

## 水の再利用と国際標準化

### The Situation of the International Standardization for Water Reuse



大熊 那夫紀

Naoki OHKUMA

一般財団法人 造水促進センター  
理事

水の再利用市場は、新興国や途上国の人口増加や都市化を背景に急速に発展することが予想されている。再生水の利用には、使う人の健康や使う場所での安全性や信頼性の評価が重要となる。また、水の再利用にとって、現在、各所で稼働している膜技術は欠かせない技術であり、我が国の優位な技術といわれている。こうしたことを背景にISO/TC282「水の再利用」の専門委員会が2013年6月に設立した。日本は幹事国となっており、2014年1月には東京で第一回の総会が開催された。ここでは、水再利用の状況とそれらに関連する国際標準化の現状を報告する。

Water reuse markets are forecasted to expand rapidly against the background of population growth and urbanization in emerging and developing countries. When using reclaimed water, it is important to evaluate the health of users, as well as safety and reliability at the location of use. Membrane technology is indispensable and is widely used; it is a technology in which Japan is considered to have superiority. Against this background, Technical Committee ISO/TC282 "Water Reuse" was established in June 2013. Japan is currently the secretariat, and the first General Meeting was held in Tokyo in January 2014. This report reviews the status of water reuse and related international standardization.

### はじめに

世界における水不足は確実に進行しており、その対応の一つとして水の再利用は必須事項となってきた。都市の開発や人口増加に伴う水不足は、世界各地で大きな社会問題となっている。水不足地域では国家戦略として水の再利用を掲げている国もあり、その重要性は増すばかりである。我が国においても水循環基本法が議員立法として成立し、今年7月1日から施行され、省庁横断の水循環政策本部が設置されるなど「水」への関心は高まってきている。しかし、諸外国に比べて水ストレスの少ない我が国では、再利用の大きな市場を形成することはないと思われる。我が国における水再利用の意義は、藤江<sup>[1]</sup>によると次の5項目に整理されている。

- ① 資源偏在への解
- ② 和製水メジャー育成の切り札
- ③ 安全・安心な水資源
- ④ 先端産業を支えるシステム

### ⑤ 水辺環境を保全する水源

②は我が国特有の項目であり、水ビジネスの切り札の一つとして、成長分野であり、かつ、我が国が得意とする膜技術等を活かせる再利用分野を目指し、グローバル展開を図るべきであるということが言える。また、我が国の優位技術をグローバルに展開するためのひとつの方法として、国際標準化があると考えられる。2013年6月に日本が幹事国となるISO/TC282「水の再利用」専門委員会の設立が決まるなど、水に関するISO化の動きが活発になってきている。ここでは、水再利用の状況とそれらに関連する国際標準化の動きをまとめる。

### 水再利用の市場動向

GWI(Global Water Intelligence)社の調査<sup>[2]</sup>によると再利用の市場は、2016年には2009年の約4倍の8,000億円を越す市場になるとしている。これをFigure 1に示す。地域別にみると中東・北アフリカの伸びと市場が大きいこと

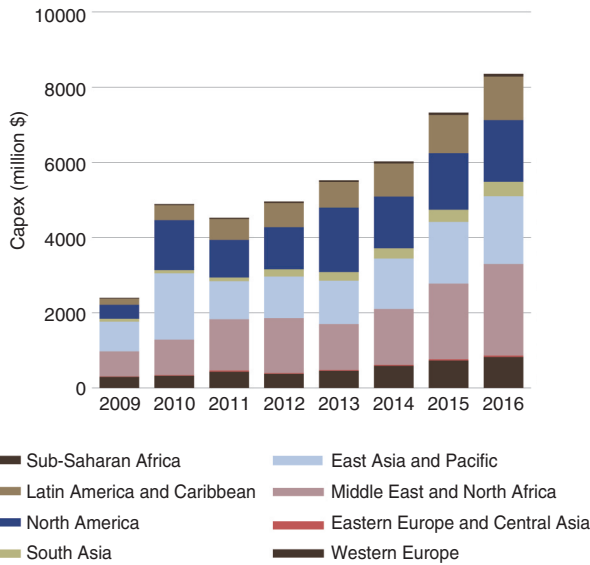


Figure 1 再生水の市場予測

が分かる。また、今後の設備投資額のトップ3は、アメリカ、中国、サウジアラビアとなっている。アメリカの設備投資は、2009年から8年間で1兆円の投資額とみられている。これらトップ10の国の総計では、8年間で3兆円を超える設備投資が予想されている。世界市場における再生水の用途をFigure 2<sup>[2]</sup>に示す。約1/3が農業用途で最も多く、次いで工業用途で約20%となっている。間接的な飲用や地下涵養は併せて約5%となっているが、今後はこの用途が伸びてくる可能性が高い。そのためには、再生水の安全性の評価が重要になる。

