

7. 1. 5. B. 原海水, RO供給海水, 膜透過水ならびに濃縮水の分析

(7.1.5.B)

目 次

7.1.5.B 原海水、RO供給海水、膜透過水ならびに濃縮水の分析	1
1. 目的	1
2. 分析装置および分析方法	1
3. 海水の組成分	1
4. 結果および考察	1

(7. 1. 5. B)

表 一 覧

表番	題 名	頁
Table 1	海水の化学分析結果(1994. 7)	2
Table 2	海水の化学分析結果(1993. データ)	2
Table 3	ミニモジュール試験時の供給海水の化学分析結果	3
Table 4	東レ製ミニモジュールNo. 1 透過水の化学分析結果	3
Table 5	東レ製ミニモジュールNo. 2 透過水の化学分析結果	3
Table 6	東レ製ミニモジュールNo. 3 透過水の化学分析結果	4
Table 7	日東電工製ミニモジュールNo. 1 透過水の化学分析結果	4
Table 8	日東電工製ミニモジュールNo. 2 透過水の化学分析結果	4
Table 9	日東電工製ミニモジュールNo. 3 透過水の化学分析結果	5
Table 10	東レ製ミニモジュールの濃縮水の化学分析結果	5
Table 11	日東電工製ミニモジュールの濃縮水の化学分析結果	5

(7.1.5.B)

7.1.5.B 原海水、RO供給海水、膜透過水ならびに濃縮水の分析

1. 目的

膜性能を評価するために、供給水、濃縮水などの溶液成分の分析を行った。

2. 分析装置および分析方法

分析装置：

- 1 - 原子吸光分析器 バリアン製 AA-972
- 2 - イオンクロマトグラフィ 島津製作所製 HIC-6A
- 3 - 自動滴定器 FISHER 465

分析方法：

陰イオン：CL ⁻	0.0137N AgNo ₃ (硝酸銀) の滴定による分析
SO ₄ ⁻	希釈後にイオンクロマトグラフィによる分析
M ⁻ アルカリ度	0.01N HCL (塩酸) の滴定による分析
陽イオン：Na ⁺ , K ⁺	希釈後に原子吸光分析器による分析
Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺	0.01N EDTA (エチレンジアミン四酢酸) の滴定による分析
T. D. S.	蒸発法による分析
塩分	係数(1.805) x CL ⁻ (濃度)を適用して測定

3. 海水の組成成分

1994年7月に分析した海水の組成成分をTable 1 に示す。

4. 結果および考察

Table 2 に示すように、1993年の原海水分析データの陽イオンおよび陰イオンはバランスがあまり良くなかったと指摘されたが、1994年7月に入手した最新の分析データではTable 1 に示すとおり、両イオンのバランスは良好である。このことは最近の原海水の分析法および分析データが正確で信頼できることを示している。

1994年8月14日にアルジュベイル・リサーチ・センターにおいて前処理した海水および東レの第1、第2、第3 エレメントの透過水について分析した結果を、Table 3 ~ 9 にまとめた。日東電工の第1、第2、第3 エレメントからの透過水、東レ製および日東電工製の膜からの濃縮水については、Table 10 ~ 11 にまとめた。Table はいずれもわかりやすく表示した。なお、最新の分析データをAppendix-7.1.5-2 に添付した。

(7.1.5.B)

CONSTITUENTS OF SEA WATER

Table 1 海水の化学分析結果 (1994.7.)

		mg/l	mg/l as CaCO ₃
Cation	Na ⁺	12688	27583
	K ⁺	494	632
	Ca ⁺⁺	505	1263
	Mg ⁺⁺	1545	6358
	Total Cation		35835
Anion	M-alk		129
	Cl ⁻	23000	32440
	Br ⁻	80	50
	SO ₄ ⁻	3030	3156
	Total Anion		35775

T.D.S = 46843 mg/l
Salinity = 41.54 gm/kg

CONSTITUENTS OF SEA WATER

Table 2 海水の化学分析結果 (1993.データ)

		mg/l	mg/l as CaCO ₃
Cation	Na ⁺	15000	32609
	K ⁺	580	742
	Ca ⁺⁺	500	1263
	Mg ⁺⁺	1555	6399
	Total Cation		41000
Anion	M-alk		129
	Cl ⁻	23500	33145
	SO ₄ ⁻	3400	3542
	Total Anion		36816

T.D.S = 44000 mg/l
Salinity = 35.1 gm/kg

(7.1.5.B)

**ANALYSIS OF FEED WATER AND PERMEATE WATER
MINI MODULE TESTER EXP.**

Table 3 ミニモジュール試験時の供給海水の化学分析結果

		mg/l	mg/l as CaCO ₃
Cation	Na ⁺	12290	26717.4
	K ⁺	485	620.2
	Ca ⁺⁺	480	1200.0
	Mg ⁺⁺	1553.499	6393.0
	Total Cation	14808.5	34930.6
Anion	M-alk		113.0
	Cl ⁻	22400	31593.8
	SO ₄ ⁻	2878	2997.9
	Total Anion	25278	34704.7

Table 4 東レ製ミニモジュールNo.1透過水の化学分析結果

		mg/l	mg/l as CaCO ₃
Cation	Na ⁺	139	302.2
	K ⁺	4.4	5.6
	Ca ⁺⁺	0.4	1.0
	Mg ⁺⁺	0.243	1.0
	Total Cation	144.043	309.8
Anion	M-alk		18.4
	Cl ⁻	200	282.1
	SO ₄ ⁻	1	1.0
	Total Anion	201	301.5

Table 5 東レ製ミニモジュールNo.2透過水の化学分析結果

		mg/l	mg/l as CaCO ₃
Cation	Na ⁺	122	265.2
	K ⁺	3.8	4.9
	Ca ⁺⁺	0.4	1.0
	Mg ⁺⁺	0.486	2.0
	Total Cation	126.686	273.1
Anion	M-alk		17.0
	Cl ⁻	160	225.7
	SO ₄ ⁻	1	1.0
	Total Anion	161	243.7

(7.1.5.B)

Table 6 東レ製ミニモジュールNo.3透過水の化学分析結果

		mg/l	mg/l as CaCO ₃
Cation	Na ⁺	175	380.4
	K ⁺	5.7	7.3
	Ca ⁺⁺	0.4	1.0
	Mg ⁺⁺	0.729	3.0
	Total Cation	181.829	391.7
	Anion	M-alk	
Cl ⁻		262	369.5
SO ₄ ⁻		1	1.0
Total Anion		263	391.1

Table 7 日東電工製ミニモジュールNo.1透過水の化学分析結果

		mg/l	mg/l as CaCO ₃
Cation	Na ⁺	65	141.3
	K ⁺	2	2.6
	Ca ⁺⁺	0.8	2.0
	Mg ⁺⁺	1.458	6.0
	Total Cation	69.258	151.9
	Anion	M-alk	
Cl ⁻		87.5	123.4
SO ₄ ⁻		1	1.0
Total Anion		89	141.8

Table 8 日東電工製ミニモジュールNo.2透過水の化学分析結果

		mg/l	mg/l as CaCO ₃
Cation	Na ⁺	72	156.5
	K ⁺	2	2.6
	Ca ⁺⁺	0	0.0
	Mg ⁺⁺	0.243	1.0
	Total Cation	74.243	160.1
	Anion	M-alk	
Cl ⁻		103	145.3
SO ₄ ⁻		1	1.0
Total Anion		104	164.7

(7.1.5.B)

Table 9 日東電工製ミニモジュールNo.3透過水の化学分析結果

		mg/l	mg/l as CaCO ₃
Cation	Na ⁺	77	167.33
	K ⁺	2.6	3.3
	Ca ⁺⁺	0.2	0.5
	Mg ⁺⁺	0.243	1.0
	Total Cation	80.043	172.2
Anion	M-alk		18.9
	Cl ⁻	105	148.1
	SO ₄ ²⁻	1	1.0
	Total Anion	106	168.0

Table 10 東レ製ミニモジュールの濃縮水の化学分析結果

		mg/l	mg/l as CaCO ₃
Cation	Na ⁺	16900	36739.1
	K ⁺	567	725.1
	Ca ⁺⁺	600	1500.0
	Mg ⁺⁺	1973.16	8120.0
	Total Cation	20040.16	47084.2
Anion	M-alk		132.0
	Cl ⁻	30200	42595.2
	SO ₄ ²⁻	3674	3827.1
	Total Anion	33874	46554.3

Table 11 日東電工製ミニモジュールの濃縮水の化学分析結果

		mg/l	mg/l as CaCO ₃
Cation	Na ⁺	14400	31304.3
	K ⁺	500	639.4
	Ca ⁺⁺	528	1320.0
	Mg ⁺⁺	1744.74	7180.0
	Total Cation	17172.74	40443.7
Anion	M-alk		112.0
	Cl ⁻	25497	35961.9
	SO ₄ ²⁻	3317	43455.2
	Total Anion	28814	39529.1

7.2 R0ミニモジュール実験(1)

7. 2. 1 ROミニモジュール試験装置(1)の据付け

(7.2.1)

目 次

7.2.1 ROミニモジュール試験装置の据付け	1
1. 目的	1
2. 実験装置の概要	1
2.1 実験装置の設置状況	1
2.2 実験装置	1
3. まとめ	2

(7.2.1)

図 一 覧

図番	題 名	頁
Fig. 1	ミニモジュール試験装置(1)の写真	3
Fig. 2	ミニモジュール試験装置(1)用の温度制御冷却ユニット	3
Fig. 3	ミニモジュール試験装置(2)の写真	4
Fig. 4	ミニモジュール試験装置(2)用の温度制御冷却ユニット	4

7.2 ROミニモジュール実験

7.2.1 ROミニモジュール試験装置の据付け

1. 目的

平膜試験装置によって膜素材の性能を評価した後はモジュール構造に組み立てた場合の性能を測定する必要がある。

モジュールの大きさとしては実験用の2.5インチエレメントを用いた。

2. 実験装置の概要

2.1 実験装置の設置状況

6月8日	西海岸より運ばれてきたROパイロットプラント部品の確認を開始
20日	平膜試験機（SWCC所有）をRO実験棟に移設
28日	平膜試験機（SWCC所有）による実験準備開始
7月6日	平膜試験機（SWCC所有）による実験開始
21日	JICA送付機材（RO-1テストユニット、RO-2テストユニット、チラーユニット、クーリングタワー、配管材料）がSWCCのRD&TCに到着
24日	機材リストの照合開始
27、28日	機材を設置場所へ移動
28日	ミニモジュールテスト機(1)、チラー試運転開始
8月2日	各ユニットへのユーティリー工事（水道の給排水、電力供給、一部ユニットの基礎工事、海水の給排水）開始
14日	ミニモジュールテスト機(1)、チラー試運転開始
17日	ミニモジュールテスト機(1)実験開始
9月1日	ミニモジュールテスト機(2)実験準備
7日	ミニモジュールテスト機(2)実験開始

2.2 実験装置

(1) チラー設置

水温調節のためチラーを設置した。

No. 1 チラーユニットは平膜試験機（SWCC所有）の供給水配管とミニモジュールテスト機(2)の濃縮水配管に接続されている。

(7.2.1)

No. 2チラーユニットはミニモジュールテスト機(1)の濃縮水配管に接続されている。

(2) 試験装置

前処理装置：SWCC所有のろ過器は2塔から構成されており、No. 1ろ過器は運転開始時2時間は凝集剤を約5 mg/l(as Fe)添加し、その後は約1 mg/lに添加量を下げて運転している。No. 2ろ過器はポリシングろ過器として使用されている。

平膜試験器 (SWCC所有)：平膜試験用に設置されている。この中には限外ろ過モジュールがセットされており、逆浸透膜への供給水の水質のSDIが悪いときに使用できるようになっている。

ミニモジュールテスト機(1)：ミニモジュールテスト機(1)のROベッセルは6本セットされており、実験条件に合わせてベッセルの使用本数を変える。透過水及び濃縮水は循環運転ができ、濃縮水出口にチラーが接続されており、循環運転時には水温調整ができる。

尚、更に6本のROモジュールが組み込めるようになっている、ベッセル及び耐圧ホース準備が必要である。

ブラインブロー配管をブライン流量計のすぐ後に追加した。

ミニモジュールテスト機(2) 型式RUW-5：ミニモジュールテスト機(2)はROモジュール1本の性能試験、平膜試験(今回のJICA機材)及びUFモジュールが運転可能である。

3. まとめ

設置した実験装置をFig. 1～4に示す。

チラーの設置後、温度制御により安定運転が可能となった。

1号冷却ユニットはROミニモジュールテスト機(1)に接続され、2号冷却ユニットは、SWCCの既設の平膜テスト機と新しいミニモジュールテスト機(2)にも接続された。両方の冷却ユニットとも供給水の温度を下げて±21℃の一定温度に維持する十分な能力を備えている。この編成は制御された一定の温度の下での試験を可能にするものである。

ROミニモジュールテスト機(1)とミニモジュールテスト機(2)は1993年およびその後の膜比較試験に使用した。入手可能な市販の海水用膜の性能を調べて比較データを作成し、MSF-ROハイブリッドシステムに適したROモジュールの予備選択を行った。

(7.2.1)

