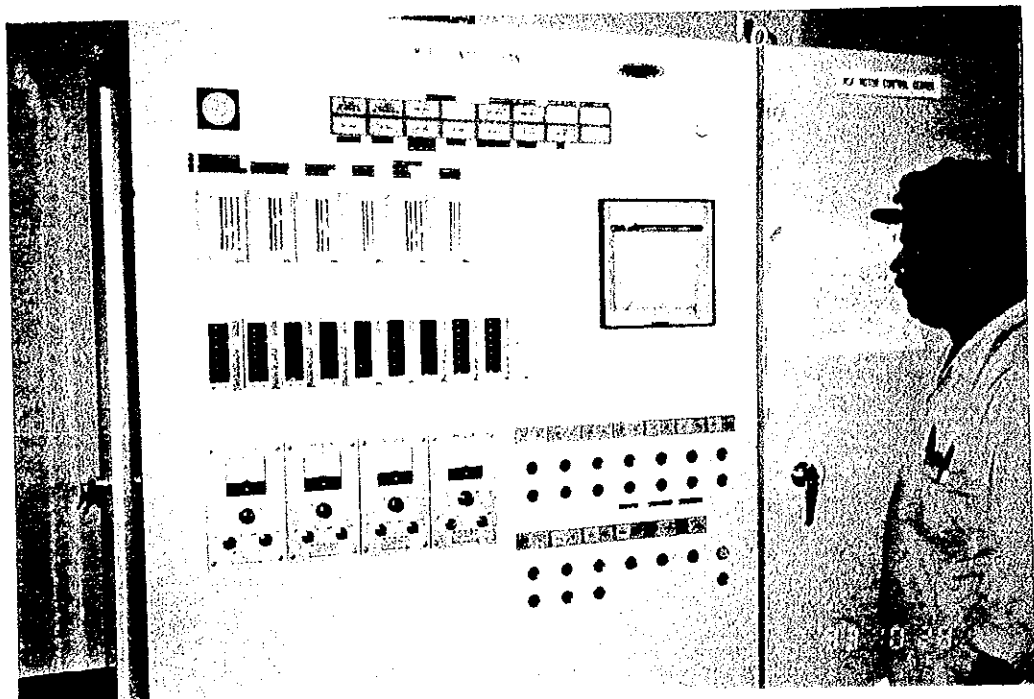
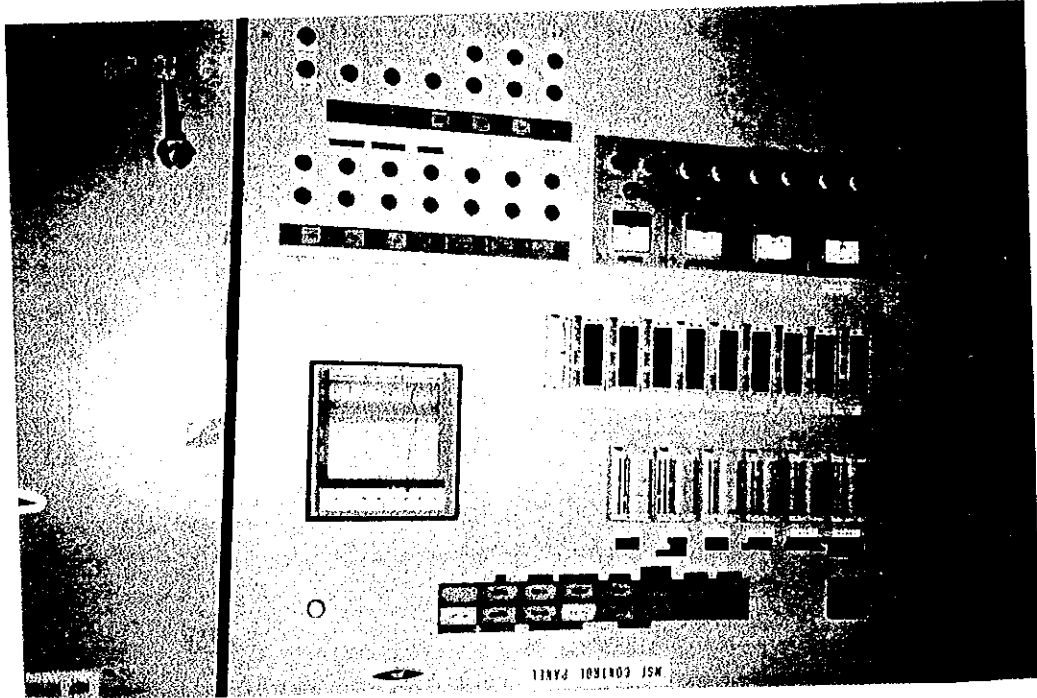


(5.3.2)

Fig. 2 MSFテストプラント運転中の制御盤の様子





### 5.3.3 スケール抑制剤単独試験



目 次

1. まえがき	1
2. 試験計画	2
2.1 基本方針	2
2.2 汚れ係数の算出方法	2
2.3 運転条件	3
3. 試験方法	6
4. 試験結果	12
4.1 汚れ係数測定結果	12
4.2 水質分析結果	12
4.3 運転開始時の総括伝熱係数( $U_c$ )の決定	40
5. 考察	41
5.1 ボールクリーニングの汚れ係数に与える影響	41
5.2 濃縮度の汚れ係数に与える影響	41
5.3 汚れ係数と時間との関係	42
6. まとめ	42

## (5.3.3)

## 表 一 覧

表 番	題 名	頁
Table 1	M S Fテストプラントの運転条件(M S F - 1、- 2を含む) .....	4
Table 2	M S Fテストプラント設計仕様(マスバランス) .....	8
Table 3	M S Fテストプラント設計仕様(ヒートバランス) .....	9
Table 4	汚れ係数算出用計器名称 .....	10
Table 5	運転データ整理表 .....	11
Table 6 - 1	総括伝熱係数と汚れ係数(RUN 3 運転開始時) .....	17
Table 6 - 2	総括伝熱係数と汚れ係数(RUN 3, 224Hr後) .....	18
Table 6 - 3	総括伝熱係数と汚れ係数(RUN 3, 452Hr後) .....	19
Table 7 - 1	総括伝熱係数と汚れ係数(RUN 4 運転開始時) .....	24
Table 7 - 2	総括伝熱係数と汚れ係数(RUN 4, 164Hr後) .....	25
Table 7 - 3	総括伝熱係数と汚れ係数(RUN 4, 320Hr後) .....	26
Table 8 - 1	総括伝熱係数と汚れ係数(RUN 8 運転開始時) .....	31
Table 8 - 2	総括伝熱係数と汚れ係数(RUN 8, 236Hr後) .....	32
Table 8 - 3	総括伝熱係数と汚れ係数(RUN 8, 472Hr後) .....	33

(5.3.3)

図 一 覧

図 番	題 名	頁
Fig. 1	MSF テストプラントの運転経緯(MSF-1、-2を含む) .....	5
Fig. 2	MSF テストプラントのフローダイヤグラム .....	7
Fig. 3	加熱器の汚れ係数の経時変化(RUN 3) .....	13
Fig. 4-1	ヒートバランス(RUN 3 運転開始時) .....	14
Fig. 4-2	ヒートバランス(RUN 3, 240Hr後) .....	15
Fig. 4-3	ヒートバランス(RUN 3, 450Hr後) .....	16
Fig. 5	加熱器の汚れ係数の経時変化(RUN 4).....	20
Fig. 6-1	ヒートバランス(RUN 4 運転開始時) .....	21
Fig. 6-2	ヒートバランス(RUN 4, 164Hr後) .....	22
Fig. 6-3	ヒートバランス(RUN 4, 320Hr後) .....	23
Fig. 7	加熱器の汚れ係数の経時変化(RUN 8) .....	27
Fig. 8-1	ヒートバランス(RUN 8 運転開始時) .....	28
Fig. 8-2	ヒートバランス(RUN 8 240Hr後) .....	29
Fig. 8-3	ヒートバランス(RUN 8 472Hr後) .....	30
Fig. 9-1	RUN 3における各部位の水質(その1) .....	34
Fig. 9-2	RUN 3における各部位の水質(その2) .....	35
Fig. 10-1	RUN 4における各部位の水質(その1) .....	36
Fig. 10-2	RUN 4における各部位の水質(その2) .....	37
Fig. 11-1	RUN 8における各部位の水質(その1) .....	38
Fig. 11-2	RUN 8における各部位の水質(その2) .....	39





(5.3.3)

1. まえがき

MSF-1は、まず市販されている数種のスケール抑制剤の中から通常温度用および高温用それぞれを選定し、それらのスケール抑制効果を環境条件が実機と同一のテストプラントで実証するとともに、併せて酸を併用した場合の有効性を確認することを目的に計画された。

上記選定の一つの基準になる過飽和維持能力 (Threshold effect)については、6種類のスケール抑制剤に対する測定結果を5.1.2に述べた。あと一つの選定基準になる結晶歪化効果 (Crystal distortion effect)を考慮した熱負荷時におけるスケールリング抑制効果については、5.2に述べた。

両結果を併せた結果を要約すると、ブライン最高温度が90°C、112°Cいずれの場合においてもPPN(M)の優位性が認められた。そのため、PPN(M)をスケール抑制剤のみを使用する場合の供試抑制剤に選定して、MSFテストプラントによる最終評価試験RUN-1が去る1994年2月から開始された。

しかし、ボイラの作動不良に伴うボイラの交換<sup>1)</sup>新ボイラとテストプラントとの間の取り合い点でのトラブル発生、さらには、MSFテストプラント復水系に設置されたブラインヒータ復水液面制御弁の目詰まりというハプニングに遭遇して、これらの解決に当たった(RUN-2)。そして、7/25、改めてRUN-3として、運転試験が再開された。

その後、濃縮度可変試験、ボールクリーニング効果試験を含む順調な運転試験が実施され、1994年11月末日をもって、当初計画された運転試験の全てを終了した。

ここでは、その結果を報告する。

---

1)新設されたボイラ:

A fire tube type with a maximum capacity of 1 ton/hour at maximum operating pressure of 10 bar.

## 2. 試験計画

### 2.1 基本方針

MSF伝熱管へのスケーリングの程度を定量的に把握する方法としては、伝熱管を抜管して、付着したスケール量を直接測定する方法がある。しかし、この値がいくら正確に求められても、それが最終目的である造水効率への影響について、定量的かつ直接的に明かにするには、多くの仮定条件を含まざるを得ず、所詮は推定値に過ぎない。

したがってここでは、造水効率に直接関係する因子として、スケールの付着による伝熱抵抗の増加、即ち‘汚れ係数’の増加に着目して、これまでに選定されたスケール抑制剤PPN (W)使用時における伝熱管汚れ係数の経時変化を測定することにした。

### 2.2 汚れ係数の算出方法

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (2.1)$$

$$\Delta T_1 = t - T_1 \quad (2.2)$$

$$\Delta T_2 = t - T_2 \quad (2.3)$$

式(2.1)、(2.2)及び(2.3)から、

$$\Delta T_m = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1) \quad (2.4)$$

一方、

$$Q = W C_p \Delta T \quad (2.5)$$

式(2.4)及び(2.5)から、

$$U = Q / (S \Delta T_m) \quad (2.6)$$

式(2.6)から、

$$F_o = 1/U - 1/U_c \quad (2.7)$$

ここに、

$T_1$	: 伝熱管入口の海水・ブライン温度	°C
$T_2$	: 伝熱管出口の海水・ブライン温度	°C
$t$	: 伝熱管外面の蒸気温度	°C
$\Delta T_m$	: 対数平均温度差	K
$W$	: 海水・ブライン流量	kg/h
$S$	: 伝熱管表面積	m <sup>2</sup>
$C_p$	: 定圧比熱	kJ/(kg・K)
$Q$	: 熱交換量	kJ/h

(5.3.3)

U	: 総括伝熱係数	$\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Uc	: 運転開始時の総括伝熱係数	$\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Fo	: 汚れ係数	$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{kW}$

2.3 運転条件

1994年5月に計画された条件を基に、実施された運転条件をTable 1に示す。また、各運転条件に基づくプラント運転の経緯をFig. 1に示す。



YEAR / MONTH RUN NUMBER ETC.	1994												NOTE			
	1993		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	
	11	12														
<u>1. MSF-1</u>																
1-1 Commissioning																
1-2 Trial & reliability Runs																
1-3 Adjustments of boiler/Test Plant																
1-4 Modification of Seawater Intake																
1-5 Run 1 (Chemical, TBT: 100-112°C)																
1-6 Building of a New Boiler House																
1-7 Installation of the New Boiler																
1-8 Run 2 (Chemical, TBT: 110-112°C)																
1-9 Run 3 (Chemical, 112°C, CF: 1.12)																
1-10 Run 4 (Chemical, 112°C, CF: 1.15)																
1-11 Run 5-1 (Hybrid, 112°C, CF: 1.22)																
1-12 Run 5-2 (Hybrid, 112°C, CF: 1.40)																
1-13 Run 8 (Chemical, 112°C, CF: 1.40)																
<u>2. MSF-2</u>																
2-1 Modification of MSF Test Plant																
2-2 Run 6-1 (Hybrid, 112°C, CF: 1.40)																
2-3 Run 6-2 (Chemical, 112°C, CF: 1.40)																
2-4 Run 7 (Chemical, 112°C, CF: 1.01)																
2-5 Run 9 (Chemical, 112°C, CF: 1.40)																
2-6 Rinsing of each stage in the MSF Test Plant																

Fig. 1 MSFテストプラントの運転経緯

(5.3.3)

3. 試験方法

20t/d MSF テストプラントのフローダイヤグラムをFig. 2に、マスバランスをTable 2に、ヒートバランスをTable 3に、また汚れ係数計算に必要な計器番号をTable 4にそれぞれ示した。

汚れ係数の計算はPERSONAL COMPUTER (IBM compatibles, 386/486)によって自動的に計算された。また運転状況の経時変化を知るために、運転員は各シフト毎に所定のフォームに記載した。

汚れ係数計算のための運転データ整理表をTable 5に示した。

REVISION	DATE	BY	CHKD

POINT	NAME OF POINT	NO.
A	TEMP. ON IN	2500-100
B	TEMP. ON OUT	2500-101
C	TEMP. ON IN	2500-102
D	TEMP. ON OUT	2500-103
E	TEMP. ON IN	2500-104
F	TEMP. ON OUT	2500-105
G	TEMP. ON IN	2500-106
H	TEMP. ON OUT	2500-107

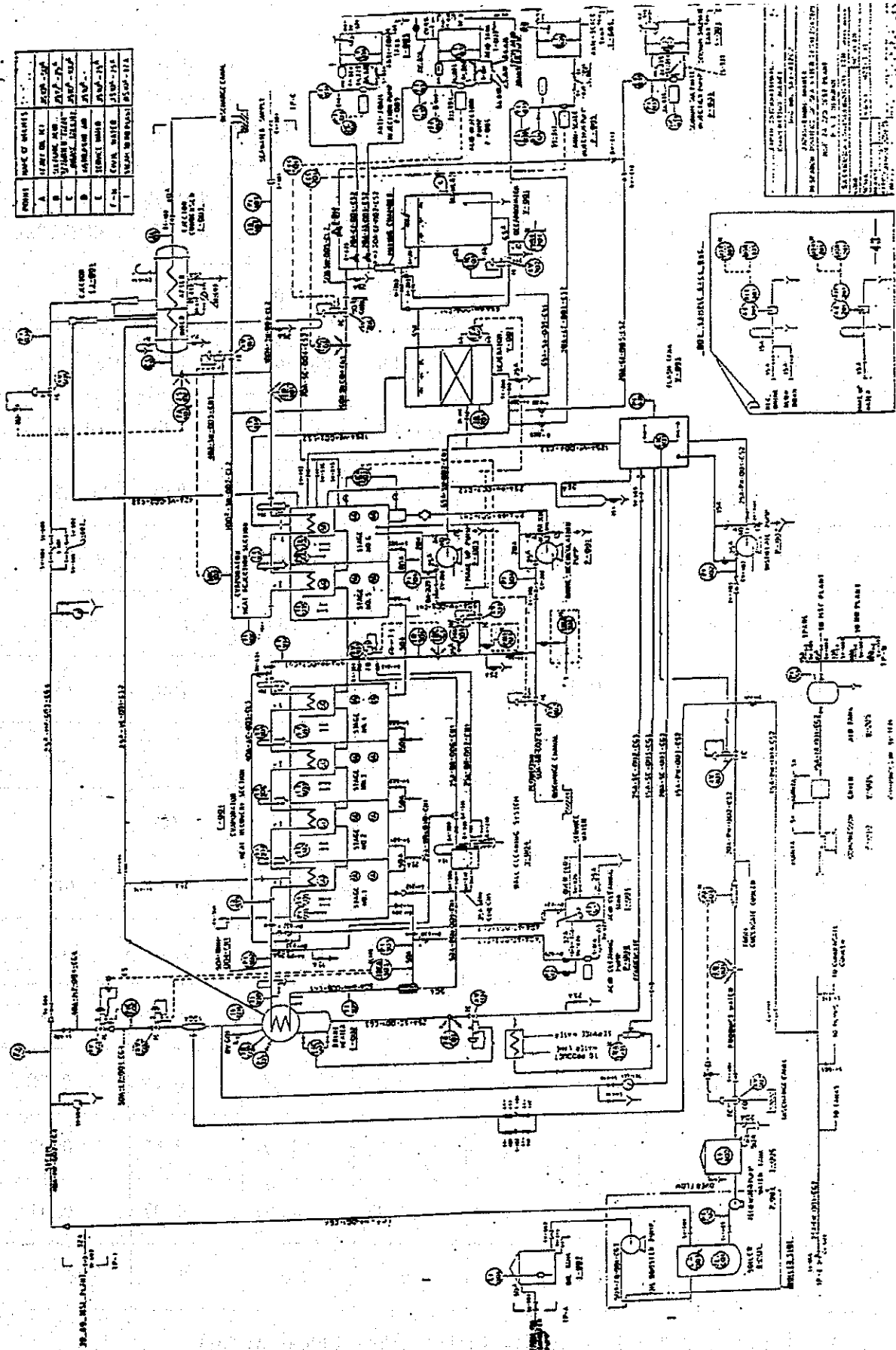



Fig. 2 2017/日 MSF テストプラントの P&I ダイアグラム

## (5.3.3)

Table 2 MSFテストプラント設計仕様(マスバランス)

LINE No.	OP.E. MODE	UNIT	RECIRCULATION OPERATION				ONCE THROUGH
	METHOD OF SCALE PREVEN.		CHEMICALS			CHEMICAL /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CHEMICAL
	MAXIMUM TEMP.		90.5	112	120	112	112
1	SW to Supply	kg/h	23,300	23,300	23,300	23,300	23,300
2	SW to Rejec.	kg/h	18,300	18,300	18,300	18,300	18,300
4	Feed Sea W.	kg/h	2,650	3,250	3,620	3,250	6,430
5	Recycle Brine	kg/h	7,450	6,530	6,580	6,530	—
6	Blow Down	kg/h	2,000	2,500	2,790	2,500	5,680
7	Distillate	kg/h	605	750	830	750	750
13	Steam to Eje.	kg/h	50	50	50	50	50
14	Desuper H.W.	kg/h	10	10	10	10	10
12	Steam to B.H.	kg/h	10+260	10+303	10+323	10+303	10+303
15	Condensate	kg/h	270	313	333	313	313
16	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (98 %)	kg/h	—	—	—	0.52	—
17	Scale Inhi. * <sup>1</sup>	kg/h	0.18	0.22	0.22	0.22	0.22
18	Anti Foam * <sup>2</sup>	kg/h	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07
19	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> S. * <sup>3</sup>	kg/h	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07
20	Heavy Oil * <sup>4</sup>	l/h	41	45	45	45	45

(Note) \*1:15 %, \*2:0.5%, \*3:0.5%, \*4:Less than 190cSt at 50°C



Table 3 M.S.F.テストプラント設計仕様(ヒートバランス)

