

仲鋼環境ソリューション技報

0.10

No. №



Vol.10 No.2 (通巻20号)

KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS





KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS

目	次 CO	NTENTS
1	<巻頭言> 「雑感、2014」 ~ 放射能汚染対策に関わって~	
2	放射性物質に汚染された土壌の除染・減容化技術 ―第2報―	Decontamination and Volume Reduction Process for Radiation Contaminated Soil
10	放射性セシウム含有飛灰の洗浄技術	Washing Technology for Removing Radioactive Cesium from Fly Ash
18	低水温原水に対する U-BCF 処理性能評価	Performance Evaluation of Up-flow Biological Contact Filter Under Low Water Temperature
24	WET 試験の概要と標準物質を用いた感受性試験	Sensitivity Test with WET Method and Standard Chemicals
29	鋼板製消化タンクによる下水汚泥エネルギー化	Energy Production from Sewage Sludge by Using Steel Plate Digestion Tanks
39	神戸市東部スラッジセンター : 気泡式高効率二段燃焼炉の稼働実績と導入効果	Operation Results and Introduction Effects of Advanced Bubbling-fluidized-bed Two-stage Incinerator at Kobe City Tobu Sludge Center
47	石巻広域クリーンセンターの運転状況 東日本大震災により発生した災害廃棄物の 焼却処理について	On Processing of Disaster Wastes Due to the Great East Japan Earthquake at Ishinomaki Plant
52	施設・技術紹介	
54	TOPICS	

59 (㈱神鋼環境ンリューション登録特許・意匠一覧 (2012年4月1日~2013年3月31日まで)

「雑感、2014」 ~ 放射能汚染対策に関わって~



(独) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター
 センター長 大 迫 政 浩
 Masahiro Osako

2014年新しい年を迎えて、これまでの放射能汚染対策との関わりを通した雑感を述べたい。

東日本大震災・原発災害後この3年間は個人的には大変な日々であった(まだ振返るには早いが)。 それなりに年齢を重ね,組織の中でも役割を与えられるようになると,自身を「社会」と相対して見 るようになる。未来の可能性に願望をもち自己中心に考えていた若い頃と違い,自己の限界を感じな がらも社会においてどのような役割を演じて,どのような軌跡を残せるかを考えるようになる。もち ろんそのために,多少の努力は惜しまないし,これからも成長したいと思う。

「社会」は生き物である。多様な価値観をもつ「人」の集合であるから当たり前のことであるが、 なかなか掴みどころがない。技術システムの合理性を考えて設計評価し、提案することが私たちの仕 事であるが、社会がそのまま受容してくれるわけではない。放射能汚染対策の困難さはそこに理由が ある。ただ、技術を生業とする私たちは、目先の自己利益に惑わされず、社会全体の利益に適う技術 の「合理性」をぶれずに追求したい。環境効率と資源効率の高い技術、すなわち少ない環境負荷と資 源消費で、大きな効用を生出す技術を目指すべきである。

しかし, 放射能汚染対策に係る安全・安心の問題において, 社会における意思決定は一筋縄にはい かない。科学的には「安全」であっても, 社会的には「安心」できるレベルまで求められる。「安全」 は科学的不確実性を減らすことで揺るがないものになるが,「安心」は過去からの経路依存性や地域 社会の特性等により時空間的に異なっている。しかも, 個々人や社会の観念として固定化される傾向 にあるので, それを変化させることは容易ではない。技術の合理性の観点からは, 科学的に「安全」 なレベルの技術を社会が選択していけるように, 社会の価値観自体を変えていかなくてはならない。 多様な価値観の下で多少の利害の相克があっても, 将来のビジョンが共有できれば, 社会における信 頼感の醸成と様々なステークホルダー間のネットワークを基盤として, 新たな社会づくりは可能であ る。このような「社会関係資本 (ソーシャルキャピタル)」の形成が, これからの私たちの目指すべ き方向であるように思う。私自身, そのような社会づくりを支える役割を今後担いたいし, 環境技術 に取組む企業の社会的な役割でもあるように思う。

放射性物質に汚染された土壌の除染・減容化技術

一第2報一

Decontamination and Volume Reduction Process for Radiation Contaminated Soil



福島第一原子力発電所での事故により環境中に放射性セシウムが放出され,汚染された土壌が大量に発生している。前報では加熱処理のラボ試験により土壌から放射性セシウムを揮発除去可能な基礎条件を確立した。今回,福島県A市の協力を得て実施したベンチスケール試験設備を用いた現地実証試験により,ラボ試験結果の検証,そして本プロセスを構成する前処理(洗浄・分級),加熱処理工程の最適化の検討を行った。試験の結果,実汚染土壌の除染・減容化のための最適条件および全体の処理プロセスを確立し,実用化の目途を得たので,報告する。

The accident occurred at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station in March 2011 released radioactive cesium into the atmosphere, resulting in a large amount of soil that the radioactive cesium was adsorbed onto. The previous reports revealed basic thermal treatment conditions to decontaminate radioactive cesium from the contaminated soil. Bench scale test in a city, Fukushima prefecture, were performed to verify repeatability of results produced from laboratory scale test, and to optimize pretreatment (laundering and classification) and thermal treatment conditions. This experiment established optimal thermal treatment condition for decontaminating the soil and reducing its volume, and overall treatment process. The authors see the light of practical use of this process.

Key Words :

放射性セ	シウム	Radioactive cesium
汚 染	土 壌	Contaminated soil
熱 処	理	Heating treatment
減 容	化	Volume reduction
再 利	用	Reuse

【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,加熱処理後土壌の性状変化が少なく,覆 土・盛土等の再利用が可能である。

汚染土壌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,課題となっている仮置き場等のひっ迫や今後建設が計画されている中間貯蔵施設 への輸送あるいは保管の負荷低減に対して有効であると考える。

まえがき

2011年3月11日に発生した東日本大震災は,東京 電力福島第一原子力発電所での事故に伴う,大量の 放射性物質(Cs-134, Cs-137等)による汚染問題を 引き起こし,未だに抜本的な解決策が見出されてい ない。

政府は、この事故由来放射性物質による汚染問題 の解決を目的に、2011年8月に「放射性物質汚染対 処特措法」を定め、除染作業を進めている。

除染作業により発生する除去土壤等は,現在各自 治体毎に適切な場所に仮置き、一時保管されている が,国の指針にもとづき建設が計画されている中間 貯蔵施設に今後すべての汚染物を搬入、保管し,30 年以内に福島県外の最終処分場に移送する計画であ る。しかしながら,汚染が広範囲にわたりかつ除去 土壌のみならず各種汚染物の量が当初の計画より大 幅に超過することが予測されており,中間貯蔵施設 の場所や容量,除去土壌の輸送方法,さらには同施 設での汚染物の受入れ基準や体制の整備等課題が山 積しているおり,具体化に向けて検討が進められて いる。なかでも整備が遅れている自治体での仮置き 場の確保や中間貯蔵施設の早期建設、運用開始が, 当面の最重要課題となっている。¹⁾

また、環境省が出した除染関係ガイドライン²⁾ では、除去土壌と除染廃棄物(除染等の措置に伴い 生じた廃棄物、草木類・保護具等)を出来るだけ分 別することとし、除去土壌は仮置き場にて保管し、 除染廃棄物は廃棄物関係ガイドラインにしたがい適 切に対応することとなっている。しかしながら、実 際の除染現場では、土壌とともに剥取られた芝生類 や草木類ならびにそれらの根が完全には分別でき ず、除去土壌に混ざってしまう例もあるようである (写真1)。ガイドラインでは、基本的には有機物の 腐敗による可燃性の腐食ガスの発生、温度の上昇、



写真1 除染による除去土壌等

悪臭の発生に対する特段の措置は不要としている が,除去土壌に有機物が含まれている可能性を想定 する必要がある。

一方,除染作業の進行と同時に津波により被害を 受けた海岸沿いを中心に復興作業が進む中で,建設 資材の不足が深刻化しており,除去土壌を建設資材 に適用するための処理方法,放射能濃度の測定方法 や要求レベルの規格化,さらには適用用途に応じた 土壌の品質基準作りの検討が進められている。³⁾

現状,除去土壌等の処理技術として、分級処理、 化学処理. 熱処理等が開発されているが. 分級処理 では放射能除去率および減容化率が低く、かつ有機 物を完全に分別できず、また化学処理の場合は処理 物の再利用や廃水処理に難点がある。さらに従来の 熱処理では処理温度が高いために処理後土壌の性状 が変化し、また処理コストが高い等の課題があっ た。当社は上記各処理技術の課題を考慮して、除去 土壌中の放射性セシウムの除去および汚染物の減容 化, さらには処理後土壌の再利用を目的に, 湿式分 級による前処理と添加剤存在下での加熱処理法を組 合わせた基本プロセスを開発した。本プロセスのラ ボ試験の結果, 添加剤量, 処理温度等条件の最適化 により、添加剤を添加し1000℃.60分加熱処理を 行うことで、汚染土壌から90%以上の放射性セシ ウムが除去可能であること、そして処理後土壌の後 処理により農地還元への可能性を明らかにした。4)

本報告では,福島県A市の協力を得て実施した ベンチスケール試験設備を用いた現地実証試験結果 による、ラボ試験結果の検証、そして本プロセスを 構成する前処理(洗浄・分級),加熱処理工程の最 適化の検討により、実汚染土壌の除染・減容化のた めの基本条件および全体の処理プロセスを確立し、 実用化の目途を得たので、試験結果および実用化プ ロセスの概要を中心に報告する。

1. 当社放射性物質汚染土壌の加熱処理プ ロセスとその特徴

図1に当社の汚染土壌の処理プロセスの概念図を 示す。本プロセスは(1)洗浄・分級工程,(2) 添加剤混合工程,(3)加熱処理工程,そして(4) 粉じん処理工程の4つの工程から成る。

洗浄・分級工程では,湿式分級により粒径の大き いレキ・砂成分(粗粒分)を分別し,同時にこれら に付着した粘土・シルト成分(細粒分)を洗浄・除 去する。放射性セシウムは主として粘土鉱物に取り 込まれていると考えられるため,分別・洗浄するこ とにより,粗粒分の放射能を除去することができる。



図1 汚染土壌処理プロセスの概念フロー

添加剤混合工程では,洗浄・分級工程後の細粒分 に,セシウムを土壌から脱着させる脱着促進剤(添 加剤 A)と脱着したセシウムを揮発させる揮発補助 剤(添加剤 B)の2種類の添加剤を添加混合する。

加熱処理工程では、添加剤混合土壌を1000 ℃以 上で加熱処理を行う。本来セシウムの化合物は比較 的揮発しやすく、単体であれば800 ℃でほぼ揮発す るが、実際には土壌中に吸着されており、加熱中に 周囲の成分と化学結合し安定化するために、通常 1000 ℃以下では揮発困難である。ところが、上記 添加剤を混合することで、土壌が溶融する温度域 (1200 ℃以上)より低温にてセシウムを揮発除去す ることが可能であり、所定の放射能濃度まで低減さ せた上で払出し可能となる。

粉じん処理工程では,排ガスとともに揮発したセ シウムをバグフィルタにより粉じんとして捕捉回収 し,高濃縮汚染物として仮置き場や中間貯蔵施設で 保管する。

本処理技術の特徴は以下のとおりである。

- 洗浄・分級工程で放射能濃度の低い粗粒分より細粒分を洗浄・除去することで除染し、エネルギのかかる加熱処理工程に投入する量を減らすことが可能である。
- ② 比較的低温域で加熱処理されるため、加熱処 理済みの土壌は後処理を施した上で覆土、盛土 等への再利用、もしくは通常の廃棄物処理が可 能である。
- ③ 汚染土壌中の放射性セシウムが粉じん中に濃縮されることにより、処理後土壌の放射能濃度が目標値を満たせば、元の汚染土壌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を減らすことが可能である。

2. ベンチスケール実証試験

2.1 安全対策

実証試験は,福島県A市より試験場所ならびに 汚染土壌(高濃度および低濃度)の提供を受け,実 施した。

試験を実施するにあたり,周辺環境への放射能汚 染を防止するため,ビニールブースによる作業エリ アを設け,その中ですべての試験を実施した。

ブース内は排気ファンにて常時負圧とし,室内排 気および集じんガス吸収後の加熱処理排ガスはフェ イルセーフ用の HEPA フィルターおよび活性炭を通 過後に大気放出した。また,作業エリアの出入口に はエアシャワー室と着替え室を設け,作業エリア内 外で服装を変更し,作業エリア内の汚染物をエリア 外へ持ち出さないようにした。

また、試験期間中は毎日、試験実施場所の敷地境界 4カ所ならびに作業エリア(ビニールブース)内外 の3カ所において NaI シンチレーションカウンター (日立アロカメディカル製 TCS-172B)を使用して 空間放射線量率を測定した。試験期間を通して、空 間放射線量率は0.5 µSv/hを下回り、作業環境上問 題なく、周辺環境への影響も無いことを確認した (図2)。

2.2 処理目標

実証試験に使用した汚染土壌の放射能濃度は表1 に示すとおりである。放射能濃度は、ゲルマニウム 半導体検出器(ORTEC 製 GEM-35)を用いて Cs-134と Cs-137の合計値を測定した。

これらの汚染土壌を処理した後の処理物の再利用 を目的に,以下のとおり放射能濃度の削減の目標値 を設定した。



図2-1 空間放射線量率 (敷地境界)

土 壌	放射能濃度 (Bq/kg)	試験実施				
高濃度汚染土壌	6 900	洗浄・分級工程				
(未分級)	2 860	洗浄・分級工程				
	10 000	加熱処理工程				
高濃度汚染土壌 (1 mm 未満)	11 700	加熱処理工程				
	8 600	加熱処理工程				
中濃度汚染土壌 (1 mm 未満)	1 210	加熱処理工程				
低濃度汚染土壌 (1 mm 未満)	137	加熱処理工程				

表1 汚染土壌の放射能濃度測定結果

|--|

土壌仕込み量(g-dry/バッチ)			500		
ふるい目開き	1.0,	1.4,	2.0,	2.8,	4.0



図2-2 空間放射線量率(作業エリア内)

(1)洗浄·分級工程

洗浄後土壌の粗粒分(レキ・砂成分):400 Bq/kg 以下

これは農林水産省,厚生労働省により規定された 利用基準値案^{5).6)}を参考に,通常の土壌と同等の 取扱いが可能な目標値として設定した。

(2) 加熱処理工程

高濃度汚染土壌の処理後土壌:3000 Bq/kg 以下

これは環境省により規定された再生利用の基準値 案⁷⁾を参考に,用途制限付きで再利用可能な目標値 として設定した。

2.3 洗浄·分級試験

2.3.1 試験方法

汚染土壌を湿式分級することにより,各粒径毎の 放射能濃度を確認し,洗浄・分級工程での粗粒分の 放射能除去の可能性を調査した。

写真2に示す電磁式ふるい振とう機を用いて,水 を流しながらふるい振とうを行い,各種目開きのふ るい上から回収された土壌を乾燥させ,放射能濃度 を測定した。表2に湿式分級のふるい条件を示す。

2.3.2 試験結果

図3に土壌の粒度と放射能濃度の関係の一例を示す。



図3 土壌の粒度と放射能濃度の関係

神鋼環境ソリューション技報





写真3 小型回転炉の外観

表3	加熱試驗条件
項目	条件
1. 添加剤混合割合	土壌:添加剤 A =50:50~80:20 添加剤 B の添加量 = 5~10 %
2. 加熱温度	1 000∼1 100 °C
3. 加熱時間	30~90 min
4. 土壌の放射能濃度	高濃度 (10 000 Bq/kg) 中濃度 (1 000 Bq/kg) 低濃度 (100 Bq/kg)



写真4-1 加熱前土壌



写真4-2 加熱後土壌

6 900 Bq/kg の汚染土壌を湿式分級した結果,1 mm ふるい上の粒子の放射能濃度は100~210 Bq/kg,1 mm ふるい下の放射能濃度は10 000 Bq/kg 以上まで 濃縮されることを確認した。汚染土壌の初期放射能 濃度や土壌性状,混入成分の組成にも依存するが, 分級・洗浄工程により処理目標である粗粒分の放射 能濃度の400 Bq/kg 以下の達成は可能と判断した。

2.4 加熱処理試験

2.4.1 試験方法

洗浄・分級工程の試験結果より,1mm ふるい下 の放射能濃度の高い細粒分を試験試料として加熱試 験に供した。

試験装置には**写真3**に示す小型回転炉を使用し, 耐火物被覆したステンレス鋼製の炉心管に,所定の 割合で添加剤(セシウム除去剤)を混合した混合土 壌を装入し,バッチ方式により加熱処理試験を実施 した。キャリアガスとして空気を流しながら所定温 度まで昇温し,所定時間加熱後,室温まで冷却して 加熱後土壌を回収した(写真4)。排ガスは円筒ろ 紙およびガス吸収水を通過させて放射性物質を捕捉 した。

表3に加熱試験条件を示す。放射能濃度の異なる 汚染土壌を使用して加熱温度,加熱時間,そして土 壌に加える添加剤量をパラメータとして,試験を実 施した。

加熱後土壌量および粉じんについて, 試料量およ び放射能濃度を測定し, 放射能除去率および減容化 率を算出した。

2.4.2 試験結果

表4に種々の条件下で実施した加熱処理試験にお ける処理後土壌の放射能除去率および減容化率を, 図4~6に放射能除去率と加熱温度・添加剤量,加 熱時間,処理前汚染土壌放射能濃度との関係を示 す。

		添加剤混合	条件	加熱	条件	上協の抜け北連府	坊舶船险土卖	加劫加珊滨家花玄
No.	土壌	添加剤 A	添加剤 B	温度	処理時間	上張(7) 成别 肥		加熱処埋阀谷化竿
	%	%	%	°C	min	Bq/kg	%	%
1	70	30	5	1 000	60	10 000	91.4	98.9
2	70	30	5	1 000	60	1 210	89.6	98.2
3	70	30	5	1 000	60	137	85.8	99.4
4	80	20	5	1 000	60	10 000	85.8	99.3
5	50	50	5	1 000	60	10 000	94.2	98.0
6	70	30	5	1 100	60	10 000	95.6	98.8
7	70	30	10	1 100	60	11 700	97.3	93.5
8	50	50	5	1 100	60	11 700	97.3	97.8
9	50	50	10	1 100	60	8 600	98.3	93.3
10	70	30	5	1 100	30	8 600	93.9	96.7
11	70	30	5	1 100	90	8 600	95.3	97.1

100

95

90

85

80

0

8

放射能除去率

表4 加熱処理による処理後土壌の放射能除去率



図4 加熱温度および添加剤量と放射能除去率の関係

図4に示すように、1000℃以上に加熱すること により80%以上の放射能除去率を達成することが でき、添加剤A、Bそれぞれの添加量を増やしたり 加熱温度を1100℃まで上昇させることにより最大 98%の放射能除去率を達成できた。

また,加熱時間を30分から60分に延長した場合 は,放射能除去率の増加が確認できたが,90分まで 延長しても放射能除去率に変化は見られなかったた め,加熱時間は60分以内で十分である(図5)。

処理前の汚染土壌の放射能濃度が低い土壌では放 射能除去率も低下し,両者の間には正の相関が確認 された(図6)。したがって,より高濃度の汚染土 壌に対して本法は有効であると推定される。

2.4.3 プロセスガス中の放射能濃度

プロセスガスの放射能濃度を,放射能濃度等測定 方法ガイドライン(環境省)にしたがって,ろ紙に 捕捉された粒子状放射性物質および純水に吸収され たガス状放射性物質の放射能濃度の二種類を分析し た。分析結果の一例を**表5**に示す。

Vol. 10 No. 2 (2014 / 2)



0.5

1

加熱時間 (hr)

図5 加熱時間と放射能除去率の関係

1.5

2





表5 排ガスの放射能濃度

測定試料	各種	放射能濃度 (Bq/m ³)	検出限界濃度 (Bq/m ³)
粒子状	Cs-134	25	2
(ろ紙部)	Cs-137	51	1
ガス状	Cs-134	不検出	4
(ドレン部)	Cs-137	4	2



神鋼環境ソリューション技報

この結果,放射性セシウムはガス状物質として極 微量検出されているが,ほとんどが粒子状物質とし て存在し,円筒ろ紙に捕捉されていることが確認さ れた。したがって,本試験において最終排ガス中に 放射性セシウムはなく,大気環境の汚染は無かった と言える。

また、実処理設備機においても、プロセスガスを バグフィルター等を用いて処理することにより、排 ガスとして大気開放可能であると考えられる。

3. 実用化プロセスの概要

図7に本プロセスによる除去土壌の除染減容化イ メージ図を示す。

処理対象の除去土壌は放射能濃度の測定後,洗 浄・分級工程にて草木類,粗粒分,細粒分に分別す る。粗粒分は分析後に払出し,細粒分に添加剤を混 合の上,草木類とともに加熱処理工程で処理した上 で,加熱処理物として分析後に払出す。放射性セシ ウムが濃縮された粉じんは高濃縮汚染物として仮置 き場ならびに中間貯蔵施設にて保管を想定してい る。払出された粗粒分ならびに処理物は,その放射 能濃度や土壌品質により,覆土や盛土等に活用する。

今回試験に用いた12 000 Bq/kg の除去土壌を仮に 10万トン処理した場合,400 Bq/kg 以下の粗粒分が 5万トン,3000 Bq/kg 以下の加熱処理物が5.3万ト ンとなり,同時に高濃縮汚染物(約36万 Bq/kg)が 1000トン発生するが,この量は元の土壌に対して 1%であり,汚染物として99%の減容化が可能と 考えられる。

むすび

放射性物質汚染土壌の除染・減容化プロセスの確 立を目的に,実汚染土壌を用いた洗浄・分級試験お よびベンチスケール試験装置を使用した各種条件下

*プロセス技術開発部 新規プロセス室

での加熱処理試験を実施した。その結果,洗浄・分 級工程により粗粒分を分別・除染できることを確認 し,また回転炉を使用したベンチスケール実証試験 において,添加剤の使用により安定的に80%以上 の放射能除去率を,さらには添加剤量と加熱温度を 最適化することで最大98%の放射能除去率を達成 することができた。また,汚染物量は最大で99% 減容化できることが明らかになった。

結果より,本プロセスが実汚染土壌の除染・減容 化に有効であり,実用化可能であることを確認し た。

現状,除染作業を進めるにあたり課題となってい る仮置き場等のひっ迫や今後建設が計画されている 中間貯蔵施設への輸送あるいは保管の負荷低減に対 して,本プロセスによる除染・減容化は,除染作業 の効率化・促進や放射能除染問題の早期解決に有効 であると考える。

[参考文献]

- 1) 福島民報 2013年9月7日新聞記事
- http://www.minpo.jp/pub/topics/jishin2011/2013/09/ post_8098.html
- 2)環境省除染関係ガイドライン平成25年5月第2版
- 3) 除染・廃棄物技術協議会 浄化土壌 WG http://tacrwm.jp/03_techinfo/03_06_techinfo.html
- 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), p.15-20
- 5) 農林水産省通知, 放射性セシウムを含む肥料・土壌 改良資材・培土及び飼料の暫定許容の設定について, 平成23年8月1日
- 6) 厚生労働省通知, 放射性物質が検出された浄水発生 土の園芸用土又はグラウンド土への有効利用に関する 考え方について, 平成25年3月13日
- 7)環境省通知,管理された状態での災害廃棄物 (コンクリートくず等)の再生利用について,平成23年 12月27日

放射性セシウム含有飛灰の洗浄技術

Washing Technology for Removing Radioactive Cesium from Fly Ash





谷田克義 Katsuvoshi Tanida 博士 (工学)

能野 平

Susumu Kumano

上田 豊' Yutaka Ueda



Yoshihiro Sakai

福島第一原子力発電所の事故に由来する放射性セシウムを含有する飛灰から放射性セシウムを除 去するとともに、飛灰から除去した放射性セシウムを濃縮する飛灰洗浄技術を実証した。その結 果,飛灰中の放射性セシウムを90%以上除去でき,溶出率を大幅に低減できることがわかった。 さらに最終処分場への飛灰の埋立容量を大幅に低減できた。またフェロシアン化鉄吸着材を用いて 放射性セシウムを吸着処理することにより、吸着処理水の放射能濃度を10 Bq/kg 未満にするととも に、高濃度の放射性セシウムを含む廃棄物の量を1/500に減らすことができた。

The technology that removes radioactive cesium (radio-Cs) from fly ash with water and adsorbs the radio-Cs in the water onto an adsorbent was illustrated for reducing the volume of the disposals. The results showed that over 90 % of radio-Cs was removed from fly ash and the elution was dramatically decreased; therefore the volume of the disposal was dramatically reduced. Moreover, by adsorbing radio-Cs onto the ferric hexacyanoferrate adsorbent, the radio-Cs was removed. The resulting concentration of the water was reduced to less than 10 Bq/kg, achieving reduction in volume of the disposal to five hundredth.

