KOBELCO
KOBE STEEL GROUP

神鋼環境ソリューション 技報 Vol.8 No.2

KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS

神鋼環境ソリューション

神鋼環境ソリューション技報 Vol.8 No.2 (通巻第16号)

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。

神鋼環境ソリューション技報
2011年度・Vol.8・No.2
16
KOBELCO ECO-SOLUTIONS
ENGINEERING REPORTS

目　次　CONTENTS

1	＜巻頭言＞ 水あれこれ	
2	コークス炉廃水処理への分子生物学的手法の適用	Application of Molecular Biological Techniques for the Operation of Coke-Oven Wastewater Treatment Plant.
8	電界を利用したガラスの表面改質技術	Modification Technology of Glass Surface Using Electric Field Assisted Method
17	ろ過・乾燥機の高機能化技術	High Functionalization Technologies of the Dryer and Filter Dryer
23	ガス化溶融炉の燃焼改善	Improvement of Combustion Technology in MSW Gasification and Melting Furnace
31	東日本大震災で被災した石巻広域クリーンセンターの復旧 ―東日本の復興を願って―	Restoration From the Disaster of the Great East Japan Earthquake at Ishinomaki Area Clean Center
37	大型 100 m^3/h ベルト型濃縮機	Belt Thickener with Large Capacity of 100 m^3/h
41	遠隔監視装置を使用した嫌気性排水処理設備の苛性ソーダ削減システムの実施例	The Successful Results of Applying Our Caustic Soda Consumption's Reduction System with Water Eye^{TM}, a Remote Monitoring System to an Anaerobic Waste Water Facility
46	会社業務紹介　～神鋼環境メンテナンス～ ―環境保全の総合アフターサービス会社として―	Business Introduction of KOBELCO ECO-MAINTENANCE CO., LTD.
50	TOPICS	
52	製品・技術紹介	
54	施設・技術紹介	

＜巻頭言＞

水 あ れ こ れ

主婦連合会
副会長　**和　田　正　江**
Masae Wada

東日本大震災による長期間の給水ストップや，下水道設備使用不能による被災者の方々の大変なご苦労と，今までに見たこともない大津波の映像に，水の大切さと恐ろしさを知らされた。

先年南仏のプロヴァンスを旅した折に，ポン・デュ・ガール水道橋を訪れた。ニームへの導水路で，流水量は１日２万㎥だった由。三層のアーケードから成る橋は紀元前40年ごろの建築と聞き，当時も今も水の重要性は同じと痛感した。旅の間ペットボトルの水で過ごし，帰国して蛇口からの水を有り難く飲んだ。私は高度浄水処理された東京の水を愛用し，昨夏の猛暑の熱中症対策にもマイボトル持参で対応した。

蛇口からの水を飲めるのは有り難いが，その水を洗濯，風呂，トイレにも使っているのは何とももったいない。主婦連合会の事務所のある主婦会館は，一部だが雨水を利用している。中水利用はたやすいことではないと聞くが，中水利用，海水の淡水化など日本の技術に期待したい。

「世界人口の60％を占めるアジア地域に，世界の水の36％しか存在しない」「水災害による死者数の80％以上がアジア・太平洋地域の人々である」「インドのトイレなし人口は６億人強，携帯電話より低いトイレ普及率」などの情報に心が痛み，2003年京都での「世界水フォーラム」の「子どもの分科会」で「私たちは水汲みに遠くまで往復するのに，このホテルのトイレでボタンを押したら水が流れた」と訴えた女の子が目に焼き付いている。

消費者は「水」というと「上水」を思い浮かべるが，下水道の施設管理も重要である。主婦連は先日，埼玉県三郷市の「中川水循環センター」を見学した。施設の大半が地下にあるので直接目にするものは少ないが，見学して高い技術による下水処理施設の維持管理がよくわかった。処理場に入ってくる汚水が多段階の処理工程を経てきれいな処理水になるのを目の当たりにして，私たちが，小皿一皿分の醤油（15 mℓ）を下水に流せば，その汚れを生き物が住めるような水に戻すためには，お風呂（300 ℓ）1.5杯分の水が必要になると知ってはいたが，消費者の責任の重さを再認識した。

水といえば井戸も貴重な水資源であり，私の家の井戸も，災害に備えて久し振りに水質検査を受けた。10項目の検査にパスしたが，都会で汚染の懸念がないとはいえず飲食への利用は控えているが，地区の災害マップに記入するとのこと。お役に立てればとは思いつつ，一方でそんな日が来ないように願わずにはいられない。

私たちの生活に欠かすことのできない大切な水。私たちは一滴の水も無駄にせず，不用意に汚さないよう心がけよう。水に恵まれた日本に感謝し，世界に目を向けよう。

官民それぞれに，優れた日本の技術を活かし，さらに発展させて，生活環境，地球環境の改善に尽くして頂きたい。

コークス炉廃水処理への分子生物学的手法の適用

Application of Molecular Biological Techniques for the Operation of Coke-Oven Wastewater Treatment Plant.

赤司　昭*
Akira Akashi
医学博士

山下哲夫**
Tetsuo Yamashita

コークス炉廃水は，アンモニアの他に，フェノールやシアン化合物等の活性汚泥に毒性の高い成分を含む。したがって，その処理のための活性汚泥プロセスの運転管理がもっとも困難な廃水の一つである。活性汚泥プロセスの運転管理は，一般に COD-MLSS 負荷を指標にして行われている。われわれは，生物診断手法を活用して，コークス炉廃水処理設備に生息する細菌数を求め，「1細菌あたりの COD 負荷」という新しい管理手法を確立した。本管理手法を活用することにより，従来より精度よく運転管理を行うことが可能になった。

Coke-oven wastewater contains ingredients with high toxicity for activated sludge other than ammonia, such as phenol and cyanide. Therefore, the operation management of an activated sludge process is difficult. Generally, COD-MLSS load is used as an operation management index for the activated sludge process, We quantified the number of bacteria in an coke-oven wastewater treatment plant using the molecular biological technique. And the new management technique of the “COD load per bacteria” was established. By utilizing this management technique, it became possible to perform operation management with accuracy more sufficient than before.

***Key Words*：**

コークス炉廃水	Coke-Oven wastewater
活性汚泥プロセス	Activated sludge process
分子生物学的手法	Molecular biological techniques
PCR	Polymerase Chain Reaction

【セールスポイント】

コークス炉廃水処理の運転管理に分子生物学的手法を適用した事例は，この開発が初めてである。日本鉄鋼協会コークス部会でもその試みが評価され，第64回コークス部会において優秀発表賞が授与された。

まえがき

製鉄において鉄鉱石に含まれる酸化鉄を還元するために使用されるコークスは，石炭をコークス炉で乾留（蒸し焼き）して製造される。石炭乾留時に発生するガス（コークス炉ガス：COG）は，精製設備で不純物の除去を行い，有効成分の回収が行われる。COG の冷却工程で発生する凝縮水（安水やコークス炉廃水ともいわれる。以下，コークス炉廃水と称する。）には，アンモニアの他にフェノール，シアン化合物，硫化水素，油分などが含まれている。

コークス炉廃水は，物理化学処理と活性汚泥プロセスの組み合わせで処理されることが多いが，フェ

ノールやシアン化合物等の活性汚泥にとって有害な成分を含むため，水質浄化細菌の阻害が起こりやすく，運転管理が難しい廃水といわれている。したがって，コークスメーカー各社はその運転管理に苦慮しているのが現状である。コークス廃水処理も他の廃水と同様に，COD（BOD）-MLSS 負荷を指標にした運転が行われているが，オペレータの五感に頼ることが多く，活性汚泥が好調なときと不調なときの差異が何に起因しているか不明のまま運転されることもあった。このような特殊な成分を含む廃水処理装置の運転は，機能の異なった多種の細菌から構成される活性汚泥をひと塊としてとらえ，それを指標にした管理（COD-MLSS 負荷）では限界がある。アンモニア，フェノールやチオシアンなどの個々の物質の処理に関わる個々の細菌に着目し，これらの細菌を指標にした管理を行うことにより精度の高い管理が可能になり，安定した処理につながるものと期待される。

そこでわれわれは，関西熱化学株式会社殿と共同検討を実施することとした。関西熱化学株式会社殿のコークス炉廃水処理プロセス（活性汚泥法）の運転には以下の２つの課題があり，それらの解決策が求められている。

⑴　従来から用いられてきた COD-MLSS 負荷による管理には限界があり，今以上の安定運転を行うことは困難である。したがって，新しい管理指標の設定が課題である。

⑵　本処理プロセスには脱窒槽はなく窒素除去は行われていない。硝化反応が起こると高濃度の亜硝酸が生成し，処理水質の悪化や活性汚泥の不調を引き起こす。したがって，硝化抑制運転が容易に行える管理指標の設定が課題である。

そこでわれわれは，コークス炉廃水処理に係る管理者と協力しながら，分子生物学的手法という最新の技術を用いて，活性汚泥に生息する各種細菌の状況を明らかにし，それらのデータを用いた新しい運転管理手法を構築した。本稿では，上記課題⑴を解決するために実施した関西熱化学株式会社殿との共同開発事例について紹介する。なお，⑵の課題についてもすでに解決策を見出しており，別の機会で紹介する予定である。

1.　方　法

1.1　解析の対象とした活性汚泥プロセス

某コークス工場で稼働中の活性汚泥プロセスを対象に本研究開発を実施した。コークス炉廃水は，工水と海水で適宜希釈して曝気槽に投入されている。また，活性汚泥プロセス処理水は，ポリ塩化アルミニウム（PAC）投入による凝集沈殿後，砂ろ過処理を行い放流されている（**図１**）。

1.2　水質等の測定

本活性汚泥プロセスの流入水質および処理水質（COD，アンモニア態窒素，フェノールおよびチオシアン），ならびに曝気槽の MLSS 濃度は，下記1.3の活性汚泥中の各種細菌数の定量実験と同じ日に測定した。

1.3　活性汚泥中の各種細菌数の定量

活性汚泥は，おおむね毎週１回の頻度で６か月間にわたり採取し，**表１**に示す各種細菌の定量解析の材料とした。各種細菌数の定量は定量 PCR 法により実施した。

採取した活性汚泥0.7～0.8 mg（乾燥重量）から

表１　定量 PCR 法により細菌数を測定した細菌種とその機能

ターゲット	機　　能
全細菌（真正細菌）	BOD/COD 分解，硝化・脱窒等
アンモニア酸化細菌	アンモニアを亜硝酸に酸化
亜硝酸酸化細菌	亜硝酸を硝酸に酸化
フェノール分解細菌	フェノール分解
チオシアン分解細菌（*Thiobacillus thioporus*）	チオシアン分解

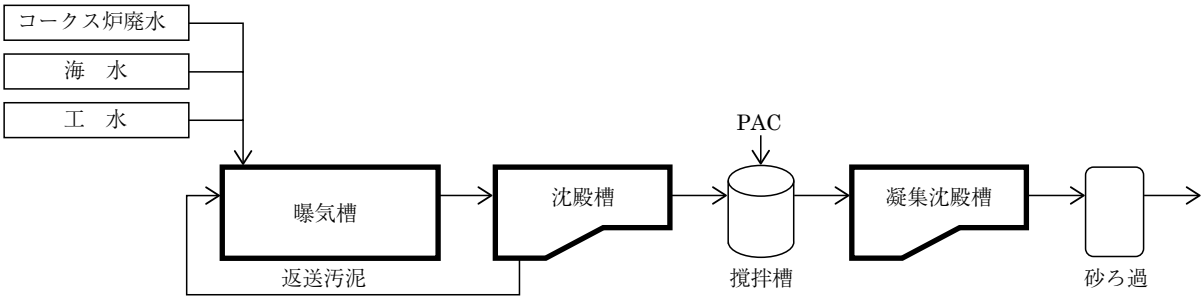


図１　コークス炉廃水処理プロセスの概略フロー

表２　定量 PCR に使用したプライマー／プローブ

標的細菌	ターゲット遺伝子	プライマー／プローブ	プラーマー／プローブ配列（5’→3’）	文献
アンモニア酸化細菌（AOB）	AOB 16S rDNA	CTO 189fA/B	GGAGRAAAGCAGGGGATCG	1
		CTO 189fC	GGAGGAAAGTAGGGGATCG	
		RT1 r	CGTCCTCTCAGACCARCTACTG	
		TMP1	FAM-CAACTAGCTAATCAGRCATCRGCCGCTC-TAMRA	
亜硝酸酸化細菌（NOB）	Nitrospira spp. 16S rDNA	NSR1113f	CCTGCTTTCAGTTGCTACCG	2
		NSR1264r	GTTTGCAGCGCTTTGTACCG	
		NSR1143Taq	FAM-AGCACTCTGAAAGGACTGCCCAGG-TAMRA	
	Nitrobacter spp. 16S rDNA	NIT3f	CGGAGCATGGAGCACAGG	3
		NIT2r	CGGGTTAGCGCACCGCCT	
フェノール分解細菌	phenol monooxygenase	PHE-F	GTGCTGACSAAYCTGYTGTTC	4
		PHE-R	CGCCAGAACCAYTTRTC	
チオシアン分解細菌	thiosyanate hydrolase	scnCTt1F	GGAAGTCAGCGATTTCGAGATT	自社設計
		scnCTt1R	TCCACACGCGGTGGTCTT	
		scnCTt1Taq	FAM-CGAACTGGCCATCGAAAAAGGCC-TAMRA	
全細菌（真正細菌）	eubacterial 16S rDNA	BACT1369F	CGGTGAATACGTTCYCGG	5
		PROK1492R	GGWTACCTTGTTACGACTT	
		BACT1389	FAM-CTTGTACACACCGCCCGTC-TAMRA	

Fast DNA SPIN Kit for SOIL（Qbiogene 社製）を用いて DNA を精製し，定量 PCR の鋳型とした。また，各種細菌の存在数量を測定するための定量 PCR は，表２に示す PCR プライマー／プローブセットを用いて実施した。

2.　結果と考察

2.1　活性汚泥プロセスの運転状況

2.1.1　流入水質と負荷

表３に COD_{Mn}，アンモニア，フェノール，チオシアンの曝気槽流入水質および流入負荷のそれぞれの平均値，最大値および最少値を示す。

表３　流入水と処理水の水量，水質および負荷

項目		単位	曝気槽流入水 平均	最大	最少
水量	—	m^3/d	2 224	2 374	2 186
溶解性 COD_{Mn}	濃度	mg/L	1 324	1 559	1 061
	負荷	kg/d	2 944	3 408	2 519
	容積負荷	$kg/m^3/d$	1.98	2.29	1.69
アンモニウム態窒素	濃度	mg/L	893	1 002	769
	負荷	kg/d	1 985	2 170	1 699
	容積負荷	$kg/m^3/d$	1.34	1.46	1.14
フェノール	濃度	mg/L	422	550	335
	負荷	kg/d	938	1 146	795
	容積負荷	$kg/m^3/d$	0.63	0.77	0.53
チオシアン	濃度	mg/L	95	112	74
	負荷	kg/d	211	235	175
	容積負荷	$kg/m^3/d$	0.14	0.16	0.12

(1)　COD_{Mn} 負荷

2 519～3 408 kg/d（平均値：2 944 kg/d）で推移し，最大値と最少値の差は1.4倍であった。COD- 容積負荷は，1.69～2.29 $kg/m^3/d$（平均値：1.98 $kg/m^3/d$）であった。

(2)　アンモニア負荷

1 699～2 170 kg/d（平均値：1 985 kg/d）で推移し，最大値と最少値の差は約1.3倍であった。NH_4-N- 容積負荷は，1.14～1.46 $kg/m^3/d$（平均値：1.34 $kg/m^3/d$）であった。

(3)　フェノール負荷

795～1 146 kg/d（平均値：938 kg/d）で推移し，最大値と最少値の差は約1.4倍であった。フェノール - 容積負荷は，0.53～0.77 $kg/m^3/d$（平均値：0.63 $kg/m^3/d$）であった。

(4)　チオシアン負荷

175～235 kg/d（平均値：211 kg/d）で推移し，最大値と最少値の差は約1.3倍であった。チオシアン - 容積負荷は，0.12～0.16 $kg/m^3/d$（平均値：0.14 $kg/m^3/d$）

表４　処理水質と除去率（No8）

	溶解性 COD_{Mn}		アンモニウム態窒素		フェノール		チオシアン	
	水質（mg/L）	除去率（%）	水質（mg/L）	除去率（%）	水質（mg/L）	除去率（%）	水質（mg/L）	除去率（%）
平均	83	94.0	926	0.0	0.047	100.0	2.2	97.8
最大	96	94.7	1 000	10.8	0.090	100.0	3.0	98.1
最少	71	93.1	850	0.0	0.030	100.0	2.0	96.9

表５　各種細菌の存在数量

	全細菌（真正細菌）	アンモニア酸化細菌	亜硝酸化細菌（*Nitrobacter*）	フェノール分解細菌	チオシアン分解細菌（*Thiobacillus thioparus*）
	（copies/mg MLSS）	（copies/mg MLSS）	（copies/mg MLSS）	（copies/mg MLSS）	（copies/mg MLSS）
平均	5.33×10^{9}	2.43×10^{6}	4.97×10^{6}	8.67×10^{7}	2.56×10^{4}
最大	9.13×10^{9}	9.05×10^{6}	1.03×10^{7}	2.16×10^{8}	6.49×10^{4}
最少	3.96×10^{9}	5.56×10^{4}	2.47×10^{6}	2.99×10^{7}	5.77×10^{3}

であった。

2.1.2　処理水質と除去率

表４に沈殿槽出口の処理水質および除去率の平均値，最大値および最少値を示す。

(1)　COD_{Mn}

処理水の COD_{Mn} 濃度は71～96 mg/L（平均値：83 mg/L）で推移し，除去率は平均94 %であった。

(2)　アンモニウム態窒素

日本の多くのコークス炉廃水処理設備と同様に，本廃水処理設備では硝化抑制運転を行っているため，アンモニアは除去されていない。本廃水には，硝化反応の最終段階である亜硝酸から硝酸への変換を阻害する物質が含まれており（東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻　修士論文），脱窒を適切に行わない場合，亜硝酸が蓄積し処理水質が悪化することが知られているためである。

(3)　フェノール

処理水のフェノール濃度は常に0.1 mg/L 未満であり（除去率100 %），きわめて良好に処理されていた。

(4)　チオシアン

処理水のチオシアン濃度は2.0～3.0 mg/L（平均値：2.2 mg/L）で推移し，除去率は平均98 %であり良好に処理されていた。

2.1.3　曝気槽の MLSS 濃度

曝気槽の MLSS 濃度は，5 720～7 260 mg/L で推移し，平均値は6 617 mg/L であった。（データ未掲載）。

2.2　各種細菌の存在数量数量の定量

表５に活性汚泥１mg あたりに生息する全細菌，アンモニア酸化細菌（AOB），亜硝酸酸化細菌（NOB），フェノール分解細菌，およびチオシアン酸化細菌の平均値，最大値および最少値を示す。また，図２～６にそれぞれの細菌の存在数量の推移を示す。

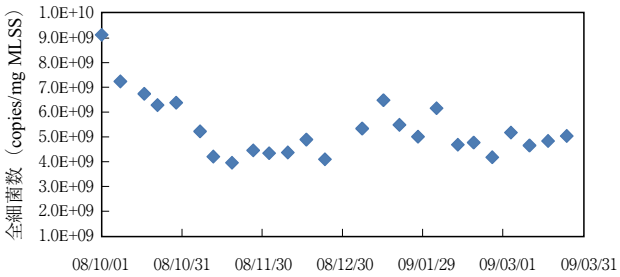


図２　全細菌数の推移

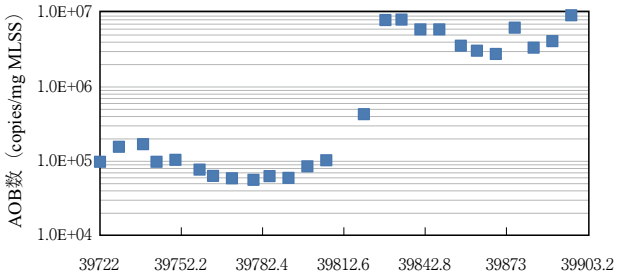


図３　アンモニア酸化細菌数の推移

2.2.1　全細菌（真正細菌）（表５，図２）

活性汚泥１mg あたりに存在する全細菌（真正細菌）数は，3.96×10^{9}～9.13×10^{9} copies で推移し（平均値：5.33×10^{9} copies/mg MLSS），最少値と最大値には2.3倍の差が見られた。活性汚泥単位重量あたりの全細菌数を測定したにもかかわらず，全細菌（真正細菌）数に差が見られた理由として，活性汚泥に無機物質や細菌以外の有機物（たとえば，油分）の蓄積量の差が影響したものと考えられる。

2.2.2　アンモニア酸化細菌（表５，図３）

活性汚泥１mg あたりに存在するアンモニア酸化

細菌数は，5.56×10^4～9.05×10^6 copies で推移した（平均値：2.43×10^6 copies/mg MLSS）。本活性汚泥プロセスでは，硝化抑制運転を実施しているにもかかわらず，アンモニア酸化細菌数は大きく変動し，最少値と最大値で約160倍もの差があった。

2.2.3　亜硝酸酸化細菌（表５，図４）

亜硝酸酸化細菌として，*Nitrobacter* と *Nitrospira* の２属の細菌を対象にそれらの存在数量を定量した。*Nitrospira* は存在数量が少なく，検出限界未満であった。一方，*Nitrobacter* は，活性汚泥 1 mg あたり2.47×10^6～1.03×10^7 copies 存在した（平均値：4.97×10^6 copies/mg MLSS）。

2.2.4　フェノール分解細菌（表５，図５）

活性汚泥 1 mg あたりに存在するフェノール分解細菌数は，2.99×10^7～2.16×10^8 copies で推移し（平均値：8.67×10^7 copies/mg MLSS），最少値と最大値で約７倍の差があった。

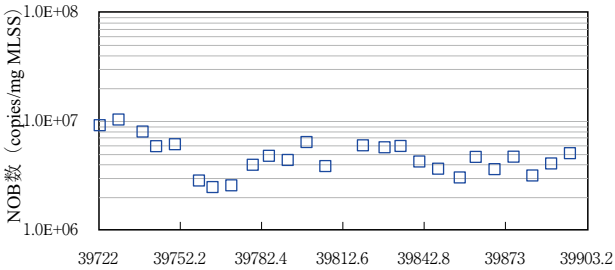


図４　亜硝酸酸化細菌（*Nitrobacter* sp.）数の推移

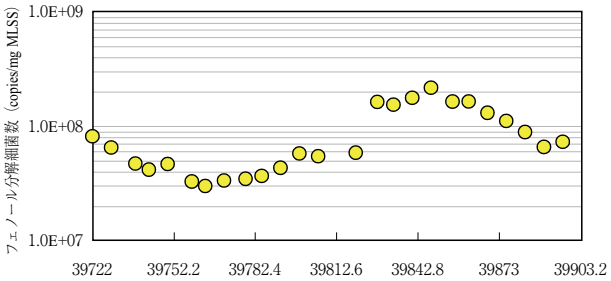


図５　フェノール分解細菌数の推移

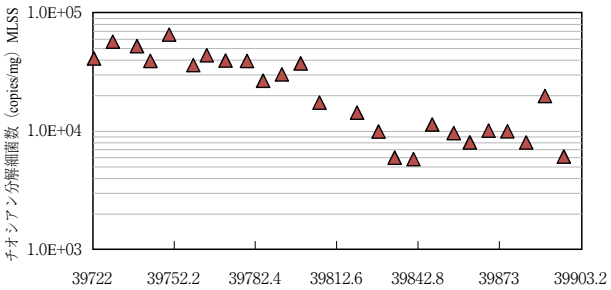


図６　チオシアン分解細菌（*Thiobacillus thioparus*）数の推移

2.2.5　チオシアン分解細菌（表５，図６）

当社独自にチオシアンを分解する細菌の内 *Thiobacillus thioparus, Methylobacterium thiocyanatum, Rhodocuccus* sp. RHA1, *Mycobacterium smegmatis* および *Legionella pneumophila* のチオシアン分解酵素（thiocyanate hydrolase：scnC）をターゲットとする定量 PCR 法を確立した。これらの細菌のうち，もっとも存在数が多かった *Thiobacillus thioparus* を対象にチオシアン分解細菌の定量解析を行った。

活性汚泥 1 mg あたりに存在するフェノール分解細菌数は，5.77×10^3～6.49×10^4 copies で推移した（平均値：2.56×10^4 copies/mg MLSS）。最少値と最大値で約10倍の差があり，細菌数の変動は比較的大きかった。また，本細菌の全細菌に占める割合は，わずか10万分の一に過ぎなかった。

2.3　細菌数あたりの負荷と処理水質との関係

通常，生物学的排水処理の運転管理は MLSS 負荷や MLVSS 負荷を指標に行われる。しかし，活性汚泥は水質浄化に関与する細菌以外に無機物質や細菌以外の有機物などの“不活性”な物質から構成されるため，MLSS 濃度や MLVSS 濃度が的確に水質浄化に係る細菌量を表現しているとは言い難い。また，活性汚泥は機能の異なった（すなわち，処理対象の異なった）種々の細菌から構成され，これらの細菌の構成比率は原水組成の変化や（A）SRT などによって変動する。したがって，ある特定の物質（たとえば，アンモニアやフェノールなど）の負荷管理を MLSS あるいは MLVSS で行うことは精度の面で非常に劣るといわざるを得ない。

そこで，生物診断技術（定量 PCR 法）を用いて求めた全細菌（真正細菌）数，アンモニア酸化細菌数，亜硝酸酸化細菌数，フェノール分解菌数，およびチオシアン分解菌数と COD_{Mn} 負荷，アンモニア負荷，亜硝酸負荷，フェノール負荷，およびチオシアン負荷と処理水質との相関関係を解析した（表６）。

全細菌（真正細菌）数と処理水 COD_{Mn} 濃度，および亜硝酸酸化細菌数と処理水 COD_{Mn} 濃度にそれぞれ１％水準で負の相関が見られた。すなわち，全細菌（真正細菌）数が増加すると処理水 COD_{Mn} 濃度は減少し，また，処理水 COD_{Mn} 濃度が上昇するにつれて亜硝酸酸化細菌数は減少した。後者の現象は，処理水中に残存する成分により亜硝酸酸化細菌の増殖が抑制されたことにより起こったものと推測される。

