

含めて紹介する。

# 中東における水事情と ビジネス戦略

上村 順一\*

水が不足している中東では、飲料水、工業用水、農業用水などの水源を、主に海水や地下水に頼っているケースが多い。この場合、脱塩処理が必要になるが、具体的な手法としては蒸発法や逆浸透(RO)法などが多く採用されている。さらに、最近では都市下水の高度処理を行うことによって処理水を再利用する動きも出てきている。ここでは、水ビジネス戦略にも関連する中東の脱塩・RO膜市場を実例も

\* Junichi KAMIMURA：ユニコインターナショナル(株)  
シニアコンサルタント (Tel. 03-5148-0603)

## 1. 地球の水バランス

1997年に発表された「国連水会議資料」によると、地球表面の71%は水に覆われているが、その大半は海水であり、陸上生物の飲料水になる淡水は、わずか2.5%といわれている(図1)。その中には北極や南極の氷が含まれているため、実際に陸上生物が使用できる地下水や河川、湖沼などの水は0.8%とごくわずかな量しかない。そのため、とくに水不足地域では、海水から飲料水をつくり出したり、河川・湖沼・地下水をさらに飲料に適するように浄化するプロセスが必要になってくる。

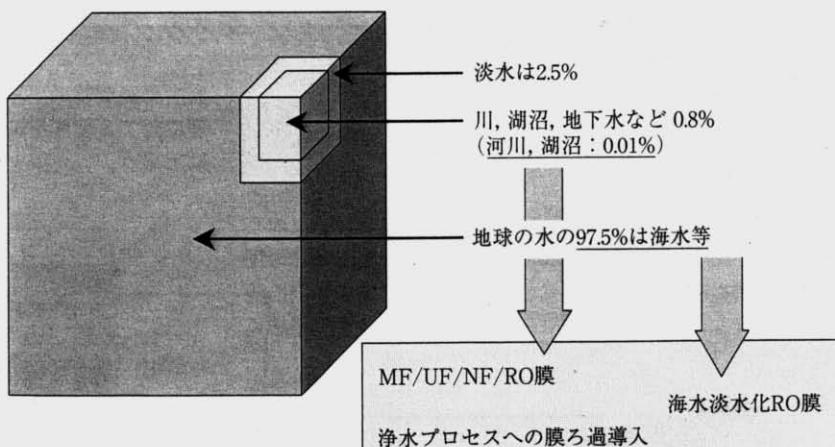
## 2. 世界の水事情

### 2-1. “水の世紀”到来

世界には、洪水で悩む水過剰地域が存在する一方、化学兵器使用跡地、農薬多用地域のように化学物質が混入している河川水、地下水に悩んでいる地域も多い。しかしながら近年クローズアップされているのは、水不足地域である。これらの地域の処理をめぐって、21世紀は“水の世紀”になるということがいろいろな場所で紹介されている。

### 2-2. 水不足

WMOは、人口が約80億人になるといわれている2025年には、生活様式の進歩や工業化の進展により、深刻な水不足地域が増加すると報告している。同年には、インド・アルジェリア・南アフリカが中東並みの不足率になり、アメリカ・欧州・中国辺り



(引用)V.I.Korzoun and A.A.Sokolov : World Water Balance and Water Resources of the Earth E/Conf. 70/TP127(1997) (国連水会議資料)

図1 地球の水資源 (国土交通省：日本の水資源、平成13年版)

表1 各国の水問題と水処理の現状

	水源 <sup>①)</sup>	水問題 <sup>②)</sup>		水処理方法 <sup>③)</sup>		
		水源不足	水質汚濁	海水淡水化	自然水高度処理	下排水再利用
アメリカ	GW, SF, SW, WW	○	○	◎	○	○
ペネルクス3国	GW, SW, WW		○		○	○
イギリス, フランス	SF, GW		○		◎	○
スペイン	SF, SW	○	○	◎	○	○
サウジアラビア	SW, GW	○		◎		○
クウェート	SW, GW, WW	○		◎		○
中国	SF, GW, SW	○	◎	○	○	○
シンガポール	SW, WW	○		◎	◎	○
日本	SF, GW, SW		○	○	○	

