

目	次	CONTENTS
1	<巻頭言> 神鋼環境ソリューション技報の創刊にあたって	
2	当社の水処理技術	KOBELCO ECO-SOLUTIONS's Technical Innovation of Wastewater Treatment
9	当社の污泥処理技術	KOBELCO ECO-SOLUTIONS's Technology for Sludge Treatment
22	当社の廃棄物処理技術	KOBELCO ECO-SOLUTIONS's Waste Treatment Systems
28	PCB、ダイオキシン類、農薬等の POPs（残留性有害有機化合物）浄化技術	Decontamination and Detoxification Technologies for Persistent Organic Pollutants
39	移動床式水平流連続ろ過装置「KONTIRAD」 をもちいた高濁度原水の処理 －兵庫県波賀町での運転事例－	Treatment of High Turbidity Raw Water with Continuous Horizontal-Flow Sand Filter, KONTIRAD
43	新型下部集水装置「A/W有孔ブロック」の 基本性能	Basic Performance of A/W Underdrain Blocks
49	污泥減量化技術を組込んだ 食品廃棄物処理システム「PAMEDIS」	Food Waste Treatment System "PAMEDIS", Combined with Sludge Reducing Technology
55	ストーカ式焼却炉とプラズマ式熔融炉の 実用運転結果（下関市環境部奥山工場）	Actual Operation Data of Shimonoseki MSW Incineration Plant with Plasma Ash Melting Sytem
62	ビニループプロセス	VinyLoop® Process
66	新しい医薬用途向けガラス「PPG」	PPG－Pfaudler Pharma Glass
70	全量排出型フィルタドライヤ	Total Discharge-Type Filter Dryer
77	ガラスライニング製反応機用 「ノンコンタクトシール」	"NON-CONTACT SEAL" for Glasslined Reactors
81	製品・技術紹介	

神鋼環境ソリューション技報の創刊にあたって



株式会社神鋼環境ソリューション

取締役社長 平田 泰章

Yasuaki Hirata

環境の世紀と呼ばれる21世紀。当社は2003年の10月1日、株式会社神鋼環境ソリューションとして、新たな一步を踏み出しました。

神鋼環境ソリューションは、下水道分野と都市ごみ焼却溶融を中心とする廃棄物処理で多くの実績がある神戸製鋼所の環境ビジネス部門と、水処理を中心とした環境装置メーカーとして評価をえてきた神鋼パテックが事業を統合し、総合環境ソリューション企業として誕生しました。

「地球温暖化対策」を始め、「地球環境の修復」や「循環型社会への転換」などの環境問題への取組みが、人類共通のテーマとなっている今、環境関連ビジネスにおいては、従来の設備・装置の供給ビジネスとは違った形態・分野での取組みが求められています。具体的には、PFI事業、民間による公共設備の維持管理など、新しい形態へのニーズが高まっていることに加え、処理方法においても焼却処理から減容化・マテリアルリサイクル化への動き、新しい分野としては、PCB無害化処理、あるいは、下水汚泥、食品廃棄物、家畜ふん尿のようなバイオマスの利活用など、自然と共生する社会の実現に向けて、様々な事業形態、技術革新が求められています。

このような変化のなかで、当社は総合環境ソリューション企業として、これまで両社が、それぞれ培ってきた確かな技術力とノウハウを融合させ、水処理、廃棄物処理、リサイクルなどの環境関連ビジネス分野やグラスライニング機器など各種プロセス機器分野で、社会の幅広いニーズにお応えしていくことを、目標としております。

お客様におかれましては、あらゆる事業活動において、環境負荷低減が問われているなかで、環境に関するさまざまな「課題」を抱えておられると思います。当社は、お客様の「課題」を一つひとつ解決していくことを通じ、装置などのハードの提供に止まらず、トータルなソリューションをお客様に提供できるように、努力を続けてまいります。

とりわけ、商品の研究開発においては、お客様と「課題」を共有し、先進の技術開発力を駆使してより早く解決策を提供することが、使命であると考えております。お客様にご満足して戴けることを最優先にして、研究開発テーマの集約とスピードアップに取り組みますので、今後とも皆様のご教示・ご鞭撻をお願い致します。

今回、「神鋼環境ソリューション技報」を創刊するにあたり、最新の研究開発テーマに加えて、当社の製品紹介と、コア技術に関する研究開発の概要を掲載しております。新しく船出した当社の現在と今後の進路をご理解して戴く一助になれば幸いに存じます。

当社の水処理技術

KOBELCO ECO-SOLUTIONS's
Technical Innovation of Wastewater Treatment



技術開発本部
水・汚泥技術開発部水処理室
長 谷 川 進
Susumu Hasegawa
(工学博士・技術士)

排水規制の強化に対応すべく、高度処理技術の開発に取り組んでいる。窒素除去については、3段階ステップ流入式硝化脱窒法により大阪湾流総目標値を達成できることを確認した。また、経済的な窒素除去法として当社独自の亜硝酸型硝化脱窒法を提案し、亜硝酸化率90%での安定運転を達成している。リン除去については、汚泥中のリンを加熱により溶出し、凝集沈殿して回収することにより、流入水中のリンを50%回収できることを実証した。膜分離活性汚泥法としては、中空糸膜をもちいた浸漬型と封筒状平膜をもちいた外圧型の2方式を検討している。外圧型は、ろ紙ろ過性の悪い汚泥に対して有効であることがわかった。

With tightening regulations for effluent quality, more efficient wastewater treatment technologies have been required. Three-step-feed biological nitrogen removal process operated by KOBELCO ECO-SOLUTIONS proved in achieving the stringent target discharge quality for sewage plants; COD, T-N, and T-P respectively below 11, 7.0 and 0.6 (mg/L). Our original nitrite-type nitrification process could recover 90% of nitrite as nitrites in the pilot scale test. The process may reduce running cost by 30%. As for phosphorous, 50% recovery of influent T-P was achieved with calcium coagulation of dissolved phosphorous by heating excess sludge. In the comparison of submerged membrane and flat case-type membrane, the latter is more economical for filtration of activated sludge with low permeability.

Key Words:

水 処 理 技 術	Waste water treatment
硝 化 脱 窒	Nitrogen removal
亜 硝 酸 型 硝 化	Nitrite type nitrification
リ ン 除 去	Phosphorus removal
膜 分 離 活 性 汚 泥 法	Membrane bio-reactor

まえがき

当社の水処理技術の歴史は、1957年12月の水処理部設置に始まる。米国水処理業界の名門ファウドラ・パームチット社と水処理装置に関する技術援助契約を締結し、除濁装置、ろ過器、加熱式脱気器、加圧浮上分離装置、イオン交換装置等の販売活動を開始した。記念すべき1号機は1958年(株)神戸

製鋼所灘浜工場ベンソンボイラー用純水装置である。当初販売した技術のなかでも、自動バルブレスろ過器(当社商品名:バルブレスフィルター)は、サイフォンの原理を応用したユニークな構造から脚光を浴び、ろ過器分野で短期間にして一世を風靡した。その後、高度成長にともなう工場廃水による環境汚染の問題から、1970年、水質汚濁防止法が制定

され、水処理ニーズが一段と高まった。工場廃水の多様化に対応するため、当社は他社に先駆けて生物学的処理法の導入を検討し、米国ヨーマンズ社と技術提携して開発した機械式曝気機（商品名：シグマウェーブエアレーター）を化学工場に納入し、好成績を収め、活性汚泥による水質汚濁の防止策として高く評価された。

当社の水処理技術は廃水処理だけではなく、浄水設備についても早くから取組んでいる。1986年社団法人水道協会選定による「近代水道百選」に水道技術の歴史的施設として、当社が1971年に納入した大島元町かん水脱塩浄水場が選ばれた。これは、イオン交換樹脂膜による電気透析法でかん水を脱塩した水が、厚生省の水道基準に適合した飲料水として住民に供給されたのが国初の大型プラントである。当社は、脱塩技術として他にも逆浸透膜をもちいた技術も開発し、超純水製造（商品名：II PLP）、海水淡水化（商品名：KOBEROX）、ゴミ浸出水処理（商品名：DTモジュールシステム）に適用している。

高度成長期が終わり、設備投資が冷え込む一方で、環境汚染に対する関心は高く、規制は強化される一方である。そのため、近年、省エネルギー、省スペース、省コストの水処理技術が求められている。当社は、これらニーズに応えるべく、生物学的処理法としては、反応タンク内微生物濃度の高濃度化を達成した、嫌気処理装置（商品名：PANBIC-H）、好気処理装置（商品名：PABIO-MOVER, AQUA-NITE）を世にだしてきた。

本稿では、現在当社が開発し、実用化を進めている、排水の高度処理プロセスについて紹介する。

1. ステップ多段式硝化脱窒法

大阪湾は1995年に窒素、リンに係わる環境基準における水域類型指定を受け、下水道事業においても「大阪湾流域別下水道整備総合計画」の策定がなされ、大阪湾への下水処理場からの放流水質として、COD_{Mn} 11 mg/L、T-N（総窒素）7 mg/L、T-P（総

リン）0.6 mg/Lという厳しい目標値が設定された。

神戸市では、目標水質を達成するため、垂水処理場増設系列においてステップ多段式硝化脱窒法を検討している。当社は、神戸市より委託を受け、垂水処理場実設備を改造しての実証試験の運転管理およびデータ収集を実施している。

1.1 3段ステップ流入式硝化脱窒法の概要

ステップ多段法は一般の都市下水を対象とした活性汚泥をもちいた生物学的窒素除去法の一変法である。脱窒槽、硝化槽のユニットを多段化し、各脱窒槽へ流入水を等分配することにより、

- ① 高い窒素除去率
- ② 反応槽の縮小
- ③ 維持管理の容易性をえることができる。

ステップ多段法の最終段における窒素収支より次式が成り立つ。

$$\frac{C_{NO_3, out}}{C_{N, in}} = \frac{1}{N} \frac{1}{1+r+RN}$$

ここで、

- N : 多段化の段数 (—)
- r : 汚泥返送比 (—)
- R_N : 最終段内部循環比 (—)
- C_{N, in} : 流入硝化対象窒素濃度 (mg/L)
- C_{NO₃, out} : 流出NO₃-N濃度 (mg/L)

これより、ステップ多段法における窒素除去率は、多段化の段数、返送汚泥比、最終段内部循環比により決定されることがわかる。汚泥返送比0.5、最終段内部循環比0.5とした場合、窒素除去率80%以上をえるための段数は3段と計算される。

1.2 実証設備概要

垂水処理場実証設備も段数を3段とした3段ステップ流入式硝化脱窒法としている。実証設備の概略フローを図1に示す。本実証設備ではリン除去のため最終段に凝集剤を添加している。

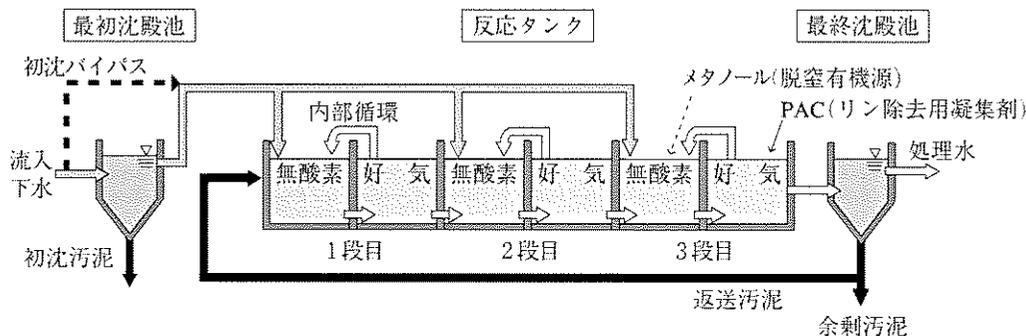


図1 3段ステップ流入式硝化脱窒法フロー

本設備には、無酸素槽に当社の粗大気泡攪拌装置を、また、好気槽にも当社の超微細気泡散気装置を設置しており、それぞれの性能確認も実施している。粗大気泡攪拌装置（図2）は、嫌気槽あるいは無酸素槽の攪拌装置として、酸素の溶解を抑制して嫌気状態、無酸素状態を維持しながら空気攪拌をおこなう方法で、当社独自のシステムである。また、超微細気泡散気装置は、直径が1mm程度の超微細気泡を発生させ酸素移動効率が従来の散気装置の2倍以上という、これまでの常識を破る散気装置である。細長いステンレス板と特殊樹脂製の散気膜を組合せたシンプルな構造（図3）で、目詰まりがなく、設計条件に応じ柔軟なレイアウトができる。

3段階ステップ流入式硝化脱窒法の処理性能としては、低水温期の冬期も含め、通年にわたり大阪湾流域目標値を達成している。また、最初沈殿池をバイパスして流入原水の有機物濃度を高めることにより、脱窒に必要なメタノールの添加を削減できることを確認している。

超微細気泡散気装置の性能としては、従来型セラミック散気装置の1.5～2倍の酸素溶解効率がえられており、運転費が15%程度削減できた。また、粗大気泡攪拌装置については、間欠曝気などの運転の最適化により、従来の機械攪拌に比べ運転費を

80%削減可能であった。実証設備では、60分間に1回、6分間連続送気の間欠散気運転をおこなった。風量約30 m³/h（単位容積当たり風量0.0035 m³/m³/min）以上で、汚泥沈降防止に必要とされる底部流速10 cm/s以上を確保できた。また、同条件で槽内MLSS濃度を均一に維持できることを確認した。

2. 高濃度窒素含有廃水処理技術

メタン発酵消化液や畜糞尿等の高濃度窒素含有廃水は、従来、液肥利用により土壤散布処理がおこなわれていたが、家畜排泄物法をはじめとする法規制により、廃水処理による浄化が必要となった。しかし、従来の生物学的硝化脱窒法による処理では、ランニングコストが高く酪農家の経営を圧迫する問題があった。当社では低コストで高濃度窒素除去が可能な亜硝酸型硝化脱窒法の開発に取り組んでいる。

2.1 亜硝酸型硝化脱窒法の概要

従来の生物学的硝化脱窒法は、アンモニア酸化細菌によるアンモニアから亜硝酸への酸化段階に続き、亜硝酸酸化細菌による亜硝酸から硝酸への酸化を経て、脱窒菌により分子状窒素に還元され、脱窒が完了する。一方、亜硝酸型硝化脱窒法は、亜硝酸酸化段階を抑えて、アンモニアの酸化を亜硝酸で止めて脱窒する方法であり、酸化過程における必要酸素量を25%、脱窒過程における必要水素供与体量を40

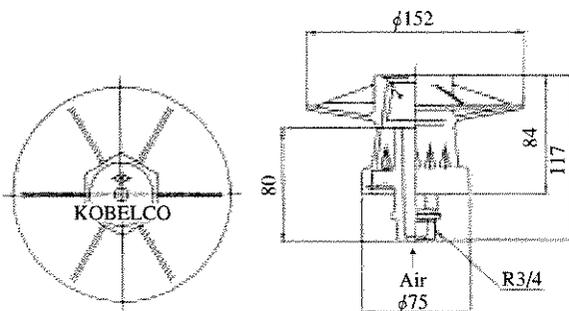
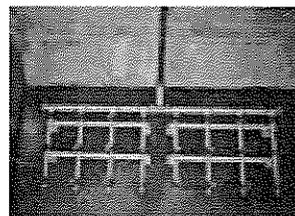


図2 粗大気泡散気装置



粗大気泡散気装置設置例

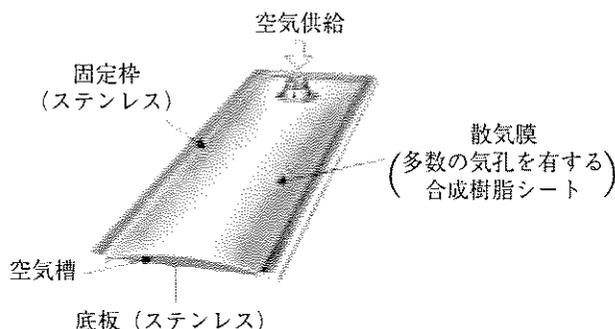


図3 超微細気泡散気装置（エアロナイト）



散気状態

%低減可能な方法である(図4)。理論的には知られている技術であるが、酸化段階を亜硝酸で止める制御が困難であり、これまで実用化されていない。

2.2 亜硝酸型硝化の制御方法

人工廃水をもちいたベンチスケールテストにより、亜硝酸型硝化の制御条件を検討した結果、残留アンモニア濃度100~200 mg/Lの範囲で、亜硝酸化率が最大になることがわかった。この運転条件を維持することで、人工廃水で80%、実際の豚糞尿を原水とした場合でも86%の亜硝酸化率がえられることを確認した。

2.3 実証試験概要

兵庫県内の畜産関連研究施設に実証試験設備を設置し、豚糞尿を対象とした実証実験を実施している。

実証試験設備のフローを図5に、外観および主要設備仕様を写真1に示す。

豚糞尿は畜舎ピットから汲み上げられ、遠心分離機により固液分離後、分離液を亜硝酸型硝化脱窒処理する。生物反応槽は単段の循環式硝化脱窒法で、反応処理後、沈殿槽で分離した汚泥はS-TE槽にて可溶化処理され、脱窒槽にて水素供与体として利用される。循環式硝化脱窒槽の後段には、「凝集剤添加+砂ろ過」によるリン除去装置が設置されている。

2003年度は、計画負荷(豚糞尿500 L/d)の60%の負荷で運転したが、亜硝酸化率は90%以上、窒素除去率は87%の良好な結果をえている。

今後、計画負荷での亜硝酸型硝化脱窒の実証、運転・制御技術の確立、経済性評価等について検討を続ける。

3. リン回収プロセス

近代の農業においては、農作物を高効率で収穫するため、大量のリン肥料を使用している。しかし、この肥料の原料となるリン鉱石は有限であり、質の良いリン鉱石の埋蔵量は残り少ないといわれている。一方で、生活排水から放出されたリンが、湖沼、港湾などの閉鎖性水域で富栄養化の問題を引き起こし

ている。したがって、生活排水からリンを回収して農業利用できれば、上述の2つの問題が同時に解決され、リンの循環が可能となる。

当社は広島大学と共同で、下水余剰汚泥を加熱してリンを溶出し、溶出したリンを凝集沈殿により回収する技術を開発した。

3.1 リン回収プロセスの概要

本プロセスは、嫌気好気(AO)生物学的リン除去プロセスと組み合わせると効率的である。AO処理により通常の2~3倍のリンを蓄積した汚泥を70℃で1~2時間加熱することにより、汚泥中のリンがポリリン酸、リン酸として液相に放出される。液相に放出されたリンは、固液分離ののちカルシウム系凝集剤を添加してカルシウムヒドロキシアパタイト[Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂]を生成し、沈殿物として回収する。回収した沈殿物は天然リン鉱石とほぼ同等のリン含有率を有することから「バイオリン鉱石」と称している。

本プロセスを導入すると、従来余剰汚泥を処理する際に再放出されて水処理系に返流されるリンを回収することになるため、水処理系へのリンの返流負荷が大幅に低減され、放流水のリン濃度を低くできる効果(水処理系リン除去率の向上)がえられる。

これまでに、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の平成10年度即効型提案公募事

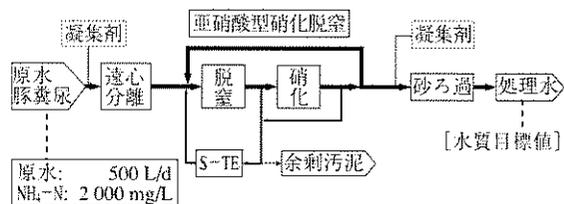


図5 亜硝酸型硝化脱窒実証試験設備フロー

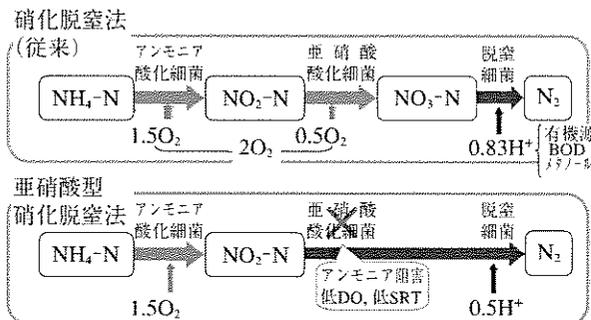
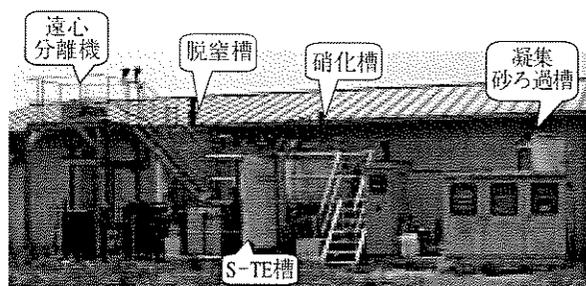


図4 従来の硝化脱窒法と亜硝酸型硝化脱窒法



機器名	仕様
遠心分離機	処理量0.5-0.8 m ³ /h
脱窒槽	φ1400 mm×1525 mmH (容積2 m ³)
硝化槽	φ1400 mm×1525 mmH (容積2 m ³)
凝集砂ろ過槽	PAC添加, 砂ろ過
S-TE槽	φ700 mm×1950 mmH (容積0.7 m ³)

写真1 実証試験設備全景

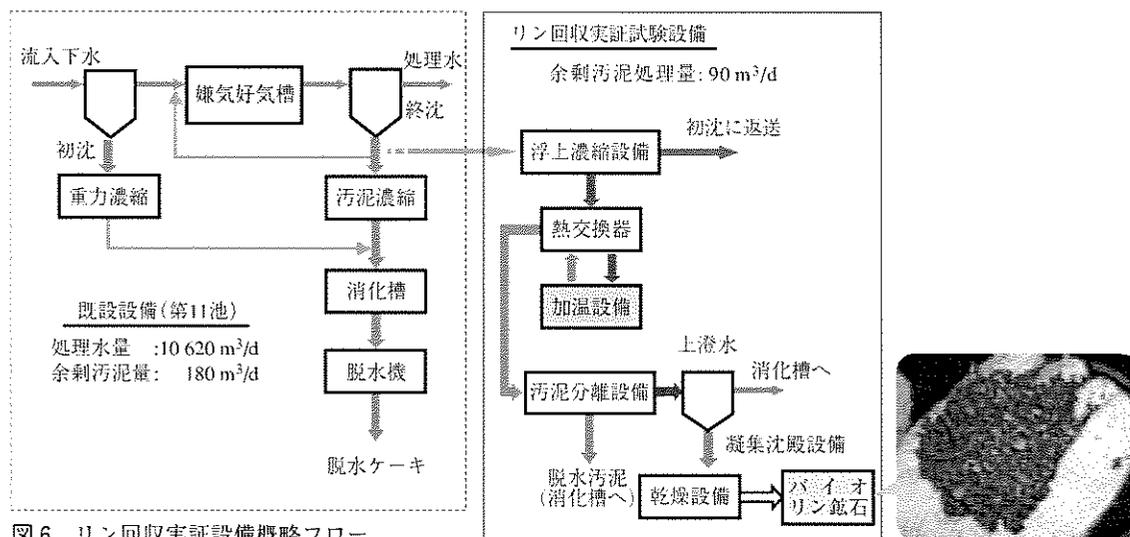


図6 リン回収実証設備概略フロー

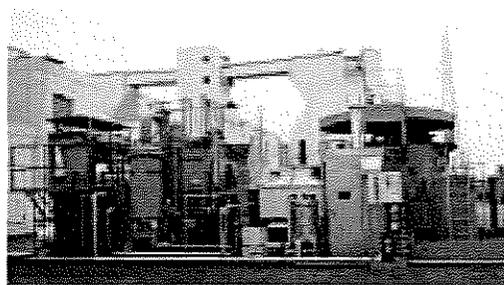
業の委託を受けて基礎実験を実施し、同じくNEDOの平成11年度マッチング・ファンド方式による産学連携研究開発事業の委託を受けてパイロットスケールテストを実施してきた。以下に紹介する実設備での実証試験は、経済産業省中国経済産業局の平成14年度即効型地域新生コンソーシアム研究開発事業の委託（財）ひろしま産業振興機構よりの再委託）を受けて実施したものである。いずれの事業も、広島大学大学院先端物質科学研究科（現大阪大学大学院工学研究科応用生物工学専攻）の大竹久夫教授を総括代表者とする研究開発プロジェクトである。

3.2 実証試験概要

リン回収実証試験設備の概略フローを図6に示す。リン回収システムは①浮上濃縮設備、②加温設備、③汚泥分離設備、④凝集沈殿設備、⑤乾燥設備で構成される。実証試験設備全景および主要機器仕様を写真2に示す。

実証試験設備の水処理系はAO法で運転されている。日最大下水処理能力は約11 000 m³/dであり、余剰汚泥発生量は約180 m³/dである。実証試験設備の処理能力は、水処理系の余剰汚泥発生量の50%に相当する90 m³/dである。

本実証試験により、リン回収プロセスを導入することで流入原水中の約50%のリンを回収できることを確認した。また、リン回収により水処理系への返流水中のリン濃度が低減されるため、水処理系のリン除去率が導入前の60~80%から90%以上に改善されると推算された。本実証試験は試験期間が冬期を中心とした約4カ月の短期であったため、2004年度は通年データとして補完すべく、春期から秋期のデータを収集している。



機器名	形式	仕様
浮上濃縮設備	銅板製円筒型 加圧浮上濃縮槽	処理量675 kgDS/d (濃縮汚泥濃度約3%)
加温設備	スチーム加熱式 銅板製円筒型加温槽	φ1 000 mm×1 500 mmH, max 24 m ³ /d
汚泥分離設備	遠心脱水機	処理量max 24 m ³ /d, 脱水ケーキ含水率85%
凝集沈殿設備	銅板製円筒型タンク	φ2 000 mm×1 600 mmH(処理量20 m ³ /d)
乾燥設備	真空乾燥機	処理量2 m ² /バッチ (投入汚泥濃度約3%)

写真2 リン回収実証試験設備全景

4. 浸漬型膜分離活性汚泥処理技術

従来、固液分離法としては重力沈殿法、凝集沈殿法がもちいられてきたが、それらは広大な設置面積を要する課題があった。そこで、とくに、濁質除去が主要工程となっている浄水処理においては、早くから膜の適用が検討されている。当社も、MAC21, ACT21, e-water等の国家プロジェクトに参画し、数種の膜について認定を取得している。近年では、膜技術の向上にとともに、さらに濁質の高い活性汚泥法への適用検討もなされている。

活性汚泥法への適用については、1998年度より2000年度（第1期）および2001年度より2003年度（第2期）にかけての日本下水道事業団（JS）による共同研究により、その有効性が確認されている。当社も、独自に検討を開始し、平膜については1996から1997年度に実施した建設省（現国土交通省）

土木研究所との共同研究の成果を基に、すでにJSの入札資格をえている。現在、さらに経済性が期待できる中空糸膜について、神戸市との共同研究として玉津処理場にて実証実験を継続中である。以下、中空糸膜分離活性汚泥法について概説する。

4.1 中空糸膜分離活性汚泥法の概要

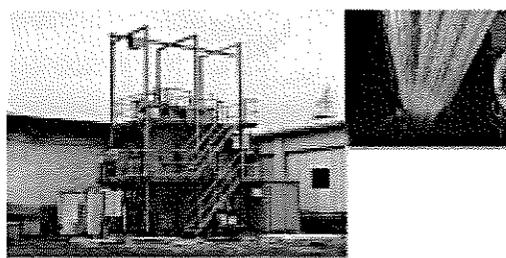
現在、BOD、T-N、SS（懸濁性固形物）を処理対象とした主なプロセスとして、循環式硝化脱窒法（中～大規模向け）、OD法（小規模向け）が挙げられる。またさらなる高度処理として、SS除去のため、後段に砂ろ過をつけたプロセスがある。膜分離活性汚泥法は、SS除去のための最初沈殿池、最終沈殿池、砂ろ過設備が不要となり、その代替として、反応槽内に精密ろ過（MF）膜を浸漬設置し、物理的な固液分離を実現するプロセスである。以下に本法の特長を示す。

- ① 最初沈殿池、最終沈殿池、砂ろ過の各設備が不要となり、プロセスが簡略化される。
- ② 反応槽内のMLSS濃度を10 000 mg/L程度と高濃度に維持でき、標準活性汚泥法と同等以下のHRT（水理学的滞留時間）で有機成分のみならず窒素処理をも実現できる。
- ③ 孔径0.1 μmのMF膜にて固液分離するため、SS成分を99 %以上除去できる。
- ④ SRT（汚泥滞留時間）を長くとることができるため、汚泥の自己酸化作用による汚泥減量化が見込める。
- ⑤ 膜による物理的な固液分離のため、バルキングが発生してもSS性物質のキャリアーオーバーが発生しない。

4.2 実証試験概要

実証試験設備のフローを図7に、設備全景および主要機器仕様を写真3に示す。実証試験設備の処理能力は30 m³/dである。

原水には分流式下水処理場の最初沈殿池流入水をもちい、目幅1 mmの前処理スクリーンで夾雑物を除去した後に、反応槽に流入させた。反応槽には無酸素槽と好気槽を設け、流入水量に対し硝化液循環比を3とした循環式硝化脱窒法で運転した。処理水はポンプにより吸引ろ過する方式とし、定流量制御をおこなった。中空糸膜では構造上、膜内部から逆洗をかけることができるため、膜の目詰まりを防止する目的で通常の運転サイクルにおいて10分で1回の逆洗工程（吸引9分、停止5秒、逆洗50秒、停止5秒）をおこなった。また、1ヶ月に1回程度、次亜塩素酸ソーダによるインライン逆洗を実施した。膜透過フラックスは、逆洗によるろ過時間、逆洗水量のロスを含めて0.6 m³/m²/dとした。通気倍率は、膜洗浄用曝気と酸素供給用曝気とのトータルで、流入水量に対し20倍とした。



機器名	仕様	
反応槽	1 000 mm×1 000 mm×5 800 mmH×2区画	
膜モジュール	中空糸型MF膜 φ 150 mm×2 000 mm	
運転条件	MLSS	8 000-12 000 mg/L
	好気槽DO	1.5-4.0 mg/L
	BOD-SS負荷	0.05-0.10 kgBOD/kgSS/d

写真3 中空糸膜実証試験設備全景

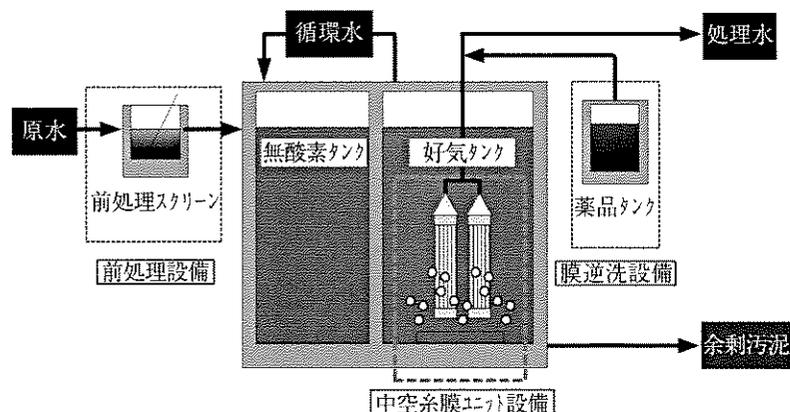


図7 中空糸膜分離活性汚泥法実証試験設備フロー

表1 中空糸膜分離活性汚泥法処理水質 (単位:mg/L)

	高水温期 (水温:25.7-33.5℃)		低水温期 (水温:13.3-20.6℃)	
	原水	処理水	原水	処理水
BOD	185	1.6	254	<1.0
SS	219	<1.0	320	<1.0
COD	107	5.6	161	6.5
T-N	37.4	7.2	53.1	6.7
T-P	7.6	1.7	10.2	0.7

約1年の連続運転において、所期の目標値(透過水量 $0.6\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 、通気倍率20倍、薬液洗浄間隔約1ヶ月)での運転が可能であった。低水温時は活性汚泥のろ過性が悪くなる(ろ紙ろ過量が 10 mL 以下に低下)ため、膜間差圧も幾分高くなる傾向が認められたが水温の上昇とともに差圧も低下した。処理水質については、低水温期においても良好な水質が安定してえられている。(表1)

5. 加圧式膜分離活性汚泥処理技術

浸漬型膜分離活性汚泥法は、運転圧力も低く、膜分離装置としては省エネルギータイプといえるが、ろ過性の悪い汚泥の場合には運転圧力が上昇し、運転コストも増大する結果となる。当社が開発したUFキューブは、膜面洗浄のためのクロスフロー流速により、ろ過性の悪い汚泥に対しても高い透過流速をえることができる。

5.1 UFキューブの概要

UFキューブは膜モジュールを反応槽外に設置するクロスフロー方式に分類される。UFキューブをもちいた膜分離活性汚泥法では、排水と汚泥を含んだ活性汚泥混合液を循環ポンプで反応槽から膜モジュールに加圧供給することでろ過処理水がえられる。UFキューブの構造を図8に示す。

5.2 実証試験概要

実証試験設備のフローを図9に、外観写真を写真4に示す。活性汚泥は、消化脱離液を浸漬平膜型膜分離活性汚泥法で処理する既設の曝気槽から受け入れた。

本実証試験設備は、循環ポンプで活性汚泥を膜モジュールに循環している循環ライン中に原水ポンプにて曝気槽からの活性汚泥を受け入れ、循環ラインから濃縮液を一部排出しながら膜分離をおこなう構造である。

活性汚泥の性状は、ろ紙ろ過量が 5 mL 以下と難ろ過性で、既設の浸漬平膜では透過流速が 0.05 m/d と非常に低い状況であった。UFキューブをもちいて、膜面流速 1.0 m/s で運転した場合、 0.3 m/d の高い透過流速での安定運転が可能であった。

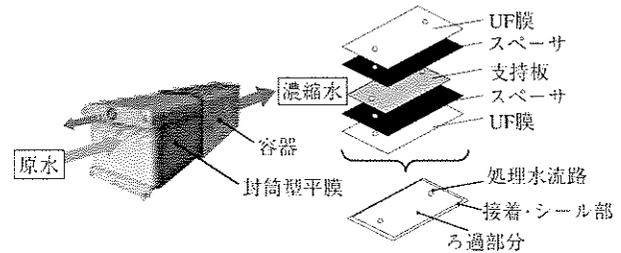


図8 UFキューブの構造

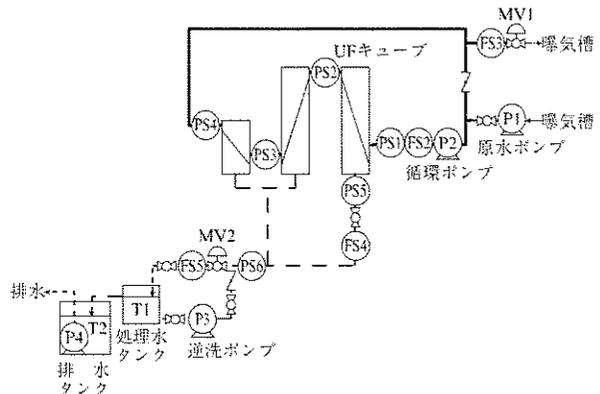


図9 UFキューブ実証試験設備フロー

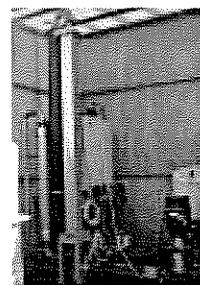


写真4 UFキューブ実証試験設備

項目	仕様
膜面積	18.9 m^2
使用膜モジュール長	$2000\text{ m} \times 2\text{ 本} + 1000\text{ mm} \times 1\text{ 本}$
耐圧	0.5 MPa
処理水量(透過流速)	$\sim 1.6\text{ m}^3/\text{h}$ ($\sim 2.0\text{ m/d}$)
循環水量(膜面流速)	$\sim 24\text{ m}^3/\text{h}$ ($\sim 1.2\text{ m/s}$)
処理対象汚泥性状	原水COD $1000\sim 1500\text{ mg/L}$ MLSS 4000 mg/L 5Cろ紙ろ過量 $1\sim 5\text{ mL}/5\text{ min}$

コスト試算の結果、UFキューブはクロスフローのための循環ポンプの電力費が高額になるが、膜面積が小さいために膜交換によるコストの上昇がないのに対して、浸漬平膜は膜交換により大幅にコストが増大するため総合的にUFキューブの方が有利となった。

むすび

当社が取り組んでいる水処理技術について概説した。主に生物学的処理法を中心に紹介したが、その他にも、極性転換方式電気透析装置(EDR)による地下水の硝酸性窒素除去など物理化学的水処理技術の実用化の検討もおこなっている。

本稿で紹介した技術は、すべて実証試験段階にあり、業界をリードする技術である。早期に市場デビューさせ、高度処理・低コストの顧客ニーズに応えたい。

当社の汚泥処理技術

KOBELCO ECO-SOLUTIONS's
Technology for Sludge Treatment



技術開発本部
水・汚泥技術開発部汚泥処理室
齊 藤 彰
Akira Saito

地球環境の保全や資源の枯渇が大きな問題としてクローズアップされている今日、わが国においても循環型社会を構築することは大きな課題である。このなかで汚泥・生ゴミ等の高含水有機性廃棄物は全廃棄物の中で大きな割合を占めており、この減量化、エネルギー化を図ることは循環型社会構築に大きな力となる。そこで当汚泥処理室においても、水処理系の汚泥減量化としてエステプロセス[®]、汚泥処理系での汚泥減量化、エネルギー化としてレセルシステム[®]、畜産資源、食品資源の処理系での減量化、エネルギー化としてメタン発酵プロセスにつきそれぞれ取組みを進めており、その概要をここに紹介する。

Reduction and recycle of the organic waste with high moisture content is the main theme in these days when conservation of global environment and depletion of resources are public concern. Present R&D activities includes 1) S-TE[®] process for agriculture wastewater and meat processing wastewater, 2) RESER[®] system for sludge treatment with hydrolysis for energy and 3) methane fermentation system for reduction and recycle of resources. This paper introduces those applications and test data, including quantification methods for microbes.

