## 神鋼環境ソリューション技報

2010年度·Vol.7·No.1

13

KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS

目	次 C	ONTENTS
1	<巻頭言> すべてはつながり,すべては変化する	
2	講演会抄録 ガラスの構造	Structure of Glasses
9	新しい導電性グラスライニング"ECOGLII"	New Electrically Conductive Glass Lining "ECOGLII"
16	グリーンフロント堺 高度処理水リサイクルセンター	Presentation of Advanced Treated-water Recycle Center in Sharp Green Front Sakai
23	水リサイクル技術の下水への適用 一膜処理による下水高度処理水リサイクルの実証―	Application of Water Recycling Technology to Sewage Treatment Water
29	野手埋立処分所殿向けDTモジュールシステムによる 浸出水処理施設の納入事例	Leachate Water Treatment Facilities with DT Module System at Note Landfill Site
36	廃棄物焼却施設における水リサイクルシステムの確。 一発電効率向上と排水クローズド化の両立—	立 Establishment of Water Recycling System in Waste Incineration Plants
43	大型流動床式ガス化溶融施設の完成 (相模原市南清掃工場)	Completion of Large-scale MSW Fluidized Bed Type Gasification and Melting Plant
50	高度排ガス処理の流動床式ガス化溶融施設の完成 (川越市資源化センター熱回収施設)	Completion of MSW Fluidized Bed Type Gasification and Melting Plant with Advanced Flue-gas Treatment
56	流動床式ガス化溶融炉の長期連続安定稼働	Long-term, Continuous and Stable Operation of MSW Fluidized-bed Gasification and Melting Plant
61	製品・技術紹介	

# すべてはつながり、すべては変化する



独立行政法人 国立環境研究所 理事長 **大 垣 眞一郎** Shinichiro Ohgaki

焦点を絞った技術開発を展開しなければいけないといわれる。一方, 地球規模気候変動をその典型として, 金融, 経済, 環境汚染, 高等教育, あるいは, 若者の音楽や映画などすべてが世界化(グローバル化)している。すべてがつながり, あらゆる部分の変化は全体に及ぶ。各部分は時々刻々と変化する。このような時代に, 個別課題を対象とした技術はその課題解決だけで済むであろうか。特に環境に関する技術はこの問いに正面から答えなければならない。その方法は何か。

今の「時代の性質」を実にうまく分析した本に出会った。J. C. ラモ著(田中義延訳)「不連続変化の時代」(講談社,2009年)である。金融危機対応やテロ(聖戦)対策,あるいは,任天堂のWii 開発者などの事例を縦横に使い,現在のような不安定な時代への対処方法を考察している。想定外の危機への適応戦略あるいは創造的な発想は,いかにあるべきかを説いている。すなわち,微視的な見方でなく,巨視的な見方が,直接的な対処ではなく,対象課題の周辺を把握した上での周辺からの間接的な対処が,有効であるとしている。

このラモの分析は、社会システム全体を同時に捉えることの大切さを強調しているといえる。環境に関する技術は社会のシステムそのものの中にある。それではどのようにシステム全体の中で環境の技術開発を捉えればよいであろうか。私の整理では、そのための視点は2つある。まず第1は、技術や政策は必ず相反する関係を引き起こす。トレードオフの問題である。たとえば、水の取水問題では、自然流下でエネルギーを節約できかつ水質の良い上流での取水は、中下流域の水量を減らし生態系に影響を与えるおそれがある。このようなトレードオフ問題を考察に加えることである。第2の視点は、非定常時の問題を考察に加えることである。地震や異常渇水の時に、当該のシステムは機能するか。たとえば、高度な制御システムによりエネルギー消費を抑えた排水処理システムは、非常時に頑健であるか、その対処方法の考察である。

個別の課題解決のための技術開発にあたり、常に、このトレードオフの視点と非定常の視点の両者から検証する必要がある。見通すことのできない不連続変化の時代に、システム全体へ俯瞰的な視点を確保するには、この自己検証は有効な道具になるはずである。

いまは、すべてがつながり、すべてが変化している。環境の技術開発は、この時代ゆえ最も先端的な思考を求められる分野である。すなわち、時代の中核的技術開発と言える。

## =講演会抄録=

## ガラスの構造

#### Structure of Glasses



矢野哲司 Tetsuji Yano

東京工業大学 大学院理工学研究科 物質科学専攻 准教授 工学博士



香川博行\* Hiroyuki Kagawa



多田篤志\*\* Atsushi Tada

This is an abstract of the lecture by Dr. T. Yano at Harima Plant. He is the associate professor of, Department of Chemistry and Materials Science, Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology and has made many distinguished contribution to the field of basic glass structure and development of functional devices. Points of view of his lecture were; Improved understanding of character and structure of glasses, and its usage for the development of our glass lining equipments in the future. Contents of his lecture were; Relationship between property and structure of glasses in the cases that the glass temperature is changed or that an ion exchange is proceeded.

## まえがき

東京工業大学 大学院理工学研究科 物質科学専攻の矢野准教授を播磨製作所にお迎えし、ガラスという材料に対する理解を深め、当社のグラスライニング機器の今後の開発に活かすという観点でご講演頂いた。矢野准教授は非晶質材料の基本的構造や物性の解明、その特徴を最大限に生かした機能素子の実現にむけた研究においてご活躍されておられる。

本稿は、ガラスの温度が上昇した場合や、イオン 交換処理を施した場合の、ガラス性質と構造の関係 について、ご講演頂いた内容の抄録である。

#### 1. 温度に対するガラス性質の変化

図1に示すように、ガラスの熱膨張は温度上昇とともに大きくなり、温度上昇を続けると屈曲して膨張が大きくなる点が存在する。この温度はガラス転移点  $(T_g)$  と呼ばれる。一般的な珪酸塩ガラスは、 $T_g$  よりも低温側では、 $SiO_4$  の四面体を基本としたネットワーク構造を持っているが、高温側では、そのネットワーク構造が崩されるために、膨張量が急激に増加する。

ガラスの温度と体積の変化を模式的に示したのが図2である。ガラスは加熱されると融点(T<sub>m</sub>)以上の温度で液体となる。ガラス融液がゆっくり冷却

されると、原子や分子が規則的に配列して結晶化が起こる。結晶化が起こる際には図中の破線のように、急激な体積の減少を伴う。この結晶化が起こる温度は融点  $(T_m)$  と呼ばれ、結晶化したガラスを加熱した際に、結晶相の分子鎖が切れて自由に動けるようになる温度である。しかしガラス融液が比較的速く冷却される場合には、 $T_m$  に達しても原子や分子の配列が起こりにくく、結晶化せずに液体のま

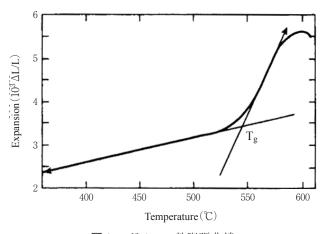


図1 ガラスの熱膨張曲線

ま冷却される。これを過冷却液体と呼ぶ。過冷却液体の状態では、液体と同じ体積変化率で冷却が進み、 $T_g$ 以下でガラス状態(固体)になる。ガラス状態で冷却される場合には、体積変化率は急激に減少するという性質を示す。

また、各状態の自由エネルギーの変化を模式的に示したのが図3である。過冷却液体ならびにガラス状態では、原子配列は長距離秩序性をもたず、熱力学的に不安定であるため、結晶状態よりも自由エネルギーは高い。ガラス状態と結晶状態の自由エネルギーの差は、温度上昇とともに  $T_m$  に近づくにしたがって小さくなる。

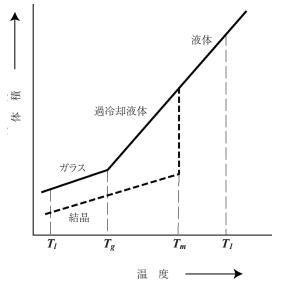


図2 温度に対するガラスの体積変化

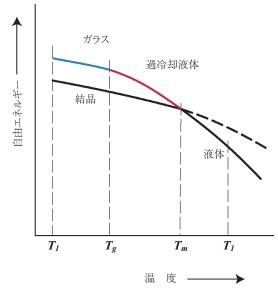


図3 温度に対するガラスの自由エネルギーの変化

このようにガラスの性質は、温度変化にともなって大きく変化するが、これはガラスのネットワーク 構造の変化に起因していると考えられる。

## 2. 温度によるガラス構造の変化

珪酸塩ガラスを例にとり、温度変化にともなうガラスの構造変化を評価し、構造と性質の変化の関連性を検討した結果を次に紹介する。

#### 2.1 ケイ酸塩ガラスの基本構造

ケイ酸塩ガラスは、 $SiO_4$  四面体の網目構造によって構成されている。 $SiO_4$  四面体の構造は、Si に連結する架橋酸素数  $Q^n$  ( $0 \le n \le 4$ ) によって異なり、図 4 に示すような形をとる。工業的に用いられる  $SiO_2 > 60$  mol % の珪酸塩ガラス中には、 $Q^2$ 、 $Q^3$ 、 $Q^4$  の 3 つが支配的に存在しており、 $Q^2$ 、 $Q^3$  が修飾成分であるアルカリイオンとの電荷バランスをとり、 $Q^4$  が 3 次元的なネットワークを形成している。またこれら 3 つの  $Q^n$  の割合(分率)は、下式(1)の平衡反応にしたがって変化することが知られている。

$$2Q^3 \Leftrightarrow Q^2 + Q^4 \tag{1}$$

#### 2.2 温度に対する O" 分率の変化

温度に対する  $Q^n$  分率の変化を確認するため、溶融・急冷法により作製した種々のケイ酸塩ガラスのラマン散乱スペクトルを、室温から1500  $\mathbb C$  までの温度範囲において、高温ラマン分光測定装置(Hightemperature Raman scattering measurement)にて測定した。高温ラマン分光法は、サンプル中の結合に関する情報を高温状態のまま、短時間で容易かつ高感度に測定可能な方法である。測定例として $15Li_2O-85$   $SiO_2$  のラマンスペクトルの変化を $\mathbb Z$   $\mathbb Z$ 

測定した各温度でのラマンスペクトルは各補正を施した後、ガウス型関数を用いてピーク分離することにより、バンド位置やピーク強度に関する情報を得ることが可能である。図 6 に示すように、各結合に由来した950 cm<sup>-1</sup> (Q<sup>2</sup> の Si-O<sup>-</sup>)、1 050 cm<sup>-1</sup> (Si- $\phi$ )、1 100 cm<sup>-1</sup> (Q<sup>3</sup>の Si-O<sup>-</sup>)、1 170 cm<sup>-1</sup> (Si- $\phi$ ) の



図4 SiO<sub>4</sub>四面体構造と架橋酸素数

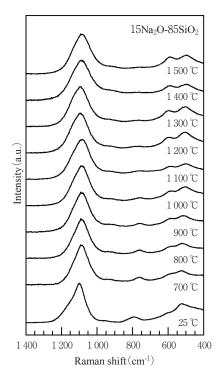


図5 アルカリ珪酸塩ガラスの高温 ラマンスペクトル測定結果

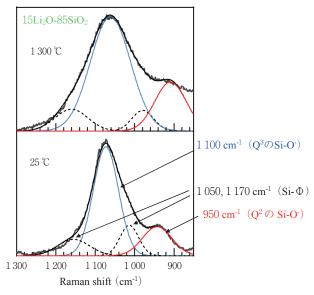


図6 ラマンスペクトルのピーク分離

4つのバンドに分離することが可能であり、スペクトルを分離して得られた $Q^2$ ,  $Q^3$ バンドの面積強度比から各温度での $Q^n$ 分率を算出した。

このようにして得られた各珪酸ガラス( $15R_2O$ - $85SiO_2$ ,  $25R_2O$ - $75SiO_2$  (R=Li, Na))の Q<sup>n</sup> 分率の温度依存性を図7に示す。また  $Li_2O$ - $SiO_2$  系と  $Na_2O$ - $SiO_2$  系の Q<sup>n</sup> をダイアグラムにまとめた結果を図8

に示す。図8中の点線はそれぞれの組成でとりうる $Q^n$ 分布を表し、右上方になるほど(1)式の平衡定数は大きくなる。また赤線は $Q^n$ 分布の等温曲線を表す。

図7,8より、アルカリ成分量が少ない場合、R=Li、NaともにQ<sup>n</sup>分率の温度依存性は小さい。アルカリ成分量が多い場合、R=LiではQ<sup>n</sup>分率に温度依存性はほとんどないものの、R=Naでは温度上昇に伴ってQ<sup>3</sup>が減少しQ<sup>2</sup>、Q<sup>4</sup>が増加する傾向を示し、その傾向はTg以上の温度において大きくなる。これらの結果から、Na<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>系のガラスは、高アルカリ組成になると温度上昇に伴い、(1)の平衡反応は右側に進み、Tg以上においてガラスの構造緩和が急激に進むことがわかる。温度変化によって構造変化が起こりやすいため、温度上昇によって屈曲点をもった熱膨張性を示し、冷却時にもガラス化しやすいガラスであると考えられる。

Li<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 系のガラスは、Q<sup>n</sup>分率に温度依存性がほとんどないため、過冷却時においても結晶化の駆動力が増大する。結晶化しやすいガラスであると考えられる。

このように、温度変化に伴う構造の変化を評価することにより、ガラス性質の変化を理論的に考察することが可能である。また未知のガラスの性質を推察することが可能となる。

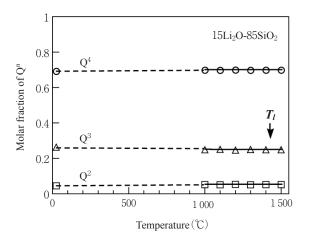
# 3. イオン交換処理によるガラス構造の変化

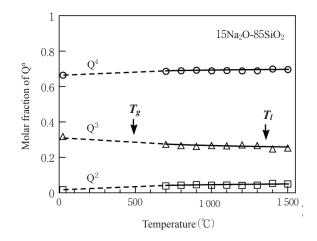
イオン交換処理したガラスの性質変化の原因を, 処理に伴うガラス構造の変化から検討した結果を次 に紹介する。

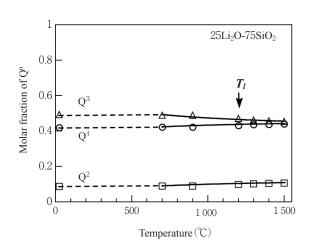
#### 3.1 イオン交換処理とは

イオン交換処理とは、種々の1価の陽イオン(カチオン)をガラス中のアルカリイオンと交換して、ガラス中に導入する処理である。室温中ではアルカリイオンはガラス中の酸素と強く結合しているが、一般的なガラスでは200─300℃までガラス温度を上昇させることで、熱エネルギーを得てアルカリイオンは移動できるようになる。この状態で別の1価の陽イオンを含む液体(溶融塩等を含む)に接触させると、濃度勾配が駆動力となりイオンの相互拡散が発生する。図9(a)に示すように、ガラス中のアルカリイオンが接触している液体等に溶け出し、代わりに液体に含まれる1価の陽イオンがガラス中に入り、イオン交換が起こる。

また図9(b)に示すように、ガラスの表裏に溶融塩を電極として電界を印加することにより、イオン







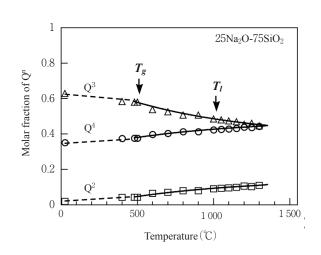


図7 各アルカリ珪酸塩ガラスの Q<sup>n</sup> 温度依存性

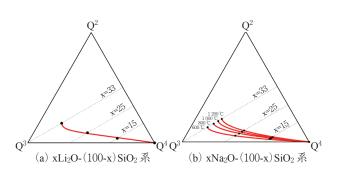


図8 R<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>ガラス (R=Li, Na) の Q<sup>n</sup> ダイアグラム

交換することも可能である。この場合イオンが電荷を持っているため、クーロン場が駆動力となり、ガラス中のアルカリイオンと陽極塩中の1価の陽イオンは電界の向きに合わせて移動する。アルカリイオンが移動した後、そこに1価の陽イオンが入って置

図 9 (a) の浸漬法 (Dipping method) では、図10

き換わることで、イオン交換が起こる。

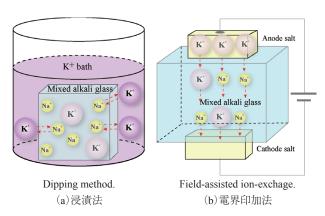


図9 イオン交換処理概要

(a) のように液体に接しているガラス全面より一様にイオン交換が起こり、イオン交換濃度は深さに応じた緩やかなプロファイルを示す。図9(b)の電界印加法(Field-assist method)では、電場に応じた正極から負極に向かう方向性のあるイオン交換が起こ

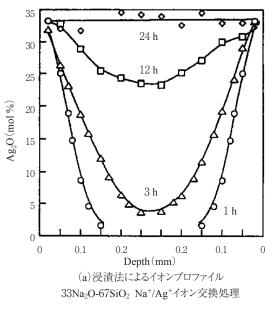
り、図10(b)のようにイオン交換濃度は急峻な変化を示し、一様な濃度のイオン交換層が形成される。

このようにアルカリイオンを1価の陽イオンに置き換えることで、溶融法では製作できないようなガラスの製作が可能であり、種々の光学素子の製作やガラスの強化方法等に利用されている。

#### 3.2 イオン交換処理によるガラス物性の変化

イオン交換処理によるガラスへの影響を研究した

結果、ガラス物性に様々な影響を及ぼすことを確認している。例えば $33Na_2O$ - $67SiO_2$  ガラスを、 $AgNO_3$  溶融塩に浸漬し、250  $^{\circ}$  にて  $Na^+$  と  $Ag^+$  をイオン交換したガラスでは、 $Ag_2O$  のイオン交換量に伴い、ガラスの熱膨張曲線は図11のように変化する。 $Na^+ \Leftrightarrow Ag^+$  のイオン交換率に対する  $T_g$  と線膨張係数の変化は図12のようになり、 $Na^+$  が  $Ag^+$  にイオン交換されるにしたがって、 $T_g$ 、線膨張係数ともに低



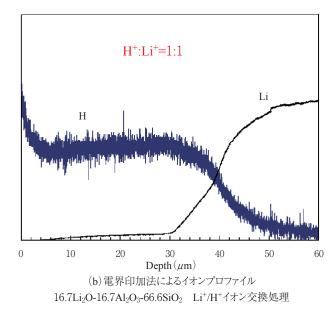


図10 イオン交換処理概要

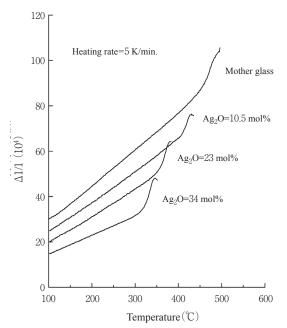


図11 Na<sup>†</sup>/Ag<sup>†</sup> イオン交換処理ガラスの熱膨張曲線 33Na<sub>2</sub>O-67SiO<sub>2</sub> AgNO<sub>3</sub>溶融塩 250 ℃

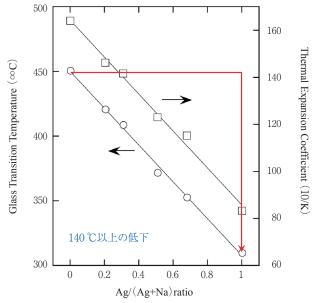


図12 Na<sup>+</sup>/Ag<sup>+</sup> イオン交換処理ガラスの ガラス転移温度 (Tg) と線膨張係数 33Na<sub>2</sub>O-67SiO<sub>2</sub> AgNO<sub>3</sub>溶融塩 250 ℃

下し、 $Na^+$ が全量  $Ag^+$  にイオン交換された場合には、 $T_g$  が約140  $\mathbb C$  、線膨張係数が約1/2に低下することがわかる。

## 3.3 イオン交換処理ガラスの構造の変化

イオン交換処理によってガラスの物性変化が起こる原因は、ガラス構造が変化しているためと推察し、処理によってどのようにガラス構造が変化するかを調べた。 $Na^+/Ag^+$ イオン交換ガラスの  $SiO_4$  四面体の Si に連結する架橋酸素数  $Q^n$  の状態を核磁気共鳴(Nuclear Magnetic Resonance、以下 NMR)で調

べた結果を図13に、 $Na^+/Ag^+$  イオン交換ガラスを X 線光電子分光(X-ray photoelectron spectroscopy、以下 XPS)によって分析し、イオン交換率と非架橋酸素の割合を調べた結果を図14に示す。図13より、初期は  $Q^3$  のみで構成されていたガラスが、 $Na^+$ が  $Ag^+$  にイオン交換されるにしたがって、(1)の平衡反応とは異なり、 $Q^4$  を伴わず  $Q^2$  だけが生成されるという特異な変化を示し、Si に連結する架橋酸素数が減少することがわかる。一方、図14より  $Ag^+$ へのイオン交換量が増加するにしたがって、全非架橋酸素数の割合は減少する傾向を示す。