\*<sup>1)</sup> GW: 地下水, SF: 河川・湖水, SW: 海水, WW: 都市下水

\*<sup>2)</sup> ○: 深刻な問題, ◎: 問題 \*<sup>3)</sup> ○: 既に適用されている, ◇: 対応が見込まれる

でも不足率が上昇すると予測している。この水不足解消の手段としてさまざまな手段が講じられているが、それぞれ固有の課題も発生している。

#### (1) 地下水利用の場合

世界資源研究所によると、世界需要の約20%相当量は地下水の汲み上げに依存しているが、この方法では地盤沈下などの問題が発生するので、先進国では汲み上げ規制などが実施されている。なお、代替水源がない地域では、規制しても守られないケースが多いと言われている。

#### (2) ダム建設の場合

ダムは、広大な地域を水没させるばかりでなく、河川を往来している魚類の生態破壊にもつながる。また、河川流水が減少する結果、河川底に滞留している寄生虫や病原菌などが洗い流されなくなり、流域住民の病気発生原因になったり、水没した樹木や土壌が腐って分解する過程で大量のメタンガスや炭酸ガスを発生させ、地球温暖化の原因になるともいわれている。このため、最近ではダム建設中止や、さらに解体まで実施し始めている国もある。

#### (3) 水の搬送

その移送用水路の建設には、土地買収や建設の時間やコストがかかる。また水源地域の生息が他地域へ移動することによりこれまで生態系の破壊に結びつくことが懸念される。

#### (4) 漏水対策

各地で起こっている漏水対策も水源確保に有効な手段といえる。ちなみに、日本における漏水率は、5%前後ではあるが、開発途上国は30~50%といわ

れており、中東も30%程度と見られる。これらを減少させるだけでも水源確保と同等な効果が得られるが、対策には費用がかかるため、あまり進んでいない。

### 2-3. 中東の水事情

中東では、水そのものが不足しているため、造水が必要なものになっている。方法は、海水やかん水を水源にして淡水を造り出すことを主体にしてはいるが、近年は下排水を再利用して新水源にするという発想も出てきている。

この考えは中東だけではない。参考までに、その他地域も含めた各国の水問題と水処理の現状をまとめてみると、水源として海水や地下水を利用する国が多いことが分かる(表1)。また、下排水を水源として捕らえ、その再処理水を再利用しようという国も増えている。

### 3. 脱塩市場について

脱塩方法として、実用化されている主要な脱塩技術を列挙すると、

- ・蒸発法
- ・逆浸透(RO)膜法
- ・電気透析法
- ・イオン交換樹脂法ほか、がある。

歴史的には、1960年代から蒸発法が市場に普及し始めた。1980年代に入り、オイルマネーを潤沢に保有することになった中東では、蒸発熱源の燃料になる石油価格が安価なこともあり、発電も併せて行える蒸発法施設が多く建設された。一方、非産油

国では、エネルギーコストが安い中小型化に適しているRO法が普及していった。RO法は、世界各地での使用実績も上がってきた結果、技術的信頼度も向上し、近年では中東の大型海水淡化化向けでもROを主プロセスとした引き合いが出されているケースが増えている。

電気透析法は、硬度成分が高いかん水処理向けなどの特殊な使用に限定されるケースが多い。また、イオン交換樹脂法は、飲料水製造用というより、工業用のプロセス水を製造する場合に他の脱塩プロセスと併用されるケースが多い。

市場状況については、ドイツのWangnick Consulting社がまとめているIDA Worldwide Desalting Plants Inventory Reportを見ると概観しやすい。ここでは、同レポート2004年版(No.18)で分析されている結果を引用し紹介する。個々のデータの捕捉状況の議論はあるが、大まかな傾向を把握するのには、有用である。それによると、

- ・世界におけるプロセス別シェアは、上述のように近年はRO法が過半数を占めるようになってきた。中東では、蒸発法が依然多いが、非産油国といえる欧州・アジアなどではROが多い。造水量的にはROが蒸発法よりも多くなっている。
- ・蒸発法を含む脱塩プロセスの水源としては、海水が最も多く、以下、地下水、河川水と続く。
- ・排水はまだ少ないが将来の有望な水源といって

