

5.2 伝熱試験装置による実験

目 次

1. まえがき	1
2. スケール・インヒビタの結晶歪化効果	2
3. 目的	2
4. 実験方法	2
4.1 実験材料	2
4.2 実験装置	4
4.3 実験条件	8
4.4 実験方法	10
5. 結果の評価方法	11
6. 結果	12
7. 考察	33
8. まとめ	34
9. 参考文献	35

表 一 覧

表 番	題 名	頁
Table 1	R 0 濃縮水の水質	3
Table 2	スケール抑制剤の特性	3
Table 3	伝熱試験装置の仕様	7
Table 4	実験条件	9
Table 5	性能試験結果	13
Table 6 (1)	試験 - 1 の結果	15
Table 6 (2)	試験 - 2 の結果	16
Table 6 (3)	試験 - 3 の結果	18
Table 6 (4)	試験 - 4 の結果	20

図 一 覧

図 番	題 名	頁
Fig. 1	伝熱試験装置のフローシート	6
Fig. 2 (1)	試験-1における伝熱係数の経時変化	22
Fig. 2 (2)	試験-2における伝熱係数の経時変化	23
Fig. 2 (3)	試験-3における伝熱係数の経時変化	24
Fig. 2 (4)	試験-4における伝熱係数の経時変化	25
Fig. 3 (1)	試験-1における汚れ係数の経時変化	26
Fig. 3 (2)	試験-2における汚れ係数の経時変化	27
Fig. 3 (3)	試験-3における汚れ係数の経時変化	28
Fig. 3 (4)	試験-4における汚れ係数の経時変化	29
Fig. 4 (1)	試験-1および3における汚れ係数の経時変化	30
Fig. 4 (2)	試験-2および4における汚れ係数の経時変化	31
Fig. 4 (3)	試験-3および4における汚れ係数の経時変化	32

1. まえがき

多段フラッシュ蒸発法(MSF)による海水淡水化装置の運転に大きな影響を与える因子のひとつにスケーリングがある。スケーリングは海水の濃縮と温度の上昇によって海水の溶解成分が析出して伝熱管内部に付着する現象で、付着したスケールにより伝熱性能の低下をおこす。このスケーリングの発生を防止する方法のひとつにスケール抑制剤と呼ばれる薬剤をラインに数ppm添加する薬剤添加法があり、中近東では広く用いられている。薬剤は過飽和維持効果と結晶歪化効果と呼ばれる2つの効果を持っている。スケール抑制剤には各種のものが市販されているが、それらの特性試験と最適なものを選定は実プラントで行っているのが現状である。

このような背景から、スケール抑制剤の選定試験を実験室規模で行える方法を確立した。本法は2段階からなる。すなわち、第1段階で過飽和維持効果を確認して望ましいスケール抑制剤を選定し、次に、第2段階では、第1段階で選定したスケール抑制剤を対象に結晶歪化効果を確認して、その中から最適なものを選定するものである。

過飽和維持効果に関する研究成果は第1報(JICA/SWCC最終報告書, 1991年度)、第2報(プログレス・レポート, 1993年度3月)および第3報(プログレス・レポート, 1993年度11月)に報告したとおりである。一連の研究によって、過飽和維持効果はラインの残留M-アルカリ度を測定することによって評価できることが確認された。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、その効果は反応時間(滞留時間)が増加するとともに減少した。また、スケール抑制剤の添加量が2ppm、ラインの温度が95°C、滞留時間が10分の条件では、ポリホスホン酸系のスケール抑制剤PPNがポリマレイン酸系PMAおよびポリカルボン酸系PCAの中で最も高い過飽和維持効果を持つことが確認された。さらに、第3報では6種のスケール抑制剤、PCE、PCS、PMA、PPN、PPN(M)およびPPN(A)の過飽和維持効果を比較して、次の第2段階で結晶歪化効果を確認するための2種のスケール抑制剤PPN(M)を選定した。

本研究では、第2段階の結晶歪化効果に関する試験手法並びに評価手法を確立することを目的として、改造した伝熱試験装置を用い、選定したスケール抑制剤を対象に、ライン温度90°Cおよび102°Cにおける結晶歪化効果をblank試験と比較する。

本報告はこの伝熱試験装置による選定結果をまとめたものである。

2. スケール抑制剤の結晶歪化効果と付着

スケール抑制剤がアルカリスケールの結晶に歪を与え、その結晶構造を変化させることにより、スケールの粒子間または金属表面への付着を防止する効果を持つことはよく知られている。

歪を受けたスケール粒子はライン中でよく分散し、大きな結晶に成長しないうちに排出ラインとして排出されるので、スケーリングが非常に起こりにくいと言われている。普通に析

(5.2)

出したスケールとスケール抑制剤により結晶歪化効果を受けたスケールとを走査型電子顕微鏡で見ると、前者は幾枝に連なった扁平状の結晶をしているが、後者は球形をしている。この球形のスケールは扁平状のスケールと比べてスケール間または金属表面との接触面積が小さいことから、スケール相互間の結合、または金属表面への付着確率の小さいことが推測される。また、扁平状物質は流体中でそれ自身が軸回転しながら、パイプ軸に沿って流体と共に流れる。この2つの運動によって軸方向への力が生じ、物質はパイプ内面近くの物質移動層を離れて中心方向に移動する。

スケール抑制剤の種類による結晶歪化効果の差異は、実際面からみると、伝熱管内面に付着するスケール量の差異として確認できる。伝熱管に付着したスケールの重量の絶対値を実測することは非常に困難であるので、本伝熱試験装置による実験では、その付着量の差異を直接伝熱効率の低下、すなわち汚れ係数の増加で評価することにした。

3. 目的

本研究は、スケール抑制剤選定試験の第2段階として、伝熱試験装置を用いて、第1段階で選定したスケール抑制剤PPN(W)を対象に、ブライン温度90℃、102℃における伝熱実験を行い、得られたデータから求められる汚れ係数を比較する方法によって結晶歪化効果を比較することを目的とする。

すなわち、伝熱試験装置は再循環方式により連続試験ができるもので、実プラントと同様の、熱負荷量4～8kW/m²、管内流速1.8～2m/sになるように、また実際のプラントで使用しているブラインとほぼ同濃度のものをブラインに使用するように計画されている。

本装置を用いた実験を行って、第2段階に当たる結晶歪化効果に関する試験手法並びに評価手法をも提示しようとするものである。

4. 実験方法

4.1 実験材料

(1) ブライン

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、ペルシャ湾の海水の1.4倍相当の濃度をブライン濃度とし、その海水が実験に多量に必要となるので、SWCC・RDC所有のROテストユニットで発生する濃縮水を目的の濃度に調整して用いることとする。

ROブラインの水質をTable 1に示す。

(2) スケール抑制剤

本実験に用いたスケール抑制剤の名、物理的特性および主成分と過飽和維持効果の結果をTable 2に示す。

(5.2)

Table 1 RO濃縮水の水質

水質項目	測定値
pH	8.0
M-alkalinity (mg/L)	180
Ca ²⁺ (mg/L)	678
Mg ²⁺ (mg/L)	2,350
導伝率 (μS/cm)	85,000

Table 2 スケール抑制剤の特性

名称	比重	pH	主成分	試験結果
PPN(M)	1.37	11.0	ポリフォスホン酸塩	95 °C及び110 °C で最良

(5.2)

(3) 運転条件

次の項目をモニタリングすることによって、運転条件の確認を行った。

- a. 温度： T_1 (加熱器入口温度)
 T_2 (加熱器出口温度)
 t_1 (温水入口温度)
 t_2 (温水出口温度)
- b. 流量： F_1 (再循環ラインの流量)
 F_2 (補給ラインの供給流量)
 F_3 (排出量)
 F_4 (加熱水の流量)

c. 水質

- 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 : EDTA滴定法
- マグネシウムイオン : EDTA滴定法
- 電気伝導率 : 電気伝導率計

4.2 実験装置

伝熱試験装置のフローシートをFig. 1に示し、その仕様をTable 3に示す。

本試験装置はMSFのラインヒーターを模擬する加熱部、加圧再循環部、薬剤添加部、補給ライン供給部およびラインを加熱するための温水供給部からなる。

加熱部は1～5基の熱交換器から構成されている。温水部は1循環であるが、Cu-Ni 管部は4箇所に曲がりがある5再循環になっている。循環槽に貯留されたラインは再循環ポンプによって加熱器に供給され、温水供給系からの熱を受けて昇温した後、再び循環槽に戻る。循環槽は液面上部からコンプレッサの空気によって加圧され、循環ポンプの水頭が十分に得られるようにされている。温水供給部は3kWのヒーター、循環ポンプおよび流量計から構成されている。

本システムでは、循環ラインの一部はブロウダウンとして再循環ラインから定量が排出される。同時に、同量の新しいラインがライン供給ポンプによって補給ライン槽から再循環ポンプのサクシオン側の予熱器前に注入される。

また、蒸留水で一定濃度に溶解されたスケール抑制剤は薬品槽に貯留され、

スケール抑制剤は市水で溶解し、溶解液を薬品槽に貯留した。装置はスケール抑制剤溶液が加熱器と循環槽とを結ぶ配管中に注入される構造であるので、スケール抑制剤濃度は添加したときと加熱器とで同一であると考えられる。ブランク試験を含む全ての試験において、補給ラインの加熱中にスケールの発生を防止する目的でスケール抑制剤を予熱器の前に1 ppmの

(5.2)

低濃度を添加することとする。

HEAT EXCHANGER UNIT

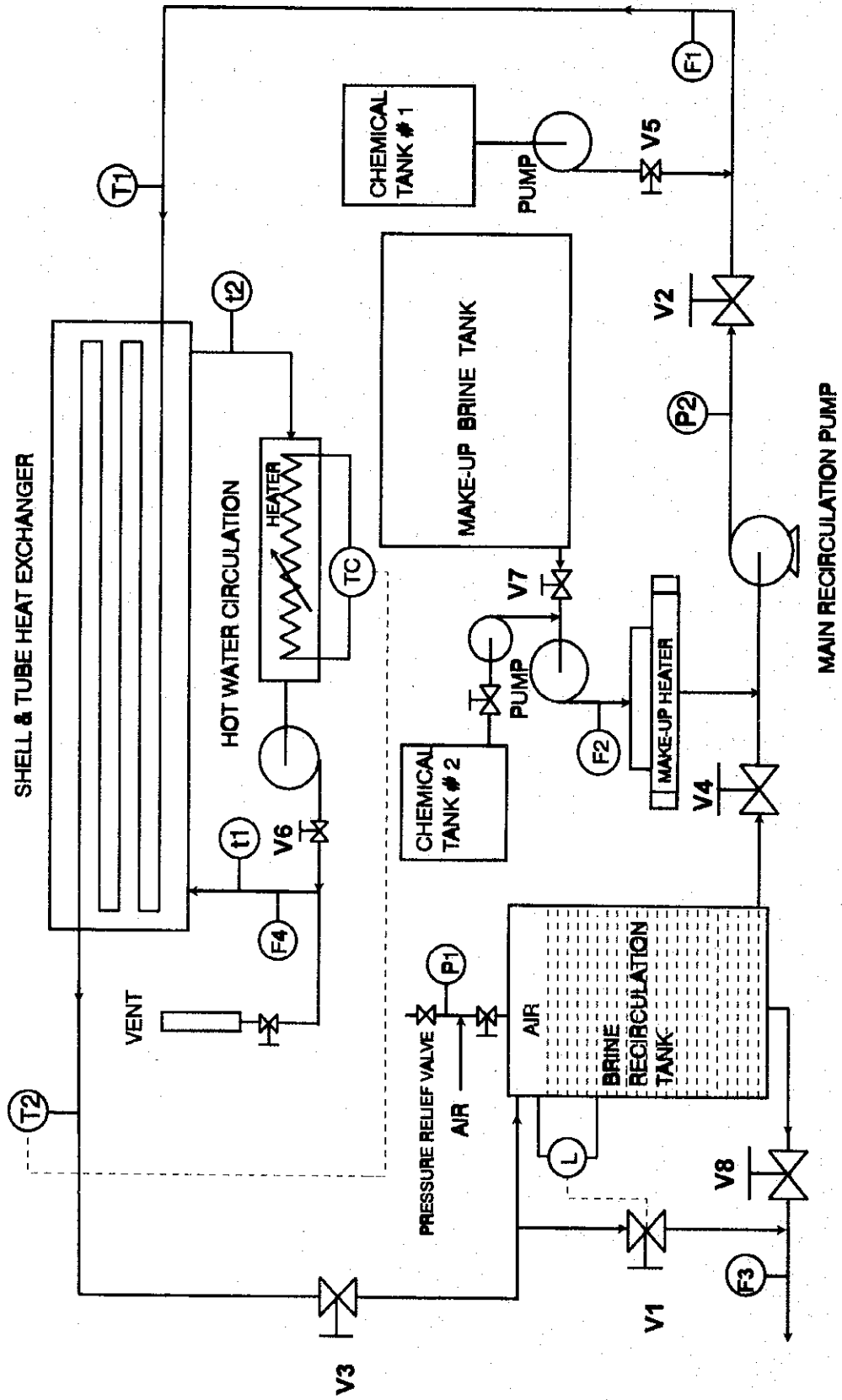


Fig. 1 伝熱試験装置のフローシート

(5.2)

Table 3 伝熱試験装置の仕様

No	NAME	Q	MATERIAL	CAPACITY
1	Heat Exchanger (H. E.)	1	Cu-Ni(70/30) SUS 316	Tube ; 22 mm ϕ x 1 mm t x 5,700 mm l Shell; 200 mm ϕ x 3 mm t x 1,120 mm l Temp. Control Range ; $\sim 102^{\circ}\text{C}$
2	Hot Water Circulation Vessel (HW)	1		3 kJ·h, interlocking by t_2
R ₁	Circulation Tank Level Controller (LC)	1 1	SUS 316	Tank ; 500 mm ϕ x 1,000 mmH, Interlocking to V ₁
R ₂	Make Up Feed Tank	1	PVC	1 m ³
R ₃	Chemical Tank	1	PVC	460 mm \square x 660 mmH,
P ₁	Brine Re-Circulation Pump	1	SUS 316	2.5 m ³ /h x 40 kgf/cm ² , 0.75 kW
P ₂	Hot Water Circulation Pump	1	SUS 316	30 GPM x 58 kgf/cm ² , 0.5 hp
P ₃	Make-Up Feed Pump	1	Teflon	1.25 l/min x kgf/cm ² , kW
P ₄	Chemical Feed Pump	1	Teflon	1.25 l/min x kgf/cm ² , kW
T ₁	HE Inlet Temp. Indicator	1	SUS 316	$\sim 150^{\circ}\text{C}$
T ₂	HE Outlet Temp. Indicator	1	SUS 316	$\sim 150^{\circ}\text{C}$
t ₁	HW Inlet Temp. Indicator	1	SUS 316	$\sim 150^{\circ}\text{C}$
t ₂	HW Outlet Temp. Indicator & Controller	1	SUS 316	$\sim 150^{\circ}\text{C}$, Interlocking to EH
F ₁	Recycle Brine Flow Rate Indicator	1	SUS 316	~ 50 l/min
F ₂	Make-Up Feed Flow Rate Indicator	1	-	0.1 \sim 1.0 l/min
F ₃	Chemical Feed Flow Rate Indicator	1	-	0.1 \sim 1.0 l/min
F ₄	Heating Water Flow Rate Indicator	1	Bronze	0 \sim 10 GPM
PG	Pressure Indicator	1	Carbon Steel	0 \sim 4.0 kgf/cm ²
V ₁	Blow Down Solenoid Valve	1		10 mm ϕ , Interlocking by LC
V ₂	P ₁ Delivery Side Valve	1		20 mm ϕ
V ₃	HE Outlet Valve	1	Bronze	20 mm ϕ
V ₄	Circulation Tank Outlet Valve	1	Bronze	20 mm ϕ
V ₅	P ₄ Delivery Side Valve	1		mm ϕ
V ₆	P ₂ Suction Side Valve	1		mm ϕ
V ₇	Make-up Pump Suction Side Valve	1		mm ϕ
V ₈	Circulation Tank Drain Valve	1	Bronze	20 mm ϕ
EC	Expansion Chamber	1	Carbon Steel	mm ϕ x mmH
CP	Control Panel	1	Carbon Steel	mmL x mmW x mmH

4.3 実験条件

実験条件をTable 4にまとめて示す。

(1) ブラインの温度

a. 常温実験

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90°Cに定めた。

b. 高温実験

90°C以上を対象として、実験条件を102°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、ブライン濃度を海水濃度の1.4倍と定め、実験用ブラインとしてRO濃縮水を使用した。ただし、供給するRO濃縮水のM-アルカリ度を180 \pm 10mg/lに保つために、使用する際にRO濃縮水のM-アルカリ度を測定し、濃度が高い場合は市水で希釈、低い場合は重炭酸ナトリウムを加えることとした。

(3) スケール抑制剤の添加濃度

先の過飽和維持効果に関する実験の結果、スケール抑制剤の最適添加濃度は2ppm、滞留時間は過飽和維持効果が消滅する時間は20分間であることが確認されている。

本実験装置ではブラインの滞留時間が20分を超えることから、スケール抑制剤の濃度を2ppmに保持されるように添加した。

本装置でのスケール抑制剤の滞留時間は20分以上である。長い滞留時間に起因する薬品の性能低下は添加量を調整することによって防止できると考える薬品添加量の計算は別添の伝熱試験装置におけるスケール抑制剤添加量の計算に示すとおりである。アル・ジュベール第2プラントと同様の運転条件にするために、20分を超える本システムでの薬品の性能低下を考慮して、循環ブライン中のスケール抑制剤が0.8~1.0ppmに維持できるよう、補給ブラインでのスケール抑制剤の添加量を12ppmとした。

(5.2)

Table 4 実験条件

項 目	実験 No.	実験-1	実験-2	実験-3	実験-4
ブライン温度 (°C)		90	102	90	102
スケール防止剤名		無し	無し	PPN(M)	PPN(M)
熱交換器入口温度 (°C)		90.13	101.29	89.40	101.28
熱交換器出口温度 (°C)		90.78	101.92	90.11	102.01
シェル側入口温度 (°C)		93.36	105.07	92.82	105.15
シェル側出口温度 (°C)		93.32	104.04	92.48	104.35
循環ブライン流速 (ℓ/min)		36	36	36	36
補給水流速 (ℓ/min)		0.6	0.6	0.7	0.7
薬剤供給流速 (ℓ/min)		0.0	0.0	0.03	0.03
ブローダウン流速 (ℓ/min)		0.63	0.63	0.73	0.73

(5.2)

全ての試験において、補給ラインの加熱の前にさらにスケール抑制剤を1 ppm添加した。それは補給ライン加熱器でのスケール発生を防止するためである。補給ラインを最大60℃に加熱するように設置された加熱器でスケールの発生を防止する十分なスケール抑制剤の量は1 ppmであることが分かっている。ブランク試験では、補給ライン中の1 ppmのスケール抑制剤は無視できる濃度である。それは循環ライン中の有効スケール抑制剤の濃度として0.02 ppmとなるからである。

伝熱試験装置におけるスケール抑制剤添加量の計算

定 数

- ・薬品の滞留時間 (Tr) = 20 min.
- ・本システムのラインの量 (Ms) = 150 l
- ・補給ラインの供給および排水量 (M_M & M_B) = 0.7 l/min. (各々)
- ・循環ライン中の薬品濃度 (Cs) = 1.0 ppm

薬品のバランス

本システムでの薬品変化量 = 補給ライン中の薬品量 - ブロウダウンによる薬品排出量 - 本システムにおける薬品の性能低下量

$$M_M \cdot (\delta C_s / \delta t) = M_M \cdot C_M - M_B \cdot C_B - (M_S \cdot C_s) / T_R$$

定状態では、 $\delta C_s / \delta t \rightarrow 0$

$$M_M \cdot C_M = M_B \cdot C_B + (M_S \cdot C_s) / T_R$$

$$M_M \cdot C_M = 0.7 \text{ l/min.} \times 1.0 \text{ mg/l} + (150 \text{ l} \times 1.0 \text{ mg/l}) / 20 \text{ min.}$$

$$C_M = 8.2 / 0.7 \text{ mg/l} = 11.7 \text{ ppm} \approx 12.0 \text{ ppm}$$

従って、循環ライン中のスケール抑制剤濃度を1 ppmに維持するためには、補給ラインでは12 ppmを添加することになる。

4.4 実験方法

伝熱試験装置を用いた結晶歪化効果に関する実験は、各実験ごとに以下に示す手順で行った。

各実験は10間単位で完了させる方法とし、第1日を準備・調整日、第2日から第9日までの8日間を連続運転による実験期間、最終の第10日を装置の酸洗浄日とした。

(1) ラインの調製

メイクアップ供給槽にRO濃縮水を補給する都度、M-アルカリ度を測定し、濃度が180 +/- 10 mg/Lを下まわる場合は不足量相当の重炭酸ナトリウムを加え、超える場合は一般

(5.2)

の蒸留水で希釈した。

(2) スケール抑制剤の調製

薬剤供給槽にスケール抑制剤を補給する都度、薬品供給ポンプのストロークを変えて補給ライン供給量中のスケール抑制剤の濃度を11ppmになるよう溶解を実施した。スケール抑制剤の追加の1ppmは補給ライン加熱器のスケール発生を防止するものである。

(3) 実験の開始

加熱器の出口温度をライン温度とする。

温水供給器の電源を入れ、 T_2 の値が一定になったときを実験開始時間とした。

循環ラインの流量が36ℓ/分に維持されるよう、本装置を10psigの加圧空気で加圧して安定化を図った。加圧空気は循環槽の上部に注入され、実験中、一定に維持された。

