## 神鋼環境ソリューション技報 2004年度・Vol.1・No.2

KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS

目	次	CONTENTS
1	く巻頭言> 3Rでイニシアティヴをとれるか日本	30111 E1110
2	中空糸膜をもちいた膜分離活性汚泥処理システム	Hollow Fiber Membrane Bio-Reactor System
8	汚泥減量化システム ーレセルシステム <sup>®</sup> ー	"RESER <sup>®</sup> System" for Sludge Volume Reduction
14	ビニループプロセスによる塩ビ系廃棄物の マテリアルリサイクルと適用用途	Material Recycling of Wasted Polyvinylchloride by VinyLoop® Process and Case Study for Applications
21	PCB 汚染物等のプラズマ溶融分解技術	Plasma Melting Technology of PCB-contaminated Wastes
27	ガス化溶融施設の連続安定運転	Stable Operation of MSW Gasification and Melting Plant
33	ハイブリッド型膜ろ過設備の納入実績 (岡山県吉備中央町竹谷浄水場)	Hybrid Water Purification Plant —Combined System of Upflow Bio Contact Filter and Membrane Filtration—
38	静電気障害を防止する導電性グラスライニング	"ECOGL-Electrically Conductive Glass Lining"
43	グラスライニング製機器用 「サンプリングバルフ	ブ」 "SAMPLING VALVE" for Glasslined Vessel
46	グラスライニング製機器用 「E-マンホール」	"E-MANHOLE" for Glasslined Equipments
50	製品·技術紹介	

## 3 Rでイニシアティヴをとれるか日本



静岡県立大学大学院

教授 横田 勇

Isamu Yokota

昨年の6月アメリカにおいて開催された主要国首脳会議(G8シーアイランド・サミット)において、小泉首相は、「日本での3Rイニシアティヴ閣僚会合」を提唱し、各国首脳の合意を得て、2005年4月28日から30日の3日間東京で各国の環境大臣が参加して開催されることとなりました。

世界的な人口の増加と経済規模の拡大に伴い、資源の消費、廃棄物の発生は増大の一途を辿っております。経済のグローバル化によって、先進国のみならず、途上国においても都市化の進展による処分場の確保の困難やその不適正管理によって衛生状態が悪化し、処理困難廃棄物が排出されるようになりました。今日全世界において廃棄物問題解決のための最適解が渇望されております。3 Rイニシアティヴ閣僚会合は、日本が循環型社会の構築に向けて推進しようとしている廃棄物の適正管理や3Rイニシアティヴの現状とこれまでの蓄積を諸外国ならびに国際機関に評価していただく絶好の機会であります。わが国の環境政策は、明治以来伝染病に対する予防措置としてのし尿および生ごみの衛生的処理を嚆矢として下水道や廃棄物の処理体制等が順次整備されて参りました。元より狭小な国土の中で大量生産、大量消費されたプラスチック廃棄物や廃家電製品等が疾風怒濤の如く自治体の清掃事業を襲い、焼却を中心とした処理体制の強化を余儀なくさせたことが結果的にごみ焼却炉や排ガス処理技術の飛躍的な発展をもたらしました。

どんな物質であれ、それがエネルギーに変換されない限り物質不滅の法則がありますので、廃棄物問題は所詮物質が占有する空間(スペース)の確保という課題につき当たります。しかし、これから先廃棄物の新しい処分場所を確保することはほとんど至るところ困難と言ってよいでしょう。残された選択は既存の埋立地の掘り起こしによって掘り出されたものの中から資源化できるものを選別して再資源化し、減量化によって生じたスペースを新たな廃棄物の保管場所として再利用することです。その保管も最善の方法によって行われなければなりません。消費者も行政も事業者も皆が情報を共有し、知恵を出し合う時であります。要らなくなったら捨てるという「一方向的埋め立て依存型廃棄物処分」の時代は今や終焉を迎え、「循環型廃棄物管理」の時代に移りつつあります。廃棄物の発生を抑制するリデュース、用途を拡大して再使用するリユース、循環資源として再生利用するリサイクルの3Rの徹底は日本でこそ喫緊の課題であります。

一貫して高い品質と性能を有する施設を市町村等に提供してこられた神鋼環境ソリューションのこれまでの歩みは日本の環境問題解決へ向けての取り組みの歴史そのものでもあります。将来世代を見据えた持続可能な社会発展の基盤となる生活環境整備のためのベストソリューションを、これからも「神環境鋼ソリューション技報」が社会に広く発信し続けられることを希望して止みません。

## 中空糸膜をもちいた膜分離活性汚泥処理システム

Hollow Fiber Membrane Bio-Reactor System





技術開発本部 水・汚泥技術開発部水処理室 石 山 明 Akira Ishiyama 中 島 優 — Yuichi Nakashima

排水規制の強化に対応すべく、高度処理技術の開発に取組んでいる。そのひとつが、PVDF 製の中空糸膜をもちいた浸漬型膜分離活性汚泥処理システムである。当社は、実用化に向け、実下水をもちいたパイロットプラント実証実験で1年半にわたる運転データを取得してきた。その結果、四季を通じ、膜透過フラックス0.6m³/m²/d で安定した膜差圧を維持するとともに、6時間程度の短い滞留時間で高度処理(SS<1mg/L、全窒素<10 mg/L)を達成し、さらに汚泥転換率を60 %にまで低減することができた。

A PVDF hollow fiber membrane bio-reactor (MBR) system has been developed to comply with the stringent regulation of treated water from the wastewater treatment plant. A pilot test plant was operated using actual sewage water for about one and a half year for practical use. The test proved gradual increase of transmembrane pressures at membrane flux of 0.6 m³/m²/d. For all seasons, the high effluent quality was maintained; SS less than 1 mg/L and nitrogen less than 10 mg/L, for example, in a short HRT of about 6 hours with the minimized bio-reactor. In addition, the sludge reduction rate was maintained at 60 %.

## Key Words:

膜分離活性汚泥法 中 空 糸 膜 高 度 処 理 汚 泥 減 量 化 省 スペース化 Membrane bio-reactor Hollow fiber membrane Advanced wastewater treatment Sludge reduction Area minimization

#### まえがき

水処理分野における膜分離技術の発展は近年著しいものがあり、浄水処理をはじめとして、各種産業排水処理、大規模建物個別排水循環利用、し尿処理等で膜分離技術をもちいた水処理が導入されており、また、最近では浄化槽、農業集落排水処理施設等の汚水処理施設にくわえ、下水処理施設においても導入されてきている。海外においても水処理分野における膜分離技術の導入が活発であり、年々、施設の大型化が進んでいる。

処理水量の少ない産業排水処理施設,浄化槽,農業集落排水処理施設等と比較して,処理水量が多い

下水処理分野では、必要膜面積が大きくなるためコスト的に不利であるとの考えから、これまで膜分離技術は一部の再利用用途以外では導入が進んでいなかった。しかしながら、前述した諸分野における膜分離技術の普及にともない膜コストが低下してきたことにより、下水処理のように処理水量の多い施設においても膜分離技術の導入が現実的な選択肢となってきている。膜分離技術の水処理への導入により、最終沈殿池や砂ろ過施設等が不要になるなどの施設の削減とそれにともなう必要敷地面積の削減によるコスト縮減効果の他、高度な処理水質がえられるなどの多くのメリットが期待できる。

このような背景から、当社では、1999年度より神戸市との共同研究にて、下水を対象とした浸漬型膜分離活性汚泥処理システムの開発を実施している。1999年度~2002年度の期間は、浸漬膜として平膜をもちいた評価<sup>1),2)</sup>をおこない、本システムの実用性を実証した。2003年度からは、さらに耐薬品性が高く機械的強度に優れた PVDF(ポリフッ化ビニリデン)製の中空糸膜を適用し、実証試験をおこなっている。<sup>3)</sup>

本稿では、PVDF 製中空糸膜をもちいた浸漬型膜分離活性汚泥処理システムについて、長期にわたる連続運転データを取得し適用技術の有効性を確認したので、その内容について報告する。

## 1. 浸漬型中空糸膜分離活性汚泥処理シス テムの概要

#### 1.1 システムの概要

本システムの概要と特長を図1に示す。

現在、下水分野では、BOD(生物学的酸素要求量:有機物量の指標)、SS(固形物)、窒素の除去を対象とした主なプロセスとして、循環式硝化脱窒法が挙げられる。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。

#### □従来法 (沈殿池による固液分離)



□膜分離活性汚泥法



- ○省スペース
- ○活性汚泥の高濃度化
- ○高度な処理水質
- ○余剰汚泥減量化

図1 浸漬型中空糸膜分離活性汚泥処理システムの概要と特長

浸漬型膜分離活性汚泥処理システムは、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、反応タンク内に公称孔径0.1~0.4  $\mu$ m 程度の精密ろ過膜(以下、MF 膜)を浸漬設置し、物理的な固液分離を実現する排水処理システムである。以下に本システムの特長を示す。

- ① 最初沈殿池,最終沈殿池,砂ろ過設備が不要となり,プロセスが簡略化され,省スペース化が可能となる。
- ② 反応タンク内の MLSS (活性汚泥濃度) 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水理学的滞留時間 (以下, HRT) で有機成分のみならず窒素除去をも実現できる。
- ③ 孔径0.1~0.4 μm の MF 膜にて固液分離するため, SS 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、沈殿池における固液分離障害の原因となる汚泥膨化(バルキング)が発生しても、処理水への影響がない。
- 1.2 中空糸膜モジュールの概要と特長

本システムに適用している中空糸膜モジュールの 概要を図2に、主な仕様を表1に示す。

表1 中空糸膜モジュールの主仕様

形状	中空糸型 MF 膜			
サイズ	$\phi$ 150 mm $ imes$ H2 160 mm			
	(有効膜長 2000 mm)			
有効膜表面積	25 m²			
平均膜孔径	0.1 μm			
膜材質	PVDF(ポリフッ化ビニリデン)			

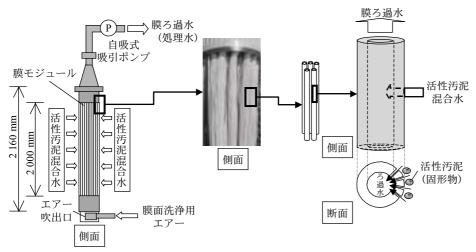


図2 中空糸膜モジュールの概要

本システムの中空糸膜は外径 1 mm 強の細長い糸状の膜であり、中心部が空洞となっている。膜の材質は耐薬品性が高く機械的強度に優れたPVDF製であり、膜表面には平均0.1  $\mu$ m の微細な孔のあいた構造となっている。

膜モジュールは、この中空糸膜を多数束ね、その束の両端を樹脂により接着し、片側の中空糸膜の端面を開口させた構造となっている。その開口側から吸引ポンプにより吸引することで、中空糸膜表面の微細孔によりろ過がおこなわれるしくみとなっている。モジュールは省スペースな円筒型であり、1基の大きさは、外径150 mm、長さ2 160 mm(有効膜長2 000 mm),有効膜表面積は25 m² である。

浸漬型膜分離活性汚泥処理システムでは、活性汚泥混合水を吸引していくと膜面に汚泥が堆積し、ろ過抵抗となる。これを防止するため、モジュール下部からエアを吹出して膜面を洗浄しながら吸引ろ過をおこなう。モジュール形状が円筒型なので膜の集積度が高く、そのため1基当たりの必要なエア量が0.08 m³/min と非常に少なくて済む。

また、中空糸膜は断面が円形のため、内外からの



写真1 実証実験プラント

圧力に強い構造となっている。その利点を生かし, 通常の運転サイクルにおいて数十分に1回程度,膜 内部から逆圧をかけ,ろ過水を逆に押出し,膜面に 付着した閉塞物質を除去する。これを「逆洗」とい う。

さらに、膜の材質が耐薬品性に優れた PVDF 製であるため、次亜塩素酸ソーダをもちいた「インライン逆洗」(膜モジュールを反応タンクに浸漬したままでの逆洗)を月に1回程度実施することで、逆洗では排除できずに膜面にしつこく付着した閉塞物質をも洗浄することが可能である。

#### 2. 実証実験概要

#### 2.1 実験場所および実験期間

実験期間:2003年4月~2005年3月(予定)

実験場所:神戸市建設局西水環境センター西神施設

(通称 玉津処理場) 内 実験プラント

実験内容:下水処理場への適用を想定した浸漬型膜

分離活性汚泥処理システムの評価

#### 2.2 実験プラントの仕様および運転条件

パイロットプラント (処理水量30 m³/d) の全景 を写真1に,主な仕様を表2に,実験フローシートを図3に示す。

表 2 実証実験プラントの主仕様

反応タンク形状	W1.0 m×L1.0 m×H5.8 m
(1区画当たり)	有効水深 4.0 m
反応タンク区画数	2区画 (無酸素タンクおよび好気タンク)
中空糸膜モジュール	2 基を好気タンクに浸漬
前処理スクリーン	裏掻式自動微細目スクリーン (目幅 1 mm)
散気装置 (酸素供給用)	高効率型超微細気泡式散気装置

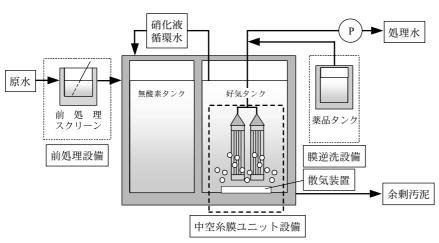


図3 実証実験フローシート

実験原水には分流式(雨水が混入していない)の下水処理場である玉津処理場の流入下水(最初沈殿池に流入する直前の下水)をもちい,目幅1mmの前処理スクリーンで毛髪等の夾雑物を荒取りした後に,反応タンクに流入させた。本実証実験ではBOD,SSの他に窒素の除去をおこなうため,反応タンクを無酸素タンクと好気タンクとで構成し,循環比(処理水量に対する硝化液循環水量の比)を2とした循環式硝化脱窒法で運転した。処理水は自吸式吸引ポンプにより吸引る過する方式とし,一定流量制御をおこなった。なお,PAC等の凝集剤は添加していない。

処理水をもちいた逆洗は、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)で実施した。また、次亜塩素酸ソーダによるインライン逆洗は1ヶ月に1回程度、有効塩素濃度0.5%で実施した。膜透過流束(膜フラックス)は、逆洗による処理水量の口スを含めて

表3 平膜の運転管理指標

MLSS	8 000∼12 000 mg/L		
好気 <b>タンク DO</b> (溶存酸素濃度)	1.5∼4.0 mg/L		
BOD-MLSS 負荷	0.05∼0.10 kgBOD/kgMLSS/d		

表4 主な実証実験条件

	高水温期	低水温期	
水 温	25.7∼33.5 °C	13.3∼20.6 ℃	
処理水量	15 m³/d	30 m³/d	
HRT	12.8 h	6.4 h	
膜モジュール数	1 基	2 基	
膜フラックス	0.6 m³/m²/d		
通気倍率 (膜面洗浄用+酸素供給用)	20倍		
硝化液循環比	2		

0.6 m³/m²/d とした。通気倍率は、膜面洗浄用曝気と酸素供給用曝気とのトータルで、処理水量に対し15~20倍とした。

#### 2.3 活性汚泥性状の管理

ところで、膜分離活性汚泥処理システムでは、膜モジュール自体の運転管理とともに、ろ過されやすい活性汚泥性状の維持が重要となる。そのため、反応タンク内の活性汚泥のろ過性指標として、ろ紙ろ過量(5分間に5C ろ紙を自然透過する液量)をもちいた。また、膜閉塞物質については固形物の他にゲル状の物質の影響が大きく、その指標としてSMP (Soluble Microbial Products)をもちいた。SMPとは、膜に堆積・付着する溶解性の有機物量を表したもので、既往の文献<sup>4),5)</sup> において膜閉塞の原因であると報告されているものである。

本パイロット実証実験の運転は、基本的に、平膜をもちいた実験で把握した運転管理指標<sup>2)</sup>(表3)に基づいている。一般的に、原水水質と MLSS 濃度が一定とすれば、活性汚泥の性状は、水温および HRT に大きく左右される。これらが適切な範囲であれば必要十分な排水処理がなされ、ろ過しやすい活性汚泥となる。しかし、水温が低い時期に HRTが短い場合は処理が不十分となる可能性があり、一方、水温が高い時期に HRT が長い場合は過剰処理となり活性汚泥の「解体」という現象が起こりやすくなる。いずれの場合も、活性汚泥性状が悪化し、ろ過性が悪くなる。

本パイロット実証実験では、1年半以上にわたって運転を継続しており、膨大なデータを取得している。本報告では、表4に示すように、とくに高水温期と低水温期の場合の性能評価を中心に報告する。

#### 3. 実証実験結果および考察

#### 3. 1 処理水質

高水温期,低水温期それぞれの原水および処理水の水質平均値を表5に示す。いずれの季節において も良好な処理がなされていた。有機物量の指標であ

表 5 処理水質(平均値)

	高 水 (水温:25	温 期 7~33.5 ℃)	低 水 温 期 (水温:13.3~20.6 ℃)			
	原 水	処 理 水	原水	処 理 水		
BOD (mg/L SS (mg/L COD (mg/L 全窒素 (mg/L NH₄-N (mg/L 全りん (mg/L 大腸菌群数 (個/100 mL	219 107 37.4 — 7.6	1.6 < 1.0 5.6 7.2 — 1.7 検出されず	254 320 161 53.1 34.0 10.2	< 1.0 < 1.0 6.5 6.7 0.28 0.7 検出されず		

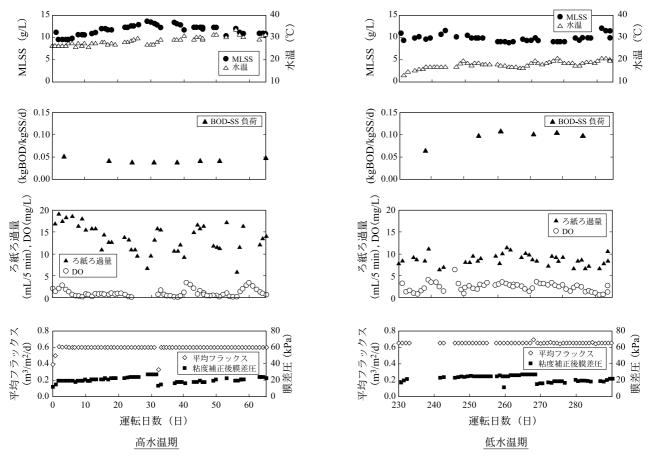


図4 高水温期と低水温期における汚泥性状と膜ろ過性の状況

る BOD, COD(化学的酸素要求量)や固形物(SS)の除去が確実におこなわれているとともに、大腸菌に関しても、菌体サイズが膜孔よりも大きく、膜面で完全に阻止されるため、処理水の大腸菌群数は未検出であった。すなわち、膜分離法の特長を端的に反映するデータをえることができた。

さらに、窒素に関しても、高度処理の目安である10 mg/L 以下に処理されていた。なお、本実験期間においては、嫌気タンクを設けておらず、また、PAC 等の凝集剤の添加もおこなっていない。今後、りん高度処理のためには、PAC 添加で対応していく予定である。

