

**KOBELCO**

# 技報

**Vol.20**  
(通巻39号) **No.1**

**ENGINEERING REPORTS**  
**KOBELCO ECO-SOLUTIONS CO.,LTD.**



神鋼環境ソリューション技報

Vol.20 No.1

(通巻39号)

Keep the Earth Sky-blue

神鋼環境ソリューション

目次	CONTENTS
1 <巻頭言> 「自ら需要を創造する力と企業の成長」	
2 当社の水処理関連技術	KOBELCO ECO-SOLUTIONS' Technology for Water Treatment and Related Systems
12 当社の廃棄物処理技術	KOBELCO ECO-SOLUTIONS' Waste Treatment Technology
23 当社プロセス機器開発のこれまでと今後の展望	KOBELCO ECO-SOLUTIONS' Past and Future Prospects for Process Equipment Development
32 廃棄物処理プラントにおける排ガス中水銀濃度のフィードフォワード制御開発	Development of Feedforward Control of Mercury Concentration in Flue for Waste Treatment Plant
38 回転ストーカ式ごみ焼却炉の燃焼シミュレーション～実施設での測定データとの比較～	Numerical Simulation of Rotary Combustor - Comparison with Actual Measurement Data -
43 蒸発性能を向上させた新型薄膜蒸発機 "WIPRENE S™"	New "WIPRENE S" Wiped Film Evaporator with Improved Evaporation Performance
49 TOPICS	
54 施設・技術紹介	

## 「自ら需要を創造する力と企業の成長」



取締役 専務執行役員 **今中 照雄**  
Teruo Imanaka

記憶にとどめている上司の言葉がある。「顧客ニーズは、顧客の顧客のまたその次の顧客のやりたい事を把握しないと、それが真のニーズか判断できないよ」「マーケティングとは近い将来の展望だけではなく、今は無き需要を将来自らがどう創造していくか？まで考えること」。所謂ドラッカーの言葉。お客様ですら気付いていない10年20年先のことを、また自分達でその需要までどう掘り起こすのか、そう悩んできた状況も昨今少し変化してきたのではないか。

政府の2050年カーボンニュートラル（CN）宣言に始まり、この実現に向けたGI基金事業などの「経済と環境の好循環」を目的とした産業政策、また水素基本戦略が改訂され、半導体や蓄電池産業などへの積極的な政府支援策が打ち出された。地球環境レベルのこれほど大きな方向性が示されたことはかつて無く、環境事業を主たる生業とする当社にとっても、ここから真のニーズや市場の需要に適合する技術と商品を開発し、新たに飛躍できる絶好の機会であることは言うまでもない。

このような大きな課題への取り組みだけでなく、短期的な開発においても、会社としてまた開発者が常に意識すべきことがある。まずは「基盤技術の強化と継続」。技術も成熟してくるとこれが結構難しいが、自らの障壁で戦える基盤技術を徹底的に深掘りし強化することは、新たなシーズを生み出し、次の商品開発へと繋がる。そしてその技術を次の世代に確実に引き継ぐためにも、強化を継続する。立ち止まれば、元のレベルに戻すためには停止期間の2倍3倍の無駄な時間と努力が必要。この背景は異なるが、新型コロナワクチン開発において、国家安全保障の観点から政府の支援も継続してきた米国と長年ワクチンへの投資を避けてきた日本とで、圧倒的な差異が生じたことは記憶に新しい。次に「自社技術と非自社技術との融合」。この非自社技術とは、例えば他社製品やスタートアップ企業の新技術の導入だけでなく、IT、AI技術などDXの活用による開発業務の効率化やスピードアップも含む。自社技術に留まらない意識を持つことは、既に昨今のトレンドでもあるが、これは必然と考え積極的にチャレンジすることは、今までにはない付加価値を持つ差別化された商品開発に繋がる。そして最後に「新技術や市場動向の情報収集と洞察力」。例えばCN対応の技術競争は世界レベルで進んでいるため、その対象範囲は国内に留まらない。特に海外を対象にしたネットや情報機関を通しての調査はタイムラグとその正確さに注意が必要ゆえ、直接海外からの情報を入手するルートを確認することがベスト。正確な情報をもとに、常に自社技術の立ち位置を確認すること、そして時間軸を意識し将来を洞察することが極めて重要である。

先に述べたCNへの政府方針は、あくまで方針であり方向性に過ぎない。示された方針と個別に示された重点課題をヒントに各社が取り組むべき真のニーズを導き出し、それを満たす技術を開発して市場での需要を創造することができる商品開発が必要である。これからも、「企業の成長」とは「需要の創造の継続」に他ならない。

## 当社の水処理関連技術

### KOBELCO ECO-SOLUTIONS' Technology for Water Treatment and Related Systems



隅 晃彦\*  
Akihiko SUMI  
技術士（上下水道部門）

当社は1950年代より、水処理の総合エンジニアリング会社として、上水・下水・産業用水処理・冷却塔など幅広い技術により環境問題解決と産業の発展に貢献してきた。日本の水処理関連技術は、かつての水質規制や公害防止への対応を主目的とした時代から、低炭素や人口構成の変化への対応を目指す時代へと変化しつつある。当社も時代に即したニーズに対応し、これまで培ってきた水処理関連技術をベースに、プラント全体の効率化や処理事業運営といった分野に業務を拡大し、それに関連する開発を進めている。

Kobelco Eco-Solutions has been helping to solve environmental problems and promote industrial development as a comprehensive engineering manufacturer in the field of water treatment since the 1950s through a wide range of technologies for drinking water, sewage, industrial water, and cooling towers. Technology for water treatment and related systems in Japan is shifting focus from water quality regulations and pollution prevention to low carbon emissions and population decline. In response to the needs of the times, we are expanding our business to plant-wide efficiency optimization and treatment project management and promoting development that meets these requirements based on the water treatment technology we have cultivated so far.

#### Key Words :

水処理関連技術  
低炭素  
人口減少  
プラント全体の効率化

Technology for water treatment and related systems  
Low carbon emissions  
Population decline  
Plant-wide efficiency optimization

#### 【セールスポイント】

- ・上下水から産業用水処理・冷却塔まで幅広い水処理関連メニューに対応
- ・低炭素や人口構成変化など時代の要求に応える技術開発

#### まえがき

当社は、株式会社神戸製鋼所の環境エンジニアリング部門と神鋼パンテック株式会社の統合により、2003年10月に設立された総合環境エンジニアリング会社である。その水処理関連技術の歩みは、神鋼パンテックの前身である神鋼ファウドラ―株式会社

が、米国水処理業界の名門ファウドラ―・パームチット社と水処理技術に関する技術援助契約を締結し水処理装置の販売活動を開始した1950年代に始まる<sup>1)</sup>。神戸製鋼所においても、下水処理の普及推進の流れに対応し1970年代に下水処理・汚泥処理への取組みを開始した。

\*技術開発センター 技術開発部

20世紀以降の日本の水処理関連技術の歩みは、次のように区分できると思われる。

- ・普及の時代
    - 安全・安心な飲み水の提供
    - 河川・海域の汚濁防止
    - 十分な産業用水の供給
  - ・高度化・高性能化の時代
    - 富栄養化対策（窒素・リン除去）
    - 放流水・飲用水の規制強化への対応
    - おいしい水の提供など質の向上
    - 装置のコンパクト化・低コスト化
    - 廃棄物削減（汚泥減容）
  - ・省エネ・創エネ・低炭素と省人化対応の時代
    - 地球温暖化対策を含めた総合的な環境対策へ
    - 労働人口の減少への対応・維持管理の効率化
- 当社の技術内容の拡充はこれらの流れと軌を一にしており、順次新たな技術を開発してきた。統合により現組織となって20年、高度化・高性能化の時代から低炭素の時代へシフトが進む中、当社は幅広い分野で社会貢献を続けている。本稿では、現在主力製品となっているものを中心に、当社の水処理関連技術の概要を紹介する。

## 1. 下水処理技術

下水処理施設は社会を支える重要な環境保全インフラであり、図1に示す各種機器で構成されている。下水処理施設における消費電力は非常に大きいと認識されており、「2050年カーボンニュートラル」に向け各種の取組が行われている。当社でも、省エネルギー化を念頭に開発を重ねてきており、以下をはじめとする技術を有している。



水処理（下水）フロー図

図1 下水処理施設の構成例

### 1.1 低動力反応タンクシステム

下水処理において特に消費電力が大きいのは、有機物や窒素除去の中核をになう「反応タンク」周りである。当社では、省エネルギー機器と最適な曝気風量制御を組合せた低動力反応タンクシステム（図2）により、消費電力の低減を実現している。<sup>2)</sup> 以下、システムを構成する要素技術について紹介する。

#### 1.1.1 低圧損型メンブレン式散気装置 PABIO TUBE<sup>®</sup>

下水処理の省電力化においては、いかに効率よく酸素を水に溶解させるかが重要である。酸素の溶解は、ブロワと散気装置により水中に空気を吹込む（曝気）ことで行われる。ここで

$$\text{曝気動力} \propto \text{吹込み圧力} \times \text{風量}$$

の関係があるため、

- ・圧力損失の小さい散気装置の採用
- ・酸素移動効率※の向上による曝気風量の低減が省電力化のポイントとなる。酸素移動効率の向上には気泡の微細化が有効であるが、空気を通す孔の径を小さくすると圧力損失が上昇するため、投入動力当りの酸素溶解量には限界がある。

※吹込んだ酸素のうち水に溶解した酸素の割合

PABIO TUBE（図3）は、空気の噴出口を設けた筒状のメンブレン（膜）をサポートパイプにセットした散気装置である。気泡の微細化と圧力損失の低減を高次元でバランスさせることにより、曝気動力を削減している。装置内への汚泥流入を防止する構造となっており、メンテナンス性にも優れる。メンブレンの材質には特殊シリコンゴムを採用し、経年劣化を抑制している。

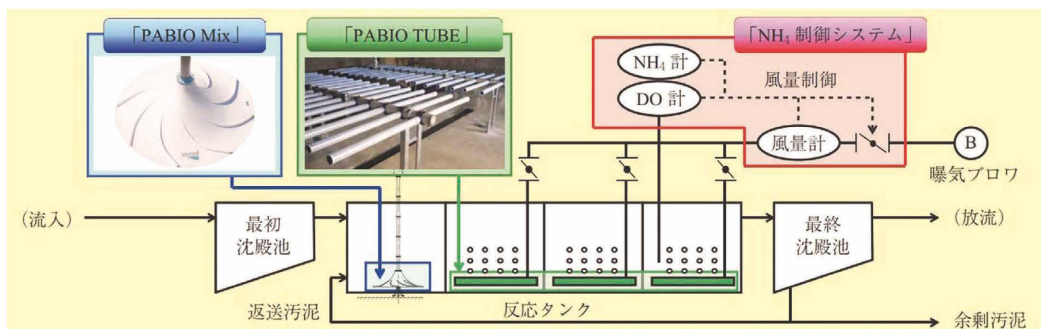


図2 低動力反応タンクシステムのフロー図

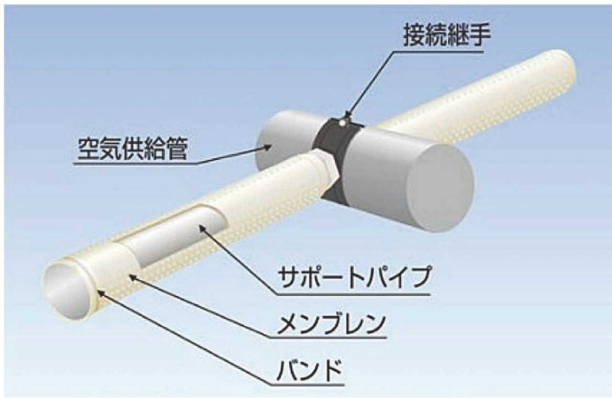


図3 PABIO TUBE の構造



写真1 し渣洗浄脱水機

### 1.1.2 双曲面型攪拌機 PABIO Mix®

下水処理のうち、脱窒槽のような曝気を行わない槽の攪拌は、機械攪拌や水循環などによって行われる。図2に示したPABIO Mixは特徴的な双曲面状の断面を持つ機械式攪拌機であり、小さい動力で槽底部に水流を発生させ、効率よく攪拌を行うものである。駆動装置が水面上にあるため、日常のメンテナンス性に優れている。

### 1.1.3 アンモニア制御

反応タンクの曝気風量制御には、従来、風量一定制御やDO（溶存酸素）制御が用いられてきた。風量一定制御は有機物やアンモニアの最大負荷量に合わせて空気を吹き込むもので、低負荷時には風量は実際に必要な量より過剰となる。DO制御はDOが過大にならないよう風量を抑える方法で風量一定制御より無駄が少ないものの、適正DO濃度が負荷量により異なることを考慮して設定DO値に余裕を持たせているため、削減の余地が残っている。

アンモニア制御は反応タンク内のアンモニア濃度計測値を基に送風量を制御する方法で、適正に硝化を行いながら曝気風量の削減を図る方法である。制御の概要を図2に示す。アンモニア濃度の測定値を基にDO濃度の設定値を決め、DOがその値となるよう制御を行う。硝化が安定している場合は曝気風量を抑制し、高負荷時には曝気風量を上げることで、風量の無駄をなくし消費電力を低減している。

## 1.2 周辺機器

### 1.2.1 し渣洗浄脱水機

下水処理場に流入しスクリーンで除去される夾（きょう）雑物は、「し渣」と呼ばれる。これを処分するための洗浄・脱水機として二軸式の装置があるが、当社では、これを一軸スクリー式のものとし、消費電力の低減を実現している。（写真1）



写真2 ノンメタリック汚泥掻寄機

### 1.2.2 ノンメタリック汚泥掻寄機

沈殿池で沈降した汚泥を回収するチェーンフライト式汚泥掻寄機には、厳しい腐食環境下で連続運転するため、耐食性、耐久性が求められる。古くは金属製チェーン、スプロケットが使用されてきたが、当社では耐食性・耐摩耗性に優れたプラスチック製のノンメタリック汚泥掻寄機（写真2）を実用化している。1978年に1号機を納入して以来、30年以上安定運転を継続する実機もあり、軽量化と消費電力の低減、長寿命化を達成している。

## 2. 汚泥処理技術

下水処理の中核となる技術は、有機物を微生物に食べさせ成長した微生物を汚泥として分離除去する「活性汚泥法」である。汚泥の発生量は非常に多く、20世紀より、時代に応じた処理・処分技術が求められてきた。

現在、焼却処分、消化によるエネルギー回収、燃料化、肥料化などの汚泥処理技術がニーズに合わせて用いられており、技術の改良が進められている。当社でも、幅広いニーズに対応し以下の技術をラインナップしている。

## 2.1 濃縮・脱水技術

下水処理で発生した汚泥を処分又は有効利用するには、水分の低減が重要である。沈殿したばかりの汚泥の大半は水分であり、どのように処分または利用する場合でも、水分を低減し減容化することが、処理の効率化・省エネルギー化に重要な役割を果たす。

### 2.1.1 ベルト型濃縮機

脱水や後述の汚泥消化の前処理として濃縮が有効であり、重力沈降式の濃縮槽が用いられてきた。当社では機械式の濃縮機をラインナップしており、軽量かつ安価な樹脂製のベルト（ろ布）を用いた、コンパクトかつ保守の容易な装置を提供している。汚泥セパレータでろ過面を更新することによる高い濃縮効果に加え、微細な凝集フロックを捕捉できるため凝集剤使用量の削減が可能であり、LCCの低減に寄与している。（写真3）

### 2.1.2 難脱水対応強化型スクリープレス脱水機

汚泥処理における水分および動力の低減は、焼却、埋立など後段プロセスの処理費用やCO<sub>2</sub>排出量の低減に寄与する重要な技術課題である。当社では、低動力にて凝集フロックを最適化し、低動力で適正な加圧を行うスクリープレス式脱水機の採用で、消化汚泥などの難脱水汚泥の低含水率化を達成している。（写真4）

## 2.2 汚泥消化技術

汚泥は下水処理の副産物であり、かつては処分に困る厄介ものと位置付けられていた。しかし現在、低炭素の流れの中で、汚泥はまとまって発生する貴重な有機資源として注目されている。

汚泥を嫌気条件でメタン発酵させ減量するとともに「消化ガス（バイオガス）」を取り出すのが汚泥消化技術であり、当社でも過去数10年にわたって改良を重ねてきた。本技術は次章のバイオマス資源化技術と密接に関連するので、で本章では汚泥消化の段階までを記載し、ガスの利用については次章に記載する。

### 2.2.1 鋼板製消化槽

汚泥消化槽の主流は卵型などのコンクリート製であったが、建設に長期間を要し、建設費が高額であることが課題であった。当社では鋼板製消化槽（写真5）を実用化し、工期の短縮と建設費の削減を実現している。またこの形式ではセンサ類の取付けが容易であり、安定運転や維持管理性の向上にも貢献している。

### 2.2.2 高濃度消化技術

汚泥消化には一般に20数日の滞留時間が必要であり、汚泥消化槽はどうしても大きいものとなる。投



写真3 ベルト型濃縮機

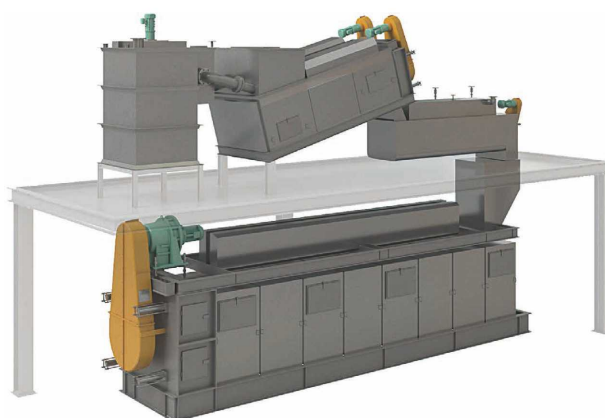


写真4 難脱水対応強化型スクリープレス脱水機



写真5 鋼板製消化槽

入前に汚泥をあらかじめ濃縮できれば、消化槽のコンパクト化が可能である。当社では、前記のベルト型濃縮機などの汚泥濃縮技術を組み込み、さらに高濃度化で懸念されるアンモニア阻害への対策を行うことで、安定した高濃度消化と消化槽のコンパクト化を達成した（図4）。また、消化を行うためには槽を加温して内部を適正な温度（例：中温発酵で37℃前後）に保つ必要があるが、コンパクト化による保

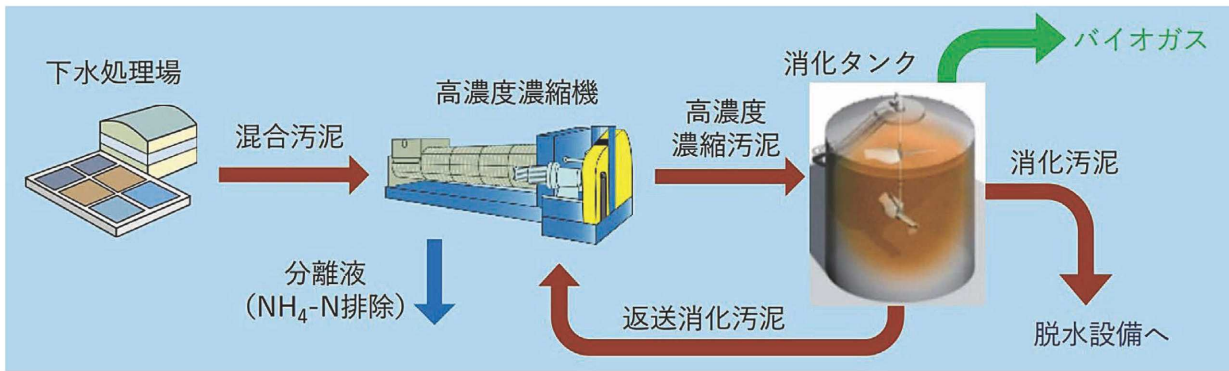


図4 高濃度消化技術

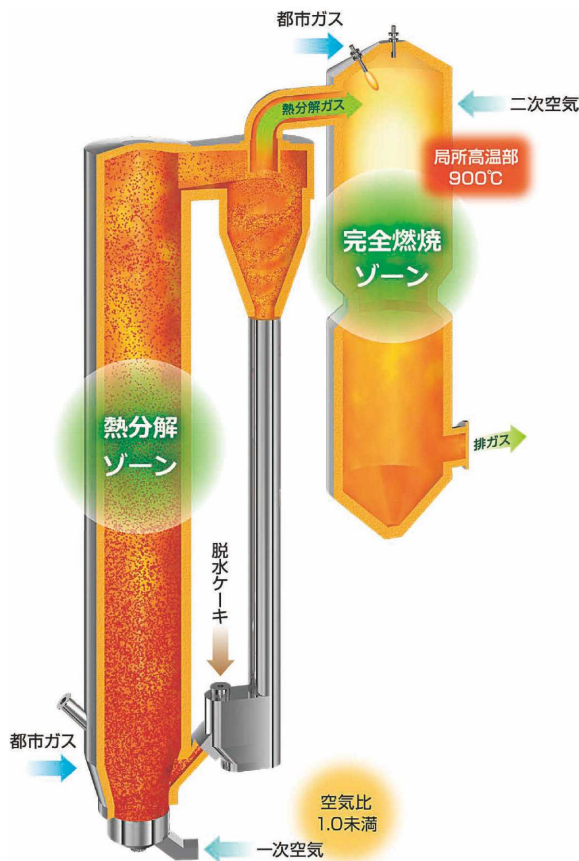


図5 循環式高効率二段焼却炉

有液量および放熱面積の低減により、加温エネルギーの面でも大きなメリットがある。

### 2.3 汚泥焼却技術

汚泥焼却は、汚泥の減量化、処分における安定化、灰のセメント原料化などを目的として、古くから使われてきた手法である。水分を飛ばす必要があり原理的に熱を大量に使う設備であること、処理の過程で $N_2O$ を発生させる可能性があることから、温室効果ガス削減の上でその改良が課題となっている。当社では次の2つの技術をラインナップし、温室効果ガスの削減に貢献している。

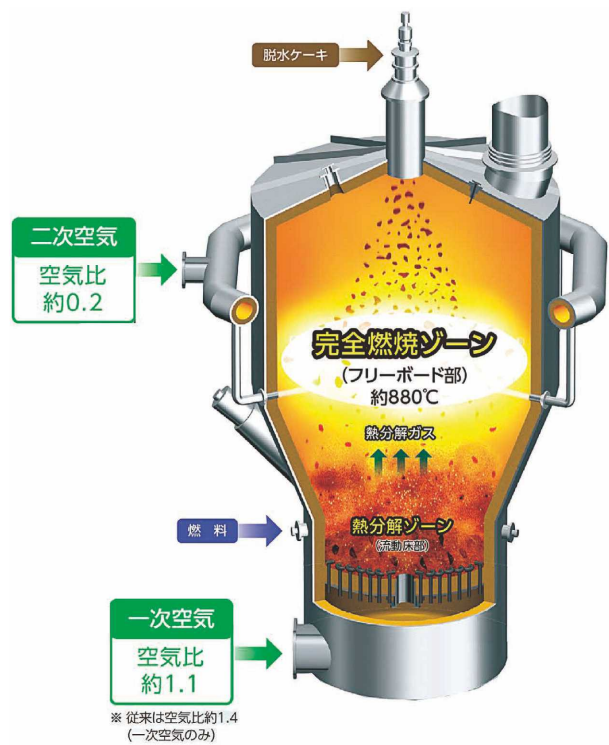


図6 気泡式高効率二段焼却炉

#### 2.3.1 循環式高効率二段燃焼炉

熱分解ゾーンと完全燃焼ゾーンを独立して設けた焼却炉である。熱分解ゾーンでは流動砂の循環により炉内温度を安定維持しており、汚泥の性状変化や負荷変動に強い。高温部を後段の完全燃焼ゾーンに限定することで、省エネルギー化と $N_2O$ の低減を両立している(図5)。

#### 2.3.2 気泡式高効率二段燃焼炉

循環式と同様に熱分解ゾーンと完全燃焼ゾーンを設けた焼却炉であるが、こちらは炉を一体化したものである。底部の熱分解ゾーンでは低空気比で抑制燃焼を行い、上のフリーボード部に二次空気を送り込み高温で未燃ガスの完全燃焼を行うことで、省エネルギー化と $N_2O$ の低減を両立している(図6)。



### 3. バイオマス資源化技術

2項でも触れた通り、下水汚泥の位置づけは、廃棄物から貴重な有機資源へと変わってきている。食品廃棄物や工場排水処理汚泥、農業・畜産系廃棄物も含め、これらバイオマスは、エネルギー資源や肥料原料として注目を集めている。

当社ではメタン発酵や汚泥の固形燃料化など各種バイオマス資源化技術の開発・普及に取り組んでいる。本項では、メタン発酵に関連したバイオマス資源化技術について紹介する。

#### 3.1 メタン発酵・バイオガス発電

下水汚泥の消化について2.2項に記載したが、メタン発酵技術は下水汚泥に限らず有機物全般に適用できる。生成したバイオガスはメタンを主成分としたガスであり、発電、ボイラ、車両燃料、都市ガス導管への注入など、燃料として様々な用途に用いることができる。特に、温室効果ガス発生削減の国策に伴い導入されたFIT（Feed in Tariff）制度により、バイオガスで発電した電気を固定価格で販売する事業が全国で普及している。

当社では下水汚泥の消化に加えて、2000年代初頭より食品工場廃棄物や収集ごみ、ビルの食品廃棄物のメタン発酵に取り組み、多数の実績を有している。以下、2つの事例を紹介する。

##### 3.1.1 日田市バイオマス資源化センター

生ごみ、豚糞尿、農業集落排水汚泥、焼酎かすを合計約80t/日処理できるメタン発酵設備である（写真6）。バイオガスはコージェネレーションシステムによって電力・温水に変換し、有効利用している。

##### 3.1.2 大栄環境株式会社 伊賀リサイクルセンター メタン発酵・堆肥化施設

当社がメタン発酵バイオガス発電施設（前処理設備および土木建築は除く）の建設を担当し、バイオガスを供給するメタン発酵処理事業は顧客が運営、発電事業は顧客と当社の出資により設立した特別目



写真6 日田市バイオマス資源化センター

的会社が運営を行っている。

発電規模は1,980 kWで、一般家庭約3,000世帯分に相当する。

#### 3.2 バイオガス精製・利用

バイオガスはメタンを60%前後含み、硫化水素やシロキサン（シャンプー・リンスなどに由来しバイオガス中に出てくるシリコン化合物）を除去することで有用な燃料となる。燃料として直接利用できるが、都市ガスなどに比べるとメタン濃度・熱量が低いため、専用に燃焼条件を調整したバイオガス発電機やボイラが必要である。

当社では、バイオガスを原料としてメタン濃度を97%以上に高め、都市ガス相当の高品質ガスを製造する「バイオ天然ガス化設備」を実用化している（写真8）。メタンとCO<sub>2</sub>の水への溶解度差を利用し、高品質のガスを製造する。本技術により製造したガスは、自動車燃料として利用されている。



写真7 大栄環境株式会社 伊賀リサイクルセンター  
メタン発酵・堆肥化施設



写真8 バイオ天然ガス化設備

## 4. 上水処理技術

上水道は、人の安全で健康な生活に必要な、最重要インフラである。その一般的なフローと構成機器の例を図7に示す。

当社はオーソドックスなものから独自の特長のあるものまで各種の上水処理技術を組合せ、安全な水の供給に貢献してきた。現在、単なる設備の建設にとどまらず維持管理を含めた総合的な対応が求められるようになってきており、設備の老朽化や技術者不足への対処も念頭に取組みを行っている。

