



## 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



日東電工株式会社  
逆浸透膜の開発と用途開拓

2014年10月<sup>1</sup>

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

---

<sup>1</sup> 本ケースの作成にあたって、以下の方々から多大なるご協力を頂いた。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、タイトル等は取材当時のもの）。ケースの内容に関する責任は全て筆者にある。

日東電工株式会社

池田健一氏（公益財団法人地球環境産業技術研究機構 化学研究グループ 主任研究員）

神山義康氏（元・取締役 専務執行役員 経営統括本部長）

中込敬祐氏（元・滋賀事業所長）

山本英樹氏（元・会長）

吉岡範明氏（経営統括部門経営戦略統括部 経営企画部）

なお、本調査の一部は、科学研究費補助金（研究課題番号：24243046）の助成を受けて行われた。

## 目次

- 1 はじめに
- 2 RO 膜の技術と市場の概要
- 3 初期の開発と事業化
  - 3.1 開発のきっかけ
  - 3.2 多様な膜開発
  - 3.3 トップによる支持と事業化努力
- 4 超純水市場への展開
  - 4.1 超純水需要をめぐる攻防
  - 4.2 Hydranautics 買収
  - 4.3 NTR-759
  - 4.4 低圧化という切り口 : ES-10
- 5 海水淡水化への道
  - 5.1 沖縄と福岡
  - 5.2 海外展開
- 6 おわりに

## 1. はじめに

新興諸国における人口の増大と経済発展に伴って世界規模で水不足が深刻化している。2030年には世界人口の47%が水不足の厳しい地域に暮らし、50億人を超える人々が公共下水設備のない環境にいる可能性があると言われている（UNESCO, 2009）。こうした深刻な状況を克服する手段として期待されているのが逆浸透膜（Reverse Osmosis、以下RO膜）である。RO膜は、逆浸透現象を用いて水から不純物を分離するための膜であり、世界の水の98%を占める海水を淡水にできる技術として、1950年代、水不足に悩むカリフォルニアを中心として開発が始められた。その後、1960年代に入ると、General AtomicやDuPontといった米国企業が量産品の開発に成功して、市場導入を果たした。こうした米国の動きにやや遅れて、1960年代後半以降、日本でも繊維企業や化学企業がRO膜の開発を始めた。

日本においてRO膜は、世界の水不足に貢献する環境技術として重視されているだけでなく、国の成長戦略を担う重要な製品としても注目されている。それは、世界の水需要が拡大する中、この市場で日本企業が一貫して高い競争力を示してきたからである。現在、世界のRO膜市場は、ダウ・ケミカル、日東電工、東レのトップ3社が支配している。日東電工と東レに東洋紡を加えると、この市場における日本企業のシェアは6割前後に達する。

これら日本企業のうち、開発の歴史的な流れという点で、日東電工は極めて特徴的であり興味深い。RO膜といえば、通常、われわれは海水淡水化用途を思い浮かべる。確かに、RO膜技術は、海水淡水化の実現を目標として発展してきたと言える。しかし、日東電工にとって海水淡水化は、視野には入っていたものの、明示的な初期目標ではなかったし、開発の歴史の中で中心的な位置を占めてきたわけでもなかった。日東電工は、新規事業として分離膜事業を始め、「膜のデパート」と謳い、多種多様な分離膜を扱っていた。その一環としてRO膜の開発が行われたのである。

したがって、RO膜のみに注目すると日東電工における分離膜事業の歴史を適切に読み解くことはできない。本稿では、主としてRO膜の開発過程に焦点をあてるが、RO膜は日東電工が手がけてきた数多くの分離膜の一つであり、さらに、海水淡水化はそのRO膜の応用先の一つ、という点を念頭におく必要がある。

日東電工とRO膜との最初の接点は、神戸製鋼から圧力容器の部品生産を依頼されたことである。その後、神戸製鋼がRO膜事業から撤退する際に事業移管を受け、RO膜そのものの生産にも着手することになった。日東電工が当初狙った用途先は、海水淡水化向けではなかった。事業移管を受けて生産した酢酸セルロース系管状型RO膜の最初の応用先は、北海道の馬鈴薯デンプン工場における廃液処理であった。その後は東レのRO膜とともに、茅ヶ崎での海水淡水化実証試験にも用いられたが、容積効率の悪さから早々に脱落してし

まった<sup>2</sup>。

そこで日東電工は、RO 膜のみならず「分離膜」全般を視野に入れて、ナノ濾過膜 (Nano Filtration、以下 NF 膜)、限外濾過膜 (Ultra Filtration、以下 UF 膜)、精密濾過膜 (Micro Filtration、以下 MF 膜)、気体分離膜など幅広く開発を進め、食品、電着塗装、用排水処理 (かん水脱塩、工場排水、中水、し尿処理など)、工業での分離プロセスなどへ、中小型装置と併せて展開することにした<sup>3</sup>。その後、日本の半導体産業が大きく成長する 1980 年代には、半導体向けの純水、超純水へと応用範囲を拡大した。

日東電工にとって海水淡水化市場が明確に視野に入ってくるのは、1987 年に米国 Hydranautics を買収した後のことであり、その本格的な事業展開は、市場が拡大する 2000 年代に入ってからだといえる。このように必ずしも海水淡水化に照準を絞って開発を行ってきたわけではないが、同社は現在、海水淡水化を中心とした市場で、トップを争う存在となっている。「Nitto グループレポート」は、日東電工における膜事業の売上高が、165 億円 (2011 年度)、186 億円 (2012 年度)、そして 203 億円 (2013 年度) へと拡大していることを報告している。

以下では、多様な用途開発を経て、RO 膜市場で高い競争力を獲得するようになった日東電工における RO 膜技術の開発と事業化の経緯を記述する。まずは、RO 膜の技術と市場の概要を整理することから始めよう。

## 2. RO 膜の技術と市場の概要

図表 1 に示されるように、RO 膜の技術は、膜の素材/構造、形状によって大きく 6 つの領域に分類できる。

第一に、膜素材の内部構造の違いによって RO 膜は非対称膜と複合膜の 2 つに分けられる。一般に RO 膜は、不純物を取り除くための緻密層と、膜の強度を保つための支持層の 2 つの層からなっている。この緻密層と支持層に同じ素材が用いられる場合、その構造が膜の厚み方向に沿って非対称となっているため、非対称膜と呼ばれる。非対称膜の代表が酢酸セルロース膜である。

一方、緻密層と支持層をそれぞれ異なる素材で作るものを複合膜と呼ぶ。支持層の表面に様々な方法で薄い緻密層を形成することによって複合膜はつくられる。複合膜にはこれ

---

<sup>2</sup> 国定 (1981) p. 84 の記述より。

<sup>3</sup> 分離膜とは、液体または気体中の成分を選択的に分ける操作に用いられる膜のことを指す。圧力差を駆動源とする液体分離膜には逆浸透、ナノろ過、限外ろ過、精密ろ過膜がある。逆浸透、ナノろ過、限外ろ過膜は、濃度差を駆動源とする透析膜としても用いられる。

まで様々な素材が試されてきたが、現在は、ポリスルホン UF 膜を支持層として、その膜面上に界面重縮合によってポリアミドの緻密層を形成したポリアミド系複合膜が主流となっている。膜素材という点からすると、現在の RO 膜は、酢酸セルロース系の非対称膜とポリアミド系の複合膜の 2 つに大きく分類することができる。

図表 1：RO 膜の技術領域と各社の開発の推移

膜構造と素材 形状	非対称膜		複合膜	
	酢酸セルロース系	ポリアミド系		
管状型 (チューブラー型)	日東電工			
平膜型 (スパイラル型)	東レ		デュポン	日東電工 東レ ダウ・ケミカル
中空糸型 (ホローファイバー型)	ダウ・ケミカル 東洋紡	デュポン 東洋紡 x		

↓  
撤退

出所：取材に基づき筆者作成。

注：本稿で登場する Hydranautics は、酢酸セルロース系平膜型に定評があった。

第二に、その製品形状に応じて、RO 膜は平膜型、中空糸型、そして管状型に分けられる。平膜型は、平たいシート状の膜を作り、それをパイプに巻きつけ、スパイラル型エレメントに組み立てられる。中空糸型は、中心が空洞の細い糸状の膜である。管状型は、中空糸型と似た形状であるが、内径が 10mm 程度と大きいチューブ状である。

まず、膜素材の特徴から簡単に記述していこう。RO 膜として最初に市場化されたのは酢酸セルロース系 RO 膜である。酢酸セルロースは汎用素材として市場から調達できるという利点があった。しかし、原料が天然の綿などであり、品質を一定に保つことや、素材の改良による性能向上や差別化が難しい。特に高い透過流束が要求される平膜型では、塩阻止率を高めるうえで限界があった。一方の複合膜は、組み合わせる素材の工夫によって多様な合成の可能性があるし、性能向上と差別化の余地が大きい。それゆえ、複合膜の改良が進み、塩阻止率や造水量などの膜性能が向上するにしたがって、市場の主流は酢酸セルロース系非対称膜から複合膜に置き換わっていった。現在、日東電工を含む世界シェアの上

位 3 社の海水淡水化向け RO 膜は、全てポリアミド系複合膜である。

ポリアミド系複合膜にも弱点はある。最も深刻な問題は耐塩素性が低いことである。RO 膜には、使用に伴って、微生物を含むスライムが付着する<sup>4</sup>。分離濾過性能を維持するためには、それらの主原因となる微生物を定期的に殺菌、洗浄する必要がある。水道水の殺菌と同様に、塩素を殺菌に使うことが効果的で低コストなのだが、ポリアミド系複合膜にはその分子構造ゆえに塩素と反応して劣化するという原理的な弱点がある。そのため塩素殺菌回数に限度があるので微生物が増殖しやすく、定期的に設備を停止して薬品による洗浄を行わなければならない<sup>5</sup>。洗浄のために設備を止める分だけ、生産性が低下して、造水コストが高まる恐れがある。近年の RO 膜開発で、RO 膜を汚れにくくする、つまりファウリング防止がさかんに取り上げられるのは、こうした事情によっている<sup>6</sup>。

次に、膜形状の特徴について記そう。平膜型の長所は、中空糸型に比べて、膜面積あたりの造水効率が高いことである。また、シート状であるため製造しやすく、自動化による生産性の向上が期待できることも平膜型の利点である。それに比べると、細い糸の中に均一に空洞を形成しなければならない中空糸型の製造は難しいと言われている。

平膜を使ったスパイラル型の短所は、供給水や透過水を流すための流路材が必要になるため、モジュール内の容積効率が下がる点にある。中空糸型の場合には、流路材を入れる必要がないため、モジュール内に多くの膜を詰め込める。つまり、同じ容積であれば、中空糸型の方がより多くの表面積が得られるという意味で、容積効率が高い。そのため中空糸型は、面積あたりの水の透過流束 (flux) は低いものの、その膜モジュール容積あたりの造水性能は、平膜型と同等程度だと言われている。

管状型は、懸濁質の多い液の処理に適している。ただ、スパイラル型や中空糸型に比べると、膜モジュール容積あたりの造水性能が大きく劣っている。それゆえ、高い造水性能が求められる海水淡水化用途に用いられることはない。

図表 1 に示されるように、RO 膜の主要メーカー各社は、それぞれ異なる技術領域から事業をスタートしている。後述するように、日東電工は、酢酸セルロース系管状型で事業を始めた。東レは酢酸セルロース系平膜型で、そして、ダウ・ケミカルと東洋紡は酢酸セルロース系中空糸型で最初の事業化を果たしている。また、かつて市場で大きな地位を占めていたデュポンは、ポリアミド系中空糸型の非対称膜から事業を始動させていた。

