

日本船舶振興会昭和42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. 69

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43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42年度補助事業「船舶の経済性向上に関する調査」の一部として日本造船研究協会第92研究部会におい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	鈴木雄二(吳造船所)
委員	池田学(川崎重工業)	委員	鈴木信二郎(三菱重工業)
"	伊丹伸雄(三井造船)	"	瀬尾正雄(船舶技術研究所)
"	伊藤寿夫(三菱重工業)	"	徳屋章彦(日本鋼管)
"	沖田正(")	"	西川栄一(大阪大学)
"	小尾雅俊(日立造船)	"	野村信義(日本船用工業会)
"	加藤泰弘(石川島播磨重工業)	"	樋口勝彦(大阪商船三井船舶)
"	門川三郎(新和海運)	"	布留川信止(日本郵船)
"	川瀬好郎(東京タンカー)	"	堀田秀夫(東京商船大学)
"	河相浩二(三菱重工業)	"	堀合郁雄(函館ドック)
"	北野直治(川崎汽船)	"	森田駿樹(神戸商船大学)
"	木脇充明(神戸商船大学)	"	三沢禎(日本钢管)
"	久津間裕良(運輸省)	"	吉田和夫(浦賀重工業)
"	佐々木康夫(日本海事協会)	"	脇川忠彦(佐世保重工業)
"	真田良(日本船主協会)		
"	杉山興三(昭和海運)		
討議参加者	池田敏(佐世保重工業)	討議参加者	田上健(吳造船所)
"	伊藤征矢(川崎重工)	"	谷井宏光(三井造船)
"	江浦浩(大阪大学)	"	西岡和正(三井造船)
"	川畑昭陽(平川鉄工所)	"	山崎真彦(浦賀重工業)
"	高田攸文(日本钢管)		

目 次

第1章 まえがき	1
1.1 昨年度の調査結果の概要と今年度の方針	1
1.2 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附着物の調査	3
2.1.1 調査方法	3
2.1.2 調査結果	3
2.2 就航船の風圧、蒸気温度等の調査	8
2.2.1 まえがき	8
2.2.2 調査結果	9
第3章 燃焼および燃焼生成物附着状況に関する調査	37
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	37
3.1.1 まえがき	37
3.1.2 実験装置と方法	37
3.1.3 実験条件	39
3.1.4 実験結果	40
3.1.5 結論	50
3.2 実物ボイラに取り付けたテストピースによる調査	50
3.2.1 水冷式テストプローブによる調査結果	50
3.2.2 空冷式テストプローブおよび小型模型管群による附着物生成に関する実験	53
3.2.3 煙管ボイラに取り付けたテストピースによる実験	59
第4章 附着物除去方法に関する基礎実験	64
4.1 スートプロワに関する基礎実験	64
4.1.1 実験の概要	64
4.1.2 標準附着物試料の作成	64
4.1.3 単管の除去実験	66
4.1.4 管群の除去実験	67
4.1.5 結論	90

第1章 まえがき

1.1 昨年度の調査結果の概要と今年度の方針

今年度は昨年度の調査に引き続き、昨年度と同様の項目をあげて調査を進めた。以下各項目別にその概略について述べる。

(1) ポイラ外部汚れの現状調査

(1) 就航船のポイラ外部附着物の調査

昨年度は実船3隻、陸上ボイラ3缶(内1缶は石炭だき)について行ない、とくに実船については標準ノズルによる附着物の附着力調査も行なつた。その結果伝熱面温度の相違による汚れの変化の状況、附着力の変化などについて一般的な傾向を知ることができた。

今年度は調査船の数を増して、これらの傾向を明確にすることにした。なお、採取した附着物は定量分析(昨年度は定性分析)にかけ、附着物の層状構造を詳しく調べる方針とした。

(2) 就航船の風圧、蒸気温度の変化の調査

昨年度はログ・ブックを主体として、ディーゼル船(排ガスエコノマイザ)7隻、タービン船5隻を調査した。船の運航諸特性には外部汚ればかりでなく、他にも種々因子が影響するので、端的に外部汚れの影響が諸特性に反映していない。それでも上述の船を調査した結果、エコノマイザ出入口温度差、風圧損失、蒸気温度などが明らかに外部汚れによって影響されることがわかつた。

今年度はさらに調査船を増加することとしたが、できれば次の点に注意して調査する方針とした。

① 長期的な変化とともに、1日あるいは時間オーダの短時間の変化にも注意する。

② スートプロワの運転周期と諸性能値の変化の相関関係。

③ スートプロワの使用頻度と諸性能値の変化の関係。

(2) 燃焼および燃焼生成物附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

昨年度は実験方法を検討し、基本的な実験装置の製作を完了した。

今年度は、この装置に改良(ガス流路部分、模型管群の温度制御法、薬品添加法)を施した後、運転実験にはいり、模型伝熱面に附着した汚れを採取してその性状を調査する方針とした。その調査にあたつては、とくに汚れの層状構造に注目してその生因を調査する。

(2) 実物ボイラにとりつけたテストピースによる調査

昨年度は表面温度制御可能な水冷式プローブ(低温伝熱面を対象とする)、空冷式伝熱面(高温伝熱面を対象とする)、および温度制御をしないテストピースを製作し、陸上ボイラにとりつけて附着物の調査を行なつた。

今年度も、これらのプローブ、テストピースを用いて、取付可能な実缶を見つけて調査を続行することとした。

(3) 附着物除去方法に関する基礎実験

(1) スートプロワに関する基礎実験

昨年度は平板に模擬附着物(粒度一定の砂を水と接着剤でとしたもの)を一様な厚さで塗布し、これに先細の四分円ノズルからの空気噴流を吹きつけて除去する実験を行なつた。

この実験により附着物は、噴流によつて生じた附着面に平行な動圧成分がある値になつた時に除去されるが、この動圧成分は附着物の附着強度とは別に、ノズルから附着面までの距離によつても変化する。こうして附着物除去に関する基礎的な性格が明らかとなり、附着物強度とそれを除去するに要する噴流力との間の定量的な関係式を導いた。さらに噴流による附着物除去過程は瞬間的な現象であり、噴流照射時間は大して問題とならないことも明らかとなつた。

今年度はこれらの実験結果をもとにして管群の実験にはいることにした。すなわち小型の模型管群を作製し、これに

模擬附着物を塗布して昨年と同様の空気噴流をあて、附着物除去に要する噴流力がいかに変化するかを調査することとした。

(4) 外部汚れに関する文献調査

昨年度も機会あるごとに行なつてきたが、今年度もこれを続行することとした。今年度は外部汚れに關係あると思われる雑誌を過去10年間にわたつて見直し、外部汚れの文献名一覧を作製することを目的とした。

1.2 作業経過

昭和42年4月、本年最初の第6回委員会を開催し、本年度の作業方針を審議し、決定した。

ついで、昭和42年8月、9月、12月に第7～9回の委員会をもち、各実験作業の進展状況を報告すると共に、その内容についても検討した。なおこれらの会合では、文献調査の方法や作業分担についても審議し、引続いてその調査を開始した。

本年最後の第10回委員会は昭和43年2月東京で開かれ、今年度の作業結果についてとりまとめるとともに、来年度は本部会の調査活動の最終年度でもあるので、来年度の調査方針に関する検討もあわせて行なつた。

以下第2～4章にわたつて本年度の作業結果について述べるが、作業項目(4)の文献調査については継続作業であるので、これについては来年度にゆずることにしたい。

第2章 ボイラ外部汚れの現状調査

2.1 就航船のボイラ外部附着物の調査

2.1.1 調査方法

昨年に引き続き、船に搭載された実缶の汚れの調査を行なつた。2隻行なつたが調査方法は昨年と同様で下記の項目について調べた。

- (1) 外観の観測(肉眼および写真)
- (2) 附着物の化学分析(本年度は定量分析)
- (3) 附着特性の計測(昨年と同じ標準噴射装置による)

2.1.2 調査結果

(1) おりおん丸

(a) ボイラ仕様 (三菱神戸C-2二胴水管ボイラ)

蒸発量 27.5 t/hr (35 t hr)

圧力 6.5 kg/cm² (6.0 kg/cm²)

過熱器出口蒸気温度 480°C

給水温度 135°C

予熱空気温度 135~150°C

排ガス温度 150~180°C

(第2.1図参照)

(b) 燃料重油性状

比重 0.9635

引火点 114°C

粘度 50°C 92.58

Sulphur 3.75%

添加剤 クリトニック Powder

(c) 外観観測結果

(燃焼室)

蒸発管第1層

(A部) かさぶた状でうす赤茶色の

A{O
B
バーナ
やや硬いスラグがボロボロ
とよくとれる。

(B部) かさぶた状だが鉛色、うす
赤茶色など色とりが多い。溶融した
状態で附着している感じ。

(写真2.1、2.2)

蒸発管第2層

黒茶色で粒子はこまかく、うすく附着している。

割合簡単にとれる。

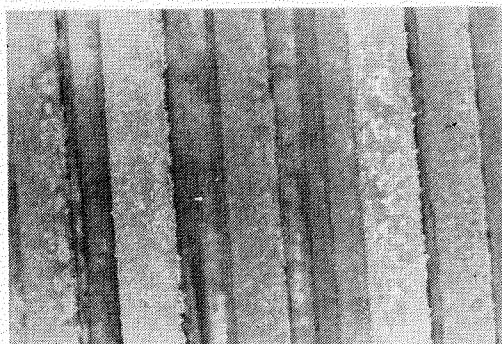


写真2.1

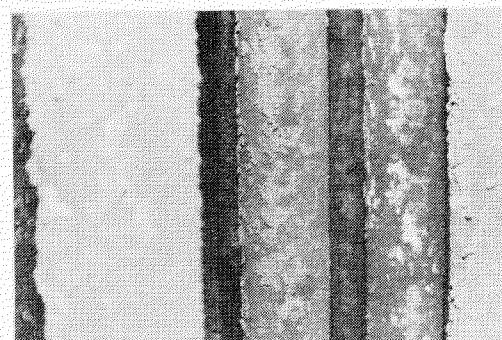


写真2.2

蒸発管第3層

あざやかな緑、層は非常にうすい。

蒸発管第4層

灰白色で管壁に一様に附着している。(写真2.3)

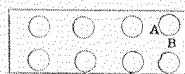
(過熱器)

第1管群 (第1層) 黒灰色、粒子はやや細かく、層は2
~3mm程度でよく採れる。

(第2層) 灰白色で一様であるが層は非常にう
すい。

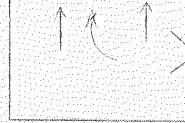
ただし炉壁にもつとも近い部分の管
には第1層が黒茶色のうろこ状の附
着物があつた。

第2管群 (第1層) (A) 粒子のあらい黒茶色



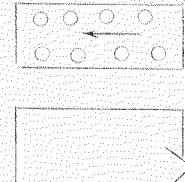
(B) 黒茶色の附着物、Aに近づくに
したがつて粒子が大きくなる。

(写真2.4)



(第2層) 灰白色で層は一様でうすく、あまり
はつきりしない。

第3管群 (第1層) 左図矢印の方向に行くに従い、茶か
つ色のうろこ状のものが多く附着し
ていて、とれにくく。写真2.5にみ
るようにある角度範囲に密について
いる。。 (写真2.5)



(第2層) 粒子の細かい黒茶色のうすい層

(第3層) 緑の層、あまり厚くないが、矢印の
方向へ行くに従い緑はこくあさやか
になる。(写真2.6)

(第4層) 灰白色で一様な層

第4管群 (第1層) 黒茶ないし茶かつ色のものがうろこ
状に附着している。ややとれにくく。

(第2層) 黄緑色

(第3層) 灰白色で一様な層

(エコノマイザ) 調査できなかつた。外観を写真2.7に示
しておく。

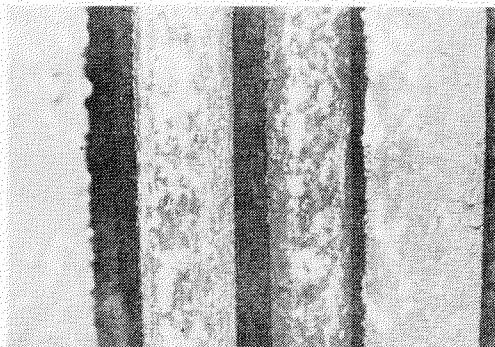


写真2.3

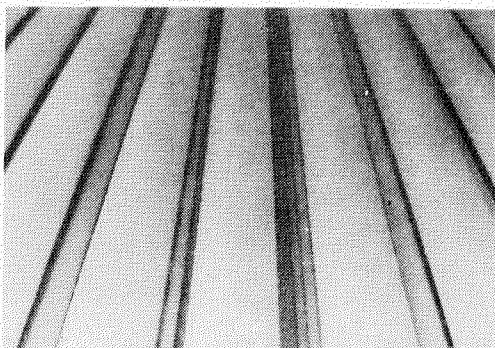


写真2.4

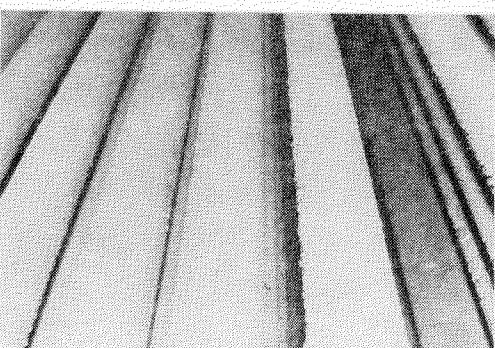


写真2.5

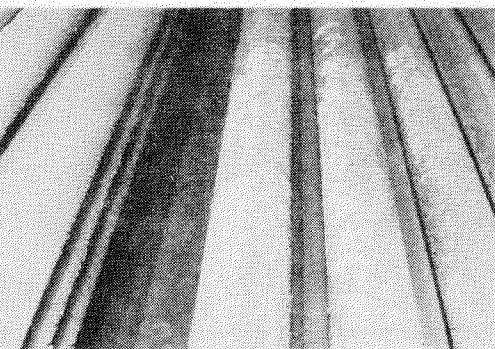


写真2.6

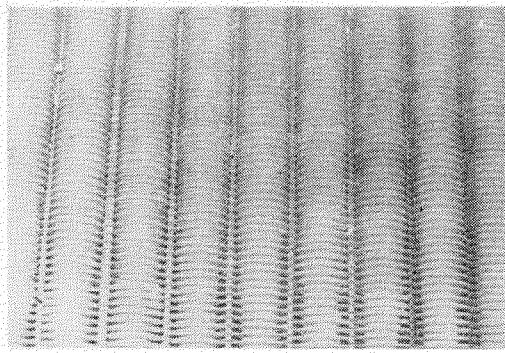


写真 2.7

(d) 附着物定量分析結果

上記各部の附着物を分析した結果を第2.1表に示す。

第2.1表 収集附着物分析結果(おりおん丸)

採取位置 分析項目	蒸発管			過熱器				1、2群 表層	
	(観察) 1 ① 〔A部〕 第1層	(") 1 ④ 〔B部〕 最下層 ③混	(%) 1 ① 〔B部〕 第1層	第1管群	第2群	第3群	第4群		
	表層 ② ① 〔A〕 〔B〕	表層 ② ② 〔A〕 〔B〕	表層 2 ③ 〔第1層〕 〔第3層〕	下層 2 ③ 〔第3層〕	下層 2 ④ 〔第2層〕				
pH	3.80	3.10	3.90	2.80	2.85	3.35	3.10	3.25	3.15
Tg:loss (%)	4.40	15.3	7.16	5.10	5.50	1.25	16.7	6.08	9.83
Water Sol. (%)	57.8	87.6	7.65	62.6	84.9	5.67	91.3	91.2	29.2
Acid insol. (%)	2.64	1.52	2.32	1.00	0.90	0.86	0.68	0.40	0.40
Total S as SO ₃ (%)	48.2	49.2	44.1	34.2	39.9	3.05	51.2	53.0	1.72
Total Fe as Fe ₂ O ₃ (%)	1.07	1.60	3.69	5.15	1.82	1.29	0.81	2.55	61.8
Total V as V ₂ O ₅ (%)	10.7	14.4	16.9	40.5	34.8	40.2	13.6	4.26	1.30
Total Ni as NiO (%)	2.72	2.52	1.46	2.82	3.52	4.52	2.84	2.19	0.12
Total Ca as CaO (%)	21.0	9.80	9.80	2.80	3.22	7.56	5.18	4.76	0.01
Total Mg as MgO (%)	6.54	6.74	4.42	4.02	3.51	5.33	2.82	3.82	0.30
Total Na as Na ₂ O (%)	6.08	11.2	17.5	7.51	12.4	9.04	21.0	28.9	0.30
Carbon (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	82.0
Total	98.95	97.18	100.19	98.00	99.07	99.34	98.13	99.88	96.32

(2) 常島丸

(a) ボイラ仕様 (I, H, I、FW、D型ボイラ)

蒸発量 最大 2.4 t / hr
圧力 4.7 kg/cm^2 (4.2 kg/cm^2)
過熱器出口温度 450°C
(過熱器は水平リ字型)

(スートブロワ)

ダイヤモンド製空気噴射式定置回転型
空気圧 1.25 ~ 1.50 psi
噴射時間 3回/日 (停船中は1回/日)
取付位置は第2.2図参照

(b) 燃料重油性状

比重 0.94 ~ 1.004
粘度 レドウット 100°F 500 ~ 3946
Sulphur 2.8 ~ 3.15
Ash 0.01 ~ 0.06
(積載港によって異なる)

添加剤 (オルガノ製)

(c) 観測結果

[燃焼室蒸発管]

第1層 A部 大きいかさぶた状(写真2.8)

B部 粒子のやや細かいかさぶた状



A,Bいずれも黒茶色で密度は粗く
簡単にはがれる。

厚さ2~3mm

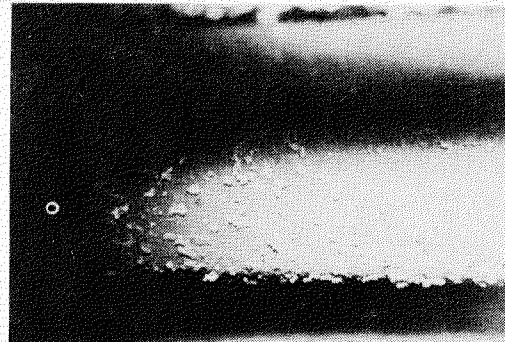


写真2.8

第2層 粒子は細かくこげ茶色の黒味が多い色で層は一様で非常にうすい。

第3層 部分的なかさぶたのすぐ下の層があざやかな緑色。これは非常に硬く点在している。

第4層 うす茶色でピンタリ密着している。

第5層 白ないし灰白色で一様だが層は極めてうすい。

[過熱器]

水平管と水平管の間は固いコクス状のスラグでところどころ閉塞しており、管壁につくスラグはおりおん丸のそれと似ている。

蒸発管側第1列、第1層 かさぶた状にくつついている。(写真2.9)

第2層 灰白色

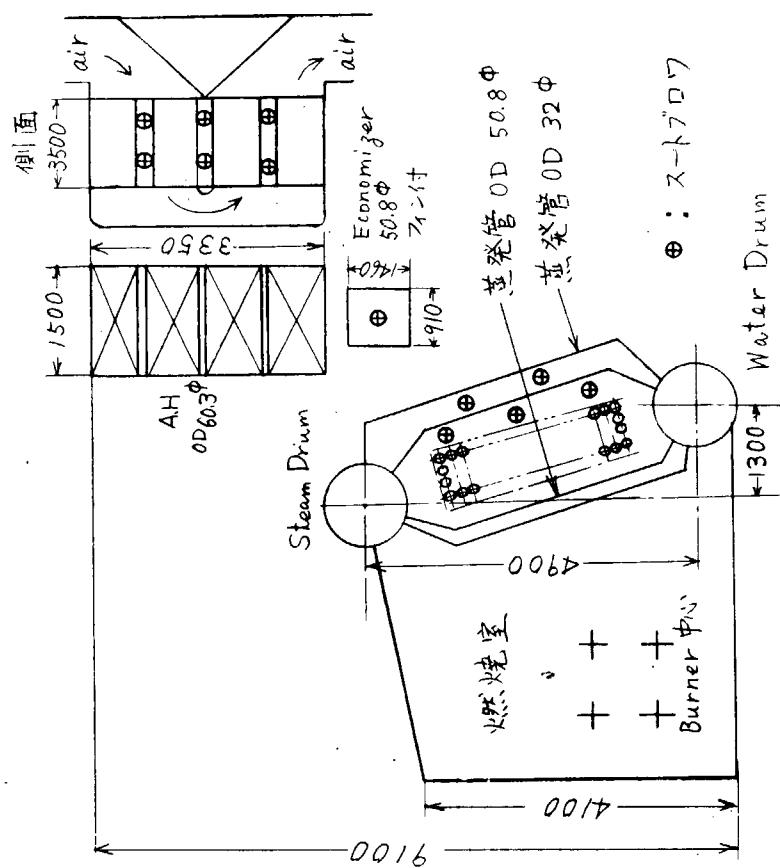
第3層 緑色の結晶

[空気予熱器]

