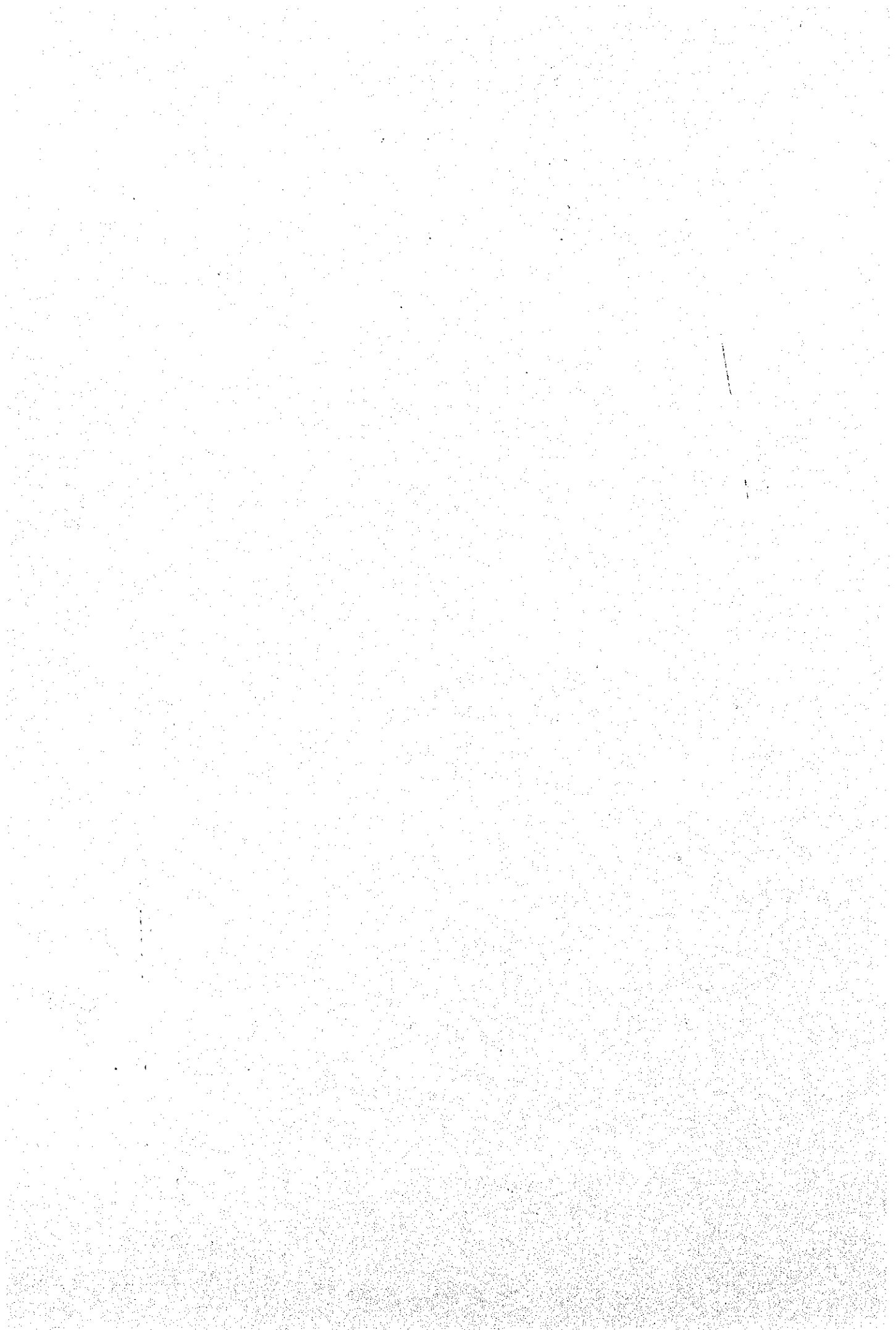


サウディ・アラビア王国
海水淡水化技術協力計画調査
最終報告書
(要約版)

平成7年2月

国際協力事業団
サウディ・アラビア王国海水淡水化公団

鉦調資
CR(5)
95-102



2728

JICA LIBRARY



1117510(6)

国際協力事業団

7242

サウディ・アラビア王国
海水淡水化技術協力計画調査
最終報告書
(要約版)

平成7年2月

国際協力事業団
サウディ・アラビア王国海水淡水化公団

序 文

日本国政府は、サウディ・アラビア王国政府の要請に基づき、我が国の海水淡水化技術の同国への移転にかかる研究協力プロジェクトを行うことを決定し、国際協力事業団がこのプロジェクトを実施しました。

当事業団は、本研究協力プロジェクトのうち、平成4年1月から平成7年2月までの第3次延長期間の共同研究業務遂行に当たり、財団法人造水促進センターの研究チームを現地に派遣しました。

同チームは、サウディ・アラビア王国海水淡水化公団の研究チームと共同で、4テーマの実験研究を遂行し、国際学会に発表できる内容の成果をあげました。

この報告書が、サウディ・アラビア王国の海水淡水化技術の振興に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

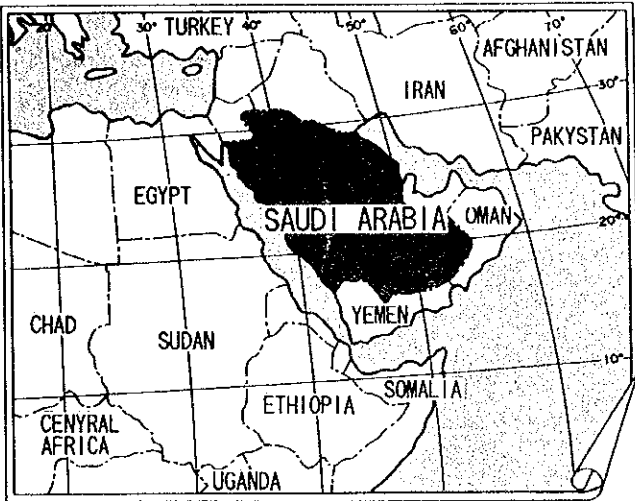
終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成7年2月

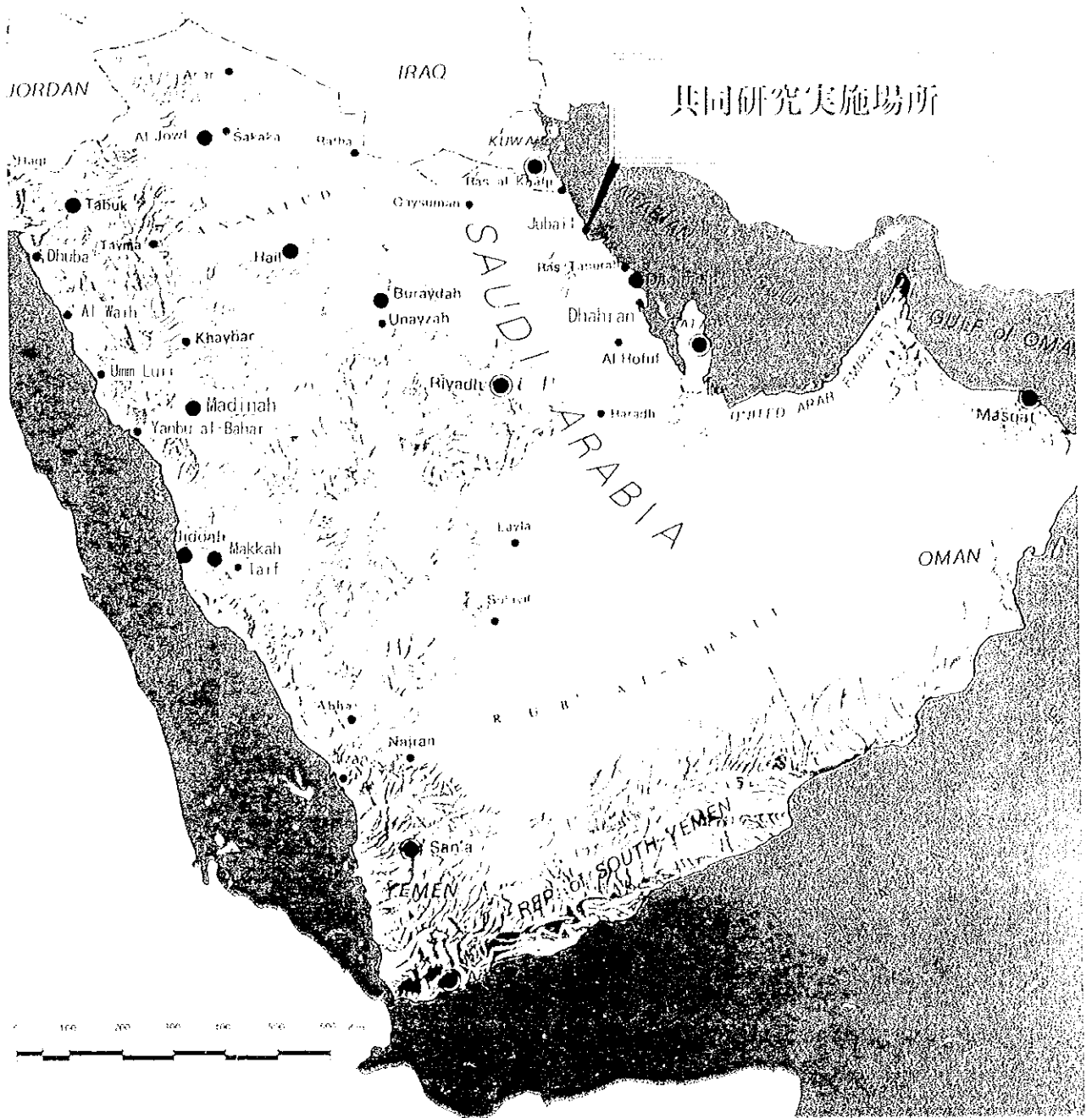
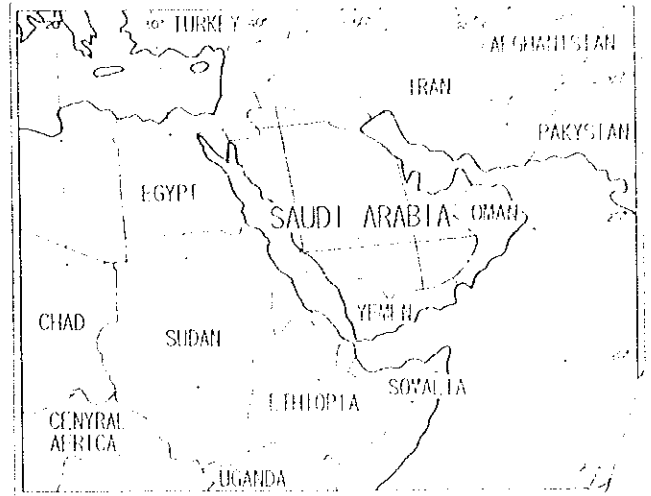
国際協力事業団

総裁 藤田 公 郎

サウディ・アラビア王国
および
その周辺国



サウディ・アラビア王国
および
その周辺国



< 全 体 目 次 >

1. はじめに
2. 歴史的背景
3. 協力調査の目的
4. 業務実施の基本方針
 - 4.1 共同研究活動
 - 4.2 共同計画
 - 4.3 JICAとSWCCの業務分担
 - 4.4 業務担当者とその責任
 - 4.5 供与機器の追加整備
5. MSFプロセスにおけるスケールコントロール法に関する研究 (MSF-1)
 - 5.1 実験および予備実験
 - 5.2 伝熱試験装置による実験
 - 5.3 MSFテストプラント試験
 - 5.4 技術移転
6. MSF生産水の油汚染対策に関する研究 (MSF-2)
 - 6.1 調査および予備実験
 - 6.2 気液平衡の測定
 - 6.3 汚染のシミュレーションおよび予測
 - 6.4 MSFテストプラント試験
 - 6.5 技術移転
7. ハイブリッドシステム(MSF-RO)用のRO膜選定に関する研究 (RO-1)
 - 7.1 調査および予備実験
 - 7.2 ROミニモジュール実験(1)
 - 7.3 ROテストプラント試験
 - 7.4 技術移転

8. ROプロセスにおける油汚染対策に関する研究 (R0-2)

8.1 調査および予備実験

8.2 前処理による油分除去実験 (ベンチスケール実験)

8.3 平膜試験装置を用いたRO膜の耐油性試験

8.4 ROミニモジュール実験(2)

8.5 ROテストプラント試験

8.6 技術移転

9. 総括

<本書の構成>

本報告書の全体目次には、章・節までを示し、各章の冒頭にその章の詳細目次を示す。

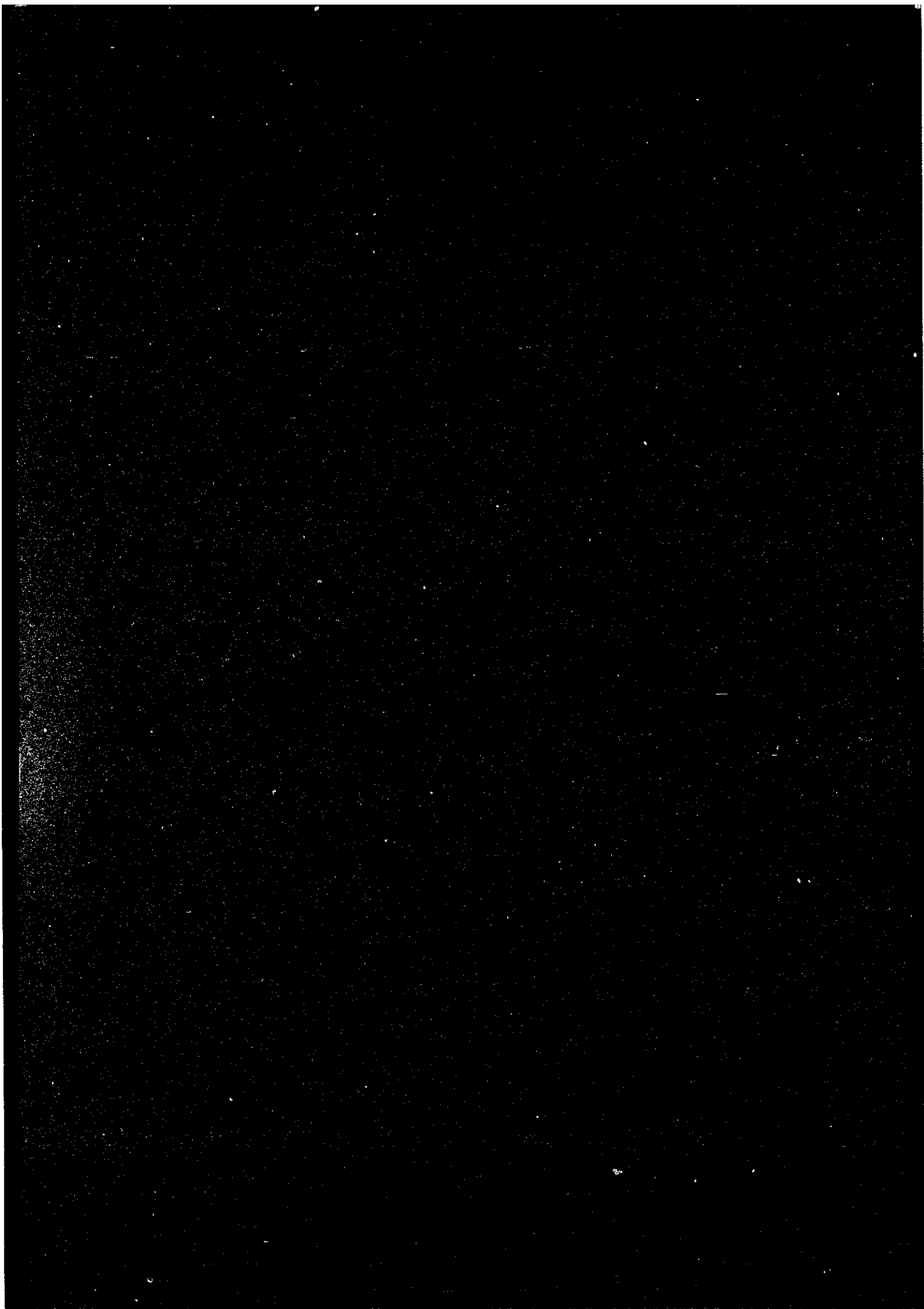
なお、頁番号は各章毎の通し番号とし各頁最下部に付け、検索を容易にするために、頁最上部に章をヘッダーとして付けてある。図表一覧も同様に、各章毎にその冒頭に示してある。

用語／略語

JICA	Japan International Cooperation Agency の略 国際協力事業団
M/M	Minutes of Meeting の略
MSF	Multi Stage Flash (Evaporator)の略 多段フラッシュ法
n-オクタデカン	油汚染海水中に含まれる直鎖型脂肪族炭化水素の一種。
R/D	Record of Discussions の略
R/Dセンター	Research and Development Center の略 Al-Jubail にあるSWCCの研究所
RO	Reverse Osmosis の略 逆浸透法
SDI	Silt Density Index の略、汚れ指数 逆浸透法において、モジュールへの供給水の微量な濁質の定量化する指標 の1種で、RO膜への供給水の許容値は4以下である。
SBS	Sodium Bisulfite の略 重亜硫酸ソーダ、 NaHSO_3
SWCC	Saline Water Conversion Corporation の略。 サウディ・アラビア王国海水淡水化公団
SWRO	Saline Water Reverse Osmosis の略 海水淡水化用逆浸透膜
TBT	Top Brine Temperature の略 ブライン最高加熱温度の事。この温度が高いほど造水効率に優れる。

TDS	Total Dissolved Solid の略、 溶解性蒸発残留物 水中に含まれる懸濁物質を分離した透明な濾液を蒸発乾固したときの残留物。
オートクレーブ	高温高压容器の事。
スケーリング	塩水中に含まれるカルシウム、マグネシウム、珪素などが濃縮過程で塩として析出し、伝熱管内部に付着する事。プラントの効率低下の原因となる。
ハイブリッド法	下記の両方の意味でつかわれる。 (1) MSF法による生産水は純度が高過ぎ、飲料水とするにはミネラル分を添加する必要があるので、RO法で生産した膜透過水を、MSF法の水と混合して飲料水とする方法をハイブリッド法と呼ぶ。(MSF-ROハイブリッド法) (2) MSFにおけるスケーリングを防止する方法には、スケール抑制剤添加法と酸添加法がある。両方を同時に添加する方法をハイブリッド法と呼ぶ。
ヘンリー定数	希薄溶液における、ガスの溶解性を示す指標。
ブライン	海水淡水化関係では濃縮海水の事をブラインと呼ぶ。
プロモホルム	CHBr ₃ 、油汚染海水中に存在する毒性を有する化学物質で、トリハロメタンの一種。
ボールクリーニング	伝熱管の直径よりわずかに大きいスポンジボールを管内に通して、機械的にスケールを取り除く方法。

1. はじめに

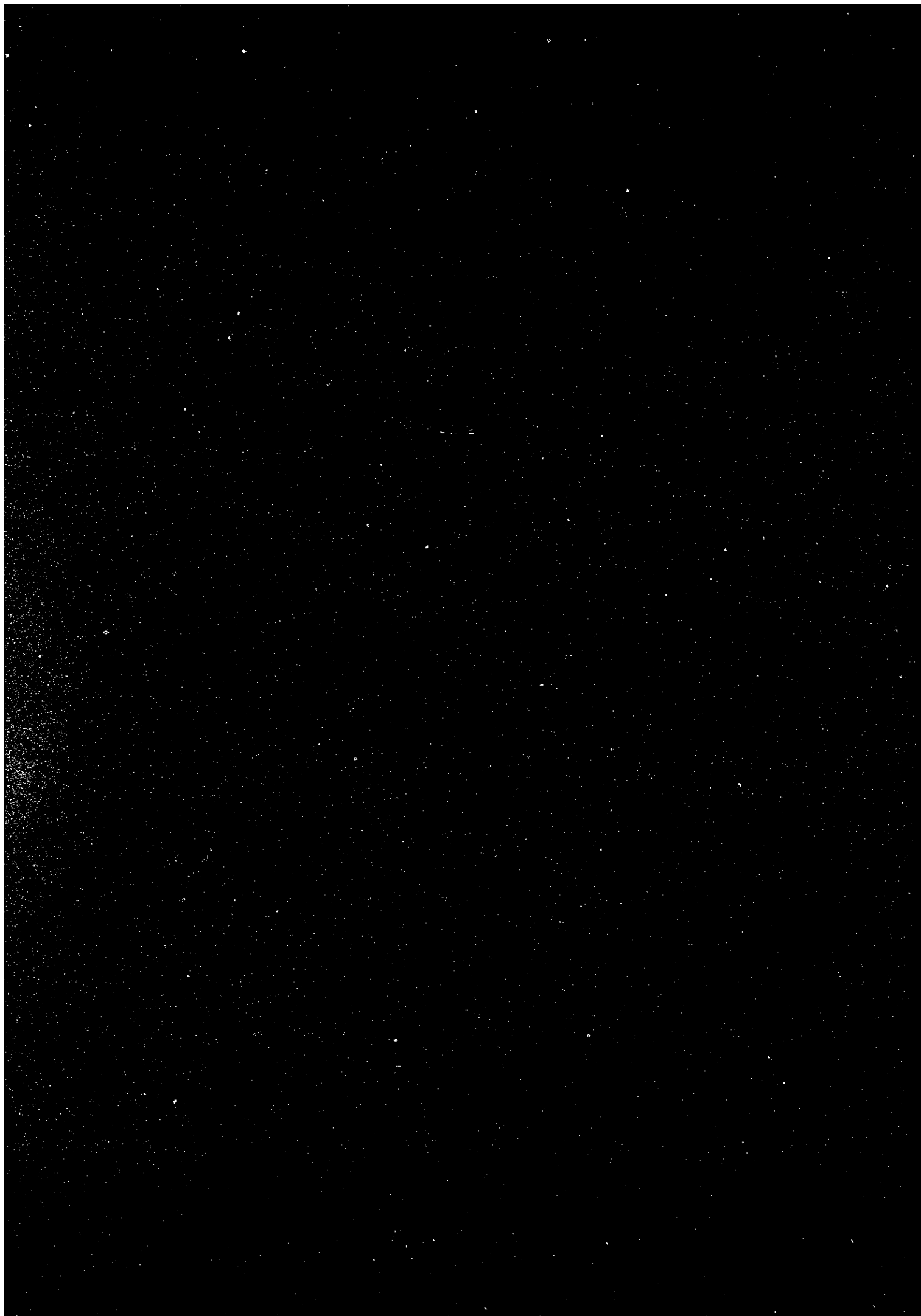


1. はじめに

本「最終報告書」は、サウディ・アラビア王国海水淡水化公団（以下SWCCという）と国際協力事業団（以下JICAという）に指名された共同研究チーム間での技術協力遂行を目的に実施された共同研究の成果を取り纏めたものである。

本共同研究は、SWCCとJICAの両者間協議により作成された「海水淡水化技術協力調査の第3次期間延長に関する文書（再々延長R/D）」と、1992年（平成4年）10月13日に両者間で署名された「SWCC、JICA間における海水淡水化技術協力調査の討議議事録（M/M）」にのっとり企画立案され、1993年（平成5年）1月に両者間で署名された「SWCC、JICA間における海水淡水化技術協力調査のインセプションレポート」（INCEPTION REPORT）に基づき、JICAに指名された共同研究チームとSWCCによって実施された。