## 再利用技術の現状

ここで、著者が関係した再利用に関する技術紹介をする。

### 中東の再生水システム<sup>[3]</sup>

中東・UAE(United Arab Emirates)の世界最高層ビル「ブルジュ・ハリファ」の周りに池があり、この噴水に使用する水は、この地域住民の3,000 m<sup>3</sup>/dの生活排水をMBR-RO(Membrane BioReactor-Reverse Osmosis)システムで処理した再生水である。このシステムのMBR設備写真をFigure 3に示す。原水である生活排水は下水管から直接取水し、ROの濃縮水と余剰汚泥は下水管に戻している。地域住民の衛生面を考え、また蒸発量が非常に多い地域であるため、RO設備で脱塩した再生水が使われている。さらに一部は地域冷房用の補給水としても利用されている。

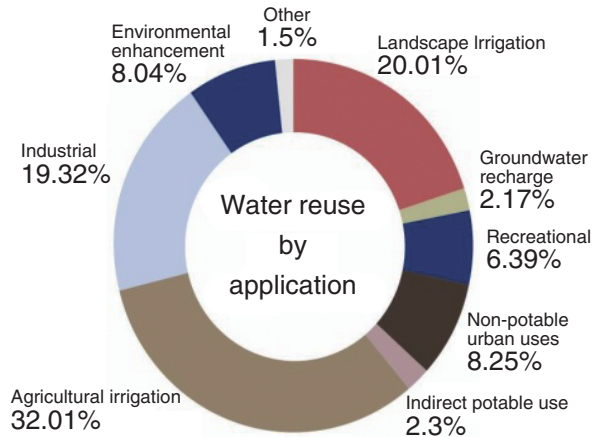


Figure 2 世界市場における再生水用途

### UAEにおける水再利用ビジネス<sup>[4]</sup>

UAEのドバイ首長国において、2009年2月から生活排水を収集して処理し、処理水を再生水として販売する水再生事業会社が稼働している。ビジネスモデルの概要をFigure 4に示す。

このビジネスモデルは、ドバイ首長国において、都市の開発ラッシュに伴う労働者の急増という社会背景に負う側面がある。公共の下水処理場は当時一ヶ所しかなく、急激な人口増加に管理網が対応できないため、労働者の生活排水はタンクローリで数十km離れている下水処理場まで運搬し処理されていた。しかし、下水処理場の処理能力を遥かに超える生活排水を処理することになり、処理水質の悪化が再利用の際の大きな問題であった。また、タンクローリによる交通渋滞も社会問題となっていた。また、ドバイにおける上水道は、大部分を海水淡水化施設で賄っているため、高い水道料金を支払って工業用水などに使用していた。こうしたことから、労働者の生活排水



