

東洋紡
逆浸透膜の開発と事業展開¹

2014年1月

IIR Case Study CASE#14-01

一橋大学大学院商学研究科 藤原雅俊
一橋大学イノベーション研究センター 青島矢一

¹ 本ケースは、内閣府「最先端・次世代開発支援プログラム」の支援を受けて開発したものである。本ケースの作成にあたって、以下の方々には、多大なるご協力をいただいた。この場を借りて深く御礼申し上げたい（アルファベット順、タイトル等は現職）。なおケースの内容に関する責任は全て筆者にある。

東洋紡株式会社

アクア膜事業部	事業部長	藤原信也氏
アクア膜事業部	主幹	熊野淳夫氏
元・常任理事		鵜飼哲雄氏

一橋大学イノベーション研究センター
東京都国立市中2-1
<http://www.iir.hit-u.ac.jp>

本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】 一橋大学イノベーション研究センター研究支援室
Tel: 042-580-8423 e-mail: chosa@iir.hit-u.ac.jp

目次

1. はじめに
2. RO 膜の概要
3. 東洋紡の概略と逆浸透膜事業
4. RO 膜の開発
 - 4.1 開発着手
 - 4.2 中空糸型の採用
5. 事業化
 - 5.1 実証試験から事業化へ
 - 5.2 拡大計画とサウジアラビアでの受注
 - 5.3 半導体用超純水市場への対応
6. 中東の耐水淡水化市場への特化戦略
 - 6.1 ジェッダでの受注とトラブル対応
 - 6.2 2000 年代における拡大
7. 東洋紡の競争優位

1. はじめに

増え続ける人口に対応して、世界では水需要が急速に拡大している。それに伴い、世界の水ビジネスは、2030年に100兆円規模にまで拡大すると予測されている(OECD報告)。上下水道処理、海水淡水化、工業用排水処理、産業用超純水製造など、水ビジネスは多岐にわたっているが、海水淡水化のような高度な水処理において鍵となる製品が逆浸透膜(以下、RO膜)と呼ばれる分離膜である。

RO膜は、その形状に応じて平膜型(スパイラル型)と中空糸型(ホローファイバー型)に分けられる。平膜型はシート状の膜をパイプに巻き付けて作られるのに対し、中空糸型は中空の細糸を詰めて作られる。現状、世界の主流は平膜型である。RO膜市場を支配しているダウ・ケミカル(2011年世界市場シェア:32.1%)、日東電工(同:28.1%)、東レ(同:27.5%)の3社を始め、他社はみな平膜型を採用している。現状で中空糸型を採用しているのは東洋紡ただ一社であり、その世界市場シェアは、2011年時点で7.8%となっている²。

東洋紡のRO膜は、素材の点でも他社と異なっている。他社がポリアミド系素材を使用しているのに対し、東洋紡が使用しているのは酢酸セルロースである。RO膜開発の歴史で最初に工業化されたのは酢酸セルロースを素材としたものである。しかしその後、多くの企業が、脱塩率と透過率の高いポリアミド系へと素材を変更した。酢酸セルロースは汎用素材であり、他社との差別化が難しいことも変更の理由であった。このように他社がみなポリアミド系の平膜へと事業の方向性を転換する中、東洋紡だけが、酢酸セルロースの中空糸型での事業を継続して、現在に至っている。

東洋紡は、長期の実績を持つ素材の特性を生かす素材にとどまり独自路線を歩んでいるのだが、必ずしも市場で劣勢に立たされているわけではない。同社は、自社製品と相性の良い中東地域に照準を定め、集中的に製品を展開することによって競争優位を築き上げている。世界市場全体からみれば、東洋紡が定める地理的なターゲットは確かに狭い。しかし中東、とくにG.C.C(Gulf Cooperation Council:湾岸協力理事会³)は深刻な渇水に悩む地域であり、造水需要が伸びている。この地域で、東洋紡はおよそ50%の市場シェアを獲得している⁴。こうした東洋紡の行動は、自社製品に適合する市場セグメントに特化し、他社との競争を回避しながら競争優位を構築するという競争戦略の定石ともいえる。

² 『日本経済新聞』2012年12月7日、夕刊、p.2

³ 正式名称は、Cooperation Council for the Arab States of the Gulf(CCASG:湾岸アラブ諸国協力会議)である。

⁴ 『日本経済新聞』2009年11月23日、p.9

以下では、東洋紡が三酢酸セルロース中空糸型の RO 膜に焦点を定めて開発と事業展開を継続し、中東地域における競争優位を構築してきた経緯を記述する。

2. RO 膜の概要

RO 膜とは浸透圧理論にもとづいて不純物を分離するための半透膜である。一般に、塩分濃度の高い水と低い水を容器の中で半透膜によって仕切ると、塩分濃度の低い方から水が半透膜を通じて透過し、高濃度溶液の液面が上昇し、やがて平衡に達する。このとき、移動した水の分の水頭差による圧力差が生じる。この圧力差を浸透圧と呼ぶ。この浸透圧よりも大きな圧力を塩分濃度の高い方にかければ、塩分濃度の高い方から低い方に逆に水が浸透する。これが逆浸透と呼ばれる現象である。この原理を使って不純物を取り除くために使用される半透膜が逆浸透膜である。逆浸透膜の中でも、膜の孔径が 1nm を下回り、塩分などのイオン成分も除去できる膜のことを、特に RO 膜と呼ぶ。

RO 膜の典型的な用途は、海水淡水化、つまり海水から飲料水を作り出すプラント向けである。海水淡水化の方法には、大きく分けて、蒸発法と逆浸透法とがある。蒸発法は、海水を蒸発させて冷却することで真水を得るやり方である。かつてはほとんどのプラントが蒸発法を採用していたが、逆浸透法の効率性が向上するにしたがって、近年は逆浸透法が市場で主流になっている。

冒頭で述べたように、逆浸透法で使われる RO 膜は、その素材によって、酢酸セルロース系とポリアミド系に分けられる。酢酸セルロース系素材の利点は、ポリアミド系に比べて、耐塩素性に優れることである。海水淡水化などの水処理を続けると RO 膜に汚れが付着する。特に問題となるのは、膜に微生物が繁茂して、菌体に由来する物質が膜を目詰まりさせることである。そこで、塩素系の殺菌剤を用いた殺菌が必要になるのだが、耐塩素性が低い膜の場合には、殺菌が性能劣化を引き起こす。それを防ぐには、殺菌に際して特殊で高価な薬剤を用いなければならない。耐塩素性が低い RO 膜においては、供給水の殺菌に塩素を用いた場合、膜モジュール流入直前に供給水から塩素を除去するという方法も採られるが、その場合には、前処理工程への追加投資が必要となる。こうした点から、汚れのひどい海水などの場合には、耐塩素性が RO 膜にとって特に重要な性能となる。この点では、酢酸セルロース系の素材に優位性がある。

一方、ポリアミド系素材の優位性は透水性能（フラックス）にある。同じ表面積あたりの透水性能でみると、ポリアミド系素材の方が酢酸セルロース系素材よりも優れている。透水性能の低い酢酸セルロース系の RO 膜がポリアミド系の膜と同じフラックスを確保するためには、より高い圧力をかけなければならない。そのためには、大きな高

圧ポンプを装備する必要があり、ポンプを稼働する電力も大きくなる。造水コストに占める電気代は非常に大きいため⁵、透水性能は造水コストに大きく影響する。また、RO膜の耐圧性をあげなければならないという課題も生じる⁶。

しかし一方で、フラックスは膜の汚れやすさに影響を与えることに注意が必要である。ポリアミド系素材のフラックスが高いということは、その分だけ多くの供給水が流れるため、汚れが溜まりやすい。一方で、酢酸セルロース系素材の場合、フラックスが低い分だけ汚れが溜まりにくい。この汚れやすさの違いは、薬品洗浄の頻度に差を生む。たとえば、ジェッダにある東洋紡の海水淡水化施設では、塩素による殺菌処理が1年に1回で済む。これに対し、他の海水淡水化施設における他社のポリアミド系複合膜の場合、塩素殺菌の頻度は2~3ヶ月に1度となる。洗浄回数が増えると、薬品代を高め、設備の停止時間（ダウンタイム）を長くしてしまう。そのためポリアミド系複合膜を採用する他社は、運転の仕方を工夫することでこの問題を和らげようとしている。

