

〈特集〉

水処理における膜利用技術

松山 秀人

神戸大学大学院工学研究科 教授 先端膜工学センター センター長
(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 E-mail: matuyama@kobe-u.ac.jp)

概要

膜技術を利用した水処理への関心が、最近急速に高まっている。2025年における世界の水不足予測によると、中近東はもとより、アメリカ、中国、オーストラリア、ヨーロッパ等の広範な地域での水不足（高い水ストレス）が報告されている。20世紀は「石油の時代」であったのに対し、21世紀は「水の時代」と言われる所以である。水不足問題は、食糧問題・エネルギー問題と一体化して解決すべき世界的課題であり、現在最も早急に解決を迫られている環境問題の一つと出ることが出来る。

水不足を解決する手段としては、膜技術がその根幹を担うものと言え、RO膜（逆浸透膜）、UF膜（限外ろ過膜）およびMF膜（精密ろ過膜）を用いた水処理に、アカデミック分野や産業界から多くの関心が集められている。

ここでは水処理で用いられる各種膜の開発動向と膜利用技術の開発プロジェクトについて紹介する。

キーワード：水処理、逆浸透膜、限外ろ過膜、精密ろ過膜、海水淡水化

原稿受付 2010.12.28

EICA: 15(4) 39-43

1. はじめに

昨年1月環境省内に設立された「水環境戦略タスクフォース」が7月にまとめた報告によると、水を取り巻く世界の現状として、21世紀は水をめぐり争いの世紀と謳っており、安全な飲料水を継続して利用できない人口は約9億人（うちアジア5億人）、衛生施設を継続して利用できない人口は約25億人（うちアジア18億人）としている¹⁾。2008年度末での水道普及率97.5%、下水道普及率72.7%と、日常生活において水に不自由を感じることの少ないわれわれ日本人にとっては、想像しがたい数字である。しかしながら、食料自給率の低いわが国は、大量の農作物、畜産物を輸入しており、その生産のために輸出国で使用された水（仮想水：バーチャルウォーター）を考慮すると、わが国の水使用量はほぼ倍量となり、わが国も潤沢に水があるとは言い難いと言える。

世界の水資源の97.5%を占める海水を淡水化することも今後ますます重要になってくる。ほとんどが海外に存在する淡水化設備・施設市場で、日本はRO膜やUF膜で高いシェアを保っているが、最近ではいわゆる水メジャーをはじめとする欧州勢にも大きく水をあげられ、シンガポール・韓国などのアジア勢の追い上げも激しい。引き続き日本が世界の水処理技術をリードするためには、さらなる高機能性膜の開発を追

求する必要がある。

2. 水ストレス低減に貢献する膜技術

水不足を解決する手段としては、膜技術がその根幹をなすものと言え、膜を用いた水処理は現在多くの関心を集めている。新しい膜がどんどん開発されていた時期の後の、第2期のブームが現在到来しているように思われる。例えば水処理膜の普及状況としては、年率25%以上で伸長しているという報告がある²⁾。このような水処理膜分野では、日本企業のシェアが全体で60%とかなり高く、特に海水の淡水化用膜では70%にも達している。

膜法を用いた主な水処理技術は、RO膜（逆浸透膜）による海水淡水化、MF膜（精密ろ過膜）/UF膜（限外ろ過膜）による浄水処理、MF/UF/RO膜による下水・排水処理に大別できる。RO膜を用いた海水淡水化技術については、エネルギー回収の高効率化と低コスト化が進み、中東、中国、スペイン、オーストラリアの沿岸部を中心にして大型の海水淡水化プラントの建設が加速的に進んでいる。

Fig. 1はScienceDirectにより、“Reverse Osmosis Membrane”というキーワードで検索を行い、各年度ごとの発表論文数の推移をまとめたものである。論文数は全体的に増加傾向にあり、特に2001年以降の論

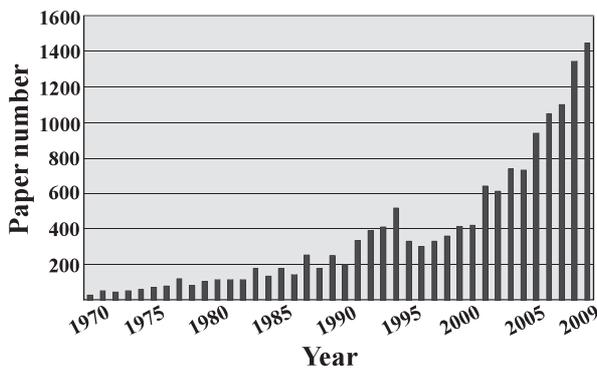


Fig. 1 RO膜に関する発表論文数の推移

文数の増加傾向は非常に顕著である。このようなデータにもRO膜への最近の関心の高さが顕著にあらわれている。

現在市販のRO膜の作製には、界面重合法が用いられる場合が多いが、今後さらに透水性の向上、ホウ素の阻止率の増加および洗浄に用いる次亜塩素酸に対する耐性の向上が必要と言える。透水性の向上のための有機-無機（ゼオライト）ハイブリッド化の試みや、膜の耐塩素性の向上を目指したアミド結合を有さないスルホン化ポリマーに関する研究も検討されている。またRO膜プロセスにおいて、バクテリアのバイオフィーム形成に基づく性能低下（バイオフィウリング）は深刻である。抗菌性を有するRO膜の開発にも最近特に注目が集まっている。

