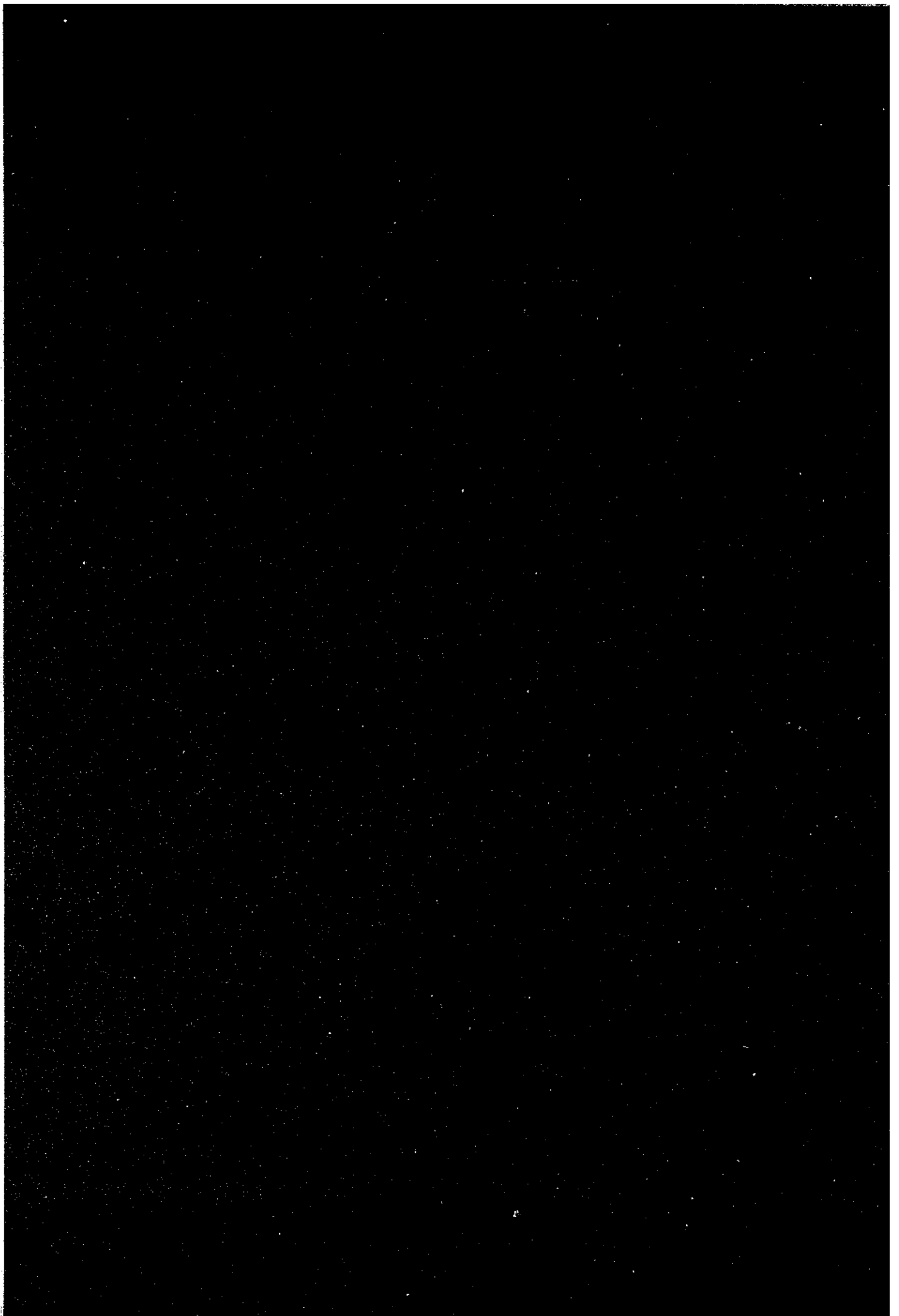


## 5. MSFプロセスにおけるスケールコントロール法に関する研究 (MSF-1)



〈5章 目次〉

5. MSFプロセスにおけるスケールコントロール法に関する研究 (MSF-1)

5.1 実験および予備実験

5.1.1.A アラビア湾海水調査

5.1.1.B MSFプラントの現況についての調査

5.1.2 スケール抑制剤選定実験

5.2 伝熱試験装置による実験

5.3 MSFテストプラント試験

5.3.1 テストプラント据付工事

5.3.2 テストプラント試運転および性能試験

5.3.3 スケール抑制剤単独試験

5.3.4 スケール抑制剤/酸併用試験

5.4 技術移転



## 5.1 調査および予備実験



## 5.1.1.A アラビア湾海水調査





(5.1.1.A)

目 次

1. まえがき .....	1
2. 調査プラント名と調査の日程 .....	1
3. 調査の結果 .....	1
4. まとめ .....	2

(5.1.1.A)

表 一 覧

表 番	題 名	頁
Table 1	SCECO/SWCC 海水淡水化装置の現地調査結果 .....	4
Table 2	SWCC AL-JUBAIL 海水淡水化装置 .....	5
Table 3	QUARAYYAH 発電プラント PHASE-II 海水淡水化装置 UNIT C .....	6
Table 4	QUARAYYAH 発電プラント PHASE-I 海水淡水化装置 UNIT B .....	7
Table 5	QUARAYYAH 発電プラント PHASE-I 海水淡水化装置 .....	9
Table 6	SWCC AL-JUBAIL 海水淡水化装置 .....	10

(5.1.1.A)

図 一 覧

図 番	題 名	頁
Fig. 1	スケールの X線スペクトル図 .....	3



## 1. まえがき

本調査は当初1994年度に実施される油汚染海水を原海水としたMSFプラントの生産水水質評価のためのコンピュータプログラム作成の精度向上を目的として計画された。

しかし、その後の検討で本プロジェクトで得られたスケール・インヒビターの特性に関する知見の確認と、同じく1994年度に実施されるハイブリッドスケール・インヒビタ方式（酸添加方式とスケール・インヒビタ添加方式との組合せ方式）に関する実験計画立案の参考にするために、現在稼働しているMSFプラント各部位の海水およびラインの水質調査に変更して実施することにした。

調査場所はアラビア湾岸側のみならず、紅海側も調査の対象とした。さらに、SHOIBAHにあるプラントでは蒸発室内部を見学する機会にめぐまれた。

採取した海水、ライン及び蒸発室内部に付着したスケールの分析は、SWCCにおいて実施した。

本報告はヒヤリングした内容と分析結果をとりまとめたものである。

## 2. 調査プラント名と調査の日程

調査場所はアラビア湾岸側2箇所、紅海側2箇所の計4箇所で、以下に示したSCECO（サウディ電力会社）管轄のプラントが1箇所、SWCC管轄のプラントが3箇所である。

SCECO管轄プラント：QURAYYAH PLANTS（調査日 1994年2月2日）

SWCC管轄プラント：SHOIBAH PLANTS（調査日 1994年2月6日）

SHUGAYG PLANTS（調査日 1994年2月7日）

KHAFJI PLANTS（調査日 1994年2月9日）

## 3. 調査の結果

調査を行った各プラントの仕様と採取したサンプルの種類、ならびにヒヤリング内容の要旨をTable 1に、また、分析結果をTable 2～Table 6に、スケールのX線スペクトロメータによるチャートをFig. 1に示す。

#### 4. まとめ

QURAYYAH PLANTSの調査から、ハイブリッドスケール抑制方式で運転する場合の循環ライン中のM-アルカリ度設定に際して、非常に有効な情報が得られた。

また、SHOIBAH PLANTS調査では、蒸発室内にスケールリングの発生が見られ、その量も低温段ほど多かった。これはスケール・インヒビタの有効滞留時間とも関係があるものと思われる。スケール・インヒビタ選定試験における実験室規模での実験で明らかにしたスケール・インヒビタの特性が、実機において確認されたものとする。

(5. 1. 1. A)

Operator : John G O'Hara  
Client : Dr. Nomani  
Job : Shoaibah Plant flash chamber scale  
Spectrum 3 (28 February 1994 13:51)

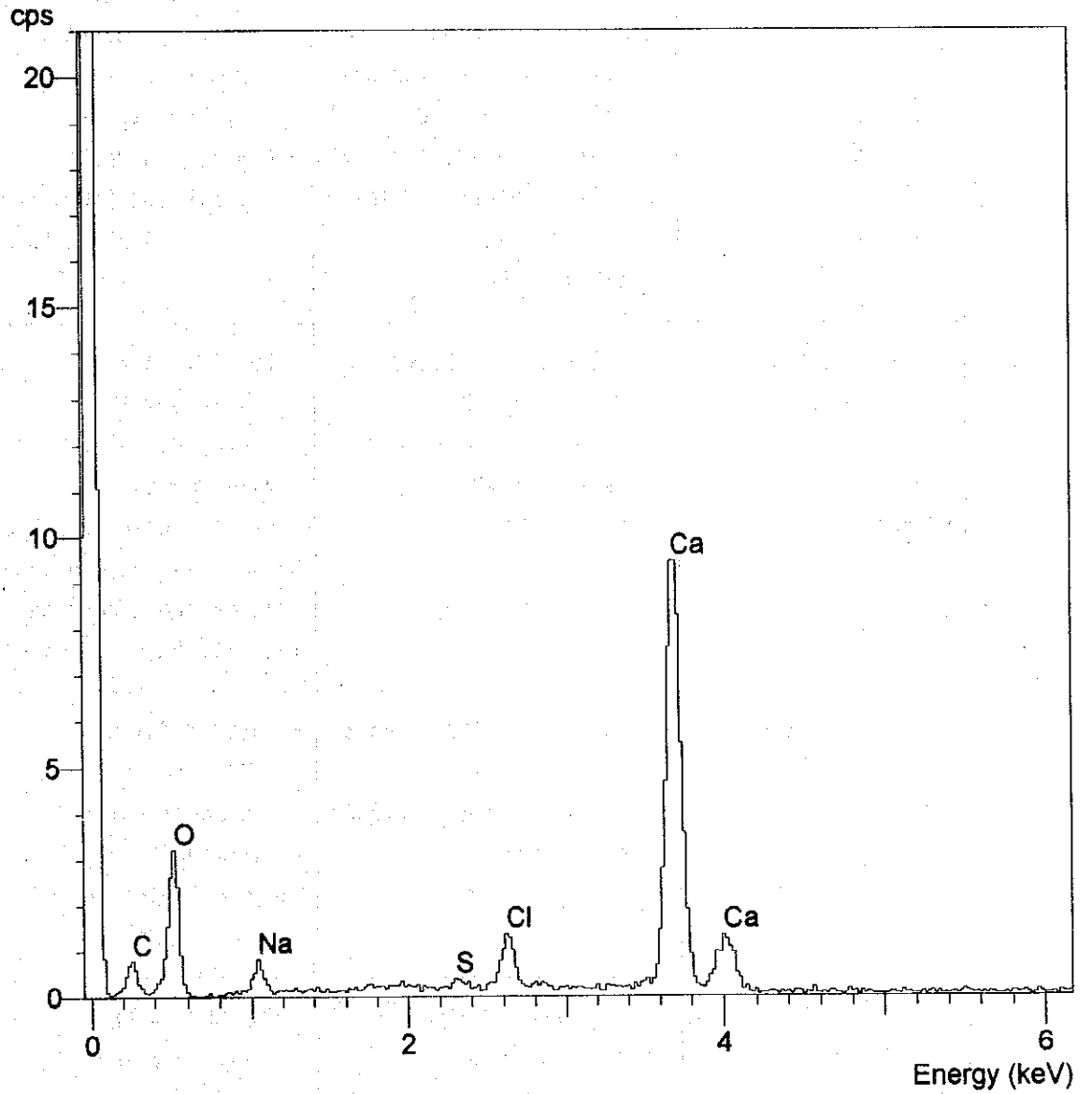


Fig. 1 スケールのX線スペクトル図

## (5.1.1.A)

Table 1 SCECO/SWCC 海水淡水化装置の現地調査結果(1994)

DATE	SITE	VISITING MSF PLANT	REMARKS
Feb. 2 (Wed.)	QURAYYAH (Eastern)	MSF Plants producing the feed water for Qurayyah Phase-1 Power Plants - Capacity:4,000t/dx3unit - TBT :90, 110°C - S. Inhi. :H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + BEL. EV (Hybrid system) - User :SCECO - Supplier:MHI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COLLECT WATER</li> <li>- Raw seawater</li> <li>- Make-up seawater</li> <li>- Recycle brine</li> <li>- Product water</li> <li>• QUALITY IN BRINE</li> <li>- M-Alk :33 CaCO<sub>3</sub> ppm</li> <li>- pH :8.26 at 25°C</li> <li>-</li> </ul>
Feb. 6 (Sun.)	SHOAIBAH (Western)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacity:5 MIGDx10 UNIT</li> <li>- TBT :90°C</li> <li>- S. Inhi. :BEL EV→ALB. A</li> <li>- User :SWCC</li> <li>- Maker :MHI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COLLECT WATER</li> <li>- Raw seawater</li> <li>- Product water</li> <li>• MAIN TOPIC</li> <li>Scaling in the flash chamber at low temperature.</li> <li>Suggest both chemical dosing rate &amp; injection point.</li> </ul>
Feb. 7 (Mon.)	SHUQAIQ (Western)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacity:5 MIGDx4 unit</li> <li>- TBT :90°C</li> <li>- S. Inhi. :Belgard EV2000</li> <li>- User :SWCC</li> <li>- Maker :KHIC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COLLECT WATER</li> <li>- Raw seawater</li> <li>- Product water</li> <li>• MAIN TOPIC</li> <li>Acid cleaning method</li> <li>pH 1 → pH 2</li> </ul>
Feb. 9 (Wed.)	KHAFJI (Eastern)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacity:2.5 MIGDx2unit</li> <li>- TBT :90°C</li> <li>- S. Inhi. :Belgard EV2000</li> <li>- User :SWCC</li> <li>- Maker :MITSUI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COLLECT WATER</li> <li>- Raw seawater</li> <li>- Product water</li> <li>• MAIN TOPIC</li> <li>Scale prevention effect</li> <li>DSP ≤ Belgard EV2000</li> </ul>

(NOTE) SCECO : SAUDI CONSOLIDATED ELECTRIC COMPANY.