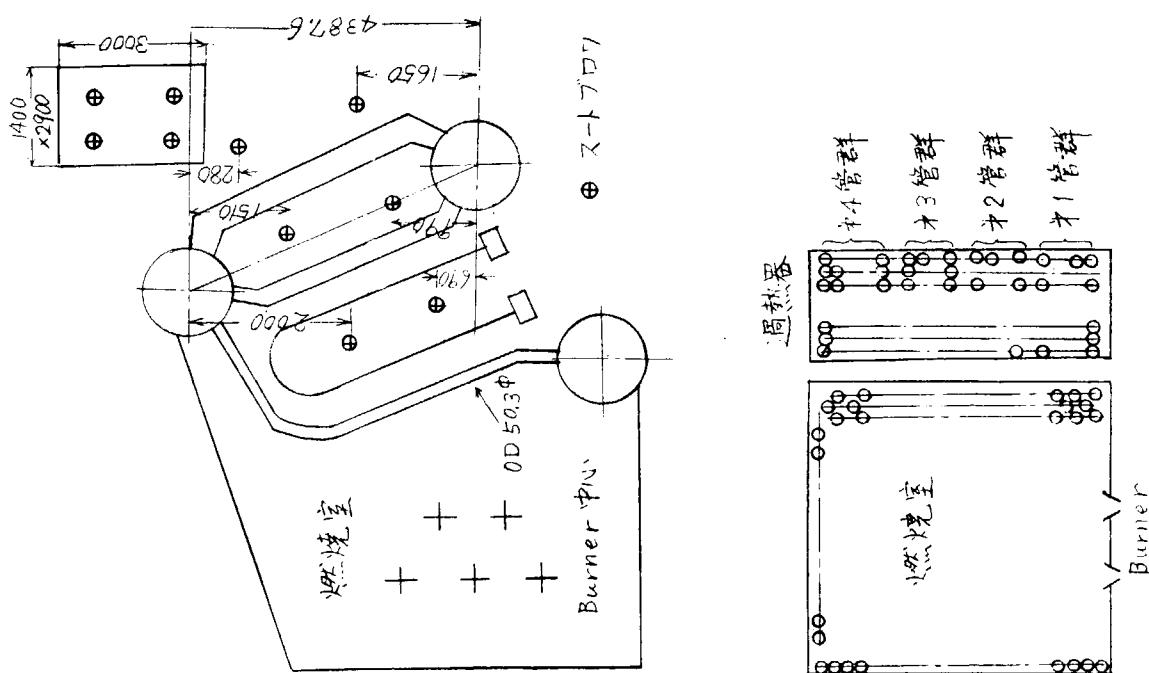
第1層 粒子は粗く、層は水平管の上部に多くあり、これは上面にのつているという感じ。

第2層 硬い、うす茶ないし乳茶色で管状のままとれる程たくさんついている。

第3層 乳色にやや黒味がかったスラグで粒子は比較的細かく管壁に密着している。(写真2.10)



第2.2図 ボイラ形状略図(常島丸)



第2.1図 ボイラ形状略図(おりおん丸)

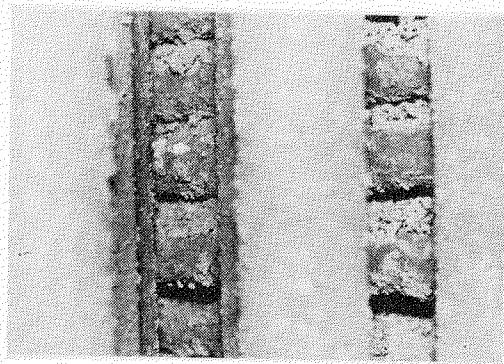


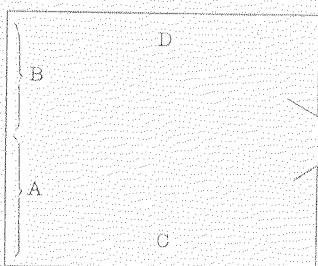
写真 2.9



写真 2.10

(d) 標準空気噴射装置による除去調査

燃焼室のみ可能であった。



$$\textcircled{A} \quad L = 30 \text{ mm}, \quad D = 6 \text{ mm} \phi$$

第 1 ~ 2 層 $P = 0.6 \sim 1.4 \text{ atm}$

他は除去不可

$$(L = 30 \text{ mm}, \quad D = 6 \text{ mm} \phi, \quad P = 5 \text{ atm})$$

$$\textcircled{B} \quad \text{第 } 1 \sim 2 \text{ 層 } \quad L = 120 \text{ mm}, \quad D = 6 \phi, \quad P = 0.1 \text{ atm}$$

他は除去不可

$$\textcircled{C} \quad \text{第 } 1 \sim 2 \text{ 層 } \quad L = 30 \text{ mm}, \quad D = 6 \phi \quad P = 0.4 \sim 0.5 \text{ atm}$$

$$\textcircled{①} \quad \text{第 } 1 \text{ 層 } \quad L = 30 \text{ mm}, \quad D = 6 \phi \quad P = 0 \sim 0.7 \text{ atm}$$

他は除去不可

(e) 附着物定量分析結果

第 2.2 表に分析結果を示す。

第 2.2 表 収集附着物分析結果

附着物 項目	蒸発管			過熱器	空気予熱器			煙道
	第 1 層	第 2 層	第 3 层		第 1 層	第 2 层	第 3 層	
Total S as SO_3 %	40.7	39.8	53.4	41.7	31.2	51.0	49.7	38.0
Total Fe as Fe_2O_3 %	3.02	4.67	4.06	1.33	13.4	4.08	4.05	17.8
Total V as V_2O_5 %	13.0	14.3	11.7	10.9	2.39	1.23	0.52	3.25
Total Ni as NiO %	1.21	1.14	1.23	4.31	0.85	0.92	2.30	1.23
Total Ca as CaO %	1.97	1.12	1.26	5.62	1.82	0.42	0.56	0.98
Total Mg as MgO %	25.4	18.2	11.3	23.4	1.54	0.40	0.34	2.44
Total Na as NaO %	1.11	1.07	2.25	2.06	43.2	4.80	3.17	2.09

2.2 就航船の風圧、蒸気温度等の調査

2.2.1 まえがき

本年度も昨年度と同様の方式によつてログ・ブックの調査を実施したが、昨年度の報告によればボイラの外部汚れ現象は従来考えられていた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決定され、炉筒煙管ボイラでは掃除後の最初の 1 週間以内で飽和に達していることが示されている。また、実船での調査によれば附着物はおむね 3 ~ 4 層に生

成し、表面第1、第2層は附着力が小さく、スートプロワによつて簡単に除去できるが、第3層、第4層はプロワによる除去は困難であると報告されている。

したがつて、実船ではこの第3層、第4層の生成時期が問題であつてこの層の生成前に附着物の除去ができれば汚れに対する防止がより効果的であると考えられる。本年度はこの観点から、昨年層と同様な汚れの実体調査の他に、ディーゼル船、タービン船各1隻に依頼して、排ガスボイラ、主ボイラのブロード間隔を従来よりも狭めたとき(4時間に1度)のスートプロワーの効果を調査した。

なお、ディーゼル船排ガスヒータ堆積物の分光分析結果を得たので、参考のため添付しておく。

ディーゼル船……田島丸、吉野川丸

タービン船……日章丸、東京丸、出光丸、日洋丸、利根川丸

2.2.2 調査結果

(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、すでに昨年度報告したように、余剰蒸気を直接Condenserに落している状況であつて熱経済的な考慮があまり払われていない関係上ログ・ブック中にも汚れを検討するに必要な記載事項はほとんど見当らない。したがつて本年度は田島丸(N Y K)のみを対象とし必要部分の計測を依頼した。

(a) 田 島 丸

昨年度は従来から行なわれていた状態(ブロード1回/day)におけるデータ計測を依頼したが、本年度はブロード時期短縮の影響を見るため4時間に1度ブロードしたときの必要事項の計測を依頼し、昨年度とのブロード効果の比較を行なつた。第2.3図A~Gはこの計測結果を示す。図中の本年度データはブロード使用直前の計測値であつてブロードは毎回とも30秒間使用した。第2.3図A、BおよびC、Dは掃除後の1航海における毎日の02.00および14.00におけるデータがあるが、両者はほとんど同一であつて、時間の経過とともに排ガス入口、出口温度差の減少、入口、出口圧力差の増大が見られ、汚れによつて熱吸収量が減少し、通風抵抗が増大していることがうかがわれる。しかし、復航時燃料消費量が増大している関係上通風抵抗の増加はグラフ上からだけで論ずることはできない。いま、ガス温度があまり変わらないと仮定できれば抵抗値の増加は概略流速の2乗、したがつて燃料消費の2乗に比例すると考えられるから往航時の230時間経過のときの通風抵抗を基準とすれば、その換算値は第2.3図Bの×のようになり抵抗増加は○と×との差であつて、その増加割合は小さく、昨年度の3.2mm/100hrに比して1.3mm/100hr程度に減少していることがわかる。

第2.3図Eは昨年度と本年度の結果を比較したものである。速力、回転数はほぼ同様な傾向を示しているが、燃料消費量は昨年度の往・復航のあまり変化のない値に比し、今年度は復航時の燃料消費量が往航時に比し、増加しているのが見られる。排気ボイラ入口、出口温度差は昨年に比し、本年度のほうが大きく熱吸収の良好さを示していたが、掃除後の経過時間が同一でないため、正当な比較にはならない。温度差の低下割合は本年度のほうがいく分大きいが、これは燃料消費が復航時増加しているためのガス量増大によるものではないかと推察され、同一燃料消費に換算すれば、その低下割合も本年度のほうがいく分減少しているのではないかと思われる。ヒーター入口、出口圧力差△Pは昨年度1,000時間の運転すでに183mmAqを示しているが、本年度は850時間で燃料消費の多いにかかわらず、150mmAqに過ぎず、経過時間による△Pの増大も第2.3図Bでのべたような燃料の増大を考えれば昨年度よりも相当な低下が見られ、ブロード時期を短縮したことによる効果が顕著のように思われる。

第2.3図Fは外部汚れが掃除後の使用初期に著しいか、時間的に緩慢であるかを検討するため、掃除後となるべく早い時期における4日間の調査結果と、長時間使用後の4日間の調査結果を比較したものであるが、いずれもほぼ同様な傾向を示し、あまり大きな差は認められない。しかし初期(第2.3図A、a)の燃料消費が漸減しているにかかわらず、長期間使用後(第2.3図A、b)の燃料消費がほぼ一定の場合と△Pが同一の傾向を示すことから、初期における汚れが長時間使用後よりもいく分早いことが推察できる。

第2.3図⑨は毎時間の計測によつてブローによる直接の効果を調査したものであるが、各ブロー後の排ガス入口、出口温度差の上昇からブローによる効果がうかがわれる。

(2) タービン船主ボイラ

4隻の調査船について昨年と同様な調査を行なつたが、日章丸については3缶のうち1缶を4時間間隔のブローとしブロー時期短縮の効果を見るための調査を依頼した。今回の調査によつては外部の汚れによつてボイラの性能が特別に低下しているような結果はあまり見受けられず、入渠時の外部汚れもあまりひどくないと報告されているが、各船とも通風抵抗の増大、排ガス温度の上昇に多少の汚れ傾向がうかがわれる。各船についての概要は次のとおりである。

(a) 日章丸(第2.4図A～F)

日章丸では従来12時間に1度のブローを実施していたが、過熱器火炉側および水冷壁管に粘着性の大きい煤の附着が多いことが記録され、ドックからドックまでの中間に1度船側で掃除が行なわれている。今年度はドックでの掃除後、1、3号缶については従来どおり12時間に1度のブローを、2号缶については4時間に1度のブローを実施し汚れ状況の計測を依頼した。

しかし、1～3号缶のloadの分配が常に一様であるかどうか不明である上に、同形のボイラであつてもその性能は必ずしも同一でなく、適正な比較ができず、必ずしも予期どおりの結果は得られなかつた。特に2号、3号缶のブロー期間短縮による差はつきりしなかつたが、1号缶と2号缶ではブロー期間短縮による効果がある程度推測される。計測は掃除後の2航海について毎日行ない外部汚れの時間的な経過について検討するとともに、同期間内の掃除後約300時間、800時間、1,700時間の3回にわかつて1時間ごとの各状態値を計測しブローによる直接の効果を検討した。

計測期間中の速力は復航時平均約1ノット遅いが回転数、出力についてはあまり大きい変化は見られない。しかし、燃料消費量が復航時にむしろ低下しているのは燃料の性状によるものかどうか不明である。過熱蒸気温度は外部汚れのためか1号缶では時間経過につれ低下しているが、2、3号缶ではほとんど変化がなく、まだ、節炭器での熱吸収量を示す節炭器入口、出口給水温度差は1号缶では2、3号缶に比し大きく低下しているのが見受けられる。排ガス温度は2号缶では1、3号缶に比し低く、しかもその変化が少ない。これらから外部汚れは2号缶で最も少なく、3号、1号の順位で汚れが増大しているのではないかと推測され、ブロー期間短縮による効果がある程度認められる。

本船ではボイラ本体に空気予熱器を持たないため、ファン出口風圧とAir casing風圧の差は参考に過ぎないが1,000時間経過後から急速に増大しており、空気予熱器の汚れが顕著であることが見受けられる。炉内風圧はあまり変化がなく煙路の抵抗増大は本資料からでは判定し難い。

第2.4図D～Fは24時間内における1時間ごとの計測結果を示したものであるが、図ではブローアクションによる影響は各回ともあまりはつきりしない。過熱蒸気温度は3号缶の第1回計測のときを除いて大体一定であるが、1号缶で多少の低下が認められ、排ガス温度は3回とも2号缶が一番低く、しかも全期間を通じてあまり変化がないが、1、3号缶ではわずかながら上昇していることから2号缶について行なつたブロー期間短縮の効果が多少うかがわれる。

(b) 東京丸

昨年度新造直後の燃焼状況不良のため、正確な資料が得られなかつたので、本年度引き続き調査を行なつた。往航時と復航時とでは速力に相当な差があるが、回転数、ボイラ圧力にはあまり変動がなく、燃料消費量は復航時多少の低下が認められるがその差はあまり大きないので、ボイラの負荷は長期にわかつてほぼ一定と考えられる。この期間における過熱蒸気温度は第2.5図Aに示すように経年的に低下しており、その低下割合はほぼ $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{hr}$ 程度で、掃除後最初の1航海では第2.5図Cのようにほとんど変化ないが、2航海目の800時間経過後附近で急激に低下しているのが見受けられる。排ガス温度は1号缶では掃除後1航海目復航時第25図Cに示すように急激な低下が見られるが3航海目約600時間経過附近で急上昇しており、それからの変化はあまり見られないで汚れの判定は困

難であるが、2号缶では使用時間の経過とともに排ガス温度が上昇している。これはあきらかにボイラの外部汚れによる吸熱量の減少によるものと推定され、その減少割合はほぼ $0.15^{\circ}\text{C}/100\text{hr}$ 程度である。また、炉内圧は1号缶で約 $0.3 \text{ kg Aq}/100\text{hr}$ 、2号缶で約 $0.6 \text{ kg Aq}/100\text{hr}$ の圧力上昇が認められ、管群、煙路、空気予熱器等での汚れによる通風抵抗増加がうかがえる。燃料消費量が2缶共通であるため、負荷の分配が常に同一かどうか不明であるので、明確な結論は導けないが、1号缶より2号缶の汚れのはうが大きいのではないかと推測される。

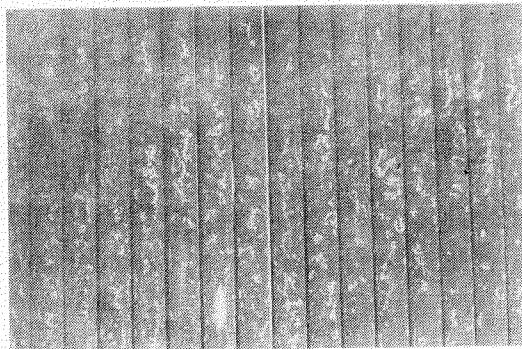


写真 2.1.1

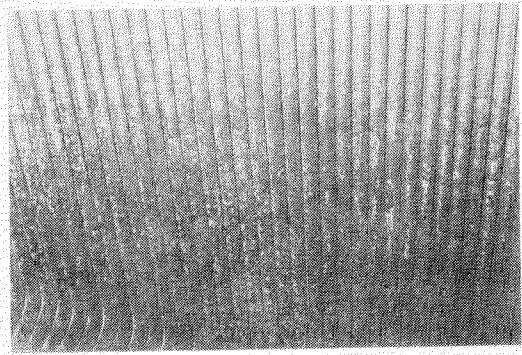


写真 2.1.2

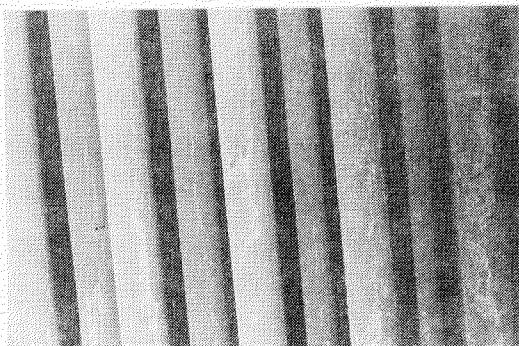


写真 2.1.3

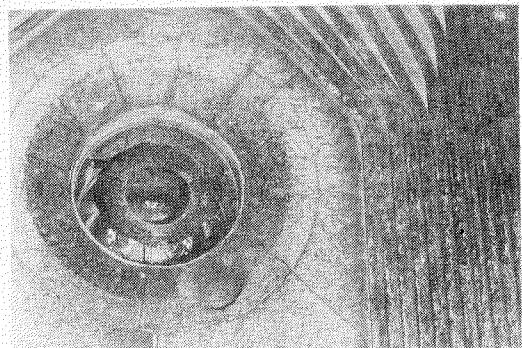


写真 2.1.4



写真 2.1.5

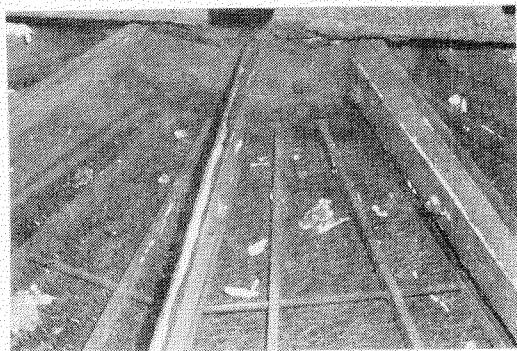


写真 2.1.6

写真 2.1.1～2.1.6は1号缶における停機時の汚れ状況を示したものであるが、全体として過熱管に多少のハーフスケールの附着が認められた以外は附着物も少なく、おむね良好な状態であつた。写真 2.1.1は右玄水冷壁、写真 2.1.2は後部水冷壁のバーナ高さにおける状況で、後部水冷壁左側から6列目下部の白い部分は附着物を除去したとの状態である。水冷壁の附着物はほほ2層からなり、表面第1層は煤の薄い層で一部に淡褐色の部分が見受けら

れる。第2層は黄緑白色の層で大部分の水冷管では斑点程度であるが、右玄水冷壁の火炎のふれると思われるあたりではこの附着物が多い。写真2.1.3は上部バーナ付近の状況でほぼ写真2.1.2と同様である。写真2.1.4は蒸発管下部で、中央部2本の上部の白い部分は附着物を除去したとの状態である。蒸発管での附着物は燃焼室から第1列目はほとんど2層、第2列目の1部のみが3層からなり、表面の第1層は大部分煤で、その堆積は非常に少ない。第2層は2列目の1部のみに見られた附着物の層で淡褐色をしており容易に除去できる。第3層は黄緑白色の硬い薄い層で、その除去にはワイヤブランが必要であった。写真2.1.5は過熱管で白褐色の硬いスケールが一面に附着し、部分的にはがれ、底部に散乱している。散乱部分からその厚さはほぼ0.5~1mm程度であることが認められた。写真2.1.6はユングストローム空気予熱器で1mm程度の薄い煤がフィンに附着し、上部から落下したと思われる灰白色の附着物が部分的に堆積している。

(c) 出光丸

初航海では第2.6図Aに示すように機関の調整その他による減速運転が多く汚れ傾向を求めるためのデータとしては用い難い。しかし、機関が整定していると見なせる点のみを取り上げれば再熱ボイラでの再熱器の熱吸収量がいく分減少し、排ガス温度がいく分上っているのが見受けられる。ただ、本船ではボイラ2缶の形態がそれぞれ異なり、各ボイラが航海中常に一定負荷で運転されたかどうか疑わしく適正な判断はし難い。

2航海目では両ボイラとも蒸気温度がほぼ一定であつて、機関の運転状態も安定したと見られるが、この間の排ガス温度は一般から見て異常に低い。ただこの間の温度変化は大気温度を基準として示すと図中の●および▲のようであつて、始めに比し、ストレートボイラでは復航の終りに急激な上昇が見られるが、それは汚れによるよりもむしろ負荷の変動かデータロガーの調整不良によるものではないかと推察される。

(d) 日洋丸

本船は不定期貨物船があるため機関の使用状況変化が著しく第2.7図Aに示すように速力、回転数、燃料消費量も大巾に変化しているので一般的な検討はし難いが、第2.7図Bに示すように掃除後の燃焼室入口空気圧の時間的な増大からいく分の汚れが推定できる。ブローの効果について船側の記録によれば次のとおりである。

過熱器用プロワを使用した場合煤の排出が最も多く煤とともに煤以外の附着物の散乱も見受けられる。燃油の種類によって煤の発生量には相当な差が見受けられ、ことにカナダ積燃油に煤の発生が多い。プロワの使用により、ドック時の煤の堆積量はあまり多くないが、水管の付根等ストレートプロワのかかり難いところにワイヤブランシで簡単に取れるような煤が附着していた。

(e) 利根川丸

調査したPoint数が少ないので汚れ状況を判定することは困難であり、空気予熱器入口、出口ガス温度差および空気温度差の増大等外部汚れとむしろ逆の傾向も見受けられるが、炉内一空気予熱器出口間での通風抵抗、したがつて管群、過熱器、空気予熱器通過中のガスの抵抗増大からいく分の汚れが推定できる。ドック時の調査によれば各部とも外部の汚損はほとんど見受けられず、特に過熱器の汚損は少なかつた。(第2.8図A~B)