また近年新たな浄水技術の開発に注目が集められているが、これは水道水源の悪化により、トリハロメタンの生成やカビ臭、クリプトスポリジウム等の病原性原虫類などの様々な問題が発生していることに起因する。膜技術を用いた浄水処理は、従来法に比べプロセスを簡素化でき、濁度の低減や大腸菌群の除去に優れているため、非常に有効な水処理法と言える。21年度末現在で膜ろ過浄水施設は711施設、総施設能力は約121万トン/日とのことである。総施設能力は前年度比約11%増と導入数は増加傾向にある。

また、下水・排水処理分野においても、MBR（Membrane Bioreactor）を中心に膜法の利用が拡大しており、シンガポール、アメリカ、オーストラリア等で大規模膜利用排水再利用設備が導入されている。このような排水再利用分野では、統合的膜処理システム（IMS, Integrated Membrane System）が採用される場合が多い。統合的膜処理システムとは、様々な水資源とその利用目的に合わせて、複数の膜処理システムを統合化して、最高のパフォーマンスとコスト削減を実現しようとするシステムである。例えばMF/UF膜とRO膜の統合化や、MBRプロセスとRO膜の統合化が行われている。

3. 世界水ビジネス市場

今後、特に、発展途上国において、工業化、都市化が進むにつれ、水質汚染、水不足が加速されるようになり、世界水ビジネス市場は2025年には87兆円に膨れ上がると予測されている³⁾。この市場にいち早く目を向けたのは、早期に上下水道整備に着手し、事業推進のため設立された欧州の水メジャーである。約20年前、イギリスが世界に先駆けて水道民営化を軌道に乗せたことが引き金となり、水道民営化の機運が高まった。フランスのスエズ・エンバイロメント、ヴェオリア・ウォーター、イギリスのテムズ・ウォーターが世界の3大水メジャーとして世界の水市場を席巻している。最近では、アメリカのGEが世界の水関連企業を傘下に入れて市場参入を図っている。新興国においても、2000年当初は海外よりの技術サポートを受けながら上下水道整備を行っていたシンガポールが国をあげて海外展開を目指している。

水ビジネスの難しさは、設備投資が大きいことにある。世界水メジャーも途上国への参入当初は、水の料金体系や生活習慣の違い等から、事業を軌道に乗せるまでにかかなりの労力を要したようである。このように一民間企業では投資リスクが大きくなるため、現地官民事業体とのパートナーシップ、政策金融などの重要性が注目されつつある。

4. 世界の水ビジネスへのわが国の参入

水メジャーが世界の水ビジネス市場に乗り出した1990年代、わが国の水道普及率はほぼ95%に達していたものの下水道普及率は約45%とまだ低い水準にあり、海外に目を向けられる状態ではなく、この点において、わが国は遅れをとったと言える。一方で、韓国、シンガポールなどは、上下水道事業の着手はわが国よりも遅かったが、国内市場が小さいためいち早く海外展開に取り組んでいる。

わが国は海外展開で遅れは取ったものの水処理技術では世界の最先端技術を有している。特に膜処理技術については、1987年膜処理設備が世界で初めてアメリカのキーストン浄水場に導入されたとはほぼ同時期にわが国でもし尿処理ではすでに分離膜が実用化されている。さらに、1991年には厚生省より（社）水道浄水プロセス協会が業務を受託して、産官学による一大プロジェクトMAC21（Membrane Aqua Century 21）をスタートさせ、その後、本プロジェクトは高度処理MAC21, ACT21, e-Water, e-Water II, Aqual10と継続され、膜処理技術をはじめ高度処理技術の開発、標準化が進められてきた。その結果として、膜処理技術の主要機器である膜モジュール、ポンプ等の機器単体に

については日本の製品は世界でも優位を占めるになっているが、世界水ビジネス市場の大部分は維持管理、構造物に関するもので機器単体の占める割合は1%程度にすぎない。今後、わが国が世界水ビジネス市場に参入していくには、維持管理も含めたトータルの取組が必要である

5. 「チーム水・日本」

わが国は対象とする水により関係する省庁が変わってくる。同じ設備を計画するにしても、上水は厚生労働省、下水は国土交通省、農業集落排水は農林水産省と各省庁で標準化している。また、公共設備と民間工場の設備でも、材質、機器仕様の相違がある。しかし、海外においては必ずしもそのような区分があるわけではなく、公共事業だからと言ってわが国の高級仕様の設備を提案したのでは競争に勝てない。特に、途上国においては、熟練技術者がいないことから高度なシステムは適用できない。きれいな水から汚い水、ハイテクからローテク、あらゆるニーズに対応できなければ世界水ビジネス市場で勝ち残れない。