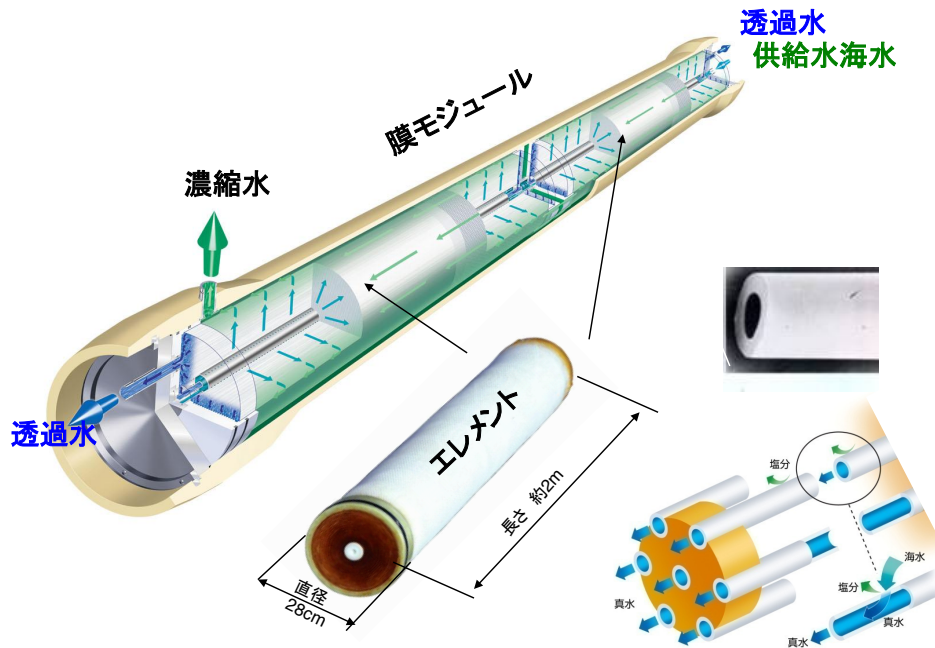
RO膜を分類するもう1つの軸が膜構造であり、それは、中空糸型と平膜型に分類される。中空糸とは中が空洞になった細い糸であり、逆浸透エレメント内にそれを何重にも配置したものが中空糸型のRO膜である（図表1）。圧力をかけることによって供給水から浸透した透過水が中空糸の中を通過して排出される仕組みとなっている。供給水を通す流路（スペーサー）がない分、平膜型に比べ容積効率が高いため、同じ容積のモジュールであれば、中空糸型の方が広い膜面積を確保できることが強みとなっている。この強みゆえ、同じ圧力下での膜面積あたりの透水性能（フラックス）は劣るものの、膜エレメントあたりの造水量は平膜型と同レベルと実現することが可能だといわれる。

一方の平膜型の場合は、平たいシート上の膜を作り、それをパイプに巻き付けてエレメントを構成する（図表2）。中空糸型に対する優位性は、熱に強いことや丈夫であることに加えて、製造のしやすいことにある。それゆえ製造工程の機械化が進んでいるのが特徴である。こうした膜エレメントを数本つなげて圧力容器に入れて作られるのが、膜モジュールと呼ばれるものである。

⁵ 沖縄の海水淡水化施設を例にとると、2004年度におけるフル操業時（4万トン/日）の造水コスト120.66円/tのうち、動力費は45.3%を占めている（國吉、2007）。

⁶ ポリアミド系素材の透水性能の良さは、低圧運転時により明白となる。ポリアミド系素材の場合は、低圧での運転下においても高い脱塩性能とフラックスを維持できる。一方で酢酸セルロース系素材を用いた場合、低圧で運転させると脱塩性能とフラックスがともに低下してしまう。海水淡水化には、そもそも浸透圧を上回る圧力をかけることが必要であり運転時にはかなり高い圧力をかけられるため、この違いは酢酸セルロース系素材にとってさほど不利にはなっていない。しかし、たとえば河川水から超純水を製造するような際には、浸透圧が低く低圧で運転できる余地が生まれ、ポリアミド系素材の優位性が顕在化する。できる限り低圧で運転できる方が電気代を抑えられ、顧客にとっては望ましいからである。

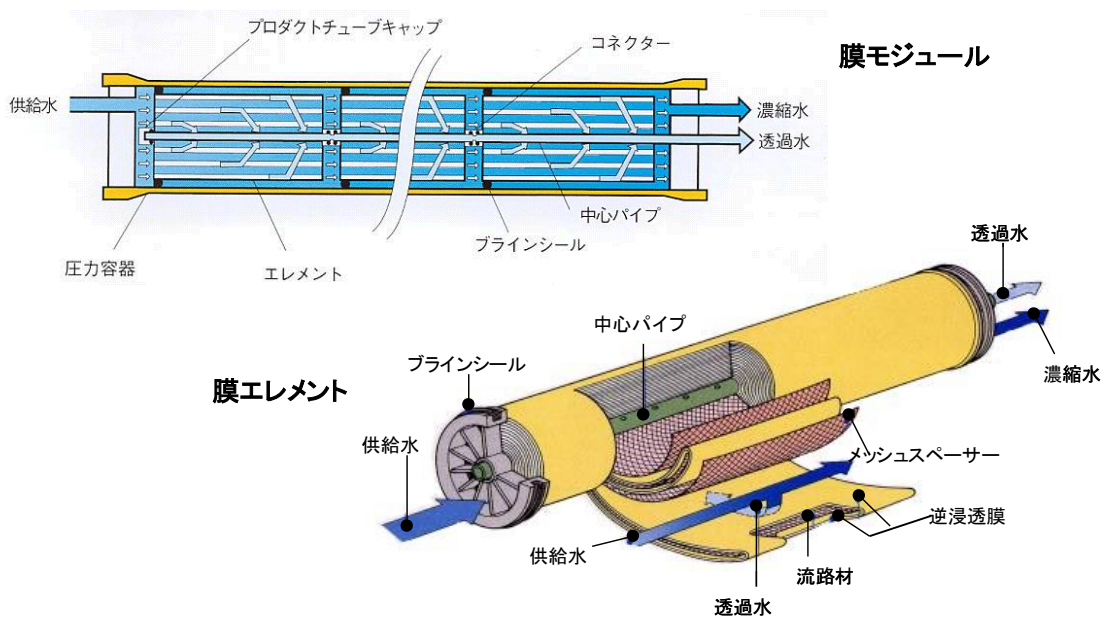
図表 1 : 中空糸型 R0 膜モジュールの構造



出所：東洋紡提供資料

注：HL10255 型の膜モジュール。

図表 2 : 平膜型 R0 膜モジュールの構造

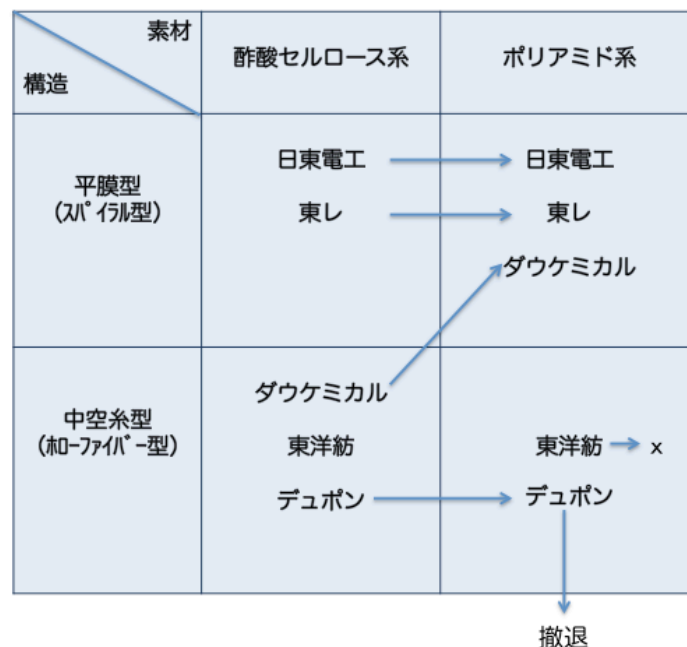


出所：浄水膜（一般社団法人 膜分離技術振興協会）資料

図表 3 は、上記の素材と構造の 2 軸に沿って、これまで RO 市場に参入した各社の製品を位置づけたものである。デュポンやダウ・ケミカルといった海外勢は、当初は、酢酸セルロースの中空糸型を採用していた。東洋紡も同じである。このうちダウ・ケミカルはポリアミド系平膜型へと移行し、デュポンはポリアミド系中空糸膜を手がけるが、1999 年に逆浸透膜事業そのものから撤退した。東レと日東電工は、当初、酢酸セルロースの平膜型の逆浸透膜モジュールを生産していたが、後に、ポリアミド系の平膜型へと移行した。こうした動きの結果、現在は、ポリアミド系平膜型の逆浸透膜モジュールが主流となっている。