2. 歷史的背景



目 次

1. 歴史的背景	-----	1
2.1 概要	-----	1
2.2 経過	-----	1
2.3 技術協力の内容	-----	2
2.4 調査地域の概要	-----	3
2.4.1 概要	-----	3
2.4.2 自然条件	-----	3
2.4.3 社会条件	-----	3
2.4.4 水事情	-----	6

表 一 覽

表番	題 名	頁
Table 1	月別平均気温 (°C) -----	4
Table 2	月別平均湿度 (%) -----	5
Table 3	月別平均降水量 (mm) -----	5
Table 4	水源開発計画 -----	6
Table 5	用途別水利用計画 -----	6

図 一 覧

図番	題 名	頁
Fig. 1	サウディ・アラビアにおける地下化石水埋蔵量	7
Fig. 2	主要国の淡水化プラント設置容量	8

2. 歴史的背景

2.1 概要

サウディ・アラビア王国は、1976年（昭和51年）年の第二次5か年計画において、大規模な工業化および社会基盤整備の方針を立て、その後着々と国家建設を推進している。このため、同国にとって大量の工業用水および生活水の確保は重要な課題であり、その気象条件から必要な大部分を海水に頼らざるを得ないことから、近年ますます海水淡水化プラントの役割の重要性が増してきている。

これらの事情を背景として、1975年（昭和50年）11月サウディ・アラビア王国海水淡水化公団（以下SWCC）総裁より日本国に対し、海水淡水化技術に関する協力要請があった。これを契機として、日-サ間で数度にわたる事前交渉が行われた後、国際協力事業団（以下JICA）およびSWCCは1982年（昭和57年）1月本件に関する合意議事録（以下R/D）に署名し、海水淡水化技術協力事業（以下 技術協力）が開始された。

本技術協力は1989年（平成元年）2月28日までの期間延長、1992年（平成4年）2月28日までの期間再延長および1995年（平成7年）2月28日までの再々延長をして行われた。本報告は1992年（平成4年）3月1日から1995年（平成7年）2月28日までの再々延長の技術協力期間内に行われた技術協力の成果を報告するものである。

2.2 経過

本研究協力の経過の概要は、次の通りである。

- (1) 1982年（昭和57年）1月 技術協力のR/Dの署名
- (2) 1987年（昭和62年）10月 技術協力の3年間延長に関する署名が行われ、1989年（平成元年）2月28日まで期間延長
- (3) 1990年（平成2年）12月 協力期間の再延長に際し、研究協力内容につき基本的合意を得た。
- (4) 1991年（平成3年）4月 湾岸戦争の影響で遅れていた再延長に係わる署名が行われ、1992年（平成4年）2月29日までの間、蒸留法(MSF)に関する4テーマおよび、逆浸透法(RO)に関する7テーマの研究を行なった。
- (5) 1992年（平成4年）10月 技術協力の期間を1992年（平成4年）3月1日から1995年（平成7年）2月28日まで再々延長する討議議事録(M/M)が署名され、前期間中に行われた研究を発展させ

(2)

た研究テーマである蒸留法(MSF)に関する2テーマおよび、逆浸透法(RO)に関する2テーマの研究を行なった。

2.3 技術協力の内容

本技術協力の再延長および再々延長に当たっては、湾岸戦争の結果その他に起因して深刻化している海水の油汚染がMSFおよびROプラントに及ぼす影響・対策研究を加味することがサウディ・アラビア側から強く要請され、これに関する研究が織り込まれた。

1992年(平成4年)2月28日までの再延長期間に行われた技術協力については、次の11テーマに関する共同研究を行った。

MSFに関する研究テーマ

- ①M-1 スケール防止に関する室内実験
- ②M-2 数種類の材料の腐食傾向に関する研究
- ③M-3 腐食測定器による腐食に関する研究
- ④M-4 多段フラッシュ法プラントの熱放棄部における海水淡水化中の分散油の分析実験

ROに関するテーマ

- ⑤R-1 逆浸透における殺菌法に関する研究
- ⑥R-2 海水の前処理実験
- ⑦R-3 膜洗浄排水の処理に関する研究
- ⑧R-4 膜の選定に関する研究
- ⑨R-5 汚れた膜の化学洗浄に関する研究
- ⑩R-6 MSF/ROハイブリッド型逆浸透法における膜の選択実験
- ⑪R-7 逆浸透法における化学分析の標準化に関する研究

1995年(平成7年)2月28日までの再々延長期間に行われた技術協力

前期間のテーマの、M-1, M-4, R-2およびR-6の4テーマをそれぞれ発展させた次の4テーマに関する共同研究を行った。

- ① MSFプロセスにおけるスケールコントロール法に関する研究
- ② MSF生産水の油汚染対策に関する研究
- ③ ハイブリッドシステム(MSF-RO)用RO膜選択に関する研究
- ④ ROプロセスにおける油汚染対策に関する研究

2.4 調査地域の概要

2.4.1 概要

サウディ・アラビア王国はアラビア半島の大半を占め、面積は215万km²で、紅海にそった標高3000米級の山岳地帯を除いて、国土の大部分は平坦な砂漠地帯である。

1990年の人口は1390万人でその75%が都市居住者である。工業の発展に伴う労働人口の不足を外国人労働者に求めており総労働人口の52%を外国人労働者がしめている。

年間降水量は100mm/年と極めて少なく、水資源が極端に不足している。豪水期にだけ水が流れるワジ (Wadi) と呼ばれる川があるだけで、表流水はほとんどない。砂漠地帯の下には、新水の補給がない化石水が蓄積されているが、それらも深井戸から多量に汲み上げられて、主として農業に利用されているため、過剰汲み上げによる水位の低下と塩分量の増加が懸念されている。

工業用水、都市用水の水源として多数の海水淡水化プラントを有しており、世界の海水淡水化プラントの54.9%が中東に、そのうち46.9% (全世界の25.7%) はサウディ・アラビアに設置されている。

2.4.2 自然条件

内陸部は高温乾燥、海岸部は高温多湿であるが降雨量は少ない。

(1) 気温、湿度

月別平均気温をTable 1 に、月別平均湿度をTable 2 に示した。気温の変化が大きく夏期の最高温度は45℃、最低温度は25℃である。

(2) 降水量

年間降水量は100mm/年と少なく、冬期に2～3回激しい雨を見ることがあるのみでその他の季節には全く降雨がない。(Table3)

(3) 水源

豪雨期の水が一時的に流れるワジ (Wadi) 以外には水源となる表流水は期待できない。紅海沿岸地域には3000米級の山があり砂礫からなる急峻な渓谷があるが、ダムを建設しても、浸透流出量が多く貯水量が少なく年間を通じての水利用は難しい。砂漠の地下に太古からの化石水が蓄積されており、深井戸を掘って農業用水に用いられているが、近年水位が低下してきており、資源の枯渇が懸念されている。

2.4.3 社会条件

(1) 経済

一人当たりGNPは7,050ドルで、1980～1990年のGDP成長率は-1.8%である。石油確認埋蔵量は2,603億バレルで対世界比26.3%を占めている。典型的な石油財政主導経

(2)

済であり、1990年の輸出総額の9割弱が石油輸出によるものであり、財政収入の3分の2を石油収入に依存し、生産財、消費財の大部分を輸入している。また、インフラの整備、工業化を図っているが、外国人労働力への依存度が極めて高く、サウディの労働力の育成教育が大きな課題である。

(2) わが国との関係

サウディに対する輸出は38.9億ドル、輸入は100.8億ドルで、サウディから見るとわが国の地位は輸出、輸入とも第2位である。

(3) 石油

原油輸入量は98万B/Dでシェア23.5%、ナフサ軽油等の石油製品輸入量は、11万B/Dでシェア19.6%である。

(4) 農業

サウディ・アラビアの農業は化石水を主とする地下水を深井戸から汲み上げて灌漑用水として用いて成立している。この深井戸を用いた小麦の生産が政府の助成策によって実施されている。1984年には小麦の自給を達成し1988年には200万トン以上を輸出したが、深井戸の過剰汲み上げによる地下水位低下のため、深井戸からの取水を減少させて、小麦生産量を国内消費量に見合う量に削減するように計画を変更されている。サウディ・アラビア王国の第5次開発計画（1990～1995）によれば、1995年の新水の計画需要量が1990年の実績新水消費量の86.9%に相当する。12,675百万m³/年に下方修正されている。

Table 1 月別平均気温 (°C)

月	リヤド	シェッタ
1	14.6	23.4
2	16.5	23.9
3	21.2	25.3
4	25.5	27.4
5	30.4	29.8
6	33.5	31.5
7	34.2	31.9
8	34.1	32.1
9	31.2	31.0
10	25.9	29.6
11	20.2	27.4
12	15.1	24.9
年	25.2	28.2

(2)

Table 2 月別平均湿度 (%)

月	リヤド	シェッダ
1	51	64
2	48	63
3	37	63
4	33	61
5	22	63
6	15	62
7	16	59
8	16	62
9	17	69
10	22	68
11	44	64
12	44	62
年	32	64

Table 3 月別平均降水量 (mm)

月	リヤド	シェッダ
1	13.9	5.9
2	13.6	0.9
3	18.4	5.9
4	22.1	0.9
5	13.4	0.2
6	0.0	0.0
7	0.1	0.3
8	0.0	0.0
9	0.0	0.3
10	0.0	0.1
11	5.1	29.4
12	15.8	26.5
年	102.4	70.4

2.4.4 水事情

(1) 水の需給

サウディ・アラビア全土の年平均降水量は約100mm/年と少なく、常流河川はなく、主要水源は主として地下水（主に化石水）に依存している。2000年までの水源開発計画によると、供給水の82%は化石水で、そのうち88.6%が農業用水として使用されている（Table 4、Table 5）。

取水量の大部分が化石水であるため（2000年推定 82%）、2010年までに地下水が枯渇することが予想されている（Fig. 1）。サウディ・アラビア政府の第5次5ヶ年計画（1990-1995）によると、水資源対策として下記の方針を採っている。

- ① 海水淡水化プラントの増設
- ② 井戸開発、小規模ダム開発の推進

Table 4 水源開発計画

(単位: 億トン)

水源	1985		1990		2000	
	供給量	比率(%)	供給量	比率(%)	供給量	比率(%)
化石水	73.0	(76.0)	89.7	(78.0)	135.3	(82.0)
地下水	9.1	(9.0)	6.9	(6.0)	9.8	(5.9)
表流水	6.0	(8.7)	9.2	(8.0)	7.4	(4.5)
海水淡水化	6.9	(4.7)	6.7	(5.8)	7.4	(4.5)
再生水	1.0	(1.6)	2.5	(2.2)	5.1	(3.1)
計	96.0	(100.0)	115.0	(100.0)	165.0	(100.0)

Table 5 用途別水利用計画

(単位: 億トン)

用途	1987		1990		2000		2010	
	供給量	(%)	供給量	(%)	供給量	(%)	供給量	(%)
1. 生活用水								
1) 都市	0.30	(0.2)	0.34	(0.3)	0.48	(0.3)	0.55	(0.3)
2) 地方	7.29	(5.6)	10.63	(7.7)	17.46	(10.1)	29.90	(14.2)
2. 工業用水	3.80	(2.9)	4.82	(3.5)	8.40	(4.9)	10.26	(4.9)
3. 農業用水	117.84	(91.2)	122.31	(88.6)	145.83	(84.7)	169.19	(80.6)
計	129.23		138.10		172.17		209.90	

(2) 海水淡水化

中東地域は近年石油の生産量に伴う人口増、工業化、都市化に対処するため海水淡水化プラントの建設を進めている。現在、世界で最も海水淡水化が進められているのは中東地域であり、全世界の海水淡水化プラントの54.9%（設置容量）が中東でありその47%全体の25.7%がサウディ・アラビアに設置されており、海水淡水化にとって中東、とくにサウディ・アラビアが重要な地位を占めていることを示している。（Fig. 2）

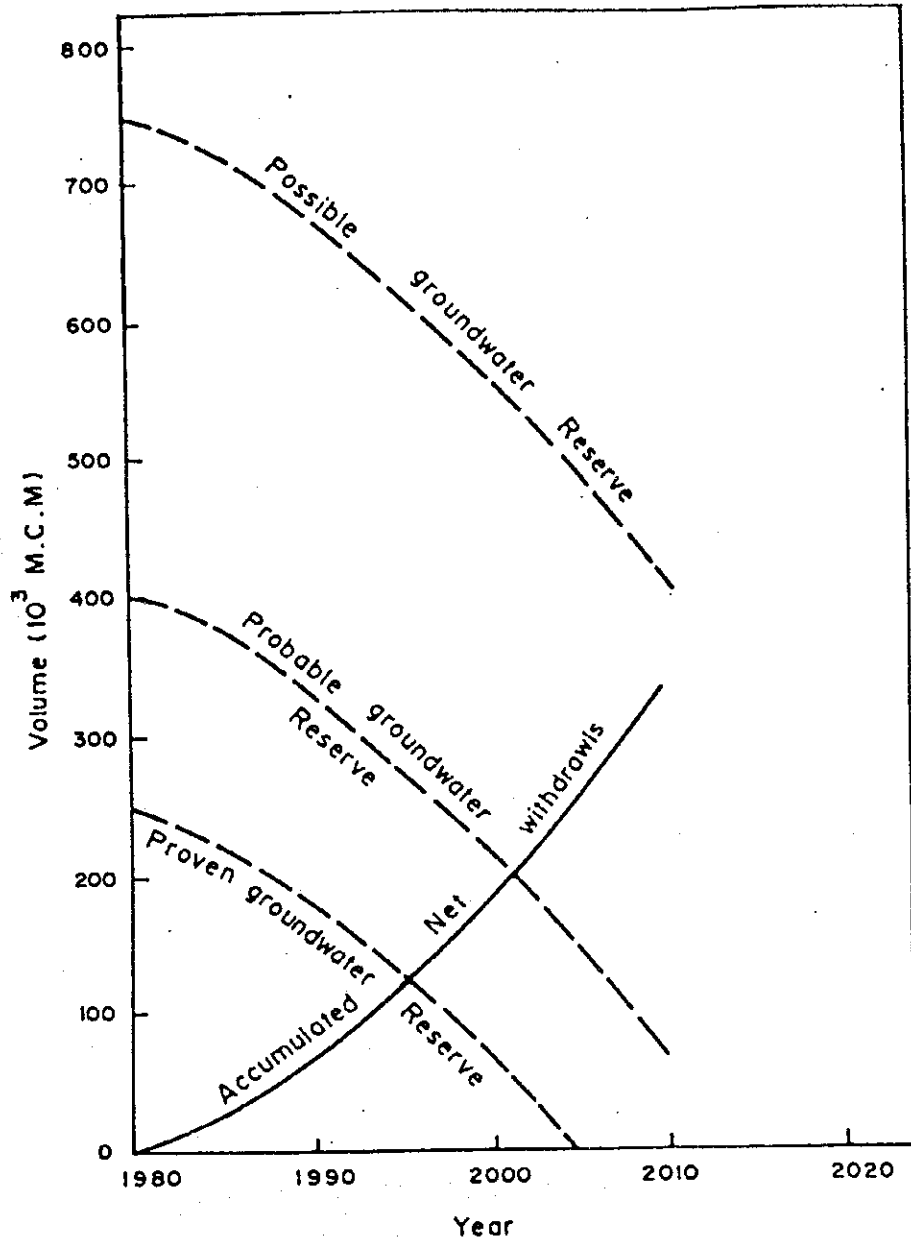


Fig. 1 サウディ・アラビアにおける地下化石水埋蔵量

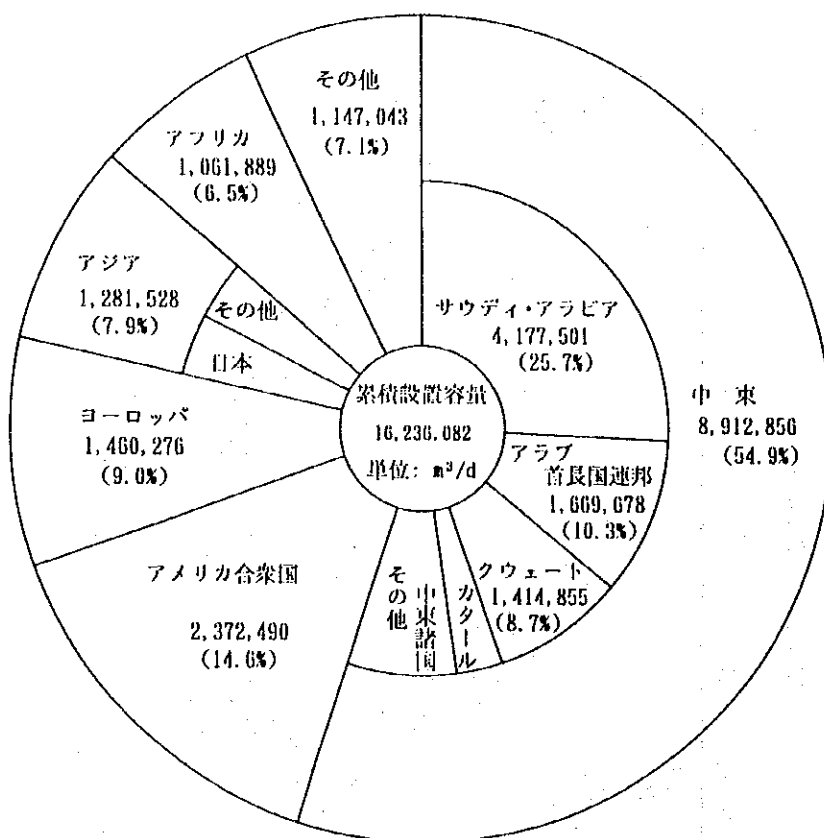


Fig. 2 主要国の淡水化プラント設置容量
(1992年 I D A Report)

3. 協力調査の目的



3. 協力調査の目的

本協力調査の目的は、海水淡水化技術に関する4テーマについて日本、サウディ両国からの担当者が研究を共同で行うことにより、日本の海水淡水化技術をサウディ側に移転し、もって同国の淡水確保に資することにある。

4. 業務実施の基本方針



目 次

4. 業務の基本方針	1
4.1 共同研究活動	2
4.2 作業計画	10
4.2.1 第1次現地調査(平成5年1月～3月)	15
4.2.2 第2次現地調査(平成5年4月～平成6年3月)	15
4.2.3 第2次国内調査(平成5年4月～平成6年3月)	15
4.2.4 第3次現地調査(平成6年4月～平成7年2月)	16
4.2.5 第3次国内調査(平成6年4月～平成7年2月)	16
4.2.6 ファイナルレポートの作成	16
4.3 JICAとSWCCの業務分担	16
4.4 業務実施体制	18
4.5 供与機器の追加整備	21
4.5.1 化学分析機器の整備	21
4.5.2 テストプラント据付・追加工事、テストプラント追加供与機材 ならびに予備実験用追加供与機材	22

(4)

表 一 覧

表番	題 名	ページ
Table 1	業務別担当者名 -----	19
Table 2	化学分析機器業務別担当者名 -----	23
Table 3	JICA供与機材 -----	24

図 一 覧

図番	題 名	ページ
Fig. 1	MSFの実験機材およびテストプラントスケジュール	8
Fig. 2	ROの実験機材およびテストプラントスケジュール	9
Fig. 3	第1次現地調査	11
Fig. 4	第2次現地調査	12
Fig. 5	第3次現地調査	13
Fig. 6	第4次現地調査	14
Fig. 7	プロジェクト構成図	18
Fig. 8	#2-15 微小部X線分析装置	26
	Model : X-650	
Fig. 9	#2-15 微小部X線分析装置	26
	Model : X-650	
Fig. 10	#2-16 赤外分光光度計	27
	Model : 270-50	
Fig. 11	#2-1 ICP発光分光システム	27
	Model : 306	
Fig. 12	#2-2A 分光光度計(机上用)	28
	Model : 150-20	
Fig. 13	#2-2B 分光光度計(携帯用)	28
	Model : 100-10	
Fig. 14	#2-3 X線回折装置	29
	Model : D/MAX-IIA	
Fig. 15	#9-1 イオンクロマトグラフ	29
	Model : IC500PS	

(4)

4. 業務実施の基本方針

本協力調査は共同研究活動、機材整備の二つに大別され、その具体的調査項目は次項に述べる通りである。

4.1 共同研究活動

共同研究テーマは、多段フラッシュ法（MSF）および逆浸透法（RO）に関する以下の4テーマについて実施された。

- A. MSFプロセスにおけるスケールコントロール法に関する研究（MSF-1）
- B. MSFプロセスにおける生産水油汚染対策に関する研究（MSF-2）
- C. ハイブリッドシステム（MSF-RO）用のRO膜選択に関する研究（RO-1）
- D. ROプロセスにおける油汚染対策に関する研究（RO-2）

上記の4テーマの研究目的や内容はM/Mに沿って策定された。

なお、MSFとROに関する技術協力計画調査スケジュールをFig. 1 およびFig. 2 に示す。

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

(1) 目的

MSFプラントの性能低下は主として伝熱管へのスケール付着に基づくことから、サウディ・アラビアにおけるMSFプラントを対象にスケール抑制剤の添加によっていかにしてスケール付着を抑制するかを明かにする。

(2) 研究内容

1) 調査および予備実験

現在サウディ・アラビアで稼働しているMSFプラントの性能低下の現状を調査するとともに、種々のスケール抑制剤の性能を室内実験で比較する。

2) 伝熱試験装置による実験

上記の予備実験結果をもとに供試スケール抑制剤を選定し、伝熱試験装置を用いた熱流束存在下でのスケールリング速度を種々の条件下で調べる。

これらのデータを踏まえて選定されたスケール抑制剤の性能をMSFテストプラントで確認する。

3) MSFテストプラント試験

- 選定されたスケール抑制剤の性能を、MSFプラントテストによって確認する。
- 酸との併用によるスケール抑制剤の効果を調査し、酸を使用しない場合と比較する。

4) 評価および取り纏め

MSFテストプラント試験によるデータを評価し、以下の点を明かにする。

- 伝熱管汚れ係数の経時変化に関する知見

(4)

- スケール除去のためのボールクリーニングの効果および所要除去頻度に関する知見
- 酸を併用した場合のスケール抑制剤効果および伝熱管の腐食に関する知見

(3) 必要機材および材料

1) 機材

- a. スケール析出試験装置 (100℃以上)
- b. スケール析出試験装置 (100℃以下)
 - (冷却器付三口フラスコ)
- c. 伝熱試験装置 (SWCC所有の機器の改造)

2) 材料

- a. スケール抑制剤
- b. ブライン
- c. 硫酸
- d. 消泡剤
- e. 酸洗用薬剤
- f. スポンジボール

B. MSF生産水の油汚染対策に関する研究 (MSF-2)

(1) 目的

油汚染海水をMSF淡水化する場合にMSF生産水の油汚染が懸念されることから、MSF生産水の油汚染の防止対策を提案する。

(2) 研究内容

1) 調査および予備実験

海水が油で汚染された場合の海水水質並びに炭化水素およびプロモホルムの気液平衡に関する文献調査を行うとともに、プロモホルムおよび油に含まれる炭化水素の揮発性について室内での予備実験を行う。

2) 気液平衡測定実験

海水淡水化条件下での炭化水素およびプロモホルムの気液平衡を測定する。

3) シミュレーションおよび予測

上記1)、および2)で得られたデータとMSFテストプラントの特性とを組み合わせ、MSFテストプラント内での炭化水素およびプロモホルムの挙動をコンピュータによって

(4)

