

# 逆浸透式海水淡水化装置の性能に関する 調査研究—Ⅱ\*

薬剤による細菌の繁殖抑制が性能におよぼす影響

日笠純扶・松下 博・安成幹男・桐畑友明

Studies on Performance of Desalination Plant  
by Reverse Osmosis System—Ⅱ  
Effects of Inhibition of Bacterial Growth  
with NaHSO<sub>3</sub> on Performance of Plant

By

Sumio HIKASA, Hiroshi MATSUSHITA, Mikiyo YASUNARI,  
and Tomoaki KIRIHATA

A fresh water generating plant equipped with a reverse osmosis module is the most suitable system for small ships. However, the performance of this plant is influenced remarkably by different factors, such as sea water temperature and suspended substances in seawater. In this experiment, NaHSO<sub>3</sub> was added to the feedwater once a day, and its concentration was adjusted to 60 ppm. This treatment inhibited well bacterial growth on the filter medium and decreased remarkably the adhesion of bacteria on the surface of the reverse osmosis module. This treatment was very effective for keeping the desalting performance of the plant.

## 1. 結 言

第1報<sup>1)</sup>では、小型船に設置した逆浸透法による海水淡水化装置の性能について報告した。

すなわち、第1次は海水温度の高い(25℃以上)海域での実験、第2次はPTB洗浄処理後のモジュールを用いた

実験、第3次は新品のモジュールで海水温度の低い海域(25℃以下)で、薬液(亜硫酸水素ナトリウム)を用いた実験を行い、これらの実験結果から給水の温度、圧力および濁度、ならびに細菌の繁殖がモジュールの性能に大きく影響を及ぼすことは明らかとなったが、それぞれがモジュールの性能低下にどのように係わり合っているか、またその程

\* 水産大学校研究業績 第1003号, 1983年10月5日受理。

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No.1003, Received Oct. 5, 1983.

度も不明である。そこで本報では、薬液を用いて細菌の繁殖を抑制したうえ、海水温度の高い1次実験とほぼ同じ海域で第4次実験を行い、薬液注入効果が、給水の濁度、透過水量および透過水の塩分濃度に与える影響を調べ、それぞれの結果を第1次実験結果と比較検討したので、ここに報告する。

## 2. 実験装置および方法

### 2・1 実験装置

装置名：漁船用逆浸透圧式脱塩装置「アクアペット」  
(備笹倉機械製作所製)

装置のプロセスフローを Fig. 1 に示す。その主要目は次のとおりである。

型式：HR-4-05型

製造水量：5 m<sup>3</sup>/day (圧力56 kg/cm<sup>2</sup>・海水温度25℃)

製造水塩分濃度：TDS 500 ppm 以下

運転圧力：56 kg/cm<sup>2</sup>

サンドフィルタ：(備笹倉機械製作所製)

濾材容積 100 l

性能 30 μm 以上の懸濁質除去および  
10 μm 以上の懸濁質 5～6% 除去

カートリッジフィルタ：AM 社製糸巻形

性能 1 μm 以上の懸濁質を98% 除去

モジュール：Du Pont 社製 PERMASEP-B-10

(ポリアミドナイロン中空糸)

シェル寸法：φ140 mm×1200 mm

透過水量：5.67 m<sup>3</sup>/day (圧力56 kg/cm<sup>2</sup>・海水温度25℃)

