



神鋼環境ソリューション 技報

Vol.15 No.1 (通巻29号)

KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS

目次	CONTENTS
1 <巻頭言> 持続可能社会の実現に向けた「予測」の重要性	
2 水素社会到来に向けた HHOG [®] 開発の取り組み	Approach to Technical Development of High-purity Hydrogen and Oxygen Generator (HHOG [®]) towards Arrival of Hydrogen-based Society
10 スラリー対応型薄膜蒸発機の検討	Development of Wiped Film Evaporator for Slurry
14 サウジアラビア工業団地向け排水再生システム (NEDO 実証事業)	Demonstration Project at MODON Dammam 1st Industrial City of The Kingdom of Saudi Arabia Wastewater Reclamation Plant
20 省エネ機器とアンモニア制御による低動力反応タンクシステムの性能実証	Performance Demonstration of Low-Energy Reaction Tank System with Energy-saving Equipment and NH ₄ -Based Aeration Control
29 TOPICS	
32 登録特許一覧	

持続可能社会の実現に向けた「予測」の重要性



東北大学大学院 工学研究科
電気エネルギーシステム専攻

教授 津田 理

Makoto Tsuda

東北地方太平洋沖地震での津波、西日本豪雨と、人間は、自然の力の前では無力である。このため、自然の猛威を軽んじてはいけないことは、誰しもがわかっていることであるが、今回の西日本豪雨では、避難指示が出ているにもかかわらず、正常性バイアスが働き、対応が遅れた人が少なくなかった。日常生活では、色々な場面で予期せぬことが起きるものであるが、そのような時でも迷うことなく即座に行動に移せるようになるには、日頃から「予測」をしておく必要がある。なお、ここで言う「予測」とは、単に「事前に予想すること」ではなく、「事前に予想して、即座に行動に移せるように備えること」を意味している。団地内で車を運転しているときに子供が飛び出してくることがあるが、これを「予測」できていないと、対応が遅れて事故になりやすい。でも、「次の瞬間、子供が飛び出してくるかもしれない」と「予測」できていれば、自ずとスピードが落ち、事故を回避することができる。

しかし、この「予測」は、目先のことよりも先々のことに対して行うことに意味がある。1990年代、米国では、大型マーケットの建設による地元商店街の崩壊が問題となっていた。大型マーケットが建設されれば便利にはなるが、地元商店街は閉店に追込まれ、その後の景気変動等により大型マーケットが閉店すると、近所で買い物ができなくなるためである。このように、多くの人々に影響を及ぼす問題ほど、目先の損得にとらわれず、より長期的な視点に基づいて「予測」することが重要になる。

日本のエネルギー自給率は、2015年時点で7%程度である。この数字の深刻さを、どれくらいの人々が認識できているであろうか？ 将来、化石燃料が枯渇したとき、どこからエネルギーを得ることになるのか、どのような生活になるのか、を今から「予測」しておく必要がある。日本は島国であるため、海外からのエネルギー調達には、電気や水素のような二次エネルギーの活用が不可欠であるが、今後は、太陽エネルギーが、電力や水素の主なエネルギー源になり、太陽エネルギーを用いた水素生成では、「水電解技術」が鍵を握ると考えられる。水素が二次エネルギーの主力となるまでには、まだまだ時間を要するが、基盤技術の確立には多くの時間を要するため、目先の損得にとらわれず、次世代の持続可能社会実現のために、今から「予測」をしておくことが重要である。この「予測」を行うための「勇気」と「決断力」と「行動力」が、今、まさに、求められている。

水素社会到来に向けた HHOG[®]開発の取組み

Approach to Technical Development of High-purity Hydrogen and Oxygen Generator (HHOG[®]) towards Arrival of Hydrogen-based Society



石井 豊*
Yutaka Ishii



中尾末貴*
Sueki Nakao

当社は、水素社会の到来を見据え、高純度水素（酸素）発生装置「HHOG」の技術開発に取り組んでいる。水素を利活用する際、水素製造コスト低減が求められるため、水素発生装置のイニシャルコスト低減や装置ダウンサイジングによる設置スペースの低減、水素製造効率の向上などの技術開発が重要である。当社はこれらを重点項目として位置づけ、国の研究開発プロジェクトへ参画するなどして技術開発を進めている。その成果の1つとして、システム構成や機器の仕様見直しなどにより、従来の商用機に比べ約30%のイニシャルコスト低減、また設置スペースに関しては設置面積比で従来の約20%の低減の可能性を見出した（いずれも水素発生量60 Nm³/h 装置ベース）。また、消費電力を従来に比べ約10%低く抑えた電気分解モジュールの採用により、水素製造効率を向上できる目途を得た。

We have advanced the technical development of “HHOG” (High-purity Hydrogen and Oxygen Generator) while staying focused on the arrival of a hydrogen-based society. As the reduction of hydrogen production cost is required in its utilization, it is important to develop technologies to reduce its initial cost and installation area through downsizing as well as technologies to increase its production efficiency. We have positioned these development items as priority issues, and we are promoting them by participating in national projects. As one of the achievements, through reviewing system configurations and equipment specifications, we have found the potential to reduce initial cost by about 30 % and installation area by about 20 % compared with conventional HHOG (all with base output capacity: 60 Nm³/h). Also, we have recognized the potential to increase hydrogen production efficiency by adopting an improved electrolysis module that has about 10 % lower power consumption than conventional ones.

Key Words :

水素発生装置	Hydrogen generator
水電解	Water electrolysis
固体高分子電解質膜 (PEM)	Polymer electrolyte membrane
水素社会	Hydrogen-based society
再生可能エネルギー	Renewable energy
水素ステーション	Hydrogen refueling station
低炭素化	Low-carbon

【セールスポイント】

- ・ 99.999 % 以上の高純度水素ガスを簡単な操作で供給可能。
- ・ 原料は純水であり、危険な化学物質、薬品などを使用しないこと、装置内の水素保有量が少ないことから安全性が高い。
- ・ 国内外における HHOG の納入実績は約170台（2018年3月末時点）であり、固体高分子電解質膜による水電解式水素発生装置として国内トップシェアを有する。
- ・ 従来の工業用に加え、水素エネルギー、再生可能エネルギーなどの利用分野にも適用されている。

まえがき

当社の高純度水素発生装置（以下、HHOG）は、簡易な操作で高純度の水素を供給できる。HHOG は安全性が高いことなどが評価され、国内外に約170台の納入実績があり（2018年3月現在）、当社は固体高分子電解質膜（以下、PEM）を用いた水電解式水素発生装置メーカーとして国内でトップシェアを有している。HHOG は、工業用途の水素発生装置として一定の評価をいただいているが、水素社会実現に向け拡大しつつあるエネルギー活用分野においては、さらなるイニシャルコストの低減、ダウンサイジングなどが求められている。また、これらは工業用途の水素発生装置にも共通して求められる事項でもあることから、これらのニーズに応えるための HHOG の技術開発に取り組むこととした。本稿ではその取り組みの成果を紹介する。

1. HHOG の概要¹⁾

当社の HHOG は PEM を用いた純水による水電解方式を採用している。このため、発生水素の純度は 99.999 % 以上であり、高純度の水素ガスを製造、供給可能である。

また、高圧ガス保安法などの法規に該当しないこと、ボンベのように空容器の交換作業の手間が不要で、その際の不純物混入のリスクがないことなどの特長も有する。HHOG はオンサイトで水素製造が可能であることから、工業用途で利用されるほか、再生可能エネルギー（以下、再エネ）などのような変動電源を用いた水素製造などの実証試験にも採用されている。以下にその実証の一例について概説しつつ、その成果を紹介する。

2. 環境省実証事業²⁾

2.1 目的

水素社会構築のための政策的な指標である「水素・燃料電池戦略ロードマップ」³⁾では、第一段階の目標として水素利用を飛躍的に拡大することを掲げており、燃料電池自動車（以下、FCV）がその役割の一翼を担うことが期待されている。FCV 普及のために

はインフラとして水素ステーションの整備が必要であり、同ロードマップの中では2020年度までに160カ所程度、2025年度までに320カ所程度という目標が掲げられている。現在、国内で流通している水素の大部分は化石燃料由来のものであり、その一部が水素ステーションにおいても利用されている。化石燃料由来の水素は製造時に CO₂ の排出を伴うが、同ロードマップでは2040年頃にトータルでの CO₂ フリー水素供給システムを確立することが目標として掲げられるなど、CO₂ の排出量を抑制した水素の製造に段階的に変えていくことが求められている。

水素ステーションにおける低炭素化を促進する一つの方法として、化石燃料由来の水素に再エネ由来の水素を一部混合することが考えられる。このため、再エネを利用し水電解により製造する水素（以下、再エネ水素）を活用する水素ステーション用のシステムの製作、運用等に関する課題を抽出し、解決するために、当社は（株）神戸製鋼所、（株）神鋼エンジニアリング&メンテナンスと共同で、環境省実証事業の制度を活用した再エネ由来の水素を利用する水素ステーション関連技術の開発・実証に取り組んだ（事業名称：CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「中規模（1.5 kg/h 程度）の高圧水素を製造する再エネ由来水素ステーション関連技術の開発・実証」）。当社は HHOG 部分を担当し、イニシャルコスト低減、ダウンサイジングの実現をふまえた実証用 HHOG の設計、製作および実証運転における技術的な検証を行った。

2.2 実証用 HHOG の設計、製作

実証用 HHOG の仕様を表 1 に、外観を写真 1 に示す。イニシャルコスト低減とダウンサイジングを図るために、装置フローの簡略化を検討し、設計に反映した。また、水素ステーションの建設では建屋面積の最小化による費用抑制が求められることから、設備は可能な限り屋外に設置することが望ましいため、屋外設置が可能な筐体構造とした。

可燃性ガスである水素を装置内に保有するという

表1 実証用 HHOG の仕様

項目	仕様
水素発生量	約20 Nm ³ /h
水素ガス純度	99.999 %以上
水素供給圧力	約0.82 MPa
水素ガス露点	-70℃以下 (大気圧露点)
筐体寸法 (概寸)	長さ: 約4 600 mm 幅: 約2 000 mm 高さ: 約2 200 mm
その他	屋外使用 (風雨, 塩害対策など)



写真1 実証用 HHOG の外観

リスクに対しては、その保有量の最小化、水素の漏洩対策を反映した装置設計や出荷前の製品検査による漏洩リスクの低減、および漏洩時のインターロック対策を講じている。また、筐体構造の場合は内部で万一水素が漏洩した場合、水素が滞留し高濃度雰囲気形成されるリスクが高まる。そのため、筐体内を換気しながら筐体内部の水素濃度を常時監視することで、設備の安全性を確保できる仕様としている。

太陽光発電や風力発電などの再エネ由来の電力を水電解用の電源として利用する場合は、電力の変動に対応するための装置構成が必要となる。今回の実証設備では太陽光発電を模擬した電力と系統電力のいずれか一方、あるいはそれらを混合した電力を利用して、再エネ由来の変動電力を再現した運転条件での水素製造の実証を行うために、図1に示す電源供給回路を採用した。

それらの要素を反映した実証用 HHOG を (株) 神戸製鋼所高砂製作所に納入した。同製作所に既設

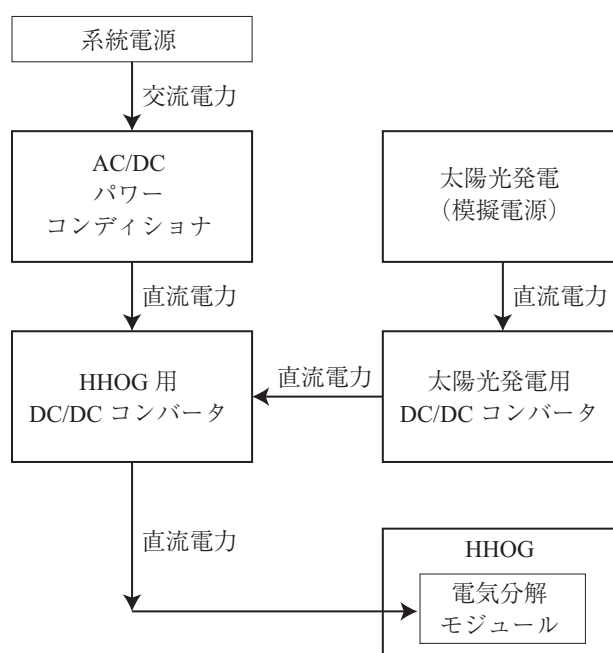


図1 実証用 HHOG への電力供給回路

の実証用水素ステーション設備に連結設置された後に、同設備と連携した実証運転を開始した。

2.3 実証内容および結果

2.3.1 HHOG の適用性の検証

再エネ水素ステーション (以下、再エネ ST) 実証設備全体の概略フローを図2に示す。

再エネ ST 実証設備は、既設の水素ステーション部分と、今回新たに設置した再エネ水素設備部分とで構成され、後者は HHOG と、その発生水素を水素ステーション部分に供給する役割を担う中間ユニットにより構成される。既設の水素ステーションの FCV への水素充填能力は最大で300 Nm³/h であり、ここに HHOG より得られる20 Nm³/h の再エネ水素を混合した場合、再エネ水素の比率は6%程度となる。ただし、FCV 黎明期における FCV への水素充填頻度は少なく、3時間に1台程度と仮定した場合は全量を再エネ水素で賄えるため、実用性が高いシステム構成であると考えられる。

HHOG から供給された水素は一時的に水素バッファタンクに貯留された後に中間水素圧縮機で昇圧され、中間蓄圧器に充填貯蔵される。蓄圧器内の圧力が規定範囲内となるように間欠的に中間水素圧縮機が稼働する。

HHOG と中間水素圧縮機および周辺機器 (以下、中間ユニット) との連携性の良否に関しては、中間水素圧縮機の起動・停止などの影響を受けずに HHOG の運転状態が安定し、定格性能を発揮でき