Key Words :

放身	付性も	こシウ	ウム	Radioactive cesium
飛			灰	Fly ash
飛	灰	洗	浄	Washing out fly ash
減	答	Š.	化	Reduction of volume
溶	出	低	減	Decrease of elution
吸			着	Adsorption
R	0)	膜	Reverse Osmosis

【セールスポイント】

福島第一原子力発電所の事故に由来する放射性セシウムを含む飛灰を水で洗浄することで、放 射性セシウムを90%以上除去するとともに、溶出率を大幅に低減することができる。また埋立 容量も低減できる。

セシウム選択性の高いフェロシアン化鉄吸着材を使用して洗浄排水を吸着処理することで、処 理水の放射性セシウム濃度を10 Bq/kg以下にするとともに、放射性セシウムを含む廃棄物となる 廃吸着材の発生量を原飛灰の1/500にできる。

洗浄排水を RO 膜処理することで、飛灰の洗浄水として再利用することができ、使用水量を低 減することができる。

まえがき

2011年3月11日に発生した東日本大震災に起因す る福島第一原子力発電所の事故により,放射性セシ ウム(以下放射性 Cs)が環境中に放出された。環 境中に放出された放射性 Csはエアロゾルなどの形 で広範囲に拡散し,降雨によって地上に降り注い だ。地上に降り注いだ放射性 Csはイオン状である と考えられ,土壌に吸着されたり,草木類などに付 着したりして,地上に沈着したと考えられる。放射 性 Csが付着した草木類を剪定あるいは除草するこ とで放射性 Csが付着したごみが発生し,これらの ごみを焼却施設で焼却する過程で,放射性 Csを高 濃度に含む飛灰が発生した。¹⁾

飛灰中に含まれる放射性 Cs は塩化 Cs として含 まれる。¹⁾ ナトリウムなどと同じアルカリ金属であ る Cs の塩化物は水に容易に溶解するため, 飛灰中 に含まれる放射性 Cs も容易に水に溶出する傾向に ある。よって飛灰をそのまま最終処分すると放射性 Cs が溶出して再び環境中に拡散することになるた め, そのままでは最終処分することはできない。特 措法では, 埋立処分に先立って前処理を行うことと されており, セメント固化により放射性 Cs の溶出 を低減することは可能である。²⁾しかしながら,完 全に溶出を止めることはできないため,隔離層や土 壌層の設置など,さらなる追加的措置を講ずること とされている。これらの措置はコストの増加や埋立 容量の圧迫,作業の手間や時間の浪費に繋がる。そ こで飛灰からの放射性 Cs の溶出をさらに大幅に低 減でき,飛灰を安全に最終処分できる方法が求めら れている。その方法として,放射性 Cs の溶出性が 高いことに着目し,あらかじめ飛灰を水で洗浄する ことで放射性 Cs を除去して飛灰からの放射性 Cs の溶出を低減する方法を検討した。

本技術を開発・実証するため,焼却施設で発生した実際に放射性 Cs を含有する飛灰を用いて,飛灰を洗浄する技術を確立するためのベンチテストを実施した。本報では,そのベンチテストで得られた知見について紹介する。

飛灰洗浄技術の概要

図1に飛灰洗浄の概要を示す。以下に飛灰洗浄の 各工程について示す。

① 飛灰洗浄工程

飛灰中には放射性 Cs が含まれており,多くは水 に易溶な塩化 Cs である。そのため飛灰を水中に分





図2 飛灰洗浄ベンチテスト装置ブロックフロー図

散させると放射性 Cs が溶出する。

② 脱水工程

飛灰溶解水を脱水機により固液分離することで、 放射性 Cs が溶解したろ液と洗浄飛灰(脱水ケーキ) に分離する。ここで得られる洗浄飛灰は放射能濃度 が大幅に低下するとともに、溶出性も低下する。な お脱水ケーキ中に放射性 Cs が溶解した水が残留し ないように、脱水機でリンスを行って脱水ケーキ中 の水を清水と置換する。

③ 吸着工程

分離された脱水ろ液(洗浄排水)は吸着塔を用いた吸着処理により放射性 Cs が吸着材に吸着・濃縮され,放射性 Cs が除去された処理水を得られる。なお,吸着処理水は最終処分場の浸出水と同様に、セシウム以外の溶解性成分,例えばナトリウム,カリウム,カルシウム,塩素などが溶解しているため,浸出水と同様の後処理を行う必要がある。また図には示していないが,洗浄排水中の放射性 Cs やその他の成分の濃度が低い場合,RO 膜処理を行って水を回収・再利用することも可能である。同時に,放射性 Cs が濃縮されるため吸着量を増加させることも可能である。

ここで図中に示した各工程での放射能濃度は実証 で得られた数値を元に示した。以下にこの飛灰洗浄 技術を実証したベンチテストの内容について述べる。

2. ベンチテスト

ベンチテストは,装置を一般廃棄物焼却施設に設 置し,実際に放射性 Cs を含む飛灰を用いて行った。 以下にベンチテストの条件や装置について示す。

2.1 使用飛灰性状

使用した飛灰の性状を表1に示す。

飛灰はフレコンバッグに保管されており,フレコ ンバッグ内から取出して使用した。使用した飛灰の 保管時期は2011年7月~11月であり,飛灰中の放射 能濃度は8000~27 300 Bq/kg であった。ここで放射

表1 使用した飛灰の発生日と放射能濃度

No.	飛灰の発生日	放射能濃度 Bq/kg
1	2011年7月13日	25 200
2	2011年7月14日	24 500
3	2011年7月15日	24 400
4	2011年7月15日	23 800
5	2011年7月20日	25 800
6	2011年7月20日	27 300
7	2011年7月21日	26 900
8	2011年7月21日	25 800
9	2011年8月19日	16 300
10	2011年11月12日	8 000

能濃度はテスト時に NaI (TI) 検出器を使用した放 射線スペクトル測定装置で測定した値であり,発生 時の濃度ではない。なお以下,特に測定方法の記載 が無い場合,放射能濃度の値は同様の方法での測定 値である。

放射能濃度は飛灰を保管した時期により異なり 2011年7月頃は高い値であるが,原子力発電所の事 故から時間が経過するとともに低下した。これは, 自然減衰によるものではなく,放射性 Cs を含むご みが減少したためであると考えられる。

2.2 ベンチテスト装置

2.2.1 テスト装置フロー

図2に飛灰洗浄ベンチテスト装置のブロックフロ ー図を示す。また図3に鳥瞰図を示す。

テスト装置は灰溶解槽と脱水機からなる飛灰洗浄 装置,膜装置,吸着装置で構成されている。以下に それぞれの装置の仕様を示す。

2.2.2 テスト装置仕様

1) 飛灰洗浄装置

飛灰洗浄装置は,飛灰を水中に分散して放射性 Csを溶解させるための灰溶解槽と固液分離するための脱水機から構成されている。 灰溶解槽は容量が500 L であり、飛灰成分が沈降 せず効率よく水中に分散するように撹拌機を備えて いる。飛灰溶解はバッチ処理で行い、最大で80 kg/d の飛灰を処理した。なお灰溶解槽に飛灰を投入する 際、飛灰が飛散して周辺が汚染されることがないよ うにした。具体的には、飛灰を取扱う場所を別部屋 とし、バグフィルタを通して空気を吸引することで 負圧とし、飛灰の拡散を防止した。なお飛灰を取扱 う際は防塵マスクと防護服を着用して作業し、部屋 の出入り時に汚染検査を実施することで、作業員の 内部被ばくと放射性 Cs の拡散を防止した。

脱水機としてはフィルタープレスを採用した。飛 灰溶解水をろ過した後、リンスを行って洗浄飛灰中 の水を置換し、その後、圧搾を行った。ここで得ら れる脱水ろ液が洗浄排水であり、放射性 Cs を多く 含む排水となる。

2) 膜装置

飛灰洗浄排水は多くの塩類を含むため,放射性 Csを除去した後も放流できないケースも想定され る。その場合は蒸発固化することになるが,蒸発固 化にかかるエネルギやコストを低減するためには, 洗浄排水はできるだけ少ない方が良い。そのため, RO 膜で洗浄排水を濃縮して減量するとともに,放 射性 Csを除去した水を回収・再利用する方法が有 効であると考えられる。洗浄排水は最終処分場の浸 出水と性状が近いため, RO 膜として当社が最終処 分場向けに販売しているDTモジュールを採用した。

図4にDTモジュールの構造,図5にDTモジュ ールのフローを示す。DTモジュールは,原水を膜 とディスクの間を高流速で通水することにより,フ ァウリングやスケーリングを低減することができる ため,通常のスパイラル RO 膜と比較して簡単な前 処理で RO 膜処理を行うことができる。テストでは 図5に示すように,DTモジュールの処理水を通常 のスパイラル RO 膜でさらに処理する2段 RO 膜処 理を採用した。



図4 DT モジュールの構造



図3 飛灰洗浄ベンチテスト装置鳥瞰図





RO 膜装置では最大で1 200 L/d の洗浄排水を処理 可能であり,最大で800 L/d の 2 段 RO 膜処理水を 得ることができる。なおここで得られた RO 膜処理 水は,飛灰洗浄水として再利用した。

3) 吸着装置

吸着装置は吸着材を充填した吸着塔に洗浄排水も しくは RO 膜濃縮水を通水し,放射性 Cs を洗浄排 水から除去するとともに,放射性 Cs を吸着材に吸 着させ濃縮するための設備である。飛灰洗浄排水は セシウム以外にも高濃度に塩類を含むため,吸着処 理に使用する吸着材は,セシウムの選択吸着性の高 いフェロシアン化鉄(以下プルシアンブルー)を造 粒した吸着材(東亞合成㈱製)とした。本吸着装置 では最大で1 200 L/d の洗浄排水を処理可能である。

吸着塔内では放射性 Cs が濃縮されるため,吸着 装置周辺は空間線量率が高くなる。そこで吸着装置 の周辺に鉄製の遮蔽壁を設けて周囲への影響がない ようにした。また吸着量が飽和となった吸着塔は装 置から取外し,吸着装置の横に設置したコンクリー ト製の遮蔽壁で囲われた保管場所に移して保管し た。

3. テスト結果

以下にベンチテストの結果を示す。

3.1 飛灰洗浄結果

始めに飛灰洗浄の効果を示す。



図6に洗浄前の原飛灰と,洗浄後の洗浄飛灰の放 射能濃度の関係を示す。図中の実線は除去率90% の場合を表しており,全ての点が実線上あるいは下 にプロットされている。これは飛灰洗浄による飛灰 からの放射性 Cs の除去率が90%以上であることを 示している。

表2に洗浄飛灰の溶出試験結果を示す。ここで溶 出試験は、JIS K0058-1に従って実施した。なお表 2の値はゲルマニウム半導体検出器を用いて測定し た値である。図6と同様に、洗浄飛灰の放射能濃度 は原飛灰の放射能濃度の1/10以下であった。一方、 洗浄飛灰の溶出試験における放射能濃度は、原飛灰 が28 700 Bq/kg の場合であっても100 Bq/L 未満であ った。ここで原飛灰の放射能濃度が8 120 Bq/kg の 溶出液濃度は検出限界未満であった。溶出試験にお ける放射能濃度は洗浄飛灰を10倍量の水で溶解した ろ液であるので,洗浄飛灰から溶出した濃度は溶出 液濃度の10倍である。よって洗浄飛灰からの溶出率 は最大で38.5 %であるが,原飛灰に対する溶出率は 3 %未満であった。セメント固化の場合,セメント 固化体の溶出率は原飛灰の溶出率の20 %以下とな る²⁾ので,セメント固化体からの放射性 Cs の溶出 率は原飛灰からの溶出率90 %の20 %である18 %に なると考えられる。この値と比較して,飛灰洗浄に よる溶出率の低減効果は非常に大きいことがわか る。

以上のように飛灰洗浄により,洗浄飛灰の放射能 濃度は原飛灰の90%以下となり,原飛灰に対する 溶出率は3%未満となることがわかった。

3.2 RO 膜処理結果

次に RO 膜処理による放射性 Cs の除去性と RO 膜処理水の再利用を検討した結果を示す。

図7にRO原水と1stROであるDTモジュール処理水,2ndRO処理水の放射能濃度の経時変化を示す。ここで放射能濃度は、放流水の排出口での監視

濃度基準の算定式である Cs-134÷60 Bq/L+Cs-137 ÷90 Bq/L で換算した値を示した。

DT モジュール処理水中の放射能濃度は、Cs-134 ÷60 Bq/L+Cs-137÷90 Bq/L はおおむね1 程度であ り,洗浄水として再利用可能であった。また全ての 測定点の阻止率を算出してそれらの値を平均したと ころ,DT モジュールのみの処理で放射性 Cs を95 %以上除去することが可能であった。さらに2段 RO 処理により、Cs-134÷60 Bq/L+Cs-137÷90 Bq/ L は十分に1を下回っており、監視基準(Cs-134÷ 60 Bq/L+Cs-137÷90 Bq/L < 1)を十分に満足する 水質が得られた。

飛灰洗浄排水を RO 膜処理する場合,処理水を再 利用することが使用水量の低減の観点から有効であ ると考えられるので処理水の再利用を実施したとこ ろ,DT モジュールのみで飛灰洗浄水として再利用 できることがわかった。

3.3 吸着処理結果

次に吸着処理による放射性 Cs の除去性とプルシ アンブルー吸着材の飽和吸着量を検討した結果を示 す。

図8に吸着処理の原水と処理水の水質分析結果を 示す。吸着処理の原水の放射能濃度は洗浄する飛灰





図8 吸着原水および処理水の放射能濃度の経時変化

		24.2	1)し1手 バモルくマノ (日・口) 時代の			
原 飛 灰		洗净飛灰	溶出試験液	溶 出 率		
	放射能濃度	放射能濃度	放射能濃度	対原飛灰	対洗浄飛灰	
	Bq/kg	Bq/kg	Bq/L	ç	6	
-	8 120	407	<17.0	<2.1	<41.8	
	26 100	2 240	51.9	2.0	23.2	
_	28 700	2 120	81.6	2.8	38.5	

表2 洗浄飛灰の溶出試験結果



の放射能濃度などにより変動し,1000~3400 Bq/kgの間で推移した。これに対して、プルシアンブルー吸着材で吸着処理することにより、処理水質は常に10 Bq/kg 未満であり、ほとんどは検出下限値である7 Bq/kg 以下であった。

また飽和吸着量の検討も行った。ここで吸着塔内 の吸着材は非常に高濃度の放射性 Cs を含有してい るため、安全上の理由で取出して濃度を測定するこ とができない。そこで、吸着塔内の吸着材の吸着量 は推定値を求めて評価した。吸着量の推定方法は次 のとおりである。

吸着塔に流入した総ベクレル数と処理水に含まれ る総ベクレル数の差は吸着塔内の吸着材に吸着した 総ベクレル数であるので,この値を吸着塔内の吸着 材重量で除すことにより,平均吸着量が得られる。 同時に吸着塔から放出される放射線量率を吸着塔の 入口から出口までの任意の位置で測定し,その平均 値を求める。次に平均の吸着量と放射線量率の平均 値との関係を求める。その結果の一例を図9に示 す。図からわかるように,吸着量と放射線量率の平 均値の関係は原点を通る一次の直線となる。よって その傾きが放射線量率を吸着量に換算する係数とな る。この係数を吸着塔の任意の場所で測定した放射 線量率に掛けることにより,その場所の吸着塔内の 吸着材の放射能濃度を推定することができる。

吸着原水濃度と以上の方法により推定した飽和吸 着量の関係を図10に示す。なお飽和吸着量とは、放 射線量率が経時変化しなくなった時の吸着量とし た。図から、原水の放射能濃度が上昇することによ り飽和吸着量も増加し、吸着の原水濃度が約3 000 Bq/kgの時の飽和吸着量は10 000 000 Bq/kg 程度で あった。よって原飛灰の濃度が20 000 Bq/kg の場合、 廃棄物である飽和した廃吸着材の発生量は原飛灰の



表3	飛灰処理における二次廃棄物発生量の比	較
----	--------------------	---

万 式	洗净万式	セメント固化										
	原飛灰約	条件										
処理容量	1	0	m ³ /d									
放射能濃度	20	000	Bq/kg									
	二次廃棄物発生量											
処理灰	7.9	10.5	m ³ /d									
吸着材	0.023	_										
固 化 塩	1.3	_										
廃棄物合計	9.2	10.5										
処理灰	2 000	9 700	Bq/kg									
吸着材	10 000 000	_										
固 化 塩	<100	_										
	溶 出	率										
溶 出 率	3	18	%									
溶出液濃度	60	360	Bq/L									
	埋立容量(20	0 m ³ 単位)										
埋立容量	163	347	m ³									
対原飛灰	82	174	%									
相対比較	47	100	%									

1/500にすることが可能と考えられる。

4. セメント固化との比較

飛灰洗浄技術はセメント固化技術の代替技術と位 置付けられる。そこで,セメント固化灰と洗浄飛灰の 埋立容量および溶出性の比較を行った。

表3に放射能濃度20000 Bq/kgの飛灰10 m³(フレ コンバッグ10袋)を処理した際の飛灰洗浄とセメン ト固化における廃棄物の発生量を試算して比較した 結果を示す。ここでセメント固化の試算は、「平成 23年度放射性物質を含む焼却灰セメント固化処理等 業務」の業務説明書²⁾を参照した。また洗浄飛灰か らの放射性 Cs の除去率は90%とした。

飛灰洗浄では,洗浄飛灰,廃吸着材および固化塩 が二次廃棄物として発生する。一方,セメント固化 はセメント固化灰が発生する。洗浄飛灰は,洗浄に より溶解成分が溶出するため原飛灰よりも減量さ れ,放射能濃度と溶出液濃度は大幅に低下する。一 方,セメント固化の場合は飛灰とほぼ同量のセメン トと水を添加するが圧縮するため,容量はほとんど 変化しない。しかしながら,放射能濃度は原飛灰の 1/2程度にしかならず,溶出液濃度も高い値である。 この結果から,飛灰洗浄を行った方がより安全・安 心な処理灰が得られることがわかる。

このうち,洗浄飛灰とセメント固化灰は既存の最 終処分場に埋立処分,吸着材は中間貯蔵施設に保 管,固化塩は産業廃棄物処理されることになる。そ こで処理灰を既存の最終処分場へ埋立てた際の埋立 容量を試算して比較を行った。ここで,洗浄飛灰は 放射能濃度が8000 Bq/kg未満となっているため特 定一般廃棄物として埋立て処分可能とし,セメント 固化物は特措法施行規則第26条第2項に従って埋立 てるとした。なお埋立単位は原飛灰200 m³とした。 試算結果を表3に同時に示す。

セメント固化の埋立容量は,200 m³の飛灰に対し て347 m³となり大幅に増加するが,飛灰洗浄の埋立 容量は163 m³と減少し,セメント固化に対しては47 %となった。

以上の結果から飛灰洗浄を行うことにより、既存

*技術開発センター 水・汚泥技術開発部 水処理室 **水環境事業部 MER 技術部

の最終処分場の負荷を大幅に低減することが可能で あることがわかった。また放射能濃度および溶出率 も大幅に低減されるため,管理が容易になると考え られる。

むすび

放射性 Cs を飛灰から除去する飛灰洗浄技術を実 証するためにベンチテストを実施し,以下の知見を 得た。

- ・水による洗浄により飛灰から放射性 Cs を90 %以 上除去可能であり,溶出率を大幅に低減すること が可能であった。
- ・洗浄排水を DT モジュールで RO 膜処理すること により,放射性 Cs を平均で95%以上除去可能で あり,洗浄用水として再利用可能であった。さら に2段処理することで監視基準よりも大幅に低濃 度とすることが可能であった。
- ・洗浄排水を吸着処理することにより、放射能濃度 を10 Bq/kg 未満とすることが可能であった。また 廃吸着材の濃度は10 000 000 Bq/kg とすることが 可能であり、高濃度の放射性 Cs を含む廃棄物の 発生量を原飛灰の1/500とすることが可能であっ た。

謝辞

飛灰洗浄ベンチテストは,独立行政法人国立環境 研究所の委託事業であり,受託者である福岡大学と 共同で実施した。ここに関係各位に謝意を表しま す。

[参考文献]

- 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 第三版)(2012)
- 2)環境省:「平成23年度放射性物質を含む焼却灰セメン ト固化処理等業務」業務内容説明書(2013)

低水温原水に対する U-BCF 処理性能評価

Performance Evaluation of Up-flow Biological Contact Filter Under Low Water Temperature





Shuichi Enomoto

熊野 平 Susumu Kumano



Shota Takahashi



上水分野において、水源水質の悪化にともなう臭気物質の発生、溶解性物質濃度の上昇により浄 水障害が生じ課題となっている。臭気物質および溶解性物質の除去方法として、近年、生物処理、 とりわけ粒状活性炭を利用した上向流式生物接触ろ過方式が注目を集めている。しかし、生物処理 であるため、原水の低水温化による生物活性の低下が懸念される。当社は、寒冷地に所在する浄水 場にて四季を通じた上向流式生物接触ろ過設備による臭気物質、溶解性物質の除去性能の評価を行 い、低水温となる地域においても上向流式生物接触ろ過設備が適用可能であることを確認した。

In water treatment, purification trouble arises because of the generation of odor-causing substances and the rise in concentration of the dissolved substances caused by the worsening quality of water sources. Recently, an Up-flow Biological Contact Filter (U-BCF) that uses microbial processing and granular active carbon has garnered attention as a method for removing odor-causing substances and dissolved substances. However, because it uses microbial processing, it is feared that biological activity may be reduced by low water temperatures. We evaluated U-BCF removal performance of odor-causing substances and dissolved substances at a drinking water treatment plant in a cold area during all seasons of the year, and confirmed that the U-BCF was applicable technology for cold areas.