LINE No.	OPE. MODE	UNIT	RECIRCULATION OPERATION				ONCE THROUGH
	METHOD OF SCALE PREVEN.		CHEMICALS			CHEMICAL /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CHEMICAL
	MAXIMUM TEMP.		90.5	112	120	112	112
1	SW to Supply	℃	30	30	30	30	30
2	SW to Rejec.	℃	30	30	30	30	30
4	Feed Sea W.	℃	39.5	39.5	40	39.5	39.5
5	Recycle Brine	℃	39.5	39.5	40	39.5	39.5
6	Blow Down	℃	39.5	39.5	40	39.5	39.5
7	Distillate	℃	37.2	37.2	37.7	37.2	37.4
13	Steam to Eje.	℃	175	175	175	175	175
14	Desuper H.W.	℃	100	120	127	120	120
12	Steam to B.H.	℃	100	120	127	120	120
15	Condensate	℃	100	120	127	120	120
16	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (98 %)	℃	-	-	-	-	-
17	Scale Inhi. *1	℃	35	35	35	35	35
18	Anti Foam *2	℃	35	35	35	35	35
19	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> S. *3	℃	35	35	35	35	35
20	Heavy Oil *4	℃	-	-	-	-	-

(Note) \*1:15%, \*2:0.5%, \*3:0.5%, \*4:Less than 190cSt at 50℃

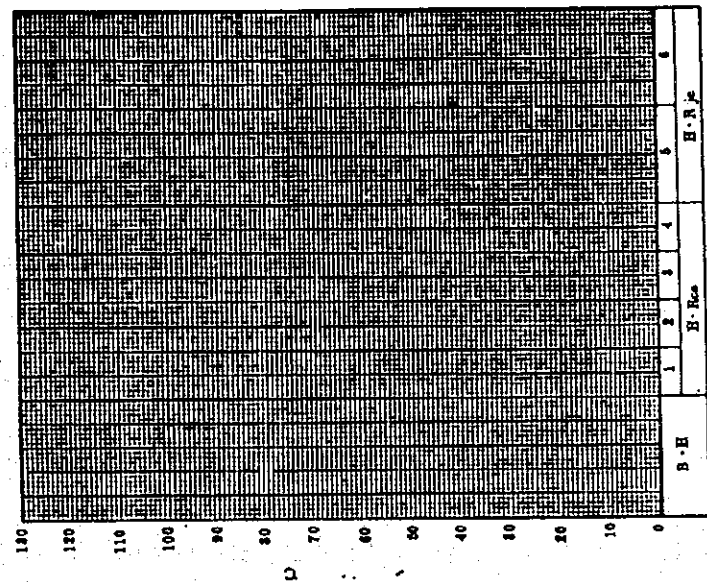
Table 4 汚れ係数算出用計器名称

NO.	計 測 項 目		計器番号	
1	流量	熱放出部伝熱管海水	FR101	
2	(W)	熱回収部伝熱管・加熱器ライン	FR301	
3	管内 温度 (T)	第6段伝熱管入口海水	TI104	
4		第5段伝熱管入口海水	TI105	
5		第5段伝熱管出口海水	TI106	
6		第4段伝熱管入口ライン	TI304	
7		第3段伝熱管入口ライン	TI305	
8		第2段伝熱管入口ライン	TI306	
9		第1段伝熱管入口ライン	TI307	
12		ライン加熱器入口ライン	TI308	
13		ライン加熱器出口ライン	TI309	
			ライン加熱器管外蒸気	TI602
14		室内 温度 (t)	第1段蒸発室蒸気	TI501
15			第2段蒸発室蒸気	TI502
16			第3段蒸発室蒸気	TI503
17	第4段蒸発室蒸気		TI504	
16	第5段蒸発室蒸気		TI505	
17	第6段蒸発室蒸気		TI506	

Table 5 運転データ整理表

Run No.	Measuring Date		Total Ope. Time		hrs					
Flow Rate (t/h)	Feed SW (FR201)	Recir. B. (FR301)	Product W(FR401)	Condens. (FR601)	HRJe SW (FR101)					
	Supply S. (P1605)	BH Shell (P1603)	Eject. S. (P1604)	BH Out. B. (P1303)	Deaerater (P1)					
Pressure	kg/cm <sup>2</sup> C	kg/cm <sup>2</sup> C	kg/cm <sup>2</sup> C	kg/cm <sup>2</sup> C	lorr					
Concentration	Feed SW ( )	Recir. B. ( )	Product (CRA401)	Condens. (CR601)						
	ppm	ppm								
Efficiency	Performance R.	Concentration R.								
Temperature	Position	Heat Recovery Section				Heat Rejection Section				
		Brine HTR		6S						
	in Tube	TI	309	307	306	305	304	106	105	104
		°C								
	F. Chamb.	TI	602	501	502	503	504	505		506
		°C								
	G. Phase	TI								
		°C								
	P. Chamb.	TI								
		°C								
L. Phase	TI									
	°C									
Steam	TI	Heating	601				Product			
	°C	Steam				Condensate	Water			
Condition of Ball Cleaning	Starting Time of Cleaning		<MEMORANDUM>							
	Finishing Time of Cleaning									
	Cleaning Time per an Inning									
	Numbers of Inning									
	Total Cleaning Time									
Numbers of Ball Thrown										
Numbers of Ball Recovered										

HEAT CYCLE



Atmospheric Phenomena	Temperature	Pressure
	SIGNATURE _____	

### (5.3.3)

#### 4. 試験結果

MSFテストプラントの連続運転はTable 1に示すように、これまで9回実施された。

このうち、RUN 1 は新ボイラと交換前のデータで、ここでの取得データを添付資料5.3.3-1に示す。RUN 2 はボイラ復水が流動不良で、かつ、蒸気側測定温度計感熱部に空気層の存在が認められた時のデータである。これらを添付資料5.3.3-2に示す。

また、RUN 5 はスケールコントロールにハイブリッド法を採用したときで、その詳細は5.3.4で述べる。RUN 6、RUN 7および RUN 9はMSF-2を対象にしたときの運転である。したがって、残りのRUN 3、4および8が本報告書5.3.3を対象にした運転試験である(RUN 6-1では、ハイブリッド法採用)。

RUN 3の特徴は薬剤添加法を採用、濃縮度1.2の運転で、かつ定時間毎(1回/8hr)にボールクリーニングを実施したことである。

RUN 4は薬剤添加法を採用、濃縮度1.2の運転ではあるが、ボールクリーニングを運転期間中全く実施しなかったことに特徴がある。

さらに、RUN 8の、RUN 4との相違点は濃縮度を1.4に上昇させたことである。

#### 4.1 汚れ係数測定結果

RUN 3、4および8における汚れ係数の経時変化をFig. 3、5及びFig. 7に示す。その汚れ係数に対応したヒートバランスについては、各RUNごとに、運転開始時、中間値および運転終了時のそれをFig. 4、6及びFig. 8に示す。さらに、汚れ係数、ヒートバランスを計算するにあたって、基礎となる測定データおよびそれから得られる対数平均温度( $\Delta T_m$ )、熱交換量(Q)等の中間値を含む計算過程を採用したヒートバランス図に対応させて、Table 6、7及びTable 8にまとめた。なお、MSF-1関連のRUNについて、定時刻に測定、計算した総括伝熱係数(U値)等の計算過程の全てを添付資料5.3.3-3、-4、-7にそれぞれ示した。

これから明かなように、運転時間300時間、濃縮度1.2程度では、ボールクリーニングの有無に拘らず、汚れ係数にある定まった一定の傾向は認められない。しかし、濃縮度を1.4に上昇させると、スケールの付着により、U値に低下の傾向がみられ、それに伴って、加熱器出口ブライン温度を112°Cに保つように蒸気消費量の増加(造水比の低下)があった。

#### 4.2 水質分析結果

テストプラント運転中においては、補給海水(MU)、循環ブライン(BR)およびブローブライン(BD)について、それぞれのpH、M-アルカリ度(M. ALK)、塩素イオン濃度(CL)、電気伝導度(COND)を定期的に測定した。これらデータの50時間ごとの値をプロットした結果をFig. 9、10及びFig. 11に示した。それぞれの部位の水質は各RUNの運転時間300~500の間、ほぼ一定値を示している。

### FOULING FACTOR vs.TIME IN BRINE HEATER, ( RUN # 3 )

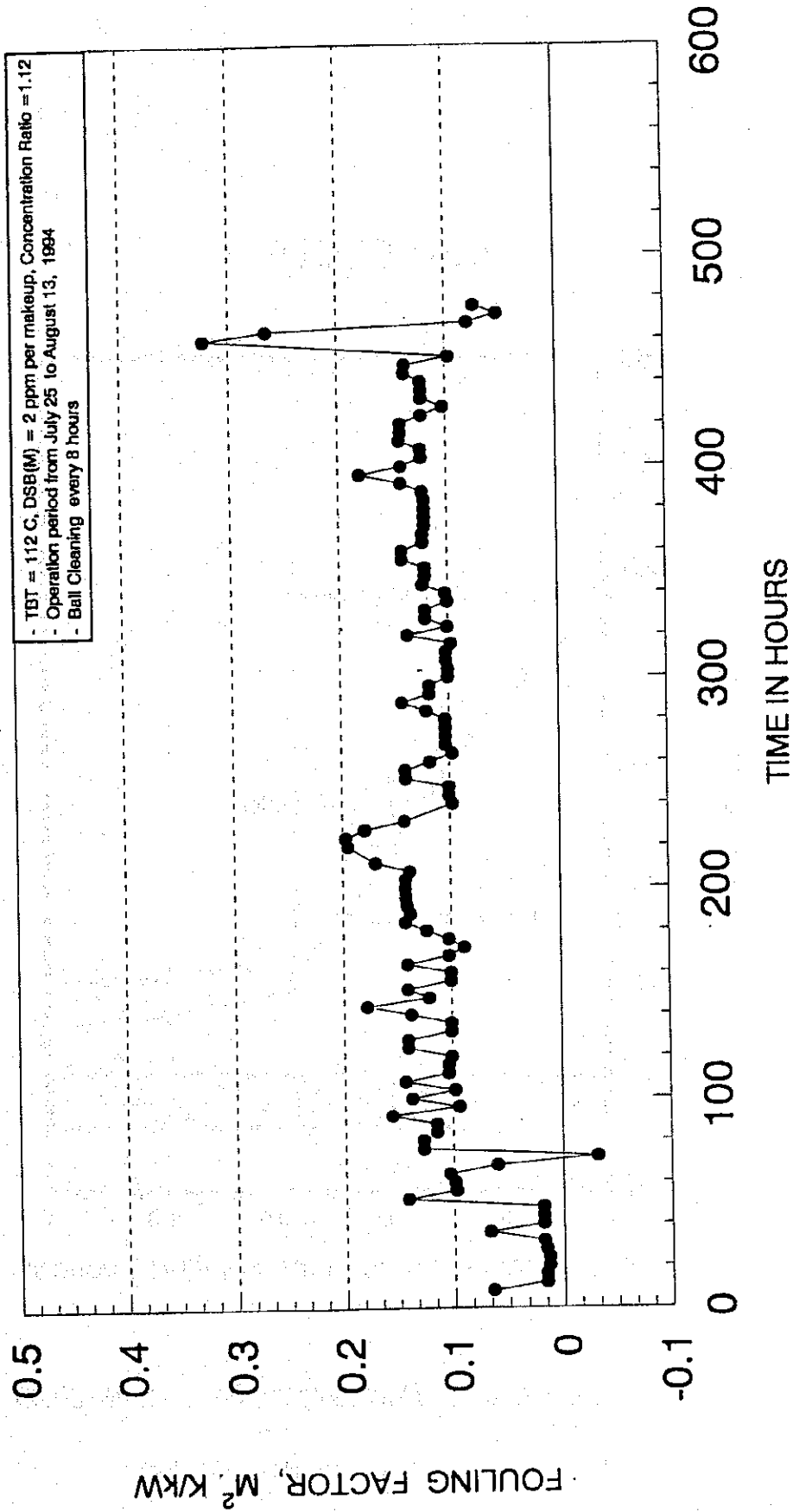
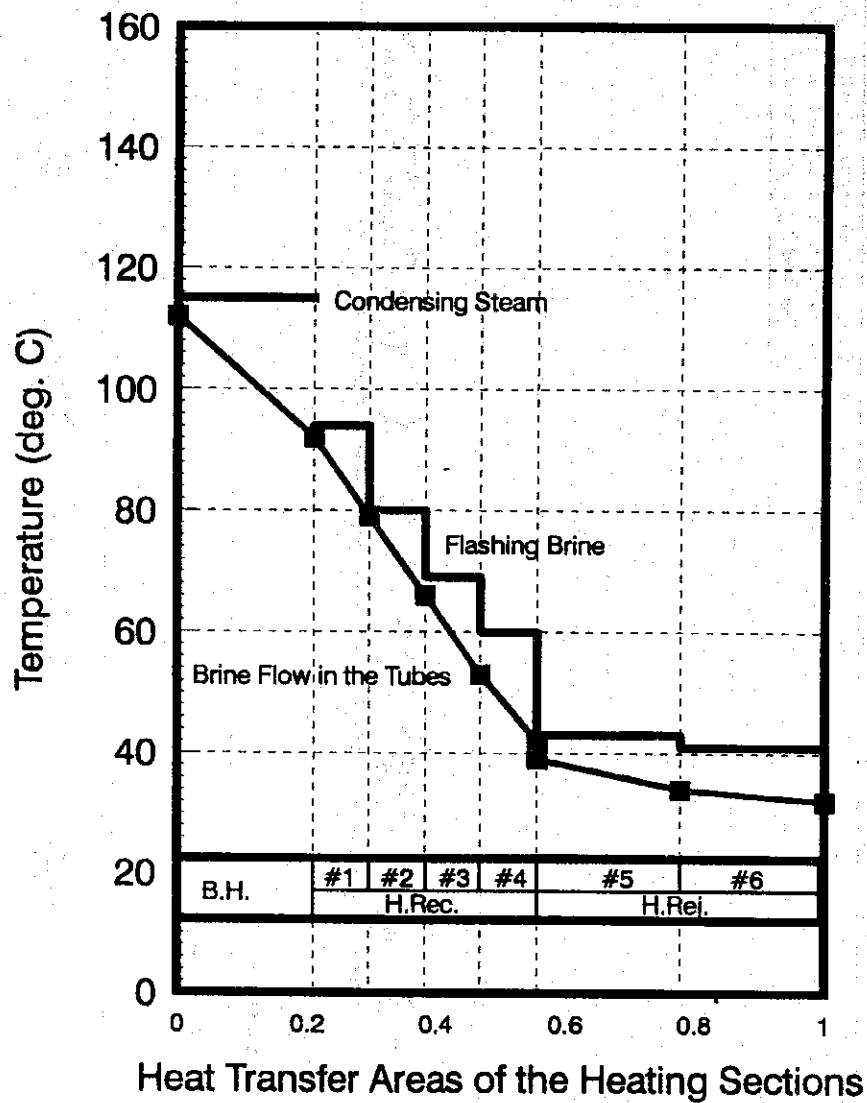


Fig. 3 加熱器の汚れ係数の経時変化 (RUN 3)

(5.3.3)

## HEAT CYCLE

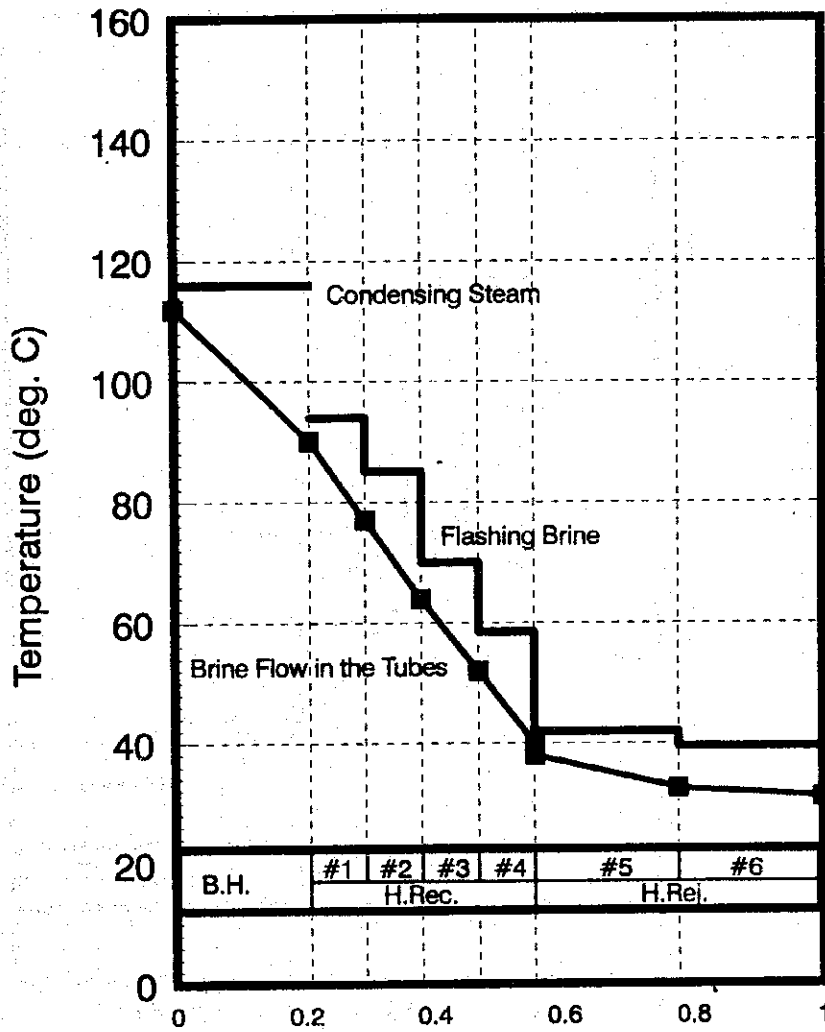


Run No. 3 Date: July 25, 94 Time: 20:00

Fig. 4-1 ヒートバランス(RUN 3 運転開始時)

(5.3.3)

## HEAT CYCLE



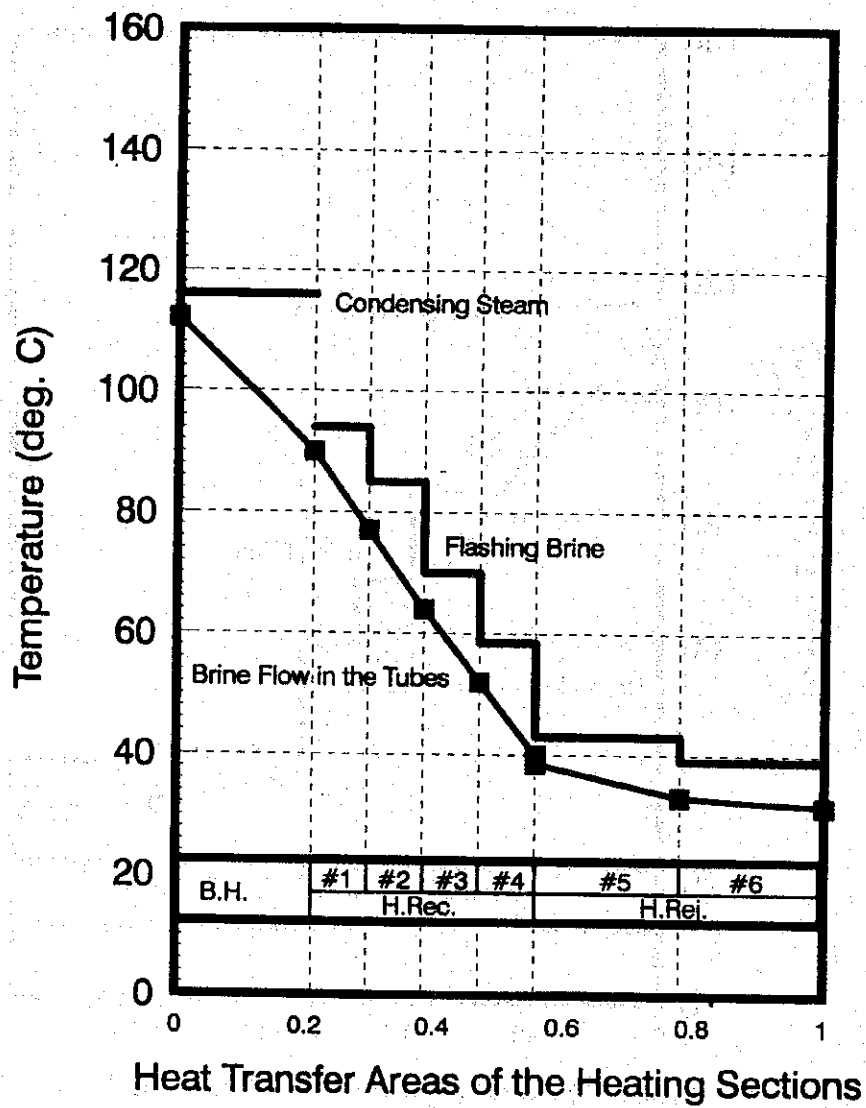
Heat Transfer Areas of the Heating Sections

Run No. 3 Date: August 4, 94 Time: 12:00

Fig. 4-2 ヒートバランス(RUN 3, 240Hr後)

(5.3.3)

## HEAT CYCLE



Run No. 3 Date: August 13, 94 Time: 08:00

Fig. 4-3 ヒートバランス(RUN 3, 450Hr後)



Table 6-1 総括伝熱係数と汚れ係数 (RUN 3 運転開始時)

Run No. 3	Date: July 25, 94	Time: 20:00	Total Operation Time: 8 hr.						
Variables	Brine Heater			Evaporator Stages					
		#1	#2	#3	#4	#5	#6		
Flowrate (kg/h)	6450	6450	6450	6450	6450	18100	18100		
Specific Heat (kJ/kg/°C)	3.989	3.970	3.956	3.943	3.933	3.969	3.967		
Inlet Temp. (deg. C)	92	79	66	53	42	34	32		
Outlet Temp. (deg. C)	112	92	79	66	53	39	34		
Temp. Rise (deg. C)	20	13	13	13	11	5	2		
Flashing Temp. (deg. C)	115	94	80	69	60	43	41		
Heat Transfer Rate (kJ/S)	142.955	92.468	92.144	91.850	77.512	99.773	39.888		
Heat Transfer Area (sq.m)	4.6723	1.937	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556		
L.M.T.D. (deg. C)	9.819	6.452	4.926	7.766	11.647	6.166	7.958		
U (kW/sq.m/°C)	3.116	7.399	9.657	6.106	3.436	3.265	1.011		
Clean-U Value (kW/sq.m/°C)	3.9	6.6	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1		
f (sq.m K/KW)	0.0645	-0.0164	-0.0925	-0.0323	0.0950	0.1102	0.7926		

(5. 2. 2)

Table 6-2 総括伝熱係数と汚れ係数 (RUN 3, 224HI後)

Run No. 3      Date: August 03, 94      Time: 20:00      Total Operation Time: 224 hr.