Key Words :

汚 泥 処 理	Sludge treatment
汚 泥 減 量 化	Sludge reduction
可 溶 化	Solubilization
消 化	Digestion
メ タ ン 発 酵	Methane fermentation
バ イ オ マ ス	Biomass

ま え が き

1900年に制定された「汚物掃除法」に「汚物とは塵芥、汚泥、汚水およびし尿」と記されたのが廃棄物関係の言葉が正式使用された始まりといわれている。この言葉は現在では下水汚泥、家庭系厨芥、食品廃棄物、畜産廃棄物等の高含水有機性廃棄物に置き換えることができ、ここ100年の間にこの廃棄

物発生量は急増しているおり、年間2億トン以上の発生となっている。

この現状に対し、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に基づき、2003年に減量計画が策定されており、2010年度の廃棄物の最終処分量を2000年度の1/2に削減することが目標とされており、減量化が急務となっている。

一方で2002年12月に国は「バイオマス・ニッポン総合戦略」を策定し、このなかで上記廃棄物をバイオマスとして見直し、エネルギー化を促進する取り組みが開始されている。

つまり、高含水有機性廃棄物の減量化、エネルギー化を図る技術の開発が強く求められる状況下にある。

1. 現状の処理

高含水有機性廃棄物の現在の発生量は表1のようになっており、処理法としては図1に示すように生物処理を採用しているケースが多い。この処理の課題としてはこれまで述べてきた減量化、エネルギー化に加えコストダウンであり、その点を配慮の上、以下の開発を進めている。(2章, 3章, 4章参照) また、この生物処理の新規診断法として期待される競合PCR法による微生物の定量化技術についても紹介する。(5章参照)

2. 水処理系の汚泥発生抑制技術・エステプロセス[®]

有機物濃度1%以下の廃棄物である下水、工業排水については活性汚泥法による処理が一般的である。この際に排出される余剰汚泥については、産業廃棄物処理場の処分地の確保が難しくなり、処分費用も高騰しているため、減量化を推進する動きが強まっている。とくに中・小規模の排水処理場では余剰汚泥を資源として有効利用するよりも、発生量そのものを削減する汚泥減量化のニーズが高い。そこで当社では汚泥を高温好気条件において好熱性細菌が分泌する細胞外酵素により汚泥を可溶化し、曝気槽で無機化分解して減量化するエステプロセス[®]を開発した。

表1 日本での高含水有機性廃棄物発生量

下水汚泥	9 000万t/年
家庭系厨芥	1 030万t/年
食品廃棄物	1 370万t/年
畜産廃棄物	9 000万t/年
合計	2億1 300万t/年

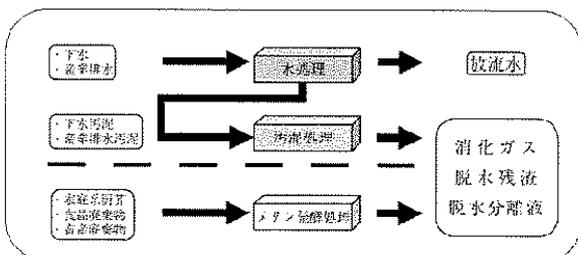


図1 汚泥処理技術

エステプロセス[®]の基本処理フローを図2に示す。汚泥減量化システムでは、汚泥の強靱な細胞壁をいかに効率よく分解するかが重要なプロセスとなるが、エステプロセス[®]では好熱性細菌が分泌する酵素の働きで細胞壁を溶解し汚泥を可溶化する。本技術でもちいる好熱性細菌は *Bacillus stearothermophilus* に分類される自然界より分離した病原性のない細菌で、好気性条件のもと60~70℃で活発に増殖して汚泥可溶化酵素を分泌する。この好熱性細菌は50℃以下では活性が無く増殖しないため、好熱性細菌を含む可溶化汚泥を生物処理槽に循環しても排水処理をおこなう活性汚泥に悪影響は及ぼさない。また好熱性細菌は、50℃以下でも死滅することなく一部は芽胞の状態で存在するため、沈殿槽を経て再び汚泥可溶化槽に戻り60℃以上の環境になれば再び活性を取り戻して汚泥可溶化酵素を分泌するため、好熱性細菌の追加接種は原則不要である。通常、汚泥可溶化槽で約1.5日可溶化処理をおこなうと汚泥中の揮発性固形分(VSS)のうち25~30%が可溶化される。よって推定される余剰汚泥量の約3倍量の汚泥を汚泥可溶化槽に循環することで汚泥発生量を80%程度削減することが可能になる。

エステプロセス[®]はまず公共下水道での実証を目的として1998年から2001年にかけて日本下水道事業団(JS)との共同研究を実施した。共同研究終了後、運転を継続し約3年が経過した。2003年度にはJSにより事後調査が実施されるとともに、技術評価委員会での技術評価作業がおこなわれている。

また、公共下水道での実証と並行して、民間化学工場を中心に導入を進め、すでに数件の実績がある。また本技術は、海外企業を含む3社に技術供与をおこなっており幅広い営業活動を展開している。現在は本技術のさらなる拡販に向けて、農業集落排水への適用や、民間工場排水の分野拡大にむけた実証テストを実施中であり、本報告ではその一部を紹介する。

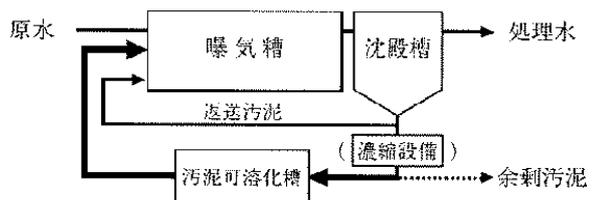


図2 エステプロセス[®]基本処理フロー

2. 1 農業集落排水処理設備への適用

2. 1. 1 開発概要

農業集落排水処理施設のような地域分散型水処理施設では発生する余剰汚泥を資源循環の思想から肥料として農地還元を図ることが汚泥処理の有効な手段と考えられている。しかしながら、各地域や季節によっては肥料の需要が低下する等の問題から、余剰汚泥の発生量低減が求められている。そこで供用中の農業集落排水処理設備にエステプロセス®を導入し、汚泥減量性能や排水処理に及ぼす影響を検証した。なお、本実証試験は(社)地域資源循環技術センター(JARUS)(旧(社)日本農業集落排水協会)との汚泥量調整機構の実用化に関する研究の一環として実施した。

2. 1. 2 実証試験設備の概要

処理施設の概略を以下に示す。

計画人口：470人(2002年度供用人口：368人)

計画水量：126.9 m³/d

処理方式：長時間曝気方式

実証試験設備の全景を写真1にフローシートを図3に示す。返送汚泥の一部を返送ラインより引抜き濃縮機で余分な水分を分離する。濃縮した汚泥を汚



写真1 実証試験設備の全景

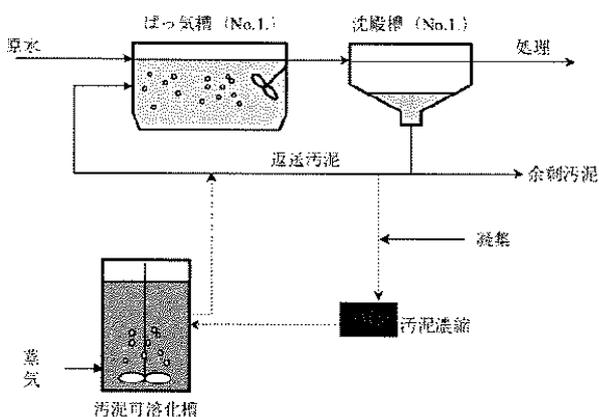


図3 実証試験設備のフロー

泥可溶化槽(S-TE槽)に投入し、65℃、約1.5日間可溶化処理をおこなう。可溶化処理した汚泥は熱回収の後に既設の返送ラインに戻され、曝気槽で炭酸ガス等に分解される。このように返送ラインから汚泥の一部を引抜き可溶化処理液を再び返送ラインに戻す箇所を除けば大がかりな既設排水処理設備の工事は必要としない。

2. 1. 3 試験結果

表2に汚泥減量化試験の運転条件と結果を示す。汚泥可溶化槽に推定される汚泥発生量の約2倍量を投入した実験では約80%の汚泥減量化を達成することが出来た。処理水の水質については水温低下時に若干T-Nが上昇する傾向が認められたが、曝気時間を延長し適切なA-SRTを維持することで水質は改善することができ、通常の管理業務でおこなわれる軽微な運転調整で排水処理設備を維持管理することが可能であった。また、汚泥減量化時に発生する余剰汚泥の金属含有比は肥料取締法公定規格を十分に下回る数値であり、余剰汚泥を堆肥として利用しても安全である。ランニングコストの試算例を表3に示す。エステをもちいて80%の汚泥減量化をおこなった場合は、従来処理と比較して処理費用半減が可能であった。

2. 2 食肉生産排水への適用

2. 2. 1 開発概要

食肉センターにおけると畜処理工程で発生する動物の血液を主成分とする排水は、下水などと同様に生物処理により処理されている。昨今、社会的にとりあげられたBSE問題により余剰汚泥の搬出が一時的に規制されるなど、余剰汚泥の廃棄方法について

表2 汚泥減量化試験の結果

	単位	対照試験	実証試験
運転期間	[d]	60	126
汚泥循環比	[Qs/Qw]	—	2.0
S-TE槽滞留時間	[d]	—	1.5
推定汚泥発生量	[kg-DS/d]	—	10.9
汚泥発生量	[kg-DS/d]	8.7	2.0
汚泥減量化率	[%]	—	82
VSS可溶化率	[%]	—	39

表3 エステプロセスのランニングコスト

項目	従来法	エステプロセス
電気代	—	¥ 445 /d
燃料代	—	¥ 775 /d
薬品代	—	¥ 340 /d
汚泥処理コスト	¥ 6 540 /d	¥ 1 200 /d
トータルコスト	¥ 6 540 /d	¥ 2 760 /d
	¥ 600 /kg-DS	¥ 253 /kg-DS

不透明な要因があり、発生量そのものを削減するニーズが急速に高まっている。そこで実稼働中の食肉センター排水処理設備に実設備規模のエステプロセス[®]を導入し、汚泥減量性能を検証するため実証テストを実施した。本開発は（財）日本食肉生産技術開発センターの食肉処理施設総合改善効率化技術開発事業として同センターの委託の元で実施された。

2.2.2 実証試験設備の概要

食肉センター事業規模：980頭/日（小動物換算）
汚泥発生量：354 kg-DS/d

（2003年4月～9月実績値）

実証試験設備の全景を写真2にフローシートを図4に示す。実施場所が寒冷地であるため汚泥の可溶化をおこなう汚泥可溶化槽（RC製）のみ屋外に設置し、濃縮機、熱交換器、ボイラおよびプロワ等の付帯機器は建屋内に設置している。基本処理フローは前記農業集落排水と同様である。

2.2.3 試験結果

2003年9月の汚泥発生量の推移を図5に示す。家畜の処理頭数から算出した推定汚泥発生量（0.955 kg-DS/小動物1頭）の日平均372 kg-DS/dに対して実際の汚泥発生量は57 kg-DS/dであったことから約85%の汚泥減量化を実証した。このときの処理水質はT-BOD、n-HexおよびSSともに放流規制

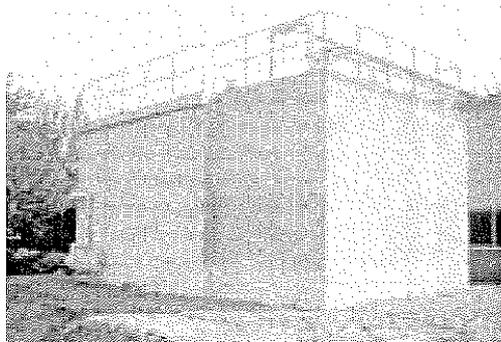


写真2 食肉生産排水の実証設備

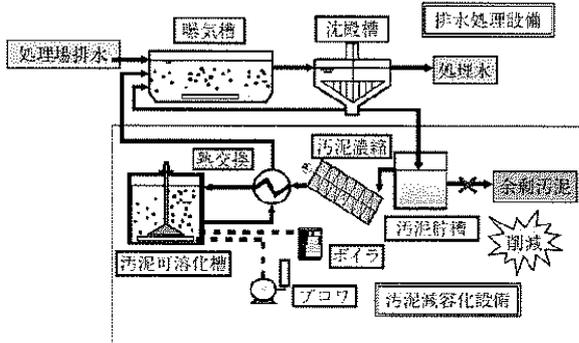


図4 食肉生産排水のフロー

値である20 mg/Lを十分にクリアする水質を維持できており、汚泥中に金属類や無機物が蓄積し続かなかったことから既設の排水処理に及ばず影響は認められなかった。

2.3 今後の展開

S-TE PROCESS[®]はこれらの実証テストの結果に示されるとおり、さまざまな分野で適用できる技術である。今後は4章に記す高負荷メタン発酵プロセスの排水処理に当プロセスの適用を検討していく予定である。

3. 汚泥処理系の処理技術

—レセルシステム[®]—

有機物濃度1～10%の廃棄物である下水汚泥、工場排水汚泥も、最終処分場の不足により処分費用が高騰しており、汚泥の減量化が強く求められている。この対策として、消化設備で汚泥中の有機物をメタンガスとして回収した後、脱水汚泥をそのまま堆肥化しての利用などが進められている。しかしながら消化設備は設備必要面積が大きい割に汚泥の減量化が少なく、発生メタンガス量も自己消費分以上の発生がないため、全国下水処理場の約1/5程度にしか普及していない。ただ、消化設備は下水処理場での唯一エネルギー回収可能な設備であり、上記の問題が解決できれば今後普及が期待できる。そこで当社ではノルウェーのCambi社より導入した加水分解設備を組みこんだ汚泥処理システム「レセルシステム」を開発し、新潟県と2002年7月に共同研究契約を締結の上、信濃川下流域下水道長岡浄化センターにおいて流入下水20,000 m³/dの大規模な実証試験を実施した。

この実証試験において、共同研究目標として設定

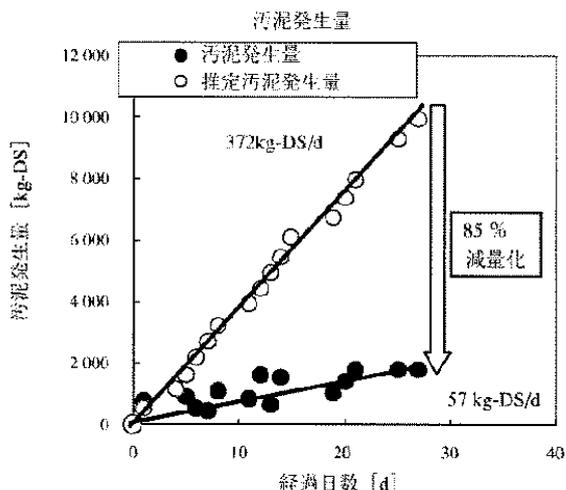


図5 食肉生産排水の汚泥発生量

した(1) 30日以上連続安定運転、(2) 汚泥減量化率50~60%については、目標を達成したので、この成果について報告をおこなう。

3.1 実証試験フロー

図6に長岡浄化センターの全体フローおよび実証系フローを示す。水処理は標準活性汚泥法が採用されている。汚泥処理は、濃縮—嫌気性消化—脱水の工程から構成され、2系列で処理されている。この汚泥処理の1系列へ必要設備(高濃度濃縮工程、加水分解工程、分離液処理工程)の追加設置、消化槽の削減(従来の1/3)、配管等の必要改造を実施し、試験設備とした。

システムの流れとしては、まず、下水処理場の水処理設備から発生した汚泥を高濃度濃縮工程で、固形物濃度15%まで濃縮し、加水分解工程へ投入する。加水分解工程は、バルバー、リアクター、フラッシュタンクの三つの圧力容器で構成されており、まず、バルバーで、高濃度濃縮汚泥を受け入れ、リアクターの余剰蒸気により予熱をおこなう。次に、リアクターで、蒸気を供給し可溶化促進に最適な温度/圧力状態を保持することにより汚泥を可溶化する。フラッシュタンクは、リアクターより排出される可溶化汚泥を貯留する。その汚泥は消化温度より高温なため熱回収後、消化に適切な温度で固形物濃度10%で消化槽へ供給する。

消化工程は長岡浄化センターの2系2次消化槽(1590 m³)のみを使用し、従来容量の1/3で単段消化をおこなった。消化槽攪拌機、汚泥供給ポンプ等は既存の設備を使用した。また、脱水工程も長岡浄化センターのベルトプレス脱水機を使用した。(写真3~5)

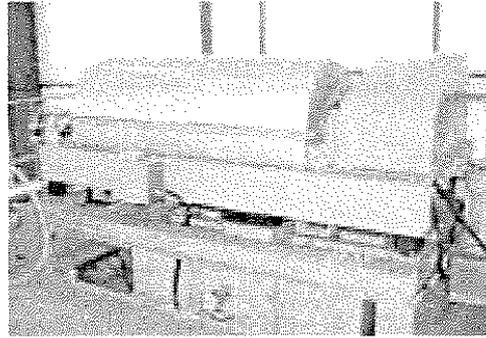


写真3 実証設備 (高濃度濃縮機)

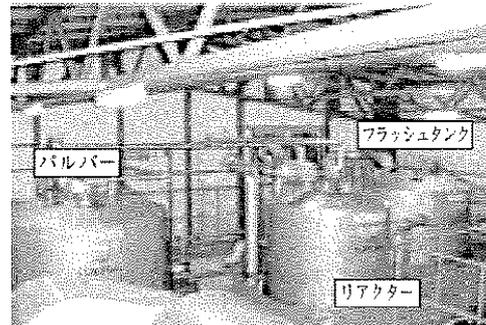


写真4 実証設備 (加水分解工程)

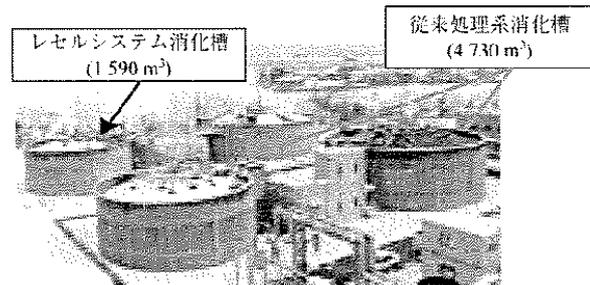


写真5 実証設備 (既存消化槽)

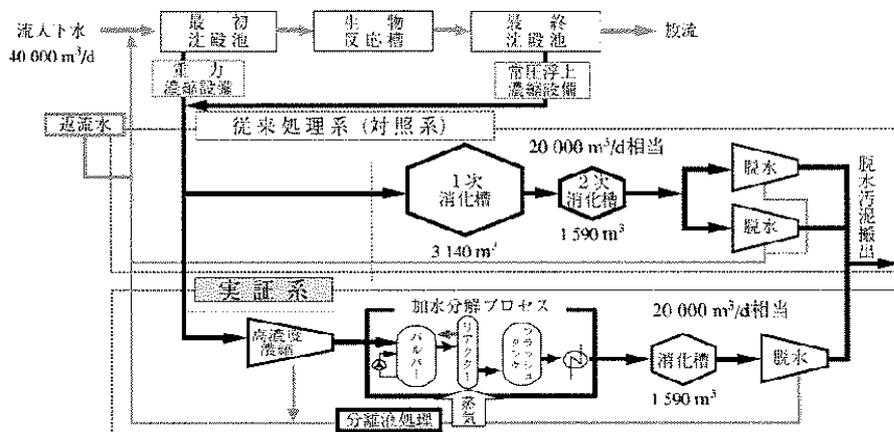


図6 レセルシステム実証試験フロー

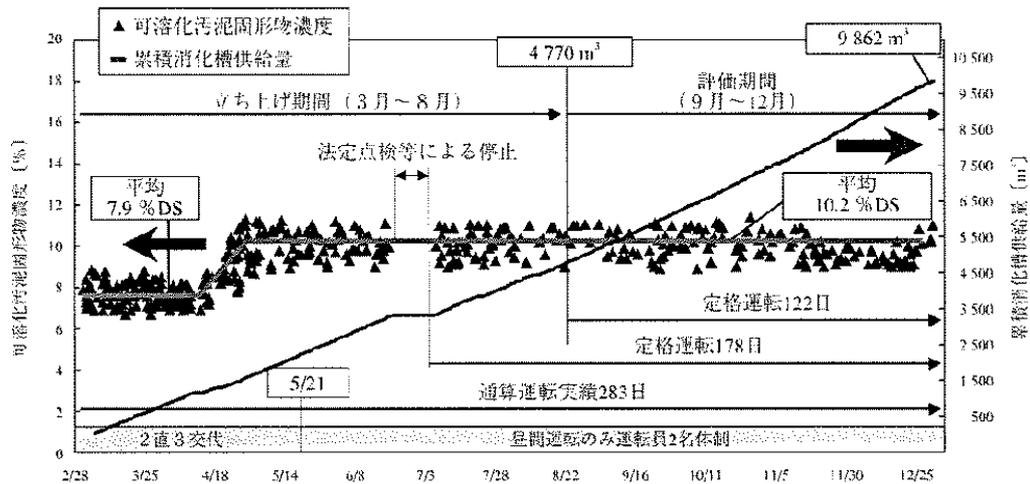


図7 可溶化汚泥固形物濃度と消化槽累積供給量の推移

表4 運転条件

工程	条件	設定値
加水分解	温度	165℃
	保持時間	30 min
	可溶化汚泥固形物濃度	10%
消化	温度	38-39℃
	消化日数	45 d

3.2 運転実績

3.2.1 運転条件

表4に示す運転条件は、すでに数件ヨーロッパで実機稼動中である実績からえられた情報や国内の知見等¹⁾を参考とし、実証に先立ち、実験室レベルで条件検討の予備試験を実施した上で決定した。

3.2.2 運転データ

2003年3月から連続実証運転を開始し、消化槽への可溶化汚泥固形物濃度を7.9%から定格の10%へ上げ、濃縮汚泥処理量も長岡浄化センター全体処理量の約33%から約50%へ負荷を上げた。8月末に可溶化汚泥供給量が、消化槽容積1,590 m³の3倍になる4,770 m³に到達したことで、消化槽が実証系の汚泥にほぼ入れ替わり、システムとしての評価ができる段階になった。(図7)

評価期間については、システム立ち上げ終了後の2003年9月~12月とする。

図8に各評価項目の推移を示す。

① 混合濃縮汚泥

混合濃縮汚泥中の固形物処理量は平均3.9 t/dと定格処理となったが、混合濃縮汚泥の固形分濃度の変動が激しく、濃縮汚泥量としては80~120 m³/d

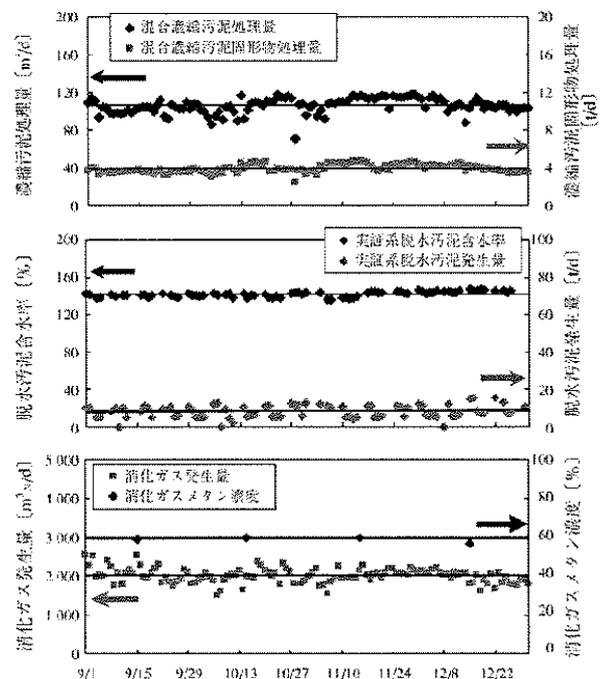


図8 各評価項目の推移

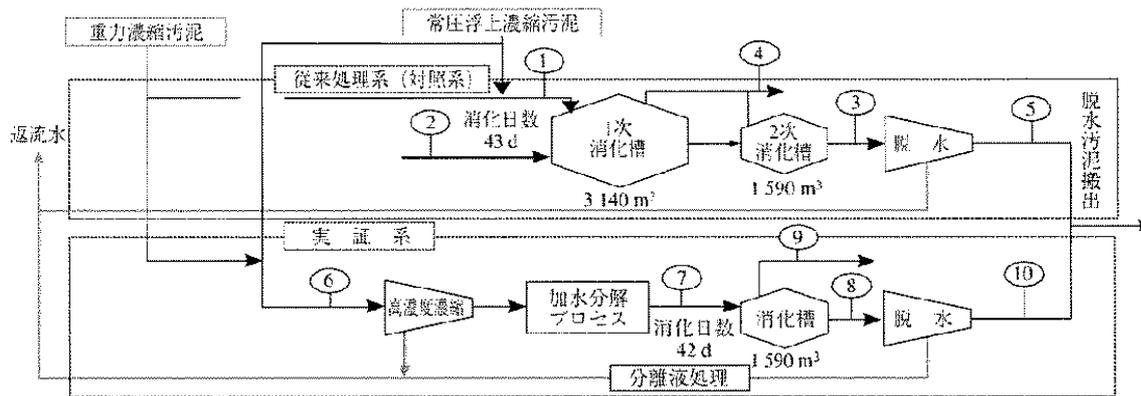
とかなり変動したが設備は十分対応でき、ほぼ長岡浄化センターの処理量半分の処理を継続して実施できた。

② 脱水汚泥

実証系から発生する脱水汚泥量は、ほぼ安定しており、長岡浄化センターの汚泥処理に支障をきたさなかった。含水率も従来処理系82%に対して実証系で約70%と安定して低減することができた。

③ 消化ガス

消化ガスの発生量は投入汚泥の有機物濃度等の性状変化および運転条件等に影響されるため、12



	①	②	③			④		⑤	
	混合濃縮汚泥 (t/d)	加温用蒸気等 (t/d)	消化汚泥 (t/d)	有機物減少率 (%)	有機物容積負荷 (kg-VS/m³・2)	消化ガス (m³/d)	含水率 (%)	脱水機供給固形物量 (t/d)	脱水汚泥発生量 (t/d)
有機物量	3.4		1.4						
無機物量	0.6		0.6						
水分量	106.4	13.5	120.2						
消化ガス量						1872			
計	110.5	13.5	122.3	59	0.73		82.2	2.0	10.5
	⑥	⑦	⑧			⑨			⑩
	混合濃縮汚泥 (t/d)	可溶性汚泥 (t/d)	消化汚泥 (t/d)	有機物減少率 (%)	有機物容積負荷 (kg-VS/m³・2)	消化ガス (m³/d)	含水率 (%)	脱水機供給固形物量 (t/d)	脱水汚泥発生量 (t/d)
有機物量	3.3	3.2	1.2						
無機物量	0.6	0.5	0.5						
水分量	101.6	35.4	38.5						
消化ガス量						2011			
計	105.4	39.1	40.2	62	1.99		68.9	1.7	5.1

図9 物質収支結果

月の消化ガス発生量がやや低調であったが、1月に入り約2,200 m³/dで安定してきた。評価期間での平均では約2,000 m³/dで安定しており、また、メタン濃度もほぼ60%で安定して推移した。

この結果、定格負荷条件のもと目標である30日以上の連続運転を大きく上回る122日間の連続運転が達成できた。なお、立ち上げ期間も含めた通算運転日数は、総計283日間となった。

3.3 汚泥減量化効果

2003年9月～12月の連続安定運転期間での物質収支を検討した。物質収支結果を図9に示す。

この結果より長岡浄化センターの濃縮汚泥総発生量のほぼ1/2を実証系で処理しているの、実証系と従来处理系から発生する脱水汚泥量を比較し、汚泥減量化率を算出した。

汚泥減量化率は、従来处理系と比較して実証系より発生する脱水汚泥量の減量化効果を表すものであり、下記の式で定義する。

$$\text{減量化率} = \frac{\{ \text{従来处理系発生汚泥量} - \text{実証系発生汚泥量} \}}{\text{従来处理系発生汚泥量}} \times 100$$

ここで脱水汚泥含水率については、図10に示すよ

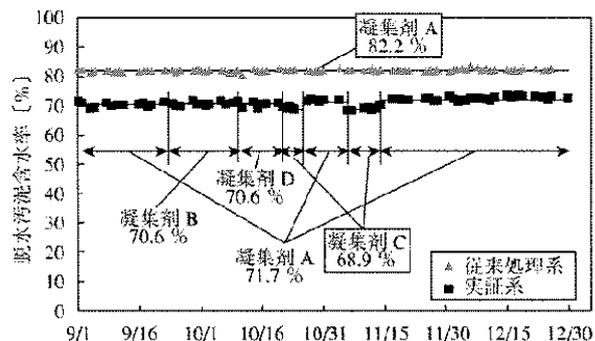


図10 脱水汚泥含水率推移 (凝集剤選定試験合)

うに既設ベルトプレス脱水機を使用し、実証系消化汚泥に最適な凝集剤を選定する試験をおこなった。試験にはメーカーの異なる4種の凝集剤を使用した。

この結果、凝集剤Cは従来品と性状が異なり、薬注率も従来品の1.5～2.0倍必要となったが含水率は他3種にくらべ2%弱下げることが可能であった。よって、今回の減量化率の検討には、凝集剤Cを採用した際の脱水汚泥の含水率を採用した。

従い、従来处理系、実証系より発生する脱水汚泥量は、従来处理系：10.5 t/d、実証系：5.1 t/dであり、汚泥減量化率は52%となった。

$$\{ (10.5 - 5.1) / 10.5 \} \times 100 = 52\%$$

この結果より目標である汚泥減量化率50~60%はほぼ達成できたと考える。

3.4 消化槽省スペース

消化槽における運転条件、運転管理指標を表5に示す。レセルシステムの評価期間にて、この運転条件で運転した結果、運転管理指標である消化汚泥揮発性有機酸が平均500 mg/L、消化汚泥アンモニア濃度が平均3 200 mg/Lではほぼ安定して推移し、消化ガス発生量も従来処理系に比べ、約10%増加した。

また、消化槽攪拌機についても既設攪拌機定格負荷の約60%であり、従来処理系の攪拌機とほぼ同じであること、従来処理系の消化汚泥と粘度がほぼ同じであること（従来処理系：139 mPa・s/レセルシステム：142 mPa・s）からレセルシステム用に取換えずに既設が流用可能であることがわかった。

したがって、消化槽容積1/3にした固形物負荷約3倍の高負荷条件での消化を安定して運転できた。

3.5 消化ガス有効利用量の増加

消化槽から発生する消化ガスは、消化槽の加温用燃料として使用して残ったガスは、余剰ガス燃焼装置で燃焼処分されることが多い。しかし、エネルギー回収の観点からはこの余剰ガスを有効に利用することが望ましい。

余剰ガスを有効利用するに当たっては、年間を通して利用可能量に変動が少ないほうが有利である。従来処理系では、消化ガス使用量が気温の影響を受け季節変動をとまうため、安定利用可能な消化ガス量は限られる。一方、レセルシステムは加水分解用の熱源として消化ガスを使用し、高濃度なものを昇温すること、加熱する容器が小さいことから消化ガス使用量が年間を通して安定している。したがって、安定利用可能な消化ガス量が従来処理に比べて多くなる。

表5 消化槽運転条件/運転管理指標

条件項目	基準	備考
運転条件		
消化槽容積	1 590 m ³	従来処理系の1/3 4 730 m ³ (1次+2次消化槽)
消化汚泥固形物濃度	4.3 %	従来処理系:1.7 %
消化槽固形物負荷	2.4 kg-DS/m ³ ・d	従来処理系の約3倍 0.9 kg-DS/m ³ ・d
消化日数	42 d	従来処理系とほぼ同じ43 d
消化温度	38-39 ℃	
消化槽攪拌機	既設流用	
運転管理指標		
消化汚泥揮発性有機酸濃度	最大5 000 (mg/L)	消化の運転状況確認のため設定
消化汚泥アンモニア濃度	最大4 000 (mg/L)	消化の運転状況確認のため設定

図11に有効利用ガス量の推移を示す。これらの推移のうち、年間を通して安定利用できる最小量は、従来処理系で800 m³/d、レセルシステムでは1 127 m³/dで、レセルシステムは従来処理系にくらべて約1.4倍となる。

レセルシステムは、消化槽容積を1/3にした高負荷な運転であるにもかかわらず、エネルギー回収の観点でも優れたシステムであることが確認できた。

3.6 まとめ

今回の評価により、本システムの安定連続運転性と発生する脱水汚泥の半減化を確認することができ、共同研究の目標をほぼ達成することができた。上記以外の消化槽省スペース化、消化ガス有効利用量の増加等の副次的な効果についても確認でき、本システムの実証は今回の共同研究をとおしてほぼ終了した。

4. 食品廃棄物、畜産廃棄物の高負荷対応メタン発酵処理プロセス

4.1 背景と目的

食品リサイクル法により食品廃棄物対策が求められているが、従来のメタン発酵技術では、

- ① 高濃度窒素含有廃棄物を高温メタン発酵する場合、アンモニア阻害で効率が低下する。
 - ② 発酵残さおよび消化液処理工程で発生する余剰汚泥の処分に多額な経費を要する。
- という問題を抱えており、メタン発酵技術の普及のブレーキとなっている。

これらの課題に対し、新しい加圧型の膜分離装置と好熱菌を利用した有機性固形物減量化技術を組み合わせ、

- ① 膜分離により発酵槽内微生物濃度を高めると同時にアンモニアの蓄積を防止する。
- ② 好熱菌の作用で発酵残さおよび消化液処理工程で発生する余剰汚泥を大幅に減量する。

ことにより、コンパクトで高効率なメタン発酵プロセスを実現する。

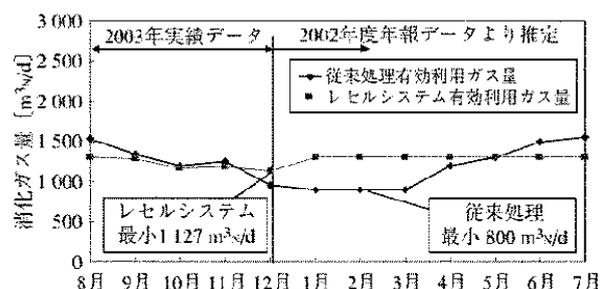


図11 消化ガス有効利用量

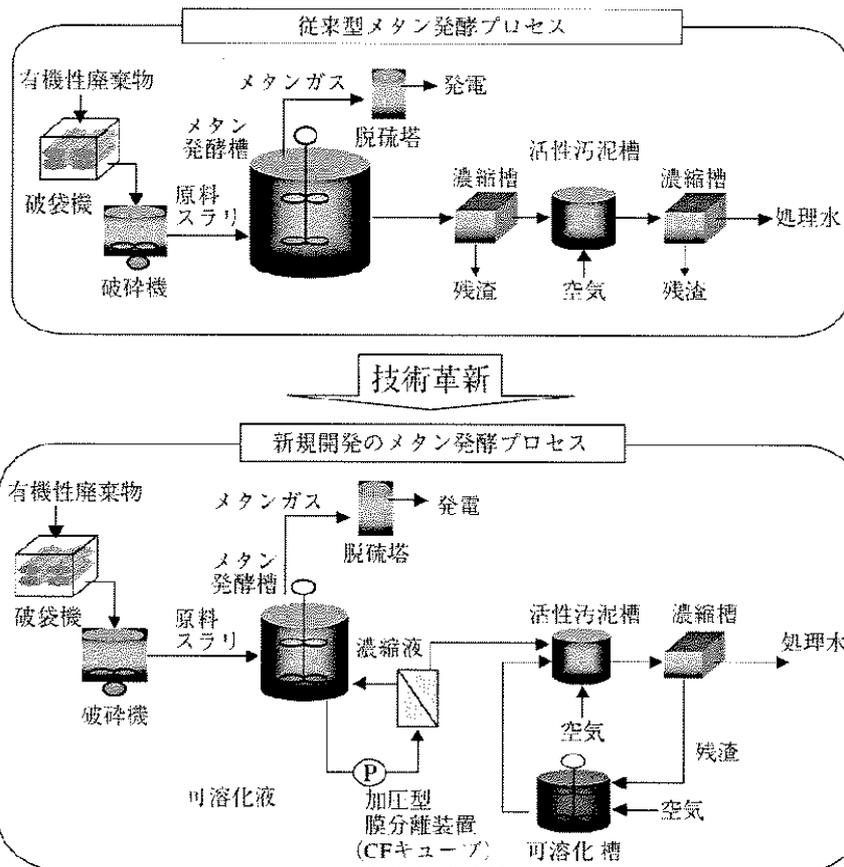


図 12 従来型と開発メタン発酵プロセスの比較

本件は、農林水産技術会議事務局が所管する「農林水産バイオリサイクル研究」の研究課題として、(独)農業・生物系特定産業技術研究機構より、研究委託を受けて実施するものである。膜分離型メタン発酵技術を確立するため、2002年度は、室内実験において発酵液濃縮の効果を確認し、2003年度に、パイロット規模の実験で安定運転を実証することにした。

4.2 開発プロセスの概要

従来型と開発プロセスの比較を図12に示す。従来のFill & Draw型の処理（微生物が汚泥の引抜きにともなって系外に排出されるため、槽内の微生物濃度が低い）をおこなった場合、原料の有機物量、T-N量が過剰になると、メタン発酵槽内のVFA（Volatile Fatty Acid：揮発性脂肪酸）、アンモニア性窒素が高濃度となり、これがメタン生成菌に対して阻害を引き起こす欠点があった。この解決のために、加圧型膜分離装置による汚泥濃縮をおこない、メタン細菌濃度を高めることで、高負荷処理とアンモニア阻害回避を可能とするプロセスを開発する。濃縮汚泥型メタン発酵の利点として以下のことが挙げられる。

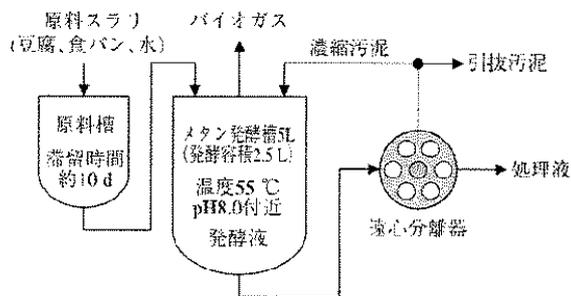


図 13 室内実験フロー

- ① 微生物量増加により発酵速度が向上する。
- ② 高負荷処理（槽のコンパクト化）が可能。
- ③ 菌体当たりのアンモニア負荷が減り、アンモニア阻害を抑制できる。
- ④ 原料廃棄物の濃度や量が変動しても、安定的な処理をおこなえる。
- ⑤ 固形物滞留時間が増加するため、有機物の分解率が向上する。

4.3 室内実験による汚泥濃縮型メタン発酵プロセスの検討

4.3.1 実験方法

図13に実験フローを示す。実験の手順は以下に示

すとおりである。

- ① 豆腐、食パン、水（湿潤重量比6：4：23）をブレンダーで破砕し、原料スラリー（TS約9%、COD_{Cr}約13%）を調製、原料槽に貯留する（原料スラリーには金属栄養源を微量添加）。
- ② 原料槽から間欠的に所定量の原料スラリーをメタン発酵槽（55℃）に投入する。投入は1日数回に分けておこなう（1回約80 mLずつ）。
- ③ 発酵液を週2回所定の水位まで引き抜き、遠心分離（10 000 rpm、5分）する。上澄みは処理液として排出し、沈殿物はサジでほぐしてメタン発酵槽に戻す。

※対照系として、遠心分離をおこなわず、汚泥をそのまま排出した実験もおこなった。

4.3.2 実験結果

表6に非濃縮系、濃縮系の性能比較を示す。濃縮系では、非濃縮系の2.5倍の有機物負荷において運転が可能であり（COD_{Cr}容積負荷20 kg/m³/dで1ヶ月以上運転）、ガス化率も7%向上することがわかった。また、非濃縮系では槽内NH₄-N濃度が2 000 mg/Lを超えるとガス発生が停止したのに対し、濃縮

系では、槽内NH₄-N濃度が2 000~3 000 mg/Lで活性を維持した。このことから、汚泥濃縮によるメタン発酵の効率化、処理の安定化効果を確認することができた。

4.4 パイロット実験

室内実験でえられた結果をもとに、パイロットスケール実験装置を製作した。兵庫県宍粟郡長田産業（株）寿製麺工場内に設置し、主に廃棄麺を対象とした実証実験を実施している。

4.4.1 パイロット装置

パイロット装置のフローを図14に、外観を写真6に、仕様を表7に示す。

表6 室内実験非濃縮系と濃縮系の性能比較

		非濃縮系	濃縮系
運転条件	COD _{Cr} 容積負荷 [kg/m ³ /d]	8	20
	滞留時間 [d]	17	7
バイオガス	ガス発生量 [L/d]	9	25
	ガス化率 [%]	76	83
濃度減少率 (原料スラリー→処理液)	TS [%]	79	82
	VS [%]	82	85
	SS [%]	85	90
槽内 NH ₄ -N 濃度上限		2 000 mg/L	3 000 mg/L

表7 パイロット実験装置仕様

名称	規格、寸法等	容量
バルバー	縦型 (15 kW×4 P×60 Hz×220 V)	0.5 m ³
原料槽	φ1 000 mm×SH2 700 mm	2 m ³
メタン発酵槽	φ1 500 mm×SH2 900 mm	5 m ³
膜原水槽	φ600 mm×SH1 000 mm	0.2 m ³
膜分離装置	UF キューブ PAN 製 膜面積1.6 m ²	
活性汚泥槽	φ1 500 mm×SH1 500 mm	2.5 m ³
重力濃縮槽	φ1 000 mm×SH1 100 mm	1 m ³
可溶化槽	φ700 mm×SH1 950 mm	0.7 m ³

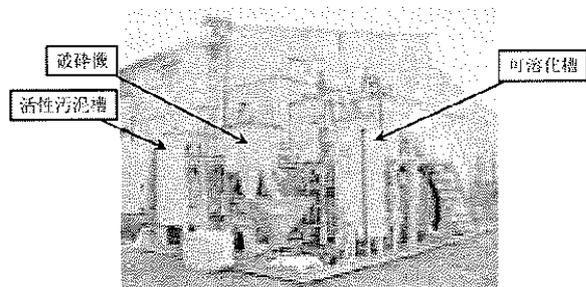


写真6 膜分離型メタン発酵パイロット装置外観

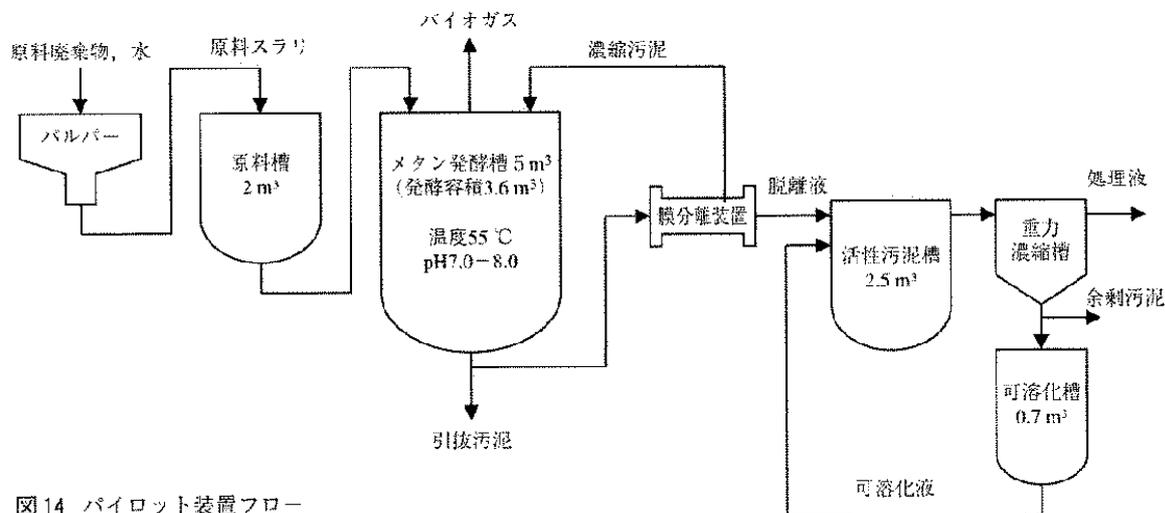


図14 パイロット装置フロー

廃棄物を水で2倍希釈(w/v)し、バルバーでスラリ状に破碎する。原料スラリには金属栄養源を微量添加した。原料槽に一時貯留した原料スラリをメタン発酵槽に投入し、バイオガスを回収する。メタン発酵消化液は膜分離装置において濃縮され、濃縮汚泥はメタン発酵槽に返送される。膜分離液は活性汚泥槽にて排水処理される。余剰汚泥は可溶化槽にて可溶化され活性汚泥槽にて分解される。

4.4.2 運転状況

図15に立ち上げ運転におけるCOD_{Cr}容積負荷とガス発生量の推移を示す。2004年3月までの実験期間中、ガス化率80%をこえる順調な処理が継続している。現在、計画の40%の負荷(COD_{Cr}容積負荷8kg/m³・d)である。表8に原料スラリ200L/d運転時の水質データを示す。TS、VS、COD_{Cr}分解率は80%以上、SS分解率は90%以上の性能が確認された。なお、膜分離装置の運転はまだ間欠的であり、汚泥濃度はまだ約6000mg/Lである。

表8 原料スラリ200L/d投入運転時の水質データ

	原料スラリ	メタン発酵液	分解率
TS	11.8%	2.3%	80.5%
VS	11.0%	1.6%	85.5%
SS	8.4%	0.6%	92.9%
COD _{Cr}	15.8%	3.0%	81.0%