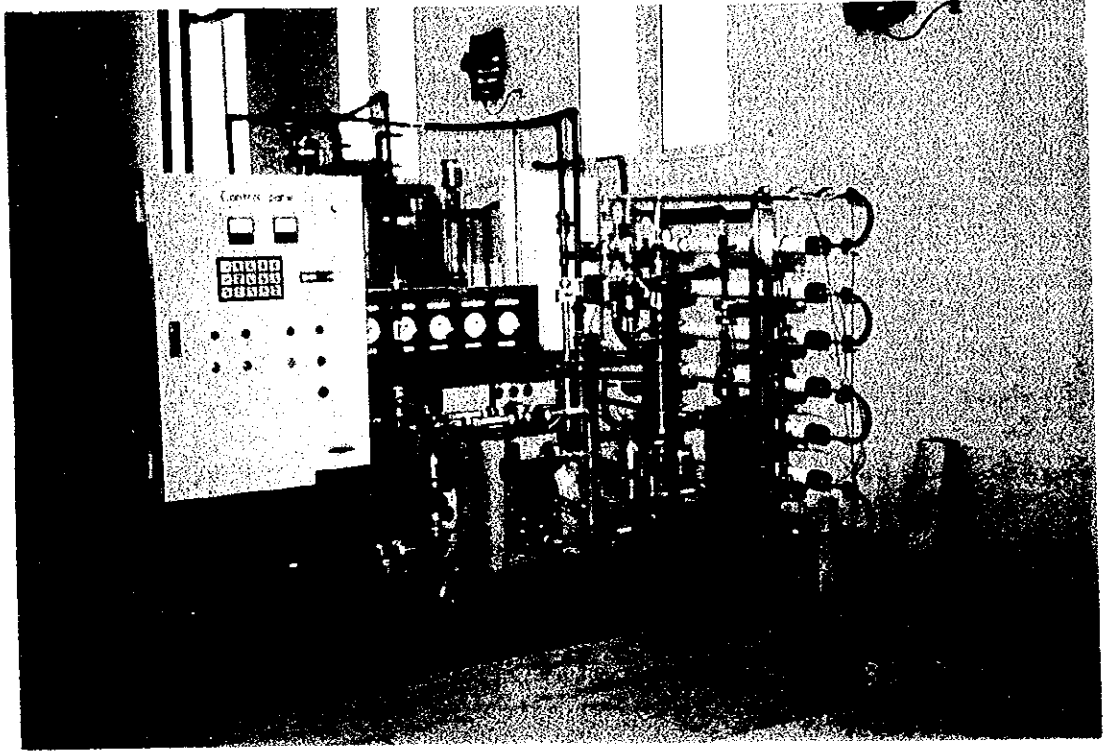


Fig. 1 ミニモジュール試験装置(1)の写真

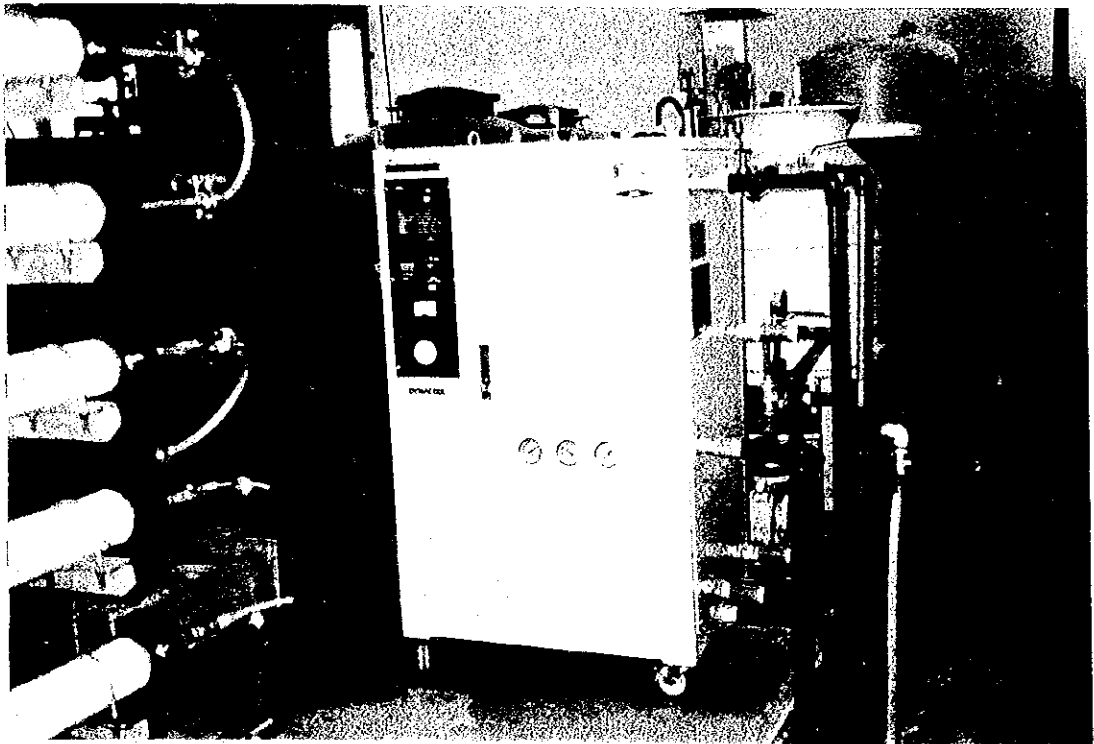


Fig. 2 ミニモジュール試験装置;(1)用の温度制御冷却ユニット

(7.2.1)

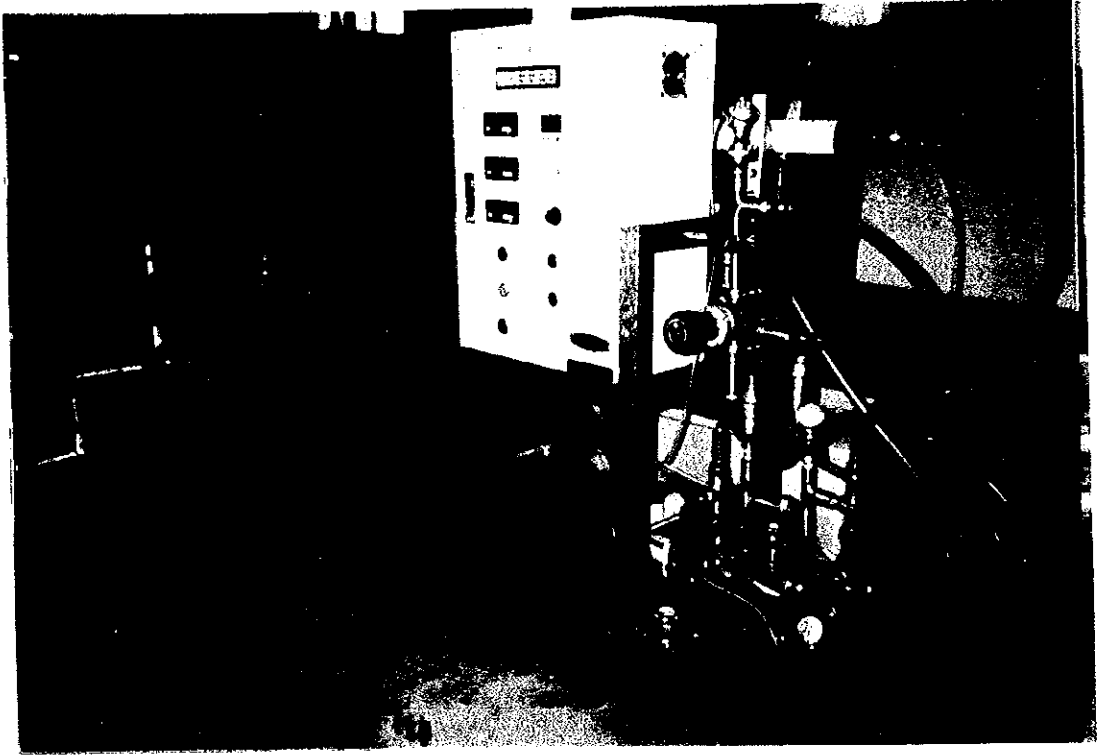


Fig. 3 ミニモジュール試験装置 (2) の写真

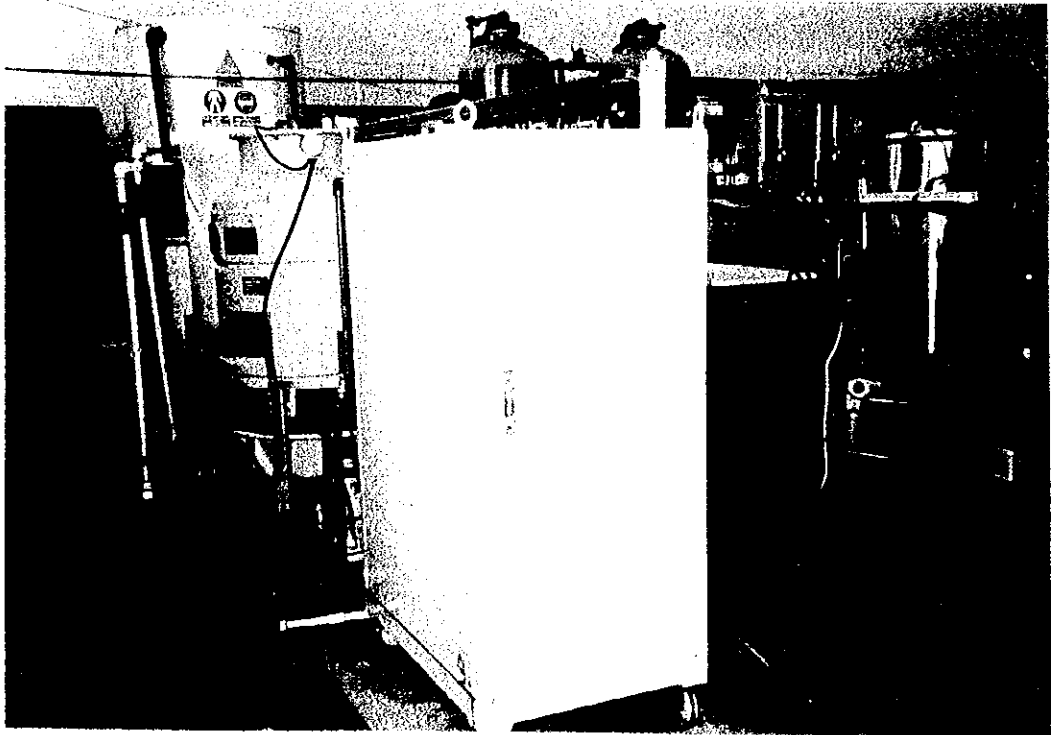


Fig. 4 ミニモジュール試験装置 (2) 用の温度制御冷却ユニット

7.2.2 R O モジュール選定試験

(7.2.2)

目 次

7.2.2 ROモジュール選定試験	1
1. 目的	1
2. 試験内容	1
3. 実験	1
4. 結果および考察	2
5. 結論	4
6. 備考	4

(7.2.2)

表 一 覧

表番	題 名	頁
Table 1	ミニモジュール試験に供した各種SWRO膜のリスト	5
Table 2	各種SWRO膜の試験結果の要約	6
Table 3	ROミニモジュール膜の試験結果（供試液=3.5%NaCl溶液）	7

(7.2.2)

図 一 覧

図番	題 名	頁
Fig. 1	ミニモジュール試験装置(#1)のフローチャート	8
Fig. 2-A	東レ製海水淡水化用RO膜・SU-806(タイプ-1)の性能	9
Fig. 2-B	東レ製海水淡水化用RO膜・SU-806(タイプ-1)の性能	9
Fig. 3-A	東レ製海水淡水化用RO膜・SU-806(タイプ-1)の性能経時変化	10
Fig. 3-B	東レ製海水淡水化用RO膜・SU-806(タイプ-1)の性能経時変化	10
Fig. 4-A	東レ製海水淡水化用RO膜・SU-(2)の性能	11
Fig. 4-B	東レ製海水淡水化用RO膜・SU-(2)の性能	11
Fig. 5-A	ハイドロノーティクス社製海水淡水化用RO膜・2540 HSA SWC1の性能	12
Fig. 5-B	ハイドロノーティクス社製海水淡水化用RO膜・2540 HSA SWC1の性能	12
Fig. 6-A	フルードシステム社製海水淡水化用RO膜・TFCL S7721の性能	13
Fig. 6-B	フルードシステム社製海水淡水化用RO膜・TFCL S7721の性能	13
Fig. 7-A	フルードシステム社製海水淡水化用RO膜・TFCL S7721性能の水温の影響	14
Fig. 7-B	フルードシステム社製海水淡水化用RO膜・TFCL S7721性能の水温の影響	14
Fig. 8-A	フルードシステム社製海水淡水化用RO膜・TFCL S7721の性能	15
Fig. 8-B	フルードシステム社製海水淡水化用RO膜・TFCL S7721の性能	15
Fig. 9-A	フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 2540 性能の水温の影響	16
Fig. 9-B	フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 2540 性能の水温の影響	16
Fig. 10-A	フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 30 2540の性能 (操作圧力とブライン流量の影響)	17
Fig. 10-B	フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 30 2540の性能 (操作圧力とブライン流量の影響)	17
Fig. 11-A	フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 30 2540の性能 (NaCl溶液と海水との比較)	18
Fig. 11-B	フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 30 2540の性能 (NaCl溶液と海水との比較)	18
Fig. 12-A	フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 30HR 2540の性能 (操作圧力とブライン流量の影響)	19
Fig. 12-B	フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 30HR 2540の性能 (操作圧力とブライン流量の影響)	19

7.2.2 ROモジュール選定試験

1. 目的

本実験の目的は、ハイブリッド海水淡水化システムに適した膜エレメントを選定するため、すでに評価済みのSWRO平膜の性能データに基づいて各種SWRO膜エレメント（直径2.5インチ）の性能を比較調査することにある。

2. 試験内容

ハイブリッド海水淡水化システムでは、MSFプラントのような熱利用海水淡水化装置とSWROプラントが並置されているのが普通である。MSFプラントからの溶解性蒸発残留物(TDS)が50ppm(最高)の低塩分生産水は、通常TDSが1000ppm以下のSWROプラントの生産水とブレンドされて、TDSが500ppm以下の最終生産水が造り出される。ハイブリッド海水淡水化プラントの最適化のためには、塩排除率が高く透過水量が少ない膜よりも、透過水量は最高水準で塩排除率はほどほどに良好なSWRO膜を使用する必要がある。上記基準を満たすSWRO膜を確定するため、平膜およびミニモジュール(2.5x40インチ)SWRO装置を用いての一連の実験により各種のSWRO膜を調べた。実験したミニモジュールは以下の通り：東レSU-806(タイプ1)、東レSU-806(タイプ2)、日東電工NTR 70 SWC、Hydranautic HSA 2540 CAB2、Filmtec SW 30 HR 2540 (A)、Filmtec SW 30 2540(F)およびFluid system TFCL S2721。

膜メーカー各社から受け取った直径2.5インチの上記SWRO膜エレメントは、SWCC/JICAミニモジュール試験機#1と#2で調べた。これはSWCC平膜試験機とSWCC/JICAミニモジュール試験機#2による平膜比較試験の完了後に行った。SWCC前処理装置からの前処理水をSWCC/JICAミニモジュール試験機#1の供給水として使用し、#2ミニモジュール試験機によるすべての実験の供給水には、塩化ナトリウム濃度3.5%の溶液を使用した。膜の性能試験は、圧力、温度、ライン流量をさまざまに変えて行った。入手可能なすべての膜について行った短期間の評価実験の完了後、東レのSU-806と日東電工のNTR 70 SWCの2種類の膜だけを選択して連続運転による評価を行うことにした。実験は、膜を並列に配置して、#1ミニモジュール試験機で運転を行った。最初のベッセルには東レの膜エレメントを3本直列に配置し、2番目のベッセルには日東電工の膜エレメント3本を、これも直列に配置して運転した。

3. 実験

Fig. 1に、給水槽1基、ブースタポンプ2台、カートリッジフィルタ2台、高圧ポンプ2台から構成される#1ミニモジュール試験機の系統図を示す。低圧部にはPVC配管、高圧部

(7.2.2)

にはSS316配管が用いられている。高圧ポンプは、2.5x40インチのSWRO膜モジュールを直列に3本ずつ配置可能な2つの並列ラインで構成されるSWRO装置に供給水を送り込む。試験機には洗浄システムと制御盤が装備されている。

前処理海水供給水はSWCC前処理装置から給水槽に送られる。供給水のSDI値とpH値はそれぞれ 2.5 ± 0.5 と6.9に保たれた。前処理装置には非常時には装置を自動的に停止する自動装置を備えている。短期実験はすべて透過水と濃縮水を給水槽に循環させて実施した。給水温度は水冷却装置により、 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ に維持された。長期の連続運転中は透過水と濃縮水は排水口に送られた。

#2試験機については前述の通りである。実験を行えるようにするため、4つの平膜実験セルを取り替え、2.5x40インチ膜保持圧力容器をシステムに接続した。#2試験機で行うすべての実験用に、3.5kgの塩化ナトリウムを96.5リットルの飲料水に溶解した供給水を用意した。