(5. 1. 1. A)

Table 2 SWCC AL-JUBAIL 海水淡水化装置

DATE: 25 Nov. '92

No.	Parameter	Unit	Seawater	Brine	Waste
1	pH		8.21	8.68	8.23
2	Color		NIL	NIL	NIL
3	Turbidity		NIL	NIL	NIL
4	Conductivity	$\mu\text{S/cm}$	58,600	81,800	63,500
5	M-Alkalinity (as $\text{CaCO}_3$ )	mg/ℓ	130.1	194	143.5
6	Residual Chlorine	mg/ℓ	0.25	0.02	0.12
7	Total Hardness (as $\text{CaCO}_3$ )	mg/ℓ	6,738	9,488	7,924
8	Total Dissolved Solids (105°C)	mg/ℓ	46,990	69,730	51,776
9	Total Dissolved Solids (180°C)	mg/ℓ	42,288	64,430	47,022
10	Total Organic Carbon	mg/ℓ	2.18	2.08	2.09
11	Chloride	mg/ℓ	23,754	35,454	26,235
12	Sulfate (gravimetry; as $\text{SO}_4$ )	mg/ℓ	3,265	4,854	3,483
13	Nitrate (as N)	mg/ℓ	0.1	0.85	0.85
14	Sodium (as Na)	mg/ℓ	12,860	17,460	13,780
15	Calcium (as Ca)	mg/ℓ	519	757	605
16	Magnesium (as Mg)	mg/ℓ	1,326	1,845	1,572
17	Chromium	$\mu\text{g}/\ell$	0.26	0.11	0.009
18	Total-Copper	$\mu\text{g}/\ell$	4.5	4.3	3.3
19	Total-Iron	$\mu\text{g}/\ell$	4.9	3.2	3.5
20	Total-Manganese	$\mu\text{g}/\ell$	0.45	0.48	0.34
21	Total Nickel	$\mu\text{g}/\ell$	1.7	1.2	1

(5. 1. 1. A)

Table 3 QUARAYAH 発電プラント PHASE-II 海水淡水化装置 UNIT C

DATE: 19 JULY '93

I T E M	UNIT	T I M E				LIMIT	
		10:00	11:00	13:30	14:30		
DISTILATE FLOW RATE	kg/s	29.5	29.5	48	48		
TOP BRINE TEMPERATURE	°C	90.5	90.5	106	106		
BRINE RECIRCULATION FLOW RATE	kg/s	330	330	430	420		
MAKE-UP FLOW RATE	kg/s	103	105	161	161		
ACID DOSING RATE AUTO/MAN	kg/s	0.008 ~0.012 AUTO	0.008 ~0.012 AUTO	0.013 ~0.015 AUTO	0.013 ~0.016 AUTO		
ACID DOSING PUMP STROKE A/B	%	A 36	B 36	B 54	A 54		
ALKALINITY (as CaCO <sub>3</sub> )	BEFORE ACID INJECTION	mg/ℓ	130	131	129	130	
	DECARBONATOR OUTLET	mg/ℓ	21	28	31	32	20~35
	DEAERATOR OUTLET	mg/ℓ	24	24	27	30	
	RECYCLE BRINE	mg/ℓ	35	32	33	35	24~43
pH	BEFORE ACID INJECTION	(Lab)	8.02	8.0	8.0	7.99	
	CONTROL/LOCAL DECARBONATOR OUTLET AT-506	(Inst)	7.58	7.50	7.46	7.43	6.7~7.0
		(Lab)	7.15	7.43	7.46	7.42	
	CONTROL/LOCAL RECYCLE BRINE AT-507	(Inst)	8.3	8.18	8.26	8.28	7.8~8.3
(Lab)		8.01	7.85	7.96	7.47		
CHLORIDE	BEFORE ACID INJECTION	mg/ℓ	30,100	30,000	30,000	30,000	
	RECYCLE BRINE	mg/ℓ	38,600	37,800	37,800	37,900	
	BLOW DOWN	mg/ℓ	41,500	42,000	42,200	41,800	
BRINE RECYCLE CONCENTRATION FACTOR	—	1.28	1.26	1.26	1.26	1.2~1.3	
BRINE BLOW DOWN CONCENTRATION FACTOR	—	1.38	1.40	1.40	1.39	1.4~1.5	
CO <sub>2</sub> CONCENTRATION AT THE DECARBONATOR OUTLET	mg/ℓ as CaCO <sub>3</sub>	5.7	—	6.6	—		
CO <sub>2</sub> CONCENTRATION AT THE DEAERATOR OUTLET	mg/ℓ as CaCO <sub>3</sub>	4.4	—	3.96	—		

(5. 1. 1. A)

Table 4. QUARAYAH 発電プラント PLANT PHASE-I 海水淡水化装置 UNIT B

(1/2)

DATE: 19 MAY '94

I T E M		UNIT	T I M E				LIMIT
			1, 100 H	1, 400 H	1, 600 H	1, 750 H	
DISTILATE FLOW RATE		kg/s	30	30	47	47	
TOP BRINE TEMPERATURE		°C	92	92	108	108	
BRINE RECIRCULATION FLOW RATE		kg/s	325	325	420	420	
MAKE-UP FLOW RATE		kg/s	105	105	161	161	
ACID DOSING RATE AUTO/MAN		kg/s	0. 0135 ~0. 0085 AUTO	0. 014 ~0. 005 AUTO	0. 021 ~0. 013 AUTO	0. 022 ~0. 015 AUTO	
ACID DOSING PUMP STROKE A/B		%	A 37	B 37	B 55	A 56	
ALKALINITY (as CaCO <sub>3</sub> )	BEFORE ACID INJECTION	mg/ l	130		130		
	DECARBONATOR OUTLET	mg/ l	34		41		20~35
	DEAERATOR OUTLET	mg/ l	26		33		
	RECYCLE BRINE	mg/ l	46		45		24~43
pH	BEFORE ACID INJECTION	(Lab)	8. 02		8. 03		
	CONTROL/LOCAL DECARBONATOR OUTLET AT-506	(Inst)	7. 25	5. 8 5. 72	7. 2 7. 22		6. 7~7. 0
		(Lab)	7. 45		7. 25		
	CONTROL/LOCAL RECYCLE BRINE AT-507	(Inst)	7. 85	7. 9 7. 91	8. 02 8. 02		7. 8~8. 3
(Lab)		-		8. 12			
CHLORIDE	BEFORE ACID INJECTION	mg/ l	31, 018		31, 018		
	RECYCLE BRINE	mg/ l	41, 122		41, 122		
	BLOW DOWN	mg/ l	45, 780		46, 440		
BRINE RECYCLE CONCENTRATION FACTOR		-	1. 32		1. 32		1. 2~1. 3
BRINE BLOW DOWN CONCENTRATION FACTOR		-	1. 47		1. 49		1. 4~1. 5
CO <sub>2</sub> CONCENTRATION AT THE DECARBONATOR OUTLET		mg/ l as CaCO <sub>3</sub>	-	8. 0	-	-	5. 0
CO <sub>2</sub> CONCENTRATION AT THE DEAERATOR OUTLET		mg/ l as CaCO <sub>3</sub>	-	4. 0	-	-	1. 0

Note) Concentration of sulfuric acid to be dosed is 80 %.

(5.1.1.A)

Table 4 QUARAYAH 発電プラント PLANT PHASE-I 海水淡水化装置 UNIT B

(2/2)

DATE: 19 MAY '94

I T E M		UNIT	T I M E				LIMIT
			1, 930 H	2, 040 H			
DISTILATE FLOW RATE		kg/s	50	50			
TOP BRINE TEMPERATURE		°C	110	110			
BRINE RECIRCULATION FLOW RATE		kg/s	435	435			
MAKE-UP FLOW RATE		kg/s	170	170			
ACID DOSING RATE AUTO/MAN		kg/s	0.022 ~0.015 AUTO	0.022 ~0.015 AUTO			
ACID DOSING PUMP STROKE A/B		%	A 59	B 59			
ALKALINITY (as CaCO <sub>3</sub> )	BEFORE ACID INJECTION	mg/ℓ	130				
	DECARBONATOR OUTLET	mg/ℓ	28				20~35
	DEAERATOR OUTLET	mg/ℓ	28				
	RECYCLE BRINE	mg/ℓ	32				24~43
pH	BEFORE ACID INJECTION	(Lab)	8.03				
	CONTROL/LOCAL DECARBONATOR OUTLET AT-506	(Inst)	7.25				6.7~7.0
		(Lab)	7.45				
	CONTROL/LOCAL RECYCLE BRINE AT-507	(Inst)	7.20 7.18				7.8~8.3
(Lab)		7.97					
CHLORIDE	BEFORE ACID INJECTION	mg/ℓ	31,018				
	RECYCLE BRINE	mg/ℓ	37,753				
	BLOW DOWN	mg/ℓ	44,489				
BRINE RECYCLE CONCENTRATION FACTOR		—	1.22				1.2~1.3
BRINE BLOW DOWN CONCENTRATION FACTOR		—	1.43				1.4~1.5
CO <sub>2</sub> CONCENTRATION AT THE DECARBONATOR OUTLET		mg/ℓ as CaCO <sub>3</sub>	—	4.4			5.0
CO <sub>2</sub> CONCENTRATION AT THE DEAERATOR OUTLET		mg/ℓ as CaCO <sub>3</sub>	—	1.8			1.0

Note) Concentration of sulfuric acid to be dosed is 80 %.

(5.1.1.A)

Table 5 QUARAYYAH 発電プラント PHASE-I 海水淡水化装置

DATE: 20 Jun. '94

Item	Expressed as		Water Quality Data				Note
			S-R	S-M	S-C	S-P	
pH	(at 23.3 °C)		8.14	8.18	8.3	7.3	
Calcium	Ca	mg/ℓ	588	—	729	—	
Magnesium	Mg	mg/ℓ	2,048	—	2,676	—	
Sodium	Na	mg/ℓ	17,262	—	21,696	0.7	
Potassium	K	mg/ℓ	≈ 500	—	≈ 600	—	
Total Cations		CaCO <sub>3</sub> mg/ℓ	48,063	—	60,767	—	
M-Alkalinity		CaCO <sub>3</sub> mg/ℓ	129.5	129	165	—	
Chloride	Cl	mg/ℓ	30,961	—	39,460	< 1	
Sulfate	SO <sub>4</sub>	mg/ℓ	2,361	—	4,867	—	
Total Anions		CaCO <sub>3</sub> mg/ℓ	47,385	—	60,991	—	
SS		mg/ℓ	—	—	6.73	—	
Conductivity		μS/cm	—	—	—	0.863	at 23 °C

Note) S-R ; Raw seawater, S-M ; Make up water  
S-C ; Recycle brine, S-P ; Product water

(5. 1. 1. A)

Table 6 SWCC AL-JUBAIL 海水淡水化装置

DATE: 2, 6, 7 &amp; 9 Feb. '94

Place	Sample	Calcium Ca (mg/l)	Magnesium Mg (mg/l)	Chloride Cl (mg/l)	M-Alkalinity as CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	Conductivity ( $\mu$ S/cm)	pH
Qurayyah (Feb. 2)	Product Water	ND	ND	ND	5.0	1.4	6.00
	Raw sea Water	575	1,628	31,205	132.4	71,200	7.89
	Make up Water	521	1,660	31,205	131.0	71,200	7.89
	Recycle Brine	763	2,411	45,212	188.9	96,000	—
Khafji (Feb. 9)	Product Water	ND	ND	ND	4.2	11.4	8.50
	Raw sea Water	412	1,163	23,340	137.0	54,200	7.98
Shoibah (Feb. 6)	Product Water	ND	ND	ND	3.2	9.1	6.00
	Raw sea Water	400	1,172	23,340	123.5	53,600	7.89
	Scale	22.3 %	4.27 %	—	—	—	—
Shugayg (Feb. 7)	Product Water	ND	ND	ND	3.7	1.7	6.20
	Raw sea Water	425	1,200	22,694	125.0	54,100	7.98

### 5. 1. 1. B MSFプラントの現状についての調査





(5.1.1.B)

目 次

1. まえがき .....	1
2. アル・コパール第Ⅱ（AKⅡ）MSF蒸発装置 .....	1
2.1 装置の概要 .....	1
2.2 運転条件の検討 .....	1
3. まとめ .....	2
4. 参考文献 .....	2

(5. 1. 1. B)

表 一 覧

表 番	題 名	頁
Table 1	A K II M S F 蒸発装置の設計基準 .....	3
Table 2	A K II M S F 蒸発装置の運転基準 .....	4
Table 3	ユニットNo 1 における生産水量および設計容量に対する実績の割合 .....	8
Table 4	ユニットNo 1 における主な運転基準 .....	8
Table 5	ユニットNo 4 における生産水量および設計容量に対する実績の割合 .....	9
Table 6	ユニットNo 4 における主な運転基準 .....	9
Table 7	ユニットNo 7 における生産水量および設計容量に対する実績の割合 .....	10
Table 8	ユニットNo 7 における主な運転基準 .....	10

(5.1.1.B)

図 一 覧

図 番	題 名	頁
Fig. 1	SWCCのMSF海水淡水化装置 .....	5
Fig. 2	ユニットNo.1における運転状況 .....	6
Fig. 3	ユニットNo.4における運転状況 .....	7
Fig. 4	ユニットNo.7における運転状況 .....	11



## (5.1.1.B)

### 1. まえがき

SWCCはサウディ・アラビアのドバで海水淡水化装置(MSFプラント) Phase Iの運転を1968年に開始して以来、25年間にわたり数多くのMSFプラントを運転してきている。その間に各種の調査、検討が行われ、合理的な運転と維持管理手法の確立が図られてきた。

本調査はSWCCが発表したそれらに関する文献の調査を行い、MSF-1の一連の研究における実験・試験条件ならびにその結果の評価に活用することを目的とする。

### 2. アル・コバル第II(AKII) MSF 蒸発装置

SWCCのMSFプラントの位置をFig. 1に示す。

一連の本研究を進める上で、ブライン最高温度、スケール抑制剤の種類および添加量等に関する実験条件を検討する際に、特に有意義であったのは、MSFテストプラントの設置場所に近いアラビア湾岸沿いに位置するアル・コバル第II MSFプラントに関する報告である。本報告は、特に、アル・コバルのAKIIで、伝熱管の酸洗浄なしで行った最初の10年間の運転と次期10年間の通常運転における経験を紹介したものである。

