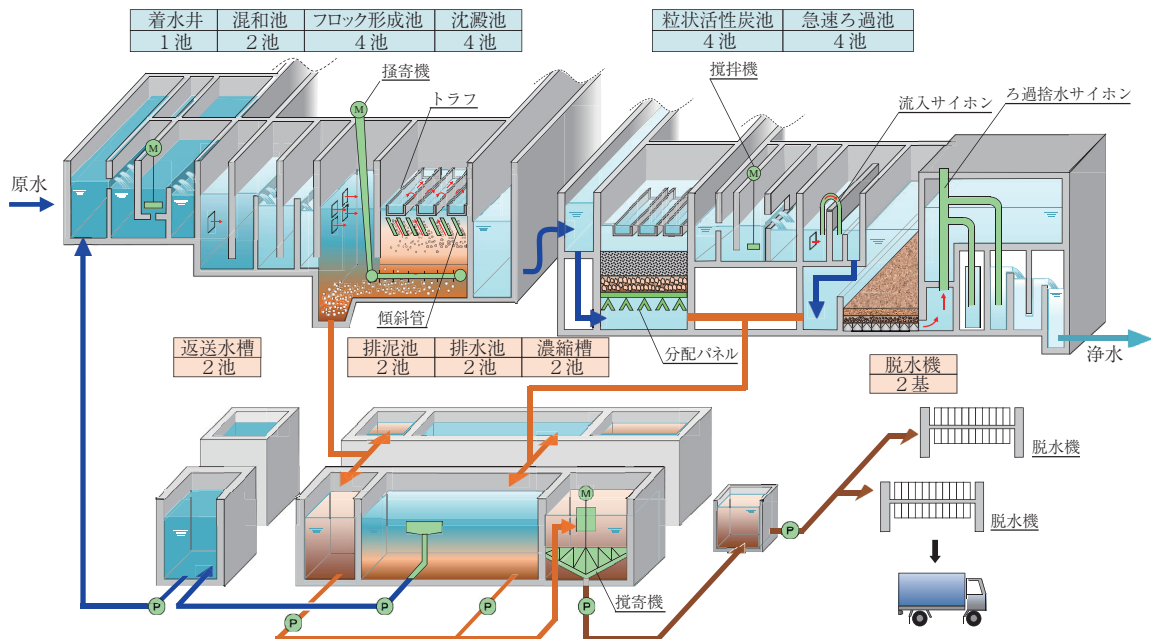
(1) 水位差を利用した処理プロセスにより位置エネルギーを最大限活用

- (2) 大規模災害による広域停電時でも、上ヶ原浄水場の立地の特徴を活かし、わずかな非常用動力で通常時運用水量（60 000 m³/d）の送水を実現
- (3) 事業方式は、事業者が施設等を建設し、施設完成直後に神戸市に所有権を移転し、事業者が維持・管理および運営を行う BTO（Build-Transfer-Operate）方式
- (4) 本事業は設計・建設から運営維持管理業務まで一貫して SPC にて行う

【上ヶ原浄水場 完成イメージ】



【処理フロー】



カンボジア Koh Dach 地区上水供給事業を開始

当社とカンボジア民間企業の SOMA Group^(※1) が共同出資する、SOMA KOBELCO WATER SUPPLY CO., LTD. (以下、SKWS) は、工業科学技術革新省から独占水道事業権を取得、2019年3月に起工式を執り行い、浄水設備の建設や水道供給配管の敷設を進め、同年12月13日の竣工式を経て、水道供給事業を開始しました。

本事業はカンボジアで日本企業が実施する初めての水道事業であり、事業期間は20年間になります。供給対象は、プノンペン都 Koh Dach (コーダック) およびカンダール州 Koh Okhna Tei (コーオクニャテイ) 地区の住民約20 000人および商業施設です。

本事業は、水道施設の建設に加え、SKWS の運転管理の下、メコン河からの取水、浄化、各地区への配水、メーター検針、料金徴収まで含め一貫して実施する包括的かつ画期的な事業です。その中で、浄水プロセスには当社技術である自動サイフォン・フィルターが採用されております。

当社は、本事業を通して対象地区の住民の皆様へ安全・安心な水をお届けするとともに、将来的には多岐にわたるインフラ整備による住環境の向上や、住民の皆様を対象とした施設見学等を通じた環境教育への貢献など、地域に根差した活動を目指しております。

カンボジアの地方都市では上水道普及率が50 %以下と低く、カンボジア政府は2025年までに100 %に上げる目標を設定しています。当社は、本事業を皮切りに、今後もカンボジア国内において水道事業ビジネスを拡大し、カンボジアの国民を支える社会基盤づくりに貢献します。

【案件概要】

案 件 名：カンボジア王国プノンペン都 Koh Dach 地区上水供給事業

契 約 先：カンボジア王国工業科学技術革新省 (旧工業手工芸省)

契 約 者：SOMA KOBELCO WATER SUPPLY CO., LTD.

