

TSK 技報

2016
November

No. 19

月島機械株式会社

TSK 技報 No.19 2016

TSK TECHNICAL REVIEW

TSK 月島機械株式会社

TSK 月島機械株式会社

www.tsk-g.co.jp

論文1

粉粒体シミュレーションの妥当性確認と
スチームチューブドライヤーの
粉体挙動解析

論文2

燃料用バイオマス炭化物中の
鉄化合物の元素形態解析

目次

4	巻頭言 No.1を目指して	執行役員 山田 彰彦
6	論文1 粉粒体シミュレーションの妥当性確認とスチームチューブドライヤーの粉体挙動解析	中田 洋一
16	論文2 燃料用バイオマス炭化物中の鉄化合物の元素形態解析	鈴木 健治・日良 聡
24	製品紹介1 BOKELA - Clever Filtration	山田 雅之・Meck Franz
28	製品紹介2 乾式微粉炭注入設備	加賀山 亨
32	製品紹介3 製品紹介 (RotaCut、F450T)	月島テクノメンテサービス(株) 正井 一生
36	製品紹介4 ミストエリミネーター 「デミクロン」	大同ケミカルエンジニアリング(株) 橋本 圭司
38	製品紹介5 バキュームミキシングドライヤ	月島マシンセールス(株) 池田 智哉
40	製品紹介6 「水素製造実証共同研究」における消化ガス精製工程への 「BMBアブソーバー」の適用について	月島環境エンジニアリング(株) 久保 大樹
44	「フロキュア® (浮上型チェーンフライト式汚泥かき寄せ機)」が 第42回優秀環境装置表彰で日本産業機械工業会会長賞を受賞	谷口 智彦
46	コーヒーブレイク セルロースの話	
48	研究所紹介 X線を利用した分析装置の紹介	鈴木 健治
50	会社概要・編集後記	

TSK 技報

No.19 2016

CONTENTS

4	Foreword	YAMADA Akihiko, Executive Officer Global Production & Procurement Sec. / Cost Engineering Dept.
6	Paper1 <i>Validation for numerical simulation of powder and granule dynamics, and analysis of powder behaviors of indirect heating type horizontal rotary steam tube dryer</i>	NAKATA Yoichi
16	Paper2 <i>Elemental speciation analysis of Iron compounds in carbonized biomass for fuel.</i>	SUZUKI Kenji / HIRA Satoru
24	Product1 <i>PBOKELA - Clever Filtration</i>	YAMADA Masayuki / FRANZ Meck
28	Product2 <i>Dry Super-powdered Activated Carbon (S-PAC) Injecting Facilities</i>	KAGAYAMA Akira
32	Product3 <i>Product introduction RotaCut F450T</i>	MASAI Issei
36	Product4 <i>"Demicon" mist eliminator</i>	HASHIMOTO Keiji
38	Product5 <i>Vacuum Mixing Dryer</i>	IKEDA Tomoya
40	Product6 <i>The application of the "BMB absorber" to the digestion gas refinement process in "Collaborative research for demonstration of hydrogen production".</i>	KUBO Daiki
44	Award <i>New Sludge Collector "FLOQUA"</i>	TANIGUCHI Tomohiko
46	Coffee Break	
48	Introduction of R&D Center	SUZUKI Kenji
50	Corporate Profile / Editor's Note	

表紙の写真



アメリカ合衆国アリゾナ州にある
グランドキャニオンの朝の風景

No.1を目指して

4人の若きサムライたちが躍動、銀メダルを獲得したリオ・オリンピック男子陸上400mリレーを含め、過去最大数のメダルの獲得に日本中が沸いた今年の夏。リレーの前に行われた100m個人レースでの敗退は、世界トップクラスとのレベルの違いを目の当たりにしたもののリレーでは見事にリベンジを果たし、予想を遥かに上回る成果を上げた。

この裏側にはリレー競技における技術進化があった。リレーメンバーの年長者の一人が、今回の躍進の要因を帰国後の会見にて解説をしていたが、ロンドンオリンピックからの進化・強化課題としてバトンパスのテクニカルな改善を目指していたとのこと。百分の1秒という世界でのしごを削る陸上短距離リレーにおいて、日本ならではの唯一無二の発想であろう。そして得られた成果は明らかに技術改善・強化の賜物と言えよう。これからのトレーニングで若きサムライたちの成長と更なる進化が可能となれば、次回の東京オリンピックでの金メダル獲得の夢に心躍る。

前文が長くなったが、月島機械が技術立社としての企業を目指す点において共通する話題として記載をした。月島機械はものづくりの技術を原点とする企業である。保有する技術は単位操作機器の開発・設計・製造からプラントの基本計画・プロジェクトマネジメント・エンジニアリング・調達・製造・検査・建設・試運転他の各業務プロセスにおいて多岐にわたり、その技術は劣化・進化・スピニアウト等により長きにわたり蓄積・革新の歴史を経て現在に至る。本巻頭言では、世界のトップレベルで競う戦略的要素が高く、進化が求められる月島機械の機器に注目し、特に吊下分離機(以下「STC」)・スチームチューブドライヤ(以下「STD」)・汚泥脱水機の3点の開発に関して述べたい。

あまり知られていないことであるが、アジアから世界フィールドへの展開を目指すSTCは、販売台数のみならず技術的にも世界【No.1】を目指すミッションを持って今期モデルチェンジにチャレンジしている。STCの優位性はもはや日本製であることや単なるコストでは成し得ず、世界最高水準の性能の達成が競合を凌駕する唯一の方策となる。もちろん安全性・安定性に裏付けられた上でユーザー

のニーズを満足するものとしての最高水準の性能である。

以下蛇足ではあるが90年代後半の対談での国際的ジャーナリストの言葉を参考に補足する。

世界のフィールドで競うことは現在の月島機械の能力を識る(しる)ことである。これは月島機械が知識を含めどれだけの力(能力)があるのかを理解することである。これを機器に置き換えると、月島機械の製品の能力・性能を識ることである。次に競合を識ることすなわち世界のそのフィールドで何が起きているのかを識ることである。冒頭の陸上400mリレーのサムライの一人も発言していたが、日本でトレーニングをし切磋琢磨をしても日本では自身が第一人者故、世界での自分の位置がわからないとのことである。

今、この識るプロセスを持ってSTCメンバーは開発にチャレンジしている最中にある。今後、STCを最高水準の性能を持つ機種へ変貌させるための成果を期待したい。

これに続き既に世界展開はしているが、【No.1】を競う機器がSTDである。中国および日本の競合との三つ巴の激しい競争の中で開発された高効率化のプロセスは、ダウンサイジングや省エネルギー化の観点で競合他社を凌駕できる。理論とシミュレーション解析とテスト機による実証の3本立ての開発が進められた中で、続く本文にはシミュレーション解析の事例が紹介されている。ユーザーのニーズを着実に捉え、高効率化プロセスの早期の実用化を期待している。

最後に締めくくるのは新型汚泥脱水機の開発機である。この開発の背景には、汚泥脱水機でのシェア奪回を目指した最高水準の性能を有した新型機の早期開発が求められている。開発者の選任においては機器設計部の若き志士を持ったサムライを投入している。既存の多々ある当社脱水技術からのスピニアウトも含め、機器設計部の強力なバックアップ体制の下で開発機でのブレイクスルーを期待している。

最後に、月島機械の技術は多岐に渡り、技術進化の余地はまだある。いずれのフィールドにおいても技術立社として【No.1】を目指していきたい。そのためにもたくさんの志しあるサムライの出現を期待する。



山田 彰彦

執行役員

(エンジニアリング本部
グローバル製造・調達推進室長
技術管理本部 コストエンジニアリング部長)

粉粒体シミュレーションの妥当性確認と スチームチューブドライヤーの粉体挙動解析

Validation for numerical simulation of powder and granule dynamics, and analysis of powder behaviors of indirect heating type horizontal rotary steam tube dryer

Abstract

It can be expected that numerical simulation enhances design quality and operational efficiency by development and engineering design of the powder and granule handling apparatus with the following merits: 1) reduction of cost and period of time of experimental research, 2) deep understanding of phenomena. For the purpose, it is required to show practicality of simulation together with the validation of simulation approach and practical examples of numerical analysis on powder apparatus. This paper focuses and discusses the rotary type solids mixing system. The following results were obtained: 1) Discrete element method predicts experiments qualitative and quantitatively within error of 7.4(%) as validation test. 2) Numerical simulation in terms of powder dynamics of Indirect heating type horizontal rotary steam tube dryer was performed and captured characteristics. It can be concluded that obtained results through the research indicates feasibility of numerical simulation for engineering design.

数値シミュレーションを用いた粉粒体装置の開発、設計は、次に示す利点により設計品質および業務効率を高められることが期待できる。1) 実験を伴う調査、検討のコスト削減、期間短縮。2) 現象に対する理解が深まる。そのためには、数値シミュレーションの妥当性確認を行うとともに、粉粒体装置の解析を例示することで、実用的であることを示す必要がある。本研究では、回転混合システムに注目して考察を行い、次の結果が得られた。1) 離散要素法による数値シミュレーションは定性的にも定量的にも誤差7.4(%)以内で実験結果と一致する。2) スチームチューブドライヤーの粉体挙動の解析を行い、装置特性を明らかにした。これら二つの検討より、工学設計への数値シミュレーションの利用可能性を示した。

キーワード: 数値シミュレーション、離散要素法 (DEM)、妥当性確認、間接加熱式蒸気管付横型回転乾燥機
Keyword: Numerical simulation, Discrete element method (DEM), Validation, Indirect heating type horizontal rotary steam tube dryer

中田 洋一
NAKATA Yoichi
エンジニアリング本部
プラントエンジニアリング部
解析グループ

1 緒言

産業の様々な分野で粉粒体を取り扱われており、その製造装置には高度な設計技術が求められる。装置の設計に際して、適切な形状や操作条件を決定するためには装置内部で起きている現象を理解する必要がある。そのため、実験により現象を観測し、装置特性との関連を表す実験式を求めている。これにより、実験で実測した範囲に限り適用可能な予測式が得られるが、過去に実験した範囲を超えて予測することはできず、新しい装置の開発、設計や従来装置の改良を行う際にはその都度実験を行う必要があり、非常に多くの実験経費と期間を要するという問題がある。また、粉粒体は形状、粒子径分布、濡れ性、凝集

性などの物性に関する因子に対して、装置の形状や操作条件など外部的因子の組み合わせによって複雑な挙動をする。この複雑な挙動に対して、前述した実験は化学工学的アプローチによる大域的な理解に留まっているため、粉粒体の振る舞いについては未だ予測が外れることも多く、実験的方法による予測だけでは現象を緻密に表す情報が不足しているのが実態である。結局のところ、設計者らは不足する情報を自らの知見と経験で補完するほかなく、粉粒体を取り扱う装置の設計には、職人さながらの豊富な経験に裏打ちされた高度な設計技能を要するという問題もある。これらの問題は、装置の設計不適合、事故、稼働率の低下などを招来する要因となっている。これらの問題を解決する方法のひとつとして数値シミュレーションによる予測が有効と考えられる。

数値シミュレーションには次のような利点がある。数値計算を行うコンピュータに掛かる費用は実験よりも低コストであり、多数の条件を同時に計算することで実験に比べて早く結果を得られる。また、実験ではプローブで物理量を測定する際、入り組んだ装置形状や過酷な環境である場合などの制約により測定できないケースも存在するが、シミュレーションでは空間と環境に対する制約はなく、余すことなく装置全体にわたる情報が得られる。これらの利点から、実験では取得しきれないほど広く、緻密にケーススタディした情報を得られることで、本質的な特性を明らかにできる。

一方、粉粒体シミュレーションには問題もある。それは、計算結果の確からしさである。流体現象を取り扱う場合は、解析解が存在する簡単な流れの問題をシミュレーションして結果を比較することで妥当性が確認できる。しかしながら、粉粒体については、その運動が一義的に決まるよう適切な数学的記述がなされた方程式は未だ確立されておらず解析解も存在しないため、机上の計算だけではシミュレーションの妥当性は確認できない。従って、現象の知りたい情報に対して計算モデルが適切に設定できているかを定量評価する必要がある。そのためには、工学シミュレーションの品質に関する文献¹⁾にもある通り、実験とシミュレーション結果を定量的に比較し、その妥当性を確認することが必須である。

筆者の一連の研究目的は、粉粒体装置の工学設計に実用可能な数値シミュレーション法および方法論を確立することにより、開発や設計に伴う実験経費の減少と検討期間の短縮を図るとともに、粉粒体現象に関する情報を十分に設計者へ提供できるようにして設計品質を高めることにある。その際、前述した背景から次の課題があげられる。粉粒体シミュレーションの計算モデルについて実験結果と比較した妥当性確認を行う必要がある。また、産業規模の粉粒体装置を対象に数値シミュレーションを行い、その実用性を示す必要がある。筆者はこれまで、粉粒体シミュレーションの大規模計算法に関する研究^{2,3)}および粉粒体の混合に関する研究⁴⁾を行ってきた。大規模計算法に関する研究は未だ途上であるものの、産業規模の装置内の大量の粉粒体をシミュレーションするためには必須の技術と考えている。また、粉粒体の混合は、シミュレーションの妥当性確認において実験と比較する際の重要な指標となる。これらの研究成果を利用し、本研究では次の検討を行う。まず、回転混合システムの粒子の運動を対象に実験とシミュレーションを比較し、筆者が用いている粉粒体シミュレーションの計算モデルについて妥当性確認を行う。その後、月島機械が取り扱う粉粒体装置のひとつであるスチームチューブドライヤーについて、粉粒体の運動をシミュレーションして設計者が知りたい情報と考えられる各特性を解析し、工学設計としての利用可能性を示す。

次章より具体的な研究内容について述べる。その構成は、2章は数値シミュレーションの計算理論と妥当性評価方法の理論、3章はシミュレーションと実験を比較した妥当性確認、4章はスチームチューブドライヤーの解析、5章は結言である。

2 理論

粉粒体の数値シミュレーションは連続体もしくは離散体として解くものに分類される。連続体モデルは連続体近似の運動計算を行う。その際、運動により生じる応力と変形の関係を表すレオロジー方程式で粉

粒体の振る舞いを規定するが、粉粒体らしい振る舞いを再現できる実用的なレオロジー方程式は未だ提案されておらず、現在のところ工学設計への利用は現実的ではない。一方、離散体として解くものに離散要素法 (Discrete element method)⁵⁾があげられる。まず先に離散要素法の概念について理解を助けるため、正確さは無いが簡略化して述べるとともに概念図をFig.1に示す。三次元の計算空間内に自由に動くことができる粒子を配置し、粒子同士が接触すると粒子同士の接触反発力を計算する。この反発力を組み込んだ運動方程式を計算して加速度と向きを求め、微小時間の積分を行い粒子の速度を決めて新しい位置に更新・描画する。この計算をすべての粒子に対して逐一行うことで全体の運動状態を知ることができるもので、各時間の状態を可視化した画像を連結すれば、コマ送りのアニメーションが得られ、現象を表現することができる。正確には、離散要素法は粒子の接触力を粘弾塑性特性および必要に応じて追加した任意の相互作用モデルから規定し、ラグランジュ的にニュートンの第二法則を基礎とした運動方程式を解く。粉粒体が個別に運動するという現象に対して、離散要素法も計算領域内の計算要素の移動を拘束せずに相互作用を計算する特徴が類似しており、理解し易い。また、様々な相互作用モデル (e.g. 弾塑性⁶⁾、分子間力⁷⁾、静電気力⁸⁾、液架橋力⁹⁾)、大規模計算法^{2,3,10)}の開発、連続体モデルとの連成による混相系シミュレーション (e.g. 固気流動層¹¹⁾) などの研究成果があがっており、粉粒体の複雑な挙動をシミュレーションして工学設計へ利用するには、現在のところ、最も適用可能性が高いと考えられる。本研究では数値シミュレーションに離散要素法 (以降はDEMと略す)を用いる。

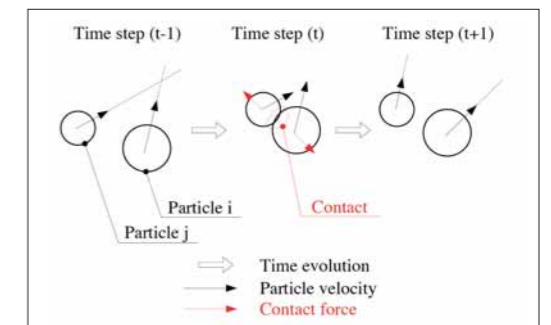


図1 離散要素法の概念
Fig.1 Concept of Discrete element method

2.1 物理モデル

2.1.1 支配方程式

DEMでは運動方程式を次式のように並進運動(1)式と回転運動(2)式に分け、接触力に基づき運動方程式の計算を行うことでダイナミクスを予測する。

$$m \frac{dv}{dt} = F_n + g \quad (1)$$

$$I \frac{d\omega}{dt} = r \times F_t + M \quad (2)$$

ここで、 $m, v, t, F, g, I, \omega, r, M$ はそれぞれ、質量、速度、時間、接触力、重力加速度、慣性モーメント、角速度、位置ベクトル、回転抵抗モーメントであり、添え字のnおよびtは法線方向および接線方向を意味する。

2.1.2 接触力

DEM ではタイムステップごとに粒子が他体と接触しているか接触判定を行う。接触していると判定された粒子は接触力モデルで規定された力を計算する。Fig.2に接触力のモデルを示す。接触力は広く用いられているフォークトモデルを基礎とし、摩擦と転がり抵抗を付加したものをを使用した。これら力の計算は法線方向と接線方向に分けて、次式のように表される。

$$F_n = k\delta_n + \eta v_n \quad (3)$$

$$F_t = \min. \{ \mu F_n, k\delta_t + \eta(v_t + r\omega) \} \quad (4)$$

$$\eta = 2(\log e)^2 \frac{km}{(\log e)^2 + \pi^2} \quad (5)$$

ここで、 k, δ, η, μ, e はそれぞれ、ばね定数、粒子接触長さ、粘性減衰係数、摩擦係数、反発係数を意味する。なお、粒子接触長さとは、粒子接触部の重なり量のことである。現実の現象における接触挙動を表現するために、現実には起こりえないが、DEMでは粒子の重なりを許容する。重なり量に応じた線形ばねの斥力と、速度に応じた粘性減衰によるエネルギー散逸の和から反発力を求め、粒子挙動を表現する。接触によって塑性変形、破壊が起きない応力スケールのシステムであれば、挙動の再現精度は十分にあると考えてこのモデルを選択した。

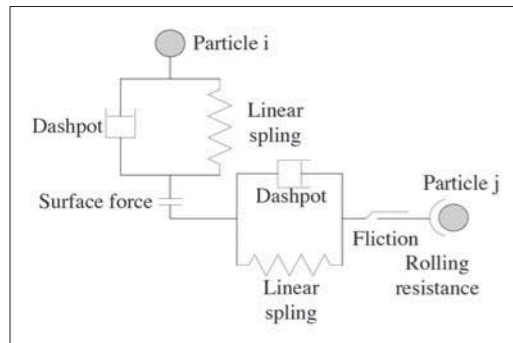


図2 DEMの相互作用力モデル
Fig.2 Interaction forces model of DEM

2.1.3 回転抵抗

計算粒子を真球として扱う場合、平板上を永遠に転がり続けることがDEMでは起こる。現実には粒子と平板間のミクロスケールでの弾塑性接触、いわゆる表面粗さの影響により粒子の回転運動は抑制されるため、これをモデル化する。回転抵抗モデルは、Directional constant torque モデル¹²⁾が広く用いられているが、本研究では、Jiangらにより提案された二次元DEMシミュレーション用に開発された Simplified rolling or resistance model のうち、Elasto-perfectly plastic model¹³⁾を三次元DEMシミュレーションに拡張して適用する。

粒子形状を真球として取り扱うDEMシミュレーションと、現実の不定形粒子の挙動を補正するために付加したもので、これにより計算粒子の転がりを抑えて現実の現象に近い粒子挙動を示すようになる。回転抵抗は次式のように表される。

$$\begin{cases} M = \frac{\theta k_n B^2}{12}, & \theta \leq \theta^0 \\ M = \frac{F_n B}{6}, & \theta > \theta^0 \end{cases} \quad (6)$$

ここで、 M, θ, B, θ^0 はそれぞれ、回転抵抗モーメント、相対角、接触幅、臨界相対角を意味する。

2.1.4 時間積分

工学設計での利用においては非定常かつ時定数の大きな現象、つまり膨大なタイムステップを刻むことになることも視野に入れ、時間差分スキームには、エネルギー保存性が良いとされる速度ベルレ法を用いて時間積分を行う。

2.2 混合度

粉体の運動とその混ざり度合いにはアナロジーが成り立つ。つまり、実験とシミュレーションの運動が完全に一致している場合には、その混合度も完全に一致し、運動の差が大きくなるに伴い混合度の値に差が生じることになる。従い、実験およびシミュレーションによる定量的な比較の指標として混合度を用いる。混合度の指標には筆者らが提案したシャノン・エントロピーを基礎とした混合度⁴⁾を用いる。シャノン・エントロピーは状態の不確実さに応答する。この性質を次のように利用して物質の混ざり度合いを測定する。ある状態を検査した際、異種物質が均一に存在するほどエントロピーは増大するため、システム全体が完全混合した際のエントロピーに対して、検査データのエントロピーを対比することで、0から1の値で表した規格化条件付きエントロピーを混合度とする。

$$M_{shannon} = \frac{S_{location}(species)}{\ln C} \quad (7)$$

ここで、 $M_{shannon}, S_{location}(species), C$ は、それぞれ、混合度、条件付きエントロピー、異種物質の種の数である。この方法は、混合度として広く用いられているレイシーインデックス¹⁴⁾などで評価した際に必ず含まれる統計誤差が生じない。レイシーインデックスは次式のように表される。

$$M_{Lacey} = \frac{\sigma_0^2 - \sigma^2}{\sigma_0^2 - \sigma_r^2} \quad (8)$$

ここで、 $M_L, \sigma_0, \sigma_r, \sigma$ はそれぞれ、レイシーインデックスによる混合度、分離時の統計分散、ランダム時の統計分散、検査部の統計分散である。指標の安定性をFig.3で例示しているように、レイシーインデックスは検査部の組成によってはマイナスの値を示し指標として不安定が見られるが、シャノンインデックスは0から1の範囲に収まる。シャノンインデックスの混合度により厳密な数値評価が可能となる。

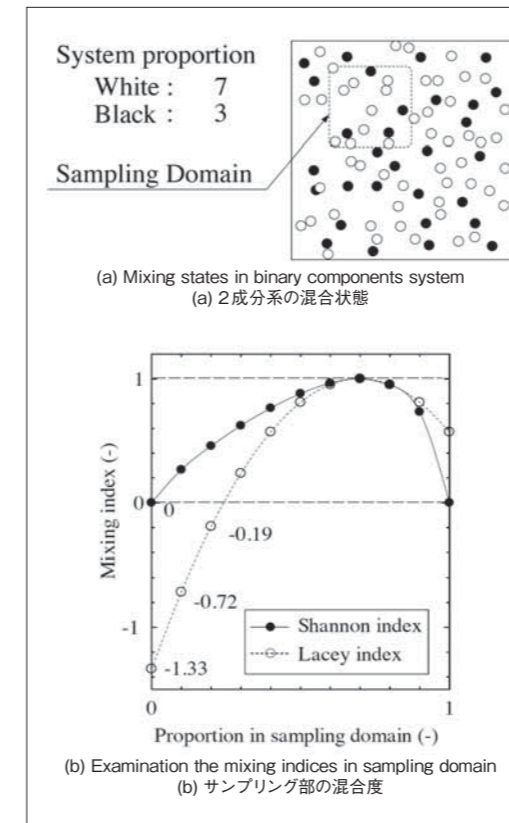


図3 混合度指標の定量評価の安定性についての例示
Fig.3 Practical example for robustness of quantitative evaluation of mixing indices

2.3 シミュレーション誤差

装置内部の混合状態が定常に至ったと判断した区間を対象に、実験とシミュレーションの混合度の差が最も大きい値をシミュレーション誤差とする。この際、次のように統計処理をした信頼度95%の推定区間に基づき算出する。

$$v_u = \frac{1}{n_s - 1} \sum_{i=1}^{n_s} (X_i - \bar{X})^2 \quad (9)$$

$$I_c = \bar{X} \pm t_d \sqrt{\frac{v_u}{n_s}} \quad (10)$$

$$A = \max. \left| \frac{(\bar{X}_{experiments} \pm I_c)}{-(\bar{X}_{simulation} \pm I_c)} \right| \quad (11)$$

$v_u, n_s, X_i, \bar{X}, I_c, t_d, A, \bar{X}_{experiments}, \bar{X}_{simulation}$ は、それぞれ、不偏分散、標本数、標本、標本平均、信頼区間、Studentのt分布、シミュレーション誤差、実験の標本平均、シミュレーションの標本平均を意味する。

3 実験とシミュレーションの比較による妥当性確認

3.1 検証システムおよび方法

システムはFig.4に示す円筒容器および、円筒容器と同期して回転するロッドを備えるロッド付き円筒容器の2つの装置を使用した。ロッド付き円筒容器は小型のスチームチューブドライヤーを模擬した形状である。検証方法は、容器内を2分割するよう粒子径分布 (Fig.5)の異なる2種のアルミナ粒子を配置した後、所定回転数で容器を回転させ、所定回転ごとに図示する検査領域1から3の箇所での粒子の数およびその割合を測定し、混合度データを取得した。操作回転数と装入粒子数をTable1に、物性パラメータをTable2に、計算環境をTable3に示す。

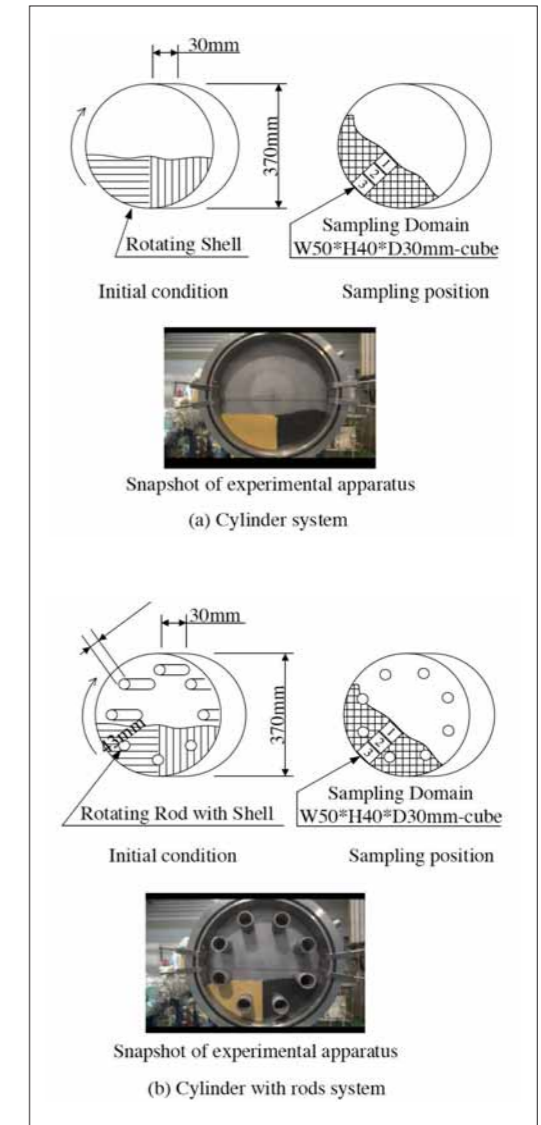


図4 検証システム
Fig.4 schematic diagram of validation system

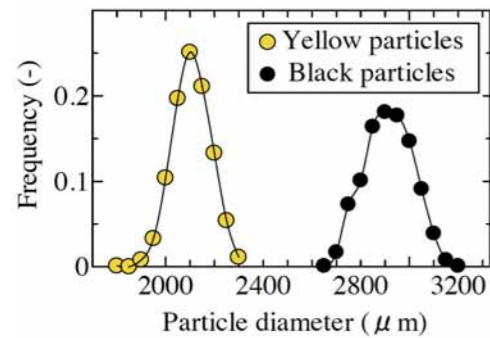


図5 アルミナ粒子の粒子径分布
Fig.5 Particle size distribution of Al2O3

3.2 検証システムおよび方法

円筒容器およびロッド付円筒容器の混合度および混合状態を撮像した画像をFigs.6,7に示す。ロッド付き円筒は画像および混合度検査結果からも混合が進んだことが確認できる一方、円筒は粒子層上層部(検査領域1)の混合度が低い値を示している。単純円筒の回転による転動運動、いわゆるキルンアクションは循環流の中央に停滞域が存在することが一般に知られており、シミュレーション結果はこれを再現していることが明確に確認された。ロッド付き円筒は循環流中央の停滞域を横切るようにロッドが通過して混合を促進する作用があるため、円筒よりも混合度が高くなっていると考えられる。混合状態が安定した7回転以降における実験とシミュレーションの混合度の差をFig.8に示す。Fig.8より、信頼度95%におけるシミュレーション誤差7.4(%)であることが確認され、工学設計に利用するシミュレーションとしては十分な予測精度があると判断できる。