補給ラインは循環ポンプのサクシヨン側に入る前に加熱器によって60℃までに予め加熱される。

(4) 試料の採取および測定

実験期間中は毎日の午前と午後の2回に各計器の値を記録するとともに、排出ラインを採取して分析を行った。

5. 結果の評価方法

各実験によって得られたデータより、次式に示す汚れ係数を求めて、それらの値を比較することによりスケール抑制剤の結晶歪化効果の評価を行う。

伝熱管内面に付着するスケールが大きいほど汚れ係数は高くなる。従って、汚れ係数が小さいスケール抑制剤は結晶歪化効果が高いスケール抑制剤である。

$$\Delta T = T_2 - T_1 \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta t_1 = t_1 - T_1 \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta t_2 = t_2 - T_2 \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta t_m = (\Delta t_2 - \Delta t_1) / \ln(\Delta t_2 / \Delta t_1) \dots\dots\dots (4)$$

$$Q = F_1 \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots (5)$$

$$U = Q / (S \cdot \Delta T_m) \dots\dots\dots (6)$$

$$f_o = (1/U) - (1/U_c) \dots\dots\dots (7)$$

ただし、

(5.2)

ΔT : 温度差	($^{\circ}\text{C}$)
T_1 : 熱交換器入口温度	($^{\circ}\text{C}$)
T_2 : 熱交換器出口温度	($^{\circ}\text{C}$)
t_1 : 温水入口温度	($^{\circ}\text{C}$)
t_2 : 温水出口温度	($^{\circ}\text{C}$)
Δt_m : 対数平均温度差	($^{\circ}\text{C}$)
Q : 交換熱量	(kJ/s)
F_1 : 循環ライン流量	(kW/s')
C_p : 比熱	($\text{kW}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)
U : 総括伝熱係数	($\text{kW}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)
S : 伝熱面積	(m^2)
F_o : 汚れ係数	($(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{kW}$)
U_c : 新管時の汚れ係数	($\text{kW}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)

6. 実験結果

(1) 伝熱試験装置の性能試験結果

伝熱試験装置の性能試験結果をTable 5に示す。

(2) 伝熱装置による試験結果

実験-1、2、3、4の結果は以下のとおりである。

a. ブランク試験である実験-1および実験-2とスケール抑制剤の添加量1ppm、ライン温度90 $^{\circ}\text{C}$ および102 $^{\circ}\text{C}$ の条件でのスケール抑制剤による実験である実験-3および実験-4における実験結果と、計算によって得た対数平均温度差(ΔT_m)、熱負荷(H_T)、総括伝熱係数(U)、新管時の汚れ係数(U_c)および汚れ係数(F_o)を、Table 6(1)~6(4)に示す。

b. 伝熱係数の経時変化をFig. 2(1)~2(4)に示す。

c. 汚れ係数の経時変化をFig. 3(1)~3(4)に示す。

d. 汚れ係数の経時変化における比較をFig. 4(1)~4(4)に示す。

(5.2)

Table 5 性能試験結果

Tube Side	Inlet Temp. (°C)	99.5
	Outlet Temp. (°C)	101
Shell Side	Inlet Temp. (°C)	104.41
	Outlet Temp. (°C)	103.40
Brine Flow Rate(F ₁) (ℓ/h)		2,160
Blow Down Flow Rate(F ₄) (ℓ/h)		43.8
Holding Water in Test Unit (m ³)		0.18
Heat Transfer Area (m ²)		0.4 (20 ID × 5,700 L)
Brine Tube Velocity (m/sec)		1.85
Heat Flux (kW/m ²)		5~8
Dosing Rate of Scale Inhibitor in Recycle Brine (ppm)		0.8 - 1.0 as PPN(M)
Conc. of Scale Inhibitor Slution (ppm)		240
Dilution Ratio of RO Brine (times)		0.0

NOTE) Performance and Calibration Tests are carried out using ordinary potable water.

(5.2)

Table 6(1) 試験-1の結果(1/2)

Time (hrs)	T1 (C)	T2 (C)	t1 (C)	t2 (C)	FRl(mln)	HF(kW/m2)	LMTD	U(kW/m2/K)	FF(m2.K/KW)
0	90.13	90.78	93.36	93.22	36	4.121	2.320	1.463	0.0505
2	90.07	90.57	92.69	92.33	36	3.170	2.162	1.467	0.0489
4	89.96	90.6	93.2	92.94	36	4.058	2.766	1.467	0.0487
6	89.8	90.43	93.07	92.67	36	3.994	2.723	1.467	0.0487
8	90.03	90.64	93.03	92.94	36	3.868	2.635	1.468	0.0483
10	89.13	89.86	92.87	92.56	36	4.628	3.192	1.450	0.0567
12	89.35	90.01	92.62	92.49	36	4.185	2.857	1.465	0.0498
14	89.71	90.35	93.05	92.61	36	4.058	2.765	1.468	0.0485
16	89.81	90.45	93.11	92.92	36	4.058	2.865	1.416	0.0731
18	89.3	89.95	92.65	92.36	36	4.121	2.854	1.444	0.0597
20	89.48	90.14	92.85	92.53	36	4.185	2.852	1.467	0.0486
22	89.49	90.12	92.76	92.42	36	3.994	2.757	1.449	0.0572
24	89.69	90.31	92.85	92.55	36	3.931	2.674	1.470	0.0472
26	89.88	90.51	93.09	92.87	36	3.994	2.763	1.446	0.0589
28	89.35	89.75	91.41	91.29	36	2.536	1.787	1.419	0.0719
30	89.61	90.27	93.01	92.74	36	4.185	2.910	1.438	0.0626
32	89.58	90.25	93.05	92.74	36	4.248	2.953	1.439	0.0622
34	89.51	90.19	92.98	92.74	36	4.311	2.986	1.444	0.0598
36	89.56	90.22	93.01	92.77	36	4.185	2.977	1.405	0.0786
38	89.72	90.35	92.99	92.65	36	3.994	2.757	1.449	0.0572
40	89.56	90.22	92.97	92.74	36	4.185	2.943	1.422	0.0703
42	89.39	90.03	92.68	92.47	36	4.058	2.844	1.427	0.0679
44	90.03	90.62	93.14	92.87	36	3.741	2.657	1.408	0.0773
46	89.68	90.31	92.98	92.67	36	3.994	2.804	1.425	0.0690
48	89.28	89.94	92.62	92.46	36	4.185	2.911	1.438	0.0627
50	89.5	90.15	92.87	92.6	36	4.121	2.886	1.428	0.0673
52	89.55	90.25	93.99	92.56	36	4.438	3.260	1.361	0.1016
54	89.87	90.45	92.91	92.67	36	3.677	2.609	1.410	0.0764
56	89.79	90.35	92.92	92.69	36	3.551	2.716	1.307	0.1320
58	90.09	90.65	93.12	92.87	36	3.551	2.604	1.363	0.1005
60	89.87	90.45	92.92	92.67	36	3.677	2.613	1.407	0.0777
62	89.54	90.17	92.97	92.65	36	3.994	2.929	1.364	0.1005
64	89.69	90.29	92.94	92.61	36	3.804	2.759	1.379	0.0923
66	89.57	90.19	92.95	92.67	36	3.931	2.907	1.352	0.1066
68	90.1	90.62	93.03	92.8	36	3.297	2.537	1.300	0.1364
70	90.27	90.52	91.35	91.1	36	1.585	0.804	1.971	-0.1255
72	90.02	90.59	93.07	92.89	36	3.614	2.657	1.360	0.1024
74	90.07	90.61	92.98	92.85	36	3.424	2.560	1.337	0.1149
76	90.13	90.69	93.03	92.92	36	3.551	2.550	1.392	0.0854
78	90.3	90.8	93	92.87	36	3.170	2.371	1.337	0.1150
80	90.26	90.8	93.14	93.09	36	3.424	2.574	1.330	0.1188
82	90.33	90.85	92.96	93.09	36	3.297	2.430	1.357	0.1041
84	89.79	90.37	92.79	92.87	36	3.677	2.742	1.341	0.1128
86	89.22	89.95	93.18	93.12	36	4.628	3.550	1.304	0.1342
88	89.86	90.42	92.84	92.75	36	3.551	2.642	1.344	0.1111
90	89.86	90.41	92.86	92.75	36	3.487	2.656	1.313	0.1288
92	89.89	90.42	92.87	92.77	36	3.360	2.653	1.267	0.1565
94	90.03	90.52	92.82	92.73	36	3.107	2.489	1.248	0.1682
96	90.02	90.52	92.85	92.75	36	3.170	2.098	1.259	0.1614

* Cp AND DENSITY AS PER TABLE OF SEA WATER PROPERTIES

* HEAT TRANSFER SURFACE AREA = 0.37605 M²

(5.2)

Table 6(1) 試験-1の結果(2/2)

98	90.08	90.62	93	92.92	36	3.424	2.598	1.318	0.1258
100	89.95	90.45	92.74	92.68	36	3.170	2.500	1.268	0.1556
102	89.92	90.42	92.78	92.76	36	3.170	2.591	1.223	0.1845
104	89.9	90.41	92.79	92.74	36	3.234	2.600	1.244	0.1711
106	89.54	90.07	92.64	92.51	36	3.360	2.757	1.219	0.1875
108	89.48	90.07	92.56	92.45	36	3.741	2.715	1.378	0.0929
110	89.6	90.15	92.92	92.63	36	3.487	2.880	1.211	0.1929
112	89.71	90.21	92.86	92.44	36	3.170	2.664	1.190	0.2073
114	89.18	89.79	93.27	92.49	36	3.868	3.347	1.156	0.2325
116	89.23	89.85	93.33	92.62	36	3.931	3.392	1.159	0.2299
118	89.3	89.9	92.7	92.62	36	3.804	3.047	1.248	0.1681
120	89.24	89.89	93.38	92.71	36	4.121	3.438	1.199	0.2013
122	89.1	89.72	93.2	92.47	36	3.931	3.380	1.163	0.2270
124	89.21	89.85	93.33	92.55	36	4.058	3.360	1.208	0.1952
126	89.19	89.82	93.31	92.56	36	3.994	3.383	1.181	0.2141
128	88.97	89.64	92.38	93.22	36	4.248	3.494	1.216	0.1897
130	88.95	89.59	93.26	92.56	36	4.058	3.599	1.128	0.2539
132	89.05	89.7	93.38	92.59	36	4.121	3.562	1.157	0.2313
134	89.03	89.69	93.34	92.54	36	4.185	3.530	1.186	0.2106
136	89.04	89.71	93.31	92.56	36	4.248	3.512	1.209	0.1939
138	89.58	90.18	93.97	92.59	36	3.804	3.302	1.152	0.2350
140	89.2	89.82	93.53	92.73	36	3.931	3.573	1.100	0.2760
142	89.29	89.9	93.49	92.73	36	3.868	3.470	1.115	0.2643
144	89.26	89.88	93.42	92.64	36	3.931	3.412	1.152	0.2351
146	89.26	89.93	93.53	92.71	36	4.248	3.472	1.224	0.1844
148	89.34	89.95	93.14	92.82	36	3.868	3.313	1.167	0.2238
150	89.32	89.93	93.47	92.65	36	3.868	3.385	1.143	0.2423
152	89.24	89.89	93.49	92.73	36	4.121	3.498	1.178	0.2158
154	89.51	90.25	93.81	93.25	36	4.692	3.611	1.299	0.1367
156	89.4	89.98	93.42	92.64	36	3.677	3.293	1.117	0.2627
158	89.37	89.95	93.47	92.67	36	3.677	3.363	1.094	0.2816
160	89.42	89.97	93.46	92.65	36	3.487	3.314	1.052	0.3173
162	89.39	89.94	93.45	92.63	36	3.487	3.328	1.048	0.3215
164	89.46	90.01	93.42	92.64	36	3.487	3.250	1.073	0.2990
166	89.51	90.05	93.44	92.58	36	3.424	3.179	1.077	0.2955
168	89.74	90.33	93.62	92.92	36	3.741	3.192	1.172	0.2203
170	89.87	90.36	93.58	92.78	36	3.107	3.019	1.029	0.3389
172	89.75	90.29	93.5	92.48	36	3.424	2.900	1.180	0.2142
174	89.85	90.38	93.53	92.78	36	3.360	2.995	1.122	0.2582
176	89.15	89.77	93.36	92.59	36	3.931	3.469	1.133	0.2495

* Cp AND DENSITY AS PER TABLE OF SEA WATER PROPERTIES
 * HEAT TRANSFER SURFACE AREA = 0.37605 M²

(5.2)

Table 6 (2) 試験 - 2 の結果 (1/2)

Time (hrs)	T1 (C)	T2 (C)	t1 (C)	t2 (C)	FR(l/min)	HF(kW/m ²)	LMTD	U(kW/m ² /K)	FF(m ² .K/kW)
0	101.2	101.95	105.28	104.27	34	4.474	3.118	1.435	0.0639
2	101.35	102.01	104.95	103.93	33.5	3.880	2.673	1.452	0.0560
4	101.1	101.81	105.03	104.24	35.5	4.423	3.120	1.417	0.0726
6	101.32	102.05	105.22	104.43	33.5	4.291	3.078	1.394	0.0843
8	100.04	100.88	104.43	103.61	33.5	4.938	3.495	1.413	0.0748
10	100.88	101.72	105.25	104.5	33.5	4.938	3.515	1.405	0.0790
12	100.75	101.65	105.08	104.27	32	5.053	3.404	1.485	0.0406
14	100.67	101.45	104.79	103.81	33	4.517	3.159	1.430	0.0665
16	100.81	101.61	105.09	104.13	33	4.632	3.323	1.394	0.0844
18	100.98	101.76	105.13	104.14	33	4.517	3.183	1.419	0.0719
20	100.94	101.73	105.12	104.18	33.5	4.644	3.238	1.434	0.0644
22	101.47	102.41	105.91	105.05	31.5	5.196	3.462	1.501	0.0335
24	100.89	101.69	105.14	104.3	33	4.632	3.364	1.377	0.0932
26	101.45	102.17	105.53	104.14	33	4.169	2.898	1.439	0.0622
28	101.42	102.17	105.54	104.43	33	4.343	3.097	1.402	0.0803
30	101.54	102.07	104.74	103.42	33	3.069	2.144	1.432	0.0656
32	101.35	102.05	105.21	104.24	33	4.053	2.947	1.376	0.0940
34	101.21	101.72	104.16	103.14	33	2.953	2.093	1.411	0.0757
36	101.24	101.89	104.87	103.82	33	3.764	2.691	1.399	0.0821
38	101.23	101.88	104.88	103.74	33	3.764	2.655	1.418	0.0725
40	101.09	101.83	105.08	104.08	33	4.285	3.037	1.411	0.0759
42	101.71	102.31	104.56	104.42	33	3.474	2.461	1.411	0.0756
44	101.27	102.01	105.18	104.22	33	4.285	2.980	1.438	0.0625
46	101.19	101.82	104.81	103.64	33	3.648	2.618	1.394	0.0847
48	101.65	102.36	105.5	104.41	33	4.111	2.856	1.439	0.0618
50	101.34	102.03	105.12	104.27	33	3.995	2.943	1.358	0.1037
52	101.2	101.93	105.03	104.16	33	4.227	2.958	1.429	0.0669
54	101.49	102.13	105.21	104.49	33	3.706	2.989	1.240	0.1735
56	101.38	102.09	105.19	104.45	33	4.111	3.027	1.358	0.1035
58	101.39	102.08	105.2	104.51	33	3.995	3.068	1.302	0.1351
60	101.39	102.1	105.23	104.45	33	4.111	3.034	1.355	0.1051
62	101.33	102.04	105.21	104.49	33	4.111	3.110	1.322	0.1237
64	101.08	101.86	105.12	104.41	33	4.517	3.238	1.395	0.0840
66	101.33	101.99	105.12	104.36	33	3.822	3.025	1.264	0.1585
68	101.06	101.8	105.12	104.35	33	4.285	3.247	1.320	0.1248
70	101.28	102.04	105.29	104.49	32	4.267	3.166	1.348	0.1090
72	101.11	101.83	105.01	104.16	32	4.043	3.048	1.326	0.1210
74	101.09	101.81	105.2	104.35	33	4.169	3.262	1.278	0.1496
76	101.23	101.97	105.37	104.5	33	4.285	3.269	1.311	0.1300
78	101.15	101.9	105.3	104.45	32	4.211	3.285	1.282	0.1472
80	101.47	102.08	104.9	104.2	33	3.532	2.723	1.297	0.1379
82	101.57	102.2	105.6	104.14	33	3.648	2.859	1.276	0.1508
84	101.49	102.08	105	104.19	33	3.416	2.751	1.242	0.1723
86	101.39	102.08	105.39	104.62	33	3.995	3.215	1.243	0.1717
88	100.99	101.73	105.25	104.45	33	4.285	3.433	1.248	0.1682
90	101.17	101.9	105.3	104.52	33	4.227	3.318	1.274	0.1520
92	100.93	101.65	105.18	104.38	33	4.169	3.434	1.214	0.1908
94	100.95	101.66	105.1	104.29	33	4.111	3.332	1.234	0.1777
96	100.68	101.39	104.79	103.84	32	3.987	3.209	1.242	0.1720

* Cp AND DENSITY AS PER TABLE OF SEA WATER PROPERTIES

* HEAT TRANSFER SURFACE AREA = 0.37605 M²

(5.2)

Table 6 (2) 試験 - 2 の結果 (2/2)

98	100.83	101.56	105.06	104.23	33	4.227	3.390	1.247	0.1692
100	100.62	101.29	104.4	103.57	32	3.762	2.967	1.268	0.1558
102	101.19	101.87	105.24	104.36	33	3.937	3.207	1.228	0.1816
104	101.17	101.82	105.17	104.21	33	3.764	3.126	1.204	0.1977
106	101.47	102.1	105.33	104.45	33	3.648	3.043	1.199	0.2012
108	101.62	102.09	104.56	103.85	33	2.722	2.300	1.183	0.2121
110	101.36	102.03	105.33	104.57	33	3.880	3.202	1.212	0.1924
112	101.35	102.03	105.42	104.57	33	3.937	3.245	1.213	0.1912
114	101.42	102.04	105.1	104.31	33	3.590	2.918	1.230	0.1800
116	100.9	101.5	104.53	103.69	33	3.474	2.850	1.219	0.1873
118	101.54	102.25	105.71	104.88	33	4.111	3.341	1.231	0.1798
120	101.18	101.9	105.4	104.59	33	4.169	3.398	1.227	0.1821
122	101.19	101.82	105.13	104.23	33.5	3.703	3.113	1.190	0.2076
124	101.23	101.86	105.05	104.15	33	3.648	2.990	1.220	0.1867
126	101.12	101.66	104.46	103.58	33	3.127	2.565	1.219	0.1873
128	101.71	102.09	103.96	103.61	33	2.200	1.861	1.182	0.2129
130	101.46	102.05	105.24	104.16	33	3.416	2.864	1.193	0.2055
132	101.51	102.04	105.15	103.89	33	3.069	2.645	1.160	0.2289
134	101.54	102.03	104.87	103.67	33	2.837	2.386	1.189	0.2081
136	101.48	101.95	104.81	103.45	33	2.722	2.295	1.186	0.2102
138	101.59	102.08	104.98	103.72	33	2.837	2.410	1.177	0.2165
140	101.58	102.1	105.3	104.24	33	3.011	2.858	1.054	0.3161
142	101.29	101.87	105.01	104.11	33	3.358	2.918	1.151	0.2359
144	101.47	101.9	105.32	102.95	33	2.490	2.155	1.155	0.2326
146	101.35	101.85	105.13	103.42	33	2.895	2.515	1.151	0.2358
148	101.48	101.9	105.03	103.07	33	2.432	2.144	1.134	0.2488
150	101.64	102.07	105.39	103.2	33	2.490	2.184	1.140	0.2443
152	101.56	101.98	105.14	103.14	33	2.432	2.147	1.133	0.2501
154	101.73	102.15	105.06	103.37	33	2.432	2.101	1.157	0.2311
156	101.46	101.91	105.33	103.15	33	2.606	2.311	1.128	0.2539
158	101.58	102.01	104.98	103.42	33	2.490	2.261	1.101	0.2751
160	101.58	101.99	104.73	103.33	33	2.374	2.118	1.121	0.2591
162	101.84	102.24	104.62	103.8	33	2.316	2.112	1.097	0.2788
164	101.58	101.98	104.6	103.33	33	2.316	2.074	1.117	0.2626
166	101.45	101.87	105.03	103.12	33	2.432	2.214	1.098	0.2776
168	101.71	102.09	104.79	103.31	33	2.200	2.008	1.096	0.2799
170	101.76	102.15	104.75	103.52	33	2.258	2.076	1.088	0.2862

* Cp AND DENSITY AS PER TABLE OF SEA WATER PROPERTIES
 * HEAT TRANSFER SURFACE AREA = 0.37605 M²

(5.2)

Table 6 (3) 試験-3の結果 (1/2)

