



神鋼環境ソリューション **技報** Vol. 8 No. 1

KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS

目	次	CONTENTS
1	<巻頭言> 地域ビジョンに思う	
2	講演会抄録 有害物質対策と課題	Toxic Substance Measures and Problem
9	バイオガス都市ガス導管注入実証	Demonstration of Injection of Biogas into City Gas Grid
14	使用済み海水淡水化用膜による下水再利用技術	Sewage Reuse Technology Using Used Membranes of Seawater Desalination Facilities
24	最近のファイン化、高機能化に対応する反応機	Recent Stirred Tank Expected to be Finer and More Functional
29	大型流動床式ガス化溶融施設の稼働状況 (竣工1年目)(相模原市南清掃工場、川越市 資源化センター熱回収施設)	The Operation Situation of Large-scale MSW Fluidized Bed Type Gasification and Melting Plant
36	(株)神戸製鋼所加古川製鉄所殿向 冷延水処理排水脱塩設備の納入事例	The Reclamation Plant of Cold Mill Wastewater Installed for Kakogawa Works of KOBELCO STEEL, LTD.
41	施設・技術紹介	
44	製品・技術紹介	

地域ビジョンに思う



立命館大学 総合理工学研究機構

特任教授 山田 淳

Kiyoshi Yamada

水道事業について地域の水道ビジョンが作られ始めてかなり経つ。最近では下水道事業のビジョンも作られている。これらのビジョンづくりのお手伝いをする機会を得て感じることもある。「ビジョン」というと、「夢」、「構想・展望」というイメージが強いが、実際は、国の指針もあって、「基本計画」にもとづく「実施計画」といった色合いが強い。20年程度先を対象とした「基本計画」と5ヶ年計画など財政計画を見定めた「実施計画」の間をめざしたものといえよう。しかし、でき上がったビジョンは様々で、「基本計画」的な内容をもつものから、現状延長型で、すでに方向の決まっている施策を組み込んだ「実施計画」に限定したものまであり、ビジョンのなかで、これから「ビジョン」や「実施計画」を考えていくという先延しビジョンまで出てきている。一方、「夢」や「構想・展望」を取り上げている例は少ない。これでは、将来を展望した施策を論じることはできない。

先日、アメリカのロスアンゼルス市電力・水道局を訪問し「ビジョン」について聞いた。市では、2035年を目標年度としてこの夏にも長期計画を策定予定しており、水資源の確保と節水型社会の実現に向けた具体的な施策をロードマップとともに掲げている。人口増加の中で水需要の抑制を図ってきた実績をふまえ、さらに新しい施策を組み込んだものとなっている。水資源の確保は、ダム開発より、再利用、地下水涵養、雨水利用など多くの代替案をコスト比較しながら実施するとしており、節水型社会の実現では、使用用途・目的毎にその手法を示している。これらの施策によって現在の水利権の一部を余裕水量にまわすことまで考えている。また、中国での1980年代の経験であるが、文化革命の後遺症のリハビリに力を注いでいた時期にも関わらず、2000年代以降の長期目標設定をめぐる議論したことを覚えている。

日本の地域ビジョンにおいても、作成の段階では、市民や専門家から様々な意見が出され、その中には「構想・展望」や「基本計画」に相当する提案も少なくない。しかし、現在合意されている10年先の方針からはずれるものはあまり採用されない。とくに、隣接都市や広域連繋や、国際化についての内容に乏しい。本来、このような「構想・展望」や「基本計画」を論じた上でビジョンをつくるのが、折角参加している市民や専門家委員の叡智を活かすことにもなる。実際は、ちょっと遠慮して、ビジョンのあと書きに加えていただいているのが現状である。

3月に発生した福島原発事故をみて、「ビジョン」のないビジョンをつくっていることの限界を感じている。

有害物質対策と課題

Toxic Substance Measures and Problem



森田昌敏
Masatoshi Morita

愛媛大学
農学部
環境先端技術センター
教授
工学博士



橋本有泰*
Nariyasu Hashimoto
環境計量士



石田典子**
Noriko Ishida
環境計量士

有害物質汚染は現代においても深刻な問題である。時代とともに種々の化学物質の有害性が発見され、その対策が講じられている。今回、森田昌敏先生を技術研究所へお迎えし、有害物質汚染問題の時代の流れ、有害汚染物質の規制と対策、PCB問題、分析精度管理の問題についてご講演を頂いた。

Toxic substance pollution is one of the serious problem in the present age. The hazardousness of various kinds of chemical substances has been discovered with the progress of the times, and their measures are being taken. We invited Mr. Masatoshi Morita of Ehime University to our technical research center this time and had a lecture about the trend on the issue of toxic substance pollution, the regulation and the measures of many harmful pollutants, including PCB and new pollutants, and an issue on the management for the analysis precision.

まえがき

愛媛大学 農学部 環境先端技術センターの森田昌敏教授を技術研究所へお迎えし、ご講演頂いた。森田先生は国立環境研究所から現在の愛媛大学へ移られ、日本環境化学会 会長、日本内分泌攪乱化学物質学会 会長も兼任されている。また、分析精度管理が分析事業者等とは独立して機能すべき重要な項目であることから、分析値の品質を外部より監視する役割として2010年4月にNPO法人 環境測定品質管理センターを設立し理事長に就任され、分析分野においてご尽力されている。今回は「有害物質対策と課題」という題目でご講演を頂いた。本稿はそのご講演内容の抄録である。

1. 有害物質汚染問題のトレンド

- ・ 図1のように化学物質の種類は非常に多く、中には毒性が十分理解されないまま利用され続ける物質もある。
- ・ 有害物質問題の第一次ブームは1970年代前半に起こり、その時に水質汚濁防止法、大気汚染防止

・ 化学産業や実験室で作られる合成化学物質	} 合計300万種類以上
・ 天然化学物質	
・ 非意図的生成化学物質(自動車、ゴミ焼却など) (毎年150万種ずつ増加中)	
・ 商業的に利用されている化学物質の数 約10万種類 (新規化学物質登録数増加 1500種/年)	
・ 法的規制下にある化学物質数	
・ 劇毒法	約1500種
・ 水質汚濁防止法	46項目/(300種 要調査項目)
・ 大気汚染防止法	22項目/(243種 優先取組物質)
・ 労働安全衛生法	約300種
・ 農薬取締法	約200種
・ 食の安全関連の農薬	約1000種

図1 化学物質の発生源と種類の数

法、廃掃法等の色々な法律が作られ大きな変化が起きた。ただこの時に解決出来ていなかった一番大きな問題が発がん性への対応で、1990年代に実を結ぶこととなる(図2)。

- ・ 第二次ブームは1990年代から2000年初めに起き、種々の法律が改正されたが一方、解決されていな

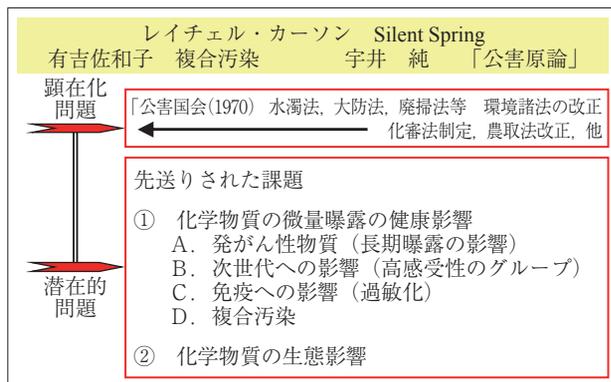


図2 1970年前半 第一次有害化学物質問題ブーム

1. 難燃剤臭素化ビフェニルエーテルの体内蓄積
甲状腺ホルモン低下
2. フッ素系化合物 (PFOS, PFOA) の環境汚染と体内蓄積
EPA デュポン社に200億円の罰金
3. 身近な汚染物質とその影響
ビスフェノール A, フタル酸エステル類
小児ぜんそくやアトピーと関係?
4. ジフェニルヒ素化合物
神経毒性

図5 内分泌攪乱物質の最近の話題の例

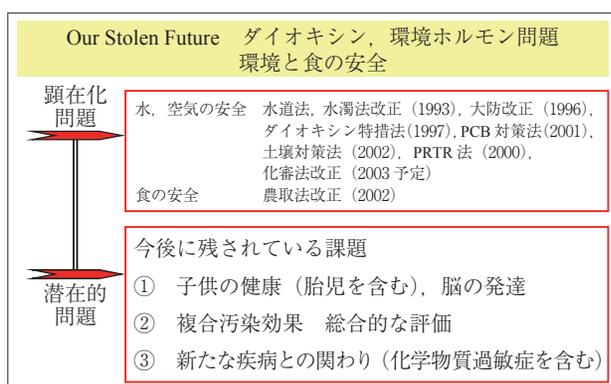


図3 1990年代から2000年初
第二次有害化学物質問題ブーム

リスク要因	推定生涯発がんリスク (一般環境曝露)
ダイオキシン	2×10^{-4} (EPA)
ディーゼル排ガス	1×10^{-4}
大気中ベンゼン	5×10^{-6}
水道水中トリハロメタン	30×10^{-6}
アスベスト	5×10^{-6}

本推定は極めて“おおざっぱ”であることに注意

図6 発がん物質等のリスク比較

1. 化学物質は製造, 消費を経て, 最終的に環境に入る。
2. たとえば河川水には, 農業地域から農薬が, 工場から各種の化学物質が, 下水処理工場から人からの排泄物と家庭で用いられる各種化学物質が含まれてくる。大気も, 食品も多くの規制値以下の汚染物質を含み, 結果として人はそれらを体内に取り込んでいる。
3. 個々の化学物質が許容されるレベルであっても, 全体として安全性が確保されているのであろうか? 生活者の視点からの評価が必要。

図4 複合効果—環境化学物質問題の最大の課題の一つ

い問題が表面化し始める。現状の重要な課題として, 複合汚染効果の問題, 環境ホルモンの問題, 化学物質の野生生物への影響がある (図3)。

- ・複合汚染については, 排出される単一物質の規制は可能であるが, 環境中へ排出された個々の規制値以下である化学物質が混ざり合った後に生じる

複合効果が問題であることは確かである。しかしそれを規制する仕組みを作ることが非常に困難であり, 規制する法律がないのが現状である (図4)。

- ・環境ホルモンについて日本では下火になっているが, 欧州ではすでに一部に規制が入り始めている。たとえば, ふっ素系のパーフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) がストックホルム条約 (POPs条約) へ追加され, それ以外にもフタル酸エステル類をどうするのかも議題となっている (図5)。
- ・発がん性についてはがん死亡者数の増加もあり問題提起されやすい。ダイオキシンに関し EPA*では依然として発がん性物質として取り扱っており, ダイオキシンが環境から受ける最大のリスクと警告している。ディーゼル排ガスによるリスクも比較的大きい。図6に発がん性物質のリスクを比較したものを示す。さまざまな発がん性物質が評価され, その死亡への影響が推定されている。
- ・不妊の原因の1つとして有害物質が指摘され, 職業により比較的明確なケースがあり, 不妊に化学

物質が関与している可能性もある（図7）。

- ・ダイオキシンは油に溶解しやすいため母乳を通じて母親から子供へ移動する。母乳で母親の体内にある1/3のダイオキシンが子供に移動し、体重が軽い子供ではダイオキシンの体内濃度が母親の3～5倍にも達する。日本のダイオキシン規制は90%以上の排出量削減に成功し一応の成果を得た。しかし、欧州は食品中のダイオキシン濃度規制を実施したが、日本ではまだ行われていない。次は第三次の削減計画の場で真剣に考えなければならない。米国ではオバマ政権になりリスク評価と土壌基準の見直しを行っている。リスク評価については次世代への影響を大きく見るのか、発がん性のリスクをどのように評価するかが見直しのポイントである。土壌基準についてはすでに修復した土地を新しい基準で再度修復するののかという問題があるが、EPAとしてはすでに修復した土地は新しい基準で修復する必要がないというダブルスタンダードで検討を始めている（図8）。
- ・神経毒性では農薬がとくに問題である。たとえ

ば、ネオニコチノイド系農薬が水田で多用されており、ラット実験では問題がないことを確認されているが、はたして本当に人体へは影響がないのかという問題がある。ネオニコチノイド系農薬がみつばち減少の原因の1つとしてあげられているからである（図9）。

みつばちの激減が欧州、米国で報告されており、受粉減少が生態系の崩壊につながっている。そのようななか、いち早く対応したのがフランスであり、2006年に最高裁でネオニコチノイド系農薬使用禁止の判決が下された。日本では岩手県の養蜂組合が訴訟を起こし和解に至っている。

2. 有害汚染物質の規制と対策

- ・有害化学物質関連の法律は多数あるものの管轄省庁も複数にわたり、統合的には考えられていない（図10）。
- ・有害大気汚染物質として約300の物質があり、優先取組物質について環境調査を実施し、規制が必要との結論に至れば、環境基準項目へ追加される。この仕組みは1996年にできたものであり、母

1. 生殖器官への毒性
→ 卵巣・精巣
2. 現代社会における不妊の拡大、増加する
子宮内膜症、若者の精子濃度低下
→ 原因の一部に化学物質の可能性
3. 職業病としての不妊症、精子減少症
4. 奇形の問題

図7 生殖毒性

1. 中枢神経、脳、末梢神経系
→ 多様な毒性
2. 殺虫剤の作用機序の多くは神経伝達の阻害
→ サリンもこの仲間
3. 脳の高次機能への影響
→ アルツハイマー（?）
4. 次世代の知能発達の問題
→ 学習障害、注意散漫多動性症候群

図9 神経毒性

- ・我が国のダイオキシン対策は一応の成果90%以上の排出削減に成功？
- ・第三次削減計画をどうするか？という局面
- ・米国ではオバマ政権になり、リスク評価の見直し、土壌基準の見直し、スーパーファンド法の新しい展開？

図8 ダイオキシンその後

法律名	所轄官庁	特質
劇毒物	厚労省	流通段階でのコントロール
労働安全衛生法	厚労省	労働環境。主として吸入曝露
食品衛生法	厚労省	食品中の労働有害物質規制
水道法	厚労省	水道中の有害物質規制
農薬取締法	農水省/環境省	農薬の安全性、生態系を含む
化学物質審査規正法	経産省/環境省/厚労省	一般化学物質製造・流通規制
化学兵器法	経産省	化学兵器およびその原料の規制
水質汚濁防止法	環境省	公共用水域の保全、地下水を含む
大気汚染防止法	環境省	大気質の保全
廃棄物清掃法	環境省	廃棄物の管理
土壌汚染対策法	環境省	土壌汚染の防止の修復
ダイオキシン特別措置法	環境省	ダイオキシン対策
PCB対策法	環境省	PCB処理
PRTR法	環境省/経産省	化学物質の登録

図10 有害化学物質関連の法律とその特性

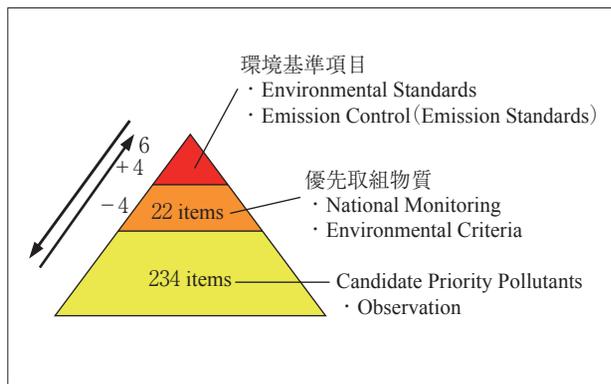


図11 有害大気汚染物質の規制と調査

- ・要監視項目から基準項目への引き上げ（健康項目）ジオキサン、PFOS？
- ・地下水の環境基準設定への取り組み（健康項目）環境中で分解・副生し、地下水汚染を引き起こす有害物質。例えば、トリクレンから塩ビモノマーの副生など。
- ・野生生物保護のための水環境基準（生活環境項目）

図14 水環境基準の新たな展開

- アスベスト
- ・1970年代まで多用。
 - ・発がん性が疑われ⇒ 労安法特定物質へ
⇒ 生産縮小から生産企業倒産
 - ・悪性中皮腫の増加，労働衛生規制，特定監視廃棄物
 - ・処理が難航，アスベストを含むスレートなどとくに，処理施設に大臣認定

図12 有害物質いくつかの例

1. 有害物質の経口摂取予防や地下水の汚染に対応して、重金属や発がん性物質について環境基準が定められている。
2. 土壌汚染対策法では、土壌汚染の除去は、土地所有者の責任でやることになっている。
3. 汚染修復費用が高いこと、および土地価格の下落に伴って、そのまま“塩漬け”となった土地（ブラウンフィールド）が散見される。
4. 修復関連事業は停滞気味

図15 土壌の汚染

- ・新たな環境基準や排水基準の設定および排水基準 (Zn 2 ppm)
- ・農薬の生態リスク評価
⇒環境予測度とは別に，環境実測濃度が必要
- ・医薬品，動物医薬品の環境リスク
⇒環境データの集積が必要

図13 生態系保全に向けた有害化学物質対策の強化

集団の見直しなどが必要な時期にきている（図11）。

大気汚染規制項目の追加の方向として、PM2.5**を環境基準として新たに設定することが決定された。

- ・有害物質問題の例としてはアスベストがあげられる。
- 飛散型アスベストの処理問題については、費用を

かけてでも完全に処理しないといけない問題である。アスベストを含有するスレート（特別管理産業廃棄物）の量が現在でも正確に把握できておらず不明で、一説では1億tともいわれている。仮に10万円/tとすると10兆円もの処理費となり費用負担が大きな問題である（図12）。

- ・水質汚染に関しては生態系保全に向けた有害化学物質対策の強化として、亜鉛の排水基準が改正された。（2 ppm）水環境基準の新たな展開としてジオキサンが制定され、また今後PFOSや界面活性剤をどのように取扱うのか検討を進める必要がある。（図13, 14）。
- ・土壌汚染に関しては土地価格の下落により修復可能な場所が限定されている。汚染修復費用が高いこと、また一方では土地価格の下落、この2点のバランス悪化によりそのまま塩漬けとなるケースが生じており、修復関連事業は停滞気味である（図15）。
- ・廃棄物については完全な処理を行うと費用が膨大になるという問題があり、規制や処理動向に影響

をおよぼしている。たとえば、ほう素は排水基準があるが、良い処理技術がない。石炭灰から溶出する水の中のほう素は基準を超えた高濃度であり、完全な処理を行うと大変な処理費用になる。(図16)。

- ・化学物質規制の国際動向として、国際条約群がある。バーゼル条約、ロッテルダム条約、ロンドン条約が徐々に効果を発揮してきており、ストック

1. 有害廃棄物の発生
 - ・有毒物質
 - ・感染性廃棄物
2. 中間処理に関わる有害物質の排出
 - ・杉並病
3. ゴミ焼却に関わる有害物質の排出
 - ・ダイオキシン, 水銀
4. 最終処分場(埋立地)からの有害物質の漏出

図16 廃棄物に関わる環境リスク

ホルム条約で POPs の規制が始まっている。ストックホルム条約は国際条約のため参加国の合意が必要であることから、第一次は誰もが同意する有機塩素系に絞って、合意を得られるように進め、第二次あたりから POFS, 臭素系難燃剤等の新規物質を規制対象に入れてきている(図17)。

- ・環境汚染物質と貿易戦争は図18のように昔から起きている。近年では EU で ROHS ができあがり、これがやがて戦略的に EU の環境産業政策というかたちで REACH として実を結んでいる。米国では TSCA という法律があり、日本の化審法に近い古い法律のため、新しい方向へと動き始めている。EPA は2008年3月に化学物質アセスメント管理計画(ChAMP)を公表している(図19)。

3. PCB の物語

- ・PCB は夢の化学物質といわれ、日本では三菱モンサントが製造を計画していたが大量生産が始まる前にカネミ油症が問題となった。実際に使用された PCB はほとんどが輸入品で、日本では処理されず保管し続けられた(図20)。

- ・バーゼル条約：有害廃棄物越境移動禁止／バマコ条約
- ・ロッテルダム条約：PIC 条約→39物質
- ・ロンドン条約：海洋投入禁止
- ・ストックホルム条約：POPs
- ・化学兵器禁止条約：CWC

図17 国際条約群

- 製造前届出(PNN), インベトリー作成, 上市後の規制
- ポリマーは一定の要件を満たせば PNN 不要
- ナノマテリアルは特段の項目はない
- 高生産量化学物質(450 t/y)は HPV チャレンジプログラム実行中
- 2008年3月 化学物質アセスメント管理計画(ChAMP)を公表
- TSCA インベトリーのリセント