(3) ディーゼル船排ガスヒータ堆積物の分光分析結果

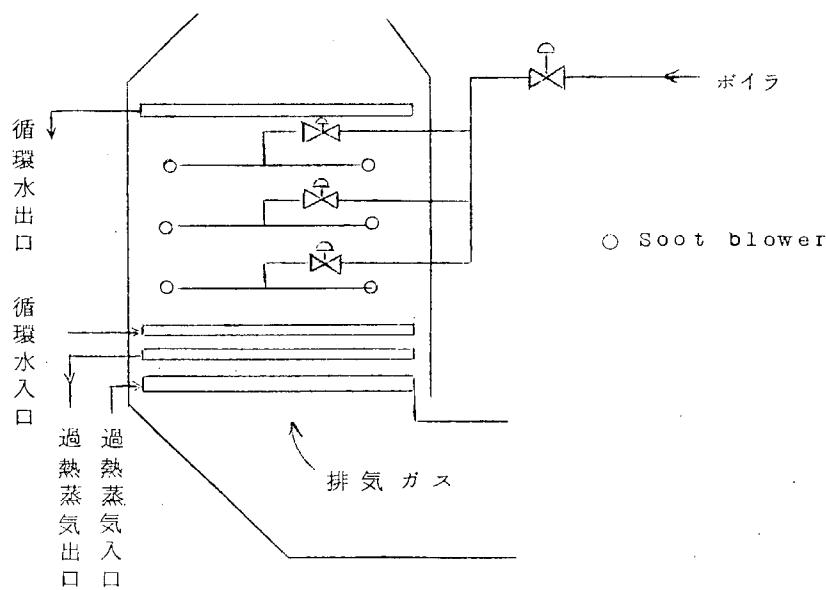
○吉野川丸

前述したように、ディーゼル船排ガスボイラの汚れの実態は、ログ・ブック中から見出すことは困難であり、本船においても、必要データを得ることができなかつた。しかし、本船排ガスヒータには、蒸気噴射式のストレートプロアを5本装備しているにもかかわらず、その効果はあまりなく、毎航外部掃除の際多量の附着物の堆積が認められたため、附着物の分析を実施してその原因を検討しており、ここに、その結果を紹介しておく。

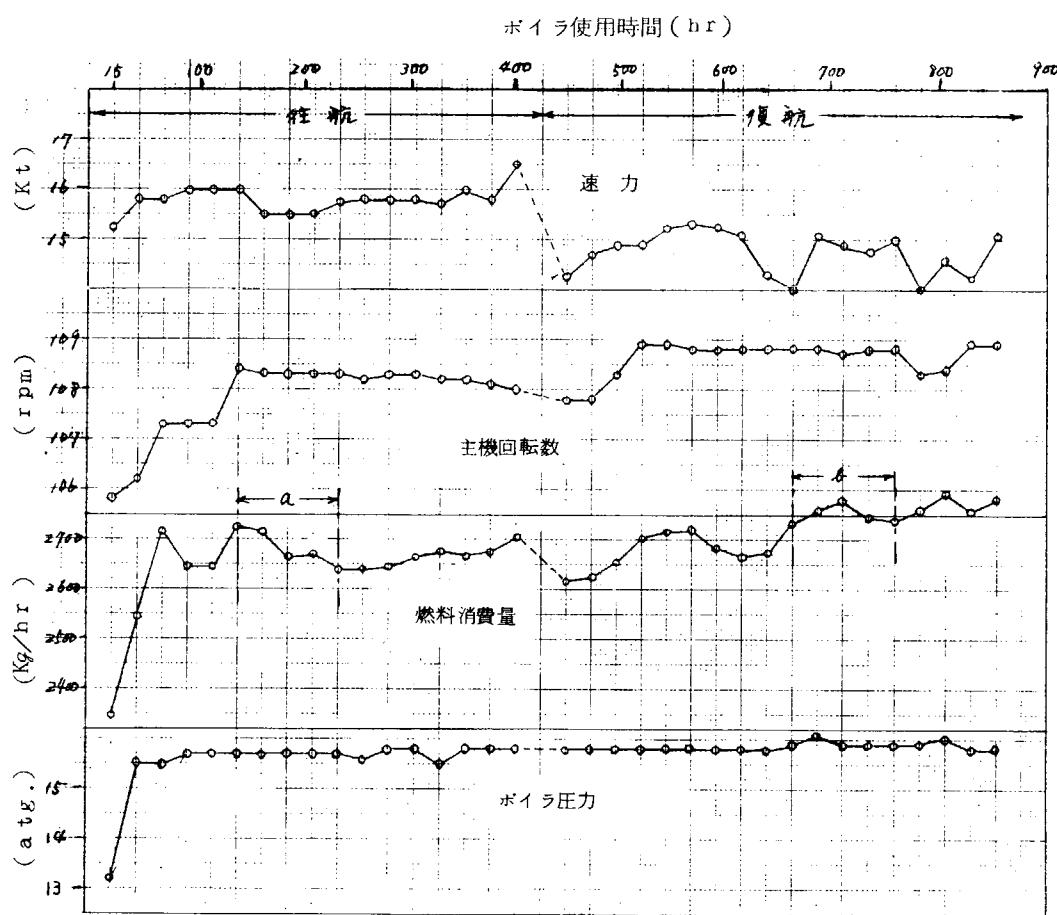
ホッパおよび管外表面に堆積したスラグの分析を行なつたところ、附着スラグは、加熱により約85%燃焼揮発し、大半はカーボンと推定された。また、灼熱残留分の分光分析結果は、第2.3表に示すとおりであつて、主成分は、CaおよびFeであることが判明した。なお、灼熱残留分中の主成分であるCaは、助燃剤またはシリンダオイル中の添加剤のいずれかあるいは两者に起因するものと考えられる。

(第2.3 図付表)

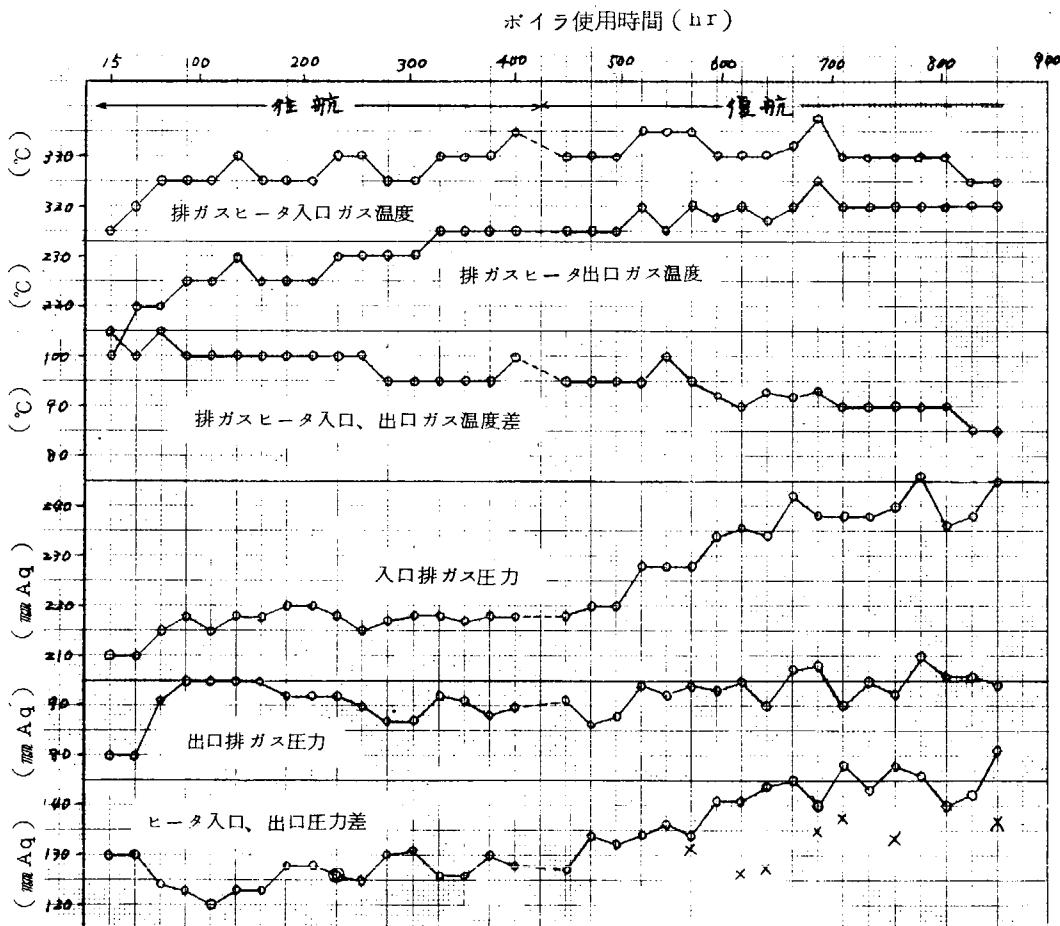
日本郵船 M.S. 田嶋丸 (昭和39年10月新造)
○機関型式 I.H.I. Sulzer 9RD90
出力 20700 PS
○排ガスボイラ I.H.I. 強制循環式 スパイン型
圧力 16 atg.
蒸発量 5440 Kg/hr
○ストップロワ
型式 空気駆動自動旋回蒸気噴射式(引田製)
蒸気圧力 15 atg.
プロワ使用回数 1回/4 hr
プロワ設置場所



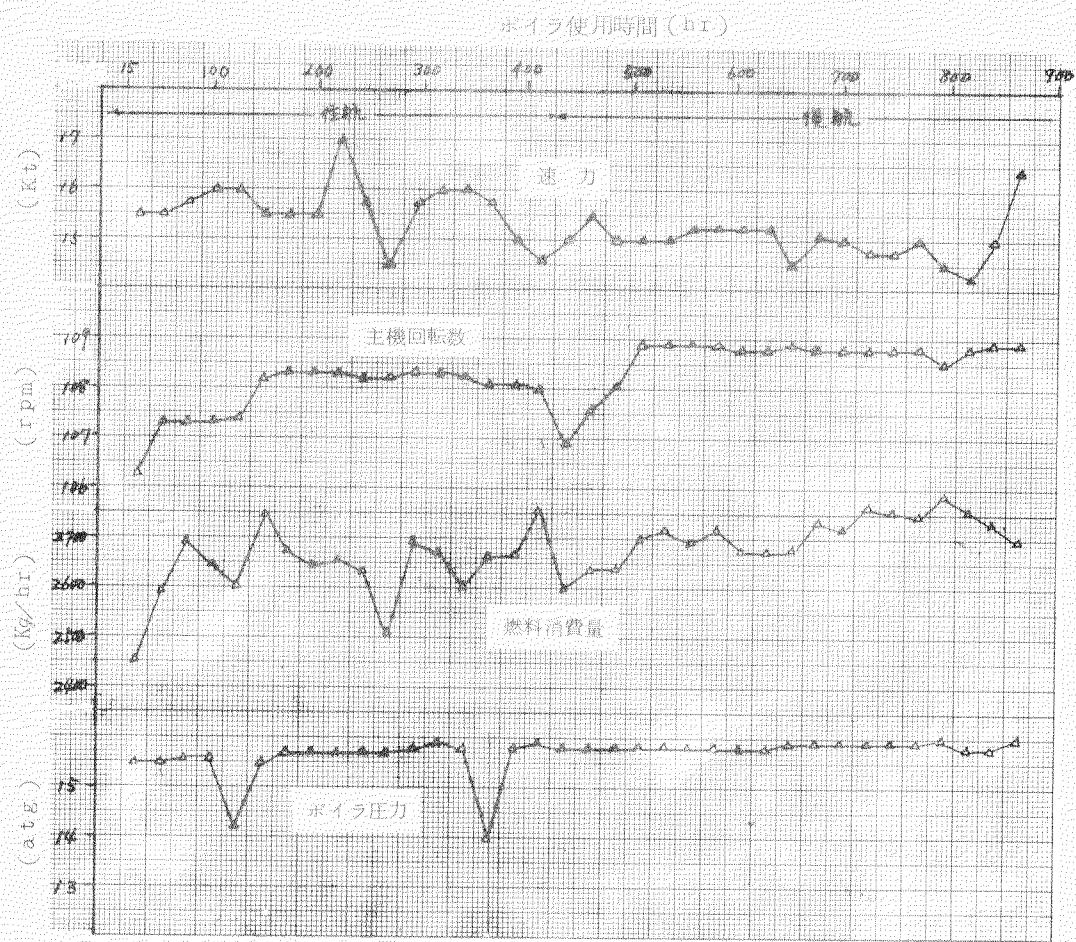
- 排ガスボイラ外部掃除施行年月日 昭和42年9月20日
- 実験期間 昭和42年9月29日～11月5日
- 使用燃料
 - 往航 比重 0.9586 at 15°C 粘度 R.W. #1. 1016 sec at 50°C
 - 復航 比重 0.9481 at 60°F 粘度 R.W. #1. 987 sec at 100°F
- ストップロワの効果: 4.1-8中換入渠の際排ガスヒータの外部掃除(水洗)施行後航海中は1日1回0200各ストップロワを30秒あて使用した。4.2.9、中換入渠の際排ガスヒータ外部の汚れは加熱管に植え付けてある Spine (長さ25mm)がほとんど埋るくらいに煤が堆積しており、プロワの効果はほとんど認められなかつた。



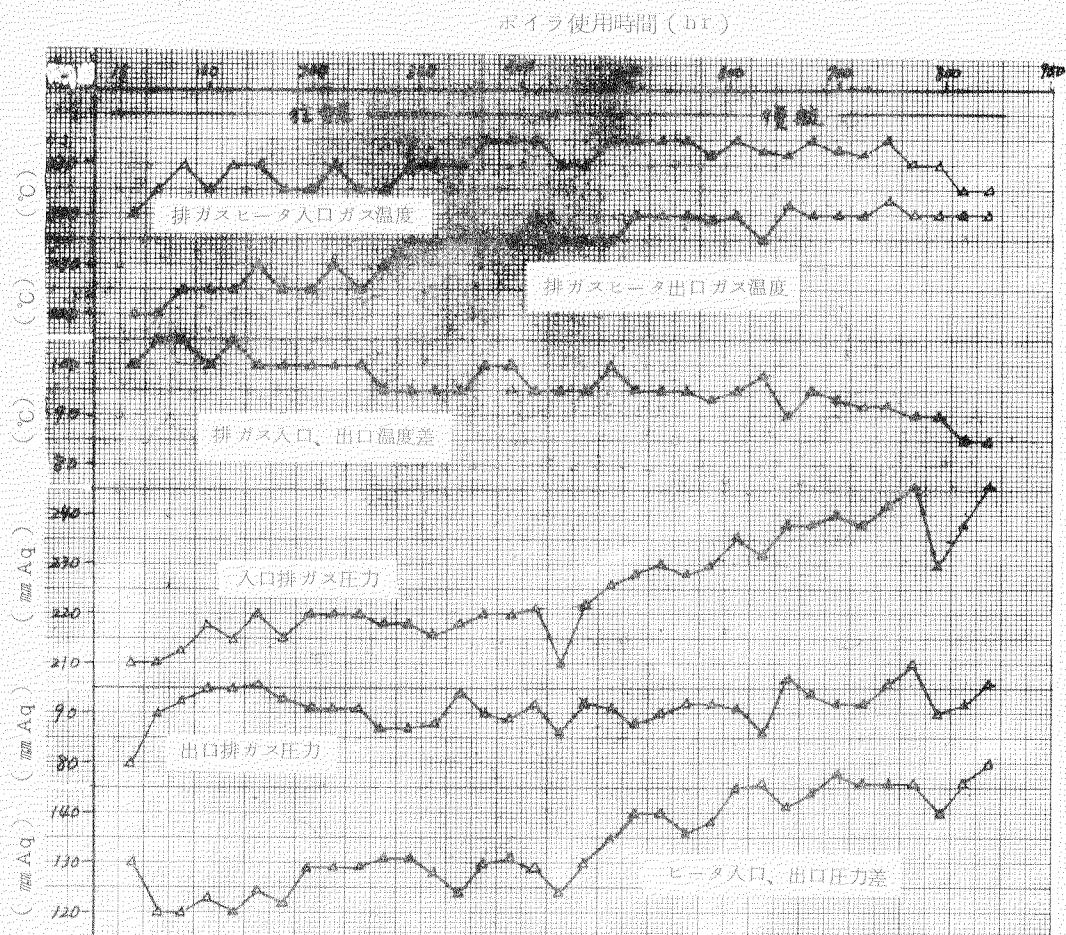
第2.3図A 田島丸 1航海 (at 02.00) (S. 42)



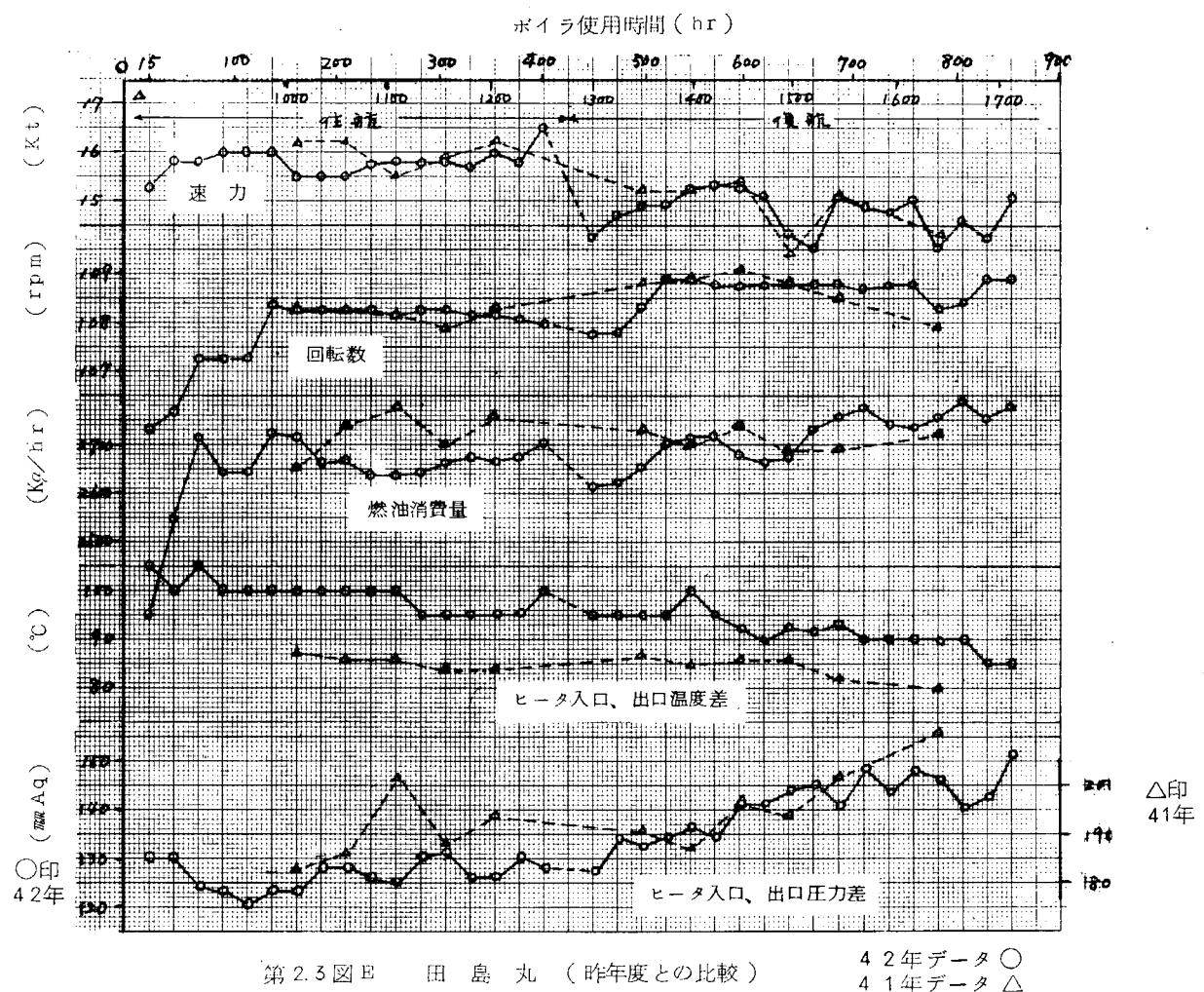
第2.3図B 田島丸 1航海 (at 02.00) (S. 42)



第2.3図C 田鳥丸 1航海 (at 14.00) (S. 42)