Time (hrs)	T1 (C)	T2 (C)	t1 (C)	t2 (C)	FR(l/min)	HF(kW/m ²)	LMTD	U(kW/m ² /K)	FF(m ² .K/kW)
0	89.90	90.64	93.71	92.94	36	4.710	2.991	1.575	0.0021
2	90.03	90.78	93.79	93.14	36	4.732	3.006	1.574	0.0024
4	90.02	90.66	93.27	92.74	36	4.091	2.624	1.559	0.0085
6	89.27	90.05	93.29	92.46	36	4.915	3.142	1.564	0.0065
8	89.69	90.43	93.44	92.82	36	4.674	3.015	1.550	0.0122
10	89.72	90.48	93.51	92.89	36	4.785	3.046	1.571	0.0037
12	89.66	90.39	93.40	92.74	36	4.668	2.990	1.561	0.0076
14	89.80	90.54	93.47	92.96	36	4.693	2.998	1.565	0.0060
16	89.92	90.53	93.16	92.46	36	3.865	2.529	1.529	0.0213
18	89.93	90.61	93.47	92.69	36	4.291	2.743	1.564	0.0065
20	89.90	90.54	93.31	92.53	36	4.074	2.630	1.549	0.0127
22	88.74	89.48	92.67	91.84	36	4.719	3.078	1.533	0.0194
24	89.39	90.16	93.42	92.71	36	4.935	3.230	1.528	0.0216
26	89.51	90.28	93.49	92.67	36	4.853	3.118	1.557	0.0095
28	89.48	90.16	93.03	92.37	36	4.326	2.824	1.532	0.0199
30	90.18	90.95	94.07	93.38	36	4.864	3.105	1.567	0.0054
32	88.97	89.72	92.78	92.07	36	4.759	3.016	1.578	0.0007
34	89.32	90.02	92.96	92.24	36	4.404	2.875	1.532	0.0198
36	90.33	90.96	93.75	93.00	36	4.030	2.667	1.511	0.0289
38	90.53	90.86	92.21	92.01	36	2.125	1.399	1.518	0.0257
40	90.80	91.29	93.53	92.69	36	3.119	1.994	1.564	0.0064
42	88.43	89.23	92.67	91.98	36	5.068	3.444	1.472	0.0466
44	89.10	89.77	92.58	91.93	36	4.266	2.765	1.543	0.0153
46	88.46	89.15	92.05	91.39	36	4.369	2.864	1.526	0.0226
48	89.13	89.87	93.01	92.30	36	4.683	3.098	1.512	0.0286
52	89.56	90.30	93.33	92.60	36	4.652	2.974	1.564	0.0063
54	89.34	90.03	93.20	92.46	36	4.407	3.086	1.428	0.0673
56	88.96	89.61	92.33	91.67	36	4.142	2.660	1.557	0.0093
58	89.07	89.79	92.40	92.31	36	4.570	2.912	1.569	0.0042
60	89.32	89.97	92.33	92.39	36	4.093	2.703	1.514	0.0274
62	89.19	89.79	92.31	91.77	36	3.766	2.507	1.502	0.0329
64	89.27	89.93	92.83	92.08	36	4.190	2.795	1.499	0.0343
66	89.23	89.89	92.62	92.03	36	4.182	2.721	1.537	0.0177
68	89.61	90.15	92.47	91.80	36	3.405	2.206	1.544	0.0148
70	89.68	90.39	93.40	92.71	36	4.566	2.962	1.541	0.0158
74	89.37	90.10	93.22	92.46	36	4.620	3.041	1.519	0.0254
76	89.15	89.95	93.42	92.71	36	5.099	3.458	1.475	0.0452
78	89.61	90.39	93.79	93.07	36	4.975	3.370	1.476	0.0445
80	89.42	90.18	93.47	92.76	36	4.836	3.262	1.482	0.0416
82	89.32	90.03	93.22	92.49	36	4.508	3.121	1.444	0.0595
84	88.72	89.50	92.89	92.17	36	4.919	3.365	1.462	0.0511
86	89.34	90.08	93.36	92.64	36	4.718	3.233	1.459	0.0523
88	89.77	90.26	92.40	91.72	36	3.111	1.985	1.567	0.0052
90	89.72	90.41	93.40	92.69	36	4.363	2.921	1.494	0.0365
92	89.45	90.23	93.58	92.83	36	4.946	3.310	1.494	0.0362
94	89.61	90.35	93.58	92.92	36	4.660	3.226	1.445	0.0592
96	89.56	90.35	93.69	93.00	36	4.967	3.337	1.488	0.0390
98	89.29	90.05	93.34	92.64	36	4.814	3.265	1.474	0.0453
100	89.12	89.89	93.22	92.53	36	4.887	3.317	1.473	0.0459

* Cp AND DENSITY AS PER TABLE OF SEA WATER PROPERTIES

* HEAT TRANSFER SURFACE AREA = 0.37605 M²

(5.2)

Table 6(3) 試験-3の結果(2/2)

102	89.66	90.38	93.55	92.83	36	4.563	3.116	1.464	0.0500
104	89.19	89.90	93.07	92.37	36	4.487	3.117	1.440	0.0617
106	88.72	89.45	92.74	92.01	36	4.614	3.238	1.425	0.0688
108	88.69	89.43	92.80	91.94	36	4.711	3.243	1.453	0.0555
110	88.75	89.50	92.87	92.14	36	4.721	3.323	1.421	0.0709
112	88.68	89.42	92.64	91.91	36	4.708	3.169	1.486	0.0402
114	88.74	89.48	92.82	92.10	36	4.719	3.295	1.432	0.0654
116	88.79	89.58	93.07	92.37	36	5.033	3.483	1.445	0.0592
118	88.63	89.23	91.70	91.15	36	3.790	2.453	1.545	0.0142
120	89.39	90.15	93.49	92.78	36	4.831	3.314	1.458	0.0531
122	89.13	89.92	93.34	92.64	36	4.993	3.410	1.464	0.0500
124	89.21	89.87	92.89	92.17	36	4.180	2.936	1.424	0.0696
126	89.26	90.03	93.47	92.73	36	4.912	3.397	1.446	0.0585
128	89.07	89.85	93.27	92.55	36	4.981	3.391	1.469	0.0478
130	89.21	89.97	93.36	92.58	36	4.800	3.324	1.444	0.0595
132	89.15	89.93	93.38	92.67	36	4.996	3.430	1.456	0.0537
134	89.24	89.97	93.23	92.51	36	4.599	3.212	1.431	0.0657
136	89.37	90.15	93.53	92.80	36	4.932	3.347	1.473	0.0458
138	89.53	90.26	93.56	92.85	36	4.647	3.258	1.426	0.0683
140	89.35	90.10	93.47	92.56	36	4.721	3.221	1.466	0.0494
142	89.56	90.30	93.60	92.83	36	4.652	3.231	1.440	0.0615
144	89.55	89.95	91.82	91.22	36	2.568	1.723	1.491	0.0379
146	89.43	90.10	93.01	92.30	36	4.214	2.833	1.487	0.0395
148	89.43	89.95	92.31	91.65	36	3.280	2.237	1.467	0.0490
150	89.50	90.23	93.34	92.58	36	4.641	3.038	1.528	0.0216
152	89.39	90.15	93.53	92.83	36	4.831	3.361	1.437	0.0629
154	89.43	89.97	92.44	91.80	36	3.384	2.373	1.426	0.0684
156	89.61	90.21	92.96	92.28	36	3.823	2.656	1.439	0.0619
158	89.50	90.21	93.47	92.73	36	4.537	3.187	1.423	0.0696
160	89.34	90.05	93.27	92.53	36	4.511	3.150	1.432	0.0654
162	89.32	90.10	93.55	92.80	36	4.924	3.405	1.446	0.0586
164	89.31	90.02	93.18	92.42	36	4.505	3.080	1.463	0.0508
166	89.02	89.79	93.14	92.58	36	4.870	3.414	1.426	0.0681
168	89.35	90.07	93.33	92.55	36	4.513	3.167	1.425	0.0689
170	89.29	90.05	93.40	92.67	36	4.814	3.310	1.454	0.0546
172	88.55	89.34	92.82	92.07	36	4.990	3.439	1.451	0.0563
174	88.32	89.08	92.49	91.75	36	4.848	3.364	1.441	0.0611
176	90.07	90.80	94.15	93.42	36	4.631	3.297	1.404	0.0791
178	91.80	92.53	95.84	95.09	36	4.589	3.242	1.416	0.0735
180	90.08	90.74	93.60	93.22	36	4.207	2.964	1.419	0.0717

* CP AND DENSITY AS PER TABLE OF SEA WATER PROPERTIES
 * HEAT TRANSFER SURFACE AREA = 0.37605 M²

(5.2)

Table 6(4) 試験-4の結果(1/2)

Time (hrs)	T1 (C)	T2 (C)	t1 (C)	t2 (C)	FR(l/min)	HF(kW/m2)	LMTD	U(kW/m2/K)	FF(m2.K/kw)
0	99.811	100.58	103.74	102.96	36	4.857	3.093	1.571	0.0038
2	100.28	100.98	103.87	103.22	36	4.481	2.863	1.565	0.0061
4	100.04	100.87	104.01	103.22	33	4.764	3.090	1.542	0.0157
6	100.04	100.82	104.01	102.96	34	4.624	2.962	1.561	0.0078
8	100.75	101.52	104.54	103.74	34	4.592	2.940	1.562	0.0075
10	101.22	102.01	105.08	104.24	34	4.668	2.975	1.569	0.0045
14	100.98	101.74	105.36	103.79	36	4.747	3.073	1.545	0.0144
16	101.27	101.96	104.81	104.11	36	4.324	2.789	1.551	0.0120
18	101.71	102.46	105.53	104.54	34.5	4.511	2.863	1.576	0.0017
20	101.49	102.26	105.06	104.59	34	4.561	2.909	1.568	0.0048
22	101.25	102.03	104.95	104.41	34	4.672	2.987	1.564	0.0065
24	100.96	101.74	104.7	104.08	34	4.626	2.991	1.546	0.0138
26	100.51	101.27	104.32	103.43	34	4.555	2.906	1.567	0.0052
28	101.03	101.81	104.87	104.14	34.5	4.705	3.018	1.559	0.0086
30	101.56	102.33	105.42	104.59	34.5	4.640	2.987	1.553	0.0108
34	103.12	103.87	106.75	106.2	34.5	4.572	2.933	1.559	0.0086
36	102.94	103.77	106.72	106.03	31.5	4.585	2.959	1.549	0.0125
38	102.11	102.89	105.78	104.92	31	4.247	2.772	1.532	0.0198
40	101.61	102.36	105.42	104.68	36	4.691	3.000	1.564	0.0065
42	102.11	102.84	106	105.03	36	4.610	2.964	1.555	0.0101
44	102.76	103.48	106.63	105.64	36	4.549	2.933	1.551	0.0119
48	100.46	101.18	104.24	103.38	36	4.510	2.920	1.545	0.0144
50	100.72	101.44	104.46	103.58	35	4.424	2.866	1.544	0.0148
52	101.44	102.18	105.36	104.41	36	4.664	2.991	1.559	0.0084
54	100.98	101.64	104.41	103.61	36	4.127	2.631	1.569	0.0045
56	101.13	101.91	104.87	104.14	33	4.515	2.919	1.547	0.0135
58	100.42	101.18	104.11	103.48	34	4.540	2.945	1.542	0.0158
60	101.59	102.36	105.3	104.73	34	4.577	2.994	1.528	0.0214
62	102.16	102.89	106	105.19	36	4.618	3.012	1.533	0.0194
64	101.76	102.48	105.53	104.76	36	4.556	2.958	1.540	0.0164
66	101.35	102.03	104.76	104.32	36	4.335	2.815	1.540	0.0164
68	102.23	102.94	106.06	105.17	36	4.468	2.957	1.511	0.0290
70	101.91	102.58	105.47	104.78	36	4.260	2.828	1.506	0.0309
72	101.56	102.26	105.25	104.51	36	4.368	2.913	1.499	0.0340
74	101.44	102.03	104.59	103.87	36	3.722	2.438	1.527	0.0221
76	101.49	102.23	105.33	104.62	36	4.672	3.058	1.528	0.0217
78	101.37	101.81	103.82	103.09	36	2.778	1.804	1.540	0.0165
80	101.39	102.13	105.3	104.51	36	4.656	3.083	1.510	0.0292
82	101.37	102.08	105.39	104.59	36	4.496	3.206	1.402	0.0803
84	101.54	102.31	105.58	104.84	36	4.838	3.229	1.498	0.0345
86	101.06	101.81	105.11	104.38	36	4.758	3.256	1.462	0.0513
88	101.18	101.93	105.22	104.49	36	4.778	3.242	1.474	0.0457
90	101.54	102.11	104.78	103.87	36	3.577	2.431	1.472	0.0466
92	101.76	102.51	105.86	105.14	36	4.715	3.313	1.423	0.0698
94	101.66	102.43	105.78	104.97	36	4.858	3.267	1.487	0.0396
96	101.81	102.48	105.47	104.57	36	4.245	2.800	1.516	0.0266
98	101.22	102.01	105.44	104.7	36	4.942	3.400	1.454	0.0551
100	101.32	102.08	105.36	104.59	36	4.802	3.215	1.493	0.0367
102	101.08	101.86	105.3	104.54	36	4.918	3.394	1.449	0.0573

* Cp AND DENSITY AS PER TABLE OF SEA WATER PROPERTIES

* HEAT TRANSFER SURFACE AREA = 0.37605 M²

(5.2)

Table 6(4) 試験-4の結果(2/2)

104	100.87	101.66	105.19	104.46	36	5.036	3.507	1.436	0.0635
106	101.44	102.08	104.92	104.16	36	4.035	2.721	1.483	0.0413
108	101.47	102.26	105.75	104.95	36	4.983	3.426	1.455	0.0546
110	102.06	102.84	106.29	105.53	36	4.924	3.403	1.447	0.0583
114	101.03	101.76	105.06	104.22	36	4.599	3.177	1.448	0.0578
118	101.49	102.21	105.36	104.54	36	4.514	3.037	1.486	0.0398
120	101.49	102.23	105.5	104.7	36	4.672	3.178	1.470	0.0473
122	101.35	102.03	105.14	104.3	36	4.335	2.965	1.462	0.0509
124	101.32	102.03	105.3	104.51	36	4.488	3.173	1.414	0.0741
126	101.06	101.81	105.22	104.38	36	4.758	3.303	1.441	0.0613
128	100.96	101.54	104.24	103.48	36	3.661	2.553	1.434	0.0645
130	101.01	101.78	105.22	104.35	36	4.906	3.322	1.477	0.0443
132	100.82	101.59	105	104.14	36	4.874	3.300	1.477	0.0441
134	100.84	101.59	104.95	104.11	36	4.723	3.250	1.453	0.0552
136	101.03	101.69	104.7	103.79	36	4.134	2.817	1.468	0.0484
138	101.06	101.71	104.78	103.82	36	4.137	2.842	1.456	0.0539
140	100.84	101.61	105.14	104.3	36	4.878	3.428	1.423	0.0699
142	101.03	101.76	105.03	104.24	36	4.599	3.181	1.446	0.0587
144	101.37	102.11	105.42	104.62	36	4.653	3.220	1.445	0.0591
146	101.37	102.03	105.11	104.3	36	4.182	2.943	1.421	0.0707
148	101.39	102.16	105.61	104.76	36	4.814	3.343	1.440	0.0617
150	100.98	101.71	104.89	104.35	36	4.592	3.233	1.420	0.0712
152	100.77	101.52	104.89	104.16	36	4.712	3.332	1.414	0.0742
154	100.84	101.59	104.97	104.24	36	4.723	3.340	1.414	0.0743
158	101.03	101.69	104.76	103.93	36	4.134	2.919	1.416	0.0731
160	101.32	102.03	105.36	104.57	36	4.488	3.229	1.390	0.0865
162	101.35	102.08	105.44	104.62	36	4.649	3.257	1.427	0.0676
164	101.37	102.03	105.3	104.46	36	4.182	3.120	1.340	0.1133
166	101.3	102.01	105.36	104.51	36	4.484	3.222	1.392	0.0855
168	101.35	102.06	105.42	104.59	36	4.492	3.243	1.385	0.0891
170	100.96	101.66	105.03	104.19	36	4.433	3.238	1.369	0.0975
172	101.01	101.74	105.11	104.41	36	4.595	3.335	1.378	0.0929
174	101.3	101.91	104.84	104.06	36	3.859	2.788	1.384	0.0894
176	101.27	101.96	105.3	104.32	36	4.324	3.126	1.383	0.0899

* Cp AND DENSITY AS PER TABLE OF SEA WATER PROPERTIES
 * HEAT TRANSFER SURFACE AREA = 0.37605 M²

(5.2)

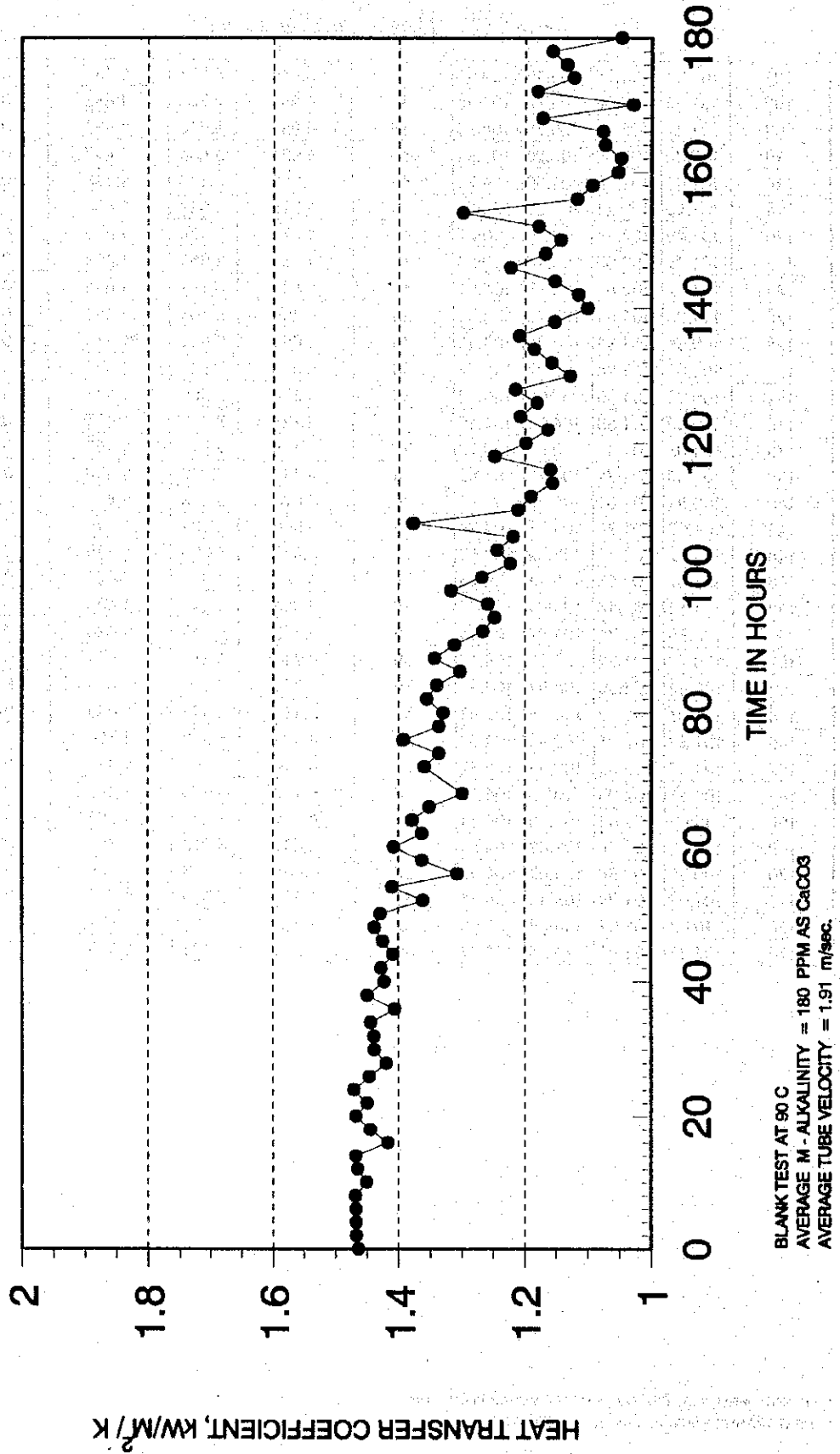


Fig. 2 (1) 試験-1における伝熱係数の経時変化

(5. 2)