Variables	Evaporator Stages					
	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
Flowrate (kg/h)	6450	6450	6450	6450	18500	18500
Specific Heat (kJ/kg/K)	3.989	3.955	3.943	3.932	3.968	3.966
Inlet Temp. (deg. C)	91	65	53	40	33	31
Outlet Temp. (deg. C)	112	77.5	65	53	38	33
Temp. Rise (deg. C)	21	12.5	12	13	5	2
Flashing Temp. (deg. C)	118.5	86	70	58	42	38.5
Heat Transfer Rate (kJ/s)	150.079	88.572	84.775	91.586	101.962	40.764
Heat Transfer Area (sq.m)	4.6723	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556
L.M.T.D. (deg. K)	14.559	13.820	9.806	10.149	6.166	6.448
U (kW/sq.m/K)	2.206	3.309	4.463	4.659	3.337	1.276
Clean-U Value (kW/sq.m/K)	3.9	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
f (sq.m K/kW)	0.1969	0.1062	0.0280	0.0186	0.1036	0.5878

Table 6-3 総括伝熱係数と汚れ係数 (RUN 3, 452HI後)

Variables	Evaporator Stages					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Flowrate (kg/h)	6450	6450	6450	6450	18800	18800
Specific Heat (kJ/kg/K)	3.989	3.954	3.942	3.932	3.968	3.966
Inlet Temp. (deg. C)	90.5	64	52	40	33	31.5
Outlet Temp. (deg. C)	112	77	64	52	38.5	33
Temp. Rise (deg. C)	21.5	13	12	12	5.5	1.5
Flashing Temp. (deg. C)	116	85	70	58.5	43	38
Heat Transfer Rate (kJ/s)	153.641	92.097	84.755	84.532	113.982	31.070
Heat Transfer Area (sq.m)	4.6723	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556
L.M.T.D. (deg. K)	11.607	13.470	10.923	11.473	6.888	5.717
U (kW/sq.m/K)	2.833	3.530	4.006	3.804	3.339	1.097
Clean-U Value (kW/sq.m/K)	3.9	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
f (sq.m K/kW)	0.0966	0.0872	0.0536	0.0668	0.1034	0.7158

Run No. 3 Date: August 13, 94 Time: 08:00 Total Operation Time: 452 hr.

(5. 9. 3)

### FOULING FACTOR vs. TIME IN BRINE HEATER, ( RUN # 4 )

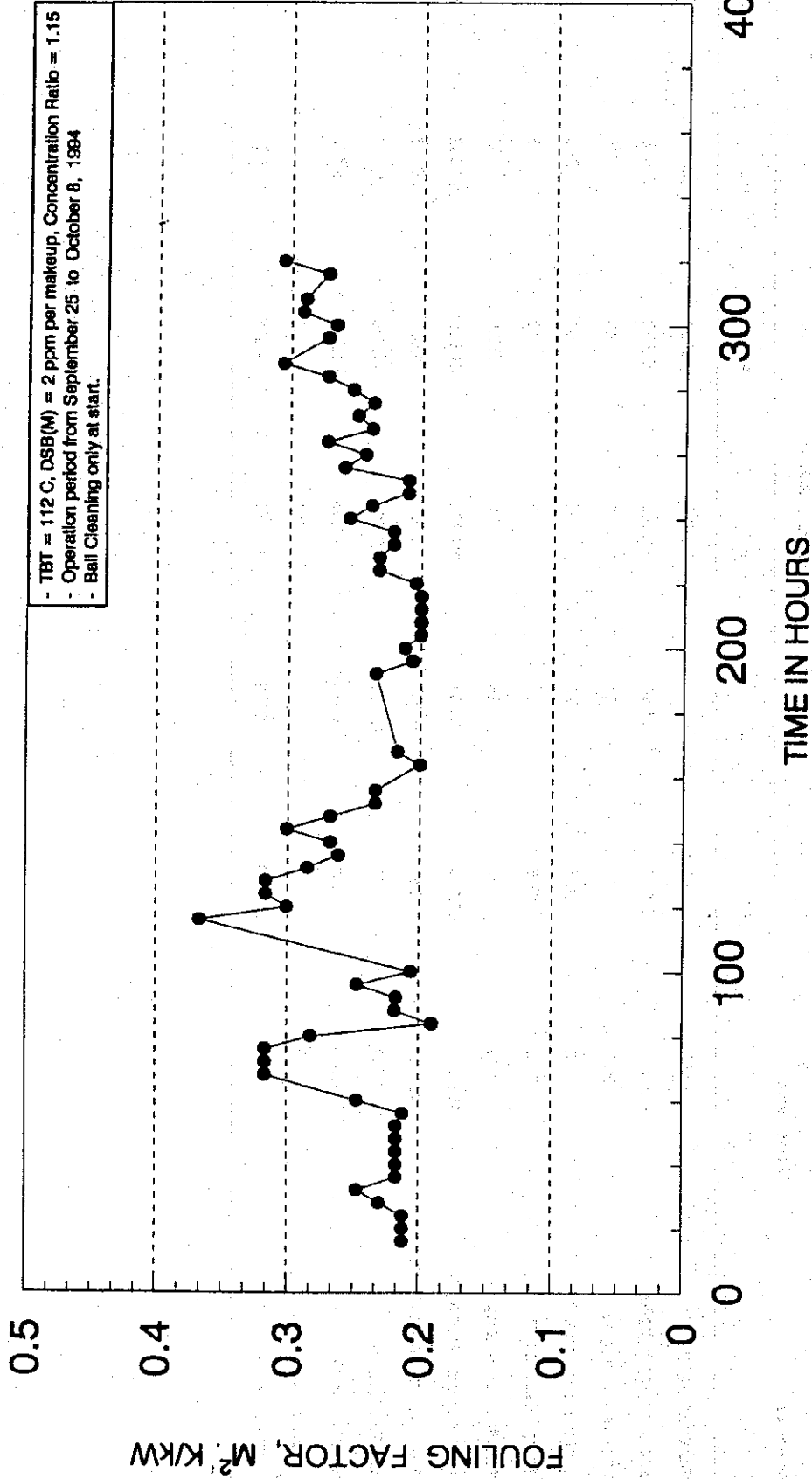
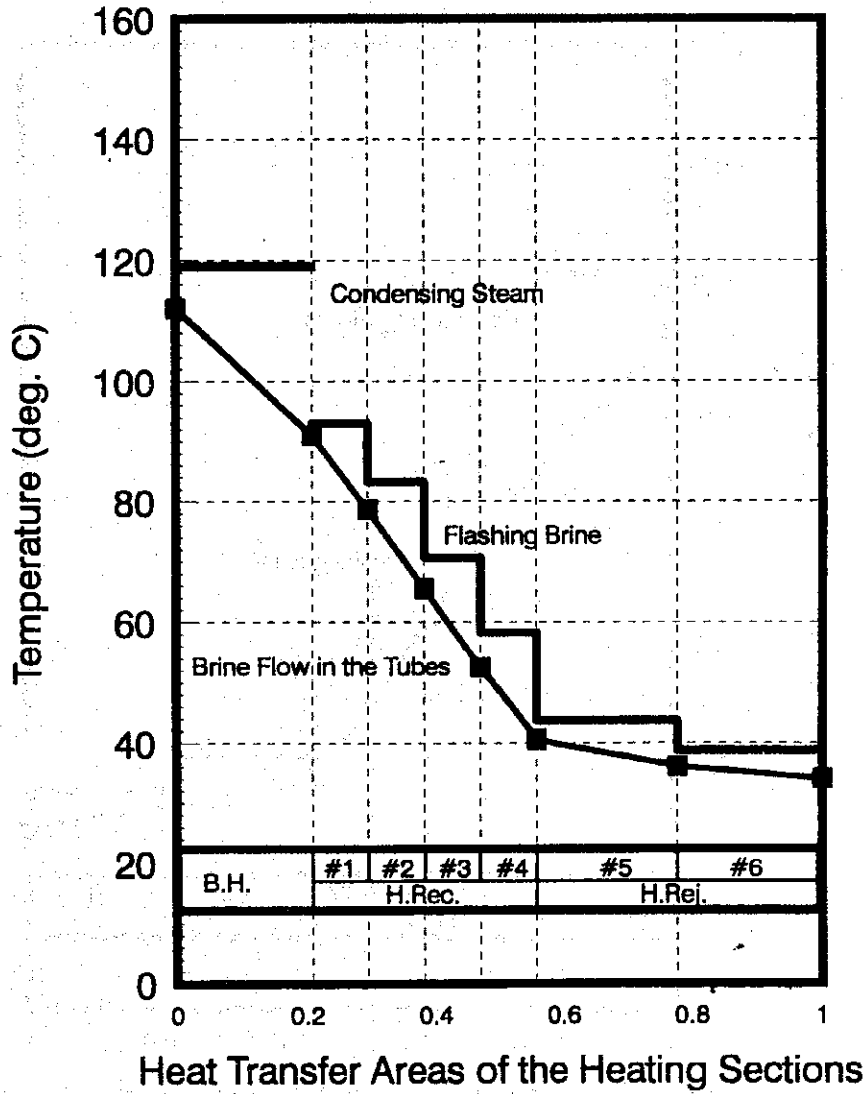


Fig. 5 加熱器の汚れ係数の経時変化 (RUN 4)

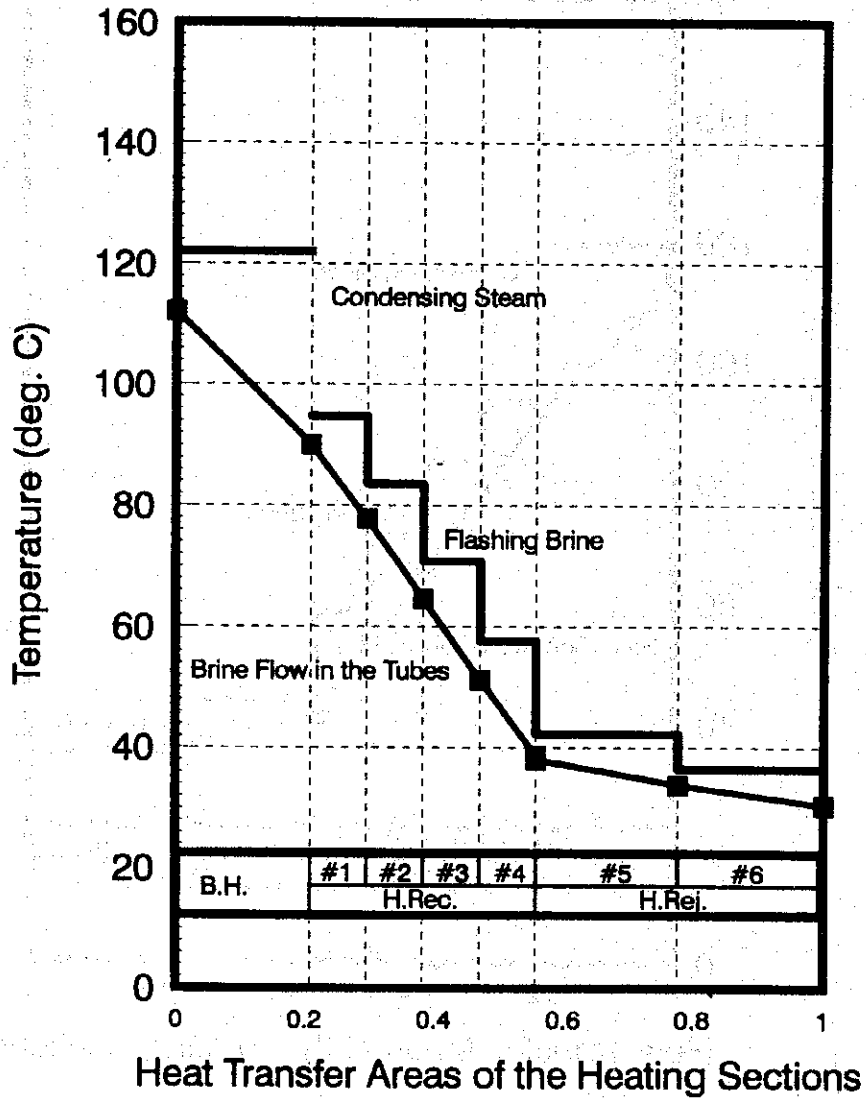
# HEAT CYCLE



Run No. 4    Date: September 25, 94    Time: 8:0

Fig. 5-1 ヒートバランス (RUN 4 運転開始時)

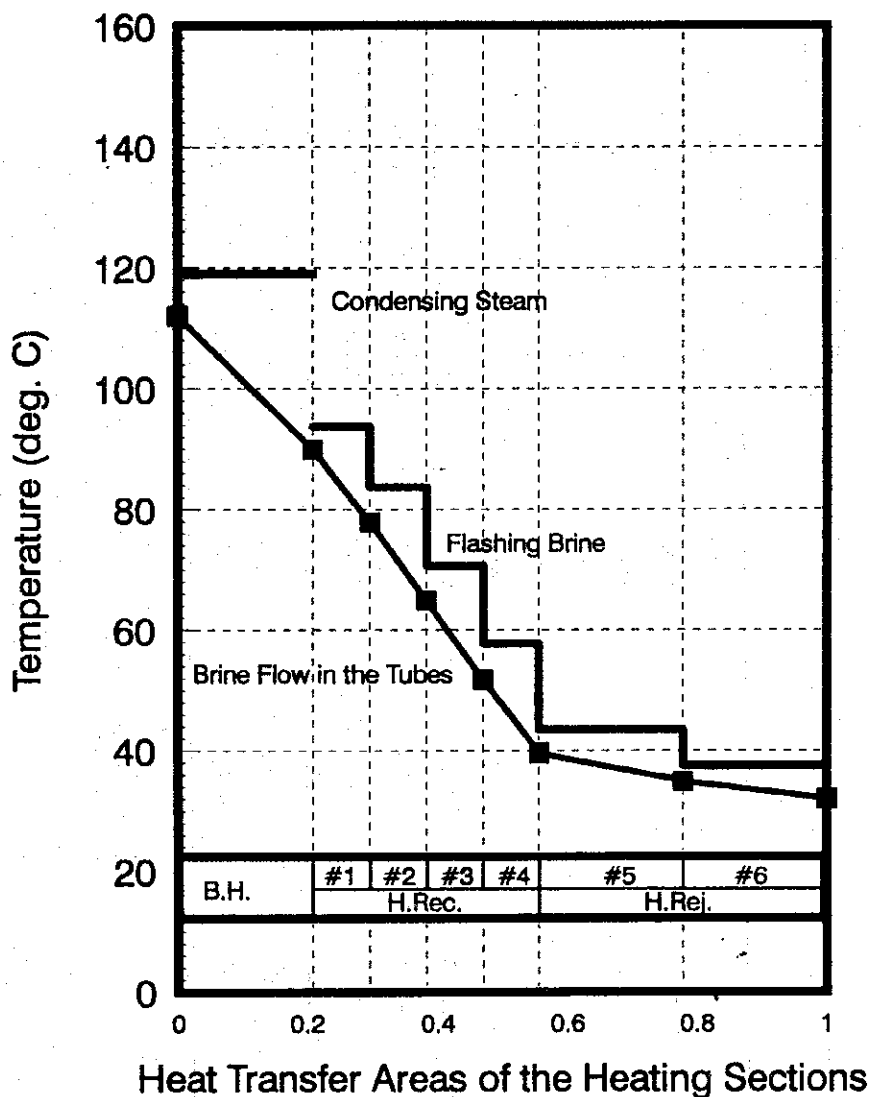
# HEAT CYCLE



Run No. 4    Date: October 8, 94    Time: 00:00

Fig. 6-3 ヒートバランス (RUN 4, 320Hr後)

# HEAT CYCLE



Run No. 4    Date: October 1, 94    Time: 12:00

Fig. 6-2 ヒートバランス (RUN 4, 164Hr後)

Table 7-1 総括伝熱係数と汚れ係数 (RUN 4 運転開始時)

Variables	Brine Heater			Evaporator Stages						
	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	
Flowrate (kg/h)	6500	6500	6500	6500	18500	18500	18500	18500	18500	18500
Specific Heat (kJ/kg/K)	3.989	3.956	3.943	3.932	3.970	3.968	3.968	3.968	3.968	3.968
Inlet Temp. (deg. C)	91	65.5	52.6	40.8	36.1	34	34	34	34	34
Outlet Temp. (deg. C)	112	78.6	65.5	52.6	40.5	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1
Temp. Rise (deg. C)	21	13.1	12.9	11.8	4.4	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Flashing Temp. (deg. C)	119	83.2	70.6	58.3	43.7	38.7	38.7	38.7	38.7	38.7
Heat Transfer Rate (kJ/S)	151,243	93,562	91,841	83,779	89,766	42,821	42,821	42,821	42,821	42,821
Heat Transfer Area (sq. m)	4.6723	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556	4.9556	4.9556	4.9556	4.9556
L.M.T.D. (deg. K)	15,148	9,722	10,229	10,519	5,087	3,547	3,547	3,547	3,547	3,547
U (kW/sq.m/K)	2,137	4,969	4,635	4,112	3,561	2,436	2,436	2,436	2,436	2,436
Clean-U Value (kW/sq.m/K)	3.9	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
f (sq.m K/KW)	0.212	0.005	0.020	0.047	0.085	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214



Table 7-2 総括伝熱係数と汚れ係数 (RUN 4, 164HR後)

Variables	Evaporator Stages					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Run No. 4	Date: October 01, 94					
	Time: 12:00					
	Total Operation Time: 164 hr.					
	Brine Heater					
Flowrate (kg/h)	6500	6500	6500	6500	18500	18500
Specific Heat (kJ/kg/K)	3.988	3.955	3.942	3.932	3.969	3.967
Inlet Temp. (deg. C)	90	64.9	51.8	39.7	34.9	32
Outlet Temp. (deg. C)	112	77.9	64.9	51.8	39.5	34.9
Temp. Rise (deg. C)	22	13	13.1	12.1	4.6	2.9
Flashing Temp. (deg. C)	119	83.7	70.6	57.8	43.5	37.5
Heat Transfer Rate (kJ/S)	158.420	92.832	93.249	85.892	93.830	59.120
Heat Transfer Area (sq.m)	4.6723	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556
L.M.T.D. (deg. K)	15.478	11.054	10.977	10.959	6.009	3.871
U (kW/sq.m/K)	2.191	4.335	4.386	4.046	3.151	3.082
Clean-U Value (kW/sq.m/K)	3.9	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
f (sq.m K/kW)	0.200	0.037	0.032	0.051	0.121	0.128

(5. 3. 3)

Table 7-3 総括伝熱係数と汚れ係数 (RUN 4, 320HR後)

Run No. 4      Date: October 08, 94      Time: 00:00      Total Operation Time: 320 hr.