4. 結果および考察

Table 1は、#1、#2ミニモジュール試験機で実験した各種SWRO膜のリストを示す。各種運転条件下で評価した性能をFig. 2からFig. 12に示した。供給水圧に対する透過水量と東レSU-806(タイプ1)の透過水導電率をFig. 2(A)に、ブライン流量の変化に対する透過水量と透過水導電率をFig. 2(B)に示す。

Fig. 3(A)はさまざまな温度条件下での透過水量と導電率を示し、Fig. 3(B)は各種温度条件下での温度補正係数を示す。

Fig. 2(A)では、圧力が $46\text{kg}/\text{cm}^2$ から $61\text{kg}/\text{cm}^2$ に上がるときに透過水量の急激な増加が観測される。また、圧力上昇時には透過水導電率の低下が見られる。Fig. 2(B)では、ブライン流量の増加に伴う透過水量の増加と透過水導電率の低下が観測される。Fig. 3(A)では、供給水温度の上昇とともに透過水量と透過水導電率の上昇が観測される。温度が 33°C から 39°C に上昇するときには透過水量の急激な増加が見られた。

Fig. 4(A)とFig. 4(B)は、それぞれ、さまざまな温度およびブライン流量での東レSU-806(タイプ2)の性能を図示したものである。Fig. 4(B)では、ブライン流量が増加すると透過水の導電率が低下することがわかるが、透過水量はブライン流量が毎分4リットルから毎分7リットルに増えるときにより急激に増加することを示している。Fig. 4(A)は、圧力が上昇すると透過水量が増える一方で、供給水圧力が上昇すると透過水導電率が低下することを示している。

Fig. 5(A)と(B)は、さまざまな圧力およびブライン流量でのHydranautics 2540 HSA SWC1膜の性能を示したものである。圧力が $61\text{kg}/\text{cm}^2$ まで上昇すると透過水量のゆるやかな増加が見られるが、圧力が $61\text{kg}/\text{cm}^2$ を超えると、予想に反して、透過水量は減少する。透過水の導電率は、ブライン流量が毎分7リットルまで増加するにつれ、当初 $6500\ \mu\text{s}/\text{cm}$ まで上昇

(7.2.2)

した。これは通常は予想されないことである。ただし、Fig. 5 (B)に示すように、ブライン流量が毎分7リットルを超えて毎分12リットルにまで増加すると、透過水の導電率は徐々に低下した。

Fig. 6 (A)と(B)は、Fluid System TFCL S7721膜について、圧力に対する透過水導電率と透過水量、ブライン流量に対する圧力変化に対する透過水導電率と透過水量をそれぞれ示したものである。それに対して、Fig. 7 (A)は温度変化に対する膜の透過水量と導電率、Fig. 7 (B)は温度変化に対する温度補正係数を示す。2種類の供給水すなわち前処理海水と塩化ナトリウム3.5%溶液を使い、圧力とブライン流量を変えて実施した性能比較をそれぞれ Fig. 8 (A)と(B)に示す。透過水量と塩排除率はいずれも海水の場合よりも塩化ナトリウム3.5%溶液の場合が高いことが観測された。

Filmtec SW30 2540膜については、温度変化に対する透過水導電率と透過水量を Fig. 9 (A)に、温度変化に対する温度補正係数をFig. 9 (B)に示した。また、圧力変化に対する透過水導電率と透過水量はFig. 10(A)に、ブライン流量の変化に対する透過水導電率と透過水量はFig. 10(B)に示した。Fig. 11(A)と(B)は、2種類の供給水すなわち前処理海水と塩化ナトリウム3.5%溶液を用いた場合の、この膜の性能比較を示す。図から、膜性能は海水を供給水として使用した場合よりも塩化ナトリウム3.5%溶液を供給水として使用した場合の方がすぐれていることは明かである。

Fig. 12(A) と (B) は、さまざまな圧力およびブライン流量での Filmtec SW 30 HR 2540 膜の性能を示す。Fig. 12(A)から、供給水の圧力が上がると透過水量は増加し透過水導電率は低下することがわかる。圧力が51kg/cm²から56kg/cm²に上昇するとき透過水量の急激な増加が見られた。予想外にも、Fig. 12(B)に示すように、ブライン流量が毎分4リットルから12リットルに増えると透過水量は減少する。しかし、透過水導電率はブライン流量の増加とともに低下する。

Table 2 は、圧力56kg/cm²、ブライン流量が毎分7リットル、温度 25±3°Cのすべての膜の評価結果をまとめたものである。供給水には海水を使用した。実験の間、モジュールは直列に配置し、1ラインにエレメント2本ずつ取り付けた。

Table 3 は塩化ナトリウム3.5% 溶液を供給水として使用した場合の4種類の膜の評価結果をまとめたものである。Table 2 から、Fluid Systemの膜が透過水量が最大で、以下、Filmtec SW 30 HR、東レ、Hydranautics、日東電工の順である。日東電工の膜の透過水量がもっとも少なかったのは、Table 1 に示すように、おそらくこの膜エレメントの表面積が少ないことによる。ただし、2本のモジュールを直列配置した場合の透過水導電率の高さは、Fluid System、Hydranautics、Filmtec SW 30 HR 2540、東レSU 806 (タイプ1)、日東電工NTR 70 SWC、東レ 806 (タイプ2)、Filmtec SW 30 2540の順であった。

単一膜エレメントによる実験結果では、最大の透過水量が見られたのはFluidSystem TFCL S7721で、次いでFilmtec SW 30 HR 2540、東レSU 806 (タイプ1)、Hydranautics HSA

(7.2.2)

2540 SWC1、日東電工NTR 70 SWCであった。しかし、透過水導電率は Hydranautics HSA 2540 SWC1がもっとも高く、その後にFilmtec SW30 HR 2540、日東電工NTR 70 SWC、Filmtec SW 30 HR 2540、東レSU 806 (タイプ2)、Fluid System TFCL S7721、東レSU 806 (タイプ1)の順で続いた。

供給水として塩化ナトリウム3.5%の溶液を使用して実施した評価では、最大の透過水量が見られたのは Fluid System 膜を使った場合で、それに続くのはFilmtec膜、東レ膜の順であった。東レ、Filmtec SW 30 2540、Fluid Systemの透過水導電率はほぼ同じであったが、Filmtec SW 30 HR 2540は透過水導電率が高かった。

5. 結論

Hydranautics膜を除いてほとんどすべての膜がサプライヤー仕様に適合するという結果を示した。

6. 備考

膜エレメントの表面積に基づく透過水流束 ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{D}$) の計算はメーカーから直径2.5インチの膜の表面積を確認してから行う必要がある。市販サイズ (直径8インチ) の膜エレメントの評価も同様に行うべきである。

(7.2.2)

Table 1 ミニモジュール試験に供した各種SWRO膜のリスト

Manufactures/Suppliers	Membrane type	Membrane area in M ²	Element No.
DOW (FILMTEC)	SW30HR - 2540 - A	N/A	A1707515 A1706541
DOW (FILMTEC)	SW30 - 2540 - F	N/A	A1997531 A1997162
FLUID SYSTEM	FLUID SYSTEM TFCL S7721	N/A	299706 299708
TORAY	SU - 806 (TYPE - 1)	2.6	30820288 30820289 30820290 30820293 30820294 30820295
TORAY	SU - 806 - (TYPE - 2)	2.6	30820517 30820518
HYDRANAUTICS	2540-HSA-SWC1	1.7	00605045 00605051 00605056 00605057 00605061 00605062
NITTO DENKO	NTR - 70 SWC - S2	1.7	3110031 3110032 3110034 3110035 3110039 3110040

Table 2 各種 SWRO 膜の試験結果の要約

Membrane	Results of Two Elements in Series		Results of Single Elements	
	Membrane Area m ² /Element	Permeate Conductivity μs/cm	Permeate Flow L/min	Permeate Flow L/min
Nitto Denko NTR-70SWC	1.7	460	0.81	0.46
Hydranautics 2540-HSA-C320	Unknown	1.060	0.88	0.47
Fluid system TFCL S7721	Unknown	1.588	1.56	1.12
Toray SU-806(Type-1)	2.6	491	1.2	0.87
Toray SU-806(Type-2)	2.6	524	1.05	0.7
Filmtec SW 30-2540	Unknown	559	1.46	0.86
Filmtec SW 30HR 2540	Unknown	365	1.55	0.97

Operation conditions:

Test duration	= 1 hr
Pressure	= 56 kg/cm ²
Temperature	= 25°C
Brine flow	= 7 l/m
Membrane arrangement	= Two element in series and single element.
Feed	= Pretreated seawater
SDI	< 3
pH	= 7

(7.2.2)

Table 3 ROミニモジュール膜の試験結果 (供試液 = 3.5% NaCl溶液)

(Operation conditions: Pressure = 56 kg/cm², brine flow = 7 l/m, temperature = 25 °c, duration time = 1 hr/reading)

Membrane	Permeate conductivity $\mu\text{s/cm}$	permeate flow l/m
Toray SU - 806 (Type - 1)	307	0.78
Filmtec SW 30 2540	393	0.96
Filmtec SW 30 HR 2540	411	1.08
Fluid system TFCL S7721	322	1.12

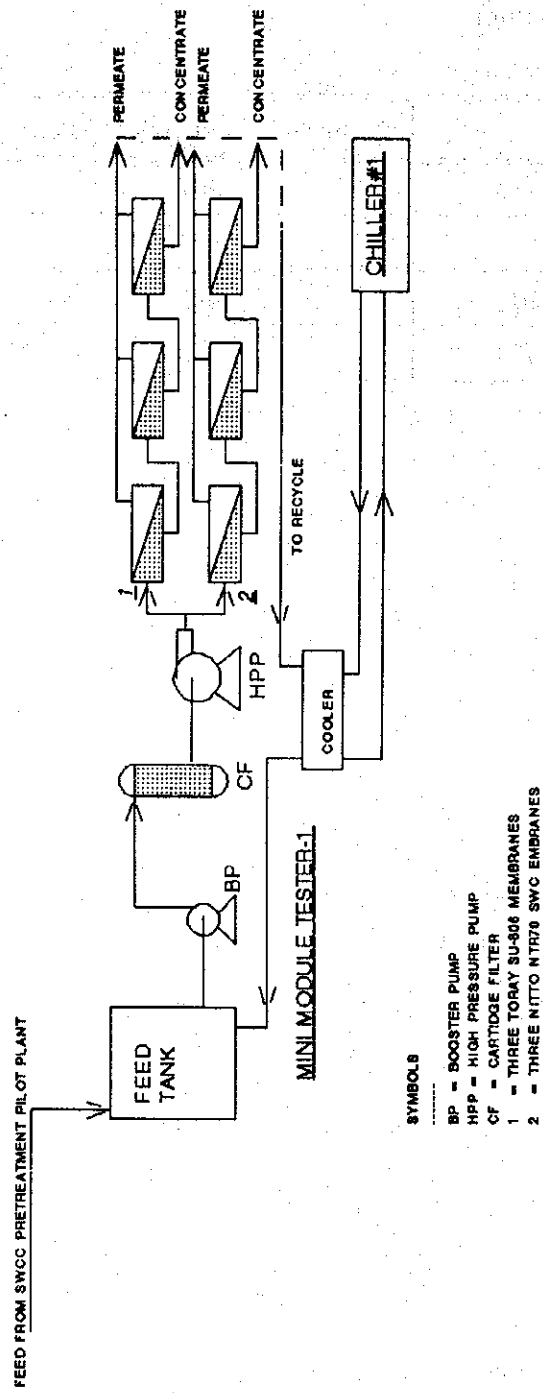


Fig.1 ミニモジュール試験装置（#1）のフローチャート

(7.2.2)

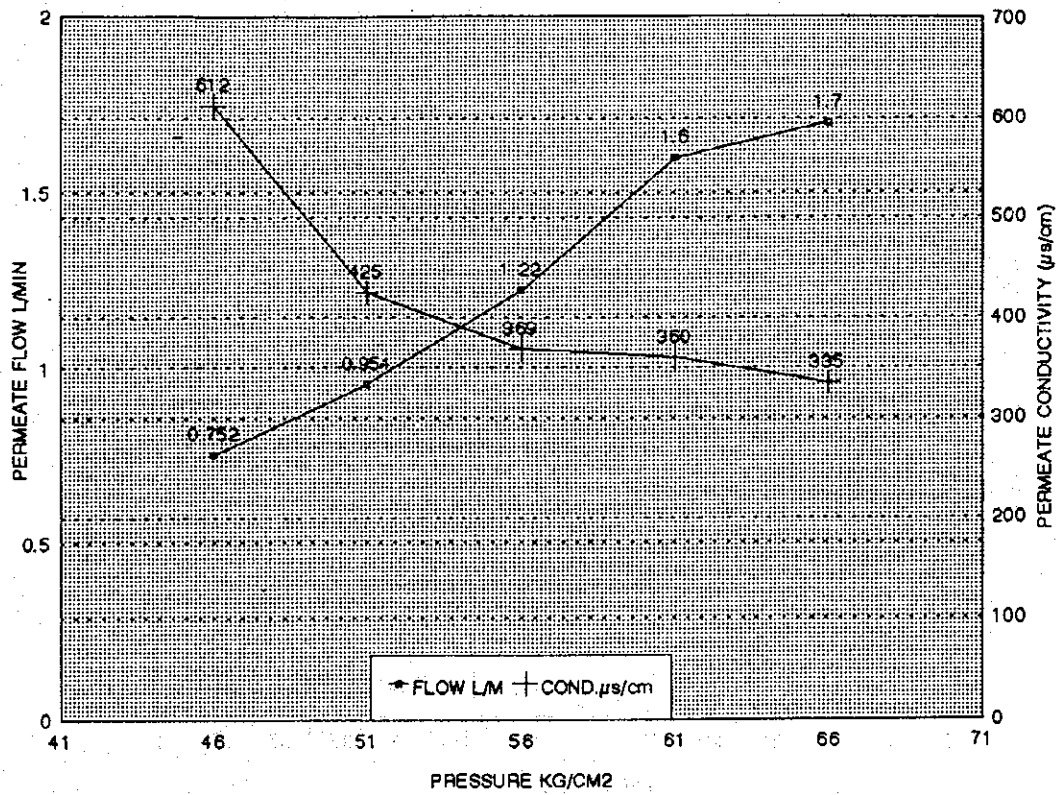


Fig. 2-A 東レ製海水淡水化用RO膜・SU-806 (タイプ-1) の性能

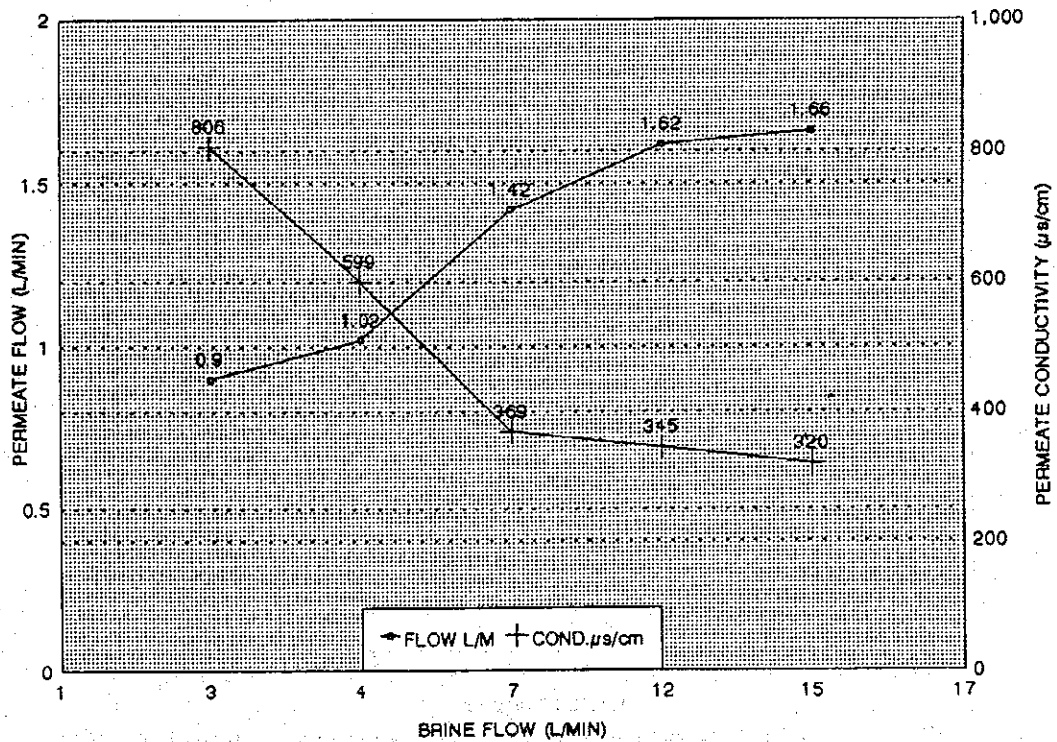


Fig. 2-B 東レ製海水淡水化用RO膜・SU-806 (タイプ-1) の性能
(OPERATION CONDITIONS: FEED SDI = 25 ± 0.2 pH = 6.8 ± 0.2 TEMP. = 25 ± 2 °C, TWO ELEMENTS IN SERIES)

