

世界中の水貧地域に貢献する淡水化技術

世界トップレベルの「高機能膜技術」で海水を真水に変え、汚水を清水に浄化する

高機能膜



世界の潜在的な真水の備蓄は、1950年代は1人当たり1万7000トンだったが、1999年には7300トンに低下、2025年には4800トンまで減少すると予想される。止まることのない人口増に対して、減少し続ける水資源。手をこまねいていけば、水は確実に私たちの生活から遠のいていく。

飲料水だけではない。一定の水質要件を満たした工業用水、農業用水など、日々の生産のための水も地上から枯渇していく。温帯に属し、降雨にも恵まれる日本では幸いにして今のところさほどの危機感はないが、中東、北アフリカ、アジア・太平洋地域をはじめとする多くの地域における水不足は、いまや死活に関わる大問題である。

その原因とされる地球温暖化などに対する根本的かつ長期的な問題解決の取り組みももちろん大切だが、まず求められるのは、水滴がこぼれるだけの蛇口に口を押し当てる子どもたちや、干ばつでひび割れた農地に悲嘆にくれて佇む人々のもとに一刻も早く水を届けることではないか。このような危機的状況に光明をもたらす技術が、いまクロースアップされている。海水淡水化技術である。

サウジアラビアの首都リヤドには、ペルシャ湾に面したアル・ジユールで淡水化された水70万トンが毎日、東京と京都間に等しい距離を配管で地上輸送されている。このような光景は、いま世界の多くの地域で見ることができ。海水を真水に、汚水を浄化する淡水化技術の中でも、高分子化学をベースとして近年長足の進歩を遂げた高機能膜には大きな期待が寄せられている。「21世紀の水環境を変える」といわれるこの新しい技術について、世界的権威である栗原優氏に話を伺った。

(文・佐藤謙)

栗原 優

東レ株式会社 顧問・元専任理事・水処理事業本部・研究本部担当
工学博士 国際脱塩協会理事 日本脱塩協会会長

すべての生命に不可欠な 水処理技術

「2006年末あたりから、水に関して日本がこれほど変わるとは思えないくらい大きく変わりました」

東レ(株)で長年、水処理事業に携わり、世界の水処理ビジネス全般にわたって情報収集・発信をする国際脱塩協会の理事も務める栗原優氏は、こつ口を開いた。世界の水処理技術の最先端をリードする人物が、ホットな現状を語る。

「東レは数年来、利益のためという信念より社会貢献のためという信念で水処理に取り組んできました。それについては「民間企業だけではなく、官民一体で進める必要がある」と考え、さまざまな働き掛けをしてきました。官僚の人たちはなかなか理解してくれませんでした。日本は水に恵まれているのに、なぜ国民の税金を水の研究などに使うのか、財務省を通るはずがない、というわけです。当時彼らのマインドは、世界を見ずに日本だけを見ていたのです」

それが、2007年になると空

気が一気に変わった。ダボス会議で水問題が取り上げられた。水を巡るさまざまなシンポジウムが開催され、政府の「イノベーション25」でも地球温暖化と水環境で世界に貢献することがうたわれた。「洞爺湖サミット」のテーマとしても準備が進められている。地球温暖化、環境破壊が国内外で最重要課題としてフォーカスされる流れの中で、栗原氏自身も、各省庁、政府与党から水環境についての説明や政策提言を求められるなど、多忙を極めるようになっていく。

「ノーベル賞を受賞された野依良治先生も、日本はもっとロングレンジに社会インフラを整備していくような分野で貢献する技術に力を入れる必要があると力説され、そのリストの上位に水の問題を挙げていらしゃいます。いまや水を語らずして世界を語ることはできない。まさに、21世紀は水の世紀となったのです」

ウォーター・ストレスという言葉がある。1日にわずかの水しか飲めない国や地域はウォーター・ストレスが高い。そのようなところにウォーター・ファクトリー(造水工

場)を建設しようというプロジェクトが各国で動いている。そこにはウォーター・ビジネスのチャンスがあり、投機的な動きも発生する。しかし、栗原氏は何をあいてもグローバル・インタレスト(地球利益)を優先させなければならぬと強く主張する。

「水資源について地球利益を求めた結果として国益があり、企業益に回るといつかたちでなければなりません。目先の利益を投機的に追求すると、必ず水環境のバランスが崩れ、危機状況をより深刻なものにします。そのような事態を回避するためにも、経済効率が高く性能のいい技術を開発し、世界中のどこでも役立つようにしていかなければなりません」

