

海水淡水化の現状と原子力利用の課題

- 世界的水不足の解消をめざして -



平成 18 年 7 月

(社)日本原子力産業協会
海水の淡水化に関する検討会

表紙の写真は国連の水資源開発報告書に掲載されているものです。

目次

| | |
|-----------------------------------|----|
| はじめに..... | 3 |
| 第1章 海水の淡水化の意義..... | 4 |
| 第2章 淡水化技術の現状と市場動向 | |
| 2.1 淡水化施設設置状況..... | 7 |
| 2.2 淡水化の市場動向..... | 14 |
| 2.2.1 世界の水需要増加と人口増加..... | 14 |
| 2.2.2 世界の地域別海水淡水化施設容量の増加率..... | 14 |
| 2.2.3 最近の原子力利用海水淡水化施設の計画進行状況..... | 17 |
| 2.2.4 民営化の動向と実施例..... | 19 |
| 2.2.5 中近東湾岸諸国の民営化状況..... | 21 |
| 2.2.6 各国の実施状況と今後の計画..... | 23 |
| 2.3 淡水化をめぐる国際機関の動向..... | 26 |
| 2.3.1 国際機関の現状と動向..... | 26 |
| 2.4 各技術の特徴..... | 28 |
| 2.4.1 蒸発法..... | 28 |
| 2.4.2 膜法..... | 30 |
| 2.5 今後の技術革新と淡水化コスト削減の展望..... | 33 |
| 2.5.1 プロセスの改良..... | 33 |
| 2.5.2 淡水化システムの改善..... | 35 |
| 第3章 原子力利用への動き | |
| 3.1 国際原子力機関（IAEA）の取り組み..... | 38 |
| 3.2 日本の活動..... | 39 |
| 3.3 諸外国の活動..... | 41 |
| 3.4 各国の原子力技術および淡水化技術の現状..... | 41 |
| 第4章 淡水化への原子力技術を適用する場合の問題点と課題 | |
| 4.1 海水淡水化プラントの設計・運転..... | 49 |
| 4.2 海水淡水化プラントの管理..... | 50 |
| 4.3 海水淡水化プラントのエネルギー形態..... | 50 |
| 4.4 海水淡水化プラントの取排水設備..... | 51 |
| 4.5 ビジネスとしての課題..... | 51 |

| | |
|--------------------------|----|
| 第 5 章 日本への対応のあり方および提案 | |
| 5.1 海水淡水化への原子力利用..... | 53 |
| 5.2 日本の役割 | 53 |
| 5.3 提案 | 54 |
| 海水の淡水化に関する検討会 委員名簿 | 55 |

はじめに

世界的な人口増加や経済・生活レベルの向上に伴って、食料や水資源の確保が重要な課題となっている。とりわけ 1950 年以降の水需要の増加率は人口増加率のほぼ 3 倍となっている。すでに中近東やアフリカの多くの国々では、慢性的な水不足に見舞われており、このまま推移すると 2025 年には世界の約半数の国と地域が水不足に陥ると予想されている。こうした状況から、各国において海水から真水を精製し、生活用水や農工業用水として利用する「海水淡水化」への取り組みが行われているが、海水淡水化へのニーズは今後とも、中東諸国を中心に高まっていくことが予想されている。

原子力利用による海水淡水化については、原子力発電初期の頃から様々な検討が行われてきた。近年では地球温暖化問題等の観点からも再評価されつつあり、国際原子力機関（IAEA）での議論とともに、一部の国では原子炉を使った淡水化技術実証試験も行われ、中東・アフリカ等においてもその導入に向けた動きが始まっている。

我が国では原子力発電所において所内用として淡水化は行われているものの、大規模な生活用水や工業用水を確保するため、原子力技術を使って事業化していくための議論は一部の民間を除き、原子力関係者の中では余り話題になっていない。一方、フランス、米国、韓国、中国、インドなど原子力技術国は淡水化事業への原子力利用について、官民で継続した取り組みを行っており、この点で我が国との意識の差は大きいようである。

こうした状況を踏まえ、日本原子力産業協会は、淡水化事業への原子力技術の適用可能性等について検討し、我が国としてどのように対応していくべきかについての方向性を探っておくことが重要との認識のもとに、2006 年 1 月「海水の淡水化に関する検討会」を設置した。本検討会では、海外で事業を展開している淡水化メーカー、商社等を中心とした委員で構成し、中東諸国での淡水化の実態やそのビジネス展開についての現状や課題、そして現実的な事業展開の中から、海外での淡水化事業に、原子力技術が適用可能かどうかについて検討するとともに、適用に当たっての課題を抽出し、今後の議論の方向性等を示した。

世界最先端の淡水化技術および原子力技術を有している我が国として、今後、国レベルでこの課題についての議論が活発に行われることを期待したい。その議論に本報告書が些かなりともお役に立てば幸いである。

本報告書の取りまとめに当たって全面的な協力を頂いた（財）造水促進センターおよび当検討会に参加された各委員に改めてお礼を申し上げたい。

海水の淡水化に関する検討会

主査 湊 章男

第 1 章 海水の淡水化の意義

全世界にある飲料に適した水の量は、必要量および消費量をかなり上回っているが、その地理的分布は均等ではない(図 1.1、図中の灰色の国々は水不足が、また、黒色の国々は深刻な水不足が予想される地域を示している)。とくに途上国では、人口増加、経済発展による生活水準の向上、また、世界的な地球温暖化などの影響で、2025 年には、推定世界人口 75 億人の 50%が水不足に直面すると予想されており、人口増加に見合う適切な飲料水供給を確保することや、この必要性を満たすことは、地球規模での課題である。国連(UN)でも、国際連合教育科学文化機関(UNESCO)、世界保健機関(WHO)、世界気象機関(WMO)や世界銀行などが共同でこの問題に取り組んでいる。

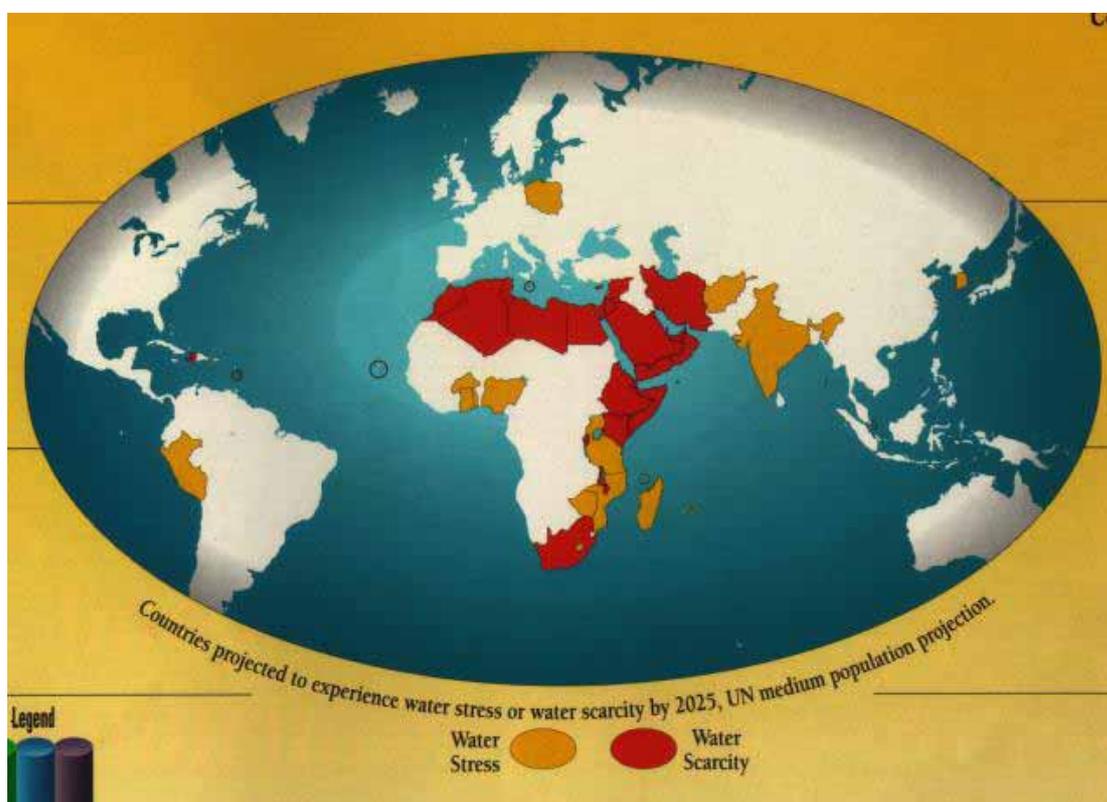


図 1.1 2025 年までに水不足が予想される国(国連レポートから)
(年間 1 人当り 1700 トン以下が Water Stress、1000 トン以下が Water Scarcity)

地球の 70%は水で覆われており、その 97.5%は海である。残りの 2.5%が真水であるが、この真水の約 70%は南極大陸やグリーンランドの万年雪の中の氷河であり、残りのほとんどが土壌中の水分や我々が利用できない地下水である。つまり、1%以下が地球規模での真水として存在し、かつ、地球上に存在するすべての真水の約 0.007%が、我々

が利用できる真水である。しかし、海水は無尽蔵の水資源であり、その海水の淡水化は水問題への有力な解決方法の1つである。

現に厳しい水不足に見舞われている地域は食料不足地域と重複している場合が多く、これらの地域では農業用水が確保されれば、水不足と食料不足が同時に解決される。しかし、そのような地域には、経済的発展が遅れている開発途上国が多く、先進諸国からの技術援助あるいは投資が必要である。さらに、日本の食糧海外依存度は高いので、安定した食料の輸入を確保するためにも、そのような取り組みを検討することが必要となってきた。

水は重く人工的の移送は高価であり、また、各国の安全保障がらみの政治的理由から水の供給は第3国に依存したくない思惑も絡んでいる。近隣地域の諸国間でも既得水利権の主張により、水供給の平等化が妨げられることもある。水入手の代案が乏しい湾岸諸国、マルタ島、イスラエルのように、国策としてすべての水を海水の淡水化装置にて供給している国もある。

淡水化には、熱や電力の形態でのエネルギーが必要であり、現在ではそのエネルギー源としては、在来の化石燃料が使用されている。しかし、化石燃料は資源の制約や大量に利用すれば、地球温暖化などの環境問題も懸念されている。太陽光発電は、淡水化に必要なある程度の電源（～100MWe）を得るためには、莫大な土地が必要であり、天候により左右されるなど安定した電力を得ることは困難である。また、発電規模が近年大きくなっている風力発電でも、ある程度大きな電力は得られるとしても、天候により定常的な電力が得られない点では太陽光発電と同様である。原子力は電力というエネルギー形態で、現在では大きな役割を占めるようになってきており、炭酸ガスによる地球温暖化対策の観点から、今後、更なる大きな役割を果たしえる潜在的な可能性を秘めている。

一方、原子力は発電プラントとして実用化し、技術的にも経済的にも着実のその拡大を図ってきた。1997年末には世界の電気エネルギーの17%も供給するまでに至っている。一時期は、多くの国で社会的受容性や政治的、エネルギー政策上の問題等から、原子力利用が停滞していたこともあるが、近年では中国、インドなど巨大人口を抱える途上国等の急速な経済成長に伴って、21世紀のエネルギー安定確保および地球温暖化防止という課題への対応策として、再び原子力利用への関心が世界的に高まっている。その中で、電気以外への熱利用、とくに淡水化への利用には先進国でもその関心は高まってきた。実際飲料水が不足している地域は途上国が多く、淡水化のためのエネルギー源として原子力の導入に関わる技術移転など、先進国の今後の役割も重要となってきた。



- 🔴 現在、水問題で紛争中の地域
- 🌐 流域の一部の国同士では協定は結ばれているが全体としては解決していない地域
- 🌟 かつて紛争があったが、協定が結ばれ、解決に成功した地域
- 🌊 水質や生態系など、環境問題で紛争となっている地域
- 🌿 国境線など、政治的な問題で紛争がある地域
- 🌐 表立った紛争はないが、紛争のポテンシャルがあり、問題解決の必要な地域

図 1.2 世界水紛争 MAP (村上雅博氏資料より作成) *

* 参考資料：(社)国際建設技術協会、川と水委員会、世界水紛争 MAP
 (<http://www.idi.or.jp/vision/indexj.htm>)

第2章 淡水化技術の現状と市場動向

2.1 淡水化施設設置状況

(1) 淡水化方式

現在実用化されている淡水化方式は、蒸発法と膜法に二分され、図 2.1.1 に示す方式がある。この他に、冷凍法、透過気化膜法（膜蒸留法）があるが、実験研究を除き実施例はない。

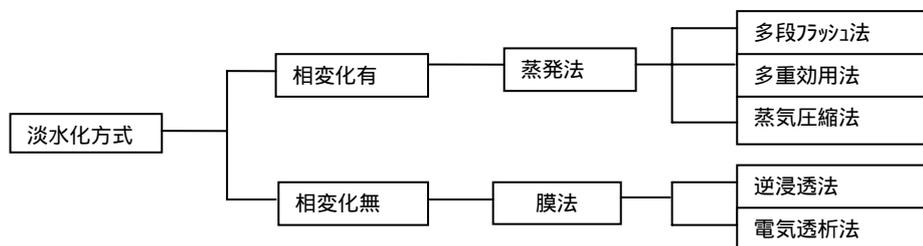


図 2.1.1 実用化されている淡水化方式の分類

淡水化プラントの記録をみると、世界最初の淡水化プラントは、1944 年イギリスに設置されている。現在、世界最大の海水淡水化プラントは、1985 年に全施設が完成したサウジアラビアのアルジュベールにある 46 基 100 万 m^3/d 多段フラッシュ蒸発法プラントである。逆浸透法では、イスラエルのアシュケロンにおいて 30 基 33 万 m^3/d の海水淡水化プラントが 2005 年 9 月より一部稼働を始めている。

(2) 世界の状況

淡水化の需要は、過去 30 年間で 12 倍になり、2001 年にはプラント設置容量合計は 3,000 万 m^3/d になり、2003 年末の集計では 3,700 万 m^3/d を越えた。近年は毎年 11% 以上の伸び（毎年 200～300 万 m^3/d 以上）を続けている。2080 年までに 5,800 万 m^3/d になるとの予測もある。とくに、逆浸透法が急速に増加しており、2003 年現在、逆浸透法が蒸発法を追い越し、全体の 51% に達している。^{1) 2)}

(3) 日本の状況

日本国内で最初に淡水化施設を導入したのは長崎県の松島炭坑池島鉱業所である。1967 年に生産水量 2,650 m^3/d の蒸発法多段フラッシュ法プラントが設置された。前年に日本メーカーが海外で初めてサウディ・アラビアに納入した海水淡水化プラントと同型のものである。



写真 2.1.1 世界最大規模の海水淡水化施設(多段フラッシュ蒸発法)

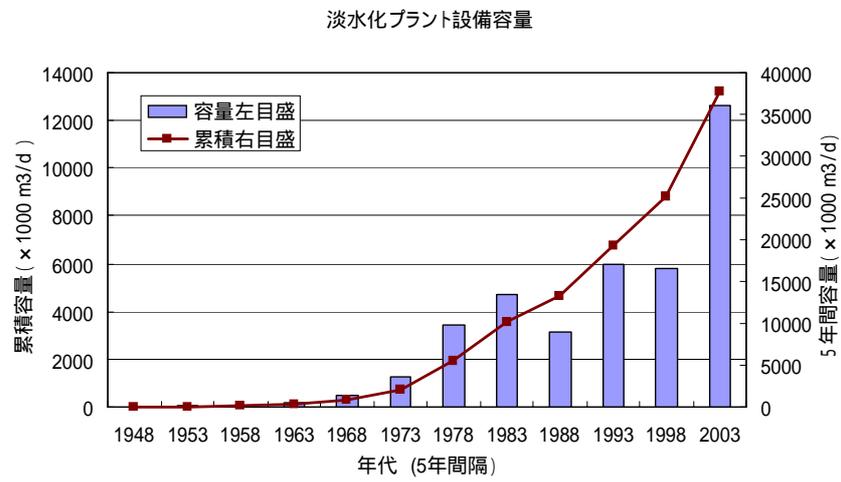


図 2.1.2 世界納入実績の伸び(累積)