(7.2.2)

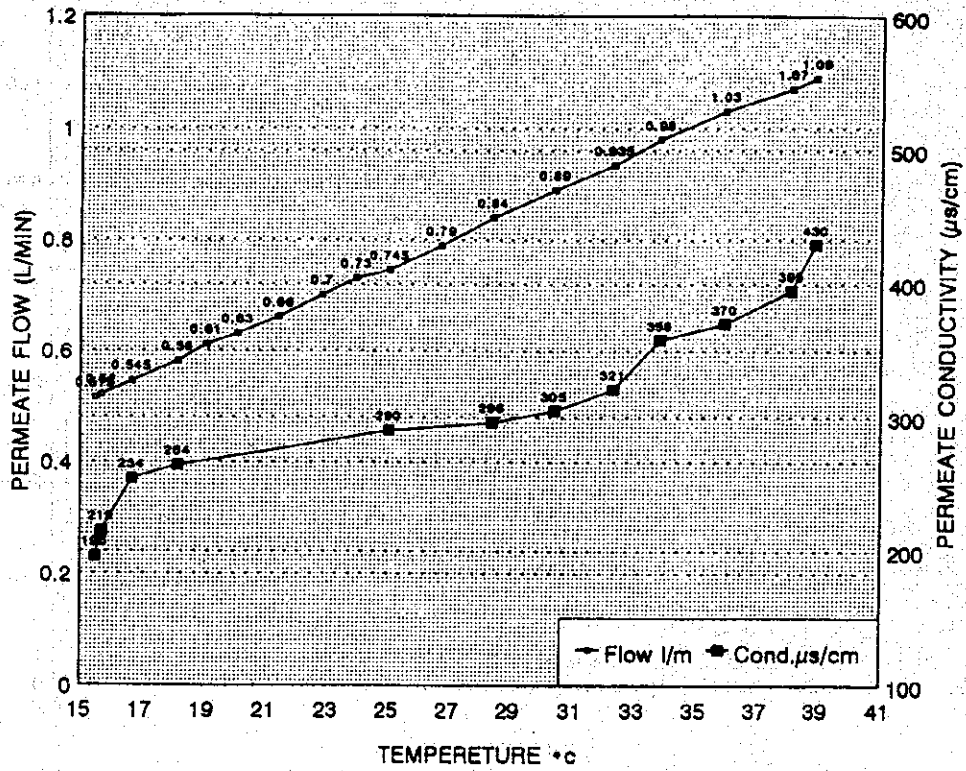


Fig. 3-A 東レ製海水淡水化用RO膜・SU-806 (917'-1) の性能経時変化

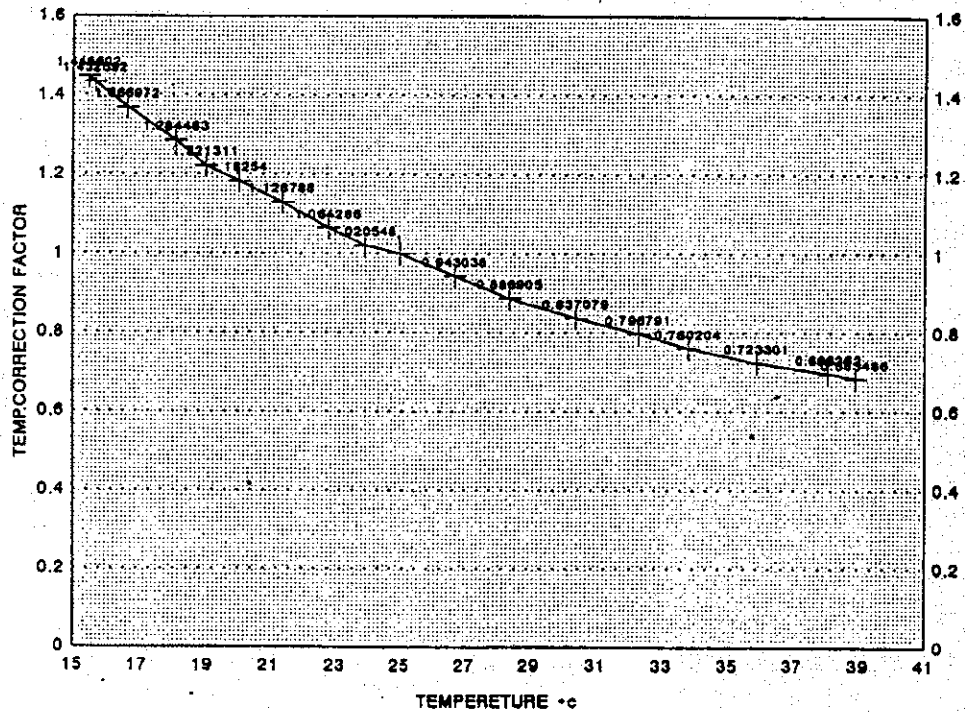


Fig. 3-B 東レ製海水淡水化用RO膜・SU-806 (917'-1) の性能経時変化

(OPERATION CONDITIONS: PRESSURE=56 KG/CM², FEED SDI=2.5±0.3, pH= 6.8±0.2, PRESSURE VESSEL 2.5 X 40 INC)

(7.2.2)

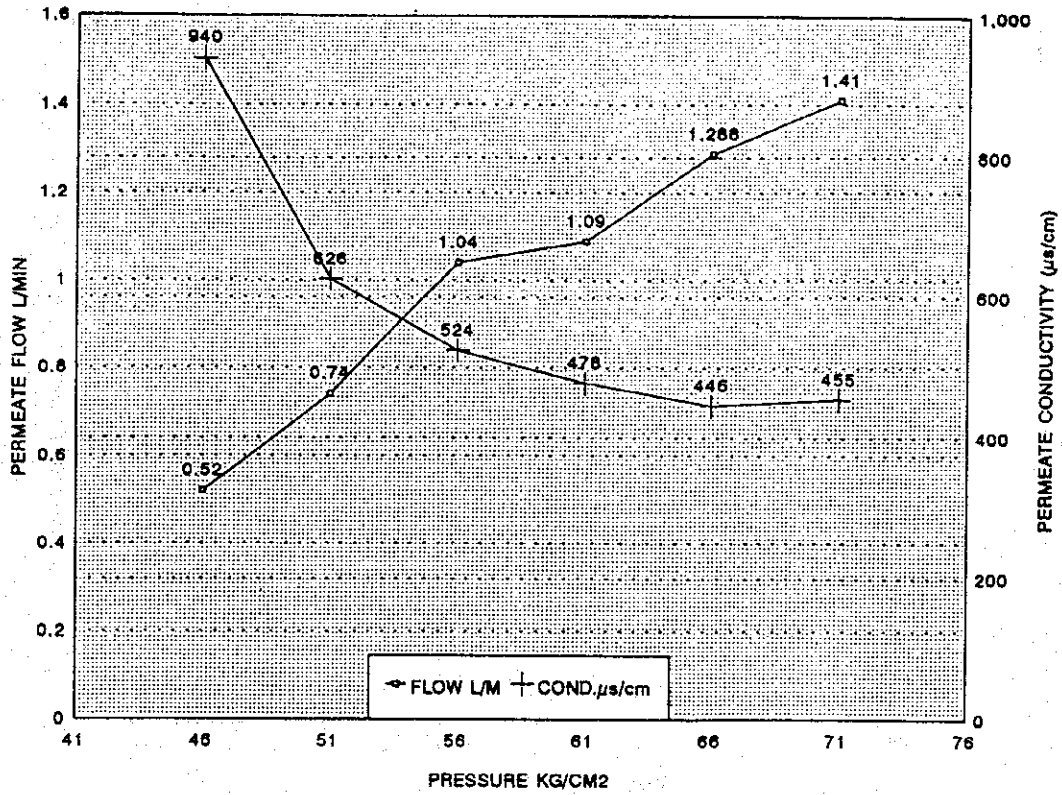


Fig. 4-A 東レ製海水淡水化用RO膜・SU-(2)の性能

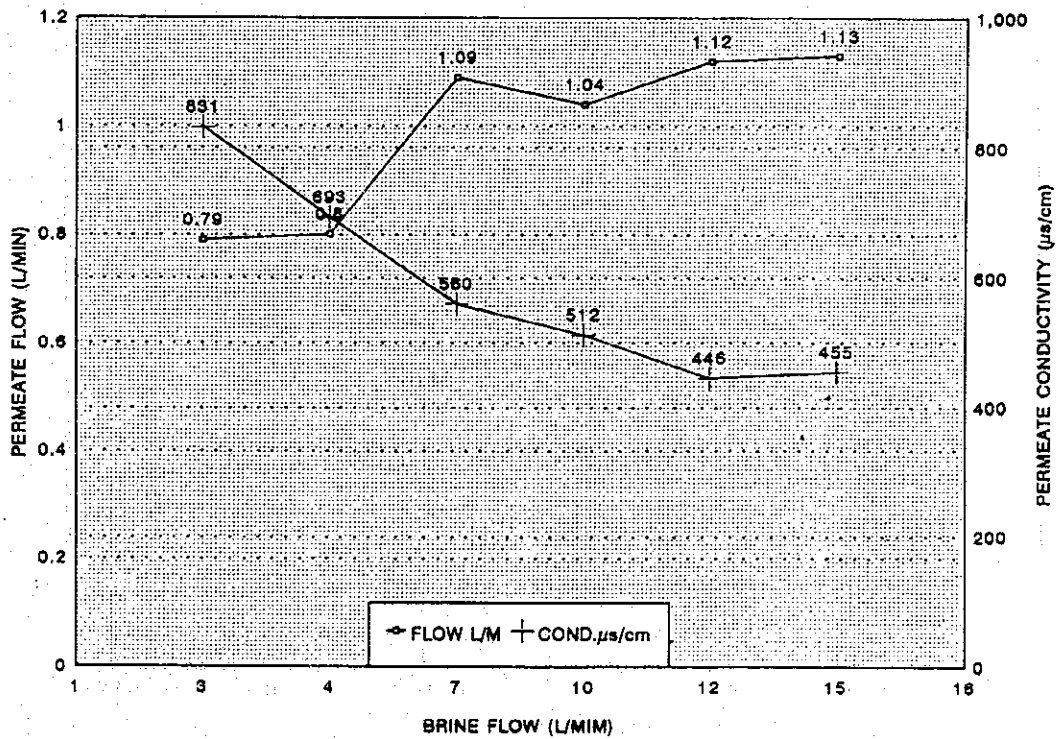


Fig. 4-B 東レ製海水淡水化用RO膜・SU-(2)の性能

(OPERATION CONDITIONS: FEED SDI=2.5±0.3, pH=6.7±0.3, TEMP.=25±2°C, TWO ELEMENTS IN SERIES)

(7.2.2)

