

**KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS** 

◆ 神鈿環境ソリューション

### 神鋼環境ソリューション技報 2014年度・Vol.11・No.2

KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS

目	次	CONTENTS
1	<巻頭言> 今こそ,積極果敢な戦略と事業展開を!	
2	流動床炉におけるスーパーヒータ材料の耐食性 評価試験	Corrosion Resistance Evaluction Test of Superheater Materials in Fluidized Bed
9	放射能汚染焼却主灰の除染・減容化プロセスの 開発	Development of Decontamination and Volume Reduction Process for Radiation Contaminated Incineration Bottom Ash
16	株式会社だい久製麺向 水リサイクル装置(Reclam®)の現地試験結果	Results of Test for Wastewater Recycling Unit in Daikyu Noodle-making Co., LTD.
24	生物製剤の前培養によるコークス炉廃水処理 活性汚泥不調時の処置	Effect of Biologics Pre-cultivation on Coke-oven Wastewater Treatment
30	クリーンドライヤ「N-CDB」	The Clean Dryer [N-CDB]
37	(一社)日本環境衛生施設工業会「第14回海外環境事情調査団」に係る参加報告 一イギリス、ドイツ、フランスのごみ焼却発電施の運営状況一	Report of Participation in "The 14 <sup>th</sup> Investigation Group on Overseas Environmental Business" Sponsored by Japan Environmental Facilities Manufacturers Association (JEFMA) — Operational Situations of Waste Incineration and Power Generation Facilities in the UK, Germany and France
42	都市環境フォーラム 欧州廃棄物処理施設調査報告	The Report of Waste Treatment Plant in Europe by "Forum for Energy & Environment"
47	施設·技術紹介	
51	TOPICS	

## 今こそ, 積極果敢な戦略と事業展開を!



首都大学東京大学院 理工学研究科 機械工学専攻 教授

工学博士 吉 葉 正 行

Masayuki Yoshiba

日本は現在、環境—エネルギ問題に関して一大転機を迎えている。とくに、東日本大震災に端を発した福島第一原子力発電所の深刻な一連のトラブルにより、原子力発電を基盤に展開されてきたエネルギ政策の抜本的見直しを迫られている。その中にあって代替エネルギの切り札的存在として再生可能エネルギの中核を占める太陽光発電が脚光を浴びているが、「カラ枠取り」や「認定資格の転売」など、制度面の不備も絡んだ影の部分が現在表面化している。基本的には、日本の経済規模とエネルギ需要規模からみて、再生可能エネルギによりエネルギ供給割合の20%を超えることは相当難しく、東京オリンピック開催年を想定しても非常に厳しいといわざるを得ない。

一方,バイオマス系廃棄物の価値認識は最近改まりつつあり、再生可能エネルギの固定価格買取制度(FIT)における認定と相俟って、少なくとも迷惑施設(NIMBY)とのイメージは次第に払拭されてきている。しかし残念ながら、とくに FIT 算定価格における不公平感のためか、導入普及のペースは極めて鈍い。

廃棄物発電は基本的に、他の再生可能エネルギに比べて、1000~50000kW規模のプラントにより相当大規模な基盤電源として従来から機能しており、環境調和型地域分散電源の中核としての価値機能を有することがもっと強調されて然るべきである。

このような背景から、廃棄物・バイオマス発電のさらなる高効率化に向けた技術開発が各企業等で現在模索されている。ここで重要な技術課題となるのが、ボイラの高温化に伴って深刻化する過熱器管の高温腐食問題である。高温腐食現象は化石燃料発電プラントでも同様に問題となるが、化石燃料プラントにおける腐食現象が「泥沼」とすれば、廃棄物発電プラントにおけるそれは「底無し沼」に近い複雑性と深淵性を有するのが特長的である。このため、プラントの設計陣には過熱蒸気温度で450  $\mathbb C$  を超えようとする気概がみられず、「不戦敗」の情況が続いている。しかし、1990年代当時に展開された NEDO の高効率廃棄物発電技術開発プロジェクトでは、500  $\mathbb C$  の過熱蒸気温度を達成し、さらに現在でも大牟田の RDF 発電プラントで500  $\mathbb C$ 、福山リサイクル発電プラントで450  $\mathbb C$  での操業実績がある。要するに、廃棄物の前処理工程を含めて、プラント設計、燃焼・熱管理、材料など各分野の技術が有機的に結集できれば、それほど難しい開発目標ではないと筆者は考えており、最近の筆者監修による出版物「バイオマス・廃棄物発電によるエネルギ利用の最前線と課題 一地産地消と地域活性一」(2013年、S&T 出版)においても当時のプロジェクト研究などにおける失敗学を含めたドキュメントを公表している。

したがって、これら過去の「負の知財」ともいうべき腐食損傷やトラブル事例などへの対応を含めた「温故知新」に基づく技術情報をベースに、各社独特のプラントのハードウエアとソフトウエアを十分活かした技術展開により、450~500 ℃クラスのボイラ開発を目指した技術戦略と、新技術の導入設置に積極的な自治体との連携を図るための経営戦略が今後のエネルギ問題解決の切り札的存在になると確信している。さらにこれには当然、東日本大震災で実証された清掃工場の防災・エネルギ拠点としての機能化構想も絡んでくる。

科学技術が如何に進化しても、これの適正な「目利き」と「使いこなす」能力が行政側に備わっていなければ、新技術は所詮「宝の持ち腐れ」に終わってしまう。このような状況を踏まえると、残る Key Issue は、各企業の経営陣によるビジョン策定はもとより、企業団体連合会等の執行部、地方自治体の首長をはじめとする幹部、そして最大限の努力を払うべき関係省庁や羅針盤を示すべき行政府幹部のコーディネート力と積極果敢なアクション展開に掛かってくる。

## 流動床炉におけるスーパーヒータ材料の耐食性評価試験

### Corrosion Resistance Evaluction Test of Superheater Materials in Fluidized Bed



菅藤亮輔\* Ryosuke Kando



中原慎太郎\* Shintaro Nakahara



谷田克義\*
Katsuyoshi Tanida
博士(工学)

廃棄物発電の高効率化を達成するためには廃熱ボイラで発生させる過熱蒸気の高温高圧化が効果的であるが、スーパーヒータが高温腐食により減肉するという問題がある。このため、国内では安定操業の観点から、過熱蒸気温度は400  $\mathbb C$  以下での操業が標準となっている。当社では発電効率の向上を目的として、流動床式ガス化溶融炉の廃熱ボイラにおいて400  $\mathbb C$  を超える過熱蒸気温度を想定した条件下でスーパーヒータ材料の耐食性評価試験を行ってきた。約9カ月の試験期間においては、減肉がほとんど問題とならないという結果が得られた。

A series of corrosion resistance tests of boiler superheater tube materials are conducted by exposing specimen to actual exhaust gas in fluidized-bed gasification and melting furnace for municipal solid waste. The aim of these tests is to evaluate corrosion characteristics of boiler tubes at temperatures over  $400^{\circ}$ C steam conditions, under which conditions high efficiency power generation can be realized, while maximum steam conditions used in Japan is limited to  $400^{\circ}$ C due to high-temperature corrosion problems. As the result of tests of more than nine month of exposure, corrosion wastage is small and meaningful difference from initial material thickness is not observed.

### Key Words:

床 流 炉 Fluidized bed 廃棄物発電 Waste-to-Power Generation ボ 1 ラ Boiler スーパーヒータ Superheater 温耐食性 High Temperature Corrosion Resistance 肉 減 Wastage

### 【セールスポイント】

・従来よりも発電効率が高い流動床式ガス化溶融炉

### まえがき

貴重なエネルギ源である廃棄物の焼却廃熱を有効利用する廃棄物発電への関心が高まっており、更なる発電の高効率化が求められている。当社の主力商品である流動床式ガス化溶融炉を採用した廃棄物発電施設は、図1に示すように溶融炉と一体化した廃熱ボイラが設置されており、廃熱ボイラで発生させ

た過熱蒸気をタービンに供給して発電を行っている。発電効率を上げるためには、廃熱ボイラで発生させる過熱蒸気の高温高圧化が効果的であるが、廃棄物焼却においては、燃焼排ガス中に含まれる酸性ガスや塩類によるスーパーヒータ(以下、SHと記す)の高温腐食が問題となる。このため、公共施設としての安定操業の観点から過熱蒸気温度300 ℃以

下での操業が長年続いてきた。その後の技術の進展により蒸気の高温高圧化が進んできたが、日本国内では $400 \text{ C} \times 4 \text{ MPa}$  クラスの蒸気条件が標準となっており $^{1)}$ 、当社においても、同様の蒸気条件( $400 \text{ C} \times 4 \text{ MPa}$ )を採用した発電施設を複数納入している。このうち、ある施設では SH の減肉量は 4 年間で最大0.1 mm であり、SH の十分な耐久性が実証されている。このため蒸気条件の更なる高温高圧化が可能であると考えられる。

当社では実機操業中の廃熱ボイラにおいて,400 Cを超える過熱蒸気温度を想定した条件下でSH材料の耐食性評価試験を行ってきた。本報では、耐食性試験開始から延べ約9カ月が経過した材料で減肉がほとんどないとみてよいという結果が得られたので報告する。

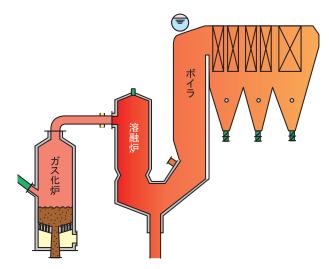


図1 流動床式ガス化溶融炉の概要

### 1. 試験概要

規模の異なる2カ所の発電付廃棄物処理施設(以下,施設A,施設Bと記す)において耐食性評価試験を実施してきた。表1に施設の概要を示す。両施設とも処理方式は流動床式ガス化溶融炉,ボイラ形式はテールエンド式であるが処理対象物が異なり,施設Aでは汚泥の焼却も行っている。

耐食性評価用プローブ材の材質としては、一般に 流通しているステンレス鋼の SUS 310S と低合金鋼 の STBA 12を選定した。表2にプローブ材の化学組 成を示す。

試験装置の概略図を図2に、実際の試験装置と設

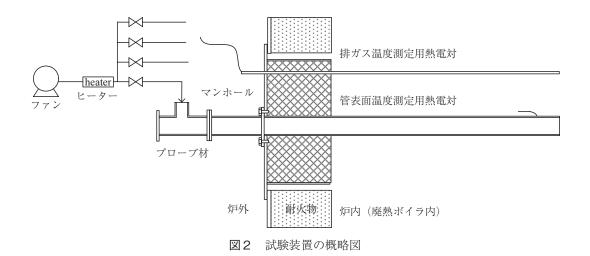
表 1 施設概要

	施設 A	施設 B		
処理方式	流動床式ガス化溶融炉			
ボイラ形式	テールエンド式			
処理規模	49 t/d・炉	132.5 t/d・炉		
処理対象物	<ul><li>・一般廃棄物</li><li>・リサイクル残さ</li><li>・汚泥</li></ul>	<ul><li>・一般廃棄物</li><li>・リサイクル残さ</li></ul>		

表2 評価材の化学組成 (mass%)\*\*

	SUS 310S	STBA 12
C	0.07 %	0.13 %
Si	0.50 %	0.20 %
Mn	1.58 %	0.48 %
P	0.02 %	0.01 %
S	0.00 %	0.00 %
Ni	19.39 %	_
Cr	24.64 %	_
Mo	_	0.53 %
Fe	balance	balance

※評価材のミルシート値



置状況を写真1,2に示す。管状のプローブ材をボイラ側壁に設けられたマンホールに取付け、廃熱ボイラ内に挿入した。なおプローブ材の先端が廃熱ボイラのほぼ中央部に到達するように長さを調節した。また各プローブ材の管表面温度を計測できるように熱電対を取付けた。

プローブ材の内部に予熱空気を流通させ、その送 風量の調整により管表面温度が480 ℃になるように 制御した。また排ガス温度を測定するために、排ガ ス温度測定用の熱電対を取付けた。

表3に曝露期間と曝露日数を示す。約3カ月毎に プローブ材を取出し、先端から一定の長さを切断し た。切断採取したプローブ材の肉厚測定、顕微鏡に よる断面組織観察ならびに EPMA 分析等による解 析評価を実施した。また腐食環境および腐食状況を 確認するため、プローブ材に固着した灰を採取して 組成分析を行うとともに、試験中にプローブ材を挿 入しているマンホール部から排ガスを採取し、組成



写真1 試験装置外観写真

分析を行った。

### 2. 試験結果

### 1)温度環境

表 4 に温度環境測定結果を示す。各プローブ材の管表面温度の平均値は目標値である480  $\mathbb{C}$  に対して、460  $\mathbb{C}$   $\sim$  480  $\mathbb{C}$  であった。またプローブ材を設置した部位の排ガス温度は $520\sim540$   $\mathbb{C}$  程度であった。

#### 2) 外観観察

廃熱ボイラから取出したプローブ材の断面模式図を図3に示す。プローブ材の上部には堆積した灰(以下,堆積灰と記す)があり,手で容易に払い落とせる粘着性のほとんどない灰であった。堆積灰の下にはプローブ材に固着した灰(以下,固着灰と記す)が観察され,また固着灰の下層には黒色系スケールの存在が確認された。

#### 3)減肉量測定

曝露開始から約3カ月毎にプローブ材の先端を切断して肉厚を測定し、減肉量を測定した。切断した



写真2 試験装置設置状況写真

表3 曝露期間と曝露日数

		施設 A		施設 B			
曝露期間	2013年10月~ 2014年1月	2014年2月~5月	2014年6月~9月	2013年11月~ 2014年2月	2014年3月~ 5月	2014年6月~	
曝露日数	87日間 95日間 80日間		80日間	99日間 73日間 98日間			
合計日数	262日間			270日間			

表 4 温度環境測定結果

			施設 A			施設 B	
		1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
プローブ材	SUS 310S	459	471	471	475	482	479
表面平均温度(℃)	STBA 12	468	475	_	468	478	_
排ガス平均温度(℃)		520	540	543	522	531	531

プローブ材の外観性状を**写真3**に示す。表面が乳白色に見えるのはプローブ表面に付着している固着灰である。

肉厚は各プローブ材に対して周方向45°毎に8カ所測定した。新品のプローブ材の肉厚平均値から曝露後の肉厚を引いた値を減肉量とした。各プローブ材の減肉量と延べ曝露期間の関係を図4に示す。なお図4は、周方向8カ所の減肉量の平均値をプロットで示し、それら8カ所の減肉量のばらつきをエラーバーで示している。延べ9カ月、270日間の曝露

期間では、減肉はほとんどないと見てよい結果であり、また現時点では SUS 310S と STBA 12の間に減肉量の有意差は認められない。

### 4) 耐食性

耐食性を確認するために以下の分析を行った。

### (1) 排ガスの組成分析

耐食性を確認するために以下の分析を行った。プローブ材の曝露環境を調査するため、ボイラ内のプローブ材設置部位近傍の排ガス組成分析を実施した。排ガス組成分析の結果を表5に示す。なお、ダ

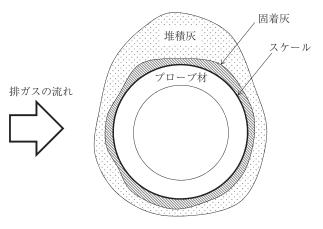
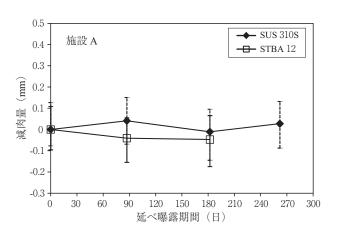


図3 プローブ材の断面模式図



写真3 切断採取したプローブ材の外観性状



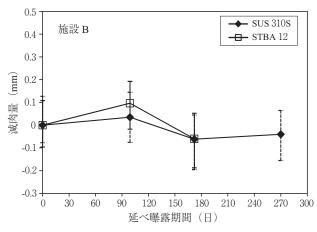
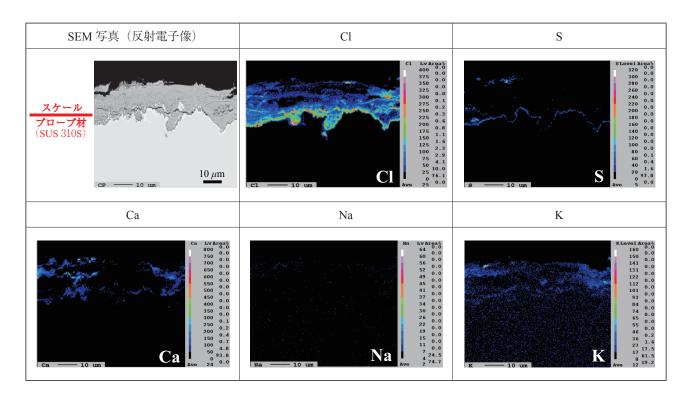


図4 減肉量と延べ曝露期間の関係

表5 排ガス組成分	` 析結果
-----------	-------

7/ / · · / III/90/7 / / / III/90/7								
		施設 A		施言	文献値 <sup>2)</sup>			
		2014/8	2014/10	2014/7	2014/11	人		
HCl 濃度	ppm	329	384	250	346	567~1 400 ppm		
SOx 濃度	ppm	<1	4.1	<1	6.6	2∼65 ppm		
H <sub>2</sub> O 濃度	%	18.9	17.0	24.4	21.5	16~23 %		
$O_2$ 濃度	%	8.6	8.8	7.4	8.1	7~11 %		
CO <sub>2</sub> 濃度	%	8.6	10.3	12.2	11.5	10~13 %		
$N_2$ 濃度	%	81.0	81.0	80.5	80.4	_		
ダスト濃度	g/m <sup>3</sup>	2.45	_	3.25	_	_		

注) 全て酸素濃度換算をしていない値



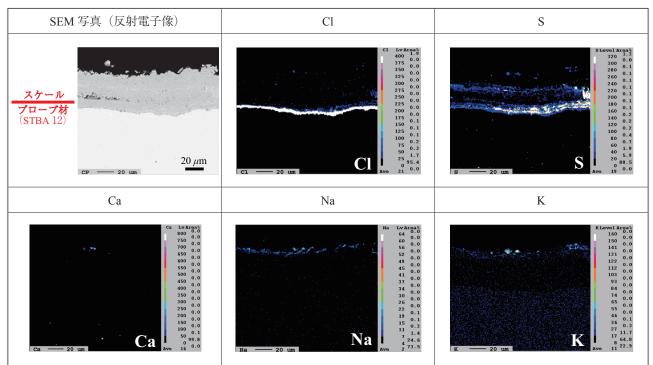


図5 断面 EPMA 分析結果の一例(上: SUS 310S, 下: STBA 12)