表６　各細菌数と負荷および処理水質の相関

細　　菌	COD_{Mn} 負荷 (kg/d)	処理水 COD_{Mn} 濃度 (mg/L)	フェノール負荷 (kg/d)	チオシアン負荷 (kg/d)	処理水チオシアン濃度 (mg/L)
全細菌（真正細菌）	−0.110	**−0.649	−0.341	0.324	−0.987
アンモニア酸化細菌	−0.310	−0.213	−0.291	−0.081	−0.260
亜硝酸酸化細菌	0.407	**−0.642	−0.304	0.407	0.111
フェノール分解細菌	−0.351	−0.312	−0.411	0.017	0.163
チオシアン分解細菌	0.279	0.06	0.117	0.185	0.163

**$p<0.01$

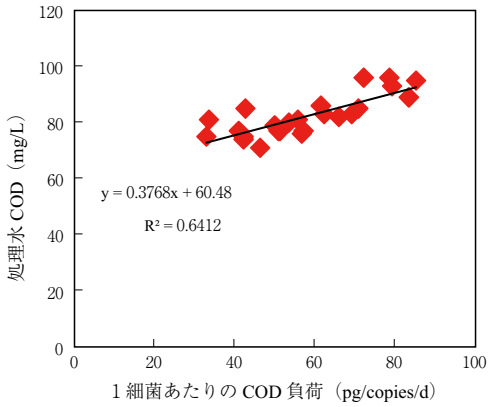


図7-1　全細菌（真正細菌）１個あたりの COD 負荷と処理水質の関係

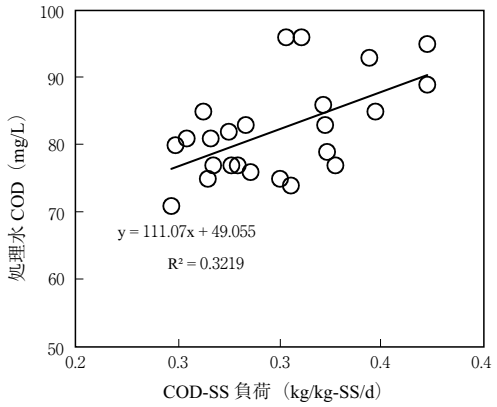


図7-2　COD-MLSS 負荷と処理水質の関係

2.3.1　１細菌あたりの COD 負荷と処理水質の関係

本排水処理設備の新しい運転管理指標を設定するために，「１細菌あたりの COD_{Mn} 負荷」と処理水質の関係を求めた。「１細菌あたりの COD_{Mn} 負荷」は，下記の式(1)の計算方法で算出した。

$$1\text{細菌あたりの COD 負荷} = \frac{\text{COD 負荷}}{\text{曝気槽に生息する細菌数}} \quad (1)$$

図7-1に示すように，「１細菌あたりの COD_{Mn} 負荷」と処理水質の間には高い相関がみられ，１細菌あたりの COD 負荷が上昇するにつれて，処理水の COD_{Mn} 濃度も上昇した。一方，従来から生物学的廃水処理の管理指標として用いられてきた COD_{Mn}-MLSS 負荷と処理水 COD_{Mn} 濃度の関係をみると（図7-2），相関係数（R^2）が１細菌あたりの負荷と処理水 COD_{Mn} の相関に比べて低かった。

以上のように，活性汚泥を構成する細菌の存在数量とコークス炉の操業状況などから推定される COD_{Mn} 負荷から「１細菌あたりの COD_{Mn} 負荷」を求め，この値を最適に調整することにより，処理水 COD_{Mn} 濃度の安定化が可能になるものと思われる。

む　す　び

「はじめに」で述べた関西熱化学株式会社殿のコークス炉廃水処理の２つの課題のうち，(1)の課題に対する解決策として「１細菌あたりの COD_{Mn} 負荷」という新しい管理指標を構築した。この指標は現在現場で採用されており，コークス廃水処理の安定運転に貢献している。もう一つの課題である(2)についてもすでに解決策を見出しており，別の機会を得て紹介したい。

今後もコークス廃水処理に係る現場の方々との連携をより一層強めながら，「現場で役立つ技術開発」を推進していく所存である。

[参考文献]

１）Hermansson, A, and Lindgren, P-E. Appl. Environ. Microbiol. 2001, 67, 972-976.
２）Harms, C., Layton, A. C., Dionisi, H. M., Garret, V. M., Hawkins, S. A., Robinson, K. G., and Sayler, G. S. Environ. Sci. Technol. 2003, 37, 343-351.
３）Wagner, M., Rath, G., Koops, H.-P., Flood, J., and Amman, R. I. 1996, 34, 237-244.
４）Brett R. Baldwin, Cindy H. Nakatsu, and Loring Nies Appl. Environ. Microbiol. 2003, 69, 3350-3358.
５）Suzuki, M. T., Taylor, L. T., and Delong, E. F. Appl. Environ. Microbiol. 2000, 66, 4605-4614.

*商品市場・技術開発センター 水・汚泥技術開発部　**水処理事業部 技術部 技術室

電界を利用したガラスの表面改質技術

Modification Technology of Glass Surface Using Electric Field Assisted Method

多田篤志*
Atsushi Tada

三宅明子*
Akiko Miyake
学術博士

矢野哲司**
Tetsuji Yano
工学博士

電界印加法によるイオン交換処理は，処理する範囲，厚み，時間等の条件を制御しながら，均一なイオン交換濃度の処理層を形成可能という，従来のイオン交換処理法にはない特長を備えたガラス表面改質技術である。本技術をガラス成型品に適用した例として，ガラス強度の強化や微小領域に光導波路を製作した事例について紹介する。また本技術を初めてグラスライニングに対して適用することにより，グラス中に含まれる Na^+，K^+，Li^+ 等のアルカリ金属イオンは，電界によって下層に移動して元の1/10以下に低下し，代わりに H^+ や H_3O^+ が導入された層を形成できることがわかった。

Electric field-assisted ion-exchange treatment has been used for a surface modification technology for glasses. It has some superior features that ion-exchanged concentration of treated layer is homogeneous and that the treated area, the layer thickness and the treatment time can be controlled. This report includes some examples for the application of this method for glass plate; reinforcing mechanical strength and forming micro buried optical waveguide in glass. In addition, it was studied whether this treatment can be applied to a modification of glass lining layer. As a result, more than 90 percent of alkali metal ions in glass components moved to under of the glass layer and H^+ and H_3O^+were introduced into glass, the ion-exchanged glass lining layer was formed. This is the first attempt to apply for a modification of glass lining surface.

***Key Words*：**

表面改質	Surface modification
イオン交換処理	Ion-exchange treatment
電界印加法	Electric field assisted method
ガラスライニング	Glass lining
アルカリ金属イオン	Alkali metal ion

まえがき

矢野ら[1-4]は，電界の力を利用したガラスのイオン交換処理（電界印加法），ならびに本処理による新しいガラスを開発している。本技術は従来のイオン交換処理と異なり，電界印加によってイオンの導入深さを制御できるため，均一かつ任意の形状，厚みのイオン交換層を形成することが可能である。ガラス成型品ではこの特長を生かして，ガラス板の機械的強度の強化や，微小領域の屈折率を調整した光デバイスの製作等が検討されている。当社では，これまでグラスライニング（Glass Lining，以下GL）の表面改質技術の開発に取組み，銀（Ag）処理を施した製品等を上市してきた。今回，GL層の表層部の組成を調整して，高耐食性や導電性，洗浄

性，耐衝撃性等，種々の機能性を付与し，新たな用途開発を行うために，本処理技術の GL への適用を検討した。本報では本技術の概要と GL に適用した場合の結果について紹介する。

1. ガラスの表面処理

ガラスの表面処理には，**表 1** に示すように大きく分けると 3 種の表面処理がある。いずれの表面処理も，溶融法では製作できない，もしくは製作が困難な性質をガラスに対して付与するために用いられる[5)]。

本報で紹介する電界印加法によるイオン交換処理は，後述するように，ガラスの機械的強度の向上だけでなく，表面改質によって被覆処理のような新たな特性を付与することも可能であり，幅広い適用性を備えた表面処理技術である。

1.1 一般的なイオン交換処理

1）原理と適用例

ガラスのイオン交換処理は，種々の 1 価の陽イオン（カチオン）を，ガラスに含まれている Na 等のアルカリ金属イオンと置換して，ガラス中に導入する技術である。一般的なガラスでは，室温においてアルカリ金属イオンはガラス中の酸素と強く結合しているが，ガラス温度を200－300 ℃以上に上昇させると，熱エネルギーを得て移動可能な状態になる。この状態で別の 1 価の陽イオンを含む液体，溶融塩等に浸漬させると，濃度勾配が駆動力となり，イオンの相互拡散が発生する。そのため，**図 1** に示すように，ガラス中のアルカリ金属イオンは接触している液体中へ，液体に含まれる 1 価の陽イオンはガラス中に相互拡散することによってイオン交換が起こる。以下，本方法を浸漬法と記載する。

工業的なイオン交換処理の主な用途は，ガラスの機械的強度を向上させる化学処理法の一つとして，使用されている[6)]。具体例としては，ガラス転移温度より低い温度で処理する場合には，ガラス中に含まれるアルカリ金属よりも大きなイオン半径を有するアルカリ金属の溶融塩と接触させることによって，Li^+（ガラス）⇔ Na^+（溶融塩），Na^+（ガラス）⇔ K^+（溶融塩）のようなイオン交換を行う。イオン交換によって，占有容積の大きなアルカリ金属イオンがガラス中に拡散するため，ガラス表層の圧縮応力が増加して，ガラスの機械的強度が向上する。

ガラス転移温度以上，軟化温度以下の高温域でイオン交換する場合には，Li のようなガラスの線膨張係数を増大させる作用が大きいアルカリ金属を含む溶融塩を使用することにより，Na^+，K^+（ガラス）⇔ Li^+（溶融塩）のイオン交換を行う。Li が拡散することにより，表面層のガラスは内部ガラスより線膨張係数が大きくなるため，冷却とともに表面の圧

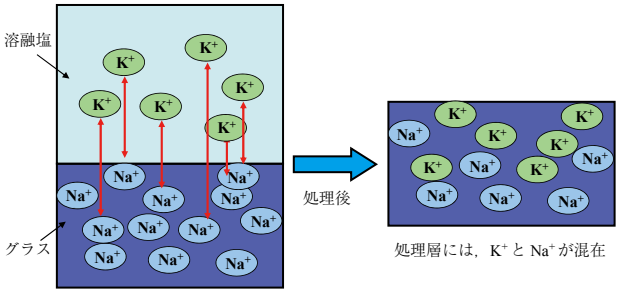


図 1　一般的なイオン交換処理の模式図

表 1　ガラスへの表面処理の種類一覧

処理分類	詳　細　処　理	主　な　用　途
1．研磨処理	1）機械的研磨 2）化学研磨	・表面平滑化，光沢化 ・表面加工
2．表面強化処理	1）物理強化 （表面急冷，スパッタエッチング） 2）化学強化 （薬品処理，イオン交換処理）	・ガラス強度強化
3．被覆処理	1）物理的薄膜生成 （真空蒸着，スパッタリング，イオンプレーティング） 2）化学的薄膜生成 （酸処理，無電解メッキ，ホットスプレー，CVD 法） 3）金属被膜 （鏡，熱反射被膜） 4）化合物被膜 5）プラスチック被膜	・機能性付与 表面保護，電導性，誘電性， 選択透過性，反射防止性，他

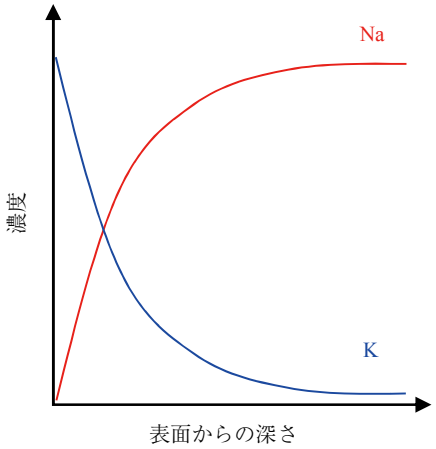


図２　浸漬法による Na^+/K^+ イオン交換処理後のアルカリ金属プロファイル模式図

(a) イオン交換前　　(b) イオン交換後

図３　Na^+/Ag^+ イオン交換ガラスのグラス色相

縮応力が増加し，ガラスの機械的強度が向上する。

このような浸漬法によるイオン交換処理では，濃度勾配によるイオンの相互拡散によってイオン交換層が形成されるため，処理層中の導入イオン（K^+）のプロファイルは，図２のようにガラス表層からの深さに応じて徐々に減少する。

２）当社での実用化事例

当社においても，Na^+（ガラス）⇔ Ag^+（溶融塩）のイオン交換処理によって Ag^+ をガラス中に導入した耐付着性 GL（9 000 Ag，8 100 Ag）を商品化している。両グラスは，Ag^+ が導入されることによって，図３のように紺色から濃紺色に変色しており，電子線マイクロアナライザ（EPMA）を用いた線分析による成分プロファイルの調査結果においても，図４のように Ag^+ が GL 層中に導入されている[7, 8]。

GL に対するポリマーの付着は初期のグラス表面が健全な状態では発生し難いが，腐食の進行とともに付着が発生することが実験的に確認されている。これは腐食の進行とともに，表面積が増加し物理吸着量が大きくなる影響と，腐食面の表面活性が大きいことにより化学吸着量が増加する影響と考えられている。そのため，グラスの耐水性を向上すること

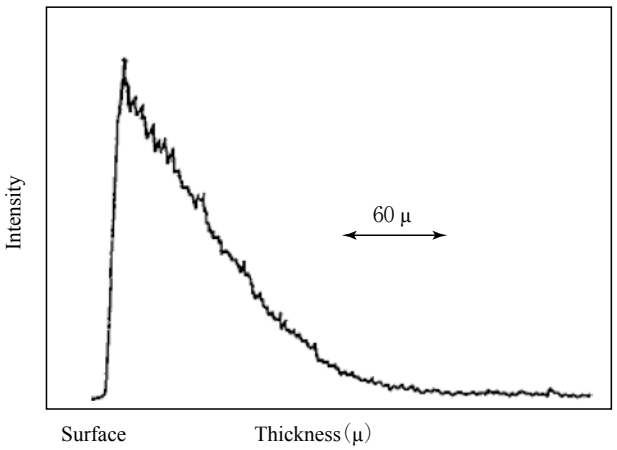


図４　イオン交換処理後 Ag プロファイル EPMA 分析結果

表２　耐付着性 GL（9 000 Ag，8 100 Ag）の耐食性

グラス種　類	腐食量（mm/year）		
	20 % HCl 沸点，気相	H_2O 沸点，気相	1N-NaOH 80 ℃，液相
9 000	0.04	0.01	0.2
8 100	0.04	0.01	0.2
9 000 Ag	0.04	0.004	0.2
8 100 Ag	0.04	0.004	0.2

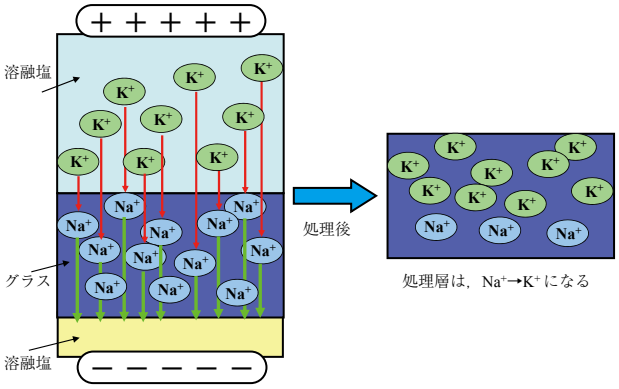


図５　電界印加法によるイオン交換処理の模式図

により腐食の進行を遅らせ，耐付着性に優れたガラスを得ることが可能である。9 000 Ag と8 100 Ag は Ag^+ の導入によって，表２のように耐水性が向上しており，ポリマーの耐付着性に対して優れた効果を示す。

1.2　電界印加法によるイオン交換処理

１）電界印加法の原理

浸漬法に対して，電界印加法によるイオン交換処理は，ガラスを転移温度以下の温度に上昇させ，図５に示すように処理対象面が陽極，反対面が陰極と

なるように電界を印加しながら，イオン交換処理を行う。電界を印加すると，クーロン場が駆動力となって，ガラス中の１価陽イオンであるアルカリ金属イオンが陰極に向かって移動する。電界によって移動するガラス中の成分は，主としてアルカリ金属イオンであり，２価のアルカリ土類金属イオンや陰イオン等は移動しない。また各アルカリ金属イオンは，イオン半径に依存して，Li ＞ Na ＞ K の順で移動しやすい傾向にある。陰極側のガラス表面に到達したアルカリ金属イオンは，逐次ガラス陰極側に塗布されている溶融塩へ移動する。移動したアルカリ金属イオンに置き換わる形で，陽極側の溶融塩から１価の陽イオンがガラスの中に移動する。これらの反応が同時並行に起こることにより，イオン交換が行われる。

２）電界印加法の特長

電界印加法によるイオン交換処理は，浸漬法によるイオン交換処理と比較して，以下の特長を有する。

① 均一にイオン交換された層を形成可能

電場によって，ガラス中のアルカリ金属イオンは陰極側へ順次移動し，イオン交換が起こるため，図６のような均一にイオン交換された層が形成される。そのため，ガラス中に全く別の性質を備えたガラス領域を形成することが可能である。

② 処理厚みを制御可能

電界印加法では，陰極からガラスの外に抜けたアルカリ金属イオンの電荷を補うべく，陽極側の溶融塩から１価のイオンがガラス中に入ることで電極間に電流が流れる。このとき，ガラス表面にリーク電流が流れないよう注意する必要がある。処理中に流れる電荷の積算量は，図７のように時間とともに増加し，リークする電流がなければ，

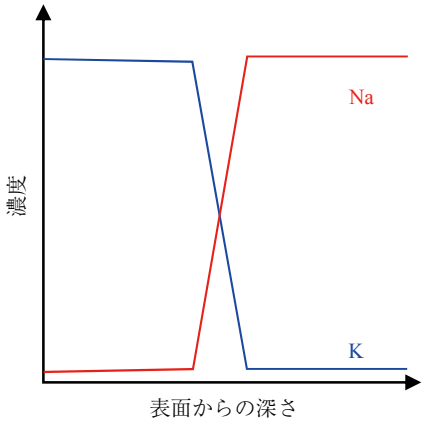


図６　電界印加法による Na^+/K^+ イオン交換処理後のアルカリ金属プロファイル模式図

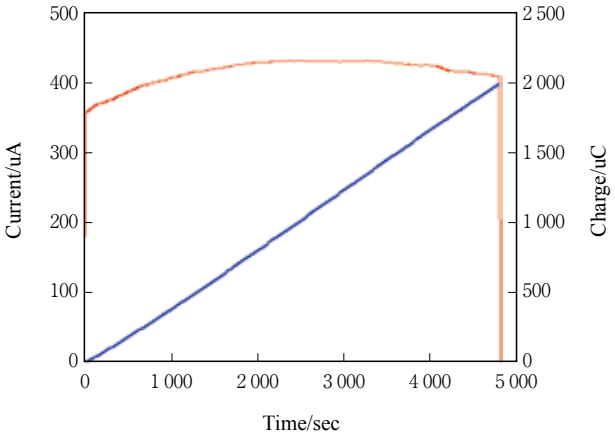


図７　電界印加法における処理中の電流値と電荷積算量の関係

外部に抜けたアルカリ金属イオンおよび導入された１価の陽イオンの量に等しいと考えられる。そのため，ガラス中にアルカリ金属イオンが均質に存在していると仮定すると，ガラス組成と積算電荷量，および処理面積から目安となる処理厚みを把握することが可能である。

このように，浸漬法によるイオン交換処理では，処理条件（ガラスの種類，温度，時間）ごとに処理後の厚みを測定し，蓄積されたデータから厚みの制御を行うのに対して，電界印加法では組成と電荷量の測定のみによって処理厚みを任意に制御することが可能である。

③ 処理時間が短い

浸漬法によるイオン交換処理では，ガラスと溶融塩中のイオンが相互拡散することにより処理が進行するため，処理温度が処理時間に大きく影響し，処理温度が低いほど処理時間は長くなる。それに対して電界印加法では，電界を印加することによってイオン交換が促進されるため，浸漬法と比較して処理時間を短くすることが可能である。ガラス板に K^+ を40 μm 導入する場合，浸漬法では460 ℃で40 h 以上の時間を要するのに対して，電界印加法では420 ℃で約１h であり，大幅な時間短縮が可能である[5)]。また，印加電圧によってイオンの移動速度は変化するため，印加電圧を高くすることによってさらに短時間での処理が可能となる。

2.　ガラス成型品への処理の適用

東京工業大学 柴田・矢野研究室にて，板ガラスに対して電界印加法を適用した特徴的な事例として，導入イオン量を多くした場合の物性変化の例を2.1項に，処理時の良好な制御性と複雑な処理層を

形成可能な例を2.2項に，従来にない１価の陽イオンをガラスに導入した例を2.3項に示す。

2.1　ガラスの強化

浸漬法がガラス強度の強化に用いられていることは1.1項に述べたが，同じように電界印加法でガラス強化を試みた場合のガラス強度を調査した。ブラウン管に使用されるガラスに，浸漬法と電界印加法で Na^+（ガラス）⇔ K^+（溶融塩）のイオン交換を行った場合の，処理層断面の Na と K の分布の分析結果およびガラス強度試験の結果をそれぞれ図８，９に示す。

図８から，1.2項で述べたように，浸漬法と比較して電界印加法では K^+ が均一に入った層が形成されていることが明らかである。また図９の結果より，電界印加法で30 μm 以上のイオン交換層を形成すると，ガラスの強度は処理前よりも17倍以上，浸漬法で処理した場合よりも４倍以上，強度が増加していることが判明した。このように電界の利用により，多量の K^+ を深層部にまで導入した結果，圧縮応力が増加し，ガラス強度を効率的に強化することが可能である[1)]。

2.2　極微小領域への屈折率分布の形成

ガラス中の Na^+ を，Ag^+ のような高い分極率を有したイオンと交換することにより，ガラス中に屈折率の分布を形成することが可能である。電界印加法では，印加電界の調整と処理中に流れた電荷量を測定することによって，導入するイオン量を制御し，複雑な屈折率分布を形成可能である。本節ではその一例として，２段階電界印加法によるイオン交換処理によって，光ファイバのようにコア部となる高屈折率の光導波路を内部に形成し，さらに極微少の電極によるイオンの引き抜き操作によって，光導波路に光開口端を形成した結果を紹介する[1－3)]。一連の処理の概要を図10に示す。

まず図10（a）に示すように，溶融急冷法で製作した $20Na_2O$-$10Al_2O_3$-$10B_2O_3$-$60SiO_2$（mol％）のガラスに対して，電界印加法によって Ag^+（薄膜）⇒ Na^+（ガラス）のイオン交換を行い，Ag^+ が導入された高屈折率の層を形成する。次に図10（b）に示すように，Ag^+ を導入した層の上から，電界印加

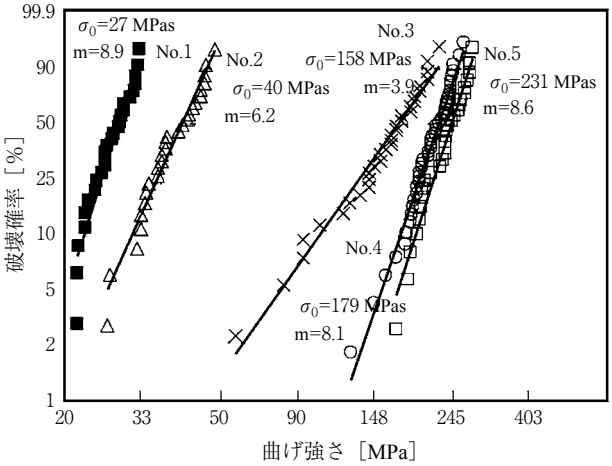
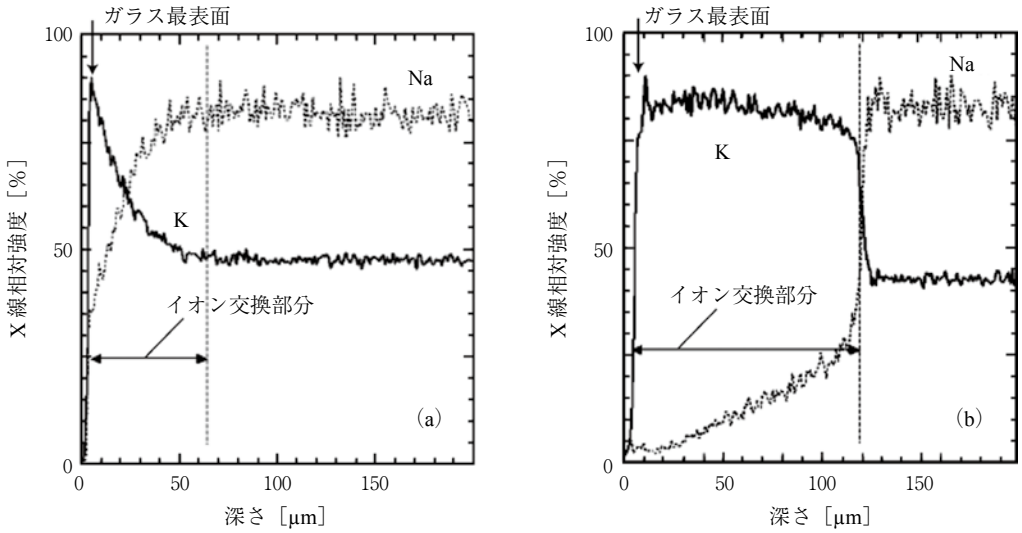


図９　各イオン交換処理ガラスの曲げ強度評価結果
No.1_ 未処理ガラス，No.2_ 浸漬法による処理ガラス，No.3，4，5_ 電界印加法で，各30，50，70 μm 処理したガラス