近年では海外、特に東南アジア地域のインフラ整備にも力を入れており、直近では、日本の政府開発援助の円借款協力案件である「シェムリアップ上水道拡張事業」（カンボジア）に参画し、処理能力60,000 m<sup>3</sup>/日の浄水場を建設、2023年5月に竣工を迎えたところである（写真9）。

以下、当社の代表的な技術について紹介する。

### 4.1 凝集沈殿技術

上水処理ではまず濁質の除去が行われるが、その初段で用いられるのが凝集沈殿技術である。

#### 4.1.1 凝集沈殿技術

原水は、急速・緩速の2段で構成される攪拌槽に

流入する。ここで薬品を添加し、濁質を凝集・成長させ沈降速度を高めた上で、沈降分離を行う。凝集沈殿は広く用いられている技術であり、当社でもオーソドックスな技術を用いつつ、薬品注入技術の改良などを重ねている。また、沈殿槽を小型化するため、4.1.2項の波型傾斜管を採用している。

#### 4.1.2 波型傾斜管 V-Wave

沈殿池では、水中にある濁質の粒子が全て底部まで沈降した時点で処理が完了する。沈めたい粒子の沈降速度が大きいほど処理時間は短くて済むが、粒子の沈降速度そのものを上げることは難しい。ここで、沈殿池の中に傾斜した板を設置すれば、板の表面が沈殿池底部と同じ役割を果たし、沈降距離が短くなるため粒子の沈降速度が変わらなくても早期に処理が完了する。この原理を装置に応用したものが波型傾斜管であり、当社のV-Wave（写真10）は独自の形状で効率を高め、沈殿池のコンパクト化に寄与している。

### 4.2 ろ過技術

沈殿槽から流出した沈降速度の小さい粒子は、砂などの層や分離膜を通すろ過を行うことで除去できる。本項では、特徴のあるろ過技術として、運転の

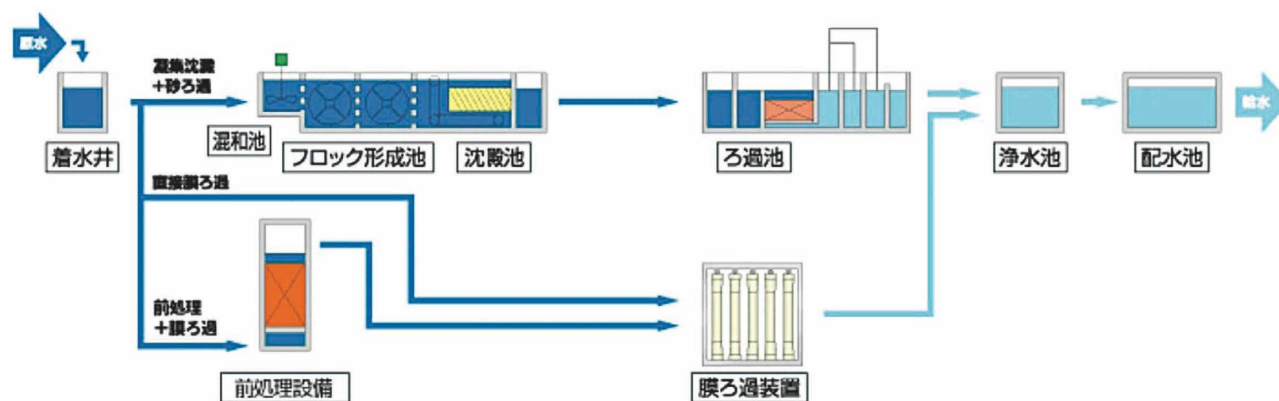


図7 水道施設の構成例



写真9 シェムリアップ浄水場（カンボジア）

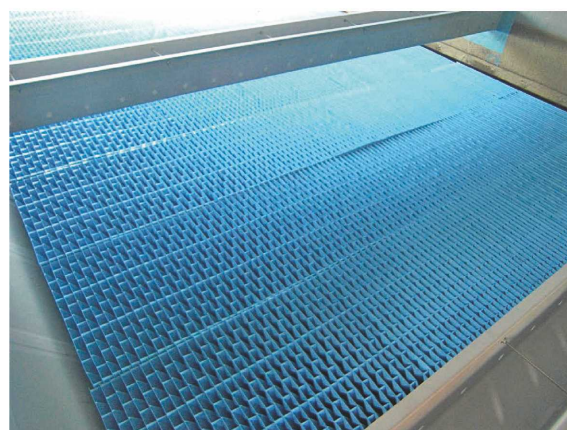


写真10 波型傾斜管 V-Wave

簡素化と省エネルギー化を図った砂ろ過設備である自動サイフォン・フィルター，生物処理の機能を付加して異臭味や溶解性物質の除去を行う生物接触ろ過設備を紹介する。

#### 4.2.1 自動サイフォン・フィルター ASF

砂ろ過ではろ層表面やろ層内に濁質が徐々に蓄積していくため，ある程度差圧が上昇すると，透過側から水を逆流させて濁質を洗い流す「逆洗」操作が必要となる。一般には自動弁やポンプなどを用いた複雑な制御機構が必要となるが，ASF（写真11）では，これらを用いず差圧が上限に達すると自動で機械的に逆洗が行われ，電気代や労務費を削減することができる。

#### 4.2.2 生物接触ろ過設備 BCF<sup>®</sup>

水道水源は必ずしも良質とは限らず，凝集沈殿・ろ過だけでは，異臭味・アンモニア性窒素・界面活性剤・マンガンなどが残る場合がある。薬品を使った物理化学処理に頼らず，微生物の働きによりこれ



写真12 生物接触ろ過設備 BCF



写真11 自動サイフォン・フィルター ASF

らを処理する技術が生物接触ろ過（写真12）である。ろ材表面に微生物が生育し，異臭味物質などの有機物の分解，鉄やマンガンの除去を行う。

### 5. 産業用水処理技術

食品・飲料，鉄鋼，化学，電力など，産業分野では業種や用途により様々なグレードの用水が要求され，また発生する排水の質も多種多様である。当社は，飲料水・工業用水・冷却水・純水のような用水の提供から，有機・無機，低濃度・高濃度，下水放流・河川海域放流など，原水水質と放流先に応じた多様な用排水処理のメニューを揃え，国内外の産業の発展に貢献してきた。省エネルギー・創エネルギーの要求の高まりへの対応に加えて，回収再利用など水利用の合理化にも対応している。産業分野における水処理技術の構成例を図8に示す。

さらに当社では，薬品部門を設け，納入した設備の安定した維持管理のため適切な水処理薬品の提供

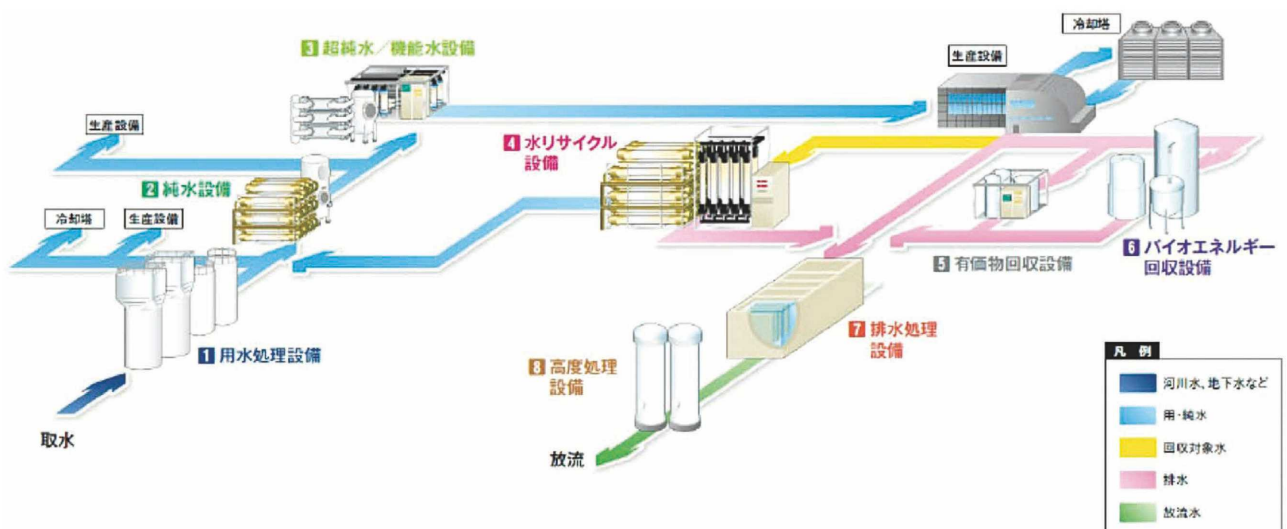


図8 産業分野における用水・排水処理設備のフロー



写真13 圧力式砂ろ過器 スーパーフィルター



写真14 PABIO MOVER®-LS 担体

を行っている。

### 5.1 用水処理・純水製造設備

濁質や鉄・マンガンの除去を主体とする用水処理、さらに進んで要求グレードによりイオン交換や膜分離を組合せた純水装置など、多彩なメニューをラインナップしている。写真13は、高い信頼性を備えた圧力式の砂ろ過器「スーパーフィルター®」である。

### 5.2 排水処理・汚泥処理設備

水質変動の小さい下水処理と比べ、産業排水の水質は様々であり、除去対象物に応じた処理技術の選択が必要である。排水処理にかかるコストは製品価格に上乗せされ、かつ放流水質の悪化は顧客事業所の操業停止につながりかねない問題である。このため、処理コストのミニマム化と安定処理が、産業排水の処理において特に求められる。さらに、温室効果ガス排出量の削減は当分野でも重視されており、省エネルギー・創エネルギーが求められている。

#### 5.2.1 有機性排水処理装置 PABIO MOVER®

有機性排水や窒素の処理に用いられる生物処理では、処理に寄与する微生物の安定保持が求められる。これには微生物保持担体を用いることが有効であり、当社では、微生物の保持性と閉塞・固着防止性に優れた樹脂製の流動担体（写真14）を用いたシステム「PABIO MOVER」を主力製品としている。

#### 5.2.2 有機性排水処理装置 PANBIC®-EC

ビール工場や化学工場など、高濃度有機性排水が多く発生する事業所の場合、活性汚泥法のような好気処理を用いると、処理に要するエネルギーと汚泥発生量が膨大なものとなる。一方、排水中の有機物はうまく活用すれば有用なエネルギー源となるので、嫌気性処理によるバイオガスの回収が試みられてきた。好気性処理ほどの処理水質は単独では得られないものの曝気が不要なため、省エネルギー性に優れ、ガスは発電やボイラの燃料として有効利用できる。



写真15 有機性排水処理装置 PANBIC-EC

排水の嫌気性処理はまず微生物保持担体による「固定床方式」に始まり、その後微生物をより高濃度に保持できる「UASB方式」が主流となり、さらにそれを改良した内部循環方式や膨張床方式に発展し現在に至る。当社でも改良を重ね、現在、処理水をリアクタ外部で循環させ微生物の安定保持とアルカリ剤の使用低減を図った「PANBIC-EC」（写真15）を主力製品としている。

#### 5.2.3 ユニット型水処理設備

産業において、排水の処理は利益を生み出すものではないため、収益を圧迫しないようコストの最小化が求められる。排水処理設備の仕様は排水の量・質と要求水質により決まるものであり、一般の工業製品のように規格品にしてコストダウンを行うことが困難であった。これをある規模範囲において標準化し、スキッド上に設置した規格品を何種か用意することで、設計の共通化と現地工事の最小化によるコストダウンを図ったのがユニット型水処理装置である。当社では現在、

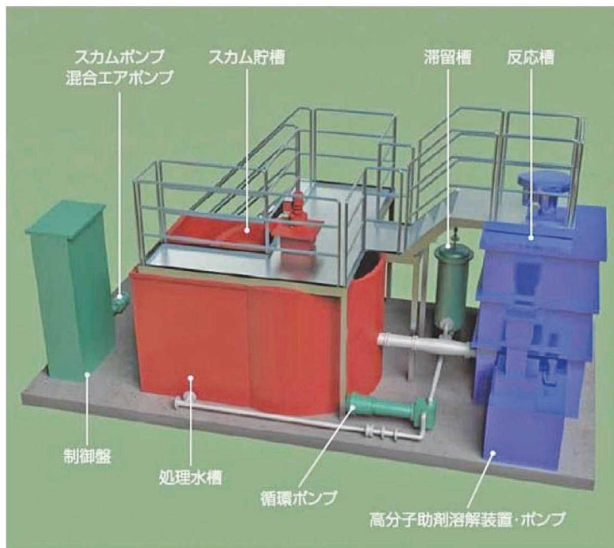


図9 ユニット型加圧浮上装置

加圧浮上装置（図9）

好気性排水処理装置 パビオムーバー CM  
水リサイクル装置 RECLAM（リクラム）

の3種類のユニット型設備を標準化している。

## 6. 冷却塔

化学プラント、製鉄プラント、発電プラント、地域冷暖房設備では、大量の冷却水を必要とする。これに伴って発生する水不足や、地下水の大量使用による地盤沈下などの問題を解決するため冷却水の循環再利用が行われており、そのシステムの中核をなすのが、水の蒸発による潜熱冷却を利用した「冷却塔」である。

当社は1962年に冷却塔の販売を開始し、世界各国に5000基を超える納入実績を有している。

冷却塔は、頂部に設置されたファンで塔の外周から空気を吸込み、冷却対象である循環水と接触させて冷却を行うが、水と空気の接触方法により2種類に大別される。

### 6.1 クロスフロー型冷却塔

空気と水の流れが直交するよう、側面の空気流入部に水を降らせる方式の冷却塔である（図10）。塔上の温水槽が開放になっており、異物の除去・清掃が容易であるとともに、運転中に棟内の点検が可能である。ファンの動力および騒音が小さいという特長がある。

### 6.2 カウンターフロー型冷却塔

塔内を上昇する空気に対向して水を降らせる方式の冷却塔である。立上り配管の位置をクロスフロー型より低く設定できるため、ポンプ揚程を小さくできるという特長がある。外気に触れる箇所が少ないため、寒冷地に向いている。

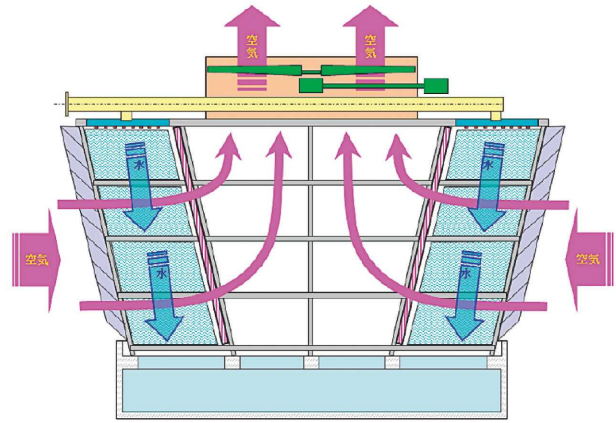


図10 クロスフロー型冷却塔

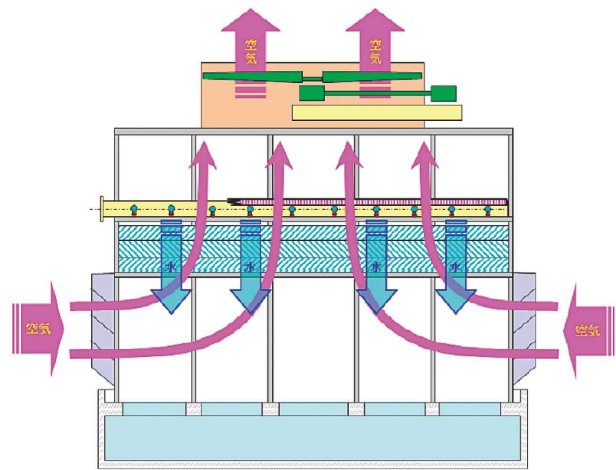


図11 カウンターフロー型冷却塔

## むすび

水処理関連技術の大枠は20世紀に確立しており、現在業界では、それら基本技術を組合せ、時代の要請に応えるべく技術面・運用面でさらなる改良を加えつつある段階にある。当社としても、低炭素・省人化対応を念頭にニーズに合った開発を推進し、国内外の環境問題解決に貢献していきたい。

また、当社が企業として存続し社会貢献を果たしているのは、顧客、共同研究先、取引先各位の協力があってこそである。技術導入元、引退された諸先輩を含め、社内外のあらゆる方々に対し、この場を借りて感謝申し上げたい。

### [参考文献]

- 1) 長谷川進：神鋼環境ソリューション技報, Vol.1, No.1 (2004) p.2-8
- 2) 島田ほか：神鋼環境ソリューション技報, Vol.15, No.1 (2018) p.20-28

# 当社の廃棄物処理技術

## KOBELCO ECO-SOLUTIONS' Waste Treatment Technology



藤田 淳\*  
Jun Fujita



細田博之\*\*  
Hiroyuki Hosoda

当社は、廃棄物処理メニューとして回転ストーカ式ごみ焼却炉、流動床式ごみ焼却炉（ガス化溶融、ガス化燃焼）など豊富なコア技術を保有しており、処理対象物および地域のニーズにあわせた処理技術の提案をしてきた。世界的な脱炭素（カーボンニュートラル）や循環型経済（サーキュラーエコノミー）の潮流の加速を受けて、廃棄物・資源循環分野においても、従来の廃棄物処理に加え、廃棄物エネルギーを含めた資源循環がますます重要になっている。また、日本国内においては、労働人口の減少、熟練技術者不足が深刻になりつつあり、廃棄物・資源循環分野においても同様の問題を抱えており、遠隔コミュニケーションや自動化などの操業支援技術が不可欠な状況となりつつある。当社では、これらの社会的要請に応えるため、コア技術の改良や応用展開による製品開発に取り組んでいる。

Kobelco Eco-Solutions has a variety of core technologies for waste treatment, including rotary combustors and fluidized bed incinerators (gasification and melting, gasification and combustion), and has long proposed solutions to meet a variety of waste treatment targets and regional needs. Yet, with carbon neutrality and circular economies rapidly trending around the world, it is becoming increasingly important to explore resource recycling, including applications of energy generation from waste, in addition to conventional waste treatment. Moreover, the waste treatment field in Japan is facing the same issues of a shrinking workforce and growing shortage of skilled engineers that the rest of the country is, making operation support technologies such as remote communication and automation that much more indispensable. In response to these social needs, we are working to improve our core technologies and develop products with new applications.

### Key Words :

回転ストーカ式ごみ焼却炉

Rotary combustor

流動床式焼却炉

Fluidized bed incinerator

ガス化溶融

Gasification and melting

ガス化燃焼

Gasification and combustion

脱炭素

Carbon neutrality, Decarbonization

資源循環

Resource recycling

自動化

Automation

### 【セールスポイント】

- ・様々な廃棄物、地域ニーズにあわせた提案
- ・脱炭素と循環型経済に貢献する技術
- ・自動化、操業支援の強化

\*環境エンジニアリング事業本部 環境プラント事業部 プラント技術部 機能開発室  
\*\*技術開発センター 技術開発部

## まえがき

脱炭素（カーボンニュートラル）や資源循環経済（サーキュラーエコノミー）の潮流の高まりを受けて、国内の廃棄物・資源循環分野においても、従来の廃棄物処理に加え、廃棄物のエネルギーも含めた循環利活用に対するニーズが急速に高まっている。

環境省においても、2021年度に、廃棄物・資源循環分野の2050年温室効果ガス排出実質ゼロ達成に向けて、対象とする温室効果ガス排出の範囲や削減対策の実施にあたっての基本的な考え方を整理し、今後取り組むべき方向性を明示するために「廃棄物・資源循環分野における2050年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ(案)」を取りまとめた。その中においては、廃プラスチックや廃油の資源循環の高度化、廃棄物エネルギー利活用高度化、CCUS（CO<sub>2</sub>の回収・貯留・有効利用）などが重点対策領域として示されている。

また、日本国内では、労働人口の減少に伴い熟練運転員の確保が困難な環境に直面しており、この状況は今後ますます加速するものと考えられ、熟練技術者の技能伝承や自動化による省力化・省人化による操業支援技術の開発が不可欠な状況となっている。

当社は、廃棄物処理メニューとして回転ストーカ式ごみ焼却炉、流動床式焼却炉（ガス化溶解、ガス化燃焼）など、豊富なコア技術を中心に、様々な処理対象物および地域ニーズにあわせた提案をしてきたが、これらのコアとなる技術を改良し応用展開することで、先に示した脱炭素、資源循環のニーズに応える製品を開発している。また、データ解析やAI、制御技術を活用した操業支援・自動化技術の開発にも取り組んでいる。

本稿では、これらの社会的要請に応える廃棄物処理技術と資源循環技術、操業支援技術の一例を紹介する。

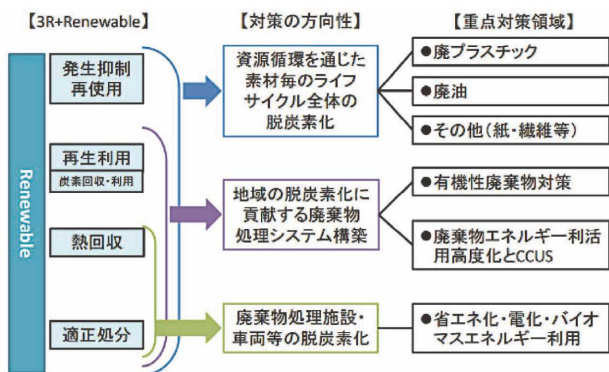


図1 中長期シナリオ重点対策領域<sup>1)</sup>

## 1. 廃棄物処理，資源循環技術

### 1.1 ストーカ炉燃焼技術<sup>2)</sup>

当社の回転ストーカ式ごみ焼却炉（以下、回転ストーカ炉）は、その特徴的な構造により、多種多様な廃棄物に対応できる燃焼性能と極めて高い耐久性を有している。

本章では、回転ストーカ炉の特長を述べるとともに、2022年5月末に竣工した兵庫県高砂市向け回転ストーカ施設「エコクリーンピアはりま」にて実施している低空気比運転や発電効率の実績についても併せて説明する。

#### 1) 回転ストーカ炉の特長

図1にプロセスフローの概要を示す。図2に回転ストーカ炉の断面図および火格子の構造図を示す。回転ストーカ炉は炉外にある駆動装置によって回転し、炉内に可動部を持たずに三次元的なごみ送りと攪拌が行われる。炉内へ供給されたごみは、1時間に1～2回程程度のゆっくりとした炉体の回転と傾斜によって下流へ送られ、給じん装置側の上流から乾燥、熱分解、一次燃焼が順次進行するマス燃焼が行われる。炉壁全体が火格子であり、火格子はボイラ

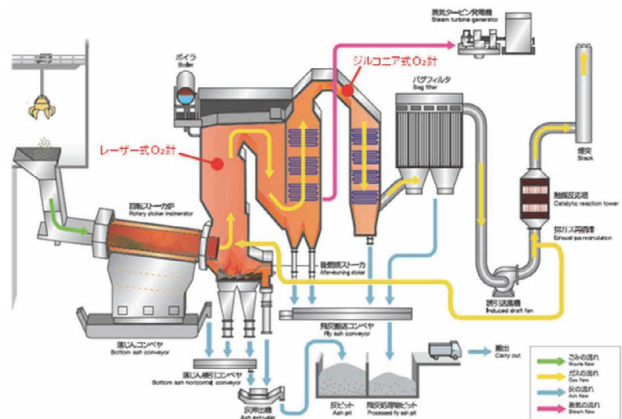


図1 プロセスフローの概要図

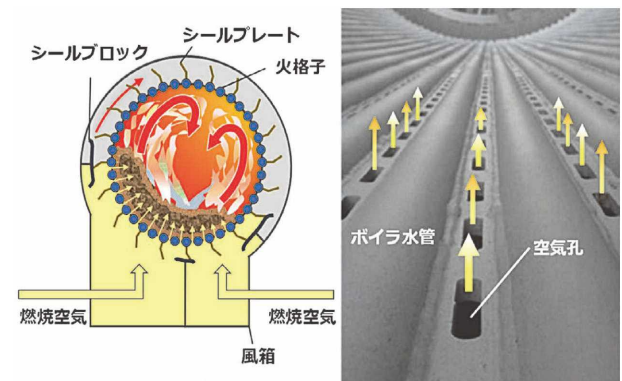


図2 回転ストーカ炉断面図（左）  
火格子構造図（右）

水管とフィンで構成されている。フィンには空気孔が設けられており、焼却炉下部の風箱から空気孔を介して炉内のごみ層底部より燃焼空気が供給され、ストーカ燃焼を形成している。

高温の一次燃焼領域と火炎渦を円筒炉内の下流側に形成することで、上流の乾燥、熱分解領域から排出される水分、熱分解ガス、余剰空気が火炎渦により効率よく混合され、安定した燃焼場が形成される。また、一般的に火格子を通過する空気量が低下すると火格子の温度が上昇し、腐食・減肉が大きくなるが、回転ストーカ炉は炉体を構成する水管内をボイラ水が循環することで、水管表面が一定温度に維持されるため、空気量低減による腐食の影響を受けない。これらの特性により、回転ストーカ炉は低空気比燃焼に適した炉であると言える。また、炉体の回転によるごみ送りは、ごみの反転と左右方向への移動を伴うことで火格子上でのごみ分布を均等に維持し、さらにゾーン毎の高度な空気量制御により安定燃焼を実現している。

## 2) 低空気比運転

本施設では図3のように運転条件を模擬した燃焼シミュレーションを実施し、低空気比運転時 ( $\lambda=1.3$ ) における最適な燃焼条件を検討した結果、回転ストーカ炉直後に排ガス再循環を吹込み、そのすぐ下流側に二次空気を旋回状に吹き込む形式を採用した。これにより、回転ストーカ炉内での攪拌 (I)、炉出口の循環排ガスによる混合・攪拌 (II)、旋回状の二次空気による攪拌 (III) の三段階の混合攪拌による二次燃焼室内での完全燃焼を実現している。

二次空気量の制御は、試運転時に従来型のボイラ出口に設置しているジルコニア式  $O_2$  計による酸素濃度制御とし、空気比1.3を確立した。

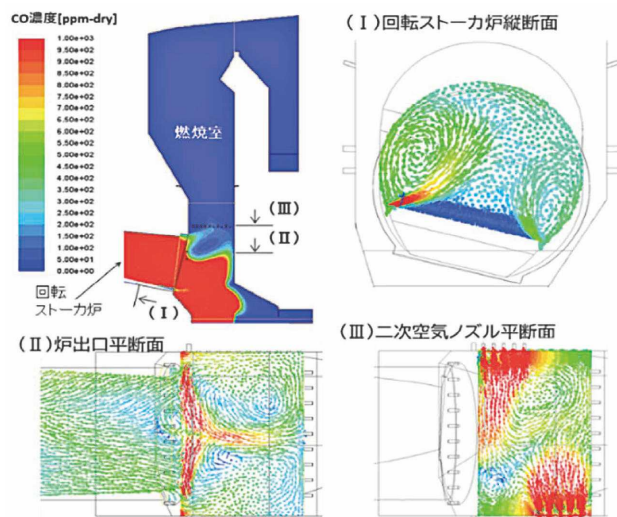


図3 燃焼シミュレーション

さらなる空気比の低減を図るためレーザー式  $O_2$  計による燃焼制御を導入した。図4に燃焼室出口レーザー  $O_2$  計による空気比1.2を制御目標値とした運転データを示す。この期間、CO ピーク (50 ppm 以上) は一度も発生せず、さらに触媒反応塔入口 (バグフィルタ出口) における排ガス  $NO_x$  濃度の平均値は40 ppm を下回る結果を得た。また、レーザー  $O_2$  計の制御では酸素濃度の変動の幅が縮小し、より安定した燃焼が維持できた。

