

日本船舶振興会昭和41年度補助事業
「船舶の経済性向上に関する調査」

研究資料 No. 58

第92研究部会

ボイラ外部汚れに関する基礎調査

報告書

昭和42年3月

社団法人
日本造船研究協会

は　し　が　き

本報告書は日本船舶振興会の昭和41年度補助事業「船舶の経済性向上に関する調査研究」の一部として日本造船研究協会が第92研究部会において造船所・海運会社が学識経験者および関連会社の協力を得てとりまとめたものである。

第92研究部会委員名簿（敬称略、五十音順）

部会長 石谷清幹（大阪大学）
委員 池田 学（川崎重工業）
伊丹伸雄（三井造船）
伊藤寿夫（三菱重工業）
沖田正（三菱重工業）
小尾雅俊（日立造船）
門川三郎（新和海運）
川瀬好郎（東京タンカー）
北野直治（川崎汽船）
木脇充明（神戸商船大学）
久津間裕良（運輸省船舶局）
小林 広（大阪大学）
佐々木康夫（日本海事協会）
嶋田光明（日本船主協会）
杉山異三（昭和海運）
鈴木雄二（吳造船所）
瀬尾正雄（船舶技術研究所）
徳屋章彦（日本鋼管）
西川栄一（大阪大学）
野村信義（日本船用工業会）
樋口勝彦（大阪商船三井船舶）
布留川信止（日本郵船）
堀田秀夫（東京商船大学）
堀合郁雄（函館ドック）
三沢禎（日本鋼管）
山田溟（石川島播磨重工業）
吉田和夫（浦賀重工業）
脇川忠彦（佐世保重工業）

討議參加者（敬称略、五十音順）

伊藤 征矢（川崎重工業）
宇都宮 弘昌（ガデリウス商会）
宇野 千秋（ガデリウス商会）
奥山 栄之介（川崎汽船）
加藤 泰弘（石川島播磨重工業）
兼松 英夫（日立造船）
川畠 昭陽（平川鉄工所）
神永 哲郎（浦賀重工業）
佐藤 市郎（函館ドック）
佐俣 清武（エツソ石油）
末広 要（ガデリウス商会）
高田 敏文（日本鋼管）
蓼沼 太門（佐世保重工業）
土屋 玄夫（三井造船）
西岡 和正（三井造船）
原田 良夫（三菱重工業）
藤井 克郎（川崎重工業）
松田 裕昌（川崎重工業）
宮武 忠勝（石川島播磨重工業）
森川 卓（日本船主協会）
山内 一夫（日立造船）
湯沢 通好（エツソ石油）
吉田 駿司（大阪大学）

目 次

第1章 まえがき	1
1.1 ボイラ外部汚れに関する従来の調査	1
1.2 本研究の目的と方針	1
1.3 作業経過	2
第2章 ボイラ外部汚れの現状調査	3
2.1 就航船のボイラ外部付着物の調査	3
2.2 就航船の風圧、蒸気温度等の調査 (Log Bookによる調査)	12
2.3 その他のボイラにおける調査(陸用ボイラ)	36
第3章 燃焼および燃焼生成物付着状況に関する調査	40
3.1 模型ファーネスによる燃焼生成物の性状に関する実験	40
3.2 実物ボイラに取り付けたテストビースによる調査	43
第4章 付着物除去方法に関する基礎実験	69
4.1 スートプロワに関する基礎実験	69
第5章 文献調査	94
第6章 むすび	95

第1章 まえがき

1.1 ボイラ外部汚れに関する従来の調査

ボイラの燃焼ガスに触れる構造物（とくに蒸発管、過熱器管などの伝熱面）の燃焼ガスによる汚れ（以下外部汚れという）の問題は、使用燃料がますます低質化する現況のもとで、高温高圧化と自動化が推進され、しかも信頼性と利用率の改善を要求されているので、最近とくに重要な問題となつてゐる。したがつて外部汚れに関する研究も年を追つて増えてきている。しかしこれらの多くの研究の成果にもかかわらず、外部汚れ現象が解明されたというにはまだ遠い段階にある。

外部汚れの防止という面からも、低過剰空気燃焼や添加剤（助燃剤）を中心として研究が進められているが、前者については試運転段階、後者については経済的理由も加わり決定的な汚れの対策とはなつていないのが現状である。

このような現状に加えて外部汚れはきわめて複雑な現象であることを考えると、外部汚れによる障害を、汚れそのものを無くすることによつて取り除くという研究もむろん必要で大切なことであるが、汚れは存在するものと認めて、これを伝熱面から除去することによつて障害の軽減を図ることも重要である。この付着物除去という面からはストーブロワが広く使用されており、ボイラを運転しながら行なう方法としてはもつとも一般的なものである。しかし従来ストーブロワに関する研究あるいはその使用経験などについて公表された報告はほとんど見当らない。ボイラ関係者は各自の使用経験にたよつてストーブロワを選定している現状であるが、ストーブロワの性能を表示する特性値として一般に通用する物理量がまだ確立されていない。したがつてストーブロワに関する知識は貧弱なもので、その最適設計はもちろん、既製のストーブロワの性能判定に対する信頼できる評価方法もないのが現状である。

1.2 本研究の目的と方針

以上述べたことを要約すると次のとおりとなる。

- a. 外部汚れに関する基礎的な研究は相当行なわれ、その本質的な問題についてはかなりの知識と経験が集積されているが、これらは陸用ボイラに関するものが大部分で、船用ボイラに関してはほとんどなく、組織的な研究がまだれている。
- b. 外部汚れの障害軽減には汚れを除去するのが重要な手段と考えられるが、従来付着物除去という観点から外部汚れの実態を調査されたものが見当らない。
- c. 付着物除去の主要な手段と考えられるストーブロワについては、その性能の数量的表示法さえも確立されていないのが現状である。

本研究の目的と方針はこれらの点を考慮して決定された。すなわち作業の重点を船用ボイラにおける外部汚れの現状調査および汚れ除去手段としてのストーブロワの研究におく。なお必要な限り付着現象の基礎研究も行なうが、できるだけすでに発表されているデータを利用して、系統的な見解を確立しようとするもので、作業内容およびこれの若干の説明を次にしるす。

(1) ボイラ外部汚れの現状調査

(1) 就航船のボイラ外部付着物の調査

従来行なわれている調査は化学的なものが多いが、ここではこれに加えて付着物除去という面に留意して、付着物の機械的付着力特性に関する調査も行なう。

- (1) 就航船の風圧、蒸気温度などの変化の調査
- (2) 燃焼および燃焼生成物付着状況に関する調査
 - (1) 模型ファーネスによる燃焼生成物の性状に関する調査
 - (2) 実物ボイラに取り付けたテストピースによる調査
 - (3) 付着物除去方法に関する基礎研究
 - (1) スートプロワに関する基礎調査

ここではスートプロワの性能を表示する物理量を確立することを当面の目的とする。このためには付着物の付着力を数量的に表現することをまず第一に考えねばならない。

1.3 作業経過

昭和41年3月第1回の委員会を開催して、本研究の方針と目的に関する説明があり、調査方法に関する検討がなされた。

4月の第2回委員会では各委員が検討した実験方案を持ちより、大筋の実験方法および実験内容の決定を行なつた。この回にはスートプロワメーカーの参加を依頼して意見を聞き、実験方法を決定するにあたつて参考とした。

なおスートプロワの基礎実験に関してはこの間予備実験を行ない、そのつど結果の報告を行なつて、今後の方針決定の資料とした。

5月の第3回委員会では、实物ボイラに取り付けるテストピースの構造に関する討論が行なわれ、大筋の決定を行ない、詳細決定は次回に行なうこととした。またスートプロワの基礎実験は予備実験を終了した。この結果を参考にして実寸付着物の付着力(Adhesivity)調査用標準ノズルを製作することとし、この構造に明する決定を行なつた。

第4回の委員会は6月に開かれたが、温度調節計付テストピースの構造決定および製作担当の決定が行なわれた。また標準ノズルも完成したので、この回において作業の具体的な分担の決定を行ない、本格的な作業の実施に移つた。

本年度最後の第5回委員会は42年1月に開かれ、本年度の作業結果の検討ととりまとめを行ない、さらに将来の方針に関する討議を行なつた。

なおこの間6月と9月に実験担当者による会合を開き、実験方法の討論、作業分担の話し合いなどを行なつた。

以下本年度の調査結果についてとりまとめて報告する。

なお実験の担当は次のとおりである。

大阪大学、浦賀重工、川崎重工、三菱重工神戸、三菱重工広島、神戸商船大、東京商船大、三井造船、
日本鋼管、平川鉄工所

第2章 ポイラ外部汚れの現状調査

2.1 就航船のポイラ外部付着物の調査

2.1.1 調査方法

船に搭載された実効の汚れ状況の現状を調査することは、当初から困難であることが予想されたので、本年度は機会あるごとに調査することに決定したが、その目的は汚れの現状に対する基礎的な知識を得ることにとどめ、これとともにとしてはつきりした調査方針を決定して行くことにした。なお対象は主として主ポイラとするが、排ガスエコノマイザ、補助ポイラ、陸用ポイラについても行なう。調査項目は下記のとおりである。

- ① 外観の観測（肉眼および写真記録）
- ② 付着物の化学的分析
- ③ 付着特性（Adhesivity）の計測

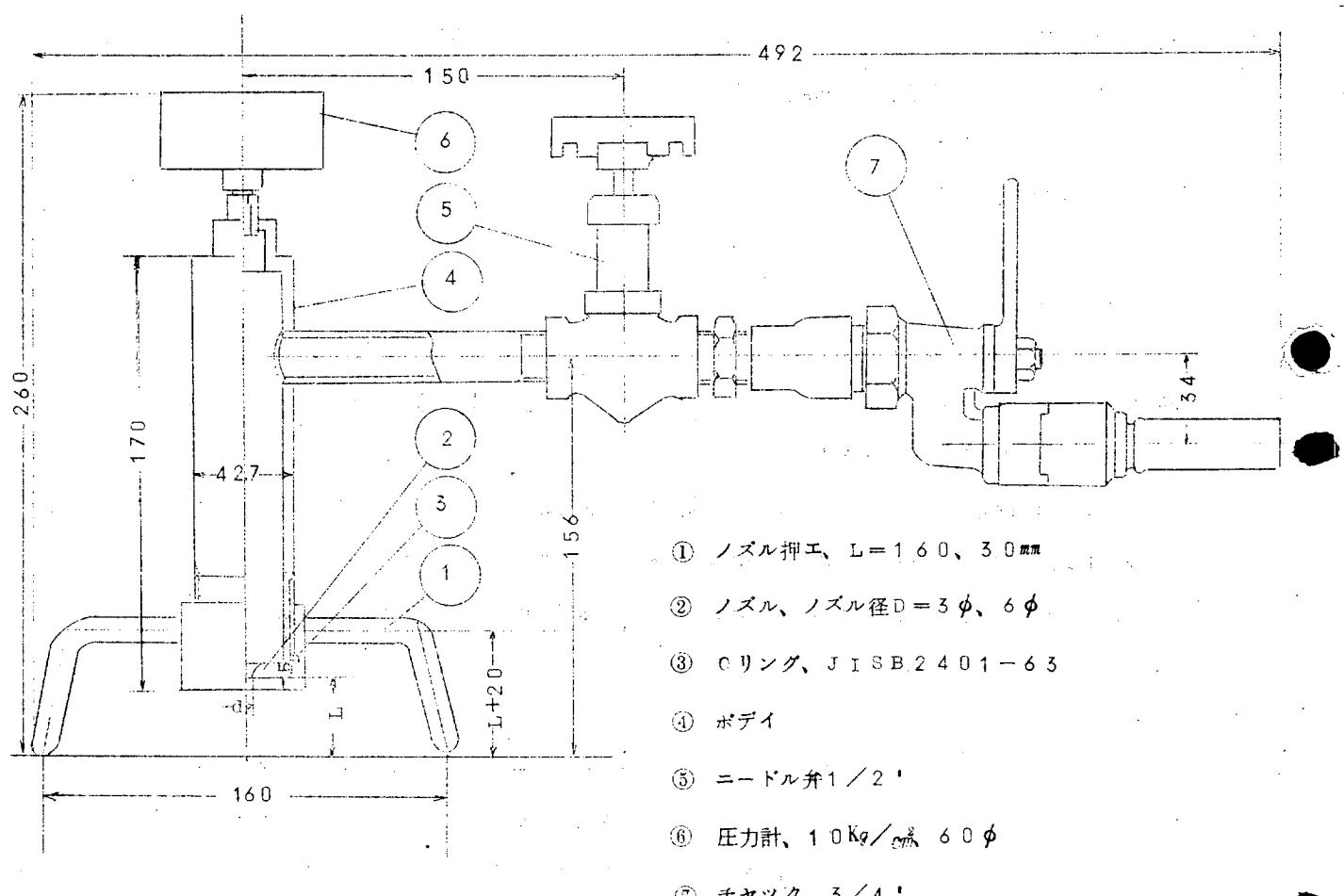
ストップロウに関する基礎実験によつて得られた結果（第4章参照）を参考にして、次に述べるような携帯式の噴射装置をつくり、これを用いて調査した。以下ではこの装置を標準空気噴射装置という。

③-1 標準空気噴射装置の構造（第2-1図）

ノズルは先細の四分円ノズルを用い、噴出径3φ、6φの2種類を使用する。また被測定面とノズルとの距離をノズル押え①の脚を利用して固定するが、この距離は160、30mmの2種類とする。この距離は後述するように測定値に影響するので注意して使用する。⑦のチャックには空気圧縮機からの導管を接続する（最高使用圧力1.0kg/cm²、8）。

③-2 測定方法

被測定面にノズル押えの脚をあてて、⑤のニードル弁を徐々に開いてゆく。測定面の付着物はある点で吹き飛び始めるが、この吹き飛び始めた点の圧力を⑥の圧力計で読み取る。記録事項は吹き飛び始めの噴出圧力（限界圧力P_c）、ノズルと被測定面の距離L、測定場所である。付着物は通常数層にわたつて付着しているので、外表面より各層のP_cを記録する。



第2-1図 標準空気噴射装置概略

2.1.2 調査の実施

2.1.2-a モービル・ジャパン号

昭和41年7月20日に三井造船玉野造船所にて行なつたタンカ MOBIL JAPAN (84,000 ton) の実缶調査は次のとおりである。

① ポイラ仕様

Type MITSUI-F.W.'D' Type Steam Generator

Evaporation Maximum	132,000 lbs/hr
Design Pressure	800 lbs/in ²
Working Steam Pressure at superheater outlet	670 lbs/in ²
Steam Temperature at superheater outlet	900°F
Feed Water Temperature	275°F
Manufactured Date	MAY 1965
Boil No.	578

IMITSUSHIPBUILDING & ENGINEERING CO., LTD.

② 運転条件

Shaft horse power (English)	22,000 ps
Shaft r.p.m	103
Turbine inlet pressure	620 psig
Turbine inlet temperature	890°F
Super heater outlet temperature	890°F port
Super heater outlet temperature	890°F stbd.
Economizer inlet temperature	280°F
Furnace efficiency HRS.-O ₂ Port and Stbd.	6~7%

③ 燃料 重油

第2-1表

比 重	1.54	1.0169	H	w.t %	9.3
粘 度 C.S	50 °C	38.2	S	w.t %	1.34
残 炭	w.t %	15.13	発 热 量 G	cal/g	10.940
灰 分	w.t %	0.12	H	cal/g	9.540
C	w.t %	88.7	N		

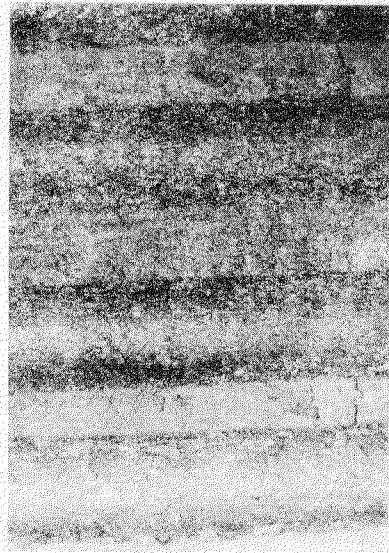
(4) 調査

燃焼室

水槽(第2-2図、第2-3図)

火炎側 茶色のやわらかいすすがあり、その下は管になつていた。

火炎の裏側 表面は溶融したとの見られる黒褐色の塊状物質で第2層は白色であつた。



第2-2図

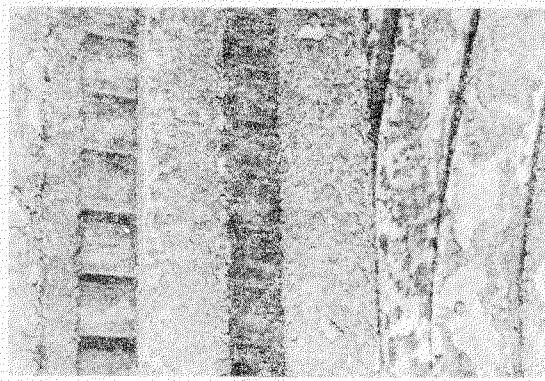


第2-3図

スクリーン(第2-4図)

火炎側 3層に分れており、第1層は茶色、第2層は暗い緑白色であつた。

火炎の裏側 火炎側第1層の茶色の溶融したと思われる物質が多かつた。



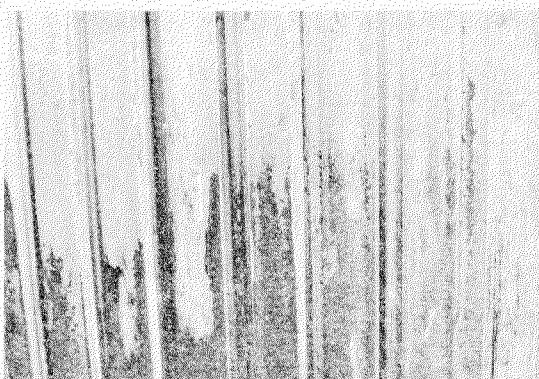
第2-4図

ノズル周辺部

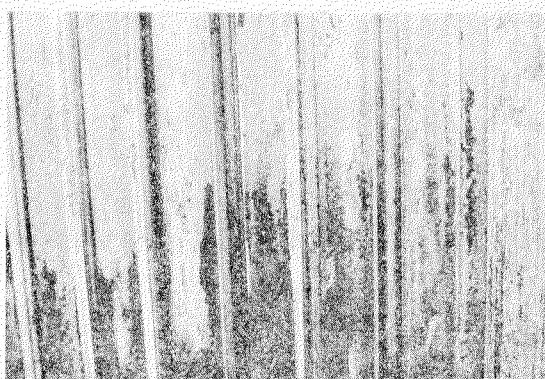
耐火レンガの表面に塗布してある物質が管壁に付着しており表面は茶色を呈していた。

蒸発管（節炭器側 第2-5図、第2-6図）

3層に分れており、第1層は節炭器と同様のやわらかい黒色物質で、第2層は灰色でかなりやわらかく、第3層は白橙色で管の酸化物が混つているように思われた。



第2-5図

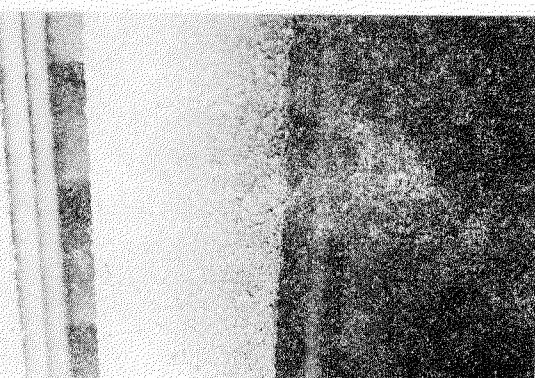


第2-6図

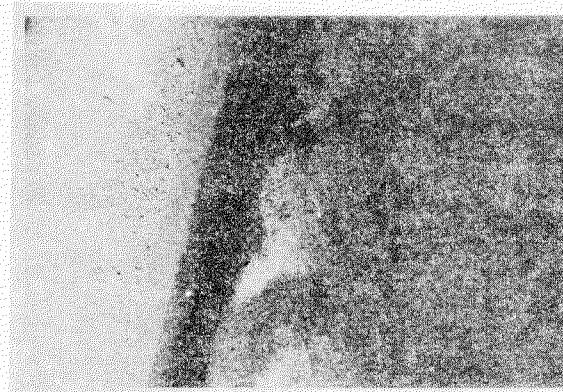
過熱器（第2-7図、第2-8図、第2-9図、第2-10図）

表側（燃焼ガス流に対して）第1層は凹凸の多い茶色、第2層は暗い緑褐色、第3層は暗緑色、第4層は黄白色であつた。

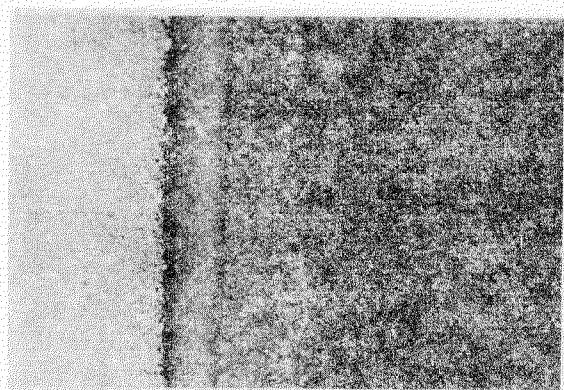
後側 第1層は凹凸の多いこげ茶色、第2層は白褐色であつた。



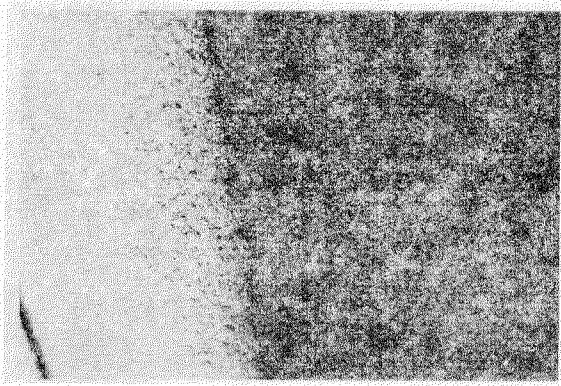
第2-7図



第2-8図



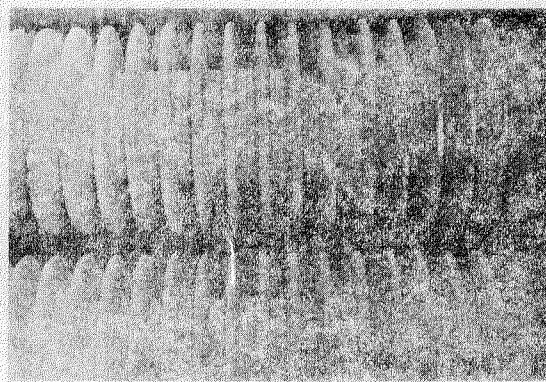
第2-9図



第2-10図

この部分にはストップロウが取りつけられており、これが影響を及ぼすと思われる範囲にはやわらかいはずではなく、テストマシンによりすす吹きをしたが吹き飛ばなかつた。この結果ストップロウの効果がかなり出ていると思われる。

節炭器



第2-1-1図

第1層はやわらかい乾燥した黒色粉末状で第2層はかたい灰白色の物質であつた。

(5) すすの限界圧力 (P_{cr} , $\text{kg}/\text{cm}^2/\text{g}$)

ノズルは2種 $D = 3\text{mm}\phi$ 、 $6\text{mm}\phi$ およびノズル出口から管壁表面までの距離 $L = 30\text{mm}$ を使用した。限界圧力はすべて平均値を示す。

第2-2表

			$D = 3\phi$	$D = 6\phi$
燃焼室	水壁	火炎側 裏側	1.30 0.33	0 0
	スクリーン	第1列 第2列 第3列	3.02 4.73 0.93	
蒸発管		第1層 第2層 第3層	0 0.5 とばず	1.13
過熱器				とばず
節炭器			1.54	

⑥ 分光分析結果

分光定性判度	+++ 多量
	++ 小量
	+ 微量
	± 極微量

第2-5表

分光分析定性															
燃焼室側	A	+++ ++ ++ ++ + + ± ± ± ± ± ± ± ±													
		V	Na	Ni	Ca	Fe	Cr	Mg	Al	Pb	Zn	Cu	Mo	Si	
スクリング管付着物	B	+++ ++ ++ ++ ++ ++ + + + + ± ± ± ±													
		V	Na	Ni	Ca	Fe	Mg	Mn	Al	Si	Cr	Zn	Cu	Mo	
過熱器管付着物	C	+++ ++ + + + + ± ± ± ± ± ± ± ±													
		V	Ni	Fe	Ca	Cr	Mg	Al	Zn	Cu	Mo	Si			
過熱器ヘッダ付着物	D	+++ ++ ++ ++ ++ + + + + ± ± ± ±													
		V	Na	Ni	Fe	Mg	Ca	Al	Cr	Cu	Mo	Si			
エコノマイザ下	E	+++ +++ ++ + + + + ± ± ± ± ± ± ± ±													
		V	Fe	Ca	Ni	Si	Mg	Mn	Al	Cr	Pb	Cu	Zn	Mo	

定量分析

		A	B	C	D	E
水分	105~110°C	0.26	0.64	1.45	2.96	11.68
灼熱減量	850~900°C	3.16	1.77	18.01	37.25	47.61
	SO ₃	3.245	21.14	13.32	8.23	29.82
	V ₂ O ₅	9.48	17.68	58.31	39.96	5.64
	NiO	6.40	11.10	5.50	5.85	1.01
	FeO	4.49	7.20	1.80	7.20	19.25
	CaO	9.91	4.67	0.70	0.70	0.50
	MgO	1.92	3.95	1.20	0.36	0.36
	SiO ₂	3.38	19.42	0.88	2.42	1.80

2.1.2-5 祐邦丸

昭和41年7月4日に川崎重工業神戸造船所にて実施した祐邦丸の実缶調査の結果は次のとおりである。調査は燃焼室について行なわれた。

① 観察

水壁 火炎の方向から2/3までは未然分らしい黒い付着物があり、この状態に対してはすす吹きの対象にならなかつた。後から1/3までの範囲は茶色の層と黒色の層が混在し、すす吹きができた。

スクリーン

第1列 管周の約1/3の範囲は全くすす吹きができず、第1層は茶色に焼けた状態で、第2層は青白色を呈していた。後の2/3の範囲は第1層では黒色の軽いすすがあり、第2層は黒褐色で、第1層第2層ともすす吹きで軽くとび、第3層は青白色を呈していた。

第2列 2層に分かれており、第1層は茶色ですす吹きが可能であり、第2層にはやはり青白色の物質があつた。

第3列 黒色と茶色のまだら状の物質が見えた。

天井(水壁) 黒色と茶色のまだら状の物質が見えた。

② 限界圧力(P_{cr} , Kg/cm^2)

測定はスクリーンについて行なわれた。値は平均値を示している。使用ノズルは $D = 3mm\phi$ 、距離 $L = 30mm$ であつた。

第2-4表

第1列	1.2	第2列	0.64
-----	-----	-----	------

2.1.2-6 東京丸

① ボイラ型式および主要目

型式 石川島播磨 POSTER WHEELER 2胴式

DSD型船用水管ボイラ 2ボイラ/船

蒸発量 最大 56000Kg/hr

常用 45000Kg/hr

設計圧力 $7.2.0 Kg/cm^2$

蒸気圧力 過熱器出口 $59.8 Kg/cm^2$

蒸気温度 過熱器出口 $513^{\circ}C$

給水温度 $205^{\circ}C$

燃焼装置 バーナ WAHODAG ロータリカツブバーナ

A G C GENERAL REGULATOR 空気式

エヤヒータ ユングストローム式再生型ガスエヤヒータ(蒸気式エヤヒータつき)

(2) 就航時期および点検時期

就航時期 昭和41年2月1日

点検時期 昭和41年9月上旬

(3) 点検時の外部汚れ状況

炉 内 カーボンその他の付着は少なく良好な状態であつた。

過熱管 軽いですが少量あつた。管壁への固着物は少なく、良好な状態であつた。

蒸発管 過熱器管と同様良好であつたが、ところどころ黒褐色の付着物があつた。

過熱器の炉内側と外側の蒸発管の2か所より試料を採取して灼熱減量を調査したところ、次のとおりであつた。

第2-5表

試料採取位置	試料重量 (g)	減量		備考
		(g)	(%)	
炉内に近い側	1.4532	0.3184	21.9	残部は熔融状
過熱器より外側	1.0062	0.296	29.42	やゝ粒状

ガスエヤヒータ 低温部エレメントにすすの堆積があつた。すすは軽いもので水洗により容易にかつ完全に洗滌できた。

(注) 1. 水洗はガスエヤヒータのみ実施した。

2. 就航当初はW.A.H.O.D.A.Gバーナにカーボン付着のため、ときに燃焼不良のこともありましたが、漸次改善され、上記点検時前は良好な燃焼状態で運航されていた。

2.2 就航船の風圧、蒸気温度等の調査(Log Book による調査)

まえがき

就航船の外部汚れはドック時における付着物の現状およびその性状による判定と同時に運転中のボイラ各部の温度、風圧、その他の変化から汚れの状況を推定し、その及ぼす影響を調査する必要がある。

本報告は Log-book の調査結果からボイラの汚れ状況を推定するとともにボイラ外部汚れに関して運転上からの運転当事者の意見を徴した結果を記載する。後述のようにボイラの外部汚れ状況を判定し、各船の結果を比較するにはまだデータ不足であるので引き続いて調査を進めたい。

2.2.1 ボイラの外部汚れが就航船の運航に与える影響について

ボイラの外部汚れが船舶の運航に及ぼす影響としては次のようなことが考えられる。しかし、これらの値の経年的な変化を調べるにができるだけ同一燃料消費量、同一空気量で運転されていることが必要である。負荷の変動があり著しいとき、あるいは燃焼状況特に空気量が大巾に変わってきた場合は、ボイラの外部汚れ以外にこれらの影響

を受け、場合によつてはその影響の方が大きくなつて汚れによる影響を見出すことが困難な場合も考えられる。

① ボイラ効率の低下

外部汚れによる熱吸収量の減少によつて同一燃料消費量に対して蒸発量が減少し、ボイラ効率の低下をまねき、それに伴つて出力が減少する。汚れの状態が一定の場合でも効率はボイラ負荷、空気量によつて変わりことに重油燃焼では空気量変化による影響が大きいからこの点考慮する必要がある。

② 燃料消費量、燃料消費率の増加

外部汚れにより蒸発量が減少してくれば速力を一定に維持するため燃料消費量を増加させて出力を増す必要がある。長期にわたる計測では船体汚れの影響も加わるので燃料増加量全部がボイラ外部汚れによるものと考えることはできない。しかし、単位出力当りの燃料消費量したがつて燃料消費率の増加を求めれば主機自身の効率は特別に大きい負荷変動がない限りあまり変化しないと考えられるので燃料消費率の増加によつてボイラ外部汚れによる影響と推定することができる。

③ 出力低下に伴う回転数または速力の低下

速力の低下は汚れによる出力の低下以外に排水量(積載量)、船体の汚れ、風向、風力、潮流等の影響をうける。しかし軸馬力の測定が行なわれていないタービン船では回転数の低下が汚れの一つの目安になる。簡単な推察では燃料消費は出力に比例し、同一排水量のもとでは燃料消費は回転数の3乗に比例するから燃料消費率に相当する Factor_c を求めその上昇割合から汚れを推定することができる。

④ 過熱蒸気温度の低下

燃焼状況一定のもとでは過熱蒸気温度の低下によつて過熱器の汚れを推定できる。過熱蒸気温度の制御が行なわれている場合は温度の低下割合が相当大きい場合のみしか検出できないことも考えられ、さらに対流型過熱器では炉内の汚れが大きい場合には炉内でのふく射吸热量が減少し、炉内からの流出ガスの保有熱が増加するため蒸気温度が逆に上昇することも考えられる。

⑤ 排ガス温度の上昇

燃焼状況一定のもとでは外部汚れによる熱吸収量減少のためのボイラ出口排ガス温度の上昇が見られる。排ガス温度は燃料消費量、空気量が増減すればその影響を大きく受けるからその点考慮しなければならない。

⑥ 節炭器、空気予熱器等煙路内設置の補助装置吸収熱量の減少

燃焼状況が一定ならば外部汚れによつて節炭器、空気予熱器出口ガス温度の上昇あるいは入口、出口ガス温度差の低下が見られ、また、受熱側流体の出口温度の低下あるいは入口、出口流体温度差の低下が現われる。

⑦ 通風抵抗の増加

煙路内あるいは伝熱面にすすその他の付着物が堆積するとガス通路を閉塞し通風抵抗が増大する。抵抗の変化は煙路間の2点の通風力差で測定することが望ましいが、押込み通風の場合は送風機出口圧力の増大によつて全風路、煙路の抵抗の増大を炉内圧の変化によつて煙路内抵抗の変化を推定できる。通風抵抗はほぼ煙路内ガス流速の2乗に比例するから燃焼条件が異なればガス量による補正を必要とする。燃料消費量(G)の増加の影響については通風抵抗を ΔP として概略 $\Delta P / G^2$ で整理すればよいと考えられる。

2.2.2 Log-book 調査項目および調査方法

実船においては載貨の状況、天候、潮流の影響を受けてある程度の負荷変動があると考えられるが、特別に大きな負荷変動がない場合は一応同一基準のもとで比較できるものとして整理した。調査項目はターピン船については第2-6表、ディーゼル船については第2-7表のような調査用紙を用意し各船の測定値をLog-bookから記載した。また、ストブロウの効果、汚れ状況の実際については第2-8表のような用紙を用意して直接機関長または担当の機関士にその状況を聴取した。調査船はできるだけ広範囲に行なう予定であつたが入港の時期、入港場所の都合もあってターピン船5隻、ディーゼル船7隻であつて船名は次のとおりである。

ターピン船…………東京丸、昭星丸、おりおん丸、大成丸、徳島丸

ディーゼル船…………はんぶとん丸、竜田丸、田島丸、伊予丸、第3アジア丸、べるげん丸、たこま丸

2.2.3 調査結果

Log-book調査の結果ボイラ効率を求めるに必要な蒸発量（または給水量）については各船とも計測されておらず、他の必要事項についても必ず満足行くものではなかつた。当初の推定では汚れ状況はドック出し初期ほど著しく、後期には通路閉塞に伴うガス流速の増加、ストブロウの効果により各種測定値の低下割合は減少していくものと推定していたが必ずしも予定の結果は得られず対象船の数を増加してさらに調査を重ねる必要があるよう思われる。

① ディーゼル船排ガスボイラ

ディーゼル船の排ガスボイラについては所要蒸気量に比してほとんどの船舶が相当の余裕を持つて設計されており、余分な発生蒸気は直接コンデンサに投入している現状であつて、熱経済的な考慮は特別に払われていないように見受けられる。したがつてLog-book中の排ガスボイラ関係の記載事項も甚だ少なく、在来船では蒸気圧力、排ガスボイラ入口ガス温度（過給機出口ガス温度）および同出口温度のみであつて船によつては出口ガス温度も、また蒸気圧力も記載されていないものもあり蒸気使用量についてはほとんどの船で不明であつた。したがつて外部汚れ状況をLog-bookから判定することはきわめて困難で上記調査船のうち、伊予丸、第3アジア丸、べるげん丸、たこま丸についてはほとんどの資料が不明で汚れ状況判定の資料が得られなかつた。