（a）浸漬法　　（b）電界印加法

図８　各方法により Na^+/K^+ イオン交換処理した後のアルカリ金属プロファイル

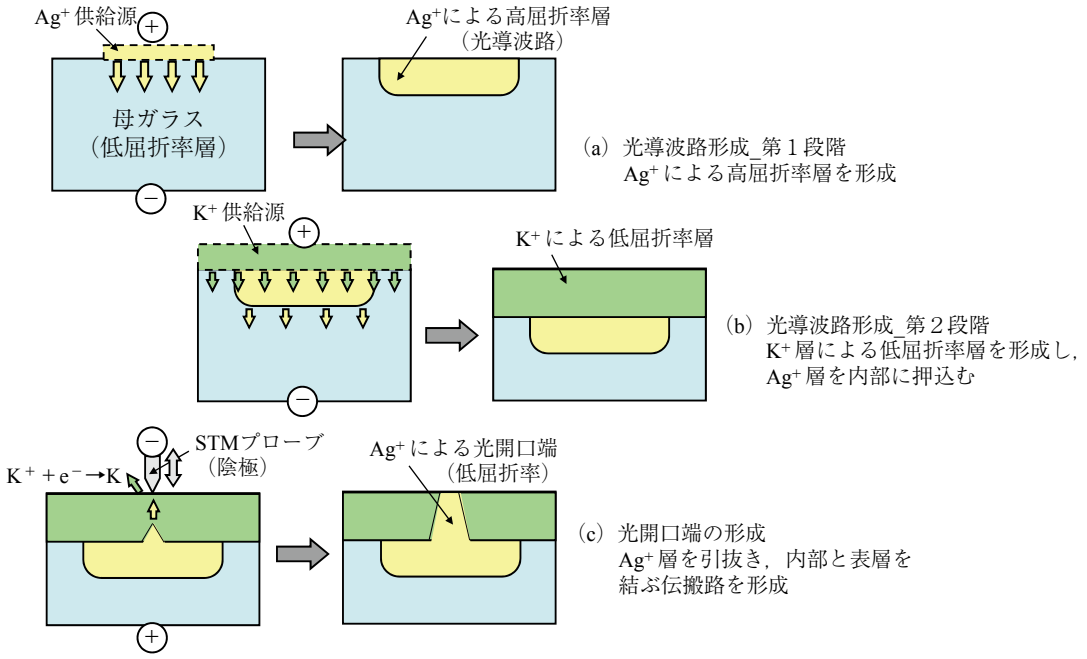


図10　電界印加法による光導波路と光開口端の形成方法概要

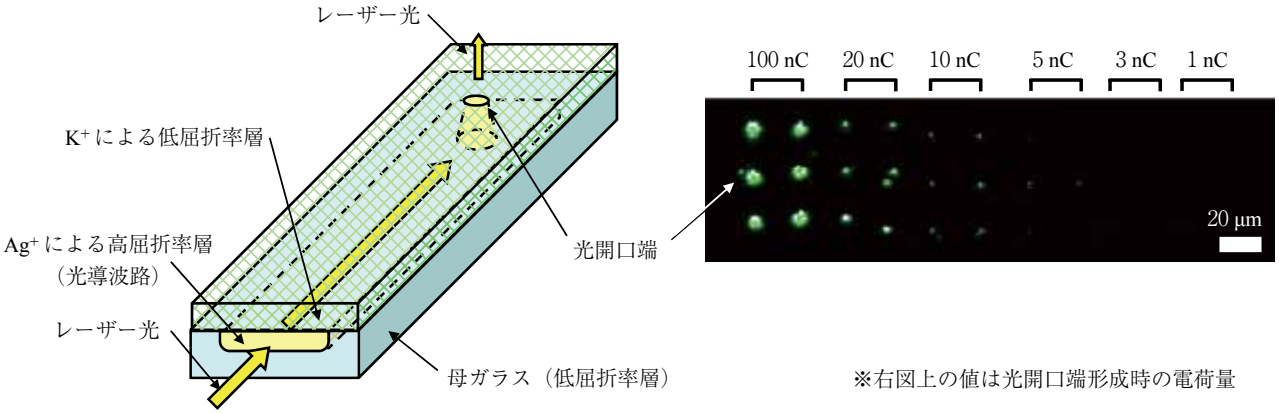


図11　電界印加法で形成した光導波路に入射したレーザー光が光開口端から介して外部に伝搬している様子

法によって K^+（イオン源）⇒ Ag^+（ガラス）⇒ Na^+（ガラス）のイオン交換を行う。このように２段階でイオン交換することによって，K^+ が Ag^+ を内部に押込む形でイオン交換が進み，K^+ による低屈折率の層によって，Ag^+ の高屈折率の層は内部に埋め込まれる形となり，光導波路が形成される。

光導波路には，外部と光導波路を繋ぐ伝搬路（光開口端）が必要であり，この光開口端をサブミクロン以下のオーダーの大きさで形成するために，電極として走査型トンネル顕微鏡（STM）や原子間力顕微鏡（AFM）のプローブを使用した。このような極微小の電極を用いた場合にも，電界印加法によるイオン交換処理が可能であり，陽極として使用することでイオンを押込むだけでなく，陰極として使用することで，微小領域のイオンを引抜くことが可能である。図10（c）に示すように，STM プローブを陰極として引抜き操作を行うことで，内部に存在している Ag^+ がプローブ尖端に引きつけられ，内部の高屈折率層からガラス表面に至る光開口端が形成される。実際に製作した光導波路にアルゴンイオンレーザを入射したときに，光導波路を伝搬した光が光開口端から出てきている様子を図11に示す。

2.3　ガラスへのプロトンの導入

浸漬法によるイオン交換処理の場合，交換速度の関係からガラスに導入するイオンは１価のイオンに限られ，代表的なものとしては Na，Li，K 等のアル

カリ金属，Ag，Cu，Tl がある。本節では，もっとも小さな１価のイオンであるプロトン（H^+）を電界印加法でグラス中に導入した場合に，ガラスにどのような影響を及ぼすか調査した結果を紹介する[4)]。

$16.7Li_2O$-$16.7Al_2O_3$-$66.6SiO_2$（mol％）のガラスに対して，イオン供給源として無水 H_2SO_4を用い，電界印加法によって H^+ をグラス中に導入し，イオン交換濃度プロファイルをグロー放電発光分光分析（GDOES）で評価した結果を図12に示す。GDOES は Ar グロー放電領域内で，サンプル表面を高周波スパッタリングし，Ar プラズマ内におけるスパッタされた原子の発光線を連続的に分光することにより，皮膜の深さ方向の元素分布を測定する手法である。深さ方向の元素分布を短時間で容易に得ることが可能であり，イオン交換処理層中のイオンプロファイルの分析に最適な手法である。

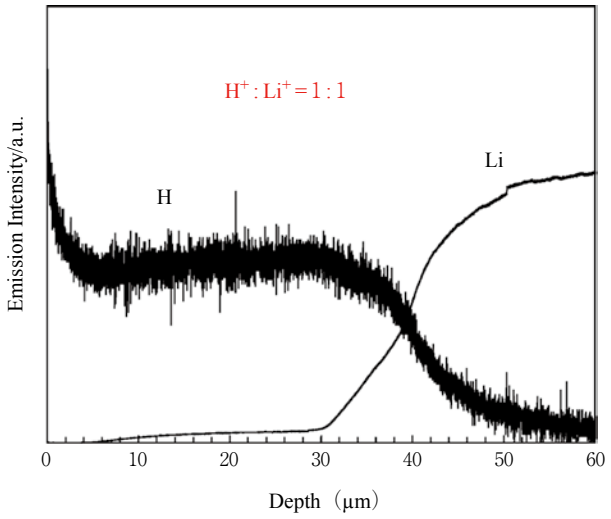


図12　L^+/H^+ イオン交換ガラスの断面アルカリ金属プロファイル

図12より H^+ がアルカリ金属イオン等の１価のイオンと同様に，ガラス中に導入されたことがわかる。ガラス中で H^+ がどのように存在しているのか，近赤外および赤外吸収スペクトル分析によって調査した結果を図13に示す。処理後のグラスには H_2O 分子と Si-OH の伸縮振動，変角振動に帰属すると考えられる5 200 cm^{-1}および4 500 cm^{-1}付近，そして 3 500－300 cm^{-1}に緩やかなピークが観られていることから，H^+ イオン交換を行うことによって，ガラス中に H_2O や OH 基が生成されたことがわかる。

このように電界印加法によって，溶融法では得られないグラス材料を得ることが可能であり，H^+ の他にも水分を含む溶融塩を使用することで H_3O^+ をガラス中に導入することが可能である。

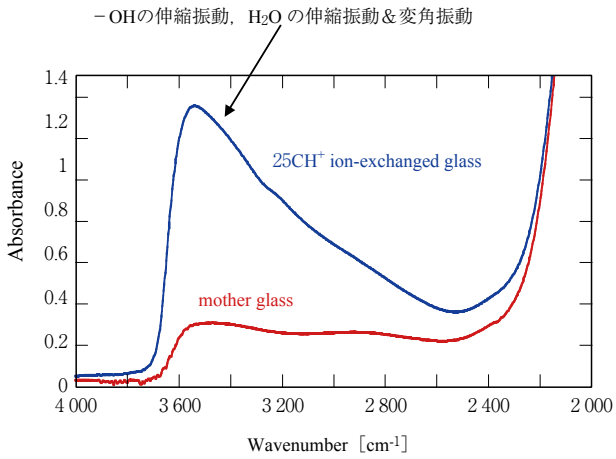
3.　GL への処理の適用

3. 1　GL への処理方法

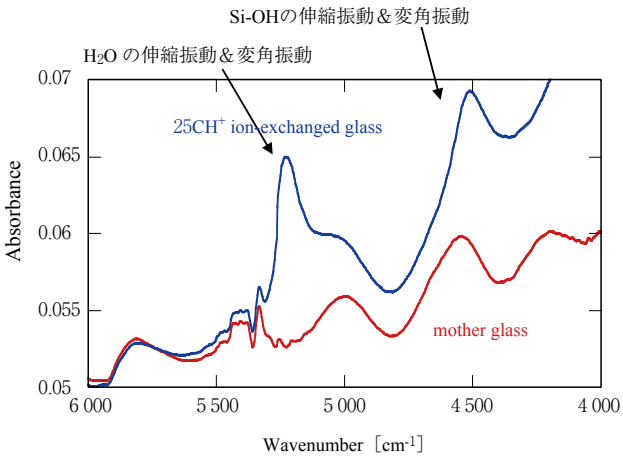
電界印加法による GL への処理は，次のような方法で実施した。まず，ガラス中に導入させる１価の陽イオンを含む溶融塩をガラス表面に接触させ，ガラス転移温度以下の所定の温度に加熱する。その後，溶融塩中に陽極電極を浸漬し，陽極電極と母材鋼板の間に電界を印加して，ガラス表面から１価の陽イオンを導入する。本報では，硫酸系，リン酸系の溶融塩を使用して，H^+，H_3O^+ 等を GL に対して導入することを試みた。

3. 2　処理後の GL のイオンプロファイル

GL に対して処理したサンプル中のイオンプロファイルを，グロー放電発光分光分析（GDOES）で



（a）赤外吸収スペクトル（2 000－4 000 cm^{-1}）



（b）近赤外吸収スペクトル（4 000－6 000 cm^{-1}）

図13　L^+/H^+ イオン交換ガラスの赤外吸収スペクトル

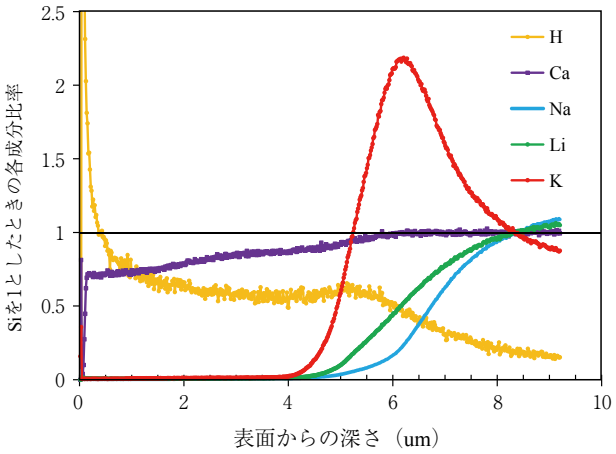


図14　電界印加法によるイオン交換処理後の各元素のプロファイル

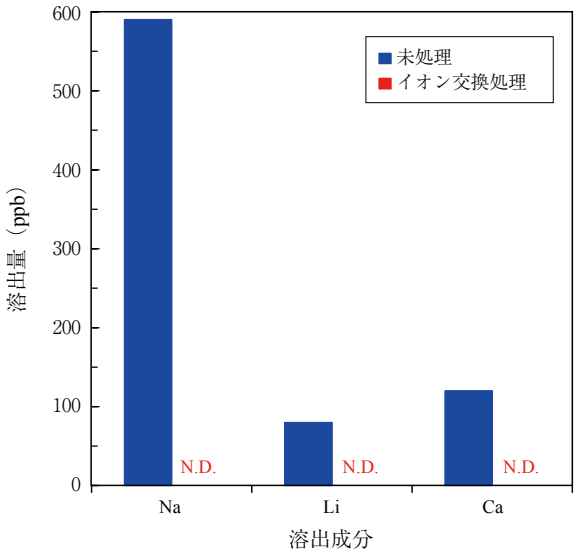


図15　電界印加法で処理したガラスの溶出量評価結果
※各成分の定量下限値は Na_ <5，Li_ <5，Ca_ <10（ppb）

分析した結果を**図14**に示す。**図14**より，表層から４μm の層において，Na，K，Li 等のアルカリ金属は下層に移動して，非常に少ない状態であり，代わりに H が導入されていることがわかる。本結果から，ガラス成型品へ処理した場合と同様に，GL に対しても均一なイオン交換層が形成可能であることがわかった。さらに平板状の GL サンプルだけでなく，内容量3L の GL 製容器に対しても，電界印加法で同等のイオン交換層が形成可能であることを確認した。

また，各アルカリ金属イオンの変化に着目すると，６μm 付近に K^+ が多い領域が存在する。３種のアルカリ金属イオンのうち，K^+ はもっともイオン半径が大きいため輸率が小さく，Na^+，Li^+ が移動した後，遅れて移動しているのではないかと推察される。

3.3　処理の効果

電界印加法による処理層において，アルカリ金属イオン濃度が低いことを確認するため，処理したガラス表面からのアルカリ金属の溶出量を調査した。純水下での，Na，Li，Ca の溶出量を未処理サンプルと比較した結果を**図15**に示す。電界印加法で処理したサンプルは，Na，Li，Ca の溶出量がいずれも検出限界以下であり，処理によってアルカリ金属イオン濃度の低い層が形成されていることが確認できた。

また**図14**より，深さ方向における Ca 濃度変化は小さいことから，ガラス中のアルカリ土類金属は少量しか移動しないことがわかる。しかしながら，Ca 溶出量は検出限界以下の非常に低い溶出量を示している。水によってガラスが腐食する場合，最初にガラスからアルカリ金属イオンが溶出し，ガラス表面近傍の水がアルカリ性になることで，Si-O-Si 結合が分断されて腐食がさらに進行する。H^+，H_3O^+ 等が導入されることによって，表層のアルカリ金属イオン濃度が低下するため，初期のアルカリ金属イオンの溶出が低下し，ガラスの耐水性が向上したと考えられる。そのため，Ca はイオン交換処理によって移動しないにも関わらず，溶出量が低減したと推察する。

アルカリ金属成分はガラスを軟化させやすくするため，GL の施工上は有効であるが，一方で化学的耐久性を悪化させる成分であり，電子材料分野では GL 機器からのアルカリ金属の溶出が，製品へのコンタミネーションの一因となることが懸念されている。本処理を適用することによって，GL 表層にアルカリ金属イオン濃度の低い層を形成可能であるため，アルカリ金属を含有することで，良好な施工性を備えた GL の化学的耐久性を向上させたり，要求される品質が厳しい電子材料分野で使用される機器への適用が期待される。

む　す　び

電界印加法で GL サンプルを処理した結果，ガラス成型品同様にガラス表層の改質が可能であり，表層に均一なイオン交換層を形成できることを確認した。しかしながら，実機スケールへの施工を実施するには課題が多い。

本技術は導入できるイオンが１価の陽イオンに限られるものの，処理対象物の形状に関わらず，ガラ

スの表層を均一に別のガラスに改質可能であり，処理層の形状，厚みを制御できるため，ガラスの貼り合わせ等では製作できない新しい機能性材料を製作することが可能である。GL に対しても，アルカリ金属成分を多く含む低温焼成可能なガラスの表層を改質して，耐食性や耐衝撃性を向上できる等，新たな機能性の付与や製造プロセスを構築できる可能性がある。今回紹介した処理技術が様々な用途に適用されることを期待するとともに，処理技術の改良を進め，今までにない機能性を備えたガラス成型品や新規 GL 製品を開発したい。

［参考文献］

1）矢野哲司：Material Integration, Vol.20, no.07, 08（2007），p.68-73.
2）諸葛英二ら：ガラスおよびフォトニクス材料討論会講演要旨集，Vol.48（2007），p.56-57.
3）矢野哲司：旭硝子財団助成研究成果報告，Vol.2004（2004）.
4）山口遼ら：ガラスおよびフォトニクス材料討論会講演要旨集，Vol.49（2008），p.90-91.
5）土橋正二：ガラス表面の物理化学，p.243-308（1979）.
6）作花済夫ら：ガラスハンドブック，p.492-493（1975）.
7）神鋼ファウドラー・ニュース，Vol.17，No.3，p.1-7.
8）神鋼ファウドラー・ニュース，Vol.17，No.4，p.4-13.

*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　**東京工業大学 大学院理工学研究科 物質科学専攻 准教授

ろ過・乾燥機の高機能化技術

High Functionalization Technologies of the Dryer and Filter Dryer

竹井一剛*
Kazuyoshi Takei

半田裕利*
Hirotoshi Handa

山本昌史**
Masafumi Yamamoto

当社のろ過・乾燥機は医薬，ファインケミカル業界を中心に幅広い分野でご使用頂いている。とくに近年は医薬製造におけるコンテインメントの考え方，ファインケミカル分野での高純度化をはじめとし，クリーン化，省力化，使いやすさ，安全性に対してのニーズはさらに高度なものになってきている。

本報では，これらの要求に対し，当社ろ過乾燥機の特長と選定方法についてまとめ，近年のニーズに対する高機能化技術について紹介する。

Our dryers and filter dryer have been used in a wide range of industries including pharmaceuticals and fine chemicals. Particularly in recent years, requirements for cleanliness, laborsaving, usability and safety are increasingly sophisticated to correspond to the demands including the containment policy of production at pharmaceutical fields, and the needs for higher level of purity at fine chemical fields.This report introduces our high functionalization technologies which correspond to the above requirements and summarizes the characteristic and the basis of selection for our dryers and filter dryer.

***Key Words*：**

医薬・ファインケミカル	Pharmaceuticals and fine chemicals
ろ　過　乾　燥　機	Filter dryer
コニカルドライヤ	Conical dryer

【セールスポイント】

・99.5 %の製品を全自動で回収可能な全量回収型フィルタードライヤ FD
・クリーンルーム設置に最適な片持ち型コニカルドライヤ C-CDB
・缶内に吸引管が無く，洗浄性に優れたコニカルドライヤ N-CDB

ま え が き

粉体のろ過機，乾燥機は，化学工業分野をはじめ医薬，電子材料，食品などの分野で多用される。当社では，とくに医薬・ファインケミカル分野におけるろ過・乾燥機のニーズに対して従来よりコニカルドライヤ，フィルタードライヤを中心に数多くの実績を持つ。現在，ろ過乾燥機はフィルタードライヤをはじめ RFD，CDF，PVF の４機種，コニカルドライヤは C-CDB，N-CDB を加えた３タイプをラインアップするに至っている。今回，ろ過乾燥機４機

種の特長および選定基準を刷新したので紹介するとともに，医薬分野でのニーズに対応すべく改良を行ってきたCDBの高機能化技術についても紹介する。

1.　ろ過乾燥機の選定方法について

当社では４種類のろ過乾燥機をラインアップしている。どの機種を選定するかについては，これまでの経験，実績，ノウハウから決められており，具体的な基準は無かったが，今回客先ニーズに対する機種の絞込みがしやすいように選定指標をまとめた。

1.1　当社ろ過乾燥機の適用分野

ろ過乾燥機は処理方式により「連続式」と「バッチ式」に大別される。処理量が多く，単価が低い製品には連続式が選ばれることが多く，逆に処理量が少なく単価が高い医薬・ファインケミカル分野での製品はバッチ式が選ばれることが多くなる。また乾燥の加熱方式についても「直接加熱式」と「間接加熱式」に分けることができる。製品への異物混入が問題とならない場合は，熱風式などの直接加熱式が選ばれることがあるが，異物混入が問題となる医薬・ファインケミカル分野では真空乾燥機のような間接加熱式が選ばれる。

当社４種類のろ過乾燥機は付加価値の高い医薬・ファインケミカル分野に対応した機種で，バッチ式で，加圧ろ過，間接加熱式による真空乾燥を基本的な処理方法としている。また１台の密閉容器内でろ過，乾燥を行うことは以下のメリットがある。

a）ろ過機から乾燥機への輸送が不要でクロスコンタミ，製品ロスの低減が可能

b）ろ過機から乾燥機へのハンドリング時の暴露等の危険性を排除可能

c）ろ過機と乾燥機が一体であり生産設備の簡略化，省スペース化が可能

1.2　当社ろ過乾燥機の特長

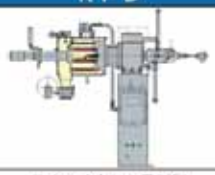
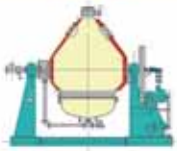
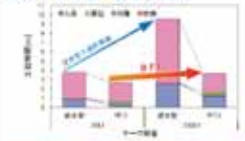
以下に当社ろ過乾燥機４機種の特長を示す。各機器の構造および高機能化技術についてまとめた結果を**表１**に示す。

1.2.1　多機能ろ過乾燥機フィルタードライヤ【FD】

フィルタードライヤは底部に水平ろ板を備えたヌッチェ型加圧ろ過タイプのろ過乾燥機であり，缶内には吐出と掻上機構を兼ね備えた高効率撹拌翼を備えている。撹拌翼は正転，逆転，昇降が可能でろ過乾燥に必要な様々な運転を行うことができる。ろ過乾燥機のベーシックタイプに位置づけられる。

フィルタードライヤの高機能化技術としては，ろ板振動と缶体傾斜により，製品回収率99.5％以上を実現する全量回収機構（**図１**）や，本体フランジを自動開閉でき，ろ布交換，下蓋取外し，取付けを短時間でスムーズに行え，また潤滑油の塗布も不要なサニタリー仕様のヘルール式急速開閉装置（**図２**）がある。

表１　当社ろ過乾燥機の特長と高機能化技術

	多機能ろ過乾燥機 FD	回転型ろ過乾燥機 RFD	ろ過機能付きコニカルドライヤ CDF	ろ過機能付きＰＶミキサー PVF
構造図				
特　長	ろ過乾燥機のベーシックタイプ（ろ過性能重視型）	能力を追究した最新型（多品種少量生産型）	コンタミレス設計（洗浄性能重視型）	高効率乾燥機にろ過機能を追加（乾燥能力重視型）
最大処理ケーク量	1900L	250L	3000L	3000L
適応粒径の目安	0.1μm～	0.5～100μm	5μm～	50μm～
本体材質	グラスライニング，ステンレス鋼，各種耐食金属	ステンレス鋼，各種耐食金属	グラスライニング，ステンレス鋼，各種耐食金属	ステンレス鋼，各種耐食金属
高機能化技術	高効率撹拌翼 吐出と掻上機構を兼ね備えた高効率撹拌翼。正転，逆転，昇降が可能。 全量回収機構 ろ板振動と缶体傾斜により，製品回収率99.5％以上を実現。 	高効率なろ過・乾燥を実現  洗浄が容易（ケーシング開閉構造） 洗浄確認 RFD1000	コンタミレス設計を実現 ・缶内に摺動部が無く，摩耗コンタミ無し。 ・ノンメタリック化(グラスライニング製)で金属コンタミ無し。 ・導電性グラスECOGL Ⅱの採用で，乾燥粉体の静電気付着を抑制。 ろ板振動機構 乾燥速度，ろ板への製品付着の改善が可能です。（乾燥時間25％低減） ※ろ板振動機構は金属製ＣＤＦに採用できます。 ステンレス製ＣＤＦ　振動エアーバイブレータ	多段傾斜パドルが理想的な撹拌を実現 ・ぜん断混合によりダマの解砕が可能。 ・リボン翼に比べて低動力で同等性能。 下部コーン部焼結フィルター メタルタッチ構造で伝熱面としても機能。 縦型式焼結フィルター

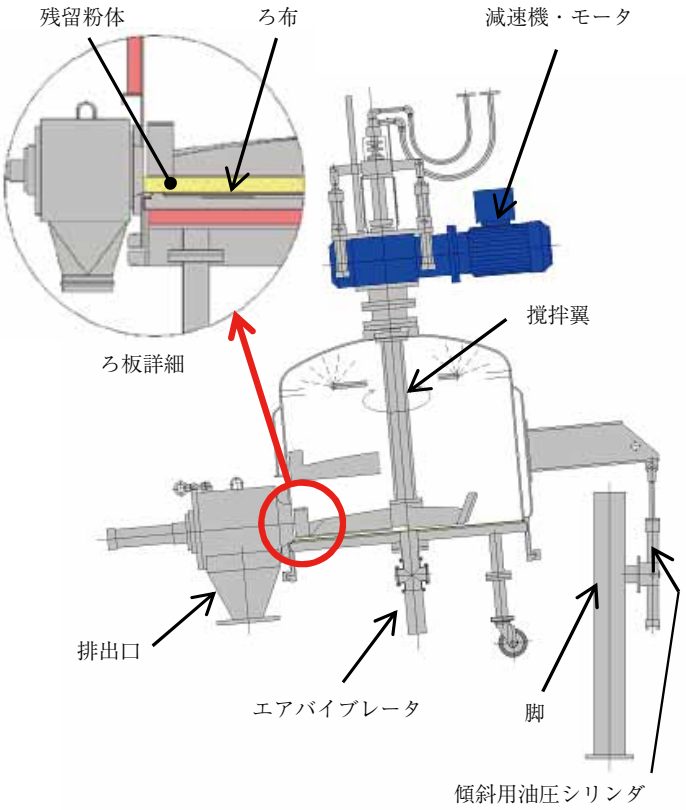


図１　全量回収型フィルタドライヤ

図２　ヘルール式急速開閉装置（サニタリー仕様）

1.2.2　回転型ろ過乾燥機【RFD】

全機種の中でもっとも高効率なろ過・乾燥能力をもち，多様化するろ過乾燥ニーズに対応できる。開閉可能なケーシング構造は，内部の洗浄，洗浄確認が容易に行える特長があり，付加価値の高い多品種少量生産用途に適した機種である。

RFD は，ケーク量７L の小型機からケーク量250 L までをシリーズ化している。スケールアップについては，この度，最大機種の RFD-1000の製作を完了し，性能検証を終えた。

1.2.3　ろ過機能付コニカルドライヤ【CDF】

近年，医薬分野などで再び多く使用されているダブルコーン型のコニカルドライヤに水平ろ板を設けた機種であり，最大の特長は缶内に摺動部がない洗浄性を重視したコンタミレス設計にある。