出 資 者：SOMA Group 50 %，神鋼環境ソリューション50 %

事 業 権：プノンペン都 Koh Dach 地区およびカンダール州 Koh Okhna Tei 地区 (20年間)

規 模：対象人口約20 000人，処理能力1 800 m³/d

給水開始：2019年12月

※1 SOMA Group 概要

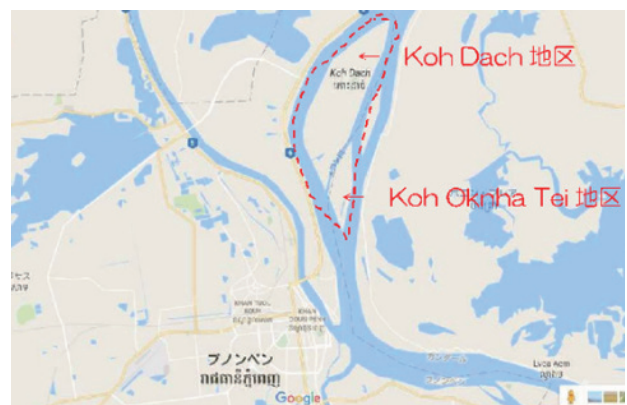
会 社 名：SOMA Group Co., Limited

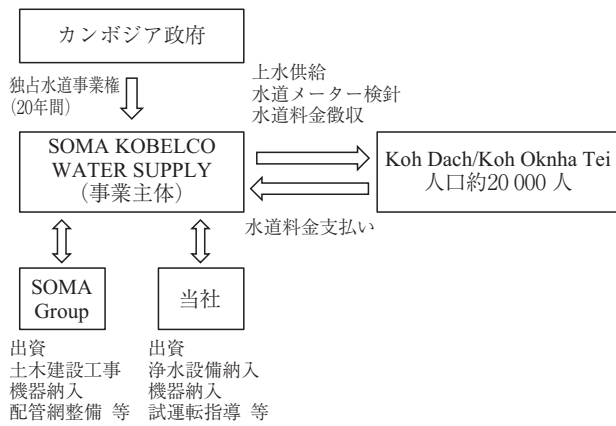
設 立：2007年

従 業 員：約2 600人

C E O：Chan Krasna

事業内容：農場経営，土木建設工事，大学経営，
輸出入業等





事業スキーム



浄水場概観（航空写真）



完成した自動サイフォン・フィルターの前で
（中央 粕谷前社長）



カンボジアの伝統舞踊で竣工を祝う



浄水場スタッフ（SKWS）



水道料金を支払う家族の様子

カンボジア シェムリアップ上水道拡張事業 浄水場パッケージを受注

当社は、2019年12月にシェムリアップ水道公社（以下、SRWSA）より「シェムリアップ上水道拡張事業（※1）」の一部である「パッケージ3」を受注しました。本事業は、上水道整備を通してシェムリアップ市における生活環境の改善や観光産業の振興、環境保全に寄与することを目的とし、取水施設、配管網、浄水場といった全3パッケージで構成されています。その中で当社所掌は浄水場建設および取水設備の機械・電気工事であり、当社にとってカンボジアにおける初めての大型浄水場建設工事となります。

2020年3月に現地での浄水場建設工事に着工し、同年6月にはSRWSAなど関係者を招き起工式を執り行いました。

シェムリアップ市では、急激な人口増加とユネスコの世界遺産リストに登録されているアンコール遺跡群を中心とした観光客の増加もあいまって、より一層、安全な水への需要が高まっています。一方で、SRWSAは地下水および貯水池を水源とする2か所の浄水場を有していますが、需要量に対し供給量が追いついていないため、ホテルなど個別で地下水くみ上げが行われています。そのため、地盤沈下などの環境影響が懸念されるなど、水道施設の整備が喫緊の課題となっており、円借款にて本浄水場の整備が進められています。

本浄水場はトンレサップ湖を水源にした設備で、同湖周辺地域で最大規模（60 000 m³/d）となります。その中核となる浄水プロセスには、当社の優れた技術である開放型サイフォン・フィルタおよびA/W有孔ブロックを納入し、当社が長年培ってきた水処理技術を用いて安全かつ安定的に上水を供給することで、シェムリアップ市の水インフラ整備と環境保全に貢献します。