<sup>4</sup> スライムとは、バクテリア等の微生物、藻類やその分泌物、死骸などに土砂など鉱物質粒子などが混じり粘性のある泥状の塊のことを指す。

<sup>5</sup> 加えて、ポリアミド系 RO 膜においては、造水の前処理として行われる供給水の塩素殺菌後に塩素を除去しなければならない。それが RO 膜モジュール内での雑菌増殖をいっそう抑制しづらい状況にしている。

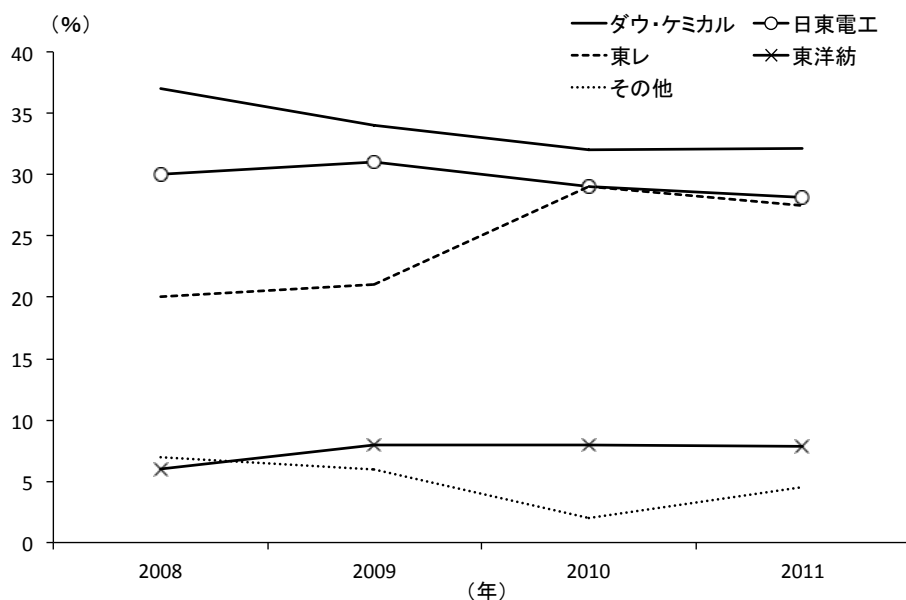
<sup>6</sup> 事実、筆者らが参加した化学工学会の RO 膜発表セッション (2013 年 9 月 17 日、岡山大学) では、ポリアミド系素材を採用する膜各社の多くが低ファウリングに関する発表を行っていた。



このように出発点は異なるけれども、今日に至る過程で、東洋紡を除く全社がポリアミド系平膜型に収斂している。日東電工も例外ではない。その一つの理由は、ポリアミド系平膜型の造水性能の向上にある。それに加えて、スパイラル型エレメントが互換性のある標準サイズになっていることから、エレメントの交換時にも複社購買できるため、顧客である装置企業やプラントエンジニアリング企業の支持が集まりやすいという要因も働いている。東洋紡だけが酢酸セルロース系中空糸型に特化しているが、同社は耐塩素性の高さが活きるサウジアラビアなど特定地域に絞って事業を展開している（藤原・青島、2014）。

図表 2 は、RO 膜の世界市場シェアを示している。ダウ・ケミカル、日東電工、東レの三社が高いシェアを獲得していることが分かる<sup>7</sup>。データの出所によって、ダウ・ケミカル、日東電工、東レの順位は入れ替わるので、図表 2 のデータだけで企業間の序列を決めることは適切とは言えない。なお、上位三社の集中度が高い寡占状態は企業間競争を緩やかにするように思えるが、実情はそうでもない。顧客企業は、競争入札や複社購買を通じて、常に膜メーカーに価格低下圧力をかけている。上述した通り、スパイラル型エレメントは互換性があるため、異なるブランド間での乗り換えが比較的容易に可能である。そのことが熾烈な競争を招いていると考えられる。

図表 2 : RO 膜市場のシェア推移



出所：日経産業新聞編『日経市場占有率2011年版』『日経シェア調査』各年版より筆者一部推計。

<sup>7</sup> 一方、UF 膜市場における主たる競争相手は旭化成である。

### 3. 初期の開発と事業化

#### 3.1 開発のきっかけ

日東電工がRO膜の世界に触れたのは、RO膜を格納する圧力容器に用いる部品の供給を神戸製鋼から持ちかけられ、その生産を始めた1960年代のことである。当時、神戸製鋼は、管状型のRO膜モジュールを事業化していた。その圧力容器の部品生産を、日東電工の亀山事業所が供給することになった。しかし、水処理膜事業は神戸製鋼の中核事業ではなかったため、やがて、RO膜そのものの生産も日東電工側に要請されるようになった。こうして日東電工は、RO膜の周辺事業から中核領域へと足を踏み入れた。RO膜の研究が社内で正式に始まったのは1973年のことである<sup>8</sup>。

当時主流だったRO膜は、ポリアミド系の複合膜ではなく、酢酸セルロース系の非対称膜であった。日東電工は、神戸製鋼に対して特許のライセンス料を払い、酢酸セルロース系管状型RO膜モジュールの生産を始めた。このRO膜モジュールは、1976年、北海道において馬鈴薯のデンプン廃液の処理用途として900本納入された。この案件は、施設の設計施工を日立製作所が受注したことから、当時、日立グループだった日東電工にRO膜モジュールが発注されたものであった。しかし、デンプン廃液処理用途は期待したようには拡大せず、日東電工が受注したのはこの北海道の1件だけにとどまった。廃液処理や有価物回収といった用途自体、当初期待したほどの市場とはならなかった。

同じ1976年度には、通産省が茅ヶ崎で始めていた海水淡水化実証試験に、日東電工も自社製RO膜モジュールで参加した。ただしこれは、日東電工が海水淡水化を狙って参加したというよりも、通産省側からの打診を受けて参加したという性格のものであった。日東電工のRO膜は管状型であり、他社品と比べて容積効率で劣ることは明白だった。実際に、東レの酢酸セルロース系スパイラル型RO膜の性能に及ばず、1年ほどで実験対象から外れることとなった<sup>9</sup>。海水淡水化についてはその後、漁港に小規模な海水淡水化設備を設けて実験を続けたが、当面、事業としての発展は望めなかった。

この実証実験での失敗経験を含めて、容積効率の悪い管状型だけで膜事業を展開することには限界があることがわかってきた。そこで、北海道でRO膜モジュールを納入して一段落ついた後、管状型に代わる新たな膜モジュールの開発に乗り出すこととした。

#### 3.2 多様な膜開発

日東電工の開発者達は、RO膜よりも孔径の大きいUF膜、NF膜、MF膜などの液体処理

<sup>8</sup> 鈴木（2004）p. 14。

<sup>9</sup> 1977年後半には、東洋紡の酢酸セルロース系中空糸型RO膜が実験に採用された。

膜、そして気体分離膜や気液分離膜など、あらゆる膜の開発に取り組んだ。日東電工の開発者にとって RO 膜は、幅広い分離膜の 1 つに過ぎなかった。50 名ほどの開発者たちは、各々のグループに分かれ、何らかの用途を開拓できるように様々な分離膜に取り組んだ。さらに RO 膜の開発についても、酢酸セルロース系の管状型のみならず、ポリアミド系の複合膜などあらゆる素材、構造、形状が試されるようになった。多様な膜事業を展開するために、海外からの技術導入も積極的に行われた。

その 1 つは、ドイツの Berghof から技術導入したポリアミド系中空糸型の UF 膜である。この UF 膜は、1978 年、日本の大手半導体メーカーに超純水製造用として納入された。しかしこの膜は、高い透過流束を持っていたものの、塩素洗浄に耐えられないという欠点があった。そのため、考えられない原因での目詰まりを起こして顧客からクレームを受けるという苦労を経験することになった。その後、この代替品としてポリスルホンの UF 膜が新たに開発された。

逆浸透複合膜については、1978 年頃、以前からつきあいのあった米国 Bend Research の R. W. Baker 博士の勧めもあり、米国 North Star Research and Development Institute が 1972 年に開発していた NS-100 をモデルとして、平膜の開発が進められることとなった<sup>10</sup>。ここで平膜型を選択したのは、それまで日東電工が蓄積してきたシート技術が膜の製造において活きると技術系役員が見込んだことも理由として挙げられる。こうして平膜型複合膜の開発が始まるわけだが、RO 膜は日東電工が展開しようとしていた多様な膜ビジネスのひとつに過ぎなかったため、この開発に対して豊富な資源が投入されたわけではなかった。

平膜型の RO 膜モジュールの開発を最初に担ったのは、中込敬祐 (1969 年入社) だった。中込は、1959 年に栗田工業に入社した後に日東電工へ転職した技術者である。日東電工に入社した中込は、水処理と縁を切り、三重県亀山において絶縁ワニスや耐熱フィルムの開発、FPC (Flexible Printed Circuit) の開発・生産化などに携わっていた。その後の 1978 年 8 月に大阪府茨木の技術研究所への異動を命じられ、そこで主任研究員として平膜型の RO 膜およびスパイラル型モジュールの開発を指示されたのだ。

当時は管状型の開発グループが圧倒的に大きく、平膜型複合膜開発は中込ただ一人での着手となった。ただ驚いたことに、このとき既に Baker のスケッチを基にした 1m 幅の製膜装置が用意されていた。しかし、それを使って試作する予算はなく、動かしてみたところで RO 膜ができるようなものでもなかった。そこで中込は、米国内務省の膜研究機関である OSW (Office of Saline Water) が公開していた多くの文献を読み込み、まず実験室レベルでの製膜に集中した。コーティング技術に関する自身の経験に基づいて、シート状の

---

<sup>10</sup> NS-100 は、NS-200 (1973 年)、NS-300 (1977 年) と発展し、その後、現在のポリアミド系複合膜の母体となった FT-30 (1978 年) が発表された。

複合膜を高精度で製膜する方法を開発し、75mm 径の膜ながら、食塩阻止率 99%の性能を比較的早くに実現した。これを契機に開発人員が 1 人増員され、さらに翌 1979 年には、膜開発の研究組織が統合されるとともに開発部隊の拡充が行われた。といっても、このタイミングで加入したのは、神山義康（1978 年入社）、吉岡範明（1977 年入社）、そしてスパイラル型モジュール開発向けに 3 名だけであり、総勢 7 名の小さな開発体制であった。

一般に、透過流束と塩阻止率はトレードオフ関係にある。そのため、RO 膜の開発では、そのトレードオフ関係をより高い次元で実現する膜を合成することが重要であった。中込たちもまた同様に、透過流束と塩阻止率とを高い次元で両立する膜を合成すべく実験を重ねた。彼らが性能目標としていた NS-100 は、かん水や海水淡水化で使えるレベルの性能だといわれていた。当時、かん水向けでは高い透過流束が求められ、海水淡水化向けの膜には食塩濃度 3.5%のもとで 99%以上の塩阻止率が求められていた。

複合膜の開発を始めるにあたって中込たち開発チームは、かん水や海水淡水化といった特定用途を明確なターゲットとして意識していたわけではなかった。開発者達が邁進したのは、水の透過流束と塩阻止率とを高い次元で両立する複合膜を合成する、ということの一点に尽きた。中込および神山は、明確な用途を見通すことが難しかったことについて、それぞれ以下のように述べている。

