

# TSK 技報

2019  
December

No.22

月島機械株式会社

TSK技報 No.22 2019

TSK TECHNICAL REVIEW

TSK 月島機械株式会社

論文1

中小規模処理場向け  
下水汚泥脱水乾燥システムの開発

論文2

鉄化合物を含む  
下水汚泥炭化物の発熱特性

**TSK** 月島機械株式会社  
www.tsk-g.co.jp

## 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

# TSK 技報

No.22 2019

## 目次

4	巻頭言 新たな時代の幕開け	執行役員 横幕 宏幸
6	論文1 中小規模処理場向け下水汚泥脱水乾燥システムの開発	高尾 大
12	論文2 鉄化合物を含む下水汚泥炭化物の発熱特性	上田 厚志
21	製品紹介1 下水汚泥処理施設排ガスからの水銀除去技術	蜂谷 祥之
24	製品紹介2 葛西水再生センターエネルギー自立型焼却炉	山本 隆文
26	製品紹介3 二次電池材料向乾燥機	佐藤 澄人
30	製品紹介4 吊下分離機 石膏プロセスへの適用	渡会 知則
34	製品紹介5 集中監視センターの構築と実証試験	今井 勝彦
38	受注実績紹介 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	加藤 良介
42	研究所紹介 Part-4 晶析による結晶品質評価に関する分析技術の紹介	武田 龍二・橋本 佳子
46	解析 G 紹介 Part3 耐震解析編	本間 秀雄
48	コーヒーブレイク シンギュラリティ(技術的特異点)と現時点の技術について	榊原 健太郎
50	月島今昔物語 晶析	津崎 裕也
54	会社概要・編集後記	

## CONTENTS

4	Foreword	YOKOMAKU Hiroyuki, Executive Officer, Research & Development Division Research & Development Dept. and R&D Center Environmental Business Division Solution Technology Dept.	
6	Paper1	Development of a dewatering and drying system for sewage sludge in small- and medium-scale plants	TAKAO Dai
12	Paper2	Thermal Characteristics of Carbonized Sewage Sludge Containing Iron Compounds	UEDA Atsushi
21	Product1	Mercury removal technology for flue gas emitted from a sewage sludge treatment plant	HACHIYA Yoshiyuki
24	Product2	Self-energizing Sewage Sludge Incinerator for the Kasai Water Reclamation Center	YAMAMOTO Takafumi
26	Product3	Dryer for Secondary Battery Material	SATO Sumito
30	Product4	Suspended Centrifuge "CENTRIFUGAL" for GYPSUM process applications	WATARAI Tomonori
34	Product5	Centralized monitoring center construction and verification test	IMAI Katsuhiko
38	Introduction of products	Production of the steel digestion-tank project at the Nakagawa Water Recycle Center	KATO Ryosuke
42	Introduction of R&D Center Part4		TAKEDA Ryuji / HASHIMOTO Yoshiko
46	Introduction of CAE Group Part3		HONMA Hideo
48	Coffee Break		SAKAKIBARA Kentaro
50	Tsukushima Tales of Times Now Past		TSUZAKI Hiroya
54	Corporate Profile / Editor's Note		

表紙の写真



未完の世界遺産「サグラダ・ファミリア」  
大聖堂の鮮やかなステンドグラス

# 新たな時代の幕開け

# 令和



## 横幕宏幸

執行役員

開発本部 研究開発部 研究所 部門担当  
 研究開発部 部長  
 水環境事業本部 ソリューション技術部 部門担当

今年令和元年、新たな時代の幕開けである。ラグビーワールドカップ開催、来年度には2020東京オリンピック開催に胸を躍らせている方も多いことであろう。一方、米中の貿易摩擦、隣国との関係悪化、気温の上昇、台風による災害など、今後不安を抱えている方も少なくないはず。

当社の昨年度を振り返ると、受注額ならびに収益が過去最高と業績的にはすばらしい年であった。

これもひとえに長年にわたる技術の蓄積、諸先輩らから引き継がれ、培ってきた技術をベースに、社員一同、たゆまぬ努力を惜しまず精進に励んできた贈物であろう。

当社は創業以来培われてきた固液分離技術、反応、晶析、ろ過、分離、さらには乾燥、焼却をコア技術として、食品、化学、鉄鋼を中心とした様々な産業分野、上水、下水を中心とした水環境分野に応用、展開してきた。

産業分野は一部に景気の回復がみられるものの、依然として不透明感が強まっている。近年、アジア諸国を中心に新興国の技術力向上による競争激化も加わっており、これまでどおりの手法で業績をあげるのが非常に難しい状況が続いている。技術の進化、付加価値創造がより一層重要視される時代となってきているのを痛切に感じている。

昭和から平成にかけて公害問題、環境意識の変革に伴い、上水、下水、廃棄物分野において環境対策機器が注目され、新規、

増設案件が止まることなく引き合いがあった。苦難もあったが、それなりの対価もあったであろう。

平成から令和への変遷の中で、世界規模のエネルギー、情報技術のパラダイムシフトが起こり、SDGsに代表される意識の改革、ビジネスモデルの大変革が起こっている。

日本の行政をみると人口減少、地方財政の逼迫に端を発した広域処理、DBO、PFIといった官民連携事業の推進、縦割り社会や都市と地方格差からの脱却を意味する地域循環共生圏の創造が盛んに叫ばれている。時代が移り、平成から令和時代へ、様々なところに変化が現れた。

世の中のニーズ、市場、ビジネスモデルも変わってきた。当社は追従できているだろうか。

このような社会情勢が変動する中、当社技術のコアコンピタンスとは何か、改めて考えてみる必要がある。固液分離を中心とした単体操作技術、乾燥、焼却といった熱技術、これら単体操作技術を活用したプラントの製造、建設技術、プラントを効率よく運用するO&M マネジメント技術。我々には115年の歴史の中で受け継いできた誰もがうらやむ宝物がある。この宝物をしっかりと引き継ぎ、次の世代へ渡していく義務がある。

一方、市場ニーズの移り変わりに対応し、当社が持続成長していくためには注力すべき技術に関して見直す時期に来ている。経営資源も有限であり、残念ながら進化するためには捨てざるを得な

いものもある。今後伸ばしていくコア技術の見極めが必要である。

先進性、優位性、必要性のあるコア技術こそ事業拡大の礎となる。

令和元年、10年後の収益基盤の礎となる最重要テーマとして、水環境分野では「創エネ焼却システム」、産業分野では「二次電池正極材前駆体/正極材製造技術」、基盤分野では「ICT/AI活用技術」の全社的開発プロジェクトを発足した。本プロジェクトを完遂するとともに、今後も継続して将来を見据えた開発テーマを立ち上げていきたい。

また、当社を支えてきた市川工場も43年の歴史に幕を閉じ、今年新たに室蘭工場が幕開けした。

来年2月には新研究所も稼働となる見込みとなっている。新たな時代の幕開けである。

「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」企業理念のもと、当社社員一同、自己研鑽、たゆまぬ努力を惜しまず、月島機械の新たな歴史を刻み続けていきたい。

# 中小規模処理場向け 下水汚泥脱水乾燥システムの開発

## Development of a dewatering and drying system for sewage sludge in small- and medium-scale plants



高尾 大  
TAKAO Dai  
水環境事業本部  
ソリューション技術部  
新事業グループ

### Abstract

A dewatering and drying system combined with a centrifugal dehydrator and circulated flush dryer was developed. This paper describes: 1) the performance of the system for the various target sludge types, 2) the results of the investigation where the dewatering machine type is changed from a centrifugal dehydrator to a belt press filter, 3) the utilization of dried sludge by this system for fertilizer and bio-fuel applications, and 4) the cost estimation for applying this system to an actual sludge treatment plant.

In 1) the digested, mixed raw, and oxidation ditch method sludge were targets for this system. It was confirmed that the moisture content of dried sludge can be changed from 10 to 50% by adjusting the temperature of the hot gas supplied to the dryer.

In 2) the performance of changing the dewatering machine from a centrifugal dehydrator to a belt press filter was investigated, and it was confirmed that the moisture content of dried sludge can be changed from 10 to 50% like in 1).

In 3) the performance of dried sludge for fertilizer and bio-fuel applications was investigated. First, when the characteristics of dried sludge as a fertilizer were analyzed, soy and feed rice were cultivated using dried sludge as a fertilizer so that the same yield could be achieved in comparison to the case using a chemical fertilizer. Next, when the characteristics of dried sludge as a bio-fuel

were analyzed, it was confirmed that dried sludge can be used as bio-fuel in incineration power generation equipment of SunEco-Thermal.

In 4) the cost was estimated for applying this system to an actual sludge treatment plant. The estimation method was a comparison of this system with the conventional dewatering machine and a conventional dryer, and assumed various sizes of sludge treatment plants and the final disposal cost of treated sludge. In all cases the life cycle cost could be reduced by applying this system. The effect of applying this system became higher when there were larger amounts of sludge and higher disposal costs of treated sludge.

中小規模の処理場向けに機内二液調質型遠心脱水機と円環式気流乾燥機を組み合わせた脱水乾燥システムを開発した。

本稿では、1) 各種汚泥の性能評価、2) 脱水機種をベルトプレスに変更した場合の性能評価、3) 乾燥汚泥の有効利用に関する評価及び4) システムの導入時のコスト評価について報告する。

1) 各種汚泥の性能評価においては、対象汚泥を消化、混合生汚泥及びオキシデーションディッチ汚泥とし、それぞれの汚泥において熱風温度の調整により乾燥汚泥含水率を10～50%に調整できることが確認された。

2) 脱水機種をベルトプレスに変更した場合の性能評価を行い、消化汚泥及び混合生汚泥共に乾燥汚泥含水率を10～50%に調整できることが確認された。

3) においては、乾燥汚泥を肥料や燃料として有効利用した場合の評価を行った。まず、肥料としての性状を把握した上で、大豆や飼料米を栽培し、化学肥料のみで栽培した区画と同等の収量が得られた。更に燃料としての性状を調査した上で、サンエコサーマルの焼却発電設備において、燃料利用が可能であることを確認した。

最後に4) においては、実際の下水処理場において、本システムの導入時のコスト評価を実施した。評価方法としては、様々な規模の下水処理場において、汚泥処分単価を複数パターン想定し、従来の脱水機と従来の乾燥機との比較検討を行った。いずれのケースにおいても同システムの導入により、LCCの低減効果があり、特に汚泥の発生量や処分単価が高い処理場において、導入効果が高いことが分かった。

キーワード：下水汚泥処理、円環式気流乾燥機、機内二液調質型遠心脱水機、肥料化、燃料化  
Keyword: Sewage sludge treatment, circulated flush dryer, centrifugal dehydrator, sludge fertilizer, bio-fuel

### 1 はじめに

近年、バイオマス資源として下水汚泥の利活用促進が国家的な施策として掲げられ、大規模処理場を中心に下水汚泥の燃料化事業が普及しつつある。一方、中小規模処理場では依然として脱水汚泥は外部委託処分しており、汚泥の有効利用のための新たな設備投資は財政的にも難しい状況にある。このため、中小規模処理場における汚泥の有効利用の促進には、低コストかつ多様な有効利用用途に対応できる汚泥処理設備の確立が急務である。こうした背景から、月島機械株式会社、サンエコサーマル株式会社、日本下水道事業団、鹿沼市、鹿沼市農業公社で構成する共同研究体は、機内二液調質型遠心脱水機と円環式気流乾燥機を組み合わせ、建設・維持管理費が低減でき、乾燥汚泥含水率の調整により多様な有効利用に対応できる脱水乾燥一体型のプロセスを開発した。平成28年度には国土交通省下水道革新的技術実証事業(B-DASH プロジェクト)として実証設備を設計・建

設し、主に消化汚泥を対象とし性能評価を行った<sup>1)</sup>。本稿では、各種汚泥に対する性能や脱水機種をベルトプレスに変更した性能など設備性能に関する評価に加えて、乾燥汚泥の有効利用や実際の処理場に導入した場合のコスト評価について報告する。

### 2 技術概要

#### 2.1 開発コンセプト

脱水乾燥システムの概要を図1に示す。本システムは機内二液調質型遠心脱水機と円環式気流乾燥機を組み合わせた脱水乾燥一体型のシステムであり、低コスト化を図り多様な有効利用に対応できることを開発コンセプトとしている。

#### 2.2 全体フロー

システム構成を記した実証設備フローを図2に示す。

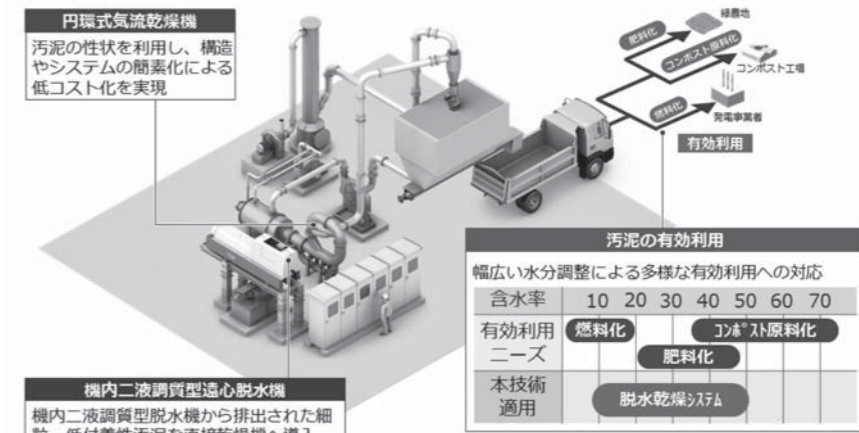


図1 脱水乾燥システム概要  
Fig.1 Overview of a dewatering and drying system

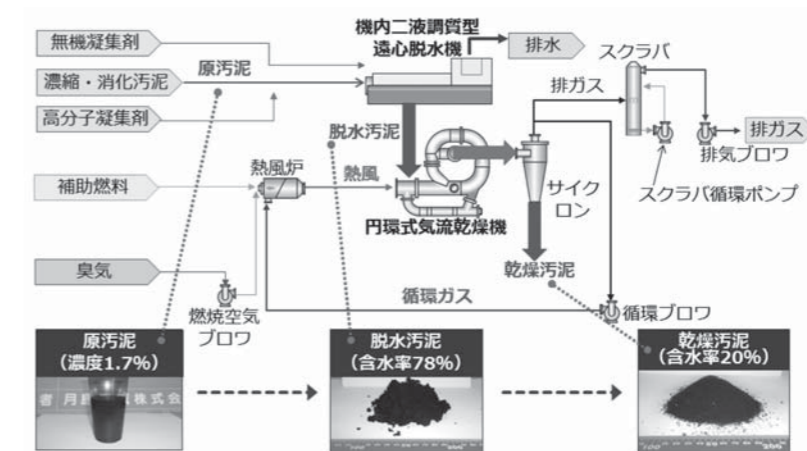


図2 実証設備フロー  
Fig.2 Flow of a demonstration equipment

脱水乾燥システムは大きく分けて、脱水設備と乾燥設備から構成されている。脱水設備は、機内二液調質型遠心脱水機、汚泥・高分子凝集剤・無機凝集剤供給ポンプ、振分コンベヤおよび排水槽から構成されている。乾燥設備は、円環式気流乾燥機、サイクロン、熱風炉、燃焼空気ブロワ、循環ブロワ、スクラバ、循環ポンプ、排気ブロワから構成されている。

処理対象となる汚泥（汚泥固形物濃度1.6%～1.8%程度）は高分子凝集剤、無機凝集剤とともに遠心脱水機に供給され、機内の遠心場において固液分離作用を受け、脱水汚泥として排出される。脱水汚泥は乾燥機へ搬送される。

円環式気流乾燥機に供給された脱水汚泥は、熱風炉から供給された250℃～500℃程度の熱風と直接接触し、空気輸送にて円環内を循環しながら乾燥される。乾燥された汚泥は排気とともに空送され、サイクロンにて固気分離され、コンベヤを介して乾燥汚泥貯留槽に貯留される。

以上のように、脱水と乾燥をダイレクトに組み合わせることにより、機器点数が少ない低コストかつシンプルなプロセスを実現した。

### 3 実証試験

#### 3.1 実証フィールドと設備概要

図3に実証設備概要を示す。今回実証設備を設置した栃木県鹿沼市黒川終末処理場（1976年6月供用開始）は、水処理方式として標準活性汚泥法を採用し、現有的水処理能力は34,000m<sup>3</sup>/日（日平均27,200m<sup>3</sup>/日：2016年3月末現在）である。汚泥処理では消化設備を有し、100m<sup>3</sup>/日の消化汚泥を脱水し、10 t/日の脱水汚泥を外部委託処分しており、その費用が大きな課題となっている。

実証設備は同処理場から発生する汚泥を全量処理することが可能

な設備容量を有しており、脱水乾燥設備、乾燥汚泥貯留設備及び排ガス処理設備から構成されており屋外配置である。ただし、脱水乾燥設備は非常にコンパクト（5m×7m×5mH）であり、既設脱水機と同等のスペースで屋内配置も可能である。

#### 3.2 調査方法

##### 3.2.1 各種対象汚泥に対する性能評価

同処理場から発生する消化汚泥、混合生汚泥及び鹿沼市内から発生するオキシデーションデイチ法汚泥（以降、OD汚泥）を対象汚泥とし、脱水乾燥システムの各種運転パラメータの最適条件を見出し、本システムの性能目標である乾燥汚泥含水率10～50%の調整機能を評価した。

##### 3.2.2 脱水機種をベルトプレスに変更した場合の性能評価

基本的なフローは図2に示した脱水乾燥システムを用いて、脱水機のみを遠心脱水機からベルトプレス脱水機（以降、BP）に変更した場合の性能評価を実施した。3.2.1同様に乾燥汚泥含水率10～50%の調整機能を評価した。

##### 3.2.3 乾燥汚泥の有効利用に関する評価

本システムより得られた乾燥汚泥を肥料及び燃料として有効利用した場合の評価を行った。肥料利用については肥料取締法で規定されている成分分析を行ったうえで、実際の圃場で大豆や飼料米を栽培し、通常の化学肥料と収量の比較を行った。燃料利用については日本工業規格（JIS Z7312）で規定されている成分分析を行ったうえで、サンエコサマルの焼却発電設備にて使用し、貯留、搬送設備や燃焼性などの評価を行った。

##### 3.2.4 システムの導入時のコスト評価

本システムを実際の処理場に導入した場合のライフサイクルコスト（以降、LCC）の評価を行った。比較対象としては従来の脱水設備

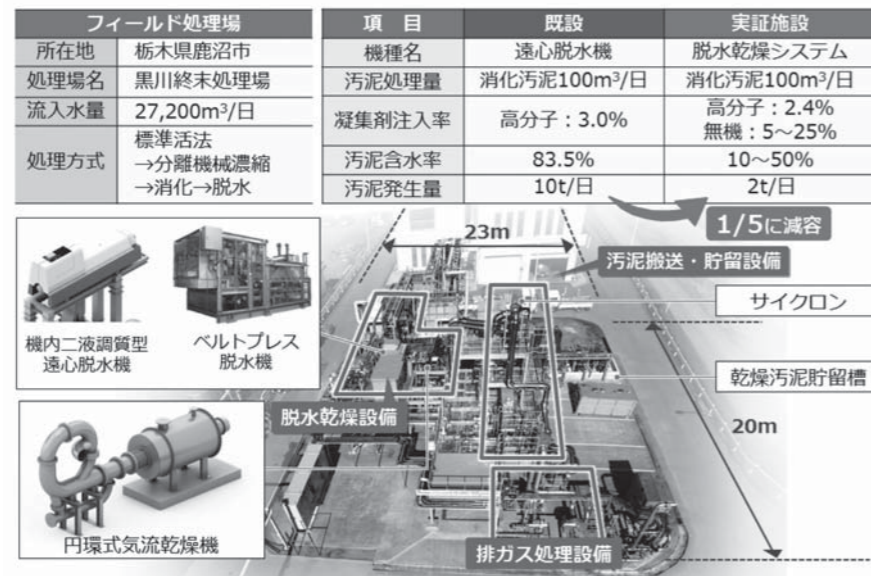


図3 実証設備について  
Fig.3 Overview of a demonstration equipment

（以降、従来脱水）及び従来の脱水設備と乾燥設備（以降、従来乾燥）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<sup>2)</sup>から費用関数により試算し、本システム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）を試算した。

## 4 調査結果

### 4.1 各種汚泥の性能評価

表1に性能評価条件、図4に乾燥汚泥含水率と熱風温度の関係を示す。気流乾燥に適した脱水汚泥の性状が得られる無機凝集剤注入率は対象汚泥によって異なり、消化汚泥では10%以上、混合生汚泥では5%以上、OD汚泥では0%（一液調質）であったが、いずれの対象汚泥に対しても熱風温度を250～550℃にすることで乾燥汚泥含水率10～50%に調整できることが確認された。

表1 各種汚泥に対する性能評価条件  
Table1 Evaluation condition of the performance of the system for the various target sludge types

対象汚泥	消化	混合生	OD
汚泥処理量	m <sup>3</sup> /h 4.2	2.1	6.3
汚泥濃度	% 1.5	2.9	0.9
高分子注入率	% 1.9	0.8	1.1
無機注入率	% 10	5	0
脱水汚泥含水率	% 77.2	76.1	80.7
熱風温度	℃ 250～550℃の範囲		
乾燥汚泥含水率	% 10～50%の範囲で調整		

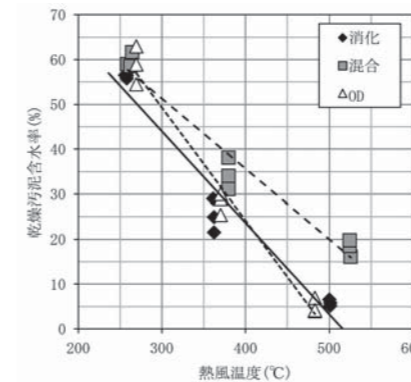


図4 熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係  
Fig.4 The relationship between hot air temperature and moisture content of dried sludge

### 4.2 各種汚泥に対する性能評価

#### (1) 消化汚泥

表2に性能評価条件、図5に乾燥汚泥含水率と熱風温度の関係を示す。遠心との組合せにおいては乾燥に適した汚泥性状を得るために無機凝集剤注入が必須である一方、BPでは排出される汚泥が板状であり、容易に解砕されることから、一液調質においても組合せが可能であった。また、調質条件に因らず熱風温度により乾燥汚泥含水率を任意に調整できることが確認された。

表2 消化汚泥に対する性能評価条件  
Table2 Evaluation condition of the performance of the system for digested sludge

脱水機種	BP		遠心
	一液	二液	二液
調質方法			
汚泥処理量	m <sup>3</sup> /h 4.2	4.2	4.2
汚泥濃度	% 1.3	1.4	1.4
高分子注入率	% 1.7	1.6	1.7
無機注入率	% 0	18	18
脱水汚泥含水率	% 81.0	77.6	78
熱風温度	℃ 250～550℃の範囲		

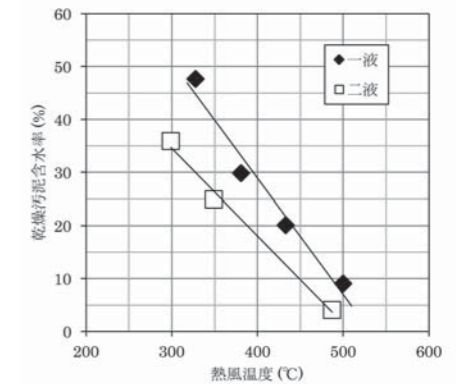


図5 熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係  
Fig.5 The relationship between hot air temperature and moisture content of dried sludge

#### (2) 混合生汚泥

表3に性能評価条件、図6に乾燥汚泥含水率と熱風温度の関係を示す。消化汚泥同様、一液調質において組み合わせ及び乾燥汚泥含水率の調整が可能であることが確認された。

表3 混合汚泥に対する性能評価条件  
Table3 Evaluation condition of the performance of the system for mixed raw sludge

脱水機種	BP		遠心
	一液	二液	二液
調質方法			
汚泥処理量	m <sup>3</sup> /h 2.1	2.1	2.1
汚泥濃度	% 3.3	3.3	3.3
高分子注入率	% 0.7	0.9	0.9
無機注入率	% 0	18	18
脱水汚泥含水率	% 75.2	74	74
熱風温度	℃ 250～550℃の範囲		

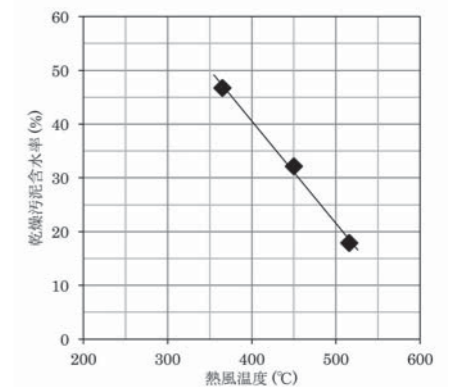


図6 熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係  
Fig.6 The relationship between hot air temperature and moisture content of dried sludge

4.3 乾燥汚泥の有効利用に関する評価

(1) 肥料利用

表4に乾燥汚泥の肥料成分の分析結果を示す。分析結果から各種汚泥ともに窒素及びリンを豊富に含み、また、有害成分・溶出試験(データは割愛)にも問題がなく、肥料として利用可能であることが確認された。なお、鹿沼市ではこの実証設備で製造される乾燥汚泥肥料を『黒川eco肥料』という名称で、平成29年10月に普通肥料登録を行っている。

次に、この乾燥汚泥を鹿沼市農業公社の圃場で実際の作物に施肥した結果について報告する。表5に大豆、表6に飼料米を栽培した結果を示す。

成分分析結果からも分かるように下水汚泥は窒素やリンを豊富に含む良質な肥料原料であるが、カリウム分が極端に少ない。このため使用に際しては、化学肥料を併用しカリウム分を補充することで、対照区(化学肥料のみを施肥)と同等以上の収量が得られた。こうしたことから、特性に合わせた使用方法を示すことにて十分肥料としての活用が可能であるといえる。

表4 肥料成分分析結果

Table4 Fertilizer component analysis results

対象汚泥	結果
亜鉛	mg/kg 433
窒素	% 5.83
りん酸	% 4.26
加里	% 0.2
石灰	% 1.51
銅	mg/kg 466
水分	% 16.8
C/N比	- 5.91

表5 肥料利用試験結果(大豆)

Table5 Fertilizer utilization test results (soybean)

	試験区	対照区
圃場	15a	15a
作物	大豆	
施肥	化学肥料 20kg	30kg
	汚泥肥料 180kg	-
大豆収量	390kg	341kg

表6 肥料利用試験結果(飼料米)

Table6 Fertilizer utilization test results (rice)

	試験区	対照区
圃場	28.5a	31.6a
作物	飼料用米	
施肥	化学肥料 塩化カリ 9kg/10a	50kg
	汚泥肥料 172kg/10a	-
収量	73.0kg/a	66.3kg/a