付属品として全量回収型フィルタードライヤのろ板振動機構を採用することができ，乾燥速度，ろ板への製品付着の改善が可能である。

1.2.4　ろ過機能付き PV ミキサー【PVF】

PV ミキサーの下部に円錐型の焼結フィルタを設けた機種で全機種の中でもっとも優れた乾燥能力を有する。多段傾斜パドル翼によるせん断混合により，乾燥時に生成すると問題となるダマの解砕も可能である。またリボン翼に比べると製品との接触面積が少なく，消費動力も少ない。

下部コーン部焼結フィルタはメタルタッチ構造で伝熱面としても機能する。

1.3　ろ過乾燥機の性能比較

当社ろ過乾燥機４機種を用いて，平均粒径７μmの同一試料（炭酸カルシウム）を同一量，同一条件でろ過・乾燥処理した場合の各処理時間を**表２**に，性能比較を**図３**に示す。ろ過性能では，ケーク厚みを薄くできるRFD，フィルタードライヤが高い能力を示す。一方でPVFは他機種に比べてろ過性能が劣っており，７μm程度の細かい粒径の処理は不向きであることが分かる。乾燥性能では撹拌能力に優れケーク量に対する伝熱面積の割合が大きいPVF，RFDが高い能力を示す。

1.4　ろ過乾燥機の選定方法

ろ過乾燥機の選定には設置スペース，機器コスト，本体材質など様々な因子があるが，それ以外にも取扱う原料の粒径と１バッチあたりの処理ケーク量による機種の選定も必要である。

図４に当社ろ過乾燥機選定指針を示す。フィルタードライヤは粒径の細かい難ろ過性のスラリーから粗い粒径のスラリーまで，幅広い範囲で対応可能である。通常，難ろ過性のスラリーでは，ろ過時に形成されるケーク抵抗により，ケーク厚みが増すと極端にろ過速度が遅くなることがある。このような場合でもフィルタードライヤでは正転，逆転，昇降可能な撹拌翼を備えているため，ケークを崩しながらろ過を進めていくことができる。

ろ過，乾燥ともに高い能力を持つRFDも幅広い範囲の粒径に対応可能であるが，フィルタードライヤと比較すると処理ケーク量は少なく，適応粒径も制限される。ただしRFDは処理時間が短く，**表１**の高機能技術に示すとおりケーシングの開閉構造を採用しているため，洗浄および洗浄確認が容易に行える利点がある。つまり付加価値の高い，多品種少量生産で品種替えが多い用途に適した機種である。

CDFでは転動作用によるダマの生成の問題から適応粒径が５μm以上，またPVFでは円錐形状フィルタで，ケーク厚みを一定とできないことから50μm以上の適応粒径範囲となるが，それぞれ処理ケーク量3 000 Lまでの大容量の処理が可能である。

表２　ろ過・乾燥時間比較（例）

平均粒径７μm，初期含水率70％のスラリーをろ過

機　　種	形　　式	ろ過時間（min）
FD	FD-3	19
RFD	RFD600	15
CDF	CDF ６型	29
PVF	PVF075	210※

※ PVFのろ過適応粒径は50μm以上が目安となります。

平均粒径７μm，初期含水率15％のケークを0.2％まで乾燥

機　　種	形　　式	乾燥時間（min）
FD	FD-3	90
RFD	RFD600	82
CDF	CDF ６型	105
PVF	PVF075	80

2.　乾燥機「コニカルドライヤ」の高機能化技術

2.1　片側支持構造「C-CDB」

コニカルドライヤは，化学工業分野を中心に多く使用されてきたが，近年，とくに医薬分野で多品種生産，コンタミレスの要求から洗浄と洗浄確認が容易にできる機器として標準的に使用されている。コニカルドライヤは，クリーンルームで使用される場合が多く，コンパクト，クリーン，メンテナンスフリー，洗浄性などが重視される。

従来型のコニカルドライヤは駆動部に歯車，チェーン，Vベルトを採用していたため，潤滑油の飛散や摩耗粉などコンタミが発生し，メンテナンスも必要であった。また両側支持構造であるため，機器の設置スペースが広く，メンテナンススペースも機器

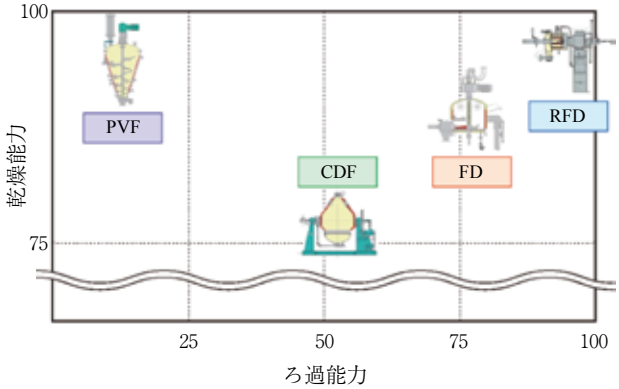


図３　ろ過乾燥機の性能

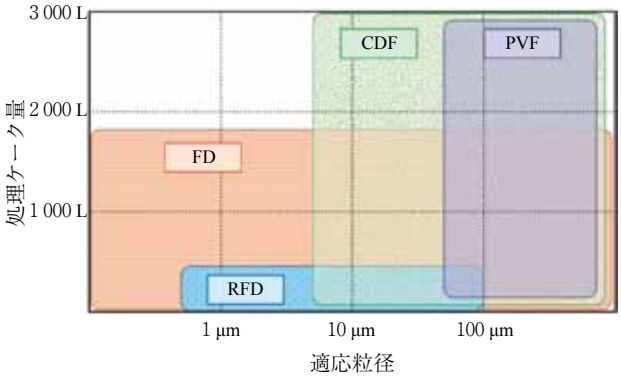


図４　ろ過乾燥機の選定指針

の両側に広範囲必要であった。

これらの問題点を解決するために片側支持構造のC-CDBを開発した。図５にC-CDBを示す。C-CDBは，減速機を回転軸に直結するためメンテナンスフリーでクリーンな駆動部となる。また，ユーティリティラインを片側へ集約しているため本体をクリーンルームへ設置し，減速機やユーティリティを機械室へ設置することができる。C-CDBを採用することで以下のメリットがある。

・３方向からのアクセスが可能で作業視野が広く，作業性・安全性を向上可能
・片持支持構造でクリーンルームの省スペース化とコンタミの発生源を軽減可能
・断熱外装を隙間の無いステンレス製全溶接構造とすることで，安心して本体の丸洗いが可能

C-CDBはコンパクト，クリーン，洗浄性，安全性，メンテフリーのニーズに応えた，クリーンルームの設置を考慮した片持ち型コニカルドライヤである。

2.2　グラスライニング製コニカルドライヤ

耐薬品性，洗浄性を重視されるユーザではグラスライニング製コニカルドライヤの要望がある。

グラス種類も当社標準の高耐食性グラス#9 000をはじめ，医薬用グラスPPG，導電性グラスECOGL Ⅱなどが施工可能である。とくに近年は医薬製造プロセスにおいて原料ハンドリング時に粉じん爆発等の事故を見受けるケースも多く，安全に対するニーズは高い。そこで静電気を缶外に逃がす導電性グラスECOGL Ⅱを採用することで粉じん爆発の危険性を軽減させるだけでなく，静電気によるグラスライニングの破損防止，乾燥粉体の缶壁への付着防止による歩留まりの改善が可能である。

図６にECOGL Ⅱの帯電緩和原理を示す。缶内で発生した静電気を表層の導電性グラス表面を通して缶外へ逃がしやすい構造となっている。

2.3　コンタミレス構造「N-CDB」

コニカルドライヤは本体内を真空状態にするため金属製の吸引管を缶内にもつ。近年，この吸引管に対して下記事項への改善ニーズが増えてきた。

a）金属イオンの混入抑制
b）吸引管の洗浄性向上
c）フィルタ交換の簡易化
d）摺動部からの異物混入防止
　（吸引管固定式の場合）
e）仕込量アップ（吸引管供回式の場合）

そこで，これらの改善ニーズに応えるコンタミレス構造のN-CDBを開発した。図７にN-CDBを示

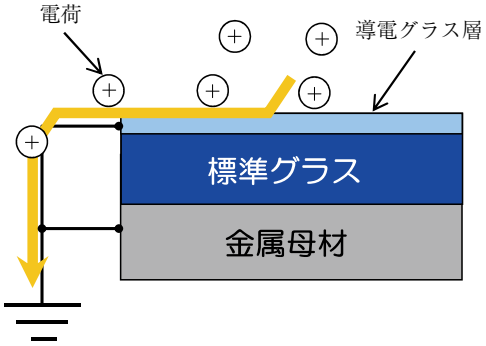


図６　ECOGL Ⅱの帯電緩和原理

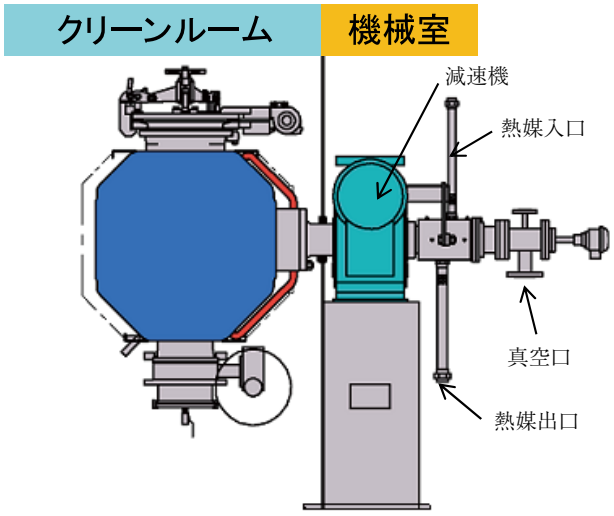


図５　C-CDB

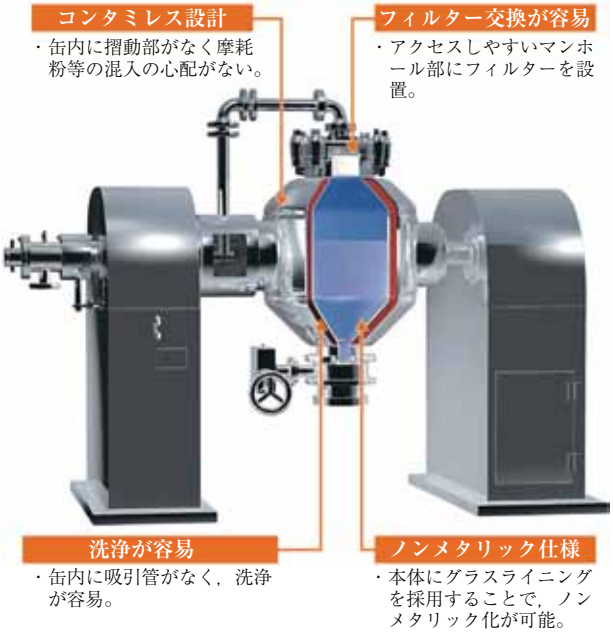


図７　N-CDB

す。N-CDB は従来の吸引管を無くし，マンホール（ハンドホール）部にフィルタを設けて真空口とすることで，製品が直接金属に接触しない構造とした。またアクセスしやすいマンホール部にフィルタを設けたことで，フィルタ交換時の缶内作業も不要となり作業性，安全性を向上させた。

吸引管が缶内に無いため，摺動部による摩耗粉の混入の心配も無くなり，かつ吸引管位置による粉面を考慮する必要も無くなり仕込量の問題も解消される。本体をグラスライニング製としノンメタリック化も可能である。

む　す　び

本報では，ろ過・乾燥機の選定方法および高機能化技術について紹介した。

紹介した高機能化技術は，他のろ過乾燥機，乾燥機だけでなく多くの機器へ応用可能である。

今後も粉体のろ過，乾燥の効率向上だけではなく，機器の作業性，安全性などの観点からも開発を続け，ユーザの品質向上，生産性向上に貢献したいと考えている。

［参考文献］

1）半田裕利ら：神鋼パンテツク技報，Vol.47 No.1（2003），p.41-46.

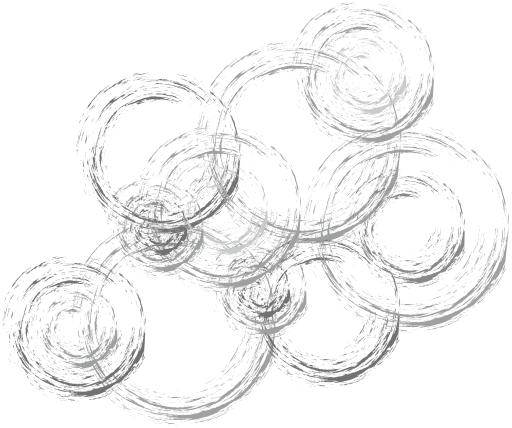
2）戸嶋大輔ら：神鋼環境ソリューション技報，Vol.1 No.1（2004），p.70-76.

3）半田裕利：神鋼環境ソリューション技報，Vol.2 No.1（2005），p.60-64.

4）半田裕利ら：神鋼環境ソリューション技報，Vol.14 No.1（2007），p.57-60.

5）多田篤志ら：神鋼環境ソリューション技報，Vol.7 No.1（2010），p.9-15.

*プロセス機器事業部 技術部 装置設計室　**プロセス機器事業部 技術部 開発室



ガス化溶融炉の燃焼改善

Improvement of Combustion Technology in MSW Gasification and Melting Furnace

砂田浩志*
Hiroshi Sunada

皆川公司*
Koji Minakawa

細田博之*
Hiroyuki Hosoda

ごみ質変動を原因とするガス化溶融炉の燃焼状態の変化に対応し，従来以上に燃焼状態を安定させるため，新規燃焼空気の供給による溶融炉に導入される熱分解ガスの改質と，レーザ式 O_2 分析計を用いた燃焼空気量制御を行った。その結果，従来運転に比べてスラグ発生量の増加，発生 NO_x の低減，および低空気比での運転による発電効率の向上や CO_2 削減といった成果が得られることを確認したので，ここに報告する。

In order to achieve a stable combustion conditions, it is important to respond to refuse characteristic variation. To comply with this request, we have adapted two techniques. One is pyrolysis gas reforming using newly added combustion air injection, the other is combustion air control system using laser gas analyzer. As the results, it has been shown that increase of slag generation amount, NO_x reduction, low excess air ratio operation resulting in a high efficiency power generation and reducing CO_2 emissions.

***Key Words*：**

廃棄物処理	Waste treatment
都市ごみ	Municipal solid waste（MSW）
ガス化溶融	Gasification and melting
ガス改質	Gas reforming
レーザ式 O_2 分析計	Laser gas（oxygen）analyzer

【セールスポイント】

熱分解ガスの改質，レーザ式 O_2 分析計による燃焼空気の制御の適用により，従来より安定した燃焼が可能となった。

まえがき

組成が均一ではない都市ごみを燃焼させるガス化溶融炉においては，ごみ密度やごみ発熱量等のごみ質の変動を原因とする燃焼状態の変化が生じる。当社はこれまでに国内外あわせて13カ所のガス化溶融炉を竣工させており，いずれの施設も順調に稼働しているが，より高度な燃焼安定性を達成するためには，これまで以上にごみ質の変動による燃焼状態の変化に対応する燃焼技術の開発が求められる。

ごみ質変動に対応するためには，①ごみ質の変動が生じても，燃焼状態の変化が生じにくくする方法，②燃焼状態の変化を早期に検知し，速やかに最適な状態にする方法，の大きく二つがある。

燃焼状態の変化を生じにくくする方法の一つに，低い砂層温度を維持することで熱分解ガス化速度を抑制する手法がある。砂層温度が高いとガス化速度

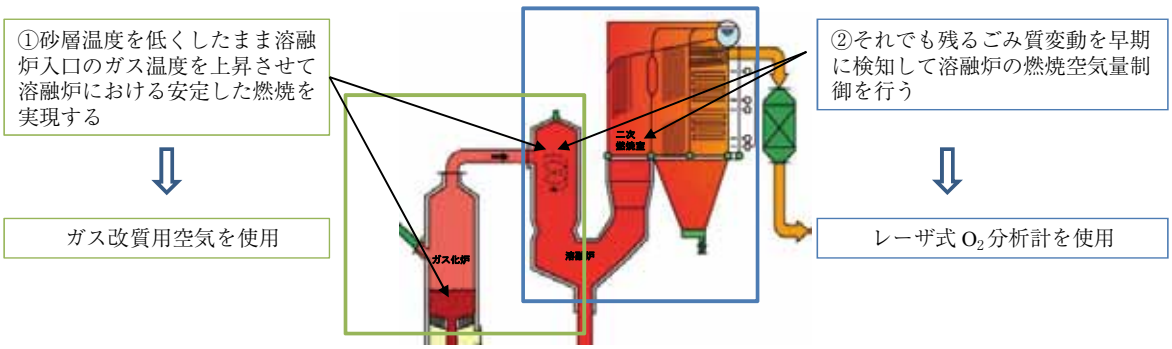


図１　報告内容の概要

が速くなるため，ごみ質の変動が熱分解ガスの発生量や質の変動につながりやすく，溶融炉での燃焼が安定しにくい。一方，砂層温度の低温化は，ごみ質変動に起因する熱分解ガスの変動を抑制できる利点があるものの，低い砂層温度で得られる熱分解ガスには，燃えにくいタールやチャーが多く含まれるため，溶融炉での燃焼に影響を及ぼす。

そこで，砂層温度を低くして熱分解ガス発生量の変動を抑制しつつ，熱分解ガスに含まれるタールやチャーを低減する方法を検討した。その結果，溶融炉に供給される熱分解ガスに少量の空気を供給し，熱分解ガスの一部を燃焼させガスに含まれるタールやチャーの量を低減することで，溶融炉での燃焼性を改善した[1)]。

次に，従来，燃焼空気量の制御に使用していたガス吸引式 O_2 分析計（ジルコニア O_2 分析計）の代わりにレーザ式 O_2 分析計を用いることで，燃焼空気量の応答性を改善した。

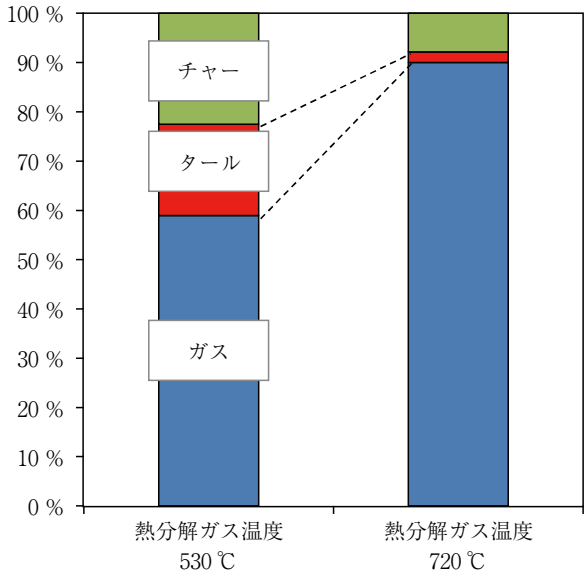
レーザ式 O_2 分析計は，①応答速度が速い，②高温，高ダスト域でも安定した計測が可能，という特長を持つ。そのレーザ式 O_2 分析計を二次燃焼室上部に取付け，従来よりも排ガス中の O_2 濃度の変化をより早く検知できるようになり，溶融炉での燃焼性を改善することができた[2)]。

本報では，ガス化炉のガス改質による溶融炉での燃焼性の向上，レーザ式 O_2 分析計の適用による燃焼空気の制御性向上の２点について報告する。

1.　熱分解ガスの改質による溶融炉の燃焼改善

1.1　概要

ガス化溶融炉はごみをガス化炉でガス化し，発生する熱分解ガスを溶融炉に導入する。発生させた熱分解ガスの組成は，ガス化炉の運転条件（とくに熱分解ガス温度）に依存し，溶融炉の燃焼状態に大きな影響を与える。



※タールは350 ℃以下で凝縮した成分

図２　熱分解ガスの温度と各成分の割合（発熱量基準）

この時，熱分解ガスの温度が低かったり，ごみ発熱量が低く熱分解ガス中の可燃性ガス成分の割合が少なかったりすると，溶融炉の着火性が悪化（溶融炉炉頂温度が低下）しやすくなる。

対策として，溶融炉に導入する熱分解ガス温度の上昇が有効である。熱分解ガス温度を上げると図２に示すようにガス成分の割合が増加するため，溶融炉における着火性が向上し，燃焼は安定しやすくなる。

ところが，砂層温度の高温化による熱分解ガスの改質の場合，砂層温度の上昇により熱分解ガス化速度が速くなるため，給じん量やごみ質の変動を原因とする CO 濃度の変動やガス化炉炉圧変動幅の増加に加え，塩類の揮発促進にともなう脱塩用薬剤量の

増加など，プラント全体の運転に影響をあたえる現象も生じる。

上記の改善のため，I 案件において低い砂層温度を維持することで熱分解ガス化速度を抑制し，安定的に熱分解ガスを発生させ，その後熱分解ガス温度の上昇により改質させて溶融炉に導入することによる溶融炉での燃焼安定化を検討した。プロセスフローを図３に示す。具体的には可燃ごみを砂層温度500 ℃程度でガス化したあとに，ガス改質用空気を投入することで熱分解ガス温度を600～700 ℃程度に上昇・改質させ，その後溶融炉に導入した。なお，ガス改質用空気の空気比は0.05以下である。

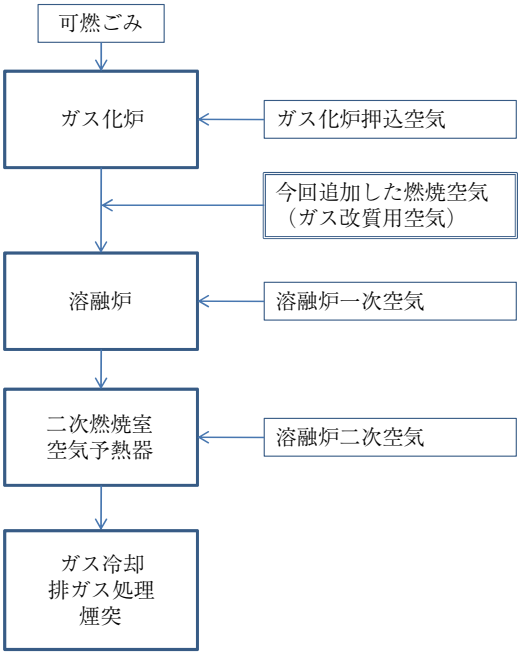


図３　プロセスフロー

1. 2　燃焼試験結果

1. 2. 1　炉内温度

酸素富化燃焼時の溶融炉の温度トレンドを図４に示す。溶融炉一次空気の酸素濃度は酸素富化により30 %程度としている。試験時のごみ発熱量は8 000～9 000 kJ/kg であったが，溶融炉一次空気への酸素富化により，砂層温度500 ℃程度で溶融炉炉頂部は1 000 ℃程度，出滓口上流側は1 200 ℃程度と安定した運転を継続していた。

上記の状態でガス改質用空気を使用したところ，溶融炉に導入されるガスの温度は700 ℃程度に上昇，熱分解ガスの着火性が向上したため，溶融炉炉頂温度が1 100～1 200 ℃に上昇した。

1. 2. 2　排ガス性状（CO，NOx）

溶融炉一次空気の酸素濃度別に，試験期間中における排ガスの測定値および脱硝用尿素水の使用量を表１に示す。ガス改質用空気を使用し，熱分解ガスを改質しても砂層温度は500 ℃程度に抑制しているため，排ガス CO 濃度に大きな変化は生じていない。

NO_x については，溶融炉一次空気の酸素濃度が

表１　排ガス性状の比較

項　　目	単位	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4
溶融炉一次空気酸素濃度	%	21	21	30	30
ガス改質用空気	-	未使用	使用	未使用	使用
排ガス CO（１時間平均）	ppm（O_2 12 %換算）	9	6	6	7
尿素水使用量注）	L/ごみ t	3.1	1.8	2.1	1.8

注）脱硝後の NO_x 濃度＝約55 ppm

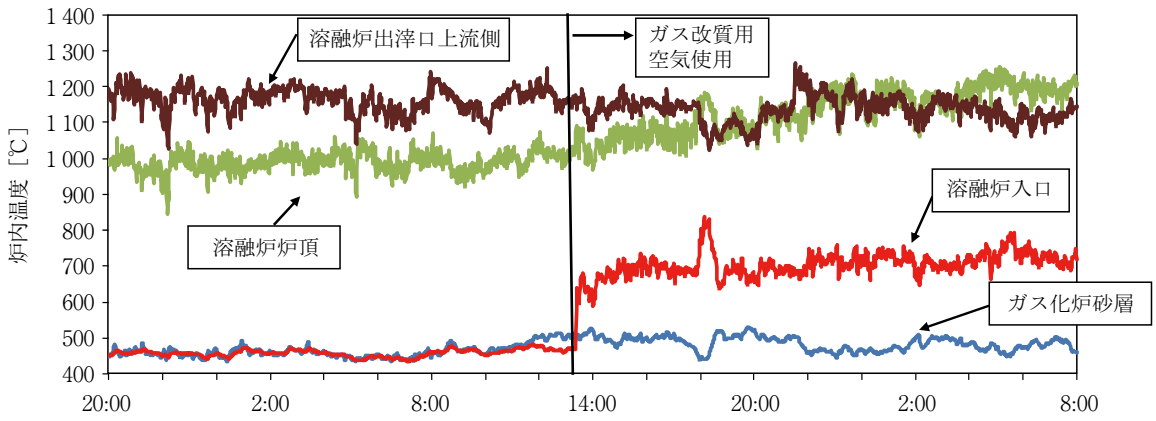


図４　炉内温度トレンド

21 %でガス改質用空気が未使用の場合に脱硝用として噴霧している尿素水使用量に対し，ガス改質用空気のみを使用した場合，30～40 %尿素水使用量の削減が実現できた。これは溶融炉一次空気を酸素富化した場合と同程度の削減効果である。ただし，これらの併用によるさらなる削減効果までは確認できず，今後の課題である。

1.2.3　スラグ発生量

ガス改質用空気の使用有無におけるスラグ発生量の比較を図５に示す。ガス改質用空気の使用によりスラグ発生量が約36 %増加した。試験期間中のスラグ塩基度（CaO/SiO_2）は0.5～0.6，スラグ溶融温度は1 150～1 200 ℃程度であり，ガス改質用空気の使用により溶融炉炉頂温度が速やかにスラグ溶融温度付近にまで上昇したことから，溶融炉全体が熱分解ガス中の飛灰の捕捉に有効に機能するようになったためであると考えられる。

2.　レーザ式ガス分析計による燃焼空気制御

2.1　概要

都市ごみ処理プロセスでは，燃焼空気の制御や，排ガス中の有害ガス成分を除去するための薬剤吹込み量制御など様々な制御が利用されている。これらの制御には，排ガス中のある成分濃度を測定し，それをもとに燃焼空気量や薬剤量を制御するものが多い。