このように主力企業がみなポリアミド系平膜型へと移行したにもかかわらず、東洋紡だけが、酢酸セルロース系中空糸膜にとどまり、事業を続けてきた。それが可能となったのは、酢酸セルロース系素材の高い耐塩素性が活かされる市場をターゲットとしたからだと考えられる。世界には中東のように海水の汚れが著しい海域がある。そこでは膜の塩素洗浄が重要な意味を持ち、透水性を多少犠牲にしても耐塩素性の高い膜が求められるため、東洋紡の製品の強みが発揮されやすい。

図表 3：素材と膜構造による分類と主要各社の動き



注：後述するように東洋紡は一時期ポリアミド系中空糸膜を開発事業化していた。

出所：筆者作成

3. 東洋紡の概略と逆浸透膜事業

東洋紡は、大阪紡と三重紡とが 1914 年に合併して誕生した企業である。本社は大阪にある。1931 年には大阪合同紡と合併することで世界最大級の繊維企業となった。第二次世界大戦後の 1966 年には呉羽紡とも合併し、さらに規模を拡大した。こうした経緯から明らかなおと、東洋紡は、繊維事業を主力として成長を遂げてきた企業である

しかし、1960 年代に入り繊維産業の成長が鈍化すると、多くの繊維企業が脱繊維を目指した多角化を検討する中、東洋紡も同様に多様な事業への多角化を推進した。逆浸透膜事業も、そうした脱繊維の流れの中で検討され始めた新事業の一つである。

図表 4 は東洋紡における事業セグメント別の業績推移を示したものである。2005 年度以降、縮小する繊維事業に変わって東洋紡を支えてきたのが、フィルム・機能樹脂事業であることがわかる。しかし、そのフィルム・機能樹脂事業の成長もいまだ緩やかであり、特に利益率は必ずしもよくない。そうした中、売上規模は小さいものの、高い収益性を示しているのが、ライフサイエンス事業である。東洋紡の逆浸透膜事業はこのライフサイエンス事業に含まれている。ライフサイエンス事業には医療関係事業などが含まれており、逆浸透膜事業単体としての業績は公表されていないが、売上高は公開されているアナリストレポートや市場シェアデータなどから 40 億円程度と推察される。

図表 4 東洋紡の事業セグメント別業績推移

年度		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
東洋紡 (連結)	売上高(億円)	4019.48	4266.66	4314.17	3672.71	3187.73	3405.73	3495.05	3390.09	
	営業利益(億円)	298.87	304.35	270.75	112.28	114.69	208.90	183.05	170.81	
	売上高 営業利益率(%)	7.44	7.13	6.28	3.06	3.60	6.13	5.24	5.04	
セグメント別	フィルム・ 機能樹脂	売上高	1163.62	1246.14	1346.31	1223.12	1149.28	1269.60	1384.37	1373.94
		営業利益	149.16	153.04	137.31	43.37	60.95	125.28	85.74	76.34
	産業 マテリアル	売上高	689.35	743.91	761.38	746.56	631.57	714.62	712.21	718.91
		営業利益	57.96	59.17	54.99	41.44	23.33	49.11	53.42	54.53
	ライフ サイエンス	売上高	296.67	326.39	339.61	331.23	323.77	313.86	265.80	248.39
		営業利益	56.08	55.85	51.39	29.90	40.23	37.24	41.33	41.70
	衣料繊維	売上高	1425.13	1495.85	1424.71	1117.36	883.73	868.32	879.99	792.11
		営業利益	33.91	43.86	38.14	14.46	4.18	6.24	10.58	2.13
	不動産	売上高				46.49	45.64	36.02	37.93	37.41
		営業利益				14.41	14.74	15.69	13.53	16.80
	その他	売上高	444.71	454.36	442.16	207.95	153.74	203.31	214.74	219.32
		営業利益	29.99	24.71	26.02	4.19	3.65	7.53	11.25	10.60

出所：東洋紡「有価証券報告書」各年版

東洋紡の逆浸透膜は、主として、山口県の岩国工場で生産されている（岩国工場の歴は図表 5 参照）。繊維工場であった岩国工場の生産量が減少する中で、新たな生産品目として、逆浸透膜が追加されたという経緯がある。ただし、単に生産量確保のために

生産が移管されたのではなく、中空糸膜の製造過程で、繊維事業で蓄積してきた生産技術が活かされることも重要であったという。

図表 5：岩国工場の歴史

1937年 7月	岩国工場操業開始(レーヨン生産)
1964年 5月	ポリエステル生産(重合、紡糸)を開始
1980年 5月	中空糸型逆浸透膜モジュール“ホロセップ”生産開始
1983年 11月	岩国機能膜工場発足
1984年 5月	岩国機能膜工場、人工腎臓用中空糸膜の本格生産を開始
1989年 4月	岩国地区に事業部制を導入 岩国事業所(岩国繊維、岩国ポリマー、岩国機能膜の3工場)に再編
2006年 4月	岩国繊維工場を岩国機能材工場に改称

出所：東洋紡「有価証券報告書」

4. R0 膜の開発

4.1 開発着手

東洋紡の総合研究所で逆浸透膜の開発調査が本格的に始まったのは1971年11月のことである。当時、多くの繊維企業が脱繊維の動きを活発化させる中、東洋紡も、1971年に入り、新規事業開拓に本腰を入れ始めた。逆浸透膜に関する調査は、この脱繊維に向けた展開の一環として始められた。

逆浸透膜業界では、このとき既に、ダウ・ケミカルやデュポンが製品の開発に成功し、その一部は市場に導入されていた。東レが開発に着手したのも1968年のことである。つまり東洋紡は必ずしも開発に先行したわけではなかった。開発調査にあたったのは、滋賀県堅田にある中央研究所に勤めていた鶴飼哲雄（1962年入社）など5名の開発者達だった。

翌1972年4月、鶴飼達5名の開発者のうち4名が逆浸透膜開発を調査段階から探索段階へと進めていくこととなった。この当時、逆浸透膜の素材としては、ポリアミド系と酢酸セルロース系が良く知られていた。そこで他の逆浸透膜企業と同様、鶴飼達も、この2つを開発対象として視野に入れた。検討の結果、ポリアミド系はデュポンの特許に抵触しかねないという判断から、酢酸セルロースを用いた開発を選択した。酢酸セルロースは、市場で入手することが容易な素材であり、既に多くの企業がその膜開発に成功していた。それゆえ、他社との差別化という点からすれば決して望ましい選択とは言

えなかったが、特許の問題がある以上やむを得ない選択であった。

1973年頃になると、探索段階から開発前期段階へと入り、開発人員も8名に増員された。開発テーマとしては、探索当初から海水淡水化が視野に入っていたのだが、求められる技術水準は極めて高かった。そこで開発者達は、より現実的なテーマとして、ウールの洗毛過程でウールグリースを回収して化粧品用に販売することを検討した。しかし最終的には、難しいターゲットではあるものの、海水淡水化への適用をやはり目指すこととなった。この経緯について、鶴飼は次のように振り返っている。

