海水淡水化技術

宮城 守雄

1. はじめに

現在、研究開発の関心は、“宇宙”と“海洋”に活動の場を設定し付加価値活動を実施することにより、各々に対して種々の学問分野が学術的に協力することで進んでいる。

宇宙開発の第一歩は、CELSS研究会(Closed Ecological Life Support System)のCELSS計画でわかるように閉鎖された空間内で人間が自給自足しかつ付加価値活動する場を設定することである(図1¹⁾)。

図1 閉鎖系でのシステム¹⁾

一方海洋開発の基地は開放系であるが、基地活動者の食料の供給体制確立が第一技術課題と考えられる。基地への物質輸送路の確保とともに生命維持に不可欠の水供給は基地に海水淡水化装置を設置し行う必要がある。海洋基地での水需要量は、1人1日当りの飲料水は約1.2lであるが水洗便所、洗濯、風呂などを含めた生活用水と

資料：国土庁調による。

注：(1) 生活用水使用量(年間、有効水量ベース)＝1人1日平均使用水量×365(日)×給水人口の関係にある。

(2) 57年値は(社)日本水道協会「水道統計要覧(昭和57年度)」等を基に国土庁において試算した速報値である。

図2 1人1日当りの生活用水量²⁾

しては約300l必要となる。さらに基地での活動内容に応じた用水量が付加される(図2²⁾)。

本稿では各種の海水淡水化技術を紹介した後、海水淡水化技術で最も省エネルギー技術である逆浸透膜による海水淡水化技術を詳述する。

表1 海水淡水化に要するエネルギー比較³⁾

分離プロセス名	必要動力 (kWh/m ³)	必要熱量 (kcal/m ³)
理想仕事(回収率0%)	0.72	616
逆浸透法(回収率40%)	3.5	3010
逆浸透法(回収率30%)	4.7	4042
冷凍法	9.3	8000
溶媒抽出法	25.6	22000
電気透析法	32.2	27692
多段フラッシュ蒸発法	62.8	54000

Seawater Desalination

筆者紹介 MORIO MIYAGI

Toyobo Co., Ltd. Research Center 東洋紡績株式会社総合研究所 主席部長

筆者は、機能性高分子膜の研究を専門分野とし、テニス、読書などを趣味とされている。

本稿では、海水淡水化技術として蒸発法、電気透析法および逆浸透法を取り上げ、その中で省エネルギー法として定着し、実績のある逆浸透法海水淡水化を紹介していただいた。

図3 フラッシュ蒸発法⁴⁾

2. 種々の海水淡水化技術

海水から淡水を得る方法としては、蒸発法、電気透析法、逆浸透法、冷凍法、抽出法などがある。各々の方法で海水から淡水を得るに必要なエネルギー比較を表1³⁾に示した。表1でわかるように相変化を伴わず圧力だけで淡水を得ることが可能な逆浸透法の必要エネルギーが、一番小さい。逆浸透法に関しては、次項で詳述するのでここでは蒸発法と電気透析法とを簡単に紹介する。

2.1 蒸発法

原理は蒸留であり、海水を加熱し海水中の水分を蒸発させ発生した蒸気を凝縮させ淡水を得る方法である。蒸気が凝縮する時の潜熱の再利用法によって、蒸発法は多段フラッシュ蒸発法、多重効用蒸発法と蒸気圧縮蒸発法の三種類に大別される。図3⁴⁾に多段フラッシュ蒸発法の説明図を示す。装置は凝縮部、加熱部と蒸発部とから構成され、海水を沸騰させ発生した蒸気を海水の予熱に利用するとともに凝縮させ淡水を得ている。

2.2 電気透析法

電気透析法は電位差を用いて透析を行う方法で原理図を図4⁵⁾に示す。陽イオンだけが透過する陽イオン交換膜と陰イオンだけが透過する陰イオン交換膜とを交互に並べて置き両端の電極に直流電流を通じると電位差により陽イオンは陰極側に、陰イオンは陽極側に動き図4に示したようにイオンが集まる室(濃縮室)とイオンがなくなってくる室(脱塩室)ができる。脱塩室から取り出した水が、電気透析法で得られる淡水である。

図4 電気透析法の原理図⁵⁾

3. 逆浸透法

逆浸透法による淡水を得る原理を図5に示す。半透膜を介して海水と淡水とを置くと浸透圧によって淡水が海水側に浸透し、両室の濃度が同一になったところで浸透が終るが、図5(b)のように海水の浸透圧比以上の圧力を海水側にかけると水だけが半透膜を透過し淡水を得ることができる。本法のポイントは、水だけを透過半透膜である。