はんぶとん丸、竜田丸については容量不足に伴うドック側の調査、田島丸については機関長の厚意による特定期間の測定によつて得られた結果を第2-12図～第2-14図に示す。これらの資料も長期にわたつたものでなく、かつ負荷変動も見受けられるので正確に汚れ状況を判定することは困難であるが概略次のことが判明した。

イ) 排ガス入口、出口温度差

3船とも時間の経過とともに汚れによる吸収熱量低下のため、ボイラ入口、出口ガス温度差の低下が見受けられる。はんぶとん丸については就航後、約1,500時間くらいまでFuel notchの変更があり負荷が変動しているようであるが、1,500時間以後のFuel notchの安定したところではほぼ一定の入口ガス温度に対して出口ガス温度はいく分上昇しており温度差が減少していることがわかる。ことに2,700時間ごろからの低下が著しく、Notch整定後の温度差低下は約0.3°C/100hrくらいである。しかし3,400時間から4,200時間までの約800時間はほとんど一定の温度差であることから前記低下割合が時間経過につれ継続するとは限らないようである。

竜田丸については 25 日間の計測に対し 12 日目くらいまでの回転数の低い部分を除けば短時間ではあるが多少の温度差低下が認められその値は概略 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{hr}$ 程度であつた。田島丸については復航時の速力、回転数の低い部分を除けば短時間ではあるが多少の温度差低下が認められその値は概略 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{hr}$ 程度である。田島丸については復航時の速力、回転数の低下が大きいが、その比率は 1.2 程度であつて載貨による排水量の増加のためと推察され、また、燃料消費量の変化はあまり大きくなないのでほとんど一定負荷で運転されているものと考えられる。温度差の低下は $0.8^{\circ}\text{C}/100\text{hr}$ 程度であるがその大部分の低下が復航時の 1437 時間から 1631 時間ににおけるものであつて、汚れ以外のなにかの要因が含まれているのではないかと考えられる。

以上 3 船の結果からある程度以上の付着物堆積が速力増加ならびにストップロード効果によつて阻害されるを考えると温度差の降下は $0.3^{\circ}\text{C}/100\text{hr}$ あるいはそれ以下と推察される。

ロ) 通風抵抗の増加

通風抵抗は負荷の増加につれガス流量のはば 2 乗に比例して増加することさらに負荷の整定が必要とされる。排ガスボイラ入口、出口の通風圧を計測しているのは 3 艘のうち竜田丸、田島丸の 2 艘であつてしかもその計測期間はいずれも短いためはつきりした結論は出せないが両船とも入口、出口の圧力差したがつて通風抵抗が増加する傾向は見受けられる。

竜田丸については回転整定後の抵抗増加は約 $5.1 \text{ mmAq}/100\text{hr}$ であつたが計測最後の 4 日間は主機回転数が約 1 回転 hr^{-1} していることおよびこの間の抵抗増加がほとんど認められないことからこれより相当低い値を取るのではないかと想像される。田島丸については計測期間中の抵抗増加は $4.5 \text{ mmAq}/100\text{hr}$ であつたがその抵抗増加の大部分は計測期間後期の復航時の毎時間に生じており、最後の 1 点を除けばその増加は $3.2 \text{ mmAq}/100\text{hr}$ となるから、長期にわたつての抵抗増加は温度差低下の項で述べたと同じ理由からこれよりさらに低いものと思われる。

② タービン船主ボイラ

5 艘の調査船のうち大成丸については主としてストップロード後の影響を他の 4 艘については就航後の長期にわたる汚れの影響について調査した。

大成丸では自動燃焼制御を採用していないので多少の燃焼状態の変動も考えられ、ストップロード後の蒸気温度の上昇、伝熱効率の増加も各ブローごとに必ずしもはつきりしないが、第 2-15 図(B)のように特定時期の 1 星夜におけるデータをとりだせばブロー後から次期ブローまでの間に過熱蒸気温度の降下、煙道ガス温度の上昇がうかがわれ、その効果がいくぶん推定できる。

長期にわたつての汚れの影響については、おりおん丸、昭星丸、東京丸、徳島丸を対象としたが、その結果から共通ものを引き出すのは困難であるので、各船についての概要を記載するがタービン船について、はつきりした結論を出すにはいま少し多くの計測結果を調査する必要がある。

イ) おりおん丸

機関出力は時間経過とともに減少しその値は概略 $1.2 \text{ HP}/100\text{hr}$ 程度であり燃料消費率が約 $0.338/100\text{hr}$ の割合で増加していることから主機の効率に変化がないと見なせばこの出力低下は汚れによる蒸発量の減少が原因と考えられる。排ガス温度、節炭器給水出口温度、予熱空気温度とも約 300 時間を経過したあたりで急激な上昇が見られるが、これは CO_2 の変化からその付近で空気量の増大がありガス量が急増したものと思われ、送風機出口圧力に

もその影響が見られる。しかし、その後のCO₂の上昇時にも温度の降下が見られないのはそのときを境にして汚れが急増したとも思われるがその判定をはつきりと下すことはできない。過熱蒸気温度は時間経過とともにむしろ上昇している。これは空気量の増大によるものか、あるいは炉内の汚れの影響が過熱器の汚れの影響を上廻り逆の効果が出てきたとも考えられる。通風抵抗の増加については空気室通風圧の増加が約0.2 mmAq / 100 hr、炉内圧の増加が約0.17 mmAq / 100 hrがあることから煙路系統内の汚れがある程度推定できる。第2-16図

ロ) 昭星丸

経年的な速力、回転数の低下が見られるが船体汚れの影響もあつてボイラの汚れによるものかどうかの判定はできない。燃料消費量はいくぶん増加しているが、出力の測定がされていないので燃料消費率の算定ができない。しかし概略出力×回転数³と仮定すると馬力あたりの燃料消費はいくぶん上昇しているように思われる。出口ガス温度、過熱蒸気温度についても汚れのための経年的な変化はあまり見られず、第2-17図に示すように節炭器給水入口出口温度差についてもあまり変化は見られない。

ハ) 東京丸

建造初期においてバーナトラブルのため、燃焼がやや不良であつたため正確な資料は得られなかつたが、この原因のためか特定の負荷減少の部分を除いては燃料消費率にもあまり変動はなく、過熱蒸気温度も上昇している。これは燃焼状況が良好に改善いためではないかと思われる。わずかにファン出口圧がいくぶん増加し節炭器給水出口温度がいくぶん低下していることが汚れの影響を示している程度である。第2-18図

ニ) 德島丸

第2-19図からわかるように、燃料消費量は時間的にはほぼ一定値をとつているから、これを基準にして他の測定結果の経年的な変化状態を比較してみる。まず、回転数は時間とともに低下する傾向が認められこれは新造当初から1,000時間附近まで特に著しい。しかし、速力は回転数の低下につれて比例的に減少するとは限らず、積荷の状態、天候等の影響を受けることが考えられる。過熱器出口蒸気濃度は、2,000時間附近まで上昇の傾向を示すが、自動制御装置とも関連するため、単に過熱器の汚損が原因であると断定することはできない。排ガス温度については、平均約0.05°C/100hr程度上昇が認められたが、予熱空気温度もいくぶん上昇しており、この影響を考慮すればこれも単に外部汚れが原因であるとはいえない。

以上、ディーゼル船3隻、タービン船4隻の調査結果を示したが、これから、汚れの状態を判定することは、はなはだ困難であつて、さらに調査を進めて行きたい。

第2-6表 K.K. S.S.

丸

新造年月日								
Engine型式								
Boiler型式								
Boiler外部掃除年月日								
使用燃料(発熱量、元素分析)								
年月日(掃除後の日数)								
Boiler運転時間 / week								
平均速力 knot								
Eng. 回転数 r/m								
Eng. 出力 S.H.P.								
蒸気消費率 Kg/S.H.P.h								
Generator出力								
同上蒸気消費率 Kg/S.H.P.h								
F.O.消費量 Kg/h								
燃油圧力 Kg/cm ²								
燃油溫度 °C								
Boiler蒸発量又は給水量 Kg/h								
蒸気圧力 Kg/cm ²								
蒸気溫度								
温	給水 Economizer 入口							
度	給水 Economizer 出口							
°C	炉内溫度							
	Flue gas S.H. 入口							
	Flue gas S.H. 出口							
	Flue gas Eco. 入口							
	Flue gas Eco. 出口							
	Flue gas, air pre. 入口							
	Flue gas air pre. 出口							
	Up-take gas temp.							
	予熱空氣溫度							
	Room temp.							
通風力	Fan 出口							
	Air - casing							
	炉内							
	S.H. 入口							
	S.H. 出口							
	Eco. 入口							
	Eco. 出口							
	Air pre. 入口							
	Air pre. 出口							
	Up-take							
	煙路内2点間の静圧差							
	CO ₂ 又は Gas 分析値							
	Soot-cloverの使用回数回/day							
	風向							
	風力							
	海の状況 (気象状況)							

第2-7表 K.K.

M. S.

丸

新造年月日												
Engine型式												
排ガスヒーター型式、H.S.												
外部掃除年月日												
使用燃料(発熱量、元素分析)												
年月日(掃除後の日数)												
排ガスヒーター 使用時間												
平均速力 knot												
機関出力 B.H.P												
燃料消費量 Kg/h												
排ガスヒーター 蒸発量又は給水量 Kg/h												
補給水量 Kg/day												
蒸気圧力 Kg/cm ²												
ヒーター入口 Gas temp. °C (Eng.排ガス temp.)												
ヒーター出口 Gas temp. °C												
ヒーター入口通風力(マニホールド) 圧力												
ヒーター出口通風力												
(ヒーター出入口静圧差) mm Aq												
排ガス CO ₂ %												
Soot-blower 使用回数 回/day												

○ Soot-blower の種類、使用圧力、設置場所、噴射源の種類

○ Soot-blower の効果について

● 外部付着物の状況(重量、質的な分布、経年的な変化、腐食状況等)

第2-8表 S.S. 丸

- Soot-blower の種類、使用圧力、設置場所、噴射源の種類

- Soot-blower の効果について

- 外部付着物の状況

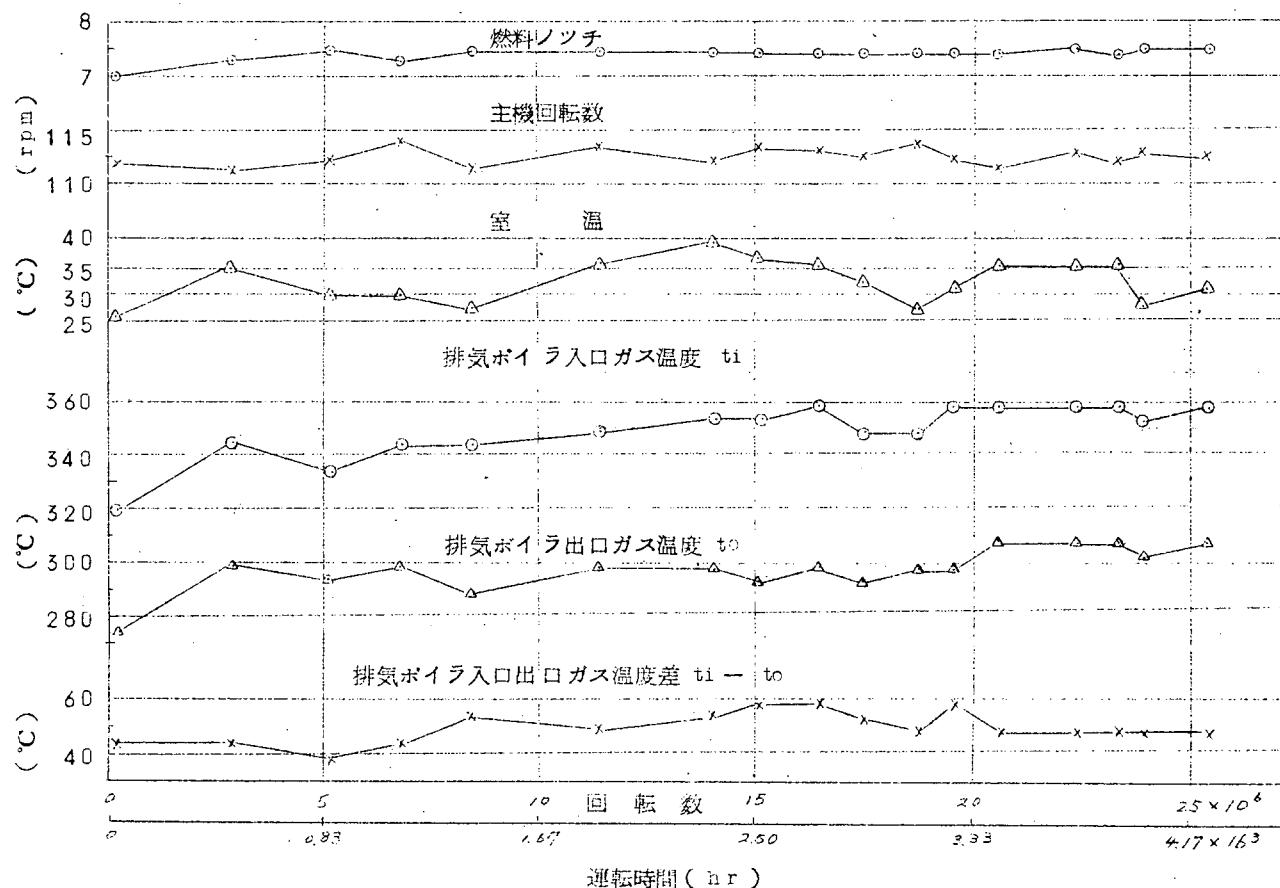
付着物の量的な分布(重量分布)

付着物の質的な分布(付着物の種類、性状、粘着性等)

付着部分の Flue gas temperature の概要

- ボイラ掃除後の経年的な使用状況変化

M. S. はんぶとん丸 (貨物船)

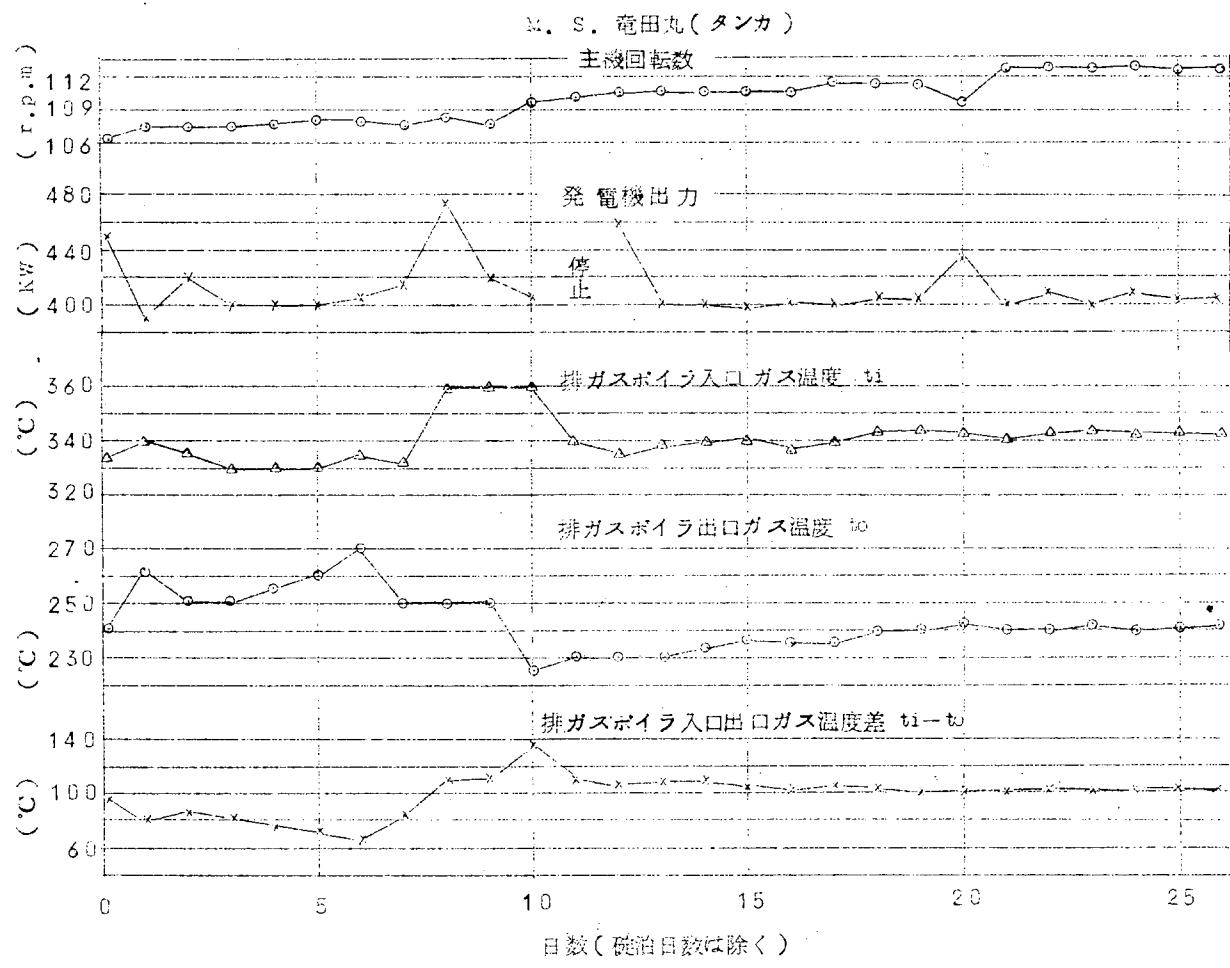


第 2-12 図

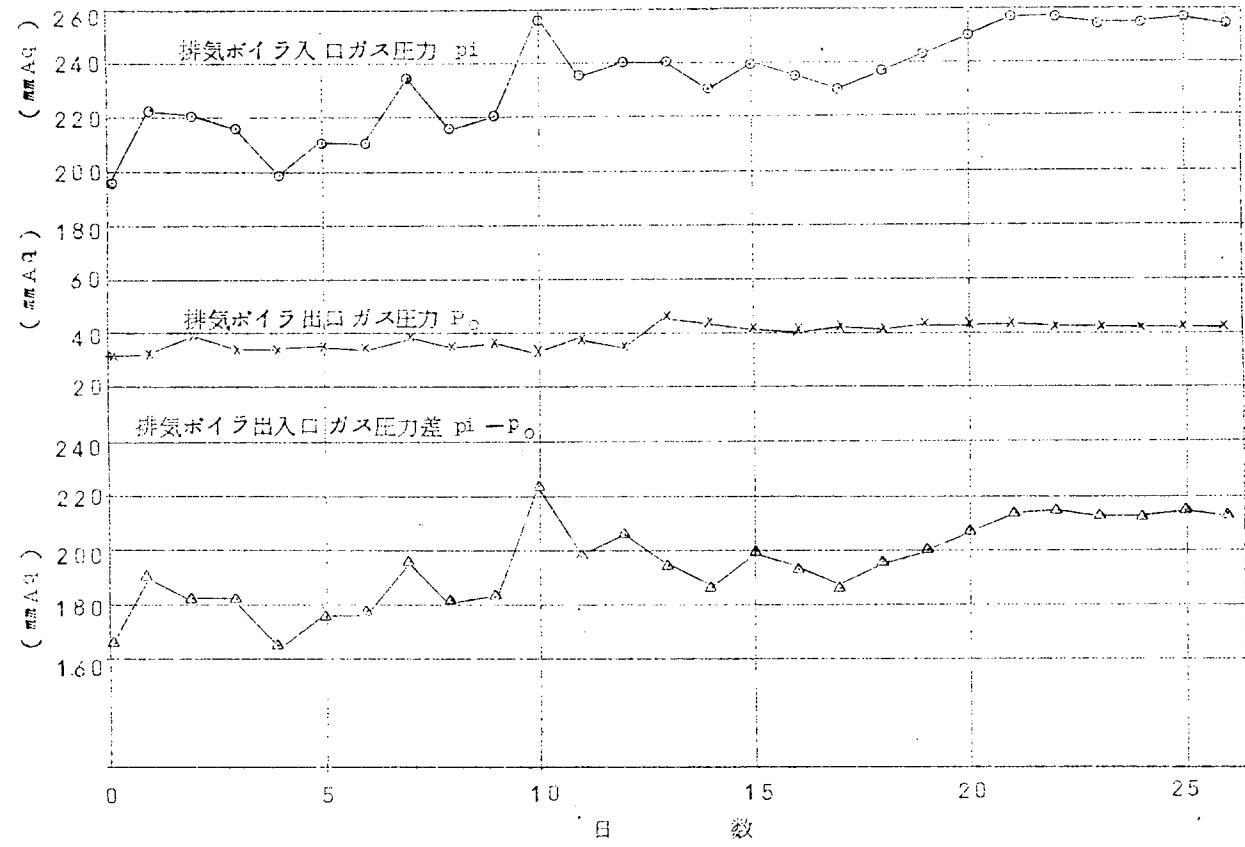
第 2-12 図 付 表

日本郵船	M.S. はんぶとん丸 (昭和36年8月新造)
○ 主 機 関	
型 式	9 U E C
出力 × 回転数	13000 ps × 150 rpm
○ 排ガスボイラ	
型 式	強制循環式
圧 力	7 atg
蒸 発 量	1600 kg/h
○ スートプロワ	
型 式	
使 用 回 数	1回/day

計測値は、ボイラ外部掃除(昭和41年1月2日)以後の結果を示す。



第 2-1-3 図 (A)



第 2-1-3 図 (B)

第2-13図 付 表

日本郵船 M.S.竜田丸（昭和40年1月新造）

○ 主 機 関

型 式 Sulzer 9 RD 90

出力 × 回転数 2 970 0 ps × 119 rpm

○ 排ガスボイラ

型 式 強制循環コイル式

圧 力 17 atg

蒸 発 量 56 00 Kg/hr

● スートブロワ

型 式 回転式空気式ストーブロワ D-4 A 3

三菱Vulcan Soot Blower

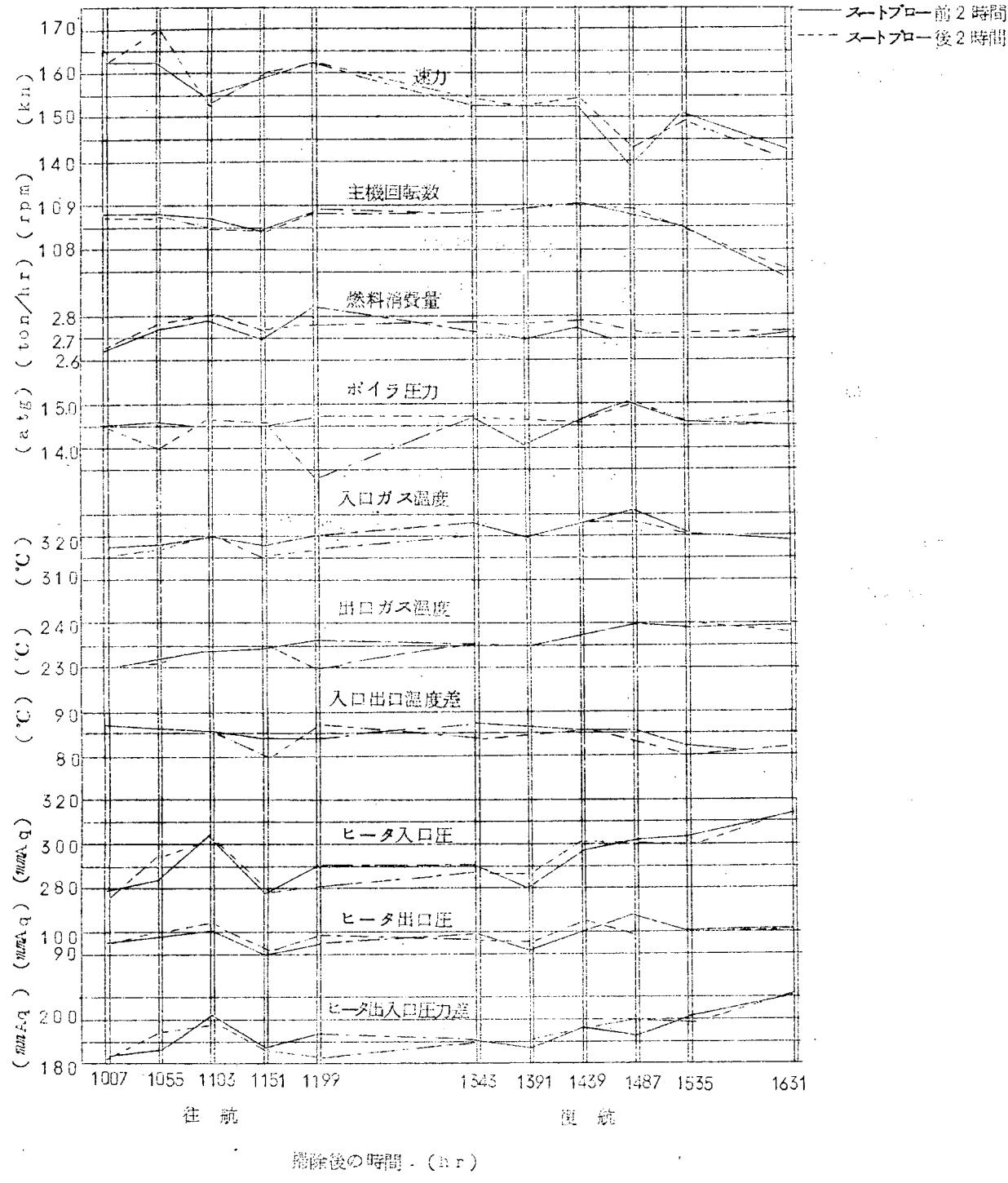
使 用 回 数 1回/day

○ 使用燃料例

比 重 0.9575

計測値は、1航海26日間(碇泊日数を除く)の結果を示す。

M. S. 田島丸（排ガスヒータ）

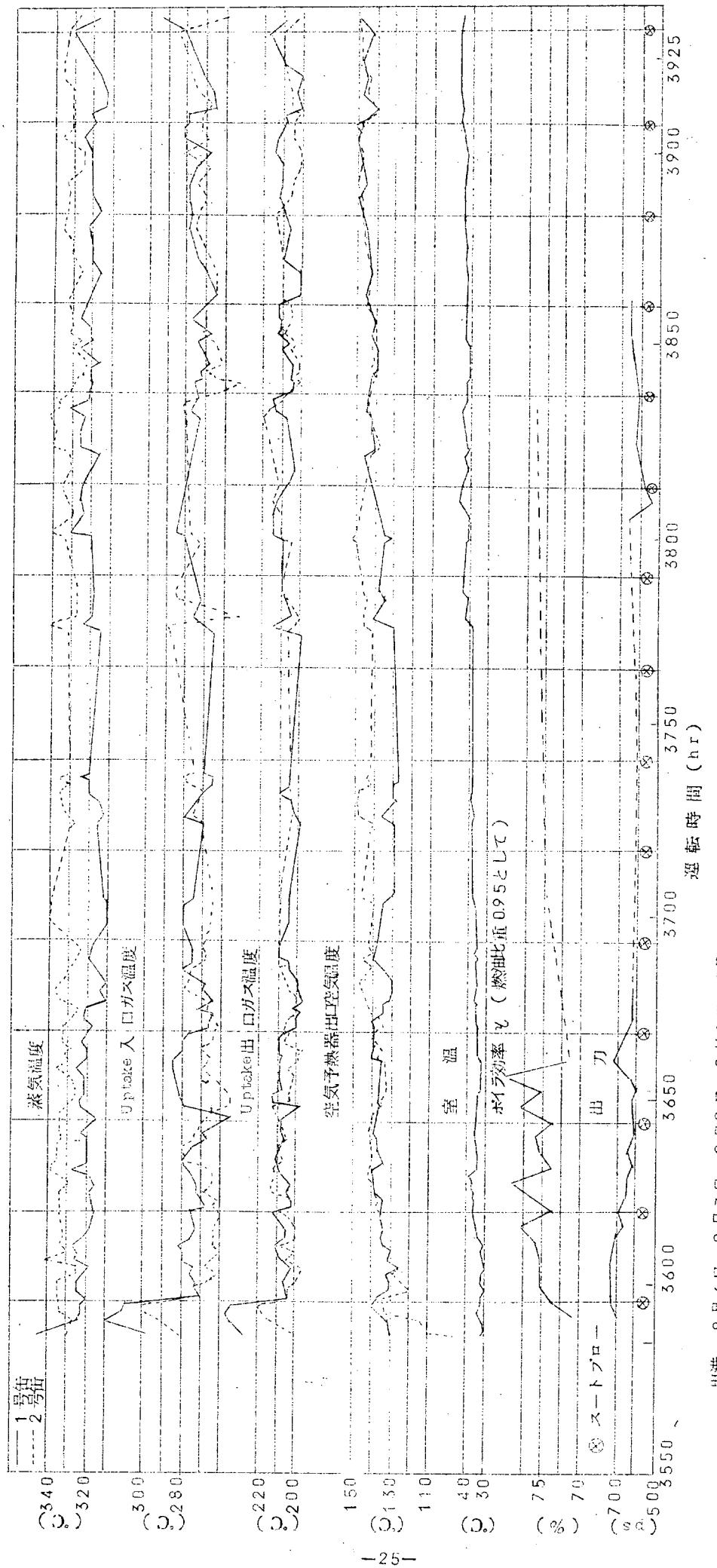


擱置後の時間 (hr)

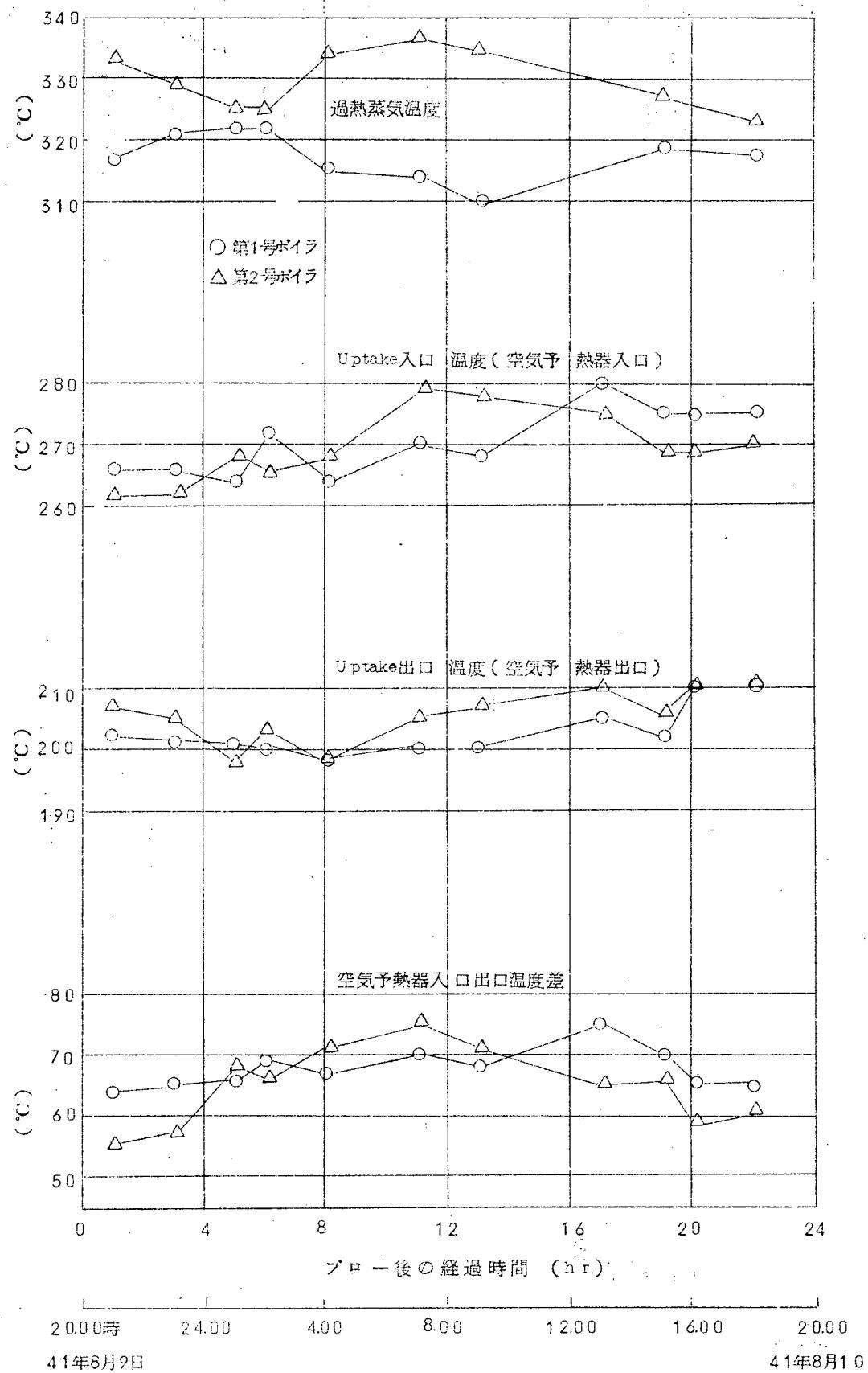
第 2 - 1 4 図

第2-14図 付 表

日本郵船	M.S. 田島丸 (昭和39年10月新造)
○機関型式	I.H.I. Sulzer 9 RD 90
	出力 29700 ps
○排ガスボイラ	I.H.I. 強制循環式 スパイン型
压 力	16 atg
蒸 発 量	5440 Kg/hr
○ストップロワ	
引 由 製	空気駆動自動旋回蒸気噴射式
	蒸気圧力 15 atg
使 用 回 数	2回連続 1度/day at 0.100
○燃油使用例	
比 重	0.9641 粘 度 Red #1 995 sec/50°C (徳山積油)
比 重	0.9347 粘 度 Red #1 537 sec/100°F (カフジ積油)
○計測値は23.00および03.00ですす吹きの前後の値を示すが必ずしもプロワの効果が表われているとは見受けられない。	