なお、高水温期と比較すると、低水温期のりん除去性能が高かった。これは、生物学的りん除去に必要な原水のBODが高かったためと推測される。

#### 3.2 膜ろ過の安定性

図4に高水温期と低水温期の汚泥性状と膜ろ過性 能を示す。

#### (1) 高水温期

通常,高水温期では有機物等の汚濁物質が十分に 分解され,ろ過性の良好な汚泥フロックが形成され ると考えられる。そこで逆に、汚泥が若干解体気味になるよう、滞留時間を長時間(12.8h)に設定し、表3の運転管理指標の範囲において最小となるBOD-SS負荷(0.05 kgBOD/kgSS/d)に近い条件で運転をおこなった。しかしながら、膜差圧の急な増大はなく、安定した運転ができた。ろ紙ろ過量に関しても、好気タンクのDOが1.5 mg/L 未満となる期間が多かったにもかかわらず、おおむね10 mL/5 min以上の良好なろ過性を示した。

#### (2) 低水温期

低水温期では有機物等の汚濁物質が十分に分解されず、ろ過性の悪い汚泥になると考えられる。そこでさらに、滞留時間を6.4h に短縮し、表3の運転管理指標の範囲において最大となるBOD-SS負荷(0.10 kgBOD/kgSS/d) に近い大きな負荷をかけた。その結果、ろ紙ろ過量がおおむね10 mL以下に悪化したものの、高水温期と比較してもほぼ同様の膜差圧を示し、安定した運転が可能であった。

#### 3.3 SMP とろ過性の相関

曝気槽に蓄積する生物代謝産物である SMP は、 (反応タンク内の溶解性 TOC) – (膜誘過水の溶解性

表 6 汚泥の脱水性評価

想定脱水機種	凝 集 剤 添 加 率	予測含水率
ベルトプレス	高分子凝集剤 0.75 (%/TS) ポリ鉄 14 (%/TS)+高分子凝集剤 0.75 (%/TS)	84 (%) 82 (%)
スクリュープレス	高分子凝集剤 0.75 (%/TS) ポリ鉄 14 (%/TS)+高分子凝集剤 0.75 (%/TS)	85 (%) 84 (%)

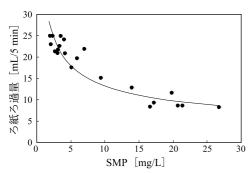


図5 SMP とろ紙ろ過量との相関

TOC) で表すことができる。図 5 に SMP とろ紙ろ 過量の関係を示す。

この結果より、SMPの上昇が活性汚泥のろ過性を低下させていることが示唆された。SMPを低く制御することにより、低水温期など、活性汚泥のろ過性が悪化する期間において、膜差圧が低く安定した運転を維持することが可能になると考えられる。

#### 3.4 余剰汚泥の発生量

図6に連続運転時に反応タンクに流入した累積 SS量と、反応タンクから引抜いた余剰汚泥量の相 関を示す。この結果から、流入 SS の汚泥転換率は 約60%であり、標準活性汚泥法(100%程度)、循 環式硝化脱窒法(80%程度)、オキシデーションディッ チ法(75%程度)と比較して余剰汚泥発生量が少 なく、環境負荷が少ない地球にやさしい処理システ ムであることが実証された。

#### 3.5 余剰汚泥の脱水性

本システムでは、反応タンク内の MLSS 濃度を 10 000 mg/L 程度と高濃度に保持できるため、通常 の水処理プロセスで必要な汚泥濃縮設備を省略できる可能性がある。そこで余剰汚泥の直接脱水が実現可能かの目処をえるため、ビーカー試験にて汚泥の直接脱水性を評価した。なお、脱水ケーキの目標含水率は、既存の水処理プロセスの脱水ケーキ含水率を参考に82 %とした。

評価の結果を表 6 に示す。その結果, 高分子凝集 剤添加率0.75 %もしくは, ポリ鉄14 %+高分子凝 集剤0.75 %の条件にて含水率82~85 %の脱水ケー キがえられることを確認した。すなわち, 汚泥濃縮

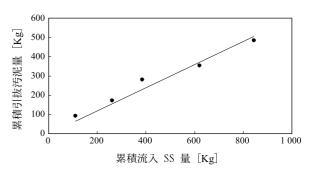


図 6 流入 SS と発生汚泥量との相関

設備が不要で余剰汚泥の直接脱水が可能であることがわかった。

#### むすび

PVDF 製中空糸膜をもちいた浸漬型膜分離活性汚泥処理システムの実用化に向け、実下水をもちいたパイロットプラント実証実験において、これまで1年半にわたって評価してきた。その結果、高濃度の活性汚泥に浸漬された状態でも安定した膜分離運転を維持するとともに、省スペース化された反応タンクにおいて四季を通じて高度な処理水質をえることができ、汚泥の減量化にも成功した。

現在, さらなる大幅なコストダウンを目的として, 膜分離運転および膜洗浄方法を最適化し, 技術のブラッシュアップを図っている。

本実験に関し、神戸市建設局の皆様方には、実験場所および貴重なご意見をご提供頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

#### [参考文献]

- 1) 内田浩**ほか**:第38回下水道研究発表会講演集, p.619-621 (2001)
- 2) 中田誠亮**ほか**:第40回下水道研究発表会講演集, p.706-708 (2003)
- 3) 石山明**ほか**:第41回下水道研究発表会講演集, p.756-758 (2004)
- 4) Namkung, E., Rittmann, B.E.: Soluble microbial products (SMP) formation kinetics by biofilm, Water Science and Technology, 20, 795∼806 (1986).
- 5) Rittmann, B.E., Bae, W., Namkung, E., Lu, C-j.: Acritical evaluation of microbial product formation in biological processes, Water Ccience and Technology, 19 517~528 (1987).

## 汚泥減量化システム レセルシステム®

"RESER® System" for Sludge Volume Reduction





技術開発本部 水·汚泥技術開発部汚泥処理室 立 光 伸 行 Nobuyuki Tateko 斉 藤 彰 Akira Saitoh

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,汚泥・生ごみ等の高含水有機性廃棄物の減量化,有効利用やエネルギ化が循環型社会構築に向け大きな課題となっている。その課題解決のため,従来の汚泥消化技術に高濃度濃縮と加水分解プロセスで構成される汚泥可溶化装置を組合わせたレセルシステムを開発した。下水処理場において実証試験を実施し,汚泥可溶化装置の283日安定運転,汚泥減量化率52%の成果がえられた。また,既存の汚泥消化設備に特別な改造が必要ないことも確認した。

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. The system, designed for the solution, is the combination of the conventional sludge digestion system and the sludge solubilization system composed of a thickened sludge concentrator and the hydrolysis unit. The result on the demonstration test, using sewage sludge confirmed the steady operation for 283 days and sludge reduction rate of 52 %. The test also proved that simply adding the sludge solubilization system could retrofit the conventional sludge digestion system without special reconstruction.

## Key Words:

汚	泥	減	量	化	Sludge reduction
可		溶		化	Solubilization
消				化	Digestion

## まえがき

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,消化設備は滞留時間が20日以上必要であるた め設備必要面積が大きいこと,消化汚泥が難脱水性 であるため含水率が低減できず大幅な減量化ができ ないこと,メタンガスの自己消費量が気温の影響を 受けるため季節変動が大きく,有効利用量の確保が 困難であること等の課題がある。ただし,消化設備 は下水処理場で唯一エネルギ回収可能な設備であり, 上記の課題が解決できれば今後普及が期待できる。

#### 1. レセルシステム概要

当社では従来消化処理における課題を解決するため、ノルウェーの Cambi 社より導入した加水分解プロセスを組込んだ汚泥処理システム「レセルシステム」を開発した。

図1にレセルシステムの標準的なフローを示す。 従来の消化処理は、下水処理場の水処理系から発生

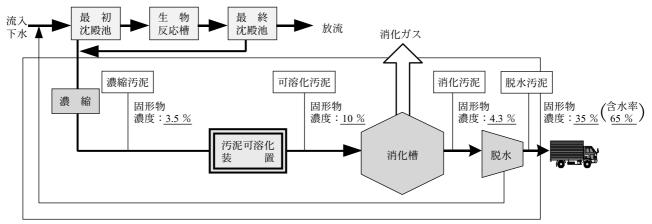


図1 レセルシステム標準フロー

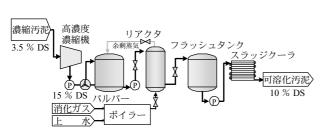


図2 汚泥可溶化装置フロー

する汚泥を濃縮設備―消化槽―脱水設備というフローで処理をおこなうが、レセルシステムは、消化の前で高濃度濃縮設備―加水分解プロセス設備(以下2つ合わせて「汚泥可溶化装置」と称す)を追加設置する。この濃縮設備―汚泥可溶化装置―消化槽―脱水設備をすべて含んだ汚泥処理全体をレセルシステムと称している。

#### 1.1 汚泥可溶化装置

汚泥可溶化装置のフローを図2に示す。汚泥可溶化装置は、高濃度濃縮機、パルパー、リアクタ、フラッシュタンクの圧力容器、汚泥温度をコントロールするスラッジクーラで主に構成される。

ここでは、高濃度濃縮機で汚泥を固形物濃度約15%まで濃縮した後、パルパーでその高濃度濃縮汚泥を受け入れ、リアクタの余剰蒸気により約100℃まで予熱をおこなう。次に、リアクタで蒸気をもちいて高温・高圧の状態下で汚泥内の細胞壁を破壊し、汚泥を可溶化状態にする(以下この汚泥を「可溶化汚泥」と称す)(写真1)。フラッシュタンクは、リアクタより排出される可溶化汚泥を貯留する。ここでは常圧に戻るため、約100℃の温度となるが、スラッジクーラで熱回収後、消化に適切な温度にして固形物濃度約10%で消化槽へ供給する。

#### 1.2 汚泥可溶化装置の効果

汚泥可溶化装置を既存消化槽の前処理設備として

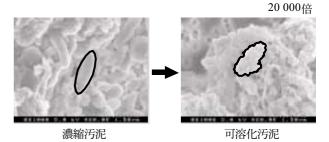


写真 1 汚泥可溶化装置前後の汚泥顕微鏡写真

追加設置し蒸気をもちいて汚泥を可溶化状態にする ことで、消化槽での生物分解性が高まり、従来消化 処理にくらべ消化ガス発生量が増えるとともに汚泥 中の有機物量が減少し、固形物量が減少する。

また,脱水機では圧搾力を上げれば上げるほど良く絞ることができ,脱水汚泥含水率を低減でき,含水率は65%程度まで低減できる。

この消化槽での固形物量低減,脱水機での含水率低減の2つの効果により脱水汚泥量が半減できる。

加えて、従来消化処理では消化槽内温度を一定に保つため、消化ガスを消化槽加温用ボイラー燃料として使用しているが、当然その使用量は気温の影響を受け、気温の高い夏季には少なく、気温の低い冬季には多くなるといった季節変動の影響を大きく受け、安定して有効利用できる消化ガス量が限られる。

一方、レセルシステムは、消化ガスを加水分解プロセスの昇温・昇圧用のボイラー燃料として使用する。したがい、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する。これにより、消化ガス発生量が増加することと使用量が安定していることから、余剰消化ガスによる発電等の有効利用がやりやすく、安定して有効利用できる消化ガス量は、従来消化処理にくらべ1.4倍以上になる。

また、可溶化汚泥は、固形物濃度が約10%となり、

従来処理と比較すると約3倍の高濃度で消化槽へ汚泥を投入することになる。したがい、消化槽内の消化汚泥も約3倍の高濃度になることと可溶化効果も加わって、従来消化処理の約3倍の高負荷でも消化として問題なく運転が可能である。したがい、同じ消化日数であれば、消化槽容積が1/3に低減することが可能である。

なお,消化槽内の消化汚泥は,従来消化汚泥とくらべて固形物濃度が約3倍になるが,可溶化効果により粘度はほぼ同じであり,既存の消化槽攪拌機をそのまま使用できる。

#### 1.3 加水分解プロセスの運転条件

加水分解プロセスの運転条件は、すでに数件ヨーロッパで実機稼動中の実績からえられた情報や国内の知見等<sup>1)</sup>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ている。

その運転条件について図3に一例をもちいて示す。 この図3の条件としては、比較対象となる従来処理 系の消化率が50~55%で、消化槽有機物負荷が1.0

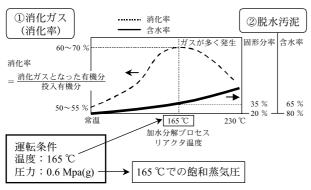


図3 加水分解プロセス運転条件

~1.3 kgVS/m³・d 程度 (消化日数:30~23日相当) の従来消化処理としては比較的高負荷の条件,脱水 汚泥含水率が80%と想定している。これに対し,レセルシステムでは,従来処理系と同じ消化槽容積を使い消化槽有機物負荷を同等(高濃度濃縮により消化日数が85~66日相当へ延長)としてリアクタ温度・圧力を変化させたときの効果を示す。

消化率(消化ガス発生率)については、熱処理温度が165℃前後までは上昇するが、それを超えると汚泥中のたんぱく質等が熱変性し、生物分解しにくい難分解性物質が多くなり消化率は下がる。この165℃で消化率が60~70%となり、消化処理にとって最適な温度となる。

一方、脱水汚泥の含水率については、熱処理温度 を上げれば上げるほど細胞壁の破壊が進み、脱水性 が向上する。脱水機の機種にもよるが、熱処理温度 約230 ℃で含水率50 %台も可能である。

このレセルシステムでは、もっともエネルギ回収率が高く(消化ガス発生量が多い)、汚泥中の有機物=固形物量を削減でき、環境負荷の低い(難分解性物質量の少ない)165 ℃ (飽和蒸気圧力0.6 Mpa(g))という温度(圧力)を運転条件として選択した。この場合、脱水汚泥含水率は、脱水機の機種にもよるが、もっとも圧搾力の高いスクリュープレス脱水機で約65 %まで低減することができる。

#### 2. 実証試験

新潟県と2002年7月に共同研究契約を締結のうえ, 信濃川下流流域下水道長岡浄化センターにおいて, 流入下水20000 m³/d の大規模な実証試験を実施し た。

#### 2.1 実証試験設備

図4に長岡浄化センターの全体フローおよび実証

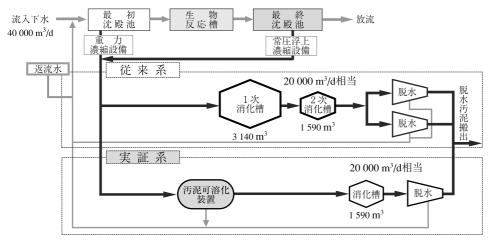


図4 レセルシステム実証試験フロー

系フローを示す。水処理は標準活性汚泥法が採用されており、汚泥処理は、濃縮一嫌気性消化一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系列へ汚泥可溶化装置を追加設置し、既存の消化槽と脱水機を流用し、配管等の改造を実施し、試験設備とした。(写真2)

消化槽は、2系2次消化槽(1590 m³)のみを使用し、従来消化槽容積の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、脱水機は既存のベルトプレス脱水機を使用した。

これにより、従来処理系列(以下「従来系」と称 す)とレセルシステム系列(以下「実証系」と称す) に汚泥処理をわけることができ、両系列を比較して 評価をおこなった。

## 2.2 実証試験条件

今回の実証試験条件を表1に示す。 また、本実証実験の目標を表2に示す。



写真2 実証設備(加水分解プロセス)

#### 2. 3 運転実績

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1590 m³の3倍になる4770 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5)

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月とした。

表 1 実証実験条件

		従来系	実 証 系	
A 処理場平均流入水量	(m³/d)	40	000	
実証運転期間		2003年1月~	~2004年3月	
評価期間		2003年9月~12月(4ヶ月間		
濃縮汚泥処理量日平均	(m³/d)	80~120	80~120	
消化槽投入汚泥量日平均	(m³/d)	80~120	30~45	
消化槽容積	(m³)	4 730	1 590	
消化槽温度	(℃)	35~38 (中温)	35~38 (中温)	
消化日数	(d)	39~59	35~53	
消化槽有機物負荷	(kg-VS/m³•d)	0.6~0.9	1.9~2.7	

表 2 実証実験目標

項	目	目	標	値	目	的
(1)連続多	で定運転		安定 日以	運転 (上		´加水分解 <b>プロセス</b> 動機械 <b>の</b> 安定性確認
(2)汚泥洞	成量化率	減 量 50 <sup>-</sup>	ቴ 1 ∼60		汚泥減量化郊	カ果の確認

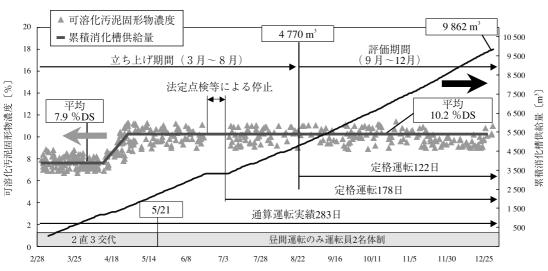
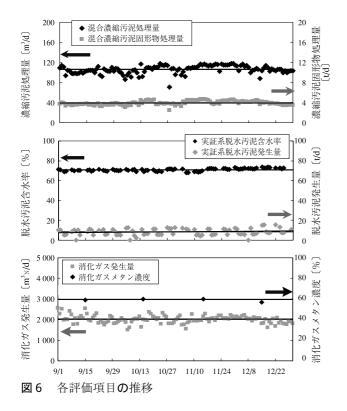


図5 可溶化汚泥固形物濃度と消化槽累積供給量の推移

図6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



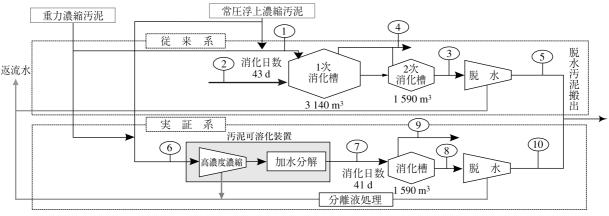
泥の固形分濃度の変動が激しく、濃縮汚泥量としては80~120 m³/d とかなり変動したが設備は十分対応でき、ほぼ全体処理量の半分処理を継続できた。

- 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、汚泥処理の運転に支障をきた 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及び運転条件等に影響されるため、12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。

#### 2. 4 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7に示す。



	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/m³N·2)	消化ガス (m³n/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						1 872			
計	110.5	13.5	122.3	59	0.7		82.2	2.0	10.5
	6	7	8			9			10
	混合濃縮汚泥 (t/d)	可溶化汚泥 (t/d)	消化汚泥 (t/d)	有機物減少率 (%)	有機物容積負荷 (kg-VS/m³N·2)	消化ガス (m³ <sub>N</sub> /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						2 011			
計	105.4	39.1	40.2	62	2.0		68.9	1.7	5.1