スト濃度はバグフィルタ入口での測定値である。

両施設とも HCI 濃度は400 ppm 以下, SOx 濃度は 10 ppm 以下と比較的低濃度であった。また, 参考として同表中に他方式の焼却炉の排ガス組成の文献値<sup>2)</sup>を示した。施設 A および B の HCI 濃度, SOx 濃度の値は文献値よりも低く, ガスによる腐食の影

響は比較的緩やかであったと考えられる。

### (2) 灰の性状分析

灰の性状や特性は材料の腐食に影響を及ぼすと考えられる。特にプローブ材表面に固着していた固着 灰が腐食に大きな影響を与えると考えられるため、 切断したプローブ材から固着灰を採取して組成分析

表6 固着灰 <i>の</i> 組成分析,示差熱分析結果						
		施調	艾 A	施言	л Х В	
		固刻	<b></b>	固剂	<b></b>	<b>ナ</b> 本は (本 2 )
		1回目	2回目	1回目	2回目	文献値 <sup>2)</sup>
分析項	頁目	2014年1月	2014年5月	2014年2月	2014年5月	
Si	wt.%	3.5	1.9	4.9	2.6	_
Ca	wt.%	8.0	5.7	12.9	7.7	_
Mg	wt.%	0.7	0.4	1.0	0.6	_
Al	wt.%	1.8	1.1	2.9	1.6	_
Zn	wt.%	1.5	2.2	1.7	2.1	_
T-Fe	wt.%	5.9	1.2	2.4	2.1	_
Na	wt.%	7.0	7.3	6.7	7.2	_
K	wt.%	7.3	8.7	6.7	6.8	_
Pb	wt.%	3.0	5.8	3.0	6.7	_
Sn	wt.%	0.1	0.1	0.1	0.1	_
S	wt.%	12.4	16.6	10.4	15.0	_
Cl	wt.%	2.3	0.3	3.5	0.4	_
吸熱ピーク温度	′ °C	1000℃以上	1000℃以上	1000℃以上	783	425 539

表6 固着灰の組成分析 示差熱分析結果

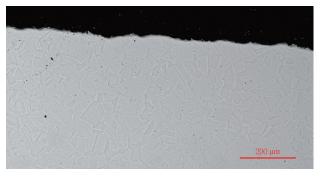
を実施した。固着灰の組成分析結果を表6に示す。同表中に示差熱分析により測定した吸熱ピーク温度も示しており,その結果は1000℃以上あるいは780℃程度であった。吸熱ピーク温度は固着灰の一部が溶融する温度と考えられるが,今回得られた吸熱ピーク温度はプローブ材の管表面温度よりも十分高いため,灰の溶融はほとんど起こらないと考えられる。また,参考値として同表中に他方式の焼却炉での文献値³)を示した。施設 A,Bの吸熱ピーク温度は文献に記載されている値より低いことから,施設A,Bの固着灰は比較的溶融しにくいものであったと考えられる。したがって,高温腐食の主要因である溶融塩による腐食性は相当低い環境であったと推測される。

#### (3) 断面 EPMA 分析

腐食状況をより詳細に確認するため、プローブ材 /スケール界面の断面 EPMA 分析を行った。分析 位置はプローブ材の排ガス流れの上流側とした。

図5は断面 EPMA 分析結果の一例であり、B施設における曝露期間99日目の結果である。SUS 310S において CI がプローブ材/スケール界面に濃化しているものの、アルカリ金属類である Na や Kの存在は明瞭ではない。また STBA 12においても、CI、S がプローブ材/スケール界面に濃化しているものの、SUS 310S と同様にアルカリ金属類の存在は明確ではない。

これらの観察結果から,今回の実機試験条件においては,灰由来のアルカリ金属類は母材界面まで侵入しておらず,溶融塩腐食による影響は軽微であっ



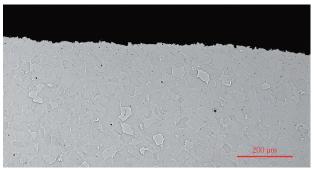


写真 4 断面観察結果の一例 (上: SUS 310S, 下: STBA 12)

たと考えられる。またアルカリ成分の存在が明瞭でないことから、プローブ材/スケール界面に存在している Cl, S は燃焼排ガス由来の成分が濃化したものと考えられる。

### (4) 断面組織観察

燃焼排ガス中の酸性ガスがプローブ材/スケール 界面に濃化していることから、粒界腐食のような局 所的な腐食の存在が懸念される。そこで局所的な腐 食が存在するか否かを確認するため、光学顕微鏡に よりプローブ材の断面を全周確認した。**写真4**に A 施設の曝露期間270日目の SUS 310S と曝露期間172 日目の STBA 12の断面観察結果を示す。写真は全周 のうちの一部であり、全周にわたりほぼ同様であっ た。SUS 310S と STBA 12ともに母材表面に凹凸が なく、結晶粒の脱粒、粒界腐食が確認されなかった ことから、局所的な腐食は問題ないと考えてよい。 (5) まとめ

以上の結果から、当該試験環境は腐食性が相当緩やかなものであったため、プローブ材はほとんど減肉しなかったと考えられる。

ただし、プローブ材/スケール界面には、燃焼排ガス由来と考えられる CI や S の侵入が確認されており、今後も継続してこれらの影響についても評価していく必要があると考えている。

### むすび

従来の400 ℃よりも高温の過熱蒸気条件における SH 材料の耐食性試験を実機操業の廃熱ボイラで行った。延べ9カ月間の曝露試験においては有意な腐 食減肉は認められなかった。

プローブ材の断面 EPMA 分析の結果から、溶融 塩腐食による影響はほとんど問題ないと考えられ た。また、断面観察の結果からガス腐食による影響についてもほとんど問題ないと考えられた。

今回の試験において得られた排ガスと固着灰の分析結果や減肉がほとんど認められていないことから,流動床式ガス化溶融炉の腐食環境は比較的緩やかであり,蒸気のさらなる高温高圧化が可能であることが示唆された。

今後も試験を継続して SH 材料の評価を行うことで、流動床式ガス化溶融炉では400 ℃以上の蒸気温度でも汎用的な材料の使用が可能であることを検証していく。

#### 謝辞

本試験の実施において,首都大学東京大学院の吉 葉正行教授のご指導をいただいた。ここに感謝申し 上げます。

#### 「参考文献]

- 1) 吉葉正行:バイオマス・廃棄物発電によるエネルギ 利用の最前線と課題―地産地消と地域活性―, 吉葉正 行完周, S&T出版 146-165 (2013)
- 2) 湯川憲一: Zairyo-to-Kankyo, 46, 3-7 (1997)
- 3) 下村育生: 第25回廃棄物資源循環学会研究発表会, 339-340 (2014)

<sup>\*</sup>プロセス技術開発部

# 放射能汚染焼却主灰の除染・減容化プロセスの開発

Development of Decontamination and Volume Reduction Process for Radiation Contaminated Incineration Bottom Ash



藤原 大\* Hiroshi Fujiwara



竹田尚弘\* Naohiro Takeda



小倉正裕\* Masahiro Ogura



井出昇明\* Shoaki Ide

福島第一原子力発電所の事故に由来する放射性物質を含む焼却灰のうち主灰は飛灰に比べて放射性セシウム (Cs) が溶出しにくいことなどから、その除去方法について十分に検討がなされていない。本研究では放射能汚染土壌浄化技術である加熱化学処理法を用い、焼却主灰中の放射性 Cs 除去方法について検討した。その結果、最大で90%の放射性 Cs を除去可能であること、そして浄化主灰中の放射性 Cs の溶出が抑制できることを明らかにするとともに放射能汚染主灰の除染・減容化基本処理プロセスを確立した。

A lot of incineration ash contaminated with radioactive cesium (radio-Cs) was generated by the accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. The technology that makes it remove radio-Cs from bottom ash is not fully studied because of the low elusion rate of bottom ash compared to fly ash. In this study, the decontamination process for radio-Cs contaminated soil by thermal-chemical treatment method was applied to the treatment of the radio-Cs contaminated bottom ash. As the result, it was shown that up to 90% of radio-Cs was able to be removed from the bottom ash and simultaneously leaching rate from decontaminated bottom ash was suppressed. Also a new fundamental treatment process for decontamination and volume reduction of contaminated bottom ash was successfully established.

### Key Words:

放射	性セ	シゥ	4	Radioactive cesium
焼	却	主	灰	Incineration bottom ash
熱	処		理	Thermal treatment
減	容		化	Volume reduction
溶	出	抑	制	Elution suppression

#### 【セールスポイント】

- ・既存技術と比べて比較的低温での処理であるため、放射能除去後の処理済み主灰は溶融せず、 コンクリート骨材やエコセメントとして資源再利用の可能性がある。
- ・汚染主灰から放射性セシウムを効率的に除去し、濃縮することにより、汚染物の大幅な減容化が可能であり、仮置き場や中間貯蔵施設への搬入量を減らすことが可能である。
- ・処理済み主灰からの放射性セシウムの溶出が抑制されることから既存の最終処分場においても 最終処分が可能である。

### まえがき

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所での事 故により、大量の放射性セシウム(以下、Cs)が 大気中に放出され広範囲に飛散し、周辺地域に沈着 した。その結果、毎日大量に排出される都市ごみも 放射性 Cs に汚染されたまま各焼却施設に搬入され、 既存の焼却施設での焼却処理により大量の放射性 Csを含む焼却灰が発生する深刻な事態をもたらし た。そのうち8 000 Bq/kg を超えるものについては 指定廃棄物として国の責任で処分することになって いるが、福島県内外において処分場の立地は遅々と して進まず、焼却施設等に保管されている。また、 国の指定廃棄物の対象外である8 000 Bq/kg 以下の 焼却灰は、本来は各自治体により埋立処分すること が国の指針として示されているが、地元の理解が得 られず処理されないまま焼却施設内等に保管されて いるケースも多く、このような状況下において地元 自治体からは早急な対策が望まれている。

一方,除染作業により発生する放射能に汚染された草,落葉,剪定枝等の可燃性除染廃棄物の仮設焼却による減容化計画が進められているが,100000 Bq/kg以下の焼却灰は福島県内の民間の管理型処分場で処分することになっており,100000 Bq/kgを超えるものは中間貯蔵施設に貯蔵される。また,中間貯蔵施設内に直接搬入された可燃性の除染廃棄物についても,中間貯蔵施設内の仮設焼却炉で減容化されることになるが,発生した焼却灰は県外最終処分場が確保されるまで貯蔵しなければならない。

このように、減容化後の焼却灰は放射能濃度に幅はあるものの、処分先が確保されなければ保管又は 貯蔵を続けなければならず、何らかの抜本的な対策 が必要である。

焼却灰のうち、焼却飛灰については放射性 Cs が極めて水に溶解性の高い塩化セシウムの形態で存在していると考えられることから<sup>1)</sup>、除染・減容化技術として当社技術<sup>2)</sup>を含め各種の飛灰洗浄技術が開発されている。しかし、溶出性が低い状態で放射性

Cs が存在している主灰に対しては、洗浄技術の適用は困難であり、他の原理に基づく技術的対応が必要であるが、都市ごみは投入物の種類および性状が雑多であるために燃え殻である主灰の生成由来や最終的な性状ならびに化学構造は複雑であり、放射能に汚染された主灰中に含まれる放射性 Cs の存在形態については未だ不明な部分も多い。そのため主灰中の放射性 Cs 除去方法の検討は十分になされていない状況にある。

当社では、POPs(残留性有機汚染物質)を対象とした還元加熱による浄化技術<sup>3)</sup>を有しており、本技術を基に放射能汚染土壌からの放射性 Cs 除去技術を開発した<sup>4)</sup>。放射能汚染土壌に添加剤を混合後、所定条件下で加熱することで最大で98 %の放射性 Cs を除去できることを現地実証試験により確認し、放射能除去プロセスを確立した。

本研究では放射能汚染土壌からの放射性 Cs 除去技術を放射能汚染主灰に適用し、同主灰中の放射性 Cs 除去方法について検討した。

### 1. 加熱化学処理技術の概要

図1に主灰における加熱化学処理プロセスの概念フローを示す。本プロセスは(1)分級工程,(2)粉砕工程,(3)添加剤混合工程,(4)加熱処理工程,そして(5)粉じん処理工程の5つの工程から成る。

以下に各工程について示す。

#### (1) 分級工程

分級により異物(缶・鉄くず等)を取除くとともに、粒径の違いによる加熱処理時の放射性 Cs の揮発特性の違いを考慮して、粉砕工程における処理量を低減するために粒径により分別する。(次工程(2))

### (2) 粉砕工程

分別した主灰の粗粒分を粉砕機で粉砕する。

### (3) 添加剤混合工程

分級および粉砕後の主灰に,放射性 Cs を脱着させる脱着促進剤(添加剤 A)と脱着した放射性 Cs を揮発させる揮発補助剤(添加剤 B)の2種類の添加剤を混合する。

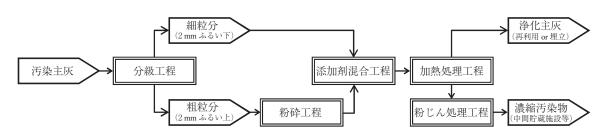


図1 汚染主灰処理プロセスの概念フロー

#### (4) 加熱処理工程

添加剤を混合した主灰を加熱し、放射性 Cs を揮発除去する。本工程では脱着促進剤の化学的作用により放射性 Cs を取込んでいる主灰構造を破壊して放射性 Cs が脱離・揮発しやすい状態へ変化させる。また同時に、揮発補助剤により放射性 Cs の揮発性を上げることで試料全体を溶融温度まで昇温することなく放射性 Cs を揮発させる。

### (5) 粉じん処理工程

排ガスとともに揮発した放射性 Cs は粒子状として存在するためバグフィルタ等により粉じんとして回収され、その後飛灰洗浄技術等により、さらなる減容化も可能である。

本処理技術の特徴は以下のとおりである。

- ① 分級工程で放射性 Cs 濃度が揮発しやすい細粒 分を分別することで、エネルギー消費の大きい粉砕 工程での主灰処理量を低減することが可能である。
- ② 加熱処理後の主灰は、比較的低温域での加熱処理であるため溶融せず、コンクリート骨材やエコセメントとして資源再利用の可能性がある。
- ③ 放射性 Cs は粉じん中に濃縮されることにより、 元の汚染主灰量と比較して大幅な減容化が可能と なり、仮置き場や中間貯蔵施設への搬入量および 最終処分量を減らすことが可能である。

本処理プロセスを構築するにあたり, ベンチスケール試験装置を用いて実証試験を行った。また, 主灰中の放射性 Cs の存在形態の調査結果をもとに放射性 Cs 除去能の向上方法について検討し, 主灰処理プロセスを確立した。

### 2. 実証試験

実証試験では、福島県内の一般廃棄物焼却施設 (ストーカ炉)から発生した焼却主灰を対象に、2施設から提供を受けたサンプルを用いた(主灰①,②)。 以下に各プロセスの試験方法および結果を示す。

### 2.1 分級試験

### 2.1.1 試験方法

電磁式ふるい振とう機を用いて主灰を分級し, 粒 径分布および粒径毎の放射能濃度を測定した。

#### 2.1.2 試験結果

図2に主灰の粒径分布および粒径毎の放射能濃度を示す。いずれの主灰でも粒径が小さいほど放射能濃度が高くなった。この傾向は土壌と同様の傾向であった。土壌の場合,放射性 Cs は粘土鉱物の構造中に取込まれているとされており<sup>5)</sup>,分級洗浄のみで放射能濃度の低い粗粒分の分別が可能であったのに対し、主灰では土壌に比べて粒径の違いによる濃

度差は小さく、主灰①の例では分級前 $2\,900\,Bq/kg$ に対し、細粒分( $2\,mm$  ふるい下)が $3\,700\,Bq/kg$  そして粗粒分( $2\,mm$  ふるい上)が $1\,800\,Bq/kg$  となり、分級工程だけでは放射性 Cs の分離は困難であることを確認した。

本結果より,主灰については細粒分だけでなく粗粒分も含めて全量を加熱化学処理する必要があることが判明した。そこで放射能濃度が比較的高い細粒分と,同濃度が低い粗粒分に分けて加熱化学試験を実施した。

### 2.2 加熱化学処理試験

#### 2.2.1 試験方法

試験装置は写真1に示すような回転式電気炉を使用し、バッチ方式により加熱化学処理試験を実施した。所定の割合で主灰と放射性 Cs 除去剤(添加剤A およびB)を混合し、混合主灰を炉心管に装入した後、キャリアガスとして空気を流しながら所定温度まで昇温させ、所定時間加熱反応後、室温まで冷却して処理灰を回収した。排ガスはフィルタ(円筒ろ紙)およびガス吸収水を通過させ放射性 Cs を捕集し、上記フィルタより粉じんを回収した。

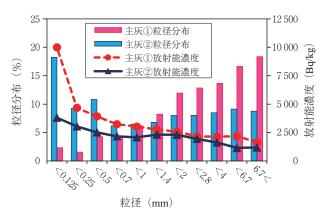


図2 主灰の粒径分布および粒径毎の放射能濃度



写真1 回転式電気炉の外観

加熱化学処理における基礎処理条件を検討するために、比較的放射能濃度が高い細粒分の主灰を用いて加熱温度、加熱時間および主灰に加える添加剤量を変化させて試験を行った。また、放射能除去率への粒径の影響について比較調査するため、粗粒分の試験を行った。

#### 2.2.2 試験結果

表1に加熱化学処理試験における試験条件および 試験結果を、図3~6にそれぞれ加熱温度、加熱時 間、添加剤量、原主灰粒径を変化させたときの放射 能除去率を示す。放射能除去率は以下の式により算 出した。なお、放射能濃度はゲルマニウム半導体検 出器(ORTEC 製/ GEM-30および GMX-40)を用 いて測定した Cs-134と Cs-137の合計値とした。

#### 放射能除去率(%)

 $=100\times \left[1-\frac{[浄化主灰]放射能濃度(Bq/kg)\times主灰量(kg)}{[汚染主灰]放射能濃度(Bq/kg)×主灰量(kg)}\right]$ 

加熱温度が高い条件ほど放射能除去率は高くなる傾向を示した(図3)。加熱時間が放射能除去率に及ぼす影響は比較的小さく,処理時間60分でも処理時間は十分であると判断できた(図4)。図5より,主灰:添加剤 A:添加剤 B=70:30:5の混合比率において放射性 Cs の8割以上を除去できることを確認した。また,上記添加剤割合で,加熱温度1