Variables	Evaporator Stages					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Flowrate (kg/h)	6450	6450	6450	6450	18400	18400
Specific Heat (kJ/kg/K)	3.988	3.955	3.942	3.931	3.969	3.966
Inlet Temp. (deg. C)	90	64.5	51.1	38.7	33.8	30.5
Outlet Temp. (deg. C)	112	77.7	64.5	51.1	38	33.8
Temp. Rise (deg. C)	22	13.2	13.4	12.4	4.2	3.3
Flashing Temp. (deg. C)	122	83.5	70.8	57.6	42.3	36.5
Heat Transfer Rate (kJ/S)	157.202	93.528	94.639	87.329	85.191	66.898
Heat Transfer Area (sq.m)	4.6723	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556
L.M.T.D. (deg. K)	18.914	11.124	11.754	11.617	6.163	4.133
U (kW/sq.m/K)	1.779	4.340	4.157	3.881	2.789	3.266
Clean-U Value (kW/sq.m/K)	3.9	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
f (sq.m K/kW)	0.306	0.034	0.044	0.062	0.162	0.110

### FOULING FACTOR VS. TIME IN BRINE HEATER, ( RUN # 8 )

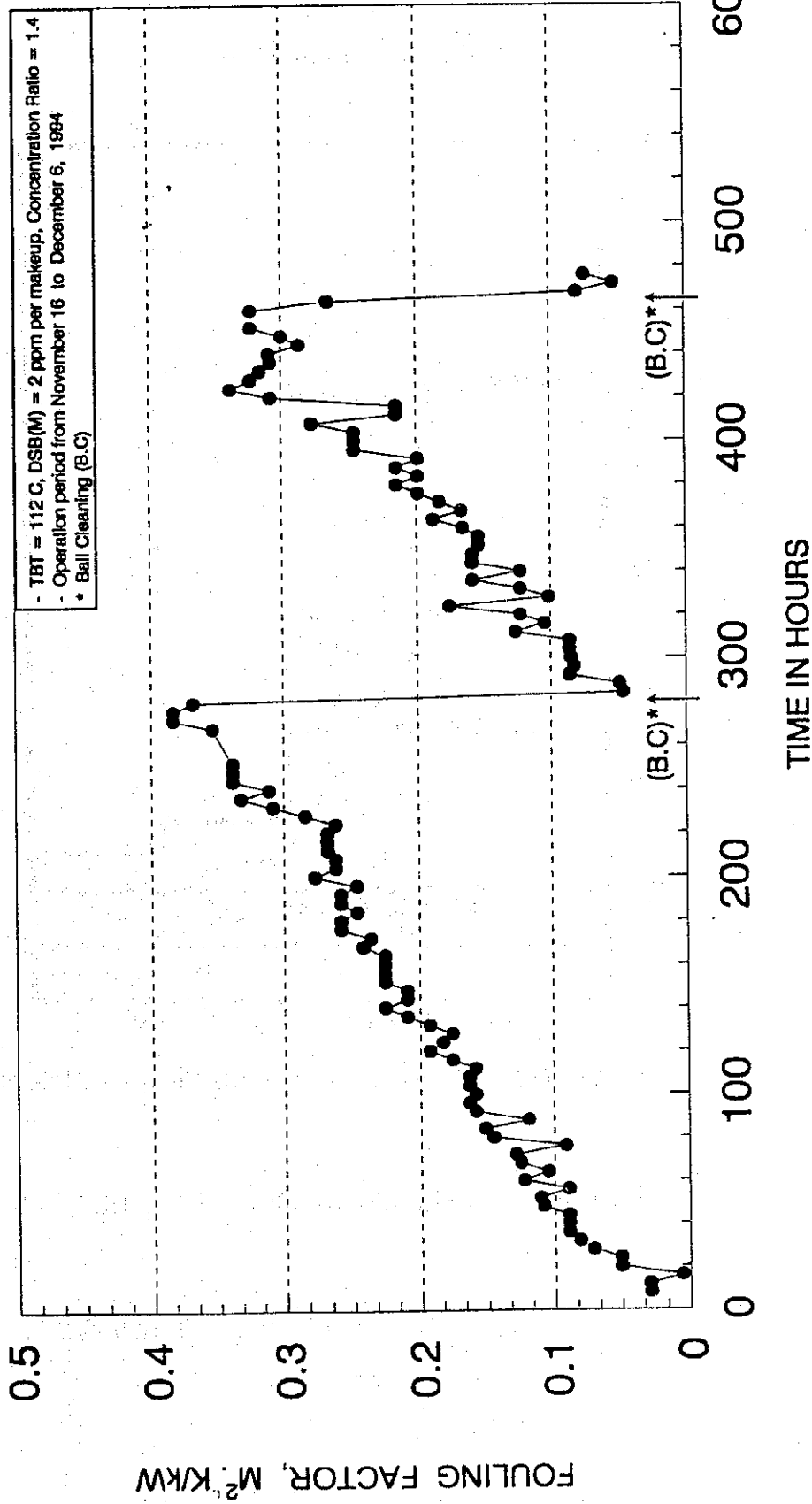
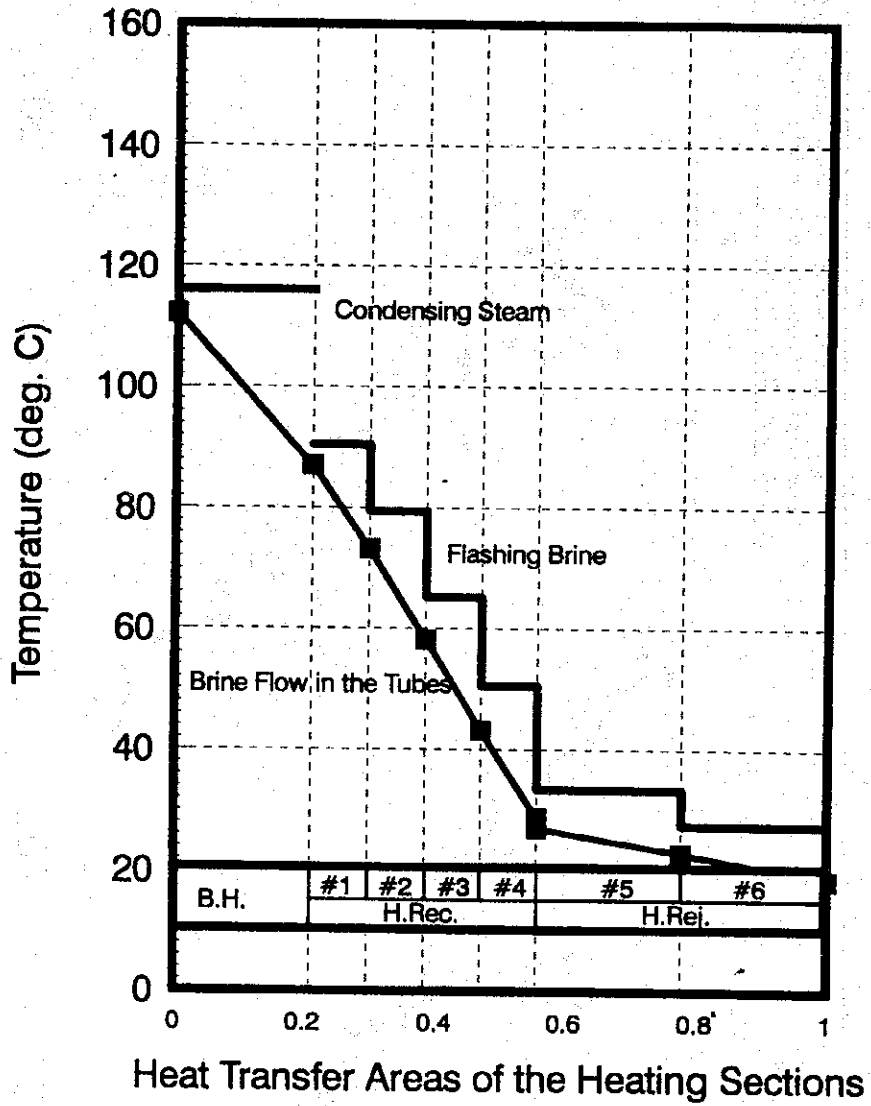


Fig. 7 加熱器の汚れ係数の経時変化 (RUN 8)

(5.3.3)

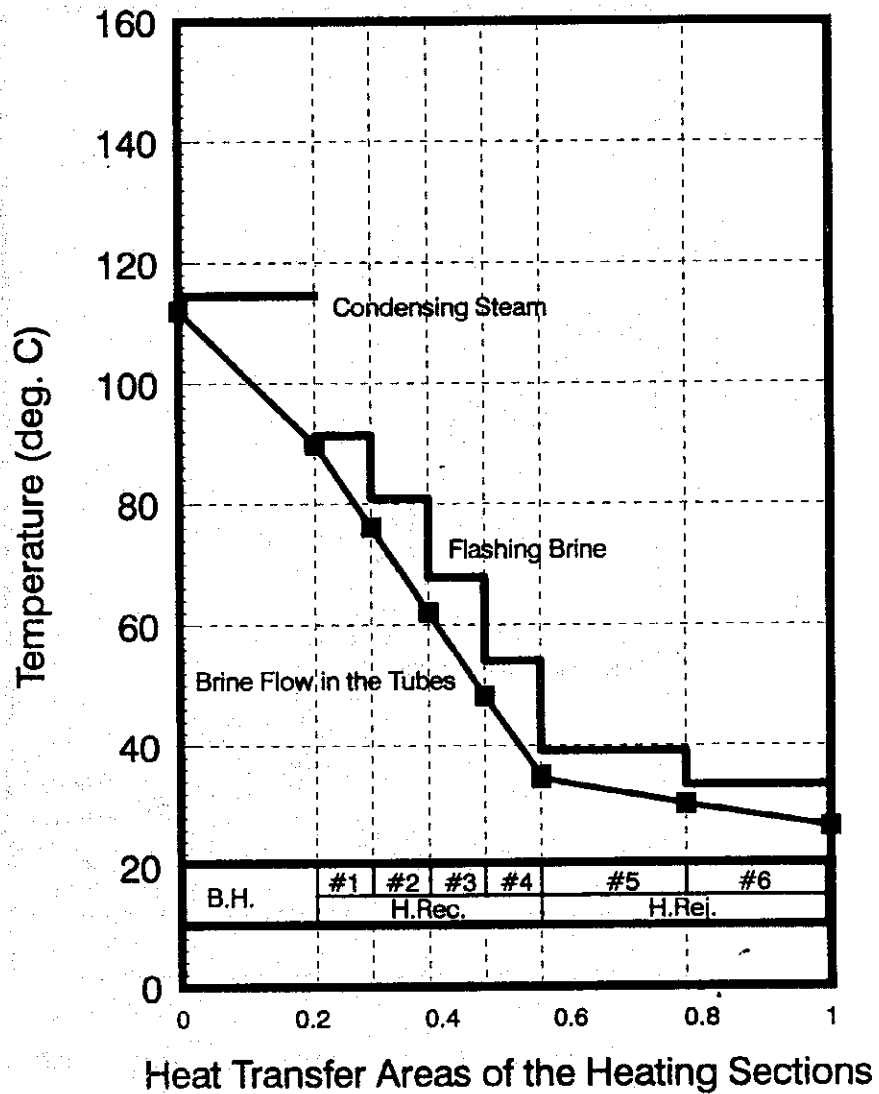
## HEAT CYCLE



Run No. 8 Date: December 6, 94 Time: 4:00

Fig. 8-1 ヒートバランス (RUN 8 運転開始時)

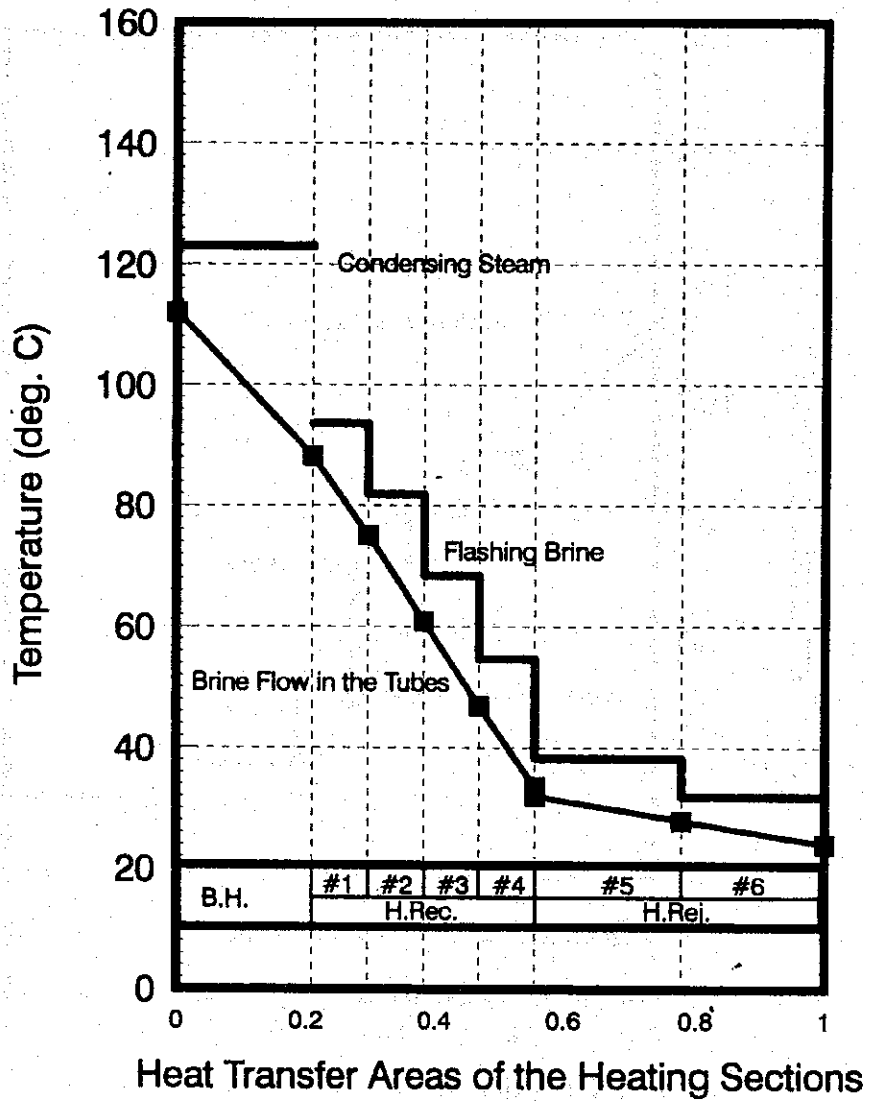
# HEAT CYCLE



Run No. 8 Date: November 16, 94 Time: 20:00

Fig. 8-2 ヒートバランス (RUN 8 240hr後)

# HEAT CYCLE



Run No. 8 Date: November 26, 94 Time: 12:00

Fig. 8-3 ヒートバランス (RUN 8 472Hr後)

Table 8-1 総括伝熱係数と汚れ係数 (RUN 8 運転開始時)

Run No. 3	Date: November 16, 94		Time: 20:00		Total Operation Time: 8 hr.	
	Evaporator Stages					
Variables	Brine Heater			Evaporator Stages		
	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
Flowrate (kg/h)	6500	6500	6500	6500	18500	18500
Specific Heat (kJ/kg/K)	3.962	3.925	3.911	3.898	3.966	3.964
Inlet Temp. (deg. C)	89.8	62	48.2	35	30.2	26.5
Outlet Temp. (deg. C)	112	76.1	62	48.2	34.5	30.2
Temp. Rise (deg. C)	22.2	14.1	13.8	13.2	4.3	3.7
Flashing Temp. (deg. C)	114.5	80.8	67.6	54.1	39.1	33.4
Heat Transfer Rate (kJ/S)	158.794	99.916	97.440	92.908	87.646	75.374
Heat Transfer Area (sq.m)	4.6723	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556
L.M.T.D. (deg. K)	9.692	10.171	11.107	11.237	6.515	4.815
U (kW/sq.m/K)	3.507	5.072	4.529	4.269	2.715	3.159
Clean-U Value (kW/sq.m/K)	3.9	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
f (sq.m K/KW)	0.0288	0.0011	0.0247	0.0382	0.1723	0.1205

(5.8.8)

Table 8-2 総括伝熱係数と汚れ係数 (RUN 8, 236HR後)

Run No. 8      Date: November 26, 94      Time: 08:00      Total Operation Time: 236 hr.

Variables	Evaporator Stages					
	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
Flowrate (kg/h)	6500	6500	6500	6500	18500	18500
Specific Heat (KJ/kg/K)	3.960	3.923	3.909	3.897	3.965	3.963
Inlet Temp. (deg. C)	88	60.8	46.7	33.3	28	25
Outlet Temp. (deg. C)	112	75	60.8	46.7	32	28
Temp. Rise (deg. C)	24	14.2	14.1	13.4	4	3
Flashing Temp. (deg. C)	123.8	80.4	68.1	54	37.9	31.8
Heat Transfer Rate (KJ/S)	171.620	100.594	99.525	94.282	81.504	61.098
Heat Transfer Area (Sq.m)	4.6723	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556
L.M.T.D. (deg. K)	21.625	11.015	13.110	12.857	7.728	5.155
U (KW/Sq.m/K)	1.699	4.715	3.919	3.786	2.128	2.392
Clean-U Value (KW/Sq.m/K)	3.9	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
f (sq.m K/KW)	0.3323	0.0160	0.0591	0.0681	0.2738	0.2221

(5 3 3)



Table 8-3 総括伝熱係数と汚れ係数 (RUN 8, 472Hr後)

Variables	Brine Heater			Evaporator Stages						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	
Flowrate (kg/h)	6500	6500	6500	6500	18500	18500	18500	18500	18500	18500
Specific Heat (KJ/kg/K)	3.960	3.921	3.906	3.893	3.962	3.962	3.962	3.962	3.962	3.960
Inlet Temp. (deg. C)	87	58.1	43.1	28.8	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	18.5
Outlet Temp. (deg. C)	112	73.2	58.1	43.1	27	27	27	27	27	22.9
Temp. Rise (deg. C)	25	15.1	15	14.3	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.4
Flashing Temp. (deg. C)	116	79.4	65.2	50.5	33.4	33.4	33.4	33.4	33.4	27.2
Heat Transfer Rate (kJ/s)	178.743	106.906	105.797	100.526	83.484	83.484	83.484	83.484	83.484	89.545
Heat Transfer Area (sq.m)	4.6723	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556	4.9556	4.9556	4.9556	4.9556
L.M.T.D. (deg. K)	12.620	12.235	13.210	13.292	8.282	8.282	8.282	8.282	8.282	6.244
U (kW/sq.m/K)	3.031	4.511	4.135	3.904	2.034	2.034	2.034	2.034	2.034	2.894
Clean-U Value (kW/sq.m/K)	3.9	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
f (sq.m K/KW)	0.0735	0.0256	0.0458	0.0600	0.2955	0.2955	0.2955	0.2955	0.2955	0.1495

(5. 2. 2)