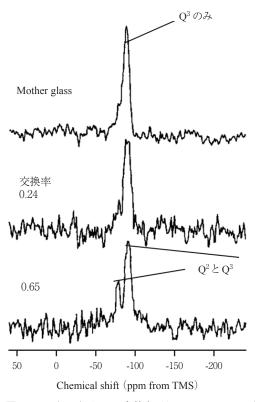


図13 Na<sup>+</sup>/Ag<sup>+</sup> イオン交換処理ガラスの NMR 評価結果 33Na<sub>2</sub>O-67SiO<sub>2</sub> AgNO<sub>3</sub>溶融塩 250℃

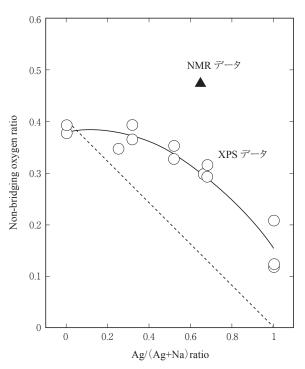


図14 Na<sup>+</sup>/Ag<sup>+</sup> イオン交換処理ガラスの NMR 評価結果 33Na<sub>2</sub>O-67SiO<sub>2</sub> AgNO<sub>3</sub> 溶融塩 250 ℃

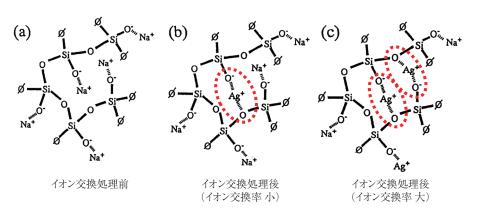


図15 Na<sup>+</sup>/Ag<sup>+</sup> イオン交換処理ガラスの局所構造

これら2つの結果から、 $Na^+ \Leftrightarrow Ag^+$ のイオン交換が進行するにつれて、ガラス中の局所的な構造は図15(a)から(c)のように変化したのではないかと考える。初期状態では(a)のようにSiへの架橋酸素数は $Q^3$ であるが、イオン交換される過程で酸素の電子状態が変化して、(b)、(c) のように $Ag^+$ と架橋する酸素が増えるため、 $Q^2$ の割合が増加する。またイオン交換された $Ag^+$ を介して隣同士の $SiO_4$ 四面体が架橋状態となるため、 $P^-$ の非架橋酸素は減少したと考える。

イオン交換後のガラスでは、図15(c)のように Agによる架橋構造によって、SiO $_4$  四面体のネットワークが密な状態となるため、Tg 以下の熱膨張が低下すると考えられる。またイオン交換された Ag は初期ガラスの Tg より低温(イオン交換温度)にて移動可能となり、Ag によって架橋されていた SiO $_4$ のネットワークは緩和され始める。 $Ag^+$ へのイオン

交換率が高いガラスでは、より低温でネットワークが緩和されガラス転移し始めるため、Tgが低下するものと考えられる。

このように、ガラス構造の変化を評価することにより、イオン交換処理によってガラスにどのような変化が起こっているのか理論的に考察することが可能となる。

## むすび

種々の評価技術を用いてガラス構造の評価を行う ことで、現象論的に理解していたガラスの性質を理 論的に考察可能となる例の一端を紹介した。また今 回紹介したイオン交換処理技術は、グラスライニン グに対して適用することで、これまでにない新しい 機能性材料を製作できる可能性があると考える。

今回紹介した評価技術や処理技術を参考にした新しいアイデアが産まれ、開発、製品化が行われることを切に願う。

<sup>\*</sup>プロセス機器事業部 生産部 製造室 \*\*商品・技術開発センター プロセス技術開発部 新規プロセス室

# 新しい導電性グラスライニング "ECOGL II"

New Electrically Conductive Glass Lining "ECOGL II"



多田篤志\* Atsushi Tada



香川博行\*\* Hiroyuki Kagawa



宮内啓隆\*\* Hirotaka Miyauchi

当社ではグラスライニング機器の使用時に発生した静電気によるグラス層の破損を防止するため、704年に導電性グラスライニング ECOGL(Electrically Conductive GL)を開発し、上市した。その優れた耐静電気性能がユーザに評価され、反応機、CDB(Conical Dryer Blender)等で約100機と納入実績を伸ばしてきた。一方で ECOGL には、缶内視認性の向上や静電気対策以外の多種多様な用途への適用等のニーズが増えてきている。そこでさらに多くのニーズに対応可能な新しい導電性 GL として、ECOGL II を開発した。ECOGL II は、ECOGL と同等の耐静電気性能を有しており、さらに缶内視認性に優れた明るいグラス色相、多種多様な用途において使用可能な耐腐食性を備えた導電性 GL である。

The electrically conductive glass lining (ECOGL) has been developed to prevent breakage of the glass layer by static charge accumulation during the operation of glass lined equipments. ECOGL has been put on the market in 2004 and the excellent static charge accumulation prevention performance is evaluated by customers. Although the number of ECOGL's track records reaches approximately one hundred as reactors, CDB (Conical Dryer Blender) etc., there are needs of improvement of visibility in glass lined equipments and application to multi-use by users of ECOGL. ECOGL II was developed as a new ECO-GL to respond to these needs. ECOGL II is a electrically conductive glass lining with light glass color, long anticorrosive life for multi-use and static electricity-proof performance equivalent to ECOGL's one.

## Key Words:

導電性グラスライニング 静 電 気 帯 電 防 止 効 果 ノーピンホール性 静電気破壊防止効果 缶 内 視 認 性

Electrically Conductive Glass Lining

Static Electricity

Static Charge Accumulation Prevention

No-pinhole Grade

Static Electricity Destruction Prevention Performance

Visibility in glass lined equipments

#### 【セールスポイント】

- · ECOGL と同等の性能(耐静電気性能, ノーピンホール性等)を備える
- ・明るいグラス色相であるため、機器内の視認性が向上
- ・導電層厚みが従来の3倍であるため多種多様な用途での使用が可能

## まえがき

グラスライニング(Glass lining,以下 GL)とは素地金属上に高耐食性のグラス層をライニングすることによって,ガラスの耐食性と鋼の強靱性を兼ね備えた複合材料である。グラス層は絶縁物であるため,GL 製の反応機内で電気抵抗率の高い有機溶媒や粉粒体などの内容物を攪拌した場合,攪拌や沈降等の摩擦によって静電気が発生し,大きな帯電が生じる。帯電が一定以上になると沿面放電が発生し,グラス層が絶縁破壊する静電気障害が報告されている¹)²)。静電気に起因する放電は GL 機器の損傷を引き起こすだけにとどまらず,放電によって内容物が爆発する危険性があり安全上の大きな問題である。

当社は2004年10月に導電性グラスライニング 『ECOGL (Electrically Conductive GL)』を開発し、上市した。その優れた耐静電気性能が高く評価され、反応機、CDB (Conical Dryer Blender)等で約100機と納入実績を伸ばしてきた。ECOGLが適用される静電気障害が問題となる用途は増加しているが、一方でECOGLには、缶内視認性の向上や静電気対策以外の多種多様な用途での使用等のニーズが増えてきている。このようなニーズに答えるべく、ECOGLと同等の性能を備え、かつ様々な用途での使用に耐えうる明るい色相の導電層を有したECOGL (ECOGL II)を開発した。本報では新たに開発したECOGL IIIについて、その特長を紹介する。

## 1. ECOGL に対するニーズ

#### 1.1 GL 機器における静電気障害対策

一般的に静電気障害による GL 機器の破損を防止するためには、①静電気の発生防止と②発生した静電気の緩和という 2 つの対策がとられている。 GL機器において、①は攪拌速度の低下、原料投入方法や投入速度の調整等、運転方法の変更により静電気の発生を抑制する方法がとられている<sup>3)</sup>。しかしこれらの方法は、あくまで静電気の発生を抑制する方

法であり、静電気の発生を完全に防ぐことは困難である。②は内容物や機器に導電性を付与し、発生した静電気を緩和する方法である。内容物に対して導電性を付与することは、製品品質に影響を及すため現実的ではない。そこで機器側の帯電を防止するために、グラス層に導電性を付与し、発生した静電気を緩和して、静電気障害の発生を防止するという対策をとられることが多い。

しかしこのような対策だけでは、十分に GL 機器の破損を防止することはできない。前述したように、グラスへ導電性を付与することによって、グラス面の帯電を防止することは可能であるが、絶縁性の内容物の帯電を完全に防止することは不可能である。静電気により大きな帯電が発生するような使用環境では、導電性 GL を使用しても内容物の帯電が大きくなり、グラス面に対して内容物から静電気放電が発生して、GL 層が絶縁破壊するような事例がある。このように GL 機器における静電気障害対策は、内容物から放電が発生する場合に対しても対策を図る必要がある。

#### 1.2 ECOGL の特長と適用事例

グラスに導電性を付与する方式は、図1に示すように2種類の方式が実用化されており、1つは(a)のようにグラス全層を導電グラス層として体積方向に静電気を緩和する方式であり、もう1つが(b)のように標準グラスの最表層を導電グラス層として、表面方向に静電気を緩和する方式である。GL機器のような大面積かつ複雑な形状の構造物の静電気を緩和する場合、素地金属までの緩和距離が短いことから(a)の体積方向緩和方式が採用されることが一般的である。しかし後述するように、放電に対する耐絶縁破壊性と品質担保性の観点から、ECOGLは(b)の表面方向緩和方式を採用している。

表面方向緩和方式では緩和距離が長くなるため、 ECOGLの帯電防止性能を懸念される可能性がある

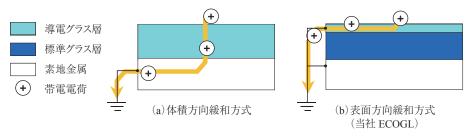


図1 導電性 GL の断面構造と帯電緩和方式

が、ECOGL は静電気安全指針を満足する導電性を有しているため、十分な帯電防止性能を備えている。その例として、GL 製 CDB(図 2 参照)では、静電気の発生により乾燥・混合した粉体が機器内グラス面に付着することが問題となっていたが、ECOGLの適用によってグラス面の帯電を防止し、粉体の付着を大幅に減少可能であることを確認している。このように実機においても ECOGL は良好な帯電防止性能を示すため、多くのユーザにご好評頂いている。

また1.1で述べたように万が一内容物の帯電により放電が発生した場合,ECOGLで採用している表面方向緩和方式は,体積方向緩和方式よりも絶縁破壊されにくい性質を示す⁴)。いったん,内容物より静電気による放電が発生すると,体積方向緩和方式では,放電電荷が体積方向へ漏洩しようとするため,放電エネルギが局所的に集中し,通常の絶縁性GLが絶縁破壊しない低電圧の放電であっても絶縁破壊してしまう。これに対して表面方向緩和方式では放電電荷が面方向に緩和され,放電エネルギが分散することによって,下層の通常グラス層にかかる電圧が低下し,絶縁破壊されにくくなると考えられる。実際に静電気放電によるグラスの破損が多発し

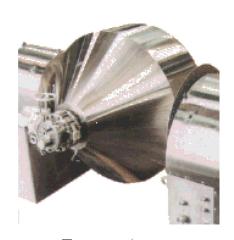


図2 CDB (Conical Dryer Blender) 外観

ているユーザにおいて、体積方向緩和方式の導電性 GL と ECOGL を同環境で使用した結果、体積方向 緩和方式の導電性 GL 機器では放電によるグラスの 破損が多発したが、ECOGL では破損が全く発生しないことが実証されている。

#### 1.3 ECOGL の改善ポイント

このように優れた性能を備えた ECOGL は、多くのユーザにご好評頂いているが、さらに多くのニーズに対応するためには、改善すべきポイントがある。その一つが「視認性の向上」である。ECOGLは導電性を付与するために添加する導電物質が黒色であるため、黒色のグラス色相となる。黒色は光を吸収するため、閉鎖された機器内の状態を照明で照らして確認する場合に、缶内の視認性が標準グラス(紺色)と比較して劣っている。

また静電気が発生しやすい使用環境では、主に有機溶剤等が使用されるため、グラスに対する腐食性は非常に小さい。ECOGLは主としてこのような腐食性の小さい環境での使用を想定していたため、表層に施工する導電グラス層厚みを約0.1 mmとし、コストと性能のバランスを図っていた。しかし最近ユーザにおいて1つの機器を1つの用途に固定して使用するのではなく、その他様々な用途で使用するケースが増加しており、今後ECOGLも標準グラスと同様の腐食性が厳しい環境でも使用されるケースが増えてくると考えられる。その場合、導電グラス層が腐食され、導電性を示さなくなることを不安視される可能性があると考えられる。

そこで ECOGL の優れた性能を担保しつつ、薄色のグラス色相とすることによって缶内の視認性を向上し、導電グラス層厚みを 3 倍に増加することによって耐腐食性を向上した新しいニーズに対応可能な導電性 GL (ECOGL II) を開発した。

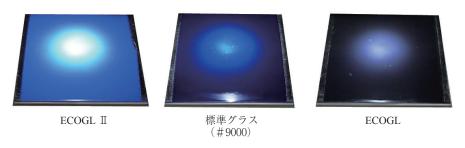
## 2. ECOGL Ⅱの特長

#### 2.1 ECOGL II のグラス色相

ECOGL II は薄色の導電性物質を使用してグラスに導電性を付与しているため、図3に示すように標



図3 各グラスの色相



**図4** ライト照射時の各グラスの視認性 (300 mm 直上より LED ライトにて照射)

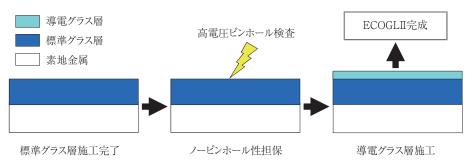


図5 ECOGL IIでのノーピンホール性の担保の仕方

表1 各グラスの耐食性

	腐食率(mm/年)				
耐食試験種類	標準グラス (#9000)	ECOGL	ECOGL II		
耐水性 (純水,沸点,気相)	0.01	0.01	0.01		
耐酸性 (20% HCI, 沸点, 気相)	0.04	0.04	0.04		
酸アルカリ性 (1N-NaOH, 80℃, 液相)	0.20	0.20	0.20		

準グラスより明るい青色のグラス色相となる。図4に暗室にて標準グラス、ECOGL、ECOGL IIの各グラスサンプルに300 mm 直上から LED ライトで照らした場合のグラスの視認状態を示す。ECOGL がライト直下のグラス面にしか光が届いていないのに対して、ECOGL II はサンプル全面に光が届いており、標準グラスよりも良好な視認性をもつ GL であることがわかる。

#### 2.2 ECOGL II の構造と耐食性

ECOGL II は ECOGL 同様に、図1 (b) のような標準グラスの表層に導電グラス層を形成した表面方向緩和方式の構造である。ただし表層の導電グラス層の厚みは ECOGL の3倍の約0.3 mm 施工する仕様となっている。また ECOGL II の耐食性は、表1に示すように標準グラス、ECOGL と同等である。

このことから、ECOGL Ⅱの導電グラス層の耐腐食 寿命はECOGLの約3倍に向上しており、標準グラ スと同様の腐食性の厳しい用途でも使用可能な導電 性 GL となった。

## 2.3 ECOGL II の品質担保性

通常、GL機器ではグラス完成後に、高電圧ピンホール検査を実施することで、ノーピンホール性を担保している。高電圧ピンホール検査とは、グラス表面に直流高電圧を印加し、ピンホールやグラス層中に粗大泡が存在して絶縁破壊電圧が低下している個所を、強制的に絶縁破壊することで検出する検査方法であり、容易かつ確実にグラス全面のピンホール検査が可能な方法である。ピンホールや粗大泡が残存している個所は、腐食環境で機器が使用された場合に短期間で金属母材に達する孔食が発生してしまうため、ノーピンホール性は耐腐食性が必要なマルチ使用の機器においてもっとも重要な性能である。

図1 (a) のような全層が導電性のGLでは、正常なグラス面にも電流が流れて絶縁破壊してしまうため、高電圧ピンホール検査を適用することができない。そのため、目視によりピンホール検査を実施する必要がある。大面積の機器内全部のグラス面を確実に検査することは、高い技能が必要であり、現実的にはほとんど不可能であると考えられる。それに対してECOGL II は、図1 (b) のように表層のみが

導電性の構造であるため、図5に示すように標準グラス施工後に、高電圧ピンホール検査を実施してノーピンホール性を担保し、その後に導電グラス層を施工することが可能である。このように表面方向緩和方式の構造を採用することで、確実にノーピンホール性を担保した高品質のマルチ使用向けの耐静電気用 GL 機器を提供可能である。

#### 2.4 ECOGL Ⅱの帯電防止性

標準グラス、ECOGL、ECOGL II の帯電防止性を評価した結果を図6に示す。図中の帯電圧減衰曲線は、帯電性試験法(JIS L 1094)を模した次の方法にて評価した。各グラスを施工した $100 \times 100$  mmの GL サンプルのグラス面をアルコールで清拭して

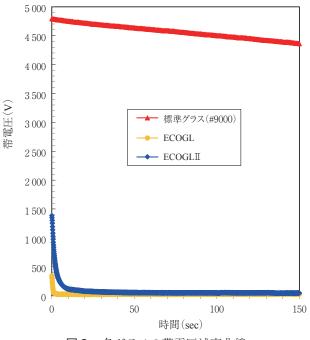


図6 各グラスの帯電圧減衰曲線 (DC15 kV, 30 sec 印加時)

脱脂し、湿度 5%以下の雰囲気で1日以上保持して吸着水分を十分乾燥させる。その後サンプルのグラス面の直上10 mm に設置した針状電極に、直流15 kV を印加してコロナ放電を発生させる。直下のグラス表面を30 sec 帯電させた後、サンプルを静電気電位測定器(春日電機製 KSD-0109)の測定プローブ(KS-2001)の下に移動させ、グラス面の帯電圧の時間変化を測定した。図6より、ECOGL IIの15 kV、30 sec 印加後の帯電圧は1500 V 以下で、帯電圧が半減するまでの時間は2.0 sec 未満である。非常に短時間での減衰を比較しているため、ECOGLよりも帯電防止性がわずかに劣っているが、使用上問題となるレベルの差異はなく、標準グラスと比較すると非常に良好な帯電防止性を有していることがわかる。

また各グラスに対する静電気による粉体付着テストの結果を図7に示す。図7は、グラス面をアルコールで清拭して脱脂した $100 \times 100 \text{ mm}$  の各 GL サンプルを、70°に立てた状態で保持し、直流15 kV を印加したブラシ状電極で各サンプルのグラス面をなでるように接触させて20 sec 帯電させる。その後、静電気によって付着しやすい  $SiO_2$  粉末(比表面積 (BET 法):  $200 \text{ m}^2/\text{g}$ , 1 次粒子平均粒径: 12 nm, 見かけ比重:約100 g/L)を帯電させたグラス面に約3 g ふりかけ,付着性を確認した結果である。図7より,標準グラスには $SiO_2$  粉末が多量に付着しているのに対し,ECOGL と ECOGL II にはほとんど粉体が付着していない。これはグラス面に静電気が残っていないことを示しており,ECOGL II が十分な帯電防止性を有していることがわかる。

#### 2.5 ECOGL Ⅱの耐放電破壊性

1.1節で述べたように万が一内容物から放電が発生した場合を想定し、各GLの放電発生時の絶縁破壊耐力(耐放電破壊性)を評価した結果を図8に示



図7 各グラスに対する粉体付着性

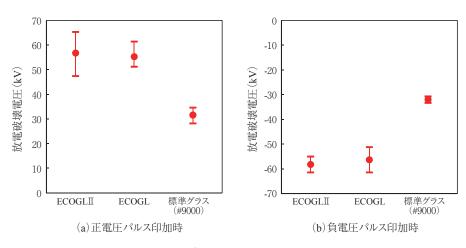


図8 各グラスの放電破壊電圧 (N=15, 電圧印加回数: 3-6回/点, 電圧上昇間隔: 2-5 kV)

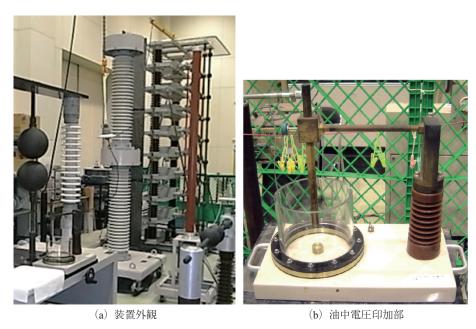
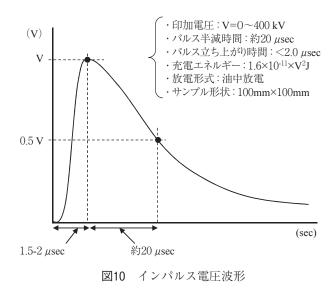


図9 衝撃電圧試験装置



す。図8中の放電破壊電圧は、次の方法にて評価した。絶縁油中に浸漬した100×100 mm の GL サンプルに、衝撃電圧発生装置(指月電機製作所製、図9参照)を使用して、図10のような静電気による放電を模したインパルス電圧を印加し、グラス層が絶縁破壊する電圧を測定した。

図8より、標準グラスが $\pm$ 30 kV のインパルス電圧印加時に絶縁破壊するのに対し、ECOGL とECOGL II が絶縁破壊するインパルス電圧は $\pm$ 50—60 kV と高く、1.2節で述べたように、表面方向緩和方式の導電性グラスは耐放電破壊性が良好であることがわかる。ECOGL II の耐放電破壊性は標準グラスの1.7—2.0倍であり、ECOGL と同等の耐放電特性を示す。

このように ECOGL II は静電気の帯電を防止する効果が大きいだけでなく、万一放電が発生した場合にも絶縁破壊しにくい優れた耐静電気性能を有している。

## むすび

ECOGL II が ECOGL と同等の耐静電気性能を備え、缶内視認性に優れ、さらに多種多様な用途において使用可能な導電性 GL であることを紹介した。当社の導電性 GL は他社製の導電性 GL にない特長を備えており、ECOGL II の開発によって、その利便性はさらに大きくなったと考える。是非多くのユ

ーザの方々にご採用いただき、その効果をご確認頂 くとともに、製品の安全な生産操業にご活用頂ける ことを期待している。

#### 「参考文献]

- 1) 静電気学会誌:静電気災害·障害基礎講座, Vo.12, No.6 (1988), p.454-455
- 2) 児玉ら:産業安全研究所報告 RIIS-RR-89 (1989), p.80
- 3) 澤田雅光:神鋼パンテツク技報, Vol.34, No.3 (1990), p.22-27
- 4) 多田篤志ら:神鋼環境ソリューション技報, vol.4, No.2 (2008), p.25-29

<sup>\*</sup>商品・市場技術開発センター プロセス技術開発部 新規プロセス室 \*\*プロセス機器事業部 生産部 製造室

# グリーンフロント堺 高度処理水リサイクルセンター

Presentation of Advanced Treated-water Recycle Center in Sharp Green Front Sakai







池田進吾\* Shingo Ikeda

当社はシャープ グリーンフロント堺で、公共下水処理水から再生水を作り出す高度処理水リサイクルセンターを立ち上げ、2010年4月から水供給を開始している。当センターで製造された再生水は冷却塔の補給水として利用されることから、下水処理水に多く含まれる溶解性物質を除去することが要求され、MF+ROプロセスを採用した。本稿では、今回水供給を開始した高度処理水リサイクルセンターの概要とプラントの運転状況について紹介する。

We established water recycle plant, named Advanced Treated-Water Recycle Center in Sharp Green Front Sakai, where reclaimed water is generated from treated water of Public sewage treatment plant, and started to supply recycled water in April, 2010. Recycled water, generated here, is used for makeup water of cooling towers; therefore, MF and RO process is introduced in order to remove dissolved solids which is contained in treated water of sewage. This report introduces the outline of the center and the operating state.

