高効率海水淡水化 RO 膜の開発

河 田 一 郎

日東電工株式会社 メンブレン事業部開発部 ☎ 525-0042 滋賀県草津市山寺町字笹谷 61 番 7

Development of High Efficiency Sea Water Desalination RO Membrane

Ichirou Kawada

Nitto Denko Corporaion, Membrane Division
61-7 Azasasatani, Yamadera, Kusatu city, Shiga 525-0042, Japan

The spiral wound RO element for a high recovery seawater desalination system has developed. The RO element has many advantages suitable for high recovery RO seawater desalination. Based on newly developed membrane and unique element structure, this element was specifically developed for high pressure (maximum operating pressure 9 MPa) and high salt rejection on high concentration

A RO desalination plant, using the newly developed RO elements with open-intake seawater, has been operated by Nitto Denko Corporation in Tropical Biosphere Research Center, National University of the Ryukyus at Sesoko, Motobu-cho, Okinawa in Japan.

The plant Uses eighteen 8-inch-elements "NTR-70SWH-S8" with the nominal performance of 99.7% rejection and 16 m³/d permeate flux under the factory test conditions (at a pressure of 9 MPa, and recovery of 12%, with feed solution of 5.8% NaCl, at 25°C). The RO plant produces 210 m³/d of permeate water. The recovery ratio was maintained at 60% by high operating pressure. The permeate water quality has been kept less than 250 mg/l TDS.

Key words : reverse osmosis membrane/seawater desalination/high pressure/high recovery

1. はじめに

1997 年 4 月より国内最大の海水淡水化逆浸透膜 (RO) プラント (造水量 40,000 m³/日) の実用稼働が開始された。また、現在、RO 法海水淡水化は世界的に第 3 のブームが起きつつある。今

後、飲料用水や電力用水としてこのような海水淡水化 RO プラントの採用が期待されているが、今後の普及のためには造水コストの更なる低減が望まれている¹⁾。そのためには、プラントの回収率の向上が効果的であり、その実現に際して濃縮水側の浸透圧上昇に伴う高圧付与が必要となる。

Fig. 1 Cross section structure of RO membrane

そのため、膜エレメントが高圧に耐え、しかも、高濃度海水に対して高性能を維持することが重要となる。

これに対し、我々は高耐圧型高性能海水淡水化膜エレメント NTR-70SWH-S8 の開発^{2, 3)}を行った。本稿では、この新規に開発した膜エレメントの技術開発ポイントと実際の高効率海水淡水化実証プラントへの適用例について報告する。

2. 新規開発膜エレメントと従来膜エレメントの比較

RO の回収率が 40% のときの濃縮水の浸透圧が約 45 kg/cm² に対して、60% のときの濃縮水の浸透圧は 70 kgf/cm² となる。さらに、膜面濃度分極を考慮すると膜面近傍の濃縮水の浸透圧は、それぞれ約 50 kg/cm² と約 75 kg/cm² にまで上昇する。従って、実用的な透過水量を得るために実際の操作圧力は回収率が 40% のときに 55~65 kg/cm² 必要なのに対して、60% のときには 80~90 kg/cm² の高圧が必要となる。

しかし、従来の RO 膜を 90 kg/cm² の高圧で

使用すると 56 kg/cm² で使用した場合に比べ膜の圧縮変形量が大幅に増加することが観察された。さらに、Fig. 1 に示すように電子顕微鏡で詳細な観察を行うと複合膜構造のスキン層部分の変形は見られないが、UF 膜（支持膜）部の圧縮変形が大きいことがわかった。

Fig. 2 に UF 膜（支持膜）の透過水量の初期値に対する保持率と RO 膜の透過水量の保持率の相関関係を示す。UF 膜の透過水量の保持率が 10% 以下になると RO 膜の透過水量が急激に低下することがわかる。UF 膜透過水量の 56 kg/cm² 運転後の保持率が 27% に対して 90 kg/cm² 運転後の保持率は 5% 以下であり、RO 膜の透過水量は 56 kg/cm² 運転後に比べ 90 kg/cm² 運転後に急激に低下している。