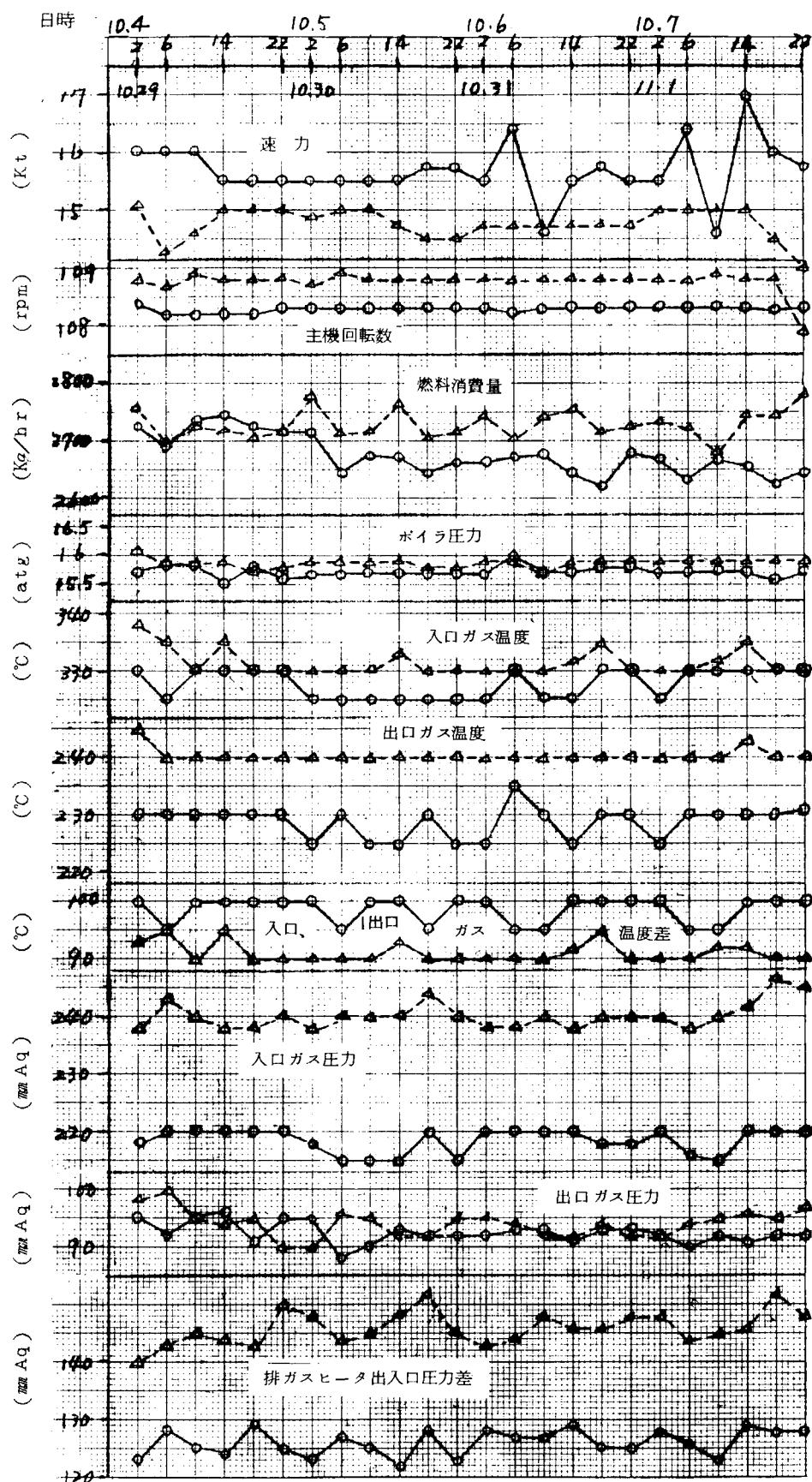


第2.3図D 田鳥丸 1航海 (at 14.00) (S. 42)

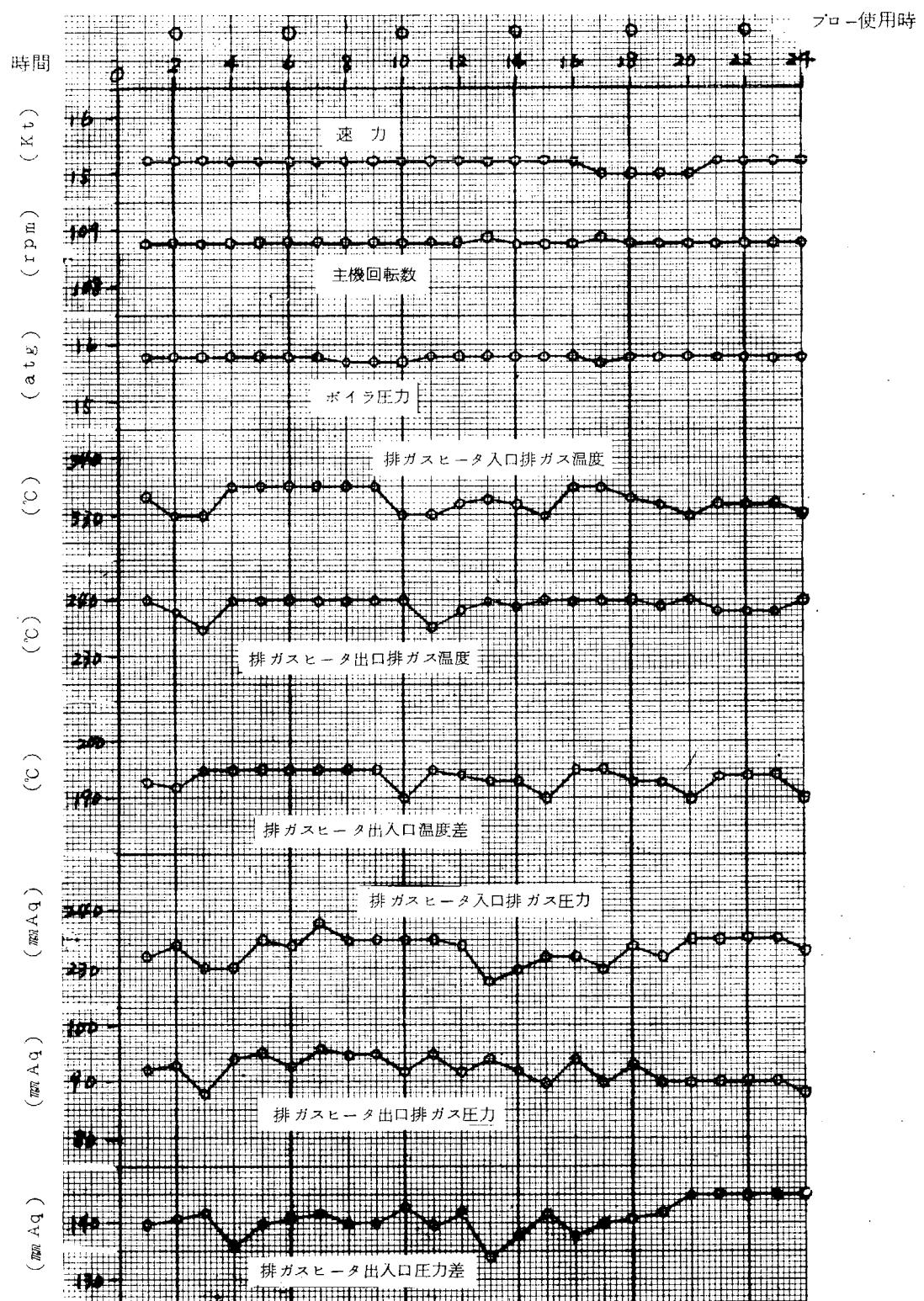


第2.3図E 田島丸（昨年度との比較）

4 2年データ ○
4 1年データ △



第2.3図F 田島丸（ドック出し $147 \sim 219\text{ hr}$
 $688 \sim 760\text{ hr}$ における状態値の変化） (S. 42)



第2.3図 G 田島丸 スートブローの効果(ドック出し472 hr 後の24 hrにおいて)

(S. 42)

(第2.4図 付表)

出光タンカー SS 日章丸(タンカー)

○機関型式 IHI 衝動 2シリンダ 2段減速蒸気タービン 1基

最大出力 28,000 PS × 10.5 rpm

常用出力 25,500 PS × 10.15 rpm

○ボイラ型式 IHI FW2胴D型船用水管ボイラ 3基

ボイラ圧力 ボイラドラム 71 atg

過熱器出口 59.8 atg

蒸気温度 48.2°C

給水温度 eco.入口 14.0°C 計画

蒸発量 最大 48 ton/hr × 3

常用 31 ton/hr × 3

○煙路……節炭器のみ設置 空気予熱器は蒸気式(入口35°C～出口129°C)

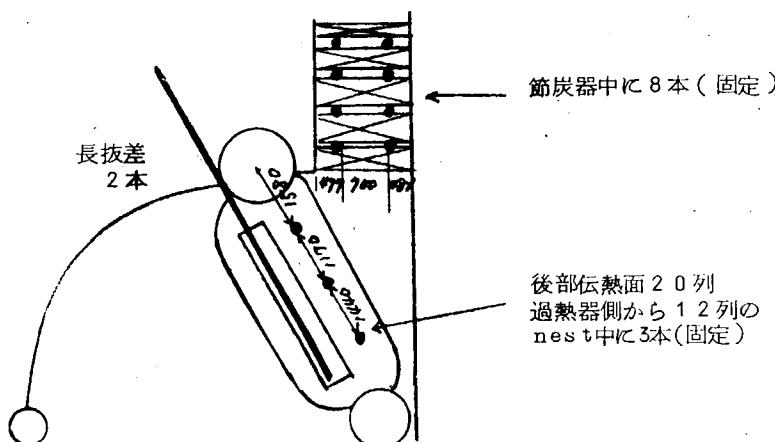
○スートプロワ

三菱バルカン T3S型 長抜差 2本

D-4AS型 固定 11本

蒸気圧力 7 atg

設置場所 下図のとおり

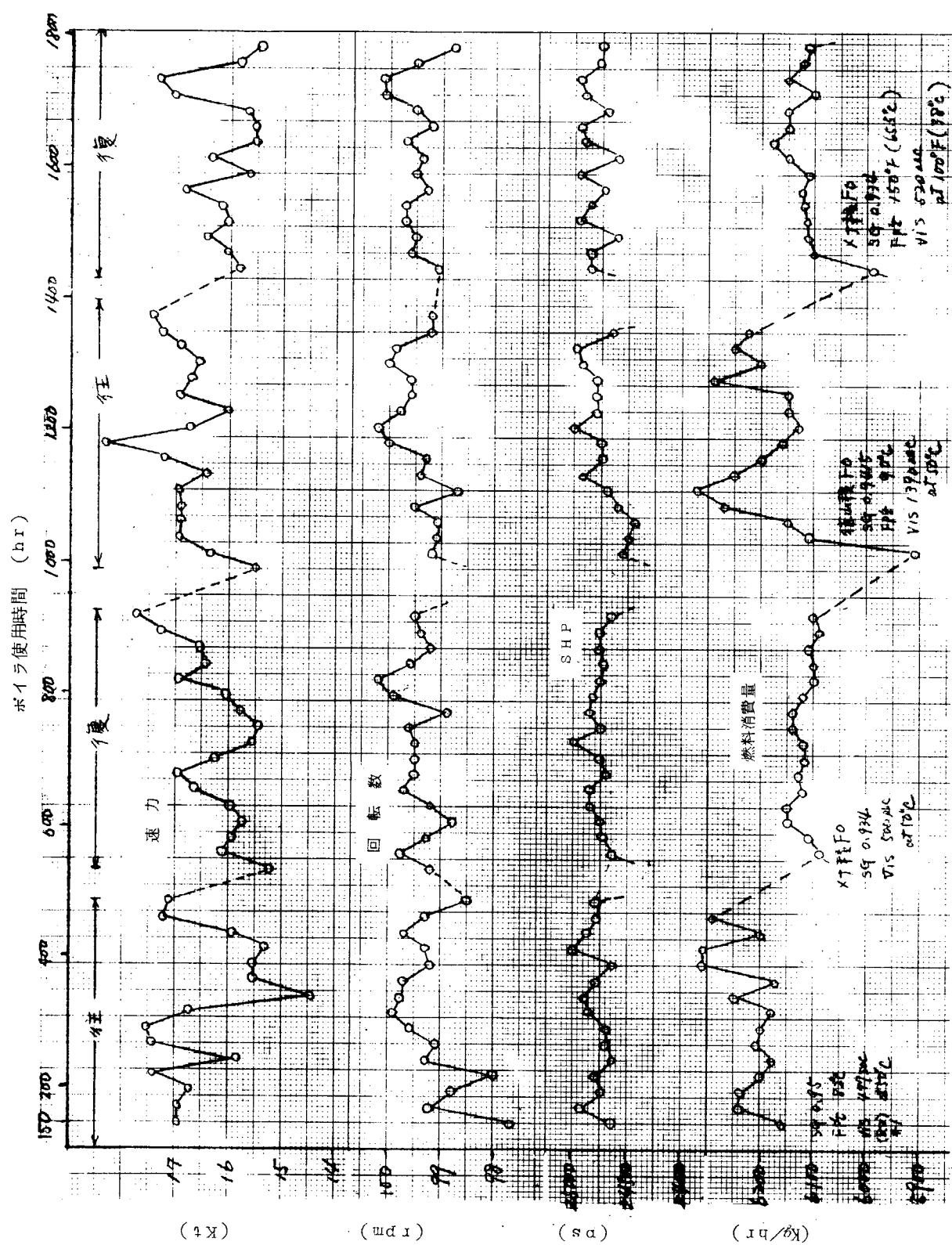


スートプロワ 使用回数 1号缶 1回/12 hr

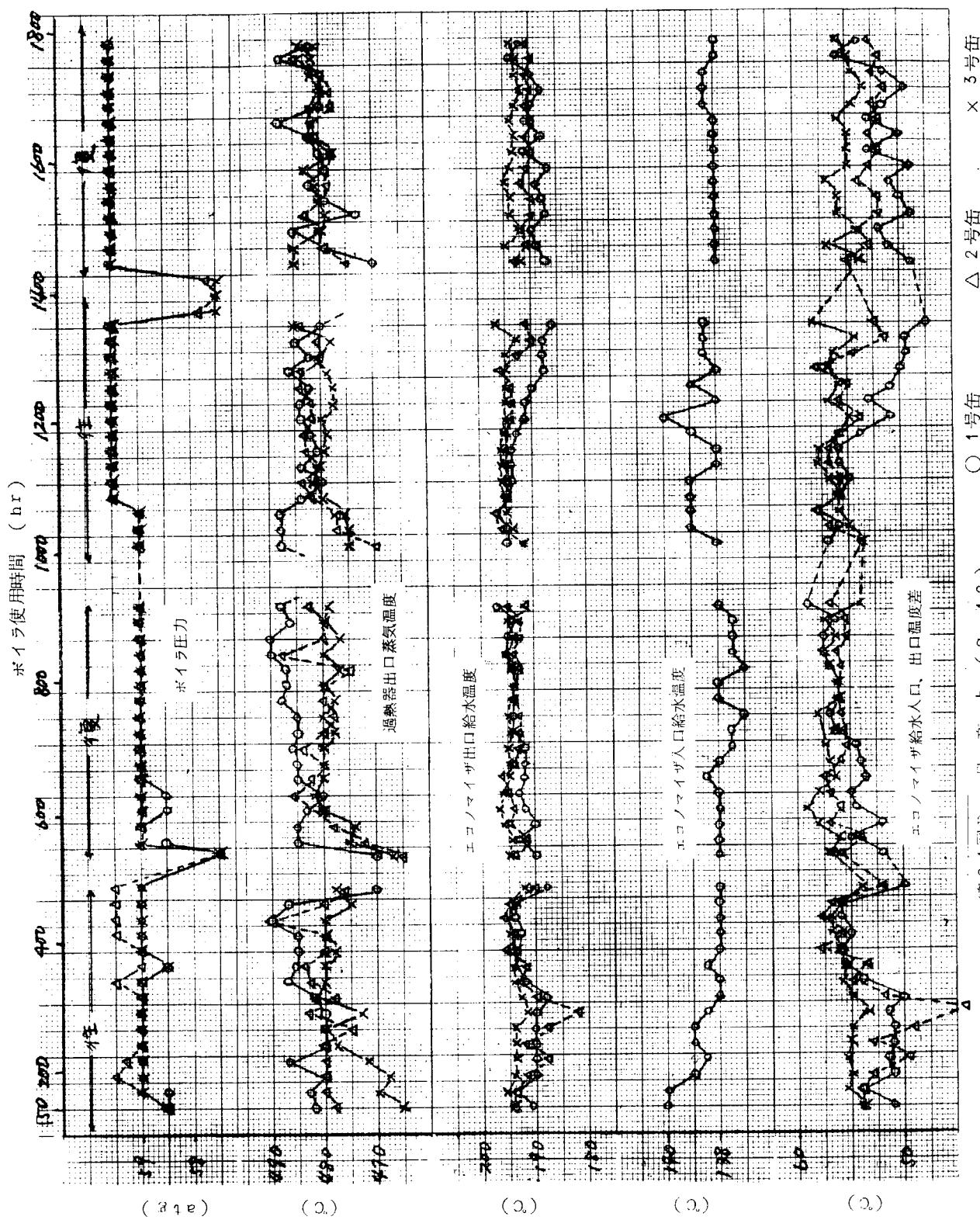
2号缶 1回/4 hr

3号缶 1回/12 hr

○実験期間 昭和42年7月25日～10月2日

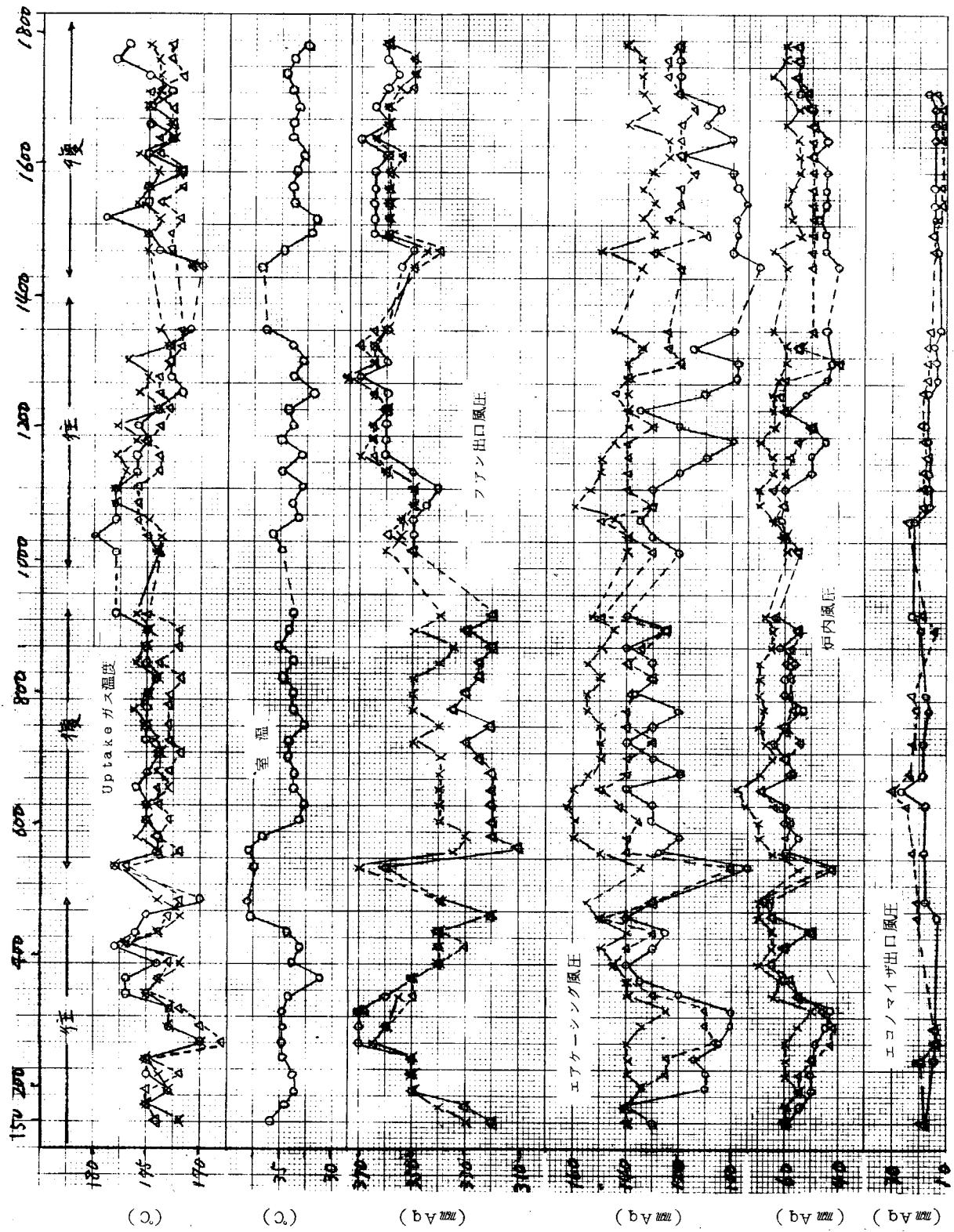


第2.4図 A 日章丸 (S. 42)

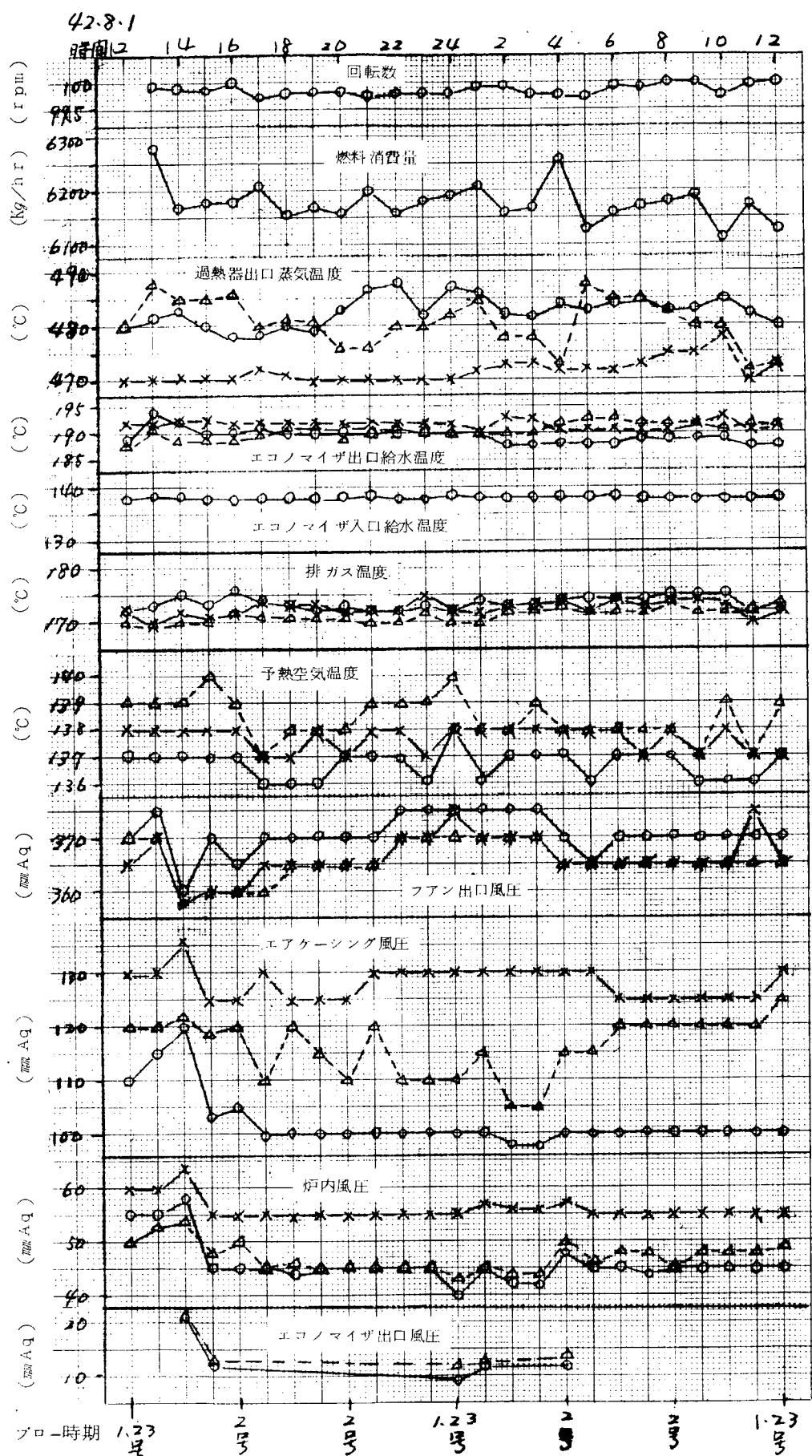


第2.4図3 日章丸 (S. 42) () 1号缶 (プロード/12 hr) () 2号缶 (プロード/4 hr) () 3号缶 (プロード/12 hr)