よい。

- ・ROは海水、かん水、排水すべての分野で採用されるが、大型蒸発法は飲料水、とくに海水淡水化に限定されているといつても過言ではない。
- ・地域別には中東は最大の市場。その中でも、サウジアラビアとUAEが2大市場になっている。
- ・用途としては、飲料用水が最も多く、工業用水への利用も多い。農業用への利用も増えている。
- ・脱塩装置メーカーは、欧州・アジア(とくに日本)系が多く、RO装置メーカーとしてはアメリカのIonics社がトップシェアを確保している。日系としては、三菱重工がサウジアラビアで、ササクラがバーレーンでRO法施設の実績を有している。
- ・蒸発法では、その大型製缶工事の得意な造船重機械会社が強く、日系の日立造船、三菱重工、ササクラ、石川島播磨、三井造船、韓国Doosan、欧州のSnamprogetti、Italimpiantiなどが実績を上げている。
- ・RO膜メーカーとしては、日系(東レ、日東电工、東洋紡)・アメリカ系(DOW, Hydranautics)で市場を押さえている。欧州には名立たるRO膜メーカーは存在しない。韓国、中国も進出しかけてはいるが、まだ実績的には少ない。

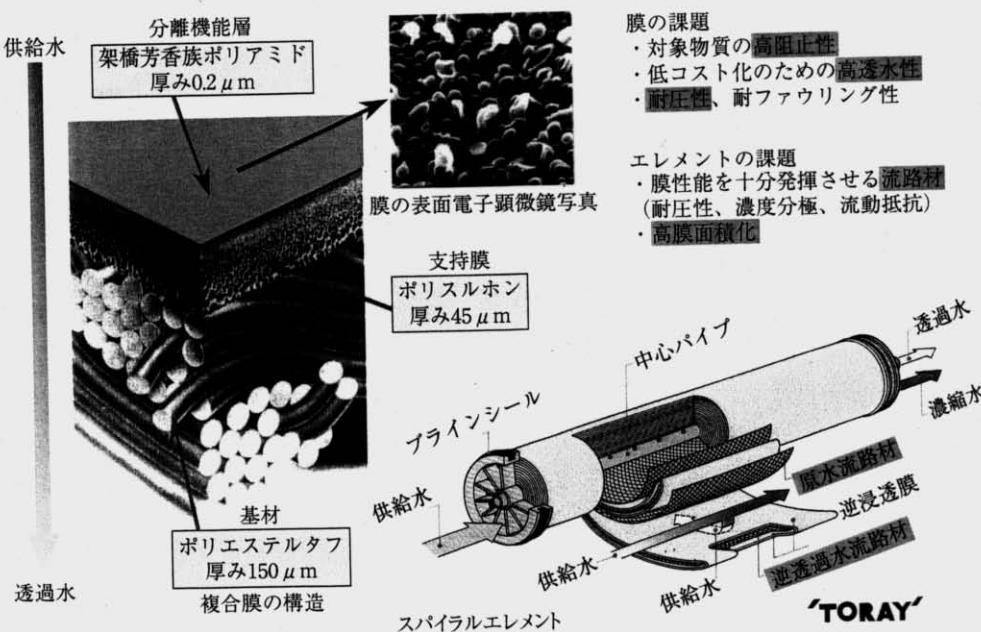


図2 逆浸透膜・エレメントの構造

## 4. RO 膜について

### 4-1. 膜の位置づけ

精密濾過(MF)膜、限外濾過(UF)膜が、ふるい効果を利用するのに比べて、RO膜は、浸透現象を利用しておらず、数オングストロームのイオンレベルを除去できる。NF膜はROの中でも除去性能が低いものではあるが、ROの分類に加えられる。

### 4-2. RO膜の用途

RO膜は、産業用純水や飲料水製造、下水等の高度処理の分野に用いられているが、中東では飲料水用途が最も多い。RO膜はその形状として、スパイラル型、中空糸型、チューブラー型などがあるが、現在最も多い形状はスパイラル型である。

