

世界の水問題の解決に貢献する膜分離技術

Membrane Technology for Solving the Global Water Issue

豊原 大樹

Toyohara Hiroki

人口増、経済発展にともなう水需要の増大に加え、気候変動による大渇水は世界の多くの地域で水源の確保への希求が高まっている。世界の水問題を解決するため、新たな水源として求められているのが海水・かん水の淡水化と廃水の再利用である。膜分離技術は、淡水化と再利用におけるキーテクノロジーであり、需要が大きく拡大しており、世界のインフラプロジェクトでの適用やさらなる省エネなどの技術開発が期待される。膜分離技術に関わる技術者は世界の水インフラに関わる技術者とともに、水問題の解決に貢献していくことが求められている。

Global water demand is growing by population growth and economic development. Recent drought caused by the climate change force to secure the water resources. In order to solve the water issue, it is important to apply seawater and brackish water desalination, and wastewater treatment/reuse. The membrane separation technology has been focused on since the membrane technology is the key unit process technology in the desalination and reuse. The demand of membrane is growing and further implementation and continuing technology development would be expected. Engineers in the membrane industry shall work together with counterparts in the infrastructure sector in order to solve the global water problem.

キーワード：水問題、膜分離、廃水再利用、海水淡水化、水ビジネス、国際標準化

1 世界をとりまく水問題

1.1 人口増・経済発展による水需要の増大

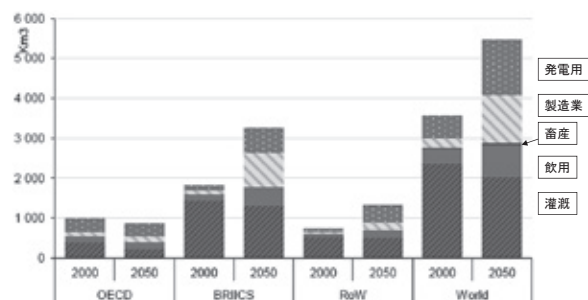
国連経済社会局による2012年の世界の人口推計の改訂 (<http://esa.un.org/wpp/>) によると、世界の人口は2013年の72億人が、2025年には、81億人に、2050年には96億人になると推計(予測中央値)されている。

OECDの推計による2010年と2050年の水需要の予測比較を図1に示す。OECD諸国では水需要は減少するが、BRICS諸国、およびその他の地域での水需要は大きく伸びることが予想されている。

1.2 気候変動による渇水とその対策

人口増・経済発展にともなう水需要の増大に加え、昨今の激しい気候変動によってこれまで水不足がみられなかった地域において大渇水、水不足が起こっている地域がある。

たとえば米国では、近年西海岸から中西部地域にかけて大渇水となっており、節水や廃水再利用



注：BRICS: ブラジル、ロシア、インド、インドネシア、中国、南アフリカ
RoW: その他世界

出典：OECD: <http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49844953.pdf>

図1 世界の水需要予測 2010-2050

が大いに注目されている。

オーストラリアでは、2010年までの長期にわたる大渇水時に、水源涵養のため、下水処理水を逆浸透膜処理して水源に供給するプロジェクトが形成された。現在オーストラリアでは渇水期を脱したため、これらのプロジェクトは運転停止状態にある。

1.3 問題解決のための海水淡水化と廃水再利用

このような水不足に対応するための水源確保の対応技術として挙げられるのが、海水・かん水の淡水化と水の再利用である。

日本においては比較的水が豊富なため、海水淡水化が行われているのは沖縄県、福岡県、島嶼部に限られるが、世界の海水淡水化による造水量は80百万 m^3 /日におよび¹⁾、水源確保のためのインフラとして重要になっている。2006年から2012年にかけて建設された海水淡水化プラントのうち78%が逆浸透膜法である¹⁾。

水の再利用は、農業用途の再利用、都市域における再利用、産業用途の再利用がある。各々要求水質や水質規制の論点が異なる。

都市域における再利用として、かねてから間接再利用 (Indirect Potable Reuse) のかたちで、下水処理水を一旦自然生態系に放流した後、その下流で浄水処理が行われてきた。近年ではクウェートやシンガポールに大規模の下水処理水再利用プラントが建設されている。