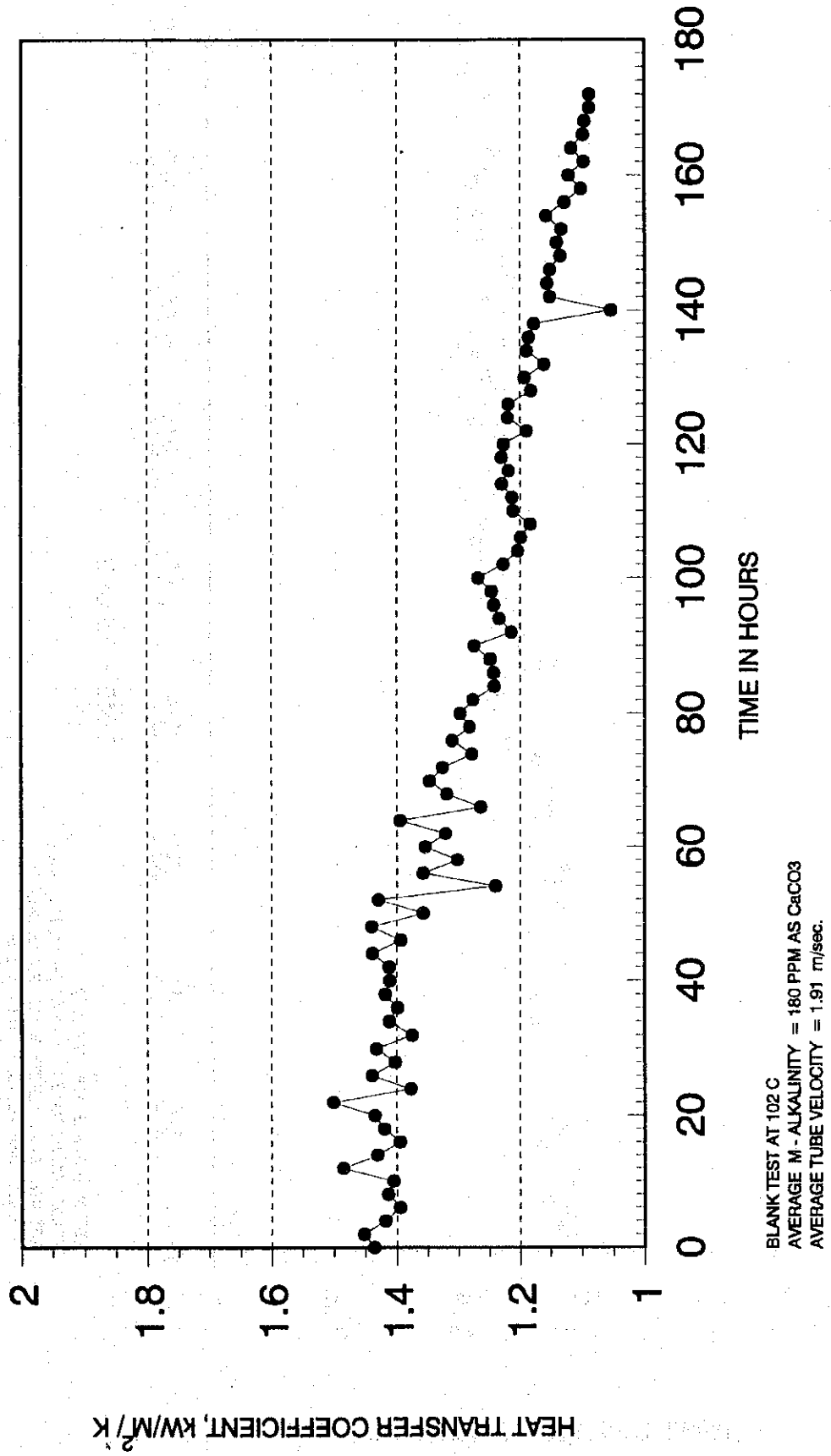


Fig. 2 (2) 試験 - 2 における伝熱係数の経時変化

(5.2)

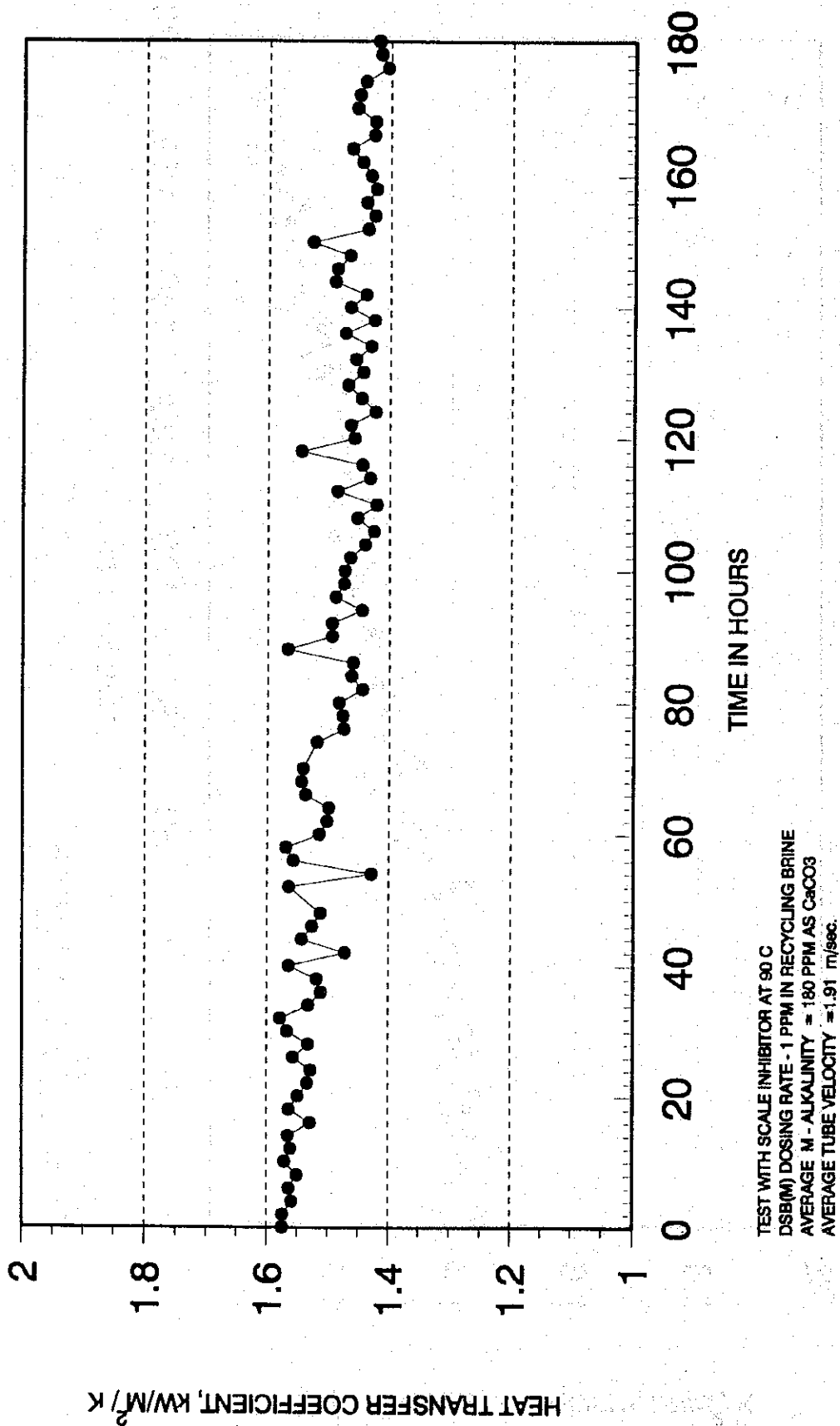


Fig. 2 (3) 試験 - 3 における伝熱係数の経時変化

(5.2)

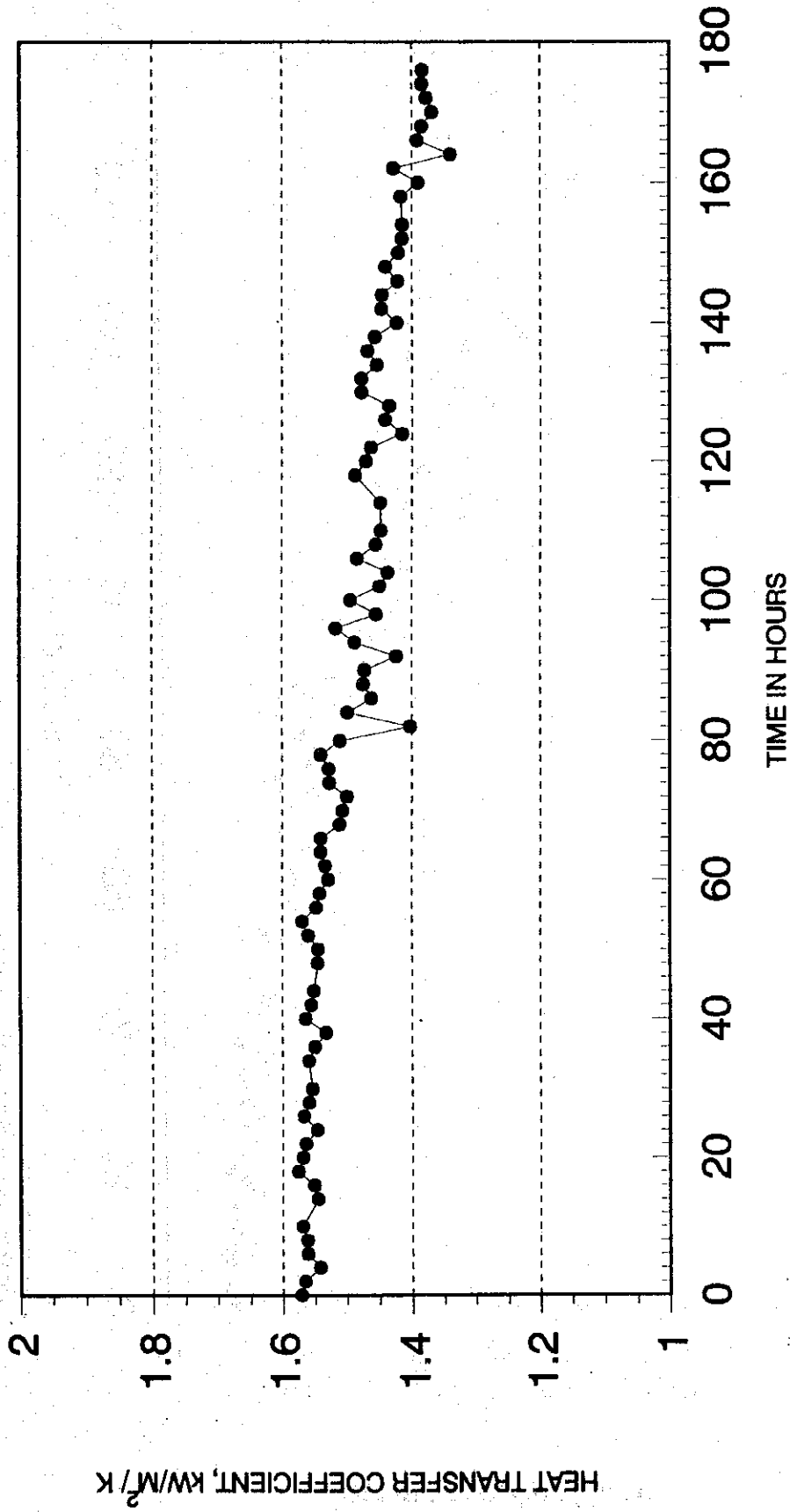


Fig. 2 (4) 試験 - 4 における伝熱係数の経時変化

(5.2)

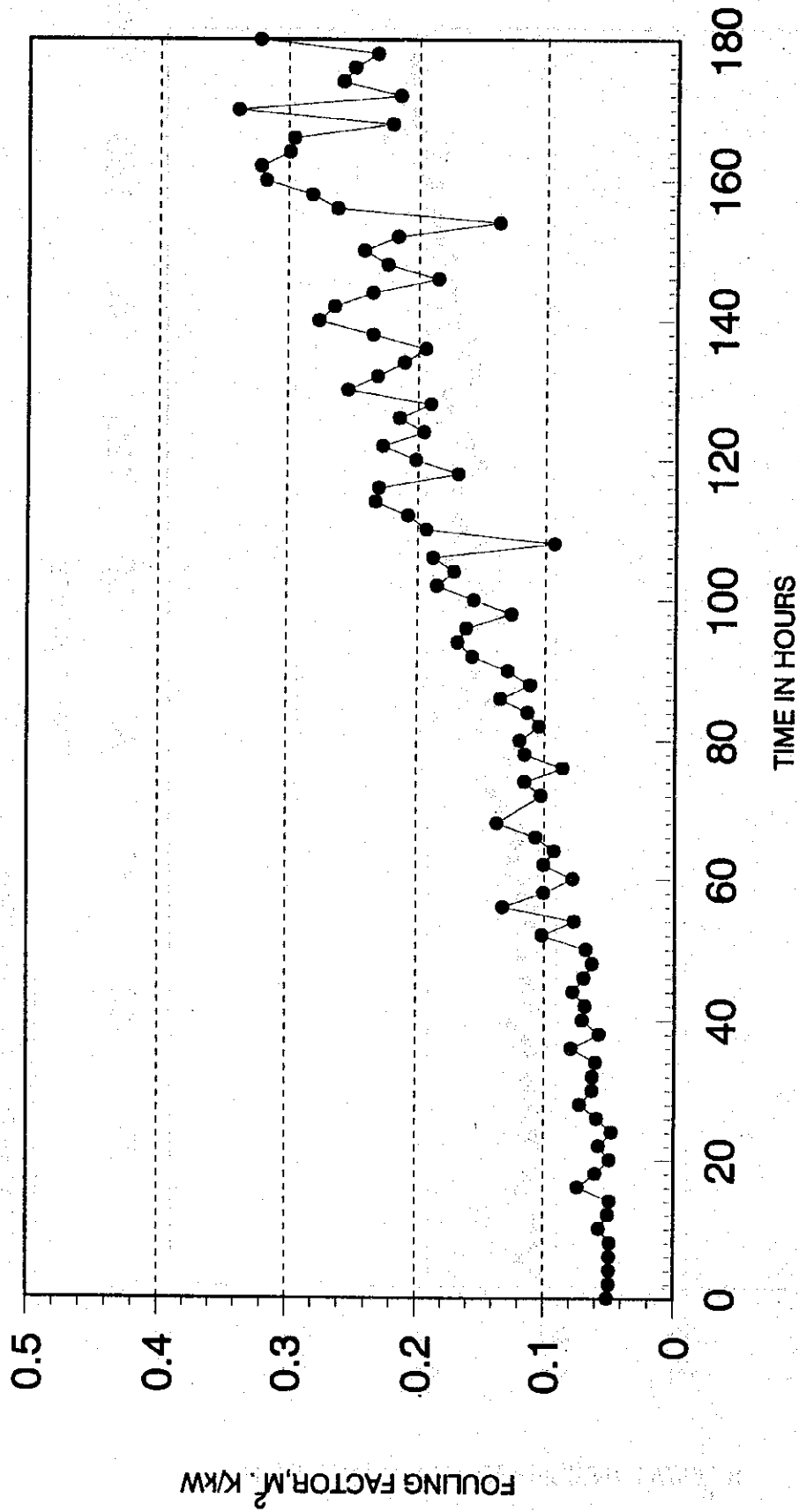


Fig. 3 (1) 試験-1における汚れ係数の経時変化

(5.2)

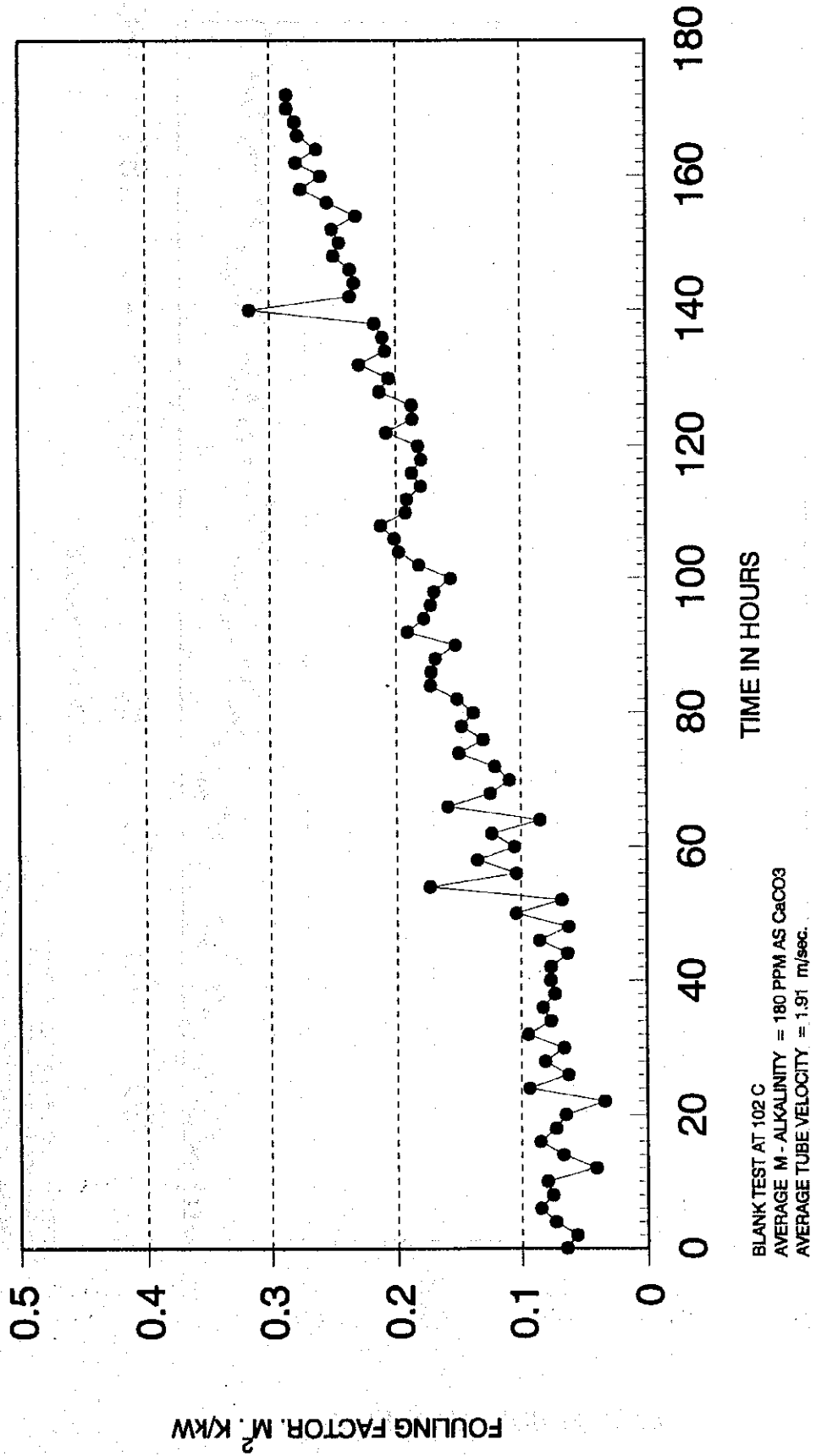


Fig. 3 (2) 試験-2 における汚れ係数の経時変化

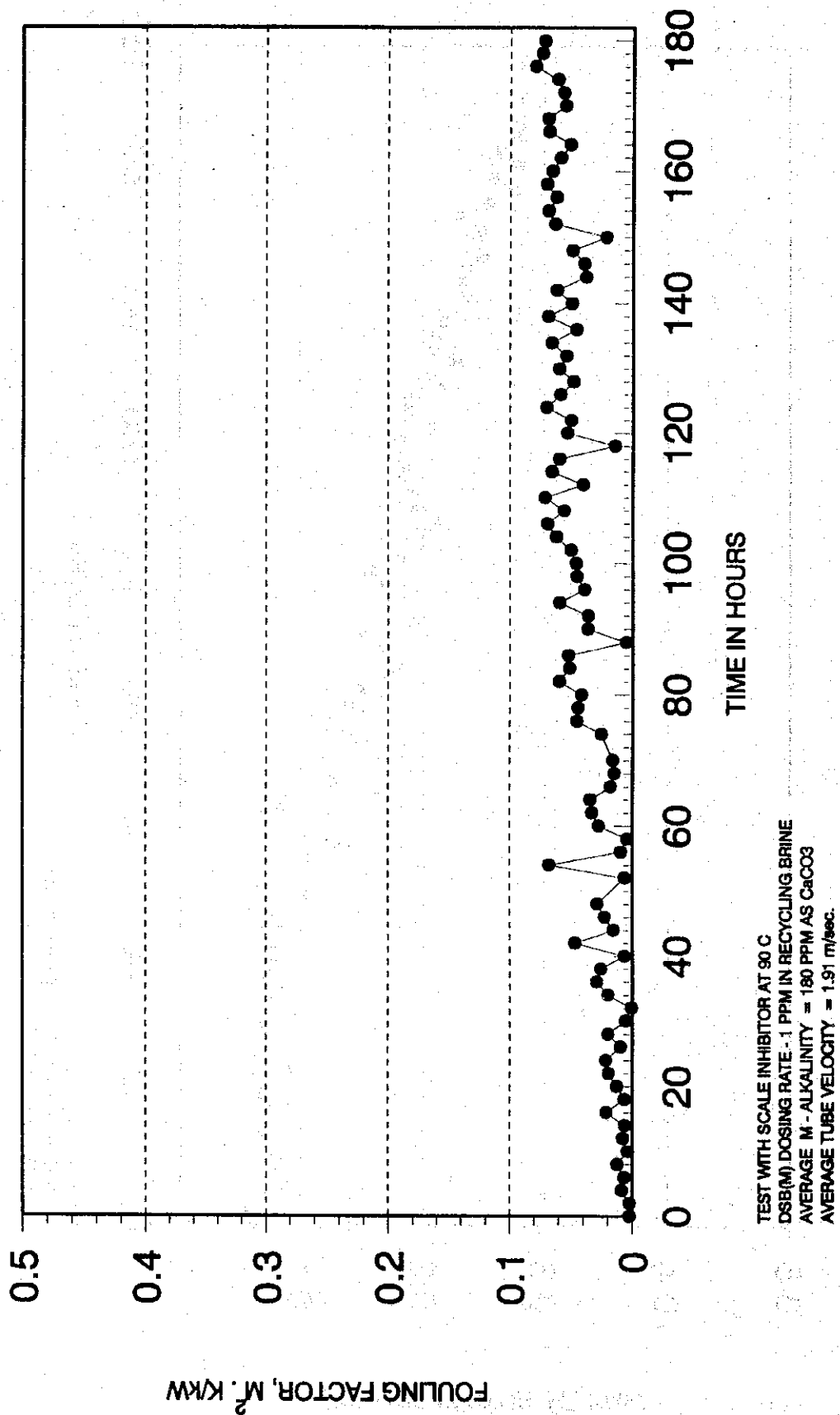
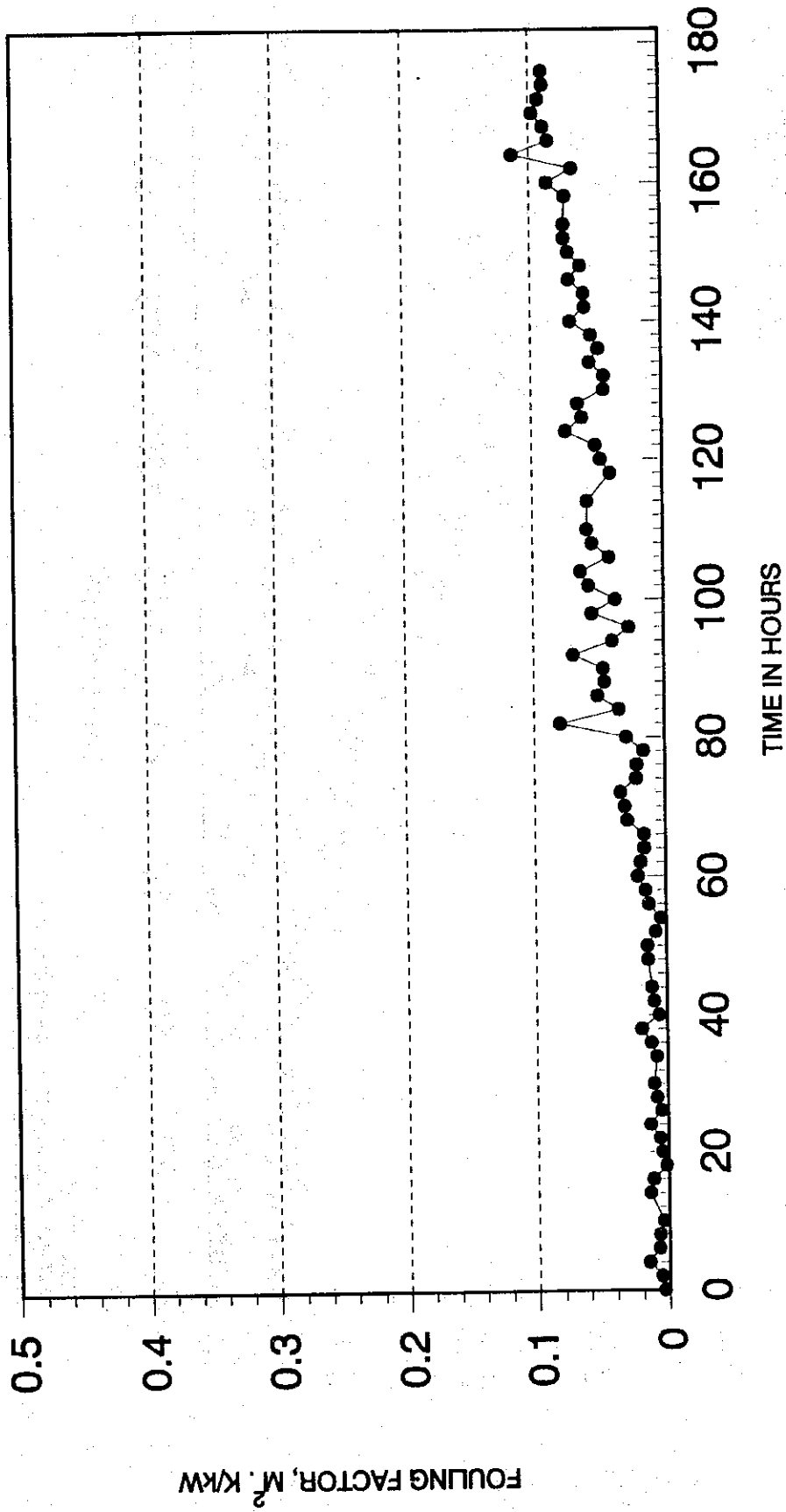