高機能膜による海水淡水化技術は、時代の最先端に躍り出た水処理技術であるが、遡ればその研究が開始されたのは40年以上前のことである。1961年、当時のケネディ米大統領が、「海水を淡水化できるなら、これほど社会に貢献する技術はないだろう」と述べ、海水淡水化に国家事業として取り組む法案に署名したことを受

けて、研究開発は本格化した。

もともと高分子化学を専門とする栗原氏は、東レに入社後、米国アイオワ大学に博士研究員留学する。そのころが海水淡水化技術の黎明期だった。

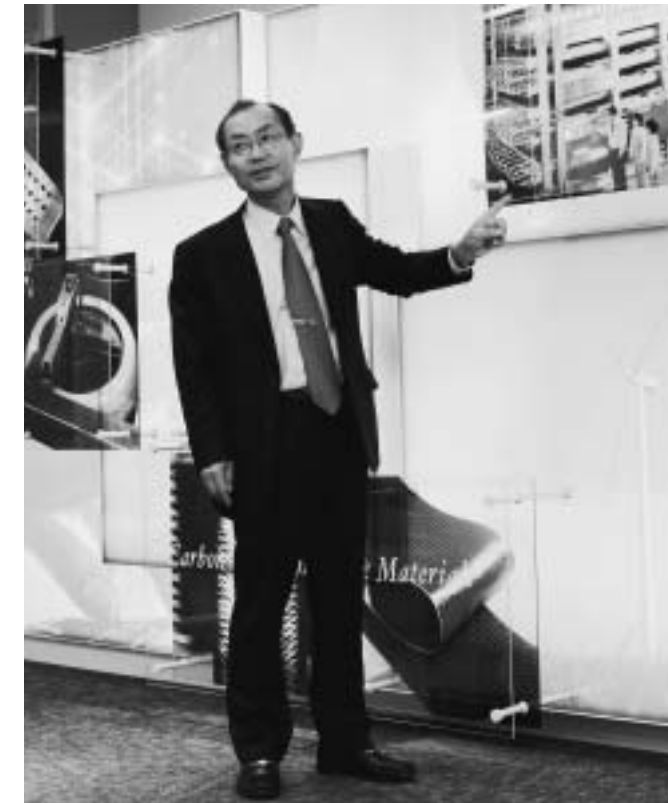
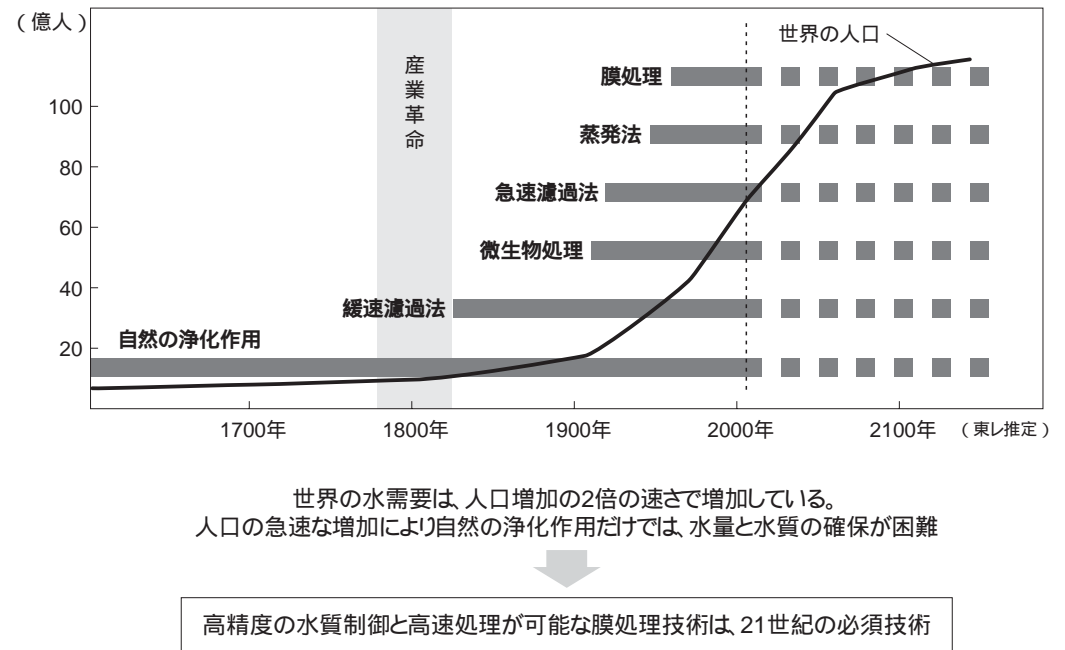
「1960年代はケネディの後押しで研究資金がどんどん出ている頃で、私はアメリカ政府の海水淡水化プロジェクトに入り、逆浸透膜の素材研究をしました。デュボンやダウといったケミカル企業が先を争って研究開発をしていましたが、原理的には実現可能であるにもかかわらず、素材が高価で経済的に見合わなかったなどの理由で本格的な実用化には至りませんでした。それが最近ようやく性能と価格がさまざまな要求に応えられるようになったのです。同時に、地球温暖化で砂漠化が加速していることが広く認知されるようになり、技術と人類の需要とが合致して急速に普及しているというのが現状です」