一般的に，ガス濃度を測定する分析計は，煙道中の排ガスを吸引し，前処理を行なった後にガス濃度を検知するガス吸引式が用いられている。しかしこの方法では，ガス吸引管や前処理装置においてダストが詰まるという問題が発生するため，ダスト濃度が高い雰囲気で安定して測定するのは難しく，ガス濃度を用いた制御は限定的となる。また，この方式ではガスを吸引するため計測に時間遅れがあり，周期の短い変化に追従するのは難しい。

ガス吸引管を排ガス中に突出させ，動圧を利用して排ガスを吸引する分析計においては，計測に要する時間は比較的短いものの，ガス吸引管の損傷防止のため分析計を高温域に設置することができない。このように，ガス吸引式はダスト濃度が高い条件や高温域での測定が難しいという問題点があった。

一方，半導体レーザを光源に使用したレーザ式ガス分析計は，ガス吸引式では測定が困難であった高ダスト濃度，高温域でも測定ができる優れた特長を持つ[3]。

ごみ焼却プラントで，レーザ式 O_2 分析計を溶融炉二次空気制御に用いる事例があるが[4]，本報告では，溶融炉二次空気制御に加えて，ガス化溶融炉における溶融炉一次空気制御にも利用し，燃焼状態の安定化を図った。得られた燃焼排ガス中の NO_x 濃度の低減効果，および低空気比運転の結果について

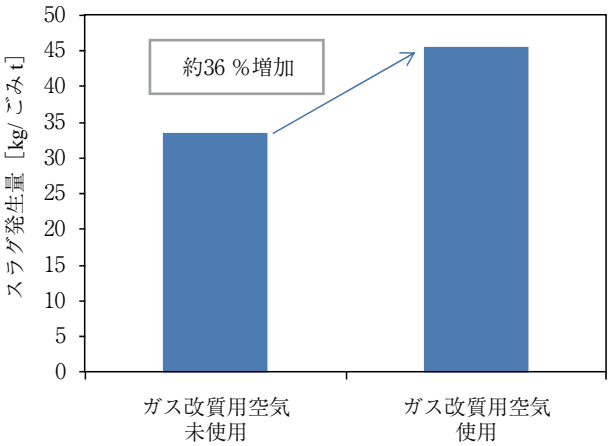


図５　スラグ発生量の比較

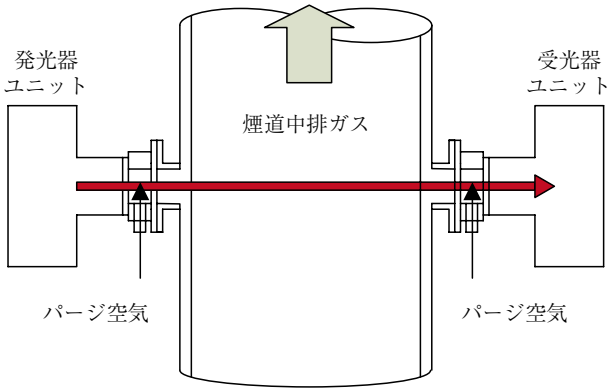


図６　レーザ式ガス分析計の設置概要

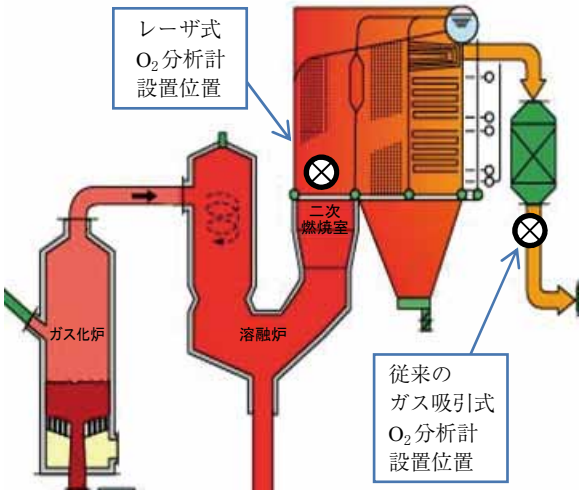


図７　レーザ式 O_2 分析計設置位置

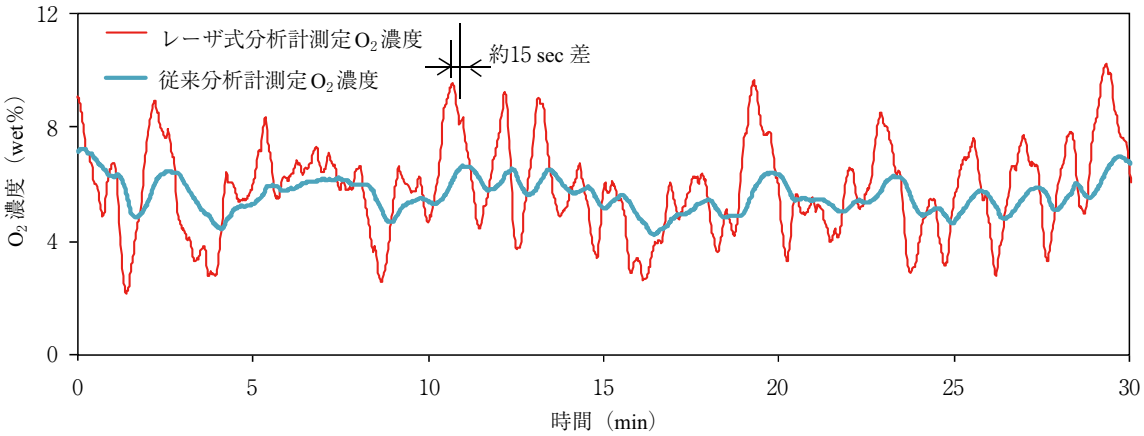


図８　従来のガス吸引式 O_2 分析計とレーザ式 O_2 分析計の O_2 濃度トレンド

報告する。

2.2　レーザ式ガス分析計の特長

レーザ式ガス分析計の設置概略を図６に示す。発光器ユニットから測定対象ガスが流れる煙道内にレーザ光を入射させ，反対側に設置してある受光器ユニットに送られる。吸光度 $\log(l_0/l)$ は，対象とする吸収媒体濃度と光路長に比例するため（Lambert-beer 法則），その吸光度を測定することで，排ガス中の対象ガス濃度を測定することができる。

$$\log(l_0/l)=\varepsilon \cdot C \cdot L \qquad \text{＜式１＞}$$

l_0 ：入射光強度
l ：透過光強度
ε ：ガス吸収係数
C ：ガス濃度
L ：光路長

レーザ式分析計の一般的な特長を下記にまとめる。

■分析計が直接排ガスと接触しないため高温域でも安定した測定ができる。
■排ガスを吸引せずに測定できるため，ダストによる詰まりなどの問題が発生しない。また排ガスを吸引するために生じる分析時間の遅れがない。
■単一吸収線吸収分光法を採用しているため，共存ガスの干渉がない。

またダスト濃度が高い測定箇所では，必要に応じてパージガスを流入させることで，より安定した測定が可能となる。

2.3　実炉でのガス濃度測定結果

A 案件においてレーザ式 O_2 分析計を図７に示す場所に設置し，従来用いているガス吸引式の O_2 分析計との測定性能を比較した。

従来用いていたガス吸引式 O_2 分析計は，高ダスト濃度，高温域での使用に限界があり，エコノマイザ出口に設置していた。レーザ式 O_2 分析計は高温域でも安定した測定が可能であるため，従来のガス吸引式 O_2 分析計よりも温度の高い上流側に設置し試験を行った。

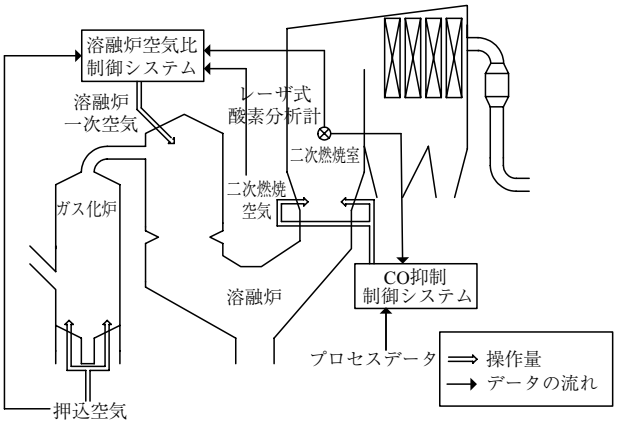


図９　燃焼空気制御システム概要

レーザ式 O_2 分析計と従来のガス吸引式 O_2 分析計の O_2 濃度のトレンドを比較したものを図８に示す。両者を比較すると，従来のガス吸引式 O_2 分析計による測定ピークの約15秒前に，レーザ式 O_2 分析計による測定ピークが急峻に測定された。この差は，従来の分析計の応答性による差と，レーザ式 O_2 分析計の設置位置を従来より上流に設けたことによる燃焼排ガスの移動時間差によるものである。

2.4　制御システムの概要

溶融炉一次空気制御，および二次空気制御システムの概要を図９に示す。

ガス化溶融炉で用いる燃焼空気は，大きく分けてガス化炉押込空気，溶融炉一次空気，溶融炉二次空気に分けることができる。

溶融炉一次空気制御は，二次燃焼後の O_2 濃度

（レーザ式 O_2 分析計あるいは，従来の O_2 分析計の計測値）と各燃焼空気量から，溶融炉出口までの空気比を演算し（式②），その値が一定値になるようフィードバック制御される。この溶融炉空気比を一定値に保つことで，溶融炉炉内温度を一定に保持し，炉内が最適な燃焼状態になるよう制御される。

溶融炉二次空気制御は，二次燃焼後の O_2 濃度を一定値になるよう制御することで，上流側で燃え残った CO などを完全燃焼させる。また急激なごみ質の変動などに対応するために，炉内圧などのプロセスデータを用いた補正も行っている。

レーザ式 O_2 分析計と従来のガス吸引式 O_2 分析計との性能差による制御性への影響を比較するため，燃焼空気流量調整弁などのハード面での変更は行っていない。レーザ式 O_2 分析計，および従来のガス吸引式 O_2 分析計，それぞれに合った制御系のパラメータ調整は行っている。

＜式２＞

$$\text{溶融炉空気比} = \text{総空気比} \times \frac{\text{押込空気量} + \text{溶融炉一次空気量}}{\text{押込空気量} + \text{溶融炉一次空気量} + \text{二次燃焼空気量}}$$

$$※\quad \text{総空気比} = \frac{1}{(21 - \text{二次燃焼後 } O_2 \text{ 濃度})} \times 21$$

2.5　制御試験結果

2.5.1　溶融炉一次空気制御

溶融炉空気比制御に関して，従来のガス吸引式 O_2 分析計を用いた制御（従来制御）の場合と，レーザ式 O_2 分析計を用いた制御の場合のバグフィルタ出口 NO_x 濃度，溶融炉空気比のトレンドグラフを図10に示す。なお，本図に示す溶融炉空気比は，双方ともレーザ式 O_2 分析計を用いた計算値である。

従来制御では，溶融炉空気比の変動は比較的大きく，溶融炉空気比の急峻なピークが見られ，その際に NO_x 濃度が増加する様子が確認された。一方，レーザ式 O_2 分析計を用いた制御においては，溶融炉空気比の急峻なピークが抑えられたことで，その変動幅は小さくなった。溶融炉空気比の平均値はともに0.95で運転を行っており，溶融炉空気比の標準偏差は従来制御0.192からレーザ O_2 計による制御0.094へと改善された。溶融炉空気比の変動が抑制できたことで，NO_x 濃度は141 ppm から96 ppm まで低減することが確認できた。

これは，レーザ式 O_2 分析計で制御することで，供給ごみ量あるいはごみ質に応じて変動する排ガス性状の変化に溶融炉一次空気制御が追随できるようになったためであり，安定した溶融炉空気比を維持することができたと言える。

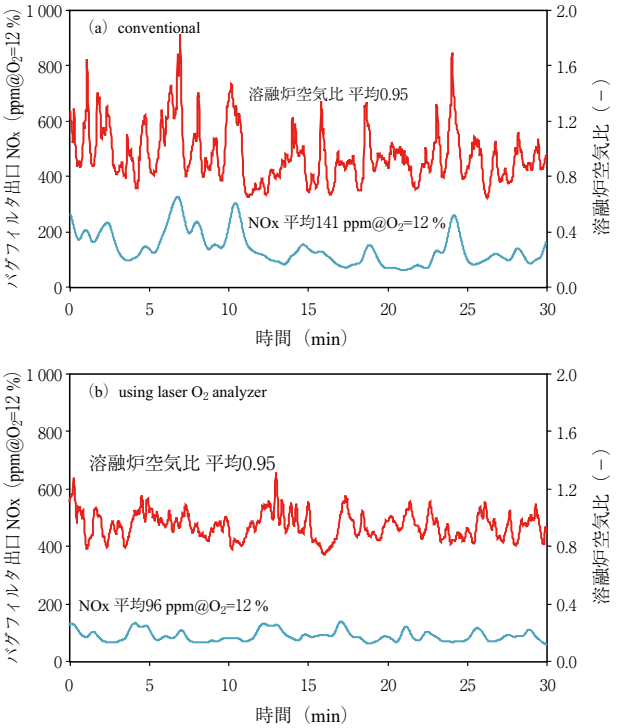


図10　NOx 濃度と溶融炉空気比のトレンド
（上：ガス吸引式，下：レーザ式）

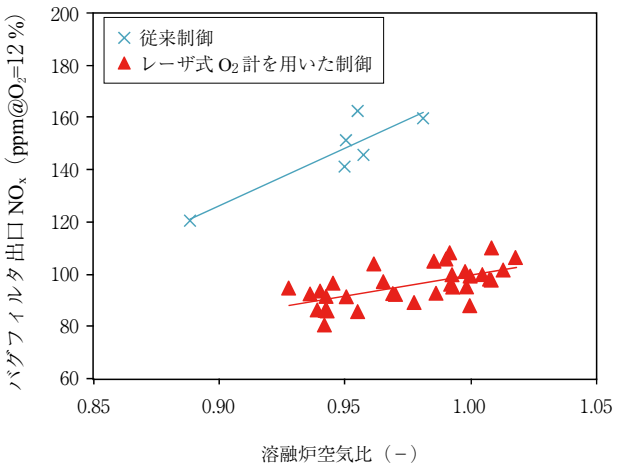


図11　NOx 濃度と溶融炉空気比の相関

また，図10のような個々の運転データを整理し，溶融炉空気比とバグフィルタ出口 NO_x 濃度との関係をまとめたものを図11に示す。

従来制御とレーザ式 O_2 分析計を用いた制御を比較すると，レーザ式 O_2 分析計を用いた制御の方が同じ溶融炉空気比でもバグフィルタ出口 NO_x 濃度が低く抑えられている。溶融炉空気比の変動幅を抑

制することにより NO_x 濃度を低減することができたといえる。

2.5.2　溶融炉二次空気制御

二次空気制御に関して，従来制御とレーザ式 O_2 分析計を用いた制御との比較を**図12**に示す。両制御とも二次燃焼後排ガスの O_2 濃度が5.5wet %（総空気比約1.5）になるよう制御した結果である。なお，本図に示す O_2 濃度は，双方ともレーザ式 O_2 分析計によって計測したものである。

レーザ式 O_2 分析計を用いた制御は，従来制御と比べ，レーザ式 O_2 分析計で測定した O_2 濃度のばらつきを抑制することができており，O_2 濃度の標準偏差は1.6から0.7へと改善されている。O_2 濃度の変動幅が抑えられることにより，O_2 不足による CO ピークの発生も抑制することができ，二次燃焼状態の安定化が図られたことが明らかとなった。

排ガス中の O_2 濃度の変動幅が小さくなったことから，燃焼制御性が改善されたと考え，総空気比を下げる運転を行った。空気比を低減した際のレーザ式 O_2 濃度と煙突 CO 濃度のトレンドグラフを**図13**に示す。これは，レーザ式 O_2 分析計の O_2 濃度が4.0wet %（総空気比約1.3）になるよう制御したときのものである。

二次空気制御にレーザ式 O_2 分析計を用いることで，低空気比運転時でも CO ピークが頻発することがなく，安定した燃焼状態が維持できることが分かった。

空気比低減の効果を**図14**に示す。低空気比運転時は，従来と比べて排ガス量を約９％削減できることがわかった。ここで言う従来運転とは，従来のガス吸引式 O_2 分析計を用いた総空気約1.5の運転結果を示す。

また，この二次空気量および排ガス量削減に伴ない，二次押込送風機，誘引送風機の消費電力は低減された。二次押込送風機は約７％，誘引送風機においては約16 ％電力量を削減することができ，省エネルギー効果も確認することができた。

低空気比運転による排ガス量削減により，排ガス顕熱の持ち去り分が削減されることによる蒸気発生量の増加や，触媒反応塔が設置してある施設では排ガスの再加熱に用いる蒸気量が減少することから，熱回収率の向上が期待できる。

ひとつの試算として，施設規模200 t/d の発電施

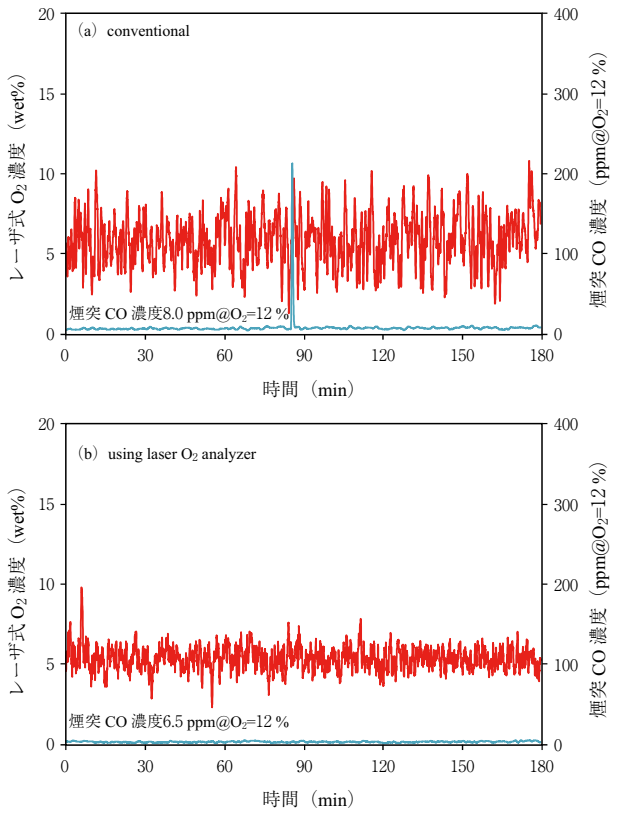


図12　排ガス O_2 濃度と煙突 CO 濃度のトレンド（上：ガス吸引式，下：レーザ式）

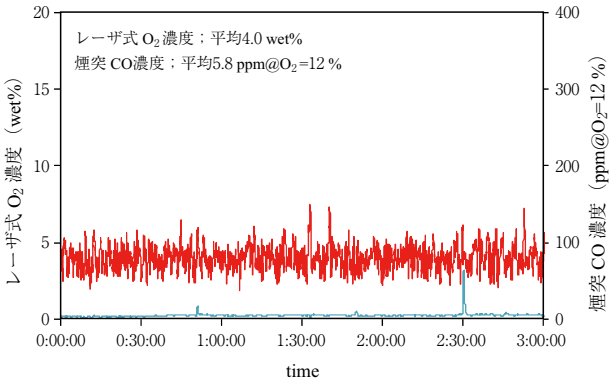


図13　低空気比運転時のトレンド

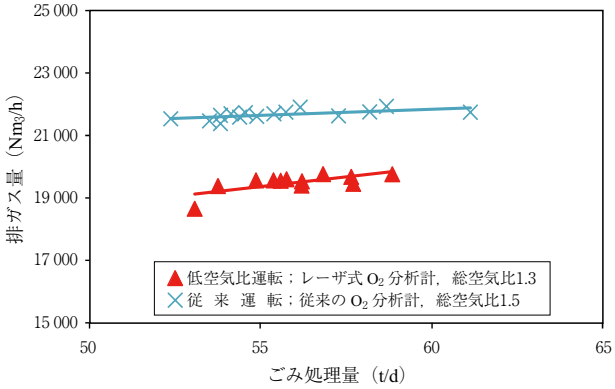


図14　低空気比運転の効果

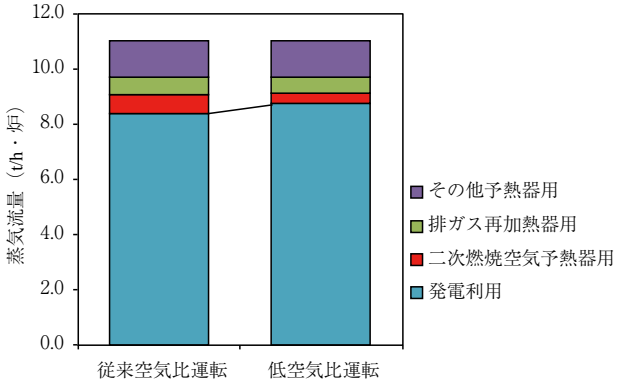


図15　蒸気発生量試算値

設を想定し，蒸気収支を試算した。蒸気条件は 400 ℃，4 MPaG とし，白煙防止を行なわない条件を想定した。**図15**に 1 炉（100 t/d）当たりの蒸気収支を示す。

低空気比運転（総空気比1.3）によって発電に利用できる蒸気量は，従来空気比運転（総空気比1.5）と比べて，約 4 %増加するとの試算を得ることができ，発電の高効率化および CO_2 削減に寄与できるとの結果を得た。

む　す　び

ガス改質用空気の使用と，レーザ式 O_2 分析計を用いた溶融炉一次，二次空気制御により，従来よりも安定した燃焼状態を達成できることを確認した。スラグ化率の向上は，施設からの最終処分量の低減に寄与する。また，空気比の低減は，施設のコンパクト化や，発電効率の向上，内部消費電力の低減に貢献する。今後も，施設規模，ごみ質など設計条件に合わせた最適なプロセスを反映したガス化溶融炉を提供していきたい。

[参考文献]

1）皆川公司，伊藤正：ガス化溶融炉における燃焼改善，第33回全国都市清掃会議講演論文集, pp.143-145（2011）
2）砂田浩志，青木勇，下梨孝：ガス化溶融炉におけるレーザ式ガス分析計を用いた燃焼制御の高度化，学会誌「EICA」, Vol.16，No.2-3，pp.6-11（2011）
3）日本興業新聞新社：明日を拓く「新・環境技術」京都電子工業の「レーザガス分析計 KLA-1」塩化水素濃度計中心に廃棄物処理炉などへ拡販，月刊地球環境，Vol.40, No.5, pp.86-87（2009）
4）熊岸健一，樋口敏章，安田直明：岡山市東部クリーンセンターにおける CO_2 削減の取り組みについて，都市清掃，Vol.64，No.301，pp.267-271（2011）

*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

東日本大震災で被災した石巻広域クリーンセンターの復旧

Restoration From the Disaster of the Great East Japan Earthquake at Ishinomaki Area Clean Center

―東日本の復興を願って―

田中信祐* Shinsuke Tanaka　中村敏治** Toshinharu Nakamura　高橋晃仁*** Kouji Takahashi　上山篤洋*** Atsuhiro Ueyama　石井剛紀**** Ishii Kouki

2011年３月11日に発生した東日本大震災により，石巻市沿岸部が地震および大津波で壊滅，そこに位置する「石巻広域クリーンセンター」も６ｍを超える津波により，屋外設備，管理棟居室部が壊滅したほか，工場棟内の地下～１階設備が浸水する等，甚大な被害を受けた。

ライフラインも復旧しない状況下，３月18日に調査を開始，その後，本格的な復旧に着手，以降６月１日の受電を経て，６月21日に昇温，７月11日にごみ搬入を含む施設本稼働を再開した。

It was March 11th 2011, when the coastal city Ishinomaki was hit by the East Japan earthequake and tsunami. Ishoinomaki Area Clean Center, located in same area, received huge damage by the tsunami, which was more than 6 meteres（20 feet）high. It destoroyed the outside facilities, the living quarters in the administration bulding, also the basement and the first floor of the factory building were flooded etc.. This is to report the progress from the inspection, which started on March 18th under the circumstances of no life-lines, followed by serious reconstruction after electrical power was resumed on June 1st, turning heat up on June 21th ;resuming the functioning of facilities, including loading of waste on July 11th.