第2-15図 (A) 練習船 S.S. 大成丸



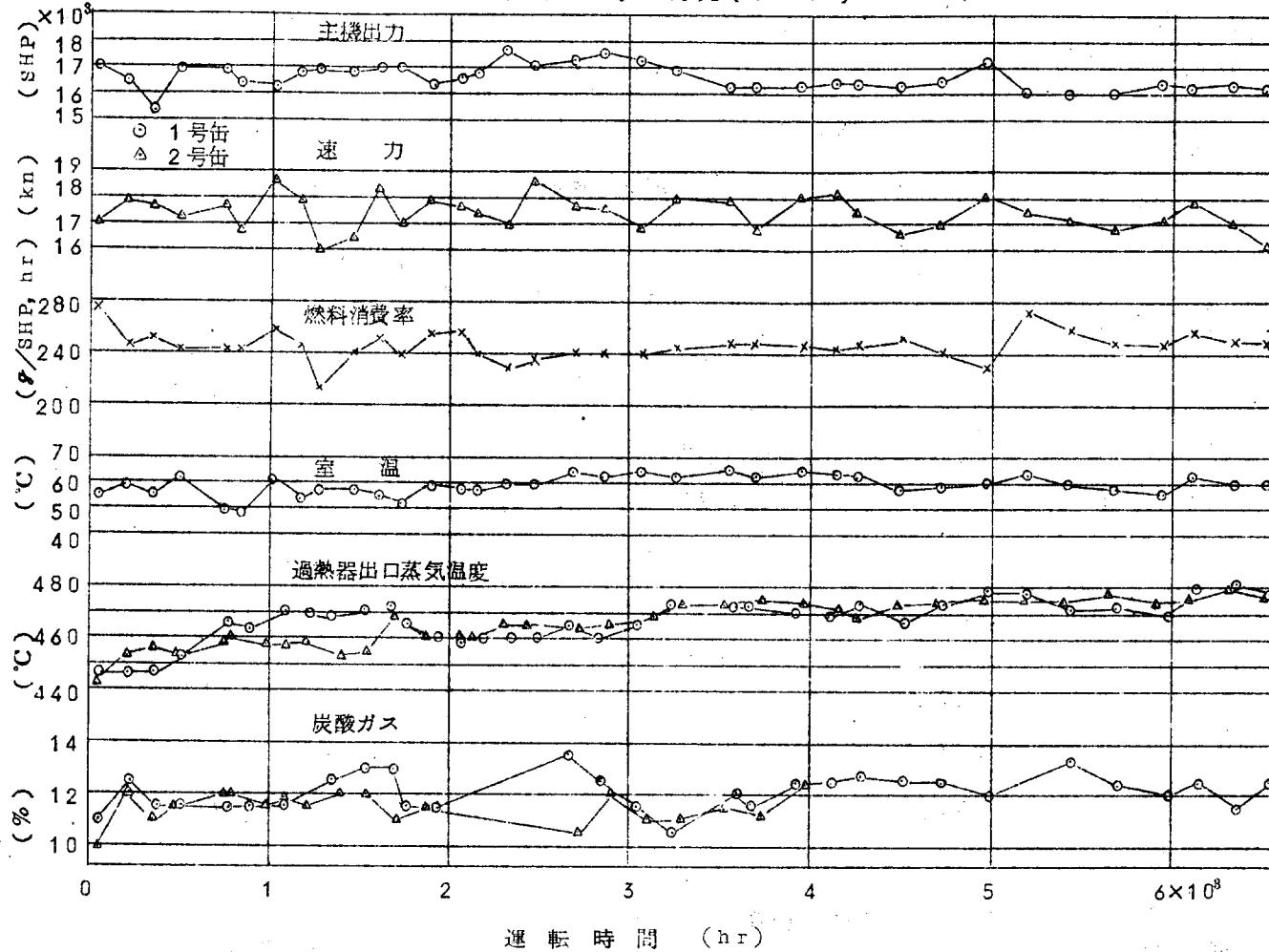
第2-15図(B) 大成丸ストップブロー後の時間変化の1例

第2-15図 付 表

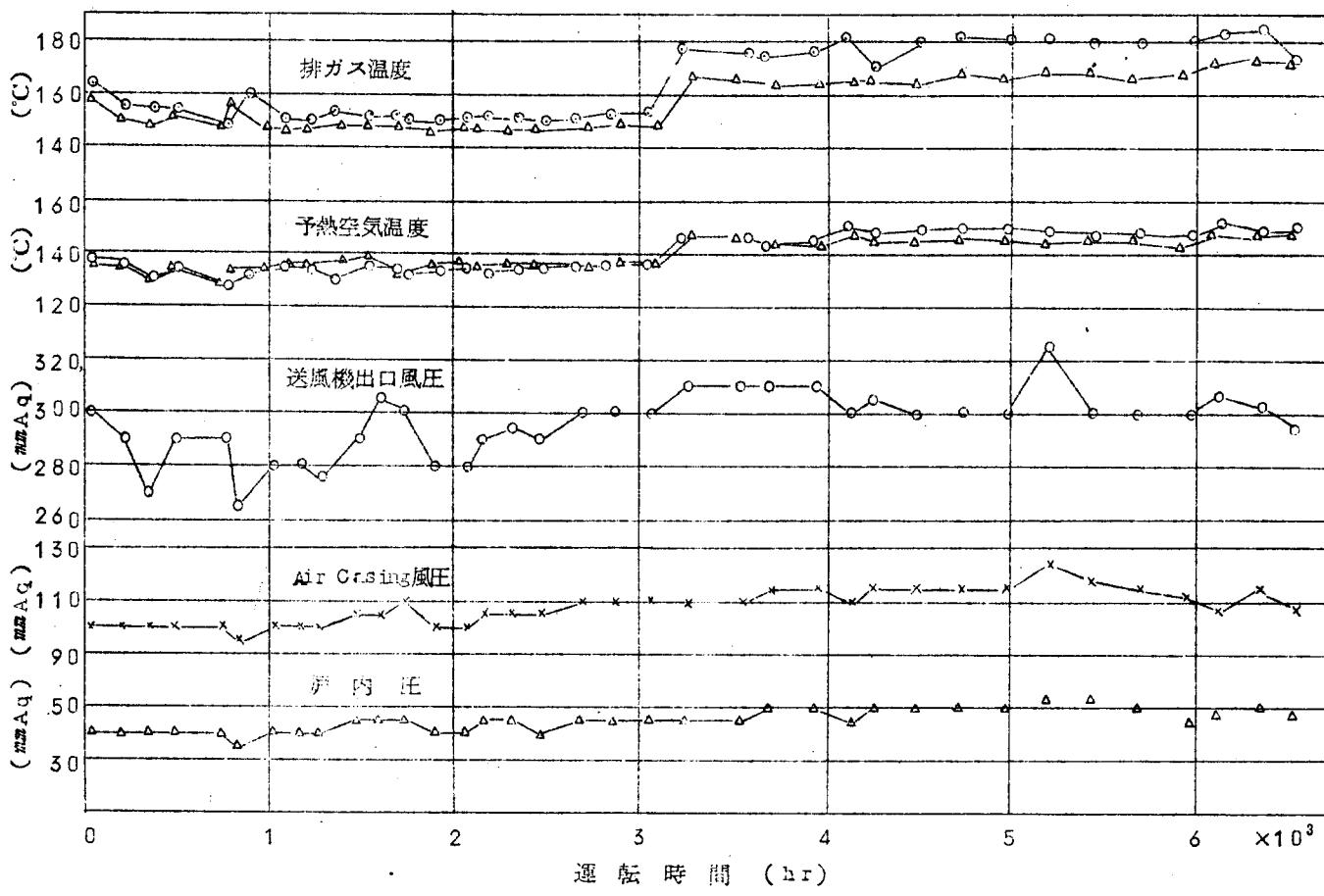
航海訓練所	S. S. 大成丸
機関型式	長崎三菱 2 Cylinder 衝動2段減速タービン
	最大出力 1800 p s 116 rpm
	経済出力 1400 p s 104 rpm
ボイラ型式	三菱 3胴水管ボイラ
	ボイラ圧力 2.0 atm
	蒸発量 常用 4.4 ton/hr
	定格 5.1 ton/hr
	蒸気温度 350°C
	ボイラ効率(計画) 経済 79%
	定格 78.5%
	自動燃焼制御装置 ナシ
	過熱蒸気温度制御装置 ナシ
	給水制御 1要素水面制御
すす吹き	1回/day (2000)

主としてすす吹き後の時間的な汚れ状況を昭和41年7月～のオーストラリア遠航中に計測、燃油、給水量は1直(4時間)ごとの計測であつてボイラ効率の計算には一応燃油比重0.95として行なつた。

S. S. おりおん丸(タンカ)



第 2-16 図 (A)



第 2-16 図 (B)

第2-16図 付 表

大阪商船三井船舶 S.S. おりおん丸 (昭和37年12月新造)

○ 主 機 関

型 式 三菱ウエスティングハウス蒸気タービン

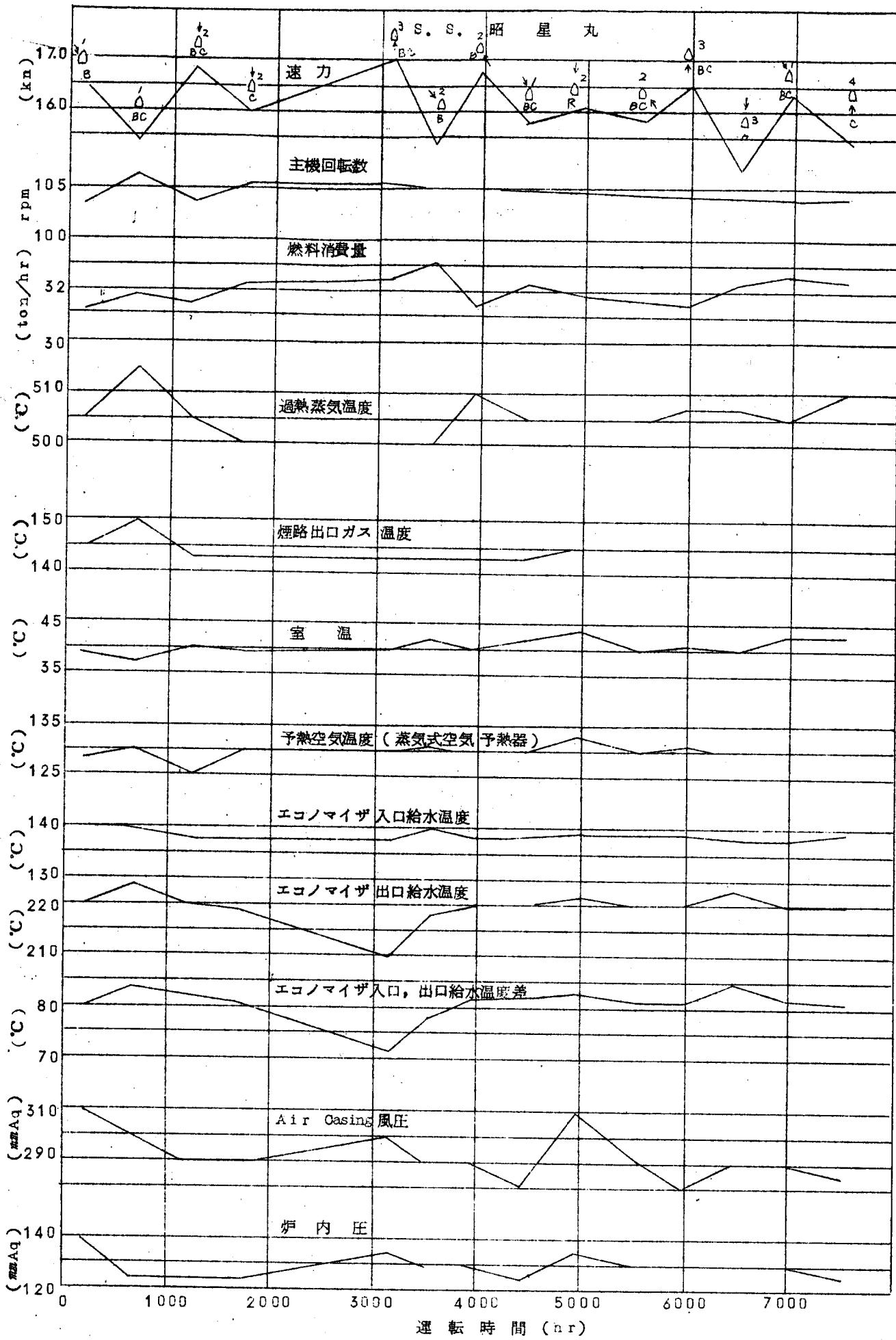
○ 主 ボイラー

型 式 三菱神戸 C-E 2胴船用水管ボイラ

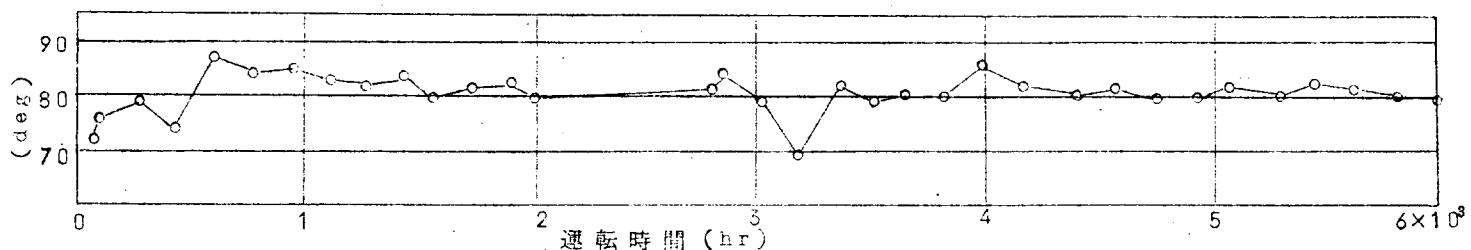
○ スートブロウ

使 用 回 数 3回/day

計測値は、新造以後の結果を示す。



第2-17図 (A)



第2-17図(B) 昭星丸筋炭器入口、出口給水温度差(前図温度差のみの詳細)

第2-17図 付 表

昭和海運 S.S. 昭星丸 (昭和40年9月新造、昭和41年9月入渠)

○機関型式 川崎重工 U160 2 Cylinder 衝動2段減速タービン

最大出力 16000 ps × 110 rpm

○ボイラ型式 川崎重工 BD 50/43 -U型

ボイラ圧力 ボイラドーム 7.5 atg

過熱器出口 6.4 atg

蒸発量 定格 43 ton/hr 最大 50 ton/hr

蒸気温度 定格 515°C 最大 517°C

自動燃焼制御 General Regulator 社

給水制御 2要素式

○ストップロワ Diamond Select airmatic

設置場所 過熱器 IK製造2本 G9E 2本

#1、#2エコノマイザ G9B 各4本

使用状況 2回/day (Second Eng's Watch 6~4)

○バーナ型式 Todd 壓力噴射式バーナ 4 set

噴射圧力 2.1 atg

○使用燃料例

比重 0.9474 粘度 Red. #1 673 sec/50°C

引火点 126°C いわう 3.18% 水分 0.05%

助燃剤使用

○ストップロワの効果について

すすの排出多量。1部 Dead Corner があつてすすの堆積が見られる。

Dead Corner を除いてはすす吹きによりほとんど飛散。

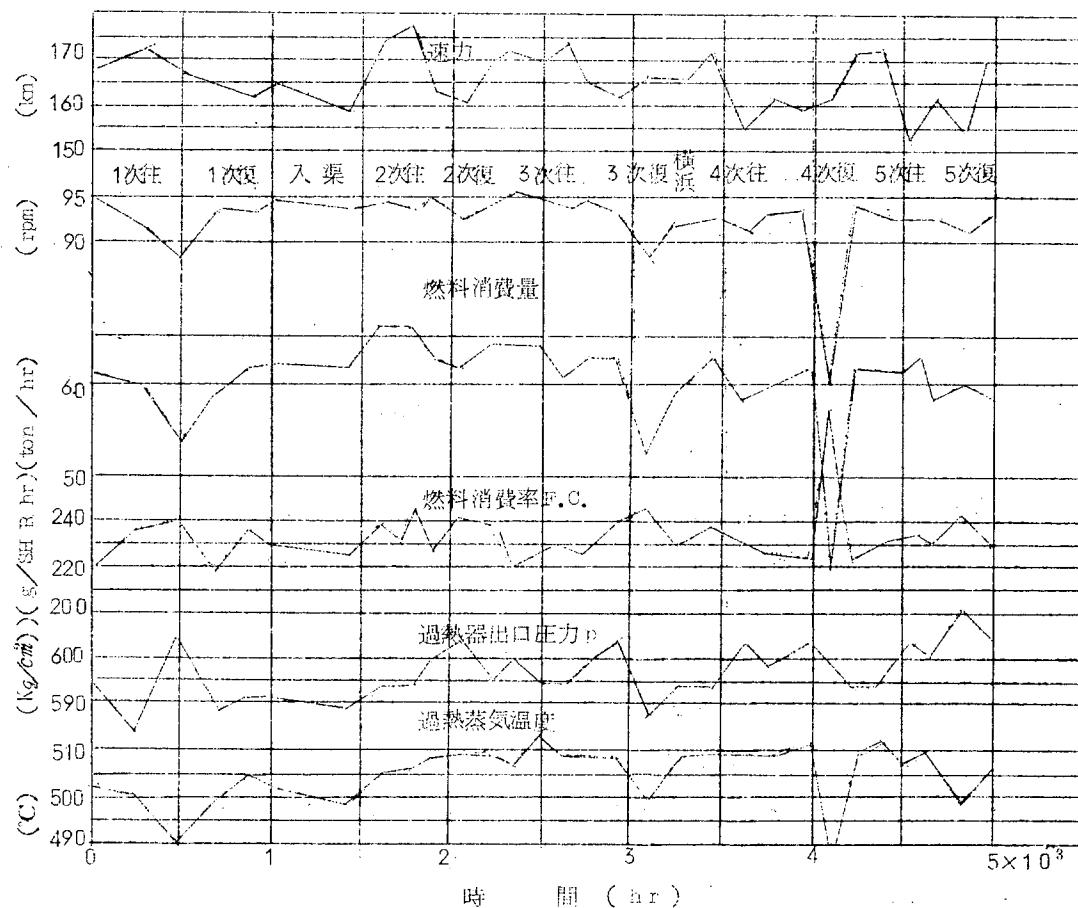
○付着物の状況

燃焼不良により炉内に軟質いく分粘着性のすすの堆積が見られる。

火炉 側面壁水管 たき口中間の高さに帯状 5.0 cm × 1 m

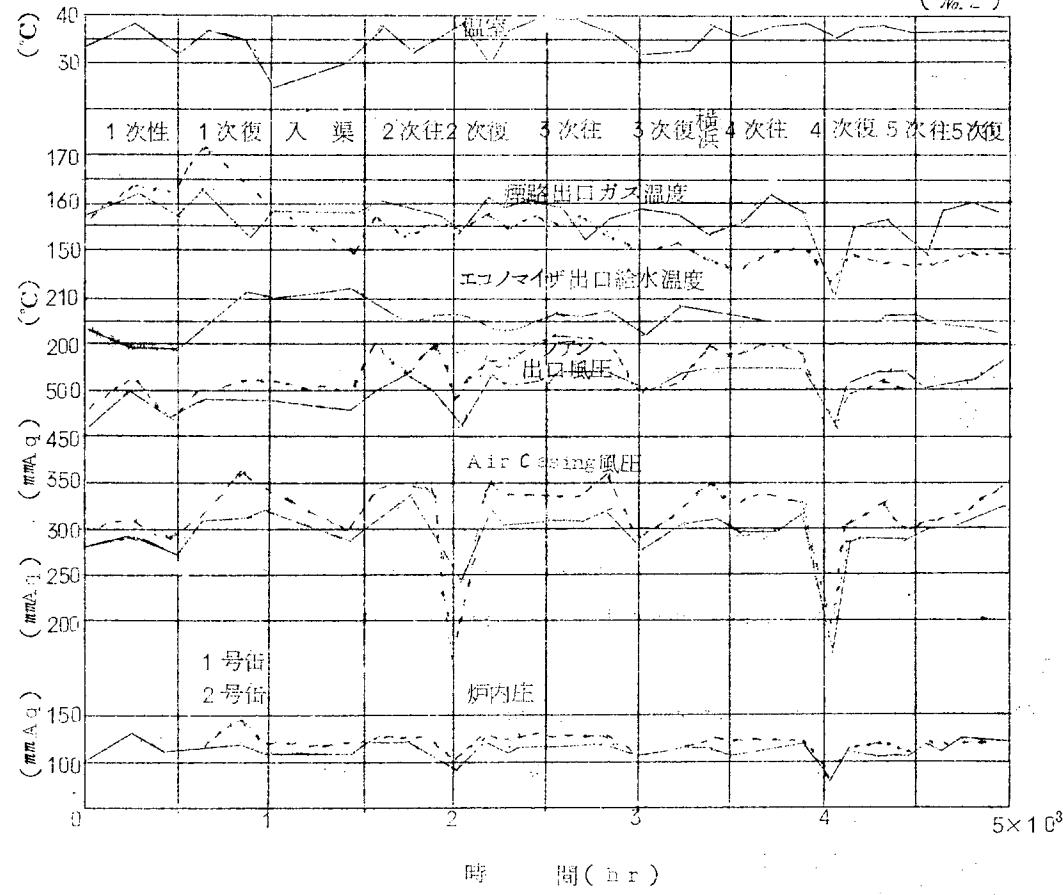
火炉 後部壁水管 中央部約1mの円すい状

水管自身については不明



第2-18図 (A)

(A.2)



第2-18図 (B)

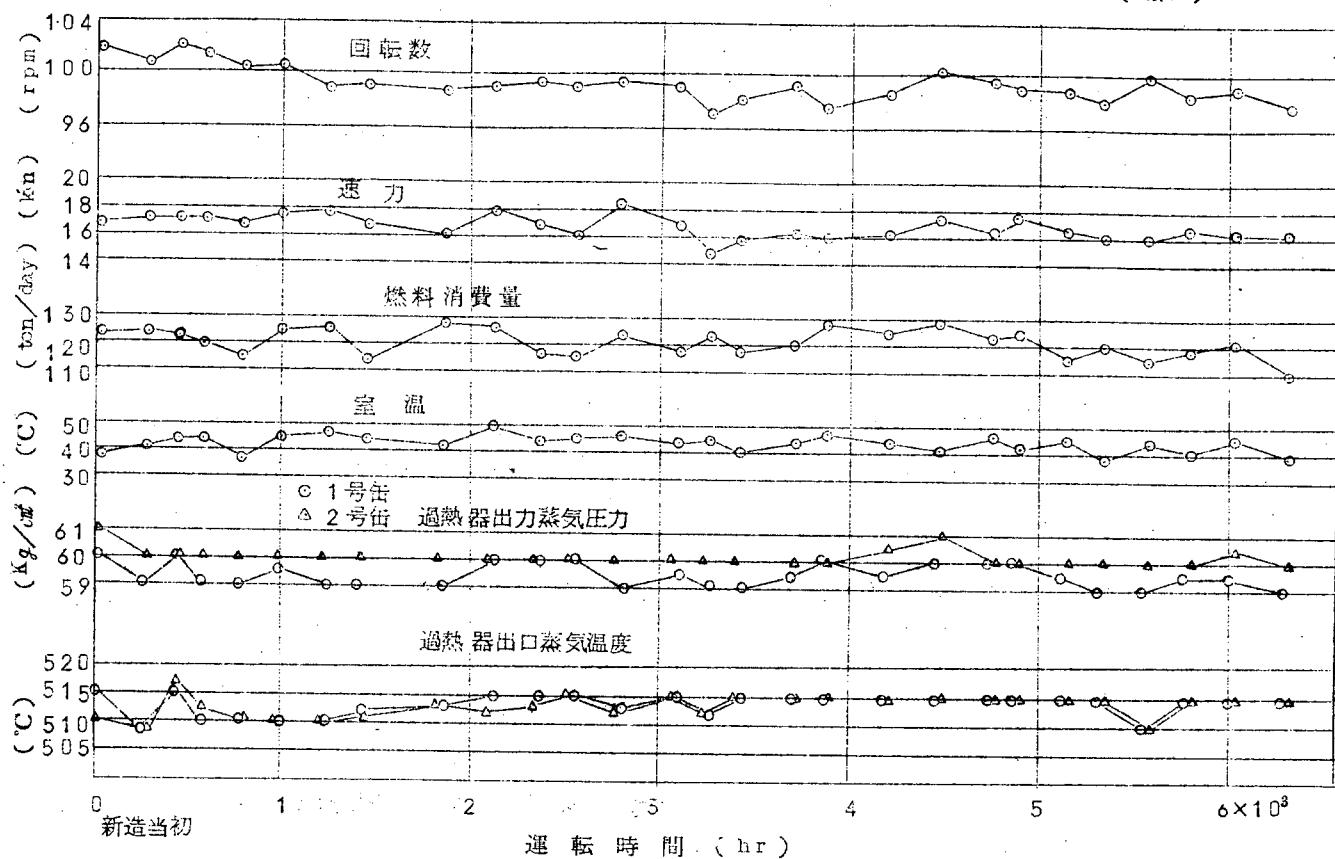
第2-18図付表

東京タンカー	S. S. 東京丸 (昭和41年1月新造)
○機関型式	I. H. I M S T 13 (2 cylinder 衝動2段減速タービン)
最大出力	30000 ps × 97 rpm
定格出力	28000 ps × 95 rpm
○ボイラ型式	I. H. I 重油 2胴式 DSD 船用水管ボイラ 2基
ボイラ圧力	ボイラドラム 7.2 atg
	過熱器出口 6.2.6 atg
蒸発量	最大 5.8 ton × 2 常用 4.5 ton × 2
ボイラ効率	計画 88.2%
○バーナ型式	Wahedao rotary burner 2本×2
○使用燃料例	
比重 0.9607	粘度 Red #1 94.2 sec/50°C
引火点 187°C	いおう 3.45%
○ストップロワ使用回数	2回/day
○運転状況	

初期において燃焼不良が見受けられたが4次航以後安定し良好な燃焼が維持されている。ボイラの外部汚れによる影響は現在までのところほとんど見受けられない。

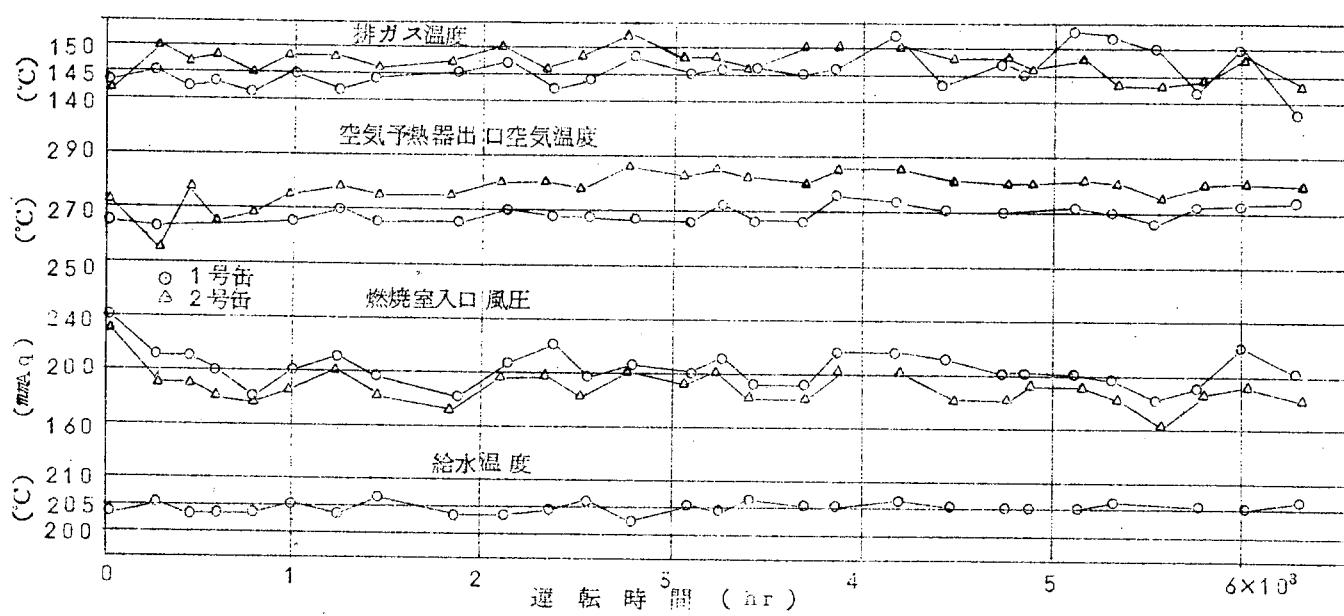
S.S. 德島丸(タンカ)

(16.1)



第2-19図 (A)

(16.2)



第2-19図 (B)

第2-19図 付 表

日本郵船

S.S. 德島丸 (昭和41年4月新造)

○ 主 機 関

型 式 Cross Compound Impulse Marine

Steam Turbine

出 力 24000 SHP (MCR)、22000 (Nor')

○ ボイラー

型 式 Oil Fired Mitsubishi GE U2M-8
type Marine Boiler

圧 力 61.5 atm 515°C

蒸発量 45 t/hr (MCR)、35 t hr (Nor')

○ スートプロワ

型 式

使 用 回 数 2回/day

○ 使用 燃 料

比 重 0.958~0.965

計測値は、新造以後の結果を示す。

2.3 その他のボイラにおける調査(陸用ボイラ)

2.3.1 火力発電所ボイラにおけるボイラ外部付着物

陸上発電所ボイラでは近年急速に重油専焼ボイラが増加し重油専焼に伴ういくつかの問題を提起してきた。そこでボイラ外部の付着物についても種々の調査が行なわれている。

下記に三菱重工業神戸研究所にてとりまとめたボイラ付着物の分析例の代表的なものを示す。第2-9表は燃焼重油中のバナジウムが比較的少ない場合($V_2O_5 = 50 \sim 80 \text{ ppm}$)、第2-10表はバナジウムが比較的多く $V_2O_5 = 150 \sim 200 \text{ ppm}$ のものを示す。

火力発電所はほとんどのものが海岸に設けられているので船用ボイラの付着物についても本質的には類似のものと思われる参考になるものと考えられる。

第2-9表 重油専焼火力発電所用ボイラの付着物の代表例

(燃料中の $V_2O_5 = 50 \sim 80 \text{ ppm}$ の場合)

試 料 採取位置 分析項目	燃 燒 室			板型過 熱器 (高溫 一次)	吊下型 過熱器 前部(高 溫二次)	吊下型 再熱器	吊下型 過熱器 後部(高 溫二次)	横置型低溫			節炭器
	左 炉		前 面	前 面	前 面	前 面	過 熱 器	再 熱 器	上 部	下 部	
	炉 底	バーナ付近の高さ	下部中央	中 央	中 央	中 央	上 部	中 央	中 央	中 央	
		前 壁	后 壁	右炉側	右炉側	—	中 央	中 央	中 央	中 央	上部中央
PH(2/100m)	3.2	5.6	4.25	4.00	3.5	2.75	3.5	2.75	2.70	2.70	2.60
灼熱減量 (%)	9.26	10.2	10.8	13.0	11.8	15.8	17.3	21.0	22.3	23.7	38.0
酸不溶分 (%)	16.7	3.92	2.82	6.58	6.32	3.07	3.90	1.56	3.98	8.08	11.0
Total S as SO ₃ (%)	30.8	34.2	36.2	28.8	27.6	32.6	24.4	37.3	22.6	24.7	26.9
Total Fe as Fe ₂ O ₃ (%)	3.44	3.38	4.54	7.66	10.4	20.0	13.0	28.2	49.0	28.5	10.1
V ₂ O ₅ (%)	20.8	26.7	21.3	22.5	26.4	22.1	30.1	12.0	13.6	17.9	13.3
NiO (%)	1.87	0.82	1.53	6.71	5.20	3.88	6.42	2.97	2.02	6.20	11.9
Ca+Mg as CaO (%)	3.08	3.26	3.97	3.98	2.86	2.30	3.64	1.51	1.12	2.74	3.08
NaO (%)	22.7	27.3	29.2	22.9	20.5	15.4	17.6	16.3	6.75	6.00	8.13
水溶成分 (%)	63.3	64.5	69.6	52.4	51.1	66.1	45.4	65.9	35.4	41.6	51.7
水溶性SO ₃ (%)	29.5	34.0	35.2	28.4	26.8	36.4	24.0	37.1	22.1	23.8	26.2
水溶性Fe ₂ O ₃ (%)	0.58	0.05	0.03	0.08	0.19	2.88	0.26	6.76	3.64	2.52	3.23
C (%)	0.06	0.11	0.08	0.07	0.72	1.74	0.66	1.86	2.27	2.41	8.76

第2-10表 重油専焼火力発電所用ボイラの付着物の代表例
(燃料中の $V_2O_5 = 150 \sim 200 \text{ ppm}$ の場合)

試料 採取位置 分析項目	燃 烧 室			板型 過熱器 (高温 一次)	吊下型 過熱器 前部(高 温二次)	吊下型 過熱器 後部(高 温二次)	横置型低温			節炭器	
	左 爐			前 面	前 面	前 面	前 面	過熱器			
	前 壁	後 壁	爐 底	下 段	上 段	上 段	上 段	上 段	下 段		
				右の3	右の3	中央	中央	中央	中央	中央	
PH($\mu/100\text{mM}$)	2.9	2.9	2.75	3.5	3.5	3.1	3.3	2.7	2.7	2.8	2.9
灼熱減量 (%)	14.1	13.4	11.8	6.44	6.64	13.0	12.1	14.5	22.2	33.8	38.7
酸不溶分 (%)	6.00	8.42	17.9	4.28	2.84	24.4	4.12	1.40	2.60	2.40	4.20
Total S as SO_3 (%)	12.3	7.55	7.70	5.93	6.83	14.2	14.2	8.60	15.6	16.3	12.9
Total Fe as Fe_2O_3 (%)	5.38	12.5	14.0	9.54	12.7	11.8	12.9	5.90	13.1	8.15	12.1
V_2O_5 (%)	5.21	49.2	36.7	53.2	52.3	54.7	45.5	64.3	45.9	40.7	33.6
NiO (%)	8.59	11.2	10.0	17.3	16.8	13.0	11.6	7.47	11.8	12.5	12.0
Ca+Mg as CaO (%)	3.75	2.74	3.92	2.58	2.74	3.69	3.11	1.21	1.69	1.85	1.74
Na ₂ O (%)	7.97	3.84	2.78	4.05	3.86	7.30	8.73	4.24	3.11	2.67	1.76
水溶成分 (%)	27.3	15.5	7.15	21.2	14.0	24.3	25.5	22.5	34.8	37.4	33.1
水溶性 SO_3 (%)	12.0	7.24	6.59	4.85	6.24	13.0	14.0	8.67	15.1	16.3	12.7
水溶性 Fe_2O_3 (%)	0.72	0.61	0.65	0.08	0.07	0.53	0.18	1.30	1.56	1.02	0.92
C (%)	1.61	1.19	1.35	1.14	0.77	1.55	1.36	2.45	3.10	2.57	1.10

2.3.2 大阪発電所

昭和41年9月2日関西電力大阪発電所第4号ユニットが定期検査のため運転を停止したので実効調査を行なつた。

(1) ボイラ仕様

型 式	強制循環再熱方式	
蒸 発 量	550 ton/hr	
蒸気条件	ドラム圧力	18.04g/cm ²
	1次過熱器出口温度	440°C
	2次過熱器出口温度	562°C
出 力	156,000 KWH	

石炭専焼(現在) 重油専焼および石炭、重油混焼も行なえる。

(2) スートプロワ

三菱バルカンスートプロワを使用していた。

仕様	ノズル径	2.7 mm ϕ
	蒸気圧力	1.2 ~ 1.3 kg/cm ²
	最短のパイプまでの距離	200 mm

Erosionを防ぐためプロテクタを使用している。

③ スートプロワ運転状態

空気予熱器

噴射時間	40 min
噴射回数	石炭専焼 4時間に1回
	石炭重油混焼 2時間に1回
	重油専焼 3時間に1回

燃 燃 室

ディスラガを使用し、点検して必要のある場合に行なう。特に重油をたいたときに注意する。一定時間ごとに行なわぬのは 1) 過熱蒸気の温度上昇を防ぐ、 2) ポイラ効率を落さないためである。

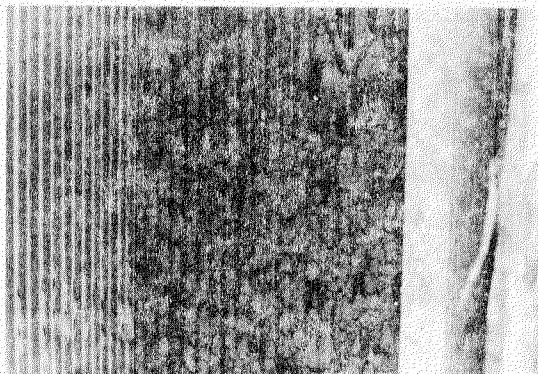
過熱器、再熱器

過熱蒸気の温度上昇が大きいとき、管壁状態を観察してすす吹きを行なう。回数は2~3時間ごとに1回である。重油をたいたとき、石炭の種類を変えたとき特に注意する。壁面上に見られる有効範囲は半径約1mである。