さらに、90 kg/cm² 運転後の RO 膜のスキン層を除去した後に UF 膜の表面を観察したところ Fig. 3 に示すように表面が圧縮変形を受け孔がつぶれており、それが原因で透過水量の大幅な低下を生じていることがわかった。

そこで、Fig. 3 に示すように UF 膜表面のみの孔径を小さく、均一に、しかも数多くすることに

Fig. 2 RO membrane flux vs support layer (UF) flux

Conventional NTR-70SWC
Surface structure of UF membrane

New Development NTR-70SWH
Surface structure of UF membrane

Fig. 3 Surface structure of new development UF membrane and conventional UF membrane for thin film composite RO membrane

より、圧縮変形を受けても透過水量の低下を最小限に抑えられる構造とし、架橋全芳香族ポリアミドのスキン層と組み合わせた RO 複合膜 NTR-70SWH を新規に開発した。その結果、従来品

NTR-70SWC の支持膜 (UF 膜) の運転前後の性能変化と新規開発品 NTR-70SWH の支持膜の運転前後の性能変化を比較すると、阻止率/透過水量 (UF 膜の性能は PE20000, 10 kgf/cm² で

Fig. 4 High pressure durability of new development membrane

評価した)は、従来品 NTR-70SWC の支持膜が初期 $28\%/48 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ に対して高圧運転後が $67\%/1.4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ と支持膜表面の孔の圧縮変形により透過水量保持が 2.9% と 5% 以下になっている。それに対して、新規開発品 NTR-70SWH の支持膜は、初期 $89\%/36 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ に対して高圧運転後が $89\%/5.3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ と透過水量保持率が 14.7% と 10% 以上に抑えられている。

Fig. 4 に従来の NTR-70SWC 膜と新規開発の NTR-70SWH 膜の 100 時間運転時の耐圧性の比較を示す。NTR-70SWH 膜は、 $90 \text{ kg}/\text{cm}^2$ の高圧下でも透過水量の低下が少ないことがわかる。

新規開発の高耐圧型海水淡水化用 NTR-70SWH-S8 と従来の NTR-70SWC-S8 の 8" 実用膜エレメントを用いて $90 \text{ kg}/\text{cm}^2$ の圧力下で運転したときの透過水量の経時変化を Fig. 5 に示す。新規開発の NTR-70SWH-S8 は、 $90 \text{ kg}/\text{cm}^2$ の高圧で運転しても従来の NTR-70SWC-S8 の $56 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 運転の場合と同程度の透過水量低下率であることがわかる。また、従来の NTR-70SWC-S8 を $90 \text{ kg}/\text{cm}^2$ の高圧下で運転した場合、膜が透過水側スパーサーの溝部へ陥没するため透過水量の低下を加速し膜破損が発生する場合がある。新規開発の NTR-70SWH-S8 では、透過水側スパーサーにも改良を加え膜の陥没を防止する構造を採用している。

更に、実際の高回収率運転では、膜エレメント内での海水の濃縮がすすむため、高塩分濃度下での高い塩分阻止性能と膜面の濃度分極現象を抑制

Fig. 5 Flux on high pressure operation

する高攪拌型原水側スパーサー構造も求められる。

新規開発膜エレメント NTR-70SWH-S8 は高回収率運転を想定した高濃度 5.8% 海水、高圧 $90 \text{ kg}/\text{cm}^2$ の評価条件で、阻止率 99.7%、透過水量 $16 \text{ m}^3/\text{日}$ の性能を示す。

3. 耐酸性

硫酸により pH 2 に調整された濃縮海水 (5.8% TDS 濃度) に対する新規開発膜の耐酸性を評価した。その結果、1,000 時間経過後も膜性能の低下は発生しなかった。新規開発膜が、間欠殺菌や薬品洗浄時に使用される酸に対して十分な耐性を有することがわかった。