100 ℃, 加熱時間60分の条件下で放射能除去率は90 %を達成した。

原主灰粒径の影響を比較調査した場合,同じ加熱処理条件で,粗粒分は細粒分に比べて放射能除去率が低くなり,放射能除去率は50%未満に留まった(図6)。粗粒分では粒径が大きく細粒分に比べて放射性 Cs 除去剤との接触効率が悪い可能性が考えられたが,粗粒分を細粒分と同じ粒径(2 mm ふるい下)になるように破砕した後に同条件で加熱化学処理を施した場合でも,粗粒分の放射能除去率は向上しなかった。本結果より,原主灰粒径の違いによる放射能除去率の違いは,単に表面積の違いによる添加剤との接触効率が原因ではなく,主灰への放射性 Cs の取込まれ方が異なることに起因すると推定された。粗粒分の放射能除去率の向上については後述する。

#### 2.3 安全性の評価

### 2.3.1 処理物の溶出性

処理物の放射性 Cs 溶出性を評価するために逐次抽出試験を行った。試験方法は既往研究<sup>6)</sup>を踏襲し、予め125 μm 以下に粉砕した試料に対して抽出能力の異なる溶媒で試料を逐次的に抽出した。逐次抽出試験による各画分の放射性 Cs 存在割合を図7に示す。文献より処理前の主灰は残留物態の割合が多く80 %程度であることが知られているが、今回細粒分と粗粒分に分けて逐次抽出試験を行うことで、易

21 加然化子だ柱的歌におりるぬ歌木目のより的歌相木								
原主灰粒径	添	加剤混合比	率	加熱	条件	放射能濃原	隻(Bq/kg)	放射能除去率
(主灰①)	主 灰	添加剤 A	添加剤 B	温度(℃)	時間 (min)	加熱前	加熱後	(%)
	70	30	5	1 000	60	3 600	600	82
	70	30	5	1 000	60	3 700	600	82
	70	30	5	1 000	60	4 000	640	84
	70	30	5	1 000	60	4 000	660	89
	70	30	5	1 000	60	5 300	980	81
	70	30	5	900	60	3 700	1 400	57
2mm ふるい下	70	30	5	1 100	60	3 700	420	90
(有姿)	90	10	3	1 100	60	3 700	850	79
	70	30	5	1 000	90	3 700	560	83
	70	30	5	1 000	30	3 700	660	80
	70	30	10	1 000	60	3 700	600	82
	50	50	10	1 000	60	3 700	600	77
	50	50	10	1 000	60	3 700	640	75
	100	0	0	1 000	60	4 000	1 900	56
2 mm ふるい上 (有姿)	70	30	5	1 000	60	1 800	800	49
2mm ふるい上	70	30	5	1 000	60	2 000	1 000	40
(<2mm に破砕)	70	30	5	1 100	60	2 400	730	68

表1 加熱化学処理試験における試験条件および試験結果

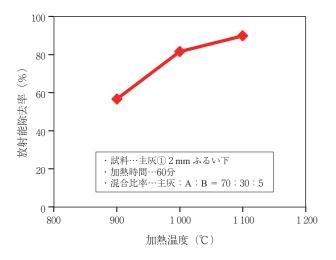


図3 加熱温度と放射能除去率の関係

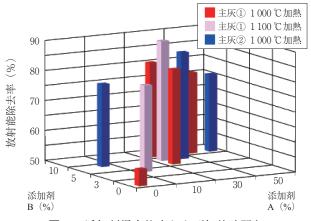


図5 添加剤混合比率および加熱時間と 放射能除去率の関係

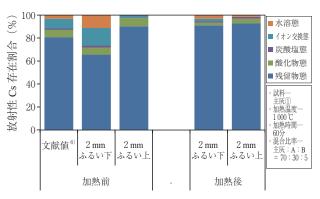


図7 逐次抽出試験による各画分での放射性 Cs 存在割合

溶性の放射性 Cs は細粒分中に多く含まれ、粗粒分では比較的溶出しにくい形態で放射性 Cs が存在していることが明らかになった。また、加熱化学処理後の浄化主灰中の残留物態割合は92 %程度と増加し、浄化主灰の放射性 Cs の溶出率が低下した。以上のことから、本技術は汚染主灰から放射性 Cs を除去するのみならず、浄化主灰中に残存した放射性

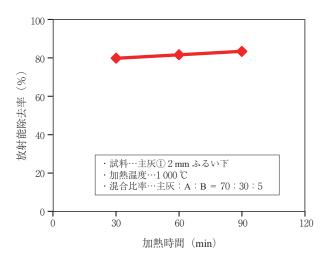


図4 加熱時間と放射能除去率の関係

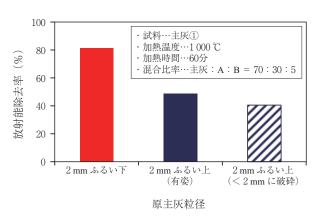


図6 原主灰粒径と放射能除去率の関係

表2 排ガス中放射能濃度

測定項	f 17	放射能濃度 (Bq/m³)				
侧足均	₹ 🖽	測定値	検出下限	規制値		
粒子状 (ろ紙部)	122 4 1 1 2 2 2 2 2 2		2 2			
ガス状 (ドレン部)	Cs-134 Cs-137	< 1 < 1	1 1	20 30		

Csの溶出抑制にも効果があることが確認された。

### 2.3.2 排ガス中の放射能濃度

排ガスについては、放射能濃度測定方法ガイドライン(環境省) $^{7}$ )にしたがって、円筒ろ紙に捕捉された粒子状放射性物質および水に吸収されたガス状放射性物質の放射能濃度を分析した。この結果、ガス状物質の放射能濃度は検出下限値(<1 Bq/m $^{3}$ )未満であり、放射性 Cs は粒子状物質として存在しフィルタにより捕捉されていることが確認された。分析結果の一例を表2に示す。

### 2.4 粉砕工程の検討

2.2.2項で記載したように粗粒分は細粒分に比べて放射能除去率が低かったことから,放射能除去率の向上について検討を行った。主灰中の放射性 Cs は,ほとんどが非晶質成分中に偏在する可能性が報告されている $^{8)}$ 。そこで,主灰中の非晶質成分を物理的に破壊して放射性 Cs を露出させ,揮発しやすくするために,主灰の粉砕プロセスについてラボ試験により検討を行った。

#### 2.4.1 試験方法

主灰の粉砕には転動式ボールミルを用いた。ボールミルポットおよびメディアにはアルミナ製のものを用い、所定時間毎に粉砕物を取出した。得られた粉砕物についてレーザー回折散乱法(Malvern 製/LMS-2000e/S)により粒径分布を測定するとともに、ベンチスケール加熱化学処理試験と同様のプロセスによりラボスケールで加熱試験を行った。加熱試験装置は卓上型管状炉を使用した。粉砕した主灰と放射性 Cs 除去剤を主灰:添加剤 A:添加剤 B = 70:30:5の割合で混合したものをアルミナボート(W16×L80×H12 mm)に充填し、1000 ℃に予め加熱保持した炉内に装入し、60分後に取り出した。炉内はキャリアガスとして空気を 1 L/min で導入し雰囲気を調整した。

### 2.4.2 ラボ 試験結果

図8に粉砕後の主灰粒径 (D50値) と粉砕物の加熱処理による放射能除去率の関係を示す。細粒分では粉砕による放射能除去率の向上が認められなかった。一方、粗粒分では主灰粒径が小さいほど放射能除去率は向上し、10 μm 未満まで粉砕すると放射能除去率は80 %を超え、未粉砕の細粒分と同等の放射能除去率が得られた。焼却主灰では非晶質中に放射性 Cs が多く含まれると仮定すれば、上記結果は粒子径の微細化により非晶質中に含まれる放射性

Cs が露出し、原主灰中の放射性 Cs と添加剤の物理的な接触面積が増大したことにより Cs 除去率が向上したと考えられる。また、一般に粉砕により新しい粒子表面が生じる際に、粉砕に要したエネルギの一部が新しく生じた粒子表面に残存し反応活性が高まるメカノケミカル効果 $^{91}$ があり、 $10~\mu m$  未満まで粉砕することで同効果により反応が促進された可能性も考えられる。

#### 2.5 基本処理プロセスの確立

上記試験結果から、主灰中に含まれる放射性 Cs 除去プロセスの最適処理条件について、ベンチスケール加熱試験装置を用いて同試験を行った。

表3に試験条件および試験結果を示す。細粒分と 粗粒分は分級前の存在比率で混合し、加熱温度は試 料溶融の起こらない1 100 ℃とした。添加剤混合比 率は、薬剤量を抑制しつつ放射性 Cs の揮発効率を 高めるため、主灰:添加剤 A:添加剤 B = 70:30: 10とした。放射能除去率は80 %以上を達成し、上 気条件により主灰中に含まれる放射性 Cs を安定し て除去できることを明らかにした。

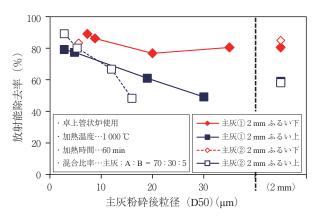


図8 主灰粉砕後粒径 (D50) と放射能除去率の関係

表3	計版タルナ	> }-	び試験結果
なべ	試験発性を	ت ک	( ) 試為東流 未

原主灰粒径(主灰②)	添加剤混合比率		加熱条件		放射能濃度 (Bq/kg)		放射能除去率	
原主灰包住(主灰包)	主 灰	添加剤 A	添加剤 B	温度(℃)	時間 (min)	加熱前	加熱後	(%)
2 mm ふるい下(有姿) + 2 mm ふるい上 (粉砕後 D50 = 5.5 μm)	70	30	10	1100	60	4 600	450	89
2 mm ふるい下 (有姿) + 2 mm ふるい上 (粉砕後 D50 = 6.7 µm)	70	30	10	1100	60	4 600	480	83

### むすび

放射能汚染主灰に含まれる放射性 Cs 除去技術の 開発を目的に、加熱化学処理技術による焼却主灰中 の放射性 Cs 除去法について検討した。

ベンチスケール試験装置にて放射能汚染土壌と同様の処理プロセスにより、主灰細粒分(2 mm ふるい下)から放射性 Cs を除去し、浄化主灰の放射性 Cs 溶出抑制効果も確認された。また、粗粒分(2 mm ふるい上)を粉砕することにより放射能除去率は向上し、最大で90 %の放射性 Cs を除去可能である放射能汚染主灰の処理プロセスを確立した。

本プロセスにより一時保管されている8 000 Bq/kg 以下の主灰や、今後中間貯蔵施設内で発生が予想される高濃度の放射能汚染主灰の適正な処分が進むことを期待する。

#### 謝辞

本研究は、独立行政法人国立環境研究所との共同 研究により実施した。ここに関係者各位に謝意を表 します。

### [参考文献]

1) 国立環境研究所:放射性物質の挙動からみた適正な 廃棄物処理処分(技術資料第四版)(2014),

- 谷田克義,熊野晋,上田豊,坂井義広: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
- 3) 石井豊, 小倉正裕, 川井隆夫: POPs 汚染物処理技術 としての「RH-SP 法」, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.3, No.1 (2006), pp.29-33
- 4) 竹田尚弘, 村上吉明, 石井豊, 井出昇明: 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
- 5) Mukai Hiroki, Hatta Tamao, Kitazawa Hideaki, Yamada Hirohisa, Yaita Tsuyoshi, Kogure Toshihiro: Speciation of radioactive soil particles in the Fukushima contaminated area by IP autoradiography and microanalyses, *Environ. Sci. Technol.*, 48 (22) (2014), pp.13053-13059
- 6) 肴倉宏史, 石森洋行: 廃棄物等からの放射性セシウムの溶出特性と溶出試験, 廃棄物資源循環学会誌, Vol.24, No.4 (2013), pp.274-280
- 7) 環境省, 廃棄物関係ガイドライン 平成25年3月 第2版, 第五部 放射能濃度等測定方法ガイドライン (2013)
- 8) Amirhomayoun Saffarzadeh, Takayuki Shimaoka, Yoshitada Kakuta, Takashi Kawano: Cesium distribution and phases in proxy experiments on the incineration of radioactively contaminated waste from the Fukushima area, *J. Environ. Rad.*, 136 (2014), pp.76-84
- 9) 久保輝一郎: メカノケミストリー概論, 東京化学同人(1971)

<sup>\*</sup>プロセス技術開発部 新規プロセス室

# 株式会社だい久製麺向 水リサイクル装置(Reclam®)の現地試験結果

Results of Test for Wastewater Recycling Unit in Daikyu Noodle-making Co., LTD.



細谷仁人\*
Masato Hosoya
技術士(上下水道部門)

当社はだい久製麺より、水リサイクル装置(当社商品名:Reclam®)を受注し、2015年4月から供用開始予定である。この設備は同社にて製造されている各種麺類の茹で工程排水を主な処理対象とし、ボイラ補給水などの用水に再利用する。受注に先駆けて現地試験をおよそ2カ月実施し、この間の処理性能としては脱塩率目標90%に対し、実績97%、電気伝導度目標10mS/mに対し、実績3mS/mと非常に良質な処理水が得られた。また、遠隔監視装置(当社商品名:WaterEye®)によって収集された運転データから設備の健全性を評価・確認し、円滑な試験運転を達成した。

Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd. will supply the Wastewater recycling unit for Daikyu Noodle-making Co., Ltd. in April 2015. Raw water of this unit is drainage from Noodles boiling process and treated water is used as makeup water for a boiler, and so on. We carried out two months field test prior to order. As a result, rejection rate of the salt was more than 97%, and electric conductivity of permeate showed 3mS/m in average. We could evaluate operation data for the test unit, because we took the operating data by WaterEye® which is remote monitoring system for water treatment plants.

### Key Words:

水リサイクル装置 Wastewater recycling unit 食品工場排水 Food factory effluent 精密 ろ 過 Micro filtration 逆 浸 透 Reverse osmosis

### 【セールスポイント】

当社とユーザが共にリサイクル水の利用先を検討し、水リサイクル装置(Reclam®)を導入することで、今まで電気・電子業界で主に行われていた水リサイクルを食品分野にも展開できる。また、遠隔監視装置(WaterEye®)によって収集されたデータをもとに装置の運転健全性の評価を行え、加えてトラブル発生時も迅速な対応ができる。

### まえがき

近年、多くの企業が「企業の社会的責任(Corporate Social Responsibility)」の中で「地球環境の保護」をキーワードの一つに掲げており、その中には水資源の有効活用と環境負荷削減(低コストによるリサイクルシステム)に関する内容も含まれることが多い。

また、地理的に水資源(用排水費)が高コストの場合、工場での製造コストに占める用排水費の比率が高くなる。そのために場内で水を再利用するというニーズも潜在している。これらの背景から、当社ではこの潜在ニーズに着目し、水リサイクル設備の拡販に努めている。1)

当社はこれまで液晶工場排水,鉄鋼排水,下水処理水などを対象に数千~数万 m³/d 程度の比較的大規模な水リサイクル設備の導入を行ってきた。<sup>2)3)</sup>

しかし、用排水費が高コストになっている対象工場は、都市部に立地している工場が多く、水リサイクルを行う対象水量は数十~数百 m³/d 程度の中小規模である。当社はこのニーズに対応するべく、ユニット化された水リサイクル装置「Reclam®」を上市した。

水リサイクルの導入に当たっては、処理後のリサイクル水をどのように活用するのかがポイントであり、本案件においては、リサイクル水の利用先をユーザと一緒になって検討し、現地試験にて処理水の水質確認を行うことで、実装置の導入に至った。

本稿では、2014年に実施した株式会社だい久製麺

向 Reclam® の導入における現地試験結果について紹介する。

### 1. 試験目的

Reclam®の導入には、現状の用排水費と水リサイクルのランニングコストとを比較し、如何に早く投資回収できるかがキーポイントであり、定期的なメンテナンスを含むランニングコストを抑えることが求められている。とくに、薬品洗浄と膜交換の費用はランニングコストの半分以上を占めており、これらの費用抑制が重要な課題である。

本試験では、膜の薬品洗浄の周期や性能回復性などの運転特性の確認と、リサイクル水の水質確認を 目的とした。

### 2. 実験装置の概要

### 2.1 排水の性状

食品工場から出される排水は,有機物濃度が高く,標準活性汚泥法などの生物処理後に沈殿処理を行って固液分離を行い,下水などに排出されるケースが多い。

製麺工場の排水も同様に、主に麺の茹で工程から排出される排水であり、食品から茹で湯に溶解した有機物が多く溶解している。また、麺つゆの製造が行われているため、醤油由来の塩類濃度も多く溶解しており、排水の電気伝導度は100~200 mS/m と高い。

本装置では、工場排水の生物処理+沈殿処理水 (下水放流水)を原水としている。

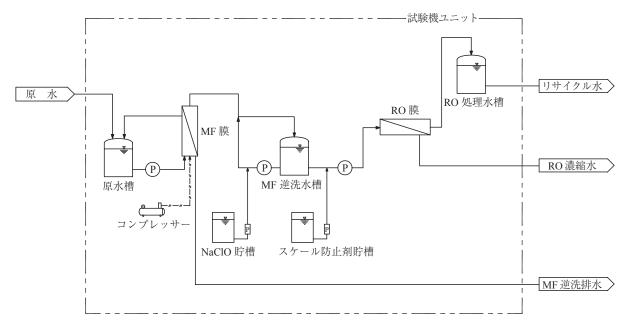


図1 水リサイクル装置 試験機 フローシート

#### 2.2 装置の構成と特徴

図1に本装置のブロックフローを、写真1に装置の全景を示す。対象原水は原水槽に受入られ、MF膜によって原水中の有機性懸濁成分を除去した後、RO膜によって塩化ナトリウムなどの脱塩を行う。

MF 膜はポリフッ化ビニリデン製の公称孔径0.2  $\mu$ m の中空糸膜であり、膜面積は30  $m^2$ / モジュールである。本装置は4本の膜モジュールから構成されている。

RO 膜は合成高分子(ポリアミド)系複合膜のスパイラル膜であり、膜面積は37 m²/モジュールである。本装置は3本の膜モジュールから構成されている。生物処理後の水を対象水としているものの、有機物が残留することも考慮し、バイオファウリグ防止の目的でスペーサの厚みが約0.9 mm の低ファウ



写真1 実験装置全景

リング膜を採用している。

図2に遠隔監視装置「WaterEye®」の基本概念図を示す。本装置はインターネットを利用した水処理設備専用の遠隔監視装置であり、現地制御盤内に設置したデータ保存、およびデータ転送用プログラムを組み込んだ小型コンピュータと WaterEye®サーバから構成される。現場小型コンピュータと WaterEye®サーバがインターネット経由で接続され、現地で蓄積した必要な運転データは本社サーバに転送される。