## Key Words:

F 膜 M Micro filtration membrane 膜 R 0 Reverse osmosis membrane 水リサイクル Water recycle 高 High recycle rate S-CIP Short chemical cleaning in place 度処理水 Advanced treated-water

#### 【セールスポイント】

下水処理水の再利用を行うことで渇水リスクの低減に繋がる。

新たな水資源の開発を実施する必要がなく、生態系の保全にも寄与し、持続可能な社会の一助となる。

水リサイクルを行うことで、企業・自治体のイメージ向上に繋がる。

## まえがき

日本はこれまで水不足と無縁との印象があったものの,工場の大規模化,人口の集中など,水の利用箇所が集中するにつれ,地域的な水不足が顕在化してきており,安定した水資源の確保が求められている。渇水リスクについて,地球温暖化によってさらに高まると懸念される中,国土交通省では下水処理水の再利用に関する懇談会を開催した。都市に豊富に存在する下水処理水を全国一律ではなく,地域の様々な条件を踏まえて再利用を推進する方策を検討中である。1)一方,海外の動向に目を向けてみると中近東のような干ばつ地域,シンガポールのような大規模な水道水源が乏しい地域に至っては,海水淡水化設備と並行して大規模な下水処理水の再利用が検討・導入されている。

このように下水処理水の再利用が求められている中で、当センターが堺市三宝下水処理場の処理水を利用し、日本最大規模の地域循環型の水リサイクルを実現したことの意義は大きく、今後さらに下水処理水の再利用を行う地域が増加することが期待される。

本稿では、今回設置した高度処理水リサイクルセンターの概要とプラントの運転状況について紹介する。

## 1. グリーンフロント堺の概要

グリーンフロント堺はシャープ(株を始めとする進出企業19社から構成され、「省エネ・創エネパネルの創出」「エコ&高効率オペレーション」「世界最先端環境工場」「社会との共生」という四つのエコ革新に取組む、世界最大規模の液晶パネルおよび太陽電池パネルの生産拠点である。グリーンフロント堺では共創をキーワードにバーチャルワンカンパニーとしてガラス、カラーフィルタなどの部材メーカ、

ガス、電気、水などのユーティリティ供給メーカ、物流、梱包材メーカなど最先端の技術を持った企業が同一敷地内に集まり、まるでひとつの生命体のように機能し、グリーン社会の創造という夢を実現するべく事業活動を行っている。その中で当社は堺市三宝下水処理場の下水高度処理水から膜処理にて再生水を製造するプラントを建設し、運営する水供給事業を行っており、地域循環型の水リサイクル技術を用いて社会との共生を実現した。

# 2. 高度処理水リサイクルセンターの概要2.1 プラントの構成

当プラントは各機器とも多数の系列とし、グリーンフロント堺内の生産状況に応じた水供給への柔軟な対応性と安定性を重視したプラントとした。当プラントの外観を図1、概要を図2のフローシートに、機器仕様を表1に、プラント写真を写真1~4に示す。本プラントは大きく分けて①MF膜ユニット②RO膜ユニット③逆洗排水回収装置から構成される。本プラントの計画最大受入水量は33 000 m³/d、計画最大処理水量は27 000 m³/d であり、日本最大規模の下水再利用プラントとして計画され、2010年4月から受入水量16 500 m³/d、処理水量13 500 m³/d の処理装置を設置、運用している。

#### 2.2 プラント計画でのポイント

当プラントはグリーンフロント堺で工水の代替となる再生水を作り出す役割を担っている。再生水はグリーンフロント堺内でクリーンルームの温調用冷水を製造するために必要な冷却塔の補給水などとして利用される。

当プラントの原水は堺市三宝下水処理場から供給される。堺市三宝下水処理場は市の北西端大和川河口に位置している。まわりには多くの工場が存在



図1 高度処理水リサイクルセンター

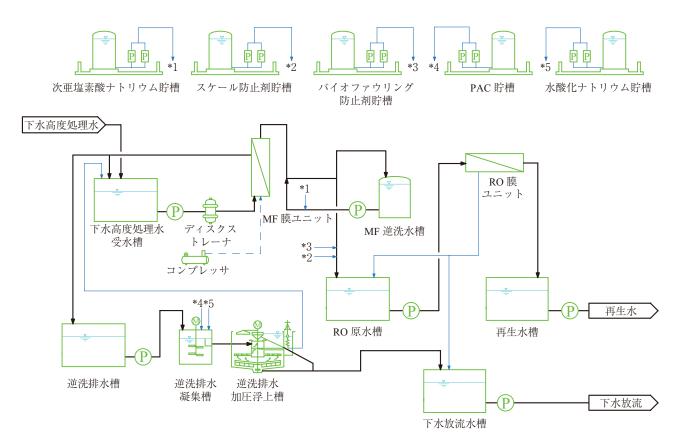


図2 高度処理水再生プラント フローシート

表1 プラント仕様 (定格最大)

項	目	設 備 仕 様		
	原水ポン	ンプ		5台(1台予備)
	ディスクスト	レーナー		4系列(6本/系列)
		膜 材	質	ポリフッ化ビニリデン (PVDF)
MF 装置		系	列	12系列(1系列予備)
	MF 膜ユニット	ろ 過 方	式	クロスフローろ過
		物 理 洗	浄	逆圧水洗浄+エアスクラビング
		薬 品 洗	浄	塩酸、水酸化ナトリウム、次亜塩素酸ナトリウム
	RO 加圧オ	ポンプ		14台
	RO 膜ユニット	膜 材	質	合成高分子(ポリアミド)系複合膜
RO 装置		系	列	14系列(2系列予備)
		ろ 過 方	式	クロスフローろ過
		薬 品 洗	浄	塩酸、水酸化ナトリウム
	逆洗排水。	ポンプ		3台(1台予備)
		型	式	鋼板製円筒竪型 蓋付
	逆洗排水凝集槽	系	列	2系列
光光批业同位法署		寸	法	φ 3 200 × 3 050 H
逆洗排水回収装置		型	式	鋼板製円筒竪型 蓋付
	光光批小加广湾上播	系	列	2系列
	逆洗排水加圧浮上槽	寸	法	φ 5 300 × 2 290 H
		スカム掻取	方式	スクレーパー式



写真1 MF ユニット



写真3 逆洗排水回収装置

し、多くの工場排水が下水処理場に流入している。この影響で下水処理水の電気伝導率は100~200 mS/m と高く、硬度や塩化物イオンも多く溶解している。この水を冷却塔の補給水などの設備用水として利用するためには脱塩処理が必要である。このため、当プラントは MF + RO にて処理を行うこととした。また、再生水を製造する工程で排出されるブロー水は下水処理場へ返送され、処理されるため、返送・再処理動力の削減という観点から高回収率の運転が要望される。当プラントでは MF 膜の逆洗排水回収装置や RO 膜の高回収率運転など、高い回収率による水の有効利用を考慮して設計・運転管理を実施している。

#### 2.3 プラントのフロー

当プラントの配置概要を図3に示す。当プラントに供給される原水は堺市三宝下水処理場にて硝化、脱窒、脱りんおよび繊維ろ過を付加して処理された下水高度処理水を用いている。受け入れた水は下水高度処理水受水槽に貯留され、原水ポンプによりMF装置に供給される。まず、ディスクストレーナーにて原水中に含まれる夾雑物を除去し、4Fに設置されているMF膜ユニットにて膜ろ過を行い、3FのRO原水槽に貯留される。



写真2 RO ユニット



写真 4 監視室

RO原水槽に流入するMFろ過水は、スケール防止剤、バイオファウリング防止剤を注入された後、RO加圧ポンプにてRO膜ユニットに供給される。RO膜にて脱塩処理された透過水は1Fの再生水槽に、濃縮水は下水放流水槽へ送られる。再生水はグリーンフロント堺内の冷却塔補給水として利用され、濃縮水は三宝下水処理場へ返送される。また、再生水が3FのRO膜ユニットから1Fの再生水槽に送られるラインに水力発電ユニットを設置し、落差を利用して余剰エネルギーの回収を行っている。

MF 膜では定期的に物理洗浄を伴った運用を実施しているが、その工程で排出される排水は逆洗排水槽に貯留され、逆洗排水回収装置に送水される。逆洗排水回収装置は凝集槽と加圧浮上槽から構成され、逆洗排水中のSSを浮上分離にて除去し、処理水を下水高度処理水受水槽に返送することで回収率を高めている。

## 2.4 MF 膜

MF 膜はポリフッ化ビニリデン製の公称孔径0.1  $\mu$ m の中空糸膜であり、膜面積は50  $m^2$ /モジュールである。MF 膜ユニットは数十本の膜モジュールから構成されており、系列数は12系列である。

MF 膜にてろ過したろ過水の水質は濁度0.01度以

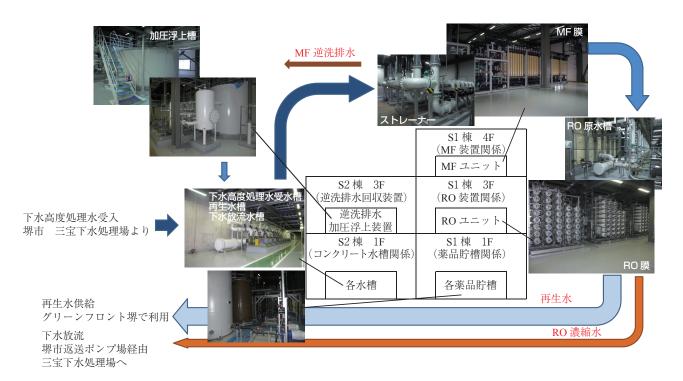


図3 高度処理水再生プラント 配置概要

下、Fouling Index(FI 値)が4以下となり、RO 膜へ供給可能な水質を満足している。MF 膜はクロスフローろ過方式を採用し、原水のSS 変動に対し強い運用としている。

#### 2.5 MF 膜の洗浄

## 2.5.1 物理洗浄

MF 膜ユニットの物理洗浄方式は逆圧水洗浄+エアスクラビングである。約30分に1回の頻度で次亜塩素酸ナトリウムを数 mg/L 添加して洗浄を実施している。

#### 2.5.2 薬品洗浄

MF 膜ユニットでは定期的な物理洗浄を行い,膜差圧の上昇を抑えながら運転を行っているものの,長時間の運転を継続していると鉄・マンガンなどの無機物質の沈着や有機物などの圧密により膜差圧の上昇が発生する。そのため,通常の物理洗浄では除去できない汚れを取除くことを目的として,数日に1回の頻度で次亜塩素酸ナトリウムを用いたS-CIPを実施している。

また,膜面の汚れを除去し,新膜に近い状態にする目的として,数カ月に1回の頻度で薬品洗浄を実施することを想定している。使用薬品は無機物質の除去として塩酸,圧密した有機物の除去として水酸化ナトリウム+次亜塩素酸ナトリウムを用いる。

#### 2.6 RO 膜

RO 膜は合成高分子(ポリアミド)系複合膜のス

パイラル膜であり、膜面積は37 m²/モジュールである。RO膜ユニットは数百本の膜モジュールから構成されており、系列数は14系列である。MF ろ過水はRO加圧ポンプにて1~1.5 MPa 程度に昇圧されてRO膜ユニットに供給され、脱塩処理される。ROでの脱塩率は約95%以上であり、原水の電気伝導率が変動しても数mS/m程度の一定水質を保つことが可能である。本プラントでは下水処理水中に残存が想定される界面活性剤でのケミカルファウリングを防ぐ目的で、膜表面荷電を中性にした耐ファウリング膜を採用している。

#### 2.7 RO 膜の洗浄

RO 膜の構造上、定期的な物理洗浄は実施できないため、膜面に汚染物が付着しにくいクロスフロー運転を行っている。しかし、長時間の運転や高回収率運転に伴い、膜表面にスケールやバイオフィルムが付着することにより、膜差圧の上昇が発生する。そのため、月に数回の頻度で薬品洗浄を実施することを想定しており、スケール成分の除去として塩酸、バイオファウリング、有機物の除去として水酸化ナトリウムを用いる。

## 3. プラントの運転状況

#### 3.1 MF 装置

図4にMF 膜ユニットの運転データを示す。運転 条件として定格で回収率92%にて運転を行う予定 であるが、現状はプラント立ち上げ初期のため、低 Flux で運転を開始している。膜差圧は平均21 kPa で推移し、運転開始から約60日を経過しているが急激な差圧上昇はみられていない。また、物理洗浄、S-CIP にて膜差圧が回復しているため、薬品洗浄は運転開始から2カ月程度経過している現在も実施していない。

#### 3.2 RO 装置

図5にRO 膜ユニットの運転データを示す。運転条件として定格で回収率82%にて運転を行う予定であるが、現状はプラント立ち上げ初期のため、回収率60%から運転を開始し、2010年4月21日からは回収率を70%に上昇させて運転を行っている。

膜差圧は平均0.16 MPa で推移し、運転開始から約60日を経過しているが急激な差圧上昇や操作圧力の上昇はみられず、透過水質も良好な運転が継続できている。薬品洗浄は膜ファウリングの影響は認められないものの、予防保全の観点から2週間に1回の頻度で実施している。RO原水の電気伝導率は平均200 mS/mであるのに対し、RO透過水の電気伝導率は平均3 mS/mであり、脱塩率として平均98 %程度と良好な脱塩処理が行えている。

#### 3.3 薬注条件

MF 膜ユニットでは物理洗浄時および S-CIP 時に 次亜塩素ナトリウムを、RO 膜ユニットではスケー

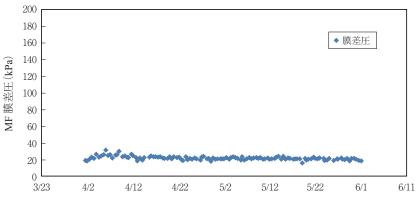
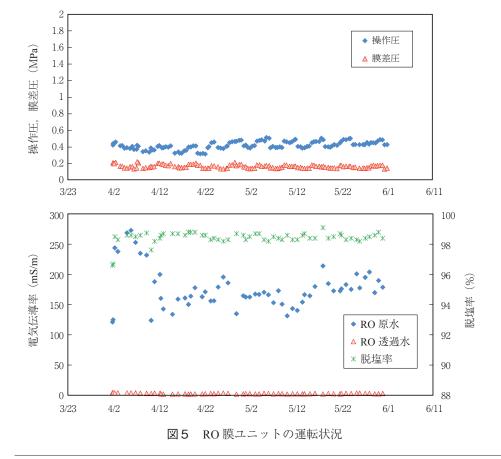


図4 MF 膜ユニットの運転状況



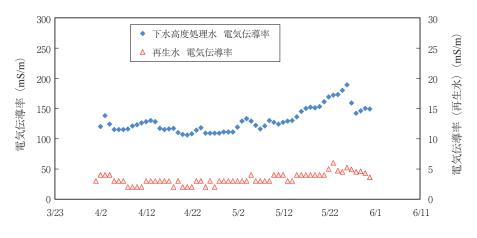


図6 下水高度処理水および再生水 水質の推移

検 査 項 目	単 位	下水高度処理水 (2010/4/12)	再 生 水 (2010/4/12)	工業用水(2010/4/12)	冷却塔補給水基準2)
濁度	度	0.9	< 0.1	<1.0	_
過マンガン酸 カリウム消費量	mg/L	7.1	<1.0	_	_
pН	_	7.4	8.0	7.2	6.0~8.0
電気伝導率	mS/m	111.0	2.5	15.7	<30
塩化物イオン	mg/L	268	5.24	14	< 50
硫酸イオン	mg/L	84.2	0.3		< 50
酸消費量	mg/L as CaCO <sub>3</sub>	96.9	2.8	24.0	< 50
全硬度	mg/L as CaCO <sub>3</sub>	176	< 2.0	40	< 70
カルシウム硬度	mg/L as CaCO <sub>3</sub>	102	< 2.0	31	< 50
イオン状シリカ	mg/L	16.4	0.31	6.0	<30
鉄	mg/L	0.03	< 0.01	0.10	< 0.3

表2 水質分析結果

ル防止剤、バイオファウリング防止剤を、逆洗排水 回収装置では PAC を使用している。

#### 3.4 水 質

図6に下水高度処理水および再生水の水質の推移 を、表2に下水高度処理水および再生水の水質分析 結果を示す。下水高度処理水の電気伝導率が106~ 189 mS/m(平均130 mS/m)の間で推移しているの に対し、再生水の電気伝導率は2~6 mS/m(平均 3.3 mS/m)であり、工業用水よりも良好な水質が得 られている。

電気伝導率以外の水質項目についても,工業用水よりも良好な水質が得られ,冷却塔の補給水として利用できる水質基準を十分に満足している。

## むすび

以上グリーンフロント堺 高度処理水リサイクル

センターについての概要とプラント運転状況を紹介 した。当センターは2010年4月に水供給を開始して 以来,順調に安定した運転を行っている。

世界的な水不足が叫ばれる中,今後増加すると考えられる水リサイクルにおいて,当センターで蓄積される技術,ノウハウは大きな意義があると考える。

最後に、本稿の作成に当たり多大なるご協力を頂いたシャープ(株)に深く感謝の意を表する。

#### [参考文献]

- 1) 国土交通省:平成20年下水処理水の再利用のあり方 に関する懇談会 中間まとめ
- 2) 社団法人日本冷凍空調工業会:ガス吸収冷温水機ハンドブック

<sup>\*</sup>水環境・冷却塔事業部 水リサイクル部 テクノサービス室 堺事業所

# 水リサイクル技術の下水への適用

Application of Water Recycling Technology to Sewage Treatment Water 一膜処理による下水高度処理水リサイクルの実証—



山地洋樹\* Hiroki Yamaji



池田進吾\*\* Shingo Ikeda



長谷川進\*\*\* Susumu Hasegawa 工学博士·技術士(水道部門)

膜処理(MF 膜 + RO 膜)による排水リサイクルシステムの下水処理水への適用を実証した。堺市三宝下水処理場に100 m³/d のパイロットテスト機を設置し、高度処理水を原水として運転した。下水処理水には有機物が含まれるため、バイオファウリングが確認されたが、当社の微生物抑制剤 CX-3500を連続注入することにより安定運転が可能となった。原水の変動に対しても四季を通じて冷却塔補給水水質基準を十分満足する処理水質が得られた。

The application of the water recycling system to the sewage treatment water by the membrane process (Micro-filtration + Reverse osmosis) was studied. The pilot test equipment of 100 m³/d was set up in Sanpo sewage treatment plant in Sakai City, and advanced treated water was supplied as raw water. Without chemical doses, bio-fouling was caused because of the organism contained in the sewage treatment water. To control it, it is effective to dose continuously microorganism inhibitor CX-3500. The treated water quality with RO membrane is satisfied the water quality standard of make-up water for cooling tower.