(2) 燃料利用

表7に乾燥汚泥の燃料成分の分析結果を示す。成分分析結果から各種汚泥ともに発熱量、含水率ともにJIS Z7312を満足していることが確認された。また、共同研究体の構成員であるサンエコサーマル株式会社の焼却発電設備にて年間を通じて乾燥汚泥(消化汚泥)を使用結果については、搬送や貯留などの設備面については図7に及び炉内での燃焼性については図8に示す。乾燥汚泥は搬送、貯留工程や燃焼工程においても問題がなく、実用上燃料として活用可能であることが確認された。

表7 燃料成分分析結果  
Table7 Fuel component analysis results

対象汚泥	消化	混合生	JIS BSF-15
含水率	% 12	14	20以下
灰分	% 18	11	-
総発熱量	乾基準 19	20	
	湿基準 17	17	15以上

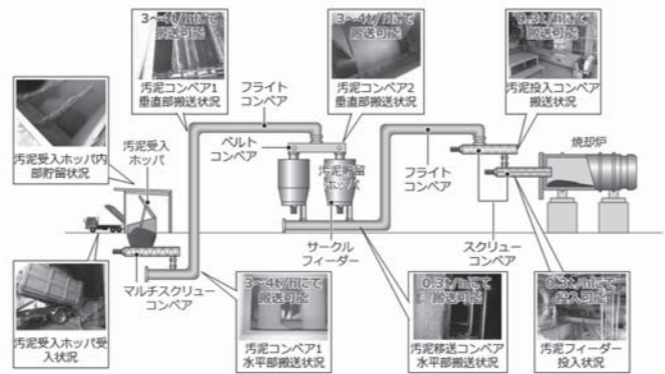


図7 サンエコサーマルにおける設備面の評価結果  
Fig.7 Equipment evaluation results in SunEcoThermal

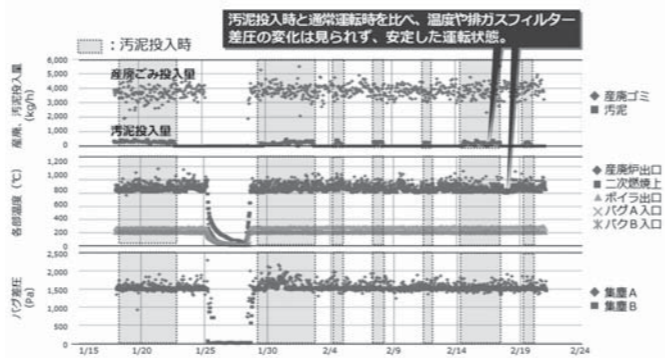


図8 サンエコサーマルにおける燃焼面の評価結果  
Fig.8 Flammability evaluation results in SunEcoThermal

4.4 システムの導入時のコスト評価

表8に検討条件を示す。図9に消化汚泥発生量1.73t-ds/日の処理場における従来脱水、従来乾燥及び脱水乾燥のLCC比較結果を示す。従来脱水に対しては汚泥処分費の低減効果、従来脱水+乾燥に対しては建設費・維持管理費の低減効果により、脱水乾燥のLCCの低減が可能であることが確認された。

図10に従来技術のLCCに対しての縮減率と汚泥発生量の関係を示す。従来脱水に対しては処分単価が高く、また汚泥発生量が多いほど縮減率が高い結果となった。従来乾燥に対しても汚泥発生量が多いほど縮減率が高い結果となった。

5 まとめ

実証研究より、以下の4点が示された。

- ① 消化、混合生及びOD汚泥いずれの対象汚泥に対しても、脱水乾燥処理が可能であり、熱風温度の調整により乾燥汚泥の水分を10%から50%に調整できた。
- ② 脱水機種をベルトプレスに変更した場合においても同様の性能が確認された。
- ③ 本システムで得られた乾燥汚泥は肥料や燃料としての有効利用が可能であることが示された。

- ④ 実際の下水処理場への導入検討では、従来脱水や従来乾燥に対して特にLCCにおいて汚泥処理費用のウエイトが高い条件において高い導入効果があった。

以上から、本技術は下水汚泥の多様な有効利用に対応した低コスト型の汚泥処理技術として期待できる。今後は、運転の長期安定性の確認や他の脱水機と円環式気流乾燥機の組み合わせについて検討予定である。

6 謝辞

本研究を行なうにあたり、B-DASH プロジェクトに採択および研究を委託してくださいました国土交通省様、国土交通省国土技術政策総合研究所、そして共同研究者である、日本下水道事業団、サンエコサーマル株式会社、鹿沼市、公益財団法人鹿沼市農業公社に深く感謝の意を表させていただきます。

参考・引用文献

- 1) TSK技報、2017、NO.20、論文：中小規模下水処理場向け下水汚泥脱水乾燥システムの開発、中村ら
- 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(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル 2004年

表8 導入検討条件  
Table8 Introduction consideration condition

項目	内容	
消化汚泥発生量	0.4~4.30t-ds/日 (平均)	
水処理	標準活性汚泥	
汚泥処理	分離機械濃縮→消化	
単価	従来脱水	脱水汚泥処分：23±4千円/t
	従来乾燥	乾燥汚泥処分：19千円/t
	脱水乾燥	乾燥汚泥有効利用：5,000円/t(輸送費として)
薬品	高分子 1000円/kg, 無機 88円/kg	
電力	15円/kWh	
燃料 <sup>注)</sup>	消化ガス(無償)及びA重油 71円/L	

注：燃料は優先で消化ガスを利用し、不足熱量分を重油使用

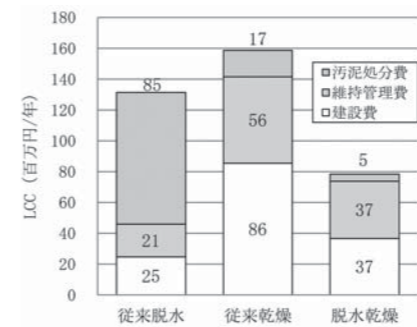


図9 LCC構成と従来技術との比較  
Fig.9 Comparison between LCC configuration and conventional technology

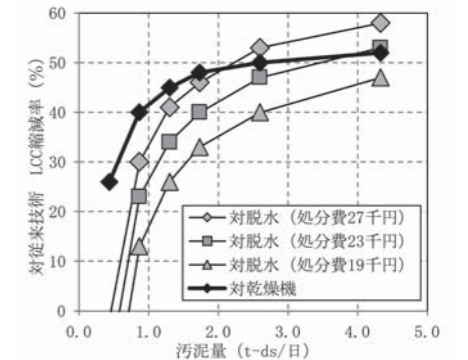


図10 LCC縮減率と汚泥発生量の関係  
Fig.10 Relationship between LCC reduction rate and sludge generation

# 鉄化合物を含む下水汚泥炭化物の発熱特性

## Thermal Characteristics of Carbonized Sewage Sludge Containing Iron Compounds



上田 厚志  
UEDA Atsushi  
水環境事業本部  
ソリューション技術部  
新事業グループ

### Abstract

Sewage sludge may contain artificial compounds added during the intermediate treatment process, as well as natural inorganic matter and compounds discharged by human activity. For example, carbonized sewage sludge produced for the purpose of fuel utilization, may affect its self-heating characteristics depending on the compound added. In this study, in order to evaluate the effect of iron compounds produced by carbonization on self-heating characteristics, poly ferric sulfate was added, and the thermal behavior caused by the oxidation reaction of carbonized sewage sludge was analyzed. The elemental speciation of iron compounds in carbonized sewage sludge was also analyzed. As a result, it was found that carbonized sewage sludge containing poly ferric sulfate might decrease self-heating characteristics by retaining atmospheric conditions for several days. It was found that the heating value caused by the oxidation reaction tended to increase according to the amount of poly ferric sulfate added. Based on the elemental speciation analysis of the iron compounds, it was confirmed that  $\text{FeSO}_4$  hydrates exists in carbonized sewage sludge immediately after production and become  $\text{Fe}(\text{OH})\text{SO}_4$  after oxidation.

下水汚泥には、天然由来の無機物や人間活動に伴って排出される化合物の他、中間処理工程の中で添加される人工的な化合物が含まれる場合がある。燃料利用等を目的にバイオマスから炭化物を製造する場合、添加される化合物によっては、自己発熱性に影響を与える可能性がある。そこで本研究では、炭化処理にて生成された鉄化合物による自己発熱性への影響を評価するため、添加する化合物としてポリ硫酸第二鉄を選定し、酸化反応による熱挙動の確認と鉄化合物の形態解析を行った。その結果、ポリ硫酸第二鉄を含む下水汚泥から製造された炭化物は、数日間空気雰囲気下で保持することにより、もとの炭化物より自己発熱性が抑制される可能性があることがわかった。また、添加するポリ硫酸第二鉄の量に応じて酸化反応による発熱量が増す傾向が認められた。鉄化合物の形態解析の結果によると、製造直後の炭化物には、 $\text{FeSO}_4$ の水和物が存在し、それを酸化させることにより $\text{Fe}(\text{OH})\text{SO}_4$ となることが確認された。

キーワード：下水汚泥、炭化、ポリ硫酸第二鉄、酸化  
Keyword: Sewage sludge, carbonization, poly ferric sulfate, oxidation

## 1 はじめに

バイオマスは、太陽エネルギーと生物活動がある限り持続的に再生可能な資源であり、エネルギー資源の乏しい我が国にとって貴重なエネルギー源である。また、バイオマスはカーボンニュートラルという特性を持っていることから、化石燃料の代替燃料として利用することで、温室効果ガスの削減にも寄与する。エネルギー源として利用可能なバイオマスは、大きく分けて廃棄物系、未利用系、生産系に分類される。これらのうち、特に廃棄物系バイオマスの畜産廃棄物や家庭ごみ、汚泥等については、水分や臭気の問題でそのままの形態で利用するのが困難な場合があり、その対策の一つとして炭化処理が行われる。バイオマスから製造された炭化物は、石炭に類似した性状を示すことから、石炭代替燃料としての利用が可能であるが、石炭同様、空気雰囲気下で酸化反応を起こすため、発熱特性を十分に把握した上で取り扱うことが重要である。

石炭や炭化物の自己発熱性に影響を与える因子としては、外的環境によるものと石炭や炭化物の性状によるものがある。前者は、貯留時における堆積量、期間、温度、空気の流通等があり、後者は、可燃分組成、揮発分、灰分、含水率、粒径、表面積等があげられる。石炭の性状による影響については、既往の研究において数多くの報告がなされている。Wangら<sup>1)2)</sup>が報告するには、石炭の酸化には二つの反応経路が存在し、一つは石炭が酸化されて $\text{CO}_2$ や $\text{CO}$ といったガスを迅速に生成する反応で、もう一つは酸素の化学吸着である。化学吸着の反応過程では、まず石炭に酸素が吸着され過酸化物を生成し、ヒドロキシル基、カルボニル基、カルボキシル基を経て、新たな活性サイトが生み出され、酸素の吸着が繰り返されるとしている。これらの反応は、水や無機物の存在により反応速度が変化することが知られている。Clemensら<sup>3)</sup>は、石炭表面に水が存在すると、水がない場合と比較してラジカルが安定して存在できるようになり、その結果、酸化反応が促進するが、含水率が高くなり水の層が厚くなると、酸素の拡散が阻害され酸化反応が抑制されると報告している。また、Zhangら<sup>4)5)</sup>は、オーストラリア産の褐炭と金属塩を用いて、無機物が酸化反応に与える影響を評価しており、炭酸カルシウム( $\text{CaCO}_3$ )、酢酸ナトリウム( $\text{CH}_3\text{COONa}$ )、酢酸カリウム( $\text{CH}_3\text{COOK}$ )、黄鉄鉱( $\text{FeS}_2$ )を混合した場合に酸化速度が促進され、塩化ナトリウム( $\text{NaCl}$ )、塩化カリウム( $\text{KCl}$ )を混合した際に酸化速度が抑制されると報告している。

廃棄物系のバイオマスには、天然由来の無機物のほか、人間活動に伴って排出される化合物や、バイオマスの中間処理工程の中で添加される人工的な化合物が含まれる。特に、含水率が高いものまたは臭気強いバイオマスでは、脱水性向上や臭気抑制等を目的として、多量の鉄化合物を添加する場合がある。著者の経験から、鉄化合物を含む原料を炭化処理すると自己発熱性が増す傾向があるが、既往の研究において、廃棄物系のバイオマスを原料とする炭化物の自己発熱性について報告された事例はない。本稿では、鉄化合物による自己発熱性への影響を評価するため、廃棄物系のバイオマスとして下水汚泥を選択し、鉄化合物の酸化反応による発熱挙動ならびに形態解析について確認を行ったので、その結果について報告する。

## 2 実験

### 2.1 鉄化合物の発熱挙動

#### 2.1.1 実験の目的

鉄化合物による自己発熱性への影響を評価するため、鉄化合物の代表としてポリ硫酸第二鉄(以下、ポリ鉄という)を選択し、ポリ鉄の添加量に応じた発熱量の測定を行った。ポリ鉄は、 $[\text{Fe}_2(\text{OH})_n(\text{SO}_4)_{3-n/2}]_m$ の化学式で示される化合物で、下水処理場では $\text{H}_2\text{S}$ の抑制や脱水助剤等として広く利用されている薬剤である。薬剤として流通しているものは水溶液であり、主成分の $\text{Fe}$ と $\text{SO}_4^{2-}$ の合計が質量分率で約4割を占める。

#### 2.1.2 実験方法

##### (1) 酸化反応による発熱量の測定方法

試料の酸化反応による発熱量はTG-DTA(示差熱分析、ネッチ・ジャパン株式会社製STA2500)を用いて測定した。試料に水分が残存する場合、水分の蒸発に熱量を消費し、酸化反応による発熱量を適正に測定できない。そこで、試料に残存する水分の影響を排除するため、試料を測定装置にセットした後、窒素雰囲気下で所定の温度(90℃)まで昇温し、質量が恒量となるまで乾燥を行った。次に、90℃一定のまま窒素雰囲気から空気雰囲気に切り替えてDTAの測定値が一定となるまで温度を保持し(約120分)、発熱の挙動を確認した。発熱量はDTAのピーク面積から算出した。

##### (2) 試料の製造条件

##### 1) 原料へのポリ鉄添加量を変えた炭化物(ラボでの製造)

酸化反応により発生する熱量は、鉄化合物の酸化反応によるもののほか、官能基の酸化反応による熱量等が含まれる。そこで、鉄化合物単独の発熱量を推定するため、ポリ鉄を含まない原料(下水処理場から採取した脱水汚泥)を用意し、そこに添加量を変えてポリ鉄溶液(原液)を混合した。実験に使用したポリ鉄の組成例(溶液中の質量分率)を表1に示す。以降の実験でポリ鉄を使用する場合は、希釈や濃縮を行わず原液(ポリ鉄溶液)のまま使用した。ポリ鉄溶液の添加量の条件は、原料50.4g(dry)に対し、ポリ鉄溶液0g(添加無)、9.2g(添加小)、22.9g(添加大)の3条件とした。ポリ鉄溶液添加後の各試料の組成を表2に示す。

上記のとおり事前にポリ鉄溶液を混合した試料を用意した後、ラボにて炭化物を製造した。製造方法は、図1に示すように石英ガラス管の中央部に試料(約5g)を保持し、窒素ガスを流通しながら、試料直近に配した温度計が所定の温度となるよう電気ヒーターで加熱した。炭化条件は、後述する商用プラントの製造条件と合わせるため炭化時間1時間、炭化温度300℃とした。

表1 ポリ鉄溶液の組成例  
Table1 Composition of poly ferric sulfate (PFS) aqueous solution

項目	単位	測定値
比重 (20°C)	—	1.5
pH	—	2.2
T-Fe	%	11.3
Fe <sup>2+</sup>	%	<0.01
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	%	26.9
Cl <sup>-</sup>	%	<0.01

表2 ポリ鉄溶液添加後の各試料の組成  
Table2 Composition of sewage sludge added PFS

試料区分	単位	組成						
		C	H	N	O	Fe	S	other
ポリ鉄添加無	dry%	49.1	4.6	7.1	11.1	1.8	0.9	25.4
ポリ鉄添加小	dry%	45.3	4.3	6.6	11.1	4.6	1.1	27.1
ポリ鉄添加大	dry%	41.1	4.0	6.1	11.6	8.6	1.5	27.1

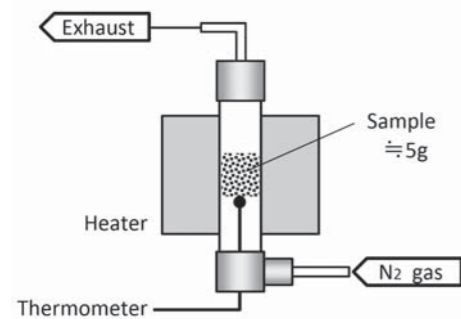


図1 ラボにおける炭化物の製造装置  
Fig.1 Carbonization equipment in laboratory

2) 商用プラント炭化物

現在下水処理場で稼働中の商用プラントの中で、下水処理場の処理工程にてポリ鉄を使用しており、ポリ鉄由来の鉄化合物を含む脱水汚泥から炭化物を製造している商用プラントを選定し、製造直後の炭化物を回収し測定対象の試料とした。炭化物の製造条件は、炭化温度約300°C、炭化時間約1時間である。また、炭化物の酸化反応によって発熱量が低下することを確認するため、製造直後の炭化物を数日間空気雰囲気下に保持して酸化させた炭化物(以下、「酸化後炭化物」という)についても測定対象の試料とした。

(3) 試料の前処理・保管条件

炭化した試料は、空気雰囲気下において酸化反応を起こし、発熱量が低下することが想定されたため、ラボでの製造試料、商用プラント炭化物のいずれについても、試料を採取後速やかに大量の脱酸素剤を入れたセラミック蒸着樹脂製の袋に入れ、常温にて酸素を遮断した状態で保管した。また、保管期間中の酸素の遮断状態を確認するため、試料と共に酸素検知剤を同梱した。

2.2 鉄化合物の形態解析

2.2.1 実験の目的

酸化反応を引き起こす鉄化合物を明らかにするため、ポリ鉄由来の鉄化合物を含む試料について鉄化合物の形態解析を行った。

2.2.2 実験方法

(1) 鉄化合物の分析方法

鉄化合物の分析は、XAFS(X-ray Absorption fine structure: X線吸収微細構造)とXRD(X線回折、株式会社リガク製SmartLab SE)を用いた。XAFSは、測定対象の結晶性や有機物の含有に関係なく測定可能という利点を有するが、測定可能な施設が限られており、測定時間の制約もあることから、鉄化合物の含有量が多い場合はXRDによる測定を行った。

XAFSの測定は、大型放射光施設であるSPring-8(ビームラインBL14B2)を利用し、透過法にて行った。XAFS測定の概要を図2に示す。吸収係数 $\mu$ は式(1)で算出される。

$$\mu t = -\ln I/I_0 \quad (1)$$

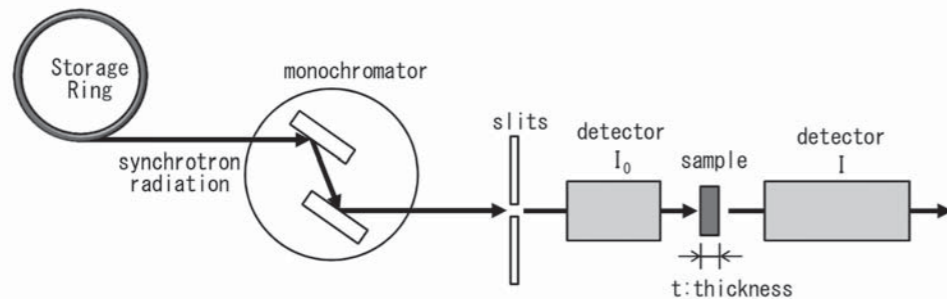


図2 XAFS 測定の概要  
Fig.2 Outline of XAFS method

tは試料の厚さ、I<sub>0</sub>はSi(111)モノクロメーターで単色化された入射X線の強度、Iは透過X線の強度である。XAFSで得られたスペクトルは、株式会社リガク製ソフトウェアREX2000を用いて解析を行い、バックグラウンド(空気により散乱したスペクトル)を差し引いた後、大きな振動構造が観察されなくなった7,400 eV付近で $\mu t=1$ となるように規格化を行った<sup>6)</sup>。

(2) 試料の製造条件

下水汚泥には、天然由来の化合物や人間活動に伴って排出される化合物など、様々な化合物が含まれており、鉄化合物の同定は容易でないことが予想されたため、まずは単純系の試料を製造した。単純系の試料として、ポリ鉄以外の成分を一切含まない「ポリ鉄単独試料」と、有機物の影響を確認するため、有機物の構成成分の一つであるセルロースを混合した「ポリ鉄とセルロースの混合試料」を用意した。その次に、原料中にポリ鉄由来の鉄化合物を含む商用プラントから採取した試料「商用プラント採取試料」を用意した。また、鉄化合物の形態をより確実に測定できるよう、ポリ鉄を過剰に加えた下水汚泥から製造した試料「ポリ鉄と下水汚泥の混合試料」も用意した。それぞれの製造条件を以下に示す。

1) ポリ鉄単独試料(ラボでの製造)

ポリ鉄由来の鉄化合物の形態変化を確認するため、ポリ鉄単独で炭化と同様の処理(窒素雰囲気下での熱処理)を行い、XAFS測定を行った。熱処理の方法は以下に示すとおりである。

まず、ポリ鉄溶液を乾燥して乾燥物を製造し、次に、図1に示すように石英ガラス管の中央部に試料を保持し、窒素ガスを流通しながら、試料直下に配した温度計が所定の温度となるよう電気ヒーターで加熱した。熱処理時間は商用プラントと条件を合わせるため1時間とし、熱処理温度は、250°C、350°C、500°Cの3条件とした。

2) ポリ鉄とセルロースの混合試料(ラボでの製造)

ポリ鉄由来の鉄化合物の形態変化について、有機物の存在による影響を確認するため、下水汚泥に含まれる有機物の構成成分の一つであるセルロースとポリ鉄溶液を混合した模擬サンプルを製造した。測定用試料の調合にあたり、混合性や拡散性を考慮し、セルロースはパウダー状のものを使用した。セルロースパウダーとポリ鉄溶液の混合比は、Fe、C、Hの含有量が、商用プラントの乾燥汚泥とほぼ同等となるようにした。実際の混合量は、セルロースパウダー 9.8g(dry)、ポリ鉄溶液 10.8g(wet)とした。得られた模擬サンプルの組成ならびに比較として商用プラントの乾燥汚泥の組成を表3に示す。

模擬サンプルによる炭化物の製造方法は、まず、セルロースパウダーとポリ鉄溶液の混合物を空気雰囲気にて乾燥した後、2.1.2項(2)に示した方法と同様の手順にて炭化処理した。

表3 乾燥汚泥と模擬サンプルの組成  
Table3 Composition of dried sewage sludge and simulated sample

		商用プラント 乾燥汚泥	模擬サンプル
moisture	%	17.8	—
ash	dry%	36.6	—
C	dry%	32.2	27.8
H	dry%	5.0	5.5
N	dry%	4.3	< 0.1
S	dry%	1.8	6.2
O	dry%	20.0	53.3
Fe	dry%	7.0	7.3
Mg	dry%	0.49	—
Al	dry%	1.8	—
Si	dry%	2.8	—
P	dry%	2.1	—
Ca	dry%	1.9	—
other	dry%	20.4	—

3) 商用プラント採取試料

下水処理場の処理工程にてポリ鉄を使用しており、ポリ鉄由来の鉄化合物を含む脱水汚泥から炭化物を製造している商用プラントにおいて、各プロセスから以下に示す試料を採取し、そのうち、

- ① 脱水汚泥 : 商用プラントの入口の処理対象物
  - ② 乾燥汚泥 : 脱水汚泥を乾燥機にて乾燥したもの
  - ③ 炭化物 : 乾燥汚泥を炭化炉にて炭化したもの
  - ④ 酸化後炭化物 : 炭化物を空気雰囲気下で数日間保持したもの
- この商用プラントにおける炭化物の製造条件は、炭化温度約300°C、炭化時間約1時間である。なお、製造された炭化物は、数日間空気雰囲気下に保持された後、燃料利用を目的として出荷されている。

4) ポリ鉄と下水汚泥の混合試料(ラボでの製造)

下水汚泥にポリ鉄を添加し製造された炭化物の鉄化合物の形態を明確にするため、ポリ鉄を過剰に添加した試料を製造した。混合比は、下水汚泥のC、H、Oの合計に対して、ポリ鉄のFeが重量比でほぼ同量となるよう下水汚泥7.6g(dry)とポリ鉄溶液36.7g(wet)を混合した。ポリ鉄溶液混合前後の組成を表4に示す。

炭化物の製造は、まず、商用プラントから採取した下水汚泥(脱水汚泥)にポリ鉄溶液を混合し、乾燥を行った後、2.1.2項(2)に示した方法と同様の手順にて炭化処理した。また、得られた炭化物を空気雰囲気において105°Cで24時間保持し酸化させた試料も製造した。



表4 ポリ鉄溶液混合前後の組成  
Table4 Composition of dried sewage sludge mixed with PFS

	C	H	N	O	Fe	S	other
ポリ鉄混合前 dry%	28.1	4.6	3.7	18.1	4.0	1.5	40.0
ポリ鉄混合後 dry%	9.9	1.6	1.3	36.8	20.6	15.8	14.0

(3) 試料の前処理・保管条件

炭化した試料は、空気雰囲気下において酸化反応により鉄化合物の形態が変化するため<sup>7)</sup>、ラボでの製造試料、商用プラント採取試料のいずれについても、試料の前処理や保管条件は次のとおりとした。

XAFS測定では、試料の密度や厚さの違いによるX線の吸収への影響を避けるため、前処理として錠剤成型を行う。また、適切な吸収スペクトルを得るためには、対象元素の濃度が一定範囲内にある必要があるため、濃度が高い場合は窒化ホウ素を用いて希釈する。試料と窒化ホウ素をメノウ乳鉢に入れて、粉碎しながら十分に混合する操作を行った後、油圧プレスで錠剤状に成型した。これら前処理操作は全てアルゴンガス雰囲気下で保持したグローブボックス内で行い、成型後の試料は、セラミック蒸着樹脂製の袋でシールし、測定まで酸素が透過しない状態で保管した。また、商用プラントや実験装置から炭化物を採取する場合には、試料を採取後速やかに大量の脱酸素剤を入れたセラミック蒸着樹脂製の袋に入れ、常温にて酸素を遮断した状態で保管した。また、保管期間中の酸素の遮断状態を確認するため、試料とともに酸素検知剤を同梱した。