図19 米国 TSCA (1976年成立)―EPA

1. 農業戦争
 - 米豪牛肉戦争(農薬デイルドリン)
 - ベルギー鶏肉事件(ダイオキシン)
 - EU 食品規格(ダイオキシン, カドミウム…)
2. 電気製品
 - ソニープレステーション輸入禁止(欧州)
 - EU の ROHS
3. 自動車
 - EU の鉛含有量低減
 - ディーゼル排出ナノ粒子規制(?)
4. REACH

図18 環境汚染物質と貿易戦争



無色液体(わずかな臭気)

- ・1881年にドイツではじめて合成
- ・1929年 工業生産開始(米国スワン社)
- ・1954年 国内生産開始(鐘淵化学高砂)
- 優れた物性, 低毒性, 広がる用途
- ・1968年 カネミ油症
- ・1970年頃 環境汚染の広がり
- ・1973年 化審法特定化学物質へ
- ・2000年～ 国際的規制へ, 保管 PCB の処理へ

図20 PCB の物語

1. PCB 原体処理
JESCO および企業内自家処理
(化学処理が中心)
2. 低濃度 PCB 問題
特管物指定を受ける (0.5 ppm 以上)
油を含む物はきわめて数多い
3. 土壌、低質への残留

図21 PCB の処理の問題

- ・従来の公定法は厚生省告示192号別表2に示されている高分解能 GC/MS 法で、分析料金が大きく、分析に時間を要する。
- ・このため、迅速安価な簡易測定法の導入。スクリーニング的な迅速判定法と、簡易な定量法の二本立てで実現。
- ・簡易定量法として現時点で5(+1)つの方法が通達されて、7月1日より、有効化。また、それまでに、いくつかの迅速判定法や簡易定量法が追加される予定。

図24 低濃度 PCB 汚染油の分析法

- ・PCBの総量はすくなく、そのリスクは小さいが、油の量、それを含む電気機器の量は膨大
- ・低コストの処理が必要
- ・安価、迅速な分析法、安全かつ安価な解体、運搬のシステム、安全、安心、安価、そして完全な分解法、そして資源リサイクル

図22 低濃度 PCB 汚染絶縁油の問題

- ・その数
柱状トランス
コンデンサー
安定器
通信ケーブル
その他
} で潜在的には2000万個に達する可能性
- ・処理法
 - ・トランスなどは抜油後、油や紙木は焼却、鉄・銅などは回収
 - ・安定器などはそのまま焼却

図23 低濃度 PCB 汚染の可能性のある廃電気機器

ている化学法で処理した場合、7兆円近い処理費となり非現実的である。現実には処理を行うためにはもっと安価に処理を行う必要がある。そのために必要なものは安価な処理技術と、迅速かつ安価な分析技術である。低濃度 PCB 汚染の可能性のある機器は経団連の試算によると約2000万個に達する可能性がある。処理としては、油・紙・木は焼却、金属類はリサイクル、安定器は分解困難なため焼却の方向で考えられている。しかし、油に関しては汚染油を再生し再び利用する技術も現在研究開発中である(図22, 23)。

- ・低濃度 PCB 汚染油の分析法として従来の公定法では時間を要し、費用も高価であることから、簡易測定法が導入され、絶縁油中の微量 PCB に関する簡易測定法マニュアルとして環境省から公表された。2010年6月に第2版が公表され環境省の web site よりダウンロード可能である (<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12664>) (図24)。しかしながら、分析のマーケットはまだできておらず、その最大の原因は処理ビジネスが立ち上がっていないことである。大臣認定の第1号は愛媛県の新居浜にある県の産業廃棄物焼却施設である。低濃度 PCB で汚染されている可能性がある疑わしき絶縁油を保管している企業等は、処理の出口体制が確立してから分析を実施しようと考えていることもあり、分析が遅れている状況である。

4. 分析機器と分析精度管理の問題

- ・日本では1988年に鐘淵化学工業が保管していた PCB のみを焼却処理したが、その後は周辺住民の同意を得ることができず以降の PCB 処理は進まなかった。その後、認可された化学処理法により国策企業である日本環境安全事業(株) (JESCO) もしくは企業内自家処理で実施することとなった(図21)。
- ・次なる問題としては大量に存在する低濃度 PCB (特別管理産業廃棄物) であり、JESCO で処理し

- ・廃棄物の処理および清掃に関する法律では汚染物質で問題が生じた場合、排出者の責任となっており、分析の精度は非常に重要である。分析では、分析精度管理が分析事業者等とは独立して機能すべき重要な項目であることから分析の品質を外部より監視する役割として2010年4月にNPO 法人

1. 内部精度管理
 - ▶ 技術者の教育, 訓練, モチベーション
 - ▶ 管理システムの構築
 - ・分析管理者と分析技術者の担当の独立
 - ▶ 技術の管理, 日常的管理
 - ・GLP
 - ・標準物質, 標準試料, SOP等の活用
2. 外部精度管理
 - ▶ 分析機関および分析技術の評価と認証
 - ▶ ラウンドロビンテストや分析機関間のインターキャリブレーション

図25 精度管理

1. 分析精度管理は、有価物の商取引において、極めて重要であった。(特に金属をはじめとする資源物質) このため技術の高い分析者は優遇されていたが、分析機器の高度化/自動化によって“専門の技”をある程度補えるようになってきた。
 2. 環境分析は国民にとっては重要であるが、企業にとってはそれ自体富を生みださず、正確さよりコストを優先しやすい。
 3. 入札等で、分析精度が評価されないまま、価格の低下が進み、“悪かろう安かろう”の分析が横行し始め、また“データのねつ造”も“うわざ”されるようになってきている。
- ↓
- 精度管理の必要性, 環境測定
品質管理センター設立

図26 何故、今、精度管理か？

環境測定品質管理センターを設立し、データの信頼を高めるべく尽力している (図25, 26)。

むすび

有害物質汚染問題の現状を踏まえ、その規制および対策における最新の情報を紹介して頂いた。また、これら有害物質汚染問題に伴い、分析精度管理技術の重要性が非常に高いことを認識し、今後もより一層の精度向上に努めたい。

「時代の要請に応える環境ソリューション企業」を経営ビジョンとする当社として、今回紹介した内容を参考にしたい新しいアイデアが生まれることを願う。

*米国の環境保護政策を主管する独立行政機構 Environmental Protection Agency

**直径が2.5 μm 以下の超微粒子。微小粒子状物質という呼び方もある。

*水処理事業部 薬品サービス室 **商品市場・技術開発センター 分析試験室

バイオガス都市ガス導管注入実証

Demonstration of Injection of Biogas into City Gas Grid



中村暢大*
Nobuhiro Nakamura



松本勝生*
Katsuo Matsumoto



豊久志朗**
Shiro Toyohisa



宮本博司***
Hiroshi Miyamoto

下水処理場の汚泥処理の過程等で発生するバイオガス（消化ガス）は、メタンを主成分とする再生可能エネルギーであり、その有効利用によりCO₂排出量の削減が可能である。当社は神戸市東灘処理場において、バイオガスを都市ガス同等の水準に精製し、大阪ガス(株)のガス導管に注入する実証設備を建設した。当社で本実証設備を運営しており、2010年9月から導管への試験注入を開始した後、10月から本格稼働して安定した運転を継続している。なお、本プロジェクトはバイオガスを直接都市ガス導管に注入する国内初の試みである。

Biogas, which is derived from organic matter such as sewage sludge, is renewable energy mainly comprised of methane. Therefore, utilization of biogas contributes to reduction of CO₂ emission. At Higashinada Sewage Treatment Plant in Kobe City, Kobelco Eco-Solutions constructed the demonstration plant, where biogas is purified to the city gas quality and the purified biogas is injected into the city gas grid of Osaka Gas Co., Ltd. After the trial injection in September 2010, the demonstration plant has been in operation since October 2010. This is the first project in Japan to inject biogas directly into the city gas grid.

Key Words :

バイオガス
汚泥の有効利用
エネルギー利用
CO₂削減
ガス導管

Biogas
Effective utilization of sludge
Utilization of energy
Carbon dioxide reduction
Gas grid

【セールスポイント】

本実証設備では、再生可能エネルギーであるバイオガスを有効利用し、かつCO₂排出量を削減することが可能である。また、本プロジェクトはバイオガスを直接都市ガス導管に注入する国内初の事業である。

まえがき

近年、未利用エネルギーの活用や温室効果ガス排出量の低減が課題となっており、下水処理場においても汚泥処理の過程で発生するバイオガス（消化ガス）の有効利用、これによるCO₂の削減が注目されている。

当社では神戸市東灘処理場において、(社)都市ガス振興センターから交付を受けた「平成21年度バイオマス等未活用エネルギー実証試験費補助金」の活用により、国内初の試みとしてバイオガスを都市ガスと同等の品質まで精製してガス導管に注入する設備を建設した。写真1に実証設備の外観を、図1に実証事業の概要を示す。

東灘処理場では、消化タンクから約10 000 m³_N/dの消化ガスが発生する。メタン濃度60 %の消化ガスは、バイオ天然ガス化設備でメタン濃度97 %以上まで精製し、約6 000 m³_N/dの一次精製ガスを中圧ガスホルダに貯留する。この一次精製ガスは、約1 300 m³_N/dを自動車燃料、約2 700 m³_N/dを場内利用として有効利用している。今回の実証事業は、これまで余剰ガスとされていた約2 000 m³_N/dの一次



写真1 設備外観

精製ガスを都市ガスと同等の水準に高度精製し、大阪ガス(株)のガス導管に注入するものである。

当社は2009年に事業採択を受け、本実証設備を建設した。当社が本実証設備を運営し、2010年9月からガス導管への試験注入を開始、10月から本格稼働して安定した運転を継続しているため報告する。

1. 設備概要

表1に本実証設備入口と出口のガス性状を示す。設備出口のガス性状は、大阪ガス(株)のバイオガス受入基準値となる。ここで、基準値とは受入地点において常時満たすべき性状等の上下限度であり、表1以外にも十数項目が定められている。当社では、より厳しい管理値を設け、日々の運転管理を行っている。

バイオガスを都市ガス導管に注入するためには、熱量（総発熱量）を44.2～46 MJ/m³_N、付臭濃度を12～16 mg/m³_Nに調整し、かつ酸素を0.01 vol %以下に、二酸化炭素を0.5 vol %以下に低減する必要がある。

付臭剤は、大阪ガス(株)の都市ガスと同じDMS（ジメチルサルファイド）とTBM（ターシャリーブチルメルカプタン）の2成分系混合付臭剤を使用している。

表1 設備入口／出口のガス性状

項目	設備入口	設備出口 (大阪ガス基準値※)
総発熱量 (標準熱量)	39 MJ/m ³ _N	44.2～46.0 MJ/m ³ _N (45 MJ/m ³ _N)
付臭濃度	0 mg/m ³ _N	12～16 mg/m ³ _N
メタン濃度	97 vol %以上	—
酸素濃度	0.2 vol %程度	0.01 vol %以下
二酸化炭素濃度	0.6 vol %程度	0.5 vol %以下

※バイオガス購入要領から抜粋

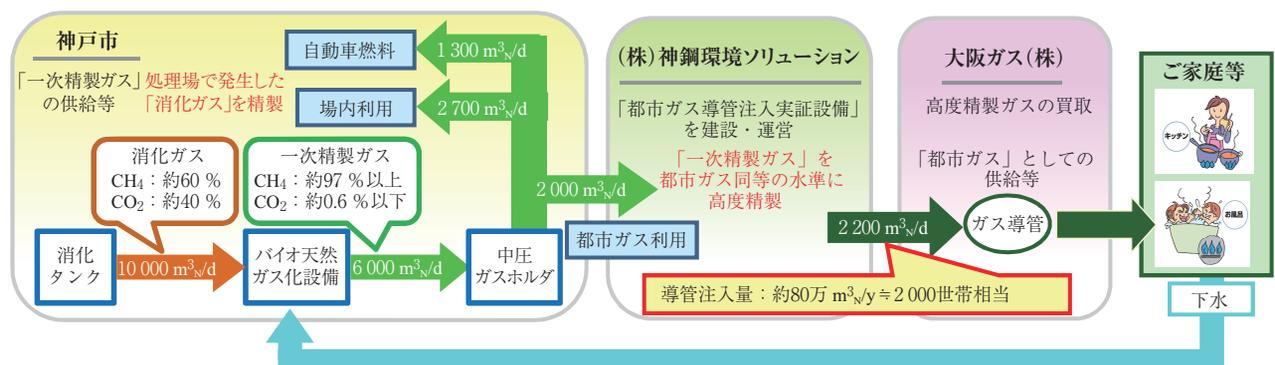


図1 実証事業概要

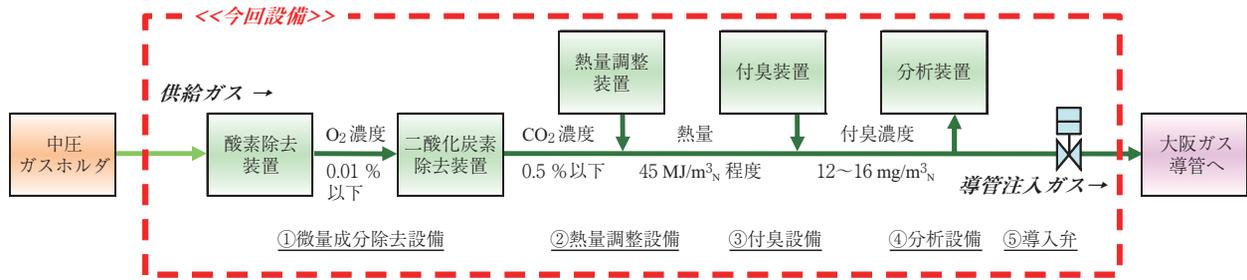


図2 設備フロー

また、本設備の能力は、発生するバイオガスの季節変動、日変動および時間変動を考慮し、最大4 400 m³_N/dとして設計した。

2. 設備フロー

図2に本実証設備のフローを示す。

既存の中圧ガスホルダから供給される一次精製ガスは、まず①微量成分除去設備に導入され、酸素と二酸化炭素を取り除く。次に、②熱量調整設備で液化石油ガスを注入して熱量を調整後、③付臭設備で付臭剤を添加して付臭濃度を調整する。最後に、④分析設備でガスの大阪ガス(株)基準値への適性を連続的に評価し、⑤導入弁を通して大阪ガス(株)のガス導管に注入する。

3. 運転結果

3.1 各設備の運転状況

消化ガスの発生量、自動車燃料および場内利用としての使用量の季節変動、日変動および時間変動により、実証設備に供給される一次精製ガス量は増減し結果、導管注入ガス量も増減する。

以降、設備毎に、導管注入ガス量の季節変動、時間変動とガス性状の関係について報告する。

3.1.1 微量成分除去設備の評価

大阪ガスの受入基準の中でも、酸素と二酸化炭素は微量までの除去が要求され、微量成分除去設備は酸素を0.01 vol%以下、二酸化炭素を0.5 vol%以下まで除去する必要がある。酸素は、一次精製ガスに水素を添加し、触媒反応を利用して水分とする。二酸化炭素は吸着剤で除去している。

図3に2010年9月の導管試験注入開始から、2011年3月までの2010年度都市ガス導管に注入されたバイオガス中の酸素濃度の推移を示す。酸素濃度は9月の導管試験注入開始から常に定量下限値

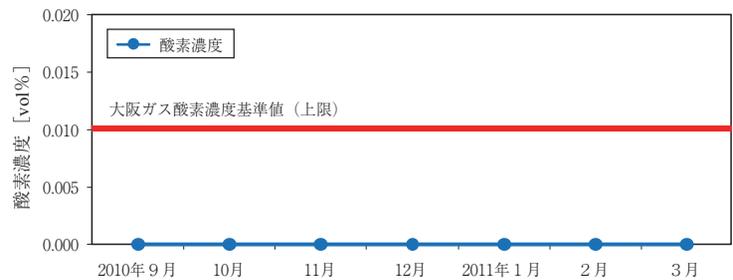


図3 月毎の導管注入ガス中の酸素濃度の推移

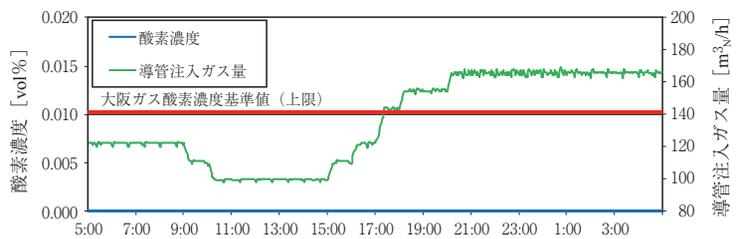


図4 代表的な1日の導管注入ガス中の酸素濃度の推移

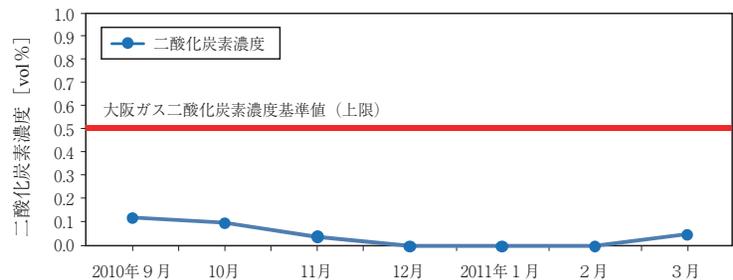


図5 月毎の導管注入ガス中の二酸化炭素濃度の推移

0.0005 vol%以下まで除去され、6カ月間安定して基準値を満足することが確認できた。

図4は供給される一次精製ガス量が時間変動し、かつガス性状が平均的である代表的な1日の酸素濃度の分析結果を示している。酸素濃度は、実証設備に供給される一次精製ガス量の時間変動（導管注入ガス量の100 m³_N/hから170 m³_N/hの時間変動）によらず、常に定量下限値0.0005 vol%以下と基準値を満足している。

図5に2010年度都市ガス導管に注入されたバイオ

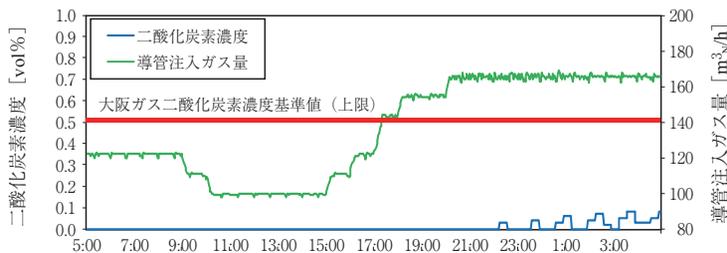


図6 代表的な1日の導管ガス中の二酸化炭素濃度の推移

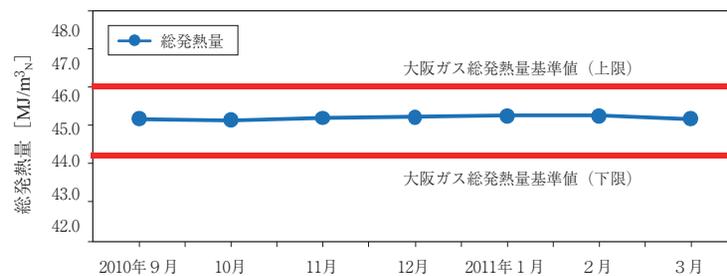


図7 月毎の導管注入ガス中の総発熱量の推移

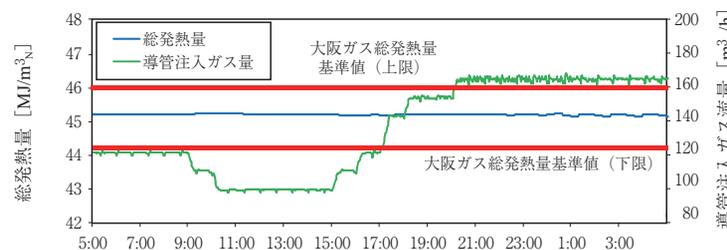


図8 代表的な1日の導管注入ガス中の総発熱量の推移

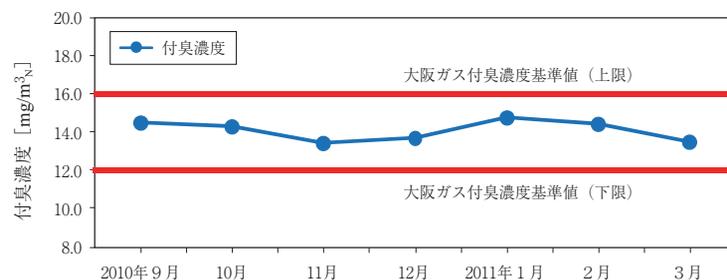


図9 月毎の導管注入ガス中の付臭濃度の推移

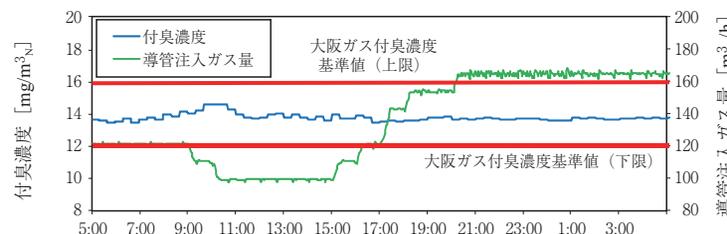


図10 代表的な1日の導管注入ガス中の付臭濃度の推移

ガス中の二酸化炭素濃度の推移を示す。二酸化炭素濃度は9月の導管試験注入開始から平均0.06 vol%まで除去され、常に基準値を満足することが確認できた。

図6は二酸化炭素濃度の代表的な1日(図4と同日)の分析結果を示している。二酸化炭素濃度は、一次精製ガス量の時間変動等による負荷量の増減の影響を受けるが、最大でも0.08 vol%以下と常に基準値を満足している。