ここまでの検討は、回転速度が1条件だけであり、偶然に実験とシミュレーション結果が一致した可能性があるため、次に、回転速度を大きく変えたケースも比較した。その比較結果をFig.9に示す。比較の結果、粒子層の空間分布は視覚的に高精度に一致しており、偶然に実験とシミュレーション結果が一致した可能性は低いと判断できる。このように、装置の形状や操作条件をより幅広く変更した場合であっても粒子の空間分布は一致することより、計算モデルは妥当であると判断できる。

表1 操作条件および装入粒子数
Table1 System condition

Rotational speed	(rpm)	8
Number of particles Yellow	(-)	55728
Number of particles Black	(-)	19764

表2 物性パラメータ
Table2 Physical properties

Particle density	(g/cc)	3.6
Stiffness	(N/m)	100
Restitution coefficient	(-)	0.6
Friction coefficient	(-)	0.3
Shape parameter		
Particle against particle	(-)	0.5
Particle against wall		0.1

表3 計算環境
Table3 Computing environments

CPU	Intel Xeon E5-2697v3 2.6GHz 2CPU
RAM	64GB
Simulation software	DEM Lab. Development version (vendor : promotech software Inc.)
Calculation performance	10Core parallel computing Timestep width : 6.6e-5(s) Speed : 0.72(s/timestep)

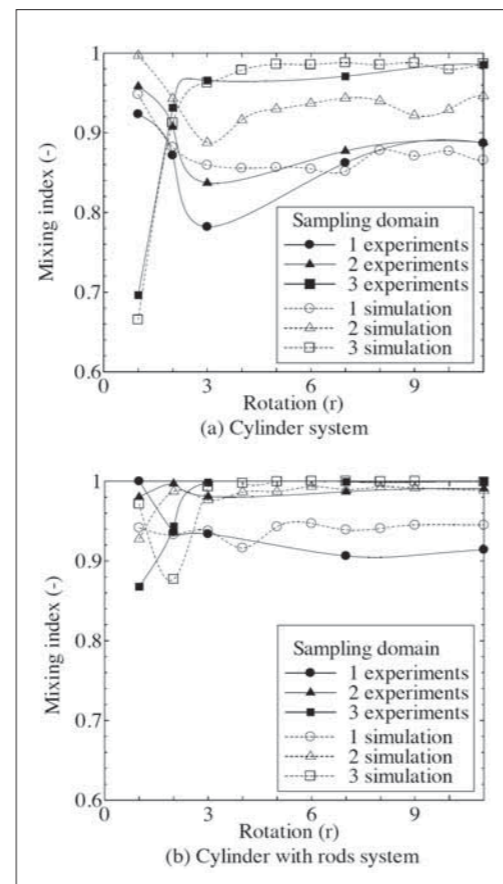


図6 混合度の定量評価による実験とシミュレーションの比較
Fig.6 Correlation of simulations against experiments by quantitative evaluation of mixing index

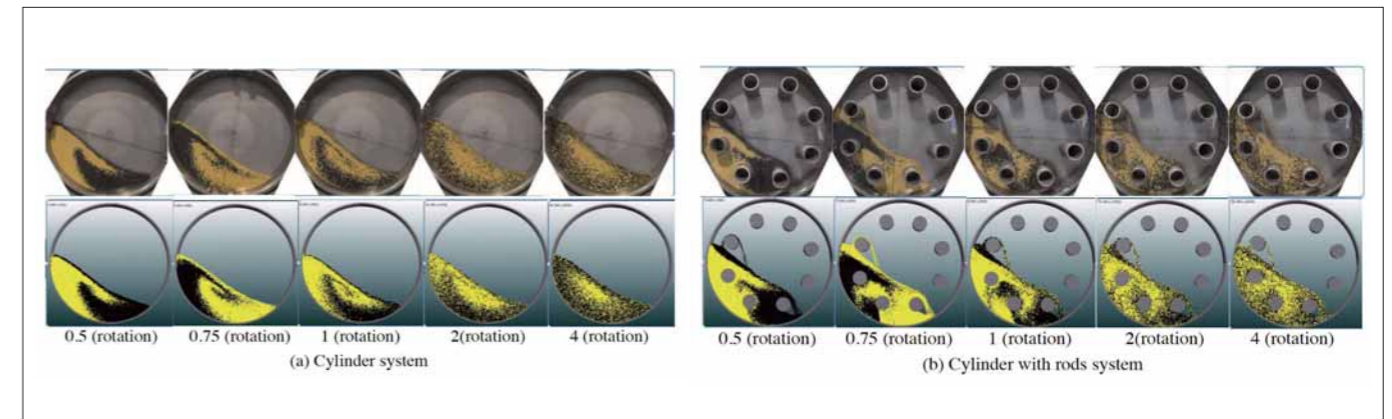


図7 混合過程を撮像した画像
Fig.7 Snapshots of evolution of mixing states

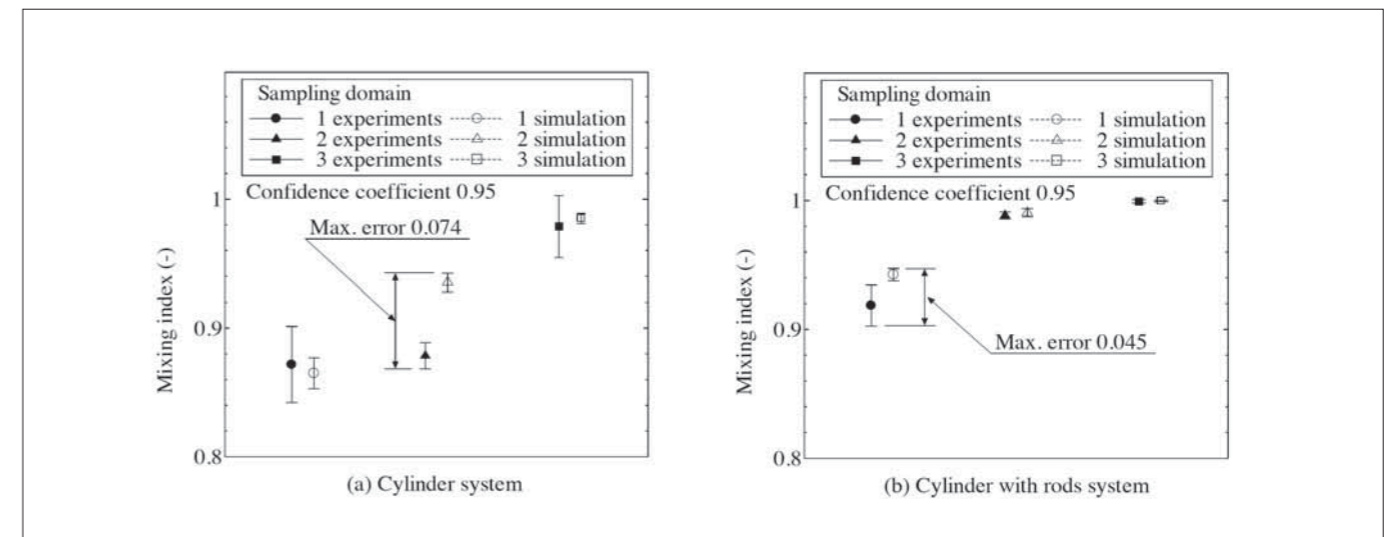


図8 実験に対するシミュレーション誤差
Fig.8 Simulations error against experiments

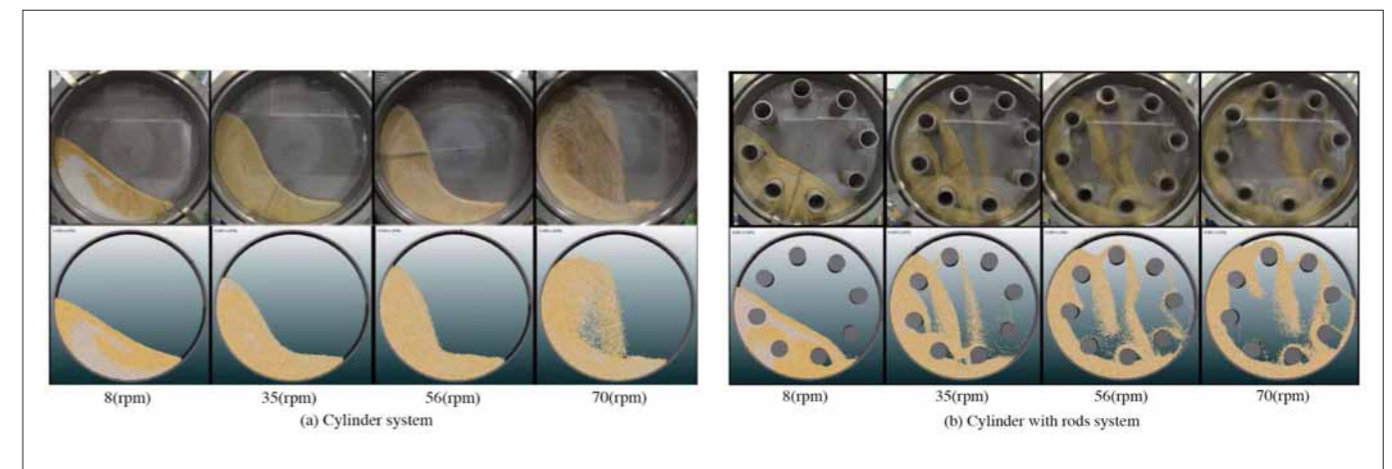


図9 回転速度を変えた場合における空間分布
Fig.9 Snapshots of spatial distribution in case of various rotational speeds

4 スチームチューブドライヤーの解析

スチームチューブドライヤーは横型回転乾燥機であり、伝熱チューブ内に満たされた熱媒 (e.g. 飽和水蒸気) がチューブ壁を介して、チューブ外面と接触する処理物質を間接的に加熱することで、処理物質に含まれる液体を蒸発除去し、乾燥製品を得る装置である。装置概観を Fig.10¹⁵⁾ に示す。本装置はシェル (円筒部) の中心軸回りに回転するもので、軸と直行する断面に対して粉体はよく攪拌される。つまり、軸に直行する断面方向の装置形状や操作条件および処理物質の流動性が装置特性に強く影響すると考えられる。従い、軸に直行する方向に輪切りにした形状をモデルとして粉体の運動を数値シミュレーションし、次に示す特性を明らかにする。なお、このうちのいくつかは実験結果も併せて示し、妥当性を判断する材料とする。

- ・装置の回転速度と粉体の空間分布の関連
- ・装置の形状、回転速度と攪拌動力の関連
- ・スケールアップした装置径における粉体の空間分布
- ・流動性の悪い粉体の挙動
- ・乾燥速度と有効伝熱面積比および固気接触面積比の関連

なお、装置や取り扱い物質の詳細な仕様については月島機械の核心的な設計情報が含まれるため公開を伏せる。本章は装置の基礎的な特性を数値シミュレーションにより解析する事例という位置付けのもと、工学設計への利用可能性を示す目的であるため、対象システムの情報を完全に明示せずとも目的に適うと考える。

4.1 装置の回転速度と粉体の空間分布の関連

スチームチューブドライヤーによる処理物質のひとつである石炭を用いて、シミュレーション結果と実験の比較を行った。本研究で扱った石炭は、安息角が約40(度)を成す程度の良くも悪くも無い中間的な流動性である。実験装置を Fig.11 に示す。直径1.8mのスチームチューブドライヤーに石炭を装入し、所定回転数で回転させた際の石炭の空間分布をビデオカメラで撮影した。石炭の空間分布を実験とシミュレーションで比較した結果を Fig.12 に示す。なお、画像下部に記された数値 $\alpha=0.25, 0.5, 0.8$ とは回転慣性力の大きさを重力に対する比として無次元化したもので、この値が1のときは回転慣性力と重力が釣り合う速度を意味し、以下のように定義される。

$$\alpha = 42.3 \times \frac{N}{\sqrt{D}} \quad (12)$$

ここで、 α, N, D は、それぞれ臨界速度比、回転数、代表長さ (ここでは装置内径とする) である。石炭は黒いためにビデオカメラで撮像した画像が不明瞭であった。そのため、実験時に目視確認した石炭の空間分布を画像上に次のように着色して示している。赤色は石炭が堆積している領域、橙色は石炭が自由落下している領域、それ以外の領域は石炭が存在しない。回転速度が増加すると石炭の空間分布は広がる傾向を示し、実験とシミュレーション結果は視覚的判定ではおおよそ一致することが確認された。

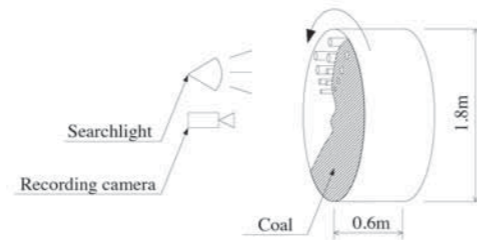


図11 実験装置
Fig.11 Experimental apparatus

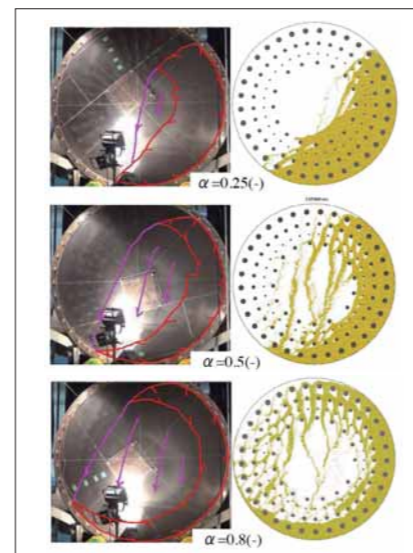


図12 回転速度を変えた場合における空間分布
Fig.12 Snapshots of spatial distribution in case of various rotational speeds

4.2 固気接触面積比、有効伝熱面積および乾燥特性との関連

スチームチューブドライヤーは乾燥処理が目的であるため、装置能力である乾燥速度を予測できることが望ましい。しかしながら、スチームチューブドライヤー内の粉体は複雑な乾燥挙動をするため、現在のところ、実用的なシミュレーション法は確立されていない。従い、間接的に乾燥現象と関連があると考えられる特性をシミュレーションにより明らかにする。粉体表面で起こる水分の蒸発は拡散現象であるため、界面の濃度勾配である蒸気圧差が推進力となる。粉体が十分な量の気体と接触すれば、気相側の湿度を低く保つことで蒸気圧差が大きくとれるため、乾燥速度は向上する。また、水分を十分に加熱すれば、液相側 (水分) の蒸気圧が大きくなるため、乾燥速度を向上させる。従い、粉体が気体と接触している固気接触面積と、粉体が加熱面と接触している接触伝熱面積から、乾燥速度の推定や乾燥状態を定性的に類推できる可能性がある。前節での実験およびシミュレーションデータより接触伝熱面積比および固気接触面積比の可視化した結果を Fig.13 に、これらの特性を Fig.14 に示す。接触伝熱面積比は装置の全伝熱面積に対する接触面積の割合、固気接触面積比は全粒子の表面積に対する分散している粒子の割合としたうえで、回転速度が最低速の条件を基準値1として、基準値に対する比率で表している。

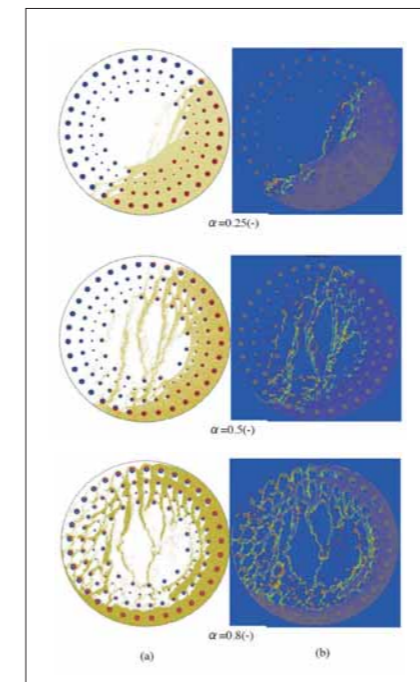


図13 回転速度を変えた場合における接触面積:
(a) 粉体と加熱面 (b) 粉体と気体
Fig.13 profiles of contacting area in case of various rotational speeds:
(a) powder against heating wall and (b) powder against gas

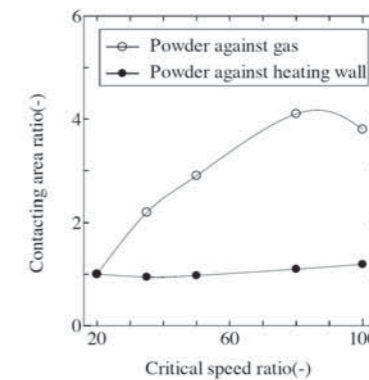


図14 粉体表面の相互作用特性
Fig.14 Interaction characteristics of powder surface

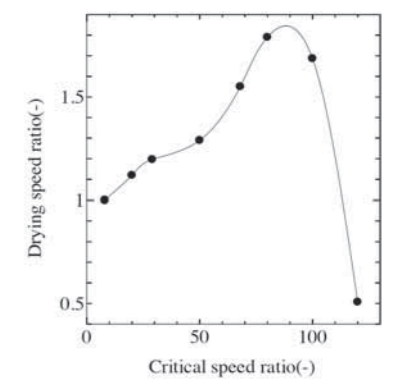


図15 石炭の乾燥特性
Fig.15 Drying characteristics of Coal

表4 乾燥速度比の相関因子についての重回帰分析
Table4 Multiple regression analysis for correlation factor to drying speed ratio

Adjusted R ²	0.93
Significantly probability	
Powder against gas	0.012
Powder against heating wall	0.068

また、前節で扱った石炭を乾燥処理した際の乾燥速度比を Fig.15 に示す。回転速度の増加に伴い乾燥速度比は向上しており、固気接触面積比も回転速度に対して同様の応答を示している。一方、接触伝熱面積比はほぼ横ばいである。

これらの関連について考察する。固気接触面積は乾燥速度との相関が強く、接触伝熱面積は相関が弱いとの仮説を立てる。ここで、帰無仮説の立場をとり、Table4 に示す重回帰分析により仮説検定を行った。乾燥速度と固気接触面積に相関が無い確率は1.2(%)と低く、一方、乾燥速度と接触伝熱面積に相関が無い確率は6.8(%)と高い値を示した。一般的に有意確率5(%)が有意水準として扱われており、乾燥速度と固気接触面積は相関が強く、接触伝熱面積は相関が弱いと解するのが妥当である。統計的な見地から先の仮説を支持するデータが示されたが、これが正しければ、装置内部は次のような乾燥状態にあると考えられる。この石炭をスチームチューブドライヤーで乾燥処理した際、物質移動に必要な熱は十分に供給されているが、界面近傍に存在する水蒸気の拡散律束で乾燥が阻害されている状態、つまり蒸れていると推察される。そのため、粉体と気体の接触機会を増やすことや、気相の湿度を低く保つ方策をとることにより、効率化が図れる可能性がある。



図10 スチームチューブドライヤーの鳥瞰図
Fig.10 Bird's eye view of steam tube dryer

4.3 装置径をスケールアップした際の空間分布および処理物質の流動性と空間分布の関連

装置設計においては、小型機で実験を行い取得した設計データをもとに産業規模の大型機を設計することが多い。このような大型化する設計手続きはスケールアップと呼ばれている。スケールアップの際、力学・化学・幾何学的相似則を完全に保てば小型機と大型機は同一の性能が発揮されると考えられる。しかしながら、実際の装置は設計因子が複雑に関連しており、その詳細は十分に明らかになっておらず、前述した理想的なスケールアップは困難である事が多い。そのため、設計者はスケールアップに関して不足する情報を経験知で補完し、装置仕様を決定している。この問題に対して、事前に大型機の特徴が予測できれば、有用な設計情報となる。また、粉体の流動性も装置特性に影響すると考えられる。従い、本節ではシミュレーション対象の装置径を3.8(m)に大型化するとともに、粉体の流動性の影響も確認する。流動性の良悪とアナロジーが成り立つと考えられる安息角が異なる2種の粉体を設定する。安息角は事前に予備的なシミュレーションを行い (Fig.16)、ファン・デル・ワールス力⁷⁾の強さを規定するハマーカ定数を調整して設定した。また、本節の対象は大型機であるため、取り扱う計算粒子数が多く、長い計算時間がかかる。そのため、筆者らが提案したスケーリング法 (Scalable DEM)^{2,3)}を用いて計算粒子径を大きなものに置き換えることで計算粒子数を減らし、計算時間の短縮を図っている。このスケーリング法は、オリジナルサイズの粒子群の挙動を保つよう、置き換えた大きな粒子の運動量を補正する技術である。詳細な理論については参考文献をあたらせたい。Fig.17にシミュレーション結果を示す。流動性の良い物質であれば、前節までに示した小型機と同様の空間分布を示した。流動性が悪くなると掻き揚

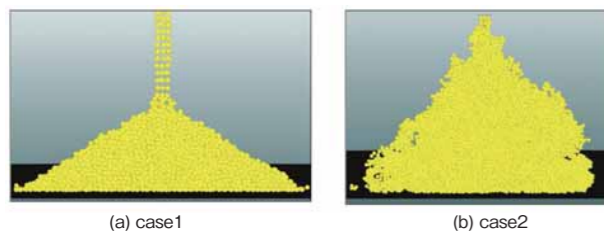


図16 流動性の異なる2つの物質の安息角の例示：
(a) 一般的な物質 (b) ファン・デル・ワールス力を考慮した凝集性物質
Fig.16 Examples of angle of repose for different flowability characteristics:
(a) a typical property and (b) an aggregated property with VDW forces

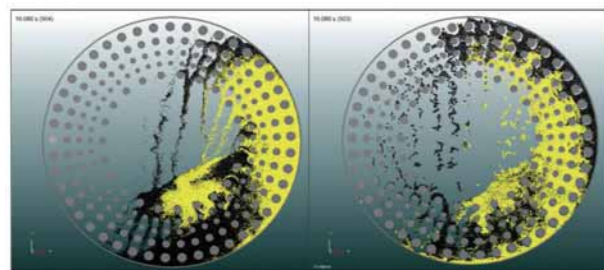


図17 SDEMシミュレーションを適用した大型機の異なる流動性の粉体空間分布：
(a) 一般的な物質 (b) ファン・デル・ワールス力を考慮した凝集性物質
Fig.17 Spatial distribution of large scale dryer for different flowability characteristics:
(a) a typical property and (b) an aggregated property with VDW forces

げられた粉体が落下しづらくなるとともに、ある程度凝集した状態で落下しており分散が悪くなる傾向が確認された。

4.4 動力特性

スチームチューブドライヤーの動力のおよそ8割が粉体を攪拌するために消費される。産業用装置としては低動力であることが重要な価値であるため、この特性を明らかにする。実験装置をFig.18に示す。シミュレーションの妥当性確認も行えるよう、装置内部にパイプのみ配置した場合と、パイプと十字状に板を配置した2種の形状で行った。実験はスチームチューブドライヤーに石炭を装入して所定回転数で回転し、動力を測定した。その後、空状態および石炭装入状態の動力差より石炭の攪拌動力を求めた。シミュレーションは輪切り形状のモデルで計算を行ったのち、モデルの長さを実験装置の長さの比率を積算し、実験装置の長さ5(m)相当における動力を求めた。粉体の空間分布および動力特性をFigs.19,20に示す。なお、動力はFig.18(a)に示す形状で回転速度が最低速の条件における値を基準値1として、基準値に対する比率で表している。回転速度の増加とともに動力は増加するものの、内部に十字状の板を配した形状の方が、より動力が低い傾向を示した。この原因は、粉体が落下する際に板に堆積することで回転方向に粉体重量がかかる現象、いわゆる位置と運動エネルギーの回生が起きることと、粉体の空間分布が広がったために装置回転軸に対する粉体層の回転半径が縮小していることが考えられる。実験とシミュレーションには最大16(%)の動力の差異が確認された。回転速度や装置形状が変更された場合において、シミュレーションの動力は誤差を有しながらも、実験結果に追従して算出できることが確認された。

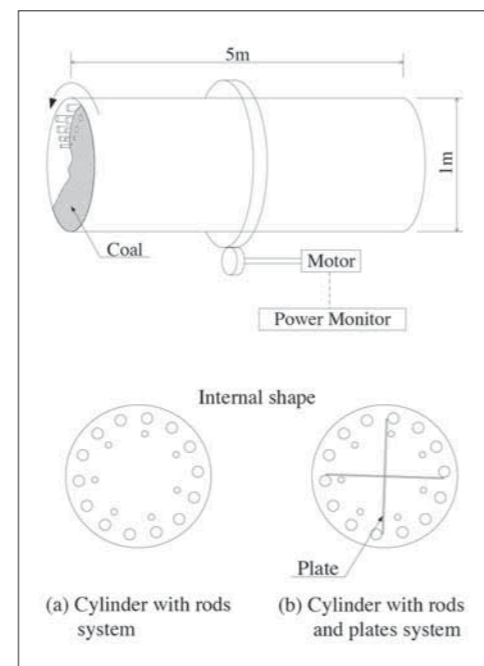


図18 内部形状の異なる実験装置
Fig.18 Experimental apparatus for different internal shapes

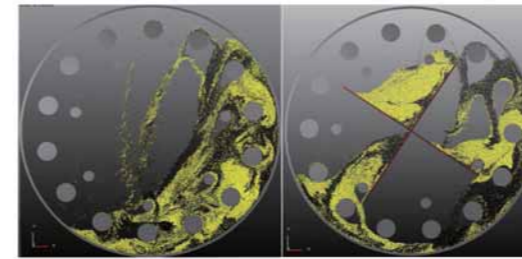


図19 装置内部形状が異なる場合の粉体の空間分布：
(a) ロッド付き円筒 (b) ロッドおよび板付き円筒
Fig.19 spatial distribution for different internal shape of apparatuses:
(a) Cylinder with rods system and (b) Cylinder with rods and plates

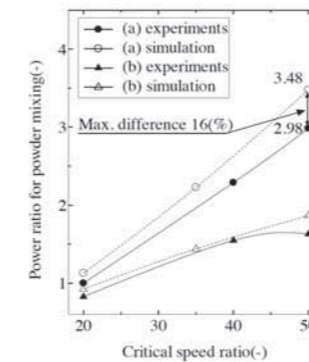


図20 装置内部形状が異なる場合の粉体の攪拌動力特性：
(a) ロッド付き円筒 (b) ロッドおよび板付き円筒
Fig.20 Power characteristics of powder mixing for different internal shape of apparatuses:
(a) Cylinder with rods system and (b) Cylinder with rods and plates