3 実験結果と考察

3.1 鉄化合物の発熱挙動

(1) 原料へのポリ鉄添加量を変えた炭化物の発熱挙動

原料へのポリ鉄添加量を変えた炭化物のTG-DTA測定結果を図3に示す。まず、試料中に残存する水分の影響を排除するため、窒素雰囲気下で90℃まで昇温し、質量がほぼ恒量となるまで乾燥を行った。その後、90℃一定のまま窒素雰囲気から空気雰囲気に切り替えた。切り替え直後に、いずれの試料もわずかに質量が増加しているのは、酸素の吸着によるものと考えられる。DTAの挙動は、空気雰囲気に切り替え直後から急激な発熱反応を示し、ポリ鉄の添加量が多いほどピークは大きくなった。DTA測定結果に基づきDTAのピーク面積から算出される酸化反応発熱量と、炭化物中のFe濃度の関係を図4に示す。両者には正の相関が認められ、ポリ鉄由来の鉄化合物が発熱に寄与していることが裏付けられた。また、添加したポリ鉄に含まれるFeの量から、ポリ鉄由来のFe化合物による発熱量を推定した。その結果を表5に示す。発熱量の大きさは、ポリ鉄添加小の場合で42 [kJ/mol-Fe]、ポリ鉄添加大の場合で54 [kJ/mol-Fe]となった。本来であれば両者は一定の値をとるものと予想されるが、差異が大きな要因として、TG-DTA分析の特性上、放熱等でロスしている可能性が考えられる。精度を上げた発熱量の推定は今後の課題としたい。

(2) 商用プラント炭化物の発熱挙動

下水の処理工程でポリ鉄を添加している商用プラントから採取した炭化物のTG-DTA測定結果を図5に示す。製造直後の炭化物(酸化前)は、空気雰囲気に切替えた直後にDTAの明確なピークが認められ、発熱反応を生じる化合物が含有していることが示された。一方、酸化後炭化物は、ピークは認められるが明らかに小さくなっており、酸化反応が進行していたことが裏付けられた。DTAピーク面積(試料単位重量あたり)で比較すると、酸化後炭化物は酸化前の10%以下となっていた。

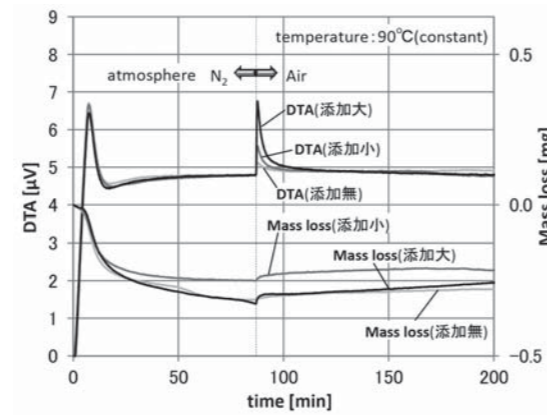


図3 原料へのポリ鉄添加量を変えた炭化物のTG-DTA測定結果  
Fig.3 Influence of amount of PFS to TG/DTA results

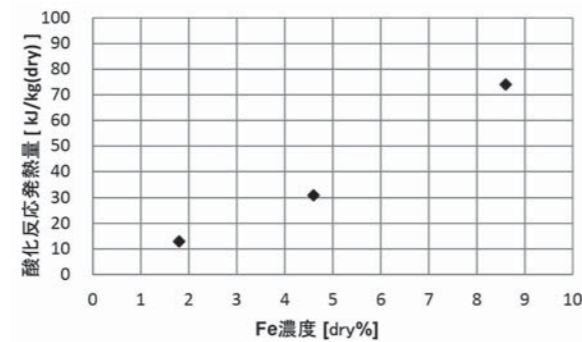


図4 炭化物中Fe濃度と酸化反応発熱量の関係  
Fig.4 Relationship between Fe content and heating value due to oxidation

表5 ポリ鉄由来Fe化合物の推定発熱量  
Table5 Estimated amount of heating value of iron compounds

試料	原料 g(dry)	ポリ鉄溶液 g(wet)	炭化物		酸化反応 発熱量 (DTA測定値) kJ/kg(dry)	ポリ鉄由来 Fe化合物の 推定発熱量 (計算値)	
			Fe濃度 (分析値) dry% (as Fe)	ポリ鉄由来 Fe濃度 (計算値) dry% (as Fe)		kJ/kg-Fe	kJ/mol-Fe
ポリ鉄添加無	50.4	-	1.8	-	13	-	-
ポリ鉄添加小	50.4	9.2	4.6	2.5	31	750	42
ポリ鉄添加大	50.4	22.9	8.6	6.4	74	970	54

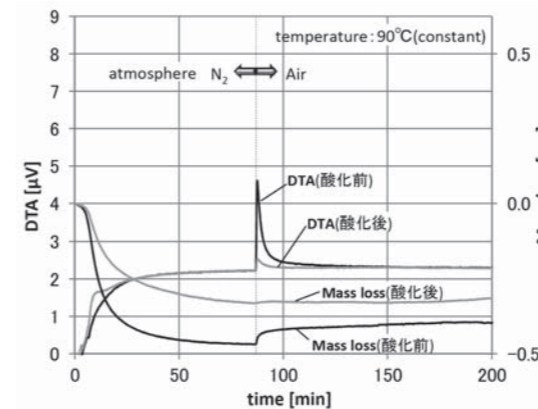


図5 商用プラント炭化物のTG-DTA測定結果  
Fig.5 TG/DTA results of carbonized sewage sludge before and after oxidation

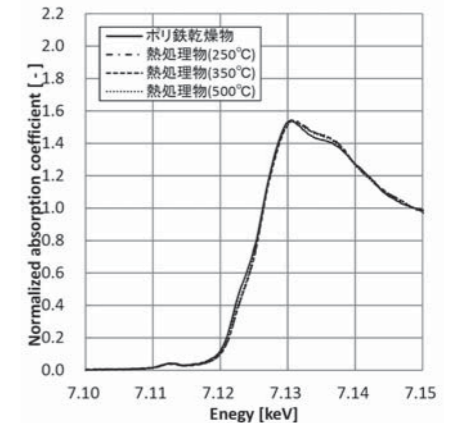


図6 ポリ鉄の乾燥物と熱処理物のXANESスペクトル  
Fig.6 XANES spectrum of dried and carbonized PFS

3.2 鉄化合物の形態解析

(1) ポリ鉄単独試料

ポリ鉄単独による乾燥物、熱処理物(熱処理温度250℃、350℃、500℃)のXAFS測定結果を図6に示す。図6ではX線吸収端近傍のエネルギー領域のスペクトル(XANES)を示している。乾燥物、熱処理物ともにスペクトルがほぼ重なっており、ポリ鉄単独での乾燥および熱処理では、鉄化合物の結晶構造の変化は認められなかった。図示はしないが、XRD分析の結果、化学組成としてはFe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>の形態で存在していることが確認された。

(2) ポリ鉄とセルロースの混合試料

ポリ鉄とセルロースパウダーの混合物である模擬サンプルの乾燥物および炭化物のXAFS測定結果を図7示す。模擬サンプル乾燥物のスペクトルは、ポリ鉄単独の乾燥物とほぼ同じであり、鉄化合物の変化はないと考えられる。つまり、乾燥操作においては、有機物の存在により、ポリ鉄由来の鉄化合物の形態が変化しないことを示している。一方、250℃炭化物と350℃炭化物はFeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>Oのスペクトル、500℃炭化物についてはFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>のスペクトルと形状に近い。

以上の結果から、セルロースパウダーとポリ硫酸第二鉄の混合物における鉄化合物は三価のFe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>の形態で存在し、250～350℃程度で炭化処理することにより還元が進み二価のFeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>Oとなり、さらに500℃まで炭化温度を上げると二価と三価のスピネル構造を持つFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>になることが示唆された。

(3) 商用プラント採取試料

商用プラントの各種試料について鉄化合物の形態を確認するため、まずは標準試料としてFe、FeS、FeS<sub>2</sub>、FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>、α-FeOOH、γ-FeOOH、Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>、FeCl<sub>3</sub>、FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>OについてXAFS測定を行った<sup>3)</sup>。これらのうち、Fe、FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>、FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>Oの測定結果を図8に示す。

次に、乾燥汚泥、炭化物、酸化後炭化物について、XAFS測定の結果<sup>8)</sup>を図9に示す。標準試料(図8に示した以外の標準試料も含む)のスペクトルと比較したが、いずれの鉄化合物とも近似できなかった。原因として、Feが特定の化合物で存在していないことが考えられる。さらに、Feに近接する元素が多数存在するため、標準試料のスペクトルに近似したスペクトルを示さないと推察される。

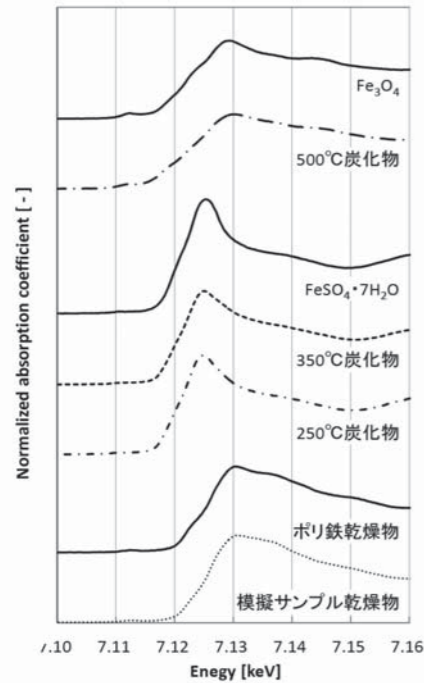


図7 模擬サンプルのXANES スペクトル  
Fig.7 XANES spectrum of simulated sample mixed with PFS and cellulose

一方、Feの価数とスペクトルの挙動については一定の傾向が認められる。図8において、Feが最も低エネルギー側に位置し、価数の増加と共に高エネルギー側にシフトしている(FeO、FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>Oは2価、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>は2価と3価の混合、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は3価)。これは、XAFS測定において、スペクトルの挙動を確認することにより、Feの価数の挙動を推定できることを示している。図9に示すように、炭化物のスペクトルは乾燥汚泥に対して低エネルギー側にシフトした。これは、乾燥汚泥が炭化処理される際、希薄酸素雰囲気下で加熱処理されるため還元反応が進行し、価数の小さな鉄化合物が生成されたためと考えられる。従って、炭化物は乾燥汚泥と比較して酸化反応を生じやすく、自己発熱性が増しているといえる。一方、酸化後炭化物のスペクトルは高エネルギー側にシフトした。これは、炭化物が空気雰囲気下で数日間保持される間に酸化が進行し、価数の大きな鉄化合物へ変化したためと考えられる。従って、酸化後炭化物は炭化物や乾燥汚泥と比較して酸化反応を生じにくく、自己発熱性が抑制されているといえる。

(4) ポリ鉄と下水汚泥の混合試料

商用プラントの下水汚泥にポリ鉄を過剰に添加して製造した炭化物のXRD分析の結果を図10に示す。同定の結果、FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O、FeSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O、FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>Oが含有されていることが確認された。次にこの炭化物を空気雰囲気において105°Cで24時間保持して酸化反応させた後の炭化物のXRD分析結果を図11に示す。同定の結果、Fe(OH)SO<sub>4</sub>が含有されていることが確認された。

この結果より、下水汚泥に混合されたポリ鉄は炭化処理によりFeSO<sub>4</sub>·xH<sub>2</sub>O(x=1, 4, 7)となり、この炭化物を酸化させることにより、Fe(OH)SO<sub>4</sub>となることが示唆された。

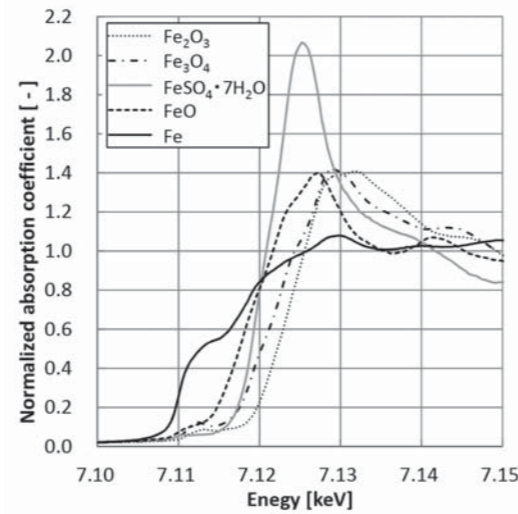


図8 鉄化合物の標準試料のXANES スペクトル  
Fig.8 XANES spectrum of standard samples of iron compounds

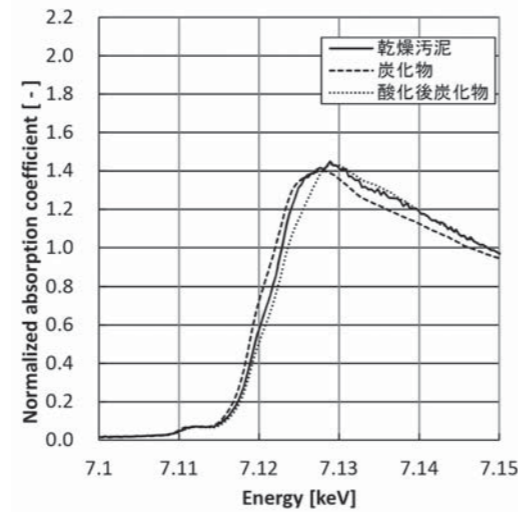


図9 乾燥汚泥、炭化物、酸化後炭化物のXANES スペクトル  
Fig.9 XANES spectrum of dried sewage sludge, carbonized sewage sludge and carbonized sewage sludge after oxidation

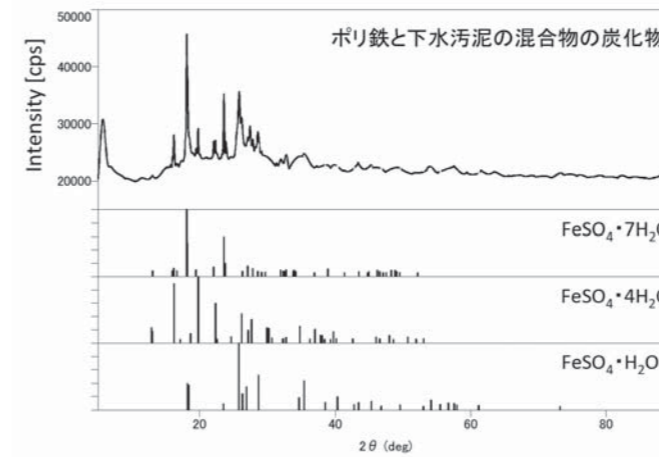


図10 下水汚泥にポリ鉄を過剰に添加して製造した炭化物の鉄化合物  
Fig.10 Iron compounds in carbonized sewage sludge mixed with PFS

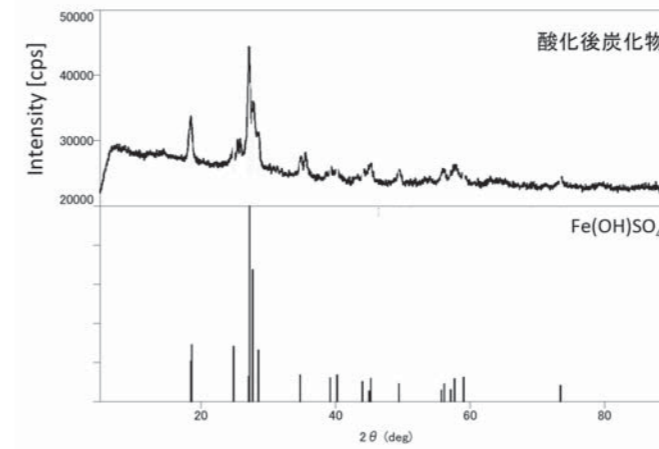


図11 酸化後炭化物の鉄化合物  
Fig.11 Iron compounds in carbonized sewage sludge mixed with PFS after oxidation

(2)、(4)の結果から、下水汚泥に添加されたポリ鉄は図12に示すような鉄化合物の挙動を示すと考えられる。

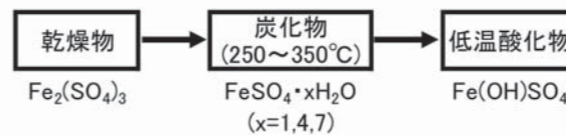


図12 ポリ鉄由来の鉄化合物の挙動  
Fig.12 Behavior of iron compounds in carbonized sewage sludge mixed with PFS

4 まとめ

下水汚泥炭化物について、ポリ鉄由来の鉄化合物が自己発熱性に与える影響について検証した。まず、下水汚泥に添加するポリ鉄の量を変え、それから製造される炭化物の発熱量をTG-DTAにて測定し、ポリ鉄の添加量と酸化反応による発熱量の関係を検証した。また、原料にポリ鉄由来の鉄化合物を含む炭化物について、鉄化合物の形態解析を行い、酸化反応を引き起こす鉄化合物の形態を検証した。

(1) 鉄化合物の発熱挙動による自己発熱性への影響評価

ポリ鉄の添加量に応じて、炭化物の酸化反応による発熱量が変化したことから、ポリ鉄由来の鉄化合物が自己発熱に寄与していることが裏付けられた。発熱量の絶対値については、TG-DTA分析の特性上、放熱等でロスしている可能性が考えられたため、精度を上げた発熱量の推定は今後の課題とした。

(2) 鉄化合物の形態解析による自己発熱性への影響評価

ポリ鉄単独での乾燥および炭化処理では、鉄化合物の結晶構造や価数の変化は認められないが、有機物の存在下では還元反応が進み、Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>からFeSO<sub>4</sub>·xH<sub>2</sub>O(x=1, 4, 7)が生成され、それを空気雰囲気下で保持して酸化させるとFe(OH)SO<sub>4</sub>が生成されることが示唆された。自己発熱の際に発生する熱量は、FeSO<sub>4</sub>·xH<sub>2</sub>O(x=1, 4, 7)がFe(OH)SO<sub>4</sub>に酸化される反応熱に起因していると考えられる。

参考文献

- 1) Wang, H.; Dlugogorski, B. Z.; Kennedy, E. M., Analysis of the low-temperature oxidation of coal, Combustion and Flame, 134, 107-117 (2003)
- 2) Wang, H.; Dlugogorski, B. Z.; Kennedy, E. M., Coal oxidation at low temperatures: oxygen consumption, oxidation products, reaction mechanism and kinetic modelling, Progress in Energy and Combustion Science, 29, 487-513 (2003)
- 3) Clemens, A. H.; Matheson, T. W., The role of moisture in the self-heating of low-rank coals, Fuel, 75, 891-895 (1996)
- 4) Zhang, D. K.; Sujanti, W., A laboratory study of spontaneous combustion of coal: the influence of inorganic matter and reactor size, Fuel, 78, 549-556 (1999)
- 5) Watanabe, W. S.; Zhang, D. K., The effect of inherent and added inorganic matter on low-temperature oxidation reaction of coal, Fuel Processing Technology, 74, 145-160 (2001)
- 6) 太田俊明. X線吸収分光法 -XAFSとその応用-. アイビーシー. 2002, p.59.
- 7) 日良聡、上田厚志、鈴木健治、武田龍二、沼子千弥. SPring-8利用研究成果集. 2018, 6, p.109.
- 8) 日良聡、上田厚志、鈴木健治、武田龍二、沼子千弥. SPring-8利用研究成果集. 2017, 5, p.105.

## 製品紹介

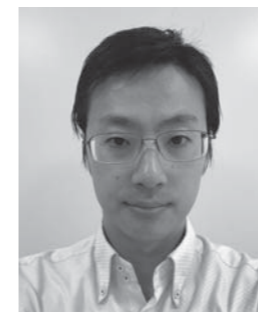
- 1 下水汚泥処理施設排ガスからの水銀除去技術
- 2 葛西水再生センターエネルギー自立型焼却炉
- 3 二次電池材料向乾燥機
- 4 吊下分離機 石膏プロセスへの適用
- 5 集中監視センターの構築と実証試験

## 製品紹介

### 1

# 下水汚泥処理施設排ガスからの水銀除去技術

## *Mercury removal technology for flue gas emitted from a sewage sludge treatment plant*



蜂谷 祥之  
HACHIYA Yoshiyuki  
水環境事業本部  
ソリューション技術部  
新事業グループ

### Abstract

The Minamata Convention on Mercury was adopted at a diplomatic conference held in Kumamoto, Japan. In response to this convention, the Japanese government promulgated the Act on Preventing Environmental Pollution on Mercury including an amendment to the Air Pollution Control Act that regulates mercury emission to the atmosphere. The waste incinerator, which includes a sewage sludge incinerator, is to be imposed for the regulation. However, no technology to remove mercury in flue gas was adopted in sewage sludge incinerators in Japan. In this paper, two mercury removal technologies were demonstrated in a bio fuel conversion plant, and their applicability for sewage sludge treatment plants were evaluated.

2013年に熊本市・水俣市で開催された外交会議において、「水銀に関する水俣条約」が採択された。この条約を受け、「大気汚染防止法の一部を改正する法律」が2018年4月より施行され、下水汚泥処理施設を含む廃棄物焼却炉排ガスに対する水銀濃度規制が設定された。しかしながら、今までに下水汚泥処理施設に排ガスからの水銀除去設備を導入した実績はない。今回、下水汚泥燃料化施設における水銀除去設備の実証試験および下水汚泥処理施設への適用性の評価を行った。

キーワード：水銀除去、下水汚泥燃料化施設、排ガス、下水汚泥  
Keyword: Mercury removal, bio fuel conversion plant, flue gas, sewage sludge

### 1 はじめに

2018年4月に大気汚染防止法の一部を改正する法律が施行され、廃棄物焼却炉（火格子面積 $2\text{m}^2$ 以上または焼却能力 $200\text{kg/h}$ 以上）に対する水銀濃度規制が設定された。排出基準値は、既存施設\*  $50\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 、新規施設  $30\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ （酸素濃度12%換算値）であるが、既存施設において、今後対策設備の設置が必要な値を示した設備がある。廃棄物焼却施設および石炭火力発電施設においては水銀除去技術の検証、導入が進んでいる<sup>1,2)</sup>ものの、今までに国内の下水汚泥処理施設に排ガスからの水銀除去設備を導入した実績はない。今回、下水汚泥燃料化施設において水銀除去設備の実証試験を実施し、下水汚泥処理施設への適用性の評価を行った。

\* 施行日（2018年4月1日）において現に設置されている施設（設置の工事が着手されているものを含む。）

### 2 水銀除去技術の実証試験

実施施設における排ガス中の水銀の形態を調査した結果、非水溶性のガス状水銀がほとんどを占めていた<sup>3,4)</sup>。この結果より、排ガスからの非水溶性ガス状水銀をターゲットとして、①水銀吸着ポリマー触媒、②活性炭吸着の2種類の技術について実証試験を行った。試験は稼働中の下水汚泥燃料化施設にて実施し、煙突排ガスを一部分岐し、試験装置に通ガスし、装置前後の水銀濃度を測定することで評価した。

#### 2.1 水銀吸着ポリマー触媒

##### 2.1.1 試験方法

既設排ガスから分岐した排ガスを、水銀を吸着する触媒を保持する、水銀吸着ポリマー触媒モジュールに通ガスし、その前後の水銀濃度を測定した。（図1）モジュールは8段積みとし、各段出口の水銀濃度を測定した。また、モジュール表面に付着したばいじん等を除去するため、1日1回5分間の水洗浄を行った。

2.1.2 試験結果

排ガス水銀濃度測定の結果を図2に示す。約4か月間の運転期間中、水銀除去率は1段目出口で約40%以上、2段目出口で約50%以上、3段目出口で約70%以上で推移しており、モジュールを複数段重ねることで除去率を高めることができることが確認できた。排ガスの水銀濃度が高い場合にも、入口水銀濃度に合わせてモジュールの段数を調節することで規制値を満足する濃度まで水銀を除去することが可能である。また、長期間の運転においても差圧の上昇は見られず、安定的に運転可能であった。

2.2 活性炭吸着

2.2.1 試験方法

既設排ガスから分岐した排ガスを、活性炭吸着塔に通ガスし、その前後の水銀濃度を測定した。活性炭は水銀吸着用添着炭を使用し、活性炭での結露を防止するために排ガスを電気ヒーターで約80℃まで昇温し活性炭吸着塔に供給した。(図1)

2.2.2 試験結果

活性炭吸着塔出口では水銀はほとんど検出されず、90%以上の高い水銀除去効率を確認することができた。しかしながら、活性炭吸着塔

の圧力損失の上昇および通ガス量の低下により試験の継続が困難になったことから、試験の実施は約2週間で終了した。

試験終了後、内部点検を行った結果、活性炭吸着塔内(活性炭表面、活性炭支持用メッシュ)に付着物が認められた。この付着物の分析を実施した結果、酸性硫酸(NH<sub>4</sub>HSO<sub>4</sub>)、硫酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)などが主成分であったことから、排煙処理塔、湿式電気集塵機では捕捉されなかった低濃度のばいじん・硫酸化合物が長時間の運転の中で活性炭吸着塔内部にて析出したことが、付着物生成の原因であると考えられる。

2.3 総括

下水汚泥処理施設における水銀除去技術の実証試験結果より、以下の知見が得られた。

- ・水銀吸着ポリマー触媒モジュールにより、燃料化施設排ガスからの安定的な水銀除去が可能
- ・活性炭吸着塔により、燃料化施設排ガスからの水銀除去が可能
- ・活性炭吸着塔では排ガス由来の成分により付着物が生成したため、実用化に向けて上流の排ガス処理設備において、ばいじん、硫酸化合物濃度を低減する対策が必要

水銀吸着ポリマー触媒モジュールを採用した水銀対策設備を建設中である。また、今後厳しい基準値が適用される新設の施設においても、排ガス中の水銀濃度が高くなると見込まれる処理場では、同様に水銀除去設備の設置を計画している。想定している下水汚泥燃料化施設のシステムフローの一例を図3に示す。排ガス処理設備の後段に水銀吸着ポリマー触媒を備えた水銀吸着塔を設置し、排ガスからの水銀の吸着除去を行う計画である。

対策設備を建設中の既設燃料化施設では、2019年度に建設、試運転が完了し、2020年度から稼働する予定である。実施における運転実績、ノウハウを蓄積し、長期安定的に水銀除去可能な設備として、完成度を高めていきたい。

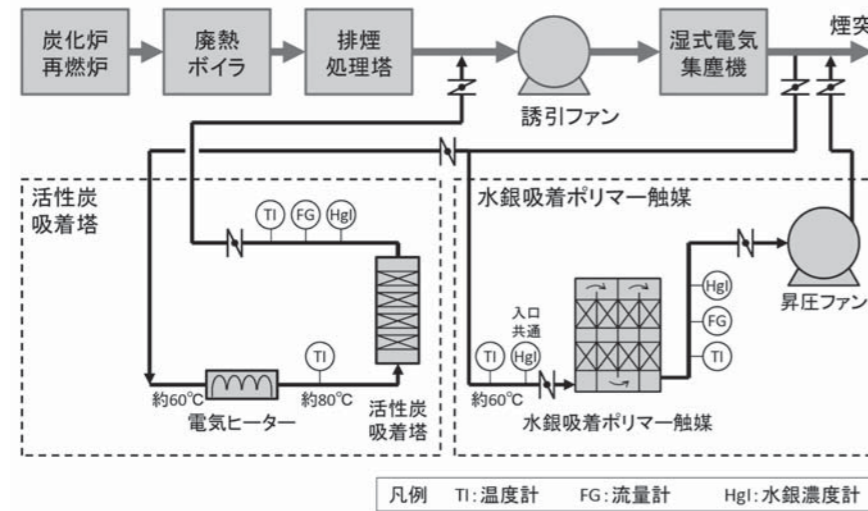


図1 実証試験フロー  
Fig.1 System flow chart of demonstration test.

