



神鋼環境ソリューション **技報**

Vol.13 No.1 (通巻25号)

**KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS**

目次	CONTENTS
1 <巻頭言> 循環産業海外展開と日本の廃棄物処理技術の方向	
2 グラスライニング創業 70 年を迎えて	70 Years Progress of Glasslining Business
15 あべのハルクス向け都心型バイオガスシステムの 安定運転結果	Experience with Stable Operation of Urbanized Biogas System Installed in iOsaka's Landmark Building "ABENO HARUKAS".
21 相模原市南清掃工場の安定した操業状況	The Stable Operation Results of Minami Waste to Energy & Recovery Plant
27 セシウム汚染土壌を対象とした加熱化学処理 パイロット実証	Pilot Scale Experiment for Cesium Contaminated Soil by a Thermal-Chemical Treatment Method
35 高純度水素発生装置「HHOG」の足跡と 今後の展望	Past Trend and Future Outlook of High-purity Hydrogen Oxygen Generator (HHOG)
43 施設・技術紹介	
46 TOPICS	
47 (株)神鋼環境ソリューション登録特許・意匠一覧 (2015年4月1日～2016年3月31日まで)	

## 循環産業海外展開と日本の廃棄物処理技術の方向



(一財) 日本環境衛生センター

副理事長 藤吉 秀 昭

Hideaki Fujiyoshi

最近、環境省や JICA からの依頼でアジアや中近東の国々の廃棄物処理に関するセミナーやワークショップに招かれることが多い。これらの国々で日本のごみ処理制度や技術の歴史を紹介しているが、改めて日本のごみ処理制度や技術の特長を再認識させられることが多い。そこで、日本の循環技術を創造してきた企業やそこで活躍する技術者に伝えたい思いをここに述べてみたい。

日本のごみ処理システムはきわめて完成度が高いと言われている。日本に来た海外の人たちは日本の焼却施設がきれいなことに驚く。各家庭でごみが分別され資源化されていると聞き感心する。しかし、このような状態は長い経緯を経て今日に至ったもので、国や地方自治体の並々ならぬ努力の成果である。その特長を一言で言うと国家的な制度構築と民間企業が担当した技術開発が両輪で発展してきたものである。

わが国がごみ処理の基本を確立したのは1965年の第1次廃棄物処理施設整備5カ年計画を策定した時で、国が廃棄物処理施設整備の計画を立てて補助金により地方政府の施設整備の支援を行うことを決めた時点だと私は思う。それを前提に地方自治体は計画的な施設整備を行うことを要求された。彼らは同時に入札手続きと技術評価に高い関心を持っていた。そのため国は施設整備に係る構造指針、指針外協議、性能指針、第3者評価といった制度を構築してきた。建設された施設は丁寧な維持管理がなされ運営の中で発生してきた問題を技術開発等で解決してきた。このことが技術の成長を促してきた。

しかし、循環技術の海外展開に係わっていると、この制度のマイナス面が目立ってくる。国からの建設費に対する厚い補助があるために、自治体の処理方式がすべて焼却処理に向かい、処理の多様性がない。コスト意識が希薄なため、コスト制約下での工夫がない。一方、アジアのごみ処理の現実はどうであろうか？ 多くのハードルが横たわっている。国の支援が少ない（法整備面、建設費補助など）。地方自治体に十分な予算がない。地方自治体に十分な人材がない。このような中でもごみ処理の近代化が各国の首都圏で進み始めている。PPP手法でのごみ処理事業の導入、ごみ発電による売電収入と地球温暖化ガス削減のクレジットで処理手数料をかなり下げることができるようになってきたためだ。アジア基準の手法や技術が普及しそうな状況にある。そのような傾向の中でわが国循環産業はプラント売りの部分で苦戦しているのが現状である。その大きな理由が先に述べた技術の高コスト性と過剰品質にある。

国内の廃棄物処理施設整備の需要はいつまで続くのだろうか？ 現状のダイオキシン類対策改造後の基幹施設整備と建替え需要の後にはもう続かない、需要は出ても地方自治体の廃棄物関連予算は縮小を余儀なくされ、施設整備の予算制約は大きくなる、との意見もある。循環産業にとって悲観的な予想であるが、そうなれば、技術の経済性を徹底する工夫が技術開発課題の中心となる。このような状況の到来を予測して今から準備が必要である。日本人の工夫する力を発揮して、アジア各国の各地方の制約条件を踏まえた新たな技術の創造を期待したい。

# グラスライニング創業70年を迎えて

## 70 Years Progress of Glasslining Business



宮内啓隆\*  
Hiroataka Miyauchi



大川敦彦\*\*  
Atsuhiko Okawa



多田篤志\*\*  
Atsushi Tada



北岡俊男\*\*\*  
Toshio Kitaoka



椿野直樹\*\*\*\*  
Naoki Tsubakino

グラスライニング製機器は、戦後の経済成長とともに発展し、今日の化学、医薬、食品産業において、欠かすことのできない耐食機器として使用されている。本報では、株式会社神戸製鋼所の珐瑯部門から始まったグラスライニング70年の歩みをグラス、製造技術・設備ならびに反応機として重要な攪拌機の変遷を追って振り返る。とくに、国内市場において高度化するグラスライニング製反応機のニーズに対応した当社の機能性グラスを紹介する。加えて、当社がさらなる歩みを進めるための将来的な展望をグローバルな視点から述べる。

Glasslined equipment has been developed with postwar economic growth, and nowadays widely used in chemical, pharmaceutical and food industry as a corrosion-resistant material that can't be replaced. This report reviews 70 years progress originated in Kobe Steel, Ltd., through historical development of glass, manufacturing facility and agitator. Particularly, series of our functional glass satisfying sophisticated needs of the domestic market are presented. In addition, our future prospects for further progress are indicated based on the global point of view.

### Key Words :

グラスライニング  
機能性グラス  
攪拌技術  
製造設備

Glasslining  
Functional glass  
Mixing technology  
Manufacturing facility

### まえがき

株式会社神鋼環境ソリューション（1954～1989年：神鋼ファウドラ株式会社、1989～2003年：神鋼パンテック株式会社）は1954（昭和29）年に設立された。しかしその生立ちをたずねるならば、さらに古く1946年にまで遡ることになる。この年、当社の前身である株式会社神戸製鋼所の珐瑯部門が事業を開始した。

「珐瑯（ほうろう）」とは、鋼板の表面にガラス質の釉薬を焼付けることで鋼板表面に美観や装飾性、

清潔性を持たせた材料であり、食器や台所用品、建材パネル等に広く使用されていた材料である。一方、「グラスライニング」は邦名「耐酸珐瑯」とも呼ばれ、この「珐瑯」の技術を発展させたことでより耐食性の高い材料となっている。

本年2016年は、当社のグラスライニング技術の礎となった珐瑯製品の製造開始から70年目にあたる。本稿にてその技術や設備などの変遷、加えて近年国内市場における多様化する機能性ニーズに対応したグラスや将来の展望について述べる。

## 1. グラス（釉薬）の変遷

一般的に鋼板は腐食環境には弱く、通常使用する場合は表面を塗装やメッキなどの防食処理により環境遮断をすることでその耐食性を高めている。しかしながら、より腐食環境の厳しい酸や高温の溶液などを使用する設備に対して、一般の塗装やメッキなどでは鋼板の防食をすることはできない。

ガラスライニング材料は、酸や各種薬剤に対する耐食性が高いガラスを鋼板の表面に焼付けた金属とガラスの複合材料であり、構造物として高い強度を持ちながら、かつ化学的耐食性も高い材料として知られている。したがってガラスライニング材料においてこのガラス自体の機能や性能は製品の生命線とも言えるもので、当社においては創業期から、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継がれている。まずはこのガラス（釉薬）の変遷について紹介する。

### 1.1 黎明期（珐瑯からガラスライニングへ）

1946年から株式会社神戸製鋼所の珐瑯部門で製造を開始した洗面器や食器などの家庭用品の珐瑯製品は海外向けの輸出品として好評を博していた。

一方、神戸製鋼所が立地する神戸市東部は灘の銘酒の産地として有名であり、この灘五郷の各酒造会社は戦災により被害を受けていた。当時使用していた木製のタンクは焼け、珐瑯製のタンクは破損し当時材料不足のため、新品のタンクの入手が困難であったことから、タンクの修理・再生は各酒造会社の要望するところであった。これに応え、1948年に珐瑯製酒タンク用の焼成炉として大型炉を導入、翌1949年からは修理のみならず新品の酒タンクの製造を開始した。

同時に、この酒タンクの製造と並行し、それまでの珐瑯用釉薬をベースに、より耐食性を高めたガラスライニング用のガラス（釉薬）の研究を進め1950年には製薬会社ユーザへ500 LTの反応機を納入した。

### 1.2 グラスライニング技術の確立

酒タンクの修理・製造のみならず、化工機分野への適用拡大に伴い、機器製造における大容量タンクに関する設計・製作技術上の問題、より高いガラスの耐食性能、耐熱性などの問題を解決すべく、当時世界のガラスライニング機器メーカーでもっとも優れていた米国ファウドラ社をパートナーとし、当社は1954年に神鋼ファウドラ株式会社として設立された。

### 1.3 標準ガラスの変遷

当社が現在まで、その時代毎に標準のガラスとし

て使用してきたガラスを表1「ガラスライニング70年の略史年表」に示す。

設立時の標準ガラス #5300は  $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ 系ガラスでアルカリ成分は15%で大きな特長は無いが熔融軟化性に優れスムーズで綺麗な表面状況を示した。

その後、当社の標準ガラスはその主な用途である化学・医薬産業の化学的高耐食性能のニーズに合わせるべく、耐熱衝撃性、耐酸性、耐水性の向上も進めた #5900ガラスとなった。

その後 #6100ガラスを経て、60年代の終わりには  $\text{ZrO}_2$  を含む珪酸塩ガラス #3300を開発し、耐酸性、耐水性、耐アルカリ性を飛躍的に向上させた。

その後、より耐酸性能、耐水性能を向上させた #3100ガラスを経て、80年代半ばに、 $\text{ZrO}_2$ の他に当社独自の成分を添加することでガラスライニングの施工性、耐酸性、耐水性、耐アルカリ性の全ての性能を究極までバランス良く向上させた #9000ガラスの開発に至った。このガラスについては、その施工性、性能バランスの良さ故、現在も標準ガラスとして使用されている。

上記の各標準ガラスの耐食性比較を図1に示す。

### 1.4 耐付着表面改質「Ag処理」

60年代から、ガラスライニング製の反応機がポリマなどの合成樹脂の重合に使用されていたが、初期の使用時には付着は問題ないものの、長期間使用するに従い、内容物のポリマがガラスライニング表面に付着し、製品の歩留まり、品質の低下や機器洗浄による稼働率の低下などが大きな問題となっていた。この問題に対して、ガラスで行われている表面改質技術を応用し、ガラスライニング層表面に化学的な処理を行うことで表面改質させ、ポリマなどの付着を減少させる「Ag処理」技術を開発した。

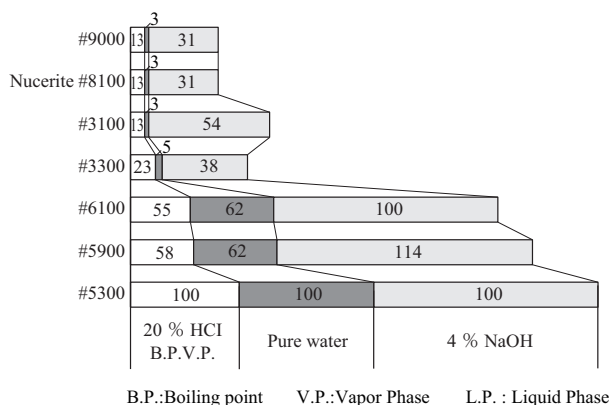


図1 標準ガラスの耐食性比較

表1 グラスライニンング70年の略史年表

項目	年 代							
	1940～	1950～	1960～	1970～	1980～	1990～	2000～	2010～
当 社 活 動	1946 ㈱神戸製鋼所珪酸部門が珪酸製品の製造を開始 1948 酒タンク修繕を開始 1949 酒タンク製造開始 1949 化工機用「耐酸軸葉」の採用	1950 化工機 1号機納入 1954 神鋼フアウドラ(機)設立	1963 技術センターの設置 1966 「工業用ガラスライニンング製大型反応器の開発」により石油学会技術進歩賞受賞	1975 化工機のアフターサービス会社「神鋼フアウドラサービス(機)」を設立	1989 「神鋼バンテック(機)」社名を「神鋼環境ソリューション」に変更 1994 大証2部上場 1995 阪神淡路大震災	1992 グラスライニンング神戸工場を播磨製作所へ移設・統合 神戸ハイテクパーク内に「技術研究所」を建設	2003 社名を「神鋼環境ソリューション」に変更	
グラスライニンング用グラス	1954～標準グラス「#5300グラス」 1963～標準グラス「#5900グラス」 1963～標準グラス「#6100グラス」 1969～標準グラス「#3300グラス」	1977～標準グラス「#3100グラス」 1970～耐付着表面改質「Ag処理グラス」	1981～グラスライニンング用フリット(ガラス)の国産化開始 1985～標準グラス「#9000グラス」	1981～グラスライニンング用フリット(ガラス)の国産化開始 1985～標準グラス「#9000グラス」	1991～耐アルカリグラス「#4300グラス」	2003～医薬用グラス「PPG」導入 2004～耐静電気グラス「ECOGL」 2005 低溶出グラス「#9000AF」 2010～耐静電気グラス「ECOGL II」 2011～低溶出グラス「#9500グラス」 2015～高伝熱グラス「#9000HT」		
機 操 業	1954～フアウドラ一翼					1991～高効率攪拌翼「フルゾーン」 2001～新標準攪拌翼「ツインスター」		
グラスライニンング製品	1946 ㈱神戸製鋼所珪酸部門から商標「フランクキャット」ブランドで珪酸鉄器を輸出 1950 珪酸製建築用パネルの生産開始 1955～大型酒タンク・ビールタンク製造開始 複化ビニル製専用グラスライニンング製重合槽の製造開始 ポリオレフィン等の合成樹脂、合成ゴム製造のためのグラスライニンング機器の製造開始	1961～ポリプロピレン、ネオプレン、など合成樹脂・繊維、ゴム用の機器、医薬品製造用途向けのグラスライニンング機器の製造増加 1963～ユーテリイテリ型酒タンク 1966～グラスライニンング製フイインター	1971～グラスライニンング製薄膜蒸発機の製造開始 1971～グラスライニンング製薄膜蒸発機の製造開始	1981～低温用グラスライニンング機器、CMP対応機器、コンカールドライヤープレントナー、濾過乾燥機、多管式熱交換器など様々なグラスライニンング製機器を開発・販売開始。				
工場・設備	1946 ㈱神戸製鋼所山手工場 軸葉溶解用つばば、電気炉 1948 酒タンク焼成用石炭ガスマッフル焼成炉1号炉完成 自動挿入・矯正機構付2号炉増設	1953 重油焼成炉 3号炉完成 引継ぎ、4号炉5号炉導入 1955 都市ガス重油併用新1号炉(東洋最大)	1962 神戸工場完成 1963 世界最大箱型電気炉8号炉完成 1968 大型組立工場増設	1976 大型電気炉8号炉の合理化工事 1985 PC制御によるアクセサリ用3号炉	1986 中製缶体用ラジアンテナチューブ炉5号炉完成	2000 3号炉を電気からガスラジアンテナチューブ炉へ改造 2001 NEDO省エネ設備として1号炉を電気からガスラジアンテナチューブ炉へ改造	2013 ベトナム・ロンドウック工場 操業開始 2016 工場照明LED化	

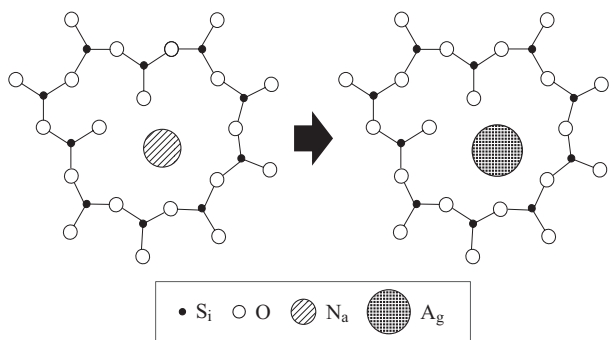


図2 Ag 処理技術ガラス骨格模式図 (Na<sup>+</sup> から Ag<sup>+</sup> にイオン結合が変化)

ガラスライニング層において付着増加の要因として考えられるのは表面の電気化学的な性状、および粗度などの物理的な性状の変化が考えられる。様々な方向から検討、実験を行い、ガラス中の Na イオンを Ag イオンで置換 (図2 参照) することで、ガラスの耐水性を3倍に向上させることができた。耐水性向上のメカニズムとしては、通常、腐食の初期段階においてガラス表層から動きやすい Na イオンが溶出しガラス表層の電気化学的な性状が変化してしまうが、この Na イオンを Ag イオンに置換することでイオンが動きにくくなった結果、耐水性が向上したと考えられる。加えて、耐水性が向上したことで長期間表面粗度の変化も少なくなり、耐付着性能が長期間継続する好結果となった。70年代以降、数多くの合成樹脂重合用のガラスライニング重合反応機に使用されている。

ガラスライニングの表層を改質するこの表面改質技術は当社独自の技術であり、後々の新しい機能性ガラスの開発においても、本技術がその礎となっている。

### 1.5 耐衝撃性ガラス ヌーセライト #8100

ガラスライニングは、金属とガラスという熱膨張率の異なる材料を複合させることで、焼成後にガラス層に残留圧縮応力が掛かるよう設計された材料であるため、通常のガラスより機械的強度が強化されており、数倍割れにくくなっているが、<sup>1)</sup> それでも「ガラスは割れる」というイメージが強い。そこで「割れないガラスを」というニーズに応え開発したのが「ヌーセライト」である。この名称はライニング可能な結晶化ガラスを意味している。ガラス層中に結晶を生成させることで耐衝撃性、熱伝導率、耐摩耗性を向上させている。ただし、一般的には非晶質であるガラスと比較すると結晶化ガラスの耐食性が低下するため、化学的耐食性が要求されるライニング層の最表層には高耐食性標準ガラスを施工し、

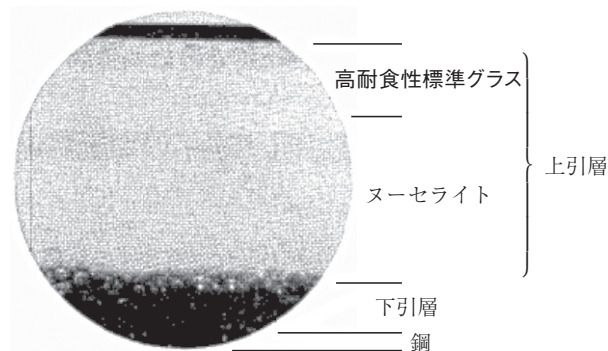


図3 耐衝撃ガラス「ヌーセライト」の複層構造 (神鋼ファウドラニュース1982 Vol.26 No.3より)

その下層に耐衝撃性結晶化ガラスを施工する「複層構造」とすることで、この問題を解決した (図3 参照)。

ガラスライニング製機器使用中に、何らかの衝撃をガラス面に与え破損させてしまった場合も、通常のガラスライニング層では衝撃により全層が破損してしまうのに対して、ヌーセライトの場合、破損は表層の標準ガラスのみで下層の結晶化ガラス層でクラックの進展が食止められ、破損によるガラスの剥離面積が通常の標準ガラスのみの場合より小さくなることから、Ta などによる補修がし易いという特長がある。60年代から90年代まで標準ガラスが進化する中、下層にこのヌーセライトを施工し、最表層に最新の標準ガラスを施工したガラスが攪拌翼やパッフルなどのアクセサリに数多く適用された。

現在は Ta 補修した状態で使用し続けるユーザが少なくなり、一定の役目を終えたガラスとなったが、後述する機能性ガラスにおいても当社のガラスライニングはしばしば、この「複層構造」を採用しており、他社には見られない特長となっている。

### 1.6 極低温用高耐食ガラス #3800

通常の炭素鋼を使用したガラスライニング機器は、低温用鋼板 SLA325A を使用することで -45℃ までの使用が可能であるが、それ以下の使用温度においては、素地金属にオーステナイト系のステンレス鋼板を必要とする。しかしステンレス鋼の熱膨張率 ( $17.3 \times 10^{-6}/K$ ) は通常の炭素鋼 ( $11.5 \times 10^{-6}/K$ ) に比して大きいため、炭素鋼用のガラスをそのままステンレス鋼に適用すると、熱膨張率の差異に起因するガラス層中の残留圧縮応力が過大となりガラス層の破損の原因となる。

このことを解決するためステンレス鋼板用ガラスとして、この熱膨張率も考慮した新たなガラス成分設計を行い #3800 ガラスを開発した。これにより、-196℃ の極低温までガラスライニング機器が使用

できるようになった。

### 1.7 耐アルカリガラス #4300

主に酸性成分よりなるガラスはアルカリ溶液に対しては酸に対するほど耐食性は高く無い。とくに温度、濃度の少しの上昇で加速度的に腐食が顕著となるため、一般的に高温、高濃度のアルカリ雰囲気においては耐食金属材料が用いられることが多い。

しかしながら工程中で酸性・アルカリ性の両方で使用される場合や金属イオンの溶出が問題となるニーズに対して、耐酸性は標準ガラス #9000 の約半分の性能であるが、耐アルカリ性能については標準ガラス #9000 の約 2 倍の性能を持つ耐アルカリガラス #4300 を 1991 年に開発した。#4300 ガラスの耐アルカリ性能を図 4 に示す。

一般的に、ガラスライニングの施工原理として、ガラスを細かく粉碎した泥漿状の釉薬を鋼板表面に吹付け、高温で焼成することで、ガラスの粒同士が軟化流動・融着しガラス層を形成する。一方、ガラスの腐食初期段階においては、ミクロ的にはガラス表面の腐食・減肉は均一には進行せず、ガラスの粒同士が融着した境界部分が選択的に腐食することが知られている。このことから、この #4300 ガラスはガラス自体の耐アルカリ性を高める成分をガラス組成として添加するのに加え、ガラスの粒同士の境界部に耐アルカリ性を高める成分を添加することで、ガラスライニング層全体の耐食性能を向上させた。

このように、市場の耐食性向上のニーズに応えて新しいガラスを開発し適用範囲を広げ、種々の厳し

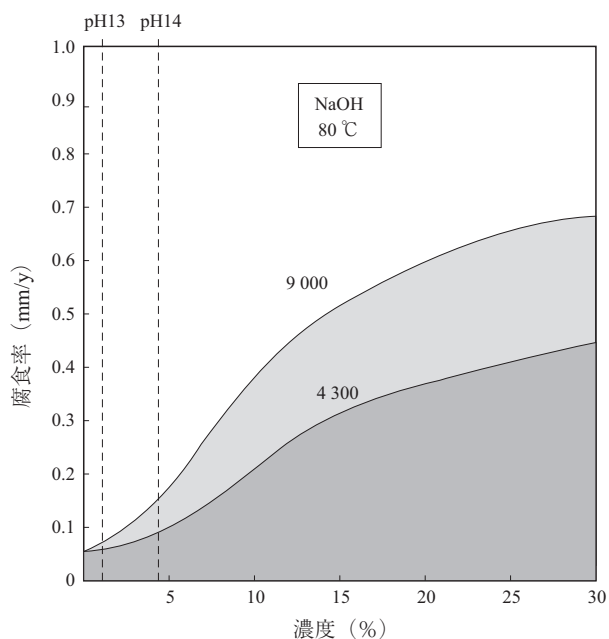


図 4 #4300 ガラスの耐アルカリ性

い用途で使用可能となった。

更に近年、ガラスライニング製機器にも耐食性だけでなく + a の付加価値を求められるようになった。

それはガラスライニング製機器自体の使いやすさ、後述する攪拌性の改善、洗浄性向上、メンテナンス性向上等ガラスの耐食性以外の価値であり、これらのニーズに対して改良・改善を重ねることとなった。

とくにガラスについては、耐食性に加え安全性向上と高度なファイン化のユーザーニーズに応え、耐静電気、低溶出、省エネといった新たな機能性を持たせたガラスの開発へと展開して行った。