3.1.2 熱量調整設備の評価

熱量調整設備は熱量約39 MJ/m³_Nの一次精製ガスに、約100 MJ/m³_Nの液化石油ガスを添加し、基準値45 MJ/m³_Nに調整する設備である。熱量は分析設備のガスクロマトグラフの測定値で監視される。

図7に2010年度都市ガス導管に注入されたバイオガス中の熱量の推移を示す。熱量は9月の導管試験注入開始から平均45.2 MJ/m³_Nと基準値内に調整することができ、安定した運転が可能であることを確認した。

図8に熱量の代表的な1日(図4と同日)の分析結果を示す。熱量は、一次精製ガス量の時間変動に十分な応答性を示し、45.2~45.3 MJ/m³_Nと安定している。

3.1.3 付臭設備の評価

付臭設備は無臭の一次精製ガスに、12~16 mg/m³_Nの微量な付臭剤を添加する設備である。付臭濃度は分析設備のガスクロマトグラフの測定値で監視される。

図9に2010年度都市ガス導管に注入されたバイオガス中の付臭濃度の推移を示す。付臭濃度は9月の導管試験注入開始から平均14.1 mg/m³_Nと基準値内に調整することができ、安定した運転が可能であることを確認した。

図10に付臭濃度の代表的な1日(図4と同日)の分析結果を示す。付臭濃度は、一次精製ガス量の時間変動の影響を受け、13.5~14.7 mg/m³_Nと変動するが、十分な応答性を示し、基準値内で安定している。

3.2 バイオガスの導管注入実績

図11に2010年度のバイオガスの導管注入積算量を示す。9月下旬から安定してバイオガスを供給し、約6ヵ月間で、ほぼ定格処理量の約300 000 m³_Nのバイオガスを導管に注入することができた。

むすび

東灘処理場のバイオガス都市ガス導管注入実証設備において、下水処理場で発生するバイオガスを精製してガス導管に注入し、約6ヵ月間の安定運転を実証することができた。

以下に2010年9月21日から2011年3月31日までの約6ヵ月間の実証設備の運転状況をまとめる。

- 1) 酸素濃度は常に定量下限値以下 (0.0005 vol%) まで除去できた。
- 2) 二酸化炭素濃度は平均0.06 vol%と安定して除去できた。
- 3) 熱量は平均45.2 MJ/m³_Nで安定運転できた。

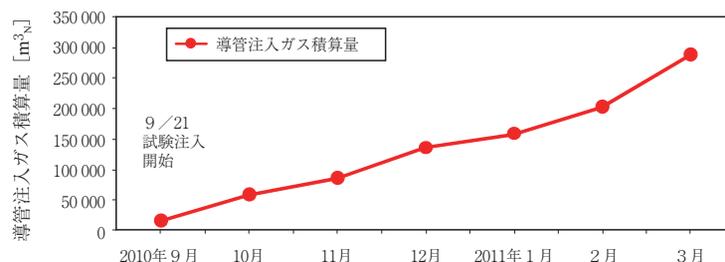


図11 2010年度の導管注入ガス積算量の実績

- 4) 付臭濃度は平均14.1 mg/m³_Nで安定運転できた。
- 5) 2010年度はほぼ定格処理量の約300 000 m³_Nのガスをガス導管に注入できた。

なお、2011年度は年間790 000 m³_Nの導管注入量を目標とし、設備を運営している。

最後に、本研究に多大なご協力いただいた(社)都市ガス振興センター様、神戸市様、大阪ガス(株)様の関係各位に深く感謝いたします。

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

使用済み海水淡水化用膜による下水再利用技術

Sewage Reuse Technology Using Used Membranes of Seawater Desalination Facilities



谷田克義*
Katsuyoshi Tanida
工学博士



小野田草介**
Sosuke Onoda



林 広高***
Hiroataka Hayashi



野下昌伸****
Masanobu Noshita
技術士（上下水道部門）

下水二次処理水を膜処理により高度処理して再利用する際、膜のコストが普及の妨げとなっている。一方、海水淡水化施設からは使用済み膜が廃棄されており、これを下水二次処理水の再生に利用できると大幅なコストダウンが期待できる。そこで、海水淡水化施設から廃棄される膜の下水二次処理水再生への適用を検討した。その結果、海水淡水化使用済み膜でも高品質な再生水が安定的に得られることがわかった。また海水淡水化使用済み膜をルーズ化して低動力化をすることにより造水コストを大幅に削減できた。

The cost of the membranes is obstruction of the spread when the sewage secondary effluent is highly treated and reused by membrane process. On the other hand, the used membranes are disposed from seawater desalination facilities. If the used membranes are applied sewage reuse, substantial cost down of water reuse is expected. It was studied that the used membranes are applied reusing of sewage. As a result of this study, it is possible to obtain high-quality treated water stably by using the used membranes and to reduce the water reusing cost substantially by reforming the used membranes and making operation power low.

Key Words :

使用済み膜	Used membranes
膜の再利用	Membranes reuse
下水再利用	Sewage reuse
高品質の再生水	High-quality reusing water
低コスト	Low cost
低動力	Low power

【セールスポイント】

従来は廃棄されていた使用済み膜を用いるので省資源である。
水道水質を満足するような高水質の処理水が得られる。
高圧仕様の膜をルーズ化して低動力化することにより、従来の低圧 RO 膜処理よりも低コストである。

まえがき

世界的な水需要の増加に伴い、水不足の深刻な国・地域が増加している。その対策として、海水淡水化や下水の再利用などが広まってきている。

下水の再利用は、比較的汚染の少ない下水二次処理水を再生処理（三次処理）して利用する。三次処理方法としては、砂ろ過、オゾン処理が一般的であるが、近年、膜技術の進歩により水道水質基準を満たすような高品質の水が得られるようになり、再利用水の用途が広がっている。しかしながら膜コストやファウリング対策に課題を残しており、導入は進んでいない。

一方、海水淡水化は、膜コストの低下が進んだため、逆浸透（RO：Reverse Osmosis）膜を用いる方式が増えている。本方式の場合、逆浸透膜には高い塩除去率が要求されるため、劣化により要求性能を満たさなくなった膜は使用済み膜として交換、廃棄されている。実際には、膜が劣化してから交換するのでは手遅れとなるため、毎年、何分の一かずつ計画的に交換している。海水淡水化施設で使用済みとされた膜は、海水淡水化用途では使用できないが、海水淡水化ほど高い塩除去率を要求されない用途、たとえば下水再利用では再利用できる可能性がある。

使用済み膜の再利用は、基本的に膜コストがかからないため、経済面からも有効な手段と考えられる。しかしながら、海水淡水化用膜は浸透圧と高い塩除去率のため高圧力で使用するよう設計されており、低圧 RO 膜のように低圧力での効率的な運転ができない。そのため運転圧力の低圧力化（膜のルーズ化）が必要となる。またこのような使用済み膜は、海水淡水化用途に最適に設計されているため、下水再利用においては海水淡水化と同じ運転条件では運転できない。そのため下水二次処理水を原水とした場合の最適な運転方法を確立する必要がある。

そこで本開発では、海水淡水化使用済み膜を低圧力で使用できる膜改質（ルーズ化）技術を開発し、使用済み膜の低動力運転技術の確立を目的とした。また実下水二次処理水を用いた実験により運転条件の最適化を行った。これにより、従来の低圧 RO 膜を用いた下水再利用よりも低コストで処理可能なシステムを確立できたので紹介する。

1. 使用済み膜再利用技術の概要

図1に使用済み膜再利用の概念図を示す。海水淡水化では、前処理用のUF（Ultrafiltration：限外ろ過）膜および脱塩用のRO膜を使用し、UF膜ろ過+RO膜脱塩のフローで生産水を得ている。下水再利用における使用済み膜の再利用でも、同じフローで生産水を得ることになる。しかしながら膜が海水淡水化用の膜であるため、そのままでは安定した処理を行うことができない。原水である下水二次処理水は海水と比較して濁質や溶解性の有機物濃度が高いため、とくにそれらを除去するUF膜の運転条件の最適化が重要である。またRO膜では、運転圧力が高いため経済的な運転を行うには圧力を低減する必要があり、膜を改質してルーズ化することにより低動力化を目指した。

2. 実験方法

2.1 供試膜

福岡地区水道企業団の海水淡水化センター（まみずピア）において、実際に5年間海水淡水化で使用された膜を実験に用いた。

表1にUF膜エレメントの仕様を示す。また図2にUF膜エレメントの模式図を示す。本実験で使用したUF膜はスパイラル形であり、ろ過水の流路としてスペーサーを挟んで袋状に整形された平膜の開口部が集水管に接続され、膜の間に原水の流路としてスペーサーを挟んで巻いた形状となっている。この形状は一般的にはRO膜に適用される形状である。スペーサーに濁質が付着すると容易には除去す

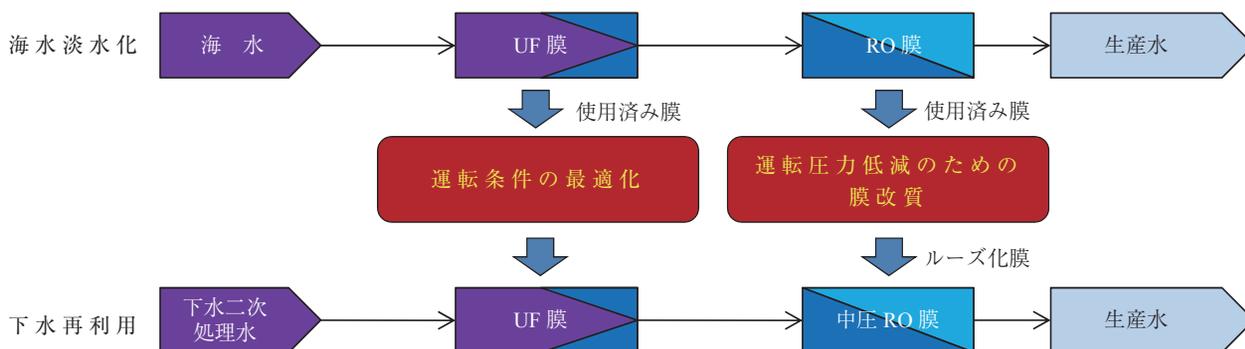


図1 使用済み膜再利用の概念図

表1 UF膜の仕様

メーカー	日東電工株式会社
型番	RS50-S8
形式	スパイラル形
膜材質	PVDF (ポリフッ化ビニリデン)
分画分子量	150 000

表2 RO膜の仕様

メーカー	東洋紡績株式会社
型番	HB10255FI
形式	中空糸形
膜材質	CA (三酢酸セルロース)
塩除去率	99.6 %

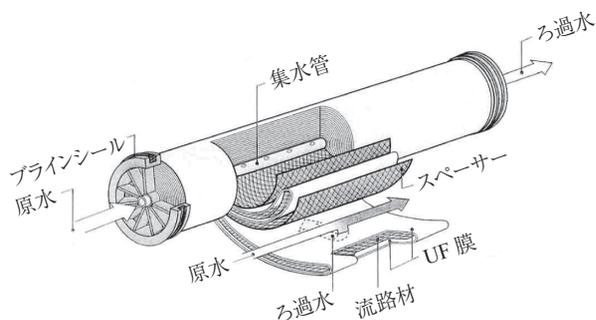


図2 UF膜エレメントの模式図

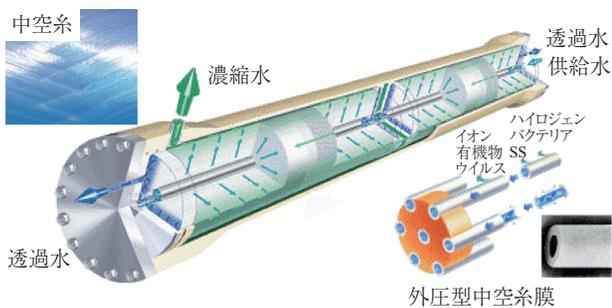


図3 RO膜エレメントの模式図
(東洋紡績株式会社ホームページより)

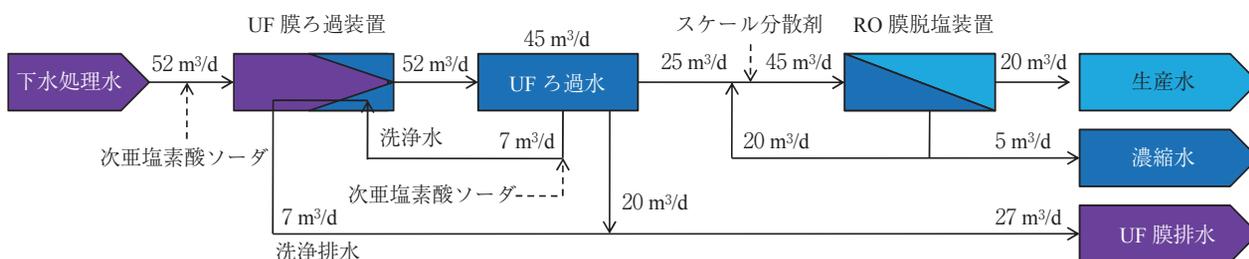


図4 実験装置の概略フローと水量収支

ることが難しいため、一般的には濁質の少ない原水向けであり、原水中に濁質が少ない海水淡水化の前処理として使用するための膜である。

表2にRO膜エレメントの仕様を示す。また図3にRO膜エレメントの模式図を示す。本実験で使用したRO膜は中空糸形であり、約150 μmの中空糸を数百本ずつ交差させた構造となっている。海水淡水化のための高脱塩が可能であるが、高阻止率膜のため淡水処理でも操作圧力が高い。

2.2 原水

本開発では、実験装置を福岡市の西部水処理センターに設置し、同センターの下水二次処理水を原水として用いた。

西部水処理センターは福岡市西区に位置し、嫌気好気活性汚泥法で下水処理を行っており、処理水は博多湾に放流されている。

2.3 実験装置

2.3.1 実験装置フロー

図4に実験装置の概略フローと水量収支を示す。

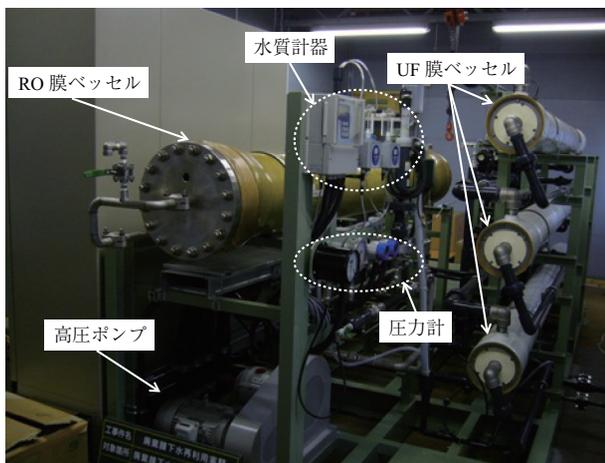


写真1 実験装置

また、実験装置の概観を写真1に示す。

本実験装置は、上述したように前処理設備としてUF膜ろ過装置、処理設備としてRO膜脱塩装置を備えている。下水二次処理水を原水として使用し、

UF 膜処理水として45 m³/d, RO 膜処理水として20 m³/dの処理が可能である。以下に、概略フローに沿って装置の動作を説明する。

- 1) 原水として、福岡市西部水処理センターの塩素混和池より52 m³/dの下水二次処理水を取水し、実験装置に送水した。
- 2) 原水に次亜塩素酸ソーダを有効塩素濃度として5 mg/L 添加してUF 膜にて全量ろ過を行った。安定した連続運転を行うため、タイマーにより次亜塩素酸ソーダを添加したUF 膜ろ過水による逆洗、および高濃度の次亜塩素酸ソーダを添加したUF 膜ろ過水による浸漬洗浄を自動的に行った。膜の洗浄水として5 m³/d, 洗浄後の捨水として2 m³/d, 合計7 m³/dのUF 膜ろ過水を使用したため、UF 膜ろ過装置で得られるUF 膜ろ過水は45 m³/dであった。よって、UF 膜ろ過装置の回収率は86.5%であった。
- 3) UF 膜ろ過水のうち、25 m³/dをRO 膜の原水として送水した。残ったUF 膜ろ過水20 m³/dは実験排水として排出した。
- 4) 次に、UF 膜ろ過水を原水としてRO 膜による脱塩処理を行った。RO 膜の処理水量は20 m³/d, 濃縮水量は5 m³/dであり、回収率は80%であった。ここで、RO 膜の出口流量は、メーカー標準値として25 m³/dを確保するため濃縮液を循環して20 m³/dをUF 膜処理水槽に返送して循環運転を行った。よって、RO 膜へは45 m³/d(原水25 m³/d + 循環水20 m³/d)を供給した。また無機物によるスケールを防止するため、循環水に硫酸あるいはスケール分散剤を添加した。なお濃縮水は実験排水として排出した。
- 5) RO 膜の処理水は、西部水処理センターの既設処理水槽に送水した。実験排水は西部水処理センター内の場内排水に返送した。

2.3.2 実験装置仕様

1) UF 膜ろ過装置

UF 膜ろ過装置の仕様を表3に示す。UF 膜の逆洗時や浸漬洗浄時にろ過水が途切れるのを防ぐた

め、膜モジュールを3系列設置し、交互に運転できるようにした。

2) RO 膜脱塩装置

RO 膜脱塩装置の仕様を表4に示す。RO 膜は洗浄を行わないので、膜モジュールは1系列のみ設置した。

3) 実験条件

UF 膜ろ過装置およびRO 膜脱塩装置の運転条件を表5に示す。

UF 膜は、ろ過水量を52 m³/dとして、膜間差圧の経時変化を測定して安定運転条件の確認を行った。

RO 膜は、生産水量を20 m³/dとして、操作圧力と膜モジュール入口圧力と出口圧力の差である差圧を測定して安定運転条件の確認を行った。また当初スケール防止のためにRO 膜供給水に硫酸を注入して酸性にしていたが、原水中のシリカ濃度が高かったため、シリカスケールが懸念された平成21年12月3日から平成22年7月1日までの期間、硫酸に変えてスケール分散剤を注入した。

3. 検討内容

本開発では、下記の項目について検討を行った。

3.1 使用済み膜の安定運転条件の把握

3.1.1 UF 膜ろ過装置

使用済みのUF 膜をそのまま使用して、下水処理水のUF 膜処理における安定運転条件(Flux, 薬注, 洗浄条件)を検討した。

3.1.2 RO 膜脱塩装置

使用済みのRO 膜をそのまま使用して、下水処理水のRO 膜処理における安定運転条件(Flux, 回収率, 薬注)を検討した。また処理水質の評価を行った。

3.2 使用済み膜の電力費削減

3.2.1 膜のルーズ化

RO 膜をルーズ化し、電力削減効果を確認した。

3.3 経済性評価

3.3.1 使用済み膜の経済性評価

使用済み膜を用いた場合と通常のUF 膜+低圧RO 膜を用いた場合の造水コストの比較を行った。

表3 UF 膜ろ過装置仕様

①UF 膜	型式：スパイラル形 膜本数：3本×3系列 材質：PVDF(ポリフッ化ビニリデン)
②ろ過水量	52 m ³ /d
③回収率	86.5%
④ろ過圧力	最大0.3 MPa