### 4-3. 構造

スパイラル型の場合、RO膜は、タフタや不織布の基材の上にポリスルホン多孔層でできた支持膜を置き、その表面に厚さ約0.2μm程度の分離機能層を設けている。この分離機能層の素材の種類により、ROエレメントとしての性能や、使用条件が決まってくる。現在、市場で使用されている主要なRO膜はポリアミド系の機能層からできている。異種の高分子膜を複合して使用しているので、合成複合膜と呼ばれている。また初期のRO膜は酢酸セルロース(CA)系でできていたが、複合膜が開発されたことにより、高分子機能層の開発の可能性が広がり、結果としてRO膜性能が向上した。なお、中空糸の場合は、支持膜と機能層は同一素材からできている。

### 4-4. 技術動向

開発の方向は、①海水淡水化で必要なより高

圧・高除去率化と、②浸透圧の小さい低濃度領域が対象の一般かん水淡化や純水製造用で低運転圧力を実現させるために、より低圧化、の2方向であった。最近は、下排水でも使用できるように耐汚れ性の膜の開発もされている。

とくに①の低圧化の歴史を図3に示す。1970年代を中心であったのはCA膜であった。その後80年代半ばからポリアミド系の合成複合膜を用いて、より高透過流速(低圧化)を実現させ、省エネルギー化に寄与するようになった。これにより、運転時のエネルギーコストが低下し、RO法の普及が加速された一因にもなっている。

## 5. 中東におけるRO膜利用のプラント例

### 5-1. 海水淡水化

最近では、大型の海水淡水化にもRO法が採用されるようになった。イスラエルAshkelonではRO膜プラントとしては世界最大級の海水淡水化プラントをDOW膜で建設中であり、UAEのADWEA(水電気公社)は、Taweehah 2に227,300 m<sup>3</sup>/dのRO法海淡施設建設を決定し、現在業者選定中である(表2)。

#### (1) 紅海側

サウジアラビアのSWCC(Saline Water Conversion Corporation)所有のJeddah 1(1988年スタート、56,800 m<sup>3</sup>/d), Jeddah 1 ph 2(1994年スタート、56,800 m<sup>3</sup>/d), Media/Yanbu 2(1995年スタート、128,000 m<sup>3</sup>/d)では三菱重工が東洋紡膜で大型RO海淡を成功させており信頼を得ている。また最近では、同国Royal Commission所有の