Key Words：

廃棄物焼却施設	Waste incineration plant
ガス化溶融炉	Gasification and melting furnace
都市ごみ	Municipal solid waste（MSW）
災害復旧	Restoration from the disaster

【セールスポイント】

施設建屋が頑丈で，外部扉が電気室への水侵入を防いだため，非常用発電機起動による非常用負荷の起動とともに設備は安全に停止，人的被害もなかった。

しかし，大津波により，設備は浸水等の甚大な被害を受けたが，迅速な対応により早期復旧，再稼働を果たした。

ま え が き

2011年３月11日14時46分頃，東北地方一帯にM9.0の巨大地震が発生した。引き続き起こった津波はかつてない大きさで，この津波により東北地方の太平洋沿岸部は壊滅的な被害を受けた。

この「東日本大震災」による被害は，地震・津波のほかに火災・液状化現象・福島原子力発電所事故・大規模停電など多岐にわたる。死者および行方不明者の数は合わせて２万人を超えており，未曽有の自然災害である。

石巻広域クリーンセンターは，2003年に当社が納めた廃棄物処理施設である。立地が沿岸部だったため，大津波により甚大な被害を受けてしまった。

しかし，その後の関係者の一丸となった復旧への取組みにより早期復旧を実現した。

本報では，被災から復旧に至る苦労と感動の過程を述べる。

1. 被災状況

1.1 地震・津波と石巻広域地区の被害状況

東日本大震災により，石巻市は地震での損傷に加え，その後の津波により沿岸から数キロ離れた市中心部まで浸水し甚大な被害を受けた。とくに沿岸部にある漁港や工業地帯の被害は大きかった。

・震度　　：震度６弱（石巻市）
・津波の高さ：8.5 m 以上（検潮所での観測値）
・被害状況（2011年12月28日現在）
　石 巻 市：死者・行方不明者（3 832名），
　　住家被害（53 742棟）
　東松島市：死者・行方不明者（1 113名），
　　住家被害（14 507棟）
　女 川 町：死者・行方不明者（942名），
　　住家被害（3 932棟）
　※住家被害は全壊，半壊，一部損壊の合計

1.2 廃棄物処理施設の被害状況

石巻地区広域行政事務組合には下記３施設があり，それぞれ被害を受けた。し尿処理施設は内陸部に位置していたため地震による被害のみであったが，沿岸部にある石巻広域クリーンセンター（写真１）の被害は甚大だった。

・石巻広域東部衛生センター（し尿処理施設）
　地震による屋外放流管，構内道路陥没など
・石巻広域西部衛生センター（し尿処理施設）
　地震による設備配管・ダクトなど軽微な損傷
・石巻広域クリーンセンター（廃棄物処理施設）
　地震および大津波による甚大な被害

1.3 石巻広域クリーンセンターの概要と被害状況

(1) 施設概要

・処理能力：230 t/d（115 t/24 h × 2 炉）
・処理方式：流動床式ガス化溶融方式
・排ガス処理：減温塔＋バグフィルタ＋触媒反応塔
・発電能力：2 700 kW

写真１　石巻広域クリーンセンター全景

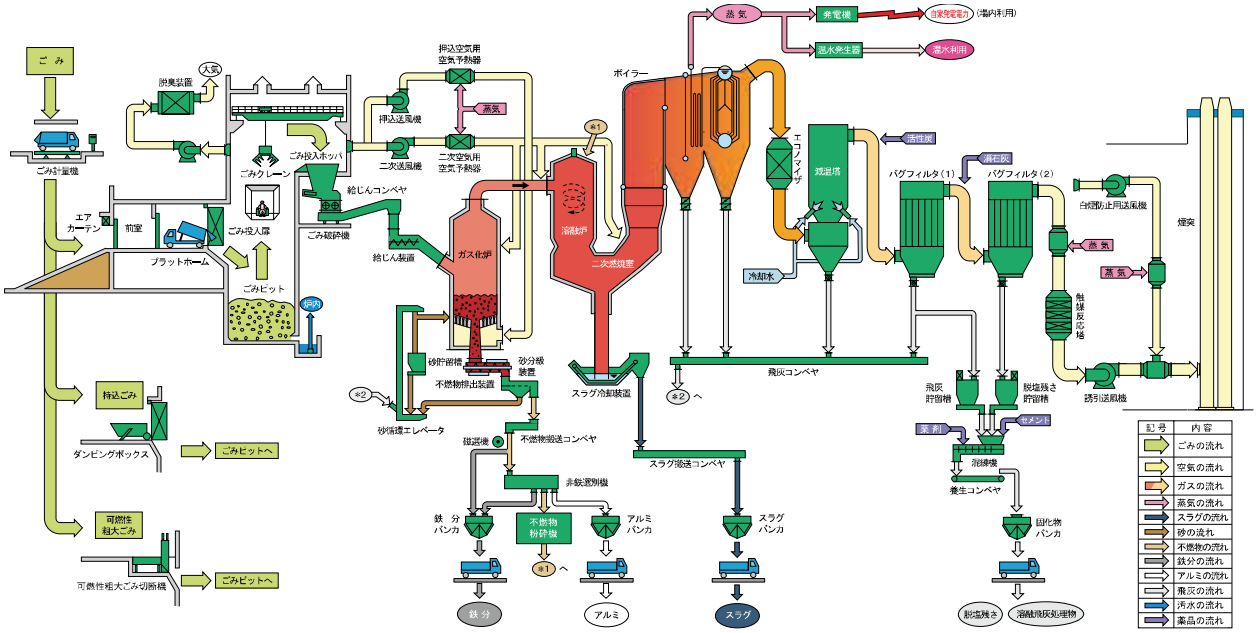


図１　施設フロー

図２　石巻広域クリーンセンター位置図

・竣　　工：2003年３月
・運転維持管理：神鋼環境メンテナンス㈱（以下SKM）

⑵　施設の被災状況

沿岸工業地帯に位置する当センター（**図２**）は，海岸から約100 m の距離で地面から２m 程の高さの津波の直撃を受け，地下部および一階部が浸水，周囲のライフラインが寸断され一時的に孤立した。

①　災害時の状況

【３月11日　14：46】　地震発生

・地震検知直後（約20秒後）停電発生。停電検知により設備はいったん全停止，その直後，非常用発電機が起動し，以下のシーケンスにより施設は安全停止した。

機器冷却水ポンプ起動⇒計装用空気圧縮機起動
⇒ボイラ給水ポンプ起動⇒脱気器給水ポンプ起動
⇒ボイラの冷却を継続⇒安全停止

【同日　15：50頃】　大津波発生

・施設へ津波到達（海抜４m に対し，６m の津波が襲来，以降，大波が５回以上押し寄せ）

⇒施設は地上２m 弱の高さまで冠水
⇒屋外設備が重大な損傷

・施設内へ海水・漂流物流入⇒地階部水没，１階部浸水
・ライフライン（電気，水道，通信）遮断

②　人的被害なし

約１年前（2010年２月28日），チリ地震による大津波警報が石巻地方に発令された当日，津波も想定した訓練を実施し，その経験を活かし整備してきた「地震時の避難マニュアル」により，施設内にいた職員，運転員はセンター３階，４階に全員無事に避難した。また，隣接工場からの緊急避難者も受け入れた。

津波により施設周囲は浸水した状態だったが，施設内にとどまった関係者は一晩を無事に過ごした。その後，施設関係者全員の無事を確認できた。

さらに，秋田県に位置し，SKM で運転維持を請け負っている鹿角環境衛生センター事業所を拠点とし，食糧・物資の支援を行うことで，本施設が２週間ほど避難所としても機能することとなった。

③　設備被害

地震による主な被害は，工場棟内の ALC 板の一部脱落と，周囲地盤が全体的に約200 mm 沈下したことによる建屋と外構をつなぐ排水管の損傷であり，プラント設備の被害はほとんどなかった。

津波は，**図３**に示す通り，海側（南側）から材木などの漂流物とともに敷地に流れこみ，施設場外に設置されていた設備（ごみ計量機，公害監視盤，倉庫，浄化槽および配管等）へ重大な損傷を与えた（**写真２～４**）。また施設関係者の自家用車，倉庫内の予備品等が流された。

東側の組合および運転委託業者の管理棟部分は津波の直撃を受け，書類やパソコンなどが流失した（**写真５**）。また，地盤沈下の影響を受け，管理棟の床下埋設配管も破断，１F に設置されていた防災盤等の建築設備も大きなダメージを受けた。

さらに，津波は工場棟北側へ回込み，炉室へ入るメンテナンスシャッターを破壊し工場棟内へ流入し，地階～１階の設備を浸水させたためこれらの設備は大部分が絶縁不良となっていた（**写真６，７**）。

また，海水は地下コンクリート水槽へも流入，槽内の水のほとんどが海水と混ざってしまった。

ただし，ごみ搬入ルートはランプウェイ方式となっており，ごみピットへ投入するプラットホームは２階（GL ＋５m）であったため，ごみピットの水没は免れた。

また，津波に直面した工場棟南側１階には，非常用発電機室，受変電室，タービン発電機室が配置されていたが，外部扉は防塵用のエアタイト仕様であった効果で海水の流入から免れた。

④　ライフラインの遮断

津波と同時に，電気，水道，通信等の全てのライフラインが遮断された。ただし，灯油タンクは健全であったため，そこから灯油を補給，暖をとることができた。

また，管轄の変電所が壊滅したため，本施設への電力供給の復旧については当初，目処が立たない状況だった。

2.　ごみ行政

石巻広域組合（石巻市，東松島市，女川町）のご

み処理量は，2009年度実績では，60 288 t，2010／2011年度も同等の予定だったが，クリーンセンターが復旧するまでの間，一般ごみは，一次仮置き場，最終処分場へ仮置きされるとともに，一部は仙台市，山形県南陽町ほか近隣の自治体へ処理委託された。

それに加え，石巻地区では，災害廃棄物：8 463千 t，津波堆積物：3 800 千 m^3と大量に発生しており，別途処理計画されている。

3. 石巻広域クリーンセンターの復旧

3.1 復旧開始直後の状況

阪神大震災は地震の‘揺れ’そのものによる被害であり，阪神間というやや狭いエリアでの災害で，

図３　津波流入経路

写真４　津波被害を受けたごみ計量器

写真２　津波遡上

写真５　津波被害を受けた事務所内

写真３　津波にのまれるランプウェイ

写真６　津波被害を受けた工場棟内

写真７　浸水した地階部分

ライフラインも比較的早い段階で復旧したため，ごみ処理プラントの復旧も震災後６～33日目と早かったのに対し，今回の東日本大震災は，‘津波’による破壊，浸水（およびヘドロ被害）が主であり，災害があまりにも広い範囲に及び，ライフライン復旧も遅れたことが，早期復旧の妨げになった。

さらに，（携帯）電話などの通信事情は悪く，交通，レンタカー，ガソリン・燃料，宿泊施設の確保が非常に困難な状況にあり，外部から効率良く支援できなかった。

3.2　復旧の経緯

⑴　概　要

復旧工事の概略工程を**図４**に示す。

主なポイントは，４月７日に上水が復旧，６月１日に受電再開，６月下旬～７月上旬に試運転，７月11日運転再開である。

⑵　速やかな対応

まず，工場棟内の水抜き・泥出しを行った（**写真８**）。

その後，溶融炉（耐火物），給じん設備とより重要な設備から損傷のないことを確認していった。

とくに重要なボイラ設備については，４月９日に非常用発電機をまず再稼働させたうえで，ボイラ給水ポンプも現場運転し，水圧試験を簡易的（現場手動）に実施，大きな異常がないことを確認，その後の復旧工程に目処を立てた。

以降，非常用発電機を常用負荷へも仮配線し，照明・コンセント電源を確保し，点検・清掃作業，復旧工事，設備運転確認を進めた。

なお，１階に配置された現場制御盤も浸水被害にあった（**写真９**）。現場を観察すると，浸水した高さは，盤の汚れと一致，盤内部の浸水も同レベルにあったと判断できたことから，浸水部分のみの部品交換を判断，工期短縮／費用削減を図った。

⑶　間接的な被害とその対応

非常用発電機だけでは，バグフィルタの（ヒータ）保温まではできず，受電までの間，ろ布の吸湿，目詰まりを防ぐことができなかった。

結局，ろ布分析結果から，ろ布全数交換実施を即判断，実行した。

また，受電後すぐに，誘引送風機の（高圧）インバータ盤の部品劣化を確認したため，速やかに部品交換，復旧した。

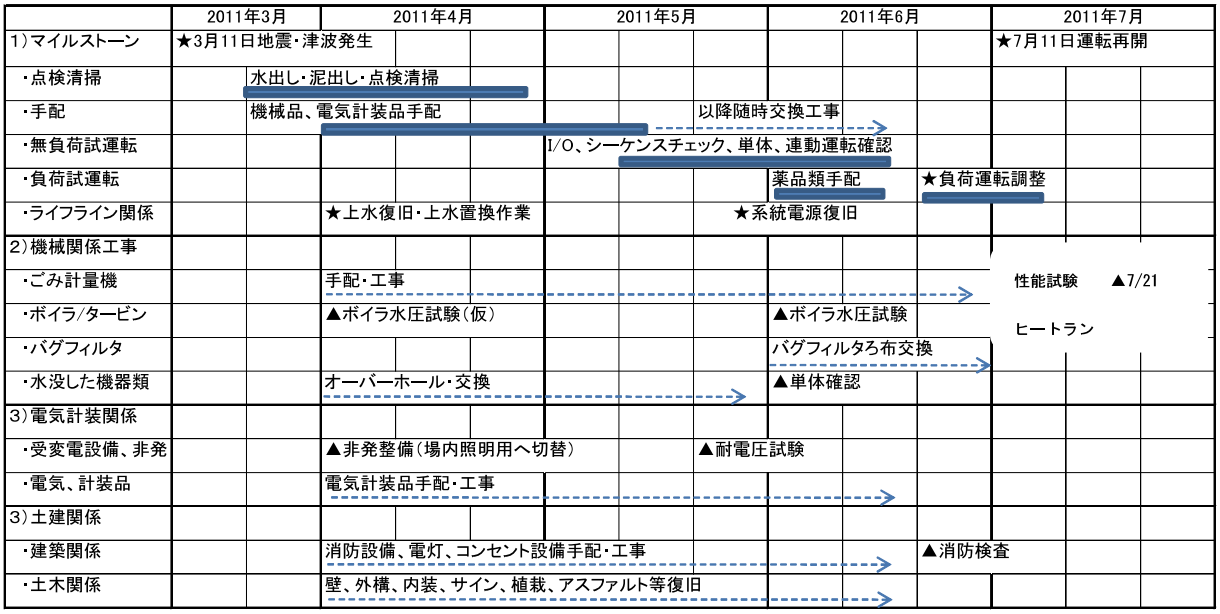


図４　復旧行程

写真８　泥出し作業

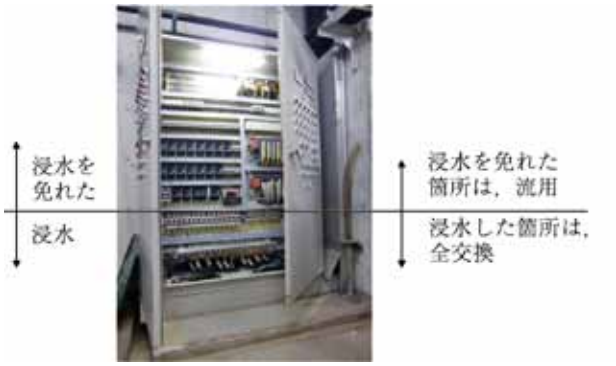


写真９　現場盤の復旧例

⑷　試運転～再稼働

７月11日を公式な本格稼働日と発表された。

この実現に向け，機械・電気工事のほか，屋外，管理棟部分においても，消防検査も含めた土建主要工事を完了すべく終盤工程を入念に調整した。

そして，６月29日には，両系焼却運転を実現，７月11日には公約どおりの本格稼働，７月21日に性能確認，およびボイラヒートランを完了した。

ただし，東北電力側の事情により，タービン発電しても，逆潮流（売電）はできない制約を受けた。

4.　復旧工事後の運転状況

本格稼働以降，大過なくごみ焼却を継続している。

なお，ごみ搬入量は，広域地区内の人口減，あるいは飲食店の被害等により低減したが，その穴埋めとして，最終処分場に一時仮置きされていた一般ごみが，再び，クリーンセンター搬入された。

この‘一時仮置きごみ’は，おそらく，海水（塩分）を多めに含んでおり，排ガス中の塩化水素発生量が増加したため，これを除去するための消石灰使用量へ影響を与えた。

さらに，このごみは最終処分場で一度，覆土されたため，‘覆土’の混入によりごみの塩基度が変化，これに伴いスラグ出さい状況も大きく変化した。

また，７月27日に採取された飛灰中の放射性セシウム濃度は994 Bq/kg であり，埋め立て処分のための基準値（8 000 Bq/kg）以下を確認された。

この後，８月31日に測定された，排ガス中ダイオキシン類濃度も，基準値（0.01 ng-TEQ/Nm^3）に対し，

１系：0.00014 ng-TEQ/Nm^3

２系：0.0017 ng-TEQ/Nm^3

と，震災前の良好なレベルにあることを確認できた。

む　す　び

東日本大震災による石巻広域クリーンセンターの被災は，津波による影響が甚大であったが，建屋が頑丈で，外部扉が入水を防いだことから，受変電設備，発電設備が無事で，安全にプラントを停止，二次被害を発生させなかったこと，また，施設自体がその後数週間，避難所としての機能も果たせたことになった。

これに加え，近隣事業所，工事関係者を含む全員が一丸となって復旧への努力を惜しまなかったことが早い復旧～運転再開を実現できた要因といえる。

ここで，関係者の方々に改めて感謝します。

最後に，今回の地震で被災された方々へ改めてお見舞いを申し上げます。一日も早い復興をお祈りします。

［参考文献］

・「災害廃棄物」廃棄物資源循環学会（中央法規出版）

・「東日本大震災の記録」（石巻地区広域行政事務組合）

・「東日本大震災　廃棄物処理施設への影響調査」（環境衛生施設維持管理業協会）

*環境プラント事業部 第一技術部 O&M 技術室　**環境プラント事業部 第一技術部 計電装技術室　***環境プラント事業部 土建技術部

****神鋼環境メンテナンス㈱ 運転管理センター

大型100 m^3/h ベルト型濃縮機

Belt Thickener with Large Capacity of 100 m^3/h

新田直人*
Naoto Nitta

宮後靖浩*
Yasuhiro Miyago

吉本正樹*
Masaki Yoshimoto

当社の「ベルト型濃縮機」は，従来の機械濃縮法に比べて低動力で省スペース化が可能な機種であり，2005年度の１号機納入から実績が40台に達した。さらに，2010年度には本機種で最大処理量となる100 m^3/h 機の実績もでき，低薬注率で安定した運転を継続している。今後，当社はさらなる大型機（150 m^3/h）の開発と，高濃度汚泥を供給することによる脱水性能の向上に取組んでいる。

The Belt Thickener which KOBELCO ECO-SOLUTIONS（KES）provided is low power than the conventional sludge concentration method, and spacing-saving is a possible model, and the results reached 40 from the first unit delivery in 2005. Furthermore, it is possible for the results of the model of 100 m^3/h to become the maximum capacity with this model in 2010 and continues stable running at a low polymer dosage. Hereafter, KES is working on the development of much larger capacity model（150 m^3/h）and improvement of dewatering performance by supplying the high concentration sludge.

***Key Words*：**

ベルト濃縮機	Belt thickener
汚泥濃縮	Sludge thickening
樹脂性ベルト	Belt made by synthetic resin
低凝集剤添加率	Low polymer dosage
大型機	Large capacity model

【セールスポイント】

時間当たり100 m^3 の汚泥を濃縮するベルト型濃縮機は，国内の下水処理場では現在最大クラスであり，今後さらなる大型化と高効率化を目指して技術開発に取組んでいる。

まえがき

これまで下水処理場では機械濃縮法として，遠心濃縮機，加圧浮上装置および常圧浮上装置など，いくつかの機種が採用されてきた。当社は，本分野で従来法に比べて低動力で省スペース化が可能な「ベルト型濃縮機」を開発し，本機は2005年に１号機を納入した。さらに，昨年度は国内最大クラスの１時間当たり100 m^3 の余剰汚泥を濃縮する機種を納入できた。

1. 当社ベルト濃縮機の特長

1.1 樹脂製ベルトの採用

樹脂性のベルトを採用することで，微細な凝集フロックを補足でき，低い凝集剤添加率で濃縮が可能である。さらに，機器の軽量化も図れ，ベルトの交

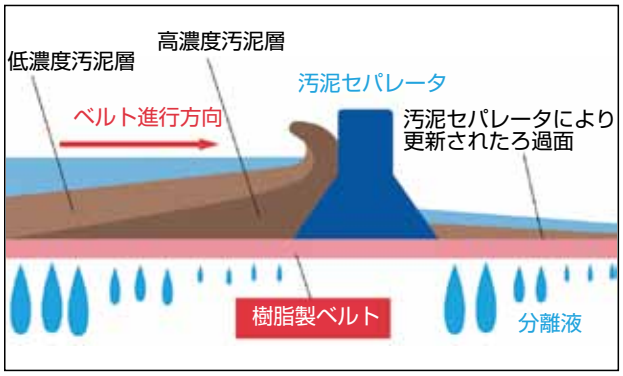


図１　濃縮状態の模式図

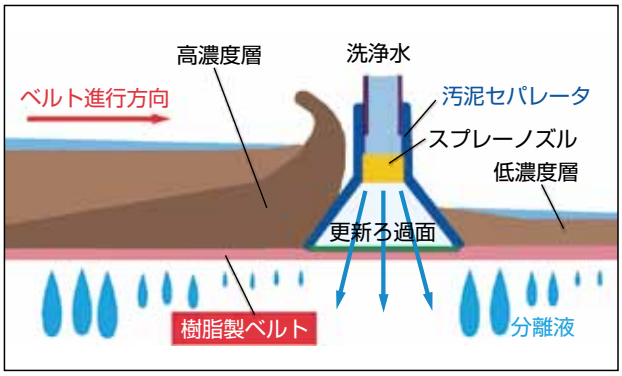


図２　濃縮洗浄同時機構の模式図

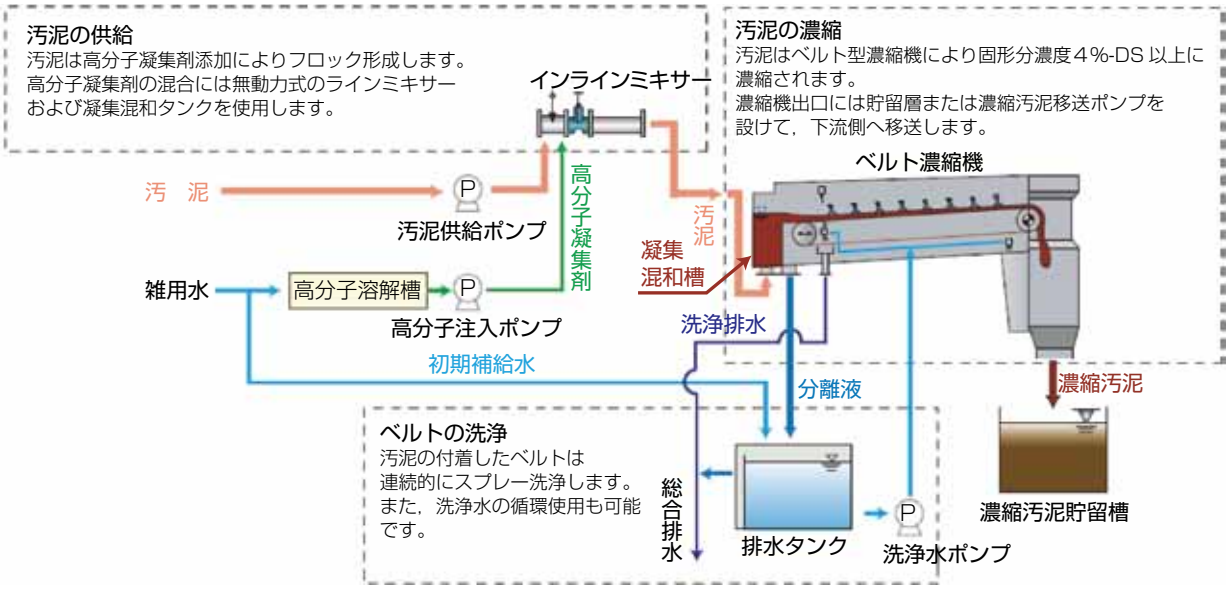


図３　ベルト型濃縮機のフロー

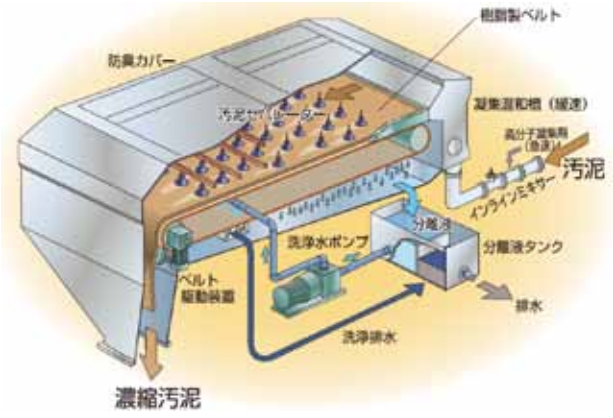


図４　ベルト型濃縮機の構造図

換作業が容易である。

1.2　汚泥セパレータによるろ過面更新効果

図１に濃縮状態の模式図を示す。走行する樹脂製ベルト上に独自形状の汚泥セパレータを設置することで，ベルト接触面の高濃度の汚泥層を掻き上げてろ過面を更新し，つねに低濃度の汚泥層をベルトと接触させることで，高い濃縮効果を達成している。

1.3　濃縮洗浄同時機構

図２に100 m^3/h を超える機種用に開発した濃縮洗浄同時機構の模式図を示す。汚泥セパレータ内にスプレーノズルを設置し，濃縮しながら洗浄することで，ろ過性能の一層の向上を図っている。

2.　設備フローおよび構造

本濃縮機のフローを図３に構造図を図４に示す。

供給汚泥および薬品は，ラインミキサーに投入され急速撹拌された凝集汚泥は，汚泥供給口に投入される。さらに，機内では凝集混和槽において，横軸の撹拌機により緩速撹拌を行い，凝集フロックの成長を促進させ，ベルトの幅方向に均一に供給している。

表１　納入実績

No.	納入年度	都道府県	処理場名	台数	処理能力（m^3/h）	対象汚泥	備　　考
1	2005	北 海 道	A 浄化センター	1	40	余剰	
2	2005	兵 庫 県	B 処理場	2	20	初沈	
3	2006	兵 庫 県	C 処理場	2	20	初沈	
4	2006	兵 庫 県	D 処理場	2	30	初沈	
5	2006	岩 手 県	E 終末処理場	1	5	OD 余剰	エステプロセス用
6	2006	北 海 道	F センター	1	5	OD 余剰	
7	2007	北 海 道	G 終末処理場	2	30	余剰	
8	2007	兵 庫 県	D 処理場	2	30	余剰	
9	2007	北 海 道	H 終末処理場	1	10	余剰	
10	2007	福 井 県	I 浄化センター	2	10	余剰	
11	2007	群 馬 県	J 浄化センター	2	40	余剰	
12	2008	兵 庫 県	B 処理場	2	40	余剰	
13	2008	大 阪 府	K センター	3	40	混合生	
14	2008	岡 山 県	L 浄化センター	1	20	余剰	
15	2008	新 潟 県	M 浄化センター	1	60	余剰	
16	2009	群 馬 県	N センター	1	30	余剰	
17	2010	兵 庫 県	O 処理場	3	40	余剰	
18	2010	鹿児島県	P 終末処理場	1	20	初沈 / 余剰	
19	2010	兵 庫 県	D 処理場	2	30	余剰	
20	2010	福 岡 県	Q 浄化センター	1	100	余剰	
21	2011	神奈川県	R 終末処理場	1	20	余剰	
22	2011	岡 山 県	S 浄化センター	1	30	余剰	
23	2011	山 梨 県	T 浄化センター	1	20	余剰	
24	2011	佐 賀 県	T 処理場	1	10	OD 余剰	納入予定，エステプロセス用
25	2011	和歌山県	U 浄化センター	1	20	余剰	納入予定
26	2012	広 島 県	V 浄化センター	1	20	余剰	納入予定
27	2012	奈 良 県	W 浄化センター	1	10	余剰	納入予定
				40			

供給された凝集汚泥は，上り勾配を有し一方向に連続走行する樹脂製ベルト上に供給され，ろ過される。ベルト上では，千鳥に配置された汚泥セパレータによって，ろ過され濃度が上昇した汚泥を掻き上げることによって，ろ過面を更新し，濃縮効率を高めている。濃縮した汚泥は，濃縮汚泥排出口から排出される。また，分離液は濃縮機下部に設けた分離液排出口から排出される。ベルトは濃縮機内に設けられた洗浄用スプレーにて連続的に洗浄される。