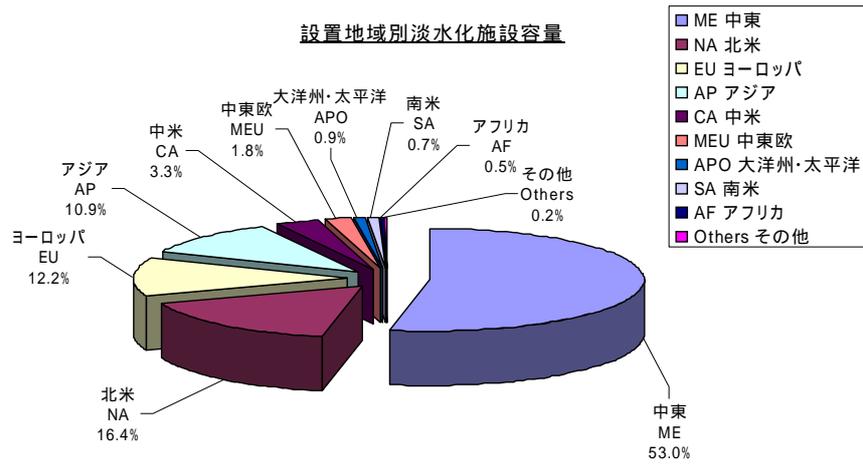


図 2.1.3 世界の地域別実績

表 2.1.1 方式別淡水化施設設置状況 (単位:千 m³/d)

| 淡水化方式 | 世界総計 | 日本メ-カ 合計 | 日本メ-カ 占有率% |
|-------|--------|-------------|---------------|
| 全方式 | 37,750 | 7,409 | 19.6% |
| 蒸発法 | 16,402 | 4,497 | 27.4% |
| 逆浸透法 | 19,253 | 2,614 | 13.6% |
| 電気透析法 | 1,844 | 298 | 16.2% |
| その他 | 251 | 0 | |

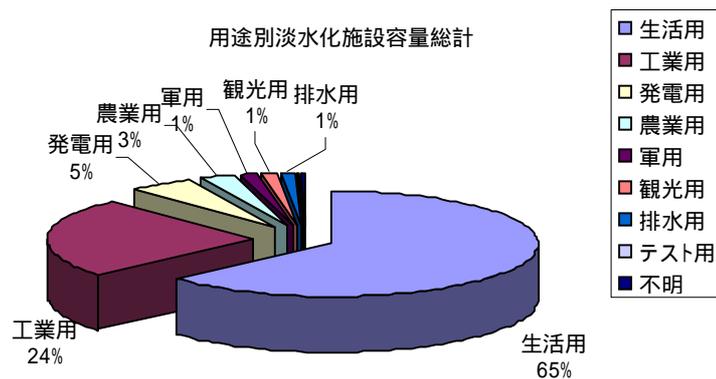


図 2.1.4 世界の用途別実績

現在、日本で最大規模の淡水化施設は2005年3月に完成した福岡地区水道企業団海の中道奈多海水淡水化センター5万m³/dと、1996年2月供用開始の沖縄県企業局海水淡水化センター4万m³/dの逆浸透法海水淡水化プラントが代表的なものである。

最近の20年間に日本国内に設置された淡水化プラントの用途をみると、工業用が73%、生活用水用が22%、発電所用が5%となっている。工業用では、半導体洗浄用の超純水や発電所等のボイラ用純水の用途が大きく、全淡水化施設の60%程度を占めている。

(4) 日本メーカーの実績推移

国別シェア

2003年末までに設置された全淡水化プラントのプラントメーカーの国別実績を見ると、米国について日本が2位、イタリアが3位、フランスが4位、スペインが5位とそれぞれ続いている。

蒸発法では、日本が1位、イタリアが2位、フランスが3位となっている。逆浸透法では米国が1位、日本が2位、スペインが3位、フランス4位となっている。

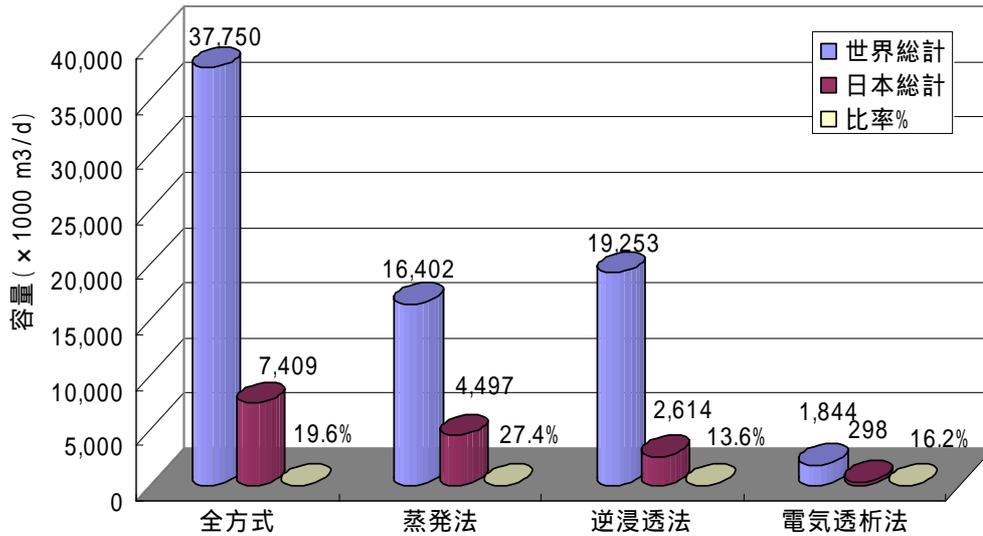
日本メーカーのシェアは、全方式では20%、蒸発法で27%、逆浸透法が14%となっている。

表 2.1.2 世界のプラントメーカー国別実績表 (単位 ; m³/d)

| | Country | THERM | RO | ED | Others | Grand Total | Share |
|----|---------------|------------------|------------------|----------------|------------|------------------|---------------|
| 1 | U.S.A. | 1,496,466 | 6,923,684 | 1,488,386 | 121,341 | 10,029,877 | 26.60% |
| 2 | Japan | 4,496,700 | 2,613,587 | 297,991 | 538 | 7,408,816 | 19.60% |
| 3 | Italia | 3,645,587 | 350,654 | 14,616 | 2,163 | 4,013,020 | 10.60% |
| 4 | France | 2,081,987 | 1,651,999 | 404 | 1,082 | 3,735,472 | 9.90% |
| 5 | Spain | 89,438 | 2,271,432 | 920 | 4,000 | 2,365,790 | 6.30% |
| 6 | British | 1,254,761 | 591,196 | 34,299 | 5,618 | 1,885,874 | 5.00% |
| 7 | Korea | 1,527,225 | 168,351 | 0 | 0 | 1,695,576 | 4.50% |
| 8 | Saudi Arabia | 1,400 | 856,237 | 0 | 0 | 857,637 | 2.30% |
| 9 | Germany | 176,288 | 624,698 | 3,120 | 15,965 | 820,071 | 2.20% |
| 10 | Austria | 91,706 | 658,118 | 0 | 0 | 749,824 | 2.00% |
| 11 | Israel | 398,014 | 326,699 | 0 | 0 | 724,713 | 1.90% |
| 12 | USSR | 404,819 | 0 | 0 | 0 | 404,819 | 1.10% |
| 13 | Italia/France | 0 | 395,000 | 0 | 0 | 395,000 | 1.00% |
| 14 | Netherlands | 222,380 | 168,203 | 0 | 326 | 390,909 | 1.00% |
| 15 | USA/Japan | 246,180 | 0 | 0 | 0 | 246,180 | 0.70% |
| 16 | Switzerland | 2,267 | 237,203 | 1,180 | 0 | 240,650 | 0.60% |
| 17 | U.A.E.. | 0 | 209,301 | 0 | 0 | 209,301 | 0.60% |
| 18 | Singapore | 0 | 204,144 | 0 | 0 | 204,144 | 0.50% |
| 19 | Australia | 0 | 183,635 | 0 | 0 | 183,635 | 0.50% |

“2004 Worldwide Desalting Plants Inventory Report No.18”

淡水化方式別実績比較



“2004 Worldwide Desalting Plants Inventory Report No.18”

図 2.1.5 日本メーカーのシェア比較

メーカー別

世界のプラントメーカー別実績を見ると、全体では上位 10 社中に日本メーカーが 5 社、上位 20 社中に 7 社が実績を上げている。

表 2.1.2(a) 世界の淡水化メーカー別実績 (全方式：単位；m³/d)

| プラントメーカー | 蒸発法 | 膜法 | その他 | 総計 |
|---------------------------|-----------|-----------|--------|-----------|
| 1 VEOLIA ALL | 1,969,812 | 2,044,871 | 31,902 | 4,046,585 |
| 2 IONICS US | 264,441 | 2,838,584 | 42,696 | 3,145,721 |
| 3 FISIA IT | 2,148,400 | 91,730 | 0 | 2,240,130 |
| 4 DOOSAN KR | 1,487,225 | 111,680 | 0 | 1,598,905 |
| 5 MHI/SASAKURA | 1,449,294 | 0 | 0 | 1,449,294 |
| 6 WEIR TECHNA GB | 1,176,300 | 242,517 | 3,618 | 1,422,435 |
| 7 ONDEO FR | 0 | 1,179,625 | 0 | 1,179,625 |
| 8 HITACHIZOSEN JP | 877,082 | 7,516 | 0 | 884,598 |
| 9 ENVIROGENICS US | 689,711 | 103,772 | 17,150 | 810,633 |
| 10 KURITA JP | 0 | 780,544 | 0 | 780,544 |
| 11 SASAKURA JP | 717,190 | 62,395 | 0 | 779,585 |
| 12 NOMURA JP | 0 | 777,666 | 0 | 777,666 |
| 13 ISHIKAWAJIMA JP | 705,845 | 0 | 0 | 705,845 |
| 14 VATECH WABAG AT | 91,706 | 576,701 | 0 | 668,407 |
| 15 IDE IL | 394,608 | 205,049 | 0 | 599,657 |
| 16 SNAM PROGETT IT | 560,108 | 18,464 | 0 | 578,572 |
| 17 HYDRANAUTICS US | 0 | 558,131 | 0 | 558,131 |
| 18 MITSUBISHI JP | 234,456 | 267,403 | 538 | 502,397 |
| 19 CADAGUA ES | 0 | 441,615 | 0 | 441,615 |
| 20 ANSALDO IT | 432,460 | 3,590 | 768 | 436,818 |
| 21 USSR SU | 404,819 | 0 | 0 | 404,819 |
| 22 OTID IDE OTV | 0 | 395,000 | 0 | 395,000 |
| 23 ADVANCED EWT US | 0 | 365,631 | 0 | 365,631 |
| 24 FLUID SYSTEM US | 0 | 364,098 | 0 | 364,098 |
| 25 EMCO US | 0 | 352,412 | 100 | 352,512 |
| 26 AQUA CHEM US | 301,537 | 43,157 | 1,104 | 345,798 |
| 27 PRIDESA ES | 53,638 | 287,427 | 0 | 341,065 |
| 28 ORGANO JP | 120 | 328,673 | 0 | 328,793 |
| 29 INIMA ES | 35,000 | 271,230 | 0 | 306,230 |
| 30 HARN US | 0 | 271,578 | 0 | 271,578 |

表 2.1.2(b) 世界の淡水化メーカー別実績 (方式別)

(蒸発法：単位；m³/d)

(膜法：逆浸透法、電気透析法)

| プラントメーカー | 蒸発法 |
|--------------------|-----------|
| 1 FISIA IT | 2,148,400 |
| 2 VEOLIA ALL | 1,969,812 |
| 3 DOOSAN KR | 1,487,225 |
| 4 MHI/SASAKURA | 1,449,294 |
| 5 WEIR TECHN A GB | 1,176,300 |
| 6 HITACHIZOSEN JP | 877,082 |
| 7 SASAKURA JP | 717,190 |
| 8 ISHIKAWAJIMA JP | 705,845 |
| 9 ENVIROGENICS US | 689,711 |
| 10 SNAM PROGETT IT | 560,108 |
| 11 ANSALDO IT | 432,460 |
| 12 USSR SU | 404,819 |
| 13 IDE IL | 394,608 |
| 14 AQUA CHEM US | 301,537 |
| 15 IONICS US | 264,441 |
| 16 WESTING/HITACHI | 236,180 |
| 17 MITSUBISHI JP | 234,456 |
| 18 SUMITOMO JP | 208,440 |
| 19 FANTUZZI REG IT | 204,800 |
| 20 HUBERT STAVO NL | 184,140 |
| 21 SIR EUTECO IT | 166,241 |
| 22 CGA FR | 144,265 |
| 23 WESTINGHOUSE US | 126,520 |
| 24 BABCOCK HIT. JP | 122,868 |
| 25 KRUPP DE | 119,028 |
| 26 MITSUI JP | 116,108 |
| 27 VATECH WABAG AT | 91,706 |
| 28 ALFA LAVAL DK | 63,732 |
| 29 IHI/SASAKURA | 62,566 |
| 30 SOWIT IT | 60,280 |

| プラントメーカー | 膜法 |
|---------------------|-----------|
| 1 IONICS US | 2,838,584 |
| 2 VEOLIA ALL | 2,044,871 |
| 3 ONDEO FR | 1,179,625 |
| 4 KURITA JP | 780,544 |
| 5 NOMURA JP | 777,666 |
| 6 VATECH WABAG AT | 576,701 |
| 7 HYDRANAUTICS US | 558,131 |
| 8 CADAGUA ES | 441,615 |
| 9 OTID IDE OTV | 395,000 |
| 10 ADVANCED EWT US | 365,631 |
| 11 FLUID SYSTEM US | 364,098 |
| 12 EMCO US | 352,412 |
| 13 ORGANO JP | 328,673 |
| 14 PRIDES A ES | 287,427 |
| 15 HARN US | 271,578 |
| 16 INIMA ES | 271,230 |
| 17 MITSUBISHI JP | 267,403 |
| 18 HYDROPRO US | 252,225 |
| 19 WEIR TECHN A GB | 242,517 |
| 20 AES US | 230,683 |
| 21 CHRIST CH | 224,323 |
| 22 ADVANCED ES USA | 221,180 |
| 23 METITO GROUP AE | 209,301 |
| 24 IDE IL | 205,049 |
| 25 AL KAWTHER SA | 201,124 |
| 26 PWT AMERICA US | 198,249 |
| 27 ABENGOA/PRIDES A | 180,000 |
| 28 ABENSUR/ONDEO E | 165,000 |
| 29 GE OSMONICS US | 160,536 |
| 30 TEDAGUA ES | 156,023 |

“2004 Worldwide Desalting Plants Inventory Report No.18”