※1 独立行政法人国際協力機構（JICA）による日本の政府開発援助（ODA）の円借款資金協力案件

【案件概要】

事業名：カンボジア シェムリアップ上水道拡張事業
パッケージ3（浄水場+取水設備の機械・電気工事）

契約先：シェムリアップ水道公社

施設規模：浄水場処理能力60 000 m³/d

建設場所：カンボジア シェムリアップ市

建設期間：2020年3月～2022年11月（33カ月）

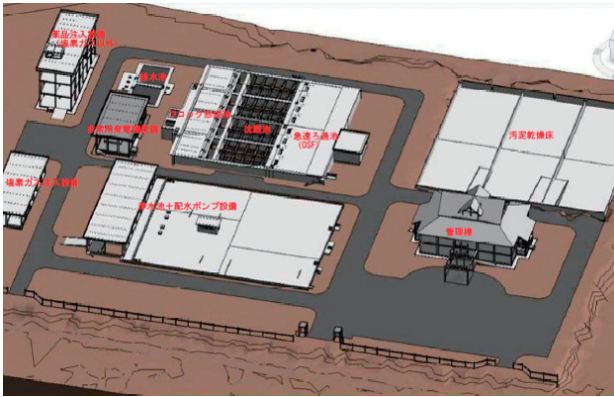




契約調印式の様子



起工式の様子



浄水場完成予想図



建設中の排水池



浄水池建設予定地



現地プロジェクトメンバー（6月起工式当時）

金属ナトリウム分散体 (SD) の新規用途展開

—有機合成化学への応用—

神鋼環境ソリューション、国立大学法人岡山大学、理化学研究所は令和元年度の「有機合成化学協会賞（技術的なもの）」を受賞しました。受賞内容は金属ナトリウム分散体 (SD) を有機合成化学分野に応用したというものです。

本研究を通じて、有機リチウムを代替する技術、直鎖系および芳香族ナトリウム化合物の調製法とそれらを用いるクロスカップリング反応を開発しました。またSDを普及させるための活動も実施しました。

有機合成分野の研究者との共同研究により、従来、廃棄物の処理に用いていたSDを、有機合成という「ものを生み出す技術」に展開するという新たな価値を提供するに至りました。主な成果の概要は以下のとおりです。

1. SDとは

金属ナトリウムは比較的安価で、強い還元力をもっているため、様々な場面で有機合成に用いられてきました。一方、水や酸素と激しく反応するので、その扱いには特段の注意が必要です。当社では2002年より実施しているPCB処理事業において、金属ナトリウム分散体（以下、SD）を使用してきました。このSDはナトリウムの塊に比べて安全で扱いやすいという利点をもつこともあり、岡山大学の高井和彦教授、理化学研究所の浅子壮美上級研究員らと共同で有機合成分野への応用を目指し研究を始めました。

2. 新技術の開発

(1) リチウムの代替

有機合成においては、有機リチウム化合物が多く用いられます。その中で、有機化合物から水素原子を引抜く反応剤（これを塩基と呼びます）としてブチリチウム (BuLi) やリチウムアミド (LDA) などが工業的にも用いられています。この原料であるリチウムは南米などに偏在しており、また近年、バッテリーなどの需要の高まりで価格が高騰しています。

本研究では、上記の有機リチウム化合物の代替として利用できるナトリウムアミド (NaTMP) を開発しました。このアミドを用いると、基質から水素原子を引抜き、そこに狙った官能基を付与させた誘

導体にすることができます。

(2) アリアルおよびアルキルナトリウム化合物の調製

SDを用いると、安価な有機塩素化合物からクロスカップリング反応剤などの高付加価値品を室温で調製できます。また、この反応剤を用いてクロスカップリング反応を進める方法を開発しました。さらに、より環境負荷の低い技術である、有機ナトリウム化合物と有機塩素化合物の直接のクロスカップリング反応技術を開発しました。

3. 普及に向けた取組み

開発技術の実用化に向け、SDに関心をお持ちの企業や研究者の方々に対して、SDの扱い方、利用や処理方法などの情報を積極的に開示して、普及を図っております。また、SDは複数の試薬メーカーより市販されるようになり、今後化学メーカーでの研究開発等を通じてさらなる普及が期待されます。

リチウムをナトリウムで代替する技術は、価格高騰に対するリスク分散手段としても有用であり、リチウム資源を輸入に頼らなければならない我が国の元素戦略に貢献するといえます。