Key Words :

上	水	処	理	Water treatment
上庐	可流式生	主物接触	触ろ過	Up-flow Biological Contact Filter
低	フ	ĸ	温	Low water temperature
臭	気	物	質	Odor-causing substances
溶	解	生物	質	Dissolved substances

【セールスポイント】

北海道や東北地方等の寒冷地においても生物処理による浄水処理が適用可能である。

まえがき

上水分野において、水源水質の悪化にともなう臭 気物質の発生や溶解性物質濃度の上昇によって浄水 処理に障害が発生し、課題となっている。また、さ らに近年では、冬季においても臭気物質が発生する

事例が確認されており、水源の悪化と同じく浄水処 理に悪影響を及ぼす。

上記課題に対して、生物処理、とりわけ粒状活性 炭を利用した上向流式生物接触ろ過方式が有効であ り、注目されている。しかし、生物接触ろ過方式の 場合、除去対象物質を生物の働きにより除去もしく は分解することから、原水の低水温化による生物活 性の低下が懸念される。また、生物処理における原 水水温と除去対象物質の定量的な評価が行われてい ない。

上記現状から、当社は上向流式生物接触ろ過設備 (以下, U-BCFと称す)の低水温原水への適用性確 認を目的として、寒冷地におけるダム湖沼水を水源 とする浄水場に U-BCF 実験装置を設置し、四季を 通じた臭気物質,溶解性物質の除去性能を評価し た。

なお、本研究は東北学院大学との共同研究として 実施した。

実験装置と方法

生物接触ろ過設備は、担体であるろ材に保持され た浄化能力を有する微生物を利用して、原水中の臭 気物質や溶解性物質を微生物に接触させて除去もし くは分解するシステムである。そのなかで U-BCF はろ材の下部から上向きに原水を通水して生物処理 を行う方式であり、通水速度を大きくして接触ろ過 層を膨張させた流動状態(流動床)とし、生物接触 ろ過層内の濁質捕集を抑制しており、以下の特長を 有する。¹⁾

- 1) 流動床であるため, 接触ろ過層全体を有効に利 用でき、生物処理効率が良い。
- 2) 小粒径の活性炭を利用することで、ろ材の表面 積が大きくとれ、生物の付着量が多くなり処理効 果を向上できる。
- 3) 上向流であるため、原水中の濁質によるろ過層 の閉塞が生じない。また、濁度が高い原水を高い 通水速度で接触ろ過できるので、施設の設置面積 のコンパクト化が可能である。

今回使用した U-BCF 実験装置フロー図.装置諸 元をそれぞれ図1、表1に示す。原水は水中ポンプ にて沈砂池より取水され、実験装置内の原水槽へ移 送される。原水槽に移送された原水は、原水ポンプ

> 表1 現地実験装置諸元 生物接触ろ過塔

> > PVC 製円筒竪型

1 塔 200 mm $\phi \times 4500$ mmH

上向流式

15 m/h

10 /h 粒状活性炭1500 mmH(有効径0.4-0.5 mm)

300 mmH

有孔ブロック式





現地実験装置フロー図および外観 図 1

型

塔

+

ろ

ろ過速度

空間速度

配水装置

式

数

法 通水方式

材 支持砂利

13	1	9
----	---	---

にて U-BCF へ送水され,下部配水装置,支持砂利 層を経て,ろ過層でろ材(活性炭)と接触処理さ れ,ろ過塔上部より処理水槽へ移送される。洗浄は 原水および空洗ブロワからの空気を使用してろ過と 同様の上向流にて行った。

2. 実験結果

2.1 現地実験結果

溶解性物質である溶解性マンガン,アンモニア態 窒素,および臭気物質であるジェオスミン,ジメチ ルイソボルネオール(以下2-MIBと称す)に着目し て U-BCF 処理性能を評価した。各物質の原水濃度, 処理水濃度,原水水温を図2~5に示す。

実験期間は、2010年10月18日から2012年8月23日 までとした。2010年10月18日から2011年6月25日ま では、馴養期間であること、震災で現地入場ができ なかったことよりデータは未掲載とした。なお、実 験装置はデータ未掲載期間中、故障することなく運 転していた。

1) 溶解性マンガン

原水濃度は0.001 mg/L(検出限界値)未満~0.048 mg/Lの範囲で実験期間中推移していた。これに対 して処理水濃度は,原水水温が5℃以下となる期 間(低水温期)も含めて実験期間中常に0.001 mg/L (検出限界値)未満で推移しており,良好に処理さ れていた。

2) アンモニア態窒素

原水濃度は0.01 mg/L(検出限界値)未満~0.12 mg/Lの範囲で推移していたのに対し,処理水濃度 は低水温期も含めてほぼ0.01 mg/L(検出限界値) 未満で推移しており,良好に処理されていた。 3)ジェオスミン

原水濃度1 ng/L(検出限界値)未満~4 ng/Lの 範囲で推移し,2011年9月中旬から2012年5月末に かけて2 ng/L前後検出されていた。一方,処理水 濃度は全期間を通してほぼ1 ng/L(検出限界値) 未満で推移しており,良好に処理されていた。

4) 2-MIB

原水濃度は1 ng/L (検出限界値)未満~17 ng/L の範囲で推移していた。特に2011年9月中旬から 2012年3月下旬にかけて高濃度で検出されていた。 処理水濃度は低水温期においては最大で3 ng/L 検 出されたが,それ以外の期間においてはほぼ1 ng/ L (検出限界値)未満で推移しており,良好に処理 されていた。

5) 生物活性炭に付着している細菌数 臭気物質,溶解性物質の分析に加え,ろ材の微生









		7	消化 細 菌	Ī	Fe Mn 酸化細菌						
日付	全細菌	AOB (アンモニア 酸化細菌)	AOA (アンモニア 酸化古細菌)	Nitrospira	Crenothrix polyspora	Pedomicrobium& Hyphomicrobium	Galionella				
	copies/g AC	copies/g AC	copies/g AC	copies/g AC	copies/g AC	copies/g AC	copies/g AC				
2010/11/29	2.94E + 09	3.25E + 07	4.83E + 05	1.93E + 06	3.75E + 04	4.46E + 07	2.11E+05以下				
2011/2/22	7.00E + 09	8.71E + 07	1.74E + 05	1.82E + 06	8.30E + 04	1.64E + 08	3.68E + 06				
2011/8/12	7.21E + 09	5.17E + 07	8.22E + 05	3.87E + 06	1.07E + 06	6.28E + 08	1.41E + 07				
2012/1/25	1.15E + 10	2.35E + 07	7.64E + 06	7.05E + 05	5.27E + 05	1.72E + 09	2.10E + 07				
2012/5/24	9.13E + 09	5.03E + 07	1.61E + 06	6.01E + 05	1.04E + 06	1.75E + 09	5.35E + 07				



■ 全細菌

■ AOB (アンモニア酸化細菌)

■ AOA (アンモニア酸化古細菌)

Nitrospira

Crenothrix polyspora

Pedomicrobium&Hyphomicrobium

原水

Galionella

図6 ろ材の微生物分析結果

物分析も定期的に行った。結果を図6に示す。菌体数として、全菌数は実験期間中、ろ材1gあたり 1.0×10⁹から1.0×10¹⁰個の範囲で微増傾向を示しな がら推移し、冬季における菌数の減少は確認されな かった。年間を通して U-BCF のろ材には原水に順 応した生物が保持されていたと考えられる。

上記1)~5) より, U-BCF では低水温期におい ても, 臭気物質および溶解性物質を良好に処理可能 なことを確認できた。

2.2 ラボスケール実験方法および結果

2.1 現地実験結果より,低水温期においても臭気物質および溶解性物質を処理可能なことが確認されたが,各物質の原水濃度が低く,現地実験結果のみでは,原水水温と各物質の処理性能の関係を十分に評価することができなかった。そこで,共同研究先である東北学院大学にて透明 PVC 管を使用したラボスケール実験を実施した。実験装置フロー図,装置諸元をそれぞれ図7,表2に示す。ろ過塔は支持砂利層,ろ材で構成され,装置は原水槽,処理水槽を含め全て恒温室内に設置し,設定した水温を維持したまま実験を行った。なお,ろ材として,現地実験のU-BCFから採取した生物活性炭を使用し,実験条件毎に入れ替えた。原水は,現地で通水している原水を採取し、臭気物質、溶解性物質を添加して

----- ^{処理水} 活性炭 支持 砂利 原水槽 原水^{ポンプ} 図7 ラボスケール実験装置フロー図



H	- H/m	七立	备击	7	、国村	

	工物政権の過名
型 式	PVC 製円筒竪型
塔 数	1 塔
寸 法	13 mm $\phi \times 2050$ mmH
通水方式	上向流式
ろ過速度	10 m/h
空間速度	10 /h
ろ材	粒状活性炭1000 mmH(有効径0.4-0.5 mm)
支持砂利	150 mmH



図8 原水水温と溶解性マンガンの処理性能の関係



図10 原水水温とジェオスミンの処理性能の関係

所定の濃度に調整したものを使用した。

原水水温と各物質の処理性能の関係を図8~11に 示す。

1) 溶解性マンガン

原水水温を2~20 ℃, 原水濃度を0.5 mg/L 程度 に調整して通水試験を行った。処理水濃度は, どの 原水水温においても0.001 mg/L (検出限界値) 未満 であり, 良好に処理がなされていた。

2) アンモニア態窒素

原水水温 2 ~20 ℃, 原水濃度0.41~0.5 mg/L 程 度に対し,処理水濃度は0.41~0.49mg/L となり, ど の原水水温条件下においてもほとんど除去できなか った。原因を下記(1)~(3)の情報をもとに考察した。

- (1) 実験に使用した生物活性炭は連続通水中である現地実験装置から採取したものである。原水はアンモニア態窒素濃度が低く,硝化菌が高濃度のアンモニア態窒素を含むラボスケール実験用原水に対して迅速に応答できず,アンモニア態窒素を除去できなかった。
- (2) 本研究を始める以前に、当社にて硝化菌の硝



図9 原水水温とアンモニア態窒素の処理性能の関係



図11 原水水温と2-MIBの処理性能の関係

化速度と原水水温との関係に関する知見を得て おり、原水水温が5℃以下となると硝化速度 が急激に低下する結果が得られている。

(3) 5 ℃以上の原水水温では、原水濃度が0.5 mg/L まで上昇しても処理可能である実績を有している。²⁾

(1)~(3)より, U-BCF は, アンモニア態窒素に関 しては, 原水水温5 ℃以下でかつ高濃度となるこ とで, 生物活性の低下および増殖速度が遅くなり, 十分に処理できなかったと考えられる。ただ, 低水 温下であっても, 一定濃度のアンモニア態窒素が定 常的に存在かつ通水が継続された状態での硝化特性 は別途確認実験が必要と思われる。

3) ジェオスミン

原水水温を3.4~12 ℃, 原水濃度を20~72 ng/L の範囲で調整し, 通水試験を実施した。5 ℃以下 の低水温条件下において, 原水濃度を72 ng/L まで 上昇させて通水したところ, 処理水濃度は7 ng/L を 示し, 水道基準値である10 ng/L 以下を満足する結 果であった。本結果より, 5 ℃以下の低水温条件



図12 ジェオスミン原水濃度と処理水濃度の関係

下においても生物処理が可能であること、また、原 水濃度を現地実験の平均値の約35倍に高めて通水し ても良好に処理されていることより急激な濃度変動 が生じても対応可能であることを確認した。

4) 2-MIB

ジェオスミンと同様に原水水温を3.4~12℃,原 水濃度は20~67 ng/Lの範囲で通水試験を行った。 5℃以下の低水温条件下において,原水濃度を67 ng/L まで上昇させて通水しても,処理水濃度は8 ng/L であり,ジェオスミンと同じく水道基準値を 満足していた。また、ラボスケール実験では,原水 濃度を現地実験の平均値の約10倍相当まで高めて通 水しても良好に処理されていた。よって、5℃以 下の低水温条件下においても良好に処理が可能であ り,かつ急激な原水濃度上昇にも対応できることを 確認した。

5) 原水水温5 ℃以下における臭気物質の原水濃 度と処理水濃度の関係

原水水温が5℃以下のときのジェオスミン, 2-MIBの原水濃度と処理水濃度の関係を図12~13に 示す。原水水温3.5℃のデータ,5℃のデータで相



図13 2-MIB 原水濃度と処理水濃度の関係

関をとると,ややばらつきがあるものの正の相関が あった。よって,原水濃度にかかわらず一定の除去 率が得られることを確認した。

むすび

実原水で得られた低水温期を含む四季を通じた実 証実験およびラボスケール実験結果より,溶解性物 質である溶解性マンガン,水道基準値が定められた 臭気物質であるジェオスミンおよび2-MIB について は低水温期においても U-BCF で問題なく処理可能 であり,寒冷地においても U-BCF が適用可能であ ることを本研究により見出すことができた。今後 も,「安全でおいしい水」を供給するための技術開 発を推進していく所存である。

最後に本研究の円滑な推進に多大なご協力を頂い た東北学院大学の石橋良信教授をはじめとする関係 者各位に深く感謝の意を表す。

[参考文献]

- 1) 中町眞美ほか:神鋼パンテツク技報 Vol.46, No.1 (2002/8)
- 2) 松井日出夫:神鋼環境ソリューション技報 Vol.2, No.1 (2005/8)

*技術開発センター 水・汚泥技術開発部 水処理室 **水環境事業部 薬品室 ***水環境事業部

WET 試験の概要と標準物質を用いた感受性試験

Sensitivity Test with WET Method and Standard Chemicals



藤原尚美 Naomi Fujiwara

WET (Whole Effluent Toxicity: 全排水毒性)とは,排水中に混ざり合った化学物質の毒性を,水 生生物を用いた生物応答により評価する方法である。個々の化学物質では生物に影響がみられない 場合でも,複数の化学物質が複合することにより生物に影響が認められる場合がある。この手法で は,一つ一つの化学物質を測定するのではなく,排水中の化学物質の複合影響を調べることができ る。WET 手法においては,試験に用いる生物の感度(感受性)が重要な要因であるため,塩化ナ トリウムと塩化亜鉛のニセネコゼミジンコ(Ceriodaphnia dubia)を用いた感受性試験を行い試験 精度の確認を行った。

WET (Whole Effluent Toxicity) is a bioassay method to evaluate the mixture effect of chemical toxicities including metals. In this method, we do not measure each metal, but only check the mixture effect of chemicals in the effluent. In this report, we confirmed the sensitivity of Daphnia (*Ceriodaphnia dubia*) to the standard chemical substances, sodium chloride and zinc chloride by the sensitivity test.

Key Words :

全	排 水 毒	性	WET (Whole Effluent Toxicity)
生	物 応	答	Bioassay
複	合 影	響	Mixture effect
感	受性試	験	Sensitivity test

【セールスポイント】

水生生物への化学物質の複合影響を把握することにより,化学物質を単独ではなく混合物(群) として評価するため,排水の新しい化学物質管理方法として活用できる。

まえがき

日本では、1960~70年代の高度成長期に事業所や 一般家庭の排水が、湖沼、河川、海域に流出し水質 汚濁が大きな問題となった。このため、1970年水質 汚濁防止法が制定され、現在、水質環境基準として 健康項目27種および生活環境項目12項目、排水規制 として健康項目28物質および生活環境項目15項目が 設定されており、行政による公害防止のための着実 な規制の実施と事業者の自主管理によって,着実 に,規制項目の改善がみられている。しかし,各種 産業分野での技術の進歩にともない,日々増え続け る化学物質は数万種となっており,現状の環境基準 項目では補えない状態になってきている。また,多 くの場合,事業者から排出される排水には,多岐に わたる化学物質が混在しており,化学物質の複合的 な影響もあると考えられる。これら化学物質の複合

影響を評価する手法として、欧州や北米など諸外国 では、生物応答(バイオアッセイ)が用いられてい る。もっとも先進的な例としては、米国の WET シ ステムがあげられ、魚類・ミジンコ・藻類の3種の 短期慢性毒性試験をもとに、事業所排水の毒性を総 合的に評価し、その結果をもとに毒性削減評価 (Toxicity Reduction Evaluation: TRE) や毒性同定評 価(Toxicity Identification Evaluation: TIE)を実施し ている。国内においても、2009年から環境省が米国 のWETシステムや海外の他の事例(OECD*, U.S. EPA**)をもとに、生物応答を用いた排水管理法に ついての検討会を立上げており、2012年度には WET 法のガイドライン(生物応答を用いた排水試 験法(検討案):以下「検討案」)が提案されてい る。本稿では、水生生物を用いた生物応答試験 (WET 法)を紹介するとともに、試験対象となるミ ジンコの毒性感受性について標準物質を用いた感受 性試験の結果を紹介する。

1. 生物応答試験の概要

1.1 魚類胚·仔魚期短期慢性毒性試験

魚類胚・仔魚短期毒性試験は,魚類にとって重要 かつ外的要因を受けやすい胚期・仔魚期を中心とし た初期生活史段階を対象にした慢性毒性試験であ る。魚類の胚を受精直後から孵化後の卵黄吸収完了 の直前まで試験対象排水に暴露し,暴露中の死亡数 および受精卵の発生等に異常が認められる胚体数を 調べ,致死および慢性影響を推定する。試験に用い る生物種は,小型魚が適しており,ゼブラフィッシ ュ (Danio rerio),メダカ (Oryzias latipes),ファッ トヘッドミノー (Pimephalespromelas)が多く用い られる。上記3種の中で,孵化期間(=試験期間) が短く,採卵等が容易であることから検討案ではゼ ブラフィッシュが採用されている。

1.2 ミジンコ繁殖試験

ミジンコ繁殖試験は、試験対象排水に生後24時間 以内の雌ミジンコを暴露し、単為生殖する雌ミジン コの産仔や親ミジンコの状態(生死)を繁殖阻害等 の指標を用いて評価する慢性毒性試験で、排水の致 死および慢性影響を推定できる。一般的に、オオミ ジンコ(Daphnia magna)が化学物質の環境影響評 価に広く利用されて、国内でも主流の生物である が、暴露期間においてオオミジンコの試験21日間に 対し、ニセネコゼミジンコ(Ceriodaphnia dubia) の試験は8日間であるため、試料の変質等を考慮 し、検討案では、暴露期間が短時間で実施可能なニ セネコゼミジンコを用いている。

1.3 藻類生長阻害試験

藻類生長阻害試験は、試験対象排水に指数増殖期 にある単細胞藻類を72時間暴露し、その生長速度を 評価することにより、排水の藻類生長に対する急性毒 性および慢性毒性を明らかにする手法である。OECD ガイドラインでは藍藻(Synechococcus leopoliensis) や珪藻(Navicula pelliculosa)も推奨されているが、 検討案ではもっとも汎用される緑藻であるムレミカヅ キモ(Pseudokirchnerie subcapitata)が採用されてい る。

本試験は,化学物質影響評価法として,世界中で 数多く実施されており毒性値のデータも多く報告さ れている。藻類の生長には窒素やリンなどの栄養塩 が必須であるため,栄養塩の有無が試験結果に影響 を及ぼすことに留意する必要がある。

試験方法および条件等

2.1 ゼブラフィッシュ胚・仔魚期短期慢性毒性試験 2.1.1 試験操作

慢性毒性試験においては、対象排水を段階的に希 釈し、各希釈段階における生物への影響を評価する ことにより対象排水の毒性を評価する。本試験では 対象排水の希釈段階を5%~80%の5段階とし、 対象排水を含まない希釈水を対照区とした。また、 試験における同一濃度での繰り返し数(n数)は4 とした。

試験に用いる胚は、受精後4時間以内のものを用 いた。ここで受精時間とは、暗所に放置したゼブラ フィッシュに、ライトを点灯後1時間の時点で産卵 が確認された卵を受精時間「0」として扱った。暴 露開始後は、毎日、胚発生を観察した。観察項目 は、形態異常の有無(発生停止、眼球形成不全、血 管形成不全)および、死亡、孵化とした。孵化後は 8日目まで暴露を継続し、形成異常(遊泳不能)、 死亡について観察した(図1,2)。



図1 魚類胚·仔魚期短期慢性毒性試験





図4 ニセネコゼミジンコ飼育風景

図2 ゼブラフィッシュの受精卵



図3 ニセネコゼミジンコ繁殖試験

2.1.2 試験成立の条件

以下のいずれかに該当する場合には本試験は不成 立とした。

- ・対照区における孵化率が80%に満たない場合。
- ・対照区における暴露終了時の生存率が70%に満たない場合。
- 2.2 ニセネコゼミジンコ繁殖試験

2.2.1 試験操作

試験における同一濃度での繰返し数(n数)は 10,対象排水の希釈倍率は5%~80%の5段階と し対象排水を含まない希釈水を対照区とした。この とき,同じ親から産まれた同一腹仔の仔虫をすべて 希釈段階に1個体ずつに配置し,これを一群とし, その群の繰返し数(10)を用意した(図3)。暴露 開始後は,毎日,ニセネコゼミジンコの生死観察と 生まれた仔虫の計数を行い,観察結果を記録した。 試験は対照区の試験個体の60%以上が3回目の出 産をした時点で終了し,最長でも試験期間は8日間 とし,他の暴露区の産仔も集計する(図3,4)。

2.2.2 試験成立の条件

以下のいずれかに該当する場合には本試験は不成 立とした。

- ・対照区の試験個体の死亡率が20%を超える場合。
- ・8日間に対照区で試験個体の60%以上が3回出 産しない場合。
- ・対照区にて生存仔虫数が,最初の3回目の出産を 平均して15に満たない場合。

2.3 藻類生長阻害試験

2.3.1 試験操作

試験における同一濃度での繰り返し数(n数)は 3,対象排水の希釈倍率は5%~80%の5段階と し対象排水を含まない希釈水を対照区とした。前培 養したムレミカヅキモの生物量を測定し,試験溶液 中の初期生物量が5×10³ cells/mL となるように調 整した。暴露開始後,24,36,72時間後に生物量を 測定し,ムレミカヅキモの生長に対する影響も評価 した。窒素,リンなどの栄養塩による影響を確認す るため,試験実施時には,窒素,リンを添加する場 合と添加しない場合の2パターンの試験を実施した (図5,6)。

2.3.2 試験成立の条件

以下のいずれかに該当する場合には本試験は不成 立とした。

- ・対照区の生物量が暴露期間中に少なくとも16倍 (3世代)に増殖しない。
- ・対照区の毎日の成長速度の変動係数***が暴露期 間を通じて35%を超えないこと。
- ・対照区の繰返し間の成長速度の変動係数が7%を 超えないこと。



図5 ムレミカヅキモ生長阻害試験



図6 ムレミカヅキモの時間経過による生育状況

3. 統計解析—NOEC (No Observed Effect Concentration: 最大影響濃度)の算出

各試験のエンドポイントについて、対照区と比較し て統計学的に有意な低下が認められたもっとも低い試 験濃度を LOEC (Lowest Observed Effect Concentration: 最小影響濃度),その一つ下の試験濃度を NOEC と する。すべての試験濃度において、いずれの影響指 標値も対照区と有意差が認められなかった場合は、 もっとも高い試験濃度を NOEC とし、LOEC は推 定しない。

有意差検定は対照区と複数濃度区を比較する多重 比較法によって求める。

4. 標準物質を用いた感受性試験の実施

4.1 試験に使用した生物 ニセネコゼミジンコ

4.2 試験方法と観察期間

2.2.1のニセネコゼミジンコ試験操作をもとに試験 を行い,8日間,毎日,仔虫の数を目視にて観察した。

4.3 使用した標準物質

使用した標準物質と濃度範囲および生物に標準物 質が影響を与える評価方法を表1に示した。

4.4 試験結果

塩化ナトリウムと塩化亜鉛を用いて, IC25 (25%) Inhibitory concentration: 試験生物の25%に影響を与える割合), 試験回数, 変動係数を表2にまとめた。試験結果から, 飼育水に塩化ナトリウムが0.58g/L以上含まれると, ニセネコゼミジンコの産仔に阻害があることが判明した(図7)。塩化亜鉛では, 飼育水に41.3 μg/L以上含まれるとニセネコゼミジンコの産仔に阻害があることが判明した(図8)。

試験精度の確認は、標準偏差($\sqrt{\sigma^2}$)を算術平均 (\bar{x})で割った変動係数にて評価を行った。WET 試 験に対する変動係数の許容値は定められていないた め、生物試験よりも高い精度が求められる機器分析 の有機物に求められる変動係数20%以下を参考と した。**表2**から、塩化ナトリウム、塩化亜鉛ともに

表1 標準物質と濃度範囲

標準物質	濃度範囲	評価方法
塩化ナトリウム	$0.5 \sim 8 \mathrm{~g/L}$	飼育水の平均出産数を対照として、5段階濃度(濃度範囲0.5~8 g/L)で のニセネコゼミジンコの出産率を比較し、統計処理結果にて生物に影響のあ るかないかの境界線の濃度を算出する。
塩 化 亜 鉛	$2{\sim}240\mu{\rm g/L}$	飼育水の平均出産数を対照として,6段階濃度(濃度範囲2~240 μg/L) でのニセネコゼミジンコの出産率を比較し,統計処理結果にて生物に影響の あるかないかの境界線の濃度を算出する。

Vol. 10 No. 2 (2014 / 2)



図7 塩化ナトリウムを用いた感受性試験

表2 試驗結果

標準物質	IC25	試験回数	変動係数											
塩化ナトリウム 塩 化 亜 鉛	0.58 g/L 41.3 μg/L	10回 8回	13 % 20 %											

変動係数20%以下となり、機器分析で求められる 精度を確保している結果となった。今後は、このデ ータをもとにして、試験精度の確認を継続する予定 である。

むすび

WET 法は,水生生物への化学物質の複合影響を 直接的に評価するため,排水の新しい化学物質管理 方法として活用できる。本法は,排水のリスク評価 だけではなくリスク予知への活用も期待できる。一 般的に,生物応答試験は生物個体のバラツキから, 簡易的評価法というイメージをもたれるが,本法は 厳密に試験を行えば繰返し再現性も高く,結果の信 頼性も高い。WET 法は,機器分析の代替法ではな く,機器分析では得られない情報を得ることができ る有用な手法として,今後の発展が期待される。今 後は,WET 法で得られた情報をもとに,毒性物質



の原因追究,毒性改善などの検討を行う予定であ る。

[参考文献]

- 1)環境省;水環境関係ホームページ (http://www.env. go.jp/water/mizu.html) (2013年4月確認済)
- 2)環境省;水質汚濁に係る環境基準について,環境庁 告示第59号,昭和46年12月28日
- 3)環境省;生物応答を用いた排水試験法(検討案),排水(環境水)監理のバイオアッセイ技術検討分科会
- 4) OECD; Fish, Short-term Toxicity Test on embryo and Sac-Fry stages, OECD Guidelines for Testing of Chemicals No.212 (1998)
- 5) USEPA; WET test Method 1002.0 Daphnid, Ceriodaphnia dubia, Survival and reproduction test, Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms, Fourth edition, pp.112-140
- 6) OECD; Freshwater Alga and Cyanobacteria, Grow Inhibition Test, OECD Guidelines for Testing of Chemicals No.201 (2006)
- 7) 鑪迫典久,水上春樹;今後期待される環境管理手法 ~WET(生物指標を用いた水質評価),バイオサイエ ンスとインダストリー,67(1),32-38(2009)
- 3) 鑪迫典久;環境水のバイオアッセイ~Whole Effluent Toxicityの考え方,水環境学会誌,29(8),426-432 (2006)

*経済協力開発機構 **米国環境保護庁 ***標準偏差 $(\sqrt{\sigma^2})$ を算術平均 (x) で割ったもの。

鋼板製消化タンクによる下水汚泥エネルギー化

Energy Production from Sewage Sludge by Using Steel Plate Digestion Tanks





農学博士

川嶋 淳* Jun Kawashima

三浦雅彦** 榎 Masabiko Miura Shuir



従来,下水処理における消化タンクは,一般的にコンクリートで建設されてきたが,初期投資が 高い,建設工期が長い等の課題があった。これに対して,他のバイオマス利活用施設において多数 の実績がある鋼板製消化タンクは,これらの課題を解決する設備である。鋼板製消化タンクの下水 汚泥消化への適用のため,財団法人下水道新技術推進機構との共同研究を実施した。実証実験設備 における技術検証結果をもとに,「鋼板製消化タンク技術マニュアル」が発行された。本稿では, 鋼板製消化タンク技術の詳細について報告する。

Digestion tanks in sewage treatment plants have been generally constructed by concrete. However, high construction cost and long construction period are required. On the other hand, steel plate digestion tanks are relatively inexpensive and require only short construction period. Therefore, it is considered a promising technology. The joint research with Japan Institute of Wastewater Engineering and Technology (JIWET) and Kobelco Eco-Solutions had been carried out to apply steel plate tanks to sewage sludge digestion. As the results of the joint research, "Technical Manual for Steel Plate Digestion Tank" was published in March 2013. This paper reports the verification results of a steel plate digestion tank.