7 使用記号

F	Contact force	(N)	$S_{location}(species)$	Conditional entropy	(-)
k	Stiffness	(N/m)	C	Number of species	(-)
δ	Particle overlap distance	(m)	v_u	Unbiased variance	(-)
η	Damping coefficient	(-)	n_s	Number of sample	(-)
μ	Friction coefficient	(-)	X_i	Sample	(-)
r	Position vector	(m)	\bar{X}	Sample mean	(-)
ω	Angular velocity	(rad/s)	I_c	Confidence interval of population mean	(-)
M	Rotational resistance moment	(Nm)	t_d	Student's t-distribution	(-)
θ	Relative angle	(rad)	M_{Lacey}	Lacey mixing index	(-)
B	Contact width	(m)	σ_0	Standard deviation at segregate case	(-)
θ^0	Critical relative angle	(rad)	σ_r	Standard deviation at random case	(-)
e	Restitution coefficient	(-)	σ_a	Standard deviation at actual case	(-)
m	Particle mass	(kg)	A	Simulation error	(-)
v	Velocity	(m/s)	$\bar{X}_{experiments}$	Sample mean of experiments	(-)
t	Time	(s)	$\bar{X}_{simulation}$	Sample mean of simulation	(-)
g	Gravitational acceleration	(m/s ²)	Subscripts		
I	Inertial moment	(kgm ²)	n	Normal component	
$M_{shannon}$	Shannon entropy based mixing index	(-)	t	Tangential component	

参考文献

- 1) 白鳥正樹, 越塚誠一, 吉田有一郎, 中村均: 工学シミュレーションの品質保証とV&V, 丸善出版, pp.29 (2015)
- 2) 山井三亀夫, 中田洋一: スケール則に基づくDEMシミュレーションの検討, 粉体学会春期研究発表会講演要旨集, pp.188-189 (2016)
- 3) Mikio Yamanoi, Junichi Imai, Yoichi Nakata: Scalable-DEM Simulation of Powders and Granules in Indirect Heating Type Dryer: Dynamics and Thermal Behaviors, 20th International Drying Symposium, (2016)
- 4) 中田洋一, 山井三亀夫: DEMシミュレーションにおける粉粒体の混合度を評価する方法の検討, 粉体学会春期研究発表会講演要旨集, pp.158-159 (2015)
- 5) P.A.Cundall, O.D.L.Strack: Discrete numerical model for granular assemblies, Geotechnique, 29, pp.47-65 (1979)
- 6) O.R.Walton, R.L.Braun: Viscosity, granular - temperature, and stress calculations for shearing assemblies of inelastic, frictional disks, Journal of Rheology, 30, pp.949-980 (1986)
- 7) J.Czarnecki, V.Itschenskij: Van der Waals attraction energy between unequal rough spherical particles, Journal of colloid and interface science, 98, 2, pp.590-591 (1984)
- 8) G.Liu, J.S.Marshall, S.Q.Li, Q.Yao: Discrete -element method for particle capture by a body in an electrostatic field, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 84, 13, pp.1589-1612 (2010)
- 9) C.D.Willett, M.J.Adams, S.A.Johnson, J.P.Seville: Capillary bridges between two spherical bodies, Langmuir, 16, 24, pp.9396-9405 (2000)
- 10) Mikio Sakai, Seiichi Koshizuka: Large-scale discrete element modeling in pneumatic conveying, Chemical Engineering Science, 64, 3, pp.533-539 (2009)
- 11) Yutaka Tsuji, Toshihiro Kawaguchi, Toshitsugu Tanaka: Discrete particle simulation of two-dimensional fluidized bed, Powder technology, 77, 1, pp.79-87 (1993)
- 12) Y.C.Zhou, B.D.Wright, R.Y.Yang, B.H.Xu, A.B.Yu: Rolling friction in the dynamic simulation of sandpile formation, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 269, 2, pp.536-553 (1999)
- 13) M.J.Jiang, H-S.Yu, D.Harris: A novel discrete model for granular material incorporating rolling resistance, Computers and Geotechnics, 32, 5, pp.340-357 (2005)
- 14) P.M.C.Lacey: The Mixing of Solid Particles, Transactions of the Institution of Chemical Engineers, 21, pp.53-59 (1943)
- 15) TSUKISHIMA ROTARY STEAM TUBE DRYER, Youtube, <https://www.youtube.com/watch?v=FAZ355BpYtw>

5 結言

粉粒体シミュレーションを工学設計に利用するための基礎研究として数値シミュレーションの妥当性確認を行い、以下の結果が得られた。

- ・実験と数値シミュレーションの誤差は7.4(%)であった。
- ・異なる装置形状、より幅広い操作条件においても実験と数値シミュレーション結果は視覚的に高精度に一致した。

この結果より、数値シミュレーションは定性的にも定量的にも十分な予測精度を有すると判断でき、その計算モデルは妥当であることが確認された。また、スチームチューブドライヤーを数値シミュレーションにより解析し、工学設計に必要な特性を明らかにすることができる事例を示した。これら2つの検討により工学設計への利用可能性を示した。今後も要素技術に関する研究および装置解析への適用事例を示すことで、数値シミュレーションの高度利用を促し、ものづくりの革新に貢献する。

6 謝辞

本研究の遂行にあたり、数値シミュレーションの理論と実際について有意義な議論を交わってくださったプロメテック・ソフトウェア株式会社の山井三亀夫博士に感謝を申し上げます。

燃料用バイオマス炭化物中の鉄化合物の元素形態解析

Elemental speciation analysis of Iron compounds in carbonized biomass for fuel.



鈴木 健治
SUZUKI Kenji
開発本部
研究所
分析グループ



日良 聡
HIRA Satoru
開発本部
研究所
分析グループ

Abstract

Heat-generating phenomena appeared of carbonized biomass for fuel during storage. With the aim of solving this issue, the oxidation reaction and elemental speciation of iron compounds were analyzed using X-ray absorption fine structure (XAFS) studies. This report applied X-ray absorption near edge structure (XANES) method, which was selected from both methods of XANES and extended X-ray absorption fine structure (EXAFS) of the XAFS studies. It was examined pretreatment method and storing temperature to determine optimal conditions when applying XANES method to carbonized biomass. XANES spectra of iron compounds shifted to a higher energy side in the following order: carbonized biomass < dried biomass as raw material < post-stabilized biomass carbide. Shifting high energy side shows iron compounds are more oxidized. When a mixture of ferric sulfate and cellulose as a substitute were treated under the same conditions as carbonization, K-edge analysis in XANES method showed various compound changing of substitutes materials at several carbonized temperatures. Using XAFS method, chemical states of iron compounds showed a relation to heat generation from carbonized biomass through analysis results of iron compounds in carbonized biomass and its substitutes.

バイオマスを炭化処理し燃料として使用するために貯蔵した際、発熱現象が確認された。この原因を明らかにする目的で、XAFS法を用いて鉄の酸化反応や形態解析の分析を実施した。XAFS法のX線吸収端構造(XANES: X-ray-absorption near-edge structure)と広域X線微細構造(EXAFS: Extended X-ray-absorption fine structure)のうち、本報告ではXANESを使用した。XAFS法のバイオマス炭化物への応用にあたり、基礎的な試料の前処理、保管方法を調査し、最適条件を求めた。バイオマスの乾燥原料その炭化物、および安定化処理した試料のXANESを比較したところ、炭化物<乾燥原料<安定化処理試料の順に鉄化合物が高エネルギー側にシフトしており、酸化が進んでいることが確認された。また、鉄化合物に着目し硫酸第二鉄とセルロースを混合した模擬試料を用いて分析したところ、熱処理(炭化処理)温度によって化合物の形態変化が確認された。このように、XAFS法による分析の結果、鉄化合物の化学形態の変化が発熱現象に寄与していることが判明した。

キーワード: バイオマス, 炭化物, XAFS, XANES, 酸化反応, 発熱反応
Keyword: Carbonized biomass, XAFS, XANES, oxidation reaction, exothermic reaction

1 はじめに

有機物を含む原料や廃棄物を還元雰囲気中で炭化処理し、燃料とする技術について、月島機械は長年にわたって取り組んで来た。¹⁾それら開発の過程でバイオマス原料をペレット化し炭化処理した試料について、貯蔵の際に空気酸化によるものと思われる発熱現象が確認され、その原因の特定と抑制方法の確立が求められた。

貯蔵中に発熱することは石炭でも知られており、その原因としてメチレン基、アルキル基の酸化やカルボキシル基、水酸基などの官能基への酸素の吸着があげられている。^{2,3)}バイオマス炭化物の発熱ではこれらに加えて、共存する金属、特に含有率の高い鉄の酸化反応や水和反応も要因として考えられており、そのメカニズムはより複雑である。そこで本研究では、バイオマス炭化物に含有する鉄に着目してX線吸収微細構造(XAFS: X-ray-absorption fine structure)スペクトルを解析し、酸化に伴う鉄の状態変化から発熱原因を明らかにすることを目的とした。

2 放射光XAFSについて

2.1 放射光と放射光実験施設

放射光は荷電粒子(一般には電子)が加速度を受けた時に放出する電磁波であり、指向性、輝度が非常に高い。放射光を発生・利用できる施設を放射光実験施設といい、現在日本には数箇所の放射光実験施設がある。そのうち4箇所は課題審査通過後に一般ユーザーも利用可能であり、今回は兵庫県にある大型放射光施設SPring-8を利用した。(図1)



図1 SPring-8全景 ©RIKEN
Fig.1 Panoramic view of the SPring-8

2.2 X線吸収スペクトルについて

図2は、ある物質にX線を照射した場合の照射X線エネルギーと吸光度の関係を模式的に示したものである。吸光度の上昇は、X線により内殻電子が励起されていることを示す。さらにK殻の吸光度を拡大したのが図3であり、内殻電子の励起により吸収が増大し、それよりエネルギーの高い領域も波打ち構造を持ちながら減衰している。

この内殻電子が励起する領域をX線吸収端構造(XANES: X-ray-absorption near-edge structure)と呼び、XANESよりエネルギー

の高い領域を広域X線微細構造(EXAFS: Extended X-ray-absorption fine structure)、さらに両者をまとめてXAFSと総称する。XANES領域のスペクトルを解析することで、化合物の形態、結晶の対称性、原子価数などの情報が得られる。一方EXAFS領域のスペクトル解析によって、収集原子と周辺にある散乱原子との結合距離、周辺原子の種類と数、周辺原子の角度情報など様々な情報が得られる。

結晶構造や化合物形態を同定する分析方法にはX線回折(XRD: X-ray diffraction analysis)があるが、XRDは測定対象が結晶質である必要があり、今回のバイオマス炭化物の様な有機物の割合が高い試料では適用が難しい。その点XAFSは対象成分の結晶性を問わず、さらに有機物の影響を受けない測定が可能である。また、石炭においてはメスbauer分光法を用いた鉄の形態解析の事例報告もあるため、⁴⁾メスbauer分光法によるデータ採取も検討したが、XAFS法により得られる情報量が多いと判断し、今回の実験では放射光XAFSによる測定を実施した。

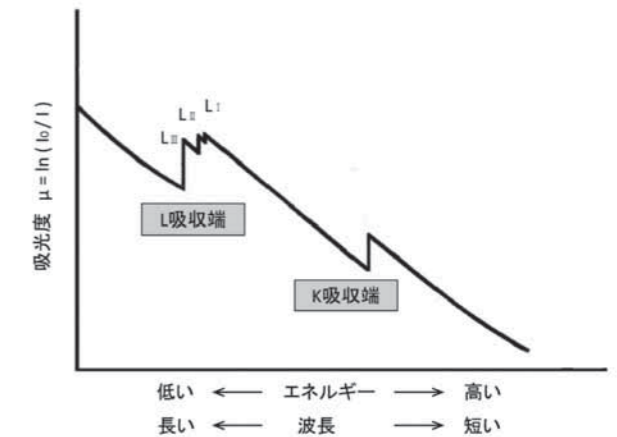


図2 X線吸収スペクトルの模式図
Fig.2 Schematic diagram of the X-ray absorption spectrum

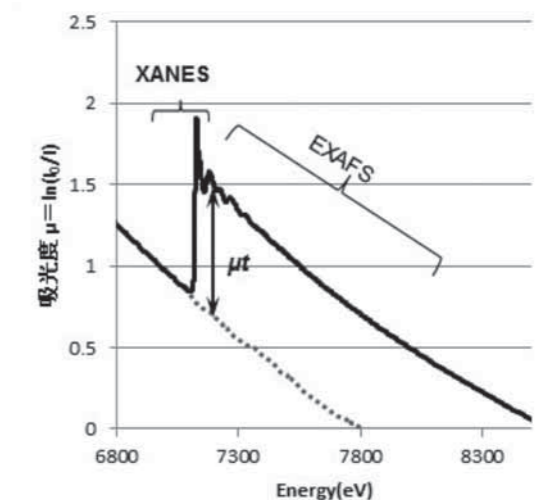


図3 K吸収端の拡大図(Fe₂O₃)
Fig.3 Enlarged diagram of absorption edge of K shell

3 測定に用いた試料

今回の測定は、下記の試料を対象に行った。

3.1 バイオマス炭化物関連

- ①乾燥原料……バイオマスをペレット化し、乾燥した試料
- ②炭化物……乾燥原料を不活性ガス中で炭化処理し、冷却した試料
- ③安定化後炭化物…炭化物を一定時間保持し、安定化した試料

3.2 模擬試料

- ①ポリ硫酸第二鉄
- ②ポリ硫酸第二鉄+セルロースパウダー

3.3 鉄の酸化を利用した応用品

- ①使い捨てカイロ
- ②脱酸素剤

3.4 標準物質

下記の物質を標準試料として、試料のXAFSスペクトルと比較した。
 Fe、FeS、FeS₂、FeO、Fe₂O₃、Fe₃O₄、 α -FeOOH、 γ -FeOOH、Fe₂SiO₄、FeSO₄·7H₂O、FeCl₃

4 XAFS測定方法と試料調整

4.1 XAFS測定方法

XAFS測定は、図4 図5に示すシステムを用い、透過法および蛍光法にて実施した。透過法は試料透過前後のX線強度を測定し、そこから試料(対象元素)に吸収されたX線を算出している。X線の吸収度は式1で表される。

$$\mu = \ln(I_0 / I) \quad (式1)$$

μ : X線吸収度、 I_0 : 入射X線強度、 I : 透過X線強度

XAFSは試料によるX線の吸収から得られる信号であり、その原理に忠実に従った実験法が透過法である。ただし、適切な吸収を得るためには、対象元素(本試験ではFe)が均一かつ一定の濃度範囲で存在する必要があり、高濃度の場合は希釈が必要となる。またX線の吸収は試料の密度、厚さによっても変わるため、試料を十分に粉砕した後、窒化ホウ素で希釈し、油圧プレスにより加圧成型した錠剤成型試料を用いた。

一方、蛍光法は、物質がX線を吸収して内殻に空孔が生じると、その空孔を埋めるために外殻から電子が落ちてくる。その時放出されるのが蛍光X線であり、この蛍光X線を検出することでXAFS信号を求める方法が蛍光XAFS法である。透過法が試料中の対象元素濃度から窒化ホウ素との混合比を厳密に決定して錠剤成型するのにに対し、蛍光法は試料にそのままX線を当てて発生する蛍光X線を検出するため、対象元素の濃度や試料の厚さの影響を受ける。またX線が試料に侵入する深さは数 μ m以上あるため、適切な試料を用意

しないとX線の自己吸収が発生しスペクトルが歪んでしまうなど、測定上の制約や課題が多い。⁵⁾

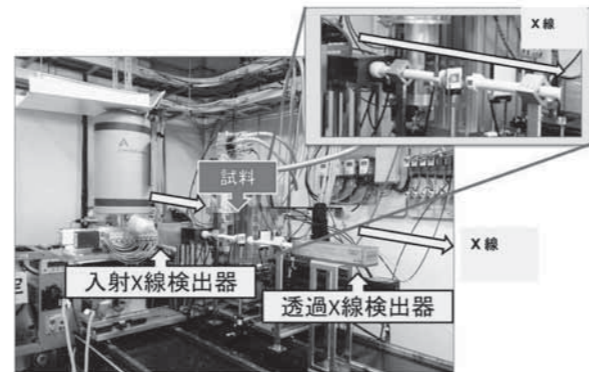


図4 透過法によるXAFS測定システム
 Fig.4 XAFS analysis system of X-ray transmission method

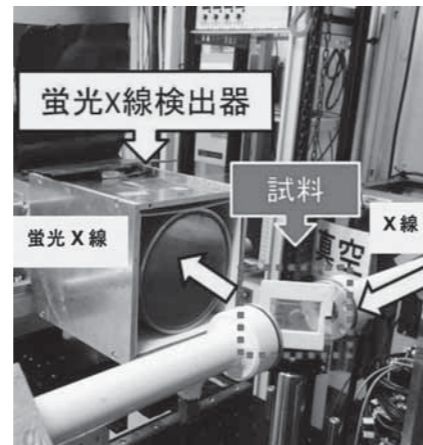


図5 蛍光法によるXAFS測定システム
 Fig.5 XAFS analysis system of X-ray fluorescence method

4.2 試料調整

試料を粉砕する際の方法として、ボールミルによる機械粉砕とメノウ乳鉢による粉砕を比較した。また、試料の空気酸化が発熱の原因と推定したため、粉砕時および油圧プレスによる錠剤成型時の雰囲気について、大気下とアルゴンによる不活性雰囲気下で比較した。これらの試料調整方法を表1に示す。

表1 試料調整法の比較
 Table1 Comparison of pre-treatment conditions

試料調整	粉砕方法	粉砕雰囲気	錠剤成型雰囲気
①	ボールミル	大気	大気
②	メノウ乳鉢	大気	大気
③	メノウ乳鉢	アルゴン	大気
④	メノウ乳鉢	アルゴン	アルゴン

4.3 試料保管

バイオマス試料は、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、さらに酸素検知剤を同梱し酸素を遮断した不活性雰囲気下を維持していることを確認して保存した。
 アルゴン雰囲気下で錠剤成型した試料は、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。

5 XAFS測定条件および解析方法

5.1 XAFS測定条件

SPring-8 ビームラインBL14B2において、既存のXAFSシステムを用い透過法および蛍光法でXAFS測定を行った。入射X線はSi(111)モノクロメーターで単色化し、Fe-K吸収端7111 eV付近のエネルギー領域をスキャンした。透過法では入射および透過X線強度をイオンチャンバで検出し、蛍光法では蛍光X線(Fe-K α 線)の強度を試料に対し45度の角度で設置した19素子SSDにて検出した。

5.2 解析方法

SPring-8で採取したスペクトルは、(株)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7400 eV付近で $\mu t=1$ となるように規格化を行った。⁶⁾規格化とは、試料厚さや吸収元素の濃度、検出器やアンプ設定などその他の測定条件の影響が無くなるよう演算処理するもので、規格化されたデータは実験条件に関係なく比較できるとともに、理論との比較も可能である。例として図3に示すスペクトルを規格化した結果を図6に示す。以降、スペクトルの比較を行うにあたっては、規格化されたスペクトルを用いた。

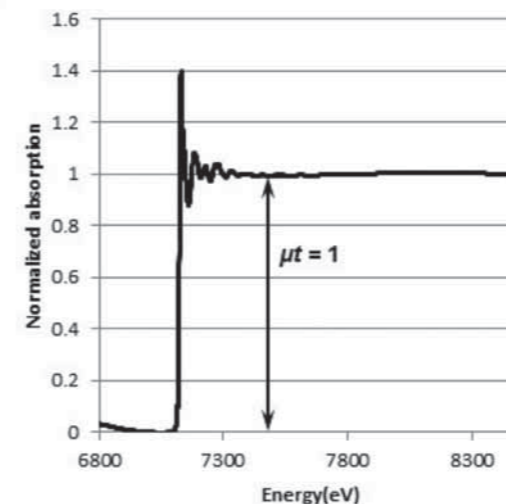


図6 Fe₃O₄の規格化したスペクトルデータ
 Fig.6 Normalized spectrum of Fe₃O₄

6 測定結果および考察

6.1 標準試料

標準試料のFe-K XANESスペクトルデータを図7および図8に示す。注目するポイントは以下の項目である。

- ①吸収端の位置
- ②吸収端近傍の形状(いわゆるpre-edgeの有無、高さなど)
- ③White line (ピークトップ)の位置
- ④スペクトルの傾きが最も大きくなる点(E_0^*)の位置
- ⑤スペクトルの形状、などである。

図7から各標準物質は固有のスペクトル形状を示すことが分かるとともに、図8ではFe-K XANESスペクトルにおける上記の吸収端や E_0 が価数の増加とともに高エネルギー側にシフトしていることが分かる。
 ※ E_0 の決定方法については種々方法があるが、今回は④の様に設定した。

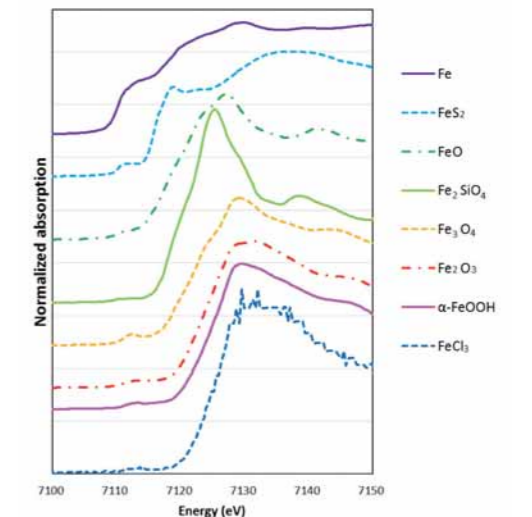


図7 鉄標準試料のFe-K XANESスペクトル
 Fig.7 XANES spectrum of Fe metal and several Fe compounds

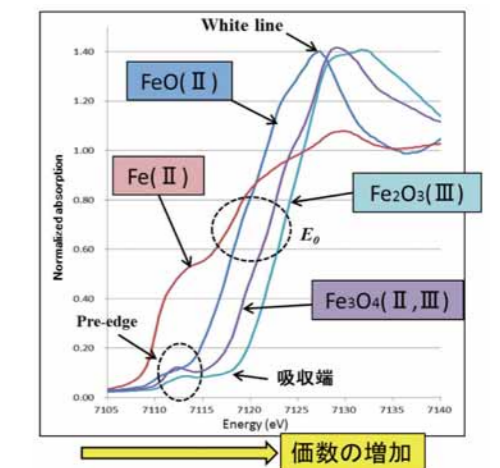


図8 鉄標準試料の酸化の状態変化とXANESの特征的な部位
 Fig.8 Typical Fe oxidation state and specific characteristics in Fe-K edge XANES region

6.2 試料調整方法の影響

表1に示した試料調整方法の比較検討のうち、粉碎方法の影響について比較したスペクトルを図9に示す。対象試料は炭化物を用い、「未調整試料」はペレット状のまま蛍光法にて測定して比較した。図よりボールミルのスペクトルが最も高エネルギー側にシフトしており、メノウ乳鉢による粉碎に比べ、ボールミルの衝突エネルギーによる試料酸化の影響が大きいことが確認された。これは、ボールミルを用いたメカノケミカル法による鉄の酸化反応や価数調整の事例報告^{7,8)}と同様といえる。したがって粉碎による酸化は解析の妨害となるため、粉碎についてはすべてメノウ乳鉢による粉碎を行うことを基本とした。

6.2.1 試料調整時の酸素の影響

表1における②、③、④の比較のため、メノウ乳鉢による粉碎および錠剤成型時の酸素の影響を調査した結果を図10に示す。対象試料は炭化物を用いた。図から、粉碎と錠剤成型をすべてアルゴン雰囲気で行う試料調整④が最も低エネルギー側にあって酸化されている

ないのに対し、試料調整②および③は同程度に酸化されていることが確認された。

6.2.2 試料の違いによる酸素の影響

乾燥原料、炭化物、安定化後炭化物の各試料について、試料調整時の酸素の影響を比較した結果を図11に示す。試料調整②は大気、④はアルゴン雰囲気を示しており、乾燥原料と安定化後炭化物はエネルギーシフトが見られないのに対し、炭化物についてはエネルギーシフトが確認され、大気中の酸素により酸化されたといえる。

以上、試料調整に関しては下記のことを確認した。

- 1) ボールミル粉碎は酸化の影響が大きく、試料調整には適さず、メノウ乳鉢による粉碎が適していること。
- 2) 乾燥原料や安定化後炭化物は空気中での試料調整でも問題ないが、炭化物はメノウ乳鉢による粉碎、錠剤成型ともにアルゴン雰囲気で行う必要があること。

これらの結果から、以下に述べる試料調整についてはすべてアルゴン雰囲気で行うこととした。

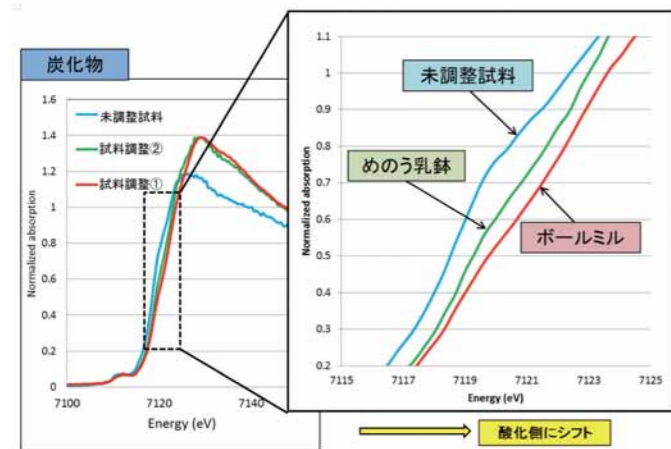


図9 粉碎方法によるスペクトルの比較
Fig.9 Comparison of XANES spectrum of grinding method

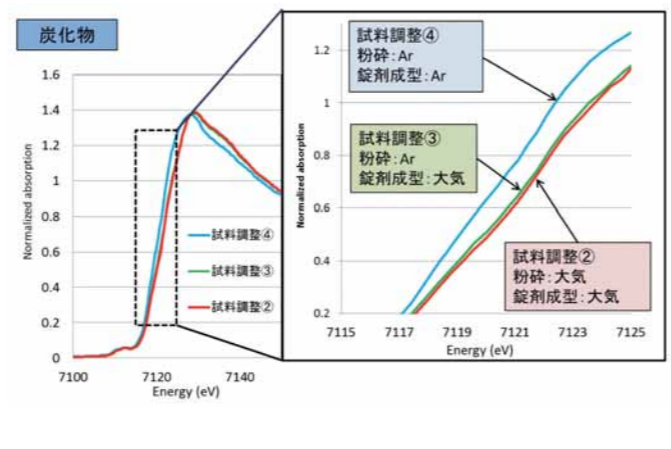


図10 粉碎および錠剤成型時の酸素の影響
Fig.10 Influence of oxygen in ground and pelletized of materials