試験実施者は本社サーバ内のデータをインターネット経由で閲覧することで、現地装置の運転状況を確認することができる。WaterEye®はアナログ信号に加え、警報などの接点信号、機器の運転/停止などの状態信号も採取可能であり、現地の運転状況がほぼすべて把握できる。また、必要なデータ毎に図表化方法をカスタマイズすることが可能であり、運転評価のためのデータ整理が容易に行える特徴がある。1)

### 3. 試験結果

### 3.1 MF 膜の運転評価

MF 膜は、MF 処理水流量計の信号により原水ポンプのインバータ周波数を変えることで、MF 処理水量を一定値に制御する運転を行った。沈殿処理後の水を MF 膜へ供給しているため、濁度変動も考慮し、クロスフローろ過方式を採用している。

MF 膜の物理洗浄方式はエアスクラビング+逆圧

### \*遠隔監視サービス(ウォーターアイ)

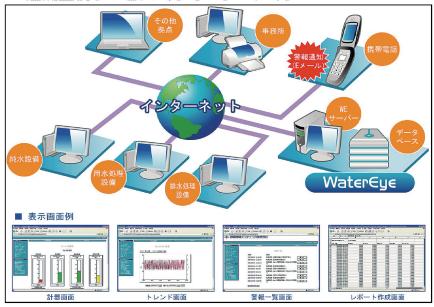


図2 WaterEye®基本概念図

水洗浄であり、約30分に1回の頻度で逆洗水中に次 亜塩素酸ナトリウムを0.5~5 mg/L 添加して洗浄を 実施している。図3に原水・MF 処理水量の推移、 図4に MF 膜の差圧の推移を示す。

RO 膜処理の前処理である MF 膜の運転状況は,本装置の前段の沈殿処理が良好に行われている期間,大きな差圧の上昇も見られず,膜差圧平均40kPa で安定した運転を行うことができた。

しかし、試験期間中に数回、差圧が上昇する傾向が見られた(図4中①~④のポイント)。①のポイントでは、工場の生産工程の影響で急激に排水性状が変化し、沈殿池からの汚泥がキャリーオーバした影響であると推測される。②、③のポイントでは、前段の生物処理が不安定であったため、沈殿処理水に含まれる有機物濃度や濁度が上昇した影響と考えられる。④のポイントでは、最適 Flux を評価するために、Flux を上げて運転した影響であったと考えられる。

①のポイントでは物理洗浄の間隔を調整することで、③のポイントでは生物処理の運転調整を行うことで原水性状が安定化し、薬品洗浄を実施することなく運転を継続できた。②のポイントでは、次亜塩素酸ナトリウム500 mg/L で簡易な薬品洗浄であるS-CIP (Short chemical Cleaning In Place)を実施した。表1に洗浄結果を示す。洗浄の回復率は約90%と良好な結果であった。また、この試験期間中には強

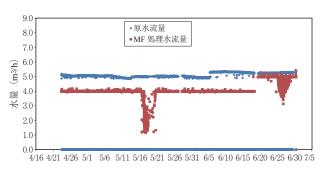


図3 原水・MF 処理水量の推移

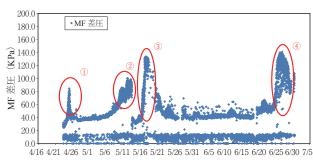


図4 MF 膜の差圧の推移

アルカリや強酸での薬品洗浄を実施することなく, 運転を継続することが可能であった。

### 3.2 RO 膜の運転評価

RO 膜は、RO 加圧ポンプのインバータ周波数を固定して運転を行った。図5にRO処理水量の推移、図6にRO 膜の膜差圧(膜入口圧 – 膜出口圧)・操作圧((膜入口圧 + 膜出口圧)/2 – 膜透過圧)の推移を示す。

RO 膜の操作圧は平均0.45 MPa とほぼ一定の圧力で推移したが、膜差圧については、6月初旬(図6中の⑤のポイント)に急激な上昇傾向が見られた。これは最適 Flux を評価するために、Flux を上げて運転した影響で有機物負荷が増加し、バイオファウリングが進行したことが原因と考えられる。

差圧上昇が発生した⑤のポイントで、水酸化ナト

表1 MF 膜洗浄結果

項目	単 位	初期	洗浄前	洗浄後
MF 入口圧	Mpa	0.05	0.119	0.059
MF 濃縮水圧	Mpa	0.04	0.104	0.049
MF 透過水圧	Mpa	0.018	0.021	0.019
MF 透過水量	m <sup>3</sup> /h	4.00	3.98	3.97
MF 差圧	kPa	27	90.5	35

※ MF 初期圧が27 kPa のため、35 kPa まで差圧回復すると回復率は87 %

※ MF 膜 S-CIP 条件: NaCIO 500 mg/L, 30分循環+30分浸漬を 3 セット

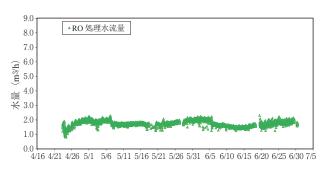


図5 RO 処理水量の推移

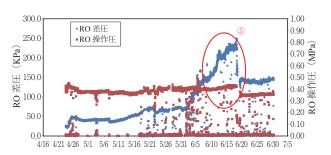


図6 RO 膜の差圧・操作圧の推移

表2 RO 膜洗浄結果

項目	単 位	初期	洗浄前	アルカリ洗浄後	酸洗浄後
RO 入口圧	Mpa	0.420	0.541	0.452	0.441
RO 濃縮水圧	Mpa	0.390	0.312	0.325	0.313
RO 透過水圧	Mpa	0.002	0.004	0.011	0.007
RO 透過水量	m <sup>3</sup> /h	1.98	1.69	2.28	2.13
RO 濃縮水量	m <sup>3</sup> /h	0.9	0.9	0.9	0.9
RO 操作圧	MPa	0.403	0.423	0.378	0.37
RO 差圧	kPa	30	229	127	128

※ RO 初期差圧が30 kPa のため、128kPa まで差圧回復すると回復率は51%

※ RO 膜薬品洗浄条件: アルカリ洗浄 pH11.0 30分循環+30分浸漬を3セットの後, 一晩浸漬酸洗浄 pH2.0 30分循環+30分浸漬を3セット

表3 MF 処理水質

項目	単位	原水	MF 処理水
濁度	度	2	0.1未満
アルミニウム	mg/L	1.07	0.03
SS	mg/L	—	2未満

リウムを注入しpH11に調整したアルカリ洗浄と, 塩酸を注入しpH2に調整した酸洗浄を実施した。表 2に洗浄結果を示す。洗浄の回復率は約50%であった。これは、RO膜は強酸性または強アルカリ性 の薬品で洗浄が実施できないため、微生物が圧密されたファウリング物質を除去しきれなかったことが 原因と考えられる。この結果より、最適 Flux にて 運転することに加え、RO膜のバイオファウリング 対策を実装置へ反映することとした。

#### 3.3 処理水質の評価

表3に原水・MF 処理水水質の結果を示す。生物処理後の沈殿処理を安定化させるため、PAC の注入を行っている影響から、試験原水のアルミニウム濃度は一般的な水道水質と比較して高い値であったものの、MF 膜にて処理を行うことで0.03 mg/L と低レベルまで除去可能であった。濁度についても同様に定量下限値以下の水質であり、RO 膜の前処理として良好な水質が得られた。

図7にRO原水(MF処理水)・RO処理水の電気 伝導度の推移、図8に脱塩率の推移を示す。RO処 理水の平均電気伝導度は目標10 mS/m に対し、実績 3 mS/m であり、平均脱塩率は目標90 %に対し、実 績97%と良好な脱塩処理が行えている。

また、食品工場では衛生面などの観点から、リサイクル水の安全性確認が不可欠である。

本試験では、リサイクル水の水道水質基準の全数 項目を分析し、安全性の評価を行った。表4に水質

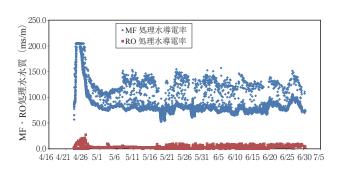


図7 MF·RO 処理水の電気伝導度の推移

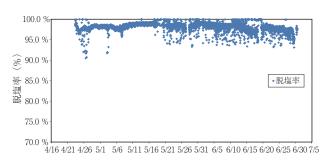


図8 脱塩率の推移

分析結果を示す。水質分析の結果,水道水質基準を 満たしており,リサイクル水の安全性を確認でき た。

### 3.4 排水(下水放流水)水質の評価

実装置の導入を行う場合, RO 膜にて脱塩処理を 行うため、今まで下水放流してきた水質から濃縮された排水を下水放流しなければならない。このため、濃縮排水が下水放流基準値内であるかの確認を 行った。表5に水質分析結果を示す。水質分析の結果, 下水道放流基準を満たしており、実装置の導入に支障がないことを確認できた。

表4 リサイクル水 (RO 処理水) の水質

検査項目	単 位	検査結果	水道水質基準
一般細菌	個/mL	3	100以下
大腸菌	_	不検出	検出しないこと
カドミウムおよびその化合物	mg/L	0.0003未満	0.003以下
水銀およびその化合物	mg/L	0.00005未満	0.0005以下
セレンおよびその化合物	mg/L	0.001未満	0.01以下
鉛およびその化合物	mg/L	0.001未満	0.01以下
ヒ素およびその化合物	mg/L	0.001未満	0.01以下
六価クロム化合物	mg/L	0.005未満	0.05以下
亜硝酸態窒素	mg/L	0.03未満	0.04以下
シアン化物イオンおよび塩化シアン	mg/L	0.001未満	0.01以下
硝酸態窒素および亜硝酸態窒素	mg/L	1.36	10以下
フッ素およびその化合物	mg/L	0.08未満	0.8以下
ホウ素およびその化合物	mg/L	0.3	1.0以下
四塩化炭素	mg/L	0.0002未満	0.002以下
1,4-ジオキサン	mg/L	0.005未満	0.05以下
シス-1,2-ジクロロエチレンおよび	mg/L		
トランス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	0.004未満	0.04以下
ジクロロメタン	mg/L	0.002未満	0.02以下
テトラクロロエチレン	mg/L	0.001未満	0.01以下
トリクロロエチレン	mg/L	0.001未満	0.01以下
ベンゼン	mg/L	0.001未満	0.01以下
塩素酸	mg/L mg/L	0.06未満	0.6以下
クロロ酢酸	mg/L	0.002未満	0.02以下
クロロホルム	mg/L mg/L	0.002未満	0.06以下
ジクロロ酢酸	mg/L	0.004未満	0.04以下
ジブロモクロロメタン	mg/L	0.01未満	0.04以下
臭素酸	mg/L mg/L	0.001未満	0.01以下
総トリハロメタン		0.001未満	0.1以下
トリクロロ酢酸	mg/L mg/L	0.02未満	0.2以下
ブロモジクロロメタン	mg/L	0.003未満	0.03以下
ブロモホルム	mg/L	0.003未満	0.09以下
ホルムアルデヒド	mg/L	0.009未満	0.09以下
亜鉛およびその化合物		0.1未満	1.0以下
アルミニウムおよびその化合物	mg/L	0.1不同	0.2以下
鉄およびその化合物	mg/L	0.001未満	0.3以下
銅およびその化合物	mg/L	0.1未満	1.0以下
ナトリウムおよその化合物	mg/L	7.55	
マンガンおよびその化合物	mg/L		200以下
塩化物イオン	mg/L	0.001未満	0.05以下 200以下
	mg/L	3.29	· ·
カルシウム,マグネシウム等(硬度)	mg/LasCaCO <sub>3</sub>	2.0未満	300以下
蒸発残留物(TS)	mg/L	20	500以下
陰イオン界面活性剤	mg/L	0.02未満	0.2以下
ジェオスミン	mg/L	0.000001未満	0.00001以下
2-メチルイソボルネオール	mg/L	0.000001未満	0.00001以下
非イオン界面活性剤	mg/L	0.005未満	0.02以下
フェノール類	mg/L	0.0005未満	0.005以下
有機物等(TOC)	mg/L	0.3未満	3以下
pH値	_	6.6	5.8~8.6
臭気		異常なし	異常なし
色度	度	1未満	5以下
濁度	度	0.1未満	2以下

表5 排水(下水放流水)の水質

検査項目	単 位	検査結果	下水排除基準
рН	_	7.5	5~9
BOD	mg/L	5未満	600未満
n-ヘキ (鉱油)	mg/L	2未満	5以下
n-ヘキ(植物油)	mg/L	2未満	30以下
SS	mg/L	2未満	600未満
カドミウム	mg/L	0.01未満	0.1以下
シアン化合物	mg/L	0.1未満	1以下
鉛	mg/L	0.1未満	0.1以下
六価クロム	mg/L	0.05未満	0.5以下
砒素	mg/L	0.01未満	0.1以下
水銀	mg/L	0.0005未満	0.005以下
アルキル水銀	mg/L	未検出	検出されないこと
セレン	mg/L	0.01未満	0.1以下
ふっ素	mg/L	0.1未満	8以下
ほう素	mg/L	0.59	10以下
窒素	mg/L	35	380未満
銅含有量	mg/L	0.1未満	3以下
亜鉛含有量	mg/L	0.1未満	2以下
溶解性鉄	mg/L	0.04	10以下
溶解性マンガン	mg/L	0.01未満	10以下
クロム含有量	mg/L	0.1未満	2以下
ヨウ素消費量	mg/L	2.7	220未満
有機燐化合物	mg/L	0.01未満	1以下
PCB	mg/L	0.0005未満	0.003以下
ジクロロメタン	mg/L	0.02未満	0.2以下
四塩化炭素	mg/L	0.002未満	0.02以下
1,2-ジクロロエタン	mg/L	0.004未満	0.04以下
1,1-ジクロロエチレン	mg/L	0.002未満	1以下
シスー1,2–ジクロロエチレン	mg/L	0.04未満	0.4以下
1,1,1-トリクロロエタン	mg/L	0.1未満	3以下
1,1,2-トリクロロエタン	mg/L	0.006未満	0.06以下
トリクロロエチレン	mg/L	0.03未満	0.3以下
テトラクロロエチレン	mg/L	0.01未満	0.1以下
1,3-ジクロロプロペン	mg/L	0.002未満	0.02以下
ベンゼン	mg/L	0.01未満	0.1以下
フェノール類	mg/L	0.5未満	5以下
ダイオキシン	pg-TEQ/L	10未満	10以下

表6 機器仕様

項	Į B	機器仕様			
処	理 水 量	$150 \text{ m}^3/\text{d}$			
MF 膜	ろ過方式	10本 ポリフッ化ビニリデン (PVDF) クロスフローろ過 逆圧水洗浄+エアスクラビング 塩酸,水酸化ナトリウム,次亜塩素 酸ナトリウム			
RO 膜	ろ過方式 薬品注入	12本 合成高分子(ポリアミド)系複合膜 クロスフローろ過 スケール防止剤,微生物抑制剤 塩酸,水酸化ナトリウム			

### 4. 試験結果の実装置への反映

本試験から得られた結果をもとに、実装置の仕様決定を行った。機器仕様を表6に、リサイクル水の利用系統図を図9に示す。RO膜ではバイオファウリングが発生した場合、差圧回復性が悪い結果であった。ユーザとのリサイクル水の利用先検討の結果、ボイラ補給水などの工場用水として利用することになったため、「水リサイクル技術の下水への適用」で検証した微生物抑制剤の注入を行うことで安定運転を行う予定である。4)

また、本試験で運転状況の確認、データ収集に用いた WaterEye® は、当社社員が設備の運転状況をユーザと共有できることで、迅速な対応と適切な設備診

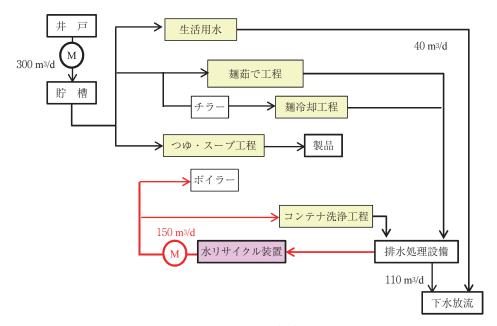


図9 リサイクル水系統図

断と保守提案を行えるため、ユーザからも高い評価を受け、こちらも  $Reclam^{8}$  と一緒に導入予定である。

### むすび

本稿では株式会社だい久製麺にて行った試験結果と Reclam<sup>®</sup> および WaterEye<sup>®</sup> の概要について紹介した。

社会の環境負荷低減ニーズの高まりや水資源の枯渇傾向から、水リサイクルのニーズはますます高まると予想され、当社もそのニーズに応えるべく、大規模なプラント建設に加え、中小規模を対象としたユニット型のReclam®の導入を促進していきたいと

考えている。

最後に、本試験に多大なご協力をいただいた株式 会社だい久製麺の関係各位に深く感謝の意を表す。

#### [参考文献]

- 1) 安友邦彦ほか:神鋼環境ソリューション技報,通巻 019号 Vo.10通巻 No.01 (2013), p22-26
- 2) 細谷仁人ほか:神鋼環境ソリューション技報,通巻 013号 Vo.07通巻 No.01 (2010), p16-22
- 3) 塩田憲明:神鋼環境ソリューション技報,通巻015号 Vo.08通巻 No.01 (2011), p36-40
- 4) 山地洋樹ほか:神鋼環境ソリューション技報,通巻 013号 Vo.07通巻 No.01 (2010), p23-28

<sup>\*</sup>水環境事業部 産業水処理技術部

# 生物製剤の前培養によるコークス炉廃水処理 活性汚泥不調時の処置

Effect of Biologics Pre-cultivation on Coke-oven Wastewater Treatment



犬飼正法\* Masanori Inukai



谷口昌宏\* Masahiro Taniguchi



吉原 孝\* Takashi Yoshihara



山下哲生\*\*
Tetsuo Yamashita



赤司 昭\*\*\* Akira Akashi 医学博士

コークス炉廃水は、化学的、物理的および生物学的プロセスにより処理される。生物学的処理としては、活性汚泥法が一般に用いられる。コークス炉廃水に含まれる難分解性物質の除去が困難であるために、活性汚泥が不調の時処理水の COD 濃度が上昇する場合がある。その対処方法として、しばしば生物製剤が用いられる。本研究では、生物製剤の前培養による活性汚泥への効果について検討し、前培養による活性汚泥不調時の早期回復方法を確立した。

Coke-oven wastewater is treated with the combination of chemical, physiological and biological treatment processes. Activated sludge process is usually used as a biological wastewater treatment. Due to the difficulty in removing refractory organic substances, COD concentration of treated water increase when activated sludge become out of condition. In such a case, we often use biologics. In this study, we describe the effect of pre-cultivation of biologics to activated sludge. And we established the control method of reducing COD concentration at an early stage.