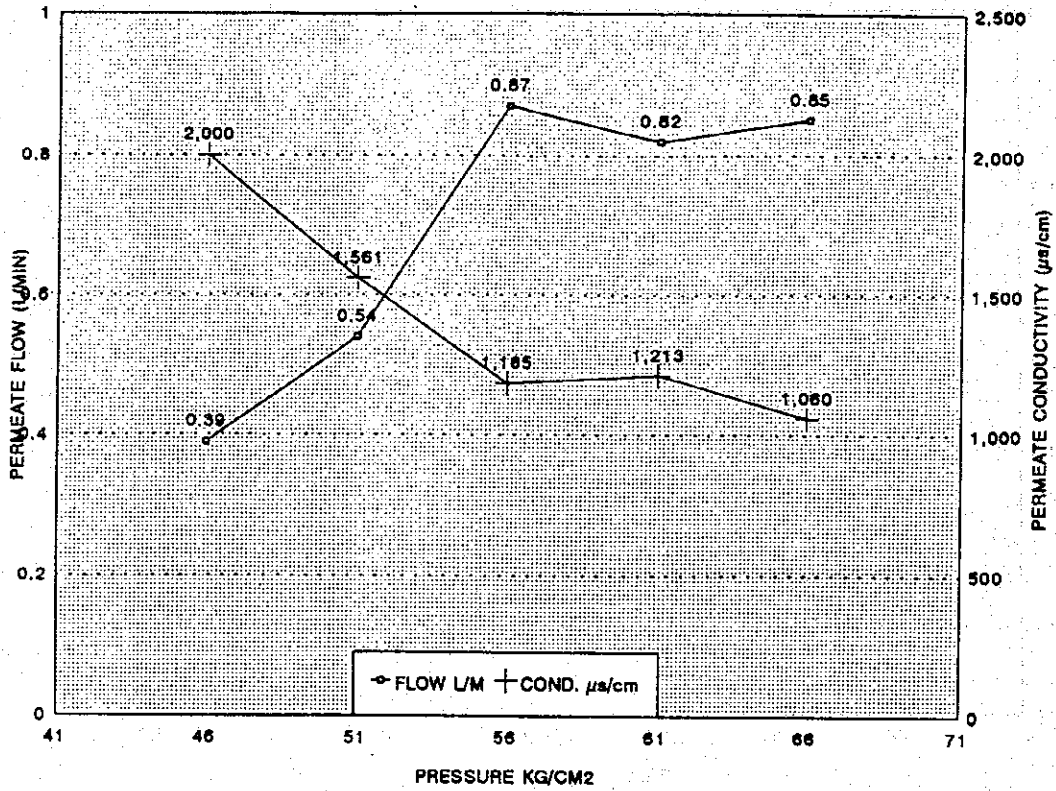


Fig. 5-A ナイトロテックス社製海水淡水化用RO膜・2540 HSA SWC1の性能

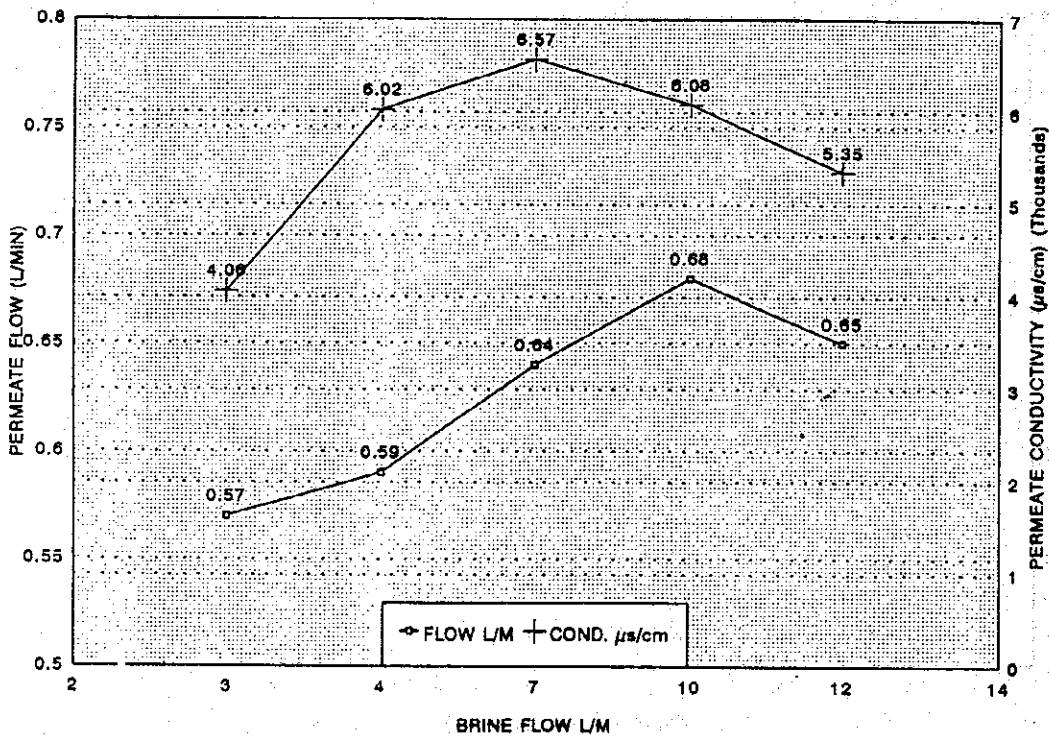


Fig. 5-B ナイトロテックス社製海水淡水化用RO膜・2540 HSA SWC1の性能
(OPERATION CONDITIONS: FEED SDI= 2.5±0.5, pH=6.8±0.2, TEMP=25±2°C, PRESSURE=56 KG/CM²)

(7.2.2)

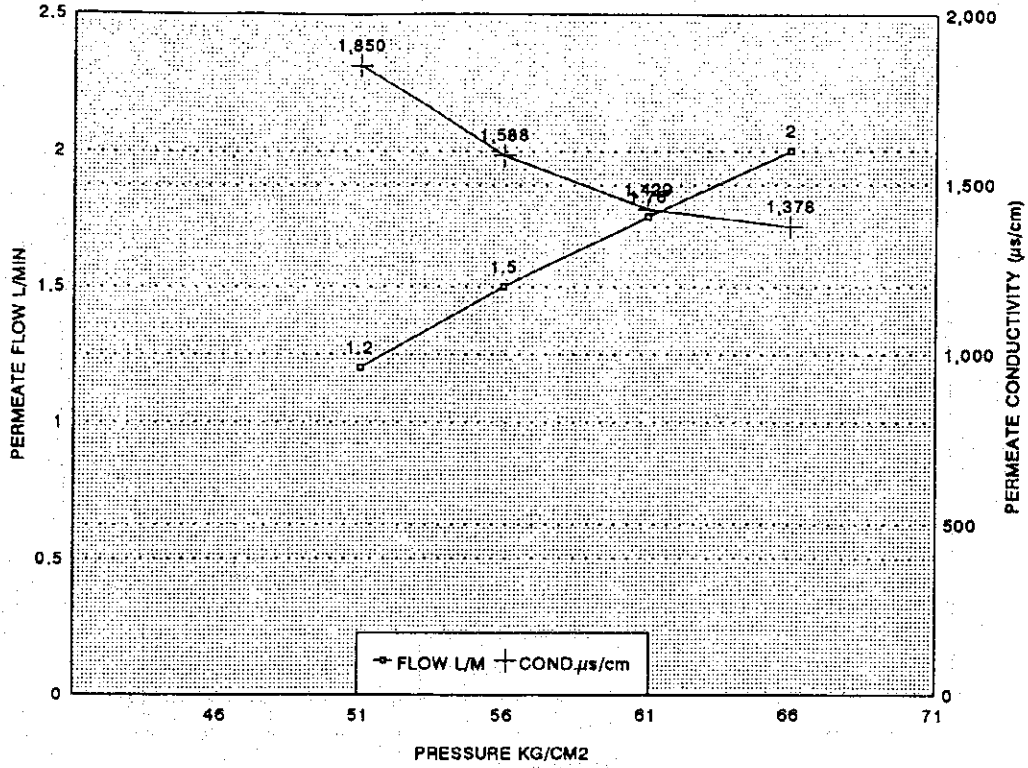


Fig. 6-A フルトシステム社製海水淡水化用RO膜・TFCL S7721の性能

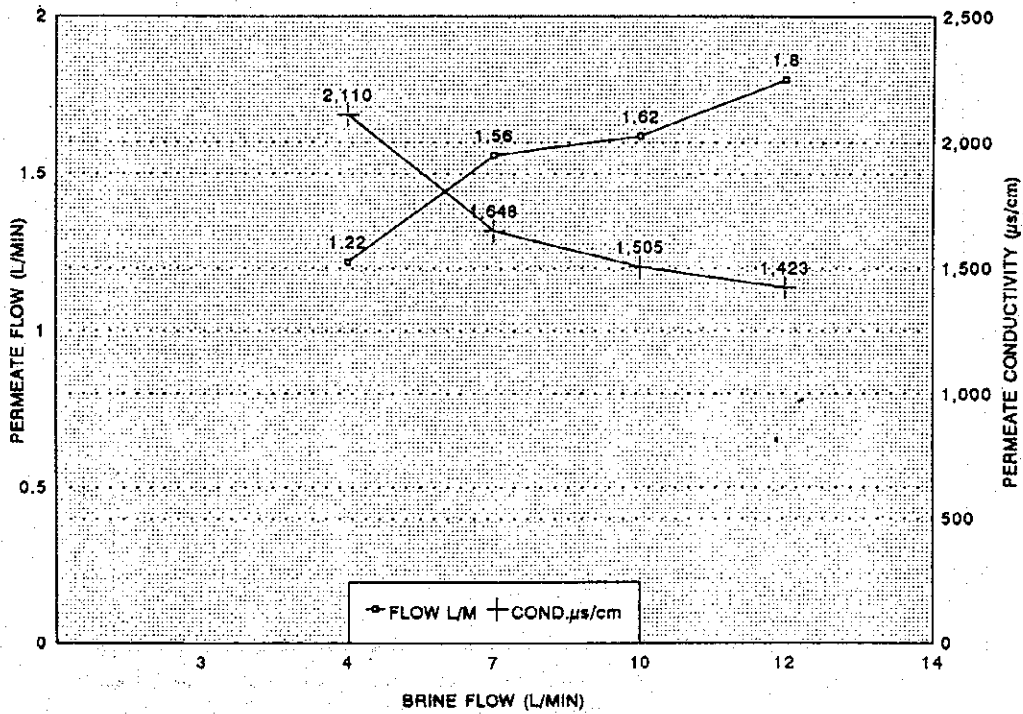


Fig. 6-B フルトシステム社製海水淡水化用RO膜・TFCL S7721の性能

(OPERATION CONDITIONS: FEED SDI=2.5±0.2, pH=6.8±0.2, TWO ELEMENTS IN SERIES)

(7.2.2)

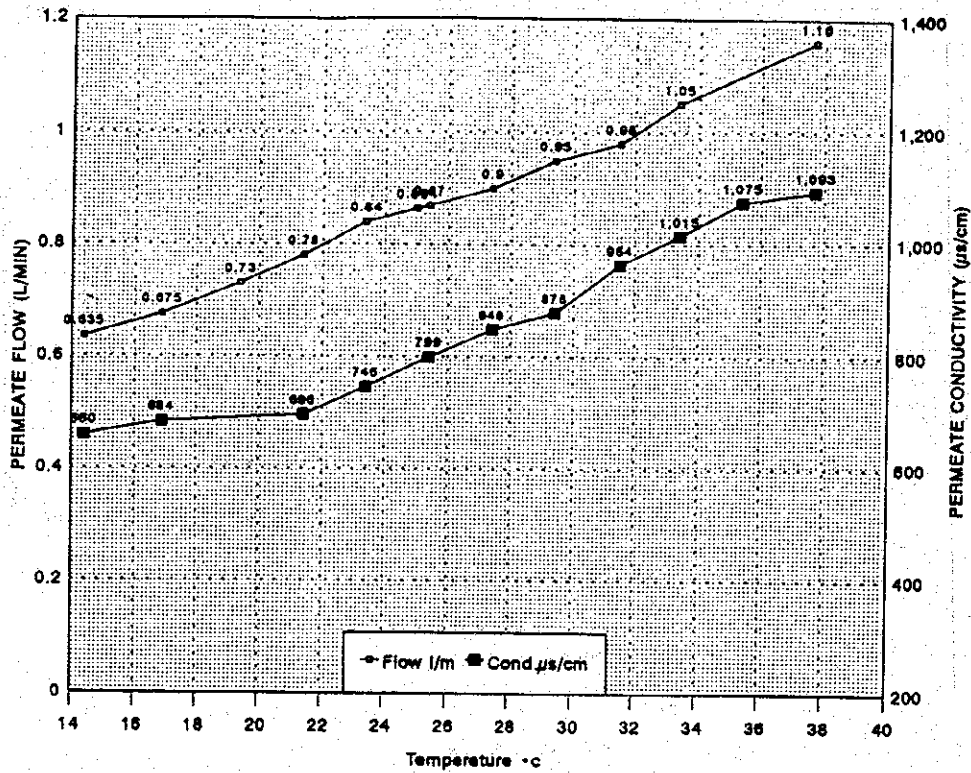


Fig. 7-A フルトシステム社製海水淡水化用RO膜・TFCL S7721性能の水温の影響

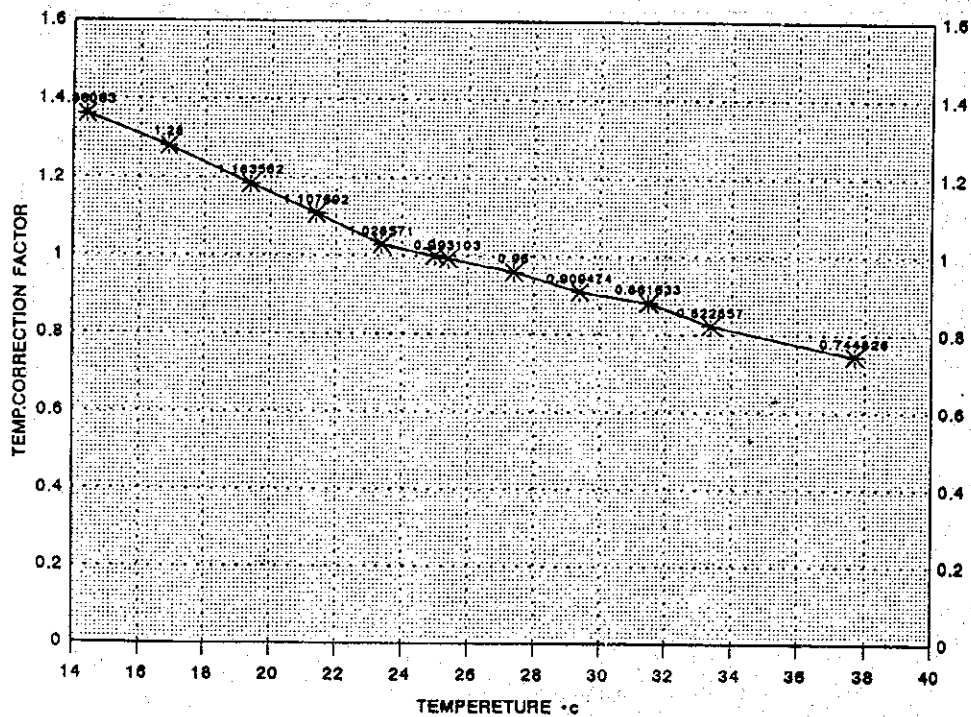


Fig. 7-B フルトシステム社製海水淡水化用RO膜・TFCL S7721性能の水温の影響

(OPERATION CONDITIONS: PRESSURE= 56 KG/CM², FEED SDI=2.6, PRESSURE VESSEL 2.5 X 40 INCH)

(7.2.2)