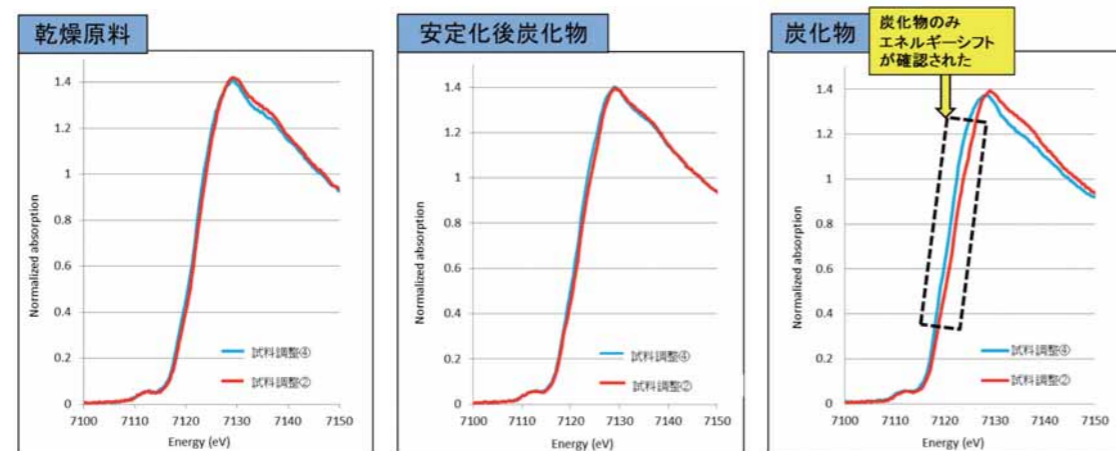


図11 各種試料に対する試料調整時の酸素の影響(乾燥原料、安定化後炭化物、炭化物)
Fig.11 Influence of oxygen at pre-treatment to dried materials, post-stabilized stabilized materials, carbonized materials

6.3 保管温度の影響

試料の保管温度が炭化物中の鉄の酸化状態に与える影響を確認するために、安定化前の炭化物について、室温、冷蔵保管(5℃)、冷凍保管(-21℃)を実施した。保管温度以外は上述した「4.3 試料保管」に準じた。これらの保管期間は約2ヶ月程度であった。これらの試料のFe-K XANES スペクトルを図12に示す。また、長期保管していない炭化物のスペクトルについても比較のため記載した。その結果、冷蔵保管<常温保管<冷蔵保管の順に高エネルギー側(酸化側)にシフトしていることが確認された。常温保管に比べて冷蔵保管が酸化側にシフトした要因として、冷蔵状態では脱酸素剤が十分に機能しなかった可能性が考えられる。また、冷凍保管のエネルギーシフトが最も小さかった理由として、冷凍状態では鉄化合物の酸化反応が大きく抑制されることが推察される。試料の冷凍保存による金属元素の酸化抑制については、山口らがヒ素を対象に論じている。⁹⁾これらのことから冷蔵保管が酸化抑制に最も有効であるといえる。しかし、冷凍することで試料中水分の凍結が考えられるが、それが試料に与える影響については評価できていない。結論として、現状では脱酸素剤を同封後密封した試料は常温で保管することが、最もエネルギーシフトが小さく、安定的な保管方法であるといえる。

一方、長期保管していない試料のスペクトルと比較すると、すべての保管温度で酸化側にシフトしている。このことから、炭化物では保管温度を変えても、一定期間保管した試料中の鉄化合物の酸化を完全に抑制することは難しいことがわかった。

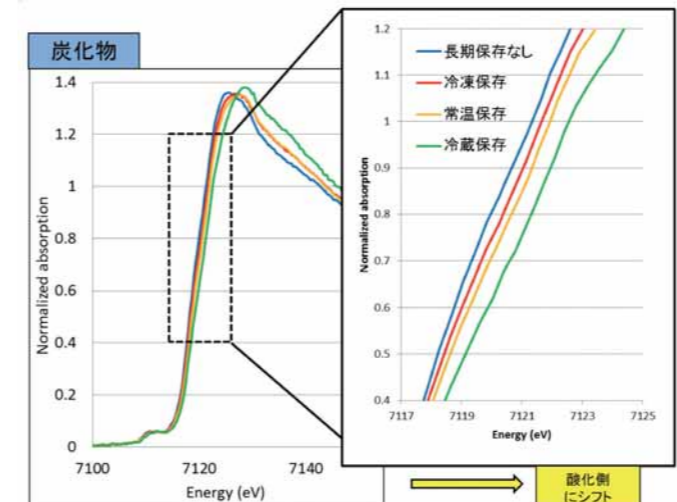


図12 保管温度を変えた場合のFe-K XANES スペクトル
Fig.12 Fe-K XANES spectrum from different storage temperature

6.4 バイオマス原料の各工程でのスペクトル比較

6.3まででは、試料の前処理や保管方法など、試料の取り扱いに関する基礎的な測定に関して述べた。

今回測定対象とした試料は、3.1に述べた3種類であり、これらのFe-K XANES スペクトルを比較した結果を図13に示す。3種類の試料のうち、炭化物のスペクトルが最も低エネルギー側であるのに対し、

乾燥原料および安定化後炭化物はそれより高エネルギー側にシフトしていた。このことから、乾燥原料中の鉄は還元雰囲気での炭化処理により還元され、安定化処理を行うことで乾燥原料以上に酸化が進んだと考えられる。この結果、安定化処理により炭化物の酸化が進むことで、炭化物中の鉄の酸化に起因する発熱性が抑制されていることが推察され、安定化処理の有効性が化学的にも確認された。

6.5 ポリ硫酸第二鉄を用いた模擬試料の処理温度による比較

3.1に述べた様々なバイオマス試料のFe-K XANES スペクトルについて、図7に示す標準試料と比較したが、今回測定した標準物質と似たスペクトルを確認することはできなかった。これは、バイオマス炭化物に含まれる鉄化合物が、ある特定の価数や化合物の形態を取るのではなく、バイオマスに含まれる無機物や有機物と複雑な化合物を形成しているためと推察される。

このため、バイオマス原料に添加される代表的な薬品としてポリ硫酸第二鉄に着目し、ポリ硫酸第二鉄単独の試料と、ポリ硫酸第二鉄とセルロースを混合した「模擬試料」を作成し、系を単純化することにした。これらを窒素雰囲気下で炭化処理し、Fe-K XANES スペクトルを比較した。

6.5.1 ポリ硫酸第二鉄

ポリ硫酸第二鉄の組成を表2に示す。通常は液体であるため窒素雰囲気下で完全に水分を揮発させて乾燥原料を作成し、さらに乾燥原料を250℃、350℃、500℃にて窒素雰囲気下で炭化と同等の処理をした。

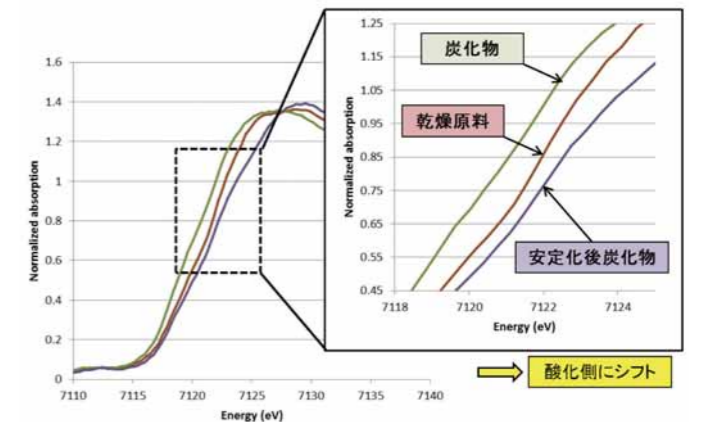


図13 バイオマスの乾燥原料、安定化前の炭化物、安定化後の炭化物のFe-K XANES スペクトル
Fig.13 Comparison of Fe-K XANES spectrum of dried material, non-stabilized sample, stabilized material

表2 ポリ硫酸第二鉄溶液の組成(メーカー公表値)
Table2 Composition of Poly ferric sulphate solution from supplier

項目	単位	測定値
比重 (20℃)	—	1.457
pH	—	2.2
T-Fe	%	11.3
Fe ²⁺	%	<0.01
SO ₄ ²⁻	%	26.9
Cl ⁻	%	<0.01

これらのFe-K XANES スペクトルを比較した結果を図14に示す。この結果、窒素雰囲気乾燥および炭化処理を行っても、ポリ硫酸第二鉄の結晶構造や価数は変化しないことが確認された。

6.5.2 ポリ硫酸第二鉄+セルロースパウダー

ポリ硫酸第二鉄にセルロースパウダーを混合し、6.5.1と同様の処理を行った。ポリ硫酸第二鉄とセルロースパウダーの混合比は、バイオマス乾燥原料中のFe、C、Hの含有量がほぼ同量となるよう調整した。バイオマス乾燥原料と模擬試料の組成を表3に示す。

図15にポリ硫酸第二鉄+セルロースパウダーの乾燥試料および各温度の炭化処理試料のFe-K XANES スペクトルを示す。乾燥試料のスペクトルは、ポリ硫酸第二鉄単独の乾燥物と同じであったため、セルロースの乾燥への影響は見られなかった。ポリ硫酸第二鉄乾燥物の化学組成は $Fe_2(SO_4)_3$ と考えられる。

炭化温度250℃と350℃の炭化物は乾燥試料のスペクトルと異なり、標準試料 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ のスペクトルと比較して、pre-edgeの位置と形状、White lineの位置、Fe-K XANES スペクトル全体の形状に関して近似しているといえる(図15右)。 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ の結晶水は、300℃付近まで加熱することで結晶水を失い無水塩になる。さらに500℃まで炭化温度を上昇すると、 Fe_3O_4 のスペクトルとpre-edgeの

位置と形状、White lineの位置、スペクトル全体の形状が近似しているといえる。従って、各温度でのFe化合物の形態は下記のとおりと推定される。

- ①乾燥原料(105℃)…… $Fe_2(SO_4)_3$
- ②250℃、350℃…… $FeSO_4$
- ③500℃…… Fe_3O_4

以上の結果から、ポリ硫酸第二鉄+セルロースパウダーの乾燥試料である三価の $Fe_2(SO_4)_3$ を、250℃、350℃で炭化と同等の処理をすると還元が進み二価の $FeSO_4$ となる。さらに500℃炭化温度では二価と三価のスピネル構造を持つ Fe_3O_4 になることが示唆された。

6.6 鉄の酸化を利用した応用品の分析

鉄の酸化反応を利用した応用品である使い捨てカイロと脱酸素剤について、酸化反応前後の試料の XAFS測定を実施した。反応前試料は、アルゴン雰囲気に置換したグローブボックス内で開封および錠剤成型を行った。アルゴン雰囲気では、両試料とも酸化による発熱は確認されなかった。

使い捨てカイロ、脱酸素剤の酸化反応前後のFe-K XANES スペクトルを図16に示す。反応前は使い捨てカイロ、脱酸素剤ともに標準

試料Feのスペクトルと比較して、吸収端近傍の位置、White lineの位置に近いものの、全吸収中間の形状、White line以降のスペクトルの形状など、多少の違いも見られることから、Fe以外の鉄化合物が混在していると考えられる。発熱反応後のスペクトルと標準試料 $\alpha-Fe_2O_3$ および Fe_3O_4 と比較検討した。完全酸化すれば Fe_2O_3 のスペクトルと近似すると推定したが、pre-edgeの位置と形状、White lineの位置と形状、White line以降のスペクトル形状などを比較検討すると、 $\alpha-Fe_2O_3$ より Fe_3O_4 に近いといえる。このことから使い捨てカイロや脱酸素剤中のFeは必ずしも $\alpha-Fe_2O_3$ まで完全酸化されず、二価と三価のスピネル構造を持つ Fe_3O_4 までしか酸化されないといえる。

7.3 炭化工程におけるポリ硫酸第二鉄の化学状態の変化

ポリ硫酸第二鉄とセルロースの乾燥原料では $Fe_2(SO_4)_3$ として存在していた鉄化合物が、250℃、350℃で炭化したところ $FeSO_4$ に酸化し、また、500℃ではスピネル構造を持つ Fe_3O_4 に部分的に酸化していることがスペクトルの解析から推察された。この様にマトリクスを排除し単純化することで得られる情報は非常に多く、XAFS測定の基礎として有効なデータが得られた。また鉄の酸化発熱反応を伴う応用品を用いた試験でも、発熱後の試料に Fe_3O_4 の存在が確認され、完全酸化しない系でのFe酸化の類似の反応が起きていることが示唆された。

以上、二年間にわたる二度のSPring-8での測定をおとして得られた結果の一部を述べてきた。

実際は本報告書に報告しきれなかった数多くのデータを採取したが、複雑な鉄化合物の存在が原因と推察される解析しきれない試料や、有意な結論を導き出すことが難しい試料も多くあったのも事実である。

SPring-8を利用した試験では、電池材料や触媒材料などを対象としたin-situ実験や測定が数多くあり、対象元素の微小な状態変化を確実に数値化できる。また月島機械が採取した標準物質については、XAFSの解析によりFe近傍の第三近接原子までほぼ正確に解析することができ、今後のXAFS解析を行う上での基礎的な測定技術、解析能力を会得出来たと考えている。今回習得したXAFS測定と解析の経験や能力を他の分析依頼にも応用し、技術開発の礎として活かしていきたいと考えている。

謝辞 本研究はSPring-8「産業新分野支援課題」を元に実施しました。実験、測定および解析を行うにあたり、SPring-8ビームライン担当者ならびに千葉大学沼子千弥准教授に多大なるご協力を賜り、厚く感謝の意を表します。

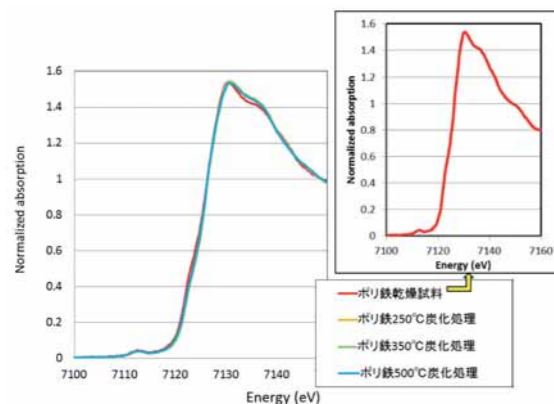


図14 ポリ硫酸第二鉄(図中ポリ鉄)単独の乾燥および炭化処理試料の比較
Fig.14 Comparison of Fe-K XANES spectrum of $Fe_2(SO_4)_3$ dried materials, carbonized materials

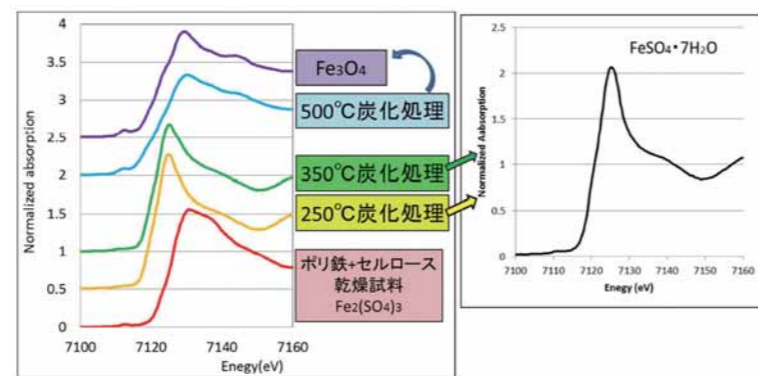


図15 ポリ硫酸第二鉄+セルロースパウダー模擬試料の乾燥試料と炭化物の比較
Fig.15 Comparison of Fe-K XANES spectrum of mixed $Fe_2(SO_4)_3$ with Cellulose dried materials, carbonized materials

表3 乾燥原料とポリ硫酸第二鉄+セルロース模擬試料の組成
Table3 Composition of dried biomass materials and mixed Poly ferric sulphate with cellulose powder (dry%)

	C	H	N	O	Fe	S
乾燥原料	26.5	6.1	3.6	20.0	5.8	1.5
模擬試料	27.8	5.5	0	53.3	7.3	6.2

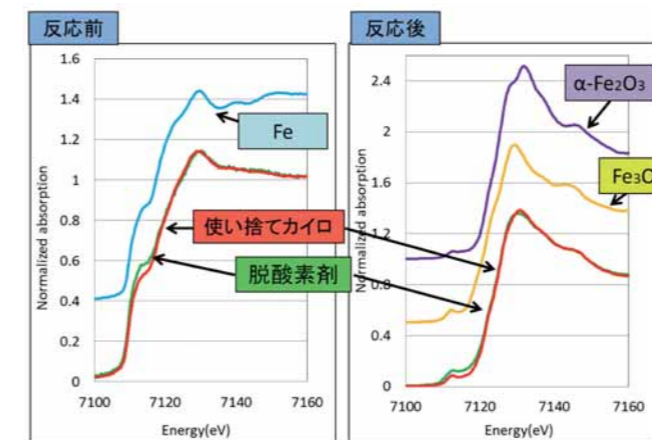


図16 鉄の酸化を利用した応用品の発熱反応前後のFe-K XANES スペクトル
Fig.16 Fe-K XANES spectrum of applying products using oxidation reaction

7 結果のまとめ

放射光施設SPring-8においてバイオマス乾燥原料や炭化物、模擬試料、酸化反応を利用した応用品などを用いたXAFS測定を実施し、下記の結果が得られた。

7.1 XAFS測定の際の試料調整および保管方法

バイオマス炭化物の様に酸化や還元現象を伴う試料については、グローブボックスなどを用いた不活性雰囲気下でメノウ乳鉢による粉碎と加圧錠剤成型の両方を行う必要がある。一方、前処理による酸化や還元を伴わない試料については、大気下での処理でも問題ないことが確認された。また、保管温度は冷凍や冷蔵保管よりも、脱酸素剤を同封した上で常温が最も良いといえ、試料の保管方法や前処理方法など、XAFS測定のための基礎的な試料の取り扱い方法を確立した。

7.2 安定化処理工程の有効性

乾燥原料を炭化処理することで、鉄化合物の一部は還元されるが、安定化処理を経ることで乾燥原料と同程度かそれ以上に酸化されることから、安定化処理工程は鉄化合物を酸化させることにより発熱防止に寄与していると考えられる。

参考文献

- 1) 片岡正樹:廃棄物処理技術 次世代型ごみ焼却施設 熱分解・溶融・石材化施設, 産業機械, No.584, pp.53-59 (1999)
- 2) DENG Jun, WANG Kai et al., Study on the kinetics and reactivity at the ignition temperature of Jurassic coal in North Shaanxi, J Therm Anal Calorimetry, Vol.118, No.1, pp.417-423 (2014)
- 3) OGUNSOLA O I, Relationship between oxygen functional groups and spontaneous combustion liability of thermally U upgraded lignite., Western States Section Combustion Institute, No.WSS Fall Meeting, pp.220-226 (1995)
- 4) K.L.SHRIVASTAVA ,R.P. TRIPATHI et al., Spontaneous combustion of coal: a Mössbauer approach., Fuel, Vol.71, No.4, p.377-380 (1992)
- 5) 太田俊明編,「X線吸収分光法 -XAFSとその応用-」, (株)アイピーシー, p.101, (2002)
- 6) 太田俊明編,「X線吸収分光法 -XAFSとその応用-」, (株)アイピーシー, p.59, (2002)
- 7) 富澤政史, 岩崎智宏ら, 鉄系層状複水酸化物ナノ粒子のメカノケミカル合成, 粉体工学会研究発表会講演論文集, Vol.2013, 秋期, pp.118-119 (2013)
- 8) UCHIYAMA Tomoki, NISHIBORI Maiko et al, Formation of Tetravalent Fe Ions in LaFeO3 Perovskite Through Mechanochemical Modification by Ball Milling, Journal of the American Ceramic Society, Vol.98, No.4, pp.1047-1051 (2015)
- 9) 山口紀子:日本土壌肥科学会編,「土壌環境中の有害元素の挙動」,博友社, p.48 (2012)

BOKELA – Clever Filtration



山田 雅之
YAMADA Masayuki
BOKELA GmbH
Managing Director



FRANZ Meck
BOKELA GmbH
Head of Marketing

1 はじめに

BOKELA社の製品はテレフタル酸製造工程やアルミナ・石炭を代表例とする鉱物分野などで広く採用されており、特にアルミナ業界では世界的にも代表格となるろ過機メーカーとしての地位を築いている。同社は固液分離技術のコンサルティング業からスタートしており、単純に機械設備を販売する会社としてではなく、メンテナンス性の向上、ランニング費用低減等の改善提案を市場へ提供することによって顧客の設備導入メリットを引き出す商売の仕方に主眼を置いて活動している。本稿ではBOKELA社製品の中でも代表的なろ過機製品を紹介する。

Abstract

BOKELA is a medium-sized enterprise that ranks as one of the worldwide leading suppliers of modern filtration plants for the chemical, petrochemical, pharmaceutical, food, minerals, coal and ore processing industry. BOKELA is Centre of Excellence within the TSUKISHIMA KIKAI group in the field of cake forming filtration and dynamic crossflow filtration, in particular for continuous vacuum and pressure filters. BOKELA's filtration technologies define the state-of-the-art and offer economic and sustainable solutions. The modern filtration technologies of BOKELA are high performance filtration technologies with innovative design and outstanding hydraulic performance. The product range includes continuous rotary filters such as vacuum filters (drum, disc, pan filters), continuous pressure filters (Hi-Bar Filtration), dynamic crossflow filters (DYNO Filter for dynamic membrane-, sieve- & precoat filtration), quasi-continuous backflush filters as well as laboratory filters. BOKELA's filtration technologies are coming along with an energy efficient process philosophy enabling a fully automatic operation and simple implementation in the plant automation. Typical characteristics are: very low cake moisture, optimum filter cake wash, high throughput performance, clear filtrate, reliable and safe operation.

Keyword : Rotary Vacuum Filters (Drum, Disc, Pan Filters), Continuous Pressure Filters (BOKELA HiBar Filtration), Dynamic Crossflow Filter (BOKELA DYNO Filter), Filter Revamping

BOKELA – Clever Filtration

BOKELA is a medium-sized enterprise that ranks as one of the worldwide leading suppliers of modern filtration plants for process filtration. BOKELA's filtration technologies define the state-of-the-art and offer economic and sustainable solutions

2 Technology profiles

2.1 Vacuum Rotary Filters

BOKELA disc, drum and pan filters are modern high performance technologies which define a new state of the art in rotary filter technology. The modern design leads to outstanding hydraulic characteristics and provides for high throughput capacities, excellent cake washing and dewatering and ease of maintenance.

2.1.1 Drum Filters

BOKELA drum filters are characterized by high throughput performances, intensive cake wash, low moisture contents, complete cake discharge, reliable operation and modern control philosophy. BOKELA drum filters can be equipped with FrameTrak - the new and innovative method of attaching filter media on drum and pan filters.

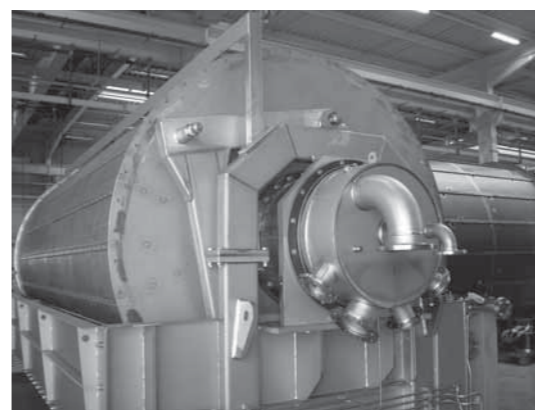


Fig.1 BOKELA drum filter (40m²)

Drum filters with exchangeable filter cells are high performance vacuum drum filters which are specially made to come up with challenging demands in the chemical industry.

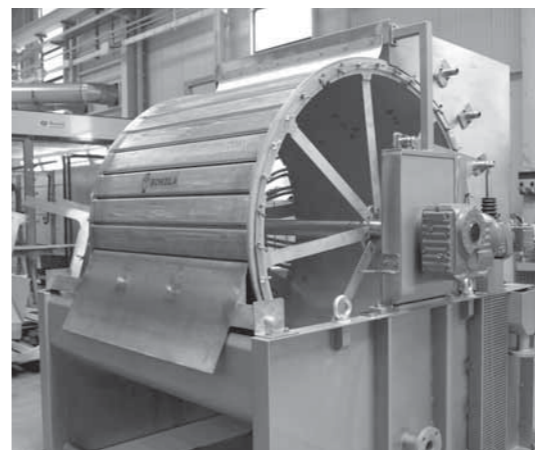


Fig.2 BOKELA drum Filter with single-cell design

2.1.2 Disc Filters

Boozer disc filters represent a new generation of vacuum disc filters. These high performance disc filters run with high filter speed up to 6 rpm and have outstanding high throughput rates. Main fields of application are in the raw material industry e.g. in alumina refineries, in coal washeries or for dewatering of residues from ore and mineral processing (tailings).



Fig.3 BOKELA Boozer disc filter

2.1.3 Pan Filters

Pan filters are used for filtration and washing of coarse products. BOKELA pan filters represent a new pan filter generation with a lot of innovative features like the forced feeding system, quick drainage cell, pre-separation control head and FrameTrak - the new and innovative method of attaching filter media on drum and pan filters. BOKELA pan filters save up to 25 % of wash water. Application areas cover industries such alumina refineries, iron ore concentrates, quartz sands, fertilizer etc.



Fig.4 BOKELA pan filter

2.2 Continuous Pressure and Steam Pressure Filtration

2.2.1 HiBar Filtration

HiBar Filtration is the most modern technology for continuous pressure filtration and offers new solutions for filtration, washing and dewatering of fine grained suspensions. HiBar Filtration uses a drum or disc filter which is installed in a pressure vessel. This enables filtration with a pressure difference Δp of up to 6 bar. Consequently, higher throughput rates and lower residual moisture contents are realized compared to vacuum filtration and even fine grained products can be filtered.

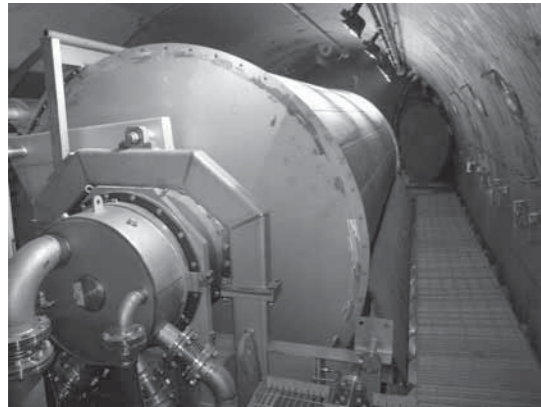


Fig.5 BOKELA HiBar drum filter (40m²) inside pressure vessel

2.2.3 HiBar Oyster Filters

The compact HiBar Oyster Filter is made for challenging applications in the chemical, pharmaceutical and food industry. Hi-Bar Oyster Filters ensure high specific throughputs, best washing and demisting results, reliable and flexible operation. Oyster drum filters with single-cell design ensure an unmatched fast re-clothing. The hermetically closed system enables fast and easy access by fully automatic opening of the pressure vessel (like an oyster) which provides for short downtimes.

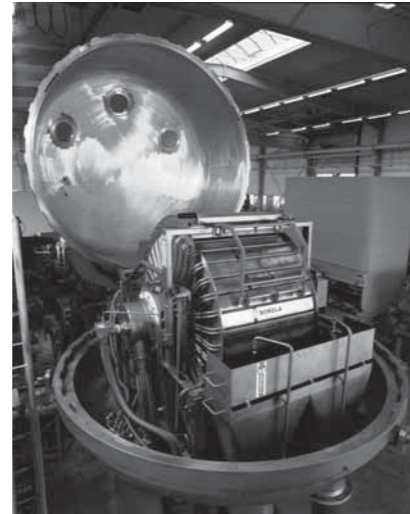


Fig.7 OKELA HiBar Oyster Filter



Fig.6 Filter building with two BOKELA HiBar disc filters (70m² each) for red mud filtration in an Indonesian Alumina refinery - TSK was EPC for this Alumina refinery with BOKELA as supplier of the complete filtration equipment.