最近脚光を浴びているのが、直接再利用 (Direct Potable Reuse) である。すなわち、下水処理場において飲用水を製造し、配水する。この方がコストが安く水を造ることができるのである。米国ではこのDPRを推進しようとしており、技術開発やパブリックアクセプタンス (公衆受容) に関する議論が大きく進展している。

図2に示すように膜分離技術は、海水淡水化、及び廃水再利用プロセスにおけるキープロセステクノロジーとして位置づけられる。

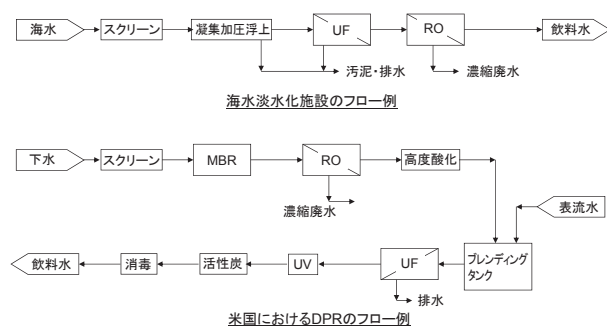


図2 海水淡水化及び再利用施設のプロセスフロー

2 水処理における膜分離技術

2.1 水処理膜の種類

膜分離技術は、様々な種類の膜を使い分けることによって、けん濁物質や水溶液中の塩類を分離する技術である。分離対象物質と膜の種類を図3に示す。

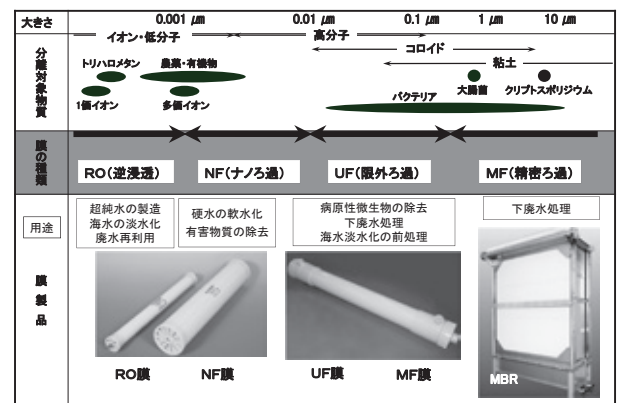


図3 分離対象物質と膜の種類

2.2 逆浸透 (RO) 膜

逆浸透 (RO) 膜は、膜両側の溶液間の浸透圧差以上の圧力を高濃度液側に加え、溶媒を溶質から選択的に低濃度液側に移行させることによって両者を分離する (逆浸透法) ために用いる膜である。多価イオン及び分子量200~1 000の物質の除去を目的とした膜をナノろ過 (NF) 膜という。

1950年代に米国で研究開発が開始され、日本においては1960年代後半に研究開発が開始され、1970年代に工業化された。さらに1990年以降研究開発が進み²⁾、脱塩率、透過水量が大きく向上し、世界の海水淡水化プラントで使われるようになってきた。

2.3 限外ろ過 (UF) 膜・精密ろ過 (MF) 膜

限外ろ過 (UF) 膜は、分子量1 000~100万程度の溶質または粒子をろ過によって分離する膜である。溶質の分離特性を分画分子量で表す。

精密ろ過 (MF) 膜は、0.05 μm から数 μm 程度の微粒子及び微生物をろ過によって分離する膜である。分離特性を孔径で表す。表流水の浄水用途や海水淡水化の前処理等に用いられる。

表1に廃水再利用における各種プロセスの除去対象の除去性能の比較を示す。膜プロセスは、他のプロセスに較べてより多くの除去対象物質の除去に対応でき、またその性能も高い。

2.4 メンブレンバイリアクター (MBR)