透過面積：139 m<sup>2</sup>

塩分排除率：99% 以上

製造時造水性能：第1次実験モジュール3.70 l/min

第4次実験モジュール4.84 l/min

測定に用いた機器は前報と同様で、次に示す。

流量：羽根車型フローメータ、日東製工(備)製13-2型

電気伝導度：自動温度補償付デジタル式伝導度計

東亜電波工業(備)製CM-20型

濁度：ミリポア・フィルタ、Millipore 社製

孔径0.45 μm, 直径47 mm

細菌数：ミリポア・サンプラ、Millipore 社製

Total Count™ サンプラ

細菌培養器：実験室細菌培養器、Millipore 社製

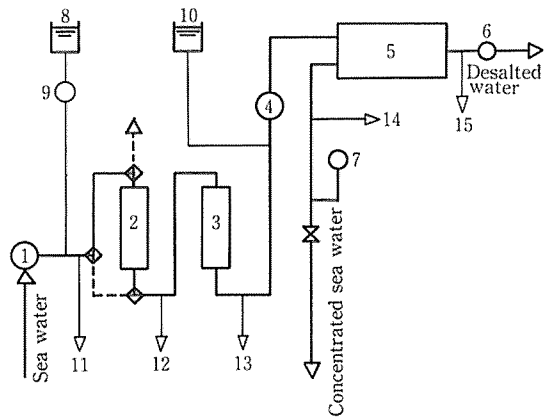


Fig. 1. Process flow diagram of the reverse osmosis system.

- 1: Sea water pump,
- 2: Sand filter,
- 3: Cartridge filter,
- 4: High pressure pump,
- 5: Reverse osmosis module,
- 6: Flow meter,
- 7: Pressure gauge,
- 8: Chemical (NaHSO<sub>3</sub>) tank,
- 9: Chemical pump,
- 10: Formalin tank,
- 11: Sea water sampling,
- 12: Sea water sampling of sand filter outlet,
- 13: Sea water sampling of cartridge filter outlet,
- 14: Sampling of concentrated sea water,
- 15: Sampling of desalted water.

### 2・2 実験方法

第4次実験は、昭和57年5月26日から7月22日まで744時間である。海域は第1次実験とほぼ同様で、南支那海から南太平洋にかけて行い、これらの実験にあたっては、装置の運転基準に従って、毎日1回20分間モジュールの洗浄およびサンドフィルタの逆洗を行い、引き続き、30分間亜硫酸水素ナトリウム (NaHSO<sub>3</sub>) 500 ppm 溶液を Fig. 1 に示す8、9のタンクおよびポンプを用いて、給水中のNaHSO<sub>3</sub>の濃度がほぼ60 ppm になるように、サンドフィルタ入り口に注入した。薬液注入回数は、前報第3次実験

において、1日2～3回の注入で効果が認められたので、今回は1日1回とした。ただし、港内停泊中は運転を停止するので、その間の細菌発生を防ぐため、前報<sup>1)</sup>と同様にモジュール内へ3%ホルマリン溶液を封入した。

各部の温度、圧力、透過水量、電気伝導度などの計測を2時間ごとに行い、給水の濁度および細菌数の計測は、1日に1回時刻を定めて行った。

透過水量は Fig. 1 に示すように、モジュールの出口に設置した6の羽根車フローメータを用いて測定した。

塩分濃度(全溶解固形形で表し、以後 TDS と略記する)は、Fig. 1 に示す11, 14および15のサンドフィルタ入り口、モジュールの濃縮海水出口および透過水出口の3箇所から採取した試水の電気伝導度を測定し、次式<sup>1)</sup>により求めた。

海水および濃縮海水の場合

$$TDS_{1,2} = 0.739 EC - 4207.5$$

透過水の場合

$$TDS_3 = 0.633 EC - 63.3$$

EC : 電気伝導度 ( $\mu S/cm \cdot 25^\circ C$ )

TDS<sub>1</sub>: 海水の塩分濃度 (ppm)

TDS<sub>2</sub>: 濃縮海水の塩分濃度 (ppm)

TDS<sub>3</sub>: 透過水の塩分濃度 (ppm)

Fig. 1 に示す11, 12および13のサンドフィルタ入り口、サンドフィルタ出口およびカートリッジフィルタ出口の3箇所から採取した試水を用い、細菌数および濁度を求めた。