④ 観 察

燃 燃 室

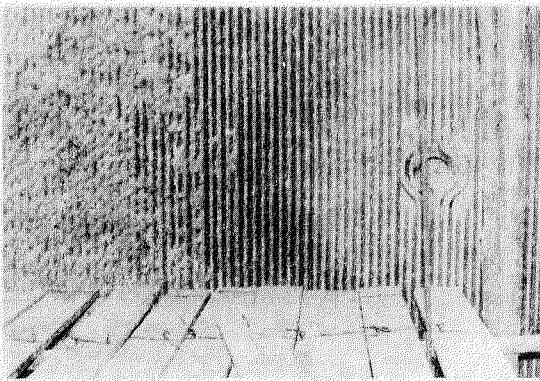
多くのすすが水壁上に付着している。(第2-20図、第2-21図)



第2-20図

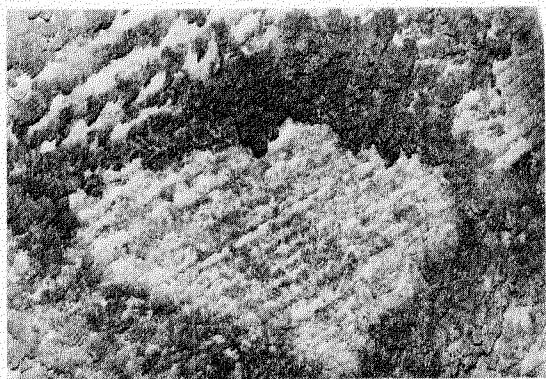


第2-21図



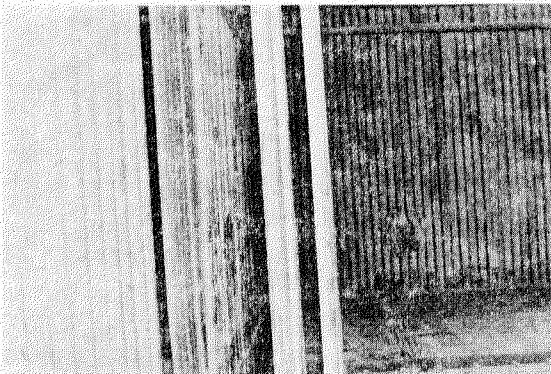
第2-22図

ディスラガによりすすが除去されていることが分る
(第2-22図)



第2-23図

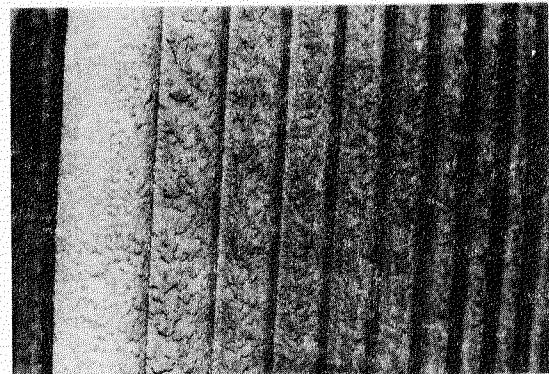
ディフレクションアーチ部には非常に多くのすすが下
つている(第2-23図)



第2-24図

過熱器

1次過熱器 フライアッシュが管に付着しており
管表面は非常にきれいである。すすはガスの流動方
向に対し下流側につもつている(第2-24図)



第2-25図

2次過熱器 第2-25図に示すようなかたいす
すがガスの流動方向に対して管壁の下流側に付着し
ていた。

第3章 燃焼および燃焼生成物付着状況に関する調査

3.1 模型ファーネスによる燃焼生成物の性状に関する実験

3.1.1 実験の目的

実缶調査とは別に、実験室規模の模型炉を製作して、模型実験による燃焼生成物の付着状況、付着物の性状調査を計画した。実験条件が明らかであり、かつ安定な状態でのデータ採取が目的である。

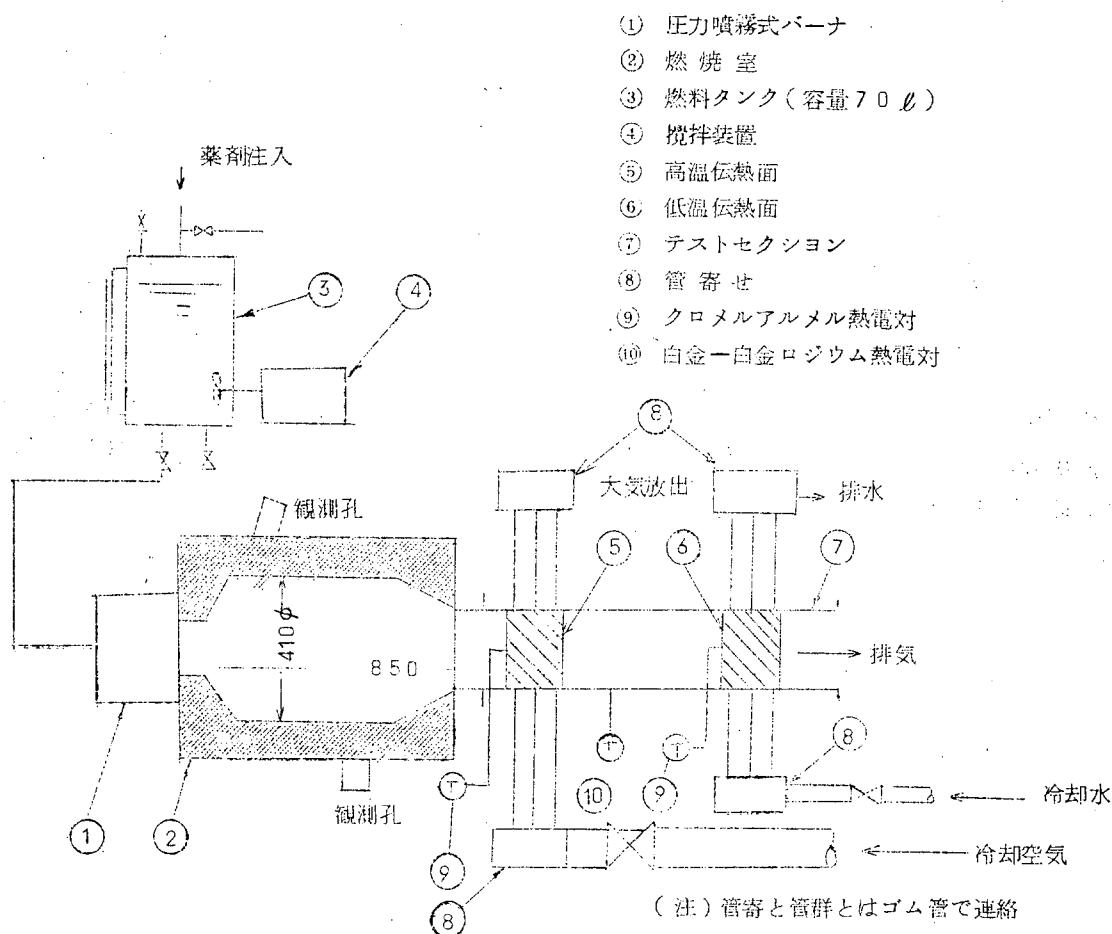
本年度は第一段階として実験の方法を検討して実験装置を組み、予備実験を行なつて実験方法を確立することとした。

3.1.2 実験装置と方法

模型ファーネスを用いて行なわれた外部汚れの実験はこれまでにもたくさん見られる。これらの報告を検討し、またここでの目的、利用し得る条件を考慮して装置を決定した。その概略を第3-1図に示す。

燃料として重油を使うのが理想的だが、ここではその取扱いが困難なので灯油を燃焼させることとした。重油中の成分で、汚れに影響する成分は大略わかつてるので、この成分を含む化合物を灯油中に混ぜて燃焼させ、重油燃焼をシミュレートする。

燃焼ガスは2種類の管群を置いたテストセクションに導く。管群はそれぞれ空冷、水冷を行ない、ボイラの高温伝熱面、低温伝熱面としての役割をさせる。



第3-1図 模型ファーネス装置概略図

各部の要目は次の通りである。

〔燃焼室〕、図中②、円筒形横置、内容量 $45.0 \phi \times 81.0$ L。ガス流速を上げるために炉内 2.0 mm Ag 程度の圧力があるので、密閉形とした。

〔バーナ〕、図中①、圧力噴霧式、噴射圧力 7.4 g/cm^2 、容量 $3 \sim 20 \text{ l/hr}$ 、ここでは 4 l hr で運転する。

〔燃料系統〕、図中③④、④は添加する薬品を混合するための攪拌機である。

〔テストセクション〕 断面 12.0×12.0 の鉄板製ダクト。長さ 110.0 mm 。ガス流速を上げるために断面はできるだけ小さくした。温度計取付穴、ガスサンプル用穴、観測窓を取り付けてある。

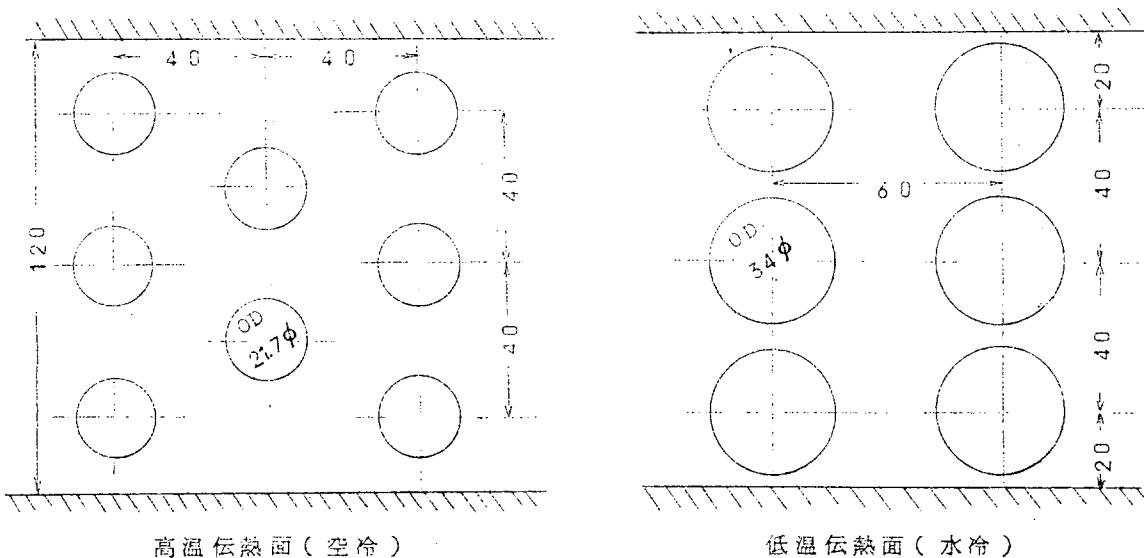
計測量はつぎのとおりである。燃料の性状(混合する薬品)、燃焼ガスの性状と温度、管壁温度、管表面付着物に関する他の実験と同様の調査。

3.1.3 予備実験

実験条件はつぎのとおりである。

〔管群〕 耐食性材料を用いるべきであるが、ここでは通常の鉄製ガス管を用いた。管群の配置は第3-2図に示す。それぞれの管群の第1列目中央の管の表面に 0.5ϕ のクロメタルアルメル熱電対をロウ付けしてある。

〔混合薬品〕 S, Na, V 系化合物の調査を計画しているが、ここではナトリウムメチラート NaOCH_3 , 五酸化ヴァナジウム V_2O_5 をそれぞれ $0.658 / 1 \text{ mg fuel}$ を加えた。別に炉内に NaOCH_3 , V_2O_5 を容器



第3-2図 予備実験における管配置図

に入れて放置した。

〔燃料消費量〕 実験時間 50 時間、消費量 200 l

〔管壁温度〕 高温伝熱面 $400 \sim 440^\circ\text{C}$

低温伝熱面 $85 \sim 95^\circ\text{C}$

〔ガス温度〕 低温伝熱面入口で $580 \sim 650^\circ\text{C}$

以上の条件で予備実験を行ない、次の結果が得られた。

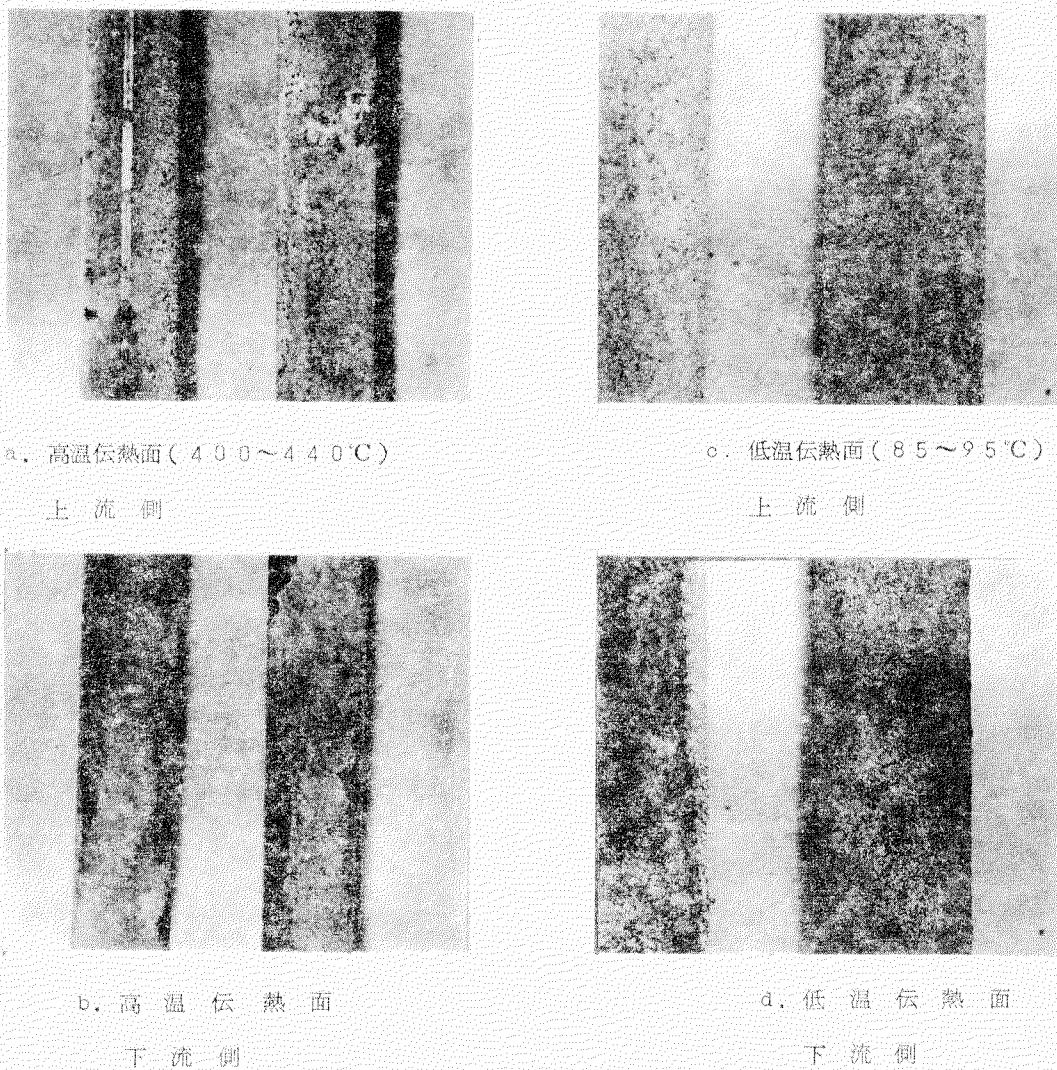
a. 付着量は両管群とも 0.5 mm 程度の厚さで付着していた。

b. 付着物の色は高温伝熱面 上流側：緑色を帯びた灰色
下流側：赤味を帯びた

低温伝熱面はほとんど黄色に近い黄緑色、6本のうち2本の管は下流側が黒色であつた。

第3-3図は付着物を写真で記録したものである。

第3-1表に付着物を分光分析計にかけた定性分析の結果を示す。表をみると、低温付着物と高温付着物で組成に相異のあること、および付着物中には炉内耐火物の成分がかなり含まれていることがわかる。



注) a, c 図の左、右管に見える白い帯は熱電対である。

第3-3図 模型炉による燃焼実験後の管表面の状態

表3-1表 予備実験による採取試料の分光分析結果

試 料	元素	Fe	Al	Ni	Cu	V	Mn	Si	Mg (Sn)	Pb	Zn	Ca
高 温 付 着 物 1		+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
高 温 付 着 物 2		+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
低 温 付 着 物 (黒 色 部)		+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
低 温 付 着 物 (黄 色 部)		+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

全体的にみて定性的な傾向は実街付着物と変わつておらず、このような実験で、条件のはつきりした状態での付着物の調査が可能と結論される。

- c. 付着物の仕方は上流管と下流側で違つてゐる。
- d. 各管群において、管の位置は付着の仕方に関係しないようで、外觀、付着量ともどの管も同じであつた。
- e. 混合する薬品についてはもつと考慮しなくてはならない。今回の実験ではバーナ系統にしばしば障害が起つて安定な燃焼が困難であつた。薬品の種類、混合方法を検討しなければならない。
- 注) 現在混合薬品を変え、管をSUS27のものに変えて実験を行なつてゐる。
- f. 実験であるため長時間連続運転が困難であること。テストセクションの寸法が小さいことなどが影響しないよう、構造を十分考慮しなければならない。

3.2 実物ボイラに取り付けたテストピースによる調査

3.2.1 テストピースの構造

3.2.1-a テストピースの機能

テストピースによる調査は、テストピースのボイラへの取付方法、その構造によつて付着状況、付着物の性状ともに大きく影響される。テストピース側の条件としてもつとも問題になるのはその温度である。テストピースの構造は、温度調節装置を持つていてその表面温度を任意に保持し得るものと、温度調節を持たないものとに大別できるが、得られるデータの信頼性には大差がある。ここでは前者の構造のもの、すなわち温度調節計付の円筒形テストピース(以後プローブという)を製作することとした。さらに、これを空冷式と水冷式に分け、前者は高温伝熱面を、後者は低温伝熱面をそれぞれ代表させることとした。

プローブの取付方法および使用方法は決定されてくるので、表面温度を制御しながら、同一のプローブ数個を併用することによつて、ボイラ側の条件さえわかれば、比較可能で、かつ安定な付着状況における調査が可能となる。なおプローブとは別に普通のテストピースによる実験も行なうが、これの構造はそのつど記述することとする。

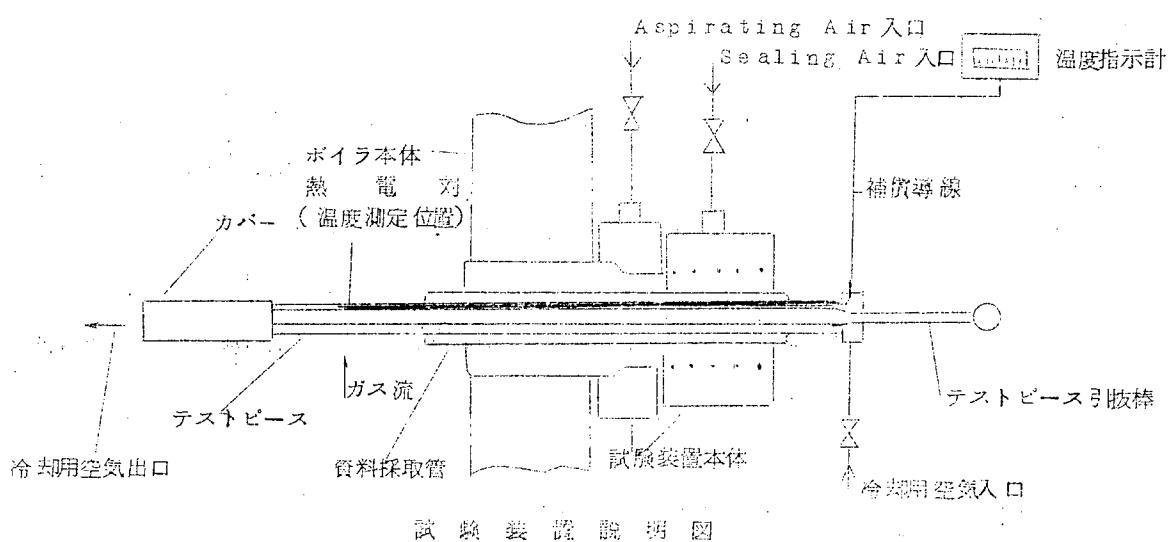
3.2.1-b 空冷温度調節計付テストピース

(プローブ付テストピース実験試験)

① 試験目的

ボイラの熱効率を高度に保つためには、その熱伝導面を常に清浄にしておくことが絶対に必要である。この伝熱面のすす汚れに対して、ストップロクを使用し、蒸気または空気を噴射させてすす吹きを行なっている。ストップロクはボイラ側の使用条件により各種の型式が設計され実用されているが、すす吹き効果については、理論式、実験式等に関する資料がほとんど発表されておらないのが実状である。今日プローブ付テストピースによる実験試験を行ない、諸資料の収集に当たり、合理的な付着物の除去方法について調査研究するものである。

② 試験装置



③ 試験要領

上記試験装置(3組)を炉内の適宜な位置(燃焼室、過熱器等)に挿入し、Cooling air の供給によりテストピースを所定の温度(最高600°C程度)に制御し、その状態におけるすす付着状態を試験する。

④ 試験項目

- | | | |
|----------------|---------|---------------|
| 1) すす吹き圧力および時間 | 3) すす分析 | 5) その他付着状態の調査 |
| 2) すす付着厚さおよび色別 | 4) 写真撮影 | |

注) 試験調査にはすす吹き圧力のノズルあるいは分析時の器具(または薬品)等試験条件の確認を要す。

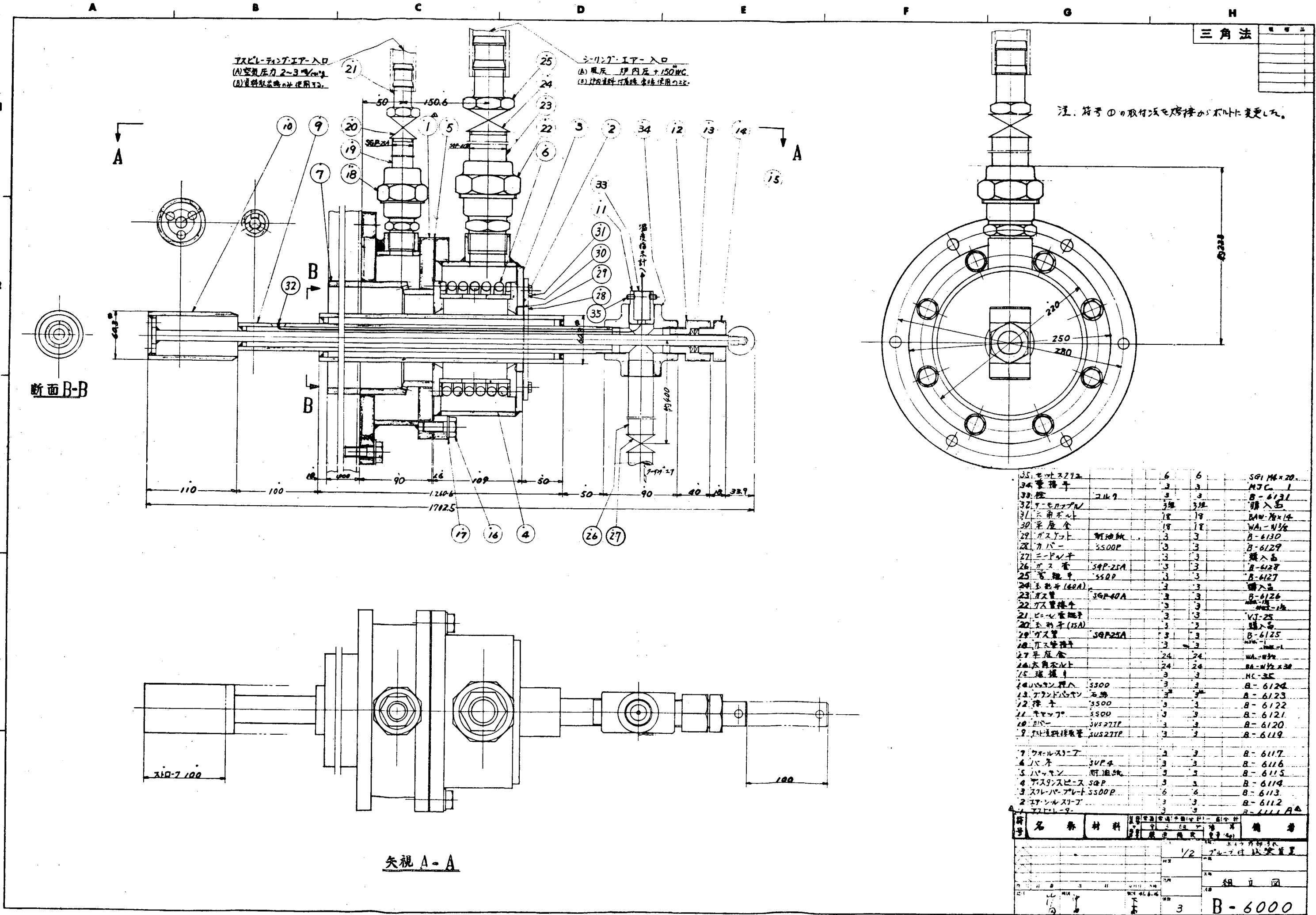
⑤ 空冷テストピース取扱説明

ボイラ外部汚れに関する基礎調査

実部プローブ付試験装置取扱説明

本取扱要領については組立図B-6000により説明す。(第3-4図)

本図はすすの試料採取中の状態を示している。すなわち②熱電対がボイラ水管外面の温度を検出するところであり、試料は③の部分100mm(⑨の長さ)に付着したものを取り出すことを目的としている。



第3-4図 空冷式テストピースの構造説明図

イ) 実験装置取扱要領

- i) シーリング空気は炉内圧+15.0mmAqを供給する。
- ii) 熱電対で検出した温度(別置の温度指示計)を見ながら予定した温度を保つよう⑦ニードル弁を調整してcooling air の流量を制御する。

iii) ⑩の玉形弁は閉じておき Aspirating air は供給しないこと。

以上i), ii), iii)の要領で試料採取時間経過後、ボイラ外部へ試料を取出す要領を次に示す。

ロ) 実験装置取扱要領

- iv) 最初⑧取手のハンドルでもつて100mm引抜く。すなわち⑨の100mmの所に⑩が覆うようになる。

v) ⑩玉形弁を開いて Sealing air の供給を停止する。

vi) ⑩玉形弁を開いて Aspirating air を供給する。

vii) ⑩のニードル弁を閉めて cooling air の供給を停止さす。

viii) 次に⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭等と一緒にして炉内より引抜く。

ix) 引抜完了後⑩のカバーを取り付ける。

x) ⑩玉形弁を閉める。

以上で1回の試料採取が完了することになる。

3.2.1—c S R 92 水冷式テストピースの構造説明

第3-5図に系統図を示す。

本テストピースは試料付着面としてボイラの蒸発管に相当するものを選定し、この中に水を封入してボイラ燃焼室または煙道に取り付けて加熱し、水管ボイラの蒸発管と同様に管内で沸騰させるようにした。

温度調節方法としてはプローブ内に冷却管を設けて冷却水を流すようにしている。

冷却水量の制御はプローブ内蒸気圧力が一定になるように自力式の調節弁で自動的に行なうようにした。たとえば蒸気圧力を 2kg/cm^2 に調節すれば、プローブ表面は約 130°C に保持されることになる。

第3-6図にプローブ本体の構造を示す。

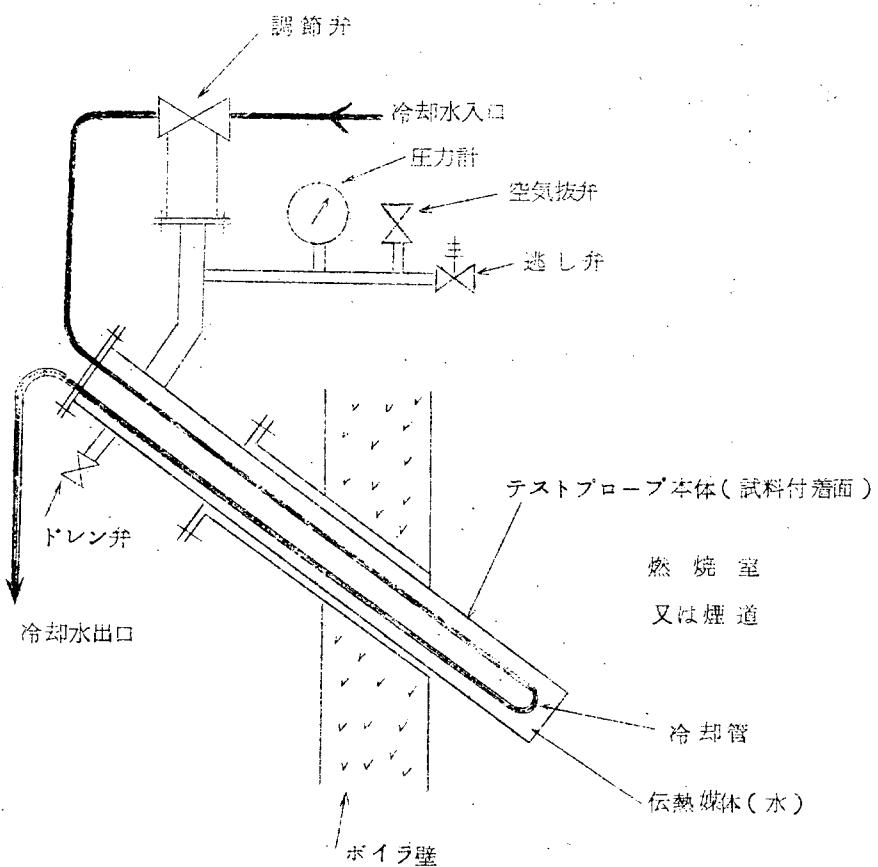
プローブ本体は付着試料その他のによる腐食を少なくするためにSUS27を使用している。また冷却管も冷却水中の酸素等による腐食を少なくするためにSUS27を使用した。

なお、プローブをボイラから取り外すときにケーシング等に触れて試料が脱落するのを防止するためにプローブ表面に5φのスペーサを取り付けた。

第3-7図に調節弁の構造を示す。

作動はベローズにかかる蒸気圧力とバネを平衡させるようにしている。平衡点より蒸気圧力が上昇すればベローズはバネを押上げ、弁開度を大きくし冷却水量を増加させる。蒸気圧力が降下すればバネはベローズを押し下げ弁開度を小さくして冷却水量を減少させる。

調節弁の感度調整は調節ナットにより行ない、ナットを右へ移動すれば感度が悪くなり、左へ移動すれば感度がよくなる。



テストプローブ使用圧力 : $1 \sim 1.6 \text{ kg/cm}^2$ g ($120^\circ\text{C} \sim 203^\circ\text{C}$)

テストプローブ本体 : 50A SUS 27

冷却管 : 6A SUS 27

調節弁 : 6A, 5K, 100°C , 自力式(東洋精器)

圧力計 : 30K

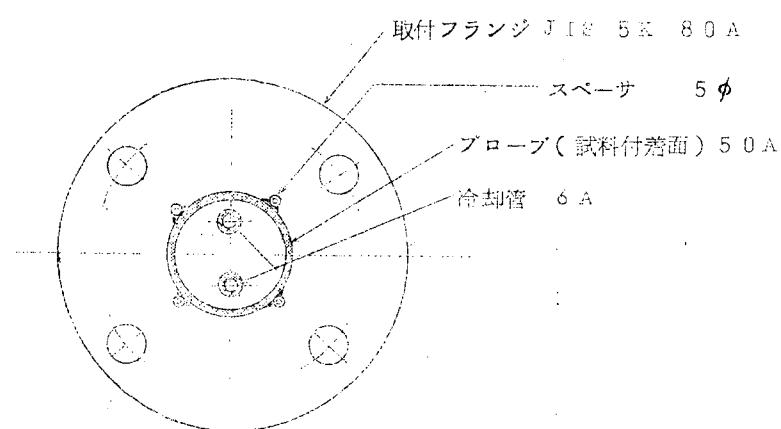
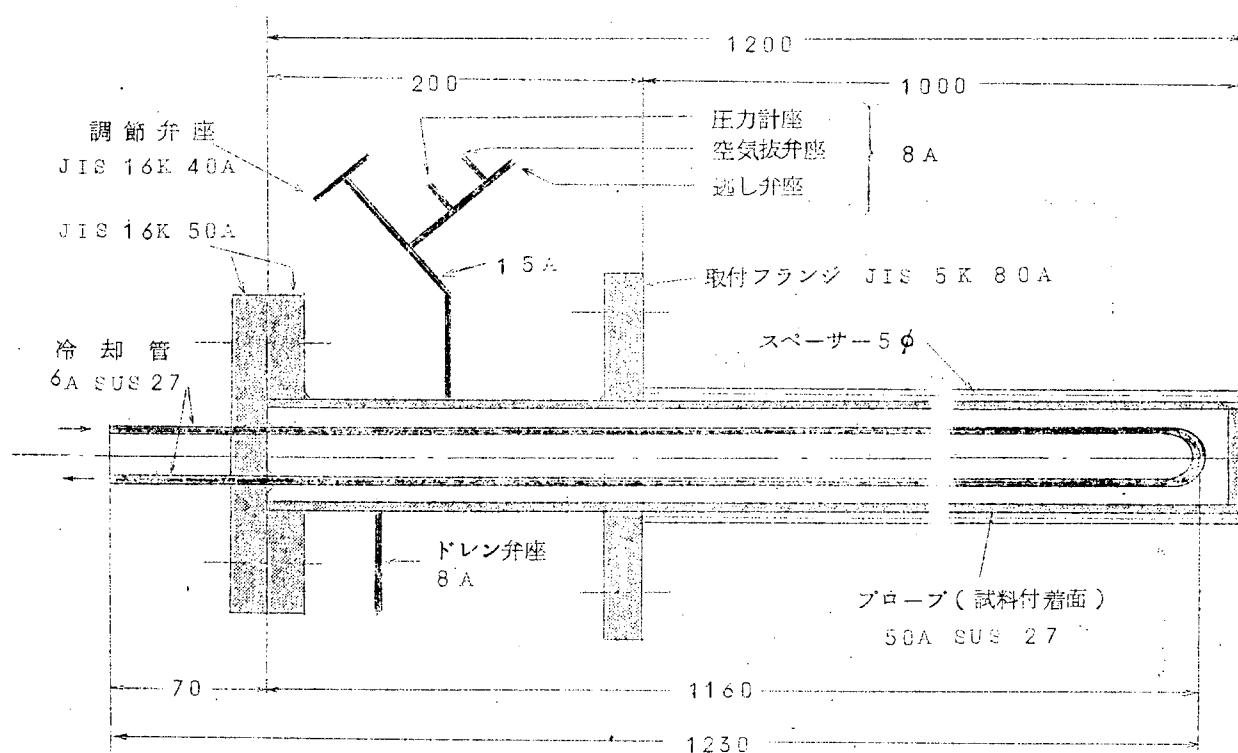
逃し弁 : 8A