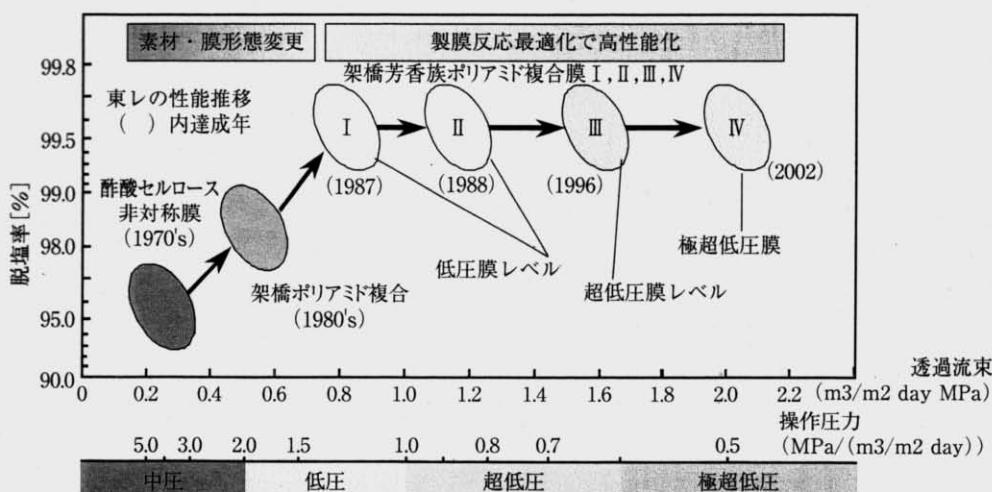


図3 東レ逆浸透膜の技術推移

表2 大型海水淡水化施設

	Country	Location	Capacity (m³/d)	Operation (year)	Plant Supplier	Membrane Supplier
1	Israel	Ashkelon	272,520	2004	OTID/IDE/OTV	Dow
2	UAE	Taweelah	227,300	2006		
3	UAE	Fujairah	170,000	2003	ONDEO	Hydranautics
4	Israel	Ashdod	137,000	2004	Ionics	
5	Trinidad and Tobago	Point Lisa	136,000	2002	Ionics	Toray
5	Singapore	Tuas	136,000	2004	Hyflux	Toray
7	Mexico	Hermosillo	128,690	2004	IDE/IL	—
8	Saudi Arabia	Yanbu	128,000	1995	Mitsubishi	Toyobo
9	Spain	Carboneras	120,000	2001	ABENS/ONDEO/PRI	Hydranautics
10	USA	Tampa	94,625	2003	COVANTA	Hydranautics
11	Saudi Arabia	Al Jubail III	90,909	2000	PWT	DuPont/Toray

\* DuPont withdrew from RO business in 2001

Yanbu (2003年スタート, 60,000 m³/d) 海淡施設はスペイン Cadugua 社が東洋紡膜で建設している。

## (2) アラビア湾(ガルフ)側

ガルフは、バイオファウリングが発生しやすい海水条件であること、およびDu Pontの中空糸膜プラントが失敗したことからRO法は難しいと言われていた。この中にあって、1983年にドイツ Preussag 社が、クウェート国境に近い Tanajib の ARAMCO 社向けに東レ膜で建設した海淡施設 (2,300 m³/d) は、前処理にUF膜を利用する画期的なシステムで順調に稼動した。

その後、膜そのものの改良や、前処理装置や運転方法の改良などにより、ガルフでもRO法が導入され始めてきている。例えば、サウジアラビア SWCC Al Jubail (2000年, Preussag 社建設, 90,909 m³/d) ではDu Pont膜の一部を東レスピライアル膜に交換して運転している。前記 UAE の Taweelah 2 は、227,000 m³/d という大型ではあるがRO法を採用し、蒸発法とのハイブリッドを計画している。

クウェートは、まだ蒸発法が主要なプロセスになっているが、大型ROの計画もある。バーレーンは、蒸発法とROが混在しているがRO技術に対する信頼度は高い。

このほかの特記すべき施設としては、インド洋側ではあるが、UAE/Fujairah で2003年運転開始した 170,000 m³/d の海淡施設がある。スペイン OndeO 社が Hydranautics 膜で建設した。

なお、1980年代に市場で高シェアを誇っていた Du Pont は、2001年に事業撤退した。そのため、同社膜利用プラントの他社膜への切り替え需要が今後発生するといわれている。

## 5-2. かん水淡水化

塩分濃度の高い地下水はそのままでは飲料水や農業用水には不適である。このため、内陸部では、RO膜やEDR膜を利用したかん水淡水化プラントが多く建設されている。現地工事の期間を短縮するためにコンテナに前処理装置とRO膜を組み込んだパッケージ型中小型装置も多数使用されており、トラックに搭載した移動式装置も多い。

サウジアラビアにはリヤド地区を始めとする内陸部に、Al Hail (200,000 m³/d), Al Wasia (153,000 m³/d), Unayzah (52,000 m³/d), Al Kharj (50,000 m³/d), Al Rass (36,000 m³/d), Al Bukariyah (36,000 m³/d) など、多数の大型かん水プラントが建設され、稼動している。

イラクでは、1980年代までは国際社会との摩擦もありなくバスラやバグダッド近郊に大型ROが納入され稼動していた。しかしながら湾岸戦争を契機に経済制裁が始まり施設は保守部品不足のため疲弊化しているといわれている。

クウェートでは、Kuwait Oil Company 向けに栗田工業が東レ膜で納入した 2,700 m³/d の装置が順調に稼動していたが、イラク侵攻時に破壊された。