### 1.8 医薬用ガラス PPG

21 世紀に入って、まず始めに商品化されたガラスが PPG (Pfaudler Pharma Glass) である。これまでの標準ガラスは「濃紺色」であり場合によっては視認性に問題が有る場合があったが、PPG の特長は、写真 1 に示すように明るく視認性に優れ見やすい「ライトブルー色」である。これにより、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。また標準ガラスよりも耐アルカリ性が 20 % 向上しており定置洗浄目的でアルカリ洗浄を行う反応機にも有効なガラスである。

PPG は提携解消後も友好的な関係を続けている Pfaudler GmbH が医薬用途向けに開発したガラスであり、国内医薬市場でのニーズを見込み、2003 年から技術提携し製作・販売を行っている。PPG 販売以降好評を頂き、この明るい色調のガラスへの要求が国内では強くなってきている。

### 1.9 耐静電気用ガラス ECOGL シリーズ

2004 年には、絶縁性のガラスライニング機器内で発生する静電気による機器破損等のトラブルに対処

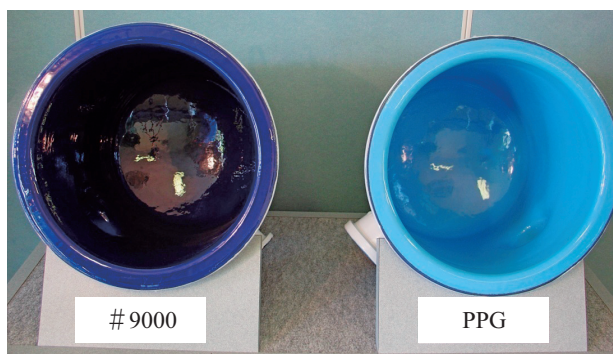


写真 1 PPG と #9000 のガラス色調比較

※ Pfaudler Pharma Glass (PPG) は Pfaudler GmbH との技術提携品です。



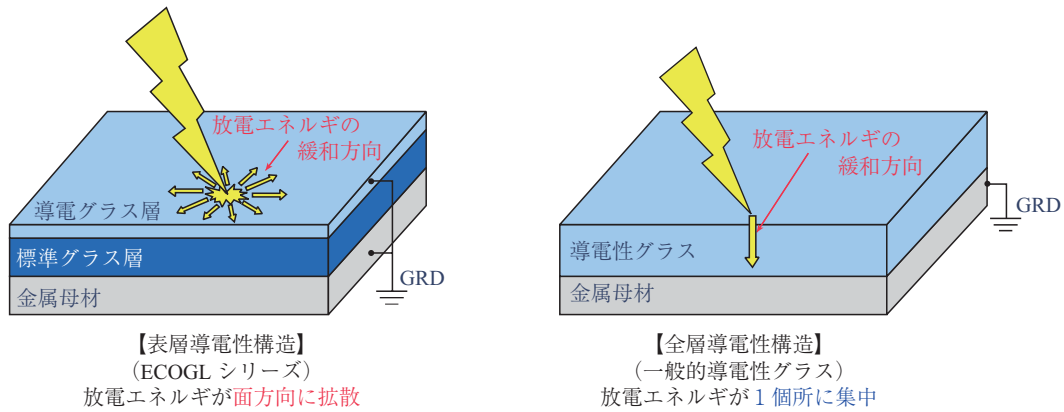


図5 各導電性構造の放電に対する挙動

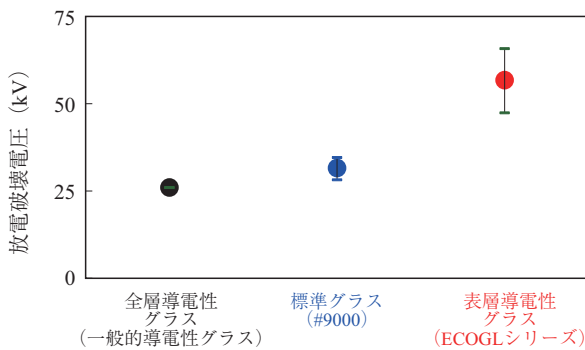


図6 模擬放電印加時のガラス放電破壊電圧

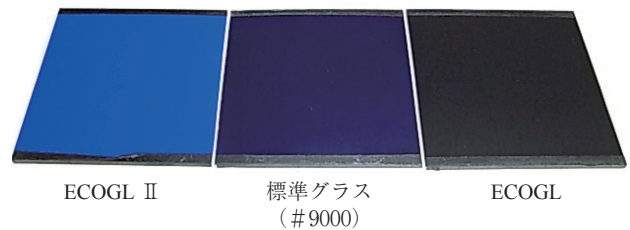


図7-(a) 各ガラスの色調

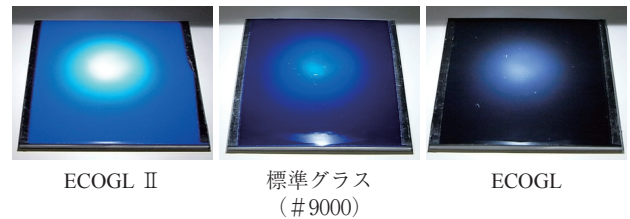


図7-(b) ライト照射時の各ガラスの視認性 (300 mm 直上より LED ライトにて照射)

するガラスとして導電性ガラス「ECOGL (Electrical Conductive GL)」を商品化した。このガラスは、ソーライトより続く当社独自の複層構造のガラスであり、表層部のガラス層のみを導電性にする構造を採用している。ガラス層に導電性を付与することでガラスの帯電は防止できるが、内容物が絶縁物を攪拌する限り、静電気の発生・帯電は避けられない。場合によっては攪拌により内容物の帯電が大きくなると、導電性を有するガラスでも放電が発生してガラスの破損が生じる場合がある。しかしながら、表層部のみを導電性にするにより、内容物の帯電が大きくなり放電が発生した場合でも図5に示すように、放電のエネルギーを面方向で緩和し、下層の絶縁ガラス層で静電気による破損を防ぐため、ガラス層全体としては破壊されにくくなる。一方、全層を導電性ガラスにした場合、一旦放電が発生してしまうと、一点に放電のエネルギーが集中するため、逆にガラス層が低い電圧でも破壊されてしまう。模擬放電を印加した場合のガラスの破壊電圧を図6に示す。このように表層部のみを導電性としたECOGLが放電によるガラス破損に対して強いことは、実験的にも確認されており、現時点でECOGLはガラス

ライニング業界でもっとも静電気による放電に対して強いガラスである。

2010年には、視認性向上のニーズを受け図7のような明るい色調で視認性が向上し、導電層の厚みを増し、より厳しい腐食環境で使用できるように改良したECOGL IIを商品化した。この当社独自の表層導電構造は静電気トラブルの解決に貢献し多くのユーザーに採用頂いている。またこの導電性ガラスは欧米に先駆け日本で開発・実用化された技術であり今後欧米でも同様のニーズが具体化する可能性もある。

### 1.10 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、腐食された際にわずかながらガラスの成分が溶出する。とくに溶出しやすいのはNaやK等のアルカリ金属成分であり、電子材料等を生産する分野では、

この微量な溶出を可能な限り低減することが求められる。

当社は70年代より前述の「Ag 処理」のようなガラス表面の改質技術を有しており、完成後のガラスにこの技術を応用し、表面近傍のアルカリ金属成分等を除去して微量な溶出を低減させたガラス #9000AF を2005年に開発した。

また2011年には、ガラス中の Na 成分の含有量を極限まで低減することで、Na の溶出を従来の1/10に減少させた新たな低溶出ガラス #9500を開発した。#9500ガラスは耐食性が向上しているため、結果として図8に示すように、Na 成分以外の溶出も従来品以下に低減している。また耐食性が向上していることから、低溶出性が必要とされる分野だけでなく、より腐食性の厳しい用途で採用されているケースもある。

### 1.11 高熱伝導性ガラス #9000HT

ガラスは樹脂材料ほどではないが、1.0 W/mK と熱伝導の悪い材料であり、ガラスライニング製機器はライニングされているガラス層が伝熱の律速となっている場合が多い。この伝熱性を改善すべく2015年に高熱伝導性ガラス #9000HT を開発した。

#9000HT 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挿入することによって、熱伝導を向上させており、例えば図9に示すような条件においては、ガラスライニング製反応機の総括熱伝達係数 (U 値) は従来の1.5倍以上に向上する。このため昇温・冷却時間の短縮、温度応答性が向上し温度制御性が向上するといった効果がある。後述する高効率攪拌翼 (フルゾーン) と組み合わせれば、機器と内容物間の熱の移動が良好になり、さらなる伝熱性の向上が可能となる。また接液部のガラスは、従来より広くご使用頂いている当社標準ガラス #9000を施工しているため、内容液に接するガラス

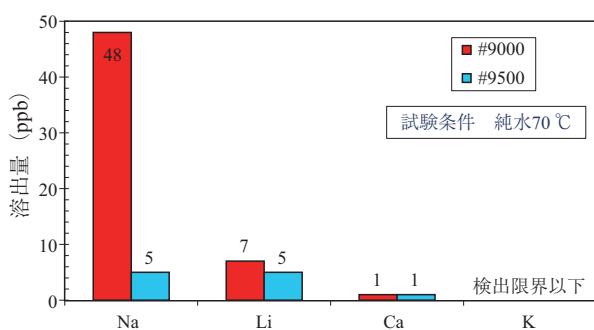


図8 #9500の溶出性

材質の変更を気にすることなく、これまで同様にご使用頂くことが可能である。

#9000HT は省エネ効果があることから、導入に際しては生産性向上設備投資促進税制等の優遇措置の対象となる場合もある。

## 2. 工場・設備の変遷

当社の前身である株式会社神戸製鋼所の珪瑯部門が、山手工場の一角に1946年珪瑯工場を建設した。釉薬溶解のるつぽ炉を新設し、焼成炉は海岸工場から電気炉を移設した。その後も生産設備の拡充に取り組み、順調な発展を辿ってきた。酒タンクの需要と化工機の受注も著増していた1962年に隣接する神戸製鋼所溶接棒工場の茨木市移転とともに当工場跡地を取得し、工場を約2倍に拡張した。1963年には、Siemens 社の施工指導の下、世界最大の箱型超大型電気焼成炉8号炉を建設、1968年には重厚長大化する産業界、とくに石油化学工業界の需要に応えるべく大型組立工場を建設した。

1976年には東播磨地区10万 m<sup>2</sup>の敷地にステンレス製大型機器の製作に対応した「播磨製作所」を竣工。その後1992年にはガラスライニング製品についても本社 (灘工場) から播磨製作所に全て移転、統合した (写真2, 3参照)。さらに2013年には医薬・ファインケミカル用機器のクリーンな雰囲気での組立試運転の必要性から作業性も考慮しエアコン装備した「F組立エリア」も建設し小型機器から大型機器まで、またクリーンな組立を要求される機器まで一貫して対応可能な工場となった (図10)。以下に各設備の変遷について紹介する。

### 2.1 焼成炉

ガラスライニング機器の製造において、中核をなす設備は焼成炉である。ガラスライニング用の焼成

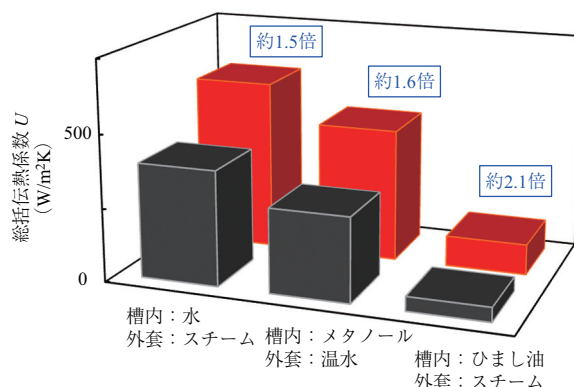


図9 種々のプロセスにおける U 値概算結果 (黒) 9000 + 3枚後退翼, (赤) 9000HT + フルゾーン翼



写真2 播磨製作所 全景

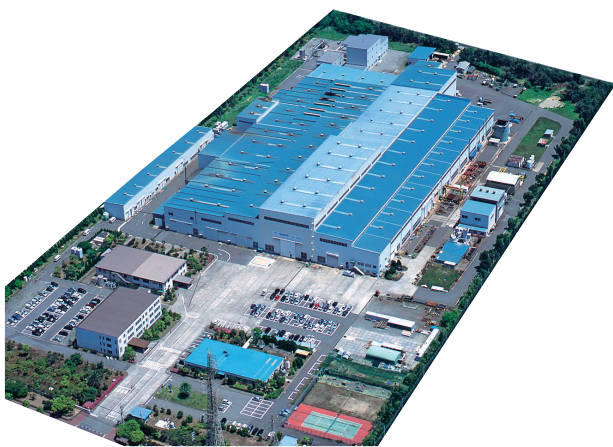


写真3 播磨製作所 鳥瞰図

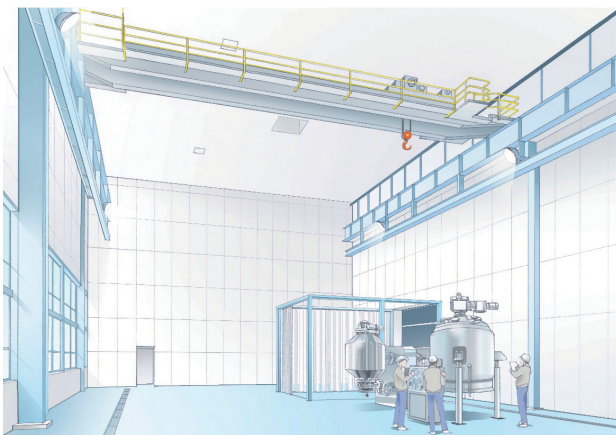


図10 F組立エリア

炉は、熱源と炉の型式が時代とともに大きく変わってきた。石炭焼きマッフル炉に始まり、重油焼き直火炉、ガス焼き直火炉、電気炉へと進歩してきた。また、環境負荷低減向けにいち早く取組み、NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合機構）

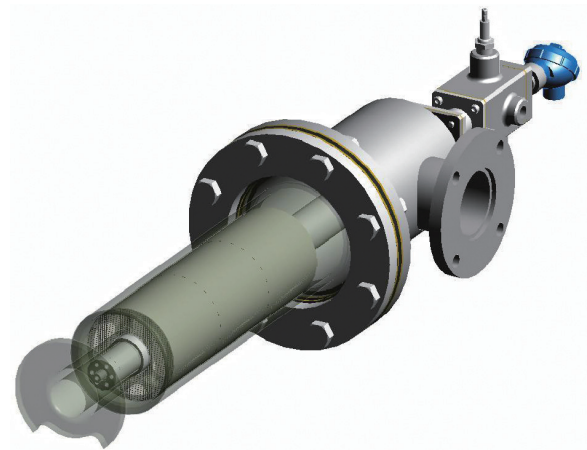


図11 リジェネレイティブバーナー

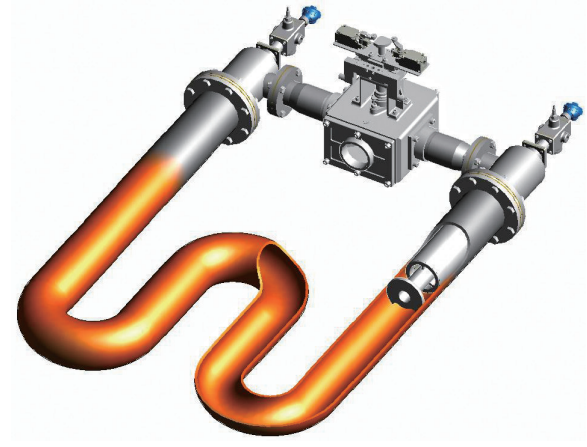


図12 ラジアントチューブ

の高性能工業炉導入フィールドテストを経て、電気炉から都市ガスの高効率リジェネレイティブバーナー搭載の高性能ガラスライニング焼成炉へと順次変更・導入を行った。そして間接加熱式のラジアントチューブ方式を採用したことで、高い輻射熱が得られ品質向上を実現できた（図11、12参照）。主要炉に電気式からガス式高性能ガラスライニング焼成炉を採用したことで、CO<sub>2</sub>排出量を年間1300トン削減することができ、地球に優しい工場づくりの第一歩となった。また、Factory-Automation 技術を最大限活用し、主要炉において自動温度制御システムならびに自動搬送焼成システムを採用し、省人化を推進してきた。

## 2.2 ガラス原料溶解設備

ガラスライニングの生命線はガラスフリットにあると云われ、当社ではガラス原料溶解設備を備えている。高度化、多様化するユーザーズに因應べく、新しいガラスフリットをスピーディに自社開発

する環境を整えている。必要なガラスの機能に応じた成分に基づき、原料を計量・混合・溶解を経て急冷し、ガラスフリットを製造する。製造ガラスフリットは物性試験を行い、品質を確認している。計量誤差を小さくし、ヒューマンエラーの介在する余地を無くしコンタミを防ぐために釉薬原料自動計量搬送システムを導入し、トレーサビリティ確保のため原料の計量データまで全て記録されている。また中間原料であるガラスフリットを貯蔵するための自動倉庫も設けた。原料混合時間を大きく短縮できる混合機（PSミキサー）と溶解されたガラスの急速冷却粉碎装置（いずれも当社開発製品）など、さながら粉体プラントとなっている。

### 2.3 省エネ・自動化・安全性向上

省エネについては1996年～2001年に掛けて順次、前出の焼成炉を電気炉から高効率都市ガス炉へ変更していった効果がメインとなるが、その後、周辺機器についても省エネを推進し、省エネの基本であるインバータ機器、ヒートポンプ方式の空調、工場・事務所照明のLED化等、環境負荷低減に向け取り組んでいる。

また自動化設備も積極的に採用している。溶接ロボット導入はもとより、従来手作業で行ってきた鏡板の芯出し・ノズル孔等の罫書き作業をCAD図面データを用いて自動で高精度で行う「鏡板罫書きロボット」をロボットメーカーと共同で開発し、品質向上、省人化に向け取り組んでいる（写真4参照）。

製造工程の自動化と合わせて、作業の安全性を向上させる設備改善も行っている。最近の例として、ガラスライニング機器をより安全に組立・試運転検査を可能とする「自動昇降機能付き組立デッキ」を、また作業用クレーンについても衝突回避機能付き



写真4 罫書きロボット

に改善し、安全に作業できるよう設備改善を行っている。

## 3. グラスライニング製製品の変遷

### 3.1 グラスライニング製反応機の誕生

1946年の珐瑯部門が事業開始して以降、神戸製鋼所では酒タンクの修理・製造の過程で進めていた釉薬の研究と並行して、日本の化学工業界の将来性にいち早く着目し、化学工業用の耐酸釉薬の研究を続けていた。

1949年9月にはその基礎的研究がほぼ完了し、引き続き実用化に向け検証を行い、翌1950年に製薬会社から500LT反応機を受注した。（写真5参照）

### 3.2 PVC用大型ガラスライニング製重合機とファウドラー翼

1954年の神戸製鋼所と米ファウドラー社との共同出資により神鋼ファウドラー株式会社が設立されたが、同年初頭からの不況の影響もあり、化工機部門の生産は伸悩み状態であった。しかし、同年4月、合成樹脂・合成繊維用機器を相次いで受注、1955年に政府の合成樹脂5カ年計画が実施されたことにより化工機をめぐる環境はにわかには好転した。それまで、乳化重合法により国内で生産されていた塩化ビニール樹脂（PVC）の品質が、欧米から輸入した樹脂より相当劣ることが判明し、塩ビ各社は懸濁重合法へ製法転換すべく、欧米からの技術導入が行われた。そして、この懸濁重合法の心臓部となる重合機を米ファウドラー社が米国塩化ビニール樹脂製造各社に納入していたことから、当社は米ファウドラー

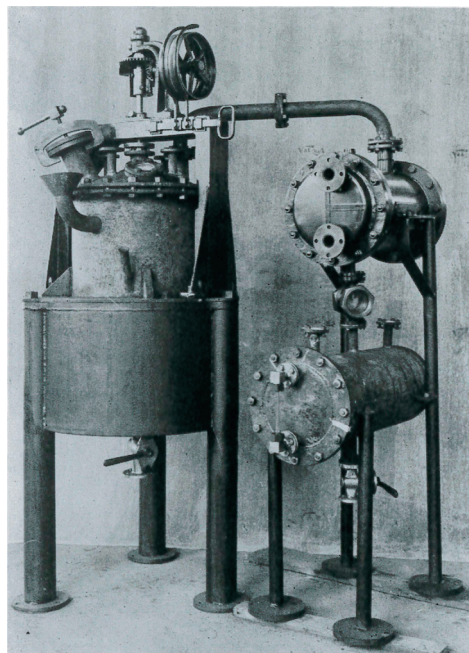


写真5 化工機第1号機

社から図面提供を受け国産化を開始した。その結果、塩化ビニール樹脂製造用に14 000 L グラスライニング製重合機（写真6参照）が次々と採用されはじめた。この14 000 L グラスライニング製重合機の登場によって、国内の塩ビ重合機は、材質がステンレスからガラスライニングに、攪拌翼の形状が従来のパドル型やタービン型からいわゆるファウドラ翼（図13参照）と言われる3枚後退翼に変わり、攪拌翼の回転数がタービン翼と比べて低速回転となり、軸封部がグランドシール式からメカニカルシー

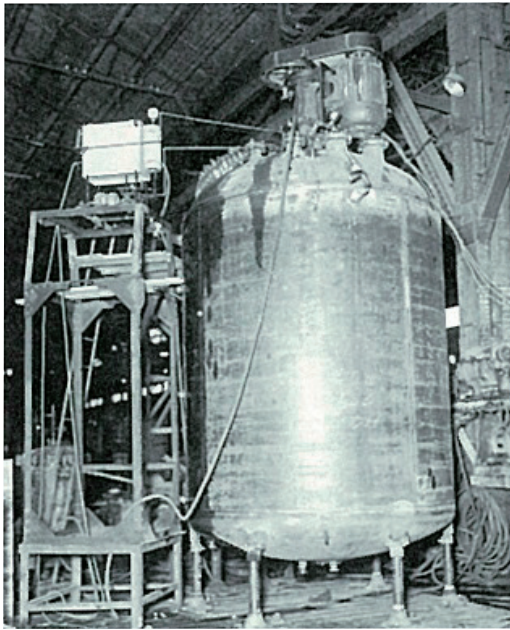


写真6 14 000 L 重合機

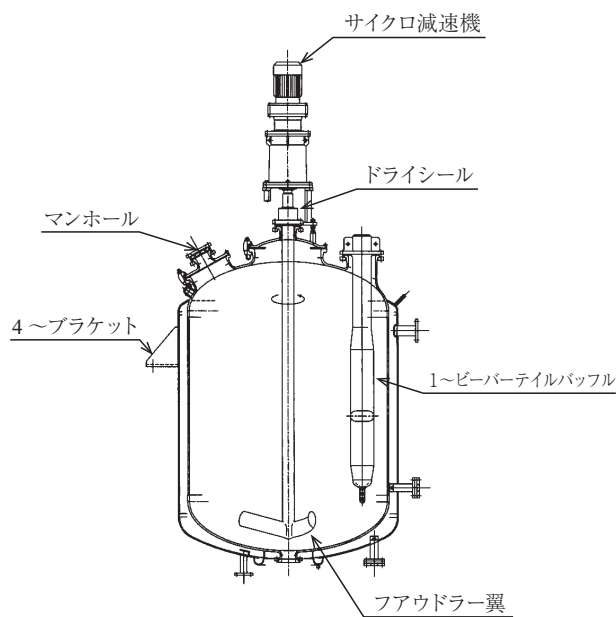


図13 ファウドラ翼反応機

ル式に変わるなど技術革新を遂げた。

ガラスライニング製ファウドラ翼は断面がオーバル形状の3枚後退翼で、通常は槽の底鏡部に配置し、低粘度から中粘度の広い粘度範囲で多目的の攪拌に適している。攪拌翼より吐出した液流は槽壁に沿って上昇し液面部で反転して槽中心部を下降するというパターンで、槽内に一つの大きな上下循環混合を起こさせることを特長としている。前述の塩化ビニール樹脂重合機用の攪拌翼として認知されガラスライニング製反応機に標準的に採用した結果、約60年という長い年月を経た現在も、ガラスライニング製反応機用の代表的な標準攪拌翼の一つとしてガラスライニング業界で採用され続けている。

### 3.3 高効率翼フルゾーン

前項で説明したようにガラスライニング製反応機用の攪拌機はファウドラ翼が標準となったが、ファウドラ翼が対応できない高粘度域を含む広粘度範囲用の攪拌翼として1990年にガラスライニング製『フルゾーン』（図14参照）を開発した。フルゾーンはステンレス製反応機用として