膜分離活性汚泥法 (メンブレンバイリアク

表1 再利用における各処理プロセスの除去対象物質の除去有効性

プロセス	除去対象物質										エネルギー要求	余剰物の生成	コスト	
	病原菌			硝酸	TDS (溶存物)	ホウ素	金属	消毒副生物	微量有機物					
	原生動物	細菌	ウイルス						無極性	極性				
物理プロセス														
ろ過	○	○	△	×	×	×	△	×	×	×	低い	少ない	低い	
活性炭吸着	△	△	△	×	×	×	△	○	◎	△	低い	少ない	中程度	
MF/UF	◎	○	△	×	×	×	△	△	△	×	中程度	少ない	中程度	
NF/RO	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	◎	◎	高い	多い	高い	
化学プロセス														
塩素添加	○	◎	◎	×	×	×	×	×	×~△	×~△	低い	なし	低い	
オゾン処理	○	◎	◎	×	×	×	×	△	◎	◎	高い	なし	高い	
紫外線照射	◎	◎	◎	×	×	×	×	×	×	×	中程度	なし	低い	
生物プロセス														
生物活性炭	△	△	△	×~△	×	×	△	△~○	○	○	低い	なし~低い	低い	
自然浄化システム														
河岸ろ過	◎	◎	○	◎	×	×	◎	◎	◎	○~◎	低い	なし	低い	
貯留	△~○	△	△	△~○	×	×	○~◎	△	△	△	低い	なし	低い	

評価は委員会メンバーによるプロフェッショナルな判定にもとづく。

- ◎: 高い除去性能
- : 中程度の除去性能
- △: 低い除去性能
- ×: 除去できない

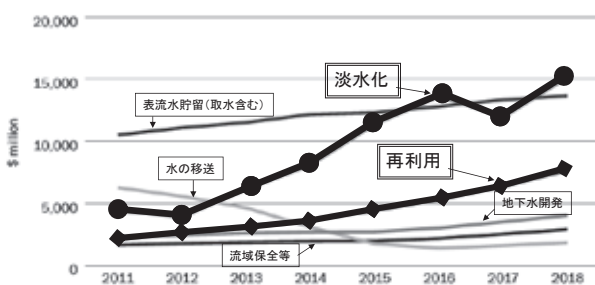
出典: National Research Council "Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater" National Academic Press 2012
http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13303

ター、MBR) は、活性汚泥法の一つで、処理水と活性汚泥との分離を、沈殿池に代えて膜を使って行う方法である。主として精密ろ過膜が使用される。1980年代後半から日本において研究開発が進み³⁾⁴⁾、2000年以降、日本や欧州にて実用化がなされ、2000年代後半に中東地域の都市開発で数多く採用された。設置面積が従来法に比べて半分程度にできるので、設置面積に制約あるケースで使用される。また膜による固液分離を行うため、きわめて清澄な処理水が得られ、廃水の再利用に好適なユニットプロセスである。

3 広がる市場と日本政府の施策

3.1 淡水化と再利用の市場拡大

図4にGlobal Water Intelligenceによる水源開発の市場規模予測を示す。他の水源開発に比べ、淡水化と再利用の市場拡大の伸びが急峻である。関連業界の期待も大きい。



出典: GWI Global Water Market 2014

図4 水資源開発の市場規模予測 2011-2018

3.2 日本政府の施策

2004年以降、官民あげた「水ビジネス振興」の動きがあり、一般社団法人海外水循環システム協議会が設立されたほか、各省庁や自治体で様々な取組みがなされてきた⁵⁾。2014年6月、日本政府により「インフラシステム輸出戦略」の改訂版が発表された (<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keikyuu/dai11/kettei.pdf>)。EPC (Engineering-Procurement-Construction) 事業やPPP (Public-Private Partnership) 事業で日本企業の海外展開を後押しするものとして期待されている。

「インフラシステム輸出戦略」では、以下の施策の5本柱として、「1. 企業のグローバル競争力強化に向けた官民連携の推進」、「2. インフラ海外展開の担い手となる企業・地方自治体や人材の発掘・育成支援」、「3. 先進的な技術・知見等を活かした国際標準の獲得」、「4. 新たなフロンティアとなるインフラ分野への進出支援」、「5. エネルギー・鉱物資源の海外からの安定的かつ安価な供給確保の推進」が謳われている。