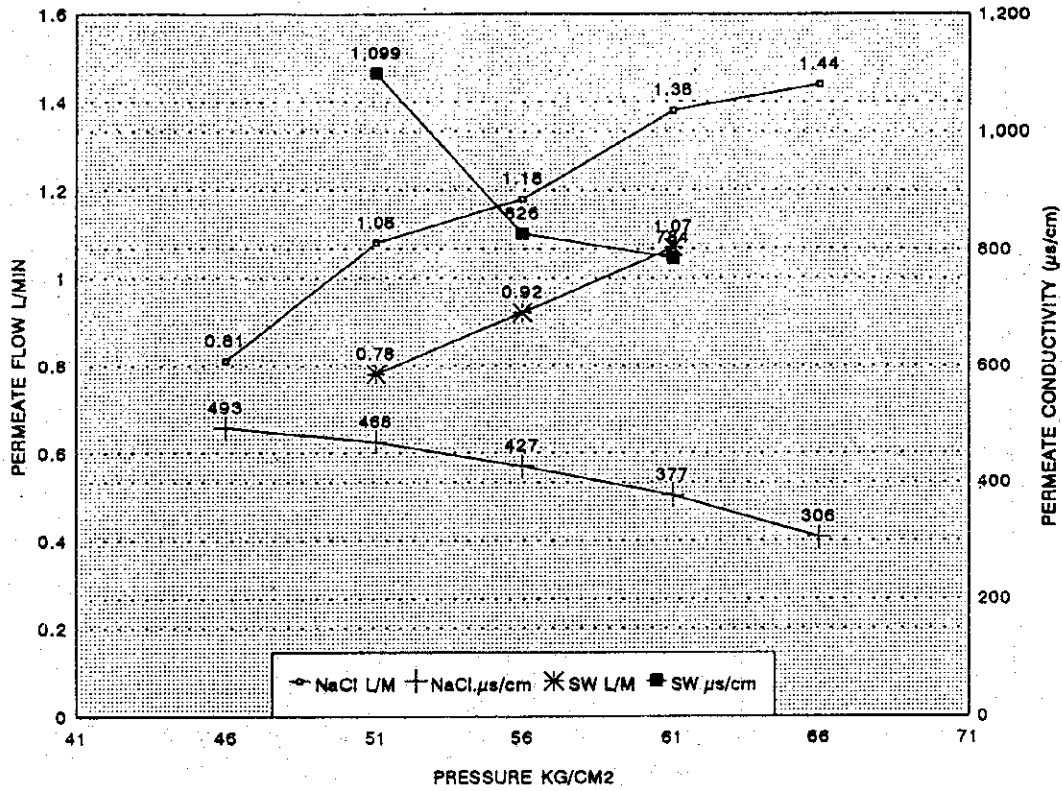


Fig. 8-A フルトシステム社製海水淡水化用RO膜・TFCL S7721の性能

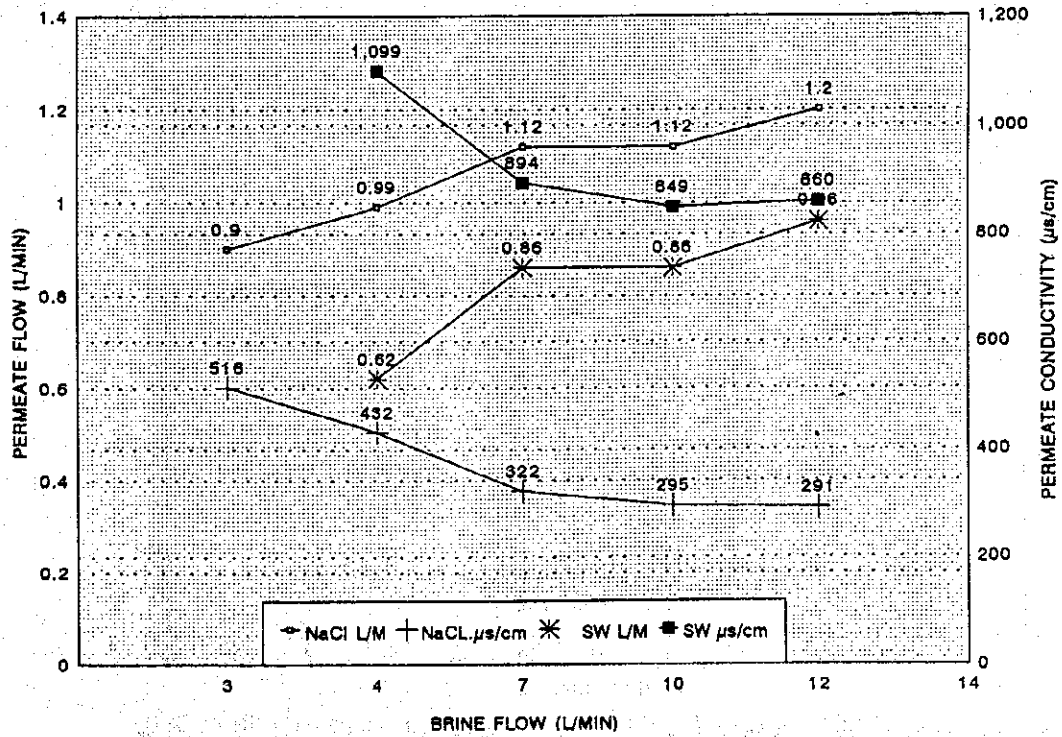


Fig. 8-B フルトシステム社製海水淡水化用RO膜・TFCL S7721の性能

(OPERATION CONDITIONS: FEED= SEA WATER & 3.5% NaCl SOLUTION, pH=6.6, TEMP=25±2 °C, SINGLE ELEMENT)

(7.2.2)

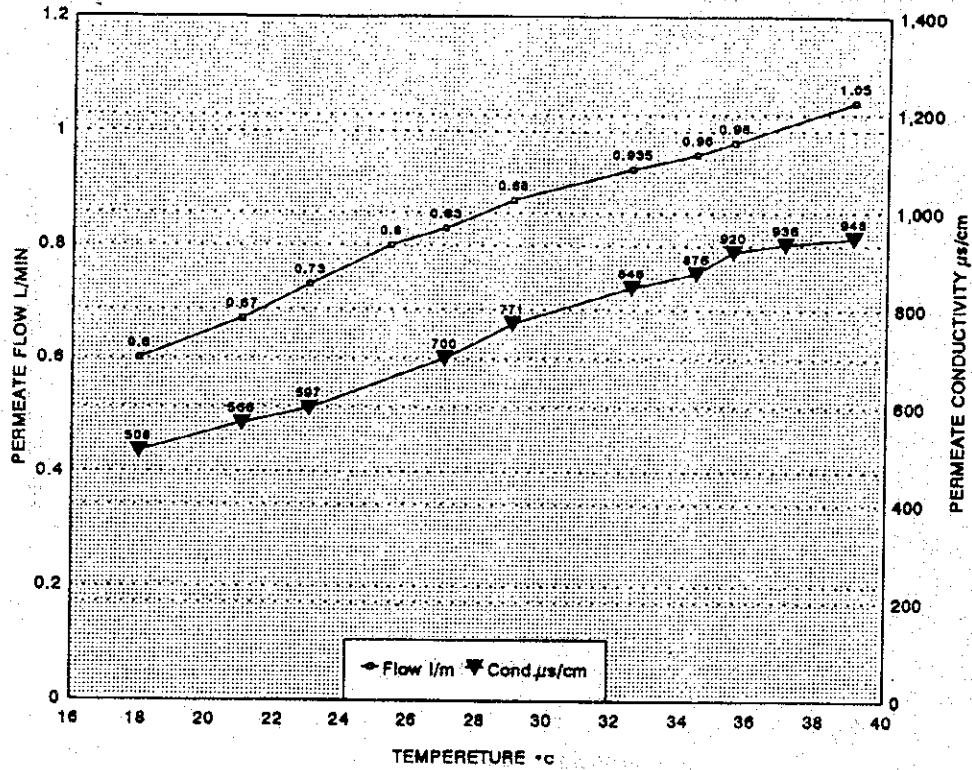


Fig. 9-A フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 2540 性能の水溫の影響

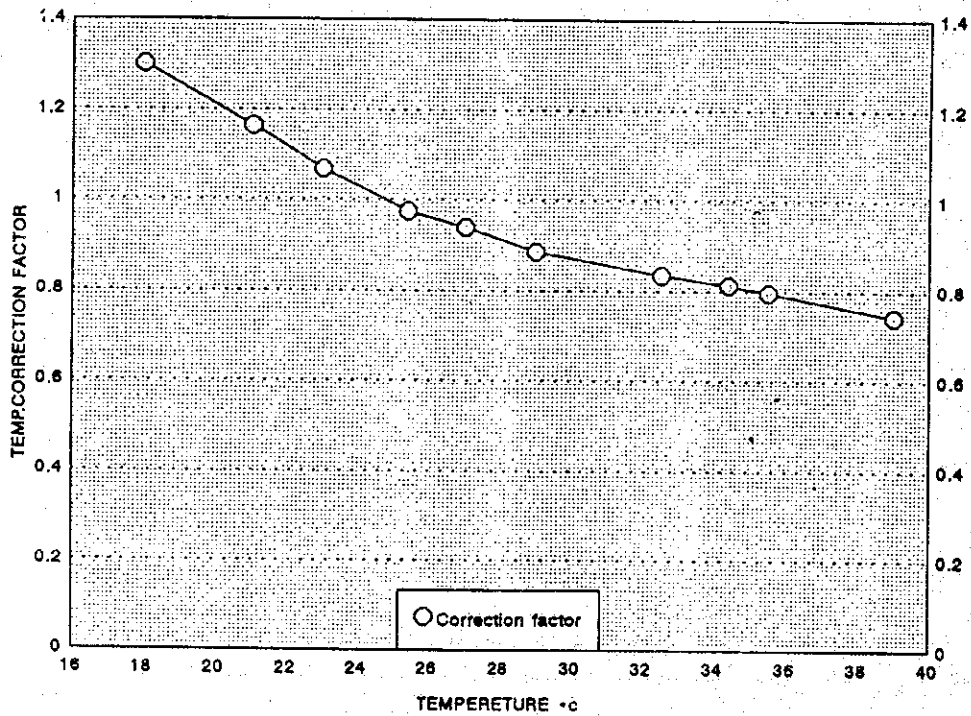


Fig. 9-B フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 2540 性能の水溫の影響

(OPERATION CONDITIONS: PRESSURE=56 KG/CM², FEED SDI=2.4, PRESSURE VESSEL 2.5 X 40 INCH)

(7.2.2)

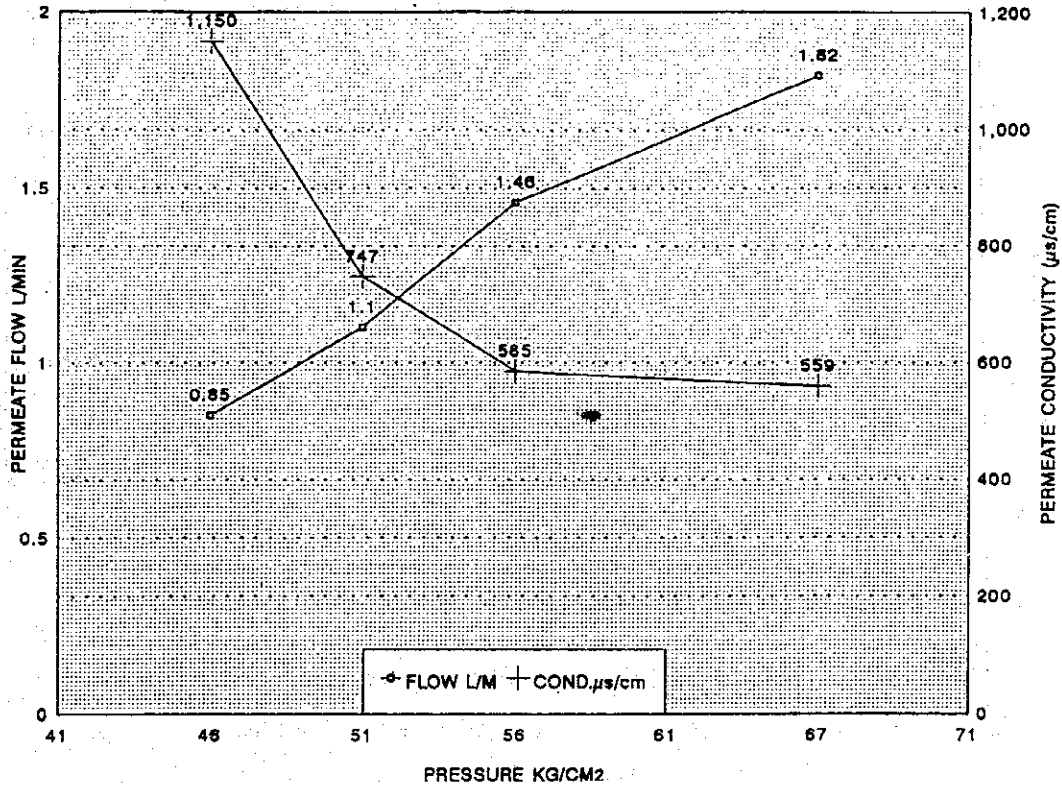


Fig. 10-A フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 30 2540の性能
(操作圧力とブライン流量の影響)

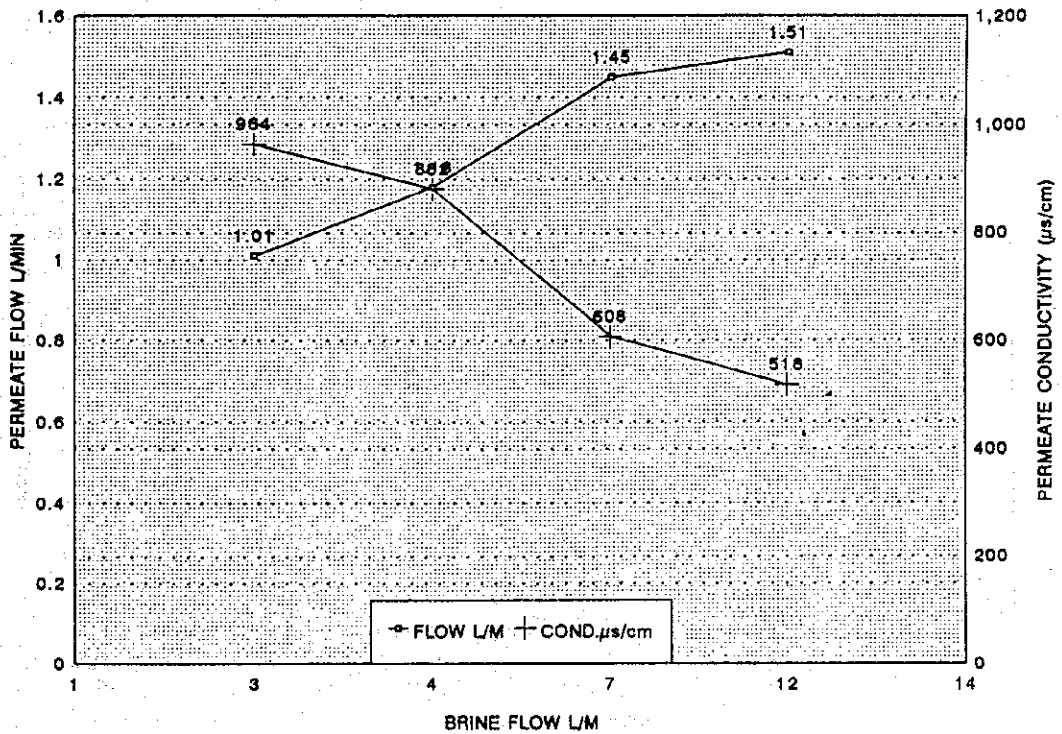


Fig. 10-B フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 30 2540の性能
(OPERATION CONDITIONS: FEED SDI=2.5±0.5, pH=6.8±0.2, TEMP=25±2°C, TWO ELEMENTS IN SERIES)
(操作圧力とブライン流量の影響)

(7.2.2)

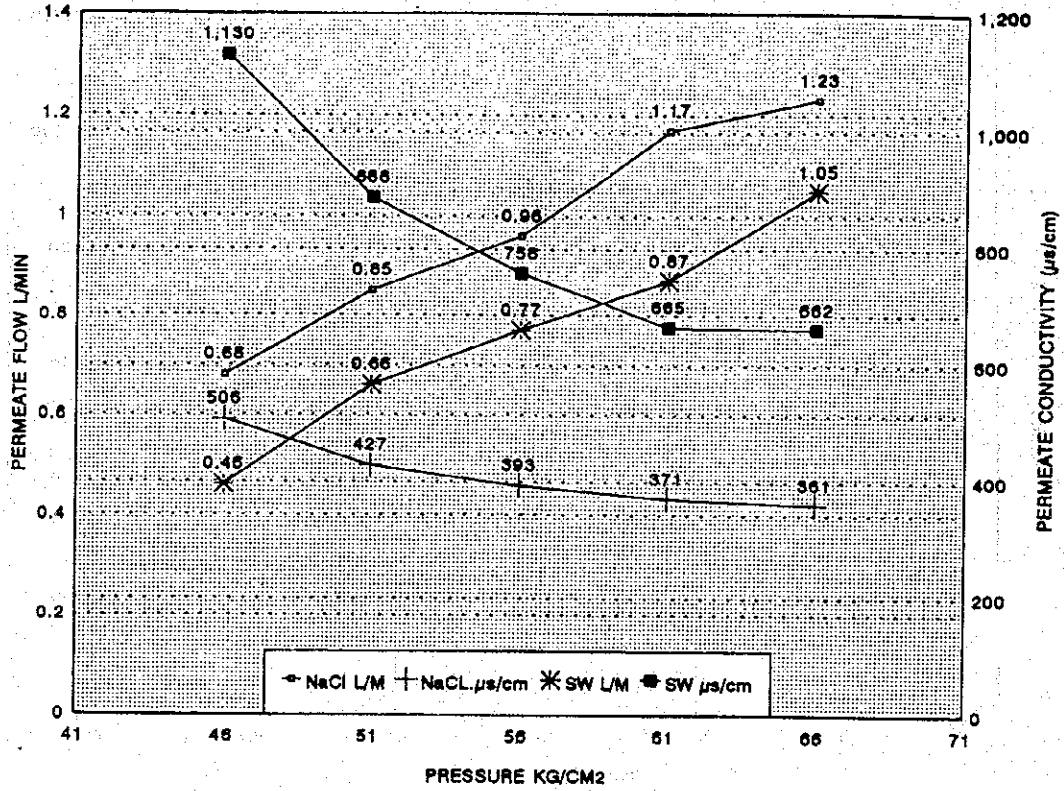


Fig. 11-A フィルマテック社製海水淡水化用RO膜・SW 30 2540の性能
(NaCl溶液と海水との比較)