予測する。

4) MSFテストプラント試験

上記のコンピュータシミュレーションの結果をMSFテストプラントでの試験によって確認する。

5) 評価および取り纏め

上記4)の結果を分析評価する事により、MSF生産水の油汚染についての対策を提案する。

(3) 必要機材および材料

1) 機材

- a. 予備実験機材
- b. 冷却器付き気液平衡測定機
- c. SWCC所有のパーソナルコンピュータ
- d. MSFテストプラント

(2) 材料

- a. 炭化水素、ブロロホルム
- b. ブライン
- c. スケール抑制剤
- d. 消泡剤
- e. 酸洗用薬剤
- f. スポンジボール

C. ハイブリッドシステム(MSF-RO)用のRO膜選択に関する研究(RO-1)

(1) 目的

高塩濃度のアラビア湾の海水からTDS1,000~1,500mg/lの淡水を得るために、商業的に得られるRO膜の中から、透過水流束が大きく最も実用的な膜を選択する。

(2) 研究内容

1) 調査と予備実験

- a. 汚染膜の性能評価および化学洗浄実験
- b. 高透過水流束の膜を選択するための平膜の比較実験。本実験は清澄海水を用いて実際の温度、圧力に近い条件で実施する。(第一次選択実験)
- c. 平膜の塩素および濁質に対する耐性実験。(第二次選択実験)

(4)

2) ROミニモジュール実験

- a. 平膜のテストで選定された膜についてのミニモジュールを用いた選択実験。
- b. 選択されたモジュールの耐性試験および膜洗浄試験、その他実用的試験等。

3) ROテストプラント試験

MSF-ROハイブリッドシステムへのROモジュールの適用性に関する実用ROモジュールを用いたROテストプラントでの確認試験。

4) 評価および取り纏め

現在あるモジュールの中からMSF-ROハイブリッドシステムに使用するのに最も適切な実用膜を選択する。

(3) 必要機材および材料

1) 機材

- a. SDI測定装置
- b. SWCC所有の平膜試験装置
- c. 平膜セル二個
- d. ROミニモジュール試験装置
- e. ROテストプラント

2) 材料

- a. RO法海水淡水化プラントで使用され、その運転履歴の明かな汚染膜。(SWCCの幹旋により入手。)
- b. ROミニモジュール
- c. 実用ROモジュール
- d. 塩化第二鉄、SBS等の化学薬品
- e. 四塩化炭素等の溶剤
- f. 実験室規模の砂ろ過装置用のアンスラサイトおよび砂

D. ROプロセスにおける油汚染対策に関する研究(R0-2)

(1) 目的

数十mg/lの油分を含んだ海水をROプロセスで淡水化する場合の最適な油汚染対策を提案する。

(2) 研究内容

1) 調査と予備実験

- a. 海水中に放出された溶解性油分および非溶解性油分に関する分析データ、溶解度、

(4)

分析法、除去法等についての文献調査。

- b. トリハロメタン等有機ハロゲン化合物に関する分析データ、溶解度、分析法、除去法等についての文献調査。
- c. ROモジュールの耐油性についての文献調査並びにトリハロメタン等有機ハロゲン化合物の除去についての文献調査および実験。

2) 前処理による油分除去実験

a. 前処理予備実験

凝集沈澱法および吸着法による、海水中に放出された溶解性油分および非溶解性油分除去に関する室内予備実験を行う。本実験においては、凝集砂濾過法、高分子吸着剤法および活性炭吸着法の除去効果ならびにこれらの組み合わせによる除去効果について検討する。

b. 油分添加調整実験

モデルとなる油分汚染海水の調製およびその分析についての検討および実験を行う。

c. 油分除去実験

凝集砂濾過法、高分子吸着剤法および活性炭吸着法等による溶解性油分および非溶解性油分除去の実験を行う。

d. 油分除去装置再生実験

凝集砂濾過法、高分子吸着剤法および活性炭吸着法での除去装置の再生条件について実験および検討を行う。

3) 平膜試験装置による耐油性実験

前処理済の海水を原水として、油分（特に溶解性油分）が膜の性能に与える影響について実験する。

4) ROミニモジュール試験

前処理済の海水を原水として、ROミニモジュールの耐油性について試験した。上記2)と3)の結果に基づき、油汚染に対する前処理プロセスの最適化のために前処理方法と耐油性ROミニモジュールとの組み合わせ試験を行う。

5) ROテストプラント試験

ROテストプラントを用いて、実用ROモジュールにおよぼす前処理プロセスの効果と耐油性の確認試験を行う。

6) 評価および取り纏め

海水の前処理と耐油性モジュールの組み合わせにより、最適な油分汚染対策を提案する。

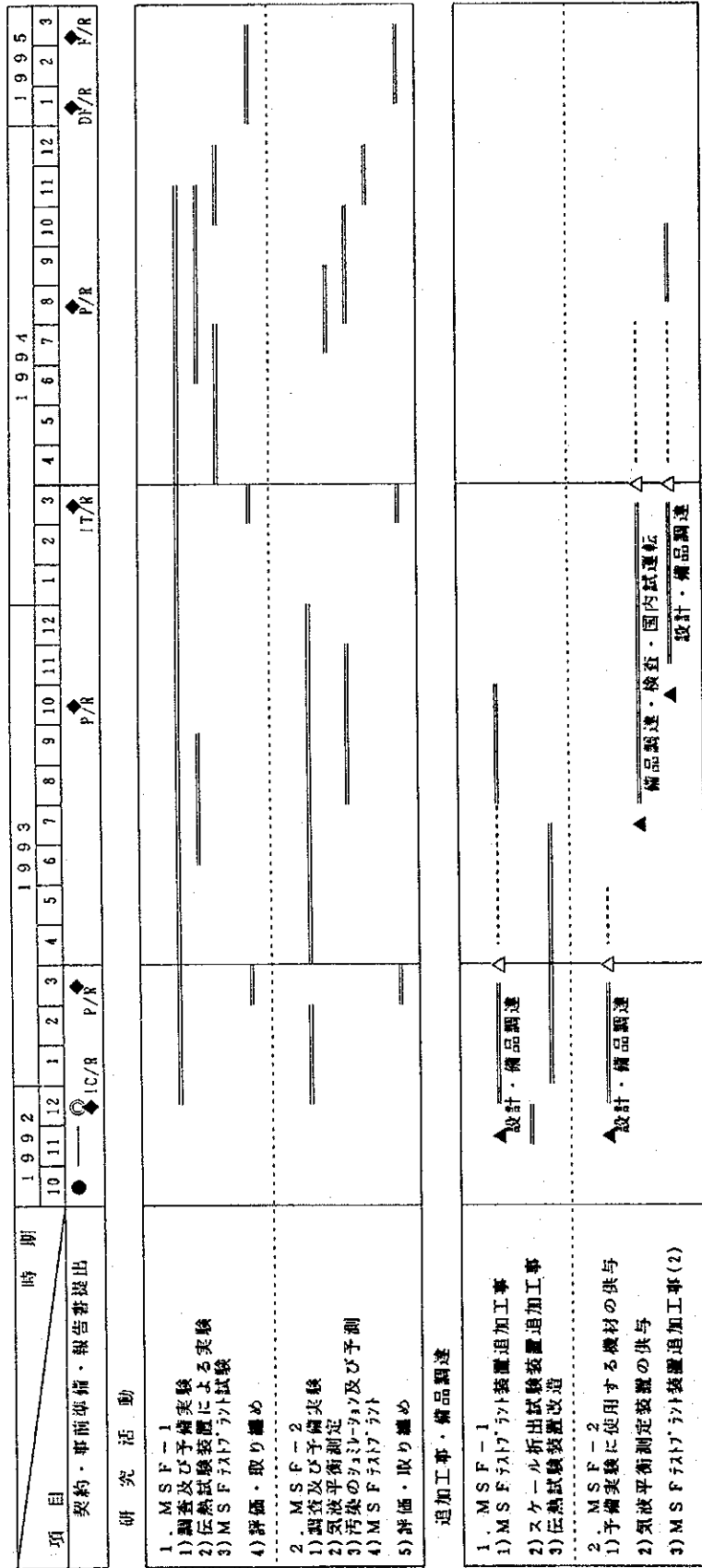
(3) 必要機材および材料

1) 機材

- a. 平膜セル二個
- b. 油分添加調整装置
- c. 油分吸着除去装置
- d. 油分吸着塔再生装置
- e. ROミニモジュール試験装置
- f. ROテストプラント

2) 材料

- a. 平膜
- b. 汚染海水調整用添加油
- c. ROミニモジュール
- d. 実用ROモジュール



(注)

- : JICA/SWCC M/M 署名
- : SWCC Kick off meeting
- ◐: 7.0時-9.0時 4787 装置の製作
- ◆: 4.0時-7.0時 4787 装置の製作
- ▲: 機材発注
- △: 人手機材の検査

.....: 日本から材料・7.0時への移送

▲ 備品調達・検査・国内試運転
▲ 設計・備品調達

◆ IC/R: 4787 装置のテスト
◆ P/R: 7.0時 4787 装置のテスト
◆ IT/R: 4787 装置のテスト
◆ DF/R: 7.0時 4787 装置のテスト
◆ P/R: 7.0時 4787 装置のテスト

Fig. 1 MSFの実験機材およびテストプラントスケジュール

(4)

項目	1992			1993			1994			1995								
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
契約・事前準備・報告書提出	●			◆			◆			◆			◆			◆		
研究活動	●			◆			◆			◆			◆			◆		
追加工事・備品調達	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
1. RO-1	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
1) 調査及び予備実験	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
2) ニック除去による実験 (1)	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
3) RO 装置の稼働試験	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
4) 評価・取り纏め	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
2. RO-2	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
1) 調査及び予備実験	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
2) 前処理による油分除去 (ハンダ付)	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
3) 平膜試験装置による油分除去による耐油実験	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
4) RO 装置の稼働試験 (2)	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
5) RO 装置の稼働試験	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
6) 評価・取り纏め	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
追加工事・備品調達	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
1. RO-1	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
1) 追加稼働試験	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
2) RO 装置の稼働試験の供与	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
3) 平膜試験装置の供与	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
4) 平膜セル 2 個の供与	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
2. RO-2	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
1) 油分添加試験装置の供与	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
2) 油分吸着除去装置の供与	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
3) 油分吸着塔逆洗浄装置の供与	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
4) RO 装置 2 個の供与	◆			◆			◆			◆			◆			◆		
5) 平膜セル 2 個の供与	◆			◆			◆			◆			◆			◆		

(注) ●: JICA/SWCC W/M 署名
 ◎: SWCC Kick off meeting
 ○: 日本からの初回打ち合わせ
 ◆: RO-1 の稼働試験装置の稼働試験
 ▲: 機械発注
 △: 人手機材の検査

Fig. 2 ROの実験機材およびテストプラントスケジュール

(4)

4.2 作業計画

各会計年度の作業計画および調査活動は、Fig. 3からFig. 6に示す通りである。

年 度	平成 4 年 度					備 考
	11	12	1	2	3	
1. インドネシアの説明と協議 2. 共同研究者との技術検討会実施 3. インドネシアの移設と据付計画			====			
4. 共同研究の実施 1) 調査及び予備実験 ① MSP性能低下の現状調査 ② スケ抑制剤選定 ③ スケ析出試験装置追加工事 2) 伝熱管試験装置による実験 ① 伝熱管試験装置改造工事 ② スケ抑制剤選定 3) MSPパイプライン試験 ① インドネシア据付工事支援 ② インドネシア試運転 ③ インドネシア運転・試験 ④ 水質分析 ⑤ 汚れ係数の評価 4) 評価・取りまとめ			====	====		
M S F 1			====	====		◆P/R
1) 調査及び予備実験 ① インドネシア沿岸水の水質調査 ② 予備実験 ③ 水質分析 2) 気液平衡測定実験 3) シミュレーション及び予測 4) MSPパイプライン試験 ① インドネシア装置追加工事 ② インドネシア運転・試験 ③ 水質分析 ④ 生産水移行物質の評価 5) 評価・取りまとめ			====			◆P/R
M S F 2			====			◆P/R
1) 調査及び予備実験 ① ROパイプライン用RO膜の調査 ② 汚染膜の性能評価実験 2) 平膜比較試験 3) 平膜の塩素・高質耐性試験 4) ROモジュール実験(1) ① モジュール選択実験 ② 平膜の塩素・高質耐性試験 5) ROパイプライン試験 ① インドネシア据付工事支援 ② 実験 6) 評価・取りまとめ			====	====		◆P/R
R O 1			====	====		◆P/R
1) 調査及び予備実験 2) 前処理による油分除去実験 (Aプロセス) 3) 平膜試験装置による耐油性実験 4) ROモジュール実験(2) 5) ROパイプライン試験 6) 評価・取りまとめ			====	====		◆P/R
R O 2			====	====		◆P/R

注) — : JICA単独実施、==== : SWCC単独実施、===== : JICA/SWCC共同実施

Fig. 3 第1次現地調査 (1992年12月～1993年3月)

年 度	平成 5 年 度												備 考
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
4. 共同研究の実施 1) 調査及び予備実験 ①MSF性能低下の現状調査 ②ｽｰﾙ抑制剤選定 ③ｽｰﾙ析出試験装置追加工事 2) 伝熱管試験装置による実験 ①伝熱管試験装置改造工事 ②ｽｰﾙ抑制剤選定 3) MSFﾌﾞﾗｽﾄﾞﾞﾗｲﾄﾞ試験 ①ﾌﾞﾗｽﾄﾞﾞﾗｲﾄﾞ据付工事支援 ②ﾌﾞﾗｽﾄﾞﾞﾗｲﾄﾞ試運転 ③ﾌﾞﾗｽﾄﾞﾞﾗｲﾄﾞ運転・試験 ④水質分析 ⑤汚れ係数の評価 ④) 評価・取りまとめ													
	M												
	S												
	F												
	I												
	1												
MSF 2 1) 調査及び予備実験 ①ﾌﾞﾗｲﾄﾞ海岸海水の水質調査 ②予備実験 ③水質分析 2) 気液平衡測定実験 3) ﾏﾝｸﾞﾗｲﾄﾞ及び予測 4) MSFﾌﾞﾗｽﾄﾞﾞﾗｲﾄﾞ試験 ①ﾌﾞﾗｽﾄﾞﾞﾗｲﾄﾞ装置追加工事 ②ﾌﾞﾗｽﾄﾞﾞﾗｲﾄﾞ運転・試験 ③水質分析 ④生産水移行物質の評価 5) 評価・取りまとめ													
	M												
	S												
	F												
	I												
	2												
RO 1 1) 調査及び予備実験 ①ﾊｲﾌﾟｰﾙ用ROﾒﾝﾌﾞﾗｰの調査 ②汚染膜の性能評価実験 2) 平膜比較試験 3) 平膜の塩素・濁質耐性試験 4) ROﾒﾝﾌﾞﾗｰ実験(1) ①ﾒﾝﾌﾞﾗｰ選択実験 ②平膜の塩素・濁質耐性試験 5) ROﾌﾞﾗｽﾄﾞﾞﾗｲﾄﾞ試験 ①ﾌﾞﾗｽﾄﾞﾞﾗｲﾄﾞ据付工事支援 ②実験 6) 評価・取りまとめ													
	R												
	O												
	1												
RO 2 1) 調査及び予備実験 2) 前処理による油分除去実験 (ﾊﾞﾝﾌﾟﾗｽﾄｰﾙ) 3) 平膜試験装置による耐油性実験 4) ROﾒﾝﾌﾞﾗｰ実験(2) 5) ROﾌﾞﾗｽﾄﾞﾞﾗｲﾄﾞ試験 6) 評価・取りまとめ													
	R												
	O												
	2												

Fig. 4 - 1 第2次現地調査 (1993年4月～1994年1月)

平成 5 年 度	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	備 考
1. RO-1:汚染膜等の解析・分析 2. ﾏﾝｸﾞﾗｲﾄﾞの作成													◆IT/R

注) ——— : JICA単独実施、 - - - - : SWCC単独実施、 ——— : JICA/SWCC共同実施

Fig. 4 - 2 第2次国内調査 (1994年2月～1994年3月)

年 度		平 成 6 年 度												備 考	
月		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
M S F I I	4. 共同研究の実施														
	1) 調査及び予備実験														
	①MSP性能低下の現状調査														
	②スケール抑制剤選定														
M S F I I	2) 伝熱管試験装置による実験														
	①伝熱管試験装置改造工事														
	②スケール抑制剤選定														
	③MSPファストテスト試験														
M S F I I	3) MSPファストテスト試験														
	①ファストテスト据付工事支援														
	②ファストテスト運転														
	③ファストテスト運転・試験														
M S F I I	4) 評価・取りまとめ														
	④水質分析														
	⑤汚れ係数の評価														
	⑥評価・取りまとめ														
M S F I I	1) 調査及び予備実験														
	①7月7湾岸海水の水質調査														
	②予備実験														
	③水質分析														
M S F I I	2) 気液平衡測定実験														
	3) シミュレーション及び予測														
	4) MSPファストテスト試験														
	①ファストテスト装置追加工事														
M S F I I	2) 評価・取りまとめ														
	②ファストテスト運転・試験														
	③水質分析														
	④生産水移行物質の評価														
M S F I I	5) 評価・取りまとめ														
	①ファストテスト据付工事支援														
	②実験														
	③評価・取りまとめ														
R O I I	1) 調査及び予備実験														
	①ROファスト用ROモジュールの調査														
	②汚染膜の性能評価実験														
	2) 平膜比較試験														
R O I I	3) 塩素・濁質耐性試験														
	4) ROモジュール実験(1)														
	①モジュール選択実験														
	②平膜の塩素・濁質耐性試験														
R O I I	5) ROファストテスト試験														
	①ファストテスト据付工事支援														
	②実験														
	③評価・取りまとめ														
R O I I	1) 調査及び予備実験														
	2) 前処理による油分除去実験 (A'ファスト)														
	3) 平膜試験装置による耐油性実験														
	4) ROモジュール実験(2)														
R O I I	5) ROファストテスト試験														
	①ファストテスト据付工事支援														
	②実験														
	③評価・取りまとめ														

Fig. 5 - 1 第3次現地調査 (1994年4月~1994年12月)

平 成 6 年 度		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	備 考
4.	ドクタールファストの作成													

注) ——— : JICA単独実施、 - - - - : SWCC単独実施、 ——— : JICA/SWCC共同実施

Fig. 5 - 2 第3次国内調査 (1995年1月)

(4)

年 度	平 成 6 年 度											備 考	
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2		3
5. ドラフトファイルの説明												◆DF/R	

Fig. 6 - 1 第4次現地調査 (1995年2月)

年 度	平 成 6 年 度											備 考	
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2		3
5. ファイルの作成												—	
6. ファイルの送付												—	

注) — : JICA単独実施、 — : SWCC単独実施、 — : JICA/SWCC共同実施

Fig. 6 - 2 第4次国内調査 (1995年2月)

(4)

4.2.1 第1次現地調査(1993年1月～3月)

(1) インセプションレポートの説明と協議

1993年(平成5年)1月リアドSWCC本部において、インセプションレポートを説明し、JICAとSWCCとの間の業務分担内容を確認した。

(2) SWCC, JICA間の技術検討会

SWCCのR/Dセンターにおいて、SWCC共同研究者とインセプションレポートをベースに、各研究テーマの技術的内容を詳細に検討した。

(3) MSF、ROテストプラントの移設計画

SWCCヤンブー工場に保管されていたMSF、ROテストプラントは、1993年(平成5年)1～2月アルジュバールに搬送された。

(4) 共同研究の実施

共同研究は、4.1に記載の計画に沿ってR/Dセンターにて実施した。

(5) プロGRESS・レポートの作成

上記の文献調査および予備実験の結果をもとにPROGRESS・レポートを作成した。

4.2.2 第2次現地調査(1993年4月～1994年3月)

(1) 下記化学分析機器について、組立、調整作業を追加して行った。

A. X線回析装置

B. イオンクロマトグラフ

Aについては、部品の供給を含めた装置の組立・点検および操作を行うと共に、操作・保守管理技術の指導および活用技術の指導を行った。

Bについては、前期の装置組立、据え付けに引き続き、分析操作の実習を行い、操作の習熟を図ると共に、保守管理技術および活用技術の指導を行った。

(2) 共同研究の実施

共同研究は、4.1に記載の計画に沿ってR/Dセンターにて実施した。

(3) PROGRESS・レポートの作成

1993年(平成5年)10月末日にPROGRESS・レポートを作成した。

4.2.3 第2次国内調査(1993年4月～1994年3月)

(1) インテリムレポートの作成。

1994年(平成6年)2月末日までに、第一次、第二次調査活動の結果を纏めたインテリムレポートを作成した。

(2) SWCCへの説明

1994年(平成6年)3月の10日間で、JICAチームはSWCCにインテリムレポートについて説明し、内容を協議した。

(4)

(3) 汚染膜の分析

R0-1に関する汚染膜の分析は、日本、サウディ・アラビアの両国で実施した。

4.2.4 第三次現地調査（1994年4月～1995年2月）

(1) 共同調査の実施

共同研究は、4.1に記載の計画に沿ってR/Dセンターにて実施した。

4.2.5 第3次国内調査（1994年4月～1995年2月）

(1) ドラフトファイナルレポートの作成

共同研究は1994年（平成6年）12月末日で終了となり、その時JICAはドラフトファイナルレポートを日本で完成させるために必要な資料を日本に持ち帰った。このレポートにおいて、その時点までのSWCCとの共同研究の結果が纏められた。

(2) SWCCへの説明

1995年（平成7年）2月の9日間、JICAチームは、SWCCにドラフトファイナルレポートを説明し、内容を協議した。

4.2.6 ファイナルレポートの作成

本レポートは、これ迄におこなわれたSWCCとの共同研究の結果を纏めたものである。

4.3 JICAとSWCCの業務分担

(1) 本プロジェクトの遂行に際し、JICAおよびSWCCは以下に示す項目について業務を分担した。

- 1) 実験室の設備
- 2) 材料
- 3) テストプラント
- 4) 所要作業員数
- 5) その他

(2) JICAは次の実験装置を新たに供与し、SWCCは必要とするユーティリティを供給した。

- 1) ミニモジュール試験装置(1)
- 2) ミニモジュール試験装置(2)
- 3) SWCC平膜試験装置用冷却水循環装置
- 4) ミニモジュール試験装置用冷却水循環装置(1)

(3) JICAおよびSWCCはこの調査に使用する主要装置の責任分担を決定した。

(4)

(4) SWCCは以下の便宜供与を行った。

- 1) JICAチームのメンバー用の事務所の提供
- 2) JICAチームメンバー用にSWCC宿舎の手配
- 3) 通勤のための乗用車の提供
- 4) JICAチームメンバーのサウディ国内出張時の費用、及びその必要関税
- 5) JICAがSWCCに供与する資機材に対して賦課される税及び諸手続き経費の支払
- 6) JICAよりSWCCへの供与装置及び材料のための国内運送費用と必要関税（必要であれば設置費用も含む）
- 7) SWCC調査研究所より日本事務所への通信に関する便宜供与