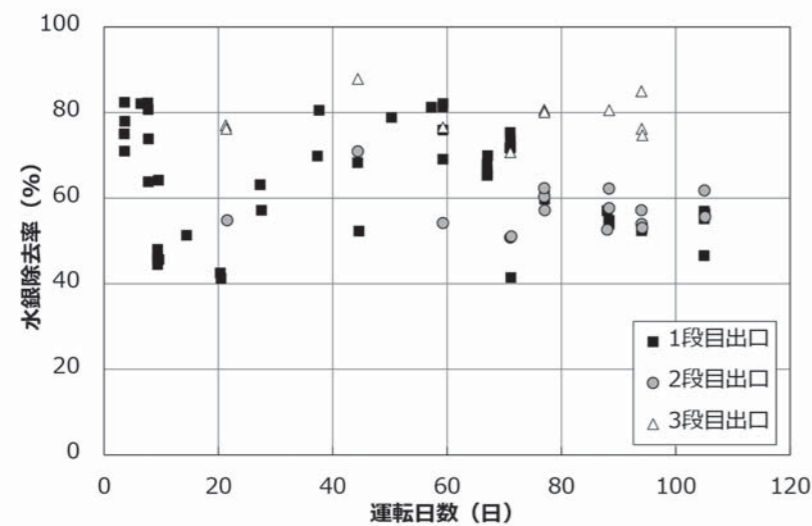


図2 水銀吸着ポリマー触媒の水銀除去率(累積)  
Fig.2 Mercury (Hg<sup>0</sup>) removal rate by sorbent polymer catalyst module.

3 今後の展開

現在までに排ガス測定の結果、排ガス中の水銀濃度が高い既設下水汚泥燃料化施設においては、実証試験にて良好な結果が得られた

参考文献

- 1) 高岡昌輝：廃棄物燃焼過程における水銀の挙動と制御，廃棄物学会誌 Vol.16 No.4, 213-222 (2005)
- 2) 守富寛：石炭燃焼プロセスにおける水銀の挙動と抑制技術，地球環境 13, 193-201 (2008)
- 3) 渡邊訓安，原田俊文：汚泥資源化センターの水銀対策について，第56回下水道研究発表会, 1175-1177 (2019)
- 4) 檜物良一，下岸徹也，岡正雄，永岡健一：下水汚泥焼却炉における水銀化合物の挙動について，第56回下水道研究発表会, 1172-1174 (2019)

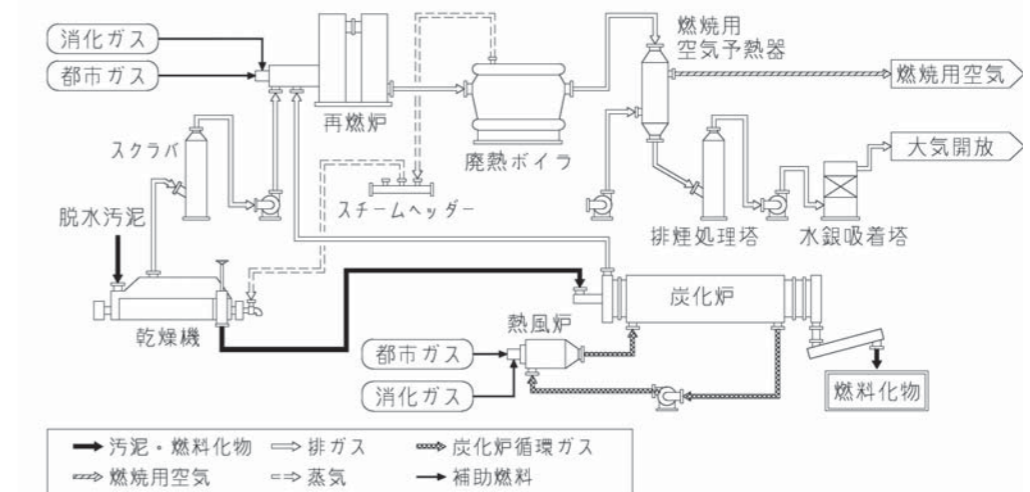


図3 下水汚泥燃料化施設のシステムフロー  
Fig.3 System flow chart of Bio fuel conversion plant.

# 葛西水再生センター エネルギー自立型焼却炉

## Self-energizing Sewage Sludge Incinerator for the Kasai Water Reclamation Center



山本 隆文  
YAMAMOTO Takafumi  
水環境事業本部  
ソリューション技術部  
熱技術グループ

### 1 はじめに

温室効果ガスの増加により、地球の平均気温は上昇し、世界各地で温暖化が原因と見られる異常気象が頻発しています。この地球温暖化の進行に歯止めをかけるべく、新しい国際ルール「パリ協定」が採択、発効され、世界のすべての国が行動を始めることになりました。

東京都下水道局は、「京都議定書」に先駆け、2004年に下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン2004」、2010年には「アースプラン2010」を策定し、温室効果ガス排出量の削減に取り組んできました。

また、2014年に下水道事業初のエネルギー基本計画「スマートプラン2014」を策定し、温室効果ガス排出量の削減に加え、再生可能エネルギーの活用拡大や省エネルギーのさらなる推進に向けた取り組みを進め、汚泥焼却時に発電目標単価よりも安価な発電を行い、汚泥焼却炉における使用電力量を発電電力量が年間で上回り、かつ補助燃料を必要としない第三世代型焼却システムの構築に着手しました。

今回は、「開発技術の導入を前提とした共同研究」にて承認され、葛西水再生センターの2号炉において採用されたエネルギー自立型焼却炉について紹介します。

### 2 システム概要

#### 2.1 設計条件

設備規模は300t/日(24時間連続運転)であり、汚泥性状は下表のとおりです。

表1 汚泥性状  
Table1 Sludge property

	代表値	変動範囲
含水率 %	72	71 ~ 74
可燃分割合 %	83	77 ~ 89
灰分 %	17	11 ~ 23
高位発熱量 kJ/kg-DS	19,500	18,000 ~ 20,900

### Abstract

The Bureau of Sewerage of the Tokyo Metropolitan Government formulated the "Smart Plan 2014", which is the first energy basic plan in 2014. In addition to reducing greenhouse gas emissions, they are working on expanding the use of renewable energy and further promoting energy conservation. Furthermore, in addition to not using auxiliary fuel during sludge incineration, they are developing and introducing a third-generation system that generates more power than its own power consumption.

This section introduces a self-energizing sewage sludge incinerator for the Kasai Water Reclamation Center.

東京都下水道局では、2014年に下水道事業初のエネルギー基本計画「スマートプラン2014」を策定し、温室効果ガス排出量の削減に加え、再生可能エネルギーの活用拡大や省エネルギーのさらなる推進に取り組む、汚泥焼却時に補助燃料を使用しないことに加えて、自らの使用電力量以上の電力を発電するシステム、第三世代型焼却システムの開発、導入を進めています。

葛西水再生センター2号炉で導入するエネルギー自立型焼却炉について紹介します。

キーワード：第三世代型焼却システム、エネルギー自立型焼却炉、自然、発電、バイナリー発電機

Keyword: Third generation incineration system, self-energizing sewage sludge incinerator, self-Combustion, power generation, binary generator

### 2.2 焼却および発電システム

汚泥の焼却および廃熱を利用した発電システムは下図に示すとおりです。

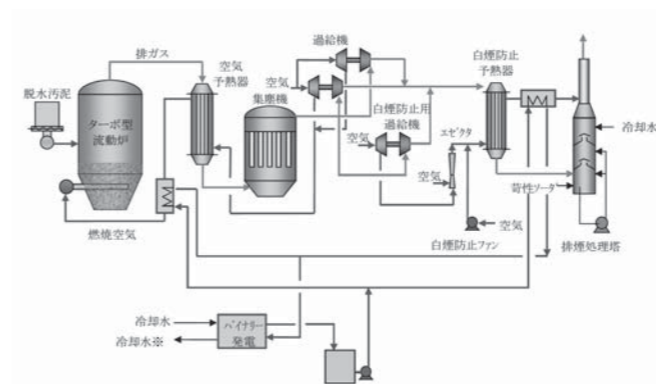


図1 システムフロー  
Fig.1 System Flow

既設1号炉と同じく焼却炉は過給式流動炉ですが、さらに白煙防止用過給機を設置して余剰排ガスから白煙防止空気を製造し、白煙防止ファン分の消費電力削減を図っています。

また、空気予熱器および白煙防止予熱器で予熱された空気を熱源として、ボイラで蒸気回収してバイナリー発電機で発電を行います。バイナリー発電機の仕様は以下のとおりです。

表2 バイナリー発電機仕様  
Table2 Specification of Binary Generator

メーカー	米国Calnetix社製
発電出力 kW/基	125
熱媒	R245fa
電圧 V	400
外形	W3,500mm×L2,000mm×H3,000mm

### 2.3 目標値

本システムは、エネルギー自立型焼却炉として年間で、使用電力量を発電電力量が上回る必要があります。発電電力量は汚泥性状変動によって増減しますが、下表に示すように試算できるので使用電力量<発電電力量を満足します。

表3 発電電力量  
Table3 Power generation amount

	発電量最大	発電量最小
	含水率71% 可燃分83%	含水率74% 可燃分83%
使用電力量 kW	323	323
発電電力量 kW	420	340

上記以外にもいくつかの目標値が設定されており、それぞれ目標値を満足します。

### 2.3.1 N<sub>2</sub>O 排出量の原単位

目標値は1.15kg-N<sub>2</sub>O/t-DS以下となっておりますが、既設の過給式流動炉において目標値を下回ることが確認されております。

### 2.3.2 使用電力量の原単位

目標値は161kWh/t-DS以下となっておりますが、既設の過給式流動炉において目標値を下回っており、さらに白煙防止用過給機の設置によってさらなる削減が望めます。

### 2.3.3 補助燃料

補助燃料については、立ち上げおよび立ち下げ時以外は補助燃料を使用せずに自然することが目標です。

今回焼却の対象となる汚泥は、含水率74%以下の汚泥であるため、汚泥の可燃分割合、発熱量および既設炉の放熱量等を考慮しても自然することが予想されます。

### 2.3.4 発電目標単価

目標値は14円/kWh未満となっております。発電目標単価は、発電設備の建設費および年間補修費(いずれも25年間の平均値)を年間発電量で除した値で、技術照会時の試算においては11.9円/kWhになる見込みであり、目標値を達成することが確認できております。

### 3 今後の工程

他工事も含めた今後の予定は下表のとおりで、2022年4月から供用開始予定です。

表4 工事工程表  
Table4 Construction Schedule

	2019年	2020年	2021年	2022年
土木撤去工事				
土木基礎工事				
焼却設備工事(当社)				
脱水設備工事				
電気設備工事				
試運転				
供用開始				

# 二次電池材料向乾燥機

## Dryer for Secondary Battery Material



佐藤 澄人  
SATO Sumito  
産業事業本部  
単体機器技術部  
プロセスグループ

### Abstract

There are some powder heat treatment processes (i.e. drying, calcination) in the production of secondary battery material, and some of these processes used to be conducted batch-wise, however, higher productive technology is now expected with the increasing demand for secondary batteries.

This report introduces TSK's continuous dryers that have the possibility to be applied to secondary battery material, and it explains these dryer's features.

二次電池材料の製造工程には粉体の熱処理工程(乾燥・焼成等)が複数含まれている。これらの工程のいくつかはバッチ処理で行われていたが、二次電池需要の高まりに伴い、より生産性の高い技術が求められている。

本稿では二次電池材料用として適用可能性のある、月島機械の連続式乾燥機の紹介ならびにその特徴の説明を行う。

キーワード: リチウムイオン電池、乾燥、焼成  
Keyword: Lithium ion battery, drying, calcination

### はじめに

近年、自動車やスマートフォンなどの様々な電源用途としてリチウムイオン電池に代表される二次電池が用いられ、その市場規模は拡大の一途をたどっている。二次電池は主に正極材、負極材、電解質、セパレータ等から構成されるが、特に正極材、負極材の製造工程では原

料となる粉体に対する乾燥・加熱処理工程が複数含まれている。これらの工程はこれまでバッチ処理で行われることが多かったが、二次電池の生産量が飛躍的に伸びるなか、工程の連続化が検討されるようになってきた。本稿では二次電池材料の乾燥・加熱処理工程向けとして適用実績のある月島機械の連続式乾燥機について紹介する。

## 2 乾燥機の構造と特徴

一般に乾燥機の選定では様々な要素について考慮しなければならないが、二次電池材料においては特に以下に示す項目についての確認が重要である。

- ① 処理物の付着性
- ② 処理物の磨耗性
- ③ 外気との遮断の必要性
- ④ 高温での加熱処理の必要性
- ⑤ コンタミ対応

これらの項目を踏まえた乾燥機の選定例、ならびにその構造と特徴について以下に述べる。

### 2.1 クリーンフラッシュドライヤ

処理物の付着性が少なく、外気(空気)との接触も可能な場合に適用が考えられるものとして、クリーンフラッシュドライヤ(以降CFDと称す)があげられる。CFDは加熱したガスを直接粉体に接触させて乾燥を行う直接加熱型の乾燥機である。高速で流れる加熱ガス中に原料を供給し、ガス流れの中で乾燥を行う気流乾燥機の一つである。CFDの概略構造を図2、代表的なフローを図3に示す。

CFDは一般的な気流管による気流乾燥機に比べ、次のような特徴を持っている。

- ① 長い気流管を必要とせず、コンパクトである。
- ② 機内ダンパー調整により製品水分の一層の低減化が可能である。
- ③ 乾燥機前面に大きな点検口があるため、内部点検・品種換え時の清掃が容易である。

尚、CFDは短時間で乾燥処理が終わるため、固形物への熱影響が少ない反面、低い含水率までの乾燥や高温での加熱処理を行うことはできない。また、処理物が高速のガス流れとともに移動することから、磨耗性のある処理物では乾燥機やダクトにおける耐磨耗対策を考慮する必要がある。

### 2.2 インクラインドディスクドライヤ

処理物に付着性がある場合や高温での加熱処理が求められる場合には、インクラインドディスクドライヤ(以降IDDと称す)の適用が考えられる。IDDは回転軸内部およびジャケット内部に供給される蒸気等の熱媒により加熱された金属壁を介して、ケーシング内に供給された原料を加熱する間接加熱型の乾燥機である。加熱ジャケット付の固定ケーシングとケーシング内部に設置された、2本ないし4本の傾斜したディスク(インクラインドディスク)を取り付けた回転軸を有する材料攪拌型の乾燥機である。IDDの概略構造を図4、代表的なフローを図5に示す。

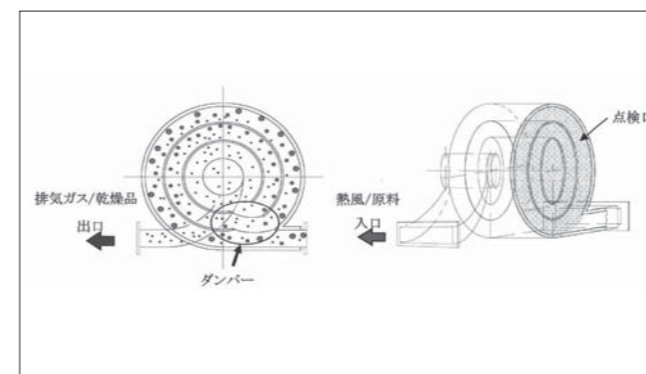


図2 クリーンフラッシュドライヤ 概略構造図  
Fig.2 Configuration of Clean Flash Dryer

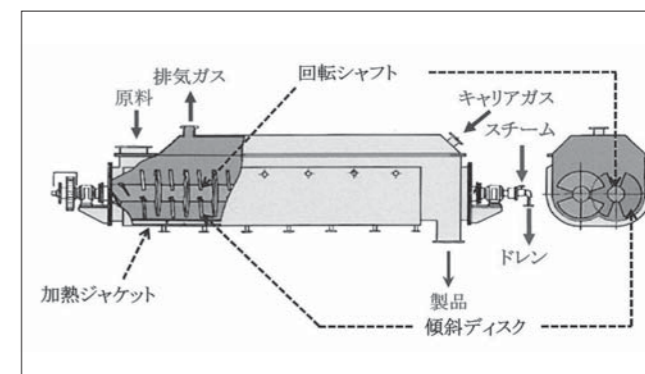


図4 インクラインドディスクドライヤ 概略構造図  
Fig.4 Configuration of Inclined Disc Dryer

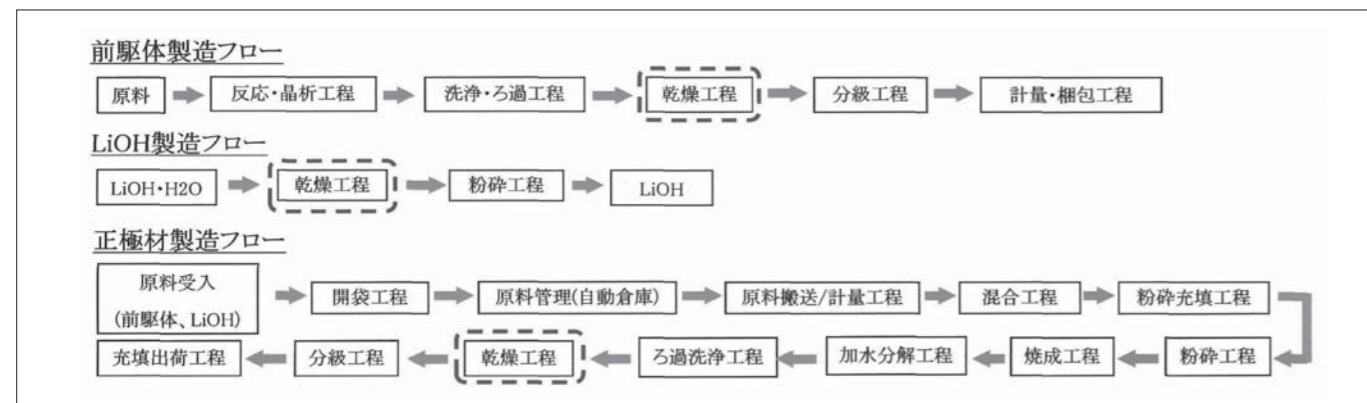


図1 正極材製造フロー例  
Fig.1 Production flow of cathode material

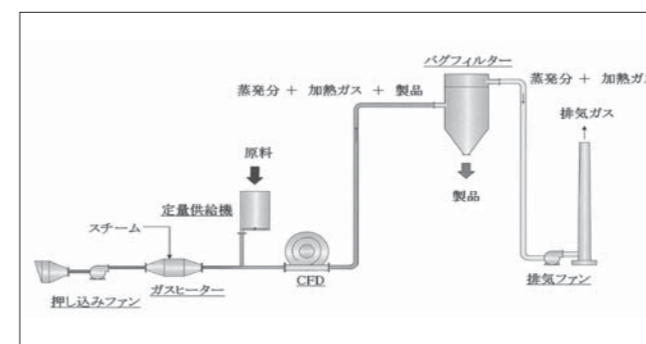


図3 クリーンフラッシュドライヤ 代表的フロー  
Fig.3 Typical flow of Clean Flash Dryer

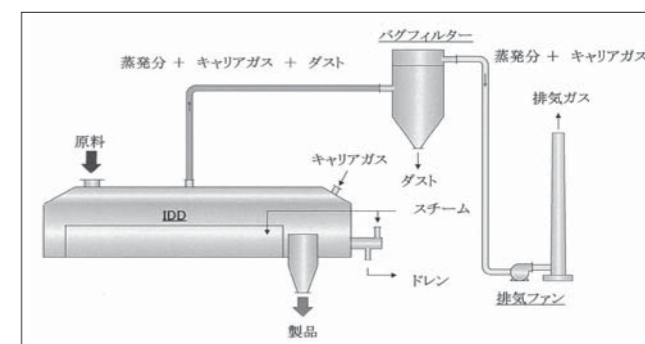


図5 インクラインドディスクドライヤ 代表的フロー  
Fig.5 Typical flow of Inclined Disc Dryer

IDDの主な特徴は以下のとおりである。

- ① 傾斜ディスクの動きにより生まれるセルフクリーニング効果により、付着性のある処理物にも適用ができる。(添付図6参照)
- ② 単位伝熱面積あたりの伝熱量が大きく取れる。
- ③ 単位容積あたりの伝熱面積が高く、省スペースである。
- ④ 外気遮断が可能である。
- ⑤ 加熱源に蒸気または熱媒油を用いており、200℃程度までの加熱処理が可能である。
- ⑥ 間接加熱型のため排気量が少ない。

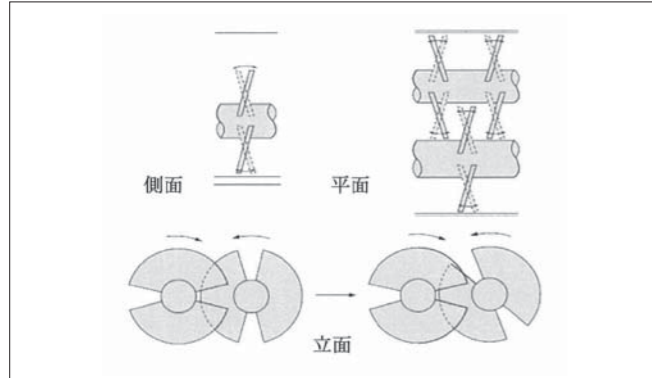


図6 傾斜ディスクの動き  
Fig.6 Disc Movement

なお、磨耗性のある処理物では、回転するディスクとの間での摩擦に伴う磨耗が懸念されることから、必要に応じてテストにて検証を行う必要がある。また、処理物は供給された分だけ排出されるピストンフローとなっているが、機内ではディスクによる混合が行われることから、加熱処理をする際に必要な滞留時間がある場合には、機器サイズに適切な余裕をとる必要がある。

### 2.3 スチームチューブドライヤ

処理物の付着性が少なく、大量処理や長時間の加熱処理が必要な場合には、スチームチューブドライヤ(以降STDと称す)の適用が考えられる。STDの本体の基本部分となるのは、外筒(シェル)と加熱管(チューブ)からなるシェル&チューブ型の熱交換器である。チューブ内部に供給される蒸気等の熱媒により、加熱された加熱管を介して原料を加熱する間接加熱型の乾燥機である。STDの概略構造を図7、代表的なフローを図8に示す。

STDの主な特徴は以下のとおりである。

- ① 大量処理、長時間の加熱処理が可能である。
- ② ディスク型の乾燥機と比較した場合、処理物との摩擦で発生する動力が小さく、省エネルギーである。
- ③ 外気遮断が可能である。
- ④ 加熱源に蒸気または熱媒油を用いており、230℃程度までの加熱処理が可能である。
- ⑤ マスフロー性が比較的良い。(添付図9参照)
- ⑥ 間接加熱型のため、排気量が少ない。

STDもIDDと同様、必要に応じて磨耗に対する検証や必要な滞留時間に対する余裕を考慮することが必要である。

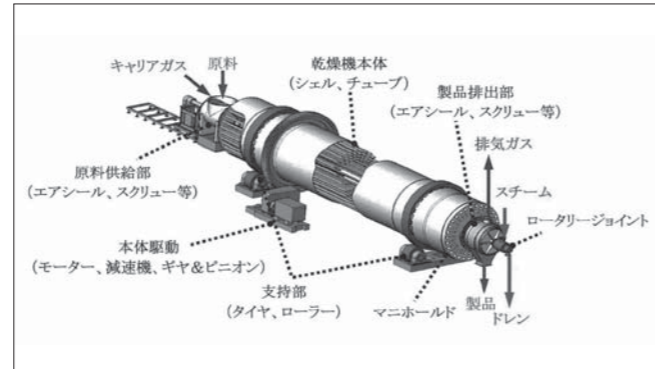


図7 スチームチューブドライヤ 概略構造図  
Fig.7 Configuration of Steam Tube Dryer

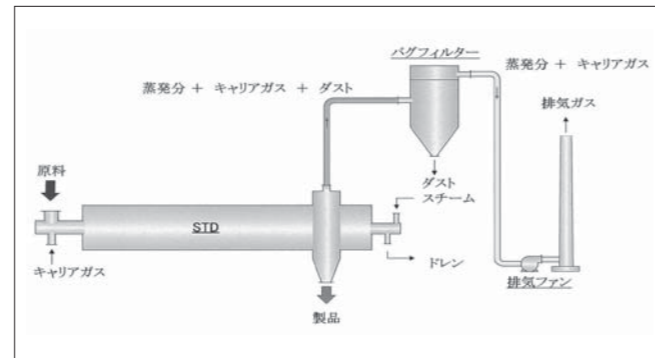


図8 スチームチューブドライヤ 代表的フロー  
Fig.8 Typical flow of Steam Tube Dryer

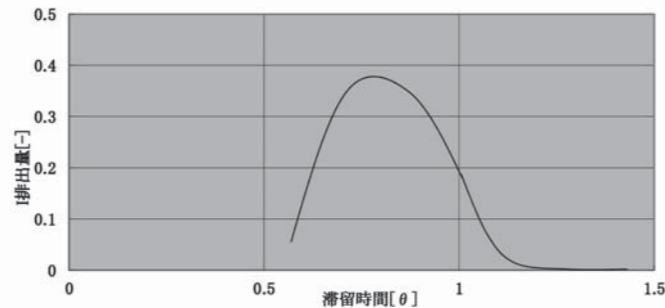


図9 スチームチューブドライヤ 滞留時間分布(樹脂ペレットでのテスト結果)  
Fig.9 Distribution of retention time on Steam Tube Dryer

## 3 各乾燥機の特徴の比較

前項で紹介した各乾燥機の特徴を比較した。(表1参照)  
本比較表はあくまで初期の検討段階における機種選定の目安とし、実際にはテストにて適用性の検証を行い、さらには処理サンプルに関するユーザーによる品質評価(電池性能等)の結果に基づく選定が必要となる。

## 4 今後の課題

二次電池材料の中には、単なる乾燥処理ではなく、特定の温度・滞留時間における加熱処理を高い精度で行うことが求められるものがある。このような要求に対し、今後、以下にあげる項目が課題となると考える。

- ① 更なる高温加熱処理を可能とすること。
  - ② 滞留時間(加熱時間)の精度(マスフロー性)の向上。
- いずれも既存のSTDやIDDの性能を超えるレベルの要求があるものと想定されることから、既存乾燥機の設計の大幅な見直し、場合によっては新機種の開発といったことも視野に入れた検討が必要と考える。

## 5 おわりに

現在、リチウムイオン電池においては国内外の二次電池メーカーによる生産の拡大、さらなる性能向上に向けた開発が行なわれている。また、全固体電池をはじめとするポストリチウムイオン電池と言われる二次電池の開発も進んでいる。これらの動きに伴い新たな乾燥・加熱熱処理のニーズが出てくることが想定されることから、継続した情報収集を行い、最適な技術をタイミングよく提案ができるよう、今後も改良・改善に努める所存である。

### 参考文献

- 1) 伊藤正康、小池恒夫：スチームチューブドライヤ、月島機械100年の技術、p.118-125 (2005)
- 2) 吉田明弘：インクラインドディスクドライヤ、月島機械100年の技術、p.126-131 (2005)
- 3) 諏訪聡：2005.4 TSK技報、p.26-33 (2005)
- 4) 渡辺健司：2010.10 TSK技報、p.34-36 (2010)

表1 各乾燥機の特徴比較  
Table1 Comparison of each dryer feature

	CFD	IDD	STD
処理物性状	気流による分散が可能な性状であること	高い付着性があるものでも処理可能	付着性が弱く、異常な滞留が発生しないもの
処理方式	連続	連続(バッチも可)	連続
加熱方式	直接加熱	間接加熱	間接加熱
加熱源	高温ガス(空気)	蒸気または熱媒油	蒸気または熱媒油
外気との遮断	×(空気加熱の場合)	○	○
コンタミ対策	◎	○(シール材料は要確認)	○(シール材料は要確認)
熱効率	50-60%	80-90%	80-90%
マスフロー性	-	△	○
省スペース	◎	○	×
大量処理	△	△	◎
長時間の加熱処理	×	○	◎
製品温度	100℃以下	Max. 200℃程度	Max 230℃程度
対磨耗性	△	△	○

## 吊下分離機 石膏プロセスへの適用

### Suspended Centrifuge “CENTRIFUGAL” for GYPSUM process applications



渡会 知則  
WATARAI Tomonori  
産業事業本部  
単体機器技術部  
設計第1グループ

#### Abstract

TSK's Suspended Centrifuge, “CENTRIFUGAL” started to be manufactured in 1907. More than 1500 CENTRIFUGALS have been supplied for the separation process of sugar factories in Japan / overseas, such as in south east Asia, east Asia, west Asia, Africa and middle America. In particular, TSK has supplied more than 900 self-supported CENTRIFUGALS as V-series and H-series since 1982. This self-supported CENTRIFUGAL is one of TSK's main products, and has been improved and reformed constantly.