Figure 3 ブルジュ・ハリファのMBR設備

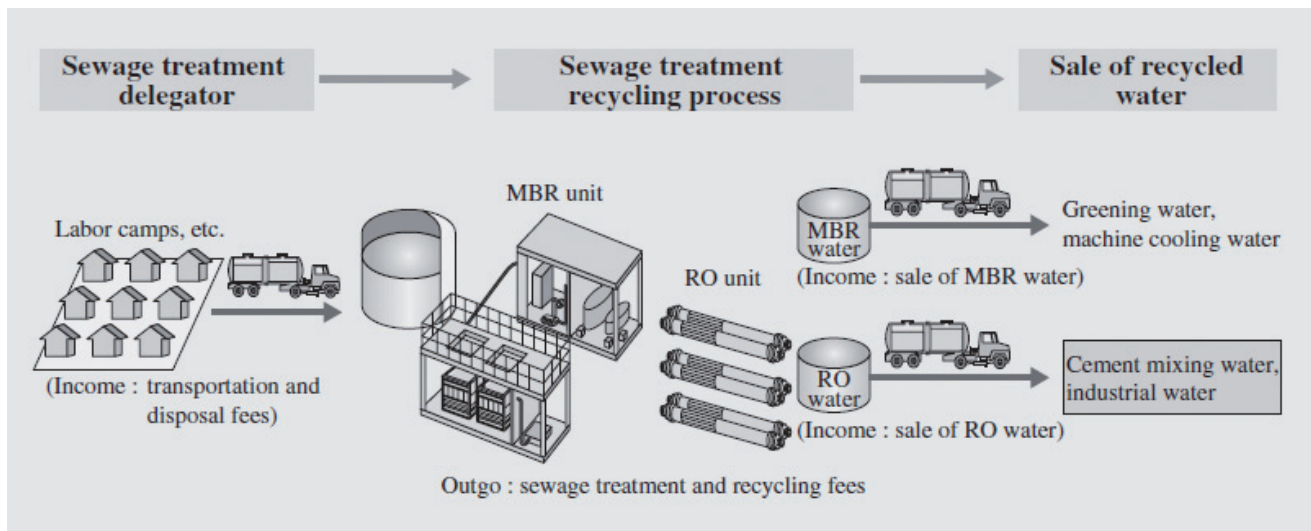


Figure 4 UAEにおける再生水のビジネスモデル

を収集して処理費を徴収し、生活排水の排出源に近い場所に処理設備を設置し処理をして、近くの工場の工業用水として水道水より安い料金で供給できれば事業として成り立つことになる。処理設備は、MBRとROを組み合わせている。いずれも膜技術を利用したもので、省スペースを実現し、処理水も良質という特徴を有している。セメント工場内に処理設備を設置し、近隣の生活排水を収集し、処理水はセメント工場内の工業用水に利用している。2008年のリーマンショックや2009年のドバイショックの影響で2010年以降は、ドバイ首長国では労働者数の急激な減少により、タンクローリでの生活排水処理費が暴落している。そのため、事業会社の再生水事業は縮小しているが、現在では排水処理のO&Mを中心事業として、事業を継続している。

### ラス・アル・ハイマ首長国でのプロジェクト<sup>[5]</sup>

UAEのラス・アル・ハイマ首長国内のアル・ガイル工業団地では、水道水をタンクローリで運搬し、生活用水と工業用水に使用し、生活排水はタンクローリで数十km離れた下水処理場に運搬、処理していた。ここでは、2,000 m<sup>3</sup>/dのMBR設備と1,000 m<sup>3</sup>/dのRO設備を設置(Figure 5に設備概観を示す)し、生活排水の処理と工業用水の製造を行い、生活排水の処分費と工業用水の販売費を収入源とする事業運営を目指すNEDO実証事業として実施した。

### ウォータープラザ北九州における技術開発<sup>[6]</sup>

世界的な水不足に対して、工業用水の効率的な製造技術の開発を目指し、RO膜を用いた海水淡水化システムの省エネと生活排水の処理との組み合わせシステムの実証事業を2009年度から開始している。設備のフローをFigure 6に示す。これは、ウォータープラザ構想として、北九州市日明浄化センター内に1,500 m<sup>3</sup>/dのMBR、RO設備を設置し、MBR処理水のRO濃縮水を海水に混合することで海水の浸透圧を低下させ、海水淡水化での動力の30%低減を目標としている。再生水は近隣の発電所の工業用水として利用されている。さらにテストベッド設備を設け、各種実証が行える環境整備も行っている。ウォータープラザは、省エネルギーで環境に調和した水循環システムの構築、国際社会への普及促進に寄与するため、海水淡水化と下水再利用の統合による低コスト・低動力