2.3 Dynamic Crossflow Filtration

2.3.1 Dynamic Membrane Filtration

DYNO Filter is a dynamic cross flow filter for ultra- and microfiltration which enables thickening of suspensions to an unmatched high concentration and simultaneous washing. It is applied for suspensions in the chemical and pharmaceutical industry, for filtration of fine minerals, organic and inorganic pigments etc.

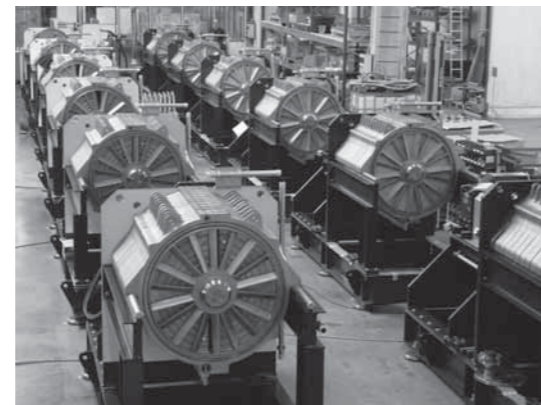


Fig.8 BOKELA DYNO filters (10 m² each)

2.2.2 HiBar Steam Pressure Filtration

The patented HiBar Steam Pressure Filtration uses steam for demisting, washing and drying of the filter cake leading to very low cake moistures. Thus, downstream thermal drying may be replaced.

Hi-Bar plants are available with horizontal pressure vessels for large units and as Oyster Filter with vertically opening vessel for smaller filter units.

2.3.2 Dynamic Sieve Filtration

As dynamic sieve filter the DYNO-Filter enables continuous removal of low concentrated, disturbing coarse grain from viscous suspensions like in the production of polymeric foams.

2.3.3 Dynamic Precoat Filtration

Dynamic precoat filtration which is the latest process innovation with the BOKELA DYNO Filter. This new process combines cake forming filtration and crossflow filtration and is applied to completely recover solids from a suspension and to produce a particle-free filtrate. Dynamic precoat filtration offers process solutions for difficult separation tasks e.g. with hot suspensions, suspensions containing solvents and/or fine particles where state-of-the-art technologies like membrane filters or centrifuges fail.

2.4 Backflush Filter

The BOKELA backflush filter has an advanced design which allows improved polishing filtration of liquids with (very) low solids contents. Main application is the cleaning of pregnant liquor in Alumina refineries.

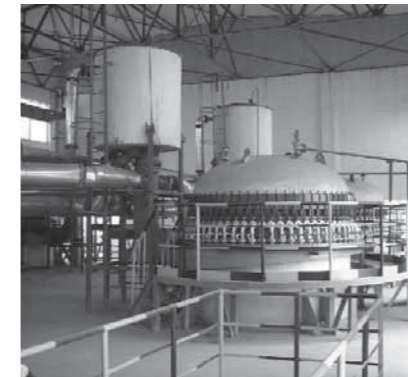


Fig.9 BOKELA backflush filter

2.5 Optimisation of Filter Plants

The modification and modernization of filter plants by the BOKELA "Filter Revamping programme" is a very economical and quickly feasible method to improve the performance and profitability of running filters. BOKELA is the No. 1 in filter optimisation bringing competitive filter technologies to the most modern BOKELA design standard.

2.6 Laboratory Filters

FILTRATEST is a compact, portable laboratory filter apparatus which enables easy and fast filter tests to achieve reliable scale up data. With a small product sample the required filtration data and product parameters can be determined.

DYNOTEST enables the analysis and scaling up of crossflow filtration processes with small product samples.

3 おわりに

ボケラは今年創立30周年を迎えました。創業以来「ろ過」に焦点を絞った製品作りと顧客開拓により、社員八十名余という小規模所帯ながらアルコア、リオテント、ハイドロ、BHP ビリトンと言った世界に名だたる資源メジャーにご愛顧を賜っています。

今回ご紹介させていただきました真空回転ろ過機を始めとする製品群が今、まさに世界の石炭、ボーキサイト、クオーツ、カリウムなどを扱う資源会社で使われています。

こうした小規模の会社の製品がなぜ資源メジャーに認知、採用されるに至ったのか、どういった手法で彼らに認知させたのか等は我々が一番学びたいところであり、当地で一緒に働きながら月島機械グループの製品開発や販売に活かせるノウハウやコツを吸収し、関係各位に引き続き発信して参ります。

乾式微粉炭注入設備

Dry Super-powdered Activated Carbon (S-PAC) Injecting Facilities



加賀山 亨
KAGAYAMA Akira
水環境事業本部
ソリューション技術部
上水グループ

Abstract

This facility was created by adding “dry pulverizing function” to the existing dry powdered activated carbon charger to produce and inject super-powdered activated carbon on site. 2-5 μ m super-powdered carbon can be produced by one-path pulverization. Adsorption and elimination performance especially for components of offensive taste and odor is increased 2-3-fold before pulverization. The facility is able to continuously run for 2,000-3,000 hours stably producing super-powdered carbon. It is confirmed that the number of particles leaked from the water purification filtering bed is equivalent to the existing dry powdered activated carbon in the injection rate considering the adsorption performance. The facility thus ensures stable water treatment. The dust explosibility is equivalent to the existing dry powdered activated carbon, and operational safety is secured. Activated carbon before and after pulverization can easily be used together and it makes it easy to optimize the size of super-powdered crusher system.

本設備は従来のドライ粉末活性炭注入設備に「乾式微粉砕機能」を追加した設備であり、オンサイトで微粉化活性炭を生成・注入するものである。ワンプラスの微粉化処理で2~5 μ mの微粉炭へ加工処理することができ、微粉化前より特に異臭味成分に対する吸着除去性能が2~3倍向上する効果を発揮する。連続2000~3000hrの稼働に対しても安定して微粉炭を得ることができる。浄水場ろ過池からの漏洩粒子数は、吸着性能を考慮した活性炭注入率において、従来のドライ炭と同等であることが確認され、安定した浄水処理を確保することができる。粉塵爆発性も従来のドライ炭と同等であり、ハンドリングの安全性も確保される。微粉化前後の活性炭を容易に併用することができ、微粉砕機規模の最適化が図りやすい。

キーワード：粉末活性炭、微粉化活性炭、微粉化、浄水処理
Keyword：powdered activated carbon(PAC); Super-powdered activated carbon (S-PAC); pulverization; purification

1 はじめに

国内の浄水場では、古くから臭気物質や汚染物質が原水で検出された場合に粉末活性炭を注入して対応している。月島機械は、昭和63年に我が国の水道事業向けでは初めて、ドライ炭を用いた粉末活性炭注入設備の実用化に成功し、以来、本設備は全国各地に幅広く普及してきた。

しかし近年では、水源水質の悪化や、安心・安全で美味しい水に対する関心の高まりによって、活性炭注入量が増加、あるいは注入が常態化する傾向にあり、活性炭消費コストの増加が課題となっている。

一方、粉末活性炭(以下、原料炭)の微粉化により、臭気物質など

に対する吸着能力が向上する事例がすでに報告されており、微粉化活性炭(以下、微粉炭)の実処理への適用が期待されていた。しかし、微粉炭性能の安定性や浄水処理へ与える影響などの知見が不足しており、積極的に採用しようという流れには至っていない。よって活性炭メーカーの供給体制も既存の水道用原料炭(水道協会規格JWWA K113準拠品)の生産・販売にとどまっており、微粉炭の安定購入は難しいのが現状である。

そこで、月島機械では横浜市水道局殿と共同で、従来のドライ粉末炭注入設備をベースとした「乾式微粉炭注入設備」の実用化に向けた検証を行い製品化したので、以下にその設備概要、特長を紹介する。

2 設備概要

本設備は、従来のドライ粉末炭注入設備に「乾式微粉砕機能」を追加した設備であり、市販の水道用原料炭をオンサイトで微粉化処理するものである。微粉砕機は、高圧ジェットミルや気流式粉砕機、ビーズミルなどで実験を行った結果、微粉化粒度や消費エネルギーなどから最も効率的と判断される乾式ビーズミルを採用した。平均粒度D50で20~30 μ mの原料炭を、ワンプラスの微粉化処理で2~5 μ mの微粉炭へ加工することができる。微粉砕機の規模選定は、活性炭必要量と実験で得られた粉砕消費エネルギーなどから最適化を図ることができる。

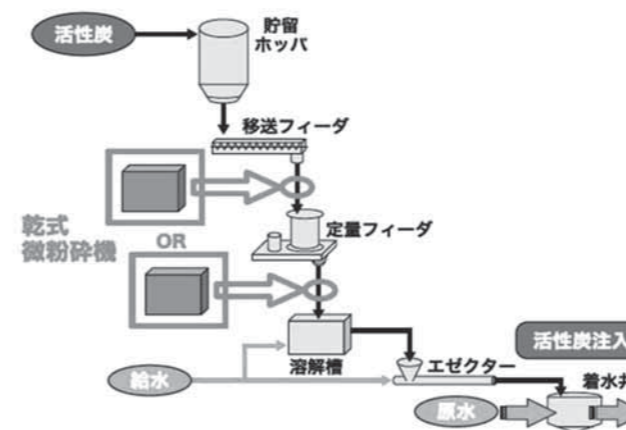


図1 設備フロー概要
Fig.1 Flow diagram of S-PAC injection equipment

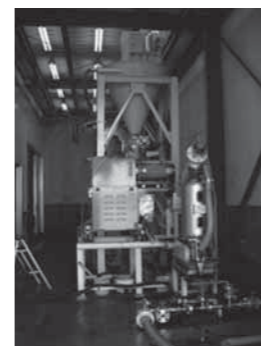


図2 実験プラント
Fig.2 Picture of experimental plant

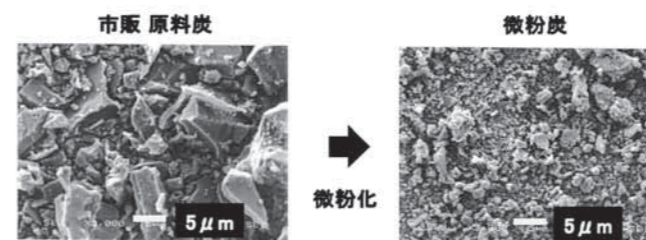


図3 原料炭・微粉炭 拡大写真
Fig.3 Pictures of PAC and S-PAC

3 特長

3.1 微粉化による整粒効果と微粉炭粒度の安定性

図4に微粉化前後の活性炭(原料炭と微粉炭)が有する粒度分布の測定事例を示す。本設備で得られる微粉炭は、原料炭に比べ非常にシャープな粒度分布を示し、微粉化による整粒効果が期待できる。また平均粒度D50に対する累積10%粒度(D10)・90%粒度(D90)の関係はそれぞれ良好な正の相関を示し、一定の比率を有するため、D50が小さくなるほどよりシャープな粒度分布を示す特性を持つ。

図5に今回採用した乾式微粉砕機の累積稼働時間と微粉化前後の活性炭(原料炭と微粉炭)の平均粒度D50との関係図を示す。採用した乾式微粉砕機は、連続2000~3000hrの稼働に対しても、主要な消耗パーツ交換を伴わずに5 μ m前後の微粉炭を安定して得ることができる。

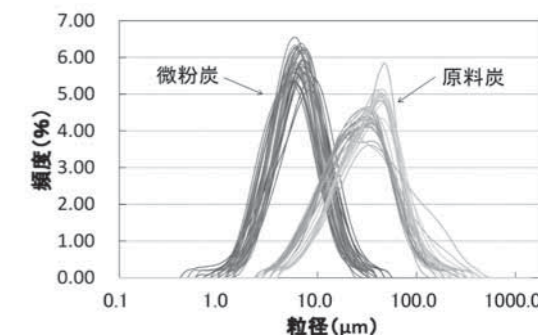


図4 原料炭・微粉炭 粒度分布 測定事例
Fig.4 Particle size distributions of PAC and S-PAC

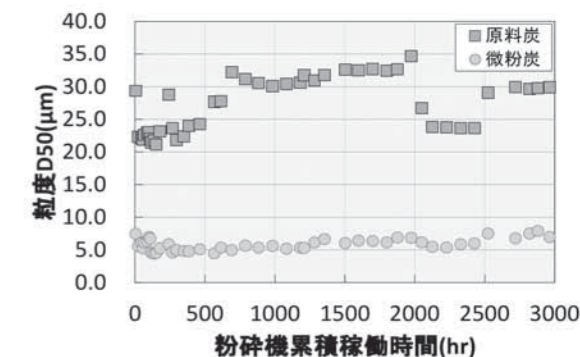


図5 粉砕機累積稼働時間と平均粒度D50
Fig.5 S-PAC D50 particle size based on pulveriser's accumulated operating time

3.2 吸着性能の増大と消費コストの削減

表1に原料炭と微粉炭が有する各種吸着性能指標の測定事例を示す。本指標は純水を溶媒として行われる試験である(ヨウ素吸着性能は除く)。本設備で得られる微粉炭は、ヨウ素吸着性能の様な吸着サイトに関わる物性が水道用原料炭とほぼ同等である一方、フェノール価やABS価といった吸着性能指標は向上効果が見られ、特に異臭味成分を対象とした2-MIB価については大幅な向上効果を示す。図6はメチレンブルーが示す色度に対する脱色性能の相違を表した写真である。

次に図7に原水をベースとしたときのジェオスミン、2-MIBに対する吸着除去率比(原料炭除去率に対する比率)と活性炭消費量比(原料炭消費量に対する比率)を示す。原水を対象とした場合も、同様に異臭味成分であるジェオスミンや2-MIBに対して、原料炭に比べ2~3倍高い除去率を發揮する。よって活性炭必要量(消費量)が半減するため、消費コストが50~60%削減されると共に、設備規模の縮小化が図れる。

表1 吸着性能指標 測定事例
Table1 Adsorption performance evaluation results for PAC and S-PAC

測定項目	単位	原料炭	微粉炭
ヨウ素吸着性能	mg/g	1150	1160
フェノール価 [※]	-	15	10 吸着性能 1.5倍
ABS価 [※]	-	49	25 吸着性能 2倍
MB脱色力	mL/g	160	220 吸着性能 1.5倍
2-MIB価 [※]	-	5	1 吸着性能 5倍

※は値が小さいほど吸着性能が高い



図6 メチレンブルー脱色後の写真(活性炭添加率:左から0.1%・0.05%・0.005%)
Fig.6 Pictures of methylene blue adsorbed on PAC and S-PAC
(Additive rates of activated carbon : 0.1%, 0.05%, 0.005% left to right)

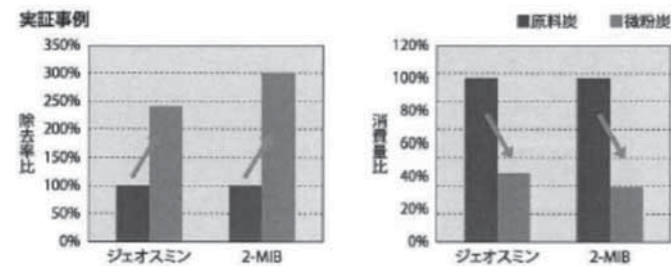


図7 除去率比・消費量比 測定事例(原水を対象)
Fig.7 Elimination efficiency of PAC and S-PAC and consumed amount of that in raw water

3.3 吸着性能の安定性

図8に原水をベースとした吸着性能試験結果を四季別に示す。浄水対象となる原水は、四季を通じてその水質、ひいては活性炭への吸着競合物質の組成・濃度が変動することが予測されるが、本設備で得られる微粉炭は、年間を通じて安定した除去率向上効果を發揮する。また初夏に検出されやすい農業類に対しても、原料炭に比べ除去性能が2倍程度向上する。

□ ブランク原水(ろ過原水) ▲ 原料炭5ppm処理水 ● 微粉炭5ppm処理水

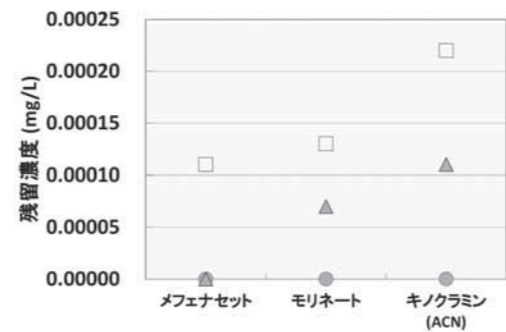
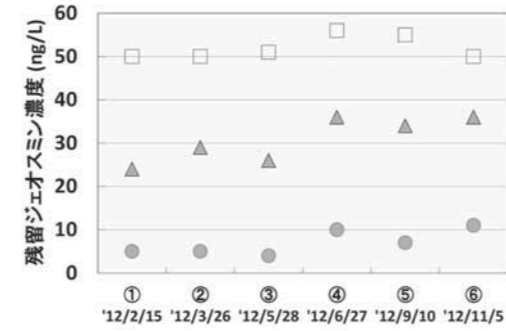
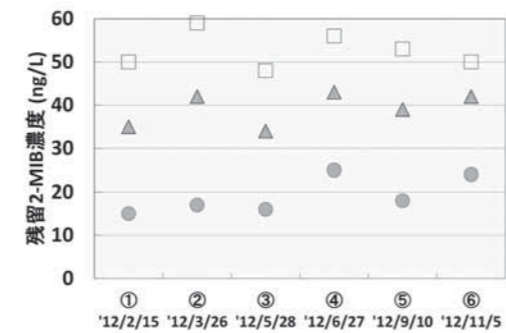


図8 四季別原水をベースとした吸着性能試験結果
Fig.8 Adsorption performance evaluation results for PAC and S-PAC in four seasons raw water

3.4 安定した浄水処理の確保

本設備で得られる微粉炭は、原料炭と比べ1/10~1/5の微細粒子となるため、浄水処理の最終工程である過池からの漏洩が一般的に最も懸念されるポイントである。表2に浄水場実施設を用いて行ったろ過池からの漏洩粒子数の比較結果を示す。凝集効率が下がる原水低温期において、浄水場実施設への注入試験を実施した結果、原料炭と同等の漏洩粒子数であることが確認された(注入率は原料炭と微粉炭の吸着性能差を考慮)。このため微粉炭を適用しても安定した浄水処理を行うことができる。

表2 浄水場実施設を用いたろ過池漏洩粒子数結果
Table2 Leakage evaluation results for PAC and S-PAC

	対照系(1系)	実験系(2系)
実験期間	12/6/1/21 10:00 ~ 1/22 10:00	
原水濁度(平均)	4度	
活性炭注入率	原料炭 3mg/L	3 μm微粉炭 1mg/L
前PAC注入率(平均)	29.0 mg/L	29.2 mg/L
後PAC注入率(平均)	3.44 mg/L	3.22 mg/L
沈殿処理水濁度(平均)	0.3 度	0.6 度
沈殿処理水pH(平均)	7.2	7.23
ろ過水濁度(最大)	0.00度	0.00度
ろ過漏洩粒子数(平均) [※]	1 個/mL(最大2個/mL)	2 個/mL(最大3個/mL)

※試験を実施した浄水場の管理上限値は20個以下

3.5 ハンドリングの安全性

原料炭と微粉炭の粉塵爆発性について、表3に爆発下限濃度試験結果、表4に爆発圧力・圧力上昇速度試験結果を示す。本設備は、微粉炭を粉末状のまま取り扱う。微粉炭は原料炭よりも微細な粒度を有するため、粉塵爆発性が懸念されるポイントであるが、静電気程度の着火エネルギーでは爆発性は無く(爆発下限濃度試験)、過大な着火エネルギーによる爆発が生じたとしても、その影響は原料炭と同じ程度である(爆発圧力・圧力上昇速度試験)。よって、従来のドライ粉末炭注入設備と同等な設備仕様で問題無い。

表3 爆発下限濃度試験^{※1}結果(着火エネルギー 10J)
Table3 Lower explosion limit test of PAC and S-PAC at 10J ignition energy

粉じん濃度	原料炭		微粉炭	
	結果・状態 ^{※2}	着火、爆発の有無	結果・状態 ^{※2}	着火、爆発の有無
100g/m ³	×	無	×	無
200g/m ³	×	無	×	無
300g/m ³	×	無	×	無
1000g/m ³	×	無	×	無
2000g/m ³	×××××	無	×××××	無

※1 JIS Z 8818:2002「可燃性粉じんの爆発下限濃度測定方法」準拠
※2 結果・状態表示(シンボルの数だけ試験を実施)
◎:爆発(上部ろ紙破損) ○:爆発(着火目盛り線を超える火災)
△:着火(底部で赤熱延焼) ×:爆発せず

表4 爆発圧力・圧力上昇速度試験[※]結果(着火エネルギー 10kJ)
Table4 Explosion pressure and pressure rise rate test of PAC and S-PAC at 10kJ ignition energy

項目	原料炭	微粉炭
最大圧力上昇速度	397 × 10 ² kPa/s	418 × 10 ² kPa/s
最大爆発指数(K _{st})	124 × 10 ² kPa·m/s	130 × 10 ² kPa·m/s
粉じん爆発クラス	St1	St1
最大爆発圧力(P _{max})	8.4 × 10 ² kPa	8.3 × 10 ² kPa

※ JIS Z 8817:2002「可燃性粉じんの爆発圧力及び圧力上昇速度の測定方法」準拠

爆発危険等級	K _{st} (×10 ² kPa·m·s ⁻¹)	爆発の激しさ
St0	0	(爆発せず)
St1	0 < K _{st} ≤ 200	弱
St2	200 < K _{st} ≤ 300	強
St3	300 < K _{st}	激

3.6 ハイブリッド注入方式

本設備は、微粉炭注入ラインと原料炭注入ラインを双方設け、個別制御することで同時注入が可能となる(活性炭種のハイブリッド注入)。平常時は微粉炭を、非常時には不足する必要量を原料炭で補うことが可能なため、微粉炭機能の過剰スペックを回避して規模の最適化が図れる。

さらに注入方式として、従来はいずれかの方式しか実現できなかったが、本設備では、活性炭スラリーの注入流量制御を行いつつ、同時にスラリー濃度を連続的に調整することが可能であり、この流量・濃度の同時制御により、注入率の制御幅を格段に広げることができる(注入制御方式のハイブリッド)。

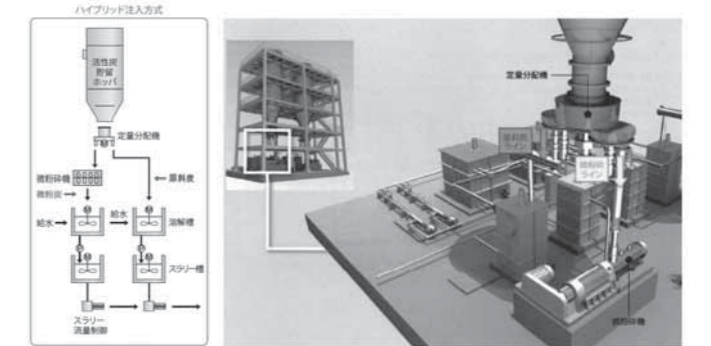


図9 ハイブリッド注入方式 設備フロー図
Fig.9 Flow diagram and image of Hybrid injection system of activated carbon

4 おわりに

本設備は、今年度(平成28年度)「馬入川系統活性炭注入設備更新工事」として1号機を受注することができた。本設備の導入が、ランニングコスト低減化の一助となれば幸いです。今後は更なる微粉炭粒度の低減化などブラッシュアップを重ね、お客様により満足いただける設備を提供していく所存である。

謝辞 本設備開発にあたり、横浜市水道局殿には多大なるご協力を賜りましたこと、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

製品紹介 (RotaCut、F450T)

Product introduction RotaCut F450T



正井 一生
MASAI Issei
月島テクノメンテサービス(株)
エンジニアリング本部
プラント技術部
プラント技術課

Abstract

Tsukishima Technology Maintenance Service Co., Ltd. (TTMS) proactively develops machinery to solve ongoing Operation and Maintenance (O&M) issues, as well as machine failures faced in water and wastewater treatment plants across Japan. This is done through deriving solutions from real-world O&M and repair works faced by TTMS itself. In this document, “RotaCut” – a grinder that provides solutions to clogging and twining of solids inside pumps, mixers and heat exchangers – will be introduced, as well as the “F450T” – an air-activated automatic strainer that removes screen fouling from suspended solids (SS) in reclaimed wastewater.