中込：文献には書いてあっても、具体的な用途はわからなかったです。・・・市場があっただけでなく、「こうだ」なんて言える人なんていなかったですよ。シーズオリエンテッドで、導入期にはそんなもんです。単に馬鹿だから続けられたのかもかもしれませんね。結果が出れば、もっともらしいことを皆さん言うものです<sup>11</sup>。

神山：明確な目標はなかったです。・・・NS-100 が 1 つの性能としての目標でした。ただ、それができたら（用途が）どうなるかと言う人はいませんでした。（かん水や海水の）脱塩の話なんてほとんど入って来ないのですよ。レポートを読むと「潜在的にこういうマーケットがある」と書かれていますけれど、「そうなのだろうなあ」程度。・・・明確に「いつまでに何をやれ」というようなことは言われませんでした<sup>12</sup>。

実験室レベルのサイズの膜であっても、均一で欠陥のない膜を形成することは容易なこ

---

<sup>11</sup> 筆者による中込敬祐氏へのインタビュー（2014 年 4 月 11 日：一橋大学イノベーション研究センターにて）およびその後のメール回答（2014 年 9 月 23 日）より。

<sup>12</sup> 筆者による神山義康氏へのインタビューより。2014 年 8 月 25 日。岡山大学にて。

とはなかった。平膜の製膜機器はもちろんのこと、脱塩性能を測定する装置まで自分たちで作らなければならなかった時代である。同じ条件で製膜したつもりでも、膜性能は大きくばらついた。彼らは「平均値に騙されない」を合言葉にして実験の中で得られた最高値のみに注目して最適化を図り、性能を見極めた。この過程で、市販されている RO 膜と比較し、実用になりうるレベルを確認した。

この後、1m 幅の製膜装置での実用膜開発に取り組んだが、そこでも多くの課題に直面した。たとえば、膜の基材となるタフタや不織布のシートは、500m 巻きですら数カ所継ぎ目などがあり、製造工程の途中で引っかかって切れてしまうことがあった。それゆえ当初は到底量産に耐えうるものではなかったが、製紙メーカーの協力によって、克服することができた。

スパイラル型 RO 膜エレメントの開発では、米国 UOP が保有する 2 つの基本特許が障害となった。これに対し、同じスパイラル型複合膜を採用する東レは、独自のエレメント構造を考案して製品化していた。しかし中込達は、UOP 特許の有効期間が残り 1 年と迫っていること、複雑な構造は水の流動や力学的にも問題が多いことを確かめ、UOP 方式を採用した<sup>13</sup>。エレメントの巻き付けでは、多数のシートを均一にずらさないと、皺ができたり、膜面を痛めたりしてしまい、膜の性能を発揮できないという問題もあった。これは、独自の巻付機を開発することによって克服した。

問題をひとつひとつ解決しながら生まれた、日東電工初の複合膜が、1980 年に開発された NTR-7197 と NTR-7199 であった。NTR の NT は Nitto を、R は Reverse Osmosis (RO 膜) を、そして下二ケタは塩阻止率を指している。つまり、塩阻止率はそれぞれ 97%、99% だった。複合膜の素材にはともにポリウレア系材料が用いられ、膜面積 1 m<sup>2</sup> あたり造水量はかん水脱塩で約 1 トン/日、海水淡水化で 0.4 トン超/日を達成した。高い塩阻止率を実現していたことから、彼らは渥美半島の自社臨海試験場に小さなプラントを設け、1 年間にわたって海水淡水化の実験を行い、不十分な前処理ながら 99% の塩阻止率を実現した。

ただ、高い塩阻止率は実現できたのだが、残念ながらこれらの膜の耐塩素性は非常に低く、膜の殺菌・洗浄を頻繁に要する海水淡水化向けに使用することはできなかった。それに代わる用途として展開されたのが食品関係だった。例えば、ワイン製造におけるブドウ果汁の濃縮に使ったところ貴腐ワインに近い味になり、好評を博すことができた。ここにも、技術や用途市場に限定することなく、様々な種類の分離膜を多様な市場に展開しようとする日東電工の特色が現れている。分離膜開発の中心にいた中込は、こうしたアプローチについて次のように述べている。

---

<sup>13</sup> なお、同特許は栗田工業の異議申し立てによって無効になった。

膜がどういう用途に使われるか分からない時代だから、ともあれ RO 膜は塩の阻止率が低くても透過流束が高いとか、耐塩素性、耐熱性、ファウリング性など、何か特徴があれば品番に加えようと。後から用途が見つかれば使ってくれたら良いじゃないかと。・・・「次世代膜はこの程度高性能化したい」と目標はありましたよ。高阻止率、高透過水流束はもちろんですが、耐塩素性、使用可能 PH 範囲、耐熱性、耐劣化性、耐ファウリング性など使いやすくし続けねばなりませんから<sup>14</sup>。

### 3.3 トップの支持と事業化努力

日東電工の開発者達が、北海道でのデンプン廃液処理事業と並行して様々な膜開発を続けた背景には、トップによる強力な支持と大きな事業化努力があった。

1974 年に社長を就任していた土方三郎は、電子、医療、膜（メンブレン）を新事業の 3 つの柱とするという全社方針を打ち出し、膜事業を日東電工の新しい事業の柱の 1 つに育てたいという強い意志を持っていた。これら 3 つのうち、半導体封止材料を中心とした電子（材料）事業は日東電工を支える存在にまで成長した。しかし医療事業と膜事業は、期待したようには発展していなかった。そのため土方は、全社企画部門の次長であった山本英樹に対し、膜事業を日東電工の事業の柱として育てるようにと命じ、山本を膜事業の事業推進者として据えることとした。山本は、「医療と膜で合わせて月商 20 億円くらいの事業に育てるように」と土方から言われたと述懐する。山本が膜事業に加わったのは、1978 年 4 月のことであった。

この当時、日東電工における膜開発は、同じ茨木の技術研究所ながら、道路を挟んで 2 つの建屋で別々に行われていた。一方の建屋では、主として、デンプン廃液処理向けに導入された管状型 RO 膜モジュールや UF 膜モジュール等の開発が行われていた。そして、上述したように、1978 年に中込がこの研究所に配属されて、一人でスパイラル型 RO 膜モジュールの開発を始めることになった。もう一方の建屋には、親水性ポリオレフィンの UF 膜、MF 膜、ポリスルホンの UF 膜、ポリイミドの RO 膜などの開発を担当する複数のチームが存在していた。このように社内に散在していた膜技術を結集して、1 つの事業として発展させることを土方は山本に期待し、膜開発チームの統合を指示した。

山本はまず、膜開発の現状を把握する必要性を感じ、開発者一人一人と面談をして、各人がどのような目標や将来像を描いているのかを確認することにした。その結果わかったことは、膜事業の将来に対して明確な計画や希望を抱いて開発している者が全くいないと

---

<sup>14</sup> 筆者による中込敬祐氏へのインタビュー（2014 年 4 月 11 日：一橋大学イノベーション研究センターにて）およびその後のメール回答（2014 年 9 月 23 日）より。

いうことであった。メンブレンという聞こえの良い名前をまとう一方で、事業の方向性と目標が組織内で共有されていないことを、山本は痛感した。山本は、当時の様子を次のように述べている。

「これはこういう方向に行けば」という確信を持って研究している者は誰もいなかった。・・・マーケットがどれくらい大きくなるか、誰も分からない。どんな用途がこれから伸びるかということも誰も分かっていない。将来の計画や夢がほとんど見えていない、メンブレンという名前だけが先行したプロジェクトであることがわかった。・・・確かにメンブレンというのは、魅力的な名前ですね。何にでも通用できるような。海水淡水化、排水処理、あるいは濃縮プロセス、何にでも使えそうな万能的な性格を持った技術であるとは思ったが、かといって、どの分野がベースになるのか誰もわかっていなかったし、わかろうともしていなかった<sup>15</sup>。

面接によって状況を把握した山本は 1979 年 4 月、2 つの研究所内に分散していた膜開発者達を一ヶ所に統合することにした。この年には、全社膜プロジェクトも始められた。トップの強い意志によって将来的な戦略領域として位置づけられた膜事業に対して、全社的な投資が行われたのだ。翌 1980 年には技術研究所内に膜モジュール開発部が設置され、さらにその翌年の 1981 年には、この開発部が膜モジュール事業推進部（約 60 名：うち、技術系約 40 名）として独立した。事業推進部に開発者を移すことによって、事業化を加速させようとしたのである。初代の事業推進部長は、山本が務めた。それは同時に、大きな事業化圧力が開発者たちの双肩にのしかかることを意味していた。

強い事業化圧力を受ける中で山本は、常に 2 つの点を考慮に入れていた。ひとつは、事業を支える技術の展開力であり、もうひとつは、用途市場の将来性と波及性であった。

技術の展開力に関して山本は、楽観的な展望をもっていた。当時、日東電工が現実に販売できる製品は管状型 RO 膜モジュールと UF 膜モジュールのみであったが、山本は、近い将来に新たな膜モジュールを世に出せるという感触を得ていた。決して技術開発が軌道に乗っていたわけではなかったが、開発部隊を一体化して開発を進める中で、開発者たちに対する信頼感が山本の中で芽生え始めていたのかもしれない。

用途市場の 1 つとして考えられたのが環境問題に貢献する分野であった。たとえば、瀬戸内海の汚染防止対策のために、四国の大手製紙メーカーのパルプ廃液の処理向けに管状

---

<sup>15</sup> 筆者による山本英樹氏へのインタビューより。2014 年 8 月 29 日。日東電工本社にて。

型 UF 膜モジュールが採用された。大型ビルや工場を対象とした水の再利用（中水）分野にも管状型膜モジュールが採用された。これは、浄水場などにおける水のリサイクルやかん水・海水の淡水化分野に通じるものであった。

食品向けでは、1982年に農水省の支援で発足した「食品産業膜利用技術研究組合」に参加して用途開拓が行われた。食品会社と膜メーカーがペアを組んで多様な応用テーマに取り組んだこの研究組合において、日東電工は味の素と組んだ。

共同開発の結果、日東電工は、それまで味の素で味液の脱色処理に使用されていたイオン交換樹脂を、自社開発した NF 膜 NTR-7450 で置き換えることができた。技術研究組合内で実用化されたのは日東電工のこの案件だけだった。NTR-7450 は、NTR-7197 や 7199 に比べて耐塩素性が高かったので、膜が汚れやすく殺菌や洗浄を必要とする食品用途でも使うことができた。技術研究所で NTR-7450 の開発を進めた池田健一（1977 年入社）は、この開発について次のように述べる。

上司から「池田君、強い膜作ってくれ」と言われました。それだけです、テーマは。強い膜とは何だろう？というところからスタートしました。それでできたのが 7450 で、今でいうナノフィルトレーションですが、ルーズ RO と当時は呼んでいました。その膜は食品に使われました、醤油の濾過に。・・・食品関係は（膜が）汚れやすい物質が多いです。汚れたときに（膜を）塩素で洗えなかったらまずい、汚れがとれない。・・・ところが 7450 の場合は、汚れても塩素で洗える。そうすると非常に安定的に運転できる。・・・ただそのとき（開発していたとき）は、まだ何に使うか全然分かっていなかったです。たまたまそのときに味の素さんから「こういうことをしたいから」と声をかけてもらった。農水省のプロジェクトで活動していたのですが、使えそうということで、やってみたら意外と面白いと<sup>16</sup>。