Over the last several years, we created a separation test to determine whether CENTRIFUGAL can be applied instead of an existing separation process.

This report introduces the features and structure of the CENTRIFUGAL, and the tube test and pilot test results for the GYPSUM process.

吊下型遠心分離機は、1907年に納入を開始してから国内外の製糖・異性化糖マセキット(スラリー)の分離工程に1500台を超える納入実績があるが、その中でも自立型全自動吊下型遠心分離機は1982年の1号機納入から数々の改良・改善を重ね、2019年8月現在で900基以上の納入実績を有する月島機械の主力機器のひとつであり、納入先は国内、東南アジア諸国、東アジア、西アジア、アフリカ、中米にまでわたっている。

ここ数年では、吊下型遠心分離機の機械的特徴が目され、糖類以外の物質への適用問い合わせ、検討依頼を受けるようになり、社内テスト機を用いた分離テスト、客先工場内での運転テストを実施している。

本稿では、吊下型遠心分離機の特徴、構造の説明に加え、石膏プロセスへの適用事例について紹介する。

キーワード：吊下分離機 吊下型遠心分離機 石膏  
Keyword：CENTRIFUGAL, Suspended Centrifuge, GYPSUM

## 1 はじめに

吊下型遠心分離機は1907年に納入を開始してから、国内外の製糖・異性化糖マセキット(スラリー)の分離工程に、1500台を超える納入実績があるが、その中でも自立型全自動吊下型遠心分離機は、1982年の1号機納入から数々の改良・改善を重ね、2019年8月現在で900基以上の納入実績を有する月島機械の主力機器のひとつであり、納入先は国内、東南アジア諸国、東アジア、西アジア、アフリカ、中米にまでわたっている。

ここ数年では、吊下型遠心分離機の機械的特徴が目され、糖類以外の物質への適用問い合わせ、検討依頼を受けるようになり、社内テス

ト機を用いた分離テスト、客先工場内での運転テストを実施している。

本稿では、吊下型遠心分離機の特徴、構造の説明に加え、石膏プロセスへの適用事例について紹介する。

## 2 吊下型遠心分離機の特徴

吊下型遠心分離機は、回分式遠心ろ過型底排型の遠心分離機として分類される。図1に当社吊下型遠心分離機の外観を示す。

遠心ろ過型型分離機は、縦型の有孔バスケット内に、ろ布・網・打ち抜き板等のろ材を装着して固液分離を行う。なかでも回分式分離機は、スラリー給液・脱液・洗浄・結晶掻取工程のバスケット回転

数と保持時間を任意に設定することができるため、結晶非破壊性が高く、高度の脱液および、洗浄効果を得ることができるバッチ処理型の分離機である。今回紹介する吊下型遠心分離機は、一般的な回分式遠心ろ過型型底排型分離機と比較し以下の特徴がある。

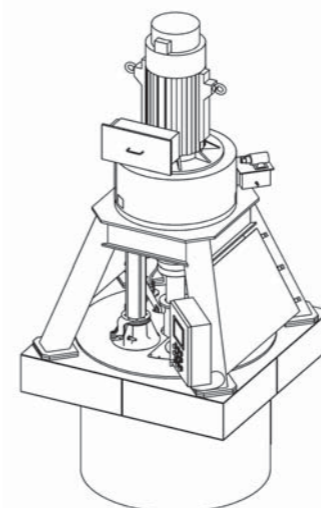


図1 吊下型遠心分離機 外観図  
Fig.1 Suspended Centrifuge outline drawing

### (1) 1バッチ当たりの大処理が可能

バスケットを支持する軸受ユニットがバスケット上方にあり、回転体全体が揺動できる構造のため、軸受ユニット内のベアリングに加わる負荷・振動荷重を低減できる。

このため、実液運転中のアンバランスに対する耐揺動性・耐振動性が高くなり、大容量のバスケットが搭載できる。

### (2) 1バッチ当たりの処理時間短縮が可能

モータや回転体をマウントするケーシングの剛性を高くすることができ、大容量のモータを搭載できる。

このため、加減速時間を短くすることで1サイクル時間を短縮でき、単位時間当たりの処理量が増加できる。

### (3) 低含液率結晶を得ることが可能

回転体全体が揺動できる特有の構造を持つため、高いバスケット回転数でも安全・安定運転ができる。

このため、高い遠心効果(G)の下で分離操作ができ、結晶含液率を低減させることができる。

## 3 吊下型遠心分離機の構造

図2に当社吊下型遠心分離機の断面構造を示す。

吊下型遠心分離機は、バスケット回転軸上方に配した電動機の回転をカップリングを介してシャフトに伝達し、シャフト下端で連結されているバスケットを回転させることで、バスケット内に給液したスラリーを遠心分離する。

各構成ユニットは以下の特徴を持つ。

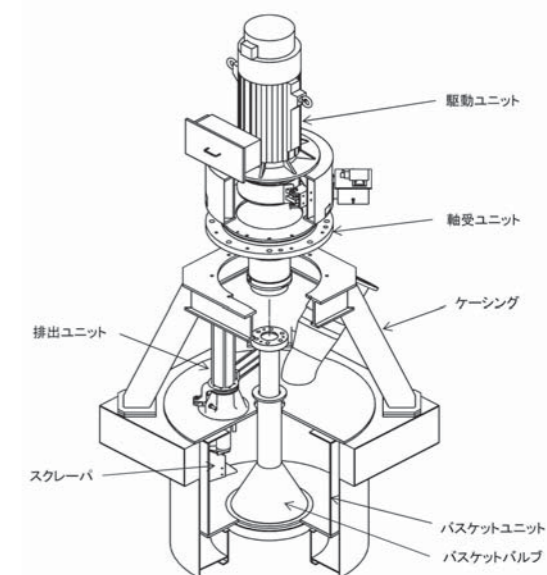


図2 吊下型遠心分離機 構造図  
Fig.2 Suspended Centrifuge sectional drawing

### (1) 軸受ユニット

回転体支持部である軸受ユニットは、回転体を支持するベアリングユニットと緩衝部品を有した球面軸受とからなっており、回転軸下端で連結されたバスケットが揺動しながら回転できる構造となっている。

ユニット部品となっており、バスケット回転体との組み合わせ自由度が高く、耐揺動性・耐振動性の向上を目的として軸受ユニットのみを大型化することが容易である。

### (2) バスケットユニット

縦型の有孔バスケットに、ろ布・網・打ち抜き板等の各種ろ材を装着する構造となっている。

1000kg/バッチ以下の分離機では、遠心効果1000G以上での高G運転も可能で、分離性が良くないスラリーにも対応でき、縦型底排型分離機と比較し、振切時間を短縮することが可能である。

バスケット底部の結晶排出口には、バスケットバルブという排出時に回転軸に沿って上昇させる構造の排出蓋を設けることもでき、結晶排出時以外は排出口を塞ぎ、結晶ラインを遮断しておくことが可能である。

回転体に排出蓋が付属していることから、結晶ライン側へのスラリーや洗浄水漏れを防ぐことができるため、低速での給液が可能となり、スラリー性状に応じた給液回転数を設定できる。加えて、バスケット内に均一な厚みでスラリー給液をするために、ディストリビュータ(分散板)をバスケットバルブに設けることもでき、大容量・高回転での安定・安全運転を可能としている。

### (3) 駆動ユニット

駆動用モータを回転体上方に配し、カップリングを介してシャフトに電動機回転を伝える構造となっている。

回転体と同軸上にあり、回転の伝達は、独自のカップリングにより行うので、駆動用モータと回転体を支持するケーシングの剛性を



高めるだけで、軸受ユニットを大型化せずともモータを大型化することも可能である。

(4) 排出ユニット

脱液後の結晶は、排出工程に到達後、掻取装置にて全自動でバスケットより排出される。バスケット回転体に付属したバスケットバルブが排出時に回転軸に沿って上昇し、バスケット底部の結晶排出口が開く。

掻取動作速度を可変させることができるため、結晶破碎を避けることができる上、排出コンベア能力に合わせた結晶排出を行うことが可能である。

結晶掻取用スクレーパとスクリーンのクリアランスを任意に設定可能で、スクリーン上の残結晶厚みを調整することができる。

## 4 糖類以外への適用

工業的に生産される多種多様な物質の分離工程で、縦型底排型分離機は広く適用されているが、下部駆動型の底排型分離機では回転体下方に軸受ユニットと駆動ユニットが配されるため、処理量増大に伴って駆動用モータとバスケット容量を大型化する際には、回転軸同軸上に駆動用モータを配することが困難となり、Vベルト駆動にする必要があるなどの機械構造上の制約から、1000G付近での振り運転は一般的にされていない。

一方で、昨今では結晶性状の改善、運転維持管理の軽減、といった要望が寄せられるようになり、これまで一般的な縦型底排型分離機を適用していた分離工程に吊下型遠心分離機を適用し、高い遠心効果(G)における振り運転の効果について検討を行う機会が増えてきている。

本項では、その一例として石膏における分離テストの結果と効果を紹介する。

### 4.1 吊下分離機運転サイクル

吊下型遠心分離機のサイクルチャートを図3、図4に示す。図3は吊下型遠心分離機の標準機能を用いたサイクルチャート、図4は中間脱液時間および、最終脱液時間を調整した実際の石膏での排出結晶含液率 8.0wt%WBとする時の想定運転サイクルの一例を示す。分離工程を短縮することで1サイクル時間が短縮されている。

給液・加速・振り・減速・排出で1サイクルとし、給液速、振り速はスラリーの性状に併せて任意の回転数に設定可能である。結晶洗浄は加速中(第2加速、第3加速)の任意の回転数において、運転中に設定可能であるため、脱液後の残水分および、洗浄を高度に制御することが可能である。

スラリー性状の変動に対し運転面での融通性が高いことに加え、機械的特徴により高G運転が可能であることから、一般的な縦型底排型分離機に対して、1サイクル時間の短縮が可能となっている。

スクリーン洗浄は、金属スクリーンを使用しているため、掻取後のスクリーン上の残結晶を少なくできることとバスケットバルブを付属し、結晶排出時以外は結晶ラインへの洗浄水落下がないことから、効率的に行える洗浄方法を1サイクルの中で行うことが可能である。

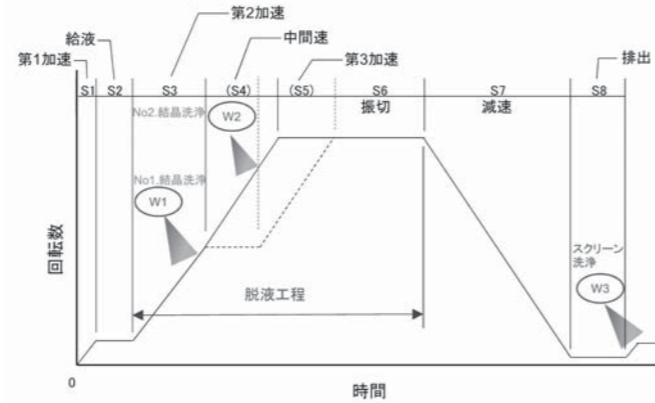


図3 吊下型遠心分離機運転サイクルチャート(標準サイクル)  
Fig.3 Cycle chart

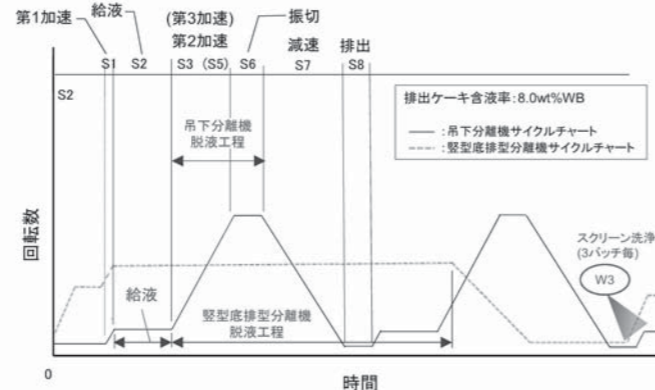


図4 石膏における想定サイクルチャート例  
Fig.4 Cycle chart of GYPSUM

### 4.2 分離性テスト結果

チューブテスト機および、φ400バスケット吊下型遠心分離機パイロットテスト機を用いて、表1に示す2種類の石膏にて分離性テストを行い、チャージ状態と1サイクル通しての運転状態観察、遠心効果の相違による水分値比較を行った。また、φ400バスケット吊下型遠心分離機での連続運転において、安定的に分離がなされることも確認した。

表1 テスト物質 物性一覧  
Table1 Physical Properties of GYPSUM

物質名	分類	平均粒径 (μm)	見掛け比重
二水石膏	無機化合物	80	1.0
チタン石膏	無機化合物	160	0.94

### 4.2.1 給液工程

スラリー性状が実績のある糖類と異なることから、φ400バスケット吊下型遠心分離機パイロットテスト機でのテストでは、機械的にはディストリビュータを設置し、運転面では給液時の回転数および、給液時間を変更することで、バスケット内に均一な厚みでスラリー給液を行い、高G運転を可能とした。

### 4.2.2 脱液工程

チューブテストにて行った一般的な型底排型分離機での、分離工程における遠心効果(560G)と吊下型遠心分離機での遠心効果(1397G及び、1300G)の比較では、いずれの石膏についても高Gの方が水分値が低減し、また、同一の水分値のみで脱液時間が短縮する一般的な傾向が得られ、高Gによる分離操作の効果がわかる。図5に脱液時間と結晶含液率の関係を示す。

φ400バスケット吊下型遠心分離機パイロットテスト機を用いた連続運転テストでも、高い遠心効果(回転数)の下で安定的に分離操作が行われ、チューブテストでの結果と合致する結果が得られている。スラリー性状によっては、同じ運転条件でも結晶含液率が変動する結果になるが、最終脱液回転数と脱液時間の調整により、結晶含液率を一定に保っていることから、吊下型遠心分離機の運転融通性の高さを示している。

図6には脱液終了後のバスケット内結晶層を示す。脱液後の結晶層は均一な厚み、外観となっており脱液が一様になされていることを示している。

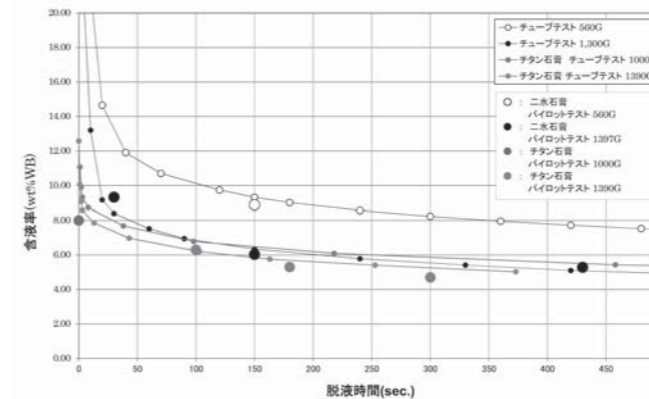


図5 チタン石膏、二水石膏 脱液時間と結晶含液率の関係  
Fig.5 Result of Dewatering time VS Moisture content

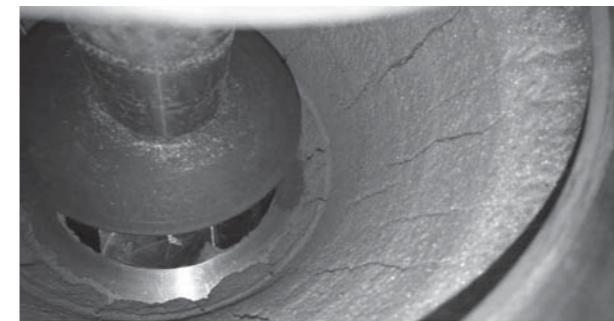


図6 脱液終了後のバスケット内結晶層の様子  
Fig.6 cake surface after dewatering

### 4.2.3 掻取・排出工程

金属ろ材を用いることで、スクレーパとのクリアランスを任意に設定することが可能となり、ろ材表面に基礎層として残留する結晶量を削減することを可能としているが、掻取・排出工程後に実施するスクリーン洗浄と併せることで、ろ材の早期目詰まりを防止することができ、結晶含液率を一定に保ちながら安定的に連続運転を行うことができる。

脱液後の結晶性状に併せた掻取動作を行うことで、スムーズな排出を可能とする。

### 4.2.4 スクリーン洗浄工程

掻取・排出工程完了後のスクリーン洗浄を任意のサイクル数経過ごとに実施。スクリーン洗浄を併しながら排出結晶含液率を一定に保つ連続分離処理が可能であることが確認できている。

スクリーン洗浄を実施しながら継続運転できることで、維持管理に対する負荷が軽減できる効果がある。

## 5 おわりに

回分式遠心ろ過型型底排型分離機は、スラリー給液・振り・結晶掻取時のバスケット回転数を任意に設定することができることから、結晶非破壊性が高く、高度の脱液および、洗浄効果を得ることができるため、様々な分野の分離工程に適用されてきた。一方で、一般的な底排型分離機は、大容量のバスケットを高い遠心効果で運転することができず、処理量増大のためには複数台配する必要がある。

これに対し、吊下型遠心分離機は、機械構造上の特徴から大容量のバスケットを高い遠心効果で運転することができ、処理量増大・結晶水分の低減を達成することができる。これまでは糖類の分離工程で広く適用され、スラリー性状が不安定な物質でも、揺動しながら分離運転を行うことができる特徴を活かしてきた。

今回、主に糖類の分離、という特定プロセスに適用されてきた、吊下型遠心分離機の異なるプロセスへの適用事例について、石膏を例として述べてきた。石膏においてはチューブテストの結果とパイロットテストの結果で差が生じることがなく、連続運転でも安定した結果を残した。

一方で、処理物質によっては連続運転の下での含液率は、チューブテストの結果とパイロットテストの結果で差が生じる場合もあり、実機に近いパイロットテスト機によるテストは、性能を把握し機器をサイジングする上で有用である。

今後も普通のニーズである処理能力改善、製品品質の高付加価値化、省エネルギーといったキーワードに応えた提案ができるよう、継続してチューブテストから実機へのスケールアップを適正に行う技術的知見を蓄積し、既存機器の技術的ブレークスルーを目指していく所存である。

### 参考文献

- 1) 一瀬美二、奥田三千男：吊下分離機、月島機械100年の技術、P.108-115 (2005)
- 2) 株式会社 化学工業社：改訂増補 遠心分離 工場操作シリーズ No.12 (1974)
- 3) 一般社団法人 日本産業機械工業会 田中伸介：産業機械 No.791 Nov、P.18-22 (2016)

# 集中監視センターの構築と実証試験

## Centralized monitoring center construction and verification test



今井 勝彦  
IMAI Katsuhiko  
月島テクノメンテサービス(株)  
維持管理本部  
事業推進部

### Abstract

The operation management work for water and sewage facilities can be broadly divided into inspection and maintenance work and operation monitoring work, and it is carried out by staff working at the contracted treatment plant. However, it is becoming increasingly difficult to secure new staff at Tsukishima Technology Maintenance Service (TTMS), due to the aging of staff and the declining labor force in Japan. Thus, instead of remote monitoring, TTMS aims to save labor for operation monitoring work.

上下水道施設の運転管理業務とは、点検整備業務ならびに運転監視業務に大別でき、受託した処理場に勤務する所員により実施している。しかしながら所員の高齢化、労働人口の減少に伴う新規所員の人材確保が困難になりつつあることから、月島テクノメンテサービスでは本社に集中監視センターを設置し、受託した処理場の運転監視業務を所員にかわり遠隔監視することで、運転監視業務の省人化を目指す。

キーワード：集中監視センター  
Keyword：Centralized monitoring center

### 1 はじめに

集中監視センターとは、広域に点在する上下水道施設（以下、処理場と称す。）で使用されている施設運転制御装置（以下、DCS（ディスプレイ・コントロール・システム）と称す。）の遠隔監視機能を使用し、集中監視を行うための施設である。同業他社においても既に集中監視センターを設置している企業があり、今後の労働人口の減少に向けた取り組みとして検討している企業も多い。

集中監視を実現するためには、あらかじめ対象処理場のDCSに遠隔監視されるための装置が必要になるが、近年、新設または更新された処理場では、電気・計装を施工する重電メーカーが遠隔監視機能を持ったDCS（以下、WEB-DCSと称す。）を導入する事例が増え、これまで実現できなかった遠隔監視が可能となった。月島テクノメンテサービス（以下TTMSと称す。）においても、東京本社内に複数処理場を遠隔監視できる集中監視センターを立上げるべく、2017年度から機材準備・設置を行い、2018年度から試験運用を実施している。図1にTTMS本社に設置した集中監視センターの室内を示す。



図1 集中監視センター室内  
Fig.1 Centralized monitoring center room

### 2 集中監視センターの仕組み

集中監視センターでは、下記に述べる2つのシステムを組み合わせ、遠隔監視を実現する。図2にネットワーク構成の概要図を示す。

#### 1) WEB-DCSの遠隔監視システム

対象処理場の電気・計装を施工した重電メーカー各社が提供する遠隔監視機能を持ったWEB-DCSにTTMSが管理する社内ネットワークを介して、集中監視センターに設置したパーソナルコンピュータと接続し、WEBブラウザを利用して遠隔監視するシステムである。

#### 2) 設備の画像監視システム

対象処理場内にLANケーブルや無線LANを敷設した上で、運転管理上目視確認が必要であると判断した機器（空送設備の輸送状況やブロワやポンプの圧力等）にネットワークカメラを設置し、中央監視室で状態監視を行うシステムで、対象処理場による平均16台程度を設置している。

上記システムをあらかじめ複数の対象処理場に導入することで、集中監視センターによる運転管理業務を行えるようにするものである。集中監視センターでは、対象処理場の中央監視室と同一の環境を構築することで、処理場の中央監視室と同じ操作を集中監視センターで実施可能となる。

ただし、集中監視センターでの運用実施にあたってはセキュリティ対策が重要であり、対象処理場と集中監視センター間のネットワーク不通や不正アクセスに対する対策を、処理場を管理する地方自治体、重電メーカー各社から求められる。今回、下記に示す具体的なセキュリティ対策を実施することで、集中監視センターを実現することができ

たとえる。

TTMSが実施したセキュリティ対策は下記2つに大別することができる。

#### 1) ネットワーク回線における健全性の確保

対象処理場と集中監視センター間のネットワークには企業向VPNを使用する。VPN(Virtual Private Network:仮想プライベートネットワーク)とは通信事業者の公衆回線を經由して構築された仮想的な企業内ネットワークである。企業内ネットワークは支社支店等の拠点間接続などに使われ、あたかも自社ネットワーク内部の通信のように遠隔地の拠点との通信が行える。企業向VPNを使用することで、24時間体制の保守が行われ、併せて予備のネットワーク回線も用意した。また、公衆回線との接続においてもファイヤーウォールを設置し不正アクセスに対処している。

#### 2) 異なるネットワークの相互接続における健全性の確保

WEB-DCSを提供する重電メーカーが施工・管理する設備制御系ネットワークとTTMSが管理するネットワーク間に、セキュリティゲートウェイ(以下SGと称す。)を設置・相互接続することで、双方のネットワーク上を流れる情報から許可された情報のみを通過させることができるようになる。そのため双方のネットワークにおいて健全性を保つ事ができ、併せて責任分界点を明確にできる。SGは本来、サーバー等の重要機器の管理を目的に製造販売されているが、高価な機材のため、複数導入することが難しかった。しかしながらIT技術の進歩により製品価格が1/10程度になることで複数の対象処理場へ導入することができた。