### M ALKALINITY & pH vs. TIME, (RUN # 3)

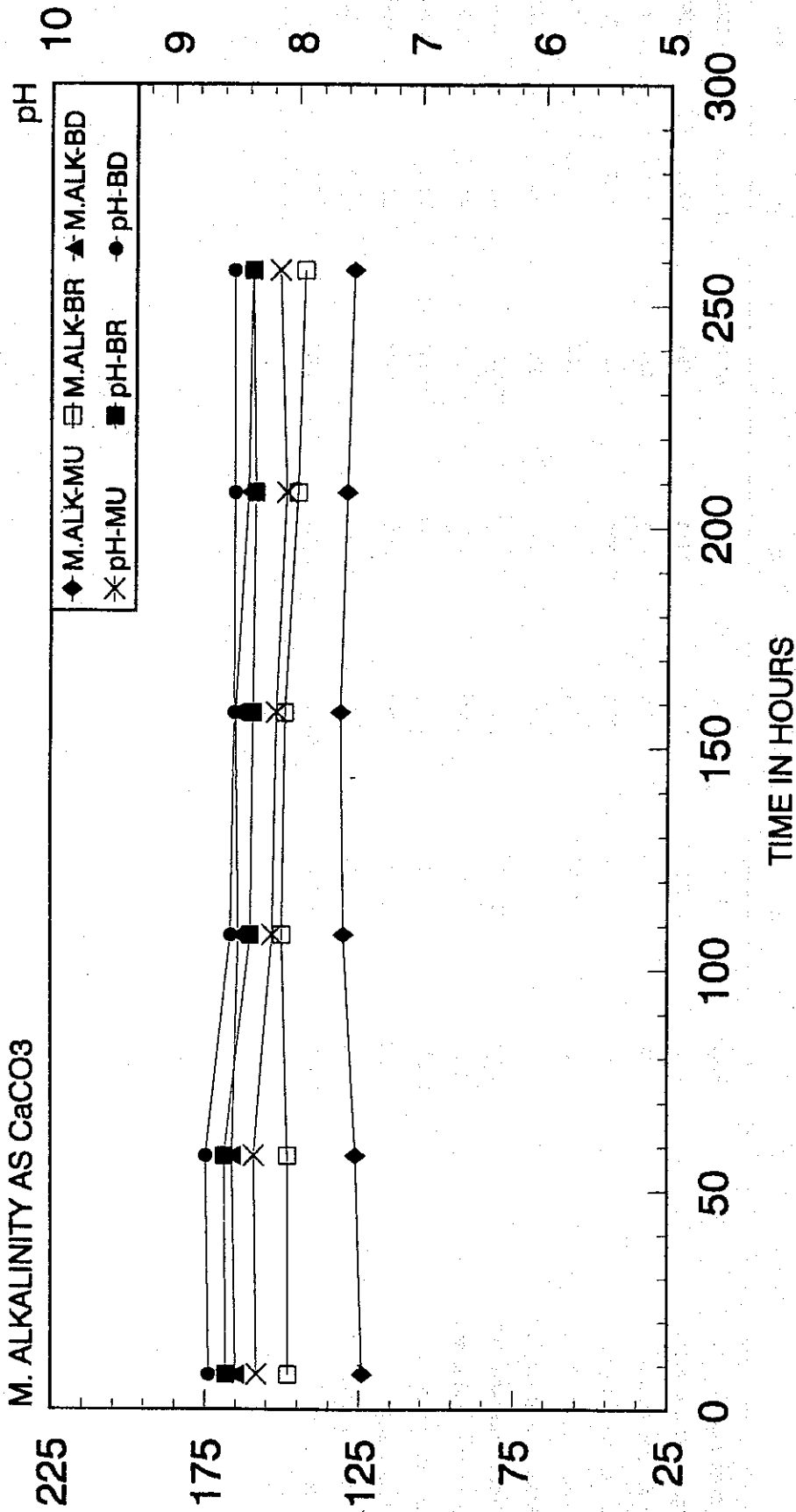


Fig. 9-1 RUN 3における各部位の水質(その1)

# CONDUCTIVITY & CHLORIDE vs. TIME, (RUN # 3)

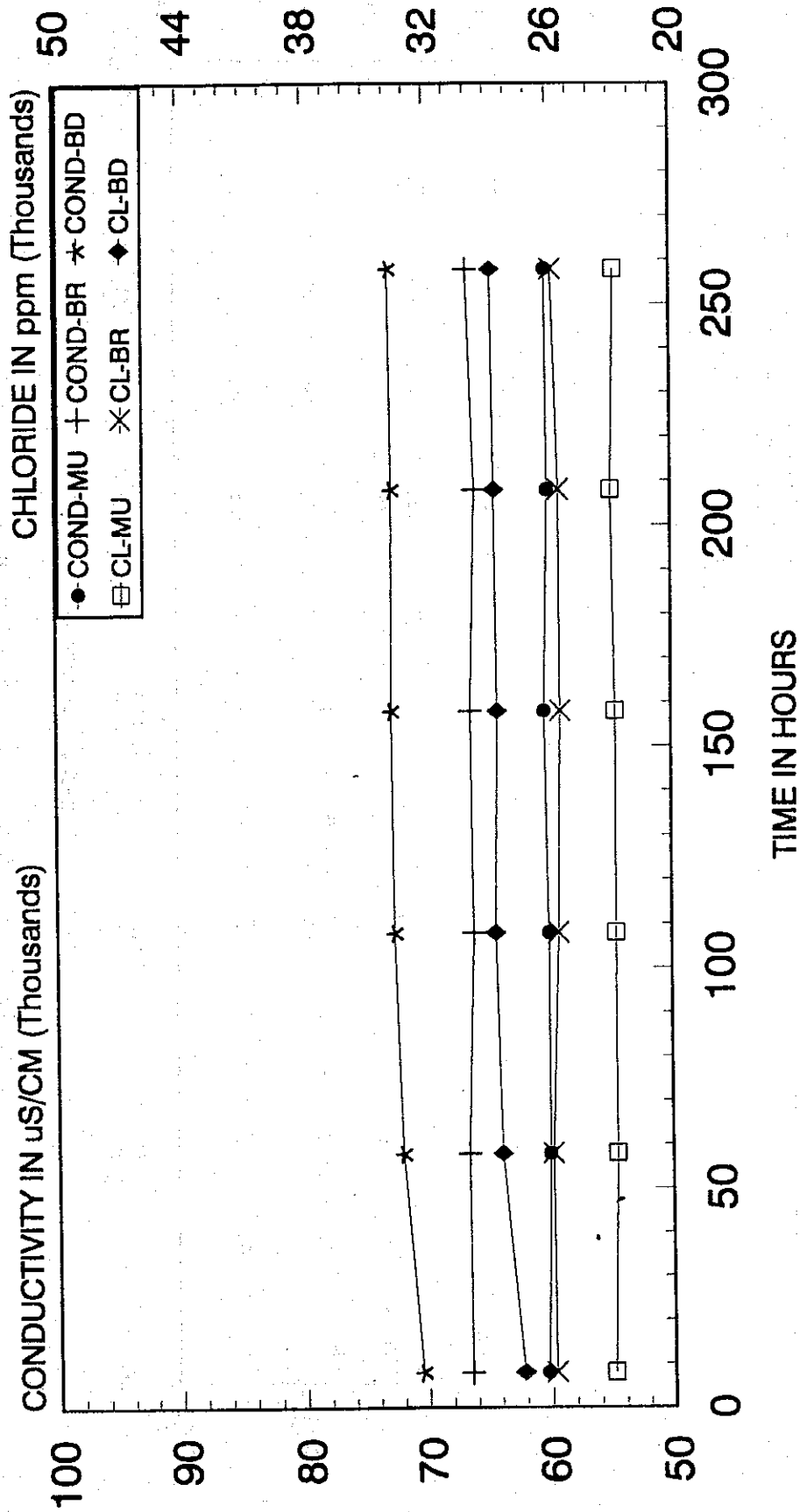


Fig. 9-2 RUN 3における各部位の水質(その2)

(5.3.3)

# CONDUCTIVITY & CHLORIDE vs. TIME, (RUN # 4)

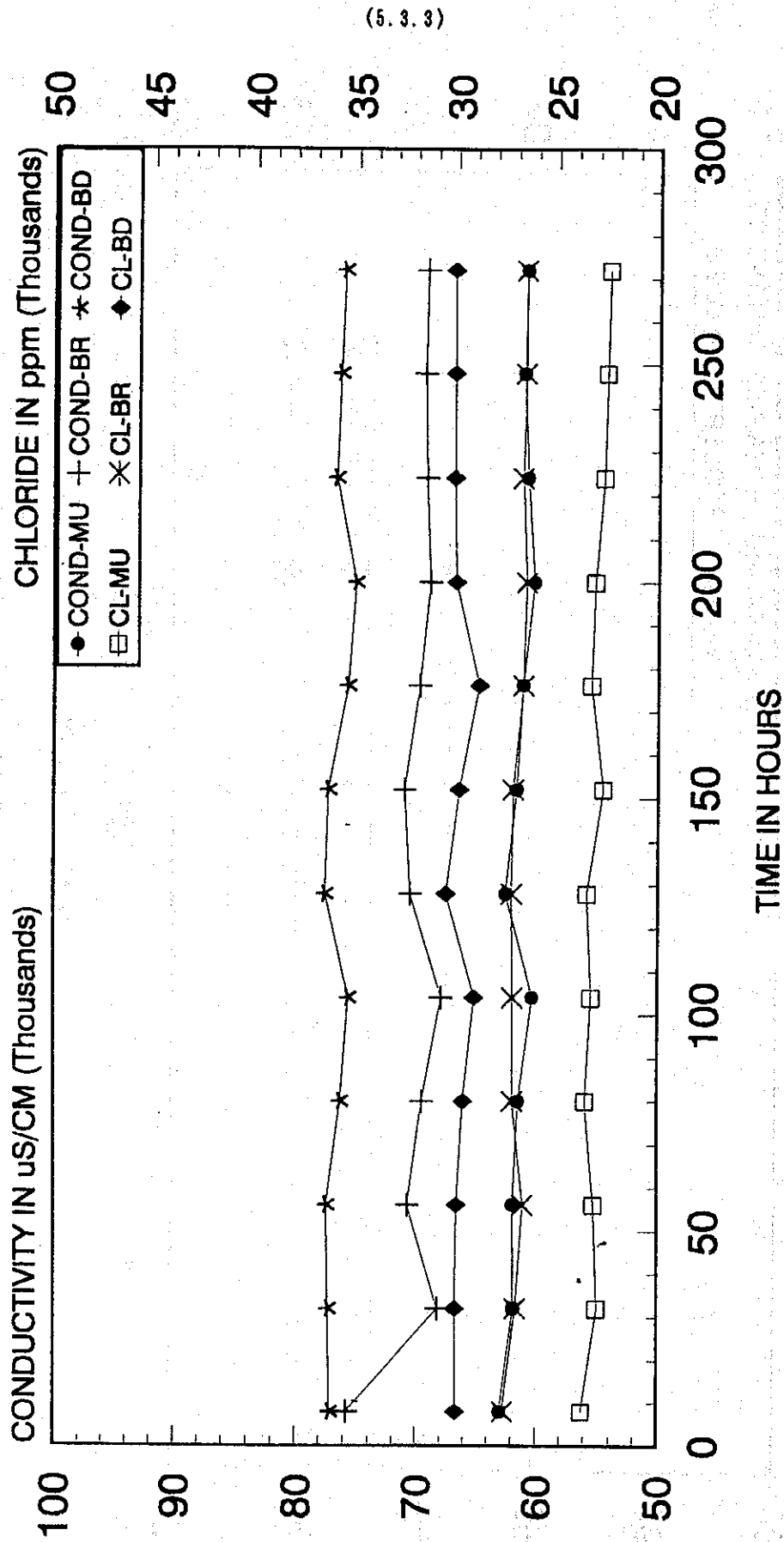


Fig. 10-1 RUN 4における各部位の水質(その1)

### M ALKALINITY & pH vs. TIME, (RUN # 4)

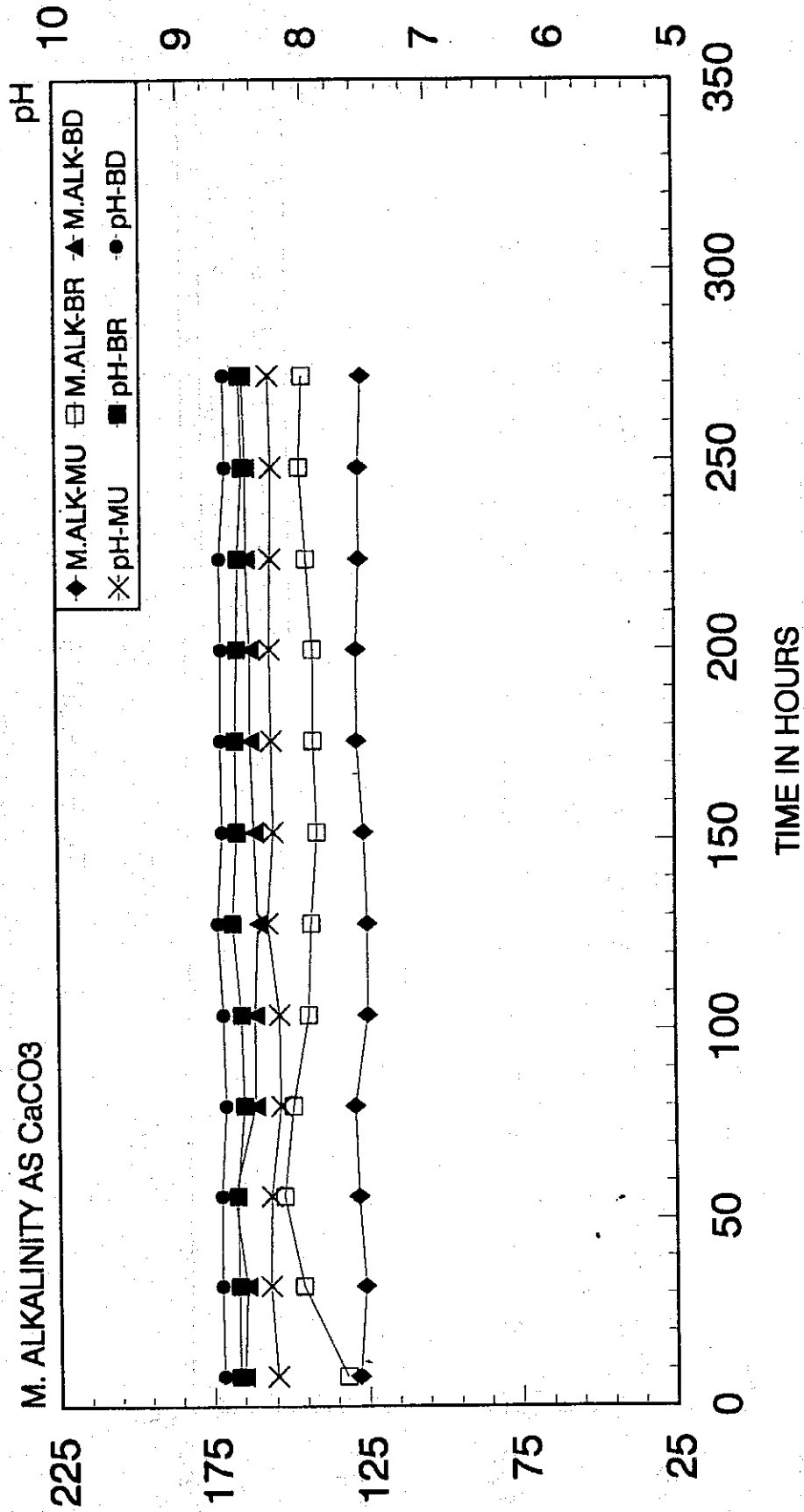


Fig. 10-2 RUN 4における各部位の水質(その2)

### M ALKALINITY & pH vs. TIME, (RUN # 8)

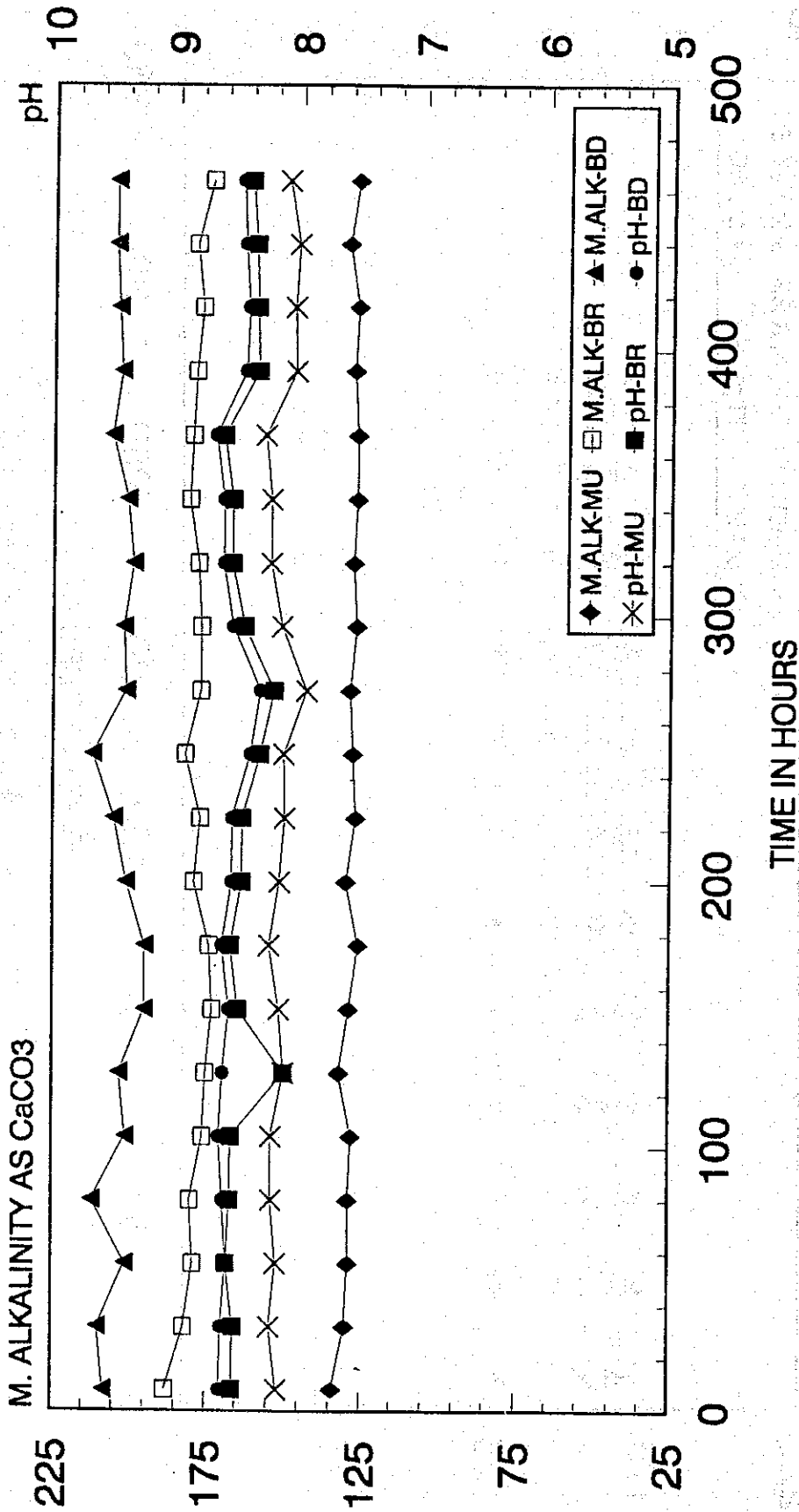


Fig. 11-2 RUN 8における各部位の水質(その2)