4.4 業務実施体制

業務実施体制をFig. 7に、業務別担当者名をTable 1に示す。

Fig. 7 プロジェクト構成図

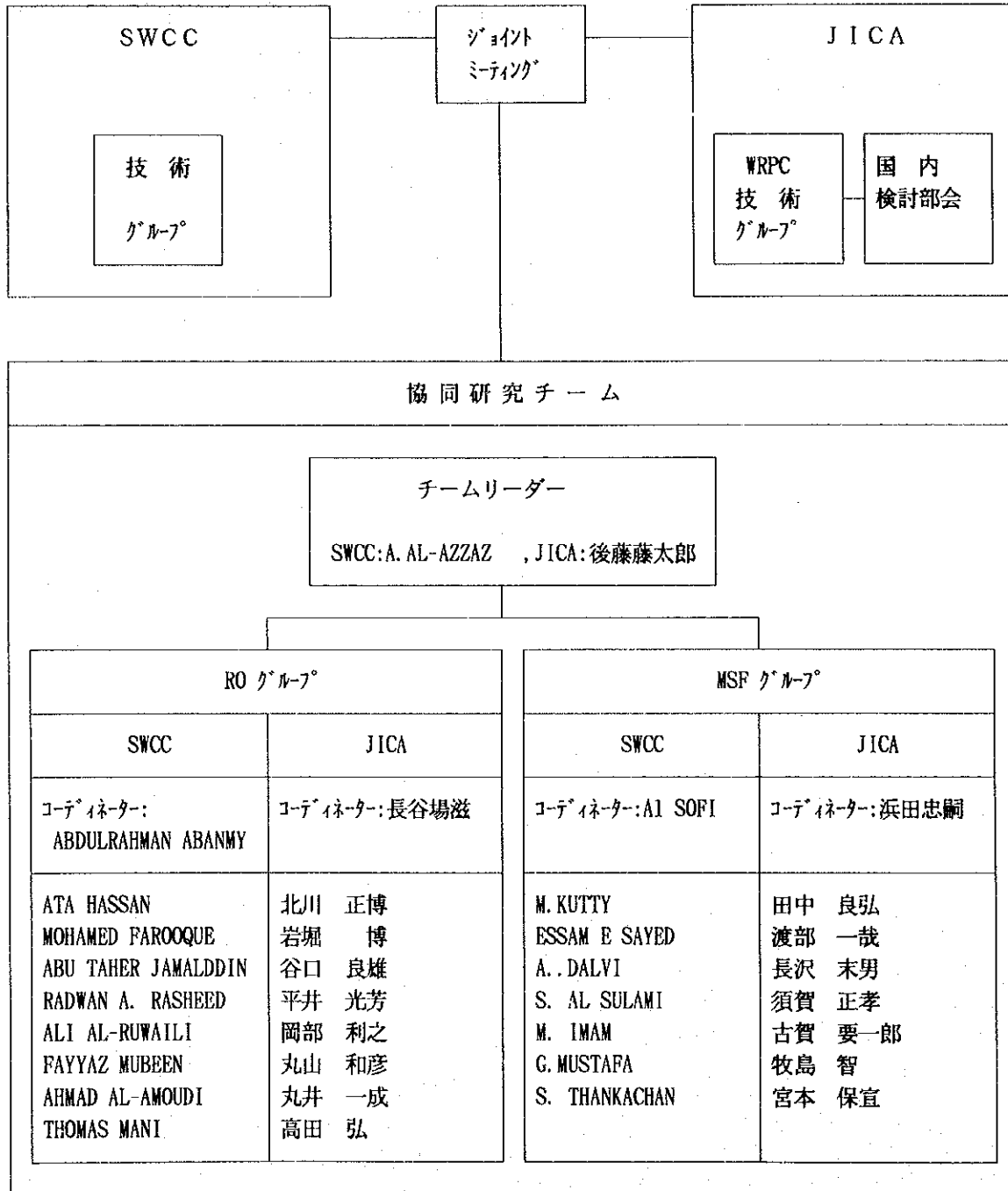


Table 1 業務別担当者名

担 当	業 務 内 容	氏 名	
		J I C A	S W C C
総 括	<ul style="list-style-type: none"> ・業務全体の推進、取り纏め ・関係先との折衝 	後藤 藤太郎	A. A. Al-Azzaz
MSF-1, MSF-2 (研究手法)	<ul style="list-style-type: none"> ・サティラプラでの実験調査の実施及び結果の評価 ・スケール選定実験 ・油分挙動のシミュレーションに必要なテストプラント固有の特性の整理 ・化学関連データの総合評価 ・伝熱関連データの総合評価 	浜田 忠嗣	A. K. Al-Sofi M. Kutty Essam
MSF-1, MSF-2 (分析手法)	<ul style="list-style-type: none"> ・海水、フライン及び発生したスケールの化学分析の実施 ・化学分析結果の評価 ・実験調査の実施補佐 	田中 良弘 須賀 正孝	S. Sulami Imam Thankachan
MSF-2 (気液平衡-1)	<ul style="list-style-type: none"> ・MSFプラント内での油分の挙動について、実験室規模での予備実験の実施 ・油汚染物質の挙動解析に必要な物性値の調査 	渡辺 一哉	Thankachan A. G. Dalvi
MSF-2 (気液平衡-2)	<ul style="list-style-type: none"> ・気液平衡データの取得 ・シミュレーション用電算プログラムのための与条件の整備 	長沢 末男	M. Kutty Essam Thankachan
MSF-2 (コンピューター解析)	<ul style="list-style-type: none"> ・シミュレーション用電算プログラムの構築 Hard Ware: NEC PC98 & IBM-PS/2 Soft Ware: BASIC, FORTRAN & C or C++ ・実験結果に基づくシミュレーション用電算プログラムの修正 	古賀 要一郎	M. Kutty Essam
MSFテストプラント(1)	<ul style="list-style-type: none"> ・テストプラントの組立、据付の指導 	牧島 智	Al-Sofi, M. Kutty, Essam Imam
MSFテストプラント(2)	<ul style="list-style-type: none"> ・テストプラントの試運転、運転及び保守管理の指導 	宮本 保宣	Al-Sofi, M. Kutty, Essam Imam

Table 1 業務別担当者名(続き)

担 当	業 務 内 容	氏 名	
		J I C A	S W C C
RO-1, RO-2 (研究手法)	<ul style="list-style-type: none"> ・ カチオン交換樹脂での実験調査の実施及び結果の評価 ・ RO-1事前調査 ・ RO-2予備調査結果の総合評価 ・ RO-1, RO-2用各モジュール実験結果の総合評価 ・ テストプラント試験結果の総合評価 	長谷場 滋	A. Abanmy A. Hassan
RO-1, RO-2 (分析手法-1)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 平膜実験、各モジュール実験、テストプラント試験に係わる水質を主体とする分析 ・ ハイブリッド用膜選択モジュール実験 ・ モジュールを用いた濁質・塩素耐性試験 ・ 日本からの情報検索の支援 	北川 正博 谷口 良雄	M. Farooque A. Jammaldin A. R. Ali M. Fayyaz
RO-1, RO-2 (分析手法-2)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 使用済みRO膜の膜汚染状況の分析とその洗浄方法の検討 ・ ROシステムの性能分析とハイブリッドシステムのシミュレーション計算の実施 ・ ハイブリッド用膜の評価と選定 	岩堀 博 丸井 一成	Nomani Ata Hassan a. Jammaldin A. R. Ali M. Fayyaz
RO-1, RO-2 (膜評価-1)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ハイブリッド用膜選定のための平膜試験装置による比較実験 ・ 平膜試験装置を用いた塩素に対する膜の耐性実験 ・ RO-1のためのROテストプラント運転と評価 ・ RO-1の実験調査の実施補佐 	平井 光芳	Nomani Ata Hassan M. Farooque A. R. Ali M. Fayyaz
RO-1, RO-2 (膜評価-2)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ハイブリッド用膜選定のためのモジュールによる実験 ・ 平膜試験装置を用いた濁質に対する膜の耐性実験 ・ RO-2のためのROテストプラント運転と評価 	岡部 利之	Ata Hassan M. Farooque A. Jammaldin A. R. Ali M. Fayyaz
RO-2 (前処理)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 凝集ろ過法及び吸着法による海水中の油分除去実験 ・ 油汚染モデル海水調製法に関する検討と実験 ・ 海水中の油分及びトリハロメタン等有機ハロゲン化合物の分析法に関する文献調査 ・ ROモジュールの耐油性、有機ハロゲン化合物の分離性能に関する文献調査 ・ 前処理による油分除去実験 	丸山 和彦	Ata Hassan T. Thomas M. Farooque A. Jammaldin A. R. Ali M. Fayyaz
ROテストプラント	<ul style="list-style-type: none"> ・ テストプラントの組立、据付、試運転、運転及び整備の指導監督 	高田 弘 野吾 哲郎	A. Hassan A. Abanmy

4.5 供与機器の追加整備

供与機材（研究機器、MSFテストプラント及びROテストプラント）の据付・追加・調整工事等の機材整備を目的とした機材整備作業を実施した。この際、MSFテストプラントおよびROテストプラントについては据付・追加工事のための追加部品・機材を、供与するとともに、予備実験機材を供与した。

4.5.1 化学分析機器の整備

化学分析機器については、下記事項を担当する技術者を現地に派遣して共通供与機材計画の補完を実施するとともに、各供与機器の操作および管理技術の指導を行った。機器別のJICAおよびSWCCの担当者の氏名をTable 2に示した。

(1) 化学分析機器 A

- ・組立、据付、点検を実施した。
- ・微小部X線分析装置の操作及び保守管理技術を指導した。
- ・実施時期：1994年（平成6年）10月～11月

(2) 化学分析機器 B

- ・組立、据付、点検を実施した。
- ・ICP発光分光システム及び赤外分光光度計の操作及び保守管理技術を指導した。
- ・実施時期：1994年（平成6年）10月～11月

(3) 化学分析機器 C

- ・組立、据付、点検を実施した。
- ・X線回析装置の操作及び保守管理技術を指導した。
- ・実施時期：1993年（平成5年）9月

(4) 化学分析機器 D

- ・イオンクロマトグラフの操作及び保守管理技術を指導した。
- ・実施時期：1993年（平成5年）9月

(4)

4.5.2 テストプラント据付・追加工事、テストプラント追加供与機材ならびに予備実験用追加供与機材

テストプラントの追加工事用供与機材ならびに予備実験用追加供与機材の概要をTable 3に示した。

工事の実施状況については下記の各章に詳述した。

MSFテストプラント据付工事	: 5.3.1
MSFテストプラント追加工事	: 6.4.1
ROテストプラントの据付工事	: 7.2.1
油分除去RO前処理装置据付工事	: 8.2.1
ミニモジュール装置据付工事	: 7.2.1

Table 2 業務別担当者名

担 当	業 務 内 容	氏 名	
		J I C A	S W C C
化学分析機器 A	<ul style="list-style-type: none"> ・組立、据付、点検 ・微小部 X 線分析装置の操作及び保守管理技術の指導 	種畑 好人	Nausha. Asrar T. Prakash John O'hara Ismail Andijani Mohd Ismail Noor Aheed
化学分析機器 B	<ul style="list-style-type: none"> ・組立、据付、点検 ・ I C P 発光分光システム、赤外分光光度計、分光光度計の操作及び保守管理技術の指導 	井上理彦	S. Sulami A. G. Dalvi M. A. Javeed Radwan Rasheed
化学分析機器 C	<ul style="list-style-type: none"> ・組立、据付、点検 ・ X 線回析装置の操作及び保守管理技術の指導 	阪野 障二	Andijani Al-Fozan Shahreer
化学分析機器 D	<ul style="list-style-type: none"> ・イオンクロマトグラフの操作及び保守管理技術の指導 	大塚弘之 川島 範男	S. Sulami A. G. Dalvi Azhar A. Nomani Radwan Sulaiman

(4)

Table 3 JICA 供与機材 (1)

No.	機 材 名
1.	M S F テストプラント追加用部品
1.1	蒸留水サンプリングポンプ
1.2	蒸留水サンプリング用配管弁類
1.3	ブラインサンプリングポンプ
1.4	ブラインサンプリング用配管・弁類
1.5	コレクター ブループ取付座
1.6	油タンク
1.7	油注入ポンプ
1.8	含油排水処理装置
1.9	油注入用及び含油排水処理用配管・弁類
1.10	ポンプ架台等
1.11	温度計センサー
1.12	記録計
1.13	配電盤計
1.14	動力用ケーブル及び計装用ケーブル
1.15	抽気ライン取付座
2.	気液平衡測定装置
3.	ミニモジュール試験装置 (1)
4.	ミニモジュール試験装置 (2)
5.	全自動冷水循環装置
6.	R O 予備実験用諸装置 (1)
6.1	ディスパージャー
6.2	凝集槽
6.3	攪はん機
6.4	超純水製造装置
6.5	ガスクロ用カラム
6.6	スタンド
6.7	カラムホルダー
6.8	沸騰石
6.9	T O C 分析計付属品
6.10	砂濾過塔
7.	R O 予備実験用諸装置 (2)
7.1	音波ホモジナイザー
7.2	油分測定用石英セル
7.3	ローラーポンプ
8.	微小部走査 X 線分析装置部品
9.	赤外分光光度計 270-50 部品
10.	2 ペンリコーダー部品
11.	X 線解析装置 D/MAX 部品
12.	P R ガス

Table 3 JICA供与機材(2)

No.	機材名
13.	ROテストプラント追加部品
13.1	ポンプ用小型電動機
13.2	高圧ポンプベルトカバー
13.3	端子盤
13.4	UV殺菌装置
13.5	ヴィクトリックジョイント
13.6	ジャンクションボックス用ケース
13.7	コンジットチューブ
13.8	ラギング材料
13.9	濾過器覗窓押板及びボルト
13.10	ヒーター用締め付けボルト・ナット
13.11	圧力計
13.12	自動弁
13.13	手動弁
13.14	バルク材料
13.15	機械・電気用予備品
13.16	分析器具
14	油分前処理装置
14.1	油分添加調整装置
14.2	油分吸着除去装置
14.3	油分吸着塔再生装置

(4)

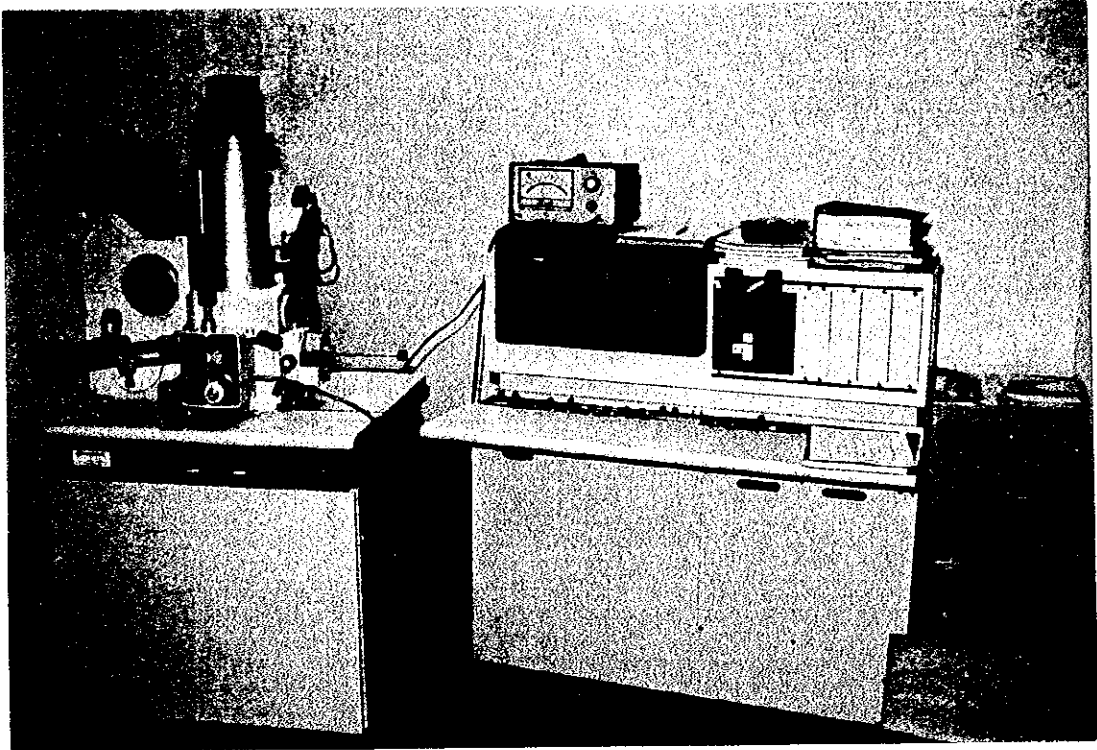


Fig. 8 #2-15 微小部 X 線分析装置

Model : X-650

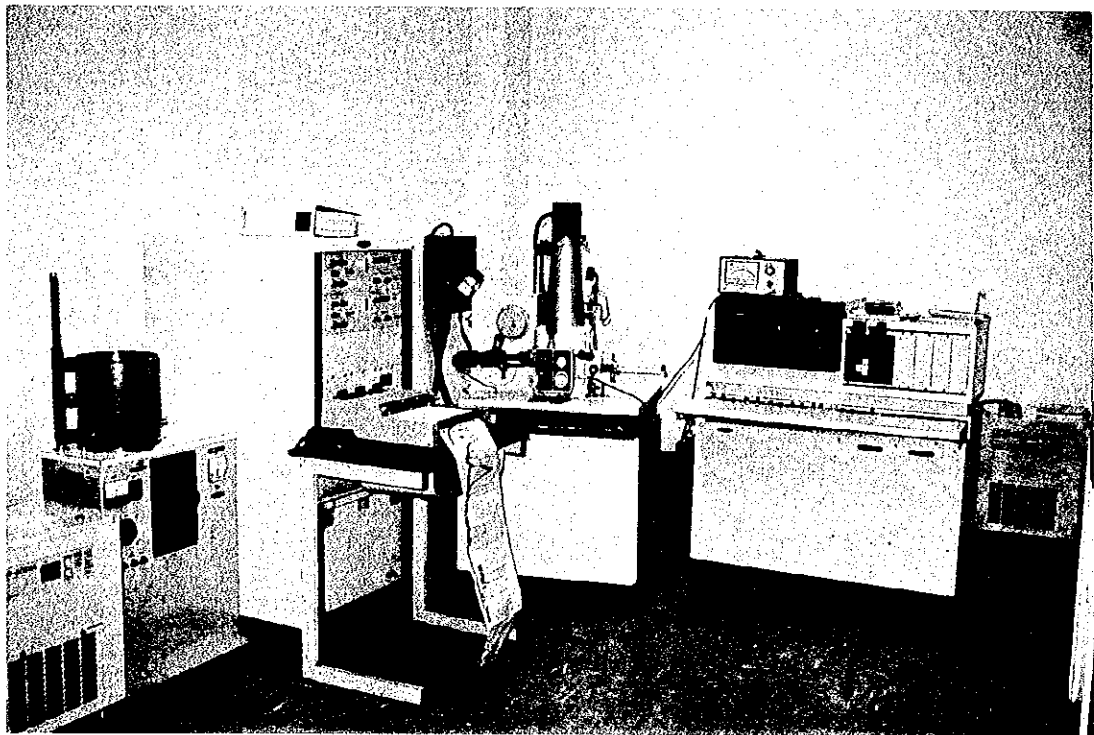


Fig. 9 #2-15 微小部 X 線分析装置

Model : X-650

(4)

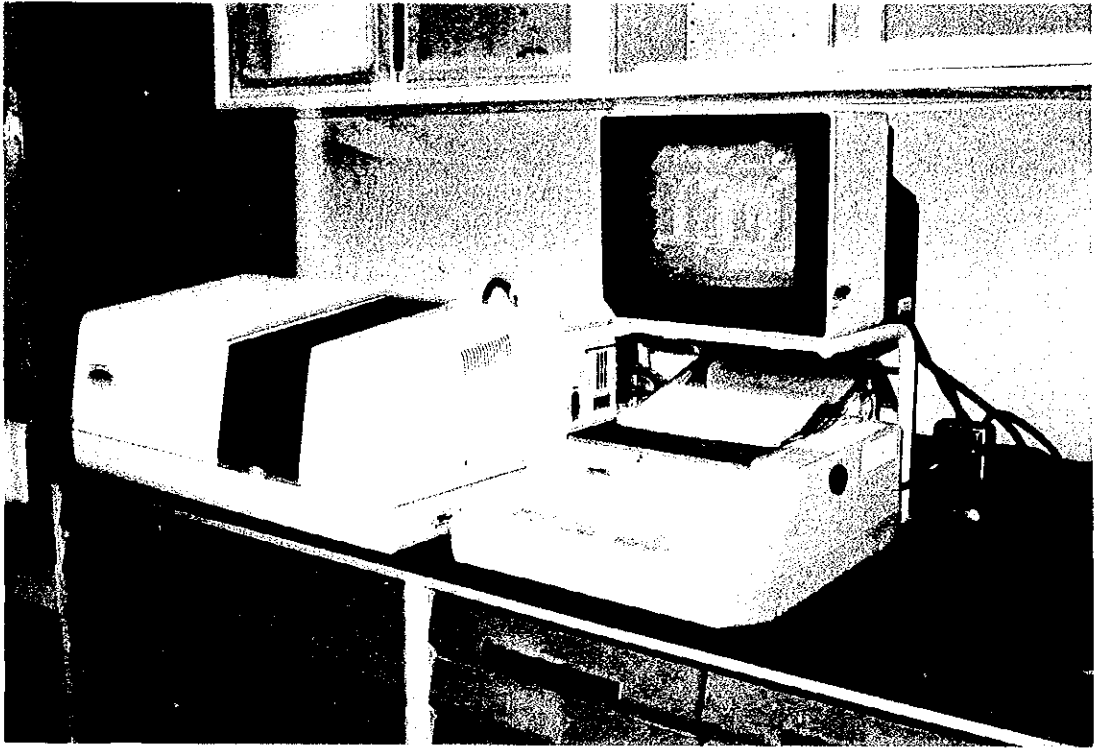


Fig. 10 #2-16 赤外分光光度計

Model : 270-50

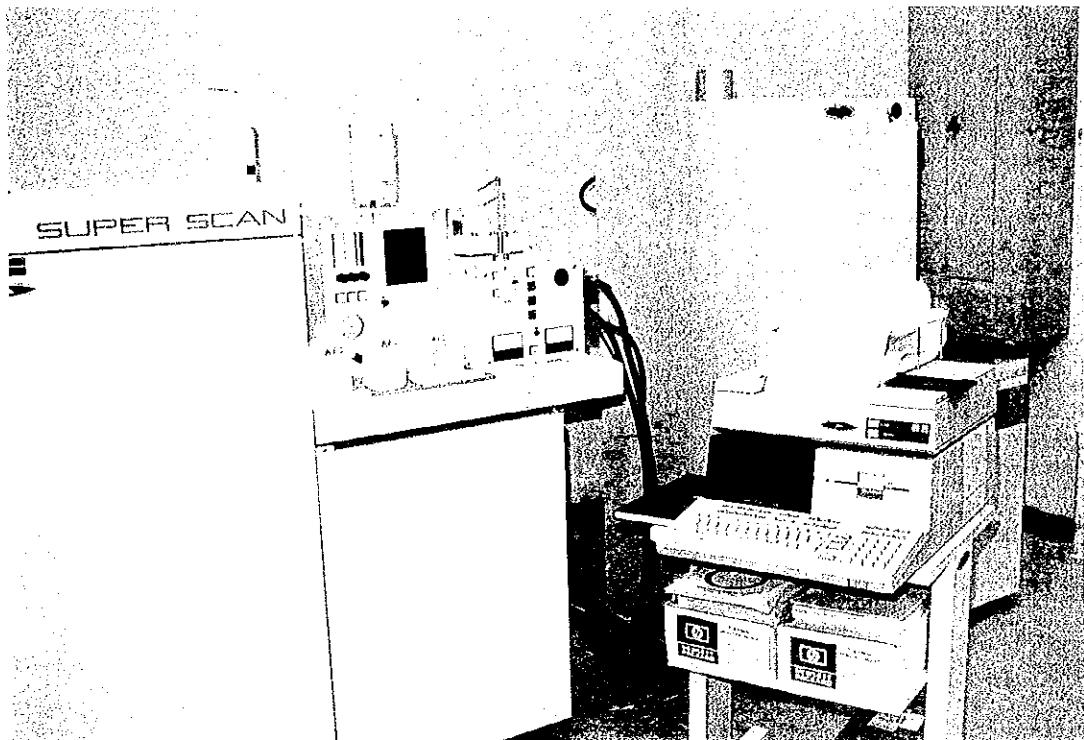


Fig. 11 #2-1 I C P 発光分光システム

Model : 306

(4)