月島テクノメンテサービス株式会社では、全国の浄水場および下水処理場での運転管理業務ならびに補修工事を受注している強みを活かし、維持管理面での要望や不具合改善に適した装置開発に取り組んでいる。

本稿では、夾雑物によるポンプ、攪拌機、熱交換器等の閉塞や絡み付きを解消する自動刃圧調整機能付き破砕機「RotaCut」、下水再生水に含まれるSS類によるろ材の目詰まりを解消する空気作動式オートストレーナ「F450T」について紹介する。

キーワード：RotaCut, F450T, 維持管理負荷低減、運転管理付加価値、維持管理要望
Keyword：RotaCut, F450T, reduction in maintenance works, added values in O&M, client requirements in O&M

1 はじめに

近年、少子高齢化の進展や顧客の財政状況が厳しさを増すなかで、上下水道の維持管理において、その質を確保しつつ、コスト縮減して効率的かつ効果的な施設運用が求められている。月島テクノメンテサービス株式会社では、全国の浄水場や下水処理場での運転管理業務ならびに補修工事を受注している強みを活かし、維持管理面での要望や不具合改善に適した装置開発を行い、維持管理負荷の低減および運転管理の付加価値向上に取り組んでいる。

以下に、開発した製品「RotaCut」「F450T」について紹介する。

2 RotaCut (自動刃圧調整機能付き破砕機)

下水汚泥に混入する「毛髪」は、下水処理設備機器（ポンプ、攪拌機、熱交換器等）への絡み付きや閉塞等を誘発し、設備運用や維持管理に多大な負荷を与えている。そこで、「毛髪」の剪断に特化した「RotaCut」（図1-1）を導入し、その効果について以下に記す。

2.1 不具合原因と対策

絡み付きや閉塞した夾雑物の塊を分解すると、その多くが100mm以上の「毛髪」が複雑に絡み付いて成長したものであった。「毛髪」は、表面がうろこ状で細く、柔軟性に富み、鋭角部（バリ）や回転軸等に絡み付きやすい特性がある。また、長い「毛髪」になるほど、絡み付きや回転軸への巻き込みが促進し、夾雑物の塊が形成されやすくなる。そこで、長い「毛髪」を短く剪断することにより、これら不具合の抑制効果を検証した。

2.2 構造概要

「RotaCut」（図1-1）は、空気-油圧制御による自動刃圧調整機工（図1-2）により、本体内部に固定された高強度スクリーン（図1-3）に対し、刃を一定圧で押し続ける。刃は高強度スクリーンを押しつけながら200～300min⁻¹で回転し、高強度スクリーンを通過する流体内の「毛髪」を安定かつ確実に50mm以下に剪断する（図1-4）。なお、構造を簡素化することで、現地維持管理にて保守点検および消耗品の部品交換が容易な装置としている。

2.3 実地検証結果

2.3.1 A処理場 消化設備 汚泥循環ライン

A処理場では、消化汚泥循環ラインにある熱交換器（スパイラル式熱交換器）の閉塞により、1～2週間に1回の頻度で清掃を実施していた。そこで、「RotaCut」を消化汚泥循環ラインの熱交換器の上流側へ導入（2015年2月25日）した結果、熱交換器の閉塞が解消され、1年以上安定した運転を継続している（図1-5）。



図1-1 「RotaCut」RCQ-33 外観
Fig.1-1 External view of the 「RotaCut」RCQ-33

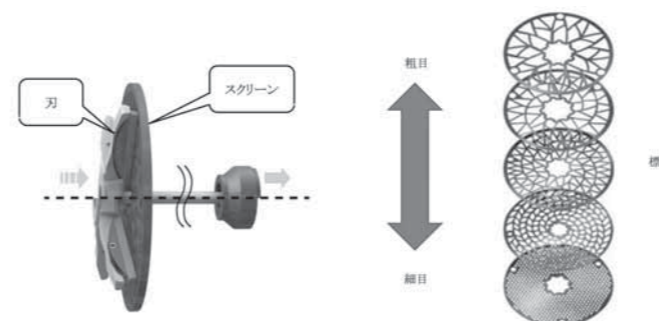


図1-2 自動刃圧調整機工
Fig.1-2 Automatic cutter blade pressure adjustment system

図1-3 高強度スクリーン ラインナップ
Fig.1-3 Line-up of high tensile screens

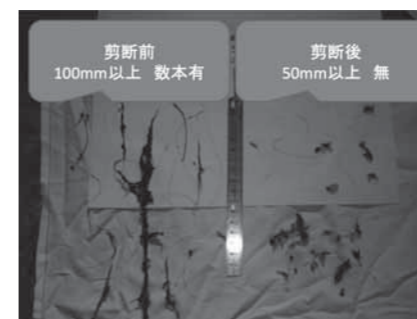


図1-4 剪断効果
Fig.1-4 Shearing performance

2.3.2 B処理場 脱水設備 汚泥供給ポンプ前段

B処理場では、脱水設備の汚泥供給ポンプと後段の凝集混和槽攪拌機への絡み付き（図1-6）により、1ヶ月に1回の頻度で清掃を実施していた。そこで、「RotaCut」を汚泥供給ポンプの上流側へ仮設置（2014年5月22日～7月16日）した結果、ポンプや攪拌機へのし絡み付きが解消され、検証期間（2ヶ月）中の点検・清掃は不要となった。また、凝集混和槽攪拌機への絡み付きも解消され、「毛髪」剪断の効果を確認した（図1-7）。

表1 A処理場「RotaCut」実験仕様
Table1 A processing ground 「RotaCut」 experiment specifications

型式	RC3000	流量	2.3m ³ /min
スクリーン	STANDARD (標準)	濃度	*TS 1.5%
動力	2.2kW×400V	汚泥種類	消化汚泥(中温消化)
回転速度	220min ⁻¹	刃圧	0.2MPa(入口汚泥圧0.12MPa)

* (Total Solid:全固形物)

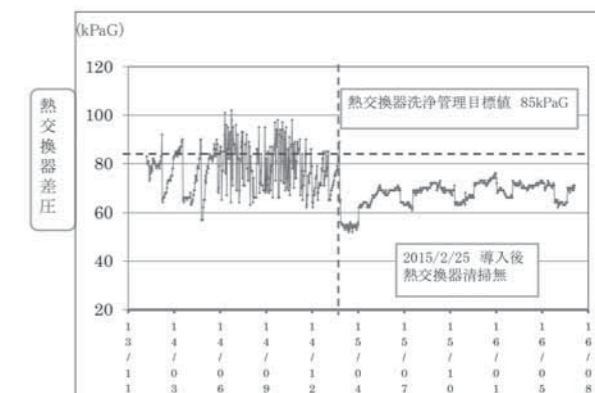


図1-5 導入効果
Fig.1-5 Improvement after augmentation

表2 B処理場「RotaCut」実験仕様
Table2 B processing ground 「RotaCut」 experiment specifications

型式	RC3000	流量	15m ³ /h
スクリーン	STANDARD (標準)	濃度	*TS 3~4%
動力	2.2kW×400V	汚泥種類	混合生汚泥
回転速度	220min ⁻¹	刃圧	0.28MPa(入口汚泥圧 0.2MPa)

* (Total Solid:全固形物)



図1-6 設置前(約1ヶ月)凝集混和槽
Fig.1-6 Month before augmentation - coagulation mixing tank



図1-7 設置2ヶ月後 凝集混和槽
Fig.1-7 2 Months after augmentation - coagulation mixing tank

2.4 今後の予定

「RotaCut」は、「毛髪」による不具合の改善性や簡易な維持管理性が評価され、採用が増加している(2016年8月現在 70台)。今後は、更なる付加価値向上に取り組むため、しきスクリーンの代替や夾雑物負荷が多いと予測される、ポンプ場や汚泥処理施設共同事業(MICS)等での検証を実施していく所存である。

3 F450T (空気作動式オートストレーナ)

下水再生水(砂ろ過水等)に含まれるSS(suspended Solid:浮遊溶解性物質)は、ストレーナの目詰まりや小口径の配管閉塞等の施設機能障害の要因となり、維持管理面での定期的な清掃・復旧の頻度を増加させている。そこで、ストレーナに目詰まるSS類を効果的に洗浄し、保守点検が容易かつ簡単に設置できる空気作動式オートストレーナ「F450T」を導入し、その効果について以下に記す。

3.1 不具合原因と対策

下水再生水に含まれるSS類により、ストレーナが閉塞する要因は、以下の通りである。①生物皮膜(図2-1)下水再生水に含まれる細菌は速い流速でも付着しやすく、ろ過面に付着後、増殖し、分泌する粘液に有機物や砂等の無機物が付着成長し、ストレーナが閉塞する。



図2-1 生物皮膜
Fig.2-1 Biofilm

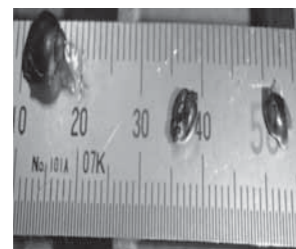


図2-2 サカマキガイ
Fig.2-2 Physella acuta

②ストレーナの間隙に後生生物 図2-2 サカマキガイ等が目詰まる。また、生物皮膜に後生生物類の卵等が付着し、孵化、成長してストレーナを閉塞させる。①②によるSS類は、常時スクリーンろ過面に圧入され続けることにより目詰まりが発生する。そこで、スクリーンろ過面に付着や閉塞するSS類を抑制するため、洗浄間隔を短縮かつろ過裏面より効果的に自洗させることによる、これら不具合の抑制効果を検証した。

3.2 構造概要

「F450T」(図2-3)はベルヌーイの定理を利用した空気作動式オートストレーナである。圧送された原液(0.1MPa以上)を装置内に固定した円筒スクリーンの内側から外側へ通過させることでろ過を行う。通常ろ過時は、円筒スクリーン下部ではろ過水の一部分が自己洗浄することで、捕捉したSS類が円筒スクリーン内部の上部側から閉塞する。上部側にSS類が堆積すると、下部に向かって断続的にSS類が堆積し圧力損失が増加する。設定された圧力損失値(1~10kPa)の超過、または設定洗浄時間で洗浄工程を開始する。なお、洗浄工程に空気作動方式を採用することにより、電源(100V)と圧縮空気(0.5MPa以上)にて「F450T」が導入できる。また、構造を簡素化することで部品点数を少なく、現地維持管理にて保守点検および部品交換が容易な装置としている。



図2-3 「F450T」外観
Fig.2-3 External view of the 「F450T」

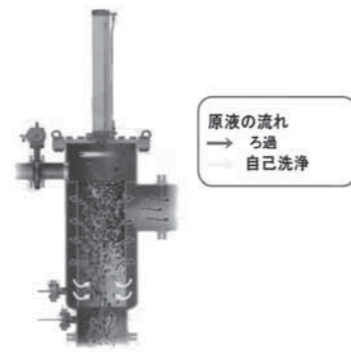


図2-4 通常ろ過運転時
Fig.2-4 Normal filtration process

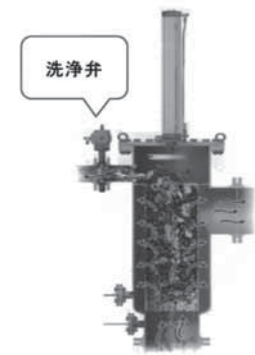


図2-5 洗浄工程 第1段階
Fig.2-5 Washing process, 1st Step

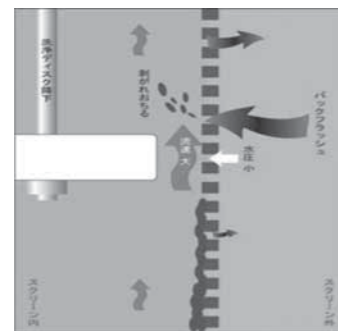


図2-6 バックフラッシュ イメージ
Fig.2-6 Backwashing image

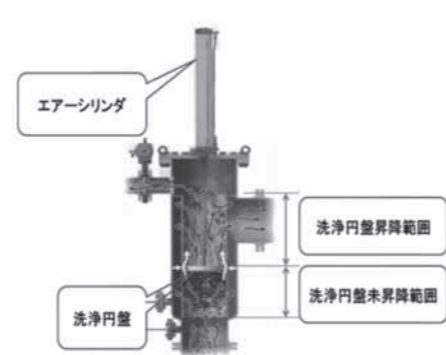


図2-7 洗浄工程 第2段階
Fig.2-7 Washing process, 2nd Step

3.3 洗浄工程

3.3.1 洗浄工程 第1段階(約5sec)

空気作動式洗浄弁が全開し、円筒スクリーン内部に堆積したSS類が、原液の一部と一緒に系外に排出される。この第1段階での主たる洗浄は、原液の圧力によって剥離する、比較的容易に洗浄が可能なSS類が主である。(図2-5)

3.3.2 洗浄工程 第2段階(約30sec)

エアシリンダ先端に付属する洗浄円盤が、円筒スクリーンと非接触の状態、円筒スクリーン内部を2/3の深さまで2回往復する。その際、洗浄円盤と円筒スクリーンの隙間部において、流体の流れが絞られ減圧状態が発生する(ベンチュリ効果)。それにより、円筒スクリーン外側から吸引効果によるバックフラッシュ(図2-6)が発生し逆洗浄を行う。この第2段階の洗浄では、第1段階で残存した円筒スクリーンに付着・閉塞したSS類の剥離・洗浄が主である。(図2-7)

3.4 実地検証結果

3.4.1 C処理場 炭化炉用砂ろ過水

C処理場では、炭化炉設備の冷却水および洗浄水として砂ろ過水を使用していたが、既存の砂ろ過水受入部のU型ストレーナ(80mesh)が生物皮膜やイトミズ類によって閉塞し、1日4~6回U型ストレーナの清掃や切り替えを実施していた。そこで、同等のろ過精度の「F450T」80meshで検証した結果、概ね30minに1回の自動洗浄によりスクリーンの閉塞に起因する流量低下が解消され(図2-8)、7ヶ月以上(2016年1月15日~)の自動運転を継続している。

3.4.2 D処理場 脱水機洗浄用砂ろ過水

D処理場では、ベルトプレス脱水機の洗浄水として砂ろ過水を使

表3 C処理場「F450T」実験仕様
Table3 C processing ground 「F450T」 experiment specifications

型式	F450T 100A	流量	42m³/h
スクリーン	80mesh	入口圧	0.15MPaG
動力	100V	流体	砂ろ過水 ミズ・SS
洗浄差圧	1.0kPaG	洗浄頻度	約30minに1回

表4 D処理場「F450T」実験仕様
Table4 D processing ground 「F450T」 experiment specifications

型式	F450T 65A	流量	30m³/h
スクリーン	60mesh	入口圧	0.3MPaG
動力	100V	流体	砂ろ過水 貝類・SS
洗浄差圧	5.0kPaG	洗浄頻度	約20minに1回

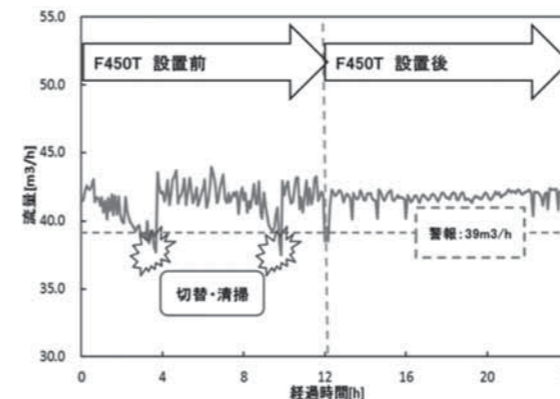


図2-8 導入効果
Fig.2-8 Improvement after augmentation

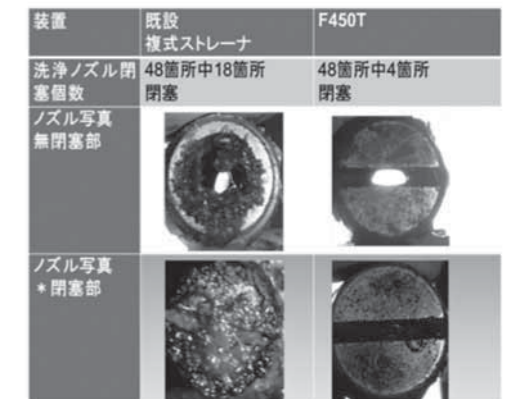


図2-9 導入効果
Fig.2-9 Improvement after augmentation

ミストエリミネーター「デミクロン」

“Demicron” mist eliminator



橋本 圭司
HASHIMOTO Keiji
大同ケミカルエンジニアリング(株)
エリミネーター事業部
設計部

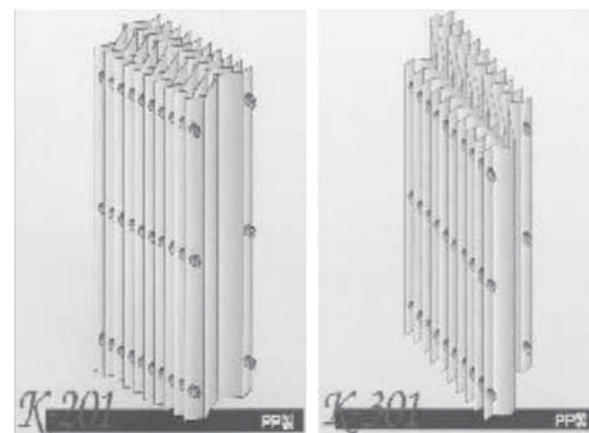


図1 ミストエリミネーター
Fig.1 The Mist Eliminator

Abstract

Daido Chemical Engineering Corp. has two departments: the plant division, which mainly sells acid recovery equipment, and the eliminator division, which mainly sells the mist eliminator.

The mist eliminator is an important product with a long track record. It has been installed in the flue gas desulfurization system at a Tsukishima Kikai 700MW-class power plant.

This report introduces the product outline.

大同ケミカルエンジニアリング株式会社では酸回収装置を主力とするプラント事業部とミストエリミネーターを主力とするエリミネーター事業部の2事業部がある。

ミストエリミネーターは、多数の実績を持ち、700MW級の発電所など月島機械の排煙脱硫設備にも適用されている製品である。

キーワード：ミストエリミネーター、排ガス、排煙脱硫
Keyword：Mist eliminator, exhaust gas, flue gas desulfurization

1 はじめに

公害防止技術の向上に加えて、環境保全、省資源化の要求が高まる中で、湿式排煙脱硫装置をはじめ各種排ガス処理装置におけるミスト分離は益々重視されている。

本製品は排ガスに含まれる14～30μmのミスト除去を目的としたもので、発電所や焼却炉、各種製造工場等で採用されている。

大同ケミカルエンジニアリングでは、ユーザーのあらゆる要望に答えるべく、エレメント形式を各種取り揃えている。

2 原理

本製品の原理は非常に単純で、図2に示すように排ガスに同伴されたミストがエレメントに衝突することで液滴化し、ガスより除去される。

エレメントはその流量や含まれるミスト量に合わせて、各種形状があり、複数のエレメントを組み合わせることで更に性能向上を図ることも可能である。

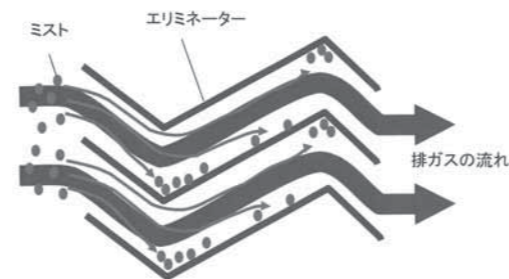


図2 ミストエリミネーターの原理
Fig.2 The principle of Mist Eliminator

3 ラインナップ

現行のラインナップは表1のとおりである。また、主力であるK-201およびK-301の詳細仕様を表2、表3に示した。

K-201は、標準型で圧力損失が小さく、目詰まりしにくいので、種々のガスに適應できる。圧力損失に制約がある場合やミスト量が著しく多い場合、単独あるいはK-170A、K-301型などと組み合わせる使用とする。

K-301は分離効率、再飛散限界流速が高い高性能タイプで、ダストが少ないガスに適用する。

尚、表1はポリプロピレン製のラインナップであり、同様の性能を持つステンレス製も製作している。ステンレス製はガス温度が高い場合などに使用する。さらに標準ラインナップではないがFRP製、チタン製も取り扱っている。

表1 ラインナップ
Table1 Lineup

名称	K-130A	K-170A	K-201	K-301
エレメント形状				
材質	PP	PP	PP (FR-PP)	PP (FR-PP)
用途	ミスト・ダストが多い (2列式前利用)	ミスト・ダストが多い (2列式前利用)	標準品 ダストを含むガス	高性能 ダストが少ないガス
ガス流れ方向	水平流	水平流・垂直流	水平流・垂直流	水平流・垂直流
再飛散限界流速			水平:8m/sec 垂直:4.3m/sec	水平:10m/sec 垂直:3.8m/sec

表2 K-201 詳細仕様
Table2 Specifications of K-201

	水平流	垂直流
最適通過流速	5～6 m/sec	2.5～3.8 m/sec
捕集粒子径	20～22 μm以上 99%	25～30 μm以上 99%
圧力損失	0.08～0.12 KPa	0.04～0.07 KPa

表3 K-301 詳細仕様
Table3 Specifications of K-301

	水平流	垂直流
最適通過流速	5～6.5 m/sec	2.3～3.3 m/sec
捕集粒子径	14 μm以上 99%	17～19 μm以上 99%
圧力損失	0.1～0.17 KPa	0.04～0.07 KPa

4 性能評価と改良

平成27年より大同ケミカルエンジニアリングと月島機械は共同で、ミストエリミネーターのシミュレーションや実証実験を継続的にを行い、装置改良に役立てている。

図3、図4は、種々条件における分離限界と分離効率をシミュレーションにて確認を行ったものの一例である。

シミュレーション結果と実機での分離効率の差異、再飛散限界速度の把握、多段での最適条件の把握などを目的に、図5実験装置にて確認を行った。結果、分離効率はほぼ一致した結果が得られ、また、再飛散限界の把握、多段での最適化などデータ収集を進めている。

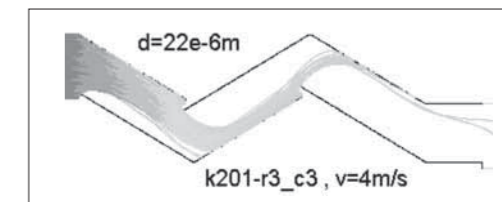


図3 K-201シミュレーション例
Fig.3 An example of K-201 simulation

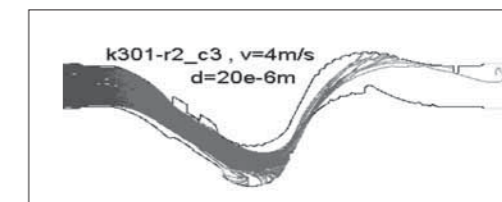


図4 K-301シミュレーション例
Fig.4 An example of K-301 simulation

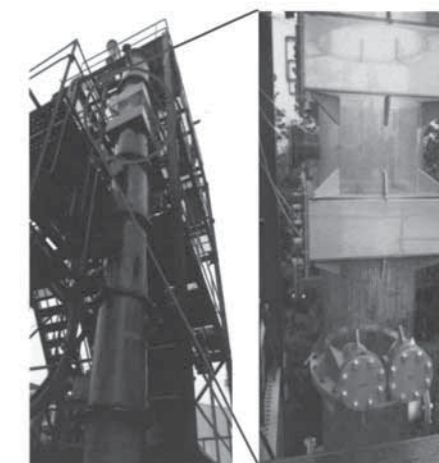


図5 研究所における実証試験
Fig.5 The Pilot test at Ichikawa R&D Center

5 おわりに

本製品は200件以上の実績を持つ、ベストセラーである。今後も改良を継続し、お客様に長く使っていただけるよう努力していきたい。

バキュームミキシングドライヤ

Vacuum Mixing Dryer



池田 智哉
IKEDA Tomoya
月島マシンセールス(株)
産業機械事業部
技術営業グループ
粉体チーム

1 はじめに

バキュームミキシングドライヤ(以下、V.M.D)は、1988年にドイツのMTI社(Mischtechnik International GmbH)より導入したユニバーサルミキサを応用した装置である。真空混合乾燥用途のミキサで、バッチでの乾燥機として使用される。1994年に1号機を販売してから2016年までに17台を納入した。製品水分がPPMオーダーの精密乾燥、製品温度を上昇させないで減圧下での乾燥などが得意分野となる。中でも2015年に納入したNi化合物の乾燥において、従来のMTIミキサの真空混合乾燥では考えられないような飛び抜けた乾燥能力を確認した。本稿ではV.M.Dの特徴とNi化合物の乾燥実績を紹介する。

2 特徴

①混合性が良い

図1にミキサ内部を示す。周速6~7m/secの低速で回転する2段の3枚羽根アジテータで構成される。下段の大アジテータが掻き上げを、上段の小アジテータが吸い込みを受け持ち、外側から内側への対流が生まれる。図2に断面図を示す。製品温度を上げずにやさしく混ぜることをコンセプトに攪拌し、本体容器外周に設けたジャケット伝熱面へ処理物の接触を更新する。

②乾燥能力が高い

高い混合性能により伝熱面からの熱伝達効率が良い。減圧下で乾燥が行われるため、沸点と熱源の大きな Δt により乾燥能力が高い。

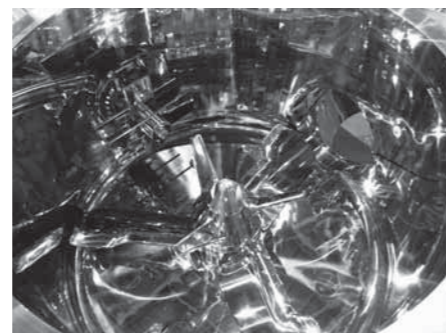


図1 ミキサ内部
Fig.1 Inner view of mixer

③分散性が良い

1,500~3,600rpmの高速で回転するチョップパによるせん断作用が、処理物質を凝集解砕し短時間で分散する。分散することで伝熱面に当たる確率が高い。

3 概略フロー

図3に概略フローを示す。V.M.Dは、多目的タイプの真空混合乾燥機である。容器外周にジャケットを設け、温水、蒸気、熱媒等を通し、容器内を減圧することにより、乾燥、低温乾燥、溶剤回収、熱処理、殺菌などの操作ができる。

4 Ni化合物乾燥事例

従来のMTIミキサの実績では、乾燥能力として5~15kg/h・m²である。25L機でNi化合物の乾燥実験を行った結果、恒率乾燥中に真空度を-80kPa(G)に維持することで、最大105kg/h・m²の乾燥能力を確認した(実験時の真空ポンプ仕様は5.5kW、3.7m³/min)。実験時の結果を図4に示す。これは、従来の約7倍の乾燥能力となる。実験の結果より、実機の100L機では、約3倍の真空ポンプを採用し、無事に顧客の要求を満たした(実機の真空ポンプ仕様は

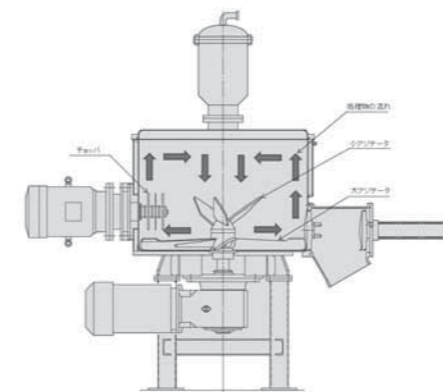


図2 断面図
Fig.2 Sectional drawing

18.5kW、11.8m³/min)。顧客より「このV.M.Dでしか乾燥ができない」と高い評価を得ている。乾燥能力が大きくなった主な要因は、以下が考えられる。

- ・壁面付着を掻き落とす、スクレーパによる伝熱面の更新。図5にスクレーパを示す。
- ・熱源140°Cによる大きい Δt (-80kPa(G)の水の沸点は60°C： $\Delta t=80^\circ\text{C}$)。
- ・周速6m/secの混合性の良さ。
- ・乾燥物Ni化合物の熱伝導率の良さ。
- ・処理物が小粒径なため伝熱面に当たる確率が高くなった。

5 おわりに

本稿で紹介したV.M.Dは、その高い能力をNi化合物の真空混合乾燥にて確認した。この事例において、MTIミキサでは考えられないような乾燥能力を実証した。混合性と乾燥能力に優れ、減圧下での乾燥が得意なV.M.Dは、今回得た知見に基づき、今後需要が伸びると予想される電池材料や電子材料、また、製品温度を上げると溶けるなど、粉の性状が変化してしまうような食品関係や樹脂関係へ積極的に拡販していきたいと考えている。

Abstract

The vacuum mixing dryer (VMD) is a device developed based on a universal mixer introduced from Mischtechnik International GmbH in Germany in 1988. The VMD is a mixer designed for vacuum mixing and drying and is used as a batch dryer. We sold our first unit in 1994 and have delivered 17 units by 2016. They are best suited for applications such as thorough drying of products to several ppm of moisture, and drying under reduced pressure without raising the product temperature. Among the units we delivered, one in 2015, used for drying nickel compounds, demonstrated outstanding drying capabilities that had never been achieved by vacuum mixing and drying with conventional MTI mixers. This article introduces the features of the VMD and its performance in drying nickel compounds.

バキュームミキシングドライヤ(以下、V.M.D)は、1988年にドイツのMTI社(Mischtechnik International GmbH)より導入したユニバーサルミキサを応用した装置である。真空混合乾燥用途のミキサで、バッチでの乾燥機として使用される。1994年に1号機を販売してから2016年までに17台を納入した。製品水分がPPMオーダーの精密乾燥、製品温度を上昇させないで減圧下での乾燥などが得意分野となる。中でも2015年に納入したNi化合物の乾燥において、従来のMTIミキサの真空混合乾燥では考えられないような飛び抜けた乾燥能力を確認した。本稿ではV.M.Dの特徴とNi化合物の乾燥実績を紹介する。

キーワード：MTI、ミキサー、混合、乾燥、真空乾燥
Keyword：MTI, Mixer, Mixing, Drying, Vacuum drying

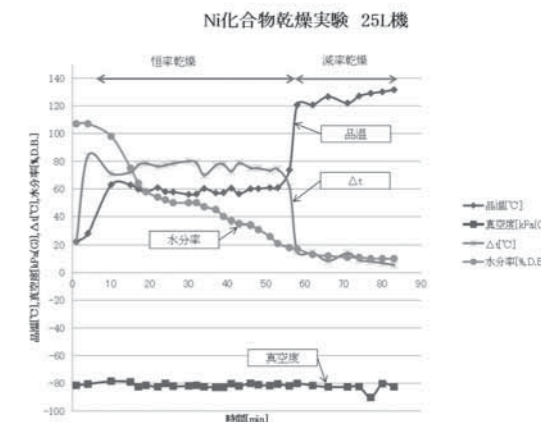


図4 Ni化合物実験グラフ
Fig.4 Test graph of Ni-Compound

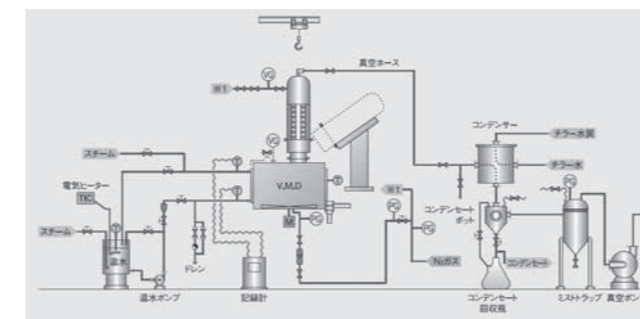


図3 概略フロー
Fig.3 Outline flow

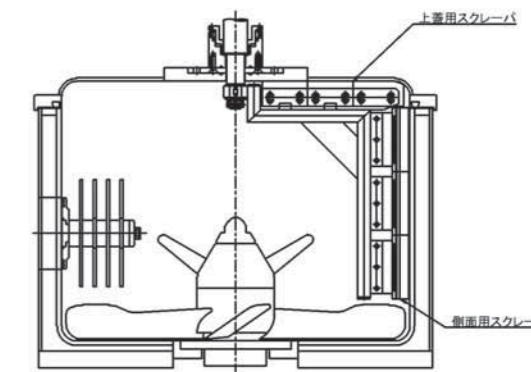


図5 スクレーパ
Fig.5 Scraper

「水素製造実証共同研究」における 消化ガス精製工程への「BMB アブソーバー」 の適用について

*The application of the “BMB absorber” to the digestion gas
refinement process in “Collaborative research for demonstration of
hydrogen production”.*



久保 大樹
KUBO Daiki
月島環境エンジニアリング(株)
技術 本部
第一技術部
研究実験グループ

Abstract

The BMB absorber is applied BMB Tower technology developed by Tsukishima Kankyo Engineering Ltd., and is used in digestion gas refinement. In the BMB absorber, digestion gas (CH₄) can be purified because CO₂ in digestion gas from sewage treatment plants is effectively absorbed by water.