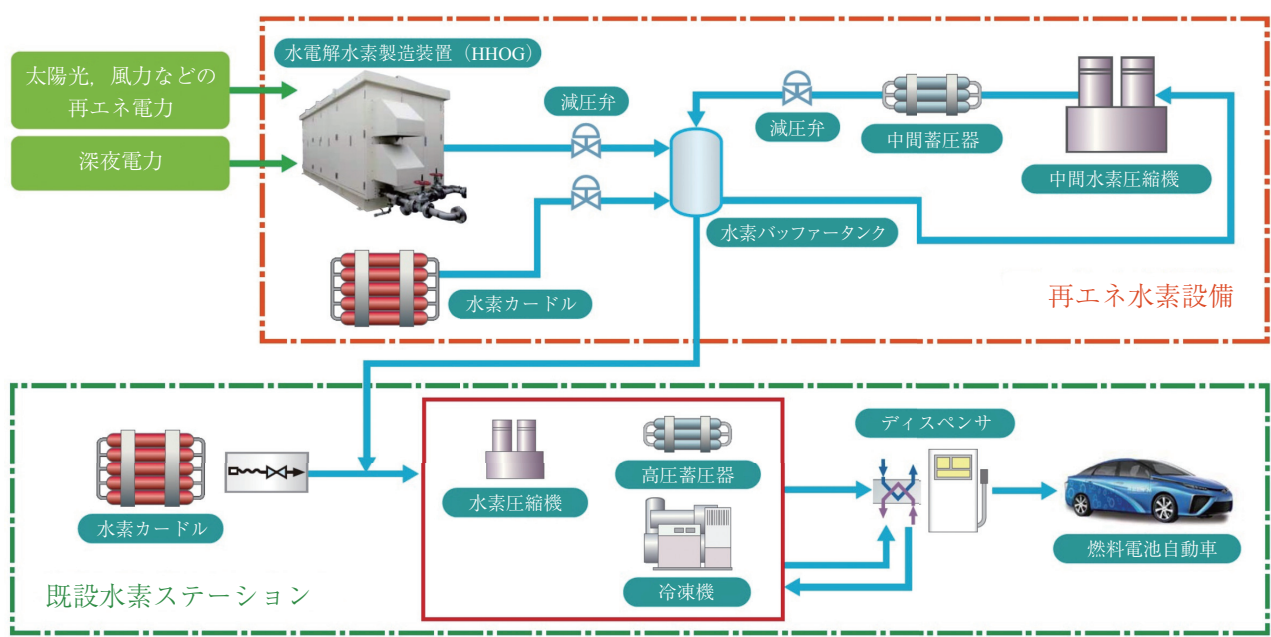


図2 実証設備全体の概略フロー

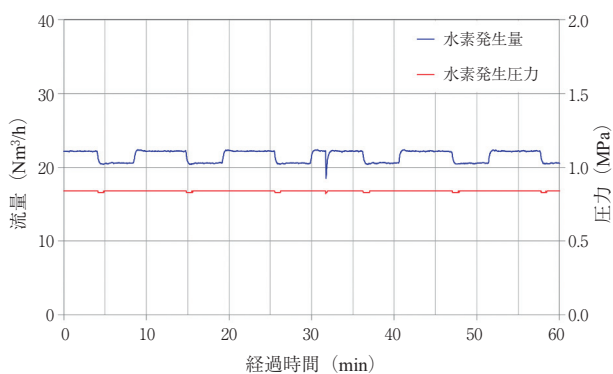


図3 系統電源を用いた場合のHHOGの運転状態

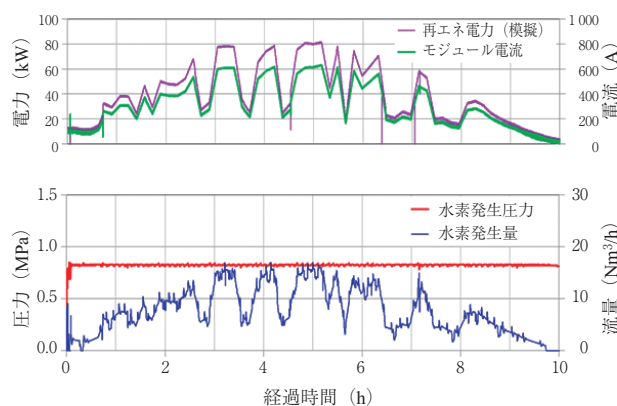


図4 太陽光模擬電源を用いた場合のHHOGの運転状態
(夏季・曇天時を想定した運転)

ることを判断基準と定め、実証においてその確認を行った。

中間ユニットとの連携運転時におけるHHOGの水素発生量と水素発生圧力の経時変化を、それぞれ図3、4に示す。図3は系統電源の利用時の運転データであり、水素供給量は定格値である $20 \text{ Nm}^3/\text{h}$ を常時上回り、圧力の安定性も確認できた。また、再生エネ利用を想定した運転では、夏季、中間季、および冬季のそれぞれについて、晴天、曇天、雨天時の各条件により実証設備の運転を行った。各条件の中で電力の変動が比較的大きい夏季曇天時における運転データを図4に示す。水素発生量が電力の変動に追従して変化する一方で圧力は安定していることなどから、HHOGと中間ユニットとの連携性、再生エネとの連携性はそれぞれ良好と判断できる結果が得られた。

2.3.2 設備の耐久性の検証

再生エネSTにおけるHHOGの耐久性に関して、本実証ではHHOGの電気分解モジュールの状態変化に着目して評価を行った。電解電圧の上昇については1000時間あたりの変化率が初期値の1%以下であることを許容値と規定し、検証を行った。本実証期間中に積算で約780時間のHHOGの運転を行っており、その間に約400回の設備の起動・停止が含まれている。この運転における電解電圧の上昇は許容値以下であった。また、発生ガスの純度の点でも特に異常は認められなかった。HHOGの各構成機器に関しても本実証において異常な消耗等は発生しておらず、従来型HHOGと同等の耐久性を見通せる結果が得られた。

2.3.3 イニシャルコスト低減およびダウンサイジングの検討

本実証における検証により、イニシャルコスト低減に適用可能なコストダウン項目をいくつか抽出した。電気分解モジュールに関しては、電流密度を当社従来比の1.4倍程度に高めることが可能であることを当社内での試験で確認しており、その電流密度向上の効果により電気分解モジュールを構成する部品の数を約30%低減することが可能となる。さらに、構成部材の仕様見直しにより部材コストを低減可能であることも確認しており、部品数量低減と部品の仕様最適化の両面でコスト低減が可能となる。

また、並行して装置フローの簡素化による装置コ

ストダウンについても検討を進めた。従来は、電気分解モジュール保護のために水素圧力と酸素圧力の差圧を基準の範囲内に保つ必要があり、これを維持するために酸素の圧力制御機器を備えていたため、装置フローが複雑となりコストアップの要因になっていた。今回の実証では差圧の維持が不要な構造を有する電気分解モジュールを採用し、差圧制御なしで装置が運転可能であることの検証を行った。実証の結果、水素側の圧力を0.85 MPa、酸素側の圧力を大気圧として差圧0.85 MPaの状態での運転が可能であることを確認した。差圧制御が不要となることから、従来備えていた酸素分離タンク、補給水ポンプおよびその他の付属機器を削減し、装置フローを簡素化することが可能となった（図5、6）。また、

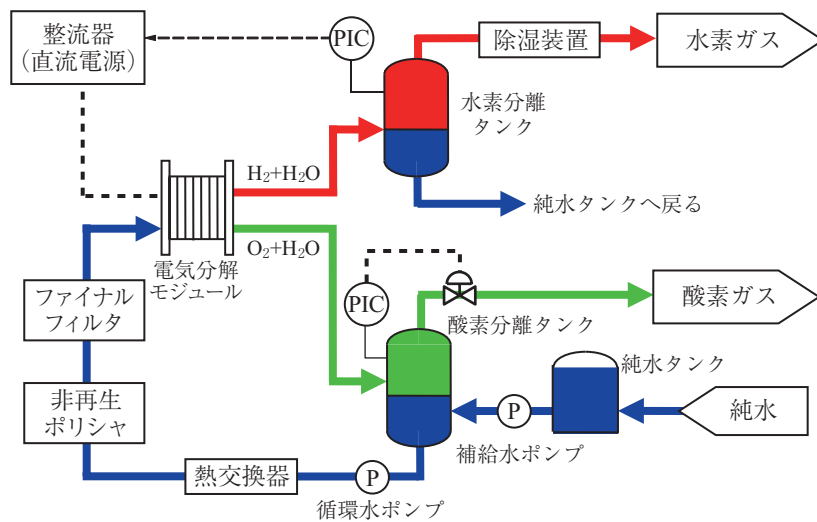


図5 HHOGの概略フロー（従来機）

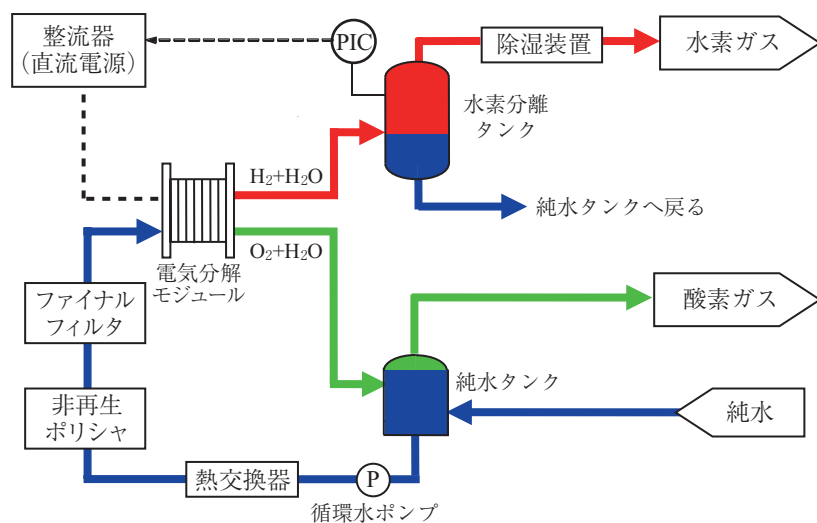


図6 HHOGの概略フロー（簡素化後）

非再生ポリシャ、水素分離タンク、純水タンクなど容器類の減容化も図り、いずれもイニシャルコスト低減に寄与することを確認した。

これらのコストダウン項目を、水素発生量が60 Nm³/h 級の装置に適用した場合、装置コストについて当社従来機比で30 %程度の低減が可能という試算結果が得られた。

また、ダウンサイジングに関しては、上記の各項目の適用に加え、配管サイズの見直しと機器配置の最適化を図ることにより、水素発生量60 Nm³/h 級の装置の場合で、従来機に比べ設置面積比で約20 %低減できる目途が本実証を通じて得られた。

一方、消費電力の低減を図った当社開発の電気分解モジュールを今回の実証用 HHOG へ搭載し、電解性能の確認を行った。その結果、従来機に比べ約10 %消費電力が低減することを確認し、水素製造効率の向上へ寄与できることが判った。

2.4 今後の展開

本事業を通じ、水素ステーション用途の HHOG を設計・製作し、実証試験を行うことで、既設水素ステーションと HHOG の連携などを確認し、その適用性を見出し、技術的な知見を蓄積できた。今後はこの成果を活かした水素ステーション向けシステムの提案などを行っていききたい。

また、イニシャルコスト低減とダウンサイジングなどに関して得られた成果は、HHOG 標準機の設計に順次反映していく。

3. NEDO 実証事業

3.1 背景

当社は2014年度より、新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）の「水素社会構築技術開発事業／水素エネルギーシステム技術開発／非常用電源機能を有する再生可能エネルギー出力変動補償用電力・水素複合エネルギー貯蔵システムの研究開発」に参画している。当社は、NEDO からの委託先である東北大学より再委託を受け、水素製造技術に関する研究開発を担当している。

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う停電発生の際、仙台市茂庭浄水場では24時間の停電に対応可能な非常用発電機に切り替わったが、停電時間が想定より24時間を大きく上回り、物流遮断などの影響で発電機の燃料確保が困難となり、浄水場の機能維持に大変苦慮した状況となった。このような状況を受け、東北大学は災害発生などの非常時でも浄水場の機能を維持可能なシステムを提案し、仙台市水道局の協力のもと茂庭浄水場にて再エネ由来

の電力と水素を組合せた「電力・水素複合エネルギー貯蔵システム」（以下、本システム）の有効性を検証することとなった⁴⁾。

3.2 目的

今回の実証試験では、太陽光由来の変動電源を HHOG の電気分解モジュールに供給して水素製造を行った。工業用途の装置の運転に利用する安定な商用電源とは異なり、天候に応じて入力電力が変動し、それに呼応して水素発生量も変動する。今回は変動する入力電力に対する HHOG の動作性、制御性、耐久性を確認し、本システムへの HHOG の適用性について検証することを目的とした。また、不安定な再エネ由来の電源を用いた水素製造を行うため、従来の工業用途（安定電源）の場合と異なる運転方法を検証する。たとえば、HHOG 内の除湿装置の運用方法の工夫による所要ユーティリティ量の削減、消費電力量を従来に比べ低く抑えた電気分解モジュールの採用など、水素製造システムの高効率化に寄与する運転方法の確立を目指した。

3.3 実証内容

本システム構成機器の仕様は、茂庭浄水場の消費電力と太陽光発電データを用いた東北大学によるシミュレーションに基づき決定されており、実用システムの1/50の規模としている。本システムは、太陽光発電設備、電力制御装置、模擬負荷装置、水素ガスタンク関連設備、電気二重層キャパシタ（以下、EDLC）、水電解装置（HHOG）、燃料電池（以下、FC）、水素吸蔵合金で構成されている。本システムの概略フローを図7に、本システムの全景写真を写真2に示す。太陽光発電設備は直流母線を介してEDLC、HHOG、FC、模擬負荷装置に接続されている。HHOG で製造した水素ガスは、水素ガスタンクと水素吸蔵合金を併用して貯蔵する。

今回は電力と水素を複合エネルギーとして利用し、再エネ由来の変動出力を補償する（変動出力を安定化させる）実証を行った。

水素発生量が5 Nm³/h の HHOG を導入し、太陽光発電設備からの変動電力を HHOG 用 DC/DC コンバータを介して電気分解モジュールへ供給し、装置単体での性能確認試験を実施した。その結果、変動電力に対する追従性や制御性などに関し、設計どおりの性能が得られることが確認された。また、運転方法を再エネ由来の入力電力に対応させた除湿装置の動作、性能が設計どおりであることや、水素製造効率の高効率化を目的とした電気分解モジュールの採用による消費電力の低減効果を確認した。

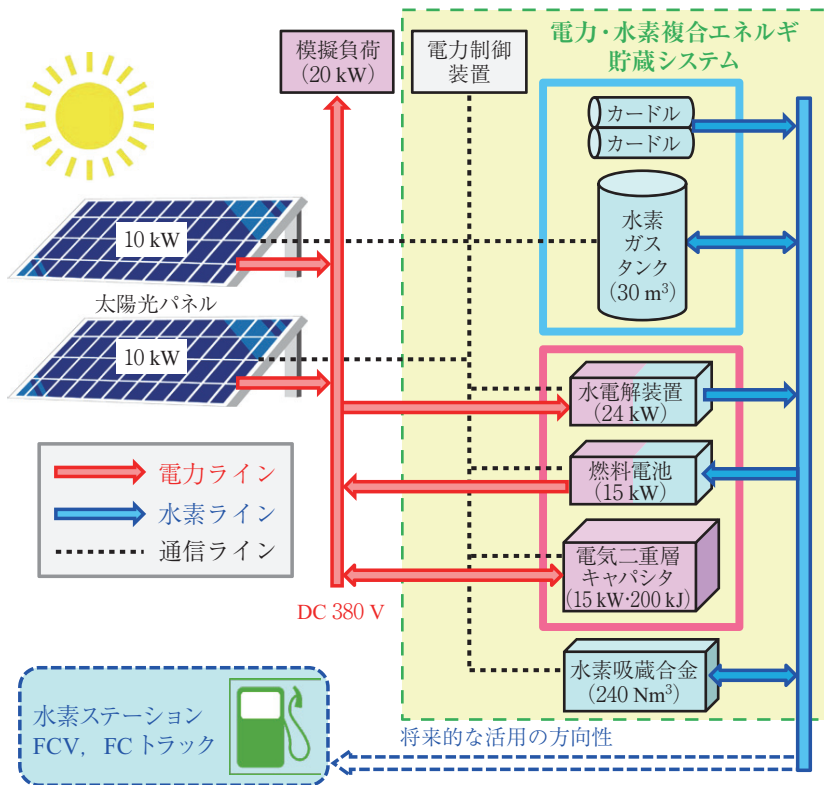


図7 本システムの概略フロー

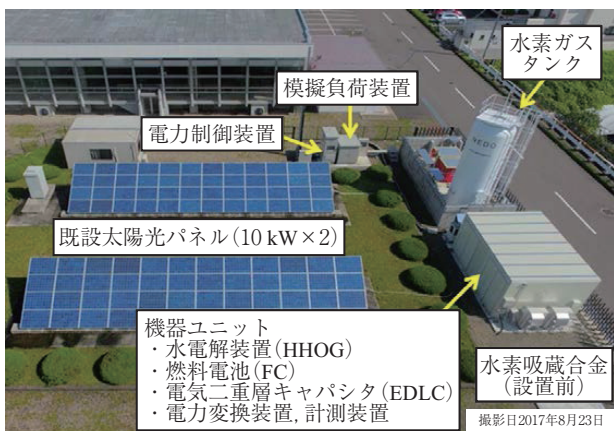


写真2 本システムの全景写真
(仙台市茂庭浄水場内)