昭和 46-47 年頃には有価物の回収ですね。...価値の高いものの濃縮回収をしようとして当時探索していました。ところが膜を色々といじっていると「膜をやる限りは海水淡水化やな」と思い至るわけですね。それにこだわっていきうというので、昭和 48-49 年頃から人を集め始めたのです⁷。

4.2 中空糸型の採用

汎用的な酢酸セルロースを素材とした逆浸透膜でどのように差別化するか。開発陣が考えたのは、膜の構造での差別化であった。つまり、平膜型ではなく中空糸型を採用することで、他社との差別化を狙ったのである。東洋紡が中空糸型を採用した理由は、大きく2つあった。第一に、平膜型では、繊維屋を超えた部材や工程が必要になると予想されたからである。例えば、平膜型に必要なスペーサーが中空糸型では不要であるため、より作りやすいと考えられた。第二に、同社にはレーヨン事業において湿式紡糸技術や中空糸の生産技術を蓄積してきた歴史があったからである。彼らは、中空糸型を選ぶことで、既存技術を活用して差別化しようと思込んだのであった⁸。

脱塩や透水性といった性能を均質に発揮できるように、直径約 0.2mm、穴の内径約 0.1mm という微細な中空糸を安定的につくることは決して容易なことではないと予測された。しかし東洋紡には、レーヨン、アクリル、シノン、スパンデックスといった繊維で湿式紡糸技術を蓄積し、中空ふとん綿や中空レーヨンで中空糸紡糸技術を蓄積してきた歴史があった。開発者達は、逆浸透膜の形状を中空糸型とすることで、これらの生産技術を活かそうと考えたのだ。社内の既存技術が中空糸膜の製造に活かされたことについて、鶴飼は次のように述べている。

⁷ 筆者による鶴飼氏へのインタビューより（2013年12月13日、東洋紡本社にて）

⁸ デュポンは、このときすでに中空糸膜を製品化して「Permasep」を販売していた。ただし、彼らの素材はポリアミド系であり、酢酸セルロース系を採用した東洋紡とは異なっていた。

戦争が終わってから（東洋紡は）アクリルを導入したのです。その後、アクリルを基礎にしてシノンという新しい繊維を作り上げたのです。これに関わられていたのが（その後、中空糸膜の紡糸に関わった）浜田さんと高田さんで。これと並行してスパンデックスという繊維をやっていたグループがあって、これは化学的に溶媒を飛ばしてつくる。これと（シノンの）湿式の技術とが融合して、後に中空糸を作る技術を形成していくのです。たとえば中空糸を紡糸で造るとするのは非常にものすごい技術なのです。連続的に引っ張ってくるわけですが、性能付与しながら引っ張るのですから。特に膜の場合は、引っ張りすぎると脱塩性能が備わりませんから⁹。

1970年代半ばには開発人員も18名に増えた。この頃には、中空繊維の製造を担ってきた岩国工場の熟練者達も積極的に関わるようになり、中空糸膜の製造方法を確立するうえで重要な役割を果たした。彼らには言語化し得ないノウハウが詰まっており、そのノウハウが中空糸膜においてもいかに発揮された。1976年末頃に浜田が引いてきた中空糸膜は、すでに純水並みの水を生み出す高い脱塩性能を実現した膜であった¹⁰。これは、鵜飼たち開発メンバーも目を見張るほどの成果だった。

差別化に貢献したのは、中空糸膜自体の造り込み方だけではなかった。膜をエレメント化する際における中空糸膜の編み込み方にも差別化にかかわる重要なノウハウがあった。当時、東洋紡の他、デュポンやダウ・ケミカルも酢酸セルロースを用いた中空糸膜エレメントを開発していたが、その編み込み方には三者三様の違いがあった。

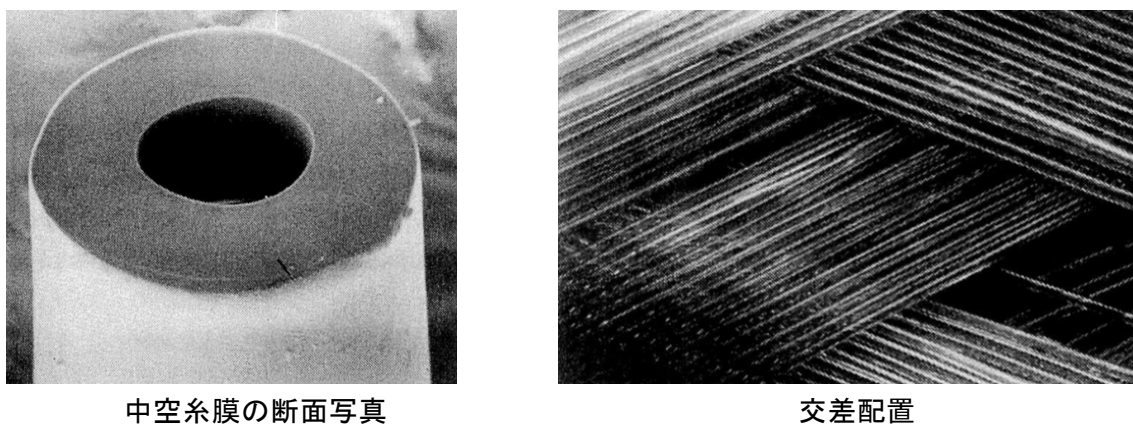
編み込み方が重要な意味を持つのは、それが膜エレメントの汚れ方と洗いやすさを決めるからである。そもそも中空糸膜は、供給水の流速が複合膜よりも遅いため、汚れが溜まりやすいと言われているが、編み込み次第で、供給水に含まれる有機物が溜まりやすさを制御することができる。また、編み込み方は、洗浄剤が効率的に流れるかどうかにも影響を与える。東洋紡の中空糸膜の編み込み方は、図表6に見られるような、クロスワインドと言われており、デュポンやダウ・ケミカルに比べて汚れにくく、かつ

⁹ 前掲、鵜飼氏へのインタビューより。括弧内は筆者による追記。また、アクア膜事業部長（2014年現在）の藤原信也氏も「中空糸型というのは、どうも初めから決めていたのではないかと思います。材質は他にもあったのですけれども。酢酸セルロース以外にも、ポリアミドという材質がありまして。（中略）ただ、これもポリアミド中空糸なのです、私たちがやっていたのは。ですから、最初から中空糸というキーワードになっているので、他社さんのようにスパイラルを造ろうということは初期の段階でもうなくて、繊維、中空糸というように決めていたのではないかな、と思いますね」と指摘している（筆者による藤原信也氏へのインタビューより：2013年10月11日、東洋紡本社にて）。

¹⁰ 筆者による鵜飼氏へのインタビューより（2014年1月24日、総合研究所にて）

洗いやすいタイプの編み方であった。このクロスワインドには、運転時に水が攪拌されることで中空糸膜同士が互いに洗浄し合うという機能までもが伴うため、ますます汚れにくいという追加的な利点もあった。

図表 6：東洋紡の中空糸膜（1980 年時点）



出所：鶴飼・二村・松井（1980）p. 4。

注：断面写真における膜の外径は $225\mu\text{m}$ 、内径は $110\mu\text{m}$ である。

開発が進んでくると、中空糸膜の造り込み方や編み込み方に加え、膜エレメントの封止の仕方も問題となることが明らかとなってきた。海水から淡水を造るべく膜エレメントに高圧をかけると、その圧力に負けて供給水が脇から漏れ出したり、中空糸膜が一方に寄って行ってしまったりした。この問題解決は、繊維事業での経験が活かせるものではなかった。開発者達は、文字通り試行錯誤を繰り返しながら、少しずつ封止の方法を確立していくしかなかった。

こうして膜エレメントができあがると、今度はそれを収納してモジュールにするための圧力容器が必要となった。この圧力容器については、社外から調達することで対応することとした。これら一連の取り組みを経て開発された中空糸型の逆浸透膜モジュールは、「ホロセップ」と名付けられた。