3.　納入実績

2005年度に１号機を納入してから，これまでの実績を**表１**に示す。納入実績は約６年間の短期間に40台にまで伸びており，その処理量は５～100 m^3/h と幅広く，非常に信頼性の高い技術であるとの評価を得ている。

4.　汚泥処理量100 m^3/h 機の紹介

4.1　納入仕様

写真１に昨年度納入した汚泥処理量100 m^3/h のベ

写真１　汚泥処理量100 m^3/h 機の外観写真

表２　納入仕様

項　　目	納　入　仕　様
汚 泥 性 状	余剰汚泥0.43 %（TS）
処　理　量	100 m^3/h
濃縮汚泥濃度	4 ～ 5 %程度
SS 回 収 率	95 %以上
薬　注　率	0.3 %程度（高分子１液調質）
動　　力	7.05 kW

ルト型濃縮機の外観を示す。

また，表２にその納入仕様をまとめる。

4.2　試運転結果

図５に本ベルト型濃縮機の試運転における凝集剤添加率と濃縮汚泥濃度の関係を示す。凝集剤添加率0.27 %以下の低薬注でも，濃縮汚泥濃度4.0 %以上およびSS 回収率95 %以上を達成できている。

また，図６は連続性能試験の結果を示しており，いずれのデータも安定して性能を満足していることが分かる。

5.　今後の展開

5.1　さらなる大型化

最近では，大規模処理場および汚泥集約処理場でもベルト型濃縮機の採用が検討されることが多く，今後，汚泥処理量150 m^3/h の機種まで対応すべく，構造の見直しおよびベルトの最適化を検討中である。

5.2　脱水機との組合

現在，消化汚泥等の難脱水性汚泥に対して，ベルト型濃縮機を用いて高濃度に濃縮した汚泥を，脱水機に供給することにより，脱水汚泥の低含水率化を達成すべく，実機規模（固形物処理量300 kg-DS/h）での実験に取組んでいる。

む　す　び

これまで，当社の「ベルト型濃縮機」の特長と納入実績，とくに国内最大規模の汚泥処理量100 m^3/h の事例を紹介した。この設備は，2011年３月の試運転終了後も順調に稼動中である。

さらに，今後もさらなる大型化と用途拡大に向けて技術開発を継続させる予定である。

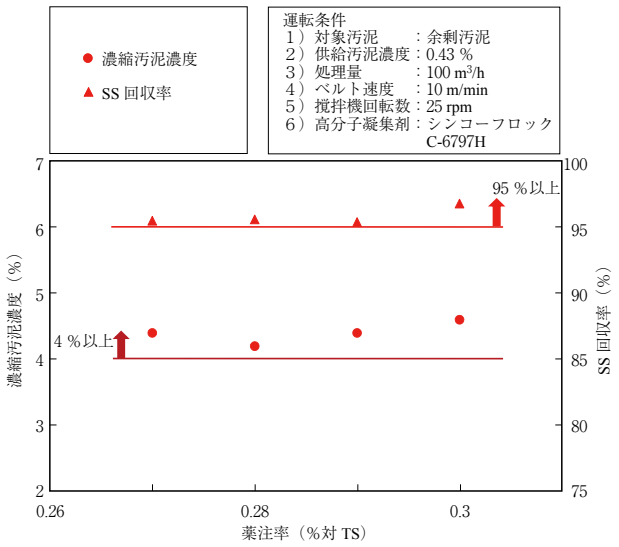


図５　薬注率と濃縮性能の関係（No.1 汚泥濃縮機）

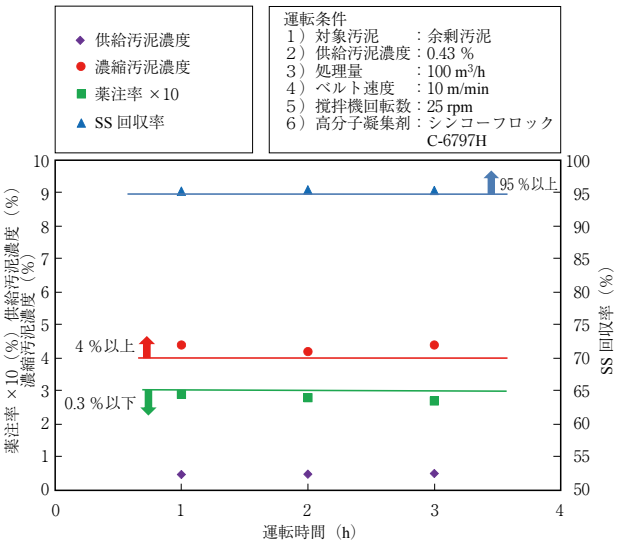


図６　No.1 汚泥濃縮機性能試験結果

*水処理事業部 技術部 技術室

遠隔監視装置を使用した嫌気性排水処理設備の苛性ソーダ削減システムの実施例

The Successful Results of Applying Our Caustic Soda Consumption's Reduction System with Water Eye™, a Remote Monitoring System to an Anaerobic Waste Water Facility

中村暢人*　Nobuto Nakamura
松本直隆*　Naotaka Matsumoto
吉川　信*　Makoto Yoshikawa

嫌気性排水処理設備は発生するメタンガスをエネルギーとして利用可能なこと，余剰汚泥の発生量が好気性処理に比べてきわめて少ないこと，曝気動力が不要など数々のメリットがあることから，食品工場を中心に数多くの設備が稼働している。

しかしながら，食品排水において好気性処理に不要な苛性ソーダを必要とし，その使用量が多いことが難点である。

神鋼環境メンテナンス㈱は㈱神鋼環境ソリューション商品市場・技術開発センターと嫌気性排水処理に使用する苛性ソーダの削減システムを共同開発し室内テストで削減可能との確証を得たため，食品会社の工場の嫌気性排水処理設備で遠隔監視装置を用いて実証テストを行った。

この結果，従来より約20％苛性ソーダの使用量を削減することができた。

There are many anaerobic waste water facilities at food companies that have several merits of methane gas generated, small excess sludge, no-aeration and so on. However, the anaerobic facility has a defect of much caustic soda needed. We developed the reduction system of caustic soda at anaerobic treatment with Kobelco Eco Solution R&D division which researched the reduction of caustic soda and had satisfactory results using a bench scale tester. We applied this reduction system of caustic soda with Water Eye™, a remote monitoring system to a food company and had a successful results of about 20 % caustic soda reduction.

***Key Words*：**

嫌気性排水処理	Anaerobic waste water treatment
アルカリ度	Alkalinity
苛性ソーダ	Caustic soda
CO_2 ガス濃度	Carbon dioxide gas concentration
遠隔監視	Remote monitoring

【セールスポイント】

嫌気性排水処理設備において遠隔監視装置（以下ウォーターアイと略）を使用することにより苛性ソーダを削減することができ，ランニングコストを低下させることができる。

ま え が き

嫌気性排水処理は，運転条件として温度，HRT，有機物負荷やpH，アルカリ度の因子が挙げられる。[1] 食品排水の場合，負荷変動に伴って酸生成によるpH低下が生じるが，これを防ぐため嫌気リアクター内のpHをやや高めに設定しがちである。pH調整に使用する苛性ソーダは，運転費の約40～50％を占めることから，その使用量を削減できればランニングコストを低下させることができる。

食品排水を対象とした嫌気性排水処理の運転は通常，原水pHを一定にするよう苛性ソーダを注入する。我々はpHだけでなくアルカリ度にも着目し苛性ソーダを削減できないか，室内テストを行い削減可能との結論が得られた。嫌気リアクター内のアルカリ度はpH，発生ガス中のCO_2濃度と相関がある。ウォーターアイを使用することにより，リアルタイムでpH，CO_2濃度をモニターし，嫌気処理に適した条件で運転が行えていることが確認できる。その結果，長期間にわたり安定した運転を行いながら，苛性ソーダを削減することができる。

食品工場の実設備にこの苛性ソーダ削減システムを適用し，かつウォーターアイを設置して，苛性ソーダ削減の成果が得られたのでここに紹介する。

1. 苛性ソーダ削減システム

1.1 原理

図1に嫌気リアクターpH，CO_2濃度，アルカリ度の関係図[2]を示す。図1から嫌気リアクター内pH，バイオガスCO_2濃度から運転に適したアルカリ度の相関を求めることで，狭い範囲でのpHとアルカリ度の管理が可能となり，苛性ソーダの削減に寄与できるものと考えられる。

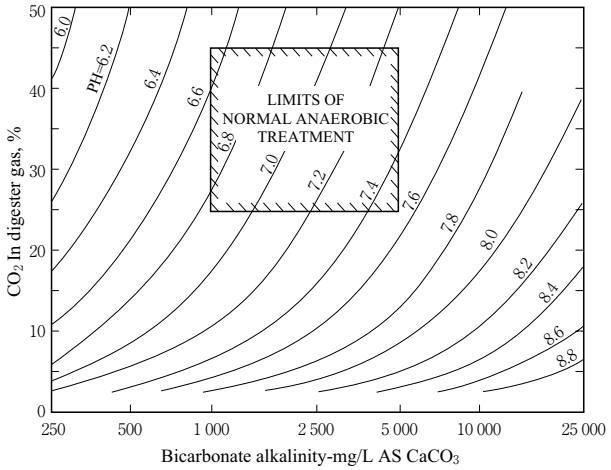


図1　アルカリ度-CO_2ガス濃度-pHの関係図

アルカリ度の管理は，ウォーターアイを使用することにより行う。アルカリ度は分析により測定されるが時間を要し，リアルタイムで把握することはできない。ウォーターアイを用いてpHとCO_2ガス濃度の運転状況を監視すれば，関係図から排水処理に適した条件で運転を行えていることを確認できる。これは室内テストで確認済みである。[3]

図1の関係図から苛性ソーダ削減のためには，処理水質に悪影響を及ぼさない，四角内の領域内におさめる必要がある。具体的には設定嫌気リアクター内pHを6.6～6.8としCO_2ガス濃度を25～45％を維持できれば，嫌気リアクターのアルカリ度は1 000～1 200 mg/Lとすることができ，処理を悪化させることなく苛性ソーダを削減することができる。

従来はpH低下のリスクを考慮して高めにpHを設定し苛性ソーダを必要以上に注入していたため，CO_2ガスの低濃度化およびアルカリ度の上昇が生じていたと思われる。

ウォーターアイを使用することでアルカリ度をリアルタイムで推定することが可能となり，処理水質を維持しながら確実に苛性ソーダを削減することができる。

1.2 機器構成

前述のように，本苛性ソーダ削減システムはバイオガス中のガス濃度を測定するためのCO_2濃度計とウォーターアイから構成され，検出信号として嫌気リアクター内pH値が必要である。原水のpH制御は通常どおり行う。図2にウォーターアイの機器構成図を示す。

2. テスト概要

2.1 排水処理設備の概要とテストフロー

テストを実施した食品工場の排水処理設備の概要と処理フローを表1，図3に示す。また排水処理設備の嫌気リアクター全景を写真1に示す。

2.2 テスト方法

既設動力制御盤にウォーターアイを設置して各種信号を取込んだ。CO_2ガス濃度計は脱硫処理した発生ガスラインに設置した。CO_2ガス濃度計を写真2に示す。

ウォーターアイの信号取込み項目は原水流量，発生ガス量，pH調整槽のpH，嫌気リアクターの温度とpH，苛性ソーダポンプの運転積算時間および発生ガス中のCO_2濃度とCH_4濃度とした。

またテスト期間中，原水，嫌気処理水のpH，SS，BOD，アルカリ度，TOCなどの水質分析も行った。

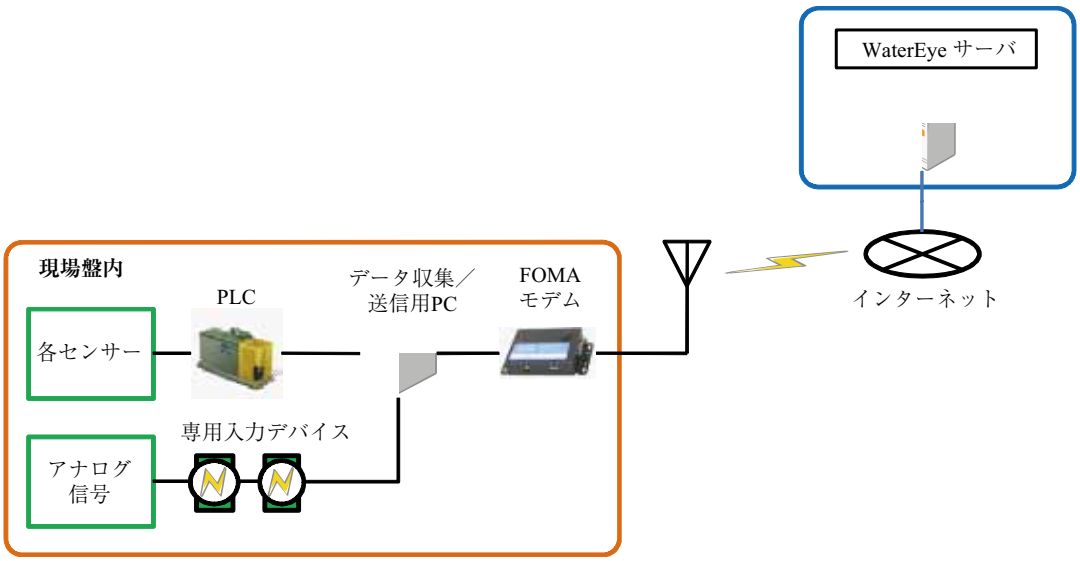


図２　ウォーターアイの機器構成図

表１　排水処理設備の概要

設　計　条　件

設計水量		原　水	嫌気処理水	処理水（放流水）
670 m^3/d	pH（－）	3.4－5.0	6.0－8.0	5.8－8.6
	SS（mg/L）	1 200	500以下	20以下
	BOD（mg/L）	8 000	800以下	10以下

排 水 処 理 設 備

嫌 気 性 処理設備	BOD 流入負荷	5 360 kg/d
	設　備　容　量	440 m^3/ 槽 × 2 槽 = 880 m^3
	BOD 容積負荷	6.0 kg/m^3/d
好 気 性 処理設備	BOD 流入負荷	536 kg/d
	設　備　容　量	1 312 m^3
	BOD 容積負荷	0.41 kg/m^3/d
沈殿設備	水　　面　　積	60 m^2
	水 面 積 負 荷	11.2 m^3/m^2/d

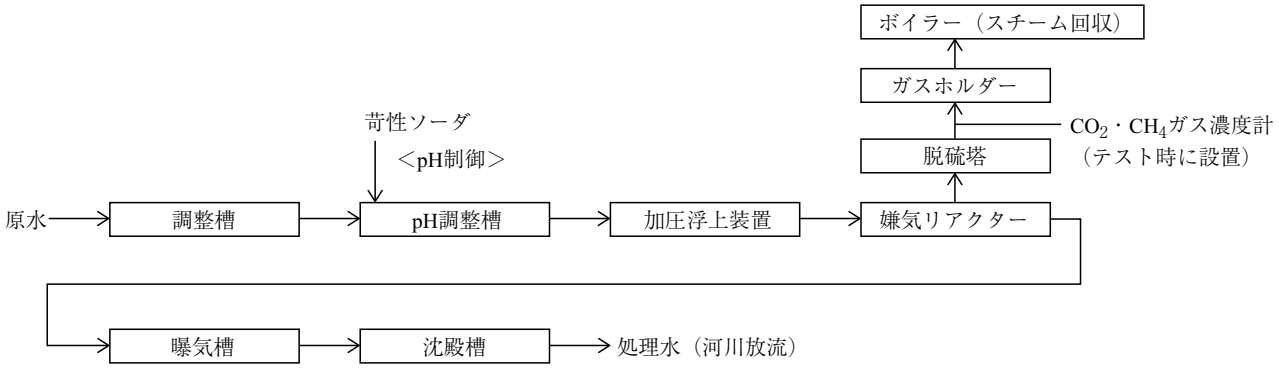


図３　処理フロー

写真１　嫌気リアクター全景

写真２　CO_2 ガス濃度計

表２　テスト条件と結果

			RUN1	RUN2	RUN3	RUN4
	原水流量		596 m^3/d	589 m^3/d	609 m^3/d	638 m^3/d
条件	pH 調整槽 pH 設定値		5.8－5.9	5.7－5.8	5.6－5.7	5.5－5.6
結果	苛性ソーダ注入率 （原水に対して）		1 075 ppm	980 ppm	910 ppm	890 ppm
	嫌気処理水 アルカリ度（as $CaCO_3$）		1 808 mg/L	2 060 mg/L	1 678 mg/L	1 578 mg/L
	BOD	原　　水	5 700 mg/L	3 950 mg/L	4 956 mg/L	5 433 mg/L
		嫌気処理	91 mg/L	88 mg/L	101 mg/L	113 mg/L
		除 去 率	98.4 %	97.7 %	98.0 %	97.9 %

2.3　テスト条件

アルカリ度，CO_2 ガス濃度，pH の前述の関係図をベースにして苛性ソーダ削減システムとして目標とする領域を設定した。

本実機テストではアルカリ度1 300～1 500 mg/L，CO_2 ガス濃度を32～37 %を目標として，苛性ソーダの使用量削減を行った。

苛性ソーダは原水の pH 調整に使用するが，pH 設定値を既存の設定値を含めて４段階とした。これによりどこまで苛性ソーダの削減が可能か，テストを行った。

3.　テスト結果

表２にテスト条件と結果を，**図４**に運転データの推移を，**図５**にアルカリ度と CO_2 濃度の相関関係を示す。

各 RUN ごとに平均30日間テストを実施したが，RUN2は既存条件の RUN1と比較しても，変化が見受けられなかったためテスト期間を短くして RUN3に移行した。

図４から嫌気リアクターの pH は急激な変化はなく苛性ソーダの使用量が減少するごとに徐々に嫌気リアクターの pH が低下したが，アルカリ度は適正範囲に入っており嫌気処理水の水質も良好で悪化することはなかった。

図５に前述の嫌気リアクターのアルカリ度と CO_2 濃度の相関図に本テストの結果を示す。RUN ごとにバラつきはあるが，アルカリ度と CO_2 ガス濃度の関係は関係図とほぼ一致するデータとなった。このことは，本苛性ソーダ削減システムが実設備において適用できることを示唆している。運転適性域から外れている点については，サンプリング当日の原水 BOD 濃度が高いなどの変動によるものと考えられる。

テスト期間中の苛性ソーダの使用量を**図４**に示す。アルカリ度から判断するともう一段の苛性ソーダ削減が可能であったが，RUN4での苛性ソーダは

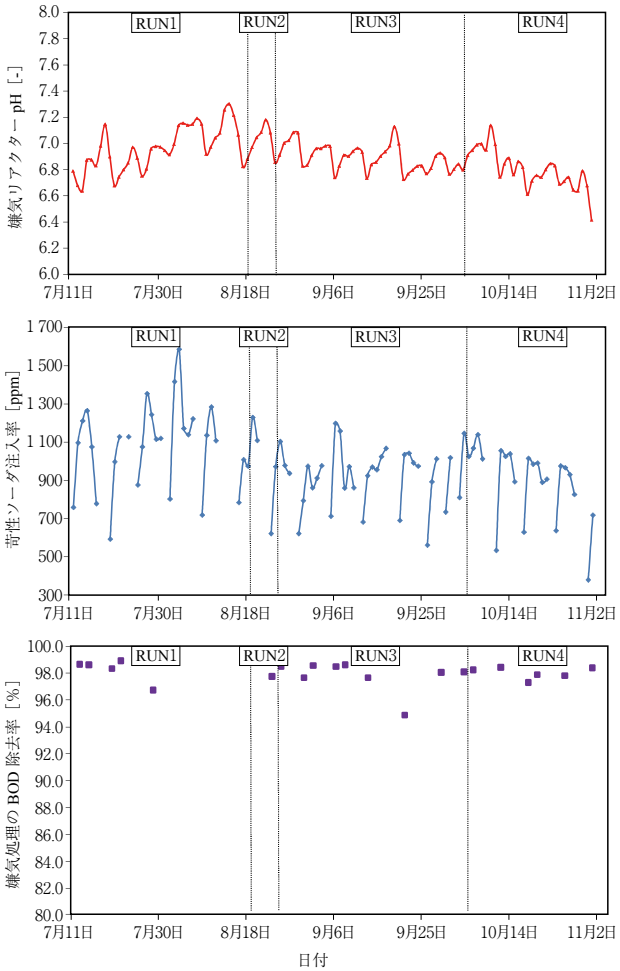


図４　運転データの推移

既存条件より約20 %削減できていた。この期間の嫌気処理の BOD 除去率は約98 %となっており，排水処理に影響を及ぼすことなく苛性ソーダを削減する結果となった。

4.　ウォーターアイの水処理設備への適用

今回，苛性ソーダ削減システムにウォーターアイを使用してその利便性を実感できた。監視機能だけでなくすぐれた性能を持っているので下記に紹介する。

ウォーターアイとは，インターネットを利用した水処理設備用の遠隔監視装置である。

ウォーターアイは水処理設備に設置した入力機器（PLC など）から収集したデータをインターネット経由でサーバーへ送信し，サーバー上のデータベースに蓄積保存する機能を持つ。ウォーターアイは，サーバーに蓄積された設備のデータを WEB ブラウザにて利用でき，設備の状態表示，帳票の出力等が可能である。また，あらかじめ警報値を設定することで，水処理設備にて異常が発生した場合にメールで通知することができる。

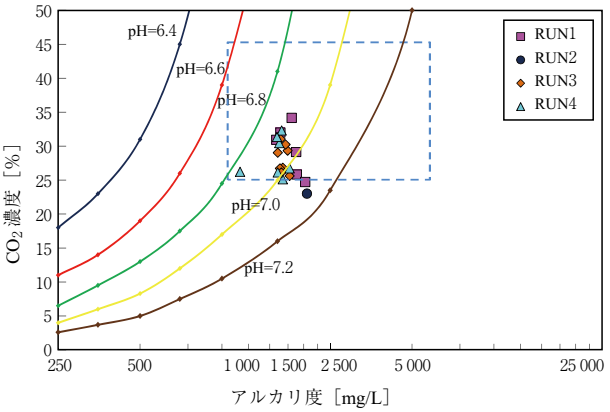


図５　アルカリ度と CO_2 濃度の相関関係

また，過去と現在のデータ検討を行い，最適となる運転管理値を事前に予想することにより予兆監視をすることができる。その予想した設定変更内容を踏まえ，プロセスを熟知した技術者が，メール等により，事前に運転管理者へ適切にアドバイスすることで，最適運転管理を行うことができる。

む　す　び

食品工場で実施した嫌気性排水処理設備の苛性ソーダ削減テストは，排水処理に悪影響を及ぼすことなく苛性ソーダの使用量を削減できるという満足な結果を実証することができた。これによりランニングコストの低下に寄与するものと考える。

この苛性ソーダ削減システムにおいてウォーターアイの利用は，排水処理の適正運転の確認に寄与するとともに操業状況の変化による原水負荷変動に対してもタイムリーな運転アドバイスができ，顧客の信頼を得ることができた。このことにより，今後の運転支援業務や O&M ビジネスへの展開への応用が期待できる。

現在，苛性ソーダ削減システムは特許出願中である。

［参考文献］

1）野池達也　編集：メタン発酵，技法堂出版，PP.117-127（2009）

2）McCartyP.L.：Anaerobic Waste Treatment Fundamentals/Patr2/Environmental Requirements and Control, Public Works, October, pp.123（1964）

3）山下哲生　濱田武志　吉川信　山本平　赤司昭　中村暢人　嫌気性排水処理における苛性ソーダ削減の試み　学会誌「EICA」第16巻　第2・3合合併（2011）p.61-64

*神鋼環境メンテナンス㈱ 水処理本部 技術部 第三技術室

会社業務紹介　～神鋼環境メンテナンス～

Business Introduction of KOBELCO ECO-MAINTENANCE CO., LTD.
―環境保全の総合アフターサービス会社として―

青木　勇*
Isamu Aoki

中野将門*
Masakado Nakano

神鋼環境ソリューションの子会社である神鋼環境メンテナンスは，上水・下水処理施設，廃棄物処理施設の「総合アフターメンテナンス会社」として，水と廃棄物に関するアフターサービスを提供する会社である。上下水処理施設，廃棄物処理施設，汚泥処理施設，リサイクル施設を対象とした点検保守，補修工事，運転管理業務のほか，水道事業のコンサルタント，水処理・廃棄物処理関連の薬品販売を行っている。本報では，廃棄物処理分野に関し，運転管理業務とメンテナンス業務の実績，長期包括運営委託の実績，DBO（Design Build Operate）案件への対応について紹介する。

KOBELCO ECO-MAINTENANCE provides the operation and maintenance of the water treatment facilities, the sewage treatment facilities, the municipal solid waste treatment facilities, the sewage sludge treatment facilities and the waste treatment and recycling facilities. This report introduces the case of the operation and maintenance of the municipal solid waste treatment facilities, the long-term comprehensive operation contracts and the DBO contracts.