### Key Words:

コークス炉廃水

生 物 製 剤

**PCR** 

T-RFLP

Coke-oven wastewater

**Biologics** 

Polymerase Chain Reaction

Terminal-Restriction Fragment

Length Polymorphism

### 【セールスポイント】

- ・活性汚泥法などの生物学的廃水処理の不調時の対応策の一つとして、生物製剤の活用がある。
- ・生物製剤を曝気槽への流入水 (原水) を用いて前培養することにより、生物製剤に含まれる細菌を活性化されるとともに流入水に馴養した有用細菌が増加する。したがって、実機曝気槽で有用細菌が速やかに増殖し、効果を発現するまでの時間を短縮することができる。
- ・さらに、前培養により細菌が10倍程度に増殖するため、生物製剤の使用量の削減が期待できる。

### 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して製造される。関西熱化学株式会社加古川工場(以下、関西熱化学と言う)では、石炭乾留時に発生するガス(COG)を COG 精製設備にて不純物の除去および有効成分の回収を行い、コークス炉等に供給している。図1に COG 精製フローを示す。COG 冷却工程で発生する余剰安水は、活性汚泥処理設備へ送られ生物処理を行い、COD 成分を分解除去した後排水溝へ排出している。活性汚泥処理設備のフローを図2に示す。

COG 冷却工程で発生する余剰安水には、高濃度の安水(アンモニア水)のほかに、フェノールやシアン化合物などの活性汚泥微生物に対して有害な物

質が含まれている。したがって、コークスメーカー 各社は、活性汚泥処理設備の運転管理に苦慮してい る。

近年、工場運営にあたって環境面が重要視されており、環境対策設備の一つである活性汚泥処理設備の安定運転は必要不可欠である。活性汚泥(細菌)の状態が悪化し処理水 COD 負荷量が規制値を超過すると、コークス炉を含め操業停止となるリスクがある。

活性汚泥の状態が悪化した時の対応策の一つとして、生物製剤を投入する方法がある。今回、遺伝子解析にて最適な生物製剤(細菌)の培養条件を選定し曝気槽に投入することで、汚泥不調時におけるCOD 濃度上昇を早期に抑制する方法を確立したので報告する。

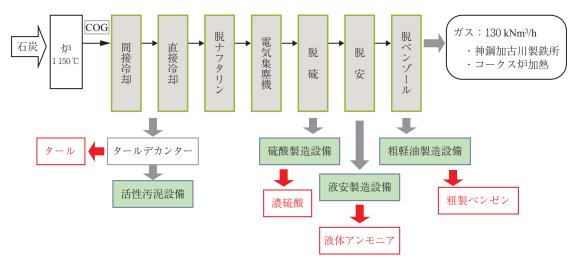


図1 石炭乾留時に発生するガス (COG) の精製フロー

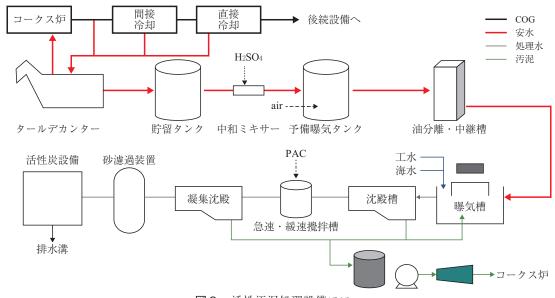


図2 活性汚泥処理設備フロー

### 1. 関西熱化学における活性汚泥設備の問 題点

### 1.1 活性汚泥処理設備運転管理方法

活性汚泥処理設備の主な運転管理方法は以下のとおりである。

- ① 余剰安水のCOD等を分析し、汚泥に対する負荷(COD-MLSS負荷)変動を確認する。負荷に応じて曝気槽の処理水量もしくは希釈倍率を変更する。
- ② 曝気槽 ORP を計器で連続監視し、酸素が汚泥に供給されているか確認する。酸素の過不足に応じエアー供給量を増減させる。
- ③ 曝気槽の MLSS 濃度や処理水の COD·SCN (チオシアン)・フェノール濃度等を定期的に分析し、分析値の変化を確認する。活性汚泥に対して悪化要因が発生していないか確認する。
- ④ 沈殿槽出処理水の色やにおい、汚泥の浮上状況 等運転員の五感を使って汚泥の状態を確認する。
- ⑤ さらに、最新の分析手法である遺伝子解析で得られた細菌数と COD 負荷から 1 細菌当たりの COD 負荷 (COD Bact 負荷) を算出し、運転管理する。



図3 COD 濃度上昇時の対応と推移

関西熱化学では以上の管理方法により、余剰安水の COD が変動した時でも、処理水 COD が安定するように活性汚泥処理設備を運転している。

### 1.2 現状の問題点

これまで汚泥不調時の COD 濃度上昇対策として、各種運転対応や米ぬか・生物製剤の曝気槽への直接投入を行い、汚泥の状態回復を図ってきた。しかし、処理水 COD 分析値が上昇した時は、すでに汚泥の状態は悪化しており、元の状態まで回復させるには時間を要する。ちなみに、図 3 に2008年 3 月にCOD 濃度が上昇した時の各種運転対応と推移を示す。2008年の時点では、活性汚泥の状態が回復しCOD 濃度が管理値以下になるまで約1.5カ月と長期間を要した。

### 2. 生物製剤の活用

生物製剤は、石油・原油・コールタールなどに含まれる石油系炭化水素類である軽質油および重質油を分解する細菌を数種類ブレンドしたものである。 関西熱化学では、これらの細菌を麦ぬかに担持させた粉体状のものを㈱神鋼環境ソリューションより購入し、使用している。

以前は、生物製剤を前培養することなく、粉体状のものを直接活性汚泥処理設備に投入していたが、早期に活性汚泥の状態を回復させるためには、事前に生物製剤に含まれる細菌を活性汚泥流入水(適宜希釈した余剰安水)で馴養・増殖させ投入した方がより効果的であると考え、ベンチテストを実施した。

### 2.1 生物製剤培養ベンチテスト

表1に生物製剤培養ベンチテスト条件を示す。生物製剤に含まれる細菌が効率よく増殖できる条件を求めるため、4倍、10倍および40倍希釈した余剰安水に生物製剤を投入し、好気条件で培養した。そして、時間経過にともなう細菌数を遺伝子解析手法である定量 PCR により計測した。4倍に希釈した余剰安水に生物製剤を添加したA系では、培養開始

	11 th 生th	1 10 11.
表 1	牛物製剤前培養ベンチテス	卜条件

項目	条件
余剰安水希釈濃度	A 系*: 4 倍希釈
生物製剤添加濃度 培養温度 散気風量 サンプリング時間	100 mg/L 30 ℃ 1 L/min(約0.4 vvm) 培養開始後 0, 4, 12, 24, 48時間

<sup>\*</sup>関西熱化学での運転値

後24時間後までは細菌数の減少が観察されたが、それ以降急速な細菌数の増加が見られ、72時間後には他の2系列より細菌数が多くなった(図4)。

さらに、72時間後の各系培養液を用いて T-RFLP (Terminal-Restriction Fragment Length Polymorphism) 法により菌相解析を行った(図 5)。余剰安水 4 倍 希釈(A)または10倍希釈(B)の条件下で生物製剤を培養することで、通常曝気槽内からは検出されない高濃度の COD 負荷にも耐性を示す末端断片長218 bp の細菌が選択的に培養されていることが確認された。

### 2.2 生物製剤培養装置における実機検証

生物製剤培養の実機検証を行うため、図6に示す生物製剤培養装置を設置した。培養条件はベンチテ

ストの結果より、4倍希釈の余剰安水600 L に生物 製剤を60 g 投入とした。その時の培養液 1 ml あた りに存在する全細菌数、フェノール分解細菌数およ びアンモニア酸化細菌数の経時変化を図7に示す。

初回培養(4倍希釈余剰安水600 L に生物製剤を60 g投入)では、培養開始時の細菌数と24時間後の細菌数はほとんど変化がなく誘導期が観察された。その後24時間から48時間にかけて細菌数は大きく上昇した。48時間から72時間にかけては、細菌数がほとんど変化せず静止期に入った(図7左)。

一方,2回目の培養では,初回培養で72時間培養した液を100 L 残し,そこに4倍希釈の余剰安水500 L と生物製剤60 g を投入して培養を行った。その結果,初回に比べ培養開始時の菌数が約10倍多くなっ

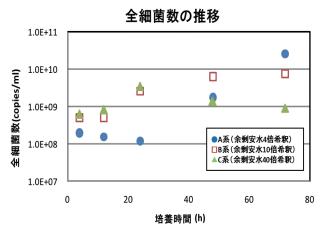


図4 生物製剤前培養ベンチテストにおける 全細菌数の推移

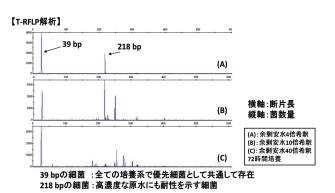


図5 生物製剤前培養ベンチテストにおける細菌相の T-RFLP 法による比較

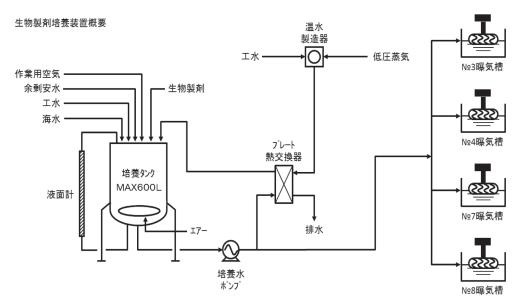
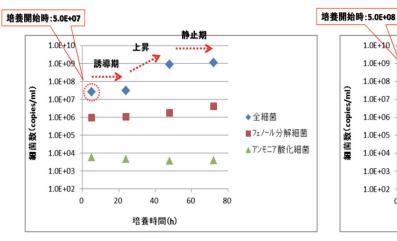


図6 生物製剤培養装置(実機)



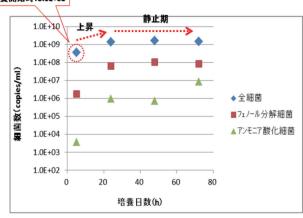
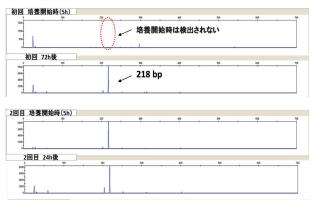


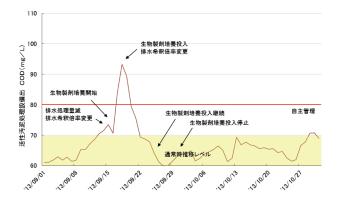
図7 生物製剤培養装置(実機)における全細菌(真正細菌),フェノール分解細菌およびアンモニア酸化細菌数の推移 左:初回培養

右:2回目培養

#### 【T-RFLP解析】



実機生物製剤培養槽における細菌相 図8 (T-RFLP 法による) の変化



実機における生物製剤培養液投入時の COD 濃度 図9 推移

たこと、誘導期が無く24時間後に菌数が増殖してお り培養時間が短縮されたことが確認された。これは、 生物製剤に含まれる細菌が初回の培養で馴養・活性 化されたためと考えられる(図7右)。

さらに、培養液を T-RFLP 法により菌相解析した 結果, 培養開始時には見られなかった高濃度の COD 負荷に耐性を示す細菌 (末端断片長218 bp) が 培養できていることが確認され、ベンチテストでの 結果が再現された(図8)。

以上の結果から実機における最適な培養条件は、 以下となる。

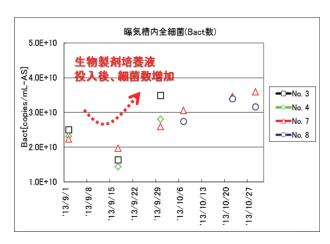
- ① 初回の培養期間は、48~72時間(2~3日)と する。
- ② 2回目以降は、1回前の培養液を100 L 残し生 物製剤と4倍希釈の余剰安水を再投入し、培養期 間は24~48時間(1~2日)とする。

### 3. 生物製剤培養液の実機活性汚泥への投 入効果

2013年9月に処理水 COD 濃度の上昇が見られた。 この時に生物製剤培養液を実機曝気槽へ投入するこ とで、実際に COD 濃度の早期回復が図れるか否か を確認した。この時の各種対応と COD 濃度推移を 図9に示す。

培養した生物製剤投入後3~4日で COD 濃度が 通常時推移レベルまで急速に低減した。また、培養 した生物製剤の投入を継続することにより、COD 濃度をさらに低いレベルまで低減し, かつ再悪化す ることなく通常時推移レベルで保持することができ た。

全細菌数と COD 負荷から算出される 1 細菌あた りの COD (COD - Bact) 負荷量は、処理水 COD 濃 度上昇時は高い状態であった。これは、汚泥の状態 が悪化し細菌数が減少したためと考えられた。その



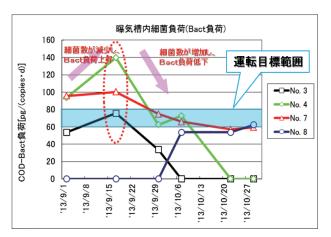


図10 実機における生物製剤投入後の全細菌(真正細菌)数の推移(左) および1細菌あたりの COD 負荷の推移(右)

後、生物製剤培養液を曝気槽へ投入することで曝気 槽内の細菌数が増加しCOD-Bact 負荷が適正範囲 となり、COD 濃度が早期に回復していることが確 認された(図10)。

以上の結果より、培養した生物製剤を投入することで、COD 濃度上昇を抑制し早期回復が図れることを確認した。前述のように、生物製剤を馴養することなく直接活性汚泥処理設備に投入していた2008年の時点では、約1.5カ月要していたことと比べると、その効果はきわめて大きいといえよう。

#### お す び

遺伝子解析手法という最新の解析技術と現場の経験とを融合することにより、生物製剤の効果的な活

用方法を生み出した。

生物製剤を活性汚泥処理設備に流入する排水(余 剰安水)を用いて生物製剤を前培養することで、そ の廃水に適応した細菌が増加し、高濃度の COD 負 荷に耐性を示す細菌が増殖されていることが確認で きた。また、実機培養装置において、もっとも効果 的に細菌を増殖させる培養方法を確立することがで きた。この方法により事前に培養された液を曝気槽 に投入することで、汚泥不調時における COD 濃度 上昇時の早期回復を図ることができた。

今後,前培養した生物製剤の投入判断を明確化し, 運転管理基準に反映することで,更なる活性汚泥処 理設備の安定運転に寄与していきたい。

<sup>\*</sup>関西熱化学株式会社 \*\*環境プラント事業部 操業技術部 \*\*\*技術開発センター 水・汚泥技術開発部

## クリーンドライヤ「N-CDB」

### The Clean Dryer [N-CDB]

[特許出願中] [Patent Pending]



竹井一剛\* Kazuyoshi Takei



戸嶋大輔\* Daisuke Tojima



鈴木竜大\* Ryota Suzuki

当社のコニカルドライヤは医薬、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、使い易さ、安全性に対してのニーズは更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開発したクリーンドライヤ N-CDB の特長について紹介する。

Our Conical Dryer Blender (CDB) have been used in a wide range of industries especially 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 the features of the N-CDB which was developed for the above needs.

### Key Words:

医薬・ファインケミカル コニカルドライヤ 乾 燥 Pharmaceuticals and fine chemicals Conical Dryer Blender Drying

### 【セールスポイント】

- ・ 缶内に吸引管が無く、洗浄性に優れる
- ・摺動部からの異物混入リスク解消
- ・フィルタ交換が缶外から容易かつ安全に実施可能

### まえがき

コニカルドライヤ(CDB)は、当社グラスライニング製粉体乾燥機の主力製品として多くの実績があり、とくに医薬・ファインケミカル分野において多品種生産、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」として採用されている。

CDB は真空乾燥機として使用され、缶内を減圧するための金属製吸引管を缶内に有しているが.

CDB ユーザが取扱う製品粉体の多品種化, 高純度化に伴い吸引管に対する様々な要求が寄せられた。これらのニーズに応えるため開発されたクリーンドライヤ「N-CDB」についてその構造, 特長および性能について従来型 CDB と比較し紹介する。

### 1. コニカルドライヤ (CDB)

吸引管固定式および供回式 CDB の構造を図1に示す。缶内に金属製の吸引管があり、先端に主とし

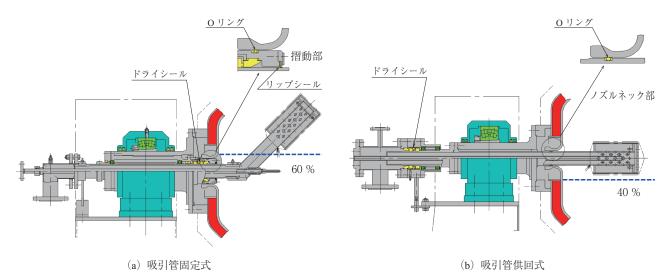


図1 CDB 吸引管構造図

て樹脂製フィルタが装着されている。機器サイズに よるがフィルタ交換は缶内に入槽して実施する場合 が多く安全化のために準備に労力を要している。吸 引管の形式は、吸引管固定式と缶体とともに回転す る吸引管供回式がある。吸引管固定式は本体全容量 の約60%まで仕込みが可能であるが、缶内にコンタ ミの原因となる吸引管と缶体ノズルの摺動部が存在 する。そのため高いコンタミレスが要求される医薬. ファインケミカル分野においては摺動部が缶内に存 在しない吸引管供回式が採用されてきた。ただし回 転軸上の吸引管フィルタを粉面に出す必要から, 最 大仕込量は本体全容量の約40%となり、処理量ベー スで固定式と比較すると機器サイズが大きくなるデ メリットがあった。また摺動部はないが、吸引管を 装着しているノズルネック部の洗浄性についても改 善の余地があった。

### 2. N-CDB の概要

上記の様に吸引管固定式および供回式 CDB の改善ニーズをまとめると以下のとおりとなる。

- a) 缶内の洗浄性向上
- b) 摺動部からの異物混入防止(対吸引管固定式)
- c) 吸引管フィルタ交換の作業(安全)性向上
- d) 仕込量アップ (対吸引管供回式)
- e) 吸引管からの金属イオンの混入抑制

これらのニーズに応えるため図2に示すクリーンドライヤ「N-CDB」を開発した $^{1)}$ 。

N-CDB の構造上最大の特長は CDB の金属製吸引管を無くして、マンホール部にフィルタを設け真空吸引口としたことである。表 1 に N-CDB と CDB の構造ならびに各種機能についての比較を示す。