このなかで、「1. 企業のグローバル競争力強化に向けた官民連携の推進」、「2. インフラ海外展開の担い手となる企業・地方自治体や人材の発掘・育成支援」については、日本の上下水道セクターに従事する官民のエンジニアの役割が大きい。

「3. 先進的な技術・知見等を活かした国際標準の獲得」では、民間エンジニアの役割が大きい。先進的な技術として「日本が誇る低炭素技術」が言及されているが、逆浸透膜エレメントの炭酸ガス削減効果はきわめて大きく、従来の蒸発法と比較した場合エレメント1本あたり283トンの炭酸ガス削減効果が見込めると推計されている⁶⁾。二国間クレジット制度におけるツールとして逆浸透膜法が活用されていく期待が大きい。

4 水分野国際標準化

2010年、内閣官房に設置された知的財産戦略本部により、「知的財産推進計画 2010」が策定され、このなかで国際標準化を進めるべき特定戦略分野7分野のひとつに「水分野」が位置づけられた。これを契機として官民で国際標準化への取り組みが本格化した。

2013年6月、国際標準機構 (International Standard Organization, ISO) の理事会においてISO/TC282「水の再利用」が設立され、日本はこの幹事国となった。TC282では、あらゆる種類、あらゆる用途の「水の再利用」について規格標準の制定にむけて議論される。2014年1月に東京で第1回会議が開催され、日本はSC3 Risk and performance evaluation of water re-use systemsに議長国として取り組むことになった。

地方共同法人下水道事業団や一般社団法人膜分離技術振興協会は、かねてMBRの国際標準化を目指した活動を推進してきた。2014年7月に、日本はISO/TC282 SC3においてMBRの性能評価手法についての国際規格提案を行ったところである。

上述の「インフラシステム輸出戦略」にも国際標準の獲得が掲げられており、今後、MBRのみならずRO、UF等についても日本発の規格提案がなされ、膜分離技術の健全な市場拡大に資することが期待されることである。

5 膜分離技術に関わる技術者の役割

淡水化や廃水再利用の水処理システムの設計、

建設、維持管理には多くのエンジニアが関与する。オーナーのエンジニア、コンサルタント、コントラクターのエンジニア、膜メーカーのエンジニア、運転維持管理のエンジニア等である。

膜分離技術における技術課題には、様々な原水条件や要求水質に適合したプロセス設計や膜の選定、新たな膜素材の開発、消費エネルギーの削減や注入する薬品の低減、膜の新たな用途開発等がある。

我々膜メーカーのエンジニアの責務は、国内外のコンサルタントやコントラクター等カウンターパートのエンジニアと連携して、技術課題に取り組み、膜分離技術を提供していくことにある。膜分離技術を通じて、世界のエンジニアと連携して水問題の解決に貢献していきたい。

<引用文献>

- 1) Global Water Intelligence : Global Water Market 2014
- 2) Uemura, T. and Henmi, M. : Thin-Film Composite Membranes for Reverse Osmosis, in Advanced Membrane Technology and Applications (eds N. N. Li, A. G. Fane, W. S. W. Ho and T. Matsuura), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA., Chapter 1, 2008
- 3) 豊原大樹ほか：膜分離活性汚泥プロセスの運転操作条件が精密濾過膜の固液分離能に与える影響，公害資源研究所彙報 18(1)，pp.31-38, 1988
- 4) Yuichi Suwa et al. : Single-stage, single-sludge nitrogen removal by an activated sludge process with cross-flow filtration, Water Research, Volume 26, Issue 9, pp.1149-1157, 1992
- 5) 植村忠廣：水処理分野での膜技術展開戦略，膜 35(4)，pp.188-193, 2010-07-01, 日本膜学会
- 6) 東レ(株) 推計：東レグループ2011年CSRレポート, p.21, 2011

豊原 大樹 (とよはら ひろき)
技術士 (衛生工学部門)

東レ(株) 水処理事業部門
e-mail : Hiroki_Toyohara@nts.toray.co.jp