地球上にある水のうち、河川、湖、沼など利用可能な淡水は0.01%に過ぎない。世界の人口65億人のうち、十分な飲料上水に恵

まれない人は約11億人、下水設備や衛生設備がない地域に住む人は約24億人を超すといわれる。中東・北アフリカの窮状は知られているが、インド、インドネシア、パキスタン、韓国、マレーシア、シン

ガポールなども水飢状態にあることを知る日本人は少ない。爆発する人口増加と加速する地球温暖化の中で、水処理技術は人類生存にとって不可欠なものになりつつある(図1)。

【図1】人口の増加と水処理技術の進化

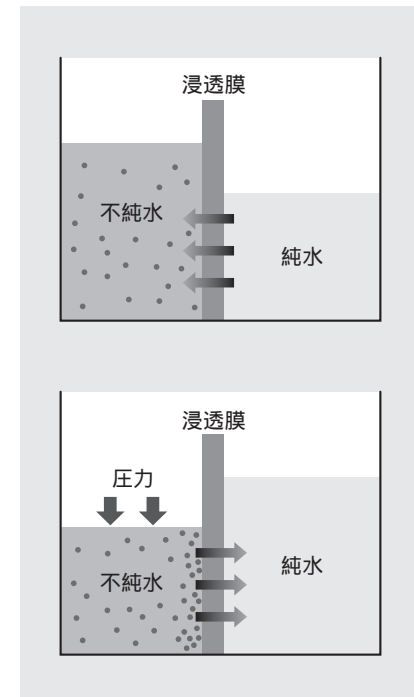


その圧力差が「海水の浸透圧」である。このとき、海水側に浸透圧以上の圧力を加えると、水分は海水側から真水側に移動するという逆転現象が起きる。これが「逆浸透」である(図2)。「逆浸透膜」により濃縮された海水側は捨てられ、濃縮されたほうの

地球の未来に希望をつなぐ 逆浸透膜技術
従来、海水を淡水化するには、海水を熱して蒸発させ、塩分を除去していた。しかし、「蒸発法」と呼ばれるこの方法では加熱に大量のエネルギーを消費するためコストがかさみ、CO₂を排出するので環境破壊の原因ともなる。そこで、浸透圧の逆現象に注目してアメリカで開発されたのが、海水を蒸発させずに塩分を除去する「逆浸透法」である。この方法は、小さな細菌

やウイルスも通さない薄い半透膜を使用して自然に海水を淡水化するため、蒸発装置のような大掛かりな設備を必要とせず、大量のエネルギーも消費することがない。その原理は極めてシンプルである。ある一定の大きさ以下の分子またはイオンのみを透過させる「半透膜」で仕切られた容器に真水と海水を入れると、ふつうは塩分濃度の薄い水が海水のほうに移動して、膜の両側の塩分濃度を均一にしようとする。いわゆる「浸透現象」である。現象はある圧力で止まる。

【図2】逆浸透法の原理



自然の浸透膜は濃度が低い方から高い方向に浸透させる。逆浸透膜では濃度の高い方に圧力を加えることで逆方向に水を移動させ、不純物を濾過する。

水は淡水として利用される。(さらに、これまで廃棄されていた濃縮サイドを、最近では貴重なミネラルなどを含む有価物として積極的に利用する動きもある。)

用されたわけではない。本格的に使うには、膜が海水中の微生物や析出物で目詰まりしないよう前処理をする必要がある。あるいは整備にコストが掛かることなどの難

逆浸透膜(RO膜、Reverse Osmosis Membrane)は、イオンや塩類など水以外の不純物は透過しない性質をもち、孔の大きさは1nm(ナノメートル)以下と極めて微小である(1nmは1mmの100万分の1)。逆浸透膜のうち、孔の大きさが1〜2nmで、イオンや塩類などの阻止率が70%以下のものを、NF膜(Nanofiltration Membrane)と呼んで区別する。