また、従来一部の高付加価値品にのみ利用されていたクロスカップリング反応をより身近な化成品にも応用できる可能性が広がりました。

我々はSDのさらなる普及に向けて、引き続き研究開発ならびにPR活動を継続してまいります。



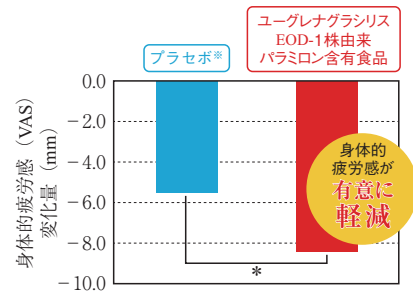
『ミカレアのパラミロン』 機能性表示食品として販売開始 — 日常生活の身体的疲労感を軽減 —

厚生労働省の調査によると普段の仕事で疲れを感じている人は全体の7割以上。多くの人が日常生活で疲れを感じ、そしてその疲労感を軽減できていないことは、日本の社会的問題です。

当社は独自の「ユーグレナ EOD-1株（金色のユーグレナ）」を配合した健康食品『ミカレアのパラミロン』を2018年より販売していましたが、このたび、“日常生活の身体的疲労感を軽減する”機能を、197名のヒト臨床試験により証明いたしました。その結果、日本で初めてユーグレナ EOD-1株に豊富に含まれるパラミロンを機能性関与成分とした機能性表示食品として『ミカレアのパラミロン』が発売されました。



身体的疲労感の軽減



4週間後の身体的疲労感の変化量の比較
* プラセボ食群と被験食群で有意に差がある (p<0.05)
※ユーグレナグラシリス EOD-1株由来パラミロンを含有していない食品のこと。
出典：薬理と治療 2019, 47(11), 1851-9より作図

1日2粒目安で健康維持！

<商品特長>

- 臨床試験実証済み、日本初※ユーグレナの機能性表示食品
- 当社の特許株「EOD-1株（金色のユーグレナ）」を100%配合
- 一般的なユーグレナに比べ、次世代の食物繊維「パラミロン」含有率が4倍以上
- 肉、野菜、魚などに含まれる栄養素を50種類以上含有
- 着色料、香料、賦形剤、保存料、酸化防止剤 不使用
- GMP 取得の国内工場 で製品化

商品詳細や購入方法は
ミカレア公式サイトへ！



<https://www.micarea.com/>

届出番号：E729 機能性関与成分：ユーグレナグラシリス EOD-1株由来パラミロン (β -1, 3- グルカンとして)
届出表示：本品は、独自のユーグレナグラシリス EOD-1株由来パラミロン (β -1, 3- グルカンとして) を含むので、日常生活の身体的疲労感を軽減する機能があります。

- 食生活は、主食、主菜、副菜を基本に、食事のバランスを。
- 本品は特定保健用食品と異なり、消費庁長官による個別審査を受けたものではありません。
- 本品は、疾病の診断、治療、予防を目的としたものではありません。

※機能性関与成分「ユーグレナグラシリス EOD-1株由来パラミロン (β -1,3- グルカンとして)」として日本で初めて機能性表示食品の届出を完了。(2020年3月23日)

論文発表一覧（2017年4月～2020年2月）

発表年月	発表課目	発表先
17年5月	(一社) 日本エネルギー学会誌 2017年5月号	下水道資源の有効利用バイオガス活用に関する技術
17年5月	(一社) 日本機械学会 第27回環境工学総合シンポジウム2017	木質バイオマスのがス化／改質の基礎特性 —触媒量の影響—
17年6月	(一社) 廃棄物資源循環学会 平成29年度廃棄物資源循環学会 春の研究発表会	加熱化学処理による焼却灰からの放射性セシウム除去技術の高度化
17年6月	(公社) 有機合成化学協会 第111回有機合成シンポジウム	NaTMP のナトリウム分散体を用いる合成と反応への応用
17年7月	京都大学環境衛生工学研究会 第39回シンポジウム	生物応答を用いた排水管理による環境保全
17年7月	The 7th WHTC (World Hydrogen Technology Convention)	Electric and Hydrogen Energy Storage Systems Having Emergency Power source Function to Compensate Fluctuating Renewable Energy in Water Purification Plant
17年8月	水道産業新聞社	多孔板付き有効ブロック工法について
17年8月	(公社) 日本食品化学工学会 第64回日本食品化学工学会	ユーグレナグラシリスの摂取が食餌誘導性肥満モデルマウスの耐糖能および血清脂質濃度に及ぼす影響
17年8月	(公社) 日本下水道協会 第54回下水道研究発表会	合成樹脂製汚泥かき寄せ機のパフォーマンス向上と長寿命運用
17年8月	(公社) 日本下水道協会 第54回下水道研究発表会	循環式高効率二段燃焼炉の安定運転と N ₂ O 排出量削減実績について
17年8月	(公社) 日本下水道協会 第54回下水道研究発表会	種汚泥を用いない中温消化槽のスタートアップに関する事例報告
17年9月	日本水道新聞	鉄バクテリア法を用いた浄水場の運用事例
17年9月	(株) 大河出版 技術雑誌「スマートグリッド」	超高層ビル内における生ごみを利用したバイオガスシステムの導入とその評価
17年9月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第28回廃棄物資源循環学会研究発表会	準好気性埋立処分場の機能検査と評価事例 (その3)
17年9月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第28回廃棄物資源循環学会研究発表会	生物応答による水処理設備の省エネルギー、低コスト化の検証
17年9月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第28回廃棄物資源循環学会研究発表会	木質バイオマスの流動層ガス化によるエネルギー転換利用のための基礎検討
17年10月	廃棄物資源循環学会 セミナー「AI 導入で資源循環・廃棄物処理に画期的変化始まる」	ごみ焼却施設における AI 活用
17年10月	4th Final Sink	Different Gasified Gas Behavior in Air-Bubbling Fluidized Bed Gasification of Wood Biomass and Refused Plastic and Paper Fuel 木質バイオマスと RPF の空気吹き気泡流動床式ガス化炉におけるガス化ガス特性
17年10月	(公社) 日本水道協会 第29年度全国会議 (水道研究発表会)	鉄バクテリア法を用いた浄水場の運用事例 —井戸の組み合わせを考慮した運転方法のパターン化—
17年10月	(公社) 日本水道協会 第29年度全国会議 (水道研究発表会)	生物接触ろ過後段の精密ろ過膜モジュールに付着したファウラントの解析
17年11月	(公社) 日本水道協会関西地方支部	鉄バクテリア法を用いた浄水場の運用事例 —井戸の組み合わせを考慮した運転方法のパターン化—