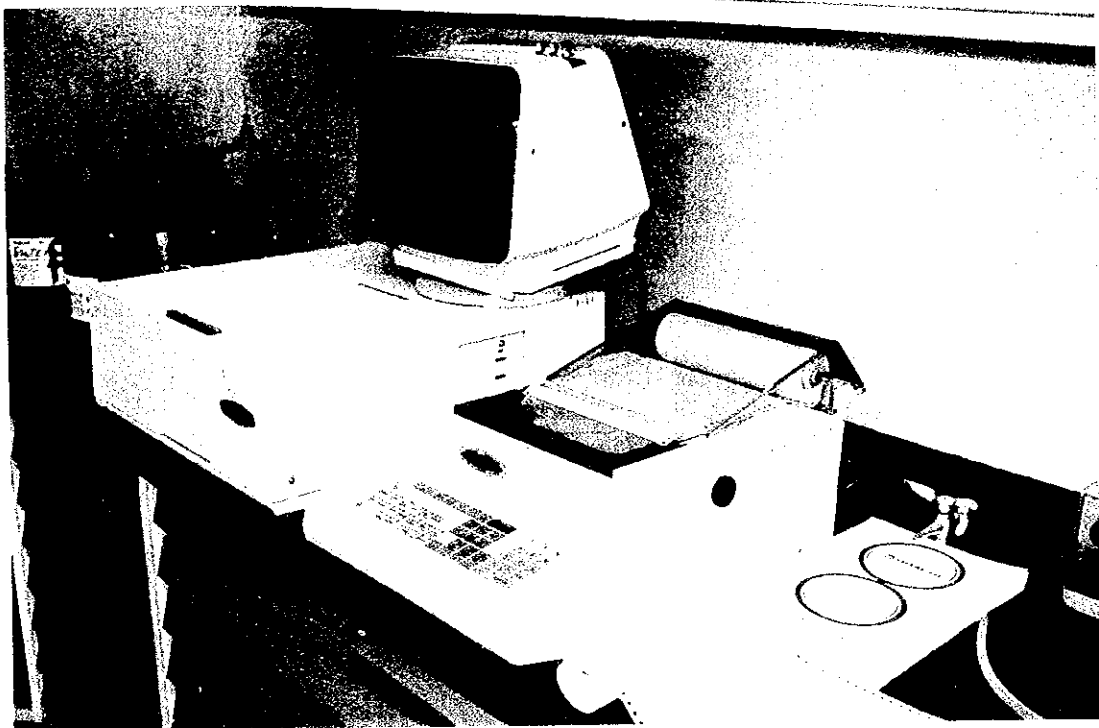


Fig. 12 #2-2A 分光光度計 (机上用)

Model : 150-20

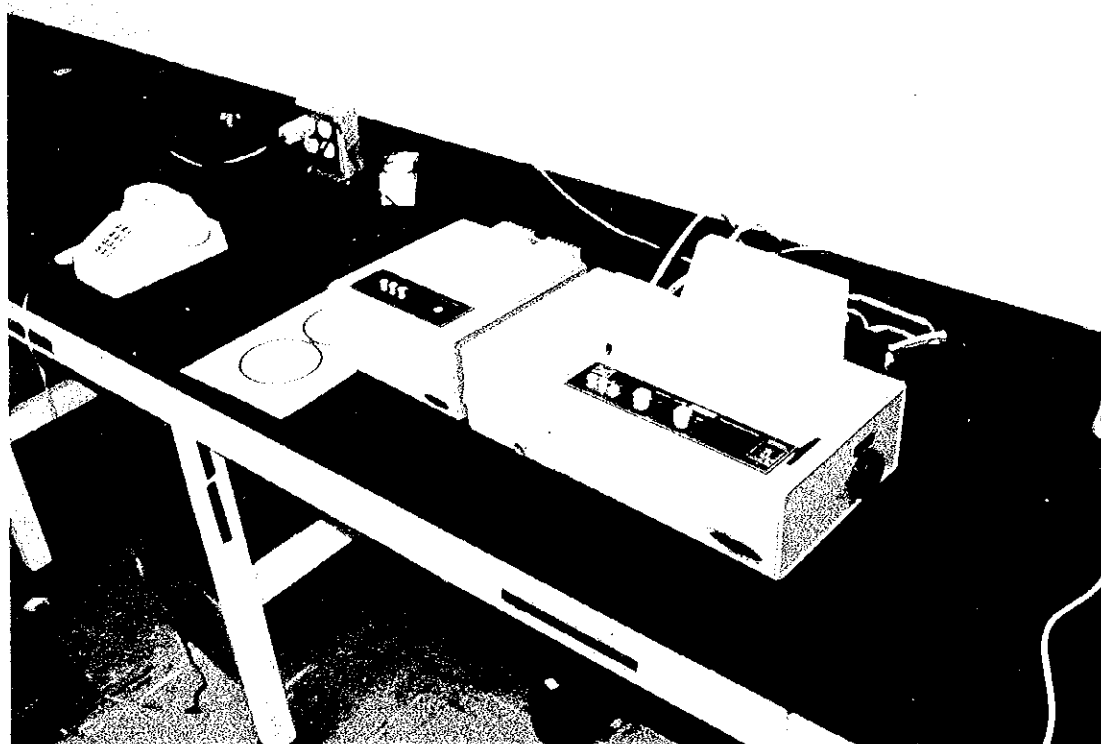


Fig. 13 #2-2B 分光光度計 (携帯用)

Model : 100-10

(4)

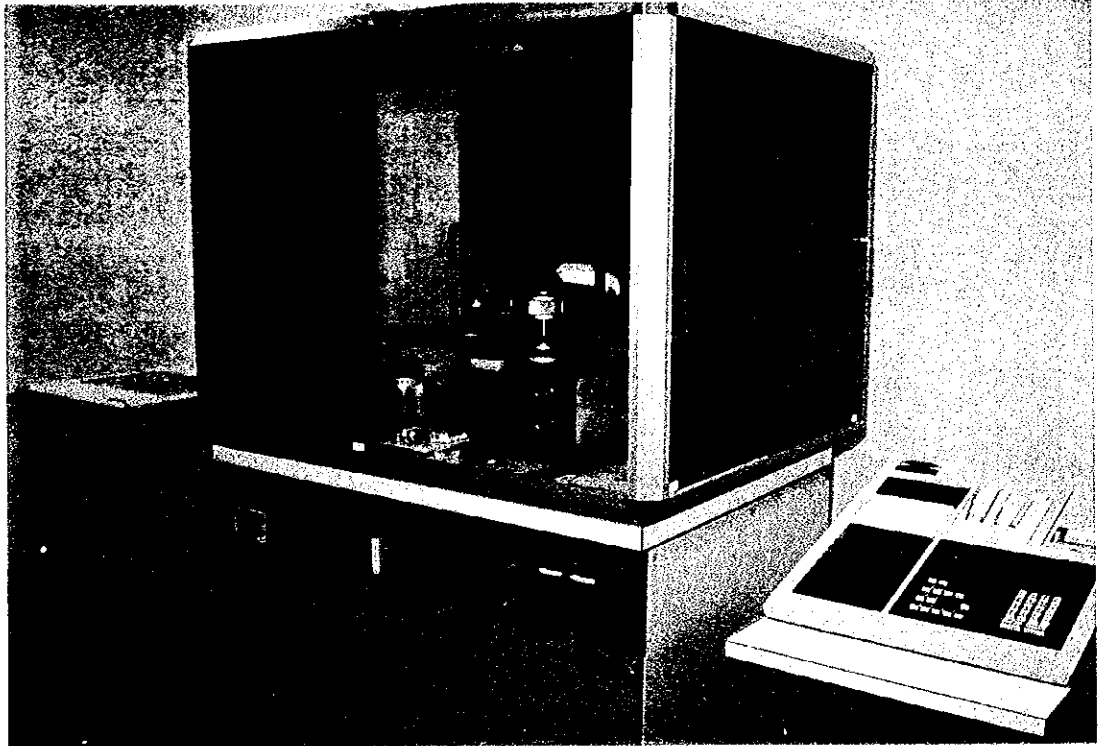


Fig.14 #2-3 X線回折装置

Model : D/MAX-IIA

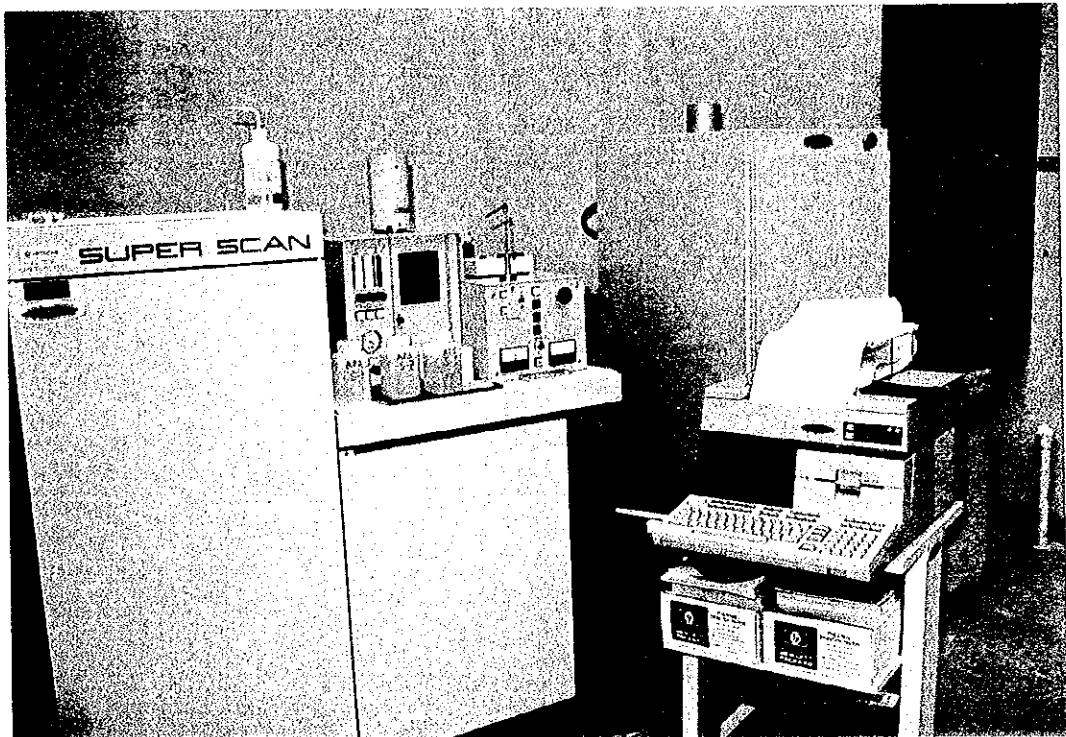
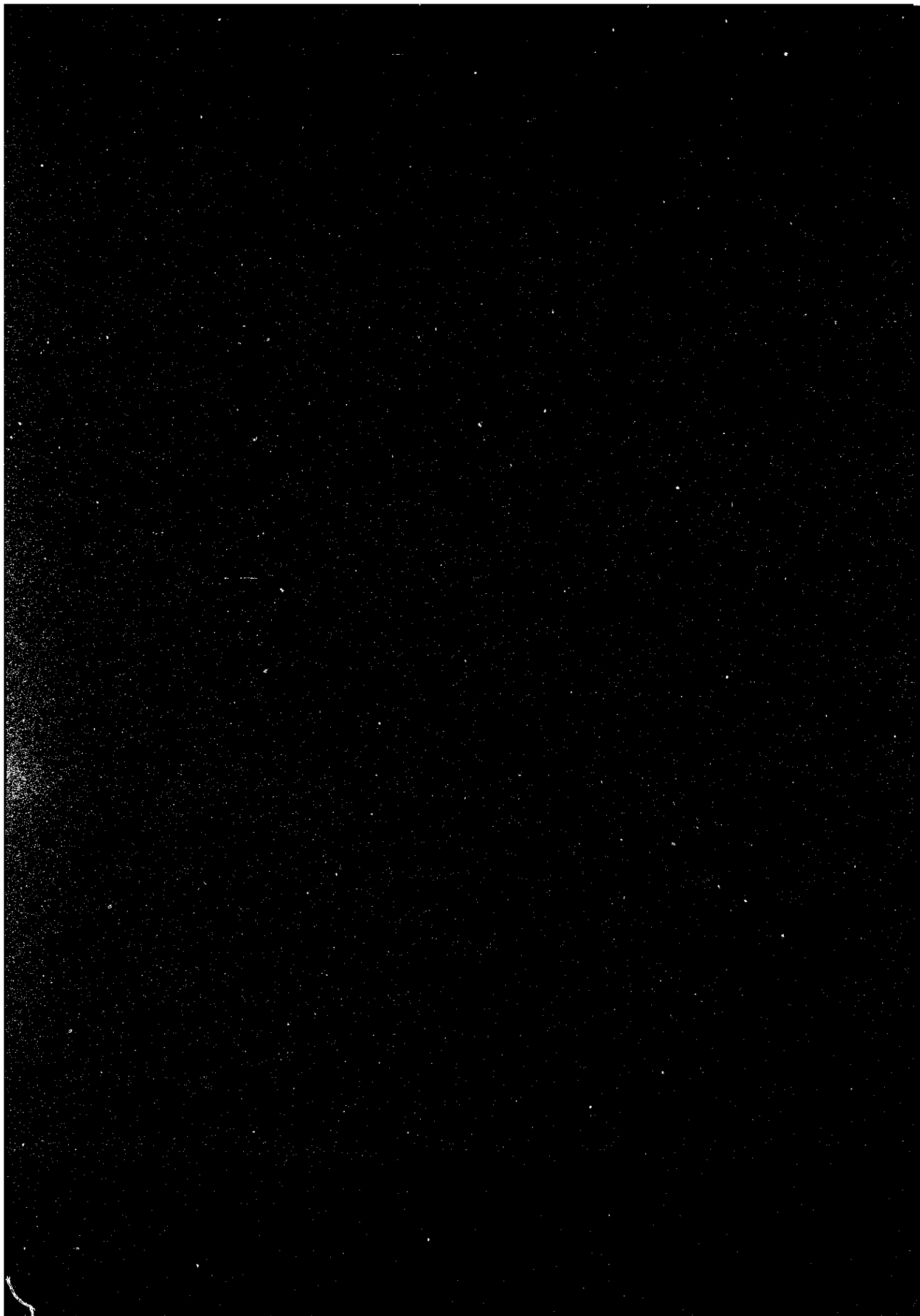


Fig.15 #9-1 イオンクロマトグラフ

Model : ICP500PS

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



目 次

5. MSFプロセスにおけるスケールコントロール法に関する研究	1
5.1 調査および予備実験	2
5.1.1.A. アラビア湾の海水水質調査	2
5.1.1.B. MSFプラントの性能の現状	3
5.1.2 スケール抑制剤選定実験	5
5.2 伝熱試験装置による実験	10
5.3 MSFテストプラントによる確認試験	14
5.3.1 MSFテストプラントの据付	14
5.3.2 試運転・性能試験の結果	16
5.3.3 抑制剤単独試験	19
5.3.4 スケール抑制剤と酸を併用した試験	28
5.4 技術移転	32

表 一 覧

Table	題 名	頁
Table 1	蒸発装置の運転基準 -----	4
Table 2	選定試験に使用したスケール抑制剤の特性 -----	6
Table 3	伝熱試験に使用したスケール抑制剤の特性 -----	11
Table 4	性能試験で得られたMSFテストプラントのヒートバランス -----	17
Table 5	総括伝熱係数 (U 値) -----	18
Table 6	MSF-1およびMSF-2に対するMSFテストプラントの運転条件 -----	21

図 一 覧

Figure	題 名	頁
Fig. 1	低温 (95°C) 用実験装置	7
Fig. 2	高温 (110°C) 用実験装置	8
Fig. 3	伝熱試験装置のフローシート	12
Fig. 4	試験-3、-4における汚れ係数の経時変化	13
Fig. 5	20トン/日MSFテストプラントのP & Iダイヤグラム	15
Fig. 6	MSF-1およびMSF-2に対するMSFテストプラントの運転経緯	22
Fig. 7	RUN-3における加熱器の汚れ係数の経時変化	23
Fig. 8	RUN-4における加熱器の汚れ係数の経時変化	24
Fig. 9	RUN-8における加熱器の汚れ係数の経時変化	25
Fig. 10	加熱器の汚れ係数の経時変化 (RUN 5-1)	29
Fig. 11	加熱器の汚れ係数の経時変化 (RUN 5-2)	30

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

MSFプラントの運転において伝熱管上のスケール抑制は古くて新しい問題である。プラントの効率はスケール析出による汚れ係数の増加によって著しく低下し、造水コストの上昇を招く。従って、古くから種々のスケール抑制法が試みられてきたが、現在は薬剤添加法が主流となっている。

スケール析出の機構は複雑であり、今日の進んだ科学をもってしても充分解明されたとはいえない。従って、スケール抑制法の選定に際しては、理論よりも実験によって確かめる方法が採用される。しかし、実用プラントを用いてスケール抑制法を実験することは実際的でない。実験は長時間を要し種々の条件下で試験をすることは事実上不可能であるからである。

そこで、本研究では、実験室での基礎試験からMSFテストプラントを用いる試験まで系統的に薬剤添加法によるスケール抑制法の検討を行った。得られた結果は実用プラントで得られた経験とも一致し、スケール抑制法の進歩に貢献したものとする。

5.1 調査および予備実験

5.1.1.A. アラビア湾の海水水質調査

1. まえがき

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

しかし、本プロジェクトで得られたスケール抑制剤の特性に関する知見の確認と、ハイブリッドスケール抑制剤方式に関する実験計画立案の参考にするために、現在稼働しているMSFプラントの海水およびブラインの水質調査に変更して実施することにした。

2. 調査プラント名と調査の日程

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

SCECO管轄プラント：クラヤ	プラント（調査日	1994年2月2日）
SWCC管轄プラント：ショアイバ	プラント（調査日	1994年2月6日）
シュガイグ	プラント（調査日	1994年2月7日）
カフジ	プラント（調査日	1994年2月9日）

3. まとめ

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

ショアイバプラント調査では、低温蒸発の段階でスケーリングの発生が見られ、その量は低温段ほど多かった。これは、スケール抑制剤の有効滞留時間とも関係があるものと思われる。実験室規模でのスケール抑制剤選定試験で明らかにしたスケール抑制剤の特性が、実験において確認されたものとする。

5.1.1.B. MSFプラントの現状

1. まえがき

SWCCは、サウディ・アラビア王国のドバでMSFプラントPhase Iの運転を1968年に開始して以来、25年以上にわたり数多くの多段フラッシュ蒸発法（MSF）海水淡水化装置（MSFプラント）を運転してきている。その間に、多くの調査・検討が行われ、最適運転および維持管理の方法の確立が図られてきた。

本調査は、SWCCが発表した文献の調査を行い、それらをMSF-1の一連の実験における実験条件ならびに実験結果の評価に活用することを目的として実施された。

2. アル・コバール第Ⅱ（AK-Ⅱ）MSF造水装置

2.1 装置の概要

アル・コバール第Ⅱ蒸発装置は2つの目的をもったプラントで、5基の抽気・復水ボイラー・タービン発電装置（BTG）と10基の多段フラッシュ蒸発（MSF）装置から構成されている。

2.2 運転条件の検討

報告書によると、運転条件は以下の通りである。

- (1) 蒸発装置の運転基準をTable 1に示す。
- (2) 最適化試運転により、ブライン最高温度（TBT）108℃以上での安全で長期の運転に適したスケール抑制剤が市場にないことが判明した。このため高温運転のTBTは105℃が限度であるとした。

3. まとめ

文献調査を通じて、MSF-1の実験を行う上での有意義なデータが得られた。それらをまとめると、以下の通りである。

- a. 将来の運転を考慮して、TBTは90～110℃とする。
- b. スケール抑制剤の添加量を2 ppm以下とする。
- c. ブラインの濃度は、アル・ジュベール第Ⅱプラントに従い、アラビア湾の海水濃度の1.4倍とする。

(5)

Table 1 アル・コパールII 蒸発装置の運転基準

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

5.1.2 スケール抑制剤選定実験

1. まえがき

スケール抑制剤には多くの種類があり市販されているが、それらを識別し、実装置によって各スケール抑制剤の特性を確認して、選定することは簡単ではない。また、実証試験装置を用いて各スケール抑制剤の特性を確認することも困難である。スケール抑制剤の選定は2段階の試験で構成される。第1段階ではスケールの析出を抑制する過飽和維持効果を確認し、第2段階ではスケールの付着特性を抑制する結晶歪化効果を確認する。結晶歪化効果は、析出物の結晶構造を球状に変え、スケールの付着特性を抑制するものであるといわれている。

2. 目的

本研究は、滞留時間によるM-アルカリ度の変化を測定することにより、各スケール抑制剤の過飽和維持効果を確認するものである。アル・ジュベール第IIプラントの実績に従って、アラビア湾の海水の1.4倍相当の濃度になるよう人工海水を作成し、その500mlにスケール抑制剤を添加し、1規定炭酸ナトリウムを10ml加えた後のスケール抑制剤の添加量と滞留時間との関係を、95℃と110℃の2条件において検討する。滞留時間に伴って、析出する炭酸カルシウムと水酸化マグネシウムの量は過飽和維持効果量の減少に相当するが、その確認を各ブラインの溶解性M-アルカリ度を測定することによって実施する。

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

3. 実験方法

3.1 実験材料

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

3.2 実験装置

(1) 低温（95℃）用実験装置

ブラインの濃度を一定に保つために、Fig. 1に示すような冷却管付き三枝フラスコを用いて凝縮水全量をフラスコに戻した。

(2) 高温（110℃）用実験装置

ブラインの濃度を一定に保ち、また温度を100℃以上に保つため、Fig. 2に示すようなオートクレーブのスケール発生試験装置を用いた。

(5)

Table 2 選定試験に使用したスケール抑制剤の特性

抑制剤 名称	比 重	密 度	pH	外 観	主成分
PCE	1.22	1.22	1.2~2.0	こはく色液体	重合カルボン酸
PCS (PCA)	1.22	1.22	1.2~2.0	こはく色液体	重合カルボン酸
PMA	—	—	—	—	重合マレイン酸
PPN	—	—	—	—	重合ホスホン酸塩
PPN(M)	1.4	—	11.0	薄黄色液体	重合ホスホン酸塩
PPN(A)	1.4	—	10	薄黄色液体	重合ホスホン酸塩

(5)