Fig. 3 (3) 試験 - 3 における汚れ係数の経時変化

(5.2)



TEST WITH SCALE INHIBITOR AT 102 C
DSB(M) DOSING RATE - 1 PPM IN RECYCLING BRINE
AVERAGE M - ALKALINITY = 180 PPM AS CaCO3
AVERAGE TUBE VELOCITY = 1.91 m/sec.

Fig. 3 (4) 試験 - 4 における汚れ係数の経時変化

(5.2)

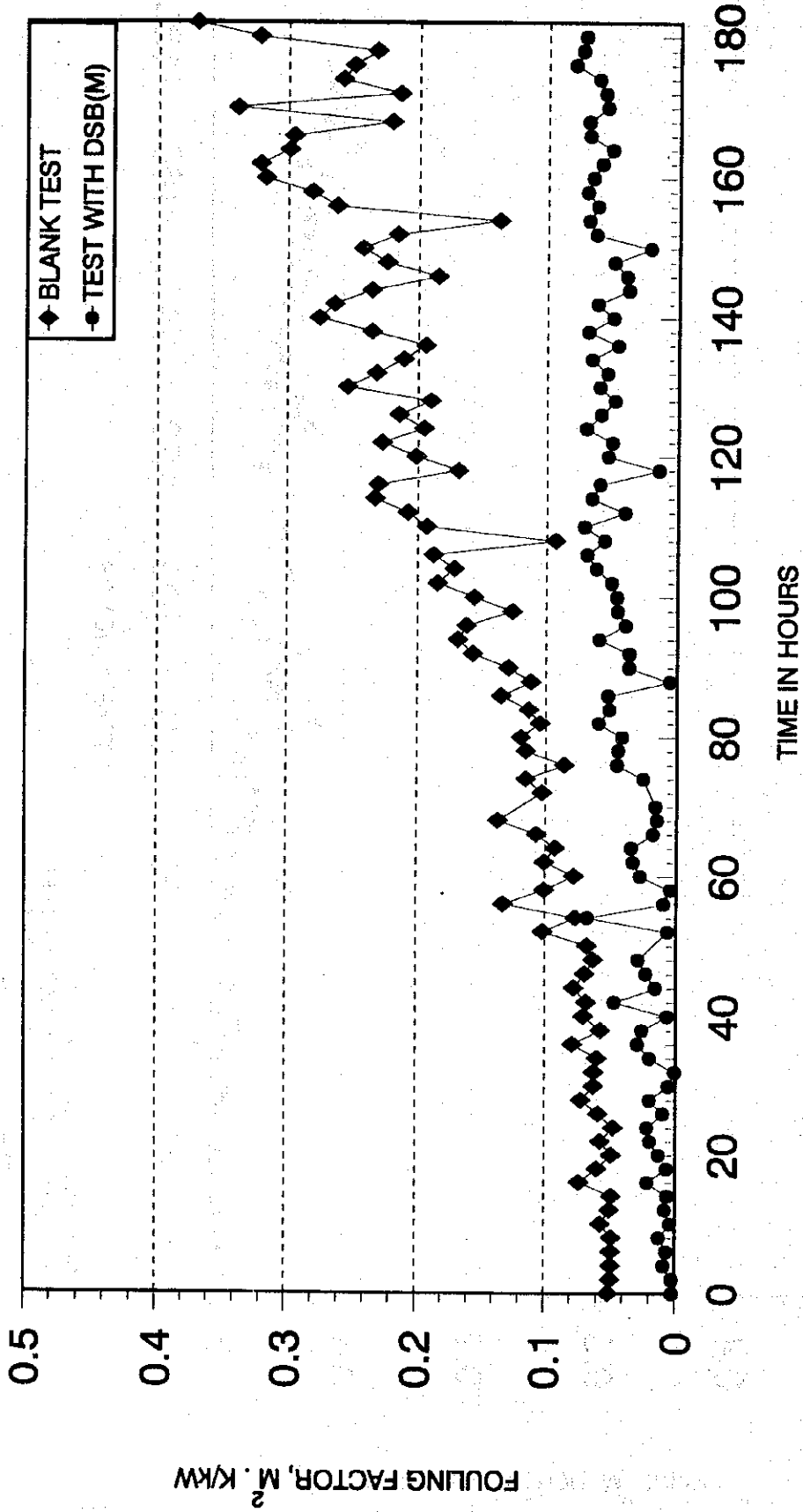
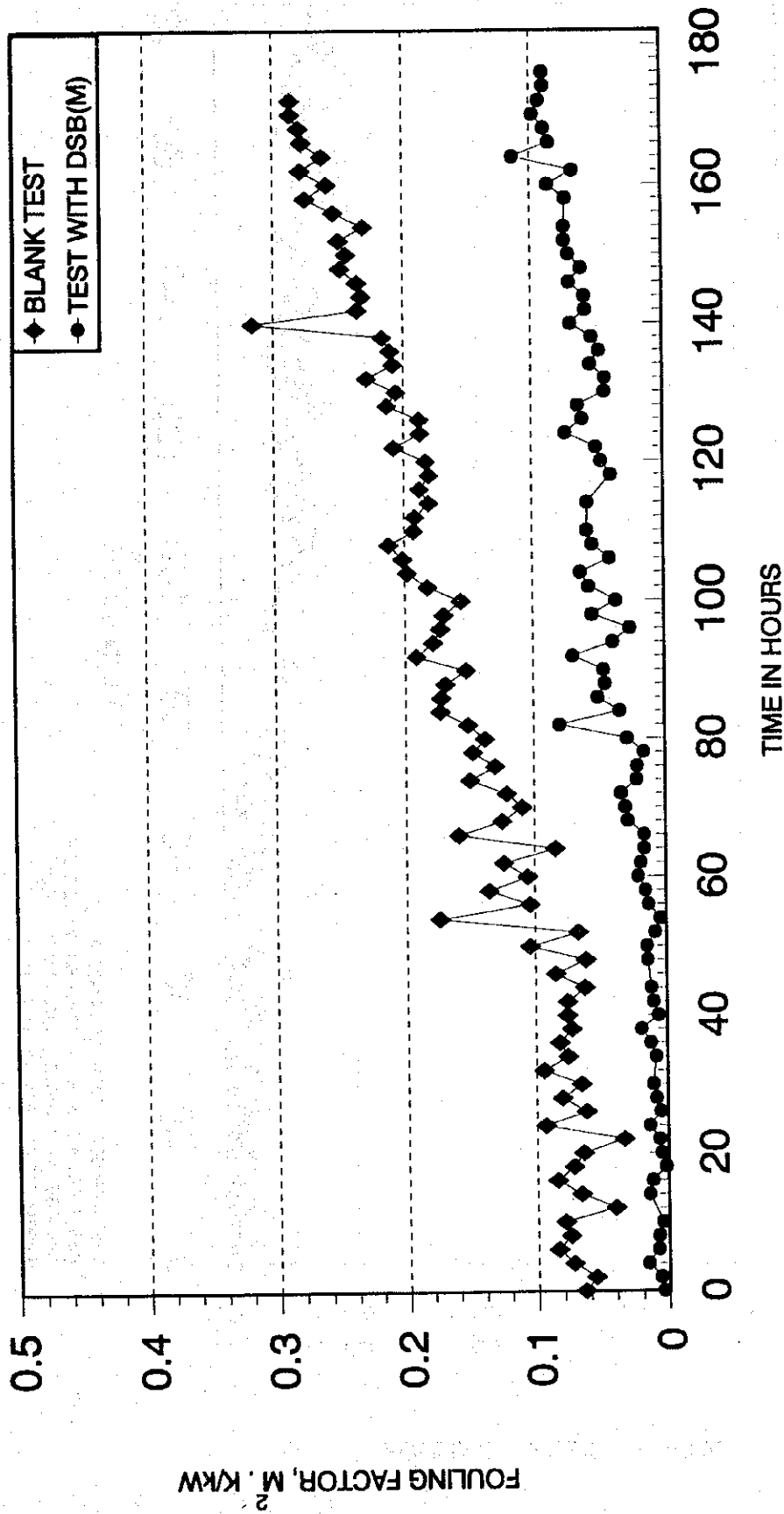


Fig. 4 (1) 試験-1および3における汚れ係数の経時変化



TESTS AT 102 C
AVERAGE M - ALKALINITY = 180 PPM AS CaCO₃
AVERAGE TUBE VELOCITY = 1.91 m/sec.

Fig. 4 (2) 試験 - 2 および 4 における汚れ係数の経時変化

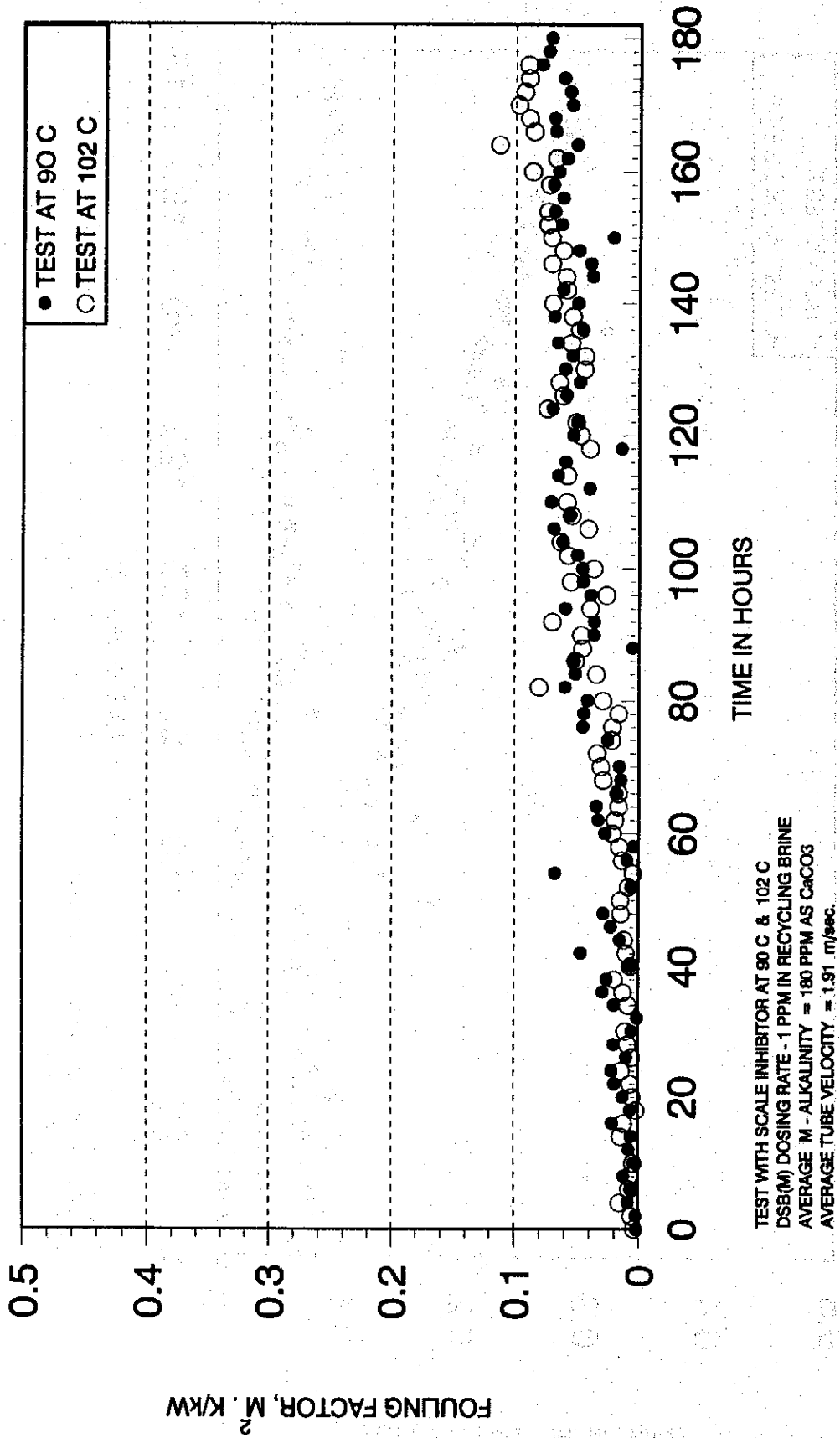


Fig. 4 (3) 試験 - 3 および 4 における汚れ係数の経時変化

7. 考察

Fig. 2(1)~(4)およびFig. 3(1)~(4)は伝熱係数と汚れ係数の経時変化をそれぞれ示したものである。()内の数は試験番号を示し、1および2は90℃および102℃それぞれの温度におけるブランク(参照)実験を、また、3および4は同じ温度での追加試験を意味している。

Fig. 2(1)~(2)およびFig. 3(1)~(2)をみると、ブランク試験では伝熱量の悪化が顕著に現れている。この2つのブランク試験における汚れ係数は、初期には0.05 K/kWのオーダーであったものが、180時間以降には約0.3 K/kWに達している。90℃と102℃の温度における伝熱の挙動には質、量ともに違いはない。一方、追加試験では、Fig. 2(3)~(4)およびFig. 3(3)~(4)に示すように伝熱の質的悪化はそれほど大きくない。90℃および102℃の実験の初期の汚れ係数はいずれもほぼゼロである。その後、汚れ係数は時間とともに小さな勾配を持った増加傾向を示し、90℃では $0.07\text{m}^2\text{K/kW}$ に、102℃では $0.08\text{m}^2\text{K/kW}$ に達している。

ブランク試験と追加試験の伝熱挙動を比較すると、スケール抑制剤の効果が顕著に現れている。また、追加試験間の伝熱挙動を比較すると、102℃における汚れ係数の増加率は90℃よりもわずかに高い傾向がみられる。このことから、スケールの形成と析出の過程は温度に依存していることが推測される。

計算による汚れ係数を参照にした新管時の伝熱係数を、全ての実験で $1.58\text{ kW/m}^2\text{ }^\circ\text{K}$ に設定した。ブランク試験開始時の伝熱係数の値は追加試験の値よりわずかに低く、汚れ係数が追加試験と比較すべきブランク試験の開始時の汚れ係数よりやや高い結果となっている。これはブランク試験終了後に、伝熱管に漏れがあることが確認されたためにこれを交換し、追加試験は新しい伝熱管で行ったためである。

8. まとめ

- (1) 実験は、MSF実プラントのブラインヒーターと同様の条件のもとで、伝熱量測定設備を具備した実験室規模の伝熱試験装置を用いて行った。
- (2) 実験によって得られた結果は非常に限られたものではあるが、伝熱試験装置によるスケール抑制剤の効果の確認は非常に有効な方法であることが示された。
- (3) 長時間(1,000~2,000時間)試験を実施することによって、さらに取得データの信頼性を図ることができる。今回の実験手法の確立により、SWCC独自でこれらの試験を実施することが可能になったので、今後の進展に期待したい。

9. 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セス・レポート，1993

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

(5.3.1)

目 次

1. まえがき	1
2. 設置と作動試験	1

(5.3.1)

表 一 覧

表 番	題 名	頁
Table 1	MSFテストプラント計器調整と設置の日付	13

(5.3.1)

図 一 覧

図 番	題 名	頁
Fig. 1	第2週目の設置状況	2
Fig. 2	ブラインヒータの空気漏れテスト	3
Fig. 3	供給水タンクと燃料油タンク	5
Fig. 4	ブラインヒータの保温	6
Fig. 5	燃料油タンク	8
Fig. 6	完成したMSFテストプラント(3)	12
Fig. 7	ポンプの作動試験記録	21
Fig. 8	P & I ダイアグラム	29

(5.3.1)

1. まえがき

M S Fテストプラントの設置作業は予定通り進行した。ただし、試運転および性能テスト用のボイラ燃料油に関しては、重油（バンカーC）と軽油の混合して使用することにした。

各ポンプの作動試験の記録は Fig. 18に示した。

M S Fテストプラント用計器類の目盛り調整と設置の日付はTable 1に示した。

M S Fテストプラント（20トン/日）のP & IダイアグラムはFig. 19に示した。

2. 設置と作動試験

試運転開始に至るまでのM S Fテストプラントの設置作業は次のように進行した。

・第1週/第2週（1993年7月31日 - 1993年8月11日）

(1) 機械系統

- 1) ブライン再循環ポンプ、生産水ポンプ、補給ポンプのカップリングを配列調節
- 2) 油面計の交換、およびブライン再循環ポンプ、生産水ポンプ、補給ポンプのカップリングボルトの締め付けを実施
- 3) 燃料油タンクの内側およびフラッシュ室の第6段をチェック
- 4) 燃料油タンクの油面計の設置と調整
- 5) ボイラの油圧試験とフラッシング

(2) 配管

- 1) 下記の組立済み配管をチェック
原海水、補給水、ブライン再循環水、生産水、および薬剤注入関連の配管
- 2) M S F生産水管からボイラ供給水タンクに至る給水ラインを設置

(3) 計器類

- 1) 温度計保護管、圧力計、トランスミッタ、流路スイッチ、液面制御装置等を設置

(4) 絶縁処置

- 1) 保温工事の方法についての説明

(5.3.1)