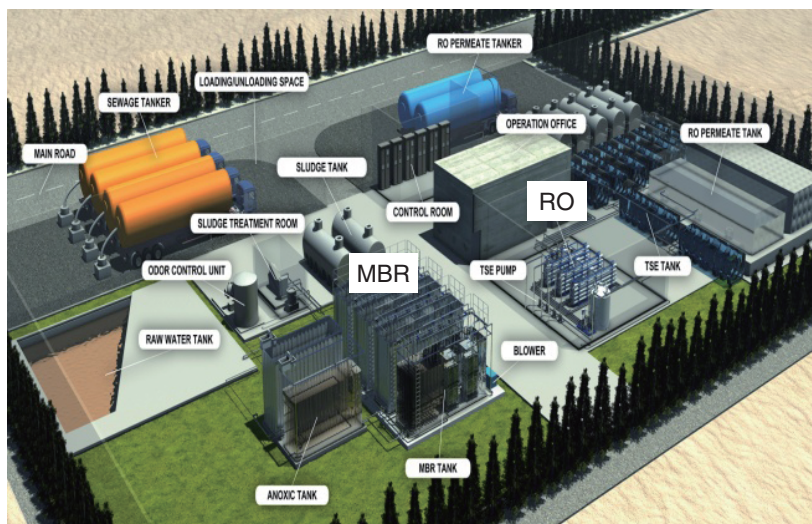


Figure 5 NEDO実証設備の概観図

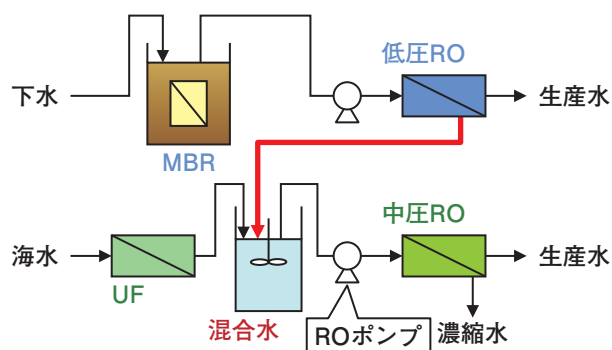


Figure 6 北九州ウォータープラザのフロー

の新規造水システムのデモプラントとして位置づけられている。

## 水に関する国際標準化の動向

### 水環境に関連する規格開発

2011年10月ISOの理事会で水の標準化に関する重要な決議がなされた。水へのアクセスと利用に関して、次の5項目が決められた<sup>[7]</sup>。

- ① 2012年に水をテーマとする国際ワークショップ開催を計画すること
- ② ISO/TC224で水供給と下水システムの資源とサービス、下水再生水のリサイクル (例えば、ISO/PC253を統合)も扱うようにする
- ③ 水の保全、リサイクル、海水淡水化に関する国際規格を検討すること
- ④ 水のマネジメントシステム・アプローチでは、環境・社会・経済の分野を考慮すること
- ⑤ 新規に「漏水のためのガイドライン」の必要性を検討すること

①については、2012年に神戸において、日本規格協会が主催して、国際ワークショップが開催され、漏水対策、下水の再利用、汚泥処理などの国際規格の重要性が決議されている。②、③については、2013年2月のISO/TMB (技術管理評議会)において、「水の再利用」に関して、日本、中国、イスラエルで専門委員会設立を提案するよう勧告された。これを受けて、提案書が各国に回付され、投票の結果、2013年6月に「水の再利用」の専門委員会 (ISO/TC282)設置が決定した。また、汚泥の回収・リサイクル・処理・処分について、フランスが提案し、ISO/TC275として、2013年秋から活動が始まっている。

Table 1 水に関連する専門委員会

委員会	内容 (幹事国)
TC5	金属管及び管継手 (中国)
TC23/SC18	かんがい・排水装置とシステム (イスラエル)
TC30	管路における流量測定 (英国)
TC113	流量測定 [開水路] (インド)
TC138	流体輸送用プラスチック管、継手及びバルブ類 (日本)
TC147	水質 (ドイツ)
TC223	社会の危機管理 (スウェーデン)
TC224	飲料水及び下水サービスに関する活動—サービス品質基準及び業務指標 (フランス)
PC251	アセットマネジメント (英国)
PC253	かんがいのための下水処理水再利用 (イスラエル)
TC255	バイオガス (中国)
TC268	都市の持続的発展 [スマートコミュニティ] (フランス)
TC275	汚泥の回収、リサイクル、処理及び処分 (フランス)
TC282	水の再利用 (日本、中国)

注：略語説明 TC (Technical Committee：専門委員会)、PC (Project Committee：プロジェクト委員会)、SC (Subcommittee：分科委員会)

ISOにおいて、これまでに検討されている水に関する専門委員会をTable 1<sup>[8]</sup>に示す。ISO/TC224「飲料水及び下水サービスに関する活動—サービス品質基準及び業務指標」は、2001年にフランスが提案した専門委員会で、2007年にはISO24510シリーズを発行している。また、ISO/PC251で検討されている上下水道を含むインフラのアセットマネジメントに関する国際規格ISO55000シリーズも2014年1月に発行された。こうした動きに対して、国内では、それぞれ審議団体が設立され活動しているが、日本が国際規格策定を主導的にコントロールすることはできていなかった。