## 3) 発電効率の状況

本施設は操業計画上2炉運転を基本としている。立上げ、立下げがなかった2022年9月1日～9月30日の期間の2炉運転の実績として、表1に平均発電効率実績、図5に発電効率推移を示す。この焼却量規模において最高レベルの発電効率 (平均22.1%) を、安定して維持していることが分かる。なお対象期間

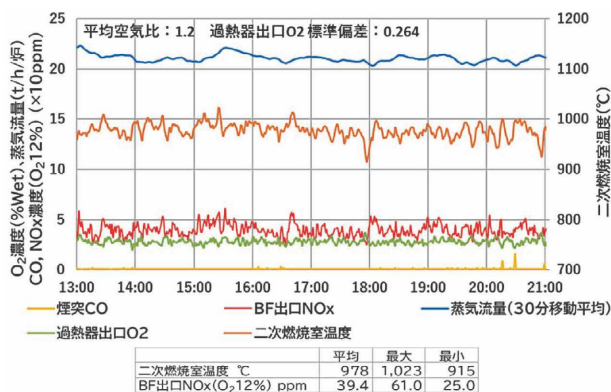


図4 低空気比運転トレンド ( $\lambda=1.2$ )

表1 対象30日間の平均発電効率実績

	計画値	実績値
平均焼却量 (ton/日)	286	271
平均低位発熱量 (kJ/kg)	9 800	10 790
平均発電量* (kW)	6 900	7 502
平均発電効率 (%)	21.3	22.1

\*1時間平均値を示す

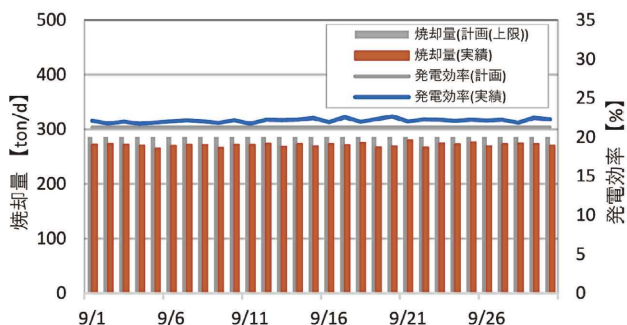


図5 対象30日間の発電効率推移



中、2炉のうち1炉は空気比1.2（レーザー O<sub>2</sub>計による制御）、1炉は空気比1.25（ジルコニア O<sub>2</sub>計による制御）で運転している。設計値の空気比1.3よりも低空気比で運転することにより、発電効率の向上効果が確認できた。

今後も脱炭素に貢献するため、回転ストーカ炉において蒸気量予測による燃焼安定化や自動運転による安定燃焼性能の向上に努めていく。

## 1.2 流動床技術を活用した資源循環技術

当社は、1974年以来、下水汚泥焼却炉、都市ごみ焼却炉およびガス化溶融炉／燃焼炉、木質バイオマス発電に流動床炉を適用し、その技術力を高めてきた。

流動床炉は、ストーカ炉のような機械炉では実現が難しいガス化ができること、砂による分級機能を有することから、脱炭素および資源循環のニーズに応えることができる重要なキーハードとなっている。

本章では、現在開発中である廃プラスチックガス化メタノール化プロセスの開発事例と、流動床の分級機能を活用した都市ごみガス化溶融炉での貴金属回収の事例について紹介する。

### 1.2.1 廃プラスチックのガス化及びメタノール化事業<sup>3)</sup>

世界では海洋プラスチック問題が社会問題化するなど環境保護等の観点から、廃プラスチック（以下、廃プラ）のリサイクル方法確立の必要性が急速に高まっている。現在、実用化されている廃プラのリサイクル技術では、リサイクル品の品質を確保するため、原料に一定の純度・清浄度が求められているが、純度・清浄度が低いリサイクル困難な雑多なプラスチック（以下、雑多な廃プラ）は、単純焼却・熱利用焼却・埋立てにより処理されているのが現状である。廃プラ全体の7割以上を占めるこの雑多な廃プラをいかにリサイクルし、CO<sub>2</sub>排出量を抑制しつつ動脈産業に還流していくかが今もって大きな課題となっている。

この課題に対し、流動床式ガス化技術を有する神鋼環境ソリューション、廃プラのケミカルリサイクルを推進する大栄環境及びDINS 関西、水素製造・合成ガス製造技術を有する三菱化工機及び環境循環型メタノール構想を推進する三菱ガス化学は、廃プラスチックの有効資源化を進めたいという共通の思いのもと、雑多な廃プラであっても処理可能な流動床式ガス化技術をベースに、雑多な廃プラをガス化して得られた合成ガスからメタノールを合成する、国内初のケミカルリサイクル技術の構築を目指し共

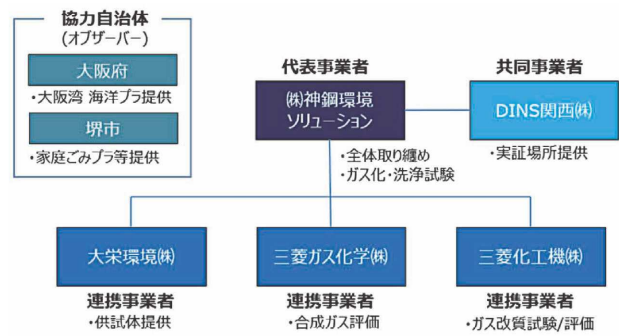


図6 実証事業体制

同実証事業を開始した（図6）。

なお、本実証事業は環境省「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金 脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業」の補助金を得て行うものである。

#### 1) 目標

以下を可能とするプロセス構築を目標とする。

- ① 雑多な廃プラが処理できること
- ② 出口製品の品質がバージン材同等かつ市場に受け入れられる価格を実現すること
- ③ 炭素を循環利用し CO<sub>2</sub> 排出量を削減すること

#### 2) プロセスの概要

本実証事業では、当社が保有する流動床式ガス化技術と、ガス洗浄技術、ガス改質技術からなる4.7 t/日規模の実証設備を導入し、安定的かつ経済的な稼働について実証する。

まず、廃プラをガス化炉で分子レベルまで分解し、ガス洗浄設備で不純物を除去する。この粗合成ガスを三菱化工機（連携事業者）の保有技術を応用することで改質し、合成ガスとした後、三菱ガス化学（連携事業者）の実用化技術でメタノールを安定的に合成できるかを評価する（図7）。

#### 3) 流動床式ガス化炉の特長

ガス化部分には国内17か所で稼働中の当社都市ごみ処理向け流動床式ガス化技術を応用する。その特長は以下の通り（図8）。

- ① 流動床式ガス化炉で雑多な廃プラを効率よく分子レベルまで分解

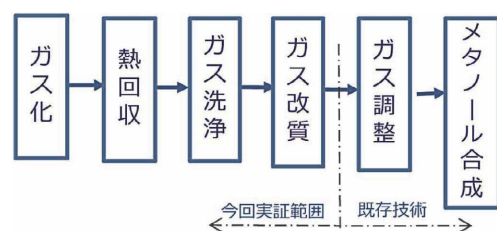


図7 プロセス概要

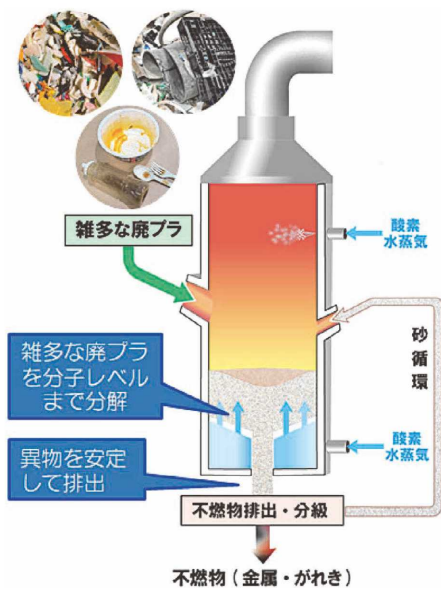


図8 流動床式ガス化炉の特長

- ②簡易な前処理を施すだけで雑多な廃プラを炉内に受け入れることが可能
- ③炉下部に設けた不燃物（金属・がれき等）の排出機構により、雑多な廃プラに含まれる異物を安定して排出することが可能
- ④性状が多岐にわたる雑多な廃プラであっても安定した運転が可能

4) 実証技術の活用・展開

本実証事業により確立された技術を環境循環型メタノール製造プラントとして活用・展開，社会実装することにより，基幹化学品であるメタノールの国産化，地産地消を推進し，安全保障，地政学的リスクの回避に寄与することを目指す。

また，これまで多くのCO<sub>2</sub>を排出してきた雑多な廃プラを基幹化学品（メタノール，図9）として動脈産業に還流することで循環型社会構築に寄与し，従来のメタノール原料である天然ガス使用量（海外）を削減する。

1.2.2 都市ごみからの貴金属回収<sup>4)</sup>

環境省が2022年9月に策定した循環経済工程表に

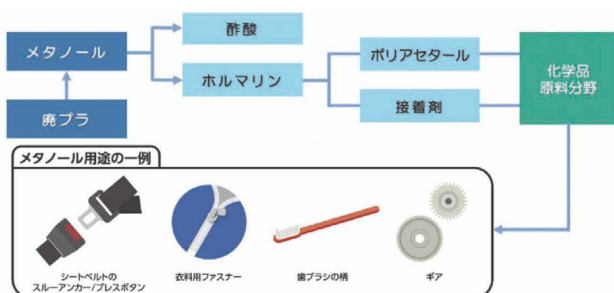


図9 メタノール用途の一例

において、「都市鉱山」である使用済電子機器からの金属回収量倍増の目標が明記され，廃棄物分野における貴金属回収は大きな課題となっている。

このような背景から，都市ごみからの有価貴金属の回収・再利用が期待されているものの，これまでは焼却炉から排出される残留物灰に含まれる貴金属を資源として回収する方法がなかった。上記目標にも寄与する技術として，当社は2018年から流動床式焼却炉での貴金属のリサイクルについて検討を進めており，ここではその成果について紹介する。

1) 流動床炉における貴金属の存在箇所

流動床式ガス化炉と流動床式焼却炉の2つの形式の焼却炉において様々な熱処理残渣の貴金属を分析したところ，流動床炉の炉底に堆積している砂（炉底砂（ろていすな）と呼ぶ）に高濃度に有価金属が濃縮されていることを見出した。流動床式焼却炉（施設a）の各残渣の金濃度を分析したところ，排ガス側のボイラ灰，ガス冷灰，集じん灰など炉底砂以外の残渣に含まれる金の濃度は1 mg/kg未満であり，有価物として回収できる濃度ではなかった。一方，炉底砂の金濃度は154 mg/kgと突出して高いことが分かった。

2) 炉底砂の回収

当社の流動床炉の炉底部分には空気分散板が設置されている。図10に空気分散板の拡大図を示す。空気分散板下部の風箱に押込空気が送風され，分散板に取り付けられた空気ノズルから空気が噴出し，分散板上部の砂を流動させる。ここで空気は砂より軽く，ノズルの上方に吹き上がるため，空気ノズルより下にある砂は流動しない。流動状態の砂は空気が含まれていることから，見掛け比重が小さく，このためごみ中に含まれている比重の大きな貴金属は次第に流動床炉の底部へ沈降し，空気ノズルより下部に徐々に濃縮したと考えられる。

3) 炉底砂における有価金属の濃度

表2に炉底砂の貴金属の分析結果を示す。対象施設は，流動床炉を備える流動床式ガス化炉と流動床

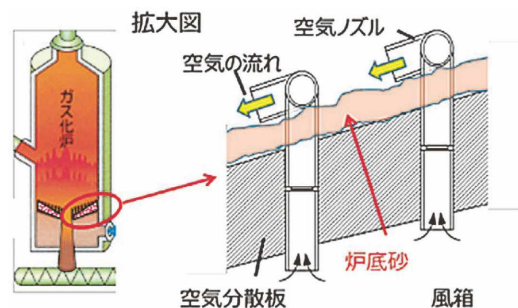


図10 空気分散板

表2 炉底砂中の貴金属濃度分析結果

施設	Au	Ag	Cu	炉形式	一般廃棄物以外の処理対象
	mg/kg	mg/kg	mg/kg		
施設A	1,330~6,300	1,650~9,120	77,400~142,000	ガス化溶融炉	他所灰
施設B	64	139	36,100		リサイクル残渣
施設C	23~3,320	28~2,040	33,200~90,900		リサイクル残渣
施設D	14~1,030	125~1,200	24,400~65,000		リサイクル残渣
施設E	79~148	176~239	48,500~55,300		リサイクル残渣
施設F	5~615	16~1,050	9,300~58,600		掘り起こしごみ、リサイクル残渣
施設a	64~154	350~515	15,300~31,800	流動焼却炉	
施設b	8~70	50~190	37,600~58,600		リサイクル残渣
施設c	62	64	15,700		リサイクル残渣

式焼却炉とした。各施設では、通常のごみの他に、他所灰や掘り起こしごみ、リサイクル残渣が焼却されている。表2から分かるように、炉底砂には数十～数千 mg/kg の金、銀が含まれていた。特に他所灰を受け入れている施設Aにおいて貴金属の濃度が高かった。

4) 炉底砂中の貴金属の存在形態

図11に炉底砂断面のSEM（走査電子顕微鏡）画像および金のEPMA（電子線プローブマイクロアナライザ）画像を示す。本画像から、約1 mmの砂を構成する粒子の内部に直径約20 μmの粒子として金が存在していることが確認された。金は安定な物質であり、他の物質と反応せず、金そのままの状態ですべて炉底砂中に含まれていることが確認された。

5) 炉底砂の取り扱い

表2に示す炉底砂中の貴金属の含有量は、天然の鉱石の品位を大きく上回っているものが大半を占める。そこで、製錬会社と協力し炉底砂からの貴金属回収が出来ないか検討を続けてきた結果、一定以上の金が含まれる施設については有価で精錬会社にて引取る流通ルートを確立することが出来た。回収、輸送、製錬し、廃棄物中の貴金属を再資源化するスキームを、経済的に成立させたサーキュラーエコノミー型の取組み事例と言える。

現在、この取り組みを更に加速させるために、金銀以外の貴金属の回収や、炉底砂の回収施設の拡大に取り組んでいる。

1.3 廃棄物エネルギー利活用促進技術<sup>5)</sup>

当社は、2019年に、廃棄物エネルギーの利活用促進を目的として、はつかいちエネルギーセンターのエネルギー回収型廃棄物処理施設（75 t/日 × 2 炉）に高温高压ボイラ・タービン（6 MPa × 450℃）を提案し採用された。また、本施設は、この高効率発電に加え、従来未利用であったタービン排熱を、隣接するガス会社様に熱供給を行うことで、高効率なエネルギー利用を実現しており、今後の脱

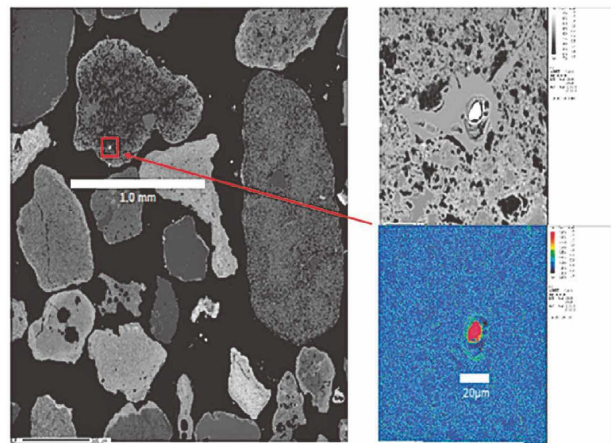


図11 炉底砂断面のSEMおよびEPMA画像

炭素社会の実現に向けての先導的事例となっている。

高効率発電の実現のため、従来4 MPa × 400℃であった蒸気条件を、6 MPa × 450℃まで高めているが、高効率発電をより広く適用していくためには、ボイラの過熱器管の寿命が所定の目標通りとなっているかどうかの技術検証が重要であるため、当社では、過熱器管の減肉挙動を定期的に確認している。

本章では、施設のエネルギー効率やCO<sub>2</sub>削減実績を報告するとともに操業開始から約3年経過した高温高压ボイラの過熱器管の減肉挙動の調査結果を紹介する。

1) エネルギー効率とCO<sub>2</sub>排出量

熱供給によるエネルギー回収も含めたエネルギー効率を図12に示す。熱利用効率は2021年度平均で27.8%であり、発電効率と合わせたエネルギー効率は45.5%と非常に高いエネルギー利用を行っている。

次にこの売電及び熱供給による年間CO<sub>2</sub>削減効果について図13に示す。比較として、従来のボイラ蒸気条件4 MPa × 400℃を想定した試算結果と比べた。CO<sub>2</sub>排出項目として①立ち上げ等に用いる助燃

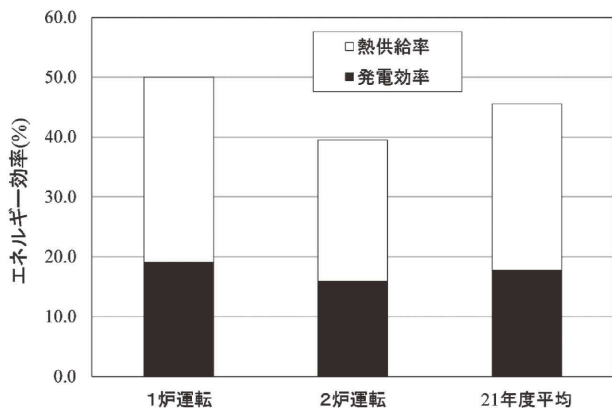


図12 エネルギー効率

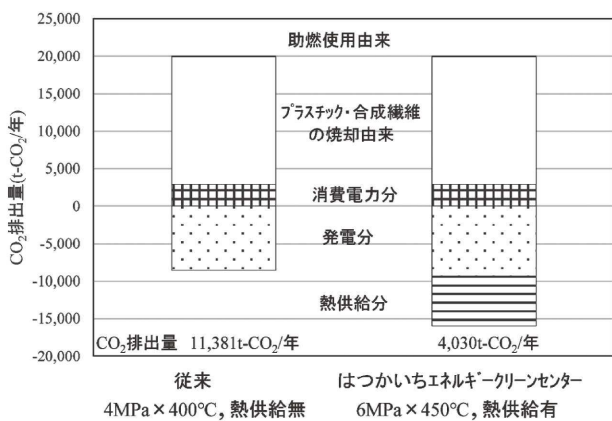


図13 CO<sub>2</sub>排出量

使用由来, ②プラスチック・合成繊維の焼却由来, ③消費電力分, ④発電電力分(削減), ⑤熱利用分(削減)とした。発電量の増加と熱供給利用によりCO<sub>2</sub>排出削減量は増加し, 従来のCO<sub>2</sub>排出量と比べて約65%削減できる試算を得た。

#### 2) 高温高压ボイラの過熱器管の減肉挙動

ボイラ蒸気条件の高温高压化を実現するにあたり, 排ガス中の酸性ガスや塩類に起因する過熱器管の高温腐食が問題となる。当社では, 流動床式ガス化熔融炉および流動床式ガス化燃焼炉にて蒸気条件450℃を模擬した環境下で, 最長19か月に及ぶ過熱器管材料の耐食性評価試験を実施してきた。その結果, 減肉量が軽微となる設計条件を見出し, 本施設の設計に適用している。

本施設では定期的に過熱器管の肉厚を測定している。肉厚測定結果から求めた過熱器管の減肉量の経時変化を図14に示す。なお, 図に示した減肉量は三次過熱器入口6か所の平均値である。(エラーバーは標準偏差)。1号系, 2号系ともに平均減肉速度は0.1 mm/年以下であり, 過去の実機腐食試験と同様の減肉挙動であり, 目標通りの性能が発揮されていることを確認している。

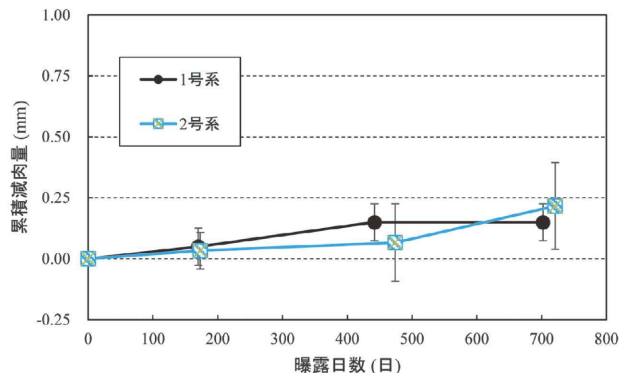


図14 減肉量の経時変化

#### 1.4 CO<sub>2</sub>利活用技術<sup>3)</sup>

我が国の2050年カーボンニュートラル宣言を受け, CO<sub>2</sub>の排出量と吸収量をイコールにするための様々な取組が進められている。CO<sub>2</sub>削減技術としてCO<sub>2</sub>の固定化(CCS)や利用(CCU)が注目されており, 廃棄物分野でもCCUSに関する技術開発が必要となっている。

当社では, 飛灰がCO<sub>2</sub>を吸収/固定化する炭酸化反応において, 重金属類が飛灰に吸着/固定化されて不溶化する性質に着目し, 都市ごみ焼却施設で発生した飛灰に, 焼却排ガスに含まれるCO<sub>2</sub>を吸収/固定化させる実機スケールでの炭酸化実証試験を実施した。実証試験では炭酸化による ①CO<sub>2</sub>の有効利用促進と, ②有機キレート剤使用量の削減効果について検証を行った。また, 炉形式・灰組成が炭酸化に与える影響を明らかにするため, 複数の施設の灰を使ったラボスケールでの炭酸化試験も実施した。これら異なるスケールでの試験結果について報告する。実証を通じて得られた成果を踏まえ, 本技術を上市したので紹介する。

##### 1) 試験内容

実証試験はA市焼却施設(以降, A施設)にて実施した。炭酸化フローを図15に示す。A施設はガス化燃焼炉であり, 通常発生した飛灰は有機キレート剤で不溶化処理されている。実証試験ではこの実機飛灰を炭酸化装置へ搬送し, CO<sub>2</sub>および水, 薬剤をミキサーに投入し, 炭酸化処理を行った。

実証試験はあらかじめ検討した条件を基に, A施設の実際の焼却排ガス(CO<sub>2</sub>: 8-10%-wet)を用いて炭酸化効果の確認を行った。また, 炭酸化後の処理灰については環境省告示第13号試験(以下, 環告13号試験)に基づいてpH, Pb, Cr<sup>6+</sup>を分析し, 最終処分場での埋立て基準を満たしていることを確認した。

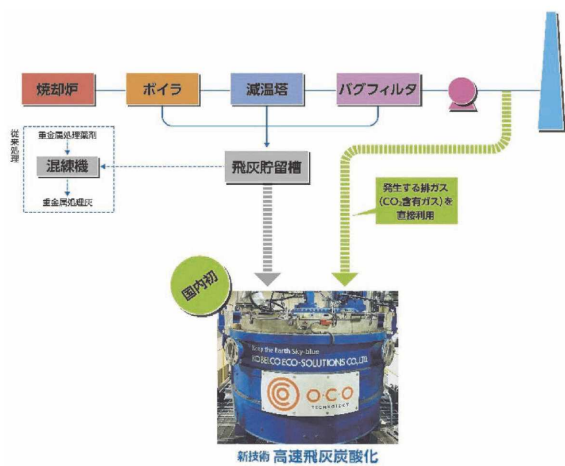


図15 炭酸化フロー図

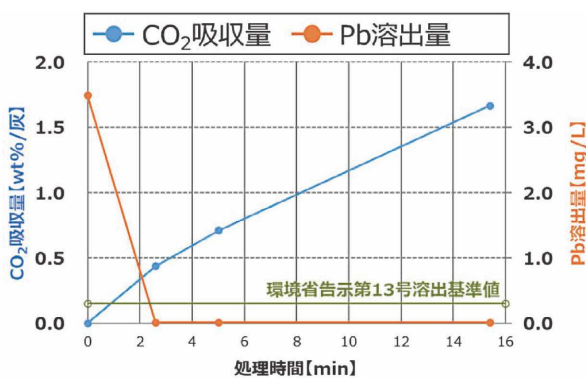


図16 CO<sub>2</sub>吸収量とpH, Pb溶出

## 2) CO<sub>2</sub>添加量と重金属溶出抑制効果

あらかじめ実験・検討した適切な水添加率15 wt%/飛灰で、炭酸化処理時間 (CO<sub>2</sub>添加量) を変化させ、炭酸化効果の確認を行った。炭酸化処理時間とCO<sub>2</sub>吸収量、重金属溶出量の関係を図16 (Pb) に示す。図16はPb溶出濃度について示しており、炭酸化処理前の飛灰のpHは11.9と高く、Pbの溶出量も3.49 mg/Lと基準値より多かったが、炭酸化処理によりPb溶出量を環告13号基準値 (0.3 mg/L) 以下に抑制できることを確認した、本稿では割愛し

たがCr<sup>6+</sup>溶出量についても、Pbの溶出同様、炭酸化処理により環告13号基準値 (1.5 mg/L) 以下に抑制できることを確認している。

また、異なる焼却炉形式 (ガス化燃焼炉, ガス化溶融炉, 回転ストーカ炉) においてサンプリングした飛灰を用いた炭酸化試験を実施した結果、一部の施設ではCr<sup>6+</sup>溶出抑制に無機系薬剤の添加が必要であったが、炭酸化処理と少量の無機系薬剤の併用によってPb, Cr<sup>6+</sup>ともに埋立基準値を満たすことを確認している。

以上の結果から、実際の処理においては従来の混練+有機キレート薬剤に代わり、炭酸化+少量の無機系薬剤での飛灰処理が可能であることを確認した。なお、無機系薬剤量はおよそ0.3 w%/飛灰であり、ランニングコストとしては約1/20に削減できるものである。

## 3) CO<sub>2</sub>削減効果

従来の混練機による有機キレート処理と炭酸化処理で、飛灰処理におけるCO<sub>2</sub>発生量の比較を行った。(表3) 従来の有機キレート処理では、有機キレートの薬剤製造や混練機の動力でCO<sub>2</sub>が発生していた。一方で炭酸化処理はミキサーの動力でCO<sub>2</sub>が発生しているが、薬品使用量削減、飛灰のCO<sub>2</sub>吸収により従来よりもCO<sub>2</sub>発生量が減少、飛灰処理単体ではCO<sub>2</sub>が削減できる試算となった。

## 2. 操業支援技術

国内のごみ焼却施設では、建設と運転保守の包括受注方式 (Design Build and Operate (DBO) 方式) が主流になっていることや国内労働人口の減少に伴い熟練運転員の確保が困難な環境に直面していることから、熟練技術者の技能を自動化に落とし込み省力化・省人化を進めるとともに、熟練技術者が遠隔地からでも指導できるAR技術の活用を進めている。本章では、ごみクレーン自動化とAR技術を活用した操業支援の事例について紹介する。

表3 CO<sub>2</sub>削減効果試算

	項目	従来 (連続式 混練機)	炭酸化 (バッチ式 混練機)	備考
CO <sub>2</sub> 削減 要因	灰が吸収するCO <sub>2</sub>	0.00	-1.06	飛灰に対し、CO <sub>2</sub> 吸収量2%と仮定
	キレート剤 (従来:4.0%添加⇒炭酸化:0%)	5.61	0.00	CO <sub>2</sub> 排出量原単位: 2.6583 kg-CO <sub>2</sub> /キレートkg
CO <sub>2</sub> 増加 要因	灰処理に要する消費電力由来	0.24	0.38	CO <sub>2</sub> 排出量原単位: 0.497 kg-CO <sub>2</sub> /kWh
	無機系薬剤 (従来:0%添加⇒炭酸化:0.3%)	0.00	0.05	CO <sub>2</sub> 排出量原単位: 0.3282 kg-CO <sub>2</sub> /無機系薬剤kg
合計		5.85	-0.62	
削減量 kg-CO <sub>2</sub> /焼却ごみトン		6.47		