COD_{Cr}容積負荷 8kg/m³・d
 滞留時間 18日
 NH₄-N 1500-1800mg/Lで推移

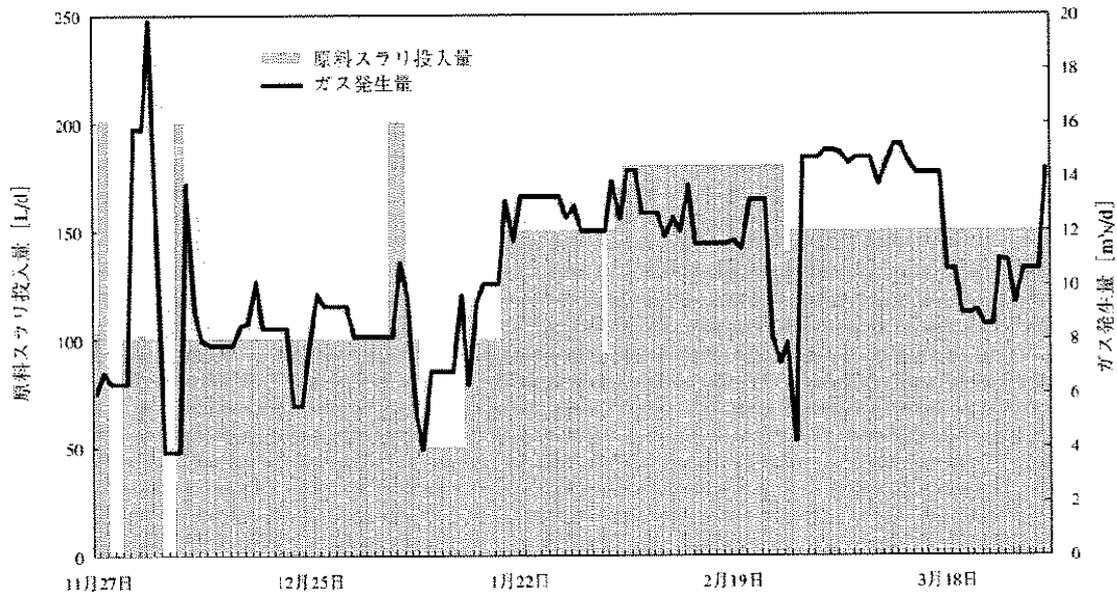


図15 立ち上げ運転状況

4.5 今後の課題

今後の課題は、

- ① 膜分離装置連続運転により汚泥濃縮をおこない、高負荷、高濃度アンモニア条件下での安定運転を実証する。
 - ② 経済性試算により、膜分離型メタン発酵のトータルプロセスの見極めをおこなう。
- 等に取組んでいく。

5. 分子生物学的手法をもちいた廃水処理装置の診断

活性汚泥法をはじめとする生物学的廃水処理装置の運転は、主に動力的な手法により管理され、その主役である微生物自体に着目した管理はほとんどおこなわれていない。装置内の微生物量の指標としてMLSSやMLVSSはもちいられてきたが、その中身(何種類の微生物が生息し、それらのなかで処理に寄与する微生物がどれでどれだけ生息するのか)についてはまったく不明としてきた。その理由のひとつとして、廃水処理槽内には多種多様の微生物が生息しているが、従来はこの複合微生物を解析する適切な手法がなかったことがあげられる。近年の分子生物学的手法の進歩により従来ブラックボックスとして扱われてきた装置内の微生物が徐々に明らかになり、それらの情報を排水処理装置の運転管理に適用しようとする機運も高まってきている。本項では、廃水処理設備の微生物のモニタリングにもちいられている主な手法を解説するとともに、当社により実施した解析例についても報告する。

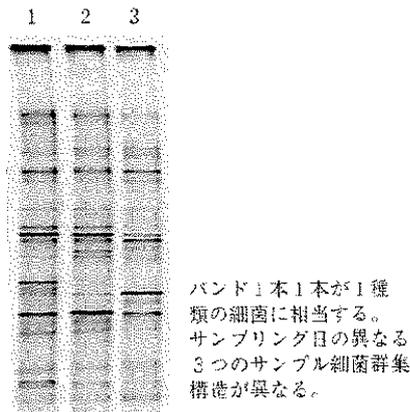


図16 DGGE法による活性汚泥の細菌群集構造解析

5.1 微生物の多様性の解析技術

前述のように、処理装置内には種々の微生物が生息するが、その群集構造、つまり、何種類の微生物が生息するかを解析できる技術が開発された。この技術をもちいることにより今まで不可能であった処理槽内の微生物の変遷をモニタリングできるようになり、処理に深くかかわる微生物を特定して運転管理に役立てようとする動きも見られるようになった。

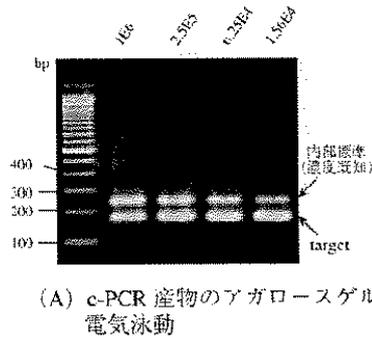
5.1.1 変性剤濃度勾配電気泳動 (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis : DGGE)⁴⁾による解析

DGGE法は、細菌の遺伝子 (通常16 SrRNA遺伝子の特定領域 (variable regionと呼ばれる領域で、その配列は細菌種により異なる)) をPCR (Polymerase Chain Reaction) によりターゲットとする遺伝子を増幅したのち、ポリアクリルアミドを支持体とするゲルで電気泳動し、遺伝子の配列の違いにより分離する方法である。図16に活性汚泥を対象に解析した実施例を示す。図中、バーコード状のバンド1本1本が1種類の細菌に相当する。したがって、バンドの数を数えることにより何種類の細菌が生息するかを大まかに知ることが可能である。また、同じ位置のバンドの濃度を比較することにより、その細菌数の変遷を追跡することも可能である。バンドパターンと処理性能や運転条件との関連性を詳細に調査することにより、その指標となる微生物を特定したり、装置の診断や原因の分析も可能になるものと期待される。

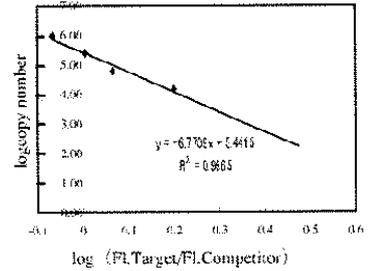
5.1.2 Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism (T-RFLP)⁵⁾による解析

DGGE法と同様に処理装置のなかの微生物の群集構造を解析する方法である。蛍光標識したプライマーをもちいてPCRをおこない、その増幅産物を制限

内部標準の濃度



(A) c-PCR産物のアガロースゲル電気泳動



(B) 検量線による定量

図17 cPCR法による微生物の定量例

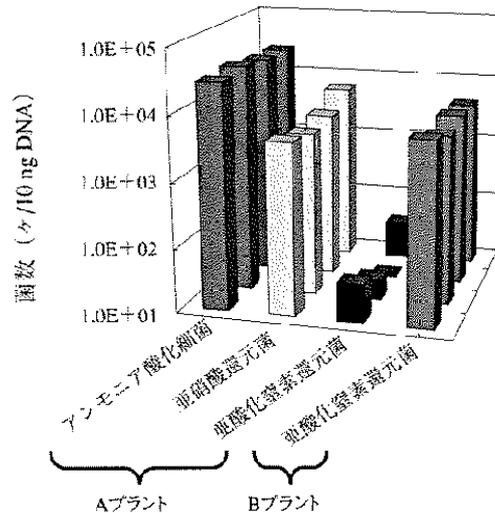


図18 プラント間の硝化菌数と脱窒菌数の比較

酵素で切断して、DNAシーケンサーで分離・検出する方法である。本法の特長として、DGGE法にくらべ迅速であることと、個々のバンドの定量化が可能であること、および、データの共有化が可能であることがあげられる。

5.2 微生物数の定量化技術

上記の技術では、処理層内の微生物量を定量化することは不可能である。最近、PCR法をもちいて槽内の特定の細菌を短時間に精度よく定量する技術が開発され、処理性能と微生物数との関連性を解析することも可能になり、従来のMLSS (MLVSS) を指標にした管理から処理に関与する微生物数を指標にした管理も可能になりつつある。とくに、硝化細菌のように増殖がきわめて遅い微生物を定量するには非常にパワフルな技術であり、従来の最画数法

(MPN法)では2~3ヶ月必要としていたものが3日以内で定量可能となり、今後装置の診断や運転管理に適應されるものと考えられる。

5.2.1 競合PCR法(Competitive PCR (cPCR))⁶⁾

濃度(数)が既知のcompetitorと呼ばれるDNAと同時にPCRをおこない、電気泳動により可視化したのち、competitorとの比較により目的のDNAの量(数)を推定する方法である(図17)。図18にcPCRにより、AプラントとBプラントの活性汚泥中の硝化細菌(アンモニア酸化細菌)と脱窒細菌(亜硝酸還元細菌、亜酸化窒素還元細菌)の定量例を示す。アンモニア酸化細菌数は両プラントともほぼ同じであったが(data not shown)、Aプラントの脱窒細菌(亜酸化窒素還元細菌)はBプラントにくらべ非常に少なく、何らかの対策が必要であることが示唆された。

5.2.2 リアルタイムPCR法

PCRによる目的遺伝子の増幅過程を蛍光検知装置によりリアルタイムで追跡し、そのPCR反応曲線をプロファイリングして定量する技術である。つまり、遺伝子の増幅と定量が同時にできるため、迅速性に優れる利点がある。この技術は医学・獣医学、農学の分野での利用が急速に進んでいるが、この技術を利用して活性汚泥中の硝化菌の定量を実施した報告もあり^{7), 8), 9)} 今後実装置の診断手法として普及するものと思われる。

5.3 今後の展望

分子生物学的手法の適應により、従来まったくブラックボックスであった生物学的排水処理装置内の微生物に関する理解が大幅に向上した。今後、これ

らのデータがさらに蓄積され、共有化されることによりこの技術が装置の診断や運転管理に適應されるものと期待され、当社の商品の付加価値を高めることができるよう検討を進めたい。

むすび

今回は高含水有機性廃棄物の処理技術を中心に紹介してきたが、この処理技術からの生成物である消化ガス、消化残渣の有効利用技術についても並行して開発を進めており、これらを組合わせて総合的な環境ソリューションを提供できる企業を目指し貢献していきたいと考えている。

[参考文献]

- 1) 「余剰活性汚泥の嫌気性消化に及ぼす前熟処理および滞留時間の影響」李玉友、野池達也、水質汚濁研究第12巻2号 1989
- 2) 「浸漬平膜を用いた膜型メタン発酵システムによる生ごみ等有機性廃棄物からのエネルギー回収」師正史、ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム2002(2002)
- 3) 「食品廃棄物の無希釈高速メタン発酵技術の構築」李玉友ら、第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集
- 4) Muyzer, G., Waal, E. and Uitterlinden, A. (1993). Appl. Environ. Microbiol., 59, 695.
- 5) Liu, W., Marsh, T. L., Cheng, H. and Forney, L.J. (1997). Appl. Environ. Microbiol., 63, 4516.
- 6) Zimmerman, K. and Mannhalter, J. W. (1996). BioTechniques, 21, 268.
- 7) Hall, S.J. et al., (2002). Wat. Sci. Tech., 46, 267.
- 8) Dionisi, H. M., et al. (2003). Appl. Environ. Microbiol., 69, 6597.
- 9) Harms, G. et al. (2003). Environ. Sci. Technol., 37, 343.

当社の廃棄物処理技術

KOBELCO ECO-SOLUTIONS' s Waste Treatment Systems



技術開発本部
プロセス技術開発部廃棄物処理室
高橋正光
Masamitsu Takahashi
(工学博士)

日本の廃棄物処理は1990年代にはいり、ダイオキシン類に代表される有害物質の無害化、最終処分場の逼迫に起因するさらなる減容化の推進から灰の溶融処理が廃棄物処理技術のなかに登場し、大きなプロセスの変革を迎えた。当社も、市場の要請に応えられるように、リサイクル性と環境負荷低減に優れた流動床式ガス化溶融炉、プラズマ溶融炉、ストーカ式焼却炉を開発、導入した。これらの商用プラントは、すでに1年以上稼動し、排ガス中ダイオキシン類濃度0.01 ng-TEQ/m³N未満、総排出量約1 μg/ごみtの実績をえている。

Ash melting technology has been introduced into municipal solid waste treatment systems to overcome the new regulations on dioxins and the growing shortage of landfill site since 1990's in Japan. Fluidized-bed gasification and swirl-flow melting, grate incineration and plasma ash melting, which enable recycling and reduction in final disposal, have been added to our waste treatment systems one after another during the last decade. Commercial plants have been operated for years, achieving dioxins contents less than 0.01 ng-TEQ/m³N and 1 μg/MSW-t.

Key Words :

廃棄物処理
ガス化溶融
ストーカ式焼却
プラズマ溶融

Waste treatment
Gasification and melting
Grate incineration
Plasma melting

まえがき

従来、国土の狭いわが国では、衛生的で減容可能な処理として廃棄物は主に焼却され、その灰を埋め立て処分してきた。現在、焼却される割合はおよそ80%にも上る。1990年代にはいり、ダイオキシン類に代表される有害物質の無害化、最終処分場の逼迫に起因するさらなる減容化の推進から灰の溶融処理が廃棄物処理技術のなかに登場し、大きなプロセスの変革を迎えた。

当社の廃棄物処理も市場の要請に応じて、1990

年代後半に大きな変化を遂げた。本報告では、代表的な最新の当社の廃棄物処理技術について述べる。

1. 流動床式ガス化溶融技術

ガス化溶融技術は、リサイクル性、省エネルギー、そして有害物質の排出抑制等の環境負荷低減を大きな特長とし、灰の溶融までを一貫しておこなう「次世代型廃棄物中間処理技術」として1990年代後半に、20を超える多くの企業が開発に参入し、昨年度は次々に新しい施設が竣工、稼動した。

当社は、長年培ってきた都市ごみ流動床式焼却技

術と15年以上の実績をもつ下水汚泥旋回溶融技術を
 組合せ、「流動床式ガス化溶融システム」を開発した。
 2000年10月に世界初の都市ごみ向け流動床式ガス
 化溶融施設として竣工した中部上北清掃センターに
 はじまり、現在までに5件の施設を竣工、1件を建
 設中である。納入実績を表1に記す。

ここでは、当社流動床式ガス化溶融システムの特
 長を紹介する。

図1に当社流動床式ガス化溶融炉の特長を模式的
 に示す。廃棄物は二軸剪断式破砕機で破砕された後、
 「給じんシュート」と呼ばれるシュートを經由して、
 シュート下部にある二軸のスクリー式給じん機で
 流動床式の熱分解ガス化炉に供給される。この給じ
 んシュート内のごみ堆積によるマテリアルシールで、
 熱分解ガス化炉への空気流入を防止する。機械式の

シールではなくマテリアルシールを採用したのは、
 ごみの挟み込みやタール等によるゲートあるいはダ
 ンプのトラブルを回避するためである。

流動床式ガス化炉は円筒型炉である。ここでは
 炉底から供給した空気で部分燃焼しながら廃棄物を
 熱分解ガス化する。炉内に常に種火があり、た
 とえ多量の空気の漏れこみがあっても、爆発状の急
 激な燃焼は起こらない。不燃物は炉底の分散板中央
 部に設けられた大型の抜き出し管から、短い経路で砂
 と一緒に連続的に炉外に排出される。このため、大
 きな不燃物の抜き出し・排出が容易であり、熱損失
 や炉下の空間を節減することができる。可燃物と灰
 分は可燃性の熱分解ガス、未燃炭素、および飛灰と
 して次の旋回流溶融炉に運ばれる。

ガス化炉に直結して設置された旋回流溶融炉も堅

表1 ガス化溶融施設納入実績

施設名称	所在地	施設規模	発電容量	竣工
中部上北清掃センター	青森県上北郡	60 t/d (30 t/d × 2 炉)	—	2000年10月
安芸クリーンセンター	広島県安芸郡	130 t/d (65 t/d × 2 炉)	1 300 kW	2002年11月
鹿角 環境衛生センター	秋田県鹿角市	60 t/d (30 t/d × 2 炉)	—	2002年11月
石巻広域クリーンセンター	宮城県石巻市	230 t/d (115 t/d × 2 炉)	2 600 kW	2003年3月
中津川環境センター	岐阜県中津川市	98 t/d (49 t/d × 2 炉)	900 kW	2004年3月
大野・勝山地区広域行政事務組合	福井県大野市	84 t/d (42 t/d × 2 炉)	—	2006年3月

*大野・勝山地区広域行政事務組合の施設名称は未定

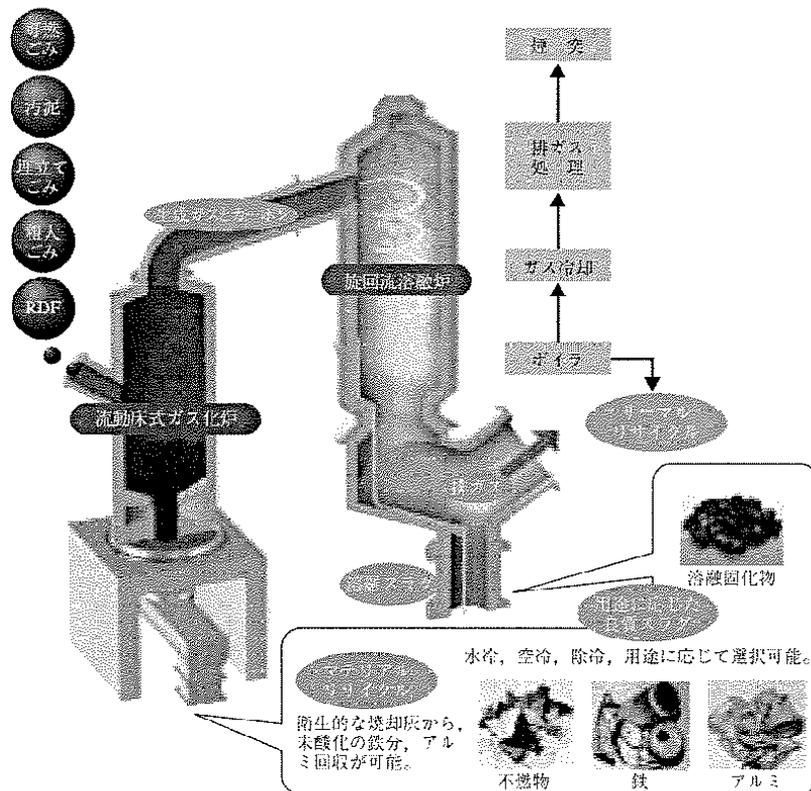


図1 流動床式ガス化溶融炉

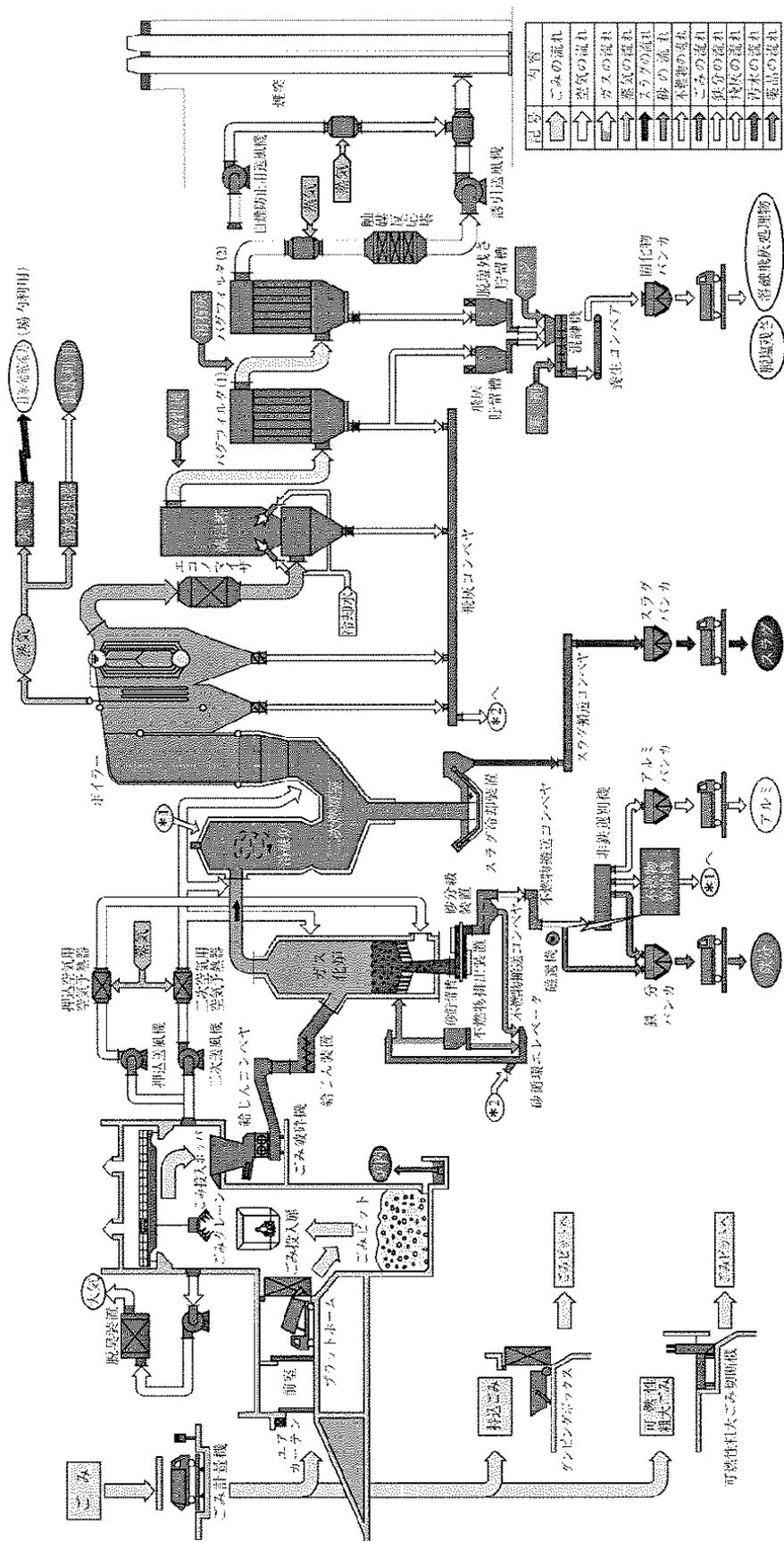


図2 石巻プラントのフロー

型構造である。未燃炭素と飛灰は熱分解ガスとともに溶融炉に接線方向で吹き込まれ、ここで初めて完全燃焼に必要な空気量が供給されて、熱分解ガスと未燃炭素が完全燃焼する。これは、おもにガス燃焼のため燃焼効率がよく、少ない空気でも高温をえることができる。旋回流に乗った飛灰は、この熱で溶融してスラグとなり、炉壁を上方から下方に重力にしたがって流下する。溶融部には絞り部を設けることで、溶融部の温度の均一化と、ガス流速の増加および炉底への衝突によるガスとスラグの分離を容易にしている。溶融部から出滓口までの距離を短くすることで、スラグは速やかに炉外に排出される。また、この部分が短いため、熱による横方向の伸びが小さく、縦方向の伸びと干渉して耐火物に発生する応力を小さくすることができる。

形状以外にも、溶融部は水冷壁構造として炉内壁全面をスラグが均一にコーティングすること、さら

に、スラグが集中する出滓ラインには特殊金属を施工していることにより耐火物を保護している。出滓口下部の出滓シュートは水封されており、滴下した溶融スラグは水冷されて固化、回収される。

図2に代表的な石巻プラントの処理フローを示す。本プラントは都市ごみ処理量230 t/d (115 t/24 h×2基)、2 600 kWの発電設備を有した処理施設である。溶融炉の後の排ガス冷却設備として廃熱ボイラと水噴霧式の減温塔があり、消石灰と活性炭を吹き込む2段のバグフィルタと触媒反応塔で排ガス処理をおこなっている。

2002年12月から2004年6月までの連続運転の実績と、ごみトン当りの用役費を図3、4に示す。2003年3月末の竣工以来、90日連続運転を繰返して、2003年度の年間稼働日数は300日を越え、高い稼働率を達成した。ごみトンあたりの用役費も2 000円以下であることがわかる。また、図5に炉内主要

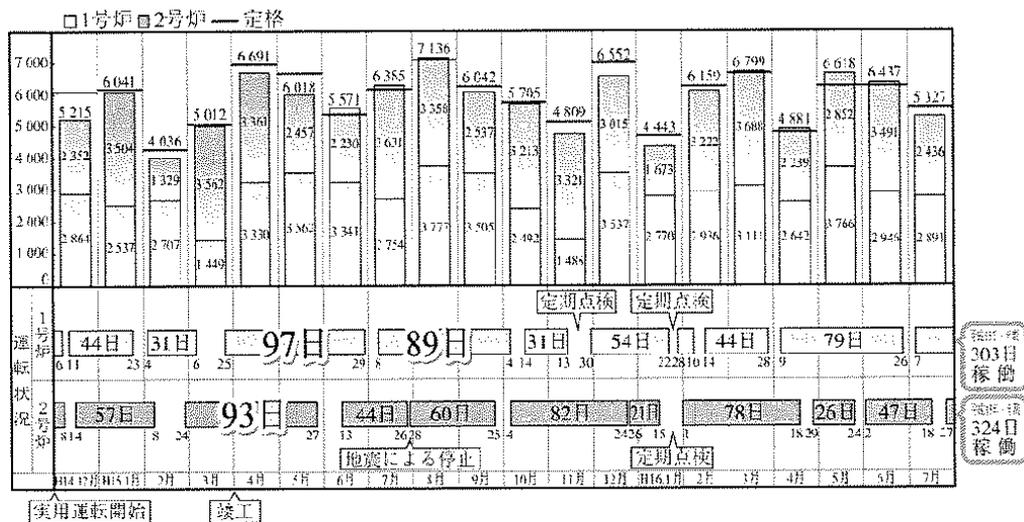


図3 石巻プラントの連続運転実績

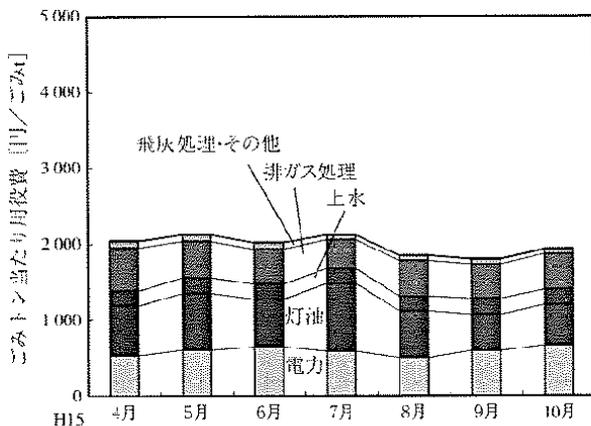


図4 ごみ1トンあたりの用役費

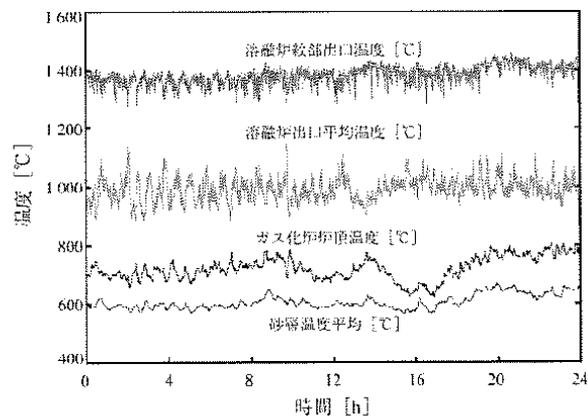


図5 石巻プラントの主要炉内温度トレンド

表2 ダイオキシン類総排出量

	1		2	
	濃度 (ng-TEQ/m ³) (ng-TEQ/g)	総排出量 (μg-TEQ/ごみt)	濃度 (ng-TEQ/m ³) (ng-TEQ/g)	総排出量 (μg-TEQ/ごみt)
排ガス	1系) 0.0069 2系) 0.0074	0.045	1系) 0.0033 2系) 0.0078	0.034
スラグ	0.000099	0.0032	0.000050	0.0016
不燃物類	0.0016	0.031	0.00098	0.019
溶融飛灰	0.093	1.2	0.026	0.37
脱塩残渣	0.0056	0.042	0.011	0.11
合計		1.3		0.53

温度を、表2にはダイオキシン類総排出量を表わす。本施設の排ガス中ダイオキシン類濃度の保証値は0.01 ng-TEQ/m³であるが、安定した運転により排ガスの保証値を満足することはもちろん、総排出量も約1 ng-TEQ/ごみtと非常に低い値を示していることがわかる。

2. ストーカ式焼却技術

ストーカ式焼却炉は給塵装置から供給されたごみを火格子の上で攪拌・移送しながら、その下部から送り込まれる空気乾燥、焼却する炉である。基本的には、ごみの移動とガスの流れが直交する二次元の動きで構成されるためスケールアップがしやすく、一炉の処理規模が何百トンという大型炉が稼働している。当社のストーカ式焼却炉は、かねてから次世代を見据えたストーカ炉技術の開発に取り組んできたルギ社(独)との技術提携により生まれたものである。

当社ストーカ炉の模式図を図6に示す。乾燥帯と燃焼帯は緩傾斜で一体化され、図に示したように前後進端での落差が大きい対向摺動式ストーカの動きにより、投入されたごみが適度に攪拌・移送されながら、ストーカの下部から適切に配分されて吹き込まれる空気により乾燥・焼却される。後燃焼帯には並向摺動式ストーカを採用し、その緩やかな動きでごみは完全に燃えつき、灰となる。このように対向摺動式ストーカと並向摺動式ストーカを組合わせた「高温燃焼型コンバインドストーカ」構造とすることにより安定した燃焼を実現している。主燃焼室は、全メンブレン水冷壁構造とし、空気比1.6の高温燃焼とクリンカの発生抑制を実現している。また、二次燃焼室は炉中央部に位置する直交流型燃焼室で、一次燃焼室出口に絞り部を設け、さらに二次空気を水平方向から高速で吹き込むことにより優れた攪拌性能を発揮して未燃ガスの燃焼効率を向上させている。制御に関してはプラントの挙動特性をモデル化

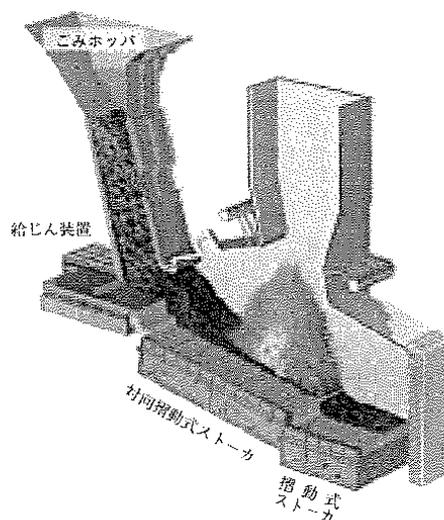


図6 ストーカ式焼却炉の模式図

し空気量や給じん量など運転状態に影響を与えるパラメータに対して近未来のプラント状態を予測するアドバンス制御の採用により、突然のごみ質変化に対しても最小限の挙動変化に抑えることができ、優れた燃焼効率を維持している。

当社は、処理能力180 t/24 h×1 炉のストーカ式焼却炉を下関市環境部奥山工場に納入している。その詳細については、本誌に掲載されている「ストーカ式焼却炉とプラズマ式溶融炉の実用運転結果(下関市環境部奥山工場)」を参照いただきたい。

3. プラズマ溶融技術

神鋼グループではプラズマを利用した高温技術は1990年に製鋼分野で利用が始まり、1992年には、焼却炉から排出される廃棄物の焼却灰や飛灰の溶融への適用開発を開始した。プラズマ溶融は燃料式とくらべ、熱源から二酸化炭素や硫酸化物を生成せず、排ガス量を低減できることが大きな特長である。1998年には世界初の飛灰単独処理プラズマ溶融炉を竣工させた。昨年度にはさらに3施設を稼働させ

表3 プラズマ灰溶融炉の納入実績

施設名称	所在地	施設規模	処理対象	竣工
クリーンセンター美馬	徳島県美馬郡	5 t/16 h	流動焼却飛灰	1998年3月
下関市環境部奥山工場	山口県下関市	41 t/24 h	ストーカ焼却土灰+飛灰	2002年11月
クリーンピア射水	富山県射水郡	12 t/24 h	流動焼却飛灰	2003年3月
加古川市新クリーンセンター	兵庫県加古川市	30 t/24 h	流動焼却飛灰	2003年3月

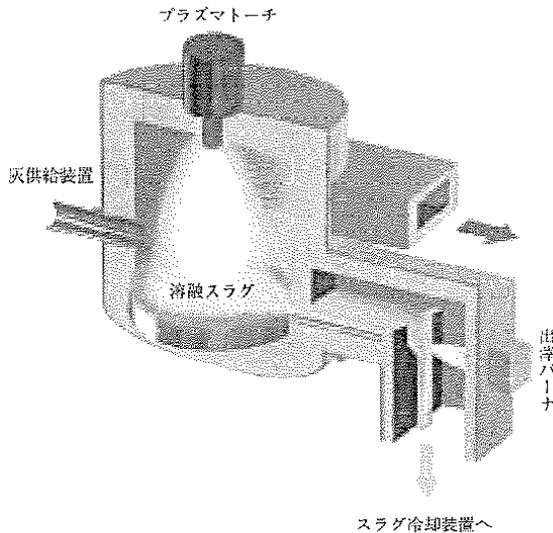


図7 プラズマ溶融炉の模式図

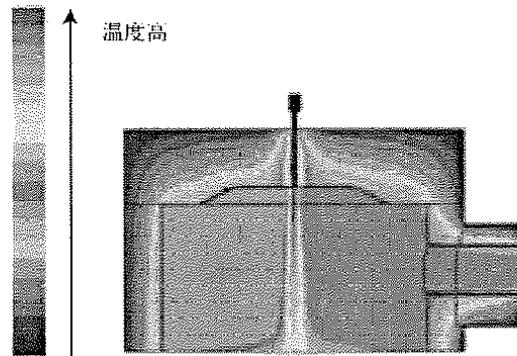


図8 プラズマ溶融炉温度分布シミュレーションの一例

ており、2施設が流動床焼却炉の飛灰単独溶融で1施設は前述の下関の焼却灰と飛灰の混合溶融設備である。その納入実績を表3に示す。

図7にプラズマ溶融炉の模式図を示す。当社のプラズマ溶融技術は、金属製のプラズマトーチでプラズマガスとして空気をもちいる酸化雰囲気での溶融であることが大きな特長である。プラズマトーチには、トーチ内に陽極と陰極の両方を有するノントランスファー式と、いずれか一方がトーチにあり、もう一方が被処理物にあるトランスファー式のふたつのタイプがある。ノントランスファー式は被処理物の性状にあまり影響されないことが特長であり、トランスファー式は被処理物の着熱効率が高いのが特長である。当社には両タイプの実績がある。

プラズマ灰溶融炉では、焼却施設から排出された灰をいったん貯留した後、炉内に連続的に定量供給する。灰は溶融して、高温のプラズマと十分な滞留時間により性状の安定したスラグ浴を形成し、この

スラグが連続的に排出される。図8はプラズマ溶融炉温度分布シミュレーションの一例である。当社では、このようなシミュレーションと実炉の運転データを融合させてスケールアップや炉形状の最適化等に対応している。

クリーンなエネルギーで高温処理ができるプラズマ技術は、灰以外の難処理廃棄物にも適用が可能である。

むすび

当社の廃棄物処理の主力であるガス化溶融、ストーカ式焼却、そしてプラズマ溶融の各技術について概括した。これ以外にも、当社にはロータリーキルン焼却、RDF製造やメタン発酵等の技術がある。また、これらの技術のみでなく、搬送や分選別、そして排ガス処理技術等を組合わせて適切で効率的な廃棄物処理が可能となる。

多様化する廃棄物処理への要請に応えられるよう、今後も技術を磨いていく所存である。

PCB, ダイオキシン類, 農薬等の POPs (残留性有害有機化合物) 浄化技術

Decontamination and Detoxification Technologies for Persistent Organic Pollutants



技術開発本部
プロセス技術開発部新規プロセス室
川井 隆夫
Takao Kawai
(工学博士・技術士)

当社では金属Na分散体をもちいたPCBの化学分解法 (SP法) をはじめとしてPCBおよびPCB汚染電気機器の処理技術開発のみならず, PCB, ダイオキシン類, 農薬に代表されるいわゆるPOPs (Persistent Organic Pollutants:残留性有機汚染物質) 汚染土壌やコンクリート殻などの各種汚染物処理技術, すなわちSED法, SED-soil法, RH-SP法を開発してきた。これらの方法の基本は, 確実性, 非複雑性, 低環境負荷性, 低二次汚染物発生, 設備の高効率性である。本報ではSP法を基本とするPOPs汚染物処理技術について適用試験事例を交えて紹介する。

Kobelco Eco-solutions has been developing various technologies for decontamination and detoxification, namely SP process, SED process, SED-soil process, and RH-SP process, of Persistent Organic Pollutants (so-called POPs such as PCBs, dioxins, and Agricultural organic halogenide chemicals). The fundamental concept of these processes are; high reliability, incomplextiy, low environmental load bearing, low secondary contaminants production and high performance. This paper reviews these processes according to the original experimental results we have carried out.