その後も、日東電工の開発者たちは、保有する多様な膜モジュール群を駆使して、多方面の用途開拓にチャレンジし続けた。しかし、いずれの市場も小規模か汎用性に乏しく、なかなか大きなビジネスには発展しなかった。共同開発を通じて RO 膜が顧客に採用されても、それはその顧客だけのカスタム製品になってしまい、たとえ他社に展開できてもせいぜい 1-2 社どまりであった。それゆえ応用技術開発の投資回収もおぼつかないという状況であった。上述したワイン用ぶどうの濃縮や果汁フレーバーの濃縮など、いくつかは用途

---

<sup>16</sup> 筆者による池田健一氏へのインタビューより。2013 年 12 月 27 日。地球環境産業技術研究機構にて。



として開拓できたものの、それだけで事業を支えられるというわけではなかった。

その他、電着塗装、排水の油水分離、し尿処理などでも管状型の膜モジュールが採用された。しかしこれも限定的な市場であった。NTR-7197の4インチエレメントを20～30本使ったかん水脱塩装置をインドネシアに輸出したこともあったが、水処理装置メーカーと競合することから、この装置の展開は特殊な例に限られた。また、1985年に通産省主導で発足した「水総合再生利用システムの研究開発」にも参加したが、これといった成果を得ることができなかった。

以上のことから明らかなように、日東電工における初期のRO膜開発と事業化の特徴は、技術や用途を限定せず、分離膜であれば何でも手がけ、開発者が自ら多様な市場を開拓することにあった。中込は、分離膜を「ふるい」に喩え、様々な目の粗さを持つ膜をとにかく揃えようとしたと振り返る<sup>17</sup>。それによって、何かの用途が引かかることを期待したのであり、今では主要な用途である海水淡水化もそうした多くの用途候補の1つに過ぎなかった。とはいえ、当時の日東電工が実現していた技術水準と海水淡水化で求められる性能間には大きな開きがあることから、海水淡水化用途はすぐに開拓できるようなものだとは考えられていなかった。

このような多様な技術と多様な用途の開拓は、日東電工の新規事業開発の理念を表す「三新活動」と一貫している。三新活動の「三新」とは、新製品開発、新用途開発、新需要創出の3つを示しており、三新活動を通じた新事業創出では、常にこれら3つの方向性を追求することが求められる。中込は、膜開発における三新活動について、次のように述べている。

三新活動が企業文化ですから、膜が使えるようになると、分離膜のマーケットそのものが小さいから、事業性などそこそこに何でも拾ってくるわけです。営業がやろうと言うものを断ると、強いプレッシャーが掛かってきます。止めると言われてたことは思い出しません。だから、種々の膜をストックしておく必要もあり、捨てるというのは極めて稀なわけです<sup>18</sup>。

一連の探索活動は、実に多様に続けられた。同じ時期にRO膜開発を進めていた東洋紡

---

<sup>17</sup> 筆者による中込敬祐氏へのインタビュー（2014年4月11日：一橋大学イノベーション研究センターにて）およびその後のメール回答（2014年9月23日）より。

<sup>18</sup> 筆者による中込敬祐氏へのインタビューより。2014年7月23日。一橋大学イノベーション研究センターにて。なお、透過水の水質や流量は、供給水の水質やモジュール構成、操作条件によって変わる。中込は、水処理時代の経験から、RO膜装置を設計するうえで重要なソフトウェアの開発を推進し、いち早く水処理装置メーカーに提供したという。

に対し、中空糸型 RO 膜モジュールを格納する圧力容器を亀山工場から供給することも行われた。しかし、こうした活動を重ねながらも、事業を長期的に支えられる市場を獲得することは、まだできなかった。むしろこの時期は、多様な市場の探索を通じて将来に向けた学習を重ねた時期であった。開発者たちは、膜やモジュールの技術開発に専念するだけでなく、頻りに客先へ出向き、装置との関係、日常的なオペレーション、洗浄やメンテナンスなど、顧客による膜やモジュールの使用環境までも深く理解することが求められた。極めて顧客の現場に近いところで開発を行ってきたのが、日東電工における RO 膜事業の特徴だと言えるだろう。

## 4. 超純水市場への展開

### 4.1 超純水需要をめぐる攻防

有望な用途先がなかなか開かれない中、膜メーカーに訪れた幸運な機会が、半導体向け超純水製造用途であった。1980 年代に入り、半導体集積回路の微細化が加速化すると、その製造工程に対して今まで以上のクリーン度が求められた。それにとまって、超純水製造向けで RO 膜が注目されるようになったのだ。

東レや東洋紡にとって海水淡水化需要の開拓は相変わらず重要な目標ではあった。しかし、インフラ関連の大型プロジェクトは散発的であり、膜モジュールに対する需要の変動も大きい。そこで両社も継続的な需要が期待できる半導体製造用超純水に注目し始めた。

その頃、日東電工の開発者たちは、NTR-7197 と NTR-7199 に続いて、塩阻止率、透水性、耐塩素性の全てを高いレベルで実現すべく、平膜型複合膜の領域の中で、様々な素材や条件を試しつつ、新たな膜の開発を進めていた。その過程で、ひょんなことから生み出されていた RO 膜が NTR-7250 だった。

NTR-7250 は目標通りの耐塩素性と透過流束を実現したが、塩阻止率が 60%程度と著しく低いため、海水淡水化やかん水脱塩には全く使えなかった。しかし、何か別の用途が開けるかもしれないと考えた開発者達は、ひとまず様々な顧客にこの新たな RO 膜を紹介することとした。既に記したように、日東電工にはこれまでも塩阻止率の低い酢酸セルローズ系 RO 膜を「ルーズ RO 膜」と名付けて導入してきた実績があった。その経験から、たとえ塩阻止率が低くても、水中の他の成分に関しては低い動作圧力で除去できる可能性があることを彼らは知っていたのである。

実は、ひとくちに塩といっても、その範疇は幅広い。われわれが思い描く塩化ナトリウムなどの 1 価塩だけでなく、硫酸マグネシウムといった 2 価塩なども塩である。NTR-7250

は、このうち塩化ナトリウムの阻止率がたしかに 60%程度と低かったのだが、もう一方の硫酸マグネシウム阻止率は 99%であり、非常に高い特異性を持っていた。開発者達は、種々の無機物や有機物を評価して硬水の軟化という用途を思い描きつつ、様々な顧客にこの新膜を紹介することとした。NTR-7250 の特性に見合った用途があるかもしれないと考えたのだ。

そのころ日東電工の開発者たちは、顧客であり、半導体向け超純水製造装置を手がける栗田工業の開発者達と定期的に技術懇談会を開催していた。その背景には、山本が栗田工業のトップと強い信頼関係を築いていたことがあった。1981 年、その懇談会において NTR-7250 を紹介すると、栗田工業側が強い興味を示した。NTR-7250 の塩阻止率は確かに低いのだが、そのかわり、特定の有機物 (TOC : Total Organic Carbon) を除去する能力に優れていたからである。この有機物は、超純水を製造する上で厄介な存在だった。栗田工業は、そこに NTR-7250 の価値を見てとった。吉岡は、NTR-7250 を開発したときのことを次のように振り返る。

とにかく (塩について) 高阻止率でないと駄目だということは、神山さんと二人でやっていて分かっていました。「最低 90 (%) は超えないとあかん」と。既に東レさんの膜もあったから「95 (%) はないと話にならないぞ」と。(そういう状況のなか) 耐塩素性、塩素に耐えるものということで材料を選んでやっているうちに、ひょこっと (NTR-7250 の膜が) できたのですね。ものすごく水が出るのです。ただ「塩阻止率低いよねえ」「どうしようもないなあ」と言っていて。このとき神山さんがよく栗田さんに行っていて、紹介したら、栗田が (その価値を) 見つけてくれたのです<sup>19</sup>。

当時、日本における半導体向け超純水製造用の RO 膜といえば、東レの酢酸セルロース系膜の独壇場であった。東レのこの RO 膜は、イオン交換樹脂の前の工程に導入されていた。それに対して NTR-7250 は、イオン交換樹脂の後の工程に新たに導入された。栗田工業は、NTR-7250 の性能的特徴を生かして、多段階での分離システムを新たに考案したわけである。NTR-7250 が初めて納入されたのは、1983 年のことである。この頃の日本の半導体メーカーは、豊富な資金を有していたことから、この新しい多段階での分離システムに対しても積極的に投資を行った。

その結果、超純水製造装置市場においてオルガノと激しい競争を繰り広げていた栗田工

---

<sup>19</sup> 筆者による吉岡範明氏へのインタビューより。2014 年 8 月 29 日。日東電工本社にて。

業は、市場で急速に優位性を獲得することになった。栗田工業は NTR-7250 の独占供給契約を求め、日東電工は 1983 年から 3 年間にわたってその求めに応じた。NTR-7250 の性能的優位性とその用途市場を見つけてくれた栗田工業とはその後も良好な関係を築き、膜の用途開発や顧客要求の把握という点で、有益な情報を得ることができた。

NTR-7250 のヒットは、日東電工の膜事業に勢いを与えた。1982 年頃には 6 億円だった膜事業の年間売上高が、1983 年度には 10 億円に達した<sup>20</sup>。翌 1984 年、日東電工は膜事業の売上高を 1987 年度に 60 億円まで引き上げるという計画を策定・発表した<sup>21</sup>。同時に、滋賀工場建設プロジェクトが発足し、そのために全ての製造装置を自社で開発した。さらに、半導体用途に対応するため、半導体工場レベルの超純水装置 (100 m<sup>3</sup>/h) を導入して膜モジュールの工程や評価に用いた。その結果、顧客サイドで立ち上げや調整に時間をかけることなく、短時間で超純水の製造を開始することができた。これによって水の浪費を減らすことができるため、顧客に喜ばれた。膜開発が技術研究所から始まったことから当初は高分子化学の技術者が多かったが、こうした経験をきっかけとして、その後は、大幅に工学系の技術者を増員してエンジニアリング力を強化した。

1986 年にはメンブレン事業部が発足、世界初の膜専門工場として滋賀工場が操業を始めた。図表 3 は、滋賀工場における平膜型 RO 膜の製造機械を写したものである。事業推進部長を務めるまま 1983 年に取締役昇格していた山本は、このメンブレン事業部の初代事業部長・滋賀工場長を兼任した。副工場長は中込が務めた。この年、日東電工は NTR-7250 の後継として NTR-729 を市場に投入し、半導体向け超純水製造市場における拡販を進めた<sup>22</sup>。この頃になると、日東電工のシェアは東レのシェアと拮抗するようになり、その事業規模は計画には届かないものの、1 億円/月程度で堅調に推移した。

しかし、その直後の 1988 年 5 月、大きなトラブルが発生した。トラブルを引き起こしたのは、超純水の一次脱塩用として市場に投入された NTR-739 である。新素材を用いて開発されたこの RO 膜は、納入前試験では何も問題がなかった。しかし、実際に顧客側で超純水製造装置に組み込んで稼働させてみると、ほどなく膜が詰まって透水性能が急落するという問題が生じた。急いで原因を調査したものの、全てを解明して適切な対策を打つには時間が足りなかった。このトラブルによって、日東電工と東レのシェアは、一時 3:7 にまで開いてしまった。