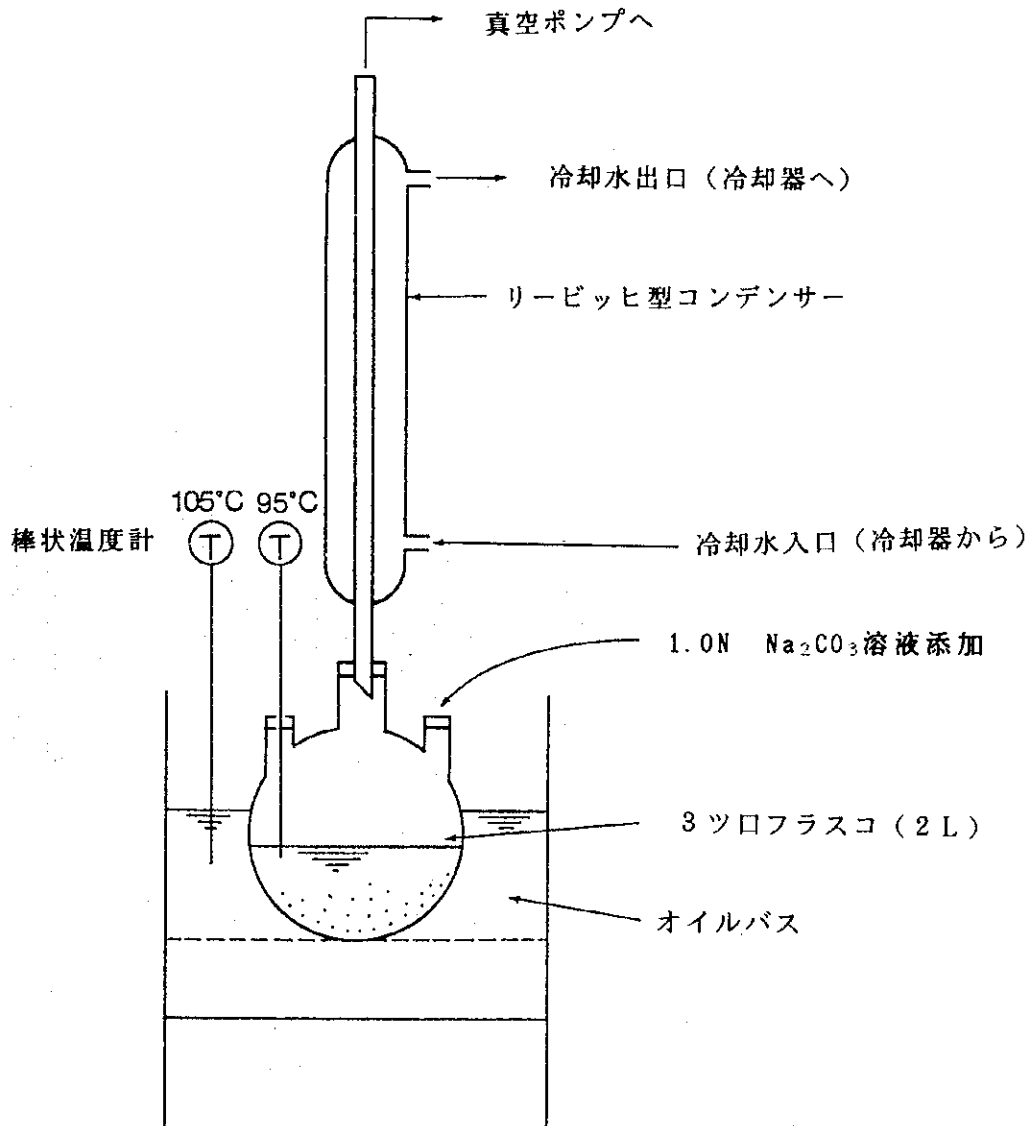


Fig. 1 低温 (95°C) 用実験装置

(5)

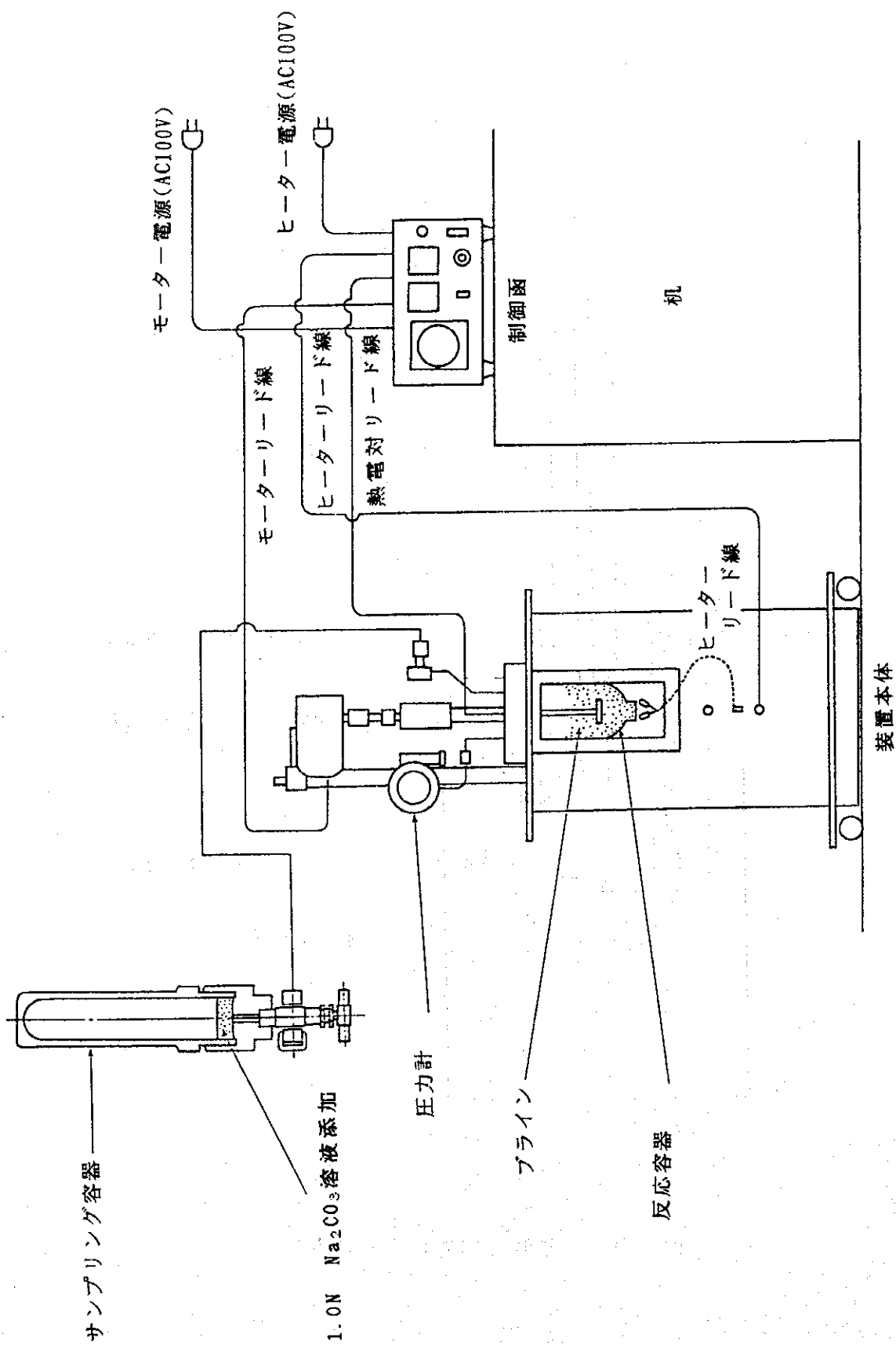


Fig. 2 高温 (110°C) 用実験装置

4. 結果および考察

4.1 低温（95℃）におけるスケール抑制剤の選定

低温（95℃）における実験結果によると、ブランクの（スケール抑制剤を添加しない）場合、M-アルカリ度は急激に減少するが、スケール抑制剤を添加したブランクでは15～20分間M-アルカリ度の初期値を維持している。

PPN(M)および PPN(A)は残留M-アルカリ度が高く、保持時間も20分と長い。しかし、40分以降になると他のスケール抑制剤の値と同じになる。

PPN(M)の添加量とM-アルカリ度の関係によると、PPN(M)は添加濃度が0.5ppmでは残留M-アルカリ度が最も少なく、保持時間も短い、0.7ppm以上ではスケール添加量と抑制効果の顕著な関係は見られない。

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

4.2 高温（110℃）におけるスケール抑制剤の選定

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

PPN(M)およびPPN(A)は添加量が2.0ppmのとき最も高い過飽和維持効果をもつ。

以上のことから、PCEは過飽和維持効果は3位であるが、その主成分がポリカルボン酸でりん酸系に比較して高温条件で安定といわれていることから、結晶構造の差も考慮し、次の伝熱試験装置による実験ではPCEも候補とする。

5. 結論

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

- (1) 伝熱試験装置による試験に用いるスケール抑制剤として、PPN(M)、PPN(A)、PCEの3種類が選定された。
- (2) 95℃ではPPN(M)およびPPN(A)が最も高い過飽和維持効果を持ち、その最適添加濃度は0.7ppm以上である。
- (3) 110℃では添加濃度が2.0ppmにおいて、PPN(M)およびPPN(A)が最も高い過飽和維持効果を持つ。3番目のPCEも析出スケールを考慮して次の伝熱試験装置による実験に使用する候補とする。
- (4) すべてのスケール抑制剤は90℃では20分以内に過飽和維持効果を失い、カルシウムイオンは炭酸カルシウムとして析出する。
- (5) すべてのスケール抑制剤は110℃ではさらに短時間（10分）で過飽和維持効果を失う。
- (6) 採用したスケール抑制剤の評価手法は、炭酸カルシウム析出に非常に有効である。

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

5.2 伝熱試験装置による実験

1. まえがき

スケール抑制剤が、析出した個々の粒子間または固体（金属）表面へのスケールの付着を防止する効果を持つことはよく知られている。これはスケール抑制剤が通常の結晶から成るソフトスケールを完全に歪化（せん断）する効果を持っているために起こる。

スケール抑制剤により歪化したスケールはよく分散し、蒸留プラント内の通常の水流速は、小さな粒子を排出ラインとしてプラントから通常に排出されるまで終始動かしておくのに十分な速度であると一般的に指摘されている。このような理由のためスケールが発生しにくい。

スケール抑制剤の結晶歪化効果は、本伝熱試験装置による実験では、その付着量の差異を伝熱効率の低下、すなわち伝熱管の汚れ係数の増加で確認することができる。

2. 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90℃および102℃で汚れ係数を測定することによってPPN(M)の結晶歪化効果を確認するためにおこなった。

本伝熱試験装置は再循環方式により連続運転ができるもので、熱負荷量4-8kW/m²、ラインの管内流速1.8-2m/sになるように設計されている。使用するラインは実際のプラントで使用しているものとほぼ同濃度のものである。

本装置を用いた実験を行って、実験および評価の方法を確立する。

3. 実験方法

3.1 実験材料

スケール抑制剤として、5.1.2の結果によって選定されたスケール抑制剤三種（PPN(M), PPN(A), PCE）のうち試験終了期限の関係から、現在実機において使用中のPPN(M)を優先させることにした。

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 3に示す。

3.2 実験装置

伝熱試験装置のフローシートをFig. 3に示す。

3.3 実験条件

(1) ブラインの温度

a. 常温実験

アル・ジュベール第Ⅱプラントの通常の運転条件では、ライン・ヒーター出口温度が90.56℃であることから、実験条件を90℃に定めた。

b. 高温実験

90℃以上の温度として、実験条件を102℃に定めた。

(2) 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、過飽和維持効果が消滅するまでの滞留時間は約20分であることが確認されている。

4. 実験結果と考察

Fig. 4から90℃および102℃における実験の初期値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もった増加傾向を示し、90℃では、0.07m²K/kW、

(5)

102℃では、0.08m²K/kWに達している。

ブランク試験と添加実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、添加試験相互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。

5. まとめ

- (1) 実験はMSP実プラントのブラインヒーターと同様の条件のもとで、伝熱量測定機器を具備したベンチスケール規模伝熱試験装置を用いて行われた。
- (2) 実験によって得られた結果は非常に限られたものであるが、伝熱試験装置によるスケール抑制剤の効果に関する確認手法としては、有効であることが明かとなった。
- (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。

Table 3 伝熱試験に使用した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	ポリリン酸塩	95℃及び110℃ で最良

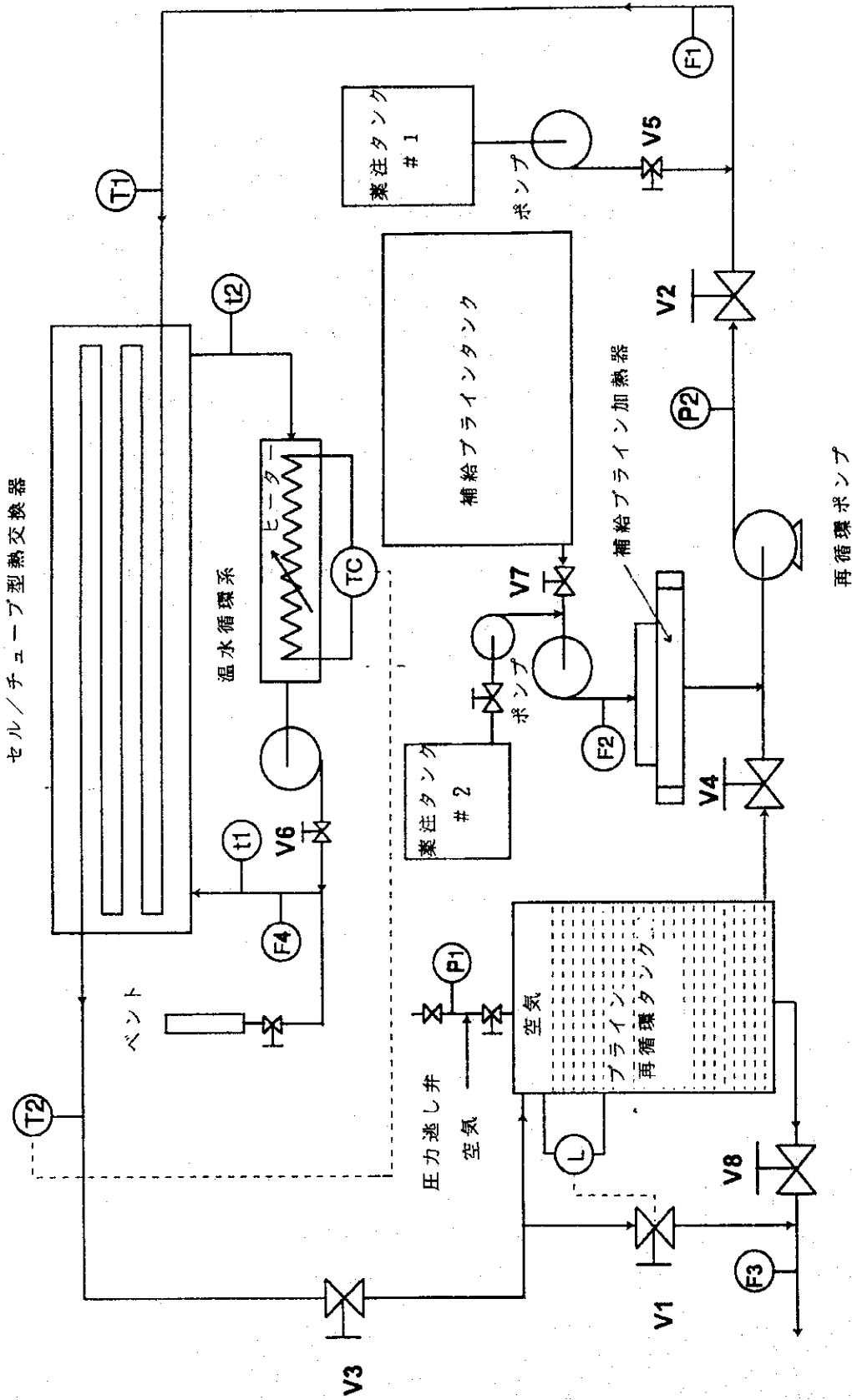


Fig. 3 伝熱試験装置のフローシート

(5)

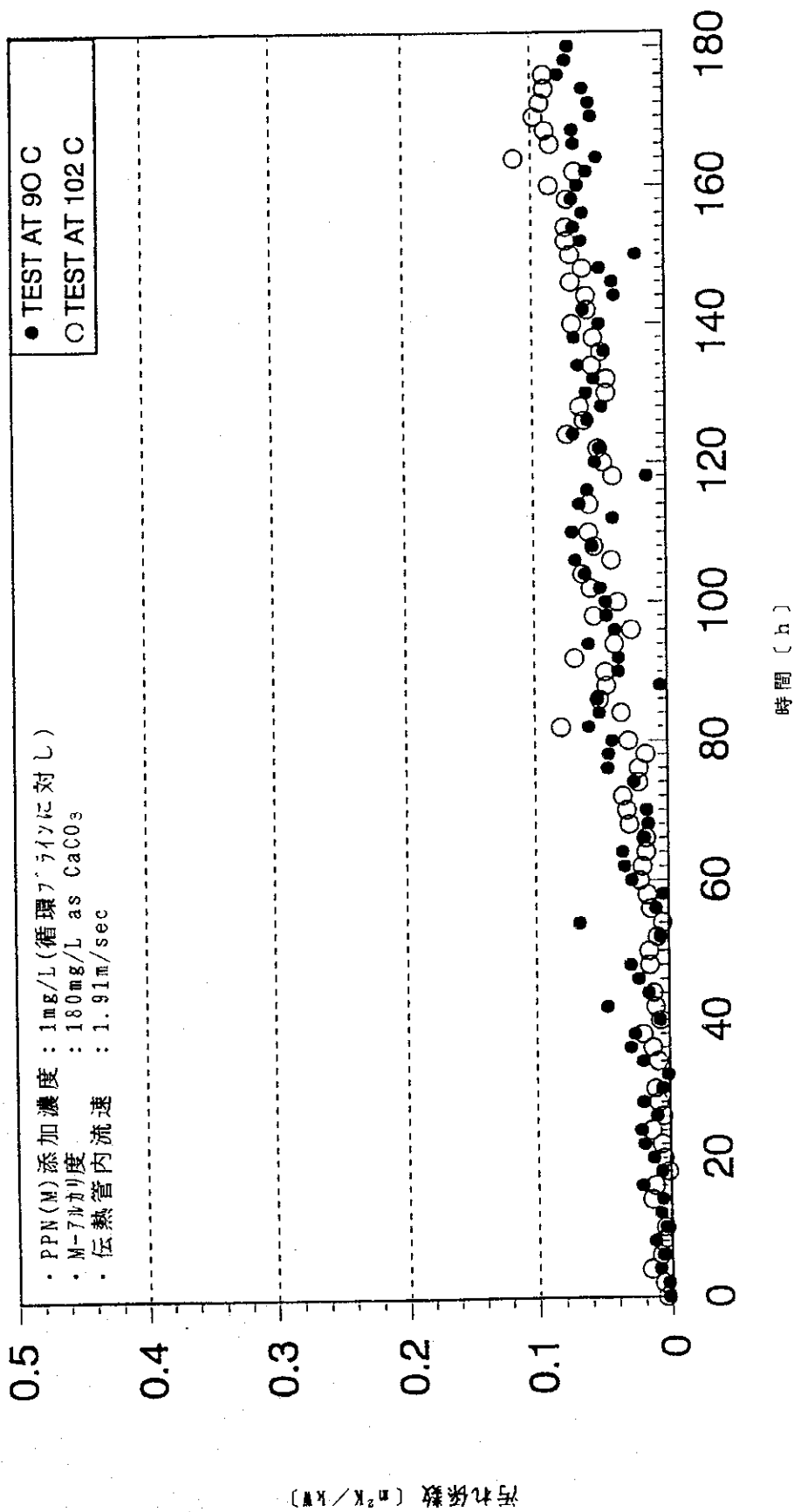


Fig. 4 試験-3.-4 における汚れ係数の経時変化

5.3 MSFテストプラントによる確認試験

5.3.1 MSFテストプラントの据付

1. まえがき

MSFテストプラントの据付作業は予定通り進められてきた。試運転・性能試験のためのボイラ燃料油は、重油（バンカーC）と軽油を所定の割合で混合して使用した。

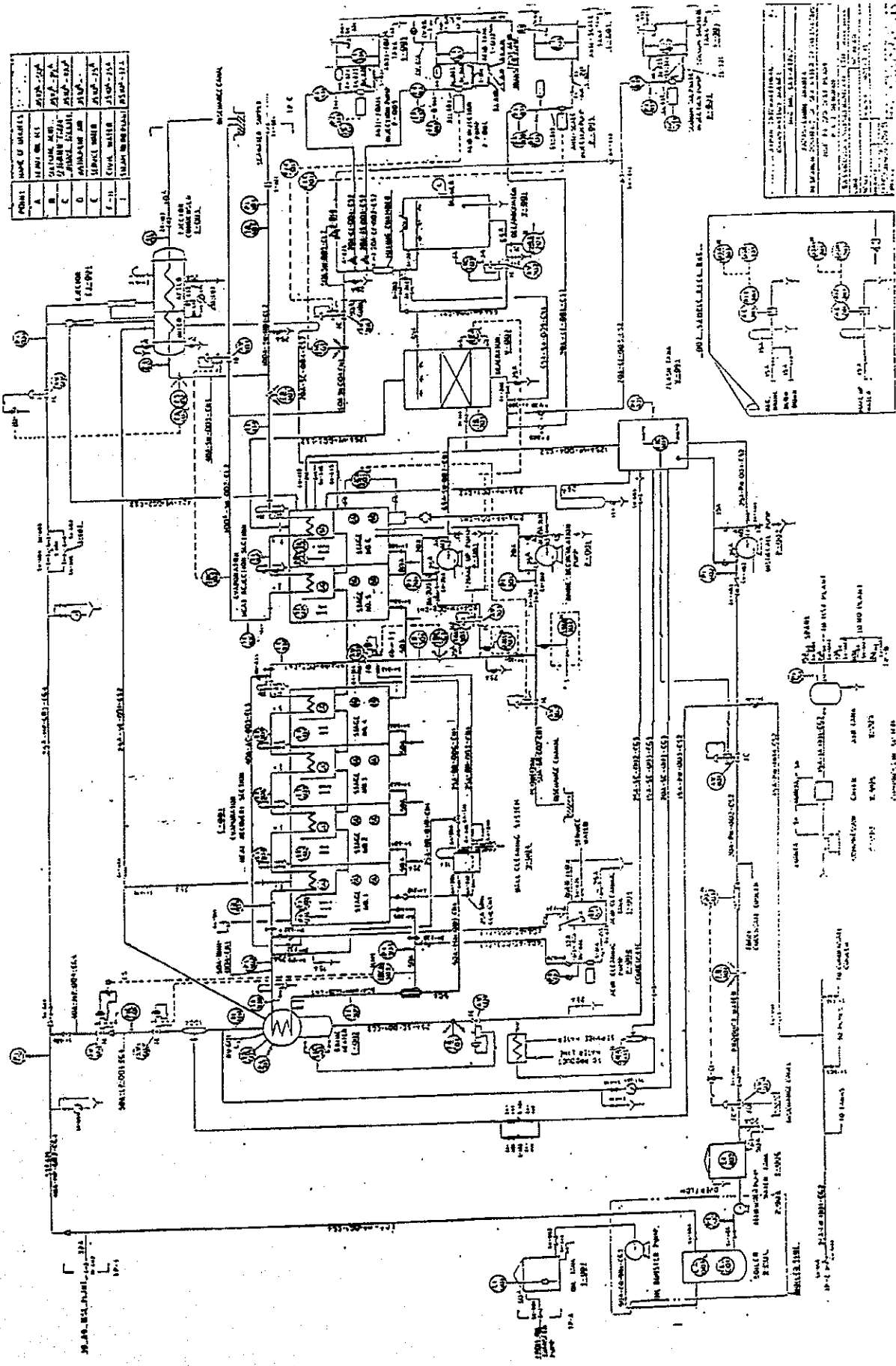
20トン日MSFテストプラントのP & I ダイアグラムをFig. 5に示す。

2. 据付・試運転

MSFテストプラントの設置および性能試験を1993年7月31日に開始し、1993年11月1日に終了した。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