最近の実績推移

最近 5 年間および 10 年間の全方式のプラントメーカーの国別実績を図 2.1.6 に示す。

国別に見ると日本は順位を下げており、最近 5 年間では、イタリア、フランス、スペインに抜かれて、5 位になっている。

最近 5 年間の方式別で見ると、蒸発法ではイタリア、韓国の実績が拡大している。逆浸透法ではスペイン、フランスの実績が拡大している。

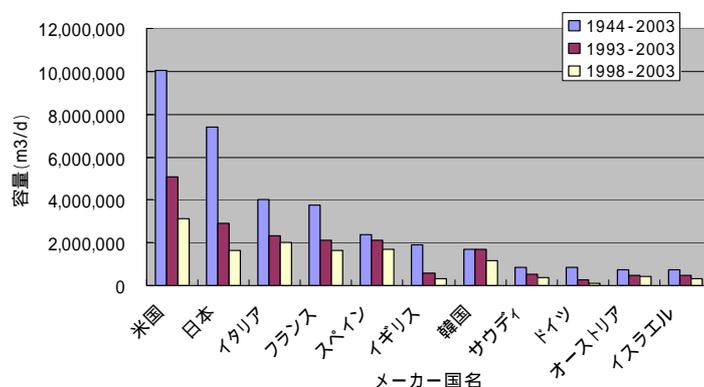


図 2.1.6(a) 全方式プラントメーカー国別実績

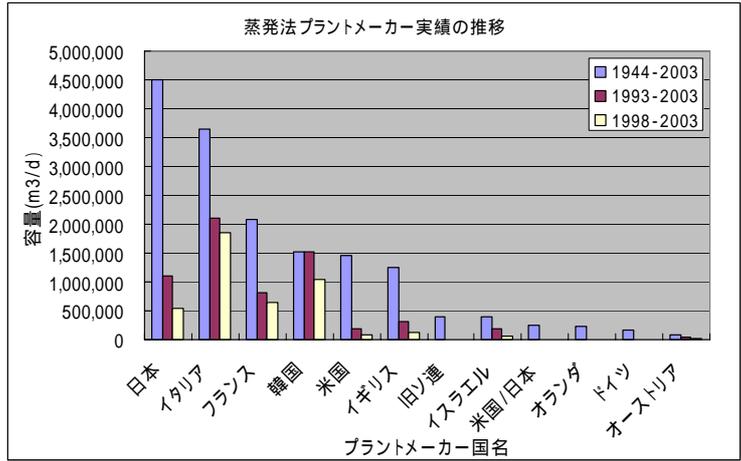


図 2.1.6(b) 蒸発法プラントメーカー国別実績

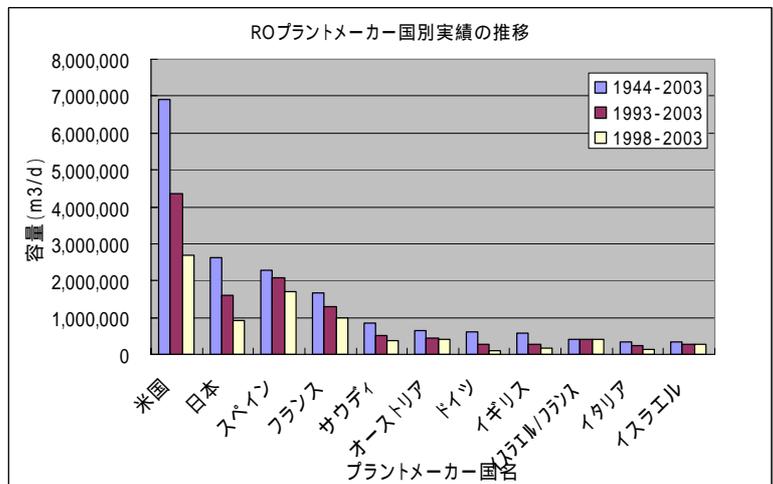


図 2.1.6(c) 逆浸透法プラントメーカー国別実績

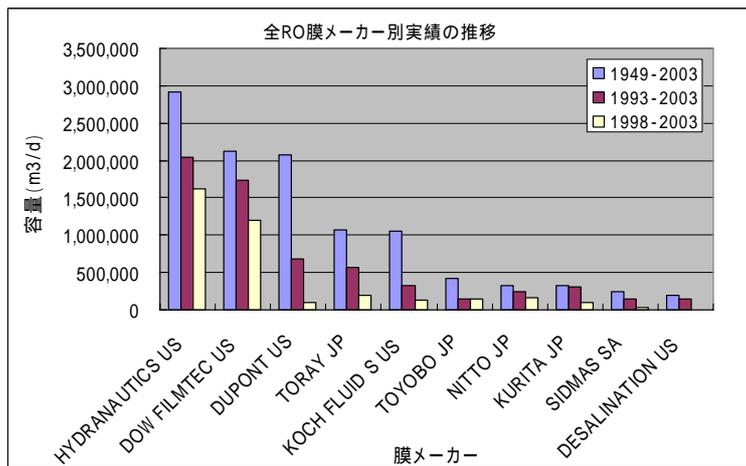


図 2.1.6(d) 逆浸透法膜メーカー国別実績

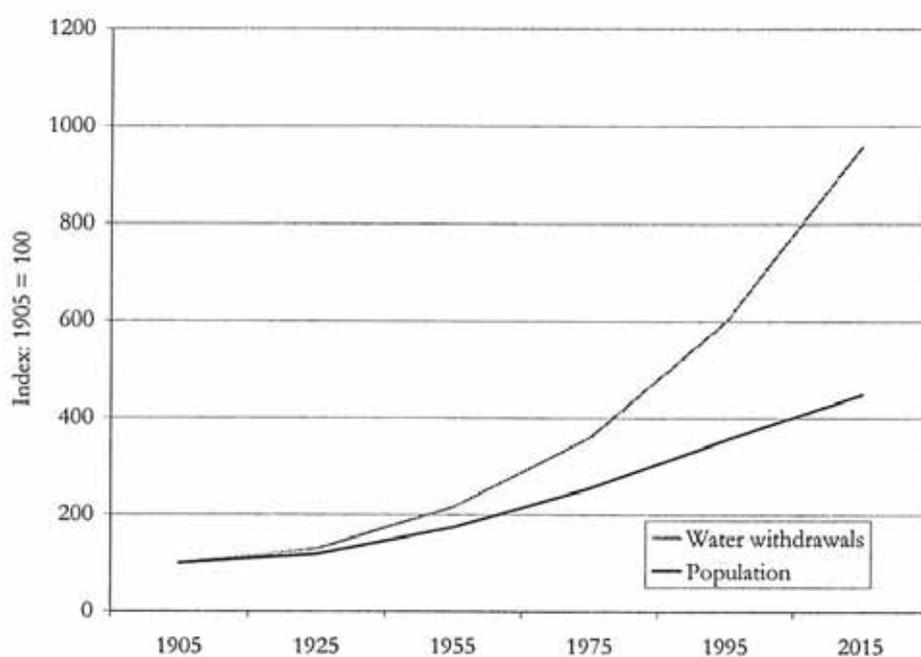
2.2 淡水化の市場動向

2.2.1 世界の水需要増加と人口増加

世界の人口増加と水需要の増加量の伸びを比較すると、人口の伸びに対して水需要量の伸びは2倍になっている。図 2.2.1 よれば、1905 年を 100 として、2015 年までの人口の伸びは 420 程度であるのに対して、水需要の伸びは 900 程度である。

これは、工業生産の伸び、生活水準の向上、農産物の増産などに多くの水が必要になってきていることを示している。水需要量を用途別に見ると農業用水が最も多く、全体の 71%を占めている。工業用水は 20%で、生活用水は 9%である。

Figure 1.2.2: Water withdraws relative to world population (1905 = 100)

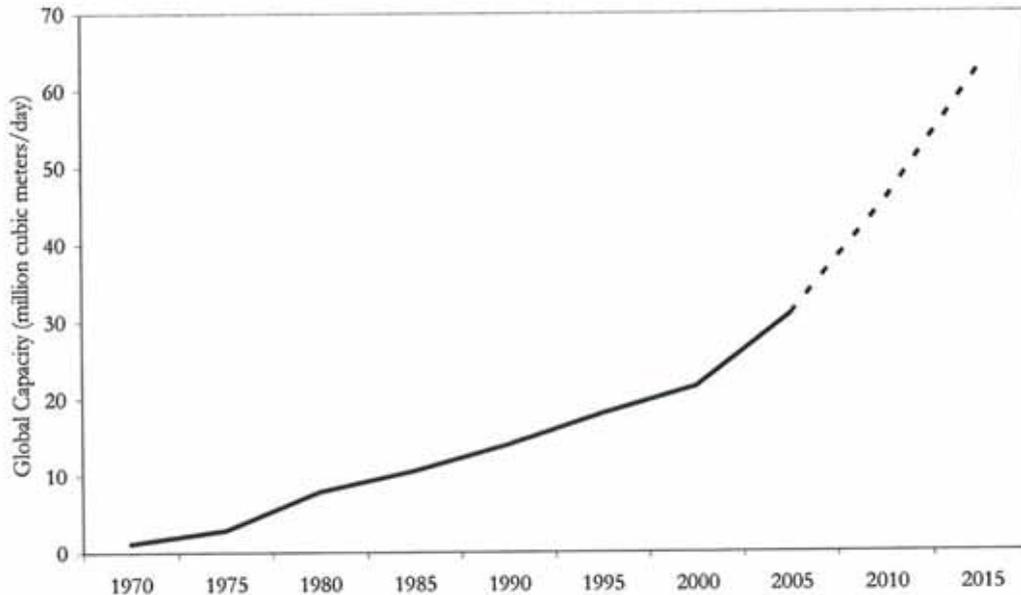


Source: GWI/UN/Aquastat

図 2.2.1 世界の人口増加と水需要量増加の変化¹⁾

2.2.2 世界の地域別海水淡水化施設容量の増加率

これまでの世界の淡水化施設の設置容量の変化は図 2.2.2 に示すとおりである。2003 年末現在までの世界の施設容量合計は 3,700 万 m³/d である。



Source: GWT Desalination Markets 2005 – 2015 (Historic data from Wangnick)

図 2.2.2 世界の淡水化施設設置容量の推移²⁾

世界全体の淡水化施設の増加率は、海水淡水化のほかに、地下水や、湖沼の塩水（かん水）を原水とするかん水淡水化施設を合計すると、2005年から2015年までの10年間の増加率は101%（約2倍）と予測されている。

世界を4つの地域に分けて集計した淡水化施設の現状と今後10年間の伸びについて図2.2.3および図2.2.4に示す。

この図から、2015年までに中東湾岸地域の施設容量は約2,800万m³/dになり、施設設置容量はこの地域が最も大きく世界全体のおよそ45%の施設が設置されている。次いで、地中海沿岸地域約1,500万m³/d、南北アメリカ地域約1,200万m³/d、アジア地域約700万m³/dとなっている。

2005年～2015年までに新たな施設容量の増加は、中東湾岸地域と地中海沿岸地域がそれぞれ500万m³/dからそれ以上の施設が建設されると予想されている。施設容量の伸び率では、地中海沿岸が最も大きく179%の増加、次いで中東湾岸諸国が94%の増加が予想されている。

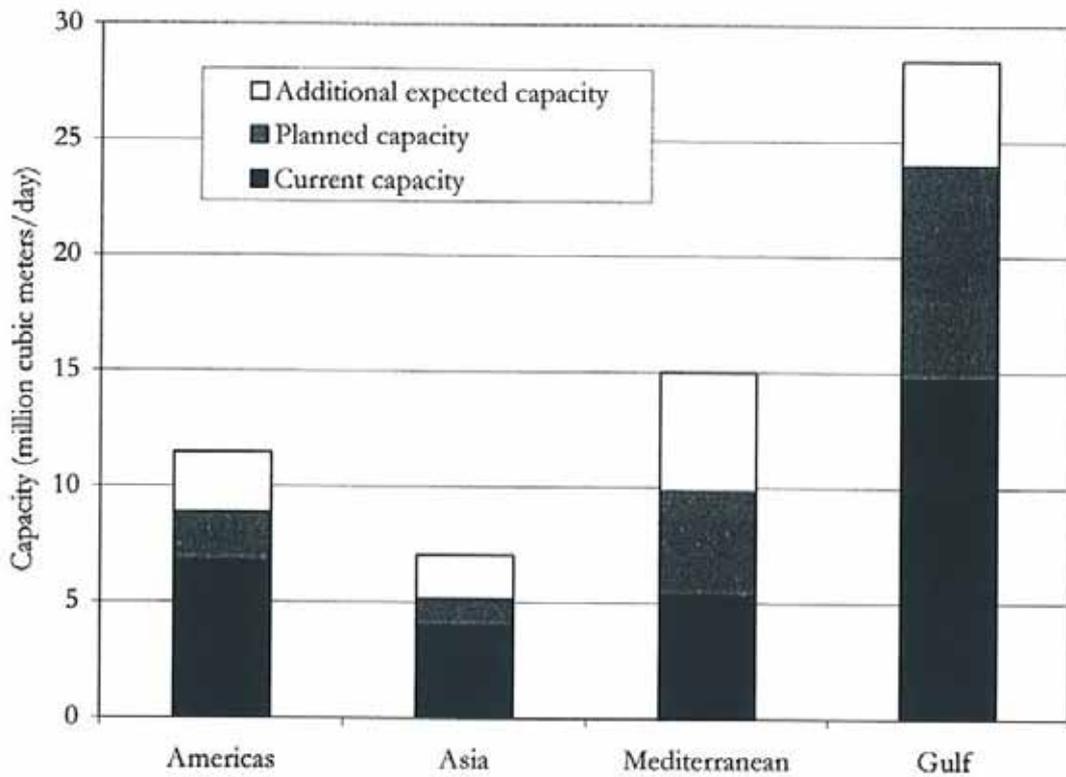
各地域で淡水化を検討している主な国々は下記のとおりである。

南北アメリカ地域：アンティグア、バハマ、バルバドス、バーミューダ、ケイマン諸島、チリ、アンティル諸島、メキシコ、トリニダード・トバゴ、米国、バージン諸島など

アジア地域：オーストラリア、中国、インド、パキスタン、シンガポールなど

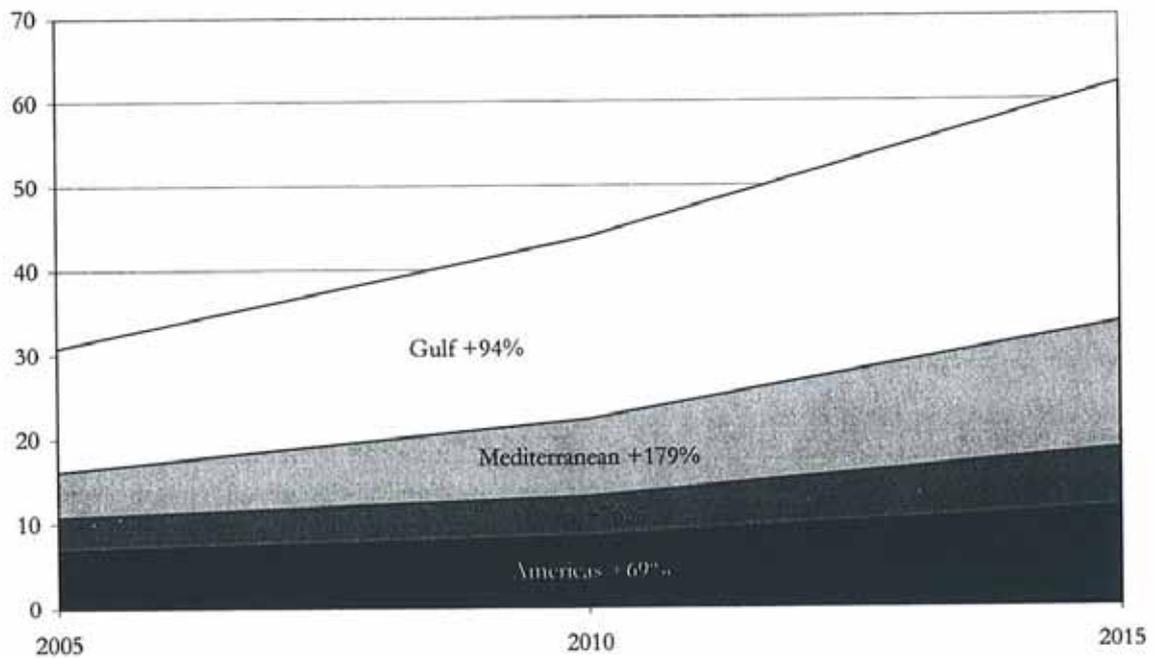
地中海沿岸地域：アルジェリア、キプロス、エジプト、イスラエル、イタリア、リビア、モロッコ、パレスチナ、スペイン、チュニジアなど