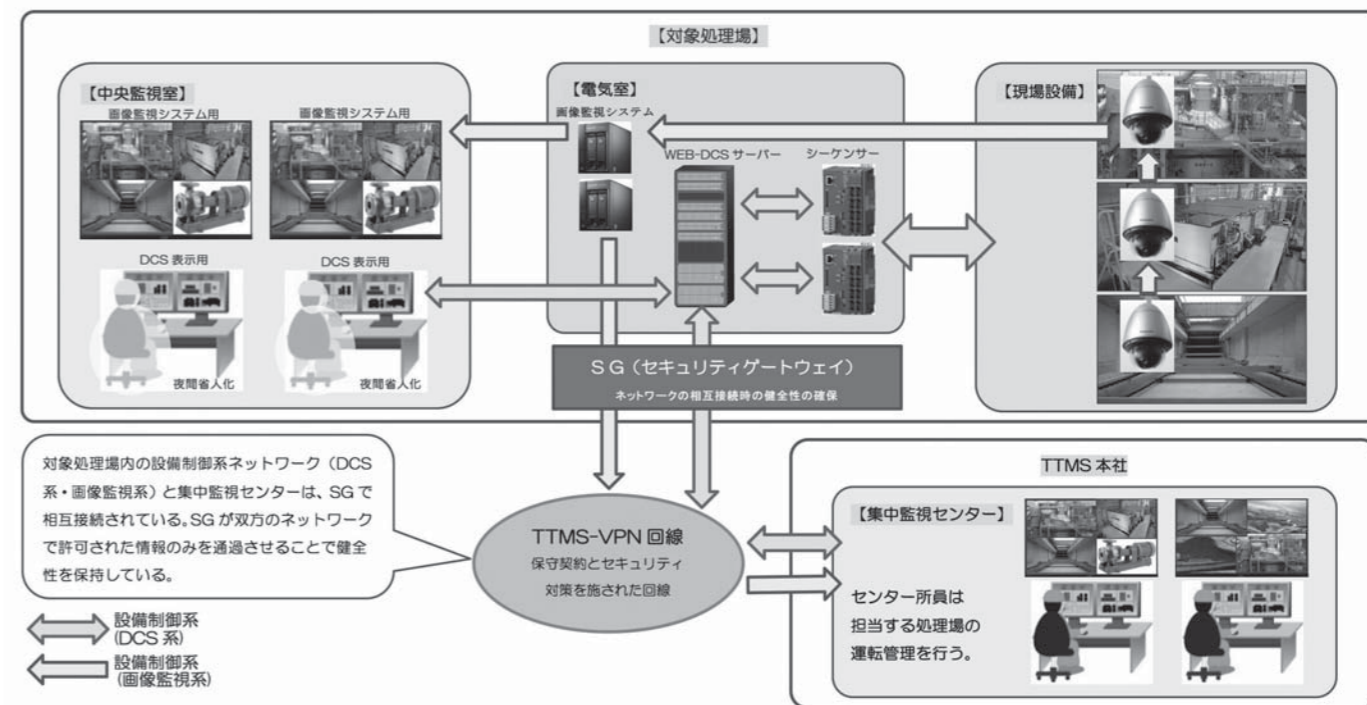


図2 ネットワーク構成概要  
Fig.2 Network configuration overview

### 3 実証試験の概要

2018年度は手始めに簡易集中監視の実証試験を実施した。簡易集中監視とは前述したWEB-DCSを用いた集中監視とは異なり、集中監視機能を持たないDCSが設置された処理場を対象にしており、設備の重・軽故障警報を集中監視センターに音声通報する自動通報装置と、対象処理場の監視室に設置した監視カメラでDCS監視卓を監視するものである。監視方法は、故障警報が通報されるとDCS監視卓に表示された故障内容をカメラで読み取り、緊急度を判断し必要であれば現地所員に電話連絡し、対応を促す。これにより一人夜勤や現場作業で、無人になる監視室の遠隔監視を目的に実施した(実証試験では対象処理場側の人員は通常勤務とし、現地所員と集中監視センター所員の双方でチェックを行った)。

簡易集中監視の実証試験では上下水処理場4カ所を対象とした実証試験を行い、集中監視センターでの遠隔監視が実施・対応できることが確認できた。課題もあるが2019年度は前述したWEB-DCSによる運転操作を含めた遠隔監視を下水処理場2カ所で実施予定であり、遠隔監視することによる課題の抽出を行い、本運用に向けた準備を行う。

### 4 課題

現時点で判明している集中監視センターの運用における課題を以下にまとめた。

- 1) 十分な技能技術を持った人材の確保  
処理場の運転管理を行うためには数年の現場経験を必要とし、加えて少人数で複数処理場を担当する必要があることから、技術力を持つ所員を集め、計画的に教育(対象処理場での研修も必須と考える。)し、集中監視センターに配置する必要があると考える。
- 2) 客先への営業活動  
上下水道施設の集中監視センターによる遠隔監視は、マンホールポンプ場等の小規模施設を対象とした運用実績がほとんどであり、水処理・脱水・焼却施設の遠隔監視は同業他社でも導入事例が少ない。そのため実証試験の客先提案において理解を得るのに時間を要したことから、正式運用に向けた客先への説明を十分に行い、理解を得ることが必要と考える。
- 3) 処理場ごとに異なるWEB-DCSの仕様と操作性の違い  
重電メーカーは複数社あり、基本的に処理場ごとに異なる。そのため重電メーカーが用意するWEB-DCSも処理場毎に仕様・操作方法が大きく異なる。集中監視センターで複数処理場を一括で遠隔監視した際に混乱が生じ、ひいては操作ミスにつながる可能性がある。上記の人材確保・教育で対応できるか今後の検証が必要と考える。

### 5 今後の展望

2019年度の実証試験結果を反映させた上で、正式運用に向けた準備を進める。特に技能技術を持った人員の確保と教育、客先への説明と理解を得ることが重要と考える。また、集中監視センターから処理場の状況把握をより円滑に行えるよう、IoT技術の活用として、スマートグラスやタブレットを用いた設備の状況確認を容易にできるようなシステムの検証もを行い、将来的には処理場の監視室のみならず現場設備への対応が行えるようにしたいと考える。

### 6 おわりに

集中監視センターは上下水道施設の運転管理における「労働人口の減少に伴う労働力の不足」に対する1つの取り組みであると考えられる。労働人口の減少は避けられず、今後、集中監視センターの重要性が高まると考えられることから、TTMSとして将来の事業展開を見据え、入念な準備と客先理解を得て集中監視センターを省人化ツールとしての活用を目指す。TTMSの「労働人口の減少に伴う労働力の不足」に対する取り組みについては図3に日本水道新聞への掲載記事を参考に掲載する。

現場最前線をサポートするソリューション

#### 設備整備計画に活用

データ入力センターの設置  
同社が導入したデータ入力センターは、設備整備計画の作成に活用されている。データ入力センターは、設備整備計画の作成に活用されている。データ入力センターは、設備整備計画の作成に活用されている。

#### 機能充実と監視拡大

集中監視センターの設置  
集中監視センターの設置により、監視範囲が拡大され、設備の監視がより円滑に行えるようになった。集中監視センターの設置により、監視範囲が拡大され、設備の監視がより円滑に行えるようになった。

#### 10年先見据えて開発

会社基幹システムの再構築  
10年先を見据えて、会社基幹システムの再構築を進めている。10年先を見据えて、会社基幹システムの再構築を進めている。

#### 標準化を進め再検証も

各種マニュアルの再整備  
標準化を進め、各種マニュアルの再整備を行っている。標準化を進め、各種マニュアルの再整備を行っている。

#### 積極的に技術者育成

人材教育研修センターの設置  
人材教育研修センターの設置により、技術者の育成が促進されている。人材教育研修センターの設置により、技術者の育成が促進されている。

#### 標準化を進め再検証も

各種マニュアルの再整備  
標準化を進め、各種マニュアルの再整備を行っている。標準化を進め、各種マニュアルの再整備を行っている。

図3 日本水道新聞提供 2018年6月7日掲載  
Fig.3 Articles published in the Japan Waterworks Newspaper

# 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

## Production of the steel digestion-tank project at the Nakagawa Water Recycle Center

### Abstract

TSUKISHIMA KIKAI Co., Ltd. (TSK) received three construction orders from Saitama Prefecture and Japan Sewage Works Agency (JS), and also orders for equipment from METAWATER Co., Ltd and KOBELCO Eco-Solution Co., Ltd. In addition, TSK signed a basic agreement for new business with the Sewerage Bureau of Saitama prefecture, in collaboration with the Tokyo Century Corporation.

These construction and business contracts have the common purpose of digesting sewage sludge efficiently and utilizing the digestion gas made from the sewage sludge. After the construction and test operations, one of the largest systems utilizing energy made from sewage sludge will go live in Japan.

月島機械株式会社(以下当社)は、埼玉県および日本下水道事業団から3件の工事を受注し、メタウォーター株式会社、株式会社神鋼環境ソリューションからそれぞれ機器を受注した。これに加えて東京センチュリー株式会社と共同で埼玉県下水道局と1件の事業に関する基本協定を締結した。

一連の工事および事業は、下水汚泥を効率的に消化し、そこで得られる消化ガスを活用するという共通目的を持っており、建設および試運転の完了とともに、国内有数の下水汚泥エネルギー有効利用システムが稼働することとなる。

キーワード：埼玉県、日本下水道事業団、鋼板製消化タンク、濃縮機、消化ガス、脱水機、流動焼却設備  
Keyword: Saitama prefecture, Japan Sewage Works Agency (JS), steel digestion-tank, thickener, digestive gas, dehydrator, fluidized bed incinerator

加藤良介  
KATO Ryosuke  
水環境事業本部  
ソリューション技術部  
新事業グループ

### 1 はじめに

中川水循環センターは、埼玉県にて実施し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り、現有能力は613,200m<sup>3</sup>/日である。当該センターにおいて近年、汚泥処理設備に関する複数の工事が発注となった。

それら工事のうち当社は、2017年度、日本下水道事業団から「中川流域処理場汚泥処理設備工事その1」、埼玉県から「中川流域処理場1号ほか初沈汚泥濃縮機機械設備改築工事」をそれぞれ受注した。続いて2018年度には、東京センチュリー株式会社と共同で埼玉県

下水道局と「中川水循環センター消化ガス発電事業」に関する基本協定を締結。同年、メタウォーター株式会社から「中川流域処理場5号ほか汚泥脱水機機械設備工事」の構成機器である汚泥脱水機、株式会社神鋼環境ソリューションから「中川流域処理場汚泥処理設備工事その2」の構成機器であるガスタンク、日本下水道事業団から「中川流域処理場汚泥焼却設備工事」をそれぞれ受注するに至った。

すべての工事は、それぞれ個別の契約である一方で、「中川水循環センターで効率良く下水汚泥を消化し、生成する消化ガスを有効利用する」という共通目的があるのだが、詳細については後述する。それぞれの工事を表1に整理する。

### 2 各工事の概要

#### 2.1 中川流域処理場汚泥処理設備工事その1

従来コンクリート製が主流であった消化タンクを鋼板製で建設する工事。容量9,000m<sup>3</sup>の鋼板製消化タンクを4基建設する。本工事により、現状発生汚泥のほぼ全量の消化が可能となる。

#### 2.2 中川流域処理場1号ほか初沈汚泥濃縮機機械設備改築工事

処理能力80m<sup>3</sup>/hの初沈汚泥濃縮機を5台および補機類を建設する工事。同センターでは、これまで初沈汚泥を重力濃縮槽により3~4%程度に濃縮していたが、新たに建設する濃縮機では8~10%に

濃縮することが可能となる。高濃度濃縮された初沈汚泥は余剰濃縮汚泥と混合し、後段の鋼板製消化タンクに移送する。

#### 2.3 中川水循環センター消化ガス発電事業

東京センチュリー株式会社と当社で構成する発電事業者により、容量1,996kW(ガスエンジン499kW×4台)の消化ガス発電設備を建設し、消化タンクで生成した消化ガスの一部を発電燃料として埼玉県から購入、発電電力の売電を行う事業。また、発電排熱は消化槽加温用温水として消化汚泥熱交換器へ供給して有効利用をはかる。本事業には、2012年7月に施行された固定価格買取制度(以下FIT制度)に基づくものである。

表1 工事および事業の整理  
Table1 About the construction and businesses

工事および事業名称	年度	注文主など	現状
中川流域処理場汚泥処理設備工事その1	2017	日本下水道事業団	建設中
中川流域処理場1号ほか初沈汚泥濃縮機機械設備改築工事	2017	埼玉県	建設中
中川水循環センター消化ガス発電事業	2018	埼玉県下水道局	建設中
中川流域処理場5号ほか汚泥脱水機機械設備工事	2018	メタウォーター一聯	建設中
中川流域処理場汚泥処理設備工事その2	2018	神鋼環境ソリューション	建設中
中川流域処理場汚泥焼却設備工事	2018	日本下水道事業団	建設中



図1 消化タンク建設状況  
Fig.1 Under construction of digestion tank

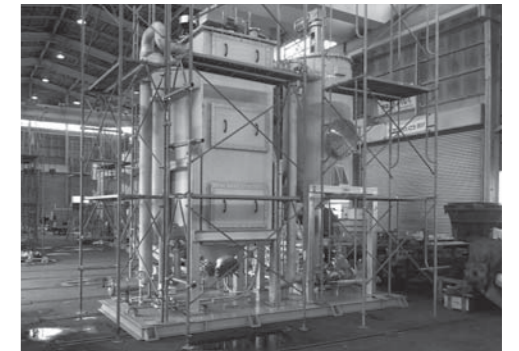


図2 初沈汚泥濃縮機外観  
Fig.2 Concentration device of primary sedimentation sludge



図3 事業スキーム  
Fig.3 Business schemes

### 2.4 中川流域処理場5号ほか汚泥脱水機機械設備改築工事

老朽化した5～8号汚泥脱水機（ベルトプレス）を撤去し、汚泥脱水機およびその補機類を建設する工事。当社は本工事のうち、汚泥脱水機×3台をメタウォーター株式会社より受注した。脱水機は消化タンク完成後に発生する高濃度消化汚泥に対応することを前提とした発注仕様となり、形式は遠心脱水機が選定されている。

### 2.5 中川流域処理場汚泥処理設備工事その2

消化設備補機類を建設する工事。発電設備から供給される温水を消化汚泥加温に利用する消化汚泥熱交換器も本工事で設置される。

当社は本工事のうち、生成した消化ガスを貯留するガスタンクを、元請である株式会社神鋼環境ソリューションより受注した。

### 2.6 中川流域処理場汚泥焼却設備工事

同センターでは、脱水汚泥は流動焼却設備により焼却処理されており、その補助燃料には都市ガスが使用されてきた。本工事にて、消化タンクで生成した消化ガスの一部を、下水汚泥焼却の補助燃料として活用するため、4号焼却炉の燃焼装置を、消化ガスも補助燃料として使用できるものに改築する。

## 3 システムとしてのつながり

前述の通り、それぞれの工事は独立した契約であるものの、同センター全体として見た場合には、密接な関係性を持つ。当社が受注したものを含めた全工事が完了すると、図4に示すような下水汚泥エネルギーを効率的に活用可能な下水汚泥処理プラントが完成する予定である。

## 4 おわりに

近年、FIT制度の施行と鋼板製消化タンクの登場により、消化プロセスに対するとらえ方が官民ともに変わりつつある。消化プロセスが従来持っていた「汚泥を衛生的に処理する」という役割に加え、汚泥の有機分を消化ガスという再生可能エネルギーに転換し、生活に不可欠な電気という形でリサイクルを図るという新たな考え方である。埼玉県という国内有数の事業者が踏み出したこの一歩は、日本の下水道の進む方向性に一石を投じるものであり、当社もその歩みに大いに貢献していきたい。

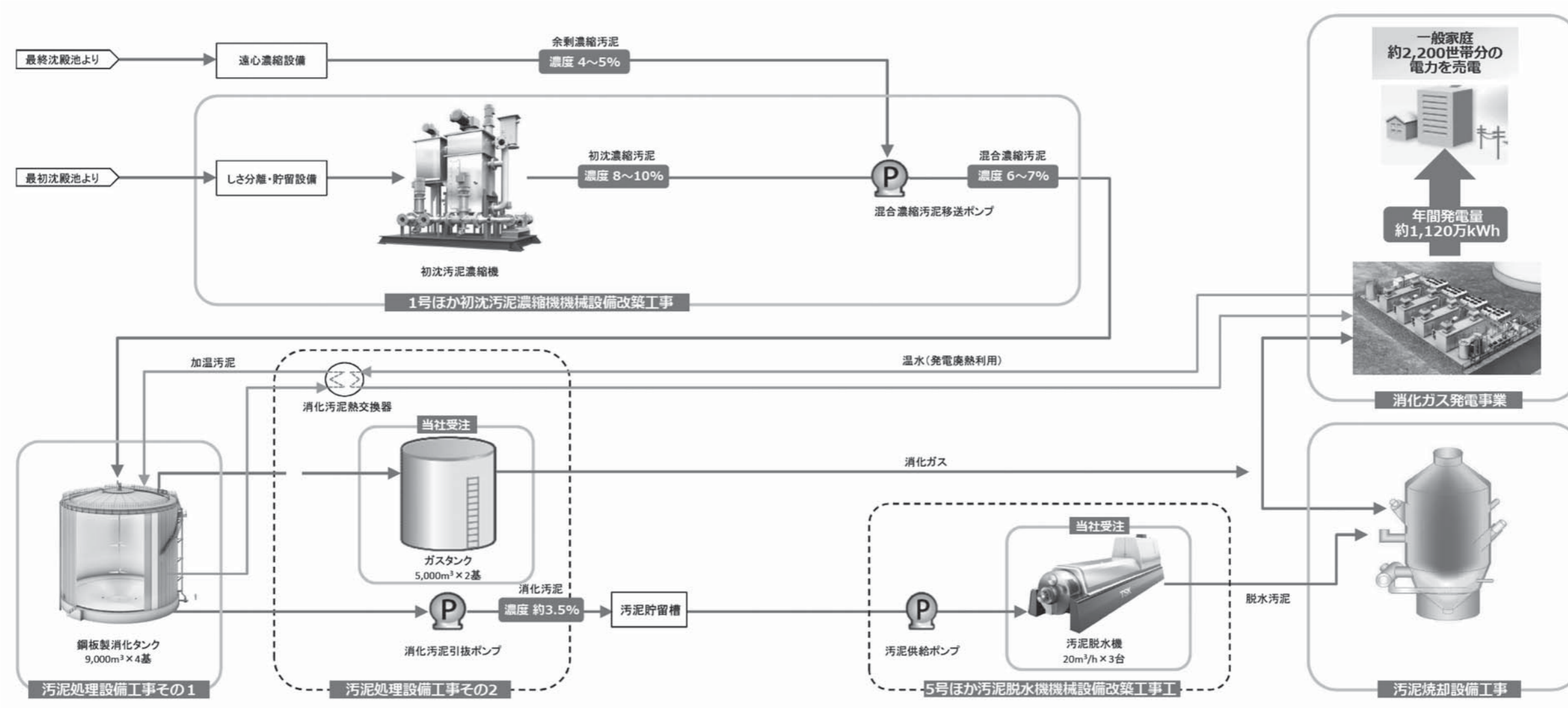


図4 全体システムフロー  
Fig.4 Overall system flow chart

# 晶析による結晶品質評価に関する 分析技術の紹介

開発本部 研究所 分析グループ 武田 龍二 橋本 佳子

## 1. はじめに

月島機械は、砂糖をはじめとして各種の晶析装置を古くから手がけ開発・受注している。主な晶析物として硫酸アンモニウム(以下「硫酸」とする)、パラジクロロベンゼン(パラゾール)、ビスフェノールAなどの無機および有機化合物があるが、分析に関しては主に硫酸晶析にかかわる業務が多い。硫酸製造は①硫酸とアンモニアの直接反応、②カプロラクタムやアクリロニトリルを製造する際の廃液などからの回収、③COGコークス炉から発生するアンモニアに硫酸を反応させ製造する技術などがある。分析グループでは、これらのプロセスから製造された結晶の品質評価を目的に結晶の純度・不純物・物性などを分析している。ここではカプロラクタム廃液と回収精製硫酸を例に、主な測定項目の分析技術について述べる。

## 2. 分析結果の一例と分析方法の解説

カプロラクタム廃液から硫酸を回収するプロセスに関する分析は、主成分である硫酸と微量成分および廃液の物性分析を実施している。表1に分析結果の一例を示し、以下に代表的な分析項目の解説を記す。

表1 硫酸結晶およびカプロラクタム廃液の分析結果

Table1 Analysis results of ammonium sulfate crystals and waste liquid from caprolactam production process

測定項目	単位	硫酸結晶	カプロラクタム廃液	測定方法
pH	-	-	4.62	JIS K0102 ガラス電極法
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	dry%	99.2	-	JIS K8960
NH <sub>4</sub>	wt%	-	11.7	JIS K0102 中和滴定法
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	wt%	-	0.18	中和滴定法
Fe <sup>2+</sup>	mg/kg	10	240	JIS K0102 吸光光度法
Fe <sup>3+</sup>	mg/kg	<1	<1	JIS K0102 吸光光度法
Al	mg/kg	<10	5.8	JIS K0102 ICP法
As	mg/kg	<0.2	<0.2	JIS K0102 吸光光度法
Cl	mg/kg	<5	60	JIS K0102 イオンクロマトグラフ法
(NH <sub>2</sub> )HSO <sub>3</sub>	wt%	-	0.43	イオンクロマトグラフ法
カプロラクタム	wt%	0.13	1.4	GC/FID
有機体炭素	wt%	-	1.9	JIS K0102 TOC計
平均粒径	μm	1500	-	篩分粒度分布法

### 2.1 純度

結晶硫酸の純度はJIS K8960に準拠し、中和したホルマリンに溶解後、遊離した硫酸分を水酸化ナトリウムで中和滴定により定量し算出する。廃液は、硫酸およびアンモニウムを中和滴定法で定量する。晶析により得られた硫酸結晶の純度は99.2dry%(窒素分として21.0dry%)であり、肥料としての窒素量20.5 dry%以上(肥料取締法に基づく普通肥料の公定規格)を満足している。

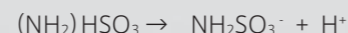
### 2.2 金属イオン類

#### 2.2.1 Fe<sup>2+</sup>とFe<sup>3+</sup>

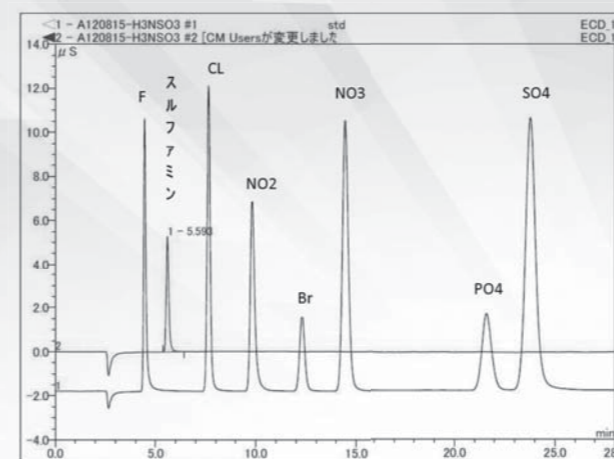
一般的に2価と3価が存在するFeイオンは、フェナントリン吸光光度法により分別定量する。Fe<sup>2+</sup>はフェナントリンとキレートを作り赤褐色を示すため、発色強度からFe<sup>2+</sup>濃度を定量することができる。別に、塩酸ヒドロキシルアンモニウムでFe<sup>3+</sup>をFe<sup>2+</sup>へ還元後、全Feとして定量し、全FeからFe<sup>2+</sup>を差し引くことでFe<sup>3+</sup>を算出する。結果からFe<sup>2+</sup>のみ存在しており、廃液は還元雰囲気であることが示唆された。

#### 2.2.2 Clとスルファミン酸((NH<sub>2</sub>)HSO<sub>3</sub>)

Clは陰イオン定量条件でイオンクロマトグラフ法により定量する。イオンクロマトグラフ法は溶離液を移動相として、イオン交換体などを固定相とした充填カラム内で試料溶液中のイオン種成分を分離し、保持時間で定性、ピーク強度から定量する。スルファミン酸は次のように水溶液中で電離するため、同条件下で定量が可能である。



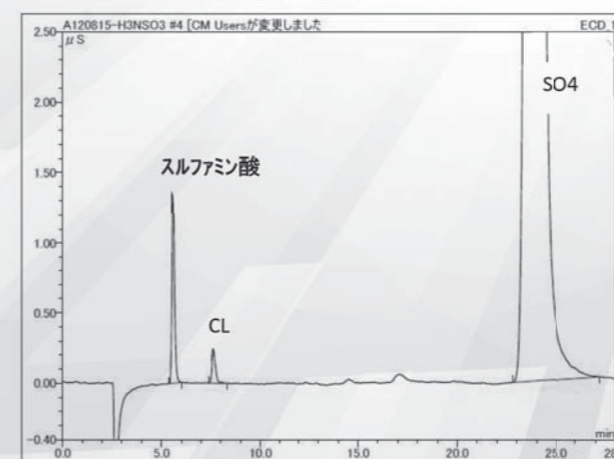
陰イオン混合標準液にスルファミン酸を加えたクロマトグラム(図1)と、カプロラクタム廃液のクロマトグラム(図2)を示す。スルファミン酸のピークは、ほかの成分の影響を受けず定量可能であり、またカプロラクタム廃液中にはF、NO<sub>2</sub>、Br、NO<sub>3</sub>、PO<sub>4</sub>はほとんど含有していないことが分かる。



カラム: Dionex IonPac AS23/AG23  
 溶離液: 4.5mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 0.5mM NaHCO<sub>3</sub>  
 流量: 1.0mL/min  
 検出器: 電気伝導度検出器(サブレッサー使用)  
 注入量: 25μL

図1 イオンクロマトグラム(標準物質)

Fig1 Ion chromatogram (Standard solution)



カラム: Dionex IonPac AS23/AG23  
 溶離液: 4.5mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 0.5mM NaHCO<sub>3</sub>  
 流量: 1.0mL/min  
 検出器: 電気伝導度検出器(サブレッサー使用)  
 注入量: 25μL

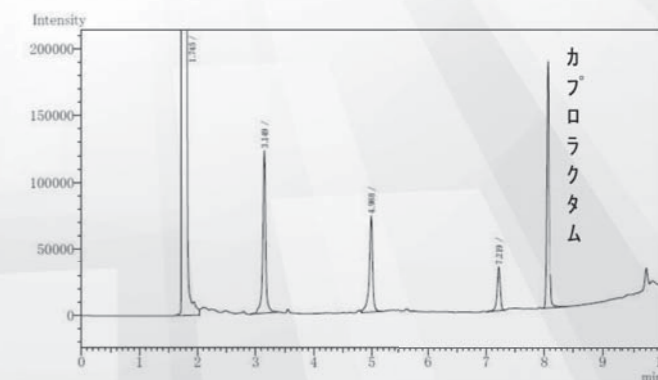
図2 イオンクロマトグラム(カプロラクタム廃液)

Fig2 Ion chromatogram of waste liquid from caprolactam production process

### 2.3 有機物(カプロラクタム、有機体炭素)

廃液中に含まれるカプロラクタムは、ガスクロマトグラフ(GC-FID)で定量する。FID(水素炎イオン化検出器)は最も多用される検出器で、ほとんどの有機物定量に使用される。試料を高温でガス化した後、キャリアガスによりカラムに導入する。試料中の混合成分はキャリアガスとともにカラム中を移動しながら、主に分子量の小さい成分から分離され水素炎検出器部へ到達する。検出時間で成分を定性し、ピーク強度から定量することができる。図3にカプロラクタム廃液のクロマトグラムを示す。カプロラクタムより分子量が小さい物質も含有し、少量であることも確認できる。

有機物全体量の指標として、有機体炭素(TOC)測定がある。試料の一定量を高温下で燃焼分解し、発生したCO<sub>2</sub>から全炭素(TC)を定量する。一方で試料を酸性とした後空気を通し、発生したCO<sub>2</sub>から無機炭素(IC)を定量し、TCとICの差からTOCを算出する。この方法は複数の有機物質や混入物質が不明確な場合に、全有機物質量を炭素として把握することができる。表1の廃液中のカプロラクタム1.4wt%を炭素濃度に換算すると0.89wt%であるが、TOCの測定値は1.9 wt%であることから、ほかに有機物質が混在していることが判断できる。



Sample: ε-Caprolactam  
 Column: HP-1 30m×0.53mm×1.5μm  
 Carrier: Helium 30cm/sec 100°C at 15°C/min to 200°C  
 Injection: Split(10:1) 1μL inlet 250°C  
 Detector: FID 250°C