POINT	NAME OF INSTRUMENT	MANUFACTURER	MODEL NO.	RANGE	UNIT
A	TEMP. MEAS.	WATSON-WAT	W-100	0-100	°C
B	TEMP. MEAS.	WATSON-WAT	W-100	0-100	°C
C	TEMP. MEAS.	WATSON-WAT	W-100	0-100	°C
D	TEMP. MEAS.	WATSON-WAT	W-100	0-100	°C
E	TEMP. MEAS.	WATSON-WAT	W-100	0-100	°C
F	TEMP. MEAS.	WATSON-WAT	W-100	0-100	°C
G	TEMP. MEAS.	WATSON-WAT	W-100	0-100	°C
H	TEMP. MEAS.	WATSON-WAT	W-100	0-100	°C
I	TEMP. MEAS.	WATSON-WAT	W-100	0-100	°C



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Fig. 5 2077/日 MSF テストプラントの P & I ダイアグラム

5.3.2 試運転・性能試験の結果

1. まえがき

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種類のスケーリング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発生の抑制効果については、5.2に述べた。

両結果を合わ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試験を実施することになった。

MSFテストプラントの設置工事が完了した後、一連の性能確認試験をおこなった。

ここでは、性能試験と試運転の結果を報告する。

2. MSFテストプラントの性能試験の結果

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Table 4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、ブライン・ヒータならびに熱回収部および放出部の各伝熱管の総括伝熱係数が計算された。その結果をTable 5に示す。この結果によると、各蒸発段で総括伝熱係数 (U値) の値にバラツキが認められる。

しかし、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となるもので、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。

Table 4 性能試験で得られたMSFテストプラントのヒートバランスと経時記録フォーム

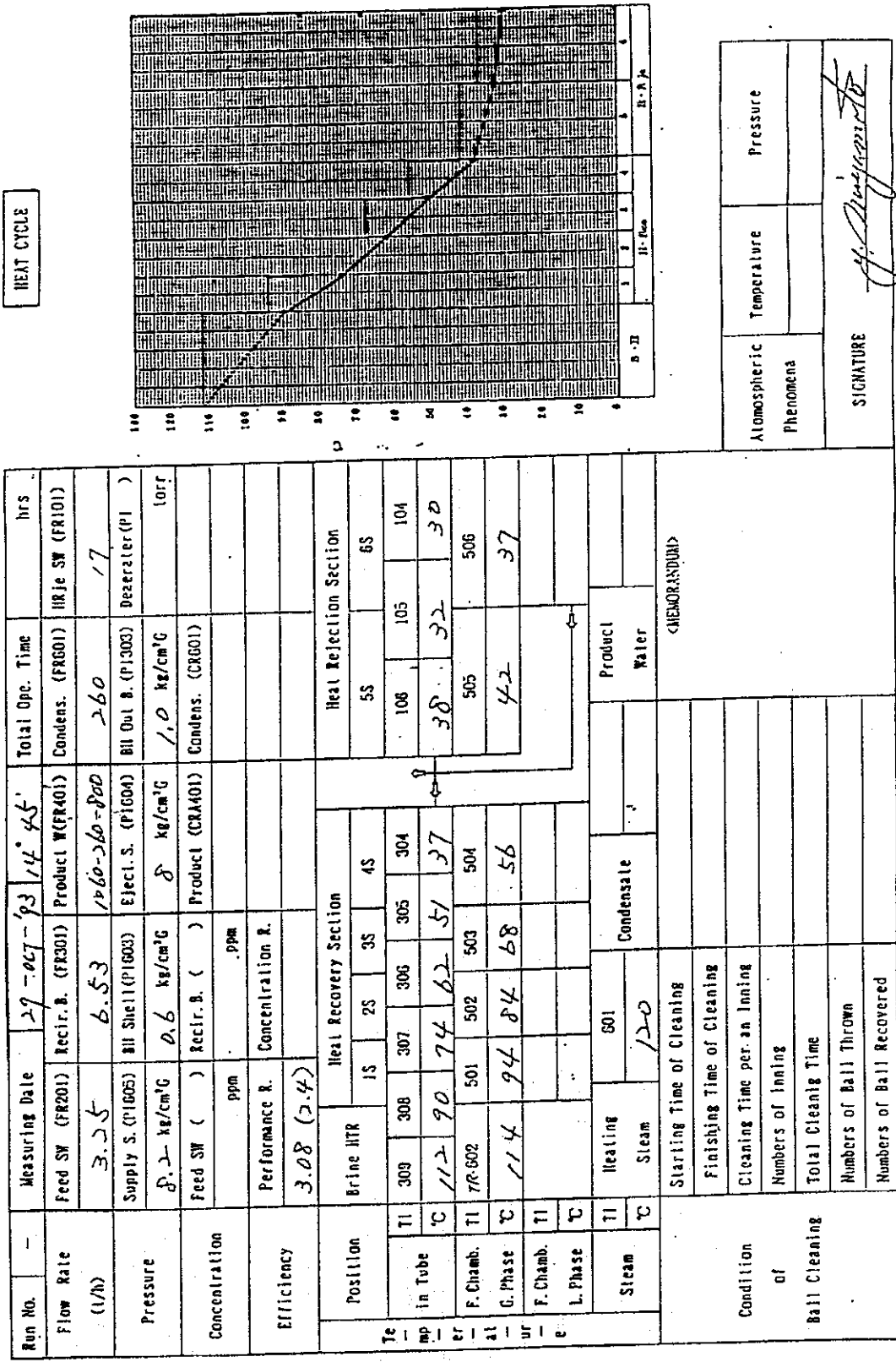


Table 5 性能試験時の総括伝熱係数 (U 値) と計算フォーム

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									
29.0ET 93	kg/h		6530	6530	6530	6530	6530	17000	17000		
Time	Specific heat Cp		3.943	3.929	3.977	3.905	3.996	3.896	3.892		
14.44	H.E. Outlet Temp. T ₂	°C	90	74	82	51	38	32	32		
	H.E. Inlet Temp. T ₁	°C	72	62	51	37	32	32	30		
Total	Rising Temp. ΔT	°C	22	12	11	14	6	6	2		
Ops. Time	H. Trans. Rate Q	kJ/s	158.265	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	4.9556	4.9556	4.9556		
	F. Chamb. Temp. t	°C	6.64	8.6	6.8	5.6	4.2	4.2	3.7		
B. Cleaning	L.M.T.D. ΔT _m	K	8.9535	15.22	10.562	10.487	6.548	5.844	5.844		
Frequency	U Value	KW/(m ² K)	3.8995	2.8994	3.818	4.8773	3.406	3.406	1.2475		
	Clean-U Value U _c	KW/(m ² K)									
	Fouling Factor f _c	(m ² K)/KW									
MEMORANDUM : $1J=2.38869 \times 10^{-4} \text{ kcal} = 2.7778 \times 10^{-4} \text{ kW} \cdot \text{h} = 0.101972 \text{ kgf} \cdot \text{m}$											
1KW=860Kcal/h=3.600KJ/h											
Calculation Formula			$\Delta T = T_1 - T_2$	$\Delta T_1 = T_1 - T_2$	$\Delta T_2 = T_1 - T_2$	$\Delta T_3 = T_1 - T_2$	$\Delta T_4 = T_1 - T_2$	$\Delta T_5 = T_1 - T_2$	$\Delta T_6 = T_1 - T_2$	$\Delta T = \Delta T / \ln(\Delta T_1 / \Delta T_6)$	
			$Q = W \cdot C_p \cdot \Delta T$	$U = Q / (S \cdot \Delta T_m)$							

5.3.3 抑制剤単独試験

1. まえがき

上記選定で説明した結果に基づき、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試験が実施された。

ここでは、その結果を報告する。

2. 試験計画

2.1 基本方針

抑制剤のみを使用した場合の効果を評価するために、スケールの発生による伝熱抵抗の増加に直接関係する伝熱汚れ係数を測定した。PPN(M)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

汚れ係数は次の方程式で算出される。

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

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

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

式 (2.1), (2.2) および (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、

$$Q = WC_p \Delta T \quad (2.5)$$

式 (2.4) および (2.5) から

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

汚れ係数 F_o の定義は

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

ここに、

T_1 : 伝熱管入口の海水・ブライン温度 $^{\circ}\text{C}$

T_2 : 伝熱管出口の海水・ブライン温度 $^{\circ}\text{C}$

T : 伝熱管外面の蒸気温度 $^{\circ}\text{C}$

ΔT_m : 対数平均温度差 (LMTD) K

W : 海水・ブライン流量 kg/h

S : 伝熱管表面積 m^2

C_p : 海水・ブライン比熱 $\text{kJ}/(\text{kg K})$

Q : 熱交換量 kJ/h

U : 総括伝熱係数 $\text{kW}/(\text{m}^2 \text{K})$

U_c : 運転開始時の総括伝熱係数 $\text{kW}/(\text{m}^2 \text{K})$

F_o : 汚れ係数 $(\text{m}^2 \text{K})/\text{kW}$

2.3 運転条件

1994年5月に計画・実施された運転条件をTable 6に示す。テストプラントの詳細な運転経緯をFig. 6に示す。

3. 試験方法

20トン/日MSFテストプラントのP & Iダイアグラムを5.3.1 Fig. 5に示す。

4. 試験結果

4.1 汚れ係数の測定結果

RUN-3、4 および 8 における汚れ係数の経時変化を Fig. 7、8 および Fig. 9 に示す。

データが示すように、運転時間 300 時間、濃縮度 1.2 以下では、汚れ係数は 0.2 と 0.3 m²K/kW との間を往復しているのみである。

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、汚れ係数に直線的な上昇傾向がみられ、それにともなって、加熱器出口ライン温度を 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。また、運転条件においてボールクリーニングの効果が明らかに認められた。

Table 6 MSF-1 および MSF-2 に対する MSF テストプラントの運転条件

ITEMS	RUN NO	UNIT											REMARKS	
			1	2	3	4	5		6		7	8		9
1. Objective	MSF-1		MSF-1	MSF-1	MSF-1	MSF-1	MSF-1	MSF-1	MSF-1	MSF-2	MSF-2	MSF-1	MSF-2	
2. Operation period (from) (to)	Feb. 03		July 10	July 18	July 25	Sep. 24	Oct. 07	Oct. 15	Oct. 23	Oct. 24	Nov. 06	Nov. 14	Nov. 16	Dec. 06
3. Operation time	324	hour	180	456	320	320	472	230	114	142	30	472	24	
4. Scale control method *	Cheml.		Cheml.	Cheml.	Cheml.	Cheml.	Cheml.	Hybrid	Hybrid	Hybrid	Cheml.	Cheml.	Cheml.	
5. Operation mode	Recir.		Recir.	Recir.	Recir.	Recir.	Recir.	Recir.	Recir.	Recir.	Once	Once	Once	
6. Ball cleaning	Once/8hours		Once/100-112	Once/100-112	Once/112	None*	None*	None*	None*	As*	None	As*	None	
7. Top brine temperature	100-112	°C	100-112	100-112	112	112	112	needed	needed	needed	needed	needed	112	
8. Flow rate	3.6	m ³ /h	3.6	3.6	3.6	3.75	3.25	2.45	2.45	2.45	2.3	6.40	2.42	6.40
-Make up seawater	5-6.5	m ³ /h	5.9-6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	—
-Recirculation brine	0.55	m ³ /h	0.55	0.70	0.70	0.76	0.79	0.79	0.79	0.81	0.86	0.9	0.9	0.9
-Product water	3.1	m ³ /h	3.1	2.9	2.9	2.99	2.46	1.66	1.64	1.64	1.44	5.55	1.52	5.5
9. Chemical constituents of brine														
-pH at 25°C	—		—	—	8.43	8.52	8.01	8.12	8.0	8.0	8.52	8.24	8.52	8.25
-M-Alkalinity as CaCO ₃	—		—	144	144	143	45-50	55-60	55-60	55-60	180	128	180	128
-Chloride ion	—		—	25,600	25,600	26,770	28,290	32,720	32,720	32,730	33,320	23,360	33,100	23,350
-Concentration factor as Cl ⁻	—		—	1.12	1.12	1.15	1.22	1.39	1.40	1.40	1.40	1.00	1.40	1.0
10. Dosing rate of chemicals	2	mg/L	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1
-Scale inhibitor = PPN(M)	None		None	None	None	None	72	72	72	72	None	None	None	None
-Acid = 98% H ₂ SO ₄	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-Trihalomethene = ClBr ₃	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-Oil = Light Diesel Oil #2	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11. Injection point of chemicals	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
									After B.H	After B.H	Before Dea.	After B.H	After B.H	2.5 After B.H

(Note) *1: Chemicals = PPN(M), Hybrid = PPN(M) + H₂SO₄

*2: スタート時のみボールクリーニング実施

*3: 汚水係数が0.34~0.36m²k/kWに達したときのみボールクリーニング実施

YEAR / MONTH RUN NUMBER ETC.	1994												NOTE					
	1993		1994															
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		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 6 (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 Hissing of each stage in the MSF Test Plant																		

Fig. 6 MSF-1 および MSF-2 に対する MSF テストプラントの運転経緯

(5)

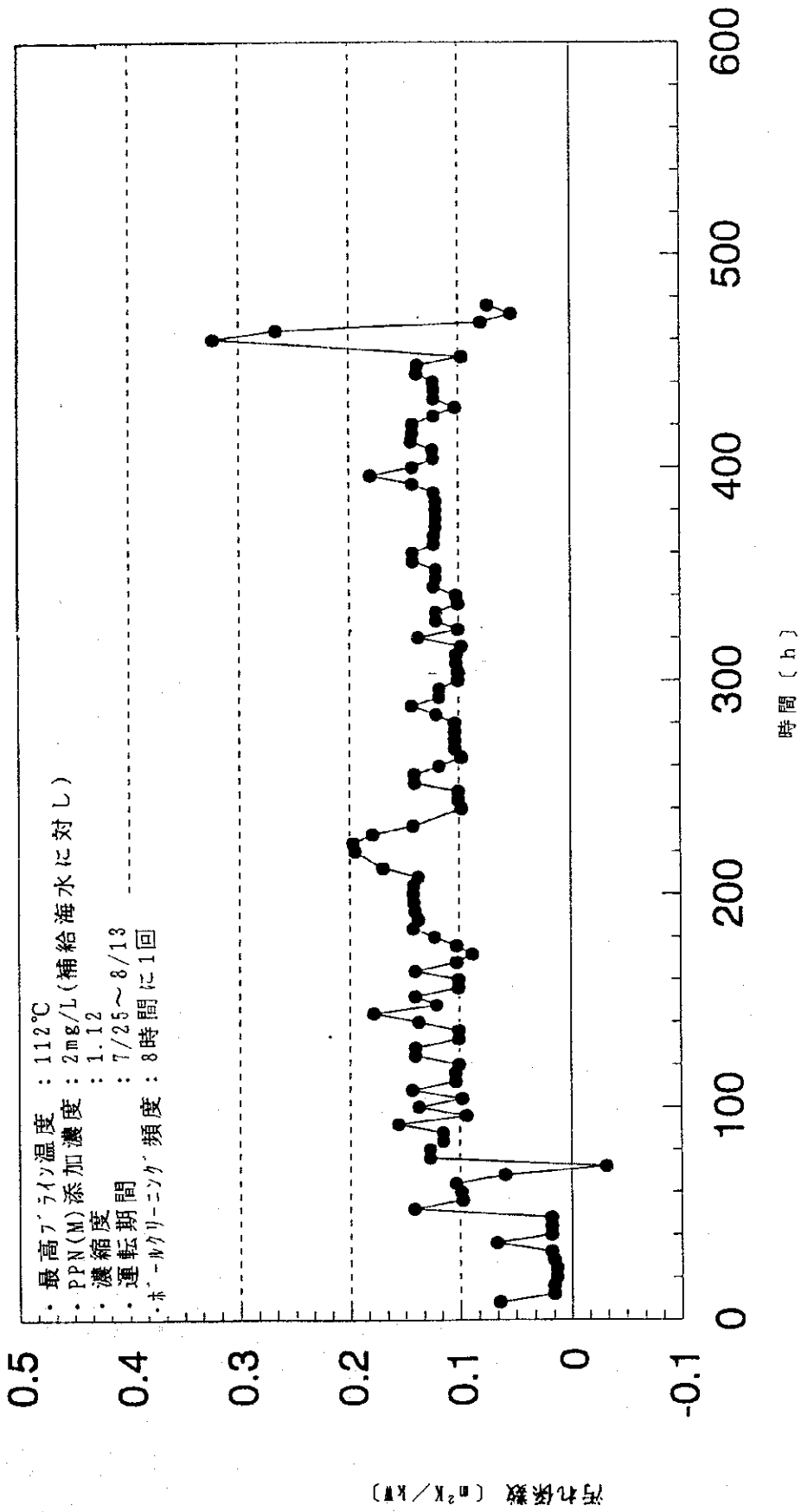


Fig. 7 RUN-3 における加熱器の汚れ係数の経時変化

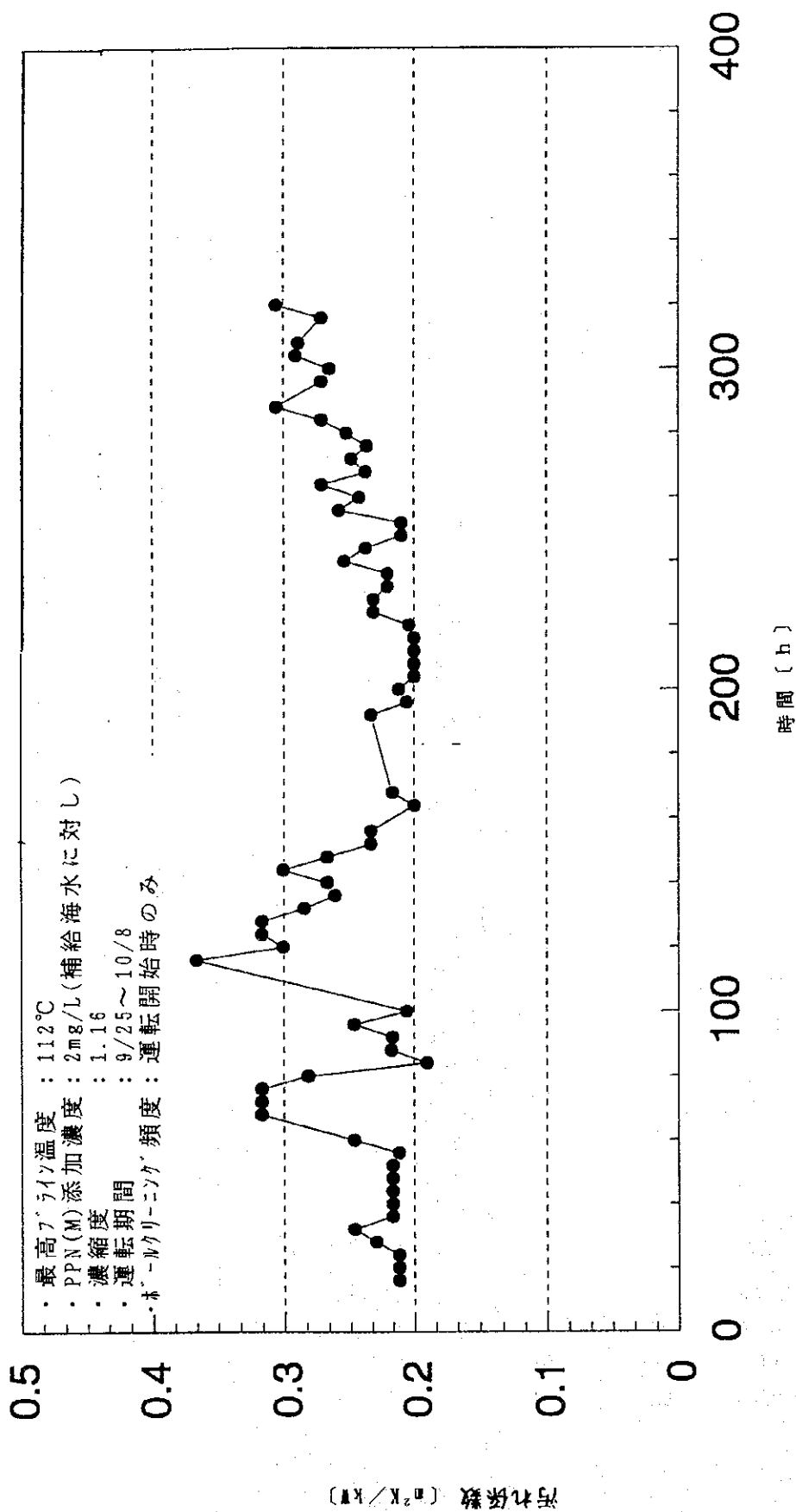


Fig. 8 RUN-4 における加熱器の汚れ係数の経時変化

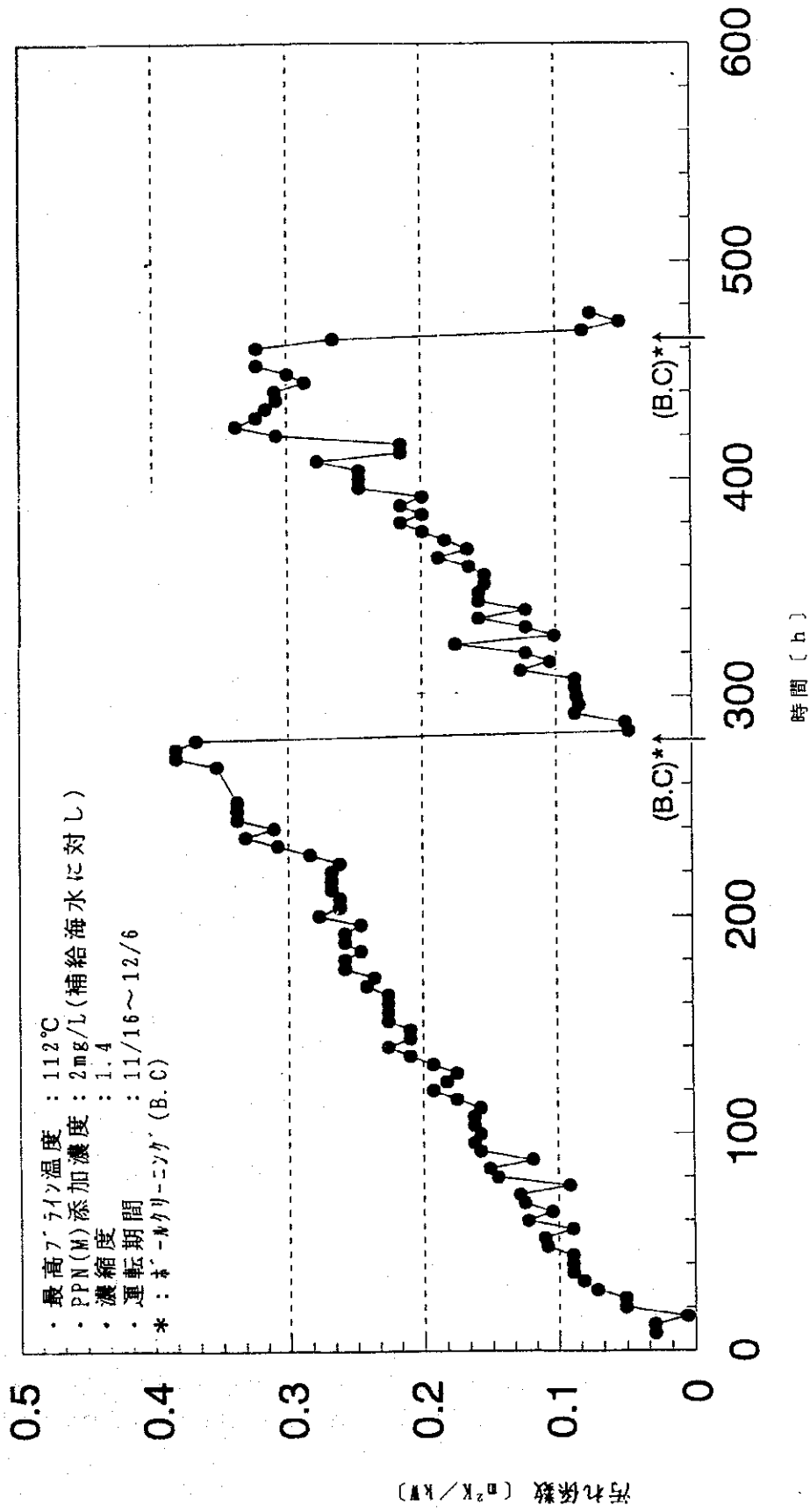


Fig. 9 RUN-8 における加熱器の汚れ係数の経時変化

4.2 運転開始時の総括伝熱係数 (U) の決定

式 (2.7) によって汚れ係数を算出するためには、清浄値として知られる初期段階での総括伝熱係数 (Uc) を決める必要がある。

総括伝熱係数 (U 値) に対する清浄値としての理論値および実験値の整合性を調べるために RUN 1-5 および RUN 8 の実験データを再検討した。このことから試運転中に実験的に得られた下記の値を清浄総括伝熱係数 (Uc) として用いるべきであるとの結論に達した。