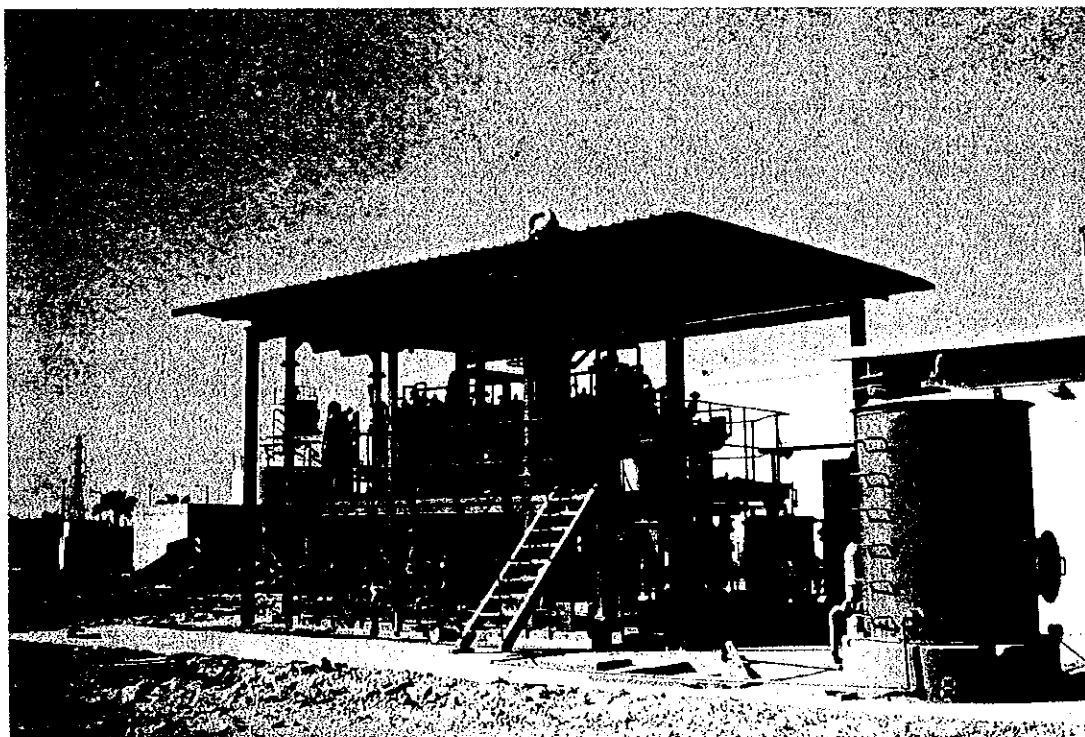


Fig. 1 第2週目の設置状況

・第3週（1993年8月12日 - 1993年8月18日）

(1) 機械系統

- 1) 蒸発缶、ブラインヒータ、エゼクタコンデンサ、脱気器、蒸気配管の空気漏れテスト
- 2) ブラインヒータの水室カバーを開いて、フェルール方式で固定したチューブをチェック

(2) 計器類

- 1) 制御バルブ用のトランスミッタと空気圧導管を設置

(3) 電気系統

- 1) 薬剤注入ポンプ、ブロワ、アジテータの電源ケーブルの敷設と端末設定

(4) 塗装

- 1) 塗装方法の検討

(5.3.1)

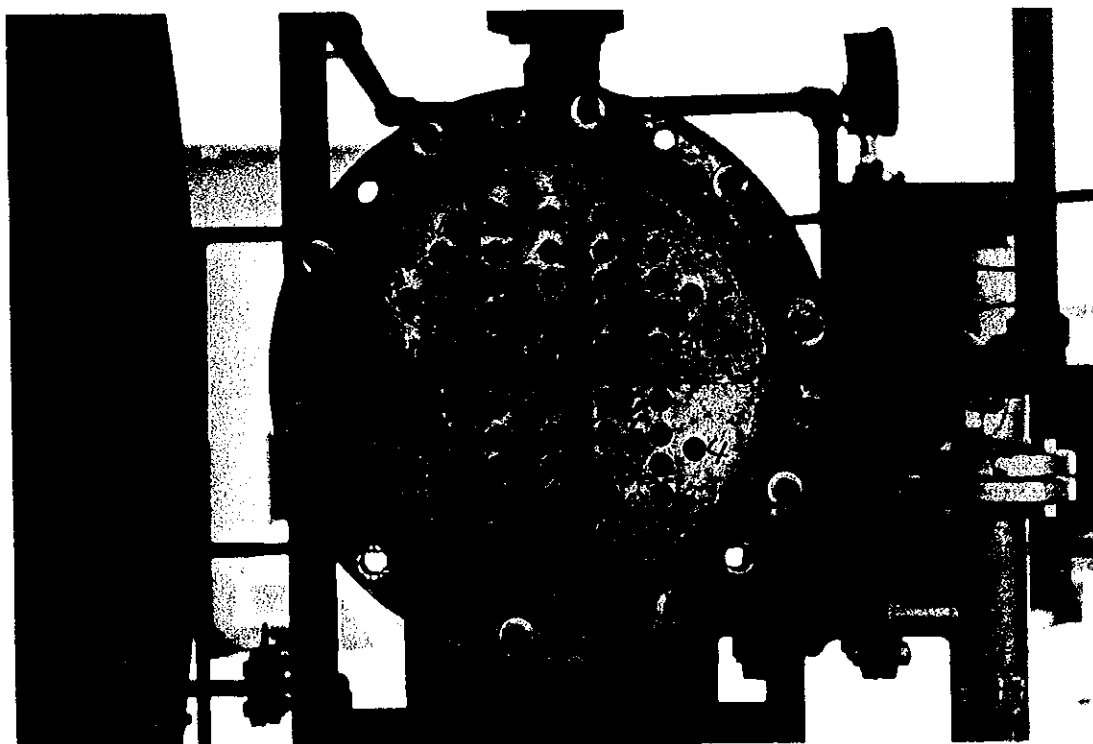


Fig. 2 ブラインヒータの空気漏れテスト

・第4週（1993年8月19日 - 1993年8月25日）

(1) 機械系統

- 1) ブライン再循環ポンプ、生産水ポンプ、補給水ポンプに接続されている各モータを分解してオーバーホール

(2) 電気系統

- 1) 制御パネルとプラント側との間の電源ケーブルの敷設と端末設定

(3) 計器類

- 1) ケーブルトレイを設置
- 2) 制御バルブ用トランスミッタと空気圧導管を設置
- 3) 制御パネルとフィールドの間の信号ケーブルの敷設と終端設定
- 4) 制御バルブのアクチュエータのチェックと目盛り調整
- 5) 圧力指示計の目盛り調整

(4) 塗装

- 1) 燃料油タンク、水タンク、蒸発缶の塗装

(5.3.1)

・第5週(1993年8月26日 - 1993年9月25日)

(1) 機械系統

1) 下記のポンプに接続された各モータを分解してオーバーホール

- ・消泡剤注入ポンプ
- ・酸注入ポンプ
- ・スケール防止剤注入ポンプ
- ・亜硫酸ナトリウム注入ポンプ
- ・酸洗浄ポンプ

2) アジテータとブロワに接続された各モータを分解

(2) 配管

1) 燃料油タンク管および海水供給管を設置

(3) 電気系統

1) テストプラント側に照明器具を設置

2) 下記のポンプに接続された各モータをオーバーホール

- ・ブライン再循環ポンプ
- ・生産水ポンプ
- ・補給水ポンプ
- ・スケール防止剤注入ポンプ
- ・酸注入ポンプ
- ・亜硫酸ナトリウム注入ポンプ
- ・消泡剤注入ポンプ
- ・酸洗浄ポンプ

(4) 計器類

1) ボイラ用圧力制御装置の目盛り調整

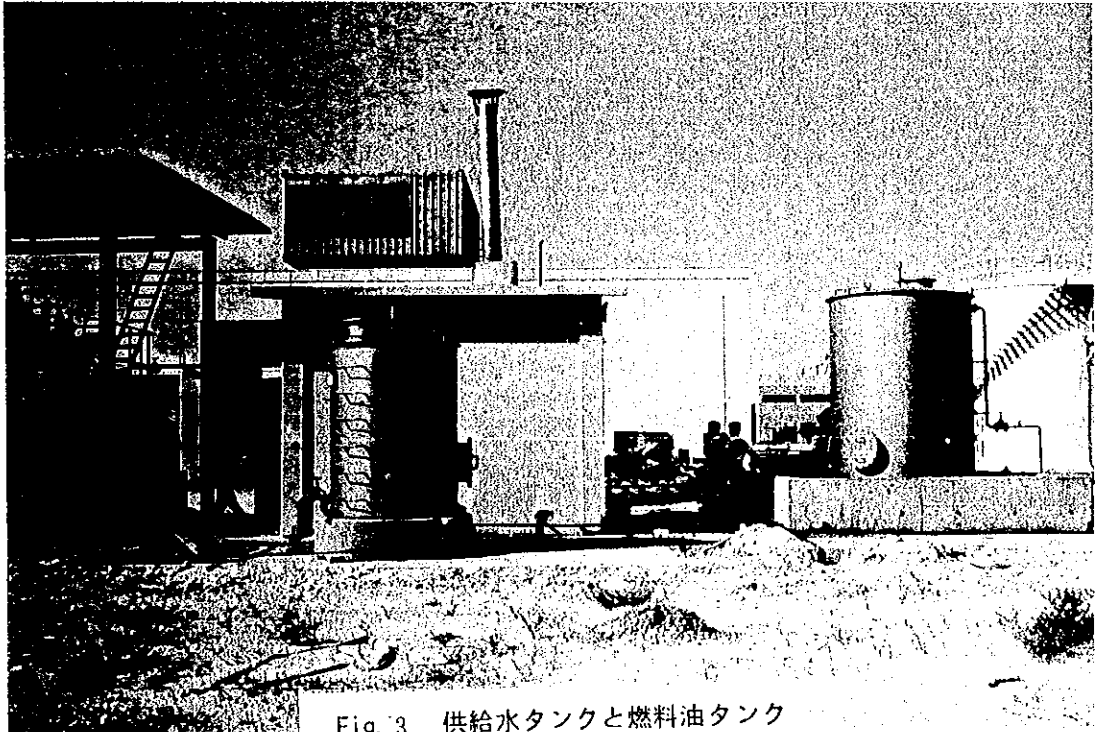


Fig. 3. 供給水タンクと燃料油タンク

・第6週（1993年9月2日 - 1993年9月8日）

(1) 機械系統

1) 下記のポンプに接続される各モータの再取り付け

- ・ブライン再循環ポンプ
- ・生産水ポンプ
- ・補給水ポンプ
- ・スケール防止剤注入ポンプ
- ・酸注入ポンプ
- ・亜硫酸ナトリウム注入ポンプ
- ・消泡剤注入ポンプ
- ・酸洗浄ポンプ

2) アジテータとブロワに接続される各モータの再取り付け

3) すべての遠心ポンプの配列調整

(2) 電気系統

1) モータのケーブルを接続して、回転方向をチェック

2) フィールドに照明器具を設置

3) ボイラパネルとオイルヒータのケーブルを敷設と端末設定

(3) 計器類

1) 制御パネル上のPIHメータ、調節器、記録計の目盛り調整

2) 温度計用の信号ケーブルを接続

(5.3.1)

- 3) ケーブル箱のカバーを設置
- (4) 保温処置
 - 1) 蒸発器、ブラインヒータ、エゼクタコンデンサ、蒸気管の保温
- (5) 塗装
 - 1) MSFテストプラントの各構成部分の塗装

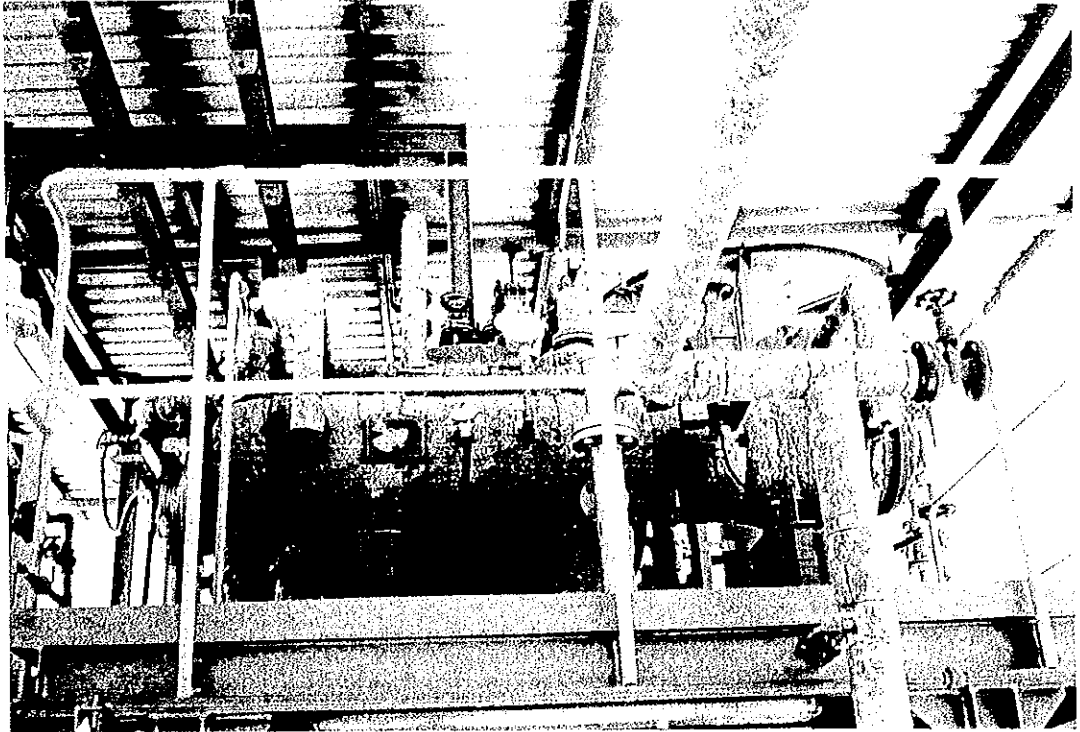


Fig. 4 ブラインヒータの保温

(5.3.1)

第7週 (1993年9月9日 - 1993年9月15日)

(1) 機械系統

- 1) 第1～5フラッシュ室のオリフィスをチェック
- 2) 脱気器のスプレーノズルをチェック
- 3) ブライン再循環ポンプ、生産水ポンプ、補給水ポンプのグランドパッキングを交換
- 4) 燃料油ブースタポンプの配列調整

(2) 配管

- 1) 空気管および雑用水管を設置

(3) 電気系統

- 1) ボイラパネルのシーケンスをチェック

(4) 計器類

- 1) 制御パネル上のDOメータ、調節器、記録計の日盛り調整
- 2) 制御バルブ、流量計、PHメータ、温度計、液面調節器の機能をチェック

(5) 保温処置

- 1) 蒸発器、ブラインヒータ、エゼクタコンデンサ、蒸気管、燃料油管の保温

(6) 塗装

- 1) MSFテストプラントの各構成部分の塗装

(7) 土木

- 1) 蒸発器スキッド、ボイラ燃料油タンク、ボイラ供給水タンクのグラウト仕上げ

(8) 作動試験

- 1) 空気圧縮機の試運転
- 2) 下記の薬剤注入ポンプの試運転
 - 亜硫酸ナトリウム
 - 消泡剤
 - スケール防止剤
 - 酸

(5.3.1)

・第8週(1993年9月16日 - 1993年9月22日)

(1) 機械系統

1) ボイラバーナ、ソフトナ、燃料油タンクをチェック

(2) 電気系統

1) ボイラ用のポンプとブロワの回転をチェック

2) HV電気ケーブルの終端設定

(3) 計器類

1) 空気圧縮機につながる計器用空気配管のフラッシュ

2) 最終段フラッシュ室のブライン液面調節器のトラブルを発見

(4) 保温処置

1) 蒸発器、ブラインヒータ、エゼクタコンデンサ、蒸気管、燃料油管の保温

(5) 作動試験

1) 薬剤注入ポンプの流速をチェック

2) 下記のポンプの試運転

- ・ 酸洗浄
- ・ 生産水

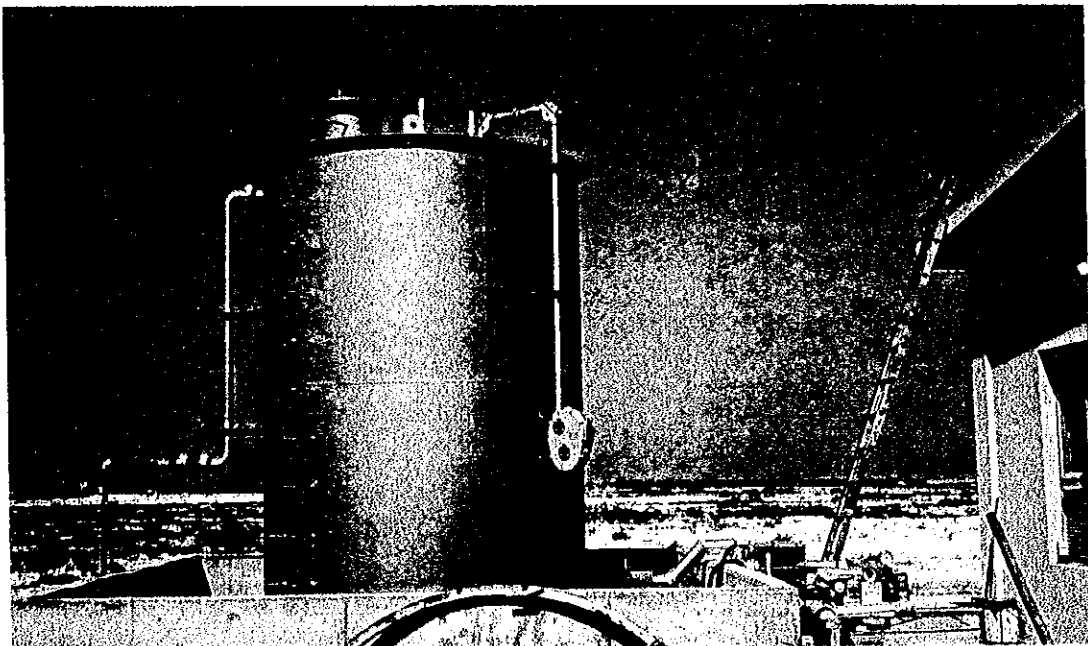


Fig. 5 燃料油タンク

(5.3.1)

・第9週(1993年9月23日 - 1993年9月29日)

(1) 機械系統

- 1) ブライン再循環ポンプの試運転用に、雑用水をフラッシュ室に貯蔵
- 2) 燃料油移送ポンプを設置

(2) 配管

- 1) 燃料油移送管を設置

(3) 電気系統

- 1) 9月28日に常設電源チャンネルを設定
- 2) 移送ポンプの電源ケーブルを敷設および終端設定

(4) 計器類

- 1) SWCCメンテナンス工場で最後の液面調節器をチェック

(5) 保温処置

- 1) 蒸発器、ブラインヒータ、エゼクタコンデンサ、蒸気管の保温

(6) 作動試験

- 1) ブライン再循環ポンプの流量をチェック

・第10週(1993年9月30日 - 1993年10月6日)

(1) 配管

- 1) 燃料タンクで軽ディーゼルと重油を混合させるための再循環配管を設置

(2) 計器類

- 1) SWCCメンテナンス工場で最後の液面調節器を修理することが不可能であったため(手動運転のみで自動運転が実行できない)、液面調節器を制御パネルに再設置

(3) 保温処置

- 1) 蒸発器、ブラインヒータ、エゼクタコンデンサ、配管の保温

(4) 試運転の準備

- 1) ボイラ供給水タンクを清掃
- 2) ボイラ供給水タンクを水で満杯にする
- 3) 補給水ポンプに取り付けてあった仮吸込ストレーナを取り出す

(5) 作動試験

- 1) ブライン再循環ポンプ、生産水ポンプ、補給水ポンプを試運転

(5.3.1)

・第11週（1993年10月7日 - 1993年10月13日）

(1) 計器類

1) 各フラッシュ室に温度計を設置

(2) 保温処置

1) 蒸発器、ブラインヒータ、エゼクタコンデンサの保温

(3) 試運転の準備

1) 排除セクション、脱気器、補給水単独管を雑用水で洗浄

2) 混合燃料油（5000リットル）を燃料タンクに移送

3) SWCCのボイラ技師がボイラを始動しようとしたが、点火できず。

・第12週（1993年10月14日 - 1993年10月20日）

(1) 保温処置

1) 蒸発器とブラインヒータの保温

(2) 試運転の準備

1) オペレータに操作手順を説明。給水管を雑用水で洗浄

(3) ボイラ

1) 下記の項目を確認

・ 供給水と燃料油配管

・ 燃料油と供給水のプースタポンプ

2) 制御シーケンスを解析した後、バーナスプレーの状態をチェック

3) JICAチームが予熱のセットポイントを変更

4) メーカーから新しいボイラを受領する場合の仕様を討論。ただし、蒸気源として、Jubailフェーズ1プラントから蒸気を受け入れることも検討。

(5.3.1)

・第13週（1993年10月21日 - 1993年10月27日）

(1) 試運転の準備

- 1) ボイラの稼働条件を確認
- 2) ブライン再循環ポンプと生産水ポンプの仮ストレーナを除去
- 3) 下記の薬剤を準備
スケール抑止剤：5% ALBRIVAP DSP
消泡剤
- 4) 真空テストを実施

(2) 試運転

- 1) 試運転を実施

・第14週（1993年10月28日 - 1993年11月1日）

(1) 試運転

- (2) 性能テスト
- (3) SWCCのオペレータを対象としたテストプラント運転のトレーニング
- (4) 伝熱管およびフラッシュ室の洗浄
- (5) 竣工式

(5. 3. 1)