### MBR技術の国際標準化<sup>[9]</sup>

我が国における膜技術と水再利用に関する標準化活動の経緯をFigure 7に示す。国内の膜関連業界では、MBR膜の国際シェアの下落兆候を懸念する声上がり、膜分離技術振興協会は、2009年度から3年間NEDO調査事業でMBRの標準化調査を行っている。2009年度では国内関係者にアンケート調査を行い、MBR標準化の必要性を明らかにした。2010年度には、海外調査を中心に行い、MBR技術の抱えている問題点を明らかにした。これらの結果を踏まえて、2011年度には、具体的な活動方針として、MBRの維持管理技術の規格化が、海外膜に対する国内膜の差別化とMBR市場の拡大に必須であることを明らかにした。この調査結果を受け、2012、2013年度に国土交通省は、MBR標準化のためには国内合意形成が必要であり、そのため、プラントエンジニアの団体である日

本下水道施設業協会と膜関連団体である膜分離技術振興協会に作業を、日本下水道事業団に事務局を委託した。ここでは、MBRの標準化の対象として、指標、要求事項の範囲を想定し、MBR膜における初期の膜性能評価方法とMBRシステムの性能評価方法を規格化する方向で調整されている。

一方、経済産業省の基準認証政策課では、水インフラ輸出の一つのツールとすべくMBRの国際標準化のプロジェクトを2013年度に公募した。膜分離技術振興協会と北海道大学が、MBRの運転維持管理方法の国際標準化を目指し共同受託した。国土交通省と経済産業省のプロジェクトの成果の出口としては、ISO/TC282の専門委員会を想定している。MBR技術については、この中で「膜技術の評価」等を新規提案し、膜分離技術振興協会を中心に、活動していく計画を立てている。

ISO/TC282「水の再利用」の進捗状況

2013年6月に設立したISO/TC282は、イスラエルが議長、日本、中国が幹事国となることが決定し、日本が主導的な立場で、「水の再利用」分野に関する国際規格策定を行える場ができたことになる。この国内審議団体は、国土交通省下水道部の流域管理官におくことが決まり、2014年1月23、24日と東京において第一回の専門委員会を開催した。

ISO/TC282の第一回の専門委員会では、10カ国が参加し、専門委員会の体制構築を目指し、討議が行われ、イスラエルがまとめるSC1(灌漑利用)の設置が承認、中国提案のSC2(都市利用)、日本提案のSC3(リスクとパフォーマンスの評価)の設立に向けた投票が行われることが決

議され、2014年3月には投票によりそれぞれのSCの設立が決定した。なお、第一回のISO/TC282の本会議において、イスラエルはワーキンググループとして、鉱山排水の再利用について提案し、設立が決定した。これらの場では、今後、再生水の用途の規格や再生水の質に関する評価方法の規格、再生水に関連する設備の性能評価方法の規格などが提案されていくことになる。また、2014年5月から、造水促進センターは京都大学と共同受託した経済産業省の「再生水製造システムに関する国際標準化・普及基盤構築」を推進している。この事業では、ISO/TC282への規格提案を目指し、膜処理技術や紫外線処理技術、オゾン処理技術に加えて、再生水システムの国際規格素案作りを行っており、ウォータープラザ北九州のMBR-RO設備を用いた再生水のリスク評価の実証データも取得する計画である。

水処理に関連した分析・評価技術向上への期待

“再利用技術の現状”章で紹介した技術は、すべて膜を用いた再生水製造技術である。膜技術は、膜ファウリング(膜の性能を低下させる汚れ事象)との戦いであり、何が汚れ成分で、どう洗浄すれば何が除去できるのか、できないのかを解析・評価する必要がある。最近では、膜のファウリング物質の解析に、三次元励起蛍光スペクトル(excitation emission matrices; EEM)分析、有機炭素検出型サイズ排除クロマトグラフ(liquid chromatogram-organic carbon detector; LC-OCD)法といった包括的な分析手法や2次元電気泳動法(two-dimensional polyacrylamide gel electrophoresis; 2D-PAGE)、Matrix-assisted Laser Desorption/Ionization(MALDI)-Time of Flight (TOF)/Mass Chromatography (MS)法などを用いた検討がされている<sup>[10]</sup>。MBR膜のファウリング機構や洗浄についてのレビューペーパー<sup>[11]</sup>やRO膜のバイオフィアウリングのレビューペーパー<sup>[12]</sup>がある。また、再生水の利用に際しては、利用する人の健康に対するリスクの評価や生態系へのリスク評価などが必要となり、病原性微生物やウイルス、微量化学物質に対する分析・評価技術の開発、特に簡易法の開発が重要となる。さらには、生物応答を利用した水質毒性の総体的な評価管理手法であるWET