細菌数はミリポア・サンブラを試水1 ml 中に30秒間浸漬した後、35°Cで24時間培養して、サンブラ表面に現れたコロニー数とした。

濁度は MF 値<sup>1)</sup>を用いた。

$$MF \text{ 値} = K_T \cdot t$$

$K_T$ : 粘度補正係数

$t$ : 濾過時間 (秒)

### 3. 実験結果

第1次および第4次実験の海水の濁度および細菌数の測定結果を Table 1 に示し、2時間ごとに計測した給水温度 (T)、モジュール圧力 (P)、透過水量 ( $Q_{PT}$ ) および透過水の塩分濃度 (TDS<sub>3</sub>) を用いて、24時間の各平均を求め、これを Table 2 に示す。つぎに第1次実験と第4次実験の比較を容易にするため、給水温度25°Cを基準とし、給水温度および圧力の影響を考慮した次式を用いて、Table 2 の T, P,  $Q_{PT}$  および TDS<sub>3</sub> から修正透過水量 (Qc) および修正塩分濃度 (TDS<sub>c</sub>) を求めた。その結果を Fig. 2 に示す。

$$Qc = Kc \cdot Q_{PT}$$

Qc: 修正透過水量 ( $m^3/day$ )

$Q_{PT}$ : 給水温度25°C, 圧力56 kg/cm<sup>2</sup> および給水の塩素量19%における1日の透過水量 ( $m^3/day$ )

Kc: モジュール製造時の性能比較係数

第1次実験の場合  $Kc = 1$  とすれば、第4次実験の場合  $Kc = 0.76$  となる。

$$TDS_c = Ks \cdot TDS_3$$

TDS<sub>c</sub>: 透過水の修正塩分濃度 (ppm)

Ks: 塩分透過修正係数<sup>2)</sup>

なお Ks は次式による。

$$Ks = \frac{C_f \cdot (\Delta P_0 - \Delta \pi_0) \cdot C_m}{C_f \cdot (\Delta P - \Delta \pi) \cdot C_{m_0}}$$

$C_f$ : 給水の NaCl 濃度 (ppm)

$C_m$ : モジュール内の平均 NaCl 濃度 (ppm)

$$\text{ただし } C_m = \frac{C_f + C_b}{2}$$

$C_b$ : 濃縮海水 NaCl 濃度 (ppm)

$\Delta P$ : モジュール内の給水と透過水との圧力差

(kg/cm<sup>2</sup>)

$\Delta \pi$ : モジュール内の給水と透過水との浸透圧差

(kg/cm<sup>2</sup>)

添字 0: 実験開始時の基準状態を示す。

(本実験開始時の給水温度25°C)