#### 2.1 装置の概要

AKIIは2つの目的を持ったプラントで、5基の抽気・復水タービンを持つ発電プラント(BTG)と10基のMSF蒸発装置から構成されている。

AKII MSF装置はブライン最高温度(TBT)を変えられるように設計してある。季節変化による夏と冬の現場海水の温度が35℃から15℃に変化すること、また、海水の塩分濃度が潮の影響で、TDSとして47~57g/lの範囲で変化するからである。

AKII MSF装置は汚れ係数として、熱放出部2.0 $\text{cm}^2/\text{K/W}$ 、熱回収部1.2 $\text{cm}^2/\text{K/W}$ および加熱部すなわちブラインヒーター1.6 $\text{cm}^2/\text{K/W}$ に設計されている。

蒸発装置の設計基準をTable 1に示す。

#### 2.2 運転条件の検討

報告によると、運転の条件は以下のとおりである。

(1) 運転基準をTable 2に示す。

(2) TBT 108℃以上での安全で長期運転に適したスケール抑制剤が市場にないことから、高温運転のTBTは105℃が限度であるとした。

(3) 1984年から1992年までの運転状況は次のとおりである。

a. No 1における生産水量、TBT、スケール抑制剤の種類および性能比(PR)を、Fig. 2ならびにTable 3およびTable 4に示す。

(5.1.1.B)

- b. No.4における生産水量、TBT、スケール抑制剤の種類および性能比(PR)を、Fig. 3ならびにTable 5 およびTable 6 に示す。
- c. No.7における生産水量、TBT、スケール抑制剤の種類および性能比(PR)を、Fig. 4ならびにTable 7 およびTable 8 に示す。

3. まとめ

本調査をとおして、MSF-1の実験を行う上で有意義な資料が得られた。それらをまとめると、以下のとおりである。

- a. 将来の運転を鑑み、TBTを90~112 °Cとする。
- b. スケール抑制剤の添加量を2 ppm以下とする。
- c. プラインの濃度をアル・ジュベール第2プラントの運転条件従い、アラビア湾の海水濃度の1.4倍とする。

4. 参考文献

- 1) Mohammad Abdul-Kareem Al-Sofi and his set: A full decade of operating experience on Al-Khobar-II Multi-Stage Flash (MSF) Evaporators (1982-1992)
- 2) N.Nada. S.Bakheet: Long term trial and operation of bev2000 in Jeddah Phase IV
- 3) Mohammad Abdul-Kareem Al-Sofi, Adnan Al-Omran: Practical experience in scale control
- 4) Kingdom of Saudi Arabia Saline Water Conversion Corporation: The Guid Book

(5.1.1B)

Table 1 AK II MSF蒸発装置の設計基準

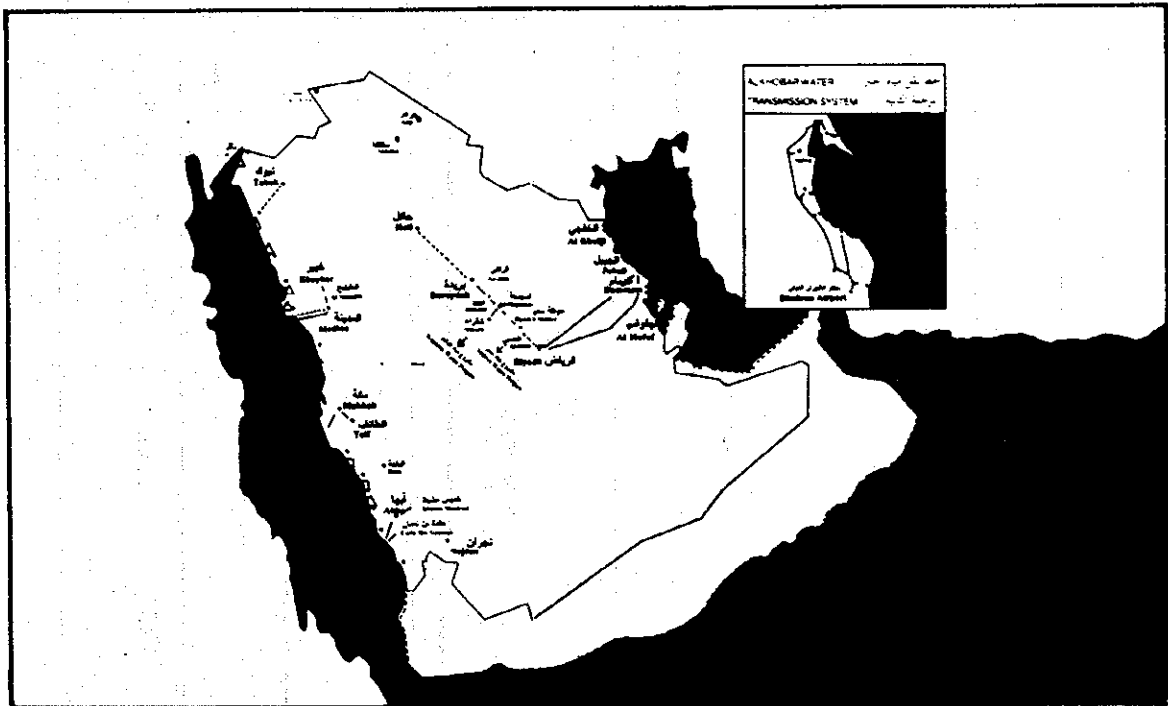
Parameters	
Brine Velocity (normal) m/sec.	1.8
Surface area in Heat Recovery sq.m.	52,873
Surface area in Heat Rejection sq.m.	10,809
Surface area in Brine Heater sq.m.	3,586
Design Heat Transfer Coefficient (clean) W/sq.m.	
A. Heat Recovery	4,374
B. Heat Rejection	3,437
C. Brine Heater	4,359
Design Heat Transfer Coefficient (dirty) W/sq.m.K	
A. Heat Recovery	2,868
B. Heat Rejection	2,037
C. Brine Heater	2,568
Design Fouling Factor Sq.cm. K/W	
A. Heat Recovery	1.2
B. Heat Rejection	2.0
C. Brine Heater	1.6

(5.1.1B)

Table 2 AK II MSF蒸発装置の運転基準

Variables	LTO		HTO			
	Design	Actual	Design 120%	Design 134%	Actual 120%	Actual 134%
Seawater Temp.(SWT) deg.C	35	35	35	35	35	35
T.B.T. Deg.C	90	90	106	115	103	112
Flash range Deg.C	48	48	63	72	61	70
Recycle Flow cu.m./hr.	12,257	12,000	11,100	11,100	11,000	11,000
Make-up Flow cu.m./hr.	5,000	4,500 to 5,500	5,000	5,000	4,500 to 6,000	4,500 to 6,000
Recycle Brine TDS, ppm	63,000	63,000 to 65,000	63,000	63,000	64,000	64,000
Condensate Flow cu.m./hr.	144	135 to 145	167	192	160	190
Product Water flow cu.m./hr.	895	920	1,075	1,210	1,100	1,220
Performance Ratio kg/2326 kj	6.5		6.88	6.9	6.9	7.0





Existing Desal. Plants Along The Red Sea				JEDDAH				Existing desal. Plants Along The Gulf						
HAQL	Installed Capacity	Cu. M/Day	Megawatts	Year of Operation	Phase I R.O. Rehab	56800	(2) 50	1989	AL KHAJJI	Phase I (MSF)	(1)	550	—	1972
	Process (No. of Units)				Phase II (MSF)	(4)	43181	(2) 84		1977	Phase II (MSF)	(2)	22727	—
Phase I (MSF)	(1)	882	—	1979	Reverse Osmosis	12120	—	1977	Rush Units	(5)	1250	—	1978	
Phase II (R.O.)		6590	—	1989	Phase III (MSF)	(10) 87878	(5) 240	1978	AL JUBAIL					
DUBA					Phase IV (MSF)	(10) 220075	(5) 600	1980	Phase I (MSF)	(6)	136363	(5) 360	1980	
Phase I (MSF)	(1)	230	—	1968	R.O. II	56800	—	1995	Phase II (MSF)	(4)	958333	(10) 1293	1982	
Phase II (MSF)	(1)	550	—	1978	SHOAIBAH				R.O.	75757	—	*		
Phase III (R.O.)		3788	—	1989	Phase I (MSF)	(10) 181818	(5) 320	1988	AL KHOBAR					
AL WAJH					Phase II MSF	378787	500	*	Phase II (MSF)	(10)	195075	(5) 750	1982	
Phase I (MSF)	(1)	230	—	'968	AL BIRK				Phase III MSF	227272	468	*		
Phase II (MSF)	(1)	550	—	1978	Phase I (R.O.)	2272	—	1982	Existing Plants $\triangle$					
UMM LAJJ					ASSIR				Planned Plants $\square$					
Phase I (MSF)	(1)	550	—	1974	Phase I (MSF)	(4) 94696	(2) 128	1988	Existing Pipelines _____					
Phase II (R.O.)		3788	—	1986	FARASAN				Planned Pipelines - - - -					
Two units (REHEAT)		910	—	1981	Phase I (MSF)	(2) 500	2.3	1978	MSF - Multistage Flash					
YANBU					AL-LEETH				R.O. - Reverse Osmosis					
Phase I (MSF)	(5)	107954	(5) 250	1980	Phase I (Planned)	568	—	—	* Under construction					
Phase II (MSF & R.O.)		227272		*	QUNFUDA									
RABIGH					Phase I (Planned)	5788	—	—						
Phase I (MSF)	(2)	1288	—	1980										

Fig. 1 SWCCの淡水化プラント

(5.1.1B)

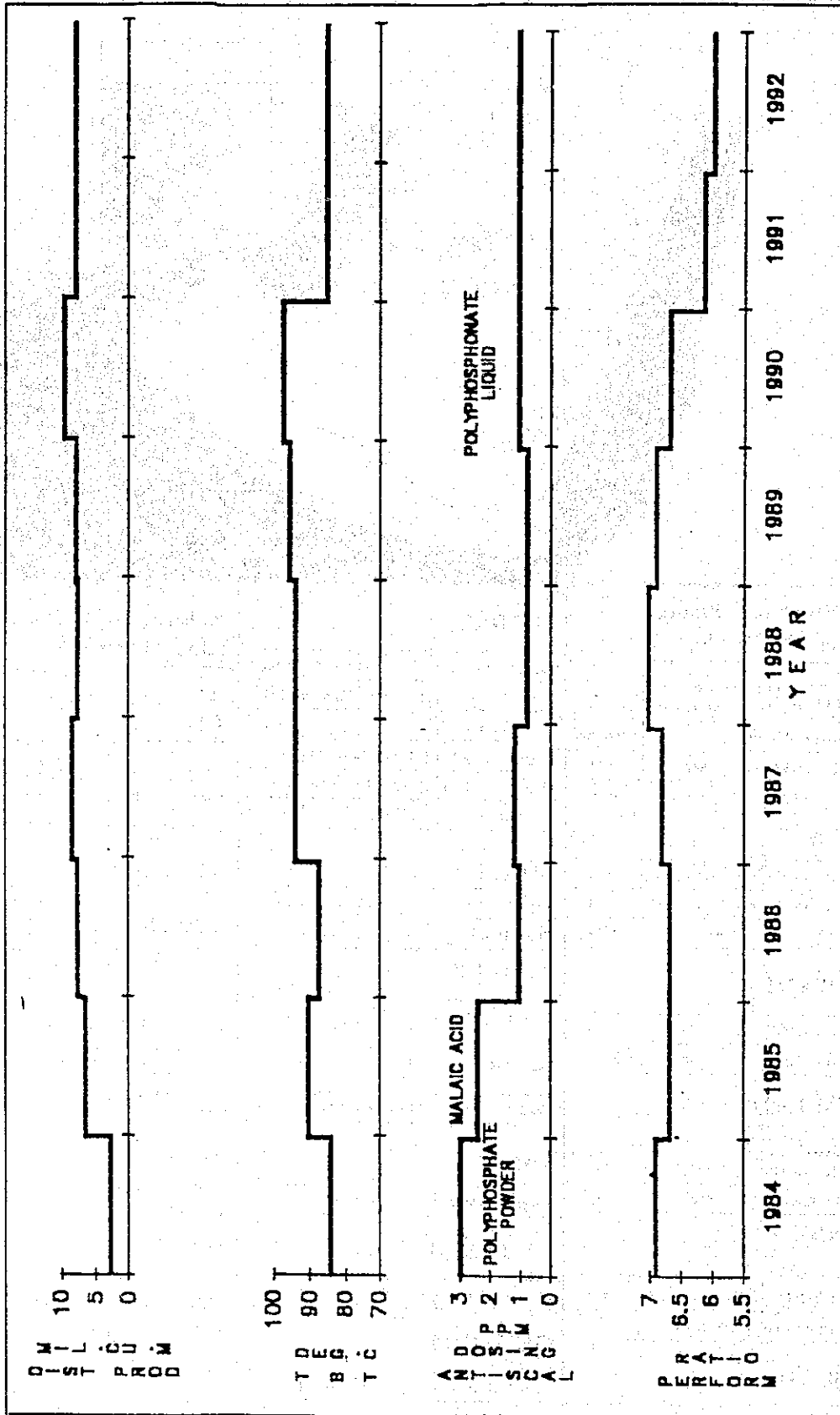


Fig. 2 ユニットNo.1における運転状況

(5.1.1B)