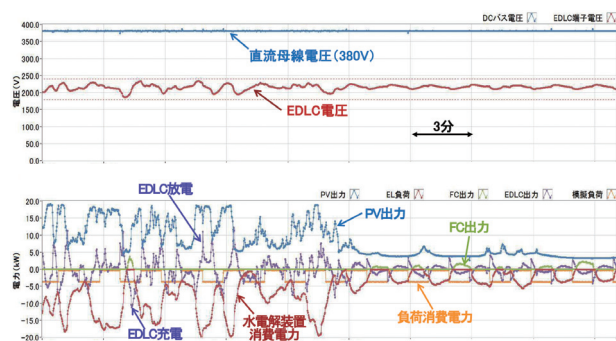


図8 本システムの連携試運転データの一例

本システムを構成する各機器の連携試運転データの一例を図8に示す。EDLCの充放電や水電解装置(HHOG)の消費電力が、太陽光発電出力の変動に応じて追従していること、FC出力や直流母線電圧、負荷消費電力を安定して維持できることを確認した。

3.4 今後の展開

現在、システム構成機器の連携運転により、様々な天候パターンのもとで実証を継続している。な

お、実証試験期間は2018年度末までの予定である。

発電量が変動する再エネを利用する場合、HHOGの構成機器である電気分解モジュールや補機類などの消費動力の低減、所要ユーティリティ使用量の削減などによるシステム効率の向上が求められる。今回の実証で、除湿装置の運転方法の工夫や、水素製造効率の高効率化を目指した電気分解モジュールの採用など、システム効率向上のための内容を反映したHHOGの安定作動を確認できた。今後も実証試験を通じ、HHOGのさらなる高効率化の可能性について検証していく。

む す び

2017年12月には世界に先駆けて水素社会を実現するための「水素基本戦略」⁵⁾が決定され、具体的な数値目標が示されている。このため、今後さらなる水素製造に関する技術開発の重要性が増してくると考えられ、当社は社会や顧客のニーズに応えながら、水素製造技術の開発、ブラッシュアップに引き続き取り組んで行く所存である。

最後に、環境省の実証事業において多大なご協力をいただいた(株)神戸製鋼所、(株)神鋼エンジニアリング&メンテナンスの関係各位に深謝する。

また、NEDOの実証事業においては、仙台市水道局より実証場所を提供いただいております、また東北大学、(株)前川製作所、日本ケミコン(株)の関係各位には実証試験の実施にあたり多大なご協力をいただいております。ここに深く感謝の意を表す。

[参考文献]

- 1) 中尾末貴, 亀澤啓太: 神鋼環境ソリューション技報 (高純度水素発生装置「HHOG」の足跡と今後の展望), Vol.13 No.1 (2016), pp.35-42
- 2) 株式会社神戸製鋼所, 株式会社神鋼環境ソリューションほか「平成29年度環境省委託・補助事業 CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業 中規模 (1.5 kg/h 程度) の高圧水素を製造する再エネ由来水素ステーション関連技術の開発・実証 成果報告書」(平成30年3月)
- 3) 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」, 水素・燃料電池戦略協議会, 平成28年3月22日改訂
- 4) 津田理, 宮城大輔: 電気設備学会誌 (非常用電源機能を有する再生可能エネルギー出力変動補償用電力・水素複合エネルギー貯蔵システム), vol.37 No.11 (2017), pp.781-784
- 5) 「水素基本戦略」, 再生可能エネルギー・水素等関係関係会議, 平成29年12月26日

スラリー対応型薄膜蒸発機の検討

Development of Wiped Film Evaporator for Slurry



細見 優*
Masaru Hosomi



山本哲也**
Tetsuya Yamamoto



坂東将司*
Masashi Bando

当社の薄膜蒸発機ワイプレネ®とエクセバ®は優れた特長を有し、多数の納入実績がある。しかし、スラリー処理に対しては、ワイパの摩耗や蒸発面等への付着の問題があり、適用が難しい場合が多かった。今回、より広い顧客ニーズに応えるため、スラリーへの対応性能を高めた新しい薄膜蒸発機の開発に取り組んだ。その結果、摩耗を防止し、内部の付着を抑制するブレード構造を見出し、食塩水のように濃縮過程で高粘性になりにくいスラリーへ適用できる目途が得られた。ただし、蒸発機内部での挙動は処理液によりさまざまなため、引続きテストを通じて知見の蓄積と改良を進めていく。

Wiped film evaporators WIPRENE® and EXEVA® have some excellent characteristics and have been used by a large number of customers. However, there were some difficult cases in regard to slurry because of wear of the wipers, adhesion on the evaporating surfaces etc. To respond to customer needs, we tried to develop a new evaporator with greater function in regard to slurry. As a result, we have found a blade shape that can prevent adhesion and wear from occurring. Also, we have developed a new evaporator that can be used with slurry which, like saline solution, does not become highly viscous in the condensation process. Because slurry shows various different behaviors in the evaporator with the solution, we will continue to store the knowledge gained from tests for slurry application and improve the evaporator.

Key Words :

薄 膜 蒸 発 機	Wiped Film Evaporator
ス ラ リ ー	Slurry
付 着	Adhesion
摩 耗	Wear

【セールスポイント】

- ・付着防止板付きの非接触ブレードにより、ワイパの摩耗を防止し、ヒンジ部への付着を抑制したスラリー対応型薄膜蒸発機。
- ・当社薄膜蒸発機（ワイプレネ、エクセバ）技術の融合による柔軟な対応。

ま え が き

薄膜蒸発機は、処理液を薄膜にして蒸発させる装置であり、伝熱係数が大きく受熱時間が短いため、熱影響を受けやすい物質の蒸留、濃縮、脱揮等のプロセスに使用されている。熱影響抑制に加え、真空

操作対応、高粘度液対応、連続処理等の特長を有し、薄膜形成機構により数種類の装置があり、それぞれ特長を持つ。

当社のワイプレネは接触式ワイパで薄膜を形成する構造で、高真空操作や高粘度液に対する高い伝熱

性能、付着性物質の付着抑制等の特長を有し、約2000台の納入実績がある^{1, 2)}。また、10000 Pa・sの超高粘度液を処理可能なエクセバは、非接触多段傾斜翼とユニークな排出構造を有する当社独自の商品である³⁾。当社はこれらの特長ある薄膜蒸発機の適用方法と機能の改善に顧客とともに取組んできた。

しかし、スラリー処理に関して、ワイブレン、エクセバともに以下に述べるように適用困難な用途がある。

ワイブレンは、回転による遠心力でワイバを壁面に押し当てて薄膜を形成するが、スラリーに対しては板バネ付きのB型ワイバを用い、面圧を下げて本体胴やワイバの摩耗を抑制して使用可能なケースがある²⁾。しかし、固形分濃度が高い処理液では、摩耗と付着を抑制できず適用困難なケースがある。

エクセバは、非接触のため摩耗の問題は少なくスラリー処理可能⁴⁾なケースもあるが、固形分濃度が高い場合、攪拌動力上昇や振動、排出スクリューでの閉塞等の問題が発生し適用困難なケースがある。

今回、顧客の要望に答えるべく、スラリーへの適用性能を高めた新しい薄膜蒸発機の開発に取り組んだ。検討にあたっては、模擬液として溶解度の温度依存性が小さい食塩水を使用し、薄膜蒸発により食塩粉末を得る操作を行った。

1. 薄膜形成ブレードの構造

ワイバ摩耗の問題をなくすため、エクセバと同様に本体胴内面とブレード間にクリアランスを有する非接触構造を採用した。エクセバのような固定ブレードでは、蒸発過程において本体胴蒸発面に形成される圧密された固体により生じる不連続な抵抗力により、過負荷や振動が起こるケースがある。そのような固体による不連続の大きな抵抗力の発生を防止するのに適した可動ブレードを採用した。

可動ブレードでは、ヒンジ部の付着物が成長すると動きが阻害されるため、ヒンジ部への付着を防止する必要がある。ヒンジ部への付着には主に2つのケースがある。1つは、処理液と接触し薄膜を形成するブレードの先端で生じるケースであり、ブレードの裏面に飛散した処理液が回込み、付着物が成長する。ブレード裏面の付着物は、前面と異なり更新されることがなく、また、通液での洗浄が困難なことから、徐々にヒンジ部へ向かい付着物が成長する。このブレード裏面への付着を抑制するために、ブレードの回転方向後方の先端に付着防止板を設けた。もう一つは、回転方向前方のブレードにより飛散した液が後方のブレードに付着するケースであ

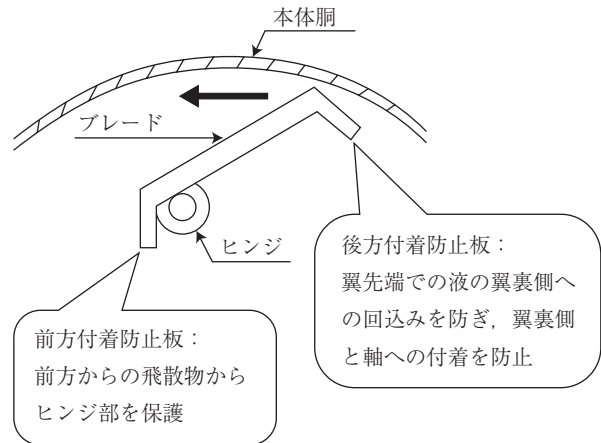


図1 付着防止ブレード模式図

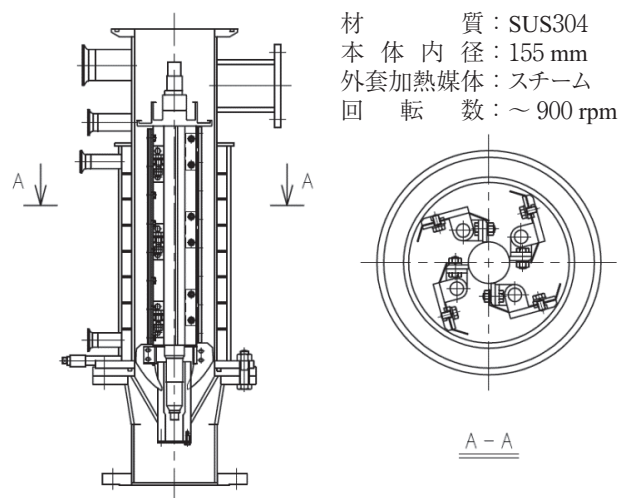


図2 0.2m²テスト装置本体

る。この付着を防止するため、ブレードの回転方向前方にも付着防止板を設けた。このように、図1の模式図に示す付着防止板を有するブレードを考案し、ヒンジ部への付着を抑制した。

2. スラリー対応型薄膜蒸発機の性能評価

図2に示す伝熱面積0.2m²のテスト装置を使用し、性能を評価した。操作条件は、外套加熱温度：160℃、圧力：大気圧、回転数：450rpm、原料の食塩濃度：25wt%とした。

2.1 本体胴伝熱面への付着物の影響

図3は、蒸発処理後の食塩粉末の含有水分率の時間変化を各流量毎に示したものである。流量18, 21kg/hでは含有水分率は4%以内で安定している。しかし、流量を23, 29kg/hに増加させると約90分後に含水率が8%から約30%に大幅に上昇した。この原因は、本体胴伝熱面で付着物が成長し伝熱性

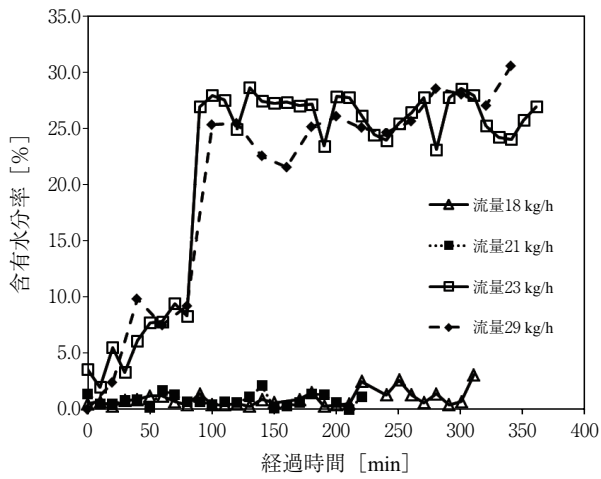


図3 蒸発処理後食塩粉末の含有水分率

能を低下させたためと考えられる。

このことを確認するため、本体胴伝熱面への付着状況を調査した。図4は、運転後の本体胴伝熱面への付着範囲と厚さを示している。流量が大きいほど、付着物は厚くなり、付着範囲も広くなり伝熱面下部まで成長することがわかった。

次に着色原料を用い、付着物の成長過程を調査した。その結果、付着物は図5のイメージ図のように起点から下方へ層状に成長することがわかった。流量23 kg/h 以上の場合の急激な含有水分率の上昇は、下方へ成長した付着物が伝熱面積の下方全面を覆うと同時に伝熱性能が急激に低下したためと考えられる。

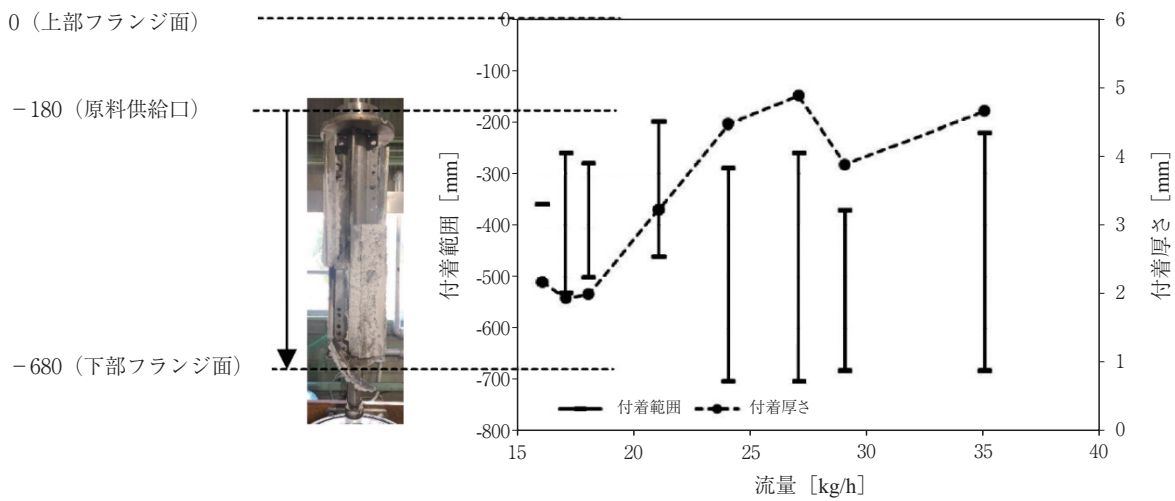


図4 本体胴伝熱面への付着物の最大厚さと範囲

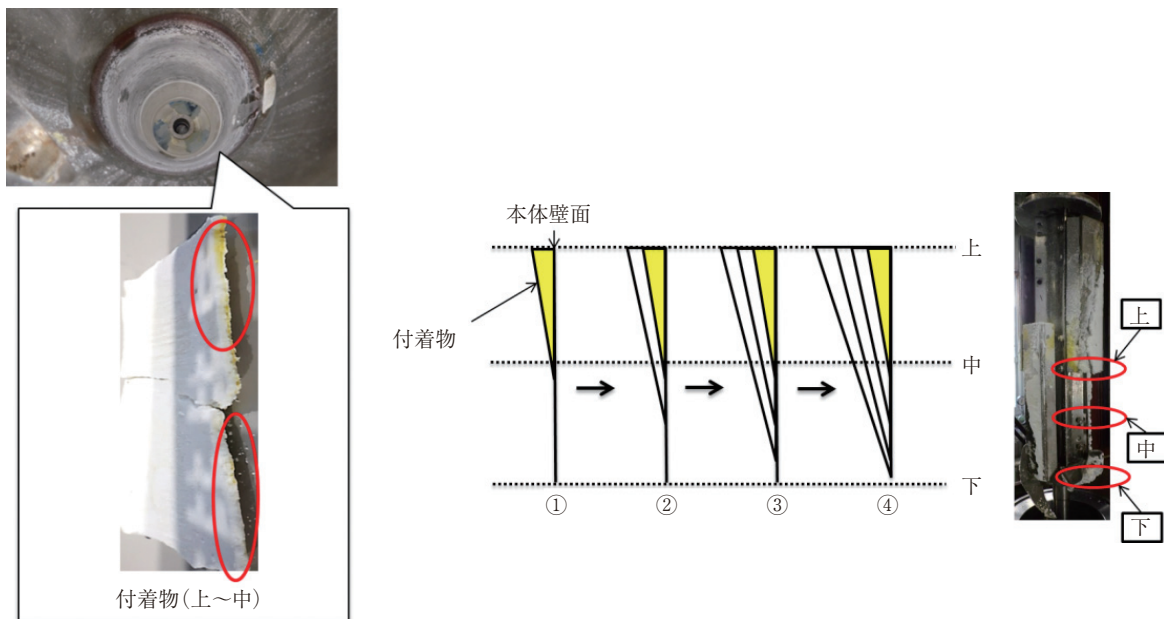


図5 本体胴伝熱面への付着物の成長過程

また、着色した付着層が、数時間運転後に消失していたことから、付着層が更新されていくことを確認した。この更新は、連続的なものではなく、あるタイミングで層が剥がれ、新しい層が形成されていく不連続なものと考えられる。