図3 カプロラクタム廃液のガスクロマトグラム

Fig3 Gas chromatogram of waste liquid from caprolactam production process

## 2.4 粒度分布測定

粒度分布測定は、JIS Z8815ふるい分け試験方法通則にて実施する。本法は目開きの粗いふるいを上段に、細かいふるいを下段に重ねて一定時間、一定振幅で振動を与えふるい分けした後、各ふるい上の残留量から粒度分布を測定し、累積分布より平均粒径を求める。図4に粒度分布測定結果、図5にロジン・ラムラー線図をそれぞれ示す。JISでは重量分布のみの表示であるが、一般的に重量累積の50%を平均粒径として表示している。また、均等数はロジン・ラムラー線図の傾きにより求め、値が小さいほど粒子の分布が広いことを意味する。今回の一例では平均粒径は1500 $\mu$ m、均等数は1.5であり、比較的分布が広い結果となった。今回の硫酸結晶は窒素分が21.0dry%で肥料として十分満足する値であるが、比較的小粒径である。一般的に、肥料用硫酸は大粒径が求められる。

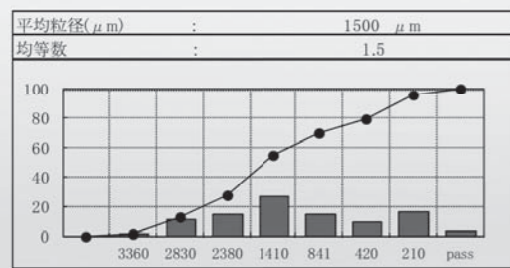


図4 ふるい分け粒度分布測定結果  
Fig4 Results of particle size distribution of ammonium sulfate crystals

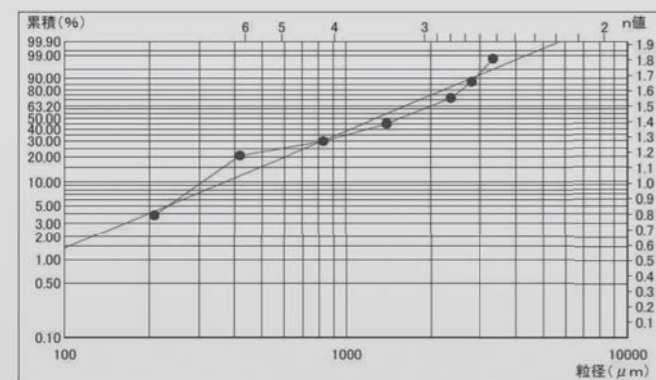


図5 ロジン・ラムラー線図  
Fig5 Rosin-Rammler Diagram

## 2.5 顕微鏡写真撮影

表1の測定項目には含まれないが、結晶の撮影も重要な分析項目の一つである。撮影は20倍から2000倍まで観察できるデジタルマイクروسコープ(図6)を使用する。本機の特徴として、①焦点深度が深くフォーカスに優れている、②結晶サイズの計測ができる、③観察角度が任意に変更できる、④撮影操作が容易であるなどがあげられる。

各廃液(カプロラクタム、コークス炉ガスなど)からの副産物硫酸の結晶を図7および図8に示す。これらの結晶は、丸みを帯びた角柱状か立方体系形状である。一方、硫酸とアンモニアの直接反応により製造した硫酸の結晶を図9に示す。本法では高純度ではあるが柱状結晶となり折れやすい。このため晶析過程でスルファミン酸を少量加え、結晶に丸みを持たせることもある。

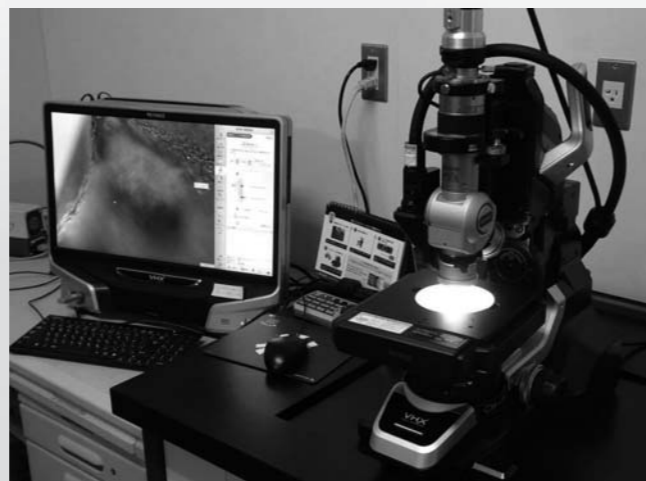


図6 デジタルマイクروسコープ  
Fig6 Digital microscope

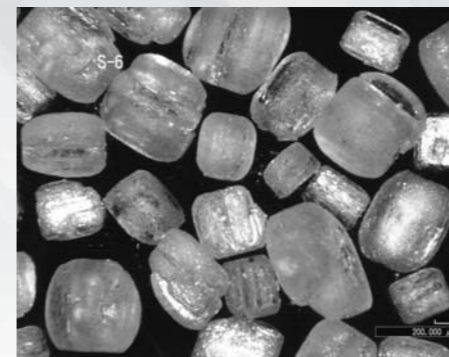


図7 カプロラクタム由来の硫酸結晶  
Fig7 Ammonium sulfate crystals produced from caprolactam waste liquid

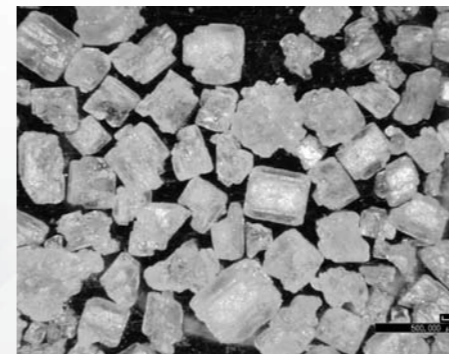


図8 コークス炉ガス由来の硫酸結晶  
Fig8 Ammonium sulfate crystals produced from coke oven gas

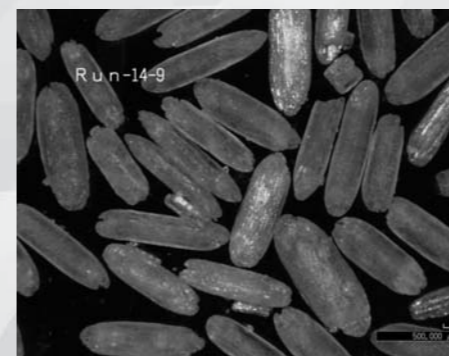


図9 硫酸とアンモニアから製造した硫酸結晶  
Fig9 Ammonium sulfate crystals produced from reagents

## 3. おわりに

月島機械の晶析技術は、多種多様な物質へ応用され技術と装置の開発が進められている。今後も分析技術の向上を図り、晶析技術を含めた当社技術の発展と技術開発に貢献していきたい。なお、今回説明した分析技術はほかの分野への適用も可能なため、晶析以外の分析業務についても問い合わせいただきたい。

# 耐震解析編

開発本部 研究開発部 解析グループ  
本間 秀雄

## 1. はじめに

北海道胆振東部地震、大阪北部地震、熊本地震による家屋や塀の被害が報道されたのは記憶に新しい。また南海トラフ地震、首都直下地震などの大規模地震発生の切迫性が高まってきている。「耐震解析」により、このような地震発生時における建造物の安全性に対する検証が求められている。

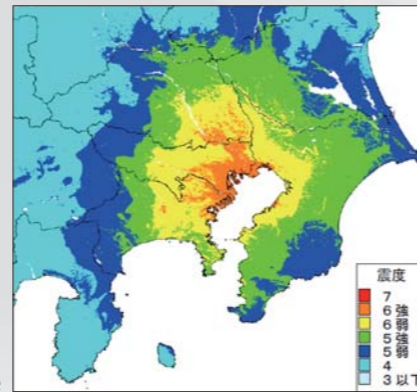


図1 首都直下地震の想定震度分布<sup>1)</sup>  
Fig1 Estimated Distribution of Seismic Intensities of Tokyo Inland Earthquake

## 2. 解析グループの耐震解析技術

解析グループでは、主にコンピュータ上で汎用構造解析ソフトを使用した有限要素法(FEM)による耐震解析を行うことで、タンク・塔などの化学製品製造設備を始め、水処理設備や廃液処理設備などの変位、応力などを定量的に評価し、設計に反映している。

### 2.1 耐震解析分類

耐震解析は図2に示すように分類される。

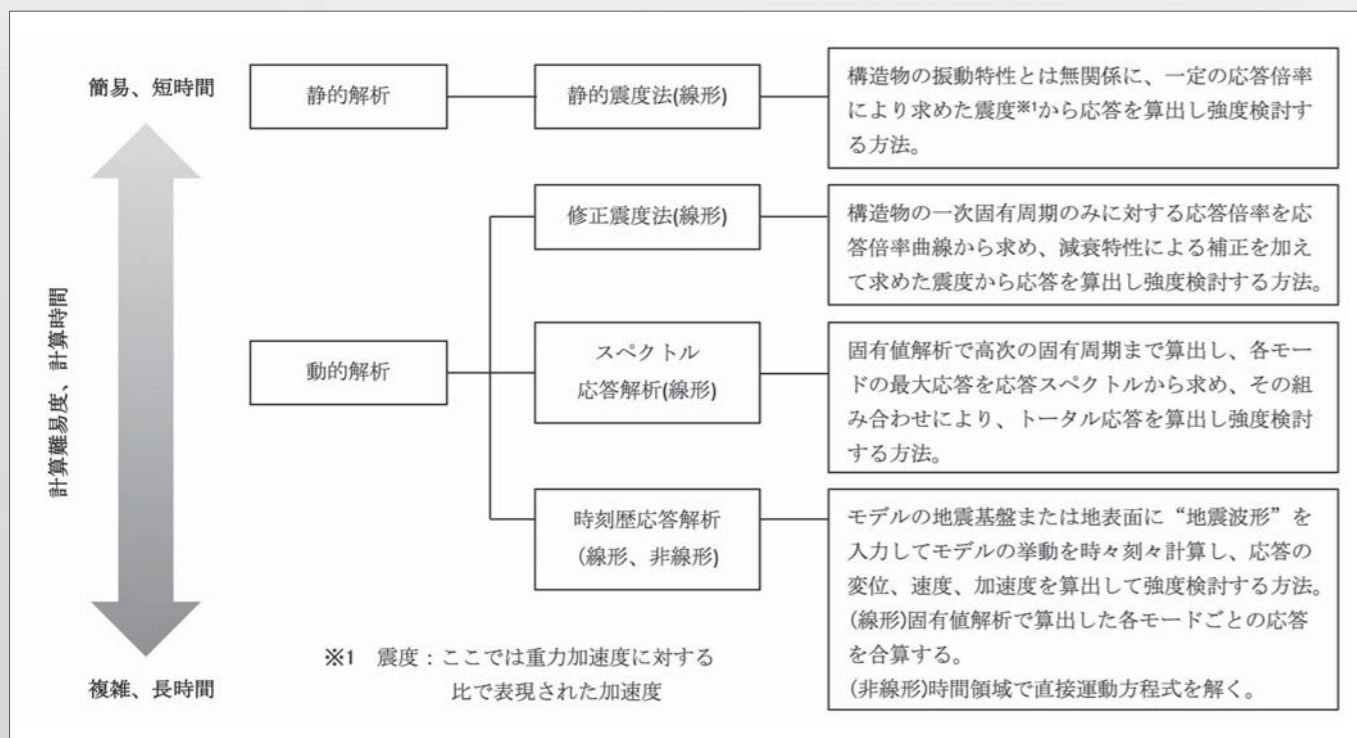


図2 耐震解析分類

Fig2 Categorization of seismic analysis

### 2.2 事例

具体的な検討事例を以下に紹介する。計算結果や仕様を図3～図4に示す。

#### 2.2.1 廃液燃焼装置耐震解析(静的震度法)

- 対象設備 : 廃液燃焼炉 φ3m×H10m
- 目的 : 経年劣化した廃液燃焼炉の強度確認
- 手法 : 静的震度法による静的解析
- 使用ツール : 汎用構造解析ソフト
- 条件 : 水平震度を重力加速度の0.3倍として設定
- モデルの特徴 : ルーフ部、直胴部、コーン部、脚部などで構成される。
- 成果 : 設定した水平震度に対して、変形形状や応力が許容値を超えるかどうかなどがわかり、補修検討時の判断材料となる。

#### 2.2.2 ガスホルダ耐震解析(時刻歴応答解析)

- 対象設備 : 乾式ガスホルダ 10万 m<sup>3</sup> φ58m×H52m
- 目的 : 新設計画における強度確認
- 手法 : 時刻歴応答解析(非線形)
- 使用ツール : 汎用構造解析ソフト
- 条件 : 地震波を地表面に設定
- モデルの特徴 : 屋根板、屋根梁、側板、支柱、補強リング、底板などで構成される。
- 成果 : ガスホルダの地震波に対する時々刻々の挙動変化や応力の余裕度を精度良く把握でき、耐震性能を考慮した適切な設計が可能となる。



図3 燃焼炉解析結果  
Fig3 Analysis results of combustion furnace

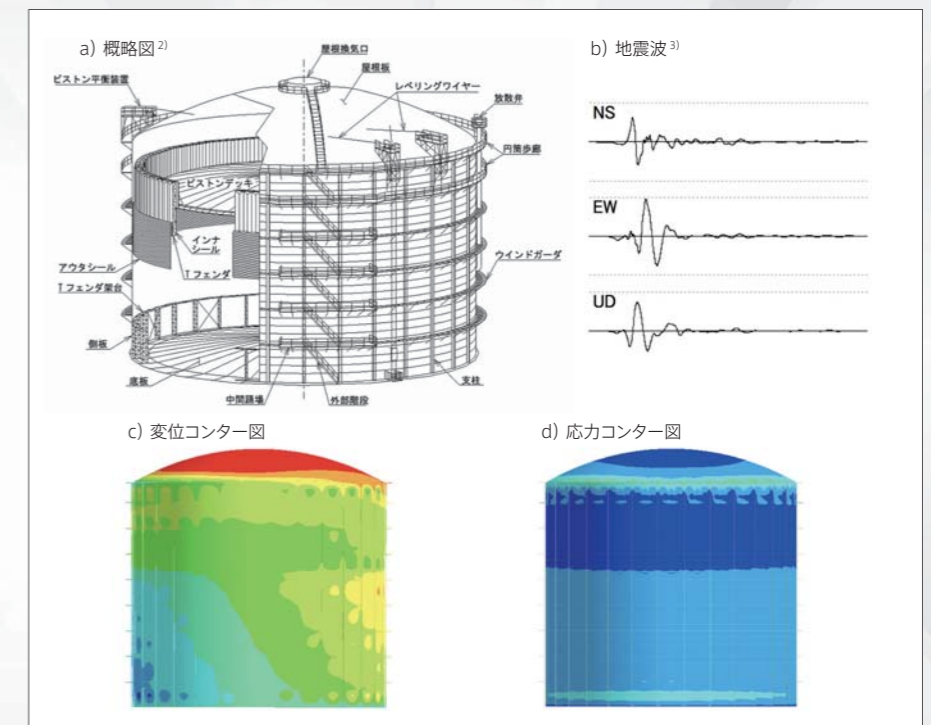


図4 ガスホルダ解析結果および仕様  
Fig4 Analysis results and specifications of gasholder

## 3. おわりに

月島機械はプラントを構成する機器に対して、多くの経験やノウハウを蓄積しており、合理的な解析モデルの構築ならびに条件設定が可能である。

近年では、設備機器の使用される期間の長期化、延命化が図られている。そのため使用期間における大規模地震発生のリスクが高まり、各種機器の耐震性を検討する重要性が増している。今後は、耐震解析によってそれらリスクに対応した機器を拡充するとともに、解析技術のさらなる向上を推し進めていく所存である。

#### 【参考文献】

- 1) 内閣府ホームページ ([http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku\\_wg/](http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/)) より抜粋
- 2) 月島機械ホームページ
- 3) 気象庁ホームページ (<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/>) より抜粋



# シンギュラリティ (技術的特異点) と現時点の技術について

開発本部 研究開発部 研究開発グループ 榊原 健太郎

AIという言葉が新聞や報道で毎日のように見かけますが、AIとはどんなものでしょうか。また、シンギュラリティという言葉を目にする機会も増えました。2045年にシンギュラリティを迎えると一部で騒がれています。さて、AIとシンギュラリティとは我々の事業にどのように影響を与えていくのでしょうか。

## 1. シンギュラリティの到来

シンギュラリティとは訳すと技術的特異点とされ、人間が創造したシステムが自己改善を始めついに、人間を超えることができる境界線を示しており、2045年にそれを迎える予想されています。

シンギュラリティを迎えることは有り得ないと唱えている科学者や有識者もいますが、本当にそうでしょうか。もしシンギュラリティを迎えた場合、どのようなことが起こるのでしょうか。

この後は、AIの歴史と今現在AIの最先端技術とされるディープラーニングの基礎となる機械学習について少し解説していきます。

## 2. AIの歴史<sup>1)</sup>

1956年に計算機科学者のジョン・マッカーシーが主催したダートマス会議で、世界で初めてArtificial Intelligence(人工知能)という言葉が定義されました。ダートマス会議が行われた1950年代後半から1960年にかけての時期は「第1次人工知能ブーム」と呼ばれています。この頃、現在の「第3次人工知能ブーム」を引き起こす要因となったDeep Learningの基となっている技術であるニューラルネットワーク(人間の脳神経系の動きを数理モデル化した)の基礎となる研究が行われていました。第1次人工知能ブームの特徴としては「推論と探索」があげられます。主にコンピュータがゲームやパズルを解いたり、迷路のゴールへの行き方の探索をしていました。IBMのエンジニアで「チェッカー」というゲームをプレイするプログラムを開発していたアーサー・サミュエルが、機械学習という研究分野を定義したのもこの頃でした。また、イギリスの数学者アラン・チューリングは、チューリングテスト(端末機器を解した機械との対話

が人間との対話と区別できない場合、その機械は「知的」である)と呼ばれる実験で真の知性を持った機械を創り出す研究を行っていました。1969年、マッカーシーとパトリック・ヘイズが人工知能研究最大の難問であるフレーム問題について指摘しました。フレーム問題は哲学者ダニエル・デネットが論文で次のような例をあげています。『ロボット(1号)は、爆弾が仕掛けられている部屋から貴重品を取り出すことを命じられました。ロボット(1号)は貴重品を取り出すことができましたが、貴重品の上に置かれていた爆弾ごと持ってきてしまったため、爆発に巻き込まれてしまいました。これは、ロボット(1号)が貴重品に爆弾が付いていることが分からなかったためです。そこで、この問題を解決するため改良したロボット(2号)が制作されました。ロボット(2号)は貴重品に付いた爆弾を取り外すことを考えましたが、「触った時に爆発しないか」「取り外した爆弾はどこに置くべきか」などを考えているうちに爆弾が爆発してしまいました。』このように、人間であれば理解している「常識」をAIには一つずつ教えなければなりません。これをフレーム問題と呼び、第3次人工知能ブームの現在でも解決されていない課題です。第1次ブームはコンピュータ内や社会の実問題から遠いものでしか活躍できなかったこと、当時のコンピュータの性能の限界により、1970年代はAI研究が下火になってしまいました。

1980年代では、「エキスパートシステム」と呼ばれるアプリケーションに注目が集まりました。エキスパートシステムは、文字通り専門家が持つ知識をコンピュータに覚えさせ、それを基に問題を解決するルールベースの技術です。感染性の血液疾患の患者を診断し抗生物質を処方する「MYCIN」というシステムが当時の代表例となります。また、AIの可能性と限界について哲学者と人工知能研究者の間で活発な議論が行われていました。哲学者はロボットが道徳的行為者であると考えており、人間とは異なる生存条件を持つため新たな道徳システムを制定する

必要があるのではないかと提案していました。チューリングテストでもAIはどこまで人間に近づけるかを試みていましたが、哲学者はAIが人間の考える「徳」を獲得できるのかというテーマにも取り組んできました。産業界へ踏み入ることができ、第2次ブームが巻き起こりました。しかし、システムの出力に対する責任問題と、専門性に特化させたことによる非汎用性により、第2次ブームも次第に勢いをなくしていきました。

画像の認識精度を競うILSVRCという大会で、Deep Learningを用いた画像識別精度が前年の優勝記録の誤り率25.7%から15.3%へと4割削減させ圧勝したことが、第3次人工知能ブームを引き起こす要因となりました。画像認識においては、2015年のILSVRCでついに人間の認識性能を超えています。また、Google(当時Deep Mind社)が開発したAlphaGoがプロ囲碁棋士を破ったのもこの年であり、2019年現在もブームは続いています。

Deep Learning技術はデータセットを揃え、学習済みネットワークを用いることである程度の精度が出せることから、従来の機械学習より扱いやすいという特徴を持ちます。従来の機械学習や統計学の深い知識を身につけなくても実践可能なため、参戦する人口は第2次ブーム以降よりも多い傾向にあります。

Deep Learningの登場で容易に人間が創造したシステムに、容易に判断基準を学習させられる時代が来ています。続いてDeep Learningの基礎となっている機械学習という技術について概説します。

## 3. 機械学習について

機械学習は大きく分けて教師あり学習、教師なし学習、強化学習の3種類あります。

### 3.1 教師あり学習

教師あり学習とは、不確かさがあっても証拠に基づいて予測を行えるモデルを構築することを目的としています。主に将来の予測を精度高く行うことを目指しており、その手法は回帰と分類に二分されます。機械学習では、予測したい変数を目的変数、予測に用いる情報を説明変数(または特徴量)と呼びます。

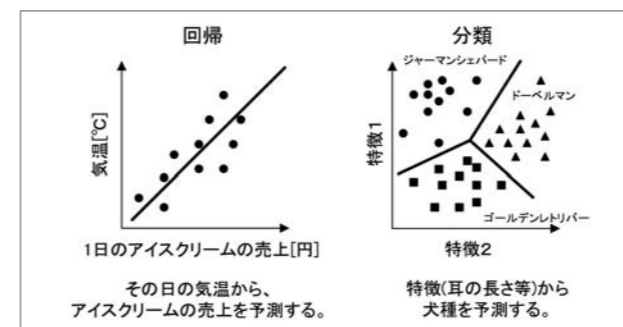


図1 教師あり学習

### 3.2 教師なし学習

教師なし学習とは、データに内在する隠れたパターンや固有の構造を見出すものであり、正解ラベルが与えられていないデータを用います。例えば、あるスーパーマーケットの購買履歴データから、購買年齢層の高さや季節による売り上げ変化等のデータを用いて学習を行った結果、「ビールとオムツが一緒に買われることが多い」ことが分かるなど、一見相関性がなさそうで実は隠れた頻出パターンがあることを見つけ出すことができます。この場合、購買履歴データが正解ラベルを与えられていないデータとなります。教師あり学習は未知の数値やクラスの予測をしましたが、教師なし学習は既知のデータの法則性を浮かび上がらせることを目的としています。また、正解が与えられてないということから、学習結果の意味付けを分析者が行う必要があります。

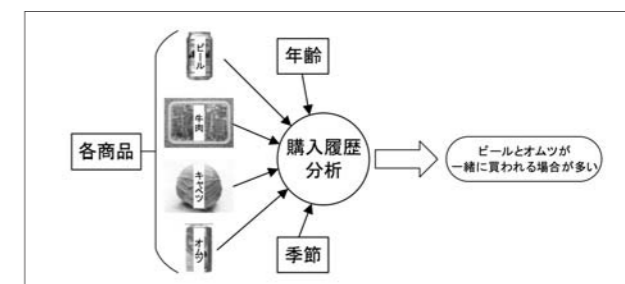


図2 教師なし学習

### 3.3 強化学習

強化学習とは、エージェントが自身の報酬を最大化させることを目指して学習する手法で、主にゲームを攻略するシステムやロボットの制御などに応用され始めています。強化学習が一躍脚光を浴びたのは、2016年3月のことでした。このとき、Google(当時Deep Mind社)が開発した囲碁AIのAlphaGoが世界トップ棋士を破ったことがきっかけです。強化学習は現在最も注目される手法のひとつです。

## 4. おわりに

Deep Learningの登場により人間が創造したシステムが、容易に自分自身で判断基準を獲得することができる時代を迎えました。当社も機械学習などの技術を使い始め、自動化や省力化、最適化に取り組み始めています。この原稿をまとめている現在、インターネットでの調べ物はGoogleなどの検索エンジンを提供している会社に収集及びAIで分析されており、また、ドローンによるサウジアラビアの石油基地攻撃により、社会基盤に甚大な被害が発生したように、新技術が社会に大きな影響を与える時代となっています。当社も報道に躍らせる必要はありませんが、着実に新しい技術を取り入れていく体制や姿勢が求められる時代になってきているのではないのでしょうか。

参考文献 1) What's AI(社)人工知能学会 <https://www.ai-gakkai.or.jp/whatsai/>

# 晶析

本誌から新設された本コラムでは、主に若手社員の方々に当社の技術の今昔を知っていただくことを主旨として、「月島今昔物語」と銘打って、当社のコア技術の歴史と今後の展望などを紹介させていただきます。論文、新技術など当社の最新技術情報の掲載が大半を占める本誌において、毛色の異なるコーナーではありませんが、本コラムを通して、先人の技術や精神を知り、次世代に繋げ、更なる新技術を生み出すための一助になれば幸いです。第一回目は、晶析技術について紹介させていただきます。

晶析と聞いて、当社の社員であれば、まず一番に思い浮かぶのは砂糖の晶析ではないだろうか。いうまでもなく、当社の産業機械技術のルーツは製糖技術であり、そこで培った固液分離技術とエンジニアリング技術を化学・食品・鉄鋼分野へと適用範囲を広げて現在に至る。砂糖の結晶の歴史を辿ると紀元前4世紀のアレクサンダー大王の遠征時の記録に登場する、古代インド北部で発祥した製糖技術まで遡るとのことであるが、近代的な工業晶析装置を用いた晶析操作が行われるようになったのは20世紀になってからと意外に最近である。奇しくも、工業晶析の歴史と1905年に創業した当社の歴史は同時期であり、当社の晶析技術の発展は、産業界の工業晶析技術の発展に同調してきたと言っても過言ではない。簡略化した晶析技術年表(表1)に従って、当社の晶析技術の足跡を辿ってみよう。

まず、食品分野において、1900年代から国内外の製糖会社向けに砂糖事業がスタートし、そこで培ったノウハウを基に1980年代以降は多糖類・希少糖などのその他の糖類の晶析にも適用範囲を広げていく。一方、化学、鉄鋼分野においては、1960年代～1970年代前半、戦後の食料不足対策として肥料である硫酸の生産増加と高度経済成長期における各種化学製品の生産プラント建設ラッシュに合わせて多くの晶析装置を納入していく。その後、1960～1980年のエンブラ、1980年代以降のスーパーエンブラの需要の高まりに連動して、それらの原料であるビスフェノールAやパラジクロロベンゼン製造プラント向けの晶析装置の納入台数を延ばす。創業

産業事業本部 プラント計画部 プロセス第1グループ  
津崎 裕也

当時から現在に至るまで国内外の食品、化学、鉄鋼分野に納入した晶析装置は累計700台以上に上る。(当社の各種晶析装置の特徴と適用物質例については、表2参照。)そして、現在、産業界で最も注目を集めている二次電池分野への参入を狙って、リチウムイオン電池の正極材の原料である金属水酸化物の前駆体製造設備向けに新型晶析装置である渦流式晶析装置の受注拡大に取り組んでいる。