## 2.1 ごみクレーン自動化<sup>6)</sup>

ごみ焼却施設では、ごみ質のばらつきが焼却炉の燃焼状態に直結するため、袋ごみや草ごみ等の様々なごみを焼却炉に投入する前段階に、ごみ質が均質になるようクレーンを用いた攪拌作業をおこなう。クレーン作業としてはこの他に、ホッパへの投入作業、翌日のごみ受入対応のための積替作業など多くの複雑な作業が必要となるが、ごみ搬入時等の繁忙時間帯では、ごみピット内の貯留状況の高度な認識、適切な判断、及びクレーン操作スキルを保有した運転員の操作が必要になる。本章では、(株)神戸製鋼所と共同で開発を進めている、ごみクレーン自動化システム全体概要を紹介するとともに、本技術の有効性について報告する。

### 1) システム概要

図17に本システムの実施概略を示す(ダブルピット形式の場合)。本技術は、①ごみピット3D計測技術：ごみピットの高さを計測、②ごみ種判別技術：カメラ画像からごみ種類を判別し攪拌度認識に活用、③動作計画自動化技術：ごみ高さや攪拌度情報等をもとにクレーンの動かし方を決める、④クレーン制御技術：動作計画の指示に基づきクレーンを無駄のない経路で動作、の4つの技術で構成される。これらの4つの要素技術の組み合わせにより、クレーン運転員の認知/判断/操作スキルを代替するものである。

### 2) 実機検証運転

3D計測で得られたごみピット内のごみ高さ情報は、図18のような点群で表現される。ごみ高さを精度よく計測できるため、クレーンは、ごみから過剰な距離を確保しての動作が必要なくなるため、最短での動作が可能となる。

図19に、ごみ種判別ならびにクレーン自動運転

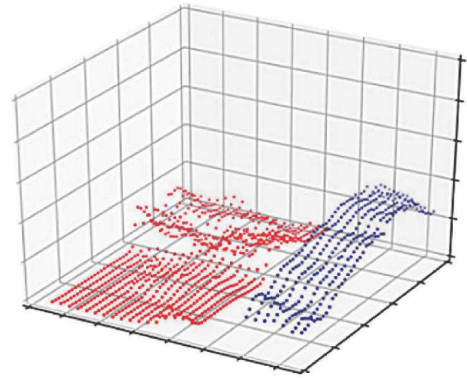
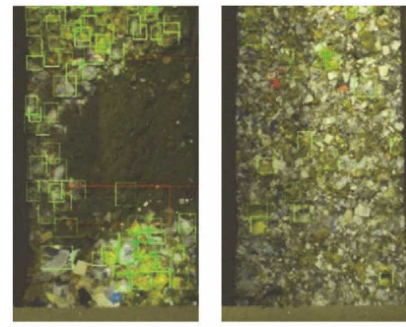


図18 ごみピット3D計測結果の一例



攪拌前 攪拌後 (5時間後)

図19 ごみ種判別結果  
(図内矩形枠：未攪拌ごみ検出箇所)

による攪拌効果の一例を示す。図中矩形で囲われた箇所はごみ種の判別が出来ており、攪拌が出来ないことを表している。図19(a)では、破袋・攪拌処理が行われておらず、未破袋の袋ごみや剪定枝が検出されているが、図19(b)では、自動運転による破袋・攪拌操作により未攪拌ごみの検出領域が減少しており、攪拌・破袋処理が有効に機能していることを確認している。

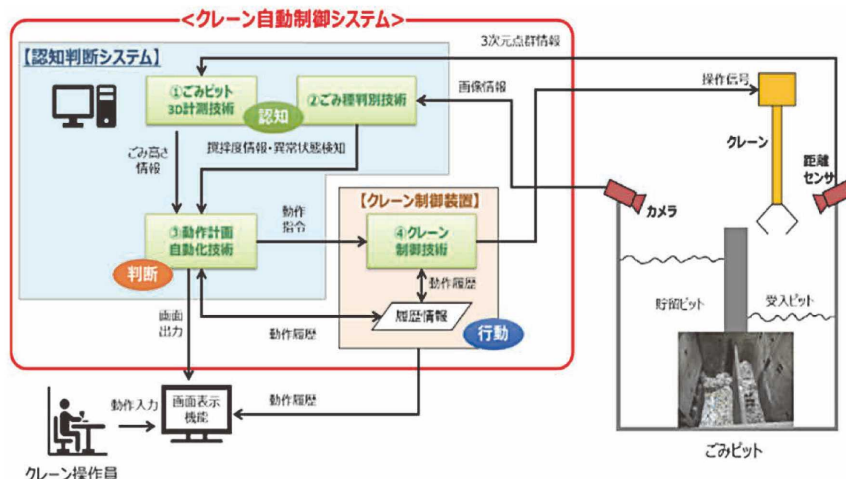


図17 ごみクレーン自動制御システム

焼却炉内へ供給されたごみの攪拌が不十分な場合、炉内燃焼状態は不安定となることが考えられる。試験期間中の「炉内温度」「砂層温度」「主蒸気流量」の標準偏差の相対値を表4に示す。ここでは、試験日と同じ曜日と運転炉数、同等のごみ搬入量で、オペレータによるクレーン手動操作が行われた日の各指標の標準偏差を1として算出した。自動運転時の各指標における標準偏差値は、手動操作時と比較して小さい値であり、安定燃焼を実現できていることを確認した。

## 2.2 操業支援 AR技術の活用<sup>7)</sup>

廃棄物処理施設では、メンテナンス業務におけるベテラン技術者の高齢化が進んでいるため、効率的なノウハウの伝承が喫緊の課題となっている。当社はAR (Augmented Reality) 技術を導入し、ベテラン技術者による遠隔支援だけでなく、現場作業の映像を記録しQRコードとして作業現場に表示するアプリケーションを開発した。本章では、当社にて導入したARデバイスの活用事例について紹介する。

### 1) システム概要

AR技術を活用した、現場作業映像記録および検索システムを図20に示す。画像撮影・通信機能を備えたARデバイスを装着したプラント運転員を現場に配置し、インターネットを経由して中央制御室や遠隔地のパソコンと通信を行い、双方向の通話や現場映像を共有する。ハンズフリーで撮影・録画し

表4 クレーン自動運転時の燃焼状態  
(標準偏差の相対値)

	1号系	2号系
炉内温度	0.73	0.65
砂層温度	0.86	0.58
主蒸気流量	0.83	1



図20 現場作業映像記録および検索システム

たデータはクラウドへ自動アップロードし、QRコードを自動作成する。このQRコードを現場に設置することで、別の運転員が現場で読み取り録画データを参照することができる。

当社にて選定したARデバイスAの外観を図21に示す。

### 2) 活用事例

#### ①デバイスA

日常循環点検や定常作業を行う作業員がデバイスAをヘルメットに装着し、中央制御室のPCとの通信を行った。デバイスAは軽量であったため、通常のヘルメットに装着しても違和感がなかった。

#### ②デバイスB

デバイスB向けに下記機能を備えたアプリを開発し、当社の廃棄物処理施設であるH施設およびK施設にてARデバイスの実証試験および初期導入を行った。

- ・映像/画像の撮影とクラウドへの自動的なアップロード機能
- ・QRコードの自動作成と読み取りによる現場からのファイル参照

初期導入においては、まずデバイスBを装着したベテランのプラント運転員が点検・清掃業務を行い、その作業内容を動画にて記録した。次に、点検・清掃業務の経験が浅いプラント運転員がデバイスBを装着し、ベテラン運転員の作業動画を確認しながら点検・清掃業務を実施した。この時、運転員視点での作業風景は、デバイスBを通じて離れた場所に配置したパソコンのモニタに表示され、遠隔地にてプラント運転員視点での作業内容をリアルタイムで目視できることを確認した。点検・清掃業務の経験が浅いプラント運転員によるテスト作業時、標準と異なる内容の作業を行う場面が複数回確認されたが、遠隔地からの音声指示によって標準でない作業



図21 デバイスAの外観



図22 デバイスからのQRコード表示状況

の実施を回避することができた。また、ベテラン作業員の動画をQRコードとして生成し、点検・清掃業務の経験が浅いプラント運転員が作業時に動画を参照できることを確認した。作業中の装着者がデバイス越しに見ている風景については図22を参照のこと。

このように、2種類のARデバイスを廃棄物処理施設にて試験的に導入することで効率的な技術伝承および作業負荷低減できる目途がついた。Wi-Fiネットワーク整備によりARデバイスだけでなくカメラやセンサー、ロボット等の情報も一元化し活用することで、メンテナンス現場業務を更に高度化する計画である。

また、ますますニーズが高まっている省人化への対応として、回転ストーカ炉における自動運転の高度化や遠隔支援、現場作業や点検作業の削減に向け、設計、開発、操業など関連部門全体で取組を開始している。

## む す び

当社の廃棄物処理のコア技術である回転ストーカ炉の性能アップ、流動床炉を活用した貴金属回収ならびに廃プラガス化メタノール化によるケミカルリサイクルプロセスの開発を紹介するとともに、排ガスに含まれるCO<sub>2</sub>を活用した灰炭酸化処理という新たな技術と廃棄物処理施設のエネルギー利活用最大化の先導的事例など、脱炭素や循環型経済の進展に寄与する技術ならびに取組み事例を紹介した。

また、操業支援技術については、ごみクレーン自動化やAR技術を活用した熟練技術者による遠隔指導等の事例を示し、今後の操業技術者不足に対する開発事例を示した。

廃棄物・資源循環分野は、今後の脱炭素・循環型経済の推進において、これまで静脈産業で処分されていた資源を動脈産業に戻す重要な役割を担う必要がある。当社も、これまで培った技術、ノウハウを活かし、持続的社会的の実現に貢献していく所存である。

### [参考文献]

- 1) 環境省、廃棄物・資源循環分野における2050年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ(案)、令和3年8月5日
- 2) 奥住ら：第44回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、p.98-100(2023)
- 3) 笹山ら：京都大学環境衛生工学研究会機関誌「環境工学研究」、Vol.37, No.3, p.172-174(2023)
- 4) 谷田ら：第32回廃棄物資源循環学会研究発表会講演原稿、p.237-238(2021)
- 5) 玉置ら：第44回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、p.104-106(2023)
- 6) 渡邊ら：環境浄化技術、Vol.21, No.4, p.52-56(2022)
- 7) 木下ら：神鋼環境ソリューション技報、Vol.18, No2, p.30-33(2022)



# 当社プロセス機器開発のこれまでと今後の展望

## KOBELCO ECO-SOLUTIONS' Past and Future Prospects for Process Equipment Development



南 俊充  
Toshimitsu Minami



小川智宏  
Tomohiro Ogawa

当社はグラスライニング技術を主力事業として1954年に設立された。以来、50年以上に渡り、グラスライニング技術だけでなく、攪拌技術、混合乾燥機やろ過乾燥機などの粉体技術、薄膜蒸発機などの分離精製技術を含めたプロセス機器の開発を行い、化学産業を中心に各ユーザの課題解決、発展に貢献してきた。現在、生産性や安全性の向上等の顧客ニーズへの対応だけでなく、CO<sub>2</sub>削減等の社会問題の解決を目指し、技術開発を行っている。

The company was founded in 1954 under the name Shinko Pfadler Co., Ltd. with glass lining technology as its core business. Since then, for almost 70 years, we have been developing process equipment, not only for glass lining technology but also for mixing technology, powder technology (such as mixing dryers and filter dryers), and separation and purification technology (such as wiped film evaporators). In this way, we have helped different users, mainly in the chemical and pharmaceutical industries, solve their problems and contributed to their development. Currently, the company is developing technologies not only to meet customer needs such as for improved productivity and safety, but also to solve social problems such as how to reduce CO<sub>2</sub> emissions.

### Key Words :

グラスライニング	glass lining
攪拌	mixing
粉体混合, 粉体乾燥, ろ過乾燥	powder-mixing, powder-drying, filter-drying
薄膜蒸発器	wiped film evaporator
反応機	reactor
凍結乾燥	freeze-dry, lyophilization

### まえがき

当社は神戸製鋼所珪瑯部をその起源とし、米国ファウドラ社との共同出資により、グラスライニング製機器の製造販売を主力事業とした神鋼ファウドラ株式会社として分離・独立し1954年に誕生した。以来、プロセス機器事業としてグラスライニング技術だけでなく攪拌技術、混合乾燥機やろ過乾燥機などの粉体機器、薄膜蒸発機などの分離精製技術の開

発とともに発展してきた。本稿では、現社名の神鋼環境ソリューションとなった2003年10月からこれまでのプロセス機器の技術変遷と今後の展望について紹介する。図1に、各技術開発の変遷を示す。

### 1. グラスライニング

#### 1.1 グラスライニング (GL) 技術

グラスライニング (GL) は耐食性を必要とする製造原料や反応プロセスで使用可能な耐食材料で、

\*プロセス機器事業部 技術部  
\*\*プロセス機器事業部 技術部 開発室

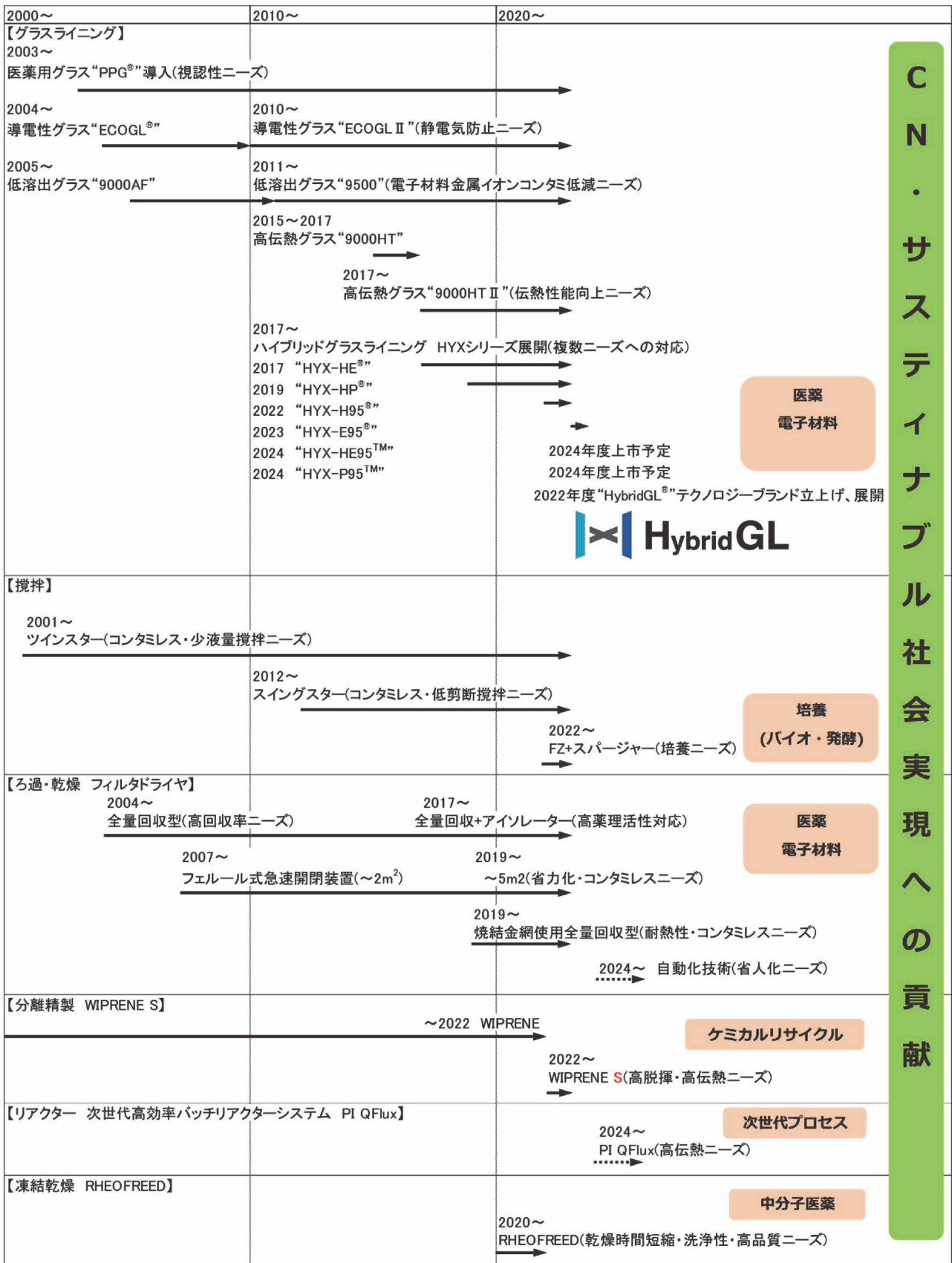


図1 プロセス機器 各技術開発の変遷<sup>1)</sup>

当社は化学・医薬プラントで使用される GL 製の反応機、貯槽、熱交換器等を製造、販売している。当社では創業期からより、ガラスを原料から自社製造することを基本とし、現在もこの基本姿勢は受け継がれている（図2）。

## 1.2 機能性ガラス（2003～2016年）

### 1.2.1 医薬用ガラス PPG

まず2003年に商品化したガラスが PPG\* である。従来の標準ガラスの濃紺色に対して明るく視認性に優れたライトブルー色であり、そのため缶内の付着等を目視で確認しやすくなり洗浄性が向上した。更に、標準ガラスより耐アルカリ性が20%向上しており、アルカリで CIP（Cleaning In Place）洗浄を行う反応機に有効なガラスとなっている。

\* PPG（Pfaudler Pharma Glass）は Pfaudler GmbH との技術提携品。

### 1.2.2 導電性ガラス ECOGL

2004年には、絶縁性の GL 機器内で発生する静電気による機器破損等のトラブルを防止するガラスとして、導電性ガラス ECOGL を商品化した。このガラスには、表層部のガラス層のみに導電性を付与した当社独自の複層構造を採用している。内容物の帯電が大きくなり放電が発生した場合でも、放電エネルギーを表層の面方向で緩和し、下層の絶縁ガラス層で静電気による破損を防止することでガラス層全体としての耐電圧を標準ガラスより向上させている。2010年には視認性向上のニーズを受け新しい導電性フィラーを採用することで性能は従来のままで薄青色をした ECOGL II を商品化した。

### 1.2.3 低溶出ガラス 9000AF, 9500

ガラスは化学的耐食性に優れた材料であるが、条件によっては、腐食によりガラス成分が溶出する。

Na, K といったアルカリ金属成分が溶出しやすく、特に電子材料を製造するユーザからこの微量な溶出の低減要求があり、2005年に9000AFを商品化した。このガラスでは、当社独自の表面処理技術により表面近傍のアルカリ金属成分を除去することで、微量な溶出を低減させている。また、2011年にはガラス中の Na 成分含有量を極限まで低減させることで、Na の溶出量を従来の標準ガラスの1/10に減少させた低溶出ガラス9500を商品化した。

### 1.2.4 高伝熱性ガラス 9000HT, 9000HT II

GL 機器ではガラス層の伝熱性が律速となっていることから、GL 機器の伝熱性を改善すべく2015年に高伝導性ガラス9000HTを開発した。9000HTでは、ガラス層厚みを低減するとともに、熱伝導の良好なガラス層を設ける当社独自の複層構造とすることで熱伝導性能を向上させている。また、2017年にはさらに熱伝導性能を向上させた9000HT IIを商品化した。9000HT IIを採用することで図3のように昇温所要時間が33%短縮され、さらに高効率攪拌翼フルゾーン®を使用することで缶内境界膜係数が向上し、さらなる時間短縮が可能となっている。

## 1.3 ハイブリッドガラス（2017年以降）

2016年には、従来の耐食性加えて2つ以上の機能性を有するハイブリッドガラスの開発に着手した。2017年に世界初のハイブリッドガラスである HYX-HE（高伝熱性+導電性）を商品化、2019年に HYX-HP（高伝熱性+医薬向/視認性・洗浄性）、2022年に HYX-H95（高伝熱性+低溶出性）、2023年には HYX-E95（導電性+低溶出性）を商品化した。加えて、今後、“ガラスライニングはハイブリッドの時代に” なるとの思いからハイブリッドガラスライニングについて広く知っていただき（周知化フェーズ）、その後、製品の使用を通じて性能の良さを認識頂きファンになって頂く（認知・信用化フェーズ）ことを目的にテクノロジーブランド戦略を展開している。ハイブリッドガラスである HYX シリーズのブランドとして HybridGL® を、ロゴとして HybridGL

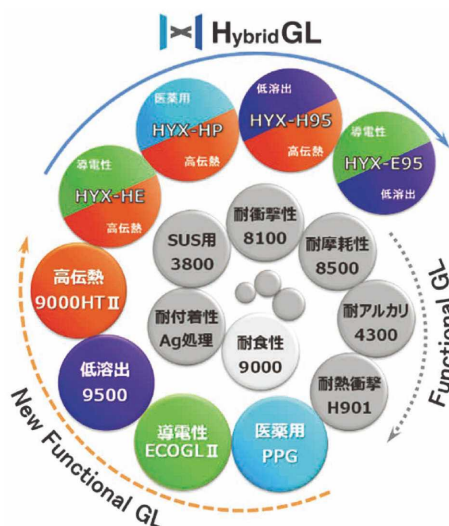


図2 当社保有ガラス種

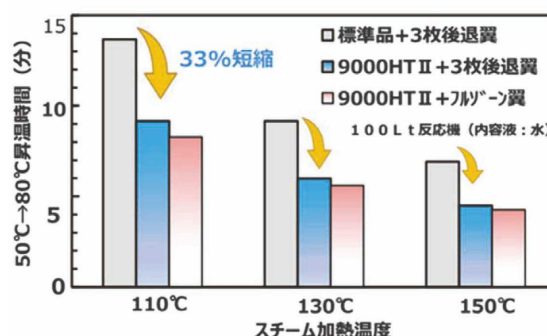


図3 9000と9000HT IIの昇温所要時間比較

を制定、また HybridGL については世界展開をにらみ商標について世界主要各国へ出願済みである<sup>2)</sup>。

### 1.3.1 HYX-HE

HYX-HE は、溶剤の使用による静電気トラブル防止のため耐静電気性の高い ECOGL II を採用している GL 機器において、HE を採用することで、9000HT II の高伝熱性による生産性向上、省エネ、CO<sub>2</sub>削減効果を享受できる製品となっている。

### 1.3.2 HYX-HP

HYX-HP は、洗浄性、視認性、耐アルカリ性が高く医薬用途に最適なガラス PPG\* を採用している GL 機器において、HP を採用することで、9000HT II の高伝熱性による生産性向上、省エネ、CO<sub>2</sub>削減効果を享受できる製品となっている。

### 1.3.3 HYX-H95

HYX-H95 は電子材料製造関連における金属イオン溶出低減ニーズからイオン溶出性の低い9500を採用している GL 機器において、H95 を採用することで、9000HT II の高伝熱性による生産性向上、省エネ、CO<sub>2</sub>削減効果を享受できる製品となっている。

### 1.3.4 HYX-E95

HYX-E95 は電子材料製造関連における金属イオン溶出低減ニーズからイオン溶出性の低い9500を採用している GL 機器で乾燥機や溶剤を使用する反応機で E95 を採用することで、静電気によるトラブルを防止することが可能となっている。

### 1.3.5 HYX-P95, HE95

医薬やファインケミカル分野で PPG を使用頂いているユーザーへさらなる低溶出性能を提供するため、2024年度商品化を目指し HYX-P95 という新製品を開発している。また、高伝熱性、導電性、低溶出性の3つの機能を有する世界初となる HYX-HE95 という新製品についても P95 と並行して2024年度商品化を目指し開発している。

図4に HYX-P95 と HE95 の性能概要を示す。

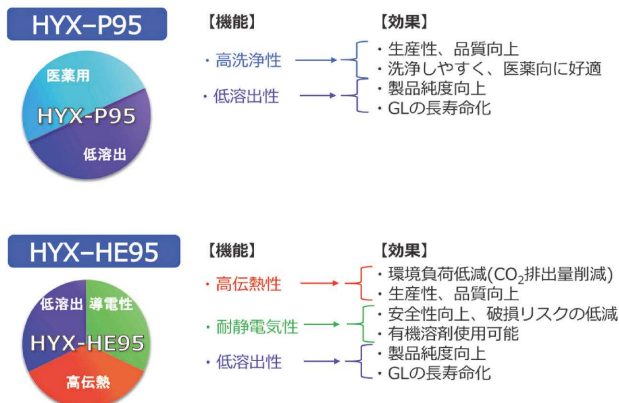


図4 HYX-P95, HE95の性能概要

“グラスライニングはハイブリッドの時代に”のフレーズを実現させハイブリッドガラスのスタンダード化を目指し、HYX シリーズの拡充と認知度向上に努めていく所存である。

## 2. 攪拌

### 2.1 攪拌技術

攪拌槽は、混合、分散、溶解、反応など、様々な目的で使用されるが、装置そのものは単純な構成である。液体を入れる容器と攪拌するための攪拌翼で構成され、あとは攪拌翼をある回転数で回せば良い。しかし、目的に合った攪拌操作を行うため、槽・翼・バッフルの形状および寸法、回転速度をいかに設定するかを考えようとすると非常に奥が深く、これまで多くのユーザーの頭を悩ませてきた装置の一つであろう。当社はその時々々の市場、ユーザーのニーズに合わせ、数多くの知見、ノウハウから適した攪拌技術を提案してきた。以下に当社がこれまでに提案してきた攪拌技術と、これからの市場、ユーザーのニーズに合わせた展望の一部を紹介する。

### 2.2 攪拌技術の変遷

#### 2.2.1 攪拌翼

2000年以前の攪拌槽には、生産能力の増強を目的とした高効率な攪拌技術が求められた。汎用プラスチックの需要が増加することで、攪拌槽には均一混合、異相系攪拌、粘度変化のある流体の攪拌など、複数の目的を同時に満足させる攪拌翼が求められた。そこでフルゾーン翼<sup>3)4)5)</sup>を開発し、従来の攪拌翼では困難な多目的、高効率な攪拌を実現した。2000年以降、日本の化学産業における需要は、汎用プラスチックから医薬、ファインケミカル、電材などの高付加価値製品へ推移した。攪拌槽には攪拌性能の他ほかに、多品種少量生産、小液量攪拌、洗浄性が求められるようになり、これに対応したツインスター翼<sup>6)</sup>を開発した。さらには『コンタミレス』をキーワードとした無摺動クリーン攪拌翼であるスイングスター翼<sup>7)8)</sup>へ発展させることで、各時代のニーズへ対応し続けてきた。

#### 2.2.2 知見とノウハウ

市場、ユーザーへのニーズに対し適切な攪拌技術を提案するには、根底となる技術力が必須となる。弊社は実験的な評価、検討を繰り返し、数多くの知見とノウハウを積み重ねることで技術力の向上に努めてきた。近年では、コンピュータの計算処理能力の向上により、PIV (Particle Image Velocimetry: 粒子画像流速測定法) と CFD (Computational fluid dynamics: 数値流体力学) が比較的容易に利用でき、視覚的、定量的な評価、検討がより詳細に、より高

速に可能となりさらなる技術力の向上に役立っている(図5, 図6)<sup>9)10)11)12)</sup>。

### 2.3 これからの攪拌技術の展望

今後の市場、ユーザのニーズを考えると、一つのキーワードにカーボンニュートラルが挙げられる。2021年に開催されたCOP26において、2050年までにカーボンニュートラルの実現が表明されたことを皮切りに、脱炭素化やCO<sub>2</sub>排出量・削減量の可視化などの取り組みが国内に拡大している。カーボンニュートラルの実現のキーテクノロジーとして注目されているのが、微生物などの生物の能力を活用して化石燃料を原料としない物質生産『バイオものづくり』である。そこで、攪拌技術者として今後、ユーザへ提案すべき技術は『攪拌槽を用いた微生物による物質生産技術』と考えている。上記技術の確立には、下記三つが課題となる。