濾過膜を使用する逆浸透法は、蒸発法に比べてエネルギー効率に優れてはいるものの、直ちに広く利

【図3】世界の大型RO(逆浸透)膜海水淡水化プラント

	Country	Location	Capacity(m ³ /d)	Operation Year	Membrane Manufacturer
1	Israel	Ashkelon	272,520	2005	Dow/.FilmTec
2	Saudi Arabia	Shuqaiq	216,000	(2008)	東洋紡
3	Saudi Arabia	Rabigh	205,000	(2008)	東洋紡
4	Algeria	Hamma	200,000	(2007)	東レ
4	Algeria	Beni Saf	200,000	(2007)	Hydranautics
6	UAE	Fujairah	170,000	2003	Hydranautics
7	Trinidad & Tobago	Point Lisas	136,000	2002	東レ
7	Singapore	Tuas	136,000	2005	東レ
7	Australia	Perth	136,000	2006	Dom/.FilmTec
10	Australia	Gold Coast	132,500	(2008)	Hydranautics
11	Saudi Arabia	Yanbu	128,000	1998	東洋紡
12	Spain	Carboneras	120,000	2002	Hydranautics
13	Saudi Arabia	Jeddah	113,600	1989	東洋紡
14	UAE	Dubai	100,000	2005	Dow/.FilmTec
14	Algeria	Skikda	100,000	(2007)	Hydranautics
16	USA	Tampa Bay	94,635	2007	Dow/.FilmTec
17	Israel	Palmachim	92,250	2007	東レ
18	Saudi Arabia	Al Jubail	91,000	2000	DuPont-Toray*
19	Spain	Las Palmas	75,000	2006	Hydranautics
20	Spain	Mallorca	69,300	2001	東レ

*造水量1万m³/日は、4万人の生活用水に相当 (東レ調査)

分野で世界の主導権を握るようになる。また、この頃から逆浸透膜の用途がより付加価値の高い浄水処理、工業用の純水や超純水の製造、下水の再利用などに広がり、海水淡水化用の膜は価格競争時代

に入っていた。低価格化とともに需要も増大し、マーケットは急速に拡大している。ちなみに日本人が家庭で飲んでいる水道水の値段は、1トンで平均150円。それに対して、海水淡

水化により得られる水は海外では100円以下となっている。低コストが実現して、膜技術を採用した海水淡水化プラントが普及した。

「逆浸透膜法と蒸発法を比較すると、累積ベースでは蒸発法が8割近くを占めていますが、新設ベースでは逆浸透膜法が過半数を占めるようになっていきます。石油エネルギーが豊富で安価な中東地域では蒸発法が主流でしたが、それらの地域でも最近は蒸発法+逆浸透膜法のハイブリッド・システムが主流となっています。それ以外の国

や地域では、ほとんどが逆浸透膜法です。世界の水需要は人口増の2倍の速さで増加しており、自然の浄化作用だけでは水量と水質を確保が難しくなっている中で、高精度の水質制御と高速処理が可能な膜処理技術は21世紀の必須技術となっていると言えます」と栗原氏。

高圧・高温の技術から、自然の原理を応用した技術へと時代は転換している。逆浸透膜技術はそのトップランナーとして、地球の未来に希望をつなごうとしている。

水問題を永続的にトータルで考えていくという思想で未来に貢献

現在、海水淡水化用の逆浸透膜技術についての国別シェアでは、日本が世界のトップを占めている。「世界各地に建設された海水淡水化施設に日の丸の印を付けていけば、それが水不足率40%以下のピンクゾーンと一致することが分かります」と栗原氏。

逆浸透膜技術が性能面で改良が進む一方、海水淡水化用の膜の

面積当たり価格は1980年代の10分の1以下となり、それがさらなる需要を喚起している。浄水処理における逆浸透膜技術の利用施設は日本国内における約200件をはじめとして、全世界に広まっている。さらに、浄水だけではなく産業用途でも、半導体や液晶ディスプレイなど電子部品の製造に使う超純水として、また下水の再利用にとっても逆浸透膜は欠かせないものになっている。

このように膜技術が進展する中で、東しは他社にない独自の優位を誇っている。水処理用高分子分離膜技術のすべての種類を1社でカバーしているのである。

「高分子分離膜(メンブレン)は、RO(逆浸透)膜、NF(ナノ濾過)膜、UF(限外濾過)膜、MF(精密濾過)膜の4種類に大別できますが、東しはこれらの分離膜のすべてを自社技術として保有しています。海水淡水化で使っているのは主としてRO膜、家庭用製品トレビノで使っているのはMF膜ですが、用途に応じた4種類の膜の使い分けや組み合わせをトータルに最適化することができます。4