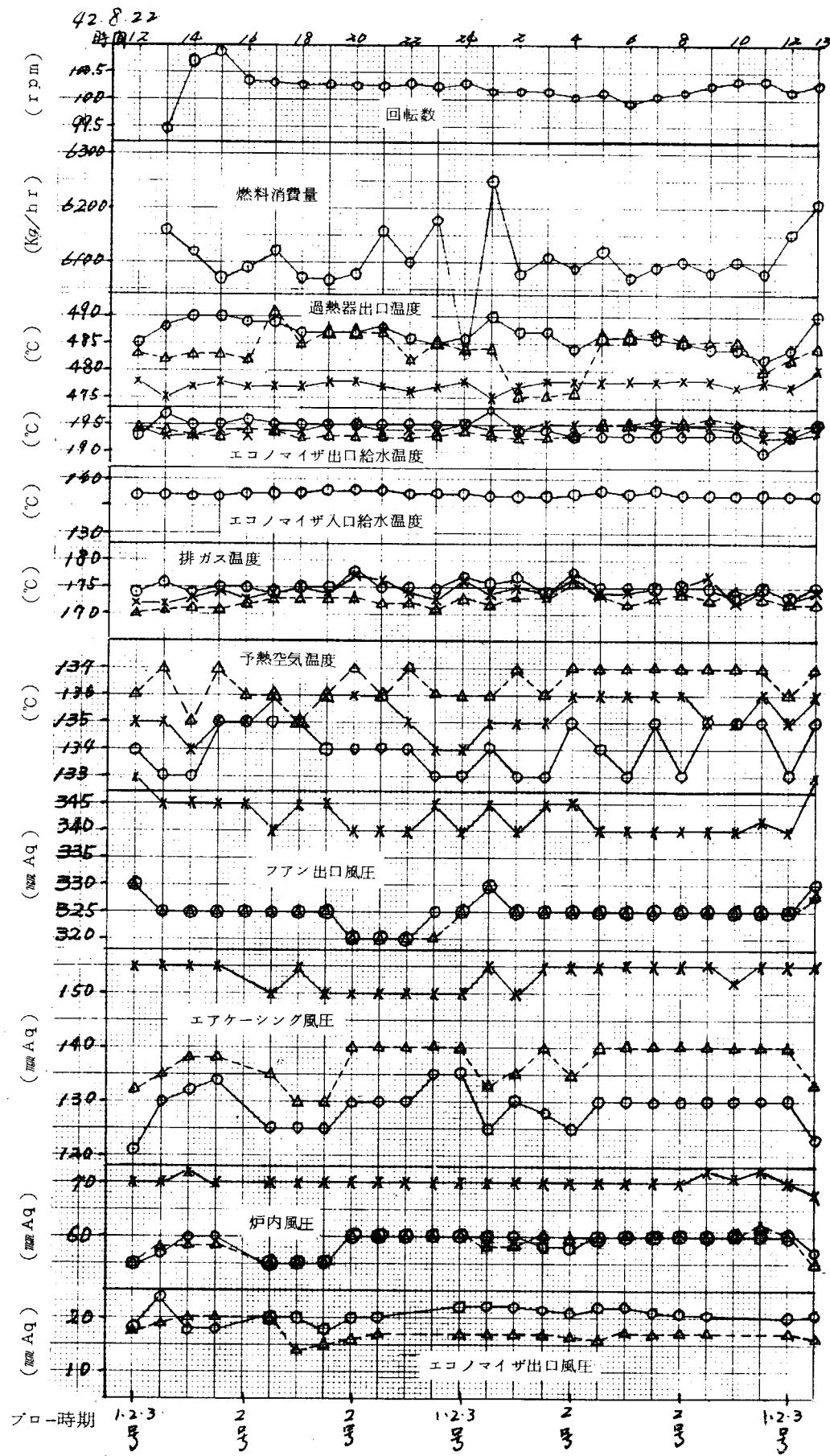
ボイラ使用時間 (hr)



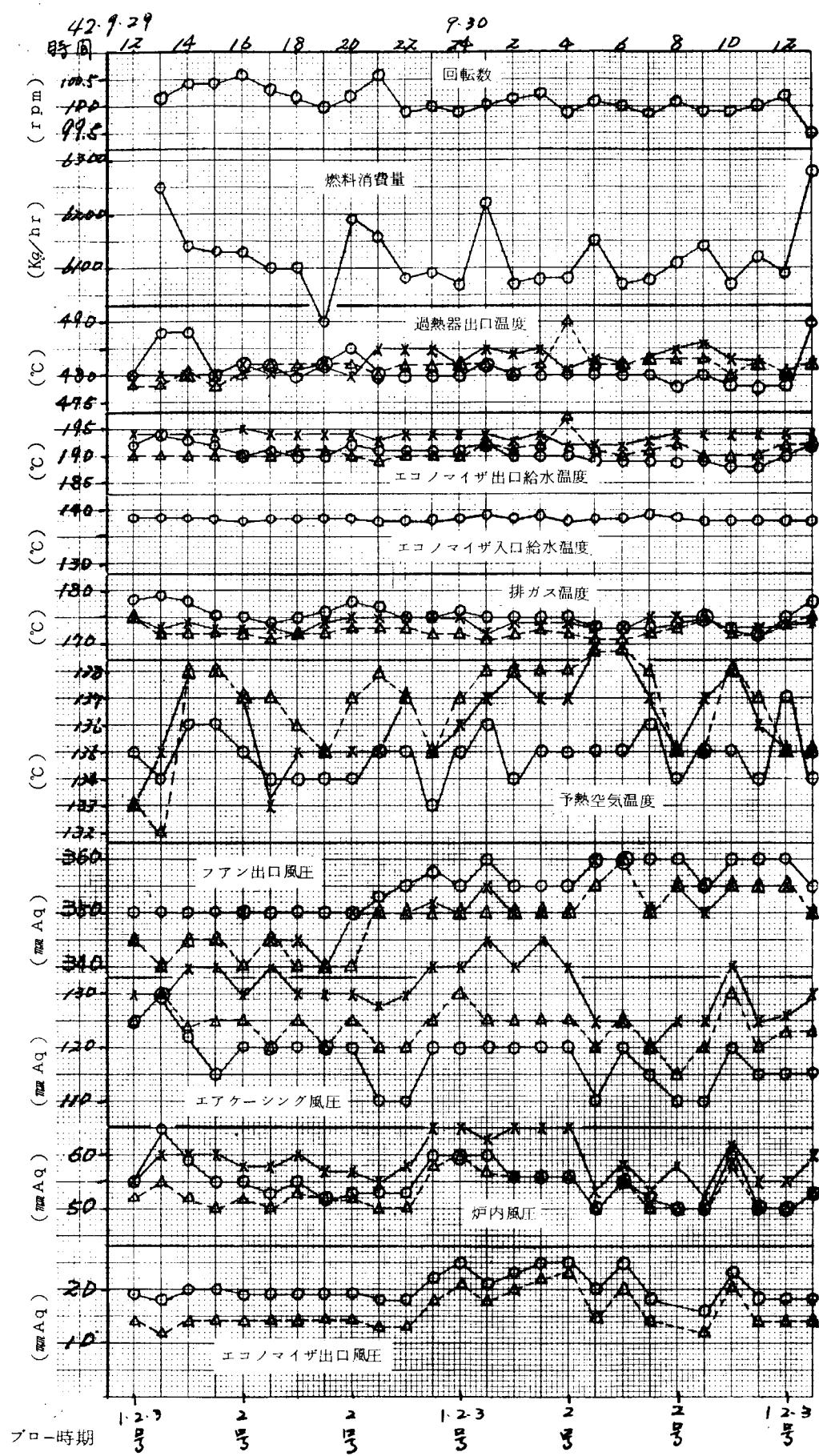
第2.4図 C 日章丸 (S. 42) (○ 1号缶 (ブロード/12hr) △ 2号缶 (ブロード/4hr) × 3号缶 (ブロード/12hr))



第2.4図D 日 章 丸 24時間のデータ(第1回) (○1号缶、△2号缶、×3号缶)



第2.4図E 日章丸24時間データ(第2回) (○1号缶、△2号缶、×3号缶)

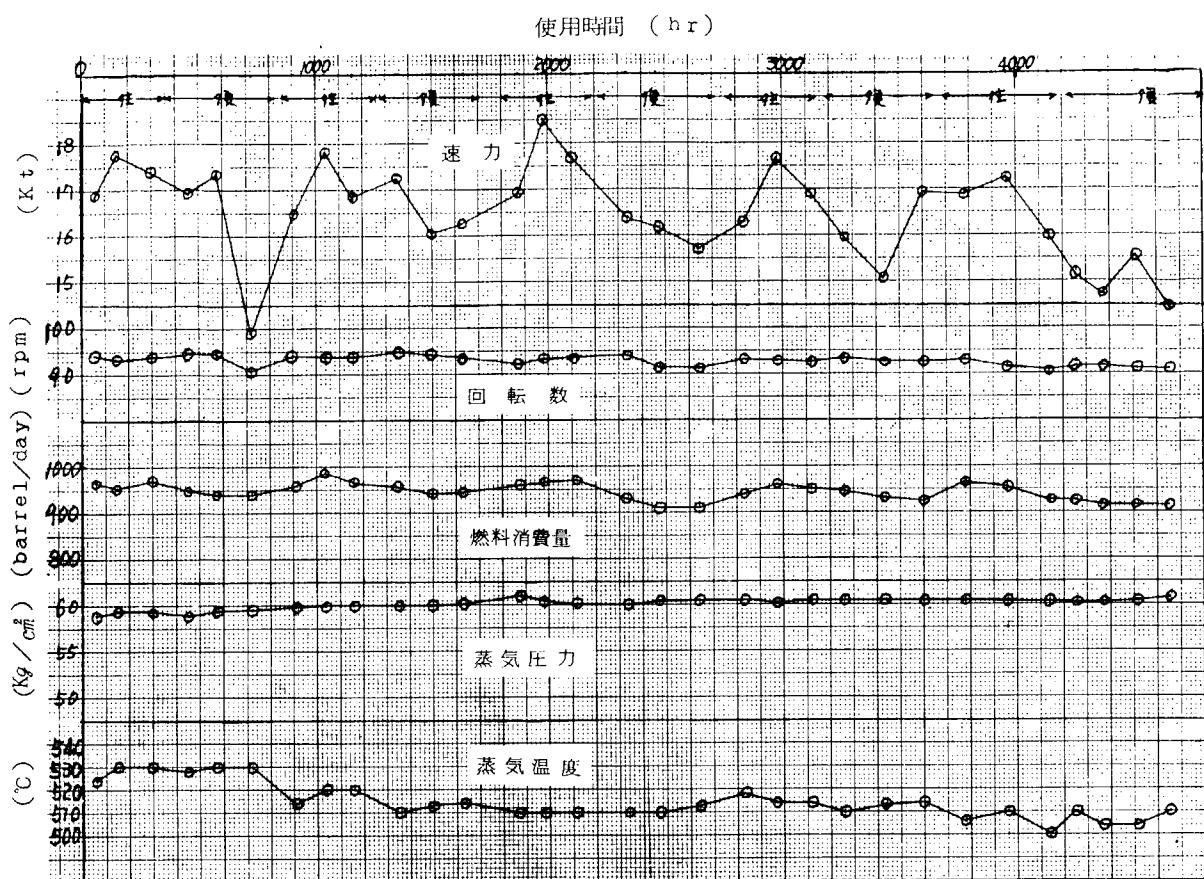


第2.4図F 日 章 丸 24時間データ(第3回)(○1号缶、△2号缶、×3号缶)

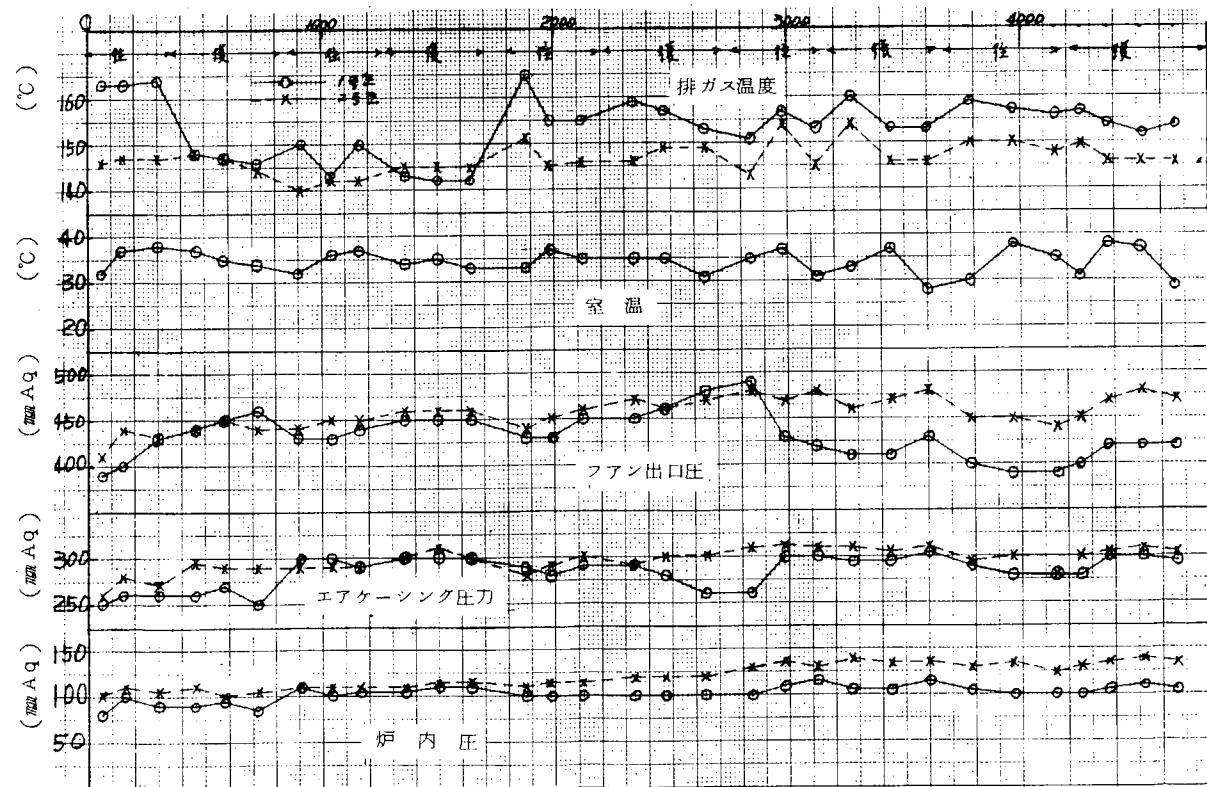
(第2.5図 付表)

東京タンカー S.S. 東京丸(タンカー) (昭和41年1月新造)

- 機関型式 IHI M S T - 13 (衝動2シリンダ2段減速蒸気タービン) 1基
 - 最大出力 3 0 0 0 P S × 9 7 r p m
 - 定格出力 2 8 0 0 P S × 9 5 r p m
- ボイラ型式 IHI FW 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 a t g
 - 過熱器出口 6 2.6 a t g
 - 蒸気温度 513 °C
 - 給水温度 205 °C
 - 蒸発量 最大 5 8 ton/hr × 2
 - 常用 4 5 ton/hr × 2
 - ボイラ効率 計画 88.2 %
- バーナ型式 Wahodac rotary burner
 - 1缶当たり 2本
- スートブロー使用回数 2回/day
- 使用燃料例
 - 比 重 0.959 粘 度 R.W. #1 894 sec at 50°C
 - 31火点 164°C
- 昭和41年 9月6日 入渠、10月1日 試運転
10月3日 出港
- ログ・ブック調査期間 41年9月～42年4月

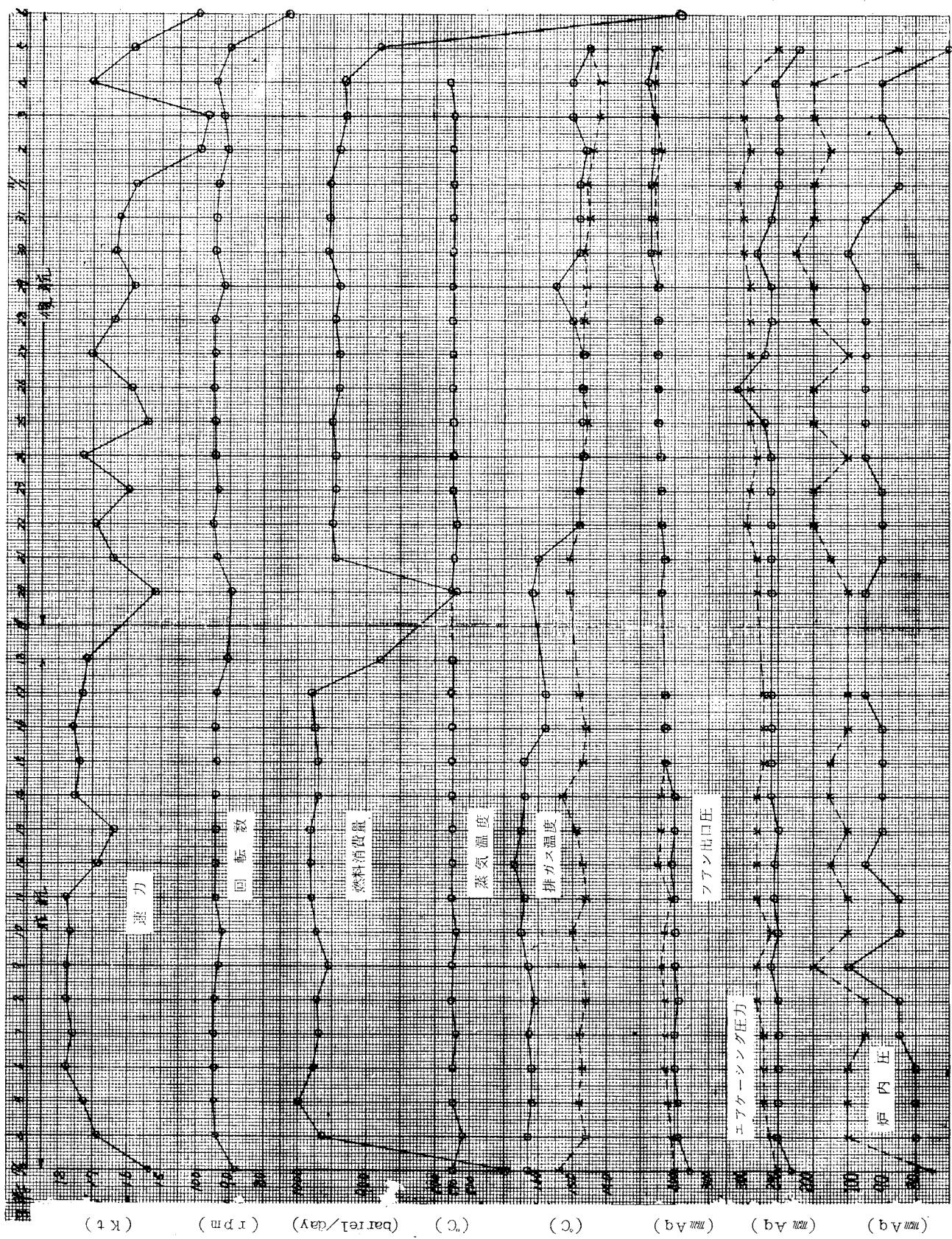


第2.5図A 東京丸 (S. 42)



第2.5図B 東京丸 (S. 42)

第2.5図 C 東京丸 ドック出し後1航海の経過 (S. 42)



(第2.6図 付表)

出光タンカー 出光丸 (昭和41年12月新造)