Key Words :

残留性有機汚染物質	POPs
PCB	PCBs
ダイオキシン	Dioxins
農薬	Agricultural chemicals
無害化	Decontamination and detoxification

まえがき

POPsとは残留性有機汚染物質 (Persistent Organic Pollutants) の略称であり, PCB, ダイオキシン類, BHCやDDTなどの有機塩素系農薬等毒性, 難分解性, 生物蓄積性等を有す12種類が指定されている。これらの物質は国境を越えて地球規模で汚染が広がっており, 生物環境に与える影響が大きいことからこれらの処理の必要性が叫ばれている。このため本物質の製造・使用の禁止または制限, 非意図的生成物質

の排出削減, 在庫・廃棄物の適正処理および管理に関する国際条約 (ストックホルム条約) が2002年締結された。2004年2月条約の締結国が50カ国を超えて, 5月に発効し, 日本においても対策が推進されることとなった。

POPsの代表的な化合物であるPCBやダイオキシン類の分解無害化技術は燃焼法, 超臨界水酸化法, 水熱法, プラズマ燃焼法, 還元加熱法などのほか化学分解法が開発され, そのなかでも化学分解法が実用

化されつつある。PCBを除いて単体で残存していることはまれで、非意図的に生成した汚染物や土壌・スラッジについては洗浄抽出、分離精製等の前処理を加えた処理プロセスをそれぞれの状況にあわせて組立てる必要がある。

処理方法の基本として、(1) 確実に処理できること、(2) 原理が複雑でないこと、(3) 処理温度が常温に近く、かつ圧力も大気圧に近いこと、(4) 液体あるいは個体状態で処理できること、(5) 処理にともなう容量の増加が少ないこと、(6) 二次汚染物または有害副生成物の生成がないこと、(7) 廃棄物の発生が少ないこと、(8) 完結系であること、(9) 設備がコンパクトであること、等があげられる。つまり、原理が複雑であればあるほど実用時においても瑕疵を生じやすくなり、温度圧力条件が厳しいほど設備の材質や機構に性能の高さを要求される。二次汚染物の発生はいうまでもない。また、処理にともなう廃棄物の発生や、容量の増大については完結性を求めれば設備的にも大型化せざるをえず、機動力のある設備とし難いなどの本質的課題がある。これらの条件を充たせば必然的に処理コストも低くなる。

当社では1997年よりPOPs無害化処理技術の開発に取り組み、化学分解法をはじめとする種々の環境低負荷型処理プロセスを確立してきたが、本報ではこれらの技術について紹介する。

1. 金属Na分散体 (SP) 法

SP法は、PCB、ダイオキシン類そのものの化学処理法の一つとしてガイドブック^{1),2)}に記載されており、旧3省庁(環境庁、厚生省、通産省)の技術評

価を受けた技術であるとともに高濃度ダイオキシン類汚染物処理技術の一つとして認められた方法³⁾である。

本法は、プロセスフローを図1に示すように、金属Na分散体と水素供与体を使用し、反応温度90℃においても高濃度PCBおよびダイオキシン類を無害化可能であり、水の沸点よりも低い温度でマイルドな分解処理が可能である。したがって、PCBの蒸発を非常に低くおさえることができ、重合体等の副生成物をほとんど生成しないこと、排ガス生成量が少なく大気中へのPCB等有害物質の拡散量も少ないなど、安全性に優れており、安定した処理実績を有すなどの特長がある^{4),5)}。本法は世界的にもっともPCB処理実績の多いカナダPowertech社の技術をもとに改良した技術である。Powertech社では15年にわたって15000 m³以上のPCB汚染油を無事故で処理した実績をもち、現在もなお継続して処理がおこなわれており、安全性の高さが特筆に値する。

本法による処理済み油の劣化も少なく、副生成物(重合体)がほとんど生成しないので、絶縁油や燃料油としての再生利用が可能である。以下に記述する低濃度、高濃度実証試験を経て、2002年8月から11月におこなわれた阪神溶接機材(株)殿岡山工場におけるPCB汚染廃棄物自社処理に採用され、約214 kgのPCBを処理した。

本法は後述する溶媒抽出分解法や還元加熱法などの組み合わせにより、汚染物の性状に適した処理プロセスの中核となる技術である。

この方法は水や固形物との混合物には前処理として水分や固形物からの分離が必要となる。前処理と

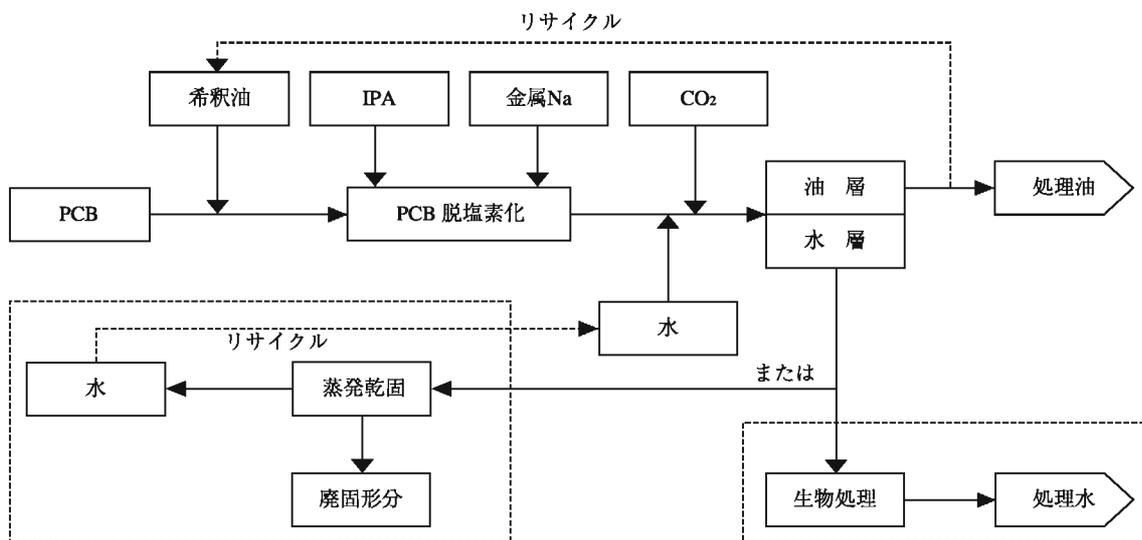


図 1 SPプロセスの概要

しての分離法としては、有機化合物のオクタノール／水分配特性に基づく有機溶媒による抽出法と熱脱着法が比較的熱エネルギー消費も少なく、適用が容易であることが多い。

1. 1 SP法によるPCB処理事例^{4),5)}

実証試験に使用した処理装置の内容を模式的に図2に示す。それぞれの処理槽の容量は約650 L、処理能力としては低濃度PCBの場合で500 L/batchである。これはコンテナサイズに装置を集約して、PCB保管場所に移動可能な可搬型処理設備として設計したもので、実作業装置とほぼ同じ規模である。

実験にもちいた試料は、希釈用の低濃度汚染トランス油と濃度調整用の高濃度PCBトランス油である。これらの試料を必要な濃度に応じて秤量し、減圧蒸留槽内で混合して濃度調整をおこなった。

希釈用トランス油のPCB濃度は10 mg/kgである。濃度調整用には高圧トランス (25 kVA) 充填のトランス油でPCB濃度は36.2 %である。反応薬剤は新しいトランス油に金属Na微粒子を分散懸濁させたもので、実験室にて調製したものを使用した。金属Na濃度40 wt%，金属Naの最大粒径10 μm，平均粒径2～3 μmである。

1. 1. 2 実験結果

PCB残留濃度測定の結果、いずれの場合も最終的にはPCB残留濃度20 μg/kg以下となった。10 ppm濃度の場合には10分後には20 μg/kg以下となった。1 %では40分後、10 %では3時間後に20 μg/kg以下となった。ダイオキシン類は10 ppmおよび100 ppmの低濃度試料では定量下限値 (0.005 ng-TEQ/g) 以下、高濃度試料では1 %試料で200 ng/g (5.8 ng-TEQ/g)、

10 %試料で690 ng/g (33 ng-TEQ/g) であったが、処理後はいずれも定量下限値 (0.005 ng-TEQ/g) 以下であった。

コプラナーPCBは10 ppmおよび100 ppm処理では8.4 ng/g (0.99 pg-TEQ/g) および5.3 ng/g (0.70 pg-TEQ/g)、1 %および10 %試料で16 ng/g (2.5 および2.3 pg-TEQ/g)であった。ヒドロキシフェノールはいずれも定量下限値 (5 ng/g) 以下であった。

塩素分析結果より塩素収支計算をおこなった結果、処理前の試料に含まれる量に対する廃液中の塩素含有量の割合は、いずれの場合も誤差範囲内ではほぼ100 %であり、しかも、廃液中の塩素は無機塩素の形態で存在することからほぼ完全にPCBの塩素はNaClとして脱塩されたと考えられた。

1. 1. 3 環境への二次的影響等の検討結果

反応生成水溶液中のPCBはGC-ECDによる分析の結果検出されなかった。コプラナーPCB (33' 44', 33' 44' 5, 33' 44' 55') も0.01 ng/g (検出限界) 以下であった。

排水としての環境基準値は重金属を除いて有機物に関して充たしていない項目 (BOD, COD, n-Hexane抽出量) があるので、生物処理によりこれら有機物の分解および分離をおこない、水質基準値を達成させたうえで系外に排水できるように生物処理による検討をおこなった。実作業プラントより排出された油分離後の反応生成液をもちいて、反応生成液の分解実験をおこなった。その結果、BODは確実に減少し、水質汚濁防止法の基準値160 ppm以下を達成した。CODについても下水放流可能な数値基準である100 ppm以下を達成し、n-Hexane抽出量も3

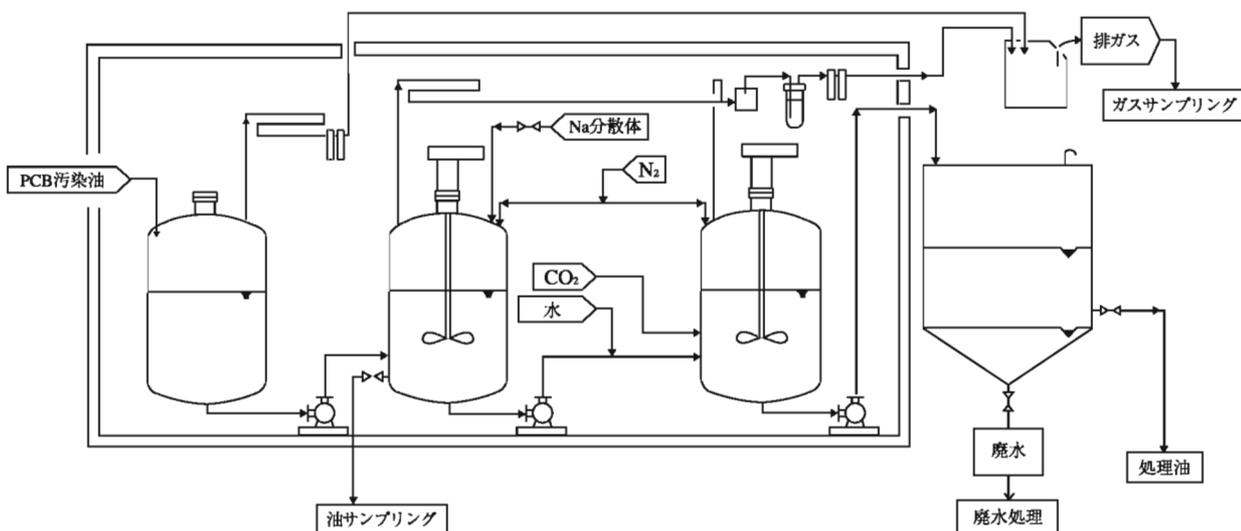


図 2 実証試験装置の模式図

表 1 BHC分析結果および収支

No.	項目	BHC	処理油	処理排水水	排ガス吸収液 AC前
1	試料量	420.61 g	7.4 kg	23.6 L	39.56 L
	BHC濃度	98.22 %	<0.04 mg/kg	<0.004 mg/L	0.0712 mg/m ³ N
	BHC量(mg)	410 930	<0.3	<0.08	0.003
	BHC割合(%)	100	<7×10 ⁻⁵	<2×10 ⁻⁵	7×10 ⁻⁷
	BHC分解率(%)	—	>99.9999		
2	試料量	420.85 g	8.8 kg	23.6 L	37.93 L
	BHC濃度	98.22 wt%	<0.04 mg/kg	<0.004 mg/L	<0.002 mg/m ³ N
	BHC量(mg)	410 930	<0.4	<0.08	<8×10 ⁻⁵
	BHC割合(%)	100	<0.0001	<2×10 ⁻⁵	<2×10 ⁻⁸
	BHC分解率(%)	—	>99.9998		

表 2 塩素分析結果および収支

No.	項目	BHC	処理油	処理排水
1	試料量	420.61 g	7.4 kg	23.6 L
	全塩素	73.5 wt%	—	—
	有機塩素	—	<1 mg/kg	<10 mg/L
	無機塩素	—	<0.1 mg/kg	12 600 mg/L
	塩素量(g)	309	<0.008	297
	塩素割合(%)	100	<0.003	96.1
2	試料量	420.85 g	8.8 kg	23.4 L
	全塩素	73.5 wt%	—	—
	有機塩素	—	<1 mg/kg	<10 mg/L
	無機塩素	—	<0.1 mg/kg	13 200 mg/L
	塩素量(g)	309	<0.01	309
	塩素割合(%)	100	<0.003	100

mg/L以下を達成した。

作業環境へのPCB揮散度評価については、反応時の揮散物はフィルター除去しており、我々がモデルとするカナダにおける実操業プラントにおける分析においても作業環境大気中への放出も基準値（50 ng/m³N）以下を充たしている。

本処理によってPCB分解処理をおこなった後、再生処理をおこなった再生油の電気的特性調査の結果、いずれの項目も十分に規格を充たしている。

1. 2 SP法によるBHC等農薬処理例⁶⁾

日本には多量の使用残農薬（BHCなど）があり、この処理方法の確立が急務である。

基礎試験の結果、BHC処理濃度3～10%について、処理油中の残留BHC濃度は定量下限値（0.04mg/kg）未満であった。BHCの分解率は99.999%以上となった。10%を超える濃度ではBHC粉末試薬が炭化水素に溶解しなかった。

処理油のGC/MS定性分析結果では処理油中からはベンゼンが検出され、シクロヘキサンは検出されなかった。このことからBHCは脱塩素化されベンゼンになったと考えられる。

基礎試験結果を踏まえ、30L試験装置による実証試験をおこなった。BHC処理濃度は5%（BHC粉末試薬420g、炭化水素7.98kg）とし、反応温度60℃、

反応保持時間60分で脱塩素化反応をおこなった。再現性確認のため同条件で2バッチ実施した。

結果を表1に示す。反応液の残留BHC濃度は、金属Na分散体を全量供給後30分で定量下限値（0.04 mg/kg）未満となった。処理油および処理排水からはBHCは検出されなかった。全BHC分解率は99.9998%以上であった。

塩素分析結果および収支を表2に示す。BHCに含まれた塩素量の96.1～100%が無機塩素として処理排水中に回収された。有機塩素は処理油および処理排水から検出されなかった。ロス分は主として反応液サンプリングによると考えられる。

ダイオキシン類分析の結果、処理排水は0.0027 pg-TEQ/Lとなり環境基準値（1 pg-TEQ/L以下）を満たした。排ガス吸収液については活性炭前0.012 ng-TEQ/m³N、活性炭後0.0020 ng-TEQ/m³Nとなり、いずれも排出基準値（0.1 ng-TEQ/m³N未満）を満たした。

作業環境大気測定の結果、BHCは不検出（<0.002 mg/m³）であり、ダイオキシン類は0.10 pg-TEQ/m³で環境基準値未満（<0.6 pg-TEQ/m³）であった。

2. 溶媒抽出分解（SED）法

PCBに汚染された電源トランスやコンデンサなどの機器処理技術については、1998年8月に拭取試験法で0.1 μg/100 cm²、部材採取試験法で0.01 mg/kg以下という処理基準値が官報にて告示された⁷⁾。この値は先進各国と比較して100倍も厳しいものであり、新たな技術開発が必要となった。

これに対応する技術として、水素により高温で還元する方法や溶融金属中で高温分解する方法⁸⁾が提案されているが、いずれも高温をとめない、環境大気への拡散対策などを含めて処置も比較的大がかりとなりやすい。そこで、比較的低温で処理可能な方

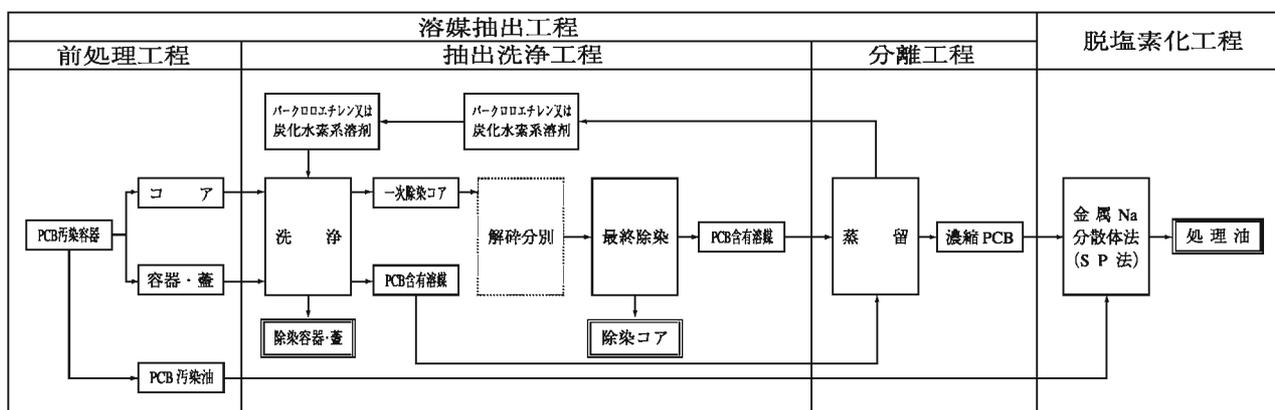


図 3 SED法の処理フロー

法として、SP法とフランスAprochim社で開発されたPCB汚染容器洗浄技術をもとに溶媒抽出分解法（SED法⁹⁾）を開発した。本技術は機器の溶媒洗浄をおこなった後、洗浄によって抽出されたPCBをSP法によって分解処理するプロセスである。

当初は有機塩素系溶剤適用を考えていたが、最終的に環境負荷の見地から炭化水素系溶剤への転換を図り、洗浄後SP法にてPCBを分解無害化する方式とした。

処理システムのフローを図3に示す。コンデンサやトランスなどの汚染物は解体前に充填されているPCBあるいはPCB汚染油を外部に漏らさずに抜き取りをおこなう。その後、洗浄効果が高めるため、各部材に解体分別後、それぞれ必要に応じて適当なサイズに裁断し、金属類は複数回の洗浄をおこなう。金属類はこの後乾燥をおこない洗浄完了となる。紙やコイル、素子等は粗洗浄後プレス減容し、被洗浄物に残留した溶剤とPCBを減圧乾燥加熱して洗浄が完了する。

洗浄溶剤は蒸留再生し、系内リサイクルをおこない、濃縮溶剤はSP法にて無害化する。

本法は1999年旧通産省の技術検討評価委員会の評価を受け、「PCB処理技術ガイドブック（増補版）」に記載されている。

本技術は環境事業団豊田ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業の前処理工程技術に採用され、平成17年度に稼働開始予定である。

本プロセスの特長は次のとおりである。

- ① 密閉系処理および洗浄溶媒回収システムを採用し、PCBの蒸発や漏洩などによる二次汚染対策を講じた設備である。
- ② 洗浄装置は常圧で運転するため、高圧ガス法規制の対象とならない。

- ③ ダイオキシン類などの有害副生成物の発生がない。油脂系の有機物洗浄に使用可能な溶剤としては、n-ヘキサン、アルコール、炭化水素油などの炭化水素系溶剤と有機塩素系溶剤が挙げられる。塩素系溶剤は使いやすい性状を有しているが、特別管理化学物質として指定され、本溶剤の使用は本質的な解決策となりにくい⁹⁾とする意見にしたがって、炭化水素系溶剤を採用した。

2.1 安全対策

安全対策は基本的に各種法規ならびに監督庁の指導に準拠し、①施設の立入り管理、②廃棄物管理、③危険物管理、④火災予防および防火対策、⑤作業者の安全対策、⑥環境対策などの対策を講じている。

とくに重要と考えられる各処理工程での蒸発拡散や、各工程間の被処理物の移動中に起こる漏洩等による二次汚染を防止するため、次のような密閉系処理を採用した。

- ① 各工程は、外部と遮断された連絡移動空間を共有し、これを介しておこなう。
- ② 油抜き取りおよび解体分離作業は可能な限り手作業を少なくする。
- ③ 洗浄槽の開閉は、完全換気をおこなった後におこなう。排ガスは活性炭処理をおこなった後、系外へ排気する。
- ④ 解砕および分別装置は、密閉・排気制御室内に設置する。

2.2 実証試験

試験には実際のPCB汚染トランス12個とコンデンサ2個をもちいた。

最初に容器とコアとに分離し、容器、トランスコア、コンデンサコアの一次洗浄をそれぞれおこなった。一次洗浄終了後、コアを電磁鋼板で20～25 cm×15～20 cm程度、銅線で数cm程度、絶縁フィルム

は2～5 cm角程度に紙類と金属類に解砕分別した。それら試料を個別に二次洗浄槽に装入し、洗浄をおこなった。

容器および電磁鋼板は拭取り法⁷⁾、トランスコア銅線および絶縁紙、コンデンサコア試料(絶縁フィルム、アルミ箔)はそれぞれ部材採取法⁷⁾でサンプリングをおこなった。

2.2.1 洗浄結果

表3にSED法によるPCB汚染電気機器の処理結果を示す。

容器洗浄は一次洗浄で0.05 μg/100 cm²以下まで洗浄できた。

電磁鋼板、および銅線は一次洗浄によっておよそ0.1 μg/100 cm²および0.01 mg/kgに到達したが、さらに完全を期するため二次洗浄をおこない、基準値を確実に達成可能であることを示した。コンデンサコア(アルミ箔)は、一次および二次洗浄の併用により、基準値を確実に達成できることを確認した。

アルミ箔は洗浄前271 g/kg部材であったが、一次

洗浄後には82.4 mg/kgを、そして二次洗浄後には0.001 mg/kg以下に低下した。

絶縁フィルムは洗浄前440 g/kg部材であったが、洗浄後の溶出試験法による評価の結果、0.0005 mg/L検液以下を示し、基準値を充たした。

洗浄時間は、本試験では一次洗浄で約60～72時間、二次洗浄で約2～18時間程度であった。しかしながら、洗浄時間はPCB付着濃度、被洗浄物の量、形状および洗浄溶媒の使用量等に依存する。したがって、最適な被洗浄物の量および溶媒量を選択することにより、洗浄時間の短縮が可能である。

一次洗浄後のダイオキシン類およびコプラナーPCB分析結果から、両者が洗浄によって減少し、高い相関を示すことから、ダイオキシン類およびコプラナーPCBは本洗浄によって選択的に残留しないことが確認できた。

環境モニタリングの結果、全PCBがもっとも高いところは汚染物保管スペースであったがいずれも25

表 3 SED 法試験結果のまとめ

(A) 除染結果

種	類	初期濃度	除染時間 (h)	除染後濃度
トランス	容器	782 (mg/100 cm ²)	72	0.05 (μg/100 cm ²)
	電磁鋼板	414 (mg/100 cm ²)	60	0.007 (μg/100 cm ²)
	銅線	13.8 (g/kg)	60	0.003 (mg/kg)
	*木	5.4 (mg/L検液)	17.4	0.00044 (mg/L検液)
コンデンサ 1	容器	1.19 (g/100 cm ²)	72	0.04 (μg/100 cm ²)
	アルミ箔	271 (g/kg)	60	<0.001 (mg/kg)
コンデンサ* 2	容器	1 400 (μg/100 cm ²)	1.7	0.081 (μg/100 cm ²)
	アルミ箔	270 (g/kg)	7.7	<0.001 (mg/kg)
	紙	440 (g/kg)	7.7	<0.0005 (mg/L検液)

基準値：拭取試験法 0.1 (μg/100 cm²)、部材採取試験法 0.01 (mg/kg)、溶出試験法 0.003 (mg/L検液)

*木、コンデンサ 2 は、炭化水素系溶剤をもちいた洗浄または洗浄+最終除染(真空加熱乾燥)の追加試験データ。

(B) 残留物の確認結果

種	類	PCDD/F	コプラナーPCB
トランス	容器	6.2 (pg-TEQ/100 cm ²)	38 (pg-TEQ/100 cm ²)
	電磁鋼板	<2.3 (pg-TEQ/100 cm ²)	2.1 (pg-TEQ/100 cm ²)
	銅線	<0.48 (pg-TEQ/kg)	0.12 (pg-TEQ/kg)
	*木	5.0 (ng-TEQ/kg)	6.6 (ng-TEQ/kg)
コンデンサ 1	容器	<50 (pg-TEQ/100 cm ²)	36 (pg-TEQ/100 cm ²)
	アルミ箔	0.21 (ng-TEQ/kg)	1.9 (ng-TEQ/kg)
コンデンサ* 2	容器	<2.1 (pg-TEQ/100 cm ²)	0.094 (pg-TEQ/100 cm ²)
	アルミ箔	<1.8 (ng-TEQ/kg)	0.15 (ng-TEQ/kg)
	紙	<1.0 (ng-TEQ/kg)	0.49 (ng-TEQ/kg)

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、作業環境基準値 $0.1\text{ mg}/\text{m}^3$ よりはるかに低い値を示した。ダイオキシン類はもっとも高い値が $8.5\text{ pg-TEQ}/\text{m}^3$ であった。コプラナーPCBは $0.049\text{ ng-TEQ}/\text{m}^3$ 以下であり、作業環境基準値を充足する結果がえられた。

2.3 実証試験設備

実規模装置設計に必要なエンジニアリング基礎データの採取ならびにより安全性の高いハンドリング技術の確立を目的とし、ベンチ設備を建設した。図4に設備の鳥瞰図を示す。

設計コンセプトとして、環境保全ならびに安全衛生に十分に留意した設備をめざした。すなわち、密閉系処理および洗浄溶媒回収システムを採用し、PCBおよび有機溶媒の蒸発や漏洩などによる二次汚染対策を講じている。

PCB混入コンデンサのPCB抜き取り、洗浄から洗浄溶媒の回収再生まで試験できる連続処理デモンストラーション設備とし、コンデンサ解体ならびに構成素子の洗浄ならびに回収PCBの処理試験を実施し、それぞれ処理基準値を充たすことを確認した。

確立されたSED法は日本環境安全事業（株）殿豊田事業所に採用され、2005年には稼働の予定である。

2.4 ダイオキシン類汚染排水へのSED法適用⁴⁾

2.4.1 試料ならびに試験方法

処理フローを図5に示す。装置容量10L、有効膜面積 530 cm^2 細孔径 $0.8\text{ }\mu\text{m}$ のメンブランフィルタ（MF）をもちいて操作圧力 $5\text{ kgf}/\text{cm}^2$ で、高濃度ダイオキシン類汚染試料（A）を400L、同試料（B）を100L処理し、懸濁粒子（SS）を除去した。この後、有効膜面積 0.435 m^2 の逆浸透（RO）膜モジュール



図4 PCB汚染物 一貫処理実証設備

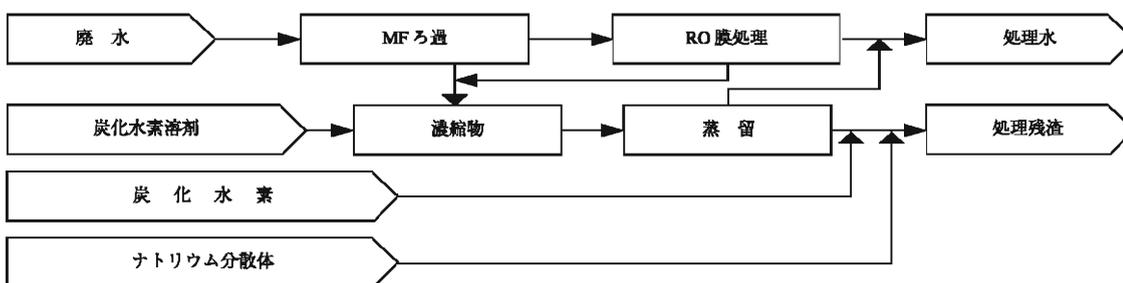


図5 排水汚染ダイオキシン類のSED法処理フロー

をもちい、操作圧力20～30 kgf/cm²で処理した。

試験にともなって排出された汚染物ならびにRO処理で発生した濃縮物は減圧蒸留および石油系溶媒による抽出・置換をおこなった後、炭化水素系溶媒中に分散させ全量5Lの溶液とした。この溶液を90℃に加熱しながら金属Na分散体（Na濃度40%）を100mL加え、2時間保持してダイオキシン類の脱塩素化反応をおこない、反応処理物中の残留濃度を測定した。

2. 4. 2 排水汚染ダイオキシン類の抽出分解試験結果

排水試料の処理には2種類の試料をもちいた。それぞれの結果をまとめて表4に示す。

試料(A)はMF処理により濃度が約30%に減少し、RO処理の結果、処理水のダイオキシン類濃度は0.8 pg-TEQ/L以下となり、RO処理により99.9998%以上のダイオキシン類が除去された。

MF処理およびRO処理で除去濃縮されたダイオキシン類を溶媒置換により炭化水素系溶媒に分散させ、Na懸濁液（Na40%濃度）で分解反応させた結果、溶媒中のダイオキシン類濃度は0.96 pg-TEQ/gとなった。処理物中のダイオキシン類総量は4.8 ng-TEQであり、除去されたダイオキシン類の99.997%以上が分解されたことになる。

試料(B)ではMF処理により72 ng-TEQ/Lに減少し、RO処理では0.8 pg-TEQ/L以下となった。RO処理の結果、処理水は30Lえられ、ダイオキシン類は99.999%以上が除去された。MF処理およびRO処理で除去濃縮されたダイオキシン類は試料(A)と同様に処理した結果、0.05 pg-TEQ/gを示し、99.996%が分解された。

3. 汚染土壌溶媒抽出分解 (SED-Soil) 法

溶媒抽出分解法は図6に示すように、溶媒を被処理物に添加攪拌を繰り返して抽出除去するもので、原理としては非常に単純である。

溶剤抽出法の要点は目的に応じて適した溶剤をどう選定するかにある。目的とする被除染物質との沸点差の大きいこと、連続相溶性でないこと、随伴物質との分離を考慮することが重要であるが、除染物質の無害化までを考慮すると原理は単純で容易に想像されるのに反してたとえば防爆設備が必要であるなど制約条件が多く、蒸留再生設備が大掛かりとなり、日本では高コストとなる可能性が高く、熱抽出法が効率的であることが多い。

抽出溶媒としては親水性のアルコール系溶媒をもちいる例もあるが相溶性のため水分離が難しく再生利用が経済的に困難なので、DIPA (Di-isopropyl

表 4 廃水処理試験結果

試料	PCDDs+PCDFs (ng-TEQ/L)	Coplanar PCBs (ng-TEQ/L)	Total Dioxins (ng-TEQ/L)	
試料(A)	原水	460	3.9	460
	MF処理水	140	0.33	140
	RO処理水	ND:<0.0008	ND:<0.000056	ND:<0.0008
	SD反応油	0.00096	4×10 ⁻¹⁰	0.00096
試料(B)	原水	91	1.0	92
	MF処理水	71	0.58	72
	RO処理水	ND:<0.002	ND:<0.00014	ND:<0.002
	SD反応油	0.00005	5×10 ⁻¹⁰	0.00005

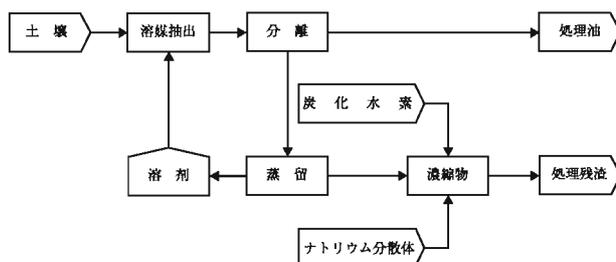


図 6 SED-Soil法の処理フロー

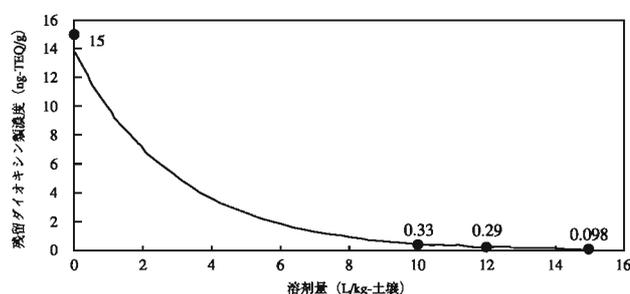


図 7 土壌中のダイオキシン類残留濃度と溶剤量の関係

Amine) をもちいた。本溶媒は土壌等の粒子沈降分離性が良く、水との2相不混和領域を有するので、試料からの脱水および溶媒からの水の粗分離を100℃以下で比較的容易におこなうことができる。

3. 1 SED-Soil法によるダイオキシン類汚染土壌処理⁴⁾

3. 1. 1 試料および試験方法

抽出槽に汚染土壌1kgを投入し、約60℃に加熱した溶媒を2L～3L加え20分間攪拌した後、20分静置し、固液分離をおこなった。固液分離におけるみかけの溶媒回収率は90%以上であった。処理後、試料を乾燥し、無作為サンプリングをおこない、ダイオキシン類残留濃度を測定した。

溶媒蒸留再生後の濃縮物残渣の全量を1Lの炭化水素系溶媒中に分散させ90℃に加熱し、この溶液にNa懸濁液（40%濃度）100mLを加え、攪拌しながら2時間保持してダイオキシン類の脱塩素化反応をおこない、反応後の処理物中の残留濃度を測定した。

3. 1. 2 土壤汚染ダイオキシン類の抽出分解結果

試料のPCDDs+PCDFs濃度と溶媒量の関係を図7に示す。

未処理試料中のPCDDs+PCDFs濃度は15 ng-TEQ/gであったが、2 L/kg-soilの溶媒をもちいて抽出操作をおこなうことにより、0.33 ng-TEQ/gまで低下した。さらに1 L/kg-soilの追加洗浄により試料中のPCDDs+PCDFs残留濃度は0.098 ng-TEQ/gまで低下した。試料中のPCDDs+PCDFs残留濃度は、溶媒量が10 L以上では減少傾向が低下した。

この結果をもとに5 kg規模の再現試験をおこなった結果は表5に示すように一回は目標値0.1 ng-TEQ/gよりやや高い値を示したものの、他の二回では0.08 ng-TEQ/g以下を示し、平均でダイオキシン類濃度が0.086 ng-TEQ/gまで低下できた。

抽出物の分解試験の結果、抽出物中のダイオキシン類は0.055 pg-TEQ/gまで分解された。土壌中のダイオキシン類総量は440 000 ng-TEQであったが、抽出操作により1 400 ng-TEQ (0.32 %) に低下した。抽出濃縮物中のダイオキシン類総量はNa懸濁液添加分解により0.055 ng-TEQ (0.000013 %) に低下した。

4. 還元加熱+金属Na分散体 (SP) 法

図8に「還元加熱脱塩素法+金属Na分散体法」プロセスの概要を示す。

低濃度ダイオキシン類汚染焼却飛灰の分解処理適用実績のある還元加熱脱塩素法は、最終埋立処分場の凝集沈殿汚泥に含まれるダイオキシン類の分解試験により99 %以上の高い分解率がえられている¹⁰⁾。

本法はPCB汚染土壌処理工程と排ガス洗浄油処理工程からなり、PCB汚染土壌処理工程では汚染土壌を窒素雰囲気中で加熱してPCBを脱塩素無害化し処理

土壌をえる。還元加熱時に発生する排ガスは排ガス洗浄装置を経由した後、活性炭を通して排出される。排ガス洗浄油処理工程では排ガス洗浄油に金属Naおよび水素供与体を添加してPCBを脱塩素無害化した後、処理油は排ガス洗浄油として再利用のため余剰のNaおよびNaClを油中から水洗除去し処理油および処理排水とする。

4. 1 還元加熱+金属Na分散体 (SP) 法によるPCB汚染土壌処理¹¹⁾

4. 1. 1 試料および試験方法

基礎試験として、約500 gの土壌試料を3 L容量の回転炉に装入し、乾燥空気雰囲気下で350 ~ 650 °Cに昇温した。所定温度に到達後、窒素雰囲気に切替えて1 ~ 6時間加熱後、50 °C以下まで急冷し処理土壌をえた。排ガスは洗浄瓶にて絶縁油に吸収させた後、活性炭を通過させて排出した。

排ガス洗浄油は2 L容量セパラブルフラスコ内で金属Na分散体と水素供与体を添加攪拌しながら90 °C、1時間で脱塩素化反応後、水を添加して反応生成物であるNaClおよび余剰の金属Naを水和抽出し、処理油と処理廃水をえた。

試験結果はいずれの試料も処理基準値以下であった。

なお、小型試験結果にもとづいて大型装置による実証試験をおこなった。実証試験装置は、還元加熱装置、オイルトラップ、排ガス洗浄油処理装置からなる。

装置の仕様は以下のとおりである。

- 1) 還元加熱装置：横型回転円筒型、スクレーパ付、サイズ：φ700 mm×1 000 mm (空間容積：385 L)。ガス間接加熱方式
- 2) オイルトラップ：トラップ：SUS製20 L容量×4。洗浄油として絶縁油20 Lを使用。排気ブローア：

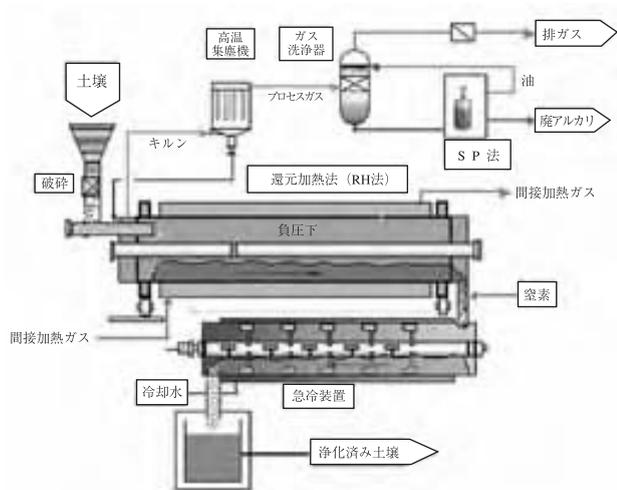


図 8 還元加熱+SP法のフロー

表 5 土壌処理結果

試料	PCDDs+PCDFs (ng-TEQ/g)	Coplanar PCBs (ng-TEQ/g)	Total Dioxins (ng-TEQ/g)	
処理前土壌	15	6.8	22	
処理土壌	Run 1	0.068	0.0027	0.071
	Run 2	0.11	0.0032	0.11
	Run 3	0.076	0.0018	0.078
	平均	0.083	0.0026	0.086
SD処理抽出物	0.000055	7.4×10 ⁻⁹	0.000055	

0.3 m³/min, 550 mmAq, 活性炭カラム φ 500 mm × 500 mmを設置。

3) 排ガス洗浄油処理装置：減圧蒸留槽，反応槽，水・油分離槽：20 L容量。排気系に凝縮器および活性炭フィルターを設置。

4. 1. 2 試験結果

図9に還元加熱温度と処理土壤中の残留PCB濃度の関係を示す。

処理土壤の残留PCB濃度は還元加熱温度の上昇とともに低下した。その低下率は温度に依存し、350～550℃では大きく、550～650℃では小さくなる傾向を示した。還元加熱温度550℃において土壤中残留PCB濃度に及ぼす処理時間の影響を調査した結果、処理土壤の残留PCB濃度に顕著な違いは認められなかった。

土壤中PCB除去率は99.4～99.9%であったが、排ガス洗浄油中には0.18～1.51 mgの揮発PCBが含まれた。したがって、還元加熱試験によるPCB分解率は88.2～98.6%となった。

処理土壤のPCB溶出試験結果は全て不検出(0.0001 mg/l-検液未満)を示し、土壤環境基準を満たした。

排ガス洗浄油処理試験結果は排ガス吸収後の洗浄

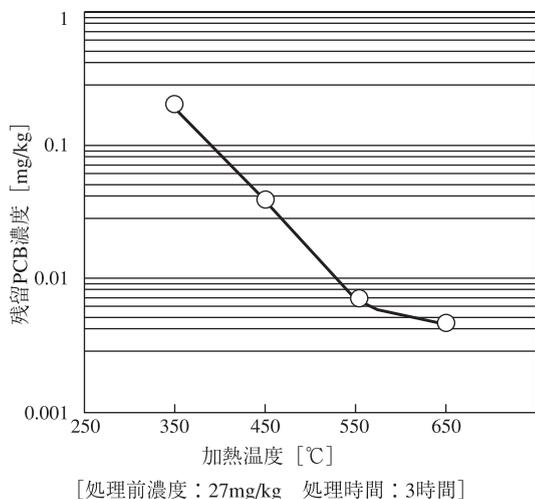


図 9 加熱温度と土壤中残留 PCB 濃度との関係

油中のPCB濃度0.35～4.53 mg/kgを示し、SP法により0.1 mg/kg以下に脱塩素化されることを確認した。本複合プロセスによるPCB分解率は99.6～99.8%であった。

大型装置試験の結果、表6に示すように、土壤中のPCB濃度は26 mg/kgから0.0038 mg/kgに、ダイオキシン類は130 pg-TEQ/gから0.93 pg-TEQ/gに分解無害化された。排ガス洗浄油には処理前土壤中の初期PCB量の約15%が捕捉され、コプラナーPCBが1.7 pg-TEQ/g, PCDDs+PCDFsは不検出であった。SP法により処理油はPCB0.056 mg/kg, ダイオキシン類0.22 pg-TEQ/gに分解無害化された。

4. 1. 3 連続式処理装置の概要と試験結果

上記の結果をもとに連続式処理装置を製作した。装置の外観を写真1に示す。

装置は原料供給系，還元加熱処理系（間接加熱方式キルンおよび冷却器），プロセスガス処理系からなる。

装置の仕様は、処理量100～300 kg/h, 処理温度550℃である。プロセスガスはバグフィルターおよびスクラバ洗浄を経由して系外に排気される。スクラバで洗浄の結果捕捉されたPCB, ダイオキシン類等の有害有機物質はSP法にてバッチで無害化される。



写真 1 実証施設の外観

表 6 ベンチスケールテストの結果

	処理前土壤	還元加熱処理			SPプロセス		全分解率	
		処理土壤	排ガス洗浄油	排ガス	処理油	排水		
P C B	[mg/kg]	26	0.0038	9.8	530 ng/m ³ N	0.056	0.0002 mg/L	99.9 %
	[mg]	1 100	0.15	180	0.0093	1.0	0.00015	
ダイオキシン類	[pg-TEQ/g]	130	0.93	1.7	0.038 ng/m ³ N	0.22	—	99.3 %
	[ng-TEQ]	5 600	36	32	0.67	3.9	—	

表 7 RH-SP 法試験結果の一例

試料 項目	土壌 1	土壌 1	土壌 2	底質 1	底質 2	コンクリート等
主な汚染物	PCB	PCB	ダイオキシン類	PCB	ダイオキシン類	PCB
処理前PCB濃度 (mg/kg)	3 400	3 400	—	26	—	14
処理前ダイオキシン類濃度 (pg-TEQ/g)	57 000	57 000	3 100	130	7 000	460
処理温度 (℃)	550	550	550	550	550	550
処理時間 (h)	6	1	1	3	3	3
処理後PCB濃度 (mg/kg)	0.019	10	—	0.0038	—	0.085
処理後 PCB 溶出量 (mg/L-検液)	ND	ND	—	ND	—	ND
処理後ダイオキシン類濃度 (pg-TEQ/g)	0.0075	70	0.02	0.0026	58	0.029

試験結果の一例を表 7 に示すが、能勢ダイオキシン類汚染土壌（土壌 2）処理でも、小型装置による基礎試験結果と同じく土壌は十分無害化された。さらに、処理土壌の重金属溶出試験結果でも溶出は認められず、処理土壌は十分再利用できることが明らかとなった。

む す び

以上、当社の開発してきた PCB、ダイオキシン類等 POPs 汚染物の処理技術、すなわち SP 法、SED 法、SED-soil 法、RH-SP（還元加熱＋金属 Na 分散体）法による無害化処理法について試験例をもとに紹介した。

現在も引続いて各種汚染物の試験をおこない、汚染物の性状に対して最適な処理技術の確立に取り組んでいる。これから実用化される PCB 処理施設や、ダイオキシン類、農薬等の顕在化する汚染物処理法としてそれぞれの特長を活かした処理を実地に移し、皆様のご要望に応えられるよう努力していきたいと考えている。

なお、SED 法、SED-soil 法は平成 11 年厚生省受託試験、BHC 農薬の SP 法処理は平成 13 および 14 年度残留農薬研究所（農水省）受託試験、RH-SP 法の連続実証試験設備は平成 15 年度経産省補助事業および平成 15 年度環境省受託試験として実施したものである。

【参考文献】

1) (財) 産業廃棄物処理事業振興財団：PCB 処理技術

- ガイドブック, p.321, p.340-343 (1999)
- 2) (財) 産業廃棄物処理事業振興財団：PCB 処理技術資料集増補版, p.3-5, p.5-2～5-3 (2000)
- 3) 厚生省：高濃度ダイオキシン類汚染物分解処理技術マニュアル, p.18-20, p.36-38, p.43-49 (1999)
- 4) 川井隆夫, 大塚剛樹, 小西嘉雄, 西村裕太：金属 Na 微粒子による絶縁油, 土壌, 排水汚染ダイオキシン類の分解無害化, 粉体工学会誌, Vol.37, No.6, p.442-448 (2000)
- 5) 井出昇明, 小倉正裕, 川井隆夫：“新” SP 法（高濃度 PCB 処理）における水素供与体の作用効果, エコインダストリー, Vol.7, No.9, p.50-55 (2002)
- 6) 小倉正裕, 加賀城直哉, 井出昇明, 川井隆夫：金属 Na 分散体法による有機塩素系農薬処理, 第 14 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, p.1295-1297 (2003)
- 7) 官報告示：特別管理物に係る基準の検定方法の一部を改定する件, 平成 10 年 8 月 27 日
- 8) 産業廃棄物処理事業振興財団：PCB 処理事情米国・カナダ調査報告書 (1997), PCB 容器処理事情米国・カナダ調査報告書 (2000)
- 9) 川井隆夫ほか：神鋼パテック技報, Vol.42, No.2 (1999), p.16., Vol.41, No.2 (1998), p.90., Vol.42, No.1 (1998), p.34.
- 10) 小林哲男, 牛越健一, 児島大：浸出水および汚泥中のダイオキシン類処理, 資源処理技術, Vol.48, No.2, p.133-137 (2001)
- 11) 小倉正裕, 加賀城直哉, 井出昇明, 川井隆夫：還元加熱法＋金属 Na 分散体法による PCB 汚染土壌処理技術, 土壌環境センター技術ニュース No.6 (2003)

移動床式水平流連続ろ過装置「KONTIRAD」 をもちいた高濁度原水の処理 —兵庫県波賀町での運転事例—

Treatment of High Turbidity Raw Water with
Continuous Horizontal-Flow Sand Filter, KONTIRAD



技術本部水処理第一技術部技術室
玉井 秀恭
Hideyuki Tamai
技術本部水処理第二技術部技術室
廣瀬 伸幸
Nobuyuki Hirose

連続水平流砂ろ過装置、「KONTIRAD」は、上降流もしくは下降流方式であった従来の砂ろ過に比べ原理的に補足量が大きく、省スペース、通水と逆洗が同時におこなえる利点がある。当社はこの装置を、原水濁度が一時的に上昇する浄水場の沈殿池前段の前処理として導入した結果、良好な水質の浄水を安定して供給できるようになった。

The continuous horizontal flow sand filter, KONTIRAD, has advantages as theoretically large trapping capacity, small installation space requirement and parallel operation of filtration and backwash over conventional filters, most of which are of down flow or counter-flow types. The KONTIRAD was applied as pre-treatment before coagulation to a waterworks where raw water turbidity surges at a time. The waterworks has been successful in supplying constantly good quality tap water.