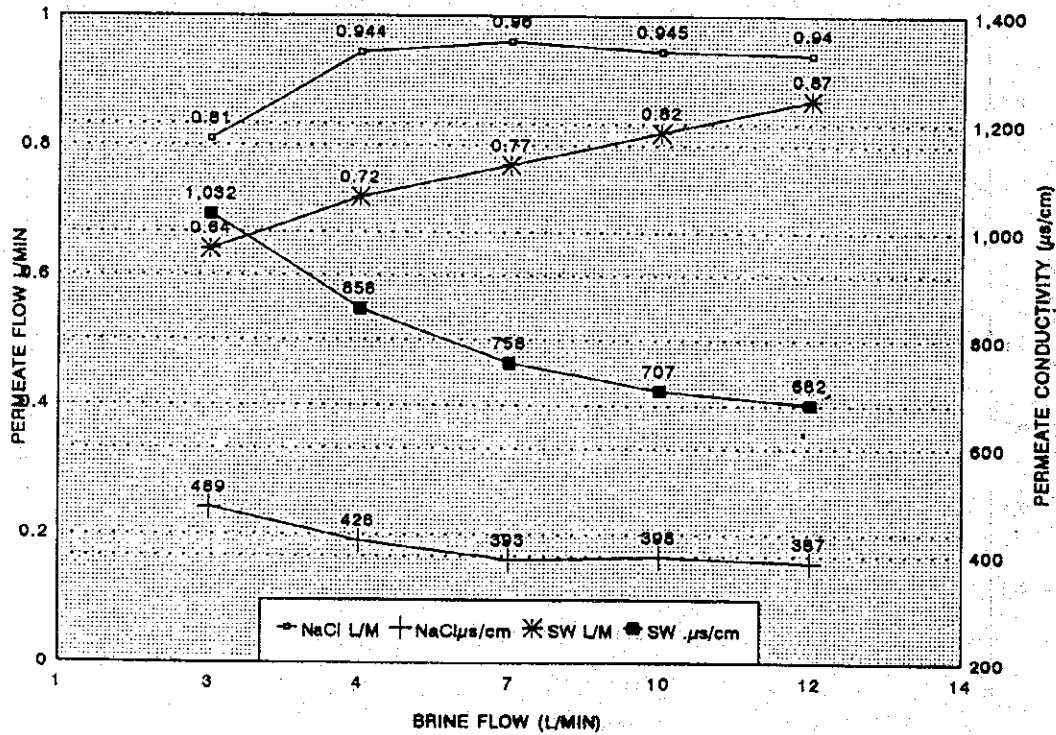


Fig. 11-B フィルマテック社製海水淡水化用RO膜・SW 30 2540の性能
(OPERATION CONDITIONS: FEED= SEA WATER & 3.5% NaCl SOLUTION, pH=6.8±0.2, TEMP=25±2°C, SINGLE ELEMENT)
(NaCl溶液と海水との比較)

(7.2.2)

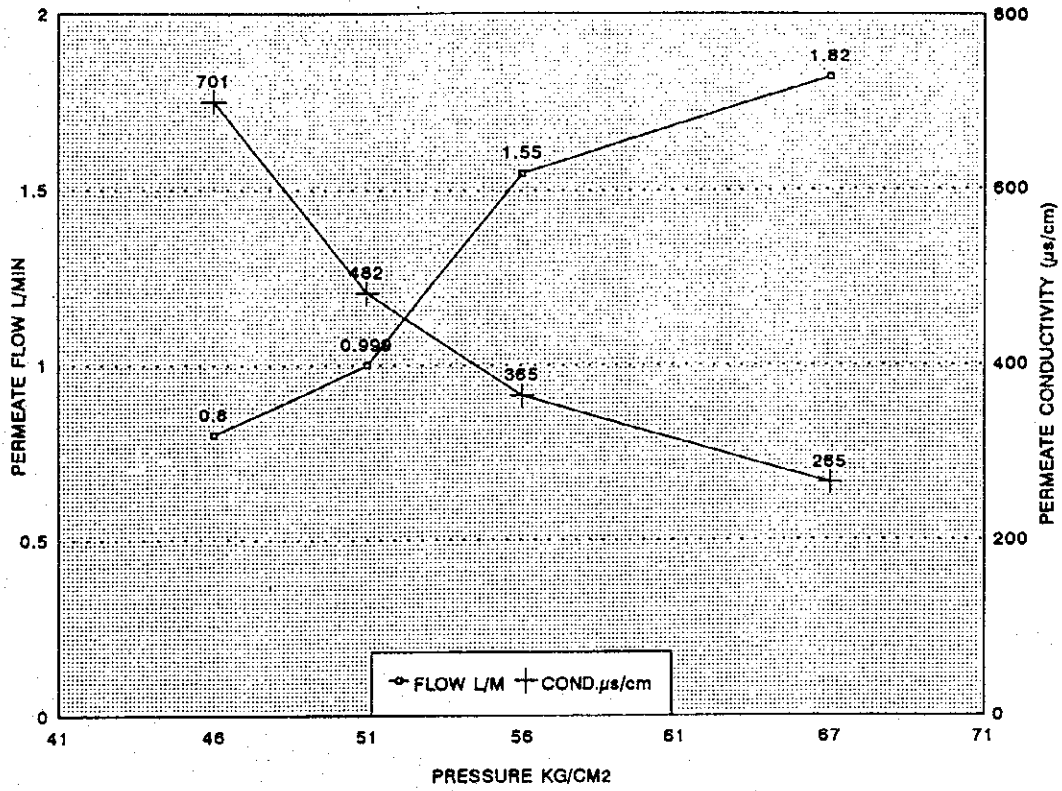


Fig. 12-A フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 30HR 2540の性能
(操作圧力とブライン流量の影響)

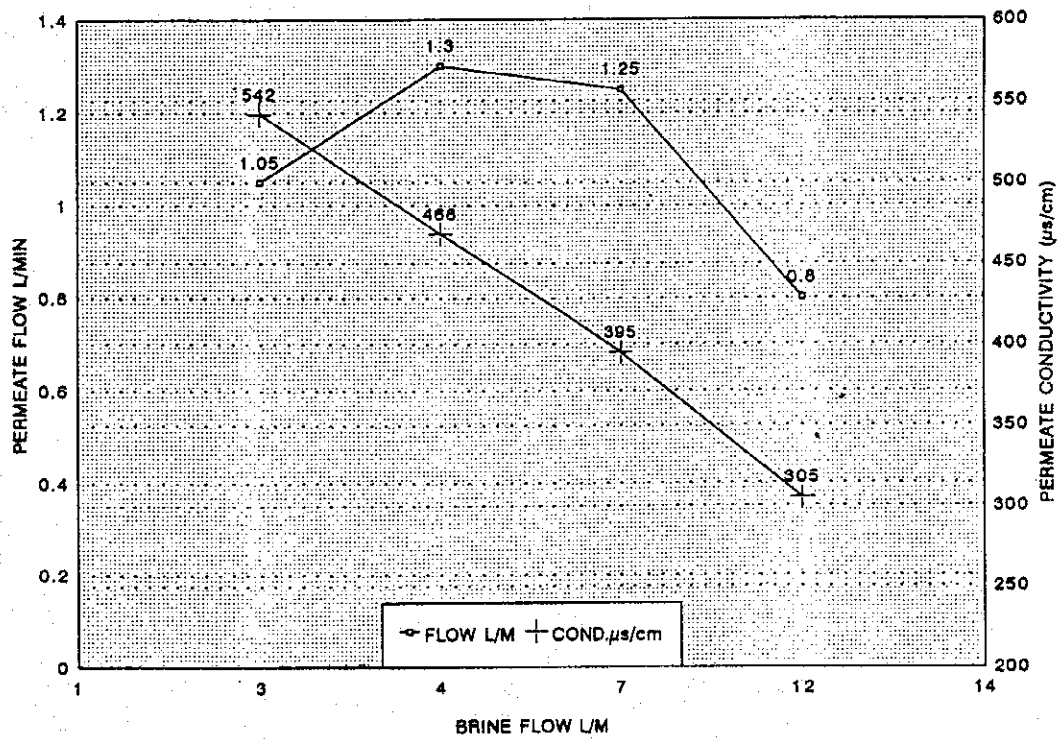


Fig. 12-B フィルムテック社製海水淡水化用RO膜・SW 30HR 2540の性能
(OPERATION CONDITIONS: FEED SDI= 2.5±0.5, pH= 6.8±0.2, TEM=25±2°C, TWO ELEMENTS IN SERIES)

(操作圧力とブライン流量の影響)

7. 2. 3 ミニモジュールによる塩素および濁質に対する耐性試験

(7.2.3)

目 次

7.2.3 ミニモジュールによる塩素及び濁質に対する耐性試験	1
1. 目的	1
2. 実験方法	1
2.1 実験装置	1
2.2 供給水	1
2.3 実験条件	1
2.4 分析方法	1
3. 実験結果	1
3.1 濁質耐性実験実施データ	1
3.2 原海水、RO供給水、透過水、濃縮水の分析	1
3.3 Milli Pore フィルタで濾過した海水汚濁物質の分析	2
4. 考察	2

(7.2.3)

図 一 覧

図番	題 名	頁
Fig. 1	東レ製ミニモジュール(SU-806)の濁質耐性試験結果(膜透過水流量)	3
Fig. 2	東レ製ミニモジュール(SU-806)の濁質耐性試験結果(膜透過水導電率) ...	4
Fig. 3	日東電工製ミニモジュール(NTR-70S-SWC-S2)の濁質耐性試験結果 (膜透過水流量)	5
Fig. 4	日東電工製ミニモジュール(NTR-70S-SWC-S2)の濁質耐性試験結果 (膜透過水導電率)	6

7.2.3 ミニモジュールによる塩素及び濁質に対する耐性試験

1. 目的

ミニモジュールの塩素耐性実験は当初の計画で予定されていた。しかし、平膜の塩素耐性実験の結果、海水供給水中に塩素濃度0.3~10ppmの塩素が存在する場合RO膜の性能は大幅に劣化することが判明した。限定された数のROミニモジュール・サンプルを使って塩素耐性実験を行うことは無用であるとの結論を得た。そこで、われわれは濁質に対するROミニモジュールの耐性に関する正確な情報をもっていないので、ミニモジュールの塩素耐性実験は取りやめることにし、ミニモジュールの濁質耐性実験のみを実施する。

2. 実験方法

ミニモジュールによる長期間の濁質耐性実験を実施し、ROミニモジュールの性能に対する濁質の影響を測定した。また海水中の汚濁物質を採集・分析し、その成分を調べることにした。

2.1 実験装置

7.2.2章に記載した装置を用いた。

2.2 供給水

SDI=2.5±0.5, pH=6.8の前処理海水をSWCC前処理プラントから連続供給して運転を行った。

2.3 実験条件

運転圧力=56kg/cm²、各シリーズへの供給水量=10リットル/分で実験した。

2.4 分析方法

7.1.5章に記載した方法で分析した。

3. 実験結果

3.1 濁質耐性実験実施データ

ミニモジュール試験機(1)を用いて実施した5720時間の長期濁質耐性実験の結果をFig. 1、Fig. 2、Fig. 3およびFig. 4に示す。

3.2 原海水、RO供給水、透過水、濃縮水の分析

分析データは7.1.5章に示した通りである。

3.3 Milli Poreフィルタで濾過した海水汚濁物質の分析

分析データは7.1.5章に示した通りである。

4. 考察

東レ膜および日東電工膜の評価は以下の通り：

東レSU-806と日東電工NTR 70SWC-S2を連続運転した。膜の実験は、並列に配置したミニモジュール試験機2台にそれぞれの膜エレメントを3本ずつ取り付けて行った。Fig. 1と Fig. 2は東レの3本のエレメントの透過水量と導電率の経時変化を図示し、Fig. 3とFig. 4は日東電工の3本のエレメントの透過水量と導電率の経時変化を図示したものである。

予想した通り、いずれのシステムの場合も、透過水量が最大であったのは最前部のエレメントで、次が2番目のエレメント、透過水量が最も少なかったのは3番目のエレメントであった。さらに、透過水量は東レのシステムの方がかなり高かった (Fig. 1とFig. 3を比較のこと)。透過水導電率も、予想した通り、最高の生産水が得られたのは3番目のエレメントからで、以下、2番目、最前部のエレメントの順であった。これは日東電工のエレメントの場合であるが、東レの膜の場合には予想に反して、最前部のエレメントからの透過水の導電率が2番目のエレメントからの透過水の導電率よりも高かった (Fig. 2)。これはおそらくそれぞれの膜の初期状態の違いと塩排除性によるものと思われる。日東電工膜は東レSU 806よりも塩排除率が高い傾向がある (Fig. 2およびFig. 4)。これは日東電工膜は東レ膜に比べて透過水量が少ないことから論理的に説明することができる。

SWCCの前処理プラントで濾過された海水 (SDI<3, pH=6.8) を連続通水して、ROミニモジュールによる濁質耐性試験を実施した結果、膜透過水量を5000時間以上にわたり、安定に保持した運転ができることを確認した。

(1.2.3)