以上より、安定した処理性能を得るためには、付着物の最大範囲よりも伝熱面を大きくとる必要があることがわかった。このように、スラリー処理の場合、伝熱性能だけでなく、本体胴伝熱面への付着範囲も考慮し、伝熱面積を決定する必要がある。

2.2 回転数が蒸発性能に及ぼす影響

回転数の影響を確認するため、回転数450 rpm、600 rpm、750 rpm で性能を比較した。図6に示すように、回転数が高いほど、伝熱係数が大きくなった。非接触薄膜蒸発機の場合、内面境膜係数は回転数の0.5乗に比例して増大⁵⁾するはずであるが、図6に示す内面境膜係数は、壁面付着状況の影響を受けて変化していると考えられる。実際、運転後の本体胴伝熱面の付着物は、回転数が高いほど範囲、厚さともに減少していた。

また、ブレード裏面の付着量も、回転数が高い方が少なくなることがわかった。

ただし、回転数750 rpmにすると、伝熱面以外の本体内面への付着量が増えた。分散盤や下部軸受部での飛散量が増えたと考えられる。以上の結果から、壁面およびブレードヒンジ部への付着を低減する対策として、回転数アップが有効であるが、内部全体の付着や飛散状況を考慮し適切な回転数を見極める必要がある。

2.3 連続運転

得られた知見を基に、付着物が伝熱面をすべて覆わない下記操作条件で、36時間連続運転を実施した。

- ・供給流量：14 kg/h
- ・圧力：大気圧
- ・外套温度：160 °C
- ・回転数：450 rpm
- ・原料の食塩濃度：25 wt%

その結果、蒸発処理後の食塩粉末の含有水分率は約4%以下で安定した性能が得られた。これより、本体胴伝熱面への付着範囲を考慮した操作条件で運転すれば、ある程度の連続運転が可能であることを確認した。

3. まとめ

- ・食塩水のように濃縮過程で高粘性になりにくいス

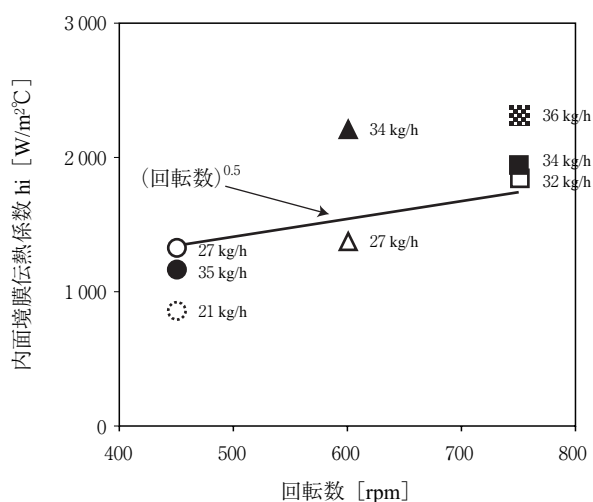


図6 回転数と伝熱係数との関係

ラリーの粉末化が可能な非接触可動ブレード式薄膜蒸発機のプロトタイプを開発した。

- ・ブレードヒンジ部への付着を抑制できる付着防止板付きの薄膜形成ブレードを考案した。
- ・スラリー処理の場合、伝熱性能だけでなく、本体胴伝熱面への付着範囲も考慮し、伝熱面積を決定する必要がある。
- ・伝熱面およびブレードへの付着を低減する対策として、回転数アップが有効であることがわかった。
- ・蒸発機内部での挙動は、物質によりさまざまなため、引続き知見の蓄積と改良が必要である。

むすび

当社の低粘度から高粘度液に対応した薄膜蒸発技術をベースに、スラリー対応型薄膜蒸発機のプロトタイプを開発した。今後、本プロトタイプの完成度を高めながら、顧客サンプルテスト等を通じて、実際の処理液への対応で改良を重ね、より優れたスラリー対応型薄膜蒸発機を開発して行きたい。

【参考文献】

- 1) 池田幸雄：神鋼ファウダー技報, Vol.30, No.1 (1986), 高真空蒸留におけるWFE薄膜蒸留装置
- 2) 三木洋二：神鋼パンテック技報, Vol.34, No.2 (1990), WFE薄膜蒸留装置の新適用分野の紹介
- 3) 山崎忠成, 吉村武司：神鋼パンテック技報, Vol.38, No.2 (1994), 高粘度液用薄膜蒸発機「エクセバ」
- 4) 永田純洋：神鋼パンテック技報, Vol.42, No.1 (1998), 高粘度液用薄膜蒸発機「エクセバ」の実績紹介
- 5) 尾花英朗：熱交換器設計ハンドブック (1974), P812

サウジアラビア工業団地向け排水再生システム (NEDO 実証事業)

Demonstration Project at MODON Dammam 1st Industrial City of the Kingdom of Saudi Arabia Wastewater Reclamation Plant



塩田憲明*
Noriaki Shiota



宮岡 昇**
Noboru Miyaoka

当社は、サウジアラビア王国ダンマン第1工業団地向けに排水再生システム実証設備を納入した。本設備は、工場廃水を生物処理したのち、処理水をRO膜で脱塩して工業用水レベルの水を回収するものである。納入後8カ月にわたる運転で、工場排水は、脱塩率98%以上、TDS 100 mg/L以下にまで処理されている。本システムのエネルギー消費量は、海水淡水化法で造水して工場に工業用水として使用したのち排水処理する場合のトータルエネルギー消費量に比べて32%低く、海水淡水化法に代わる工業用水の供給源として経済的に成立つものである。

This paper describes the system configuration and operating results of a newly installed demonstration plant for wastewater treatment and reclamation in MODON Dammam 1st Industrial City, Saudi Arabia. Industrial wastewater was treated by using membrane bio-reactor (MBR) and reverse osmosis (RO) in order to produce desalinated water for industrial reuse. The plant has been operated for more than 8 months since August of 2017. The reclaimed water quality always meets with the target values of each parameter, which shows 100 mg/L or less of TDS. Average salt rejection in the system was over 98 %, indicating that most of the dissolved salts and inorganic molecules were removed. Total energy consumption of the system seems to be 32 % lower than that of the conventional system of sea water RO desalination combined with wastewater treatment. The results indicate that the proposed system is economically useful for production of industrial water in the cities.

Key Words :

排水回収
工業団地
膜分離活性汚泥法
逆浸透

Wastewater Reclamation
Industrial City
Membrane Bio-reactor
Reverse Osmosis

【セールスポイント】

- ・ 当社の持つ排水回収再利用技術の設計および操業ノウハウをベースに、中東諸国工業団地での排水再生システムの普及を目指します。

まえがき

中東地域で人口の増加や都市化・工業化の進展に伴って水需要がひっ迫しており、地下水以外の新たな水資源の開発が必要となっている。実用化されている新たな水資源としては、海水淡水化に加えて下水・産業廃水のリサイクルが挙げられる。海水淡水化は造水のために多大なエネルギーを消費するため、造水の省エネルギー化が重要な課題となっている。このことから、近年、下水・産業廃水を再利用するニーズが高まっている。下水処理水の再利用率は日本よりも高いにもかかわらず、多くは灌漑用水や修景用水として利用されているのみであり、生活用水や工業用水として利用されるには至っていない¹⁾。一方、飲用用途でない工業用水としての水再利用は比較的ハードルが低く、工業団地内での水リサイクルネットワークの構築が期待されている。

千代田化工建設（株）と当社は、これまでにサウジアラビア工業団地における水再利用を検討しており、膜分離法を用いた省エネ型排水再生システムを新たな造水技術として提案している^{2, 3)}。排水再生システムに適用するコア技術として、膜分離活性汚泥法（MBR; Membrane Bio-Reactor）と逆浸透（RO; Reverse Osmosis）膜からなる膜分離法を採用している。また、油分の流入が多いことを想定して前処理には加圧浮上分離法（DAF; Dissolved Air Flotation）をこれに組合わせている。

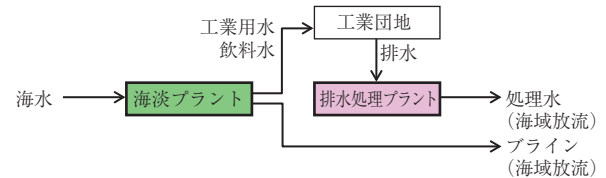
当社は、2013年に千代田化工建設（株）からサウジアラビア工業団地公団（以下、MODON）向け排水再生システム実証設備の設計・機器調達・現地SV業務を受注した。本稿では、この排水再生設備の概要と、2017年8月より実施した設備の試運転、ならびに実証運転の状況について報告する。

1. 実証技術について

図1に従来技術と排水再生システムをおのおの組込んだ工業団地の水利用フローを示す。従来型システムの工業団地では、全量海水から作られた淡水を工業用水として使用したのち、工場廃水は一括して排水処理されて海域に放流される。大量の海水由来の淡水が必要で、造水と排水処理の両方にエネルギーが消費される。

一方、排水再生システムを組込んだ工業団地では、工場廃水から造水した再生水がメインの供給源となるため、海水由来の淡水使用量が減り、トータルエネルギー使用量が30%程度（廃水 TDS 8 000 mg/L ベース）削減されると試算した³⁾。すなわち、建設費が高くエネルギー消費型の海水淡水化プラントの建

<従来システム>



<排水再生システム>

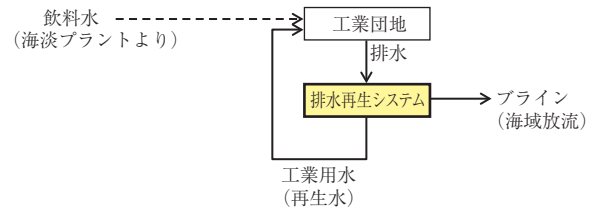


図1 工業団地における水供給システム
(従来システムと提案システム)

設を抑えて、低コスト・省エネルギーの排水再生システムとの共存による水資源のベストミックスが提案できる。そこで、今回対象となる廃水の TDS 3 000 mg/L と予想して、排水再生システムによる動力原単位を試算し、従来システムからのエネルギー削減率40%を目標とし、これを実証設備で検証することを目的とした。

MODON より複数の導入技術実証候補サイトの提示を受け、現地調査の結果、その中からダンマン第1工業団地（以下、DIC-1）が選定された。この工業団地は、200万 m²の敷地に120事業所が入居しており、新たに入居できる余地はほとんどないため工場への用水供給量および工場排水量もほぼ確定している。この工業団地は軽工業が中心で、地下水（井戸水）が用水源となっている。地下水とはいえ、TDSは海水の10分の1程度の数千 mg/Lであるため、飲料水レベルの水を造るには脱塩処理が必要となっている。近年、地下水の枯渇への懸念から、地下水の使用制限が進むと見られており、排水再生システムが経済的に成立しやすいサイトと思われる。また、同サイトでは、これまで工場廃水は未処理のままオフサイトの国営下水処理場に放流されており、この下水処理場からは流入廃水の削減が求められていることから、排水処理・再利用に伴う流入廃水量と汚濁負荷量の削減も期待できることも選定理由となった。

2. 実証設備の概要

2.1 プロセス検討の経緯

実証設備の設計条件は以下のとおりである。

設計流入廃水量：5 000 m³/d

設計造水量（再生水量）：3 500 m³/d

水回収率：70 %

設計水質：表 1 参照

事前の DIC-1 実廃水分析値では TSS 濃度、有機物 (BOD, COD) 濃度とも設計値を大幅に下回っていたが、MODON との協議において各工場の廃水排出基準を実証設備の原水設計値とすることを決めた。

除去対象物質は、油分、TSS、有機物 (BOD, COD, TOC)、溶解塩類 (TDS) であり、再生水の要求水質としてとくに TDS を考慮した処理プロセスとした。油分と SS を除去するために DAF を、有機物除去には MBR を採用した。MBR は、従来の活性汚泥法に比べて省スペースで、固液分離が確実に行われるために処理水が非常に清浄であり、処理水の再利用用途には最適である。また、TDS を除去するために RO を採用した。RO ではほとんどの溶存物質を除去することができる。排水再生シス

テムは DAF+MBR+RO の水処理プロセスに汚泥脱水機を加えたシステム構成とした。図 2 に設備の処理フローを示す。

2.2 実証設備の仕様と特徴

表 2 に各設備の主仕様を示す。前処理設備の DAF ユニットの、原水 TSS 濃度に合わせた循環率を設定し、ポリ塩化アルミニウム (PAC) とポリマーの注入装置を備えた。

MBR 設備は 2 系列から成り、高有機物負荷対応のための前処理槽 (Pretreatment A/S tank) に加えて、窒素除去を目的とした無酸素槽 (Anoxic basin) と好気槽 (Aeration basin) からなる循環脱窒法を採用し、活性汚泥の固液分離のための MBR 槽 (MBR basin) を配置した。MBR ユニットには耐薬品性に優れたポリフッ化ビニリデン (PVDF) 製中空糸膜を採用し、膜モジュールを次亜塩素酸ソーダでインライン洗浄できる構造とした。また、必要時に MBR ユニットの槽から吊上げて槽外で浸漬洗浄できるように薬品洗浄槽を設けた。発生する余剰汚泥は、加圧浮上スカムと混合して汚泥脱水機で脱水して場外処分される。

一方、RO 設備も 2 系列から成り、7 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、自動弁を組込んだユニット構造となっている。ツリー上に配置されたベッセルは 2 段構成となっており、1st ステージと 2nd ステージの間にはブースターポンプを配置している。RO ユニットには海水淡水化用高圧スパイラル膜を採用し、ファウリング対策として酸または重亜硫酸ソーダ (SBS) ショックと各種薬品を使った半自動インライン洗浄ができる構造とした。RO の水回収率は 70 % を設計ベースとした。