空気抜弁 : 8A

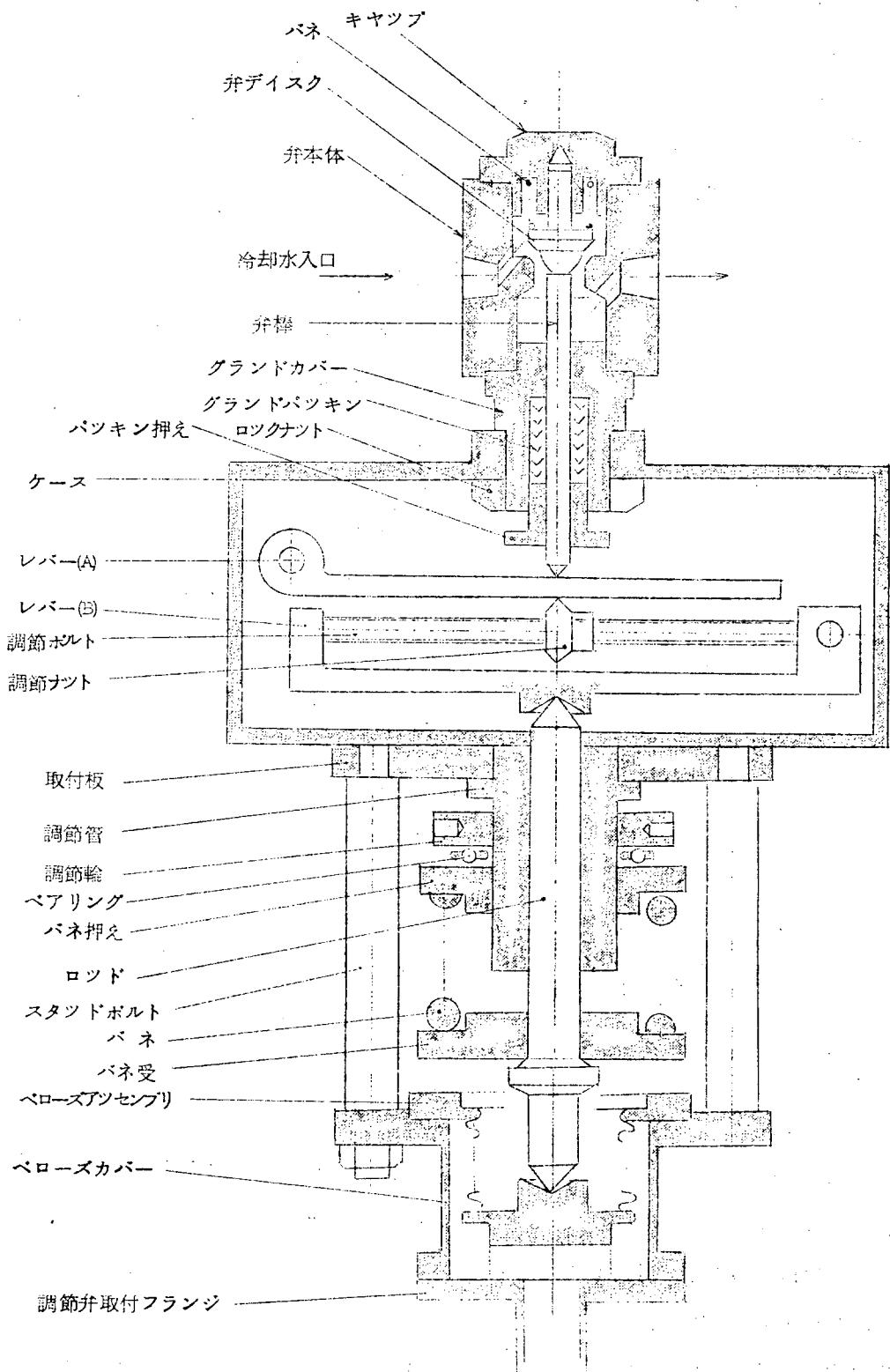
ドレン弁 : 8A

冷却水 : $1.5 \sim 4 \text{ K}$, 200 l/hr

第3-5図 SR 92 水冷式テストピース 系統図



第3-6図 SR92 水冷式テストピース 本体



第3-7図 S.R.9.2 水冷式テストピース 調節弁

3.2.2-a 水冷式テストピースによる実缶テスト

① 取付要領

イ) 取付場所

横浜市鶴見区末広町2丁目1番地

日本鋼管株式会社鶴見造船所

ロ) 取付ボイラ要目

型 式	单筒式水管ボイラ
最 大 蒸 発 量	3000kg/hr
蒸 気 壓 力	14kg/cm ²
蒸 気 温 度	飽 和
燃 料 消 費 量	231kg/hr
使 用 燃 料	C 重 油
バーナ形式	ロータリバーナ
バーナ数量	1基

ハ) テストピースの取付位置

ボイラ煙突

ニ) テストピースの取付数量

2本

ホ) 取付、取外し日時

取 付 昭和41年1月23日

取 外 し 昭和42年 1月 8日

取付日数 47日間

② 試験状況

イ) ボイラの運転状況

取付ボイラは暖房用、風呂用のため朝および夕方は負荷が高く、日中は低負荷となる。また給水の制御がON-OFF動作のために、ドラム内給水が始まると燃焼量が増し、給水が止ると燃焼量は少なくなる。夜間、および休日は休止する。試験期間中の燃焼量は3769kgである。

ロ) テストピースの作動状況

圧力調節弁の作動状態が悪く、ボイラの負荷の変動によりテストピース内部圧力(表面温度)を一定に保つことは困難であり、圧力は多少変動(2~3kg/cm²)した。

テストピースNo.1は安全弁に漏洩があり内部の水が1日くらいで無くなるために圧力調節運転が不可能であつたので、本テストピースは大気圧にて運転した。したがつてテストピースの表面温度はガス温度(最高280°C)と等しくなる。

テストピースNo.3は圧力調節運転を行ない、ボイラの負荷に応じて6~9kg/cm²(164~179°C)の間で圧力

変動があつた。

(3) テストピース付着物の状態

イ) すすの付着状態

一面に黒くなつてゐるが、すすはあまり付着していない。付着の状態はテストピースの先端と根元はあまり付着せず真中あたりが厚く付着している。付着量はテストピースNo.3の方が多量(約2倍)に付着した。

ロ) 付着物の分析結果

第3-2表

分析の方法 発光分光分析による定性分析

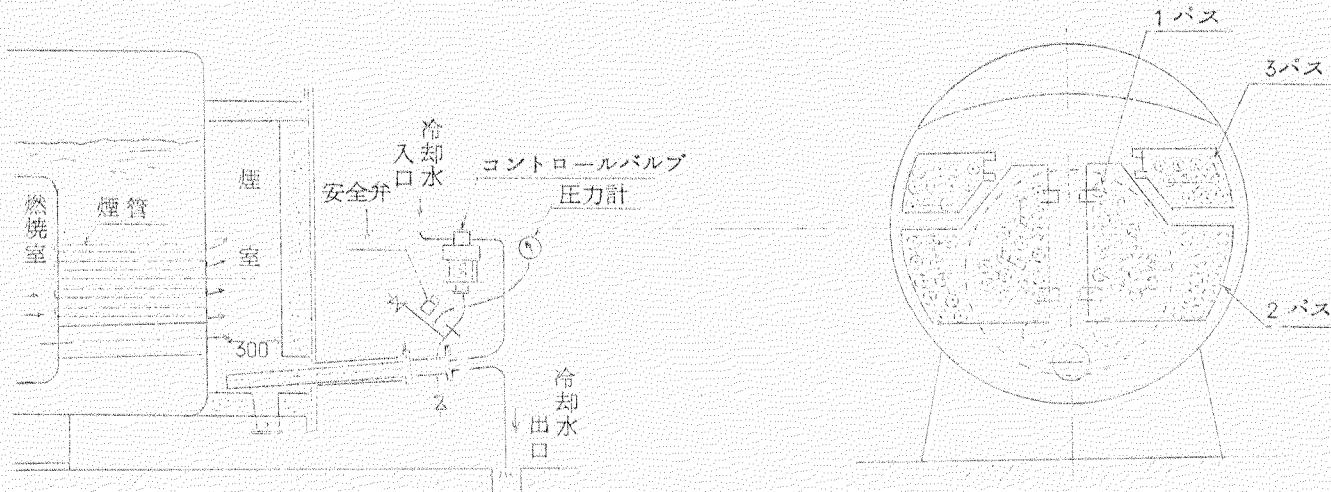
分析場所 日本钢管株式会社技術研究所

分析結果

元素	テストピース No.1	テストピース No.3
Fe	⊕	⊕
Ni	+++ +	+++ +
Si	+++ +	+++ +
Mn	+++	+++
Cr	+++ +	+++ +
Mg	+++	+++
Pb	+	+
Sn	+	+
V	+++ +	+++ +
Ti	+++	+++
Al	+++ +	+++ +
Mo	++	++
Cu	+++	+++
Na	++	++
Zn	+	+
Ca	+++ +	+++ +

3.2.2 一〇 水冷式テストピースによる実験テスト

① 設置場所および条件



第3-8図 プローブ取付図

イ) 装置設置場所 平川鉄工所製炉筒煙管 ポイラの煙室部分

ロ) 設置方法 (第3-8図参照)

本体に既設の爆発扉をはずし、テストピースを約5°傾斜させて挿入した。

コントロールバルブはメーカーによれば垂直に取付けることとのことで垂直になるように接続管を別注し、取付けた。

実験は2回に別れる。第1回は燃料に助燃剤を加えた場合、第2回は助燃剤を加えない場合である。

第2回目にはプローブ封入水の漏洩がひどくなつたので、プローブに水面計を取付けて液面監視を行ない、封入水の漏洩分をそのつど補給することとした。

なお設置ボイラはON-OFF制御のため、夜間負荷の軽くなるときは、設定圧力は1kg/cm²程度に低下した。

以下調査結果について述べる。

② テストプローブ調査結果

テストプローブを平川MP5-0内に設定して3週間運転を行なつた後、試料の観察、写真撮影、採取を行なつた。次にテストマシンによりすす吹きを行ない、限界圧力を測定した。また採取した試料の分光分析を行なつた。

イ) 昭和42年1月8日測定分

燃 料 B、C重油を等量混合

添 加 剤 N E O - P E P (東京油化工業)

プローブ保有水設定圧力 3.0kg/cm^2

プローブ取付期間 昭和41年12月15日～1月8日

観 察

ボイラ内にプローブを設定した状態を第3-9図に示す。

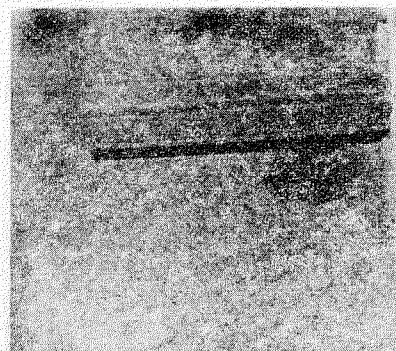
第1層 黒色の粉末状で軽くとぶ(第3-10図)。

第2層 膜状の黒色で、はけで飛ばずナイフで軽く削り取れる(第3-11図)。

第3層 黒褐色でかたい(第3-12図)。

第4層 紅色でかたく管の酸化物が入っていると思われる。

プローブの根元附近は耐火壁が近接し、褐色を呈していた。



第3-9図

限界圧力(P_{cr} , kg/cm^2 , e)

$L = 3.0 \text{mm}$, ノズルD = $6.0 \text{mm} \phi$ を使用した。

第3-5表

第2層	5.8 kg/cm^2	第3, 4層	とれず
-----	----------------------	--------	-----

分光定性分析結果

分光定性判定 十十 強く

++ 十分に

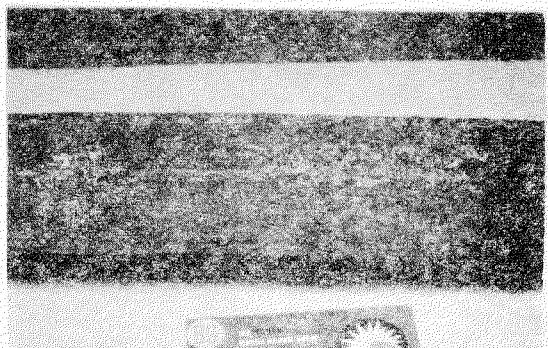
+ 明らか

- 弱く

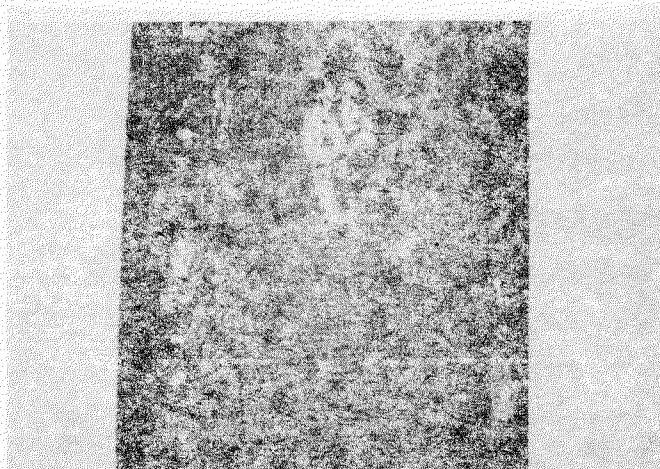
--- 微量

第3-6表

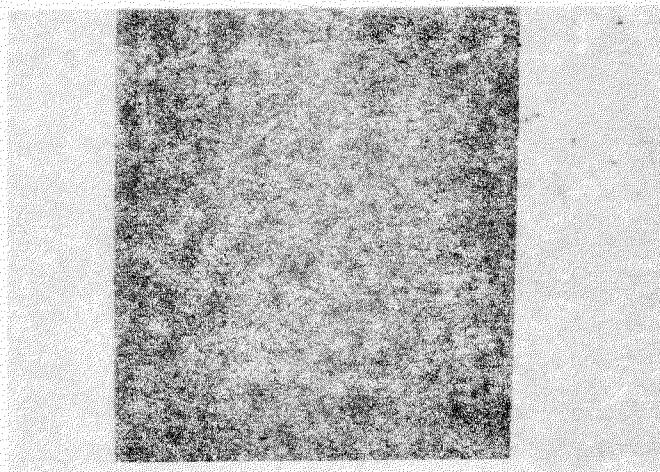
第2層		+++ Mg	++ A1	++ Ni	++ Si	++ V	++ Pb	++ Cr	++ Cd	++ Cu	++ Cu	++ Na	++ Zn	- Sn	- Mn	
第3層	上 部	++ A1	++ Ni	++ Si	++ Cd	++ V	++ Na	++ Cr	++ Cu	- Sn	- Zn					
	側 面	++ A1	++ Ni	++ Cr	++ Cd	++ Cu	++ V	++ Mn	++ Si	++ Mg	++ Sn	++ Pb	+	+	- Zn Mn	
	下 部	++ Mg	+	+	+	+	+	- Na	- A1	- V	- Mn					
第4層		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	



第3-10図



第3-11図



第3-12図

口) 昭和42年2月26日測定分

燃 料 B, ○重油を等量混合

添 加 剤 な し

プローブ保有水設定圧力 3.0 kg/cm², 5

プローブ取付期間 昭和42年2月6日～26日

観 察

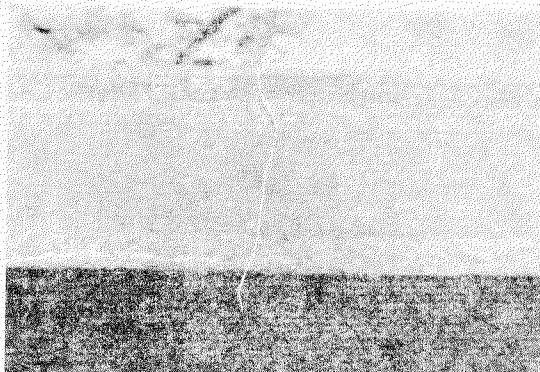
第1層 黒色の粉末状で非常に軽く飛ぶ。(第3-13図)



第3-13図

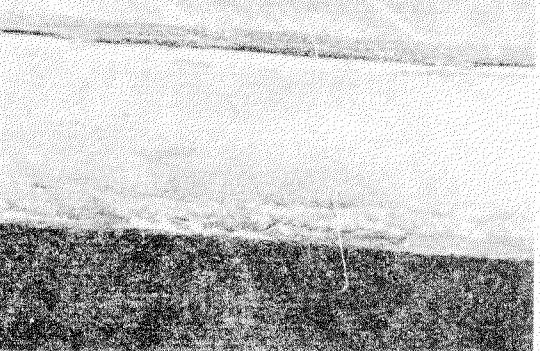
第2層 黒色の粉末状で軽くナイフで削り取ることができる。厚さ約1.5 mm

第3層 黒色でかたく厚さは約0.8 mmで横方向には白褐色の粒が分布している(第3-14図)。



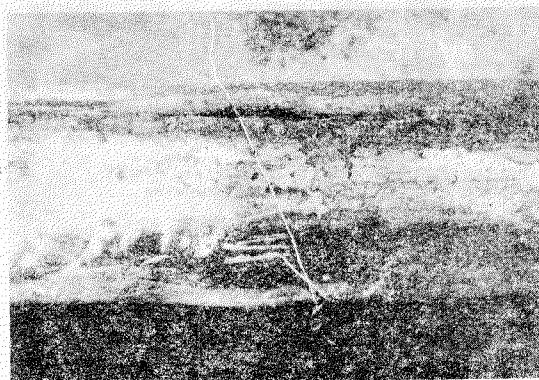
第3-14図

第4層 灰白色のかたい層ですす吹きをしても飛ばなかつた。写真は第4層の表面(第3-15図)。



第3-15図

第3-16図は耐火壁とガス流の境界で灰褐色となつてゐる。



第3-16図

限界圧力 (Pc,r, kg/cm²E)

第3-7表

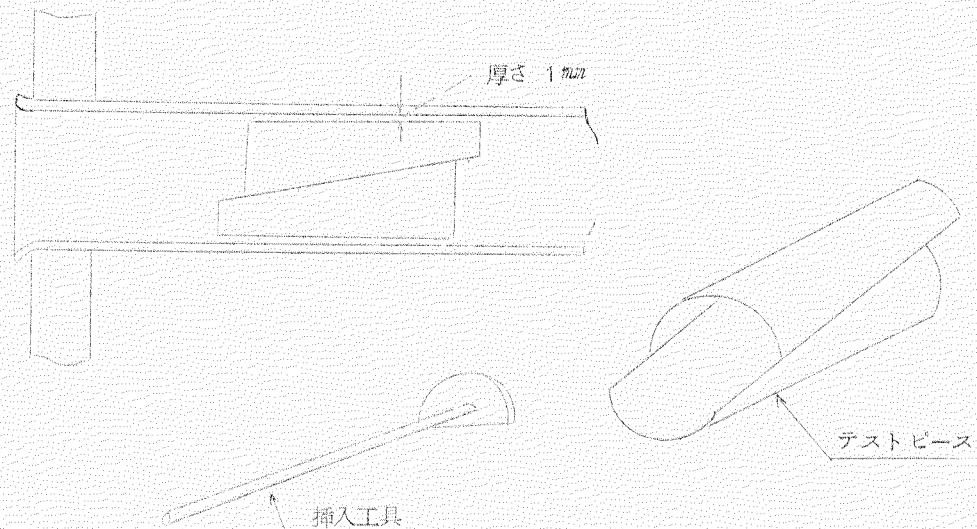
第1層	D=3φ, L=120	0
第2層	〃	0.4
第3層	D=6φ, L=30	3.0
第4層	〃	とれず

3.2.2-○ テストピースによる実缶テスト

(1) 実験方法および装置

煙管内面に付着するすずをそのままの状態で管外へ簡単にとり出したいこと。そのためにはテストピースが必要で、その表面温度はできるだけ管壁温度近くに接近させるために管壁へ密着させたい。また1方向へ流れるガス流にたいして影響しない構造としたい。すずを付着させるには長時間燃焼させなければ容易につかない。そのためには営業中のボイラを使用することとする。

これらの点を考慮してテストピースの構造はつきのようにした。



第3-17図 テストピースの構造

設置ボイラは平川鉄工所製の炉筒煙管ボイラの煙管内面に取り付けた。

ガス温度高中低の3か所に2組ずつテストピースを取り付けたが、その名称を、

ガス温度高温部 (One pass 部) A(上側A'), B(B')

〃 中〃 (two 〃) C(C'), D(D')

〃 低〃 (three 〃) E(E'), G(G')

とした。

② 燃 料

B重油、C重油を50%ずつ混合したものを用い、これに添加剤を混入した場合としない場合を、前者について6週間、後者について3週間実施した。

③ 計 測

ボイラは24時間運転で、休日は運転を中止する。よつて1週間にごとにテストピースを取り出し、付着物の外観観測および付着量を計測した。

④ 調査結果

イ) 付着状況

第1、第2管群(テストピース名、A,A'、B,B'、C,C'、D,D')では明らかに4層にわかれしており、最外層は非常に軽い黒色の層がみられ、厚さは全体の60~70%を占めていた。次に白色の層があり、その次はうすい黒色の層を形成しており、一番下の管壁部は茶かつ色の層であつた。

助燃剤を使用した場合の付着状態を顕微鏡で見ると、下面(マツシユ記号のないテストピース)は35~40μの粒径が砂利のごとく付着しており、上面は数μのものが付着していた。

ロ) 付 着 量

助燃剤を使用した場合のデータを第3-8表(a), (b)、第3-9表(a), (b)、助燃剤を使用しない場合の結果を第3-10表(a), (b)に示す。また、これらの結果の代表例を第3-18図に示す。これらをみると次のようことがわかる。

a. 助燃剤を使用した場合は明らかに付着量の減少していることがわかる。

b. 付着量はほぼ一週間で飽和する。そして興味あることは、第2週目で少し減少する傾向がみられ、第3週目からは再び増加する傾向がみられる。

この傾向は助燃剤の有無には関係しない。

なお第3-18図には排ガス温度の変化状態を示してある。各一連の実験の前には煙管掃除を行なつたが、図はこのときの排ガス温度を基準にして、各実験点における温度の上昇分を示してある。図をみると、付着量の変化状態と排ガス温度の上昇傾向とがよく対応していることがわかる。

第3-8表(a) 助燃剤使用(計測期間 10/23 ~ 11/13)

記号	計測日	全重量(含テス トピース)(g)	増加重量(g)	積算重量(g)	記号	計測日	全重量(含テス トピース)(g)	増加重量(g)	積算重量(g)
A	10/23	905185			A'	10/23	891525		
	10/30	91377	0.8585	0.8585		10/30	89700	0.5485	0.5485
	11/6	91344	-0.033	0.6255		11/6	89760	0.060	0.6085
	11/13	90333	-0.011	0.8145		11/13	90002	0.242	0.8505
B	10/23	80890			B'	10/23	81500		
	10/30	81500	0.61	0.61		10/30	82010	0.51	0.51
	11/6	81659	0.159	0.769		11/6	82015	0.005	0.515
	11/13	81999	0.34	1.109		11/13	82340	0.325	0.840
C	10/23	81352			C'	10/23	80829		
	10/30					10/30			
	11/6					11/6			
	11/13	82479	1.127	1.127		11/13	81369	0.540	0.540
D	10/23	78009			D'	10/23	78300		
	10/30					10/30			
	11/6					11/6			
	11/13	79111	1.102	1.102		11/13	78854	0.554	0.554
E	10/23	86980			E'	10/23	85900		
	10/30	86577	0.497	0.497		10/30	86167	0.267	0.267
	11/6	86500	-0.077	0.42		11/6	861575	0.0095	0.2765
	11/13	86689	0.189	0.609		11/13	86302	0.1445	0.421
G	10/23	88850			G'	10/23	88620		
	10/30	89294	0.444	0.444		10/30	88909	0.289	0.289
	11/6	89320	0.026	0.470		11/6	88836	-0.073	0.216
	11/13	89597	0.277	0.747		11/13	88934	0.098	0.314

石油会社 日綿石油(株)
助燃剤使用 2/4000ℓ 投入
B, C重油 50/50% 混合

第3-8表(5)

日付	油量計読み(l)	油量差(l)	正味増加量(l)	排ガス温度(°C)	備考
10/23	9931.2	0			重量計測
24	0543.3	612.1	612.1	0	
25	1868.3	1325.0	1937.1		
26	2411.6	543.3	2480.4	27	
27	3400.0	988.4	3463.8		
28	4520.2	1120.2	4589.0	41	
29	5551.0	1030.8	5619.8	46	
30					重量計測
31	6573.1	1022.1	6541.9	45	
11/1	7646.8	1073.7	7715.6	51	
2	8658.6	1011.8	8727.4	55	
3	9713.1	1054.5	9781.9	65	
4	—				休日の為 運転休止
5	—				
6	—				重量計測
7	0620.2	907.1	10689.0	50	
8	1623.4	1003.2	11692.2	60	
9	2638.1	1014.7	12706.9	59	
10	3668.3	1030.2	13737.1	57	
11	4792.7	1124.4	14861.5	57	
12	5872.0	1079.3	15940.8	57	
13					重量計測

第3-9表(a) 助燃剤使用(計測期間 11/13~12/11)

記号	計 測 日	全重量(含テス トピース)(g)	増加重量(g)	積算重量(g)	記号	計 測 日	全重量(含テス トピース)(g)	増加重量(g)	積算重量(g)
A	11/13	90.718			A'	11/13	89.372		
	11/20	92.047	1.329	1.329		11/20	89.913	0.541	0.541
	11/27	91.960	-0.087	1.242		11/27	90.035	0.122	0.663
	12/11	92.209	0.249	1.491		12/11	90.485	0.45	1.113
B	11/13	81.037			B'	11/13	81.988		
	11/20	82.336	1.399	1.399		11/20	82.257	0.269	0.269
	11/27	82.367	-0.069	1.330		11/27	82.475	0.218	0.487
	12/11	82.771	0.404	1.734		12/11	82.795	0.32	0.807
C	11/13	81.408			C'	11/13	80.959		
	11/20					11/20			
	11/27	82.585	1.177	1.177		11/27	81.551	0.592	0.592
	12/11	82.458	0.127	1.304		12/11	81.591	0.04	0.596
D	11/13	78.076			D'	11/13	78.591		
	11/20					11/20			
	11/27	79.109	1.033	1.033		11/27	78.925	0.534	0.534
	12/11	79.437	0.428	1.461		12/11	79.109	0.184	0.718
E	11/13	86.157			E'	11/13	86.022		
	11/20	86.686	0.529	0.529		11/20	89.327	0.305	0.305
	11/27	86.683	-0.003	0.526		11/27	86.357	0.030	0.335
	12/11	86.968	0.285	0.811		12/11	86.464	0.107	0.442
F	11/13	88.750			F'	11/13	88.944		
	11/20	89.535	0.785	0.785		11/20	88.97	0.026	0.026
	11/27	89.634	0.099	0.994		11/27	89.031	0.061	0.087
	12/11	89.727	0.093	0.977		12/11	89.079	0.048	0.135

石油会社 日綿石油 焼

助燃剤使用 2/4000ℓ 投入

B, C重油 50/50% 混合

第3-9表(5)

日付	油量計読み(ℓ)	油量差(ℓ)	正味増加量(ℓ)	排ガス温度差(℃)	備考
11/13	6522.0	0	0	0	重量計測
14	7101.0	579	579	17	
15	8431.4	1330.4	1909.4	35	
16	9796.7	1365.3	3274.7	38	
17	1081.0	1284.3	4559.0	36	
18					
19	2448.0	1367.0	5926.0	48	
20	3719.0	1271.0	7197.0	53	
21					重量計測
22	7070.5	3351.5	10548.5	57	
23	6638.0	1567.5	12116.0	50	
24	0174.7	1536.7	13652.7	50	
25	1670.6	1495.9	15148.6	55	
26	2978.3	1307.7	16456.3	67	
27					重量計測
28	4953.1	1974.8	18431.1	25	
29	6311.9	1358.8	19789.9	35	
30	8395.4	2083.5	21873.4	60	
12/1	1001.1	2605.7	24472.1	85	
2	2822.1	1821.0	26300.1	60	
3	4527.1	1705.0	28005.1	60	
4	5533.0	1005.9	29011.0	47	
5	6319.3	786.3	29797.3	62	
6	7838.4	1519.1	31316.4	52	
7	9160.3	1321.9	32638.3	42	
8	0516.8	1356.5	33994.8	52	
9	1804.4	1287.6	35282.4	55	
10	3275.6	1471.2	36753.6	57	
11					重量計測

第3-10表(a) 助燃剤使用セラ (計測期間1/8~2/5)

記号	計測日	全重量(含テストピース)(kg)	増加重量(g)	積算重量(g)	記号	計測日	全重量(含テストピース)(kg)	増加重量(g)	積算重量(g)
A	1/8	90.136			A'	1/8	88.836		
	1/15	91.640	1.504	1.504		1/15	89.59	0.754	0.754
	1/29	91.464	0.224	1.728		1/29	89.780	0.190	0.944
	2/5	92.199	0.735	2.463		2/5	90.194	0.414	1.358
B	1/8	89.464			B'	1/8	81.071		
	1/15	82.093	1.629	1.629		1/15	81.959	0.888	0.888
	1/29	82.205	0.212	1.841		1/29	82.207	0.248	1.136
	2/5	82.789	0.584	2.425		2/5	82.620	0.413	1.549
C	1/8	81.174			C'	1/8	80.803		
	1/15					1/15			
	1/29	82.458	1.284	1.284		1/29	81.574	0.771	0.771
	2/5	82.845	0.387	1.671		2/5	81.919	0.345	1.116
D	1/8	77.903			D'	1/8	78.242		
	1/15					1/15	78.917		
	1/29	78.813	0.915	0.915		1/29	79.277	0.675	0.675
	2/5	79.225	0.407	1.322		2/5	78.242	0.360	1.035
E	1/8	85.926			E'	1/8	85.500		
	1/15	86.549	0.623	0.623		1/15	86.169	0.667	0.667
	1/29	86.595	0.046	0.669		1/29	86.206	0.037	0.704
	2/5	86.952	0.357	1.026		2/5	86.340	0.134	0.838
G	1/8	88.758			G'	1/8	88.512		
	1/15	89.449	0.691	0.691		1/15	88.985	0.393	0.393
	1/29	89.697	0.248	0.939		1/29	88.944	-0.041	0.352
	2/5	89.678	-0.019	0.92		2/5	89.200	0.256	0.608

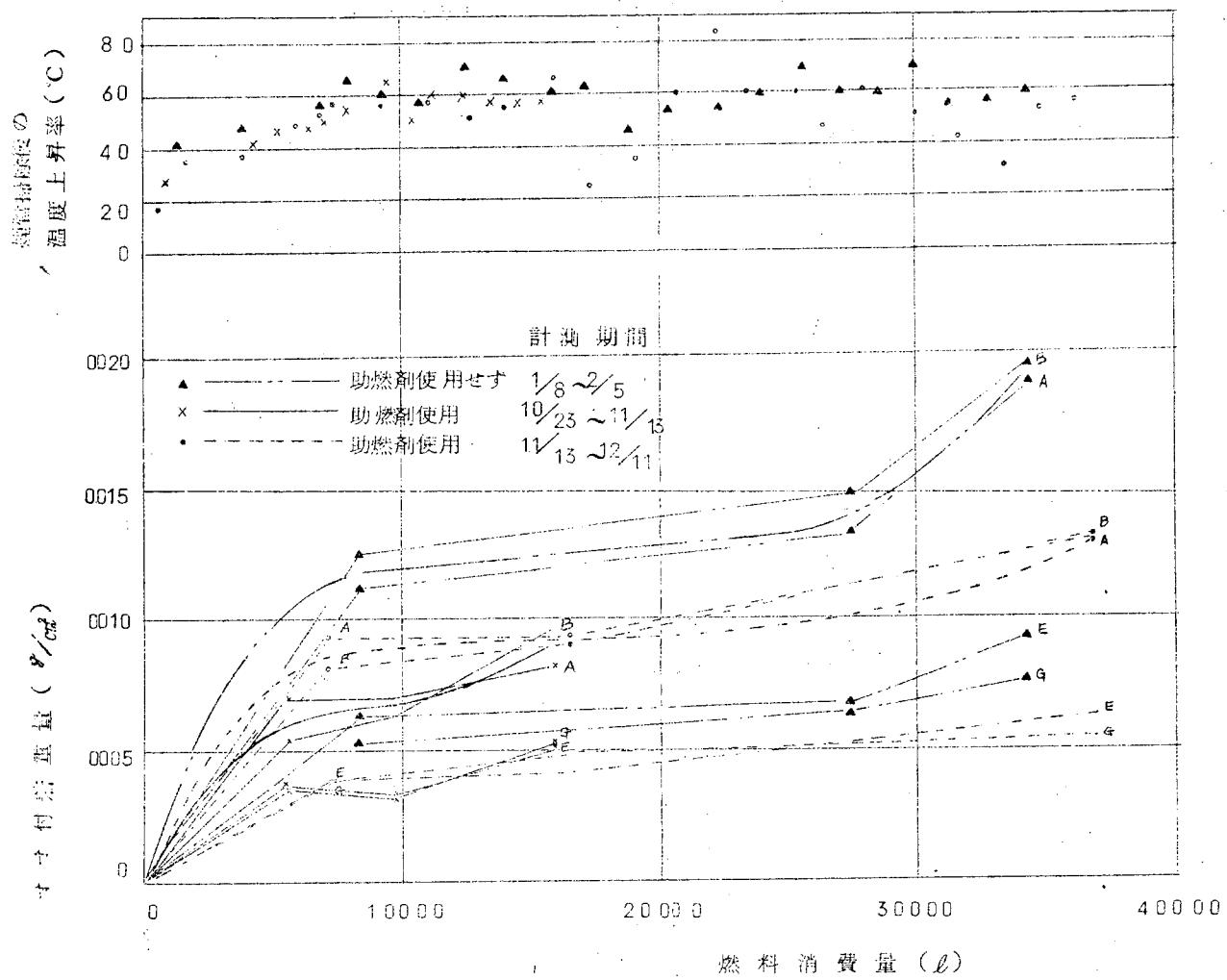
石油会社 日綿石油

助燃剤使用セラ

B, C重油 50/50% 混合

第3-10表(b)

日付	油量計読み(ℓ)	油量差(ℓ)	正味増加量(ℓ)	排ガス温度差(℃)	備考
1/8	61413	0	0	0	重量計測
9					
10	7435.1	1293.8	1293.8	4.0	
11	8956.2	1521.1	2814.9	4.7	
12	0752.6	2096.4	4911.3	5.5	
13					
14	4160.5	3407.9	8319.2	6.5	
15					重量計測
16	6451.6	2291.1	10610.3	6.0	
17	8312.9	1861.3	12471.6	5.7	
18	0064.7	1751.8	14223.4	7.0	
19	1718.2	1653.5	15876.9	6.6	
20	2223.8	505.6	16382.5	6.0	
21	5055.2	2831.4	19213.9	6.1	
22					
23	5697.3	642.6	19856.5	4.5	
24	7623.5	1925.7	21782.2	5.4	
25	8987.4	1363.9	23146.1	5.5	
26	0454.0	1466.6	24612.7	6.0	
27	1819.9	1365.9	25978.6	6.5	
28	3257.1	1437.2	27415.8	5.0	
29					重量計測
30	4649.0	1391.9	28807.7	6.0	
31	6366.2	1717.2	30524.9	7.0	
2/1	8416.5	2050.3	32575.2	5.5	
2	9997.1	1580.6	34155.8	5.7	
3	1362.5	1365.4		6.0	
4					
5					重量計測