バーレーンでは、高濃度かん水脱塩として、ササクラが Du Pont 膜で納入した設備が順調に稼働中

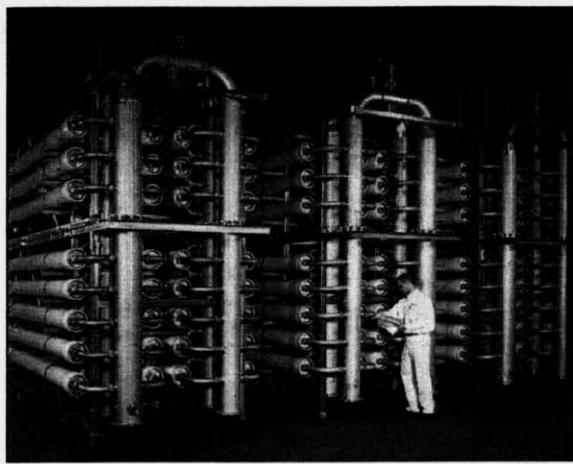


写真1 クウェート Sulaibia

である。取水は、ビーチウェル方式である。

### 5-3. 排水再利用

海水、かん水（地下水）以外の安定した水源として下排水が注目されている。この発想はアメリカのオレンジカウンティ（OCWD）のWater Factory 21が原点ともいわれている。OCWDでは都市下水をRO膜で処理し、その処理水を地下に注入した後、再び汲み上げ飲料水として使用している。ここでは、ROの前処理としてMFやUFも用いるいわゆるIntegrated Systemの技術確立の研究を行い、膜のファウリング問題を改善させた。また膜メーカーも低ファウリング膜を開発し、この用途に弾みがついた。この技術は、シンガポールでも実証され、クウェート Sulaibia、（写真1、アメリカ Ionics 社建設、東レ膜）では350,000 m<sup>3</sup>/dという巨大なプラントが建設されている。処理水用途は、シンガポール Seletar では半導体産業向けの超純水の原水に、クウェート Sulaibia ではかん水代替とすべく灌漑用に利用される計画である。

## 6. コスト

### 6-1. 造水コスト

ROが広く採用されるようになったのは、膜性能の向上だけでなく造水コストの低下も寄与している。最近では海水淡水化でさえ、国際入札ベースでは0.5～1米ドル/m<sup>3</sup>での造水が可能になってきている（図4）。

### 6-2. 建設コスト

また、海水淡水化プラント建設コストとしては国際相場では1m<sup>3</sup>/d当たり1,000～1,500米ドルといわれており、2004年6月に開催されたEuroMed

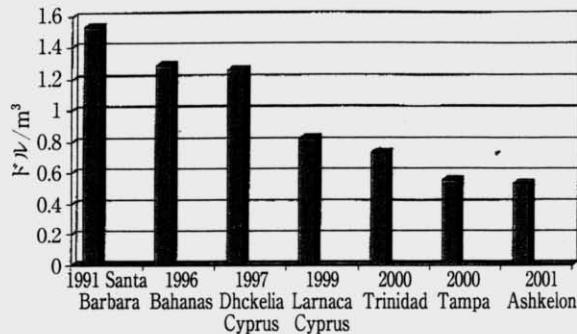


図4 最近10年間におけるRO法海水淡水化の造水コスト

2004では、m<sup>3</sup>/d当たり、ROでは1,300米ドル、MSFでは2,000米ドル、MEDでも1,500米ドルとの報告がある。

参考までに、2000年にアメリカ IONICS 社が受注したTrinidad & Tobago (136,000 m<sup>3</sup>/d) は23年のBOOであったが、建設コスト120,000万米ドルが計算の基礎になっていた。

## 7. 新タイプの事業形態—BOO契約—

従来は装置の単なる売買契約のみであったが、最近はプラント供給者側が、建設資金調達をしたうえで、施設の建設（Build）を実施し、施設をユーザーに引き渡すことなく自己所有（Own）の状態で、運転を行い（Operate）、製造された製品（水）をユーザーに事前契約した単価で販売するという契約形態、いわゆるBOOも増えつつある。最後に引き渡し（Transfer）するBOOTという形態もある。クウェート Sulaibia は30年のBOOである。日本国内で広がりつつあるPFI（Private Finance Initiative）事業も、このBOO(T)の事業に類似している。