表 1 原水と再生水の水質

項目	単位	原水 (設計値)	再生水 (目標値)
pH	-	6.0-9.0	6.0-9.0
TDS	mg/l	<8 000	<200
TSS	mg/l	<1 500	<10
COD _{Cr}	mg/l	<2 500	<30
BOD	mg/l	<1 000	<10
TOC	mg/l	-	<20
Oil & grease	mg/l	<100	-
T-N	mg/l	<70	-
NH ₄ -N	mg/l	<50	-
T-P	mg/l	<10	-
Ca	mg/l	<400	-
Mg	mg/l	<150	-
SO ₄	mg/l	<900	-
SiO ₂	mg/l	<30	-
T-S	mg/l	<10	-
水温	℃	20-35	-

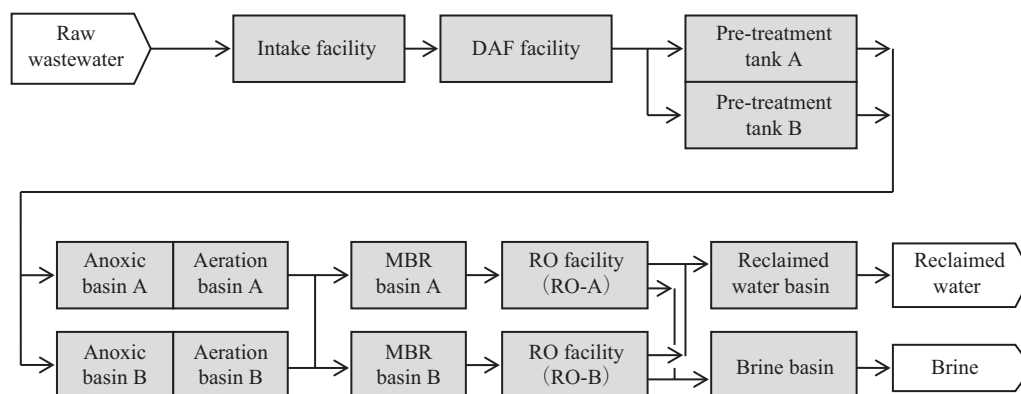


図 2 実証設備の処理フロー

表2 設備の主仕様と設計諸元

設備名	機器名称	主仕様	
前処理	Raw Water Screen	自動ドラムスクリーン	
	DAF Unit	円形浮上分離槽, 循環ポンプ, 薬品注入ユニット	
MBR	Pretreatment A/S Tank	2 076 m ³ /基 × 2 基, 散気装置	
	Anoxic Basin	378 m ³ /基 × 2 基	
	Aeration Basin	306 m ³ /基 × 2 基, ディスク型メンブレンディフューザ	
	MBR Basin (MBR Module)	膜形状・材質	中空糸, PVDF
		膜面積	1 500 m ² /モジュール
		モジュール数	4 モジュール/基
		ろ過方式	吸引ろ過
		運転 MLSS	10 000 mg/L
		運転制御	定流量制御
		洗浄方法・頻度	次亜塩素酸ソーダによるメンテナンス洗浄・週1回
次亜塩素酸ソーダによるリカバリ洗浄・3カ月間隔			
槽外洗浄・頻度	次亜塩素酸ソーダおよび硫酸による浸漬洗浄・年2回		
RO	RO Pump	3台 (うち1台倉庫予備)	
	RO Booster Pump	3台 (うち1台倉庫予備)	
	RO Unit (RO Element)	膜材質	芳香族系ポリアミド
		膜形状	8 インチ・高圧スパイラル
		膜本数	17ベッセル/基, 7エレメント/ベッセル
		ろ過方式	クロスフロー
		運転制御	定流量制御
		薬品注入・頻度	微生物抑制剤, およびスケール防止剤・常時
		薬品洗浄・頻度	苛性ソーダ, 塩酸による洗浄・3~4週間隔
		回収率	70 %
汚泥処理	Dehydrator	2台, 遠心式	
	薬注率	ポリマー1.2%対DS	



写真1 設備全景と主要機器外観

写真1に実証設備の全景と主要機器の外観を示す。

3. 実証結果

3.1 設備の運転状況

3.1.1 実廃水の性状と廃水量

本設備は、2017年8月より MBR 設備における活性汚泥の馴養と試運転を開始した。当初より、取水した原水の有機物負荷が設計値に比べて大幅に低かったため、前処理槽をバイパスしつつ無酸素槽と好気槽の片系列のみ運転し MBR 槽は2系列運転するという変則的な運転を採用した。RO 設備については、9月に片系列を、また11月にもう片系列の RO

ユニットを立ち上げたのち、2018年1月に最大能力による性能確認を行った。同年1月以降は、連続した安定運転を目的とした実証運転を継続している。

図3に、試運転から実証運転の期間を通じて流入した原水量と再生水造水量の推移を示す。原水量が5000 m³/dに満たない日が多かったため、回収率を一定に保つと生産水量も定格の3500 m³/d未満で運転されることがほとんどであった。それでも、膜洗浄や大きなメンテナンス時を除いて8カ月以上の連続運転を継続している。

3.1.2 MBR および RO の運転状況

図4に MBR のフラックスの膜間差圧の推移を示す。8台のモジュールのうち A1/A2モジュールのみの運転データを示すが、他のモジュールについても同様の傾向を示している。膜間差圧は試運転開始直後から徐々に上昇し、冬季は水温の影響もあって -40 kPa 前後で推移した。週1回の次亜塩素酸ソーダによるメンテナンス洗浄と1~2カ月毎の次亜塩素酸ソーダまたはクエン酸によるリカバリ洗浄でも差圧の回復率は低かったため、運転開始から半年後に MBR モジュールの槽外浸漬洗浄を実施した。

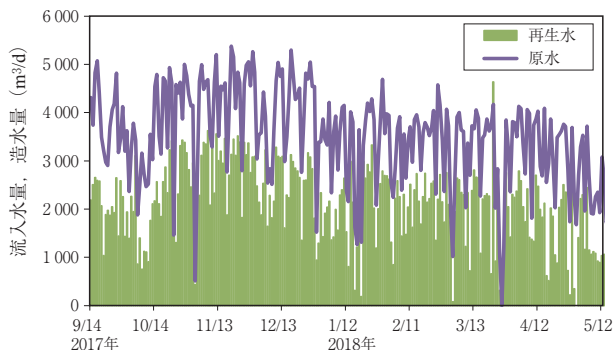


図3 流入水量と再生水造水量の推移

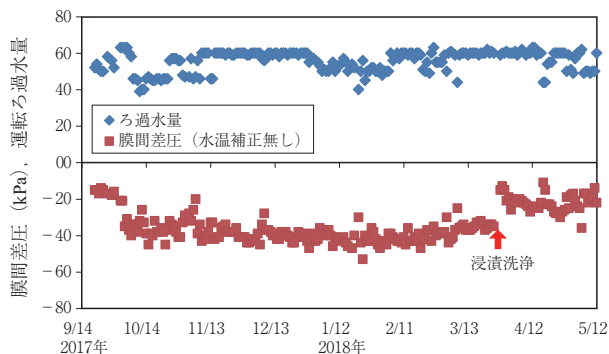


図4 MBR フラックスと膜間差圧の推移

その結果、膜間差圧は運転開始当初の -20 kPa にまで回復させることができ、これを元に安定運転のための各洗浄頻度目安を決定した。MBR 処理水の濁度は0.5 NTU 未満、Silt Density Index (SDI) は2.0 未満の水質が得られている。

図5に RO の透過フラックスと供給圧力、およびステージ差圧の推移を示す。2基の RO ユニットのうち A 系の運転データを示すが、他方についても同様の傾向を示している。RO ユニットの発停頻度を抑えるために、流入する原水量に応じて透過フラックスを定格より下げて運転した。供給圧力2.5 MPa 前後で推移し、かつステージ差圧もほとんど上昇することなく安定運転できた。微生物抑制剤とスケール防止剤は所定量を常時注入しているが、ショック処理については酸ショックのみ週2回実施している。RO エLEMENTの薬品洗浄については、アルカリ洗浄を月1回、酸洗浄を2カ月に1回実施する必要があった。排水リサイクル分野でしばしば問題となる微生物や有機物による膜ファウリングは本実証期間中にはほとんど見られなかった。一方、供給圧力のみが運転開始時から高いレベルで推移し、圧力の洗浄回復性も乏しいことから、原水に含まれる界面活性剤様物質によるケミカルファウリングの可能性が示唆された。今後、ファウリングの進行度合いを監視してゆく必要がある。

表3に、設備に流入した原水、MBR 処理水、および RO 透過水（再生水）の水質を示す。RO 透過水は、いずれの項目も目標値を十分下回る数値であり、工業用水と比べてはるかに良好な水質の再生水が得られた。TDS ベースの脱塩率も98%以上と安定した性能を発揮している。

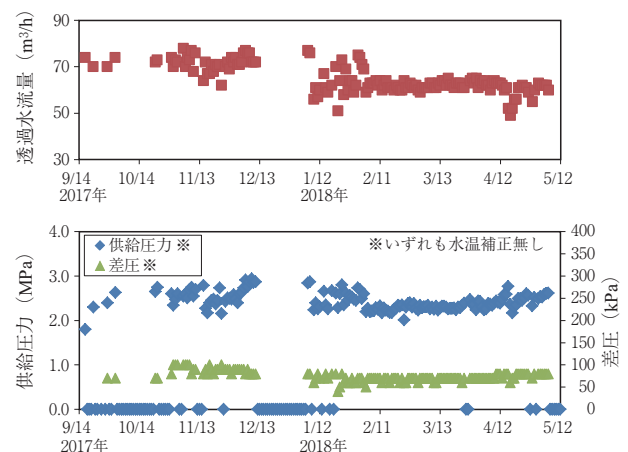


図5 RO 透過フラックスと供給圧力、差圧の推移

表3 原水および処理水の水質実績

項目	単位	実績値（平均値）			再生水目標値
		原水	MBR 処理水	RO 透過水	
COD _{Cr}	mg/l	380	20	< 5（検出下限）	< 30
BOD	mg/l	120	< 2（検出下限）	< 2（検出下限）	< 10
TSS	mg/l	230	< 5（検出下限）	-	< 10
TDS	mg/l	3 950	-	40	< 200
濁度	NTU	-	0.5	-	-
SDI	-	-	0.7	-	-
pH	-	7.4	-	6.4	6.0-9.0
導電率	μS/cm	7 440	-	73	-

対象期間：2017年11月から2018年3月

表4 省エネルギー効果

項目	単位	従来システム (海淡水+排水処理)	再生水システム		
			目標値	実績値（一部、計算値）	
動力原単位	kWh/m ³	5.7	3.4	水処理（実績）	3.8
				汚泥処理（計算）	0.1
				合計	3.9
電力削減率	%	-	40	32	

*性能確認運転時は汚泥脱水機が停止していたため、計算値を加算した。

3.2 省エネルギー性能の評価

表4に従来システムとの動力原単位の比較とエネルギー削減効果を示す。従来システムの動力原単位合計の5.7 kWh/m³に対して、40%の省エネルギー効果（3.7 kWh/m³相当）を目標としたが、実際には性能確認時に行った3 500 m³/d相当の運転において、3.8 kWh/m³の数値が得られた。この時、運転していなかった汚泥脱水機の動力原単位（計算値）を加算すると3.9 kWh/m³となることから、排水再生システムは従来に比べて32%の消費電力削減効果があると結論付けられた。

むすび

MODON DIC-1での実証設備概要とその運転状況を報告した。本システムは、海水淡水化法による従来型造水・排水処理システムに比べて大きな省エネルギー効果が見込まれ、経済的にもメリットが大きかった。

2016年に、サウジアラビア政府は「サウジ・ビジョン2030」, 「National Transformation Program 2020 (NTP2020)」という発展計画と改革案を発表し、その中でも水資源の保存と再生利用に注力する方針が

鮮明に打出されている。国内での水料金値上げによる再生水利用の経済的価値の高まりも相まって、本システムの普及可能性は大いにあると思われる。

最後に、本稿の内容は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）より千代田化工建設（株）が委託を受けて実施した「国際エネルギー消費効率化等技術普及協力事業技術実証事業 FS⁴⁾」の中で行われたものである。関係各位に深く感謝の意を表す。

[参考文献]

- 1) 「サウジアラビア王国における下水道関連基礎情報」下水道グローバルセンター（GCUS）ウェブサイト (<http://gcus.jp/global/data/Saudi-info.html>), 2018年8月閲覧
- 2) 板坂直樹：配管技術, no.11 (2010), p11-17
- 3) 平成23年度 NEDO 事業成果報告書「国際エネルギー消費効率化等技術普及協力事業技術実証事業 FS 膜技術を用いた省エネ型排水再生システム技術実証事業（サウジアラビア）」
- 4) 平成24年度～平成27年度 NEDO 事業成果報告書「国際エネルギー消費効率化等技術普及協力事業技術実証事業 膜技術を用いた省エネ型排水再生システム技術実証事業（サウジアラビア）」

省エネ機器とアンモニア制御による低動力反応タンクシステムの性能実証

Performance Demonstration of Low-Energy Reaction Tank System with Energy-saving Equipment and NH₄-Based Aeration Control



島田光重*
Mitsushige Shimada



熊田浩英*
Hirohide Kumada



石山 明*
Akira Ishiyama

下水処理施設において、反応タンクの電力消費量は施設全体の30～60 %程度を占め、反応タンクの低動力化は下水処理施設の電力消費量削減に大きく貢献する。当社の低動力反応タンクシステムは、省エネ機器として低圧損型メンブレン式散気装置 PABIO TUBE と双曲面形攪拌機 PABIO Mix を採用し、さらにアンモニアセンサーを用いた曝気風量制御を加えた反応タンクシステムで、好気タンクの曝気動力と嫌気タンクや無酸素タンクの攪拌動力の削減を図ったものである。

本稿では、各構成技術、および、システム全体の低動力性について、試験水槽での性能確認実験と実処理場での実証実験の結果を報告する。低圧損型メンブレン式散気装置の高い酸素移動効率、双曲面形攪拌機の高い攪拌性能、および、アンモニア制御による過剰曝気削減効果により、システム全体として30 %以上の動力削減が可能であるとの試算結果が得られた。

In the sewage treatment facility, the power consumption of the reaction tank accounts for about 30 to 60 % of the whole facility and saving power used by the reaction tank will greatly contribute to the reduction in electricity consumption of the facility. The Low-Energy Reaction Tank System consists of membrane diffusers with low pressure loss called PABIO TUBE, hyperboloid shaped mixers called PABIO Mix and an aeration control system that uses an ammonia sensor. This system is for the reduction of the aeration energy consumption of the aerobic tanks and the mixing energy consumption of the anaerobic or anoxic tanks. In this paper, we report the results of the performance confirmation experiment of the test tank and demonstrative results in the actual treatment plant for each component technology and the low power of the system overall. The energy consumption of the reaction tank was reduced due to the high oxygen transfer efficiency of the diffuser, the high mixing performance of the hyperboloid shaped mixer and the reduction of excess aeration by the NH₄-based aeration control system, and it was calculated that we could reduce energy consumption by more than 30 %.