表4 RO 膜脱塩装置仕様

①RO 膜	型式：中空糸形 膜本数：1本×1系列 材質：CA(三酢酸セルロース)
②生産水量	20 m ³ /d
③回収率	80%
④ろ過圧力	最大5 MPa

表5 運転条件

装置	項目	単位	条件	備考
UF 膜ろ過装置	ろ過条件			
	供給圧力	MPa	~0.3 MPa	
	ろ過水量	m ³ /d	52	
	回収率	%	86.5	
	次亜塩素酸ソーダ添加量	mg/L	1~50	有効塩素濃度
	逆洗条件			
	逆洗間隔	分	10~60	
	逆洗時間	分	1~5	
	次亜塩素酸ソーダ添加量	mg/L	1~50	有効塩素濃度
	浸漬洗浄条件			
	浸漬洗浄間隔	時間	10~100	
	浸漬洗浄時間	分	10~120	
	次亜塩素酸ソーダ添加量	mg/L	100~1 000	有効塩素濃度
RO 膜脱塩装置	供給圧力	MPa	~ 5 MPa	
	処理水量	m ³ /d	20	
	回収率	%	80	
	運転 pH	-	6.5~7.0	硫酸注入
	薬品注入 (スケール分散剤)	mg/L	1~10	硫酸注入と選択

4. 実験結果

4.1 UF 膜運転結果

4.1.1 膜間差圧の経時変化

初めに、UF 膜の安定運転条件について検討した結果について述べる。図5にUF 膜の膜間差圧の経時変化の一例を示す。ここで膜間差圧とは、原水供給水の圧力からろ過水の圧力を引いたろ過に必要な正味の圧力であり、この圧力が上昇することは膜表面や細孔内に汚染物質が堆積してファウリングが進行していることを表している。また水温の変化の影響を考慮して、15℃に換算した値を示した。膜間差圧が上昇と低下を繰り返しているのは、浸漬洗浄により膜間差圧が回復するためである。

図からわかるように、ろ過流量を52 m³/d、逆洗間隔を20分、浸漬洗浄間隔を48時間として運転することにより、膜間差圧の上昇は小さく、同条件での運転期間（約40日間）中の安定運転が可能であった。

そこで平成22年3月9日～平成23年3月8日まで、表5に示した運転条件で通年データを取得した。その結果を図6に示す。通年データでは膜間差圧が上下しているが、これは原水水質の変化により膜の汚染度合いが変化したためである。ここで浸漬洗浄頻度を原水水質に合わせて最適化することで1年間の安定運転を達成した。

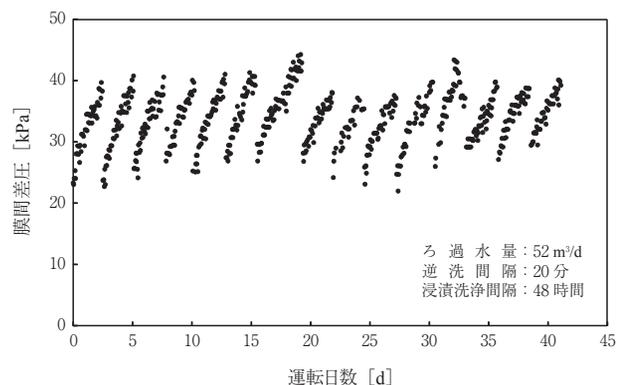


図5 UF 膜の膜間差圧の経時変化

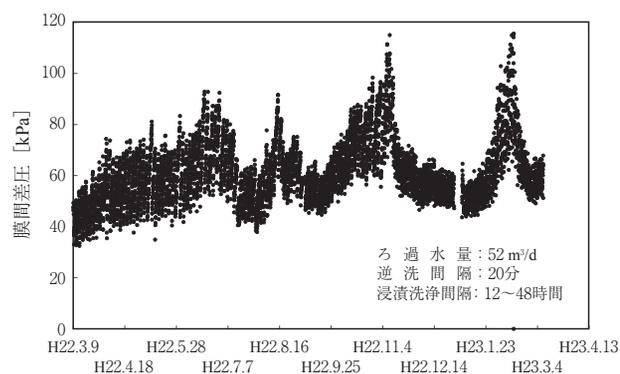


図6 UF 膜の膜間差圧の通年データ

4.1.2 UF 膜ろ過水質

次に、UF 膜の原水水質とろ過水質の関係を濁度で評価した結果について述べる。期間は平成21年6月11日～平成23年3月8日までである。図7に原水濁度とろ過水濁度の経時変化を示す。

図からわかるように、原水濁度は大きく変動したが、ろ過水濁度は0.01度未満で安定していた。また豪雨時もろ過水濁度に変化がなかったことから、本実験の範囲内では原水濁度の変動は膜ろ過水質に大きな影響は及ぼさないと考えられる。

次に UF 膜ろ過水の RO 膜原水としての妥当性を評価した結果について述べる。期間は平成21年6月11日～平成23年3月8日までである。図8に RO 膜原水としての指標である FI 値 (Fouling Index) の測定結果を示す。FI 値は SDI 値 (Silt Density Index) とも呼ばれ、サンプル水を0.2 MPa の圧力で0.45 μm のメンブレンにてろ過し、500 mL ろ過するのに要した時間の初期値 (T_0) と15分後の値 (T_1) から次式¹⁾で算出される値である。一般的には4.0以下が RO 膜原水として適している。

$$FI = \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) \div 15 \times 100$$

FI 値は、おおむね4以下であり、RO 膜の原水として適した水質を有していると考えられる。

4.2 RO 膜運転結果

4.2.1 操作圧力の経時変化

次に、RO 膜の安定運転条件について検討した結果について述べる。ここで一定生産水量での RO 膜の運転圧力は温度や原水水質の影響により変動するため、その影響を補正して換算した生産水量である A 値で RO 膜の運転データを検証した。A 値 [$\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}/\text{Pa}$] は次式で表され²⁾、 ΔP は操作圧力 [Pa]、 Q は処理水量 [$\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$]、 $\Delta\pi$ は浸透圧 [Pa] である。

$$A = \frac{Q}{\Delta P - \Delta\pi}$$

図9に膜をルーズ化処理していない RO 膜の A 値の経時変化を示す。図からわかるように、表5に示した運転条件で運転することにより、A 値の低下はほとんど見られず約150日間の安定運転が可能であった。

4.2.2 ルーズ化 RO 膜の操作圧力の経時変化

次に膜をエタノールに浸漬することによりルーズ化した RO 膜の A 値を測定した。その結果を図10に示す。RO 膜をルーズ化することにより、図9に

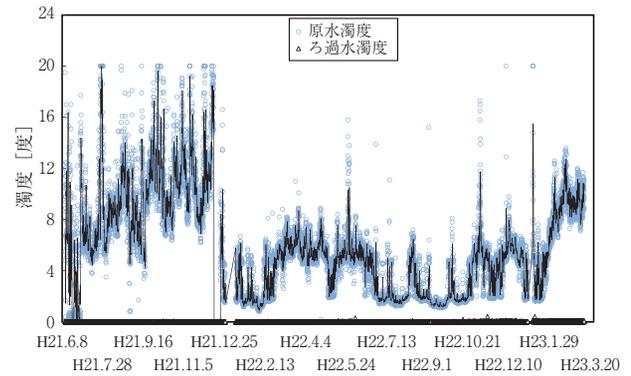


図7 原水と UF ろ過水の濁度の経時変化

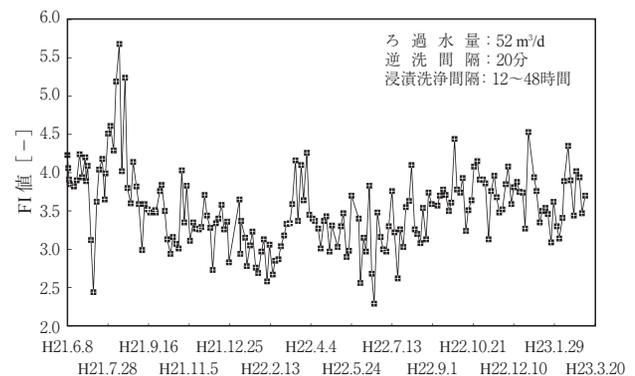


図8 FI 値の経時変化

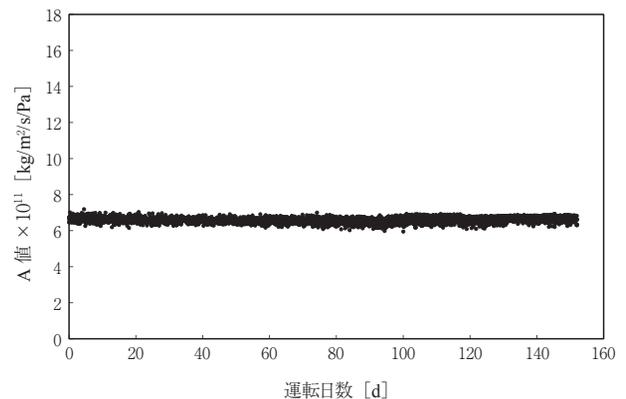


図9 RO 膜の A 値の経時変化

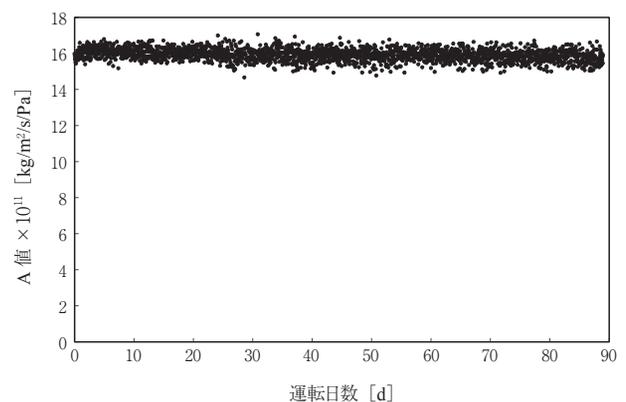


図10 ルーズ化した RO 膜の A 値の経時変化

示したルーズ化していないRO膜のA値と比較してA値が大幅に増加した。このことはRO膜の運転圧力が大幅に低減したことを意味している。このことから、膜をルーズ化することによりRO膜の運転に必要な電力を削減することが可能であることがわかった。またルーズ化した膜でもA値は安定しており、ルーズ化をしない場合と同じ運転条件で安定運転が可能であることがわかった。

4.2.3 差圧の経時変化

次にRO膜の差圧の経時変化を評価した結果について述べる。期間は平成21年6月11日～平成23年3月8日までである。ここで差圧とは、原水供給圧力と濃縮水出口圧力の差であり、RO膜エレメント内の流路閉塞の指標となる。RO膜では有機物によるバイオフィウリングと無機物によるスケーリングにより流路閉塞が発生して差圧が上昇すると考えられる。差圧が上昇するとエレメントの透過水量低下や極端な場合糸の破断が起こるため、その抑止が重要となる。

図11にRO膜の差圧の経時変化を示す。図からわかるように差圧はほぼ安定しており、表5に示した運転条件で運転することにより十分にバイオフィウリングやスケーリングを抑制できていることがわかった。バイオフィウリングは、高価なバイオフィウリング抑制剤を用いずにUF膜からの残留塩素のみで抑制可能であると考え、その考えが実証できた。またスケーリングは、pH調整あるいはシリカの析出を抑制することで防止できることが実証できた。

4.2.4 阻止性能の経時変化

次にRO膜の阻止性能について評価を行った結果について述べる。図12にルーズ化していないRO膜の阻止率の経時変化を示す。同時にRO膜の原水入口の電気伝導度も示した。ここで阻止率とは、原水から溶質が除去された割合であり、原水の電気伝導

度と処理水の電気伝導度から次式³⁾を用いて算出した。なお、ここで、 C_f は原水の電気伝導度 [$\mu\text{S}/\text{cm}$]、 C_p は処理水の電気伝導度 [$\mu\text{S}/\text{cm}$]、 R は阻止率 [%] である。

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100$$

図から、阻止率に変動はあるが97.5～98.5%の間の変動であり、安定していた。

4.3 水質分析結果

次に、生産水の詳細な水質について述べる。RO膜のルーズ化を行う前の24回分の分析結果の平均値、およびRO膜のルーズ化を行った後の19回分の分析結果の平均値を表6に示す。なお比較のため、本実験の原水として用いた福岡市西部水処理センターの下水二次処理水の44回分の分析結果の平均値、西部水処理センター周辺に水道水を供給している夫婦石浄水場の平成20年度の水質の平均値、および中水道に供給されている福岡市中部水処理センターの再生水の水質も同時に示した。

原水である下水二次処理水は、水道水と比較して溶解性蒸発残留物や硬度、電気伝導度が数倍高い値であった。またイオン状シリカが通常、20 mg/L以上あり、RO膜による濃縮で析出して膜性能を低下させる可能性が考えられた。そこで実験では、膜ルーズ化前にイオン状シリカの析出を防止するためのスケール分散剤 (CX-2260) を注入した。なお原水中のイオン状シリカが高い値であったのは、水道水中のイオン状シリカも19.4 mg/Lと高い値であったことから、水道水に由来していると考えられる。その後、RO膜のルーズ化によりイオン状シリカが膜を透過しやすくなり濃縮されにくくなったため、スケール分散剤が不要となりスケール分散剤の使用を中止した。

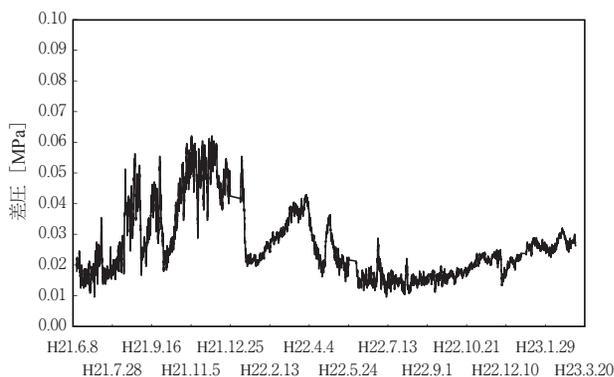


図11 RO膜の差圧の経時変化

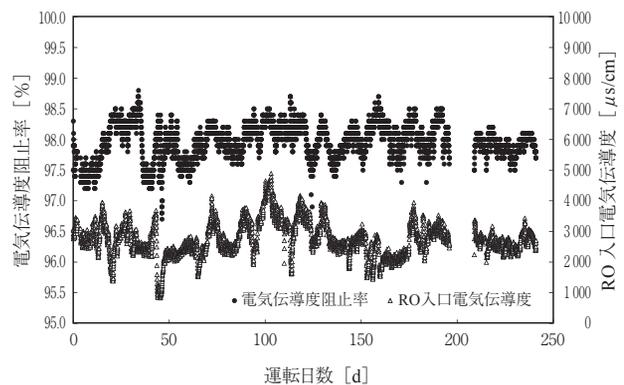


図12 阻止率の経時変化

表6 水質分析結果

試料名		原水処理	生産水 ルーズ化前	生産水 ルーズ化後	水道水 (夫婦石)	再生水 部	備考
分析項目	単位	平均	平均	平均			
水素イオン濃度 (pH)	-	6.8	6.1	6.2	7.6	6.6	
色度	度	27	1.3	1.3	1未満	1未満	
濁度	度	2.9	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	
溶解性蒸発物 残留物	mg/L	514	13.8	57.9	104	570	水道水は蒸発残留物
硬度	mgCaCO ₃ /L	127	2.0未満	2.0未満	35.5	137	
電気伝導率	mS/m 25℃	100	4.6	13.1	15.7	94.2	
外観	-	-	無色透明	無色透明	無色透明	無色透明	H21/12/24の分析値
窒素含有量 (T-N)	mg/L	16.5	3.3	5.3	0.99	16.2	水道水は硝酸態窒素 および亜硝酸態窒素
鉄 (Fe)	mg/L	0.1	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.03	
マンガン	mg/L	0.1	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.04	
アルミニウム (Al)	mg/L	0.3	0.05未満	0.01未満	0.03	0.10未満	
硫酸イオン	mg/L	63.4	0.5	0.46	12	52.9	H21/12/24の分析値
イオン状シリカ	mg/L	22.7	0.9	7.4	19.4	14.6	H21/12/24の分析値
有機体炭素 (TOC)	mg/L	5.2	0.5未満	0.5未満	0.6	3.1	
大腸菌	MPN/100 mL	1	不検出	不検出	不検出	0	
備考		45回平均	24回平均	19回平均	H20平均	H22/03/12	

RO膜の生産水では、RO膜のルーズ化の有無にかかわらずほとんどの項目が定量下限値以下であり、良好な水質が得られた。水道水や再生水と比較しても、とくに電気伝導度や硬度などの無機成分が低い値であった。水道水質基準項目の測定結果を表7に示す。表からわかるように、水道水質基準と比較しても、本実験で得られた生産水は遜色のない水質を有していた。このことから生産水は、下水再利用水なので感情的に飲用には向かないが水道水の代替としての使用が期待できる。

5. 経済性評価

最後に、本開発で得られた実験結果を基に、使用済み膜を用いた下水二次処理水再生処理について経済性の評価を行った。通常の低圧RO膜を用いた場合を対照として造水コストを比較した。ここで造水コストは、設備費と15年間の運転費の合計を15年間で生産する生産水量で除すことにより求めた。

図13に経済性評価を行ったフローと水量収支、表8に経済性評価の条件を示す。経済性評価は、生産水量10 000 m³/dでUF膜ろ過+RO膜脱塩処理について行った。

図14に結果を示す。通常の低圧RO膜を用いた処理では、造水コストが84円/m³となった。これに対してルーズ化した使用済みRO膜を用いた処理では、造水コストが60円/m³となり、造水コストが約70%となった。このことは、本開発で得られた成果が海水淡水化使用済み膜の下水二次処理水再生処理への適用の有用性を示していると考えられる。

6. まとめ

以上の検討結果をふまえて、検討内容についてまとめた。その結果を以下に示す。

6.1 使用済み膜の安定運転条件の把握

6.1.1 UF膜

実験の結果、UF膜の運転において以下の知見が得られた。

- ・ろ過水量52 m³/dで、定期的な逆洗と浸漬洗浄のみで安定運転可能であり、酸洗浄などの特別な薬品洗浄は必要ない。
- ・UF膜は、海水淡水化使用済み膜をそのまま再利用可能である（運転条件は異なる）。
- ・豪雨時も含めて、処理水濁度は原水濁度の増減に関係なく、0.01度未満であった。

表7 水道水質基準項目分析結果

採水日 試料名	生産水ルーズ化前	生産水ルーズ化後	基準値
一般細菌	0	0	100個/mL以下
大腸菌	不検出	不検出	不検出
カドミウムおよびその化合物	0.0003 mg/L 未満	0.0003 mg/L 未満	0.003 mg/L 以下
水銀およびその化合物	0.00005 mg/L 未満	0.00005 mg/L 未満	0.0005 mg/L 以下
セレンおよびその化合物	0.001 mg/L 未満	0.001 mg/L 未満	0.01 mg/L 以下
鉛およびその化合物	0.001 mg/L 未満	0.001 mg/L 未満	0.01 mg/L 以下
ヒ素およびその化合物	0.001 mg/L 未満	0.001 mg/L 未満	0.01 mg/L 以下
六価クロム化合物	0.005 mg/L 未満	0.005 mg/L 未満	0.05 mg/L 以下
シアン化物イオンおよび塩化シアン	0.001 mg/L 未満	0.001 mg/L 未満	0.01 mg/L 以下
硝酸態窒素および亜硝酸態窒素	2.61 mg/L	1.31 mg/L	10 mg/L 以下
フッ素およびその化合物	0.08 mg/L 未満	0.08 mg/L 未満	0.8 mg/L 以下
ホウ素およびその化合物	0.1 mg/L 未満	0.1 mg/L 未満	1.0 mg/L 以下
四塩化炭素	0.0002 mg/L 未満	0.0002 mg/L 未満	0.002 mg/L 以下
1,4-ジオキサン	0.005 mg/L 未満	0.005 mg/L 未満	0.05 mg/L 以下
シス-1,2-ジクロロエチレンおよび トランス-1,2-ジクロロエチレン	0.004 mg/L 未満	0.004 mg/L 未満	0.04 mg/L 以下
ジクロロメタン	0.002 mg/L 未満	0.002 mg/L 未満	0.02 mg/L 以下
テトラクロロエチレン	0.001 mg/L 未満	0.001 mg/L 未満	0.01 mg/L 以下
トリクロロエチレン	0.003 mg/L 未満	0.003 mg/L 未満	0.03 mg/L 以下
ベンゼン	0.001 mg/L 未満	0.001 mg/L 未満	0.01 mg/L 以下
塩素酸	0.06 mg/L 未満	0.06 mg/L 未満	0.6 mg/L 以下
クロロ酢酸	0.002 mg/L 未満	0.002 mg/L 未満	0.02 mg/L 以下
クロロホルム	0.006 mg/L 未満	0.006 mg/L 未満	0.06 mg/L 以下
ジクロロ酢酸	0.004 mg/L 未満	0.004 mg/L 未満	0.04 mg/L 以下
ジブロモクロロメタン	0.01 mg/L 未満	0.01 mg/L 未満	0.1 mg/L 以下
臭素酸	0.001 mg/L 未満	0.001 mg/L 未満	0.01 mg/L 以下
総トリハロメタン	0.01 mg/L 未満	0.01 mg/L 未満	0.1 mg/L 以下
トリクロロ酢酸	0.02 mg/L 未満	0.02 mg/L 未満	0.2 mg/L 以下
ブロモジクロロメタン	0.003 mg/L 未満	0.003 mg/L 未満	0.03 mg/L 以下
ブロモホルム	0.009 mg/L 未満	0.009 mg/L 未満	0.09 mg/L 以下
ホルムアルデヒド	0.008 mg/L 未満	0.008 mg/L 未満	0.08 mg/L 以下
亜鉛およびその化合物	0.1 mg/L 未満	0.1 mg/L 未満	1.0 mg/L 以下
アルミニウムおよびその化合物	0.01 mg/L 未満	0.01 mg/L 未満	0.2 mg/L 以下
鉄およびその化合物	0.001 mg/L 未満	0.001 mg/L 未満	0.3 mg/L 以下
銅およびその化合物	0.1 mg/L 未満	0.1 mg/L 未満	1.0 mg/L 以下
ナトリウムおよびその化合物	4 mg/L	8.8 mg/L	200 mg/L 以下
マンガンおよびその化合物	0.001 mg/L 未満	0.001 mg/L 未満	0.05 mg/L 以下
塩化物イオン	18.2 mg/L	10.6 mg/L	200 mg/L 以下
カルシウム、マグネシウム等（硬度）	5.2 mg/L	2.0 mg/L 未満	300 mg/L 以下
蒸発残留物（TS）	20 mg/L	20 mg/L	500 mg/L 以下
陰イオン界面活性剤	0.02 mg/L 未満	0.02 mg/L 未満	0.2 mg/L 以下
ジェオスミン	0.000001 mg/L	0.000006 mg/L	0.00001 mg/L 以下
2-メチルイソボルネオール	0.000001 mg/L 未満	0.000001 mg/L	0.00001 mg/L 以下
非イオン界面活性剤	0.005 mg/L 未満	0.005 mg/L 未満	0.02 mg/L 以下
フェノール類	0.0005未満	0.0005未満	0.005 mg/L 以下
有機物等（全有機炭素（TOC）の量）	0.3 mg/L 未満	0.3 mg/L 未満	3 mg/L 以下
pH 値	7.5	6.3	5.8~8.6
味	異常なし	—	異常でないこと
臭気	微下水臭	微下水臭	異常でないこと
色度	1度	2度	5度以下
濁度	0.1度未満	0.1度未満	2度以下