中東湾岸地域：バーレン、イラン、イラク、ヨルダン、クエート、オマーン、カタール、サウジアラビア、UAE、イエメンなど



Source: GWI Desalination Markets 2005 – 2015

図 2.2.3 世界の地域別淡水化施設容量の増加予測（2005～2015年）¹⁾



Source: GWI Desalination Markets 2005 – 2015

図 2.2.4 世界の地域別淡水化施設容量増加率の予測（2005～2015年）¹⁾

海水淡水化施設に限定して、国別の海水淡水化施設の増加容量予測を、表 2.2.1 に示す。

表 2.2.1 主要 10 国々の海水淡水化施設の増加量予測

| 国 名 | 2015 年までの海淡施設増加容量 (× 1,000 m ³ /d) |
|-------------|--|
| サウジアラビア | 4,050 |
| ア首連 (UAE) | 3,924 |
| アルジェリア | 1,400 |
| リビア | 1,755 |
| クエート | 1,575 |
| イスラエル | 1,350 |
| スペイン | 1,040 |
| 米国 | 938 |
| バーレン | 400 |
| 中国 | 390 |

2.2.3 最近の原子力利用海水淡水化施設の計画進行状況

世界の淡水化プロジェクトの最近の計画進行状況をまとめた、Global Water Intelligence (GWI) の「Desalination Tracker」には、各国の淡水化プロジェクトの計画進行、入札・業者の応札などの状況が半年ごとに掲載されている。

最近の情報では、中国の遼寧省の大連市と山東省の烟台市で原子力を利用した海水淡水化のプロジェクト計画が進行していることが示されている。GWI2005 年 12 月号によれば、その状況は下記に示すとおりである。³⁾

中国遼寧省大連市

- ・施設容量：100,000 m³/d 多重効用法と逆浸透法
- ・設置者：大連市当局
- ・予想建設費：\$ 115m
- ・プロジェクト形態：BOO または BOOT
- ・現状：Beda Jada Bird New Energy Scientific Co., と中国国家原子力公社の二つのディベロッパーが大連市とのジョイントベンチャー事業を申し出ている。この計画は政府の承認を得て計画が進められている。建設は 2006 年に開始され、2008 年に完成する予定である。

山東省烟台（ヤンタイ）市

- ・施設容量：80,000 m³/d × 2 多重効用法
- ・設置者：烟台市当局
- ・予想建設費：n/a
- ・プロジェクト形態：未定
- ・現状：精華大学と共同で原子力による多重効用蒸発法プラントが計画されている。プラントの引き渡しは2008年である。パイロットプラントが既に精華大学に設置された。

参考資料

- 1) Desalination Markets 2005 – 2015 A Global Assessment and Forecast, First Edition: April 2004, A Global Water Intelligence Publication, 2004
- 2) 2004 IDA Worldwide Desalting Plants Inventory Report No. 18, Wangnick Consulting, June 2004
- 3) Desalination Tracker, Global Water Intelligence, November 2005

2.2.4 民営化の動向と実施例

世界的なユーティリティー供給事業の民営化については、電力事業（IPP）が1970年代から実施されている。海水淡水化については、プラントの設置実績が最も大きい中近東では、1980年代まで淡水化を含めて全ての水会社は政府の所有で、公営事業として行われてきた。しかし、発電事業については早くから民営化が進んでいる。中東地域の海水淡水化は大規模な発電・淡水化二重目的プラントが主流であることから、1990年代から発電プラントに海水淡水化プラントを併設した民営化（IWPP）事業が行われるようになってきた。

実施例としては、オマーンのバルカ、UAEのアブダビで大規模な発電・淡水化の民営化（IWPP）事業が先行して開始され、その後も、IWPPを中心に民営化計画が進んできている。これまで民営化が遅れていたサウジアラビアでも大規模海水淡水化プラントの民営化計画が目白押しの状況にある。

海水淡水化単独の民営化（IWP）については、1990年代後半からバハマ諸島、キプロス島で始まっており、2000年代になってアメリカのタンパ・ベイ、イスラエルのアシュケロン、UAEアブダビのタウィーラなどのプロジェクトが実施に向けてプラント建設が進んでいる。さらに、アジアのシンガポール、中国、インド、パキスタンでも民営化計画が進められている。

表 2.2.1 に、海外の民営化実施例を一覧表に示す。

表 2.2.1(a) 淡水化関係の海外民営化実施例（その1）

| | 国・地域 | 施設名称設置場所 | 建設時期 | | 施設概要 | | 淡水化方式 | 所有者(客先) |
|----|-----------|------------|------|------|-----------------------|--------|-------|----------------------|
| | | | 西暦年 | 西暦年 | 海淡(m ³ /d) | 発電(MW) | | |
| 1 | バハマ | ナッソー | 1996 | 1997 | 10,000 | - | SWRO | Water & Sewerage |
| 2 | キプロス | デケリア - | 1996 | 1997 | 20,000 | - | SWRO | WDD |
| 3 | キプロス | デケリア - | 1997 | 1998 | 40,000 | - | SWRO | Government |
| 4 | バルバドス | - | 1999 | 2000 | 30,000 | - | BWRO | Municipality |
| 5 | UAEアブダビ | タウィーラ - A | 1998 | 2001 | 227,000 | 580 | MSF | |
| 6 | キプロス | ラマカ | 1999 | 2001 | 54,000 | - | SWRO | WDD |
| 7 | オマーン | バルカ - | 2000 | 2003 | 90,920 | 400 | MSF | 水・電力省 |
| 8 | UAEアブダビ | シュワイハット | 2001 | 2004 | 455,000 | 1,500 | MSF | ADWEA |
| 9 | UAEアブダビ | ウム・アルナル | - | 2006 | 113,650 (計429,597) | 1,550 | MSF | ADWEC(ADWEA) |
| 10 | トリナード・トバゴ | ポイントリサ | 2000 | 2002 | 113,000 | - | SWRO | WASA |
| 11 | メキシコ | Hermosillo | 2001 | | 128,690 | - | SWRO | CAPAWS |
| 12 | アルジェリア | カーラマ(アルズー) | 2001 | 2003 | 40,000 | 300 | MSF | AEC/ SONELGAZ(公社) |
| 13 | アメリカ | タンパベイ | 1999 | 2003 | 94,625 | - | SWRO | Tampa Bay Water |

表 2.2.1(b) 淡水化関係の海外民営化実施例（その2）

| | 国・地域 | 施設名称設置場所 | 建設時期 | | 運用時期 | | 施設概要 | | 淡水化方式 | 所有者(客先) |
|----|----------|-----------|--------|-----|------|-----|------------------------|---------|-----------|--|
| | | | 西暦年 | 西暦年 | 西暦年 | 西暦年 | 海淡 (m ³ /d) | 発電 (MW) | | |
| 14 | イスラエル | アシュケロン | | | 2004 | | 326,000 | | SWRO | WaterDesalinationAuthority (WDA) |
| 15 | イスラエル | アシュドット | 2004 | | 2006 | | 123,290 | | SWRO | WDA |
| 16 | イスラエル | ハイファ | | | 2005 | | 123,290 | | SWRO | WDA |
| 17 | イスラエル | パルマヒム | | | 2005 | | 123,290 | | SWRO | WDA |
| 18 | イスラエル | シヨムラット | | | 2005 | | 123,290 | | SWRO | WDA |
| 19 | イスラエル | カーメル | 2004 | | 2006 | | 83,270 | | SWRO | |
| 20 | イスラエル | ハダエ・カエサリア | | | | | 136,260 | | SWRO | |
| | イスラエル | ハイファ | | | | | 82,190 - 123,290 | | SWRO | WDA |
| 21 | アルジェリア | ハンマ | 2004 | | 2006 | | 200,000 | | SWRO | アルジェリア・エネルギー・公社(AEC) |
| 22 | UAEアブダビ | ミルファ | 中止 | | | | 825,000 | 2,000 | | |
| 23 | UAEアブダビ | タウィーラ - C | 2005 | | 2008 | | 293,540 | 1,000 | | ADWEA |
| 24 | UAEアブダビ | タウィーラSWRO | 中断 | | | | 227,300 | - | SWRO | |
| 25 | UAEフジャイラ | | | | 2004 | | 284,125 | 656 | MSF | Union Water & Elec.Co. |
| 26 | | | | | | | 170,475 | | SWRO | |
| 27 | UAEフジャイラ | フジャイラ - 2 | 入札2004 | | | | 454,000 | 1,000 | | Union Water&Elec |
| 28 | オマーン | ソハール | | | | | 136,380 | 500 | 未定 | Ministry of National Economy(MNE) |
| 29 | サウジアラビア | ショワイバ | | | | | 662,375 | 700 | | |
| 30 | サウジアラビア | シュクエイク | | | | | 94,625 | 700 | | |
| 31 | サウジアラビア | ラス・アル・ズール | | | | | 662,375 | 2,500 | | |
| 32 | サウジアラビア | アル・ジュベール | | | | | 283,875 | 1,100 | | |
| 33 | サウジアラビア | アル・ジュベール | 入札2004 | | | | 283,875 | 2,400 | | |
| 34 | サウジアラビア | ラビハ | | | | | | | | |
| 35 | シンガポール | テュアス | | | 2005 | | 136,380 | | SWRO | 民営ユーティリティ委員会(PUB) |
| 36 | アルジェリア | アルジェ東地域 | | | | | 100,000 | | SWRO | アルジェリアエネルギー公社(AEC) |
| 37 | アルジェリア | アルジェ西地域 | | | | | 100,000 | | SWRO | AEC |
| 38 | アルジェリア | オラン | | | | | 100,000 | | SWRO | AEC |
| 39 | アルジェリア | スキクダ | | | | | 100,000 | | SWRO | AEC |
| 40 | 中国 | Yantai | | | | | 120,000 | 200 | MED | Shandon 県 |
| | | | | | | | 160,000 | 200 | MED | |
| 41 | エジプト | シナイ | | | | | 113,650 | 300 | MED or RO | Egyptian Electricity Holding Compsny(EEHC) |
| | | | | | | | 227,300 | 500 | | |

表 2.2.1(c) 淡水化関係の海外民営化実施例(その 3)

| | 国・地域 | 施設名称設置場所 | 建設時期 | | 施設概要 | | 淡水化方式 | 所有者(客先) |
|----|-------|------------------------|------|------|-----------------------|--------|-------|--|
| | | | 西暦年 | 西暦年 | 海淡(m ³ /d) | 発電(MW) | | |
| 42 | インド | Chennai(Manali) | | | 15,000 | | SWRO | Chennai Petroleum Corporation(CPCL) |
| 43 | インド | Chennai(Minjuri) | | | 300,000 | | SWRO | Chennai Metro Water |
| 44 | パレスチナ | ガザ | | | 60,000 | | SWRO | Palestinian Water Authority / USA Aid |
| | キプロス | リマソール | | | 40,000 | | SWRO | Water Development Dep. Of Ministry of Agriculture & Bahama Water & Sewerage Corp. (BWSC) |
| | バハマ | ナッソー | | | 22,500 | | SWRO | Bahama Water & Sewerage Corp. (BWSC) |
| | チリ | アントファガスタ | | | 52,000 | | SWRO | Essan |
| 45 | アメリカ | カールスバッド | | 2007 | 189,000 | | SWRO | San Diego County Water Authority (SDCWA) |
| 46 | アメリカ | コーラス クリスティー / フロー プラップ | | 2007 | 95,000 | | SWRO | Brownsville Public Utilities Boars |
| 47 | アメリカ | フリーポート | | 2006 | 95,000 | | SWRO | Brazos River Authority(BRA) |
| 48 | アメリカ | ハンティントン ビーチ | 2004 | 2007 | 189,000 | | SWRO | Municipal Water District of Orange County |
| 49 | アメリカ | モス ランディング | | | 45,000 | | SWRO | California American Water (Thames Water/RWE) |
| 50 | アメリカ | タンパベイ | | | 80,000 | 長距離放流 | SWRO | Tampa Bay Water(TBW) |
| | | | | | 35,000 | 沿岸放流 | SWRO | |

略号)SWRO：逆浸透法海水淡水化、MSF：多段フラッシュ法(蒸発法)、MED:多重効用法

2.2.5 中近東湾岸諸国の民営化状況

ここでは、大規模海水淡水化の民営化計画が進んでいる中東湾岸諸国の状況について、湾岸共同会議国(GCC6 か国)が発表した「湾岸共同会議国における水・電力ユーティリティーに適用する特定民営化の論議(Specific privatization issues applicable to water and electricity utilities in the Gulf Cooperation Council States)」を中心に、湾岸諸国の民営化の現状についてまとめた。

(1) 民営化導入の背景

1) 湾岸諸国の水料金設定の問題点

世界の国々の状況と同様に湾岸諸国でも電力、ガスおよび通信はサービス料が請求されるのが当然とされていた。これに対して、水は政府によって最小コストで供給される天然資源とみなされていた。このため水が無料の範囲もあり、水供給コストと料金の差額は高い補助金が当てられている。直接の補助金は水コストの 80%と極めて

高いところもある。このような状況から、補助金を軽減する貧困者等の必要な者のみに補助するなどの処置が検討される必要があるといわれる。

例えば、現在、サウジアラビアでは、水利用者はわずか US\$0.04/m³ の料金しか払っていないのに対して、水の生産と配水のコストは US\$1.07 ~ US\$1.60/m³ であるといわれている。このために水の無駄遣いも多く、世界で 13 番目に水不足が大きい国でありながら、一人当たりの水使用量は世界で 4 番目に多い国となっている。このために、水供給会社の事業効率改善や民間セクターからの水供給導入の推進には水道料金の適正化が必要であるといわれている。(Global Water Intelligence-August2003)

このような状況から、湾岸諸国では、民営化の前に水の料金制度・体系の再構築、高い補助金制度の見直しが必要であるといわれている。

2) 湾岸諸国の水所有権の考え方と外資導入による民営化

中近東湾岸諸国では、水供給だけでなく、ユーティリティー供給全般に対する政府の資本負担軽減を図ろうとする理由から民営化を進め、事業効率の向上、サービスの向上、コスト低減化を期待している。

もう一つの理由は、この地域での民営化は、世界的な水関連会社、銀行、証券会社などによる海外資本投資が前提となるので、海外資本による国内企業の活性化、国内民間セクター創設、雇用創出、自国の技術者養成など国内経済の活性化とアラブ化促進への期待がある。

しかし、中東湾岸諸国では、政府または公的機関がユーティリティーを独占所有すべきで、外国の所有とすべきではないという考えも根強くあり、民営化が簡単に進まない理由の一つになっている。このようなことにも関係があるのか、海水淡水化の民営化事業導入に当たっても、海外資本率は UAE アブダビ 40% (政府出資 60%)、サウジアラビア 60% (政府出資 40%) としていたり、オマーンでは外資率 100% でも、国が施設の所有を行っている。

これまでの、湾岸諸国の水と電力 (ユーティリティー) 所有の状況は次のとおり。

完全な政府管理：クウェート、バーレン、カタール、UAE (ドバイを除く)