図7 物質収支結果

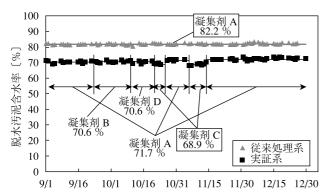
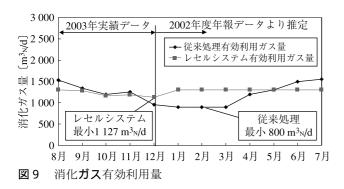


図8 脱水汚泥含水率推移(凝集剤選定試験含)



この結果より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で、実証系と従来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。

減量化率={(従来系発生汚泥量-実証系発生 汚泥量)/従来系発生汚泥量}×100

ここで脱水汚泥含水率については、図8に示すよ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。

したがい, 従来系, 実証系より発生する脱水汚泥量は, 従来系: 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。

 $\{(10.5-5.1)/10.5\}\times100=52\%$ 

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。

#### 2.5 消化ガス有効利用量増

図9に有効利用ガス量の推移を示す。これらの推

表 3 消化槽運転管理指標

運転管理指標	基準	結 果
消化ガスメタン濃度	55~65 (%)	平均60 (%)
消化汚泥 pH	7.2~8.2	平均7.5
消化汚泥 VFA 濃度	<3 000 (mg/L)	平均500 (mg/L)
消化汚泥 N-NH₄濃度	<4 000 (mg/L)	平均3 200 (mg/L)

移のうち、年間を通して安定利用できる最小量は、 従来系で800 m³<sub>N</sub>/d、実証系では1 127 m³<sub>N</sub>/d で、実証 系が従来系にくらべて約1.4倍となった。

今回の実証試験では、レセルシステムの消化槽容積を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。

#### 2.6 消化槽省スペース

消化槽における運転管理指標とその結果を表3に示す。レセルシステムの評価期間中において,運転管理指標である消化ガスメタン濃度,消化汚泥pH,消化汚泥揮発性有機酸濃度,消化汚泥アンモニア濃度は,いずれも運転管理指標を満足し,ほぼ安定して推移した。

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、従来系の攪拌機とほぼ同じ負荷であること、従来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特別に改造することなく既設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にした有機物負荷約3倍の高負荷条件でも消化を安定して運転できた。

#### む す び

今回の実証試験により、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た。また、消化ガス有効利用量の増量、消化槽省スペース化等の副次的な効果についても確認でき、本システムの実用化にほぼ目処がたった。

今後は、技術改良とコストダウンに努め、実機と して導入していただきやすい設備に仕上げていく。

最後にレセルシステムの共同研究を進めるにあたり多大なご助言,ご協力をいただいた新潟県土木部都市局下水道課,長岡浄水センターの関係各位に深く感謝の意を表します。

#### [参考文献]

1) 李玉友,野池達也:「余剰活性汚泥の嫌気性消化に及 ぼす前熱処理および滞留時間の影響」,水質汚濁研究第 12巻2号(1989)

# ビニループプロセスによる塩ビ系廃棄物の マテリアルリサイクルと適用用途

Material Recycling of Wasted Polyvinylchloride by VinyLoop® Process and Case Study for Applications





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 環境事業推進部ピニループ事業室 星 野 孝 Takashi Hoshino

前報において農業用ビニルシート(農ビ)をビニループプロセスにより処理した再生塩ビの特性 評価をおこなった結果、劣化品(埋め立て処分品)でも物性を支配する重合度の低下が認められな いこと、バージン塩ビと比較して強度特性の点で遜色がないこと、そして電線被覆材に適用可能で あることを報告した。

2006年度より開始する再生塩ビの販売事業に先立ち、各種再生塩ビの品質特性および成形加工性評価、そして各種用途に適用するための品質改良方法を検討した結果、いずれの再生塩ビも品質上大きな問題はなく、成形加工も既存の成形機で十分成形可能であることを確認した。また、引き続き取組むべき課題として異物量のさらなる低減があることおよび特定安定剤の分離あるいは減量が大きな市場ニーズであることを確認した。

本報告では、各種再生塩ビの品質特性調査結果ならびに実用化を図るうえでの技術課題と対応策、 そして各種用途への適用検討結果についてまとめた。

Evaluation was made on basic property of different kinds of regenerated PVC compounds (R-PVCs) recovered by VinyLoop® Process from Noubi sheets, the mixture of Noubi and wallpaper discards, and wasted cables to find possible technical problems and their countermeasures for practicable applications in preparation for the launch of recycling process with annual R-PVC production of 18 thousand tons. With no problem concerning quality of respective R-PVCs, among which the detail evaluation of Noubi R-PVC was reported in the previous issue, conventional molding machines can be used for fabrication. Reduction of foreign particles and removal of lead stabilizer were confirmed to be critical. In the case of Noubi R-PVC, for example, reduction of mud and sand for application to flooring material, and increase of insularity for application to cable sheath can be solved respectively by gravitational separation and by addition of functional filler. In the case of wasted cable R-PVC, lead stabilizer can be removed with combined treatments for application to cable sheath.

#### Key Words:

ビニループプロセス ポリ塩化ビニル リ サ イ ク ル Vinyloop process Polyvinylchloride (PVC) Recycling

#### まえがき

日本国内の塩ビリサイクルの現状は、年間約120 万トンの使用済み塩ビが廃棄され、そのうち約30万 トンが電線、床材、パイプ等に再利用されていると いわれている。その処理対象は動力電線や施設園芸 のビニルハウスの使用済みフィルムや硬質塩ビなど 純粋な塩ビ製品が主体であり、低圧電線の銅回収後 の被覆廃材や床材や防水シートなどに代表されるガ ラス繊維や他のプラスチックとの複合製品は再利用 することが難しいため、それらの多くは埋め立てあ るいは焼却処分されている。しかしながら、埋め立 て処理も、ごみの最終処分場の枯渇問題を抱えてお り、また単純焼却ではダイオキシンの発生や炉の腐 蝕問題が発生する。大型焼却炉やガス化炉のような 高機能焼却炉やケミカルリサイクル処理では処理費 が高騰してしまう。したがって、使用済み塩ビ系廃 棄物のリサイクルは旧来の機械的破砕によるマテリ アルリサイクル以上には進展しておらず適正な処理 方法が望まれている。このような背景下において, 当社がソルベイ社より技術導入したビニループプロ セスは、従来の埋立て処分品を含むほとんどの使用 済み塩ビ系廃棄物の処理を可能とすることから、リ サイクル率の向上のみならず、廃棄物量の低減や環 境問題の解決にも寄与できるものと確信している。

当社は、2006年度初めよりビニループプロセスによる使用済み塩ビ系廃棄物の処理と再生塩ビの販売事業に取組むことを決定した。現在、千葉県富津市に年間2万6千トンの処理能力をもつプラントを建設するための準備を進めているが、並行して農ビ、廃電線、壁紙など当面の事業対象としている主要な

使用済み塩ビ系廃棄物の回収ならびに再生塩ビの適 用用途の開拓をユーザ評価を仰ぎながら進めている。

すでに農ビおよび農ビ/壁紙混合品については、 電線、土木シート、床材メーカ、ホースメーカなど を中心に採用可能との評価をえている。また、廃電 線についても(社)電線総合技術センターとの共同研 究のなかで使用可能の目処がえられている。

本報告では、再生塩ビの販売事業化において重要となる各種再生品の品質特性評価ならびに各種用途に展開するためのユーザ評価を基本とした技術課題の整理と具体的な対応策、今後の事業化計画等について報告する。

## 1. 既存のマテリアルリサイクルプロセス とビニループプロセスの特徴

表1に既存の塩ビ系廃棄物のマテリアルリサイクル技術の特長と課題を整理した。現状,塩ビ系廃棄物として農ビ、廃電線、管・継手等がマテリアルリサイクルされているが、農ビは破砕・洗浄後床材あるいは海外に、廃電線は剥線およびナゲット処理後銅や塩ビ以外の成分を比重分別した後電線や床材に再利用されている。また、管・継手も異物除去後ペレット化して三層管の内層に再利用されている。これら従来のマテリアルリサイクルは、原料ソースは高純度な塩ビ製品が主体であり、再利用は低品位部位あるいは製品に使用されるケースが多い。塩ビ以外の異種材料と混合された複合材料については、一部で塩ビを異種材料ともども微粉砕した後再利用する検討がされているもののほとんど再利用は困難となっている。

これらのマテリアルリサイクルプロセスに対して、

表 1 既存マテリアルリサイクル技術の特長および評価

<b>リサイクル</b> 技 術	ビニループ	農ビリサイクル	電線リサイクル	塩 ビ 管・ 継手リサイクル
対象使用済み塩ビ	電線被覆廃材、廃農ビ	廃農ビ	電線被覆廃材	廃塩ビ管・継ぎ手
塩 ビ 濃 度 (%)	85	70 (残りは泥および水)	50~100	ほぼ100
再生商品	塩ビコンパウンド 用途; フレキシブルホース トンネル遮水シート	塩ビコンパウンド (フラフ, グラッシュ, ペレット) 用途;床材(コア層)	塩ビコンパウンドペレット 用途;電線被覆材	塩ビコンパウンドペレット 用途;再生塩ビ管 三層管コア材
品質	0	Δ	Δ	Δ
評価	品質安定 用途展開 <b>が</b> 容易	経済性悪い 用途が限定されている	経済性が銅価格に依存	受け入れ時の異物制限 あり

ビニループプロセスは溶剤をもちいた使用済み塩ビ 系廃棄物の再利用プロセスであり、表 2 に示すよう に異物の混入量が少ない、有機溶剤中で塩ビおよび 添加剤が完全に溶解するので品質が安定すること、 プロセスの途中で可塑剤・安定剤などを添加できる ので再生塩ビの成分調整ができること, など従来法 とは異なる多くの特長を有し、大部分の塩ビ系廃棄 物を再利用することが可能である。写真 1 はビニルー プ法をもちいた世界初の実証工場であるソルベイ社 フェラーラ工場を示す。同社では主に廃電線から銅 を分離した後の混合廃プラスチックからの塩ビ再生 品を製造販売しているが、すでにトンネル用防水シー ト、ガーデンホース用インナーチューブなど多くの 用途に実用化されている。図1に廃電線を例に本プ 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、廃電線被覆材を剥線処理、さらには適当な 大きさに破砕処理する。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, ポリエチレン, 繊維, 紙 など溶剤に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 トリッピング操作により溶剤を蒸発させ、塩ビを顆

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のみを分離し、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、もともとの原料に含まれていた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。
- ③ 塩ビ回収(溶解)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



写真 1 ソルベイ社フェラーラ工場ビニルー プ商業プラント

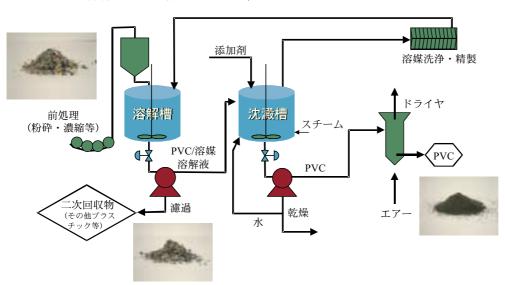


図1 ビニループプロセスフロー

表 2 ビニループプロセスと従来のマテリアルリサイクル技術の比較

項目	ビ ニ ル ー プ 法	従 来 法
取り扱い性	粒子径が均一のため容易	性状の変動が大きいためやや困難なケースあり
異 物 混 入	少ない	多い 注)異物量が多いと再生を断念せざるを得ない場合がある
品質のバラツキ	溶剤中に塩ビおよび添加剤が均一に溶解するため安定	材料 <b>のバラツキがそのまま</b> 再生品 <b>のバラツキとなるために</b> 不安定
再生品の調整	プロセスの途中で添加剤を入れ硬度などを調整可能	簡単な処理のみ可能

ることも可能である。

④ 再生塩ビは、バージン材とくらべ物性的に遜色がなく、また可塑剤吸収量や加熱時のゲル化速度もバージン材とほぼ同じあるいは改善する挙動を示すことから、従来と同様な成型法をもちいて再利用が可能である。

これまでに本プロセスをもちいて処理試験した使用済み塩ビ系廃棄物とそれらの処理後の再生塩ビおよび不溶解物(二次回収物)を表3に示す。農ビ、電線被覆廃材、壁紙工場端材、防水シートなどの軟質系塩ビの他、プラスチックサッシフレーム、管・継ぎ手など硬質系塩ビも処理できることを確認済みである。上述のように、純粋な廃塩ビのみならず複

表3 使用済み塩ビ系廃棄物の処理試験結果の一例

塩ビ系廃棄物	原 料	再 生 品	不溶解物
壁紙工場端材			
屋上防水シート	0		*
自動車用ワイヤーハーネス	State of the state		
廃 電 線	4	-	Alba.

合プラスチック, ガラス繊維, 金属など異種材料との複合材についても適用範囲が大きいことが確認された。また, 再生品の外形性状(粒子径, かさ密度等)は, 可塑剤量や充填材の量によって若干異なるものの, 再利用する際の加工性および成形品の物性は同一重合度および樹脂配合を持つバージン塩ビと遜色ないことを確認した。

# 2. 各種再生塩ビの品質特性および実用化のための技術課題と対応策

(1) 再生塩ビの品質特性

表4に農ビ、農ビと壁紙混合品、そして廃電線から回収した再生品の品質性状および基礎物性を示す。

#### ①農ビ

前報において、再生塩ビの物性を支配する重合 度を調査した結果、使用済み農ビは使用環境に関 係なく重合度低下は認められないこと、そして可 塑剤、安定剤を添加・補充しバージン塩ビと同一 配合条件で比較した場合、遜色ない物性を発現す ることを報告した。今回は、既存成形機による成 形加工性の調査および各種用途に適用するための 品質改良方法の検討をおこなった。写真2は農ビ

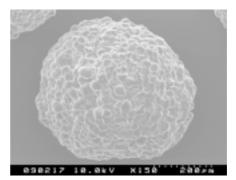


写真 2 農ビからの再生塩ビの SEM 写真

表 4 各種再生塩ビの基本特性

					原	料		11° > ° > .4 <del>-</del> 1.2°
	試験項目	単位	試験規格	農ビ	農ビ/壁紙混合品		廃電線	バージン塩ビ (農ビ配合)
				辰	75 : 25	50 : 50	角 東 麻	(辰仁阳日)
	密度	Kg/m³	JIS K7112	1.30	1.30	1.42	1.31	_
	かさ密度	Kg/m³	_	0.57	0.64	0.63	0.67	0.51
	平均粒度	μm	_	390	350	_	350	140
性状	水 分	%	JIS K7251	< 0.1	0.13	_	_	< 0.1
	残留溶媒	ppm	GC 法	< 1.0	< 1.0	<1.0		_
	可塑剤含有量	%	GC 法	31	25	24	27	_
	重 合 度	_	JIS K6720	1 300	1 200	1 100	1 200	1 300
	硬 度	ShoreA	JIS K6253	84	86	85	91	88
	引張強度	MPa	JIS K6723	23	20	14	22	20
基礎	破断伸び	%	JIS K6723	320	248	220	293	344
物性	熱安定性(@200℃)	h		13	26	38		_
	同 (コンゴーレッド 試験 @180 ℃)	h	JIS K6723	4	_	_	2.5	4

からの再生塩ビ1粒子の走査電子顕微鏡 (SEM) による観察結果である。表面性状は、懸濁重合によりえられた塩ビ粒子と酷似しており、微小粒子の凝集体である。図2は再生塩ビに可塑剤を添加した時の可塑剤吸収量を示すが、とくに大きな問題は認められていない。さらには、図3に加熱時のゲル化特性をバージン塩ビと比較評価した結果

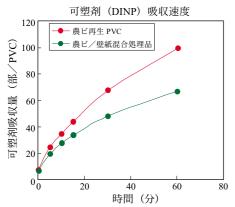


図2 再生塩ビの可塑剤吸収速度

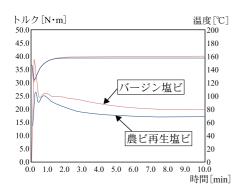


図3 農ビ再生塩ビのゲル化特性

を示す。農ビから回収した再生塩ビは、バージン 塩ビにくらべて初期トルク値が小さく、ゲル化も やや早いが既存の成形機で十分成形可能なレベル であることを確認した。

#### ② 農ビ/壁紙混合品

図4に農ビ/壁紙混合品の GPC による分析結果を示す。元々の重合度は農ビが1300、壁紙が800であり、混合割合によってえられる再生塩ビの分子量分布は異なるものの、いずれも均一組成であり、混合割合に応じて理論値に近い重合度を示す。例えば、農ビと壁紙を1:1で混合すると重合度約1100の再生塩ビをえることが可能である。混合品の機械物性は、表4に示すように混合割合に依存し、農ビ割合が大きいものほど物性は高く、一方、熱安定性は壁紙の割合が大きいものほど安定性に優れることを確認した。この原因は、工場端材の場合、安定剤がほとんど失活せずに残留していたものと推定している。

#### ③ 電線被覆廃材

電線被覆廃材より回収した再生塩ビをもちいて、 JISK6723に基づいて評価した結果を表5に示す。

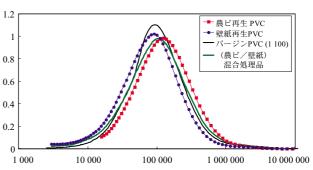


図4 農ビ/壁紙混合品の GPC 分析結果

表 5 廃電線からの再生塩ビの電線被覆シース規格に基づく評価結果

試 験 項	目	単 位	試験規格	廃電線再生塩ビ	規格	判定
引張特性	強度	Мра	JIS K6723	19.8	> 11.8	0
分旅村生	伸び率	%	JIS K0723	257	>200	0
加熱老化	強度残率	%	JIS K6723	97	>90	0
100 ℃×120 h	伸び残率	%	JIS K0723	91	>70	0
熱安定性(コンゴーレッド	°@180°C)	h	JIS K6723	4	> 2	0
脆化温度		$^{\circ}\!\mathbb{C}$	JIS K6723	<b>-17</b>	<-15	0
体積抵抗率	30 ℃	$\Omega$ •cm	JIS K6723	- 1.0×10 <sup>13</sup> —		_
1411年141年14日14日14日14日14日14日14日14日14日14日14日14日14日1	60 °C	$\Omega$ •cm	JIS K0/23	1.4×10 <sup>11</sup>	_	_
耐油性	強度残率	%	110 140700	92	>85	0
70 °C ×4 h	伸び残率	%	JIS K6723	92	>75	0
比 重		_	JIS K7112	1.39	_	_
硬 度		_	JIS K6253	96	_	

表6 農ビ再生塩ビのユーザ評価結果

再生塩ビ	適用用途	評 価 方 法	結 果	課題	評価
	床材(中間層)	既存 <b>の</b> 農ビグラッシュ品と比較 評価	加工性に優れる	とくに無し	0
	電線被覆材	同 上	品質的に優れ、性能的にも適用 可能なレベル	異物の低減	0
	すそ張リシート 現行農ビグラッシュと特性およ び品質比較評価 現行品とくらべて遜色なし		とくに無し	0	
農ビ	窓枠ガスケット	バージン樹脂と同一配合で成形 加工性評価	異物が多く,低温成形時表面荒 れが起こる	異物の低減	Δ
	止水板	バージン樹脂に約10%添加し 成形加工性および物性評価	物性および外観が優れる	とくに無し	0
	エプロン	バージン樹脂に30 % 添加し成 形加工性および品質評価	成形性, 品質ともに問題ないレ ベル	とくに無し	0
	長 靴	バージン樹脂に十数%添加し成 形加工性および品質評価	同 上	とくに無し	0