## Key Words:

 水 リ サ イ ク ル 揚
 密 ろ 適

 方 支 歩 リ ン ろ
 高 グ が

 市 リ ン が
 の 理 水

Water recycling system
Micro-filtration
Reverse osmosis
Fouling

Advanced treated water

#### 【セールスポイント】

下水処理水の有効利用 (これまでの修景, 親水, 場内用水にくらべより広範囲な用途に利用) 逆浸透膜を用いた膜処理により工水レベルの水を得ることができる。

公共用水域に放流していた水を再利用することにより節水になる。また, 渇水期に対応できる。

## まえがき

地球全体に存在する水は14億 km³といわれるが、 そのほとんどは海水で、淡水は2.5 %程度にすぎない。また、水源が地域により偏在していることもあり、世界的には、慢性的な水不足に悩まされている 地域も少なくない。とくに、途上国においては、工場の大規模化、人口の集中など、水のユースポイントが集中するにつれ、地域的水不足が顕在化してきている。

このような水不足に対応するため、排水リサイク

ルの検討が各所で進められている。シンガポールにおいては、国家プロジェクトとして「NEWater」を立ち上げ、世界最先端の膜処理技術を用いた下水処理水の再生利用に取組んでおり、2011年には国内の水需要の30%を賄う計画である。また、乾燥大陸オーストラリアにおいても、2007年の大渇水をきっかけに約2000億円の予算をつけ、海水淡水化および下水処理水の再利用が進められている。

今後、海外水ビジネスを展開するにあたり、排水のリサイクルは重要なキーワードになると予想される。ここでは、膜処理による排水リサイクル技術を下水に適用する場合の課題と対策を検討するため、堺市三宝下水処理場において実施した膜パイロット実証実験の結果について報告する。

#### 1. 実験方法

実験は、堺市との共同研究として三宝下水処理場において実施した。三宝下水処理場<sup>1)</sup>は、堺市北西端の大和川河口に位置し、平成3年から毎年5月下旬にアジサイの一般公開を行っていることでも知られている(写真1)。排除方式は合流式(一部分流式)で、し尿も下水に直接投入して処理しており、現有処理能力は約12万 m³/d である。処理方式は、標準活性汚泥法から、高度処理(凝集剤添加ステップ流入式多段硝化脱窒法+繊維ろ過)に改造中であり、2009年度末現在4万 m³/d が高度処理化さ

れている。供試原水としては、高度処理水を用いた。

パイロットテスト装置のフローと写真を図1および写真2に示す。除濁装置としてのMF(Microfiltration:精密ろ過)膜としては、6 inch の実モジュールを用いており、RO(Reverse osmosis:逆浸透)膜も実設備を想定して、上流側2系列、下流側1系列のツリー状配列としている。

下水処理場の高度処理水を原水槽で受け、MF 膜および RO 膜を通して処理水を得た。MF 膜の逆圧洗浄用水としては、MF 膜処理水を、また、薬液洗浄の薬品希釈用水としては RO 膜処理水を用いた。目標水質としては、表1に示す冷却塔補給水水質基準を目指した。

#### 2. 実験結果

#### 2.1 原水水質

表1に水質分析結果を示す。各組成において、最小値と最大値で2から4倍の変動が認められた。図2に降雨量と電気伝導率(EC)減少量の関係を示すが、降雨量が増加するにしたがいEC減少率が増大していることから、降雨による希釈効果が原水水



写真2 実験装置全景



写真1 三宝下水処理場のアジサイー般公開

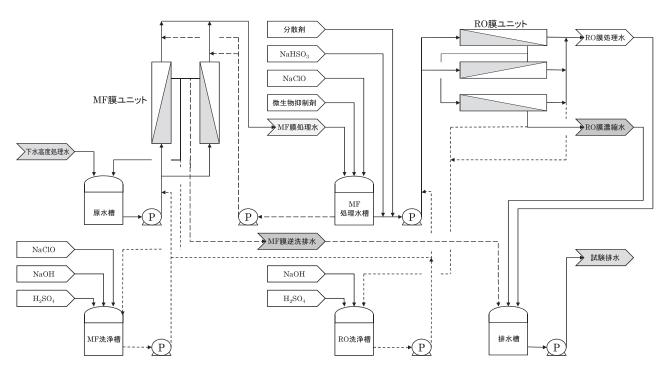


図1 実験装置フロー

表1 高度処理水水質および膜処理性能

	試 料 名	原水	(高度処	理水)	M	IF 膜処理	水	R	0 膜処理	水	工業用水 親水用水 冷 却 塔		冷却塔補給水
分析項目		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均值	最小値	最大値	平均値	水質基準	水質基準	相 稻 水水質基準
水素イオン濃度 (pH)	_	7.0	8.0	7.3	7.2	8.1	7.5	6.0	7.0	6.4		5.8 ~ 8.6	6.0 ~ 8.0
化学的酸素要求量 (CODMn)	mg/L	4.6	11.4	8.4	3.2	19.2	6.7	< 1.0	< 1.0	< 1.0			
色 度	度	8	18	12	8	20	11	< 1	2	< 1		≤ 10	
濁 度	度	0.1	1.8	0.9	0.1	0.2	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1		< 2	
蒸発残留物 (TS)	mg/L	480	1 400	932	450	1 300	943	< 10	40	< 21	< 250		
全硬度	mgCaCO <sub>3</sub> /L	100	317	204	100	442	234	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 120		< 70
カルシウム硬度	mgCaCO <sub>3</sub> /L	61.0	138	101	61.4	194	116	< 2.0	< 2.0	< 2.0			< 50
アルカリ度 (pH4.8)	mgCaCO <sub>3</sub> /L	70.1	107	93.4	68.6	108	93.8	2.8	5.5	4.1	< 75		< 50
電気伝導率	mS/m25 $^{\circ}\mathrm{C}$	66.2	248	153	68.7	344	169	1.3	15.1	5.5			< 30
銅含有量	mg/L	0.1	0.9	0.3	0.1	0.1	0.1	< 0.10	< 0.10	< 0.10			< 0.1
鉄 (Fe)	mg/L	0.1	0.4	0.13	0.01	0.0	0.022	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.30		< 0.3
塩化物イオン	mg/L	171	608	385	170	608	384	2.78	28.40	12.80	< 80		< 50
硫酸イオン	mg/L	52.5	211	104	52.9	210	101	< 0.10	0.64	< 0.29			< 50
イオン状シリカ	mg/L	10.0	17.0	14.2	10.4	18.6	14.9	0.14	1.36	0.59			< 30
アンモニウムイオン	mg/L	0.06	1.30	0.36	0.01	1.54	0.36	0.01	0.06	0.04			< 0.1
硫化物イオン	mg/L	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05			検出され ないこと

最小値および最大値の"<"は定量下限未満(検出されないこと)を示す。

質変動の一因と推察される。図2より、降雨量が20mmを超えるとECが約1/2に減少することが分かる。また、降雨により水温が低下したり、処理系内での滞留時間が短くなることから、濁度が上昇することが懸念されたが、高度処理として繊維ろ過が導入されることにより濁度は2を超えることはな

く、MF 膜への負荷は小さいと予想された。

図3にRO膜のスケーリングに影響すると考えられる蒸発残留物(TS:Total solids)および全硬度とECの関係を示す。ECとTS,全硬度に高い相関が認められることから、ECをモニタリングすることにより、RO膜のスケーリングを予測することがで

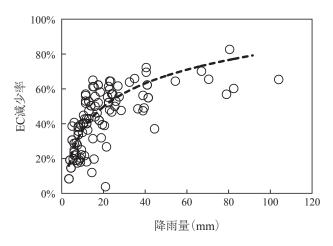


図2 高度処理水 EC におよぼす降雨量の影響

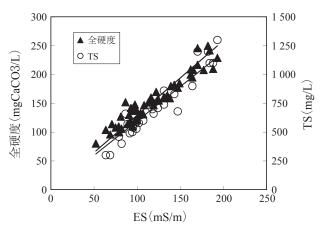


図3 高度処理水 EC と全硬度および TS の関係

#### き、薬液洗浄の目安とすることができると考える。

## 2.2 処理水質

図4にMF膜ファウリングに影響すると考えられる濁度の累積度数を示す。前述のとおり、原水濁度は2以下にまで処理されており、さらに、MF膜処理することでほぼ検出下限値にまで除去された。一方、図5に示すようにRO膜スケーリングに影響すると考えられるECについては、MF膜ではほとんど除去されることなく、ほぼ全量がRO膜に負荷されていた。原水ECの上昇によりRO膜処理水ECも若干上昇する傾向が認められ、原水ECが150 mS/m以上になると、5 mS/mを超える傾向にあったが、目標値の30 mS/mを十分下回る値であった。

#### 2.3 膜ファウリング

## 2.3.1 有機物ファウリング

原水中の有機物の沈着、蓄積あるいは微生物の増殖により、MF、ROの両膜において有機物によるファウリングが起こる。MF膜については、酸、ア

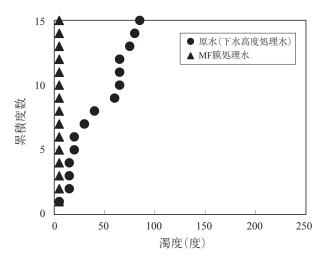


図4 高度処理水濁度と膜処理性能

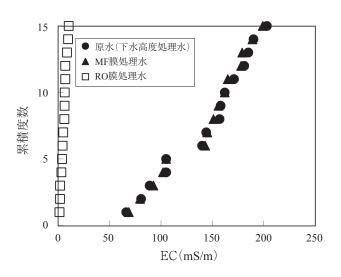


図5 高度処理水 EC と膜処理性能

ルカリ等の洗浄剤で洗浄可能であるが、RO膜はMF膜に比べ耐薬品性に劣るため、強力な薬品洗浄ができないことから、微生物抑制剤を注入することとした。微生物抑制剤は、ファウリングが高度に進行してから(微生物が増殖してしまってから)では効き目が期待できない(したがって処理場のように高濃度の活性汚泥の障害にはならない)ため、ファウリングが進行しないよう、低濃度で連続的に注入して微生物の増殖を抑制した。微生物抑制剤としては当社のSPスーパークリーンCX-3500を用いた。図6に微生物抑制剤添加前後のRO膜ユニット操作圧の変化を示す。微生物抑制剤を添加しない場合は、操作圧(膜透過抵抗)、差圧(モジュール通過抵抗)が、運転経過にともない増加したが、微生物抵抗

抑制剤を注入することにより、操作圧、差圧とも上昇が抑制された。微生物抑制剤は、RO濃縮液側に濃縮されるため、濃縮水の水質を上昇されることになる。CX-3500添加による濃縮水の  $COD_{Mn}$ , T-N, T-P の増加量はそれぞれ、2.1, 0,  $0.5 \, mg/L$  程度と推算された。

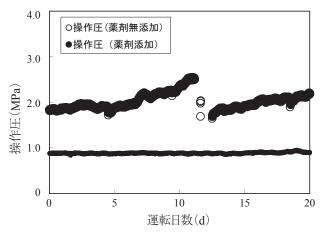


図6 微生物抑制剤添加効果

#### 2.3.2 無機物ファウリング

高度処理で使用される PAC 由来の AI が流入すると、水酸化アルミニウムが MF 膜に沈着したり、RO 膜で濃縮されて、膜のファウリングを生じる恐れがある。表2に MF 膜および RO 膜の洗浄排水の水質分析結果を示す。MF 膜逆洗排水は、MF 膜処理水を逆洗用水に使用しているため、MF 膜処理水水質(表1参照)がベースとなるが、MF 膜逆洗排水の濁度、銅、鉄などが MF 膜処理水のそれより高い値になっていることから、それらが MF 膜面に蓄積していたものと推察される。これらファウリング物質の蓄積により、操作圧が上昇したが、薬液洗浄により洗浄が可能であることを確認している。

また、降雨等で汚泥の凝集状態が低下した場合に、濁度物質や凝集剤として添加される AI が繊維 ろ過を通り抜けて、MF 膜でファウリングを生じる 傾向が認められた。

#### 2.3.2 RO 濃縮水 COD の生分解性

膜処理による水リサイクルシステムを下水処理場に適用する場合、RO濃縮水は下水処理場上流側に返流するフローが合理的である。この場合、水リサイクルシステムにおいて外部より何も添加しなけれ

衣2 优神排水水質							
分析項目	試料名	原 水 (高度処理水)	RO 濃縮水	MF 逆洗排水	MF 洗浄排水 (酸+アルカリ)	RO 洗浄排水 (アルカリ)	RO 洗浄排水 (酸)
水素イオン濃度 (pH)	_	7.3	7.8	7.6	中性	11.7	2.0
化学的酸素要求量 (CODMn)		8.4	16.8	15.0	2 460	2 978	10.2
色度	度	12	24	15	_	_	_
濁度	度	0.9	0.3	8.0	_	_	_
蒸発残留物(TS)	mg/L	932	3 525	700	_	59.0	_
全硬度	mgCaCO <sub>3</sub> /L	204	753	134	279	52.5	33.4
カルシウム硬度	mgCaCO <sub>3</sub> /L	101	376	75.5	130	37.3	19.1
アルカリ度 (pH4.8)	mgCaCO <sub>3</sub> /L	93.4	377	93.8	_	_	_
電気伝導率	mS/m25 ℃	153	485	105	_	_	_
銅含有量	mg/L	0.3	< 0.2	0.2	_	_	_
鉄 (Fe)	mg/L	0.13	< 0.1	< 0.10	21.0	_	< 0.1
アルミニウム (Al)	mg/L		0.6	2.4	43.4	2.57	8.2
塩化物イオン	mg/L	385	1 330	223	_	_	_
硫酸イオン	mg/L	104	347	85.8	_	35.4	7.4
イオン状シリカ	mg/L	14.2	48.4	11.6	24.1	22.3	3.6
アンモニウムイオン	mg/L	0.36	0.20	0.09	_	_	_
硫化物イオン	mg/L	< 0.05	< 0.05	< 0.05	_	_	_
			ļ	ļ.	W. W. # II		

表2 洗浄排水水質

<sup>\*</sup> MF 膜洗浄排水(酸+アルカリ)および RO 洗浄排水(アルカリ)の  $COD_{Mn}$  には洗浄薬品の  $COD_{Mn}$  も含まれる。

ば、単に、濃縮された下水処理水が返流されるだけであるため、下水処理場から放流される汚濁物質の総量は変わらないことになるが、実際には、微生物抑制剤などの薬剤を添加するため、汚濁物総量が5~10%増加されて返流されることになる。そこで、RO濃縮水の $COD_{Mn}$ の生分解性を下水試験法<sup>2)</sup>にしたがって測定した。RO濃縮水は、膜パイロット実験装置より24時間のコンポジットサンプルとして採水した。下水試験方法による24時間培養後の生分解度は約25%であり、活性汚泥の馴致も考慮すると、水リサイクルシステムでの薬剤添加による負荷上昇分は十分吸収できると推察された。

## むすび

周囲を海で囲まれ、大小多数の河川を有する我が 国は、水不足とは無縁との印象も有り、これまで、 多量の水を浪費してきたといえる。しかし、工場の 大規模化、人口の集中など、水のユースポイントが 集中するにつれ、地域的水不足が顕在化してきてお り、また、資源リサイクルの社会的ニーズから水リ サイクルを検討する企業も増加しつつある。世界的には、水不足に対しては海水淡水化が主流であるが、造水コストが高いことに加えて、内陸地への輸送にも経費がかさむため、今後、下水処理水の再利用が注目されるものと考える。当社は、下水の再利用に加え、下水と海水を混合して処理するコンバインド型低動力海水淡水化システムも開発しており、今後、とくに海外の水不足ニーズに対して下水処理水の再利用技術を提案し、水不足解消の一助としたい。

本稿は、堺市との共同研究で得られたデータを基 にまとめたものである。共同研究実施にあたり、情 報提供および多大なご協力をいただきました、堺市 上下水道局ならびに三宝下水処理場の関係者の皆様 にこころより感謝申し上げます。

#### [参考文献]

- 1) 堺市ホームページ:http://water.city.sakai.lg.jp/arekore/gs sanpou.html
- 2)(社)日本下水道協会:下水試験方法上卷(1997年版), p.280

<sup>\*</sup>水環境・冷却塔事業部 技術部 計画室 \*\*\*水環境・冷却塔事業部 水リサイクル部 テクノサービス室 堺事業所

<sup>\*\*\*</sup>商品市場・技術開発センター 水・汚泥技術開発部

# 野手埋立処分所殿向け DT モジュールシステムによる 浸出水処理施設の納入事例

Leachate Water Treatment Facilities with DT Module System at Note Landfill Site



上田 豊\* Yutaka Ueda

当社は、2010年3月に、DT モジュールシステムによる浸出水処理施設を射水市野手埋立処分所 殿向けに納入した。ここではその施設の概要と運転状況を紹介する。

We delivered leachate water treatment facilities with DT module system at Note landfill site belong to Imizu City in March 2010. This report introduces the outline of this plant and the operating state.

## Key Words:

浸 出 水 処 理逆 浸 透 膜DT モジュールシステム

Leachate treatment Reverse osmosis (RO) DT module system

#### 【セールスポイント】

逆浸透膜処理方式であるためダイオキシン等の微量有害物質の高度処理が可能であり、天然水並の処理水が得られる。シンプルなプロセスで維持管理が容易である。

## まえがき

2007年12月,当社は富山県射水市殿より野手埋立 処分所浸出水処理施設の建設工事を受注した。本工 事は,既設の浸出水処理施設に替えて新しい施設を 建設するもので,循環型社会形成推進交付金による 野手埋立処分所整備工事の一環として,2010年3月までの約3年間をかけて建設された。

既設は1982年度から供用を開始し、水処理方式は一般的な凝集沈殿法と生物脱窒法を採用していた。 近年、施設の老朽化に加え、法改正等により施設 をとりまく環境が変化し、以下の課題が生じてい た。

- ① 「ダイオキシン類発生防止等ガイドライン(1997年)」による, SS 除去を強化する必要性。
- ② 2003年度から受け入れ開始した焼却残さの影響

- により、将来的に浸出水中のカルシウムおよび塩 化物イオンの濃度が上昇し、放流先で塩害が発生 する懸念。
- ③ 浸出水中のBOD負荷が低く、生物脱窒が困難。 DT モジュールシステムは逆浸透膜を用いた浸出 水処理システムである。生物処理を必要とせず、 SS や塩類、窒素成分等を直接逆浸透膜で処理し、 天然水並みの水質まで処理できる特長を有してい る。そのため、前述の課題を解決できる処理方式と して、DT モジュールシステムが採用された。ここ ではその施設の概要を紹介する。

#### 1. 納入実績

表1にDTモジュールシステムの納入実績を示す。2010年4月現在, DTモジュールシステムの国内での納入実績は、本施設および建設中も含めて17

表1 DT モジュールシステム納入実績

No.	供用開始年	都道府県	納入先	処 分 場 名	廃棄物の種類	処理水量 (m³/d)
1	1998	福岡県	福岡大学 資源循環・環境 制御システム研究所	屋外埋立実証研究プラント	_	0.15
2	1999	茨城県	下妻地方広域事務組合	クリーンパーク・きぬ	一般廃棄物	70
3	1999	兵庫県	宍粟郡広域行政事務組合	宍粟環境美化センター	一般廃棄物	10
4	2001	兵庫県	青垣町 (現丹波市)	九の尾苑	一般廃棄物	10
5	2002	鳥取県	環境プラント工業㈱	淀江第2処分場	一般廃棄物	120
6	2003	新潟県	東蒲原広域衛生組合 (現阿賀町)	東蒲原広域エコパーク	一般廃棄物	25
7	2004	大分県	臼杵市	一般廃棄物最終処分場	一般廃棄物	30
8	2004	大阪府	大栄環境株式会社	和泉リサイクルセンター	産業廃棄物	50
9	2005	宮崎県	(株)イー・アール・シー・高城	ERC エコセンター	産業廃棄物	140
10	2006	熊本県	八代郡生活環境事務組合	一般廃棄物最終処分場	一般廃棄物	25
11	2006	千葉県	長生郡市広域市町村圏組合	エコパーク長生	一般廃棄物	55
12	2008	秋田県	大仙美郷環境事業組合	一般廃棄物最終処分場	一般廃棄物	10
13	2009**	富山県	射水市	野手埋立処分所	一般廃棄物	100
14	2010	愛知県	知多市	(仮称) 東鴻之巣最終処分場	一般廃棄物	50
15	2011予定	高知県	(財)エコサイクル高知	エコサイクルセンター	産業廃棄物	15
16	2011予定	北海道	十勝環境複合事務組合	(仮称) クリーンセンター	一般廃棄物	25
17	2012予定	愛媛	西条市	(仮称) 西条市東部一般廃 棄物最終処分場	一般廃棄物	4

※2009年12月より浸出水処理にかかわる設備を一部供用開始

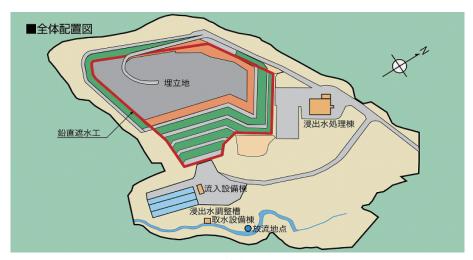


図1 全体配置図

## 件となる。

なお、本施設の処理能力は100 m³/d であり、一般 廃棄物最終処分場での採用としては鳥取県淀江第2 処分場についで大きな規模となる。

## 2. 施設概要

図1に野手埋立処分所の全体配置図を示す。浸出 水処理施設は、流入設備棟、浸出水処理棟で構成さ れる。 今回の整備事業では、当社がおこなった浸出水処理施設建設工事のほか、既設埋立処分場の延命化工事、鉛直遮水壁(TRD)による止水工事、浸出水調整槽新設工事などが実施されている。