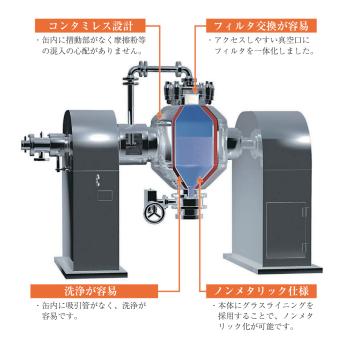


図2 N-CDB

表1 N-CDB と CDB 比較

項 目	N-CDB	固定式	供回式
仕 込 量	65 %	60~65 %	40 %
缶内摺動部からの 異物混入リスク	なし	あり	なし
吸引管ノズル ネック部からの 異物混入リスク	なし	あり	あり
吸引管折損リスク	なし	あり	なし
洗 浄 確 認	容易	摺動部、ノズルネック部の確認が難しい	ノズルネック部 の確認が難しい
ドライシール メンテナンス	容易	缶内開放が必要	容易
フィルタ交換	缶外作業	缶内作業	缶内作業

### 3. N-CDB の構造と特長

### 3.1 特殊吸引フィルタ

CDB (吸引管固定式および供回式) は缶内に吸引管があり、フィルタ交換のために入槽する際は作業前に都度缶内を洗浄して作業者に対する環境 (安全) 対策を実施する必要があった。また袋状の樹脂製フィルタを紐で吸引管先端へ取付ける構造は、缶内での作業性の悪さも影響し、取付け不良による真空配管への粉体流入の懸念があった。

吸引管固定式においてはドライシールやリップシールといった摺動部からの異物混入、供回式ではノズルネック部の洗浄不良の懸念があった。

そこでアクセスしやすいマンホール部にフィルタを配置することでこれらの問題を全て改善したのがN-CDBである。

図3に N-CDB の特殊吸引フィルタを示す。

マンホールには O リングシール構造の当社 E- マンホールを採用しており、クランプの個数も少なく ( $\phi$ 450で5個) フィルタ交換の作業性を向上させている。

缶内に摺動部も無いため、異物混入や吸引管ノズルネック部の洗浄不良の懸念も払拭でき、また吸引管フィルタ位置による粉面を考慮する必要もないため仕込量減少の問題も解消される。表2にN-CDB

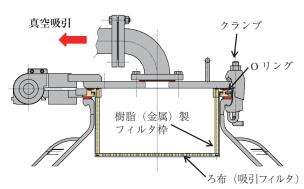


図3 特殊吸引フィルタ

表2 N-CDB (固定式) および供回式 CDB の最大仕込量

型式	全容量(L)	N-CDB 吸引管固定式 CDB 仕込量(L)	吸引管供固式 CDB 仕込量(L)
10型	580	370	230
11型	800	520	320
12型	1 000	650	400
14型	1 530	990	610
15型	1 760	1 100	700
16型	2 170	1 400	870
18型	2 940	1 900	1 180
20型	3 980	_	1 600

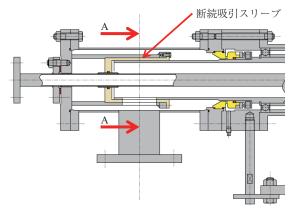
と供回式 CDB の仕込量の比較表を示す。

またマンホールに特殊吸引フィルタを設置したことで、フィルタ交換作業は缶外から行え、安定した安全な場所でのフィルタ交換を可能とした。特殊吸引フィルタは樹脂製フィルタ枠と吸引フィルタの2つの部品から構成され軽量であり、組込みもマンホールにセットするだけのシンプルな構造であるため、セットミスによる真空配管への粉体流入のリスクも解消できる。

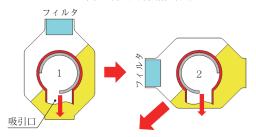
本体にグラスライニングを採用することで,製品 粉体が直接金属に接触しない完全ノンメタリック化 も実現できる。

#### 3.2 断続吸引機構

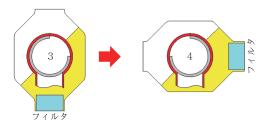
マンホール部に特殊吸引フィルタを設置している N-CDB では、1回転のうち半回転はフィルタが製品中に埋没した状態で真空吸引するためフィルタが 目詰まりを起こす可能性がある。そこで N-CDB では図4に示す特殊スリーブを用いた断続吸引方式を



(a) 断続吸引機構断面図



フィルタが粉面から露出している間は真空吸引



フィルタが粉面に埋没している間は真空吸引しない

(B) 断続吸引機構模式図 (断面 A-A)

図4 断続吸引機構

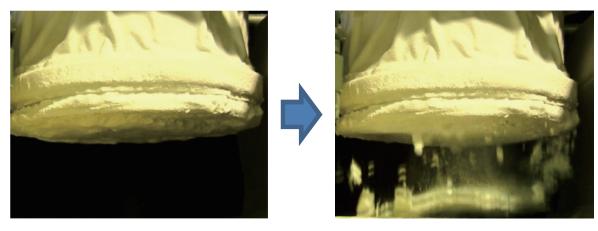


図5 逆洗によるフィルタ付着粉体の払落し状況

表3 乾燥運転中の逆洗によるフィルタ差圧変化

	含水率	パージ前差圧	パージ後差圧
	(wt%)	(Pa)	(Pa)
乾燥初期	$ 15 \rightarrow 10 \\ 10 \rightarrow 5 \\ 5 \rightarrow 2 $	250	220
乾燥中期		330	250
乾燥後期		450	400

※試料:炭酸カルシウム R 重炭「平均粒径 7.4 μm」

採用している。このスリーブはフィルタが内容物に 埋没していない時のみ,スリーブの開口部を介して 真空吸引を実施し,フィルタが内容物に埋没してい る時はスリーブの開口部を閉じることで真空吸引を 中断する断続吸引を実現している。これにより,真 空吸引によるフィルタ面への製品付着を抑制し,乾 燥性能の低下を防止している。

#### 3.3 フィルタの付着払落し方法<逆洗方式>

N-CDB は断続吸引機構により真空吸引によるフィルタへの粉体付着を抑制しているが、流動性の悪い粉体はフィルタに付着しやすい。

フィルタに粉体が付着した状態ではフィルタでの 圧力損失が大きくなり缶内の減圧度(乾燥時間)に 悪影響を及ぼす。このフィルタに付着した粉体を強 制的に払落とすために N-CDB では真空吸引時に吸 引配管側より N2を適宜供給することでフィルタ面 を脈動させ逆洗出来る構造としている。フィルタ面 に付着した粉体を脈動により払落とす状況を図5の 写真に示す。

また N2逆洗時のフィルタでの差圧変化は表3の とおりであり、逆洗直後に差圧低下が見られること から付着製品の払落しに効果があると考えられる。

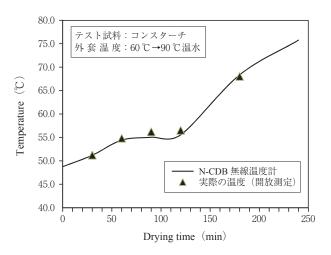


図6 N-CDB での温度測定結果

### 3.4 製品温度測定方法

粉体乾燥機では真空ラインの蒸気温度を測定しているケースもあるが、乾燥終点の見極めや、バリデーションから製品温度の測定が必要となるケースが多い。缶体が回転する CDB での製品温度測定は、回転軸受部より温度計を缶内に挿入する必要があり、摺動部からの異物混入リスクがあった。そこでN-CDB ではバッチ間の洗浄時に簡単に取外し可能なマンホール蓋や本体胴部に温度計を設置している。

本方式で温度測定した結果を図6に示す。本体回転数は10 rpm 定速運転,減圧条件下で外套温度条件を変更してその追従性を確認した。温度計感温部は1回転のうち半分は気層部に露出しているが,実際の製品温度と比較して平均温度差が0.4℃となり連続運転において十分に製品温度の測定が可能であることが確認できた。

### 4. N-CDB の乾燥特性

#### 4.1 乾燥テスト

テスト試料として流動性の良い No.A 重炭と比較的凝集性が強く流動性の悪い R 重炭(いずれも丸尾カルシウム㈱製)の2種類を用い、吸引管固定式と N-CDB での乾燥性能の比較実験を行った。

フィルタへの付着影響が少ない No.A 重炭の乾燥 テストでは図7のとおり乾燥性能に差異はないこと が確認できた。

また R 重炭においては図8のとおり、乾燥後期のフィルタへの製品付着の影響がある減率乾燥域において若干の差が見られる程度で、ほぼ同一の乾燥

性能を示すことが確認できた。なお、フィルタへの付着が少なく蒸発量が多い恒率乾燥域においてはフィルタ部の抵抗(圧力損失)が乾燥時間に大きく影響するため、吸引管固定式よりもフィルタ面積が大きい N-CDB の方が有利になる。

### 4.2 フィルタでの抵抗と蒸発量の関係

N-CDB のフィルタ抵抗が恒率乾燥域における蒸発量に与える影響について確認した。

方法はフィルタ差圧を同一条件 (240 Pa) とした場合に、図 9 に示すろ過面積  $(0.06 \text{ m}^2, 0.145 \text{ m}^2)$  が異なる 2 種類のフィルタで時間当たりの蒸発量を測定した。

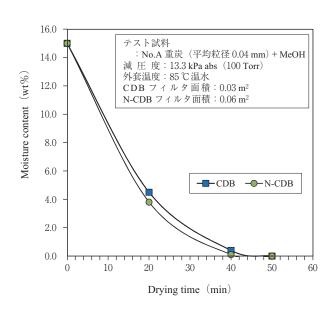


図7 乾燥性能比較テスト (No.A 重炭)

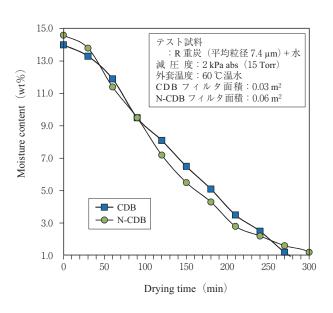
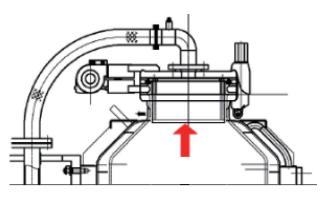
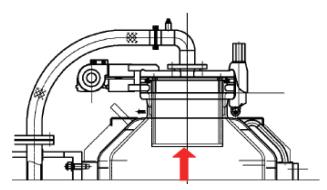


図8 乾燥性能比較テスト (R重炭)



(a) フィルタ面積 0.06 m<sup>2</sup>



(b) フィルタ面積 0.145 m<sup>2</sup>

図9 N-CDB フィルタ形状

結果, フィルタ面積 $0.06 \, \text{m}^2$ での蒸発量 $0.45 \, \text{kg/h}$  に対して,  $0.145 \, \text{m}^2$ では $1.06 \, \text{kg/h}$  となり, 蒸発量がフィルタ抵抗に依存していることが確認できた。

一般的にフィルタ部を通過する気体の流速 u と差 圧  $\Delta P$  には  $\Delta P \propto u^2$ の関係が成り立ち  $u^2$  を 一定とした本結果においても質量流速  $u^2$  がほぼ同じ値となることが確認できる。

$$\left[ \left( \frac{1.06}{0.145} \right)^2 = 53.4 \right] = \left[ \left( \frac{0.45}{0.06} \right)^2 = 56.2 \right]$$

N-CDB は従来の CDB に比べてフィルタ面積の変更が容易なため、各粉体に適したろ材(通気度)、フィルタ面積を選定しフィルタ部での圧力損失  $\Delta P$ を抑えることがスケールアップの際に重要となる。

#### 5. CDB ラインナップ

当社では CDB に様々な特長や機能を付与した機器をラインナップしている。以下に C-CDB および CDF について紹介する。

#### 5.1 C-CDB「片持支持 CDB」

CDB は、クリーンルームで使用される場合が多く、機器外観においてもコンパクト、クリーン、メンテナンス性、洗浄性などが重視される。

通常 CDB は両側支持構造であるため、機器の設置スペースが必要で、メンテナンススペースも機器の両側に必要であった。

これらの問題点を解決するために開発されたものが図10に示す片側支持構造の C-CDB である。

C-CDB は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。

- a) 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
- b) 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を低減可能
- c) 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、本体の丸洗いが可能

この様に C-CDB はコンパクト, クリーン, 洗浄性, 安全性, メンテナンス性向上のニーズに応えた, クリーンルームの設置を考慮した片持型 CDB である。最大型式は12型(全容量1 000 L)で吸引管は供回式を採用, 本体は金属製, グラスライニング製ともに製作可能である。

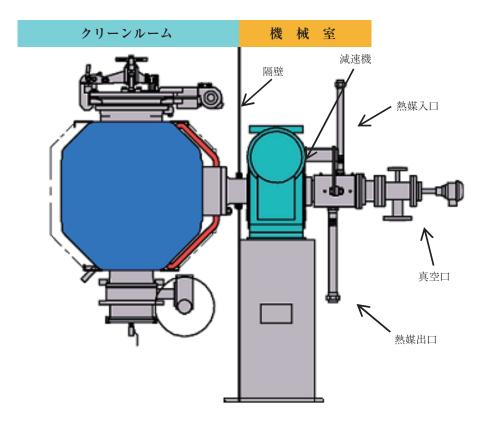


図10 C-CDB 概略図

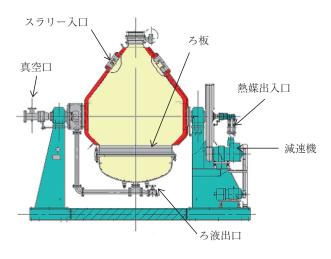


図11 CDF 概略図



本体設計圧力: F.V. ~ ATM 本体設計温度: 130 ℃

図12 N-CDB テスト装置

#### 5.2 CDF「ろ過機能付 CDB」

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器で、1台の密閉容器内でろ過、洗浄、乾燥を行うことができる。図11に CDF の構造図を示す。1台の密閉容器内でろ過、乾燥を行うため以下のメリットがある。

- a) 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
- b) ろ過機から乾燥機へのケーキ移送が不要で ・クロスコンタミ,製品ロスの低減が可能 ・ハンドリング時の暴露危険性を排除可能

最大の特長はN-CDBと同様に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り、N-CDBでは行えないスラリーろ過の操作が可能な機器である。本体は金属製、グラスライニング製ともに製作可能である。

#### むすび

本報では、医薬・ファインケミカル分野のニーズから開発されたクリーンドライヤ N-CDB についてその特長と性能について紹介した。乾燥性能の検証ではテスト試料として炭酸カルシウムを用いたが、実際に取扱う粉体は品種ごとに様々な挙動を示す。

そのため図12に示すテスト装置により性能確認を 行い,各ユーザに最適な操作条件を提案している。 今後も機器の作業性,安全性などの観点から開発を 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) 竹井一剛ら:神鋼環境ソリューション技報, Vol.8 No.2 (2012), pp.17-22
- 2) 化学工学便覧(改訂五版): 丸善株式会社(1988)

<sup>\*</sup>プロセス機器事業部 技術部 装置設計グループ

## (一社) 日本環境衛生施設工業会 「第14回海外環境事情調査団」 に係る参加報告

Report of Participation in "The 14<sup>th</sup> Investigation Group on Overseas Environmental Business" Sponsored by Japan Environmental Facilities Manufacturers Association (JEFMA) — Operational Situations of Waste Incineration and Power Generation Facilities in the UK, Germany and France ーイギリス、ドイツ、フランスのごみ焼却発電施設の運営状況—



秩父薫雅\* Shigenori Chichibu

(一社)日本環境衛生施設工業会が主催の海外環境事情調査団に参加した。2014年9月28日~10月5日までの間に、調査団はイギリス、ドイツ、フランスの廃棄物処理施設を訪問調査した。事業民営化の進展、財源の調達方法、運営のやり方、住民に対する情報発信等、各国における環境ビジネスの現状や課題を把握することができた。

The author participated in the investigation group on overseas environmental business sponsored by JEFMA. During the period of September 28 to October 5, 2014, the group visited and investigated waste treatment plants in the UK, Germany and France. The investigation revealed the current status and issues of environmental business in each country especially on progress of privatization, methods of funding and operation, provision of information to local residents and so on.