### CONDUCTIVITY & CHLORIDE vs. TIME, (RUN # 8)

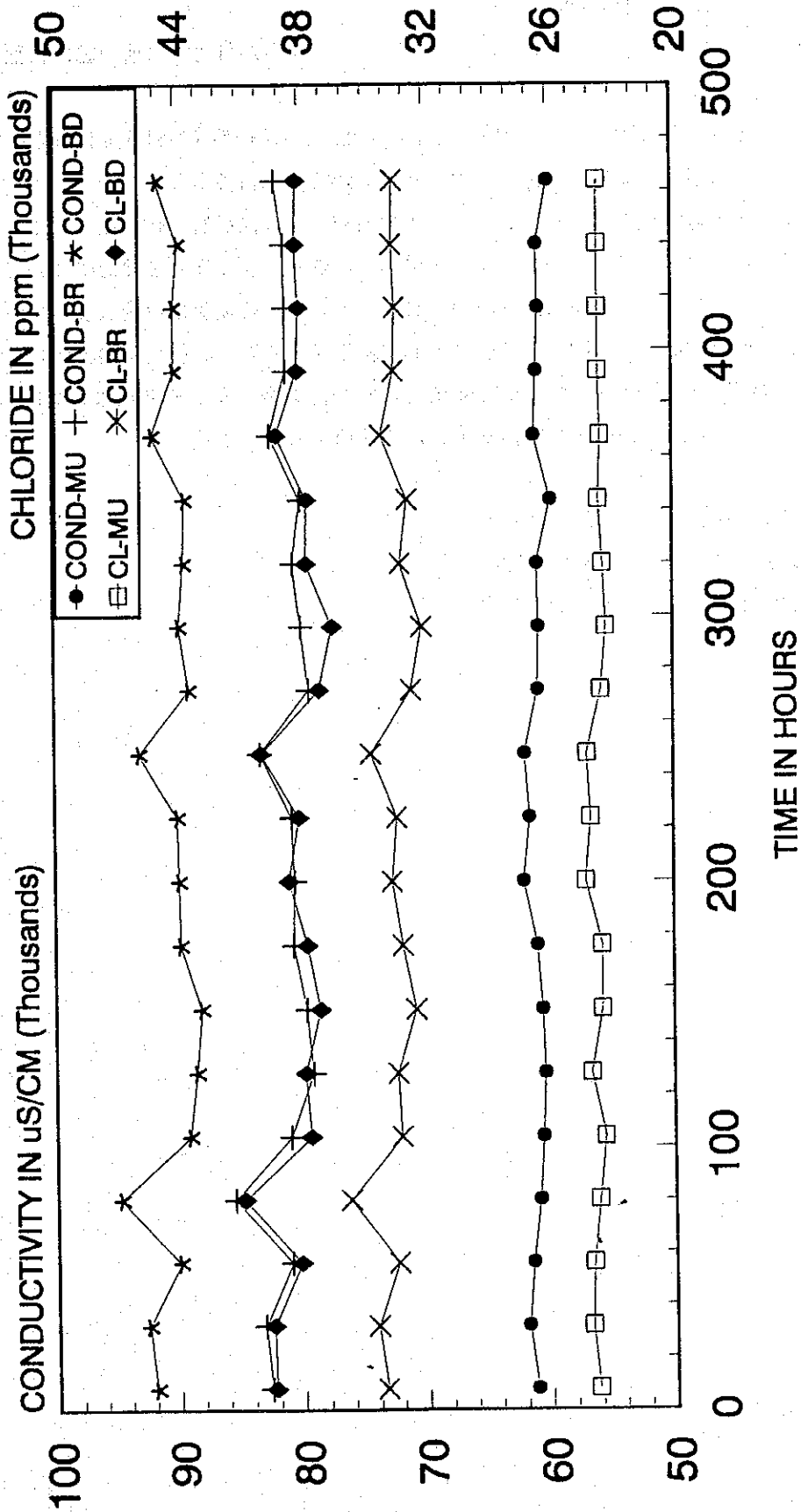


Fig. 11-1 RUN 8における各部位の水質(その1)

(5.3.3)

4.3 運転開始時の総括伝熱係数(Uc)の決定

式(2.7)によって汚れ係数を算出するためには、スケールが付着する前の総括伝熱係数Ucを決める必要がある。

MSFテストプラントのブライン加熱器と熱回収部の総括伝熱係数はまず図面から定まる構造的要素と各温度における水蒸気と水の物性値から理論計算した。

その計算結果は設計値とよく一致した。この理論値を性能試験時の値と比較すると、熱回収部の第2、3、4ステージについてはよく一致しているが、ブライン加熱器については、理論値より明らかに低かった。逆に熱回収部の第1ステージの実測値は理論値より高かった。

以上のことから、RUN 1～5およびRUN 8の測定結果を見直して、総括伝熱係数の運転開始時の値(Clean Value)と理論値および実験値との整合性を調べた。その結果、最終的には、性能試験時に得られた下記の値を総括伝熱係数の初期値とすることにした。

ブラインヒーター	: 3.70 kW/m <sup>2</sup> K
第1ステージ	: 6.29 kW/m <sup>2</sup> K
第2、3、4ステージ	: 4.88 kW/m <sup>2</sup> K



(5.3.3)

5. 考察

MSF-1の本来の目的を達成させるためには、RUN-3、RUN-4、RUN-5およびRUN-8で取得したデータを比較するすればよい。それぞれの検討項目とRUNとの関係を示すと、下記の通りである。

RUN NO.		3	4	5-1	5-2	8
Ball CLEANING		●	●			
CONC	Chemical		●			●
	Hybrid			●	●	
m-Alk	CF < 1.2		●	●		
	CF = 1.4				●	●

5.1 ボールクリーニングの汚れ係数に与える影響

まず、CF=1.2のときのボールクリーニング(BC)の影響については、BCを1シフト(8時間)毎に実施したRUN3とBCを実施しなかったRUN4双方の汚れ係数の経時変化を比較した。

RUN3の汚れ係数は $0.1 \sim 0.15 \text{ m}^2 \text{ K/kW}$ のほぼ一定値を保っている。しかし、RUN4になると、BCを実施しなかったためか、 $0.3 \text{ m}^2 \text{ K/kW}$ 以上まで上昇した時期もあるが、特記すべき傾向は見られない。

一方、RUN3のように濃縮度1.4になると、スケールの発生が顕著で、汚れ係数に直線的な上昇傾向がある。ブラインヒーターのU値が $3.70 \text{ m}^2 \text{ K/kW}$ に達したときボールクリーニングを実施したときの効果については、Fig. 7に示した。しかし、U値の回復は完全ではなく、汚れ係数として $0.05 \text{ m}^2 \text{ K/kW}$ の汚れが残存している。5.3.4に述べるハイブリッド運転時、100%回復したのに比べると、これが単独添加時の特徴といえる。なお、BCの頻度、時間は一日3回、一回30分である。

5.2 濃縮度の汚れ係数に与える影響

RUN4のように濃縮度1.15、M-アルカリ度 $140 \text{ mg/L}$ ( $\text{CaCO}_3$ として)のときは、ほとんど汚れ係数の上昇は認められないが、RUN8のようにCF=1.4、M-アルカリ度 $180 \text{ mg/L}$ ( $\text{CaCO}_3$ として)

(5.3.3)

の場合は明かに汚れ係数の上昇が認められる。一方RUN 5のようにM-アルカリ度を1/2以下にしても濃縮度を上昇させることによって汚れ係数の上昇がある。なお、M-アルカリ度との関連については、5.3.4で細述する。

5.3 汚れ係数と時間との関係

濃縮度1.4、M-アルカリ度180mg/L(CaCO<sub>3</sub>として)の場合における1時間当たりの汚れ係数増加量をRUN 8の運転結果から算出すると次のようになる。

なお、熱放出口である第5、第6ステージの汚れ係数については、当該部位が生海水を対象にしており、かつスケール抑制剤も添加していないため、考慮の対象から除外した。

測定伝熱管 部 位	汚れ係数の上昇速度 (FF/hr)		温度範囲(°C)	
	運転開始直後	#1BC後	入 口	出 口
ブラインヒータ	0.0013	0.0018	88	112
#1 ステージ	0.0003	0.00035	75	90
#2 ステージ	0.00015	0.00015	61	76
#3 ステージ	0.00015	0.00015	46	62
#4 ステージ	0.00012	0.00012	33	48

注) ・(FF/hr)は{(m<sup>2</sup> K/kW)/hr}を意味する。  
・上記上昇速度は運転開始30時間後から、300時間までの間で適用する。

以上から明かなように、ブラインヒーターにおけるスケーリングが主体で、造水効率の低下はブラインヒーターのスケーリングが律速になっている。

さて、ここでの汚れ係数は運転開始30時間後、時間とともに直線的に上昇するが、そのボールクリーニング後の汚れ係数の上昇速度は運転開始時より速く、汚れ係数の低減効果も85.7%に留まっている。このことから、ボールクリーニングは汚れ係数が急増しない前、例えば、本試験において実施したように、8時間に一回程度の実施が効果の大きいことが明らかになった。

6. まとめ

最高ブライン温度112°Cの場合におけるスケール抑制剤・PPN(M)の評価を目的として、延べ2350時間にわたるMSFテストプラントの運転・試験を実施し、次の結果を得た。

- (1) 濃縮度1.2以下ではスケールの発生も少ないが、濃縮度1.4になると、明らかに、スケールの発生が認められる。
- (2) 濃縮度1.4におけるブラインヒーターの汚れ係数の増加速度は1時間当たり、0.0013

#### 5.3.4 スケール抑制剤 / 酸併用試験



目 次

1. まえがき .....	1
2. ハイブリッド法に関する予備調査 .....	2
3. 試験計画 .....	4
3.1 基本方針 .....	4
3.2 運転条件 .....	4
4. 試験方法 .....	5
5. 試験結果 .....	6
5.1 汚れ係数の経時変化 .....	6
5.2 運転開始時の総括伝熱係数( $U_c$ )の決定 .....	17
5.3 補給海水及び循環ラインの水質 .....	17
6. 考察 .....	20
6.1 濃縮度の汚れ係数に与える影響 .....	20
6.2 M-アルカリ度の汚れ係数に与える影響 .....	20
6.3 サウディ・アラビアにおけるハイブリッド運転の現状 .....	21
7. まとめ .....	21

(5.3.4)

表 一 覧

表 番	題 名	頁
Table 1	QUARAYYAH発電プラントPHASE-I海水淡水化装置 UNIT Bの水質 .....	3
Table 2	RUN 5 の運転条件 .....	5
Table 3 - 1	総括伝熱係数と汚れ係数(RUN 5-1 運転開始時) .....	13
Table 3 - 2	総括伝熱係数と汚れ係数(RUN 5-1 180Hr後) .....	14
Table 4 - 1	総括伝熱係数と汚れ係数(RUN 5-2 運転開始時) .....	15
Table 4 - 2	総括伝熱係数と汚れ係数(RUN 5-2 324Hr後) .....	16

図 一 覧

図 番	題 名	頁
Fig. 1	汚れ係数の経時変化(RUN 5-1) .....	7
Fig. 2	汚れ係数の経時変化(RUN 5-2) .....	8
Fig. 3 - 1	ヒートサイクル(RUN 5-1 運転開始時) .....	9
Fig. 3 - 2	ヒートサイクル(RUN 5-1 180Hr後) .....	10
Fig. 4 - 1	ヒートサイクル(RUN 5-2 運転開始時) .....	11
Fig. 4 - 2	ヒートサイクル(RUN 5-2 300Hr後) .....	12
Fig. 5	RUN 5 における水質 .....	18
Fig. 6	RUN 5 における水質(つづき) .....	19

#### (5.3.4)

##### 1. まえがき

PPN(M)をスケール抑制剤のみを使用する場合の汚れ係数増加防止に対する有効性を確認するため、濃縮度可変試験、ボールクリーニング効果試験を含む順調な運転試験が実施され、その結果は5.3.3 に述べた。

それに引き続きスケール抑制剤と酸を併用する、いわゆるハイブリッド法によるスケール抑制効果を確認する試験が、1994年10月15日から10月30日まで実施された。ここでは、その結果を報告する。

## 2. ハイブリッド法に関する予備調査

本論に入る前に、ハイブリッド法について説明しておく。海水を濃縮し、且つ温度を上昇させていくと、炭酸カルシウムがまず析出してくる。これは炭酸カルシウムの濃度が溶解度以上になるためであるが、たとえそれが溶解度以上の濃度になっても、過飽和状態を維持できれば、スケールの生成は低減できる。この過飽和維持能力を持たせるようにブラインに添加するのがスケール抑制剤で、この能力ををもつことが、スケール抑制剤の持つ特徴の一つである。その詳細については、5.1.2 に述べた。

一方、ハイブリッド法とは炭酸カルシウムの発生原因となる海水中の重炭酸イオン濃度、すなわちM-アルカリ度を予め、酸の添加によって低減させて、上記特徴を持つスケール抑制剤の効果を相対的に高め、かつ添加濃度も低減させようとするものである。当然のことながら、スケール防止の観点からは、重炭酸イオン濃度をできるだけ減少させることが望ましいが、pHは防食の観点から、できるだけ高値にしておかなければならない。このため、必然的に最適M-アルカリ度が決まることになる<sup>1)</sup>。ハイブリッド法運転では、このM-アルカリ度の維持管理が非常に重要である。

さて、このM-アルカリ度決定の参考とするため、ハイブリッド法運転に多くの経験を持つ SAUDI CONSOLIDATED ELECTRIC COMPANY(略称:SCECO), QURAYYAH POWERPLANTS 付属 4,000 × 3 ton/day MSFプラントの運転実績を調査した。

その調査のうち、上記ハイブリッド運転時のプラント各部の水質をTable 1 に示した。ここのプラインの水質は下記の通り管理されている。

- ・ブラインpH : 7.8-8.3
- ・m-Alkalinity as CaCO<sub>3</sub> : 24-43 ppm
- ・濃縮度(Cl基準) : 1.2-1.3

1) 化学工学便覧：P422（改訂5版）

Table 1 QURAYYAH 発電プラント PHASE-I 海水淡水化装置UNIT Bの水質



(5.3.4)

Table 1 QUARAYYAH 発電プラント PHASE-I 海水淡水化装置 UNIT B の水質

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	℃	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 %.

### 3. 試験計画

#### 3.1 基本方針

ハイブリッド運転の特徴がスケーリング防止の点から優れている酸添加法と、金属の防食と水質制御の点で容易な薬剤添加法双方の利点を兼ね備えた方法で、水質管理のポイントがブラインのpHとM-アルカリ度であることは2.において述べた。これらの情報から、本試験では防食を第一義的に考え、ブラインpHを8.0を維持するようにして、M-アルカリ度はそれに追従させるようにした。そしてそのRUNをRUN5と命名した。

スケーリング防止効果の判定には5.3.3において述べた単一スケール抑制剤評価時と同じく、汚れ係数の経時変化をみることにした。また、汚れ係数の算出方法も5.3.3の2.2に述べた通りである。

#### 3.2 運転条件

この運転の他の運転と異なる点は、上述したように通常180mg/L as CaCO<sub>3</sub>あるM-アルカリ度を酸の添加によって、予め低減させることである。

まず、脱炭酸装置入口の補給海水に硫酸をある一定量添加すると、添加した硫酸の当量濃度に等しいM-アルカリ度が減少して炭酸ガスに変わるとともに、pHは低下する。しかし、この遊離の炭酸ガスを含む補給海水を脱炭酸装置で脱炭酸することによって、遊離の炭酸ガスは放散して、pHは上昇する。これをあらためて補給海水として、循環ブラインと混合する。

1994年5月に計画された条件を基に、実施された運転条件は5.3.3 Table 1に示した通りであるが、その中からRUN5を抜粋して、Table 1に示す。また各運転条件に基づくプラント運転の経緯は5.3.3 Fig. 1に示した通りである。

なお、この運転では、硫酸という別の添加剤を使用するため、スケール抑制剤PPN(M)を他のRUNと同濃度添加するのであれば、ハイブリッド方式の優位性は半減する。

したがって本試験では、PPN(M)の添加濃度を1 mg/Lと1/2にして、ハイブリッド方式のスケール抑制程度を試験することにした。

Table 2 RUN 5 の運転条件

ITEMS	UNIT	5-1	5-2
1. Top Brine Temp	°C	112	112
2. Flow Rate			
-Make up Seawater	m <sup>3</sup> /h	3.25	2.45
-Recirculation Brine	m <sup>3</sup> /h	6.50	6.5
-Product Water	m <sup>3</sup> /h	0.76	0.79
-Blow Down Brine	m <sup>3</sup> /h	2.99	1.66
3. Chemical Constituents of Make up seawater			
-pH at 25°C		7	6.5~7.0
-M-alkalinity as CaCO <sub>3</sub>	mg/L	39	39
-Chloride Ion	mg/L	23,190	23,190
-Concentration Factor as CL <sup>-</sup>		1.0	1.0
4. Chemical Constituents of Brine			
-pH at 25°C		8.01	8.12
-M-alkalinity as CaCO <sub>3</sub>	mg/L	45-50	55-60
-Chloride Ion	mg/L	28,290	32,730
-Concentration Factor as CL <sup>-</sup>		1.22	1.40
5. Dosing Rate of Chemicals			
-Scale Inhibitor = PPN(M)	mg/L	1	1
-Acid = 98% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	mg/L	80	80

#### 4. 試験方法

20t/d MSFテストプラントのフローダイヤグラム、マスバランス、ヒートバランス、および汚れ係数計算に必要な計器番号については、5.3.3の .2、Table 2、Table 3 およびTable 4 にそれぞれ示した。

汚れ係数の計算はPERSONAL COMPUTER (IBM compatibles, 386/486)によって自動的に計算された。また運転状況の経時変化を知るために、運転員は各シフト毎に所定のフォームに記載した。

汚れ係数計算のための運転データ整理表については、5.3.3のTable 5 に示した。

#### (5.3.4)

なお、連続運転時の運転員のシフト体制は5.3.3のTable 6-1～6-5の通りである。

### 5. 試験結果

M S Fテストプラントの連続運転はTable 1に示すように、これまで2回実施された。

両RUNともPPN(M)のみを添加したRUNに対して、循環ライン中のM-アルカリ度を1/3に減少させたことに特徴がある。また、循環ラインpHについては、pH 8を下回らないように注意し、定期的なボールクリーニングは実施しないようにして、ラインヒーター伝熱管の汚れ係数が0.34～0.36m<sup>2</sup>K/KW以上に上昇したときのみ実施した。

RUN5-1とRUN5-2の違いはライン濃縮度のみである。この調節については、補給海水流量の加減によって行った。

#### 5.1 汚れ係数の経時変化

それぞれのRUNの汚れ係数の経時変化をFig. 1及びFig. 2に示す。また、そのU-Valueに対応したヒートバランスについては、各RUNごとに、運転開始時と運転終了時のそれをFig. 3及びFig. 4に示す。さらに、U-Value、ヒートバランスを計算するにあたって、基礎となる測定データおよびそれから得られる対数平均温度( $\Delta T_m$ )、熱交換量(Q)等の中間値を含む計算過程を、上記のFig. 3、Fig. 4に示したヒートバランス図に対応させて、Table 3及びTable 4にまとめた。

これから明かなように、RUN5-1の運転時間143時間、濃縮度1.22程度では、ライン加熱器の汚れ係数は0.2m<sup>2</sup>K/KW程度である。しかし、濃縮度を1.4に上昇させると、スケールの付着により、汚れ係数の急速な上昇がみられ、それに伴って、加熱器出口ライン温度を112℃に保つように蒸気消費量の増加(造水比の低下)があった。

FOULING FACTOR vs.TIME IN BRINE HEATER, ( RUN # 5.1 )

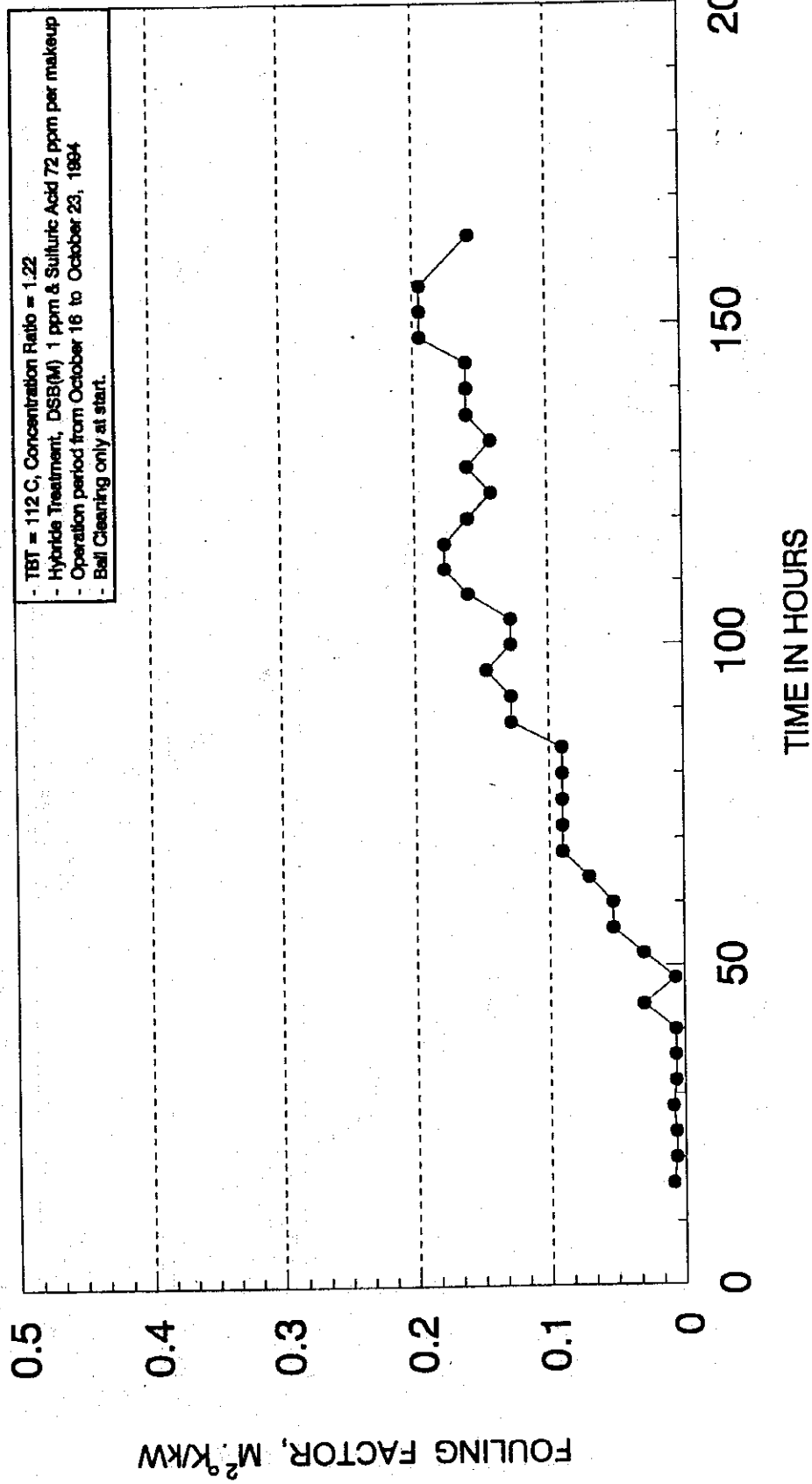


Fig. 1 汚れ係数の経時変化 (RUN 5-1)