Key Words :

ろ	過	Filtration
水	平	Horizontal-flow
連	続	Continuous operation
運	転	

まえがき

水処理にもちいられる清澄ろ過の一つである急速ろ過は、水流の方向によって下向流、上向流、上下向流、および水平流に分類できる。これまで様々な種類のろ過装置が開発されてきたが、そのほとんどは下向流、もしくは上向流方式であり、水平流方式については一部の文献にて原理的な紹介はされていても国内で実用化された例はなかった。

水平流方式は、原理的には他の方式にくらべてろ層全体が懸濁物の捕捉に有効に機能するため、捕捉量が大きい特長を持つ。また、ろ過面積はろ層の高さによって決まり、ろ過器の平面積にはよらないた

め、ろ過器の槽高を高くすることでろ過面積を増やせ、他の方式にくらべ省スペースとなる利点がある。

当社がこの水平流ろ過器として導入した、『KONTIRAD』は、ドイツのMiljövern Umwelt-Technik社にて開発された装置であり、水平流方式の特長と、さらに移動床方式の組み合わせにより連続ろ過を可能にした画期的なろ過器である。

当社は2002年にこの装置『KONTIRAD』を製造し、国内1号機として、兵庫県宍粟郡波賀町原浄水場の凝集沈殿処理の前処理として納入した。本報では、その特長と処理状況について報告する。

1. KONTIRADの概要

1.1 KONTIRADの構造と原理

図1に本装置の構造を示す。原水は装置上部の流入管①より入り、円筒形をしたろ過槽の中央部に有るルーバーの付いたフィードチャンバー②に供給される。ここで原水は、円筒型をしたろ層③に均等に分散され、円周方向に向かって放射状に流れる。したがってろ過速度は中央の流入部で大きく、次第に減少し、周辺の集水部で最小となる。このようにろ層を通る間にろ過速度が漸減していくろ過装置では、懸濁物の抑留深度が適度に大きくなるため、ろ層全体を有効に使うことができる。こうしてろ過された処理水は、集水ノズルを経て、集水室④に集められ、自動的に上下する機能を持った処理水管⑤より流出する。

一方ろ過砂は、ろ過の継続により徐々に装置下方へ移動し、汚れたろ過砂がろ過槽最下部のエアリフトポンプ⑥により吸引され、エアリフト管⑦を上昇する。この間、エアリフト管内にて空気と水によって強力に攪拌され、ろ過砂から懸濁物が分離される。さらにろ過砂は洗浄管⑧内に放出され、洗浄管内の上昇流によって砂と懸濁物に沈降分離し、清浄となったろ過砂はろ層③に戻される。この洗浄工程は運

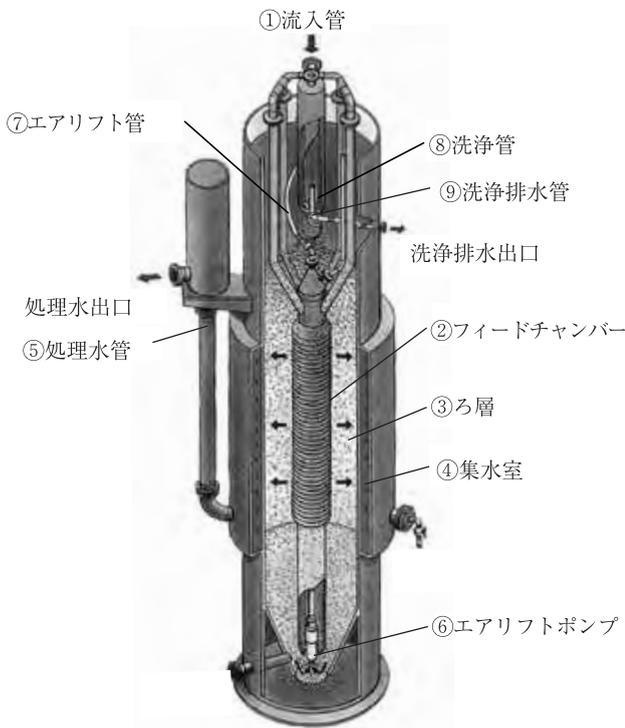


図 1 KONTIRAD構造

転中常時おこなわれ、ろ過砂は1日2回～4回程度循環洗浄される。洗浄管内にて分離された懸濁物は、洗浄排水に伴われ、洗浄排水管⑨より装置外へ排出される。洗浄排水の量は原水流入量の2～5%である。ろ層に懸濁物が抑留され、ろ層の損失水頭が増加した場合、処理水管⑤を調整しない場合には、ろ過槽内水位が上昇するため、洗浄配水管の飲み込み水位が増加し、洗浄排水量が増加する。洗浄排水量が大幅に増加した場合、洗浄管⑧にてろ過砂が沈降せず洗浄排水に伴われ装置外へ流出してしまう恐れがある。これを防ぐため、ろ過槽内水位を一定にするように処理水管⑤の高さを電動パワーシリンダにて自動的に上下させている。槽内の水位は、装置内に設置された投げ込み式水位計にて測定している。

またろ過砂は、運転中、順次装置内下方に向けて移動していくが、装置下部のコーン状部位でのろ過砂の架橋作用を防ぐため、循環ポンプにより処理水の一部を装置下部に噴出させている。このような機構により、ろ過と洗浄は同時に連続しておこなわれる。

1.2 特長

1) ろ過が水平流連続ろ過である。

このため処理水量が同等の条件であれば、平面積すなわちろ過装置の大きさは、他の方式の1/2～1/3である。また、ろ過と洗浄が同時に連続しておこなわれ、洗浄排水量も自動制御されているため、処理水量の変動がなく、洗浄のため休止する事もない。併せて洗浄排水量は原水量の2～5%と他の方式にくらべて少なく、回収率が高い。

2) 装置が簡単で設備費が安価。

逆洗のための自動弁や複雑な前面配管、逆洗ポンプ、空気洗浄ブロワ、洗浄水槽等が不要で、制御も簡単であるため、設備はコンパクトで安価である。既設の処理フローへの増設もおこないやすい。

3) 処理水質が安定している。

従来の移動床式上向流連続ろ過装置とくらべ、集水部がろ層の中にあるため処理水が流動状態の洗浄ろ材と接触することがない。このため安定した良質の処理水質がえられる。

4) 運転操作が簡単で維持管理が容易。

回転機器は、循環ポンプとコンプレッサだけであり、自動弁はない。管理が容易で運転費も少ない。定期的なろ過砂の交換は不要であり、洗浄排水へ流出したろ過砂量（連続運転にて年間に全体ろ過砂量の約5%）を補充するだけでよい。

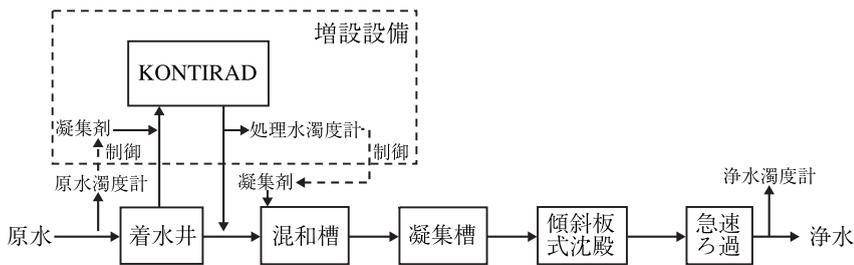


図2 原浄水場フロー図

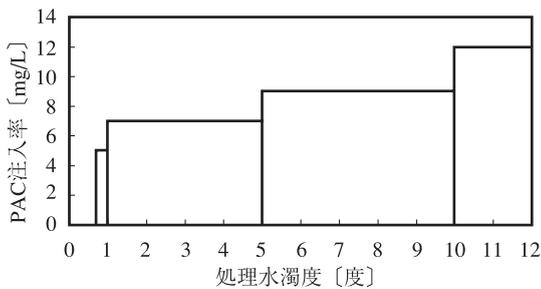


図3 KONTIRAD処理水凝集剤注入率



写真1 装置外観

表1 装置諸元

原水量	(m ³ /d)	2 000	
洗浄排水量	(m ³ /d)	60	
装置本体	全体高さ	(m)	8.3
	胴部直径	(m)	2.0
	ろ過砂部高さ	(m)	5.3
	ろ過砂部直径	(m)	1.6
	ろ過面積	(m ²)	10
ろ過砂	砂量	(m ³)	9.6
	有効径	(mm)	0.8
	均等係数	(-)	1.4未満

2. 納入実績

2.1 導入の経緯

図2に本装置を導入した兵庫県宍粟郡波賀町原浄水場の処理フローを示す。KONTIRAD導入前は、混和／凝集／傾斜板式沈殿／急速ろ過のフローにて日量2 000 m³処理していた。原水は揖保川上流の赤西川から取水した渓流水であり、普段の原水濁度は0.3～0.7度と非常に清澄である。しかし、降雨や雪解けにより約2～4時間程度の短時間、一時的に50度付近まで原水濁度が上昇する。KONTIRAD導入前は、原水濁度が約5度以上となった場合、浄水濁度は0.2度以上となり、目標水質の0.1度未満を満足できない状況にあった。このため、濁度上昇時のピークカットを目的として、混和／凝集の前にKONTIRADを増設した。写真1に装置の外観を示す。

2.2 装置諸元

表1に装置の諸元を示す。

ろ過面積は10 m²に対し、装置設置面積は3m×2.2m=6.6 m²と大変コンパクトな装置となっている。

洗浄排水量は浄水量を確保するため、60 m³/d（原水量の約3%）と少なく設定した。

2.3 運転方法

本浄水場では、原水濁度上昇時のピークカットが目的のため、KONTIRADは原水濁度5度以上の時のみ運転とし、5度未満の時は原水を通水せず待機とした。また、原水濁度10度以上となった場合、KONTIRADの懸濁物捕捉性能を向上させるため、

KONTIRAD流入水に5 mg/Lの凝集剤（PAC）を注入した。凝集剤は、原水流入管に直接ライン注入している。KONTIRADの処理水には、濁度計を設置し、既設の混和槽へ注入する凝集剤量を4段階で制御した。図3に処理水凝集剤注入率を示す。KONTIRAD原水、および処理水への凝集剤注入量の制御は、濁度による比例注入が望ましいが、既設の濁度計、薬注ポンプを流用したため段階的な制御を採用した。

原水濁度が5度未満の場合は、待機状態として原水を通水せず、KONTIRADを通さないフローにて処理している。待機状態では、装置下部のろ過砂の架橋を防ぐため循環ポンプは常時運転し、1日2時間、エアリフトによる砂の循環をおこなっている。

降雨等により原水濁度が5度以上となった場合、装置は約3分間の始動工程を経た後に処理を開始する。その後、原水濁度が5度未満となっても12時間は運転を継続する。これはろ層内に抑留された懸濁物を完全に排出してから装置を停止するためである。

KONTIRAD待機中は、原水濁度により、既設の混和槽への凝集剤注入を制御している。

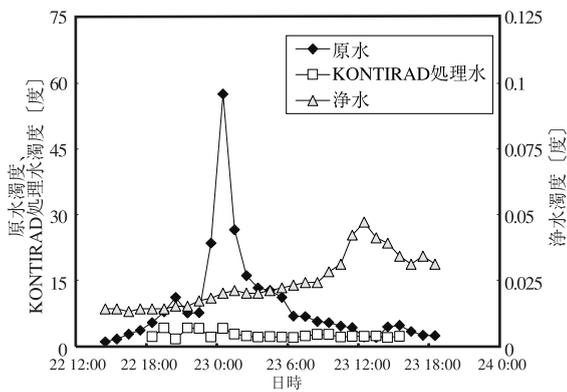


図4 濁度推移例

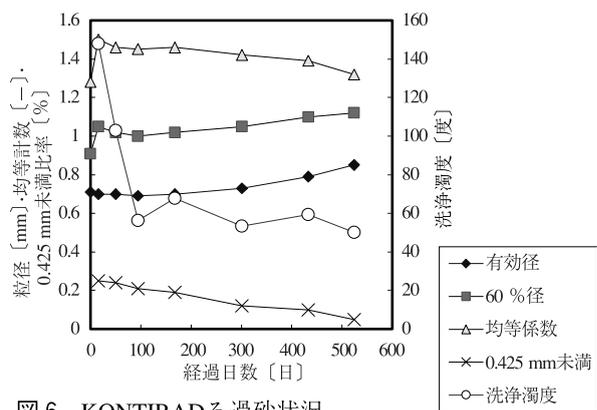


図6 KONTIRADろ過砂状況

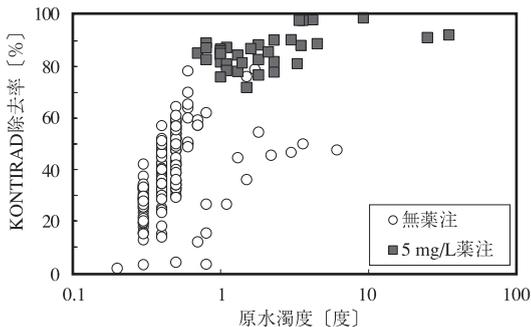


図5 KONTIRAD除去率

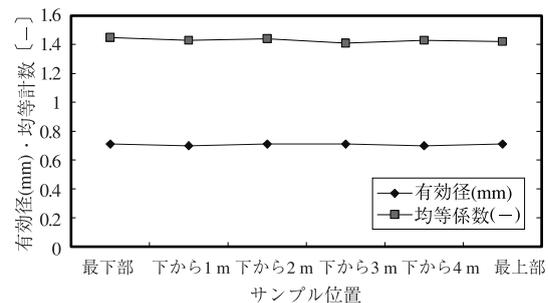


図7 装置内縦方向粒径分布

2. 4 運転結果

2. 4. 1 濁度処理状況

図4にKONTIRAD納入後の、処理状況の一例を示す。図は、降雨により原水取水部上流の積雪が解けたために、最大58度まで原水濁度が上昇した時を示す。図より、KONTIRADの効果により、原水濁度上昇時も最終浄水は0.1度未満に処理できることがわかった。原水濁度低下後も、装置内に抑留された濁質が完全に排出されるまで処理水濁度が低下しないため、一時的に原水濁度よりも処理水濁度が高くなる逆転現象がおきることもわかった。

図5に、KONTIRAD前後の濁度除去率を、原水濁度により整理したものを示す。図より、以下のことがわかった。

- ① 装置原水への凝集剤注入により、濁度除去率が向上する。無薬注時は除去率のばらつきが大きい。
- ② 原水濁度が低いほど、除去率は低下する。

2. 4. 2 ろ過砂の状況

図6にろ過砂の有効径、60%径、均等係数、洗浄濁度を示す。図より、ろ過砂の粒径は若干上昇傾向にあり、均等係数は減少していることがわかる。これは、粒径の細かなる過砂は、装置洗浄管の上向流に同拌され濁質とともに流出していくためと考えられる。

洗浄濁度の推移より、装置立ち上げ後100日程度までは洗浄濁度は低下し、その後は安定している。このことより、ろ過砂の洗浄は良好におこなわれており、濁質の蓄積は起きていないことがわかる。

図7に装置内ろ過砂の縦方向の有効径、均等係数の分布を示す。図より、装置内の縦方向にはろ過砂の粒径はほぼ均一であり、ろ過砂が全体にわたって流動していることがわかる。

むすび

本浄水場の原水は、通常時は濁度1度以下と非常に低く、降雨時には50度程度まで上昇し、短時間に低下するといった傾向があった。このような原水濁度に変化する原水に対しても、KONTIRADの運転条件を調整することで満足な処理ができることがわかった。ただし、原水の濁度変化に対し、処理水濁度の変化に遅れが生じるため、原水濁度の低下時に、原水濁度よりも処理水濁度が高くなることがあった。また、原水濁度が1度未満と低い場合には、濁度除去の効果が低いこともわかった。

今回の場合には、KONTIRAD後に凝集沈殿設備があり、処理水濁度変化の遅れや、低濁度時の除去率の低下に対して、浄水場全体として問題無く運転できたが、今後の納入にあたっては、このような点について浄水処理全体への影響を十分考慮する必要があると考えられる。

新型下部集水装置「A/W有孔ブロック」の 基本性能

Basic Performance of A/W Underdrain Blocks



技術本部水処理第一技術部技術室
棚橋 誠
Makoto Tanahashi
技術開発本部開発企画室
杭出 義也
Yoshiya Kuide

当社では、上水道をはじめ工業用水、下水3次処理等のろ過設備を広く納入してきた。そのろ過設備の要である下部集水装置は空気/水洗浄式有孔ブロックを採用し、ろ過、洗浄時の均等分配、損失水頭の低減、また材質の改善による容易な運搬/取扱いが可能となっている。改良型はメカニカルジョイントが可能な形状であるため、接合部からの水や空気のリークがない。また現場の据付作業は、ブロックを長手方向に長くしたことにより一池あたりの接合作業が少なくなり簡素化された。本報は、このA/W有孔ブロックの基本性能、設計基準、据え付け要領を報告する。

A/W underdrain blocks are applied to filtration systems for treatment of city water and industrial water, and tertiary treatment of sewage. The blocks, the key component to the filtration system, have such advantages as backwash with water and/or air, uniform flow distribution, reduced headloss, easy transportation and handling owing to light material. Improved A/W underdrain blocks have the configuration that enables mechanical joint, preventing air and water from leakage. Installation work at site is simplified since joint work per filter is reduced with longer laterals. This paper introduces their basic performance, design criteria and installation method.

Key Words :

下部集水装置	Underdrain system
ろ過池	Filter
メカニカルジョイント	Mechanical joint

まえがき

急速ろ過装置は上水道をはじめ工業用水道に広くもちいられてきたが、生活、農業用水の確保や水資源の有効利用、さらには公共水域の環境保全の面から、従来の分野のみならず、産業廃水さらには下水の三次処理用のろ過として急速ろ過装置の重要性は高いと言える。このような広い範囲の用途に適合させるためには急速ろ過装置の各部分の機能も改善向上させる必要がある。とくに下部集水装置はろ過

・洗浄の効果に大きく影響する大切な役割を果たすものである。

A/W有孔ブロックは、これまで当社でろ過設備の下部集水装置として納入してきた既存の集水装置の特長である、ろ過工程における均等な集配水性、水、空気による逆流洗浄時の均等な分配性ならびにろ過・洗浄での低い損失水頭等を継承するとともに、現地施工の簡素化を目的とした、本体形状の変更、専用接続工具によるメカニカルジョイントへの変更と

いった点で改良を実現した。

A/W有孔ブロック名称の「A」は「Air」の略称、「W」は「Water」の略称であり、空気、水それぞれ単独の洗浄への適用はさることながら、空気、水同時洗浄に対しても適用ができることを意味する。本報では、このA/W有孔ブロックの紹介、各種試験結果を報告するとともに、設計基準、据付要領をまとめる。

1. A/W有孔ブロックの概要

1.1 構造

A/W有孔ブロックの装置外観を写真1に示す。

A/W有孔ブロックは送水室と分散室に区別された二段構造になっており、その均圧効果によりろ過室前面にわたって逆洗時の噴出流量の均等性を大きく向上させている。ブロックは逆洗ポンプをもちいずに装置内部の洗浄用水で逆洗する自動ろ過装置に適用させるため、損失水頭をきわめて小さくさせている。

1ブロックの本体寸法は270 mm^W×382 mm^H×1248 mm^Lである。送水室の断面は逆洗時の水や空気の流速を低くおさえるため、十分な大きさになっている。送水室と分散室の間には傾斜した仕切壁があり、水オリフィスと2段の空気オリフィスによって連通しており、さらにブロックの上部表面には小さい間隔であけられた多数の噴出オリフィスがあり、空気、水が全面から均等に噴出する。とくに空気は送水室の上部の形状が三角形状になっており、ここに空気層が形成されて空気洗浄時の均等分配が可能となる。

A/W有孔ブロックは耐水性に優れ、十分な耐摩耗性を持つ発泡成形ポリエチレン製であり、平滑な表



写真1 A/W有孔ブロック

面と精密なオリフィス孔を有している。各ブロックはろ過装置の長さに応じて必要数が接合される。接合は作業の容易なメカニカルジョイントでおこない、空気や水の洩れは完全に防止される。

1.2 材質

ブロック	高密度ポリエチレン
モルタル	普通ポルトランドセメント： 砂＝1：2（重量比）
エンドキャップ	高密度ポリエチレン
エンドプレート	ポリエチレン
Oーリング	EPT
ブリッジング	ポリスチレン、PVC
アンカーロッド	鋼材

1.3 設計強度

A/W有孔ブロックの取り付け時強度は、最大逆洗流速の圧力の2倍以上の内部圧に基づいて設計してある。また、空気洗浄の初期および終期に起る動圧力に対しても十分な安全係数を加味している。また船積み、運搬、据え付け時に対する強度は十分見込んである。

A/W有孔ブロックの製品特性は次のとおりである。

- 1) ブロック上面での耐圧力 0.18～0.3 MPa
- 2) 吸水性 0.01 %以下
- 3) 曲げ強さ 617～764 MPa
- 4) 資機材等の材質に関する試験

（厚生労働省告示第45号）

濁度	0.1度以下
色度	0.5度以下
有機物等（過マンガン酸カリウム消費量）	1.1 mg/L
残留塩素の減量	0.6 mg/L
臭いおよび味	異常なし
その他物質	全て基準値以下

1.4 形状および寸法

A/W有孔ブロック本体の形状と寸法を図1に示す。従来品より全長で約0.3 m延長したこと、両端の接続部を改良したこと、上面のリブを増やしたことなどにより、実用強度が増している。

2. A/W有孔ブロックの特長

2.1 流速の均等性がよい

一般に流速の均等性はろ過・洗浄にきわめて重要であり、局所的な過剰流速はろ層や支持床を乱したり不陸を起す。とくに低流速の箇所は洗浄不良となるおそれがある。

A/W有孔ブロックは二段構造による均圧効果により、あらゆる流速において逆洗中の不均等性はおさ

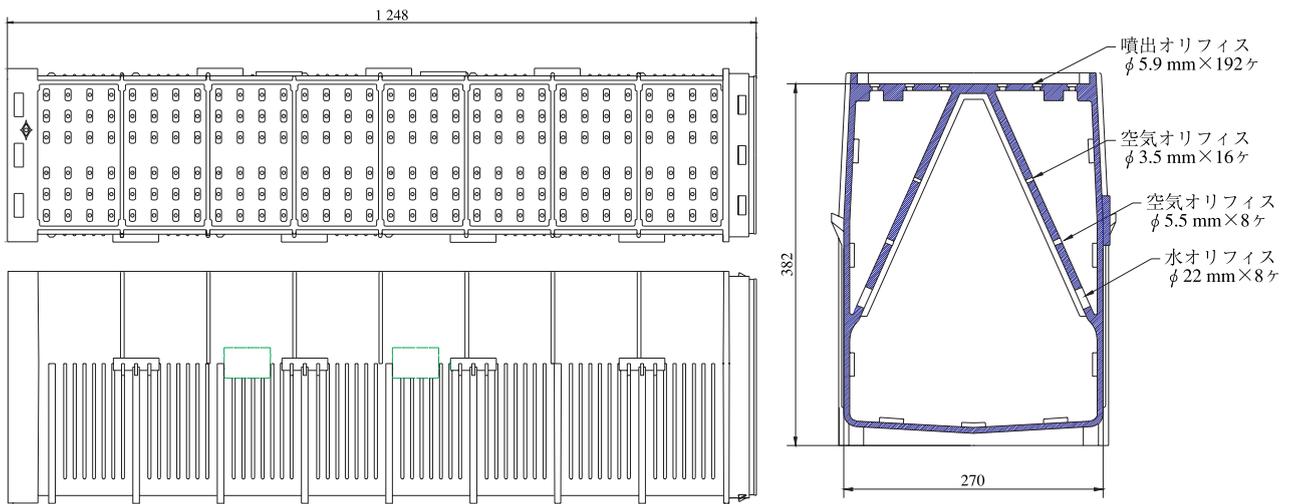


図1 A/W有孔ブロックの形状



写真2 逆洗時の均等性

えられる。写真2に逆洗時の均等性を示す。

2.2 損失水頭が小さい

均等性を保持しながらも、ろ過面積に対する噴出孔全面積の開口比が大きいため、逆洗時の損失水頭は小さくすることができる。他のストレーナ型や有孔管型などの集水装置では逆洗流速が0.6~0.7 m/minにおいて500~1500 mmAqに対し、A/W有孔ブロックは150~210 mmAqである。

2.3 施工性がすぐれている

発泡成形ポリエチレン製で軽く、1ブロック当たり13kg程度であり、運搬が容易である。ブロック間の接合は特殊設計された工具を用いた簡単な取り付け作業で完全に漏水を防ぐことができる。

2.4 耐食性、耐圧性がよい

質的安定性があり、耐食性、耐摩耗性に優れる。強度も十分あり、下向きの荷重に対しては0.18 MPa以上の耐圧がある。

2.5 空気・水洗浄ができる

A/W有孔ブロックは特殊断面構造により送水室の上部に空気層が構成され、均等な空気洗浄あるいは空気・水の同時洗浄がおこなえる。

2.6 ろ層内の雰囲気改善する

三次処理用ろ過装置や深層の活性炭ろ過装置ではろ層内部が腐敗や嫌気状態になりやすく、ろ材が膠泥化したり、金属の溶出が起きる。

空気洗浄により酸素を導入することによってろ層内の雰囲気が改善される。

2.7 安定した空気洗浄

一般の空気洗浄としてストレーナや多孔管方式などでは噴出口の間隔が大きく「デッドスペース」が生じ、ろ材の汚染が進行したり、噴出時の圧力変化によりエア・バインディングが起り、支持床を乱したりする。

A/W有孔ブロックは送水室から分散室へは空気調節オリフィスで空気量と圧力を調整した上、ブロック上部の全面に設けられた多数の噴出オリフィスから空気を均等に噴出させるので「デッドスペース」や「エア・バインディング」は起らず、安定した空気洗浄ができる。また上面の噴出オリフィスは二重形状をしており、たとえ噴出オリフィスの真上に砂利がのっても閉塞されることはなく、両サイドより水、空気が噴出する。

3. 各種集水装置の比較

他の集水装置やA/W有孔ブロックの比較を表1、2に示す。

4. 設計基準

4.1 逆流洗浄速度

0.4~1.2 m/min (使用するろ材や水温により決める)
一般には0.6~0.8 m/minである。

4.2 空気洗浄速度

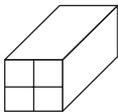
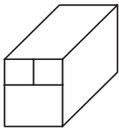
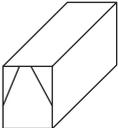
0.3~1.4 m_s/min
一般には0.8~1.2 m_s/minである。

表1 集水装置の比較

項目	A/W 有孔ブロック	ボイラー型	ストレナー型	有孔管型	多孔板型
構造	角型二段構造	倒角錐型	ディスク型 スリット型	有孔枝管	多孔平板
材質	高密度 ポリエチレン	本体：コンクリート成型 球：磁製	合成樹脂	鋼管 PVC管	アルミナ焼結 ポーラスコンクリート
噴出孔径 (mm)	5.9	12-16	(間隙) 0.2-3	6-12	—
開孔比 (%)	1.45	0.25-0.4	(取り付け短管) 0.25-0.4	0.2	—
逆洗流量均等性 (±%)	3以下	3以下	2-5	3-5	3以下
逆洗時損失水頭 (mmAq)	150	700-900	500-1000	700-1500	200-500
底盤よりの高さ (mm)	400	800-1200	300-700	200-500	300-800
評価	均等性良好 損失水頭が特に小さい 施工容易 噴出間隔が小さい 空洗併用可能	耐久性良好 均等性良好 施工困難 池深が大となる 噴出間隔が大きい	施工容易 閉塞し易い 噴出間隔が大きい 損失水頭大	施工容易 腐食・磨耗あり 均等性悪し 損失水頭大	全面噴出 空洗併用可能 閉塞し易い

〔注記〕 逆流洗浄時損失水頭は逆流洗浄速度0.6 m/min時の値を示す。

表2 各種有孔ブロックの比較

項目	陶磁器製有孔ブロック		A/W 有孔ブロック
	標準型	自動逆洗型	
断面形状			
材質	陶磁器製	同 左	高密度ポリエチレン
重量 (kg/個)	43	41	13
ろ層 (mm)	600以上	600以上	600以上
砂利層 (mm)	200以上	200以上	200以上
池底より砂層上面までの高さ (mm)	1075以上	1250以上	1190以上
流路方向でのブロックの接合方法	単に突合せて設置したのち下部に均しモルタルと上面V溝部にモルタル充填	同 上	メカニカルジョイントで嵌合させ、側部下部にモルタルを敷く。
噴出孔	孔径 (mm)	4	5.9
	孔数 (個数/m ²)	510	531
開孔比 (%) 〔ろ過面積に対する噴出孔全面積〕	0.64	1.46	1.45
逆洗時 損失水頭 (mmAq)	逆洗速度 0.6 m/min 時	750	150
	逆洗速度 0.7 m/min 時	1000	210
逆洗時の流量均等性 (±%) (流路長さ 9m において)	2以下	3以下	3以下
価格 (据え付け費含む)	標準価格	材料費が割高になる	据え付け費が安い
耐久性	最も大	同 左	大
耐衝撃性	少々劣る	同 左	最も大
据え付け作業	複雑 (重機類必要)	同 左	きわめて容易
評価	損失水頭小さく、均等性良好。 耐久性に優れている。 現地作業が複雑である。 ブロックの接合に難点がある。	損失水頭小さく、均等性良好。 現地作業が容易で、割安になる。 ブロックの接合は確実である。 必要に応じて空洗併用可能。	損失水頭小さく、均等性良好。 現地作業が容易で、割安になる。 ブロックの接合は確実である。 必要に応じて空洗併用可能。

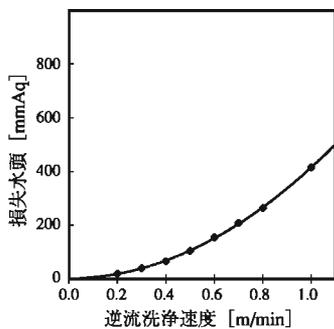


図2 水洗浄時の損失水頭

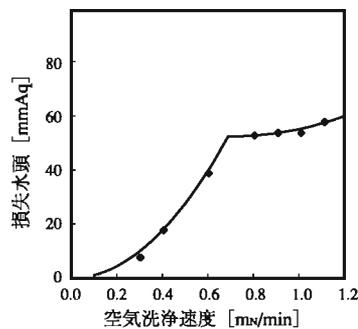


図3 空気洗浄時の損失水頭

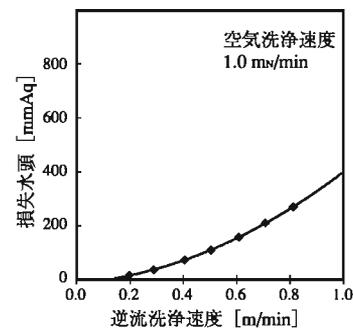


図4 水、空気同時洗浄時の損失水頭

4.3 トラフの配置

越流する縁の間隔は1.5 m以下とする。

4.4 A/W有孔ブロックの設置寸法

A/W有孔ブロックの外型寸法は $270\text{ mm}^w \times 382\text{ mm}^h \times 1\,248\text{ mm}^l$ であり、ろ過装置に設置する基準を次に示す。

4.4.1 ウォールスリット型

幅方向設置寸法：300～320 mm

長手方向設置寸法：

フリユームブロック（1個）

$1\,248\text{ mm} + 6\text{ mm}$ （エンドキャップ増加分）
= $1\,254\text{ mm}$

フィルタブロック（n個）

$1\,248\text{ mm} - 40\text{ mm}$ （嵌合分）= $1\,208\text{ mm}$

メーキャップブロック（1個）

長手方向末端部寸法に応じて調節する。

4.4.2 フロントフリユーム型

幅方向設置寸法：300～340 mm

長手方向設置寸法：

フリユームブロック（1個） $1\,248\text{ mm}$

フィルタブロック（n個）

$1\,248\text{ mm} - 40\text{ mm}$ （嵌合分）= $1\,208\text{ mm}$

メーキャップブロック（1個）

長手方向末端部寸法に応じて調節する。

4.4.3 センターフリユーム型

幅方向設置寸法：300～340 mm

長手方向設置寸法：

フリユームブロック（1個） $1\,248\text{ mm}$

フィルタブロック（n個）

$1\,248\text{ mm} - 40\text{ mm}$ （嵌合分）= $1\,208\text{ mm}$

メーキャップブロック（2個）

長手方向末端部寸法に応じて調節する。

〔付記〕4.4.2, 4.4.3での長手方向の両端部はエンドプレート取付け後、壁面との間隙に50～100 mmのモルタルを充填する。

4.5 フリユーム寸法

フリユーム必要断面積（最小値）：

$$A = 0.137 W \quad [\text{m}^2]$$

$$W: \text{洗過室の幅} \quad [\text{m}]$$

フリユーム幅：0.6 m

フリユーム深さ： $A/0.6 = 0.228 W$ （最小値）[m]

4.6 空気洗浄管

ろ過池の洗浄はろ過効果に大きく影響をおよぼすため、ろ層全体が均等に洗浄できる方式とする必要がある。そこで当社ではA/W有孔ブロック内に必要空気量を確実に送り込むために、Iチューブ式空気洗浄管の設置を標準とする。とくに空気、水の同時洗浄をおこなう場合は、従来の空気洗浄管では管から噴出した空気は逆流洗浄流により横流れし、所定の集水装置に入らない可能性が考えられるため、直接に空気を下部集水装置に送るIチューブ方式が必要とされる。

空気管内流速を最大15 m/sとすると

空気主配管必要断面積（最小値）：

$$A = RLW/900$$

$$R: \text{空気洗浄流速} \quad [\text{m/min}]$$

$$L: \text{ろ過室の長さ} \quad [\text{m}]$$

空気分配管必要断面積（最小値）：

$$A = RLW/1\,800$$

オリフィス個数：各ラテラルごとに1個とする。全オリフィス穴からの空気量を均等とするために、オリフィス穴は所定の損失抵抗を有する径とする。〔付記〕配管材質はPVC, SUSのいずれかを使用する。

5. 損失水頭

1) 逆流洗浄速度と損失水頭

（水洗浄のみの場合）（図2）

2) 空気洗浄速度と内部空気オリフィスの損失水頭

（空気洗浄のみの場合）（図3）

3) 逆流洗浄速度と損失水頭

（空気と水の同時洗浄の場合）（図4）

空気洗浄速度は1.0 m³/minで一定とした。

6. 据 付

6.1 事前確認

最初にろ過装置本体内部の寸法と底盤の水平度を調べる。次いでウォールスリット型では開口部の高さ、フリューム型ではフリュームの位置寸法を確認する。

6.2 A/W有孔ブロックの据付

A/W有孔ブロックはろ過装置の長さに合わせて、ラテラル1組ごとにあらかじめ組み立て、水平基準モルタルの上に設置する。この場合、断面内部の空気オリフィスが±6 mm以内となるように水平を確保する。

ろ過室全面に設置した後に、ラテラル相互の間隙へモルタルをブロック上端より10 mm程度下げた位置まで充填し、水平にならす。

A/W有孔ブロックの取付け作業を写真3～5に示す。

6.3 最終検査

各ブロック上端の高さが±6 mmの範囲内であることを確認する。

A/W有孔ブロック上面の噴出孔が塞がったり汚れていないかを入念に調べる。3日以上放置したのち徐々に通水する。

支持床やろ材がすぐ充填されない場合はシートなどで全面を覆い、ブロックの破損や汚れ、特に噴出孔が閉塞されるのを防ぐ。

む す び

A/W有孔ブロックは、これまで当社で20年以上の実績のある下部集水装置の特長を継承し、さらにメカニカルジョイントが可能であり、簡素な据付作業を実現化する製品として開発することができた。

今後、このA/W有孔ブロックの優位性を活かし、上水道、工業用水および下水の三次処理等のろ過設備へ幅広く提供していく所存である。



写真3 A/W有孔ブロックの接続



写真4 A/W有孔ブロックの据付



写真5 モルタル充填

汚泥減量化技術を組込んだ 食品廃棄物処理システム「PAMEDIS」

Food Waste Treatment System "PAMEDIS",
Combined with Sludge Reducing Technology



技術本部水処理第三技術部技術室
宮 本 武
Takeshi Miyamoto
隅 晃 彦
Akihiko Sumi
(技術士)

有機廃棄物のメタン発酵技術の普及が進まない原因の一つに、残渣の処分という問題がある。当社はこの問題を解決するため、好熱性細菌による汚泥可溶化工程をメタン発酵に組み合わせ、残渣を大幅に減量する技術を実用化した。

2003年11月より、5 t/dの生ごみと1 t/dの汚泥から890 m³_N/dのメタンを回収する食品廃棄物処理プラントが稼働している。残渣を含んだ消化液は既設工場排水処理設備で処理される。ここで発生する汚泥を可溶化処理して再度排水処理設備にて分解することにより、事実上余剰汚泥の処分を不要とすることに成功した。

Methane fermentation for organic waste treatment is not popularized owing to difficulties in disposal of large amount of solid residue. As a solution, the waste treatment system PAMEDIS was developed by combining methane fermentation process with sludge solubilization process that utilizes thermophilic bacteria. A food waste treatment plant incorporated with the system has been operating since November 2003, producing 890 m³_N/d of methane gas from 5 t/d of food waste and 1t/d of sludge. The digested liquid containing solid residue from fermentation process is treated at the existing wastewater treatment system. The sludge generated from this process is solubilized and returned to the wastewater treatment system, getting rid of disposal of excess sludge.