#### 2.1 埋立処分場概要

処分場形式:管理型処分場 埋 立 容 量:約280 000 m<sup>3</sup>

埋立面積: 22 900 m<sup>2</sup>

埋 立 物:焼却残さ,不燃物,がれき,汚泥 遮水構造:遮水シート,鉛直遮水壁(TRD)

#### 2.2 浸出水処理施設概要

## 2.2.1 設計条件

1) 計画水量: 100 m³/d

2) 計画水質

計画水質を表2に示す。本施設では処理水の基準値として、排水基準値のほか、処理水の水質を安定的に維持するための、より厳しい基準値である維持管理基準値を設けている。

#### 2.2.2 処理フロー

図2に処理フローを示す。本施設は,逆浸透膜で直接処理するため,一般的に用いられるカルシウム凝集沈殿処理,生物処理,活性炭処理といった設備が不要である。前処理としての凝集沈殿処理設備,逆浸透膜処理設備,汚泥処理設備で構成されるシンプルなプロセスとなっており,機器点数が少なく,維持管理が容易である。

#### 2.2.3 設備仕様

本施設を構成する設備の仕様を示す。

#### 1)流入・調整設備

沈砂槽で浸出水中の砂を除去し、調整槽で水量および水質の変動を緩和する。

#### (1)自動遮断弁

形 式;空気作動式バタフライ弁

数 量;1台 口 径;600 mm

(2)沈砂槽

形 式;鉄筋コンクリート造

有効容量; 3.4 m<sup>3</sup> 数 量; 1 槽

(3)浸出水調整槽(別途工事)

形 式;鉄筋コンクリート造

有効容量;4000 m³以上数量;常用調整槽

第1予備調整槽

第2予備調整槽の3槽で構成

#### (4)浸出水移送ポンプ

形 式;水中汚水汚物ポンプ

能 力; $\phi$ 50×0.084 m³/min×15 m×1.5 kW

数 量;2台(常用調整槽に設置)

#### (5)中継槽

形 式;円筒形タンク

貯 留 槽;1.5 m³ (有効容量1.3 m³)

数 量;1槽

## (6)中継ポンプ

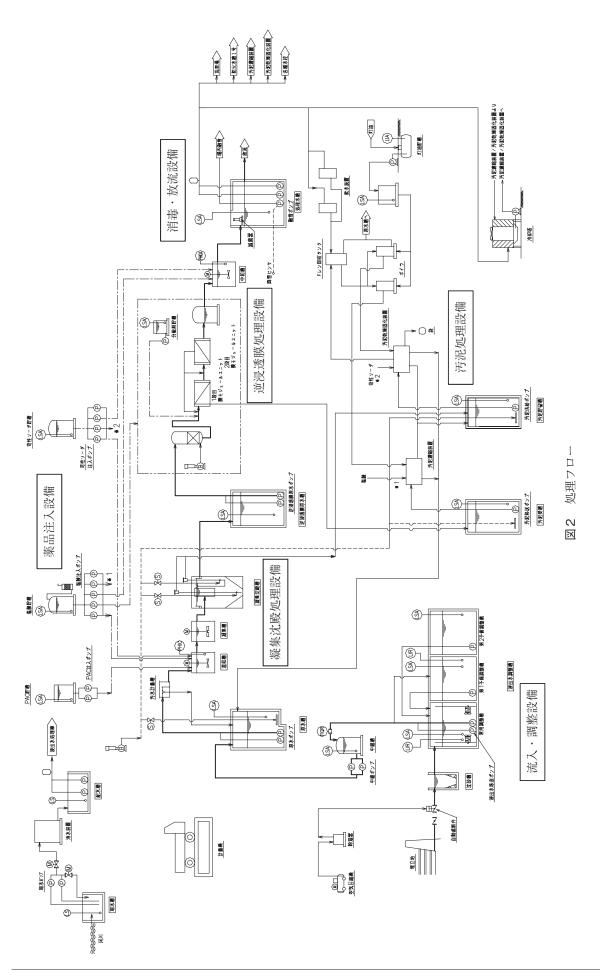
形 式;一軸ネジポンプ

能 力; $\phi$ 65×0.084 m³/min×30 m×1.5 kW

数 量;2台

表2 設計基準(水質)

水質項目	計画原水水質	排水基準値	維持管理基準値
pH (-)	灰の熱灼減量が低い場合 はアルカリ側になる。	5.8~8.6	5.8~8.6
BOD (mg/L)	50	10 mg/L 以下	5以下
COD (mg/L)	100	30 mg/L 以下	5以下
SS (mg/L)	150	10 mg/L 以下	1以下
T-N (mg/L)	100	10 mg/L 以下	5以下
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	1 000	100 mg/L 以下	30以下
大腸菌群数	3 000個 /cm³を越えること がある	3 000個 /cm³ 以下	3 000個 /cm³ 以下
DXNs (pg-TEQ/L)	_	10以下	1以下
重金属類・その他	_	水質汚濁防止法総理府(総務省) 令に定められた基準値以下	水質汚濁防止法総理府(総務省) 令に定められた基準値以下



(7)原 水 槽

形 式;鉄筋コンクリート造

有効容量; 64.7 m<sup>3</sup> 数 量; 1 槽

(8)原水ポンプ

形 式;水中汚水汚物ポンプ

能 力; $\phi$ 50×0.102 m³/min×11 m×0.75 kW

数 量;2台2)凝集沈殿処理設備

逆浸透膜処理装置の前処理として、粗大な固形物 (SS)を除去する。

(1)混 和 槽

形 式;鋼板製角形水道

有効容量; 0.6 m<sup>3</sup> 数 量; 1 槽

(2)凝集槽

形 式;鋼板製角形水槽

有効容量; 1.8 m<sup>3</sup> 数 量; 1 槽

(3)凝集沈殿槽

形 式;鉄筋コンクリート造

有効容量; 20.6 m<sup>3</sup> 数 量; 1 槽 3) 逆浸透膜処理設備

1段目、2段目の2段階逆浸透膜処理によりBOD, COD, SS, T-N, Ca, 重金属等を処理する。 ユニット形式は,逆浸透膜にかかる圧力の変動を抑制して安定的に運転できるよう,ワンパス・連続的に処理する方式を採用している。

写真1に逆浸透膜処理装置の外観を示す。

(1)逆浸透膜原水槽

形 式;鉄筋コンクリート造

有効容量:16 m³ 数 量:1 槽 (2)逆浸透膜処理装置

形 式;1段目逆浸透膜

プレート & フレーム型(DT モジュ

ール)

2段目逆浸透膜 スパイラル型

処理水量; 119.14 m³/d 透過水量; 98.89 m³/d 回 収率; 83%

数 量;1基

4)消毒放流設備

逆浸透膜処理設備で処理した水を消毒・放流す



写真1 逆浸透膜処理装置 (DT モジュールシステム)

る。逆浸透膜は細菌類を除去できるが、安全性に万 全を期すため滅菌器を設けている。なお、貯留され た処理水はプラント給水のほか、洗車場用水や融雪 装置の散水に使用される。

(1)滅 菌 器

形 式;流水接触式

数 量;1台

(2)処理水槽

形 式;鉄筋コンクリート造

有効容量; 24.8 m<sup>3</sup> 数 量; 1 槽

5) 汚泥処理設備

逆浸透膜処理装置から発生する濃縮水を,汚泥濃縮装置でTS濃度20%まで濃縮し,汚泥乾燥固化装置で含水率10%以下の固化塩にする。汚泥乾燥固化装置に使用されるボイラ蒸気は,回収,再利用している。写真2に汚泥濃縮装置,写真3に汚泥乾燥固化装置の外観を示す。

(1)汚泥濃縮装置

形 式; 3重効用缶式

能 力; 15.26 m³/d × 4.25 kW

数 量;1基 (2)汚泥乾燥固化装置

形 式;減圧脱水式

能 力;  $7.0 \,\mathrm{m}^3/\mathrm{d} \times 22 \,\mathrm{kW}$ 

数 量;1基 (3)汚泥濃縮用ボイラ

形 式;簡易ボイラ

能 力;相当蒸発量400 kg/h

数量;1台



写真2 汚泥濃縮装置



写真3 汚泥乾燥固化装置

## (4)汚泥乾燥固化用ボイラ

形 式;簡易ボイラ

能 力;相当蒸発量750 kg/h

数量;1台

## 6) 薬品注入設備

薬品注入設備では、pH 調整用の塩酸注入設備と 苛性ソーダ注入設備のほか、凝集沈殿設備用の PAC注入設備で構成されている。

表3 水質分析結果

20 71-2075 117111711		
水質項目	原水水質	処理水水質
pH (-)	7	7.8
BOD (mg/L)	43	< 0.5
COD (mg/L)	20	1.6
SS (mg/L)	37	<1.0
T-N (mg/L)	29	0.6
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	1 200	0.5
大腸菌群数(個/cm³)	1	0
DXNs (pg-TEQ/L)	_	0.00003
TS (mg/L)	8 500	<10
電気伝導率(mS/cm)	8.4	0.016
重金属類・その他	_	水質汚濁防止法総 理府(総務省)令 に定められた基準 値以下

#### 7) その他設備

浸出水処理施設のほか,河川から取水し,処理して場内の生活用水として供給する用水設備,搬入車両の重量を計測する計量設備も備わっている。

## 3. 処理状況

本施設は、竣工前の2009年12月より、浸出水処理 にかかわる設備を一部供用開始しており、ここでは 供用開始前に実施した試運転のデータを紹介する。

#### 3.1 水 質

表3に水質分析結果を示す。いずれの処理水水質も維持管理基準値を満足している。また、TSについても、99.9%と高い除去率を示している。

## 3.2 運転状況

逆浸透膜処理装置の運転状況として、図3に透過水量と運転圧力、図4に電気伝導率の推移を示す。 2段目透過水流量(逆浸透膜処理装置処理水流量)は、計画値の4.6 m³/h付近で安定している。2段目透過水の電気伝導率についても、平均0.02 mS/cmと、良好な結果が得られている。

逆浸透膜処理装置入口の電気伝導率は10~15 mS/cmの範囲で変動している。それに伴い1段目逆浸透膜の運転圧力も定格圧力範囲の3.5~4.5 MPa で安定的に運転できている。

なお、図中の矢印で示した箇所は、圧力、流量、 電気伝導度が変動している。これは、装置内のプレ フィルターおよび砂ろ過器の自動逆洗により、装置 が一時的に停止したためである。

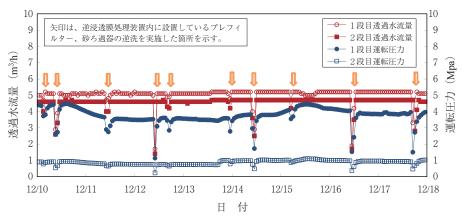


図3 逆浸透膜処理装置 運転状況

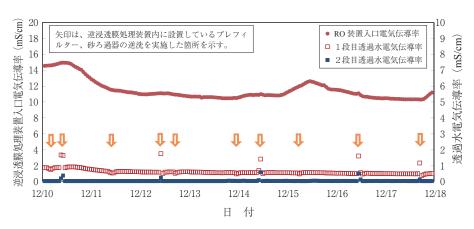


図4 逆浸透膜処理装置電気伝導率

## むすび

野手埋立処分所は、森林や田畑、白鳥が飛来する湖など、豊かな自然に囲まれた場所に位置している。DT モジュールシステムによって処理された水は、電気伝導率が0.1 mS/cm 以下と、天然水並みの

水質であり、自然のなかに違和感なく溶け込んでいる。今後も環境にやさしい安心できる処理施設としてDTモジュールシステムを提供していきたいと思う。 最後に、本稿の執筆にあたりご協力いただいた射水市殿に、深甚の謝意を表します。

<sup>\*</sup>水処理事業部 技術部 プロポーザル室

## 廃棄物焼却施設における水リサイクルシステムの確立

Establishment of Water Recycling System in Waste Incineration Plants 一発電効率向上と排水クローズド化の両立一



平井友希子\* Yukiko Hirai



石山 明\* Akira Ishiyama



細田博之\*\* Hiroyuki Hosoda



山形成生\*\*\* Naruo Yamagata

近年、地球温暖化問題に対する対策が強く求められており、廃棄物焼却施設においても  $CO_2$  排出量削減に配慮した施設の整備が進められている。これら要望に対応するために高温・高圧ボイラの採用などにより発電効率の向上が図られている。一方、廃棄物焼却施設は立地条件の制約等により、施設内で発生した排水を排ガス中で噴霧蒸発処理する排水クローズドシステムの採用を求められるケースが多く、発電効率が向上しない原因の一つになっている。当社は、発電効率をさらに高めるために、膜処理技術を用いて排水を適正処理・再利用することで噴霧蒸発量を大幅に削減できる水リサイクルシステムを確立した。

A plan to address the global warming issue has requested. In waste incineration plants, the upgrading of plants with CO<sub>2</sub> reduction considering have advanced. To comply with this request, we have adopted the use of high temperature and high pressure boiler, as a means to improve our electrical generating efficiency. In the waste incineration plants using closed system, the water drainage that occurs in the facilities is not discharged, because of the constraints of the existing geographical conditions. This is one of the causes to which electrical generating efficiency doesn't improve. To raise electrical generating efficiency further, we have established the water recycling system using membrane filtration technology.

#### Key Words:

廃棄物焼却んり力力理型膜密透透膜変変変財水クローズドシステム

Waste incineration plant

Water recycle

Membrane filtration

Microfiltration membrane

Reverse osmosis membrane

Electrical generating efficiency

Closed system

#### 【セールスポイント】

当社は様々な業種において、膜処理技術を活用した水リサイクルシステムによる水供給事業を展開している。水リサイクルに関する豊富な知見を廃棄物焼却施設に対して活用することで、より高い発電効率を有する廃棄物焼却施設が提供できる。

#### まえがき

 $CO_2$  排出量の削減が各業界で求められているが、廃棄物焼却施設においても例外ではなく、熱回収率の最大化やシステム効率の向上による発電効率のアップと、それによる  $CO_2$  排出量の削減が求められている。その一環として、2010年度から高効率発電を達成した施設に対しては、施設建設に係る交付金の交付率を1/3から1/2にアップする施策(5年間時限)が施行(交付要件は施設規模に応じて設定)され $^{11}$ 、発電効率の向上のための技術開発は本ビジネスを推進していく上で不可欠なものとなってきている。

一方で、廃棄物焼却施設は、山間部など下水道が整備されていない場所に建設される場合が多く、その場合は発生した排水を施設内で処理する排水クローズドシステムの採用が求められる。一般に排水クローズドシステムを採用した場合、場内排水を排ガス(減温塔)中で噴霧蒸発処理させるために、ボイラ出口排ガス温度が高めの設定となりボイラ効率が低下する。より効率的なエネルギー回収のためには、場内排水を適正処理・再利用し、噴霧蒸発処理する排水量を極力削減することが望まれる。

そこで当社は、薄膜トランジスタ液晶工場排水、 鉄鋼工場排水、下水処理水等を対象とした水リサイクルシステムで採用の実績があり豊富な知見を持つ 「精密ろ過(MF)膜+逆浸透膜(RO)膜システム」<sup>2).3)</sup>を廃棄物焼却施設の排水処理設備に適用することで、蒸発処理水量を大幅に削減できるシステムを開発した。本システムは、場内排水を高度処理しプラント用水等として再利用することで蒸発処理水量を削減するもので、発電効率の向上に貢献できる。また、上水などの取水制限がある地域において 取水量を削減する場合にも有効なシステムである。

本稿では、この水リサイクルシステムを確立する ために、石巻広域クリーンセンターで実施したフィ ールド実験の結果について報告する。

#### 1. 水リサイクルシステム

今回,当社が開発した水リサイクルシステムのフローを図1に示す。施設内で発生した排水は,砂ろ過等の簡易な排水処理設備で処理された後,噴霧水として減温塔で蒸発処理される。そのため、排水量が多いほど蒸発処理に必要な熱量が大きくなり、ボイラ効率が低下する。これに対して、水リサイクルシステムを組込んだ場合、処理水をプラント用水等として再利用できるため、蒸発処理する水量が削減でき、ボイラ効率の向上が図れる。

水リサイクルシステムは、前処理として MF 膜 (図2) を、脱塩膜として RO 膜 (図3) を使用する 2 段処理方式を採用した。

MF 膜は、表面がフィルターとなっている直径約 1 mm のストロー状の中空糸膜を束ねた構造になっている。MF 膜には孔径0.1 μm の孔が開いており、微粒子・濁質、菌類を除去することができる。よって、原水濁度が変動してもろ過水質はきわめて清澄であり、RO 膜への負荷を大きく減らすことができるため、RO 膜の前処理として国内・国外で多数の実績を有する。

RO 膜は、シート状の平膜をろ過を行う面を外側にして袋状に整形し、袋の開口部分を処理水の集水管に接続して海苔巻き状に巻いた構造となっている。RO 膜はポリマーの鎖の間でろ過を行っており、ウィルス、各種塩類やタンパク質等のイオン・低分子類を除去することができる。

施設内で再利用可能な水の回収率は、これまでの

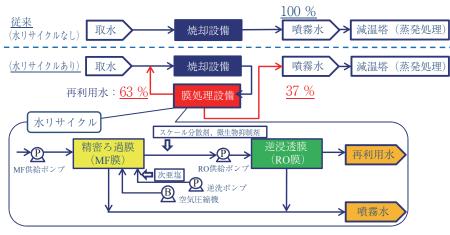


図1 水リサイクルシステムフロー

当社の実績から、水リサイクルシステム全体で63% (MF:90%, RO:70%) を想定し、実証実験を行うものとした。

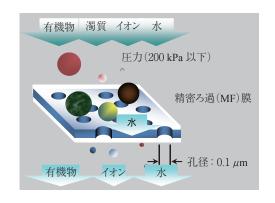
#### 2. フィールド実験

#### 2.1 実証実験装置

実験装置の概略フローを図4に示す。また、実験

装置の概観を写真1,2に示す。実験では、砂ろ過水の一部を分岐し実験設備の原水とした。実験設備で処理した後に得られる各種処理水は、施設内の水槽に返送するものとした。

使用した膜の仕様を表1に示す。MF 膜には、耐薬品性に優れているポリフッ化ビニリデン(PVDF)



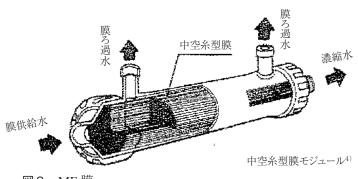
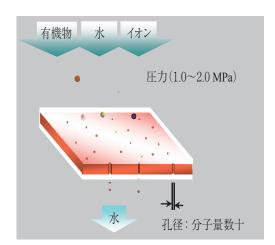
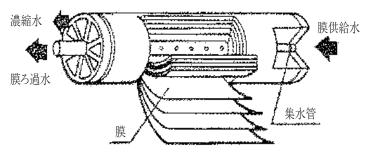


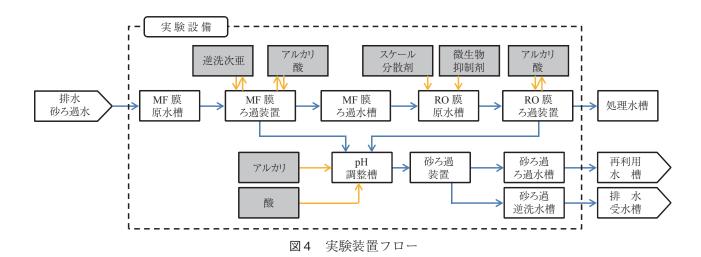
図2 MF 膜





スパイラル型膜モジュール4)

図3 RO 膜



神鋼環境ソリューション技報



写真1 実験装置外観(MF 膜側)



写真2 実験装置外観(RO 膜側)

表1 膜仕様

			MF 膜	RO 膜
形		状	中空糸膜	平 膜
膜	材	質	ポリフッ化ビニリデン	ポリアミド
最高	使用原	王力	300 kPa	6.9 MPa
最高使用温度		温度	40 ℃	40 ℃

製を用いた。RO膜には、ポリアミド系を主体としたものを用いた。実験装置には、膜の差圧上昇を防止するために薬品洗浄装置を設け、実験の中で洗浄方法の最適化を図った。

#### 2.2 実証項目

本システムを実機プラントで採用するためには、 排水性状の年間変動等に十分対応し長期間にわたっ て安定した水質が得られることを実証する必要がある。つまり実証項目は、「長期安定運転」と「処理性能」の確認である。そこで、石巻広域クリーンセンターにて、のべ507日の通水実験を行い、年間を通じた安定運転と目標とする水質が安定して得られることを確認した。

#### ①安定運転の達成

廃棄物焼却施設の排水の特性に適した透過流 東、処理圧力・流路圧損の上昇を防止するための 逆洗方法、薬品洗浄の方法を確認した。当社の経 験および今回の実験を通じて、薬品の選定、洗浄 水の薬品濃度、薬品洗浄するタイミングなどを見 極め、膜交換頻度を1回/年とすることを目標と した。