Key Words :

低	動	力	Low-Energy
下	水	処	Sewage treatment
散	気	装	Diffuser
攪	拌	機	Mixer
曝	気	制	Aeration Control

【セールスポイント】

- ・ 低圧損型メンブレン式散気装置 PABIO TUBE の高い酸素移動効率により曝気風量を低減でき、送風機動力を削減できる。さらに、アンモニア制御では、負荷変動により生じる過剰曝気を抑制し、効率的な送風量制御が可能である。
- ・ 双曲面形攪拌機 PABIO Mix は混合に適した翼形状で効率的な攪拌が可能であり、小さい攪拌動力で、高度処理における嫌気タンク・無酸素タンクの攪拌が可能である。

まえがき

下水処理施設における総消費電力は、日本全体の約0.7%と言われており、その中で反応タンクにおける消費電力は施設全体の消費電力の30~60%程度を占めている¹⁾ため、反応タンクの低動力化は下水処理施設の電力消費量削減に大きく貢献する。

反応タンクでは、曝気用送風機による電力消費量が多く、効率の高い散気装置の採用が効果的な電力削減に直結する。近年、酸素移動効率が高いメンブレンパネル式散気装置や高酸素移動効率と低圧損を両立する低圧損型メンブレン式散気装置が採用されつつある。また、アンモニアセンサーを用いた曝気風量制御に関しては、国土交通省のB-DASHプロジェクトなどで省エネ効果が報告されている。一方、嫌気タンクや無酸素タンクの攪拌動力は、好気タンクの曝気動力と比較すると小さいが、攪拌動力低減は反応タンクの省エネに有効である。日本下水道新技術機構の建設技術審査証明で公的に評価されている省エネ型反応タンク攪拌機の攪拌動力密度を水中攪拌機のメーカー値と比較すると42~92%の削減効果²⁾があると報告されている。

本稿で紹介する低動力反応タンクシステムは、省エネ機器として低圧損型メンブレン式散気装置 PABIO TUBE と双曲面形攪拌機 PABIO Mix を採用し、さらにアンモニアセンサーを用いた曝気風量制

御を加えたシステムで、好気タンクの曝気動力と嫌気タンクや無酸素タンクの攪拌動力の削減を図ったものである。各構成技術の性能とシステム全体の低動力性の評価を目的とし、試験水槽を用いた性能確認実験、実処理場での実証実験を実施した結果を報告する。なお、A 処理場における各種実験とその評価、および、低動力性の試算に関しては、日本下水道事業団との共同研究にて実施した。

1. 低動力反応タンクシステムの要素技術

低動力反応タンクシステムの構成例を図1に示す。

低動力反応タンクシステムは、省エネ機器である低圧損型メンブレン式散気装置 PABIO TUBE（以下 PABIO TUBE）と双曲面形攪拌機 PABIO Mix（以下 PABIO Mix）、およびアンモニアセンサーを用いた曝気風量制御（以下 NH₄ 制御）の3つの要素技術から成る。処理方式や処理場ニーズに応じた、必要な要素技術の採用が可能である。

1.1 PABIO TUBE

PABIO TUBE の構造を図2に示す。

図2に示すように、PABIO TUBE は、筒型の低圧損型メンブレン式散気装置で、多数のスリットを有するシリコン製メンブレンをポリプロピレン製のサポートパイプにバンドで固定した構造である。空気供給管とは専用の接続継手を介して接続する。空気

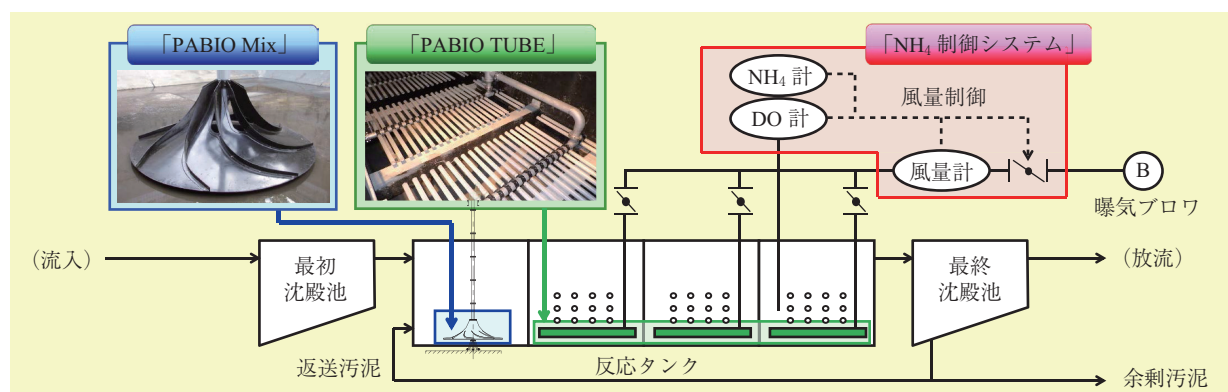


図1 低動力反応タンクシステムの構成例

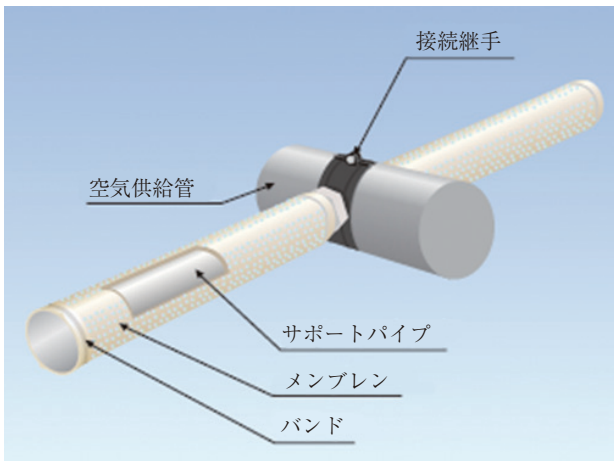


図2 PABIO TUBE の構造

供給管からの空気供給によりメンブレンが膨張してスリットが開き、超微細気泡を発泡する。空気供給を停止するとメンブレンが元に収縮し、スリットが閉じる。

PABIO TUBE は、超微細気泡を発泡するため、気泡総表面積が大きく、より少ない通気量で効率よく酸素を溶解させることができる。また、通気抵抗が小さく目詰まりしにくい特長を有するため、定常的な圧損回復操作なく、低圧損で運転することが可能である。また、空気供給停止時にスリットが閉じることにより汚泥侵入が抑制されるため、間欠運転も可能である。

1.2 PABIO Mix³⁾

PABIO Mix は、嫌気・無酸素状態を確保した状態で活性汚泥を攪拌・混合する低動力攪拌機で、高度処理および低動力ニーズに合致した攪拌機として採用されており、2018年4月時点で411台の国内納入実績を有する。従来の翼は一体構造であるが、躯体の開口制約に対応するため、分割型翼を新たに採用した。PABIO Mix 一体型・分割型の構造と翼形状を表1に示す。

表1に示すように、PABIO Mix は、一体型、分割型ともに、駆動部、シャフト、攪拌翼から構成される。深槽に設置する場合は水槽底部に振れ止めを設置する。双曲面形の攪拌翼を水槽中央の底部付近で低速回転させることにより、水槽底部を効率よく攪拌し、小さな動力で十分な底部流速が得られる。また、駆動部は槽外にあるため、メンテナンス性に優れる。分割型翼は、翼が8分割構造となっており、覆蓋のある躯体で攪拌翼を槽内に搬入する開口部が小さい場合に、分割搬入、槽内組立ができる。

表1 PABIO Mix の構造と翼形状

	一体型翼	分割型翼
構造		
攪拌翼外観		

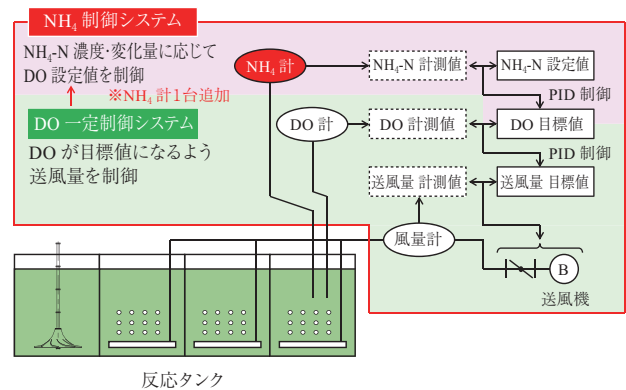


図3 NH₄制御の概要

1.3 NH₄制御

曝気風量の制御には、風量一定制御やDO一定制御が一般的に用いられている。風量一定制御は、設定送風量になるように送風量を制御する方法で、常に一定の空気を送込むため送風量の無駄が多い。DO一定制御は、反応タンク内DOが目標DO値になるように送風量を制御する方法である。反応タンクへの流入水量や水質に応じて送風量が変化するため比較的送風量の無駄は少ないが、本来処理に必要なDO濃度が流入負荷により異なるため、余裕を持ったDO値を設定する必要がある。

NH₄制御は、反応タンク内アンモニア濃度計測値を基に送風量を制御する方法で、硝化促進を維持しながら曝気風量の削減を図る方法である。NH₄制御の概要を図3に示す。

図3に示すように、NH₄制御は、アンモニアセンサー（NH₄計）によるアンモニア態窒素（NH₄-N）連続計測値を基に、従来のDO一定制御の目標DO値を設定する方式を採用した。目標DO値は、NH₄-N濃度とその変化量よりPID制御を用いて連続的に変化させた。反応タンク内の硝化状況に応じてDO濃度が調節されるため、硝化が安定している場合には過剰曝気を低減でき、逆に、高負荷時には曝気風量を増加させて水質安定化を図ることができる。

2. 実験設備

低動力反応タンクシステムの各構成技術の性能とシステム全体の低動力性を評価するため、試験水槽を用いた性能確認実験と2カ所の実処理場での実証実験を実施した。

2.1 試験水槽

試験水槽の外観を写真1に示す。試験水槽の平面積は2 m^W × 2 m^L の4 m²で、散気水深は5 mまで設定できる。PABIO TUBEの全面エアレーション式と旋回流式の酸素移動効率の測定に用いた。

2.2 A処理場反応タンク設備

A処理場の反応タンク設備では、PABIO TUBEの深槽旋回流式の酸素移動効率の測定、PABIO Mixの攪拌性能の評価、NH₄制御の風量削減効果の評価、および、低動力反応タンクシステムの処理水質を確認した。A処理場の処理システムを図4に、実験池の反応タンク設備仕様を表2に示す。



写真1 試験水槽外観

図4に示すように、4系列×4池で構成される反応タンク設備の1池（4系3号池）を実験池とし、第2槽、第4槽、第7槽、第8槽の好気タンクにはPABIO TUBEを、第1槽、第3槽、第6槽の無酸素タンクにはPABIO Mixを設置した。PABIO Mixは分割型翼を採用した。第5槽は槽内に障害物がありPABIO Mixを設置できなかったため、既設散気板（間欠曝気）をそのまま使用した。実験池と同系列の他池には、全槽にセラミック散気板（気孔径260 μm）が設置されており、無酸素タンクでは2時間毎に5分間の間欠曝気により攪拌した。

全体風量は、1系と2系の平均DOが一定になるように制御され、各池には手動による弁開度調整にて分配した。実験池の送風量は、配分された空気量の範囲内で、DO一定制御とNH₄制御を切り替えて運転できるようにした。

表2に示すように、設計処理水量は7 500 m³/d、処理方式は凝集剤併用ステップ流入式多段硝化脱窒法、散気方式は深槽旋回流式である。

2.3 B浄化センター反応タンク設備

B浄化センターの反応タンク設備では、PABIO TUBEの風量削減効果と圧損推移、および、NH₄制御の風量削減効果の評価した。B浄化センターの処

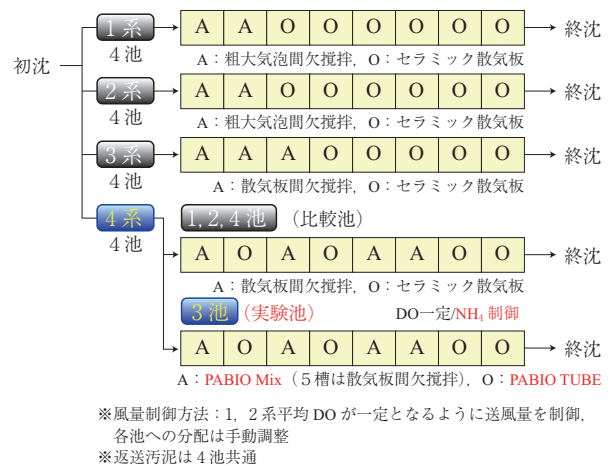


図4 A処理場の処理系統図

表2 A処理場実験池の反応タンク設備仕様

処理方式	凝集剤併用ステップ流入式多段硝化脱窒法
処理水量	7 500 m ³ /d/池 (日最大)
池形状	7.5 m ^W × 31.8 m ^L × 7.8 m ^{WH} (機能満足潮位時)
散気方式	深槽旋回流式
散気水深	4.948 m (機能満足潮位, 日最大汚水量時)

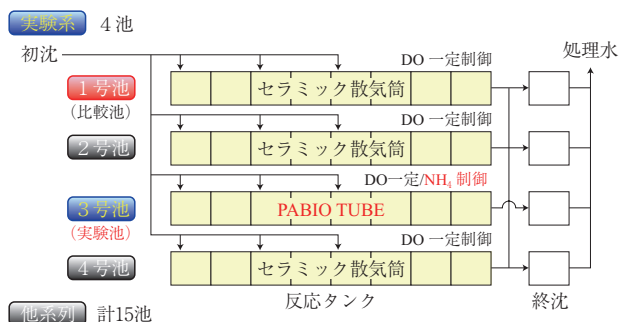


図5 B 浄化センター処理系統図

表3 実験系の反応タンク設備仕様 (B 浄化センター)

処理方式	3段ステップ流入式 ※冬季は硝化抑制運転 実験池：嫌気好気法 他池：3段硝化脱窒法
処理水量	7 200 m ³ /d/池 (日最大)
散気方式	旋回流式
散気水深	5.04 m
槽形状	第1, 8槽：6.9 m ^W × 9.0 m ^L × 6.04 m ^{WH} , ハンチあり 第2～7槽：6.9 m ^W × 6.2 m ^L × 6.04 m ^{WH} , ハンチあり
PABIO TUBE 数量	第1槽：呼び長さ0.75 m 品 × 40本/槽 第2～7槽：呼び長さ1 m 品 × 68本/槽 第8槽：呼び長さ0.75 m 品 × 96本/槽
発泡面積比	第1槽：7.4%, 第2～7槽：24%, 第8槽：18%

理系統を図5に、実験系の反応タンク設備仕様を表3に示す。

図5に示すように、4池から成る系列(実験系)の3号池を実験池としてPABIO TUBEを設置し、セラミック製散気筒が設置されている1号池を比較池とした。比較池のセラミック製散気筒は反応タンク幅の約25%の領域に設置されているが、PABIO TUBEは70%以内に幅広く設置した。PABIO TUBEは2015年12月に運用開始した。比較池の送風量はDO一定制御されており、実験池の送風量はDO一定制御とNH₄制御を切替できるようにした。

表3に示すように、設計処理水量は7 200 m³/d、処理方式は3段ステップ流入式硝化脱窒法であるが、冬期は実験池で嫌気好気法、他池はステップ流

入を停止し3段硝化脱窒法の硝化抑制運転をおこなった。散気方式は旋回流式である。

3. PABIO TUBE の性能評価

3.1 酸素移動効率

(1) 実験方法

全面エアレーション式と旋回流式の酸素移動効率は試験水槽で非常法を、深槽旋回流式の酸素移動効率は実処理場でオフガス法を用いて測定した。

非常法による測定には、試験水槽を用いた。呼び長さ1 mのPABIO TUBE 4本を水槽底部に全面配置あるいは旋回流配置し、散気水深は5 m、発泡面積比15.4%の条件で測定した。