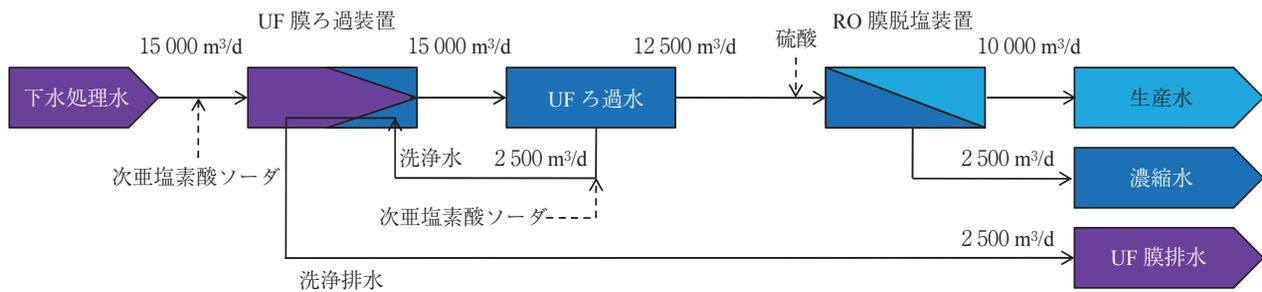


図13 フローと水量収支

表8 経済性評価条件

膜種	UF 膜	RO 膜
共通条件	生産水量 10 000 m ³ /d	
	フロー UF + RO 処理	
ろ過水量	52 m ³ /d	20 m ³ /d
回収率	83.5 %	80 %
膜寿命	4年	

・FI 値 (SDI 値) はおおむね 4 以下であり, RO 膜原水として問題ない。

6.1.2 RO 膜

実験の結果, RO 膜の運転において以下の知見が得られた。

- ・生産水量 20 m³/d/ エレメントの運転で, 運転圧力が安定した。
- ・回収率 80 % 一定で安定運転が可能であった。
- ・UF 膜原水への次亜塩素酸ソーダの注入と硫酸やスケール分散剤の RO 膜への注入で差圧が安定し, 安定運転可能であった。
- ・水道水質に匹敵する良好な水質が得られ, 非飲用ではあるが水道水の代替水源としての活用が期待できる。

6.2 使用済み膜の電力費削減

6.2.1 RO 膜のルーズ化

- ・RO 膜をルーズ化することにより運転圧力を低減することができ, RO 膜の運転に必要な電力を 33 % 削減することが可能であった。

6.3 経済性評価

6.3.1 使用済み膜の経済性評価

- ・通常の低圧 RO 膜の造水コストが 84 円 / m³ であるのに対して, ルーズ化した使用済み RO 膜を用いることにより造水コストが 60 円 / m³ となり, 大幅なコストダウンが可能であった。

むすび

海水淡水化施設で使用済みとされた膜を下水再利

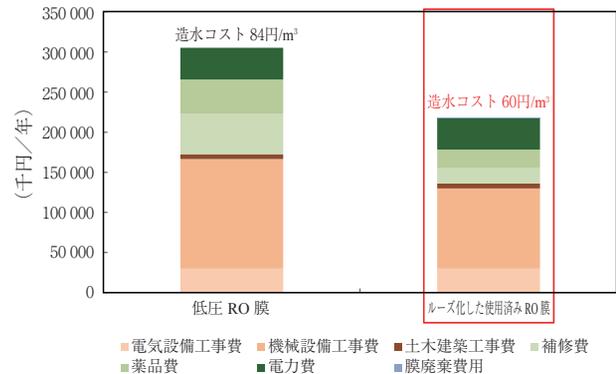


図14 造水コスト比較結果

用に有効利用することを試みた。その結果, 運転条件の最適化および RO 膜のルーズ化による低動力化により, 従来の低圧 RO 膜を用いたシステムよりも造水コストを 30 % 低減することが可能であった。また生産水の水質は水道水に匹敵する高品質なものであった。

本開発で得られた知見が有効に活用され, 日本や世界の海水淡水化と下水再利用を結びつけ, 水不足の解消の一助となることを期待する。

最後に, 本開発は一般財団法人造水促進センターとの共同実験で財団法人 JKA から競輪収益の一部である機械工業振興資金の補助を受けて実施した。また福岡市道路下水道局から実験場所および下水二次処理水の提供を, 福岡地区水道企業団からは使用済み膜の提供を受けた。関係各位にはここに深く感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 中垣正幸監修: 普及版膜処理技術, 第 IV 編 膜の応用・用途の実例, 588 (1998)
- 2) 中垣正幸監修: 普及版膜処理技術, 第 I 編 基礎, 171 (1998)
- 3) 日本膜学会編: 「膜学実験シリーズ」 第 III 巻人工膜編, 86 (1993)

*商品市場・技術開発センター 開発企画室 **商品市場・技術開発センター 水・汚泥技術開発部水処理室 ***水処理事業部 技術部技術室 ****水処理事業部

最近のファイン化，高機能化に対応する反応機

Recent Stirred Tank Expected to be Finer and More Functional



山部 芳*
Kaoru Yamabe



西 剛志**
Takeshi Nishi



井嶋優介***
Yusuke Iijima



南 俊充*
Toshimitsu Mimami

日本国内の医薬，ファインケミカルメーカーは得意とする合成・反応技術を活かした，より付加価値の高い製品を，開発，製造する方向に向かっている。このような製品の生産において用いられる反応機にはこれまでの汎用的製品を生産する場合とは異なり，ファイン化，高機能化が要求される。本報では当社が開発してきたファイン化，高機能化対応反応機の一例を紹介する。

Japanese medicine manufacturers and fine chemical manufacturers are shifting to production of high-value-added products. Reactors used for these products are different from common products reactors in expected functions.

Key Words :

攪	拌	Agitation
G	L	Glass lining
真 空 断 熱		Evacuated insulation
ファインケミカル		Fine chemical

【セールスポイント】

- ・バツフル付ログボーン翼による粉体，スラリー，高粘度液の攪拌
- ・真空断熱反応機による超低温反応機の製作
- ・グラスライニング機器の市場ニーズとマッチした機能向上

まえがき

国内の医薬，ファインケミカルメーカーは，より付加価値の高い製品を開発し，製造する方向に向かっている。

このような製品の生産において，攪拌槽型反応機は使用され，小型ではあるが従来以上に「高性能化，高機能化，ファイン化（クリーン化）」に対応できる反応機のニーズがある。

1. 現在の顧客ニーズ

高付加価値製品の生産において，反応機に求めら

れる性能はさまざまであるが，近年，当社が対応した3例を紹介する。

1) 攪拌機

粉，スラリー，高粘度液攪拌を1台で対応可能な攪拌機（バツフル付ログボーン翼）

2) 超低温反応機

超低温反応機用真空断熱ジャケット，低温対応可でコンタミネーション（異物混入）の少ない軸封

3) グラスライニング反応機のさまざまな機能向上
以下の章でこれらについて詳細を説明する。

2. 高性能化・高機能化

2.1 攪拌機

重合度、温度等によって粘度が大きく変化するようなポリマーの重合機では、「低粘度～高粘度まで」カバーできるオールマイティな翼が市場から求められてきた。

当社ではフルゾーン翼、バッフル付ログボーン翼等のオリジナル攪拌翼を開発することで対応してきたが、近年ではさらに液体領域を超え、固体の原料から少量の溶媒による溶解もしくは融解、低濃度スラリー攪拌、さらに高粘度液領域での均一混合が要求されるケースがある。

このような「粉体の溶解から高粘度液、高粘度液から低粘度液」までの要求に1台の反応機で応えるため、バッフル付ログボーン翼での対応を検討した。

バッフル付ログボーンは、図1のような形状をしており、上部フレームを無くすことでバッフルを挿入し、低粘度時の攪拌と、高粘度時の軸回りの混合不良部解消および非ニュートン性のある高濃度スラリーの攪拌に効果を発揮する。

この特長を活かして、前述の「粉体～高粘度液～低粘度液」の混合攪拌で、バッフル付ログボーンは以下のような性能を発揮した。

1) 反応初期（粉→スラリー）

開始時は少量の溶媒中に粉体を逐次投入し、低濃度スラリーの状態から攪拌を開始した。ここでは、低濃度スラリー攪拌性能、また、少液量から攪拌を始めるため、ボトムリボン形状の少液量攪拌性能の特長が活かされた。

2) 反応中期（低濃度スラリー→高濃度スラリー→溶解）

スラリー濃度が高くなると、一部で溶媒を含ん

だ粉体が、局所的に餅状の固体になるが、この混合にはバッフル付ログボーンの高い異粘度混合性能、せん断作用が活かされた。

3) 反応末期（重合）

反応が進むと全体が溶解液→高粘度液となる。この領域では、ログボーン翼／バッフル付ログボーン翼の高粘度液攪拌性能が発揮され、バッフルの効果も合わさって、「混練」に近い状態まで良好な混合性能を発揮した。

4) バッチ反応終了後

バッチ反応終了後の洗浄では、低粘度の溶剤を使用して高回転で洗浄するケースもある。このときも、バッフル効果によって上下流が形成されるため、低粘度液混合性能を発揮した。

以上、多岐にわたる攪拌状況で高い能力を有する攪拌翼が求められる場合には、バッフル付ログボーンが最適であることを確認できた。また、液体の枠を超えて、「粉体」の混合にまで適用することで、バッフル付ログボーンの可能性をさらに広げること成功した。現在、この特長を活かし、同様の用途で、特殊ナイロン、ポリ乳酸などの重合機、溶解槽に適用されている。

2.2 超低温反応機

反応機の伝熱性能が生産性および品質に大きく影響をおよぼすことは周知の事実であり、伝熱性能の向上にさまざまな工夫がなされてきた。

しかし近年、反応速度が下がっても、副反応が抑制される低温での反応が要求されるケースも増えてきた。とくに、よりファイン化が求められる医薬、ファインケミカル分野の高付加価値製品を生産するケースに低温反応へのニーズが高まっている。中には -196°C の液体窒素を用いた冷却で、 -100°C の超低温での反応を行うケースもある。

-100°C の超低温プロセスは、通常の伝熱だけでなく、周囲からの断熱も徹底しなければ実現しない。これは、通常の断熱材では困難な領域であるため、「真空断熱」により、より効率の良い断熱を行うことが不可欠となる。

また、極低温反応機の軸封では、そのファイン化の用途から、 -100°C という超低温に耐えるだけでなく、摺動材の摩耗粉によるコンタミネーションの面でも厳しい条件が求められることが多い。

これらを踏まえた上で、構造、加工、材質など、さまざまな面で注意が必要となる。

当社で製作した低温用反応機的主要な特長について以下に説明する。

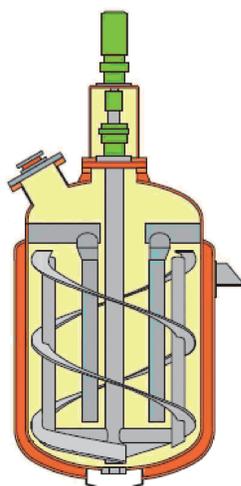


図1 バッフル付ログボーン概略図

2.2.1 構造

「真空断熱」とは、外部との伝熱面との間に一層、真空の層を設けることで外部との断熱を行うことである。簡単に言えば魔法瓶と同じ原理を反応機に適用したものである。

つまり、極低温反応機では、図2のような二重ジャケットの構造を採用する。一番外側のジャケット(外ジャケット)を真空にして、外部との断熱を行う。

さらに、実際の運転時、ジャケット、缶内コイルには極低温の冷媒が流れる。このとき本体とジャケットの温度差で、ジャケット閉鎖部(本体との接合部)には大きな熱応力が作用する。また、缶内コイルは全長も長いので、低温の冷媒を流したときのコイルの収縮は数百mmになることもあり、コイルの固定部には大きな熱応力が発生する。このような過酷な運転がバッチ毎に繰り返されるため、疲労強度を十分に考慮した構造設計が必要である。

2.2.2 軸封

軸封は低温対応およびコンタミ対策から、ノンコンタクトシールを採用した。

従来、低温反応機用軸封はダブルメカニカルシールまたはドライシールを採用してきたが、ダブルメカニカルシールはシール液の混入が懸念され、また、ドライシールは超低温でシール性に問題があるため、超低温反応機ではノンコンタクトシールを採用を検討した。ノンコンタクトシールの一例を図3に示す。

ノンコンタクトシールは、シーラントも窒素ガスであり、缶内に混入しても大半は問題なく、さらに運転中、摺動面は非接触のため摩耗粉もほとんどなく、ファイン化が求められる超低温反応機にとって、現在もっとも適している軸封である。

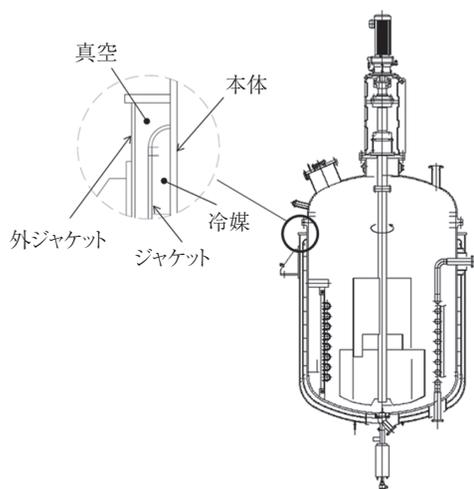


図2 真空断熱二重ジャケットの構造

3. グラスライニング機器のさまざまな機能向上

近年プラントの生産性、クリーン化、使いやすさへの要求が高まってきており、グラスライニング製機器においても、グラス性能の向上や、反応機の操作性、クロスコンタミ防止のための洗浄性、など改善を求める声が聞こえてくるようになった。

当社はこれらのニーズに応えるため、さまざまな新商品を開発してきた。

3.1 ツインスター

GL製反応機の攪拌翼としてはオーバル型3枚後退翼やアンカー翼の他に、当社が開発したフルゾーン翼などがある。

このうちオーバル型3枚後退翼は、低粘度液攪拌で使用されており、GL施工の容易さ、低コストなどを理由にGL製攪拌翼全体の約60%以上を占めてきた。

この低粘度攪拌翼においても顧客ニーズは多様かつ高度化し、従来のオーバル型3枚後退翼ではこれらのニーズを満足することが困難となってきた。主なニーズは下記である。

- 1) 少量量から称容量まで攪拌ができること。
- 2) 3枚後退翼よりも優れた攪拌性能を有すること。
- 3) 洗浄性、サニタリー性が良いこと。

当社では、上記のニーズを満足する新型攪拌翼としてGL製「ツインスター」翼を開発した。

3.1.1 ツインスターの形状

ツインスターの形状を図4に示す。ツインスターは二枚板翼であり、翼先端を一部折り曲げ後退させた非常にシンプルな形状である。また、攪拌翼下面を攪拌槽底面(鏡部内面)に沿う形状としており、

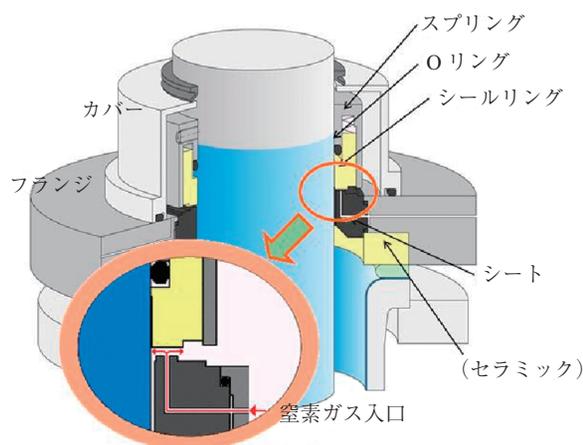


図3 ノンコンタクトシール概略図

攪拌翼位置（高さ）が従来のオーバル型3枚後退翼よりも低い位置となっている。このため、従来翼より少液量攪拌が可能である。

3.1.2 ツインスターの特長

以下にツインスターの特長を示す。

- 1) 図5に示すように、ツインスター翼ではオーバルファウドラ翼では混合不可能な、攪拌槽呼称容量の3%程度の液量から混合可能である。
- 2) オーバル型3枚後退翼の1.4~2倍の混合性能を有する。（同一の混合時間とすれば、1/2以下の動力となり、省エネ化が可能）

また、オーバル型3枚後退翼の50~80%の動力で粒子の均一浮遊および液滴の分散が可能である。

- 3) シンプルな形状であり、洗浄性が良好である。

また、センターマンホールからの挿入が可能であるため、よりサニタリー性の高い密閉型の攪拌槽への取り付けが可能である。

なお、オーバル型3枚後退翼との互換性があり、既存の攪拌翼の改造にも対応できる。

ツインスターは優れた攪拌性能と少液量対応からオーバル型3枚後退翼に替わる汎用攪拌翼として多数の納入実績を有している。

3.2 ファーマグラス「PPG」

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GL機器の特性が要求されている。とくに洗浄性の向上や、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グラスが必要となっている。

当社においても、GL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、PPG社（独）との技術提携により2003年10月より日本国内でPPGの販売を開始した。

3.2.1 PPGの特長

- 1) 明るく見やすいライトブルーカラー

これまで、グラスライニングのグラスの色は濃紺色が標準色で、ユーザの要求により白色も製作してきた。標準色の濃紺色の場合、缶内が暗く、覗き窓から缶内が観察しづらく、また、白色の場合は、内容物が白色であることの多い医薬品などで容器洗浄後のグラス面への付着が確認しづら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が考慮されている。

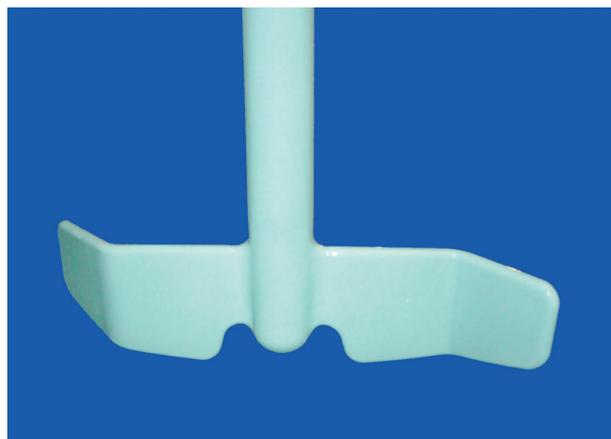
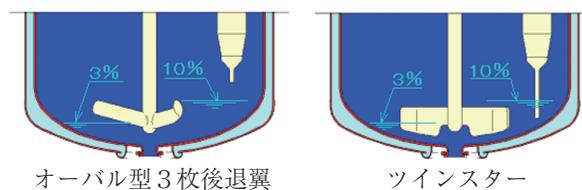