○ 機関型式 IHI R-802 再熱式衝動 2 cylinder

2段減速装置付タービン

最大出力 33,000 PS × 101 rpm

常用出力 32,000 PS × 100 rpm

○ ボイラ型式

IHI-FW2胴水管式DSRT型メインファーネス再熱ボイラ

1基

蒸発量 最大 72,500 Kg/hr

常用 54,470 Kg/hr

再熱蒸気量 最大出力時 62,450 Kg/hr

常用出力時 59,890 Kg/hr

蒸気圧力 過熱器出口 8.65 atg

再熱器出口 6.1 atg

蒸気温度 過熱器出口 515 °C

再熱器出口 423 °C

IHI-FW2胴水管式DSストレートボイラ

1基

蒸発量 最大 72,500 Kg/hr

常用 32,500 Kg/hr

蒸気圧力 過熱器出口 8.65 atg

蒸気温度 " 515 °C

バーナ型式 Volcano - ABC

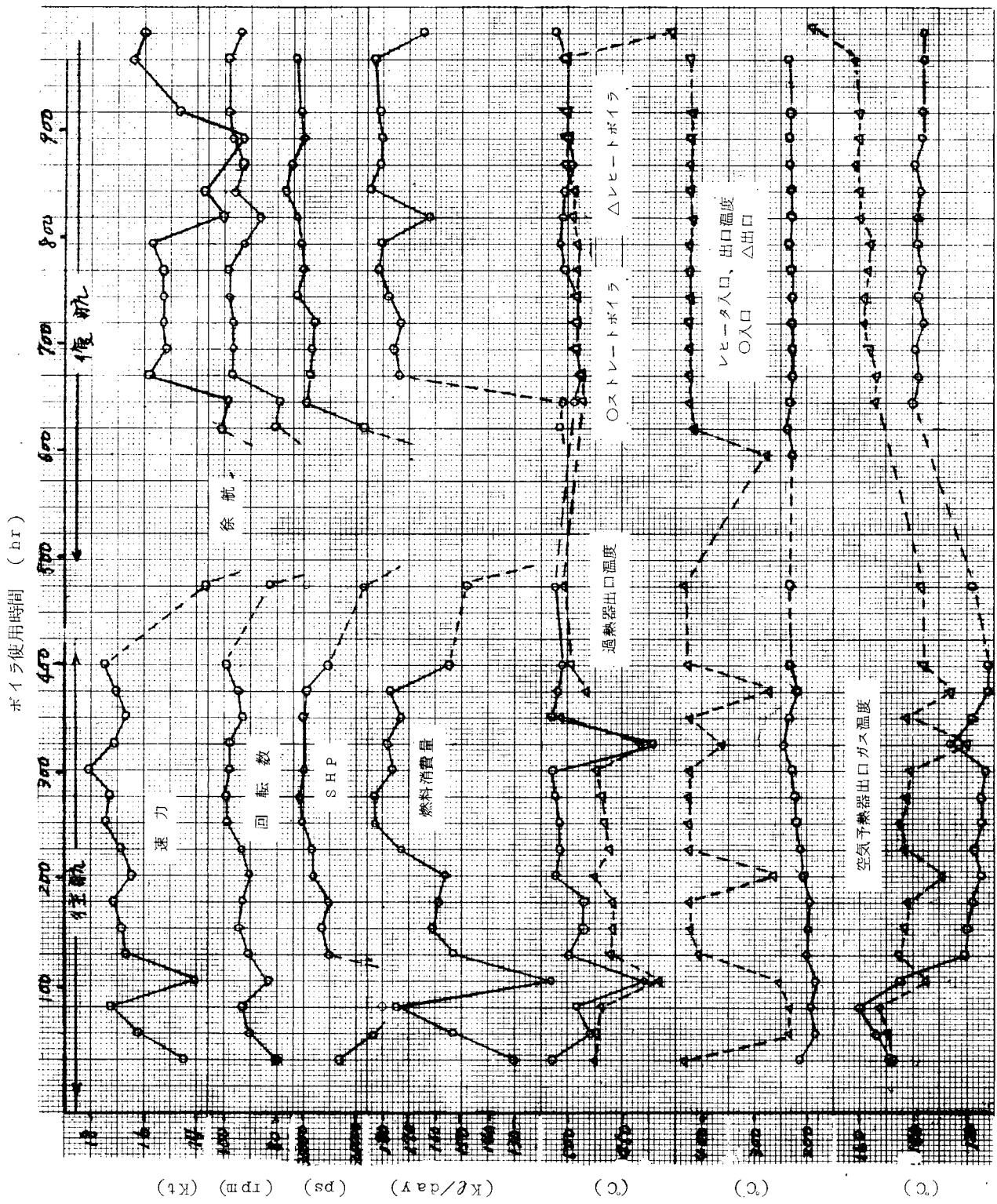
メインファーネス 4×2

レビートファーネス 1×2

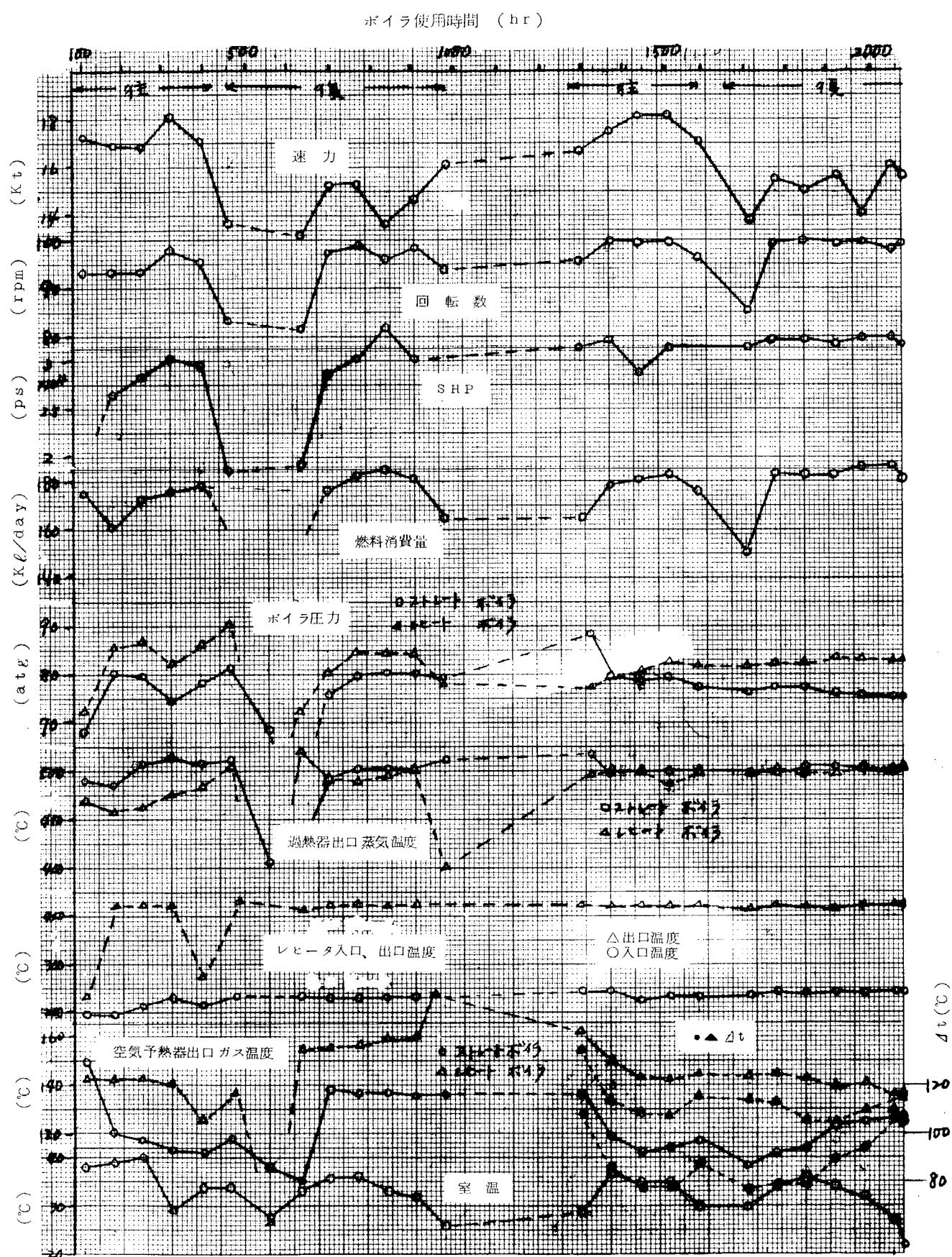
スートブローの使用回数 2回/day

○ ログ・ブック調査期間

昭和41年12月13日～昭和42年3月11日



第2.6図A 出光丸（竣工後初航海）



第2.6図B 出光丸 (S. 4 1.1 2.1 3 ~ S. 4 2.3.1 2)

(第2.7図 付表)

昭和海運 日洋丸(貨物船) (昭和27年2月新造)

○機関型式 日立 衝動2シリンド2段減速蒸気タービン 1基

最大出力 4,400PS × 105 rpm

○ボイラ型式 日本钢管 3胴水管ボイラ 2基

ボイラ圧力 2.05atg

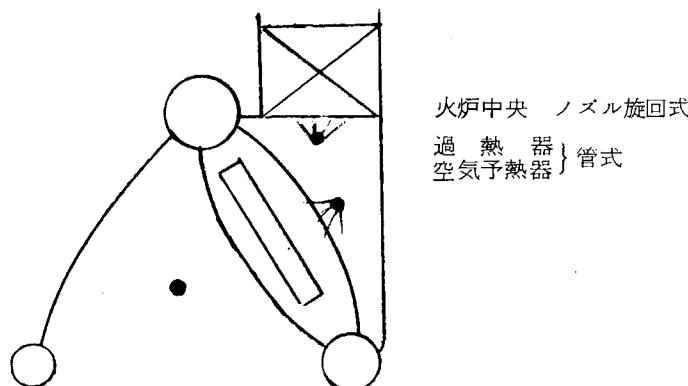
蒸気温度 310 °C

○ストロウ

K.B.K. 3本/1缶

蒸気圧力 2.0 atg

設置場所 下図のとおり



○バーナ 東京熱工 壓力噴射式 4本×2

油圧 7~8atg

重油加熱温度標準 日本積 90°C (比重 0.9548)

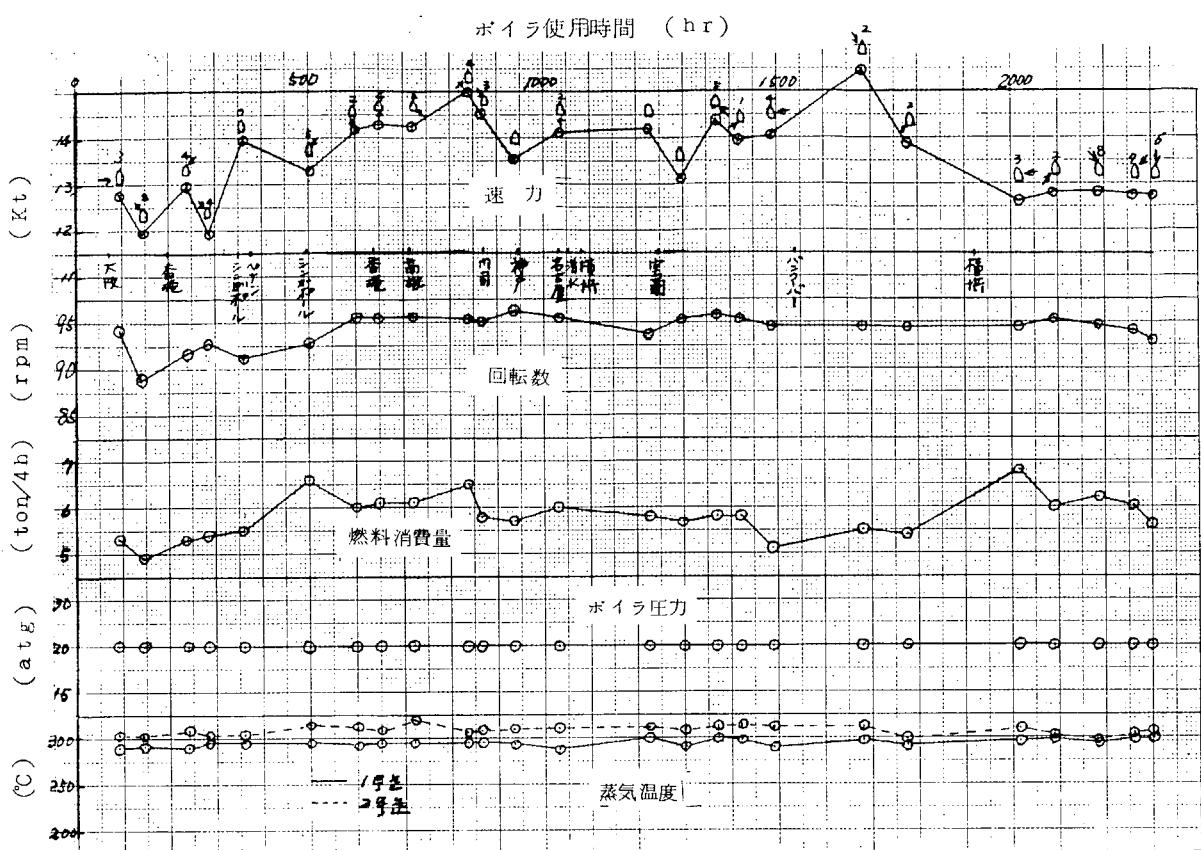
カナダ積 95°C (比重 0.9666)

シンガポール 85°C (比重 0.9378)

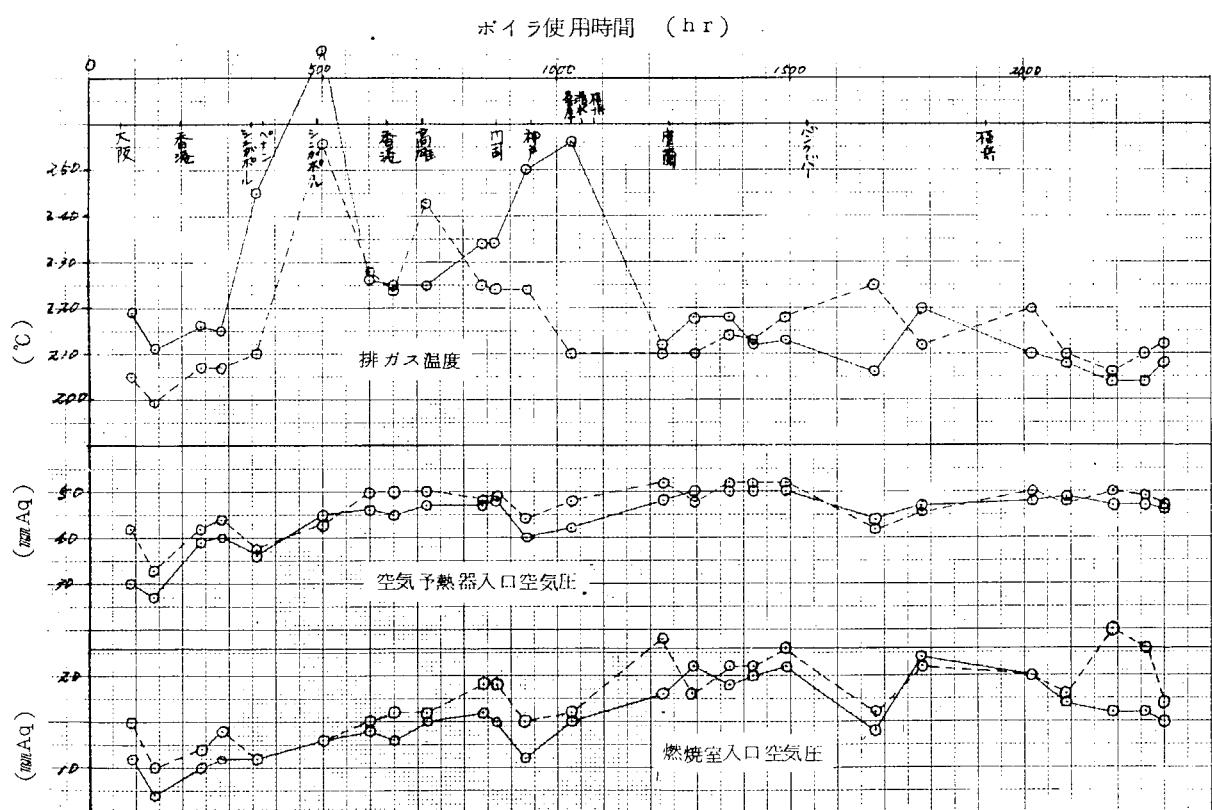
○ログ・ブック調査期間

(昭和42年5月16日 ドック出し 19日出港)

昭和42年5月19日 ~ 8月24日



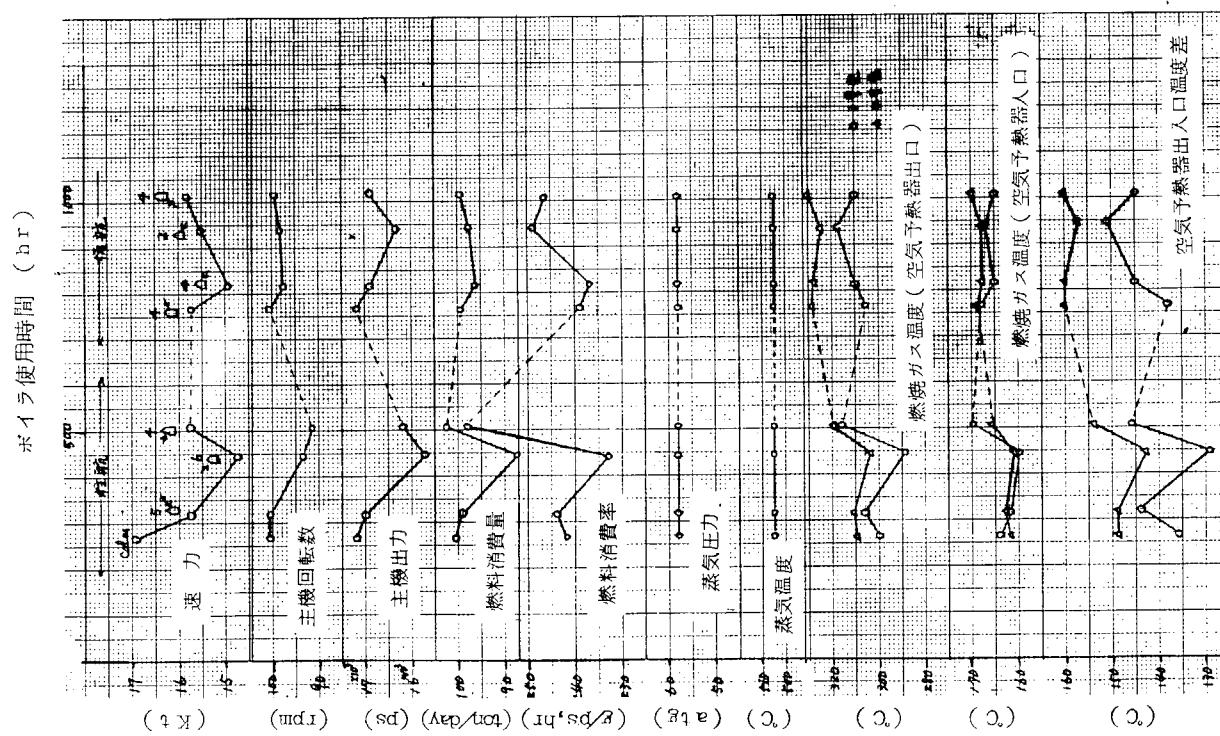
第2.7図A 日洋丸 (S. 42)



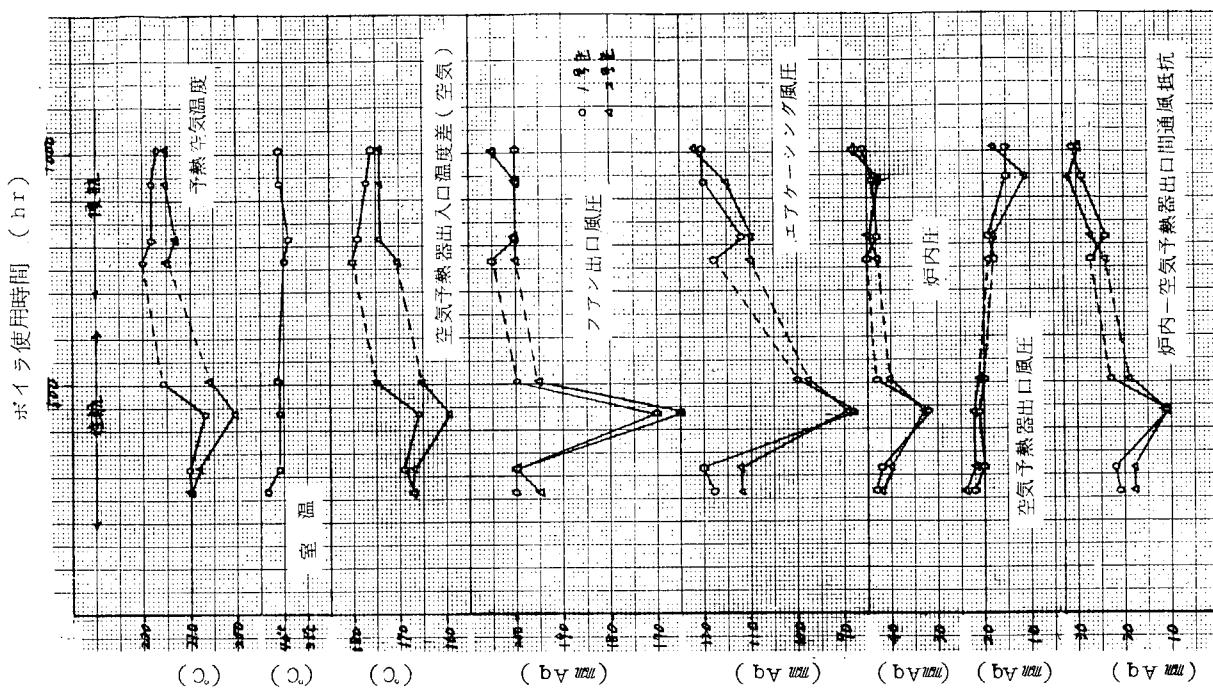
第2.7図B 日洋丸 (S. 42)