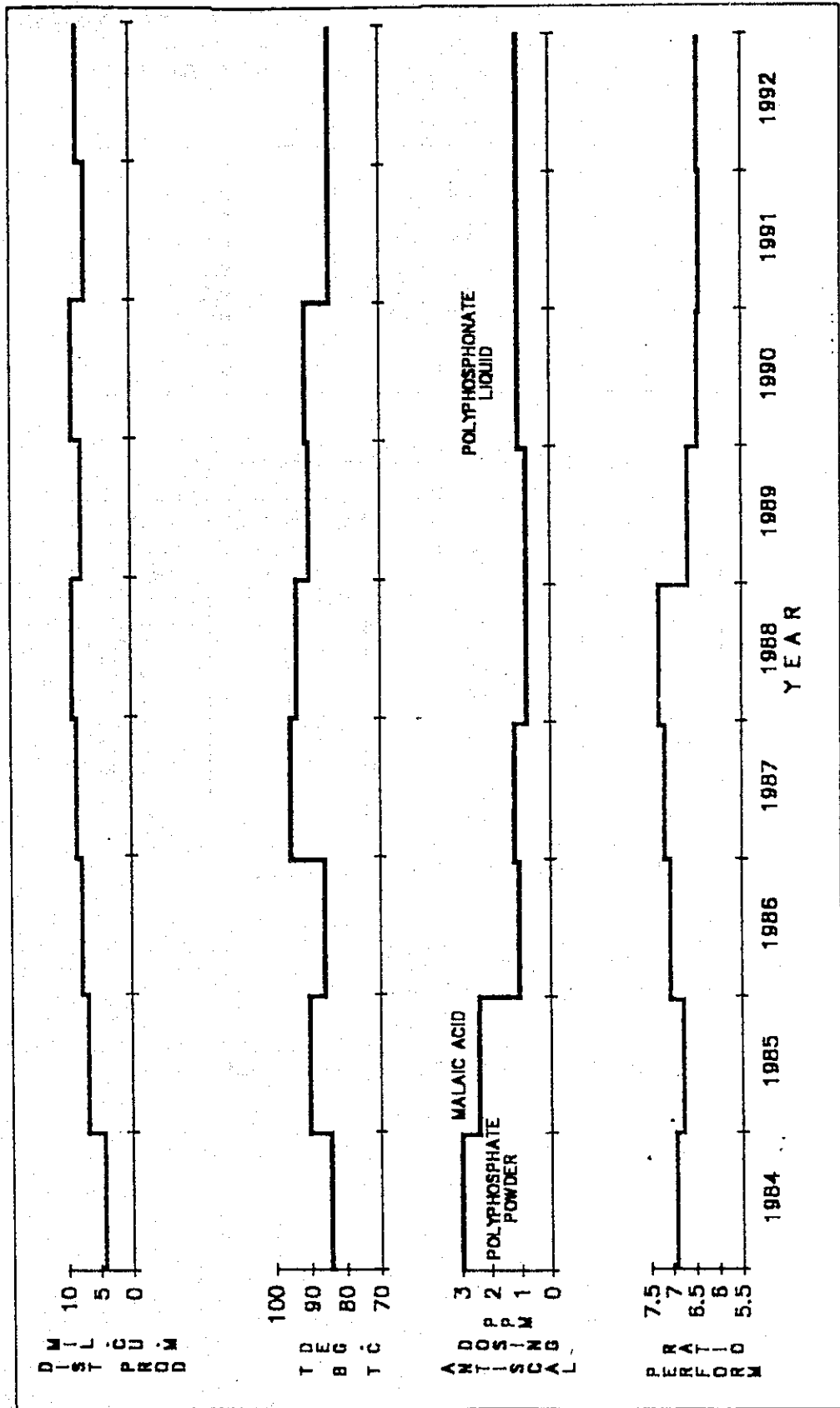


Fig. 3 ユニット№4における運転状況

(5.1.18)

Table 3 ユニットNo.1における生産水量および設計容量に対する実績の割合

YEAR	DISTILLATE PRODUCTION CU.M.	AVAILABILITY %
1984	2,684,023	33 -
1985	6,619,930	81
1986	7,449,443	91
1987	8,377,911	100 +
1988	7,618,703	93
1989	7,873,506	96
1990	9,492,022	100 +
1991	7,961,674	97
1992	7,814,620	95

Table 4 ユニットNo.1における主な運転基準

YEAR	AVERAGE TBT DEG.C *	ANTISCAL DOSE RATE PPM	PERFORMANCE RATIO
1984	84	3	6.9
1985	90	2.4	6.7
1986	87	1	6.7
1987	94	1.1	6.81
1988	94	0.75	7.01
1989	95	0.74	6.93
1990	97	1.02	6.68
1991	85	1	6.17
1992	85	1	6.01

\* TBT range of 82 - 106 deg.C

+ Availability higher than the 85% design are due to shorter shutdowns and/or wider flash range by either bottom or top brine temperature operation.

- Availability lower than the 85% design are primarily due to extended shutdowns especially for rectifications.

Table 5 ユニットNo.4における生産水量および設計容量に対する実績の割合

YEAR	DISTILLATE PRODUCTION CU.M.	AVAILABILITY %
1984	4,089,593	50 -
1985	6,666,505	81
1986	7,894,407	96
1987	8,482,913	100 +
1988	8,670,000	100 +
1989	7,810,577	95
1990	9,073,790	100 +
1991	7,140,308	87
1992	8,179,357	99 +

Table 6 ユニットNo.4における主な運転基準

YEAR	AVERAGE TBT DEG.C *	ANTISCAL DOSE RATE PPM	PERFORMANCE RATIO
1984	85	3	6.89
1985	90	2.4	6.76
1986	86	1	7.06
1987	95	1.1	7.15
1988	94	0.75	7.26
1989	90	0.74	6.6
1990	91	1.02	6.37
1991	84	1	6.36
1992	84	1	6.37

\* TBT range of 82 - 106 deg.C

+ Availability higher than the 85% design are due to shorter shutdowns and/or wider flash range by either bottom or top brine temperature operation.

- Availability lower than the 85% design are primarily due to extended shutdowns especially for rectifications.

## (5.1.1 B)

Table 7 ユニットNo.7における生産水量および設計容量に対する実績の割合

YEAR	DISTILLATE PRODUCTION CU.M.	AVAILABILITY %
1984	4,470,019	55 -
1985	6,827,525	83
1986	7,543,906	92
1987	8,076,020	98
1988	7,600,244	93
1989	9,112,113	100 +
1990	9,189,115	100 +
1991	7,271,747	89
1992	6,037,502	73

Table 8 ユニットNo.7における主な運転基準

YEAR	AVERAGE TBT DEG.C *	ANTISCAL DOSE RATE PPM	PERFORMANCE RATIO
1984	86	3	7
1985	89	2.4	6.76
1986	86	1	6.61
1987	94	1.1	6.75
1988	95	0.75	6.94
1989	95	0.74	6.88
1990	95	1.02	6.64
1991	85	1	6.18
1992	85	1	6.06

\* TBT range of 82 - 106 deg.C

+ Availability higher than the 85% design are due to shorter shutdowns and/or wider flash range by either bottom or top brine temperature operation.

- Availability lower than the 85% design are primarily due to extended shutdowns especially for rectifications.

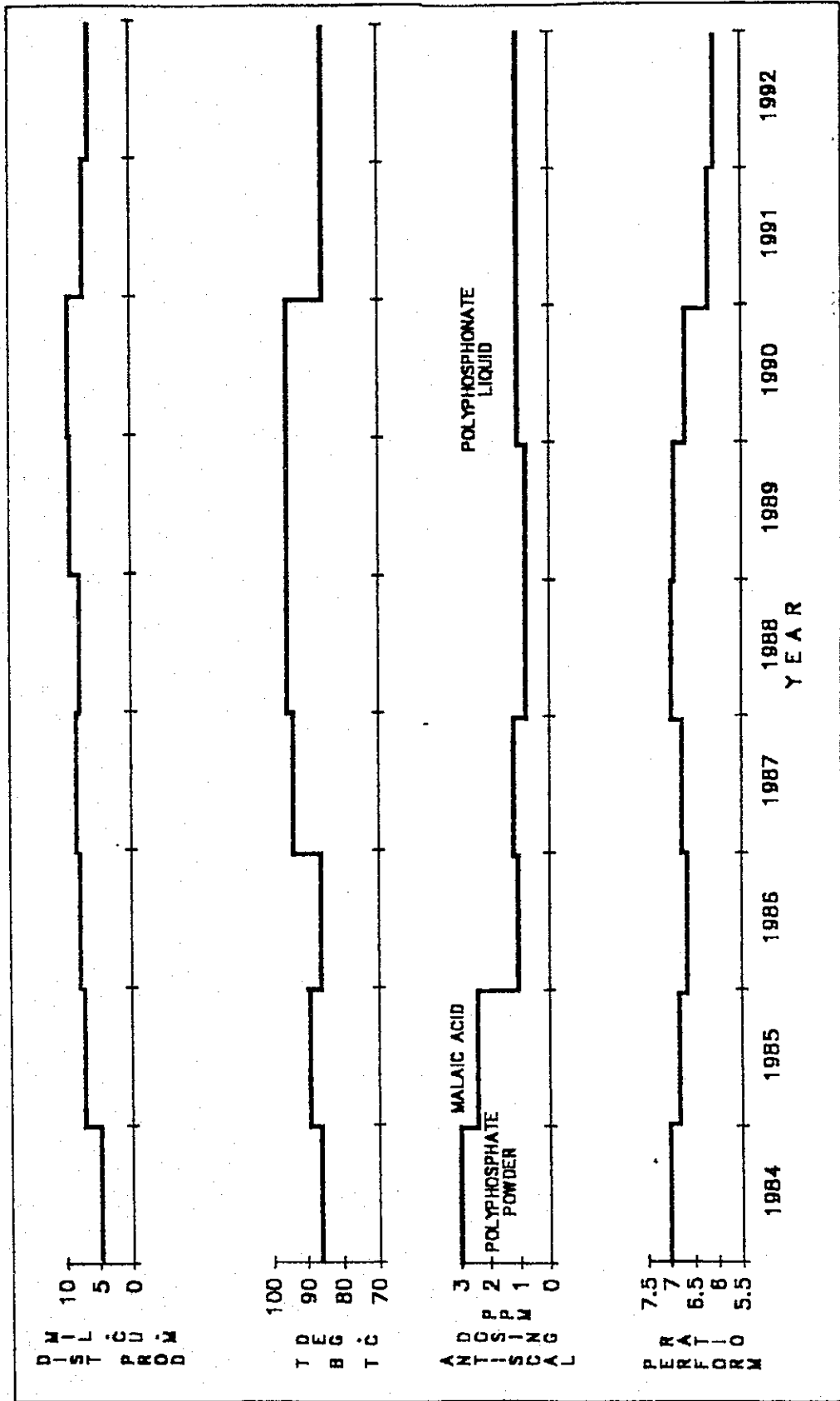


Fig. 4 ユニットNo.7における運転状況





## 5.1.2 スケール抑制剤選定実験



目 次

1. まえがき	1
2. スケール抑制剤に関する背景	2
3. 目的	3
4. 実験方法	3
4.1 実験材料	3
4.2 実験装置	4
4.3 実験条件	5
4.4 実験方法	5
5. 結果	12
6. 考察	21
6.1 低温(95°C)におけるスケール抑制剤の選定	21
6.2 高温(110°C)におけるスケール抑制剤の選定	21
6.3 滞留時間と、カルシウム初期濃度Ca(i)に対する最終濃度Ca(f)比および マグネシウム初期濃度Mg(i)に対する最終濃度Mg(f)比との関係	21
7. まとめ	29
8. 参考文献	29

(5.1.2)

表 一 覧

表 番	題 目	頁
Table 1	人工海水の組成 .....	7
Table 2	スケール抑制剤の特性 .....	7
Table 3	実験条件 .....	10
Table 4	各ろ液の残存M-アルカリ度の結果 .....	13
Table 5	PPN(M)の残存M-アルカリ度の結果 .....	17
Table 6	各ろ液のCaおよびMg濃度の結果 .....	20

図 一 覧

図 番	題 名	頁
Fig. 1	低温 (95°C)用実験装置 .....	8
Fig. 2	高温(110°C)用実験装置 .....	9
Fig. 3	低温 (95°C)におけるM-アルカリ度の測定結果 .....	23
Fig. 4	高温(110°C)におけるM-アルカリ度の測定結果 .....	24
Fig. 5	高温(110°C)における、滞留時間とカルシウム初期濃度Ca(i)に 対する最終濃度Ca(f)比との関係 .....	25
Fig. 6	高温(110°C)における、滞留時間とマグネシウム初期濃度Mg(i)に 対する最終濃度Mg(f)比との関係 .....	26
Fig. 7	M-アルカリ度、Ca濃度およびMg濃度との関係 .....	27
Fig. 8	PPN(M)の最適添加濃度 .....	28



## (5.1.2)

### 1. まえがき

スケーリングはMSF海水淡水化装置の伝熱効率を低下させる原因のひとつである。それは海水の溶解成分が析出し、伝熱管内面に付着することによって伝熱効率を低下させるものである。

スケールの析出と付着を抑制する方法として、現在、酸添加法と薬品添加法の2つの方法が採られている。酸添加法はスケールの析出がないことから、MSF装置をコンパクトにすることができ、その結果、ランニングコストが少なく済むという長所を有している。一方、欠点として、機器制御によるその運転に細心の注意が要求されることが挙げられる。

薬品添加法は、ラインにスケール抑制剤を添加して、スケールの析出を遅らせるとともに、スケールの伝熱管への付着特性を抑制させるものである。酸添加法の持つ欠点を補う目的から、ボールクリーニングによるスケール除去を併用した薬品添加法がスケーリング抑制方法の現在の主流となっている。中東では、ほとんど本法が採用されている。

スケール抑制剤には多くの種類があり、市販されているが、それらを簡単に識別することは難しい。実装置によってそれらのスケール抑制剤の特性を確認して、選定することは簡単ではない。また、実証試験装置を用いて各スケール抑制剤の特性を確認することも困難である。そのため、実験室規模によるスケール抑制剤の選定試験方法の確立が待たれていたところである。

スケール抑制剤の選定は2段階の試験によって構成される。第1段階ではスケールの析出を抑制する過飽和維持効果を確認し、第2段階でスケールの付着特性を抑制する結晶歪過効果を確認する。結晶歪過効果は、スケール抑制剤によって析出物の結晶構造を球状に変え、スケールの付着特性を抑制するものであるといわれている。

過飽和維持効果を確認する方法については、すでに、第1報(JICA/SWCC 最終報告書、1991年度)で報告した。その結果、スケール抑制剤は過飽和状態にあるラインと接すると、スケールの発生を抑制する効果を有しており、その効果は滞留時間(反応時間)が増加するとともに減少することが確認された。