Key Words :

食 品 廃 棄 物	Food waste
メ タ ン 発 酵	Methane fermentation
固 形 残 渣	Solid residue
汚 泥 可 溶 化	Sludge solubilization
好 熱 性 細 菌	Thermophilic bacteria

まえがき

1990年代より、我が国では「循環型社会」をキーワードとして廃棄物処理関連の法整備が進められている。有機廃棄物処理分野においても、「バイオマス・ニッポン総合戦略」の策定、「食品リサイクル法」や農業分野の環境関連法規の施行など、循環

型社会の実現に向け積極的な施策がとられている。重要課題の一つである食品廃棄物処理分野においては「食品リサイクル法」が2001年に施行され、リサイクル率の向上が義務付けられた。同法の猶予期間終了が2006年に迫っており、食品廃棄物の処理は一つの節目を迎えることとなる。

各種処理技術のなかで、有機物からエネルギーを回収するメタン発酵技術が注目されている。しかしメタン発酵設備の設置に当っては、残渣の処分または利用先の確保が不可欠であり、このことが普及を妨げる一因となっていた。

当社は、好熱性細菌を利用した独自の汚泥減量化技術をメタン発酵に組み合わせることによりこの問題を解決し、食品工場にて実プラント1号機を稼働させることに成功した。本報ではこの技術について解説するとともに、実プラントの運転実績を紹介する。

1. 食品廃棄物のリサイクル

1.1 食品リサイクル法とリサイクル技術

有機廃棄物には、食品系・畜産系・木質系等様々なものがあり、その性状もスラリ状から固形のものまで幅が広い。

これらのうち、特に事業系食品廃棄物については、食品リサイクル法によりリサイクル率の20%向上が求められている。同法は一定規模以上の事業者には適用され、該当事業者は何かの方法でリサイクルをおこなう必要がある。表1に、代表的なリサイクル技術を挙げる。

1.2 メタン発酵の現状と課題

メタン発酵は、表1に挙げた各種の方法のなかで、

唯一エネルギー回収がおこなえる技術である。化石燃料の消費は大気中の二酸化炭素濃度を上昇させ、地球温暖化の原因になるといわれている。一方メタン発酵では、もともと地上にある有機物からメタンを取出しているため、化石燃料の消費を削減することができる。エネルギー源として使える物質のうち、木質系バイオマスなど、地上で循環利用できる化石燃料を使わずにすむものは「カーボンニュートラル」な資源と呼ばれているが、回収メタンもその一つである。

メタン発酵はエネルギー面での利点から注目されており、国内でもすでにいくつかのメタン発酵プラントが稼働中である。しかし、発酵後の処理液中には、TS(全蒸発残留物)として30~50%程度の固形分や溶解成分が残っており、これらの有効利用や処理が課題となっている。直接液肥として消化液を利用できるケースを別にすれば、何らかの処理が必要であり、このことが普及を拡大を妨げる一因となっている。

この課題を解決するため、当社は、水処理の分野で実績のある独自の汚泥減量化技術「エステップロセス」をメタン発酵に組み合わせることにより、残渣を大幅に減量できるシステム「PAMEDIS」を開発した。

表1 食品リサイクルの技術

	処理後の形態	所要設備	利 点	欠 点
リサイクル技術				
直接再利用	飼 料	—	処理経費やエネルギーが最小	腐敗・変質成分により利用先に制約
乾燥飼料化	乾燥飼料	乾燥設備	高付加価値(保存性良)減量・安定化	ランニングコストが大きい成分により利用先に制約
発酵・堆肥化(1)	堆 肥	発酵設備 熟成スペース	化学肥料の低減 土壌改良効果	利用先確保が困難 塩分過剰のことが多い (1)処理時間と広大なスペース (2)熟成不十分
発酵・堆肥化(2) 一次発酵までのもの		発酵設備(単体機器)		
メタン発酵	エネルギー(熱、電気)	メタン発酵設備 エネルギー利用設備 (ボイラ・発電機等)	エネルギー回収 減量・安定化	残渣処理が高コスト 設備が比較的複雑
その他の処理方法				
炭 化	炭化物	脱水・乾燥設備 炭化設備	有機物回収 減量・安定化	ランニングコストが大きい 利用先の開拓が必要
脱水・焼却	灰	脱水・焼却設備	減量・安定化	リサイクルしたことにならない ランニングコストが大きい 処分先逼迫

2. PAMEDISの概要

2.1 概要

本技術は、図1に示す各プロセスから構成される。

①前処理工程

食品廃棄物を受入れ、発酵不適物を取除いてスラリ化する。

②メタン発酵・エネルギー回収工程

メタン発酵と発電設備により、食品廃棄物を分解し電力・熱エネルギーを回収する。

③排水処理工程

メタン発酵処理液（消化液）をさらに処理する。ここで汚泥が発生する。

④汚泥可溶化工程

発生した汚泥を可溶化し、分解しやすい状態にして処理工程に戻す。

詳細のフローについては、3章の実施例にて説明する。なお、この組合せプロセスについては、NEDO（(財)新エネルギー・産業技術総合開発機構）の2002年度地球環境保全技術開発事業として、パイロットスケールの実証試験を実施済みである。

2.2 構成技術の特長

本技術は、メタン発酵・エネルギー回収技術と汚泥減量化技術を組合わせたことを最大の特色としてい

る。以下に各技術の特長を示す。

2.1.1 メタン発酵・エネルギー回収技術

廃棄物の性状に応じた多彩な前処理技術と、シンプルな消化槽、ガス発電技術からなる。

2.1.2 汚泥減量化技術

当社が独自に開発した、微生物を利用した減量化技術である。好熱性細菌の一種である、*Bacillus stearothersophilus* の出す酵素をもちいて汚泥を可溶化し、分解しやすい状態にして水処理系へ戻すことにより、汚泥を二酸化炭素と水に分解する。

図2に、汚泥可溶化の概念図を示す。汚泥は、排水の生物処理において有機物を食べて増殖した微生物であり、分解しにくい細胞壁に取囲まれているため、通常の処理で分解・減量することは難しい。

ここで、汚泥を65℃前後の高温好気条件に保ち、好熱性細菌を共存させると、菌の出す可溶性酵素の働きで細胞壁が溶かされ、内部にあった易分解物質は細胞外へ出てくる。汚泥を可溶化設備と水処理系との間で循環させ、汚泥発生量と分解量とがバランスすると、有機物のほとんどは二酸化炭素と水に分解され、残渣の発生を極小化することができる。

なお、汚泥中の無機物と一部の難分解性有機物はガス化できないため、処理水中に無機塩、SS、

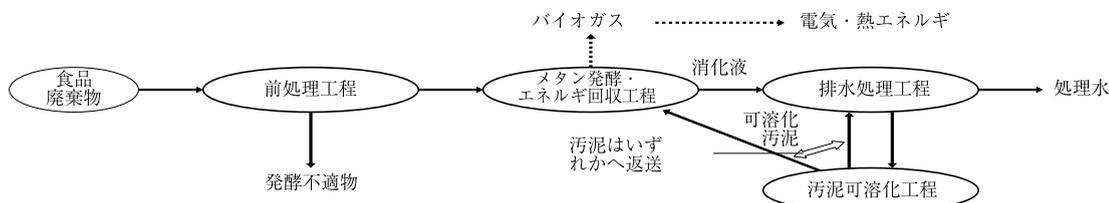


図1 PAMEDISの構成プロセス

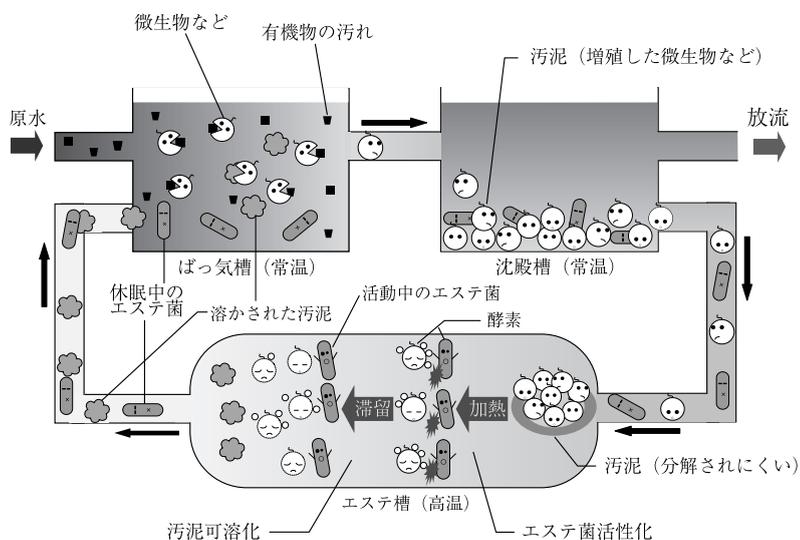


図2 汚泥可溶化の概念図

ここで発酵に適さない包材を分離する。生ごみは破碎され、調整槽に貯留される。破碎の過程で希釈水が投入され、ごみはメタン発酵に適した濃度に調整される。ここで、分離された包材は隣接の圧縮減容化設備へ空気搬送される。

- ② 調整槽が一定レベルに達すると、後段の破碎機およびポンプが起動し、生ごみスラリをさらに粉碎しながら原料槽に送る。
- ③ 原料槽からメタン発酵槽へ生ごみスラリを連続で供給し、メタンを含んだバイオガスを発生させる。発酵は55℃の高温発酵とし、反応速度を高めて発酵槽を小型化している。
- ④ メタン発酵処理液（消化液）は、工場排水処理設備（下側の枠）に送られる。ここで嫌気性処理、好気性処理により浄化され、発生した汚泥は加圧浮上設備にて回収される。
- ⑤ 回収された汚泥は、可溶化槽に送られる。ここで汚泥は65℃に加温され、槽内で活発に活動する好熱性細菌の出す酵素により可溶化され、分解しやすい形となる。
- ⑥ 可溶化された汚泥は再度工場排水処理設備に戻され、分解される。浮上分離で回収された汚泥は全量可溶化槽に送っており、一定のところで発生量と分解量がバランスする。
- ⑦ 発生したバイオガスは脱硫後、排水処理設備から発生するガスとともにガスホルダにいったん貯留される。
- ⑧ ガスはガス発電設備に導かれ、ガスエンジンにて60 kWの電力に変換される。この時発生す

る廃熱は温水として回収し、メタン発酵および汚泥可溶化の熱源として使用する。

- ⑨ 余剰のバイオガスは、工場側のボイラにて、蒸気製造の燃料として使用される。

3.2.2 おから乾燥

図3のフローの、食品廃棄物処理設備の枠内上段に、おから乾燥設備のフローを示す。この設備では、工場から出る廃油を主燃料として熱風を発生させ、乾燥おからを製造している。乾燥することにより保存性が大きく向上し、付加価値の高い製品となっている。

3.3 運転実績

設備は2003年11月より試運転を開始、同年12月より全量の食品廃棄物での運転を続けている。図4に、運転実績に基づくマテリアル・エネルギーバランスを示す。

3.3.1 ガス発生

メタンガスは、メタン発酵設備から820 m³/d、工場排水処理設備から330 m³/d発生している。排水処理で発生するメタンのうち、メタン発酵の消化液と可溶化汚泥の流入による増加分は70 m³/dである。したがって、生ごみと汚泥に由来するメタンの合計は890 m³/dとなる。

3.3.2 メタン発酵前後のスラリ性状の変化

表2に、メタン発酵前後の原料・消化液の性状の変化を示す。メタン発酵槽入口、すなわち希釈後の原料濃度は、水分で平均88.8%、TSとして11.2%であった。これに対し消化液のTS濃度は2.62%であり、76.6%の分解率となった。同様に、有機物

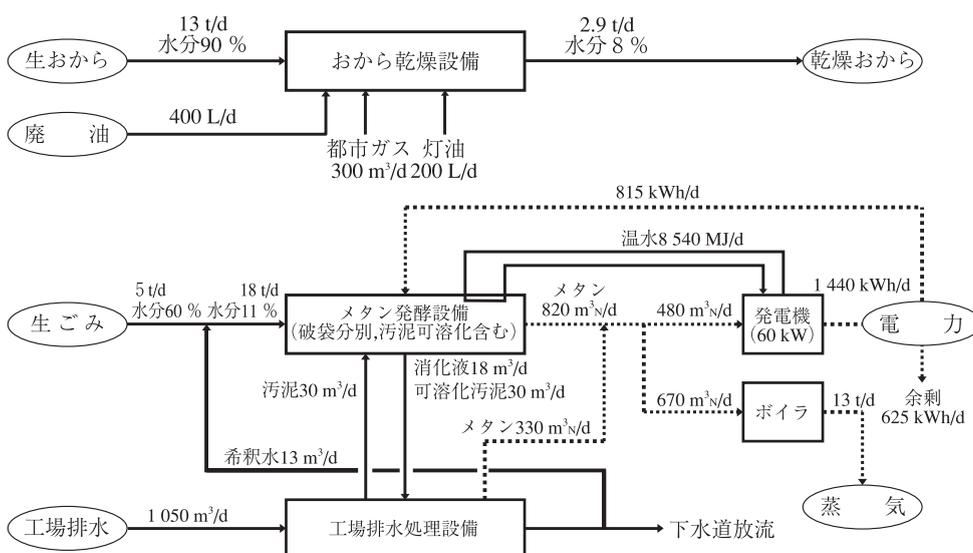


図4 マテリアル・エネルギーバランス

表2 原料および消化液の性状と分解率

		原 料		消化液	分解率
		希釈前計算値	メタン発酵槽入口	メタン発酵槽出口	
水分	%	59.7	88.8	97.4	—
TS (全蒸発残留物)	%	40.3	11.2	2.62	76.6
VTS (揮発性)	%	39.2	10.9	2.32	78.7
CODcr	mg/L	525 600	146 000	39 100	73.2

の指標となるVTS (揮発性蒸発残留物), CODcr (化学的酸素要求量)の分解率は,それぞれ78.7%, 73.7%であった。

3.3.3 汚泥の減量

排水処理でもともと発生していた汚泥, 消化液と可溶化汚泥の投入により増加した汚泥の合計が, 加圧浮上設備で回収されて可溶化槽へ送られる。平衡に達した後の回収量は30 m³/dであり, これが可溶化して再び排水処理設備へ返送される。分解量と発生量はバランスしており, 設備の運転開始以来, 脱水機の運転は必要とされていない。

3.3.4 エネルギーバランス

メタンは, 発電機および蒸気ボイラの運転にもちいられている。

発電機ではメタンを480 m³/d消費し, 出力60 kW, 1 440 kWh/dの電気を生み出している。おから乾燥を除いたメタン発酵設備全体 (生ごみ破袋分別設備, 圧縮減容化設備, 可溶化設備を含む)の消費電力量は815 kWh/dであり, 発生電力の57%で運転が可能である。余剰電力625 kWh/dは工場内で有効利用され, 省エネルギーに貢献している。

なお, メタン発酵と直接関係しないおから乾燥設備までを含めても, 新設分の消費電力の総量は1 620 kWh/dである。メタン発酵での発生電力1 440 kWh/dにて, おから乾燥を含めた電力のほぼ90%に相当する量をまかなっている。

発電により発生する余剰熱は, 温水としてメタン発酵槽と可溶化槽に供給し, 発酵温度・反応温度維持にもちいている。

また, 余剰ガス850 m³/dは, 蒸気ボイラの燃料として有効利用している。

3.3.5 おから乾燥

400 L/dの廃油を主燃料とし, 不足分を都市ガスと灯油で補いながら, 13 t/dの生おからより2.9 t/dの乾燥おからを製造している。

3.4 効 果

おから乾燥を含む食品廃棄物処理設備の導入効果により, 工場全体でのリサイクル率は, 62%から96%とより高い水準に到達した。

さらに費用面でも大きな効果をもたらし, 生ごみおよび汚泥処分費の削減, エネルギー収支の改善, 乾燥おからの売却益等により, 導入前にくらべて年間9 000万円もの収支改善効果が出るに至った。

3.5 ま と め

- 1) 食品工場を対象に, メタン発酵と汚泥可溶化技術を組合わせた廃棄物処理設備を導入し, 残渣の処分を不要とすることに成功した。
- 2) 前処理とメタン発酵, 可溶化の動力および熱源は, 全て生ごみから取出したエネルギーでまかなうことができた。
- 3) 併設のおから乾燥設備と合わせ, 工場全体のごみリサイクル率を96%まで向上させるとともに, ごみ処理にかかる経費を削減し, 年間9 000万円の収支改善効果を生むことができた。

5. 今後の課題

- 1) 異なる種類の食品廃棄物への対応
今回の事例は比較的分解しやすいものが多く, 投入形態も安定していた。今後は異なる成分, 異なる搬入形態の食品廃棄物処理など, 複雑なケースにも対応できるよう, 知見を蓄積する。
- 2) コストダウン
投資効果の大小にかかわらず, いかなるケースにおいても初期投資は少ないことが望ましい。普及促進に向け, 更なるプラント建設コストの低減をおこなう。
- 3) 発電方式の技術革新への対応
今回はコストと実績から現時点でもっとも現実的であったガスエンジンを採用したが, マイクロガスタービンや燃料電池の採用も検討し, よりメリットの大きいものを使用する。

む す び

メタン発酵技術には大きなメリットがあり, 循環型社会の確立に向けて今後の普及拡大が期待される。そのなかにあって, 今回報告した技術は, 残渣の処理という従来型のメタン発酵技術の弱点を克服し国内事情にマッチした有望な技術であると確信する。今後さらに技術改良とコストダウンに努め, より導入しやすい設備に仕上げていく。

ストーカ式焼却炉とプラズマ式溶融炉の 実用運転結果（下関市環境部奥山工場）

Actual Operation Data of Shimonoseki MSW Incineration Plant with Plasma Ash Melting Sytem



技術本部
環境プラント技術部技術室
島倉久範
Hisanori Shimakura
(技術士)

近年、循環型社会の形成に向けた様々な取組みがなされている中、都市ごみの焼却においては、ダイオキシン類をはじめとする有害物質のより一層の排出抑制とともにエネルギー回収・残さの資源化等リサイクル技術の適用が推進されている。当社は、2000年下関市より都市ごみ焼却施設を受注し、2002年11月の竣工以来、実用運転を継続している。本施設は高温燃焼・高度排ガス処理・高温高圧ボイラと残さの溶融処理による総合的な環境対策技術を適用したものである。この結果、ごみ1tあたりのダイオキシン類総排出量は国のガイドラインでうたわれている $5\mu\text{g-TEQ}$ を大きく下回る $0.4\mu\text{g-TEQ}$ を達成した。

A municipal solid waste incinerator with ash melting furnace was delivered to Shimonoseki City. The plant is composed of a grate incinerator featuring high-temperature incineration with low air ratio for reduction of dioxins emission, a high-pressure boiler for high-efficiency heat recovery, etc. Bottom ash and fly ash derived from the incineration system are vitrified in the plasma melting furnace to make slag recyclable as cement aggregate. The practical operation started in November 2002 has been successful in achieving total dioxins emission of $0.4\mu\text{g-TEQ/waste ton}$ against the national guideline of $5\mu\text{g-TEQ}$, which was achieved with combined technologies as a total process.

Key Words :

都市ごみ	Municipal solid waste (MSW)
ストーカ式焼却炉	Grate incinerator
プラズマ式溶融炉	Plasma melting furnace
低空気比	Low air ratio
ダイオキシン類総排出量	Total dioxins emission

まえがき

都市ごみ焼却施設から排出されるダイオキシン類については、排ガスとともに残さからの排出を抑制し、総排出量を低減することが求められている。排ガス中のダイオキシン類抑制のためには、低空気比により燃焼温度を安定的に高温化し、炉内での分解を促進するとともに、ボイラ内での再合成を抑制す

ることが重要である。また、焼却残さに含まれ排出されるものについては、溶融処理により高温分解することが最も有効である。残さの溶融処理により生成されたスラグは土木資材等に有効利用が可能であり、埋立処分場負荷の低減に有効で資源循環に寄与する。

当社は1999年ドイツのルルギ社から低空気比・

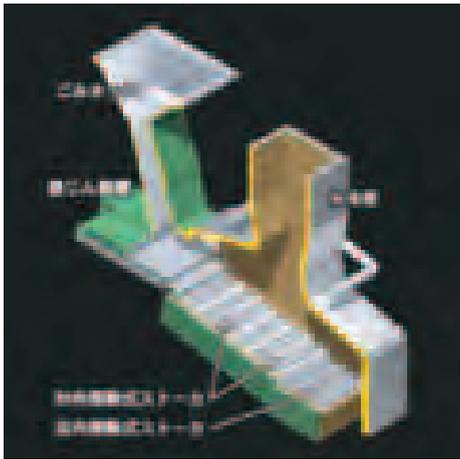


図1 焼却炉模式図

高温燃焼で実績のあるストーカ式焼却炉技術を導入した。溶融炉については、当社の独自技術にくわえ、2000年にフランスのユーロプラズマ社からプラズマ式灰溶融技術を導入した。同年には下関市より都市ごみ焼却施設（下関市環境部奥山工場、以下本施設と称する）を受注し、2002年11月の竣工以来、実用運転を継続している。本施設はストーカ式焼却炉およびプラズマ式溶融炉の導入技術と排ガス処理等の当社独自技術を融合し、プラント全体の構成を最適化したものである。

本施設において長期にわたり運転データを取得し、適用技術の有効性を確認したので報告する。

1. ストーカ式焼却炉の概要

ストーカ式焼却炉はごみを炉内に供給する給じん装置、投入されたごみを攪拌・移送し下部から供給される空気と混合しごみを燃焼させる火格子、火格子上で発生する可燃ガスを燃焼する燃焼炉および燃焼ガスを冷却し廃熱を回収するボイラから構成される。図1に焼却炉の模式図を示す。

1.1 火格子の特長

火格子は、投入されたごみを乾燥する乾燥帯と、下部から供給される燃焼空気によって燃焼させる燃焼帯、および主燃焼が終わった後の残留固定炭素を「おき燃焼」させる後燃焼帯により構成される。乾燥帯・燃焼帯は燃焼空気との接触効率を高めるため攪拌効果の高い対向摺動式火格子をもちい火格子面に10°の傾斜を持たせている。後燃焼帯は攪拌効率をおさえ滞留時間を確保する並向摺動式火格子をもちい火格子面を水平に配置している。図2、3に火格子の構造図を示す。

1.2 燃焼室の特長

燃焼段階でのダイオキシン類分解を促進するためには一般的に3T（Temperature：温度、Time：滞留

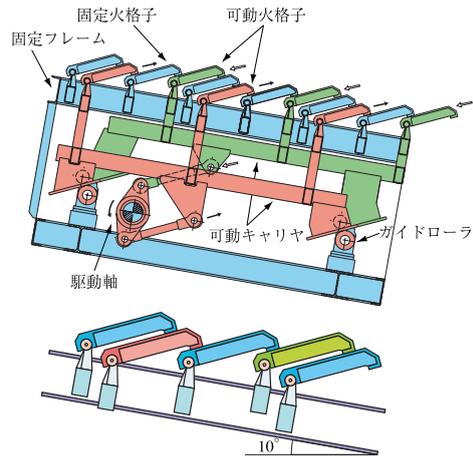


図2 対向摺動式火格子の構造図

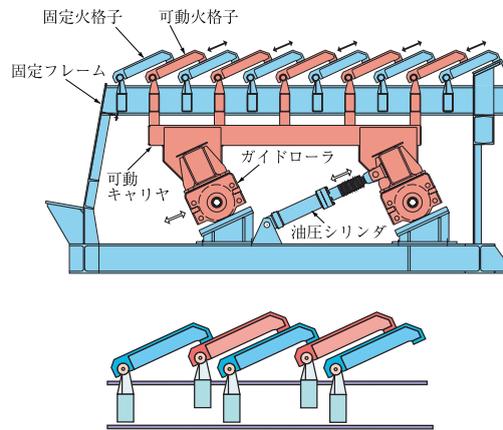


図3 並向摺動式火格子の構造図

時間、Turbulence：混合）の確保が必要といわれている。当社の焼却炉においては、燃焼空気比を従来の1.8から1.6に低減することにより燃焼温度を高温化するとともに十分な滞留時間を確保し、ダイオキシン新ガイドラインである「燃焼温度850℃以上にて滞留時間2秒以上」を上回る900℃・2秒以上を実現している。また、未燃COの発生を抑制するため二次空気を吹き込み、燃焼ガスを攪拌・混合し完全燃焼を図っている。これらの機能を発揮できる燃焼室形状・二次空気吹き込み方法を決定するため燃焼シミュレーションをおこない最適化している¹⁾。

1.3 廃熱ボイラの特長

ボイラは自然循環式水平煙道型（テールエンド型）ボイラを採用している。テールエンド型ボイラは第三煙道が水平で過熱器管等が垂直に配置され、槌打式の灰落とし装置により水管表面が常に清浄であることから、ボイラ内でのダイオキシン類再合成抑制効果が高い。主燃焼室は、全メンブレン水冷壁構造とし、熱回収を最大化するとともに、高温燃焼を実現しながらもクリンカの発生を抑制している。

2. プラズマ式溶融炉の概要

当社のプラズマ溶融炉は炉天井に設置したプラズマトーチで加熱した溶融浴に残さを連続的に供給し、出滓口から溶融したスラグを連続的に排出するものである。プラズマトーチの方式はノントランスファー式をもちいている。図4にトランスファー式とノントランスファー式プラズマ溶融炉の概念図を示す。トランスファー式では溶融浴を介して炉底電極に通

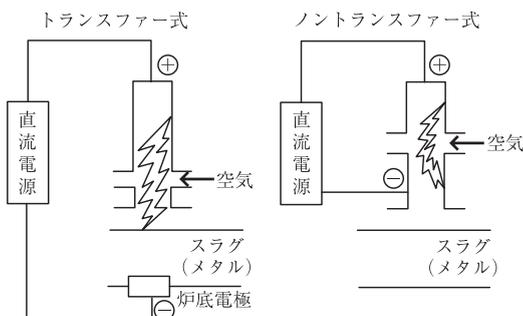


図4 プラズマ溶融炉概念図

電するのに対し、ノントランスファー式ではトーチ自身に陽極と陰極を備えるため、溶融浴の状態（溶融状態か固化状態か、溶融塩の有無、溶融メタルの有無等）の影響を受けずに任意の出力での加熱が可能である。

3. 下関市環境部奥山工場の概要と特長

本施設の概要を表1に、処理フローを図5に、また施設外観写真を写真1に示す。



写真1 施設外観写真

表1 施設概要

項	目	内 容
焼却設備	処理能力	180 t/24 h × 1 炉
	焼却炉形式	神鋼・ルルギ式ストーカ焼却炉
	ボイラ形式	自然循環式水平煙道型ボイラ
	最大蒸発量	32 t/h
	常用蒸気圧力	3.92 MPa
溶融設備	蒸気温度	400 °C
	処理能力	41 t/24 h (既設からの受入灰20 t/24 hを含む)
	溶融炉形式	プラズマ式

記号	内 容
	ごみの流れ
	空気の流れ
	排ガスの流れ
	水・汚水の流れ
	主灰・飛灰の流れ
	スラグの流れ
	蒸気の流れ
	薬品の流れ

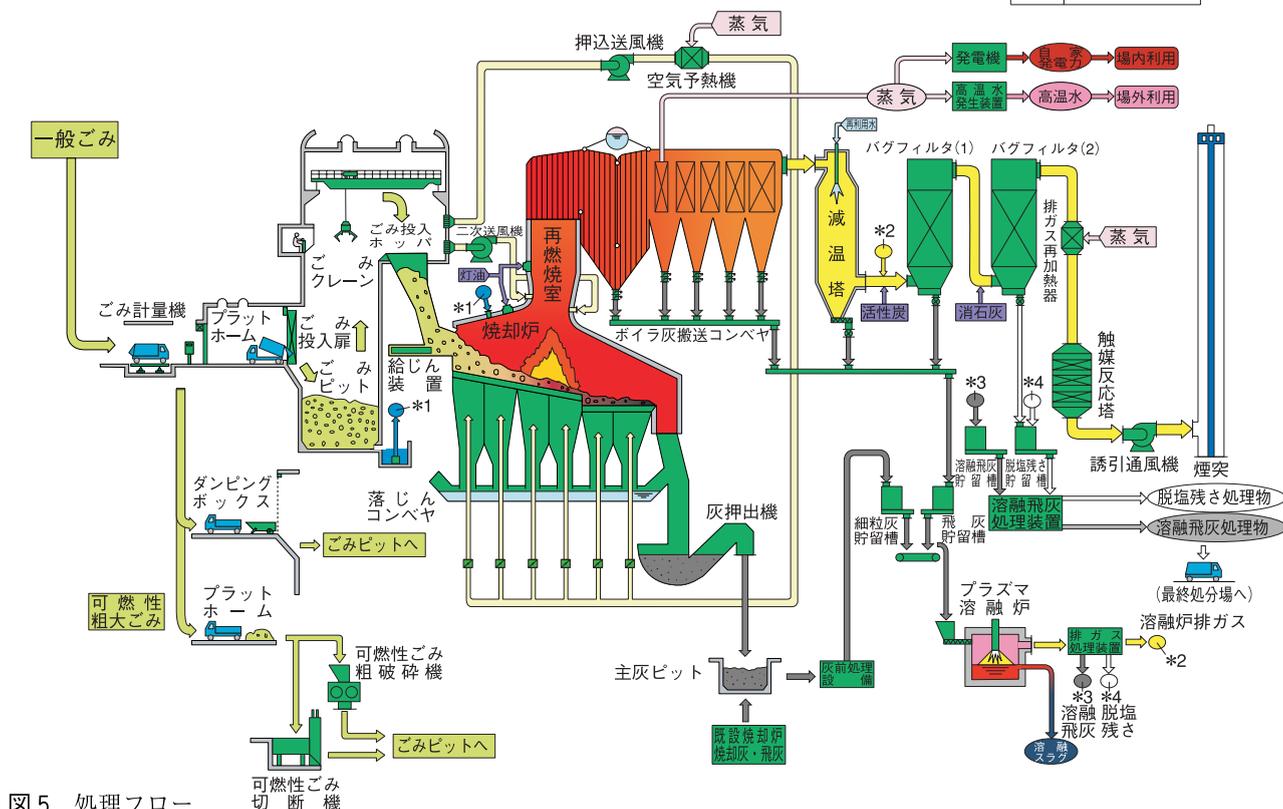


図5 処理フロー

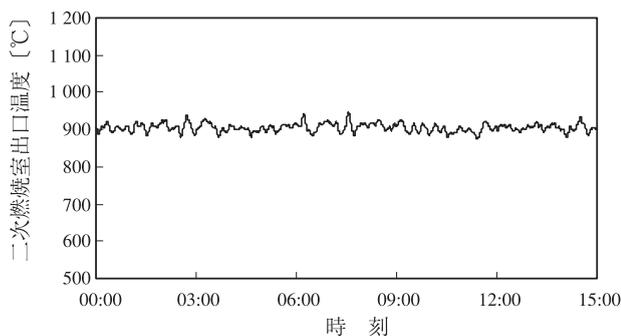


図6 二次燃焼室出口温度

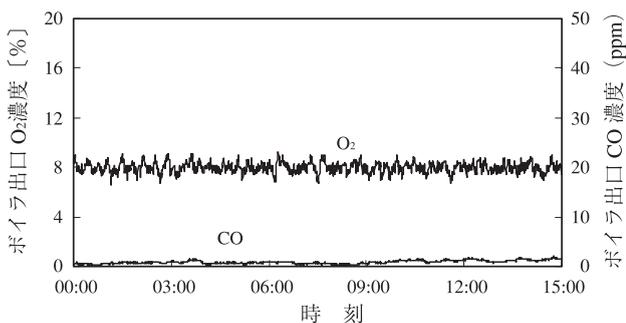


図7 ボイラ出口 O₂・CO 濃度

焼却炉の能力は180 t/24 h×1 炉で、灰溶融炉は本施設および隣接する既設炉（ストーカ式220 t/24 h×1 炉）で発生する焼却灰および飛灰を全量処理する能力（41 t/24 h×1 炉）を有している。焼却灰は選別・磁選・乾燥等の前処理を施し溶融炉に投入される。前処理にて選別された不適物・鉄分は埋め立て処分される。灰は炉内にて1 400 °C 程度の高温と十分な滞留時間で溶融され、ダイオキシン類を分解するとともに塩類・重金属類を揮散させる。排ガスは減温塔にて1 300 °C から200 °C 以下に急冷された後バグフィルタで溶融飛灰の除去と乾式脱塩をおこなない焼却設備のバグフィルタ前に合流し、焼却炉排ガスと合わせて再度脱硝等の処理を施し煙突から排出される。焼却炉排ガス処理設備にはダブルバグフィルタ方式を採用し、第一バグフィルタにてばいじん・ダイオキシン類等を除去し、第二バグフィルタで消石灰を吹き込み塩化水素と硫酸化物を除去している。第一バグフィルタで捕集される飛灰は溶融処理し、カルシウム・塩素を多量に含む第二バグフィルタの捕集残さは脱塩残さとして薬剤処理を施し最終処分するものとし、溶融プロセスへの塩素・カルシウムの混入を抑制している。

4. 運転データ

4.1 焼却炉運転データ

焼却炉の二次燃焼室出口温度（滞留時間2秒経過後の温度）を図6に、ボイラ出口O₂およびCO濃度

表2 排ガス分析結果（乾きガス基準O₂12%換算値）

項目	保証値	分析結果
ばいじん	0.01 g/m ³ _N	< 0.001
塩化水素	70 mg/m ³ _N	18
硫酸化物	100 ppm	4
窒素酸化物	0.50 ppm	26
一酸化炭素	30 ppm	10

表3 ダイオキシン類分析結果（活性炭吹き込み時）

測定場所	ダイオキシン類濃度 (ng-TEQ/m ³ _N)		
	粒子状	ダス状	トータル
二次燃焼室出口	0.59	0.011	0.61
ボイラ出口	1.2	0.25	1.5
第二BF出口	0.0000011	0.0000063	0.0000075
煙突	—	—	0.00019

表4 ダイオキシン類分析結果（無活性炭運転57日）

測定場所	ダイオキシン類濃度 (ng-TEQ/m ³ _N)		
	粒子状	ダス状	トータル
ボイラ出口	0.63	0.41	1.0
第二BF出口	0.00	0.018	0.018
煙突	—	—	0.0000036

の推移を図7に示す。ボイラ出口O₂濃度は安定して8%を維持している。その結果、二次燃焼室出口温度は850 °Cより十分高い900 °C程度を維持している。燃焼室は全メンブレン水冷壁構造としているため、高温燃焼を維持しながらもクリンカの発生は少ない。表2に煙突での排ガス分析データを示す。いずれも保証値を十分下回る結果である。表3に各所でのダイオキシン類分析データを示す。高温燃焼の効果により二次燃焼室出口ダイオキシン類濃度は1 ng-TEQ/m³_Nを下回る値となっている。また、ボイラ出口でのダイオキシン類濃度は1~2 ng-TEQ/m³_N程度で水平煙道型ボイラの再合成抑制効果が確認できた。ボイラ出口では粒子状の割合が多く、活性炭を吹き込まなくてもバグフィルタの除じん効果のみでダイオキシン類の除去が可能である。表4に活性炭の吹き込みを長期間停止した時の各所でのダイオキシン類濃度を示す。ボイラ出口と第二バグフィルタ出口のデータは57日間にわたって吹き込みを停止した後のもので、煙突でのデータは97日間停止後のものである。活性炭吹き込みを長期間停止しても第二バグフィルタ出口にて0.02 ng-TEQ/m³_Nを下回る結果がえられている。なお、バグフィルタ下流の触媒反応塔でのガス状ダイオキシン類分解効果により、活性炭吹き込み無しでも煙突でのダイオキシン類濃度は0.0000036 ng-TEQ/m³_Nと十分低い値となっている。

4.2 燃焼シミュレーション結果

本施設の燃焼室形状等の条件を合わせ、燃焼シミュレーションをおこない、実機での運転データとの比較をおこなった。図8に空気比 $\lambda=1.6$ としたときの温度および O_2 濃度コンター図を示す。燃焼帯の火格子近傍が高温となり、下流の二次燃焼室乾燥帯側も高温となっていることがわかる。 O_2 濃度分布としては、乾燥帯から燃焼帯中央までの主燃焼室で O_2 は見られず、燃焼帯の中央から後燃焼帯で急激に O_2 濃度の高い領域が広がっている。

図9に主燃焼室の火格子中心断面の温度分布を示す。横軸は火格子の上流端からの無次元距離であり、火格子からの高さが実炉と同じ高さの温度をプロットしている。解析結果より空気比が高くなるとピーク温度が乾燥帯側へ移動することがわかる。また、特に燃焼帯の後半および後燃焼帯は測定結果と解析がよく一致している。

図10に火格子中心軸断面での O_2 濃度分布を示す。測定結果および解析より燃焼帯の前半で急激に酸素濃度が変化している様子がわかる。

実炉においては、非定常なごみ性状の変動などの要因、ストーカ炉内の三次元的な現象の影響を含むものである。解析と測定結果の比較において火格子近傍の温度、ガス組成の定量的な予測を目指した改良は必要であるが、ごみ層を含む熱流動解析を構築し、実炉の定性的な傾向を予測することができた。

4.3 熔融炉運転データ

本熔融炉では、焼却設備で発生する焼却灰と飛灰および隣接する既設炉で発生する焼却灰と飛灰の全

量を混合溶融処理している。図11に、連続運転中の焼却灰と飛灰の処理量の推移を示す。連続運転日数は119日である。運転開始当初は、停止中にピット

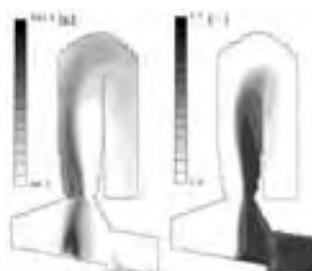


図8 温度および O_2 濃度コンター図

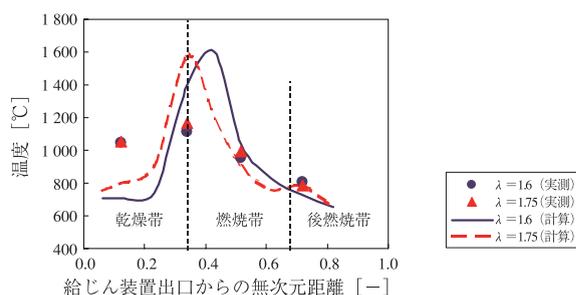


図9 火格子中心断面の温度分布

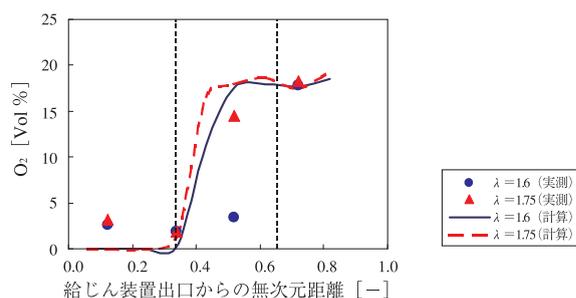


図10 火格子中心断面の O_2 濃度分布

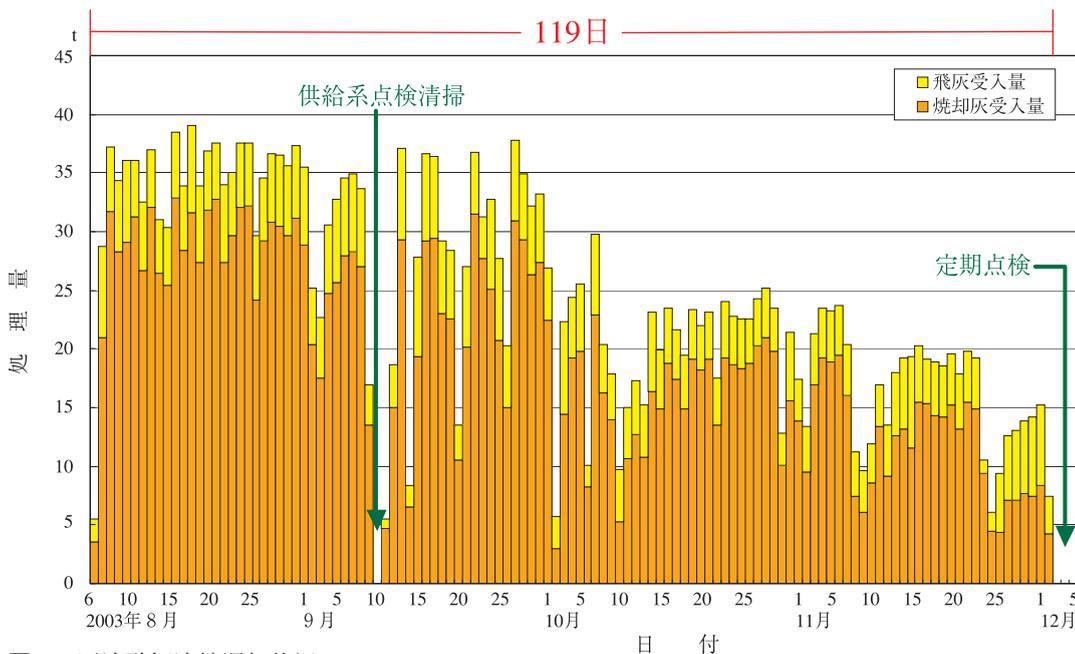


図11 灰熔融炉連続運転状況

に貯留された灰を処理するために定格処理量近くで運転し、残量が少なくなると本施設および既設炉で発生する灰を処理する量で操業している。

また、図12に溶融炉内の温度を示す。処理する灰の性状にあわせ、おおむね1 300～1 400℃程度で操業し、出滓状況も安定している。

表5に溶融排ガス中のダイオキシン類濃度について示す。溶融排ガスは焼却炉の排ガス処理設備に合流させ、再度処理しているが、溶融のバグフィルタ出口における排ガス中のダイオキシン類濃度についても0.000071 ng-TEQ/m³Nと十分低い値となっている。

4.4 スラッグの性状

表6に本施設における原灰、スラッグの化学組成と各種元素のスラッグ移行率を示す。これより、灰中の

表5 溶融バグフィルタ出口におけるダイオキシン類濃度

単 位	溶解排ガス ng-TEQ/m ³ N
PCDDs	0
PCDFs	0
Co-PCBs	0.000071
Total-DXNs	0.000071

表7 溶融スラッグ溶出試験結果

成 分	単 位	溶 出 値	土壌環境基準
T-Hg	mg/L	≦0.0005	≦0.0005
Cd	mg/L	≦0.005	≦0.01
Pb	mg/L	≦0.005	≦0.01
Cr ⁶⁺	mg/L	≦0.01	≦0.05
As	mg/L	≦0.005	≦0.01
Se	mg/L	≦0.005	≦0.01

Si, Ca, Al, Fe分は大半がスラッグ中に移行していることがわかる。また、スラッグ中の金属鉄の濃度も十分に低く、鉄は酸化物としてスラッグ中に移行していると考えられる。

表7, 8に溶融スラッグの溶出試験結果、物理試験結果をそれぞれ示す。溶融スラッグからの対象6物質の溶出値は「一般廃棄物の溶融固化物に係わる目標基準値」を全て満足している。また、物理試験結果においても溶融スラッグの性状は、道路用溶融スラッグ骨材TRA0017 FM-2.5を全て満足しており、有効利用可能であることが確認された。

4.5 ダイオキシン類総排出量

本施設が竣工した後の2002年12月から2003年4月までの5ヶ月にわたる残さの排出量とダイオキシン

表6 灰溶融炉における各種元素収支

	原 灰	スラッグ	スラッグへの移行率
Si (%)	18.46	20.67	96.7
Ca (%)	14.07	16.72	102.7
Al (%)	8.27	10.13	105.8
Na (%)	2.68	2.38	76.7
K (%)	2.27	1.19	45.3
Cl (%)	2.42	0.002	0.1
Fe (%)	1.9	2.03	92.3
M-Fe (%)	—	0.10	—

表8 溶融スラッグ物理試験結果

項 目		溶融スラッグ	基 準*
絶 乾 密 度 (kg/L)		2.655	2.45以上
吸 水 量 (%)		2.22	3 以下
ふるいを通る物の質量百分率 (%)	ふるい目		
	4.75 mm	100	100
	2.36 mm	95.3	85-100
	0.075 mm	3.0	0-10

*TRA0017FM-2.5

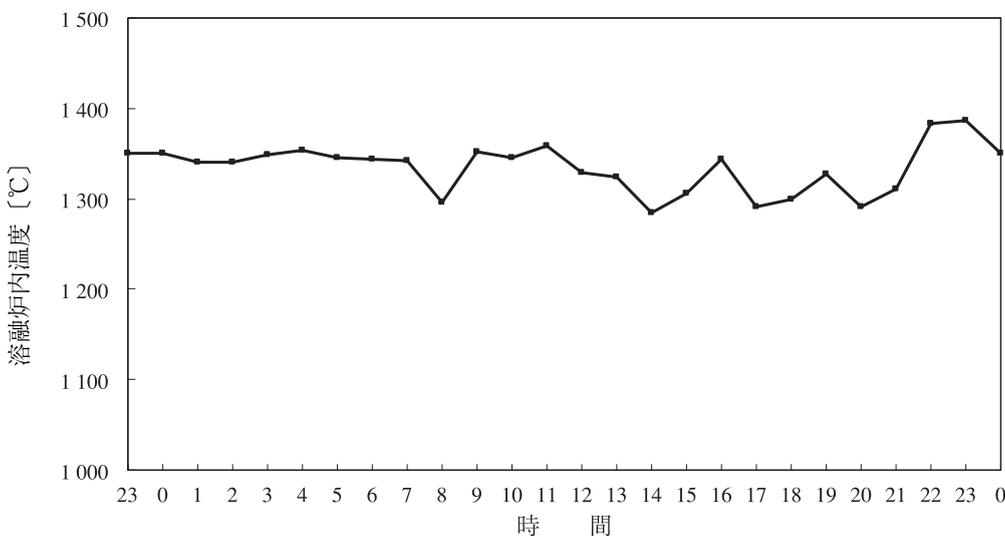


図12 溶融炉内温度

表9 ごみ1tあたりの残さ・ダイオキシン類排出量

項目	排出量 (kg/ごみt)	割合 (%)	ダイオキシン類濃度 (ng-TEQ/gまたはng-TEQm ³ N)	ダイオキシン類排出量 (μg-TEQ/ごみt)	割合 (%)
不適物	21	14.6	0.000048	0.0010	0.25
鉄分	6.7	4.6	0.0013	0.0085	2.1
スラグ	88	60.6	0.000026	0.00023	0.058
溶融飛灰固化物	12	9.2	0.019	0.23	58
脱塩残さ固化物	18	12.1	0.0088	0.15	38
排ガス	—	—	0.00019	0.0013	0.33
合計	146 58 (スラグを除く)	100	—	0.40	100

ン類排出量の平均値をごみ1tあたりに換算した値を表9に示す。本施設から排出されるダイオキシン類は5μg-TEQ/ごみtを大きく下回る0.4μg-TEQ/ごみtである。排出量のうち約95%が溶融飛灰・脱塩残さに由来するもので、排ガス・スラグ等の寄与は少ない。溶融炉内での高温によるダイオキシン類分解と溶融減温塔での排ガス急冷による再合成抑制により、溶融飛灰中のダイオキシン類濃度を低く維持できる効果によるものである。

むすび

高温燃焼型ストーカ式焼却炉+プラズマ溶融炉の適用によりダイオキシン類総排出量0.5μg-TEQ/ごみt以下を達成できた。ダイオキシン類総排出量の

90%以上が溶融飛灰・脱塩残さ由来のものであり、その低減によりさらに排出量を下げることが可能である。

低空気比運転により排ガス中のダイオキシン類濃度：0.01ng-TEQ/m³N以下を達成できた。高温を安定して維持することによって炉内でのダイオキシン類発生を抑制し、活性炭を吹き込まずとも0.01ng-TEQ/m³N以下を達成できることを確認した。

[参考文献]

- 1) 西村真, 樋口豪, 島倉久範, 伴浩之, 八十格, 鈴木富雄: 日本機械学会環境工学シンポジウム'03 講演論文集p.118-130

ビニループプロセス

VinyLoop® Process



環境事業推進部ビニループ事業室
星 野 孝
Takashi Hoshino
技術開発本部
プロセス技術開発部新規プロセス室
井 出 昇 明
Shoaki Ide
(工学博士)

ビニループプロセスはSolvay社（ベルギーの化学メーカ）により開発された塩ビ系廃棄物のマテリアルリサイクル技術である。当社は日本における独占パートナーとして塩ビリサイクル事業およびプラント販売に関する業務提携をおこない、2005年度の事業化を目指して廃棄物の回収、再生品販売のためのマーケティング活動および再生品の製造技術ならびに品質評価技術の開発、そしてプラント設計を推進している。

The Vinyloop® Process, licensed by Solvay SA (Belgium) is a mechanical recycling process for used polyvinyl chloride (PVC). It enables PVC to be separated from PVC-based wastes including cables, Noubi sheets, wall-paper discards, through dissolution using solvent. The regenerated PVC (R-PVC) has almost the same properties as virgin PVC and can be applied to various uses. Toward the start of the business in 2005, effort is concentrated to collection of wastes, marketing of R-PVC, development of the manufacturing and quality evaluation technologies and plant designing.