- ① 広い粘度範囲での効率良い均一混合
- ② 低粘度用タービンや高粘度用ダブルヘリカルリボンが適用しにくい中粘度領域での混合効率の向上
- ③ 槽内全体におよぶ大きな一つの循環流の形成を通じての効率良い混合の達成

を目的として開発され、これをガラスライニング可能としガラスライニング製反応機に適用した。

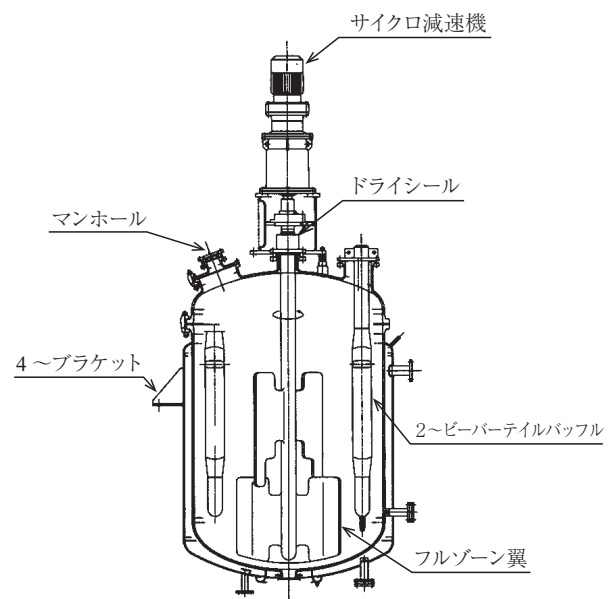


図14 フルゾーン翼反応機

フルゾーンは上下にそれぞれ異なる機能を持つ特殊ワイドパドルを2段、立体的に組合せた特長的な形状であり、上下翼間隔と上段翼のフィンにより上段・下段翼の各々の吐出流を融合、槽内全域におよぶ大きな循環流を形成する一方、下段翼には上下翼の吐出力バランスを考慮した後退翼を採用することで効率良い吐出を実現した攪拌翼である。1991年の上市以降、乳化重合・晶析・水添反応・溶解等の様々なプロセス改善に貢献していたこともあり、上市当初からガラスライニングへの適用ニーズはあった。当初板翼で構成されたその構造からガラスライニング施工が困難であったが、板翼へのガラスライニング施工技術の改善を繰り返すことにより、同年にガラスライニング製フルゾーンが完成した。

1990年代以降、ガラスライニング製反応機の用途は石油化学からファインケミカル・医薬にシフトしており、幅広い用途に適用できる高性能攪拌翼として採用されている。

### 3.4 グラスライニング用新標準攪拌翼ツインスターの登場

ガラスライニング製反応機の攪拌翼は、従来のファウドラ翼に加えて、前述のフルゾーンが選択肢として追加されたが1990年代後半から低中粘度域の攪拌におけるガラスライニングユーザ特有のニーズとして

- ① 多品種少量生産への移行に伴い、一つの反応機で少液量から呼称容量までの幅広い液量において効率の良い攪拌が得られること
- ② サニタリー性、コンタミレスを保つためにシンプルかつ洗浄性の高い翼形状であること
- ③ クロスコンタミの原因となる分割部（本体フランジ等）が少ない密閉型の攪拌槽に取付が可能な攪拌翼であること

というように多様化・高度化しつつあった。

このようなニーズに対しファウドラ翼のコンパクトさとフルゾーンの少液量対応・攪拌能力をベースにシンプルで高い攪拌性能を有する攪拌翼として、2001年に『ツインスター』（図15参照）を開発した。

ツインスターはフルゾーンと同様に板翼を採用し翼下面を下鏡に沿わせることで少液量攪拌を可能とした。また後退した2枚板翼により吐出流を強化したことで、フルゾーンにはおよばないがファウドラ翼では対応困難な攪拌（粒子浮遊、高粘度液攪拌）まで対応できる新しいガラスライニング製攪拌翼として市場に受け入れられた。

開発翌年の2002年にはファウドラ翼との年間販

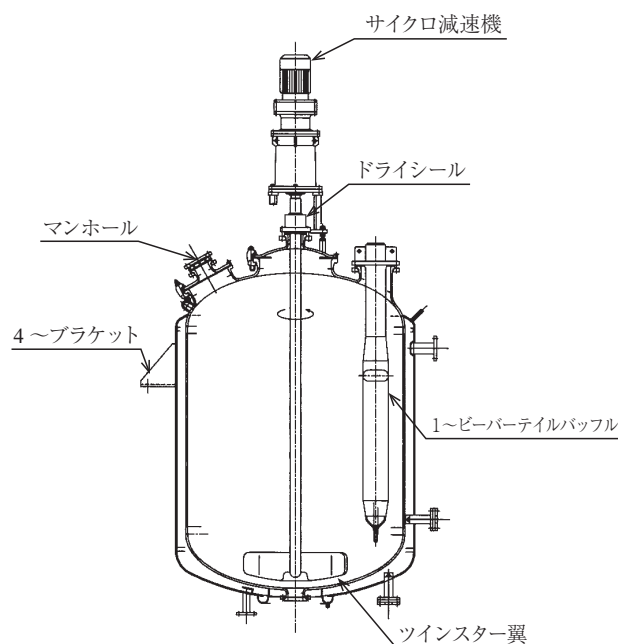


図15 ツインスター翼反応機

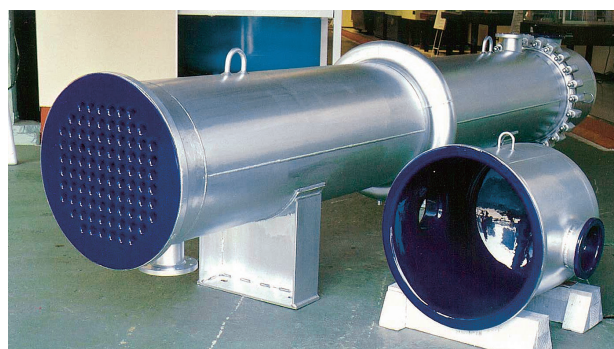


写真7 グラスライニング製多管式熱交換器

売台数が逆転し、2003年には単年度納入実績が100台を超え、ガラスライニング製攪拌機の新標準翼となった。現在累計販売台数2,000台に迫るヒット商品となったことは、ユーザニーズを的確に捉え、それを上手く解決（開発）し商品化した成功例である。

### 3.5 グラスライニング製多管式熱交換器

化学、医薬品工業における製造ライン中には、プロセスのメイン機器となる前述のような反応機の周辺機器として、種々の材質、構造の熱交換器が使用されている。当社でもガラスライニング製熱交換器として、二重管式熱交換器、多重缶式熱交換器を数多く製造していたが、単位伝熱面積当たりの容積が大きいため、「もっとコンパクトなガラスライニング製熱交換器を」というユーザニーズに応える形で、80年代半ばに世界初となるガラスライニング製多管式熱交換器（写真7参照）を開発した。

多管式熱交換器は、シェル（胴）内に多数のチューブ（管）を有する、1パス型熱交換器であり、ガラスライニングされたチューブ内面側をプロセス流体、シェル側を加熱または冷却媒体が通過することにより、プロセス流体の熱交換を行うものである。このチューブ内面のガラスは従来のガラスライニングと異なり、中空ガラス管を鋼管内面に溶着させるインサート方式を採用しており、含泡率が少なく、ピンホールが発生し難いものとなっている。管板とチューブは溶接一体構造としており、この熱容量差が極めて大きい部材接合部のガラスライニングは、当社の開発した特殊焼成方法により可能となった。

カーボン製熱交換器と比べると、伝熱面積当たりの総括伝熱係数は低いものの、近年の医薬・ファイン用途でのコンタミレスのニーズの高まりから、ガラスライニング製多管式熱交換器の需要も高まりつつあり、生産体制を一新し完全内製化も実現し、さらなる高品質化を進めている。

#### 4. 今後の展望

ガラスライニング機器の世界市場は現在約400～500億円（当社推定）であるが、近年の欧米の経済成長率の低下もあり右肩上がりとは言えない状況である。地域的には欧米では主にバルク製品用途に使用されており成長率低下および新興国への生産移転によりガラスライニング機器市場は減少傾向であり、逆に新興国（とくにインド、中国、東南アジアの一部）では経済成長ならびに欧米からの生産移転

もありガラスライニング機器マーケットは拡大する傾向にある。

一方国内マーケットは約70～100億（当社推定）であり、その用途は主に医薬・電材等のファインケミカルであり、製造工程の複雑さ、「ものづくり」の観点から新興国への生産移転も少なく、大幅に伸びることは期待できないが堅調に推移するものと見込まれる。

また、国内のガラスライニング機器に対するニーズは、コモディティ化した一般的な機器と、スペシャリティ化したより高付加価値の機器に二分化していくと予想され、とくに後者の高付加価値ガラスライニング機器が増加すると見込まれることが他地域とは異なる。その結果ガラスライニング機器には耐食性に加え現状以上に高度な、また複合した機能を有したガラスが要求され、またさらなるファイン化に対応したクリーンさ、洗浄性向上も要求されると考えられる。

##### 4.1 機能性ガラスとハイブリッド化

機能性ガラスの今後の方向として下記の様な展開が考えられる。

- ① 現行機能性ガラスのさらなる高性能化
- ② 複数の機能性を合わせ持ったガラス（ハイブリッド化）
- ③ 新たな機能性ガラスの開発

上記の中で、とくに②の「複数の機能性を持ったガラス」は、単に現在ある機能性ガラスのフリットを単に混合するだけでは要求する性能を発揮することはできず、また焼成（ライニング）も困難なことが予想される。そのためガラスの成分設計から検討し、そのフリットをライニングする生産技術まで検討する必要がある。

##### 4.2 コンタミレスと洗浄性の向上

ガラスライニング製機器は本来その表面性状（親水性が高い、平滑度が高い）から、洗浄性は優れている。しかし化学機器として使用する上ではやはりノズル内部、フランジ部、ガスケットスキマ等、機器のデッドスペースの洗浄性の悪い箇所もある。これらを無くすることがベストであるが困難な場合も多く、その部分を洗浄するツールが重要となっている。

攪拌機（軸封）については、ツインスター、ファウドラ翼、フルゾーンの3本柱に加え、2012年にさらなるクリーン化に対応すべく無摺動クリーン攪拌機「スイングスター」を開発した（図16参照）。スイングスターは独自の旋回攪拌方式と、従来の攪拌機軸封に採用されていた回転型シールに代わる新

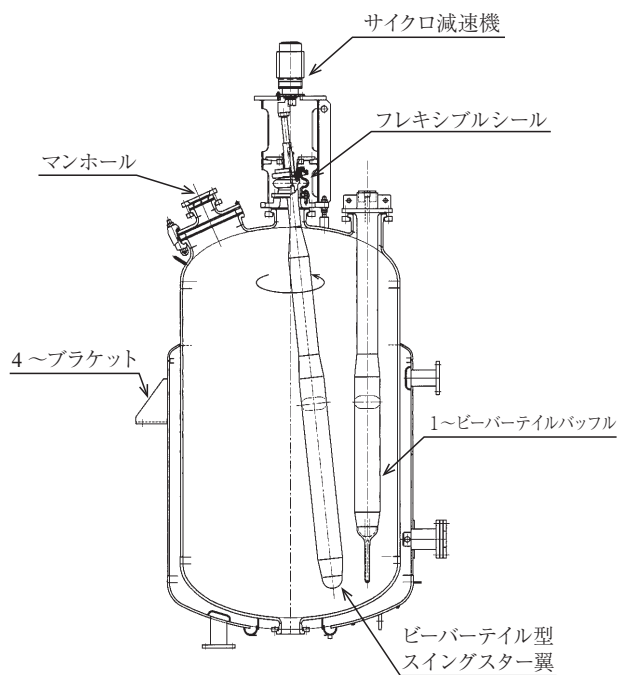


図16 スイングスター翼反応機



写真8 LD工場（ベトナム工場）

開発の無摺動フレキシブルシールを採用した新しい攪拌機である。

このフレキシブルシールは、摺動部自体が無くシール液も不要であり摺動材の摩耗粉やシール液の混入というコンタミを防止することが可能である。またシール構造もシンプルであり洗浄性にも優れておりクロスコンタミの防止にも有効である。

新しい攪拌機構と軸封方式で、製品の高純度化が進む電子材料分野や医薬・医療品分野に提案し徐々に実績を増やしている。

#### 4.3 海外市場でのさらなる成長

世界のガラスライニング機器市場の動向としては、前述のように、欧米先進国市場の縮減、新興国市場の拡大が見込まれる状況にある。

当社はこれまでも台湾、韓国をはじめタイ、シンガポールに多くのガラスライニング製機器を輸出してきたが、今後さらに海外市場での拡販で成長を求める計画である。

例えば ASEAN 主要国の中央に位置するベトナムは、近年、旺盛な需要を背景に、依然5%台のGDP成長率を維持しており、石油化学プラントや製鉄所の稼働により素材産業の発展も期待できる。

このような状況の下、当社は2013年にベトナムに製造拠点を構え、東南アジア初のガラスライニング製機器製造工場として稼働させた（写真8参照）。新工場の生産品目は、ガラスライニング製熱交換器、反応機、貯槽等を予定しており、コストセンタとしての日本向け製品のみならず、順次東南アジア市場向けに製造・販売を展開する計画である。本来ガラスライニングは他の高級耐食性金属に比してとくに耐酸性に優れ安価なコストパフォーマンスに優

れた複合材料であり、ビジネスモデルとしては地産地消モデルが適している。現地生産により東南アジア地域におけるガラスライニング製機器の需要増に対し、素早い対応が可能となり、海外市場への進出を加速する拠点と考えている。

#### むすび

当社のガラスライニングは、(株)神戸製鋼所珪瑯部門からスタートし、ファウドラ社との提携で成長し、現在ガラスライニング国内トップメーカーとして独自に海外にも目を向けて、世界のガラスライニング市場をめざし着実に活動を進めている。ここまで成長できた最大の要因は、国内ユーザからの厳しい品質向上、機能性向上の要求に応え、新製品開発、品質向上を継続してきたことは言うまでもなく、今後もこの対応は当社の基本である。

この厳しい国内市場で培われてきた当社のガラスライニング技術は国際的な視点で見ても高いレベルにあり、ここ10年程でガラスライニング開発先進国は欧州から日本へ移ったと言っても過言では無い。今後は東南アジア、新興国での潜在的な海外市場にも目を向けると同時に、最先端技術を武器に世界的に信頼されるガラスライニングメーカーとして歩みを進めていく所存である。そして、時代とともに移り変わる市場ニーズにあった新製品開発や事業展開を推進めることで、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。

#### [参考文献]

- 1) 澤田雅光 神鋼ファウドラ技報 Vol.29 No.2 (1985) ライニンググラス
- 2) 飛翔 神鋼パンテック40年史 (1995/3)
- 3) 神鋼ファウドラニュース Vol.17 No.3, No.4 (1973) グラスライニング製重合機のポリマー付着とガラスの表面処理(イオン交換処理)(その1)(その2)
- 4) 神鋼ファウドラニュース Vol.16 No.3 (1972) グラスライニング製反応機について
- 5) 菊池雅彦他 神鋼パンテック技報 Vol.35 No.1 (1991) 高効率攪拌翼『フルゾーン』の開発
- 6) 中村隆彦他 神鋼パンテック技報 Vol.45 No.1 (2001年) グラスライニング製新型攪拌翼『ツインスター』
- 7) 榎本正 神鋼ファウドラ技報 Vol.29 No.3 (1985) グラスチール製多管式熱交換器
- 8) 小川智弘他 神鋼環境ソリューション技報 Vol.9 No.2 (2012年) 無摺動クリーン攪拌機『スイングスター®』



# あべのハルカス向け都心型バイオガスシステムの 安定運転結果

Experience with Stable Operation of Urbanized Biogas System Installed in  
Osaka's Landmark Building "ABENO HARUKAS".



塩田憲明\*  
Noriaki Shiota  
農学博士



徳田直子\*  
Naoko Tokuda



竹林徹也\*\*  
Tetsuya Takebayashi



水口 護\*\*  
Mamoru Mizuguchi



斉藤 彰\*\*\*  
Akira Saito  
技術士（水道部門）



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

当社が納入したあべのハルカス向けバイオガス発生設備について、安定運転を達成したので報告する。当初、立上げ試運転では、厨房排水の加圧浮上スカム由来の油分が高く、メタン発酵が阻害されて立上げできなかったものの、メタン発酵原料の油分と有機物の比率をコントロールして運転することで、所定の性能を発揮した。厨芥投入量 2 t/d、厨房排水流入量 542 m<sup>3</sup>/d に対して、バイオガス 378 Nm<sup>3</sup>/d を発生し、放流水質も基準内であった。

This paper describes the operating results of novel biogas system installed in Osaka's landmark building "ABENO HARUKAS". The system consists of garbage disposer units, anaerobic digester of shop garbage and septic primary sludge from dissolved air floatation (DAF) unit, and the septic treatment facility for canteen kitchen wastewater. During the start-up of the digester, higher concentration of oil and grease derived from the DAF sludge showed inhibitory effect on their methane fermentation. Stable operation of the digesters was finally achieved by feeding of raw waste materials with adequate ratio of HEM (*n*-hexane extractable material) versus volatile solid (VS). 378 Nm<sup>3</sup> of biogas with methane content of around 60 % was averagely produced from 2 tons of waste materials and the primary sludge generated from 542 m<sup>3</sup>/d of canteen kitchen wastewater. The wastewater and the effluent from the digesters were mixed and biologically treated in order to keep the sewage discharge standard of treated water.

## Key Words :

メ タ ン 発 酵	Methane fermentation
バ イ オ ガ ス	Biogas
厨 芥	Garbage
厨 房 排 水	Canteen Kitchen Wastewater

## 【セールスポイント】

- ・日本初の超高層ビル内オンサイトバイオガスシステムとして先進的な取り組みです。

## まえがき

都心部の商業ビルやショッピングセンター、ホテルなどではまとまった量の生ごみが一般廃棄物として排出され、また一定規模以上のビルには厨房除害設備を設置する必要性から余剰汚泥が排出されているところもある。これらの処分には高い場外処分費がかかり、その貯蔵、運搬には臭気が出るなど衛生面の問題も大きかった。一方で、ビル内では電気や熱のエネルギー需要があるため、生ごみや汚泥などの廃棄物系バイオマスからエネルギーがオンサイトで回収できれば、効率よく地産地消できるメリットがある。湿潤バイオマスからのエネルギー回収技術としてメタン発酵が古くから採用されているが、日本ではメタン発酵後の処理液（メタン発酵消化液）の処分が導入ネックになることが多い。これら都心部の事業場では一般に排水放流先は下水道なので、メタン発酵消化液は厨房排水などの他の廃水に含めて放流基準以下にまで処理すれば放流することができる。

当社は(株)竹中工務店と共同で、生ごみデスポーザと固液分離器、メタン発酵設備、および排水処理設備を組合わせた有機性廃棄物処理システム（以下、都心型バイオガスシステム）を考案した<sup>1)</sup>。当社は2013年7月に日本一の高さを誇る超高層複合ビルあべのハルカスに、バイオガスシステム全体のうち、厨芥投入・搬送設備とバイオガス利用設備を除くバイオガス発生設備を納入した<sup>2)</sup>。

本稿では、バイオガス発生設備の中のメタン発酵設備を中心に、2014年3月より実施した立上げ（試運転）での問題点とその改善、2015年に実施した性能評価運転、およびその後の稼働状況について報告する。

## 1. 設備概要

### 1.1 システム構成

図1に全体システムフロー図を示す。都心型バイオガスシステムは以下の設備により構成されている。

#### ① 厨芥投入・搬送設備

厨芥投入・搬送設備は、厨芥を計量する計量器と業務用デスポーザなどから構成されており、ビル内12階、13階、14階、および地下3階に設置されている。計量しないとデスポーザの蓋が開かない仕組みになっており、確実に厨芥投入量を把握することができる。百貨店、レストラン、ホテルの各店舗より持込まれた厨芥は、発酵不適物を分別除去したうえで処理可能物だけを投入する。

デスポーザに投入された厨芥は破砕されたのち、搬送水とともにポンプで上層階からバイオガス発生設備のある地下5階に送られる。途中で配管の長い横引きが生じる場合は、小型タンクで受けて容積式ポンプで中継することにより、固形物を含む排水でも配管閉塞の少ない長距離輸送が可能となる<sup>3)</sup>。

#### ② バイオガス発生設備

バイオガス発生設備は、百貨店、ホテルからの厨房排水を下水道放流可能なレベルにまで処理するための厨房排水処理設備と、そこから発生する余剰汚泥（加圧浮上スカム）とデスポーザ排水に含まれる厨芥固形分を混合して発酵処理するためのメタン発酵設備から成る。またこれら設備とは別に、百貨店、ホテル、オフィスからの雑排水を処理して中水として再利用するための中水設備も併設しており、ここから発生する余剰汚泥もメタン発酵の対象となっている。

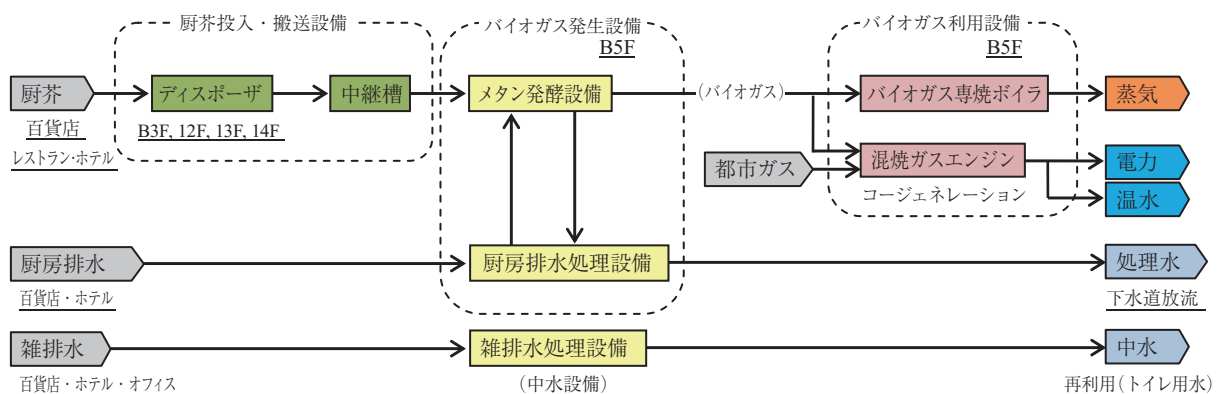


図1 全体システムフロー

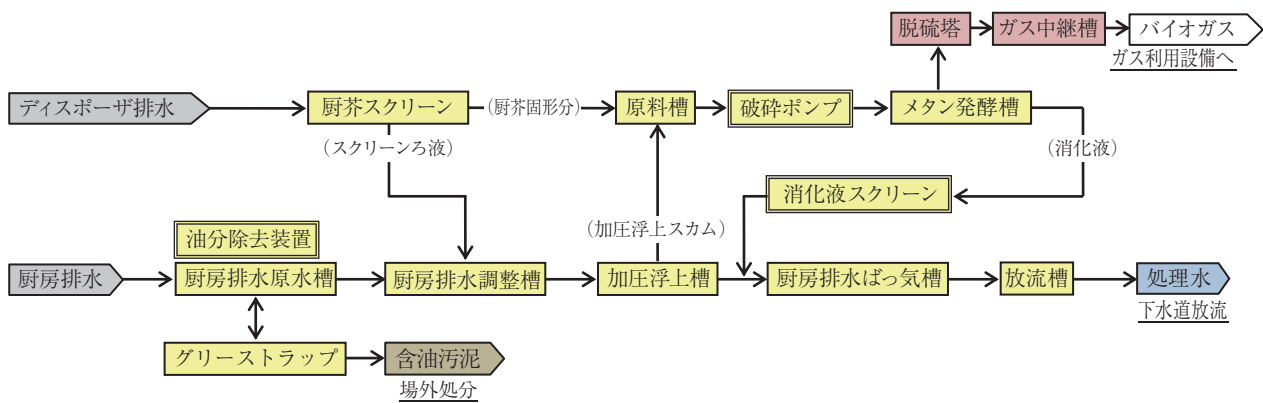


図2 バイオガス発生設備ブロックフロー

### ③ バイオガス利用設備

バイオガス利用設備は、同発生設備で得られたバイオガスをエネルギーとして有効利用するためのバイオガス専焼又は切替式ボイラおよび都市ガス混焼式ガスエンジンコージェネレーションから構成されている。