- ①ガス吸収性能(微生物への十分な酸素の供給)
- ②低せん断性(微生物の成長促進)
- ③高粘度、高濃度の混合(物質生産性の向上)

微生物培養に携わる技術者の多くは、培養槽の攪拌翼にタービン翼を連想するのではないだろうか。しかし、タービン翼では上記三つを同時に達成することが難しく、実生産に向けたスケールアップで想定

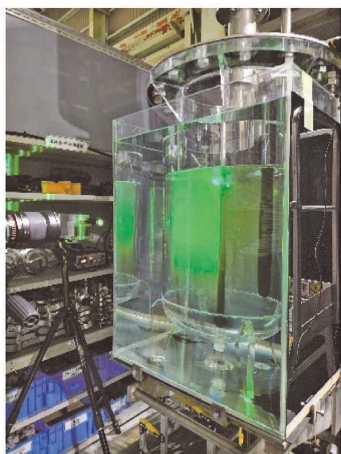


図5 PIV測定装置



図6 CVDによるフルゾーン翼の解析事例

した結果が得られないことから、頭を悩ますユーザが多くなることは想像に難くない。弊社は今後の新たなニーズに対しても、適切な攪拌技術の提案が出来るよう日々努めていこうと考えている。

## 3. ろ過・乾燥

### 3.1 フィルタドライヤ

フィルタドライヤは、反応、晶析などによって得られたスラリーに対し、一台の密閉容器内で固液分離、ケーキ洗浄、乾燥を行い、純度の高い粉体あるいはプロセス液を得ることができる多機能装置で、ファインケミカル、医薬、電子材料、食品と様々な分野で実績がある。1988年販売開始から今日まで、ケミカルハザード対策やコンタミレス、高純度化のニーズに応えるべく、改良、開発を加えてきた(図7)。

### 3.2 全量回収機構

フィルタドライヤの構造上、回転する攪拌翼とろ過面との間には接触を避けるため一定のクリアランスが設ける必要があるが、乾燥して得られた製品がこのクリアランス部に残存し回収できない問題があった。そこで、缶体を傾斜し、さらにエアブレイタによってろ過面を振動させることで、クリアランス部に残留した粉体を排出口に移送し回収する全量回収機構を開発した<sup>13)</sup>。全量回収機構により人手を介さず従来よりも高い回収率を達成できるため、高価な製品や薬理活性の高い製品に数多く使用されている。

また全量回収型フィルタドライヤとアイソレータを組合わせた実績も多数ある。さらに、ろ材には通常はろ布を使用するが、2019年には焼結金網仕様の全量回収機構も開発した<sup>14)</sup>。

### 3.3 フェルール式急速開閉装置

下蓋フランジの閉止方法としてはクランプ締結が一般的だが、数多くのクランプの締付に多大な労力を要することや、クランプ開閉時に作業者が缶内残留品や洗浄液の液だれに暴露するリスクがあった。クランプ締結以外の従来技術としてクラッチタイプの急速開閉装置があるが、テーパーライナー部への定期的な潤滑油塗布が必要であり、また摩耗粉の発生リスクがある。こうした問題を解決するため、少ない工程で締め付けを行うことが可能で配管接手などで使用されることの多いフェルール形状を採用、クランプリングには耐摩耗性、滑り性を改善する表面処理を施すことで、無潤滑での急速開閉装置を実現した<sup>15)</sup>。この機構の採用は当初クリーンルームに設置されることの多い2m<sup>2</sup>機までに限定していたが、2019年には大型化にも取組み、当社シリーズ最大の5m<sup>2</sup>機まで適用範囲を拡大した<sup>14)</sup>。

### 3.4 高効率攪拌翼と加熱翼

フィルタドライヤでは、ケーキ高さの制限もあり粉体単位体積当たりの伝熱面積が他の乾燥専用機に比べ小さく、乾燥時間が長くなる傾向にある。乾燥時間の短縮のためには総括伝熱係数の向上が必要であり、そのためには、混合性能を高めた攪拌翼を使用することと、攪拌翼を加熱し伝熱面積を拡大することが有効である。2007年には、これらを両立した高効率加熱翼を開発した<sup>15)</sup>。

### 3.5 多彩な独自技術

その他、コンタミレス、洗浄性、省力化、安全性に配慮した技術として、シャワーリング・スプレーボールなどのCIP洗浄機構、組立・分解・洗浄等の作業効率を改善したノズル一体型バグフィルタ<sup>14)</sup>、洗浄性に優れたPTFE製ペローズ、排出弁シールを自動洗浄するガスパージ式バルブを開発し、要求される機能に対応している。

### 3.6 フィルタドライヤの今後

省人化、作業効率化の観点より、今後、特に自動運転へのニーズが増加すると考えられる。これまでも、既存のセンサーを組合わせた自動化はある程度進められているが、画像解析技術と運転ノウハウを組合わせた自動運転方法を提案できるよう現在開発を進めている。

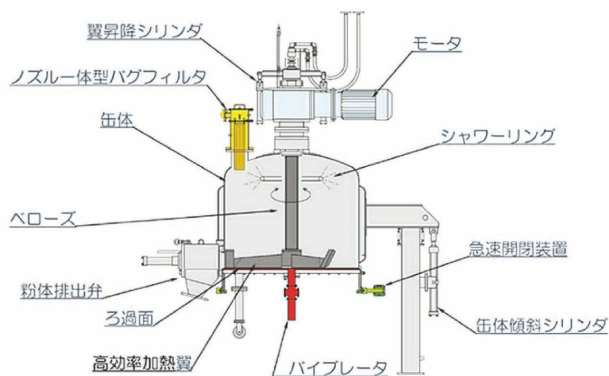


図7 フィルタドライヤ構造図

## 4. 分離精製

### 4.1 新型薄膜蒸発機 “WIPRENE S™”

当社の薄膜蒸発機 WIPRENE® (ワイプレネ) は、短い滞留時間や高い伝熱性能などの特長からファインケミカル製造プロセスにおいて50年以上にわたり2000基以上使用されている<sup>16) 17)</sup>。今回、蒸発性能に寄与する因子を再検証し、液膜の混合性を改善し蒸発性能を向上させた新型機 “WIPRENE S” を開発した。

### 4.2 WIPRENE S の性能

図8に2種類のサンプルにおける従来機と

WIPRENE S との脱揮性能の比較を示す。製品Aは、モノマーが6 220 ppm 残存した原料からモノマーを蒸発除去する処理、製品Bは、溶剤30%の原料から溶剤を蒸発除去する処理である。製品A、製品Bともに従来機と比べて WIPRENE S の残存揮発分濃度は従来機の約半分となり、約2倍の脱揮性能を有する。つまり、同じ残存揮発分濃度であれば、処理量を約2倍にすることができる。

図9にテストサンプルとして水を使用した場合の WIPRENE S と従来機との内面側境膜伝熱係数の比較データを示す。従来機と比べて WIPRENE S の方が、流量に関係なく内面側境膜伝熱係数が約20% 高くなっている。

### 4.3 WIPRENE S の構造

WIPRENE S は、従来機から主に、

- ・ワイパの溝・山幅：従来機より小さい
- ・周方向のワイパ列数：従来機より多い

の2点を変更し、機器全体を最適化した構造としている。

### 4.4 性能を決定するメカニズム

液膜厚さ、液膜とフィレットとの混合度、滞留時

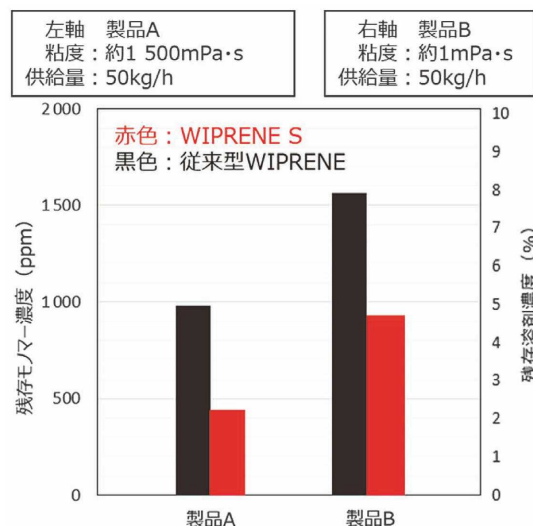


図8 WIPRENE S と従来機の脱揮性能比較

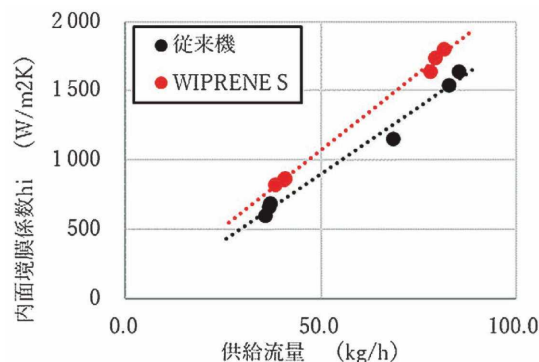
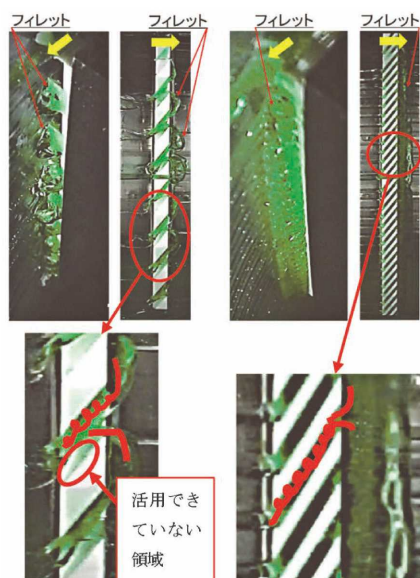


図9 WIPRENE S と従来機の伝熱性能比較



左：従来機 右：WIPRENE S  
 ※ 観察しやすいよう流体を緑色に着色

図10 液膜観察写真

間について検討した結果、WIPRENE Sの性能向上には、液膜とフィレットとの混合度向上が大きく寄与していることを確認した。図10の液膜の観察写真で分かるように、従来機では溝内に液が流れていない領域が存在するのに対し、WIPRENE Sのワイパでは、溝内を液が充満して流れることでワイパと流体とが接触し、流体内の混合が促進されると考える。

WIPRENE Sは従来機から改造することも可能であり、既にご使用中のユーザにもその効果を実感頂ける新型機である。近年ニーズの高まっている高脱揮処理やリサイクルなどの用途に、より効率の高いWIPRENE Sを適用することで環境問題にも貢献できると考える。

## 5. リアクター<sup>18)</sup>

### 5.1 高効率バッチリアクター

近年連続生産（フローリアクター）が注目され、医薬原薬・中間体製造において海外で実用化が始まっている。一方で、化学分野の大部分は従来のバッチリアクターを用いたプロセスが使用されており、バッチ反応機を効率化することで、反応機の小型化が可能である。効率化のためには、GLの伝熱性の改善だけでなく、バッチリアクターの性能向上も必要である。PTSC社（Process Technology Strategic Consultancy Ltd）の高効率バッチリアクターシステム（以下、PI Q Flux<sup>®</sup>）に着目し、同社と共同で従来のリアクターと高効率バッチリアクターの比較実証試験を行った。

### 5.2 高効率バッチリアクターシステム

PI Q Flux<sup>®</sup>は高効率バッチリアクター PI reactor（PI：Process Intensity）を高精度単一熱媒供給ユニット TCU で制御するシステムである（写真1）。PI reactor は TCU から供給される単一熱媒油で加熱冷却される。PI reactor は外套以外に反応機内部に特殊耐食合金製の加熱可能なバッフルを有しており、外套とバッフルの双方で加熱冷却が行われている。TCU は熱媒を加熱冷却するためにユーティリティとして蒸気または電気ヒータ、冷却水、ブラインを使用し、各々、熱交換器を用いて熱媒を加熱冷却している。

### 5.3 実証試験

#### 5.3.1 試験条件

容量 1 m<sup>3</sup> の PI reactor と標準 GL 反応機（当社製品 WS-R）を使用した。内容液としては水と油（コーン油）の2種類を使用し、水の場合は5℃から95℃への加熱、油の場合は10℃から160℃への加熱における所要時間で伝熱性能を比較した。PI reactor と標準 GL 反応機の本体はいずれも GL 製のため、熱衝撃による GL 破損を防止するために ΔT=100～120℃の制限を設けて外套側からの加熱 冷却制御を行った。

#### 5.3.2 実証試験結果

水、油（コーン油）の両者比較結果を、表1に示す。内容物が水、いずれの場合においても、同じ加熱蒸気圧力では約1/4、加熱蒸気圧力を上げることで約1/5に加熱時間が短縮された。PI reactor 内部にある加熱可能なバッフルについては GL 施工された本体側と異なり ΔT の制限がないため、加熱蒸気圧力を上げ供給する熱媒温度を上げることで加熱時間短縮を実現している。

TCU については単一熱媒を使用しているが、内部制御により PI reactor 外套側は ΔT 制御した熱媒を、内部の加熱可能なバッフルは ΔT 制御なしのより高温の熱媒を各々供給可能となっている。加熱時にボイラーが消費した燃料を実測して PI reactor の省エネ性能を確認した結果、標準 GL 反応機に比べて50～60%燃料消費量が少ないことを確認した。

### 5.4 PI Q Flux の今後

PI reactor は PTSC 社が設計した ASME 準拠の仕様で製作した。第一種・第二種圧力容器といった国内法規に対応するためには設計変更が必要であり、今後当社にて設計変更を進めていく。

本システムを開発、上市することで国内および海外の多様な産業の発展に貢献していきたいと考えている。

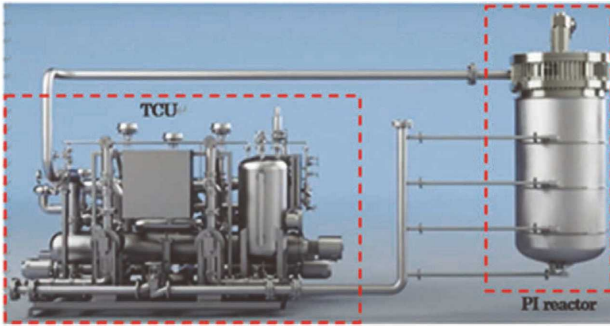


写真1 PI QFlux システムフロー

表1 加熱試験結果

	標準GL反応器 0.8Mpaスチーム	PI reactor 0.8Mpaスチーム	PI reactor 1.45Mpaスチーム
水	約93分	約25分 (3.7倍)	約20分 (4.7倍)
コーン油	約183分	約50分 (3.7倍)	約33分 (5.5倍)

## 6. 凍結乾燥<sup>19)</sup>

### 6.1 凍結乾燥とは

凍結乾燥は、固体（氷）から気体（水蒸気）への状態変化（昇華）を利用した乾燥方法である。この乾燥方法は熱劣化や組織破壊が少なく、各種機能性成分等の保持に適しており、注射製剤やバイオ医薬品分野では不可欠な製造技術となっている。また、乳酸菌・酵素・タンパク質・ペプチドのような弱熱性原料への適用も検討されている。

凍結乾燥は、一般的には棚式凍結乾燥機が用いられる。棚式凍結乾燥機は、トレイに原料を充填した状態で棚式凍結乾燥機内の過熱棚段に乗せ、棚板からの熱伝導またはヒータ等の熱源からの輻射熱によって加熱する方法である。棚式凍結乾燥は、乾燥時間、製品回収作業性、トレイの洗浄作業性やトレイ間やトレイごとの乾燥ムラが課題として挙げられる。

### 6.2 RHEOFREED® の開発

真空乾燥では、近年、洗浄性・粉体封じ込め性・コンタミレス性等の GMP 要求がますます高まり、缶内に吸引管を持たない当社のコニカルドライヤ（N-CDB）は優れた洗浄性からコンタミレス機器として、医薬品粉体乾燥向けを中心に納入実績を伸ばしている。この N-CDB をベースとして凍結乾燥機として開発したのが攪拌式凍結乾燥機 RHEOFREED である。この CDB-Type に加え、現在、翼攪拌式真空乾燥機 PV ミキサをベースとした PV-Type をラインナップしており、いずれも棚式凍結乾燥機と比べ、容器または翼回転による攪拌効果で、

- 1) 伝熱促進による乾燥時間短縮
  - 2) 製品粉末化による回収作業性向上
  - 3) 製品均質化による乾燥ムラ抑制
- が可能となる（写真2）。

### 6.3 RHEOFREED のプロセスフロー

RHEOFREED のプロセスフローを図11に示す。基本的なフローは棚式と同様で、熱媒循環装置、本体、コールドトラップと真空ポンプのユニットで構成される。RHEOFREED は予備凍結の代わりに凍結材料を作る前処理工程が必要であり、原料種によって凍結粉碎・凍結噴霧等を使い分けて、乾燥試料（凍結粉）を製造する。凍結粉霧は缶体内で凍結粉を製作できるため、1台で凍結、乾燥が実施できる。乾燥後の製品は排出口から回収可能で、粉末状の乾燥製品が得られるため、棚式凍結乾燥機で必要であった粉碎工程が不要である。

### 6.4 RHEOFREED の取組

2023年現在、ペプチスター社と「実生産における凍結乾燥工程時間を50%以上短縮」を目標に医薬品用途向の開発を行っている。

共同開発成果の一例として、中分子医薬品600 ml の凍結乾燥結果を表2に示す。乾燥時間を従来の棚段凍結乾燥機から80%削減できたことに加えて、有機溶媒の残留量の低減や高密度の向上を確認した。現在、ペプチスター社に3L溶液を乾燥可能な RHEOFREED PV Type を設置し、実証試験を実施している。

### 6.5 RHEOFREED の今後

RHEOFREED は棚式と比べ乾燥時間の大幅短縮や品質向上といった点で優れており、「カーボンニュートラル対応次世代プロセス機器の実用化」の一翼を担う次世代の機器と位置づけられる。凍結乾燥機のゲームチェンジャーとして、今後も RHEOFREED の改良、開発を行う所存である。



写真2 RHEOFREED  
(左：CDB-Type, 右：PV-Type)



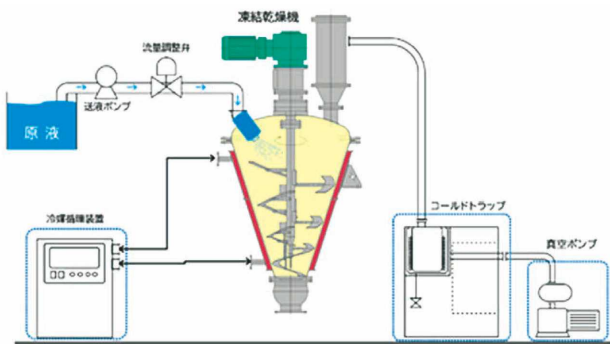


図11 プロセスフロー

表2 比較試験結果

凍結乾燥機	乾燥時間	かさ密度	残留有機溶媒
	(h)	g/L	ppm
棚式(従来式)	96	33	1500
RHEOFREED(PV-Type)	19	200	162
改善率	80%短縮	約6倍	約1/10

## むすび

本稿では、神鋼環境ソリューション誕生以来のプロセス機器の各技術の変遷と開発および今後の展望について紹介した。

プロセス機器事業部は、当社で唯一ものづくりの現場を持つ事業部であり、その折々の課題についてその場で判断し迅速かつ適切に対応し、これが技術力向上にも繋がっている。

今後も様々な顧客ニーズや社会情勢の変化に対応すべく開発を継続していくと共に、「自ら解決・改善していく力」をデジタル化させ新たな顧客価値を創造、さらには当社内の技術への適応も目指し、多様な産業の発展だけでなく社会問題の解決に貢献していきたいと考える。

## [参考文献]

1) 宮内啓隆ほか：ガラスライニング創業70周年を迎えて、神鋼環境ソリューション技報, Vol.13, No.1, (2016), p.2-14

- 2) 多田篤志ほか：HybridGL 新製品 HYX-H95, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.19, No.1, (2022), p.12-16
- 3) 菊池雅彦ほか：高効率攪拌翼『フルゾーン』の開発, 神鋼パンテック技報, vol.35 No.1 (1991), p.6-11
- 4) 菊池雅彦ほか：フルゾーンの流動・混合特性, 神鋼パンテック技報, vol.35 No.3 (1991), p.6-9
- 5) 今中照雄：フルゾーンの表面ガス吸収特性, 神鋼パンテック技報, vol.41 No.2 (1997), p.37-46
- 6) 中村隆彦ほか：ガラスライニング製新型攪拌翼「ツインスター」, 神鋼パンテック技報, vol.45 No.1 (2001), p.33-38
- 7) 小川智宏ほか：無摺動クリーン攪拌機『スイングスター<sup>®</sup>』, 神鋼環境ソリューション技報, vol.9 No.2 (2012), p.34-39
- 8) 小川智宏ほか：スイングスター<sup>®</sup>の攪拌性能向上, 神鋼環境ソリューション技報, vol.11 No.1 (2014), p.43-48
- 9) 加藤知帆ほか：攪拌槽型反応機におけるCFD/PIVによる経験則の数値化, 神鋼環境ソリューション技報, vol.19 No.1 (2022), p.2-7
- 10) 高田一貴ほか：乱流攪拌槽の流動解析, 神鋼パンテック技報, vol.36 No.3 (1992), p.1-4
- 11) 高田一貴ほか：新型リボン翼「ログボーン」の開発への数値解析の適用, 神鋼パンテック技報, vol.37 No.3 (1993), p.7-10
- 12) 高田一貴：乱流攪拌槽の流動解析(精度向上に関する検討), 神鋼パンテック技報, vol.39 No.1 (1995), p.35-39
- 13) 戸嶋大輔ほか：全量排出型フィルタドライヤ, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.1, No.1, (2004), p.70-76
- 14) 竹井一剛ほか：フィルタドライヤの高機能化技術, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.16, No.1, (2019), p.32-37
- 15) 半田裕利ほか：フィルタドライヤの新機能, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.4, No.1, (2007), p.57-60
- 16) 池田幸雄：高真空蒸留におけるWFE薄膜蒸留装置, 神鋼ファウダー技報, Vol.30, No.1 (1986), p.21-23
- 17) 三木洋二：WFE薄膜蒸留装置の新適用分野の紹介, 神鋼パンテック技報, Vol.34, No.2 (1990), p.17-21
- 18) 岸勇佑ほか：高効率バッチリアクターシステムPI QFlux<sup>®</sup>の伝熱・省エネ性能検証, 神鋼環境ソリューション技報, vol.19 No.1 (2022), p.8-11
- 19) 岸勇佑ほか：医薬品用ミキサータイプ攪拌式凍結乾燥機“RHEOFREED<sup>®</sup>” PV Typeの開発, 神鋼環境ソリューション技報, vol.19 No.2 (2023), p.2-7

# 廃棄物処理プラントにおける排ガス中水銀濃度のフィード フォワード制御開発

## Development of Feedforward Control of Mercury Concentration in Flue for Waste Treatment Plant



前田健一\*  
Kenichi Maeda  
技術士（上下水道部門）



島 孝一\*  
Koichi Shima



藤田 淳\*  
Jun Fujita  
技術士（衛生工学部門）



梶原吉郎\*\*  
Yoshio Kajihara  
技術士（衛生工学部門）



奥住宣裕\*\*\*  
Nobuhiro Okuzumi

これまで当社では、バグフィルタ後に設置した水銀濃度計の値により水銀を吸着する活性炭供給量を制御するフィードバック制御（以下FB制御）を行ってきたが、活性炭の供給位置よりも測定点の下流側にあるため、制御に遅れが生じるという問題があった。そこで今回、活性炭供給位置よりも上流側（エコマイザ入口）に水銀濃度計と当社が独自開発したサンプリング装置を設置し、これらを用いてフィードフォワード制御（以下FF制御）を行う水銀濃度抑制技術を開発した。FB制御に比べてFF制御では活性炭供給量が21～49%少ないことに加え、大気への水銀放出量は82～84%低減しており、FF制御の有効性が確認された。

Until now, we used feedback (FB) control to control the supply of activated carbon to adsorb mercury, based on the value of a mercury concentration meter installed after the bag filter, but there was a problem in that control was delayed because the measurement point was downstream from the supply point of the activated carbon. Therefore, we installed a mercury concentration meter and a sampling device originally developed by our company on the upstream side (economizer inlet) of the activated carbon supply point and developed mercury concentration reduction technology that performs feedforward (FF) control using this equipment. FF control reduced activated carbon supply 21-49% and released 82-84% less mercury into the atmosphere, compared to FB control, confirming the effectiveness of the FF control.