Table 1. Record of sea water quality

	Date	Station		MF			BC						
		Latitude (N)	Longitude (E)	Sea water	Sand filter outlet	Cartridge filter outlet	Sea water	Sand filter outlet		Cartridge filter outlet			
								Before disinfection	After disinfection	Before disinfection	After disinfection		
1st experiment	(1981)												
	May 13	30-34	128-23	271	265	255	-	-	-	-	-	-	-
	" 14	27-32	125-44	244	228	231	8	TNTC	-	-	7	-	-
	" 15	24-02	124-10	183	189	211	-	-	-	-	-	-	-
	" 16	21-35	120-37	241	219	235	4	TNTC	-	-	25	-	-
	" 17	21-59	116-53	225	194	207	16	TNTC	-	-	50	-	-
	" 23	18-40	116-01	221	209	194	3	TNTC	-	-	65	-	-
	" 25	12-59	120-29	159	166	151	8	2	-	-	7	-	-
	" 26	09-49	122-12	130	130	134	100	15	-	-	23	-	-
	Jun. 2	10-36	125-55	122	113	118	26	TNTC	-	-	TNTC	-	-
	" 5	12-22	133-36	140	136	128	0	70	-	-	100	-	-
	" 9	14-54	139-52	134	126	124	20	50	-	-	20	-	-
	" 15	13-31	144-33	-	-	-	8	20	-	-	80	-	-
	" 18	20-49	139-40	149	138	145	8	TNTC	-	-	3	-	-
" 21	27-08	140-10	162	165	165	0	30	-	-	4	-	-	
" 24	32-18	133-02	165	158	152	23	TNTC	-	-	12	-	-	
	Mean			182	174	175							
4th experiment	(1982)												
	May 27	28-24	126-07	231	222	219	3	300	0	8	1	-	-
	" 28	25-00	124-32	201	198	195	10	10	1	15	8	-	-
	" 29	22-14	122-07	171	164	164	30	30	7	50	4	-	-
	" 30	21-49	118-21	198	193	192	8	-	3	-	12	-	-
	Jun. 6	18-25	113-36	180	178	177	-	-	-	-	-	-	-
	" 7	14-36	112-36	172	165	166	200	30	8	60	6	-	-
	" 8	11-07	111-02	163	162	162	50	80	30	180	20	-	-
	" 9	07-29	108-53	162	162	162	20	50	30	60	30	-	-
	" 10	06-38	105-26	171	164	147	150	150	20	100	40	-	-
	" 11	08-21	102-55	164	154	153	10	-	5	-	5	-	-
	" 19	09-54	102-03	157	152	152	20	150	20	120	15	-	-
	" 20	07-12	105-09	220	217	217	100	300	50	300	30	-	-
	" 21	07-11	109-07	211	201	200	-	-	-	-	-	-	-
	" 22	07-09	113-14	214	202	191	30	100	0	100	15	-	-
	" 23	08-42	116-50	185	176	177	150	90	0	100	3	-	-
	" 24	12-11	119-05	172	165	151	-	-	-	-	-	-	-
	Jul. 1	11-35	121-16	164	163	164	-	-	-	-	-	-	-
	" 2	09-06	123-52	171	169	166	60	80	40	100	30	-	-
	" 3	10-34	127-07	167	163	160	-	-	-	-	-	-	-
	" 4	10-35	131-08	168	160	160	15	40	4	50	3	-	-
" 5	12-49	134-26	169	169	166	-	-	-	-	-	-	-	
" 6	14-15	136-32	178	195	166	10	15	0	20	0	-	-	
" 7	15-03	138-45	189	182	182	-	-	-	-	-	-	-	
" 14	16-12	141-16	178	180	173	-	-	-	-	-	-	-	
" 16	19-27	139-40	180	177	193	20	35	20	60	5	-	-	
" 18	22-16	136-27	200	158	170	20	20	20	15	15	-	-	
" 20	26-17	135-43	173	187	161	10	15	2	30	3	-	-	
" 21	29-35	133-41	184	182	169	15	50	20	15	20	-	-	
	Mean			182	177	173							

MF : Fouling index by means of membrane filter method,

BC : Bacterial count,

- : Indicates "Not determined",

TNTC: Indicates "Too Numerous To Count".