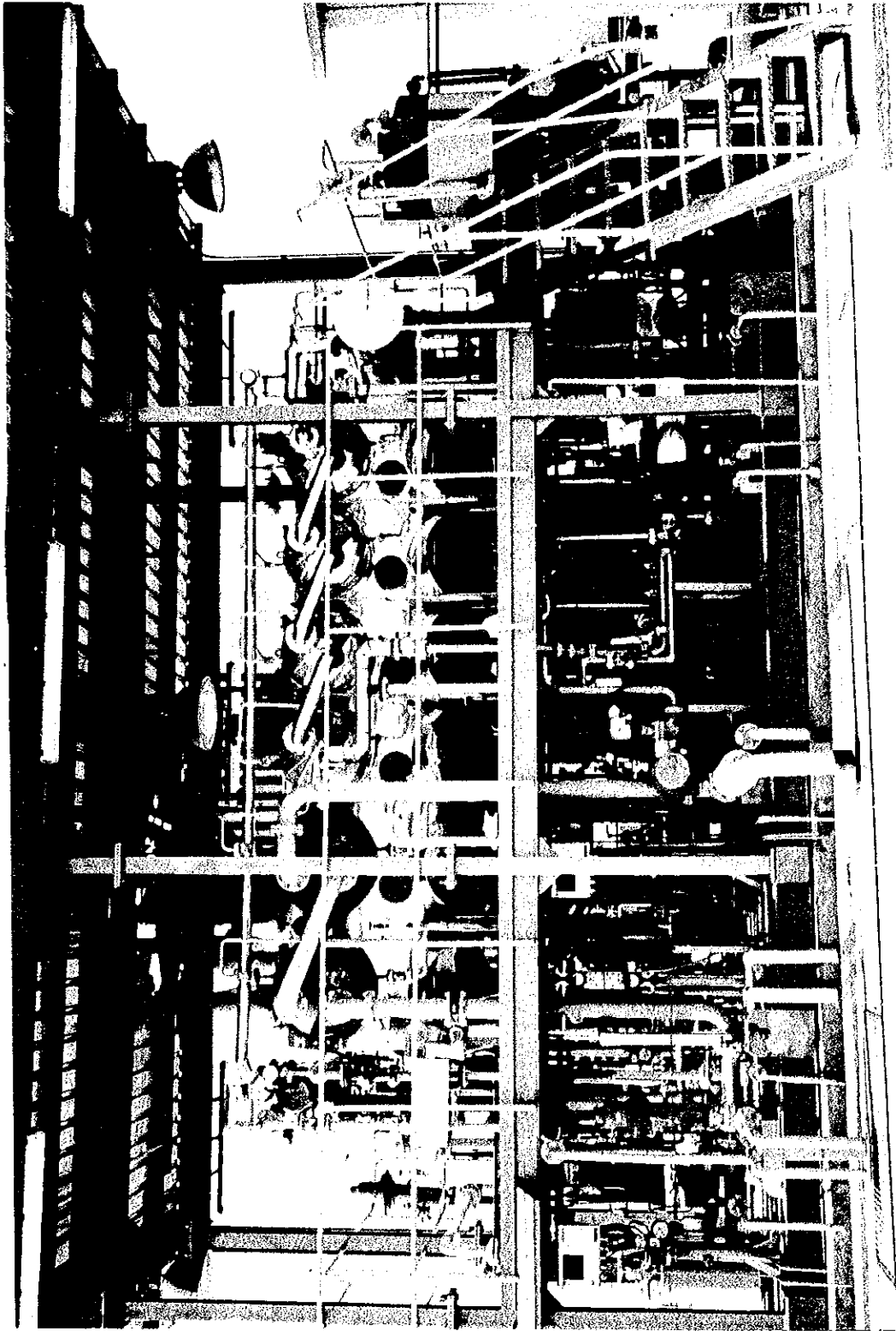


Fig. 6 完成したMSFチヌストプラント

Table 1 MSP テストプラント計器調整と設置の日付(1)

L-1

TAG NO.	NAME OF INSTRUMENTS	CALIBRATED DATE	INSTALLED DATE	NOTE
CONTROL VALVE				
XV-101	Seawater discharge temp. cont. V/V	Aug. 24 '93	} Have been fitted up on the skid	
-201	Make-up flow cont. V/V	DITTO		
-202	Decarbonator level cont. V/V	DITTO	Jun. 20 '93	
-203	Deaerator level cont. V/V	Aug. 25 '93		
-301	Recirc. brine flow cont. V/V	DITTO		
-302	Last stage brine level cont. V/V	Aug. 23 '93		
-401	Flash tank level cont. V/V	Aug. 25 '93		
-402	Distillate water three way V/V	Aug. 26 '93	} Have been fitted up on the skid.	
-601	Heating steam press. cont. V/V	Aug. 25 '93		
-602	B/heater outlet brine temp. cont. V/V	Aug. 22 '93		
-604	B/heater condensate level cont. V/V	DITTO		
-605	Ejector steam	DITTO		
LEVEL CONTROLLER				
LIC-201	Decarbonator level cont.	Aug. 28 '93	Aug. 9 '93	
-401	Flash tank level cont.	Aug. 26 '93	Aug. 10 '93	
-601	B/heater condensate level cont.	DITTO	DITTO	
LEVEL TRANSMITTER				
LT-202	Deaerator level transmitter	Aug. 27 '93	Aug. 11 '93	
-507	Last stage level transmitter	DITTO	DITTO	
FLOW TRANSMITTER				
FT-101	Seawater to rejection flow	Aug. 26 '93	Aug. 14 '93	
-201	Make-up flow	DITTO	DITTO	
-301	Recirc. brine flow	DITTO	Aug. 15 '93	
-401	Distillate water flow	Aug. 27	Aug. 16 '93	
-601	Steam condensate flow	DITTO	DITTO	

Table 1

MSF テストプラント計器調整と設置の日付(2)

L-2

TAG NO.	NAME OF INSTRUMENTS	CALIBRATED DATE	INSTALLED DATE	NOTE
FLOW SWITCH				
FIS-102	E/condenser cooling seawater flow	Sep. 12 '93	Aug. 9 '93	
-801	Anti-scale injection flow	Sep. 13 '93	Aug. 10 '93	
-802	Acid injection flow	DITTO	DITTO	
PH TRANSMITTER				
PHI-201	Decarbonator outlet PH	Sep. 13 '93	Aug. 21 '93	
-301	Recirc. brine PH	DITTO	DITTO	
DO TRANSMITTER				
DOT-201	Make-up seawater DO	Sep. 13 '93	Aug. 19 '93	
-301	Brine recirc. pump discharge DO	DITTO	DITTO	
CONDUCTIVITY TRANSMITTER				
CT-401	Distillate water conductivity	Sep. 14 '93	Aug. 8 '93	
-601	Steam condensate conductivity	DITTO	DITTO	
LEVEL INDICATOR				
LI-901	Fuel oil tank level	Aug. 28 '93	Aug. 10 '93	
THERMO METER				
TI-103	E/condenser outlet seawater temp.	Aug. 30 '93	Oct. 10 '93	
-104	Supply seawater temp.	DITTO	DITTO	
-105	Seawater temp stage 6th to 5th	DITTO	DITTO	
-106	Seawater temp stage 5th outlet	DITTO	DITTO	
-304	Recirc. brine temp stage 4th inlet	DITTO	DITTO	
-305	Recirc. brine temp stage 4th to 3rd	DITTO	DITTO	
-306	Recirc. brine temp stage 3rd to 2nd	DITTO	DITTO	
-307	Recirc. brine temp stage 2nd to 1st	DITTO	DITTO	
-308	Brine heater inlet brine temp.	DITTO	DITTO	

Table 1

MSF テストプラント計器調整と設置の日付(3)

L-3

TAG NO.	NAME OF INSTRUMENTS	CALIBRATED DATE	INSTALLED DATE	NOTE
THERMO METER				
TI-309	Brine heater outlet brine Temp.	Aug. 30 '93	Oct. 10 '93	
-501	1st stage vapour temp.	DITTO	DITTO	
-502	2nd stage vapour Temp.	DITTO	DITTO	
-503	3rd stage vapour temp.	DITTO	DITTO	
-504	4th stage vapour temp.	DITTO	DITTO	
-505	5th stage vapour temp.	DITTO	DITTO	
-506	Last stage vapour temp.	DITTO	DITTO	
-601	Heating steam temp.	DITTO	DITTO	
RESISTANS BULB				
TR-101	H/rejection inlet seawater Temp.	Aug. 30 '93	Aug. 7 '93	
-102	H/rejection outlet seawater temp.	DITTO	DITTO	
-201	Make-up seawater Temp.	DITTO	DITTO	
-301	Brine recirc. pump outlet brine temp.	DITTO	Aug. 8 '93	
-302	Brine heater inlet brine temp.	DITTO	DITTO	
-303	Brine heater outlet brine temp.	DITTO	DITTO	
-602	Brine heater shell temp.	DITTO	DITTO	
PRESSURE INDICATOR				
PI-001	Compress. Air tank press.	Aug. 25 '93	Aug. 25 '93	
-101	Supply seawater press.	DITTO	DITTO	
-102	E/condenser inlet seawater press.	DITTO	DITTO	
-201	Make-up pump discharge press.	DITTO	DITTO	
-301	Brine recirc. pump discharge press.	DITTO	DITTO	
-302	Brine heater inlet brine press.	DITTO	DITTO	
-303	Brine heater outlet brine press.	DITTO	DITTO	
-401	Flash tank press.	DITTO	DITTO	
-402	Distillate pump discharge press.	DITTO	DITTO	
-501	1st stage press.	DITTO	DITTO	
-603	Brine heater shell press.	DITTO	Aug. 26 '93	
-604	Ejector steam press.	DITTO	DITTO	
-801	Anti-scale pump discharge press.	DITTO	DITTO	

Table 1

MSP テストプラント計器調整と設置の日付(4)

L-4

TAG NO.	NAME OF INSTRUMENTS	CALIBRATED DATE	INSTALLED DATE	NOTE
PRESSURE INDICATOR				
PI-802	Acid pump discharge press.	Aug. 25 '93	Aug. 26 '93	
803	Sodium sulphite pump discharge press.	DITTO	DITTO	
804	Anti-foam pump discharge press.	DITTO	DITTO	
805	Acid cleaning pump discharge press.	DITTO	DITTO	
PRESSURE TRANSMITTER				
PT-506	Last stage press.	Aug. 28 '93	Aug. 17 '93	
605	Supply steam press.	DITTO	Aug. 18 '93	
606	Brine heater inlet steam press.	DITTO	DITTO	
LEVEL INDICATOR				
LI-801	Anti-scale tank level	—	Aug. 24 '93	
802	Acid tank level	—	DITTO	
803	Sodium sulphite tank level	—	DITTO	
804	Anti-foam tank level.	—	DITTO	
805	Acid cleaning tank level.	—	DITTO	

Table 1

MSF テストプラント計器調整と設置の日付(5)

P-1

TAG NO.	NAME OF INSTRUMENTS	CALIBRATED DATE	INSTALLED DATE	NOTE
RECORDER				
TR-101	Supply seawater Temp.	} Sep. 1 '93		
-201	Make-up water Temp.			
-301	Recirc. brine Temp.			
-302	Brine heater inlet brine temp.			
-602	Brine heater shell Temp.			
FR-101	Seawater to rejection flow	} Aug. 31 '93		
-201	Make-up water flow			
-301	Recirc. brine flow			
FR-401	Distillate water flow	} Aug. 31 '93		} Have been fitted up
-601	Steam condensate flow			
PHR-201	Decarbonator outlet PH	} Aug. 31 '93		} on the control panel
-301	Recirc. brine PH			
DOR-201	Make-up water DO	} Aug. 31 '93		
-301	Recirc. brine DO			
CR-401	Distillate conductivity	} Aug. 31 '93		
-601	Steam condensate conductivity			
TR-102	H/rejection outlet seawater temp.	} Aug. 31 '93		
-303	Brine heater outlet brine Temp.			
PR-506	Last stage press.			
CONTROLLER				
TIC-102	H/rejection outlet seawater temp.	Sep. 7 '93	} Have been fitted up	} on the control panel
-303	Brine heater outlet brine Temp.	DITTO		
FIC-201	Make-up water flow	DITTO		
-301	Recirc. brine flow	DITTO		
PIC-606	Heating steam press.	Sep. 8 '93		
LIC-202	Deaerator level	DITTO		
-507	Last stage brine level	DITTO		
CONVERTER				
TT-102	H/rejection outlet seawater Temp.	Sep. 1 '93	} Have been fitted up	} on the control panel
-303	Brine heater outlet brine Temp.	DITTO		

Table 1

MSP テストプラント計器調整と設置の日付(6)

P-2

TAG NO.	NAME OF INSTRUMENTS	CALIBRATED DATE	INSTALLED DATE	NOTE
ALARM UNIT				
PHS-201	Decarbonator outlet pH	Sep. 14 '93	} Have been fitted up on the control panel	
-301	Recirc. brine pH	DITTO		
DPS-201	Make-up water DO	DITTO		
-301	Recirc. brine pH	DITTO		
C.S.-401	Distillate water conductivity	DITTO		
-601	Steam condensate conductivity	DITTO		
T.S.-303	Brine heater outlet brine temp.	Sep. 9 '93		
RATIO SETTER				
FR-201	Acid injection flow	Sep. 6 '93	} Have been fitted up on the control panel	
-202	Anti-scale injection flow	DITTO		
ISOLATOR				
FR-201A	Acid injection flow	Sep. 1 '93	} Have been fitted up on the control panel	
-202A	Anti-scale injection flow	DITTO		
DISTRIBUTOR				
PD-506	Last stage press.	Sep. 4 '93	} Have been fitted up on the control panel	
-606	Heating steam press.	DITTO		
PHD-201	Decarbonator outlet pH	DITTO		
-301	Recirc. brine pH	DITTO		
DOD-201	Make-up water DO	DITTO		
-301	Recirc. brine DO	Sep. 5 '93		
CD-401	Distillate water conductivity	DITTO		
-601	Steam condensate conductivity	DITTO		
LD-202	Deaerator level	DITTO		
507	Last stage level	DITTO		

Table 1

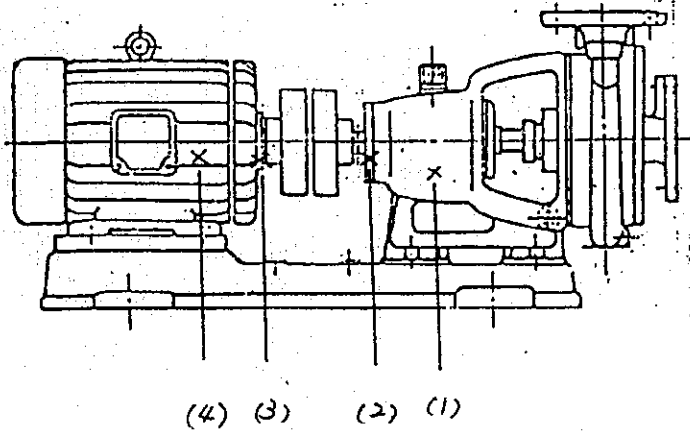
MSF テストプラント計器調整と設置の日付(8)

B-1

TAG NO.	NAME OF INSTRUMENTS	CALIBRATED DATE	INSTALLED DATE	NOTE
PRESSURE GAUGE				
1-17	Boiler steam press.	Aug. 27 '93	} Have been fitted up on the boiler	
-26	Oil pump discharge	Aug. 30 '93		
2-2	Water booster pump discharge	Aug. 12 '93		
b-1	Oil booster pump discharge	DITTO		
PRESSURE SWITCH				
1-15	High steam press.	Aug. 30 '93	} Have been fitted up on the boiler	
-16	Low steam press.	DITTO		
2-17	Water booster pump discharge	DITTO		
OV1	Low burning solenoid valve	Aug. 25 '93	} Have been fitted up on the boiler	
OV2	High burning solenoid valve	DITTO		
SV	solenoid valve	DITTO		
TS	Thermostat	DITTO		
AF	Air flow switch	DITTO		
TH	THERMO STAT	DITTO		
	Water level SWITCH	DITTO		

(5.3.1)

Test operation record for Brine Recycle Pump
P-001



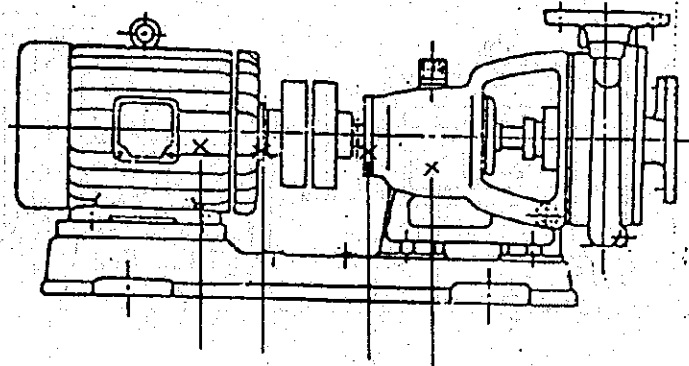
TIME	Atmos Temp.	UNIT. °C			
		(1)	(2)	(3)	(4)
9:15	35.0°C	35.8	34.5	34.5	34.3
10:15	38.5	38.5	41.0	40.0	38.2
10:25	38.0	38.9	41.6	41.2	38.4
10:45	37.8	38.2	41.8	39.9	38.4
11:05	37.8	37.3	41.3	39.8	37.8

Manarivanna of Singapore
4110193

Fig. 7 ポンプの作動試験記録(1)

(5.3.1)

Test operation record for Distillate pump
(P-002)



(4) (3) (2) (1)

TIME	Atmos Temp.	UNIT. °C			
		(1)	(2)	(3)	(4)
13:20	34 °C	39.2	39.4	39.3	39.0
13:40	34	40.8	41.4	41.9	39.5
14:00	34	41.7	41.4	44.5	38.6
14:20	34	41.7	42.1	43.6	39.0
14:40	34	41.6	41.3	43.6	38.1

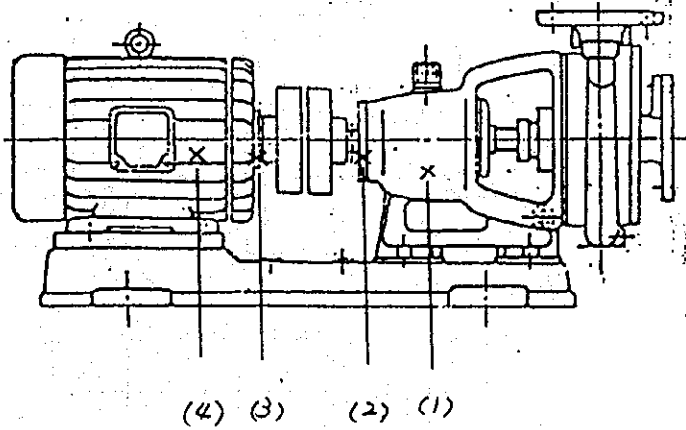
← Before operation.

Monsieur Omas
2/10/93.

J. Injimoto
2/oct/93

Fig. 7 ポンプの作動試験記録(2)

Test operation record for Make up Pump
P-003.