5. 事業化

5.1 実証試験から事業化へ

1975 年、通商産業省（現 経済産業省）は、将来的な水不足を想定して造水技術の確立に向けた動きを本格化させることを決めた。そして翌 1976 年、逆浸透法による海水淡水化

の試験所として造水促進センターを設立した。

東洋紡の「ホロセップ」は、1977年から造水促進センターでの実証試験に採用された。この実証試験で一定の手応えを得た東洋紡は、1978年6月、まだ基礎研究段階にあった三酢酸セルロースの中空糸型逆浸透膜モジュールも試験的に導入し、実証を重ねた。この実証が示すように、東洋紡の逆浸透膜開発は、その用途として海水淡水化を明確に意識していた¹¹。

造水促進センターで三酢酸セルロースの試験を始めて半年後の1978年11月、東洋紡はRO事業開発部を設置し、事業化に向けた動きを本格化させた。翌1979年10月には、約3億円を投じて工場を建設することが発表された¹²。生産拠点として選ばれたのは岩国工場の旧レーヨン建屋であり、セルロースになじみのあったタフセル課が引き受け手となった。さらに、堅田の総合研究所と岩国の工場との間で技術研修が重ねられ、三酢酸セルロース中空糸膜に関するノウハウが総合研究所から工場側へと移転された。この移転にめどがつくまでは堅田の研究所で生産が行われ、岩国工場での逆浸透膜生産が始まったのは1980年5月のことであった。

事業化に踏み出したこの頃、東洋紡の逆浸透膜モジュールは、主にかつお漁船で鮮魚を管理するための海水淡水化装置のなかで活用され始めていた。漁師達は、海水淡水化装置を使って造り出した淡水で海水を薄めて魚の浸透圧と同等程度の水をいけすに用意し、そこで魚を保管したのである。海水淡水化装置は1セット200～300万円ほどの価格だったけれども、魚の鮮度を維持する上で欠かせないものであった。

漁船用の海水淡水化装置にとっては平膜より中空糸膜の方が都合が良かった。漁船に積むには小型の逆浸透膜モジュールの方が好ましく、膜面積の広い中空糸膜ならば小型でも十分な透水量を確保できたからである。この市場領域は東洋紡の独壇場となり、国内の漁船600隻以上の装置に搭載された。その後、東洋紡は病院にもRO膜を展開し、手術用手洗いを造り出す役割を担った。

しかし、漁船用にせよ病院用にせよ、このときに必要とされていた膜モジュールは小型であり、市場規模も小さかった。事業としての存在を社内外に示すには、規模を拡大することが必要であった。そのために、海外の大型海水淡水化施設を受注することが課題となった。当時、技術輸出部部長を務めていた中原龍男も、海外展開を積極的に唱え、開発者たちを激励していた¹³。

¹¹ 造水促進センターにおける実証試験には東レの逆浸透膜も用いられていた。彼らもまた海水淡水化を開発ターゲットとしていた。

¹² 『日経産業新聞』1979年10月9日、p. 9

¹³ 筆者による鶴飼氏へのインタビューより（2013年12月13日、東洋紡本社にて）。

海外で有望な海水淡水化市場としてターゲットとなったのが中東のサウジアラビアであった。この地域には既にデュポンが事業を展開しており、東洋紡にも新規開拓の余地があると見込んだ。しかし当時は、造水方法として蒸発法が主流であり、顧客の逆浸透法に対する信頼性はまだ低かった。そこで東洋紡は1981年1月、サウジアラビアにおいてキャラバン隊を結成し、トレーラーで各地を回っては海水淡水化の実演を重ねることとした。第一次キャラバン隊は、1981年3月から8月にかけて、紅海側のジェッダで実演を行った。そこで一定の評価を得た後、次はアラビア半島を横断してアラビア湾岸アルコバールの蒸発法プラントにおいて、1981年10月から1982年3月にかけてRO膜による海水淡水化の実演を重ねた。いずれも良好な実績を上げることができた。

5.2 拡大計画とサウジアラビアでの受注

1982年、東洋紡は逆浸透膜事業の拡大を狙った三カ年計画を発表した。この計画は、1981年度に約5億円だった逆浸透膜モジュールの売上高を、1984年度には4倍の20億円まで引き上げるという意欲的なものであった¹⁴。岩国工場の生産ラインも二系列に増やされ、その生産能力は造水量換算でみて年間7万トン規模にまで高められた。大型化された新製品も同時に発表され、大規模海水淡水化施設を建設している中東市場開拓に本格的に乗り出した。

藤原信也¹⁵が入社して総合研究所に配属され、5名程度の同僚とともにRO膜を担当することになったのは、拡大計画が進められていたさなかの1983年のことであった。この頃になると、海水淡水化に向けたRO膜の基本的な開発は終わっていた。社内ではRO膜の事業化に向けた組織作りが着々と進み、1983年5月には機能膜事業部が新設され、同年11月に逆浸透膜事業は組織とし独立した事業となった。岩国の機能膜工場も開設され、人工腎臓用市場における事業展開も本格化した。

1984年、東洋紡は、自社初となる大型案件として、サウジアラビアのハックルおよびデュバにおける海水淡水化施設（日産水量11,000m³）でのRO膜モジュールの受注に成功した¹⁶。この受注に合わせて、藤原は研究所から事業部へ異動し、逆浸透膜モジュールの実用化に向けた応用開発を担当することになった。この応用開発は、膜自体の開発というよりは膜モジュールの構造の改良を主としたものであった。まだ萌芽期にあった逆浸透法に対する顧客の信頼を得るためには、逆浸透膜モジュールの構造を改良し

¹⁴ 『日経産業新聞』（1982年6月10日、p.7）なお、この頃における日東電工の膜関係の売上高は6億円程度とされる（『日経産業新聞』1982年10月1日、p.15）から、東洋紡における膜事業の売上高5億円は、低すぎたわけでも高すぎたわけでもないものと思われる。

¹⁵ 2014年現在、アクア膜事業部長。

¹⁶ 『日本経済新聞』（1984年3月2日、p.10）

て安定性を確保することが喫緊の課題となっていたからである。

大型案件を受注したとはいえ、これだけで安定的な生産量が保証されたわけではなかった。いったん大量のモジュールを供給してしまえば、次の交換時期までは需要がない。だから、工場の安定稼働を可能にするような別の事業が求められた。そこで、海外では大型プロジェクトを狙い、国内では工業用の純水製造向けの市場にも目を向けていた。こうした用途市場の比重について、藤原は次のように振り返っている。

海外についてはほぼ海水淡水化に絞っていましたが、日本では純水を製造するところの市場がまだ大きかったので、両方（を見据えて）やってみました。海外の海水淡水化はプロジェクトですから日銭を稼ぐ商売ではないので、一発当たれば結構あるというかたちで。それだけではなかなか事業として成り立たないので、国内、身近にあるところもやらなければならないと。意識としてのウエイトは海水淡水化にあったけれども、やはり事業として日銭を稼ぐところの開発として純水があったので。ウエイトとしては半々ですね¹⁷。

事実、ハックル・デュバ向けの生産が終わると、1985年から1986年にかけて逆浸透膜モジュールの生産活動は一気に縮小した。そうした中で湧き上がってきた需要が、半導体製造用の超純水を造るためのRO膜需要であった。

5.3 半導体用超純水市場への対応

1980年代は半導体市場が急速に拡大した時代である。産業のコメと言われた半導体は、数多くの新たな電子機器を生み出し、それらの性能を格段に向上させた。そうした革新を支えていたのが、半導体の加速度的な微細化の進展である。そして半導体の微細化は、半導体製造プロセスに対して、ますますクリーンな環境を求めるようになり、そこで用いられる水に対しても、有機物や微粒子を限りなく取り除いた超純水を求めるようになった。

従来、半導体向けの純水は、イオン交換樹脂を用いて製造されていたが、有機物など一部の不純物の除去ができないという問題があった。半導体製造用の純水にさらなる純度が求められる中で、イオン交換装置に対してRO膜装置が注目されるようになった。