### Key Words :

排ガス水銀濃度

Mercury concentration in flue gas

フィードフォワード制御

Feedforward control

活性炭

Activated carbon

### 【セールスポイント】

- ・エコマイザ入口に水銀濃度計を設置することにより、水銀ピークの検知が約8分早くなった。
- ・前処理ろ過装置を設置することにより、市販の水銀濃度計を利用できた。
- ・FF制御により、水銀の大気放出を80%以上低減できた。
- ・FF制御により、活性炭供給量は同等の入口水銀濃度に対し、21～49%低減できた。

\*環境エンジニアリング事業本部 環境プラント事業部 プラント技術部 機能開発室

\*\*環境エンジニアリング事業本部 環境プラント事業部 プラント技術部 プロポーザル室

\*\*\*環境エンジニアリング事業部 環境プラント事業部 アフターサービス部 設備改善技術室

## まえがき

2017年の水俣条約発効に伴い、大気汚染防止法が改正され2018年に施行された。この改正により廃棄物焼却炉では、排ガス中の水銀濃度に $30 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ （新設）、 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ （既設）の基準が設定され、遵守が義務付けられている。

これまで当社では、水銀を吸着するバグフィルタ後に設置した水銀濃度計の値により活性炭供給量を制御するFB制御を行ってきたが、活性炭の供給位置よりも測定点が下流側にあるため、制御に遅れが生じるという問題があった。このため、活性炭供給位置よりも上流側（エコマイザ入口）に水銀濃度計を設置して、従来よりもいち早く水銀濃度ピークの発生を検知する技術の開発が望まれていた。

活性炭供給位置よりも上流側に水銀濃度計を設置するためには、除じんを行うバグフィルタよりも前からサンプリングする必要がある。水銀濃度計は、市販のバグフィルタ後用を使用したため、水銀濃度計のために除じんを行うサンプリング装置を独自に開発して設置した。また、水銀濃度計は応答速度の速いものを選定した。制御は、設置位置から煙突入口の水銀濃度上昇を予想して制御するFF制御とした。

本稿では、当社が納入したストーカ炉に導入したFF制御を用いた燃焼排ガス中水銀濃度抑制技術の概要および運転結果について報告する。

## 1. FF制御による燃焼排ガス中水銀濃度抑制技術

### 1.1 サンプリング位置と手法

図1にサンプリング位置、写真1に試験装置全景を示す。バグフィルタ前の極上流側で水銀濃度上昇を検知し活性炭供給量を増加すれば、水銀がバグフィルタに到達する前に活性炭を供給することができ、バグフィルタでの効果的な水銀除去が期待できる。このため、サンプリング位置はエコマイザ入口とした。また、水銀濃度計は通常バグフィルタの下流側に設置される市販の連続分析計を使用したため、除じん機能を有する独自のサンプリング装置を開発し、エコマイザ入口煙道中に挿入してサンプリングを行った。なおサンプリング位置の排ガス温度は約 $300^\circ\text{C}$ である。

図2にエコマイザ入口と煙突入口の各水銀濃度計の検出時間タイムチャートを示す。エコマイザ入口から煙突入口までの排ガス通過時間は、計算上約39秒であった。これに加えて、サンプリング時間

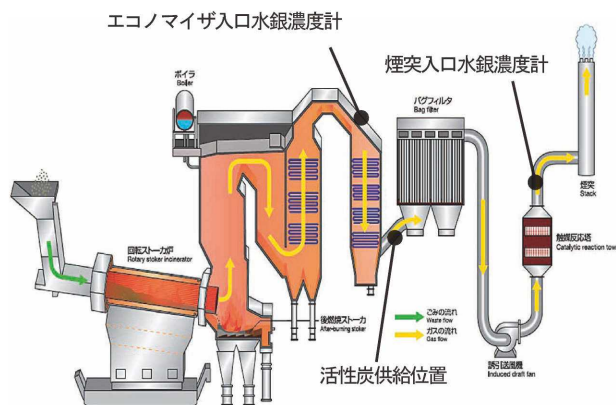


図1 サンプリング位置図



写真1 試験装置全景

がエコマイザ入口水銀濃度計の方が煙突入口水銀濃度より約5秒速いことと、エコマイザ入口水銀濃度計は、既設煙突入口水銀濃度計よりも約60秒速い応答時間であることから少なくとも約104秒の水銀濃度上昇の早期検知が期待できた。

### 1.2 制御方法

制御はエコマイザ入口水銀濃度をPV値とする単独のPID制御とした。図3に従来のFB制御、図4に本開発のFF制御のブロック線図を示す。予想される問題点としては、エコマイザ入口水銀濃度に応じた活性炭の増加量が不足し、煙突入口水銀濃度が下がり切らないことが考えられる。しかしながら32日間のFF制御試験期間中にその問題は発生しなかったため、バグフィルタろ布に担持された活性炭による吸着効果のみならずFF制御での増量が適切であったと考えられる。

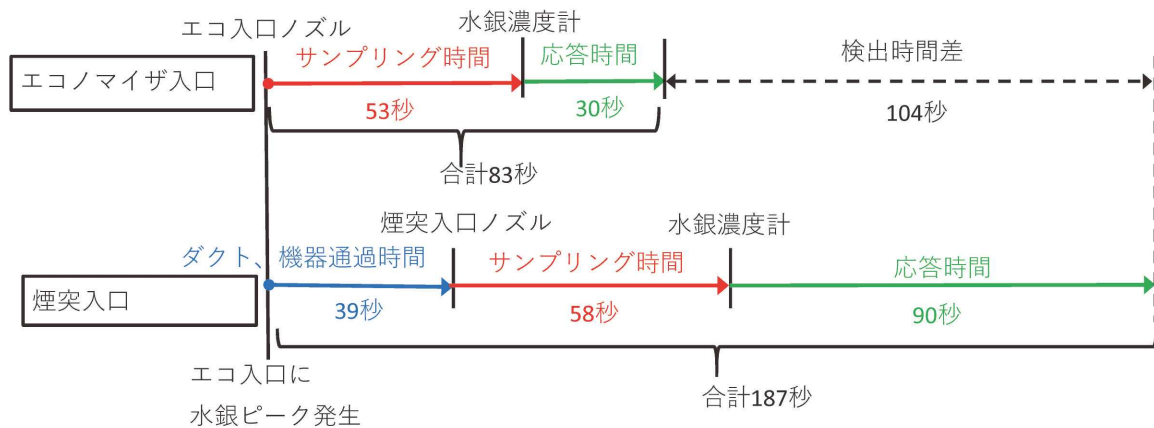


図2 水銀濃度計検出時間タイムチャート

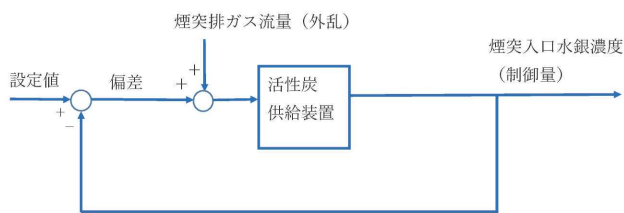


図3 FB制御ブロック線図

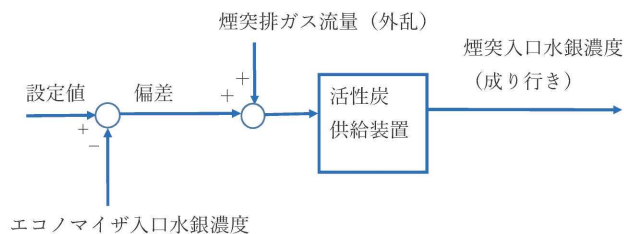


図4 FF制御ブロック線図

## 2. FF制御燃焼排ガス中水銀濃度抑制運転結果

### 2.1 水銀濃度の経時変化特性の比較

図5に試験期間中のエコノマイザ入口水銀濃度計と煙突入口排ガス水銀濃度計の瞬時値のトレンド比較、図6にピーク2の詳細のトレンドを示す。図5に示す通り、42日間の試験期間中に $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  ( $\text{O}_2$  12%換算値)を超えるピークは10回発生し、 $154 \sim 565 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  ( $\text{O}_2$  12%換算値)の範囲であった。図6に示す通り、エコノマイザ入口と煙突入口各水銀濃度計ピーク開始時間の差は6分程度(全ピーク平均8分)であり、当初想定 $104$ 秒に比べ、かなり大きい結果となった。これは、エコノマイザ入口と煙突入口の両水銀濃度計のサンプリング時間、応答時間の差に加えて、ピーク発生前に供給されバグフィルタ表面に広く保持されていた活性炭を触媒とした塩化第二水銀の還元反応を伴った吸着<sup>1)</sup>により、

高濃度の水銀が流入しても数分間は除去されるが、吸着し切れなくなった水銀がバグフィルタを通過してピークが発生するものと考えられる。

### 2.2 FF制御とFB制御の運転結果比較

表1に、従来のFB制御と今回試験したFF制御のピーク発生時の水銀除去性能や活性炭供給量の比較を示した。比較はピーク時のエコノマイザ入口水銀濃度が比較的近いピーク2とピーク5および、ピーク3とピーク9をそれぞれ比較①、比較②として行った。図7～10に各比較ピークのトレンドを示す。なお、表中の流入水銀量、流出水銀量は、それぞれの水銀濃度瞬時値のピーク開始時点からピーク終了時点までの水銀濃度に排ガスを乗じた値の積分値であり、水銀除去率はそれらの値を用いて算出した。また、活性炭供給量は、ピークの発生による増量開始時から終了時までの活性炭供給量の積分値である。

比較①、②の積分値から活性炭供給量はFF制御の方がそれぞれ49%、21%少ないにも関わらず、流出水銀量つまり大気への放出量は、FF制御により84%、82%低減しており、FF制御の有効性が確認された。

なお、FF制御は32日間継続し、期間中幾度かエコノマイザ入口水銀濃度にピークが現れたが、煙突入口水銀濃度は低く維持されており、最大でも $5 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ 以下( $\text{O}_2$  12%換算値)であった。

### 2.3 長期間データとの比較

2022年10月1日～2023年3月9日までの1～3号系のDCSのトレンドデータから、ピーク発生時間、ピーク時の水銀濃度を表2～4にまとめた。ここでのピークとは煙突入口水銀濃度瞬時値( $\text{O}_2$  12%換算値)がSV値である $5 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ を超え、活性炭の増量が行われた時のものとした。上記期間中、炉停止日を除いた運転日数は1号系89日、2号系122日、

3号系98日間であり、発生したピークは1号系4回、2号系10回、3号系22回であった。また最大のピーク時濃度は、1号系26.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ 、2号系79.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ 、3号系100.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ であった。

2023年5月11日～6月13日の期間中は、FF制御

を行った。この期間のピークデータを表5に示す。なお、FF制御期間中は5  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ を超えるピークは現れなかったが、エコマイザ入口水銀濃度の上昇による活性炭の増量制御がおこなわれたものをピークとして抽出した。煙突入口水銀濃度瞬時値 ( $\text{O}_2$

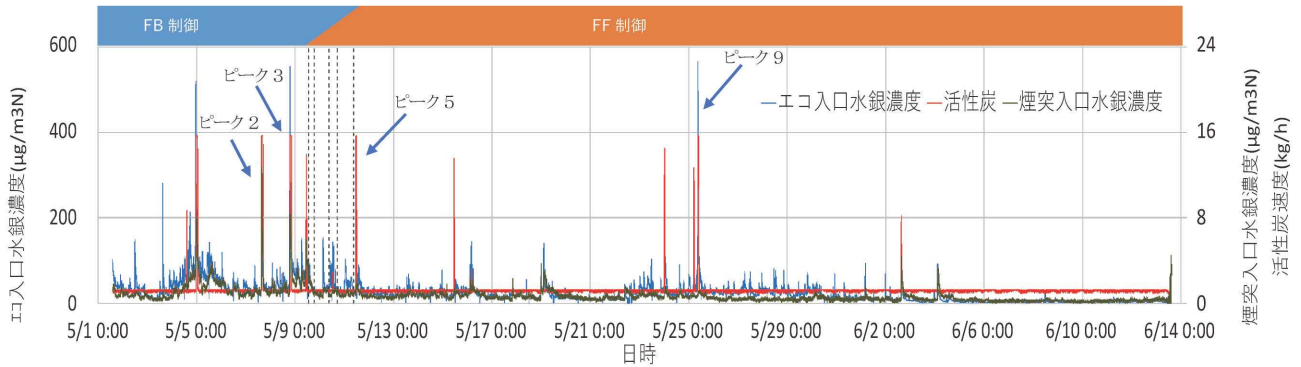


図5 エコマイザ入口と煙突入口水銀濃度

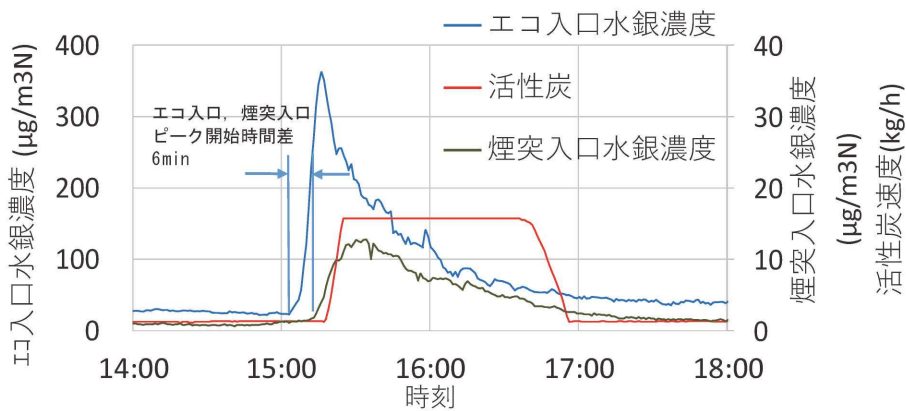


図6 ピーク2の詳細 (FB制御)

表1 ピーク発生時のFF制御とFB制御の比較

No.	制御種別	水銀濃度 ( $\text{O}_2 12\%$ 換算) 最大値 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )		活性炭供給量 最大値 (kg/h)	水銀除去率 1h 移動平均 最大値 (%)	積分値 (※積分時間幅は各ピークに応じて個別に設定)				
		瞬時値	1h 移動平均値			活性炭供給量 (kg)	流入水銀量 (g)	流出水銀量 (g)	水銀除去率 (%)	
比較①	2	FB	362	181	15.7	97.0	22.9	12.8	0.75	94.2
	5	FF	354	186	15.7	99.0	11.6(49%減)	10.5	0.12(84%減)	98.9
比較②	3	FB	555	287	15.7	98.9	24.1	24.0	0.84	96.5
	9	FF	565	241	15.7	99.5	19.0(21%減)	20.3	0.15(82%減)	99.3

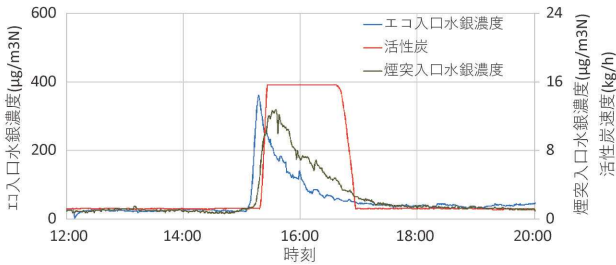


図7 比較①FB制御（ピーク2）

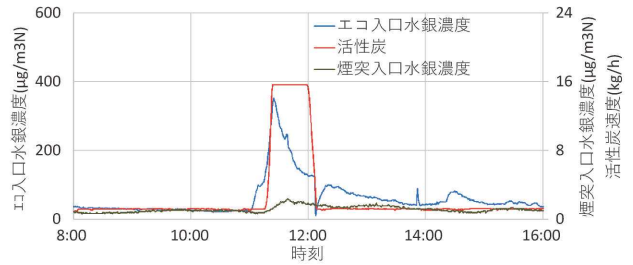


図8 比較①FF制御（ピーク5）

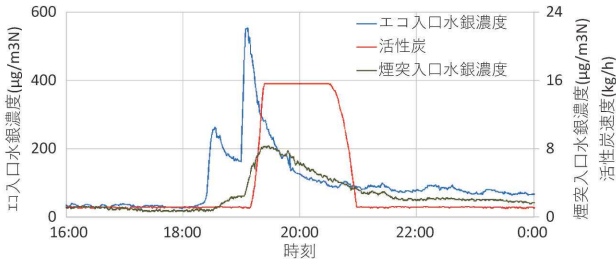


図9 比較②FB制御（ピーク3）

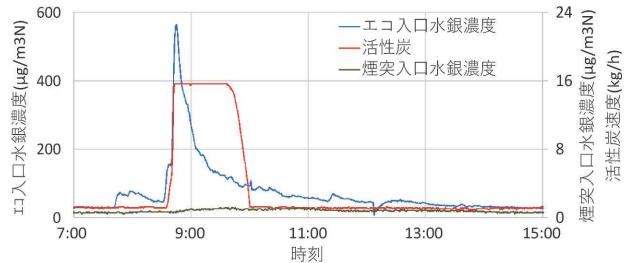


図10 比較②FF制御（ピーク9）

表2 長期ピークデータ（1号系）

No.	ピーク時刻	煙突入口水銀濃度 12%O <sub>2</sub> 換算 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )
1	2022 / 12 / 5 3:57	26.4
2	2022 / 12 / 19 22:39	6.4
3	2023 / 3 / 7 12:46	14.1
4	2023 / 3 / 8 3:02	6.1
平均値	—	13.3

：最大値

表3 長期ピークデータ（2号系）

No.	ピーク時刻	煙突入口水銀濃度 12%O <sub>2</sub> 換算 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )
1	2022 / 10 / 14 18:16	13.6
2	2022 / 10 / 27 19:41	21.6
3	2022 / 11 / 6 11:32	79.4
4	2022 / 11 / 8 1:50	7.0
5	2022 / 11 / 19 22:28	14.4
6	2022 / 12 / 22 4:28	32.4
7	2022 / 12 / 22 22:46	20.6
8	2022 / 12 / 24 10:45	7.3
9	2023 / 1 / 12 1:21	5.9
10	2023 / 2 / 15 21:08	7.4
平均値	—	21.0

：最大値

表4 長期ピークデータ（3号系）

No.	ピーク時刻	煙突入口水銀濃度 12%O <sub>2</sub> 換算 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )
1	2022 / 10 / 15 16:27	7.5
2	2022 / 10 / 18 8:43	9.1
3	2022 / 10 / 19 0:01	34.9
4	2022 / 10 / 22 1:11	11.9
5	2023 / 10 / 23 7:54	7.6
6	2022 / 10 / 27 12:47	19.9
7	2022 / 10 / 28 6:34	100.1
8	2022 / 10 / 30 23:47	52.8
9	2022 / 11 / 9 0:22	7.0
10	2022 / 11 / 14 2:41	100.1
11	2022 / 11 / 20 22:26	12.5
12	2022 / 11 / 23 1:22	10.9
13	2022 / 12 / 3 13:42	14.8
14	2022 / 12 / 8 17:40	13.6
15	2022 / 12 / 15 1:36	15.3
16	2022 / 12 / 16 1:59	11.6
17	2022 / 12 / 21 21:55	7.0
18	2022 / 12 / 22 19:28	100.1
19	2022 / 12 / 25 17:55	6.2
20	2022 / 12 / 26 16:43	6.6
21	2023 / 1 / 9 9:18	12.3
22	2023 / 1 / 10 1:52	5.9
平均値	—	25.8

：最大値

表5 FF制御試験ピークデータ

No.	ピーク時刻	煙突入口 水銀濃度 12%O <sub>2</sub> 換算 (μg / m <sup>3</sup> N)
1	2023 / 5 / 11 11 : 34	2.1
2	2023 / 5 / 15 11 : 25	1.4
3	2023 / 5 / 24 1 : 18	1.5
4	2023 / 5 / 25 5 : 12	0.9
5	2023 / 5 / 25 9 : 31	1.2
6	2023 / 6 / 2 15 : 30	4.4
平均値	—	1.9

：最大値

12%換算値)最大値は、4.4 μg/m<sup>3</sup>Nであり長期試験の最大値の1/6～1/23程度であった。またピーク時の煙突入口水銀濃度瞬時値(O<sub>2</sub>12%換算値)の平均値は、1号系13.3 μg/m<sup>3</sup>N、2号系21.0 μg/m<sup>3</sup>N、3号系25.8 μg/m<sup>3</sup>Nに対して今回試験のFF制御実施時は、1.9 μg/m<sup>3</sup>Nと1/10程度であり、FF制御を実施することにより流出水銀濃度を低く抑えることができた。

### 3. 水銀濃度計運転費用の削減

42日間の全試験期間中、水銀濃度計校正時のキャリブレーションファクタ(校正値/標準ガスの値)低下により写真2に示す触媒を交換する必要が生じた。これは、標準的な交換頻度とされている3～4カ月に対し、1/3程度の短さである。触媒は高価であるため、本技術の実用化のためには、触媒寿命を少なくとも標準的な交換頻度まで延ばす必要がある。

水銀濃度計は、2価の塩化第二水銀を0価の金属

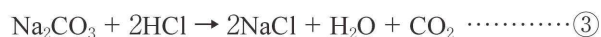
水銀に還元して測定している。触媒の成分は亜硫酸カリウムが使用されていると想定しており<sup>2), 3)</sup>、その還元式は式①の通りである。



FF制御用の水銀濃度計はバグフィルタ前に設置しているため、HCl濃度が高い。そのため式②による反応式で触媒成分である亜硫酸カリウムが必要以上に消費されたと考えられる。



そこで炭酸ナトリウムを充填した乾式スクラバを触媒の前に設置し、式③のようにHClを中和して触媒の寿命を延ばす方法<sup>3)</sup>を現在試験中である。



### むすび

一般的な水銀濃度計に独自のサンプリング装置を組み合わせた機器構成にて、FF制御による燃焼排ガス中の水銀濃度抑制試験を行った。その結果、FF制御よりも活性炭供給量を21～49%低減した上で、大気への水銀流出量を80%以上低減することができた。また32日間のFF制御連続稼働試験においても、煙突入口水銀濃度を低く維持した安定した運転ができています。今後も、本制御の長期間における有効性および安定性を確認していく所存である。

#### [参考文献]

- 1) 高岡昌輝, 武田信生, 岡島重伸: 廃棄物学会誌, Vol.6, No.6, 1995, p.235-244
- 2) 公開特許: 2007-268426
- 3) 石川浩二: Readout HORIBA Technical Reports, No.37, 2010, p.82-87

# 回転ストーカ式ごみ焼却炉の燃焼シミュレーション ～実施設での測定データとの比較～

## Numerical Simulation of Rotary Combustor - Comparison with Actual Measurement Data -



井上尚子\*  
Naoko Inoue  
工学博士



栗須祥寛\*  
Yoshihiro Kurisu



石井 豊\*  
Yutaka Ishii



多田俊哉\*  
Toshiya Tada

実機規模の回転ストーカ式ごみ焼却炉（以下、回転ストーカ炉）を対象に、離散要素法（DEM）と数値流体力学（CFD）の連成解析による燃焼シミュレーションを実施した。さらに、実施設での測定値との比較により、シミュレーション結果の妥当性を評価した。

回転ストーカ炉内のごみ粒子の滞留時間は、トレーサを用いて実機にて測定した滞留時間と良い一致を示した。回転ストーカ炉出口の排ガス組成に関しては、特に O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> 濃度が実測値と良く一致しており、測定位置による濃度差の傾向も再現することができた。

Numerical simulations were conducted for a full-scale rotary combustor by coupled analysis of DEM (Discrete Element Method) and CFD (Computational Fluid Dynamics). The results were then evaluated by comparing them with data measured on an actual incinerator.

The residence time of the DEM particles in the rotary combustor showed good agreement with the data measured on the incinerator using tracer samples. The O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations computed for the outlet of the rotary combustor were very similar to the measured values. This simulation also replicated the difference in concentration by gas sampling position.

### Key Words :

回転ストーカ式ごみ焼却炉  
数 値 解 析  
数 値 流 体 力 学  
離 散 要 素 法

Rotary combustor  
Numerical analysis  
Computational fluid dynamics (CFD)  
Discrete element method (DEM)

### 【セールスポイント】

- ・ 炉内のごみの動きも考慮した燃焼シミュレーション
- ・ 実機規模の回転ストーカ炉を対象としたシミュレーション
- ・ 実施設での測定値との比較、検証

### ま え が き

カーボンニュートラル達成へ向けた動きが世界的に広がっており、我が国においても、2020年10月に「2050年カーボンニュートラル」を宣言して以降、

その動きが加速している。2020年12月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」では廃棄物発電についても言及されており、プラスチック割合の減少による将来的なごみ発熱量

\*技術開発センター 技術開発部 基盤技術室



の低下や、それにとともなう発電効率低下への対応が必要であることが述べられている<sup>1)</sup>。このような背景から、廃棄物焼却施設は多種多様な廃棄物への対応および発電効率の向上に向け、さらなる燃焼技術の向上が求められている。

短期間での設計開発や焼却炉内の現象理解に資するツールとして、数値シミュレーションが広く活用されている。計算機の性能向上にともない、より複雑な解析への取組みも進んでおり、近年はCFD (Computational Fluid Dynamics: 数値流体力学) をDEM (Discrete Element Method: 離散要素法) と組み合わせた連成解析の事例も報告されている<sup>2), 3)</sup>。DEM は粒子同士の衝突などを考慮し、粒子の運動を計算する手法である<sup>4)</sup>。この粒子でゴミを模擬することにより、焼却炉内のごみ層の動きが表現できると期待される。

当社の回転ストーカ式ゴミ焼却炉 (以下、回転ストーカ炉) は、傾斜した円筒の炉体をゆっくり回転させることでゴミを後段へ送りながら順次、乾燥・熱分解・一次燃焼させる<sup>5)</sup>。回転ストーカ炉のさらなる燃焼技術向上のためには、回転炉内での複雑なゴミの移動および燃焼挙動を把握することが望まれるが、高温の燃焼場においてこれらを測定することは困難である。そこで、焼却炉内を再現し、その性能向上に役立てるべく、DEM-CFD 連成解析による回転ストーカ炉の燃焼シミュレーションに着手した。

本稿では、実機規模の回転ストーカ炉を対象としたシミュレーション、および2か所の実施設でそれぞれ測定したゴミ滞留時間 (施設1)、炉出口排ガス組成 (施設2) とシミュレーション結果との比較について紹介する。

## 1. 解析方法

### 1.1 解析対象

図1に回転ストーカ炉の概略を示す。本装置は、

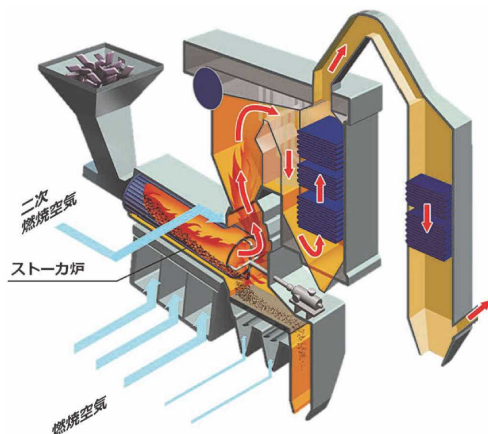


図1 回転ストーカ炉の概略

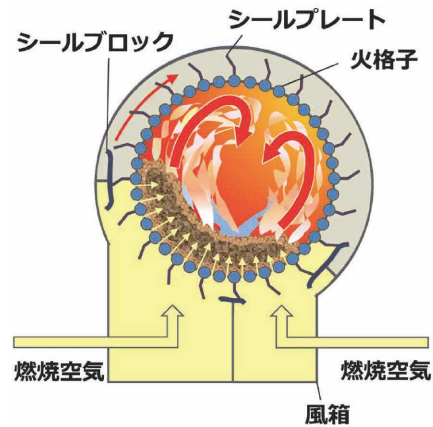


図2 回転ストーカ炉の断面

円筒形の回転ストーカ炉および後段の後燃焼ストーカ炉にて固体廃棄物を完全燃焼させる。回転ストーカ炉の火格子はボイラ水管とフィンで構成されており、フィンに設けた空気孔を介してゴミ層底部から燃焼空気が供給される。回転ストーカ炉の断面形状を図2に示す。水管による円筒面の凹凸はゴミの攪拌にも大きく寄与すると考えられることから、シミュレーションにおいては水管と粒子の接触力も考慮した。ただし、メッシュサイズや計算負荷を鑑みてフィンの空気孔は再現せず、燃焼空気は供給範囲から一様に炉内に流入する設定とした。

### 1.2 解析手法

解析には、汎用の熱流体・粉体解析ソフトウェアである「R-FLOW」を使用した。ゴミを模擬した球形粒子には水分、灰分、揮発分、固定炭素の比率および元素組成を与えており、炉内にて乾燥、熱分解、チャー燃焼反応が順に進行する。また、粒子は各反応による質量減少にともない、その粒子径も徐々に小さくなる。

## 2. 炉内のごみ滞留時間の比較 (施設1)






### 2.1 解析条件

回転ストーカ炉内でのゴミの挙動を検証するため、回転円筒部のみを対象とした解析を実施した。解析に使用した主な条件を表1に示す。解析条件は、後述する炉内滞留時間の測定を実施した実施施設の運転を模擬している。解析形状についても、該当施設の回転ストーカ炉の形状を再現した。

表1 解析条件 (施設1)

ゴミ処理量	t/d	91
ゴミ発熱量	MJ/kg	10
ストーカ炉回転速度	rpm	0.033
燃焼空気比 (回転ストーカ炉)	-	1.08

表2 滞留時間測定用のトレーサおよび測定結果

	H鋼	レンガ	コンクリート ブロック	鉄製キューブ	SUS製ボウル	
寸法	mm	100×100 ×幅50	100×100 ×H60	168×168 ×H141	□150×H150 厚み3.2	φ160~220 ×H150前後
重量	kg/個	0.8	1.3	1.5	3.4	約0.4
外観	-					
平均 滞留時間	min	116	125	119	101	91

## 2.2 実施における炉内滞留時間の測定

実施にて炉内へ複数の試験サンプルをトレーサとして投入し、回転ストーカ炉内での滞留時間を計測した。トレーサの重量や形状などの影響の有無を確認するため、5種類のサンプルを用いた。試験に使用したトレーサを表2にまとめる。ごみ投入位置近くのバーナハッチから各トレーサを投入した後、回転ストーカ炉からトレーサが排出されるのを炉内監視用の視窓から目視にて確認し、投入から排出までにかかる時間を計測した。各トレーサはそれぞれ5～10個ずつ投入し、平均の滞留時間を求めた。試験によって得られた滞留時間についても、表2にあわせて示す。重量が小さく流体抵抗を受けやすいSUS製ボウルは、炉内のガス流れを受けて後段に流されたため滞留時間が短くなったが、その他のサンプルの滞留時間は概ね120分前後であった。