他分野における水リサイクルシステムでは,処理水量が多く膜の本数が非常に多いため,水リサイクルシステムに要するイニシャルコストおよびランニングコストのうち,膜に関するコストが主体となる。したがって,洗浄の方法の最適化や適切なメンテナンスにより,膜の交換頻度をいかに少なくするかが重要な課題となっている。これに対して廃棄物焼却施設の場合は,処理水量が少ないため膜本数も数本と非常に少なく,膜自体のコストは非常に安価となる。膜交換コストやメンテナンス負荷などを検討した結果,年1回の定期点検時に膜を交換することが望ましいと判断した。

#### ②処理性能の確認

膜処理水がプラント用水等に再利用可能であることを確認した。また、処理した排水のうち施設内で再利用できる割合(回収率)が、システム全体で63%(MF:90%、RO:70%)以上を安定して確保できることを確認した。この回収率が高いほど、噴霧蒸発処理する排水量が少なくなるため、施設の発電効率は高くなる。

#### 2.3 運転条件

運転条件を表2に示す。

年間を通して安定した運転を実現するためには、 運転を継続することにより進行する膜のファウリング(分離対象物の付着や目詰まり)を抑制・制御することが重要になる。当社のこれまでの知見をもと に、薬品の選定や洗浄条件を決定した。

MF 膜では、有機物や微生物によるファウリングが生じる。そこで、物理洗浄逆洗時に次亜塩素酸ナトリウムを用いて、有機物ファウリングの酸化および微生物が繁殖し難い環境をつくることとした。それでも除去しきれないファウリングを除去するため

に,薬品洗浄(循環・浸漬)を実施した。薬品洗浄の使用薬品には,廃棄物焼却施設で使用されている 苛性ソーダと塩酸を用いた。

RO膜では、シリカや炭酸カルシウムが溶解度を超えて膜面で析出するスケールや、微生物または分泌物の作用により膜面にバイオフィルムが形成するバイオファウリングが生じる。そこで、スケールに対してはスケール分散剤を用い、また、バイオファウリングに対しては微生物抑制剤を用いて、抑制を図った。抑制を図っていても蓄積する汚染物質を除去するため、MF膜と同様、薬品洗浄(循環・浸漬)を実施した。

#### 3. 結果および考察

#### 3.1 安定運転の達成

MF 膜の運転状況を図5に示す。原水性状の急な変化で処理圧力が急に上昇することがあっても、逆洗を継続して実施することで速やかに回復した。また、運転を継続することにより、逆洗だけでは取り除けないファウリングが蓄積し、処理圧力が200kPaに達した。その時点で薬品洗浄を実施したところ、初期処理圧力まで膜を回復することができ、その後も安定した運転を継続することができた。このことから、設定した条件での逆洗および薬品洗浄が効果的であることを確認できた。

RO 膜の運転状況を図6に示す。処理圧力はスケ

表2 運転条件

	MF 膜
透過流束	1.2 m³/m²/d (平均)
回 収 率	95 %
	頻 度:30 min /回
物理洗浄条件	工 程:水逆洗+エアバブリング→ フラッシング
	水逆洗時注入薬品: 次亜 0 ~50 mg/L_1min
薬品洗浄条件	使用薬品:(アルカリ) 苛性1%, (酸) 塩酸1%
	RO 膜
透過流束	$0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$
回 収 率	75 %
薬品洗浄条件	使用薬品:(アルカリ) 苛性 pH11~12, (酸)塩酸 pH 1~2
薬品洗浄条件	_

ール等の膜細孔内の目詰まりと、流路圧損はバイオファウリング等の流路閉塞と相関がある。流路圧損の若干の上昇が認められるが、定期的な薬品洗浄により回復しているため、問題なく運転を継続することができた。

以上より、MF 膜・RO 膜ともに逆洗および薬品洗浄を適切に行うことで、膜差圧を上昇させることなく(薬品洗浄で回復できない程度のファウリングを蓄積させることなく)1年間通じて安定した運転ができ、目標の膜交換頻度1回/年を達成することができた。

#### 3.2 処理性能の確認

#### 3.2.1 回収率

回収率の推移を図7に示す。MF 膜については、 平均で約95%で回収率90%以上を維持することが できた。RO 膜については、平均で約74%で回収率 70%以上を維持することができた。したがって、 水リサイクルシステム全体の回収率としては、平均 で約70%となり、当初想定した63%を大幅に上回

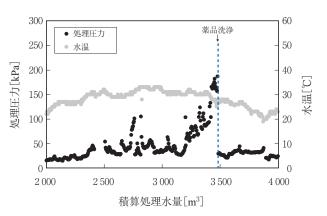


図5 MF 膜運転状況 (一部抜粋)

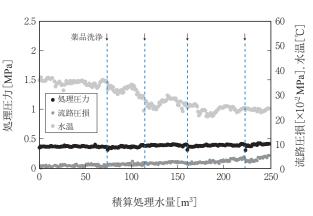


図6 RO 膜運転状況 (一部抜粋)

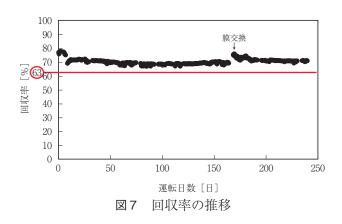


表3 原水水質 分析結果

項	目	平均	最大	
рН (25 ℃)	_	7.0	7.4	
電気伝導度 (25℃)	$\mu s/cm$	1 067	1 260	
塩化物イオン	mg/L	242	310	
硫酸イオン	mg/L	91	156	
酸消費量(pH4.8) (M-アルカリ度)	mgCaCO <sub>3</sub> /L	57	92	
全硬度	mgCaCO <sub>3</sub> /L	116	143	
カルシウム硬度	mgCaCO <sub>3</sub> /L	88	104	
イオン状シリカ	mg/L	24	29	

る回収率を得ることができた。

#### 3.2.2 水 質

#### 1)原水性状

原水(砂ろ過水)水質を表3に示す。廃棄物焼却 施設の排水は、硬度が低いが、シリカの含有濃度が 比較的高いため、スケーリングに注意する必要があ るが、それ以外の成分は問題ない濃度であった。

また、膜の最高使用温度は、MF膜、RO膜とも に40 ℃であるため、本システムを廃棄物焼却施設 に導入する際は、水温の変化にも十分留意しておく 必要がある。とくに廃熱ボイラがある場合は、ブロ ーした高温のボイラ排水が排水受水槽に流入し原水 の温度が上昇する可能性がある。そこで、長期運転 において原水の温度を確認した(図8)。その結果. 夏季においても最高温度は34℃ (7~8月)まで しか上昇せず、問題ないことが確認できた。

#### 2) 処理水

膜処理水の水質を表4に示す。日本冷凍空調工業 会の冷却水水質基準を全ての項目においてクリアし

35 30 25 20 水温 15 10 2008/07/09 2009/01/25 2009/08/13 2010/03/01 日 付 図8 水温の変化

表 4 膜処理水質 分析結果

項	目	平均	最大	基準値
рН (25℃)	_	6.8	7.6	6.0~ 8.0
電気伝導度 (25℃)	μs/cm	61	89	300以 下
塩化物イオン	mg/L	9	14	50以下
硫酸イオン	mg/L	0.3	0.7	50以下
酸消費量 (pH4.8) (M-アルカリ度)	mgCaCO <sub>3</sub> /L	5.3	8.1	50以下
全硬度	mgCaCO <sub>3</sub> /L	2.0未満	2.0未満	70以下
カルシウム硬度	mgCaCO <sub>3</sub> /L	2.0未満	2.0未満	50以下
イオン状シリカ	mg/L	1.1	1.7	30以下

\*基準値:日本冷凍空調工業会標準規格 JRA-GL-02-1994 補給水水質基準 基準項目

た。これにより、膜処理水はプラント用水等として 使用可能であることを確認した。

#### 3) 噴霧対象水

本システムを実案件で採用した場合, MF 逆洗排 水、RO濃縮水は、専用の水槽に一時貯留された後 に排ガス中に噴霧され蒸発処理されることになる。 実験で得られた各排水の水質を表5に示す。塩類は 原水に比べ濃縮されているが従来の噴霧設備で十分 対応できるレベルであることが確認できた。

#### む す び

膜処理技術を用いて、排水を適正処理・再利用す ることで噴霧蒸発量を大幅に削減できる水リサイク ルシステムを開発した。今回、実プラントにおける 長期実証実験を通じて安定運転性能および処理性能 が確認できたことで、今後計画される高効率発電施

表5 噴霧対象水 分析結果および計算値

項	Ħ	MF 逆	洗排水	RO 湜	噴霧対象水	
-	Н	平 均	最大	平均	最 大	計算値
рН (25 ℃)	_	7.4	8.2	7.8	8.2	_
電気伝導度 (25℃)	μs/cm	124	317	342	483	_
塩化物イオン	mg/L	289	735	819	1 300	1 219
硫酸イオン	mg/L	93	138	338	849	747
酸消費量(pH4.8) (M-アルカリ度)	mgCaCO <sub>3</sub> /L	61	126	184	352	320
カルシウム硬度	mgCaCO <sub>3</sub> /L	86.9	103.0	329	419	374
イオン状シリカ	mg/L	24	28	81	142	126

\*計算値:MF 逆洗排水,RO 濃縮水の最大値より算出

設に採用していく予定である。

#### ① 安定運転の達成

膜差圧の上昇を防止する運転方法を確立した。 膜交換頻度1回/年を可能とし、メンテナンス負 荷や経済性を考慮した水リサイクルシステムが構 築できた。

#### ② 処理性能の確認

処理水はプラント用水等に再利用可能であるた め、噴霧蒸発処理する水量が削減できる。水の回 収率(施設内で再利用できる割合)は、システム 全体で63 %以上(実験結果: 70 %)を安定して 維持することができ、発電効率向上に貢献できる システムであることが確認できた。

最後に、本実証実験を実施するにあたり、石巻広 域クリーンセンターの関係各位に多大なご助言、ご 協力をいただきました。記して深謝申し上げます。

#### 「参考文献]

- 1)環境省:高効率ごみ発電施設整備マニュアル(平成 22年3月改定)
- 2) 長谷川進ほか:神鋼環境ソリューション技報, vol.5, no.1, 2008, p.24-28
- 3) 真鍋恵:神鋼環境ソリューション技報, vol.3, no.1, 2006, p.8-11
- 4)(社)日本水環境学会:膜を利用した水再生,2008, p.35-36, 技報堂出版

<sup>\*</sup>商品市場・技術開発センター 水・汚泥技術開発部 水処理室 \*\*商品市場・技術開発センター プロセス技術開発部 廃棄物処理室 \*\*\*環境プラント事業部 第一技術部 技術室

## 大型流動床式ガス化溶融施設の完成

## (相模原市南清掃工場)

Completion of Large-scale MSW Fluidized Bed Type Gasification and Melting Plant



島倉久範\* Hisanori Shimakura



田中祥起\* Yoshioki Tanaka



佐藤義一\*\* Yoshikazu Sato



小川正浩\*\*\* Masahiro Ogawa



久米慶信\*\*\*\*
Yoshinobu Kume



徳永 滋\*\*\*\* Shigeru Tokunaga

近年,都市ごみの焼却においては,有害物質のより一層の排出抑制とともに,サーマルリサイクルによる地球温暖化対策としての $CO_2$ 排出量の削減,マテリアルリサイクルによる最終処分負荷の低減が求められている。ガス化溶融プロセスは高温燃焼による有害物質の排出抑制と,残さの溶融処理・有効利用,高効率な熱回収を一貫して実現できるプロセスである。当社は,2006年相模原市より大型流動床式ガス化溶融施設を受注,2009年10月から試運転を開始し,2010年3月の竣工以来,安定運転を継続している。本施設は都市ごみ向けで国内最大の流動床式ガス化溶融施設で,溶融スラグ化に加え,最大10 000 kW の発電能力と,隣接する温水プールと温室に熱供給する機能を備え,マテリアルリサイクルとサーマルリサイクルを積極的に推進できる施設である。

In the MSW treatment, technology is requested for thermal recycle to achieve low CO<sub>2</sub> emission as measures for global warming, and for material recycle to decrease the final disposal load, as well as the technology for decrease hazardous material emission. The gasification and melting is a process that can achieve material and thermal recycle consistently by melting the residue and heat recovery effectively, as well as avoiding pollutant emission by the high temperature combustion. We received an order of the large-scale fluidized bed type gasification and melting plant from Sagamihara City in 2006, which began the trial run in October, 2009, and continue stable operation. This facility is the largest fluidized bed type gasification and melting plant in Japan for MSW, which has a maximum capacity of 10 000 kW power generation, and steam supply to the swimming pool and greenhouse nearby, can achieve material and thermal recycle positively.

### Key Words:

 都
 市
 ご
 み

 ガ
 ス
 化
 溶
 融
 炉

 低
 空
 気
 比

 地
 球
 温
 暖
 化

 CO2
 削
 減

Municipal solid waste (MSW)
Gasification and melting furnace
Low air ratio
Global warming
Reduction of CO<sub>2</sub> emission

#### 【セールスポイント】

国内最大の流動床式ガス化溶融施設が完成。高効率発電設備と他所灰処理設備を備え、最終処分場の負荷低減と CO<sub>2</sub> 削減を同時に実現できる施設である。

#### まえがき

国土の狭いわが国では、都市ごみなどの廃棄物は 主に焼却され、その残さは埋立て処分されていた。 2000年代に入り、循環型社会形成推進基本法が制定 され、資源の有効利用やリサイクルの推進による環 境負荷低減が推進されてきた。近年、地球温暖化問 題への対処が強く求められる中、低炭素化社会の実 現のため、焼却処理にともなって生じるエネルギー の積極的利用が求められている。

ガス化溶融プロセスは、都市ごみのガス化、高温燃焼、溶融処理、熱回収を一貫して行うことで、ダイオキシン類をはじめとする有害物質の排出抑制と残さの溶融、発電・余熱利用を同時に達成するものである。とくに、流動床式ガス化溶融システムは、ごみの保有するエネルギーを最大限に活用するプロセスであるため、コークスなど外部からの化石燃料を投入することなく、ガス化、燃焼、溶融処理おとなく、ガス化、燃焼、溶融処理および排ガスからのエネルギー回収まで一連のプロセスで行えるという特長を有する。この特長を生かし他施設で発生する焼却灰や最終処分場の堀起こしてみの溶融処理もできることなど、多様な廃棄物への溶融処理もできることなど、多様な廃棄物への適用が可能である。結果、 $CO_2$ 排出量の削減と最終処分場負荷の低減が同時に実現できるプロセスである。1)

当社は2000年10月に国内初の都市ごみ向け流動床 式ガス化溶融施設を竣工させて以来,現在までに12 施設(技術供与を含む)を竣工させている(図1)。 中でも,2006年に相模原市より,都市ごみ向けでは 国内最大となる流動床式ガス化溶融施設である南清 掃工場(施設規模525 t/d (175 t/d×3炉))を受注 した。2009年10月の試運転開始以来,調整運転を行い,2010年3月に竣工し,安定稼働を継続している。

#### 1. 相模原市南清掃工場の概要と特長

本施設の概要を表1に、処理フローを図2に、また施設外観写真を写真1に示す。

施設の外観は丹沢の山並みと、近隣に流れる相模 川の河岸段丘をイメージし、曲線的な屋根のデザインとし、周辺環境に配慮したものである。

施設の処理能力は525 t/d(175 t/d×3 炉)で、処理対象物は一般収集ごみの他、相模原市北清掃工場の焼却灰を1日当たり37.5 t(12.5 t/d×3 炉分)と、相模原市東清掃事業所で発生するし渣・脱水汚泥も受入れる能力を有している。

ごみは投入ホッパに投入された後, ごみ供給ラインに設けた破砕機で破砕され, 給じん装置にて流動

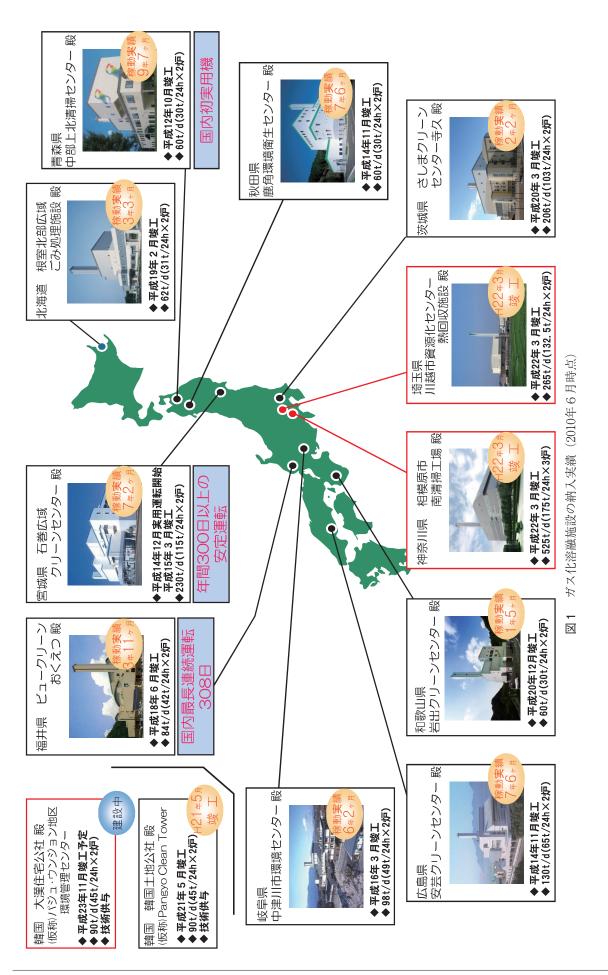
ガス化炉に定量供給される。北清掃工場から搬入された焼却灰は、他所灰ピットに受入れ、貯留後、選別装置にて不適物を除去し、給じん系統に供給され、ガス化炉に投入される。ごみは、ガス化炉の炉底から供給される空気で部分燃焼しながらガス化される。ごみ中の不燃物は流動砂とともに中央の抜出管から連続排出された後、未酸化状態の鉄分とアル

表 1 施設概要

表 1 施設概安					
名 称	相模原市南清掃工場				
所 在 地	相模原市南区麻溝台1524番1				
敷地面積	47 119.1 m <sup>2</sup>				
竣工	平成22年3月				
処理能力	525 t/d(175 t/d × 3 炉)				
焼却炉形式	流動床式ガス化溶融炉				
発電方式	蒸気タービン発電(最大10 000 kW)				
処理対象	一般ごみ, 災害廃棄物 (木くず), 焼却灰 (主灰), し渣, 脱水汚泥				
建築面積	約9 700 m <sup>2</sup>				
延床面積	約24 000 m <sup>2</sup>				
建物構造	鉄骨造・鉄筋コンクリート造・鉄骨鉄筋 コンクリート造 (地上6階, 地下1階, 煙突高さ100 m)				
	受入供給設備 ごみクレーン,他所灰クレーン				
	燃焼ガス冷却設備 廃熱ボイラ				
主要設備	排ガス処理設備 バグフィルタ,排ガス洗浄装置,脱硝 反応塔				
	余熱利用 場内・場外熱供給 (相模原公園内温室,市民健康文化セン ター)				



写真 1 施設外観写真



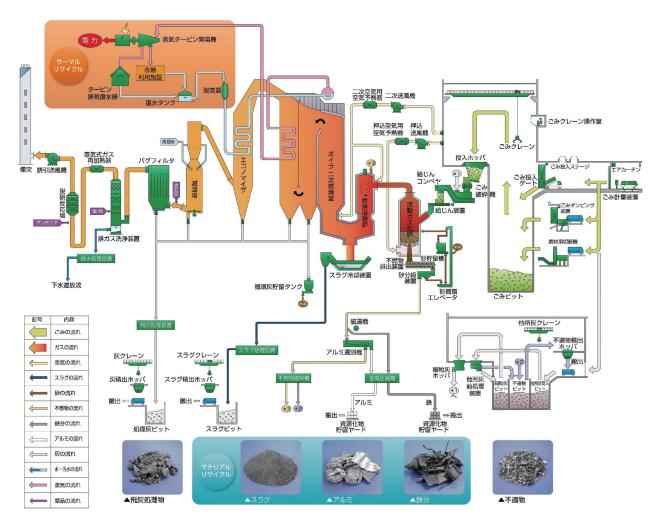


図2 処理フロー

ミが回収される。鉄・アルミは金属圧縮機にて各々 圧縮成型され、有効利用される。ガス化炉で発生し た可燃性ガス、未燃炭素は溶融炉で燃焼空気と混合 され、1200℃以上の高温で完全燃焼させるととも に、同伴された飛灰を溶融し、出滓口からスラグと して回収する。鉄・アルミを回収した後の不燃物は 破砕処理後溶融炉に吹込み、飛灰とともに溶融・ス ラグ化する。溶融スラグは水砕し、破砕・磨砕の処 理後ピットに貯留される。

燃焼排ガスはボイラ・エコノマイザにて約170℃まで冷却・熱回収される。従来水冷構造としていた溶融炉をボイラ化することにより冷却損失を低減し熱回収効率の向上を図っている。燃焼排ガスは減温塔にてさらに160℃に冷却した後、バグフィルタにてばいじん除去、排ガス洗浄塔にて塩化水素、硫黄酸化物の吸収、触媒反応塔にて窒素酸化物・ダイオキシン類の分解を行い、煙突から排出される。