こうした状況をとらえて、東レや日東電工は、半導体用超純水市場にいち早くRO

¹⁷ 前掲、藤原氏へのインタビューより。

膜を投入した。海水淡水化市場がまだ事業を成り立たせるほど拡大していなかったことから、半導体用超純水市場の勃興は RO 膜メーカーにとって神風のような恵みであった。そこで東洋紡も、東レや日東電工に並び、半導体用超純水市場での事業展開を狙った。

しかし、半導体用超純水市場では、東洋紡の三酢酸セルロース中空糸膜の優位性が活きなかった。そこでは、低圧運転下での高い脱塩率とフラックスが要求されたからである。三酢酸セルロース中空糸膜には、稼働させる圧力を下げると脱塩率が大きく低下するという原理的な問題があった。低圧での高い脱塩率を実現するという点では、ポリアミド系複合膜に対応することができなかった。それゆえ市場は、東レや日東電工などポリアミド系の複合膜を供給する企業が支配するようになっていった。

東洋紡も指をくわえて見ているだけではなかった。他社には遅れたものの、1991 年秋、開発陣が別に開発していたポリアミド系の中空糸膜を半導体用超純水市場に投入し始めた。開発者達が新開発した膜とは、高い塩除去率と耐圧性の双方を両立させながらも耐塩素性も備えた RO 膜であり、その耐塩素性は他社のポリアミド系平膜より 6 倍も高いと報じられた¹⁸。三酢酸セルロース系中空糸膜で事業展開する一方、東洋紡も他社と同様に、ポリアミド系の合成膜開発に乗り出していたのだ。ポリアミド系の新しい膜の開発は、当初、海水淡水化向けを念頭に開発されていた。三酢酸セルロース系の中空糸膜では限界がある透水性能や脱塩性能を向上させるためであった。しかし当初の計画ほどには性能が上がらなかったことから、それを、急激に拡大していた半導体用超純水市場に導入することにした。

ところが、新開発したポリアミド系中空糸膜でも、低圧運転下では脱塩率が低いという問題が残った。半導体用超純水市場では、脱塩率以上に、低コストで大量の超純水を製造することが求められた。そのためには、低圧、つまり少ない電力で高い透水量を得ることが求められていた。この点において、東洋紡の新膜は、東レや日東電工の逆浸透膜モジュールに太刀打ちできなかった。結果として、東洋紡は、半導体用超純水市場での事業縮小を余儀なくされた。

この経験が、東洋紡を、再び三酢酸セルロース中空糸膜に集中させることになった。半導体用超純水市場向けビジネスが自然と低調になるにしたがい、開発者達は、三酢酸セルロース中空糸膜の強みを活かせる海水淡水化市場をターゲットにすべきだとの結論に至った。こうして東洋紡は、海外における海水淡水化市場に集中特化していくこととなった。以降、東洋紡は、エンジニアリング・メーカーに対して、三酢酸セルロース中空糸膜が備える耐塩素性の強さを強く訴え、その優位性を説き、熱心な営業活動を重

¹⁸ 『日経産業新聞』（1991 年 6 月 5 日、p. 22）

ねていった。

6. 中東の海水淡水化市場への集中特化

6.1 ジェッダでの受注とトラブル対応

1986年、彼らの熱心な営業活動が実を結んだ。サウジアラビアのマッカ州ジェッダ市近郊で建設される海水淡水化施設を受注した三菱重工が、東洋紡の逆浸透膜モジュールを採用することを決めたのだ。建設された海水淡水化施設は、ジェッダ I フェーズ 1 と呼ばれ、日産造水量 56,800m³にも達する当時世界最大規模の施設であった。このとき東洋紡は、RO 膜を改質するとともに、モジュールサイズを 10 インチに拡大して透水量を高めるようにして、合計で 1480 本のモジュールを同施設に納入した。1 モジュールあたり 2 本の膜エレメントが入っているので、合わせて 2960 エレメントが納入された計算になる。三菱重工の受注金額は約 60 億円で、このうち逆浸透膜モジュールは約 15 億円を占めると報じられた¹⁹。

しかし、ここで思わぬトラブルに見舞われることになる。1989年に納入した膜モジュールは、海水淡水化設備が稼働し始めた後 1 年間は十分な脱塩性能を発揮していた。しかし、1 年半が経った頃から脱塩性能が予想を上回って悪化し始め、2 年が経つと明らかにおかしいことが判明した。予想だにできなかった事態に直面した東洋紡は 1991 年 11 月、およそ 20 名を投入して三菱重工とともに緊急対策チームを結成し、問題の把握と解決策の考案に取り組むこととなった。

問題は塩素による殺菌処理にあった。東洋紡は、日本の場合と同様に、逆浸透膜モジュールを塩素殺菌して殺菌処理していた。ところがジェッダ付近の紅海中には Cu や Co といった重金属がより濃く溶け込んでおり、それが触媒作用を引き起こして三酢酸セルロースの主鎖を酸化切断してしまっていた。その結果、図表 7 の上部に見られるように、逆浸透膜の脱塩性能が著しく悪化してしまったのだ。そこで、東洋紡は、殺菌時に亜硫酸ナトリウムを間欠的に注入して塩素を還元させることで、8 時間に 1 時間の間隔で塩素を逆浸透膜に通して運転するという対策を立てた。間欠塩素注入法と呼ばれるこの解決策は功を奏し、問題は、図表 7 の中部に見られるように改善に向かった。

このトラブルは、対策チームを組織してから半年ほどたった 1992 年 5 月に解決された。サウジアラビア淡水化公団 (SWCC) の担当者も責任が強く問われるような深刻な

¹⁹ 『日経産業新聞』(1987 年 1 月 20 日、p. 17)

事態を半年という短期間で解決したということは、SWCC からの高い信頼の獲得につながった。この点に関して藤原は以下のように述べている。

...このトラブルを 1991 年 11 月から 1992 年 5 月にかけて解決したというのが重要なイベントだったことは間違いないですね。このプラントのオーナーはサウジ政府です。サウジ政府の信頼を得たというか、トラブルを短期間で解決したというところで信頼を得た。これは、技術的な点以外で、サウジで私たちが強くなった原因ですね²⁰。

得られた信頼の影響もあってか、1992 年に東洋紡は、ジェッダ 1 フェーズⅡと呼ばれる海水淡水化施設向けの逆浸透膜モジュールの受注に成功した²¹。さらに 1993 年には、サウジアラビアの工業都市メジナ・ヤンプにおける大規模海水淡水化施設（日産水量 128,000m³）への膜モジュール約 3,300 本も受注した。これも三菱重工が受注した施設への納入であった。これらの受注にともない東洋紡は、5 億円を投じて岩国工場の生産能力を 5 割引き上げ、月産 300 本体制を敷いた²²。

メジナ・ヤンプへの納入により、SWCC の逆浸透法による造水能力に占める東洋紡の RO 膜モジュールの割合は 60%に達することとなった²³。ここからも、同社と SWCC との信頼関係をうかがい知ることができる。

中東市場に深く入り込んでいくにつれて、デュポン製の膜モジュールの性能不備に顧客が不満を抱えていることが明らかになってきた。デュポン製の膜モジュールは、ポリアミド系中空糸膜であったことから耐塩素性が低い上に、膜エレメントが十分に封止されていなかったために漏水するという問題を引き起こしていた。さらに微生物が増殖するという問題もあった。こうした問題を把握した東洋紡は、1995 年、デュポン製膜モジュールの置き換えを狙った膜モジュールの開発に着手した。デュポンが顧客に提示していた性能を満たしつつ、モジュールの形状も合わせるように開発は進められた。

こうしてデュポン製の置き換えを狙った膜モジュールが完成した 1999 年、デュポンは逆浸透膜市場そのものから撤退した。これは東洋紡にとっては追い風であった。中空糸膜モジュールは東洋紡しか供給していなかったため、デュポン製の膜モジュールの交換需要を東洋紡は獲得することができた。