いずれの項目も規格を満たしており、電線被覆廃 材から回収した再生塩ビは電線被覆材として再利 用できることを確認した。

#### (2) 技術課題と対応策

上記3種類の再生品を各種用途に適用する場合の 技術課題および対応策を以下にまとめた。

農ビからの再生品については、床材表層部など外装部品に適用する際の着色物(土や砂)の低減ならびに電線被覆材に再利用する場合の水や各種金属イオンの混入による絶縁特性向上が課題である。前者については、前処理工程である切断・破砕・洗浄・脱水の各工程の見直しにより土や砂の溶解工程への持ち込み量を低減できる。また、後者については、特殊無機フィラーの添加によりバージン塩ビと同等レベルまで改善できることを確認している。

電線被覆廃材については、ポリエチレンを主体とするその他プラスチックや紙や微量の金属などの異物量の低減が当面の課題である。銅を回収する目的でナゲット処理をしているナゲット業者では、電力電線のような塩ビを高純度に含んだ電線は銅を分離した後に被覆廃材を乾式・湿式比重分離処理して銅の純度をさらに高めたものをリサイクル用に販売しているが、中・低圧電線をナゲット処理した後の被覆廃材の大部分は乾式・湿式比重分離処理ではリサイクル材がえられないため未処理のまま埋め立てされている。従来のビニループ処理ではこの未処理の

被覆廃材を直接溶解工程に投入したため異物総量が 多く、異物分離工程に大きな負荷がかかっていた。 この負荷を軽減することで分離性能が向上すること が確認できたため、今後はナゲット業者との間で最 適な簡易比重選別処理を協議していく。

電線被覆廃材の電線被覆材へのリサイクルを検討していくなかで、現在多くの中・低圧電線メーカーが非鉛化の方向を検討していることが判明した。これは従来電線被覆廃材をリサイクル使用してコストを下げてきた電線メーカーには大きな痛手になる。ビニループ法は塩ビ樹脂成分を溶剤に溶解あるいは均一分散させることのできるプロセスであり安定剤の鉛を分離することも可能であり、ソルベイ社ではすでに鉛分離の基礎研究を終えており実用化を検討する時期にきている。日本での非鉛化の動きを注視しユーザニーズにタイムリーに応えていきたい。

#### 3. 各種用途への適用検討

上記特性評価結果をもとに、再生塩ビの各種用途への適用についてユーザの協力を仰ぎながら検討を進めている。表6に使用済み農ビから回収した再生塩ビのユーザによる評価結果の一例を示す。使用済み農ビからの再生塩ビについては、多くのユーザより採用可能との評価をえた。とくに現行リサイクルされているグラッシュ品にくらべて品質や物性の点で優れているとの高い評価をえている。また、廃電線から回収した再生塩ビを電線被覆材への再利用を

表7 廃電線からの再生塩ビの電線被覆シースへの再利用検討結果

JIS C3605(600V EV 用ビニルシース)		単位	規格値	再生コン	市販材	
JIS C3605 (600	VEV用C二ルシース)	中 154	·	再生塩 <b>ビ</b> A	再生塩 <b>ビ</b> B	IGV9929Q
引張特性	強度伸び	Mpa %	>10 >120	18.1 288	20.9 310	23.1 306
	100 %モジュラス   強度残率	MPa %		11.5 110	11.7 97	13.6 98
加熱老化 100 ℃×48時間	伸び残率 100 %モジュラス残率	% %	>80	113 102	107 103	100 106
耐油性 IRM-902号油 70 ℃× 4 時間	強度残率 伸び残率 100 %モジュラス残率	% % %	>80 >60 —	106 97 111	84 98 112	100 97 115
加熱巻付(A 法) 耐寒 脆化温度	120 ℃× 1 時間 F(50)	$^{\circ}$	ヒビ・ワレ無きこと <-15 <-15	異常 <b>なし</b> OK -27	異常なし OK -30	異常なし OK -40
加熱変形率	120 °C×5N×30 min	%	< 50	9.0	9.7	7.3

検討した結果を表7に示す。電線を試作し物理特性をJISC3605 (EV 用ビニルシース)にて評価した。その結果、表に示すように廃電線からの再生品はすべての試験項目を満たし、廃電線被覆材に再利用可能であることを改めて確認した。外観評価についても、異物量の低減により市販材と同等な品質がえられることを確認した。今後、再生塩ビの加工性についてユーザの評価を仰ぎながら実用化を目指す。

#### むすび

本事業は、千葉県の中西部エコタウン指定地域 (富津市)を工場建設候補地とし環境省・千葉県か らエコタウン補助を受ける予定である。主要な処理 対象廃棄物としては使用済み農ビを年間1万3千トン、壁紙工場からの端材が同3千トン、使用済み電線被覆材が同8千トン、その他2千トンで、これら廃棄物から再生塩ビとして年間1万8千トンを回収する計画である。本年3月に工場建設に着手し2006年度初めには試験操業を開始する予定である。

#### [参考文献]

- 1) 星野孝, 井出昇明, 神鋼環境ソリューション技報, Vol. 1 (1), (2004)
- 2) 井出昇明, 星野孝, 後藤和彦, 「電気と工事」, 2月号 (2005)

## PCB 汚染物等のプラズマ溶融分解技術

Plasma Melting Technology of PCB-contaminated Wastes



技術開発本部 プロセス技術開発部廃棄物処理室 田 頭 成 能 Shigeyoshi Tagashira 技術開発本部 プロセス技術開発部新規プロセス室 髙 橋 正 光 Masamitsu Takahashi

新日本製鐵(株) プラント・環境事業部 PCB 処理施設建設班 村 田 光 也 Mitsuya Murata 新日本製鐵(株) プラント・環境事業部環境ソリューション事業センター 長 田 守 弘 Morihiro Osada

慢性毒性が強く化学的に安定な PCB の処理方法として、「プラズマ溶融分解技術」をここに紹介する。本技術は、プラズマを熱源としたプラズマ溶融分解炉に PCB 汚染物等を投入し、プラズマアークおよび溶融スラグ浴の相乗効果により効率よく PCB 汚染物等を容器ごと溶融できる技術である。今回の実証試験にて、PCB 汚染物等を全国保管量按分で混合封入した混合試験とそれぞれ単独で封入した単独試験を実施した。これにより、安定した操業ができること、容器缶ごとプラズマ溶融分解処理が可能なこと、スラグが均質でリサイクルが可能な性状であることが確認できた。また、プラズマ溶融分解炉から排出される、スラグ、バグフィルタ固形物および排気中のダイオキシン類および PCB が規制値を下回ることを確認した。これらより、プラズマ溶融分解技術は、処理範囲が広く、かつ、作業員の PCB 汚染を最小限に抑えることができる安全な技術であることがわかった。

Plasma Melting Technology, as the thermal destruction method of PCBs (polychlorinated biphenyl) that are highly toxic and chemically stable, enables effective melting of PCB-contaminated wastes together with their container drums at one time by using plasma arc and molten slag bath in the plasma melting furnace with plasma heat source. Two sorts of verification test were executed; one was a mixed treatment test, mixing PCB-contaminated wastes based on the average components of their stockpile in Japan, and the other was a test treating waste without mixing. These results offered a stable operation and discharge of homogeneous slag to be recyclable. And furthermore, the contents of Dioxins and PCBs in the slag, fly ash and flue gas from plasma melting furnace were substantially less than the Japanese regulations. It is proved that the Plasma Melting Technology could not only treat various PCB-contaminated wastes but also minimize the PCB contamination on environment and field workers.

#### Key Words:

PCB (ポリ塩化ビフェニル) PCB 汚 染 物 等 プラズマ溶融分解技術 ダイオキシン類 PCB (Polychlorinated Biphenyl)
PCB-contaminated Wastes
Plasma Melting Technology
DXNs

#### まえがき

PCB(ポリ塩化ビフェニル)は、不燃性で高い絶縁性能を有し、かつ、沸点が高く熱で分解しにくいことなどの化学的安定性により、電気機器のトランスやコンデンサの絶縁油、熱交換器の加熱・冷却用熱媒体、ノンカーボン紙等、様々な用途に使用されてきた。

しかし、1968年のカネミ油症事件により PCB の毒性が社会問題化し、1972年には国内の PCB の製造が中止となった。鐘淵化学工業(株)(現:(株)カネカ)保有の液状 PCB(5 500 t)は高温焼却処理をおこなったが、それ以外は処理に至らず、使用が終了したPCBは、保管が義務づけられた。1)

PCB は、分解しにくいことから大気中や海洋を拡散し続け、北極圏など PCB を使用していない地域の人々の母乳からも PCB が検出されるなどの地球規模の環境汚染が問題になっているなか、この30年以上にも及ぶ長期保管での PCB 廃棄物の紛失・流出による環境汚染が懸念される状況となっている。

#### 1. わが国の PCB 処理の現状

PCB 等による地球環境汚染を国際的に協調して廃絶・削減をおこなうため、「残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約」(POPs 条約)が採択され、批准国が50カ国に達したことから、2004年5月に条約が発効した。

日本もこれを締結しており、2001年7月に「ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法案」(以下、「PCB特別措置法」という)が施行され、2016年までに PCB 処理を完了することが決められるとともに、中小企業の処理費用軽減のための「ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理基金」が設立された。また、拠点的な処理施設整備・処理事

表 1 PCB 廃棄物の保管状況および PCB 使用製品使用状況の集計結果

保管量	使 用 量
16 496台	1 689台
220 345台	30 502台
30 412台	616台
1 146 383台	17 510台
1 713 291台	1 967 000台
4 170 839個	868 256個
12 955 t	55 kg
142 261 t	3 kg
679 t	_
215 t	—
17 698 t	_
199 873台	42 067台
	16 496台 220 345台 30 412台 1 146 383台 1 713 291台 4 170 839個 12 955 t 142 261 t 679 t 215 t 17 698 t

業実施を環境事業団(現,日本環境安全事業(株)) が推進している。<sup>2)</sup>

「PCB 特別措置法」に基づく PCB 廃棄物の保管 および PCB 使用製品の使用の届け出の全国集計結 果(2001年7月15日現在)を表1に示す。<sup>3)</sup>

表1の[1] 高圧トランス,[2] 高圧コンデンサ,[3] 低圧トランス,[4] 低圧コンデンサ,および,[7] PCB,[8] PCBを含む油は、日本環境安全事業(株)が全国にトランス・コンデンサの拠点的広域処理施設を建設して、期限までにPCB処理を完了する体制を整えつつある。拠点的広域処理施設では、PCBが付着した容器などはPCBを洗浄・分離し、封入された廃PCB(油状)は化学処理で分解することでPCBを無害化する。

表1の[5] 柱上トランスは、各電力会社が保管・使用していることより、自社処理の方向で処理の計画が進行している。ただし、抜き出した廃 PCB 油の一部は、拠点的広域処理施設で処理する。4)

表1の残りの,[6]安定器(1都3県は拠点的広域処理施設で処理),[9]感圧複写紙,[10]ウエス,[11]汚泥,[12]その他機器等,および,それらを保管していたピット,容器等のPCB汚染物等は,化学処理ではPCB分解処理が困難であったり,経済的に高価になることがある。また,処理の過程で発生するPCB二次汚染物等の処理も可能な幅広い処理能力が望まれる。

このような背景のなかで、化学処理とは別の方法として、「プラズマ溶融分解技術」を新日本製鐵(株)と共同開発したのでここに紹介する。

#### 2. プラズマ溶融分解技術

#### 2.1 基本原理

本技術は、プラズマを熱源としたプラズマ溶融分解炉に PCB 汚染物等を投入し、プラズマアークおよび溶融スラグ浴の相乗効果により効率よく PCB 汚染物等をドラム缶ごと溶融分解できる技術である。

PCB 汚染物等を密封したドラム缶は、プラズマ溶融分解炉に投入される。ドラム缶上部の PCB 汚染物等は直接プラズマを照射し、溶融分解する。ドラム缶下部の PCB 汚染物等は溶融スラグ浴に浸かり、1 400 ℃以上の高温により、溶融分解する。

溶融が進み、ドラム缶が溶融した後においては、スラグより比重の軽い汚泥、コンクリート、ウエス、感圧複写紙等は、溶融スラグ浴表面に浮遊するので、プラズマの直接照射により溶融分解する。スラグより比重の重い安定器は沈み溶融スラグ浴の高温により溶融分解する。

プラズマ溶融分解炉の模式図を図1に示す。

#### 2.2 基本フロー

図2に基本フローを示す。

PCB 汚染物等は、ドラム缶に密封され、プラズマ溶融分解処理施設に搬入される。

プラズマ溶融分解炉への投入は、ドラム缶のまま 一括投入をおこない、ドラム缶ごと溶融分解処理を おこなう。

プラズマ溶融分解炉へ投入されたドラム缶は、炉内監視カメラで確認しながらプラズマトーチを操作して溶融分解処理をおこなう。写真1に炉内溶融状況を示す。ドラム缶1缶ごと完全に溶融分解した後、次のドラム缶を投入するので、炉内にPCB汚染物等が蓄積されることなく、トラブル時の対応が容易であると同時に、確実な溶融分解処理が可能となる。

プラズマ溶融分解炉で、PCB や可燃物は、CO<sub>2</sub>、 H<sub>2</sub>O まで完全に分解され、不燃分は、溶融スラグと なる。

排気は、減温塔で200 ℃まで水噴霧により温度を下げ、バグフィルタで消石灰を吹き込み、HCI、SOx を除去する。触媒反応塔でアンモニアを吹き込み、NOx を除去する。排気中のダイオキシン類は、バグフィルタで粉末活性炭を吹き込み、吸着除去するとともに、触媒反応塔の触媒により分解除去する。排気処理設備のセーフティネットとして、活性炭槽を最後段に設置する。

溶融スラグは、プラズマ溶融分解炉から払い出し、 卒業判定(PCB が含まれていないことを確認)合 格の確認後、施設外に排出し、リサイクルもしくは 最終処分する。バグフィルタで捕集した固形物も、 卒業判定合格の確認後、重金属溶出抑制の薬剤処理 をおこない、施設外に搬出し、最終処分する。



写真 1 炉内溶融状况

#### 2.3 特 長

プラズマアーク, および, 溶融スラグ浴による溶融分解を特長とする本技術の優位点は, 以下のとおりである。

- 1) ノントランスファープラズマトーチの採用に より幅広い性状の処理対象物に対し、安定運転 が可能である。
- PCB の分解性能が高く、すぐれた安全性を 有している。
- 3) ドラム缶ごと一括処理が可能で、汚染物ハン ドリング時の汚染を最小化できる。
- 4) 前処理が原則的に不要である。
- 5) スラグ、固形物は均一で安定である。
- 6) 二次汚染物が発生しない,自己完結型の処理 方式である。

#### 3. PCB 汚染物等処理実証試験

PCB 汚染物等処理設備の実機化のために、実証

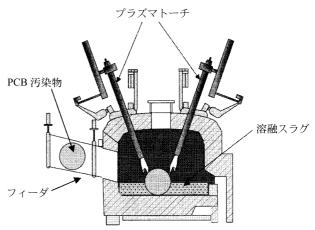


図1 プラズマ溶融分解炉の概念図

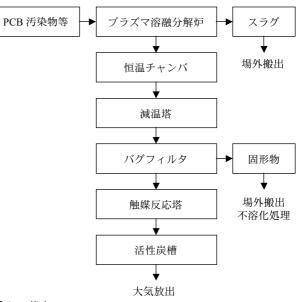


図 2 基本フロー

試験を実施した。

#### 3. 1 試験設備

実証試験設備の規模は、1 t/d 相当である。 実証試験設備の全景を写真2 に示す。

#### 3. 2 試験条件

実証試験は、それぞれの PCB 汚染物を全国保管 量按分で混合、封入した混合試験とそれぞれ単独で 封入した単独試験の2ケースについて実施した。

混合試験は、連続5日間同一条件で実施した。単独試験は、それぞれ1日ずつ実施した。実証試験は、午前10時から午後6時までの8時間運転した。8時間あたりのPCB汚染物等投入量は表2、3のとおりである。

試験試料は、実処理でのドラム缶を模擬した20リットル容積のペール缶に詰めた。このとき、混合試験では汚泥、ウエス、感圧複写紙は設定量を計量しながらペール缶に封入した。安定器は破砕せず、1本単位でペール缶に封入した。PCB 汚染物等を保管しているコンクリート容器ならびに樹脂容器の代替として、市販のコンクリートブロックならびに樹脂ペレット(プラスチック)を封入し、実処理対象物を模擬した。

また、単独試験ではそれぞれ単独に安定器、感圧 複写紙、汚泥、ウエスをペール缶に詰めた。

なお, この他, スラグ性状を調整するための塩基 度調整剤を封入した。

PCB 汚染物等は封入されたペール缶ごと 1 缶ず つプラズマ溶融分解炉へ投入した。午前10時に第一



写真2 実証試験設備の全景



写真3 PCB 入り安定器



写真4 PCB 入り感圧複写紙 写真5 PCB 汚染汚泥

缶の投入をおこない、以降等間隔にペール缶を投入した。4時間処理した段階でプラズマ溶融分解炉内に溜まったスラグを排出し、その後、残る4時間を同様に処理した。

分解炉溶融浴の温度は1 400 ℃以上とし、処理設備から排気が系外に漏出しないように、分解炉内圧力を負圧となるよう制御した。

実証試験にもちいた PCB 汚染物を写真  $3\sim6$  に示す。

#### 3.3 実証試験結果

溶融浴温度,排気量と炉内圧力の経時変化の代表 例として図3に混合試験のRUN4の結果を示す。8 時間に渡る実証処理試験中,溶融浴温度は1400℃

表 2 混合試験をおこなったPCB汚染物等の種類と投入量 単位:kg

	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5
安 定 器	96	96	96	96	96
感 圧 複 写 紙	4.5	4.3	4.3	4.4	4.3
ウェス	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
汚 泥	116	116	116	116	116
コンクリートブロック	67	68	68	64	65
プラスチック	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
ペール缶	32	32	32	32	32
合 計	319	320	320	317	318

表 3 単独試験をおこなったPCB汚染物等の種類と投入量 単位:kg

				1 1== 1 119
	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4
安定器	315			
感圧複写紙		140		
汚 泥			208	
ウエス				130
ペール缶	18	56	52	52

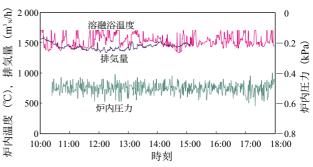


図3 実証試験中の溶融浴温度,排気量,炉内圧力の経 時変化(RUN4)