ボイラで発生した蒸気は抽気復水タービン(2段

抽気式)により発電し、余剰電力を電力会社に供給 している。抽気した低圧蒸気は隣接する温水プール と温室に供給することでプラント熱効率の向上を図 っている。

#### 2. 運転データ

#### 2.1 稼働状況

図3に2009年10月の試運転開始から6月末までのごみ処理量実績を示す。試運転開始当初から定格処理を継続し、現在はごみの搬入量とごみ質、計画発電量に合わせ、1炉当たり約155~175 t/dで2炉運転体制としている。

#### 2.2 低空気比運転

本施設では給じんシステムとして、傾斜型の給じんコンベヤと、ガス化炉内のシール機能を備えた二重ダンパ、当社独自の給じん装置によりガス化炉へのごみの供給量の定量性を向上させている。この当社独自の給じんシステムと燃焼制御により、ボイラ出口  $O_2$  濃度は安定して4.5 %程度(図4)、燃焼空

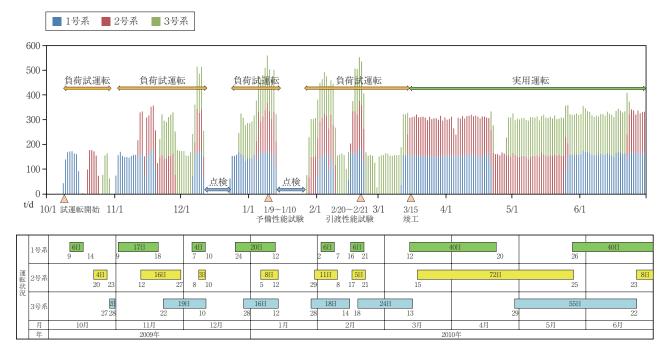


図3 運転状況

気比では1.3~1.4と排ガス循環などを採用せずに低空気比高温燃焼を実現し、排ガス量低減と熱回収効率の向上に寄与している。

#### 2.3 CO<sub>2</sub> 排出量の削減

助燃量の低減は  $CO_2$  排出抑制に直結する。本施設では、溶融炉頂部での着火安定性を確保するため最低限の都市ガスパイロットバーナを使用するのみで、溶融の補助熱源としての助燃を行っていない。さらに前述の当社独自の給じんシステムの採用と、ごみ破砕機の予備機設置、トラブルのない安定運転を行うことによりガス化炉へのごみ供給停止頻度を低減し、ごみ切れ時の助燃使用を抑制している。2010年 6 月度の実績でごみ t 当たり $1.9~m^3_N$  となっている。

当社のガス化溶融炉は低消費電力が特長である。 プロセスの省エネルギー性を示すプラント消費電力 は、3炉運転時で約160 kWh/ごみtと低い数値となっている。

表2に本施設でのエネルギー収支と、 $CO_2$  収支を示す。低温エコノマイザの採用と低空気比運転によるボイラ効率の向上(87%)と高温高圧ボイラ(蒸気条件 4 MPa  $\times 400$   $\mathbb{C}$ )の採用により、高効率発電を達成している。発電効率は15%程度、発電と余熱利用を合わせたプラント総合熱効率としては約 $18\sim 21\%$ と高い数値となっている。

本施設で使用するプラント設備電力・プラントで

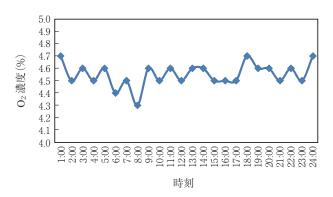


図4 ボイラ出口 O2 濃度(湿ガス基準)

使用する化石燃料(都市ガス)に由来し発生する  $CO_2$  と、余剰電力・余熱利用に由来し低減される  $CO_2$  を比較すると、ごみ 1 t 当たり 100 kg 程度の削減効果があり、地球温暖化対策のための  $CO_2$  排出量の削減に寄与する施設であることがわかる。

#### 2.4 最終処分場負荷の低減

本施設で回収される鉄,アルミについては既に有償にて売却されている。スラグは表3に示すように,重金属の溶出,含有量や,各種物理性状ともすべてJIS A 5031,5032に適合し,有効利用可能なもので,現在JIS 認定取得にむけて準備中である。本施設の大きな特長は,市内にある北清掃工場の焼却灰を合わせて溶融処理していることである。従来最

終処分場に処分されていた2施設分の焼却灰をスラグ化し、有効利用可能なものとすることで、最終処分場負荷を大きく低減できることにある。さらに、本施設のスラグ化率は約74%と高く、最終処分負荷の低減効果が大きいことがわかる。また、このプロセスは最終処分場掘り起こしごみ等に応用することが可能で、最終処分場負荷低減に向けた多様なニーズにこたえることができる、マテリアルリサイク

ル性に長けたプロセスであること言える。

#### むすび

相模原市南清掃工場は本年3月15日竣工後順調に 稼働を続けている。本施設は当社のガス化溶融炉1 号機納入後10年以上の歳月にわたる実用運転におけ る改良開発の成果を結集した最新鋭の施設で、マテ リアル・サーマルリサイクル性に優れた施設であ る。当社の流動床式ガス化溶融プロセスは、他のガ

表2 エネルギー収支および CO2収支

性能試験2010年2月20日15時~2月21日15時: 3炉運転

		入		出		
物質収支	ごみ処理量都市ガス使用量	1.0 t(9 123 kJ/kg) 1.9 m³ <sub>N</sub> / ごみ t(40 616 kJ/m³ N)	発   電   量     場外供給蒸気量     場内供給蒸気量	421 kWh/ごみt (3 600 kJ/kW) 0.1 t/ごみt (2 435 kJ/kg) 0.004 t/ごみt (2 081 kJ/kg)		
熱収支	ごみ発熱量都市ガス発熱量	9.1 GJ/ ごみ t 0.08 GJ/ ごみ t	発 電場外余熱利用場內余熱利用	1.5 GJ/ ごみ t 0.2 GJ/ ごみ t 0.01 GJ/ ごみ t		
	合 計	9.2 GJ/ ごみ t	合 計	1.7 GJ/ ごみ t		
	買 電 力	0 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t (0 kWh/ ごみ t)	余 剰 電 力	98.7 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t (232 kWh/ ごみ t)		
※1,2 CO <sub>2</sub> 収支	都市ガス	4.2 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t	余 熱 利 用 (場外・場内)	11.7 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t		
	合 計	4.2 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t	合 計	110.3 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t		
発電効率;	<b>*</b> 3	16.5%				
総合熱効率	率(発電+余熱利)	用) <b>※</b> 4 18.5%				
CO <sub>2</sub> 削減量	里	106 kgCO <sub>2</sub> / ごみ	106 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t ※ 1			

#### 2010年4月1日~4月20日:2炉運転

		入		出
物質収支	ごみ処理量都市ガス使用量	1.0 t(10 060 kJ/kg) 6.9 m³ <sub>N</sub> / ごみ t (40 616 kJ/m³ <sub>N</sub> )	発   電   量     場外供給蒸気量     場内供給蒸気量	457 kWh/ ごみ t (3 600 kJ/kW) 0.1 t / ごみ t (2 423 kJ/kg) 0.1 t / ごみ t (2 044 kJ/kg)
熱収支	ごみ発熱量都市ガス発熱量	10.1 GJ/ ごみ t 0.28 GJ/ ごみ t	発 電場外余熱利用場內余熱利用	1.6 GJ/ ごみ t 0.3 GJ/ ごみ t 0.2 GJ/ ごみ t
	合 計	10.3 GJ/ ごみ t	合 計	2.2 GJ/ ごみ t
	買 電 力	$0 \text{ kgCO}_2$ / $\Box \lambda t \ (0 \text{ kWh} / \Box \lambda t)$	余 剰 電 力	79.5 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t (187 kWh/ ごみ t)
※1,2 CO <sub>2</sub> 収支	都市ガス	14.5 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t	余 熱 利 用 (場外・場内)	31.8 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t
	合計	14.5 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t	合 計	111.3 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t
発電効率;	<b>%</b> 3	15.9 %		
総合熱効率	率(発電+余熱利)	∄)※4 21.2 %		
CO <sub>2</sub> 削減量	Į. E	97 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t	* 1	·

- ※1 ごみ処理量には細粒灰処理量を含まない。
- ※2 排出係数は電気 0.000425 tCO<sub>2</sub> /kWh, 都市ガス 0.0138 tC/GJ, 熱供給(蒸気) 0.057 tCO<sub>2</sub> /GJ とする。 (環境省・経済産業省:温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver. 2. 4より)
- ※3 発電効率= (発電 kWh ×3 600 kJ) ÷ (ごみ発熱量 + 都市ガス発熱量)
- ※4 総合熱効率= ((発電量 kWh×3600 kJ) + (場外、場内余熱利用熱量)) ÷ (ごみ発熱量+都市ガス発熱量)

表3 スラグの性状

		項				20 ///	基準値および規格	測定結果
溶出量	カ 六ひ総セふ	ド価	ミ鉛ク 水レっ	ウロ	ムム素銀ン素	mg/L mg/L mg/L mg/L mg/L mg/L mg/L	0.01以下 0.01以下 0.05以下 0.01以下 0.0005以下 0.01以下 0.8以下	< 0.001 0.001 < 0.005 < 0.001 < 0.0005 < 0.001 < 0.08
	ほ	l ·	う	, <b>1</b> ,	素	mg/L	1.0以下	< 0.1
含 有 量	カー六ひ総セふほ	ド価ル	ミ鉛ク 水レっう	ウ ロ 	ム素銀ン素素	mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg	150以下 150以下 250以下 150以下 150以下 150以下 4000以下 4000以下 整硬で,かつ,異物,針 状固化物及びへん(扁) 平又は鋭利な破片などを 使用上有害な量を含んで	< 15 22 < 25 < 15 < 1.5 < 15 < 400 < 400
	> 7	1.52	5. ) 高 7	7 1 7		4.75 mm	はならない。	100
粒 度 FM 2.5	重量		上通る 「分			$2.36~\mathrm{mm}$ $75~\mu\mathrm{m}$	85~100 0~10	97 6
表	表 乾 密 度				g/cm <sup>3</sup>	2.45以上	2.89	
	. 7	火	率			%	3.0以下	0.19

ス化溶融プロセスと異なり、最終処分場の負荷低減と、 $CO_2$ 排出削減を同時に実現できるプロセスである。さらに、他施設の焼却灰の混合処理等多様なニーズにこたえることができる。また、何より安定稼働が可能なプロセスで $^{2)}$ 、環境負荷低減を実現できるプロセスである。当社はこのガス化溶融技術で、今後も継続して循環型社会・低炭素社会の構築に貢

献していきたい。

#### [参考文献]

- 1) 松村卓也ら:神鋼環境ソリューション技報, Vol.4, No.2 (2008), p.7
- 2) 伊藤正ら: 神鋼環境ソリューション技報, Vol.5, No.1 (2008), p.6

<sup>\*</sup>環境プラント事業部 第一技術部 設備技術室 \*\*第一技術部 技術室 \*\*\*第一技術部 計電装技術室 \*\*\*\*\*第二技術部 技術室 \*\*\*\*\*土建技術部

# 高度排ガス処理の流動床式ガス化溶融施設の完成 (川越市資源化センター熱回収施設)

Completion of MSW Fluidized Bed Type Gasification and Melting Plant with Advanced Flue-gas Treatment



黒岡達男\* Tatsuo Kurooka



中村敏治\*\* Toshiharu Nakamura



西 良一\*\*\* Ryouichi Nishi



青木 勇\*\* Isamu Aoki



西野 直\*\*\*\*
Tadashi Nishino

当社が2007年川越市より受注した川越市資源化センター熱回収施設は、2010年3月の竣工後ただちに90日連続運転を達成するなど、早期に安定稼働を実現している。また、本施設は国内でも最も厳しいレベルの排ガス基準に対応した流動床式ガス化溶融施設で、溶融スラグの有効利用、鉄とアルミの資源化、溶融飛灰の山元還元により最終処分場への負荷が小さく、循環型社会を促進する施設である。

Kawagoe Plant completed in March, 2010 has performed stable operation immediately and has achieved continuous operation of 90 days from the start. Kawagoe Plant accepts exhaust gas emission standard which is the most stringent level in Japan by Advanced Flue-Gas Treatment system. And it minimizes amount of final disposal by molten slag utilization, recycle of ferrous and aluminum recovered from gasification furnace and return of secondary fly ash to mine-mouth and contributes to promoting "Recycling-oriented Society".

#### Key Words:

都 市 ご み ガス 化 溶融 短 短 現 乗 数 処 分 負 荷 低 減 低 炭 素 化 社 会

Municipal solid waste (MSW)
Gasification and melting furnace
Advanced flue-gas treatment
Decrease in the final disposal load
Low carbonized society

#### 【セールスポイント】

国内で最も厳しいレベルの排ガス基準に対応した流動床式ガス化溶融施設が完成。高度な排ガス処理技術を採用するとともに、最終処分場の負荷低減と CO<sub>2</sub> 削減を同時に実現できる施設である。

#### まえがき

従来,都市ごみなどの廃棄物は主に焼却され,その残さは埋め立て処分されていた。しかし,1990年代に入り,ダイオキシン類に代表される有害物質の排出抑制や最終処分場の逼迫に起因するさらなる減容化が,ごみ焼却施設において求められるようになった。2000年1月にはダイオキシン類対策特別措置法の施行によりダイオキシン類(以下DXNsと記す)の排出規制が強化されたが,さらなる削減を推進している自治体もでてきている。また,近年地球温暖化問題への対処が強く求められる中,温室効果ガスである $\mathbf{CO}_2$ 排出量を削減し,エネルギーを積極的に利用することが求められている。

流動床式ガス化溶融プロセスは、省エネルギー性に優れるとともにコークス等の副資材使用が無く、CO<sub>2</sub>排出量の少ないシステムである。また、鉄およびアルミが未酸化で回収できるといった特長を有しており、地球温暖化の防止と循環型社会の実現に寄与するシステムである。

2010年3月に竣工した川越市資源化センター熱回 収施設では、竣工4カ月後には90日連続運転を達成 し、安定稼働を継続している。

# 1. 川越市資源化センター熱回収施設の概要と特長

川越市資源化センター熱回収施設(265 t/d (132.5 t/d×2炉))の施設概要を表1,また,施設の外観を写真1に示す。本施設は,一般収集ごみの他,リサイクル施設で発生する破砕残渣,可燃残渣,草木類資源化施設で発生する草木類残渣と,水害廃棄物も受入れている。

本施設の施設フローを図1に示す。本施設で新たに採用した給じんシステムは、水平式の給じんコンベヤから二重ダンパを経由して給じん装置に定量的にごみを切出すことで、設備の簡素化とごみ投入の定量性の向上を図っている。ガス化炉に投入されたごみは、ガス化され、発生した熱分解ガスは溶融炉で1200℃以上の高温で燃焼されるとともに、同伴された飛灰は溶融されスラグとして回収される。ガス化炉底部から抜出された不燃物は、鉄・アルミを回収した後、粉砕処理し溶融炉に吹込みスラグ化する。ボイラ、バグフィルタで捕集された飛灰は、加湿後系外に搬出され、重金属等の有価資源の回収を行っている(山元還元)。

燃焼排ガスはテールエンド式ボイラおよびエコノマイザにて排ガスの熱を蒸気として回収し、蒸気タービン発電機(定格出力4000kW)にて発電を行

表 1 施設概要

	7.0000000000000000000000000000000000000
施設名称	川越市 資源化センター 熱回収施設
処 理 能 力	265 t/d(132.5 t/d × 2 炉)
	可燃ごみ、破砕可燃、破砕残渣、草木 類残渣、水害廃棄物
受入供給設備	ピットアンドクレーン方式
ガス化溶融設備	流動床式ガス化炉+旋回流溶融炉方式
排ガス冷却設備	廃熱ボイラ+水噴霧方式
排ガス処理設備	バグフィルタ(1)+排ガス洗浄処理装置 +触媒反応塔+バグフィルタ(2)
発 電 量	4 000 kW



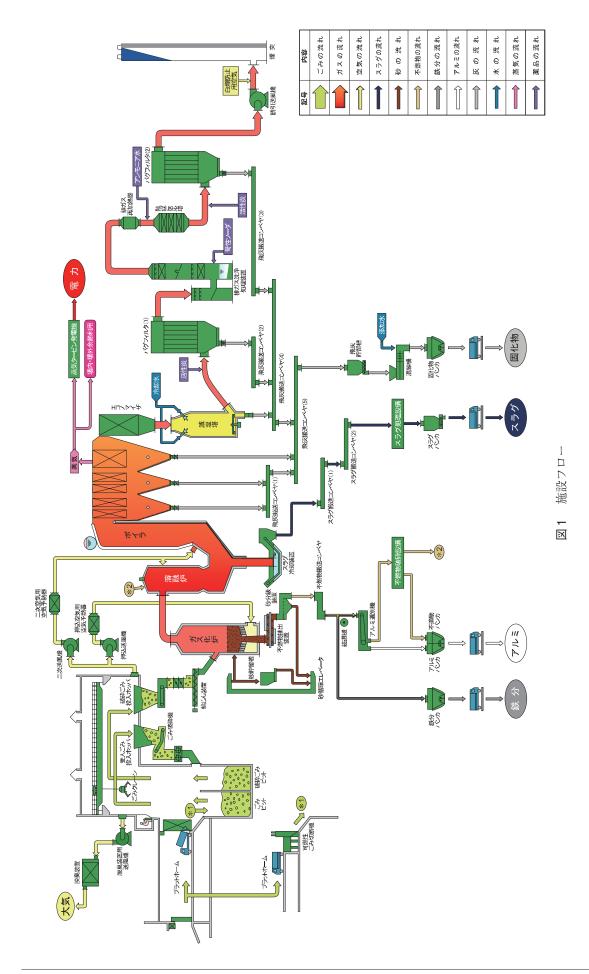
写真 1 施設外観写真

表2 本施設の排ガス基準

項目	基 準 値				
ばいじん	0.02g/m³ <sub>N</sub> 以下				
HCl	10 ppm 以下				
SOx	10 ppm 以下				
NOx	50 ppm 以下				
CO (4 hr 平均)	30 ppm 以下				
ダイオキシン類	0.005 ng-TEQ/m <sup>3</sup> 以下				

#### い. 余剰電力を電力会社に売電している。

本施設の排ガス基準を表 2 に示す。最も注目すべきは、排ガス中の DXNs 基準が、国内で最も厳しい0.005 ng-TEQ/m $^3$ N以下となっており、その基準を満足するよう排ガス処理設備の機器仕様を決定している。減温塔で170  $\mathbb C$  まで冷却された排ガスは、バグフィルタ(1)にて DXNs およびばいじんを除去し、排ガス洗浄処理装置にて HCI、SOx を吸収し、触媒反応塔にて NOx・DXNs の分解を行った後、DXNs 排出の予防保全対策として設置したバグフィルタ(2)を通過し、煙突から排出される。



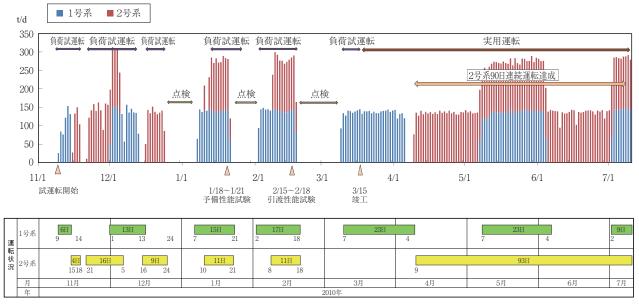


図2 運転状況

 表3
 引渡性能試験における排ガス測定結果

 1号系
 2号系
 1号系
 2号系

		1号系	2号系	1号系	2号系	基 準 値
ばいじん	$[g/m_N^3]$	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.02 g/m³ <sub>N</sub> 以下
NOx	[ppm]	21	37	40	30	50 ppm 以下
HC1	[ppm]	1	1	2	1	10 ppm 以下
SOx	[ppm]	<1	<1	<1	<1	10 ppm 以下
CO(4 hr 平均)	[ppm]	1	5	<1	3	30 ppm 以下
DXNs	$[ng\text{-}TEQ/m_N^3]$	0.00031	0.0011	0.000019	0.00012	0.005 ng-TEQ/m³ <sub>N</sub> 以下

#### 2. 運転実績

#### 2.1 運転実績

川越市資源化センター熱回収施設の試運転開始以降の処理実績を図2に示す。いずれの系列においても、定格処理量程度で安定した操業運転を行っており、2号系では竣工約4カ月後の2010年7月8日に90日連続運転を達成した。1号系においても引き続き90日連続運転に向けて安定稼働を継続している。

#### 2.2 排ガス処理性能

引渡性能試験における排ガス測定結果を表3に示す。HCl, SOx等の酸性成分除去には湿式スクラバによる処理を、NOxに関しては触媒反応塔の前にアンモニアを吹込み還元処理を行っており、排ガス基準値を安定してクリアできている。

つぎに、排ガス処理装置各所における DXNs 濃度の結果を**表 4**に示す。バグフィルタ(1)出口、触媒反応塔出口、煙突のそれぞれにおいて DXNs 濃度が十分に低く、DXNs 基準値0.005 ng-TEQ/m $_{\rm N}^3$ 以下を満足していることを確認した。