政府官庁と民間電力会社 (ただし株主は政府) の混合：サウジアラビア

民間水電力会社：ドバイ

BOT ベースの水・電力プロジェクト契約 (設備所有管理は政府)：オマーン

(2) 民営化の効果

海水淡水化の民営化の効果については、実際に比較検討された例が公表されていないので実体が把握できない。

例えば、サウジアラビアの水道料金と給水原価にしてもこれまでははっきりしたデータがなかったが、民営化推進のための課題見直しの中で検討されている状況である。民

営化海水淡水化の水コストが US\$0.5 ~ 0.6/m³ といわれていても、安いのか高いのか、比較の基準となる水生産コストが分からないままにいたこれまでの状況では、本当に評価できたのか疑問である。また、水供給原価 US\$1.07 ~ 1.60/m³ の内訳や、送水・配水コストも含まれるのか、本当に海水淡水化生産水コストはいくらなのかが判らない。

2.2.6 各国の実施状況と今後の計画

(1) オマーン

オマーンは中東諸国で最も早く淡水化事業の民営化を行っており。水電力省 (Ministry of Electricity & Water) がバルカ (Barka) で発電・淡水化民営事業 (IWPP) を実施し、2003 年に海水淡水化 (MSF) 90,920m³/d と 580MW 発電の二重目的プラントが運転開始した。現在、ソハール (Sohar) の 136,300m³/d / 500MW の IWPP 計画が経済省 (Ministry of National Economy) によって進められている。

(2) UAE

UAE は、湾岸諸国のみならず世界中で最も積極的に大規模淡水化・発電民営事業 (IWPP)、や淡水化単独民営事業 (IWP) の計画を進めている。アブダビ首長国で Abu Dhabi Water & Electricity Agency (ADWEA) が実施している 2001 年稼働のタウィーラ (Taweela - A) 227,000m³/d / 580MW の IWPP、2004 年完成のシュワイハット (Shuweihat) 455,000m³/d / 1,500MW、2006 年に運転開始予定のウム・アルナール 113,000m³/d 増設 / 1,550MW の IWPP がある。現在計画中的のものも、いずれも大規模で、アブダビ首長国のタウィーラ (Taweelah B-C) 400,000m³/d 増設の IWPP、Taweelah 海水淡水化 (RO) 225,000m³/d の IWP、フジャイラ首長国のフジャイラ - 1 ハイブリッド淡水化 MSF : 285,000m³/d、RO : 170,000m³/d などの計画が進行中である。

UAE では民営事業において、国の資本を 60% 供与し、海外民間企業からの投資を 40% に抑え、重要な水資源の安全確保のために国の権限で、国が管理する政策をとっている。

(3) サウジアラビア

民営化がおくれているといわれるサウジアラビアでも、民営化が検討されている。比較的小さい規模ではジェッダ (Jeddah) でプラント建設が進んでいる。大規模な計画では、Water & Electricity Company (WEC) によってシュワイバ (Shoiba-3) 880,000m³/d / 850MW の IWPP が進められている。Jubail 地域でも多くの計画が検討されている。

(4) イスラエル

イスラエルでは、水不足解消を大規模海水淡水化民営事業で行う計画を進めてきた。アシュケロン (Ashkeron)、アシュドット (Ashdot)、ハイファ (Haifa)、パルマヒム (Palmahim)、シヨムラット (Shomrat) に 123,000m³/d の逆浸透法海水淡水化プラントを 2005 年から 2006 年までに完成する計画であったが、財務省から財政上の見直しが指摘され、現在、実際に建設が始まっているのはアシュケロン 280,900m³/d だけである。

(5) アルジェリア

アルジェリアでは、アルズー工業地帯のカアラマ (Kaharama) で 886,000m³/d (MSF) / 314MW の IWPP 事業契約が 2003 年に締結され、建設された。今後の計画では、アルジェ市 (Algiers (East & West))、ハンマ (Hamma)、オラン (Oran)、スキクダ (Skikda) に IWPP 事業の計画がある。ハンマ 200,000m³/d、その他はそれぞれ 100,000m³/d の海水淡水化規模であり、海水淡水化の方式はいずれも逆浸透法となっている。

(6) アメリカ

今後海水淡水化の需要が最も多い国はサウジアラビアではなくアメリカだといわれている。今後の海水淡水化事業計画をみても大規模なものが各地で検討されている。しかし、濃縮海水や薬品洗浄廃液などによる環境への影響と、経済性が問題視されていることなど、市民からの反対も大きく、今のところ、計画どおりには進まない状況にある。最近のタンパ湾水供給会社の前処理トラブルによる中断なども良い影響を与えないであろう。

(7) 地中海・北アフリカ

イスラエル、アルジェリアのほかには、エジプトのシナイ (Sinai) 113,000m³/d / 300MW または 227,000m³/d / 500MW の IWPP 事業計画、キプロスのリマソール (Liassol) 20,000 ~ 40,000m³/d の BOT 事業計画、スペインのコンポ・デ・カラタジェーナ (Compo de Caratagena) 140,000m³/d の 50%地元民間出資の計画などがある。

(8) カリブ海・中南米

メキシコのロスカボス (Los Cabos) で 20,000m³/d の BOOT 事業が 2007 年の完成予定で計画が進められている。チリのアントファガスタ (Antofagasta) で 52,000m³/d の BOOT 事業が計画進行中である。また、バハマのナッソー (Nassau) 22,500m³/d の 20 年 BOO 事業計画が推進されている。

(9) アジア

シンガポールのテュアス (Tuas) 136,000m³/d は 2005 年完成した。このプラントは SingSpring 社が事業体となり、Hydrochem 社が技術者斡旋建設 (EPC : Engineering Procure Construction)、Hyflux 社が維持管理の契約を締結し、建設が進められた。

インドのチェンナイ Chennai(Minjur)300,000m³/d の BOOT 事業計画がある。また、パキスタンのカラチ (Karachi Port Trust) では、カラチ水衛生委員会 (Karachi Water & Sanitation Board)95,000m³/d(発電設備込み)の BOOT 事業計画がある。

中国のヤンタイ 120,000 ~ 160,000m³/d は、当初の PPP 事業が公営事業に計画変更があったようである。

参考資料

- 1) Desalination Tracker, Global Water Intelligence, Vol. 5, Issue 2, February 2004 & Vol. 4 Issue 11, November 2003, Media Analytics.
- 2) Tom Pankrtz, John Tonner, desalination.com, Chapter 6 Desalination Project Profiled, Lone Oak Publishing.

2.3 淡水化をめぐる国際機関の動向

2.3.1 国際機関の現状と動向

淡水化技術分野および市場で活動している国際機関としては国際脱塩協会(IDA)、国際原子力機関(IAEA)、米国膜技術協会(AMTA)、ヨーロッパ脱塩学会(EDS)、日本脱塩協会(JDA)などがあるほか、古くから淡水化技術に関する調査、研究開発を行っている米国内務省のほか、近年設立された中東諸国の淡水化研究補助機関として中東淡水化センターがあり、以下にその概要をまとめた。

世界の淡水化技術の開発やプラントの導入促進に強い影響や、指導力を発揮している機関は少ない。

(1) 国際脱塩協会 (IDA : International Desalination Association)

淡水化技術に関する国際会議(2年毎)及び不定期のフォーラム、セミナー、ワークショップを開催し、会員の多い国には支部組織がある。日本脱塩協会(JDA)も支部となっている。

URL ; <http://www.idadesal.org/default.aspx>

(2) 国際原子力機構 (IAEA : International Atomic Energy Agency)

(「3.1 国際原子力機関 (IAEA) の取り組み」参照)

URL ; <http://www.iaea.org/>

(4) 米国膜技術協会 (AMTA : American Membrane Technology Association)

膜技術分野のユーザー、メーカー、エンジニア、コンサルタント等を会員に持つ米国の団体であるが、国際的に著名な専門家も参加している。2年に1回の会議は盛大に行われる。その他、年会、ワークショップ、出版等も行っている。

URL ; <http://www.membranes-amta.org/about.html>

(5) ヨーロッパ脱塩学会 (EDS : European Desalination Society)

ヨーロッパ、地中海を中心とした淡水化、水再生利用技術に関する研究、コンサルタント、運転とメンテナンス、製造、マーケティング、経済や法律まで幅広く活動をしている団体。

URL ; <http://www.desline.com/home.cfm>

(6) 中東淡水化センター (MEDRC : Middle East Desalination Research Center)

中東和平関係国(主としてパレスチナ)の淡水化を技術的に援助する目的で設立された国際機関であるが、MENA地域(中東、北アフリカ)を対象にしている。

最近、MENA 地域以外の人材育成にも力を入れている。米国、日本、オマーン、オランダ、韓国、イスラエルが基金を拠出している。事務局はオマーンにある。

URL ; <http://www.medrc.org.om/>

(7) 米国内務省の研究開発活動

米国政府内務省の一つである水再生利用局 (BUREC : Bureau of Reclamation) は米国の水問題を担当する部署であるが、一部国際的な活動も行っている。

URL ; <http://www.usbr.gov/>

(8) フランス膜協会 (CFM : Club François des Membrane)

1996 年に ADEME (フランス環境・エネルギー機構) を中心に設立された団体で、President はフランス原子力委員会委員、フランスの公立、国立の各研究センターと連携し活動している。資金は ADEME や各研究センターから提供されている。

URL ; <http://www.cfm-membrane.com/>

2.4 各技術の特徴

2.4.1 蒸発法

(1) 多段フラッシュ法 (MSF)

原料塩水および生産淡水の水質

主として海水淡水化に使用され、かん水淡水化は適用例が少ない。

選択できる原料水の範囲が広く、生産される淡水の水質も高品位という長所がある。原料水の塩分濃度、汚染度など水質が多少変動しても、生産水にあまり影響を与えないし、生産水の安全性も大きい。1950 年台から実用化され、生活用水用の淡水化方式として最も信頼性が高い。

一方、生産水は蒸留水なので、飲料水用には硬度が低すぎてミネラル分を添加する必要がある。また、プラントを構成する金属材料、たとえば鉄、銅、ニッケルなどが溶出して混入する可能性もある。

生産規模とプラント維持・管理

現状では一基あたりの淡水生産能力が最大で、大量生産に適する。中東産油国では、もっとも信頼のできる淡水源となっている。火力発電と技術的に共通部分が多く、発電・淡水化二重目的プラントは淡水化プラントの運転管理にも好都合である。

一方、短所としては負荷変動に迅速に対処できないなど、小回りが利かない。運転開始・停止に時間がかかる。また、手軽に設置・廃棄ができず、小規模プラントに適さない。

経済性およびエネルギー消費

多重効用法、逆浸透法に比べ、経済性に劣る。大型プラントでも、同じ容量のプラントに比較して設備費が高い。

熱エネルギーと電力の両方を必要とする。また、全エネルギー消費量が最も多い。エネルギー費の安い中東産油国に適した方法である。

環境負荷

エネルギー消費が多いので、それに伴う環境負荷も大きい。

生産水の数倍の温排水を発生するので、環境に与える温排水負荷が大きい。しかし、海水濃縮水（ブライン）が発電用を含む多量の温排水で薄められているので、塩分濃度の増加による環境負荷は逆浸透法より小さい。

その他の環境負荷として、振動、騒音などは同じ程度と思われる。

(2) 多重効用法 (MED)

原料塩水および生産淡水の水質

主として海水淡水化に使用される。多段フラッシュ法 (MSF) より実用化は早く、生活用水としての信頼性も高い。同じ蒸発法であるから MSF と同様の長所および短所を持っている。

MSF と同様、生産水は蒸留水なので、飲料水用には硬度が低すぎてミネラル分を添加する必要がある。また、プラントを構成する金属材料が混入する可能性もあるが、操作温度が MSF より低いので汚染の度合いも一般に低い。

生産規模とプラント維持・管理

現状では、一基あたりの淡水生産能力が MSF に次いで大きく、大量生産に適する。最大容量は MSF より小さいが、その分、適用範囲が広く、数千 m³/d の中型から 比較的大型まで適用できる。

一方、短所としては負荷変動に迅速に対処できない。しかし、運転起動・停止は MSF より容易である。

経済性およびエネルギー消費

MSF より経済性に優れているが、逆浸透法に比べ劣る。設備費も MSF より安いですが、逆浸透法に比較して高い。

熱エネルギーと電力の両方を必要とするのも MSF と同様であるが、熱、電力とも効率がよく、全エネルギー消費量は比較的少ない。

最近、建設可能な容量が大きくなりつつあるので、同じ容量では MSF より MED を選択するケースが増え、MSF の市場を侵食している。

環境負荷

造水比が MSF より大きく、ポンプ動力も小さいので、エネルギー消費が MSF より少ない。その分だけ、環境負荷も小さい。しかし、逆浸透よりはエネルギー消費も環境負荷も大きい。

温排水については、MSF と同じ蒸発法であるが、エネルギー効率がよい分だけ軽減される。その他、振動、騒音などは同じ程度と思われる。

(3) 機械式蒸気圧縮法 (MVC)

原料塩水および生産淡水の水質

原料水に関しては、同じ蒸発法であるから主として海水淡水化に使用される。また、MSF、MED と同様、生産水は蒸留水なので、純度が高く生活用水としての信頼性は高い。

生産規模とプラント維持・管理

機械圧縮法プラントの一基あたりの淡水生産能力は小さく、小規模淡水化に適する。最大容量は蒸気を圧縮する圧縮機の容量に支配され、数百 m³/d が多い。

運転開始・停止は容易である。

経済性およびエネルギー消費

機械圧縮は、電力エネルギーを必要とし、電力が安価なところでなければ経済性は、一般によくはない。

環境負荷

環境負荷は MED 並みである。

2.4.2 膜法

(1) 逆浸透法 (RO)

原料塩水および生産淡水の水質

原料水として海水およびかん水両方の使用が可能で適用範囲は広い。逆浸透法では、原料水の塩分濃度に比例して逆浸透圧が高くなり、加える圧力が増加する。また、前処理した塩水を逆浸透膜で見かけ上、ろ過する形になるので、汚染した原料水しか取水できない場合には前処理費がかさむ。蒸発法に比較し、原料水の水質（塩分濃度、汚れなど）および水質変動の範囲に制限があるのが蒸発法に劣る点である。

逆浸透法では塩分濃度が低い原料水は低い分だけ消費エネルギーが減少する長所がある。また、原料水の汚染度についても、清澄な原料水が得られれば、前処理を簡便にできるメリットが享受できる。

生産水の水質においても、蒸発法に比べ若干塩分濃度は高い。しかし、飲料用に適さない水質ではない。むしろ、適当なミネラル分があり、ミネラルの添加量が少なくなる長所がある。また、常温運転なのでプラントの腐食が少なく、装置による生産水の汚染程度も軽減される。

生産規模とプラント維持・管理

蒸発法プラントの一基あたりの規模が大きいのに対し、逆浸透法はモジュール数を加減して容量を調整する。大規模プラントでは、モジュール群（トレイン）を 1 ユニットあたり 5,000 ~ 10,000m³/d にして、これを並べることにより大容量に対応できる。

蒸発法淡水化プラントの維持・管理は発電設備と機械関連の共通点が多いのに対し、逆浸透法は化学関連の比重が比較的大きいのが異なっている。したがって、維持・管理の専門分野が若干違うが、必要人員数はほぼ同等である。逆浸透法では、とくに膜モジュールの汚れ、性能低下などに注意が必要である。

蒸発法に比較し、プラントの起動・停止は容易である。また、トレインごとに運転・停止が可能なので需要変動に対し柔軟性がある。

経済性およびエネルギー消費

多段フラッシュ法および多重効用法に比べ逆浸透法は、経済性に優る。プラント建設費、エネルギー消費量とも両者より少なく、中東産油国以外の地域では、淡水化プラントの主流は逆浸透法である。