第3-18図

3.2.2-d 浦賀重工におけるテストピースによる調査結果

① 取付ボイラ仕様

陸用单胴水管ボイラ

設計圧力 10kg/cm², 常用圧力 8kg/cm²

蒸気温度; 鮎和 250°C

蒸発量, 3 ton/hr

燃料装置, 強制通風, ロータリオイルバーナー 1基

燃料油, J I S 3種2号

② テストピース

1.5m²の試験片を蒸発管群部の高、中、低温部に取り付けて付着物の採取を行なつた。

③ 試験期間

1966年9月初～1966年12月末取付、試験期間中ボイラは24時間運転 日曜日休止。

④ 付着物の調査結果

第3-11, 12表に示す通りであつた。

第3-11表 付着物の性状

採取箇所	高溫部	中溫部	低溫部
形 状	層 状	層 状	粉 状
色	1層, 黒 2層, 灰白色	1層, 黒 2層, 灰白色	黑 色
感 触	や や 固	や や 固	軟
付着量 mg/cm ²	8.0	6.0	5.0
乾 湿	乾	乾	乾

第3-12表 付着物の発光分光分析による定性分析結果

元素 \ 採取箇所	高溫部	中溫部	低溫部
Fe	+++++	++++	++
Al	++++	+++	+
Si	+++	++++	++
Cu	+	+	+
Mg	+++	+++	++
Pb	-	-	+
Ni	++	++	+
V	+++	++	+
Zn	±	-	-
Ti	+	-	±
Ca	±	±	-
Na	++++++	++++++	++
K	+	+	+
P	-	-	-

備 考 表中の表示は分析線の強度による分類である。

+++++ +++++ ++++ +++ ++ + -
 多量に存在 → 存在 存在少 存在 有無 存在みとめられか
 わかりにくい

ただしこの表示は元素によつて強度が異なるため、定量的な意味を持つていねい。

第4章 付着物除去方法に関する基礎実験

4.1 スートプロワに関する基礎実験

4.1.1 実験の概要

本研究の目的は第一に付着物のとれやすいとかとれ難いとかいう性質を数値的に表現する方法を見出すことで、第二にそれを考慮に入れたスートプロワの付着物除去性能の表現方法を検討することである。

研究の方針としてはまず最も単純化した付着物除去実験を行ない、それより除去条件を規定する量、およびその各種状況における傾向を取り出した。次に衝突噴流の実験を行なつて第一の実験と同一の条件において噴流が付着面近傍において持つている力を測定し、それを用いて上の量を置き換えた。その後この除去条件規定量がいかにして決まるかを、この種の付着物もその1種と見なせるぜい性材料の破壊現象より明かにした。そして破壊現象に対するこの説より出てくる試料特性数が付着物のとれやすさ（あるいはとれ難さ）を表わす指標として採用できることを示した。最後にスートプロワの付着物除去性能に影響する因子について考察した。

なお作業流体としては蒸気も広く用いられているが、その場合凝縮その他複雑な現象を伴うので本実験では空気のみを用いた。

4.1.2 平板上模擬付着物除去実験

4.1.2-a 実験装置および方法

① テストピース

付着物試料としては砂（粒径0.3mm以下）をボンドOZと水との混合液でねつたものを、平板表面に厚さ1mmで面積70×70mm（または50×50mm）にわたって塗布し、乾燥させたものを用いた。試料結合剤中のボンド量を変えることにより付着力を変化させ、6種類の試料を作つた。付着面にはアルミニウム板（100×100mm）の表面を#400のエメリーペーパーで磨いたものを用いた。

② 実験方法

装置の概略を第4-1図および第4-2図に示す。まず試料を所定の位置に固定しておいて噴流を付着面に吹き当てる、ニードル弁を徐々に開けていき噴出圧力を増加させる。このとき試料が吹き飛び始める瞬間の圧力（以下限界圧力といふ）を読みとる。また噴出圧力をある値に設定した場合の除去重量を精密天秤により計測した。

③ 引張強さ測定

第4-3図に示す装置により除去実験に用いた付着物試料の引張強さを測定した。付着面①と②をそれぞれセーバー仕上げした面で密着させて固定し、一つの付着面を作る。次に図のように付着物試料を①と②の合せ面をまたぐようにして塗布し乾燥させる。以上のようにして作つたテストピースの付着面①の一端を水平台上に固定棒に引っかけ、②の他端を糸により引張る。おもりの砂を徐々に加えていつて試料が破断するまで糸の張力を増す。引張強さ σ は次式により求めめる。

$$\sigma = \frac{W - W_f}{S}$$

ここで、 W : 破断時の砂、容器、糸、フジクの重量の和

W_f : 銅球および滑車の静止摩擦力合計

S : 破断面積

4.1.2-b 実験範囲

ノズル直径, D 3.22mm, 5.53mm

ノズル出口と試料の間の距離, L 20 ~ 200mm

噴出圧力, P 0 ~ 8kg/cm²

4.1.2-c 実験結果

① 限界噴出圧力、 P_{cr}

噴出圧力が限界値 P_{cr} になるとほとんどの試料は、噴流中心から少し離れた所から飛び始める。以後除去領域は急速に広がり数秒後には生長は止まつてしまい、いくら時間をかけても除去できなくなる。その様子を第4-4図に示す。

第4-5図(A),(B)に P_{cr} の測定値を示す。 P_{cr} の値は L が大なるほど大きくなるが、その変化の様子は一様でない。また試料付着力が大なるほど大きくなる。ノズル径の大きい場合も同様の傾向が見られるが、その値はずつと小さくなつてている。

上に用いた試料に対する引張試験の結果を第4-1表に示す。

第4-1表 試料引張強さ

試料番号	1	2	3	4	5	6
引張強さ σ , 箍	0.1010	0.0303	0.0428	0.0910	0.1221	0.1700

特定の距離における P_{cr} の値を試料引張強さに対して示したのが第4-6図である。

② 除去半径、 r_b

噴出圧力を限界圧力以上のある値に設定すると付着物は円形に取り除かれるが、その等価半径 r_b を除去重量より算出した。第4-7図(A)は r_b を L に対して示したものである。 L を増すとはじめ少しお減少するが後徐々に増加し、ある距離で極大値を示して以後急激にそれなくなる。また試料付着力が大きいほど r_b は大きくなる。第4-7図(B)は噴出圧力の影響を示す。 r_b は圧力が高くなるにつれて増大する。第4-8図(A),(B)はいままで述べた試料と混合割合が異なるもの、および材質の異なるものに対する r_b の値である。特に L に対する変化は前述の試料よりも誇張して表われている。

4.1.2-d 検討

以上の実験結果および観察より、限界圧力 P_{cr} をもつて付着物除去の限界条件を規定できることがわかる。したがつてこれがどのような条件によつて決まるかを検討しなければならない。4.1.3以下においては P_{cr} についてのみ考慮する。

なおその他に噴流をスートプロワとして用いる場合に対して、以下に示すようないくつかの示唆が得られた。

a. まず1か所当たり噴流照射時間はある程度（しかもこれは非常に短時間）以上長ければ問題ではなくなる。それものは瞬間にそれ、除去できないものはいくら時間をかけても除けない。したがつて噴射時間に比例した除去効果が得られるという説は当たらない。

b. ノズル直径、付着面とノズルとの距離、噴出圧力などを変えることにより、噴流軸と直角方向に有効範囲を広げることはあまり期待できない。そのためには現在一般的に使用されている長抜差型のように、ノズルを噴流軸と直角方向に移動させる方法が適当であろう。

c. 除去効果の及ぶ距離を伸ばしたり、強い付着力をもつ物体を除去するにはノズル直径を大きくすることが非常に効果的である。しかしそれに伴つて必要空気流量も大きく増加する。

4.1.3 限界条件下の噴流の力に関する実験

4.1.3-a 実験装置および方法

衝突面としては $200 \times 200 \times 6\text{mm}$ のアクリル板を用いた。駆点圧はその中央部に設けた駆点孔($0.5\text{mm}\phi$)にかかる圧力を水銀マノメータに導き読みとつた。駆点後の平板に沿う流れのせき止め圧は第4-9図に示す装置により測定した。ただしいまの場合は金具を壁面に密着させた場合の測定値のみを用いた。

また測定範囲は4.1.2の除去実験の場合と一致させた。

4.1.3-b 実験結果

第4-10図(A),(B)に駆点圧 p_0 を噴出圧力に対して示した。 $P=0 \sim 1\text{kPa}$ の間は p_0 は P に比例するが、それ

をすぎると噴出圧力が臨界圧力を越えてしまうので、ノズル出口において膨張波、圧縮波を生じ以後の流れは非常に複雑になり、 p_0 も一様には変化しなくなる。自由噴流中心軸上せき止め圧も測定したがその値は p_0 とほぼ一致する。

全圧管を壁面に密着させたときの全圧管指示圧力 p_p と、その点の壁面上静止 p_w との差 $\Delta p_p = p_p - p_w$ を求めめたのが第4-11図である。その最大値 Δp_{pd} を第4-12図に示す。この値も p_0 と同様の傾向を示す。

4.1.3-c 除去限界条件に対する検討

① 岐点圧 p_d'

第4-5図および第4-10図より付着物がとび始めるときの平板上岐点圧 p_d' を求め、その値を各試料について示したのが第4-13図である。1種類の試料に注目すると、 p_d' はしが大になるとほぼ一定の値に近づくといえるがしが小になると急激に増加するのが見られる。また前述のように p_0 は自由噴流軸上の動圧にはほぼ等しい。したがつて自由噴流の等動圧分布のみから論じたのでは付着物の除去効果を十分に表わせないことがわかる。

図にはノズル直径の異なる場合も同時に示してある。 p_{cr} 測定値に出ていた差はなくなり、 p_d' は同じLの値に対してノズル径によらず大体等しい値を示す。これは、自由噴流においてはノズルからの距離Lを決めると、中心軸上の速度、すなわち動圧により、その位置における流動状態が定まつてしまふことからうなずける結果である。

② 最大動圧 $\Delta p_{pd}'$

第4-5図および第4-12図より除去限界の最大動圧 $\Delta p_{pd}'$ を求め、それをLに対して示したのが第4-14図である。 Δp_p は平滑面上で圧力勾配の小さい流れによる壁面せん断力の測定法(Preston法)において用いられる値であるが、本実験のように圧力勾配の大きい場合にはその検定値をそのまま用いることはできない。また測定したのは平滑面上の値であるため、除去実験において生じている値とはかなり異なるであろう。しかし Δp_p は流体が付着物に及ぼす接線方向の力と一義的に対応していると考えられる。

付着物を破壊する力は観察結果等より考えて接線方向の力と考えられる。接線方向の応力、したがつて付着物にかかる接線方向力がある値に達したときに付着物破壊が起こるとすると、一つの試料に対して破壊時の最大の力 $\Delta p_{pd}'$ は一定値となるはずである。しかしこの値もLの変化に対して p_d' と同様の傾向を示し、Lが小さくなると大きくなる。

したがつてこの原因是付着物の強度がLによって変化するためであると考えるのが自然であると思われる。次項においてこの観点からの説明が可能であることを示した。ただしその際 $\Delta p_{pd}' \approx p_d'$ がよい近似で成り立つこと、および p_d' の測定の方が非常に容易であり、付着面が管の場合の結果との比較が可能となることより p_d' のみを用いて考察した。

4.1.4 除去限界の現象に対する考察

4.1.4-a 破壊の確率論

せい性材料の破壊に対してGriffithの理論に基づく破壊の確率論がよく成り立つことが知られている。これは試片の強度は、試片内のn個のクラックのうち最も弱いクラックによって決まるとする説である。

クラックの強度xの分布関数 $f(x)$ をもつた母集団からn個のクラックを抽出したときのクラックの強度xの最小値の確率密度関数 $g_n(x)$ は次式で与えられる。

$$g_n(x) = n f(x) (1 - F(x))^{n-1} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

ここで、 $F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx$: クラックの強度が x を越えない確率

材料の破壊強度、 S_m は、 $f_n(x)$ が最大値を示すときの x の値に相当する。すなわち $\partial f_n(x)/\partial x = 0$ より次式が成立する。

$$[1 - F(S_m)] [f'(S_m)] = (n-1) f^2(S_m) \dots \dots \dots (2)$$

Weibull は $F(x) = 1 - e^{-x^m}$ を仮定して次式を導いている。

$$S_m = \frac{1}{[\alpha n]^{1/m}} (1 - k_m)^{1/m} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $\alpha > 0$: 定数

$m > 1$: Weibull の均一性係数。試片材質により決まる定数。

上式は n の大きさ、すなわち試料の寸法によりその強度 S_m が変化する、という寸法効果を表わしている。

4.1.4-b 破壊の確率論的、除去現象に対する適用結果

上述の破壊理論を除去現象に適用するに当たつて、まずそれに含まれる変数 S_m や n をどのようにとるべきかを考える。

S_m は破壊時に付着物表面に働くせん断力最大値 T_m に比例すると考えられる。すなわち $S_m = k_1' T_m$ と書ける。 T_m は本実験の場合、粗面上で急激な圧力勾配があるときの局部的な値であるため、実際には測定不可能である。しかし、付着物粒子に働く流動抵抗の合成されたものと考えると $T_m = k_1'' \Delta p_{pd}$ と考えることができる。また T_m が滑面上の流体摩擦により発生するとしても上の近似はほぼ成立する。さらに前述のごとく、 $\Delta p_{pd} = k_1''' p_d$ とすることができるので結局 S_m は次式のようにおくことができる。

$$S_m = k_1 \cdot p_d \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 k_1 はおもに付着物表面粗度により決まる定数で、いまの場合これも m の関数と考えられる。

次に n は付着物内で S_m の働く体積に比例すると考えられるが、本実験では厚さを一定としたゆえ、 n は T_m の働く面積 A に比例すると考えられる。すなわち $n = k_2' A$ と表わすことができる。 T_m の作用する位置、 Δp_{pd} の作用する位置は第4-15図に示すように噴出圧力にはほとんど関係せずしに対して1次的に増加する。したかつて L が大になれば $r_0 \propto L$ と考えることができる。ただし r_0 は Δp_{pd} の作用する点の壁面からの距離である。そして A は r_0 を中心とする幅 B をもつた環状部の面積と考えられる。 B は一定と考えられるが、いま $B \propto L^2$ とすると n は次のように表わすことができる。

$$n = k_2 L^2 \dots \dots \dots (5)$$

ここで k_2 はクラックの密度、すなわち付着物の性質および噴流の広がり角により決まる定数であるが、後者は一定なるゆえ付着物の性質のみにより決まる。したがつて k_2 も m の関数と考えてよいことになる。

(3)式の S_m 、 n を (4)(5) を用いてそれぞれ p_d 、 L でおきかえると次式が導かれる。

$$k_1 \cdot p_d = \frac{1}{[\alpha k_2 \cdot L^2]^{1/m}} (1 - k_m)^{1/m} \dots \dots \dots (6)$$

両辺の常用対数をとり、整理すると次式のようになる。

$$\log p_d = a + b \log L \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{ここで、 } a = -\frac{1}{m} \log (\alpha k_2) + \frac{1}{m} \log (1 - \frac{1}{m}) - \log k_1$$

$$b = -i/m$$

であり、両方とも付着物の性質により決まる定数である。

第4-13図を両対数目盛にとり直したのが第4-16図である。各試料についてそれぞれ一直線になり、強さの順にその勾配がゆるくなつていて(7)式の妥当性が認められる。各試料に対するa, bの値は次表のようになる。

第4-2表

試料番号	1	2	3	4	5	6
a	0.942	1.265	1.090	0.769	0.771	0.664
b	-0.995	-0.925	-0.875	-0.586	-0.597	-0.451

4.1.5 実缶付着物の除去特性数に対する提案

4.1.5-a 特性数

(7)式は次の形に書き改められる。

$$P_{d'} = k_b \cdot L^b \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

ここで、 k_b , b はともに付着物の性質により決まる定数であるが、 b を独立変数と考えると k_b はその関数と考えることができます。

$L = L_0$ とした場合の $P_{d'}$ の測定値を $[P_{d'}]$ とすると

$$[P_{d'}] = k_b \cdot L_0^b \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

(8)(9)式より次式が成立立つ。

$$\left(\frac{P_{d'}}{P_{d'_0}}\right) = \left(\frac{L}{L_0}\right)^b \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

(10)式より、材質定数 b およびある位置 L_0 における $P_{d'}$ の値 $[P_{d'}]$ が測定できると、任意の位置における $P_{d'}$ を求めればよいことがわかる。

4.1.5-b 特性数 b , $[P_{d'}]$ の測定法

実際のボイラ内で付着物付着力を測定する場合、 L を変えた測定を行なつて b を求めることは非常に困難である。したかつて L の一つの値に対する測定値より b を推定する方法を考える。すなわちそれは実缶付着物を近似した標準試料を用いる方法で、次に順を追つて述べる。

- ① まず標準空気噴射装置（ノズル径 D_0 , ノズルと付着面との距離 L_0 ）を用いて限界噴出圧力 P_{cr} を測定する。この場合1種のノズルで測定不可能の場合はいくつかのノズルを準備すればよい。
- ② $D = D_0$, $L = L_0$ の場合の、噴出圧力 P に対する付着面上岐点圧 P_d を測定しておき、 $P_d \sim P$ 線図を用意しておく。これは用意したノズル径のものに対して作つておく。この線図を用いて P_{cr} 測定値より $P_d = [P_{d'}]$ を読みとる。
- ③ 標準付着物試料を用いて 4.1.2 ~ 4.1.4 に述べた方法により種々の試料に対して $[P_{d'}]$ および b を求めておく。こうして求めた b ～ $[P_{d'}]$ 線図を用いて(2)で求めた $[P_{d'}]$ より b を得る。これは(8)式より b と $[P_{d'}]$ とは1対1に対応すると考えられるからである。前述のように L_0 を一定にすると、噴流の流動状態はノズル径 D に關係

せずともにより定まつてしまい。したがつて標準ノズルをいくつか用意してもよ～〔 P_d 〕線図は1枚だけでよい。

4.1.5—c 試作標準空気噴射装置による測定例

① 測定装置および方法

第4-1図に示す装置により実缶付着物の限界圧力を測定した。その値はかなりのはらつきを示すので、できるだけ数多くの測定を行なつた。

② 測定結果

〔 P_d 〕を求めるには第4-1-0図を用いた。この場合注意すべきことは、 P_{cr} の平均値を用いてはならないことである。まことにゆえなら同図に示すごとく、 P_d の値は P に対して1次的に変化せず、 P_d の値がほとんど同じでも P の測定値が非常にとび離れて現われることがあり得るからである。したがつて以下に示すのは P_{cr} の全測定値に対して〔 P_d 〕を求め、それを各部分ごとに平均した値である。

bの値は4.1.2の実験に用いた試料を標準試料とし、4.1.4-iiにおいて求めた値を第4-1-7図に示す P ～〔 P_d 〕線図に表わしたものより求めた。以下種々のボイラにおいて調査した結果を示す。

i) 裕邦丸主ボイラ(川重神戸、昭和41年7月4日)

$$\text{スクリーン第1列, } [P_d] = 0.551, \quad b = -0.93$$

$$\text{スクリーン第2列, } [P_d] = 0.439, \quad b = -0.96$$

ii) Mobil Japan 主ボイラ(三井玉野、昭和41年7月20日)

$$\text{燃焼室, 火炎側, } [P_d] = 0.731, \quad b = -0.85$$

$$\text{裏側, } [P_d] = 0.268, \quad b = -1.00$$

$$\text{スクリーン第3列, } [P_d] = 0.679, \quad b = -0.87$$

iii) 平川MP50内テストプローブ(昭和42年2月26日)

$$\text{第1層, } [P_d] = 0.302, \quad b = -0.99$$

上記各ボイラの仕様、運転条件、燃料その他の条件は実缶調査事項に記した。

③ 検討

以上に示したように、実際のボイラ内付着物に対してその特性数の測定が可能なことがわかる。しかし i) および ii) の場合、ストップロワが過熱器部に装備されているのであるが、その効果領域からはつきりせず、また P_{cr} 測定もできなかつたので4.1.4および4.1.5で考察したことの当否は確かめられなかつた。

上には標準試料の強さの範囲をこえてしまつて測定値は省いた。また測定に際して、除去できないほど強いものおよび P_{cr} を読みとれないほど弱い付着物もあつたが、これは上に使用したノズルより大きい径および小さい径をもつノズルを用意し、それぞれに対して P_0 ～ P 線図を作つておけば解決する。

漏先はボイラ停止後まだあまり冷えないうちに行なつたというものの、実際に作動しているときの炉内温度に比べると非常に低い。したがつて作動状態での付着物の物理的性質は測定したものとはかなり異なるであろうと思われる。さらにそのような条件下での測定方法を考案する必要があろう。

4.1.6 結論

① 実缶付着物を噴流により除去する場合、そのとれ難さに対する指標として次式の中の α および〔 P_d 〕をとれ

はよい。

$$P_d / [P_{d'}] = (L / L_0)^b \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

ここで $[P_{d'}]$: ノズルと付着面との距離が L のとき、面上付着物除去に必要な岐点圧

$[P_{d'}]$: $L = L_0$ のときの $P_{d'}$ の値

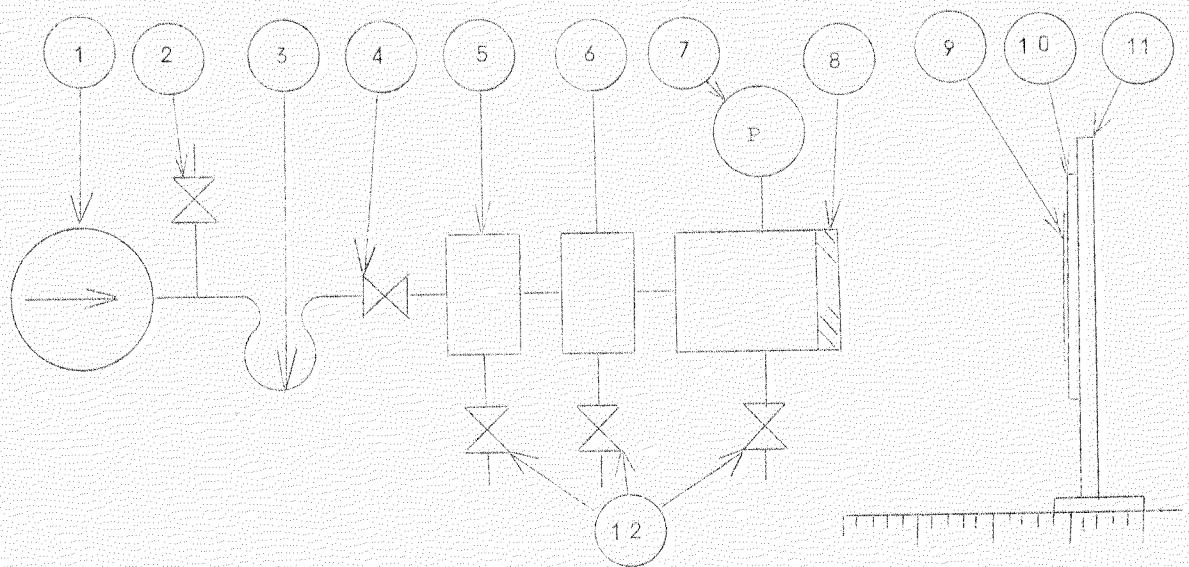
b : 付着物の性質により決まる定数

両特性数を求めるには次のようにする。

- I) 限界噴出圧力 $P_{o,r}$ を、標準空気噴射装置($L = L_0$, $D = D_0$)を用いて測定する。
- II) $D = D_0$, $L = L_0$ に対する $P_{d'} \sim P$ 線図を用いて $P_{o,r}$ 測定値に対応する $[P_{d'}]$ の値を読みとる。
- III) 標準付着物試料に対する b へ $[P_{d'}]$ 線図を用いて上に求めた $[P_{d'}]$ に対応する b の値を得る。
(2) 噴流をストップロワとして使用する場合、照射時間は主要因子ではなく、動圧が問題となる。まず自由噴流軸上動圧はノズル径、ノズルと付着面間の距離、噴出圧力、ノズル形状等により決まる。中でも圧力の影響は複雑である。

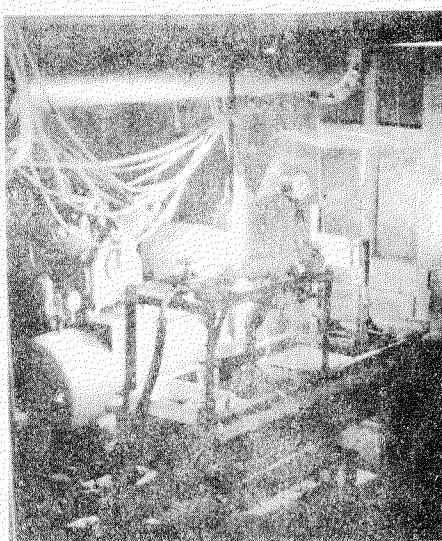
ストップロワ特性数は、噴流を実際に使用する管群中における減衰効果を、上の自由噴流动圧に加えることにより得られる。

それに対する付着物の強さは、測定値を距離と付着面管径による寸法効果によって修正したものを用いねばならない。

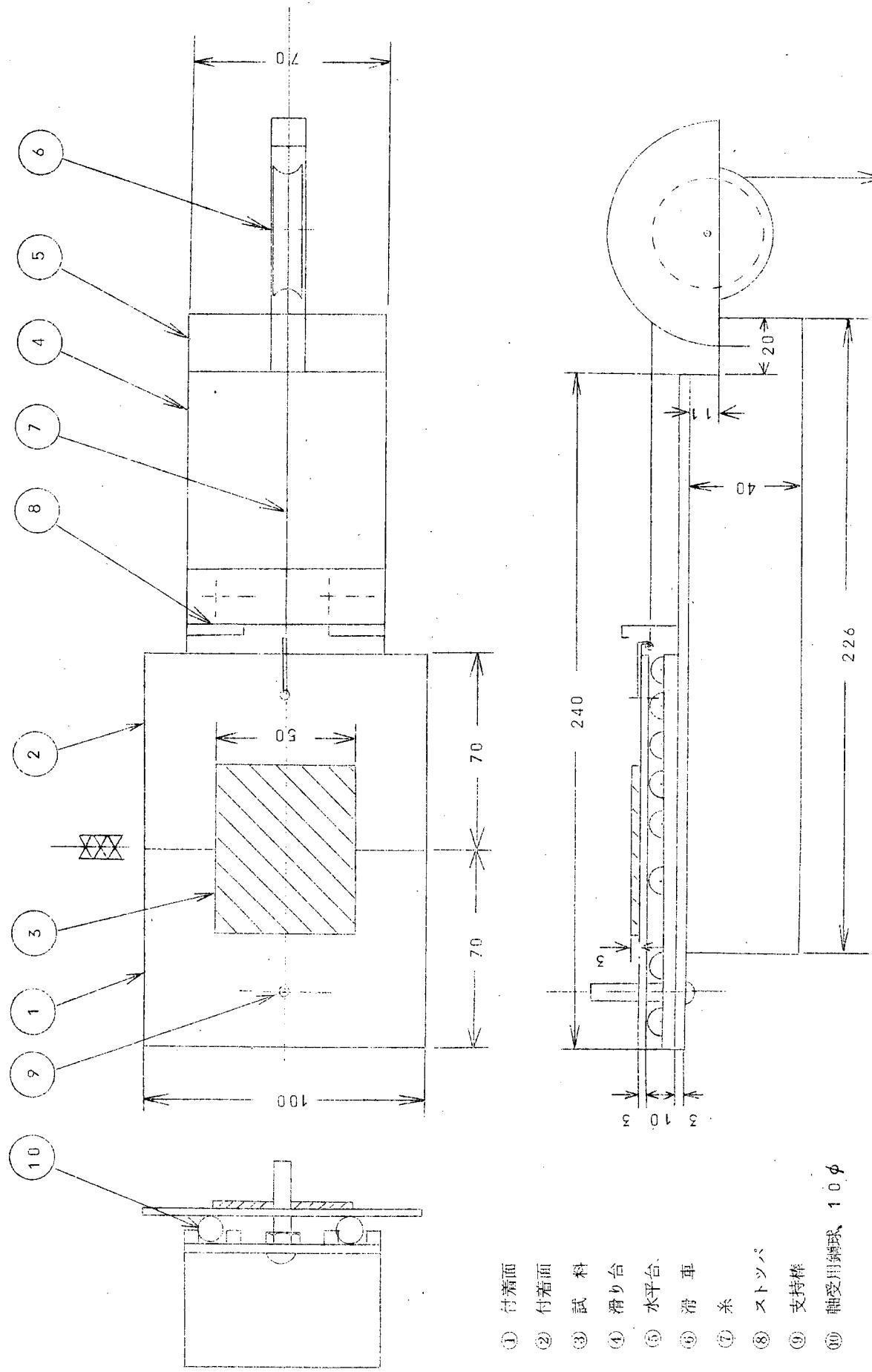


- | | |
|---------------|-------------|
| 1. 小型空気圧縮機 | 7. 圧力計 |
| 2. バイパス | 8. 四分円ノズル |
| 3. ゴム管 | 9. 付着物試料 |
| 4. 圧力調節用ニードル弁 | 10. 付着面 |
| 5. エアフィルタ | 11. 支持台 |
| 6. エアフィルタ | 12. ドレインコック |

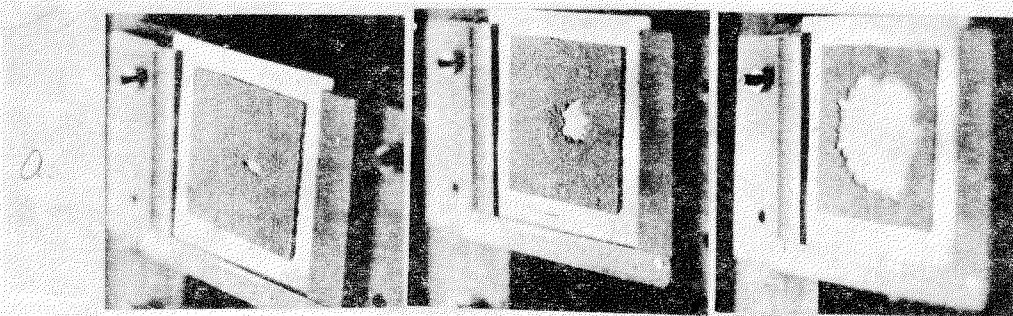
第4-1図 実験装置概略



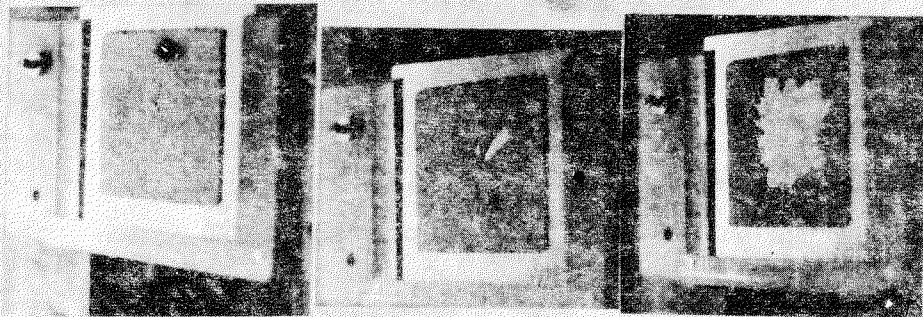
第4-2図 実験装置



第4-3図 引張強さ測定装置

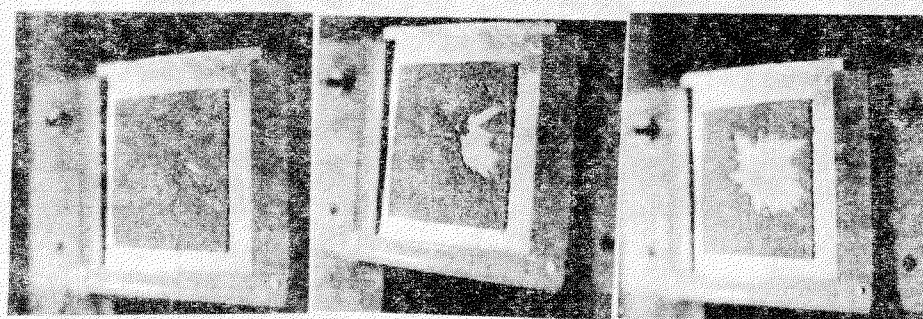


D = 3.22 φ

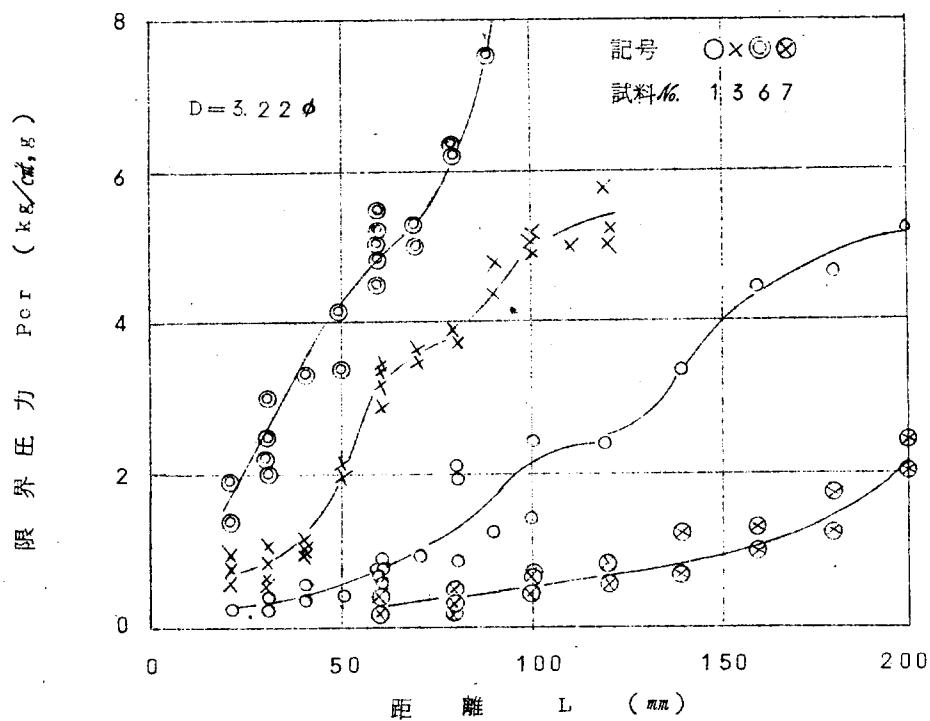


資料番号 L

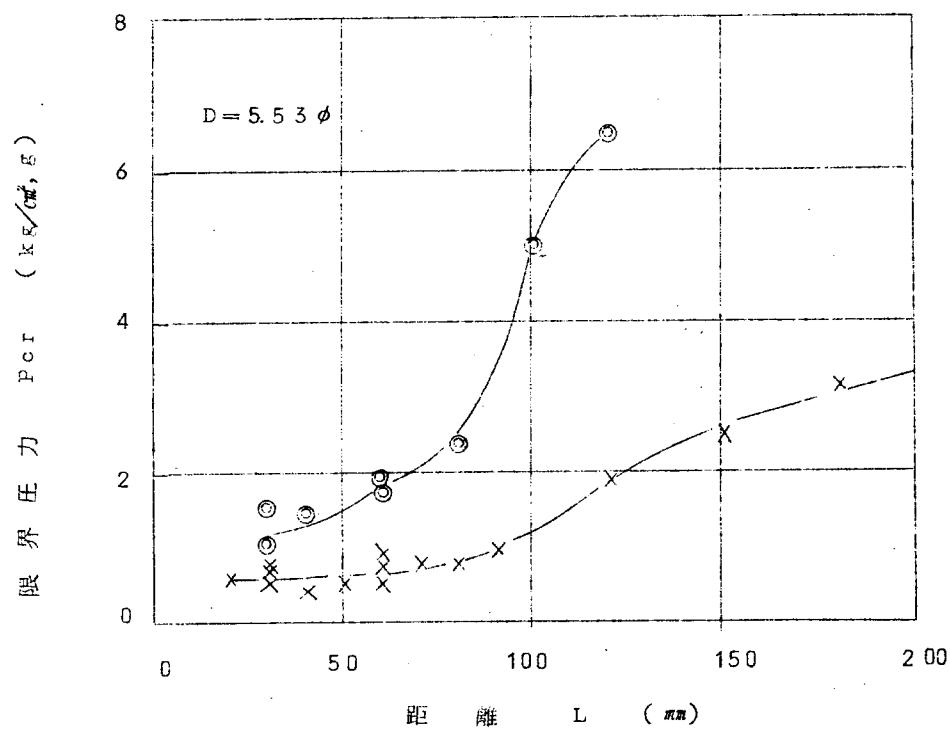
- e. No. 1 3.0 mm
- b. No. 1 6.0
- c. No. 1 1.00
- d. No. 3 6.0
- e. No. 3 1.00