表1 月島機械の晶析技術年表

分野	物質名	1900～	1960～	1980～	2000～	2010～	2020～
食品	砂糖(原糖、精製糖)						
	糖類(希少糖含む)						
化学、鉄鋼	硫安						
	化学製品各種						
	ビスフェノールA						
電気	正極材前駆体						

表2 月島機械の晶析装置

晶析装置タイプ	特徴	代表的な適用物質
1 カランドリア型晶析装置	プロペラ攪拌により、槽内に設置された伝熱部(カランドリア)へ糖液を循環対流させ回分式の濃縮晶析を行う。種晶添加、差し水、粘度の変動に応じた攪拌速度変更などにより、均一で大きな砂糖結晶を製造する。	・砂糖
2 強制循環型晶析装置	シンプルな構造で安価。結晶破砕が発生しやすいため、要求粒度が厳しくない場合に適用する。	・ぼう硝
3 オスロ型晶析装置	攪拌槽タイプの晶析装置に比べ流動が悪いため、粒度分布はブロードになるが、蒸発室で濃縮生成した過飽和液を濃度拡散しないまま晶析槽底部で滞留する結晶へ供給し接触させるため、大粒子径の結晶を得易い。	・硫安 ・青化ソーダ
4 DP型晶析装置	従来の攪拌槽タイプの晶析槽における結晶破砕の課題に対し、ダブルプロペラ(DP)を採用することで、低回転数でマイルドな攪拌により結晶破砕が少なく、粒度が均一で大粒子径の結晶を得ることを可能にした。	・硫安 ・ビスフェノールA
5 掻き取り型晶析装置	ジャケット付の攪拌槽。槽内壁(伝熱面)をスクレパーで掻き取ることで高い伝熱係数を得ることができる。	・パラジクロロベンゼン ・エチレンカーボネート
6 渦流式晶析装置	反応晶析、貧溶媒晶析対応の晶析装置。これまでの攪拌槽タイプの晶析装置との大きな違いは、スラリを滞留させる滞留槽から強攪拌のリアクタ部を切り離すことで、反応場における過飽和のムラを小さくし、結晶の粗大化を防ぎ、数μmオーダーの微粒子を製造するのに適していること。	・リチウムイオン電池正極材前駆体

【その他の適用物質】  
硫酸ニッケル、硫酸コバルト、硫酸銅、硫酸マグネシウム、亜硫酸ソーダ、石膏、過硫酸ナトリウム、チオ硫酸ソーダ、食塩、塩化ニッケル、塩化バリウム、次亜塩素酸ソーダ、硝酸銀、ブドウ糖、マンニト、フタル酸、イソフタル酸、フマル酸、マレイン酸、アジピン酸、尿素、タウリン、ナフトリン、バラキシレン など

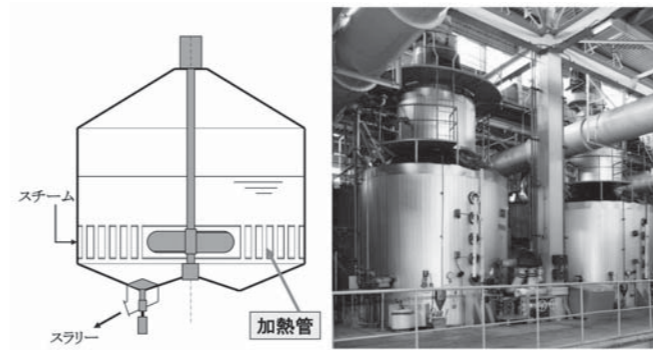


図1 カランドリア型晶析装置

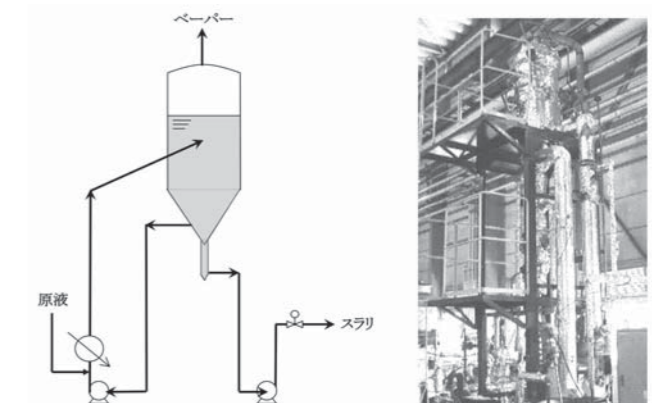


図2 強制循環型晶析装置

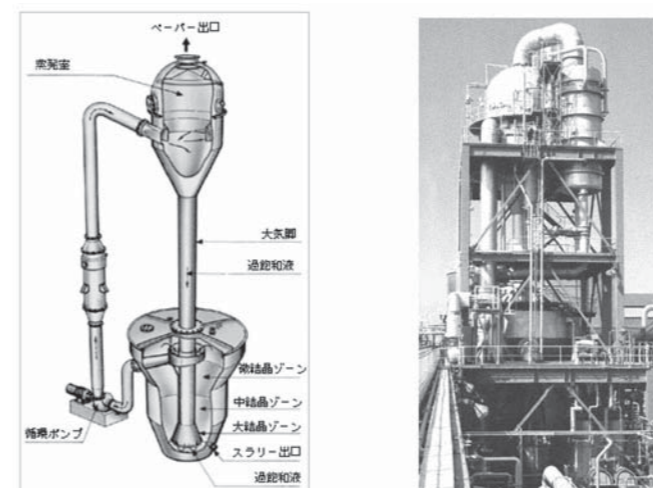


図3 オスロ型晶析装置

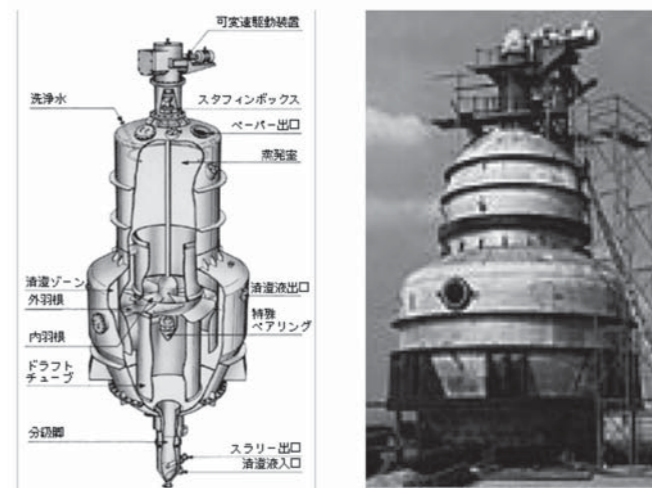


図4 DP型晶析装置

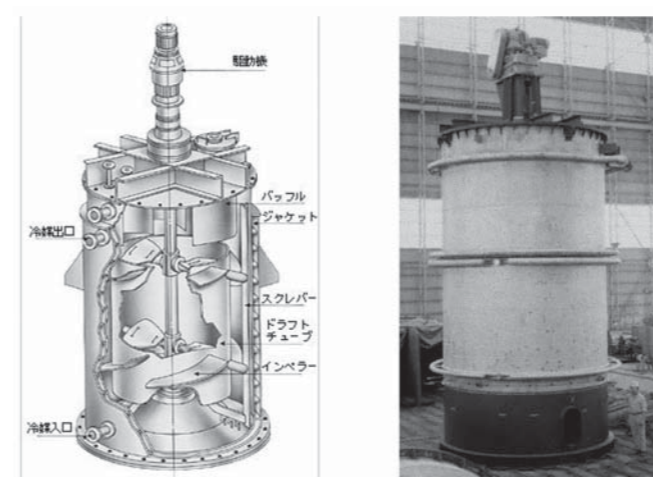


図5 掻き取り型晶析装置

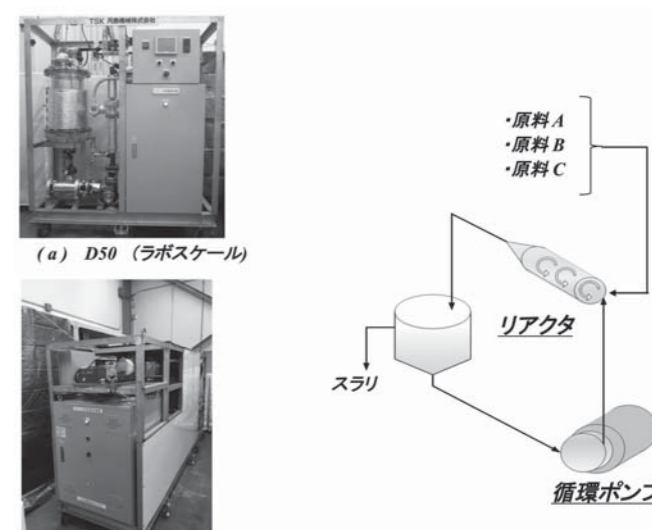


図6 渦流式晶析装置

時代のニーズに対し形を変えながらも100年以上継承し続けてきた当社のコア技術である。先人はどのようにして技術を繋いできたのか？そして、現代を担う私達はどのようにして継承、発展していけばよいか？

昨今、国内の製造業界におけるベテラン技術者の高齢化により、技術伝承が難しくなっていることが課題とされている。確かにそうかもしれないが、当社の晶析技術は100年以上の歴史である。この長い年月、先人達も様々な苦難に直面しながらも、解決策を自ら見出し乗り越えてきたのではないのか？現在の世の風潮に流されて、ここまで続いた当社の晶析技術を我々の世代で終わらせるわけにはいかないと思ふ。

では、どのように技術を伝承していけばよいのか？一般的な方法としては、マニュアル化、OJTなどをよく聞かざる。昨今は、IoTを活用してプラントのO&M作業とベテランエンジニアの経験を集積したデータベースとをリンクさせる方法も試されているようだ。いずれも一定の効果はあるだろう。しかし、これらだけでは何か足りない気がする。若手社員、中堅社員、ベテラン社員、皆さんはどう思われるだろうか？

ここで私の経験の一つを紹介させていただく。私は入社12年目に、台湾のA社向けの合成硫酸製造プラントの基本設計を担当することになった。しかし、当社の数ある硫酸設備実績のほとんどは、COG硫酸、ラクタム硫酸などの副生硫酸であり、硫酸とアンモニア試薬から合成する合成硫酸の実績は1件しかなかった。A社の求める結晶の平均粒子径は晶析装置出口で1.68mm以上であるのに対し、当社の合成硫酸実績の平均粒子径は1.0mm程度であったため、容量が100LのDP晶析装置のテスト機を用いて、客先要求を満足する硫酸結晶の製造にトライすることにした。客先へTechnical Proposalを提出する期限は4ヵ月後。それまでにテスト機で成果を出さなければならなかった。1ヵ月経っても、2ヵ月経っても、目標値を達成できない。この時点で、平均粒子径が1.2～1.3mm程度の結晶を作ることではできていたが、目標値の1.68mmには程遠かった。諸先輩から教わったとおり、晶析装置内の結晶スラリー濃度が均一になるようにしっかり攪拌しつつ、結晶破碎を抑制するように攪拌機の回し過ぎにも注意を払った。結晶の滞留時間を長く取ってみたりもした。しかし目標値に到達しない。ここまで何度も徹夜テストを行っていたことと成果が出ないことで、体力的にも精神的にも疲労が溜まっていた。テスト開始から3ヵ月が経過し、万策尽きたと思いつつ、真冬の寒いある早朝、硫酸水溶液を貯めておいたポリバケツの底から目測でも短軸5mm x 長軸20～30mmもあろうかという大きな硫酸結晶が無数に剣山の様に突き立って析出しているのを発見した。バケツの底にスケーリングした結晶であったため、固液分離操作が可能なスラリー状態ではなかったが、客先要求どころか、当社のどの実績データよりも大きく立派な結晶であった。攪拌もせずただ一晩放置していただけた硫酸水溶液から析出していた。それまでしっかり攪拌することがセオリーだと思っていたため、当時はこの現象に違和感を持ちつつも、これをテスト条件に取り入れてみよう

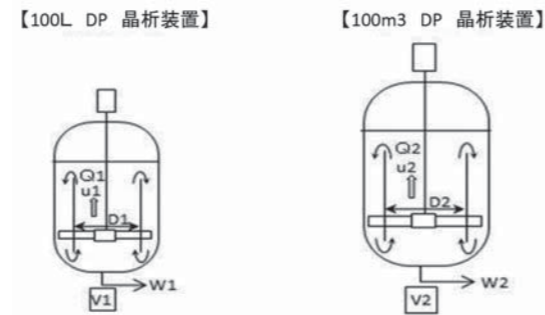
と思ひ、テスト装置の攪拌機の回転数をそれまでの条件から大幅に下げてみた。その結果、ついに平均粒子径1.68mm超の結晶の製造に成功した。結晶がここまで成長する頃には、比較的大きめの結晶は晶析装置内で沈降気味になり、スラリー濃度を均一に保てない流動状態になっていた。目標値を達成できたことは喜ばしいことであったが、ここで一つ疑問が生じた。容量が100m<sup>3</sup>級の大スケール攪拌槽タイプ晶析装置では、諸先輩から教えられたとおり、スラリー濃度を均一にするような良好な流動状態を維持しつつ、平均粒子径が2mm以上の副生硫酸結晶を製造できているデータも存在するからだ。

小スケールのテスト機と大スケールの実装置で何が違うのか？これは、100Lのテスト機と1000倍スケールの100m<sup>3</sup>の実装置において、硫酸結晶の結晶成長速度に作用するスケールアップパラメータである操作過飽和度(※1)と装置内のドラフトチューブ内流速の関係において差異が生じるためである。

(※1)  
 $\Delta C$ (操作過飽和度) =  $W$ (結晶生産量) /  $Q$ (ドラフトチューブ内循環流量)

硫酸結晶において、所定の操作過飽和度までは、操作過飽和度が高いほど結晶粒子径は大きくなり、逆に操作過飽和度が低いほど結晶粒子径は小さくなる。

以下に、装置スケールの違いによる操作過飽和度とドラフトチューブ内流速の差異について簡単に述べる。



操作過飽和度を一定にした場合、槽内循環流量は、 $Q2 = 1000 \times Q1$ となる。

	100L DP 晶析装置	100m3 DP 晶析装置
槽容量	V	V2 = 1000 x V1
ドラフトチューブ内径	D	D2 = 10 x D1
結晶生産量	W	W2 = 1000 x W1
操作過飽和度	$\Delta C$	$\Delta C = \Delta C1 = \Delta C2 = W1/Q1 = W2/Q2$
槽内循環量	Q	Q2 = 1000 x Q1

この時、100m<sup>3</sup> DP 晶析装置のドラフトチューブ内上昇速度は、100L DP 晶析装置のその10倍になる。

$$u2 = Q2 / (D2^2 \times (\pi/4))$$

$$= (1000 \times Q1) / ((10 \times D1)^2 \times (\pi/4))$$

$$= (1000 \times (D1^2 \times (\pi/4) \times u1)) / ((10 \times D1)^2 \times (\pi/4))$$

$$= 10 \times u1$$

		100L DP	100m3 DP
ドラフトチューブ内上昇速度	u	u1	u2 = 10 x u1
結晶の沈降速度	ut	一定 (粒子径を一定とした場合)	

結晶の沈降速度は粒子径が同じであれば、装置スケールの大小に変わらず一定であるため、ドラフトチューブ内上昇速度が100m<sup>3</sup> DP 晶析装置のその10分の1である100L DP 晶析装置は100m<sup>3</sup> DP 晶析装置に比べて流動性が悪くなる。100L DP 晶析装置で平均粒子径1.68mm超の結晶の製造に成功した際に、比較的大きめの結晶が沈降し、槽内のスラリー濃度を均一に保てなくなったのはこのためである。

一方、所望の粒子径の結晶を得た最終のテスト条件に比べ、テスト初期になかなか結晶粒子径が大きならなかったのは、晶析装置内の流動性を良くするためにドラフトチューブ内上昇速度を速く設定していたため、槽内循環量も多く、操作過飽和度が低かったことが原因であった。

		100L DP (初期条件)	100L DP (最終条件)	
結晶生産量	W	Wb	Wf	Wb = Wf
ドラフトチューブ内上昇速度	u	ub	uf	ub > uf
槽内循環量	Q	Qb	Qf	Qb > Qf
操作過飽和度	$\Delta C$	$\Delta Cb = Wb/Qb$	$\Delta Cf = Wf/Qf$	$\Delta Cb < \Delta Cf$

テストを通して、試行錯誤しながらも自身で考えて一つの答えに辿り着いたことによって、諸先輩から譲り受けた技術情報が単なる知識ではなく、腹に落ちた瞬間であり、当社晶析技術の一部をやっと伝承できたと実感できた瞬間でもあった。

そして現在、私は電池分野向けの晶析装置開発に取り組んでいる。正極材の原料である金属水酸化物の前駆体は、当社ではまだ実績の少ない反応晶析を利用して析出される。さらにその結晶粒子も、当社がこれまで晶析操作で取り扱ってきた数百ミクロン～数mmの1,000分の1～10,000分の1であるサブミクロンサイズの一次粒子から形成される数ミクロン～十数ミクロンの二次凝集粒子である。まだまだ未知の領域が多い。先に紹介した渦流式晶析装置は、約10年前からこの反応晶析操作に適用する晶析装置として研究開発部にて開発されてきた。現在、電池分野でその性能が認められ納入実績を上げ始めている。今後、飛躍的な成長が期待される電池分野では、更なる生産性の向上、高品質の電池材料が求められていこう。晶析装置においても、更なる生産能力の向上、大型化、コストダウン、結晶粒子設計ノウハウの蓄積などが重要なテーマになってくる。約10年前、少しでも大きな粒

子径の硫酸結晶の製造を目標としていた頃と、少しでも小さく高性能な粒子の製造を目標としている現在ではゴールが大きく異なる。しかしながら、結晶粒子径へ与える影響を探索テストから見極め、晶析条件やスケールアップ手法を構築し、当社の晶析技術や晶析装置として纏め上げていくことに今も昔も何ら違いはない。今後、電池分野における当社晶析技術が世界を凌駕する技術になるよう取り組んでいきたい。そして、私が先人から技術を受け継いだ時と同じように、私も将来のエンジニアに渡せるような技術を作り上げていきたい。

以上

## 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	山田 和彦
創業	明治38年8月

資本金	66億4680万円
従業員数	592名(グループ2,537名)(2019年3月末現在)
売上高	単体：489億円 連結：977億円(2019年3月期)

## 事業所

本社	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 TEL.03-5560-6511 FAX.03-5560-6591
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	〒231-0015 横浜市中区尾上町4-47(リスト関内ビル) TEL.045-651-7331 FAX.045-664-5086
名古屋支店	〒045-0003 名古屋市中村区名駅南1-17-29(広小路ESビル) TEL.052-581-2378 FAX.052-581-1624
広島支店	〒730-0015 広島市中区橋本町10-10(広島インテス) TEL.082-227-3093 FAX.082-223-8771
福岡支店	〒810-0062 福岡市中央区荒戸2-1-5(大濠公園ビル) TEL.092-741-5736 FAX.092-761-4806
沖縄営業所	〒901-2131 沖縄県浦添市牧港2-54-2(沖縄土木設計ビル) TEL.098-874-5793 FAX.098-874-6262
関西グループ (産業事業本部 営業部)	〒541-0048 大阪市中央区瓦町3-6-5(銀泉備後町ビル) TEL.(06)6206-1210 FAX.(06)6220-2900

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
市川事業所 (市川工場)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-397-6111 FAX.047-397-3354
(研究所)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-359-1651 FAX.047-359-1661

### 〈海外〉

TSKハノイ駐在員事務所  
Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Hanoi Representative Office  
Unit 13-03A, Prime Centre, 53 Quang Trung Street,  
Hai Ba Trung District, Hanoi, Viet Nam  
TEL. +84-(0)24-3766-9965/9967/9968 FAX. +84-(0)24-3766-9969

TSKジャカルタ駐在員事務所  
Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Jakarta Representative Office  
Setiabudi Atrium 2nd Floor, Unit 207 Jl. HR. Rasuna Said Kav. 62, Kuningan,  
Jakarta 12920, Indonesia  
TEL. +62-21-521-0491/0492 FAX. +62-21-521-0490

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

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

## 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3-12-1 (KDX晴海ビル) TEL.03-6758-2310 FAX.03-6758-2324
月島マシンセールス(株)	〒135-0031 東京都江東区佐賀1-3-7 月島機械永代ビル TEL: 03-5621-5911 FAX: 5621-5912
月島ビジネスサポート(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 (月島機械(株)内) TEL.03-3533-4824 FAX.03-3536-0968
大同ケミカルエンジニアリング(株)	〒530-0053 大阪府大阪市北区末広町3-3 大同パークサイドビル TEL.06-6312-6621 FAX.06-6312-6626
三進工業株式会社	〒210-0861 神奈川県川崎市川崎区小島町4番4号 TEL.(044)266-0272 FAX.(044)266-0271
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番6他 (寒川浄水場内) お問い合わせ先： 月島機械株式会社 水環境事業本部 PPP事業推進室 TEL.(03)5560-6540 FAX.(03)5560-6584
尾張ウォーター&エナジー(株)	〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南1-17-29 (月島機械株式会社名古屋支店内) お問い合わせ先： 月島機械株式会社 水環境事業本部 PPP事業推進室 TEL.(03)5560-6540 FAX.(03)5560-6584

### 〈海外関連会社〉

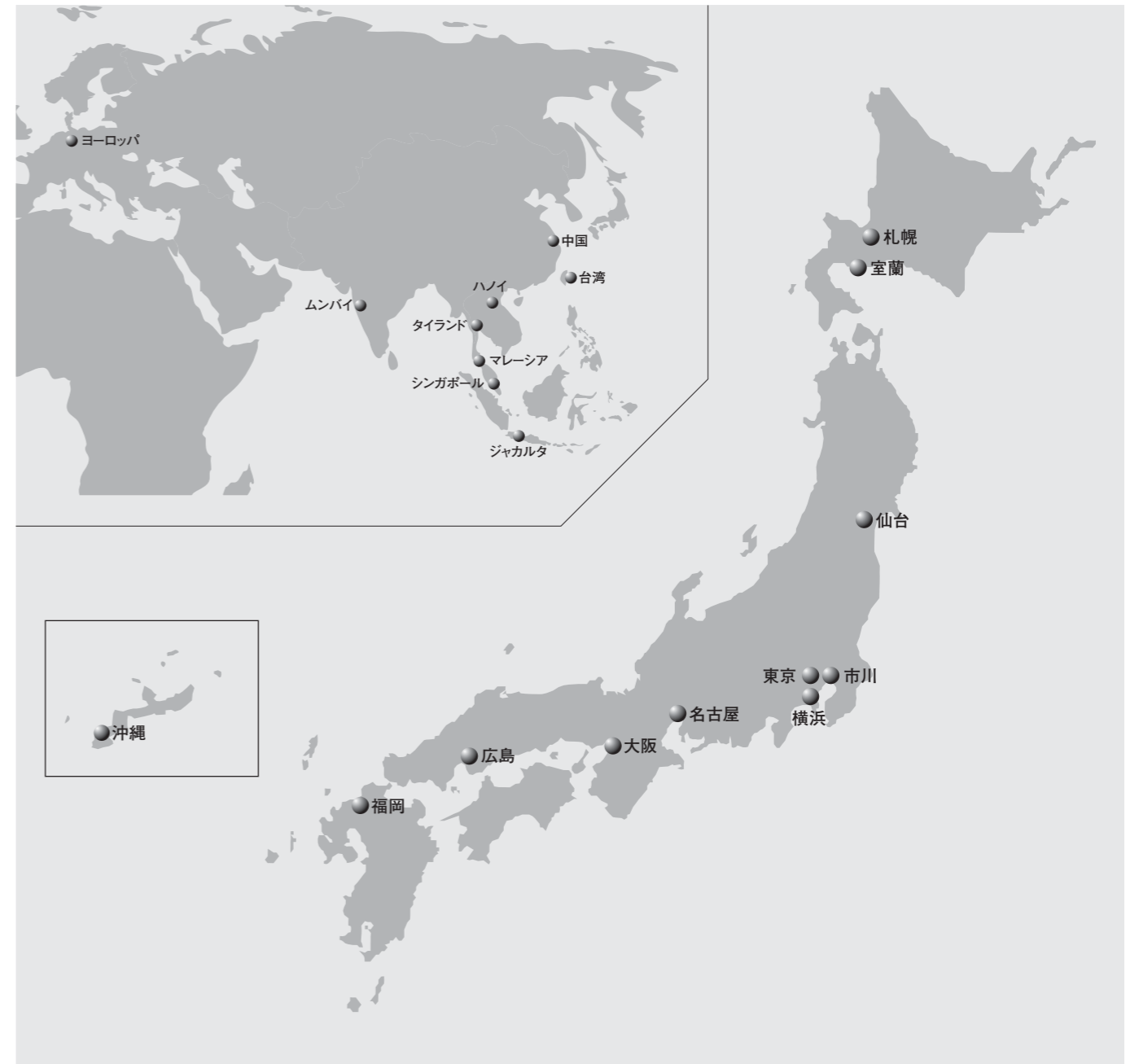
TSKエンジニアリングタイランド(株)  
TSK ENGINEERING (THAILAND) CO., LTD. <TET>  
14th Floor, Room1404, United Center Building,  
323 Silom Road, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand  
TEL. +66-2-231-1726~30 FAX. +66-2-231-1731

月島環保機械(北京)有限公司  
TSK ENGINEERING CHINA CO., LTD  
702, Block B, Winter Less Center, 1st Xidawang Rd, Chaoyang District, Beijing,  
China.  
TEL. +86-10-8590-6595 FAX. +86-10-8590-6593

BOKELA Ingenieurgesellschaft für Mechanische Verfahrenstechnik mbH  
Tullastraße 64 76131, Karlsruhe, Germany  
TEL. +49-721-9-64-56-0 FAX. +49-721-9-64-56-10

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

TSKエンジニアリング台湾(株)  
TSK ENGINEERING TAIWAN CO., LTD. <TETA>  
6th Floor, No.24, Min Sheng, W.Road, Taipei 104, Taiwan R.O.C.  
TEL. +886-2-2523-6975~6 FAX. +886-2-2521-1429



## 編集後記

◆

**小林俊樹**

今回より副編集委員長を拝命しました。

技報は当社のコア技術・進むべき方向性を発信していくべきものと考えております。

それは、お客様からのニーズに対して弊社として答えられる技術は何かということを常に念頭に置いた上でのものであり、次回以降も皆さまにお届けしていけるように取り組んでいきたいと思っております。

## Editor's Note

**TSK技報 NO.22 2019**  
発行日:2019年12月1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:福沢 義之  
編集委員長:横幕 宏幸  
副編集委員長:本間 友基  
編集委員:大塚 正弘  
津崎 裕也  
島田 純  
荒井 健  
内山 信江

小林 俊樹  
左 淳  
谷口 智彦  
河岸 正泰  
越智 崇  
栗田 新平  
上田 厚志  
鈴木 健治  
駒場 真由美