(第2.8図 付表)

川崎汽船	S S 利根川丸(タンカー)	(昭和39年12月新造)
○ 機関型式	I H I 衝動2シリンダ2段減速装置付蒸気タービン	1基
最大出力	20,000 PS × 105 rpm	
常用出力	18,000 PS × 101.5 rpm	
○ ボイラ型式	I H I - F W 2胴式D型船用水管ボイラ	2基
ボイラ圧力	ボイラドラム	7.1 atg
	過熱器出口	59.8 atg
蒸気温度		510 °C
給水温度		193 °C
蒸発量	最大	50 ton/hr
	常用	32 ton/hr
火炉負荷	最大	955,000 Kcal/m³ hr
	常用	604,000 Kcal/m³ hr
蒸発率	最大	75 Kg/m² hr
	常用	48 Kg/m² hr
○ バーナ型式	A B C型	4 × 2
	(圧力噴射方式)	
○ スートプロワ		
Gaderius Full Automatic Air Operated Type		
EB-48型 および WB型		
1缶につき	過熱器2、ガスエアヒータ(ユングストロームタイプ)1、蒸発管3	
		計 6本
使用蒸気圧力	18 atg	
プロー使用回数	1 ~ 2回/day	



第2.8回 利根川丸 (S. 42)



第2.8圖B 利根川丸 (S. 42)

(第2.3表 付表)

- 川崎汽船 M S 吉野川丸 (昭和39年8月建造)
- 総トン数 約45,700トン
 - 機関型式 KAWASAKI MAN K9Z 86/160
 - 出力 1,9500PS
 - 補助ボイラ型式 B.P. 34-SI 2 Drums water tube boiler
 - 圧力 2.2 Kg/cm²
 - 排ガスヒータ型式 強制循環式ラモントヒータ BL-e-1496 SH型
 - ストップロア 型式 蒸気噴射式
 - 数量 5

(注) 440 KW (550 KVA) ターボ発電機駆動。航海中は、雑用蒸気も使用して、蒸気量は排ガスヒータのみで十分である。

第2.3表 附着スラグ分光定性分析結果

区分	Fe	Ca	V	Ni	Si	Cu	Mn	Al	Na	Mg
スペクトルの強さ	++++	+++	++	++	++	++	+	+	+	++

(注) スペクトルの強さ

++++	すこぶる強	++	明瞭
+++	強	+	弱
++	すこぶる明瞭	±	かろうじて認む

第3章 燃焼および燃焼生成物附着状況に関する調査

3.1 模型フアーネスによる燃焼生成物の性状に関する実験

3.1.1 まえがき

昨年度は模型炉を製作し、この炉によつて予備実験を行ない、外面附着物の調査が可能な状態まで進めた。

今年度はこの模型炉を2、3の点を改良して燃焼実験を行ない、外面附着物を採取して化学分析を行なつた。

3.1.2 実験装置と方法

全体的には昨年度と同様であるが、改良点があるので改めて装置全体の概略を第3.1図に示す。改良点は次のとおりである。

(1) 高温ガス流路部分

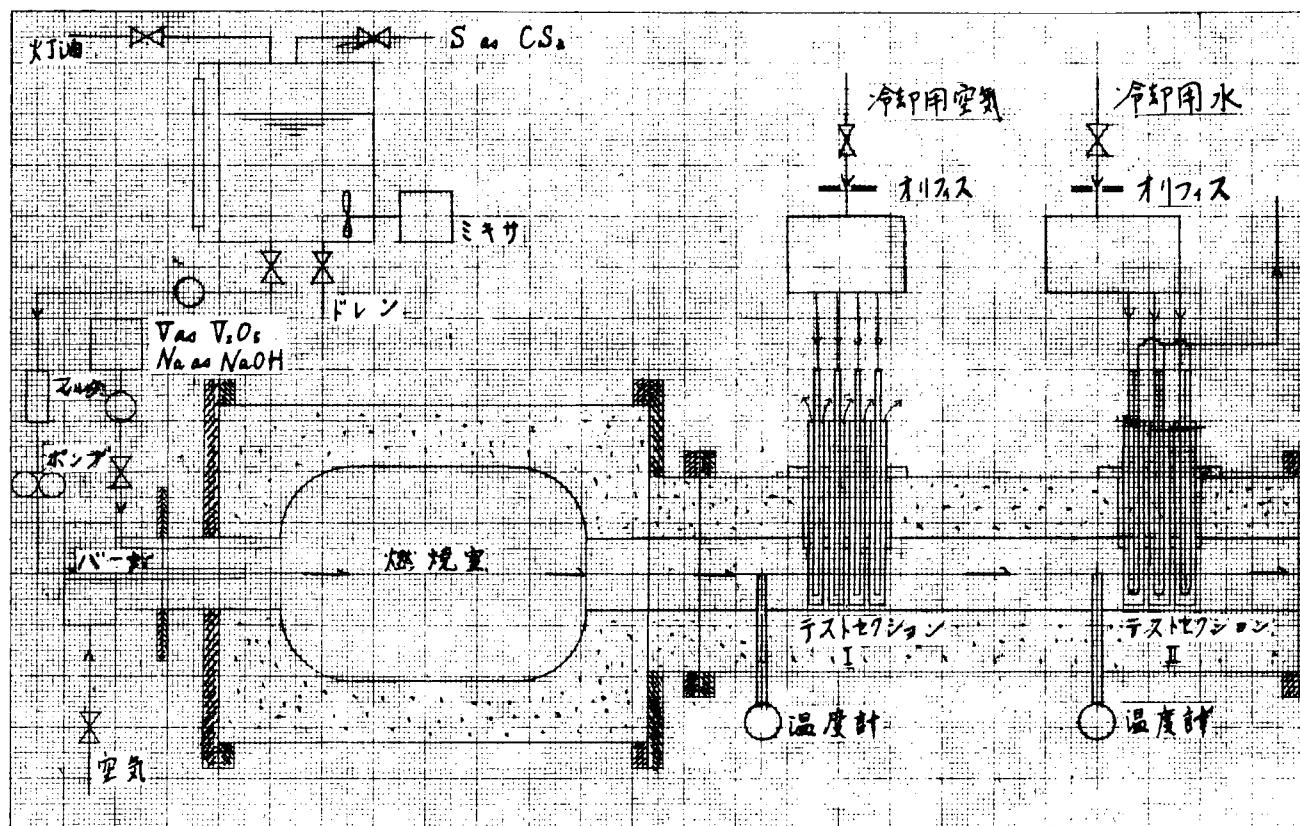
昨年度は鉄製のダクトであつたが、今年度は第3.1図に示すように耐火壁構造とした。断面は $120\text{mm} \times 120\text{mm}$ で不变である。

(2) 供試管群

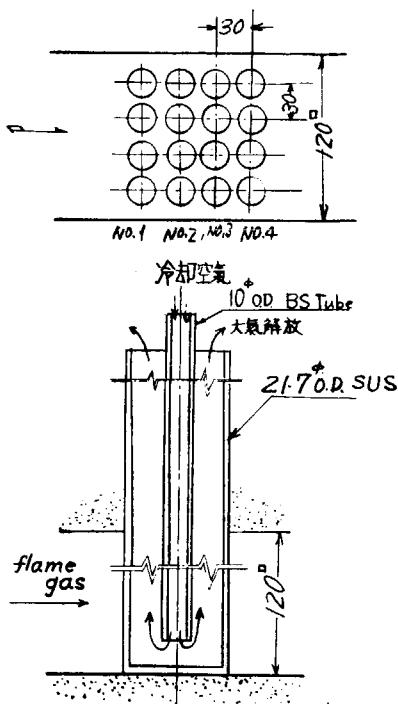
第3.2図に示すような構造とした。図にみるよう低温側管群は内部に冷却コイルと熱媒体を入れてある。熱媒体の種類、冷却コイルに流す冷却水量を変えることによつて表面温度を適当な値に保つことができる。

高温側管群は空冷とし、空気量によつて表面温度を制御する。

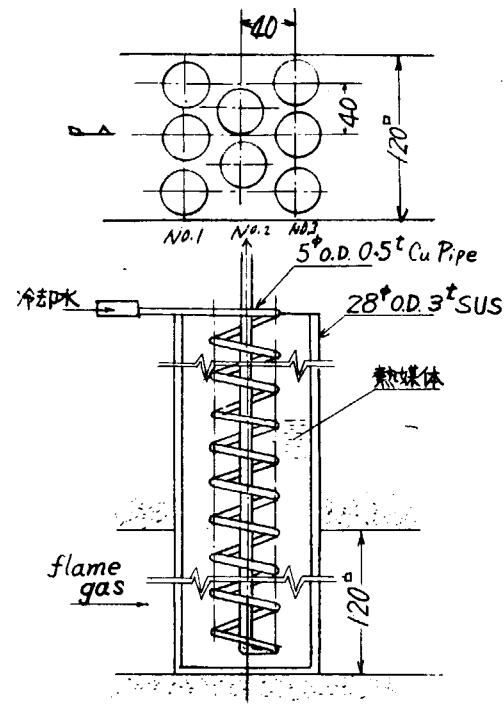
管群の各列に1φクロメルアルメルシーズ熱電対をとりつけて温度計測を行なう。



第3.1図 模型炉およびテストセクション部分の概要



(1) 空冷管列とその詳細
(高温側)



(2) 水冷管列とその詳細
(低温側)

第3.2図 附着物採取用供試管群の構造

(3) 添加薬品

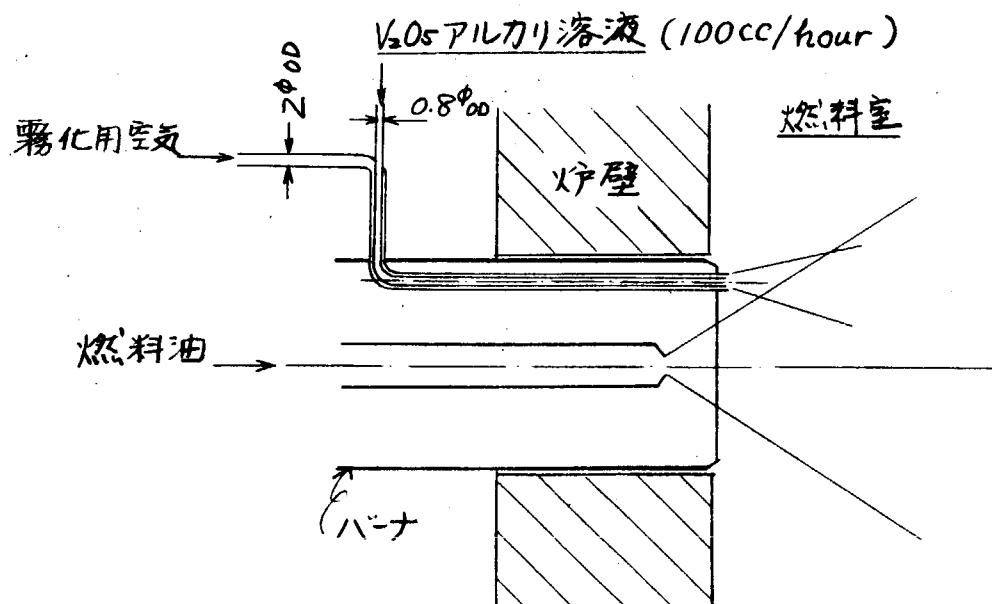
添加する S、Na、V 系化合物として下記のものに変更した。

S : 二硫化炭素 CS_2 (油溶性)

Na : ナフテン酸ソーダ、 $NaC_7H_{12}O_2$ (油溶性)

V : 五酸化ヴァナジウム、 V_2O_5 (325 メッシュフルイ通過粉末)

これらを燃料タンクに添加したのは昨年度同様である。なお、この方法では高温側供試管がなかなか汚れず、調査し得るほどの附着物がつかなかつたので、第3.1表の実験番号8の実験からは Na、V の添加方法を下図のごとくに変更した。この方法によつて高温側の外面附着物の試料も採取が可能となつた。



第3.3図 V、Na 添加法

V_2O_5 はアルカリ水溶液に溶けるのでここでは、 V_2O_5 、NaOHの水溶液を作り、これを上図のようにしてバーナ口附近の火炎内に微粒化して投入する方法をとつた。

3.1.3 実験条件

実験条件は第3.1、3.2表に示すとおりである。供試管はSUS27でJIS規格によれば第3.3表に示す成分をもつ。

第3.1表 燃焼条件

実験番号	薬品添加量			空気過剰率	燃焼時間 hr	燃料(灯油)消費量	
	V ppm w	Na ppm w	S % w			1/hr	1
1	300	300	3	2.9	3.4	3.5	120
2	300	300	3	2.3	1.2	4.0	48
3	300	300	3	1.6	3.2	4.0	130
4	300	300	3	2.3	5.0	4.0	200
5	500	300	3	1.4	5.0	3.6	180
6	500	300	3	2.2	5.0	3.0	150
7	500	300	3	2.1	5.3	3.0	159
8	500	600	3	1.3	2.3	5.0	115
9	500	300	3	1.2	4.2	4.1	172

* 空気過剰率は計算値

第3.2表 温度条件 (°C)

実験番号	高温側入口ガス温度	低温側入口ガス温度	高温側管壁温度		低温側管壁温度		
			No. 1*	No. 4*	No. 1*	No. 2*	No. 3*
1		500±50	450±50		120±10		130±10
2		550±50	490±20		75±10		80±10
3		650±50	600±50	600±80	75±10		85±10
4		500±50	440±50	420±50	75±10		
5		550±50	540±40	510±50	125±10	125±10	120±10
6		550±50	540±40	510±30	140±10	135±10	145±10
7		450±50	450±30	410±20	230±10		235±15
8	800~900	610±50	560±50	550±50	180±10		180±10
9	800~850	560±50	530±40	450±20	150±10		140±10

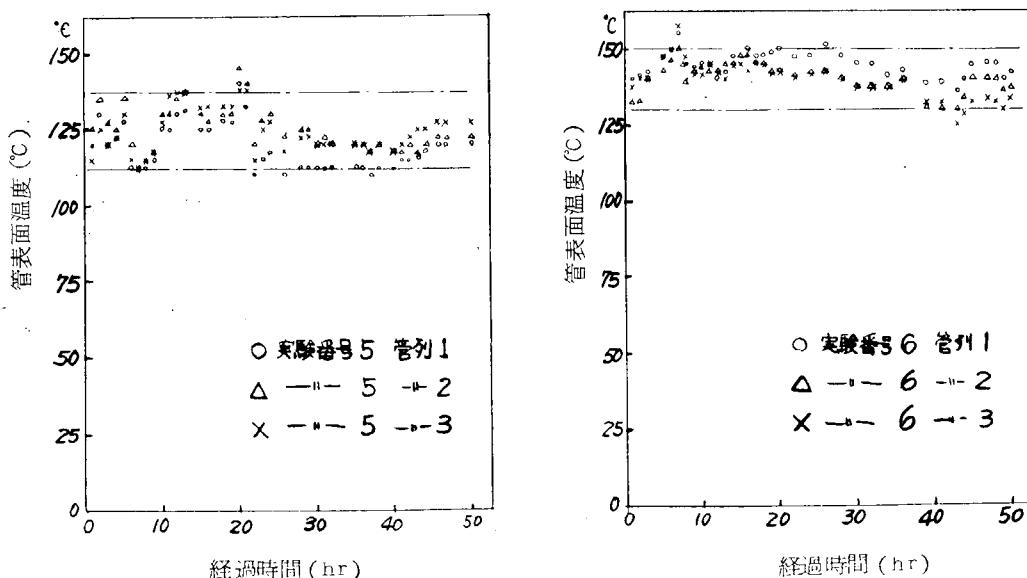
* 第3.2図参照のこと

(空欄は計測せず)

第3.3表 JIS G3459(1962) SUS27TP

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
<0.08	<1.00	<2.00	<0.040	<0.030	8.00~11.00	18.00~20.00

実験中の管壁温度の変化の一例を第3.4図に示しておく。



第3.4図 伝熱面の温度変化の一例(低温管群)

3.1.4 実験結果

(1) 附着状況と外観

(a) 実験開始時から炉消火までの外観変化(低温)低温側の管列はテストセクション出口側から観察できるので燃焼開始から試料採取までの時間的変化を観察した。

(実験2および4)空気過剰率が高いため未燃炭素はほとんどなく、管表面は黒くならない。燃焼開始後20~30分で管壁は水がついたようにぬれてくる。これは硫酸が凝縮してくるためである。(ここで実験条件の場合、ガスの酸露点温度は15.0~16.0°C程度である)。このぬれた状態が数時間続いた後管表面はきれいな緑色になり、緑色のべたべたしたものが附着してくる。10時間程度まではこの状態で同じ外観の附着物が増大する。この時間をすぎるとべたべたの状態ではなくなり、外観は湿つた程度とみなしうる状態になり、外観も白味をおびた緑色に変化する。30時間程度になると白味をおびた緑色の層の表層の一部が黄色味をおびてくる。この状態にまで至ると時間的な変化はそれほど顕著でなく、実験はこの状態で止めた。

実験2の低温側附着物外観 写真3.1

" 4 " 3.2 (外観)
" 4 " " 3.3 (管群に密着した層)
(写真3.3中央の黒色部分は熱電対取付ハンダ)



写真3.2

(実験3)他の実験条件は同様だが空気過剰率が小さいため、未燃炭素がガス中に存在し、これが表面に附着する。したがって管表面はすぐ真黒になってしまい、その状態が続くが最終時間に近くなり附着物が多くなつてくると茶色の部分がみえ出し、かさぶた状になつてめくれた部分には白い所もでてくる。

実験3 低温側の外観 写真3.4

写真で表面層がはがれて密着層がみえているが、表面層は終止黒色であつたにもかかわらず、実験2,4のときと同様の附着物の存在していることが確認される。

(実験5、6、7)最終的な附着物の構造は低温の場合と同様であるが、燃焼開始直後の附着物の発達はすつとおそらく、かつ管表面の湿つている状態はだんだん弱くなり、附着物は管壁にくつつきにくく、めくれ上つた状態が

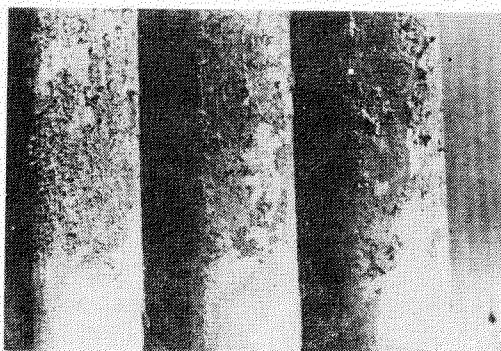


写真3.1

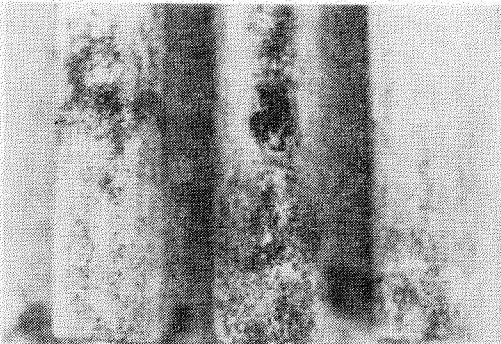


写真3.3



写真3.4

強くなる。なお実験9では、黒い層の上に、緑および黄色の附着物がついているのが注目される。

実験5 低温側の外観 写真3.5、3.6

" 6 " " 3.7

" 9 " " 3.9、3.10



写真3.5

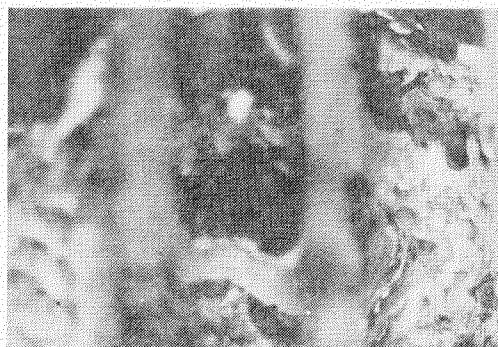


写真3.6



写真3.7

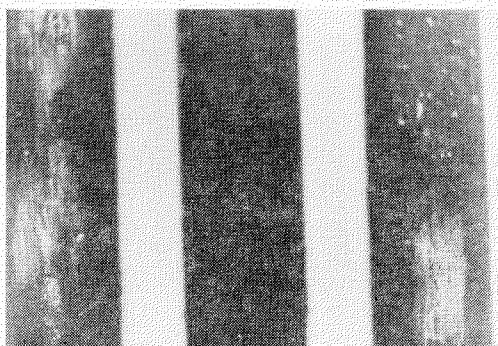


写真3.8

(実験8) 当初しばらく(1.0~1.5時間)は附着物はなかなか安定につかず、ついてははがれ、ついてははがれする状態をくりかえす。管表面は完全に乾いており、附着層は発達した後でもはがれやすい状態にある。

黄茶色の部分(管壁密着層は緑でそのつきの層)の部分が多くなつてくる。

(実験7) ここまで温度が上ると附着物はなかなかつかず成長は非常に遅い。加えて管壁密着層はこれまでの緑色ではなく、白黄色を示すようになるが、この附着物は管壁のエコノマイザや空気予熱器のそれとよく似ている。

[実験7、写真3.8]

(b) 高温空冷管の附着状況

実験1~7までは附着物は少なく試料採取は困難であった。ただ温度60.0°C附近で行なった実験3の第1列にはある程度の厚みの附着物が見られた。高温側は一般に第1列目と第2列目以降で外観が異なるが、これは管を基盤目配列にしたことによると思われる。