蒸発法が熱エネルギーおよび電力の双方を必要とするのに対し、逆浸透は電力だけでよい。電力があればよいので蒸発法のように燃料を運搬する必要がない。

環境負荷

蒸発法よりエネルギー消費が少ないので、それに伴う環境負荷も小さい。さらに蒸発法は、熱エネルギー（蒸気）を発生する必要があり、燃料消費による炭酸ガスのほか SO_x、NO_x も環境負荷を増加させる。

排出ラインは常温なので、塩分濃度対策だけを行えばよい。しかし、蒸発法に比較し塩濃度が格段に高く放流にあたっては注意が必要である。蒸発法の場合、排出部ラインの塩濃度は低いが高温度の大量の温排水であり、総量的な環境負荷は逆浸透法の場合より高いと見られている。その他、振動、騒音などは同じ程度と思われる。

(2) 電気透析法 (ED)

原料塩水および生産淡水の水質

前述したように、電気透析法に適する原料水は比較的塩濃度の低いかん水である。塩水中に含まれるイオンを直流電圧で移動させることで淡水化を行い、しかも電気エネルギーが割高のためである。高い塩濃度を大量の電気エネルギーで移動させるのは経済的でない。必要エネルギーは分離するイオン量（塩分濃度）に比例するからである。逆浸透法ほどではないが、電気透析法も汚染の少ない原料水が必要である。電気透析膜（イオン交換膜）の汚れに関係するからであり、逆浸透法と同様に汚れ除去のための前処理が必要である。原料水の塩分濃度および汚染の制限は、欠点の一つである。

生産水の水質においても、蒸発法に比べ塩分濃度は高い。電気透析法で脱塩していくと淡水の塩濃度が減少するに従って電気抵抗が増加し、電力消費量も増して行く。したがって、適当な塩濃度で淡水化を止める必要がある。しかし、飲料用に適さない水質ではない。

蒸発法や逆浸透法に比較し、カルシウム、マグネシウムなどのミネラル分が多い。また、常温運転なのでプラントの腐食が比較的少なく生産水の汚染程度も少ない。

生産規模とプラント維持・管理

電気透析法も逆浸透法と同様、一定容量の電気透析槽の数を加減して容量を調整する。プラントの維持・管理は蒸発法と異なり、むしろ逆浸透法に近い。電気透析膜の汚れ、性能低下などにとくに注意が必要である。

蒸発法に比較し、プラントの起動・停止は容易である。また、電気透析槽ごとに運転・停止が可能なので需要変動に対し柔軟性がある。

今まで設置された最大容量のプラントは、オーストラリアの工業用合計 82,191m³/d (10 基、1983 年運転開始)、次は米国フロリダ州の水道用 45,420 × 2 m³/d (10 基、1994,1995 年運転開始) である。三番目は台湾の工業用 40,000m³/d (5 基、1995 年運転開始) で、日本製である。

経済性およびエネルギー消費

一般に経済性の検討は、塩分濃度 3,000mg/L (最大 5,000mg/L) 以下のかん水の淡水化を対象にしており、経済性の直接の比較が無理である。市場占有率も淡水化市場の約 5% で、長期的にはやや減少気味である。逆浸透法に侵食されていると思われる。このあたりが経済性の限界を示している。

エネルギー消費は、イオン交換膜自身の電気抵抗および膜間距離に支配されるが、電力原単位に関する統計資料はあまり見かけない。一例として、1,500mg/L のかん水より 1,000mg/L のイオン塩分を除去するのに 0.5 kWh/m³ という数値が発表されている。

環境負荷

環境負荷は逆浸透法と同程度とみられる。排出ブラインは常温なので、塩分濃度対策だけを行えばよい。

振動および騒音は、蒸発法の大型ポンプ、逆浸透法の高圧ポンプがなく、両者よりはるかに少ない。

2.5 今後の技術革新と淡水化コスト削減の展望

技術革新の目的は、淡水化コストの低減と運転・維持管理の容易さを求めて行われている。1980年代には、大型海水淡水化プラントによる淡水化コストが 1m^3 あたり数US\$したものが、やがて1US\$近くとなり、最近では1US\$以下となった。これ位になると、場合によっては天然水を長距離輸送したり、立地条件の悪いダムを建設するより有利になる。また、開発途上国でも産業用に利用しやすくなり、ここ10年間以上の淡水化プラントの建設が毎年10%以上の成長を続けている理由である。

技術革新は各プロセスおよびプロセスを組み合わせたシステムの両方で起こっているため、分けて記述する。

2.5.1 プロセスの改良

(1) 蒸発法

1) 多段フラッシュ法 (MSF)

装置の大型化

装置は大型化により容量あたりの建設単価が低下する。したがって、MSF法においてもプラントの大型化がコスト削減の有力な手段と見なされてきた。現在、アラブ首長国連邦の Shuwaihat では、一基で $76,000\text{m}^3/\text{d}$ (16.7MIGD) のプラント設計が進んでおり、さらに近い将来に $90,000\text{m}^3/\text{d}$ (20MIGD) も可能になるといわれている。さしあたりの障害は、要求される長さの伝熱管を製作する工場がないことといわれる。

ブライン最高温度の上昇

古いプラントはブライン最高温度を 90°C にしていたが、数年前より高温運転モードとして 110°C が現れるようになった。蒸発法プラントの淡水化能力は、ブラインの最高温度と最低温度 (冷却用海水温度) の差に概ね比例する。冷却用海水温度は人為的に変えられないのでブライン最高温度を上げれば、淡水化容量を増加することができる。

一例として、現行の $95\sim 110^\circ\text{C}$ を $120\sim 25^\circ\text{C}$ にすれば同じプラントで淡水化容量を15%から45%増加させることができるという。

しかし、ブライン最高温度を上げるにはいくつかの技術的問題を解決しなければならない。第一に 120°C 以上の高温にすると硫酸カルシウムのスケールがブライン中に析出し熱交換器の伝熱管に付着してプラントが運転できなくなる。また、このような高い温度で腐食に耐える金属材料を使用しなければならない。さらに、プラント内部の圧力が高くなり高温部の機械強度を増加する必要がある。

スケールの問題は NF 膜で一部の原料海水を処理してスケール成分を除去すればよい。金属材料については、経済的な耐蝕金属の開発が今後の課題である。

2) 多重効用法 (MED)

装置の大型化

MSF と同様、装置の大型化によるコスト削減努力がなされている。現在、UAE の Sharjah では、5MIGD (23,000m³/d) のプラントが 2 年間運転され、8MIGD (36,000m³/d) が計画中、さらに 10 IMGD (45,500m³/d) の設計および実用モジュールが既にできている。

大型プラントの設計法が発達した結果、現在のプラント建設費は、US\$4.5 ~ US\$6.0 per IGPD になった。また、造水比、PR (Performance Ratio) は、MSF 法の最大値が 10 であるのに対し、15 (15 pounds of product per pound of steam) まであげることができる。

ブライン最高温度の上昇

ブライン最高温度は、通常 70 である。しかし、中東のある国では、これを大幅に上昇させて (120 程度)、造水比の飛躍的改善を狙っているが、詳細は不明である。この技術には、高温に耐える安価な金属材料の開発が必要と思われる。

(2) 逆浸透法 (RO)

1) 高回収率

標準海水 (3.5%塩分濃度) を使用した場合の回収率 (海水 100 に対して得られる淡水量) は 40% が標準であったが、日本の逆浸透膜モジュールメーカーがこれを 50% 増しの 60% にする技術を開発し、実際のプラントに使用されている。回収率を上げることにより原料海水量、前処理設備容量およびポンプ容量が減少し、コスト低減を達成できた。あるメーカーの試算によれば全体で約 18% のコスト削減になるという。

2) 膜ろ過式前処理

逆浸透法発足当時から、前処理は原料水に凝集剤を加えて微粒子を凝集させてから二重ろ過 (アンスラサイトおよび砂) 装置でろ過して清澄な海水を得るのが標準的方法であった。しかし、精密ろ過膜 (MF) あるいは限外ろ過膜 (UF) で凝集剤なしにろ過する方法が開発され、今後は膜ろ過式前処理が主流になると予想されている。従来法より清澄な塩水が得られること、凝集剤を使用しない、前処理の自動化が容易に行えるなどの長所がある。本格的膜ろ過式の開発は日本の逆浸透膜メーカーと (財) 造水促進センターが先鞭をつけたといわれている。

3) 動力回収

逆浸透膜で得られた淡水は大気圧下にあるが、一方の濃縮ブラインは逆浸透で加えた圧力下にある。したがって、このブラインが持つ圧力エネルギーを回収できれば、逆浸透設備の電力消費を減らすことができる。1980年代では、大型プラントでも圧力回収装置が導入されていなかったため、電力所要量は8~10kWh/m³であった。

従来は、タービンによる回転動力回収型の動力回収装置が使用されていた。たとえば逆転ポンプ、ターボ・チャージャー、ペルトンタービンなどである。最近、ブラインの圧力を直接圧力として回収する装置が開発され採用され始めた。すなわち、ピストンを利用して高圧ブラインの圧力を直接海水の昇圧に使用するパワー・エクステンジャー（Desalco社のDWEER）や回転弾倉型ロータによる圧力変換機プレッシャー・エクスチャンジャー（Energy Recovery Inc.社のERI）が実用プラントに採用されている。造水促進センターがオマーン国で実証試験をしている200m³/d海水淡水化プラントでは、原料海水の塩分濃度が40,000mg/L前後で標準海水の14%増しであり、小型プラントであるにもかかわらず、逆浸透に要する電力消費量は3kWh/m³に過ぎない。

4) 逆浸透法の水質改善

最近、WHO（世界保健機構）が逆浸透法海水淡水化で得られた淡水中のホウ素の含有濃度を0.5 mg/Lにするようガイドラインを設定した。一方、標準海水には約5 mg/Lのホウ素が含まれ、現存の逆浸透膜ではガイドラインをクリアできない。そこで、新設のプラントはこの基準を考慮して、生成淡水のpHを9~10にして、さらに高機能な低圧逆浸透膜でホウ素を除去する方法が開発されている。

2.5.2 淡水化システムの改善

(1) MSF - RO ハイブリッド方式

前述した発電・淡水化二重目的プラントは、熱効率を維持するためには常に一定比率の電力および淡水を生産しなければならないという制約がある。中東では、一般に電力需要より淡水需要の伸びが大きく、両者のアンバランスが問題になっていたが、最近ガスタービンの普及により発電効率が改善され、ますます、アンバランスが目立つようになってきた。

一方、水需要は夏季に多く冬季に幾分減少するものの、電力は主な需要が冷房用であることから、冬季では極端に減少する。したがって、淡水化を行うために補助ボイラで淡水化用蒸気を補う必要がしばしば起こり、非常に経済性が悪い。

これを解決する方法として、海水淡水化プラントに蒸発法と逆浸透法を併用し、電力が余る冬季に電力を必要とする逆浸透法淡水化の比率を高め、発電の負荷を平準化して全体のエネルギー効率向上を目指す動きが検討され始めた。従来の発電・蒸発法海水淡水化二重目的プラントに逆浸透法を組み合わせて複合(ハイブリッド)させる方式を、蒸発・逆浸透ハイブリッド方式と呼び、中東産油国で実現に向けて動き出した。最初の例がアラブ首長国連邦の Fujairah プラントである。

Fujairah の発電・海水淡水化 (MSF+RO) プラントは、民営化の Independent Water and Power Project (IWPP)による 660MW の発電および全淡水化容量 455,000m³/d という大規模かつ野心的なプロジェクトである。淡水化は MSF の容量が 285,000m³/d、RO の容量が 170,000m³/d で蒸発法 63%、逆浸透法 37%の容量割合である。図 2.5.1 にハイブリッド方式二重目的プラントの電力、蒸気、海水および淡水の流れを示す。

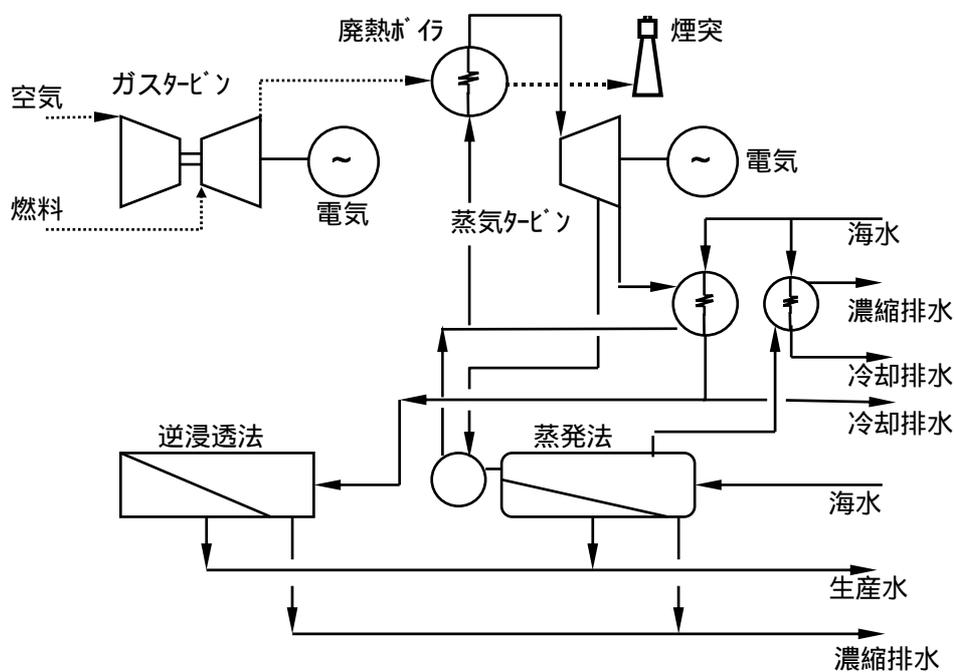


図 2.5.1 ハイブリッド方式発電・海淡二重目的プラントのフロー (コンバインド発電サイクル)

(財)造水促進センターでは、ハイブリッド方式の優位性について定量的に検証する目的で、ある中東産油国における実際の電力・淡水化需要に基づいて大規模発電・海水淡水化プラントの設計を行った。そして夏季ならびに冬季の運転成績を推定し、プラント建設および淡水化コストを計算した。

その結果は次のとおりである。

電力コストはわずかに減少する。

淡水化プラントの建設費は大きな差がない。

淡水化コストは約 20%の削減となった。

削減の要因は燃料費の節減であり、燃料費で見ると 50%近くの削減となった。

Fujairah プラントの詳細データは公表されていないので不明であるが、予想メリットに大差がないと思われる。この例は、既存技術の応用でも合理的システムの採用によりコスト削減が可能であることを示している。

現在、淡水化技術は要素技術ならびにシステム技術の両面から、総合的コスト削減の努力が懸命に続けられている。

第3章 原子力利用への動き

3.1 国際原子力機関（IAEA）の取り組み

国際原子力機関では、加盟国の水不足解消のため、エネルギー源として原子力を利用した海水の淡水化に関する、設計や運転経験などの関連情報の伝達、原子炉と淡水化に関する技術的支援、コスト試算、インフラ整備、導入ハンドブックの作成など、原子力による海水の淡水化を促進する目的として、1965年から検討を開始し、費用算定法、造水原価指針を報告書としてまとめるとともに、1968年には、スペインにおいて「原子力脱塩シンポジウム」を開催するなど、1970年代からその検討を実施した。しかし、当時の必要淡水化量が少なく、原子炉による淡水化との整合性がないという理由により、検討は一時中断した。その後、1989年に、北アフリカ5カ国（エジプト、チュニジア、モロッコ、リビアおよびアルジェリア）からの検討再開の要請があり、1990年代から本格的な検討が行なわれ、技術的にも経済的にも原子力による海水の淡水化には展望があるという結論が得られ、最近では、実証プラント構想や各国でもパイロットプラント構想など、更なる検討が継続されている。インドでは、既存の原子炉に小規模な淡水化施設を併設し、実証実験を開始している。