#### 1.2 バイオガス発生設備の概要

都心型バイオガスシステムのうち当社が納入したバイオガス発生設備の概要を述べる。図2に設備のブロックフローを、写真1に設備の外観を示す。

ディスポーザで破碎された厨芥はディスポーザ排水としてバイオガス発生設備に送られ、厨房スクリーンによって分離液と厨芥固形分に分けられる。一方、厨房排水はグリーストラップ（油水分離槽）を経て加圧浮上分離され、発生した加圧浮上スカムを厨芥固形分と混合してメタン発酵槽に供給する。メタン発酵槽は鋼板製で機械攪拌されており、2槽並列運転となっている。メタン発酵は高温発酵方式（55℃前後）を採用しており、計画滞留時間は10日である。得られたバイオガスは乾式脱硫装置を通したのち、バイオガス利用設備に送られる。

メタン発酵消化液は、未発酵残渣や有機物を多量に含んでいるためそのままでは下水道に放流できない。当社システムでは、メタン発酵消化液に含まれる大きな未発酵物をスクリーンで除去したのち、加圧浮上処理した厨房排水と混合し、厨房排水ばっ気槽で有機物（BOD）と油分（*n*-ヘキサン抽出物質、以下 *n*-Hex. と略す）を放流基準値以下に処理する。厨房排水ばっ気槽には流動床式好気生物処理装置（パビオムーバー）を採用しており、処理水中の懸濁物質（SS）については固液分離せずとも基準値以下で放流可能なため、生物性汚泥の系外抜出は発



写真1 設備外観（メタン発酵槽）

生しない。この点が都心型バイオガスシステムのセールスポイントである。

併設する雑排水処理設備（中水設備）には、浸漬型膜分離装置をばっ気槽に設置した膜分離活性汚泥法（MBR）を採用している。ここから発生する余剰汚泥もメタン発酵槽に投入する計画であったが、実際には雑排水濃度が低いために余剰汚泥は発生しておらず現時点では投入実績は無い。

#### 1.3 設計条件

本バイオガス発生設備の計画受入条件と処理水およびバイオガス排出条件を表1に示す。計画では、厨芥3 t/dに相当するディスポーザ排水27 m<sup>3</sup>/d、および厨房排水700 m<sup>3</sup>/dを受入れ、バイオガス540 Nm<sup>3</sup>/dを発生させる設備である。

## 2. 稼働状況

### 2.1 立上げ試運転と性能評価

2014年3月のグランドオープンに合わせて当該設備の立上げ試運転を開始した。当初は百貨店食品売

り場からの厨芥が十分に集まらず、先に立上げた厨房排水処理設備から発生する加圧浮上スカムと少量の厨芥固形分を原料としてメタン発酵槽を立上げようとしたが、投入原料の油分濃度が高いためにメタン発酵槽が活性を失い、2014年12月までは安定的に

運転することができなかった。原料に占める割合が高い加圧浮上スカムの油分を低減しないと運転は困難と判断した。

そこで、加圧浮上スカムの油分低減を含め、試運転中に生じた問題点を解決するために以下の対策を講じ、最終的に図2のプロセスフローとする設備を納入した。表2に上記対策を含めた設備仕様を示す。

表1 受入条件と排出条件（計画値）

受入量	
デイスポーザ排水	27 m <sup>3</sup> /d (厨芥3.0 t/d, 希釈水24 m <sup>3</sup> /d 含む)
厨房排水	700 m <sup>3</sup> /d
デイスポーザ排水水質	
pH	5.0~9.0
TS	最大2.78 %, 平均2.22 %
VS/TS 比	0.9以上
厨房排水水質	
pH	5.0~9.0
BOD	≤800 mg/L
SS	≤400 mg/L
n-Hex.	≤200 mg/L
水温	15~40℃
処理水質（下水放流水, 保証値）	
pH	5.0~9.0
BOD	≤600 mg/L
SS	≤600 mg/L
n-Hex.	≤30 mg/L
水温	<45℃
バイオガス	
発生量	平均540 Nm <sup>3</sup> /d
メタン濃度	60 %
硫化水素濃度	≤1 mg/L (脱硫後)

① 厨房排水油分除去対策

厨房排水の油分をグリーストラップで回収する設計であったが、厨房排水中の油分濃度が設計値200 mg/Lを超えて流入することが頻繁にあり、かつエマルジョン化した油分を除去するためには自然浮上分離では困難であった。これを解決するために、厨房排水に薬品を注入してエマルジョンブレイク（乳化破壊）したのち、厨房排水原水槽で分離した油分をスキマーポンプで回収するように改造した。この結果、厨房排水の油分日間流入負荷量に対して約40%低減できることを確認し、立上げ時や油分流入量が多い時期・時間帯に限定して油分除去装置を運転することで、加圧浮上スカムの油分濃度を低減できた。

② 厨芥固形分の腐敗防止

当初、設備に流入するデイスポーザ排水は一旦デイスポーザ排水原水槽に受入れて厨芥スクリーンへ送水し固液分離していたが、同原水槽内での滞留時間が長く、固形分が腐敗・可溶化してスクリーン回収率が悪かった。そのため、同原水槽を経由せずに、バイパスして直接厨芥スクリーンで処理できるように改造した結果、厨芥スクリーンでの厨芥固形分のVS回収率が33%から62%に向上した。

表2 設備仕様

設備名	機器名称	主仕様
メタン発酵設備	厨芥スクリーン	多重板型（目幅1mm）、台数：2台
	原料槽	SS鋼板製攪拌機付、基数：1基、容量：34 m <sup>3</sup>
	破碎ポンプ	横軸渦巻型、破碎機構付、台数：1台
	メタン発酵槽	SS鋼板製攪拌機付、基数：2基、容量：106 m <sup>3</sup>
	消化液スクリーン	多重板型（目幅4.5mm）、台数：1台
	脱硫塔	オープンドラム型、基数：1+1基
	ガス中継槽	基数：1基、気相部容量：5 m <sup>3</sup>
排水処理設備	厨房排水スクリーン	細目スクリーンし渣脱水機付、台数：1台
	油分除去装置	一式（フロートポンプ、薬注ユニット）
	グリーストラップ	SUS製角型槽、基数：1基、容量：1.8 m <sup>3</sup>
	加圧浮上装置	中心駆動式、SS鋼板製、基数：1基 付属品：循環ポンプ、滞留タンク
	厨房排水ばっ気槽	RC角型槽、基数：2基、容量：87 m <sup>3</sup> /基、付属品：PE製担体

表3 性能確認時の処理水水质

項目	単位	処理水 (実測値)			保証値
		最大	最小	平均	
pH	—	7.2	6.8	7.0	5.0~9.0
BOD	mg/L	244	62	147	≦600
SS	mg/L	392	132	259	≦600
<i>n</i> -Hex.	mg/L	18	3.5	9.1	≦30

対象期間：2015/6/22~7/5

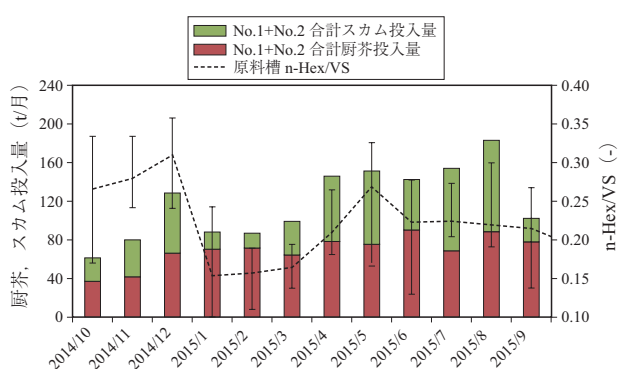


図3 メタン発酵槽投入量と原料 *n*-Hex/VS 比の推移

### ③ 投入原料破碎による分解率向上

ディスポーザで破碎された厨芥固形分は粒径が大きく繊維質も多く残っていたため、メタン発酵槽分解率向上と未発酵残渣の低減を目的として原料槽に破碎ポンプを設置し、厨芥固形分をさらに細かく粉碎できるようにした。加えて、排水処理設備での閉塞を考慮してメタン発酵消化液中の未発酵残渣を除去するためのスクリーンを設置した。

2015年3月より、設備改造後のフローで後述する運転管理項目と管理値を設定してメタン発酵槽の再立上げを行った。同時に、百貨店や店舗からの厨芥を安定的に収集する運用方法が確立された結果、2015年1月以降の厨芥投入量は5カ月平均1.9 t/d、4月以降は厨芥量平均2.0 t/dを確保できた。また、厨房排水受入量は5カ月平均で569 m<sup>3</sup>/dであった。

最終的に、同年5月にその時点での最大負荷まで立上げた。また、同年6月から7月にかけて連続14日間の放流水検水運転を行い、表3に示すように全て保証値を満足することを確認した。

## 2.2 メタン発酵槽運転不調対策

図3に発酵槽原料投入量と原料 *n*-Hex/VS 比を、図4に発酵槽内 VFA と *n*-Hex 各濃度の推移を示す。2014年12月から2015年1月にかけて槽内 VFA 濃度が上昇し、その後メタン発酵槽の不調を招いた。槽内 VFA 濃度の上昇は原料 *n*-Hex/VS 比の上昇と関係

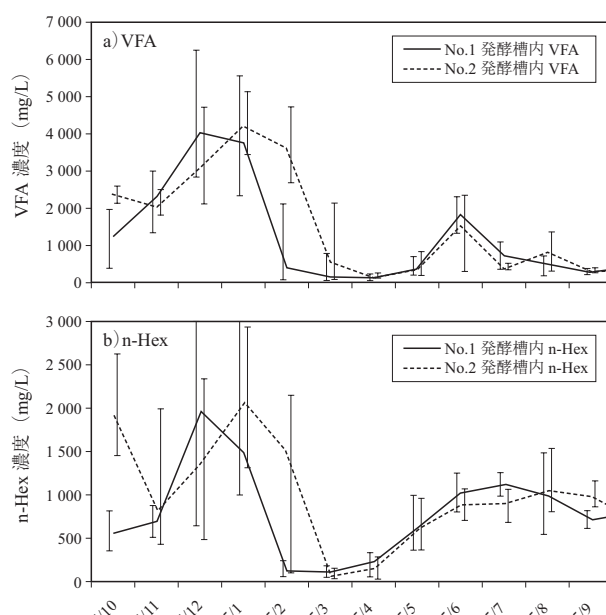


図4 メタン発酵槽内の a) VFA と b) *n*-Hex の推移

しており、*n*-Hex/VS 比0.30以上になると槽内 *n*-Hex 濃度が急激に上昇した。その後も厨芥投入量に対する浮上スカムの投入比率が高い状態が続き、原料 *n*-Hex/VS 比が高い状態でメタン発酵槽への投入を継続したため、最終的に2014年12月末時点でメタン発酵槽は不調に至った。その後、一旦負荷を下げ回復させるとともに、前述した厨房排水油分除去対策の設備改造を実施した。

メタン発酵槽不調に伴う槽内の変化として、槽内 *n*-Hex 濃度の上昇とともに発酵阻害の兆候が見られるようになり、1500 mg/L を超えると槽内 pH、ガス中のメタン濃度ともに低下する傾向が見られた。さらに槽内 VFA 濃度の上昇が見られ、VFA 組成として酢酸よりもプロピオン酸が多く蓄積していた。一般に、プロピオン酸は酢酸よりも菌に対する毒性は低いことが知られており、当初は VFA 総量のみ注目してプロピオン酸を重要視していなかった。しかし、プロピオン酸の蓄積が油分の分解過程上流の高級脂肪酸の蓄積を引き起こし、さらに蓄積した高級脂肪酸が菌に阻害作用を及ぼすことが報告されている<sup>4)</sup>。したがって、中間代謝物である VFA に占めるプロピオン酸の割合が多いことを本設備の特徴として、これを考慮した運転管理値の見直しを行った。

以上のメタン発酵槽不調対策で得た知見をもとに運転管理指標と管理値を設定し、2015年3月以降、再度メタン発酵槽の立上げを行った。

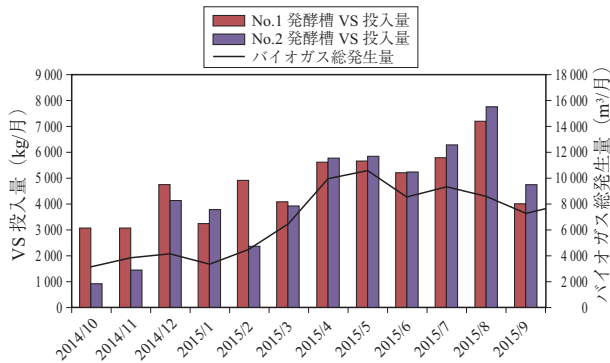
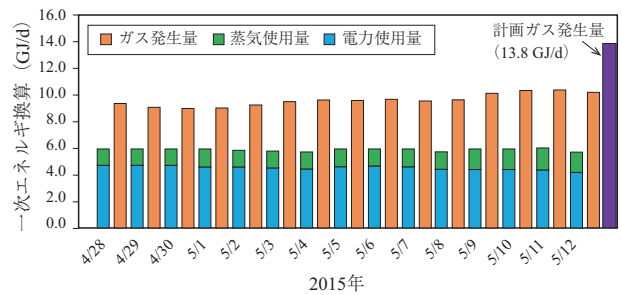


図5 メタン発酵槽 VS 投入量とバイオガス発生量の推移



※1：電力使用量は計画値の按分により、バイオガス発生設備全体の消費電力量の25%をメタン発酵装置に必要な電力として計算  
 ※2：蒸気使用量は蒸気弁の開閉時間と配管径、流速により計算

図7 メタン発酵設備単独のエネルギーバランス

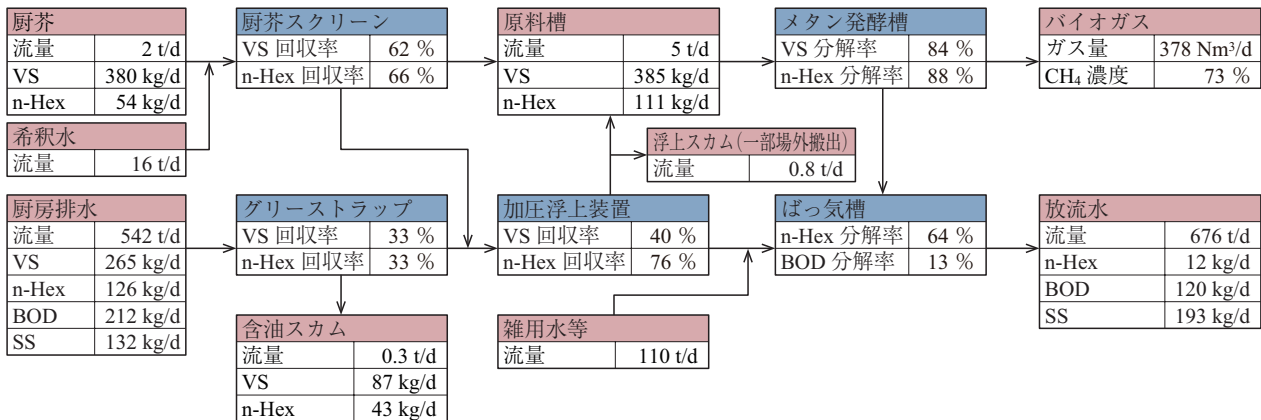


図6 性能確認期間中のマテリアルバランス

### 2.3 マテリアルバランスとエネルギーバランス

図5に発酵槽 VS 投入量とバイオガス発生量の推移を示す。2015年5月にメタン発酵槽が定常負荷に到達して以降、設定した運転管理値を守ってバイオガス発生設備は安定的に運転されている。また、図6に2015年5月時点の2週間平均マテリアルバランスを示す。厨芥投入量 2 t/d、厨房排水流入量 542 m³/d に対して、バイオガス 378 Nm³/d を発生し、放流水質も基準内であった。厨芥投入量が 3 t/d になれば、浮上スカム一部抜出はもちろんのこと、含油スカム発生も大幅に削減できると試算している。図7に同時期のメタン発酵設備単独のエネルギーバランスを示す。1次エネルギー換算で1日あたり3.8 GJ (1 055 kWh 相当) 程度の余剰エネルギーが得られており、メタン発酵設備の消費エネルギーを上回るエネルギーを創出している。従来は場外処分費のかかる厨芥や排水処理汚泥から安定してエネルギーを得ることができている。

### むすび

あべのハルカスに納入した都心型バイオガスシステムの性能評価運転結果とその後の稼働状況について報告した。都心部の複合商業ビルでは、廃棄物処

分費が高いことで経済的に導入メリットが出やすいこともあるが、生ゴミ運搬時の臭気等衛生面から解放され、かつ汚泥・生ゴミ処分回避とエネルギー回収に伴う CO₂ 削減効果も謳えることから本システムの導入インセンティブになると考える。あべのハルカスは国交省の平成20年度省 CO₂ モデル推進事業に採択され、この中で本システムは省 CO₂ 対策技術の目玉となっている。また本システムは、平成25年度地球温暖化防止活動環境大臣表彰をはじめこれまで数々の賞を受けており、非常に注目度が高い。当社のバイオマス関連技術の新しい切り口としてソリューション提案に加えてゆきたい。

最後に、本設備の建設、試運転に多大なるご協力をいただいた近畿日本鉄道(株)、近鉄不動産(株)、近鉄ビルサービス(株)、(株)竹中工務店、三機工業(株)の関係各位に深く感謝の意を表します。

#### [参考文献]

- 1) 特許第5500717号
- 2) 神鋼環境ソリューション技報, Vol.10, No.1 (2013), p35-36
- 3) 特許第5508069号
- 4) 楮春鳳ほか：土木学会論文集 559/VII-2 (1997), p31-38

# 相模原市南清掃工場の安定した操業状況

## The Stable Operation Results of Minami Waste to Energy & Recovery Plant



小松原裕介\*  
Yusuke Komatsubara



道場研二\*  
Kenji Michiba



山形成生\*  
Naruo Yamagata  
技術士（衛生工学部門）



小武海陽\*\*  
Yoh Kobukai

当社は2010年3月、国内最大規模の流動床式ガス化溶融炉を有する相模原市南清掃工場（以下、南清掃工場と記す）を納入した。竣工以来、搬入される様々なごみに対しての安定的な処理を継続している。南清掃工場では積極的なマテリアルリサイクル・サーマルリサイクルに加え、相模原市北清掃工場のストーカ焼却灰（以下、他所灰と記す）の混合処理による最終処分場の延命化を推進しており、当社の流動床式ガス化溶融炉が循環型社会の形成に対して優れた技術であることが証明できた。

The Sagami City Minami Waste to Energy & Recovery Plant, which is the largest Fluidized-bed Gasification and Melting plant in Japan, was completed in March 2010 and continues stable operation for more than 6 years. This Sagami plant positively contributes to material recycling, thermal recycling and landfill life extension to treat the bottom ash taken from the other plant. The Kobelco's Gasification and Melting technology verifies high performance to create Sound and Sustainable society.

### Key Words :

ごみ発電  
流動床式ガス化溶融炉  
マテリアルリサイクル  
サーマルリサイクル  
最終処分場

Waste to Energy  
Fluidized Bed Gasification and Melting Furnace  
Material recycling  
Thermal recycling  
Landfill

### 【セールスポイント】

- ・2010年3月に525 t/d という国内最大規模のガス化溶融施設を納入し、安定的な操業を継続している。
- ・当社の流動床式ガス化溶融炉は主に次の3点で循環型社会の形成に貢献している。①鉄やアルミの未酸化での回収やスラグの有効利用によるマテリアルリサイクル、②高効率発電や温水の供給によるサーマルリサイクル、③他工場のストーカ主灰（他所灰）の混合処理による最終処分場の延命化。

### まえがき

1963年に日本で初めて全連続式の廃棄物焼却処理施設が竣工してから現在に至るまで、日本国内における一般廃棄物の中間処理方法はストーカ炉による焼却処理が主流であった。しかしながら1990年代の

初めに廃棄物焼却処理施設から排出されるダイオキシン類が問題となり、ダイオキシン類を抑制できる施設を建設することが社会的急務となった。また最終処分場が徐々に逼迫してきたこと、最終処分場に搬送した灰から重金属が溶出する等の問題が契機と

なり、1990年代後半にガス化溶融炉が注目され始めた。<sup>1)</sup>

ガス化溶融炉は大きく分けて2つのプロセスで構成される。1つ目のプロセスは「ガス化プロセス」であり、ごみを還元雰囲気加熱し可燃性のガスに分解する。2つ目のプロセスは「溶融プロセス」であり、可燃性の熱分解ガスを一気に燃焼させることで高温雰囲気形成し灰を溶融する。高温雰囲気は1200℃以上に達するため、排ガスおよび飛灰に含まれるダイオキシン類を大幅に低減することができる。また灰を溶融し、再資源化されたスラグを有効活用することで、最終処分場の延命化につながる。

ガス化の方式はいくつかあり、当社では流動床式を採用している。流動床式ガス化炉は流動する約600℃の砂の中でごみを瞬時にガス化する。よって地震などの緊急時においてもごみの供給を停止するだけで速やかに炉を停止することができる安全性に優れたシステムである。またガス化炉内は約600℃の還元雰囲気であるため、ごみに紛れて炉に投入された鉄やアルミなどの有価資源は溶融、酸化されることなく炉から排出される。よって回収された鉄やアルミは容易に再利用することができるマテリアルリサイクル性に優れたシステムである。さらに、上述のとおりガス化炉で生成した熱分解ガスのエネルギーを利用して溶融するため、現状の一般廃棄物の熱量では溶融用外部燃料が不要、つまり自己熱溶融が可能である。このように流動床式ガス化溶融炉は様々な利点を有している。

当社は2010年3月、国内最大規模のガス化溶融炉を有する南清掃工場を納入した。本報告では竣工以来の操業状況、および安定操業に向けた設備改善の事例について報告する。

## 1. 施設の概要

南清掃工場の施設仕様について表1に示す。また、写真1に外観を、図1にフローを示す。

ごみ投入ステージから投入されたごみは一時的にごみピットに貯留される。貯留されているごみは随時ごみクレーンにて投入ホッパへ投入され、破碎機で破碎された後、流動床式ガス化炉に定量供給される。

ガス化炉に供給されたごみは約600℃の砂の中で可燃性のガスに熱分解される。ガス化炉で生成された熱分解ガスは溶融炉にて一気に燃焼され、高温雰囲気を形成する。溶融炉内の最高温度は1200℃以上に達し、排ガスに含まれる灰は溶融され、スラグとして再資源化される。当社の流動床式ガス化溶融

炉はごみが本来持っているエネルギーを利用し、ガス化から溶融を一貫したプロセスで行っている。すなわちごみがある程度の発熱量を有している場合はガス化・溶融過程で助燃料を必要とせず、化石燃料の使用量、およびCO<sub>2</sub>排出量を抑制することができる。

溶融炉を出た排ガスは、廃熱ボイラ、エコノマイザにて熱回収される。その後、減温塔にて約160℃まで冷却され、バグフィルタ、湿式洗煙塔、脱硝反応塔にて排ガスに含まれる有害物質が基準値以下になるよう処理した上で煙突から排出される。南清掃工場における排ガスの公害防止基準値を表2に示す。

表1 施設仕様

施設名称	相模原市南清掃工場
竣工	2010年3月
炉型式	流動床式ガス化溶融炉
施設規模	525 t/d (175 t/24 h × 3 炉)
排ガス処理	バグフィルタ、湿式洗煙塔、脱硝反応塔
蒸気条件	4 MPa × 400℃
発電設備	2 段抽気復水式タービン
発電容量	10 000 kW

表2 公害防止基準値

ばいじん	0.005 g/m <sup>3</sup> N
塩化水素	10 ppm
硫黄酸化物	10 ppm
窒素酸化物	30 ppm
一酸化炭素	30 ppm (4 時間平均値)
ダイオキシン類	0.05 ng-TEQ/m <sup>3</sup> N