#### Key Words:

ごみ焼却発電施設 事業民営化の進展 財源の調達方法 運営のやり方 Waste incineration and power generation facilities Progress of privatization Methods of funding Methods of operation

#### 【セールスポイント】

- ・ごみ焼却発電施設について、イギリスでは、民間運営が成り立つ条件ができている。埋立税の 問題もあり、今後民営のごみ焼却発電施設の建設が増加する可能性がある。
- ・ドイツでは、焼却施設の能力がごみ量に対して過剰気味となっており、施設の運営が厳しい状況となっている。日本も今後、同様の状況が予測され、ドイツの動向に注目する。

#### まえがき

(一社)日本環境衛生施設工業会(以下,工業会と記載)技術委員会が主催した海外事情調査団に参加した。調査団は鳥取環境大学サステナビリティ研究所 田中勝所長を団長とし、プラントメーカ、事務局あわせ総勢16名で構成された。2014年9月28日~10月5日の日程で、欧州の廃棄物処理施設を訪問し、事業民営化の進展、財源の調達方法、運営のやり方、住民に対する情報発信等、欧州における環境ビジネスの現状や課題を調査した。調査訪問施設は、下記の6施設である。

- ① 9月29日 イギリス サセックス州 サザンウォーター社のピーチへブン下水処理施設 Peacehaven Wastewater Treatment Works
- ② 9月30日 イギリス ロンドン郊外 レイクサイド焼却発電施設Lakeside Energy from Waste Facility
- ③ 10月1日 ドイツ リューネン レモンディス社のリッペプラント (リサイクル 総合工場)

#### REMONDHIS Lippe Plant

- ④ 10月2日 ドイツ ブッパータール ブッパータール行政組合のごみ熱電併給施設 MHKW Wuppertal
- ⑤ 10月3日 フランス パリ・イッシー地区 SYCTOM (シクトム) 組合のイッシー・レ・ム リノーごみ処理施設

#### Multi-threaded Isséane Moulineaux Centre

⑥ 10月3日 フランス バレンヌ・ジャーシー SIVOM (シボム) 組合のバレンヌ・ジャーシー MBT 施設

本稿では、工業会で作成した報告書の内容から、 ごみ焼却発電施設(上記②, ④, ⑤) について抜粋 し、紹介する。

#### 1. イギリス/レイクサイド焼却発電施設

レイクサイド焼却発電施設はイギリスのリサイクルや廃棄物処理を行っている Grundon 社と Viridor社の合資による特別目的会社によって運営されている。建設は日本企業がフルターンキーで行った。

#### 1) 施設概要

· 発 注 者: Lakeside Energy from Waste Limited

· 運 転 開 始:2010年1月

· 建 設 費:160 million ポンド

・EPC : (株)タクマ・炉 形 式:ストーカ式

・ご み 性 状:一般家庭ごみ、事業系ごみ

· LHV : 7.5~12.5 MJ/kg 9.2 MJ/kg (設計)

• MCR : 8.7 MJ/kg

・MCR 焼却能力:685 t/d × 2 系列 = 1 370 t/d ・年 間 処 理 量:約410 000 t (9.2 MJ/kg として)

·蒸 気 条 件:最高使用圧 6.2 MPa

・ボ イ ラ:4.5 MPa 400 ℃ (SH 出口にて)

・蒸気タービン:発電出力 36.65 MW 排気圧 0.9 mbar

・熱 供 給:実施せず(供給先なし)

· 従 業 員:約50名

運 転:3名/班×4班 その他日勤,ごみ収集管理

・運 転 計 画:18カ月連続運転

·所内消費電力:約3.5 MW



写真1 レイクサイド焼却発電施設の外観(都市清掃 Vol.66より)

#### 2)調査概要

・イギリスでは一般に施設規模に応じて施設建設方法(財源)は下記のようになっている場合が多い。当施設の建設費財源は銀行借り入れによる。

施設規模6~7万t/年:自治体(官営)

~25万 t/年:自己資本(民営) それ以上:銀行(民間投資 PJ)

- ・当施設の事業収入は、80 %がごみ処理のチッピングフィー、20 %が電力売電収入である。売電単価は45~50ポンド/MWh(季節変動あり)
- ・当施設でのチッピングフィー単価は、概ね95~98 ポンド/t。
- ・なお、イギリスでは、埋立費用は105ポンド/tである。(内訳概数は80ポンドが埋立税、25ポンドが処理経費となっている。)
- ・当施設では売電のみ、熱供給は行っていない。イギリスの FIT (Feed in Tariff) は熱供給が必須条件のため本施設は FIT には該当しない。
- ・施設の運用期間は25年を予定。
- ・2014年1月から現在(調査時点)までの運転稼働率の実績は、1号炉99.9%、2号炉99.8%、また共通系の蒸気タービン稼働率は99.9%。年度計画を上回る高い処理実績となっている。

### 2. ドイツ/ブッパータールごみ熱電併給 施設

ブッパータールごみ熱電併給施設の発注者である AWG は自治体の出資する団体(第三セクター)である。ドイツにおいて都市ごみ処理は地方自治体により運営されている。

160万人の住民から出るごみを処理しており、年間処理量は<math>400000tである。収集も事業として行

っている。

売上は,90 million ユーロ。2013年は,熱供給量65 700 MWh,売電量123 600 MWh。240万人が対象となる地域にエネルギ供給を行っている。

市民の理解を得るため敷地内にプール (温水供給)を設け、開放している。

#### 1) 施設概要

·発 注 者:AWG

・運 転 開 始: 1973年(営業開始)・建 設 費: 600 million ユーロ

· EPC : Steinmueller Babcock

Environment GmbH(K12, K13) Doosan Lentjes(K11, K14, K16) (K.No は系列を示す。)

· 年間処理量: 400 000 t

・MCR : 9.5 MJ/kg ×15.16 t/h ・炉 形 式: Forward moving grate ・排熱ボイラ: 4-Pass Vertical Boiler

·蒸 気 量:48.06 t/h

·蒸 気 条 件: 2.8 MPa 350 ℃

(将来4.1 MPa 400 ℃に変更可能)

· 発 電 出 力: 40 MW (施設全体)

#### 2)調査概要

・ドイツでは2005年から埋立処分が規制された。この時期はごみ処理費が200ユーロ/t以上にもなり、多くの施設が建設された経緯がある。現在は、施設容量は十分で、処理するごみ量が減少してきており、収入が下がっている。そのため、2年前に比べて全体で40 million ユーロ収入が低下している。新規投資については見通しが良くない。

当面は、ごみが減ってきている現状に対応して燃



写真2 ブッパータールごみ熱電併給施設の外観

料となるごみの輸入や,国境を越えた収集といった方向に進むであろうが,長期的には淘汰が進むと考えている。とのこと。

- ・1日約150台の収集車でごみを搬入。可燃ごみは 2000 t/d。ごみピット容量は4200 t。
- 焼却炉は5系列,通常は3~4炉操業。
- ・最長10 km の地点まで熱供給を行っている。現状 は人口の少ない地域に温水を供給しているが将来 的には都市部へ蒸気(120℃)を供給する計画。 夏場、熱は吸収式冷凍機を介してクーラーに使わ れている。
- ・主灰は磁選後に建材の代替品として使用されている。一方、飛灰は有害物として岩塩坑跡に埋められている。その処理費用は120ユーロ/飛灰t。なお、この岩塩坑跡には他国からも飛灰が運ばれてきている。
- ・収入は下記のようになっている。

40万 t	
120ユーロ/t	
15ユーロ /t	35ユーロ/MWh
	(2年前は
	55ユーロ/MWh)
	120ユーロ/t 15ユーロ/t

チッピングフィーが約50 million ユーロ/年,供給する熱・電気の収入が約6 million ユーロ/年となる。

### フランス/イッシー・レ・ムリノーご み処理施設

イッシー・レ・ムリノーごみ処理施設の発注者である SYCTOM は、家庭ごみを処理するために84の地方自治体が連帯した組織で、地方分権化に伴い、

1984年に地域内のすべてのごみを処理するために組成された。570万人の住民の出すごみを処理している。なお、2013年度は230万tのごみを処理した。年間予算は567 million ユーロである。

#### 1) 施設概要

· 発 注 者: SYCTOM Paris

· 運 転 開 始:2007年

· 建 設 費:600 million ユーロ

· EPC : Hitachi Zosen Inova AG

(炉, ボイラ, 排ガス処理, 蒸気・ 復水系統, タービン, 電気計装設備

を担当)

· 年間処理量: 460 000 t

・施 設 規 模: 732 t/d × 2 系列
・LHV : 8 ~11.7 MJ/kg
・蒸 気 条 件: 5 MPa 400 ℃

· 発 電 出 力: 52 MW · 熱 供 給: 150 t/h · 従 業 員: 50名

・運 転 会 社: EDF (フランス電力会社) 子会社の TIRU および SITA フランスの JV/

Consortium

・特 徴:建屋高さは21 m とし景観に配慮。 煙突高さは35 m だが、ほとんどが 地下のため、建屋天井から5 m だ

け突出。

· 処 理 実 績 (2013年)

処 理 量 459 945 t

売 電 量 59 767 MWh



写真3 イッシー・レ・ムリノーごみ処理施設の外観

熱 供 給 562 855 MWh by Steam

主灰搬出量 84 240 t

Fe 回 収 量 6882 t

非鉄回収量 841 t

#### 2)調査概要

- ・当施設の建設費財源は住民税。景観に配慮していることから約2/3が地下にある。建設費の1/4はそのために必要であった(高額となった)。
- ・運営費用は500 million ユーロ/年となっている。電力ならびに熱の売却収入は、200 million ユーロ/年。残り300 million ユーロ/年は住民税より賄う。仏では電気代が安い原子力発電が主要電源であるため、売電単価は独や英に比べて低い。なお、ごみ処理費(チッピングフィー)は105ユーロ/tである(※2013年実績で約50 million ユーロ = 459 945 t/y ×105ユーロ/t)。
- ・主灰は、3カ月間のエージング処理後、規制値内であることを確認してから土木会社に提供している。用途は路盤材。エージング処理は、工場から25km離れた場所で行っており、そこに他2工場からも主灰が運ばれてくる。

飛灰については処分場 (Level2)\*に埋立処分している。

※ EU における最終処分場の区分

Level 1 : landfills for hazardous waste Level 2 : landfills for non-hazardous waste

Level 3: landfills for inert waste

- ・エネルギ回収の状況は余熱利用が70%, 電力が30%。設備の大半が地下に配置されているため, 発電電力量のうち約80%が所内(空調, 電気集じん機等)で消費されている。
- ・施設整備計画から建設までに10年かかった。住民 との協議でもっとも重要なテーマは、「煙突が見 えてはいけない。いかにも清掃工場という建物は ダメで、セーヌ川側から見えてはいけない。」
- ・施設の運用期間は、40~50年を予定している。

#### むすび

今回, イギリス, ドイツ, フランスのごみ焼却発電施設を訪問調査したところ, その運営状況は国によって大きく異なることが分かった。

イギリスでは、民間の運営によって、収入増のためできるだけ連続運転(18カ月連続運転)を行う等運営の工夫により、チッピンフィーと売電収入で事業が成り立っている。また、埋立税等により埋立処分費が高く、焼却のチッピングフィーの方が安くなっており(埋立処分費105ポンド/tに対し、焼却チッピングフィーは95~98ポンド/t)、今後民間による焼却発電施設の建設が増える可能性が考えられる。

ドイツでは、2005年に埋立処分が規制され、この時期は焼却チッピングフィーがトンあたり200ユーロ以上と高額となったこともあり、焼却施設が多く建設された。そのため、現在ではごみ量に対して焼却施設能力が過剰となっており、ごみの確保が困難となってきているとのことである。施設は自治体(第3セクター含む)が運営しており、簡単には廃止できず、運営に苦労していることが伺えた。日本においても今後、同様の状況が予測され、ドイツにおける対応・動向が注目される。

フランスは、日本に状況がよく似ており、自治体が焼却施設を建設(費用も調達)し、運営している。NIMBY施設として認識される住民との協議、景観への配慮等に大変気を使っている。とくに、今回調査した施設は大部分を地下に設置する等、自治体の苦労・工夫が伺われた。

最後に、この度は田中勝先生をはじめ、工業会事務局及び技術委員の皆様には大変お世話になり、おかげさまで有意義な調査ができたことを、ここにあらためてお礼を申し上げます。今回の調査の成果をもとに、我が国としても今後有効な方向性を見出していければ幸いです。

<sup>\*</sup>市場開発部 企画室

### 都市環境フォーラム 欧州廃棄物処理施設調査報告

The Report of Waste Treatment Plant in Europe by "Forum for Energy & Environment"



藤田 淳\* Jun Fujita

2014年11月に、NPO 法人都市環境フォーラム主催の欧州廃棄物処理施設調査団に参加したので、その報告を行う。視察した都市は、フランクフルト(ドイツ)、アムステルダム(オランダ)、ブリュッセル(ベルギー)とパリ(フランス)であり、4つの廃棄物処理施設の視察とベルギー大手の廃棄物処理事業団体との意見交換を行った。欧州ではごみは廃棄物ではなく、エネルギ資源として位置づけられており、積極的に電気および熱としてエネルギ回収されている。

I participated in a study group of European waste treatment plant supported by NPO corporation Forum for Energy & Environment in November, 2014. The group visited four waste treatment plants in Frankfurt (Germany), Amsterdam (Netherlands), Brussels (Belgium) and Paris (French), and exchanged views with a major waste treatment enterpriser in Brussels. In Europe waste is regarded as an energy resource. The energy is recovered as electricity and heat.

#### Key Words:

都市ごみ廃棄物処理施設財市場あ効率発電

Municipal solid waste (MSW)
Waste treatment plant
Europe market
High efficiency power generation

#### まえがき

2014年11月に、NPO 法人都市環境フォーラム主催の欧州廃棄物処理施設調査団に参加した。参加メンバーは、主に廃棄物処理業界および水処理業界の技術者であり、廃棄物処理施設の視察による市場調査と交流を目的としている。視察した都市は、フランクフルト(ドイツ)、アムステルダム(オランダ)、ブリュッセル(ベルギー)とパリ(フランス)であり、4つの廃棄物処理施設の視察とベルギー大手の廃棄物処理事業団体との意見交換を行ったので報告する。

1. 訪問日:

2014年11月8日(土)—11月16日(日)

#### 2. 訪問場所:

- ・ドイツフランクフルト
  - Müllheizkraftwerk Frankfurt 焼却場
- ・オランダ SITA ReEnergy Roosendaal B.V. 焼却場
- ・ベルギーアントワープ The SLECO 焼却場
- ・ベルギーブリュッセル FEBEM 廃棄物処理事業団体
- ・フランスパリ ZI de Villers-Saint-Paul 焼却場

# 【ドイツフランクフルト Müllheizkraftwerk Frankfurt 焼却場】

- 1) 施設概要
- ① 処理能力:1500 t/d (350 t/24 h × 4 炉)
- ② 方 式:全連ストーカ (レンチェス社)
- ③ 事業者: Mainova (フランクフルトでガス供

給, 水道供給, 熱供給, 廃棄物処理 をしている民間企業)

- ④ 蒸気条件: 6 MPa, 500 ℃, 62.7 t/h/炉, 常時3 炉運転により合計190 t/h の蒸気を
- ⑤ 発電出力: 定格26 MW, 47 MW (2基目は増設)
- ⑥ 処理フロー(図1):ストーカ→ボイラ→減温塔 →バグフィルタ→誘引送風機→煙突
- 2) 施設調査内容
- (1) フランクフルト市で最大の廃棄物処理施設であ る。1965年から稼動を開始し2009年に更新、増設 を行い現状の規模となっている。
- ② 排ガス処理は乾式で非常にシンプルである。ダ イオキシン類の発生抑制のための燃焼管理は日本 と同様で850 ℃×滞留時間 2 秒とのこと。
- ③ 職員は106名であり、ごみ焼却場というより大 規模な工場というイメージ。一班15名で当時は3 炉運転であり中央制御室は5名対応。
- ④ フランクフルトでの一人当たりの生活ごみ発生 量は700 g/人・日で日本(628 g/人)と同程度。
- ⑤ プラットホームではごみ投入扉がなく、幅10 m ×高さ4m程の開口が8箇所あり、ごみを投入 している。燃焼空気の吸引によりごみピット側を **負圧としており**. それほど臭気は気にならない。

- ⑥ ボイラのスーパヒータの減肉は0.1 mm/6 w =0.8 mm/年程度でありこれまで、部分交換や、溶 射補修により対応し、全交換は実施していない。
- ⑦ 主灰は路盤材などでリサイクル, 飛灰は塩鉱跡 に埋立てている。
- 3) 視察所感

フランクフルトでは、ごみ処理は自治体でなく民 間企業が事業として実施している。収集事業も民営 化され、合理化が進んでいる。また、ごみはエネル ギとして位置付けられており、 そこから最大限電力 や熱として回収する施設としている。日本での現在 の高効率発電は4 MPa ×400 ℃の蒸気条件が主流で あるが、これよりはるかに高い条件にて発電を行っ ている。

#### 【オランダ SITA ReEnergy Roosendaal B.V. 焼却場】

- 1) 施設概要
- ① 処理能力:912 t/d (456 t/24 h × 2 炉)
- ② 方 式:全連ストーカ (フォンロール社)
- ③ 事 業 者: SITA-Re-energy 社
- ④ 蒸気条件: 6.5 MPa, 422℃, 75.6 t/h/炉
- ⑤ 発電出力: 定格32 MW
- ⑥ 処理フロー:ストーカ→ボイラ→電気集じん機 →バグフィルタ→触媒反応塔→誘 引送風機→煙突



## Herzlich willkommen zur Führung durch das Müllheizkraftwerk Frankfurt



- Entladehalle 2 Müllbunke
- Müllkran Bunkerabs
- 5 Aufgabetrichter
- 6 Verbrennungsrost
- 7 Kessel 8 Primärluft mit Vorwärmer 9 Anfahr- und Stützbrenner
- 10 Überhitzer
- 13 Schlackebunke 14 HOK-Silo
- 15 Kalksilo
- 16 Circoclean Reakto 17 Gewebefilter 18 Saugzug
- 19 Reststoffsilo 20 Kamin 21 Speisew Speisew
- 22 Einspritzwasserpumpe Einspritzwasserbehälte 23 Turbogenerator

24 Heizkondensator 25 Luftkondensato

www.mainova.de

図1 フローシート (パンフレットより)

- 2) 施設調査内容
- ① 運転人員は61名。当時は2炉運転で中央制御室は5名対応。
- ② プラットホームにはごみ投入扉がなく、10 t ~ 20 t ほどの大型車での搬入がメインである(写真 1)。
- ③ 設計ごみ質は11 700 kJ/kgであり発電効率26.1%。
- ⑤ 年間8 000 h (=333 d/年)を効率よく運転する ための工夫として次のボイラ灰落としシステムに ついて強調していた。
- ・ウェットクリーニング:ボイラ1パス上部からホースを垂らし、水を炉壁に噴霧することで灰やクリンカを剥離しやすくする。数回/週実施している。
- ・explosion pulse 装置:水平煙道入口に2箇所設置した起爆装置で窒素、メタン、酸素を装置内で爆発させ、その際発生する衝撃波で炉内の灰を落とす。2回/日実施している。3千万円/基と高額であるが、継続的にボイラへの収熱維持を図るために必要な設備と位置付けており、当日もスイスの装置メーカ担当者が説明のためにわざわざ来場して説明対応をおこなっていた。
- ・ラッピング装置は、レール移動式の槌打ち装置。
- 3) 視察所感

民間企業が運営をしていることもあり、いかに発 電効率を維持した状態で連続運転を継続するかとい うことに注力している。搬入車両も大型であり、合 理化が進んでいる印象。

#### 【ベルギーアントワープ The SLECO 焼却場】

- 1) 施設概要
- ① 処理能力:1800t/d(600t/24h×3炉)
- ② 方 式:全連流動床(炉は荏原環境プラントの技術提携)
- ③ 事 業 者: SLECO 社
- ④ 発電出力:定格34 MW
- ⑤ 処理フロー:流動床炉(尿素噴霧)→ボイラ→ 電気集じん機→減温塔→バグフィ ルタ→湿式洗煙→誘引送風機→煙
- 2) 施設調査内容
- ① 運転班は5名/班×3交代(運転1名,電力監視1名,クレーン1名,現場2名)であり,当時は3炉運転ながら中央制御室は1名で監視を行っていた。



写真1 プラットホームの大型車両

- ② 稼働率は92% (8000h以上)と非常に高い。
- ③ 本施設では、産業廃棄物と汚泥を混焼している。 汚泥の混焼割合は30%(設計は50%)と高く、 ヨーロッパでもっとも成功した流動床と言われて いるとのこと。助燃は立上時のみ使用している。
- ④ 砂層温度は850  $\mathbb{C}$ で管理しており、900  $\mathbb{C}$ を超えると砂がガラス化してくるため注意しているとのこと。
- ⑤ ベルギーでは、ストーカ方式より、流動床方式 の方が雑多なごみに対応可能という点で評価が高 い。また日本と同様に国土面積が小さく、最終処 分場の確保の問題があり、ガス化溶融技術につい ての興味を持たれていた。