引き続き、第2報(プロGRESS・レポート、1993年3月)で、添加量2ppm、温度95℃、滞留時間10分の条件では、ポリホスホン酸系スケール抑制剤であるPPNはポリマレイン酸系スケール抑制剤のPMAおよびポリカルボン酸系スケール抑制剤のPACと比較して、最も高い過飽和維持効果を持つことを報告した。

過飽和維持効果に関する本研究は、次の伝熱管装置を用いた結晶歪化効果を確認する試験に用いるスケール抑制剤を選定することを目的として、先に述べたスケール抑制剤を含む7種類のスケール抑制剤について、95℃と、110℃の条件下での過飽和維持効果を確認するものである。

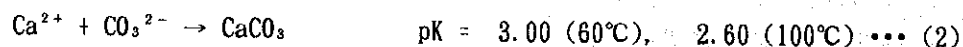
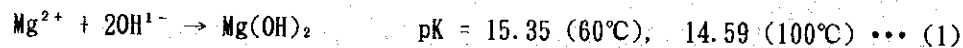
## 2. スケール抑制剤に関する背景

スケールの析出は、海水の全溶解性塩類 (TDS) と高い温度に起因して発生する。スケールには2種類のものがあり、そのひとつが炭酸カルシウムと水酸化マグネシウムからなるアルカリ・スケール (ソフト・スケール) であり、他のひとつが硫酸カルシウムからなるハード・スケールである。ハード・スケールは酸洗浄法やその他の方法によって除去することが難しいことから、ブラインの最高温度と濃度の条件を定めることにより、その発生を防止している。一方、ソフト・スケールは簡単に除去することができる。

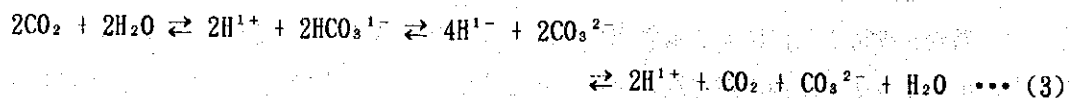
薬品添加法では補給海水にスケール抑制剤を1~3mg/L添加することにより、ブラインが過飽和維持効果と結晶歪化効果を持つことが知られている。初期にはポリりん酸系のスケール抑制剤が多く用いられていた。それらのスケール抑制剤は、海水中のカルシウムイオンとマグネシウムイオンを選択的に可溶性錯塩に変えて、炭酸イオンとの反応による析出物の発生を抑制または遅らせるといわれている。スケール抑制剤によるスケールリングの抑制は、ブラインの最高温度が90°Cまでに限られていることが、一般に知られている。90°C以上では、スケール抑制剤は加水分解により正りん酸に変化し、その効果を失うことが考えられる。この温度制限を補うために、ポリカルボン酸系のスケール抑制剤が1990年代に開発された。このスケール抑制剤は、温度118°Cまでの運転を可能にすることができた。このポリカルボン酸系のスケール抑制剤は、現在では市販されている数が最も多く、MSF装置の主流を占めている。

ポリカルボン酸系のスケール抑制剤もまた、カルシウムイオンやマグネシウムイオンを、炭酸イオンとの反応による析出を抑制または遅らせることにより、高温条件下で過飽和状態に維持するものであると考えられている。

ブラインの濃度と温度が上昇すると、ブライン中のマグネシウムイオンは水酸化物として、また、カルシウムイオンは炭酸塩として、次式により析出する。



一方、ブライン中の炭酸イオンは、ブラインのpHに対応する存在比に従って、二酸化炭素と重炭酸イオンに変わる。



これらの溶解性成分の全量は、酸消費量 (M-アルカリ度) を測定することによって知ることができ、炭酸カルシウム表示 (mg/l) される。



## (5.1.2)

水酸化マグネシウムや炭酸カルシウムのスケールが析出したブラインをろ過して、析出物を除去すれば、ブラインのM-アルカリ度は析出物と当量のM-アルカリ度が減少することになる。従って、析出物の発生は、初期のブラインのM-アルカリ度からろ過後のブラインのM-アルカリ度を差し引くことによって求めることができる。

この測定方法は滴定法であることから、析出物の重量を直接測定する重量法と比べて容易に行うことができる。このように、スケール抑制剤の過飽和維持効果はM-アルカリ度を測定することにより確認される。

以上に述べた方法により、スケール抑制剤の選定試験を実験室規模で行うことができる。

### 3. 目的

本研究は、滞留時間によるM-アルカリ度の変化を測定することにより、各種のスケール抑制剤の過飽和維持効果を確認するものである。

アル・ジュベール第2プラントの実績に従って、ペルシャ湾の海水の1.4倍相当の濃度になるように人工海水を作成し、その500mlを対象にスケール抑制剤を添加し、1.0N  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ を10ml加えた後の、スケール抑制剤の添加量と滞留時間との関係を、95℃と110℃の2条件において調査する。滞留時間に伴って、析出する $\text{CaCO}_3$ と $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の量は、過飽和維持効果の減少量に相当するが、その確認を各ブラインの溶解性M-アルカリ度を測定することによって実施する。

残存するM-アルカリ度が高く、その値を長時間保つことができるスケール抑制剤がより高い過飽和維持効果を持つということを評価基準として、次に行う伝熱試験装置による結晶歪化効果の確認試験に用いるスケール抑制剤を選定することにした。

### 4. 実験方法

#### 4.1 実験材料

##### (1) ブライン

実験に用いたブラインは、アル・ジュベール第2プラントの実績に従って、ペルシャ湾海水の1.4倍相当の濃度になる人工ブラインを調整した。人工ブラインの調整には二通りの方法がある。人工ブライン(1)は、試薬Aの41.25gと試薬Bの30gを混合したものであり、人工ブライン(2)は、海水と試薬Bを混合したものである。それぞれの組成を Table 1 に示す。今回はできるだけ天然海水の性質を加味させることと、調整の容易さから人工ブライン(2)を使用した。

## (5.1.2)

### (2) スケール抑制剤

本実験に用いたスケール抑制剤の名称、物理的特性および主成分をTable 2 に示す。

### (3) 測定・分析機器および方法

- ・ pH : pH計(Fisher 825MP)
- ・ M-アルカリ度 : 自動滴定装置(Fisher Model 1465)
- ・ カルシウムイオン : 原子吸光光度計(VARIAN AA-975)
- ・ マグネシウムイオン : 原子吸光光度計(VARIAN AA-975)
- ・ 塩濃度 : 伝導度計

## 4.2 実験装置

### (1) 低温(95°C)用実験装置

ブラインの濃度を一定に保つために、Fig. 1 に示すように冷却管付き三枝フラスコを用いて凝縮水の全量をフラスコに戻す方法とした。また、オイルバスと真空ポンプを用いて、液を昇温し、温度を一定に保った。

### (2) 高温用(110°C)実験装置

ブラインの濃度を一定に保ち、また、温度を100°C以上に保つために、スケール発生試験装置をFig. 2 に示すようにオートクレイブを用いた。

#### 4.3 実験条件

##### (1) ブラインの温度

###### a. 低温

アル・ジュベール第2プラントの通常の運転条件であるブライン・ヒーター出口温度が90.55°Cであることから、実験条件を95°Cに定めた。

###### b. 高温実験

スケール抑制剤の使用可能な最高温度が112°Cであることから、実験条件を110°Cに定めた。

##### (2) ブラインの濃度

アル・ジュベール第2プラントの運転条件に従い、海水濃度の1.4倍に定めた。

##### (3) スケール抑制剤の添加濃度

スケール抑制剤の添加濃度を2 ppm以下で行うこととした。

##### (4) スケール抑制剤の滞留時間

滞留時間は40分までとした。

効果的な結果を得るために、各種の因子を組合わせた実験条件を作成した。それをTable 3に示す。

#### 4.4 実験方法

沈殿物の析出実験は、以下に示す手順で行った。

##### (1) ブラインの添加

1,000ppm 濃度のスケール抑制剤の一定量を人工ブライン500ml添加し、20秒間かく拌後、ただちに当該リアクタに注入する。

##### (2) ブラインの加熱

低温実験は凝縮水を戻しながら95°Cに、また、高温実験では110°Cに、それぞれ15分間保った後、沈殿物のないことを確認して実験を開始する。なお、110°Cの高温実験では、リアクタの内圧が0.143MPaに自ずから保たれる。

##### (3) 滞留時間

ブラインに1.0N Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を10ml添加し、速やかにかく拌が終了したときを、反応開始時

(5.1.2)

間とする。

1.0N  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  を添加しながらかく拌すると、沈殿物の発生とともにM-アルカリ度が減少し始める。さらに、1.0N  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  を添加していくと、M-アルカリ度が増加し始める点がある。この点が過飽和状態の破壊点である。

(4) 試料の採取および測定

ブラインに $\text{Na}_2\text{CO}_3$ を添加後、5、10、15、20、30、40分ごとに25mlの試料を採取した。各試料は0.45 $\mu$ のプラスチックフィルターでろ過した後、ろ液のCa、Mg濃度およびM-アルカリ度をそれぞれ測定した。

各時間ごとに採取したブラインのろ液のM-アルカリ度は、次式により求めることができる。

$$1.0N \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ 添加後のM-アルカリ度} = (50)(10^3)V_{\text{NA}}/V_{\text{s}} + \text{ALKs} \text{ [CaCO}_3\text{の濃度 ppm]}$$

.....(4)

ただし、 $(50)(10^3)$  : 1.0N  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ のM-アルカリ度 [CaCO<sub>3</sub>の濃度 ppm]  
 $V_{\text{NA}}$  : 1.0N  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ の添加量 [ℓ]  
 $V_{\text{s}}$  : ブラインの量 [ℓ]  
ALKs : ブラインの初期のM-アルカリ度 [CaCO<sub>3</sub>の濃度 ppm]

## (5.1.2)

Table 1 人工海水・人工ブラインの組成

Constituents	人工海水 (1)	人工ブリン (2)	人工ブリン (1)
pH (at 25°C)	9.2	—	9.2
M-Alkalinity (CaCO <sub>3</sub> ppm)	115.8	183	180
Na (ppm)	12,460	—	18,690
Ca (ppm)	408	482	649
Mg (ppm)	1,030	1,437	1,545

Table 2 スケール抑制剤の特性

Name	Specific gravity	Density (kg/l)	pH	Appearance	Major Constituent
PCE	1.22	1.22	1.2~2.0	Amber Liquid	Polymeric carboxylic acid
PCS (PCA)	1.22	1.22	1.2~2.0	Amber Liquid	Polymeric carboxylic acid
PMA	—	—	—	—	Polymeric maleic acid
PPN	—	—	—	—	Polyphosphonate
PPN (M)	1.4	—	11.0	Pale Yellow Liquid	Polyphosphonate
PPN (A)	1.4	—	10	Pale Yellow Liquid	Polyphosphonate

(5.1.2)

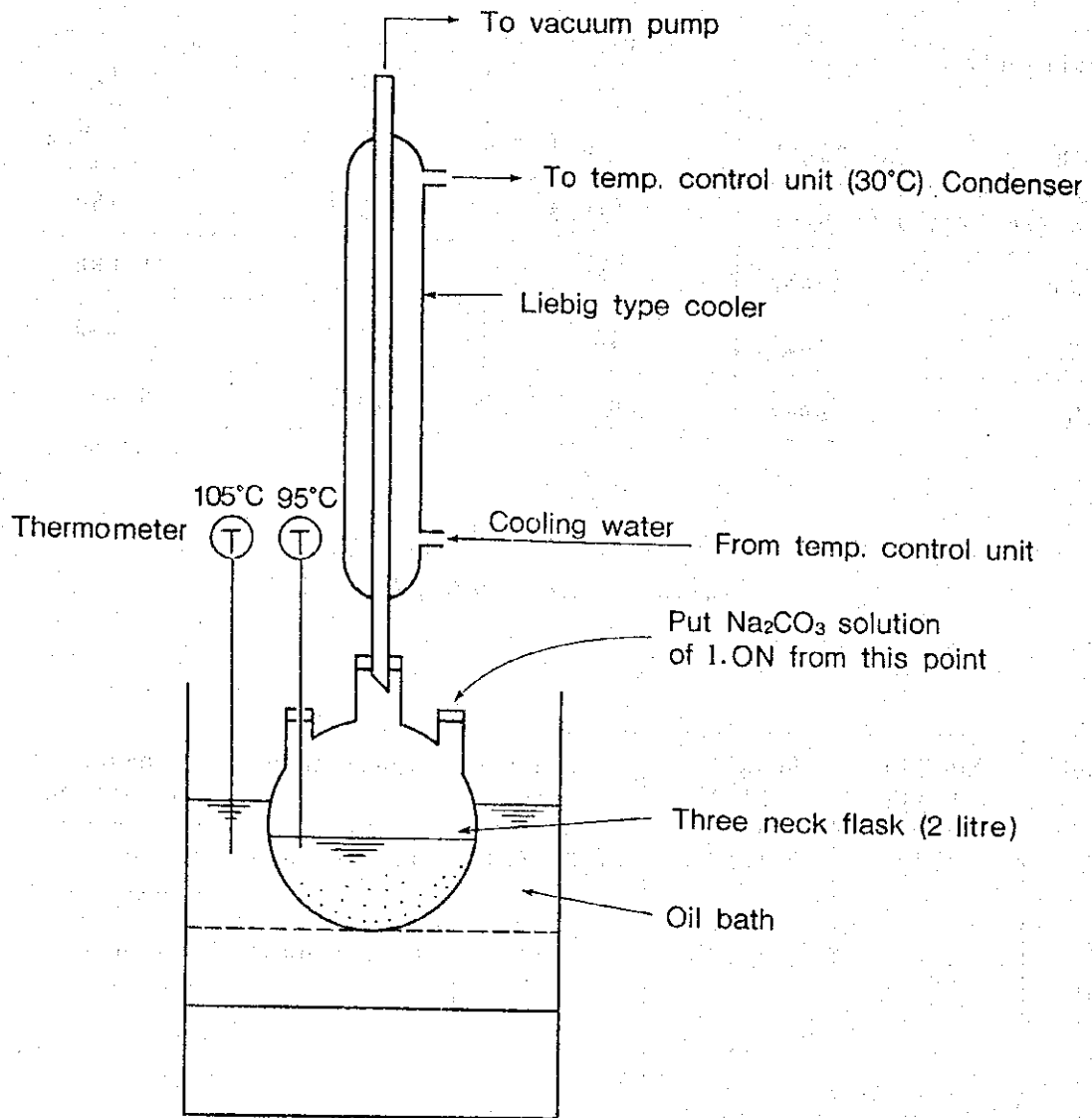


Fig. 1 低温(95°C)用実験装置

(5. 1. 2)