図4 ツインスターの形状



オーバル型3枚後退翼

ツインスター

図5 少液量攪拌の比較

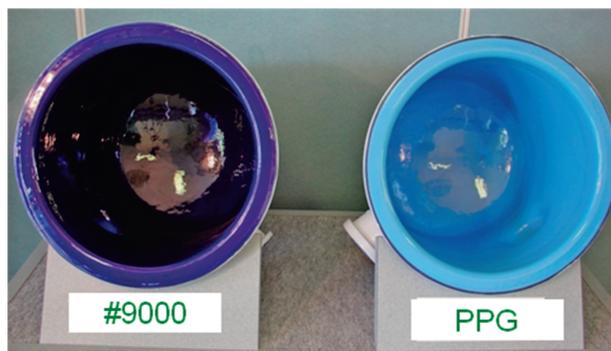


図6 従来標準グラス#9000（左）とPPG（右）

- a) 欧州でのユーザ調査の結果、ライトブルーカラーと同系色の製品が見られなかったこと。
- b) 淡色の製品のグ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、洗浄後のグラス壁面への付着物の有無の認識が確実におこなえるようになった。PPGグラスと従来のグラス#9000のグラス色の対比を図6に示す。

- 2) 洗浄性の向上

PPGはグラスの軟化流動性を向上させることにより、従来のグラス表面より滑らかなグラス表面を実現している。従来のグラスと比較してPPGにはミクロなレベルでの微小なうねり、へこみが少ない。

これにより、付着物の減少が期待でき、付着物の洗浄プロセスにおけるダウンタイムが期待できる。

現在では医薬用途以外でも採用されるケースが増加しており、納入後の顧客評価も高い。

3.3 ECOGL II

GL 製反応機におけるガラス層は絶縁物であるため、電気抵抗率の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静電気が発生し、大きな帯電が生じる。帯電が一定以上になると沿面放電が発生し、ガラス層が破壊する静電気障害が報告されている。静電気に起因する放電は GL 機器の損傷を引き起こすだけにとどまらず、放電によって内容物が爆発する危険性があり、安全上の大きな問題である。

当社では、ガラスに導電性を付与した、ガラスとして「ECOGL」を、また、ECOGL の色相を薄色とすることで視認性を高めた「ECOGL II」を上市した。

ここでは「ECOGL II」について、その特長を紹介する。

3.3.1 ECOGL II の耐静電気性能

ECOGL II の「帯電防止性」と「耐放電破壊性」について述べる。

帯電防止性とは、GL 製反応機内で発生した静電気を緩和する性能を意味するものであり、これを評価した結果を図7に示す。

図7より ECOGL II の15 kV、30 s 印可後の帯電圧は1 500 V 以下で、帯電圧が半減するまでの時間は2.0 s と、高い帯電防止性を有していることがわかる。

次に、耐放電破壊性についてであるが、上述のようにガラス面の帯電を防止したとしても、内容物の絶縁性が高い場合、内容物の帯電を完全に防止することは不可能である。大きな帯電が発生するような使用状況においては、内容物から静電気放電が発生して、GL 層が絶縁破壊するよう事例がある。このような、内容物から放電が発生した場合の耐放電破壊性を評価した結果を図8に示す。

図8より、標準ガラスが±30 kV のインパルス電圧印可時に絶縁破壊するのに対し、ECOGL II は、±50–60 kV と高く、優れた耐放電破壊性を有していることが分かる。

このように、ECOGL II は静電気の帯電を防止する効果が大きいだけでなく、万一放電が発生した場合にも絶縁破壊しにくい優れた耐静電気性能を有し

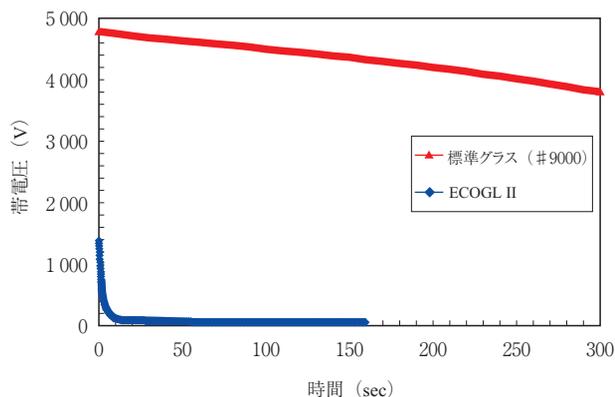


図7 ECOGL II の帯電減衰曲線

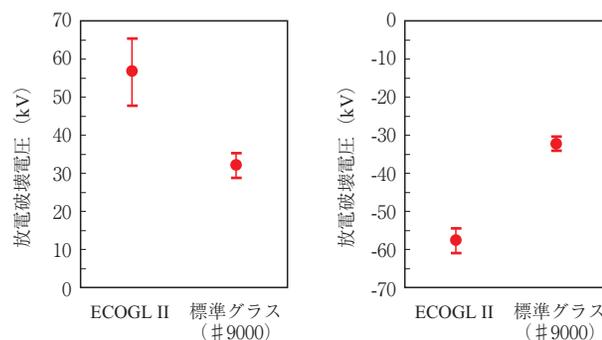


図8 各ガラスの放電破壊電圧

ている。

むすび

めまぐるしく変化する市場のニーズをいち早くキャッチする情報力と、そのニーズに合った商品を開発する開発力に加え、実現の可能性とそれによる効果のバランスを見極める判断力が必要不可欠であるが、それぞれに共通してもっとも必要なことは、スピードである。

そのためには、既存の技術を応用し、市場のニーズに適合させることも非常に重要な手法である。

今後も新たな技術の開発だけでなく、既存の技術を応用し、市場のニーズにスピーディに 대응していくよう、努力する。

[参考文献]

- 1) 菊池雅彦ら：神鋼パンテック技報, Vol.37, No.3 (1993), p.3-6.
- 2) 中尾末貴ら：神鋼環境ソリューション技報, Vol.1, No.1 (2004), p.77-80.
- 3) 中村隆彦ら：神鋼パンテック技報, Vol.45, No.1 (2001), p.33-38.
- 4) 宮内啓隆ら：神鋼環境ソリューション技報, Vol.1, No.1 (2004), p.66-69.
- 5) 多田篤志ら：神鋼環境ソリューション技報, Vol.7, No.1 (2010), p.9-15.

*プロセス機器事業部 技術部 装置設計室 **プロセス機器事業部 技術部 GL 設計室 ***プロセス機器事業部 営業部

大型流動床式ガス化溶融施設の稼働状況（竣工1年目） （相模原市南清掃工場，川越市資源化センター熱回収施設）

The Operation Situation of Large-scale MSW Fluidized Bed Type Gasification and Melting Plant



田中祥起*
Yoshioki Tanaka



黒岡達男*
Tatsuo Kurooka



島倉久範**
Hisanori Shimakura



西野 直***
Tadashi Nishino

当社が設計・施工・試運転を行った，大型流動床式ガス化溶融施設である相模原市南清掃工場と川越市資源化センター熱回収施設が，2010年3月に竣工した。両施設ともに竣工後1年で全系列とも90日以上連続運転を達成し，現在も安定した稼働を継続している。

相模原市南清掃工場は，都市ごみ向けの流動床式ガス化溶融施設では国内で最大である。高効率ごみ発電に加え隣接する施設への熱供給を行い，プラント総合熱効率の向上を図っている。また，鉄・アルミの有効利用に加え，スラグについても JIS 認証を取得し，マテリアルリサイクルの最大化を図っている。さらに，相模原市北清掃工場の焼却灰の混合処理を行うなど多様なごみを安定的に処理している。

川越市資源化センター熱回収施設は，高度排ガス処理システムを採用することにより，排ガス基準として国内でもっとも厳しいダイオキシン類濃度 $0.005 \text{ ng-TEQ/m}^3_{\text{N}}$ 以下を安定的に達成している。

Sagamihara minami MSW incineration plant and Kawagoe city waste treatment and recycling center, after completion of construction, have been turned over on March 2010. Both plants have achieved availability for more than 90 days continuous operation within one year after completion. The Sagamihara which is the largest scale fluidized bed type gasification and melting plant in Japan, has high total heat recovery efficiency by the combination of effective power generation from the boiler and heat supply to the adjoining facility. The generated slag which recognized by JIS standard is effectively material recycled. Moreover, various kind of MSW including bottom ash derived from another plant in Sagamihara is treated in stable on this plant. The Kawagoe plant has severest flue gas DXNs emission regulation of $0.005 \text{ ng-TEQ/m}^3_{\text{N}}$ which achieved in stable by the advanced flue gas cleaning system.

Key Words :

都 市 ご み	Municipal solid waste (MSW)
ガ ス 化 溶 融 炉	Gasification and melting furnace
連 続 運 転	Continuous operation
マテリアルリサイクル	Material recycle
サーマルリサイクル	Thermal recycle

【セールスポイント】

「国内最大」および「国内でもっとも厳しいレベルの排ガス基準に対応」の流動床式ガス化溶融施設が竣工して1年を経過した。両施設ともに竣工後1年で全系列とも90日以上連続運転を達成し、現在も安定した稼働を継続している。また、当社の流動床式ガス化溶融システムは、他のガス化溶融プロセスと異なり、最終処分量の削減とCO₂排出低減を同時に実現できるプロセスであることに加え、他施設の焼却灰の混合処理や高度排ガス処理等、多様なニーズへの対応が可能な柔軟なシステムといえる。

まえがき

国土が狭く、また湿度の高いわが国では、減容化と公衆衛生維持のため都市ごみは主に焼却され、その残さは埋立処分されていた。また、1990年代には、ダイオキシン類をはじめとする有害物質の排出量削減による環境負荷の低減が求められた。さらに、2000年代に入り、循環型社会形成推進基本法が制定され、更なる環境負荷の低減、最終処分量の削減に加え、ごみ焼却施設は熱回収施設と位置付けられCO₂排出量の低減に資するため積極的なエネルギー回収が要求されている。

ガス化溶融システムは、都市ごみのガス化、高温燃焼、溶融処理、熱回収を一貫して行うことが可能である。とくに、流動床式ガス化溶融システムは、ごみの保有するエネルギーを最大限に活用できるため、コークスなどの化石燃料を投入することなく、ガス化・燃焼・溶融処理および排ガスからのエネルギー回収まで一連のプロセスで行えるという特長を有する。つまり、溶融スラグ化による最終処分量の低減と高効率エネルギー回収によるCO₂排出量の低減が同時に実現できるシステムである。

当社は2000年10月の国内初の都市ごみ向け流動床式ガス化溶融施設の竣工をはじめ、12施設（海外、技術供与を含む）の設計・施工・試運転を完了しており、現在2施設を建設中である。2010年には、国内最大の流動床式ガス化溶融施設となる相模原市南清掃工場（施設規模525 t/d（175 t/d × 3 炉））、排ガス中のダイオキシン類濃度基準が国内でもっとも厳しい施設となる川越市資源化センター熱回収施設を竣工させ、現在も安定稼働を継続している。

1. 相模原市南清掃工場

1.1 概要と特長

本施設の概要を表1に、処理フローを図1に示す。

施設の処理能力は525 t/d（175 t/d × 3 炉）で、一般収集ごみの他、相模原市北清掃工場（ストーカー式450 t/d）の焼却灰37.5 t/d（12.5 t/d × 3 炉分）と相模原市東清掃事業所で発生するし渣・脱水汚泥も処理対象として受入れている。

ごみは投入ホップに投入された後、ごみ供給ラインに設けた破碎機で破碎され、給じん装置にて流動床式ガス化炉に定量供給される。北清掃工場から搬入された焼却灰は、他所灰ピットに受入れ、選別装

表1 施設概要

名 称	相模原市南清掃工場	
竣 工	平成22年3月	
処 理 能 力	525 t/d（175 t/d × 3 炉）	
焼却炉形式	流動床式ガス化溶融炉	
発 電 方 式	蒸気タービン発電（最大10 000 kW）	
処 理 対 象	一般ごみ、災害廃棄物（木くず）、焼却灰（主灰）、し渣、脱水汚泥	
主 要 設 備	受入供給設備	ごみクレーン、他所灰クレーン
	燃焼ガス冷却設備	廃熱ボイラ
	排ガス処理設備	バグフィルタ、排ガス洗浄装置、脱硝反応塔
	余 熱 利 用	場内・場外熱供給 （相模原公園内温室、市民健康文化センター）

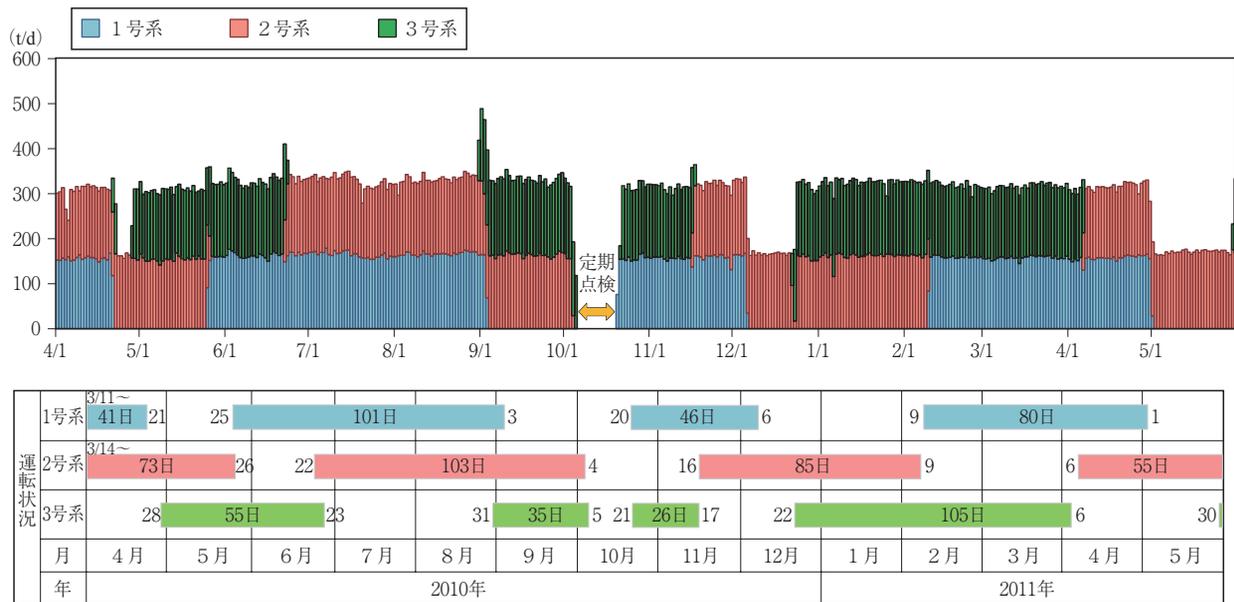


図2 稼働実績

態で回収し金属圧縮機にて各々圧縮成型され、有効利用される。鉄・アルミを回収した後のがれき類は破碎処理後溶融炉に吹き込み、飛灰とともに溶融スラグ化する。

燃焼排ガスは、ボイラおよびエコマイザにて約170℃まで冷却・熱回収される。さらに、減温塔にて160℃に冷却した後、バグフィルタにてばいじん除去、排ガス洗浄装置にて塩化水素、硫酸化物の吸収、脱硝反応塔にて窒素酸化物・ダイオキシン類の分解を行い、煙突から排出される。

ボイラで発生した蒸気は、蒸気タービン（2段抽気復水式）に供給し、発電を行い、余剰電力を電力会社に売電している。抽気した低圧蒸気は隣接する温水プールと温室に供給することでプラント熱効率の向上を図っている。

1.2 稼働状況

図2に2010年4月から2011年5月の各号炉の稼働実績とごみ処理量実績を示す。現在は、ごみの搬入量と計画発電量に合わせ、1炉当たり約150~175 t/dの2炉運転を基本としている（炉の立上げ・立下げ日や、ごみ量調整による計画1炉運転期間は除く）。竣工後の約1年間で、1号系101日、2号系103日、3号系105日の100日を超える連続運転をすでに達成している。

当社独自の給じんシステムの採用によりごみの安定供給ができており助燃量の低減を図っている。2010年度のごみt当たりの助燃使用量は3.6 m³_Nである。なお、相模原市北清掃工場の焼却灰についても

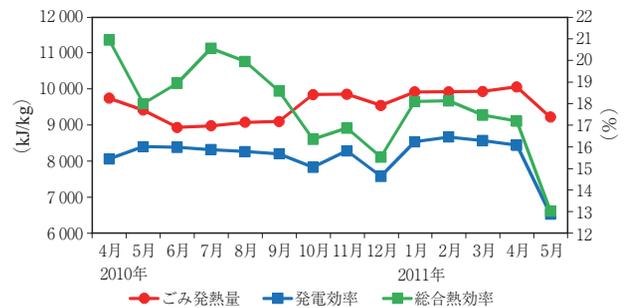


図3 発電効率および総合熱効率

- ※1 10月は定期点検による全炉停止期間が16日間あり。
- ※2 12月は17日間、2011年5月は30日間は1炉運転
- ※3 10月以降は、場外余熱利用施設が一部工事中のため、蒸気供給量が少なくなっている。

全量処理を行っているが、ごみの保有するエネルギーを活用して溶融スラグ化できており、他工場灰の混焼による化石燃料の増加はない。

1.3 高効率ごみ発電・熱供給

図3に2010年4月から2011年5月のごみ発熱量、発電効率、総合熱効率の推移を示す。低温エコマイザの採用と低空気比運転による熱回収効率の向上（87%）、高温高圧ボイラ（蒸気条件4 MPa × 400℃）および抽気復水タービンの採用により、システム効率を向上させることで、高効率ごみ発電を達成している。2炉運転時で、発電効率は16%程度、発電と熱供給を合わせたプラント総合熱効率は約20%となっており、高効率なエネルギー回収を行っている。

一方で、プロセスの省エネルギー性を示すプラント消費電力は、排ガス洗浄装置や飛灰の加熱脱塩素化装置を設置しているにも関わらず、2炉運転時で約200 kWh/ごみtと低い数値となっており、送電効率の向上に寄与している。

1.4 最終処分場負荷低減とスラグ JIS 認証取得¹⁾

スラグは、重金属の溶出、含有量、各種物理性状とも、全て JIS A 5031, 5032 に適合した有効利用可能なものであり、平成23年1月には JIS 認証 (JIS A 5032) を取得した。

本施設では、市内にある北清掃工場の焼却灰を合わせて溶融処理しているが、鉛の含有量および溶出量も JIS 規格値を十分に下回っている (図4)。また、その他の項目もすべて JIS 規格値を満足しており、有効利用が推進され最終処分量の削減に寄与している。

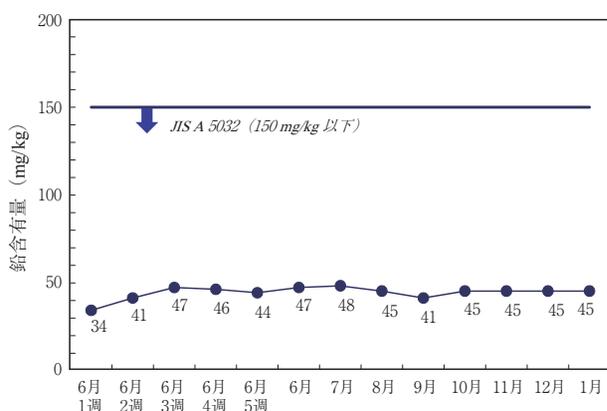


図4 スラグの鉛含有量

2. 川越市資源化センター熱回収施設

2.1 概要と特長

本施設の概要を表2に示す。

施設の処理能力は265 t/d (132.5 t/d × 2炉) で、一般収集ごみの他、リサイクル施設で発生する破碎残渣、可燃残渣、草木類資源化施設で発生する草木類残渣および水害廃棄物も処理対象物として受入れている。

本施設の施設フローを図5に示す。ダブルピット方式を採用しており、受入ごみは二軸式破碎機にて破碎後、破碎ごみピットに貯留される。その後、破碎ごみは、給じんコンベヤ、給じん用二重ダンパおよび給じん装置から構成されるコンパクトな給じんシステムにより、定量的に流動床式ガス化炉へ投入される。ガス化炉に投入されたごみは、ガス化され、発生した熱分解ガスと未燃炭素は溶融炉で1200℃以上の高温で燃焼されるとともに、同伴された飛灰を溶融しスラグとして回収する。ガス化炉底部から抜出された不燃物は、鉄・アルミを回収した後、粉碎処理し溶融炉に吹き込み溶融スラグ化する。ボイラ、減温塔およびバグフィルタで捕集された溶融飛灰は、山元還元処理を行い、溶融飛灰中の有価金属類も回収されている。