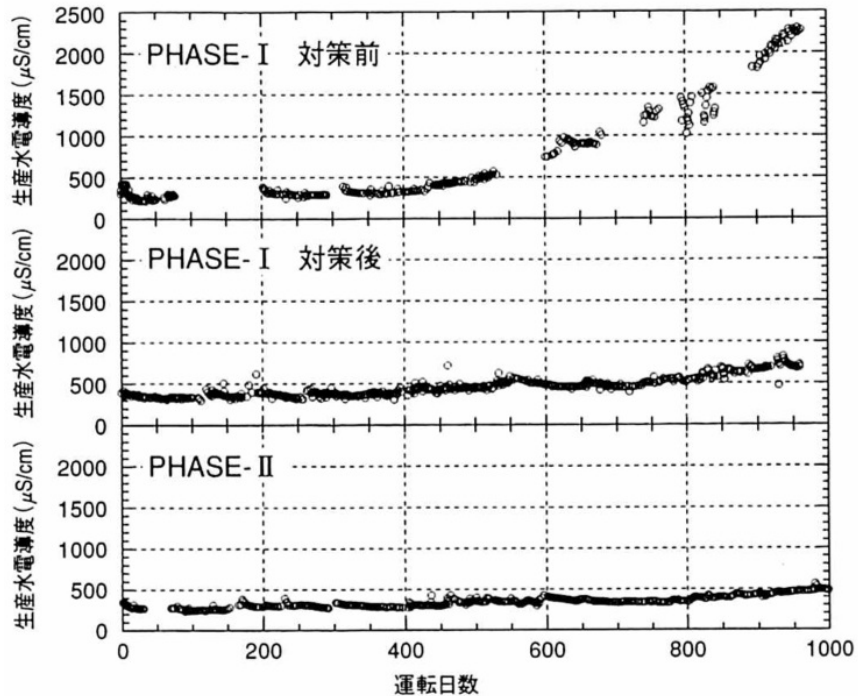
²⁰ 前掲、藤原氏へのインタビューより

²¹ フェーズⅡにおいて脱塩性能が高く維持されたことは、図表 7 の下部に示される通りである。

²² 『日経産業新聞』1993 年 6 月 21 日、p. 21

²³ 『日本経済新聞』1993 年 6 月 7 日、p. 11

図表7：ジェッタにおけるトラブルと解決策



出所：永井（2010）p. 129

ただ、1990年代を振り返ってみると、必ずしも順風満帆というわけではなかった。メジナ・ヤンプの海水淡水化施設の稼働は、サウジアラビア政府が財政的に苦しかったということもあり、1998年まで塩漬けされた。さらに、間欠法による塩素殺菌対策が功を奏して膜モジュールの寿命が予想以上に延びたため、交換需要が減少してしまった。これら2つの事情から、1990年代における東洋紡の逆浸透膜事業は非常に苦しい状態におかれていた。1998年に単年で黒字化はしたものの、それは事業部側の人数を3名程度にまで絞り込んで人件費を圧縮した結果であった。

6.2 2000年代における拡大

東洋紡社内で逆浸透膜事業への注目が高まったのは、福岡の海水淡水化施設への逆浸透膜モジュールの納入が決まった2000年5月のことであった。長年にわたって水不足に悩んでいた福岡は、1994年に大湯水に見舞われたのを機に、福岡都市圏での海水淡水化施設の導入を検討し始めた。1995年には「福岡県、福岡都市圏海水淡水化導入研究会」が設置され、その後、導入検討委員会、検討準備委員会、施設検討委員会などでの議論を経て、1999年7月には、プラント施設および取水施設の提案公募が出され

た。

この公募の結果、東洋紡の中空糸膜モジュールを使ったプラント提案が採択され、東洋紡は 10 インチの中空糸膜エレメント 2,000 本を納入することになった。ただし、東洋紡の一段法ではホウ素などの不純物の除去に不安が残るということで、後処理用として日東電工の RO 膜エレメント 1,000 本が導入された。一方、前処理用としては、同じく日東電工のポリアミド系の UF 膜エレメント 3,060 本が導入された。この福岡の海水淡水化施設の建設は 2001 年に着工し、2005 年 3 月に竣工、2005 年 6 月からは水の供給を開始した。

こうした国内市場の開拓とともに、2000 年代には中東での海水淡水化施設からの受注も進んだ。その様子は、同社の納入実績を示した図表 8 に示されている。1990 年代に稼働した海水淡水化施設からの膜交換需要も 2000 年代に入ると顕在化し始めた。ここに至り、東洋紡の逆浸透膜事業は軌道に乗ったといえる。同事業が累積赤字を解消したのは 2004 年のことである。翌 2005 年から 2006 年にかけて、岩国工場の生産能力は 1.5 倍に拡大された²⁴。2012 年には、サウジアラビアに 7 億円を投じて建設した逆浸透膜工場が稼働し始めた。

7. おわりに：東洋紡の競争優位

東洋紡の競争優位の源泉としては、中東における現地政府との信頼関係の他、中空糸膜の独占供給体制、それに、顧客にとってのトータルな造水コストの低減能力を指摘することができる。

市場の主流はポリアミド系平膜型の RO 膜である。平膜型の RO 膜市場ではエレメントの形状が標準化され、メーカー間での互換性が保たれていることから、熾烈な価格競争となる傾向にある。たとえ新規プラント向けに膜モジュールを受注できたとしても、将来的に交換需要の獲得が保証されているわけではない。交換需要が発生するときには、再び入札にかけられ、膜メーカー間での熾烈な価格競争が展開される。ポリアミド系複合膜の脱塩性能は各社とも十分高いレベルにあるため、顧客は性能よりも価格で選ぶ傾向にある。その結果、市場は広がっても、採算的には必ずしも良い事業にはなりにくい。

一方の、中空糸型 RO 膜市場は、デュポンの撤退以降、東洋紡による一社供給となっている。したがって、新規に受注さえできれば、その後の交換需要は全て手に収めることができる。競合の脅威にさらされることはない。となると自ずと価格は高止まりし、

²⁴ 『日本経済新聞』（2005 年 11 月 29 日、p. 13）では、月産 20t から 30t に拡大すると報じられた。

事業の収益性は向上する。

もちろん顧客のそうした状況を簡単に許すとは思えない。顧客からすれば、平膜型と中空糸型のどちらを選ぶかは、大きな意思決定である。両者では膜モジュールの形や大きさが異なるため、施設の周辺設備も含めて更新しない限り、相互に乗り換えることはできない。だから、合理的な顧客であれば、交換需要を独占される東洋紡の中空糸膜を避けそうなものである。事実、東洋紡では新規の受注が大きな課題になっている。

しかし、必ずしもそうとは限らない。中空糸膜を使用する顧客の造水コストという視点からみると、東洋紡の中空糸膜を使うことが必ずしも不利に働くとは限らないからである。これがもう1つの競争優位の源泉となりうる。

三酢酸セルロースが備える耐塩素性の高さに起因する洗浄のしやすさは、次の二つの点から造水コストを抑制する方向に働く。第一に、東洋紡の中空糸膜なら、耐塩素性が高いので、殺菌用に汎用的な塩素を用いることができる。一方、ポリアミド複合膜は耐塩素性が低いため、殺菌や洗浄に特殊な薬品を使う必要があり、薬品代がかさんでしまう。第二に、東洋紡の中空糸膜は、うまく編み込まれているために汚れにくく、かつ簡単に洗浄できることから、洗浄のために施設の稼働を止めるダウンタイムを短くできる。この結果、膜モジュールの価格は高くても、顧客にとってのトータルなコストは、必ずしも高くない。この点に関して藤原は次のように指摘している。

海水淡水化プラントでは、水がいくらで造れるかが勝負になります。たとえば、他社さんの場合、洗浄するのに結構時間がかかるとか、何回も洗浄しないといけないとか、そのへんで実際のプラントで比較すると、膜としては私たちのものは高いけれども、水を造るコストは低いということになります。というのも、プラントの建設費で膜が占めているのは7%とかそんなものですから。そこがたとえ高かったとしても、プラント建設コスト自体にそれほどインパクトがなくて。膜の洗浄コストとかダウンタイムとか膜の寿命を考えると、うちの膜を使った方が安い。膜の単体の比較ではなくて、水を造るコストがどうかというところは、エンドユーザーがちゃんと計算して見られますので²⁵。