The BMB Tower's feature is that it is equipped with a structure to prevent back-mixing of gas inside the tower. Gas-liquid contact is possible in an efficient manner without back-mixing of the gas by the internal structure, even with very high L/G(liquid-to-gas ratio). It is thus possible for the tower to be more compact than conventional packed towers.

Digestion gas refinement in hydrogen production is going to be demonstrated using this BMB absorber. This report thus introduces the outline of this BMB absorber.

BMB アブソーバーとは、月島環境エンジニアリングが開発したBMBタワーの技術をベースとして、消化ガスの精製に利用したものである。このBMBアブソーバーでは、下水処理場から発生する消化ガス中のCO₂を効率的に水吸収することにより、消化ガス(CH₄)の精製を行うことができる。

ここで使用されるBMBタワーの特徴としては、塔内部にガスの逆混合を防止する機構を備えていることである。この逆混合防止機構により、L/Gの非常に大きな操作においてもガスが逆混合することなく、効率良く気液接触することが可能となり、その結果として従来の充填塔より装置をコンパクトにすることが可能となる。

このBMBアブソーバーを利用して、水素製造における消化ガスの精製を実証することになったので、本稿でBMBアブソーバーの概要について紹介する。

キーワード：消化ガス、CH₄、CO₂、吸収
Keyword：Digestion gas, Methane, Carbon dioxide, Absorber

1 はじめに

バイオマスエネルギーは「京都議定書」上、CO₂を排出しないもの(カーボンニュートラル)として扱われており、地球温暖化対策に有効であるほか、石油依存度低減の観点から、その導入は重要な課題とされている。

そのバイオマスエネルギーの一つとして、下水汚泥処理の過程で発生する消化ガスの有効利用が注目されている。

消化ガスは約60%のCH₄と約40%のCO₂を主成分とする可燃性ガスであるため、燃料として利用可能であり、ボイラーや消化ガス発電の燃料、污泥焼却炉の補助燃料などに利用されているケースもあるが、利用されていない余剰消化ガスも少なくない。この消化ガス中に含まれるCH₄はCO₂の25倍もの温室効果を持つため、そのまま大気へ放出することは環境上好ましいものではなく、通常焼却処分されている。

そこで、消化ガスの有効利用として、月島機械は埼玉県と「下水処理場から発生する消化ガスからの水素製造」における共同研究(以下、本共同研究)を実施することとなり、その水素製造プロセスの一部の消化ガス精製工程において、月島環境エンジニアリングのBMBアブソーバーを適用することとなった。図1に本共同研究における概略フローを示す。

2 BMB アブソーバーにおける消化ガスの精製

BMB アブソーバー (Bamboo アブソーバー)とは消化ガス中のCH₄とCO₂の分離を効率的に行うために、月島環境エンジニアリングが開発したガスの逆混合防止機構を有するBMBタワーを利用したものである。以下にBMBタワーの説明とともにBMBアブソーバーについて記載する。

2.1 BMBタワーの特徴

蒸留や吸収、放散に使用される気液接触装置において、充填塔や棚段塔のガスおよび液の条件は、塔の構造的な特性により大きく変わるが、図2に示した操作範囲で行われることが多い。

気液接触装置が吸収操作に使用される場合、液/ガス比(L/G)は平衡からの乖離を考慮して $m/(L_M/G_M) = 0.5 \sim 1.0$ の範囲で決められることが多い。従って、取り扱う物質が水に溶解しにくく、ヘンリー定数mが大きい場合、液量に対してガス量が非常に小さい状態となる。例えば、ヘンリー定数が1000以上のような場合、ガス量は液量の1/1200 [mol/mol] 以下になる。このとき、液とガスを向流接触させると、塔内では流下液流れによる上昇ガスの同伴が起きる。流れ方向でガスが混合される結果、ガス側濃度の均一化が起こり、向流接触の効果が激減してしまう。

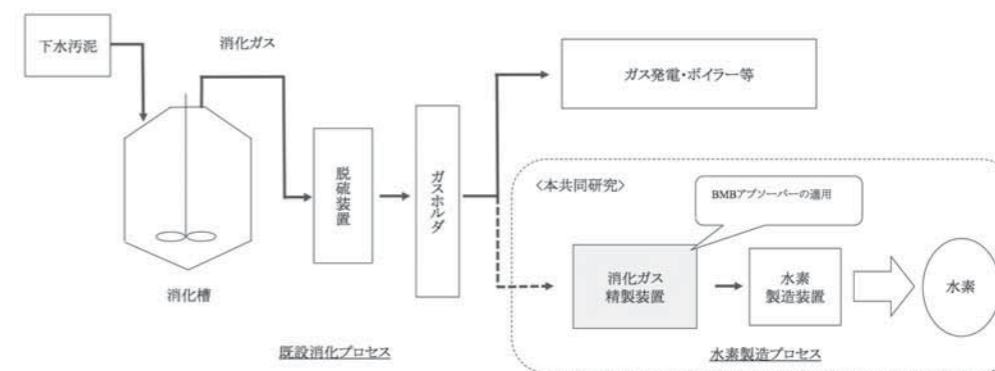


図1 下水処理場から発生する消化ガスの水素製造における概略フローシート
Fig.1 General flow sheet of hydrogen production from digestion gas of sewage treatment plant

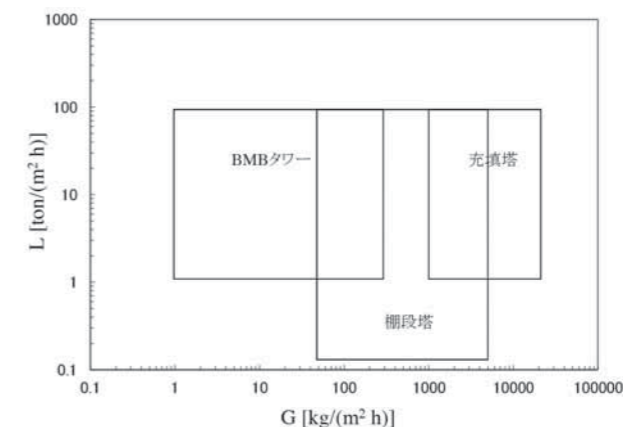


図2 充填塔および棚段塔操作範囲
Fig.2 Range of operation (Packed Tower, Tray Tower)

そこで、mが非常に大きい、つまりL/Gが非常に大きな処理時には、ガスの逆混合を防止することが有効であると考え、この問題を解決するために、ガスの逆混合防止板を複数挿入したBMBタワーを開発した。

2.2 BMB アブソーバーへの適用

消化ガスはCO₂を多く含有するため発熱量が低い。そのため、消化ガス中からCO₂を分離することができれば、消化ガスのカロリーアップにつながる。消化ガス中からCO₂を分離する方法としては、吸収法が有効であるが、通常の充填塔方式である吸収塔を使用し、水を吸収液とするとCO₂の特性からL/Gを大きくする操作条件が必要となる。この操作条件では流下する吸収液に上昇ガス(消化ガス)が同伴してしまい、塔内でガスの逆混合が起きてしまう。そこで、先に挙げたBMBタワーをBMB アブソーバーとして適用し、横浜市で試験を行った。¹⁾

図3に上記条件での吸収法における充填塔とBMB アブソーバーの概念図を示す。

2.3 処理システム

BMB アブソーバーを適用した消化ガス精製装置の概略フローを図4に示す。

吸収塔およびフラッシュ塔は前述したガスの逆混合防止機構を有するBMBタワーであり、塔径200A、充填物はテラレット®S-0、脱気塔は塔径200Aの充填塔で、充填物はランヒスパーリング(ランヒ社製) #0.5である。

消化ガスと水を吸収塔内に供給し、0.8MPaG下で向流接触させ、CO₂を水に吸収させることにより、CH₄濃度を上昇させる。CO₂が溶け込んだ水は吸収塔より低い圧力で維持されているフラッシュ塔(0.2MPaG)へ送られ、溶存ガス(CH₄およびCO₂の一部)を放出させる。水はさらに大気圧の脱気塔に送られ、溶存ガス(CO₂)を放出させた後に排出させる。

2.4 試験条件および結果

試験条件および結果を表1に示す。

表1に示す条件に対し、精製ガス中のCO₂濃度は1%以下、すなわちCH₄濃度を99%以上、濃縮(精製)できることが確認された。そのため、試験条件におけるL/Gは適当であったと考えられる。

また、従来技術との比較のため、K_La(液相基準の総括物質移動係数と比表面積aの積。このK_Laが大きいほど高効率といえる。)を表2に示す。表2中の従来型充填塔のK_Laは一般的な充填塔を使用して消

化ガスの精製を行った例²⁾である。

表2におけるK_Laの比較から、BMB アブソーバーではガスの逆混合防止効果が大きく働いたと考えられ、従来型の充填塔に比べて装置をコンパクトにできることが確認された。

3 本共同研究におけるBMB アブソーバーの適用

本共同研究においてBMB アブソーバーを適用した消化ガス精製装置の概略フローを図5に示す。また、消化ガス精製装置の写真を図6に示す。

吸収塔、フラッシュ塔、脱気塔の機器仕様は2.3項と同様であるが、本共同研究では下記の目的のため操作条件を見直し、フローの変更を行っている。

- ・精製ガスのCH₄濃度を常時98%以上とするため、供給水温度を14～16℃に調整する。
- ・精製ガスの吐出圧力を0.89MPaGとするため、操作圧力を0.89～0.9MPaGとする。
- ・消化ガス中のCH₄の回収率を99%以上とするため、フラッシュ塔にて放散させた溶存ガスを吸収塔へ戻す。
- ・吸収液として水を循環使用するため、脱気塔にて真空ポンプによる減圧操作を行い、脱炭酸を実施する。

4 今後の展望

本共同研究は2016年9月上旬から試運転が始まる予定である。使用時にCO₂を排出しないクリーンなエネルギーである水素は、燃料電池自動車や家庭用燃料電池等さまざまな社会展開が行われている一方で、天然ガスや石油等化石燃料から製造する水素では、CO₂排出抑制効果が小さくなることが課題の一つとしてあげられる。

しかしながら、消化ガスから製造される燃料は下水汚泥を原料とするバイオマスエネルギーであり、カーボンフリーな水素となることから、本共同研究を通じて、BMB アブソーバーのシステムをさらに確立するとともに地球温暖化対策の一つとして寄与したいと考えている。

<記号>

- L : 液の空塔質量速度 [kg/m²h]
- G : ガスの空塔質量速度 [kg/m²h]
- m : ヘンリー定数 [—]
- L_M : 液の空塔モル速度 [kmol/m²h]
- G_M : ガスの空塔モル速度 [kmol/m²h]

参考文献

- 1) 横浜市環境科学研究所、月島機械株式会社：公募型共同研究「消化ガスの高品質化と高濃度CO₂の有効利用の研究」報告書(2006)
- 2) 長部恵介：長岡市における消化ガスの精製による都市ガス原料化について、下水道協会誌、第37巻、第447号、pp. 13-20 (2000)

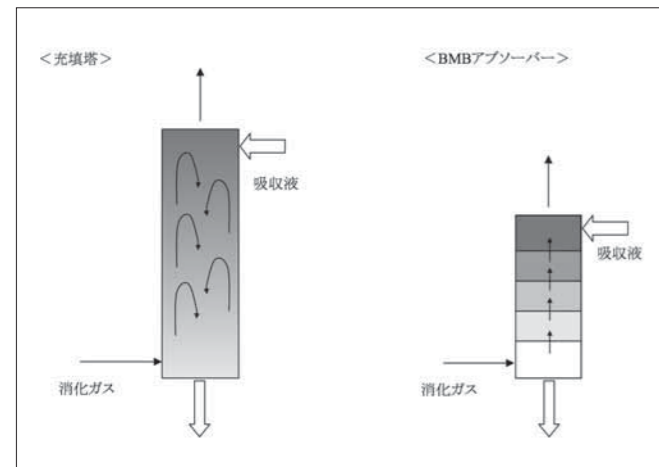


図3 充填塔とBMB アブソーバーの概念図
Fig.3 Conceptual diagram of Packed Tower and BMB Absorber

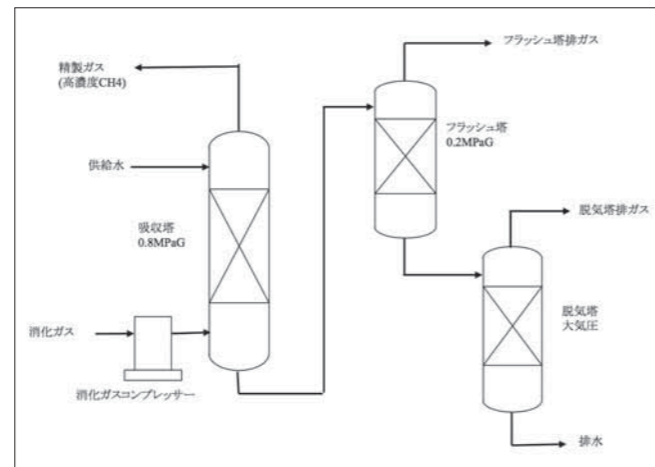


図4 消化ガス精製装置フローシート
Fig.4 Flow sheet of digestion gas refinement system

表1 試験条件および結果
Table1 Experiment condition and result

	供給水		消化ガス 流量 Nm ³ /(m ³ h)	消化ガス		試験結果 精製ガス	
	流量 m ³ /(m ³ h)	温度 ℃		CH ₄ 濃度 vol%	CO ₂ 濃度 vol%	CH ₄ 濃度 vol%	CO ₂ 濃度 vol%
	Run1	30	17	159	63.5	36.5	99.9
Run2	50	21	271	63.7	36.3	99.3	0.7

(精製ガス:CH₄+CO₂=100%として。)

表2 従来型充填塔とBMB アブソーバーとの比較
Table2 Comparison of conventional packed tower and BMB absorber

	従来型充填塔	BMBアブソーバー
K _L a [L/h]	10~30	70~95

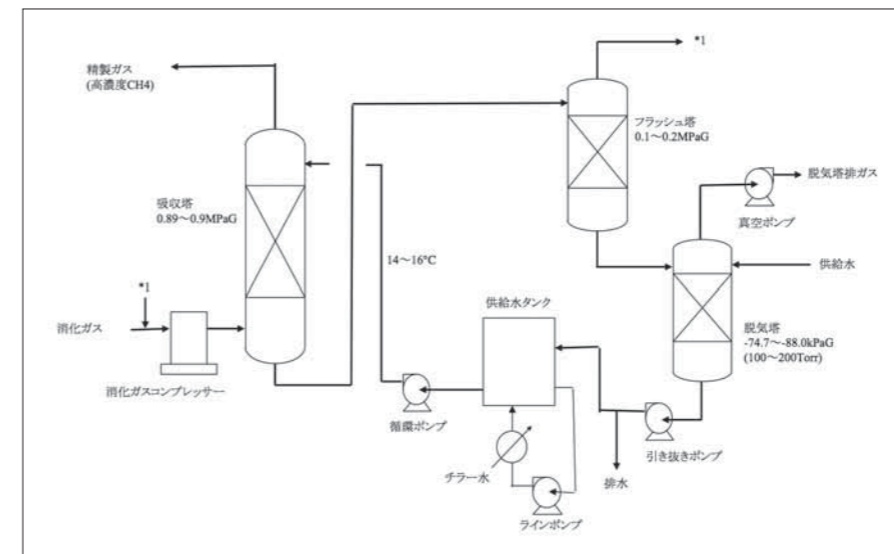


図5 消化ガス精製装置フローシート(水循環システム)
Fig.5 Flow sheet of digestion gas refinement system for water circulation system



図6 消化ガス精製装置
Fig.6 Digestion gas refinement system

「フロキュア[®]（浮上型チェーンフライト式）汚泥かき寄せ機」が

第42回優秀環境装置表彰で 日本産業機械工業会会長賞を受賞

谷口 智彦 水環境事業本部 ソリューション技術部 下水グループ

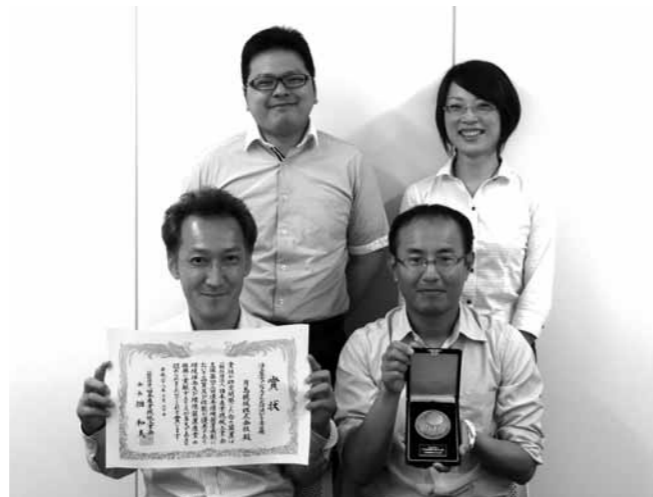


月島機械の新技术/新商品であるフロキュア[®]（浮上型チェーンフライト式汚泥かき寄せ機）が、第42回優秀環境装置表彰で日本産業機械工業会会長賞を受賞しましたので、この場を借りて受賞の報告と装置の紹介をさせていただきます。

優 秀環境装置表彰は、1974年度より経済産業省（当時：通商産業省）の後援を得て、一般社団法人日本産業機械工業会が主催している表彰事業です。環境保全技術の研究・開発および優秀な環境装置の普及の促進を図ることを目的として実施しており、今回で42回を迎えました。

平成28年6月20日に表彰式が行われ、月島機械の浮上型チェーンフライト式汚泥かき寄せ機は、その独創性、性能、経済性、将来性等の観点から高く評価されたものです。

本装置は、下水処理場の最初沈殿池および最終沈殿池で使用する汚泥かき寄せ機で、フライトにつけたフロートの浮力でチェーンの緊張を行うユニークな構造をしており、従来機よりもメンテナンス性や耐震性を向上させたものです。先の平成28年熊本地震では、多くのチェーンフライト式汚泥かき寄せ機が地震の影響で運転不能となっており、今後、耐震性の高い本装置を採用することで、処理場の耐震化に貢献することができます。



特徴

メンテナンス性の向上

従来機では、チェーンの伸びが生じると張力が低下してチェーンの脱輪が生じやすくなるため、定期的に沈殿池の水を抜いてチェーンの張り調整が必要でした。本装置は、浮力で本体チェーンを緊張しており、チェーンが伸びても初期張力の低下が従来機よりも小さいため、チェーンの調整頻度が少なく維持管理性が向上しています。

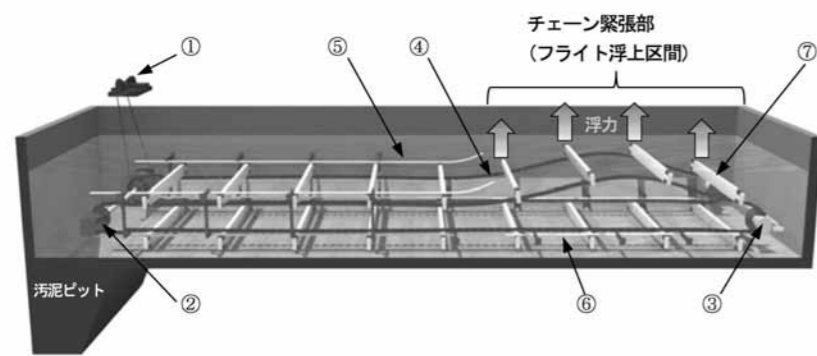
高い耐震性

従来の4軸の汚泥かき寄せ機は、水面付近をフライトが走行するため、大地震時にはスロッシング（水面の揺れ）によりフライトの脱落やチェーンの脱輪が多く見られました。本装置では、水面付近にフライトおよびチェーンがないためスロッシングの影響を受けにくく、耐震性が向上しています。

施工性の向上

従来機では、フライトが池底上を走行するため池底にフライト走行用のレールが必要でした。本装置では、浮力を持ったフライトは下部レールで押さえられながら池底からわずかに浮上して走行するため、池底レールが不要となります。このため、従来機から本装置への更新時にも、既設池底レールを撤去・更新する必要がなく、池底のコンクリート工事が不要となり工期短縮が可能となります。

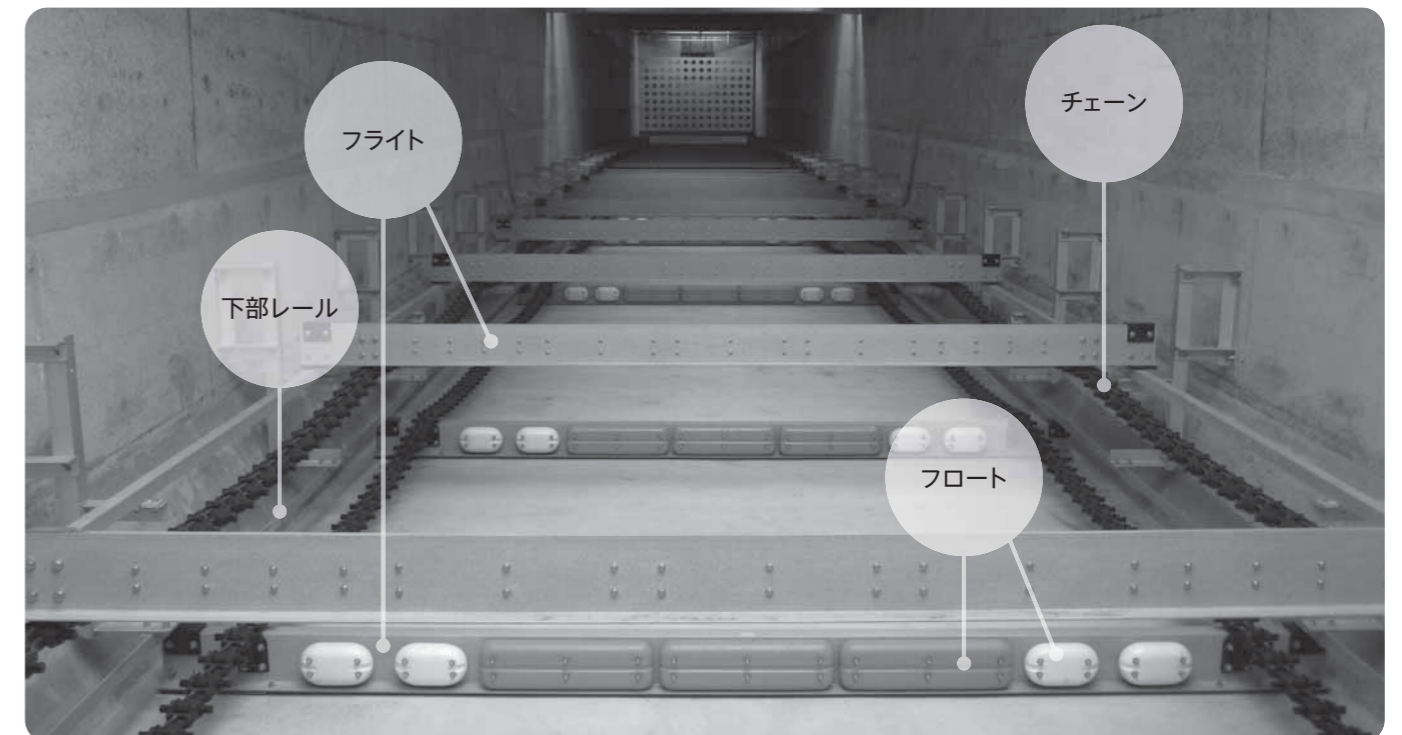
装置の概要



①駆動装置 ②駆動軸 ③従動軸 ④チェーン ⑤上部レール ⑥下部レール ⑦フライト
図1 浮上型チェーンフライト式汚泥かき寄せ機構造図

本装置は、チェーンに取り付けられたフライトにより、池底にたまった汚泥を連続的にピット方向にかき寄せています。かき寄せ側のフライトは、池底付近に設置された下部レールの下面に接しながら池底からわずかに浮上して走行します。リターン側は、上部レールのある区間と無い区間があり、レールの無い区間でフライトが浮力により浮上することでチェーンを緊張させる構造になっています。

(特許 第5743527号)



セルロースの話

セルロースは古くから様々な用途に使われてきました。今回は、私たちの生活に深く浸透している素材セルロースについて記述します。

1 セルロースとは

1 セルロース資源

セルロースは植物に50~70%含まれる主成分です。地球上で最も多いバイオマス(化石資源を除く生物由来の有機性資源)であり、毎年約2000億トンが光合成によって太陽光と水と二酸化炭素からつくられます。植物で合成されるものがほとんどですが、ホヤや一部の微生物もセルロースをつくります。ナタデココは酢酸菌という微生物がつくるセルロースです。ちなみにホヤの食用部分は主に筋肉で、外側の分厚い皮が主にセルロースでできています。

2 セルロースの構造

セルロースは1000~10000個のグルコース(ブドウ糖)が鎖状につながった高分子です。鎖どうしは束になり、さらに束どうしが結びつきシート状になっています。また、セルロースには結晶領域と非晶領域があり、結晶性セルロースは分子内と分子間の水素結合(正電荷を持つ部分と負電荷を持つ部分の間に発生する静電気による引力)によって強固な構造をしています。このためセルロースは熱的にも化学的にも安定化し、耐久性のある材料が構成されます。デンプンもセルロースと同じく植物がつく

る高分子で、グルコースから構成されますが、両者はグルコースどうしの結合の仕方が異なります(図1)。デンプンはグルコースが同じ方向で連なった結合(α-グリコシド結合)であるのに対し、セルロースは一つおきに向きが反転する結合(β-グリコシド結合)をとっています。ちなみにナタデココは、99%の水分を含むゲルの中でセルロース繊維が微細な網目構造をしているため、独特の食感が生まれます。