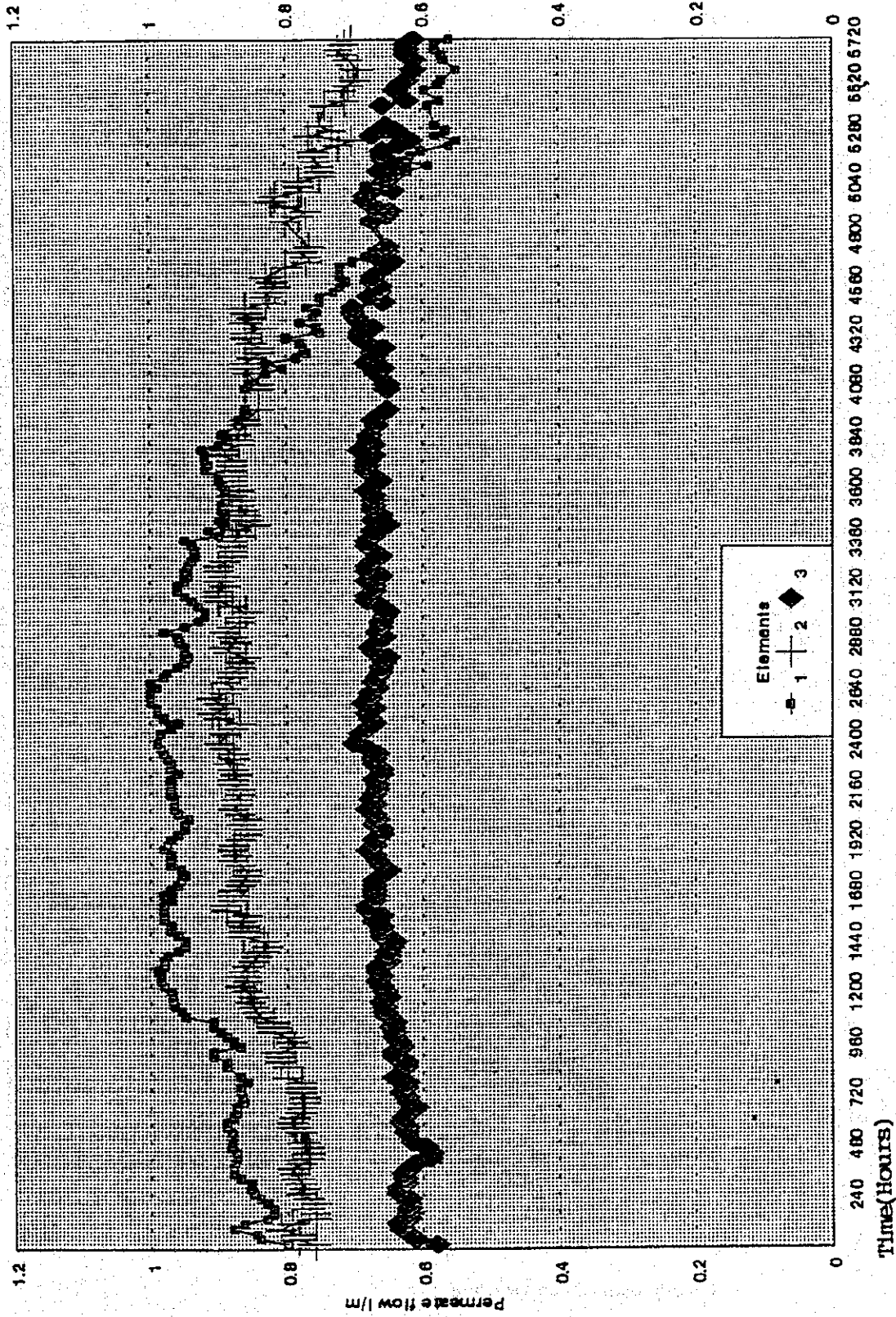


Fig. 1 東レ製モニモジュール(SU-806)の濁質耐性試験結果(膜透過水流量)

(TEST CONDITIONS: THREE ELEMENTS AR RANGED IN SERIES; SEA WATER SDI<3, pH=6.8, PRESSURE=66 kg/cm²)

(7.2.3)

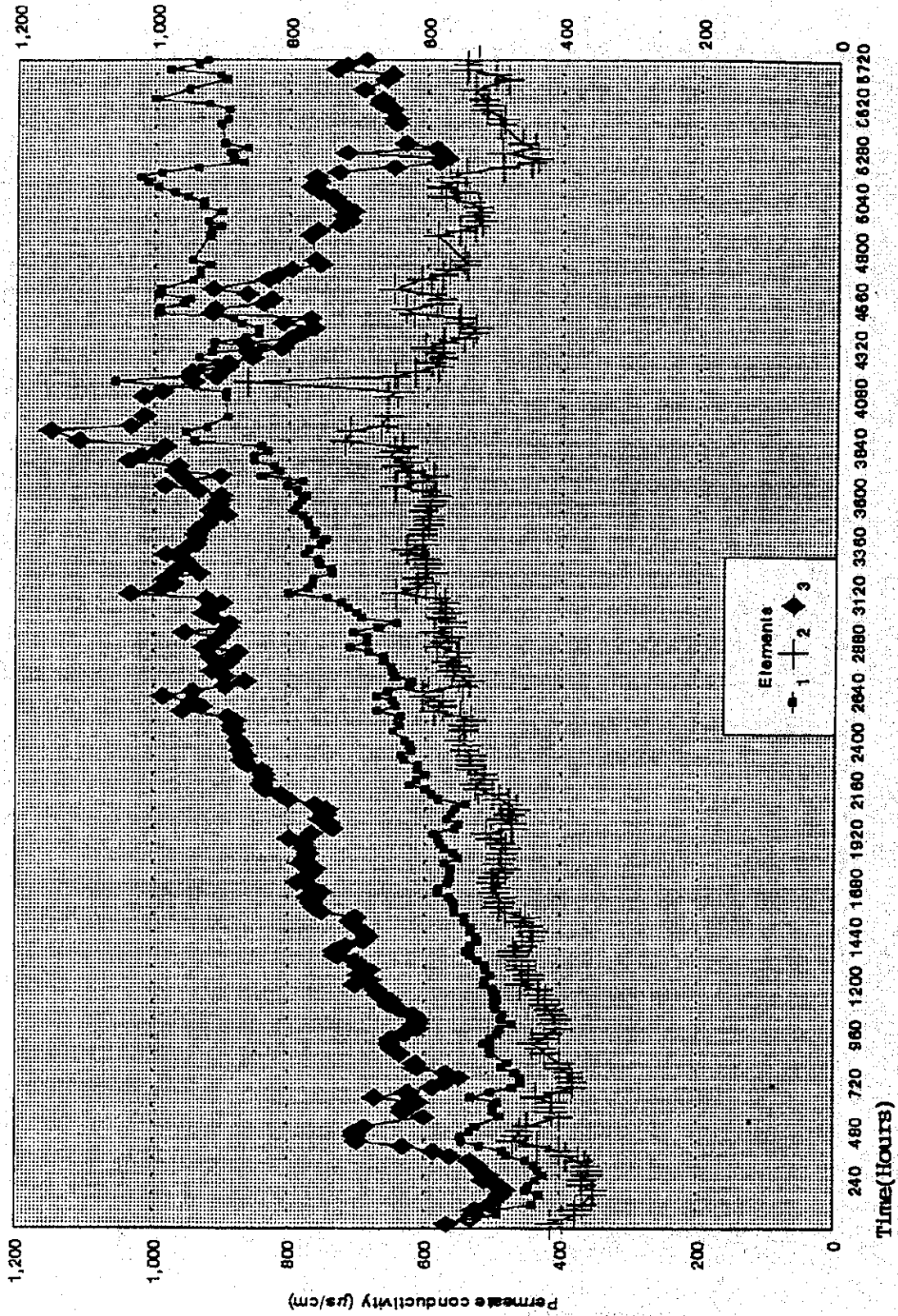


Fig. 2 東レ製ミニモジュール(SU-806)の濁質耐性試験結果(膜透過水導電率)

(TEST CONDITIONS: THREE ELEMENTS ARE RANGED IN SERIES; SEA WATER SDI < 3, PH = 6.8, PRESSURE = 8.6 kg/cm²)

(7.2.3)

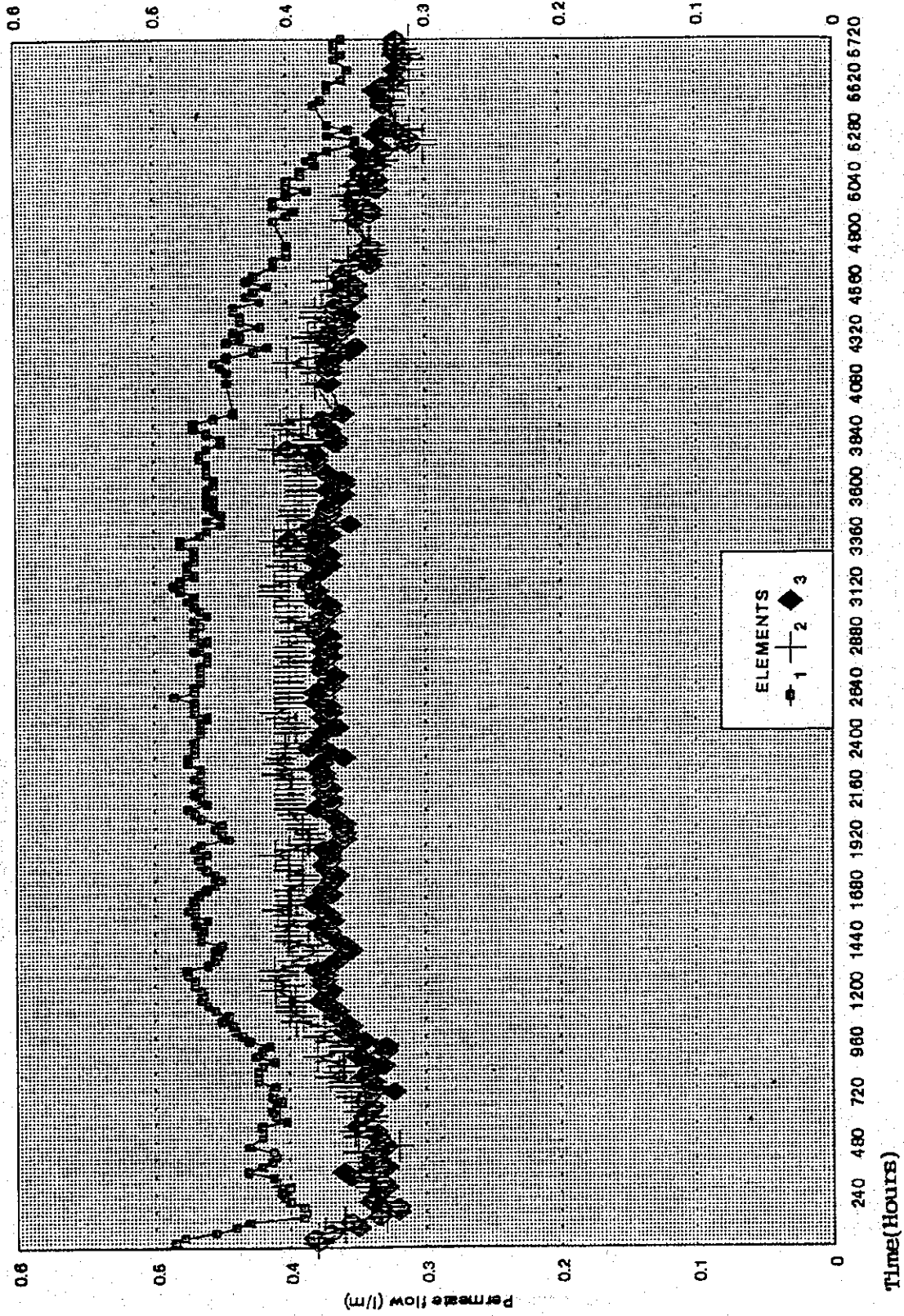


Fig. 3 日東電工製ミニモジュール(NTR-70S-SWC-S2)の濁質耐性試験結果
(膜透過水流量)

TEST CONDITIONS: THREE ELEMENTS ARRANGED IN SERIES, FEED SDI < 3, pH = 6.6, PRESSURE = 66 kg/cm²

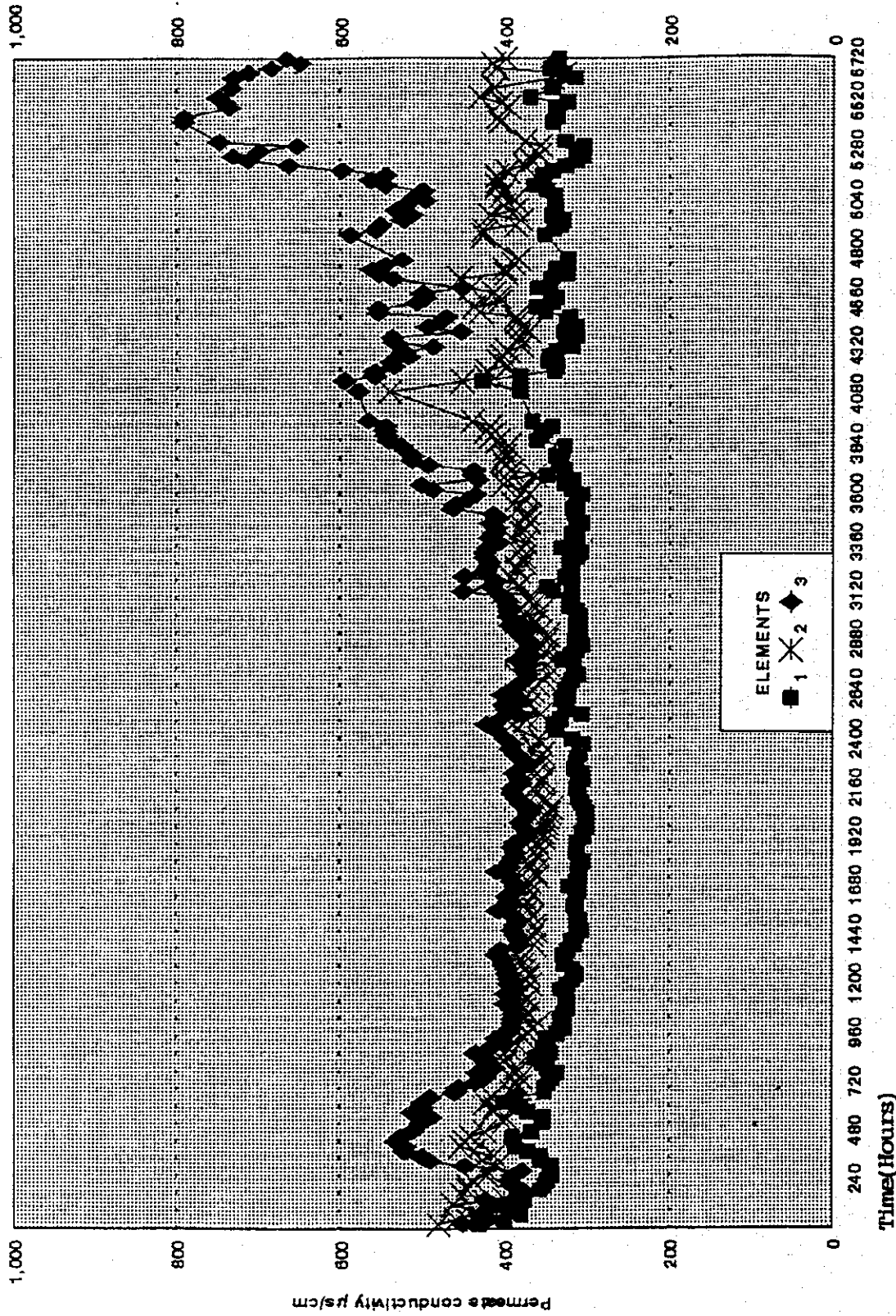


Fig. 4 日東電工製ミニモジュール (NTR-70S-SWC-S2) の濁質耐性試験結果
(膜透過水導電率)

TEST CONDITIONS: THREE ELEMENTS ARRANGED IN SERIES, FEED SDI < 3, pH = 8.8, PRESSURE = 66 kg/cm²