Table 2. Running records of reverse osmosis system

H  (hours)	T (°C)		P (kg/cm <sup>2</sup> )		Q <sub>PT</sub> (m <sup>3</sup> /day)		TDS <sub>3</sub> (ppm)	
	1st experiment	4th experiment	1st experiment	4th experiment	1st experiment	4th experiment	1st experiment	4th experiment
2	17.5	23.2	55.0	52.5	5.24	7.61	202	348
24	22.7	22.4	56.2	53.8	5.08	7.32	264	388
48	25.1	25.9	55.8	52.2	4.96	7.07	292	475
72	26.5	27.1	56.5	52.5	4.79	6.80	351	503
96	26.8	27.8	56.4	53.3	4.79	6.71	376	531
120	27.4	27.8	56.5	52.5	4.66	6.31	445	569
144	27.9	29.8	56.5	51.6	4.73	6.32	432	573
168	30.2	29.5	56.6	51.6	4.66	6.40	454	546
192	30.4	29.9	56.6	52.3	4.42	6.18	485	553
216	29.2	29.6	56.8	51.8	4.44	6.33	500	492
240	29.6	30.3	57.3	52.0	4.36	6.33	516	466
264	29.8	29.6	56.5	52.0	4.33	6.50	515	449
288	29.5	29.3	56.5	52.4	4.36	6.30	522	445
312	29.3	29.1	56.7	52.7	4.24	6.10	552	467
336	29.4	28.9	56.6	52.9	4.09	5.93	568	481
360	29.4	28.8	56.5	52.7	4.06	5.96	591	466
384	29.3	29.2	56.7	52.8	4.09	5.80	610	485
408	29.3	28.7	56.9	53.3	3.91	5.79	631	458
432	28.7	28.7	56.8	53.8	4.07	5.67	606	457
456	29.2	29.2	56.8	53.5	3.80	5.67	642	469
480	29.0	28.3	56.5	53.8	3.67	5.66	650	472
504	28.1	28.9	56.8	54.4	3.81	5.52	670	493
528	27.5	28.9	56.8	53.8	3.81	5.54	687	487
552	26.4	28.8	56.8	54.1	3.58	5.61	689	503
576	26.4	29.3	56.6	52.1	3.69	5.52	690	479
600	25.2	29.5	56.9	54.2	3.78	5.40	690	467
624	24.5	29.6	56.5	54.4	3.78	5.49	679	464
648	25.9	29.4	56.0	53.9	3.70	5.37	688	474
672		29.1		54.0		5.36		482
696		28.9		54.0		5.34		472
720		28.3		54.2		5.34		477
744		27.1		54.0		5.42		449

H : Working hours,  
 T : Temperature of sea water,  
 P : Pressure of sea water at module,  
 Q<sub>PT</sub> : Amount of desalted water,  
 TDS<sub>3</sub> : Total dissolved solid in desalted water.

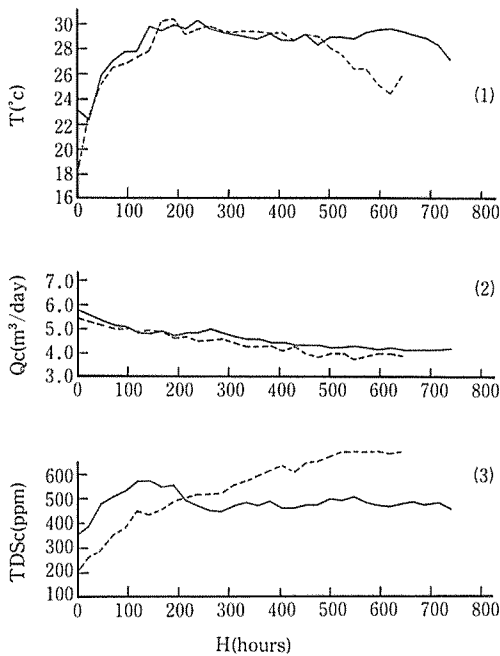


Fig. 2. Changes of characteristics during experiment, dotted lines show the changes in 1st experiment, and actual lines show the changes in 4th experiment.

H : Working hours,  
 T : Sea water temperature,  
 QC : Amount of desalted water corrected by amendment coefficient of temperature and pressure and reduction rate of time passage,  
 TDS<sub>c</sub>: Total dissolved solid in desalted water corrected by SPCF,  
 -----: 1st experiment,  
 ———: 4th experiment.