## 8. 水質の向上対策

脱塩というより、農薬や発ガン性物質の除去により高品質な水を得るために膜を利用する方法も採用されてきている。中東ではまだほとんど例はないが、パリ郊外（フランス）のメリーショアーズ浄水場では、NF膜を用いた装置が既に稼働している（図5）。近い将来、中東を含めた各地に広まることが期待されている。

その他、MF、UF膜を使用した浄水場の増加も期待される。この方法は、安定した水質の確保ができると同時に、運転の簡易化、省スペース化等のメリットもある。

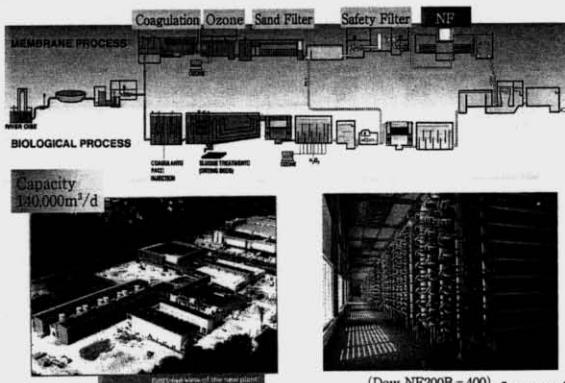


図5 NF膜を用いた施設（メリーショアーズ浄水場）

また排水処理場にも膜を使用する機運は高まっている。

## 9. 中東水ビジネス関連事項まとめ

最後に中東における水ビジネスの関連事項をまとめる。

- ・水源としては、河川水、ダム、水の搬送、地下水や海水があるが、環境面に問題を起こさないのは海水利用がベスト。

- ・最近では、下排水も重要な水源と考えられるようになっている。
- ・脱塩技術としては、ROが一般化してきている。
- ・中東ではあらゆる水源を利用する必要に迫られているため、各種の水処理技術に取って大きな市場である。信頼性のある、かつ安価な造水設備をいかに提供できるかがビジネスのポイントになってくる。
- ・契約形態として、BOO(T)も採用され始めた。

### 参考資料

- 1) 1997年国連水会議資料、第3回世界水フォーラム資料、WHO資料、世界資源研究所資料、ワールドウォッチ研究所資料、横山文郎MRC例会発表要旨等
- 2) Klaus Wangnick, IDA Worldwide Desalting Plants Inventory Report, Wangnick Consulting社, 2004年版(No.18)
- 3) Aqua Resources Int'l, Desalination Market Analysis 2001 (Oct 2001)
- 4) Desalination as a water supply technique in Libya, by Ghent University, Belgium, EuroMed 2004/JDA 第4回総会講演会資料(後藤藤太郎)
- 5) 東レカタログなど

# 図解 水素エネルギー最前線

文部科学省科学技術政策研究所  
科学技術動向研究センター編

A5・240頁 定価2,520円(本体2,400円+税)

7693-7118-7

環境負荷物質の排出が少ない、自動車用燃料として使用できるといった利点があることから、燃料電池をはじめとする水素エネルギーシステムに大きな期待が寄せられている。本書では、同システムの普及のカギとなる水素の製造・貯蔵・輸送、燃料電池のしくみと開発動向、国内外のプロジェクト、解決すべき技術的な課題について、わかりやすく解説する。



### 主要目次

- 第1章 水素と水素エネルギー / 第2章 燃料電池の基礎理論 / 第3章 さまざまな燃料電池システム / 第4章 水素内燃機関 / 第5章 水素の製造 / 第6章 水素の精製 / 第7章 水素の貯蔵と輸送 / 第8章 水素エネルギーの普及に向けた動きと課題

## 工業調査会

〒113-8466 東京都文京区本郷2-14-7 TEL 03-3817-4706・FAX 03-3817-4709  
工業調査会ホームページ URL : <http://www.kcp-net.jp>