逆浸透法は、1953年 Reid らの米国内務省塩水局(OSW)への海水淡水化技術としての提案に始まり、1960年のLoeb-Sourirajan らの酢酸セルロースの非対称逆浸透膜の開発が実用化への第一歩となり、現在も高性能膜開発が続いている。

3.1 逆浸透法

膜性能は(1)式で表わされる塩除去率(R_j : Rejection の

図5 逆浸透法の原理

略, %表示), 透過水量(J_u)と透過水量の経時減少指数 m 値とで規定される。 m 値は高分子膜のクリープによるもので圧密化指数ともよばれ, (2)式で表現される。

$$\text{塩除去率} = (1 - \text{透過側濃度} / \text{供給側濃度}) \times 100 \quad (1)$$

$$J_u / J_{u0} = (t / t_0)^{-m} \quad (2)$$

ここで J_{u0} , J_u はそれぞれ初期時間 t_0 , t 時間後の透過水量である。 m 値が0.02の時, 1年後の透過水量は, 初期の83%になっているが, この程度の減少は操作圧力を徐々に増加することで水量調節が可能である。E. K.

Lee がまとめた膜性能のグラフを図6⁶⁾に示す。図6からわかるように海水淡水化用の逆浸透膜はいずれも塩除去率は99%以上となっている。膜素材としては, セルローストリアセテート, ポリアミド, ポリエーテルが用いられているが, ポリアミドやポリエーテルを膜素材とする合成膜は, 許容 pH 範囲や耐バクテリア性の点ではセルローストリアセテートを膜素材とするものより優れているが, 塩素や溶存酸素のような酸化性物質により化学的な劣化を受け性能が低下する弱点を持っている。

3.2 逆浸透モジュール

図6に示されているように, 膜として中空糸膜と平膜とがあり, 各々単位容積当りの膜面積を大きくすることと膜面汚れを防ぐ供給液流れの工夫などを取り入れ集合体として中空糸型モジュールとスパイラル型モジュールになっている。各々モジュールの構造例を図7⁷⁾に示す。中空糸型モジュールは, 直径数10~数100 μm の中空糸を数10万本束ねて端部を接着剤で固めてシールしたエレメントを圧力容器に納めたものである。スパイラル型モジュールは封筒状の膜の内外に流路材となるスペイサーをはさんで渦巻状に丸めエレメントとし, これを圧力容器に納めたものである。

3.3 海水淡水化プラント

海水淡水化用逆浸透モジュールは, 1973年にデュボン社が初めて市販し, 1976年頃から100 m^3 /日以上の実用

図6 各種膜の性能比較⁶⁾

A, Hollosep—cellulose triacetate hollow fiber membrane (Toyobo); B, sulfonated polysulfone composite hollow fiber membrane (Albany International); C, B-10—aromatic polyamide hollow fiber membrane (Du Pont); D, PEC-1000—composite flat-sheet membrane (Toray); E, NS-200—composite polyfurfuryl alcohol membrane; F, FT-30—composite polyamide flat-sheet membrane (FilmTec/Dow); G, NTR-7199—composite polyamide/polyurea flat-sheet membrane (Nitto Denko); H, TFC-803 (PA-300)—composite polyetheramide flat-sheet membrane (Fluid Systems/Signal); I, NS-100—composite polyurea flat-sheet membrane; J, TFC-801 (RC-100)—composite polyetherurea flat-sheet membrane. (Fluid Systems/Signal); K, NTR-7197—composite polyamide/polyurea flat-sheet membrane (Nitto Denko); L, B-15—asymmetric polyamide flat-sheet membrane (Du Pont); M, asymmetric cellulose acetate flat-sheet membranes (generic); N, NF-70—composite flat-sheet membrane (FilmTec/Dow); P, Romembra SU—composite polyamide flat-sheet membrane (Toray); Q, NF-50—composite flat-sheet membrane (FilmTec/Dow); and R, NTR-7250—composite polyvinyl alcohol flat-sheet membrane (Nitto Denko).

図7 中空糸型モジュールとスパイラル型モジュールとの構造例⁷⁾

プラントが稼動している。

国内では、1974年から官・学・産の参画のもと通産省の傘下の(財)造水促進センターが中心となり逆浸透法による海水淡水化技術開発が開始され1979年には国産膜モジュール(東洋紡(株)中空糸型、東レ(株)スパイラル型)を使用した800m³/日実証プラントが完成し、1989年まで実証運転がなされ性能安定性、経済性などが確認された⁸⁾。これらの実績をふまえ、東洋紡(株)の中空糸型モジュール“ホロセップ”は、サウジアラビア・ジェッダ市の逆浸透法としては世界最大規模の56800m³/日の海水淡水化プラントで使用され、1989年5月から稼動をはじめ現在も順調な運転が継続されている⁹⁾。プラントの設計条件および運転条件を表2¹⁰⁾に、プロセスフローシートを図8¹⁰⁾に示す。本プラントは、1970年に運転開始した多段フラッシュ蒸発法(MSF)のプラントが老朽化したので、これを撤去しその跡地に、既存設備の再利用および将来計画などの要求を入れ建設されたものでコンパクトな配置になっている。