3 セルロースの分解

強固な構造を持つセルロースですが、薬剤(酸、アルカリなど)や酵素を加え所定の条件にすると分解します。自然界では微生物が分泌する酵素セルラーゼによってグルコースに分解され、生物の栄養源となります。一方、人間は消化酵素にセルラーゼが含まれないため、セルロースを消化できません。近年は「食物繊維入り」と書かれた食品をよく見かけますが、野菜や果物に含まれる食物繊維は主にセルロースです。消化されないため直接栄養になりませんが、腸に適度の刺激を与え、その動きを活発にする効果があります。なお、人間と違って牛や羊などの反芻動物はセルロースを消化できますが、胃にセルラーゼを出す微生物が息しているからです。シロアリも体内にセルラーゼを出す微生物がいるため、木材を消化できます。ちなみに数年前、マリアナ海溝の深度約10000mの海底に生息するエビ(握り寿司そっくりです!)がセルラーゼなどの酵素を持っていることが分かり話題になりました。深海に落ちてきた流木などの植物片を食べていると推測されています。

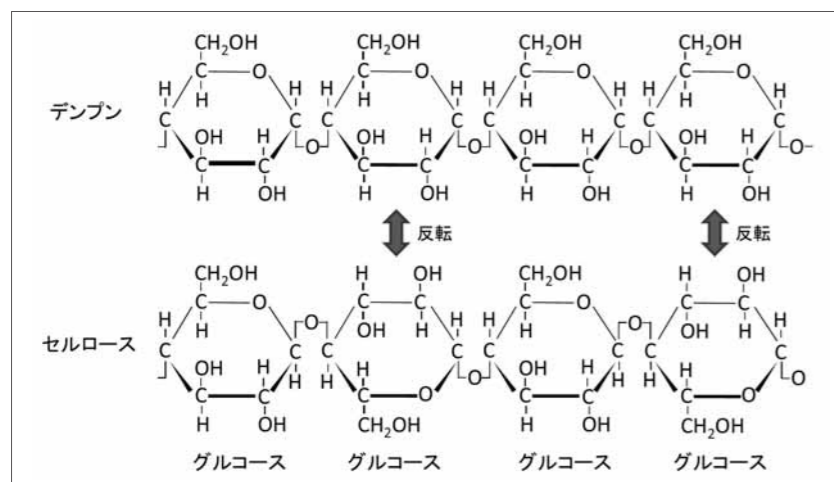


図1 セルロースとデンプンの模式図



2 セルロースの利用

人類によるセルロース利用の起源は、7000~8000年前にメキシコやインダス文明で始まった綿の栽培とされています。

1 構造材

現存する世界最古の木造建築といわれる法隆寺は約1300年前につくられましたが、今なお端正な姿を保っています。代表的な建材であるヒノキの例では、セルロースの繊維方向の強度は1000年を経ても大きくは変化しないとのこと。火災や生物による劣化をまぬがれれば、木造建築は非常に長い年月その形を保ち続けるのです。近年ではCLTと呼ばれる集成材を使った木造の高層建築がヨーロッパを中心に広まりつつあります。

2 紙

起源はエジプトで約5000年前に始まったパピルス繊維(paperの語源とされています)のシートと言われています。現在の紙の原型は、後漢の蔡倫が100年頃に発明したとされています。当時の製紙原料には麻、木綿、樹皮などが使われていました。近代的製紙は、1840年にドイツのKeller(ケラー)が、木材をすりつぶして繊維状物(メカニカルパルプ)を得る技術を開発したことで始まりました。以後、ソーダパルプ、サルファイトパルプ、クラフトパルプなど様々な製法が生まれ、それぞれで多くの改良が加えられ今日に至っています。ちなみに私たちが使っている紙は、マイクロメートルオーダーの繊維を抄き上げたものです。これを乾燥すると紙の内部に空隙が残り、その隙間が光を乱反射するため白色に見えています。しかしナノメートルオーダーまで抄き上げて乾燥すると、繊維同士が密着して光を乱反射する隙間がなくなるため、透明な紙になるそうです。

3 化成品

セルロースを原料とする化成品の例を表1に記載します。ち

表1 セルロースを原料とする化成品の例

セルロイド ▶最初につくられた熱可塑性樹脂。硝化綿とショウノウから製造される、成形が簡単のためかつて大量に使われたが、燃え易い、耐久性が低いといった欠点をもつ。
酢酸セルロース ▶セルロースと無水酢酸から製造される。セルロイドと違い不燃性。繊維や映画フィルム、録音テープのベース材や海水淡水化用逆浸透膜(RO)等に利用される。
ビスコースレーヨン ▶パルプを主原料とする再生セルロース繊維。不織布としてマスク、フィルターなどに、紡績糸として衣料品、ガムテープなど使われる。製造工程において繊維状にせず薄く成型したものがセロハンで、食品や医薬品の包材、粘着テープ基材などに使用されている。
カルボキシメチルセルロース(CMC) ▶セルロースに化学修飾を施したもの。アイスクリームなどの食品の増粘剤および乳化安定剤として使用される。水性インク、界面活性剤、紙製品などの非食品製品にも使用されており、近年ではリチウムイオン2次電池にも使われている。
バイオプラスチック原料 ▶乳酸、コハク酸など。セルロースをグルコースまで分解したのち、微生物を用いて発酵生産し、それを原料としてプラスチックを製造する。石油由来の製品に替わる新しい工業(バイオマスリファイナリー)として実用化が始まっている。

なみに「セルロース」という名称は、1838年に木材からセルロースの分離に成功したフランスのAnselme Payen(アンセルメ・ペイエン)によって命名されました。

4 エネルギー

セルロースは大気中の二酸化炭素からつくられるため、再生可能でカーボンニュートラルなエネルギー源です。セルロースのエネルギーへの変換方法は大きく2通りあります。ひとつは熱化学的な方法で、直接燃焼、熱分解、ガス化、液化などによって、熱、チャーコール、液体燃料に変換します。これらは有機物としての利用法であり、植物体においてセルロースと共存するヘミセルロース(数種類の糖と酢酸からなる高分子)やリグニン(高分子のフェノール性化合物)も原料になります。もうひとつは生物化学的な方法で、まず糖にしてから、嫌氣的消化によりメタンに、酵母やバクテリアを用いてバイオエタノール、バイオブタノール、油脂(バイオディーゼル油の原料)に変換します。こちらは糖質としての利用法であり、セルロースとヘミセルロースの一部が原料になります。

5 セルロースナノファイバー

パルプに機械的、化学的処理を施して3~4ナノメートルの細さ(髪の毛の2万分の1程度)まで解きほぐした素材で、近年よく耳にするようになりました。高い強度(鋼鉄の1/5の軽さで強度は5倍以上)、高いガスバリア性、高い吸着性などの性質を持ち、飛行機や自動車の部材、ディスプレイ、太陽光パネル、化粧品、フィルター、脱臭シートなど様々な工業製品への応用が期待されています。

3 月島機械との関わり

製紙会社に苛性化プラント、黒液蒸発缶、ろ過機、沈降分離機などが納入されています。またエネルギー化に関する取り組みとして、熱化学的な変換技術(熱分解、ガス化)や生物化学的な変換技術(バイオエタノール)の開発を行ってきました。

4 おわりに

文明の発展はセルロースをうまく利用したからと言っても過言ではないでしょう。今日もセルロースには多くの関心が寄せられており、新たな機能や応用を目指した研究が内外で進められています。これからも私たちの生活に欠かせない素材であり続けたいと思います。

参考文献

- 1) ウィキペディア <https://ja.wikipedia.org/wiki/> 2016年8月現在
- 2) セルロース学会編:セルロースのおもしろ科学とびっくり活用, 2012
- 3) セルロース学会編:セルロースの事典, 2000
- 4) ナノセルロースフォーラム編:図解よくわかるナノセルロース, 2015
- 5) 磯貝明 監修:セルロース利用技術の最先端, シーエムシー出版, 2008

X線を利用した分析装置の紹介

分析グループ 鈴木 健治

1. X線分析技術

X線は特定の波長を持つ電磁波または特定のエネルギーを持つ光子のビームであり、物質に照射した際に、透過、散乱します。また物質に照射した際にエネルギーを与え、原子を励起し、電離できる特性があります。X線を利用した代表的な分析方法は以下のとおりです。

(1) 蛍光X線分析(XRF)

X線照射によって発生する特性X線を計測する。主に元素分析に用いられる。

(2) X線回折(XRD)

結晶面でのトムソン散乱(波長が変化せず方向だけが変化)によって起こる回折を計測する。主に結晶構造の解析に用いられる。

(3) X線光電子分光法(XPS)

光電効果(原子内の電子がはじかれ光電子が放出される現象)による光電子を計測する。主に表面の元素分析・結合状態分析に用いられる。

この特性を利用し様々な分野に応用されています。

- (1)医療分野・・・X線撮影(レントゲン)、CTスキャン、PET診断、放射線治療 etc
- (2)工業分野・・・元素分析、結晶構造分析、膜厚分析、極微量分析、非破壊検査 etc
- (3)農業分野・・・害虫駆除、品種改良、食品照射、熟度調整 etc
- (4)その他・・・犯罪捜査、年代測定、手荷物検査、美術品や骨董品の調査 etc

X線分析は非破壊分析が可能ことから、海外ではゴッホやレンブラント等の歴史的な絵画をX線でスキャンすることで、絵画の下に古い顔料を使った別な絵があることも発見された事例があります。

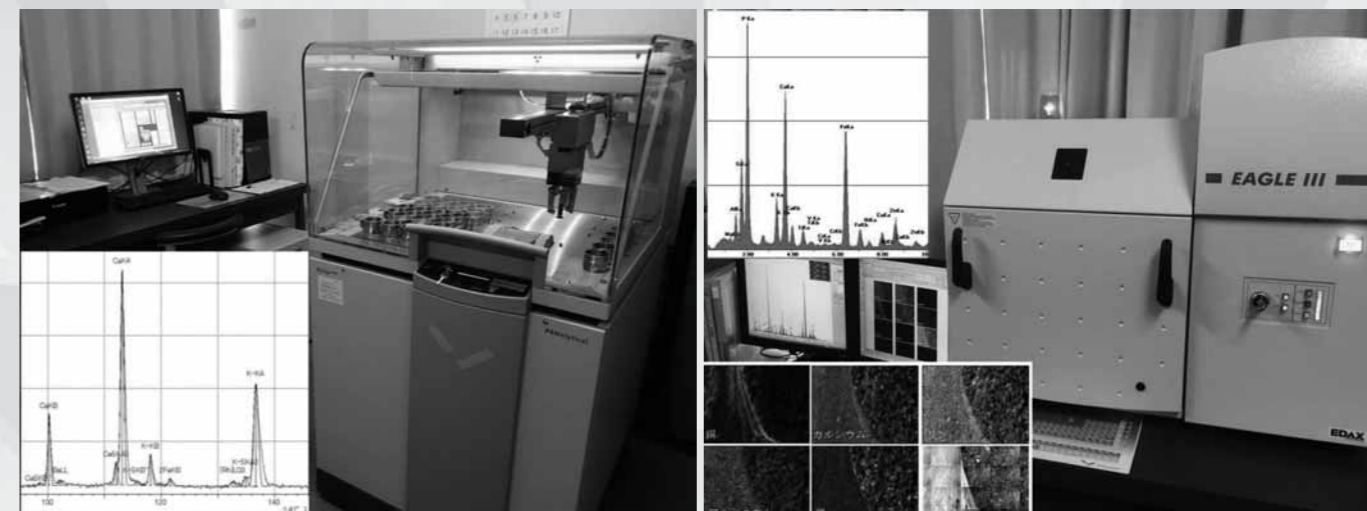


図2 波長分散型蛍光X線分析装置と分析事例 (WDXRF: Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence)

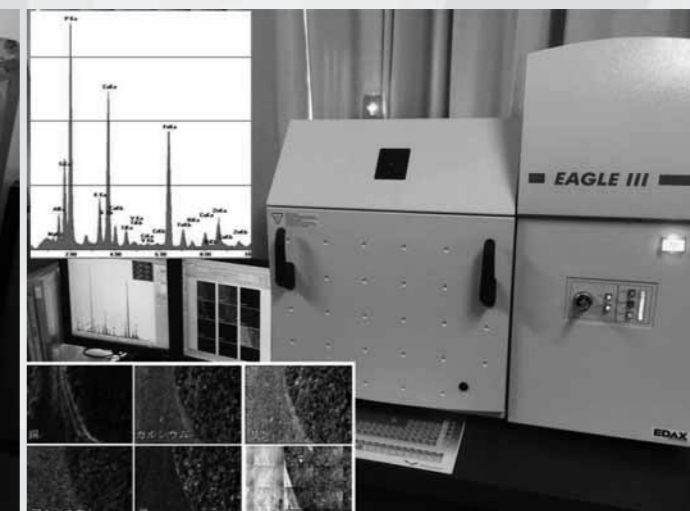


図3 エネルギー分散型蛍光X線分析装置と分析事例 (EDXRF: Energy Dispersive X-ray Fluorescence)

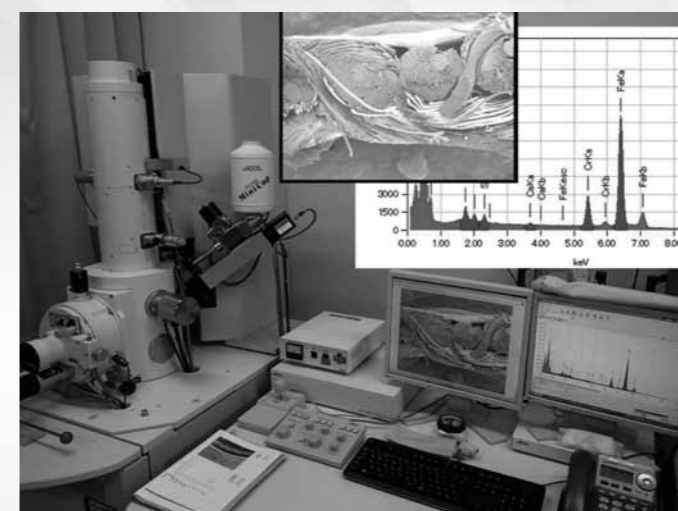


図4 走査電子顕微鏡-エネルギー分散型蛍光X線分析装置と分析事例 (SEM-EDS: Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive Spectroscopy)

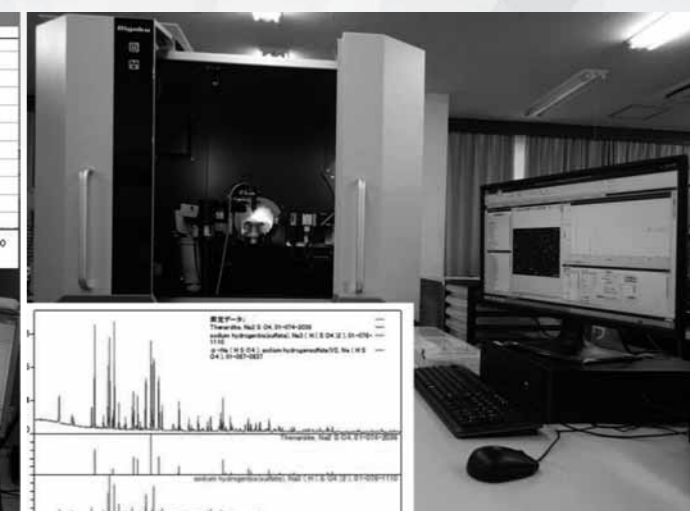


図5 X線回折分析装置と分析事例 (XRD: X-ray Diffractometer)

2. 分析グループの所有機器と利用例

(1) 蛍光X線分析装置(XRF)

典型的な原子モデルを図1に示します。X線光子が原子に照射されると、K殻から電子が放出され空孔が発生し、その孔を埋める形でL殻の電子が遷移されます。この時に放射されるX線光子を蛍光X線と呼び、各原子固有の特性が見られるために蛍光X線を分析することで試料中の元素情報やその濃度を測定することが出

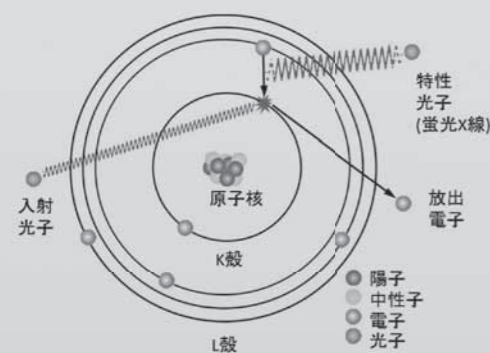


図1 特性X線の発生

来ます。蛍光X線分析装置には検出器の違いにより、波長分散型蛍光X線分析装置(WDXRF)とエネルギー分散型蛍光X線分析装置(EDXRF)があり、当グループではいずれも所有しています(図2、3)。

同機能の検出器は走査型電子顕微鏡にも付いていて、SEM-EDSと一般に呼ばれており、C、O、Fの軽元素を加えた組成分析が可能です(図4)。こちらは加速電子により電子を放出させ蛍光X線を発生させる方法です。各分析装置の利用例を以下に示します。

①波長分散型蛍光X線分析装置(WDXRF)・・・固体(粉末)、液体等を数十分以内で分析が可能です。

【測定例】

- ・焼却炉内に発生したスケールの組成
- ・流動砂表面に堆積したリン化合物等の組成
- ・上水汚泥中の主成分分析

②エネルギー分散型蛍光X線分析装置(EDXRF)・・・エネルギー分散を利用した分析のためWDXRFに比べて短時間で測定ができ、視野を確認しながらのスポット分析及びマッピングが可能のため元素の分布が見られます。

【測定例】

- ・100mm²程度の金属腐食表面の付着物組成
- ・100mm²視野内の特定金属の濃度分布測定
- ・試料表面の微量金属異物特定と分布測定

③エネルギー分散型蛍光X線分析装置(SEM-EDS)・・・20～100,000倍の拡大が可能で被写界深度が深いため通常の顕微鏡より鮮明に確認でき、視野を確認しながら対象物の組成を測定できます。特徴としては倍率が高いので極微量サンプルの組成分析が可能です。

【測定例】

- ・金属組成から金属材料の種類特定
- ・スケール表面の微量物質の特定
- ・目詰まりした濾布の断面付着物濃度分布(マッピング)

(2) X線回折分析装置(XRD)

X線回折分析は、X線を用いて試料の結晶構造を定性し、結晶化度を定量的に分析するものです。図5にこの9月に納入されたX線回折分析装置を示します。本装置では粉末試料の分析に加えて、拡大画像を見ながら直系400μmの微小エリアについて結晶構造を分析することが可能です。

【測定例】

- ・結晶化物の結晶種の同定、結晶化度の測定
- ・焼却炉や煙道、配管等に析出した析出物の結晶種の同定。

XRFで組成を分析し、XRDで化合物の形態を調べる、等の組み合わせで良く使用します。

以上、今回の研究所紹介はSPring-8を利用した分析報告に合わせてX線を利用した分析装置を紹介しました。分析グループには多数の分析装置があり、一つの試料に対して様々なアプローチで結論を導くことも多くあります。今後、技報の特集に合わせて関連する分析技術や事例を紹介していきます。

会社概要

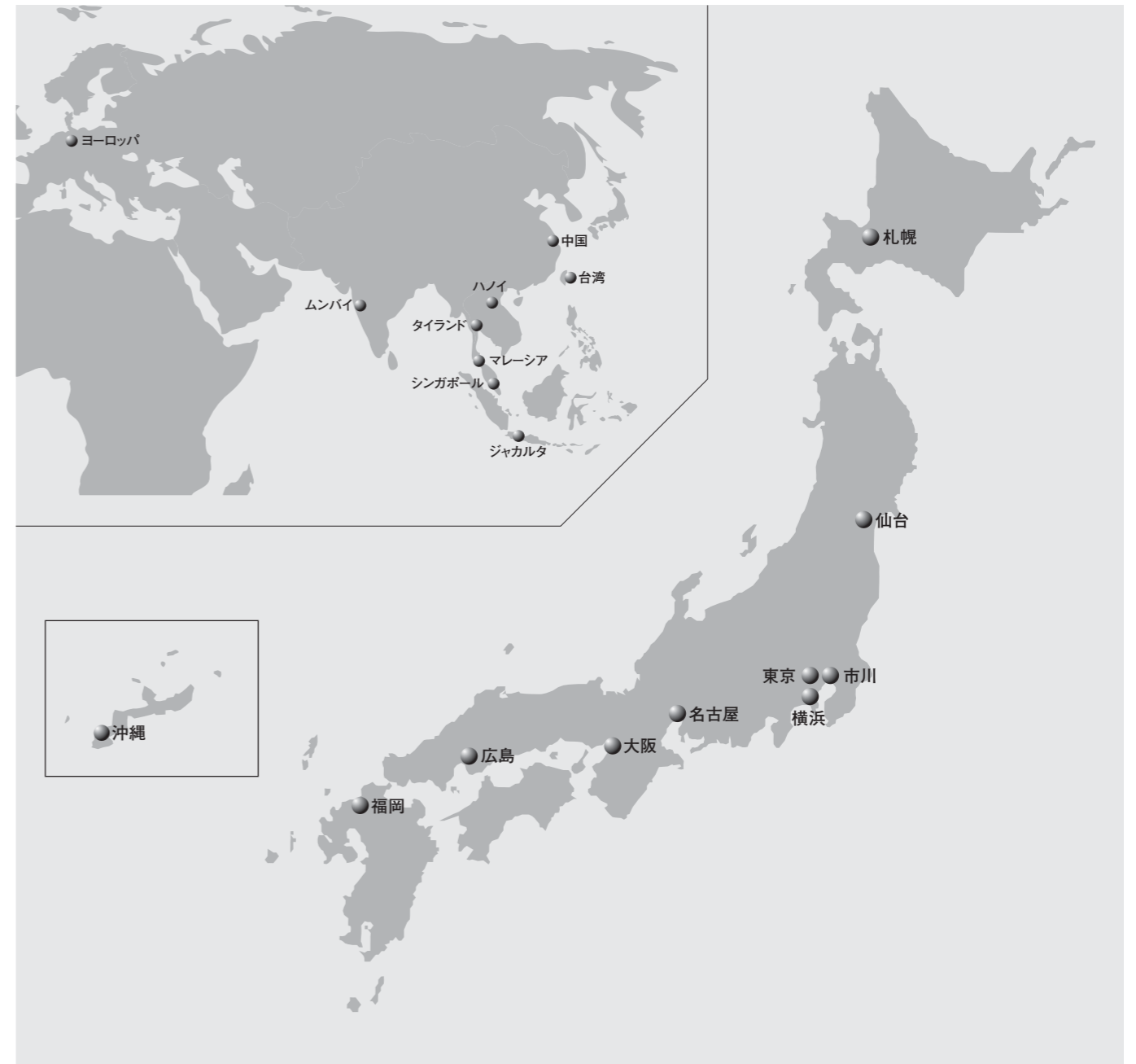
名称	月島機械株式会社 (TSUKISHIMA KIKAI CO.,LTD.)	資本金	66億4680万円
代表取締役社長	山田 和彦	従業員数	683名(グループ2,308名)(平成28年3月末現在)
創業	明治38年8月	売上高	単体：407億円 連結：757億円(平成28年3月期)

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	市川事業所(工場)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-397-6111 FAX.047-397-3354
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	(研究所)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-359-1651 FAX.047-359-1661
大阪支社	〒541-0045 大阪市中央区瓦町3-6-5(銀泉備後町ビル) TEL.06-6229-1331 FAX.06-6229-1415	〈海外〉	
札幌支店	〒060-0807 札幌市北区北七条西4-1-2(KDX札幌ビル) TEL.011-726-0510 FAX.011-726-0520	TSKムンバイ駐在員事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Mumbai Liaison Office 602 B, Excel Ark, Mercy Nagar, Ramdev Park Road, Mira Road (E), Thane - 401 107, Maharashtra, India TEL. +91-9967645572	
仙台支店	〒980-0014 仙台市青葉区本町1-11-2(SK仙台ビル) TEL.022-227-9267 FAX.022-223-0316	TSK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)4-3766-9965/9967/9968 FAX. +84-(0)4-3766-9969	
横浜支店	〒231-0015 横浜市中区尾上町4-47(リスト関内ビル) TEL.045-651-7331 FAX.045-664-5086	TSK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	
名古屋支店	〒045-0003 名古屋市中村区名駅南1-17-29(広小路ESビル) TEL.052-581-2378 FAX.052-581-1624	TSKヨーロッパ駐在員事務所 Tullastraße 64 76131, Karlsruhe, Germany TEL. +49-721-9-64-56-783 FAX. +49-721-9-64-56-10	
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		

関連会社

月島テクノメンテサービス(株)	〒135-0031 東京都江東区佐賀1-3-7 月島機械永代ビル TEL.03-5245-7150 FAX.03-5245-7155	〈海外関連会社〉	
サンエコサーマル(株)	〒322-0017 栃木県鹿沼市下石川737-55 TEL.0289-72-0371 FAX.0289-72-0381	TSKエンジニアリングタイランド(株) TSK ENGINEERING (THAILAND) CO., LTD. <TET> United Center Building 14th Floor, Room1404, 323 Silom Road, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand TEL. +66-2-231-1726~30 FAX. +66-2-231-1731	
月島環境エンジニアリング(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-12-1 (KDX晴海ビル) TEL.03-6758-2310 FAX.03-6758-2324	月島環境保機械(北京)有限公司 TSK ENGINEERING CHINA CO., LTD Unit2205-2206, Block A, ZhuBang 2000 Business Center No.100 Balizhuang Xili, Chaoyang District, Beijing 100025, P.R.China TEL. +86-10-8590-6595 FAX. +86-10-8590-6593	
月島マシンセールス(株)	〒135-0031 東京都江東区佐賀1-3-7 月島機械永代ビル TEL: 03-5621-5911 FAX: 5621-5912	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	
月島ビジネスサポート(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 (月島機械(株)内) TEL.03-3533-4824 FAX.03-3536-0968	月島エンジニアリングマレーシア(株) TSUKISHIMA ENGINEERING MALAYSIA SDN. BHD. <TEM> 月島エンジニアリングシンガポール(株) TSUKISHIMA ENGINEERING SINGAPORE PTE. LTD. <TES> SUITE16, 04-05, 16th Floor, Wisma Mca, 163 Jalan Ampang, 50450 Kuala Lumpur, Malaysia TEL. +60-3-2162-8679 FAX. +60-3-2162-8377	
大同ケミカルエンジニアリング(株)	〒530-0053 大阪府大阪市北区末広町3-3 大同パークサイドビル TEL.06-6312-6621 FAX.06-6312-6626	TSKエンジニアリング台湾(株) TSK ENGINEERING TAIWAN CO., LTD. <TETA> 6th Floor, No.24, Min Sheng, W.Road, Taipei, Taiwan R.O.C. TEL. +886-2-2523-6975~6 FAX. +886-2-2521-1429	
寒川ウォーターサービス(株)	〒253-0106 神奈川県高座郡寒川町宮山4058-6(事業所) お問い合わせ先： 月島機械株式会社 水環境事業本部 事業推進部 TEL.03-5560-6530 FAX.03-3533-4103		
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 新事業推進部 TEL.03-5560-6540 FAX.03-5560-6595		



編集後記 Editor's Note

福沢義之

今回から技報の編集委員長を拝命しました。

今回は、製品紹介として月島機械関連会社特集を企画しました。その中には、月島機械と月島テクノメンテサービス(株)との共同研究により商品化された「フロキュア®」などの商品もあります。ここに挙げられているのは各社の商品ラインアップの1部であり、今後更に月島機械グループ全体のシナジーが発揮できる新商品・新技術の開発を先導して行かなければならないと考えています。

TSK技報 NO.19 2016
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:中島 和男
編集委員長:福沢 義之
副編集委員長:田中 一穂
編集委員:大塚 正弘 左 淳 栗田 新平
津崎 裕也 谷口 智彦 上田 厚志
根尾 航太郎 高部 洋一 鈴木 健治
荒井 健 高須 利昌 高尾 ひろ子