***Key Words*：**

運転管理・維持管理	Operation and maintenance
ストックマネジメント	Stock management
長期包括運営委託	Long-term comprehensive operation contract
DBO　方　式	DBO（Design build operate）

【セールスポイント】

神鋼環境メンテナンスは「総合アフターメンテナンス会社」として，これまで培った運転管理，維持管理に関する豊富な技術ノウハウを活かして，上下水処理施設，廃棄物処理施設を対象にニーズに応じた効率的な維持管理運営を提供している。

ま え が き

当社は，上下水処理施設，廃棄物処理施設，汚泥処理施設，リサイクル施設を対象にこれまで培ってきた補修工事・点検保守・運転維持管理の技術・ノウハウ，民間向け水処理装置の機器販売やメンテナンスに関する技術・ノウハウ，水道事業のコンサルタント業務等の実績を基に，施設管理に関わる幅広い改善の提案から各種アフターメンテナンス・運転維持管理の実施と薬剤等の販売まで，総合的なサービスを提供している。当社は主として神鋼環境ソリューションが設計・施工した上水・下水処理施設，廃棄物処理施設の点検保守や補修工事のメンテナンス業務，運転管理業務を地方公共団体等より受注している。

廃棄物処理分野を取巻く事業環境について，今日の廃棄物・リサイクル行政において持続可能な「循

環型社会」,「低炭素社会」に向けた環境政策が推進される一方で，地方公共団体の財政問題が深刻化している。こういった社会情勢の中，廃棄物処理施設において安定操業と高機能を維持し，かつ効率的な維持管理運営が求められている。

当社が対象とする廃棄物処理施設は多岐にわたり，流動床式ガス化溶融施設，流動床式焼却施設，ストーカ式焼却施設，灰溶融施設，リサイクル施設，RDF 製造施設，PCB 処理施設，バイオマス施設である。廃棄物処理施設のメンテナンス業務においては，大規模改修による施設の延命化や高機能化のニーズ，神鋼環境ソリューションで開発された新規技術の導入のニーズにも対応している。

近年，運転管理業務とメンテナンス業務の分割発注方式から包括委託，単年度契約から複数年度契約により民間を活用して運営の効率化を図る長期包括運営委託の流れがある。また，施設の建設と維持管理および運営部分を民間委託する公設民営の DBO 方式が増加傾向にあり，従来の公設公営よりもライフサイクルコストの低減が見込まれる。

当社において運転管理（Operation）とメンテナンス（Maintenance）の技術ノウハウを集約した O&M 技術として蓄積されたノウハウを活用して展開している長期包括運営委託の実績と，神鋼グループの DBO 案件への取組みについても紹介する（図１）。

1. 廃棄物処理施設のメンテナンス業務

当社では多種多様な専門技術員を有し，神鋼環境ソリューションが設計・施工したプラントに適合した独自のメンテナンスノウハウを活用して，設備診断や保全計画，運転指導を実施している。たとえ優れたプラントであっても，施設の維持管理が適正に行われなければその性能を十分に発揮できず，またプラント自体の老朽化や周辺環境への悪影響の原因となりかねない。

当社が対象とする廃棄物処理施設は，都市ごみ焼却施設：33施設，リサイクル施設：４施設，RDF 製造施設：３施設，PCB 処理施設：１施設，バイオマス施設：１施設であり，多様な実績を有する。都市ごみ焼却施設について，流動床式ガス化溶融施設：11施設，流動床式焼却施設：19施設，灰溶融炉

写真１　流動床式ガス化溶融施設の工場棟内
（相模原市南清掃工場：175 t/24 h × ３系列）

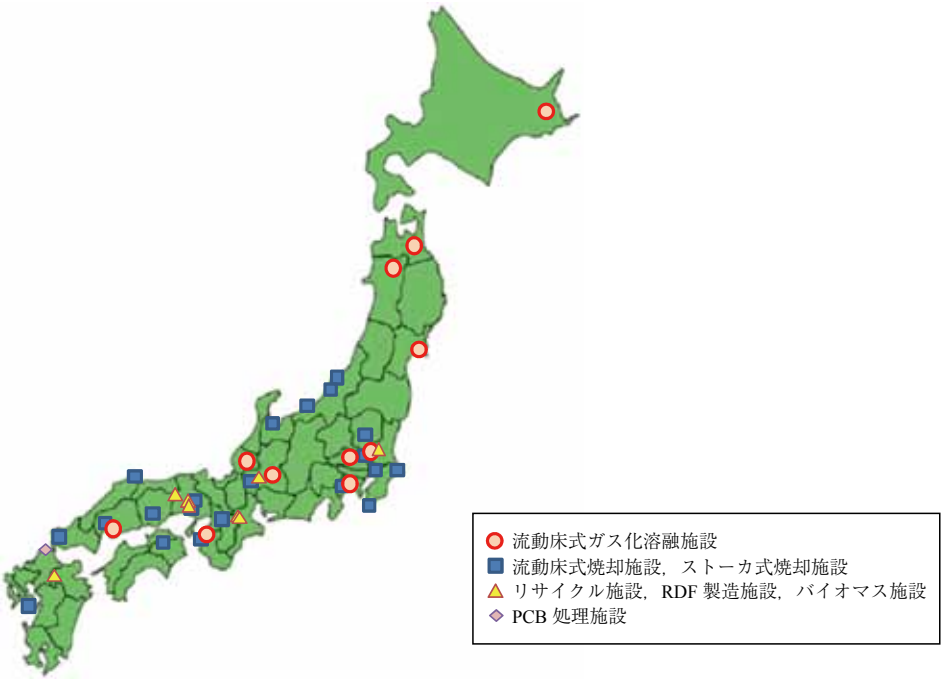


図１　廃棄物処理施設の運転管理業務，メンテナンス業務の受注実績

を併設する流動床式焼却施設：２施設，灰溶融炉を併設するストーカ式焼却施設：１施設を対象に，神鋼環境ソリューションの設計技術も集約した上で，豊富なメンテナンスノウハウを蓄積している。

さらに，廃棄物処理施設のメンテナンス業務において，複数年にわたる中長期の保全計画，大規模改修による施設の延命化や高機能化のニーズ，神鋼環境ソリューションで新たに開発された新規技術の導入のニーズにも適宜対応している（写真１）。

2.　廃棄物処理施設の運転維持管理業務

当社では，神鋼環境ソリューションが設計・施工した廃棄物処理施設を中心に運転管理業務を請け負っている。各施設の事業所と本社支援の運転管理体制により，神鋼環境ソリューションの設計技術を踏襲した上でプラントに適した独自の運転管理ノウハウを蓄積している。本社支援体制について，本社にて各事業所の操業状況の管理や技術支援を行い，さらに本社事務所に遠隔監視用端末を配置して各事業所とネットワークで結び，各施設の運転状況の監視や運転指導を行える体制を構築し，操業支援を行っている（写真２，図２）。

また，当社では廃棄物処理施設の操業に不可欠な薬剤等の販売も取扱うことで，施設の安定操業や高

写真２　ごみ焼却施設の運転状況
（相模原市南清掃工場の中央制御室）

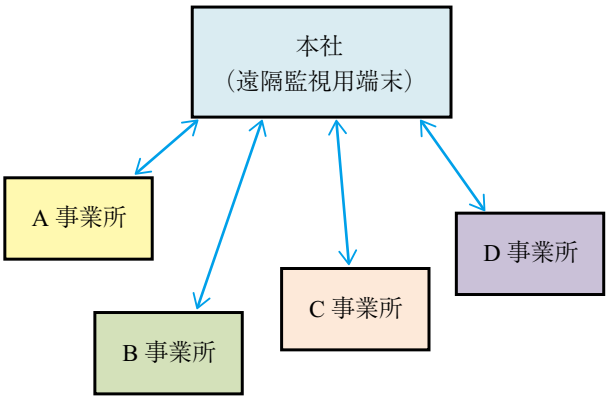


図２　各事業所と本社支援の運転管理体制

表１　長期包括運営委託の実績

	生駒市清掃センター	クリーンピア射水	加古川市新クリーンセンター	中津川環境センター	岩出クリーンセンター
処理方式	流動床式焼却炉	流動床式焼却炉＋灰溶融炉	流動床式焼却炉＋灰溶融炉	流動床式ガス化溶融炉	流動床式ガス化溶融炉
処理能力	・流動床式焼却炉：220 t/24 h（110 t/24 h × 2 炉）	・流動床式焼却炉：138 t/24 h（46 t/d × 3 炉） ・灰溶融炉：12 t/24 h × 1 炉	・流動床式焼却炉：432 t/24 h（144 t/24 h × 3 炉） ・灰溶融炉：30 t/24 h × 1 炉	・流動床式ガス化溶融炉：98 t/24 h（49 t/24 h × 2 炉） ・粗大不燃施設：17 t/5 h	・流動床式ガス化溶融炉：60 t/24 h（30 t/24 h × 2 炉）
発電能力	（発電設備なし）	最大1 470 kW	最大4 950 kW	最大900 kW	（発電設備なし）
竣　　工	1991年３月	2003年３月	2003年３月	2004年３月	2008年12月
事業期間	10年間	５年間	15年間	１年間	３年間
委託内容	・処理対象物の受入 ・運転業務 ・ごみ焼却施設の維持管理，点検補修業務 ・部品，消耗品の調達 ・建築設備の維持管理 ・近隣施設への上水および熱の供給 ・搬出業務 ・用役の調達	・処理対象物の受入 ・運転業務 ・ごみ焼却施設の維持管理，点検補修業務 ・部品，消耗品の調達 ・余熱利用 ・搬出業務 ・用役の調達	・処理対象物の受入 ・運転業務 ・ごみ焼却施設の維持管理，点検補修業務 ・部品，消耗品の調達 ・エネルギーの有効利用 ・搬出業務 ・用役の調達	・処理対象物の受入 ・運転業務 ・ごみ焼却施設の維持管理，点検補修業務 ・部品，消耗品の調達 ・エネルギーの有効利用 ・搬出業務 ・用役の調達	・処理対象物の受入 ・運転業務 ・ごみ焼却施設の維持管理，点検補修業務 ・部品，消耗品の調達 ・エネルギーの有効利用 ・搬出業務 ・用役の調達

表２　神鋼グループの DBO 案件の受注実績

事 業 名	西秋川衛生組合ごみ処理施設整備・運営事業	広域ごみ処理施設整備・運営事業
発 注 者	西秋川衛生組合	芳賀地区広域行政事務組合
事業内容	・熱回収施設（流動床式ガス化溶融炉），不燃粗大ごみ処理設備，リサイクルセンター等の設計・建設 ・運営・維持管理および既存施設の解体・更新	・熱回収施設（流動床式ガス化溶融炉），リサイクル施設の設計・建設 ・運営・維持管理業務
事業方式	DBO 方式	設計・建設および運営・維持管理（20年間）の一括事業
事業期間	（設計・建設期間） 2011年４月～2016年３月（５年間） ・熱回収施設，不燃粗大ごみ処理設備：2014年３月竣工 ・リサイクルセンター：2016年３月竣工 （運営・維持管理期間） 2014年４月～2034年３月（20年間） ・熱回収施設，不燃粗大ごみ処理設備：2014年４月開始 ・リサイクルセンター：2016年４月開始	（設計・建設期間） 2011年６月～2014年３月（３年間） （運営・維持管理期間） 2014年４月～2034年３月（20年間）
受 注 者	（設計・建設工事） 神鋼・安藤・高橋上田設計建設共同企業体 （運営・維持管理業務） 株式会社たかお環境サービス	（設計・建設工事） 神鋼・戸田 JV 特定建設工事共同企業体 （運営・維持管理業務） 株式会社芳賀環境サービス
施設概要	・流動床式ガス化溶融炉：117 t/24 h（58.5 t/24 h × ２系列） ・不燃粗大ごみ処理設備：27 t/ 5 h ・リサイクルセンター：11.2 t/ 5 h	・流動床式ガス化溶融炉：143 t/24 h（71.5 t/24 h × ２系列） ・リサイクル施設：19 t/ 5 h

いプラント性能の維持管理の役割を担っている。

3.　当社グループの長期包括運営委託の実績

2011年度の時点で当社グループとして長期包括運営委託の５件の実績がある（**表１**）。

生駒市清掃センター，クリーンピア射水，加古川市新クリーンセンターの３施設は流動床式焼却施設であり，中津川環境センター，岩出クリーンセンターの２施設は流動床式ガス化溶融施設である。当社のメンテナンス技術と運転管理技術を集約し，神鋼環境ソリューションの設計技術も活用して，運営の効率化を実現している。

4.　神鋼グループの DBO 案件への取組み

神鋼環境ソリューションでは，東京都「西秋川衛生組合ごみ処理施設整備・運営事業（DBO 方式）」，栃木県芳賀地区広域行政事務組合「広域ごみ処理施設整備・運営事業（建設・運営一括発注方式）」を受注した。神鋼環境ソリューションがプラントの設計・施工を担当し，運営・維持管理には当社の O&M 技術を活用する。

DBO 案件では，プラントの設計において建設コストと維持管理コストを合わせたライフサイクルコストの低減を最大限に考慮した設計が重要になるため，当社の維持管理，運転管理に関する技術ノウハウを神鋼環境ソリューションに提供しながら，プラントの設計に反映している。DBO 案件の受注実績を**表２**に示す。

む　す　び

神鋼環境メンテナンスは，上水・下水処理施設，廃棄物処理施設を対象にした運転管理および維持管理の専門家集団として，地方公共団体を中心にニーズに応じた総合アフターサービスを提供している。

当社を取巻く事業環境として，地方公共団体の財政問題を受けて，新炉建設案件の停滞，基幹改良による既存施設の延命化の需要増加，従来の運転管理と維持管理の分割発注方式から長期包括運営委託や DBO 方式に向かう大きな流れのなか，今後も効率的な施設の維持管理運営が一層重要になっていくと考えられる。当社はプラントの設計・施工メーカである神鋼環境ソリューションとの連携を強みとしつつ，運転管理，維持管理の技術をより深化させ，社会情勢のニーズに合った先進的なアフターサービスを今後も提供し続ける。

*神鋼環境メンテナンス㈱ 廃棄物処理本部 工事部 第三工事室

TOPics

展示会だより

■ INCHEM TOKYO 2011　プラントショー

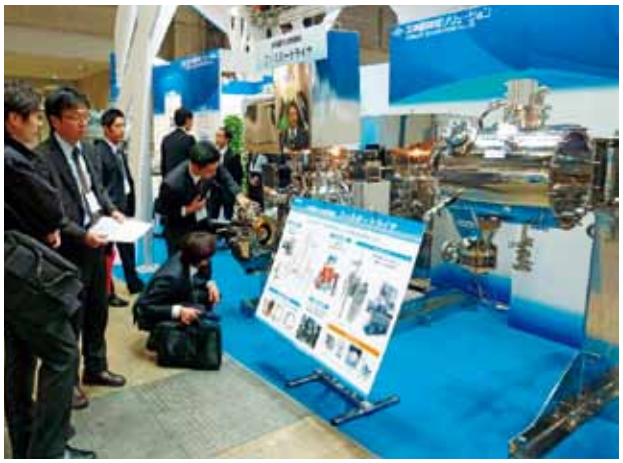
2011年11月16日～18日，東京ビッグサイト国際展示場にて，SEES（公益社団法人　化学工学会），JMA（社団法人　日本能率協会）が主催するINCHEM TOKYO 2011が開催され，当社はプラントショーのエリアに出展を行いました。

本展示会は二年に一度，開催される国内最大級のケミカルプラントショーであり，今年は関連企業258社の出展がありました。

GL，ろ過乾燥機の専門メーカーとして「時代の要請に応えるソリューション企業」とのキャッチコピーを掲げ，当社製品のクリーンさ，使い易さをPRできる展示内容としました。

導電性グラスECOGL Ⅱ，低溶出グラス＃9500，N-CDB，CFV専用着脱治具「弁軽くん」の４種の新製品を含め，GLリアクター，FD，RFD，HHOGの実機展示を行い，３日間で約500名の来場者に足を運んで頂き盛況な展示会となりました。

また，会場内で行われた製品・技術セミナーにて，「医薬・ファインケミカル用　ろ過乾燥機の高機能化技術」，「導電性グラスECOGL Ⅱと低溶出グラス＃9500」と題し，２テーマの発表を行いました。両テーマ，多くの方に足を運んでもらい大盛況の内に終えることができました。セミナー後には当社ブースを訪れ，質問をされた方も多く，当社の技術への関心の高さを実感しました。



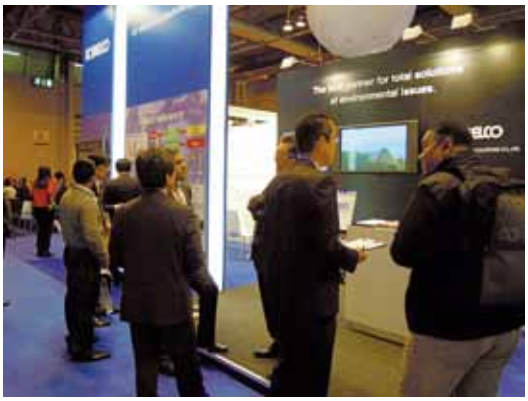
TOPICS

展示会だより

■ RWM 2011　―Recycling & Waste Management―

2011年９月13日から15日まで，イギリスのバーミンガムで開催されたRWM 2011（Recycling & Waste Management）へ当社より初めて出展しました。欧州の中でも特に「Energy from Waste」を推し進めているイギリスでは，ガス化溶融炉システムによる発電利用への関心が非常に高くなっています。RWMは，イギリスでは最大級の廃棄物処理関連に特化した展示会で，地元企業の出展が多く，また，90％以上がイギリス国内からの来場者で占められています。

会場となったバーミンガムはロンドンに次ぐ大都市で鉄鋼業などが盛んな工業都市です。最盛期の鉄鋼業時代を彷彿とさせる労働者の像などのオブジェが見られます。市街地は石畳の道路や石積みの建物や運河などレトロな街並みと，新しい近代的な建物を中心とした街並みが共存し，歴史の流れを感じることができる街です。

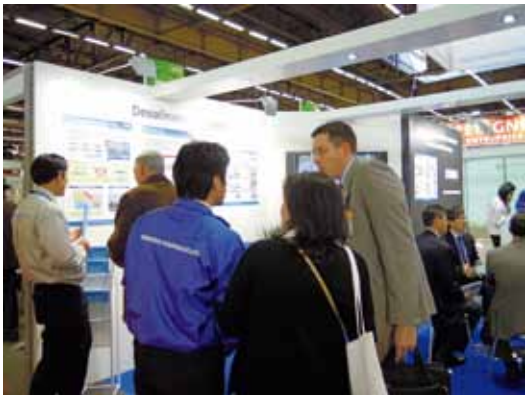


当社ブースの「Energy from Waste」コーナーで

■ POLLUTEC HORIZONS 2011　展示会

2011年11月29日から12月２日まで，フランスのパリで開催されたPOLLUTECへ当社より出展しました。水処理，廃棄物処理，エネルギーなど欧州でも最大級となる環境関連の展示会で，会場はパリとリヨンで１年ごとに交代で開催しています。当社は2008年のリヨンより出展し今年で４度目となりますが，知名度も徐々に上がってきており，リピーターの来場者も見られました。POLLUTECの出展社や来場者は，欧州以外にもアジア，アフリカ，中近東など多岐にわたっており，当社が出展している低動力海水淡水化システムなどにも関心が集まっていました。

パリの市街地はこの時期，クリスマスシーズンを控え，シャンゼリゼ通りではツリーの飾りつけアイテムや飲み物や食べ物を販売する屋台が立ち並び，毎年趣向を凝らした街路樹のライトアップやエッフェル塔のライトアップ見物などで遅くまで賑わっています。



当社ブースの「低動力海水淡水化システム」コーナーで

ライトアップされたエッフェル塔

微量 PCB 汚染廃電気機器等のトータル処理システム

―汚染油を再生油としてリサイクルが可能／焼却処理よりも優れた資源再生技術―

当社は，微量 PCB 汚染廃電気器等に対し，保管事業者様から汚染機器や微量 PCB 汚染廃油を引取り，

① 汚染機器については機器の内部を絶縁油で循環洗浄して PCB を取除く洗浄事業

② 洗浄に使用した絶縁油や微量 PCB 汚染廃油を水素化脱塩素精製法（＝ HDR 法：Hydro Dechlorination and Refining）で化学分解して再生油を生産する再生事業

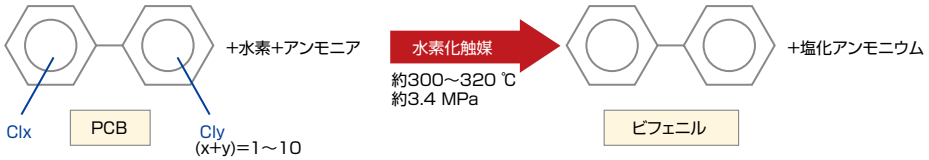
これら２つの事業を組み合わせたビジネスモデルの構築に取組んでおり，微量の PCB で汚染された変圧器等の処理事業を早期に立上げるべく取組んでいます。

【当社の目指すビジネスモデル】

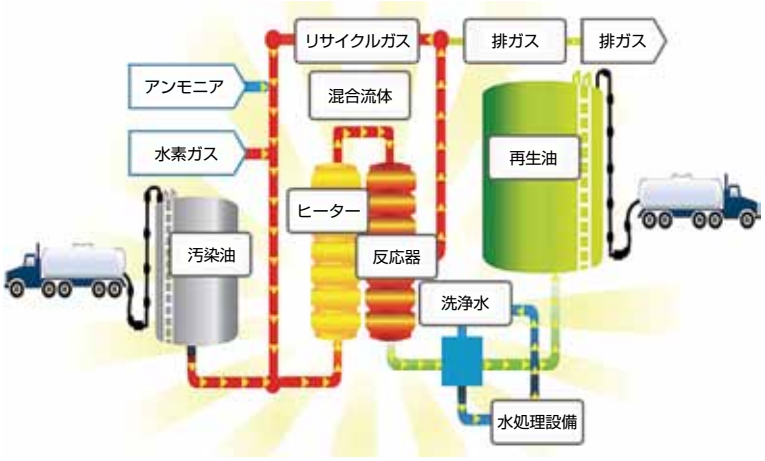
【微量 PCB 汚染廃油再生技術】

HDR 法は，石油精製分野で広く採用されている水素化反応により絶縁性能を損なうことなく，絶縁油に含まれる微量の PCB を分解無害化し，同時に窒素等の不純物を除去し，酸化により劣化した絶縁油も再生する技術です。2009年12月に当社は本技術を開発した豪ハイドロデック社と共同で国の委員会（PCB 等処理技術調査検討委員会）から PCB の処理技術のひとつとして技術評価を取得しました。

本法は，水素化触媒の存在下で微量 PCB 汚染廃油に水素ガスとアンモニアを加え，約300～320 ℃，約3.4 MPa で脱塩素化する無害化処理法です。



【PCB の水素化脱塩素反応】



【HDR 法　プロセス概念フロー】

ヒートポンプ式汚泥乾燥機

ヒートポンプによる除湿乾燥を原理とした汚泥乾燥機です。
燃料や蒸気を必要とせず電気だけで OK，ユニット型で据付や運転が簡単など，汚泥向けとしてはユニークで，民間工場等での汚泥減量化ニーズに応えられる製品です。
（今年度スイスのメーカーと販売提携契約締結）
また，下水汚泥に対応するため，高効率，かつ，臭気，腐食性ガスに強い新型機の開発も進めています。

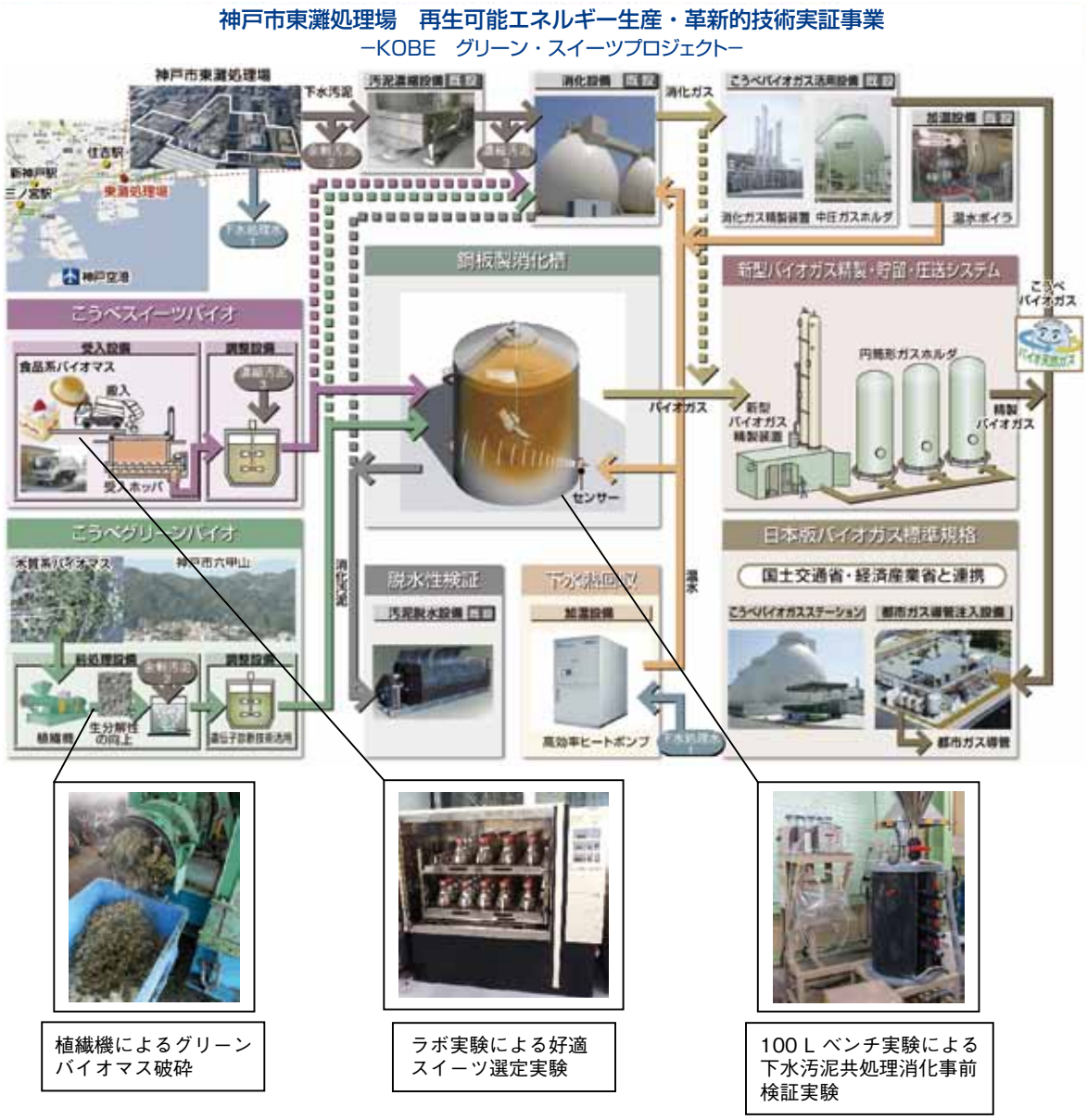
㈱神戸製鋼所 真岡製造所殿向け 乾燥能力（除去水量）：2.8 t/d

乾燥前（脱水ケーキ）　　乾燥後

B-DASH プロジェクト

神戸市東灘処理場
再生可能エネルギー生産・革新的技術実証研究
ー KOBE グリーン・スイーツプロジェクトー

B-DASH は，下水処理やバイオマスである下水汚泥のエネルギー利用の効率化を図り，温室効果ガス排出量および建設コストを大幅に削減する革新的技術について，実規模レベルの実証を行うことを目的とした国土交通省の研究プロジェクトです。当社は神戸市東灘処理場にて下水処理に好適な地域バイオマス（グリーン，スイーツ）を下水汚泥と混合消化し，バイオガス発生量の増量を図ることで，再生可能エネルギーの地産地消および地球温暖化防止に寄与する革新的技術について実証研究を行います（2011年５月～2012年３月）。



植繊機によるグリーンバイオマス破砕

ラボ実験による好適スイーツ選定実験

100 L ベンチ実験による下水汚泥共処理消化事前検証実験