写真1 相模原市南工場の外観



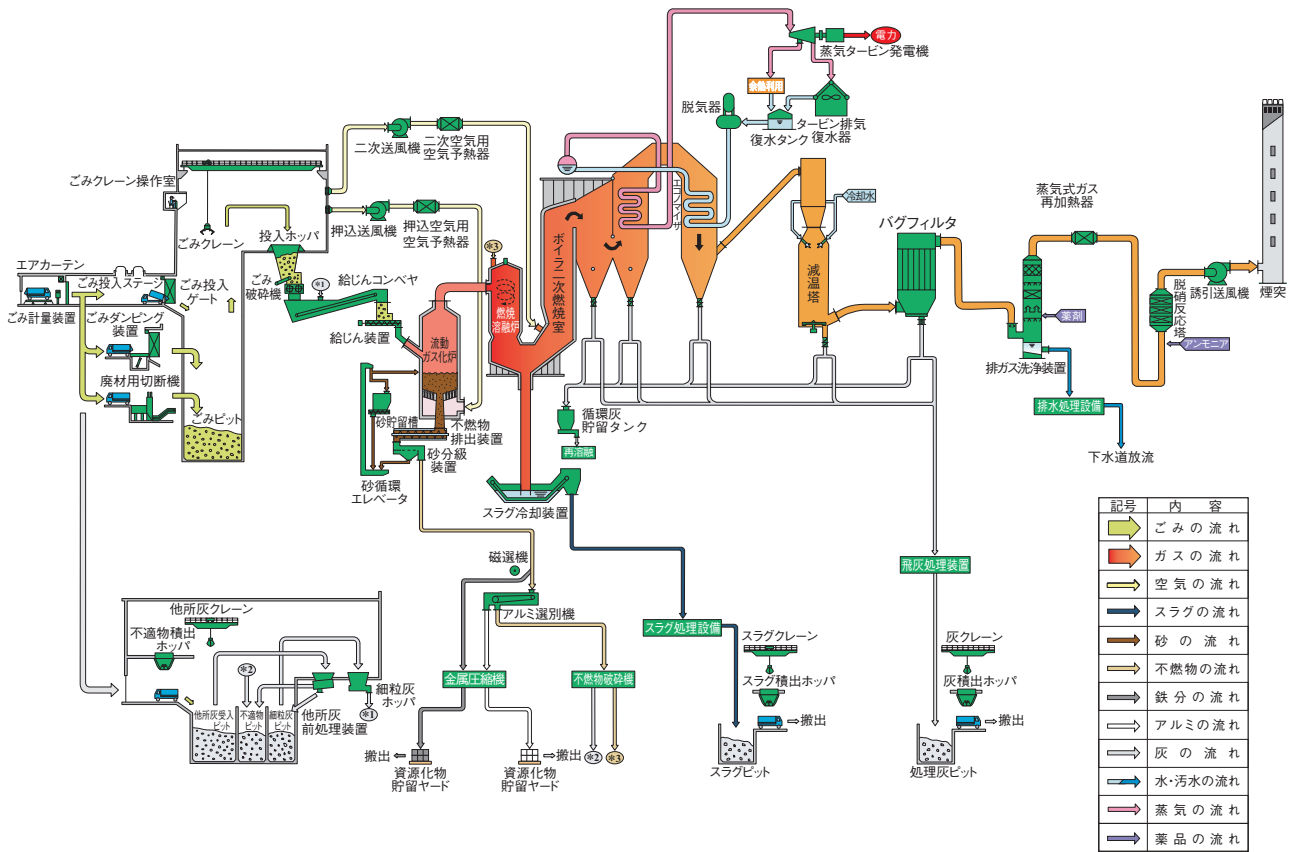


図1 相模原市南清掃工場のフロー

## 2. 相模原市南清掃工場の特長

### 2.1 安定した操業状況

図2に竣工から2015年度までのごみ焼却量の計画値と実績を示す。図2に示すごみ焼却量は搬入されたごみに加え、相模原市北清掃工場より搬入されたストーカ焼却灰から処理不適物を取除いた細粒灰を合計した値を示している。ごみの焼却量は年々増加し、2015年度では年間約120 000 tのごみを焼却処理した。

### 2.2 マテリアルリサイクル

相模原市は2008年に一般廃棄物処理基本計画を策定し、その基本理念として資源循環社会の形成を掲げている。南清掃工場もその基本理念に則り、マテリアルリサイクル、サーマルリサイクルを推進している。

当社の流動床式ガス化炉はごみに含まれる鉄やアルミを、熔融せず未酸化の状態で回収することができる。南清掃工場では鉄とアルミを回収・分別した後、金属圧縮機で成型し、鉄、アルミをそれぞれ全量売却している。

また、再資源化したスラグに対して2011年1月27日にJIS認証（JIS A 5023一般廃棄物、下水汚泥又

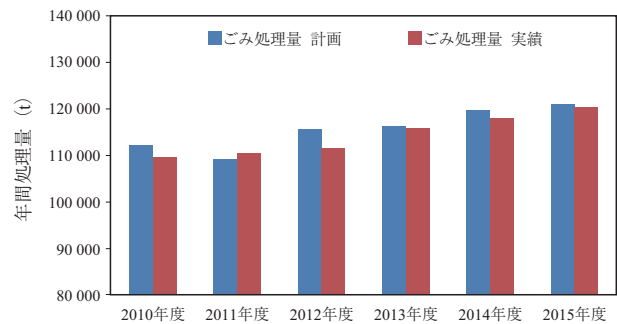


図2 ごみ処理量の推移 (計画値と実績)

はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ)を取得し、以降JIS認証を継続している。

JIS認証を継続するためにはスラグの品質を良質かつ安定的に保つ必要がある。南清掃工場ではスラグの品質維持のために、スラグを冷却する水砕水の管理、溶融状態の管理、そして後述するごみの受入れ時の検査を厳重に行っている。

南清掃工場で生産したスラグは月毎にロット管理している。これまで実施した検査全てにおいてJISで規定されている品質基準を全項目満足している。

図3に2015年度における鉛の含有量を示す。鉛の含有量の規制値が150 mg/kgであるのに対し、年間通じて約40 mg/kgと低い値で推移しており、安定した品質を維持していることが分かる。

このように厳格な品質管理によって製造されたスラグは相模原市の公共工事に使用されるアスファルトの骨材や、最終処分場の保護材・覆土材として有効活用されている。また、スラグを利用したアスファルトと従来のアスファルトを比較し、施工性や品質に遜色ないことが確認されている。<sup>3)</sup>

### 2.3 サーマルリサイクル

サーマルリサイクルの観点では、まず廃熱ボイラ、エコマイザによる積極的な熱回収が挙げられる。南清掃工場では年間通じてほぼ2炉運転を行っており、その発電量は年々増加している。図4に竣工から2015年度までの発電量の計画値と実績を示す。図4に示す通り2011年度からは計画値を上回る発電量を達成しており、2015年度の年間発電量は約57 000 MWhに達する。発電量が増加した主な要因は、低空気比燃焼に加え、タービンの排気圧力を下げ、熱落差を大きくするなどの運転の最適化を行ったことによるものである。南清掃工場ではEGRは

採用していないが、図5に示すように年間通じて安定した空気比を維持している。図6に同期間における発電効率を、図7に売電量の計画値と実績を示す。図6より、発電効率も年々増加しており、2013年度以降は17 %以上の高い発電効率を維持している。図7より、売電量は竣工以来計画値を上回っており、2015年度は約26 000 MWhを電力会社に売電している。南清掃工場は2012年12月にFIT制度の認定を受け、2013年4月からはFIT価格による売電を行っている。売電による収入はFIT制度認定前と比較して認定後は約2倍以上となっている。

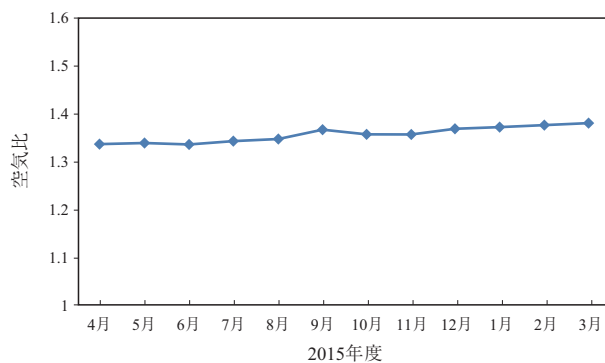


図5 2015年度の空気比の推移

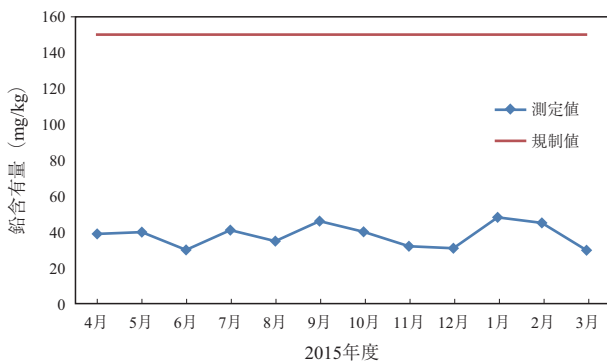


図3 スラグ中の鉛含有量の推移

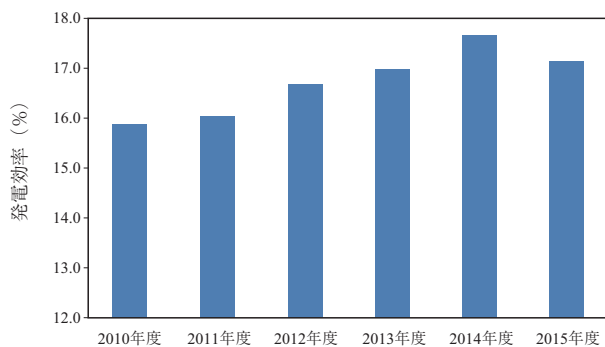


図6 発電効率の推移

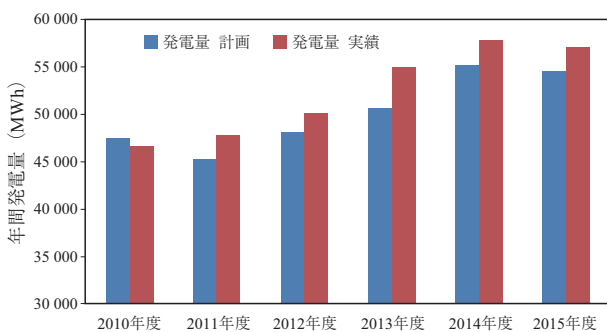


図4 発電量の推移 (計画値と実績)

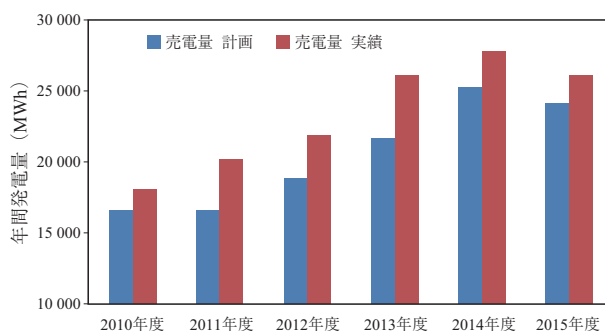


図7 売電量の推移 (計画値と実績)

また、南清掃工場では発電だけでなく排ガスの熱を温水として熱回収し場内で利用している。加えて隣接する温水プールや温室に蒸気を供給し、発電と合わせてサーマルリサイクルを推進している。

## 2.4 他所灰混合処理

前述のとおり南清掃工場では従来まで埋立て処分していた他所灰を受入れ、他所灰に含まれる処理不適物を取除いた細粒灰をごみとともに焼却、処理している。細粒灰の混焼率は約3%である。他所灰を溶融することで、相模原市全体で最終処分場の延命化を図っている。

## 3. 安定操業に向けた設備改善の事例

南清掃工場に搬入されるごみの約25%を事業系ごみが占めており、その中に破碎・給じんライン、および不燃物搬送ラインでのトラブルの要因となる金属塊等の処理不適物が含まれていることがある。<sup>3)</sup>

そこで南清掃工場では2010年7月、ごみ投入ステージに自走式ごみ検査装置を設置し、事業系ごみを対象に受入時に抜取り検査を実施している。自走式ごみ検査装置の外観を写真2に示す。検査装置を設置し抜取り検査を実施した結果、大きな抑止力となり処理不適物に起因するトラブルの発生件数は激減した。

また、不燃物搬送ラインに当社で独自に開発した異物除去装置を設置した。異物除去装置の外観を写真3に、概略図を図8に示す。この装置は不燃物搬送コンベヤの乗継ぎ部に設置していたシュートを置換える形で設置しており、乗継ぎの過程で異物を除去することができる。本装置は図8に示すように装置内に2本のバーを斜めに設けており、このバーによって大型の処理不適物のみを捕捉し、小型の不燃物は通過を許容するクロスフロー形式の異物除去装置となっている(特願2016-36000)。2本のバーの間隔は任意に調整可能であり、下流の搬送設備の搬送性能に応じた大きさの不燃物のみを通過させることができる。また、この装置にはレベルセンサ、および監視カメラが設置されており、写真4に示すように装置内部の異物堆積状況を中央制御室で常時監視することで、ガス化炉から排出された処理不適物を不燃物搬送ラインの上流で除去でき、下流側でのトラブル発生を未然に防ぐことが可能となった。

加えて不燃物処理設備のシュート口径を竣工当初よりも大口径のものへ変更する改善工事を行った。これも閉塞に対して一定の効果があることが確認された。

これらの設備改善を行うことによって、南清掃工



写真2 自走式ごみ検査装置の外観



写真3 異物除去装置の外観

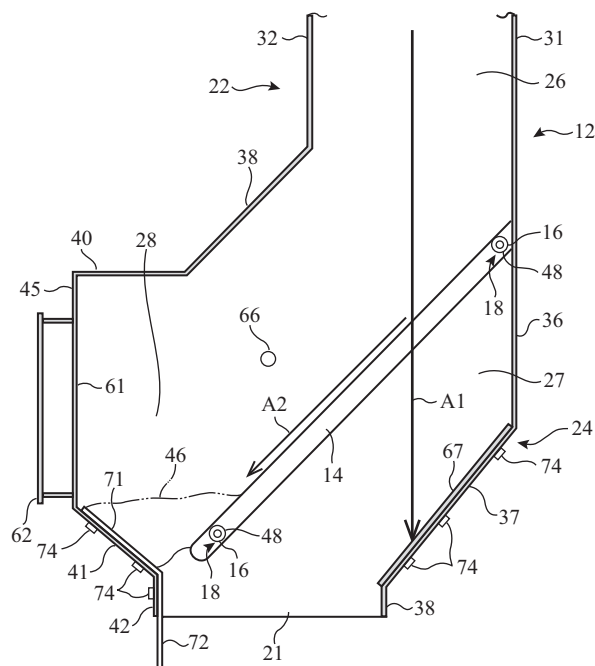


図8 異物除去装置の概略図

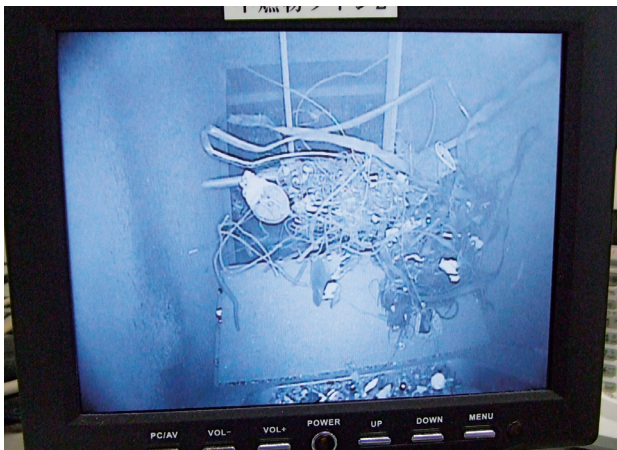


写真4 異物除去装置の監視状況

場の操業の安定性はさらに向上した。

## むすび

当社は国内最大規模の流動床式ガス化溶融炉を有

する相模原市南清掃工場を納入し、種々の設備および操業改善を重ね、2010年の竣工以来安定したごみの処理を継続している。これにより当社の流動床式ガス化溶融炉を適応できる処理規模がさらに拡大し、施設規模において60 t/d から600 t/d クラスとほぼ国内すべてをカバーできることとなった。

今後も流動床式ガス化溶融炉の性能・付加価値をさらに向上させていくとともに、南清掃工場で培った技術を基盤として循環型社会の発展に向けて尽力していく所存である。

## [参考文献]

- 1) 谷川昇：新処理技術の展開，廃棄物学会誌 No. 7, Vol.9 (1998), P 470-486
- 2) 増川幸宏：第37回全国都市清掃研究・事例発表会，講演論文集 (2016), P.61-63
- 3) ごみ処理施設訪問 国内最大級の流動床ガス化溶融施設 稼動5年後の状況：神奈川県相模原市 南清掃工場，環境施設143号 (2016), P52-56

# セシウム汚染土壌を対象とした加熱化学処理パイロット実証

## Pilot Scale Experiment for Cesium Contaminated Soil by a Thermal-Chemical Treatment Method



竹田尚弘\*  
Naohiro Takeda



小倉正裕\*  
Masahiro Ogura

除染に伴い発生した除去土壌に対して、中間貯蔵施設に搬入された後、30年後の最終処分に向けて減容処理が検討されている。当社がこれまで開発してきた加熱化学処理技術は、ラボスケール、ベンチスケールにて実汚染土壌を用いた実証試験で最大98%のCs除去率を達成している。本報では、パイロットスケールでの実証試験を実施し、加熱化学処理試験結果の再現性の確認、ならびに得られた浄化物の再生利用評価を行った。その結果、パイロットスケールでも加熱化学処理は適用可能であり、得られた浄化物は後処理を行なうことでコンクリート骨材、覆土材、盛土材、路盤材として再利用可能であることを確認した。

It has been studied that volume reduction process of soil and wastes generated from decontamination activities toward the final disposal outside Fukushima Prefecture within 30 years from the start of interim storage. In the previous reports, the thermal-chemical treatment for radioactively contaminated soil has been demonstrated a removal efficiency 98 percent for r-Cs by the laboratory and bench scale test in Fukushima prefecture.

In this report, pilot scale demonstrations were conducted in order to confirm consistency of experiment and possibility for recycling of decontaminated products. This experiment indicate high removal rate of r-Cs at 3 ton per day scale plant and the decontaminated products are able to use for concrete aggregate, cover soil, banking material and subbase material.

### Key Words :

放射 性 セ シ ウ ム	Radioactive cesium
汚 染 土 壌	Contaminated soil
熱 処 理	Thermal treatment
減 容 処 理	Volume reduction process
再 生 利 用	Recycling

### 【セールスポイント】

3 t/d 規模のパイロットプラントにて、汚染土壌への加熱化学処理技術の適用が可能であることを実証し、さらなるスケールアップが可能である。処理により得られた浄化物はコンクリート骨材、覆土材、盛土材、路盤材への再生利用が可能である。

## まえがき

2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所での事故により、大量の放射性物質（セシウム-134、セシウム-137等）が放出され、周辺環境を汚染した。国はこの事故由来放射性物質による汚染問題の解決を目的に、2011年8月に「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」を定め、除染作業を進めている。

除染に伴い発生する放射性物質に汚染された除去土壌や除染廃棄物（以下、除去土壌等）は、中間貯蔵・環境安全事業株式会社法に基づき、最終処分するまでの間、最長30年間中間貯蔵施設で保管することとなっている。しかし、その量は最大2,200万 $\text{m}^3$ （東京ドーム18杯分）と見積もられており、<sup>1)</sup> 県外最終処分に向け、安全性、経済性の観点から処分量低減のため除去土壌等の減容技術開発が進められている。

国は研究・技術開発および最終処分の方向性を検討するため、2015年7月、有識者からなる「中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会」（以下、検討会）を設置した。<sup>2)</sup> この中で将来的に活用可能性のある技術の小規模実証・評価を行う公募型実証事業と、分級処理および分級以外の技術開発を行う直轄型システム技術実証を通じ、2024年までに減容・再生利用技術の基盤技術開発を完了する計画としている。

あわせて、検討会では減容処理で得られた浄化物の再生利用の方針として、利用先を管理主体や責任

体制が明確となっている公共事業等において、人為的な形質変更が想定されない盛土材等の構造基盤の部材に限定した使用を検討している。その際の品質基準として、放射能濃度は8,000 Bq/kg以下、放射能以外の品質は通常の土木構造物に求められる要求品質<sup>3), 4)</sup>を満足することが示された。

除去土壌を対象とした主な減容技術としては、放射性セシウム（以下Cs）を多く含む細粒分と粗粒分を分離する「分級技術」、ならびに土壌自体から放射性Csを分離する「化学処理技術」、「熱処理技術」などが挙げられる。この中で、熱処理技術は、分級処理により発生する微粒子等の濃縮汚染物や高濃度汚染土壌を対象に用いる技術である。

当社はこれまで、熱処理技術の一種である加熱化学処理技術を開発しており、安定性Csを添加した模擬汚染土壌ならびに放射性Csで汚染されている除去土壌を対象に、ラボスケール（g規模）でのポット加熱試験、ならびにベンチスケール（kg規模）での小型回転炉を用いた加熱化学処理試験を実施した結果、最大でCs除去率98%を達成した。<sup>5), 6)</sup>

本報では、検討会で将来的に実施が予定されている直轄型システム技術実証を想定し、ベンチ試験からのスケールアップを目的に、3 t/d規模のロータリーキルンによるパイロット実証を実施し、ベンチ試験結果の再現性を確認して加熱化学処理技術の有用性を実証した。また、得られた浄化物を対象に各種再生利用用途ごとの品質分析を実施し、再生利用可能であることを確認したので、報告する。

### 1. 当社加熱化学処理プロセスとその特徴

図1に当社の加熱化学処理プロセスフローを示す。本プロセスは(1)添加剤混合工程、(2)加熱処理工

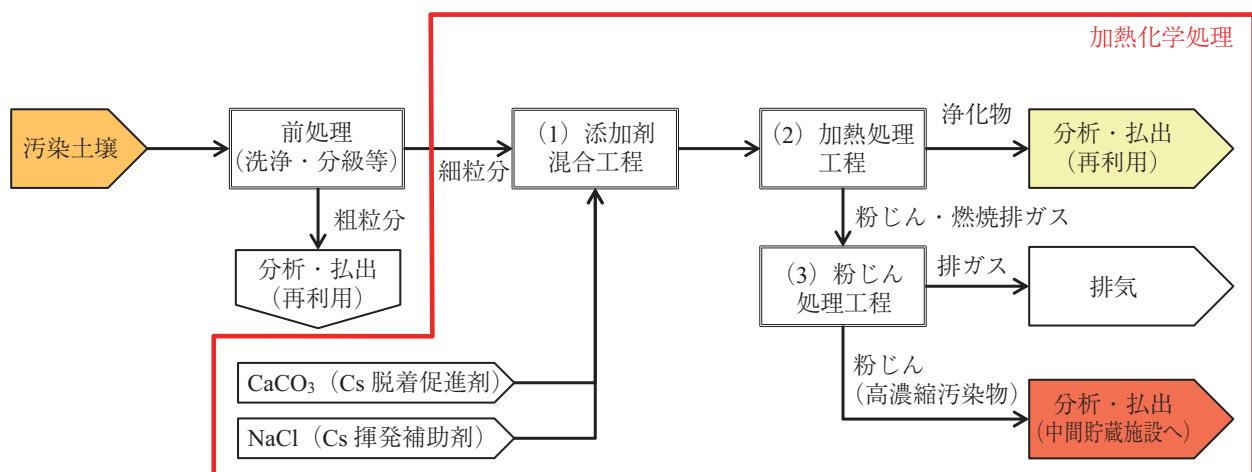


図1 加熱化学処理プロセスフロー

程、そして(3)粉じん処理工程の3つの工程から成る。

まず、添加剤混合工程にて、Csを土壌から脱着させるCs脱着促進剤として炭酸カルシウム(以下、CaCO<sub>3</sub>)と、脱着したCsを揮発させる揮発補助剤として塩化ナトリウム(以下、NaCl)の2種類の添加剤を添加混合する。その後、加熱処理工程にて、添加剤混合土壌を1000℃以上の温度域で加熱処理を行い、Csを揮発分離する。揮発したCsは粉じん処理工程にてバグフィルタにより捕捉し、高濃縮汚染物として回収する。

回収した高濃縮汚染物は、遮蔽容器に入れて保管、もしくは飛灰洗浄技術<sup>7)</sup>等を用いてCs吸着剤等へのさらなる高濃縮化を行い、遮蔽容器に入れて保管し、最終処分する。

Csは汚染土壌中の粘土鉱物に吸着し固定化され、とくにバーミキュライトや風化雲母等の2:1型層状けい酸塩鉱物に偏在すると考えられており<sup>8)、9)、10)</sup>、添加剤を混合しない場合は1000℃でも放射性Csは揮発除去されない。ところが上記添加剤を混合することで、土壌が熔融する温度域(1200℃以上)より低温である1000℃の温度域にて、粘土鉱物の結晶構造を変換し、Csを揮発除去することが可能となる<sup>11)</sup>。