写真 6 PCB 汚染ウエス

表4 混合試験の PCB 分解率収支

				RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5
投入	PCB 汚染物	処理物量	kg/8h	319	320	320	317	318
12/\	100173210	PCB 濃度	%	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	スラグ	発 生 量	kg/h	30.25	27.75	29.75	39.25	28.5
	\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	PCB 濃度	mg/kg	0.000027	0.000023	0.000025	0.00019	0.0000072
	No.1 バグフィルタ固形物	発 生 量	kg/h	9.68	8.32	9.13	7.50	7.34
排出	NO.I ハクノイルタ 回形物	PCB 濃度	mg/kg	0.00016	0.000044	0.0000043	0.00019	0.0000049
1升山	No.2 バグフィルタ固形物	発 生 量	kg/h	11.41	8.88	9.68	8.13	7.49
	10.2 ハソノイルタ 回形物	PCB 濃度	mg/kg	0.000069	0.000049	0.000017	0.00020	N.D.
		乾ガス量	m³ <sub>N</sub> /h	1 790	1 860	1 790	1 780	1 820
		PCB 濃度	$\mu$ g /m $^3$ <sub>N</sub>	0.0051	0.0038	0.0016	0.019	0.0016
	PCB 分解率		%	99.999998	99.999998	99.999999	99.999991	99.999999

#### 表 5 単独試験の PCB 分解率収支

				RUN1 安定器	RUN2 感圧複写紙	RUN3 汚 泥	RUN4 ウエス
投入	PCB 汚染物	処理物量 PCB 濃度	kg/8h %	333 1.5	196 0.65	260 27	182 21
	スラグ	発生量 PCB濃度	kg/h mg/kg	63 N.D.	5.5 0.0000028	5.8 0.000017	3.8 0.0000092
	No.1 バグフィルタ固形物	発生量 PCB濃度	kg/h mg/kg	5.7 0.00089	6.1 0.0071	5.5 0.00074	7.5 0.0025
排出	No.2 バグフィルタ固形物	発生量 PCB濃度	kg/h mg/kg	5.2 0.00018	6.2 0.00095	5.3 0.0013	5.8 0.0082
	触媒塔反応出口排気	乾ガス量 PCB 濃度	m³ <sub>N</sub> /h μg /m³ <sub>N</sub>	1 450 0.019	1 640 0.023	1 620 0.012	1 700 0.024
	PCB 分解率		%	99.9999944	99.999945	99.9999965	99.9999978

#### 表 6 混合試験のダイオキシン類

		RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5
スラグ	ng-TEQ/g	0	0	0	0.00000071	0
No.1 バグフィルタ固形物	ng-TEQ/g	0.000031	0.0000018	0	0.0000011	0
No.2 バグフィルタ固形物	ng-TEQ/g	0.00000020	0.00000016	0	0.00000079	0
触媒反応塔出口排気	ng-TEQ/m³ <sub>N</sub>	0.00029	0.0000061	0.0000056	0.0046	0.0000043

#### 表 7 単独試験のダイオキシン類

		RUN1 安定器	RUN2 感圧複写紙	RUN3 汚 泥	RUN4 ウエス
スラグ	ng-TEQ/g	0	0	0	0
No.1 バグフィルタ固形物	ng-TEQ/g	0.0036	0.0038	0.10	0.068
No.2 バグフィルタ固形物	ng-TEQ/g	0.0019	0.00000072	0.016	0.093
触媒反応塔出口排気	ng-TEQ/m³ <sub>N</sub>	0.041	0.044	0.00023	0.068

以上, 炉内圧力は負圧が安定して保たれていることがわかる。この状態は, すべての試験において共通である。

PCB 収支を表 4,5 に PCB 分解率とともに記載する。PCB 分解率は、すべての RUN において、99.9999 %以上を確保した。また、スラグ、固形物、排気のすべてについて、PCB 濃度は、処理完了基

準(卒業判定基準:スラグ・固形物0.01 mg/kg,排 気150 $\mu$ g /m³ $_{\rm N}$ ) を下回った。

この結果より、プラズマ溶融分解処理技術で PCB 汚染物等が安全に処理できることが確認でき、 搬入した PCB 汚染物等をそのまま、混合などの前 処理なしに処理できることが確認できた。

ダイオキシン類の分析結果を表6,7に示す。ス

ラグ、バグフィルタ固形物および排気に含まれるダイオキシン類は、すべて目標基準値(スラグ・固形物 3 ng-TEQ/g、排気0.1 ng-TEQ/m $^3$ <sub>N</sub>)を下回っている。

これより、プラズマ溶融分解処理技術で PCB を完全に無害化処理できることが確認できた。

プラズマ溶融分解炉から排出されたスラグを写真7に示す。分析用試料採取のため、空冷後、破砕した状態のものであるが、溶け残りなどなく、均一な性状であることがわかる。

また、スラグ中の鉄分は、そのほとんどがプラズマにより酸化され、スラグと金属鉄の分離は見られない。全量、スラグとしてリサイクルが可能である。む す び

今回の実証試験にて、PCB 汚染物等を全国保管量按分で混合封入した混合試験とそれぞれ単独で封入した単独試験を実施した。これにより、安定した操業ができること、ドラム缶ごとプラズマ溶融分解処理が可能なこと、スラグが均質でリサイクルが可能な性状であることが確認できた。また、プラズマ溶融分解炉から排出される、スラグ、バグフィルタ固形物および排気中のダイオキシン類および PCBが規制値を下回ることを確認した。これらより、プラズマ溶融分解技術は、処理対象物の適用範囲が非常に広く、かつ、作業員の PCB 汚染を最小限に抑えることができる安全な技術であることがわかった。

本技術については、(財)産業廃棄物処理事業振興 財団の PCB 等処理技術調査検討委員会による技術 評価を終了している。

今回の検討は、PCB 汚染物等の処理設備を想定



写真7 空冷後破砕したスラグ

した実証試験であり、実機化に向けた貴重なデータが入手できたものと考える。この技術をもちいて PCB 処理を促進させることで、環境保全に貢献していきたい。

#### [参考文献]

- 1)環境省ホームページ,『PCBとは』 http://www.env.go.jp/recycle/poly/trans/ref\_pcb.pdf
- 2) 環境省パンフレット, 『ポリ塩化ビフェニル (PCB) 廃棄物の適正な処理に向けて 2004年度版』 http://www.env.go.jp/recycle/poly/pcb-pamph/
- 3) 環境省 廃棄物・リサイクル対策部 行政資料, 『PCB 特別措置法に基づく PCB 廃棄物の保管等の届出の全国 集計結果について』2002年10月
- http://www.env.go.jp/recycle/poly/hokan/ref01.html
- 4) 日本環境安全事業(株)ホームページ,『ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業基本計画』 http://www.jesconet.co.jp/p-htm/jigyokihonkeikaku-honbun.pdf

## ガス化溶融施設の連続安定運転

Stable Operation of MSW Gasification and Melting Plant





技術本部環境プラント技術部技術室 佐 藤 義 一 Yoshikazu Sato 技術開発本部 プロセス技術開発部廃棄物処理室 細 田 博 之 Hiroyuki Hosoda

都市ごみのガス化溶融施設は、1990年代後半に当社を含む20を超える多くの企業によりその技術の実証段階を迎え、現在では全国で50を超える建設および運転実績を有する今世紀のスタンダード機種のひとつに成長した。当社では2000年10月の中部上北清掃センターの竣工に始まり、今日までに計7施設を受注し、5施設を竣工している。竣工施設のなかで大型炉である石巻広域クリーンセンターにおいては、97日間という長期連続運転を達成し、また年間稼動日数324日(2003年)と設計計画日数280日を大きく上回る運転実績をえている。

The development of MSW gasification and melting technique was started by over twenty companies including our company in the later half of the 1990s. MSW gasification and melting plant has grown up to a standard type after construction of over fifty plants in Japan. Our company has accepted seven orders and completed five plants including Chubu-kamikita plant in October 2000. Ishinomaki plant, largest in scale, has been successful in achieving continuous operation of 97 days, resulting in annual operation days of 324 in 2003.

## Key Words:

廃棄物処理都市 ご みガス化溶融用役収支ダイオキシン類総排出量スラグ利用

Waste treatment
Municipal solid waste (MSW)
Gasification and melting
Utility Balance
Total dioxins emission
Effective utilization of slag

#### まえがき

都市ごみのガス化溶融施設は、1990年代後半に当社を含む20を超える多くの企業によりその技術の実証段階を迎えた。本技術は従来の焼却方式にくらべて都市ごみをより低い空気比で完全燃焼することで1300 ℃以上の高温排ガスを発生させ、ごみ焼却と同時に排ガス中の灰分を溶融(スラグ化)するというものである(流動床式およびキルン式)。本技術

により以下の効果が開発当初より期待されてきた。

- ① 高温燃焼によるダイオキシン類の発生抑制効果 および灰溶融による減量化・無害化(スラグ化)。
- ② ガス化過程における低温燃焼による鉄やアルミなどの資源物回収および灰分の再資源化。
- ③ 都市ごみの燃焼熱の回収率向上。 ①により環境中へのダイオキシン類の排出削減効 果と、灰のスラグ化による最終処分場負荷軽減およ

び再資源化が実現され、②により金属類などの再資源化を、③で発電量向上による買電量軽減にともなっての2削減効果、等が期待され、広く地球環境の保護に貢献するものである。また低空気比運転による排ガス量の低減は施設のコンパクト化を実現し、焼却・溶融の一体型施設とすることで従来施設にくらべその建設費は大幅に軽減され、ごみ処理行政を担う地方自治体の財政負担の軽減にも貢献している。

今日,本技術は実証段階を経て全国で50を超える 建設および運転実績を有する今世紀のスタンダード 機種のひとつに成長し,現在は施設操業の安定性・ 安全性・安心性といった都市ごみ処理技術としての 熟度を競う段階に入った。

都市ごみ処理技術の熟度の評価指標として連続運転日数,年間運転日数が挙げられるが,これは想定外の処理不適物の混入や地震などの自然的外乱等による運転阻害に対する施設の柔軟性をよく表すためである。

以下に当社の代表的大型炉である石巻クリーンセンターの運転データを中心に、ガス化溶融各施設の



写真 1 連続出滓

稼動実績および安定運転を支える技術を示す。

#### 1. 流動床式ガス化溶融施設の概要

ガス化溶融炉はメーカ各社固有の方式があり、流動床式、キルン式、シャフト式に大別され、さらにガス改質式と呼ばれるものもある。当社はこのなかでもっとも参画メーカが多い流動床式ガス化溶融炉を採用している。流動床式ガス化溶融炉方式は他の方式にくらべ、①施設がシンプルでコンパクトにできる、②炉本体に可動部分がなく万一の場合にも発生ガスの漏洩が起こりにくい、③スラグ出滓が連続式であり特別な操作を必要としない(写真 1)、④鉄およびアルミ類が未酸化で回収される、といった特長を有する。

当社の大型炉納入施設である石巻広域クリーンセンターの模式図およびフローシートを図1,2に示

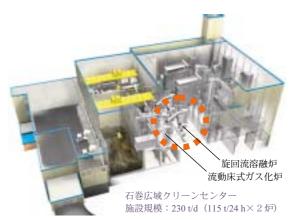


図1 ガス化溶融施設の模式図

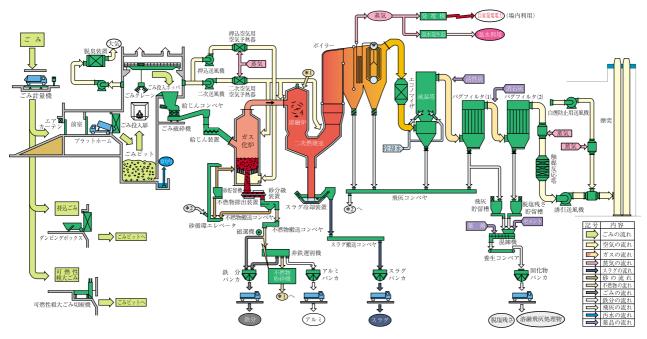


図2 ガス化溶融施設のフローシート

す。施設はプラットホームやごみピット等の受入供 給設備,ガス化溶融設備,ボイラータービン設備, 排ガス処理設備の他,排水処理設備,灰出設備で構 成される。

#### 2. 稼動施設の概要および運転実績

#### 2.1 稼動施設の概要

稼動施設の概要を表 1~4に示す。ガス化溶融設備は流動床式ガス化炉+旋回溶融炉で共通である。表中にて不燃物溶融と記載のある施設では、ガス化炉下より排出される石・ガレキ等の不燃物類を粉砕して溶融炉へ投入して溶融するプロセスを採用している。また排ガス処理設備で触媒反応塔の記載のある施設は窒素酸化物規制値が厳しい施設であり、これに対応するものである。またダイオキシン類の分解の役割も担っている。

#### 表1 中部上北清掃センターの施設概要

#### 表2 鹿角環境衛生センターの施設概要

#### 表3 安芸クリーンセンターの施設概要

#### 表 4 石巻広域クリーンセンターの施設概要

#### 2.2 運転実績

これらの施設はすでに実用運転を開始しており、 現在まで順調に稼動を続けている。各施設でのごみ 処理実績を図3~6に示す。このようにどの施設も 搬入したごみを安定して全量処理している。

#### 3. 安定運転を支える技術

#### 3.1 自動運転制御と助燃料の低減

主に炉規模が30 t/d 程度と小規模の場合, 炉況の変動が大きいことから多変数モデル予測制御をもち

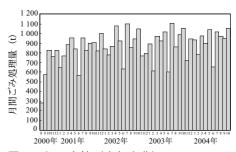


図3 処理実績(中部上北)

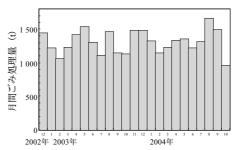


図4 処理実績(鹿角)

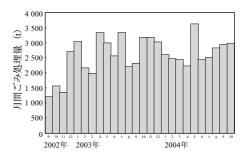


図5 処理実績(安芸)

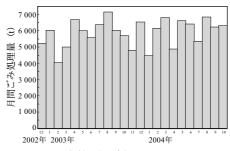


図6 処理実績(石巻)

いた自動運転制御システム<sup>112</sup>を確立した(**図7**)。 この結果、蒸気発生量の変動を±5%以内に安定させることができ、かつ、助燃量の低減効果があった。 その助燃量の効果を**図8**に示す。助燃量はシステム 導入後ほぼ設計計画値と同程度となり、ごみ質 2 200 kcal/kgでは、自己熱溶融(種火10 L/h)する ことを確認した。

#### 3.2 安全性

流動床式ガス化溶融は、砂層部での部分燃焼によ る種火の存在をはじめ、構造的にも安全なシステム

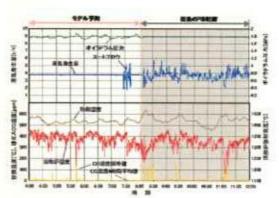


図7 自動運転制御効果

表5 微量有害物質濃度

HCI	mg/m³=	<10	< 10	<10	<10	< 50
CS <sub>a</sub>	ppm	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
HS	-	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
NH <sub>*</sub>	ppm mg/m²,	3.06	1.71	0.78	1,00	1,00
項目	単位	停止直後	5分後	10分後	15分後	通常運転時

※事業度数値

である。一例として、稼動中施設で測定した非常停止試験時の排ガス性状を表5、図9に示す。

非常停止後の排ガス性状が通常運転時とほぼ同レ ベルであることがわかる。

## 4. 石巻広域クリーンセンターの運転データ

#### 4.1 連続運転日数および年間稼動日数

石巻広域クリーンセンターの運転状況を図10に示す。97日間という長期連続運転を達成し、また年間 稼動日数は1系303日、2系324日 (2003年) と設計 計画日数280日を大きく上回る運転実績をえている。

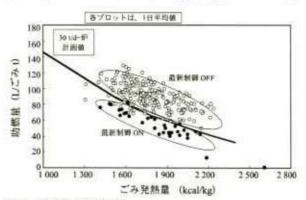


図8 助燃料の低減効果

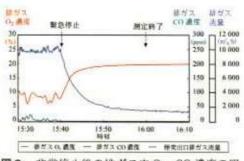


図9 非常停止後の排ガス中 O<sub>5</sub>, CO 濃度の経 時変化

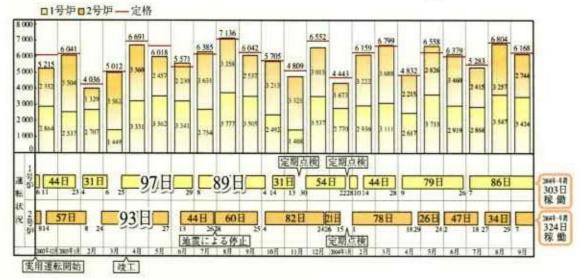


図10 石巻広域クリーンセンター運転状況

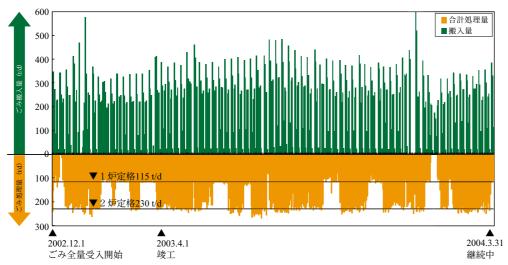


図11 ごみ処理状況

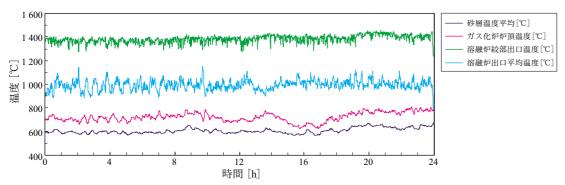


図12 各部温度トレンド

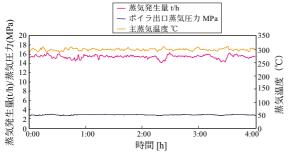


図13 蒸気関連トレンド

また2003年7月27日には宮城県沖地震によりいった ん停止しているが、1系24時間、2系52時間の停止 時間のみでごみ処理を再開している。またごみ搬入 量とごみ処理量を図11に示す。2炉同時運転⇔1炉 運転他1炉計画停止、と良好な運転状態を示している。

#### 4.2 溶融炉温度他運転データ

図12に各部温度、図13に蒸気関連トレンドを示す。 安定した運転であることを確認できる。

#### 4.3 用 役 費

助燃料については安全性を考慮してバーナのミニマム油量である20 L/h (4 L/ごみt) での運転をお

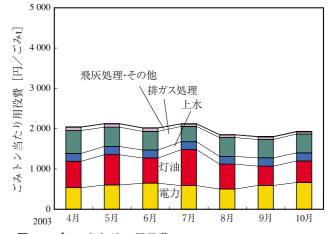


図14 ごみ t あたりの用役費

こない, 自己熱溶融を達成している。また, 消費電力は2系列運転時174 kWh/ごみ t と低い数値となった。内訳は, プラント消費電力は147 kWh/ごみ t, 建築設備消費電力は27 kWh/ごみ t である。ごみ t あたりの用役費を図14に示す。