Key Words :

化タンク Steel plate	digestion tank
泥 消 化 Sewage slue	lge digestion
建設費 Low constru	uction cost
設期間 Short constr	uction period

【セールスポイント】

高機能鋼板製消化槽:

下水処理における,従来のコンクリート製消化タンクの課題である高い建設費や長い建設工期 を解決する設備

まえがき

近年,化石燃料の枯渇や地球温暖化防止のため温 室効果ガス排出削減が課題となっており,再生可能 でカーボンニュートラルなバイオマスエネルギーの 利用が促進されている。

下水汚泥は、都市内における貴重なバイオマス資 源であり、そこから発生する消化ガスはカーボン ニュートラルなクリーンエネルギーである。このよ うな下水汚泥の嫌気性消化は、汚泥の減量化を図り つつ、エネルギー回収が可能な重要プロセスとの位 置付けへと転換期を迎えている。

従来,下水処理における消化タンクは,一般的に コンクリートで建設されてきたが,初期投資が高い こと,建設工期が長い等の課題があった。これに対 して,バイオマス利活用施設に多数の実績がある鋼 板製消化タンクは,これらの課題を解決する設備で ある。

また,東日本大震災を背景とした自立型の再生エ ネルギー回収設備として,中小規模の下水処理場に も普及展開を見込める技術である。

下水汚泥処理に鋼板製消化タンクを適用するため に、当社は財団法人下水道新技術推進機構(現,公 益財団法人日本下水道新技術機構。以下,下水道機 構という。)と2.5年間(2010年10月~2013年3月) の共同研究を実施し、その成果として技術マニュア ル¹⁾が発行された。

本技術マニュアルは、「鋼板製消化タンク技術」 について、概要と特長を説明するとともに、導入の 際の計画・設計・施工・試運転・維持管理の手順・ 留意点等を解説したものである。また、鋼板製消化 タンクの実用化に向けて、千葉市南部浄化センター をフィールドにした実証施設での経済性、消化性 能、エネルギー使用量の低減、タンク内部の可視化 などの実験・研究を通じ、その有効性を記載してい る。^{2)、3)、4)、5)}

技術の特長

実証実験設備の外観を**写真1**に,フローを図1に 示す。鋼板製消化タンク(750 m³),インペラ式撹 拌機,消化汚泥循環ポンプ,消化汚泥熱交換器から 成る設備である。

鋼板製消化タンクは、従来のコンクリート製消化 タンクと比べ、次の特長を有している。

1.1 建設工期の短縮

コンクリート製消化タンクと比較して,建設工期 を1/2以下に短縮可能である。



写真1 実証実験設備外観

1.2 建設費・ライフサイクルコスト(LCC)の低減 コンクリート製消化タンクと比較して, 概ね1/2 以下に建設費(初期投資)低減が可能である。ま た, LCC は同等以下である。

1.3 保温性能

保温材としてポリスチレンフォームを採用するこ とにより,外部放熱量がコンクリート製消化タンク と比較して同等以下である。

1.4 省エネルギー

インペラ式撹拌機の採用によって、消費電力がド ラフトチューブ方式に比べ1/4以下に低減が可能で ある。また、1.0 Wm³の低動力で安定的な消化が可 能である。

1.5 「見える化」技術の適用

センサー類,サイトグラス等の設置が容易かつ自 由度が高く,内部状況の「見える化」により,運転 状況の把握が可能である。

側面から超音波で堆積物の状況が測定でき,排出 促進運転により堆積物を蓄積しない消化が可能であ る。

アンモニア濃度の連続測定を行うことによってア ンモニア阻害の予防と早期対策が可能である(地域 バイオマスとの共処理消化を想定)。

運転状態における流速測定が可能であり,実測値 をシミュレーションに反映することで,消化タンク 内部の流動撹拌状態を把握できる。

1.6 耐用年数

ビニルエステル樹脂系塗料による防食塗装で耐用 年数20年以上との評価を受けている。

2. 実証研究内容

千葉市南部浄化センターに鋼板製消化槽(750 m³)を建設し,実証実験(実負荷運転:2011年12 月~2013年3月)を行った。

2.1 実験方法

鋼板製消化タンクに機械濃縮汚泥を15 m³/d,重 力濃縮汚泥を15 m³/d 供給し,滞留日数25日,中温 消化(消化温度37℃)を行った。



Vol. 10 No. 2 (2014 / 2)

表1 コンクリート製(卵形)と鋼板製消化タンクの建設工期比較

							,					,											
		月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	所要日数
土	木工事			掘削	・杭																		105
	円 錐 部					•																	15
本	リング基礎																						36
	側 壁 工																						115
上 事	管廊・ガスドーム												♦										106
	防食塗装														•								50
機	械 工 事																				•		181
電	気 工 事																						196
I	事開始~完成																						592

コンクリート製卵形タンク <容積:4000 m³>…神鋼環境ソリューション・某市実績

鋼板製消化タンク <容積:4000 m³>…実証実験設備実績より見積り

		月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	所要日数
土	木工事		杭	・配筋	5・基礎	*コン ▶																	105
本	工場製作		材	料手蘸	」・板力	DI.																	90
体	現地組立・溶接																						75
I	撹拌機取付								•														3
事	塗装・保温																						61
機	械 工 事																						60
電	気 工 事																						60
I	事開始~完成																						273

2.2 実証研究

2.2.1 建設工期の検証

実証実験設備の現地での建設工期は,基礎築造完 了から70日間であった。この実績をもとにタンク容 量4000 m³規模で消化タンクの全体工期を比較した 結果を表1に示す。コンクリート製卵形消化タンク の実績工期と比較して1/2以下となり,1年以下の 工期に短縮できると試算された。これより,単年度 予算の建設も可能であると考えられる。

工期短縮の主な理由としては,以下が挙げられる。

- 鋼板製消化タンクは機械設備工事としての一括 発注が可能である。
- ② 鋼板製消化タンクは現地土木工事と鋼板製側板の工場製作を並行して進めることができる。
- ③ 鋼板製消化タンクは,地下工事がなく地表面に 組立てるため,掘削,土留め,配筋,型枠の土木 工事の負荷が低減できる。

2.2.2 建設費・LCCの検証

2.2.2.1 消化タンク建設費(初期投資)比較

- 1)試算条件
- 消化タンク容量1 000 m³, 2 000 m³, 4 000 m³, 6 000 m³の4ケースについて PC 製(プレストレ ストコンクリート製,卵形), RC 製(PC 製を含 む鉄筋コンクリート製,形状混在)と鋼板製(円 筒形)を比較した。
 - ② 試算範囲は槽本体のみ(材工共,基礎工事含む)とし,機電(撹拌機等の付帯機器類)は含んでいない。
 - PC 製(卵形)の建設費は、複数自治体の規模別 建設費実績に基づく費用関数を作成して試算^{*1}。
 - ④ RC 製(形状混在)の建設費は、「バイオソリ ッド利活用マニュアル⁶⁾」の費用関数を用いて試 算*²した。
 - ※1 実績は発注年度が異なるため、国土交通省

が開示している建設工事費デフレーターを用 いて平成21年度価格へ補正を行った。

- ※2 消化タンク投入汚泥の固形物濃度を4%として「バイオソリッド利活用マニュアル」の 汚泥消化処理費建設費(土木施設)の費用関 数を用いた。なお,試算結果はPC製と同様 に国土交通省が開示している建設工事費デフレーターを用いて平成21年度価格への補正を 行った。
- 2) 試算結果

消化タンク建設費(初期投資)比較を図2に示 す。

PC 製(卵形)の建設費(初期投資)を100%と したときの鋼板製の建設費(初期投資)は46~54 %の結果となり,概ね50%に低減できる。また, RC 製(形状混在)と比較した場合も,ほぼ同様の 結果が得られた。

2.2.2.2 消化タンク建設費(年価)比較

1)試算条件

 $i(1+i)^{n}$

 $(1+i)^{n}-1$

試算する設備規模は,建設費(初期投資)と同様 に消化タンク容量1000 m³,2000 m³,4000 m³, 6000 m³とし,初期投資に以下に示す耐用年数に応 じた係数を乗じて算出した。

- ここで,
- *i* :利子率(=2.3 %。「バイオソリッド利活用マニ ユアル」の計算例に準じた。)
- n: 耐用年数(コンクリート製(PC 製, RC 製)消 化槽は45年, 鋼板製消化槽本体は20年, 同基礎 部分は45年)
- 2) 試算結果
 消化タンク建設費(年価)比較を図3に示す。
 鋼板製消化タンク建設費(年価)は, PC 製(卵

形)に比べ73~87 %となり, 13~27 %の削減となった。また, RC 製(形状混在)に比べ86~97 %となり, 同等以下となった。

- 2.2.2.3 LCC比較
- 1) 試算条件
- 試算する設備規模は、消化タンク容量1000 m³,2000 m³,4000 m³,6000 m³とし、試算範囲 はタンク本体(基礎工事含む)および機械設備と した。消化タンク本体の建設費年価は図3の試算 条件による結果を使用した。加えて、機械設備 (消化タンク本体以外)の建設費年価は「バイオ ソリッド利活用マニュアル」の費用関数により PC 製(卵形), RC 製(形状混在)、鋼板製で全 て同額と試算して加算した。
- 2 維持管理費は「バイオソリッド利活用マニュア ル」の費用関数により試算^{*3}した。加えて、PC



製(卵形)・RC 製(形状混在)の維持管理費に は10年に1回の防食塗装費**4と浚渫費**5を加算 した。一方,鋼板製については前述したビニルエ ステル樹脂系塗料による防食塗装で20年以上の耐 用年数を確保できるとの評価を受けていること, 後述するインペラ式撹拌機の逆回転に同期した汚 泥引抜きによる堆積物蓄積の抑制策を講じること で汚泥性状によっては20年の耐用年数において浚 渫費を不要にできることを踏まえて防食塗装費と浚 渫費を不要とした。

- ※3「バイオソリッド利活用マニュアル」の汚 泥消化処理費2.維持管理費の費用関数を用 いて,RC製(形状混在)の建設費試算方法 と同様の以下の汚泥性状で試算した。なお, 試算結果は同様に国土交通省が開示している 建設工事費デフレーター(平成15年度=97.6, 平成21年度=104.4)を用いて補正を行った。 消化タンク投入汚泥性状:固形物濃度4%, 滞留日数25日
- ※4 内部防食の耐用年数は「国土交通省事務連 絡 平成15年6月19日 国都下事第77号 [別 表]標準的耐用年数」に基づくと10年だが、
 ※5 浚渫の実施時期に併せて実施する。なお、費用は業者見積による。
- ※5 浚渫の実施時期は「汚泥消化タンク改築・ 修繕技術資料(2007年3月)⁷⁾」のアンケー ト結果に基づき,建設から10年~19年目に1 回行うものとした。なお、費用は業者見積に よる。
- 2) 試算結果

消化タンク LCC 比較を図4に示す。

鋼板製は汚泥性状によって、20年の耐用年数において防食塗装および浚渫が不要であり、PC製(卵形)に比べ86~89%となり、11~14%の削減となった。また、RC製(形状混在)に比べ88~92%となり、8~12%の削減となった。

- 2.2.3 保温性能検証
- 2.2.3.1 鋼板製消化タンクの保温性能

実証試験設備の鋼板製消化タンクの保温材には厚 さ80 mmのポリスチレンフォームを使用した。そ の消化タンク側面材の保温性を,コンクリート製消 化タンクの実績2例と比較した。

熱伝導率は「下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版⁸⁾」に準拠し**表2**の値を使用した。また, 断熱層としての性能を比較するため,式(1)の熱伝 導の項のみを合成した伝熱係数で比較した。

Vol. 10 No. 2 (2014 / 2)

100%
$$92\%$$
 89% 92% 89% 90% 88% 90% 86% 88%
80% -17% 75% 75% 75% 75% 75% 75% 75% 75% 76% 78%
20% -1000 2000 4000 6000
消化タンクの容量 (m³)
鋼板製維持管理費 (対 PC 製 (卵形) LCC)
鋼板製維持管理費 (対 PC 製 (卵形) LCC)
鋼板製維持管理費 (対 PC 製 (卵形) LCC)

図4 消化タンク LCC 比較 (防食塗装」 浚渫含む)

鋼板製維持管理費(対 RC 製(形状混在) LCC)

表2 保温材の熱伝導率

項目	熱伝導率 {₩/(m·K)}
鉄筋コンクリート	1.6
コンクリートブロック	1.2
空 気	0.56
ポリスチレンフォーム	0.03

 $rac{1}{K_i} = rac{1}{h_1} + \sum\limits_j rac{\delta_j}{\lambda_j} + rac{1}{h_2}$

 K_i : 総括伝熱係数 $\{W/(m^2 \cdot K)\}$

- h_1 : 汚泥 タンク内面の熱伝達係数 $\{W/(m^2 \cdot K)\}$
- h_2 : タンク外壁 外気の熱伝達係数 $\{W/(m^2 \cdot K)\}$
- λ_j : j番目の保温材の熱伝導率 $\{W/(m \cdot K)\}$
- δ_j : *j* 番目の保温材厚み(m)

結果を表3に示す。コンクリート製消化タンクの 2例では、1.14 W/(m^2 ·K)、0.78 W/(m^2 ·K) になる のに対して、鋼板製消化タンクの保温材では0.38 W/(m^2 ·K) となり、それぞれのコンクリート製消化 タンクに比べ、3.0倍、2.1倍保温性が優れている。 保温材厚みを適切に設定することにより、保温性能 の調節が可能である。

消 化 タ ン ク	側 面 材 構 成		合成した伝熱係数 {W/(m ² ·K)}
鋼板製消化タンク (実証試験設備)	ポリスチレンフォーム	80 mm	0.38
コンクリート製消化タンク1	鉄筋コンクリート ポリスチレンフォーム	600 mm 15 mm	1.14
コンクリート製消化タンク2	鉄筋コンクリート 空 気 コンクリートブロック	700 mm 400 mm 150 mm	0.78

表3 消化タンク保温材の合成伝熱係数比較

表4 放熱量計算条件(千葉実証)

	▶ 左泪 (℃)	汚泥投入	量 (m ³ /h)	原料汚泥平均温度	消化汚泥の温度
	ットヌい血(し)	重力濃縮汚泥	機械濃縮汚泥	(°C)	(°C)
2012年1月	4.4	0.625	0.625	16.9	36.8
2012年2月	5.2	0.625	0.625	16.8	37.0

表5 外部放熱量の割合(千葉実証)

	設計指針に基づく 計算値	実	証 試 験 結	果
	外部放熱量 (Q_2) (kW)	所要熱量 (Q_{\max}) (kW)	外部放熱量 (Q_2+Q_3) (kW)	外部放熱割合 (%)
2012年1月 2012年2月	11.0 10.8	32.7 36.5	4.0 7.0	12.1 19.2



2.2.3.2 外部放熱量実績

「下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版」 (社団法人 日本下水道協会)に準拠し,放熱量の 計算を所要発生熱量が1年間で最大となる1月およ び2月について実施した。

計算条件を表4に示す。外気温は気象庁ホームペ ージより,千葉市内での月ごとの平均気温を用い た。また,地中温度は外気温に等しいと仮定した。 外部放熱量の割合を表5に示す。試験により得ら れた外部放熱量は,設計指針に基づく20%の外部 放熱割合よりも小さくなり,鋼板製消化タンクの保 温性がコンクリート製消化タンクに比べて同等以上 であることが確認された。

実証試験中の熱収支を図5に示す。7月から9月 にかけての高温期は、外部からの加温によってタン クが加熱されるため、月間平均の放熱量よりも吸熱 量が大きくなり、見かけ上の放熱量がない結果となった。

2.2.4 撹拌機性能および消化性能検証

2.2.4.1 撹拌機動力

インペラ式撹拌機の回転速度と動力投入密度を図 6に示す。19 min⁻¹および15 min⁻¹の2条件で実証試 験を実施した。回転速度15 min⁻¹における動力投入 密度は1.0 Wm⁻³であり、これは「汚泥消化タンク改 築・修繕技術資料 2007年3月」(財団法人 下水 道新技術推進機構)の動力情報から計算したスクリ ユー式撹拌機の動力投入密度4.6 Wm⁻³に対して1/4以 下であった。

2.2.4.2 消化性能

鋼板製消化タンクの運転を2011年12月から2013年 3月まで継続した。撹拌機回転速度は2011年12月から2012年5月末までは19 min⁻¹,それ以降は15 min⁻¹ に設定した。消化性能の検証には、投入汚泥 VS 量 当たりの積算ガス発生量を判断基準として適用し た。実証試験期間における投入 VS 当たりのガス発 生量推移を図7に示す。投入 VS 当たりのガス発生 量は501 m³_N/t であり、「下水道施設計画・設計指針 と解説」記載の一般値(500~600 m³_N/t)の範囲内 であった。これより、1.0 Wm⁻³での良好な消化を確 認できた。

2.2.5 鋼板製消化タンク内部の「見える化」技術
 2.2.5.1 堆積物測定技術

堆積物の最高位は,消化タンク壁面部から高出力 型の超音波発振装置を用いて測定した。その他消化 タンク内部については,上部から探触子を垂らして 測定した。超音波による堆積物測定状況を写真2 に,堆積物測定箇所を図8に示す。



図6 鋼板製消化タンク撹拌機動力投入密度(千葉実証)

超音波法では,運転を行いながら消化タンクを開 放せずに測定できることが長所である。また通常, もっとも高い堆積物高さを検知できることから,堆 積物状況からの浚渫タイミングの判定に有用な情報 を得ることができる。

消化タンク内の堆積物量の推移を図9に示す。 2011年12月から19 min⁻¹で消化運転を開始し、6カ 月目まで堆積物量は上昇した。2012年5月末から回 転数を15 min⁻¹に落とした後も同様に上昇し、堆積 物蓄積の傾きに影響はなかった。最大値は2012年8 月23日の数値であり、消化タンクの約2%容量に達 した。

そこで、堆積物蓄積の抑制のために、撹拌機の逆 回転と同期した消化液の引抜き運転を行った(図中 No.2)。その結果、堆積物量が減少した。その後、 撹拌機点検のための停止期間(図中 No.3)、続いて



写真2 超音波による堆積物測定状況







写真3 アンモニア濃度計

の正回転のみの期間(図中No.4)では,再度堆積 物量は上昇傾向を示した。その後逆回転の引抜き (図中No.5)を行ったところ,再び堆積物量は低下 した。図中No.6で従来の運転に戻したところ,再 度堆積物量が上昇した。図中No.7以降,No.5と同 様の運転を続けたところ,堆積物量は上昇後低下に 転じた。以上の検証より,逆回転時に引抜き運転を した場合の堆積物量低下の再現性が確認できた。同 運転方法を適用することで,堆積物蓄積を抑制する 運転が可能と考える。なお,当社の同様の円筒型の バイオマス(家畜糞尿,生ごみ等の共処理)向け消 化タンク実績では、5%が堆積物の許容基準である。 2.2.5.2 アンモニア濃度連続測定技術

下水汚泥と地域バイオマスの共処理消化を行う場 合,地域バイオマスの種類によっては,アンモニア 阻害が発生する可能性がある。アンモニア阻害を避 けるためには,消化汚泥中のアンモニア濃度上昇の 早期検出と阻害回避のため運転への反映を行うこと が有効となる。これよりアンモニア濃度計を用いた



図10 アンモニア測定用循環ライン



連続測定方法について実証実験を行った。

消化タンク内の消化汚泥中のアンモニア濃度はタ ンク内汚泥の循環ラインにイオン選択電極式のアン モニア性窒素測定装置を設置して測定する。アンモ ニア濃度計外観を**写真3**に,測定用の消化液循環ラ インを図10に示す。

千葉実証設備でのアンモニア連続測定事例を図11 に示す。分析機関での測定値は10時時点のデータで あり,一日の運転中にアンモニア濃度は±30 %の 範囲で上下動した。アンモニア濃度変動の把握に利 用可能であると考えられる。

2.2.5.3 流速測定技術

2.2.5.3.1 流速測定方法

鋼板製消化タンク内の流速測定のために採用した 3軸電磁流速センサーは、対象流体が水(河川水、 海洋水等)で消化汚泥の測定実績がなかった。そこ で、消化汚泥を充填した容器内にセンサーを挿入 し、任意の設定速度で動かして、設定速度とセンサ ー指示値の相関を確認した。その結果、1.0 cm s⁻¹か ら25 cm s⁻¹の範囲において、センサー移動速度と指 示値との間に高い正の相関が確認された。これよ り、本流速センサーは、対象流体が消化汚泥におい ても正確な流速を測定できることが確認できた。