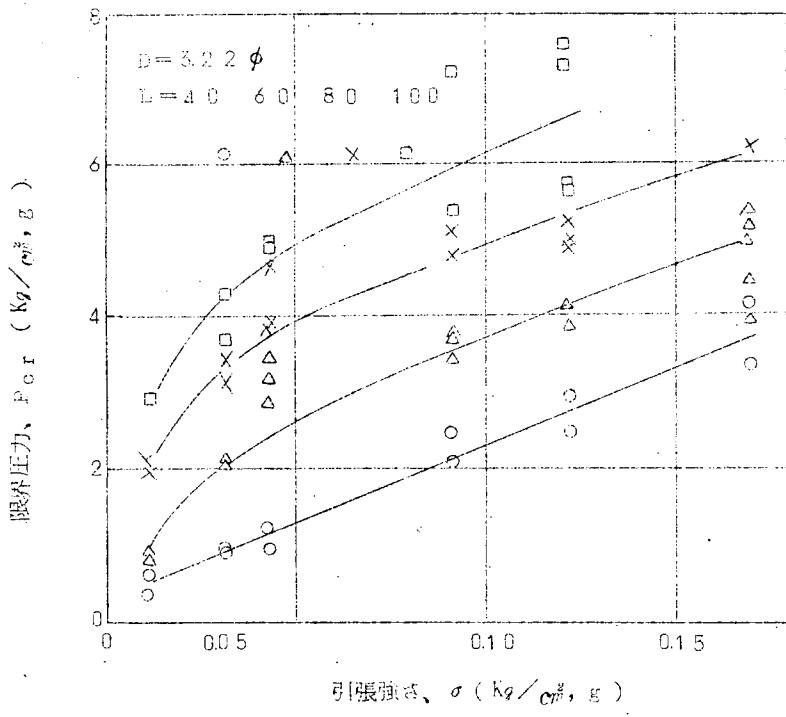
第4-4図 除去開始時の様相



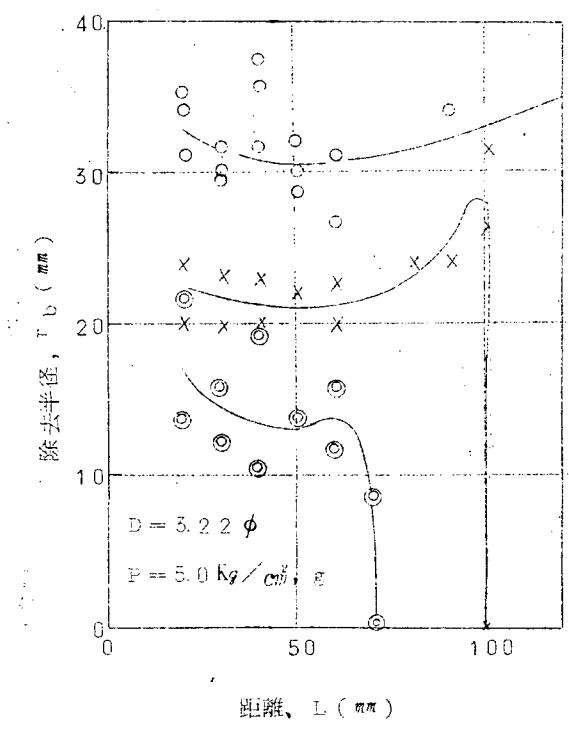
第4-5図(A) 限界圧力と距離の関係



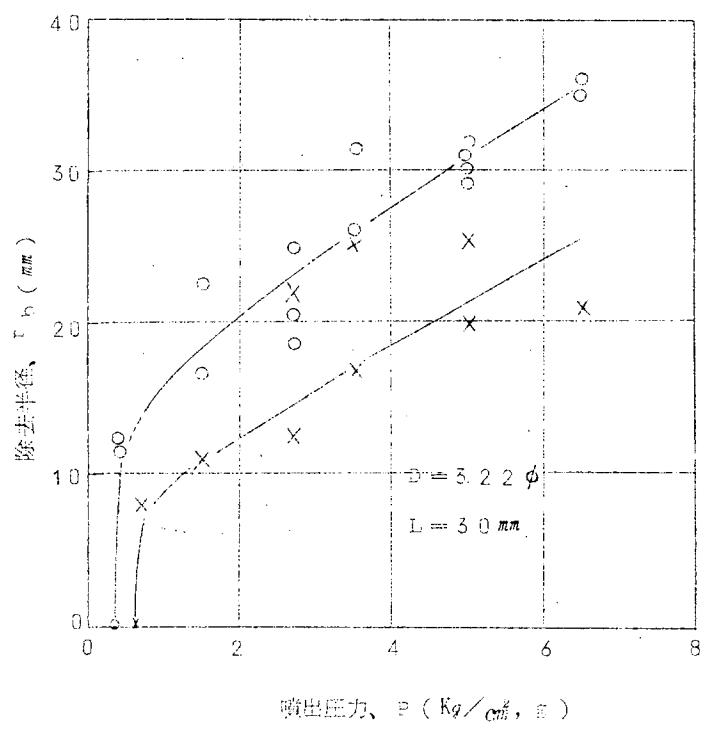
第4-5図(B) 限界圧力と距離の関係



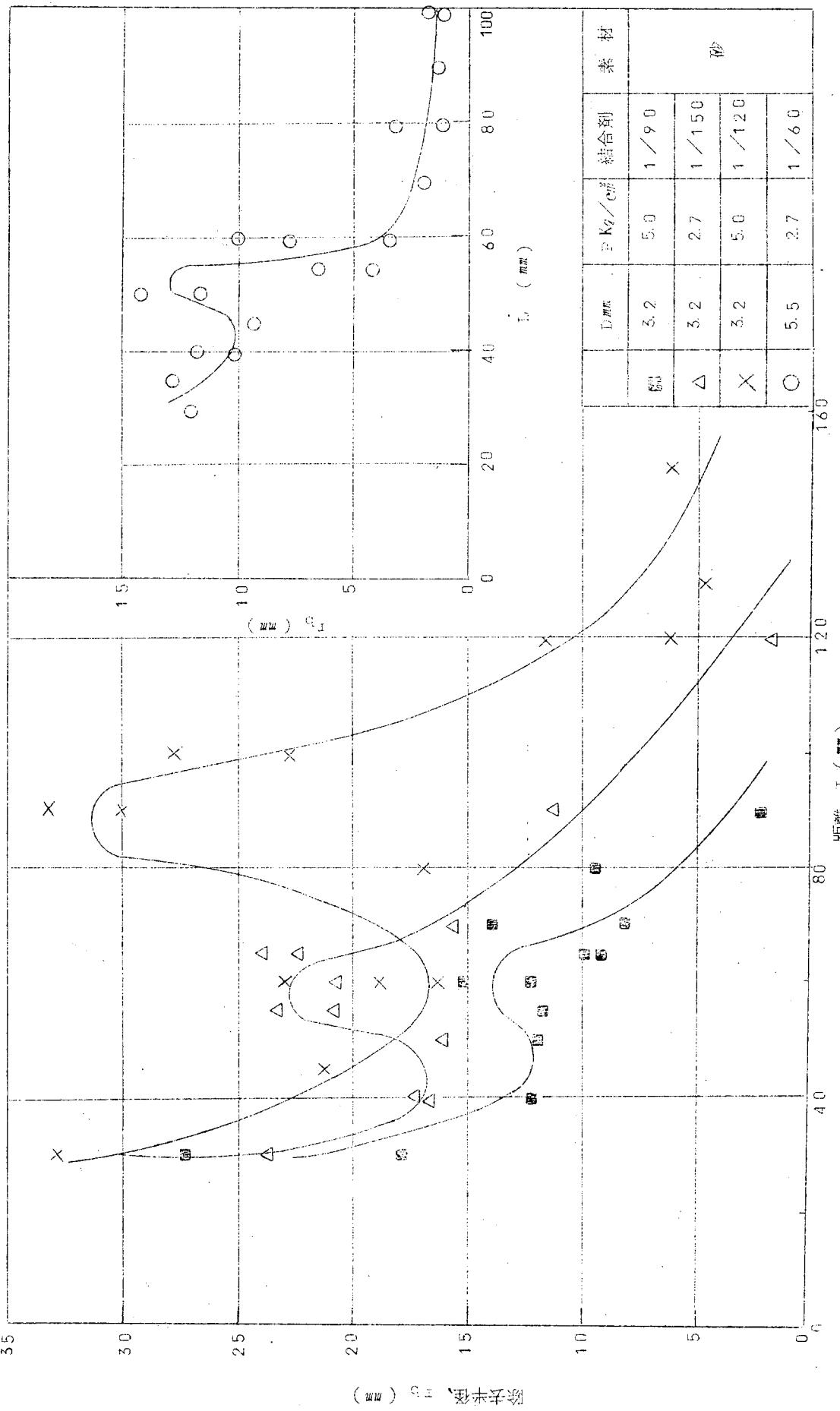
第4-6図 限界圧力と引張強さ



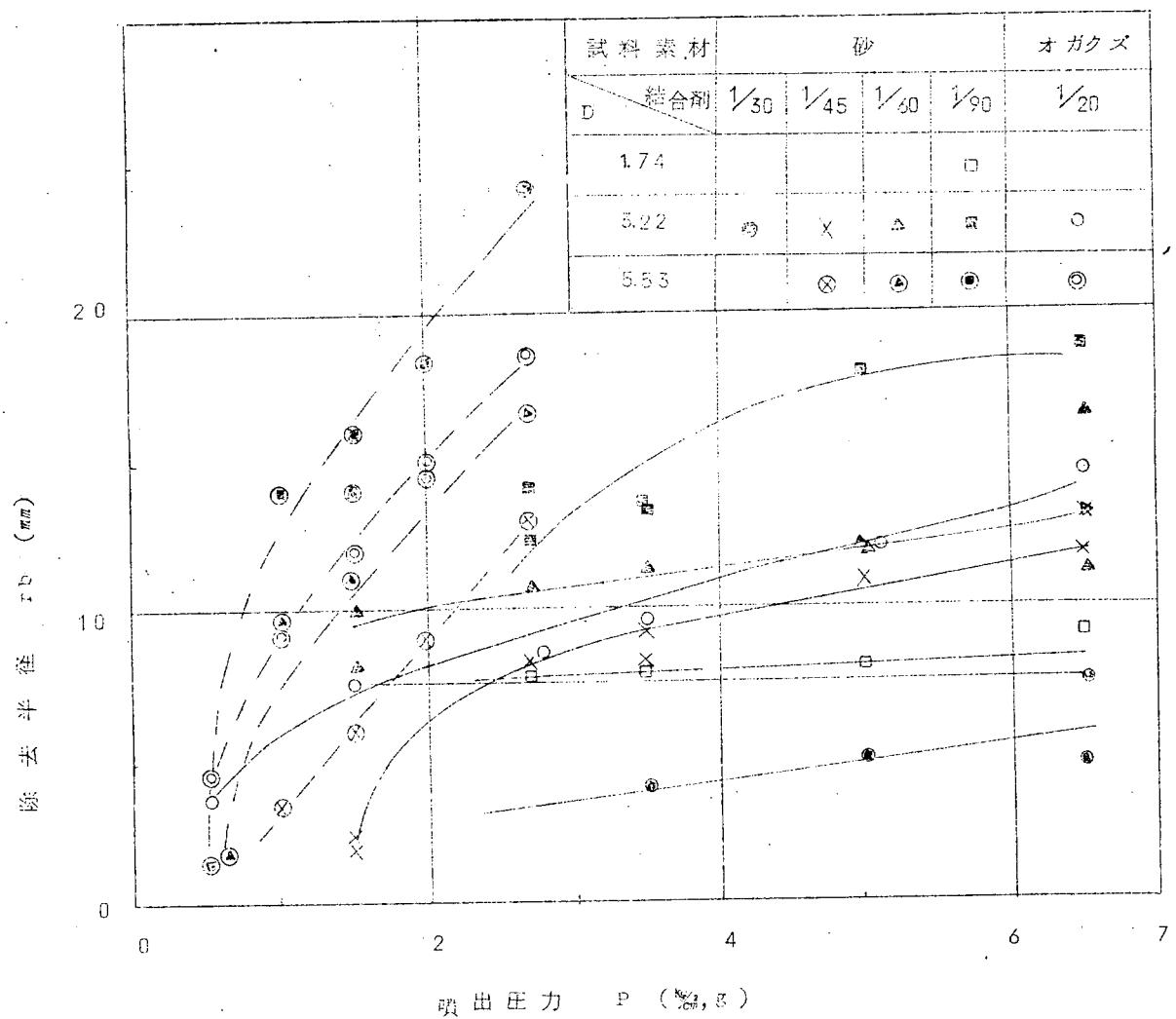
第4-7図(A) 除去半径と距離



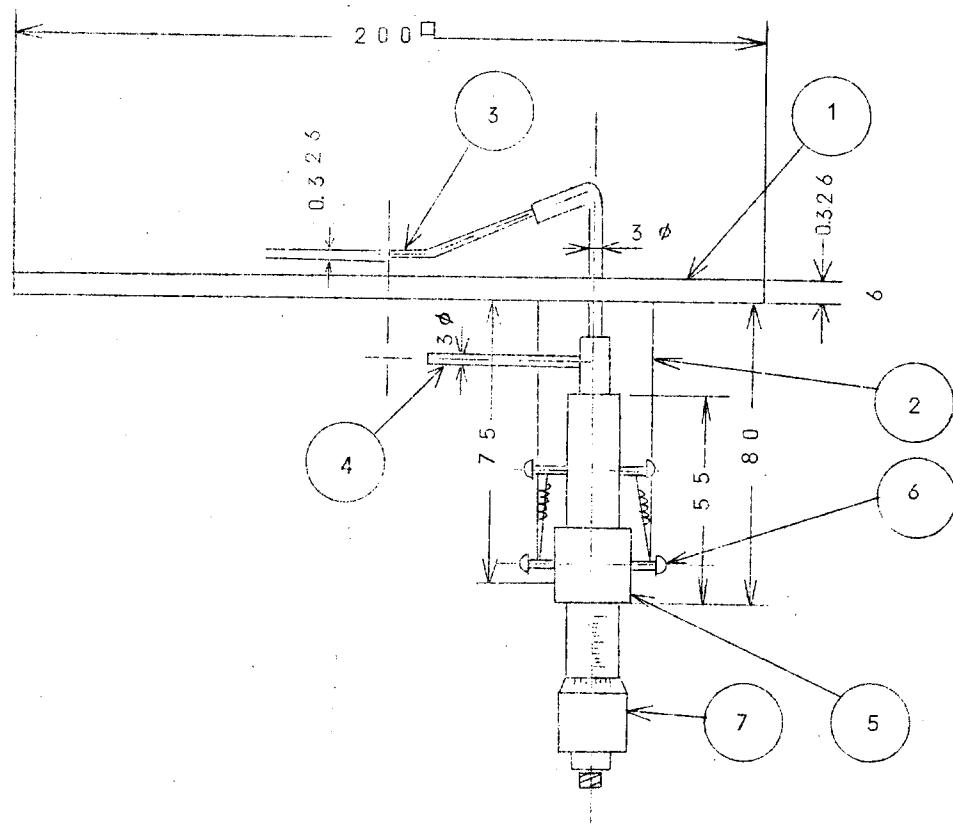
第4-7図(B) 除去半径と圧力



第4-8 図(A) 除去半径と距離の関係

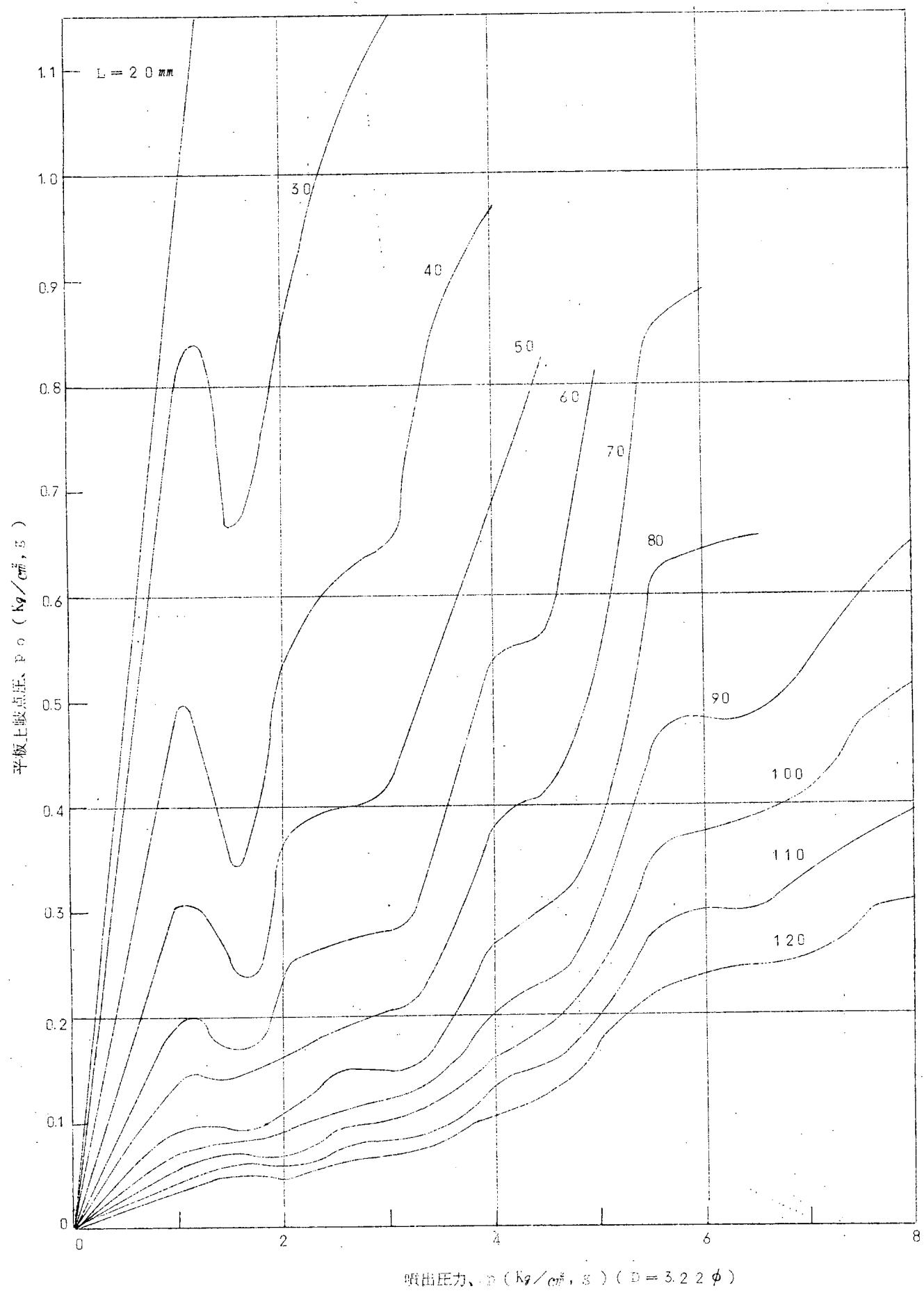


第4-8図(B) 除去半径と噴出圧力の関係

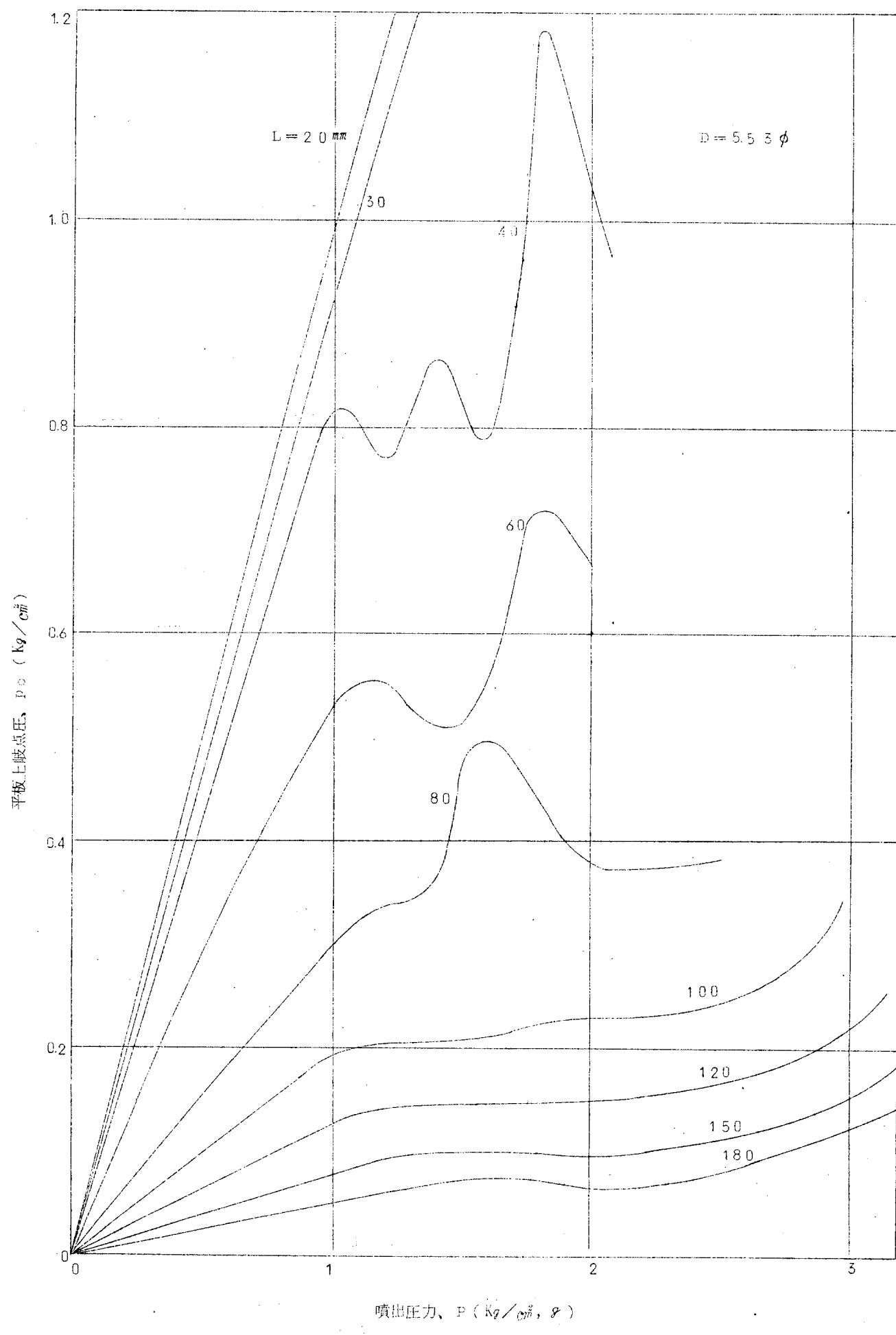


- ① 供試平板 $200 \times 200 \times 6.0$ アクリライト
- ② 全圧管支持台 アクリライト
- ③ 全圧管(外形 0.242×0.750 , 内形 0.090×0.618)
- ④ 圧力導管 Cu
- ⑤ マイクロメータヘッド
- ⑥ マイクロメータ固定用およびバネ支持用ボルト
- ⑦ マイクロメータ(市販品)

第4-9図 全圧測定装置



第4-10図(A) 駆点圧と噴出圧力



第4-10圖(3) 平板上岐点压と噴出圧力

第4-11図(A) 平板上動圧と距点からの距離

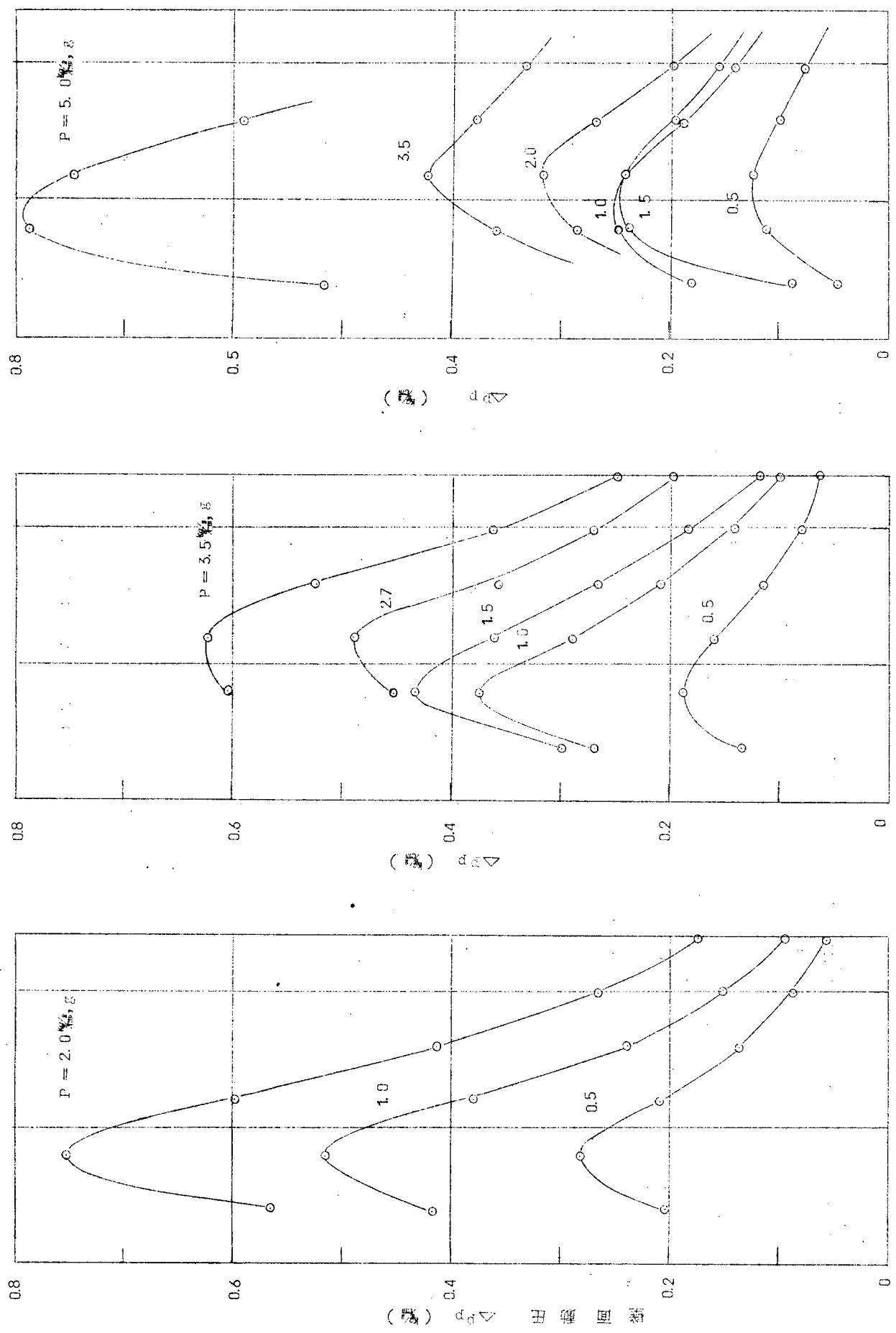
b, L=3 m

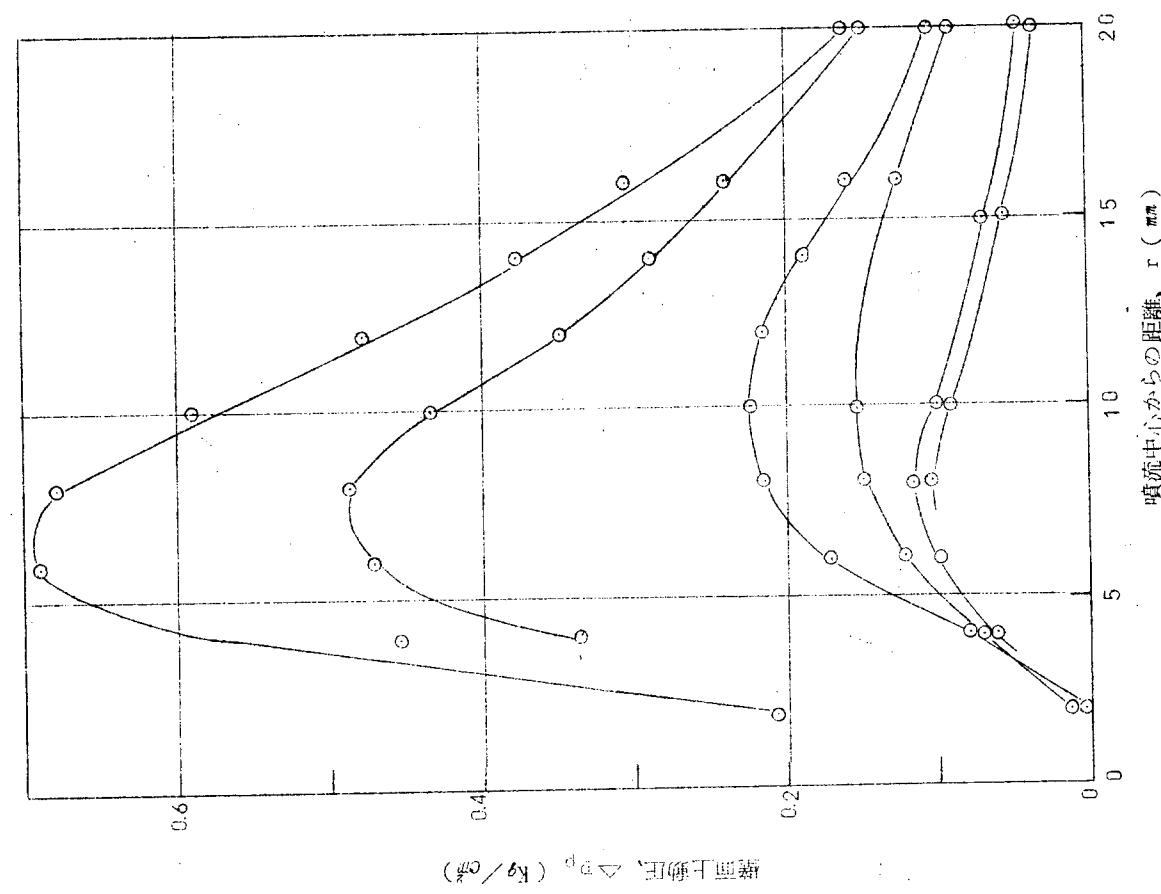
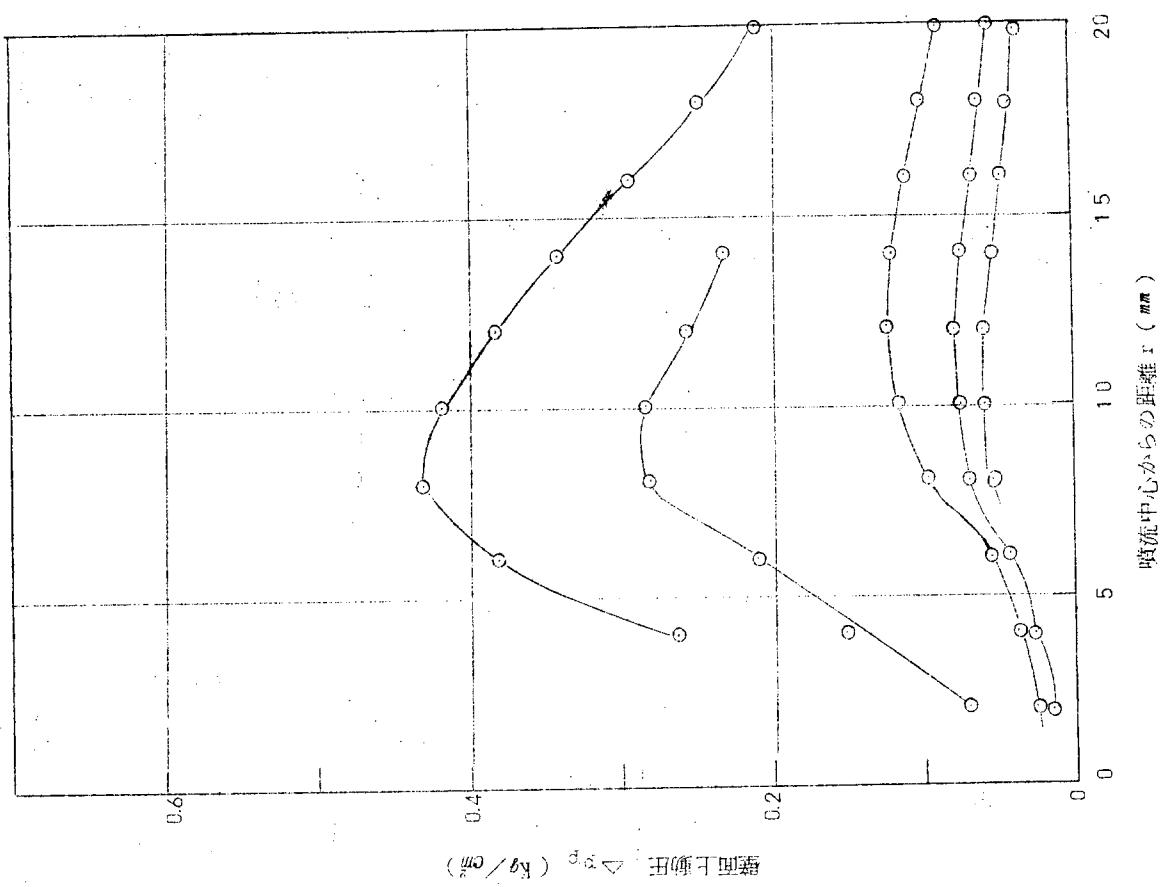
c, L=4.0 m

噴流中心からの距離 r (m)