#### 4. 4 減量化率·減容化率

飛灰循環・不燃物溶融なしの場合で減量化率は 5.4%,減容化率は1.2%であった。

表 6 ダイオキシン類総排出量

	RU	N1	RUN2		
	濃 度 (ng-TEQ/m³៉ <sub>N</sub> ) (ng-TEQ/g)	総排出量 (μg -TEQ/ごみ t)	濃 度 (ng-TEQ/m³ɴ) (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 0.0016 0.093 0.0056	0.0032 0.031 1.2 0.042	0.000050 0.00098 0.026 0.011	0.0016 0.019 0.37 0.11	
合 計		1.3		0.53	

表7 煙突出口排ガスの性状

	単位	2003年 1	1月12日
	中 仏	1 系	2 系
ばいじん量	g/m³ <sub>N</sub>	< 0.001	< 0.001
塩化水素	ppm	31	22
硫黄酸化物	ppm	5	5
窒素酸化物	ppm	28	27
一酸化炭素	ppm	7	7
ダイオキシン類	ng-TEQ/m³ <sub>N</sub>	0.0069	0.0074

※O₂ 12 %換算値, 乾ガス基準

表 9 重金属含有量試験結果

項目	単位	分析結果	含有量基準
カドミウム	mg/kg	< 5	< 150
鉛	mg/kg	<6	< 150
六価クロム	mg/kg	<1	< 250
砒 素	mg/kg	<1.3	< 150
総水銀	mg/kg	< 0.01	<15
セレン	mg/kg	< 0.5	< 150
シアン	mg/kg	<1	< 50
フッ素	mg/kg	<114	<4 000
ホウ素	mg/kg	< 35.1	<4 000

※含有量試験方法は「土壌含有量調査に係る測定方法」(平成 15年環境省告示第19号)に定める方法による。

表 8 重金属溶出試験結果

項目	単位	分析結果	溶出基準
カドミウム	mg/L	< 0.001	< 0.01
鉛	mg/L	< 0.001	< 0.01
六価クロム	mg/L	< 0.02	< 0.05
砒 素	mg/L	< 0.001	< 0.01
総水銀	mg/L	< 0.0005	< 0.0005
セレン	mg/L	< 0.001	< 0.01

※溶出試験方法は「土壌の汚染に係る環境基準 について」(平成3年環境庁告示第46号)に 定める方法による。

表10 材料試験結果

試験項目		分析結果	規格値	試 験 方 法
か ふるいの寸法		ふるい通	過百分率	JIS A 1102
粒度分布	5.0 2.5 0.075	100 % 91.43 %以上 0.79 %	100 % 85~100 % 0~10 %	
吸	乾密度 水 率 属 鉄	2.763 g/cm³ 0.96 % 0.09 %	2.45 g/cm³以上 3.0 %以下 1.0 %以下	JIS A 1109 JIS A 1109 JIS A 5011 附属書 2

#### 4.5 ダイオキシン類総排出量

本施設から排出される各部のダイオキシン類濃度 を表 6 に示す。ダイオキシン類総排出量は $0.53\sim1.3$   $\mu$ g -TEQ/ごみ t と低く抑えられている。

#### 4.6 煙突出口排ガスの性状

煙突出口排ガス性状分析結果を表 7 に示す。いずれも規制値を満足しており、とくにダイオキシン類は法律で定められた $0.1 \text{ ng-TEQ/m}^3_N$  の10分の 1 である規制値 $0.01 \text{ ng-TEQ/m}^3_N$  をクリアしている。

#### 4.7 スラグ性状

発生した溶融スラグの重金属溶出結果を表 8,重 金属含有量試験結果を表 9,材料試験結果を表 10に示す。ともに基準値を満足しており良好なスラグが えられていることがわかる。スラグは道路舗装会社 に全量有償にて引取られ、有効利用されている。鉄・ アルミも同様に有償取引され、有効利用されている。

#### む す が

都市ごみの処理にガス化溶融施設を適用し、竣工施設のなかで大型炉である石巻広域クリーンセンターにおいて、97日間という長期連続運転を達成し、また年間稼動日数324日(平成15年度)と設計計画日数280日を大きく上回る運転実績をえた。またダイオキシン類総排出量は0.53~1.3  $\mu$ g -TEQ/ごみ t と低く抑えられることを確認した。今後もさらなる技術の熟度を高めて,循環型社会への貢献度を高めてゆきたい。

#### [参考文献]

- 1) 木村大丈, 二階堂宏央ほか,「ガス化溶融プラントにおける制御システムの検証」第23回全国清掃研究発表会 p.228
- 2) 木村大丈, 友近信行**ほか**, 「ガス化溶融プラントにおける自動制御システムの開発」学会誌「EICA」第7巻第2号 p.79

# ハイブリッド型膜ろ過設備の納入実績 (岡山県吉備中央町竹谷浄水場)

Hybrid Water Purification Plant
Combined System of Upflow Bio Contact Filter
and Membrane Filtration





技術本部水処理第二技術部技術室 藤 本 瑞 生 Mizuki Fujimoto 西 尾 弘 伸 Hironobu Nishio

吉備中央町(人口14 400人)の竹谷浄水場はダム水を水源としている。ダム水に含まれる溶解性物質を前処理の上向流式生物接触る過にて低減除去し、濁質および混入の恐れのある病原性原虫クリプトスポリジウムを膜る過法にて除去するために、それぞれを組合わせたハイブリッド型膜る過設備を納入した。その結果、良好な結果をえたのでここに報告する。

Taking its source water from dam reservoir, a water purification plant of a hybrid membrane filtration system has been satisfactorily serving for a population of 14 400 with quality water. The system is a combination of upflow bio-contact filters and dead-end MF membrane filtration. The former can reduce iron, manganese, color and organic matters contained in the raw water, while the latter is efficient in removing Cryptosporidium from source water.

## Key Words:

上向流式生物接触**ろ**過 膜 **ろ** 過 クリプトスポリジウム Upflow bio-contact filter Membrane filtration Cryptosporidium

#### まえがき

従来の浄水処理プロセスの主体であった「凝集沈澱ー砂ろ過」に代わる除濁方法として、精密ろ過膜(MF膜)、限外ろ過膜(UF膜)をもちいた「膜ろ過」が注目されている。浄水処理に膜ろ過法を導入することにより、従来の砂ろ過法と比較して濁質や耐塩素性のある病原性原虫クリプトスポリジウムなどを完全に除去できる。

加えて膜ろ過法は全自動運転のため維持管理が容易であり、省スペース化が図れ、建設工期が短くなるというメリットも有する。

ダム水などを水源とする場合は、溶解性の有機物、溶解性の色度、溶解性のマンガン、アンモニア性窒素などを含む場合がある。さらにダム水は富栄養化

による藻類の繁殖が原因となり異臭味の発生も予想できる。膜ろ過法では、これらの溶解性物質を除去できない。

そこで、これらの溶解性物質を除去するための前処理として粒状活性炭を担体とした生物処理を付加し、膜ろ過設備と組合わせたハイブリッド膜ろ過方式が必要とされる。

岡山県吉備中央町(平成16年10月に賀陽町と加茂 川町は合併し、吉備中央町となった)は、人口約 14 400人、総面積約269 km²の町であり、竹谷浄水 場は、近隣に大きな河川がなく、ダム水を水源とし ている。

本報では、竹谷浄水場に2004年3月に納入した上 向流式生物接触3過を精密3過膜(MF膜)の前処 理として組込んだハイブリッド型膜ろ過設備の特長、概要および運転状況について報告する。

#### 1. ハイブリッド型膜ろ過設備の特長

本設備は、精密る過(MF 膜)の前処理として河川に存在する微生物の自然浄化作用を利用した上向流式生物接触る過方式を採用している。

これは生物接触る過池内のろ材(粒状活性炭)に 微生物を付着繁殖させ、原水がる過層を通過する際 にろ材と接触することで膜る過法では除去できない 溶解性の有機物、溶解性の色度、溶解性のマンガン、 臭気物質、アンモニア性窒素などを低減除去する方 式である。

上向流式生物接触る過と精密る過を組合わせたハイブリッド型膜る過方式は、凝集剤を使用せず、薬品は消毒剤として次亜塩素酸ナトリウムを添加するだけである。そのため、「より安全でおいしい水」をえることができ、発生汚泥量が少なく維持管理が容易であるという特長を有する。

また、膜ろ過の物理洗浄に薬品を使用しないこと から、洗浄排水の回収が可能であり設備としての回 収率を高めることが可能である。

#### 2. 設備概要

#### 2.1 上向流式生物接触ろ過池

図1に設備全体のフローを表1に上向流式生物接触 ろ過池の仕様と運転条件を示す。

#### 1) 上向流式生物接触る過池の特長

上向流式生物接触る過池は濁質除去を目的とせず、溶解性の有機物質やマンガン、アンモニア性窒素、臭気物質などの低減除去をおこなうものである。後段を完全な除濁機能を有する膜る過法とすることで、上向流式生物接触る過方式の特長を有効に活用できる。上向流式生物接触る過池の特長を次に示す。

① 上向流方式であるため原水を速い通水速度で接触させることができるので、設備の設置面積を少なくできる。

表 1 上向流式生物接触る過池の仕様および運転条件

TE

垻	Ħ	1上
計画浄	水量	900 m³/d
型	式	上向流式生物接触 3 過池
池	数	2 池
材	質	鋼板製(SUS304)
寸	法	1.2 mW $\times$ 1.2 mL $\times$ 5.0 mH
3	層	粒状活性炭
層	厚	1.5 m
通水	流 速	15 m/h
空間	速 度	10 1/h
洗净	方 法	空気・水洗浄
洗 浄	工 程	排水→水抜→空洗→空気・水併用洗浄→水洗
		→水抜→通水洗浄
洗净	頻 度	1回/2d

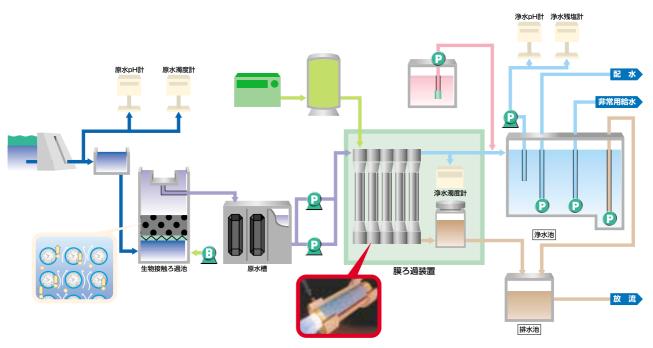


図1 設備フロー

- ② 濁質捕捉量が少ないため、損失水頭が少ない 運転が可能となる。通水にともなう損失水頭の 上昇が少なく、低い水位差で運転できるため自 然流下方式が採用できる。
- ③ 流動床であるため、接触ろ過層全体を有効に 利用でき、生物処理効率がよい。
- ④ 小粒径の活性炭を利用することで、ろ材の表面積が大きくとれ、生物の繁殖量が多く生物処理効果を高められる。
- ⑤ ろ材である活性炭自体が付着した生物により 再生すると考えられるため、活性炭としての効 果が長期にわたり期待できる。
- 2) 上向流式生物接触る過池の運転方法

竹谷ダムより取水した原水は、原水分配槽にて2 池の生物接触る過池へ分配される。生物接触る過池 外観を写真1に示す。

原水は生物接触る過池の下部より流入する。流入した原水は、気水洗浄型多孔板より池内へ均等分散され、支持砂利層、る層(生物活性炭層)の順に上向流で流れる。この後生物接触る過池内の集水トラフにて処理水を集水し、いったん原水槽に貯留する。生物接触る過池は上向流で通水することによりる層である粒状活性炭を流動化させ、る層の閉塞を抑制しつつ、粒状活性炭表面に微生物を生息させ生物処理をおこなっている。生物接触る過池の洗浄は基本的に2日に1回の頻度にて(1池/1日)実施している。洗浄は空気洗浄、気水洗浄、水洗浄、洗浄通水(捨水)をおこない、濁質や付着生物の一部を効率よく生物接触る過池の系外へ排出する。1回の洗浄時間は約2時間である。

なお、1池洗浄中は、生物接触る過池の処理水量が半分となるため、原水槽は、生物接触る過池が1池洗浄中であっても、膜る過装置は連続運転可能な容量としている。



写真1 上向流式生物接触ろ過池外観

#### 2.2 膜ろ過装置

表 2 に膜ろ過装置の仕様および運転条件を示す。

#### 1) 膜る過装置の特長

本膜ろ過装置の膜はポリプロピレン製の公称孔径 0.2  $\mu$ m の中空糸型精密ろ過膜(MF 膜)であり、ろ 過方式は全量ろ過方式である。

本膜ろ過装置の特長を次に示す。

- ① 安全性を最優先した膜ろ過システムである。 延伸法による伸縮性に富んだ膜であるため膜破 断が起こりにくい。さらに膜破断に対する検知 システムとして、直接法と間接法を併用し二重 の安全対策を施している。直接法とはモジュー ルのろ過側に無菌圧縮空気(100 kPa)を加え て、単位時間における圧力の減少度を測定する ことにより膜の破断を検知する方式である。間 接法とは、ろ過水濁度を精密濁度計により常時 監視し、膜破断を間接的に検知する方法である。
- ② 長期安定な運転がおこなえる。 膜の特性(伸縮性)により、圧縮空気(600 kPa)での逆圧空気洗浄をおこなっている。こ の強力な物理洗浄機構は洗浄回復性が優れており、長期にわたって安定した運転がおこなえる。 また、物理洗浄に薬品を使用しないため、洗 浄排水の回収が可能である。
- ③ 維持管理が容易である。 全自動運転が可能である。構成機器が非常に 少なく主たる機器はポンプと空気圧縮機のみで ある。設備の設置面積が小さくなり維持管理が 容易である。
- ④ 経済性が優れている。 全量ろ過方式を採用しているため、クロスフ

表 2 膜 3 過装置仕様および運転条件

	項	目		仕様
膜	種		類	精密ろ過膜 (MF 膜)
膜	材		質	有機膜(ポリプロピレン)
膜	孔		径	$0.2\mu\mathrm{m}$
膜	形		状	外圧式中空糸
系	列		数	6 系列(3 系列× 2 ユニット)
膜 <b>モ</b> :	ジュー	·ル本	数	60本 (10本/系列)
有多	カ 膜	面	積	900 m² (15 m²/モジュール)
膜	5 過	流	束	1.0 m³/m²/d (浄水量900 m³/d に対して)
3	過	方	式	全量ろ過方式
物理	洗消	声方	式	逆圧空気洗浄方式
物理	! 洗 消	)間	隔	57 min に 1 回
薬品	洗消	声方	式	持ち帰り洗浄方式

ロー**ろ**過方式に**くらべて**消費電力**が**少な**く**,維持管理費用**が**安**い**。

#### 2) 膜る過装置の運転方法

原水槽に貯留された生物接触ろ過処理水は膜ろ過ポンプにて膜ろ過装置に供給される。膜ろ過装置外観を写真2に示す。

本装置は、6系列で構成されている。運転方式は 各系列の原水入口に設けたコントロール弁にて定流 量制御運転をおこなっている。6系列のうち、2系 列停止しても計画浄水量を100%自動的に確保でき るようになっている。

本膜る過装置の物理洗浄方式である逆圧空気洗浄は、逆洗ポンプおよび空気槽内の無菌圧縮空気(600 kPa)を利用しておこなっている。60分をろ過、物理洗浄の1サイクルとしており、1サイクルのなかで57分間ろ過、3分間物理洗浄をおこなっている。

物理洗浄をおこなっても膜差圧は運転日数の経過 とともに徐々に上昇する。そのため、半年~1年に 1回薬品洗浄をおこなう必要がある。

本膜ろ過装置の薬品洗浄は、膜モジュールを工場 に持ち帰りおこなう洗浄方式を採用している。

実装置においては、夜間停止することも考えられ、



写真 2 膜 3 過設備外観

冬期水温低下による膜モジュールの凍結が懸念される。そこで凍結防止対策として,運転待機中に水温の低下を検知すると,強制る過(捨水)をおこなうシステムを有している。

膜ろ過水は消毒用として次亜塩素酸ソーダ注入後、 浄水池へ送られる。

#### 3. 運転状況

#### 3.1 ハイブリッド型膜ろ過設備の水質分析結果

表3に原水,生物接触ろ過処理水,および膜ろ過 処理水の水質分析結果を示す。

原水において濁度,色度が水質基準値を超えており,鉄・マンガンも多く含んでいる。

上向流式生物接触る過池により色度や有機物質 (TOC), UV260などが低減されており, さらにアンモニア性窒素などの除去も期待できる。上向流式生物接触る過池は溶解性物質の除去を目的としたものであり, その効果がえられている。

膜ろ過処理水においては十分に水質基準値を満足する水質がえられた。これらより、本方式で良好な処理性能がえられることがわかる。

## 3.2 ハイブリッド型膜ろ過設備の運転状況 図2に原水濁度の経日変化を示す。

竹谷浄水場の原水は通常の原水濁度は10度以下で

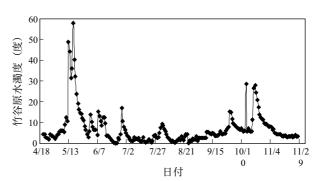


図2 原水濁度の経日変化

表3 原水と浄水の水質分析結果

項目		原水	生物接触 <b>ろ</b> 過処理水	膜 <b>ろ</b> 過 処 理 水
<b>濁</b> 度	(度)	5.4	4.9	0.1未満
色度	(度)	24	16	2
рН	(—)	7.5	7.3	7.4
有機物(TOC)	(mg/L)	1.2	1.0	0.9
UV260	(—)	0.032	0.025	0.015
鉄およびその化合物	(mg/L)	0.250	0.236	0.027
マンガンおよびその化合物	(mg/L)	0.039	0.031	0.001未満
溶解性マンガン	(mg/L)	0.001	0.001未満	0.001未満
アンモニア性窒素	(mg/L)	0.02	0.01未満	0.01未満

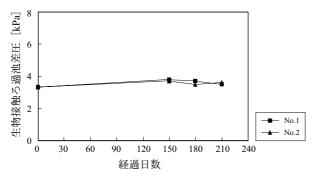


図3 上向流式生物接触る過池の差圧

あるが、降雨等の影響をうけ20~60度といった高い 濁度を示す。

図3に上向流式生物接触ろ過設備の差圧を示す。 運転開始より上向流式生物接触ろ過池は2池とも通 水流速15 m/h で連続運転をおこなった。

運転開始より7カ月経過したが、差圧は約4kPaという低い値で安定して運転を継続している。このことは、洗浄が効果的におこなわれ、ろ層および支持砂利層への濁質の滞留が少ないことを示している。

図4に膜ろ過装置の膜差圧を示す。

膜ろ過設備は各系列すべて膜ろ過流束1.1 m³/m²/dで連続運転をおこなった。運転開始後約7カ月間安定に運転できた。

## むすび

本設備は、2004年4月に給水を開始し現在も安定 した運転を継続している。

膜る過では除去困難な溶解性物質は上向流式生物

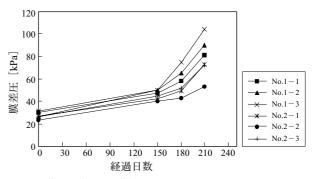


図4 膜ろ過装置の膜差圧

接触る過池により低減除去し、濁質や細菌、耐塩素性のある病原性原虫クリプトスポリジウムなどを膜る過装置により完全に除去し、良好な水質がえられる。

薬品は消毒剤として次亜塩素酸ナトリウムを添加するだけであり、ダム水源にハイブリッド型膜ろ過方式を導入し「より安全でよりおいしい水」をえられることがわかった。

本方式は維持管理が容易であり、設備の設置面積 削減などのメリットも多く、今後ますますの普及が 期待される。

#### [参考文献]

- 1) 中町眞美**ほか**:神鋼パンテツク技報, Vol.46, No.1 (2002/8), p.32, 33
- 2) 西尾弘伸:神鋼パンテツク技報, Vol.38, No.3 (1994/12), p.28

# 静電気障害を防止する導電性グラスライニング

"ECOGL-Electrically Conductive Glass Lining"





技術開発本部 プロセス技術開発部新規プロセス室 多田篤志 Atsusi Tada プロセス機器事業部生産部製造室 宮内啓隆 Hirotaka Miyauchi

グラスライニング機器の使用時に発生した静電気によるグラス層の破損を防止するため、導電性グラスライニング(ECOGL-Electrically Conductive GL)を開発した。ECOGL は発生した静電気を表面方向に緩和することで、グラス層への帯電を防止し、グラス層の破損を防ぐことを特長とする導電性グラスである。ECOGL の表面抵抗率は $10^{6-7}\,\Omega/\Box$ ,帯電圧半減時間は $1.0\,\sec$ 以下と、優れた帯電防止効果を備えているうえに、耐食性についても、当社の高耐食性標準グラス(# 9 000)と同等である。

また、導電性グラスは、それ自体が電気を通すため、高電圧ピンホール検査が適用できないという問題があったが、ECOGL は当社独自の構造により、ノーピンホール性が確認可能であるため、簡易、かつ確実にノーピンホール品質を担保できるといった特長を備え、高品質な導電性グラスライニング機器を安定してユーザへ提供できるようになった。

The electrically conductive glass lining (ECOGL) was developed to prevent breakage of glass layer by static charge generated in the operation of glass lined equipments. The ECOGL has two layers of glass over the substrate; conductive surface layer over an ordinary non-conductive layer. The static charge, if generated, is introduced to the earth along the surface layer. With the surface resistivity and static charge half-life period respectively 10<sup>6</sup> to 10<sup>7</sup> ohms per square and less than 1.0 sec., the ECOGL has high antistatic effect. Moreover, the corrosion resistance of the ECOGL fairly compares with that of our high corrosion resistance standard glass (# 9 000).