再開当時は、日本、米国、ドイツなどの原子力先進国と淡水化を必要とする北アフリカ諸国との間の検討が進められていたが、その後、淡水化を必要とするとともに、原子炉開発にも興味を示していた中国、アルゼンチン、ロシア、フランスなど、さらには中近東地域の加盟国も参加し、比較的大きな検討の場になってきている。

IAEAの主な活動としては、2つの異なったシステムの結合に関する技術的な問題解決や、淡水化の経済性評価などを検討するため、加盟国間による共同研究計画（CRP）の実施、導入ハンドブックの作成、経済性評価解析ツールの開発とその教育、淡水化プロセスを考慮した原子炉プラントシミュレータの開発、さらには、シンポジウムの開催（2002年、秋、モロッコ）などが挙げられる。現在も、諮問委員会としてINDAG（International Nuclear Desalination Advisory Group）が設置され、日本を含む加盟国が、IAEAの成果や今後の計画を議論している。

3.2 日本の活動

日本では、1967年頃から原子力を利用する海水淡水化の検討が始められ、1967年には日本原子力産業会議(当時)資料として、原子力海水脱塩の現状がまとめられ、また、1968年には、原産内に原子力脱塩研究会が発足し、電力、メーカー、動燃(当時)、原研、通産省(当時)、科技庁(当時)、神奈川県などが参画し、経済性などが検討された。

その後、IAEAが検討を再開したのを受け、日本からは、電中研・東芝が提案した超小型高速炉(4S、電気出力5万kW)による海水淡水化計画の提案し、関心を有する途上国からの参加者と議論するとともに、日本の電力会社に設置されている海水淡水化装置の運転・保守・補修の状況、さらには日本が有する淡水化技術の最新情報やその技術を適用した淡水化施設の運転状況などを造水促進センターの協力を得ながら、情報として提供している。

また、淡水化用原子炉として、原子力産業界(東芝、三菱)から小型炉が提案されるなど、IAEAの活動に協力している。

世界的な農業用水不足に対処するため、1999年から日本学術会議の場において、各種エネルギー源による淡水化を検討した結果、資源問題や環境問題の観点から、原子力利用が有効であるとの議論の結果が示されている。

日本の原子力発電所では、半島の先端などに設置され、真水の確保が困難なところでは、容量は小さいが海水の淡水化装置を設置し、必要な補給水を確保している。

関西電力の高浜原子力発電所には、日産1000m³のMED(多重効用缶法、1983年稼働)が、大飯原子力発電所には、日産1300m³のMSF(多段フラッシュ法、1973年稼働、図3.1参照)、日産2600m³のMED(1976年稼働)および日産2600m³のRO(逆浸透膜法、1989年稼働、図3.2参照)が、四国電力の伊方原子力発電所には、日産2000m³のMSF(1975年稼働)および日産2000m³のRO(1992年稼働)が、また、九州電力の玄海原子力発電所には、日産1000m³のMED(1992年稼働、図3.3参照)および日産1000m³のRO(1988年稼働)が、設置されている。また、現在建設中の北海道電力の泊原子力発電所(3号機)には、補給水の確保のため淡水化施設の設置が計画されている。

現在稼働している淡水化装置の容量は飲料水製造用の淡水化装置に比較すれば容量は小さく、また、稼働率も少ないが、原子力のエネルギーを直接利用している海水淡水化装置として、現原子力発電所内に設置されている条件からの貴重な運転経験などが得られている。



図 3.1 原子炉からの熱を利用した海水の淡水化プラント（蒸発法（MSF）
（関西電力、大飯原子力発電所）



図 3.2 原子炉からの電力を利用した海水の淡水化プラント
（逆浸透膜法（RO））（関西電力、大飯原子力発電所）



図 3.3 原子炉からの熱を利用した海水の淡水化プラント（蒸発法（MED））
（九州電力、玄海原子力発電所）

3.3 諸外国の活動

海水の淡水化への原子力利用に関しては、IAEA の場が主体となり、関心を有する加盟国間による検討が進められている。IAEA 主催の INDAG においては、会議開催時に各国の動き（現状や将来計画など）が紹介され、国の取り組み方や、原子力および淡水化産業の進展状況も紹介されている。ここでは、2005 年 12 月に IAEA で開催された淡水化に関する技術的検討会議において紹介された、参加加盟国における原子力による海水の淡水化計画の現状と将来に付け加えて、不参加の加盟国の状況を表 3.1 に示す。

図 3.4 に、インドの Kalpakamm に設置されている原子炉（PHWR）に併設され、試験運転が実施されているハイブリッドプラントの施設概要を示す。

3.4 各国の原子力技術および淡水化技術の現状

原子力による海水の淡水化技術に関しては、世界的にみると表 3.2 に示すように、3 つの分類される国（IAEA 加盟国）が存在する。また、原子力と淡水化という 2 種類の技術に基づき、原子力による海水の淡水化の実証という観点からは、表 3.3 に示すように、次の 2 つに分類される。

このような世界的な現状を踏まえ、原子力および淡水化産業界との技術情報交換も含め、日本や米国のように原子力および淡水化技術を保有している先進国は、原子炉は保有しないが、既存の淡水化施設を有し、かつ原子力の利用も含めてさらなる淡水化が必要な国を対象として、適切な原子炉と淡水化技術の提供を検討すべきである。



図 3.4 インドの Kalpakamm 原子炉に併設されているハイブリッドプラント
(蒸発法と逆浸透膜法)

| | |
|------------------|---------------------------|
| Capacity | 2x227 m ³ /day |
| No. of Vessels | 4 per Train |
| No. of Membranes | 4 per Vessel |
| Membrane size | 8 " dia. x 60 " |
| Design raw water | 21 m ³ /h |
| Design permeate | 9.5 m ³ /h |
| Recovery ratio | 0.45 |



図 3.5 パキスタンの Kanupp 原子炉に併設されている RO 試験プラント

参考資料

3.1

1. IAEA, Desalination of Water using Conventional and Nuclear Energy, Technical Report Series No. 24, IAEA, Vienna (1964)
2. IAEA, Guide to the Costing of Water from Nuclear desalination Plants, Technical Report Series No. 80 IAEA, Vienna (1967)
3. IAEA, Guide to the Costing of Water from Nuclear desalination Plants, Technical Report Series No. 151 IAEA, Vienna (1973)
4. Nuclear Desalination, Proc. Symposium on Nuclear Desalination, International Atomic Energy Agency, 18-22 Nov. 1968, Madrid
5. IAEA, Use of Nuclear Reactor for Seawater Desalination, IAEA-TECDOC-574, Vienna (1990)
6. IAEA, Technical and Economic Evaluation of Potable Water Production through Desalination of Seawater by Using Nuclear Energy and Other Means, IAEA-TECDOC-666, Vienna (1992)
7. IAEA, Potential for Nuclear Desalination as a Possible Source of Low Cost Potable Water in North Africa, IAEA-TECDOC-917, Vienna (1996)
8. IAEA, Options Identification Programme for Demonstration of Nuclear Desalination, IAEA-TECDOC-898, Vienna (1996)
9. IAEA, Nuclear Desalination of Seawater (Proceeding Series STI/PUB/1025), Vienna (1997)

3.2

1. 科学技術庁資源調査会：海水淡水化の技術開発に関する報告、昭和42, 7, 25、科学技術庁資源調査会報告、第41号、244頁
2. 石坂誠一、大永勇作、菊池通、酒井忠二三、末綱一郎：日本における海水淡水化技術 - 現状と将来、1968年、IAEA原子力脱塩シンポジウム提出論文
3. 橋本清之介：日本における海水脱塩の現状と将来、1969年、第14回ローマ原子力会議論文提出
4. 井沢正孝：原子力海水脱塩の現状、原子力調査時報、14、原産、昭和42年
5. 石坂誠一：海水脱塩への原子力の利用、原子力工業、第15巻、第4号、昭和44年
6. 末綱一郎：海水脱塩の経済性 - 原子力発電との結合によるコスト低減への期待 - 、原子力工業、第15巻、第12号、昭和44年
7. 日本海水学会誌：小特集・世界の水不足と海水淡水化、第55巻、第3号、平成13年6月
8. 原子力エネルギーの海水淡水化への応用：日本原子力学会誌、2003年6月
9. A. Minato, T. Sugiyama, A Challenge to Global Environmental Issues by Small Reactor - Nuclear Desalination and Prevention of Desertification-, Third Int.

Symposium on Global Environment and Nuclear Energy Systems, Tokyo Institute of Technology, December, 2000

10. Y. Uchiyama, A. Minato, K. Shimamura, Seawater desalination using reusable type small PWR, Int. Journal of Nuclear Desalination, Vol. 1, No. 1, 2003
11. K. Kataoka, et al., A distinctive coupling concept of small natural circulation BWR and RO desalination system, International Seminar on Status and Prospects for Small and Medium Sized Reactors, IAEA-SR-218, Egypt, Oct. 1999

3.3

1. 原子力海水淡水化の国際動向と日本への期待: 原子力 eye, Vol. 50, No2, 2004年2月
2. 小特集「世界の水不足と海水の淡水化」、日本海水学会誌、第55巻、第3号、平成13年6月

| 国名 | 現状と将来計画 |
|-------------------|--|
| Argentina(アルゼンチン) | アルゼンチンの南に位置する4地域を対象として、電力供給および海水の淡水化を検討している。必要な淡水化の容量は小さく、小型の原子炉で供給可能である。また、自国では、小型軽水炉(CAREM)の設計、開発が進められているが、各種試験は進められているが、資金の問題により、実証炉の建設は未定である。 |
| China(中国) | 既存の原子炉の廃熱を利用した淡水化施設を併設することは、タービンなどの設計変更に繋がるので、実施する予定はない。また、原子炉は水利用地域から離れているので、送水管コストの問題からも淡水化の併設を実施する予定はない。しかし、新しい原子炉の建設に対しては、検討している。その場合には、自治体の許可、水の市場性および原子炉の安全性が併設の条件となる。 天津市では、原子炉を利用した海水淡水化工場の建設が計画されている。 |
| Egypt(エジプト) | エジプトの水資源はナイル川からであるが、スーダンとの取り決めにより取水制限があり、最近の人口増加により1995年の1人あたりの水資源2560m ³ が、2000年には1000m ³ まで低下し、水不足状態に陥っている。このような状態を克服するため多様なサイズの淡水化施設を導入してきたが、将来の水不足解消のためには原子力による海水の淡水化が必要である。このため、エジプトは、淡水化計画に関して、経済性や逆浸透膜法など技術的な可能性について、国内および国際協力による検討を継続している。これらの検討は最終段階にきており、貴重な情報が得られると期待されている。 |
| France(フランス) | <ul style="list-style-type: none"> ・逆浸透膜法の関連して、取水海水の温度を上昇させ、圧力および流量など淡水化効率(回収率)を上げる研究を実施している。これらの成果は、淡水化コスト計算に考慮される予定である。 ・軽水炉(PWR900、AP600)、ガス炉(GT-MHR、PBMR)、および化石燃料プラント(CC600、TV600)を対象として、チュニジアにおける海水の淡水化コスト試算を実施した。燃料価格が150\$/toe以上の場合には、原子力による淡水化コストは化石燃料より安い。 ・ガス炉の廃熱を利用した蒸発法による淡水化コストを試算した結果、コンバインドサイクル発電とMED(多重効用管法)の組み合わせと比較して、35-38%も安くなるということである。 ・コスト削減の1つとして、濃縮海水から貴重な物質の回収を検討している。 |
| India(インド) | <p>PHWRが運転されているKalpakkamのサイトには、日産6300トン(RO:1800トン、MSF:4500トン)の淡水化試験プラントが建設されている。RO試験プラントは運転されており、種々のデータが得られ、また、MSF試験プラントは建設中である。CIRUS試験炉にも日産30トンの蒸発法による試験施設を設置し、データも得られている。</p> <p>原子力による海水の淡水化に関しては、炉型、海水、水量、淡水化技術、要求される真水の量や水質などを考慮して検討される。また、国際協力も視野に入れている。</p> |

表 3.1 IAEA 加盟国における原子力による海水の淡水化計画の現状と将来 (1/3)

| 国名 | 現状と将来計画 |
|-----------------------|--|
| Israel(イスラエル) | <p>・中国が提案している熱供給炉(NHR200)を対象として、MEDとMED+ROによる淡水化コストの試算を行った結果、MED(日産15万トン)では0.54\$/ton、MED(日産6万トン)+RO(日産12万8千トン)では0.61\$/tonであった。後者のRO装置に必要な電力は、NHR200から出る24気圧の蒸気を利用しているため、発電効率の点から淡水化コストが高くなっているものと思われる。</p> <p>・Ashkelonに設置されている逆浸透膜法による淡水化プラントの1号機の許認可が2005年の夏に許認可、2号機については秋に許認可がおりた。このプラントの容量は日産345000トンである。淡水化コストは0.5\$/tonを目標としているが、オイルの価格高騰により、0.56\$/tonとなる見込みである。建設期間が2年半である。それ以前に、入札などの期間として2年以上が必要となる。</p> |
| Korea(韓国) | <p>韓国では、KAERIを中心として、国や産業界の支援を得ながら小型軽水炉(SMART)の開発を進めている。この原子炉には、日産4万トンの淡水化施設(MED-TVC法)の併設し90MWの電気出力とともに、人口10万人規模または工業地域への供給を計画している。2006年には、この原子炉のパイロットプラントの建設が開始される予定である。</p> |
| Lybia(リビア) | <p>水不足解消のためには、原子力による海水の淡水化は有望な手段であるが、不足量は多く、これを解消するためには多大な資金が必要とされるとともに、淡水化に関連したノウハウなどの技術移転が必要である。淡水化に関する検討は行われているが、経済的なインパクトも重要な検討項目である。また、淡水化には多くのエネルギーを必要とするので、原子力も含め経済的なエネルギー源の確保も必要である。</p> |
| Morocco(モロッコ) | <p>原子力による海水の淡水化に関する懸念は、経済性、環境影響、放射性物質の移行、安全性などである。環境影響として、原子炉による海水の淡水化に対して、経済的および環境影響に対する利害の評価、サイトの地理学的評価、沿岸利用計画との共存性評価、取水および排水(特に濃縮海水)の影響評価などを実施する予定である。</p> |
| Pakistan(パキスタン) | <p>パキスタンでは、IAEAの技術協力プロジェクトの下で、カラチ原子力発電所(PHWR)からの蒸気を利用した日産4800トンの蒸発方式淡水化実証施設の増設を検討中である。この発電所には、既に日産450トンの逆浸透膜法による淡水化施設が2000年2月より稼働している。この実証施設の運転経験をもとに、将来は大容量の淡水化施設の建設に反映する予定である。</p> |
| Russia(ロシア) | <p>浮揚式小型原子炉による熱および電力の供給を考えた場合の技術的かつ経済的な評価を、安全性、核不拡散性、品質保証、コスト削減、運転・保守性を考慮して実施した。浮揚式原子炉については、原子力船などの経験があり、実証された技術である。</p> |
| Saudi Arabia(サウジアラビア) | <p>サウジアラビアは、世界の17%の淡水化設備を有している。淡水化生産は、年間10億トンにも達し、また、国内における送水管の全長は3000km(配管径は300-2000mm)である。2003年から、淡水化事業は政府から民間事業へと移行した。IAEAは淡水化の企業も交えたコスト評価などを実施すべきである。(検討事項となった)</p> |