#### 2.3 最終処分場負荷の低減

本施設では鉄、アルミが未酸化状態(図3)で回

表 4 DXNs 濃度測定結果 (酸素濃度12 %換算值)

	DXNs 濃度 (ng-TEQ/m³ <sub>N</sub> )											
	BF (1) 出 口	触媒出口	煙  突	煙 突基準値								
1 号系 (1回目)	0.0057	0.000022	0.00031	0.005								
1号系 (2回目)	0.000054	0.0000013	0.000019									
2号系 (1回目)	0.0026	0.000023	0.0011									
2号系 (2回目)	0.000065	0.0000024	0.00012									



図3 鉄、アルミの回収状況

表5 スラグの性状

項目		頂	百 日			基準値および規格		定 結	果	
			卒毕旭わより 別俗	1回目	2回目	3回目				
	カ ド ミ ウ 鉛		A	mg/L mg/L	0.01以下 0.01以下	< 0.001 < 0.001	< 0.001 < 0.001	< 0.001 < 0.001		
	六ひ	価	ク	口	ム 素	mg/L	0.05以下 0.01以下	< 0.005 < 0.001	< 0.005 < 0.001	< 0.005 < 0.001
溶出量	総 水		銀	mg/L mg/L	0.0005以下	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005		
	セふ		レっ		ン 素	mg/L mg/L	0.01以下 0.8以下	< 0.001 < 0.08	< 0.001 < 0.08	< 0.001 < 0.08
	ほ		う		素	mg/L	1.0以下	< 0.1	< 0.1	< 0.1
含有量	カー六ひ総に	ド価	ミ鉛ク 水,	ウロ	ムム素銀	mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg mg/kg	150以下 150以下 250以下 150以下 15以下	< 15 49 < 25 < 15 < 1.5	< 15 44 < 25 < 15 < 1.5	< 15 68 < 25 < 15 < 1.5
	セふほ		レっう		ン素素	mg/kg mg/kg mg/kg	150以下 4000以下 4000以下	< 15 < 400 < 400	< 15 < 400 < 400	< 15 < 400 < 400
外   観			堅硬で、かつ、異物、針 状固化物及びへん(扁) 平又は鋭利な破片などを 使用上有害な量を含んで はならない。	良 好	_	_				
粒 度 ふるいを通るものの		カの	4.75 mm	100 85~100	100	_	_			
FM 2.5	重量	重量百分率(%)				$2.36~\mathrm{mm}$ $75~\mu\mathrm{m}$	85~100 0~10	96 4	_ _	_
表	乾	密	度			g/cm <sup>3</sup>	2.45以上	2.79	_	_
吸		水	率			%	3.0以下	0.4	_	_

収できるため、既に有償にて売却されている。また、本施設は併設するリサイクル施設から発生するリサイクル残渣を受け入れているが、スラグは表5に示すように、重金属の溶出、含有量や、各種物理性状ともすべてJISA5032に適合し、アスファルト舗装用の混合材として有効利用されている。さらに、ボイラ、バグフィルタで捕集された飛灰についても、表6に示すよう溶融による非鉄金属成分の濃縮によって、山元還元による有効利用が行われている。以上のように、流動床式ガス化溶融炉からの排出物のほとんどが再利用されており、循環型社会の実現に貢献する技術であるといえる。

#### 2.4 ごみ焼却にかかる CO2 排出量の削減効果

表7に本施設の2炉運転時におけるエネルギー収支とCO<sub>2</sub>収支を示す。本施設はボイラおよびエコノマイザを用いて排ガスから熱を蒸気として回収し、加えて低温触媒の採用により排ガスの再加熱に使用する蒸気量を抑えており、2炉運転時の発電原単位の実績は346 kWh/ごみt、場外・場内の余熱利

表6 溶融飛灰の分析結果

項	目	含 有 濃 度				
Pl	b	4 400~5 000 mg/kg				
C	u	2 500~2 900 mg/kg				
C	1	14.0~15.0 %				
S		1.41~1.83 %				
N	a	6.58~7.56 %				
C	a	16.7~17.2 %				
K		5.44~5.76 %				

用と合わせてプラント総合熱効率は20.5%と高い。本施設は、プラント消費電力と都市ガスバーナの燃料使用に伴う $CO_2$ 排出量に対して余剰電力と余熱利用に伴う $CO_2$ 削減量の方が大きいため、 $CO_2$ 排出量の収支がマイナスで、ごみ焼却に伴ってごみ1t当たり104kgの $CO_2$ 削減効果が得られている。

#### むすび

川越市資源化センター熱回収施設は、国内でもっとも厳しいレベルの排ガス基準 (DXNs ≦0.005 ng-

表7 エネルギー収支および CO2 収支

		入	出							
物質収支		$ \begin{vmatrix} 1.0 \text{ t } & (9290 \text{ kJ/kg}) \\ 2.5 \text{ m}_{\text{N}}^3 / \text{ TA t } & (40616 \text{ kJ/m}_{\text{N}}^3) \end{vmatrix} $		346 kWh/ ごみ t(3 600 kJ/kW) 0.2 t/ ごみ t(2 945 kJ/kg)						
熱収支	ごみ発熱量都市ガス発熱量		発 電場外余熱利用 (*2)場内余熱利用							
	合 計	9.4 GJ/ごみ t	合 計	1.9 GJ/ ごみ t						
	買 電 力	$0 \text{ kgCO}_2$ / $\circlearrowleft \lambda t \ (0 \text{ kWh} / \circlearrowleft \lambda t)$	余 剰 電 力	70.1 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t (165 kWh/ ごみ t)						
CO <sub>2</sub> 収支 (*1)	都市ガス	5.1 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t	余 熱 利 用 (場 外・場 内)	38.7 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t						
	合 計	5.1 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t	合 計	108.8 kgCO <sub>2</sub> / ごみ t						
発電効率(* 3) 13.3 %										
総合熱効率 (発電+余熱利用)(*4) 20.5%										
CO <sub>2</sub> 削減量	<u>.</u>	104 kgCO <sub>2</sub> / ごみ	· t							

- (\*1) 排出係数は電気 0.000425 tCO<sub>2</sub> /kWh, 都市ガス 0.0138 tC/GJ, 熱供給(蒸気) 0.057 tCO<sub>2</sub> /GJ とする。 (環境省・経済産業省:温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver. 2.4より)
- (\*2) 場外余熱利用:将来建設予定の場外余熱利用設備に高温水を供給する計画熱量
- (\*3) 発電効率= (発電 kWh ×3600 kJ) ÷ (ごみ発熱量+都市ガス発熱量)
- (\*4) 総合熱効率= ((発電量 kWh × 3600 kJ) + (余熱利用熱量)) ÷ (ごみ発熱量 + 都市ガス発熱量)

TEQ/ $m_N^3$ ) を設定して運転管理し、安定操業を継続している。また鉄、アルミ、スラグの有効利用や飛灰の山元還元による有価資源の回収を行うとともに、焼却処理に伴うエネルギーの有効利用を図っている。今後も継続して安定稼働の達成や最終処分量、 $CO_2$  排出量の低減に取組み、循環型社会と地球温暖化防止の促進に寄与していきたい。

#### [参考文献]

- 1) 松村卓也ら:神鋼環境ソリューション技報, Vol.4, No.2 (2008), p.7
- 2) 伊藤正ら:神鋼環境ソリューション技報, Vol.5, No.1 (2008), p.6
- 3) 藤田淳ら:神鋼環境ソリューション技報, Vol.5, No.2 (2009), p.21

<sup>\*</sup>環境ブラント事業部 第一技術部 設備技術室 \*\*第一技術部 計電装技術室 \*\*\*\*土建技術部 \*\*\*\*商品市場・技術開発センター プロセス技術開発部 廃棄物処理室 \*\*\*\*\*神鋼環境メンテナンス(株) 工事部 第三工事室

## 流動床式ガス化溶融炉の長期連続安定稼働

Long-term, Continuous and Stable Operation of MSW Fluidized-bed Gasification and Melting Plant



水岡 翔\* Sho Mizuoka



木下民法\*\*
Taminori Kinosita



伊藤 正\* Tadashi Ito



荒川康明\*\* Yasuaki Arakawa

2000年10月に流動床式ガス化溶融炉1号機として中部上北清掃センターに納入して以来,現在までに技術供与を含め計12施設が竣工し,いずれも安定稼働している。当社では流動床式ガス化溶融技術に係る要素技術と操業技術の向上に努め,この度,ビュークリーンおくえつでは,流動床式ガス化溶融炉では国内最長連続運転実績となる308日を達成し,ストーカ式焼却炉と同等の安定性を証明した。長期連続安定稼働は、今日求められている CO<sub>2</sub> 排出量削減やライフサイクルコスト(LCC) 低減に寄与するものである。

Since the first plant of Chubu-kamikita plant in October 2000, KOBELCO ECO-SOLUTIONS CO.,LTD has completed totally 12 plants including the licensing of technology. All of our completed plants have successfully performed stable operation. Our company tried to improve the elemental technology and the operation technique that specialized in the fluidized-bed gasification and melting process. This time, Okuetsu plant has achieved continuous operation of 308 days that became the longest in Japan. This proved stability more than the equal to the mechanical stoker type incinerator. The long-term, continuous stable operation contributes to the CO<sub>2</sub> exhaust amount reduction and the LCC decrease requested today.

#### Key Words:

都 市 ご み ガス化溶融炉 高度排ガス処理 長期連続安定運転 Municipal solid waste (MSW)
Gasification and melting furnace
Advanced flue-gas treatment
Long-term, continuous stability operation

#### 【セールスポイント】

当社の流動床式ガス化溶融炉は、長期連続運転が可能であり、安心・安全に加え環境保全性や 経済性に優れた施設としてご提供いたします。

#### まえがき

これまで公衆衛生の確保とダイオキシン類をはじめとした有害物質の削減による環境保全を求められてきたごみ焼却施設であるが、それを取り巻く環境は、大きく変化している。2008年度より京都議定書の第一約束期間がスタートし「CO2排出量削減」の機運が高まる中、2009年度からは高効率ごみ発電を達成可能な施設には施設建設にかかる交付金の交付率を1/3から1/2に拡充する支援策が施行されるなど「熱回収施設」として位置づけられるようになった。また、自治体の財政難の中、ライフサイクルコスト(LCC)のより一層の削減が求められるようになっている。

当社ではそれらに応えるべく流動床式ガス化溶融技術にかかる要素技術と操業技術の向上に取組んでいる。この取組みによりビュークリーンおくえつ(福井県)<sup>1)</sup>では、2007年に228日の連続運転を達成し、この度、流動床式ガス化溶融炉では国内最長連続運転実績となる308日を達成した。本実績は「ごみ処理施設性能指針」で求められる90日連続運転を大幅に上回るものであり、ストーカ式焼却炉と同等の安定性を証明するものである。

本報では、ビュークリーンおくえつの稼働実績に 加え、連続運転による効果について示す。

#### 1. 流動床式ガス化溶融炉の特長

当社は前述の通り、現在までに海外での技術供与を含め計12施設を竣工させている。いずれの施設も順調に安定稼働を継続している。

流動床式ガス化溶融炉は、流動床式ガス化炉と旋回流溶融炉から構成される。当社は、流動床式ごみ焼却炉で30年以上の稼動実績、旋回流溶融炉で20年以上の稼動実績を持ち、流動床式ガス化溶融炉はこ

表1 施設概要

施設名称	ビュークリーンおくえつ
施設規模	84 t/d (42 t/d × 2 炉)
処理方式	流動床式ガス化溶融炉
受入供給設備	ピットアンドクレーン方式
排ガス冷却設備	廃熱ボイラ+水噴射方式
排ガス処理設備	無触媒脱硝+バグフィルタ
公害防止自主基準	ばいじん : 0.01 g/m³ <sub>N</sub> 以下 硫黄酸化物: 50 ppm 以下 窒素酸化物: 100 ppm 以下 塩化水素 : 50 ppm 以下 一酸化炭素: 30 ppm 以下 DXNs 類 : 0.1 ng-TEQ/m³ <sub>N</sub> 以下

れらの実績に基づく技術を融合した信頼性の高いシステムである。

また、ごみの保有するエネルギーを最大限に利用して熱分解・溶融処理および熱回収まで一連のプロセスで行うことが出来るため、溶融のための化石燃料(灯油や都市ガス、コークスなど)や電気エネルギーを大幅に削減することが可能である。つまり、化石燃料の削減による「CO2 排出量の削減」と溶融スラグの有効利用による「最終処分量の削減」を両立できる「資源循環型プロセス」と言える。

#### 2. 施設の概要

#### 2.1 処理フロー

308日連続運転を達成したビュークリーンおくえつの施設概要を表1に、処理フローを図1に示す。処理対象物は一般収集ごみのほか、併設されたリサイクル施設の可燃残さ、下水汚泥である。ごみピットはダブルピット方式を採用しており、ごみ破砕機は、ガス化炉へのごみ供給ラインと切り離したプロセス(オフライン化)を採用している。ごみはごみ破砕機で破砕された後にガス化炉へ供給され、炉底から供給した空気により砂層内でガス化される。また、流動床炉は分級機能を有しており、ごみ中の不燃物は流動砂とともに中央の抜出管から連続排出され、鉄やアルミなどの金属類が未酸化の状態で回収できる。

ガス化炉で発生した可燃性ガスと未燃炭素は溶融炉で1250℃以上の高温で完全燃焼されるとともに、同伴された飛灰は溶融される。また、鉄やアルミを回収された後のガレキ類は粉砕後、溶融炉に供給され、飛灰とともに溶融される。溶融スラグはスラグ冷却装置で水砕された後、さらに粒度調整を施され、スラグヤードに蓄えられる。

溶融炉からの高温の排ガスはボイラで熱回収,減温塔にて約170℃に冷却された後,バグフィルタにてばいじん,塩化水素,ダイオキシン類などの有害物質を除去され、煙突より系外に排出される。

ボイラで発生した蒸気は燃焼空気および白煙防止空気の予熱,誘引送風機用タービンの駆動,場内施設の給湯・暖房および隣接する健康保養施設への給湯に用いられる。また,太陽光発電装置,風力発電装置を敷地内に設置しており,発電電力は場内にて利用されている。

#### 2.2 運転体制

本施設の運転体制を表2に示す。整備班が日常からの点検整備を実施することにより予防保全を図っている。また、整備班と運転班の役割分担を明確に

し、かつ連携を図ることで効率的な運営を行っている。この運転体制は運転稼働開始時より変更することなく継続されており、各運転員の技量が習熟してきた現在ではより一層充実した運転・整備が行えている。

#### 3. 運転実績

ビュークリーンおくえつにおける308日長期連続 運転時の処理実績を表3および図2に示す。図2に 示すとおり、2009年2月から12月の計画停止までの

表2 運転体制

(ガス化溶融施設)

職種	人数	職務内容
所 長	1	統括
副所長	1	副統括 (整備班長兼務)
事 務	1	事務全般
運 転 班 4名/班×4班	16	施設運転 (用役受入、ごみクレーン操作含む)
整備班	5	給油、消耗品交換、保全全般
合 計	24	

延べ308日の長期連続運転を達成した。

連続運転実施期間中の全処理量は14 156トン(汚 泥641トン含む)である。

当社はこれまで計12施設を竣工させており、これら多くの施設の運転実績をふまえ、技術課題を克服し、継続的な技術改善をおこなってきた。今回、このような長期連続運転が達成できた大きな要因としては、要素技術が完成の域に達したことに加えて、操業技術の向上の成果が表れたものと言える。

#### 4. 長期連続運転による効果

長期連続運転を達成することにより,以下に示す ような効果が得られる。

#### 4.1 起動停止回数の低減による CO<sub>2</sub> 削減

長期連続運転を行うことにより、年間の起動停止 回数の低減が可能となる。これに伴い、起動停止に 必要な化石燃料および電力が削減できる。例えば、 2炉構成の施設において、連続運転期間を90日とし た場合と180日とした場合の年間操炉計画を比較し たものを図3に示す。

図3の通り連続運転期間を180日とすることによ

		2009年									
	2月	2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12								12	
ごみ投入量 (t)	134	1 481	1 382	1 342	1 310	1 334	1 289	1 239	1 349	1 319	1 336
汚泥投入量 (t)	6	73	71	69	66	50	47	68	62	54	75
合 計(t)	140	1 554	1 453	1 411	1 376	1 384	1 336	1 307	1 411	1 373	1 411

表3 月別処理量

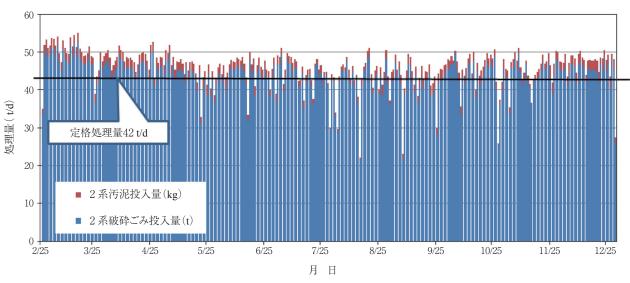
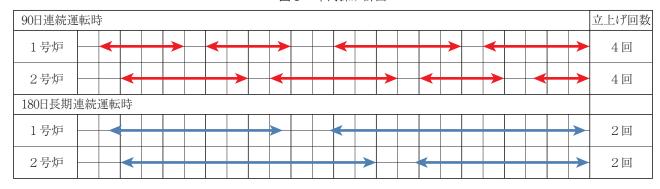


図2 長期連続運転時の処理実績



り年間の起動停止回数は、4回分削減可能になる。 これを $CO_2$ 排出量に換算すると5.8 kg- $CO_2$ /ごみ t に相当する。

#### 4.2 耐火物の長寿命化

ガス化炉、溶融炉および二次燃焼室には、壁面部に耐火物が施工されている。起動停止に伴い耐火物にはヒートショックが加わり、時には耐火物損傷の原因となる。長期連続運転により頻繁な起動停止を避けることにより、耐火物の損傷リスクを低減し長寿命化を図ることが可能となる。

#### むすび

流動床式ガス化溶融炉1号機である中部上北清掃センターが竣工してから約10年が経過した。この間に竣工した12施設の建設および操業を通して技術の改善と蓄積を行ってきた。その結果、都市ごみ用ガ

ス化溶融炉において国内最長となる300日を超える 長期連続運転を達成できた。本成果は、流動床式ガ ス化溶融炉が、ストーカ式焼却炉に比肩する安定性 を有するものであることを証明するものである。

今後は、今回の経験をふまえ、流動床式ガス化溶融技術の向上に取り組み、 $CO_2$ 排出量、最終処分量の削減および LCC の低減に寄与していく所存である。

最後に、今回の連続運転実施にあたり、多大なご協力をいただきました大野・勝山地区広域行政事務組合殿に深く感謝申し上げるとともに、現地操業に携わる運転員各位に謝意を表します。

#### [参考文献]

1) 伊藤正ら: 神鋼環境ソリューション技報, Vol.5, No.1 (2008)

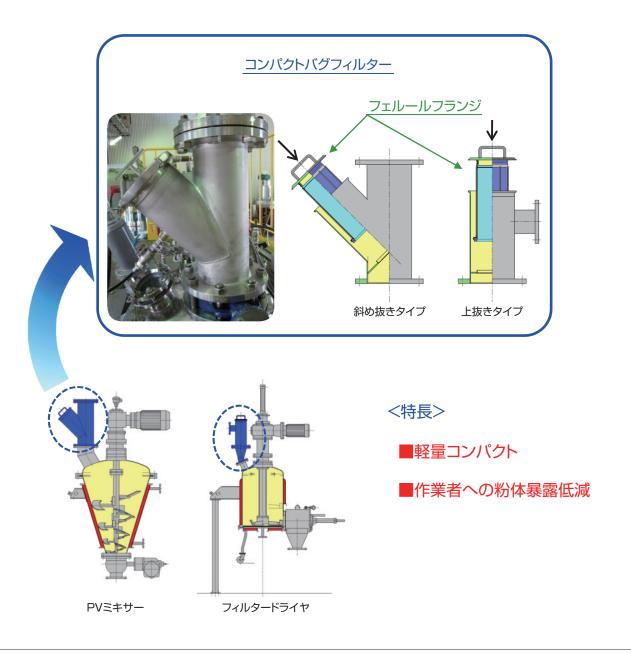
<sup>\*</sup>環境プラント事業部 第一技術部 技術室 \*\*第一技術部 設備技術室



# 粉体乾燥機用コンパクトバグフィルター

当社の SV ミキサー, PV ミキサー, フィルタードライヤ等の粉体乾燥機は, バグフィルターを設置して 飛散粉体を捕集しています。近年, 粉体乾燥機は少量多品種生産の増加により, 小型の粉体乾燥機のニーズ が高まっていますが、これまでは小型粉体乾燥機に合う小型のバグフィルターがありませんでした。

コンパクトバグフィルターは、小型の粉体乾燥機にも無理なく設置でき、作業者への粉体暴露が少なく、 簡単にフィルター交換が可能です。





# モデル ワンタッチ脱着式 CDB 吸引管フィルター

当社の粉体乾燥機 CDB(コニカルドライヤ)は、缶内の吸引管にフィルターを設置して飛散粉体を捕集しています。

これまでの吸引管のフィルター交換は、缶内での作業に時間がかかっていましたが、ニューモデルは簡単 にフィルター交換が可能で、より確実なシール構造により粉漏れを低減しました。