本処理技術の特徴は以下のとおりである。

- ① 土壌が熔融しない低温域での加熱処理であるため、土壌の結晶構造を破壊せず、造粒・熔融のない土砂状の処理物を得ることができる。
- ② 汚染土壌中のCsが粉じん中に濃縮されることにより、元の汚染土壌量と比較して大幅な減容が可能となり、最終処分量の低減に寄与できる。

## 2. 試験方法

### 2.1 試験試料

土壌試料は、福島県の実汚染土壌における細粒分(<2mm)を模擬するため、砂(0.075~2mm)、粘土・シルト(<0.075mm、以下粘土)および粘土鉱物の混合物とした。砂にはコンクリート細骨材用の砂(含水率5~10%)を用いた。粘土には、減容処理の一種である分級処理(湿式分級)により排出される細粒分を想定し、採石場の泥水から固液分離して得られる脱水ケーキ(同25~30%)を用いた。粘土鉱物には、とくにCsを吸着固定化するバーミキュライト(昭和KDE株式会社、南アフリカ産、同5%<2mm)を用いた。

これらの成分を、福島県の実汚染土壌の成分組成を参考に、砂を71.4%、粘土/バーミキュライトを

28.6%の割合(共に乾燥重量として)で混合し、土壌試料とした。

添加剤には、NaCl(株式会社日本海水、食塩)とCaCO<sub>3</sub>(丸尾カルシウム株式会社、重質)の2種類を使用した。

### 2.2 Cs吸着処理

Cs模擬汚染土壌を作製するためのCs吸着処理は、Csを吸着固定化しやすい粘土ならびに粘土鉱物を対象に行った。

粘土には脱水ケーキを用いているため、まずは200Lのタンクにて脱水ケーキ50kgを50kgの水に解砕・分散し、スラリーを作製した。そこに安定性Cs(水酸化Cs・一水和物、Rockwood Lithium GmbH, 99.95%)を添加し、十分に混合攪拌後、ろ過分離にて再度ケーキ状にし、模擬汚染粘土を調製した。

粘土鉱物に対しては、ドラムミキサに20kgのバーミキュライトを入れ、安定性Csを溶解した水溶液2Lを振りかけながら回転混合し、得られた模擬汚染粘土鉱物を90℃で一晩乾燥して調製した。

それぞれのCs模擬汚染試料に対して、吸着固定化されていることを確認するため、水溶性Cs抽出試験を実施した。水溶性Cs抽出試験は、模擬汚染試料10gに純水100gを添加し、室温にて4時間スターラで攪拌し、その後遠心分離、減圧ろ過にて固液分離し、得られたろ液のCs濃度を分析した。

### 2.3 添加剤混合工程

混合処理には、水平単軸ローター混合機(攪拌槽容量0.6m<sup>3</sup>、モータ45kW)を用い、充填率50%にて380kg/バッチの処理規模で混合を行った。ベルトコンベヤに所定量の砂、粘土/バーミキュライト、添加剤を載せ、攪拌装置に供給し、3分間混合攪拌を行った。混合物の安定性Cs濃度を分析した。

### 2.4 加熱処理・粉じん処理工程

#### 2.4.1 パイロット試験装置

試験は、3t/d規模の内熱式ロータリーキルン(キルン内径1000×長さ5000mm)を用いて行った。プラント全体のフローを図2に、主要設備の仕様を表1に示す。添加剤を混合した試験試料をスクリーフィーダによりロータリーキルンへ定量供給しA重油燃焼バーナにて加熱処理し、処理後の浄化物を二重ダンパを通して排出した。加熱処理時のキルン内部を誘引送風機により負圧制御し、揮発・飛散物の漏洩を防止した。キルン排ガスは、二次燃焼室、冷却塔およびバグフィルタを通過後、煙突から排出した。

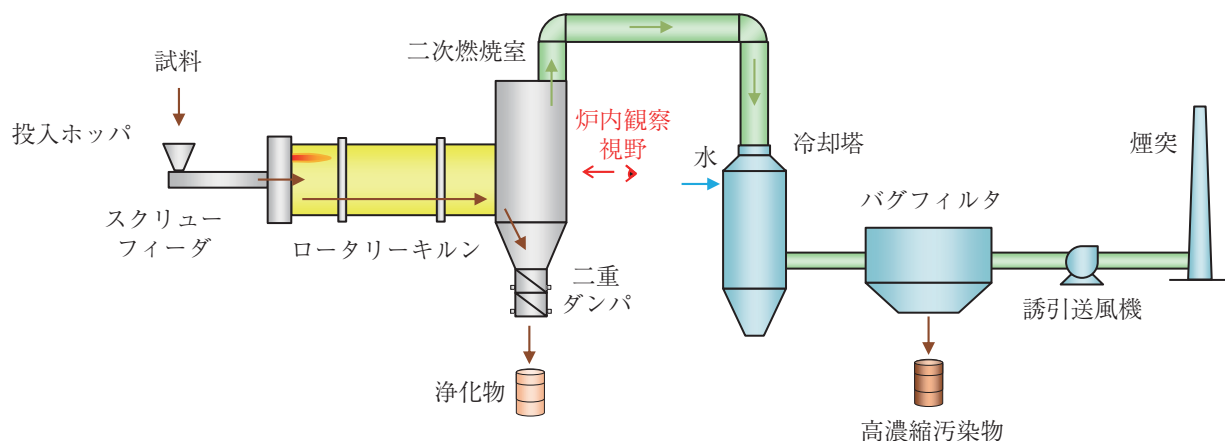


図2 パイロットプラントフロー

表1 プラント主要設備の仕様

装置名	主仕様
キルン	φ1 300×L5 000 mm キャストブル150 mm
バーナ	最大100 L/h, A 重油
二次燃焼室	φ2 000×H7 500 mm (有効2 552 mm) キャストブル150 mm
バグフィルタ	187 m <sup>2</sup> (バグ本数200本)
誘引送風機	120 m <sup>3</sup> /min (180℃) 22 kW

加熱処理の過程でCs揮発補助剤と共に揮発したCsを含む粉じんはバグフィルタにより捕捉し、集じんホッパおよびエレメント付着粉じんを高濃縮汚染物として回収した。

浄化物、粉じんについて、回収量および安定性Cs濃度、含水率を分析し、Cs収支を確認した。

#### 2.4.2 試験条件

表2に土壌と添加剤の混合割合を示す。

試験No.1では、既報のラボ実験にて良好なCs除去率が得られる標準的な条件として見出した土壌70:CaCO<sub>3</sub>-30:NaCl-5の条件にて実施した。試験No.2では、より実土壌に近い性状を模擬するため粘土にバーミキュライトを混合し、またCs除去率の向上を指向しNaClを増量して土壌70:CaCO<sub>3</sub>-30:NaCl-10の条件にて実施した。

#### 2.4.3 運転条件

表3に加熱処理運転条件を示す。既報のラボ実験結果を基に、加熱温度1 000℃以上、加熱時間60分以上の処理条件を想定し、キルン内において1 000℃以上の温度帯を60分以上保持する条件に設定した。

表2 土壌と添加剤の混合割合

加熱試験 No.	混合割合 (dry%)	
	No.1	No.2
砂	71.4	71.4
粘土	28.6	22.9
バーミキュライト	—	5.7
炭酸カルシウム	42.9	42.9
塩化ナトリウム	7.1	14.3

表3 加熱処理運転条件

試料供給量	120 kg/h
総試料量	1 000 kg
キルン内滞留時間	2時間以上
加熱時間 (1 000℃以上)	1時間以上
バーナ燃焼空気比	1.2

試料供給量と排出量、ならびにキルン内の温度分布を測定し、加熱温度、加熱時間を推算した。温度分布は、試料供給口側から800 mm, 1 600 mm, 3 200 mmの位置に設置したテレメータR熱電対により試料温度を測定した。また、供給口側から6 mのK熱電対を挿入し、500 mm毎に試料温度を測定した。さらに、図2の炉内観察視野から、サーモグラフィ観察を行った。

#### 2.5 分析

##### 2.5.1 Cs濃度分析

固体試料(模擬試料, 処理後試料等)は試料を乳鉢で粉碎後、硝酸、過塩素酸ならびにフッ化水素酸の混酸を添加して140~200℃で加熱して酸分解・蒸発乾固させ、硝酸で溶解・定容し、溶解液を調製した。この溶解液を適宜希釈してICP-MS(アジレ



ント・テクノロジー株式会社, 7700) に導入し, 内部標準物質として Rh-103 を使用して Cs-133 量を定量した。

液体試料 (Cs 溶出液) は上述の溶解液と同様の方法により Cs 濃度を分析した。

Cs 濃度分析結果から式(1)に示す計算式により Cs 除去率を算出した。

Cs 除去率 [%] =

$$\left( 1 - \frac{\frac{\text{処理後試料量 [g]} \times \text{処理後試料の Cs 濃度 [mg/kg]}}{1000}}{\frac{\text{処理前試料量 [g]} \times \text{処理前試料の Cs 濃度 [mg/kg]}}{1000}} \right) \times 100 \dots (1)$$

### 2.5.2 品質分析

浄化物の再生利用の用途として, コンクリート骨材, 盛土材, 覆土材, ならびに路盤材への使用を想定し, 各種再生利用用途ごとに放射能濃度以外の品質分析を実施した。分析項目ならびに分析方法を表 4 に示す。分析には試験 No.1 にて得られた浄化物を使用した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 模擬試料作製

安定性 Cs を吸着させた粘土, バーミキュライトの水溶態 Cs 溶出率を表 5 に示す。Cs 溶出率は粘土 12.2 %, バーミキュライト 1.3 % となり, 添加した Cs は水では容易に抽出されず, 粘土またはバーミキュライトに吸着されていることを確認した。

### 3.2 添加剤混合

添加剤混合処理前後の外観を写真 1, 2 に示す。混合後試料は目視にて脱水ケーキは解砕され, 添加剤と均一に混合されていた。なお, 写真 2 で粒状の塊が見受けられるが, これは解砕されずに残った脱水ケーキではなく, 均一混合された造粒物であった。

表 5 模擬試料の水溶態 Cs 溶出率

模擬試料	水溶態 Cs 溶出率 (%)
粘土	12.2
バーミキュライト	1.3

表 4 品質分析項目

再生利用用途	分析項目	分析方法
コンクリート骨材	粒度分布	JIS A 1204
	粘土塊量	JIS A 1137
	微粒分量	JIS A 1103
	有機物含有量	JIS A 1105
	絶乾密度	JIS A 1109
	吸水率	JIS A 1109
	安定性損失量	JIS A 1122
	塩化物量	JIS A 5308
	アルカリシリカ反応性試験 (モルタルバー法)	JIS A 1146
覆土材	粒度分布	JIS A 1204
	有機物含有量	JIS A 1105
盛土材	重金属溶出量	H15 環告 18 号溶出試験
	重金属含有量	H15 環告 19 号含有試験
	強熱減量	JIS A 1226
	粒度分布	JIS A 1204
	コーン指数	JIS A 1228
	液性限界・塑性限界	JIS A 1205
	塩化物含有量	JGS 0241
	電気伝導度	JGS 0212
	水素イオン濃度 (pH)	JGS 0211
路盤材	修正 CBR	JIS A 1210 JIS A 1222
	安定性損失量	JIS A 1122
	微粒分量	JIS A 1103



写真1 添加剤混合前の試料外観



写真2 添加剤混合後の試料外観

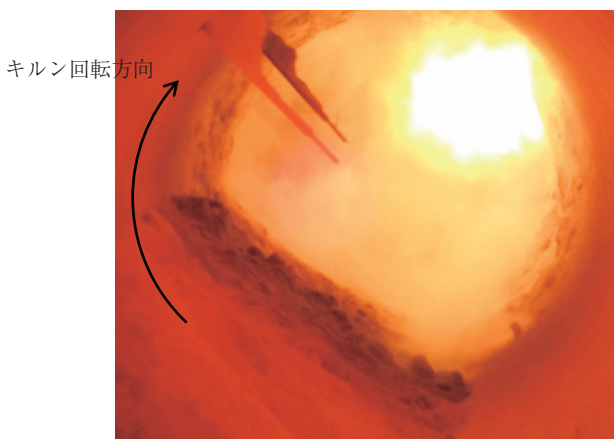


写真3 ロータリーキルン内の状況

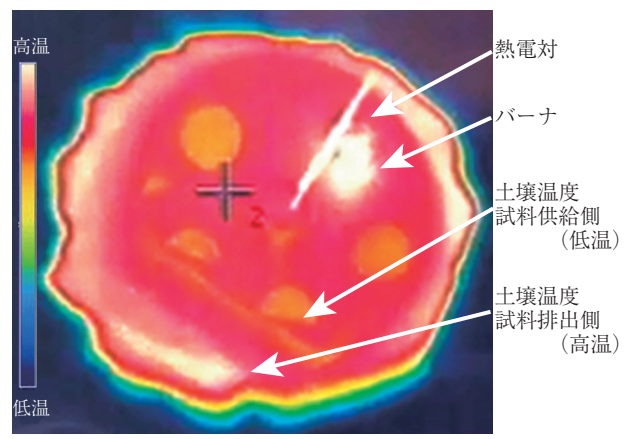


写真4 サーモグラフィ温度分布画像

表6 加熱試験条件毎の添加剤混合試料のCs濃度

加熱試験 No.	No.1	No.2
Cs 濃度 (平均値)	128 mg/kg	540 mg/kg
標準偏差	8.3	8.2

混合処理は、各加熱試験の混合条件に基づいて複数バッチ実施した。各バッチ毎に得られた添加剤混合試料のCs濃度分析を行い、そのCs濃度(平均値)と標準偏差を表6に示す。試験No.1, 2のCs濃度はそれぞれ128 mg/kg, 540 mg/kg, 標準偏差は8.2~8.3となり、混合処理のバッチ間のばらつきはほとんど見られず、安定して均一混合できていることを確認した。

### 3.3 加熱処理試験

加熱処理中のロータリーキルン内の状況を写真3

に、同視野におけるサーモグラフィ温度分布画像を写真4に示す(図2に記載の炉内観察視野から見た写真)。写真3より、キルンの奥側(試料供給側)には水蒸気が発生している様子が観察できる。写真4より、キルン奥側の土壌は黄色(低温)である一方で、手前側(試料排出側)は白色(高温)になっており、徐々に加熱されて温度が上昇している様子が観察できる。

図3に試料の供給量ならびに排出量の積算値を示す。この結果から、試料のキルン内の滞留時間は、試験No.1では120分間、試験No.2では140分間となった。試験No.2で滞留時間が延びた理由は、バーミキュライトおよびNaCl混合割合が異なり試料の安息角が変化したためと考えられる。従って、滞留時間を一定に保つためには、添加剤条件により、滞留時間を制御する必要があることが分かった。

図4にキルン内における試料の温度分布を示す。キルン全長5mの内、試料供給口から2m以降の部分で試料温度は1000℃以上となっていた。この結果、1000℃以上の加熱時間が試験No.1では66分間、試験No.2では84分間となり、目標とする60分間以上の加熱時間を確保することができた。

表7にCsの物質収支を示す。加熱処理の結果、Cs除去率は90%以上を達成し、ベンチ試験結果の再現性を確認した。また、NaClを増量することにより、Cs除去率が向上する(91.5→94.3%)ことも確認した。一方で、試験No.1においては、浄化物、粉じんからのCs回収率は約40%に留まった。このため、試験No.2においてはバグフィルタからの抜取りエレメント本数を増すことでサンプリング誤差の減少を図ると共に、二次燃焼室出口から冷却塔入口までのダクト内に付着した粉じんも回収した結果、9割のCsを回収した。本パイロット設備では、設置場所の制約から二次燃焼室と冷却塔の距離が通常より長いダクト内付着物が増加し、また二次燃焼室および冷却塔への接続継手など試験設備特有の制約から未回収Csが生じたと考えられるが、実処理設備においてはダクト設計の最適化によりバグフィルタでの回収率向上が見込まれる。

### 3.4 浄化物の品質評価

表8に加熱化学処理浄化物の品質評価結果を示

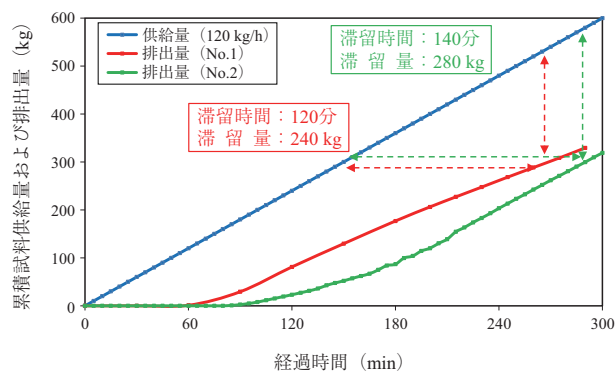


図3 試料供給量と排出量の推移

す。この結果、微粒分量と六価クロムの溶出量が基準値の範囲外となった。

微粒分量については、本試験において加熱化学処理の対象を2mmアンダーの細粒分を想定して原料を調製しており、本処理においては造粒や溶融等の物質の性状が変化することなく、原料由来の粒径がそのまま反映されるため、基準値の範囲外となる。実際の再生利用時には、分級処理等により発生する粗粒分と混合することで、基準内に粒度調整が可能である。

六価クロムの溶出量については、既存の重金属抑制技術を使用することで、追加の後処理が必要となるものの、再生利用が可能である。

### むすび

加熱化学処理技術のパイロットスケール(3t/d規模)実証を実施し、ベンチ試験結果の再現性の確認、ならびに得られた浄化物を対象に各種再生利用用途ごとの品質評価を実施した。その結果、ベンチ試験結果と同等以上の高いCs除去率達成し、スケールアップした場合の加熱化学処理技術の有用性を実証した。また、得られた浄化物は後処理を要するものの再生利用可能であることを確認した。

今後、中間貯蔵施設に搬入される除去土壌等の最終処分に向けた減容・再利用に本技術を活用し、復興に貢献していきたい。

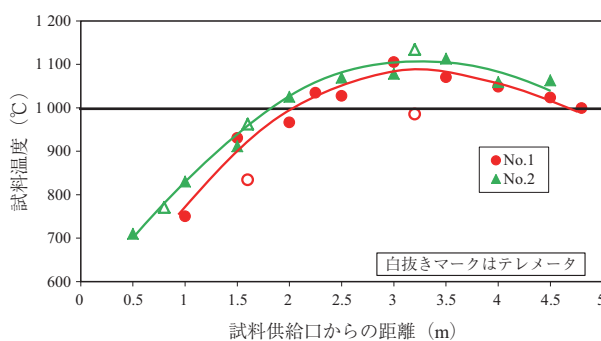


図4 キルン内における試料の温度分布

表7 Csの物質収支(1時間あたり)

試験 No		No.1			No.2			
対象物質		供給試料	浄化物	粉じん	供給試料	浄化物	ダクト付着物	粉じん
重量	kg	120	89	5.0	120	79	2.7	5.9
Cs濃度	mg/kg	128	17	905	540	47	6100	6100
Cs割合	%	100	9.5	29.2	100	5.7	25.2	55.8
Cs除去率	%	—	91.5	—	—	94.3	—	—

表8 加熱化学処理浄化物の品質評価結果

再生利用用途	分析項目	品質評価結果
コンクリート骨材	粒度分布	○
	粘土塊量	○
	微粒分量	微粒分超過 ⇒ 粒度調整で対応可
	有機物含有量	○
	絶乾密度	○
	吸水率	○
	安定性損失量	○
	塩化物量	○
	アルカリシリカ反応性試験（モルタルバー法）	○
覆土材	粒度分布	微粒分超過 ⇒ 粒度調整で対応可
	有機物含有量	○
盛土材	重金属溶出量	Cr (VI) が若干超過 ⇒ 既存技術で対応可
	重金属含有量	○
	強熱減量	○
	粒度分布	(第2種建設発生土の 第2b種もしくは 第2種改良土相当)
	コーン指数	
	液性限界・塑性限界	
塩化物含有量	○	
電気伝導度	○	
水素イオン濃度 (pH)	○	
路盤材	修正 CBR	○
	安定性損失量	○
	微粒分量	微粒分超過 ⇒ 粒度調整で対応可

[参考文献]

1) 「除去土壌等の中間貯蔵施設の案について」環境省ウェブサイト ([http://josen.env.go.jp/chukanchozou/action/acceptance\\_request/pdf/draft\\_131214.pdf](http://josen.env.go.jp/chukanchozou/action/acceptance_request/pdf/draft_131214.pdf)), 2016年7月閲覧

2) 「中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会」, 環境省ウェブサイト ([https://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative\\_commission/](https://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative_commission/)), 2016年7月閲覧

3) (国研) 土木研究所編著: 「建設発生土利用技術マニュアル 第3版」, (2004)

4) (公社) 地盤工学会: 「災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン」, (2014)

5) 竹田尚弘ほか: 「放射性物質に汚染された土壌の除染・減容化技術」, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.9, No.2 (2013), pp.15-20

6) 竹田尚弘ほか: 「放射性物質に汚染された土壌の除染・減容化技術—第2報」, 神鋼環境ソリューション技

報, Vol.10, No.2 (2014), pp.2-9

7) 谷田克義ほか: 「放射性セシウム含有飛灰の洗浄技術」, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.10, No.2 (2014), pp.10-17

8) Atsushi NAKAO, etc.: 「Characterization of the frayed edge site of micaceous minerals in soil clays influenced by different pedogenetic conditions in Japan and northern Thailand.」, Soil Science and Plant Nutrition, 54, (2008), pp.479-489

9) 山口紀子ほか: 「土壌-植物系における放射性セシウムの挙動とその変動要因」, 農業環境技術研究所報告, 31, (2012), pp.75-129

10) 小暮敏博: 「土壌中で放射性Csはどのような物質に固定されているのか」, Isotope News, 734 (6), 29-33 (2015), pp.24-33

11) 竹田尚弘ほか: 「加熱化学処理におけるセシウム揮発メカニズムの検証」, 第5回環境放射能除染研究発表会要旨集, (2016)

# 高純度水素発生装置「HHOG」の足跡と今後の展望

## Past Trend and Future Outlook of High-purity Hydrogen Oxygen Generator (HHOG)



中尾末貴\*  
Sueki Nakao



亀澤啓太\*  
Keita Kamesawa

当社の固体高分子電解質膜を利用した水電解式の高純度水素発生装置「HHOG」は工業用途において国内トップシェアを誇る。商品化後20年を経過し、工業用水素ガスの供給装置として、130台を超える実績を有する。これは市場ニーズの変化をとらえた装置開発の成果ともいえる。近年では水素エネルギーおよび再生可能エネルギー活用市場の立上りにより、事業をとりまく環境は新たな局面を迎えているが、当社ではこれらの分野により適合する高効率、低価格な商品を市場に供給すべく、様々な実証試験に取り組んでいる。

Water electrolyzer, HHOG (High-purity Hydrogen Oxygen Generator) using polymer electrolyte membrane has the top domestic market share in industrial applications. Twenty years have passed since commercialization of HHOG, and delivery number of HHOG is more than 130. These are the results of research and development of HHOG that captures the changes in the market needs. In recent years, the markets of hydrogen energy and renewable energy are expanding, and the business environment surrounding HHOG is entering a new phase. We are working on various verification tests, in order to develop and supply high efficiency and low cost products for these markets.