鋼板製消化タンク内の流速測定を行うため,挿入 機(特許取得済,特許4892110)を試作し,流速測 定を現地にて実施した。挿入機に3軸電磁流速セン サーを装填し,挿入機を鋼板製消化タンク側面の流 速測定用ノズルに取付け,センサーを運転状態のタ ンク内に挿入して流速を測定した。流速測定状況を 写真4に示す。

2.2.5.3.2 流速測定結果のシミュレーション反映 鋼板製消化タンク内部の流動状況の把握を目的と した,有限要素モデルを用いた数値流体計算(CFD) シミュレーションを実施した。

千葉実証結果とシミュレーション結果の比較を表 6に示す。流速については, 撹拌機回転数15 min⁻¹ の運転後に鋼板製消化タンクを浚渫し, 内部の堆積 物状況を反映したシミュレーションを実施すること



写真4 流速測定状況

で、実測値とシミュレーション結果の高い整合性が 確認された。さらに計算の妥当性を確認するため、 撹拌機の動力と吐出流量の比較を行った。撹拌機動 力については、実証実験中もっとも小さな動力で運 転している時で1.43 Wm⁻³ (19 min⁻¹), 0.80 Wm⁻³ (15 min⁻¹) となり、シミュレーションの計算値と近く なった。外乱の影響がなく理想的な状態で運転して いる時に、シミュレーションと整合性が取れると考 えられる。吐出流量については、実測ができないの で設計値(計算値)とシミュレーション結果の比較 を行ったところ、19 min⁻¹、15 min⁻¹条件とも、高い 整合性が確認できた。これらの結果より、流速測定 結果を反映したシミュレーションにより、鋼板製消 化タンク内の流動撹拌状態の評価が可能と考えられ る。

2.2.6 防食塗装仕様検証

開発当初は、日本下水道事業団(JS)の一般仕様 書で耐薬品部・水中部向け塗装と記載されているエ ポキシ樹脂系塗料を選定してJS,防食マニュアル⁹⁾ で定められた加速試験(D種品質規格試験。合格し た場合10年の耐用年数を確保できる塗装仕様とされ ている)を実施したが、不合格であった。そこで、 メーカーヒアリングにより優れた耐酸性を有してい るとの知見が得られたビニルエステル樹脂系塗料を 選定して塗装仕様を見直した。加速試験結果を表7 に示す。中温消化向け仕様は、公的試験機関による D種品質規格試験に合格した。また、当該試験にお ける評価項目の1つである硫黄侵入深さが検出限界 未満であったことから、技術マニュアルにおいて20 年の耐用年数を確保できるとの評価を受けている。

	回転数	設計值 ^{*2}	実測值 ^{*3}	シミュレーション
測定点 ^{*1} における流速	19 min ⁻¹	—	6.2	13.3
(cm s ⁻¹)	15 min ⁻¹		5.7	4.2
撹拌機動力	19 min ⁻¹	1.99	2.17~1.43	1.32
(Wm ⁻³)	15 min ⁻¹	0.98	1.05~0.80	0.61
吐出流量 (下段翼)	19 min ⁻¹	129.0	_	120.3
(m ³ min ⁻¹)	15 min ⁻¹	101.8		97.4

表6 流速・動力・吐出流量の比較(千葉実証)

※1 流速測定点は底部・タンク壁より50 cm の位置

*2 動力 $P = \rho \cdot kp \cdot N^3 \cdot D^5$

吐出流量 Q = kq · N · D³
 ※3 撹拌機消費電力と性能曲線より算出

Vol. 10 No. 2 (2014 / 2)

 ρ :密度, kp:動力係数

kq:吐出係数,N:回転数,D:翼径

	中温消化 (30-40℃)	基 準 值
塗装仕様	ガラスフレーク入ビニルエステル樹脂系塗料	—
結 果	○(全て合格。D種規格を満足し,10年間の耐用年数を確保 できる)	—
1.接着性	○ (結果: 4.6 N mm ⁻²)	1.5 N mm ⁻² 以上
2.透水性	○ (結果:0.05g)	0.15g以下
3. 耐酸性	○ (結果:膨れ,割れ,軟化,溶出を認めない。)	10%硫酸水溶液に常温で60日間浸 漬しても被覆に膨れ,割れ,軟化, 溶出が無いこと。
4. 硫黄侵入深さ	 ○(結果:硫黄侵入深さは2µm未満,侵入深さ/設計厚さは0%) 10年の防食性を評価するための10%硫酸水溶液120日間浸 漬で硫黄侵入深さは検出限界未満であったため、下水道機構 「鋼板製消化タンク技術マニュアル」では20年の耐用年数を 確保できるとの評価を受けた。 	10 %硫酸水溶液に常温で120日間浸 漬した時の硫黄侵入深さが設計厚さ に対して5%以下であること,か つ,100μm以下であること。

表7 防食塗装試験結果(中温消化向け仕様)

むすび

日本国内約2 000ヶ所の下水処理場のうち,汚泥 消化設備を導入しているのは約300ヶ所であり,消 化設備の普及は進んでいない状況である。一方,今 後下水汚泥の嫌気性消化法は,創エネルギーの観点 からますます重要視されていくことが予想される。 鋼板製消化タンクは従来のコンクリート製消化タン クの課題を解決し,将来のニーズや動向に合わせて 柔軟な更新・改築を可能とする設備として普及が期 待される。実証試験で得られた知見を反映して,高 度な運転管理を可能とする鋼板製消化タンクの普及 展開に向けて今後も鋭意努力する所存である。

[参考文献]

- 下水道新技術推進機構 鋼板製消化タンク技術マニ ユアル ―2013年3月―
- 2)福沢敬三,石田貴,川嶋淳「鋼板製消化タンクによる下水汚泥エネルギー化へのアプローチ ~実証研究

中間報告~」第49回下水道研究発表会講演集 (2012) pp.742-744

- 3) 福沢敬三,石田貴,落修一,小川裕正,三浦雅彦, 川嶋淳 「鋼板製消化タンクによる下水汚泥エネルギー 化へのアプローチ」第50回下水道研究発表会講演集 (2013) pp.928-930
- 4) 石田貴「鋼板製消化タンク技術マニュアルの概要」 月刊下水道 Vol.36, No.6 (2013年5月) pp.79-83
- 5)石田貴「下水汚泥リサイクルをめぐる新技術の開発 動向と新たな取り組み」月刊下水道 Vol.36, No.14 (2013年12月) pp.6-9
- 6)国土交通省都市・地域整備局下水道部,日本下水道 協会 バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理 総合計画)策定マニュアル 平成16年3月(2004年3 月)
- 7) 下水道新技術推進機構 汚泥消化タンク改築・修繕 技術資料(2007年3月)
- 8)日本下水道協会 下水道施設計画・設計指針と解説後編 2009年版
- 9)日本下水道事業団 下水道コンクリート構造物の腐 食抑制技術及び防食技術マニュアル 平成24年4月

^{*}技術開発センター 水・汚泥技術開発部 汚泥処理室 **技術開発センター 水・汚泥技術開発部 水処理室

神戸市東部スラッジセンター: 気泡式高効率二段燃焼炉の稼働実績と導入効果

Operation Results and Introduction Effects of Advanced Bubbling-fluidizedbed Two-stage Incinerator at Kobe City Tobu Sludge Center







迫田健吾^{*} Kengo Sakoda

松永敏朗^{*} 吉田成希^{*} Toshio Matsunaga Shigeki Yoshida

当社は、温室効果ガス低減と省エネルギーを両立させながら、安定操業ができる次世代型汚泥焼 却炉として気泡式高効率二段燃焼炉を開発し、神戸市東部スラッジセンターの更新炉として導入、 2010年9月(2系炉は2012年7月)より操業開始している。本炉の導入を含め全体システムの改善 により、既設炉に対し温室効果ガス(N₂O および CO₂)の排出量低減、および省エネルギーを実現 し、環境負荷を低減した設備として安定操業を継続している。

ここでは気泡式高効率二段燃焼炉の稼働実績と導入効果について紹介する。

Kobelco Eco-Solutions has developed Advanced Bubbling-fluidized-bed Two-stage Incinerator (ABTI) which enables both reduction of greenhouse gases and energy saving. We introduced it to Kobe City Tobu Sludge Center upon renewal of the incineration facilities and started operation in September, 2010 (First line) and July, 2012 (Second line). Improving total sludge incineration system as well as introducing ABTI resulted in reduction of greenhouse gases (N_2O , CO_2) and energy saving against the previous system. The renewed facilities have been successfully operating as environmental load-reducing facilities.

This paper reports the operation results and introduction effects of ABTI.

Key Words :

下 水 汚	泥	Sewage sludge
流動床式焼却	炉	Bubbling-fluidized-bed incinerator
二 段 燃	焼	Two-stage combustion
省エネルギ	<u> </u>	Energy saving
温室効果ガ	ス	Greenhouse gas
一酸化二窒素(N ₂	2 O)	Nitrous oxide

【セールスポイント】

- ・熱分解ゾーンでの抑制燃焼,および完全燃焼ゾーンでの高温燃焼(二段燃焼)により,温室効 果ガス(N₂O)の発生量を低減できる。
- ・投入される下水汚泥自体のエネルギを最大限に利用し,完全燃焼ゾーンを局所的に高温化する ことで,燃料を増やすことなく温室効果ガス(N₂O)の排出量を低減できる。
- ・流動床部の空気分散板を多数最適に配列し、少ない流動砂にて熱分解ゾーンの燃焼効率を向上 させることで、流動ブロワ、誘引ファンなどの電力を低減し、省エネルギーな設備にできる。

まえがき

神戸市東部スラッジセンターの既設気泡炉の更新 工事において,新設炉として気泡式高効率二段燃焼 炉を導入した。従来の気泡炉の形状・燃焼状況を見 直し,焼却処理を効率化した技術である。本炉の導 入を含め,全体システムの改善により,設備全体の 年間 CO₂ 排出量(補助燃料+消費電力)を既設炉 (実績最大値)より約33%低減する計画となってい る。

本工事は、1986年に供用開始した既設炉の老朽化 に伴い実施された更新工事であり、既設炉を操業し ながら、まず既設3炉のうちの既設1系炉を撤去し てから新設1系炉を建設・納入し、次に既設3系炉 を撤去してから新設2系炉を建設・納入、最後に既 設2系炉を撤去するという内容である。既設炉およ び新設炉にて汚泥焼却処理を継続しながら、既設機 器や配管、電気設備の撤去工事を行い、大きなトラ ブルもなく更新工事を終了した。新設炉が操業を開 始してから3年以上経過しており、安定した運転操 業を達成している。以下に新設炉の稼働実績と導入 効果について紹介する。

1. 設備概要

1.1 処理プロセス

本焼却設備の概要を表1に、処理フローを図1に 示す。当処理プロセスは、熱回収設備に廃熱ボイラ を設置し、その蒸気を用いて乾燥機により下水汚泥 を乾燥することで燃料消費量を抑えるシステムであ る。さらに焼却炉に従来の気泡炉に用いていた二段 燃焼を改良した気泡式高効率二段燃焼炉を採用する ことで、温室効果ガス低減とランニングコスト低減 の両立が可能である安定的な設備となるように設計 している。以下に各設備の特徴と既設焼却設備から の改良項目について紹介する。

1.1.1 汚泥供給設備

脱水ケーキ(下水汚泥)を市内各下水処理場から 有蓋ダンプカーで当処理場に運び,トラックスケー ルで計量した後,投入ステージから脱水ケーキピッ トに投入し,貯留する。

投入クレーンで脱水ケーキ供給装置に投入した 後,乾燥機,焼却炉へそれぞれコンベヤに乗せ,定 量供給する。

乾燥機に運ばれた脱水ケーキを,排ガスの廃熱に て生成した蒸気により間接乾燥させた後,乾燥ケー キ供給装置から焼却炉投入コンベヤに供給する。

1.1.2 焼却設備

焼却炉投入コンベヤで運ばれる脱水ケーキ(直送 汚泥と乾燥汚泥)を、ケーキ混合機で均質に混合し た後、炉頂部からケーキ投入機、ケーキ分散機によ り定量的に分散供給する。

焼却炉に投入した脱水ケーキは、炉下部より供給 される燃焼空気および硅砂により熱分解した後、フ リーボード部にて二次空気を吹込み、850℃以上で 焼却処理を行う。

1.1.3 排ガス設備

焼却後の排ガスは、空気予熱器、廃熱ボイラで廃 熱回収した後、セラミックフィルタにて焼却灰を取 り除き、排煙処理塔で脱硫・冷却することで無害 化・減湿化され、誘引ファンによって煙突から排出 する。焼却灰は各種灰コンベヤを経て、灰ホッパに 貯留し、加湿後にダンプカーで埋立処分場に輸送する。

	表1 設備概要					
処理量	200 t-wet/(日・系列) ・乾燥能力(水分蒸発量):50 t/(日・系列) ・焼却処理能力 :150 t-wet/(日・系列)					
処理系列	2系列					
処理方式	間接加熱式乾燥機+気泡式高効率二段燃焼炉					
熱回収設備	熱交換器+廃熱ボイラ					
排ガス処理設備	ろ過式集塵(セラミックフィルタ)+洗煙処理					
排ガス規制値 (O ₂ 12 %換算値)	ば い じ ん:30 mg/Nm ³ 以下 硫 黄 酸 化 物:20 ppm 以下 窒 素 酸 化 物:100 ppm 以下 塩 化 水 素:30 mg/Nm ³ 以下 ダイオキシン:0.1 ng-TEQ/Nm ³ 以下					
操業開始日	1系炉:2010年9月1日 2系炉:2012年7月1日					

表1 設備概要



有効利用する焼却灰は,灰サイロに貯留し,専用車 で搬出する。

1.2 既設焼却設備からの改善項目

省エネルギーを考慮して,既設焼却設備から次に 示す改善を行った。

- 排ガス熱回収フローの見直しを行い、熱交換器と廃熱ボイラの順番を入替え、焼却炉直後に熱交換器を配置することによって、流動空気温度の高温化(既設:300℃→新設:540℃)を図った。さらに、廃熱ボイラの特性を生かし、より低温域(既設:300℃→新設:250℃)まで熱回収を行い、廃熱の有効利用を行った。
- ② 乾燥機および白煙防止予熱器に用いた蒸気の ドレンは高圧復水タンクに全量回収するフロー とし、回収したドレンを高温(既設:30℃→ 新設:140℃)のまま廃熱ボイラへ給水するこ とにより、熱利用効率の改善を図った。
- ③ 焼却炉に既設気泡炉の二段燃焼システムを改良した気泡式高効率二段燃焼炉を採用した。 (詳細は1.3にて説明)
- ④ 焼却炉へのケーキ投入部にケーキ混合機を設置し、直送汚泥と乾燥汚泥を混合することにより、乾燥汚泥の分離やショートパスを防止し、完全燃焼を図った。
- ⑤ 流動ブロワ,誘引ファン,白煙防止ファン,

排煙処理塔冷却水ポンプ,空気圧縮機の大容量 電動機はインバータ方式を採用し,消費電力低 減を図った。

1.3 気泡式高効率二段燃焼炉の概要(図2参照)

当社は、東部スラッジセンターの既設炉におい て、すでに二段燃焼システムを採用していたが、今 回採用した気泡式高効率二段燃焼炉(写真1)は、 従来の二段燃焼システムを改良し、下水汚泥の持っ ているエネルギをより効率的に有効利用できるよう に開発した気泡式流動炉である。以下に改良項目を 示す。

空気分散板ノズル形状・配列の最適化

② 炉形状の最適化

③ 二次空気吹込み方法の最適化

 ①~③の項目をパラメータとし、数値シミュレーションで各パラメータの最適化を行った焼却炉が、 今回新設炉として採用した気泡式高効率二段燃焼炉である。

①および②の改良により,気泡炉の形状と燃焼状 況が最適化され,熱分解ゾーン(流動床部)におけ る燃焼効率の向上に繋がり,③の改良により,完全 燃焼ゾーン(フリーボード部)における撹拌が促進 されることで排ガスを局所高温状況下で完全燃焼す ることが可能となった。効果については,次に紹介 する。





写真1 気泡式高効率二段燃焼炉

Vol. 10 No. 2 (2014 / 2)

1.3.1 省エネルギー

流動床部の空気分散板に T 型/ TU 型/ズルを多数最適に配列(写真2参照)することで,流動床部 全面から均一に空気吹込みが可能となり,熱分解ゾ ーン(流動床部)において,少ない流動砂保有量で も流動床部の燃焼効率を向上させることができた。 その結果,流動ブロワ吐出圧力の低減と流動空気量 (空気比)の低減が可能となることから,流動ブロ ワの電力低減が可能で,さらには排ガス量の低減に も繋がるため,誘引ファンなどの排ガス系統機器に ついても電力低減が可能となる。

また,流動床部の燃焼効率向上により,燃焼温度 と空気比を低く抑制した状態で下水汚泥の熱分解が 可能となり,効率的に未燃ガスを生成し,完全燃焼



写真2 空気分散板

ゾーン(フリーボード部)において撹拌が促進され るように二次空気を吹込み, 燃焼させることで局所 的な高温化を可能としている。投入される下水汚泥 自体のエネルギを最大限に利用しているため, 従来 炉で炉内全体を高温化する場合よりも燃料を増加す ることなく高効率に高温化が可能となる。

1.3.2 N₂O 低減

熱分解ゾーンにて抑制燃焼(空気比1.0~1.2程度) することにより未燃ガスを含む熱分解ガスを発生さ せる。このとき熱分解ゾーンが還元雰囲気となるこ とを利用し、下水汚泥中の窒素の酸化を抑え、N₂O の生成を抑制することが可能となる。

完全燃焼ゾーンでは、トータル空気比が1.3とな るように二次空気を投入し、瞬時に熱分解ガスを 850℃以上(860~880℃)の高温で燃焼させ、CO、 シアンなどの未燃ガスを完全燃焼させるとともに、 温室効果ガスである N₂O を最大限に熱分解する。 従来の850℃での高温焼却に比べ燃料を増やすこと なく N₂O の低減が可能となる。

7. 稼働実績

2.1 汚泥処理量および稼働率

操業開始は、1系炉:2010年9月1日、2系炉: 2012年7月1日からであり、2010年9月1日から 2012年6月30日までは1系炉と既設2系炉の2炉運 転、2012年7月1日からは1系炉と2系炉の2炉運 転を行っている。2010年9月から2013年9月までの 実績処理量と稼働率について図3に示す。また、各 年度の計画処理量と実績処理量について表2に示 す。



汚泥の処理量については,各年度の計画処理量に 対して実績処理量の方が上回っていることから,順 調に汚泥を処理できていることが分かる。

稼働率については、ほぼ100 %の稼働率を維持し ており、安定操業ができている。稼働率が90 %未 満となっている月は、定期修繕などによる計画停止 を行っている。

2.2 排ガス性状

試運転時に実施した引渡性能試験での煙突出口排 ガス性状について表3に示す。また,操業を開始 (2010年9月)してからの煙突出口で測定した排ガ ス性状について,図4および図5に示す。試運転お よび操業を開始してからの運転においても,全ての 項目で規制値を満足していることが確認された。

表2 汚	尼処理量実績
------	--------

単位:t-wet/年

		1 系 炉			2 系 炉			合計 (1系+2系)	
平度	運転期間	計画処理量	実績処理量	運転期間	計画処理量	実績処理量	計画処理量	実績処理量	
2010	2010年9月 ~ 2011年3月	23 567	35 096	_	_		23 567	35 096	
2011	2011年4月 ~ 2012年3月	40 400	47 696	_			40 400	47 696	
2012	2012年4月 ~ 2013年3月	40 400	35 921	2012年7月 ~ 2013年3月	30 300	40 267	70 700	76 188	
2013	2013年4月 ~ 2013年9月	20 200	25 608	2013年4月 ~ 2013年9月	20 200	18 586	40 400	44 194	

注記:計画処理量は2系列で年間80800 t-wet/日であり、稼働月数に合わせて計算

表3 試運転引渡性能試験の排ガス性状

					汚	泥投)	人 負 荷	皇		
項目	単 位	規制値		1 🖻	系 炉			2 📝	系 炉	
			90 %	100 %	110 %	123 %	90 %	100 %	110 %	123 %
SOx	ppm	20	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
NOx	ppm	100	9	6	7	7	7	7	8	7
ばいじん	mg/Nm ³	30	2	<1	<1	$<\!\!2$	<1	< 1	<1	<1
HC1	mg/Nm ³	30	2.3	1.9	3	2.3	1.6	1.8	2.4	3.4
ダイオキシン類	ng-TEQ/Nm ³	0.1	0.00002	0.000049	0.00035	0.00084	0.00004	0.0023	0.00059	0.000008





含水率(%) 注記:既設炉は補助燃料として重油を使用していたため、都市ガスへ熱量換算を実施 図6 都市ガス原単位比較

80

81

82

83

84

3. 導入効果

0

77

3.1 燃費および消費電力低減

78

79

既設炉(従来気泡炉)と新設炉(気泡式高効率二 段燃焼炉)における都市ガス使用量と消費電力の原 単位(脱水ケーキを1t処理するための必要量)につ いて図6および図7に示す。どちらも新設炉の方が 優れた結果となっている。ここで、含水率81%(汚 泥性状分布の中間値)において既設炉と新設炉の原 単位を比較すると、都市ガス使用量は35%低減、 消費電力は30%低減していることが確認された。

3.2 実運転における **CO**₂ 排出量低減

既設炉と新設炉のランニング(補助燃料および消 費電力)による CO_2 排出量の原単位(脱水ケーキ を1 t 処理する際に排出する CO_2 量)について表4 に示す。 CO_2 低減率において,既設炉の実績最大値 に対して,新設炉の計画値は約33%低減すること を目標としていたが,新設炉の実績平均は約50% の低減を達成しており,優れた結果となっている。

3.3 N₂O 排出量低減

既設炉と新設炉の N₂O 排出係数について図8に

40 77 78 79 80 81 82 83 84 含水率 (%) 図7 電力原単位比較 表4 CO₂排出量原単位 CO₂排出量 任 減 玆

項	項 目 原単位		
		kg-CO ₂ /t-wet	%
既設炉 (実)	績最大値)	104.0	_
新設炉(計	画)	70.1	32.6
新設炉(実	績平均)	52.5	49.5

注記1:低減率は,既設炉(実績最大値)を基準として,その 低減割合を示した数値

注記2: CO₂ 排出量原単位は新設炉で処理した汚泥の平均含水 率(81.24%) における数値に換算

示す。焼却温度850 ℃における N_2O 排出係数は,既 設炉は算定省令とほぼ同じ0.645 kg- N_2O /t-wet であ るのに対し,新設炉は0.4 kg- N_2O /t-wet 程度となっ ており,約40 %低減される結果となった。また, 新設炉では二段燃焼の改良により,補助燃料の使用 量を増やさず20~30 ℃程度炉内温度の高温化が図 れることから,補助燃料の使用量を同量とする場 合, N_2O 排出係数は新設炉で0.2 kg- N_2O /t-wet 程度 となり, N_2O の排出量は約70 %低減できることが 確認できた。



*水環境事業部 資源循環技術部

むすび

前述のとおり,1系炉が2010年9月から操業開始 (2系炉は2012年7月から操業開始)して以降,温 室効果ガスの排出量低減,および省エネルギーを実 現し,環境負荷を低減した設備として,安定的な操 業を継続している。今後は,これまでに得られた知 見や運転実績に基づき,気泡式高効率二段燃焼炉の 拡販に努めていきたい。

最後に、本工事を遂行するにあたり、多大なご助 言、ご協力をいただきました神戸市建設局下水道河 川部工務課、神戸市建設局東水環境センター施設課 の関係各位には、深く感謝の意を表します。

石巻広域クリーンセンターの運転状況 東日本大震災により発生した災害廃棄物の焼却処理について On Processing of Disaster Wastes Due to the Great East Japan Earthquake at Ishinomaki Plant





山形成生* Naruo Yamagata 技術士(衛生工学部門)

佐藤吉壽** Yoshihisa Sato



英山 ^城 Satoshi Okuda

石巻広域クリーンセンターは、東日本大震災で津波により機器が水没するなどの被害を受けた が、2011年7月11日に再稼働し、現在も順調に運転を行っている。これまで震災復興に資するた め、約2万tの震災がれき等を受入れ、2013年7月にその処理を完了した。また、災害廃棄物の処 理にあたっても、溶融用外部燃料を投入することなく安定した処理が可能であった。本稿では、石 巻広域クリーンセンターにおける災害廃棄物の処理実績を中心に再稼働後の運転状況について報告 する。

Ishinomaki Plant, which was severely damaged by the Great East Japan Earthquake, resumed commercial operation on July 11th 2011 and is being operated stably. Ishinomaki Plant contributed to Tohoku Reconstruction by processing some 20 000 tons of disaster wastes. When processing disaster wastes, stable operation was achieved without using excessive energy for melting. In this paper, we report the operational status of Ishinomaki Plant by using fluidized bed gasification and melting system.