## 2.3 解析結果

シミュレーションにより得られたごみ層形状を図3に示す。粒子の色は、図3(a)ではチャーの燃焼率を、図3(b)ではごみ粒子の滞留時間をそれぞれ示している。図3(a)から、ごみを模擬した粒子は反応の進行にともない徐々に径が小さくなっていることが確認できる。また、図3(b)に示す通り、炉外へ排出された粒子の平均滞留時間は116分であった。これは2.2節で述べたトレーサによる炉内滞留時間測定の結果と同程度であり、よく一致していると評価できる。

## 3. 炉出口排ガス組成の比較 (施設2)

### 3.1 解析条件

焼却炉の燃焼性能を評価する上では、ごみの動きのみならずガス相の状況も重要になる。そこで、別施設(施設2)にて回転ストーカ炉出口での排ガス組成分析を行い、シミュレーションによる再現を試みた。表3に解析条件を示す。解析条件は、排ガス

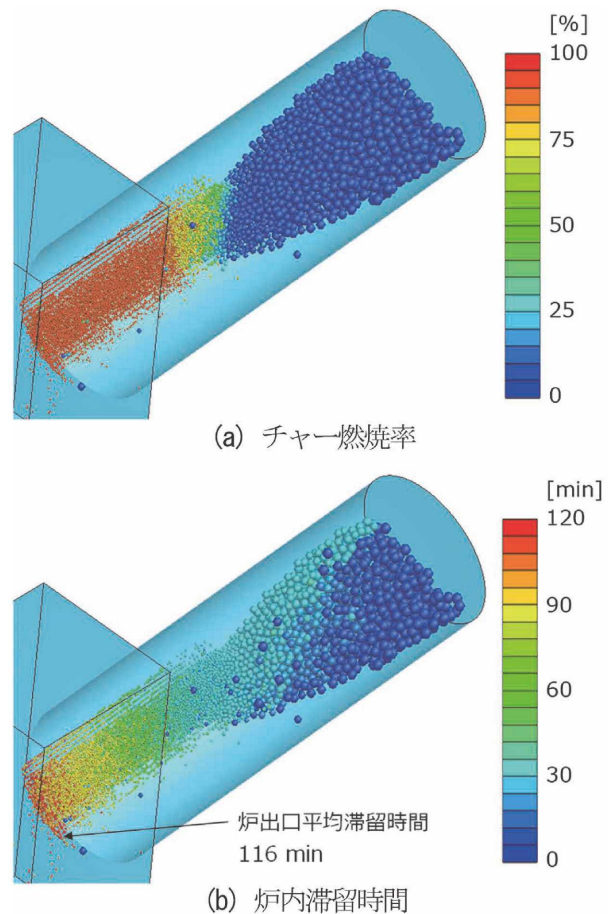


図3 解析で得られたごみ粒子層

表3 解析条件 (施設2)

ごみ処理量	t/d	123
ごみ発熱量	MJ/kg	11
ストーカ炉回転速度	rpm	0.025
燃焼空気比 (回転ストーカ炉)	-	0.70
燃焼空気比 (後燃焼ストーカ炉)	-	0.20

組成分析時の運転データをもとに決定した。回転ストーカ炉出口のガス組成は後燃焼ストーカ炉の影響も強く受けると想定されることから、施設2の解析では後燃焼ストーカ炉も対象とした。

### 3.2 解析結果と排ガス分析結果の比較

排ガス分析では、後壁に設置された視窓（炉出口①）および二次空気の予備ノズル（炉出口②）の2

か所からサンプリングノズルを挿入し、ガスを採取した。図4に、解析により得られたガス濃度カウンターとあわせて、各サンプリング位置を示す。また、表4には排ガス濃度の実測値と解析結果の比較を示す。炉出口②については、実測値と解析結果が大きく異なる結果となった。炉出口②のサンプリング位置は二次空気の供給前に位置しているものの、その

表4 排ガス濃度の実測値と解析結果の比較

		炉出口①		炉出口②		
		実測	解析	実測	解析	解析(解析出口)
O <sub>2</sub>	%-dry	9.6	9.3	3.0	0.0	2.2
CO <sub>2</sub>	%-dry	9.4	10.4	15.4	16.0	15.5
CO	%-dry	0.6	0.0	0.3	1.6	0.8
H <sub>2</sub>	%-dry	0.3	0.0	0.1	0.3	0.1
CH <sub>4</sub>	%-dry	<0.1	0.0	<0.1	0.5	0.2

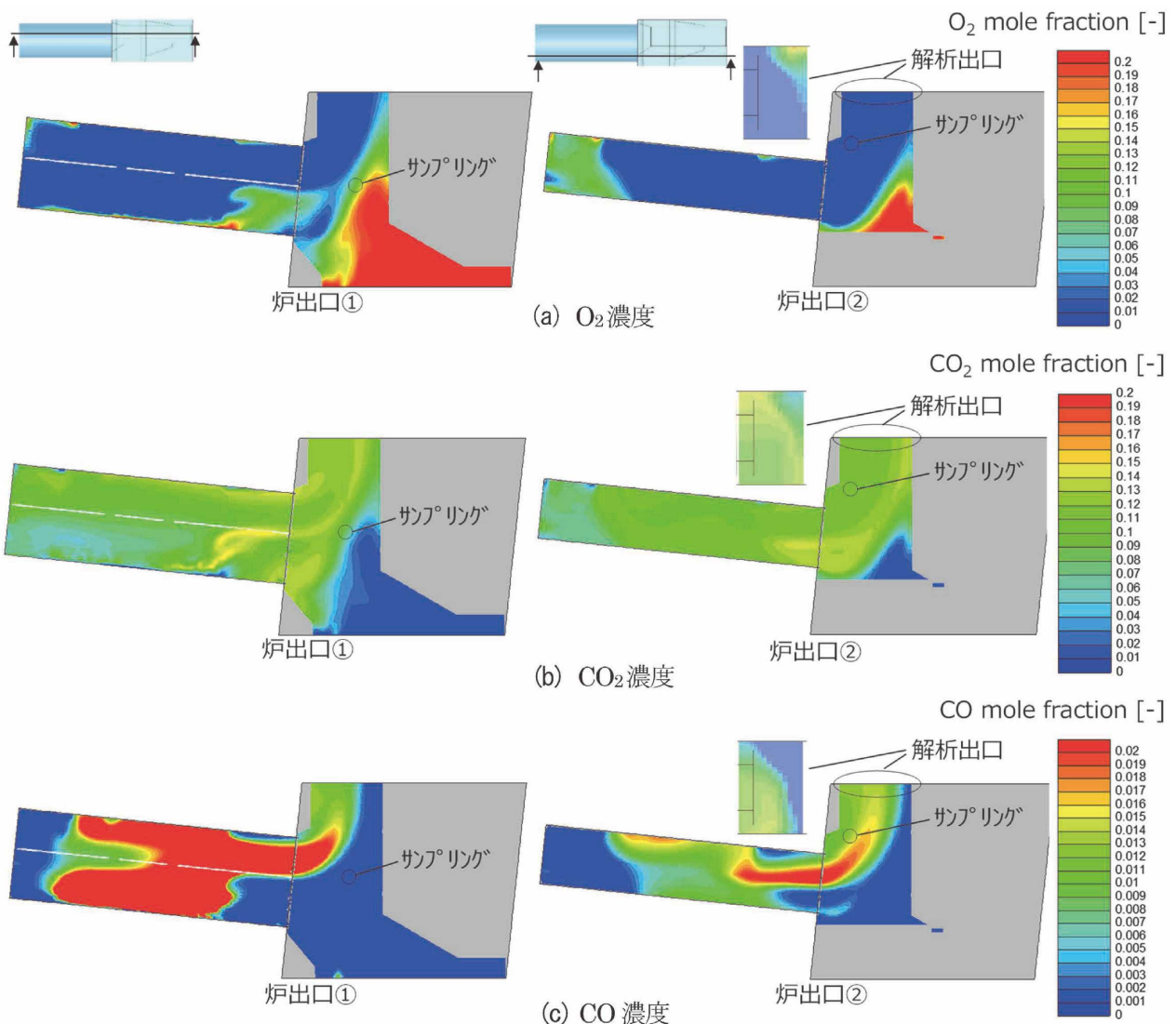


図4 解析で得られたガス濃度カウンター（モル分率）

すぐ直上で二次空気が供給されている。そのため、二次空気によってサンプリング位置付近のガスは攪拌、混合されていると推察される。しかし、シミュレーションでは二次空気を考慮していないため、二次空気によるガスの混合が再現されない。炉出口②での結果の差異は、この二次空気による攪拌の有無が要因と考えられる。そこで、表4には解析出口での平均ガス濃度もあわせて示した。解析出口の平均ガス濃度と炉出口②の実測値を比較すると、概ねオーダー感が一致した。このことから、混合され平均化されたガス濃度を想定すると、解析結果は実測値を比較的良好に再現できていると評価できる。

炉出口②の解析結果を解析出口で評価した場合、炉出口①、②とも特にO<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>濃度については実測値とよく一致した。また、炉出口①の方が②に比べO<sub>2</sub>濃度が高い傾向も再現できており、その要因は後燃焼ストーカの押込空気であることが図4(a)から分かる。一方で、可燃ガスであるCO、H<sub>2</sub>濃度に関しては、炉出口①の解析結果はどちらも0%であり、実測値とはやや異なる結果となった。

### 3.3 粒子の解析結果

施設2の解析で得られたごみ層形状をチャー燃焼率で色分けしたものを図5に示す。図5の通り、本解析では回転ストーカ炉出口で大部分のごみ粒子が燃え切る結果となった。しかしながら、施設2では後燃焼ストーカ炉でも火炎が上がる様子が観察されており、実際には回転ストーカ炉出口では未燃分が多く残存しているものと推察される。また、施設2では施設1に比べ回転ストーカ炉の燃焼空気比を低

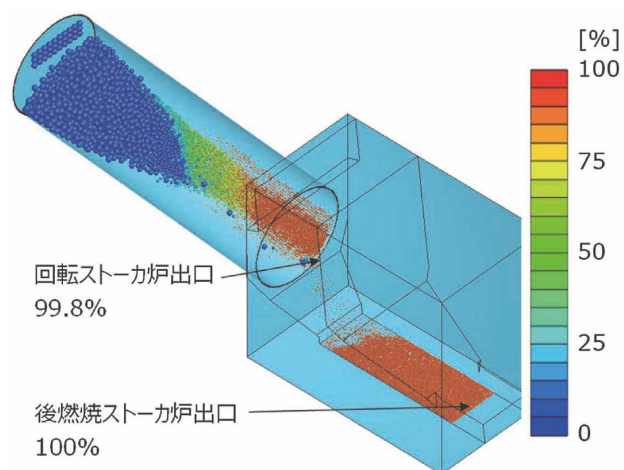


図5 チャー燃焼率で色分けしたごみ粒子層

く設定しているにもかかわらず、チャー燃焼率の分布は施設1(図3(a))と類似の結果となった。このように、現状の解析はごみ粒子の燃焼速度に関してはまだ再現できておらず、改善の余地がある。3.2節で述べた炉出口①での未燃ガス濃度の実測値との差異についても、本来は後燃焼ストーカ炉で放出されるはずの未燃成分が、解析では回転ストーカ炉内でほとんど燃え切ってしまうことが要因と推察される。

## むすび

実機規模の回転ストーカ炉を対象に、DEM-CFD連成解析による燃焼シミュレーションを実施した。また、実施設での測定値との比較により、シミュレーション結果の妥当性を評価した。

回転ストーカ炉内のごみ粒子の滞留時間は、トレーサを用いて実施設にて測定した滞留時間と良い一致を示した。

また、回転ストーカ炉出口の排ガス組成に関しては、実施設での排ガス測定結果と概ねオーダー感が一致する結果が得られた。特にO<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>濃度については実測値と比較的良好に一致しており、測定位置による濃度差の傾向も再現することができた。一方で、ごみ粒子の燃焼速度は実現象との差異が大きく、まだ改善の余地がある。

数値シミュレーションは、各種測定が困難な炉内を可視化し、現象を理解するうえで非常に有効なツールである。このDEM-CFD連成解析による燃焼シミュレーションについても、引き続き比較検証を重ねて精度向上を図り、回転ストーカ炉の燃焼性能向上に貢献できるようブラッシュアップしていきたいと考えている。

### [参考文献]

- 1) 経済産業省：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2020), <https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-1.pdf>, 2023年7月18日参照
- 2) 渡邊裕章ほか：第58回燃焼シンポジウム(2020)
- 3) 岩村宗千代ほか：第33回廃棄物資源循環学会発表会講演論文集(2022), p.307-308
- 4) 山井三亀夫ほか：精密工学会誌, Vol.84, No.7(2018), p.615-619
- 5) 鈴木崇之ほか：神鋼環境ソリューション技報, Vol.19, No.1(2022), p.26-30

# 蒸発性能を向上させた新型薄膜蒸発機 “WIPRENE S<sup>TM</sup>” \*\*

New “WIPRENE S” Wiped Film Evaporator with Improved Evaporation Performance



細見 優\*  
Hosomi Masaru



野路草太\*  
Noji Sota

当社の薄膜蒸発機 WIPRENE<sup>®</sup>（ワイブレン）は、短い滞留時間や高い伝熱性能などの特長からファインケミカル製造プロセスにおいて50年以上に渡り2 000基以上が使用されている。今回、蒸発性能に寄与する因子を再検証し、液膜の混合性を改善し蒸発性能を向上させる新型機 “WIPRENE S” を開発した。ワイパ構造を主に各部を最適化し、約2倍の脱揮性能向上と、約20%の伝熱性能向上を達成した。

More than 2 000 WIPRENE<sup>®</sup> wiped film evaporators have been used in various fine chemical processes over the past 50-plus years thanks to their short residence time, high heat transfer performance and other features. We developed a new model “WIPRENE S” that improves evaporation performance by revalidating the factors that contribute to evaporation and improving mixing of thin films. With various aspects of the equipment optimized including the wiper structure, the WIPRENE S delivers twice the stripping performance and 20% higher heat transfer performance than the conventional model.

## Key Words :

新型薄膜蒸発機 ワイブレン S

New WIPRENE S wiped film evaporator

脱 揮

Stripping

ワイパの溝

Wiper groove

充 満

Filled

フィレット

Fillet

## 【セールスポイント】

- ・脱揮性能 約2倍
- ・伝熱係数 約20%向上
- ・液膜とフィレットとの混合性改善

## まえがき

一般に薄膜蒸発機は、処理液を薄い膜状にして蒸発させる装置であり、伝熱係数が大きく受熱時間が短いため、熱影響を受けやすい物質の蒸留、濃縮、脱揮などのプロセスに使用されている。熱影響抑制に加え、高真空操作対応、高粘度液対応、連続処理対応などの特長を有し、薄膜形成機構により数種類

の装置があり、それぞれに特徴を持つ。当社の WIPRENE は接触式ワイパにて薄膜を形成する構造で、高真空操作や高粘度液に対する高い伝熱性能、付着性物質の付着抑制などの特長を有し、2 000台以上の納入実績がある<sup>1, 2)</sup>。当社は WIPRENE の特長を最大限に活かすべく顧客とともに取り組んできた。

\*プロセス機器事業部 技術部 装置設計室

\*\*「WIPRENE S」は当社の商標であり、Sのみを赤色で使用している。

近年、化学物質の健康、環境への影響に対する基準が厳しくなっており、製品中の残存溶媒・モノマーを除去する高脱揮処理に対するニーズが高まっている。また、ケミカルリサイクルや廃液減容化への用途も増加している。これらのニーズに応えるべく、WIPRENEの構造変更による基本機能の改善に取り組んだ。特に、製品（残留液）から揮発分を除去する脱揮操作において、その性能向上をターゲットに取り組んだ。

## 1. 新型機 WIPRENE S の性能

WIPRENEでは、ワイパによる薄膜形成過程が性能を左右する。特にワイパに設けられた溝が、処理液を押し広げ、押し下げ、攪拌する効果を有しており、性能を決めるポイントになる。このワイパを主とした機器構造を最適化し、新型機 WIPRENE Sを開発した。

WIPRENE Sは、従来機の約2倍の脱揮性能、約20%大きい伝熱性能が得られている。ただし、サンプルによって性能向上率が異なるため、サンプル毎にテストを実施し性能を確認する必要がある。脱揮操作とは、製品に含まれる揮発成分を蒸発除去する操作を表す。脱揮操作では揮発成分が少量になる領域があるため、伝熱性能で性能差を表せない。そのため脱揮性能と伝熱性能とを分けて評価する。

### 1.1 WIPRENE S の脱揮性能

図1に2種類のサンプルにおける従来機とWIPRENE Sとの脱揮性能の比較を示す。製品Aは、モノマーが6 220 ppm 残存した原料からモノマーを蒸発除去する処理である。処理後の残存モノマー濃度が、従来機では980 ppmであるのに対し、WIPRENE Sでは420 ppmとなる。製品Bは、溶剤30%の原料から溶剤を蒸発除去する処理である。処理後の残存溶剤濃度が、従来機では8.3%であるのに対し、WIPRENE Sでは4.6%となる。いずれのサンプルについても、WIPRENE Sの残存揮発分濃度は従来機の約半分となり約2倍の脱揮性能を有する。同じ残存揮発分濃度であれば、処理量を約2倍にすることができる。例えば、製品Aの場合、残存モノマー濃度約1 000 ppmの製品を得るためには、従来機では供給量50 kg/hに対し、WIPRENE Sでは供給量100 kg/hを処理することができる。

### 1.2 WIPRENE S の伝熱性能

図2に、WIPRENE Sと従来機との内面側境膜伝熱係数の比較データを示す。テストサンプルには水を使用した。WIPRENE Sの方が、流量に関係なく内面側境膜伝熱係数が約20%高くなる。これを総括伝熱係数で表すと、12-4型機（伝熱面積：0.4m<sup>2</sup>、

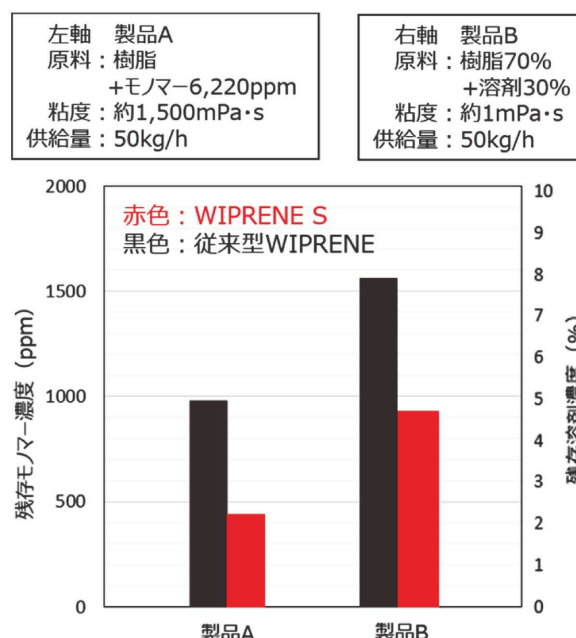


図1 WIPRENE S と従来機の脱揮性能比較

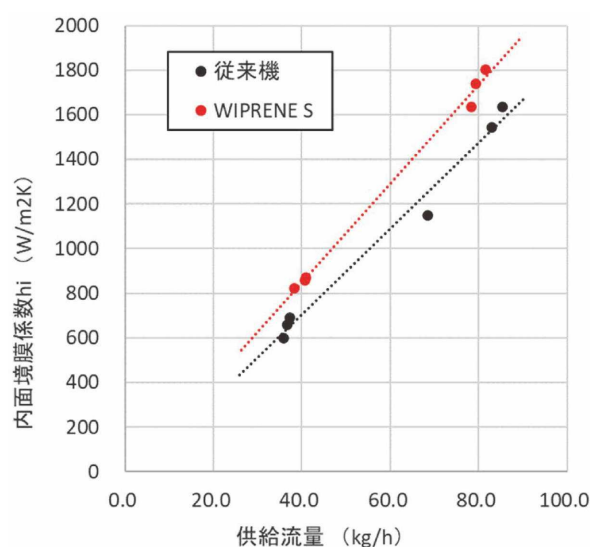


図2 WIPRENE S と従来機の伝熱性能比較

伝熱壁：SUS製、板厚6mm）の場合、約15%高くなる。

### 1.3 WIPRENE S の動力

動力については、処理粘度1 500 mPa・s以下の場合、従来機とほぼ同等のデータが得られている。ただし、1 500 mPa・sを超えると従来機よりも高くなるデータも得られており、サンプル毎に確認する必要がある。

## 2. WIPRENE S の構造

WIPRENE Sは、従来機から主に下記2点を変更し、機器全体を最適化した構造としている。

- ・ワイパの溝・山幅：従来機より小
- ・周方向のワイパ列数：従来機より多

## 2.1 ワイパ構造の検討

ワイパの形状（図3）、ワイパの周方向の列数（図4）、回転数、面圧を変化させ、性能差をサンプルテストで調査した。樹脂中の残存モノマーを数千ppmまで除去する脱揮操作を行い、残存モノマー濃度の差で性能差を比較した。テスト装置には当社テストセンターの12-4型高真空型 WIPRENE を使用した。

表1に、各構造による性能差の有無を示す。ワイパの溝・山幅、周方向のワイパ列数、回転数を変えると性能差が生じた。

溝・山幅について詳細にデータ取得し、溝・山幅が小さいほど性能が高くなることを確認した。

周方向のワイパ列数が多いほど、回転数が高いほど性能が高くなった。回転数を変化させると、かき取り回数、面圧、速度が変化する。ただし、面圧については性能差が現れない。ワイパ列数もかき取り回数を変化させていることになるので、かき取り回数 = 列数 × 回転数で評価した結果、列数を変化させた場合と回転数を変化させた場合と同様の傾向が見られた。このことから、かき取り回数が多いほど、高い性能が得られると言える。回転数を高くすると機械設計への影響が大きいため、WIPRENE S では、回転数は従来通りとし、ワイパ列数増加を採用した。

ワイパの溝・山幅と列数の両方を変えると、さらに性能が高くなる。図5では、従来型（左端）から溝・山幅を小さくすると、残存溶剤濃度が下がり脱揮性能が高くなっている（中央）。さらに、小さい溝幅のまま、列数を4列から8列へ変えると、残存溶剤濃度はさらに低減している（右端）。

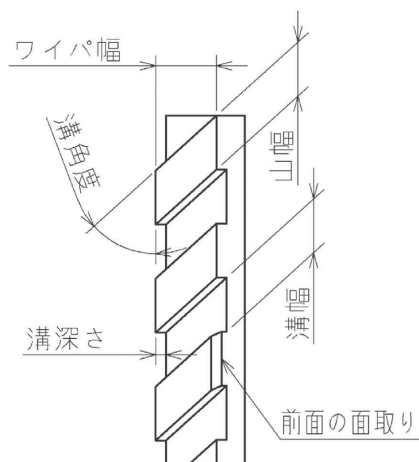


図3 ワイパ形状

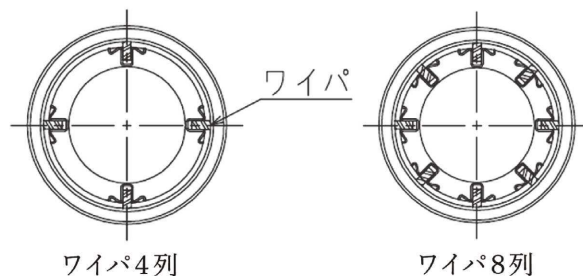


図4 周方向のワイパ列数

表1 ワイパ構造の性能への影響有無

変更部位		性能差
ワイパ形状	溝・山幅（溝幅と山幅は同じ）	有
	溝深さ	無
	溝角度	無
	幅	無
	クロス溝	無
	前面の面取り	無
周方向のワイパ列数		有
回転数		有
面圧（ワイパ重量）		無

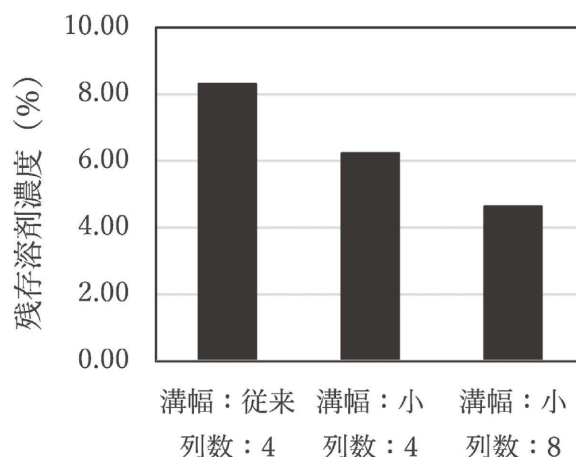


図5 溝・山幅と列数両方を変えた時の性能

## 3. 性能を決定するメカニズム

溝・山幅の変更によって性能差が生じるメカニズムを解明するため、図6に示す透明アクリル樹脂製実験装置を用いて、内部の液膜状態を確認した。性能は、液膜厚さ、液膜とフィレットとの混合度、滞留時間の3つの要素で決まると考え、それぞれについて確認した。

### 3.1 処理液の流動状態

図7に観察写真を示す。従来機では溝内に液が流れていない領域が存在するのにに対し、WIPRENE Sのワイパでは溝内を液が充満して流れていることが分かる。流体が溝内に充満することで、ワイパと流体とが接触し、流体内の混合が促進されると考える。

また、ワイパかき取り前方の液だまり（フィレット）が、WIPRENE Sでは上下方向に一様に分布しているのに対し、従来機では上下方向に一様でないことが分かる。

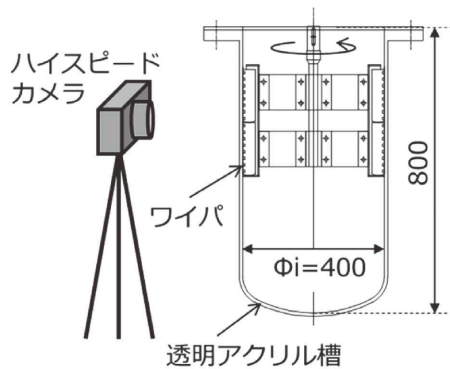
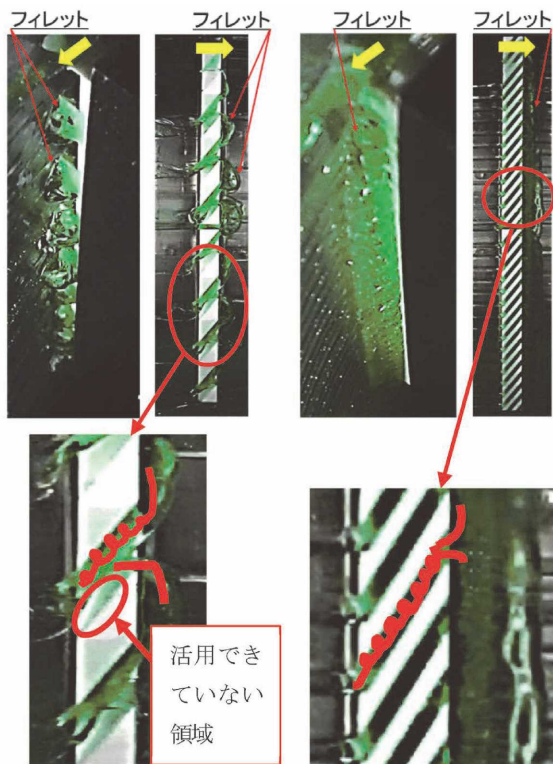