発表年月	発表課目	発表先
17年11月	(一社) 日本粉体工業技術協会 環境エネルギー・流動化分科会 第71回分科会「講演会」	新型流動層、高温高压化ボイラの腐食試験、廿日市案件での熱有効利用の紹介
17年11月	(公社) 全国都市清掃会議	流動床式焼却施設における各残渣への金属分配挙動
17年11月	第25回衛生工学シンポジウム	生物応答による水処理設備の省エネルギー、低コスト化の検証
17年11月	(一社) 日本燃焼学会 学会誌 190号	流動層による廃棄物混焼技術
17年12月	(一社) 環境放射能除染学会誌	加熱化学処理法による焼却主灰からの放射性セシウム除去および除去メカニズムの推定 第5巻・第4号
18年1月	環境省、(一社) 廃棄物資源循環学会 平成29年度中小廃棄物処理施設における廃棄物エネルギー回収方策等に係る説明会(九州大学)	流動床ガス化とメタン発酵のコンバインドプロセスの要素技術検証
18年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第39回全国都市清掃研究・事例発表会	仙南クリーンセンターの稼働状況と最終処分場延命化について
18年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第39回全国都市清掃研究・事例発表会	甲府・峡東クリーンセンター 竣工後の稼働状況
18年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第39回全国都市清掃研究・事例発表会	流動床式燃焼炉における低 HCl, Sox 運転
18年2月	(公社) 日本水道協会関西地方支部 第61回研究発表会	鉄バクテリア法を用いた浄水場の運用事例
18年2月	(株) 食品化学新聞社 FOOD STYLE21 2018年2月号	ユーグレナの機能性β-グルカン：パラミロン
18年2月	環境省、(一社) 廃棄物資源循環学会 平成29年度中小廃棄物処理施設における廃棄物エネルギー回収方策等に係る説明会(川崎市)	流動床ガス化とメタン発酵のコンバインドプロセスの要素技術検証
18年3月	(公財) 日本下水道新技術機構、下水道新聞 下水道新技術研究年報、技術概要書、審査証明パンフレット、下水道新聞、JACIC 登録	平成29年度審査証明技術 双曲面型攪拌機 PABIO Mix
18年3月	(公財) 日本下水道新技術機構、下水道新聞 下水道新技術研究年報、技術概要書、審査証明パンフレット、下水道新聞、JACIC 登録	平成29年度審査証明技術 低圧損型メンブレン式超微細気泡散気装置
18年3月	(公社) 精密工学会 画像応用技術専門委員会	流動床式ガス化溶融炉の出滓口開口率の定量化
18年5月	(公社) 日本栄養・食糧学会 第72回日本栄養・食糧学会大会	株の異なるユーグレナの摂取が食餌性肥満モデルマウスの糖代謝および脂質代謝に及ぼす影響
18年5月	(公社) 日本栄養・食糧学会 第72回日本栄養・食糧学会大会	ユーグレナ・グラシリス EOD-1株由来パラミロンの免疫機能に及ぼす影響
18年5月	2018 Spring scientific Conference (韓国廃棄物資源循環学会の春の年会)	Performance of fluidized Bed Gasification for Wood Biomass and Refused Paper/Plastics Fuel (RPF)
18年5月	(公社) 全国都市清掃会議 「都市清掃」第71巻 第343号	仙南クリーンセンターの稼働状況と最終処分場延命化について
18年5月	衛生工学シンポジウム 第27回環境化学討論会	生物応答による排水処理設備の省エネルギー、低コスト化
18年5月	(一社) 日本糖尿病学会 第61回日本糖尿病学会年次学術集会	パラミロン誘導体が食餌性肥満モデルマウスにおいてメタボリックシンドローム関連指標に及ぼす影響
18年6月	(公社) 日本水道協会 平成30年度全国会議(水道研究発表会)	トリハロメタン低減を目的とした生物活性炭接触ろ過設備の運用事例