Key Words :

都	市	Î	<u> </u>	み		
ガ	ス	化	溶	融		
災	害	廃	棄	物		

【セールスポイント】

流動床式ガス化溶融炉は,可燃ごみをはじめとする一般廃棄物に加え,災害廃棄物の処理も可 能な幅広いごみ質に対応できるシステムである。

Municipal solid waste Gasification and melting

Disaster Wastes

まえがき

2011年3月に発生した東日本大震災から3年近く が経過した。この間,岩手県,宮城県では仮設焼却 炉の建設,既設焼却炉の活用および広域処理によ り,2013年10月末時点での県全体の災害廃棄物の処 理率は岩手県で86%,宮城県で94%まで進捗して いる。^(*1)また,福島県においても,国の代行処理 による仮設焼却炉(相馬市・新地町)が2013年2月 下旬から本格稼働するなど,2014年度のできるだけ 早期の処理完了を目指した取組みが進められてい る。

このような状況において、石巻広域クリーンセン ター(写真1)においても、2011年7月の再稼働以 降、積極的に災害廃棄物を受入れ処理を行い震災復 興に貢献した。以下では、石巻広域クリーンセンタ ーにおける災害廃棄物の処理実績を中心に再稼働後 の運転状況について報告する。

1. 施設の概要

石巻広域クリーンセンターは、都市ごみ向け流動 床式ガス化溶融炉として2003(平成15)年3月竣工 した。以来、10年間で約70万tのごみを処理し、1



写真1 施設全景

炉あたり年間320日以上の安定運転を達成するなど 順調に稼働している。本施設のフローおよび概要 は、以下のとおりである。

- 1) 炉 型 式 流動床式ガス化溶融炉
- 2) 施設規模 230 t/d (115 t/24 h × 2 炉)
- 3) 蒸気条件 3 MPa × 300 ℃
- 4) 発電設備 復水式タービン (2700 kW)
- 5) 排ガス処理 減温塔+バグフィルタ+触媒反 応塔
- 6) 公害防止基準値 表1のとおり
- 災害廃棄物への対応

2.1 災害廃棄物の処理状況

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、石 巻広域クリーンセンターも津波により機器が水没す るなどの被害を受けたが、約3カ月の復旧工事の 後、復電および試運転を経て、7月11日に本格稼働 した。復旧後は地域の早期復興に資するため、災害

表1 公害防止基準値と処理方法

項目	基準値	処理方法
ば い じ ん 塩 化 水 素 硫 黄 酸 化 物 窒 素 酸 化 物 一 酸 化 炭 素 ダイオキシン類	0.02 g/m ³ _N 以下 50 ppm 以下 50 ppm 以下 60 ppm 以下 30 ppm 以下 0.01 ng-TEQ/m ³ _N 以下	バグフィルタ 乾式消石灰吹込み 乾式消石灰吹込み 燃焼制御+触媒脱硝 燃焼制御 然焼制御+活性炭吹込み+触媒分解

注:基準値は、乾ガス基準, O2=12%換算値



図1 石巻広域クリーンセンターフローシート

廃棄物を一般廃棄物と混合処理している。まず,震 災後発生し最終処分場に仮保管されていたごみ(以 下,ストックごみと記す)の処理を実施した。スト ックごみ(写真2)は、長期間最終処分場に仮置き されていたため多くの土砂を含み、海水を被ってい るなどの特徴を持つ。平均で約20%、最大で30% を超える混焼を実施したが、問題なく処理を継続 し、2012年6月でストックごみの処理を完了した。 引き続いて震災がれき(写真3)の処理を開始し、 2013年7月で処理を完了した。

2011年7月から2013年7月までの約2年間で,可 燃ごみ:約12万tに加え,災害廃棄物:約2万tの 処理(平均混焼率:約14%)を実施した。災害廃 棄物の処理実績を図2に示す。

2.2 スラグ性状および生産量

復旧後のスラグの生産量を図3に示す。

ストックごみや震災がれきなど雑多なものを混合 処理しているが,スラグの有効利用基準を満足して おり,アスファルト用骨材として有効利用されてい る。

災害廃棄物の処理が用役使用量に与える影響

災害廃棄物は、上述の通り可燃ごみと比較して異 なる性状を有するため、その処理にあたっては、通 常運転から様々な変化が発生することが想定され た。とくに、長期間屋外に仮置きされていたことに よる発熱量の低下に起因する溶融温度維持用の燃料 使用量の増加が懸念された。また、海水を被ってい



写真2 ストックごみ



写真3 震災がれき





図3 スラグ生産量の推移(2011年7月~2013年9月)





るため塩素含有量が多く,塩化水素の発生濃度の上 昇が想定された。

3.1 燃料使用量

災害廃棄物の処理を完了した2013年7月までの直 近6カ月間における各炉のごみ処理量と燃料使用量 を図4~5に示す。通常運転においては定常的に燃 料を使用することなく自己熱による溶融処理を継続し ている。燃料使用量は約2L/ごみt程度(ごみに対 する入熱量として1%程度)と非常にわずかである。

3.2 消石灰使用量

ストックごみ処理時(2011年7月~2012年5月), 震災がれき処理時(2012年7月~2013年7月)の消 石灰使用量平均値を図6に示す。なお、比較のため 通常運転時として2010年度の平均値をあわせて記載 した。図6からわかるとおり、災害廃棄物等の処理 時には通常運転時に比べて消石灰使用量原単位が 1.7~1.9倍になっており、災害廃棄物を混合処理す ることによる影響が見られた。ただし、本現象が災 害廃棄物に塩化ビニル製品等が大量に混入したこと によるものか、または、海水に浸かったことによる ものかについては定量的に特定できていないが、ス トックごみの目視確認状況から海水に浸かったこと による影響が大きいと思われる。

むすび

石巻広域クリーンセンターは、東日本大震災で津 波により機器が水没するなどの被害を受けたが、 2011年7月に再稼働し、順調に稼働している。ま



た、上述のとおり災害廃棄物の処理も実施し、震災 復興にも貢献できた。東日本大震災を受け様々な震 災対策が検討されており、廃棄物処理施設整備計画 (平成25年5月31日閣議決定)において「強靭な廃 棄物処理システムの確保を進める」ことが掲げられ ている。今回の石巻広域クリーンセンターでの災害 廃棄物の処理実績から、「流動床式ガス化溶融炉」 は強靭な廃棄物処理システムの構築に資するシステ ムの一つであると確信している。

最後に、本稿作成にあたりまして資料提供を頂く とともに、運転管理においてもご指導いただいてお ります石巻広域クリーンセンターの職員の方々にお 礼申上げます。

[参考文献]

*1:環境省ホームページ http://kouikishori.env.go.jp/conditions/

*環境プラント事業部 プラント技術部 設備技術室 **神鋼環境メンテナンス㈱ 運転管理センター 石巻事業所

施設・技術紹介

日本環境安全事業株式会社向け 北海道 PCB 廃棄物処理施設設置工事(増設)を竣工

当社が,新日鉄住金エンジニアリング株式会社, 株式会社日本製鋼所とともにJVで2010年12月に日 本環境安全事業株式会社から受注しました「北海道 PCB 廃棄物処理施設設置工事(増設)」は2013年9 月9日より操業を開始しました。

当施設は北海道南西部に位置する室蘭市において 2008年5月より操業しているトランス・コンデン サ,PCB 油類を処理する当初処理施設(当社技術 を採用)に隣接して増設したもので,当初処理施設 では処理できない安定器などのPCB汚染物等をプ ラズマ溶融分解方式にて処理するものです。プラズ マ溶融分解方式は日本環境安全事業株式会社北九州 事業所でも採用され2009年7月より処理を行ってい る実績ある処理方式です。



北海道 PCB 廃棄物処理施設外観 (写真提供:日本環境安全事業株式会社)



神鋼環境ソリューション技報

Vol. 10 No. 2 (2014 / 2)

特 徴

① 多種多様な PCB 汚染物等をドラム缶又はペール缶に封入し,容器ごと一括処理

② 15 000 ℃以上の高温プラズマと1 200 ℃以上の溶融浴の相乗効果により PCB を分解. 無害化

③ 恒温チャンバにて排気を1 200 ℃, 2 秒以上 の滞留時間を確保し, 排気中の PCB を確実に分解

処理の流れ

受入および前処理工程にて, PCB 汚染物の外観 検査後,容器(ドラム缶等)に詰替えを行う。

続いて、プラズマ溶融分解工程では、PCB汚染物を容器ごとプラズマ溶融分解炉へ投入し、高温の プラズマアーク(15000℃以上)と溶融スラグ浴 (1200℃以上)の相乗効果によって効率よく溶融分 解される。このとき PCBを含む有機物は、二酸化 炭素、水蒸気、塩化水素に分解される。この排気を 恒温チャンバで1200℃、2秒以上滞留させ PCBの 確実な分解を図る。また、無機質はスラグとして排 出される。 その後, 排気処理工程では減温塔, バグフィルタ, 触媒反応塔によって, ダイオキシン類, 塩化水素, 硫黄酸化物, 窒素酸化物を分解または除去する。

また,処理工程で発生する溶融スラグや固形物は PCB 濃度が卒業判定値以下であるか分析を行い, 卒業判定を合格したものは施設外へ搬出される。







プラズマ溶融分解炉(写真提供:日本環境安全事業株式会社)

TOPics

展示会だより

■エコプロダクツ東北 2013

2013年10月23日から25日の3日間,宮城県仙台市の夢メッセみやぎ(みやぎ産業交流センター)展示場に てNPO法人環境会議所東北が主催する「エコプロダクツ東北2013」へ出展しました。同展は東北の地元企 業や団体などを中心に2006年より毎年開催されている環境関連展示会で、今年は65社・団体が出展し、会場 全体で11 858人の来場がありました。当社は今回初めての出展となり、「ガス化溶融炉システム」、「ごみ焼 却飛灰中の放射性物質の洗浄・除去設備」、「放射性物質を含む下水汚泥の減容化の取り組み」、「下水汚泥焼 却システム」、「バイオガスを活用した効果的な再生可能エネルギー生産システム」をパネル展示し、中でも 放射性物質の洗浄・除去などについては来場者の関心を引いていました。同展では、環境関連のシステムや 機器などの他にも NPO 団体などが主催して、風呂敷を利用した包装の仕方などエコの取り組みを紹介した ブースなどもあり、一般の方の来場も多くありました。また、小学生の見学を受け入れる「エコキッズ探検 隊 in エコプロダクツ東北2013」というイベントもあり、受け入れた企業は、小学生たちに囲まれて次々と 繰り出す質問に答えて奮闘していました。

RADIEX 2013

2013年9月25日から27日まで、東京の科学技術館展示ホールにて環境放射能除染・廃棄物処理国際展の 「RADIEX(ラディックス)2013」が開催されました。同展は、株式会社環境新聞社主催、環境省、文部科 学省などが後援となり2012年から開催された展示会で、東日本大震災に伴う東京電力福島第1原子力発電所 事故による環境放射能汚染の除染活動を加速させるために開催されたとし、環境関連企業・団体の143社が 出展し、9921人が来場しました。当社は、神戸製鋼グループのひとつとして出展し、流動床炉や飛灰洗浄 技術などのコア技術や放射性廃棄物処理設備、福島県中浄化センター汚泥焼却設備などの実績をパネル展示 し、ブースへの来場者は200名前後となりました。特に飛灰洗浄について興味を持たれる方が多く見られま した。



TOPics

展示会だより

■ INCHEM TOKYO 2013 プラントショー

2013年10月30日~11月1日の3日間,東京ビッグサイト国際展示場にて,公益社団法人化学工業会,社団法人日本能率協会が主催する INCHEM TOKYO 2013に出展しました。

国内最大級のケミカルプラントショーで2年に一度開催される本展示会に、今回は海外メーカも含め432 社が出展しました。

当社はコンタミレスをコンセプトとした「スイングスター」,「N-CDB」を中心に,「#9500他グラスサン プル」,粉体機器用「小型ラボテスト機」,新型水素発生装置「H₂BOX」等の実機展示と,「ベトナム工場」, 「F 組立エリア」等をパネル展示で紹介し,前回を上回る約600名の方々に来場して頂きました。

また,同会場内で開催された製品・技術セミナーにも参加し,「摺動部の無いクリーン撹拌機スイングス ター」,「吸引管の無いコニカルドライヤ N-CDB」の2テーマの技術プレゼンテーションも実施し,約180名 の方々に聴講して頂きました。

当社製品のプレゼンテーションの場としてはもちろんのこと,高品質なモノづくりを目指す多方面のお客様より,当社に対する期待を実感できる展示会となりました。



スイングスター展示機



N-CDB 展示機



小型テスト機説明風景



N-CDB 説明風景

TOPics

展示会だより

■郡山水道展 2013

2013年10月23日~25日,郡山市 ビックパレットふくしま隣接駐車場にて,水団連(一般社団法人 日本 水道工業団体連合会)が主催する郡山水道展 2013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,郡山市水道局,日本水道新聞社,水道産業新聞社)

本展示は毎年10月に開催される水道分野の展示会であり、今年は出展団体8社、出展企業107社の出展が ありました。今年の水道展は日本水道協会が主催する日本水道協会全国会議(水道研究発表会、全国会議) と併催されることとなり、全国の水道事業管理者などの幹部職員や、水道分野の若手職員の多数参加により 幅広い年齢層の水道関係者の来場が期待されました。

当社の主な出展品は、ろ過池において効率的な洗浄ができる下部集水装置(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)、鉄バクテリアによる酸化作用を活用した除鉄・除マンガン自然ろ過設備を含む計9品目の出展を行いました。

『水道展来場者数……延べ2700名(水団連調べ)』

(官公庁関係1970名,水道関係の一般来場者は約630名,学生は約100名)

当社ブースにも、多数の水道関係者の来訪があり、来訪者の関心が高かったのは生物の活用により LCC 低減が見込まれる U-BCF,鉄バクテリアで、質問された方も多く見受けられました。

また,併催された水道研究発表会では鉄バクテリアを利用した「重力式高速自然ろ過装置の処理特性」に ついて,研究発表を行いました。

来年は水道給水から100周年ということで開催地は名古屋となります。次回出展に向け,新技術 PR など を含め出展準備を行ってまいります。



神鋼環境ソリューション技報

Vol. 10 No. 2 (2014 / 2)

TOPICS

展示会だより

RWM 2013 - Resource Efficiency & Waste Management Solutions -

イギリス・バーミンガムの NEC Birmingham にて,2013年9月10日から12日まで,イギリス国内最大級の 廃棄物処理専門展 RWM2013へ出展しました。イギリス向けガス化溶融炉システムのフロー展示などを中心 に展示を行いました。当社は今回で3度目の同展への出展となりましたが,展示期間中,会場内では同展の ブラジル版が今回から開催されるとの事で,出展および来場を呼び掛けるサンバでの PR などもあり,国際 色豊かな雰囲気になりました。



■ POLLUTEC HORIZONS 2013へ出展

2013年12月3日から6日の4日間,フランスのパリ郊外の Paris Nord Villpinte にて Pollutec Horizons 2013 が開催されました。水処理,廃棄物処理,エネルギ関係など欧州でも最大級となる展示会で,パリとリヨン で交互に開催され,当社も6度目の出展となりました。アジア,アフリカなど様々な国と地域から来場者が 集まる同展では,ガス化溶融炉システムを中心に他,低動力海水淡水化システムなどのパネル展示を行い, また,「Comprebensive Environmental Solution Technology」と題して Energy Forum にて,プレゼンテーショ ンを行いました。



TOPICS

ベトナム グラスライニング (GL) 機器製造工場 竣工 ー日本メーカー初, そして ASEAN 初の GL 機器製造工場が竣工一

2013年10月,予てより建設を進めてきたベトナム GL 機器製造工場 (KOBELCO ECO-SOLUTIONS VIETNAM 社 LONG DUC 工場)が竣工 しました。

当社のグラスライニング製機器は国内市場においてトップシェアを 誇っていますが、日本を含む先進国市場は縮減傾向に有ります。一方、 世界市場は東南アジアなど新興国市場の需要が拡大しており、今後更 なる拡大が見込まれ、ベトナムは近年旺盛な需要を背景に、今後産業 の裾野の広がりが期待されています。

ベトナム GL 機器製造工場は当社初の海外製造拠点でありますが, 日本の GL 機器製造メーカーにとっても,かつ ASEAN 地域にとって も初の GL 機器製造拠点と成るものです。私たちの工場では GL 製反 応器,貯槽,熱交換器などを製造し,操業当初は日本国内向けの製品 を製造しますが,順次 ASEAN 市場向けに製造・販売を展開します。 在職11名の内8名は播磨製作所において技能だけでなく安全・品質を 熱心に学んできました。さらに安全・品質・技能を磨きあげ,彼らが 中心となって後進へ教え,伝え,広め,そして根付かせ,ロンドウッ ク工場の風土を醸成して行きます。



ロンドウック工場の場所



当社ブランドとして恥ずかしくない製品を造ることはもちろん,現 ^{従業員一同} 地生産によるコストダウン効果を取込み,収益力を強化して日本市場での絶対的優位を揺るぎないものとす るとともに,ASEAN市場の取込みを図っていきます。繊細かつ厳格な当社のもの造りDNAを受継ぎ,明 るく活気溢れるベトナムから,日本品質のGL機器をお客様の手元へ届けていきます。



神鋼環境ソリューション技報

Vol. 10 No. 2 (2014 / 2)

(株)神鋼環境ソリューション登録特許・意匠一覧 (2012年4月1日~2013年3月31日まで)

No.	四法	出願番号	出願日	登録番号	登録日	発明の名称	共同出願人
1	意匠	2013-001861	2013/1/31	1477439	2013/7/19	集水管	神鋼環境メンテナンス 株式会社
2	特許	2006-018613	2006/1/27	4966555	2012/4/6	ナトリウム分散体製造設備	
3	特許	2007-141664	2007/5/29	4966743	2012/4/6	ガス化溶融炉の運転方法及び運転制御装置	
4	特許	2008-027862	2008/2/7	4966884	2012/4/6	濾過集水装置及びガス放出管	
5	特許	2008-250223	2008/9/29	4966940	2012/4/6	飛灰処理装置,飛灰処理方法,廃棄物処理システム,及び廃棄物処理システムの運転方法	
6	特許	2009-065614	2009/3/18	4966990	2012/4/6	トロンメル式廃棄物選別装置,廃棄物処理設備, 及び廃棄物分別方法	
7	特許	2007-140787	2007/5/28	4988435	2012/5/11	スクリュープレス	
8	特許	2008-323530	2008/12/19	4988695	2012/5/11	嫌気性処理装置およびこれを備える廃棄物処理シ ステム	
9	特許	2008-262629	2008/10/9	4990255	2012/5/11	藻類培養装置及び藻類培養方法	
10	特許	2010-105505	2010/4/30	4991905	2012/5/11	ジャケット付きグラスライニング容器,及びその 製造方法	
11	特許	2008-236543	2008/9/16	5001923	2012/5/25	水処理装置及び水処理方法	
12	特許	2005-372960	2005/12/26	5002153	2012/5/25	汚染土壌浄化設備および汚染土壌浄化方法	
13	特許	2006-151897	2006/5/31	5010179	2012/6/8	溶融炉の処理判定方法及び装置	新日鉄住金エンジニア リング株式会社
14	特許	2007-326982	2007/12/19	5016470	2012/6/15	溶融炉および廃棄物処理システム	
15	特許	2007-326983	2007/12/19	5016471	2012/6/15	溶融炉	
16	特許	2006-290101	2006/10/25	5016895	2012/6/15	インジウムの回収方法とその装置	
17	特許	2008-126836	2008/5/14	5017172	2012/6/15	過酸化物含有排水の処理方法とその装置	
18	特許	2005-255463	2005/9/2	5020490	2012/6/22	有機汚泥の処理方法及び有機汚泥処理設備	
19	特許	2006-240584	2006/9/5	5020575	2012/6/22	バイオガスの精製方法及びバイオガス精製設備	神戸市,独立行政法人 土木研究所
20	特許	2008-333455	2008/12/26	5027107	2012/6/29	濾過乾燥装置	
21	特許	2007-139918	2007/5/28	5033480	2012/7/6	容器回転型混合乾燥器	
22	特許	2009-068731	2009/3/19	5033829	2012/7/6	消化ガスの脱酸素方法及び装置	
23	特許	2009-082625	2009/3/30	5033831	2012/7/6	バグフィルター用リテーナ	
_24	特許	2008-229995	2008/9/8	5038269	2012/7/13	廃棄物供給装置および廃棄物供給方法	
25	特許	2008-143077	2008/5/30	5039634	2012/7/13	廃棄物処理設備及び廃棄物処理方法	
26	特許	2007-172172	2007/6/29	5044306	2012/7/20	ポリ塩化ビフェニル含有ブッシングのプラズマ溶 融分解処理方法	新日鉄住金エンジニア リング株式会社
27	特許	2007-078703	2007/3/26	5049623	2012/7/27	飲料水製造用膜分離装置及びその運転方法	
28	特許	2007-294618	2007/11/13	5049748	2012/7/27	生物学的水処理のシミュレーション方法およびシ ミュレーション装置	
29	特許	2008-226447	2008/9/3	5049929	2012/7/27	水処理装置及び水処理方法	
30	特許	2010-118372	2010/5/24	5059908	2012/8/10	スクリュープレス	株式会社石垣
31	特許	2012-126120	2012/6/1	5061265	2012/8/10	バイオガス利用システムにおける成分調整ガスの 都市ガス導管への注入量制御方法及び装置	神戸市
32	特許	2006-280384	2006/10/13	5063975	2012/8/17	有機性排水の処理方法及び処理装置	
33	特許	2007-082367	2007/3/27	5065727	2012/8/17	固体電解質膜の製造方法,固体電解質膜,及び水 電解装置	
34	特許	2008-554975	2007/11/19	5068772	2012/8/24	インジウム含有塩化第二鉄エッチング廃液からの インジウムの回収方法とその装置	シャープ株式会社
35	特許	2008-554976	2007/11/19	5068773	2012/8/24	インジウム含有塩化第二鉄エッチング廃液からの インジウムの回収方法とその装置	シャープ株式会社
36	特許	2009-024960	2009/2/5	5069703	2012/8/24	処理対象物のプラズマ溶融分解処理における前処 理方法及び前処理設備	新日鉄住金エンジニア リング株式会社, NS プラント設計
37	特許	2010-130741	2010/6/8	5072050	2012/8/31	メディア及び膜ろ過複合ろ過設備及びその運転方 法	阪神水道企業団,株式 会社クボタ,JFE エン ジニアリング