ブラインヒータ	:	3.70 kW/m ² K
ステージ # 1	:	6.29 kW/m ² K
ステージ # 2, 3 & 4	:	4.88 kW/m ² K

5. 考察

5.1 ボールクリーニングの汚れ係数に与える影響

濃縮度 1.12~1.15 のときのボールクリーニングの影響については、ボールクリーニングを 8 時間毎に実施した RUN 3 とボールクリーニングを実施しなかった RUN 4 双方のデータを比較した。RUN 3 の汚れ係数は 0.1~0.15 m²K/kW のほぼ一定値を保っている。しかし、RUN 4 になると、ボールクリーニングを実施しなかったためか、0.3 m²K/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、RUN-8 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ことは 4.1 に述べた通りである。ブラインヒータの U 値が 3.70 kW/m²K 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. 5 に示した。しかし、5.3 に示すように、U 値の回復は完全ではなく、汚れ係数として 0.05 m²K/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。

5.2 濃縮度の汚れ係数に与える影響

RUN-4 のように濃縮度 1.15 (M-アルカリ度 140 mg/L CaCO₃ 換算値) のときは、汚れ係数の上昇はほとんど認められないが、RUN-8 のように濃縮度が 1.4 (M-アルカリ度 180 mg/L CaCO₃ 換算値) になると、汚れ係数は明らかな上昇を示した。

また RUN-5 のように M-アルカリ度を 45-60 mg/L に下げても、濃縮度を上昇させることによって汚れ係数が上昇している。

5.3 汚れ係数と時間との関係

濃縮度 1.4 (M-アルカリ度 180 mg/L CaCO₃ 換算値) の場合の汚れ係数と時間との関係式を RUN-8 の運転結果から算出すると次のように表される。

RUN NO.	M-アルカリ度	運転開始時	1 回目 BC 後	1 回目 BC による 復元力
8	180 mg/L (CaCO ₃ 換算値)	Fo = 1.31 × 10 ⁻³ t	Fo = 1.80 × 10 ⁻³ t	85.7%

ここに、BC : ボールクリーニング

Fo : t 時間後の汚れ係数 (m²K/kW)

t : 時間 (≥ 30h) (h)

すなわち運転開始 30 時間後、汚れ係数は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上昇速度は運転開始時より速く、汚れ係数の低減効果も初期値の 85.7% に留まっている。

(5)

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が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を実施し次の結果を得た。

- (1) 濃縮度1.2程度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一時間当たりの汚れ係数の増加量は $1.31 \times 10^{-9} \text{m}^2 \text{K/kW}$ であるが、ボールクリーニングを実施することによって汚れ係数を $0.05 \text{m}^2 \text{K/kW}$ まで下げることができる。
- (3) ボールクリーニングによりスケールが完全に除去されるわけではなく、ボールクリーニング後の汚れ係数は時間の経過と共に増加することが観察されている。
- (4) ボールクリーニングは汚れ係数の明らかな増加が観察される前に実施するべきである。このことは実プラント運転の経験則と一致する。

5.3.4 スケール抑制剤と酸を併用した試験

1. まえがき

ここでは、ハイブリッド法による試験結果を報告する。

2. ハイブリッド法に関する予備調査

本試験における循環ライン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 Power Plantにおける4,000m²×3トン/日MSFプラントの運転実績を調査した。

本調査によると、上記プラントのハイブリッド運転時におけるラインの水質は下記の通り管理されている。

・ラインpH	: 7.8 - 8.3 (25°C)
・M-アルカリ度 (CaCO ₃ 換算値)	: 26 - 43 ppm
・濃縮度 (Cl ⁻ 基準)	: 1.2 - 1.3

3. 試験結果

ハイブリッド法に対するMSFテストプラントの長期運転はこれまで濃縮比1.22および1.4で実施された。

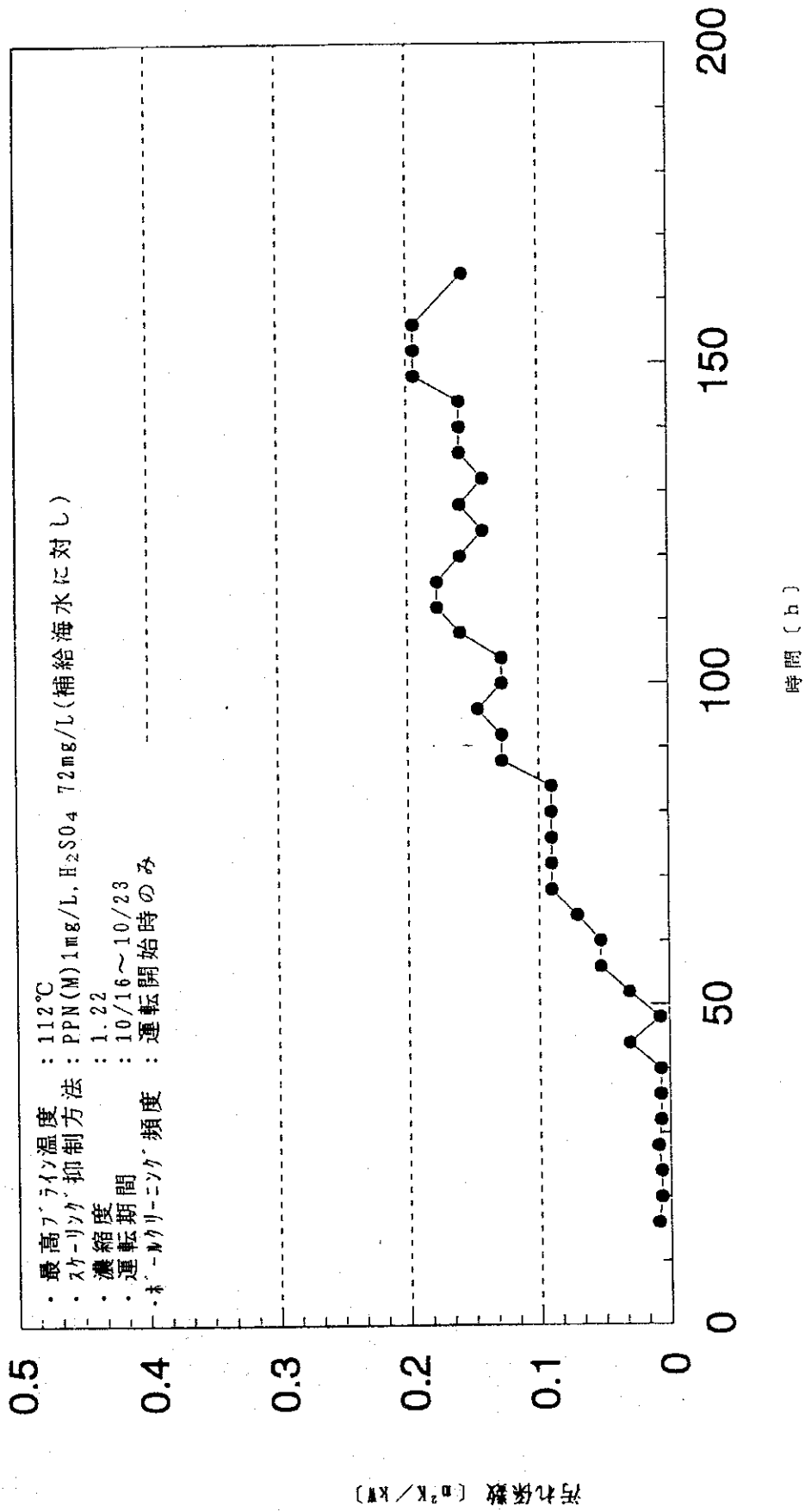
両濃縮比の試験ともスケール抑制剤のみを添加した試験に比較して、循環ライン中のM-アルカリ度は1/3に減少した。循環ライン中のpHについてはpH8を下回らないように管理した。ボールクリーニングは伝熱管の汚れ係数が0.34~0.36 m²K/kW以上に上昇したときのみ実施した。

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。

それぞれの運転におけるの汚れ係数の経時変化をFig.10およびFig.11に示す。これから明らかなように、RUN5-1の運転時間300時間、濃縮度1.22程度では、汚れ係数は緩やかな上昇傾向を示すことがわかった。

しかし、濃縮度を1.4 (RUN5-2) に上昇させるとスケールの付着により、汚れ係数に急激な上昇傾向がみられ、それにとまって、加熱器出口ライン温度を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。

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



(5)

Fig. 10 加熱器の汚れ係数の経時変化 (RUN 5-1)

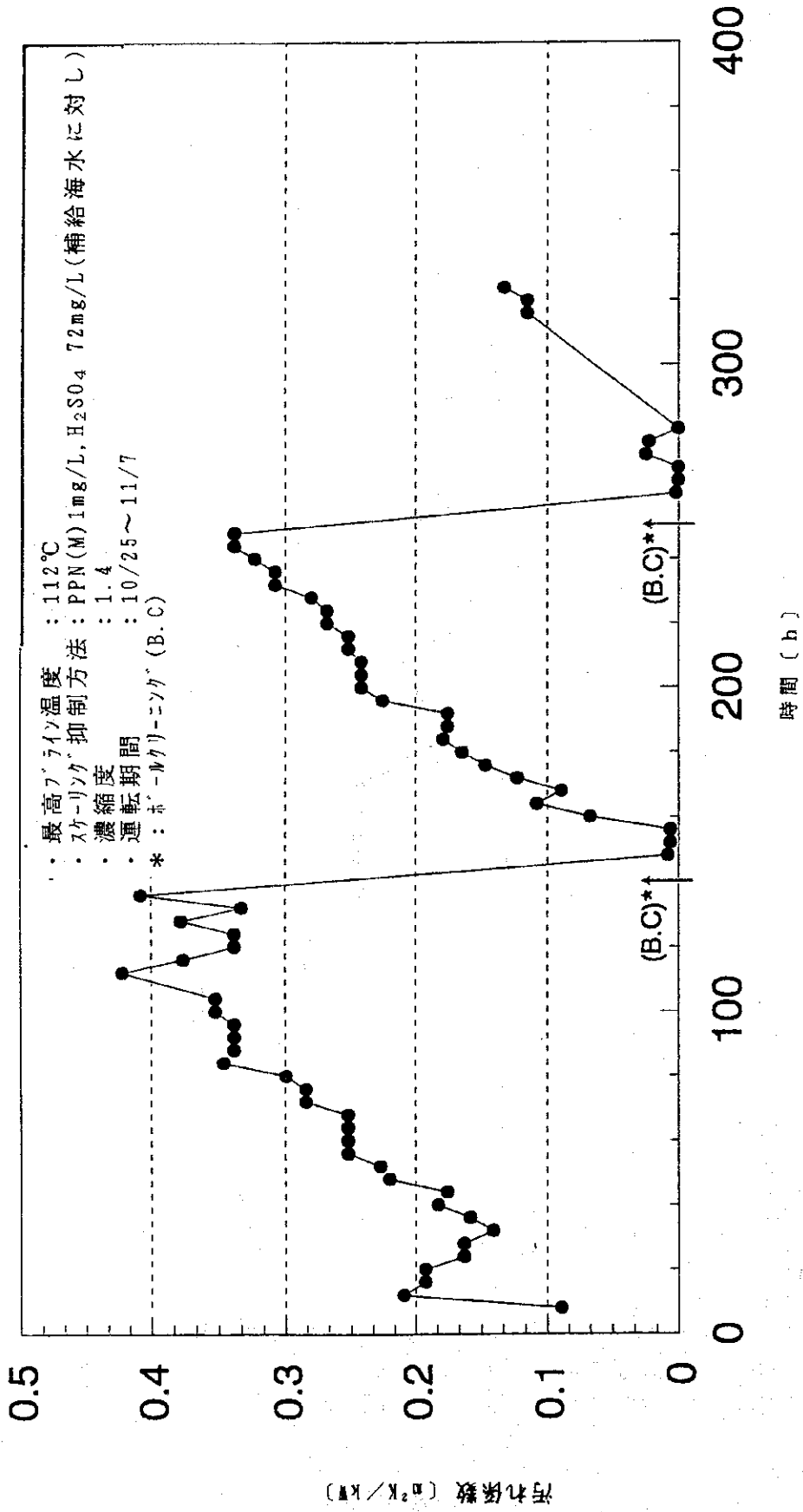


Fig. 11 加熱器の汚れ係数の経時変化 (RUN 5-2)

4. 考察

4.1 濃縮度の汚れ係数に与える影響

RUN 5-1 のように濃縮度1.22 (M-アルカリ度140mg/L CaCO_3 換算値) のときは、汚れ係数の急激な上昇はなく、単独添加の場合と同程度であった。

一方、RUN 5-2 のように濃縮度1.4 (M-アルカリ度60mg/L (CaCO_3 として) 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、その上昇の割合はRUN 8 のときより大きかった。

4.2 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、RUN 5-2 とRUN 8 との汚れ係数の経時変化を検討した。その結果、運転開始後30時間程度までは、汚れ係数は急激な増加傾向を示すが、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	1回目BC後	1回目BCによる復元力
5-2	60mg/L (CaCO_3 換算値)	$Fo = 1.80 \times 10^{-3}t$	$Fo = 2.77 \times 10^{-3}t$	100 %
8	180mg/L (CaCO_3 換算値)	$Fo = 1.31 \times 10^{-3}t$	$Fo = 1.80 \times 10^{-3}t$	85.7%

ここに、BC：ボールクリーニング

Fo ：t 時間後の汚れ係数 ($\text{m}^2\text{K}/\text{kW}$)

t：時間 ($\geq 30\text{h}$) (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、RUN 5-2 の汚れ係数が RUN 8 より小さいという結果は得られず、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、ハイブリッド方式ではボールクリーニングにより伝熱係数が100%回復したが、単独添加の場合には85.7%しか回復されなかった。今回の試験により、ハイブリッド法の利点、欠点が明らかになった。

5. 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、次の結論を得た。

- (1) スケール抑制剤PPN(M)添加濃度を通常の1/2 (1 ppm) にすると、M-アルカリ度を酸添加により1/3に低減させても、汚れ係数の増加速度を低減させることはできない。しかしこの効果は、300時間迄の間には、現われてこなかった。
- (2) ハイブリッド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) ハイブリッド法をサウディ・アラビアで採用するためには、酸の添加濃度がスケール抑制剤の30倍になるため、酸の安定供給とそ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

(1) 方針

MSFプラントの性能劣化をもたらす主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1994年11月にバーレーンで開催された第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。

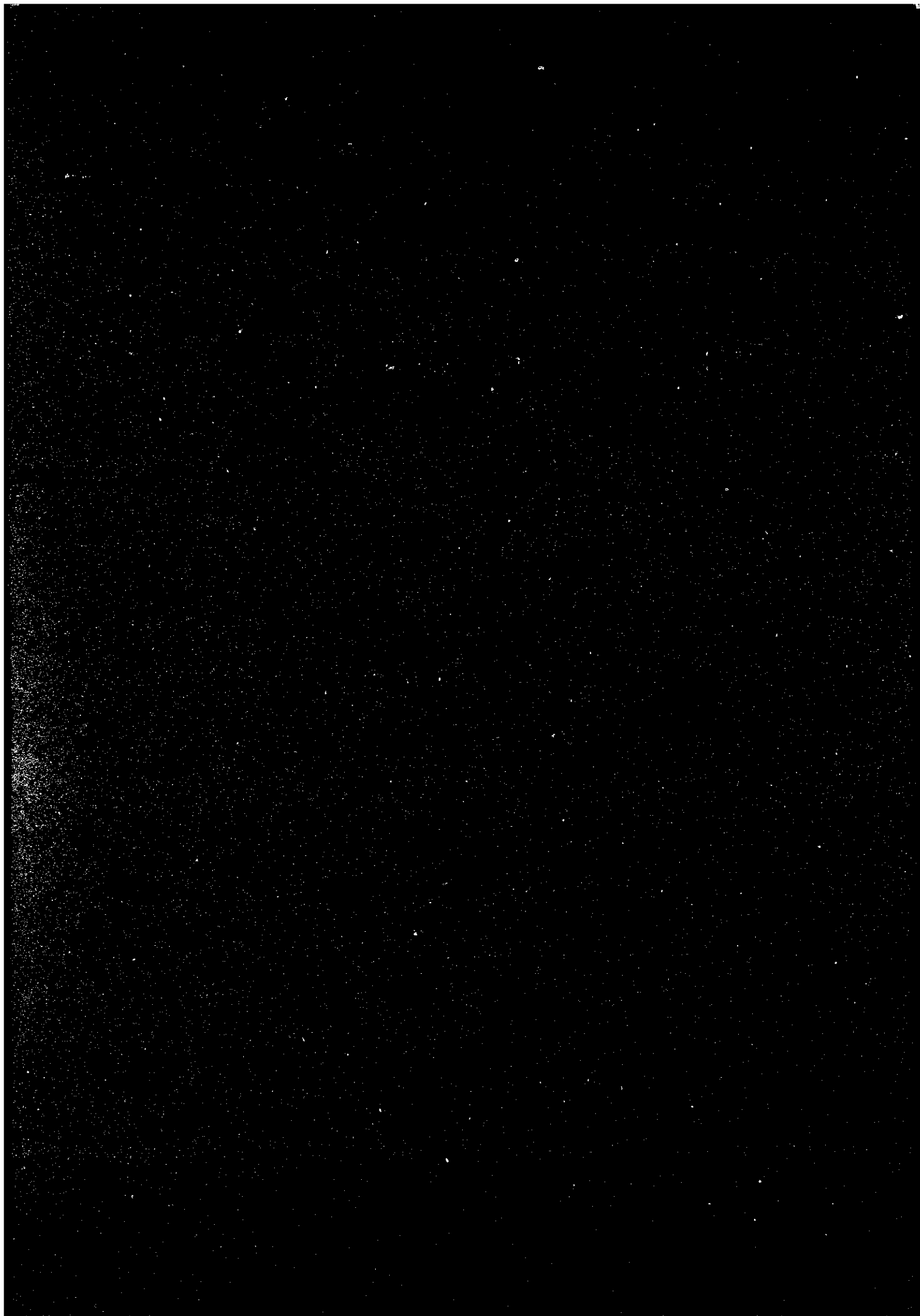
4) 汚れ係数の評価方法 (MSFテストプラントを使用した長期テスト)

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。MSFプラントの運転方法の習得を図った。

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。

6. MSF生産水の油汚染対策に関する研究 (MSF-2)



目 次

6. MSF生産水の油汚染対策に関する研究 (MSF-2)	1
6.1 調査および予備実験	2
6.1.1 調査 (アラビア湾の海水水質調査)	2
6.1.2 予備実験 (有機汚染物の蒸発メカニズム)	3
6.2 気液平衡の測定実験	12
6.3 油汚染物質挙動のシミュレーションと予測	17
6.3.1 関係式の構築	17
6.3.2 油汚染物質の挙動に関するシミュレーション	21
6.4 MSFテストプラントによる確認試験	22
6.4.1 MSFテストプラントの改造	22
6.4.2 プロモホルムの生産水への混入	23
6.4.3 油の生産水への混入	29
6.5 技術移転	32

表 一 覧

Table	題 名	頁
Table 1	各測定条件におけるヘンリー定数計算値 -----	15
Table 2	MSF-2の試験条件 -----	24
Table 3	コンピューター出力結果の要約 -----	27
Table 4	実験結果と計算結果との比較 (油分添加量: 10mg/L) -----	30

図 一 覧

Figure	題 名	頁
Fig. 1	実験装置模式図 -----	8
Fig. 2	蒸発n-オクタデカン量と蒸発水との関係 -----	9
Fig. 3	蒸発プロモホルム量と蒸発時間との関係 -----	9
Fig. 4	プロモホルムのln Coと蒸発時間との関係 -----	10
Fig. 5	トルエンのln Coと蒸発時間との関係 -----	10
Fig. 6	A重油中におけるn-オクタデカンの蒸発量と水の蒸発量との関係 -----	11
Fig. 7	気液平衡測定装置外観 -----	14
Fig. 8	ヘンリー定数と温度との関係 -----	16

6. MSF生産水の油汚染対策に関する研究 (MSF-2)

アラビア湾では石油による海洋汚染が進んでいる。また、有機性汚染物は塩素との反応によりトリハロメタンを生成することが知られている。従って、石油流出事故があった場合や汚染が進んで海水中に常時石油が検出されるようになると、汚染海水を原水とするMSF海水淡水化では、生産水に油やトリハロメタンが混入する可能性がある。

本研究ではまずMSFプロセスにおけるこれら汚染物質の蒸発機構を解明し、得られた結果を基にしてコンピュータシミュレーションにより汚染物質の挙動を予測する。一方、MSFテストプラントの運転において汚染物質を添加し、汚染物質の挙動を実測し、シミュレーションの予測と比較して汚染物質の挙動を理解するとともに、生産淡水への汚染物質混入を防止する方法を提案することを目的とする。