幸い、国内において、水循環系構築への課題の取組みのため、1998年8月に省庁の壁を取り除いた「健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議」が設置され、水に関係する省庁（環境省、国土交通省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省）間で活発な意見交換がなされている。さらに2008年には、国がリーダーシップをとる「水の安全保障研究会」（会長：中川財務大臣（当時））が設立され、超党派の国政リーダーシップ、産・学・官の有識者で構成される「水の安全保障機構」発足の重要性を提言した。それを受けて2009年1月に(簡)御手洗経団連会長、(官)森元首相、(学)丹保北海道大学名誉教授の3人が発起人となり「水の安全保障戦力機構」が設立された。また、ほぼ同時期に13省庁合同の「水問題に関する関係省庁連絡会」が設立され、「水の安全保障戦力機構」と特命課題に取り組む「行動チーム」とを合わせて、オールジャパン体制の「チーム水・日本」が形成された⁴⁾。チーム水・日本の概念図を Fig. 2 に示す。設立当時「行動チーム」は16のチームであったが、1年を経過した本年5月には、29チームに増えている。

以下に世界水ビジネスに関連する代表的な行動チームを紹介する。

- (1) 下水道グローバルセンター (Japan Global Center for Urban Sanitation 略称 GCUS)⁵⁾

設立：2009年4月28日

次の3つの活動目的をもつ

- ・世界の水・衛生問題等の解決に向けた国際貢献
- ・下水道関連企業のビジネス展開支援

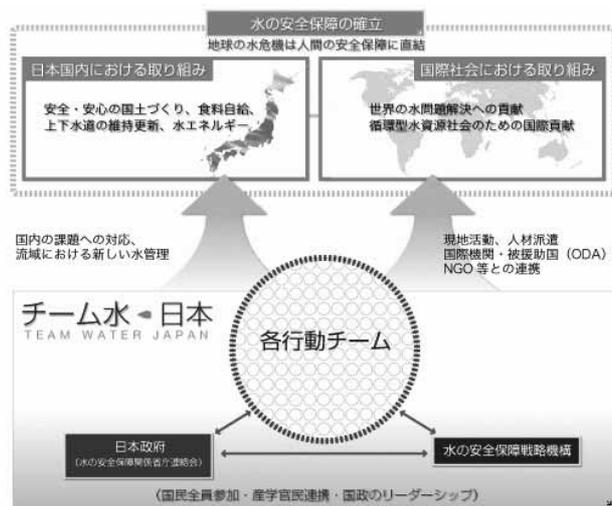


Fig. 2 チーム水・日本の概念図⁴⁾

- ・国内への下水道施設への還元

このため、「国別支援グループ」「テーマ別グループ」を組織して、各種情報を発信するとともに、計画・建設から管理・運営に至るまで、日本の産学官のあらゆるノウハウを結集し、海外で持続可能な下水道システムを普及させるため、JICA等の国際協力活動に対して、技術支援を行っている。また、下水処理水再利用については、海外では膜分離活性汚泥法による都市内利用等も考えられることから、EUでの規格作成の動向を注視し、NEDO等と連携し、日本がリーダーシップを発揮する手法を検討している。GCUSの概要を Fig. 3 に示す。

- (2) 海外水循環システム協議会 (有限責任事業組合) (Limited Liability Partnership Global Water Recycling and Reuse System Association 略称 GWRA)⁶⁾

設立：2008年11月28日

参加企業：設立時14社

2010年9月1日現在50社

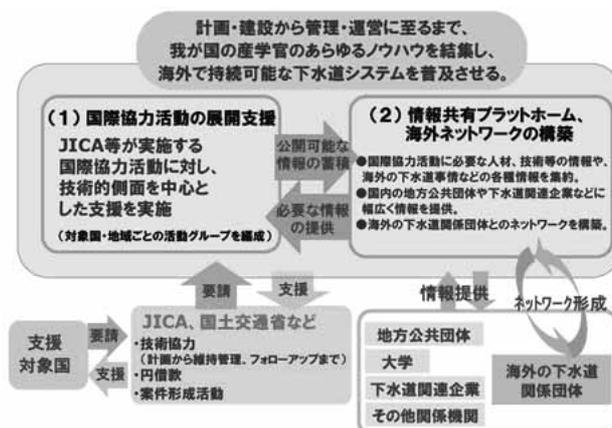


Fig. 3 GCUSの概要⁵⁾

このような、汚染度の計測や水量バランスシステム制御は EICA の得意とする分野であり、今後、わが国が世界水ビジネス市場に参入する際の EICA の貢献が期待される。

参考文献

- 1) 大谷信盛：水環境戦略タスクフォース報告, p.3 (2010)
- 2) 栗原 優：世界の水処理市場の動向と新技術, 第 25 回ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム 2008 講演要旨集, S4-1 (2008)
- 3) 水ビジネス国際展開研究会：水ビジネスの国際展開に向けた課題と具体的方策, p.4 (2010)
- 4) <http://www.waterforum.jp/twj/ws/index.html>
- 5) http://www.gcus.jp/sbout/02_Act.html
- 6) <http://www.gwra.jp/jp/association/index.html>
- 7) <http://www.research.kobe-u.ac.jp/eng-membrane/>