海水淡水化プラントの構成は、ジェッダ市のプラントのプロセスフローシートでわかるように海水取水、前処理、逆浸透モジュールバンク、後処理と大きく分類して4つのシステムから成立している。各々のシステムで用

表2 ジェッダプラントの設計条件および運転条件¹⁰⁾

項 目	条 件
(1)プラント能力	56,800m ³ /日
(2)海水の条件	
温度	24～35°C
TDS	43,300ppm
(3)製造水条件	
塩化物	625ppm 以下
TDS	2500ppm
(4)飲料水の条件	
塩化物	1000ppm (MSFによる製造水と混合した後の濃度)
(5)回収率	35%
(6)逆浸透運転圧力	最大70kg/cm ² G
(7)供給海水濁度	3 以下

いられる主要設備を表3¹⁰⁾に示した。逆浸透モジュールの性能は勿論のことであるが、前処理システムも重要なポイントになる。前処理では、膜の汚れの原因となる懸濁物質の除去やスケールおよびスライムの防止、さらには逆浸透膜の素材によっては、膜の化学的性質への適応を図るための水質調整も必要な場合もある。

世界の淡水化装置の設置状況を、海水の淡水化のみに

績が積み上げられる一方で、さらに高性能(メンテナンスフリー、ランニングコスト低減)の逆浸透モジュールの開発が進められている。省エネルギーの面からも逆浸透法海水淡水化が、海水淡水化法の主流になると考えられる。

マリンバイオテクノロジー開発の最前線の基地で、逆浸透法による海水淡水化技術が活用され、新しい海洋科学の展開に寄与できることを願っている。

引用文献

- 1) CELSS 研究会のパンフレット (1988年 8月)
 - 2) 国土庁長官官房水資源部編「日本の水資源—その開発保全と利用の現状—」(1984)
 - 3) 大矢晴彦編著「逆浸透法・限外濾過法Ⅱ応用 膜利用ハンドブック」幸書房 (1978)
 - 4) 堀江 寛, 建設機械, 15 (4), 40 (1979)
 - 5) 東京大学公開講座「水」東京大学出版会 (1976)
 - 6) E. K. Lee, Encyclopedia of Physical Science and Technology, 8, 20 (1987)
 - 7) 川崎順二郎他編「高度膜分離技術ハンドブック」サイエンスフォーラム (1987)
 - 8) S. Kimura, et al, Proceeding of Second World Congress on Desalination and Water Re-Use, 1, 45 (1985)
 - 9) M. Muhurji, et al, Desalination, 76, 75 (1989)
 - 10) 森本 泉, 造水技術, 15 (3), 34 (1989)
- (平成2年5月22日受理)

新しい繊維素材(インテリア用)の技術動向研修会

主 催: 繊維工業構造改善事業協会

協 賛: 繊維学会関東支部, 日本繊維機械学会関東支部, 日本衣料産業研究会議

日 時: 平成2年9月7日(金) 13:00~17:30

場 所: 大阪科学技術センタービル 4F-404号室

大阪市西区靱本町 1-8-4 電話 06-443-5391(代)

プログラム:

(1) 13:00~13:30	現状と今後の課題	文化女子大学	石川 欣造
(2) 13:30~14:15	カーテン・椅子張り素材	三菱レイヨン(株)	米沢 哲雄
(3) 14:25~15:10	カーテンの生地・仕上加工	(株)川島織物	宮崎 博
(4) 15:10~15:55	カーペットのウール素材	国際羊毛事務局	徳森 文之
(5) 15:55~16:40	カーペットのナイロン・アクリル素材	帝人(株)	倉重 光雄
(6) 16:40~17:25	カーペットの製造方法	東洋リノリウム(株)	佐々木紀彦

参加費: 会費 8,000円, 非会員 12,000円

(資料「新しい繊維素材(インテリア用)に関する技術調査報告書」代, 消費税を含みます)

定 員: 60名 (定員になり次第, 締切ります)

資料購入: 1部 3,500円 (消費税・送料込み)

(研修会に参加できない方のために, 資料を特別頒布いたします)

申込方法: 1.氏名, 2.所属, 3.連絡先(住所・電話番号)を明記し, 参加費を添えて下記宛お申込み下さい。

〒102 東京都千代田区富士見 2-5-10 日東ビル

日本衣料産業研究会議 事務局 電話 03-262-4185