---

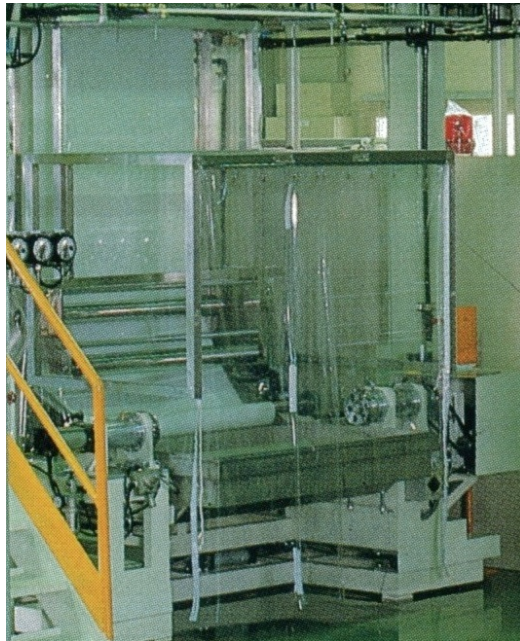
<sup>20</sup> 『日経産業新聞』(1982 年 10 月 1 日、p. 15 : 1984 年 8 月 7 日、p. 7) の報道に基づく。

<sup>21</sup> 『日経産業新聞』1984 年 8 月 7 日、p. 7 の報道に基づく。

<sup>22</sup> 滋賀工場で NTR-7250 を生産したところ、従来通りの性能を再現できず、塩阻止率が 90% に高まってしまったため、名称を NTR-729 に変えたという経緯があった。このエピソードは、RO 膜の工業生産が難しいこと、それゆえ製膜技術の確立が優位性につながりうるということを物語っている。製膜技術の重要性は、後述するように、Hydranautics が高性能な複合膜を持ちながら工業化できていなかったことから推察される。

幸いなことにこの危機は、次節で述べるように、Hydranautics の買収から得た思わぬ果実を最大限に活かすことでいち早く乗り越えることができた。

図表 3 平膜型 RO 膜の製造装置（滋賀工場）



出所：日東電工（1986）「滋賀工場案内パンフレット」

#### 4.2 Hydranautics 買収

1980 年代に入り、日東電工は、国内で半導体向け超純水用市場を攻略する一方で、世界展開をにらんだ策に着手し始めていた。まずアメリカ市場に目を付け、主として自動車メーカー向けに電着用の管状型膜モジュールを輸出することを狙った。そこで 1985 年、カルフォルニア州サンフランシスコに日東電工テクニカル（以下、NDT）（社長：村田勝彦）を設立して膜部門を設け、茨木から技術者を派遣して駐在員とした。なお、吉岡は 1983 年に Baker が設立していた MTR（Membrane Technology and Research）に研究者として赴任し、一時帰国の後、NDT の設立を機として 1985 年に再びアメリカに移動した。

その 2 年後の 1987 年に日東電工がとった大きな一手が、米国 Hydranautics の買収だった。山本は、事業推進部長として膜事業を率いることになった初期の頃から、日本にとどまっていたには期待されるような事業に発展できないと考えていた。こうした考えが、Hydranautics の買収につながった。山本は、その意図を次のように述べている。

（膜を）ビジネスにするには、日本で展開していてもたかが知れている。決して

大きくは、期待されているようなかたちにはならないだろうと思っていた。それなら期待されている状況に持って行くにはどうすれば良いか。それが 1987 年の Hydranautics の買収であると。日本にこだわる必要はない、マーケットは世界に求めよう、世界の技術の中でどのくらい戦えるのかをむしろ見てみた方が良いなと。それには海外の企業と提携するか買収するか、という考えに移っていった<sup>23</sup>。

超純水製造市場における NTR-7250 のヒットによって滋賀事業所への投資に踏み切っていたものの、日東電工の膜事業は、まだ安定的に利益を稼ぐには至っていなかった。それどころか、工場が操業を開始した 1986 年には、運悪く半導体不況に陥った時期だったこともあり、売り上げが 2 千万円程度しかない月さえあった。滋賀工場を建てたものの生産するものがない。最初の半年は試作ばかりで、それ以外はペンキ塗りや草むしりといった始末であった。その間、新装置の運転に習熟できたとはいうものの、事業としては非常に厳しい状況が続いていた。それでも経営トップは膜事業のサポートを継続した。土方の後を継いで 1985 年に社長となっていた鎌居五朗もその路線を踏襲していた。

トップからの支持はあったものの、このまま日本に留まっていたのでは事業の発展は決して望めないと、山本は強い危機感を抱いていた。成長するには海外展開しかない。その 1 つの手段として、海外企業の M&A があった。バブル景気のまただ中で好業績をあげていた日東電工は新たな投資先を模索していたが、幸いなことに、ターゲットとすべき新分野はまだ定まっていなかった。さらに、円高によって海外企業の M&A の割安感は急速に高まっていた。

そんな折、三和銀行ニューヨーク支店の M&A 部隊から「こういう会社が売りに出ているのだけれど」という話が舞い込んできた。それが、Hydranautics である。Hydranautics は、当時、ダウ・ケミカルに次いで米国第二位の大手化学企業であったローム・アンド・ハースの子会社であった。海外展開を模索していた山本は、この話に強い興味を持った。しかし日東電工にとっては初めての M&A であったので、すぐには飛びつかず、中込らを派遣して調査させると共に、独立の研究機関である SRI (Stanford Research Institute) に NDT 社長の村田を通して評価を依頼した。

結果は「可もなく不可もなく」という評価であった。製造部門は弱い、販路は標準的であり、技術的には酢酸セルロース系平膜によるスパイラル型 RO 膜エレメントの開発と製造能力があり、複合膜についてはまだ研究段階という内容であった。評価が特別高いということではなかったが、山本は、買収の意志を固めた。評価が格段高くないということは、

---

<sup>23</sup> 筆者による山本英樹氏へのインタビューより。2014 年 8 月 29 日、日東電工本社にて。

買収額を抑えることができるとも言える。買収の意図は、膜事業を海外で一気に広げることである。そのためには、開発、製造、販売までをトータルに保有している企業が必要である。その点、Hydranautics はまさに山本が求めていた企業だった。

ただし買い物のすべてが価値を持ったわけではなかった。垂直統合的な事業を展開していた Hydranautics は膜の開発製造だけでなく、脱塩プラントのエンジニアリングまで手がけていた。その能力は高く、西海岸の原子力発電所に自社の海水淡水化装置を設置、運転して、脱塩水を販売するビジネスまで行っていた。しかしこうしたプラント事業の収益性は低く、さらに、競合するプラントメーカーが日東電工と Hydranautics の膜を敬遠する危険性もあった。それでは肝心の膜事業の足かせとなる。そのため、買収後、Hydranautics は脱塩プラント事業から撤退することになった。

Hydranautics が保有していた酢酸セルロース系平膜も、期待したような効果は生まなかった。東レの酢酸セルロース膜が多く使われていた日本の半導体向け超純水製造用途を念頭に、Hydranautics の酢酸セルロース膜を日本に輸入したものの、東レが展開していた前段用途で大きな競争優位を構築することはなかなか難しかった。

このように、プラント技術と酢酸セルロース系 RO 膜技術については、買収時に期待した成果が得られなかったが、海外販路の拡大という効果は大きかった。Hydranautics は、世界でも販路や人脈を保有しており、これまでの納入実績によって顧客からも一定の評価を得ていた。それゆえ、買収によって日東電工には、各国のユーザーから様々な情報が入るようになり、これまで手つかずであった世界市場への門が大きく開かれることになった。

さらに興味深いことに、買収によって日東電工が手にし、その後の事業展開を決定づけるような影響を与えたものは、買収時にはその価値を想定していなかった、ポリアミド系逆浸透複合膜の技術であった。この逆浸透複合膜を開発していたのは、Hydranautics の開発部門に務めていた John E. Tomaschke だった<sup>24</sup>。買収前の評価プロセスにおいて、Hydranautics が複合膜の研究をしていることは日東電工側も知っていたが、その技術の詳細までは事前に把握しておらず、さほど期待もしていなかった。

しかしこの複合膜が、高い塩阻止率を誇りながらも高水準の透過流束を実現する極めて高性能な膜だった。当時、Filmtec の John Cadotte が開発した FT-30 という非常に高性能な RO 膜が市場で話題になっていた。Tomaschke の膜は、その FT-30 に匹敵するほどの性能を実現していたのだった。

ただ Hydranautics には、この膜を工業化する製造技術が伴っていなかった。そこで、この新膜の高い性能に気づいた日東電工の開発陣は、総掛かりで、それまで培ってきた自

---

<sup>24</sup> 彼が開発した技術の特許は、US Patent 4872984 と 4948507 である。

らの製造技術を用いて工業化に邁進した。そして、1987年11月の買収からわずか3ヶ月後の1988年1月には、一定の性能を示す量産製品を実現することに成功した。NTR-759と呼ばれたこの新たな逆浸透複合膜は、従来の膜に比べ、極めて高い性能を示した。同年5月には、既に市販可能な製品が準備できていた。

#### 4.3 NTR-759

Hydranauticsの技術を基盤として開発したこのポリアミド系複合膜NTR-759は、その後、日東電工の窮地を救う救世主になると共に、日東電工に厳しい試練を与える源ともなった。

既に述べたように、NTR-729の後継として市場に投入したNTR-739は、超純水製造装置においてトラブルを引き起こし、膜事業にダメージを与えることになった。1988年5月にこのトラブルが発覚したとき、神山はHydranauticsに渡米出張中であつた。日本からトラブル発生の電話を受けた神山は、大きな衝撃を受け、ただちに帰国した。

このダメージを最小限に食い止めることができたのは、NTR-759の開発が進んでいたおかげであつた。NTR-739は既にかかなりの量が市場に出回っており、それを回収して新しい膜と入れ替えなければ顧客の信用を回復できない。そんなとき、幸いにも、NTR-759が既に量産レベルにまで進んでいた。Hydranauticsの複合膜の優秀性を見て、技術者総出で一気に工業化まで進めていたことが功を奏した。5月にトラブルが発覚してから3ヶ月後の8月には、NTR-759を栗田工業に供給することができた。こうした素早い対応によって、迷惑をかけた栗田工業からはむしろ褒められたほどであつた。

図表4は、NTR-759や他のRO膜の性能を布置した図である<sup>25</sup>。この図の中で注目すべきは、NTR-759が、NTR-739と同じ透過水量（透過流束）ながら、圧倒的に高い塩阻止率を実現している点である。日東電工は、より高性能な膜でNTR-739を代替したのだ。

NTR-759によって、日東電工は、NTR-739で失った市場シェアを一気に奪い返すのみならず、他社に対して優位な立場に立つことができた。栗田工業やオルガノなど超純水製造装置企業は、リスク回避およびコスト削減の観点から、複数企業から膜モジュールを調達するため、膜メーカーの市場シェアが急激に変化することはないが、NTR-759を機に、日東電工のシェアは明確に他社を上回ることとなった。

国内以上に海外市場において、NTR-759は日東電工の販売に大きく貢献した。その頃、アメリカでは、飲料水や農業用水を得るためのかん水脱塩用途にRO膜が普及しつつあつた。この市場には、それまで、ダウ・ケミカルが買収したFilmTecの製品しかなかった。そこ