4. 実証プラントへの適用例

沖縄県琉球大学附属熱帯生物圏研究センター内の高効率海水淡水化実証プラントへ 8" 実用サイズの新規開発膜エレメント NTR-70SWH-S8 を適用し長期実証運転を行っている。Fig. 6 に設備フローシート、Fig. 7 に RO 設備外観を示す。回収率は 60% に固定され、造水量は $210 \text{ m}^3/\text{日}$ である。

この実証プラントは、沖合 100 m の海底より取水している。前処理設備として、凝集 2 層濾過 + 砂濾過に加えて、逆洗可能スパイラル型 UF 膜エレメント RS30 を並列に設置している。それぞれ

Fig. 6 Flow diagram of high recovery sea water desalination test plant (210 m³/day)

Fig. 7 Photo of RO facility (210 m³/day, recovery 60%)

10 m³/h, 12.5 m³/h でトータル 22.5 m³/h のろ過水を RO 設備に供給する能力を有している。逆洗可能スパイラル型 UF 膜エレメント RS30 は、通常全量ろ過運転を行い、20 分に 1 回のろ過海水による逆洗により膜面の汚れを排出することにより 95% という高い回収率で安定運転が可能となっている。しかも、凝集剤が不要で汚泥が発生しないため、排水設備の簡略化が可能となっている。

RO 部は、2-1 のクリスマスツリー配列となっ

Fig. 8 Operating data of high recovery RO (210 m³/day, recovery 60%)

ており、1 段目と 2 段目の間にブースターポンプとエネルギー回収目的でターボチャージャーが設置されている。

使用している RO エレメントは、実用サイズの 8" 径 40" 長さのエレメントで 1 段目に従来の NTR-70SWC-S8 が 12 本、2 段目に新規開発品 NTR-70SWH-S8 が 6 本使用されており、それぞれ 6 本単位で圧力容器（ベッセル）に納められている。

運転は回収率は 60% に固定され、造水量は 210 m³/日である。海水温度の季節変動により透過水

量が変動するため、造水量が $210 \text{ m}^3/\text{日}$ で一定になるように圧力を調整するいわゆる定量運転を行っている。そのため、Fig. 8 に示すように水質は水温の低い冬場は高圧運転となるため TDS 170 mg/l 、水温の高い夏場は低圧運転となるため TDS 310 mg/l と変動している。実際のプラントでは、水温が高くなる夏場にエレメント本数を減少することにより圧力低下を抑制し、TDS の上昇を抑える処置がとられる。現在、生産水の水量、水質共に安定しておりさらに運転を継続中である。

5. まとめ

(1) 高効率海水淡水化プラントに最適な高耐圧型高性能 RO 膜エレメント NTR-70SWH-S8 を新規に開発した。

(2) 新規開発膜エレメントを実用規模の高効率海水淡水化実証プラントに適用し、造水量 $210 \text{ m}^3/\text{d}$ 、回収率 60% で約 500 日の長期実証運転を行った。その結果、水量、水質共に安定して得られ、実機への適用が可能であることが確認できた。現在、さらに運転を継続している。

文 献

- 1) 大矢晴彦, 鈴木 喬, 中尾真一他, 海水学会誌, **50**, 6, 389 (1996)
 - 2) 河田一郎, 安藤雅明, 第 49 回全国水道研究発表会講演要旨集, 192 (1998)
 - 3) 河田一郎, 廣瀬雅彦, 川崎睦男, 造水技術, **25**, 1 (1999). Development of high efficiency Sea Water Desalination RO membrane. Ichirou Kawada (Membrane Sector, Nitto Denko Corporation, Kusatu, Shiga 525-0042)
- (受付 1999 年 10 月 3 日 掲載決定 10 月 12 日)