燃焼排ガスはテールエンド式ボイラおよびエコノマイザからエネルギー回収し、発生した蒸気を用いて蒸気タービン発電機 (定格4000kW) にて発電を行い、余剰電力を電力会社に売電している。

本施設のもっとも注目すべき特長として、国内でもっとも厳しい排ガス中のダイオキシン類基準 (0.005 ng-TEQ/m³_N 以下) への対応が挙げられる。その基準を達成するため高度排ガス処理システムを

表2 施設概要

施設名称	川越市 資源化センター 熱回収施設	
竣工	平成22年3月	
処理能力	265 t/d (132.5 t/d × 2炉)	
焼却炉形式	流動床式ガス化溶融炉	
発電方式	蒸気タービン発電 (最大4000 kW)	
処理対象	可燃ごみ、破碎可燃、破碎残渣、草木類残渣、水害廃棄物	
主要設備	受入供給設備	ピットアンドクレーン方式
	燃焼ガス冷却設備	廃熱ボイラ+水噴霧方式
	排ガス処理設備	バグフィルタ(1)+排ガス洗浄処理装置+触媒反応塔+バグフィルタ(2)
	余熱利用	場内・場外熱供給

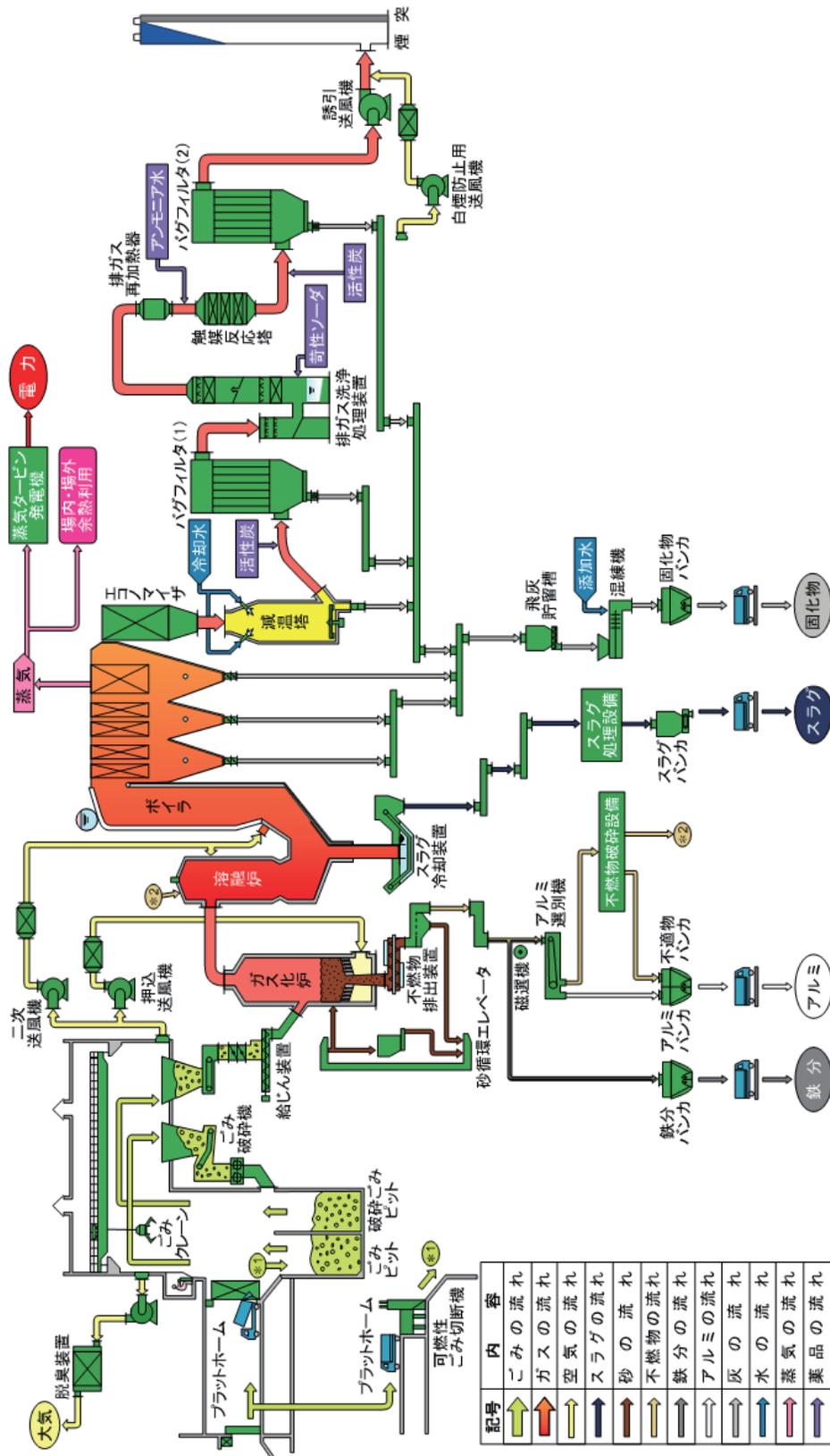


図5 処理フロー

採用している。具体的には排ガスを減温塔で170℃まで冷却し、バグフィルタ(1)にてダイオキシン類およびばいじんを除去、排ガス洗浄処理装置にて塩化水素、硫酸化合物を吸収し、触媒反応塔にて窒素酸化合物およびダイオキシン類の分解を行う。さらにセ

ーフティーネットとして触媒反応塔下流にバグフィルタ(2)を設置している。

2.2 稼働状況

図6に2010年4月から2011年5月の各号炉の稼働実績とごみ処理量実績を示す。両系とも定格処理程

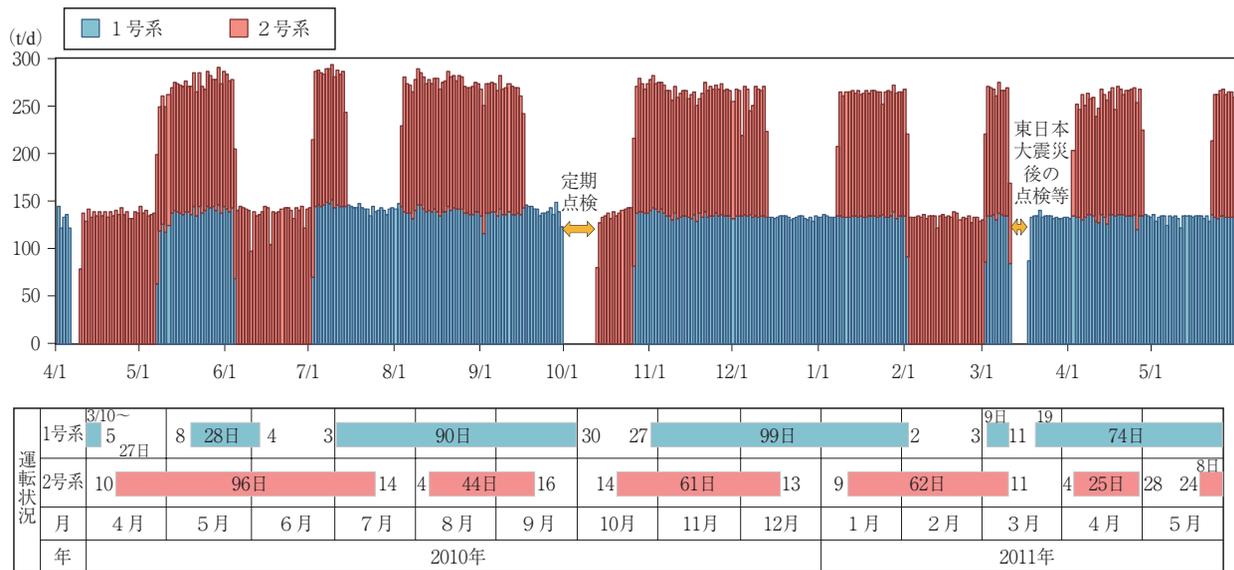


図6 稼働実績

表3 排ガス DXNs 測定結果

自主規制値	測定結果 [ng-TEQ/m ³ _N]			
	1号系		2号系	
	2010年9月	2011年1月	2010年10月	2011年1月
<0.005	0.00000086	0.000015	0.00000094	0.000025

度で安定した運転を実施している。90日連続運転については、竣工後2号系より実施し、続いて1号系を実施した。その後も1号系においては99日連続運転するなど、計画通りの安定した運転ができています。なお、2011年3月11日に発生した東日本大震災後には、安全点検ならびに電力会社による計画停電中の対応を検討し、3月19日には1号系の給じんを再開した。

2.3 排ガス中 DXNs 測定結果

本施設において、2010年度に測定した排ガス中のダイオキシン類濃度測定結果を表3に示す。いずれの結果も安定的に基準値の0.005 ng-TEQ/m³_N以下を十分に満足できており、本施設で採用した排ガス処理システムが十分な機能を発揮していることがわかる。

むすび

相模原市南清掃工場および川越市資源化センター

熱回収施設とともに、竣工後1年で全系列とも90日以上の連続運転を達成し、さらに現在も安定した稼働を継続できており、当社の流動床式ガス化溶融炉の安定性を証明できた。また、相模原市南清掃工場では、ごみの持つエネルギーを最大限に活用し汚泥や他工場灰を安定して混合処理しており、幅広いごみ質に対応可能であることがわかる。以上より、当社の流動床式ガス化溶融システムは、他のガス化溶融プロセスと異なり、最終処分量削減とCO₂排出低減を同時に実現できるプロセスであることに加え、さらに他施設の焼却灰の混合処理や高度排ガス処理等、多様なニーズへの対応が可能な柔軟なシステムといえる。当社はこのガス化溶融技術をさらにブラッシュアップし、循環型社会の形成とCO₂排出量の低減に貢献していく所存である。

【参考文献】

1) 増川幸宏：「産業機械」(産機工発行)，2011年6月号

*環境プラント事業部 第一技術部設備技術室 **環境プラント事業部 第一技術部技術室 ***環境プラント事業部 監理部 芳賀プロジェクト室

(株)神戸製鋼所加古川製鉄所殿向 冷延水処理排水脱塩設備の納入事例

The Reclamation Plant of Cold Mill Wastewater Installed for Kakogawa Works of KOBE STEEL, LTD.



塩田憲明*
Noriaki Shiota
農学博士

当社は、(株)神戸製鋼所加古川製鉄所殿向けに冷延水処理排水脱塩設備を納入した。本設備では、排水中からおもに無機塩類を除去して工業用水レベルの水を回収するためにMF膜とRO膜が適用された。納入後1年にわたる運転で、脱塩率97%以上、処理水導電率は平均2.4 mS/mにまで処理されている。本設備は、鉄鋼排水回収を目的とした膜処理設備としては国内でも最大規模である。

This paper describes the operating results of a newly installed wastewater reclamation plant for Kakogawa Works of KOBE STEEL LTD., Japan. Reverse osmosis (RO) as well as micro filtration (MF) technologies are introduced in the plant. In this system, the purified water with the level of process water quality is recovered by separation from the cold mill wastewater containing high concentration of salt. The plant has been operated for more than one year. The salt rejection rate is more than 97%, resulting that the electric conductivity of permeate shows 2.4 mS/m in average. This facility has the largest scale in wastewater reclamation plants with MF & RO separation system for steel works in Japan.

Key Words :

排 水 回 収	Wastewater reclamation
製 鉄 所	Steel works
精 密 ろ 過	Micro filtration
逆 浸 透	Reverse osmosis

【セールスポイント】

当社の持つ排水回収再利用技術を様々な業種に展開します。

ま え が き

製鉄・鉄鋼業における水の用途は製品や機器の冷却に使われるものがほとんどであり、その他洗浄水や集塵水にも使われている。最近の製鉄所の排水の循環再利用率は非常に高く、放流水として捨てられる水は塩類濃縮を防ぐためのブロー水、もしくは再

利用するには高度な排水処理技術を要する水質レベルの水であると言える。都市圏の事業所では、生産能力を増強するために製造ラインを増設するにも、放流量枠や水質総量規制によって工業用水購入量を増やすことができないなど、水の再利用率を極限まで高める必要がある場合も考えられる。また、地

域によっては温水期に必要な量の工業用水を確保できない事例も見られる。

(株神戸製鋼所加古川製鉄所では、これまでイオン交換式排水脱塩設備を使って冷間圧延（冷延）工場の総合廃水が回収再利用されてきた。冷延廃水は、生産工程および排水処理の過程で各種薬品の添加により塩類濃度が上昇しているため、そのまま循環再利用すると製品の発錆等により品質不良を引き起こす。また、排水には微量の有機物、シリカなども含まれており、再利用するためにはこれらを効率よく除去する必要がある。

今回、既設老朽化に伴う設備更新に際して、当社が新たに膜方式の排水脱塩設備を提案し採用されるに至った。新しい排水脱塩設備は、除濁用の精密ろ過（MF）装置、逆浸透膜（RO）装置から構成されており、塩類濃度の高い原水を脱塩して工業用水レベルの水質を有する回収水を得るには、建設費、運転費ともにイオン交換方式に比べて安価となった。本設備は、鉄鋼排水回収を目的とした膜処理設備としては国内でも最大規模である。

本稿では、現在稼働中の排水脱塩設備の概要と運転状況について報告する。

1. 設備概要

1.1 設備の構成と特徴

冷延廃水には、工場からの酸洗・アルカリ廃水、含油廃水、メッキ廃水などが含まれる。これら総合廃水を中和処理、浮上分離、沈降分離、およびろ過した処理水を本設備の原水として受け入れている。

図1に本設備のフローシートを、写真1に設備の全景を示す。設備は、中心となる膜処理設備に加えて、洗浄設備、薬注設備、廃液処理設備から構成されている。

対象原水を全量脱塩原水槽に受け入れ、そのうちの一部が冷却塔経由で膜処理設備に供給され、残りは脱塩原水槽からのオーバーフローで放流される。膜処理設備では、MF装置により原水中の懸濁成分が除去され、RO装置により原水中の塩類や溶解性有機物が除去される。RO処理水が回収水として所内工業用水本管に圧入されている。またRO濃縮水とMF逆洗排水は、脱塩原水槽からオーバーフローした原水とともに放流される。



写真1 排水脱塩設備全景

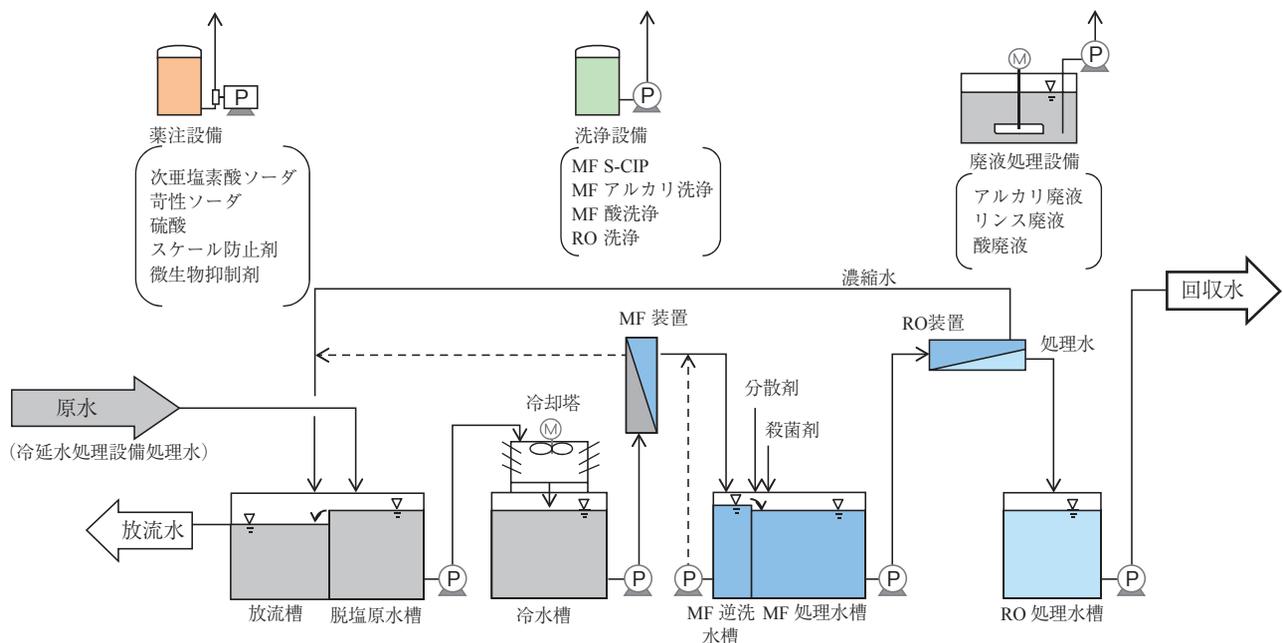


図1 排水脱塩設備フローシート

洗浄設備は、膜を薬品洗浄するための設備であり、薬注設備はその薬品を供給するための設備である。廃液処理設備では、薬品洗浄後の廃液が中和と塩素還元されたのち既設の排水処理設備へと送られる。

1.2 設計条件

本設備の計画受入水量は19 500 m³/dであり、それを処理して得られる計画回収水量は12 000 m³/dである。表1に本設備の設計水質を示す。原水の性状として、酸・アルカリ成分とその中和処理に伴う多量の無機塩類が含まれており、また油分や銅板の表面処理剤に由来する少量の有機物、コロイド状のシリカや鉄などの濁質が含まれる。また、水温が比較的高く、膜の耐熱温度以下に保つためには冷却が必要となる。

表1 設計水質

項目	単位	原水（設計値）		回収水（保証値）
		最大	平均	
pH	-	7.0-8.0		6.1-8.6
SS	mg/L	6	2	≤6
導電率	mS/m	270	152	≤22
TDS	mg/L	2 360	1 192	-
TOC	mg/L	11	3.9	-
COD _{Mn}	mg/L	13	7.9	-
塩化物イオン	mg/L	485	232	-
Ca 硬度	mgCaCO ₃ /L	700	356	-
水温	℃	25-45		≤35

表2 MF装置およびRO装置の仕様

装置名	機器名称	仕様	
MF装置	原水ポンプ	3台（うち1台予備）	
	ストレーナー	バケット式 2基（うち1基予備）	
	MF膜ユニット	膜材質	ポリフッ化ビニリデン（PVDF）
		膜形状	外圧型中空糸
		膜面積	50 m ² /本
		ユニット数	7系列（うち1系列予備）
		ろ過方式	クロスフロー
		運転制御	定流量制御
		洗浄方法・頻度	逆圧水・空気同時洗浄・30分間隔 次亜塩素酸ソーダによる短時間浸漬洗浄・数日間隔
		薬品洗浄	次亜塩素酸ソーダ、苛性ソーダ、硫酸
回収率	90%		
回収RO装置	原水ポンプ	7台（うち1台予備）	
	RO膜ユニット	膜材質	芳香族系ポリアミド
		膜形状	8インチ・低圧スパイラル
		膜面積	37 m ² /本
		ユニット数	7系列（うち1系列予備）
		ろ過方式	クロスフロー
		運転制御	定流量定回収率制御
		薬品注入・頻度	微生物抑制剤、スケール防止剤・常時
		薬品洗浄	苛性ソーダ、硫酸
	回収率	70%	



a) MF 装置



b) RO 装置

写真2 装置外観

1.3 設備仕様

表2にMF装置とRO装置の機器仕様を、写真2にMFおよびRO装置の外観を示す。MF装置は数十本の膜モジュールと自動弁を含むユニット構造としており、薬品洗浄予備1系列を含む7系列が設置されている。MF装置は以下の特長を有している。

- ① 耐薬品性に優れたPVDF製中空糸膜を採用
- ② ろ過安定性の高い外圧型加圧ろ過方式
- ③ 次亜塩素酸ソーダによるS-CIP (Short Chemical Cleaning in Placement) の実施
- ④ 膜の破断を検知するメンブレンテスト機構

一方、RO装置は、数本の膜エレメントをベッセルと呼ばれる圧力容器に収めたものを多数本ツリー状に並べて配管接続するとともに、自動弁を組み込んだユニット構造となっている。並列配置されたベッセルを上下流2段に構成させており、1段目を1stバンク、2段目を2ndバンクと称する。薬品洗浄予備1系列を含む7系列が設置されているRO装置は以下の特徴を有している。