発表年月	発表 課 目	発表 先
18年 6 月	Journal of Organic chemistry	Revisiting of benzophenone ketyl still. Use of sodium dispersion (SD) for the preparation of anhydrous solvents
18年 6 月	(株) シーエムシー出版「β グルカンの基礎と応用」	ユーグレナ由来 β グルカン (パラミロン)
18年 7 月	第 1 回中四国からの廃棄物資源循環研究発信発表会	ガス化改質技術による木質バイオマスからのエネルギー回収へ向けた取り組み
18年 7 月	日本下水道新聞 7月18日号	低圧損型メンブレン式超微細気泡散気措置の性能検証
18年 7 月	日本下水道新聞 7月18日号	省エネ器機とアンモニア制御による低動力反応タンクシステムの実規模実証
18年 7 月	(公財) 日本下水道新技術機構 平成29年度建設技術審査証明技術 (下水道技術) の発表会	低圧損型メンブレン式超微細気泡散気装置
18年 7 月	(一社) 日本機械学会 環境工学総合シンポジウム2018	木質バイオマスのガス化改質における触媒性能の評価
18年 7 月	環境システム計測制御学会 学会誌「EICA」	開口率定量化による流動床式ガス化溶融炉の出滓口自動監視技術の開発
18年 7 月	(公社) 日本下水道協会 第55回下水道研究発表会	低圧損型メンブレン式超微細気泡散気措置の性能検証
18年 7 月	(公社) 日本下水道協会 第55回下水道研究発表会	省エネ器機とアンモニア制御による低動力反応タンクシステムの実規模実証
18年 8 月	第10回 ICAE2018	Study on management method of stored energy in an electric and hydrogen hybrid energy storage system for emergency power supply and solar power fluctuation compensation
18年 9 月	(一社) 電気学会 平成30年 電力・エネルギー部門大会	Stored Energy Management Method for Long-term Continuous Operation of An Electric and Hydrogen Energy Storage System
18年 9 月	(公社) 日本水環境学会 第21回日本水環境学会シンポジウム	排水に対する TRE/TIE の取り組み事例
18年 9 月	国際水協会 (IWA) IWA World Water congress & Exhibition 2018	Demonstration Research on Innovative Biogas Production Process in WWTP
18年 9 月	国際水協会 (IWA) IWA World Water congress & Exhibition 2018	Feasibility of water purification using an Upflow Biological Contact Filter in Vietnam
18年 9 月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第29回廃棄物資源循環学会研究発表会	木質バイオマスのガス化プロセスにおける Ni および木灰のガス改質効果
18年 9 月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第29回廃棄物資源循環学会研究発表会	ガス化溶融炉における炉内監視
18年10月	(公社) 日本水道協会 平成30年度全国会	トリハロメタン低減を目的とした生物活性炭接触ろ過設備の運用事例
18年10月	(公社) 低温工学・超電導学会 第2回超電導応用研究会シンポジウム	非常用電源機能を有する電力・水素複合エネルギー貯蔵システムの実証実験
18年10月	(公社) 日本水道協会 平成30年度全国会議	膜ろ過施設の維持管理の実態調査 変化に対応した浄水技術の構築に関する研究 (A-Batons) の取り組み (IV)
18年10月	EASD2018 (ヨーロッパ糖尿病学会)	6-amino-6-deoxy paramylon improved obesity and glucose metabolism in a diet-induced obesity mouse