噴流中心からの距離 r (m)

a, L=2.0 m





第4-11 図(B) 平板上動圧と岐点からの距離

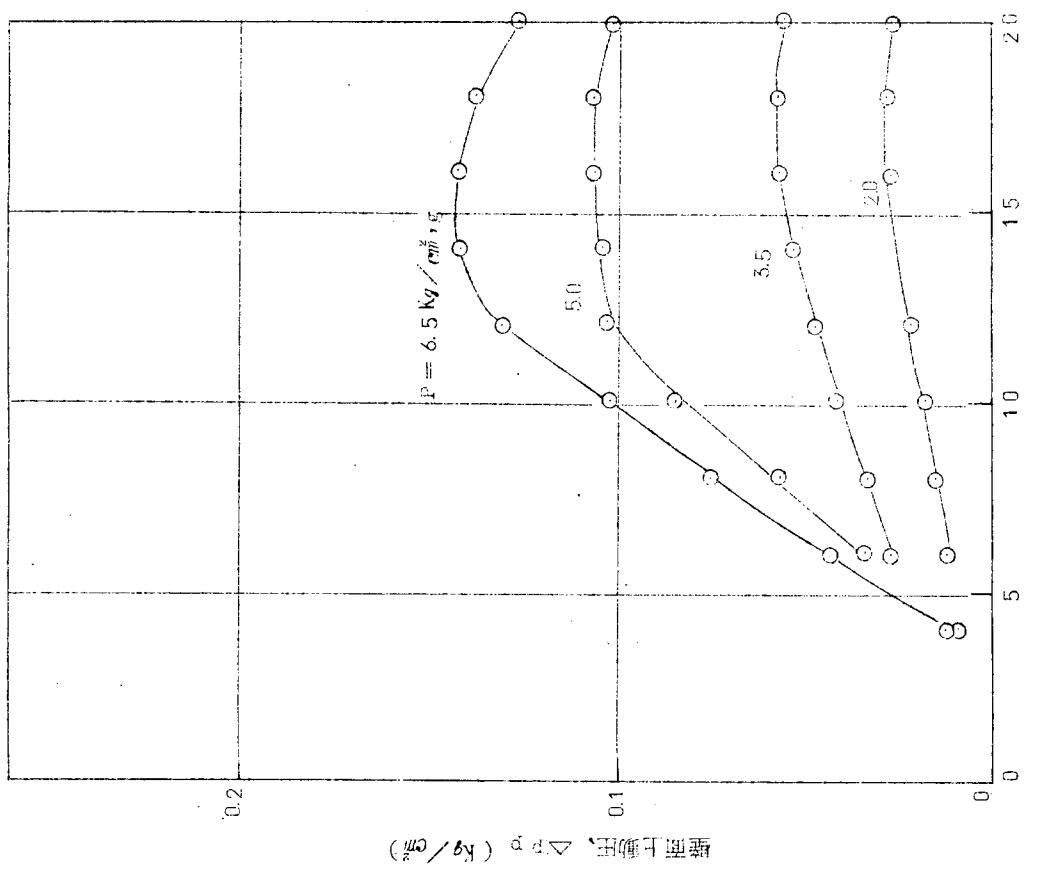


図4-11 (a) 平板上動圧と較点からの距離

$P_0 = 6.5 \text{ kg}/\text{cm}^2, g$

$P_0 = 5.0 \text{ kg}/\text{cm}^2, g$

$P_0 = 3.5 \text{ kg}/\text{cm}^2, g$

$P_0 = 2.0 \text{ kg}/\text{cm}^2, g$

$g, L = 120 \text{ mm}$

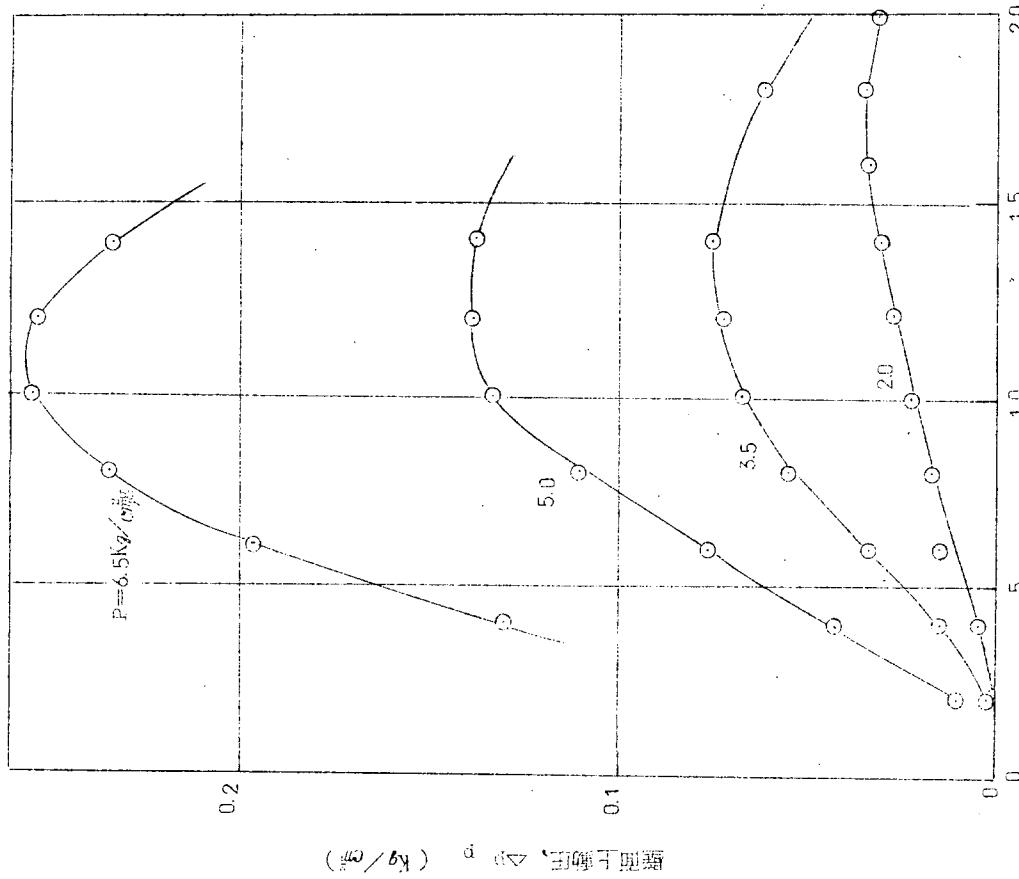


図4-11 (b) 平板上動圧と較点からの距離

$P_0 = 6.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$

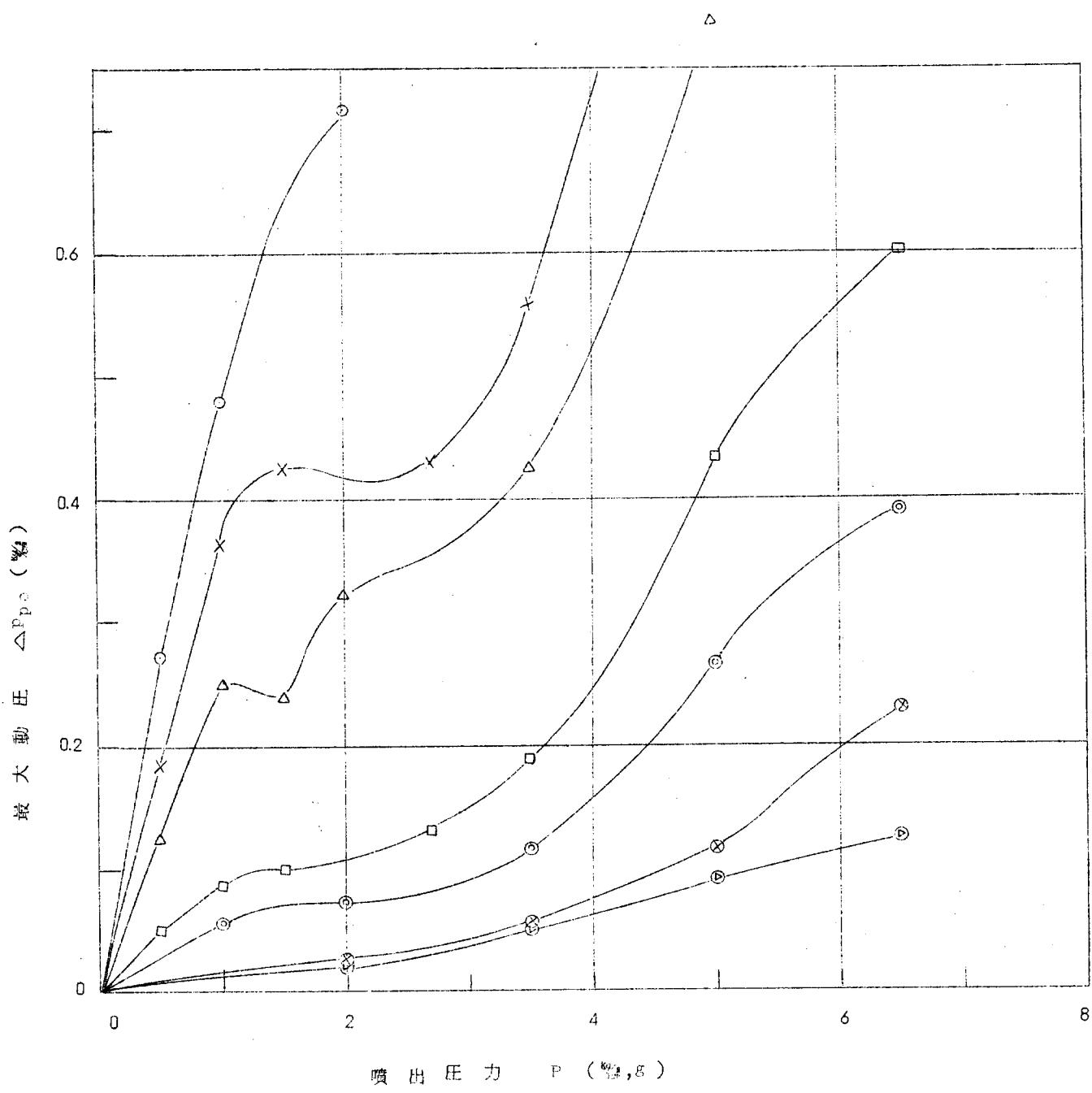
$P_0 = 5.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$

$P_0 = 3.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$

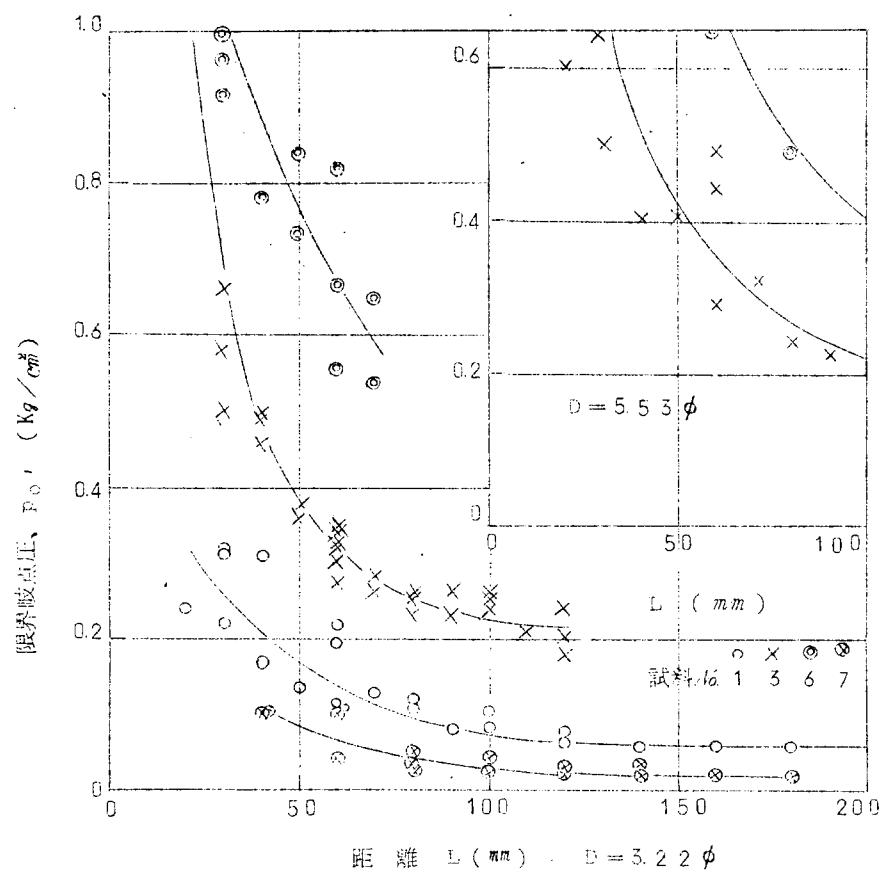
$P_0 = 2.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$

$f, L = 100 \text{ mm}$

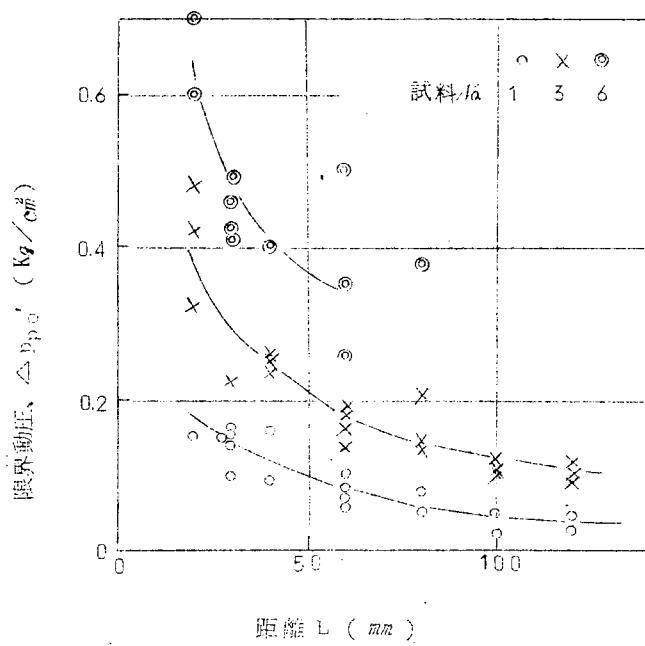
図4-11 (b) 平板上動圧と較点からの距離



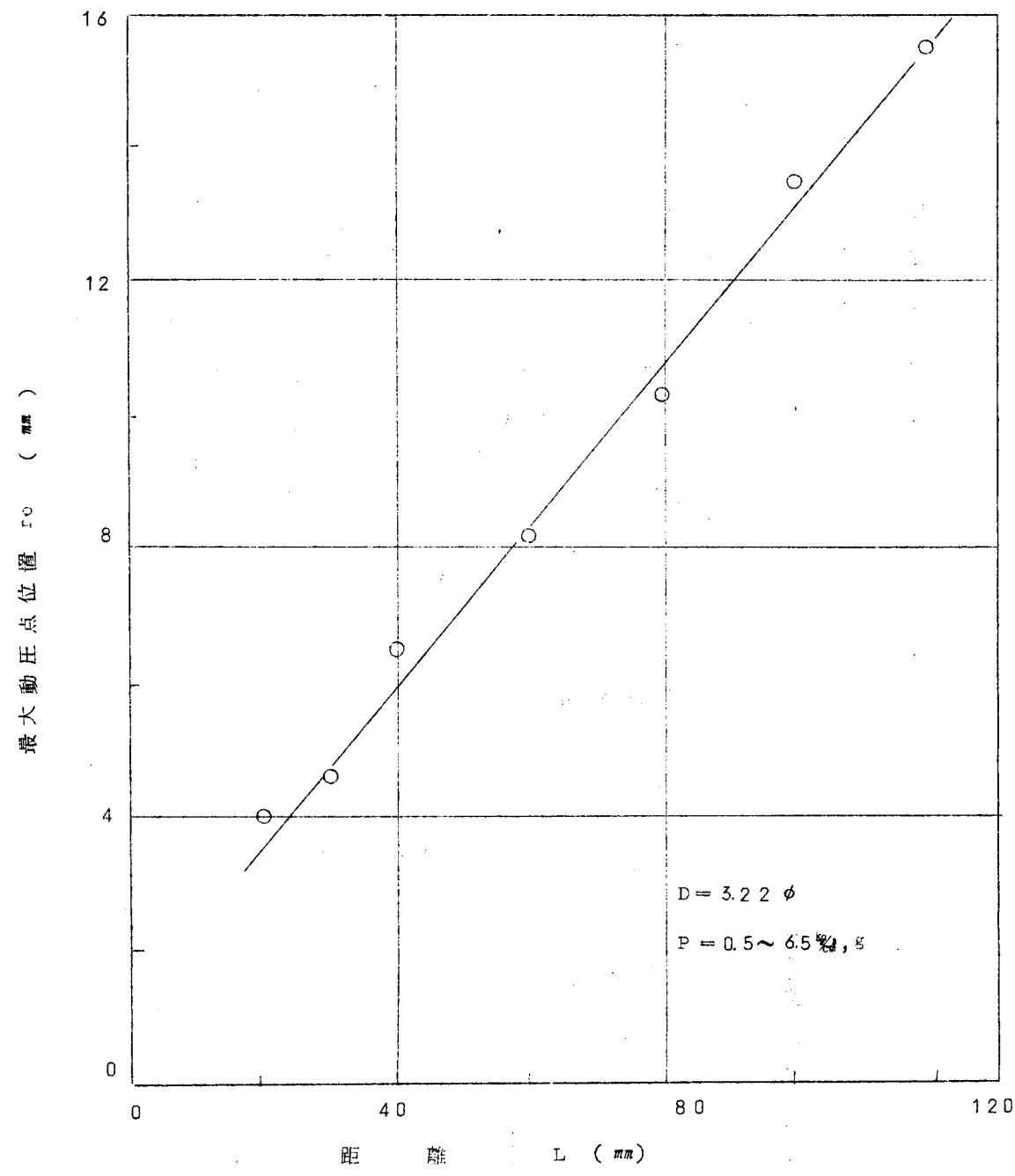
第4-12図 最大動圧と噴出圧力 $D = 3.2 \cdot 2\phi$



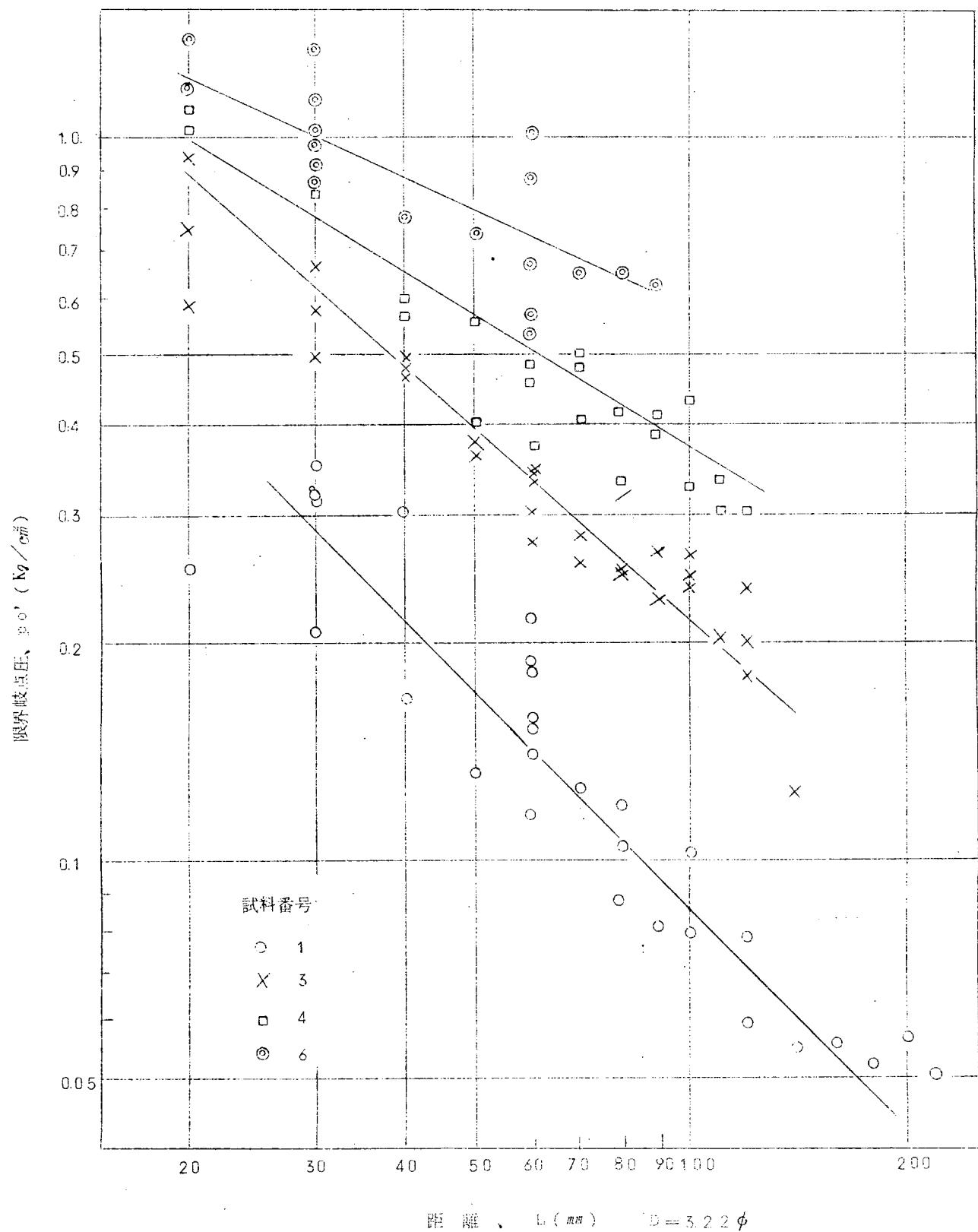
第4-13図 限界点圧と距離

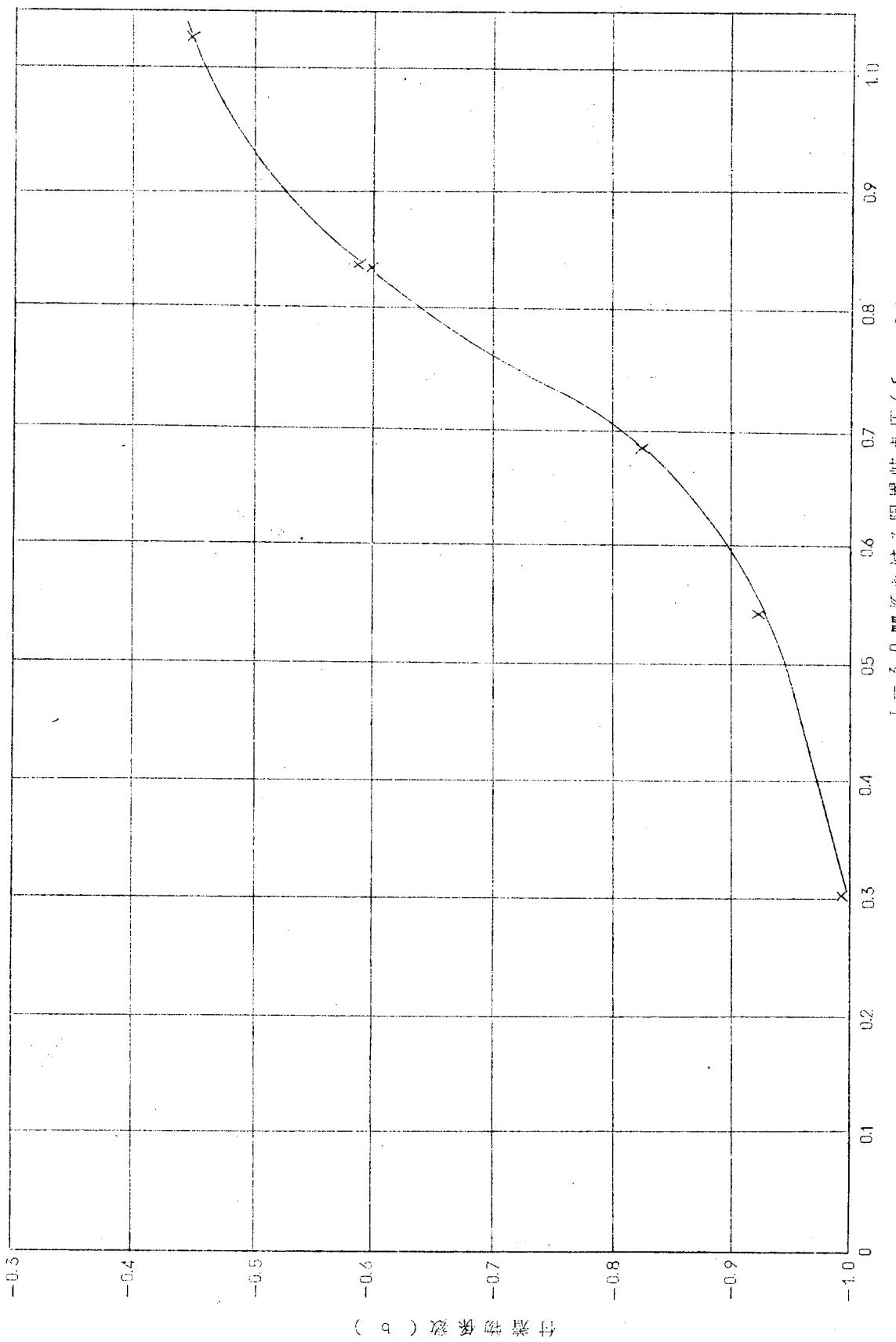


第4-14図 限界動圧と距離



第4-15図 最大動圧点と距離





第4-17図 付着物特性数 $[p_c']$ と $[-C_p]$ の関係
 $L_1 = 30\text{ mm}$ における限界岐点圧 ($[-C_p']$)

第5章 文 献 調 査

既述のとおり外部汚れに関する研究調査はこれまでにも数多く行なわれている。本研究部会では実際の調査活動と平行して、これらの文献の調査もできるだけ行なうこととした。

文献の内容は多方面にわたっているので調査の方法を検討を要するが、本年度はとりあえず各委員で目についた文献から行ない、大略の傾向をつかむこととした。

本年度、打合せ会、5回の委員会などの席上で各委員から紹介された文献名はつきの通りである。

- a, Corrosion and deposits in boiler and gas turbines, by ASME Research Committee On Corrosion and Deposits, 1959 ASME
- b, Flue gas corrosion in boiler plants, A. Sjögren, Report no. 38, U.D.C., 1960
- c, 船用大型ディーゼル機関における低質燃料油,
大岡則隆, 内燃機関 1965年7月(Vol. 4)
- d, Condensation of sulphuric acid from flue gas on a cooled cylinder, by K. Rees, J. of Inst. Fuel, 1965, p. 273-277
- e, Some results obtained from a fuel oil water washing plant in studies of the fouling of marine superheaters, by W. Tipler,
- f, Low excess air combustion of heavy fuel oil high temperature deposits and corrosion, by, M. Chaikivsky & C.W. Siegmund, Trans. ASME, J. of Engg. for Power, Oct. 1965, P. 379-
- g, スーベリオ煤吹装置の設計および保守について
- h, A pilot plant investigation of factors in oil fired boilers, by R.C. Attie & P. Seder,
J. of Engg. for Power, April 1965, p. 1-3
- i, Boiler flue gas measurements using a dew point meter, by N.D. Clark & G.D. Childs, J. of Engg. for Power, Jan. 1965, P. 1-2
- j, ボイラ高・低温腐蝕対策としての水マグスラリ添加法
橋口 稔 他、三菱重工技報 Vol. 3, No. 2, P. 136~142
- k, Fireside deposits in oil fired boilers, by G. Jacquin et al, I&EC, Oct. 1956, P. 1931-1934
- l, 火力発電に関する当面の研究課題について
電力中央研究所, 技研報告 No. 65023(1965.6)
- m, ボイラ外部汚れに関する文献一覧

第6章 むすび

以上第2章～第5章にわたつて昭和41年度に行なつた作業について述べてきた。ここでそれから得られる結果について考察し、これらをもとにして来年度以降の調査方針に対する考え方を述べることとする。

1. ボイラ外部汚れの実態について

実缶付着物の調査は実船3隻、陸上ボイラ3か所について、またテストピースによる実缶テストは陸上ボイラについて、水冷式プローブによるもの2缶、テストピースによるもの2缶の調査をした。テストピース付着物と実缶付着物とは大略同じ傾向であつた。これらの調査から、

① 付着状況； 付着物は通常3～4層にわかれ付着している。ガス流の上流側と下流側では付着の仕方、付着力に多少の相異がみられるが、これは流れの状態が相異することによると思われる。

② 付着量； 蒸発管、過熱器管、エコノマイザ管などで若干相異しているが、一般的な傾向はまだつかめない。炉筒煙管ボイラの結果をみると、付着量は最初の1週間以内で飽和に達する。

③ 付着物の組成； 一般に従来いわれている傾向と一致しているが、細かい部分ではまだ未解決点の多いことがわかつた。一般に高温伝熱面ではV、Na系化合物が多く、低温伝熱面にはS系の化合物が多い。しかし付着物の主成物とみられるV、Na、S系化合物はどの伝熱面にも高い比率で含まれている。中間温度部分、ガス温度が高くて伝熱面温度は高くない部分（燃料室水壁）などの傾向もあわせてみると、付着物にはガス温度よりもむしろ伝熱面温度の方が重要と考えられる。

V、Na、S系以外にMg、Siなどの耐火材料に含まれていると考えられる金属成分がかなり多く含まれている。これらの付着物がV、Na、Sの挙動によつて支配されるのか、あるいは独立で働くのかは不明である。V、Na、Sなどの燃料に含まれている成分と独立で働きをするならば、従来とは別の新な観点から付着状況を考察せねばならないだろう。

今年度の調査では定量的な分析はわずかしか行なえなかつた。定性的な分析でもある程度の傾向はつかめるが、やはり定量分析がどうしても必要である。

④ 付着力（Adhesivity）； 一般にみると外側第1、2層は付着力は小さくスープロワで簡単に除去されるが、第3、4層目は急に大きくなり、スートプロワによる除去は困難と考えられる。付着力の値そのものは調査ボイラによつて変動しておりまだ一般的な傾向はつかめない。

この層による付着力の相異は付着物の組成そのものによるのか、あるいは他の物理的な要因によるものかは不明である。各層の付着物を別別に分析する詳しい調査が必要である。

⑤ 炉筒煙管ボイラによる結果をみると、ある条件によつて決定される汚れ現象は従来考えているような時間的に緩慢なものではなく、もつと短時間のうちに状態が決定されるようで、これはLog book調査の結果をみてもらがえる。したがつて汚れ現象の詳しい観測を行なうためには、模型炉を利用した密な調査が必要と考えられる。

2. ボイラ外部汚れによる風圧や蒸気温度などの変化について

これはもつぱら Log book の調査によつた。ディーゼル船7隻、タービン船5隻を調査したが、調査に必要な項目を記録している船は少なかつた。風圧や蒸気温度、あるいは回転数や燃料消費率などにおよぼす因子はきわめて

多く、それらの中には相殺作用を持つものもあつて外部汚れによる影響が端的に船の諸性能に反映してこない。とくに長期的な運航特性に対する汚れの影響をみる場合には、この傾向が強いようである。

- ① 長期的にみてエコノマイザ出入口温度差、風圧損失、蒸気温度などに弱いながら汚れの影響がみられる。
- ② 短時間の変化状態をみると、汚れの影響はもう少しつきりする。

炉筒煙管ボイラの結果をみると、排ガス温度と付着量との傾向はよく対応している。これは伝熱特性におよぶ汚れの影響である。就航船ボイラはまた影響の仕方は異なると考えられるが、汚れの影響は明らかに存在すると思われる。

いずれにしても調査範囲の拡大が望まれる。

3. 模型炉による外部汚れの調査

1-③でも述べたように付着状況の詳しい調査には模型炉による実験が必要である。また条件を任意に設定でき、安定な状態での実験が可能という点でも有利である。今年度はその実験方法を決定し、基本的な実験装置の製作を終えた。

4. スートプロワの基礎実験

今年度は付着物の付着力の数量化を目的とした。今年度は、平板に模擬付着物（砂と接着剤を水でといたものとの混合物）を一様な厚さで塗布し、これに四分円ノズルからの空気噴流を吹き付ける実験を行なつた。ついでかかる噴流によつて平板がうける静圧成分、動圧成分などの諸量を計測し、付着物が除去される機構の調査を行なつた。

その結果を要約すれば、

- ① 実物付着物を噴流によつて除去する場合、その付着特性指数として次式の中の β やおよび $[p_0']$ をとればよ

$$[p_0'] / [p_0] = (L/L_0)^{\beta}$$

ここで、 $[p_0']$ ：ノズルと付着面との距離が L のとき、面上の付着物を除去するに必要な岐点圧力。

$[p_0]$ ： $L=L_0$ のときの p_0' の値

β ：付着物の性質により決る定数

一般付着物の $[p_0']$ りなる値特性数は次のようにして求めることができる。

(i) 付着物が除去される瞬間の限界噴出圧力 P_{cr} を、標準空気噴射装置 ($L=L_0$, $D=D_0$) を用いて測定する。

(ii) $D=D_0$, $L=L_0$ に対する噴出圧力と岐点圧との関係 ($p_0 \sim P$ 線図) を用いて P_{cr} に対応する $[p_0']$ を求める。

(iii) 標準付着物試料に対する $\beta \sim [p_0']$ 線図を用いて上に求めた $[p_0']$ に対応する β の値を得る。

測定方法を規定すれば、以上のごとく標準付着物試料を基準にして一般付着物の付着特性を表現することができる。

(2) 噴流をストップロワとして使用する場合、照射時間は主要因子ではない。除去過程は瞬間に終るからである。

噴流によつて生ずる面上の動圧が問題となる。自由噴流軸上の動圧はノズル径、ノズルと付着面との距離、噴出圧

力、ノズル形状などによりきまる。中でも圧力の影響は複雑である。

ストプロワの性能を表示する特性数は、上の自由噴流動圧の傾向に、実際に使用する管群中における噴流の減衰効果を加えることによつて得られる。

この場合、付着物の強さは、測定値を、距離および管径による寸法効果を考慮して修正した値を用いねばならない。

5. 来年度以降の活動方針

(1) 付着物の付着特性数がわかつたので、標準空気噴射装置を用いて実缶付着物の調査を行ない、その特性数を求める。

加えて以下に述べる調査を続行し、ボイラ外部汚れの実態把握に努めるとともに、付着特性におよぼすそれらの影響を知る。

(2) 就航船のボイラ外部付着物の調査、就航船の風圧、蒸気温度などの変化。

調査にあたつて留意したいことは、従来のように長期的な観点に立つ調査とともに、数時間あるいは1日オーダの短期的な傾向についても調査する必要がある。また付着物については各層別に詳しく定量的に調査しなければならない。

(3) 模型ファーネスによる実験、テストピースによる実験

これらはプローブあるいは実験装置が一応完成しているので本格実験に入ることができる。実験にあたつては(2)と同様の注意が必要であるが、実験の際の燃料の性状、ガス温度の記録が得られるとよい。

(4) ストプロワの基礎実験

標準付着物試料の選定、寸法効果の十分な調査を行なつた後、管列の実験に入り、噴流の減衰効果の調査にする。上述の寸法効果の影響があるため、一度は実際の管群による実験と模型管群による実験との比較が必要であるが、噴流や管群の配列方法などによる特性変化はモデル実験で調査し得ると考えられる。

これらの実験を進めてストプロワの性能を表示する特性値の具体化を目指す。

なお付着特性はボイラ運転中と休止状態とではかなり変化する。ストプロワを実際に使用するにあたつて生ずるこれらの問題についても平行して考察を進める。