## 4. 考 察

### 4・1 給水

給水温度 (T) は Fig. 2-(1) に示すように、実験開始から 144 時間までの温度上昇海域と、それ以後 480 時間までの高温海域では、第 1 次および第 4 次実験とも、ほぼ同様な温度を示しており、480 時間以後、第 1 次実験は温度下降海域となり、第 4 次実験は依然高温海域が続いているが、これら海域の温度は、第 1 次および第 4 次実験のモジュールの

性能を比較検討するのにさしつかえない範囲であると思われる。

細菌数 (BC) は Table 1 に示すように、第 1 次実験ではサンドフィルタ出口で無数 (TNTC) の場合が多く、薬液を用いた第 4 次実験では、TNTC は一度も現れていない。第 4 次実験結果は、同じ薬液を用い注入回数が多く、TNTC が一度も認められなかった第 3 次実験と比べても差はない。したがって、薬液注入回数は本実験海域では、24 時間ごとに 1 回の薬液注入で細菌の繁殖を抑制できることが、Table 1 のサンドフィルタ出口の値から明らかとなった。

濁度 (MF 値) は Table 1 に示すように、海水の MF 値の平均は第 1 次および第 4 次実験の場合、いずれも 182 であり、サンドフィルタ出口およびカートリッジフィルタ出口の MF 値の平均は、第 1 次は 174 および 175、第 4 次実験は 177 および 173 である。したがって、サンドフィルタおよびカートリッジフィルタそれぞれの懸濁質の除去率は、第 1 次実験では 4.4% および -0.6% である。第 1 次実験ではサンドフィルタでの懸濁質の除去率が大きく、カートリッジのそれが小さいのは、サンドフィルタで懸濁質の大部分は除去されてしまい、カートリッジフィルタで除去できる懸濁質の供給量が減少したためと思われる。第 4 次実験ではそれぞれの懸濁質の除去率は 2.7% および 2.3% であり、両フィルタで平均に除去されている。第 1 次と第 4 次実験を比較すると、サンドフィルタによる懸濁質の除去率が大きく異なることがわかる。これは薬液の注入により、サンドフィルタ内の除去機能に何らかの変化が生じている。サンドフィルタは元来細菌の繁殖に恰好の場所であり、繁殖した細菌が濁質の濾過に役立つ場合があるが、第 4 次実験では薬液の注入により、サンドフィルタ内の細菌の繁殖が抑制されたためと思われる。また、カートリッジフィルタの除去率が第 4 次実験で大きいのは、サンドフィルタで除去できなかった懸濁質が、カートリッジフィルタで除去されたためと思われる。サンドフィルタおよびカートリッジフィルタでの懸濁質の総合の除去率は、第 1 次実験は 3.8%、第 4 次実験は 4.9% となり第 4 次実験が大きい。これはサンドフィルタでの除去率が低下したにもかかわらず、カートリッジフィルタが十分機能を果たしたためである。したがって、薬液を用いた場合、サンドフィルタは元来の機能が低下するので、サンドフィルタに代わりカートリッジフィルタを設け、カートリッジフィルタを直列に 2 個用いた方が懸濁質除去に有効なように思われる。

#### 4・2 透過水

モジュールの性能に最も影響の大きい透過水量および透過水の塩分濃度について、比較検討する。透過水量  $Q_{PT}$  は Table 2 から明らかなように、第1次実験と第4次実験とでは実験当初から大きく異なる。これはモジュール膜製造技術の点から製品の均一化が困難なため、性能にばらつきが生じたためと思われる。また、Fig. 2-(2)に示す修正透過水量  $Q_c$  は、第1次および第4次実験ともに、運転時間の増大に伴ってほぼ同一の傾向で減少している。前報<sup>1)</sup>と同様な方法で、透過特性値から減少係数  $m$  を求めた。この結果を Fig. 3 に示す。図から明らかなように、第1次実験の  $m$  は  $-0.063$  で、第4次実験では  $-0.055$  であり、前報<sup>1)</sup>の第3次実験では  $-0.034$ 、陸上施設(方方島)では  $-0.0159$  であるから、第1次実験と第4次実験の値との差は、第1次実験と第3次実験または陸上施設の値の差に比べて小さい。これは高温および高圧によるモジュールの圧密化現象のため、膜の劣化が第1次実験と第4次実験とほぼ同じ程度に進んでいると推定される。また、薬液を用いた第3次実験と第4次実験との値を比べた場合、第4次実験の値は第3次実験の値の1.6倍となっている。これは第3次実験が低温海域(25℃以下)であるため、高温による膜の圧密化が起っていないためと推定される。