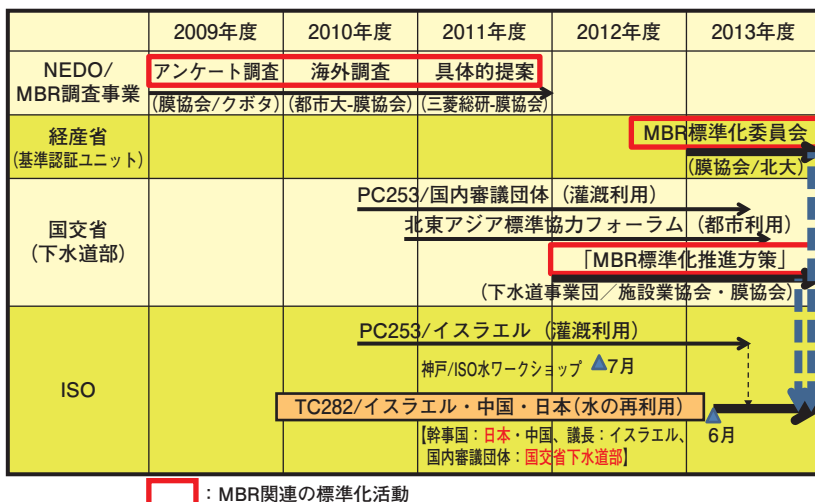


Figure 7 国内における水処理関連標準化の動き

(Whole Effluent Toxicity)手法との併用も今後の課題となる。再生水製造システムについては、我が国の戦略の一つに水インフラ輸出があり、他国のシステムとの差別化を図り、我が国企業が優位になる事業展開をするためには、モニタリング・制御の技術開発が必須である。例えば、“再利用技術の現状”章でも事例紹介をしたMBR-ROシステムでは、RO膜のファウリングを抑制・制御するためのMBR処理水の水質モニタリングが、システムの安定運転には欠かせないものであるが、現状では十分とはいえない。

## おわりに

再生水の市場は、世界的な水不足を背景に今後も大きく拡大することが見込まれている。この市場に我が国の再生水製造技術の海外展開や関連企業が参入するひとつのツールとして、国際標準化を捉えることができると考える。ISO/TC282では、2014年の秋にはWGが発足し、具体的な活動が開始される予定である。今後、我が国企業は、できあがったISO規格を実行するのではなく、企業自らがISO規格を企画・立案していくことが重要で、策定した国際規格を事業展開のツールとして、活用を図っていくべきである。また、水処理プラントは、水質モニタリング・制御とのセットで最適な機能を発揮することができる。そのためには、プラントエンジニア企業と分析・計測機器企業との連携は重要であり、国プロなどを上手に活用しながら開発していくことが必要と考える。

## 参考文献

- [1] 藤江幸一編著、よくわかる水リサイクル技術、オーム社(2012)
- [2] GWI社、Municipal Water Reuse Markets 2010(2010)
- [3] 大熊那夫紀、水環境学会誌、**32(10)**、23(2009)
- [4] N. Ohkuma, T. Shinoda, *Hitachi Review*, **58(6)**、16(2009)
- [5] 大熊那夫紀他5名、日立評論、**93(9)**、18(2011)
- [6] 大熊那夫紀、用水と廃水、**52(7)**、57(2010)
- [7] 滝沢智監修、“水ビジネスを制するための標準化戦略”、日本規格協会(2012)
- [8] 館 他2名、日立評論、**95(8)**、516(2013)
- [9] 造水促進センター編、“造水技術ハンドブック—追補版—”、造水促進センター(2014)
- [10] K. Kimura, et al., *Water Research*, **46(17)**、5725(2012)
- [11] Zhiwei Wang, et al., *J. of Membrane Science*, **468**、276(2014)
- [12] A. Al-Juboori Raed, Talal Yusaf, *Desalination*, **302**、1(2012)