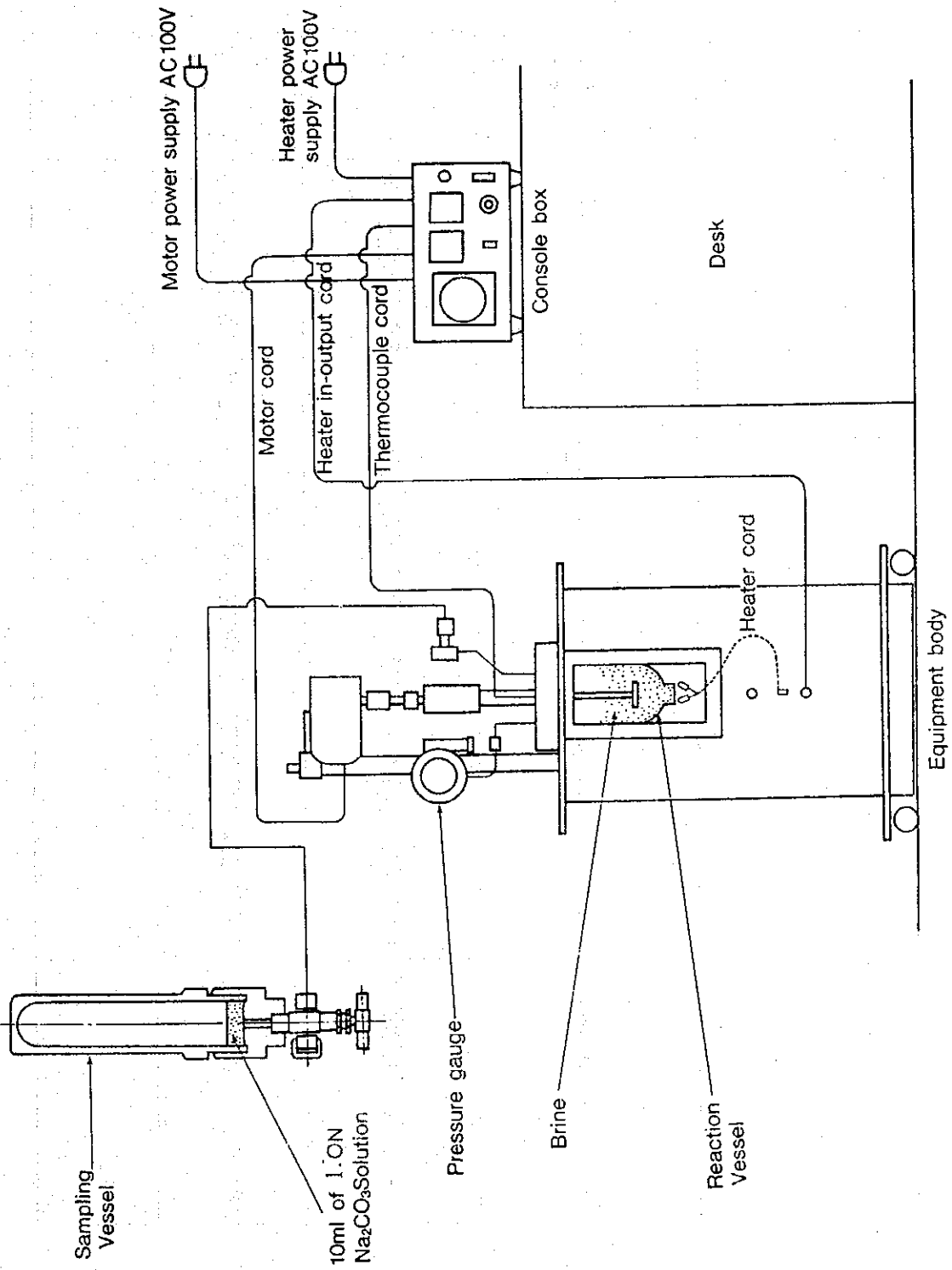


Fig. 2 高温 (119°C) 用実験装置

(5.1.2)

Table 3 実験条件(1/2)

Name of Scale inhibitor & Test No.	Concentration of Scale inhibitor	Temperature	Retention Time	(NOTE)
	ppm	℃	minutes	
1 Blank	0	95	5	
	0	95	10	
	0	95	15	
	0	95	20	
	0	95	30	
	0	95	40	
2 PPN	2	95	5	
	2	95	10	
	2	95	15	
	2	95	20	
	2	95	30	
	2	95	40	
3 PPN(A)	2	95	5	
	2	95	10	
	2	95	15	
	2	95	20	
	2	95	30	
	2	95	40	
4 PPN(M)	2	95	5	
	2	95	10	
	2	95	15	
	2	95	20	
	2	95	30	
	2	95	40	
5 PCS	2	95	5	
	2	95	10	
	2	95	15	
	2	95	20	
	2	95	30	
	2	95	40	
6 PCE	2	95	5	
	2	95	10	
	2	95	15	
	2	95	20	
	2	95	30	
	2	95	40	
7 PHA	2	95	5	
	2	95	10	
	2	95	15	
	2	95	20	
	2	95	30	
	2	95	40	
8 EV	2	95	5	
	2	95	10	
	2	95	15	
	2	95	20	
	2	95	30	
	2	95	40	



(5.1.2)

Table 3 実験条件(2/2)

Name of Scale inhibitor & Test No.	Concentration of Scale inhibitor	Temperature	Retention Time	(NOTE)
	ppm	°C	minutes	
9 EVN	2	95	5	
	2	95	10	
	2	95	15	
	2	95	20	
	2	95	30	
	2	95	40	
10 Blank	0	110	5	
	0	110	10	
	0	110	15	
	0	110	20	
	0	110	30	
	0	110	40	
11 PPN	2	110	5	
	2	110	10	
	2	110	15	
	2	110	20	
	2	110	30	
	2	110	40	
12 PPN(A)	2	110	5	
	2	110	10	
	2	110	15	
	2	110	20	
	2	110	30	
	2	110	40	
13 PPN(M)	2	110	5	
	2	110	10	
	2	110	15	
	2	110	20	
	2	110	30	
	2	110	40	
14 PCS	2	110	5	
	2	110	10	
	2	110	15	
	2	110	20	
	2	110	30	
	2	110	40	
15 PCE	2	110	5	
	2	110	10	
	2	110	15	
	2	110	20	
	2	110	30	
	2	110	40	
16 PMA	2	110	5	
	2	110	10	
	2	110	15	
	2	110	20	
	2	110	30	
	2	110	40	

(5.1.2)

5. 結果

- (1) Table 3 に示す実験条件に従って測定した、各ろ液の残存M-アルカリ度の値をTable 4 に示す。
- (2) 95℃におけるスケール抑制剤PPN(M)の添加量による残存M-アルカリ度測定値をTable 5 に示す。
- (3) 各スケール抑制剤における滞留時間とカルシウム濃度およびマグネシウム濃度それぞれの測定値をTable 6 に示す。

(5.1.2)

Table 4 各ろ液の残存M-アルカリ度の結果(1/4)

No	Scale Inhibitor	Conc. of SI	Temp.	Pressure	Retention Time	Residual Alkalinity
	(SI)	(ppm)	(°C)	(MPa)	(Min)	(ppm)
1	Blank	0	95	0.085	5	308
					10	144
					15	111
					20	106
					30	102
					40	102
2	PPN	2	95	0.085	5	396
					10	391
					15	377
					20	229
					30	134
					40	130
3	PPN(A)	1.2	95	0.085	5	382
					10	389
					15	377
					20	377
					30	132
					40	118
4	PPN(M)	2	95	0.085	5	377
					10	382
					15	387
					20	384
					30	123
					40	104
5	PCS	2	95	0.085	5	380
					10	373
					15	347
					20	236
					30	127
					40	120

## (5.1.2)

Table 4 各ろ液の残存 $\text{M}$ -アルカリ度の結果(2/4)

No.	Scale Inhibitor	Conc. of SI	Temp.	Pressure	Retention Time	Residual Alkalinity
	(SI)	(ppm)	( $^{\circ}\text{C}$ )	(MPa)	(Min)	(ppm)
6	PCE	0	95	0.085	5	391
					10	394
					15	380
					20	313
					30	148
					40	120
7	PMA	2	95	0.085	5	398
					10	380
					15	380
					20	338
					30	134
					40	111
8	EV	1.2	95	0.085	5	396
					10	380
					15	377
					20	319
					30	125
					40	116
9	EVN	2	95	0.085	5	410
					10	384
					15	361
					20	336
					30	111
					40	100

(5.1.2)

Table 4 各ろ液の残存M-アルカリ度の結果(3/4)

No	Scale Inhibitor	Conc. of SI	Temp.	Pressure	Retention Time	Residual Alkalinity
	(SI)	(ppm)	(℃)	(MPa)	(Min)	(ppm)
10	Blank	0	110	0.143	5	153
					10	104
					15	93
					20	86
					30	86
					40	86
11	PPN	2	110	0.143	5	370
					10	189
					15	104
					20	100
					30	93
					40	93
12	PPN(A)	1.2	110	0.143	5	407
					10	199
					15	111
					20	111
					30	102
					40	97
13	PPN(M)	2	110	0.143	5	421
					10	310
					15	125
					20	111
					30	109
					40	100
14	PCS	2	110	0.143	5	403
					10	183
					15	109
					20	102
					30	93
					40	83

(5.1.2)

Table 4 各ろ液の残存M-アルカリ度の結果(4/4)

No	Scale Inhibitor	Conc. of SI	Temp.	Pressure	Retention Time	Residual Alkalinity
	(SI)	(ppm)	(°C)	(MPa)	(Min)	(ppm)
15	PCE	0	110	0.143	5	405
					10	211
					15	118
					20	102
					30	100
					40	90
16	PMA	2	110	0.143	5	442
					10	287
					15	120
					20	104
					30	106
					40	102

(5.1.2)

Table 5 PPN(M)の残存M-アルカリ度の結果

No	Scale Inhibitor	Conc. of SI	Temp.	Pressure	Retention Time	Residual Alkalinity
	(SI)	(ppm)	(°C)	(MPa)	(Min)	(ppm)
1	PPN(M)	0.5	95	0.085	5	375
					10	359
					15	350
					20	292
					30	111
					40	109
2	PPN(M)	0.7	95	0.085	5	410
					10	405
					15	396
					20	375
					30	160
					40	139
3	PPN(M)	0.9	95	0.085	5	400
					10	398
					15	398
					20	384
					30	162
					40	144
4	PPN(M)	1.1	95	0.085	5	409
					10	403
					15	403
					20	336
					30	146
					40	132
5	PPN(M)	1.3	95	0.085	5	428
					10	394
					15	394
					20	361
					30	167
					40	148
6	PPN(M)	1.5	95	0.085	5	400
					10	412
					15	396
					20	338
					30	157
					40	139

(5.1.2)

Table 6 各ろ液のCaおよびMg濃度の結果(1/3)

No	Scale Inhibitor (SI)	Conc. of SI (ppm)	Temp. (°C)	Pressure (MPa)	Retention Time (Min)	Conc. in Filtrate	
						Ca (ppm)	Mg (ppm)
1	PCE	2	95	0.085	2	388	939
					5	398	880
					10	365	909
					15	405	909
					20	316	969
					45	134	822
					60	137	822
2	PMA	1.2	95	0.085	2	486	909
					5	467	880
					10	483	1,023
					15	467	939
					20	350	851
					45	159	880
					60	152	909
3	PMA*	2	95	0.085	2	543	1,501
					5	427	1,501
					10	419	1,518
					15	-	-
					20	400	1,456
					45	-	-
					60	326	1,499
4	PPN*	2	95	0.085	2	640	1,518
					5	588	1,518
					10	543	1,499
					15	-	-
					20	369	1,481
					45	-	-
					60	368	1,412
5	PPN(M)	1.2	95	0.085	2	410	794
					5	398	794
					10	402	794
					15	412	850
					20	390	879
					45	166	850
					60	157	850

Note; \* Values were obtained during the fiscal year 1993.



Table 6 各ろ液のCaおよびMg濃度の結果(2/3)

No	Scale Inhibitor (SI)	Conc. of SI (ppm)	Temp. (°C)	Pressure (MPa)	Retention Time (Min)	Conc. in Filtrate	
						Ca (ppm)	Mg (ppm)
6	PPN(M)	2	95	0.085	2	362	1,274
					5	337	1,350
					10	325	1,300
					15	300	1,350
					20	275	1,325
					45	—	—
					60	138	1,325
7	PPN(A)	2	95	0.085	2	412	1,249
					5	435	1,325
					10	325	1,274
					15	312	1,325
					20	138	1,300
					45	—	—
					60	112	1,300
8	PCE	2	110	0.143	2	386	1,186
					5	359	1,152
					10	266	1,220
					15	234	1,186
					20	231	1,186
					45	210	1,101
					60	217	1,186
9	PCS	2	110	0.143	2	427	1,220
					5	420	1,254
					10	303	1,237
					15	280	1,254
					20	262	1,254
					45	252	1,237
					60	245	1,271
10	PMA	2	110	0.143	2	376	1,271
					5	321	1,237
					10	241	1,237
					15	231	1,254
					20	224	1,254
					45	224	1,254
					60	217	1,220

Note; \* Values were obtained during the fiscal year 1993.