#### 3) 視察所感

汚泥混焼率が高いからか砂層温度は850 ℃と高めで維持している。クレーン操作員はごみの発熱量演算値の推移を確認しながら、ごみを丹念に撹拌し投入しており、日本と同様に投入ごみの変動を小さくすることに細心の注意を払っていた。汚泥投入量は、自動制御であり、砂層温度により増減しているものと考えられる。3炉運転でありながら中央制御室は1名で運転しており、機械的なトラブルがほとんどないと想定された。

### 【ベルギーブリュッセル FEBEM 廃棄物処理事業 団体との意見交換会】

#### 1) 団体概要

ベルギーのごみの収集,運搬,リサイクル,廃棄物処理,バイオマスからのエネルギ利用,土壌浄化などを事業とする民間企業170社が加盟している団体である。本業界の構成員で、ベルギーで発生する家庭ごみの50%,産業廃棄物の90%以上を収集・処理している。

#### 2) 視察内容

FEBEM から団体の紹介とベルギーのごみ処理の 現状について説明と FEBEM 加盟企業 3 社のプレゼ ンテーションを受けた後、日本のごみ処理状況を紹 介し、ディスカッションを行った。写真 2 にディス カッションの様子を示す。

- (1) ベルギーにおける廃棄物処理の現状 (FEBEM 社より)
- ・ベルギーでは、焼却炉の建設は減少しており、リサイクル事業に多くの予算があてられる。家庭ごみの30%は焼却、70%がリサイクルされている。また、産業廃棄物では15%が焼却、80%がリサイクル、5%が埋立てされている。
- ・1年間の廃棄物発生量は62.5百万トンであり (2010年実績), そのうち90 %が産業廃棄物であ る。
- ・国内には焼却場が約20箇所しかなく、広域化が進んでいる。また、全ての施設で発電を実施している。

#### (2) REMONDDIS 社

・廃棄物、水処理関係では世界で5位の企業であり、500の廃棄物処理施設で年間3000万トンの処理を行っている。日本での実績はまだない。

#### (3) Recovel 社

・主に製鉄所から排出されるスラグなどのリサイク ルメーカであり、廃棄物ゼロとする処理方法の開 発を目指している。例えば、処理しにくい廃棄物 であるスティールミルの工程で発生するスラグを 炭化処理によりリサイクルを可能とし、再生材は 主に路盤材として再利用されている。

#### (4) REPROCOVER 社

・ファイバーグラス系の廃プラスチックをリサイク ルできる世界で唯一の企業である。船体や、飛行 機の翼、風車の羽根に使われるファイバーグラス



写真2 ディスカッションの様子

や、その他、リサイクルが困難なプラスチックの リサイクルを行っている。船については300 000 隻、風車の羽は1 000機分が処理待ちの状態との こと。処理方法としては、粉砕、乾燥、混合成形 し、マンホールカバー等の二次製品を製造してい る。また、線路の枕木にも利用されている。

#### 3) 視察所感

ベルギーの面積は九州より小さく, 天然資源がほとんどないこともあり, 廃棄物に対してもマテリアルリサイクルを徹底している。リサイクルできない廃棄物についてのみ, 焼却し, 電気あるいは熱としてエネルギ回収を行っている。ごみ処理施設は集約化され, 効率的にエネルギを回収できていることがわかる。

# 【フランスパリ ZI de Villers-Saint-Paul 焼却場/リサイクル】

1) 施設概要

(焼却施設)

- ① 処理能力:520 t/d (260 t/24 h × 2 炉)
- ② 方 式:全連ストーカ
- ③ 竣 工:2004年
- ④ 事 業 者: SMVO 社
- ⑤ 蒸気条件: 4.5 MPa, 400 ℃, 32 t/h × 2 缶
- ⑥ 発電出力: 定格14 MW
- ⑦ 処理フロー:ストーカ炉→ボイラ(尿素噴霧)→電気集じん機→バグフィルタ→誘引送風機→煙突
- (リサイクル施設=選別梱包施設)
- ① 処理能力:120t/14h
- ② 方 式:トロンメル選別+風力選別+光学 式自動選別+手選別
- ③ 竣 工:2004年
- ④ 事 業 者: SMVO 社
- ⑤ 処理対象:不燃ごみ(ビン, ビニル・プラ
  - 類,包装紙,新聞紙など)
- 6 排 出 物:鉄,アルミ,紙(数種類),ポリエチレン,ポリスチレン,ラップ、PETなど12品目
- 2) 施設調査内容
- ① 自治体発注の DBO 案件を SMVO 社が受注し運営している。収集域人口は約49万人であり、可燃ごみ量は当初350 kg/人/年(=170 000 t/年)と想定していたが、実際は減量が進み255 kg/人/年(=125 000 t/年)となっている。そのため、稼働率が低くなっており、ごみの収集範囲を広くするよう周辺自治体と検討中とのこと。



写真3 アームロール車への積み替え状況



写真 4 全体写真

- ② 施設建設時の地元協定として、収集車両を極力増やさないよう一部を鉄道輸送としている。なお、鉄道輸送は車両収集に比較し2~3倍のコストがかかるとのこと。列車にて搬入されたコンテナは、貨車車両を連結したまま斜め方向に回転し、アームロール車にて引出しごみピットに投入している。写真3にアームロール車への積替え状況を示す。
- ③ 主灰についても、天蓋付きコンテナに入れ鉄道にて輸送し、道路業者に引渡している。主灰はエイジングし(屋外で寝かして酸化する)路盤材に利用している。飛灰発生量はごみに対し約2.5%であり、埋立処理している。
- ④ 熱利用として、蒸気タービンの抽気蒸気で場外の工業団地に熱供給を行っている。
- ⑤ 排ガス処理は尿素噴霧,活性炭,重曹による乾式方式を採用している。欧州では重曹を採用している施設が多くあるように感じた。
- ⑥ リサイクル施設は、トロンメル、風力選別、プラスチック光選別、手選別から構成される。場内には、機械運転員数名と、最終の手選別ラインには30名ほどが作業に従事していた。
- ⑦ プラスチックは、ポリエチレン、ポリスチレン、ラップなど詳細に分けて、リサイクルを徹底している。

#### 3) 視察所感

フランスでも、焼却する前に徹底してリサイクルしていることがうかがえた。ごみは紙・プラスチックを含め混合された状態で排出されたものから、人海戦術により12種類にも分別しリサイクルを行って

いる。マテリアルリサイクルの観点から多くの税金をリサイクル事業に当てているものと思われた。ご みの鉄道輸送は、レールなどのインフラ整備や車両 からの積替え作業・場所が必要なことからコストアップになるため、収集範囲・量などに課題があると 考えられる。

#### むすび

ごみ処理に関しては先進といえるヨーロッパ4カ 国の施設を訪問した。いずれの国においても、まず はリサイクルを優先としており、どうしても処理で きない残ったごみを焼却し徹底してエネルギ回収す るという考えが主流である。また、処理規模につい ても広域化が進んでおり、効率的にエネルギ回収を 行っている。

また,ごみ処理フローについては、炉―ボイラー尿素噴霧―(減温塔)―電気集じん機―バグフィルタ(重曹)―(湿式洗煙塔)―誘引送風機―煙突の施設が多く,乾式を取り入れているプラントも多くあった。炉形式としては、ストーカが多いが、ベルギーについては雑多なごみを処理できる点から流動床の方が優れているとの評価もあった。また、いずれの施設においてもクレーンでの撹拌・混合が非常に重要との意見であり、これは万国共通であると感じた。

今回の調査団では、欧州廃棄物処理施設の現状を 肌で感じることが出来たことはもとより、視察や団 体行動を通じて業界の技術者と交流を深めることが でき、非常に有益な調査となった。今後も関係を継 続し意見交換やプラントの視察など技術交流を深め られるよう努めていきたい。(写真4全体写真)

<sup>\*</sup>環境プラント事業部 操業技術部 第一技術室

## 環境省福島環境再生事務所向け 飯舘村小宮地区対策地域内廃棄物処理施設(減容化処理)を竣工

当社が株式会社神戸製鋼所とともに2013年11月に環境省福島環境再生事務所から受注しました「飯舘村小宮地区対策地域内廃棄物処理業務(減容化処理)」は、仮設焼却施設が竣工し、2014年11月より運営業務を開始しました。

当施設は、東日本大震災および原子力発電所事故の影響により避難されている飯舘村民の方々の帰還準備に伴い発生する「片づけごみ」を処理するために設置されました。

なお、福島県の対策地域内廃棄物の処理業務における第1号案件となっています。

#### 概 要

·業務受託者:神鋼環境·神戸製鋼共同企業体

· 燒却炉形式: 流動床式燒却炉

· 処 理 能 力:5t/d (5t/8h×1炉)

・運転方式:間欠運転式・処理対象物:片づけごみ

※各家庭から発生する屋内の可燃性廃棄物

(畳・家具・布団・衣類等)



写真1 飯舘村小宮地区仮設焼却施設 全景

#### 【施設特長】

- 1. 間欠運転に適し、安全かつ安定処理を実現する 流動床式焼却炉を採用
  - ・流動床式焼却炉は機械的な可動部のない密閉構造であり、粉じん、ガス等の漏出リスクが小さく、高い安全性を有します。
  - ・炉内に熱容量の大きい砂を有しており、高温の 流動砂の中でごみを連続的に燃焼します。この ため、炉内滞留ごみがわずかであり、停電等の 非常時にも瞬時に燃焼が完結し、安全に設備停 止することができます。
  - ・流動砂の保有熱量により設備立上げが短時間であり、立下げ運転も容易であるため、間欠運転 式に適しています。

- 2. 排ガス中の放射性物質を確実に除去する**2段式 バグフィルタ**を採用
  - ・減温塔にて排ガスを200 ℃以下に急冷し,排ガ ス中のばいじんをバグフィルタにて確実に除去 します。
  - ・セーフティーネットとして2段目のバグフィルタを設置し、万が一ろ布が破損した場合も、2 段目のバグフィルタにて確実にばいじんを除去します。
- 3. **負圧を維持**することで、外部への放射性物質の 漏えいを確実に防止
  - ・作業上, 粉じん発生の可能性のある受入供給設備, 灰搬出工程をテント構造の屋内に収納し, 負圧を維持します。
  - ・補助誘引送風機により停電時や夜間等運転停止 時も炉内の負圧を維持します。

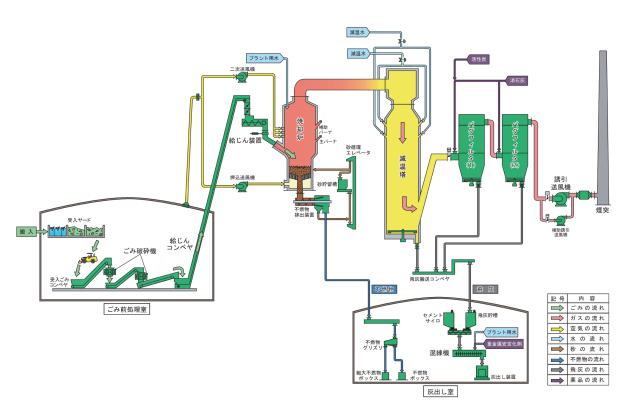


図1 仮設焼却施設 全体フロー

## 国内最高水準のごみ発電と掘起しごみ処理による 最終処分場延命化を実現 仙南地域広域行政事務組合向け (仮称) 仙南クリーンセンター整備運営事業

宮城県仙南地域広域行政事務組合から、2014年1月に受注した本事業は、同県最南部に位置する2市7町(白石市、角田市、蔵王町、七ヶ宿町、大河原町、村田町、柴田町、川崎町、丸森町)で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(18.7%)を発揮するとともに、多種多様なごみの処理が可能な流動床式ガ ス化溶融炉の特長を活かし、仙南最終処分場に埋め立てられた廃棄物を掘り起して処理することにより、最 終処分場の延命化を実現します。

#### 事業の概要

○事 業 者:【設 計 建 設】株式会社神鋼環境ソリューション

【運営維持管理】株式会社仙南環境サービス

(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】2014年1月から2017年3月までの3年間

【運営維持管理期間】2017年4月から2032年3月までの15年間

#### 施設の概要

○熱回収施設 ごみ処理能力: 200 t/d (100 t/24 h × 2 系列)



(仮称) 仙南クリーンセンター完成イメージ図

## ベトナム国 ハイフォン市水道公社 上向流式生物接触ろ過池(U-BCF)

2013年12月, ベトナム北部, ハイフォン市にて U-BCF 設備が竣工しました。

本設備は JICA 草の根技術協力事業(平成22年度~24年度)として北 九州市と共同でパイロットプラントによる実証実験を行い、その実証試 験の成功を経て導入が決定したものです。

U-BCF は高度処理の1つに分類され、生物接触を可能にするろ材として粒状活性炭を用い、自然の川底の石などに付着した微生物が汚濁物質を取り込み分解する作用を人工の装置内でより効果的に再現したものです。この粒状活性炭は表面が凹凸(多孔質)で小石などよりはるかに微生物が生息しやすい形となっており、これをろ過槽内に充填し、下から上に通水(上向流)することで活性炭を流動させ、生物接触効率の向上を実現しています。

U-BCF の導入によって原水中の有機物を  $3 \sim 4$  割分解するとともに、 多量に塩素を消費するアンモニア態窒素や溶存マンガンを  $6 \sim 9$  割除去することで、塩素の注入量を削減することが可能となります。



パイロットプラント (ハイフォン市)

今回導入した U-BCF は、ハイフォン市水道公社が運営するビンバオ浄水場の処理能力である $5\,000~\text{m}^3/\text{d}$  を処理する事ができ、同水道公社は次のステップとして主力浄水場であるアンズン浄水場(処理能力 $100\,000~\text{m}^3/\text{d}$ )への U-BCF 導入も検討しています。



竣工式



U-BCF 設備

#### 【設備概要】

処理能力:5000 m³/d

設置場所:ベトナム国 ハイフォン市 ビンバオ浄水場内

設置資金:ハイフォン市水道公社 自己資金による

2014年からは同国ホーチミン市 サイゴン水道公社(SAWACO)が 運営するタンヒエップ浄水場(処理能力300 000  $\mathrm{m}^3$ /d)への U-BCF 導入を目標に実証実験を行っています。

ハイフォン市での実績をショーケースとし、今後もベトナム全土での U-BCF 展開を目指して取り組んで参ります。



パイロットプラント (ホーチミン市)



## 水道展2014へ出展

#### ■名古屋水道展 2014

2014年10月29日~31日, 愛知県名古屋市 ポートメッセなごやにて, 水団連(一般社団法人日本水道工業団体連合会)が主催する名古屋水道展 2014が開催され, 神鋼環境メンテナンスと共同出展を行いました。(後援:日本水道協会, 名古屋市, 日本水道新聞社, 水道産業新聞社)

今年度の水道展テーマは『耐震化・更新を実行し、続けよう水道の信頼を!!』ということで121社・団体の出展がありました。

当社の出展品は、水道事業への取り組み PR パネルやろ過池の下部集水装置 (A/W ブロック)、微生物による自然浄化作用を活用した上向流式生物活性炭ろ過装置 (U-BCF)、水処理遠隔監視システム (ウォーターアイ) など計 9 品目の出展を行いました。

水道研究発表会では『低水温原水に対する U-BCF 処理性能評価』について研究発表を行いました。

『名古屋水道展来場者数……延べ5000名(水団連調べ)』

※参考……H25年度郡山水道展来場者2700名

水道展と併催された全国会議では、『水道行政の現状と課題』(厚生労働省健康局)、『水事業における危機管理』(北海学園大学工学部)というテーマで講演会が開催されました。

現在水道事業は、人口減少を背景に水需要の低迷や技術者の減少により事業体が弱体化することが危惧され、また自然災害時の水道運用という課題も抱えています。こういう諸課題に対し、国は新水道ビジョンを策定し、水道事業の『安定・強靭・持続』に向け、事業体の広域化や官民連携、アセットマネジメントの強化などを推進しています。前述の講演会もこれらの課題に対するものです。

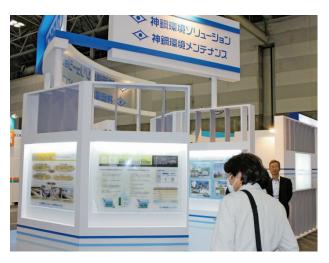
また、国際イベントとして海外水道フォーラムも開催され、国際水協会、アメリカ水道協会、台湾水道協会など10団体を招聘し、各国の取り組み事例紹介がされました。

今年度は水道事業の成長戦略として官民連携事業やアセットマネジメントといった水道事業の中長期的運用についての企業 PR が目立った開催でした。

今後も水道事業の安定継続に向けて広域化や官民連携事業を始めとした水道事業の取り組みが加速化していく事と思います。

来年の開催地は埼玉となります。当社次回出展に向け出展準備を行ってまいります。







## 展示会だより

#### ■グリーン・イノベーション EXPO 2014 水イノベーション

2014年11月12~14日の3日間,東京ビックサイトにて,公益社団法人化学工業会,一般財団法人 日本能率協会が主催する,グリーン・イノベーションEXPO 2014 水イノベーションに出展しました。

水イノベーションは、革新的な水循環システムの構築と上下水道運営システムの国内外展開を支援する専門展示会で、50社を超える水処理関連会社が出展しました。

当社は、PABIOMOVER-LS(汚泥削減型流動床式好気処理装置)や WET 法のゼブラフィッシュなどの生物応答測定に使用する生物、CT ウォッチ(冷却塔管理システム)のテスト機を中心とした展示を行い、400 名近い来場者に商品の説明を実施することが出来ました。

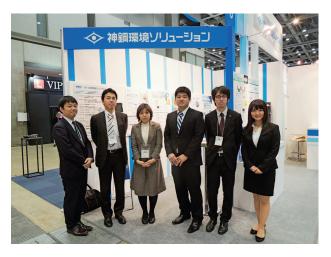
特に、PABIOMOVER-LS は流動担体を小型水槽に入れ、デモンストレーションしたことで、御来場者の質問を多く受け、商品を知って頂く良い機会となりました。

今回の展示会にて、当社製品紹介の多くの機会を得たと同時に、普段お会いすることが出来ない、水処理にお困りの顧客から生の声を聞くことができ、今後の営業活動、研究開発への活用が期待出来る展示会となりました。









☎ (078)232-8018 FAX(078)232-8051 / 〒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) 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 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(甜記ブライムセントラルタワー) 🕿 (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 รางชมหมวาติสัก/ Berliner Allee 55, 40212 Düsseldorf Germany ☎+49-211-7792-0430 FAX+49-211-7792-0450

神鋼環境ソリューション技報 2014年度 Vol.11 No.2 通巻22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/髙橋正光 委員/小倉賢藏·豊久志朗·田頭成能·松本雅彦·下梨孝·水口弘幸·斉藤彰·木下民法·菊池雅彦·渡辺昌造《発行》2015年3月1日印刷 2015年3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