The high voltage pinhole test cannot be applicable to the conductive glass lining for its electrical conduction. The ECOGL, however, can be easily controlled to no-pinhole grade by the test because of the characteristic 2-layer structure. Stable supply is assured for the reliable, quality-controlled conductive glass lined equipments.

## Key Words:

導電性グラスライニング

静 電 気

表面抵抗率带電半減時間

帯 電 防 止 効 果 ノーピンホール性

高電圧ピンホール検査

Electrically conductive glass lining

Static charge

Surface resistivity

Static charge half-life period

Antistatic effect

No-pinhole grade

High voltage pinhole test

#### まえがき

グラスライニングとは素地金属上に高耐食性のグ ラス層をライニングしたもので、ガラスの耐食性と 鋼の強靱性を兼ね備えた複合材料である。グラス層 は絶縁物であるため、グラスライニング製の圧力容 器内で、体積抵抗率が10<sup>10</sup> Ωcm 以上と高い有機溶媒 や、粉粒体などの内容物を攪拌した場合、攪拌や沈 降等の摩擦によって大きな静電気が発生し、帯電が<br/> 生じる。帯電した静電気はグラス層が絶縁体である ために緩和されない。帯電が一定以上になると沿面 放電が発生し、グラス層が絶縁破壊するという静電 気障害が報告されている。1), 2) この問題は単に機器 破損にとどまるものではなく、放電によって内容物 が爆発する危険性を秘めた、安全上の大きな問題で ある。ユーザからの強い要望の声もあり、この問題 の解決はグラスライニング機器にとって大きな命題 のひとつであった。

当社が開発した導電性グラスライニング (ECOGL) は、この問題を解決するもので、グラス層への静電気帯電を防止し、放電の発生を抑制、グラス層の破損を防止する。また、導電性グラスライニングでありながら、ノーピンホール品質のグラスライニング機器を確実に提供することができるという特長も備えている。

本稿では、2004年10月に上市された、導電性グラスライニング『ECOGL (Electrically Conductive GL)』の、性能について報告する。

- 1. ECOGL の帯電防止原理
- 1.1 静電気障害の防止策

静電気障害を防止するためには、図1に示すように、

- ・静電気の発生を防止——運転方法の調整(回転速度の低減等) 内容物の調整(帯電防止剤の添加等)
- ・発生した静電気の緩和一内容物より緩和一帯電防止剤の添加 イオナイザーの設置 反応器より緩和一導電性グラス(ECOGL等)
- 図1 グラスライニング反応器における帯電防止策

- ① 「静電気の発生を防止」
- ②「発生した静電気を緩和」

という2つの方法がある。

①の方法は、静電気自体の発生を抑制する方法で、これまで、反応器の運転方法を調整して静電気の発生を抑制する等の試みがなされている。<sup>3)</sup> しかし、運転方法はユーザのプロセスに左右されるため、静電気障害を完全に防ぐことは現実的に困難である。

②の方法は、内容物、反応器にそれぞれ導電性を付与して、発生した静電気を緩和する方法である。両者のうち、内容物への導電性の付与は、ユーザの制限があるため、不可能な場合が多い。当社の開発した ECOGL では、反応器に導電性を付与する方法、つまり本来絶縁物であるグラス層に導電性を付与して、発生した静電気を緩和させている。

## 1.2 グラスライニング機器からの帯電緩和方式

グラス層に導電性を付与し、帯電を緩和させる方 法には、図2に示すような2通りの方式がある。

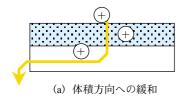
1つは図2-(a)のように、グラス層全体に導電性を付与して、体積方向に帯電を緩和させる方式である。この方式は、グラス層全体が導電性であるため、高電圧ピンホール検査によりノーピンホールの品質を確認できないという欠点がある。

もう1つは図2-(b)のように、最表層部のグラス層のみに導電性を付与して、表面方向に帯電を緩和させる方式である。この方式では、製作工程中にノーピンホールの品質を確認することが可能であり、品質管理の点で有利である。

各方式には、表1に示すようにそれぞれ長所、短 所があり、ECOGL は表面方向に緩和する図2-(b) の方式を採用している。

表1 各緩和方式の長所と短所

緩和方式	体積方向	表面方向
特徴	への緩和	への緩和
導電性物質添加量	多い	少ない
緩和経路	短い	長 い
導電層のアース	施工済み	別途施工必要
ノーピンホール管理	困 難	容 易



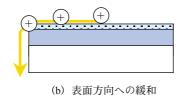




図2 グラスライニング機器からの静電気の緩和方式

#### 2. ECOGL の構造

ECOGL は、当社の標準グラスである高耐食性 #9000グラス層(以降、標準グラス)の上に、最表層として導電性グラス層を形成している。その導電性グラス層の端部において、導電性ガスケット等をもちいて機器外にアースすることで、帯電を緩和する構成となっている。

最表層の導電性グラス層は、標準グラスに導電性 粉末を添加して製作される。導電性グラス層中では 図3の断面観察結果に示すように、導電性粉末が導 電経路を形成しており、この経路によって導電性を えている。

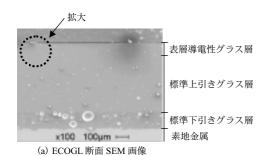
#### 3. ECOGL の帯電防止性能

#### 3. 1 表面抵抗率

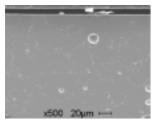
ECOGL は発生した静電気を表面方向に緩和する方式のため、最表層の導電性グラス層の表面抵抗率が重要となる。文献によると、表 2 に示すように、表面抵抗率が10<sup>10</sup> Ω /□以下であれば帯電が防止できるといわれている。<sup>4)</sup> ECOGL の表面抵抗率を評価した結果を以下に示す。

#### <評価条件>

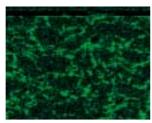
- ·測定雰囲気:湿度10%以下,温度20~25℃
- ・測定するグラス層表面の吸着水分を乾燥させた 後に測定する。
- ・表面抵抗計:シムコ製 ST-3, ヒューレット・ パッカード製 HP4339A



(a)の一部を拡大して (b), (c) に示す。



(b) ECOGL 表層部拡大 SEM 画像 白い網目状に見えるのが 導電性粉末による導電経路



(c) ECOGL 表層部拡大 EDS 画像 緑の輝点が導電性粉末 による導電経路

図3 ECOGLの断面構成

#### <評価対象>

標準 GL、ECOGL で以下サンプルを製作した。

- □100 mm×t1 mm
- ・100 L 反応器 (胴部, 攪拌翼部, バッフル部を 評価)

#### <評価結果>

表3に測定結果を示す。標準グラスの表面抵抗率が10<sup>14</sup> Ω/□と帯電の大きさが 1 —10 kV 程度であるのに対し、ECOGL の表面抵抗率はどの部位においても10<sup>6-7</sup> Ω/□以下のため、帯電が0.1 kV 以下程度と非常に小さいことが確認された。

#### 3.2 帯電圧半減時間

次に実際に ECOGL を帯電させ、帯電圧が半分に 緩和するまでに要する時間(帯電圧半減時間)を測 定して、帯電防止性を評価した。

測定方法は、帯電性試験法(JIS L 1094)を模した方法でおこなった。詳しくは図4に示すように、グラス層表面より15 mm の距離に設置した針状電極に20 kV を印加してコロナ放電を発生させる。コロナ放電によって直下のグラス層表面を30 sec帯電させた後、直ちに電極を移動させる。それと同時に、

表 2 帯電性の表面抵抗率の指標

帯電の大きさ/帯電電位の目安 (kV)	表面抵抗率 (Ω/□)
 ほとんどなし/0.1以下	10⁰以下
小さい/0.1-1	10 <sup>10</sup> - 10 <sup>12</sup>
普通/1-10	10 <sup>12</sup> - 10 <sup>14</sup>
大きい/10以上	1014以上

表3 各グラスの表面抵抗率測定結果

グラス種類		表面抵抗率 (Ω/□)		
サンプノ	▶種類	当社標準グラス (#9000)	導電性 <b>グラス</b> (ECOGL)	
100 mm×t1 mm サンプル		7.5×10 <sup>14</sup>	10 <sup>5-6</sup>	
100 L 反応器 開 部 攪 拌 翼 部 バッフル部		1012以上	$2.5 \times 10^{6} \\ 10^{6-7} \\ 4.0 \times 10^{6}$	

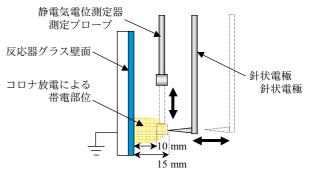


図4 帯電圧減衰測定概要図

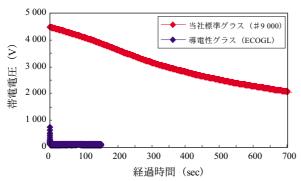


図 5 各グラスの帯電圧減衰曲線 (100 L 反応器胴部,帯電条件: 20 kV-30 sec)

グラス層表面より10 mm で針状電極があった場所 に静電気電位測定器 (春日電機製 KSD-0109, KS-2001) の測定プローブを移動させて, グラス層 表面の帯電圧の時間変化を測定した。

測定は100 L 反応器の胴部と攪拌翼部において実施した。グラス層表面から大気中へと緩和する電荷の影響を少なくするため、反応器内の雰囲気を湿度10%以下に調整し、1日以上保持して、グラス層表面の吸着水分を乾燥させてから測定した。

例として、本測定によってえられた ECOGL と標準グラス反応器胴部の帯電圧減衰曲線を図 5 に示す。この減衰曲線からえられた帯電圧半減時間を表 4 に示す。標準グラスの半減時間が700 sec以上であるのに対して、ECOGL の半減時間は1.0 sec以下と非常に短いという結果がえられた。この結果は帯電される量より、ECOGL が緩和する量の方が大きいことを示しており、胴部のみならず、形状が複雑な攪拌翼部においても、ECOGL の帯電防止性能が非常に高いことがわかる。

#### 3. 3 漏洩抵抗

ECOGL が表層方向に帯電を緩和するには、表層の導電性グラス層がアースされていることが重要となる。アースが不十分な場合、導電層が絶縁された状態になるため、帯電は緩和されない。さらにその状態で放電が発生すると、放電個所に帯電荷が集中し、エネルギーの大きな放電となるため、発火等の災害が発生する危険性が高まることとなる。

アースがとれているかどうかを示す指標は漏洩抵抗であり、文献によると放電が発生する恐れがある場所での漏洩抵抗は $10^9\,\Omega$ 以下にする必要があるといわれている。 $^{5)}$ 

以下, ECOGL の漏洩抵抗を評価した結果を示す。 <評価条件>

- ·測定雰囲気:湿度10%以下,温度20~25℃
- ・反応器内部を上記雰囲気に調整し、1日以上保

表4 各測定部位における帯電圧減衰測定結果

GL 種類	初期帯電圧(kV)/帯電圧半減時間(sec)		
測定場所	当社標準グラス (#9000)	導電性グラス (ECOGL)	
100 L 反応器胴部	4.5 / 721	0.7以下/1.0以下	
100 L 反応器攪拌翼	-/-	0.3以下/1.0以下	

表 5 ECOGL 反応器の各測定部位における漏洩抵抗

油学郊丛	漏洩抵抗(Ω/□)		
測定部位	100 L 反応器測定結果	10 m³反応器推定結果	
胴 部	1.6-5.0×10 <sup>6</sup>	$1.6 \times 10^6 - 8.5 \times 10^7$	
攪拌翼部	$1.3-2.5\times10^{7}$	$1.3 \times 10^7 - 3.1 \times 10^8$	
バッフル部	$5.5 \times 10^6 - 5.0 \times 10^7$	$5.5 \times 10^6 - 5.0 \times 10^8$	

表 6 各グラスの耐食性

	当社標準グラス (#9000)	導電性グラス (ECOGL)
耐水性 (純水,沸点,気相) (mm/年)	0.01	0.01
耐酸性 (20 % HCl, 沸点, 気相) (mm/年)	0.04	0.04
耐 <b>アルカリ</b> 性 (1N-NaOH, 80 ℃, 液相) (mm/年)	0.20	0.20

持してグラス層表面の水分を乾燥させた後に測 定する。

· 絶縁抵抗計: 横河電機製 2406

#### <評価対象>

・100 L反応器:胴部,攪拌翼部,バッフル部 <評価結果>

100 L 反応器の各部における, ECOGL 層から外部アース端子までの漏洩抵抗の測定結果, および測定結果から推定した10 m³ 反応器の各部における漏洩抵抗を表 5 に示す。推定結果は, 10 m³ 反応器と100 L 反応器の各部における表面積の比より算出した値である。

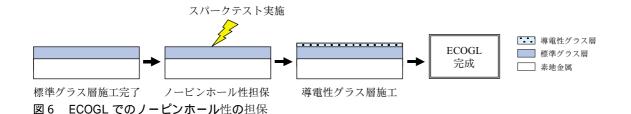
本結果より ECOGL は、10 m³ の反応器において も安全基準である漏洩抵抗10° Ω以下の接地が可能 であり、良好な帯電防止性を示すものと推察できる。

#### 4. ECOGL のその他の特長

ECOGL は良好な帯電防止性能を示す以外に、その構造によって、以下のような特長を備えている。

①「標準グラスと同等の耐食性、耐熱衝撃性」

ECOGL は耐食性を備えた導電性粉末を導電物質として使用するため、表 6 に示すように標準グラスと同等の耐食性を有する。



また、耐熱衝撃性についても同等の性能を有して おり、導電性グラス層/標準グラス層間で、剥がれ や割れが生じることはない。

②「容易で確実なノーピンホール品質管理」

完成後のグラス層にピンホールやクラック等の欠陥が生じていると、グラスライニングの特長のひとつである耐食性が失われ、その部分より素地金属の腐食が発生してしまう。このため一般的に高電圧ピンホール検査によって、グラス層のピンホール、クラック検査がおこなわれる。高電圧ピンホール検査とは、グラス層表面に直流高電圧を印加して、絶縁破壊電圧が低くなっているピンホールやクラック等の欠陥部を、絶縁破壊させて検知する検査である。

本テストは容易、かつ確実な検査方法であるが、 導電性グラス層に適用すると、印加した高電圧は導 通してしまうため、欠陥部で絶縁破壊が発生せず、 ピンホール、その他の欠陥の検知ができなくなって しまう。そのため、グラス層全層が導電性グラス層 (図 2 - (a)) であると、高電圧ピンホール検査が実 施できず、グラスライニングのノーピンホール品質 を担保することが困難であった。

それに対して ECOGL は、高電圧ピンホール検査により標準グラス層が無欠陥であることを確認して、耐食性を確保した後、最表層に導電性グラス層を施工する(図 6)。このため ECOGL は、容易に、かつ確実に高品質なグラスライニング機器を提供でき

るという特長を有する。

③「良好な洗浄性」

ECOGLでは粉末状の導電物質を使用するため、針状、繊維状の導電物質を使用した場合と比較して、グラス層表面の凹凸が少なく、平滑である。そのため反応器内壁への内容物の付着が軽減でき、また洗浄時も良好な洗浄性がえられるという特長を有する。

#### むすび

帯電防止性能を中心に、導電性グラスライニング『ECOGL』の特長を紹介した。ECOGL は反応器だけでなく、同様に静電気障害が問題となる容器回転型粉体混合乾燥機(CDB)へも適用可能であり、本開発によって永年の課題であった静電気障害を解決し、ユーザに対してより安全な生産設備を提供できるようになったと確信している。

#### [参考文献]

- 1) 静電気災害・障害基礎講座, 静電気学会誌, Vo.12, No.6, (1988), p.454-455
- 2) 児玉ら,産業安全研究所報告 RIIS-RR-89, (1989), p.80
- 3) 澤田, 神鋼パンテツク技報, Vol.34, No.3, (1990), p.22-27
- 4) 静電気学会編,新版静電気ハンドブック, (1998), p.318, オーム社
- 5)山隈,電気と工事(静電気災害と防止対策),(2001/2), p.50

# グラスライニング製機器用「サンプリングバルブ」

"SAMPLING VALVE" for Glasslined Vessel



プロセス機器事業部技術部 永 田 純 洋 Sumihiro Nagata

反応機において、反応の終点や晶析の粒径などを確認するためにサンプリングによる確認が必要となる場合がある。サンプリングの方法として、マンホールを開放して柄杓やチューブなどにより直接採取する方法、当社の GL 製サンプリング装置による方法、自動でサンプリングからサンプリング配管内の洗浄までおこなえる装置を使用する方法などがある。前者ほど安価で簡便であるが安全上問題であり、後者になるとコスト的に高価となる。今度、新たに開発した『サンプリングバルブ』は、缶内が加圧・減圧状態にかかわらずバルブ操作のみによって容易にサンプリングがおこなえ、配管内の洗浄・滅菌が可能である。また、このサンプリングバルブは、接液部にふっ素樹脂あるいはセラミックを使用し耐食性に優れ、コンパクトで定量サンプリングが可能である特長をもつ。

Sampling is often essential to check the end of reaction and the particle size of crystallization made in reactors. The conventional sampling devices used to be inexpensive and simple but not safe or automatic and cleanable but expensive. The SAMPLING VALVE developed recently realizes sampling with simple operation of valves regardless of pressurized and depressurized reactors as well as cleaning and sterilization of the sampling pipe. In addition to excellent corrosion resistance with use of using fluoro-resin or ceramics, the VALVE has such features as low price, compact size and quantitative sampling.