- ① ローファウリング低圧RO膜を採用
- ② ファウリング対策として酸ショック（酸注入による殺菌処理）を採用

加えて本設備の運用面では、工場からの日間排水量の変動に応じて回収水量を任意に変えられる自動制御プログラムを採用している。

2. 運転状況

本設備は、当初MF装置およびRO装置各3系列のみ膜を装填して実排水による試運転に引き続いて操業運転を開始した。残る4系列はその半年後より試運転に引き続いて操業運転を開始し、最終的に最大能力による性能確認を行い、設備引渡しに至った。

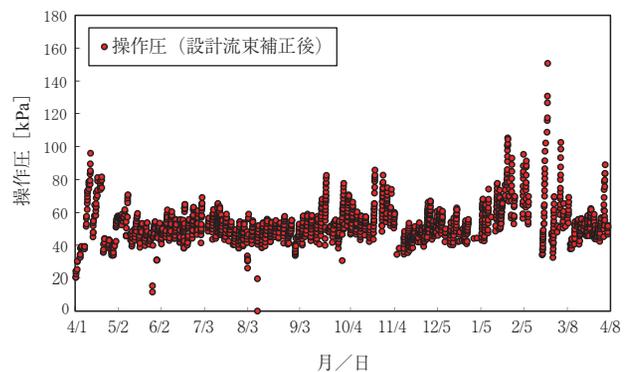


図2 MF装置の運転状況

図2にMF装置の運転データを示す。操作圧力（膜間差圧）は運転開始から1年を経過して50 kPa前後で推移しており、まだ差圧上昇の傾向は見られていない。1～2日おきの差圧ピークはS-CIPによって回復しており、また月単位での大きな差圧ピークは酸・アルカリによる薬品洗浄によって回復していることがわかる。MF処理水の濁度は0.1前後、Fouling Index (FI値)は4.0以下の水質が得られている。

図3にRO装置の運転データを示す。回収率70%の定流量・定回収率運転を行っていることから、冬期は水温の影響で同じ処理水量を得るための操作圧力が上昇し、それに合わせて膜差圧（圧損）も若干上昇している。運用開始後8カ月経過して膜差圧は0.12 MPaから0.18 MPaにまで徐々に上昇しており、特に1stバンクの上昇傾向が見られた。原因として、マンガンやアルミの酸化物と思われる異物が1stバンクモジュール端部（入口）で閉塞していることを確認した。MF装置二次側での酸化物発

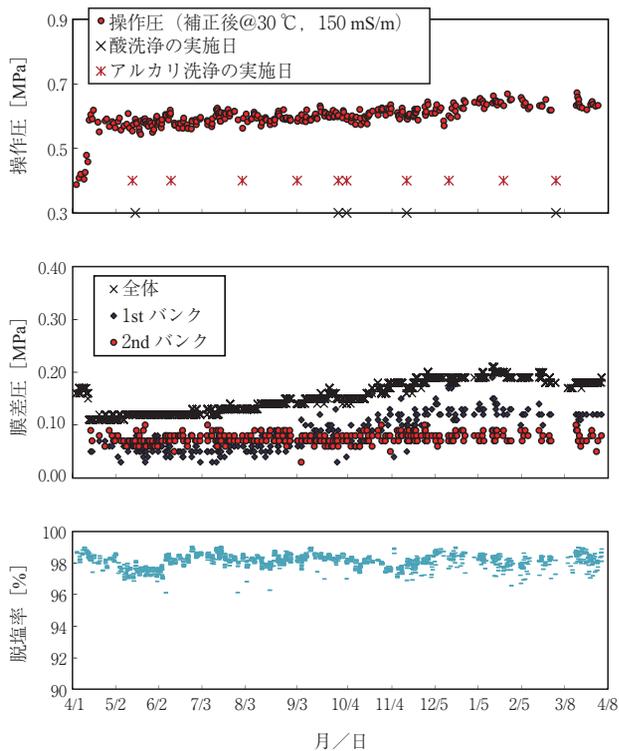


図3 RO装置の運転状況

生抑制と洗浄条件変更などの対策を講じた結果、12月以降膜差圧はほぼ一定となっており、現在その推移を監視しているところである。導電率ベースの脱塩率では97%以上と安定した性能を発揮している。表3に回収水の水質データを示す。回収水の水質は、工業用水と比べてはるかに良好な水質で、導電率は平均2.4 mS/m、最大6.5 mS/mであった。

本設備の運転費を評価するにあたって、週単位で回収水1 m³当りの原単価（電力費+薬品費）を算出している。膜交換費を除いて回収水量当りの原単価は年平均34円/m³で運用されている。今後は、膜のファウリングを抑えて交換寿命を延ばし、トータルの運用コストを下げるための改善提案を行う。

むすび

(株)神戸製鋼所加古川製鉄所殿に納入した排水脱塩

表3 回収水の水質

項目	単位	回収水		備考
		保証値	実測値	
SS	mg/L	≦6	≦1	濁度≦0.3
導電率	mS/m	≦22	≦6.5	
脱塩率	%	-	≧97	導電率ベース
TDS	mg/L	-	≦30	
塩化物イオン	mg/L	-	≦13	
Ca 硬度	mgCaCO ₃ /L	-	≦2	

設備について、その設備概要と運転状況を報告した。

日本では工業用水単価に比べて、本方式の造水単価（膜交換費、設備償却を含む）がまだ高いというのが技術的課題であるが、海外では水源の不足により良質で安価な工業用水を入手できない地域も多いため、そのような国では排水処理設備とパッケージで提案することになると思われる。また、小規模でも放流先が下水道である場合には、回収再利用することで経済メリットが出る場合がある。今後は技術の進歩と相まって造水単価が下がり、排水の回収再利用の需要が広がってゆくものと期待される。

当社では、すでに液晶パネル工場や半導体工場での排水回収システム¹⁾、あるいは下水二次処理水の再利用技術²⁾として膜処理設備の納入実績を有している。これら実績の運用ノウハウを活用して、最適なアドバイスを提示することが可能である。

最後に、本設備の建設、試運転に多大なご協力をいただいた(株)神戸製鋼所加古川製鉄所 動力技術室ならびに用水室の関係各位に深く感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 西澤昭彦, 秋吉栄宏: 神鋼パンテック技報, Vol.46, No.2 (2003), p.18-22.
- 2) 細谷仁人, 池田進吾: 神鋼環境ソリューション技報, Vol.7, No.1 (2010), p.16-22.

*水処理事業部 技術部技術室

兵庫西流域下水汚泥広域処理場 下水汚泥溶融設備

1. 設備概要

本設備は、兵庫県姫路市の「兵庫西流域下水汚泥広域処理場」に建設された下水汚泥溶融設備である。

当該処理場は、兵庫県が事業主体となり、播磨地域各自治体の公共下水道から発生する汚泥を流域下水道の汚泥と集約し、処理を行っている。

処理される汚泥中には、高濃度のクロムが含まれており、処理後の最終生成物から有害な六価クロムを溶出させないことが求められているが、「抑制燃焼+二次燃焼室+巡回灰溶融炉」方式により、スラグからの溶出をなくし安定操業を継続している。

2. 処理設備

2.1 処理能力および対象物

処理能力は、脱水ケーキ145 t/d × 2系列、運転時間は24時間/dである。処理対象物は、場内で処理される汚泥、他処理場で処理され処理場に搬入される汚泥、し渣および沈砂である。

2.2 処理の流れ

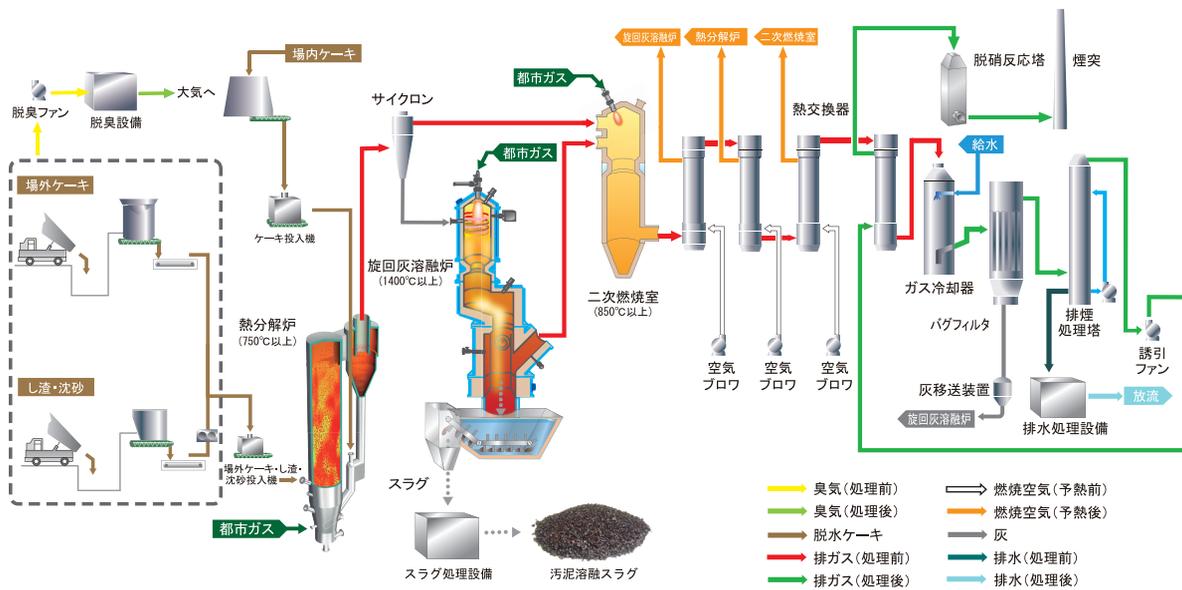
汚泥は、熱分解炉で焼却され灰化される。この時、抑制燃焼により六価クロムの生成を抑制している。熱分解炉で生成された灰は巡回灰溶融炉で1400℃以上の高温下で溶融されスラグとなる。熱



分解炉より排出される未燃分を含む排ガスは、二次燃焼室で完全燃焼させた後、熱交換器、排ガス処理装置を経てクリーンな排ガスとなり、煙突より排出される。

3. 稼働状況

1系列目が2010年4月より、続いて2系列目が2011年4月より操業を開始しており、順調に稼働を続けている。また、抑制燃焼+二次燃焼室の二段燃焼システムにより、二酸化炭素の310倍の温室効果がある一酸化二窒素について、従来炉と比較して80%以上の大幅な削減効果があることも確認されている。



北海道 PCB 廃棄物処理施設 増設施設 (プラズマ溶融分解処理施設)

1. 施設概要

本施設は、北海道南西部に位置する室蘭市の PCB 廃棄物処理施設（以下当初処理施設）の敷地内に PCB 汚染物等処理施設を増設するものである。当初処理施設は高圧トランス、コンデンサ、PCB 油類を洗浄、分離、分解処理を行う施設で、2008年5月より処理を開始している。PCB 汚染物等とは感圧複写紙、汚泥等の PCB 汚染物および安定器を含む小型電気機器をいう。本施設は、当初処理施設では処理できない PCB 汚染物等、あらゆるものをプラズマ溶融分解し、無害化処理する施設である。プラズマ溶融分解処理は北九州 PCB 廃棄物処理施設にて2009年7月より処理を開始した実績のある処理方法である。

日本環境安全事業(株)より2010年12月に受注し、工期は2013年5月31日までの契約である。北海道、青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、新潟県、富山県、石川県、福井県、山梨県、および長野県の1道15県の

区域内にある PCB 廃棄物を対象とし当初処理施設とは別途処理を行う事業である。

本施設の特徴は以下の点である。

- ① 多種多様な PCB 汚染物等をドラム缶またはペール缶に封入し、容器ごと一括処理する。
- ② 15 000 ℃ 以上の高温プラズマと1 200 ℃ 以上の溶融浴の相乗効果により PCB を分解、無害化する。
- ③ 恒温チャンバにて排気を1 200℃、2秒以上の滞留時間を確保し、排気中の PCB を確実に分解する。

2. 処理設備

2.1 処理能力および処理対象物

処理対象物は小型電気機器、安定器、感圧複写紙、ウエス、汚泥、その他の PCB 汚染物、運転廃棄物、撤去廃棄物である。処理能力は安定器単独処理時で2.4 t / (d・系) × 2系列の4.8 t/d である。

2.2 処理の流れ

受入および前処理工程にて、PCB 汚染物の外観



処理施設の外形予想図（左：増設施設，右：当初処理施設）

検査後、容器（ドラム缶等）に詰替えを行う。

続いて、プラズマ溶融分解工程では、PCB 汚染物を容器ごとプラズマ溶融分解炉へ投入し、高温のプラズマアーク（15000℃以上）と溶融スラグ浴（1200℃以上）の相乗効果によって効率よく溶融分解される。このとき PCB を含む有機物は、二酸化炭素、水蒸気、塩化水素に分解される。この排気を恒温チャンバで1200℃、2秒以上滞留させ PCB の確実な分解を図る。また、無機質はスラグとして排出される。

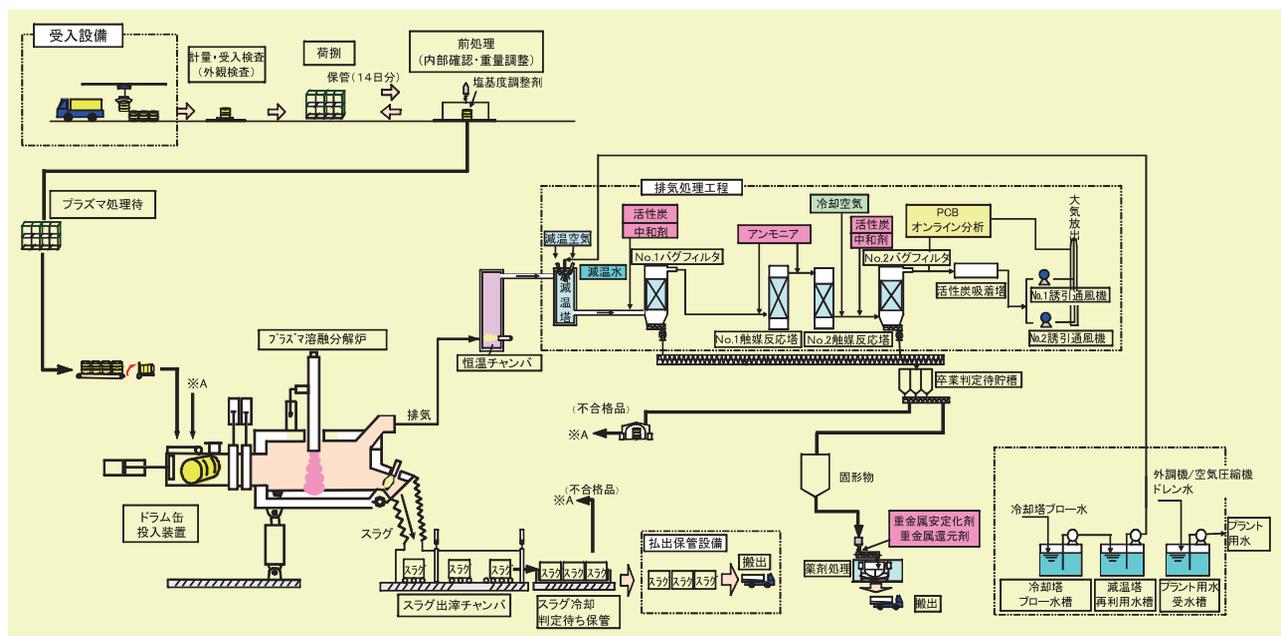
その後、排気処理工程では減温塔、バグフィルタ、

触媒反応塔によって、ダイオキシン類、塩化水素、いおう酸化物、窒素酸化物を分解または除去する。

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

むすび

本施設は北九州のプラズマ溶融分解処理施設の経験を活かして、性能を改善するだけでなく建設コストの低減も図れたと自負している。本案件を通じて、日本の PCB 処理の一刻も早い完了に寄与して行きたい。



PCB 汚染物等処理施設フロー

回転型ろ過乾燥機「RFD」大型モデルの製作

～医薬・ファインケミカル向けろ過乾燥機～

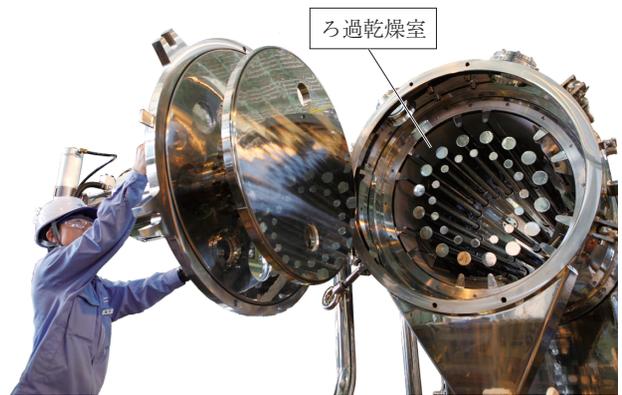
当社は医薬・ファインケミカル分野に多機能ろ過乾燥機フィルタードライヤーをはじめとして顧客ニーズに合ったさまざまな型式のろ過乾燥機を提供してきました。

このたび、当社が販売しているろ過乾燥機の中で、もっとも高効率であり、機器洗浄性に優れた回転型ろ過乾燥機「RFD」の最大モデルである RFD-1000 を製作し、スケールアップ検証を終えました。

国内で加速する高純度化、高付加価値化のニーズに対し、「RFD」はラボ機から大型生産機までのラインナップで受注拡大が期待されます。

主な仕様および寸法	
型式	RFD-1000
ケーキ容量 [Lt]	250
ろ過乾燥室内径 [mm]	1000
ろ過面積 [m ²]	2.51
伝熱面積 [m ²]	2.28
ろ過方式	加圧ろ過
乾燥方式	間接加熱式真空乾燥

品替時ろ過乾燥室の洗浄確認が容易にできます。



回転型ろ過乾燥機「RFD-1000」

本 社 / 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78 ☎ (078)232-8018 FAX(078)232-8051
技術研究所 / 〒651-2241 神戸市西区室谷1丁目1-4 ☎ (078)992-6500 FAX(078)997-0550
東京支社 / 〒141-8688 東京都品川区北品川5丁目9-12(ONビル) ☎ (03)5739-5800 FAX(03)5739-5821
大阪支社 / 〒541-8536 大阪市中央区備後町4丁目1-3(御堂筋三井ビル) ☎ (06)6206-6751 FAX(06)6206-6760
九州支社 / 〒812-0012 福岡市博多区博多駅中央街1-1(新幹線博多ビル) ☎ (092)474-6565 FAX(092)441-4440
北海道支店 / 〒060-0004 札幌市中央区北四条西5丁目1-3(日本生命北門館ビル) ☎ (011)241-4647 FAX(011)241-5759
東北支店 / 〒980-0811 仙台市青葉区一番町1丁目2-25(仙台NSビル) ☎ (022)716-6651 FAX(022)263-2049
名古屋支店 / 〒451-0045 名古屋市西区名駅2丁目27-8(名古屋プライムセントラルタワー) ☎ (052)581-9876 FAX(052)563-2313
中国支店 / 〒730-0013 広島市中区八丁堀16-11(日本生命広島第二ビル) ☎ (082)511-3210 FAX(082)211-2451
播磨製作所 / 〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島19 ☎ (079)436-2500 FAX(079)436-2506
ツェッセルドイツ事務所 / Berliner Allee 55, 40212 Düsseldorf Germany ☎ +49-211-7792-0430 FAX+49-211-7792-0450

KOBELCO ECO-SOLUTIONS VIETNAM CO., LTD. /

9th Floor, Minh Long Tower, 17 Ba Huyen Thanh Quan Street, District 3, Ho Chi Minh City, Vietnam

☎+84-8-3933-0646 FAX+84-8-3933-0622

神鋼環境ソリューション技報 2011年度 Vol.8 No.1 通巻15号

《本社》株式会社神鋼環境ソリューション 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78

《編集発行》〒651-2241 神戸市西区室谷1丁目1-4 株式会社神鋼環境ソリューション 商品市場・技術開発センター（神鋼環境ソリューション技報編集委員会）

☎ (078) 992-6527 FAX (078) 992-6504 <http://www.kobelco-eco.co.jp>

《編集委員》編集委員長/浄弘明彦 副編集委員長/坂田和昭 委員/小倉賢藏・桑田康男・豊久志朗・田頭成能・松本雅彦・斉藤正男・水口弘幸・古田覚士・菊池雅彦・大朝 功

《発行》2011年7月15日印刷 2011年8月1日発行 年2回発行《禁無断転載》《発行人》横山英樹《印刷所》中村印刷株式会社



 神鋼環境ソリューション

この用紙は、パルプを漂白するときに塩素ガスを使わない「無塩素漂白 (ECF)」という方法で作られています。