²⁵ 筆者による藤原氏へのインタビューより（2013年11月15日、東洋紡本社にて）。

図表 8：大型海水淡水化プラントへの納入実績

プラント(国名)	プラント規模	稼動開始年
ラスアルカイル(サウジアラビア)	345,000 m ³ /day	2014
ジェッダ RO3(サウジアラビア)	260,000 m ³ /day	2013
シュケイク-II(サウジアラビア)	240,000 m ³ /day	2010
ラービグ(サウジアラビア)	218,000 m ³ /day	2008
ヤンブー(サウジアラビア)	128,000 m ³ /day	1998
ラービグ2(サウジアラビア)	109,000 m ³ /day	2014
ジュベイル(サウジアラビア)	85,000 m ³ /day	2007
ジェッダ RO1(サウジアラビア)	56,800 m ³ /day	1989
ジェッダ RO2(サウジアラビア)	56,800 m ³ /day	1994
マラフィック・ヤンブー(サウジアラビア)	50,400 m ³ /day	2005
福岡(日本)	50,000 m ³ /day	2005
アデュール(バーレーン)	45,500 m ³ /day	2005
マニファ(サウジアラビア)	27,000 m ³ /day	2012
フロリダ(米国)	11,400 m ³ /day	2005
タンジュン・ジャティ B(インドネシア)	10,800 m ³ /day	2005

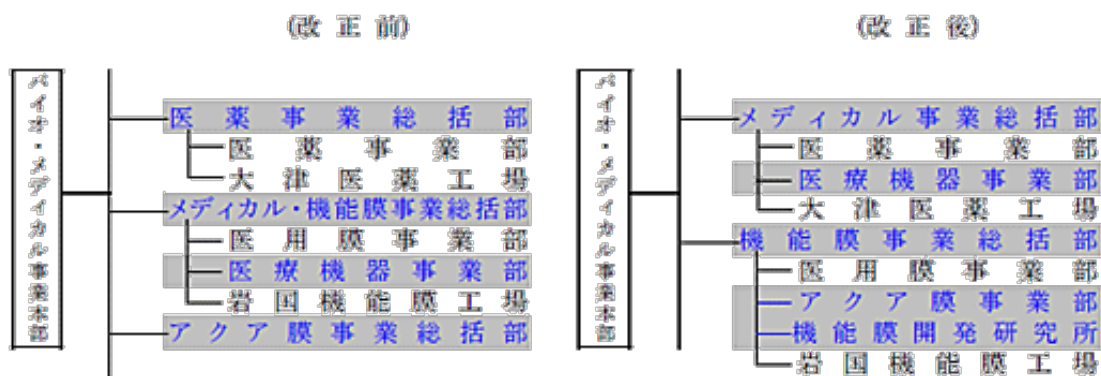
出所：http://www.toyobo.co.jp/news/2012/release_2963.htmlをもとに作成。

東洋紡は、中東地域での事業展開に集中特化してきたこれまでの市場戦略を今後も継続する計画のようだ。中東での納入実績はたしかに積み重なってきた。しかし、中東の大型海水淡水化施設のすべてが逆浸透法を採用しているわけではなく、まだ、蒸発法を採用している多くの施設がある。中東各国が、いまだに蒸発法を採用するのは、造水の安定性という点で、逆浸透法の信頼性がいまだ低いと考えられているからである。そこで東洋紡は、安定操業を第一として事業展開を行い、さらなる競争優位構築に向けた取り組みを進めている。

補遺 1：逆浸透膜事業をめぐる組織改変の歴史

- 1983年 機能膜事業部 新設（5月）
- 1987年 AC事業部と統合
- 2000年 機能膜事業部発足（ROと透析膜が統合）
- 2003年 バイオ・メディカル事業本部メディカル・機能膜事業総括部に医用膜事業部、アクア膜事業部、機能膜工場を設置。
- 2004年 バイオ・メディカル事業本部メディカル・機能膜事業総括部からアクア膜事業部を独立し、アクア膜事業総括部に昇格。
- 2008年 アクア膜事業総括部をアクア膜事業部とし、機能膜事業総括部に位置づけ。

（組織改正日：2008年7月1日）



- * 「アクア膜事業総括部」を「アクア膜事業部」とし「機能膜事業総括部」に位置付け。
機能膜事業の基本技術ベースを共有している医用膜事業とアクア膜事業を同一事業総括部の下に組織し、開発効率を向上させる。
- * 「医療機器事業部」を「メディカル事業総括部」に移管。
- * 事業本部直轄の「機能膜開発センター」を部レベルの「機能膜開発研究所」とし、「機能膜事業総括部」に位置付け。

出所：『日経産業新聞』（2003年3月28日、p. 27：2004年7月1日、p. 21）、
http://www.toyobo.co.jp/news/2008/release_1050.html

補遺 2 : 各膜分離分野における膜タイプの分類 (中空糸膜、平膜)

下の表は、各膜分離分野における膜タイプをそれぞれ分類した表である。膜分離全体を眺めると中空糸膜が主流を占めているのに対し、かん水の淡水化や海水淡水化に活用される RO 膜や NF 膜に関しては、例外的に平膜が主流を占めていることがわかる。

分野	中空糸膜	平膜	
		スパイラル	その他
水処理RO/NF	・東洋紡	<ul style="list-style-type: none"> ・東レ ・日東電工 (Hydranautics) ・Dow(FilmTec) ・Koch ・Desalination 	・GKSS
水処理UF/MF	<ul style="list-style-type: none"> ・旭化成 ・三菱レイヨン ・クラレ ・ダイセル(ダイセン) ・東レ ・東洋紡 ・アクアソース ・GE(Zenon) ・Norit ・他 	<ul style="list-style-type: none"> ・日東電工 (Hydranautics) ・Koch 	<ul style="list-style-type: none"> ・クボタ ・日立
ガス分離膜	<ul style="list-style-type: none"> ・宇部興産 ・Cameron ・Air Liquide ・Air Products ・EVONIK 	<ul style="list-style-type: none"> ・UOP ・MTR 	・GKSS
透析膜	<ul style="list-style-type: none"> ・旭化成メディカル ・Fresenius ・東レ ・ニプロ ・川澄化学 ・日機装 		Gambro

出所：東洋紡提供資料。

<参考文献>

- 富士経済 (2010) 『高機能分離膜/フィルター関連技術・市場の全貌と将来予測 2010』。
- 熊野淳夫 (2000) 「中空糸型逆浸透膜による海水淡水化技術」『繊維学会誌』第 56 巻第 2 号、pp. 7-11。
- 熊野淳夫 (2007) 「中東地域での海水淡水化 RO プラントの運転状況」ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム 2007、発表資料。
- 國吉長和 (2007) 「沖縄県企業局海水淡水化施設の運転状況」『造水技術』 pp. 35-39。
- 膜分離技術振興協会・膜浄水委員会 (監修)・浄水膜 (第 2 版) 編集委員会 (編) (2008) 『浄水膜 (第 2 版)』技報堂出版。
- 永井正彦 (2010) 「第 4 章 膜を用いる海水淡水化システムの現状と今後の展開」渡辺義公・中尾真一編『膜を用いた水処理技術』 pp. 119-138。
- 関野政昭・藤原信也 (1999) 「中空糸型逆浸透モジュールによる高圧高回収率海水淡水化技術」『日本海水学会誌』第 53 巻、第 6 号、pp. 439-444。
- 関野政昭・熊野淳夫・藤原信也 (2006) 「拡大する海水淡水化膜技術」『日本海水学会誌』第 60 巻、第 6 号、pp. 408-414。
- 鵜飼哲雄・二村保雄・松井宏仁 (1980) 「逆浸透法の最近の動向」『燃料乃燃焼』第 47 巻、第 11 号、pp. 1-16。
- 鵜飼哲雄・矢永洋一郎 (1994) 「逆浸透膜法による海水淡水化技術」『化学工学』58 巻 1 号、pp. 20-23。