発表年月	発表課目	発表先
18年10月	Venice 2018 7th International Symposium on Energy from Biomass and Waste	Gasification and Catalytic Reforming of Woody Biomass for Improvement of Gas Yield and for Control of H ₂ /CO Ratio
18年11月	Journal of Material Cycles and Waste Management	Interaction of Gas and Tar Generation from Wood pellet and Plastics through Flash Pyrolysis
18年11月	The 10th Asia-Pacific Landfill Symposium	FUNCTION TEST AND EVALUATION CASES OF THE SEMI-AEROBIC LANDFIL
18年11月	日本エネルギー学会機関誌 「えねるみくす」2018年11月号	廃棄物エネルギーの地域利活用と省力化への取り組み
18年11月	日本臨床免疫学会 第46回日本臨床免疫学会総会	ユーグレナ・グラシリス EOD-1摂取による唾液 IgA 力価及び反応性への影響
18年12月	Scientific Committee of i-CIPEC 10th i-CIPEC	High temperature corrosion test of superheater tubes in waste to energy plants
19年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第40回全国都市清掃研究・事例発表会	画像解析による炉内監視技術の確立
19年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第40回全国都市清掃研究・事例発表会	ガス化溶融炉における排ガス CO, NO _x 制御技術の改良と案件展開
19年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第40回全国都市清掃研究・事例発表会	さらなる高効率発電を目的とした廃棄物処理の大規模広域化に係る検討
19年2月	Journal of Air & Waste Management Association	Gas reforming and tar decomposition performance of nickel oxide (NiO)/SBA-15 catalyst in gasification of woody biomass
19年2月	(公社) 日本水道協会関西地方支部 第62回研究発表会	トリハロメタン低減を目的とした生物活性炭接触ろ過設備の運用事例
19年3月	平成30年度中小廃棄物処理施設における廃棄物エネルギー回収方策等に係る説明会	流動層による廃棄物の混焼
19年3月	IWA (国際水協会)	Evaluation of the effects of chemical cleaning of fouled membranes in a drinking water treatment plant
19年3月	(公社) 水環境学会 第53回日本水環境学会年会	アンモニア酸化細菌数を指標にしたコークス炉廃水処理の運転管理
19年3月	(公社) 日本薬学会 日本薬学会 第139年会	ユーグレナ・グラシリス EOD-1株由来パラミロンへの dectin-1反応性の検討
19年3月	(公社) 日本農芸化学会 日本農芸化学会2019年度大会	マウス dectin-1のユーグレナ・グラシリス EOD-1由来パラミロンに対する反応性
19年4月	第11回水道技術国際シンポジウム	Advanced Treatment by Up-flow Biological Contact Filter in a Full-scale Water Treatment Plant
19年5月	(公社) 全国都市清掃会議 「都市清掃」	さらなる高効率発電を目的とした廃棄物処理の大規模広域化に係る検討
19年6月	(一社) 日本環境化学会 第28回環境化学討論会	金属ナトリウム分散体法による短鎖塩素化パラフィン類の無害化処理のための初期検討
19年7月	「Nutrients」	Effect of paramylon extracted from Euglena gracilis EOD-1 on parameters related to metabolic syndrome in diet-induced obese mice
19年7月	日本下水道新聞	省エネ機器と NH ₄ 制御による低動力反応タンクシステムの性能・導入効果の評価

発表年月	発表課目	発表先
19年7月	京都大学環境衛生工学研究会 第41回シンポジウム	画像解析による炉内監視技術の確立
19年8月	39th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants	LABORATORY-SCALE EXAMINATION FOR DECHLORINATION OF SHORT-CHAIN CHLORINATED PARAFFINS BY USING METAL SODIUM DISPERSION METHOD
19年8月	(公社) 日本下水道協会 第56回下水道研究発表会	高濃度消化・省エネ型バイオガス精製による効率的エネルギー利活用技術実証研究
19年8月	(公社) 日本下水道協会 第56回下水道研究発表会	非圧入式スクリーブレス脱水機の下汚泥への適用
19年8月	(公社) 日本下水道協会 第56回下水道研究発表会	精製消化ガスを用いた水素製造プロセスに関する研究
19年8月	(公社) 日本下水道協会 第56回下水道研究発表会	省エネ機器とNH ₄ 制御による低動力反応タンクシステムの性能・導入効果の評価
19年9月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第30回廃棄物資源循環学会研究発表会	準好気性埋立処分場の機能検査と評価事例(その4)
19年9月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第30回廃棄物資源循環学会研究発表会	金属ナトリウム分散体法による短鎖塩素化パラフィン類の無害化処理: 分解率の技術ガイドライン達成に向けた分析検討
19年9月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第30回廃棄物資源循環学会研究発表会	ユーグレナグラシリス EOD-1の摂取がシーズン中のアスリートの腸内に及ぼす影響
19年10月	北海道大学衛生工学シンポジウム 第27回衛生工学シンポジウム	MF膜モジュールの新規薬品洗浄方法の検討と膜の長寿命化実証
19年10月	7th IWA Specialist Conference on Natural Organic Matter IWA 水中の天然有機物に関する専門家会議(NOM7)	Analysis of Organic Foulants on Micro-Filtration Membrane Modules of Motoyama Drinking Water Treatment Plant
19年10月	月刊誌「環境浄化技術」2019年11月号	ガス化溶融炉における排ガスCO, Nox制御技術
19年10月	第41回日本臨床栄養学総会・第40回日本臨床栄養協会総会 第17回大連合大会	ユーグレナグラシリス EOD-1の摂取がアクティブシニアに及ぼす影響
19年11月	「薬理と治療」第47巻第11号	ユーグレナ・グラシリス EOD-1株由来パラミロン摂取による日常生活における疲労感軽減効果—ランダム化二重盲検プラセボ対照並行群間比較試験—
19年11月	(一社) 膜分離技術振興協会 第25回膜分離技術セミナー	浄水MF膜のファウリング対策事例の紹介
19年11月	(公社) 日本薬学会 学術誌「Chemical and Pharmaceutical Bulletin」11月号	Morphometric analysis of paramylon particles produced by Euglena gracilis EOD-1 using FIB/SEM tomography
19年11月	化学工学粒子・流体プロセス部会流動層文科会 第25回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム	流動層の混合挙動に与える砂層高さの影響評価
20年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第41回全国都市清掃研究・事例発表会	熱処理残渣における未規制・有価物質の探索とリサイクル性調査
20年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第41回全国都市清掃研究・事例発表会	流動床式ガス化溶融炉における最終処分量低減
20年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第41回全国都市清掃研究・事例発表会	はつかいちエネルギークリーンセンター次世代型流動床炉の稼働状況について