38 市が、2009-200734 2009-98 2017.70 2012/803 アクスマトークの電気を発展し、アクスマ自動中 39 第子 2007.11/201 2007.11/201 2012/803 市人大利は支配及び市法の利益及法 41 147 2006-528 506.177 2012/813 市人大和は支配及び市法の制益及法 42 147 2006-528 506.177 2012/913 市人大型電気な変した人の削減及法 形式なび自動などのの高いしなあ 43 第二 2001-405.65 2010-400 500.572 2012/913 大型電気を加減ななどした人の調査などのの高いしなた 形式なびしたした人の調査などしたした人の調査などのの高いしなん 45 第二 2000-400.565 511166 2012/1019 大型電気を加減なないたないしたしたいしまない キャーボーボ ホーボ	No.	四法	出願番号	出願日	登録番号	登録日	発明の名称	共同出願人
9 9 2007-31021 2007-11.20 2075897 2012831 Pitty and any angle to pity a constraint of the pity and any angle to pity a constraint of the pity and any angle to pity a constraint of the pity and any angle to pity a constraint of the pity and any angle to pity a constraint of the pity and any angle to pity angl	38	特許	2009-206734	2009/9/8	5073720	2012/8/31	プラズマトーチの電極交換装置,プラズマ溶融炉 およびプラズマトーチの電極交換方法	
40 特許 2008-138012 2008-528 506177 2012-91 27.4 (注)	39	特許	2007-310271	2007/11/30	5075597	2012/8/31	浄化水回収装置及び浄化水の回収方法	
1 1 2006-24123 2005-026 2001-026 2007-	40	特許	2008-139812	2008/5/28	5086177	2012/9/14	ガス化溶融設備及びガス化溶融設備の溶融炉燃焼 用空気供給方法	株式会社神戸製鋼所
42 特徴 2010-105651 2010-0430 5001/21 2012/2021 70.5/2.8/2 <th70.5 2.8="" 2<="" th=""> 70.5/2.8/2 <t< td=""><td>41</td><td>特許</td><td>2008-241237</td><td>2005/3/28</td><td>5087509</td><td>2012/9/14</td><td>減温塔</td><td>株式会社神戸製鋼所</td></t<></th70.5>	41	特許	2008-241237	2005/3/28	5087509	2012/9/14	減温塔	株式会社神戸製鋼所
43 第第 2009-02083 2009/212 510078 2012/105 株気東方法および水気環装置 44 第第 2007-6054 2008/122 5111343 2012/103 株式車大口用成なの場合なのである 111134 2012/103 株式車板支電 111134 2012/103 株式車板支電 111134 2012/103 株式車板支車 111134 2017/103 株式車板支電 111134 1111 株式車気電 111134 2017/103 林式車板支車 11111 1111 株式車式車 1111 株式車式車 1111 株式車 1111 株式車式車 111134 2012/102 111345 2012/102 111134 2012/102 111134 2012/102 111134 2012/102 111134 2012/102 111134 2012/102 111134 2012/102 111134 2012/102 111134 2012/102 111134 11114 1111 11113 111134 11114 11114 11114 11114 11114 11114 11114 11114 11114 11114 11114 11114 11114 11114 11114 11114 11114 11	42	特許	2010-105651	2010/4/30	5091274	2012/9/21	ガス処理装置およびその運転方法	
44 特許 2008-307634 2008/122 5111344 20121019 トラマスコマ用鉄(小銀球方法及びトランスコマ用) 45 特許 2007-165946 2007625 511156 20121019 除車物を見配さのサイス処理)法及び装置 計戸市、設立行政法人 上本研究所 47 特許 2006-240585 2006975 5112666 20121019 ガタンド収入方法15 C の代表用システムにおける消化ガス特数法型 上本研究所 47 特許 2006-24058 5112666 20121019 満止びその相望表面 上本研究所 48 第2 2010-02156 511460 20121019 満止て多の相望表面 満止の売の法人 49 特許 2010-02156 2010-02 511460 20121019 満止て多しがた 満にの売した 51 特許 2010-02156 2019205 満止水泳化た方法およびはんきしかんれた実置 51 特許 2010-02156 2018203 20121122 ボホ泳化た方法およびはんまれたま 51 特許 2007-16832 2007/102 5140382 20121122 ボネ泳化た方法およびるた 51 特部 2007-16832 2007/162 5146382	43	特許	2009-029683	2009/2/12	5100678	2012/10/5	水処理方法および水処理装置	
45 第4 2007-106946 20076/25 5111265 2012/1019 メタン目取方法および消化オス編製装置 計可売 現立行政法人 注本研究所 47 第4 2006-240585 20069/5 5112666 2012/1019 メタン目取方法および消化オス編製装置 計可売 現立行政法人 注本研究所 47 第4 2006-240586 20069/05 5112666 2012/1019 消化ダスの目入ステムにおける消化ガス編製支置 計不研究所 48 特許 2012-12817 2012/61 5112606 2012/1026 下水を実施設の運転方法 常浜 2012/61 118930 2012/1026 市水を実施設の運転方法 常浜 2012/61 118930 2012/1026 市水水学電気の水水化装置 1 1 1 第二 2010/102 5112808 2012/1026 市水水学電気の水水化装置 1 <td>44</td> <td>特許</td> <td>2008-307634</td> <td>2008/12/2</td> <td>5111344</td> <td>2012/10/19</td> <td>トランスコア用鉄心処理方法及びトランスコア用 鉄心開裁装置</td> <td></td>	44	特許	2008-307634	2008/12/2	5111344	2012/10/19	トランスコア用鉄心処理方法及びトランスコア用 鉄心開裁装置	
46 特示 2006-240385 2006/95 5112664 20121019 メタッ回取方法および消化ガス特異装置 共正規型合式 47 特示 2006-240386 2006/95 5112065 20121019 設になりの利用 第ポレジス利用システムにおける消化ガス特異が広 批目示 独口市、建立方以広人 48 特示 2012-128174 201265 5114062 20121019 減に装置度び減圧方法 神目振、環点 株式会社 50 特示 2012-128174 20126102 5112020 20121026 滞水炭水広大法および港水炭水伝装置 株式会社 51 特示 2012-12012 1512970 20121026 滞水炭水ケホスはおよびき 株式会社 52 特示 20077/13 5140333 20121102 濃な量素型の製力法 514042 20121102 濃な量素型の製力法 514042 514384 74××× 514345 74×× 514345 514	45	特許	2007-165946	2007/6/25	5111955	2012/10/19	廃棄物処理設備の排ガス処理方法及び装置	
47 等許 2006-240386 2006-90 511266 2012/1019 消化ガス利用システムにおける消化ガス精整式 共研究所 48 等許 2012-128174 201265 5114602 2012/1019 減圧業置及び減圧方法 株研究所 49 等許 2009-12012 2009-618 5119200 2012/1026 下水果用読みの運転方法 株式会社 50 特許 2012/10261 3119270 2012/1026 清水果水化方式および海水洗化洗量 51 特許 2012/10216 3119370 2012/1022 清水洗水化方式および海水洗化洗量 52 学許 2006-071288 2008-07138 20012/102 活水水化方式およびパイマス発電会が洗法 53 特許 2007-07463 2007/102 5104082 2012/122 パイマス発電会が洗法 54 特許 2007-07463 2007/11/23 5108028 2012/122 請水を巡回	46	特許	2006-240585	2006/9/5	5112664	2012/10/19	メタン回収方法および消化ガス精製装置	神戸市,独立行政法人 土木研究所
48 特徴 2012-128174 2012-2055 511602 2012/1026 下水処理施設の運転方法 神賀取換 ノンテナンス 神式会社 49 特許 2010-0164 2010/22 5119200 2012/1026 市水処理施設の運転方法 神武会社 50 特許 2010-2161 2012/1026 市が取空のしたがまおよび市大法水化大振水化大振水化大振水化大振水化大振水化大振水化大振水化大振水化 51 特許 2010-2107 514033 2012/1026 市が取空のしたがまおよびバイオマス発電設備 52 特許 2007-37746 2007/1713 514033 2012/1127 パイタマス令の支払ないイオマス発電設備 55 特許 2007-37746 2007/1025 5140330 2012/1127 パイタマス令在方法よろびイオマス発電設備 56 特許 2001-6724 5145334 2012/124 ポイタルの手術法 51<5543	47	特許	2006-240586	2006/9/5	5112665	2012/10/19	消化ガス利用システムにおける消化ガス精製方法 およびその精製装置	神戸市,独立行政法人 土木研究所
49 特許 2009-12012 2009518 511920 20121028 下水処理協設の運転方法 神御眼燈のシンテナンス 株式会社 50 特許 2012-126121 2012012 511920 20121028 都市女ス電音へのバイオプス注入設備 51 特許 2005-07188 200807108 2018070 20121102 第点型協力 511970 20121102 第点型協力 511970 20121102 第点型協力 511970 20121102 第点型協力 511970 20121102 バイオマス発電方法1 511970 511970 511970 511970 511970 511970 511970 20121102 バイオマス発電方法15 511970 511970 511970 511970 20121122 北水グ理広ジステンス 511970 511970 20121221 熱性の運力 第点しび急機能システンス 511970 511707 20121221 熱性の少グランス 511970 511717 2013111 税管価を与ない 会社主要の処理方法 株式会社 第点型 5119971 2013111 教育価金クス 数数 第点型 <	48	特許	2012-128174	2012/6/5	5114602	2012/10/19	減圧装置及び減圧方法	
60 特許 2010-0216 2010-025 2012-0026 海水水水化方法15.5 び海水水化方法 2011-025 15 特許 2007-1285 2008-071285 2008-071285 2008-071285 2009-071254 2009-071549 2009-071549 2009-071549 2009-071549 2009-071549 2009-071549 2009-071549 2009-071549 2009-071549 2011/122 非水水県市大市 4 4 2007-1025 5146328 2012/11/22 非水水県市大市 4 4 2009-071549 2009-0725 5156280 2012/12/21 非水水県市大市 4 4 2007-1025 5146328 2012/12/21 熱水県ホッパトホット 4 4 4 2007-1025 5146328 2012/12/11 ボッホ × 5 5 7 2009-17149 2009-820 517177 2011/11 1 1 1 4 2012/12/11 1 1 1 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1<	49	特許	2009-120122	2009/5/18	5119200	2012/10/26	下水処理施設の運転方法	神鋼環境メンテナンス 株式会社
51 特許 2012-12612 2012-061 5119370 2012/1026 都市方公売等の発売方法 52 特許 2007-17483 2008/319 5114318 2012/11/2 二烯化炭素町収えステム 54 特許 2007-17483 2007/1713 5140039 2012/11/2 バイオマス発電方法はよびバイオマス発電波振 55 特許 2010-07713 5140039 2012/11/2 バイオマス発電方法はよびバイオマス発電波 56 特許 2010-077625 5156280 2012/12/21 ボリ塩化ビフェニル分解処理方法 57 特許 2010-118477 2010/12 5160202 2012/12/21 放射性ビフスニル分解処理方法 株式会社神戸製鋼所 50 特許 2010-118477 2010/12 517037 2013/1/1 配合プラスクイニング及び零電性グラスフイニ シン学解機通動 50 特許 2010-118477 2010/12 517157 2013/1/1 配合売売売売売売売 営業 株式会社中戸製鋼が 51 2010-1247 5171935 2013/1/1 服力指法 営業 株式会社ウボタ 51 2010-2165 517547 2013/1/1 転告 転方 第 51 2012-2292	50	特許	2010-021546	2010/2/2	5119280	2012/10/26	海水淡水化方法および海水淡水化装置	
52 特許 2008-07128 2008/3718 5124318 2012/11/2 進過後型の製造方法 58 特許 2007-17443 200710/2 5140332 2012/11/22 パネ化マス発電方法およびパイオマス発電設備 57 特許 2007-16642 2012/12/22 ボ水処理方法 5 58 特許 2007-16642 2012/12/21 ボル塩化ビアニール分解処理方法 5 58 特許 2007-302915 2007622 5165202 2012/12/11 ボリ塩化ビアニール分解処理方法 6 58 特許 2017-16642 2018/30 5162721 2012/12/21 熱想油の少化防止方法 51/258 51/258 59 特許 2010-115477 2010/21 51/158 2013/11 R管論社の予スウイニング及び環礁性グラスウイニング及び環礁性グラスウイニングタンデスクニング及び環礁性グラスウイニングタン (小算磁は方辺処 4 61 特許 2010-268276 2010/12 51/1581 2013/11 数合型活法の運用装置 50/273/14 62 特許 2012-20929 2012/10/6 51/599 2013/11 数合子 (小算を) 大会合力が法 50/274 64 特許 2012-20929 2012/10/6 51/5999 2013/11 <td>51</td> <td>特許</td> <td>2012-126121</td> <td>2012/6/1</td> <td>5119370</td> <td>2012/10/26</td> <td>都市ガス導管へのバイオガス注入設備</td> <td></td>	51	特許	2012-126121	2012/6/1	5119370	2012/10/26	都市ガス導管へのバイオガス注入設備	
53 啓幸 2007-18488 2007/1025 5140380 2012/1022 二派 化皮素面収入クテム 55 常幸 2009-071549 2009/0125 5140380 2012/1122 洋水 ペ運下方法 56 常幸 2009-071549 2010-8724 5140622 2012/1122 井水 ペ運下方法 57 特害 2010-187234 2010-8724 5116622 2012/1124 ボリ塩 化ビフェール分解処理方法 58 特部 2007-1025 5162820 2012/1221 散目化ビフェール分解処理方法 株式会社神戸製鋼所 59 特部 2012-18676 2012/823 5162721 2012/1221 散目化ビフェール分解処理方法 株式会社神戸製鋼所 61 特部 2010-115477 2012/123 放射化ビンラム含有土壌の処理方法 株式会社神戸製鋼所 62 特許 2010-68276 2011/12 5171875 2013/11 配合工会社会社会社会工会社会社会社会社会社会社会社会社会社会社会社会社会社会社会社	52	特許	2008-071288	2008/3/19	5124318	2012/11/2	濾過装置の製造方法	
54 特許 2007-277-63 2007/10/25 5140520 2012/1/22 排水処理方法 5 56 特許 2010-187234 2010/82/2 5140522 2012/1/22 排水処理方法 5 57 特許 2007-16262 2007/62/5 5156284 2012/1/22 排水処理方法 5 58 特許 2007-302915 2007/11/25 5162848 2012/1/22 対量地の少化防止方法 および熱輸送システム 59 特許 2010-1128/05 2012/221 2012/221 放射性ションクム合力 大会の理力方法 株式の熱地方法 60 特許 2010-115477 2010/21 20112/21 2011/21 2011/21 2011/12 2011/12 2011/11 度合離にかうスライニ ジグ製売油 61 特許 2010-115477 2010/21 5171853 2013/1/1 酸分離はやラスライニ ジグ製売油 株式会社やボタ 62 特許 2010-268276 2010/21 5175647 2013/1/1 板台市 大会社会 株式会社シボタ 63 特許 2012-20294 2012/972 5175968 2013/1/1 上数合もの大会社会	53	特許	2007-184838	2007/7/13	5140339	2012/11/22	二酸化炭素回収システム	
55 特許 2009-07194 2009-324 514032 2012-11/20 非必理方法 56 特許 2010-187234 20108/24 5145384 2012-11/30 ろ遣処理施設の運転方法 57 特許 2007-302915 2007/11/23 5166280 2012/12/21 熱療能の分化防止方法、および熟輸法システム 58 特許 2012-188676 2012/8/30 5166272 2012/12/21 放射性センクス合育土壌の処理方法 60 特許 2010-115477 2010/719 5171583 2013/1/1 場管電性グラスライニング及び薄電性グラスライニ 61 特許 2010-268276 2010/21 5171583 2013/1/1 機管電化グラスライニング及び薄電性グラスライニ 63 時許 2010-268276 2010/12 5171583 2013/1/1 推撃方法 64 特許 2012-2024 517548 2013/1/1 推撃方法 65 特許 2012-20257 2013/1/1 大葉からの版射性センウム含有水の処理方法 64 特許 2012-20257 2012/10/16 5175995 2013/1/1 大葉からの版射性センウム含有水の処理方法	54	特許	2007-277463	2007/10/25	5140380	2012/11/22	バイオマス発電方法およびバイオマス発電設備	
56 特許 2001-187234 2010-224 5145384 2012/12/0 万通処理施設の運転方法 57 特許 2007-166262 2007/025 5156280 2012/12/1 常知電の分化防止方法、および熱輸送システム 58 特許 2012-189876 2012/830 5162721 2012/12/21 熱球性セシウム合有土壌の処理方法 60 特許 2010-115477 2010-519 5171757 2013/1/1 院管詰まり検知度度及び配管詰まり検知方法 株式会社神戸製鋼所 61 特許 2010-115477 2010-519 5171883 2013/1/1 院管詰まり検知方法 株式会社クスクイニング及び導電性グラスライニング及び導電性グラスクイニ 62 特許 2010-628276 2010/121 5171883 2013/1/1 股育能力を強力の運転方法 株式会社クボタ 63 特許 2018-2022 2018/024 2013/1/1 社会から切換制性とシウム合有大の処理方法 16 64 特許 2012-20292 2012/10/16 517597 2013/1/1 大型からの助射性とシウム合有大の処理方法 17 65 特許 2012-20297 2012/10/16 5175997 2013/1/1 大型からの助射性とシウム合有大の処理方法 17 67 特許 2012-2122 1011/1	55	特許	2009-071549	2009/3/24	5140622	2012/11/22	排水処理方法	
57 特許 2007-16282 2007-622 5156280 2012/12/1 熱球油の劣化防止方法、および熱軸違システム 58 特許 2007-302915 2007/11/122 5166202 2012/12/1 熱球油の劣化防止方法、および熱軸違システム 59 特許 2012-188876 20128/30 5167271 2012/12/1 放射性センクム含有土愛の処理方法 60 特許 2010-115477 2010/10 517183 2013/11 配管詰まり検知装置及び配管詰まり検知方法 株式会社神戸製鋼所 7 特許 2010-268276 2010/121 517183 2013/11 服分離信任汚泥処理装置および限分離活性汚泥処 63 特許 2018-162952 2008/623 5175647 2013/11 北京市当方法及び生物処理方法 株式会社クボタ 64 特許 2012-20292 2012/016 5175997 2013/11 北京市当方法 株式会社クボタ 65 特許 2012-22929 2012/016 5181072 2013/11 北射モシウム合有水の処理方法及び表して吸着装置 66 特許 2012-229297 2012/016 5181072 2013/11 北射電素置のの場査 68 학部 2012-20163 5181072 2013/11 北射電なのの場査 <	56	特許	2010-187234	2010/8/24	5145384	2012/11/30	ろ過処理施設の運転方法	
58 特許 2007-302915 2007/11/22 5160202 2012/12/11 熱葉油の劣化防山方法、および熱輸送マステム 59 特許 2012-189876 2012/8/30 5162721 2012/12/11 散弊性セシウム含有土薬の処理方法 株式会社神戸製鋼所 61 特許 2010-115477 2010/5/19 5171757 2013/11 配管電性グラスライニング及び薄電性グラスライニング及び薄電性グラスライニ ////////////////////////////////////	57	特許	2007-166262	2007/6/25	5156280	2012/12/14	ポリ塩化ビフェニル分解処理方法	
59 特許 2012-189876 20128/200 5162721 2012/1221 放射性セシッム含有土埃の処理方法 株式会社神戸製鋼所 60 特許 2009-191044 2009/8/20 5171757 2013/1/1 配管詰まり検知法選及び配管詰まり検知方法 株式会社神戸製鋼所 61 特許 2010-115477 2010/5/19 5171888 2013/1/1 配管詰まり検知法選及び配管電性グラスライニング及び導電性グラスタイニング及び薄電性グラスタイニ 62 特許 2010-268276 2010/121 5171931 2013/1/1 被貨店行為認具装置および限分離活性汚泥処理 63 特許 2012-26822 2008/623 5174548 2013/1/1 水質子調方法及び生物処理方法 64 特許 2012-22926 2012/016 5175647 2013/1/1 水質子調方法及び生物処理方法 65 特許 2012-22929 2012/016 517597 2013/1/1 地算術方の効果性センウム合有水の処理方法及び吸着装置 66 特許 2012-22929 2012/016 517597 2013/1/1 岐業業官の撃症方法	58	特許	2007-302915	2007/11/22	5160202	2012/12/21	熱媒油の劣化防止方法、および熱輸送システム	
60 特許 2009-191044 2009.8/20 5171757 2013/1/1 配管詰まり検知決選及び配管詰まり検知方法 株式会社神戸製鋼所 61 特許 2010-115477 20105/19 5171857 2013/1/1 影電性グラスライニング数構造物 第電性グラスライニング数構造物 62 特許 2010-268276 2010/12/1 5171858 2013/1/1 腹分離活性汚泥処理装置および原分離活性汚泥処 63 特許 2008-623 5174548 2013/1/1 複合う過設備の運転方法 株式会社クボタ 64 特許 2012-209294 20129/24 5175647 2013/1/1 大量からの放射性セシウム除去方法 66 特許 2012-209294 2012/0/16 5175995 2013/1/1 大量からの放射性セシウム除去方法 67 特許 2012-209297 2012/0/16 5175998 2013/1/1 防着 大量からの変融素方法及び装置 神戸市 69 特許 2012-209297 2012/0/1 518517 2013/1/1 防着 キャガス回取方法及びその処理方法及びその処理表 70 特許 2002-1/21 518581 2013/1/1 防着 ホーケナイを引めの処理活及びその処理方法及びその処理表 71 特許 2005-007581 2003/1/1<	59	特許	2012-189876	2012/8/30	5162721	2012/12/21	放射性セシウム含有土壌の処理方法	
61 特許 2010-115477 20105/19 5171883 2013/1/1 ジア製幣造物 ング製幣造物 62 特許 2010-268276 2010/121 5171583 2013/1/1 数分離活性汚泥処理装置および限分離活性汚泥処 理方法 63 特許 2008-162952 2008/6/23 5174548 2013/1/1 数分離活性汚泥処理装置および限分離活性汚泥処 64 特許 2008-103722 2008/7/28 5175647 2013/1/1 大質からの放射性センウム除去方法 65 特許 2012-229294 2012/0/16 5175995 2013/1/1 大質からの放射性センウム除去方法 66 特許 2012-229294 2012/0/16 5175995 2013/1/1 水質からの放射性センウム除去方法 67 特許 2012-229297 2012/0/16 5175998 2013/1/1 バイオガスの影像法方法 68 特許 2012-2126122 2012/0/1 5175995 2013/1/1 バイオガスの影響 バイオガスのの影響 1 70 特許 2009-20844 2009/2/12 5188551 2013/2/2 推排表電 1 1 2 2 2 1 2 2 2 1 1	60	特許	2009-191044	2009/8/20	5171757	2013/1/11	配管詰まり検知装置及び配管詰まり検知方法	株式会社神戸製鋼所
62 特許 2010-268276 2010/12/1 5171931 2013/1/11 胰分離活性汚泥処理装置および胰分離活性汚泥処 63 特許 2008-162952 2008/6/23 5174548 2013/1/11 水質不過方法及び生物処理方法 株式会社クボタ 64 特許 2012-209294 2012/9/24 5175647 2013/1/11 水質不過方法及び生物処理方法 65 特許 2012-209294 2012/9/24 5175697 2013/1/11 放射性セシウム除去方法 66 特許 2012-209294 2012/0/16 5175997 2013/1/11 販労権活性シウム含有水の処理方法及び吸毒法 67 特許 2012-209297 2012/0/16 5175997 2013/1/11 販労権活性シウム含有水の処理方法及び装置 神戸市 69 特許 2012-126122 2012/0/1 518581 2013/1/15 搅拌装置 山里産業株式会社 70 特許 2008/7/30 5188310 2013/2/1 温度測定器	61	特許	2010-115477	2010/5/19	5171883	2013/1/11	導電性グラスライニング及び導電性グラスライニ ング製構造物	
63 特許 2008-162952 2008/6/23 5174548 2013/1/11 被合う過設備の運転方法 株式会社クボタ 64 特許 2018/07/28 5175647 2013/1/11 水質予測方法及び生物処理方法 65 特許 2012-209294 2012/0/2 5175995 2013/1/11 放射性セシウム含有水の処理方法及び吸着装置 66 特許 2012-229297 2012/1016 5175997 2013/1/11 吸着設置の製造方法 68 特許 2012-229297 2012/1016 5175997 2013/1/1 吸着装置の製造方法 69 特許 2012-229297 2012/1016 5181072 2013/1/1 吸着装置の製造方法 69 特許 2009-029844 2009/2/12 5185851 2013/1/1 バイガスの脱酸素方法及び美型 1 単産業株式会社 70 特許 2008-196780 2008/7/30 5188310 2013/21 温度測定器 1 1 里産業株式会社 71 特許 2008-07581 2008/1/14 5190174 2013/21 4 2019/24 2013/21 生物処理方法 2017-250 2013/21 4 物処理 <td>62</td> <td>特許</td> <td>2010-268276</td> <td>2010/12/1</td> <td>5171931</td> <td>2013/1/11</td> <td>膜分離活性汚泥処理装置および膜分離活性汚泥処 理方法</td> <td></td>	62	特許	2010-268276	2010/12/1	5171931	2013/1/11	膜分離活性汚泥処理装置および膜分離活性汚泥処 理方法	
64 特許 2008-193722 2008/7/28 5175647 2013/1/1 水質予測方法及び生物処理方法 65 特許 2012-202924 2012/9/24 5175995 2013/1/1 土壌からの放射性セシウム除去方法 66 特許 2012-229296 2012/10/16 5175995 2013/1/1 成射性セシウム含布水の処理方法及び吸着装置 67 特許 2012-229297 2012/10/16 5175995 2013/1/18 バイオオスの配酸素方法及び装置 神戸市 69 特許 2012-229244 2009/212 5185851 2013/1/25 搅拌装置 神戸市 69 特許 2009-029844 2009/212 5185851 2013/1/1 当2012/21 満井装置 山里産業株式会社 70 特許 2008-196780 2008/7/30 5188310 2013/2/1 温度測え器 山里産業株式会社 71 特許 2008-252381 2005/1/14 5190172 2013/2/1 生物処理方法及び生物処理支援びその処理装置 1 73 特許 2008-252381 2008/3/30 5190320 2013/2/1 生物処理方法及び産物処理支援びをへの処理装置 1 1 単産 201-287500 2010/1/2 2013/2/2 廃業物処理方法及び原本処理支援びをへびたまなびに本検護 1 1 1 第 2010-20764 <td>63</td> <td>特許</td> <td>2008-162952</td> <td>2008/6/23</td> <td>5174548</td> <td>2013/1/11</td> <td>複合ろ過設備の運転方法</td> <td>株式会社クボタ</td>	63	特許	2008-162952	2008/6/23	5174548	2013/1/11	複合ろ過設備の運転方法	株式会社クボタ
65 特許 2012-209294 2012/9/24 5175995 2013/1/11 土壌からの放射性セシウム除去方法 66 特許 2012-229296 2012/10/16 5175997 2013/1/11 成射性セシウム含有水の処理方法及び吸着装置 67 特許 2012-229297 2012/10/16 5175998 2013/1/11 吸着装置の製造方法 神戸市 68 特許 2012-126122 2012/61 5181072 2013/1/12 撹拌装置 神戸市 69 特許 2008-196780 2088/17/30 518851 2013/1/25 撹拌装置 山里産業株式会社 71 特許 2005-007881 2005/1/14 5190242 2013/2/1 星物処理方法及び生物処理方法及びその処理装置 山里産業株式会社 73 特許 2008-252381 2008/9/30 5190320 2013/2/1 メタンガス回収方法及び年初処理支 2012/2/2 5191402 74 特許 2007-258730 2007/10/2 5190242 2013/2/2 廃棄物処理方法及び廃棄物処理支 50 74 特許 2008-252381 2008/9/30 5190320 2013/2/2 廃棄物処理方法及び廃棄物処理支 50 75 特許 2010-28700 <td>64</td> <td>特許</td> <td>2008-193722</td> <td>2008/7/28</td> <td>5175647</td> <td>2013/1/11</td> <td>水質予測方法及び生物処理方法</td> <td></td>	64	特許	2008-193722	2008/7/28	5175647	2013/1/11	水質予測方法及び生物処理方法	
66 特許 2012-22929 2012/10/16 5175997 2013/1/11 版射性セシウム含有木の処理方法及び吸着装置 67 特許 2012-229297 2012/10/16 5175998 2013/1/11 販着装置の製造方法 68 特許 2012-126122 2012/10/16 5175998 2013/1/12 パイオガスの脱酸素方法及び装置 神戸市 69 特許 2009-029844 2009/2/12 5185851 2013/1/25 搅拌装置 70 特許 2005-007581 2005/1/14 5190242 2013/2/1 温度測定器 山里産業株式会社 71 特許 2005-258730 2007/10/2 5190242 2013/2/1 生物処理方法及び生物処理装置 73 特許 2008-252381 2008/9/30 5190320 2013/2/1 メタンガス回収方法及び生物処理装置 74 特許 2010-287200 2010/1/24 519102 2013/2/2 廃棄物処理方法及び廃棄物処理システム 75 特許 2006-011200 2006/1/19 5204954 2013/2/2 排水処理方法 ならびに有機性廃水処理装置 76 特許 2010-07164 2010/1/15 5211082 2013/3/15 オ機動を施力法 78 特許 2010-1075	65	特許	2012-209294	2012/9/24	5175995	2013/1/11	土壌からの放射性セシウム除去方法	
67 特許 2012-229297 2012/10/16 5175998 2013/1/11 吸着装置の製造方法 68 特許 2012-126122 2012/6/1 5181072 2013/1/18 バイオガスの脱酸素方法及び装置 神戸市 69 特許 2009-029844 2009/2/12 5185851 2013/1/25 搅拌装置 山里産業株式会社 70 特許 2008-196780 2008/7/30 5188310 2013/2/1 温度測定器 山里産業株式会社 71 特許 2005-007581 2005/1/14 5190174 2013/2/1 生物処理方法及び生物処理装置 1 72 特許 2007-258730 2007/10/2 5190242 2013/2/1 生物処理方法及び生物処理装置 1 1 73 特許 2008-252381 2008/9/30 5190320 2013/2/1 生物処理方法及び生物処理装置 1 1 75 特許 2010-12/24 51901320 2013/2/2 廃棄物処理方法ならびに有機性廃水処理装置 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 <td>66</td> <td>特許</td> <td>2012-229296</td> <td>2012/10/16</td> <td>5175997</td> <td>2013/1/11</td> <td>放射性セシウム含有水の処理方法及び吸着装置</td> <td></td>	66	特許	2012-229296	2012/10/16	5175997	2013/1/11	放射性セシウム含有水の処理方法及び吸着装置	
68 特許 2012-126122 2012/6/1 5181072 2013/1/18 バイオガスの脱酸素方法及び装置 神戸市 69 特許 2009-029844 2009/2/12 5185851 2013/1/25 搅拌装置 山里産業株式会社 70 特許 2008-196780 2008/7/30 5188310 2013/2/1 温度測定器 山里産業株式会社 71 特許 2005-007581 2005/1/14 519074 2013/2/1 生物処理方法及び生物処理装置 1 73 特許 2007-258730 2007/10/2 5190242 2013/2/1 メタンガス回収方法及びエネルギー変換システム 74 特許 2010-287200 2010/12/2 5194102 2013/2/2 廃棄物処理方法及び廃棄物処理システム 75 特許 2006-01120 2006/1/19 5204954 2013/2/2 廃棄物処理方法ならびに有機性廃水処理装置 76 特許 2010-01164 2010/1/15 5211082 2013/2/1 濾過乾燥素 ならびに有機性廃水処理支払 1 77 特許 2010-01165 5211082 2013/3/1 濾過乾燥素 ならびに有機性廃水処理支払 1 1 1 1 1 1 1	67	特許	2012-229297	2012/10/16	5175998	2013/1/11	吸着装置の製造方法	
69特許2009-0298442009/2/1251858512013/1/25撹拌装置70特許2008-1967802008/7/3051883102013/2/1温度測定器山里産業株式会社71特許2005-0075812005/1/1451901742013/2/1有機ハロゲン化合物の処理方法及びその処理装置72特許2007-2587302007/10/251902422013/2/1生物処理方法及び生物処理装置73特許2008-2523812008/9/3051903202013/2/1メタンガス回収方法及びエネルギー変換システム74特許2010-2872002010/12/2451941022013/2/2廃棄物処理方法及び廃棄物処理システム75特許2006-0112002006/1/1952049542013/2/2携索物処理方法及び廃棄物処理システム76特許2010-0071642010/1/1552110822013/3/1濾過乾燥方法77特許2010-0071642010/1/1552110822013/3/15有機性排水処理方法、ならびに有機性排水処理装置79特許2007-2801542007/10/2952225262013/3/15オ処理方法ならびに水処理装置80特許2009-0373112009/2/205227552013/3/15大処理方法ならびこれを備える廃棄物処理システム81特許2010-0386772010/2/2552228692013/3/15分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置82特許2010-0386772010/2/2552228622013/3/15分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置83特許2008-0754472008/3/2452276252013/3/22ガス化溶融炉の運転方法84特許2008-0754472008/3/2452276252013/3/22ガス化溶融炉の運転方法85特許2008-0754472008/3/2452276252013/3/29グラスライニング製熱交換器<	68	特許	2012-126122	2012/6/1	5181072	2013/1/18	バイオガスの脱酸素方法及び装置	神戸市
70 特許 2008-196780 2008/7/30 5188310 2013/2/1 温度測定器 山里産業株式会社 71 特許 2005-007581 2005/1/14 519074 2013/2/1 有機ハロゲン化合物の処理方法及びその処理装置 72 特許 2007-258730 2007/10/2 5190242 2013/2/1 生物処理方法及び生物処理装置 73 特許 2008-252381 2008/9/30 5190320 2013/2/1 メタンガス回収方法及びエネルギー変換システム 74 特許 2010-287200 2011/12/24 5194102 2013/2/2 廃棄物処理方法及び廃棄物処理システム 75 特許 2006-011200 2006/1/19 5204954 2013/2/22 排水処理方法 水の 76 特許 2010-070360 2009/3/23 5205316 2013/2/22 排水処理方法 ならびに有機性廃水処理装置 77 特許 2010-007164 2010/1/15 5211082 2013/3/1 濾過乾燥方法 ならびに有機性排水処理装置 78 特許 2010-116075 2010/5/20 5222056 2013/3/15 木処理方法ならびに水処理装置 79 特許 2009-037311 2009/2/20 522755 2013/3/15 水処理支債のびこれを備える廃棄物処理システム 80 特許 2010-038877	69	特許	2009-029844	2009/2/12	5185851	2013/1/25	撹拌装置	
71 特許 2005/07581 2005/1/14 5190174 2013/2/1 有機ハロゲン化合物の処理方法及びその処理装置 72 特許 2007-258730 2007/10/2 5190242 2013/2/1 生物処理方法及びエネルギー変換システム 73 特許 2008-252381 2008/9/30 5190320 2013/2/1 メタンガス回収方法及びエネルギー変換システム 74 特許 2010-287200 2010/12/24 519102 2013/2/2 廃棄物処理方法及び廃棄物処理システム 75 特許 2006-011200 2006/1/19 5204954 2013/2/2 廃棄物処理方法及び廃棄物処理システム 76 特許 2009-070360 2009/3/23 5205316 2013/2/2 排水処理方法 77 特許 2010-007164 2010/1/15 5211082 2013/3/1 濾過乾燥方法 78 特許 2010-116075 2010/5/20 522056 2013/3/15 オ処理方法ならびにオ処理支置 79 特許 2009-037311 2009/2/20 5222755 2013/3/15 水処理方法ならびこれを備える廃棄物処理システム 80 特許 2010-038877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質支置 82 特許 2010-098695 2010/4/22 5222886 2013/3/15 分離膜の改質方法、	70	特許	2008-196780	2008/7/30	5188310	2013/2/1	温度測定器	山里産業株式会社
72 特許 2007/10/2 5190242 2013/2/1 生物処埋方法及び生物処埋装置 73 特許 2008-252381 2008/9/30 5190320 2013/2/1 メタンガス回収方法及びエネルギー変換システム 74 特許 2010-287200 2010/12/24 5194102 2013/2/8 有機性廃水処理方法ならびに有機性廃水処理装置 75 特許 2006-011200 2006/1/19 5204954 2013/2/22 廃棄物処理方法及び廃棄物処理システム 76 特許 2009-070360 2009/3/23 5205316 2013/2/22 排水処理方法 77 特許 2010-007164 2010/1/15 5211082 2013/3/1 濾過乾燥方法 78 特許 2010-07164 2010/1/15 5211082 2013/3/15 オ機性排水処理方法、ならびに有機性排水処理装置 79 特許 2007-280154 2007/10/29 5222526 2013/3/15 水処理方法ならびに水処理装置 79 特許 2009-037311 2009/2/20 5222755 2013/3/15 水処理方法ならびこれを備える廃棄物処理システム 81 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 82 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置	71	特許	2005-007581	2005/1/14	5190174	2013/2/1	有機ハロゲン化合物の処理方法及びその処理装置	
73 特許 2008-252381 2008/9/30 5190320 2013/2/1 メタンカス回収方法及びエネルキー変換システム 74 特許 2010-287200 2010/12/24 5194102 2013/2/8 有機性廃水処理方法ならびに有機性廃水処理装置 75 特許 2006-011200 2006/1/19 5204954 2013/2/22 廃棄物処理方法及び廃棄物処理システム 76 特許 2009-070360 2009/3/23 5205316 2013/2/22 排水処理方法 77 特許 2010-007164 2010/1/15 5211082 2013/3/1 濾過乾燥方法 78 特許 2010-116075 2010/5/20 522056 2013/3/15 有機性排水処理方法、ならびに有機性排水処理装置 79 特許 2007-280154 2007/10/29 5222526 2013/3/15 水処理方法ならびに水処理装置 80 特許 2009-037311 2009/2/20 5222755 2013/3/15 が嫌気性処理装置及びこれを備える廃棄物処理システム 81 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 82 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 83 特許 2009-079774 2009/3/27 5226579 2013/3/2	72	特許	2007-258730	2007/10/2	5190242	2013/2/1	生物処理方法及び生物処理装置	
74 特許 2010-287200 2010/12/24 5194102 2013/2/8 有機性廃水処理方法ならびに有機性廃水処理装置 75 特許 2006-011200 2006/1/19 5204954 2013/2/22 廃棄物処理方法及び廃棄物処理システム 76 特許 2009-070360 2009/3/23 5205316 2013/2/22 排水処理方法 77 特許 2010-007164 2010/1/15 5211082 2013/3/1 濾過乾燥方法 78 特許 2010-116075 2010/5/20 5220056 2013/3/15 有機性排水処理方法、ならびに有機性排水処理装置 79 特許 2007-280154 2007/10/29 5222526 2013/3/15 水処理方法ならびに水処理装置 80 特許 2009-037311 2009/2/20 5222755 2013/3/15 赤燥膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 81 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 82 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 83 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 83 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離	73	特許	2008-252381	2008/9/30	5190320	2013/2/1	メタンカス回収方法及びエネルキー変換システム	
75 特許 2006-011200 2006/1/19 5204954 2013/2/22 廃棄物処理方法及び廃棄物処理システム 76 特許 2009-070360 2009/3/23 5205316 2013/2/22 排水処理方法 77 特許 2010-007164 2010/1/15 5211082 2013/3/1 濾過乾燥方法 78 特許 2010-116075 2010/5/20 5220056 2013/3/15 有機性排水処理方法、ならびに有機性排水処理装置 79 特許 2007-280154 2007/10/29 5222526 2013/3/15 水処理方法ならびに水処理装置 80 特許 2009-037311 2009/2/20 5222755 2013/3/15 小処理支置及びこれを備える廃棄物処理システム 81 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 82 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 83 特許 2009-079774 2009/3/27 5226579 2013/3/12 ガス化溶融炉の運転方法 84 特許 2008-075447 2008/3/24 5227625 2013/3/22 ガス化溶融炉の運転方法 85 特許 2008-190140 2008/7/23 5232556 2013/3/29 グラスライニング製熱交換	-74	行計	2010-287200	2010/12/24	5194102	2013/2/8	有機性廃水処理力法ならいに有機性廃水処理表直	
76 特許 2009-070300 2009/3/23 5205316 2013/212 排水処理方法 77 特許 2010-007164 2010/1/15 5211082 2013/3/1 濾過乾燥方法 78 特許 2010-116075 2010/5/20 522056 2013/3/15 有機性排水処理方法、ならびに有機性排水処理装置 79 特許 2007-280154 2007/10/29 5222526 2013/3/15 水処理方法ならびに水処理装置 80 特許 2009-037311 2009/2/20 5222755 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 81 特許 2010-039877 2010/2/25 5222886 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 82 特許 2010-098695 2010/4/22 5222886 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 83 特許 2009-079774 2009/3/27 5226579 2013/3/22 ガス化溶融炉の運転方法 84 特許 2008-075447 2008/3/24 5227625 2013/3/22 廃棄物処理システム 85 特許 2008-190140 2008/7/23 5232556 2013/3/29 グラスライニング製熱交換器 86 特許 2011-228766 2011/10/18 5232906 2013/3/29 浄化水生成方法及び浄化水生成方法及び浄化水生成支援置 <td>75</td> <td>行計</td> <td>2006-011200</td> <td>2006/1/19</td> <td>5204954</td> <td>2013/2/22</td> <td>除業物処理力伝及び廃業物処理システム</td> <td></td>	75	行計	2006-011200	2006/1/19	5204954	2013/2/22	除業物処理力伝及び廃業物処理システム	
17 村計 2010-007/164 2010/1713 5211052 2013/3/15 福興紀妹方法 78 特許 2010-116075 2010/5/20 5220056 2013/3/15 有機性排水処理方法、ならびに有機性排水処理装置 79 特許 2007-280154 2007/10/29 5222526 2013/3/15 水処理方法ならびに水処理装置 80 特許 2009-037311 2009/2/20 5222755 2013/3/15 嫌気性処理装置及びこれを備える廃棄物処理システム 81 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 82 特許 2010-098695 2010/4/22 522886 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 83 特許 2009-079774 2009/3/27 5226579 2013/3/22 ガス化溶融炉の運転方法 84 特許 2008-075447 2008/3/24 5227625 2013/3/22 廃棄物処理システム 85 特許 2008-190140 2008/7/23 5232556 2013/3/29 グラスライニング製熱交換器 86 特許 2011-228766 2011/10/18 5232906 2013/3/29 浄化水生成方法及び浄化水生成支援置	70	村时	2009-070360	2009/3/23	5205316	2013/2/22	排小处理力法 演過乾燥士法	
78 将計 2010-110073 2010/3/20 5220030 2013/3/15 消機性排水処理が法、ならびに有機性排水処理装置 79 特許 2007-280154 2007/10/29 5222526 2013/3/15 水処理方法ならびに水処理装置 80 特許 2009-037311 2009/2/20 5222755 2013/3/15 嫌気性処理装置及びこれを備える廃棄物処理シス テム 81 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 82 特許 2010-098695 2010/4/22 5222886 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 83 特許 2009-079774 2009/3/27 5226579 2013/3/22 ガス化溶融炉の運転方法 84 特許 2008-075447 2008/3/24 5227625 2013/3/29 グラスライニング製熱交換器 85 特許 2011-228766 2011/10/18 5232906 2013/3/29 浄化水生成方法及び浄化水生成装置	79	村町	2010-007164	2010/1/13	5220056	2013/3/1	個週紀床刀伝 古機州排水加理古法、たらびご右機州排水加理装置	
13 11 2007-200134 2007/10/23 522325 2013/3/15 水足生力法ならりに小足生表直 80 特許 2009-037311 2009/2/20 5222755 2013/3/15 嫌気性処理装置及びこれを備える廃棄物処理シス テム 81 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 82 特許 2010-098695 2010/4/22 5222866 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 83 特許 2009-079774 2009/3/27 5226579 2013/3/22 ガス化溶融炉の運転方法 84 特許 2008-075447 2008/3/24 5227625 2013/3/29 グラスライニング製熱交換器 85 特許 2011-228766 2011/10/18 5232906 2013/3/29 浄し水生成方法及び浄化水生成装置	70	付矸 些む	2010-110075	2010/3/20	5220000	2013/3/13	市政にIIIが小陸生力伝,なりUIL 有限住所小型理教員 水加理方注たらびに水加理装置	
81 特許 2010-039877 2010/2/25 5222869 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 82 特許 2010-098695 2010/4/22 5222886 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 83 特許 2009-079774 2009/3/27 5226579 2013/3/22 ガス化溶融炉の運転方法 84 特許 2008-075447 2008/3/24 5227625 2013/3/22 廃棄物処理システム 85 特許 2008-190140 2008/7/23 5232556 2013/3/29 グラスライニング製熱交換器 86 特許 2011-228766 2011/10/18 5232906 2013/3/29 浄化水生成方法及び浄化水生成装置	80	特許	2009-037311	2009/2/20	5222755	2013/3/15	ホニームなりりにホニュス国 嫌気性処理装置及びこれを備える廃棄物処理シス テム	
82 特許 2010-098695 2010/4/22 522657 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 83 特許 2009-079774 2009/3/27 5226579 2013/3/15 分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置 84 特許 2008-075447 2008/3/24 5227625 2013/3/22 ガス化溶融炉の運転方法 85 特許 2008-190140 2008/7/23 5232556 2013/3/29 グラスライニング製熱交換器 86 特許 2011-228766 2011/10/18 5232906 2013/3/29 浄化水生成方法及び浄化水生成装置	<u></u>	特許	2010-030877	2010/2/25	5222860	2013/3/15	/ ~ 分離随の改質方注 及7%分離時の改質法署	
83 特許 2009-079774 2009/3/27 5226579 2013/3/22 ガス化溶融炉の運転方法 84 特許 2008-075447 2008/3/24 5227625 2013/3/22 焼棄物処理システム 85 特許 2008-190140 2008/7/23 5232556 2013/3/29 グラスライニング製熱交換器 86 特許 2011-228766 2011/10/18 5232906 2013/3/29 浄化水生成方法及び浄化水生成装置	82	特許	2010-098695	2010/4/22	5222886	2013/3/15	分離膜の改質方法、及び分離膜の改質装置	
84 特許 2008-075447 2008/3/24 5227625 2013/3/22 廃棄物処理システム 85 特許 2008-190140 2008/7/23 5232556 2013/3/29 グラスライニング製熱交換器 86 特許 2011-228766 2011/10/18 5232906 2013/3/29 浄化水生成方法及び浄化水生成装置	83	特許	2009-079774	2009/3/27	5226579	2013/3/22	ガス化溶融炉の運転方法	
85 特許 2008-190140 2008/7/23 5232556 2013/3/29 グラスライニング製熱交換器 86 特許 2011-228766 2011/10/18 5232906 2013/3/29 浄化水生成方法及び浄化水生成装置	84	特許	2008-075447	2008/3/24	5227625	2013/3/22	廃棄物処理システム	
86 特許 2011-228766 2011/10/18 5232906 2013/3/29 净化水生成方法及び净化水生成装置	85	特許	2008-190140	2008/7/23	5232556	2013/3/29	グラスライニング製熱交換器	
	86	特許	2011-228766	2011/10/18	5232906	2013/3/29	浄化水生成方法及び浄化水生成装置	