## Key Words:

**サンプリング** 洗 浄 性 Sampling Cleanability

#### まえがき

グラスライニング(以下 GL と称す)製反応機は 化学工業の分野で長年使用されてきた。近年ではと くに医薬やファインケミカルの分野での使用が多く なってきている。この分野では反応の状態を確認す るためにサンプリングすることが多く,ほとんどの ユーザが反応機の上部にあるマンホールを開放しチュー ブや柄杓などにより抜出す方法をとっている。この ような作業はケミカルハザードの点からも好ましく ない。また,当社製品である『サンプリング装置』 (神鋼パンテツク技報 Vol.43 No.1) はその工程中で 1 回だけの使用であれば問題ないが,連続しておこ なう場合には吸引管内の洗浄がおこなえないため、 次回サンプリング時のコンタミネーションとなって しまう場合がある。このような問題を解決するため 『サンプリングバルブ』の開発をおこない, 販売を 開始した。

#### 1. サンプリングバルブの構造

サンプリングバルブの断面図を図1に示す。上下 運動するセラミック製の弁棒とフッ素樹脂製の本体 とからなり、弁棒の上下はエアシリンダでおこなう。 弁棒上昇時には弁棒上部のテーパ部と本体の O リングでシールされる。O リングとすることで処理 液がスラリーでもシールできる。左右の流路はこの 状態でも液の移動が可能であり、缶内と隔離された 状態でサンプリングバルブ内の通液洗浄などが可能 となる。

サンプリングバルブと大気側のシールは V パッキンでおこなう。この部分は常に洗浄および置換がおこなわれるため、V パッキンでもスラリーに対応できる。

弁棒下降時にはサンプリングバルブ内に缶内の処理液が流入する。サンプリングバルブの液出入口にはそれぞれバルブを設置し閉の状態にしておけば、流路内に処理液が満たされることとなる。

#### 2. サンプリング方法

サンプリングバルブは通常、図2に示すようなフローにて使用される。サンプリングバルブの両側にバルブがあり、片側が洗浄液入口、もう片側にはサンプリング用のサンプル容器が付属する。サンプリングの手順を以下に示す。

#### 1) サンプリング前

すべてのバルブは閉とし、サンプル容器をサンプ ル出口に取付ける。

#### 2) サンプリング開始

サンプリングバルブの弁棒を下げ、サンプリング バルブの流路内に処理液が流入する。

#### 3) サンプリング終了

弁棒を上昇させることにより流路内に処理液を残したまま缶体とサンプリングバルブが隔離される。 これでサンプリングが完了する。

#### 4) サンプル移送

サンプル容器が付属する側のバルブを開くと流路

内の処理液がサンプル容器へ移送される。移送後そのバルブを閉め、サンプル容器を取りはずし、サンプル採取が終了する。

#### 5) 洗浄/スチーム滅菌

サンプリング終了後、サンプル容器を取りはずした部分に洗浄用の配管を接続するか、受器を準備する。洗浄液入口のバルブを開くことで洗浄液が供給され、出口側のバルブを開けることで洗浄液が排出される。その後、スチームを流すことでサンプリングバルブと配管部の滅菌をすることも可能である。

#### 6) 洗浄終了

洗浄終了後, サンプリング容器を取付け, 次回の サンプリングがおこなえる状態となる。

このシステムであれば、缶内が真空下あるいは加 圧下であっても容易にサンプルを取出すことが可能 である。

# 3. サンプリングバルブの特長

サンプリングバルブの特長を以下に示す。

#### 1)高い耐食性

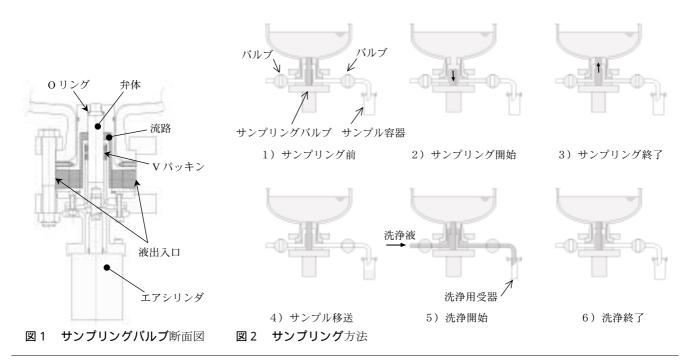
接液部材質はフッ素樹脂およびセラミックのため 腐食性のある液体にも使用できる。

#### 2) 洗浄性/殺菌性

サンプリング後のサンプリング配管内は、溶剤/スチームなどによる通液洗浄/滅菌が可能である。

#### 3) 安全性

サンプリングバルブの液出入口にはバルブがつい ており、万が一液もれが発生した場合でも安全な二



#### 表 1 サンプリングバルブの仕様

#### 表 2 耐久テスト条件および結果

		水	SS CaCO <sub>3</sub> (4.5 $\mu$ m)	No.R CaCO <sub>3</sub> (20 μm)	No.A CaCO <sub>3</sub> (200 μm)
スラリー濃度 [wt %]		0	15	15	15
加圧 <b>テスト</b> 結 果	開閉回数 上 部 下 部	1 000 良好 良好	1 000 良好 良好	1 000 良好 良好	1 000 良好 良好

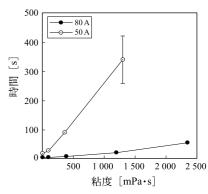


図3 サンプル確保時間

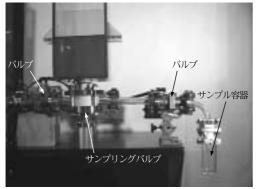


写真1 サンプリングバルブテスト機

重構造となっている。

#### 4)操作性

缶内の圧力状態にかかわらず、バルブの開閉だけで容易にサンプリングができる。またエアシリンダの採用により、バルブは自動開閉する。手動操作で開閉をおこないたい場合にはエア配管へハンドバルブを設置することで電気的な信号を介さず容易に開閉できる。

#### 4. 設計 什様

本装置の仕様を表 1 に示す。取付けノズルサイズは50 A もしくは80 A である。取付け位置は缶体下部あるいは缶体胴部となり、専用のノズルロを準備する必要がある。

## 5. バルブ耐久テスト

サンプリングバルブのテスト装置を写真1に示す。 水およびスラリーにて耐久テストを実施し、加圧テストによる確認をおこなった。耐久テストはサンプリングバルブを1000回開閉させ、実際の状況に合わせるため、サンプリングごとに洗浄工程を含んだ方法でおこなった。また、加圧テストはサンプリン グバルブ内を所定の圧力に保持後、圧力低下のない ことを確認した。

表 2 にその結果を示す。スラリーとしては、炭酸カルシウムを水に分散させたものを使用した。炭酸カルシウムは粒径の異なるものを 3 種使用し、スラリーの濃度は15 wt %とした。この結果より、1 000回の開閉テストでは問題のないことが確認できた。

#### 6. サンプリングテスト

サンプリングをおこなうのに必要な時間を検討するために、粘度の異なる水および CMC 水溶液にてサンプリングテストをおこなった。缶内は大気圧を想定して開放でおこなった。その結果を図3に示す。サンプリングバルブは50 A と80 A の二種類を使用した。サンプリングにかかる時間としては、サンプルを確保する時間とサンプルを確保する時間を示す。粘度が高くなるほどサンプルを確保する時間を示す。粘度が高くなるほどサンプリングにかかる時間が長くなる。また、サンプリングバルブ内の流路が広い80 A の方が短時間で処理できる。ちなみに水であれば50 A で約20秒、80 A で約5秒となった。また、サンプルの移送まで含んだサンプリング時間での上限を300秒とすると、50 A では500 mPa・s まで、80 A では1000 mPa・s までの粘度に対応可能である。

#### す す び

GL 製機器用『サンプリングバルブ』についてテストデータを交えて紹介した。本製品はシンプルな構造でありながら、これまでのサンプリング装置とくらべて洗浄・滅菌をおこなえる利点がある。本製品が、従来からおこなわれているマンホールを開放しての危険なサンプリング方法などに代わって使用されることで、安全性の確保に寄与するものと考えている。

## グラスライニング製機器用「E マンホール」

"E-MANHOLE" for Glasslined Equipments

[特許出願中:特願2005-021173]



プロセス機器事業部 UC 事業室 中 尾 末 貴 Sueki Nakao

グラスライニング機器は高度な耐食性と製品の純度が要求される医薬・化学工業の分野で長年使用されている。グラスライニング機器に設けられたマンホールは原料の投入口として頻繁に開閉されるが、マンホールは多数のクランプにより締付けられており、その開閉作業には手間と時間がかかる。この問題を解決すべく、『E-マンホール』の開発をおこなった。『E-マンホール』はガスケットにくらべ所要つぶし力の小さい O リングをシール部にもちいており、少ないクランプで締付けができる。そのため、開閉作業が容易で使いやすいマンホールである。また、コンタミレス化に貢献するクリーンなマンホールである。

Many glasslined equipments are used in pharmaceutical and chemical fields for a long time, where high chemical resistance and high purity of products are required. Manholes of glasslined equipment are used as feeding hole of materials. So their frequent opening and closing is troublesome and time-consuming since they are tightened with many clamps. Owing to the application of an O-ring for sealing that has a soft rubber cushion inside, E-MANHOLE requires only four clamps. So it is easy to use. And the O-ring is easily removed for cleaning, reducing chances of contamination.

## Key Words:

グラスライニング (GL) Glass Lining (GL) マンホール Manhole Clean 使いやすい Easy to use

#### まえがき

グラスライニング(以下 GL と呼ぶ) 製反応機には缶体内部の点検用として、上部にマンホールが設けられている。マンホールは原料の投入口としてもちいられることが多く、そのため開閉の頻度も多い。マンホールの蓋はクランプを多数もちいて締付けられており、開閉作業には手間がかかる。

また,近年では製品の高純度化に対する要求の高 まりにともない,製造設備に対してコンタミレス化 および洗浄性の良さが求められている。

当社ではこれらの問題を解決するため、GL機器用『E-マンホール』の開発をおこなった。

本報では E-マンホールの構造, 特長などを紹介する。

#### 1. E-マンホール

#### 1.1 E-マンホールの構造

E-マンホールと従来型マンホールの外観をそれぞれ写真1,2に、形状をそれぞれ図1,2に示す。 E-マンホールはシール部にテフロン被覆の0リングを使用している。0リングは押えリングおよび J 金具により缶体側ノズルに固定されたグラス入 PTFE のリングの溝部に埋め込まれている。0リング溝は0リングの脱落を防止するため片ありみぞ構造となっている(図3参照)。また、0リング溝には部分的に切欠き部を設けてあり、その部分を利用することにより0リングは簡単に取外すことができる。そのため、0リングあるいは0リング溝の付着物の拭き取りも容易である。なお、0リング



写真1 E-マンホール外観



写真2 従来型マンホール外観

にペーストを塗布する必要はない。

○リングは線接触であり、芯材にやわらかいゴムを使用しているため所要つぶし力が小さく、少数のクランプで十分な締付け力をえることができる。サイズ φ 400 mm の E - マンホールの場合、クランプの必要数量は4本である。従来のマンホールではグラスライニング用のガスケット「CRTN」を使用している。接触面積が広く、材質的にも固いものであるため、シールを確実におこなうためにはクランプが14本必要となる。しかし、E - マンホールでは○リングを使用しているので、クランプの数量が大幅に減少している。このため、マンホールの締付けおよび締付け解除の作業の手間を大幅に軽減することができる。

#### 1.2 E-マンホールの特長

E-マンホールは従来のマンホールと比較し、以下の特長を有する。

- ① クランプの本数が少なく、開閉操作が容易である。
- ② シール部にOリングを使用しているので、O リングの付着物等の拭取りが容易である。

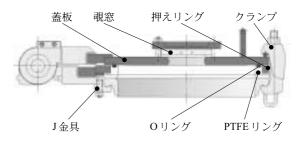


図1 E-マンホール

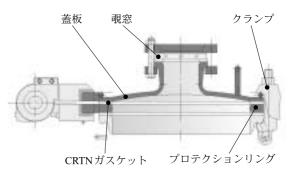


図2 従来型マンホール

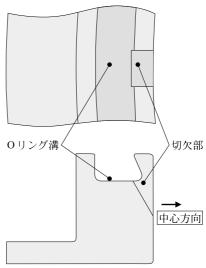


図3 0リング溝

- ④ Oリングを使用しているためガスケット調整が不要である。

#### 1. 3 設計仕様

E-マンホールの基本設計仕様を以下に示す。

- ① 設計圧力: F.V.~0.2 MPa
- ② 設計温度:-30~158℃
- ③ 適用法規:一圧,二圧,消防法
- ④ サイズ: φ 400 mm
- ⑤ 主要部材質

・マンホール蓋:炭素鋼+GL

またはステンレス鋼+GL

・O リング: FEP 被覆 FKM

または FEP 被覆 VMQ

・PTFE リング:グラス入 PTFE

・押 え リング:炭素鋼またはステンレス鋼

#### 2. E-マンホールの性能確認

#### 2.1 Oリング径の決定

E-マンホールの詳細設計をおこなう前に使用する 0 リングの線径について検討をおこなった。

GL 機器は製造過程において800 ℃程度の高温で焼成をおこなうため、母材部分にひずみを生じている。また、グラス厚みも完全に均一ではないため、グラス面にはひずみが生じている。E-マンホールの蓋板は GL 製であるが、蓋板を試作し測定をおこなった結果、Oリングの当り部分において、その全周におけるひずみの差が最大で 1 mm 程度生じることがわかった。そのため、Oリングのつぶししろは均一にはならず、シール性にも悪影響をおよぼす。使用する O リングの線径が太いほどひずみの影響は少なくなるが、コストアップの要因となる。

そこで、Oリングの線径の最適化するためにつぶししろの検討をおこなった。結果を表 1 に示す。通常、Oリングには 8 ~30 %程度のつぶししろを与える必要があるが、この条件を満足するためには線径が φ 8 mm 以上必要となる。この結果をもとに Oリングの線径を決定するためのテストをおこなった。

線径  $\phi$  8 ,  $\phi$  10および  $\phi$  12 mm の O リングをもちいて耐圧テストをおこなった。表 2 に結果を示す。この結果,線径  $\phi$  10 mm 以上であれば良好なシール性がえられることがわかった。コスト面を考慮し,

表1 0リングつぶししろ

Oリング線径	GL 面ひずみ	つぶししろ [%]		
[mm]	[mm]	平均値	最大値	最小値
$\phi$ 6 $\pm$ 0.3		18	30	5
$\phi$ 8 $\pm$ 0.4	1	20	30	9
$\phi$ 10 $\pm$ 0.5		21	30	11

表 2 耐圧テスト結果

Oリング線径	圧力 [MPa]		
[mm]	0.1	0.2	0.3
φ 8	0	×	×
$\phi$ 10	0	0	$\circ$
$\phi$ 12	0	0	0

※○:漏れなし、×:漏れあり

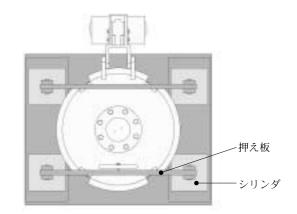
使用**する O リングの**線径**を**  $\phi$  10 mm と決定した。

#### 2.2 性能確認テスト

サイズ  $\phi$  400 mm の E - マンホールを試作し性能確認テストをおこなった。テストでは O リングのシール性および耐久性を確認した。なお、クランプは 1 本当たり25~30 N•m のトルクで締付けた。

耐久テストは図4の装置をもちいておこなった。 シリンダによりクランプと同等の締付け力を加え, その後に締付けを解除するという工程を1000回繰 返した。この際,シール性の確認は200回の開閉ご とにおこなった。

耐圧テストでは各時点において設計圧力の1.5倍である圧力0.3 MPa までもれがないことを確認した。また、真空リークテストの結果を図 5 に示す。もれ量は 4 lusec 前後で安定し、開閉回数により変化が



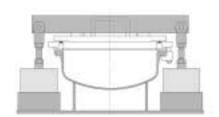


図4 開閉テスト装置

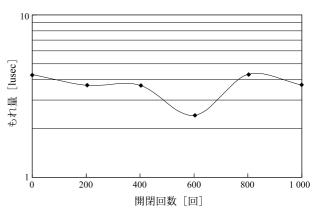


図5 真空リークテスト結果

ないことを確認した。なお、このもれ量は従来型のマンホールでガスケットペーストを塗布しない場合のもれ量と同等である。

また、高温状態の持続がシール性におよぼす影響を調べるため、スチームにより設計温度である158 ℃に昇温後3時間保持した。その後シール性の確認をおこなったが、耐圧テストでは0.3 MPa までもれが無く、真空リークテストにおけるもれ量も4.3 lusec ととくに変化がないことを確認した。

## 3. クランプレスマンホールへの適用

『クランプレスマンホール』は2002年4月に上市されて以来,順調に実績を伸ばしている製品である。中央のハンドル操作だけで蓋板の締付けおよび締付け解除ができるという操作性の良さが高い評価をえている。良好なシール性をえるためにガスケットペーストの塗布を推奨しているが、コンタミレスという観点から見れば問題になる場合もある。

この点を改善するため、クランプレスマンホール に E - マンホールの構造を適用することを検討し、サイズ  $\phi$  400 mm の試作機の製作をおこなった。その外観を写真 3 に示す。この試作機を使用してテス



写真 3 クランプレスマンホール外観 (E-マンホールタイプ)

トをおこなった。耐圧テストでは0.3 MPa までもれが無く、真空リークテストではもれ量が 5 lusec とシール性が良好であることが確認できた。

## むすび

GL 機器用『E-マンホール』について、開発過程のテストを含め紹介した。使いやすく、クリーンなE-マンホールが、ユーザ各位の製造現場の改善に寄与できれば幸いである。今後も客先ニーズに合致した開発をおこない、ユーザ各位の生産活動の向上に役立つ製品を作り出していきたい。