### Key Words :

水素発生装置	Hydrogen generator
水電解	Water electrolysis
固体高分子電解質膜 (PEM)	Polymer electrolyte membrane
電力貯蔵	Electricity storage
水素社会	Hydrogen society
再生可能エネルギー	Renewable energy

### 【セールスポイント】

- ・ 99.999 %以上の高純度水素ガスを簡単な操作で供給可能。
- ・ 原料は水と電気だけで、危険な化学物質、薬品などを使用しない。装置内に保有する水素量が少なく安全性が高い。
- ・ 国内外における納入実績は130台以上であり、工業用の水電解式水素発生装置として国内トップシェアを誇る。
- ・ 水素エネルギー、再生可能エネルギーなどの分野にも適用可能。

## まえがき

当社の高純度水素発生装置（HHOG）は2016年で商品化後20年が経過し、節目の年を迎えた。HHOGは簡易な操作で高純度の水素を供給でき、安全性が高いことなどが評価され、国内外に130台を超える納入実績を有する（2016年3月時点）。これは、工業用途向けの固体高分子電解質膜を用いた水電解装置メーカーとして国内トップシェアである。

本稿では、HHOGの開発当初からの取組みや納入事例、今後の事業環境を見据えた新しい商品開発の取組みなどを紹介する。

## 1. HHOGの概要

### 1.1 原理

HHOGは、固体高分子電解質膜を利用して、純水を直接電気分解し、純度の高い水素ガスを発生させる装置である。図1にその原理を模式的に示す。

固体高分子電解質膜にはフッ素系樹脂のスルフォ

ン酸カチオン交換膜などを使用しており、電解質溶液と隔膜の役割を果たす。この固体高分子電解質膜の両面に水電解の電気化学反応を促進させる役割を持つ白金族触媒などを一体接合したものが膜電極接合体（Membrane Electrode Assembly, MEA）である。このMEAの陽極側に純水を供給し、両極間に直流電流を通電すると触媒反応により、陽極触媒層で純水が酸素ガスと水素イオンに分解される。水素イオンはカチオン交換膜中を電場の働きにより陰極側へ移動し、陰極触媒層で電子を得て水素ガスとなる。

### 1.2 システム

HHOGのシステムフローを図2に示す。

電気分解に使用される純水は循環水ポンプで循環され、熱交換器、非再生ポリシャで水温、水質を一定にし、電気分解モジュールに供給される。電気分解で消費された純水は、その分だけ純水タンクから酸素分離タンクへ補給される。

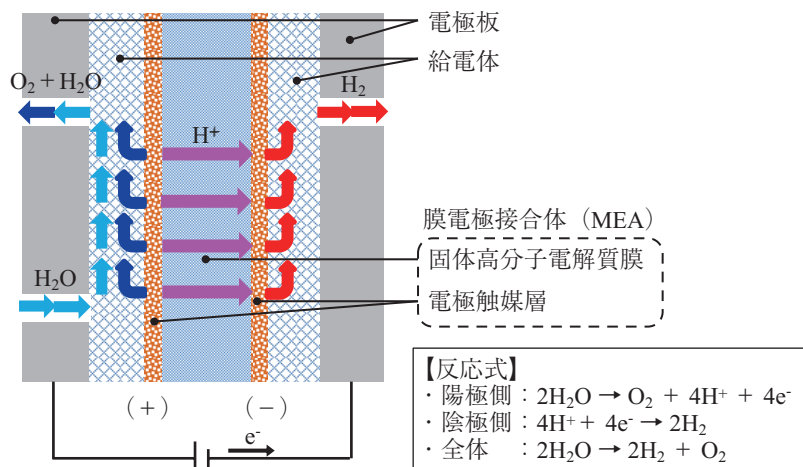


図1 水素ガスの発生原理

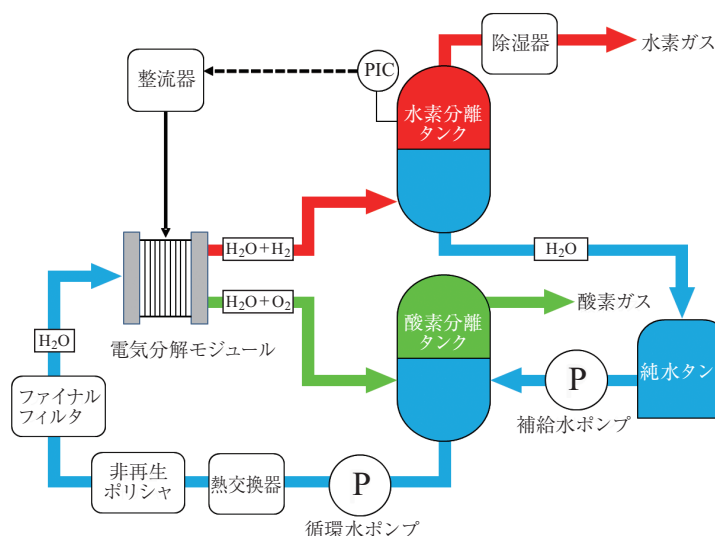


図2 HHOG システムフロー

表1 他オンサイト水素発生方式との比較

項目	HHOG (PEM 型水電解法)	アルカリ水電解法	水蒸気改質法
原料	純水	純水, アルカリ	メタノール, 都市ガス, プロパンガス
毒性	なし	劇物	劇物, 危険物
適用法規	労働安全衛生法	毒・劇物取締法, 薬事法 労働安全衛生法	消防法, 毒・劇物取締法 大気汚染防止法, 労働安全衛生法
水素ガス純度	99.999~99.9999 %	99.9 %	99.99 %
主な不純物	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> , アルカリミスト	CO, CO <sub>2</sub> , 炭化水素
操作性	・ 運転開始と同時に水素ガスを発生可能 ・ 水素ガス発生量が定格の0~100 %範囲で運転可能	・ パージのため起動に時間がかかる ・ 水素ガス発生量が定格より大幅に少ない領域での運転不可	・ 昇温するため起動に時間がかかる ・ 水素ガス発生量の変更に対する応答性が悪い
メンテナンス	ほとんど不要	材料腐食による構成機器の定期交換 アルカリ電解液の更新, 廃液処理	触媒の定期交換 原料槽の定期点検
発生廃棄物	なし	アルカリ廃液	CO, CO <sub>2</sub> , 炭化水素
付帯設備	直流電源装置	直流電源装置, 薬品注入装置 アルカリミストスクラバ, 廃液処理設備	メタノール貯槽, ガス精製装置 ガスホルダ, コンプレッサ

電気分解モジュールで発生した酸素ガスは純水とともに酸素分離タンクに送られる。水素ガスは水素分離タンクに送られ、同伴した純水をここで分離し、後段の除湿器で除湿されたのち、供給される。

水素ガスの発生量は、水素分離タンクの水素ガス圧力が常に一定になるように、電解電流値を制御することで調節し、0~100 %の範囲で自動制御され供給される。

### 1.3 他方式との比較

#### 1.3.1 圧縮水素との比較

HHOG はポンペなどの圧縮水素と比較すると、安全性に優れている。HHOG は、デマンドに応じて水素ガスの発生量を瞬時に0~100 %の範囲で制御できるため、システム内に水素を貯蔵させる必要がほとんどない。したがって、地震や火災等の不測の災害時には、装置を停止させるだけで良く、本質的に安全であると言える。また、HHOG で発生する水素ガス圧力は1 MPa 未満のため、高圧ガス保安法に規制されない。さらに、ポンペなどのように交換作業が不要なため、交換用の予備のポンペを設置するための敷地も不要である。

#### 1.3.2 他方式のオンサイト水素発生方式との比較

HHOG とその他のオンサイト水素発生方式との比較を表1に示す。

ユースポイントの近傍で水素を発生させるオンサイト方式の代表的なものとしては、メタノールや都市

ガスなどの炭化水素系の原料を水蒸気改質して得る方法と、水の電気分解による方法がある。水の電気分解には、HHOG のように固体高分子電解質膜を利用した方法と、水酸化カリウムなどのアルカリ水溶液を電解質として用いて電気分解を行う方法がある。

水蒸気改質法は、一般的には50 Nm<sup>3</sup>/h を超える大量の水素を得る場合に採用されるが、改質に必要な温度まで昇温させる必要があり、装置の起動に時間を要する。また、水素発生量の変動に対する応答性が悪い。これに対し、水電解方式は、装置の起動停止が容易で、電気を流せばすぐに水素が発生することからデマンドに応じ、瞬時に発生量を変化させることができる。

また、水蒸気改質法では製品原料に由来するCO やCO<sub>2</sub> が排出され、アルカリ水電解法ではアルカリ廃液が発生する。HHOG は原料が水と電気のみであり、これらの方法に比べて周囲への環境負荷・安全性の面で有利であるだけでなく、燃料電池の性能低下を引起こすCO を含有しないなど性能面でも優位性の高い水素発生方式の1つであると言える。

## 2. HHOG の歴史

### 2.1 開発の経緯

固体高分子電解質膜を利用した水電解の歴史は1970年代初期に米国のGeneral Electric 社が燃料電池の技術を水電解に応用したのが始まりである。国内においては、1975年頃から大阪工業試験所(現 産業

技術総合研究所関西センター、以下産総研）がサンシャイン計画およびそれを引継いだニューサンシャイン計画のWE-NETにおいてMEAの研究を行った。

当社は1992年に水電解式水素発生装置の開発に着手し、産総研からMEAの技術を導入して実用化に向けた開発を開始した。電気分解モジュールの開発に加え、当社が水処理事業で培った超純水製造技術を活用し、工業用の水電解装置の開発が続けられた。写真1は当時使用した実証試験機の外観である。

当時の国内の市場環境は半導体製造などの電子部品産業が活況であり、製造工程では高純度の水素ガスが使用されていた。高純度の水素ガスをオンサイトで供給可能という特長を活かし、それらの産業用途をターゲットに商用装置が開発され、1996年7月に商用第1号機を電子部品製造メーカーに納入するに至った。

## 2.2 HHOGの商品開発と事業のあゆみ

当社は1996年のHHOG商品化後から2016年に至るまで、図3に示すように産業構造の変化など、市場のニーズの変化に合わせたHHOGの開発を行い、

納入実績を増やしてきた。その結果、表2に示すラインナップの商品が開発された。

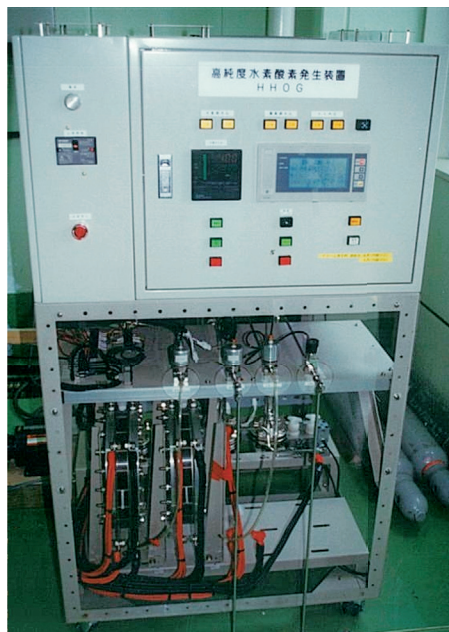


写真1 実証試験機

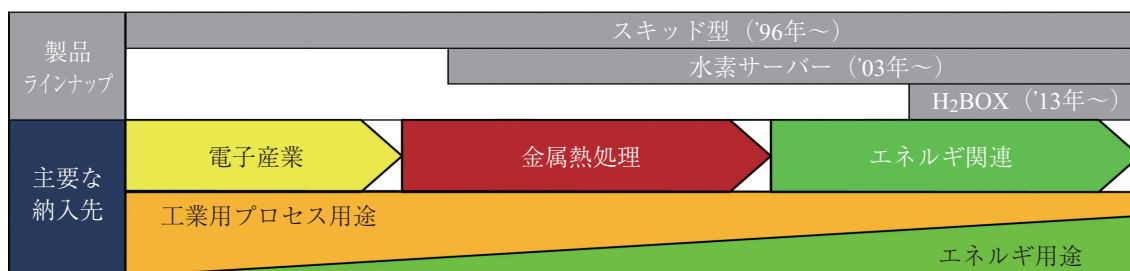
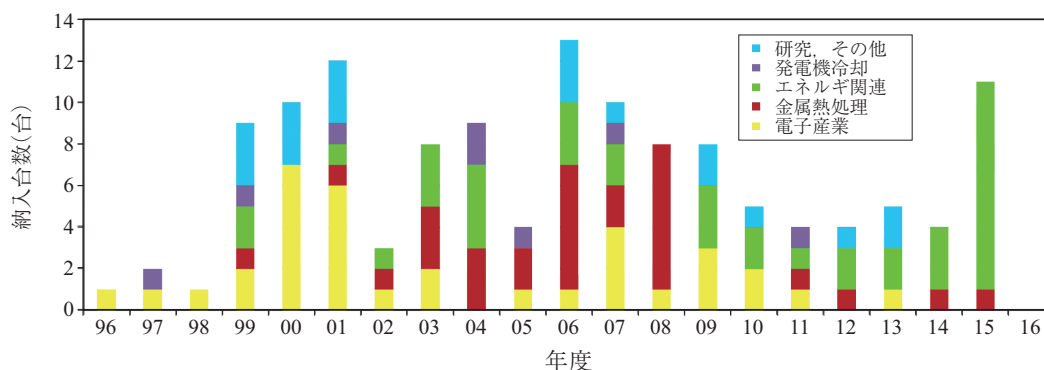


図3 HHOG 主要用途と納入実績の推移

表2 HHOG ラインナップ

水素発生量 [Nm <sup>3</sup> /h]		1	5	10	20	30	40	50	60
型式	低圧型	HB1	CL5D	CL10D	SL20D	SL30D	SL40D	SL50D	SL60D
	高圧型		CH5D	CH10D	SH20D	SH30D	SH40D	SH50D	SH60D
装置タイプ		H <sub>2</sub> BOX	水素サーバー		スキッドマウントタイプ				

※水素圧力：0.40 MPa 以下（低圧型）、水素圧力 0.40～0.85 MPa（高圧型）

※水素ガス純度：99.999%，水素ガス露点：-70℃（大気圧下）



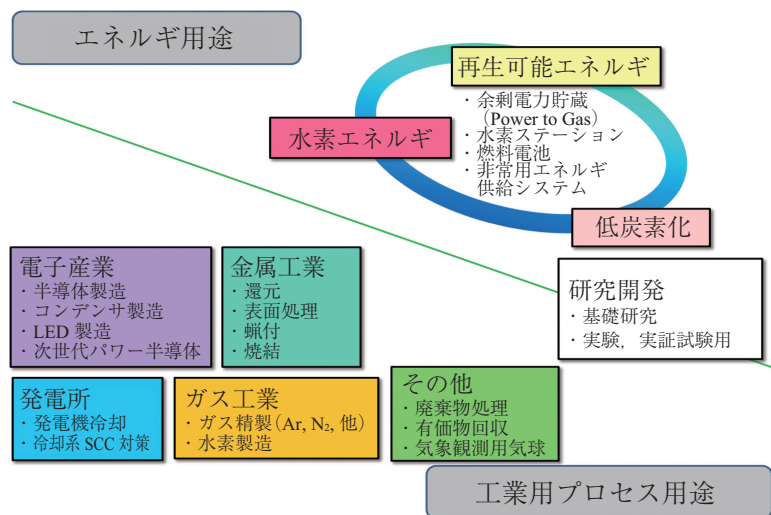


図4 HHOG 適用用途

HHOG の適用分野を図4に示す。水素は高い還元力などの特性を持つため工業的に様々な目的で使用されており、適用用途は多岐にわたる。過去20年の事業をとりまく市場環境の変化とHHOGの開発動向について、納入事例を交えながら次項で解説する。

### 2.2.1 スキッドマウントタイプ

1990年代から2000年代初頭にかけては、電子部品産業分野がHHOGの主要な納入先であった。半導体製造のキャリアガス、セラミックコンデンサの焼成用ガスとして、一般的にはボンベなどの圧縮水素が使用されており、その代替用途としてオンサイトで10～数10 Nm<sup>3</sup>/h 級の水素発生装置が要求された。

高圧ガス保安法などの法規に該当せず、また、空容器の交換作業の手間がなくその際の不純物混入のリスクがないという点が評価され、同分野での装置導入が進んだ。

電子部品産業向けに納入した装置の外観を写真2に示す。標準的には1スキッドの構成であり、現地設置工事は装置の据付けとユーティリティの接続のみで、顧客への引渡しまでを短期間で行うことができる。

次に、海外の火力発電所向けの装置の外観を写真3に示すが、発電所の要求事項により電気機器は防爆仕様となっており、盤類は別置き構造である。火力発電所では風損が少なく冷却効果の高い水素ガスが発電機（回転子）冷却用途として使用されているが、海外の発電所は立地条件やガス供給体制の点で圧縮水素の安定供給が困難なことも多く、オンサイト式水素発生装置のニーズがある。

その後、国内の半導体業界が再編されるなど、産業構造の変化に伴い発生容量のニーズが小容量にシ



写真2 スキッドマウントタイプ  
HHOG SH-30D (30 Nm<sup>3</sup>/h)



写真3 スキッドマウントタイプ  
HHOG SL-5D (5 Nm<sup>3</sup>/h)

フトしたため、これに合わせた小型装置の開発が進められた。

### 2.2.2 水素サーバー, H<sub>2</sub>BOX

「水素サーバー」および「H<sub>2</sub>BOX (すいそぼっくす)」はともに小容量の、コンパクト化されたパッケージタイプの装置である。

金属熱処理の現場では多品種少量生産に対応したバッチ炉を事業所内に多数保有するケースが多く、ボンベなどの高圧容器を置くスペースを確保することが困難な場合があった。また、高圧容器の交換作業の手間を無くしたいという点からも、コンパクトなオンサイト水素発生装置の商品化が求められていた。このようなニーズに対し、システムならびに構成機器を大幅に見直し、従来よりも省スペースな装置の開発を行い、水素サーバーとして2003年より販売を開始した(写真4)。

2000年代に入り、国内で燃料電池の実用化に向けた開発および性能評価が本格化した。燃料電池やその評価設備などを設置する研究所も同様に、スペースが手狭である場合が多く、高純度の水素ガスが安定して供給でき、省スペースな点が評価され、水素サーバーの納入実績が増えた。

だが、開発および性能評価用途では、水素サーバーよりさらにコンパクトな装置の要望があったため、H<sub>2</sub>BOXの開発を行い、2013年より販売を開始した(写真5)。水素発生量1 Nm<sup>3</sup>/h、水素供給圧力0.82 MPa (Gauge)であり、当社の従来機に対して設置面積で60 %減、設置容積で75 %減の大幅な

サイズダウンを実現した。

近年では、再生可能エネルギーを利用した、水素によるエネルギー貯蔵活用の実証などの用途が増えている。コンテナ内にHHOGとユーティリティ機器を内蔵し、太陽光発電や風力発電などの電源を利用し、水素を製造するシステムへの納入実績がある(写真6)。



写真4 水素サーバー CL-5D (5 Nm<sup>3</sup>/h)



写真5 H<sub>2</sub>BOX HB-1 (1 Nm<sup>3</sup>/h)



写真6 再生可能エネルギーを電源とする H<sub>2</sub>BOX の納入事例

### 3. 開発の取組み、今後の展開

#### 3.1 HHOGの事業をとりまく市場の動向

2014年の4月に閣議決定された第四次エネルギー基本計画の中で水素は電気、熱と並ぶ将来の二次エネルギーの中核として位置付けられた。また、同年6月に産学官からなる水素・燃料電池戦略協議会が水素・燃料電池戦略ロードマップを公表するなど、水素社会の実現に向けた政策的な動きが加速しており、市場においては、家庭用燃料電池エネファームの販売台数が2015年に累積15万台に達するなど（エネファーム パートナーズ公表データ）、その普及が進んでいる。

また、燃料電池自動車はトヨタ自動車からMIRAI、本田技研工業からCLARITY FUEL CELLが相次いで販売開始され、水素ステーションの設置件数も91箇所に達している（燃料電池実用化推進協議会公表データ、2016年6月時点、計画段階も含む）。これら以外にも水素の利用、貯蔵・輸送、製造に関する様々な開発が行われており、水素社会の実現に向けた様々な動きが着実に進んでいる。

一方で国内の一次エネルギー構造に関しては、2012年7月の固定価格買取制度（FIT）の導入以降、太陽光や風力などの再生可能エネルギーを一次エネルギーとする発電施設の設置が進み、水力を除く発電電力量が占める割合は2011年度の1.4%から2015年度には4.7%にまで増加した（電気事業連合会公表データ）。FIT開始以降から2015年3月末までの新規の設備認定のうち、設備容量ベースでは太陽光発電が90%以上と大部分を占めている。

エネルギーの大部分を輸入に頼る我が国にとって、国産である再生可能エネルギーの導入はエネルギー安全保障上重要と考えられ、CO<sub>2</sub>の排出量を抑制できる点からも再生可能エネルギーに対する期待が高い。し

かしながら、再生可能エネルギーの中でも太陽光や風力による発電は出力が自然環境に依存する変動電源であり、電力需要に応じた出力調整を行うことが難しいため、エネルギー需給がアンバランスになりやすいという問題があるが、HHOGと組み合わせることによりこの問題を解決できる可能性がある。そのためには変動電力に適用可能な商品開発が必要であり、次項でその一端を紹介する。

#### 3.2 今後の市場に向けたHHOG開発

1996年の商品化以降、当社は既述のように市場のニーズに合致する装置の商品化を行ってきた。また、HHOGの性能および耐久性の向上を目的として電気分解モジュールを含む構成機器類やMEAの開発も並行して行ってきた。近年では再生可能エネルギーと水電解式の水素発生装置との連携について、主に太陽光発電や風力発電を水電解の電源とする条件で、各地でフィージビリティスタディや実証試験が行われている。変動電力をより有効に活用する対策として余剰電力を貯め、不足時に貯蔵したエネルギーを使用するタイムシフトによりエネルギー需給のバランスを補正することが必要であり、蓄電などとともに、水素を利用するエネルギー貯蔵の技術が求められている。

当社は、再生可能エネルギー利用分野に適用可能な装置の開発を目的として、太陽光発電との組合せ電解試験などの基礎試験を行っている。また、社外では2012年1月から、山梨県が山梨大学などと共同で実施している「クリーンエネルギー水電解実証試験」に当社は参画している。実証試験のシステム概要を図5に示す。実証試験は米倉山太陽光発電所の敷地内にあるPR施設「ゆめソーラー館やまなし」内で実施されており、同館屋根に設置された太陽光パネルで発電された電力の余剰分をタイムシフトす

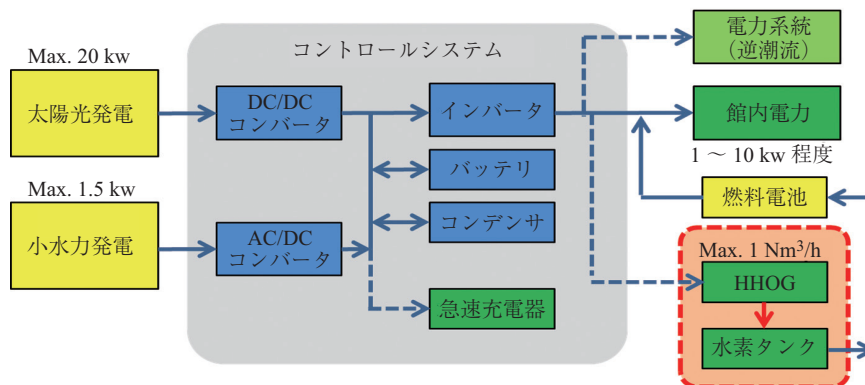


図5 山梨実証試験システムの概要

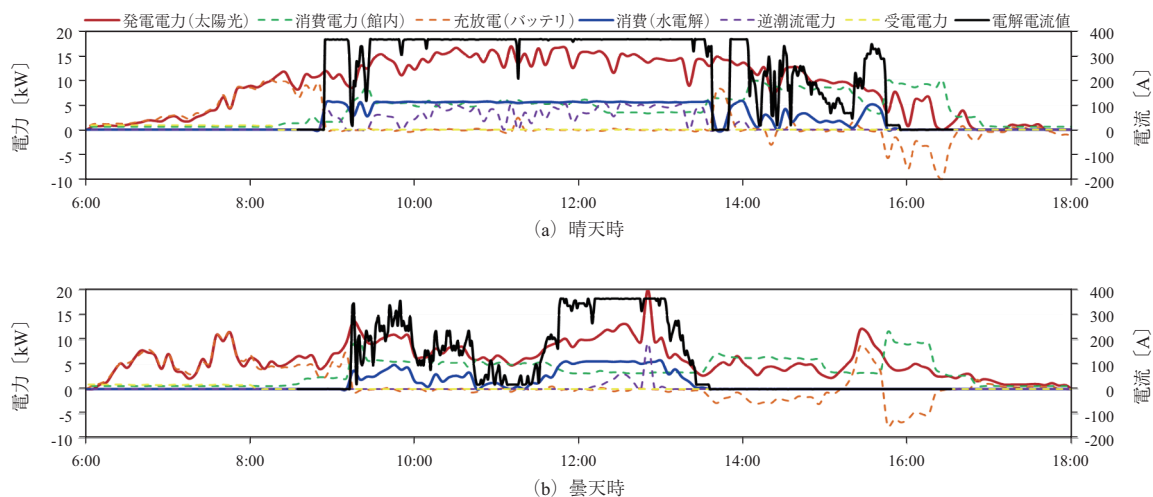


図6 太陽光発電出力の変動と電気分解モジュール電流値の変化

ることにより、年間を通して同施設で必要な電力をまかなっている。電力の貯蔵手段として、コンデンサ、バッテリーおよび水素の組合せ方式を採用している。水素貯蔵は自然放電による損失が無いため、この特性を活かし、二次エネルギーの長期保存に利用されており、余剰電力を利用して水電解を行い、発生した水素を貯蔵し、必要時に燃料電池で発電を行い館内に電力を供給している。