表 3.1 IAEA 加盟国における原子力による海水の淡水化計画の現状と将来 (2/3)

| 国名 | 現状と将来計画 |
|---------------------|--|
| USA(米国) | ANLではAP-1000を利用し、逆浸透膜法、および低温MEDと逆浸透膜法のハイブリッド方式による淡水化の検討を実施した。淡水化容量が日産100000-300000トンの場合の淡水化コストは\$0.52-0.68/トンという結果が得られている。化石燃料プラントとの比較では、燃料コストが淡水化コストに大きな影響を与えるので、将来的には原子力のほうが有利である。米国の経験から、原子力による海水の淡水化では、環境に与える影響はないものと判断されるが、今後この分野の検討は必要である。 |
| Japan(日本) | 原子炉導入に関心を示している国(チュニジア、インドネシア、アルゼンチンなど)を対象に、小型炉のビジネスモデルを検討するため淡水化と組み合わせた場合の検討している。小型炉としての4S炉に関しては、NRCへの事前申請を実施するための準備段階であること。福岡の淡水化施設(日産5万トン)に関しては、最新の技術が適用されて、順調に運転されている。 |
| South Africa(南アフリカ) | 南アフリカは、INDAGのメンバーではないが、現在開発中の高温ガス炉(PBMR)を利用した海水の淡水化を提案している。 |

表 3.1 IAEA 加盟国における原子力による海水の淡水化計画の現状と将来 (3/3)

表 3.2 原子力と淡水化技術の現状

| | |
|---|--|
| <p>(1) 原子炉を自国で開発・建設可能、かつ高度で豊富な淡水化技術を有し、かつ原子炉に併設、あるいは独立運転の大容量淡水化施設を有している国</p> | <p>・日本：大飯、高浜、伊方、玄海の各原子力発電所、沖縄と福岡淡水化プラント ・米国：Diablo Canyon Nuclear Power Plant、フロリダ州</p> |
| <p>(2) 原子炉を自国で開発あるいは建設可能、あるいは原子炉を保有(輸入も含む)、しかし、高度な淡水化技術を有しないが、淡水化が必要、あるいは双方の技術の輸出を検討している国</p> | <p>・インド、中国、韓国、パキスタン、アルゼンチン、ロシア</p> |
| <p>(3) 原子炉は保有しないが、既存の淡水化施設を有し、かつ原子力の利用も含めてさらなる淡水化施設の設置を検討している国</p> | <p>・エジプト、モロッコ、チュニジア、アラブ首長国連邦、イスラエル、リビア</p> |

表 3.3 原子力による海水の淡水化技術の実証

| | |
|--|--|
| <p>(1) 既存の原子炉に容量は小さいが淡水化施設が併設され、通常運転が継続されている国</p> | <p>・日本、米国：原子炉プラントの補給水として供給 ・カザフスタン(原子炉 - BN350 は閉鎖)：生活用水として供給</p> |
| <p>(2) 既存の原子炉に、容量の小さい淡水化施設を併設し、試験が実施されている、あるいは計画されている国</p> | <p>・インド、中国：実験を実施中 ・パキスタン：計画中 ・ロシア：浮揚式原子炉に淡水化施設の併設を計画中 ・韓国：パイロットプラントとして、小型軽水炉と淡水化施設の併設を計画中</p> |

第4章 淡水化への原子力技術を適用する場合の問題点と課題

海水淡水化への原子力利用に関しては、従来は主に原子炉側からみた検討を中心に行われてきたが、設置や建設、運転に関する基準、規制、規格が異なる原子炉と淡水化施設を結合する場合には、現存の化石燃料発電プラントとの組み合わせとは異なるところもあることから、その差異や課題を充分把握しておく必要がある。

ここでは、主に海水淡水化プラント産業の観点から、現状や原子炉と結合する場合に考えられる問題点などを抽出した。

4.1 海水淡水化プラントの設計・運転

- (1) 国内に設置する場合には、施設ごとに耐圧基準や品質管理などを始めとする多くの制限があるため、配管部品・機器等は海水淡水化プラントメーカー標準が適用できるとは限らない。海外の場合には未定であるが、例えば、ロシア等では日本よりゆるい基準が適用されている。淡水化システムの原子炉利用に関する海外展開を図る場合には、当該国の基準、制度など調査する必要があるとともに、将来的には国際的な合意に基づいた基準、制度の整備が必要である。
- (2) 海水淡水化プラントは原子力施設と異なり、種々の要因で短時間停止することがあり、短時間でもトリップした場合、原子炉側へどのような影響を与えるか検討しておく必要がある。例えば淡水化装置を数系統に分けて設置するケースでも全停止という事態も考慮し、淡水化プラント停止に伴う原子力プラント側の対応手段を検討しておく必要がある。
- (3) 熱源供給の観点から、10気圧以上の高圧の蒸気は必要としない。蒸発法(MSF, MED)では、5~6気圧の蒸気、または(MSF)では加熱用に2.5気圧、エジェクター用に5~6気圧の蒸気が必要である。なお、エジェクターの代わりに真空ポンプを利用する場合には、真空ポンプの機械的容量の制約から中型の淡水化施設までしか適用できない。
- (4) 膜法(RO法)の場合は発電設備としては火力でも原子力でも、電力を使うのでシステム構成は変わらない。しかし、原子力の場合には、設計基準として、浸透膜の圧力容器などに通常FRPが標準設計で使えるのは世界的にも可能かどうか不明である。国内では「平成9年発電用火力設計技術基準」が改定され、「強度上などの安全が確保されると設計者が判断すればFRPなども使用可能」となっている。しかし、関電大飯発電所のROプラントFRP製の圧力容器は上記技術基準の改訂前の設計であることもあり、SUS製外筒内に納められている。

- (5) 蒸発法の造水比（蒸気量に対する生産水量の比）は大きくするほどエネルギー効率は高くなるが、設備費が増大するため、蒸気コスト、建設コスト等の経済性評価により造水比は海外では7~8程度、国内の発電プラントに設置されている蒸発法では5程度に設計されている例が多い。本格的な原子力利用淡水化の場合には蒸気コスト、建設コスト等の経済性評価を行い、最適な造水比の検討が必要である。

4.2 海水淡水化プラントの管理

- (1) 原子炉運転における制約と海水淡水化プラントの運転・維持管理・負荷変動に対する整合性を調査する必要がある。
- (2) 原子炉側から直接蒸気を供給する場合、放射性物質の移行をどう管理するかという点は発電の場合と同様の課題である。水質の面で、原子力利用によって作られた水として放射性物質のモニタリング等の管理を要求される可能性がある。MSFでは万一の場合はブラインヒーター（伝熱管）を通る海水の圧力を上げて生産水に混入しないような設計が出来るが、MEDではそれが出来ないシステムとなっている。
- (3) 通常の膜法プラントでは、膜は微粒子などで汚れて劣化するため定期的に交換・廃棄されるが、ある程度汚れたものを別の用途で再利用する場合もある。現在国内のPWRで行われている淡水化に使用した膜は、管理区域から出たものとして放射性廃棄物として減容してセメント固化している。通常、膜は毎年20%ずつ交換して5年で100%交換というサイクルで交換廃棄される。このような膜など定期的に発生する多量の廃棄物をどう処分するか課題がある。また、この膜交換作業は1ユニットの交換に1週間程度を要するため、この間の原子力側の負荷を下げるか、淡水化プラント側に予備ユニットを持つ必要があり、プラント計画時に検討しておく必要がある。

4.3 海水淡水化プラントのエネルギー形態

- (1) 中東などで使用されている熱電併給プラント（海淡・発電複合プラント）などは、プラント全体のエネルギーをすべて発電に回した場合、発電容量規模が50万kWe程度である。
- (2) 日産23,000m³の淡水化装置が40基設置されているプラントの例では、淡水化装置4基に対して1基の熱源と発電設備が対応する構成となっている。

- (3) 日本では膜法のメーカーが多いが中東などの海外では蒸発法がメジャーである。海淡・発電複合プラントでは背圧タービンで淡水化プラントが必要とする条件の蒸気を得るとともに発電し、余剰電力を売却する方式が多く採用されている。しかし、背圧タービンは蒸気エネルギーのロスが大きいので効率が落ちる。このような方式を採用する場合には高効率タービンを開発する必要がある。

4.4 海水淡水化プラントの取排水設備

- (1) 取水方式については、膜法ではよりきれいな海水を取るために、また、蒸発法では温度差が効率アップになるので清澄な沖合の深層取水が望ましい。原子炉の冷却には多量の海水を使うことから、蒸発法との組み合わせでは、多量の冷却水が必要で、膜法に較べて取水する海水が多くなる。蒸発法では通常生産水量の8倍程度の冷却海水が必要である。一方、逆浸透法では生産水量の2~3倍の海水が必要である。原子炉の発電容量に対して、どちらの淡水化システムを選択するか、また、淡水化容量をどれだけにするかにより、原子炉に必要な冷却水に加えて、淡水化プラントに必要な取水量が決まる。取水あるいは排水施設を共用にするかどうかなど最適化を必要とする。
- (2) 多くの海水淡水化プラントが設置されている地域では各プラントから塩分濃度の高い排水が出されているので濃縮排水の混入防止に配慮が必要である。
- (3) 国内の発電施設併設の海水淡水化プラントでは取水は共用されており、取水施設の取水ピット内に淡水化プラント用取水ポンプを設置するか、もしくは発電施設用循環水ポンプ送水管から分岐して淡水化プラントに送水している。

4.5 ビジネスとしての課題

- (1) 2000年以前は多くの淡水化事業が国の管理する公共施設になっていたが、最近では水ビジネスとして民営化が進んでいる。事業計画等が公表されてから競争入札になり、プラント建設コストではなく民営事業における水コストの競争となっている。これまでと事業形態が大きく異なり、たとえば、事業体側が設備を保有し、水と電気を20年間いくらの価格で提供売却するというような契約形態が取られている。原子力利用に関しては、公共事業でも民営化事業でも、水をより安く提供出来れば、ビジネスとして視野に入ってくる。
- (2) 淡水化プラントを建設する場合には、使用者側から淡水化容量などの条件書が提示され、プラントからの排水の温度、成分等が制限される。これまでの事例では、排水中の塩分の規制は無く、また漁業補償もないことが多いが、今後は世界的に

海域環境保全強化の方向であり、環境基準に関する条件は厳しくなると予想されるので関連する規制等を調査・検討する必要がある。

- (3) 原子力は、地球規模の炭酸ガス削減効果が評価されるので、CDM 事業として認定されれば、大きなビジネスチャンスとなる可能性がある。

第5章 日本の対応のあり方および提案

前述のように、世界における飲料水不足の状況は深刻化してきており、小さな途上国はもとより、大国であるインドや中国もそのような状況になりつつある。このような飲料水不足を解消するためには、豊富な資源である海水を淡水化する方法が、中近東では数十年前から始められ、そのための淡水化技術も改良や効率化が進められてきている。淡水化開始当初は、蒸発法による海水の淡水化施設の建設・運転が主流であったが、近年、高分子膜の技術開発が進展し、逆浸透膜法による淡水化が蒸発法よりコスト的に競合できるまで、膜技術およびシステムが改良されてきている。

5.1 海水淡水化への原子力利用

海水の淡水化に原子炉を適用するという観点から、放射性物質の移行という懸念を取り払うことを考えれば、原子炉の電力利用ということから、逆浸透膜法による淡水化という組み合わせも有望になってきている。また、最近建設されている淡水化施設の容量は大型化してきているが、大型原子炉の導入を必要としない国・地域では、導入当初に必要な多額の資金を必要としない、施設容量に適合する中型あるいは小型の原子炉でも対応可能となってきた。さらに、飲料水不足の国々も、海水の淡水化に原子炉を利用することを検討し始め、原子力先進国よりも後発の国において、淡水化に関連した活動が活発化しつつある。

5.2 日本の役割

世界の淡水化ニーズは今後とも高まると予想され、化石エネルギー源の限界や地球環境保全の観点から、原子力利用による淡水化は今後重要性を増すと予想される。IAEAでも原子炉利用という観点から、重要な検討課題として取り上げられている。さらに、フランス、韓国、中国、米国などの原子力技術国では原子力の「淡水化」を具体的な利用項目として掲げ、国策の一環として取り組んでいる。しかし、日本では、原子炉および淡水化技術の双方とも保有しているにも係らず、一部民間がフォローしているのみで、淡水化利用への関心はほとんどみられない。

このような現状から、原子炉および淡水化に関して高度かつ成熟した技術を有する我が国としても、世界的な流れに乗り遅れることなく、原子炉と淡水化技術、あるいは原子炉利用の淡水化技術の輸出という国際展開を検討すべき状況に来ているものと思われる。そのような将来構想を実現していくためには、2つの技術の組み合わせに関連した課題や問題点の解決が急務である。

5.3 提案

本検討会で、淡水化プラントサイドから原子力技術の提供可能性を議論した結果でも、課題が克服されれば適用は十分可能性があることが示された。

このような現状から、考えられる日本の役割、および今後検討あるいは活動すべき事項など、本検討会からの提案を下記に示す。

- (1) 現在、世界最高水準の淡水化プラント技術と原子力プラント技術を有している日本としては、原子力利用による淡水化事業の国際的展開について、中長期的観点からその実現を図るべく、国を中心に将来構想などを検討していくことが重要である。
- (2) 本検討会で抽出された課題については、我が国としても殆ど一部関係者を除いて検討がなされてこなかったことから、中東等で事業展開されている状況を整理した上で、
 - ・原子炉の熱利用なども含めて、原子力を発電以外に利用している場合には、技術的あるいは制度的にどのような制約条件があるのか、
 - ・原子炉を適用する場合には、電力あるいは熱エネルギーの効率的な適用可能性は、どちらか、
 - ・淡水化の観点から開発すべき技術はどのようなものか、
 - ・現存の原子炉を用いた海水淡水化計画を有する国への淡水化ビジネス展開の可能性はあるのか、等について、現状などまず基礎的な調査研究から始める必要がある。

海水の淡水化に関する検討会 委員名簿

平成 18 年 3 月現在
(五十音順・敬称略)

| | | |
|------------------|---------|--|
| 主査 | 湊 章 男 | (財)電力中央研究所 原子力技術研究所<新型炉領域> 上席研究員 |
| 委員 | 天 藤 貞 夫 | 日立造船(株) エネルギー・プラント事業本部 プラント営業部部長 |
| | 井 上 正 行 | 日揮(株) 産業プロジェクト統括本部 原子力・環境事業部 アシスタントプロジェクトマネージャー |
| | 稲 積 秀 幸 | (株)ササクラ 水処理事業部 水処理営業室 室長 |
| | 岩 堀 博 | 日東電工(株) メンブレン事業部 企画グループ 課長 |
| | 熊 野 淳 夫 | 東洋紡績(株) アクア膜事業総括部 主幹 |
| | 小 島 康 成 | (株)荏原製作所 環境事業カンパニー 環境システム事業部 水・環境開発室 応用グループ 参事 |
| | 竹 内 弘 | 東レ(株) 水処理事業本部 水処理事業企画推進部 主幹(事業開発担当部長) |
| | 永 井 正 彦 | 三菱重工(株) 技術本部 先進技術研究センター 化学・反応プロセスグループ 主席研究員 |
| | 畠 中 俊一朗 | 丸紅(株) 環境インフラプロジェクト部 環境インフラプロジェクト 第一チーム |
| | 平 井 光 芳 | (財)造水促進センター 淡水化技術部 兼 国際協力部 部長代理 |
| | 水無瀬 淳 | 住友商事(株) 電力・水事業第二部 課長代理 |
| ワザ -パ- 事務局 | 吉 岡 政 嗣 | 経済産業省 経済産業政策局 産業施設課 課長補佐 |
| | 石 塚 昶 雄 | 日本原子力産業協会 常務理事 (平成 18 年 4 月現在) |
| | 三 浦 研 造 | 日本原子力産業協会 政策本部担当役 (平成 18 年 4 月現在) |
| | 富 野 克 彦 | 日本原子力産業協会 政策本部 (平成 18 年 4 月現在) |

以 上