### FOULING FACTOR vs. TIME IN BRINE HEATER, ( RUN # 5.2)

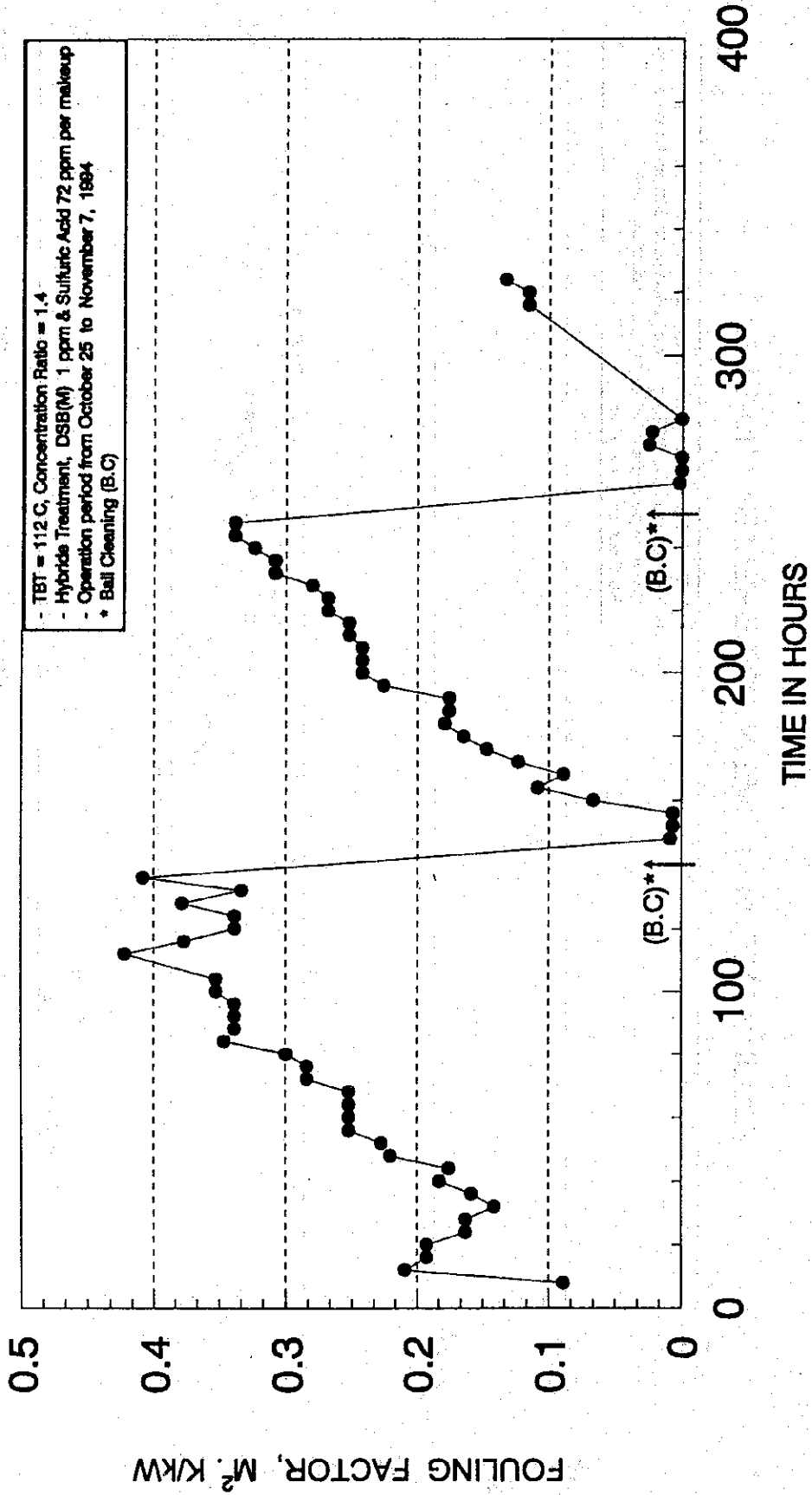
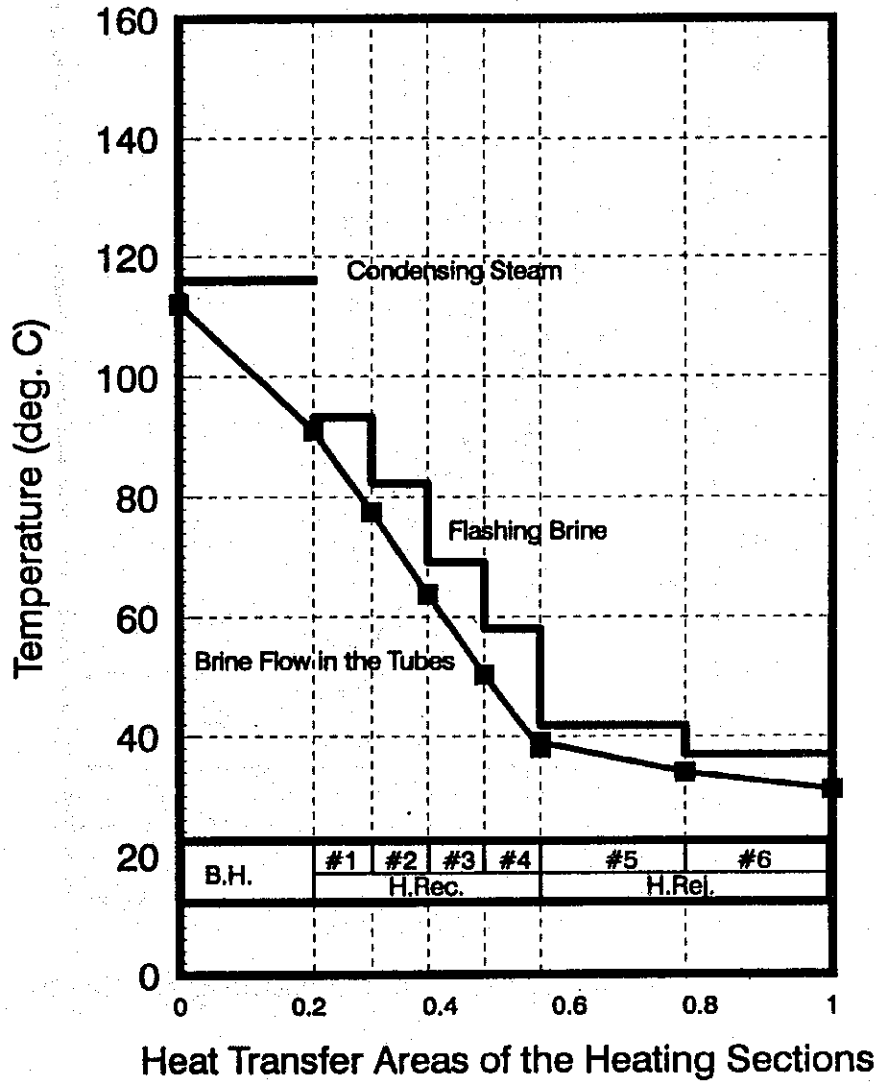


Fig. 2 汚れ係数の経時変化 (RUN 5-2)

(5.3.4)

## HEAT CYCLE

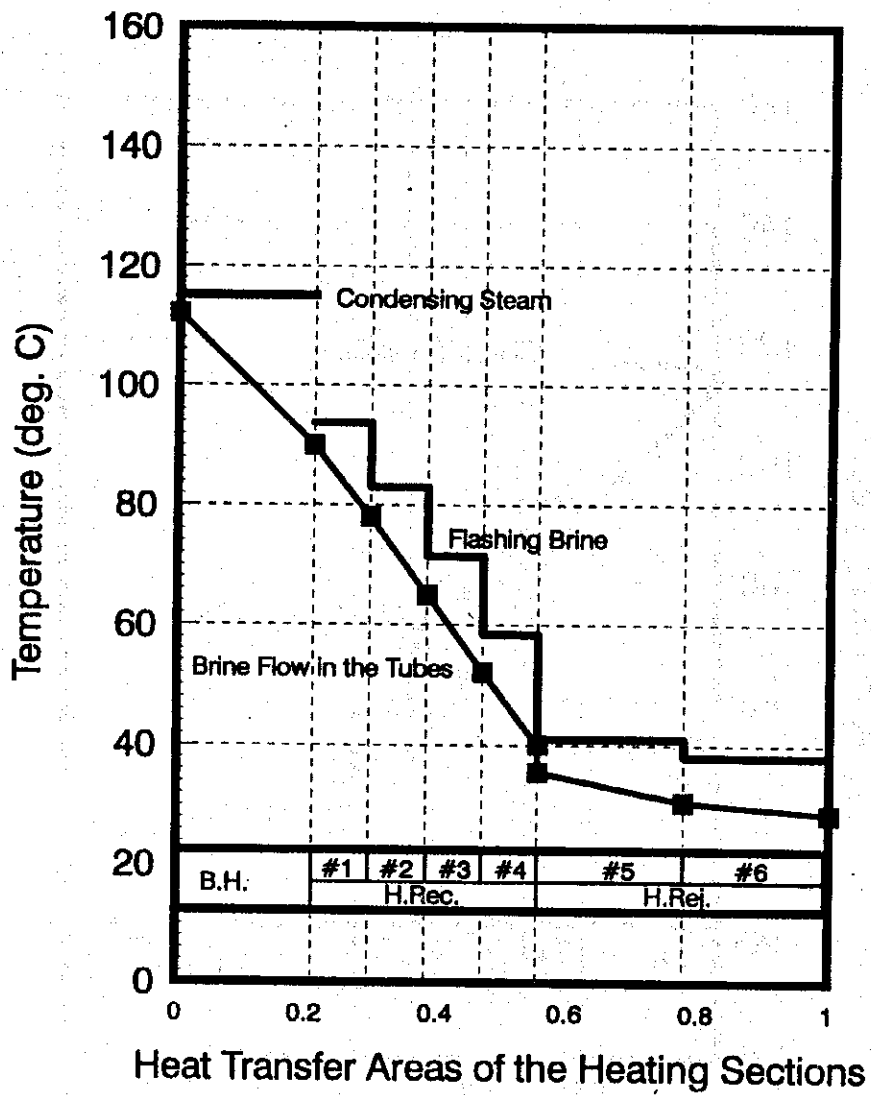


Run No. 5.1 Date: October 16, 94 Time: 8:00

Fig. 3-1 ヒートサイクル (RUN 5-1 運転開始時)

(5.3.4)

## HEAT CYCLE

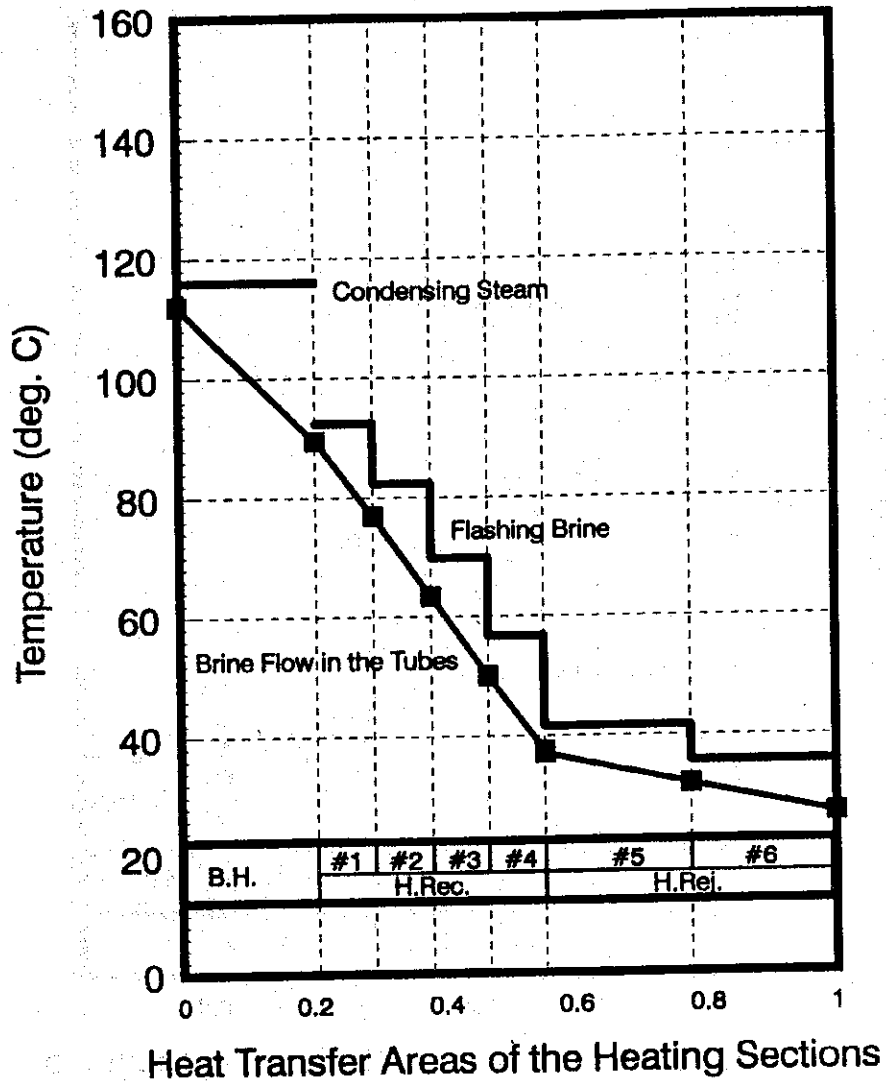


Run No. 5.1 Date: October 23, 94 Time: 8:00

Fig. 3-2 ヒートサイクル (RUN 5-1 180hr後)



# HEAT CYCLE

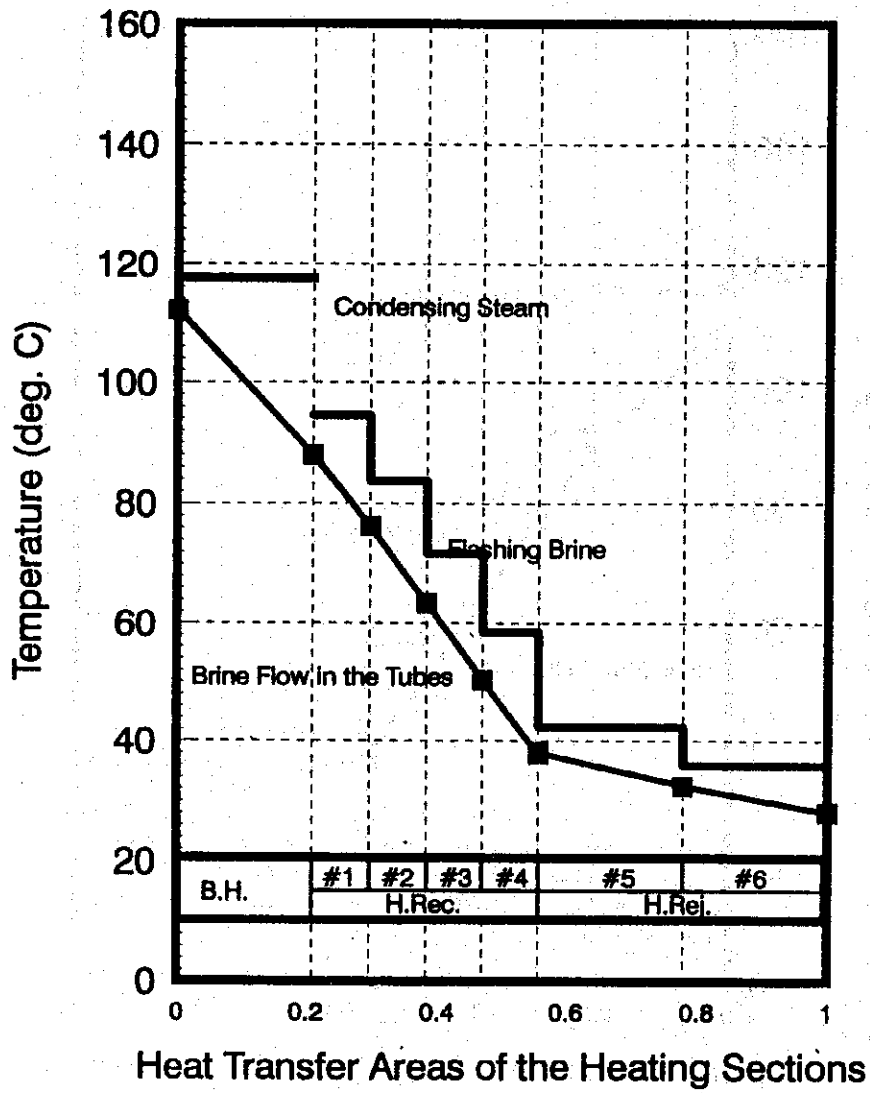


Run No. 5.2 Date: October 25, 94 Time: 0:00

Fig. 4-1 ヒートサイクル (RUN 5-2 運転開始時)

(5.3.4)

## HEAT CYCLE



Run No. 5.2 Date: November 7, 94 Time: 4:00

Fig. 4-2 ヒートサイクル (RUN 5-2 324Hr後)

Table 3-1 總括伝熱係數と汚れ係數 (RUN 5-1 運轉開始時)

**CALCULATIONS OF OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT AND FOULING FACTOR**

Run No. 5-1      Date: October 16, 94      Time: 08:00      Total Operation Time: 12 hr.

Variables	Evaporator Stages					
	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
Flowrate (kg/h)	6500	6500	6500	6500	18500	18500
Specific Heat (kJ/kg/°C)	3.989	3.954	3.941	3.930	3.969	3.966
Inlet Temp. (deg. C)	91	63.7	50.3	38	33.9	31
Outlet Temp. (deg. C)	112	77.5	63.7	50.3	39	33.9
Temp. Rise (deg. C)	21	13.8	13.4	12.3	5.1	2.9
Flashing Temp. (deg. C)	116	82.2	69.1	56	41.8	36.9
Heat Transfer Rate (kJ/S)	151.243	98.525	95.355	87.283	104.017	59.111
Heat Transfer Area (sq.m)	4.6723	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556
L.M.T.D. (deg. K)	11.459	10.071	10.742	10.697	4.917	4.288
U (kW/sq.m/°C)	2.825	5.050	4.583	4.213	4.269	2.782
Clean-U Value (kW/sq.m/°C)	3.9	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
f (sq.m K/kW)	0.0976	0.0019	0.0221	0.0413	0.0382	0.1634

(5. 3. 4)

Table 3-2 総括伝熱係数と汚れ係数 (RUN 5-1 180Hr後)

**CALCULATIONS OF OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT AND FOULING FACTOR**

Run No. 5-1      Date: October 23, 94      Time: 08:00      Total Operation Time: 180 hr.