図6 液膜観察実験装置



左：従来機

右：WIPRENE S

- ※ 流体粘度：約 1500mPa・s
- ※ 観察しやすいよう流体を緑色に着色
- ※ 周方向のワイパ列数は同じ

図7 液膜観察写真

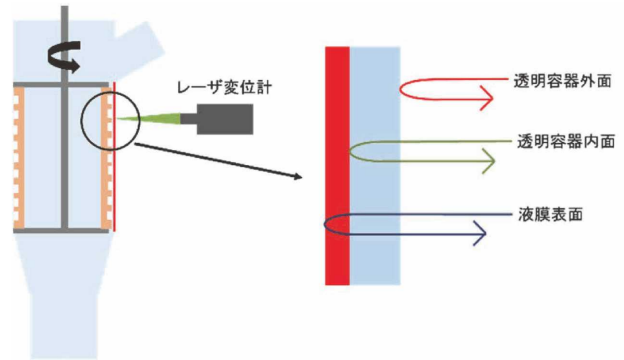


図8 液膜厚さ測定方法

### 3.2 液膜の厚さ

図8のようにレーザー変位計を用いて、液膜厚さを測定した。流量、回転数、ワイパ形状、流体粘度を変化させたが、液膜の厚さは0.1～0.3mmで変化せず、性能差は液膜厚さの違いによって生じているのではないことが確認された。

### 3.3 液膜とフィレットとの混合度

蒸発機内の処理液は、図7や図9に示すように液膜部とフィレット部に分かれる。蒸発は液膜部で起こるため、フィレット部から液膜部への物質移動（混合度）は、重要な要素と考えられる。

この混合度を各部の流体の電気伝導率の変化で評価した。図10に示すように、液膜部の電気伝導率を壁内面に面一に電極を埋め込み計測し、フィレット部の電気伝導率をワイパ前面に電極を取り付けて計測した。

供給液の塩分濃度0%からスタートし10秒後に1%、40秒後に0%へ切り替えた時の、電気伝導率（塩分濃度）の変化の様子をフィレット部と液膜部とで比較した。結果を図11に示す。従来機では液膜部とフィレット部の塩分濃度に差が生じているのに対し、WIPRENE Sでは液膜部とフィレット部がほぼ一致して変化している。WIPRENE Sでは液膜部とフィレット部が十分に混合されていると考えられる。一方、従来機ではフィレット部の液が液膜部へ移動するよりも先に流下していると考えられる。

ワイパ山・溝幅の縮小に伴い処理液とワイパとの接触面が大きくなったことに加え、3.1項に示すように溝内に流体が充満することにより溝内の流体（フィレットの一部）と液膜との混合度が高まり、フィレットと液膜との混合度が高まったと考えられる。

### 3.4 滞留時間

電気伝導率法の実験において、上段ワイパ部と下段ワイパ部を同時に測定し、上段ワイパと下段ワイ



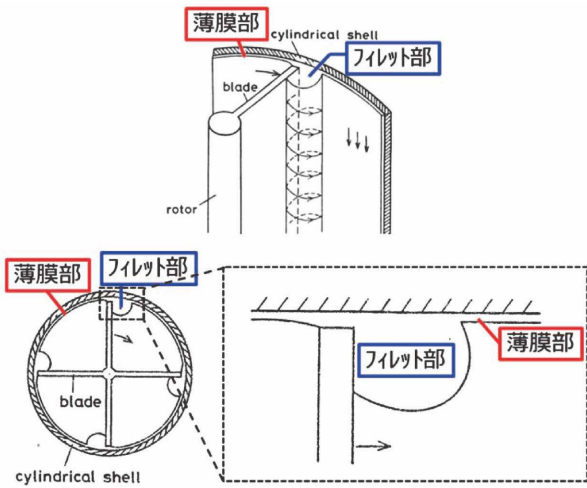


図9 薄膜部とフィレット部の模式図<sup>3)</sup>

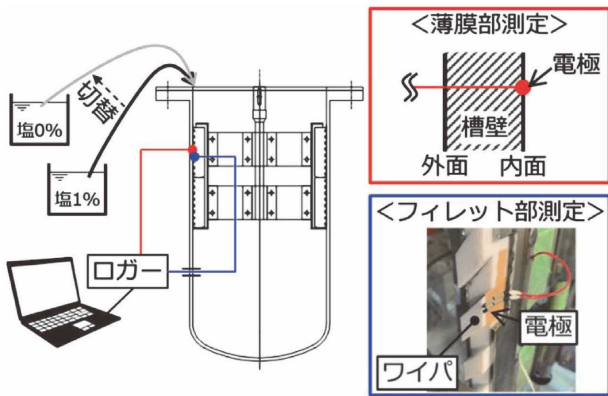
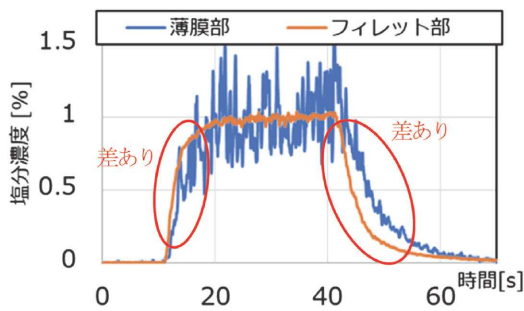
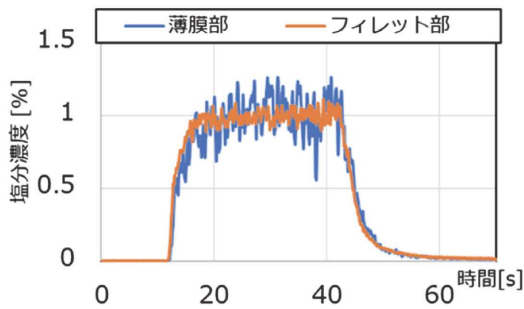


図10 混合度評価テスト装置



(i) 従来型ワイパ



(ii) WIPRENE S ワイパ (列数は従来と同じ)

図11 フィレット部と液膜部の濃度変化の様子

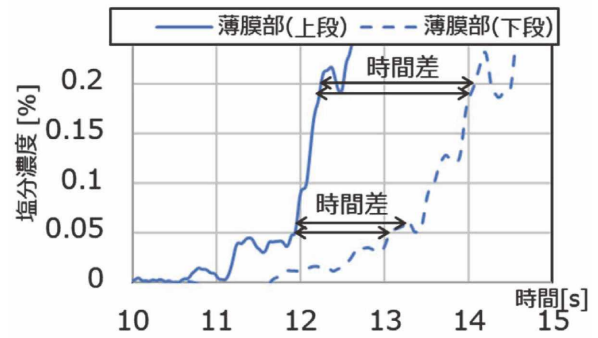


図12-1 上段と下段ワイパ間の濃度変化の時間差

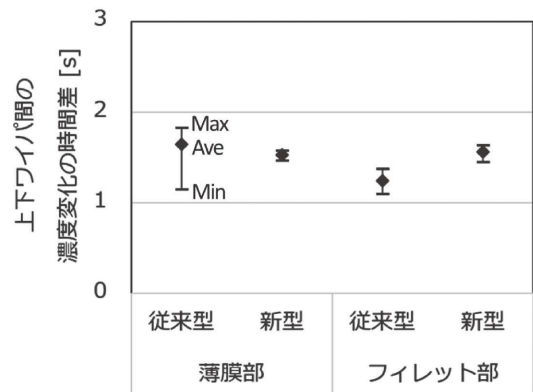


図12-2 濃度変化の時間差比較

パとの濃度変化の時間差 (図12-1), すなわち上段ワイパから下段ワイパまで流下する時間を用いて滞留時間を評価した。図12-2のように, 従来型とWIPRENE S に有意差は見られず, 性能差が滞留時間の違いによって生じているのではないことが確認された。

### 3.5 まとめ

WIPRENE S の性能向上には, 液膜とフィレットとの混合度向上が大きく寄与していることを確認した。溝内に液を充満させることによる混合度向上に加え, 列数の増加に伴い各列のフィレットが小さくなることにより, 液膜とフィレットとの混合度がさらに高まると考えられる。

## 4. その他の利点

### 4.1 飛沫同伴に対する性能

図6の実験装置においてワイパより内径側にろ紙を貼り, ろ紙の重量変化で飛沫量を計測した。WIPRENE S の飛沫量は従来機よりも少ない結果が得られた。飛沫はワイパかき取りの際の跳ね飛ばしと蒸発・沸騰に伴う同伴とが重なって起こるためこの結果だけですべてを判断することはできないが, WIPRENE S の飛沫量の減少傾向が示唆された。今後のデータ収集により確認を進める。

## 4.2 蒸発面の可視化

蒸発面に設けるのぞき窓を試作し、リークテストと試運転を実施し使用可能なことを確認した。実運転における内部の状態を観察することで、内部での固形物生成、高粘度化、付着、発泡等の異常の有無を目視確認でき、より詳細な検討が可能となる。

## む す び

新型ワイパを主とした機器構造の最適化により、約2倍の脱揮性能と約20%大きい伝熱性能を有するWIPRENE Sを開発した。従来機をWIPRENE Sへ改造することも可能であり、既にご使用中のユーザーにもその効果を実感頂ける新型機である。近年ニーズの高まっている高脱揮処理やりサイクルなどの用途に、より効率の高いWIPRENE Sを適用するこ

とで環境問題にも貢献できると考える。また、本取組で用いた内部状態の評価手法を、個々のテストや新たな改良に応用することにより、今後の更なる薄膜蒸発技術の向上につなげることができる。

最後に、テスト用のサンプル提供と分析にご協力頂きましたユーザー様、液膜の混合に関しアドバイスを頂きました呉工業高等専門学校の高田一貴教授をはじめ、関係者各位に深く感謝の意を表します。

## [参考文献]

- 1) 池田幸雄:神鋼ファウドラ―技報, Vol.30, No.1 (1986), 高真空蒸留におけるWFE 薄膜蒸留装置
- 2) 三木洋二:神鋼パンテック技報, Vol.34, No.2 (1990), WFE 薄膜蒸留装置の新適用分野の紹介
- 3) 高田一貴, 攪拌式薄膜蒸発機に関する流動工学的研究 (1988)

## 日本核酸医薬学会第8回年会へ初出展 (ペプチスター社と共同出展)

去る2023年7月11～14日にかけて、日本核酸医薬学会第8回年会が名古屋大学豊田講堂にて開催されました。その付設展示会にて、当社プロセス機器事業部は、中分子医薬品の国内最大級の製造設備を有しオールジャパン体制による技術開発を行うペプチスター社と、共同で初出展をいたしました。

4日間の学会参加者は約1,000人、当社ブースにも多くのお客様が来訪されました。当社ブースではペプチスター社と共同開発を行っている新型凍結乾燥機「RHEOFREED-PV type」を中心にPRを実施。同機は乾燥時間の短縮や製品の均質化のみならず、装置洗浄が容易であり、粉碎等の後工程を省略できるという特徴を有する攪拌式凍結乾燥機です。今回、開発成果として、中分子医薬品の乾燥時間を、従来の棚段凍結乾燥機から80%削減に加えて残留溶媒の低減や均質性の向上についても多くのお客様から高い評価をいただき、生産性向上やカーボンニュートラルへの貢献が期待できる機器としてご認識いただきました。また、この展示会で面識を得られた中分子医薬メーカーやベンチャー企業の方々と更なる技術交流を深め、核酸医薬分野への当社プロセス機器のプレゼンスを向上すべく技術力を磨いていきます。

今回の出展では、当社の技術力をPRだけでなく、既設機器やプロセスの改善に対する課題やニーズなど、今後の製品開発や営業活動の指針となる有効な情報を交換することができ有意義な展示会となりました。



日本核酸医薬学会第8回年会 ブース会場

## 「ポートアイランド処理場改築更新等事業」を受注 ～水処理施設・機能の最適化およびDX推進による維持管理効率化～

当社は、大豊建設株式会社、三菱電機株式会社、株式会社ニチジョー、神鋼環境メンテナンス株式会社、三菱電機プラントエンジニアリング株式会社の6社で企業グループ（代表企業：（株）神鋼環境ソリューション）を構成し、神戸市から「ポートアイランド処理場改築更新等事業」（以下、「本事業」）を受注、2023年2月28日に基本契約を締結しました。

ポートアイランド処理場は、1980年の供用開始から40年以上が経過し、老朽化のため改築更新が必要であるとともに、現在稼働中の1期側1系水処理施設は耐震性の確保が求められています。一方、2期側用地には将来の汚水量増加を見込み、既に2系水処理施設の土木建築躯体が施工されています。本事業は、1系水処理施設の機能を2系水処理施設へ移転させ、水処理施設・設備の改築更新と耐震性の確保および水処理施設・機能の最適化やDXの取組みによる維持管理の効率化を実現するものです。

当社は、効率的かつ安定的な事業の実施に向け、これまでの建設・運転で培ってきた水処理技術と安心・安全なサービスを提供して参ります。「今を越える発想で、健やかな環境と暮らしを次世代へ」というミッションの下、本事業を通じて下水処理場の付加価値向上に努めて参ります。

### 記

#### 1. 本事業の概要

- (1) 受注者：神鋼環境ソリューション・大豊建設・三菱電機・ニチジョー・神鋼環境メンテナンス・三菱電機プラントエンジニアリンググループ
- (2) 業務内容：
  - ①設計・施工業務  
契約者：神鋼環境ソリューション（代表企業）・大豊建設・三菱電機特定建設工事共同企業体  
設計・施工期間：2023年3月1日～2028年6月30日
  - ②維持管理業務  
契約者：ニチジョー（代表企業）・神鋼環境メンテナンス・三菱電機プラントエンジニアリング・神鋼環境ソリューション共同企業体  
維持管理期間：2028年7月1日～2048年6月30日
- (3) 事業場所：1期側用地 神戸市中央区港島中町8丁目4  
2期側用地 神戸市中央区港島南町3丁目7  
上記の他、維持管理業務は以下を含む  
神戸市中央区港島9丁目11-2  
神戸市中央区港島中町1丁目  
神戸市中央区港島中町7丁目14  
神戸市中央区港島中町8丁目
- (4) 事業方式：DBO（Design: 設計, Build: 施工, Operation: 維持管理・運営）方式
- (5) 契約金額：設計・施工業務 92億7487万円（税込）  
維持管理業務 41億9980万円（税込）

## 2. 本事業の特長

### (1) 水処理施設・機能の最適化

担体 A2O 法<sup>1)</sup>を採用した、晴天時日最大汚水量（13 300m<sup>3</sup>/日）を2系のみで処理可能な施設を構築し、雨天時浸入水（+6 000m<sup>3</sup>/日）にも、運転管理の工夫により2系施設で処理することに加え、汚水調整池も活用することで、安定施設稼働を実現する。

### (2) 確実な施工と円滑な機能移転

土木工事では旧護岸等の地中障害物や地質条件に適した工法を採用し、下水流入を継続しながら切替を行う流入マンホールの施工や、水量負荷を段階的に増やす水処理機能の切替ステップを踏むこと等で、既存1系施設の運用に与える影響を最小化する機能移転工事を行う。

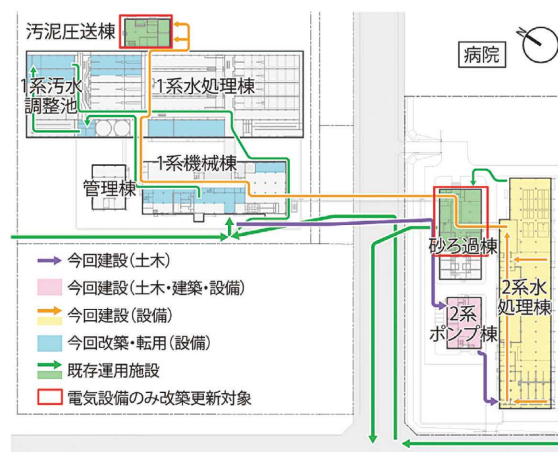
### (3) 維持管理の効率化

AIを活用した雨天時の流入水量予測による人員体制の適正化など多彩なDXツールの導入に加え、長年の知見と本処理場の特徴を踏まえた運転管理計画を策定し運用することで、維持管理の効率化を図る。

### (4) 安定した施設運営

DXツールの活用と2系施設能力を十分に発揮し、雨天時や異常水質流入に対応する。また、流入水量や負荷変動の傾向を踏まえた水質・運転管理計画や、これまで培ってきた運転経験に基づく保全管理計画を策定し運用することで、安定した施設運営体制を整える。

## 3. 本事業の対象範囲



## 4. 施設の完成予想図



### 【注記】

1) 結合固定化担体を、A2O法（嫌気無酸素好気法）の生物反応槽に投入し、窒素除去を担う微生物を担体表面や内部に保持することで、生物反応槽内の硝化・脱窒速度を向上させる処理方式

以上

## 仙台市南蒲生浄化センター消化ガス発電事業を受注 ～東北最大規模の下水処理場に高濃度消化・消化ガス発電設備を新設～

当社は、地方共同法人日本下水道事業団から「仙台市南蒲生浄化センター消化ガス発電事業」（以下、「本事業」）を受注し、2023年3月30日に同事業団および仙台市との契約を締結しました。

本事業は、東北最大規模の下水処理場である仙台市南蒲生浄化センターにおいて、汚泥濃縮施設を更新するとともに汚泥消化施設を新設し、発生する消化ガスを発電施設にて有効利用するものです。

本事業は2事業で構成されます。

「汚泥処理施設整備事業」では、当社がトップシユア<sup>1)</sup>を誇り、槽内可視化や堆積物排出等の運転支援機能を有する「パッケージ型鋼板製消化タンク」に加え、ライフサイクルコストの大幅な低減を実現する「高濃度消化技術」（平成30年度 B-DASH プロジェクト<sup>2)</sup> 採択技術）を採用した汚泥処理施設を新設します。

「消化ガス利活用事業」では、同センターから発生する消化ガスを仙台市から買い取り、民設民営の消化ガス発電事業を行います。下水汚泥の処理過程で発生する消化ガスを発電利用することにより、仙台市下水道マスタープランで掲げる「資源・エネルギーの利活用と温室効果ガスの排出抑制」を推進します。

本事業の遂行により、汚泥エネルギー化技術を通じて、下水処理場の温室効果ガス削減に貢献して参ります。

### 【仙台市南蒲生浄化センター消化ガス発電事業の概要】

- ①事業内容：(1) 汚泥処理施設整備事業 / DB (Design-Build) 方式
  - ・汚泥濃縮設備、汚泥消化設備の設計・建設
- (2) 消化ガス利活用事業 / 民設民営方式
  - ・南蒲生浄化センターで発生する消化ガスの買取
  - ・FIT もしくは FIP 制度<sup>3)</sup> を活用した発電施設の事業計画の取得、設計・建設及び運営維持管理
- ②事業場所：仙台市宮城野区蒲生字八郎兵エ谷地第二112番地
- ③事業主体：(1) 神鋼環境ソリューション・大豊建設特定建設共同企業体（代表企業：当社）  
(2) 神鋼環境ソリューション

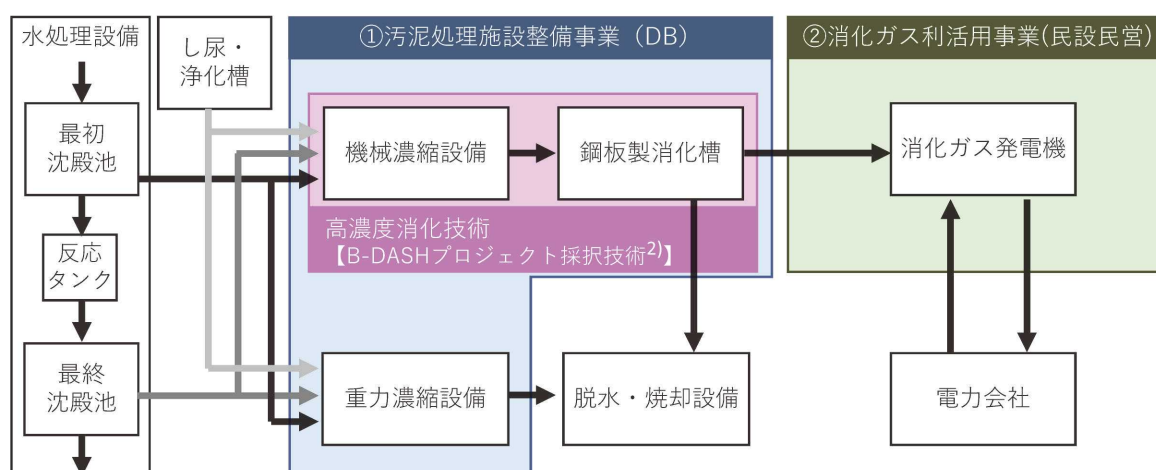
### 【仙台市南蒲生浄化センター消化ガス発電事業の特長】

- ①「パッケージ型鋼板製消化タンク」「高濃度消化技術」によるライフサイクルコストの低減  
鋼板製消化槽の採用に加えて、高濃度濃縮設備により消化槽の容量をコンパクト化することで、従来型（RC 製消化槽・中濃度消化技術）に比べ建設コストを低減。また、消化槽には低動力攪拌機を採用、未消化汚泥を重力濃縮設備で処理する等、最適な組み合わせにより、維持管理コストも低減。
- ②温室効果ガス排出量の削減  
カーボンニュートラルな消化ガス発電の実施により、温室効果ガス排出量を削減。

[施設の完成予想図]



[処理フロー図]



【注記】

- 1) 下水道分野での当社調べによる
- 2) Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project  
下水道事業において抱える様々な課題に対応するために必要な新技術の開発・活用について、国が主体となって、実規模レベルの施設を設置して技術的な検証を行い、ガイドライン化して革新的技術の全国展開を図っていくことを目的として平成23年度より実施しているもの
- 3) 再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定価格で買い取る（FIT/Feed-in Tariff）、あるいは一定補助額を上乗せして買い取る（FIP/Feed-in Premium）ことを国が約束する制度

## 埼玉西部環境保全組合「埼玉西部クリーンセンター」の竣工

当社が建設し1995年より運用していた既設高倉クリーンセンターの更新施設として、2018年2月に埼玉西部環境保全組合から受注し、建設を進めてきました「埼玉西部クリーンセンター」が2023年3月に竣工しました。

本施設は、低空気比での安定燃焼が可能な当社の主要製品メニューである回転ストーカ式焼却炉を採用しており、環境負荷低減に貢献しています。

また、蒸気条件4 MPa × 400℃の高温高圧ボイラと最大出力2 420 kWの蒸気タービン発電機を設置しており、発電効率14%を達成しています。発電した電気は施設内で利用し、余剰電力は売電を行います。

当社は今後もこれまで培ってきた技術を駆使し、持続可能な循環型・低炭素化社会の形成に貢献してまいります。

### 【事業の概要】

○事業内容：焼却施設（回転ストーカ式焼却炉）の設計・建設、運営・保全管理業務

○事業期間

整備期間（設計・建設）：2018年2月～2023年3月

運営・保全管理業務：2023年4月～2038年9月

○事業方式：公設民営 DBO 方式（Design：設計，Build：建設，Operate：運営）

○事業者

整備工事（設計・建設）：神鋼・三井住友・伊田特定建設工事共同企業体

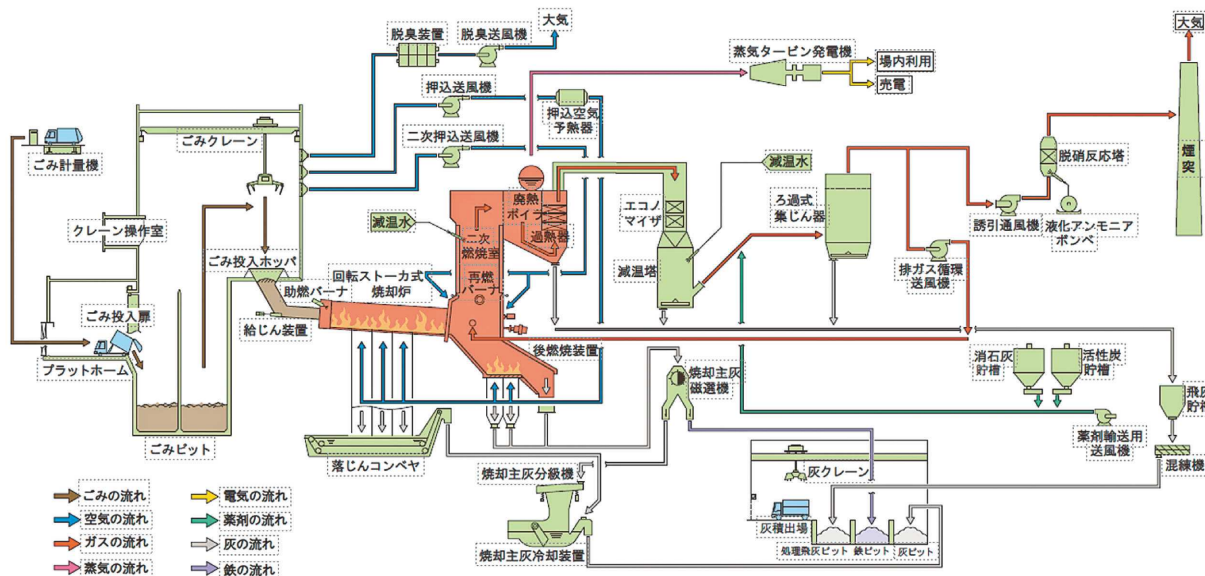
運営・保全管理業務：株式会社鳩山環境サービス



埼玉西部クリーンセンターの外観



【埼玉西部クリーンセンターの施設フロー】



- |          |   |                    |                  |
|----------|---|--------------------|------------------|
| 本 社      | 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78  | ☎ (078)232-8018    | FAX(078)232-8051 |
|          | 〒651-0086 神戸市中央区磯上通2丁目2番21号(三宮グランドビル)   | ☎ (078)232-8018    | FAX(078)232-8051 |
| 技術研究所    | 〒651-2241 神戸市西区室谷1丁目1-4   | ☎ (078)992-6500    | FAX(078)997-0550 |
| 東京支社     | 〒141-0033 東京都品川区西品川1丁目1番1号(住友不動産高層ビル)   | ☎ (03)5931-3700    | FAX(03)5931-5700 |
| 大阪支社     | 〒541-8536 大阪市中央区備後町4丁目1-3(御堂筋三井ビル)  | ☎ (06)6206-6751    | FAX(06)6206-6760 |
| 九州支社     | 〒812-0012 福岡市博多区博多駅中央街1-1(新幹線博多ビル)  | ☎ (092)474-6565    | FAX(092)441-4440 |
| 北海道支店    | 〒060-0004 札幌市中央区北四条西5丁目1-3(日本生命北門館ビル)   | ☎ (011)241-4647    | FAX(011)241-5759 |
| 東北支店     | 〒980-0811 仙台市青葉区一番町1丁目2-25(仙台NSビル)  | ☎ (022)716-6651    | FAX(022)263-2049 |
| 名古屋支店    | 〒451-0045 名古屋市中区名駅2丁目27-8(名産ビル)   | ☎ (052)581-9876    | FAX(052)563-2313 |
| 北陸支店     | 〒910-0859 福井県福井市日之出2丁目17-13   | ☎ (0776)27-7645    | FAX(0776)27-0460 |
| 播磨製作所    | 〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島19   | ☎ (079)436-2500    | FAX(079)436-2506 |
| プノンペン事務所 | Level 5, OHK Tower, Street 110 and Corner Street 93, Phum 3, Sangkat Srah Chak, Khan Daun Penh, Phnom Penh, Kingdom of Cambodia | ☎ +855-23-232-051  |                  |
| ロンドン事務所  | Building 3, Chiswick Park, 566 Chiswick High Road, London, W4 5YA, United Kingdom   | ☎ +44-208-849-5558 |                  |

# 神鋼環境ソリューション