Vol. 10 No. 2 (2014 / 2)

(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) a (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·大朝 功 《発行》2014年1月15日印刷 2014年2月1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

79)436-2506 1-7792-0450 神鋼環境ンリューション技報 2013年度 Vol.10 No.2 通巻20号 《本社》株式会社神鋼環境ンリューション 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78

本 社 / 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78	2	(078)232-8018	FAX(078)232-8051
技術研究所/〒651-2241神戸市西区室谷1丁目1-4	2	(078)992-6500	FAX(078)997-0550
東 京 支 社/〒141-8688 東京都品川区北品川5丁目9-12(ONビル)	2	(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)	2	(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)	8	(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)	2	(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)	2	(022)716-6651	FAX(022)263-2049
名古屋支店/〒451-0045名古屋市西区名駅2丁目27-8(結屋フライムセントラルタワー)	2	(052)581-9876	FAX(052)563-2313
中国支店/〒730-0013広島市中区八丁堀16-11(日本生命広島第二ビル)	2	(082)511-3210	FAX(082)211-2451
播磨製作所/〒675-0155兵庫県加古郡播磨町新島19	2	(079)436-2500	FAX(079)436-2506
デュッカルバルJ連惑 / Rerliner Allee 55 40212 Düsseldorf Germany ホーム9-2	11.	7792-0430 FAX	+49-211-7792-0450



この用紙は、バ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。