Variables	Evaporator Stages						
	Brine Heater	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Flowrate (kg/h)	6500	6500	6500	6500	6500	18500	18500
Specific Heat (kJ/kg/°C)	3.988	3.988	3.955	3.943	3.932	3.967	3.965
Inlet Temp. (deg. C)	90	77.9	64.9	52.1	40.1	30.5	28.5
Outlet Temp. (deg. C)	112	90	77.9	64.9	52.1	35.5	30.5
Temp. Rise (deg. C)	22	12.1	13	12.8	12	5	2
Flashing Temp. (deg. C)	115	93.7	83	71.4	58.4	41	38
Heat Transfer Rate (kJ/S)	158.420	86.696	92.832	91.117	85.189	101.924	40.749
Heat Transfer Area (Sq.m)	4.6723	1.937	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556
L.M.T.D. (deg. C)	10.376	8.335	10.263	11.761	11.253	7.732	8.461
U (kW/sq.m/°C)	3.268	5.370	4.670	4.000	3.908	2.660	0.972
Clean-U Value (kW/sq.m/°C)	3.9	6.6	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
f (sq.m K/kW)	0.0496	0.0347	0.0181	0.0540	0.0598	0.1799	0.8328

(5. 3. 4)

Table 4-1 総括伝熱係数と汚れ係数 (RUN 5-2 運転開始時)

**CALCULATIONS OF OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT AND FOULING FACTOR**

Run No. 5-2 Date: October 25, 94 Time: 00:00 Total Operation Time: 8.0 hr.

Time: 00:00

Date: October 25, 94

Run No. 5-2

*Evaporator Stages*

*Brine Heater*

Variables	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Flowrate (kg/h)	6500	6500	6500	6500	15500	15500
Specific Heat (kJ/kg/°C)	3.961	3.926	3.912	3.900	3.968	3.965
Inlet Temp. (deg. C)	89.5	83.3	50.1	37.5	31.9	27
Outlet Temp. (deg. C)	112	76.8	63.3	50.1	37	31.9
Temp. Rise (deg. C)	22.5	13.5	13.2	12.6	5.1	4.9
Flashing Temp. (deg. C)	116	82.3	69.8	56.7	41.6	35.7
Heat Transfer Rate (kJ/s)	160.932	95.690	93.240	88.729	87.122	83.645
Heat Transfer Area (sq.m)	4.6723	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556
L.M.T.D. (deg. C)	11.899	10.890	11.905	11.800	6.836	5.916
U (kW/sq.m/°C)	2.895	4.536	4.044	3.882	2.572	2.853
Clean-U Value (kW/sq.m/°C)	3.9	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
f (sq.m K/kW)	0.0891	0.0244	0.0512	0.0615	0.1927	0.1544

(5, 3, 4)

Table 4-2 総括伝熱係数と汚れ係数 (RUN 5-2 324Hr後)

**CALCULATIONS OF OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT AND FOULING FACTOR**

Run No. 5-2      Date: November 07, 94      Time: 04:00      Total Operation Time: 324 hr.

Variables	Evaporator Stages					
	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
Flowrate (kg/h)	6500	6500	6500	6500	17200	17200
Specific Heat (kJ/kg/°C)	3.960	3.925	3.912	3.900	3.968	3.965
Inlet Temp. (deg. C)	88	63.3	50.2	37.7	32.4	28
Outlet Temp. (deg. C)	112	76.2	63.3	50.2	38	32.4
Temp. Rise (deg. C)	24	12.9	13.1	12.5	5.6	4.4
Flashing Temp. (deg. C)	117.5	83.7	71.7	58.4	42.3	35.9
Heat Transfer Rate (kJ/s)	171.620	91.430	92.535	88.028	106.168	83.356
Heat Transfer Area (sq.m)	4.6723	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556
L.M.T.D. (deg. C)	14.289	12.892	13.939	13.499	6.715	5.405
U (kW/sq.m/°C)	2.571	3.661	3.427	3.367	3.190	3.112
Clean-U Value (kW/sq.m/°C)	3.9	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
f (sq.m K/kW)	0.1326	0.0770	0.0957	0.1010	0.1174	0.1252

(5, 3, 4)

(5.3.4)

5.2 運転開始時の総括伝熱係数( $U_c$ )の決定

5.3.3式(2.7)によって汚れ係数を算出するためには、スケールが付着する前の総括伝熱係数 $U_c$ を決める必要があるが、この値についても、5.3.3に準じて、下記の通りとした。

- ・ ブラインヒーター : 3.70 kW/m<sup>2</sup>K
- ・ 第1段蒸発室 : 6.29 kW/m<sup>2</sup>K
- ・ 第2, 3および4段蒸発室 : 4.88 kW/m<sup>2</sup>K

5.3 補給海水及び循環ブラインの水質

各RUNにおける補給海水、循環ブラインの水質分析結果の経時変化をFig. 5およびFig. 6に示す。

# M ALKALINITY & pH vs. TIME, (RUN # 5.1)

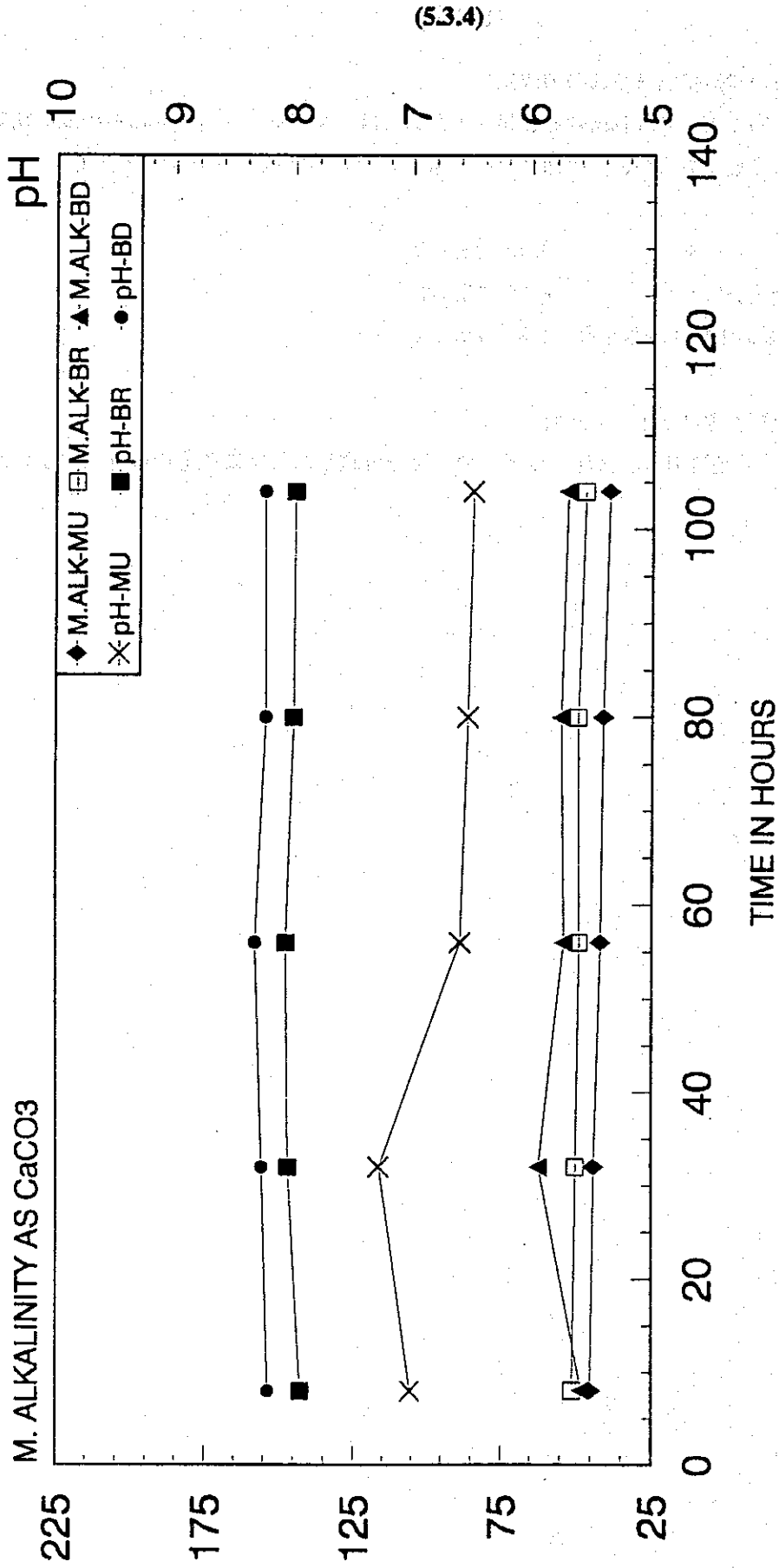


Fig. 5 RUN 5 における水質



M ALKALINITY & pH vs. TIME, (RUN # 5:2)

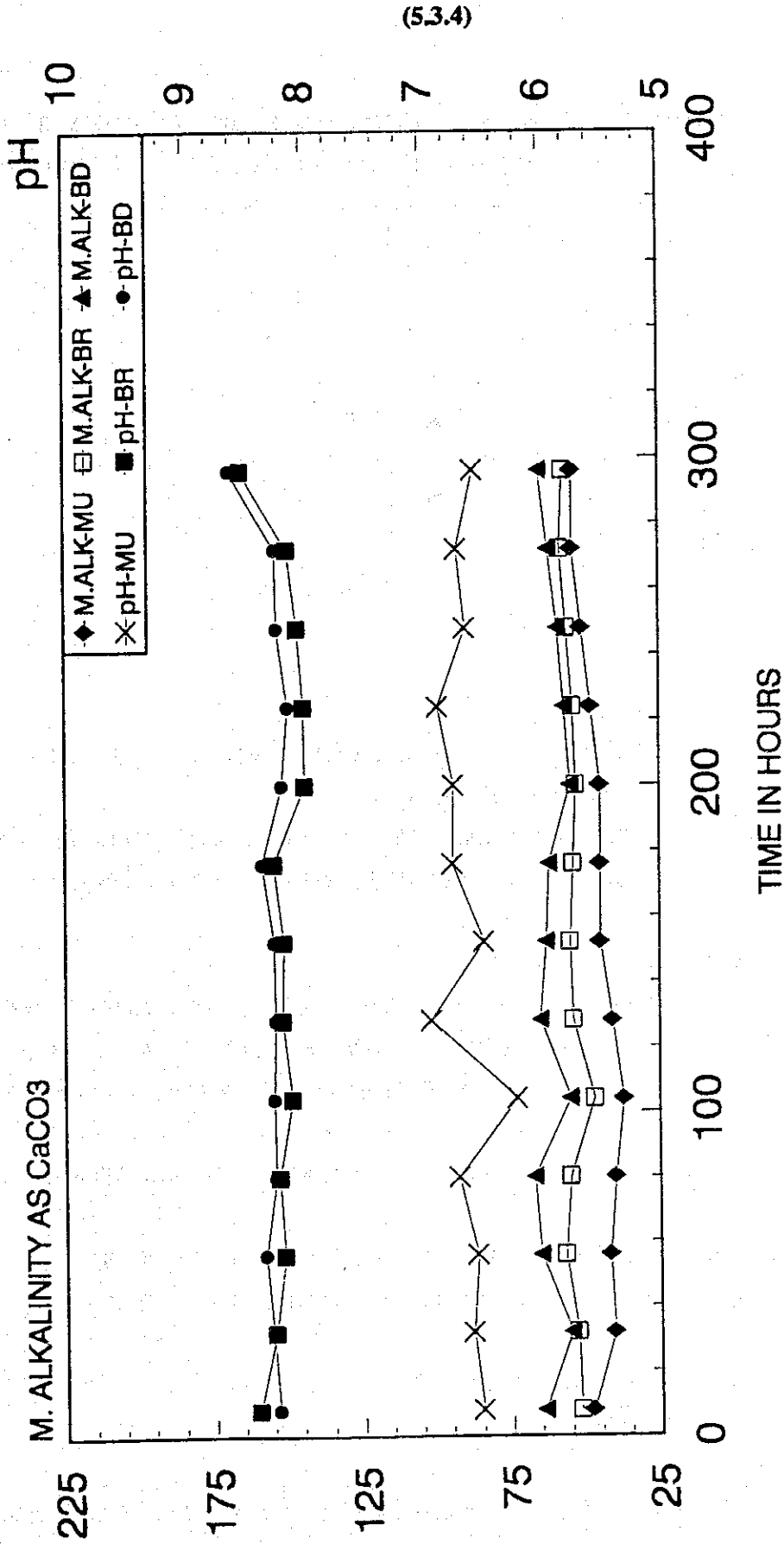


Fig. 6 RUN 5 における水質(つづき)

## (5.3.4)

## 6. 考察

RUN5における汚れ係数の傾向を考察するためには、RUN-4、RUN-5およびRUN-8で取得したデータを比較すればよい。それぞれの検討項目とRUNとの関係を示すと、下記の通りである。

RUN NO.		4	5-1	5-2	8
CONC.	Chemical	●			●
	Hybrid		●	●	
m-Alk	CF < 1.2	●	●		
	CF = 1.4			●	●

## 6.1 濃縮度の汚れ係数に与える影響

RUN5-1のように濃縮度1.2(M-Alk. = 140mg/L as CaCO<sub>3</sub>)のときは、汚れ係数の急激な上昇は認められなく、単独添加の場合と同程度であった。

一方、RUN5-2のように濃縮度1.4(M-Alk. = 60 mg/L as CaCO<sub>3</sub>)の場合は明らかに汚れ係数の急激な上昇が認められる。また、その上昇の度合はRUN8のときより大きかった。

## 6.2 M-アルカリ度の汚れ係数に与える影響

M-アルカリ度の影響を明らかにするために、RUN5-2とRUN8との汚れ係数の経時変化を検討した。その結果、運転開始30時間程度までは、急激な増加傾向であるが、その後は直線的に上昇している。ブラインヒーターについてその直線部を数式で表すと、下記の通りである。

RUN NO.	M-アルカリ度	運転開始時	一回目BC後	#1BCによる復元力
5-2	60 mg/L as CaCO <sub>3</sub>	$Fo = 1.80 \times 10^{-3} t$	$Fo = 2.77 \times 10^{-3} t$	100 %
8	180 mg/L as CaCO <sub>3</sub>	$Fo = 1.31 \times 10^{-3} t$	$Fo = 1.80 \times 10^{-3} t$	85.7%

ここに、Fo : T時間後の汚れ係数 (m<sup>2</sup>K/kW)

t : 時間 (≥30 h) (h)

上記一次式の勾配から明かなように、汚れ係数の経時変化に関しては、5-2の汚れ係数が

#### (5.3.4)

RUN 8 より小さいという結果は得られなく、ハイブリッド方式の優位差が認められない。しかし、ボールクリーニングによる伝熱性能の回復力はハイブリッド方式のほうが優れており、これは長期間安定した造水ができることを意味する。

### 6.3 サウディ・アラビアにおけるハイブリッド運転の現状

サウディ・アラビアでは、SCECO QURAYYAH 火力発電所で実用化されているので、ここでのハイブリッド運転の評価について触れておく。

当該プラントは①CHEMICAL法(BELGARD EV 使用)、②HYBRID法および③ACID法の3通りの運転が可能のように設計されている。①CHEMICAL法と②HYBRID法との造水比はそれぞれ、9.5-9.6および10で、HYBRID法の優位性が確認されている。

尤も、蒸気のコストが非常に安く、また薬剤のコストもBELGARD EVに較べて硫酸の方が高いため、総合的かつ現状を踏まえた判断としては、必ずしも積極的推奨には至っていないようである。

しかし、今後MSFの技術的方向の一つを示していると言えよう。

### 7. まとめ

スケーリングの抑制方法としてのハイブリッド法の有効性について試験した結果、運転・試験を実施し、次の結果を得た。

- (1) スケール抑制剤 PPN(M)添加濃度を通常の1/2(1ppm)にしても、M-アルカリ度を酸添加により、1/3に低減させても300時間程度の短時間試験ではあまり効果はない。
- (2) 本方法の有効性を実証するためには、さらに長期間の連続運転が望ましい。
- (3) このHybrid法によるスケーリングの抑制をサウディ・アラビアで常用させるためには、酸たとえば硫酸の安定供給と、その添加量がスケール抑制剤の30倍以上になるため、使用する酸のコストが低廉であることが必須条件である。



## 5.4 技術移転



(5.4)

目 次

1. 方針 .....	1
2. 技術移転の実施方法 .....	1
3. 技術移転の成果 .....	1

(5.4)

表 一 覧

表 番	題 名	頁
Table1	MSF-1に関する技術移転 .....	2



(5.4)

1. 方針

MSFプラントの性能劣化をもたらす主な要因としてスケーリングを取り上げ、JICAとSWCCの担当者による共同研究を実施する過程を通じて、SWCCの特に若い技術者を対象に技術移転を実施した。

2. 技術移転の実施方法

本研究はスケール抑制剤の選定手法を確立することを目的とした下記の実験室規模による基礎研究とMSFテストプラントによる確認試験を行い、論文作成の過程を通じてその定着を図るとともに、MSF実プラントにおけるスケール抑制剤の運転状況を把握し、汚れ係数算出手法を評価する。

技術移転の対象とした研究課題

- 1) MSF実プラントに関する性能劣化の評価技術
- 2) スケール抑制剤の評価技術
- 3) 汚れ係数の評価技術 (MSFテストプラントを使用した短期テスト)
- 4) 汚れ係数の評価方法 (MSFテストプラントを使用した長期テスト)
- 5) 汚れ係数の評価方法 (スケール抑制剤と酸を同時に使用した試験)

3. 技術移転の成果

- 1) MSF実プラントに関する性能劣化の評価技術

実プラントの訪問調査を実施して、その現況を把握し、性能劣化原因の判定を行った。

- 2) スケール抑制剤の評価技術

実験室規模の基礎実験を実施し、スケール抑制剤の第1段階の評価手法を確立し、併せて成果を第2回湾岸国際会議で発表した。また、伝熱試験装置による実験を実施し、伝熱計算を行い、スケール抑制剤の第2段階の評価手法を確立した。

- 3) 汚れ係数の評価技術 (MSFテストプラントを使用した短期テスト)

MSFテストプラント運転で得られたデータの解析によって、スケーリングの原因と性能劣化に対する対策に関する評価技術を向上させた。

- 4) 汚れ係数の評価方法 (MSFテストプラントを使用した長期テスト)

MSFテストプラントの長期運転によって伝熱管汚れと時間との関係を明らかにした。また、併せて操作マニュアルを作成した。

- 5) 汚れ係数の評価方法 (スケール抑制剤と酸との同時使用-ハイブリッド法-による試験)

MSFテストプラントによる試験を行って、データの収集・解析を行い、ハイブリッド法によるスケール防止方法の効果を確認した。

以上の技術移転の目標、手法および評価を、Table 1 にまとめて示す。

Table 1 MSF-1に関する技術移転

課 題	目 標	手 法	評 価
MSF実プラントに関する性能劣化の評価技術	MSFプラントに関する、劣化の原因及びその対策について、評価技術を向上させる	1)プラント訪問し、技術者と討議を行う 2)操業データを収集し、その解析を行う	研修生は、操業データの解析、操業状況の判断能力が養成され、実プラントの性能劣化原因の判定が可能となった
スケール抑制剤の評価技術	-1 スケール抑制剤に関する何種類かの評価方法について評価技術を向上させる	1)実験装置を組み立てる 2)実験計画を作成し、実行する 3)実験結果を解析し、考察を行う	スケール抑制剤の評価法に関する論文を研修生自らが作成し、第2回湾岸会議にて発表した
	-2 熱流束存在下のスケール抑制剤に関する何種類かの評価方法について評価技術を向上させる	1)実験装置を組み立てる 2)実験計画を作成し、実行する 3)データを収集し、数値解析する 4)結果の考察を行い、結論をまとめる	研修生は、伝熱計算を自ら行い、図表を作成し、第5.2章を執筆した
汚れ係数の評価技術 (MSFテストプラントを使用した短期テスト)	MSFプラントに関するスケールリングの原因と性能劣化に対する対策について評価技術を向上させる	1)データを収集し、数値解析する 2)結果を考察し、結論をまとめる	研修生は、伝熱計算を自ら行い、第5.3.3章を執筆した
汚れ係数の評価方法 (MSFテストプラントを使用した長期テスト)	MSFプラントに関するスケールリングの原因と性能劣化に対する対策について評価技術を向上させる	1)テストプラントの操業を行う 2)データ収集し、数値解析を行う 3)結果を考察し、結論をまとめる	研修生は、テストプラントの操作に習熟すると共に、その操作マニュアルを作成した。 また、伝熱計算を行い、第5.3.3章を執筆した
汚れ係数の評価方法 (スケール抑制剤と酸を同時に使用した実験)	スケール防止方法の効果に関する評価技術を向上させる	1)データを収集し、数値解析を行う 2)結果を考察し、結論をまとめる	研修生は、伝熱計算および図表作成を自ら行い、第5.3.4章を執筆した。 また、ハイブリッド法におけるM-アルカリ度の挙動について理解を深めた