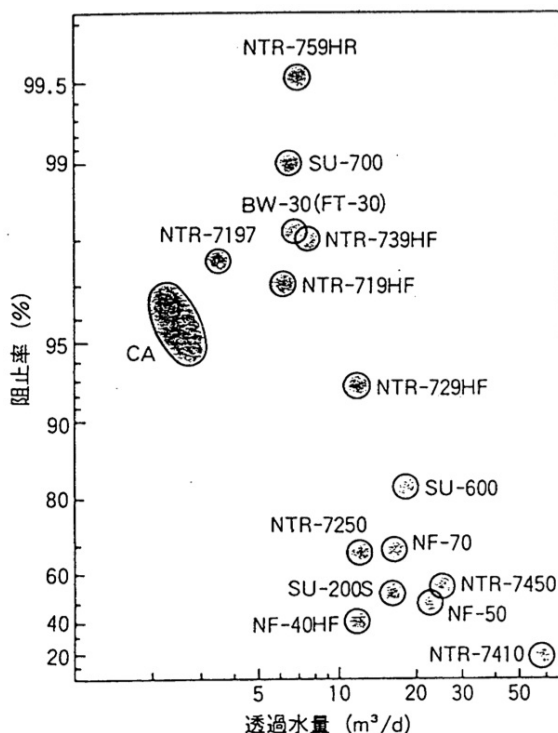
---

<sup>25</sup>各性能は製品カタログに基づいているため、厳密に言うと、運転条件が少しずつ異なる。そのため、特に企業間比較については、おおよその位置関係と解釈することが望ましい。



に NTR-759 が入り込んだ。この成果は大きく、買収後 3 年もたたずに、Hydranautics の業績は黒字化した。こうした勢いを受けて、サンタバーバラとサンディエゴに分散していた本社、工場、研究所をサンディエゴに集結するために、1989 年には本社の移転に着手した。同時に新鋭設備の導入も進められた。国内外で NTR-759 がヒットしたことから、日東電工における膜事業の売上高は急速に拡大した。

図表 4 : NTR-759HR と他の RO 膜との性能比較



出所：神山（1990）p. 526。

注：φ4×40（L）インチエレメント、0.15%NaCl、1.5MPa（15kgf/cm<sup>2</sup>）、25°C

このように NTR-759 は日東電工が RO 膜市場で大きく飛躍する契機となるのだが、それによって日東電工は、特許訴訟という厳しい試練を経験することにもなった（特許訴訟の詳細は「補論コラム」を参照のこと）。

1990 年 5 月、ダウ・ケミカル社から Hydranautics の代表責任者宛に手紙が届いた。そこには、ダウが買収した FilmTec の FT-30 に含まれる特許（通称「344 特許」）に NTR-759 が抵触しているという内容が書かれていた。この点は、買収にあたっての重要な懸念事項であり、事前に十分に考慮したつもりであった。実際に、ローム・アンド・ハースからは、Hydranautics の保有技術が 344 特許を含むどの特許にも触れないという保証をとりつけて

いた。弁護士と研究者からも、Hydranautics の複合膜には新規性が認められ 344 特許に抵触しないという判断を得ていた。しかし、344 特許があるからこそ高額で FilmTec を買収したダウ・ケミカルは、その権利を保護しようと強硬な態度に出始めた。日東電工の NTR-759 がアメリカ市場で普及し始めたことも関係していたのかもしれない。膜事業存亡の危機に事態に直面した日東電工では、1989 年に常務に就任していた山本が陣頭指揮を執り、法廷で証言台にも立った。

この特許訴訟において、日東電工は一審で敗訴した。スキン層素材にトリメシン酸クロライドを使用した膜はすべて、これを発明した発明者のパテント、すなわち Cadotte の 344 特許に含まれるという判決であった。1991 年 8 月 31 日のことである。それによって、Hydranautics は米国での製造を中止せざるを得なくなった。そのため、米国では酢酸セルロース膜の製造に切り替え、複合膜については、膜を日本で製造し、メキシコで組み立てて、アメリカ以外で販売するという方針を立て、サンディエゴの工場ではレイオフを敢行した。

一方の日本側では 1991 年 5 月、敗訴した時のことを想定して、緊急プロジェクトが発足していた。発足にあたって山本は、「3 ヶ月で 759 にかわる膜をつくるように」と神山に指示した。地裁での判決が下る 8 月までに 759 と同じ性能の膜を開発せよ、という無理難題である。この難題を解くために、神山がリーダーとなって、全社から総勢 40-50 名の開発者が関わった。1990 年 12 月に帰国していた吉岡もまた、この緊急プロジェクトを現場で補佐する立場で力を尽くした。彼らの中で開発者達は、いくつものグループに分かれ、トリメシン酸クロライドを用いない全く新しい複合膜の開発を急ピッチで進めた。結果、3 ヶ月では目標を達成できなかったが、1992 年中には性能面で NTR-759 に匹敵する膜が開発された。しかし二審で勝訴したことによって、その膜が世に出ることはなかった。

二審での勝訴が決まったのは、1993 年 3 月のことである。344 特許は、Cadotte が米国政府から得た研究資金で開発したものであり、その正当な保有者は FilmTec ではなく、米国政府であるというのが判断の根拠であった。これによって日東電工/Hydranautics だけでなく、東レを含む他社も、344 特許への抵触を気にすることなくポリアミド系複合膜を導入できるようになった。

勝訴が決まると、日東電工はすぐに 344 特許のライセンスを受け、再び Hydranautics での生産を開始した。一審で敗訴して生産が止まる中でも最新鋭設備の導入を止めずにいたことが、業績の急回復に大きく貢献した。レイオフされた従業員も戻され、新しい設備での生産が始まり、売り上げは再び拡大基調に乗った。日東電工の膜事業が軌道に乗ったのはこの特許訴訟を終えてからのことであり、事業として単年黒字化を遂げたのは 1994 年のことだった。開発着手から数えて 20 年を超える歳月が流れていた。

この特許訴訟は多大な人的エネルギーと時間の消耗をもたらしたけれども、日東電工の開発者達は、この過程で多くの知見を得ることができた。特許訴訟では、技術的な裏付けのある客観的な証拠を揃えなければならず、通常は行わないような、多様な分析、解析、評価が事細かに行われる。それが新たな知見の蓄積をもたらしたのだ。

たとえば、開発者達が NTR-759 の表面（スキン層）を電子顕微鏡（SEM）で観察したところ、FT-30 同様に、ひだ構造があることがわかった。そのため膜の表面積を広くとることが可能となり、結果として、透水性能が高まっていたのだ<sup>26</sup>。また、始まったばかりのコンピュータケミストリーの分野において分子構造のシミュレーションや評価技術を確立したという点でも、特許訴訟の貢献は大きかった。子会社の日東分析センター（NTC）は、特許訴訟での解析・評価で大きな役割を果たした。その過程で NTC の解析・評価技術が進歩したことが、その後の RO 膜開発に活かされているという。

#### 4.4 低圧化という切り口：ES-10

NTR-759 は、飛躍的な性能向上を実現し、事業に対しても大きな貢献を果たした。ただその一方で、特許訴訟に勝訴したことで、緊急プロジェクトで進めていた新たな膜の開発は止まっていた。1992 年 4 月にメンブレン事業部の開発部長に就いた神山は、次なる高い目標を示す必要性を感じていた。

そこで神山は「759 の 3 倍をやるように」と開発陣に指示した。正確には、従来の 1/3 の圧力で NTR-759 と同じ透過流束と塩阻止率を実現する新膜を開発せよという指示であった。かつて神山が複合膜開発に着手した際に目標とした NS-100 に対し、その後に FilmTec が開発した革新的な複合膜 FT-30 は、その動作圧力が約 1/3 に低下していた。そこで、FT-30 の次にふさわしい革新を日東で実現しようという思いを込めて、神山は 3 倍とか 1/3 という表現を用いたのだ。それに加えて神山には、超低圧 RO で UF 市場を攻略するシナリオも念頭にあった。

開発者たちは 3 つのチームに分かれ、それぞれのアプローチで開発を進めた。しかし、3 倍という性能向上は、とても実現できるとは思えない無理難題だった。その性能向上を実現するための明確な道筋があったわけでもなかった。それでも神山は、やめて良いとは決して言わなかった。それどころか、顧客である栗田工業には、「もうすぐ低圧膜が出るから」と毎年言い続けていた。当時の様子を神山は次のように語っている。

言ったは良いですけども、なかなかできないですよ。ただ、私がやめろと言

---

<sup>26</sup> Ikeda and Tomaschke (1994)

わないものですから、開発者はやめられない。・・・彼らはすごくまじめで、上司に逆らわないから。ですから、ずいぶん苦労したのではないかと思います。私は私で、栗田などを訪れて・・・「低圧の膜が出るから」と毎年言って歩いていただけです。ですから彼らは辛かったと思いますよ<sup>27</sup>。

開発が始まってから2年ほど経ったとき、一つのチームから異常値のようなデータが報告された。それは、従来の膜と比べて飛躍的に高い透過流束と塩阻止率を示すデータであった。そこで、膜表面の粗さについて、当時世の中に出始めたばかりのAFM原子間力顕微鏡での測定を業者に依頼したところ、この膜は、通常品に比べて表面積が大きくなっているという結果が得られた。さらに、TEM透過型電子顕微鏡で断面構造をより細かく観察すると、膜表面のひだ構造が、NTR-759に比べて非常に深くなっていることがわかった。こうした一連の知見に基づき、開発者達は、表面積をコントロールする技術を確認した。

ひだ構造を深くすれば、表面積を広く稼ぐことができる。しかし、その一方で、ひだ構造をあまりに深くし過ぎると、今度は、濃縮された高塩濃度の水が膜面で拡散せず、浸透圧が増大して透過流束を低下させてしまう<sup>28</sup>。あるいは、ファウリング物質が膜面に滞留する恐れが生じる。それゆえひだ構造をどうコントロールするかが重要な課題となった。

こうして1995年に開発された複合膜がES-10である。ESとはEnergy Savingを表している。図表5は、NTR-7199、NTR-759、そしてES-10のひだ構造を示した資料である。世代を経るごとに、ひだ構造が深まっていることがわかるだろう。

動作圧力を1/3に下げても従来通りの透水量を確保できるということは、消費エネルギーの大幅な節約になる。RO膜で物質を分離するには、高圧ポンプを使って浸透圧以上の圧力をかけなければならない。この高圧ポンプを駆動する電気代が造水コストの多くを占めることが、顧客にとっては悩みの種であった。それがもし1/3の圧力で駆動できれば、電気代の大幅な節約になる。さらに、低圧で駆動できれば、配管の肉厚を薄くできる。これらはみな造水コストの低下につながる。装置メーカーからすれば、顧客に対する効果的な売り文句となる。特にかん水のように浸透圧が低い場合には節電効果が大きい。

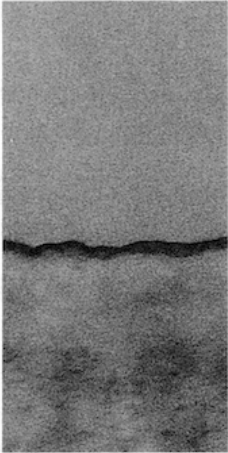
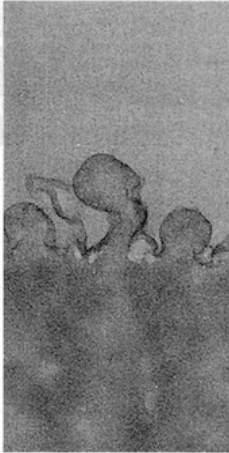

それまでも日東電工は、低圧駆動を自社のRO膜の特徴として謳っていた。それが、ES-10の開発を機として、今まで以上に強いセールス・ポイントとして認識されるようになった。ES-10は超低圧ROと呼ばれ、当初はその低圧性を武器としてかん水脱塩向けに導入された。しかしそれにとどまらず、その塩阻止率と透過流束の高さから海水淡水化への適用が見えてきた。様々な用途開発の歴史を経て、ようやく「本丸」の海水淡水化が射程内に入った