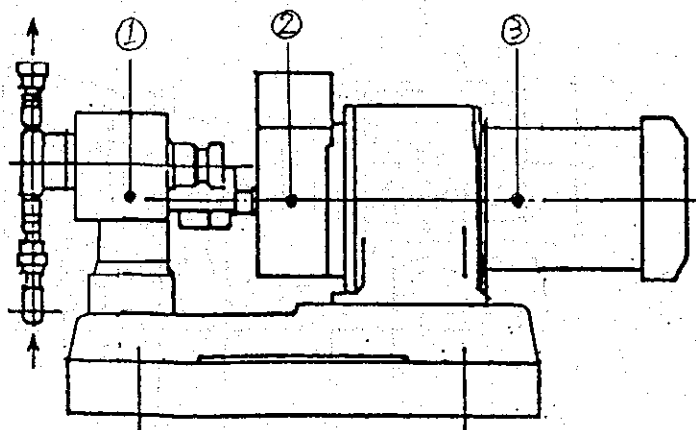
TIME	Atmos Temp.	UNIT. °C			
		(1)	(2)	(3)	(4)
11:10	36.0	34.7	35.0	36.3	36.1
11:35	38.0	38.6	41.2	39.6	38.3
11:45	38.0	39.2	41.7	40.5	39.9
12:05	38.0	39.5	42.4	41.9	40.2
12:25	38.0	40.2	43.5	41.7	40.3
12:45	38.0	39.9	43.6	41.3	40.2

Monarin *[Signature]*
3110193 # Oct. '93

Fig. 7 ポンプの作動試験記録(3)

(5.3.1)

Test operation of chemical injection pumps



TIME	Atmos. temp (°C)	P-005			P-007			P-009			Agitator		
		①	②	③	①	②	③	①	②	③	Motor Casing	Motor Bearing	Gear
9:00	32.0	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5	30.5
9:10	34.0	31.9	31.7	32.5	32.2	32.2	32.9	31.6	31.6	32.4	33.9	34.0	32.5
9:30	36.0	33.5	33.5	35.0	33.7	33.7	35.7	33.0	33.0	34.8	38.2	36.6	35.4
10:00	36.5	35.1	35.0	37.7	35.6	35.4	37.5	34.1	34.2	31.6	38.7	37.2	35.9
10:30	38.0	35.5	35.5	38.7	36.5	36.2	37.8	35.7	35.7	38.0	41.1	39.5	37.5

Moriyama

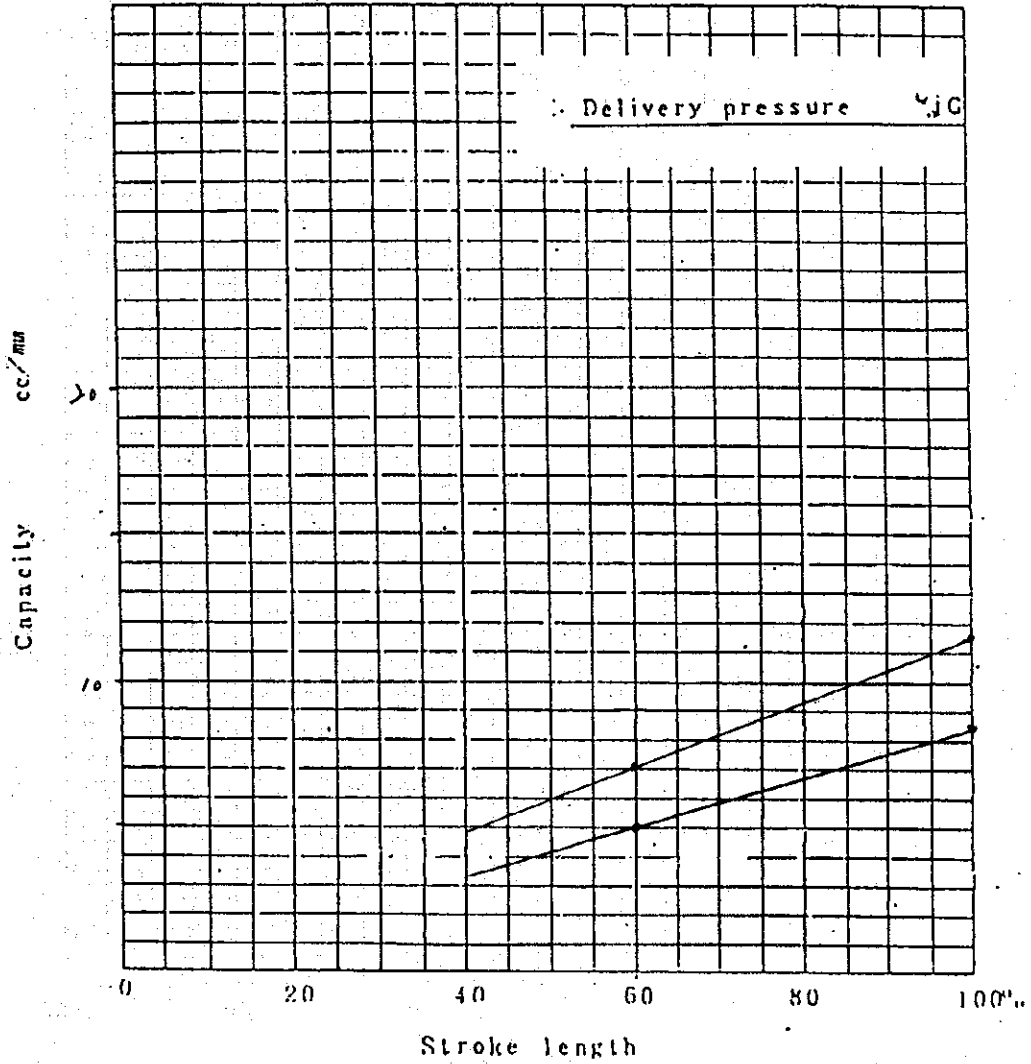
29/9/93

Y. Miyamoto
29 Sep 93

Fig. 7 ポンプの作動試験記録(4)

(5.3.1)

ANTI-SCALE Injection pump
P-005



Discharge Pressure	r.p.m.	Stroke 100%	60%	
	3.4 kg/cm ²	1200	11.25	7.0
900		8.5	5.0	

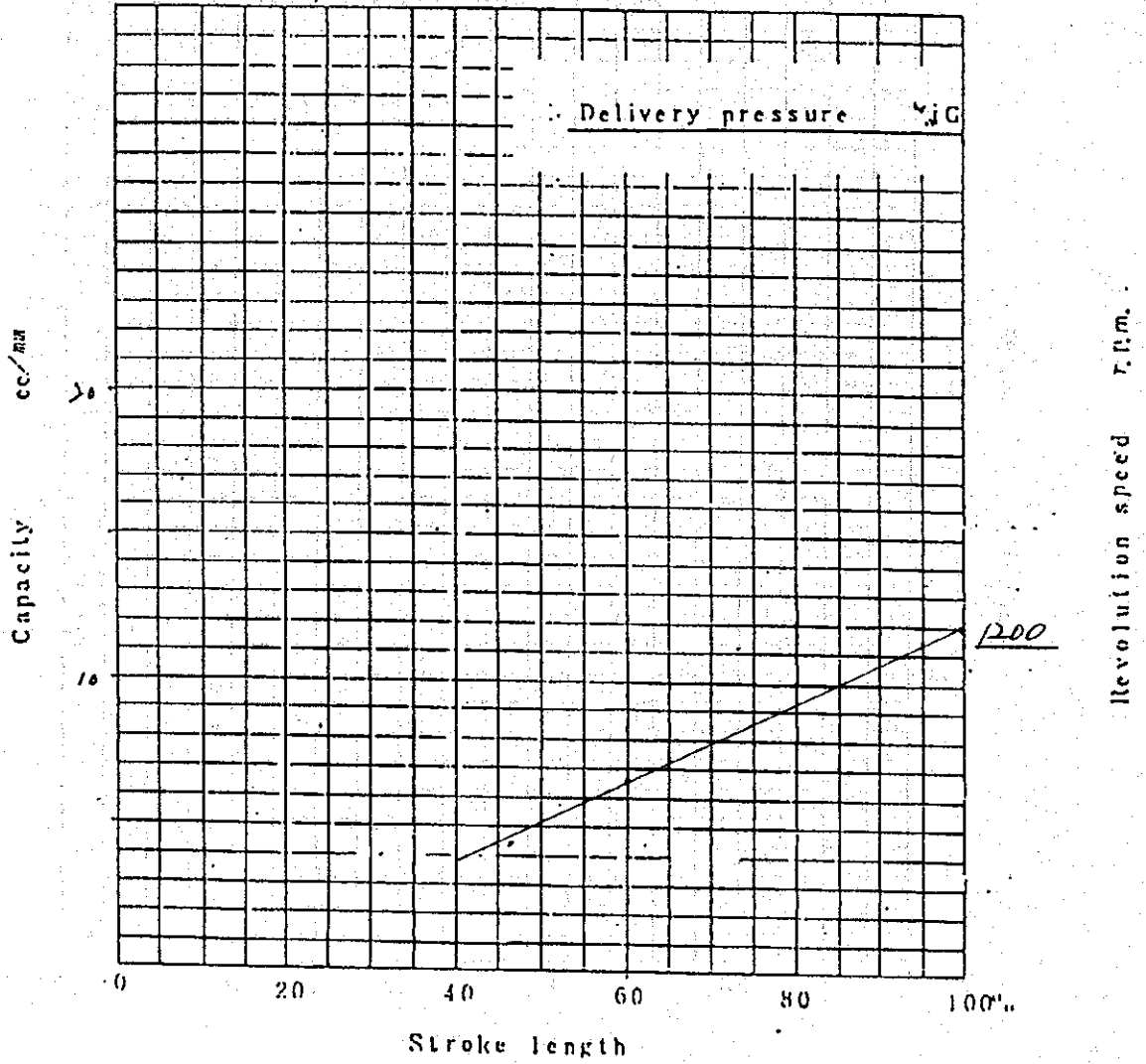
Serial No.	Pump	1042
	Motor	G11085

29. Sep. 1993
 10700000000
 29/9/93 J. Miyamoto

Fig. 7 ポンプの作動試験記録(5)

(5.3.1)

ACID Injection Pump
P-006



Discharge Pressure	r.p.m	Stroke 100%	60%
3.3 kg/cm ²	1200	12.0	6.6
	900		

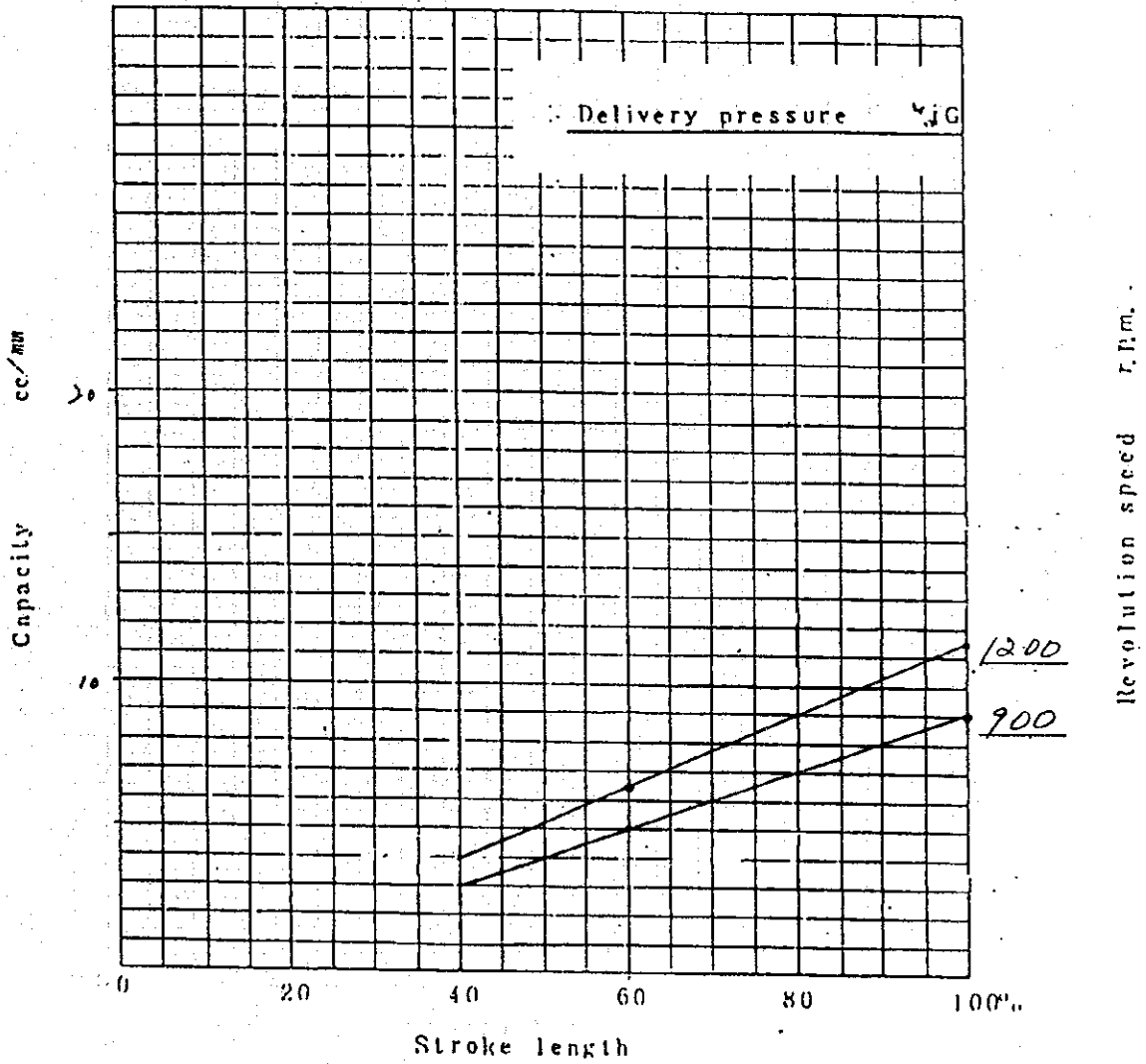
Serial No.	Pump	1043
	Motor	G11085

15 Sep 1993
 1070 main
 15/9/93
J. Yamamoto

Fig. 7 ポンプの作動試験記録(6)

(5.3.1)

SODIUM SULPHITE Injection pump
P-007



Discharge Pressure	r.p.m	stroke	
		100 %	60 %
3.3 kg/cm ²	1200	11.5	6.5
	900	9.0	5.0

Serial No.	Pump	1040
	Motor	411085

28 Sep 1993

Manabu Yamamoto

y. Miyamoto

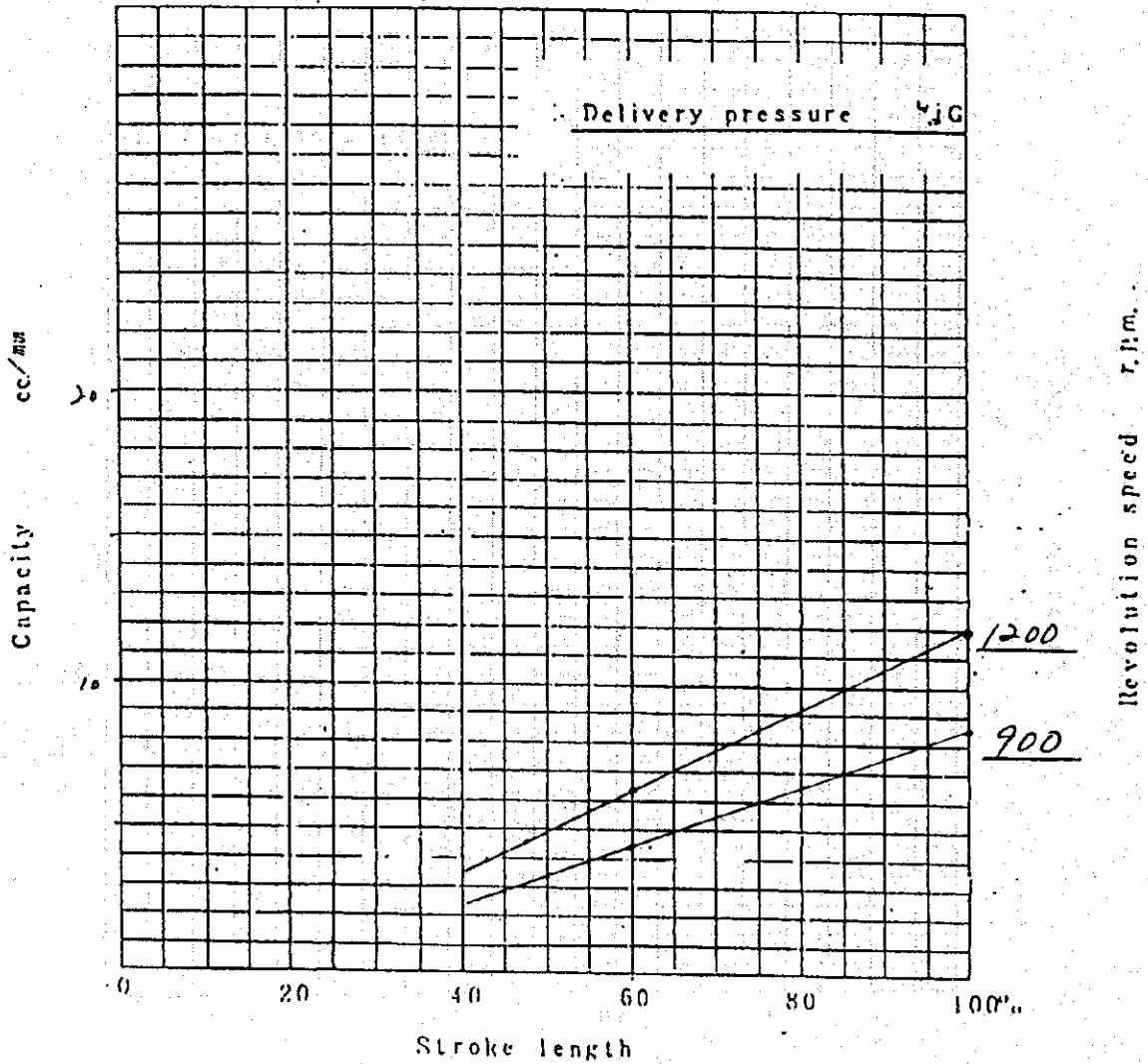
Fig. 7 ポンプの作動試験記録(7)

28/9/93

(5.3.1)

ANTI-FOAM Injection pump

P-009



Discharge Pressure	r.p.m	stroke 100%	60%	
	1200	12.0	6.25	
3.3 kg/cm ²	900	8.5	4.5	

Serial No.	Pump	1041
	Motor	G11085

28 Sep. 1993

Masaru Ono of Miyazaki

28/9/93

Fig. 7 ポンプの作動試験記録(8)

5.3.2 テストプラント試運転および性能試験

(5.3.2)

目 次

1. まえがき	1
2. 試運転・性能試験の結果	1

(5.3.2)

表 一 覧

表 番	題 名	頁
Table 1	M S Fテストプラントのヒートバランス	2
Table 2	M S Fテストプラント各伝熱管の総括伝熱係数	3
Table 3	運転状況記録用紙	4

図 一 覧

図 番	題 名	頁
Fig. 1	M S Fテストプラント運転中のプラント外観	8
Fig. 2	M S Fテストプラント運転中の制御盤の様子	9

(5.3.2)

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、8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℃、112℃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評価試験を実施することになった。

さて、評価試験に使用するMSFテストプラントの設置は1993年7月31日から開始され、10週目からポンプ等単体機器のコミッショニングも始まった。そして、14週目に当たる11月1日、MSFテストプラントの竣工式を執り行うに至った。その間の設置過程については、週毎に区切り5.3.1にまとめた。

ここでは、竣工式に先立ち、実施された装置の試運転と性能試験の結果を報告する。

2. 試運転・性能試験の結果

性能試験として行われたヒートバランスチェック結果を正規の連続運転時に使用する記録用紙記入してTable 1に示す。ブライン最高温度112℃のときの生産水量は0.80t/hで、計画値0.75t/hの約1.07倍であり、計画値を十分満足していることが証明された。

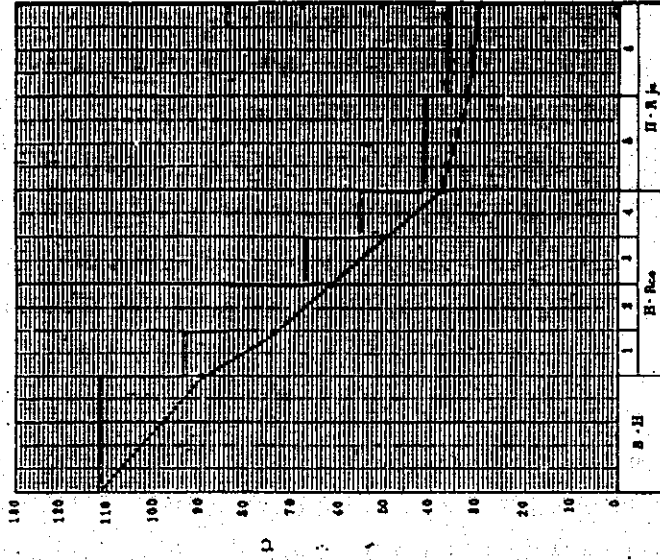
ひきつづき性能試験の一環として、各伝熱管の総括伝熱係数が計算された。その結果をTable 2に示す。この結果によると、各蒸発段でその値にバラツキが認められるが、これは抽気系の調整等で解決できるものと考えられる。この総括伝熱係数は汚れ係数算出時の基準になるもので、MSF-1試験において最も重要な値である。したがって本試験再開時に再度調整することにした。

なお、Table 3に運転要員が運転状態監視のため記録する記録用フォームとその記入例を添付する。また Fig. 1、Fig. 2にテストプラント運転中のプラント外観と制御盤の様子を示す。

Table 1 MSFテストプラントのヒートバランス

Run No.	Measuring Date	Total Op. Time	hrs
Flow Rate (l/h)	29-07-93 14:45	Condens. (FR601)	HR Je SW (FR101)
Pressure	6.53	Blk Out B. (P1303)	Deaerator (PI)
Concentration	0.6 kg/cm ² G	1.0 kg/cm ² G	torr
Efficiency	3.08 (2.4)	Condens. (CR601)	
Position	Heat Recovery Section		
	IS	2S	3S
Temperature	Heat Rejection Section		
	5S	10S	104
F. Chamb.	TI 309	308	307
G. Phase	TI TR-602	501	502
F. Chamb.	TI 114	94	84
L. Phase	TI		
Steam	Heating	601	Product
	Steam	120	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 <i>H. Fujimoto</i>		

Table 2 MSFテストプラント各伝熱管の総括伝熱係数

Operation Date, Time	Calculation Item		Brine Heater	No. 1 Stage	No. 2 Stage	No. 3 Stage	No. 4 Stage	No. 5 Stage	No. 6 Stage	RUN No.	NOTE
	Flow Rate W	kg/h									
29 OCT 93	Specific heat Cp	kJ/(kg K)	6.530	6.530	6.530	6.530	6.530	6.530	6.530	17000	
Time	H. E. Outlet Temp. T ₂	°C	3.966	3.943	3.929	3.905	3.896	3.896	3.896	3.893	
14 '41'	H. E. Inlet Temp. T ₁	°C	112	90	74	51	38	38	32	32	
Total	Rising Temp. ΔT	°C	90	72	62	51	37	36	30	30	
Ops. Time	H. Trans. Rate Q	kJ/s	158.265	128.74	85.521	78.155	99.165	110.387	36.767	36.767	
	H. Trans. Area S	m ²	4.6723	1.937	1.937	1.937	1.937	4.9556	4.9556	4.9556	
	F. Chamb. Temp. t	°C	114	94	84	68	56	42	37	37	
B. Cleaning	L.M.T.D ΔT _m	K	8.9535	10.559	15.22	10.562	10.487	6.548	5.946	5.946	
Frequency	U Value U	kW/(m ² K)	3.8995	6.2912	2.8994	3.818	4.8993	3.406	1.2475	1.2475	
	Clean-U Value U _c	kW/(m ² K)									
	Fouling Factor f _s	(m ² K)/kW									
MEMORANDUM: ~ 1J=2.38889×10 ⁴ kcal/h=3.600kJ/h 1kW=860kcal/h=3.600kJ/h			h=0.101972kgf·m		ΔT ₁ =T ₁ -T ₂ Q=WCpΔT		ΔT ₁ =T ₁ -T ₂ U=Q/(SΔT _m)		ΔT _m =ΔT/ln(ΔT ₁ /ΔT ₂) f _s =(1/U)-(1/U _c)		

(5.3.2)

Fig. 1 MSFテストプラント運転中のプラント外観