図6に太陽光発電の出力と電気分解モジュールへ供給される電流値の1日の変化を示す。太陽光発電の余剰電力を水電解に使用しており、とくに曇天時には発電量の変動が大きく、それに伴って電気分解モジュールに通電される電流値も変動する。再生可能エネルギーとの組合せ運転の課題点として、このような電源の変動に対する応答性および耐久性が挙げられる。2016年5月時点で装置の運転時間は4 000時間を経過し、晴天や曇天など様々な太陽光の発電条件のもとで安定稼働しており、変動に対する応答性およびシステムの適用性は良好である。2016年7月現在も実証試験を引続き行い、耐久性の評価を継続している。

また、再生可能エネルギー利活用分野におけるHHOGの適用においてはエネルギー効率の観点から、消費電力の低減が要求されている。現在上市している機種の消費電力原単位は $5.5 \text{ kWh/Nm}^3\text{-H}_2$ 程度であるが、さらに10%以上の低減を目指し開発を進めている。また、装置仕様に関しては、変動電源との連携に必要なシステムの構築と、経済性を成立させるための装置のコストダウンがエネルギー利活用市

場における水電解式の水素発生装置普及のための課題として挙げられるが、これら課題の解決に向けて、実証機による検証などの取組みを進めている。

また、当社は(株)神戸製鋼所や(株)神鋼エンジニアリング&メンテナンスなど、コベルグループ内で連携し、環境負荷の低い再生可能エネルギー由来の水素を混合した水素ステーションの開発および実証を2017年度より行う予定である。

## むすび

今後の水素社会の実現に向けた取組み、とりわけ再生可能エネルギーの利活用においては、水電解式水素発生装置は重要な役割を担うキーテクノロジーの1つと考えられる。当社では、これまでに培った技術と経験を活かして開発を行い、消費電力の低減やコストダウンなどの課題を解決し、再生可能エネルギーの利活用を含む水素エネルギー利用システムの普及に向けて努力していきたいと考えている。

水素社会の実現は個人や単体企業でなし得るものではなく、組織の連携が必要であり、世の中の流れを作り出すために、社外との枠を超えた連携もより重視して取組んでいきたいと考えている。

最後に実証試験において多大なご協力をいただいた山梨県の関係各位に深く感謝の意を表します。

## [参考文献]

- 1) 須田龍生ほか：水素エネルギーシステム、水素エネルギー協会、VOL.38 (2013)
- 2) NEDO、水素エネルギー白書 (2015)
- 3) 環境エネルギー政策研究所、自然エネルギー白書 2015 (2016)

## 国内最高水準の高効率ごみ発電の達成と 副生成物資源化による最終処分量の最小化 上伊那広域連合 新ごみ中間処理施設整備運営事業

長野県上伊那広域連合は、同県南部に位置する2市3町3村（伊那市、駒ヶ根市、辰野町、箕輪町、飯島町、南箕輪村、中川村、宮田村）から構成され、中央／南アルプスの連峰に囲まれた天竜川系の清流が流れる豊かな自然と、天下第一と称されるさくらで有名な高遠城をはじめとする歴史文化が共存する地域です。

本事業は、同地域より排出される一般廃棄物を対象とするごみ処理施設を整備し、15年におよぶ運営・維持管理を行うものです。

今回採用された「流動床式ガス化溶融炉」は、国内トップの実績に裏付けられた高い安全・安定性を誇り、ごみの保有エネルギーを用いた自己熱溶融処理を行えるため経済性にも優れています。さらに本施設は、同規模で国内最高水準の発電効率（18.3%）を達成するとともに、処理により回収される溶融スラグ、鉄、アルミ等の副生成物を全量有効利用することにより最終処分場の延命化に寄与します。

### 事業の概要

#### ○事業者：【設計建設】

神鋼・ヤマウラ特定建設工事共同企業体  
（当社、株式会社ヤマウラによる乙型JV）

#### 【運営維持】

株式会社上伊那環境サービス

（当社、神鋼環境メンテナンス株式会社2社共同出資による特別目的会社）

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

○事業期間：【設計建設期間】2016年2月～2019年3月までの約3年間

【運営維持期間】2019年3月～2034年3月までの15年間

### 施設の概要

○高効率ごみ発電施設      ごみ処理能力：118 t/d（59 t/d × 2系列）



新ごみ中間処理施設 完成イメージ図

## 国内最高水準の発電効率を有し、地域に根差し、 地域とのつながりを重視した流動床式ガス化溶融施設 山形広域環境事務組合殿向け 「エネルギー回収施設（川口）建設および運営事業」

山形広域環境事務組合（山形県）より、2016年2月に受注した本建設および運営事業は、山形県内の2市2町（山形市、上市市、山辺町、中山町）から排出されるごみを処理するもので、本施設の設計・施工を当社と山形建設株式会社（山形県）の共同企業体が実施し、20年4カ月間にわたる運営・維持管理業務を当社と神鋼環境メンテナンス株式会社で構成した特別目的会社にて行います。さらに当事業には、上述企業に加え、地元の協力企業7社に参画頂いています。

今回採用された「流動床式ガス化溶融炉」において、当社は国内トップの実績を有しております。安全・安心・安定であることはもちろんのこと、経済性に優れ、150 t/d 規模の高効率ごみ発電施設交付金交付要件（発電効率：14 %以上）を大きく上回る国内最高水準の発電効率19.1 %を実現する施設です。

また、本施設は、「信頼できる施設」、「安心できる施設」、「親近感のある施設」という3つのテーマに、さらに地域交流、環境啓発、地域振興を3つの柱とした「みんなが集い、環になり、潤う施設」という提案コンセプトを加え、地域に根ざした施設とします。

### 事業の概要

- ①事業名 エネルギー回収施設（川口）建設および運営事業
- ②事業内容 エネルギー回収施設（流動床式ガス化溶融炉）の設計・建設、運営・維持管理業務
- ③工期・履行期間
  - (1) 整備工事（設計・建設）：2016年2月から2018年11月まで
  - (2) 運営業務：2018年12月から2039年3月まで
- ⑤契約者
 

<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 基本契約：株式会社神鋼環境ソリューション</li> <li>山形建設株式会社</li> <li>松田建設株式会社</li> <li>株式会社山形ビルサービス</li> <li>東北ナノテック株式会社</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>神鋼環境メンテナンス株式会社</li> <li>山形パナソニック株式会社</li> <li>株式会社本間利雄設計事務所</li> <li>東北電機鉄工株式会社東北支社</li> <li>株式会社イベントプロデュースガッツ</li> </ul>
---	--

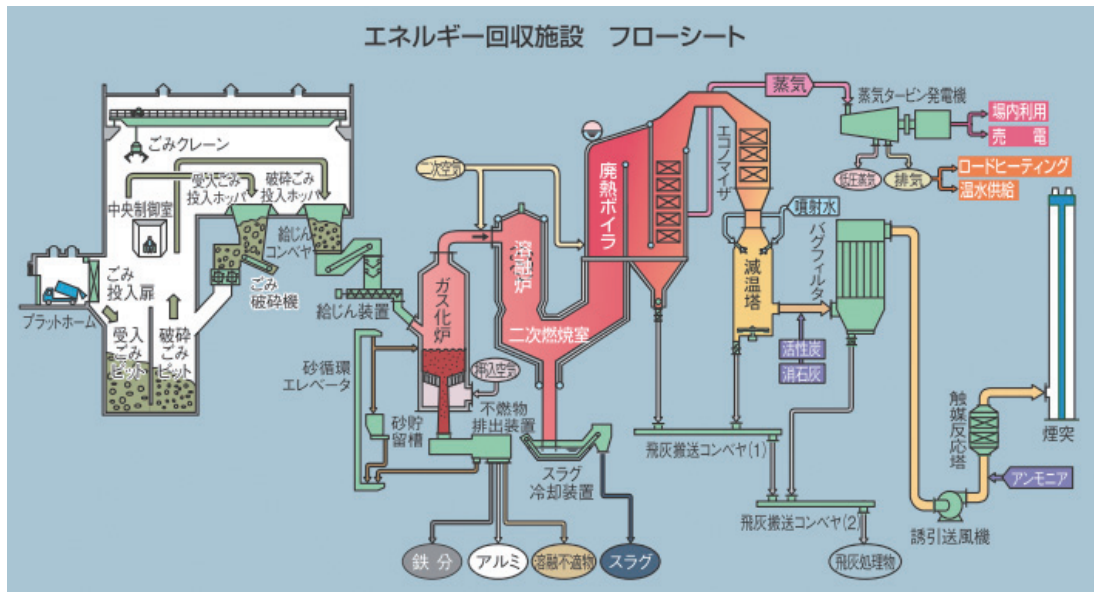
  - (2) 建設事業（設計・建設）：神鋼・山形建設特定建設工事共同企業体
  - (3) 運営事業：株式会社かみのやま環境サービス  
(当社、神鋼環境メンテナンス株式会社2社共同出資による特別目的会社)

### ⑥施設の能力

ごみ処理能力：150 t/d（75 t/24 h × 2 系列）

### ⑦本事業の特徴

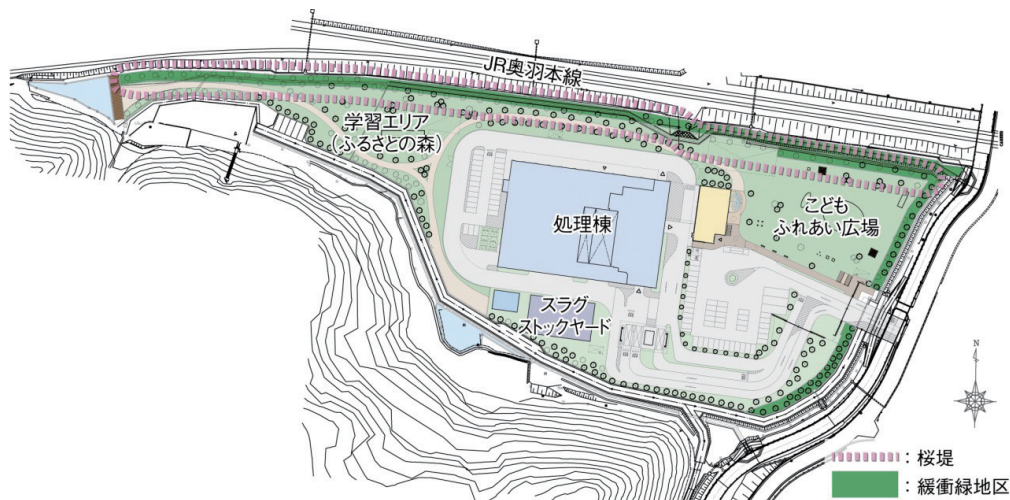
- (1) 国内最高水準の高効率ごみ発電（発電効率：19.1 %）に省エネルギー対策を組合わせて、余剰電力を最大化
- (2) 回収される溶融スラグ、鉄、アルミ等は全量有効利用を実施
- (3) 余熱活用設備（ロードヒーティング、足湯等）やこどもふれあい広場、学習エリアの整備・運営を通じ、地域交流、地域振興に貢献



流動床式ガス化溶融炉のフローシート



施設完成イメージ

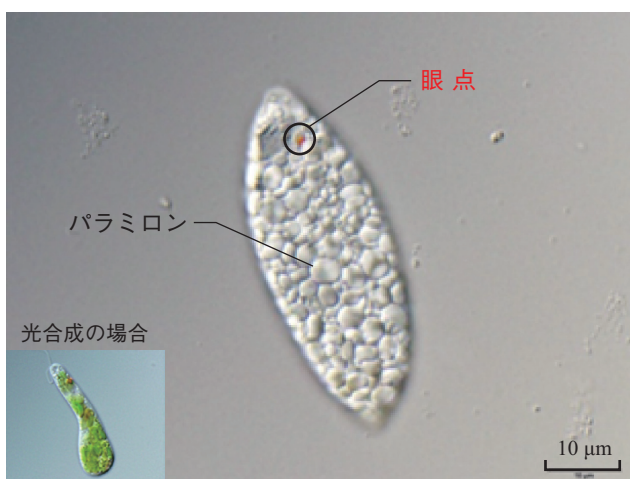


施設全体配置図

## 神戸ユーグレナ

食料問題や地球温暖化を解決する環境にやさしい生物として注目されているユーグレナ。和名はミドリムシですが虫ではなくワカメや昆布などと同じ「藻」の仲間です。植物・動物の両方の性質を備えており植物と動物の栄養素をバランス良く含んでいます。

当社は、当社が見出したユーグレナの新規株（ユーグレナグラシリス EOD-1）を“神戸ユーグレナ”と命名し事業化に取り組んでいます。神戸ユーグレナの特長はユーグレナの独自成分であるパラミロン（ $\beta$ -1,3-グルカン）を豊富に含んでいる点です。このパラミロンは食品としての様々な機能性や、燃料への適用などの可能性を秘めた期待の成分です。当社では培養方法として密閉されたプラントでの従属栄養培養法を採用しており、天候等の影響を受けることなく安定した高品質のユーグレナの生産が可能です。従属栄養培養法では光合成を行わないため粉末が黄金色（ゴールド）をしているのも特長です。



神戸ユーグレナ  
(ユーグレナグラシリス EOD-1)



神戸ユーグレナ粉末

また、本格的な食品事業の開始に向けて、当社ユーグレナのトレードマークを作成しました。



### 【トレードマークのコンセプト】

- ① 当社発祥の地である「神戸」から新規食品事業を立上げて行きたいという思いから「神戸ユーグレナ」と命名しました。
- ② メインカラーは神戸ユーグレナの粉末の色であるゴールドを採用しました。
- ③ ユーグレナ (*Euglena*) の語源は「eu:美しい」+「glena:眼」です。赤い点はユーグレナが持つ小さな美しい赤い点（眼点）をイメージしました。

今後このマークがついた商品を早く世に出せるように取り組んでまいります。



**(株)神鋼環境ソリューション登録特許・意匠一覧**  
**(2015年4月1日～2016年3月31日まで)**

No.	四法	出願番号	出願日	登録番号	登録日	発 明 の 名 称	共同出願人
1	特許	2013-134030	2013/6/26	5728532	2015/4/10	含油水の処理装置及び処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション, 千代田化工建設株式会社
2	特許	2013-221146	2013/10/24	5732511	2015/4/17	水処理方法及び水処理設備	株式会社神鋼環境ソリューション
3	特許	2014-042560	2014/3/5	5740500	2015/5/1	発電装置及び発電方法	株式会社神鋼環境ソリューション
4	特許	2012-160012	2012/7/18	5750409	2015/5/22	放射性セシウム量の推定方法	株式会社神鋼環境ソリューション
5	特許	2010-141572	2010/6/22	5753668	2015/5/29	排水処理方法及び排水処理装置	株式会社神鋼環境ソリューション
6	特許	2014-003733	2014/1/10	5764224	2015/6/19	水処理方法, および, 水処理装置	株式会社神鋼環境ソリューション, 国立大学法人神戸大学
7	特許	2013-237017	2013/11/15	5764182	2015/6/19	メタン発酵槽の攪拌装置からし渣を除去する方法, 及び攪拌装置からし渣を除去することが容易なメタン発酵槽	株式会社神鋼環境ソリューション
8	特許	2013-237224	2013/11/15	5764183	2015/6/19	メタン発酵槽及びメタン発酵槽へのし渣混入防止方法	株式会社神鋼環境ソリューション
9	特許	2012-271509	2012/12/12	5775862	2015/7/10	微細藻類の培養方法及び微細藻類の使用方法	株式会社神鋼環境ソリューション
10	特許	2012-081807	2012/3/30	5778069	2015/7/17	流動床式ガス化炉への流動粒子供給装置	株式会社神鋼環境ソリューション
11	特許	2009-150522	2009/6/25	5782221	2015/7/24	膜分離活性汚泥処理装置および膜分離活性汚泥処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション
12	特許	2010-080739	2010/3/31	5782229	2015/7/24	排水処理方法及び排水処理装置	株式会社神鋼環境ソリューション
13	特許	2012-207210	2012/9/20	5782415	2015/7/24	被処理水の処理方法及び処理装置	株式会社神鋼環境ソリューション, 関西熱化学
14	特許	2012-207211	2012/9/20	5782416	2015/7/24	被処理水の処理方法及び処理装置	株式会社神鋼環境ソリューション, 関西熱化学
15	特許	2014-151846	2014/7/25	5784803	2015/7/31	廃棄物供給装置及び廃棄物供給方法	株式会社神鋼環境ソリューション
16	特許	2012-138975	2012/6/20	5789224	2015/8/7	攪拌装置のシール材	株式会社神鋼環境ソリューション, 内外ゴム株式会社
17	特許	2012-018623	2012/1/31	5804421	2015/9/11	ガラスライニング表面からのアルカリ金属溶出を抑制する処理方法, アルカリ金属溶出抑制ガラスライニング, 及びガラスライニング構造物	株式会社神鋼環境ソリューション, 国立大学法人東京工業大学
18	特許	2014-011983	2014/1/27	5806746	2015/9/11	消化槽の運転方法, および消化槽	株式会社神鋼環境ソリューション
19	特許	2014-016523	2014/1/31	5806747	2015/9/11	鋼板製消化槽	株式会社神鋼環境ソリューション
20	特許	2014-048927	2014/3/12	5806751	2015/9/11	鋼板製消化槽	株式会社神鋼環境ソリューション
21	特許	2011-220924	2011/10/5	5809914	2015/9/18	水処理装置及び水処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション
22	特許	2012-251122	2012/11/15	5810066	2015/9/18	放射性物質量の推定方法	株式会社神鋼環境ソリューション
23	特許	2011-054473	2011/3/11	5759210	2015/9/30	嫌気処理装置及び嫌気処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション

No.	四法	出願番号	出願日	登録番号	登録日	発 明 の 名 称	共同出願人
24	特許	2011-243676	2011/11/7	5816526	2015/10/2	放射性物質の固定化方法、及び、固定化設備	株式会社神鋼環境ソリューション
25	特許	2014-166837	2014/8/19	5816346	2015/10/2	廃棄物供給装置	株式会社神鋼環境ソリューション
26	特許	2011-169370	2011/8/2	5820653	2015/10/9	容器回転型混合乾燥機	株式会社神鋼環境ソリューション
27	特許	2011-182856	2011/8/24	5825928	2015/10/23	除湿装置	株式会社神鋼環境ソリューション
28	特許	2011-182862	2011/8/24	5825929	2015/10/23	除湿装置、及び除湿装置の製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション
29	特許	2014-103577	2014/5/19	5826326	2015/10/23	放射性セシウム含有水の吸着塔の交換方法	株式会社神鋼環境ソリューション
30	特許	2015-008016	2015/1/19	5826954	2015/10/23	廃棄物処理システム及びそのシステムにおけるNOx処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション
31	特許	2015-071423	2015/3/31	5826959	2015/10/23	解砕機	株式会社神鋼環境ソリューション
32	特許	2013-049531	2013/3/12	5834038	2015/11/6	土壌及び木質系廃棄物からの放射性セシウム除去方法	株式会社神鋼環境ソリューション
33	特許	2011-198546	2011/9/12	5845028	2015/11/27	永久磁石の回収方法および回収装置	株式会社神戸製鋼所、株式会社神鋼環境ソリューション
34	特許	2013-062897	2013/3/25	5856992	2015/12/18	ガス製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション
35	特許	2015-117738	2015/6/10	5860989	2015/12/25	水処理方法、および、水処理装置	株式会社神鋼環境ソリューション、国立大学法人神戸大学
36	特許	2013-218062	2013/10/21	5872521	2016/1/22	メタン発酵槽、およびメタン発酵槽内の堆積物除去方法	株式会社神鋼環境ソリューション
37	特許	2015-125557	2015/6/23	5872092	2016/1/22	放射性物質除去方法及び放射性物質除去システム	株式会社神鋼環境ソリューション
38	特許	2015-125558	2015/6/23	5872093	2016/1/22	放射性物質除去方法及び放射性物質除去システム	株式会社神鋼環境ソリューション
39	特許	2015-145066	2015/7/22	5872096	2016/1/22	除染・減容化方法及び除染・減容化システム	株式会社神鋼環境ソリューション
40	特許	2012-231965	2012/10/19	5875076	2016/1/29	放射能汚染を受けた廃棄物の焼却飛灰の処理方法および処理装置	福岡大学、株式会社神鋼環境ソリューション
41	特許	2015-036300	2015/2/26	5875721	2016/1/29	放射性セシウム除去方法及び放射性セシウム除去システム	株式会社神鋼環境ソリューション
42	特許	2013-020450	2013/2/5	5879281	2016/2/5	放射性セシウムを含む焼却灰の洗浄方法	株式会社神鋼環境ソリューション
43	特許	2014-149086	2014/7/22	5879399	2016/2/5	廃棄物搬送装置及びその運転方法	株式会社神鋼環境ソリューション
44	特許	2015-152136	2015/7/31	5883532	2016/2/12	多糖類の精製方法	株式会社神鋼環境ソリューション
45	特許	2015-144675	2015/7/22	5890056	2016/2/26	スクリーポンプの羽根外径調整方法	株式会社神鋼環境ソリューション
46	特許	2013-048224	2013/3/11	5894550	2016/3/4	土壌からの放射性セシウム除去方法	株式会社神鋼環境ソリューション
47	特許	2012-225963	2012/10/11	5899100	2016/3/11	微細藻類の培養装置及び微細藻類の培養方法	株式会社神鋼環境ソリューション
48	特許	2015-062550	2015/3/25	5899349	2016/3/11	パラミロン製造方法及びパラミロン製造設備	株式会社神鋼環境ソリューション
49	特許	2015-062554	2015/3/25	5899350	2016/3/11	パラミロン製造方法及びパラミロン製造設備	株式会社神鋼環境ソリューション

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 / 〒141-8688 東京都品川区北品川5丁目9-12(ONビル) ☎ (03)5739-5800 FAX(03)5739-5821  
〒141-0001 東京都品川区北品川5丁目9-11(大崎MTビル) ☎ (03)5739-5800 FAX(03)5739-5821  
大 阪 支 社 / 〒541-8536 大阪市中央区備後町4丁目1-3(御堂筋三井ビル) ☎ (06)6206-6751 FAX(06)6206-6760  
九 州 支 社 / 〒812-0012 福岡市博多区博多駅中央街1-1(新幹線博多ビル) ☎ (092)474-6565 FAX(092)441-4440  
北 海 道 支 店 / 〒060-0004 札幌市中央区北四条西5丁目1-3(日本生命北門館ビル) ☎ (011)241-4647 FAX(011)241-5759  
東 北 支 店 / 〒980-0811 仙台市青葉区一番町1丁目2-25(仙台NSビル) ☎ (022)716-6651 FAX(022)263-2049  
名 古 屋 支 店 / 〒451-0045 名古屋市西区名駅2丁目27-8 (結晶ファインセラミクス) ☎ (052)581-9876 FAX(052)563-2313  
播 磨 製 作 所 / 〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島19 ☎ (079)436-2500 FAX(079)436-2506  
室蘭SD製造所 / 〒050-0055 室蘭市崎守町387-25 ☎ (0143)50-3036 FAX(0143)50-3066  
テックビル事務所 / Berliner Allee 55, 40212 Düsseldorf Germany ☎ +49-211-7792-0430 FAX+49-211-7792-0450  
プノンペン事務所 / Soma Tower, 1st Floor, #2C, street 120, Sangkat Phsar Thmey II, Khan Daun Penh, Phnom Penh, Kingdom of Cambodia  
☎+855-23-210-301 FAX+855-23-210-309

神鋼環境ソリューション技報 2016年度 Vol.13 No.1 通巻25号

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

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

《編集委員》編集委員長/田頭成能 委員/高橋円・細田博之・下梨孝・横田慎・丸山智裕・斉藤彰・木下民法・菊池雅彦・須田龍生・松本勝生

《発行》2016年9月10日印刷 2016年9月15日発行 年2回発行《禁無断転載》《発行人》横山英樹《印刷所》中村印刷株式会社



神鋼環境ソリューション

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