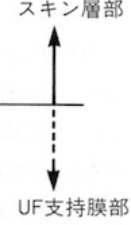
<sup>27</sup> 筆者による神山義康氏へのインタビューより。2014年8月25日、岡山大学にて。

<sup>28</sup> これを濃度分極作用という。

のである。

図表 5 : ひだ構造の変化

	第一世代 NTR-7199	第二世代 NTR-759HR	第三世代 ES10
RO膜 スキン層断面 TEM写真 ×100,000倍 0.2μm			
スキン層高さ	平面(0μm)	約0.2μm前後	約0.4μm前後



出所：廣瀬・伊藤（1996）p. 40。

#### 4. 海水淡水化への道

##### 4.1 沖縄と福岡

日東電工がES-10を展開し始めていた頃、日本国内では沖縄で海水淡水化施設の建設が進んでいた。沖縄は、地形的に見て河川からの取水が不安定であることから水の安定確保が長年の課題であり、給水制限日数が169日に及んだ1977年には「沖縄本島海水淡水化計画調査（第1次）」が始まっていた。それから歳月を経た1993年、北谷浄水場において海水淡水化施設（40,000m<sup>3</sup>/日）の工事が始まり、1997年に完成した。

この海水淡水化施設は、完成当時において国内最大、世界でも5番目という、巨大な施設だった<sup>29</sup>。施設内には、RO膜エレメントを直列に6本装填したモジュール（ベッセル）

<sup>29</sup> 『琉球新報』（1997年4月10日）の報道に基づく。総事業費は346億9万9943円、うち国庫補助率85%；294億9万4948円（沖縄県環境生活部生活衛生課、2012）。

が7列×9段並んで1トレインが構成され、これが計8トレイン備えられた。施設全体では、「6本×7列×9段×8トレイン=3,024本」のRO膜エレメントが使われる計算になる。この施設の造水能力4万トンのうち、東レが3万トン分、日東電工が1万トン分を受注した。これを受けて日東電工が納入したNTR-759は、海水淡水化用としてNTR-70SWと名称が変更されていた。現在、この海水淡水化施設のRO膜エレメントの構成は、東レ2.5万トン分、日東電工1.5万トン分となっている。

沖縄の案件以前にも、Hydranauticsの販路を通じて海水淡水化用途にRO膜モジュールを納入した経験はあった。架橋全芳香族ポリアミド系のRO膜モジュールを日東電工が初めて供給したのはスペイン領カナリー諸島の施設向けで、それは1991年のことであった。翌1992年には6000m<sup>3</sup>/日規模で運転が開始された。沖縄海水淡水化施設への納入はそれから5年後の出来事となるが、大規模な国内案件であったことから、社内でも注目を集めることとなった。

沖縄に続いて2005年に国内で完成したのが、福岡の海水淡水化施設であった。沖縄と同様に福岡もまた長年にわたって水不足に悩む地であった。福岡では、1994年に大渇水に見舞われたのを機に、海水淡水化施設の導入が検討され始めた。翌1995年には「福岡県、福岡都市圏海水淡水化導入研究会」が設置された。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、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インチの中空糸型膜エレメント2,000本を納入することになった。しかし、東洋紡の一段脱塩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1,200本(ES20B-D8:高ホウ素阻止タイプ)が導入された。さらに、前処理用として、日東電工のPVDF(ポリフッ化ビニリデン)系UF膜エレメント3,060本も導入された。

日東電工のRO膜の差別化要素は、ホウ素除去能力であり、長期安定性と長寿命性でも優れていた<sup>30</sup>。ホウ素除去については日東電工が目指してきた低圧が効果的に活かされた。ホウ素除去工程は、海水を淡水化した後の工程であり、高い動作圧力が求められるわけではない。それゆえできる限りエネルギーを消費せずにホウ素を除去することが望ましい。

---

<sup>30</sup> ここで注記しておく、海水を淡水化する工程そのものへの適用に関していえば、低圧性が必ずしも強力な差別化要素となるわけではない。海水と淡水の間には約2.5MPaという高い浸透圧がかかっているため、逆浸透現象を起こすにはそれ以上の圧力をかける必要があるからである。一般に海水淡水化では5.5MPa以上の動作圧力が必要となる。それゆえ動作圧力について仮に各社で少し差があったとしても、強力な差別化要素にはなりにくい。

福岡に導入された後処理用のRO膜エレメントは、超低压ROのES-10の流れを受けたES-20であり、ホウ素除去能力に加えて、その低压性に大きな特徴があった。

長期安定性と長寿命性という点でも日東電工のRO膜には改善が重ねられていた。複合膜にとって、塩阻止率や透過流束という基本性能での初期能力が重要であるのはもちろんであるが、使用を通じて膜が汚れていくなかで、その初期能力をどれだけ持続できるかという点も非常に重要となる。とりわけ耐塩素性に難を抱えるポリアミド系複合膜を採用している膜メーカーにとっては、殺菌や洗浄をできるだけ抑えたいという動機が強く働くため、長期安定性はとくに重要なポイントになる。長期安定性と長寿命性は、いかにして汚れにくい膜を作るかということと密接に関係している。この点に関する知見は、食品用途や半導体向け超純水製造用途など多様な用途での経験を通じて積み重ねられており、そこでの学習が成果として反映された。低ファウリング性能を謳ったRO膜はLF-10として1997年に上市され、その後、より改良した膜をラインナップに加えて、LFシリーズとして今日まで続いている。

#### 4.2 海外展開

2000年代に入ると、海水淡水化市場が本格的に拡大し始め、日東電工もまたその波を捉えて大きく成長し始めた。何より支えとなったのがHydranauticsの世界販路だった。彼らが保有していた販路は非常に強力なものであり、日東電工が海外展開を進める上での重要な基盤を提供した。Hydranauticsを買収した際、世界中から流れ込んでくるファックスに日東電工の関係者が目を見張ったほどであった。Hydranauticsが持っていた販路の重要性について、神山は次のように述べている。

ハイドロ (Hydranautics) を買収してつくづく思ったことは、RO膜のスパイラルの用途ってこんなにあるのだな、(脱塩用途では) 1件ごとの膜モジュールの数がすごく多いのだな、ということです。日本で超純水の設備をやっても、せいぜい何百本です。千本なんていかないです。ところが、ハイドロがやっている設備は(当時既に) 千本単位ですものね。もうケタが違うのですよ。これは違う世界だな、と思いましたね。日本の我々がそういうところに売りに行けるかと言ったら、行けないですよ。アメリカ、海外のプラントメーカーの人たちとやり合えないです。全然違うのです<sup>31</sup>。

---

<sup>31</sup> 筆者による神山義康氏へのインタビューより。2014年8月25日、岡山大学にて。

海水淡水化のフィールドテストが容易にできるようになったことも Hydranautics 買収の効果の1つであった。それまでは、新たな複合膜を開発しても、自前でフィールドテストを重ねる段階で困難があった。しかし Hydranautics は、いとも簡単にテスト結果を送ってきてくれた。いち早く有益なフィードバック情報を得ることによって、海水淡水化向けの RO 膜の開発を今まで以上に効果的に進めることができるようになった。

2000 年代に入って本格的な拡大を見せ始めた世界の海水淡水化市場では、既存顧客を奪い合うよりは、新設される海水淡水化施設への受注という形での競争が繰り広げられた。そのなかで日東電工は、スペインのカルボネラス (120,000 m<sup>3</sup>/d : 2001 年稼働)、アラブ首長国連邦のフジャイラ (170,000m<sup>3</sup>/d : 2003 年稼働)、そしてアメリカのタンパ (100,000 m<sup>3</sup>/d : 受注金額約 10 億円<sup>32</sup>) といった大型案件を受注した。一連の受注を通じて日東電工は、膜事業の売上高を 79 億円 (2002 年度 : 世界の RO 膜市場 282 億円の 28%)、130 億円超 (2004 年度)、140 億円 (2005 年度)、177 億円 (2006 年度) へと着実に拡大してきた<sup>33</sup>。

海水淡水化市場での拡大を見込んで、日東電工は供給体制の拡充にも努めた。2006 年には、膜事業の売上高を 2010 年度に 280 億円まで引き上げることを発表し、60 億円を投じて滋賀工場の第一期拡張工事に入った。同時に膜の改良も重ね、2007 年に SWC5 を、2009 年に SWC5 MAX (同年売上目標 20 億円) をそれぞれ市場に投入した。滋賀工場の第一期拡張工事が完了したのは、SWC5 MAX が市場に投入された 2009 年のことである。

地域別に見ると、日東電工は、特にオーストラリアで競争優位を確立しており、ゴールドコースト (125,000m<sup>3</sup>/d : 2009 年稼働)、アデレード (270,000m<sup>3</sup>/d : 2013 年稼働)、メルボルン (410,000m<sup>3</sup>/d : 2013 年稼働) といった海水淡水化施設への納入実績に支えられて約 60% の市場シェアを実現している。

他の地域でも活発な営業活動を展開した。2007 年に受注したアルジェリア・ベニサフにおける案件 (200,000m<sup>3</sup>/d) および 2010 年に受注したイスラエルの案件は、いずれも当時として世界最大級の規模であった。なお、イスラエルで受注したモジュールは、直径 16 インチに大型化された RO 膜モジュールである。

著しい経済成長を遂げてきた中国においては、海水淡水化のみならず工業用水の需要も大きくなっている。日東電工は、生産面では早くも 2002 年に上海で RO 膜モジュールの組み立てを始め、中国市場での事業展開に向けた準備を整えていた。中国市場向けには独自の RO 膜も開発し、2006 年に純水製造用 RO 膜エレメント PROC10 (2008 年度売上目標 20 億円) を、次いで 2009 年には同製品を改良した PROC20 (2009 年度売上目標 5 億円) をそれ

<sup>32</sup> 『日本経済新聞』2003 年 2 月 15 日、p. 13 の報道に基づく。

<sup>33</sup> 『日経産業新聞』(2003 年 2 月 24 日、p. 6 : 2005 年 10 月 19 日、p. 3 : 2006 年 9 月 14 日、p. 12)。『日本経済新聞』(2007 年 5 月 18 日、p. 11) の報道に基づく。



ぞれ市場に投入した。海水淡水化についてみると、2008年に天津市で同国内最大級の海水淡水化施設向けにRO膜モジュールを受注することに成功した（受注金額：約7億円）。

## 5. おわりに

世界的な水不足を解決する切り札の一つとして期待が寄せられるRO膜市場において、日東電工は世界をリードする存在である。しかし今日に至る道のりは、必ずしも一貫したきれいなストーリーとして描けるものではない。今となってはRO膜といえば海水淡水化を思い出す。しかし日東電工は、海水淡水化を明確な目標としてRO膜の開発を行ってきたわけではなかった。RO膜は、あくまでも、数ある分離膜の1つに過ぎなかったし、海水淡水化も数ある用途の1つに過ぎなかった。