Key Words :

ビニループプロセス
ポリ塩化ビニール
リサイクル

Vinyloop process
Polyvinyl chloride (PVC)
Recycling

まえがき

ポリ塩化ビニール（以下、PVC）はその卓越した物性のバランスにより建設資材、電線被覆材、各種パイプなど多くの用途に適用されてきたが、焼却時のダイオキシン発生問題を契機にPVCリサイクルが大きな社会問題となっている。現在、PVC処理は一部のリサイクル品を除き大部分は依然として焼却および埋立て処分に頼っている。しかしながら、設備の腐食問題や処分場の枯渇問題を背景に廃棄物を原料として再利用するマテリアルリサイクルが重要な処理技術として期待されている。

ビニループプロセスは欧州においてもっとも期待

されているマテリアルリサイクル技術であり、すでにSolvay社ではイタリア フェラーラ市に商業機の運転を開始しており、使用済み電線からの再生品をトンネル遮水板、ガーデンホース用インナーチューブ等への適用に成功している。

本報告では、ビニループプロセスの概要と特長および日本国内での事業化を目的に推進している農業用ビニールシート（以下、農ビと略記）および壁紙工場端材（以下、壁紙と略記）を中心に塩ビ系廃棄物およびそれらの再生処理品の特性評価および市場開拓の現状を報告する。

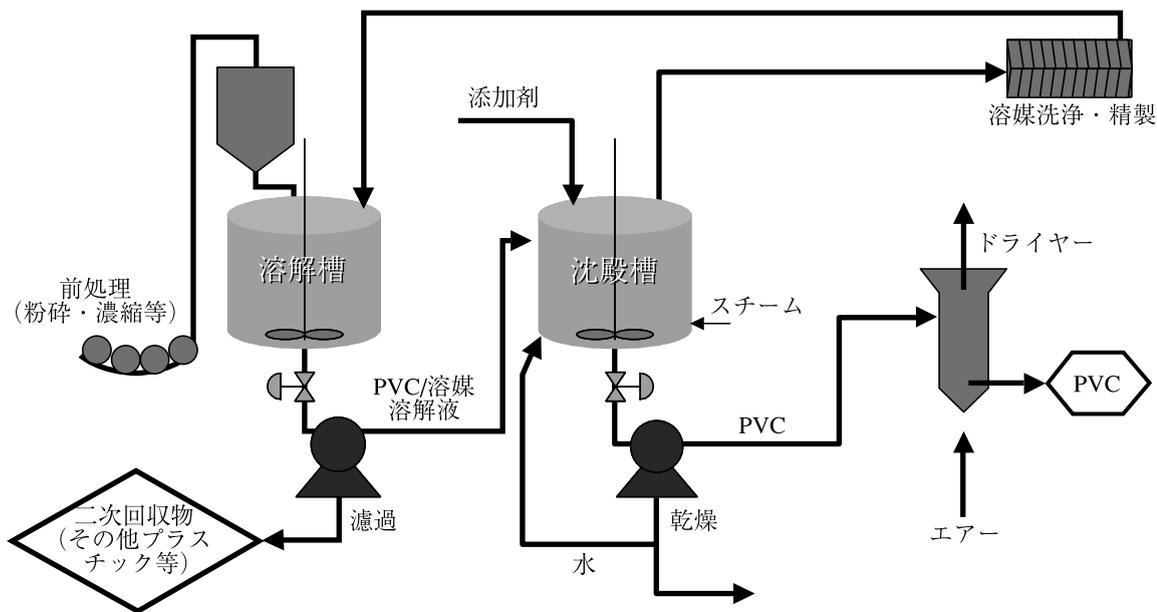


図1 ビニループプロセス

1. ビニループプロセスの概要と特長

図1に本プロセスの処理フローを示す。本プロセスは(1)前処理工程、(2)溶解工程、(3)分離工程、そして(4)沈殿・回収工程の4つの工程から成り立っている。前処理工程では、塩ビ系混合廃棄物を適当な大きさに粉碎する。溶解工程では塩ビ(可塑剤、安定剤等を含む)を選択的に溶解する溶剤をもちいて、塩ビのみを溶解させ、不溶なその他成分と分離する。沈殿工程では、溶剤中に溶解した塩ビ溶液からスチーム・ストリップング操作により溶剤を蒸発させ、塩ビを粒状に固化沈殿させ回収する。溶剤回収工程では、蒸発させた溶剤を冷却凝集させ、溶解工程で循環再利用する。

本処理技術の特長は以下のとおりである。

- ① ほとんどの塩ビ系混合廃棄物から塩ビを分離し、マテリアルリサイクルを実現できる。
- ② 回収された塩ビは、バージン材とくらべ物性的に遜色がなく再利用が可能である。
- ③ 可塑剤や安定剤等の添加剤も塩ビとともに溶出するため、再利用する場合に可塑剤や安定剤の添加量を低減できる。
- ④ 塩ビ回収工程において、必要に応じて可塑剤や安定剤など添加剤を投入して成分調整することも可能である。

これまでに本処理技術をもちいて所定の再生品がえられた使用済み塩ビ系廃棄物としては、農ビ、電線被覆材、自動車ワイヤーハーネス、壁紙、床材、

表1 農業用ビニルシートおよび壁紙の原料組成

配合組成	農業用ビニルシート (部)	壁紙 (部)
PVC	100	100
可塑剤	45	50
安定剤	2	2
CaCO ₃	0	100
TiO ₂	0	10
(合計)	(147)	(262)

雨樋、自動車内装品(レザーシートなど)、冷蔵庫用パッキング、ターボリン、ASR、管・継手、長靴、プラスチックサッシ、マーキングフィルム、ビニルホース、ビニルテープなどが挙げられる。

2. 原料ソースとプロセスへの適用性

現在、日本国内の特殊性を考慮してもっとも可能性の高い原料ソースとして使用済農ビ、壁紙工場端材そして使用済み電線被覆材を検討している。使用済み電線被覆材からの再生品の特性に関しては、2003年8月に電線総合技術センター(JECTEC)との共同研究報告書の形で発表されており、以下では農ビと壁紙について説明する。

原料段階での農ビと壁紙の配合組成を表1に示す。農ビはPVCのほか可塑剤および安定剤を含むが、壁紙はこれらの添加剤のほかに炭酸カルシウムや酸化チタン等の無機フィラーを含む。農ビ再生品は次項の物性評価結果より電線ケーブルをはじめ床材、各種シート材、ビニルホース等多くの用途での適用可能性を見出し、また壁紙は農ビとの混合処理により重合度制御による成形性の改良や物性制御などが

可能であり、同様用途への適用が期待される。

農ビについては、すでに一部はリサイクルされているが、多くは不良品（硬化が進んだり農ポリと混合されたりして再利用困難と判断されたもの）として焼却または埋立て処分されている。本不良品が再

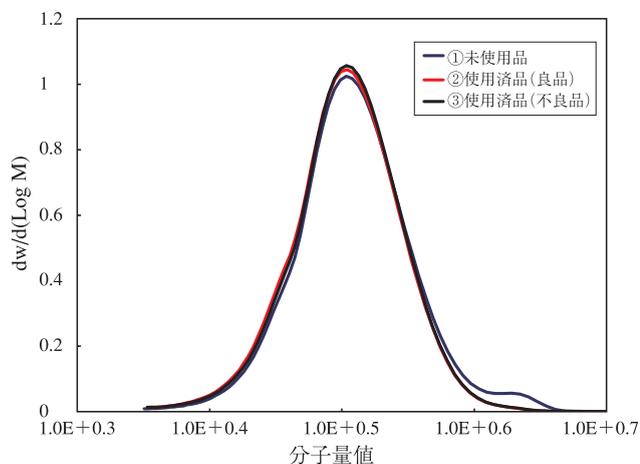


図2 GPC法による未使用および使用済み農業用ビニールシートの分子量（重合度）の評価結果

生品として使用可能か否かを調査する目的で、製品物性を支配する分子量（重合度）について未使用品および使用済み品について分析した結果を図2に示す。塩ビの分子量は使用条件にかかわらず分子量低下は認められていない。本結果より、農ビリサイクルは原料ソースを現行リサイクル品のみならず埋立て処理品に至るまで幅広く確保できることが確認された。

3. 農ビ再生品の基本特性

表2に使用済み農ビからえられた再生品の基本特性を示す。再生品は、重合度1300を持つPVCであり、含水率、残留溶剂量、可塑剤、安定剤濃度など塩ビコンパウンドとしての基本要件を満たしており、そのまま使用可能である。特筆すべき点は、表3に示すように、引張強度および破断伸びがバージン品と差異が無い点であり、本結果は物性面においてはバージン品と同様な製品設計が可能であることを示している。ただし、使用期間に応じて安定剤の消耗が認められるため、成型法によっては加工前の追加添加が必要である。

表2 農業用ビニールシート再生品の基本特性

項目	単位	特性
密度	kg/dm ³	1.25
かさ密度	kg/dm ³	0.57
平均粒径	μm	250
水分含有率	%	<0.1
溶剤含有率	ppm	<1.0
可塑剤含有率	%	28
重合度	—	1300
硬度	—	85
引張特性：		
破断強度	MPa	23
伸び率	%	320
熱安定性 (コンゴーレッド@180℃)	H	1.4

表3 再生品とバージン塩ビ樹脂との特性比較

配合(部)		特性	農業用ビニールシート R-PVC	バージン PVC
R-PVC	140	引張特性： 破断強度 (MPa) 伸び率 (%)	23 318	25 347
PVC	100			
可塑剤	0 (R-PVC) 40 (PVC)			
安定剤 A	2			
安定剤 B	2			
R-PVC	139	引張特性： 破断強度 (MPa) 伸び率 (%)	18 325	20 344
PVC	100			
可塑剤	11 (R-PVC) 50 (PVC)			
安定剤	4			
CaCO ₃	20			

表4 電線被覆シースへの適用検討結果

試験項目		単位	試験規格	農業用ビニールシート R-PVC	規格	判定
引張	強度	MPa	JIS K6723	17.5	> 11.8	○
	伸び率			325	> 200	○
加熱老化 100℃×120h	強度残率	%	JIS K6723	95	> 90	○
	伸び残率	%		98	> 70	○
熱安定性 (コンゴレッド@180℃)		H	JIS K6723	4	> 2	○
脆化温度		℃	JIS K6723	-23	< -15	○
体積抵抗率	30℃	Ω・cm	JIS K6723	2.7×10 ¹¹	—	—
	60℃	Ω・cm		1.6×10 ¹⁰	—	—
耐油性 70℃×4h	強度残率	%	JIS K6723	91	> 85	○
	伸び残率	%		87	> 75	○
比重		—	JIS K7112	1.31	—	—
硬度		—	JIS K6253	84	—	—

注) 基本配合: R-PVC 100部, 可塑剤 39部 (R-PVC 中) + 添加 11部, CaCO₃ 20部, 安定剤 4部
 ロール条件: 150℃×20回転×5分, プレス条件: 180℃×50kg/cm²×5分

4. 各種用途への適用検討

上記基本特性評価結果をもとに、電線被覆シース、床材、一般シート材、ビニールホースなど農ビ再生品の適用検討をユーザの協力もえながら進めている。一例として電線被覆シースへの適用検討の結果を表4に示す。JIS規格に記載のいずれの試験項目をも満足しており、農ビ再生品が電線被覆シース材として要求される物性面でまったく問題ないことを示している。今後、外観評価や加工性評価についてユーザサイドで評価を仰ぎながら実用化を目指す。

むすび

本事業は、千葉県中央・西部エコタウン指定地域を工場建設候補地とし環境省のエコタウン補助申請

を視野に入れた検討が進んでいる。主要な処理対象廃棄物としては使用済み農ビを年間13 000トン、壁紙工場からの端材が同8 000トン、使用済み電線被覆材が同5 000トンで、これら廃棄物から再生塩ビとして年間18 000トン进行回収する計画である。事業化の最終判断は本年10月を予定しており、計画どおりに進めば2005年末には日本で初めての溶剤法による塩ビリサイクル工場が稼動することになる。

[参考文献]

- 1) 後藤和彦ほか, (社) 電線総合技術センター「ビニーループプロセスの電線被覆材への適用可能性調査」(2003)

新しい医薬用途向けガラス「PPG」

PPG—Pfaudler Pharma Glass

[特許出願中：特願2003-208050]



プロセス機器事業部生産部製造室
宮内啓隆
Hiroataka Miyachi

Pfaudler Pharma Glass (PPG) は、Pfaudler Werke GmbH 社と当社が、日本国内における技術提携を結ぶことによって、この度の上市に至った新しいガラスライニングである。PPG は酸、アルカリに対して高い耐食性を持ち、かつガラス表面の平滑性が長期間保持されるといった特長を持つ。平滑なガラス表面により、付着物の低減が期待でき、医薬産業機器に要求される GMP 仕様や、熱アルカリ洗浄による酸、アルカリの交互使用に適している。また、その色調はライトブルーで缶内の様子が容易に観察でき、ガラス面への付着が判別しやすい。上市後の9ヶ月間に、すでに50台をこえる製作実績がある。

Pfaudler Pharma Glass (PPG) licensed from Pfaudler Werke GmbH, is a new glass-lining material, having high corrosion resistance to both acid and alkali and long-lasting smooth surface. Smooth surface realized with improved fluidity of glass can help reduce adhesion of ingredients to the surface. The PPG reactors are suitable for alkali/acid alternating process and hot-alkali cleaning for GMP requirement in pharmaceutical industry. With light-blue color, PPG-lining makes easy monitoring of the production process and inspection of cleaning result owing to the brighter atmosphere inside the reactor. Over 50 reactors were delivered in nine months after the start of manufacture.

Key Words :

ガラスライニング	Glass-lining
医薬	Pharmaceutical
耐食性	Corrosion
平滑性	Smoothness
色調	Color

まえがき

近年のGMP仕様が要求される医薬産業用機器に対しては、従来とは異なったガラスライニング機器の特性が要求されている。とくにその清浄性の向上や、機器のアルカリ洗浄のための酸アルカリ交互使用時の耐食性向上など、医薬のみならず、電子材料、ファ

インケミカル分野においても新しい性能を持つガラスが必要となってきている。

当社においても、ガラスライニング機器の用途が、大型機器を必要とする従来の石油化学、樹脂工業などから、中小型機器が中心の医薬、ファインケミカル分野へと移り変わっている現状を踏まえ、PWG

社との技術提携により2003年10月より日本国内でのPPGの販売に至っている。本稿ではこの新しいガラスライニング「PPG」の特長を紹介する。

1. 当社の過去のガラスライニング

当社は1950年代よりガラスライニング製品の製造をおこなっており、当時のガラスはすべてファウドラ社から輸入されたものを使用していたが、1980年代より当社で独自のガラスの開発を開始するに至った経緯がある。当社の標準ガラスの変遷を図1に示す。また、1950年代の初代標準ガラス#5300の耐酸、耐水、耐アルカリ試験による腐食量を100として、歴代の当社標準ガラスの腐食量の比率比較を図2に示す。

これによると、1950年代から1960年代にかけては、化学工業を主体とする使用目的のため、耐酸性能の向上を主眼としたガラスの開発がされていることがわかる。1970年代に入り、耐酸、耐水性に関しては現在の標準ガラス#9000と同じ耐食性能を持つガラス#3100が開発された。

その後1980年代に入ってから、ユーザでの多品種少量生産による使用方法の多様化（マルチ缶）の

ため、これまでの耐酸性のみならず耐アルカリ性の向上も望まれた結果、従来ガラスの高耐酸、耐水性能はそのまま、耐アルカリ性を大幅に向上させた性能を持ち、現在も当社の標準ガラスとして使用されている#9000ガラスの独自開発に成功した。

2000年代以降、ガラスライニング機器の用途は、医薬、電材、ファインケミカル分野において、さらに清浄性向上に対するニーズが高まってきており、それに対して開発されたのが PPG (Pfaudler Pharma Glass) である。

2. PPG の特長および性能

2.1 明るく見やすいライトブルーカラー

これまで、ガラスライニングのガラスの色は濃い紺色が標準色で、ユーザの要求により白色も用意してきた。標準色の紺色の場合、缶内が暗く、視き窓から缶内が観察しづらいことがありまた、白色の場合も、内容物が白色であることの多い医薬品などのガラス面への付着がわかりにくいという欠点が見られた。

PPG のライトブルーカラーについては次のような点を考慮し決定された。

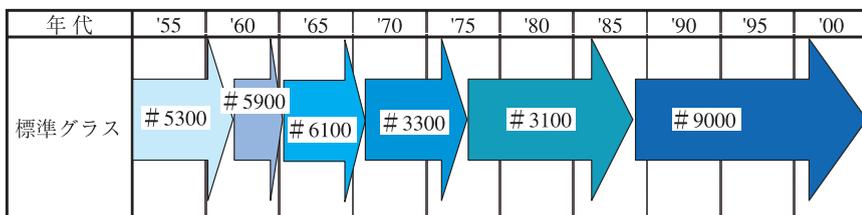


図1 当社標準ガラスの変遷

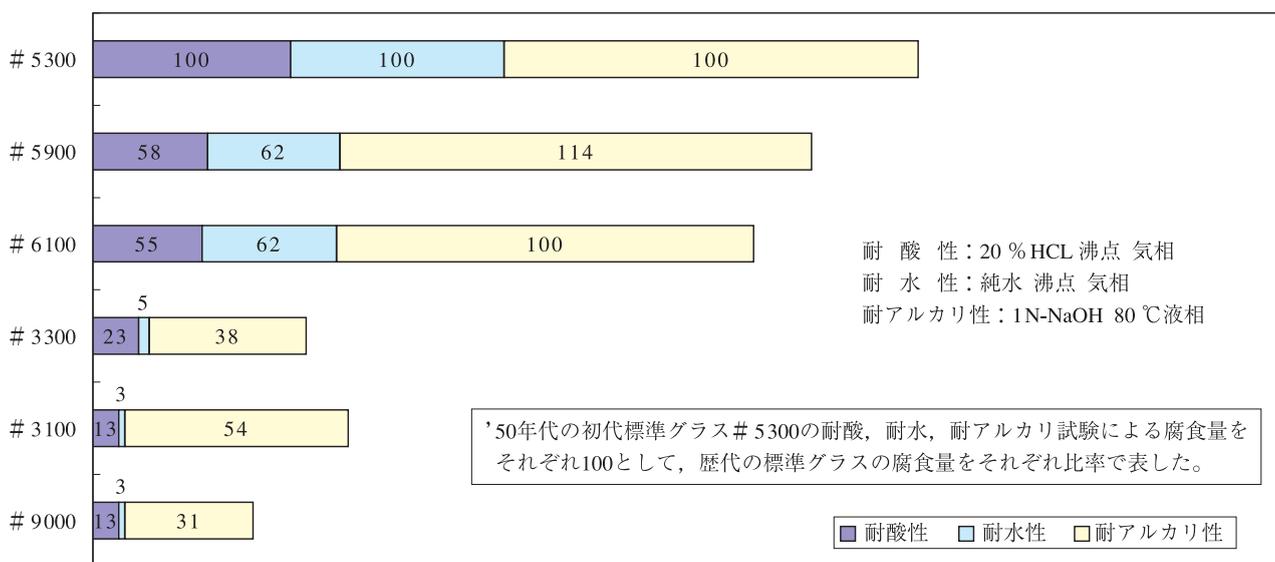


図2 当社標準ガラスの腐食比率

- a) ヨーロッパでのユーザ調査の結果，ライトブルーカラーと同系色の色の製品が見られなかったこと。
- b) 淡色の製品のガラス面への付着でもコントラストがよく，付着状況がはっきりわかること。
- c) 従来の暗い缶内と比較して格段に缶内が明るく缶内の視認性が改善されること。

その結果，洗浄後のガラス壁面への付着物の有無の確認が確実におこなえるようになった。このガラスの色については，現在特許申請中である。PPGガラスと従来のガラス#9000の対比を写真1に示す。



写真1 従来の標準ガラス#9000(左)とPPG(右)

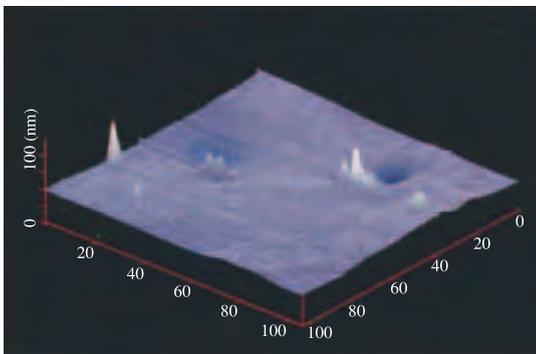


写真2 従来の#9000ガラス表面の原子間力顕微鏡観察像

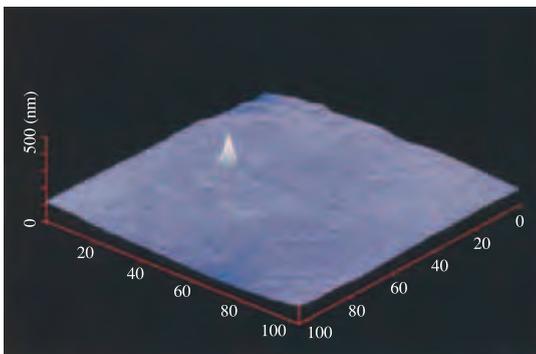


写真3 PPGガラス表面の原子間力顕微鏡観察像

2.2 洗浄性の向上

PPGはガラスの軟化流動性を向上させることにより，従来のガラス表面より滑らかなガラス表面を実現している。従来のガラス表面およびPPGガラス表面の原子間力顕微鏡による観察結果を写真2，3に，電子顕微鏡による観察結果を写真4，5に示す。これらによるとミクロなレベルでのガラス表面において，従来のガラスと比較して，PPGには微少なうねり，へこみが少ないことがわかる。これにより，付着物の減少が期待でき，さらにいえば，付着物の洗浄プロセスによるダウンタイムの減少が期待できる。

2.3 優れた耐食性

ヨーロッパにおいては，医薬品製造設備の多くはFDA（米食品医薬品局）によって規定された設備であり，またそれらのプロセスの多くは中性から酸性であるが，洗浄時には熱アルカリ（70℃/pH10-12）による定置洗浄（Cleaning in place）をおこなうことが多い。そこでPPGは耐アルカリ性能の向上を目的として開発がおこなわれた。当社の標準ガラス#9000に対しても耐アルカリ性が20%向上した性能を持っている。

また耐酸，耐水性については，従来の当社標準ガラスと比較して同等の性能を有していることも確認



写真4 従来の#9000ガラス表面電子顕微鏡写真(X1000)



写真5 PPGガラス表面電子顕微鏡写真(X1000)

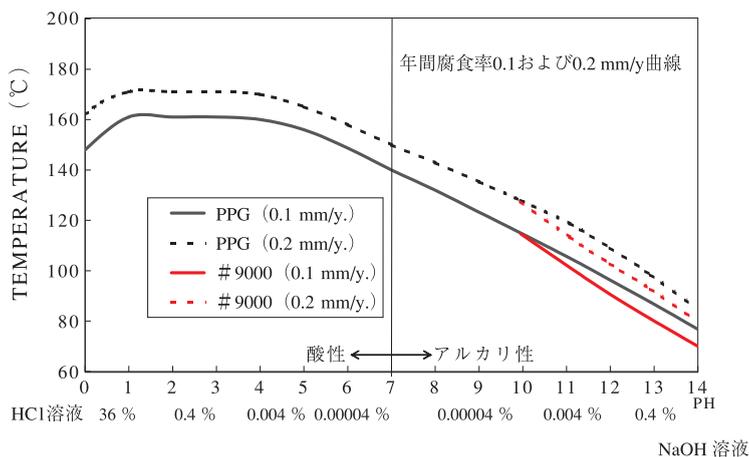


図3 PPGの耐食性能

された。耐食性能を図3に示す。なおテスト方法については以下に示すとおりである。

耐アルカリテストは、JIS R 4301によるテストをおこない、テスト条件は、80℃の1規定NaOH溶液にテストピースを48時間暴露させた後、ガラスの減肉量を測定した。耐酸性については、20%塩酸の沸点での気相部にテストピースを96時間暴露させ、耐水試験はイオン交換水の沸点での気相部において96時間での評価をおこなった。

このことよりPPGは、従来のガラスより様々な腐食負荷に耐えることができ、より広い使用範囲を持つといえる。

3. 販売実績

2003年10月の販売開始より9カ月間に出荷した販売実績は総数52台であり、表1に納入実績内訳を示す。容量別では約80%が3m³以下の小型缶体となっているが、最大15m³缶の施工実績がある。また用途としては本来開発時に目的としていた医薬、電材分野がおのおの40%、25%となっており、そ

表1 2003年10月から2004年6月までの販売実績および使用用途

容量	製作販売台数
1000LT以下	22
1001-3000LT以下	19
3001-6000LT以下	7
6001-8000LT以下	1
8001-15000LT以下	3
計	52 (台)

用途	台数
医薬	21
電材	13
化学	9
農薬	3
その他	6
計	52 (台)

れら以外の用途が残り35%を占めている。これらのほとんどはライトブルーの色調による利点を評価していただいたものである。

2004年6月現在においても、10台以上のPPG缶体のバックオーダーを抱えた状態であり、受注は販売開始当初より増加傾向にある。これは、いかにPPGが現在の市場のニーズによくマッチした商品であるかということを示している。

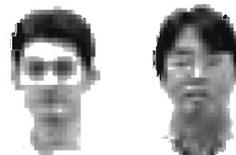
むすび

この度のPPGの日本市場における好況さは、成熟市場と言われて久しいこのガラスライニング業界においても、変化しているユーザーニーズを正確につかむことができた結果であると考えている。近年、PPGの他にも、当社では自社開発のクランプレスマンホールやクリーンフラッシュバルブなどユーザーニーズに合致した多数の新製品を上市しており、今後もガラスライニングのトップメーカーとして従来製品のブラッシュアップ、新製品の開発を継続していく所存である。

全量排出型フィルタドライヤ

Total Discharge-Type Filter Dryer

[特許出願中：特開2004-148195]



プロセス機器事業部営業部
戸 嶋 大 輔
Daisuke Tojima
プロセス機器事業部技術部
半 田 裕 利
Hirotochi Handa

従来、フィルタドライヤでえられた乾燥粉体を排出する際、攪拌翼の回転により排出するが、攪拌翼とろ過面のクリアランス部の製品が排出されないことが多い。これらの残留物は機器の洗浄性を悪くし、コンタミネーションの原因ともなる。新たに開発したフィルタドライヤは缶体傾斜とろ板振動機構を設置することで全量排出が可能となり、さらに粉体乾燥時のクリアランス部の製品固着を防止し混合に有効であることを確認した。本稿ではその構造とテスト結果について報告する。

Dried product in filter dryer is discharged by rotating the impeller in the conventional type. The last portion, however, is apt to remain in the clearance between the impeller blades and filter cloth. Such remainder has to be removed in view of troublesome cleaning and contamination. A newly developed filter dryer proved to perform total discharge and avoid during drying period solidification of product in the clearance with such mechanism as vessel inclination and perforated-plate vibration. The paper reports on the structure and test results.

Key Words :

全 量 排 出	Total discharge
ろ 過 乾 燥 機	Filter dryer
バ イ プ レ ー タ	Perforated-plate vibrator
缶 体 傾 斜	Vessel inclination

まえがき

フィルタドライヤは、反応・晶析などによって生成したスラリーをろ過・乾燥するプロセスにもちいられており、ろ過、ケーキ洗浄、乾燥、排出などを1台の密閉容器内で処理できるなどの特長から、医薬品分野を始めとし、化学工業、電子材料分野など様々な分野で使用されており、医薬分野を中心に多くの実績を有している。

特に医薬品分野や電子材料分野では、薬理活性の高い物質、極度にコンタミネーションを嫌う物質などが数多くあるため、1台の密閉容器内で多工程の

処理が可能なフィルタドライヤが重要視されている。しかし、製品である乾燥粉体を排出する際、攪拌翼の回転により排出するが、攪拌翼とろ過面のクリアランス部分に残留する粉体の回収が問題となっている。この残留した粉体を排出するため、ろ布と攪拌翼とのクリアランスを少なくするなどの対策をおこなってきたが、残留量をゼロにすることは不可能であるため、各ユーザによって排出口より刷毛等で掻き出したり、本体クランプを外し下蓋を分解したのち掻き出したり、マンホールより挿入管を入れ粉体を吸引して回収するなど様々な方法で残留した粉体

を回収している。しかし、いずれの方法においても人手と時間を要し、本体以外の部品を使用するため洗浄する対象が増える。また、ヒューマンエラーによるコンタミネーションの混入など問題点が多く存在している。この粉体残量を自動排出する機構を考案して、残量を出来るだけ少なくすることが求められている。また、乾燥工程では攪拌翼の回転により一様な混合状態を形成し乾燥を促進しているが、攪拌翼とろ過面とのクリアランス部の粉体が混合されずに上部の混合粉体と異なる乾燥状態になっている懸念があった。

今回開発した全量排出型フィルタドライヤの缶体傾斜とろ過面を振動させる機構を粉体乾燥時に作動させて、攪拌翼とろ過面のクリアランス部の粉体混合を試みて一様な混合状態にできることを確認した。本稿では、従来のフィルタドライヤに缶体傾斜とろ板振動機構を設置した全量排出型フィルタドライヤを開発し製品排出量の改善および攪拌翼とろ過面のクリアランス部の粉体混合の改善を試みたので、その構造とテスト結果について報告する。

1. 全量排出型フィルタドライヤの構造

フィルタドライヤは、ヌッチェ型ろ過器に展延、掻き取り、攪拌洗浄、攪拌乾燥などの機能を加えた多機能型ろ過乾燥機である。容器内の攪拌翼は上下に昇降し、展延、ケーキ洗浄、乾燥等の各工程を効

率よくおこなうことが可能である。

図1に全量排出型フィルタドライヤの構造を示す。

今回新たに開発した全量排出型フィルタドライヤは、従来のフィルタドライヤに本体傾斜機構とろ板振動機構を加えた構造である。加振源にエアバイブレータを採用することで、非防爆域だけではなく、防爆域でも使用可能である。

フィルタドライヤは、原料スラリーをろ過、洗浄、乾燥してえられた製品粉体を攪拌翼を回転させて缶内より排出する。しかし、従来のフィルタドライヤではろ板と攪拌翼とのクリアランス部に粉体が残留する。ここで、缶体片側を油圧式シリンダで持ち上げて缶体自体を傾斜させ、さらにエアバイブレータによってろ布下のろ板（多孔板）を振動させることでクリアランス部に残留した粉体を、振動させながら徐々に排出口側へ移動させて排出口より製品粉体を排出する構造とした。

2. 全量排出型フィルタドライヤの特長

1) 粉体排出率99.5%以上

全量排出型フィルタドライヤは、缶体傾斜機構とろ板振動機構により高い回収率を達成できるため、高価な製品や薬理活性の高い製品のろ過乾燥に最適である。少流量のエアブロー機構を併用（オプション）することによりさらに回収率が向上できる。

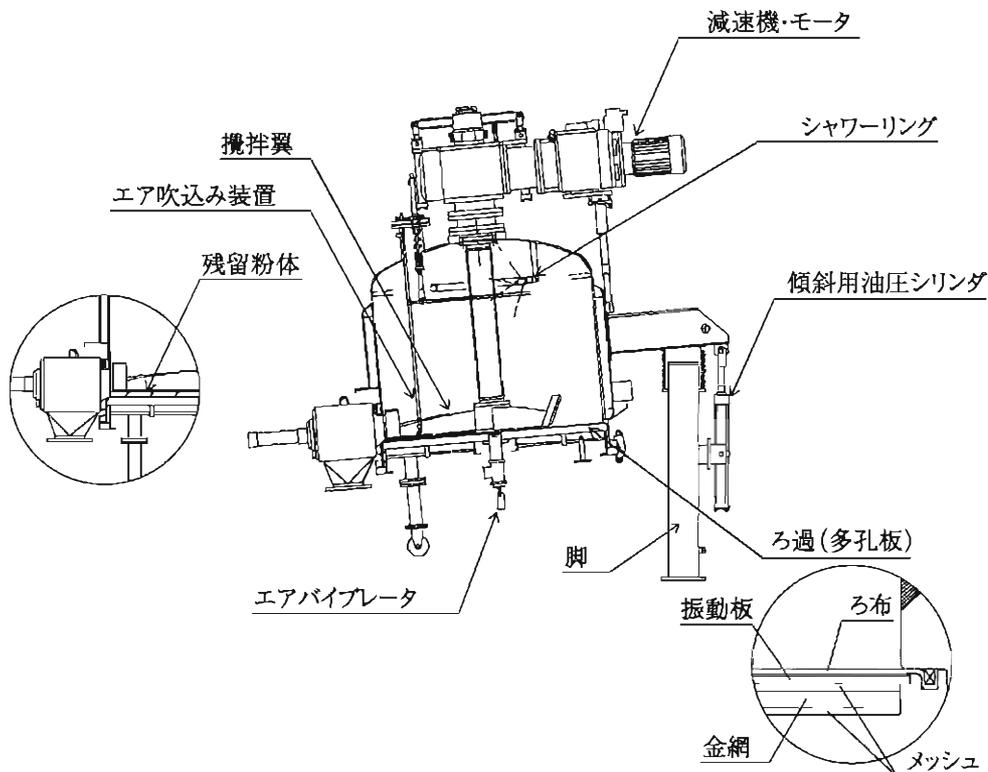


図 1 全量排出フィルタドライヤ

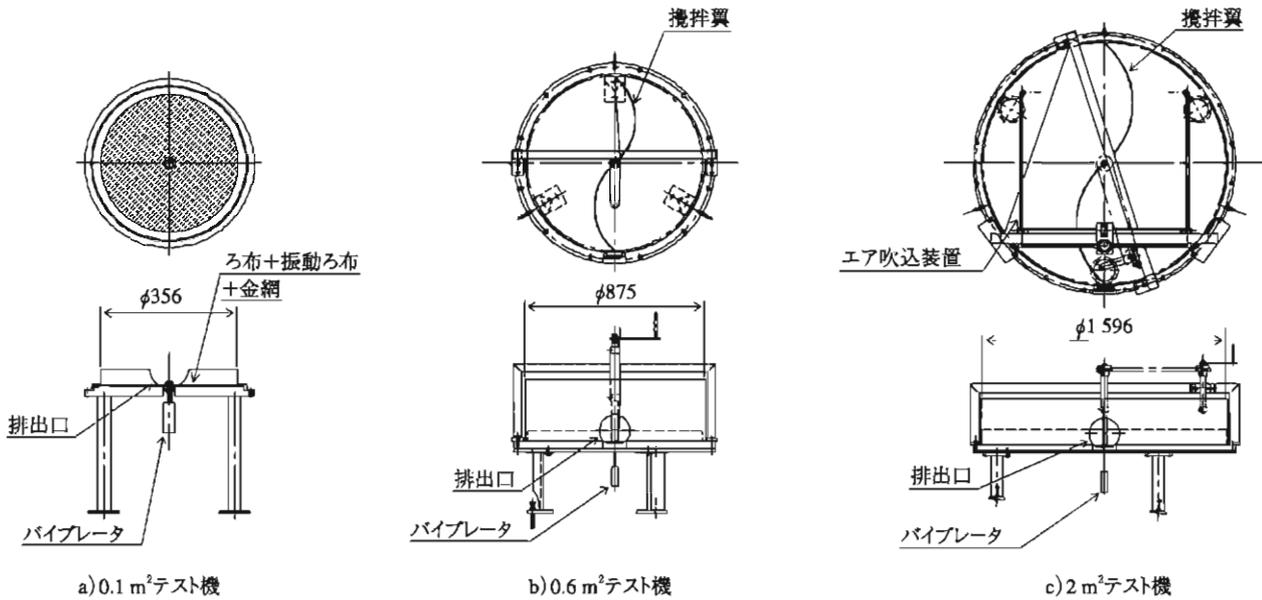


図 2 テスト機構造図

表 1 排出量測定結果

	角度(°)	3	5	8
バイブレータHTS120HF 振動力32N	排出量(g)	320.4	425.4	472
	排出率(%)	64.1	85.1	94.4
バイブレータHTS180HF 振動力116N	排出量(g)	356.8	433.3	464.5
	排出率(%)	71.4	86.7	92.9

2) シンプルな排出機構

エアバイブレータの振動によりクリアランス部に残留した製品を排出・回収するので、プロアーやサイクロンなどの大がかりな付帯設備を設ける必要がない。また、加振源のエアバイブレータはエアー駆動式であるため、非防爆域だけでなく防爆域での使用が可能である。

3) 省エネルギーの排出機構

缶体傾斜は攪拌翼の昇降や下蓋の昇降に使用している油圧ユニットを兼用する。また、ろ板の振動にはエアバイブレータを使用しているため、低ランニングコストでの運転が可能である。

4) 従来型と同じ設置面積

排出時の缶体傾斜角度が小さいため、設置面積は従来型のフィルタドライヤとほぼ同じである。

5) 混合性能が向上

乾燥、混合中に振動傾斜機構を使用することによって、攪拌翼とろ板とのクリアランス部の粉体の混合効果が向上する。

3. 排出テスト

0.1 m²、0.6 m²、2 m²テスト機をもちいて粉体の排出テストを実施した。

図 2 にテスト機の構造図を示す。

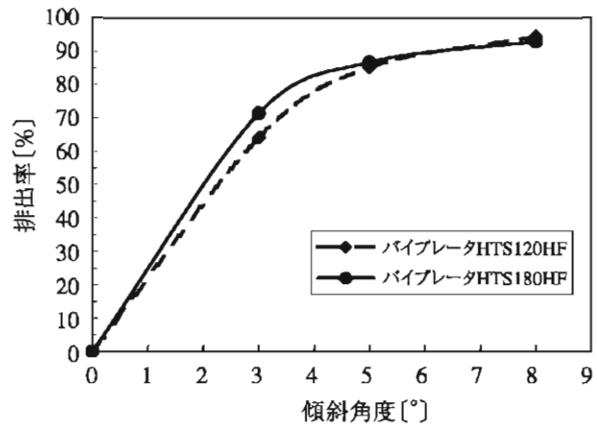


図 3 傾斜角度と排出率の関係

3.1 0.1 m²機でのテスト結果

まず、0.1 m²のテスト機でろ板傾斜機構と振動機構によるろ板上の粉体の挙動についてテスト粉体をもちいて検討をおこなった。

テスト方法：実機で攪拌翼とろ板とのクリアランス部分(10 mm)に残留した粉体の排出を想定し、テスト粉体(炭酸カルシウム： $d_{50}=2.2\mu\text{m}$)をろ板上に厚さ10 mmになるように仕込み、10分間、振動機構と傾斜機構により、粉体を排出回収する。

振動力の異なる2種類のバイブレータをもちい、傾斜角度を3°、5°、8°の場合の結果を表1および図3に示す。

振動力の影響は少なく、傾斜角度を大きくする方が効果的であることがわかった。

振動力については、振動板を全体に振動させるのに十分なバイブレータを選定すれば必要以上に振動力を大きくする必要がなく、0.1 m²テスト機では32

Nの振動力を発生させるバイブレータを選定すれば十分排出が可能である。同様に0.6 m²機では235 N, 2 m²機では450 Nのバイブレータで十分排出可能であることが確認できた。

缶体傾斜角度の影響については傾斜角度が急であるほど排出率は向上し、傾斜角度8°では残粉量は数十gでありろ板上にはほとんど粉体が残っていない状態となった。

3.2 0.6 m²機でのテスト結果

0.6 m²テスト機は、振動・傾斜機構に加え攪拌翼を設置しより実機に近い構造とした。

0.1 m²でのテストと同一粉体を持ちいて、0.6 m²においても振動傾斜機構を使用して排出テストを実施した。製品の排出評価は、実機フィルタドライヤの標準的なケーキ厚さ(高さ)300 mmを基準量とし、製品粉体が排出される量を排出率とした。なお、テスト時の粉体仕込量は実機での攪拌翼とろ板とのクリアランス(厚さ10 mm)分とし、全量排出機構により排出された粉体量を測定して、全製品粉体(仕込厚さ300 mm)に対する排出量を排出率として評価した。振動力450 N, 原料仕込量3.8 kg, 運転時間20 minとし傾斜角度を変え排出量を測定した。

テスト結果を表2および図4に示す。

通常の排出では攪拌翼を回転させただけではクリアランス部全域にわたり粉体が残る0.6 m²機では96.7% (粉体残量3.8 kg)の製品が残るが、振動・傾斜機構により傾斜角度が3°で排出率は99.6% (残量粉体0.49 kg), 5°で排出率99.6% (残量粉体0.42 kg), 8°で排出率99.8% (残存粉体0.28 kg)となり排出性能が大幅に改善されていることがわかる。しかし、絶対量として300 g弱の粉体が残っており、この残留した粉体は排出口の両サイドで堆積したまま排出口への移動が起りにくいことがわかった。これは、ろ過面積が大きくなるほど排出口の両端付近から排出口に向けての傾斜角度が緩やかになるために粉体が移動しにくくなり堆積しやすくなるものと考えられる。この残存粉を排出するために少量のエア吹き込みにより排出を促進可能か検討した。

3.2.1 エア吹き込み機構

排出口の両端に残留した粉体を強制的に排出口側へ移動させる方法として、排出口の堆積部にエアノズルを設置し粉体を強制的に排出口側へ移動させることが考えられる。0.6 m²機を持ちいて効果的なエア吹き込み方法の検討をおこなった。