くりはら まさる:1963年、群馬大学工学部応用化学科卒。同年、東洋レーヨン(株)(現 東し)に入社し、基礎研究所有機化学研究室に勤務。1970年、工学博士(東京大学)の学位取得。米国アイオワ大学に博士研究員留学。高分子研究所長兼地球環境研究室長、高分子研究所長兼ケミカル研究所長などを経て、2001年、常務理事に就任。水処理事業部門(技術渉外)技術センター(水処理技術開発センター)研究本部(水処理)担当。国際脱塩協会理事、日本脱塩協会会長、日本膜学会理事なども兼務。専門は膜分離(逆浸透膜、ナノ濾過膜、限外濾過膜、精密濾過膜) 水処理(海水淡水化、上水処理、下水処理)、機能性高分子。2002年に国際脱塩協会会長賞、日本海水学会賞、2003年に大河内記念生産賞を受賞。

種類の膜のすべてを独自技術で製品化しているメーカーは、世界的に見ても東しだけです」

東しは、有機合成化学、高分子化学、バイオケミストリーを核とした先端材料メーカーである。そのコア技術を駆使して、水から不要物を取り除く技術開発に取り組んできたが、初めから大きなマーケットがあつたわけではない。地道な研究を続ける中で、日本の半導体メーカーからのクリーンな超純水へのニーズに応えるかたちで東しが開発したのが、高付加価値の逆浸透膜技術だった。

「東しは、いろいろなポリマーを合成する高分子技術と、ポリマーを繊維にしたりフィルムにしたりする高分子加工技術を保有しており、それが高分子分離膜の技術と共通していました。そこで東しは、分離膜の中でも最も難しい逆浸透膜の研究からスタートし、長い間、国内市場で超純水の製造を中心に手

掛けてきました。通常であれば孔径の大きいほうからアプローチするところを、東しは逆から入っていた。そのぶん技術力がつき、容易に穴径の大きい膜に移行可能な素地も作られたわけです。その当時、海外に目を向けると、逆浸透膜は超純水だけではなく海水淡水化にも多用されていました。また、水処理の多様化に対応して、逆浸透膜以外にもさまざまな膜技術が利用されるようになっていた。それならば東しもより幅広い分野で水問題に貢献できるのではないかと考えて、NF膜、UF膜、MF膜とレパー

トリーを拡げ、結果的に4種類の膜のすべてを手掛けることになったわけです」と栗原氏は振り返る。かつては、超純水の製造や海水淡水化には逆浸透膜、硬水の軟水化にはNF膜、工業用水の製造にはUF膜、上水の製造にはMF膜という区分があつた。しかし、そのような単純な区分では取水源や

水の用途の多様化に対応できなくなってきた。そのため、4種類の膜技術を組み合わせる必要な水を造る、インテグレイテッド・メンブレン・システム」という考え方が生まれ、どのような用途にも柔軟に対応できるようにしている。

「最近では、ある分子に対する穴径の動力学的な関係などについてコンピューターを駆使して簡単にシミュレーションできるようになりましたので、これからますます高性能な膜が開発されていくでしょう」

このように技術的には世界の優位に立つ日本ではあるが、喫緊の課題は国家的なレベルでの対応を早急に構築することだと栗原氏は指摘する。

「いま、国を挙げて水問題に取り組んでいるのがオランダやシンガポールです。ライン河を共通の水資源とするEU各国の中でも特殊な地理条件をもつオランダの問題意

識は特に高く、水専門の大学や国立研究所、企業を設置し、先進的な取り組みをして多くの成果を上げています。シンガポールは自前の技術蓄積こそありませんが、水資源省を立ち上げて海外の技術を上手に使い、いまやそのノウハウを中国やサウジアラビアなどに供与しようという勢いです。日本では、冒頭に述べたようにようやく政府レベルでの動きが始まったところですが、そこにはまだ水問題を永続的にトータルで考えていくという思想が欠けているように思えます。かつてのODAがそうであつたようにその場限りのお金を出して終わるのではなく、水に恵まれた日本、周囲を海に囲まれたこの日本ならではの発想で、地球的な観点から未来に貢献していかなければいけないと考えています」

水と空気、そして逆浸透膜。それは、苦悩する21世紀の水の惑星に不可欠なものになりつつある。