日東電工におけるRO膜事業の歴史は、分離膜を事業の柱に育てるというトップの強い意志に支えられ、それを何とかして事業化しようとした開発者達のなりふり構わぬ努力の歴史として映る。膜事業を新たな柱にすることを決意した土方に対し、山本は途中で撤退することなど微塵も考えず事業拡大に勇往邁進した。技術者達は、その想いに応えてあらゆる種類の技術に挑戦し、手当たり次第、応用市場を探索してきた。それらは1つ1つ、必ずしも事業として成功したわけではなかった。しかし、1973年の開発着手から1990年代前半に事業が軌道に乗るまでの実に約20年という長い年月のなかで、少なくとも事業の継続を正当化するには役立ったように思える。事業が軌道に乗った後の1996年6月、山本は日東電工の社長に就任し、2001年3月までの5年弱にわたって全社を率いた。

技術者には、研究の側面から、技術の原理的な理解が求められる。物性の解析は、初期段階から極めて重視されていた。その一方で、日東電工の技術者は、技術が製品として顧客サイトできちんと機能し、経済的な価値を生み出すことにも責任を持っている。したがって、やみくもに膜性能を向上させるのではなく、顧客にとっての価値を最大化するための方策を、膜モジュールとして効果的に機能させる製品設計も社内で同様に重視された。膜モジュールというデバイスを早い段階から自社のシミュレーション・プログラムを確立していることも、日東電工の強みの1つである。

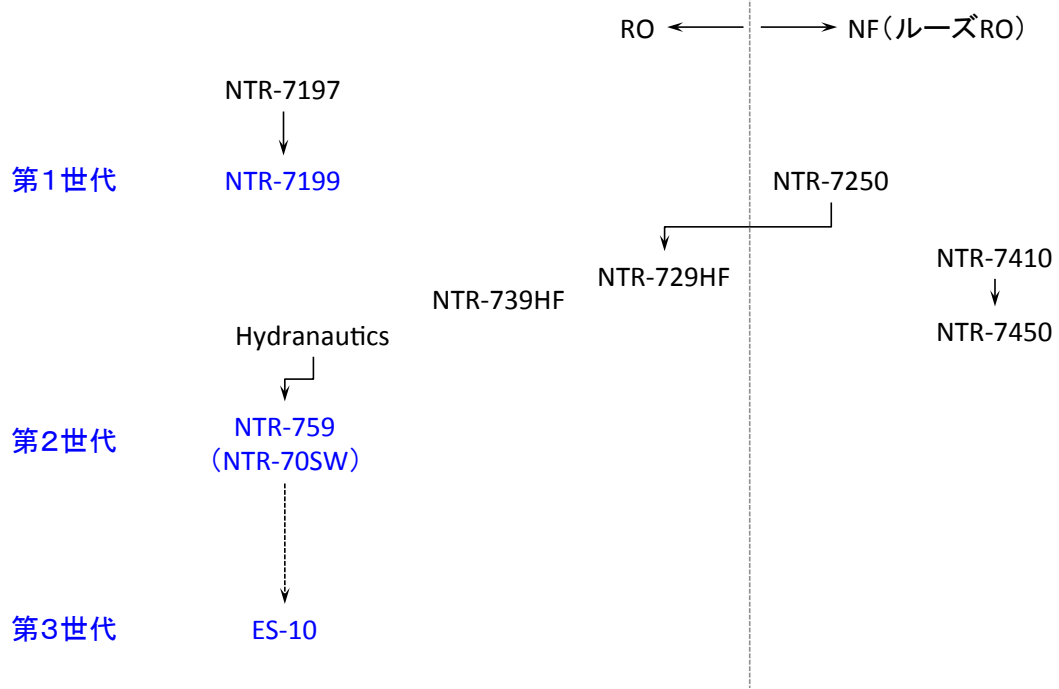
この点は日東電工における開発組織体制とも関係している。日東電工における膜開発の歴史を振り返ると、研究と開発が一体化、もしくは混在していた。さらに、そこには顧客目線でのエンジニアリング的、営業的な発想も組み込まれていた。

顧客目線で開発を続ける中で、技術者たちは多くのことを学習してきた。たとえば、食品市場への応用からは、バクテリア対策や洗浄問題、モジュール設計に関する知見を得ている。半導体市場からは、微粒子評価や微生物の問題について学び、特に、それらの分析

評価技術の確立は、その後の RO 膜開発に大きな影響を与えた。日東電工が構築した分析評価技術は、顧客である水処理装置メーカーが学びにくるほどであった。多様な応用市場の探索は、膜そのものの性能に関する学習だけでなく、膜モジュール設計や洗浄工程に関するものも多かった。だから、日東電工の膜技術者は、膜以外の周辺技術にも詳しい。日東電工の膜部門は、こうした技術成果を特許として出願することに積極的であった。出願すべきテーマが每期予算化され技術者に割り当てられ、出願が重ねられたという。

膜には様々な機能、性能が組み込まれている。その機能や性能のもつ価値を引き出すのは、顧客である。日東電工は、技術者が多様な顧客と直接接点を持つことによって、顧客から多くのことを学んできたように見える。NTR-7250 の特性が半導体製造市場に適していることを教えてくれたのは、顧客である栗田工業であった。歴史を振り返ると、顧客の視点を共有することによって、日東電工の技術者は自らの技術の持つ価値を発見してきたのであり、それが事業の発展につながってきたのではないだろうか。

補図表：日東電工における RO 膜の流れ



出所：筆者作成

## 参考文献

- 廣瀬雅彦・伊東弘喜（1996）「超低圧 RO 膜『ES シリーズ』の開発」『日東技報』第 34 巻、第 2 号、pp. 38-47。
- 池田健一（1991）「低圧 RO 膜の開発と実用化」『膜』第 16 巻、第 4 号、pp. 223-232。
- Ikeda, K, and J. Tomaschke（1994）“Noble Reverse Osmosis Composite Membrane,” *Desalination*, 96, pp. 113-118.
- 岩堀博・船山健一郎（2004）「膜前処理 2 段システム」『膜を用いた水処理技術』シーエムシー出版、pp. 260-276。
- 神山義康（1990）「RO 膜」『繊維機械学会誌』第 43 巻、第 9 号、pp. 523-532。
- Kamiyama, Y., N. Yoshioka, K. Matsui, and K. Nanakgome（1984）“New Thin-Film Composite Reverse Osmosis Membranes and Spiral Wound Modules,” *Desalination*, 51, pp. 79-92.
- 国定勇一（1981）「茅ヶ崎における逆浸透法海水淡水化の技術開発」『日本海水学会誌』第 35 巻第 2 号、pp. 82-92。
- 中込敬祐（1984）「超純水製造のための膜モジュール」『化学装置』12 月号、pp. 1-8。
- UNESCO（2009）『第 3 次国連世界水発展報告書：変化する世界における水』
- 日経産業新聞編（2010）『日経市場占有率 2011 年版』
- 日経産業新聞編（2011）『日経シェア調査 2012 年版』
- 日経産業新聞編（2012）『日経シェア調査 2013 年版』
- 日東電工「Nitto グループレポート」各年版。
- 日東電工『日東技報』各年版。
- 沖縄県環境生活部生活衛生課（2012）『沖縄県の水道概要：平成 23 年度版』
- 食品産業膜利用技術研究組合（1987）「最近の膜モジュール開発と食品工業への応用例」
- 鈴木文夫（2004）「世界に『安全で安価な水』を提供するメンブレン事業」『日東技報』第 42 巻、第 85 号、pp. 11-15。

~~~~~

補論コラム：RO 膜をめぐる特許訴訟  
FilmTec 対 Hydranautics

1990年5月、RO膜の開発を進めていた日東電工は、アメリカのカリフォルニア州南部地区連邦地方裁判所で起きたひとつの特許権侵害訴訟に頭を痛めていた。FilmTec が Hydranautics を特許侵害で訴えたのである。形式的には FilmTec 対 Hydranautics だったけれども、FilmTec は 1985 年にダウ・ケミカルに吸収され、Hydranautics は 1987 年に日東電工に吸収されていることから、実質的にはダウ・ケミカル 対 日東電工という構図での訴訟であった。

FilmTec の主張は、同社共同設立者の John E. Cadotte 博士が保有する特許 4277344（出願日 1979 年 2 月 22 日、公開日 1981 年 7 月 7 日）に Hydranautics が抵触しているというものだった。FilmTec は別の RO 膜企業 Allied も特許侵害で訴えており、これを認めた裁判所は Allied に対して既に禁止命令を出していた。Cadotte 博士の特許は、その特許番号から通称「344 特許」として知られ、ポリアミド系の素材を扱う RO 膜企業にとって重要な意味を持つ特許だった。もし侵害が認められれば Hydranautics は大きな打撃を受け、そこで開発された RO 膜に依拠して工業化を遂げた日東電工も大きな影響を被ることが間違いない重大案件であった。

翌 1991 年 8 月、カリフォルニア州南部地区連邦地方裁判所は FilmTec 勝訴の判決を下した（Case No. 90-563 GT(M)）。このままでは、日東電工は RO 膜を今までのように製造することができなくなる。そのため Hydranautics は連邦巡回区控訴裁判所へ控訴、判決の行方に注目が集まった。

このなかで Hydranautics 側が争点としたのは、344 特許で報告されている発明内容の源流であった。344 特許は出願年こそ 1979 年だけれども、その内容は 1978 年 2 月 23 日に行われた実験に基づくものであり、さらにさかのぼると、その実験は 1977 年 11 月 17 日に行われていた実験と瓜二つだったからである<sup>34</sup>。

1977 年 11 月 17 日という日付は、非常に重要な意味を持っていた。というのも、1978 年 2 月の実験はたしかに FilmTec において行われたものだったけれども、1977 年 11 月に行われたこの実験は、Cadotte 博士が FilmTec へ移る前（スピニングする前）に勤務していたアメリカの研究機関である MRI（Midwest Research Institute）で行われたものだったからである。

---

<sup>34</sup> 唯一の違いは、乾燥させる温度が 130℃から 100℃に下げられていたことであった。

実はMRIは、RO膜研究に対する政府支援を受けるにあたって、1976年にアメリカ水研究・技術局（Office of Water Research and Technology）と契約を結んでいた。その契約に基づくと、1976年7月15日から1978年1月15日までにMRIで行われた発明は政府に帰属することとなっていたのである。つまりHydranautics側は、344特許で報告されている発明内容の原点となる実験は1977年11月17日にMRIで既に行われていたのであり、それゆえ344特許はFilmTecではなくアメリカ政府に帰属すると主張したのである。なお、Cadotte博士がMRIを退社したのは1977年12月31日のことであった。

FilmTec側の反論は、2つの実験で得られたRO膜の性能差にあった。1977年11月の実験で得られたRO膜の性能は、透過流束が12.7gfdおよび9.5gfd、塩阻止率は95.0%および88.5%であった。これに対し、1978年2月の実験で得られた性能は、透過流束13.1gfdおよび11.0gfd、塩阻止率98%にそれぞれ向上されたものであった。この事実に基づき、その性能差は実験の非連続性を示すと主張したのである。両者の主張は真つ向から対立した。

1993年3月18日、連邦巡回区控訴裁判所は実験の連続性を認め、Hydranautics勝訴の判決を下した。これにより344特許はアメリカ政府に帰属することとなり、Hydranauticsや日東電工のみならず多くのRO膜企業が胸を大きく撫で下ろす結果となった。

344特許をめぐる一連の訴訟は、多くのRO膜企業を駆逐しうるほどに深刻な訴訟だった。各社が固唾をのんで見守るなかでHydranautics・日東電工陣営による控訴が行われ、最終的に同特許はアメリカ政府に帰属するという逆転劇で幕を閉じた。

#### 特許侵害訴訟判決

Case No. 92-1091 (982 F.2d 1546) ; Case No. 98-55274 (204 F.3d 880)

~~~~~