1) エア吹き込み角度の影響

エアの吹き込み角度を45°, 90°(垂直)として排

出率の比較をおこなった。エア吹き出しノズルは図5に示すスプレーノズルをもちいた。

テスト結果を図6に示す。エア吹き込み量は5.0 m³/hとした。同図のように20 min後の排出率を比較

表2 排出量測定結果

	角度(°)	3	5	8
バイブレータHTS350HF 振動力450N	排出量(kg)	3.31	3.38	3.52
	排出率(%)	99.6	99.6	99.8

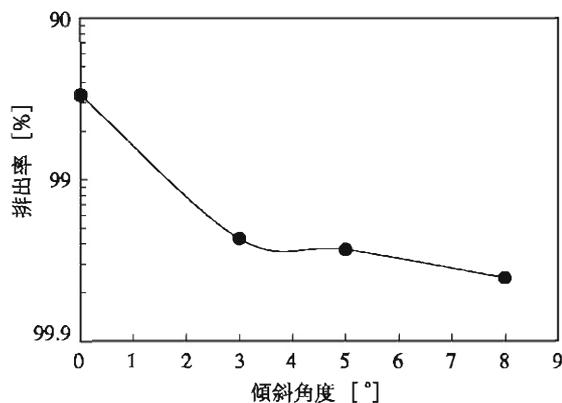


図4 傾斜角度と排出率の関係

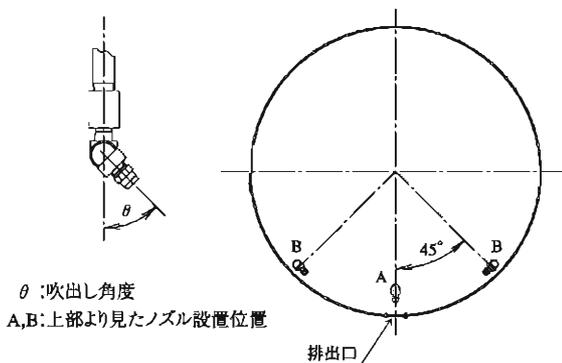


図5 エア吹き込みノズル

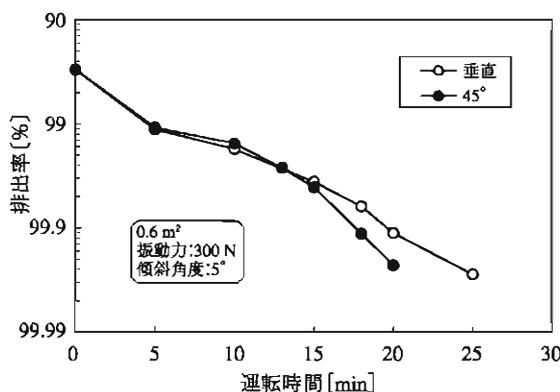


図6 エア吹き込み角度の影響

した場合、45°方向に吹き込んだ方が垂直に吹き込んだ場合より製品排出率が高くなることがわかった。90°に吹き込んだ場合、吹き込んだ箇所の粉体はエアにより移送することができるが、ノズル先端より遠方の粉体までエアが届かない、また、排出口から遠ざかる方向へ移動される粉体もあった。45°で吹き込んだ場合には粉体の移送が排出口方向へ活発に起こり排出率は向上する。

2) エア吹き込み位置の影響

エア吹き込み位置の影響について検討をおこなった。テスト結果を図7に示す。

①エアノズルを一カ所、内側から排出側中央を狙い吹き込んだ場合(図5-A位置)、②排出口の両サイド45°の位置から排出口側へ吹き込んだ場合(図5-B位置)、③は①、②両方併用した場合(図5-A+B位置)の3ケースでテストを実施した。①の場合99.5%排出できたが、②の場合は99.7%となった。振動傾斜機構によりクリアランス部の残留粉体は、排出口側へ移動するが、①の場合のように排出口付近の粉体のみエアにより強制的に排出しても排出量は大幅には改善されなかった。②の排出口の両サイドから排出口側へエアを吹き込んだ場合は吹き込んだ場所だけでなく排出口付近までエアが届くため、排出口の両サイドの壁面付近および排出口に粉体が堆積しにくく排出率は改善された。③の両方の吹き込み法を併用した場合、99.6%となり排出率は、若干悪くなった。これは、45°付近に設置したエアと排出口に設置したエアが干渉する場所ができたため、エアの流れがスムーズでなくなったためと考えられる。

3) エア吹き込み開始時間の影響

図8にエア吹き込み開始時間の違いによる排出率と運転時間との関係を示す。

同図より、排出時間が20min後の排出率を比較すると、排出開始5min後にエアを吹き込むことによって、排出率が99.9%まで向上することがわかった。排出開始10min後にエアを吹き込んだ場合より、5min後吹き込んだ場合の方が排出率が向上したのは、5min後にエアを吹き込んだ方が排出口の両端部分に粉体が堆積する前にエアによって強制的に効率よく排出するため、粉体が堆積しにくく考えられる。

以上の結果より、エア吹き込み開始時間は排出開始5分後とし、吹き出し角度を45°、吹き込み位置を排出口の両サイド45°の位置とすることでほぼ全量に近い排出率を達成できると考える。

3.3 2.0m²機でのテスト結果

現在、全量排出型のフィルタドライヤは最大2m²までのシリーズを考えており、実際に2m²に相当するのテスト機を製作し検討をおこなった。4.2.1項で検討したエア吹き込み機構も組み込んだ。

2m²においてもクリアランス(10mm)にテスト粉体を仕込み、排出テストを実施した。まず、エア吹き込みなしで排出テストをおこなった。

テスト結果を図9に示す。

0.6m²テスト機と同様、振動力よりも傾斜角度を大きくした方が効果が見られた。振動力を大きくしても排出量にはほとんど差はなく傾斜角度5°では20分で約98.5%、30分後で約99.0%であった。傾

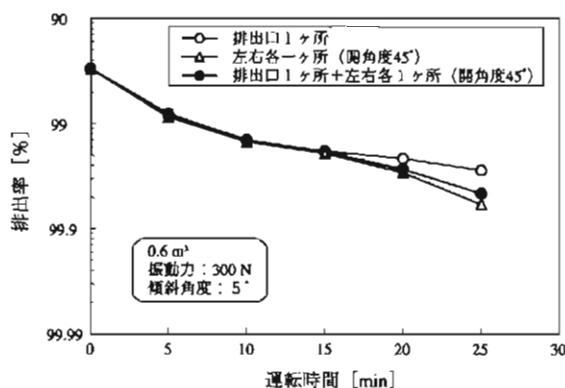


図7 エア吹き込み位置の影響

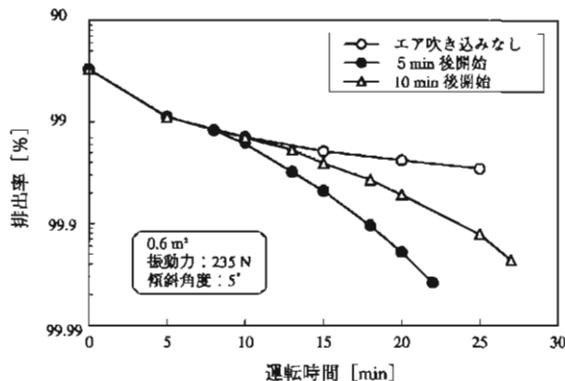


図8 エア吹き込み開始時間の影響

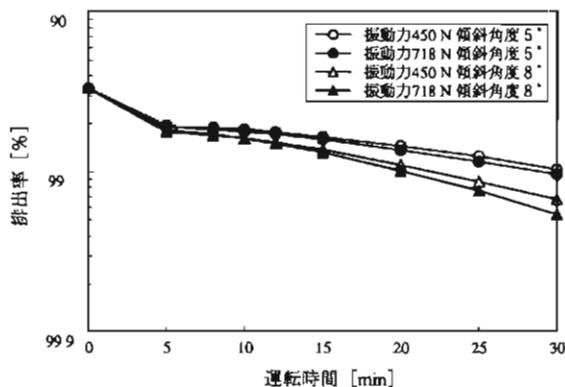


図9 2m²機排出テスト結果

斜角度 8°では20分で約99.0%，30分後で約99.5%であった。残留している粉体は、0.6 m²テスト機と同様、傾斜角度が緩やかな排出口の両サイド付近に堆積しており、エア吹き込み機構を設置することが望ましい。

3.3.1 エア吹き込み量の影響

テスト結果を図10に示す。

エア吹き込み量を変えて排出率を比較した。エア吹き込み量が多くなるほど排出率が向上する。

しかし、エアの吹き込み量を多くすると缶内の粉体は舞いやすくなり、舞った粉体が排出されず缶壁に付着したり、バグフィルタ等で捕集されるため、結果的に排出率が悪化することが懸念される。したがって、実機では製品の排出状況をテストで確認し可能な限りエア吹き込み量を少なくする必要があると考えられる。通常、堆積した粉体をエアで吹き飛ばして移送しようとする、多量のエア量が必要であるが、本機構ではろ過面を振動させておりその上にある粉体が飛び跳ねた状態となっているため、少量のエア量で粉体を移送することができる。

4. バイブレータの振動音

ろ板振動は、図1の構造で示したようにろ板を振動させているため、ろ板と金網、金網と下蓋の間で振動音が発生する。0.6 m²テスト機をもちいて振動音の騒音対策について検討をおこなった。なお、テスト機は、ろ板を含む下蓋のみで構成されているため、上蓋およびバイブレータカバーを取付け騒音の低減を試みた。

4.1 テスト結果

テスト結果を表3に示す。

同表より上部カバーおよび、バイブレータにカバーを取り付けることにより、約5 db低減することができ、実機のように密閉構造とすることにより振動音は外部に漏れにくくなると考えられる。ろ板（振動板）の振動音を抑えるため、ろ板と金網の間にコードシールを挟み振動テストを実施すると大幅に振動音を低減できることが確認できた。振動板と金網との接触によって振動音が発生しているものと考えられる。実機では、金網ではなく樹脂製の網を使用することによってさらに騒音を低減する構造とする。

5. 混合テスト

0.1 m²パイロット機をもちいて混合テストを実施した。写真1に0.1 m²パイロット機を示す。

従来型のフィルタドライヤにおいて、下部クリアランス部の粉体も流動している粉体と同様に乾燥がおこなえており、乾燥性能について未乾燥物が発生

する等の問題は起こっていないが、下部クリアランス部に乾燥粉体が押し固められた状態で残留することがある。

乾燥・混合中に振動・傾斜機構を使用することによりクリアランス部の粉体の混合が促進され、クリアランス部での粉体の固化防止などの効果が期待できると考えられる。

フィルタドライヤ内にテスト粉体として炭酸カルシウム粉体：弁柄（95：5）を仕込み、混合テストを実施した。なお、混合するに従い弁柄が分散し、試料は白から赤に着色される。

テストの評価は、振動傾斜機構の有無により、2時間混合したあとの攪拌翼と濾板とのクリアランス部（10 mm）の混合状態の違いを観察した。

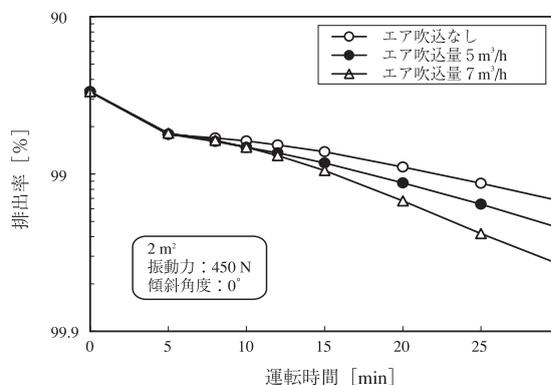


図10 エア吹き込み量の影響

表3 振動値測定結果

テスト機の状態	騒音状態
上部開放	89-91 db
上部カバー	84-86 db
上部カバー+バイブレータ	82-84 db
振動板と金網の間にコードシール+カバー	75-78 db

設計圧力：本体 F. V. ~0.19 MPa

外套 0.3 MPa

設計温度：本体 130 °C

外套 130 °C

全容量：80 L

ろ過面積：0.1 m²

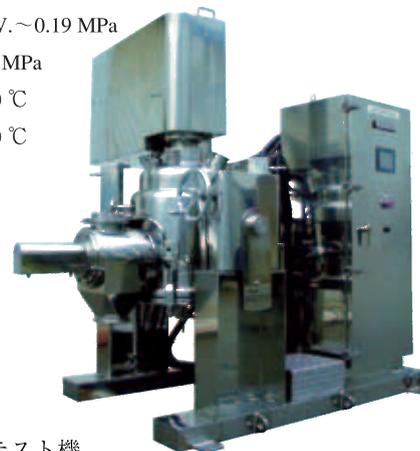


写真1 0.1 m²テスト機

5. 1 テスト結果

混合状態を写真2～5に示す。

振動、傾斜をおこなわない通常の混合の場合は、クリアランス部の上部約1mmは混合されているが、下部9mmはほとんど混合されていない。したがって実際の乾燥操作においてはこの部分は攪拌されないため製品が固化しやすく排出性を阻害する可能性が極めて高い。

つぎに傾斜のみおこなった場合は、クリアランス部の上半分程度は混合されていたが、下半分は混合されていなかった。

振動のみ加えた場合は、振動の強い中心部では上部約8mmは混合されていたが、振動の弱い周部分は約5mmが混合されていなかった。

振動と傾斜の両方をおこなった場合は、クリアランス部の全域にわたり良く混合されていた。

このテスト結果より、全量排出型フィルタドライヤは、傾斜・振動機構を併用することによって混合ムラの少ない製品を得ることができると考えられる。また、下部クリアランス部の粉体は振動・傾斜をおこなうことで良く混合されており、乾燥中に定期的に振動を与えることによって、下部クリアランス部の固化を防止し、乾燥性能を向上できると考えられる。缶体を傾斜させて混合させることでシール部への影響が懸念されるが、粉体攪拌の場合は横荷重が液体攪拌にくらべ小さいこと、傾斜角度は最大15°以内であり問題はない。

6. ろ板およびろ布の耐久テスト

本機はろ板を振動させ粉体を排出する構造であり振動によるろ板の疲労破壊とろ布の摩耗が懸念されるのでろ板とろ布の耐久テストを実施した。

〈テスト条件〉

- ・テスト装置：0.6 m²
- ・バイブレータ：NTS 250 HF/振動力235 N
- ・ろ板材質：SUS 304
- ・発生応力：2.51 kg/mm²

〈テスト結果〉

ろ板では応力集中部や溶接部での疲労減少係数が大きくなる部位をなくしたので、振動回数4×10⁷回まで振動した結果、ろ板及びバイブレータ取付部は、テスト開始時と変化はなく正常な状態であった。また、本テストではポリプロピレン製濾布を使用した。テスト終了後においても毛羽立ちもなく目視確認では正常な状態であった。

むすび

フィルタドライヤに缶体傾斜とろ板振動機構を設

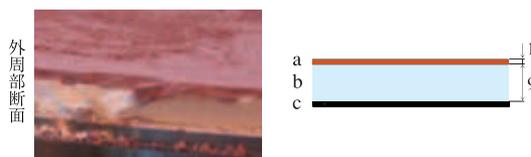


写真2 通常混合（傾斜・振動なし）

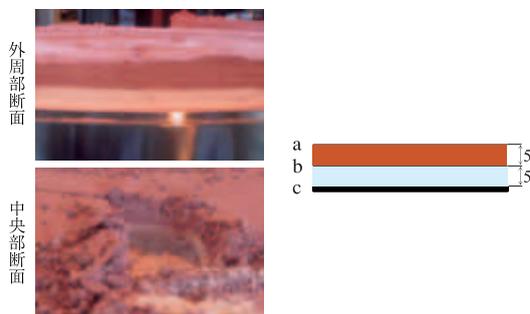


写真3 傾斜のみ

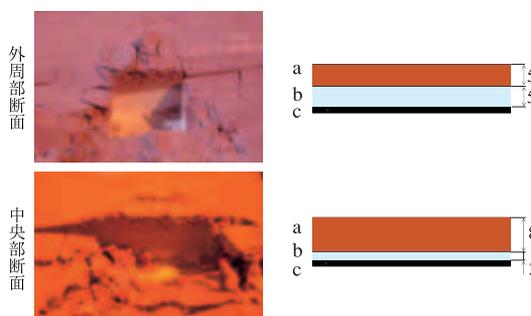


写真4 振動のみ

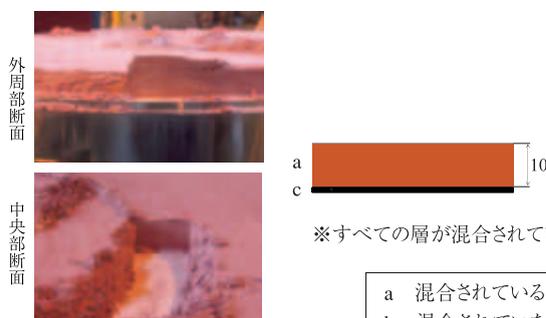


写真5 振動+傾斜

a 混合されている部分
b 混合されていない部分
c 濾布

置した全量排出型フィルタドライヤは、長年の課題であったクリアランス部の残存粉体を大がかりな設備を必要とすることなく回収できる画期的な装置である。また、全量排出機構は攪拌翼とろ過面とのクリアランス部の混合にも有効であることが確認できた。さらに、ろ過面の振動がろ過に及ぼす影響についても現在、名古屋大学大学院の入谷教授研究室の協力により調査中である。

本稿では炭酸カルシウム粉をもちいた排出テスト結果を紹介したが、今後、実際の客先テストを通じ数多くの実粉テストをおこないデータを取得していきたい。

グラスライニング製反応機用 「ノンコンタクトシール」

"NON-CONTACT SEAL" for Glasslined Reactors

[特許出願中：特願2003-371122]



プロセス機器事業部技術部
中尾末貴
Sucki Nakao

グラスライニング製反応機は医薬・ファインケミカルの分野で数多く使用されているが、近年それらの分野で使用される製造設備に対しては高いレベルでのコンタミレス化が求められている。軸封部は反応機においてコンタミ源となる部分であるが、この問題を解消することのできる軸封、グラスライニング製反応機用『ノンコンタクトシール』を開発した。『ノンコンタクトシール』は従来の軸封と異なり摺動部を持たないため、コンタミを発生しない。また、スチームを使用することにより定置状態での滅菌が可能であり、滅菌作業にかかる手間を大幅に削減できる。コンタミレス、クリーンさが要求される分野での使用に適している。

Many glasslined reactors used in pharmaceutical and fine-chemical fields are required to be free from contamination in recent years. Contamination is mainly generated owing to sealing mechanism. A sealing device having no rubbing face was developed as a solution; "NON-CONTACT SEAL" for Glasslined Reactors. No wearing particles, therefore, are generated. Sterilization of the seal can be done by supplying steam through seal gas inlet. The proper application includes reactors used for manufacture of clean and contamination-free products.

Key Words :

軸	封	Seal
コンタミレス		Contamination-free
滅菌		Sterilization

まえがき

グラスライニング（以下GLと呼ぶ）製反応機は高度な耐食性と製品の純度が要求される化学工業の分野で長年使用されている。近年、とくに医薬やファインケミカルなどの分野では製品の純度化に対する要求がますます高まっており、その製造に使用される設備に対しても高いレベルでのコンタミレス化が求められている。

GL製反応機の軸封部にもちいられている従来の

形式の軸封はその構造上コンタミ源となる可能性があり、高いレベルでのコンタミレス化が求められる製造設備での使用には適していない。

当社ではコンタミレスというニーズに応えるため、日本ピラー工業（株）と共同でクリーンな軸封GL製反応機用『ノンコンタクトシール』の開発をおこない、販売を開始した。

本報ではテストデータなどを交えながらノンコンタクトシールについて紹介する。



写真1 ノンコンタクトシール外観



写真2 シート

1. ノンコンタクトシール

1.1 構造および原理

写真1にノンコンタクトシールの外観を、図1にその形状を示す。ノンコンタクトシールはフランジと共に缶体側に取付けられるシート、攪拌軸と共に回転するシールリング、スプリングリテーナなどにより構成される。材質はシートをカーボン、シールリングをセラミックとするのが標準であり、そのほか接ガス部の材質はセラミックとなっている。シールリングと軸のシールにはパーフロゴム製のOリングを使用している。

シートとシールリングの間の面がシール面である。シールリングはスプリングにより押付けられているため、初期状態ではシートとシールリングは接触している。写真2にシートの形状を示す。このように、シートのシール面には円周分割溝が設けてある。この溝にシート内部の流路を通してシールガスを供給するとシール面にはスプリングの押付け力とつり合う力が発生し、シール面にクリアランスが形成される。

また、缶内圧力より高圧でシールガスを供給することにより、缶内ガスは完全に密封される。

このような原理で、ノンコンタクトシールは摺動部を持たない軸封として機能する。

1.2 ノンコンタクトシールの特長

従来、軸封にはドライシール、メカニカルシール、およびグランドシールなどがもちいられている。それらの構造および特長について簡単に述べる。

図2にグランドシールの構造を示す。グランドシ

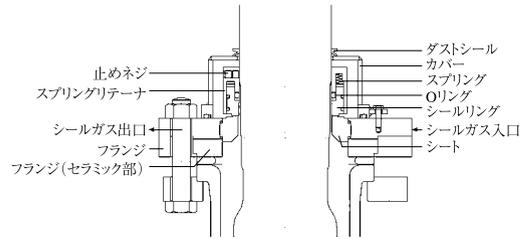


図1 ノンコンタクトシール

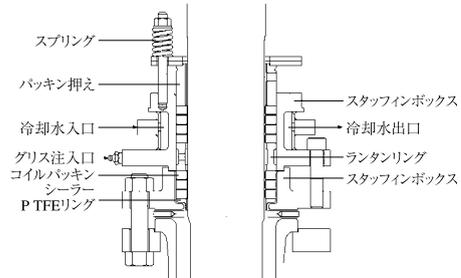


図2 グランドシール

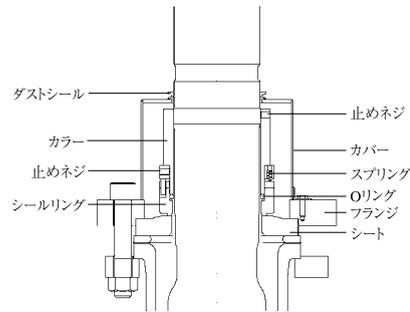


図3 ドライシール

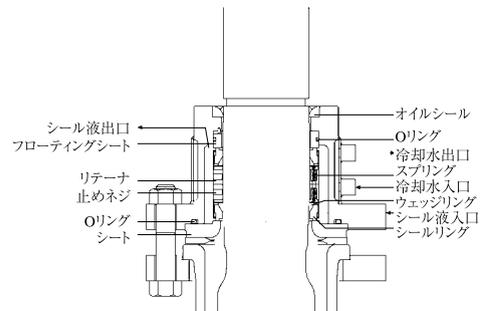


図4 メカニカルシール

ールはグランドパッキンによりシールをおこなう。低コストでメンテナンスが容易であるが、パッキン層の缶内への混入、缶内ガスの外部への流出の問題がある。

図3にドライシールの構造を示す。ドライシールはPTFEシールリングとセラミックシートの組合せによりシールをおこなう。グランドシールにくらべ、缶内への異物混入量はきわめて少ないが、缶内ガスの外部への流出を完全に防ぐことはできない。

図4にメカニカルシールの構造を示す。メカニカ

ルシールはカーボンシールリングとセラミックシートの組合せによりシールをおこなう。シール液を使用することにより優れた密封性を有するが、シール液が缶内に混入する可能性がある。

ノンコンタクトシールはこれらの軸封が抱える問題点を解消した軸封である。その特長を以下に示す。

①コンタミレス

シール面が非接触で摺動面がないため、摩耗粉が出ない

②ノンメタリック構造

接ガス部はセラミックあるいはカーボンの非金属材料により構成されているため、金属イオンによるコンタミがない

③滅菌仕様

シールガス供給口よりスチームを流すことにより定置状態での軸封部の滅菌が可能

④メンテナンスレス

シール面の摩耗がないためシールは長寿命で、メンテナンス間隔を長期化できる

⑤高密封性

缶内圧力より高い圧力でシールガスを供給することにより缶内ガスを完全密封

1.3 設計仕様

ノンコンタクトシールの基本設計仕様を以下に示す。

- ①材質(接ガス部)：セラミック，カーボン
- ②設計圧力：F.V.~0.2 MPa
- ③設計温度：-30~158℃
- ④サイズ：2B, 3B, 4B, 5・1/2B

2. シール部の構造

2.1 クリアランスの測定

ノンコンタクトシールはシールガスを供給しながら使用する。シールガスを供給することによりシール面の円周分割溝にはスプリングによる押し付け力とつり合う圧力が発生し、その力によりシールリングは押し上げられ、シール面にクリアランスが形成される。

クリアランスの実測データを図5に示す。軸サイズ4Bのノンコンタクトシールを使用し、軸を回転させずにシールガス供給圧力0.4 MPa一定のもとで缶内圧力を変えて測定をおこなった。缶内圧力により若干変動はあるが、クリアランスは10 μm前後であることが確認できた。

軸回転状態におけるクリアランスについては構造上測定をおこなうことが困難である。シールガスの供給量はクリアランス、シールガスの供給圧力およ

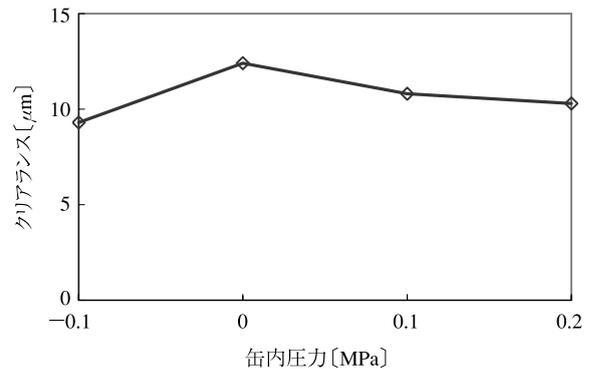


図 5 シール面のクリアランス

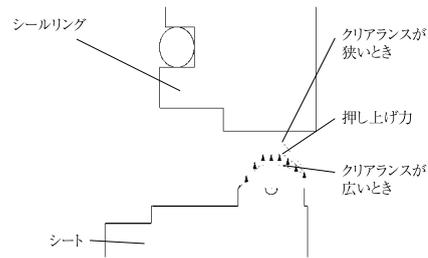


図 6 クリアランス調整機能

び缶内圧力によって決まるため、シールガス供給圧力と缶内圧力が一定の条件ではシールガスの供給量からクリアランスが推測できる。

シールガス供給圧力0.4 MPa、缶内圧力が大気圧の条件で回転数0~180 rpmの範囲でシールガス供給量の測定をおこなったが、回転数によらず供給量は24 NL/minとなり、この範囲では回転数のクリアランスに対する影響はないといえる。また、軸回転後にシールリング側およびシート側のシール面の検査をおこなったが、接触による傷などはみられず、正常にクリアランスが形成されていることが確認された。

2.2 クリアランスの安定性

ノンコンタクトシールにはクリアランスを一定に保つ自動調整機能がある。図6にシールリングに作用する押し上げ力の模式図を示す。外乱によりクリアランスが広がった場合、円周分割溝におけるガスの圧力は低くなりシールリングを押し上げる力は小さくなるためクリアランスは狭まる側に作用する。逆にクリアランスが狭くなった場合、ガスの圧力は高くなりシールリングを押し上げる力は大きくなるためクリアランスは広がる方向に作用する。シートのシール面には円周分割溝が複数個配置されているため、各溝においてこの作用が働き、安定したクリアランスがえられる。

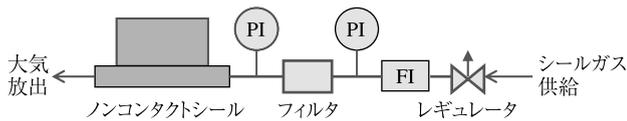


図 7 シールガス供給フロー

3. シールガス

ノンコンタクトシールはシールガスを供給しながら使用する。その供給フローを図7に示す。軸回転中にシール面のクリアランスを測定することは困難であるため、計器によりシールガスの供給圧力、および流量を確認し、間接的にクリアランスを監視することになる。現場計器では常時監視することが困難であるため、シールガス供給ラインに圧力スイッチを取付けてシールガスの供給状態を監視し、ノンコンタクトシールを保護するためのインターロックを設けることを推奨している。

また、ノンコンタクトシール内部におけるシールガスの流路は狭いため、微小なゴミが混入した場合に流路が閉塞する危険性がある。それを防ぐために供給ラインに5 μm のフィルタを取付けている。供給されたシールガスのうち一部は缶内へ流入するため、そこに含まれる微小なゴミが問題になる場合はより目の細かいフィルタを使用することになる。

シールガスの供給量、供給されたガスの缶内側への流入量および大気側への流出量の実測データを図8に示す。ここでは2.1クリアランスの測定のテストと同一のシールを使用し、圧力0.4 MPaのN₂をシールガスとして供給している。缶内圧力が大気圧、あるいは真空側では流入量と流出量がほぼ同量となるが、缶内圧力が高くなるほど流入量が減少する傾向にある。

なお、シールガスにはN₂以外にエアーなどを使用することもできる。缶内内容物への影響などを考慮して選定する必要がある。

4. 滅菌

医薬などの製造設備においては製品に接する部分の確実な滅菌が求められる。従来、軸封部はその構造上、定置状態での完全滅菌が非常に困難であった。ノンコンタクトシールではシールガスの供給口からスチームを供給することにより定置状態での滅菌作業が可能である。

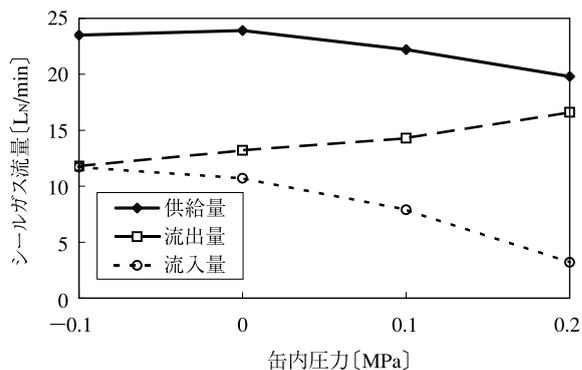


図 8 シールガス流量

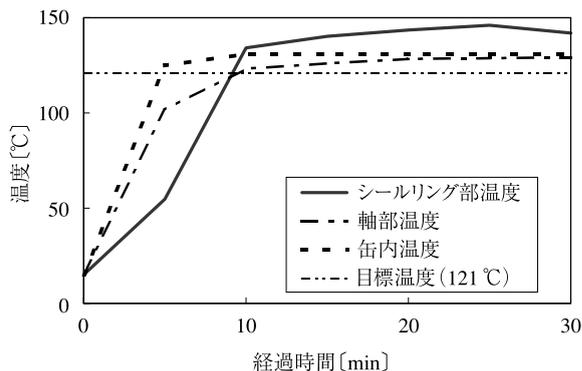


図 9 スチーム滅菌

滅菌作業時におけるノンコンタクトシール各部の温度変化を図9に示す。スチームは0.4 MPaで供給した。高圧蒸気滅菌法の一般的な滅菌条件は121 °Cで20分間保持することであるが、このケースではスチーム供給開始後約10分で各部の温度が目標温度に達しており、30分間スチームを供給し続けることで軸封部の滅菌が可能となる。ただし、短時間で確実な滅菌をおこなうためにはシールカバー部からの放熱を防ぐ必要があり、カバー部に外套を付属してスチームを流入する構造としている。

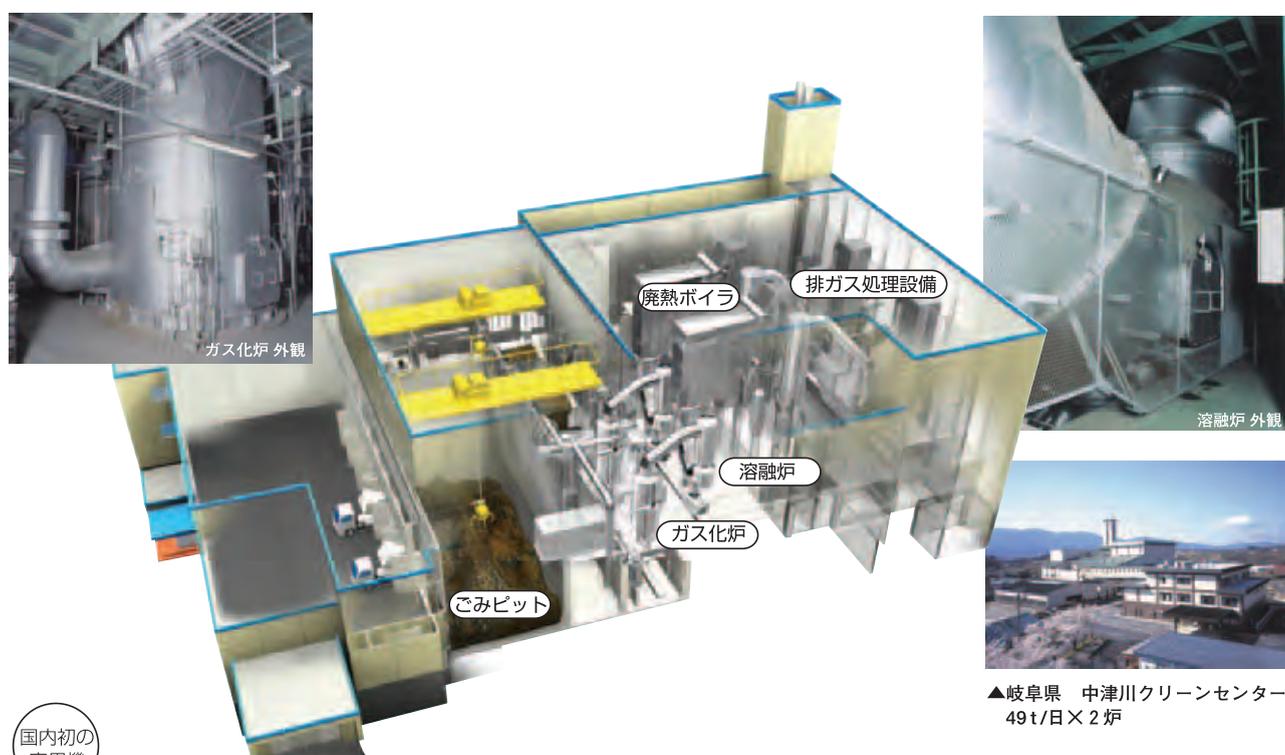
むすび

GL製反応機用『ノンコンタクトシール』について、テストデータを交えながら紹介した。製品の高純度化が要求される分野において、製造設備のコンタミレス化に寄与するものと確信している。

最後にGL製反応機用ノンコンタクトシールの共同開発を進めるにあたり多大なご助言、ご協力をいただいた日本ピラー工業（株）の関係各位に深く感謝の意を表します。

次世代型の廃棄物処理システム 「流動床式ガス化溶融システム」

流動床式ガス化溶融システムは、当社が長年つちかった廃棄物処理技術をベースに、独自に開発した次世代型の廃棄物処理システムです。有害物質の排出を限界まで抑制し、熱や資源のリサイクル性に優れ、循環型社会構築に応える先進技術です。2000年10月国内初の実用機を立ち上げて以来、現在全国で5施設が順調に稼動中です。



国内初の実用機



▲青森県 中部上北清掃センター
30t/日×2炉



▲広島県 安芸クリーンセンター
65t/日×2炉



▲秋田県鹿角 環境衛生センター
30t/日×2炉



▲宮城県 石巻広域クリーンセンター
115t/日×2炉

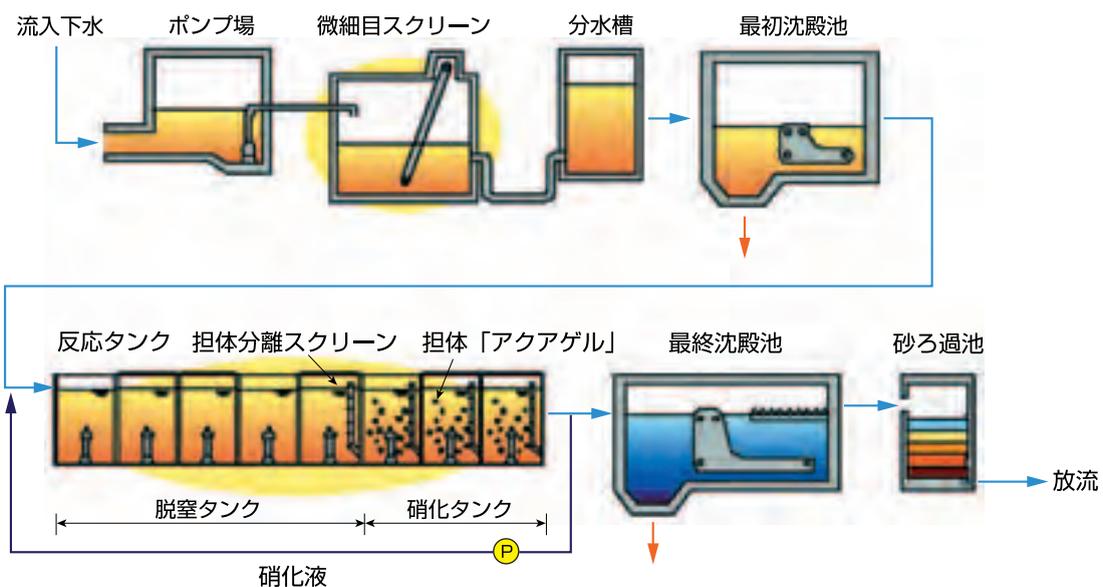
担体投入型高度処理プロセス 「アクアナイト」

富栄養化防止を目的として採用される生物学的窒素除去法は、反応タンク滞留時間が標準活性汚泥法の約2倍となるため、広大なスペースが必要です。当社の担体投入型高度処理プロセス「アクアナイト」は、硝化に必要な微生物を高濃度に保持することができる担体「アクアゲル」を好気タンクに投入して反応を促進し、標準活性汚泥法と同等の滞留時間で硝化・脱窒をおこなうことができます。

兵庫県明石市の下水処理場向けに高度処理設備を納入し、3年以上の運転実績があります。



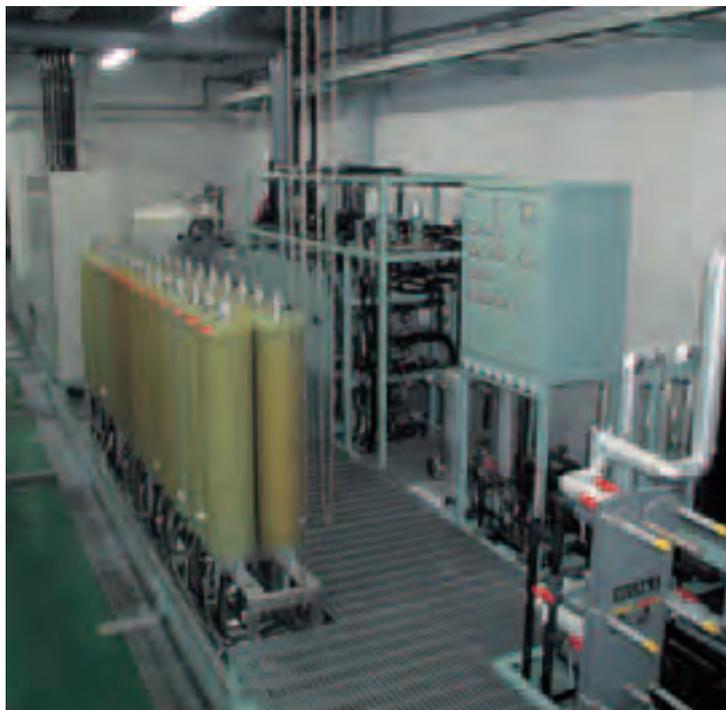
アクアゲル



浸出水処理装置 「DT モジュールシステム」

DT モジュールシステムは、平膜ディスク型逆浸透膜「DT モジュール」を組み込んだ、廃棄物の埋立最終処分場から排出される浸出水を浄化する装置です。装置はユニット化されており、従来の生物処理にくらべてコンパクトであり、逆浸透膜を使用することにより、従来の生物処理主体の処理方式では除去ができなかった塩類や、ダイオキシン類・環境ホルモン等の難分解性物質を確実に除去することができます。

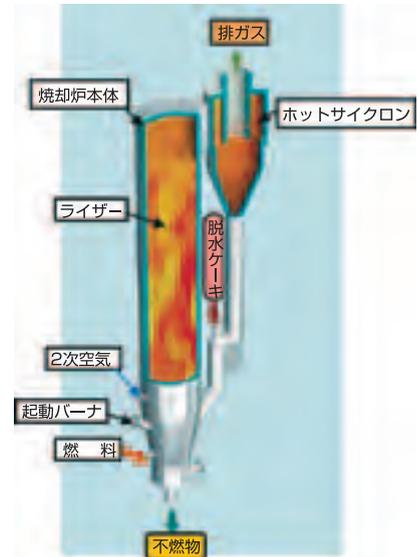
1999年に1号機が運転を開始、現在日本最大級の屋根付埋立処分場を含む8カ所で、水道水レベルの安全できれいな処理水に浄化・放流しています。技術導入したドイツでは、浸出水処理の分野だけでなく、海水の淡水化などにも使用されています。



DT モジュールシステム

下水汚泥焼却の未来をかえる 「循環流動層焼却炉」

循環流動層焼却炉は、従来の気泡流動層炉に替わる次世代の下水汚泥焼却炉です。焼却炉本体とホットサイクロンで構成され、高速のガス流にともない高温の流動砂が焼却炉－サイクロン間を循環することにより、炉内を高温均一に維持できます。そのため、汚泥の性状変動への対応、し渣・沈砂との混焼に適しており、その他にも、省電力、コンパクト、クリーンな排ガス性状等の特長があります。



循環流動層焼却炉

新型粉体混合乾燥機 「C-CDB」

医薬品、食品のバルク製造工程で、GMP 対応機器として、良好な洗浄性、コンタミレスを特長とした容器回転型の混合乾燥機「CDB」が使用されています。この「CDB」をさらに進化させた新製品の「C-CDB」を開発し、販売を開始しました。とくに、新規の構造によりクリーンルームの縮小、クリーンルーム内でコンタミ発生源をなくすことができ、容器へのアクセスが容易で、作業性、安全性が向上しています。



C-CDB