オフガス法による測定は、A処理場の反応タンク設備でおこなった。測定場所と条件を表4に示す。

表4に示すように、第3ステップ好気槽の第7槽、第8槽で酸素移動効率を測定した。発泡面積比は両槽ともに27%、測定時の散気水深は4.96 mであった。

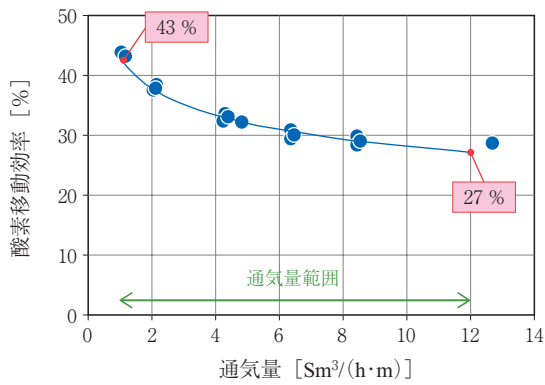
オフガスは、水槽上部空間から吸引捕集したが、低通気量時は当該水槽外から侵入する空気の影響が大きかったため、水面に捕集ポートを浮かべて捕集した。なお、捕集位置によりオフガス成分濃度に差異があったため、散気装置設置側、中央付近、散気装置を設置していない側の3カ所で捕集したオフガスからそれぞれ酸素移動効率を求め、それらの平均値を算出した。

(2) 実験結果

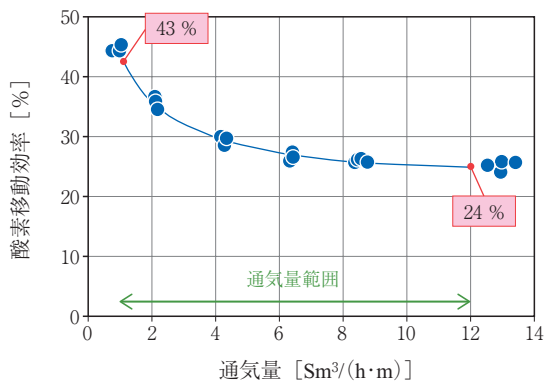
全面エアレーション式、旋回流式、深槽旋回流式の酸素移動効率測定結果を図6に示す。なお、図中の酸素移動効率は、清水、20℃、散気水深5.0 mの条件に換算した値である。また20℃条件に換算した風量をSm³と表す。

表4 酸素移動効率測定場所と条件 (A 処理場)

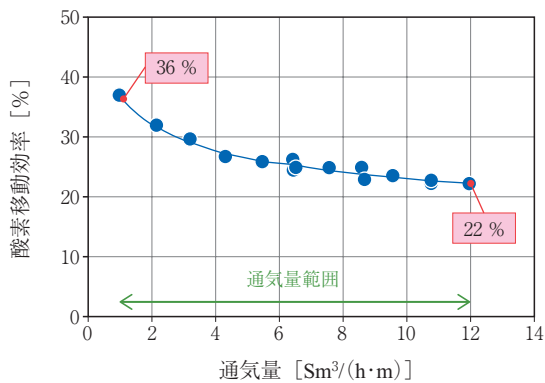
測定対象槽	3段ステップ好気槽 (第7槽, 第8槽)
測定槽形状	第7槽：7.50 m ^W × 6.93 m ^L × 7.8 m ^{WH} , ハンチあり
	第8槽：7.50 m ^W × 6.86 m ^L × 7.8 m ^{WH} , ハンチあり
PABIO TUBE 数量	第7槽：呼び長さ0.75 m 品 × 120本
	第8槽：呼び長さ0.75 m 品 × 120本
散気水深	4.96 m
発泡面積比	第7槽：27%, 第8槽：27%



(a) 全面エアレーション式



(b) 旋回流式



(c) 深槽旋回流式

図6 酸素移動効率測定結果
(清水, 20℃, 散気水深5.0m換算値)

図6に示すように、通気量1~12 Sm³/(h·m)の範囲で、全面エアレーション式では27~43%、旋回流式では24~43%、深槽旋回流式では22~36%の酸素移動効率を有することを確認した。

3.2 風量削減効果

(1) 実験方法

B浄化センターにて、PABIO TUBEを設置した実験池とセラミック製散気筒が設置されている比較池の送風量を比較し、風量削減率を算出した。実験池

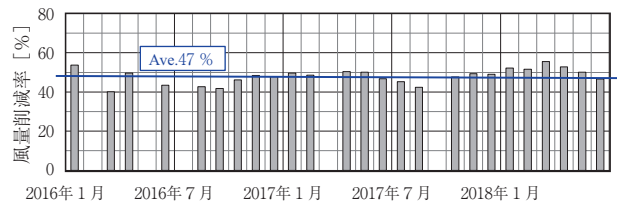


図7 実験池の比較池に対する風量削減率
(B浄化センター)

では、DO一定制御とNH₄制御の切り替え運転をおこなったが、送風量の比較は、比較池と同じDO一定制御運転の期間でおこなった。

(2) 実験結果

2016年1月から2018年6月までの2年6カ月間の実験池の比較池に対する風量削減率を図7に示す。なお、2016年2月、5月、7月、2017年9月はDO一定制御運転を実施せず、2017年3月は槽内点検のため運転を休止した。

図7に示すように、実験池の比較池に対する風量削減率はAve.47%に達し、季節変動はあったが長期的な漸減性は見られず、PABIO TUBEが高い酸素移動効率を安定して保持していたと考えられる。風量削減率については、セラミック製散気筒よりもPABIO TUBEを幅広く設置した効果も含まれていると考えられる。A処理場では、PABIO TUBEを設置した実験池とセラミック製散気板を設置している既設比較池の日平均DOが同等である日の送風量を比較しており、現時点で風量削減率33.5%と評価している。A処理場は、深槽旋回流式で、実験池と比較池の散気装置設置幅は同じである。

3.3 圧損推移

(1) 実験方法

B浄化センターに設置したPABIO TUBEへの送風圧力と送風量を測定し、PABIO TUBEの圧損と通気量の推移を調査した。圧損は、末端の第8槽下流側ライザー管（各槽上流側と下流側の2本のライザー管を経由して送風）に設置した圧力計計測値（送風圧力）から散気水深分の水圧を減じて求めた。通気量は、当該ライザー管に設置した風量計計測値をPABIO TUBE総長（呼び長さ）で除して算出した。なお、測定対象の第8槽下流側ライザー管では、強制的な圧損回復操作はおこなわなかった。

(2) 実験結果

2015年12月から2018年6月までの2年7カ月間の圧損と通気量の推移を図8に示す。各値は約半月毎、正午の測定結果である。

図8に示すように、PABIO TUBEの圧損は、運転初期上昇後、漸増性なく6 kPa以下を推移した。

4. PABIO Mixの攪拌性能評価

(1) 実験方法

PABIO Mixを設置したA処理場実験池の第1槽と第3槽の底部流速とMLSS濃度分布、および、PABIO Mixの攪拌動力を測定した。

底部流速とMLSS濃度分布の測定位置を図9に示す。底部流速は第1槽で1カ所、第3槽では槽壁近傍を含む3カ所で、槽底から10 cm高さの位置で測定した。MLSS濃度分布は各槽2カ所で垂直方向に概ね2 m間隔で測定した。底部流速は3軸電磁

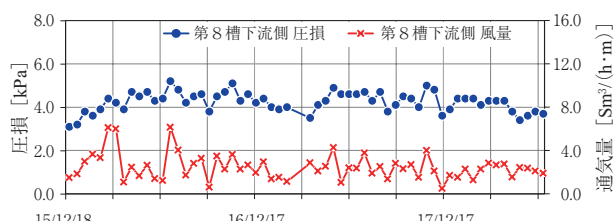


図8 PABIO TUBEの圧損と通気量の推移 (B 浄化センター)

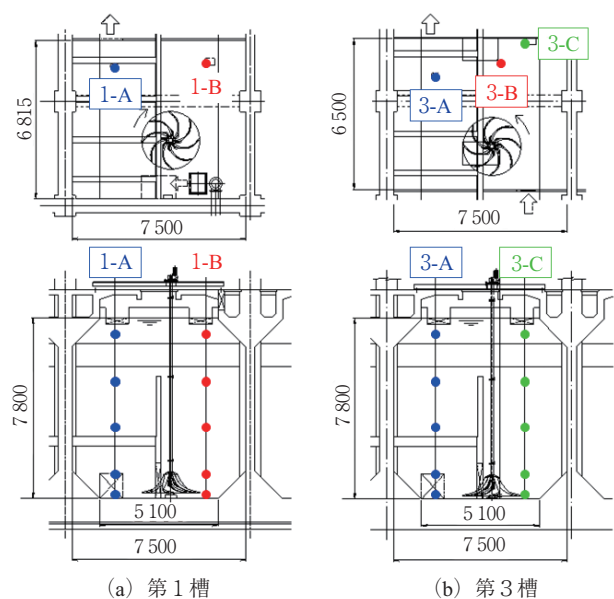


図9 底部流速とMLSS濃度分布の測定位置 (A 処理場実験池第3槽)

表5 底部流速測定結果 (A 処理場実験池)

測定点	第1槽		第3槽	
	1-A	3-A	3-B	3-C
底部流速 [m/s]	0.18	0.20	0.18	0.11

流速計を、MLSS濃度は光透過式MLSS計を用いて測定し、攪拌動力はクランプ式電力計を用いてモーター入力電力を測定した。

(2) 実験結果

底部流速測定結果を表5に、MLSS濃度測定結果を図10に示す。

表5に示すように、全測定地点で0.1 m/s以上の底部流速が得られており、また、図10に示すように均一なMLSS濃度分布であることが確認された。

PABIO Mixの攪拌動力測定結果、ならびに、従来型水中攪拌機に対する電力削減効果の試算結果を表6に示す。従来型水中攪拌機の攪拌動力は、深槽の攪拌動力密度を8 W/m³とし、各槽容量を乗じて算出した。

表6に示すように、PABIO Mixは従来型水中攪拌機と比較して約1/10の攪拌動力で十分な攪拌が可能であると評価した。

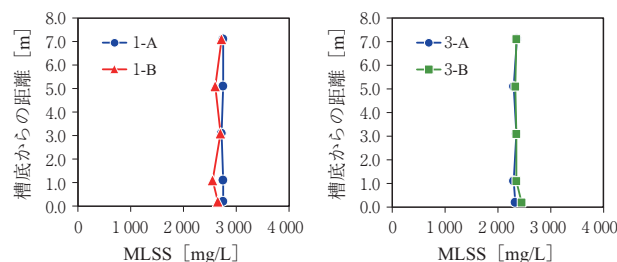


図10 MLSS濃度測定結果 (A 処理場実験池)

表6 PABIO Mixの攪拌動力測定結果 (A 処理場実験池) と電力削減効果試算結果

		PABIO Mix ^{※1}	従来型水中攪拌機 ^{※2}
第1槽	槽容量 [m ³]	374	
	攪拌動力 [kW]	0.26	3.0
	攪拌動力密度 [W/m ³]	0.70	8.0
	年間電力量 ^{※3} [kWh/年]	2 280	26 300
	電力削減効果 [%]	91	-
第3槽	槽容量 [m ³]	355	
	攪拌動力 [kW]	0.3	2.8
	攪拌動力密度 [W/m ³]	0.85	8.0
	年間電力量 ^{※3} [kWh/年]	2 630	24 900
	電力削減効果 [%]	89	-

※1 測定結果に基づく

※2 試算値；攪拌動力密度を8 W/m³として算出

※3 24時間×365日/年運転

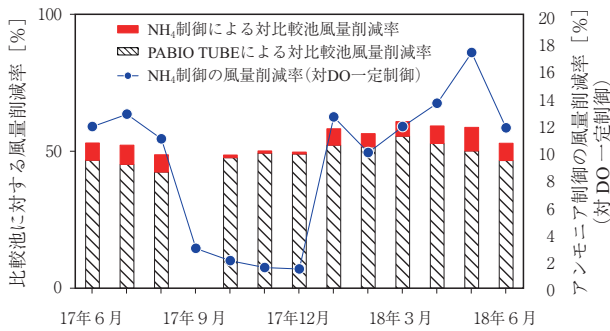


図11 実験池の比較池に対する風量削減率とNH₄制御のDO一定制御に対する風量削減率 (B浄化センター)

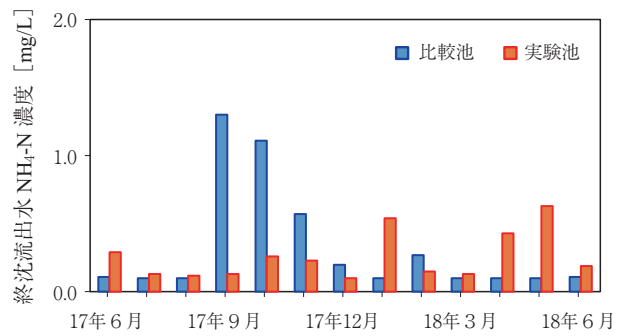


図12 終沈流出水NH₄-N濃度(月平均値) (B浄化センター)

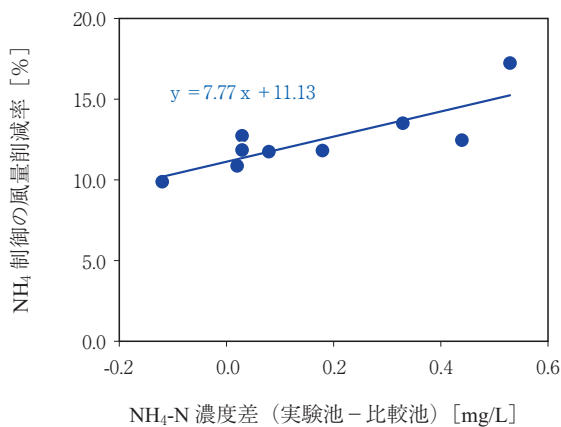


図13 実験池と比較池の終沈流出水NH₄-N濃度差と風量削減率の関係 (B浄化センター)

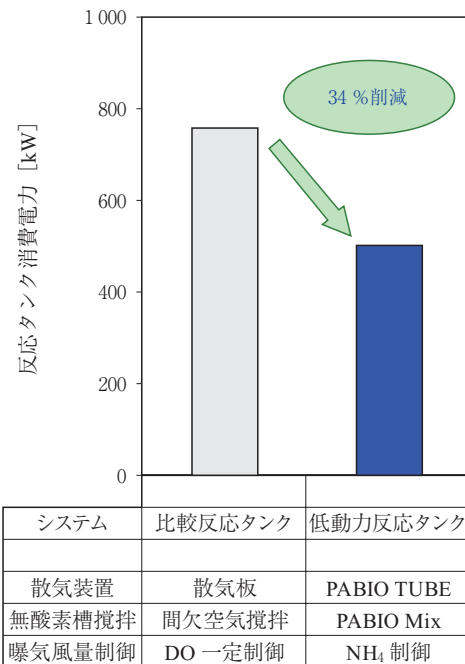


図14 低動力反応タンクシステムの動力削減効果試算結果 (A処理場想定)

5. NH₄制御の風量削減効果

(1) 実験方法

B浄化センター実験池にて、NH₄制御運転とDO一定制御運転を交互に切替え、その送風量差からNH₄制御の風量削減率を算出した。

(2) 実験結果

2017年6月から2018年6月までの実験池の比較池に対する風量削減率とNH₄制御のDO一定制御に対する風量削減率を図11に示す。また、実験池NH₄制御運転期間中の終沈流出水NH₄-N濃度(月平均値)を図12に示す。