本 社 / 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78 ☎ (078)232-8018 FAX(078)232-8051
〒651-0086 神戸市中央区磯上通2丁目2番21号(三宮グランドビル) ☎ (078)232-8018 FAX(078)232-8051
技術研究所 / 〒651-2241 神戸市西区室谷1丁目1-4 ☎ (078)992-6500 FAX(078)997-0550
東 京 支 社 / 〒141-0033 東京都品川区西品川1丁目1番1号(飯田町駅前ビル) ☎ (03)5931-3700 FAX(03)5131-5700
大 阪 支 社 / 〒541-8536 大阪市中央区備後町4丁目1-3(御堂筋三井ビル) ☎ (06)6206-6751 FAX(06)6206-6760
九 州 支 社 / 〒812-0012 福岡市博多区博多駅中央街1-1(新幹線博多ビル) ☎ (092)474-6565 FAX(092)441-4440
北海道支店 / 〒060-0004 札幌市中央区北四条西5丁目1-3(日本生命北門館ビル) ☎ (011)241-4647 FAX(011)241-5759
東 北 支 店 / 〒980-0811 仙台市青葉区一番町1丁目2-25(仙台NSビル) ☎ (022)716-6651 FAX(022)263-2049
名古屋支店 / 〒451-0045 名古屋市西区名駅2丁目27-8(結晶ファインセラミックスビル) ☎ (052)581-9876 FAX(052)563-2313
播磨製作所 / 〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島19 ☎ (079)436-2500 FAX(079)436-2506
室蘭SD製造所 / 〒050-0055 室蘭市崎守町387-25 ☎ (0143)50-3036 FAX(0143)50-3066
ロンドン事務所 / Building 3, Chiswick Park, 566 Chiswick High Road, London, W4 5YA, United Kingdom ☎+44-208-849-5558
プノンペン事務所 / DMS, 1st Floor, #55, st310, Sangkat Beung kengkang1, Khan chamkamorn, Phnom Penh, Kingdom of Cambodia
☎+855-23-210-301 FAX+855-23-210-309

神鋼環境ソリューション技報 2020年度 Vol.17 No.1 通巻33号

〈本社〉株式会社神鋼環境ソリューション 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78

〈編集発行〉〒651-2241 神戸市西区室谷1丁目1-4 株式会社神鋼環境ソリューション 技術開発センター(神鋼環境ソリューション技報編集委員会事務局)
☎(078)992-6527 FAX(078)992-6504 <http://www.kobelco-eco.co.jp>

〈編集委員〉編集委員長/佐久間英明 委員/高橋円・細田博之・小川正浩・竹村元伸・吉田忠広・荻野行洋・青木勇・南俊充・須田龍生・松本勝生

〈発行〉2020年9月15日印刷 2020年9月20日発行 年2回発行《禁無断転載》《発行人》隅晃彦《印刷所》中村印刷株式会社

神鋼環境ソリューション

この用紙は、パルプを漂白するときに塩素ガスを使わない「無塩素漂白 (ECF)」という方法で作られています。