(5. 1. 2)

Table 6 各ろ液のCaおよびMg濃度の結果(3/3)

No	Scale Inhibitor (SI)	Conc. of SI (ppm)	Temp. (°C)	Pressure (MPa)	Retention Time (Min)	Conc. in Filtrate	
						Ca (ppm)	Mg (ppm)
11	PPN	2	110	0.143	2	359	1,169
					5	359	1,169
					10	317	1,207
					15	290	1,207
					20	276	1,207
					45	300	1,188
					60	262	1,246
12	PPN(A)	2	110	0.143	2	426	1,304
					5	331	1,304
					10	303	1,246
					15	303	1,265
					20	290	1,265
					45	303	1,285
					60	276	1,246
13	PPN(H)	2	110	0.143	2	426	1,285
					5	359	1,285
					10	290	1,304
					15	248	1,304
					20	248	1,285
					45	234	1,324
					60	234	1,265

Note; \* Values were obtained during the fiscal year 1993.

## 6. 考察

Table 4 に示す実験結果に基づいて、

- ・低温(95°C)におけるM-アルカリ度の測定値をFig. 3 に、
- ・高温(110°C)におけるM-アルカリ度の測定結果をFig. 4 に、
- ・高温(119°C)における、滞留時間とカルシウム初期濃度Ca(i)に対する最終濃度Ca(f)比との関係をFig. 5 に、
- ・高温(110°C)における、滞留時間とマグネシウム初期濃度Mg(i)に対する最終濃度Mg(f)比との関係をFig. 6 に、
- ・M-アルカリ度、Ca濃度およびMg濃度との関係をFig. 7 に、

また、

- ・PPN(M)の最適添加濃度を Fig. 8 に示す。

## 6.1 低温(95°C)におけるスケール抑制剤の選定

Fig. 3 に示す低温(95°C)における実験結果によると、スケール抑制剤を添加しない場合(ブランク)のM-アルカリ度は急激に減少するが、スケール抑制剤を添加したブラインでは15~20分間M-アルカリ度の初期値をほぼ保持している。なかでも、PPN(M)およびPPN(A)はM-アルカリ度が高く、保持時間も20分と長い。しかし、40分以降になると他のスケール抑制剤の値とほぼ同じになる。

Fig. 8 に示すPPN(M)の添加量とM-アルカリ度の関係によると、PPN(M)は添加濃度が0.5ppmではM-アルカリ度が低く、保持時間も短い。

以上のように、95°Cの条件においては、PPN(M)およびPPN(A)が他のスケール抑制剤と比較して最も高い過飽和維持効果をもち、最適添加濃度は0.7 ppm以上であることがわかった。

## 6.2 高温(110°C)におけるスケール抑制剤の選定

Fig. 4 に示す高温(110°C)における実験結果によると、ブランクのM-アルカリ度は5分後は既に減少しており、スケール抑制剤を添加したブラインにおいても徐々に減少し、15分後には平衡状態に達している。

なかでも、PPN(M)およびPPN(A)は添加量が2.0 ppmのとき最も高い過飽和維持効果を持つスケール抑制剤であることがわかった。

PCEの過飽和維持効果は3位ではあるが、Table 2 で述べたようにその主成分がポリカルボン酸で、りん酸系に比較して高温条件で安定といわれていることから、次の伝熱管試験装置による実験装置による実験では、生成するスケールの差別を確認する観点から選定したい。

## 6.3 滞留時間と、カルシウム初期濃度Ca(i)に対する最終濃度Ca(f)比およびマ

(5.1.2)

Ca(f)/Ca(i) と滞留時間との関係を Fig. 5 に示す。カルシウム濃度は、滞留時間20分までの間、ほぼ一定である。

一方、Fig. 6 に示すMg(f)/Mg(i)と滞留時間との関係を見ると、マグネシウムイオンの10～20%が2分以内に減少している。しかし、その後のマグネシウム濃度に変化はほとんど認められない。これはNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を添加することにより、液のpHが上昇して、マグネシウムイオンが水酸化マグネシウムとして析出するが、溶解度を満足する濃度に達すると、その後は滞留時間が長くなってM-アルカリ度が減少しても、水酸化マグネシウムは析出しないことを意味する。ちなみに、水酸化マグネシウムの溶解度定数は15.35(60℃)で、炭酸マグネシウムは11.02(60℃)である。

以上の結果をさらに明確に図示したのがFig. 7である。これから明らかなように、M-アルカリ度の変化を測定することによって、水酸化マグネシウムの析出については評価できないが、炭酸カルシウムの析出は確実に予測できる。このことは、ここで採用したスケール抑制剤の評価手法が炭酸カルシウムの析出防止に有効な情報を与える手法といえよう。

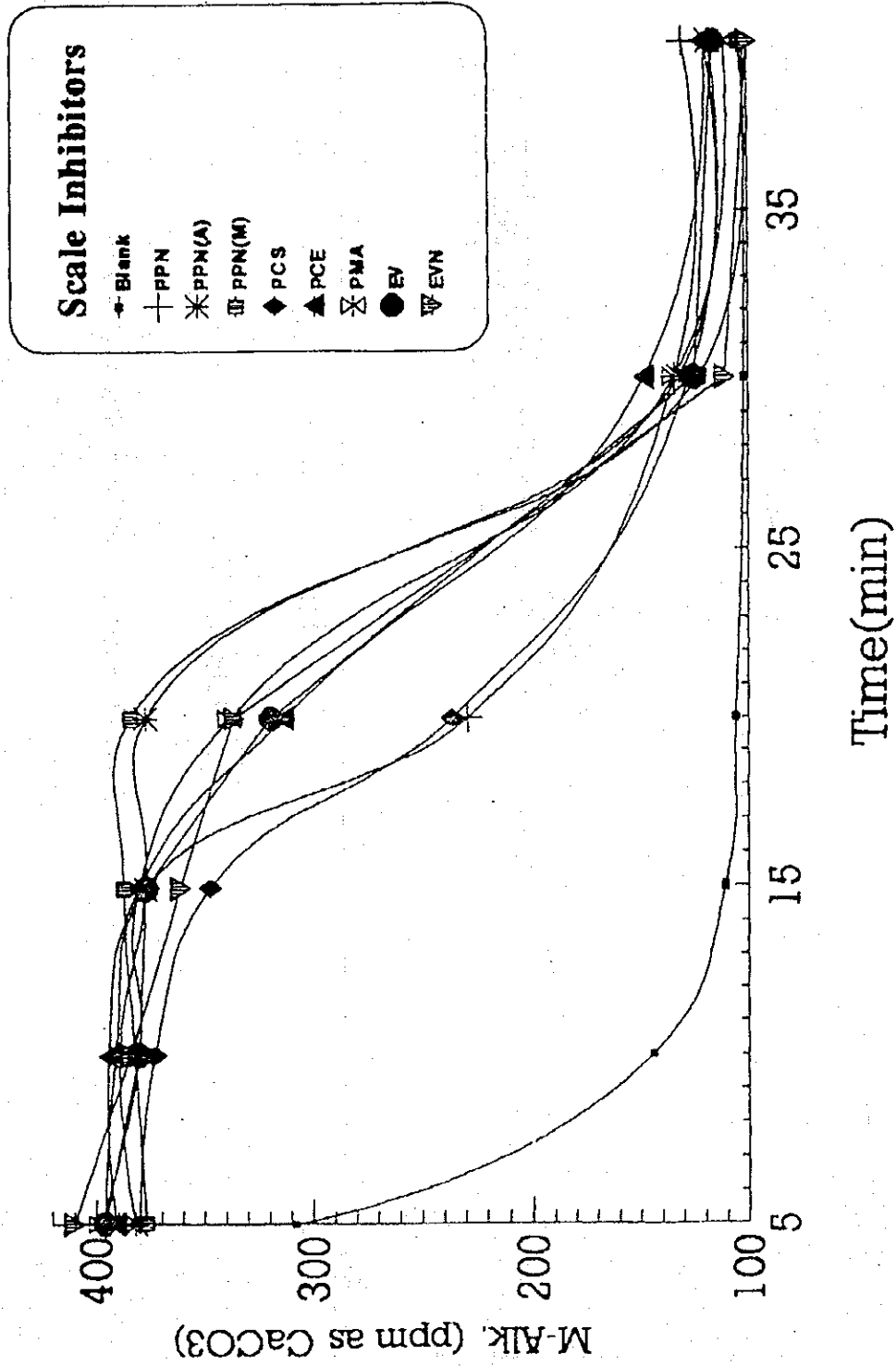


Fig. 3 低温 (95℃)におけるM-アルカリ度の測定結果

(5. 1. 2)