図11に示すように、実験池では、比較池に対して48~60%の風量削減効果が得られた。PABIO TUBEとNH₄制御の相乗効果と考えられる。

NH₄制御のDO一定制御に対する風量削減率は、2017年6月~8月と2018年1月~6月は9.9~17.2%、2017年9月~12月は1~3%であった。

風量削減率が低かった2017年9月~12月は、図12

に示すように、比較池の終沈流出水NH₄-N濃度が高かった。これは、台風(9, 10月)、汚泥処理設備改築工事に伴うMLSS低減・余剰汚泥引抜き停止処置(9, 10月)、既設制御システムの更新切替え(11月)の影響と考えられた。一方、NH₄制御運転の実験池では、NH₄-N濃度計測値に応じて送風量が増加し、終沈流出水NH₄-N濃度上昇を抑制したと考えられる。

図13に、2017年6月~8月と2018年1月~6月の実験池と比較池の終沈流出水NH₄-N濃度差と風量削減率の関係を示す。

図13に示すように、終沈流出水NH₄-N濃度差と風量削減率には相関性が見られ、同等水質(濃度差

= 0 mg/L) では、約11 %の風量削減効果が得られると考察した。A 処理場では、DO=2.0 mg/L の DO 一定制御と比較し 9 %の風量削減効果が得られている。

6. 低動力反応タンクシステムの低動力性試算結果

A 処理場において、低動力反応タンクシステムの既設反応タンク設備に対する動力削減効果を試算した。試算結果を図14に示す。

PABIO TUBE の既設セラミック製散気板に対する風量削減率と NH₄ 制御の DO 一定制御に対する風量削減率は、それぞれ、A 処理場実証実験の暫定評価値である33.5 %、9 %とした。また、PABIO Mix の攪拌動力は、A 処理場実験池での測定結果を基に算出し、既設間欠曝気攪拌動力は、0.5 m³/min × 5 分 / 2 時間の条件で A 処理場の送風機の風量と消費電力の関係から算出した。

図14に示すように、低動力反応タンクシステムは、セラミック製散気板、無酸素槽間欠空気攪拌、DO 一定制御で構成される反応タンクシステムと比較し、34 %の動力を削減できる試算結果が得られた。

む す び

下水道事業において、省エネは重要な課題であり、低動力反応タンクシステム、ならびにその構成

技術は、電力消費量削減ニーズに応えることができると考える。低動力反応タンクシステムの消費エネルギー削減効果について、本稿では処理場の試算結果を示したが、今後、処理方式や処理水量など各種条件でケーススタディをおこなう予定である。

低圧損型メンブレン式散気装置 PABIO TUBE については、高い酸素移動効率と風量削減効果を確認し、双曲面形攪拌機 PABIO Mix については、低動力で十分な攪拌性能が得られることを確認した。これら省エネ機器の採用により、送風機動力や攪拌動力の低減に寄与できると考える。NH₄ 制御についても、実処理場で風量削減効果を確認したが、処理場特性による風量削減効果の差異や採算性などの検討を継続し、実用化を目指したい。

最後に、実証実験を実施するにあたり多大なご協力をいただきました自治体・下水処理場の関係各位、また、共同研究者としてご協力をいただきました地方共同法人日本下水道事業団の関係各位に深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 財団法人下水道新技術推進機構：メンブレンパネル式散気装置 技術マニュアル (2005), P.1
- 2) 田村ほか、省エネ型反応タンク攪拌機の導入による省エネ効果、第53回下水道研究発表会講演集 (2016), P887~889
- 3) 上田ほか、双曲面形攪拌機 (パビオミックス)、神鋼環境ソリューション技報 Vol. 5 No. 2 (2009)

オンサイト型小型水電解式水素発生装置 「H₂BOX- II」 (読み方：すいそぼっくすつー)

現在販売中の「H₂BOX」は2013年の発売以降、様々な分野でご採用頂いている。一方、お客様から設置スペース、とくにメンテナンススペースの削減へのご要望も頂いており、さらにご愛顧頂ける装置となるよう改良に取組み、この度、新型水素ボックスの製品化に至った。

新型水素ボックス「H₂BOX-II」は、従来の「H₂BOX」に対して設置面積比を約33 %削減し、容積比についても約15 %の削減を実現した。また、従来機では、装置の周囲4方向にメンテナンススペースの確保が必要であったが、新型機では、背面ならびに側面の3方向のメンテナンススペースの確保が不要であるため、メンテナンススペースを約85 %削減した。これにより、設置スペースの縮小化ならびに有効利用に貢献できるだけでなく、本装置を利用する設備（筐体・局舎）への組みやすさも格段に向上すると見込まれる。

また、内部機器を設計変更したことで、稼動安定性の向上を図り、より安全性に配慮した装置となっている。

来る水素社会に向け、ユーティリティの削減ならびに電解効率向上による、イニシャルコストおよびランニングコストの低減、さらには利便性の向上を図り、水素を利用する様々な分野にてご採用頂ける競争力のある装置を目指し、今後も開発に取組んでいく。



図1 水素ボックスの外観比較図
左：H₂BOX-II（試作機），右：H₂BOX

表1 「H₂BOX- II」と「H₂BOX」の比較

項目	H ₂ BOX- II	H ₂ BOX
水素発生量	1 Nm ³ /h	同左
水素供給圧力	0.82 MPaG 以上	同左
水素純度	99.999 %以上	同左
水素露点	-70 °C 以下	同左
装置概寸法	W1 000 mm × D400 mm × H1 600 mm	W600 mm × D1 000 mm × H1 260 mm
装置乾燥重量	約370 kg	約300 kg
機能他	タッチパネル操作 筐体内強制換気 運転データ記録可 寒冷地対応可（オプション）	スイッチ操作 筐体内自然換気
メンテナンススペース比較（平面図）	<p>H₂BOX-II 約1 m メンテナンススペース 従来比85%減</p>	<p>H₂BOX 約1 m 約1 m メンテナンススペース</p>

展示会だより

■ ACHEMA 2018

6月11日（月）から15日（金）までの5日間、ドイツのメッセ・フランクフルトにて世界最大の化学機器見本市である ACHEMA 2018が開催され、世界55か国より3800社以上の企業が参加しました。

当社はグラスライニング製高機能反応機、多管式熱交換器、機能性ガラス、攪拌技術、粉体混合乾燥技術などのオンリーワンの技術を展示し、技術力をアピールしました。当社ブースにはユーザのみならずメーカーも含め約40か国より220社が来訪され、大きな関心を持っていただき、当社の存在感を示すことができました。

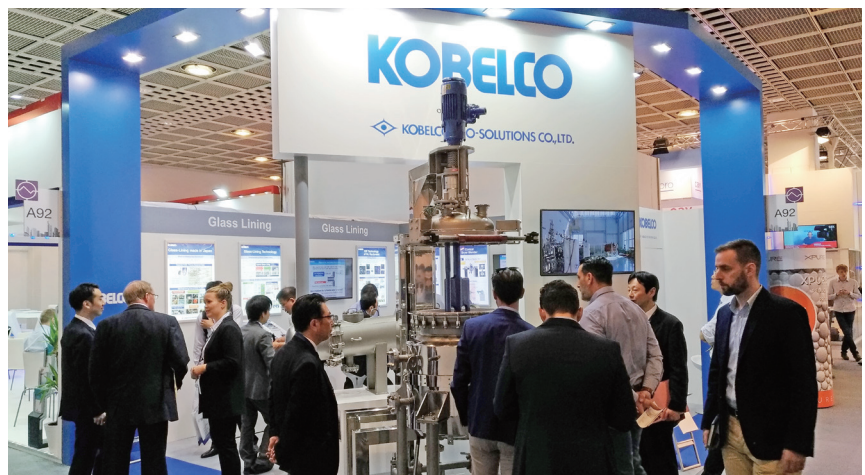
ドイツでの展示会ではありましたが、予想以上にアジアからのユーザも多く来訪され、とくにインドの化学、医薬市場の急速な発展性には大きな期待を感じました。

今後は、ここで得られた成果を当社の海外ビジネスのさらなる拡大に活かしていくとともに、この機会に面識を得た欧州のメーカーやベンチャー企業との技術交流を深め、さらなる技術力向上を図ります。また、今回入手した多くの企業の技術・製品情報を、既存技術のブラッシュアップおよび新製品開発へ有効に活用していきます。



展示会場

当社ブースの様子



展示会だより

■下水道展 '18北九州

今年度の下水道展は2018年7月24日（火）～27日（金）、北九州市の西日本総合展示場にて開催され、当社は神鋼環境メンテナンス（株）と共同出展しました。出展数277団体、来場者数約31,000人を数え、当社ブースには約1,000名のお客様が来訪されました。

今回のブースは、当社の注力事業である省エネ・創エネ・長寿命化技術の紹介、運転維持管理の取組み、海外展開を3つの柱として展示を行いました。

省エネ・創エネ・長寿命化技術については銅板製消化槽、樹脂製汚泥掻寄機、反応槽用槽上攪拌機（パビオミックス、パビオエアレータ）に加え、以下設備メニュー・実証研究について新たにパネル展示しました。

- ・低圧損型メンブレン式超微細気泡散気装置「PABIO TUBE」（散気装置実機も展示）
- ・省エネ機器とアンモニア制御による低動力反応タンクシステム
- ・環境配慮型創エネ焼却システムに関する共同研究
- ・高濃度消化・省エネ型バイオガス精製による効率的エネルギー利活用技術実証研究

とくに、PABIO TUBEについてはノベルティとしてクリアファイルを配布し、ご来訪のお客様に新規製品PRを行いました。併催の下水道研究発表会で、PABIO TUBE および低動力反応タンクシステムについて研究発表を行ったことも後押しとなり、多くのお客様からご質問をいただき、新規製品に関心をいただくことができました。

運転維持管理の取組みについては、当社の下水道施設における包括的な運転維持管理の実績を展示しました。また、海外展開の取組みについて、ベトナムで受注した下水処理場案件を紹介しました。



(株)神鋼環境ソリューション登録特許一覧 (2017年4月1日～2018年3月31日まで)

No.	出願日	登録番号	登録日	発明(考案)の名称	共同出願人
1	2014/6/27	6212441	2017/9/22	有機性廃棄物の湿式メタン発酵処理設備の運転方法	株式会社神鋼環境ソリューション、 神戸市
2	2014/4/7	6205301	2017/9/8	水処理方法及び水処理設備	株式会社神鋼環境ソリューション、 株式会社片山化学工業研究所、ナル コジャパン合同会社
3	2013/7/29	6140564	2017/5/12	移動式浄水装置	株式会社神鋼環境ソリューション
4	2013/10/10	6140049	2017/5/12	還流器および反応機ユニット	株式会社神鋼環境ソリューション
5	2014/8/19	6126559	2017/4/14	ガス化熔融炉の運転方法	株式会社神鋼環境ソリューション
6	2014/5/15	6313117	2018/3/30	流動床炉の運転方法及び流動床炉	株式会社神鋼環境ソリューション
7	2014/6/24	6243805	2017/11/17	汚泥の燃焼方法および汚泥用の燃焼炉	株式会社神鋼環境ソリューション
8	2014/3/31	6190306	2017/8/10	冷却塔	株式会社神鋼環境ソリューション
9	2015/1/7	6149048	2017/5/26	廃棄物処理システム及びその運転方法	株式会社神鋼環境ソリューション
10	2015/3/11	6261534	2017/12/22	鋼板製消化槽の補修方法	株式会社神鋼環境ソリューション
11	2015/2/5	6178352	2017/7/21	流動床炉の運転方法及び流動床炉	株式会社神鋼環境ソリューション
12	2015/3/4	6199329	2017/9/1	廃棄物焼却排ガスの処理方法及び装置	株式会社神鋼環境ソリューション
13	2015/6/19	6165197	2017/6/30	PCB 処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション
14	2015/10/30	6263514	2017/12/22	水処理方法、及び、水処理装置	株式会社神鋼環境ソリューション
15	2015/11/20	6216362	2017/9/29	攪拌翼	株式会社神鋼環境ソリューション
16	2016/2/1	6163573	2017/6/23	廃棄物埋立処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション、 イー・アール・シー高城
17	2016/2/1	6131348	2017/4/21	廃棄物埋立処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション、 イー・アール・シー高城
18	2016/5/20	6130956	2017/4/21	流動床式焼却炉の排ガス処理方法、および流動床式 焼却炉の排ガス処理設備	株式会社神鋼環境ソリューション
19	2016/8/9	6209656	2017/9/15	リグノフェノールの製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション
20	2016/8/9	6280596	2018/1/26	廃棄物処理システム及びその起動方法	株式会社神鋼環境ソリューション
21	2016/12/20	6244444	2017/11/17	水処理設備	株式会社神鋼環境ソリューション
22	2016/7/13	6279664	2018/1/26	飛灰の洗浄方法、処理方法、洗浄装置及び処理装置	株式会社神鋼環境ソリューション、 福岡大学
23	2017/2/22	6180673	2017/7/28	廃油処理装置、及び、廃油処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション
24	2016/12/28	6145558	2017/5/19	水処理方法、水処理装置、廃油処理方法、及び、廃 油処理装置	株式会社神鋼環境ソリューション
25	2016/11/18	6261706	2017/12/22	飛灰の洗浄方法	株式会社神鋼環境ソリューション
26	2016/11/11	6280621	2018/1/26	放射性物質除去方法	株式会社神鋼環境ソリューション、 国立研究開発法人 国立環境研究所
27	2017/3/8	6240800	2017/11/10	廃棄物処理装置および廃棄物処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション、 竹中工務店、三機工業株式会社
28	2017/5/12	6232514	2017/10/27	廃油処理方法、及び、廃油処理装置	株式会社神鋼環境ソリューション
29	2017/8/30	6291620	2018/2/16	炭化物製造方法及び炭化物製造設備	株式会社神鋼環境ソリューション
30	2017/9/15	6280668	2018/1/26	廃棄物処理設備	株式会社神鋼環境ソリューション

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
	〒651-0086 神戸市中央区磯上通2丁目2番21号(三宮グランドビル)	☎ (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
	〒141-0001 東京都品川区北品川5丁目9-11(大崎MTビル)	☎ (03)5739-5800 FAX(03)5739-5821
大 阪 支 社	〒541-8536 大阪市中央区備後町4丁目1-3(御堂筋三井ビル)	☎ (06)6206-6751 FAX(06)6206-6760
九 州 支 社	〒812-0012 福岡市博多区博多駅中央街1-1(新幹線博多ビル)	☎ (092)474-6565 FAX(092)441-4440
北 海 道 支 店	〒060-0004 札幌市中央区北四条西5丁目1-3(日本生命北門館ビル)	☎ (011)241-4647 FAX(011)241-5759
東 北 支 店	〒980-0811 仙台市青葉区一番町1丁目2-25(仙台NSビル)	☎ (022)716-6651 FAX(022)263-2049
名 古 屋 支 店	〒451-0045 名古屋市西区名駅2丁目27-8(結屋ファミセントビルタワー)	☎ (052)581-9876 FAX(052)563-2313
播 磨 製 作 所	〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島19	☎ (079)436-2500 FAX(079)436-2506
室 蘭 SD 製 造 所	〒050-0055 室蘭市崎守町387-25	☎ (0143)50-3036 FAX(0143)50-3066
テックビルド事務所	Berliner Allee 55, 40212 Düsseldorf Germany	☎+49-211-7792-0430 FAX+49-211-7792-0450
プノンペン事務所	Soma Tower, 1st Floor, #2C, street120, Sangkat Phsar Thmey II, Khan Daun Penh, Phnom Penh, Kingdom of Cambodia	☎+855-23-210-301 FAX+855-23-210-309

神鋼環境ソリューション技報 2018年度 Vol.15 No.1 通巻29号

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

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

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

《編集委員》編集委員長/田頭成能 委員/高橋円・細田博之・小川正浩・酒井耐治・丸山智裕・荻野行洋・青木勇・菊池雅彦・須田龍生・松本勝生

《発行》2018年9月15日印刷 2018年9月20日発行 年2回発行《禁無断転載》《発行人》隅晃彦《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。