透過水の塩分濃度 TDS<sub>3</sub> は Table 2 から明らかなように、実験開始時から第1次と第4次実験とでは、大きく異なっている。これも製造時の膜の性能の差が原因と推定される。

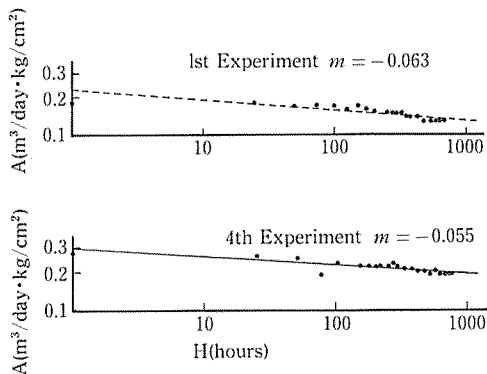


Fig. 3. Reduction coefficient ( $m$ ) of desalted water amount, dotted line shows the change in 1st experiment, and actual line shows the change in 4th experiment.

次に、透過水の修正塩分濃度 TDS<sub>c</sub> は Fig. 2-(3)に示すように、第1次実験開始時は200 ppm であるが、210時間後に500 ppm を越え、それ以後、実験終了まで給水温度の降下にもかかわらず690 ppm まで上昇を続けている。第4次実験開始時は350 ppm で、140時間まで第1次と同様な傾向で増加するが、その時間を過ぎると、290時間まで逆に減少し、それ以後は500 ppm 以下の一定値を保っている。一般に膜の性能低下は、膜自体の機能劣化と固形分の膜面への付着によるものと大別され、特に後者による場合、透過水量はほぼ一定であるが、塩分濃度のみ増加するといわれている。第1次および第4次実験開始時の TDS<sub>c</sub> の増加は、この二つの理由で膜が初期劣化をおこしたためと思われる。第1次実験の塩分濃度の上昇は、給水中の懸濁質でサンドフィルタおよびカートリッジフィルタで除去されなかったものと繁殖した細菌とが膜面に付着したためと推定される。第4次実験の場合、140時間以後 TDS<sub>c</sub> が減少し、その後一定値が保たれているのは、薬液の注入により、細菌の繁殖を抑えたことにより、細菌の膜面への付着が少なくなり、モジュールの脱塩性能の低下を防がれたものと推定する。モジュールの使用限度は造水量と塩分濃度で決まる。以上の結果より、薬品を用いなければ塩分濃度の上昇が大きく、薬品を用いればほぼ一定に保持できるので、モジュールの寿命が長くなることが明らかとなった。

## 5. 結 言

薬液を用いた第4次実験の結果を第1次および第3次実験結果と比較し、次のことが明らかとなった。

- 1) 1日1回の薬液注入により、水の透過性能においてはほとんど効果はないが脱塩性能において、塩分濃度をほぼ一定値に保つことができ、モジュールの寿命をのばすには効果がある。
- 2) 本実験の海域では、サンドフィルタの効果から考慮して、サンドフィルタをカートリッジフィルタに代えた方がよい。

おわりに実験に御協力くださった天鷹丸乗組員諸氏に厚く感謝する。

## 文 献

- 1) 日笠純扶・松下博・安成幹男：水産大研報，31 (1・2)，31～39 (1983)。
- 2) Du Pont 社資料 (TECHNICAL INFORMATION)

MANUAL, 1982).

- 3) 大矢晴彦：逆浸透法・限外濾過 Ⅱ，応用，膜利用技術ハンドブック（大矢晴彦編著），初版，幸書房，東京，1978，p. 22.