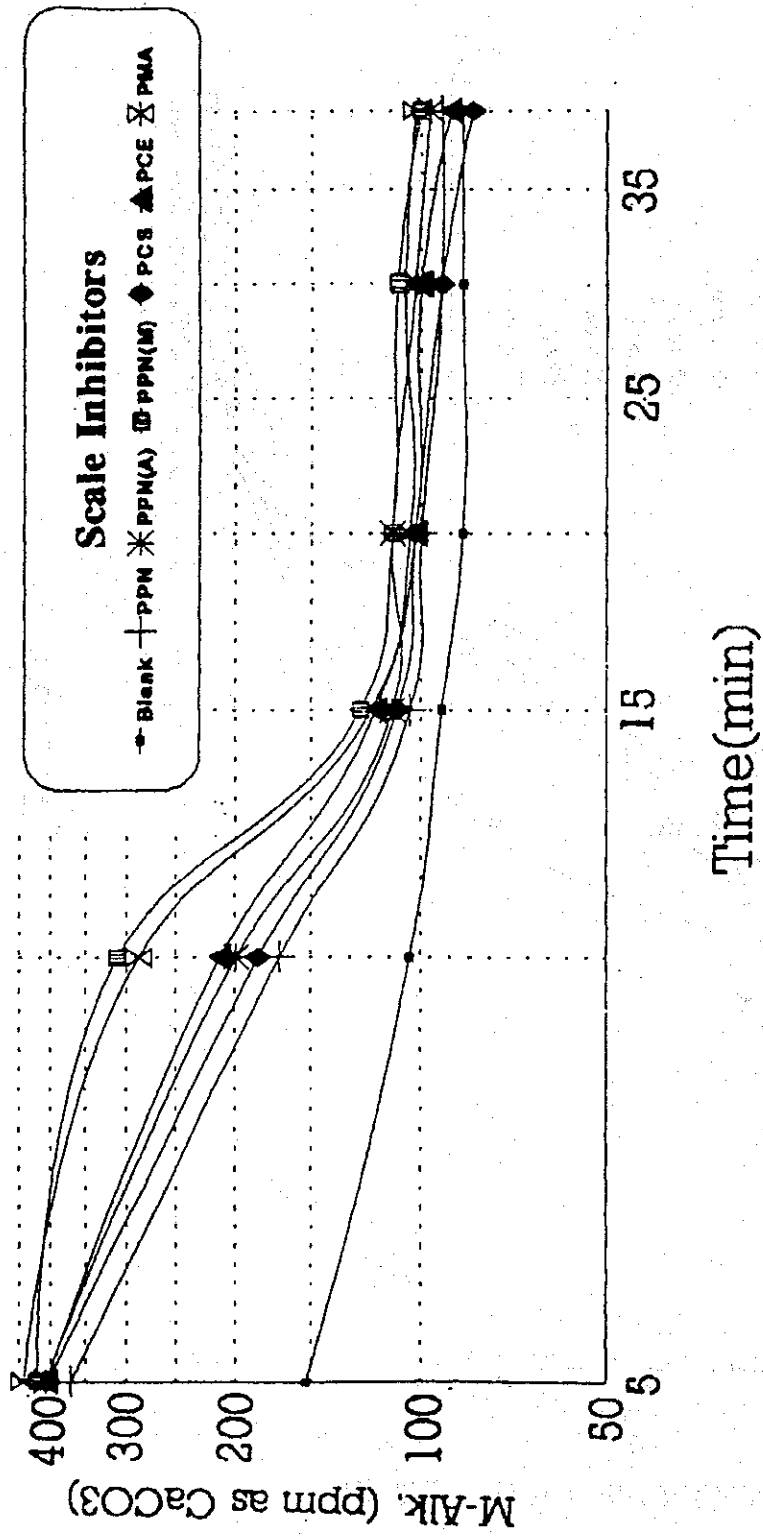


Fig. 4 高温(110℃)におけるM-アルカリ度の測定結果

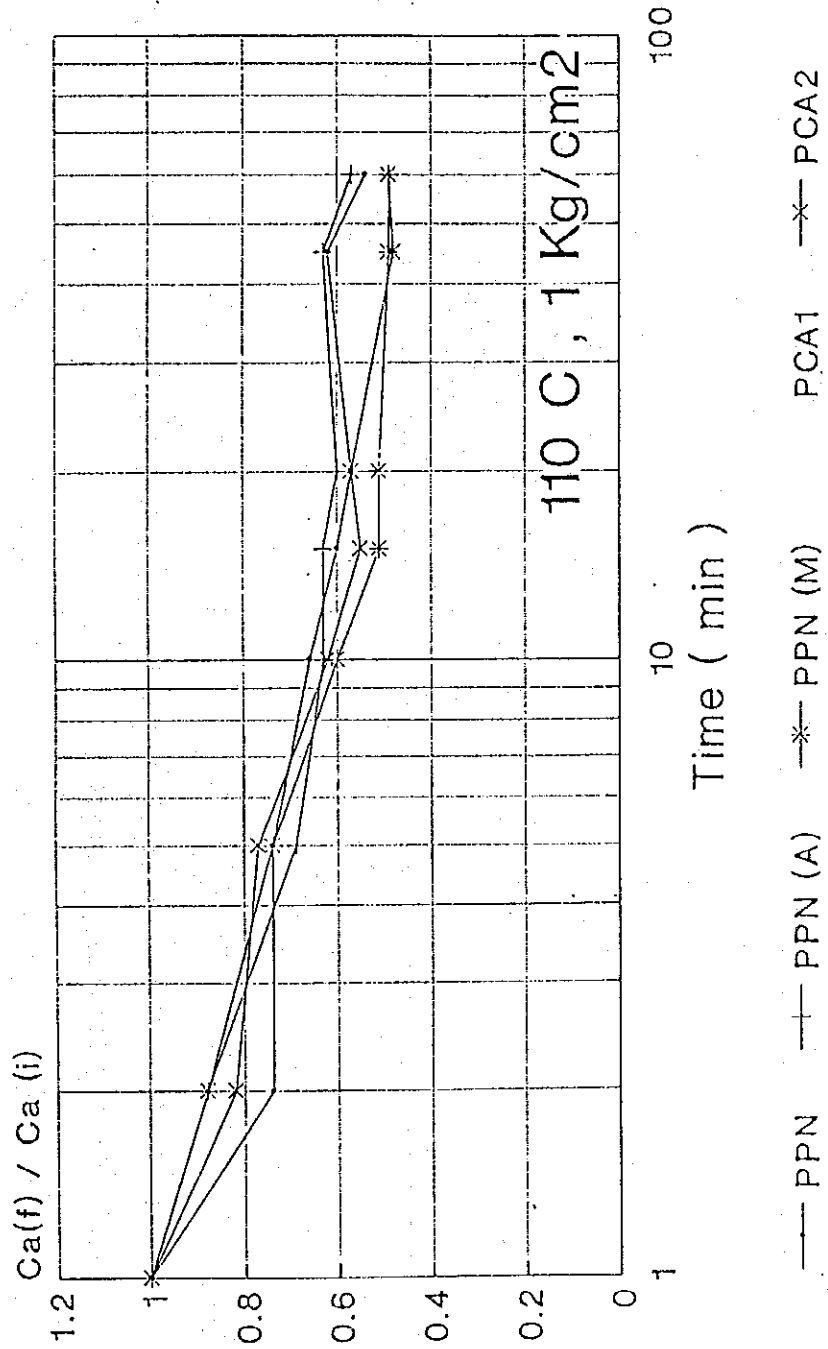


Fig. 5 高温(110°C)における、滞留時間とカルシウム初期濃度Ca(i)に対する最終濃度Ca(f)比との関係

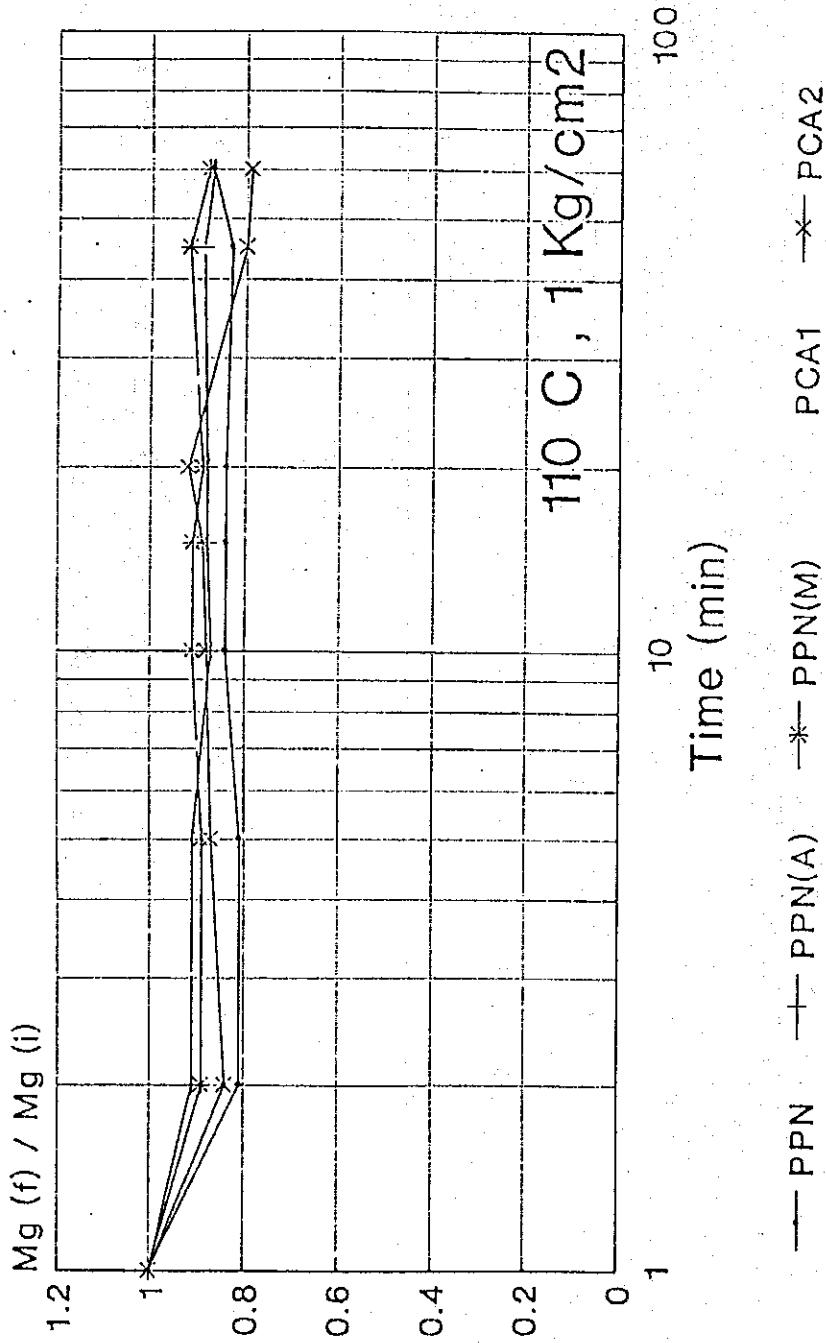
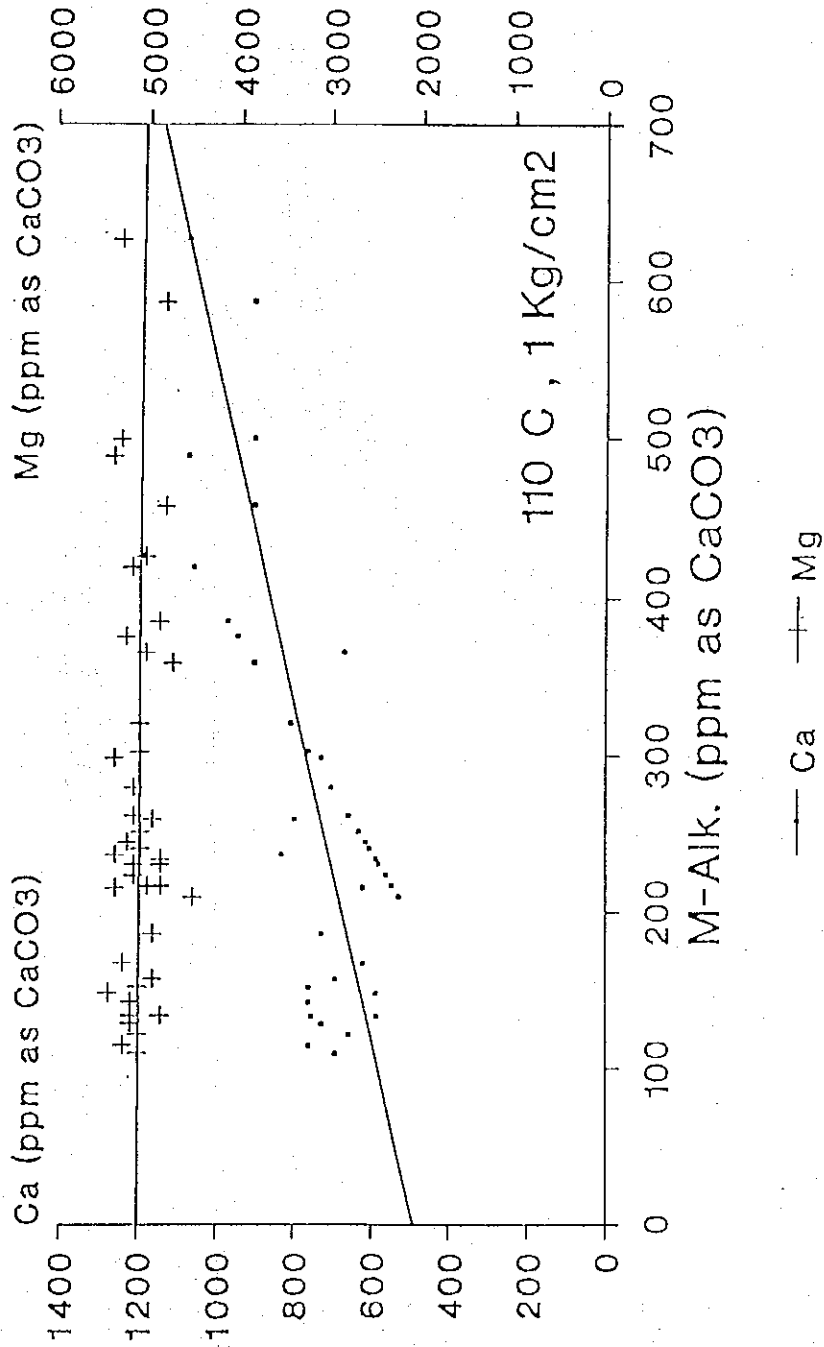


Fig. 6 高温(110°C)における、滞留時間とマグネシウム初期濃度Mg(i)に対する最終濃度Mg(f)比との関係



(5.1.2)



PPN,PPN(A),PPN(M),PCS,PCE,PMA @ 2 ppm

Fig. 7 M-アルカリ度、Ca濃度およびMg濃度との関係

(5.1.2)

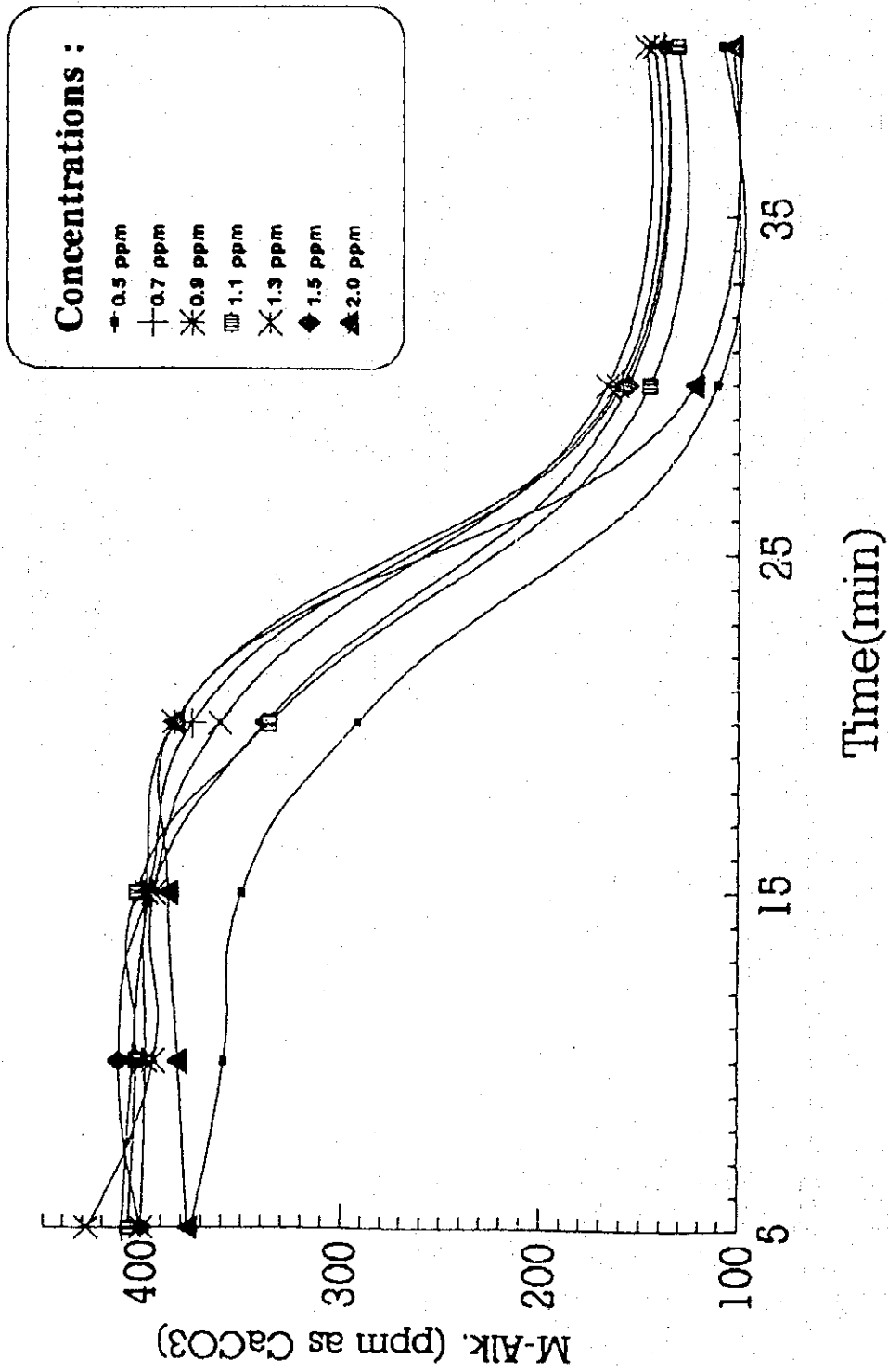


Fig. 8 PPN(M)の最適添加濃度

(5.1.2)

7. まとめ

スケール抑制剤の過飽和維持効果に関する実験を行った結果、次段階で行う伝熱試験装置による試験に用いるスケール抑制剤として下記の結果が得られた。

- (1) 伝熱試験装置による試験に用いるスケール抑制剤として、PPN(M)、PPN(A)、PCEの3種類が選定された。
- (2) 95℃ではPPN(M)およびPMAが最も高い過飽和維持効果を持ち、その最適添加濃度は0.7ppm以上である。
- (3) 110℃では添加濃度が2.0ppmにおいてはPPN(M)およびPPN(A)が最も高い過飽和維持効果を持つ。

なお、生成するスケールの差異を確認する観点から、3番のPCEも次の伝熱管試験装置による実験を行う予定である。

- (4) 全てのスケール抑制剤は20分以内に過飽和維持効果を失い、カルシウムイオンは炭酸カルシウムとして析出する。
- (5) 採用したスケール抑制剤の評価手法は、炭酸カルシウム析出に非常に有効である。

伝熱試験装置による試験をとおして、最適なスケール抑制剤が選定されることになる。

8. 参考文献

- 1) SWCC(海水淡水化公団)／JICA(国際協力事業団)；海水淡水化技術協力最終報告，1992
- 2) SWCC(海水淡水化公団)／JICA(国際協力事業団)；海水淡水化技術協力プログレス・レポート，1993