写真3.9



写真3.10

高温側附着物の外観を次の写真に示しておく。

実験3 高温側 写真3.1.1、3.1.2

" 4 " " 3.1.3、3.1.4

" 5 " " 3.1.5、3.1.6

" 6 " " 3.1.7、3.1.8

" 7 " " 3.1.9、3.2.0

" 9 " " 3.2.1、3.2.2、3.2.3、3.2.4

附着量が少ないので細かい観察はできないが、一般的に次のようにいうことができる。

(第1列目) 560°C前後以上では灰白色系の附着物が管壁に溶融状態で附着している。450~560°Cで赤茶(酸化鉄)色の附着物、450°C以下では黄茶色に変化する。いずれの附着物も部分的にはがれた状態であるが、附着力はかなり強く、ストップロフでは明らかにとれない。

(第2列目以降) 実験3では第1列の560°C前後の場合と同様であるが、他のものは一般的にうすい黄茶色の底層の上に黒ないし黒灰色の附着物がはん点状につくという傾向を持つ。そして底層は温度が低くなるほど黄色に近い色に変つていく。この斑点状に汚れが附着していく様子は実缶の過熱器の附着状況とよく似ている。

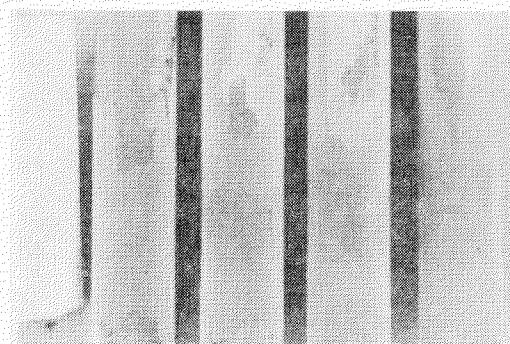


写真3.1.1

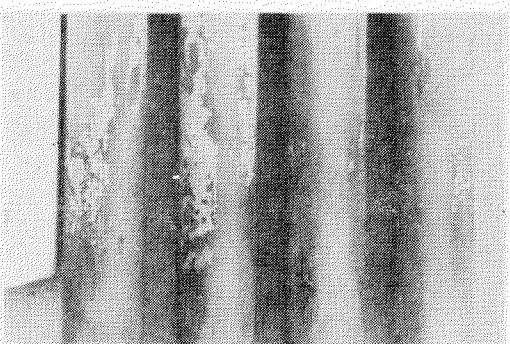


写真3.1.2

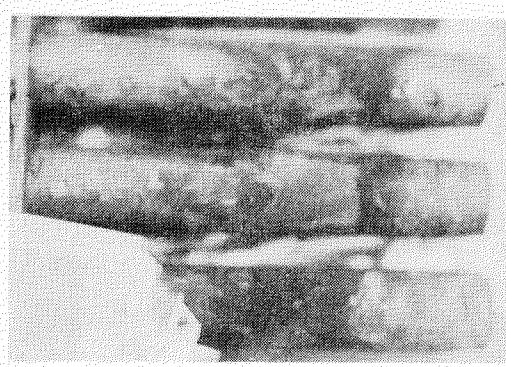


写真3.1.3

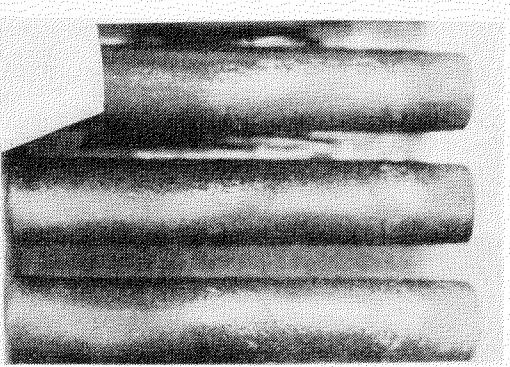


写真3.1.4



写真3.1.5

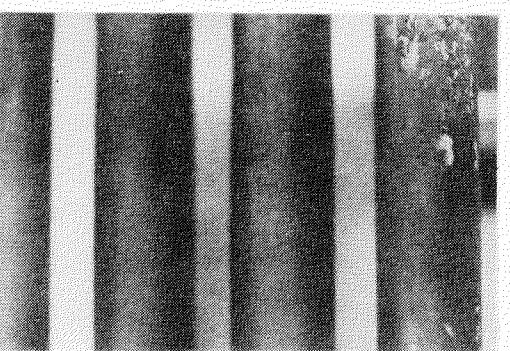


写真3.1.6

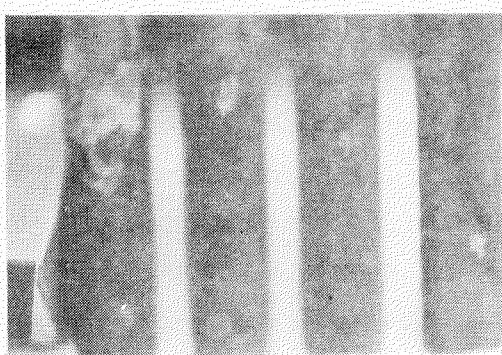


写真3.1.7

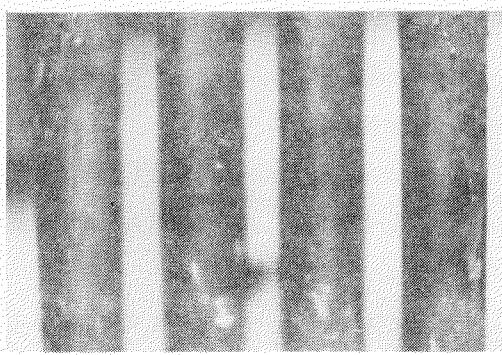


写真3.1.8



写真3.1.9



写真3.2.0



写真3.2.1

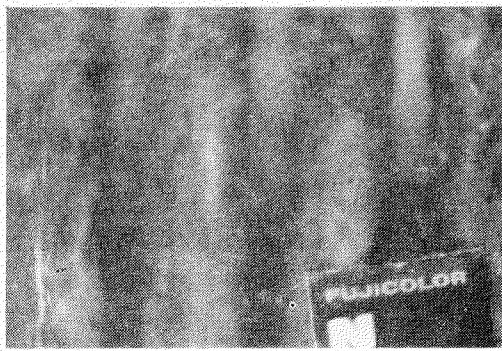


写真3.2.2



写真3.2.3

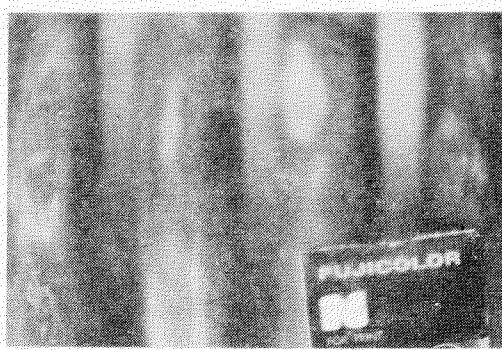


写真3.2.4

(c) 附着物の層状構造

(i) 低温側附着物

実験7の高温(230°C附近)のものを除いて他の場合(75~180°C)は一般的に管壁側から緑色層、黄土層、そして最外層の黒色層に別れる。最外層にはガス中の燃焼生成物はなんでも附着するのであつて、上述の黒色というのは一般的でない。黒色は未燃炭素の影響によるところが大きいと考えられる。附着層内部では化学反応が進行して層変化が生じると想定され、さらに実験9の結果をみると、上述の黒色層のところにまた新しい層が発生しかかつており、もつと時間がたてば新しい層が次々と発生していくと考えられる。附着物のめくれた部分は茶ないしは白色を主体とする外観に変化している。実験7では緑色層は黄白色に変化し、層は2層構造であり、ここまで温度が上ると附着物の性状は異なつてくるようである。

(ii) 高温側附着物

高温側附着物には明確な層変化の構造はみられなかつた。一般的に第1列は一様に溶融状態で附着したと考えられるうすい層であり、第2列以後は茶黄色のきわめてうすい底層の上に黒色系統の物質がはん点状に附着する。時間が経過すればこのはん点状の附着物が増加してくると考えられ、実験では発展段階の中途のものと考えられる。

(2) 附着物の分析結果

上記実験で得られた附着物をとくに層の変化に注意して採取し、定量分析およびX線回折分析にかけた。

採取した試料を第3.4表に示す。

第3.4表 採取試料

試料番号	実験番号	管群	附着物附着場所	試料番号	実験番号	管群	附着物附着場所
1~6	1		(除外)	31	6	低温側	黒、緑のもつとも多量にあるもの
7	2	低温側	第1層(最外層)緑~黄色	32	"	高温側	第1列上流側
8	"		第2層(最内層)濃緑	33	"		第3~4列上流側
9	3	低温側	第1層めくれている部分、赤茶色	34	"		第2~4列黄色部分
10	"	"	第1~2層、黄土色	35	7	低温側	第1層黒色
11	"	"	第3層、緑	36	"		第2層白黄色層
12	"	高温側	第2~3列、表面	37	"	高温側	第1列上流側
13	"	"	第1列、表面	38	"		第3、4列上流側の黒いはん点
14	4	低温側	管上流側第1層	39	"		第2~4列の白色部分
15	"	"	管より脱落してダクト壁に堆積したもの	40	"		黒、青、紫部分
16	"	"	第1層	41	8	高温側	第1列上流側、黒青灰色の固いもの
17	"	"	緑色層の上のふわふわした部分	42	"		第2~4列
18	"	"	第3層、緑色	43	"	低温側	第1列上流側、緑、うぐいす色
19	"	高温側	上流側はん点状のもの第2~4列	44	"		黒、緑層(第1列下流側)
20	"	"	第1列	45	"		第2、3列上流側、茶かつ色部分
21	"	"	黄色の部分(はん点状のものの下層)	46	"		第2、3列下流側、黒部分
22	"	"	黄色の広くみられるもの	47	"		黒の下にある緑色層
23	5	低温側	19時間後の炉への脱落物	48	9	高温側	第1列上流側
24	"	"	黒い部分のはしにあるめくれた灰白色部分	49	"		第2~4列橙々色部分
25	"	"	黒い部分	50	"		黒色部分
26	"	"	緑色部分	51	"	低温側	上流側緑色のつぶつぶ(最外層)
27	6	低温側	脱落物(8~5時間経過)黒緑黄	52	"		黒い部分
28	"	"	"(50時間)"黄~黄土	53	"		緑部分
29	"	"	黒色表面層の上にある橙々色の部分	54	"		脱落物(50時間後)
30	"	"	管に接している白い部分				

(a) 定量分析結果

第3.4表のうちから、選んで定量分析（三菱重工明石研究所へ依頼）を行なつた結果を第3.5表に示す。

第3.5表 試料定量分析結果

分析項目	試料	7	8	9	10	11	12	13	14	15
pH 0.2 g/100mℓ		3.05	2.95	3.20	3.05	2.90	4.25	5.25	3.00	3.05
灼熱減量%										
水溶性成分%										
酸不溶分%		2.40	2.15	1.45	1.40	6.75	20.9	17.4	0.60	3.60
Total S as SO ₃ %		3.80	3.61	4.13	4.69	3.86	2.21	24.2	41.2	38.8
Total Fe as Fe ₂ O ₃ %		2.62	2.72	2.96	2.86	2.86	3.11	29.4	24.2	24.2
Total V as V ₂ O ₅ %		0.75	0.56	1.12	0.75	0.56	3.36	0.75	3.36	4.70
Total Ni as NiO%		3.26	3.13	3.55	3.27	3.46	2.20	1.65	3.49	3.23
Total Ca+Mg as CaO%										
Total Na as Na ₂ O%		1.01	0.44	1.28	1.59	0.52	1.92	2.05	7.06	1.85
C										
水分%		22.0	26.8	22.4	18.11	26.2	11.0	6.20	22.8	19.2
Total		95.57	96.38	100.39	94.62	98.69	99.96	100.10	97.61	95.58
分析項目	試料	16	17	18	19	20	21	22	35	36
pH 0.2 g/100mℓ		2.90	3.10	3.05	4.10	4.25	3.45	3.70	2.70	2.90
灼熱減量%										
水溶性成分%										
酸不溶分%		0.66	0.52	0.28	0.62	9.70	4.10	5.30	11.0	6.00
Total S as SO ₃ %		3.91	3.78	3.34	15.2	8.75	23.5	13.5	30.4	43.1
Total Fe as Fe ₂ O ₃ %		24.7	24.3	23.1	10.1	11.3	3.00	6.50	10.8	8.80
Total V as V ₂ O ₅ %		1.80	1.26	0.82	5.57	5.52	50.7	53.7	3.00	9.50
Total Ni as NiO%		3.38	3.85	2.81	0.24	1.63	0.40	1.00	0.95	0.90
Total Ca+Mg as CaO%										
Total Na as Na ₂ O%		0.78	0.47	0.13	1.26	9.25	11.7	12.9	3.20	16.9
C									9.60	—
水分%		25.7	28.9	31.9	41.0	21.5	5.30	6.60	(31.1)	(14.8)
Total		96.12	96.60	95.44	99.47	97.98	98.70	99.50		
分析項目	試料	39	43	45	48	49	50	51		
pH 0.2 g/100mℓ		—	3.10	—	5.50	3.90	3.60	3.00		
灼熱減量%										
水溶性成分%										
酸不溶分%		34.0	1.00	2.00	4.60	12.0	1.00	3.00		
Total S as SO ₃ %		21.3	42.3	42.0	7.55	27.5	26.1	43.6		
Total Fe as Fe ₂ O ₃ %		11.6	1.12	1.60	16.4	8.4	0.56	0.50		
Total V as V ₂ O ₅ %		8.40	22.9	28.6	12.0	21.0	39.0	28.6		
Total Ni as NiO%		0.35	0.12	0.17	1.38	1.37	0.12	0.09		
Total Ca+Mg as CaO%										
Total Na as Na ₂ O%		11.3	22.6	23.8	6.80	19.0	23.0	16.2		
C		—	0.20	—	0.30	2.10	0.1	0.4		
水分%		(14.1)	(10.8)	(1.83)	(9.57)	(9.63)	(10.12)	(7.71)		

注) No.35～51の100にみたない部分は水とみてよい。

第3.5表の結果から興味ある事実がうかがわれる。すなわち、低温側附着物は層や外観の区別に大きな差があるにもかかわらず、前述した基本的な三つの層(黒、黄土、緑)では組成比はほとんど変わらない。まためぐれた白あるいは茶の部分も組成比は上記三つの層と同じである。

実験7の温度の高い場合(230°C)は黒および白黄の2層であつた。この表層の黒色部分は他の場合と同じだが、白黄色層はNaがはいつて来ており、他の低温の場合と附着物の性質の違つていることがわかる。

なお実験8、9の低温側の第1層の上部に附着している緑あるいは黄色の層にはV、Naがかなり多量に含まれていることがわかる。

低温側附着物にはいずれの場合もかなりの水分が含まれていることが一つの特徴である。ただし実験7の温度の高い場合は他と性質を異にして水分が少し少ない。

高温側は、V、Naの量が多くなるがこの成分量は温度によつてかなり変化する。すなわち、実験3の600°Cの場合はVは少なくNaが多い。実験4および9の結果を検討すると450°C前後のときVの量が非常に多い附着物となることがわかる。温度がそれ以上になつても下になつてもVの量は減つている。

高温側附着物は一般に水分は少なく、かつ酸不溶分が多いのも特徴である。

(b) X線回折分析結果

ここでは粉末法を用いて反射X線のスペクトル分布を各試料について測定し、試料がどんな化合物であるかを調査した。スペクトルを第3.5～3.12図にピークだけとり出した形で示しておく。用いたX線はCu- α 、 $\lambda = 1.5418\text{\AA}$ である。このX線はいまのように鉄分の多い試料にはあまり適当でないが、測定にさしつかえない程度のバツクグランドなのでこれを用いることとした。

得られたスペクトルをすでにスペクトルのわかつているものと比較し、同定することができればその物質が試料に含まれていることになる。

(i) 低温側附着物

第3層緑色の部分の結果は第3.5図c、第3.6図b、第3.10図c、第3.12図cに示すが、いずれの場合もほとんど同じで、スペクトルは $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ が大部分である。その次の黄土、黒色の二つの層は採取の際分離できなかつたので一緒に分析したが、その結果は第3.5図b、第3.6図c、第3.10図b、第3.12図bに示す。一般的な主要物質は $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ と $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ であるが、それ以外に同定できない物質が若干含まれている。 $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ と $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ では後者のほうが多く、(第3.10図b、第3.12図b)これが第1、2層の主要物質と考えられる。第1層黒色の上部に附着している物質は第3.6図a、第3.10図a、第3.12図aのようなスペクトルをもつているが、同定できない物質が多い。比較的たくさんついた実験9(第3.12図a)のものはスペクトルは単純で図示するように V_2O_5 そのものと、同定できない物質 α からなつている。表層にはガス中のいろいろなものがついていると考えられるので、 V_2O_5 の含まれているのは理解できる。第3.6図a、第3.12図bにも見られる。第3.5図aは第1層の黒い部分がまくれて赤、茶あるいは白に変色した部分であるが、分布をみると $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 V_2O_5 、物質 α の混合物である。採取の際完全な分離ができないので前二つが入つているのは予想される。残りの二つは表層と同じものである。

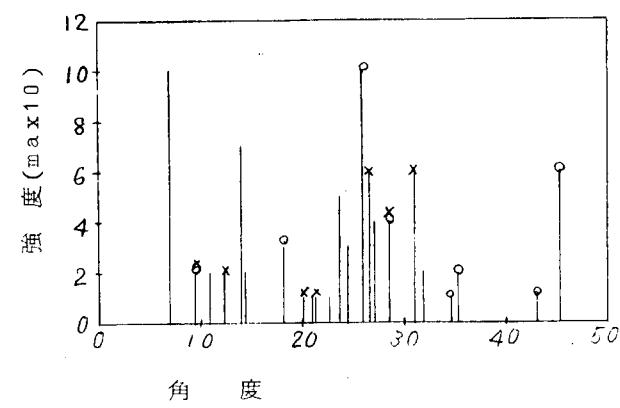
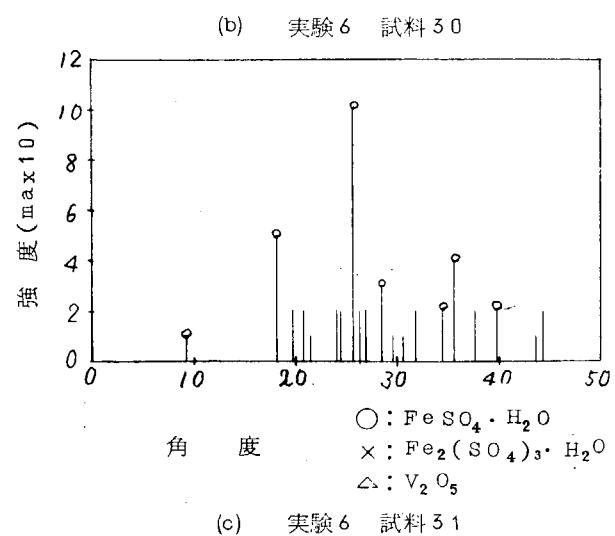
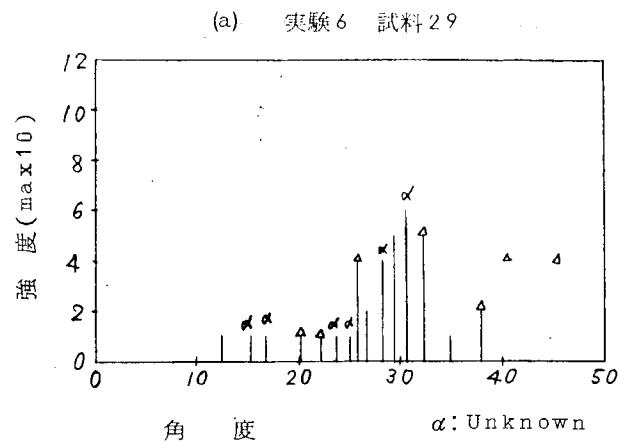
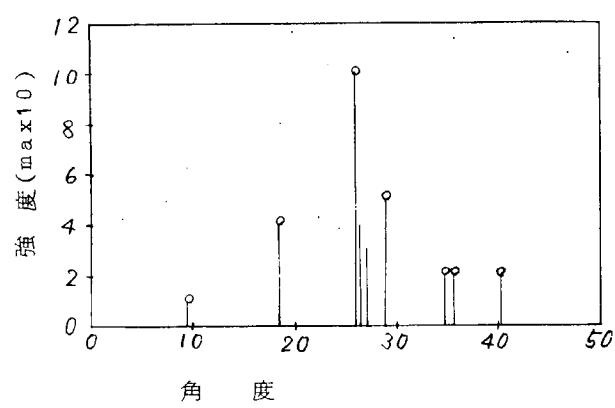
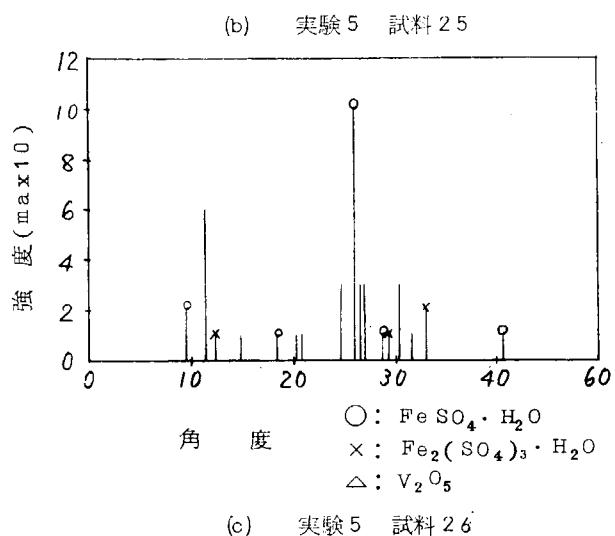
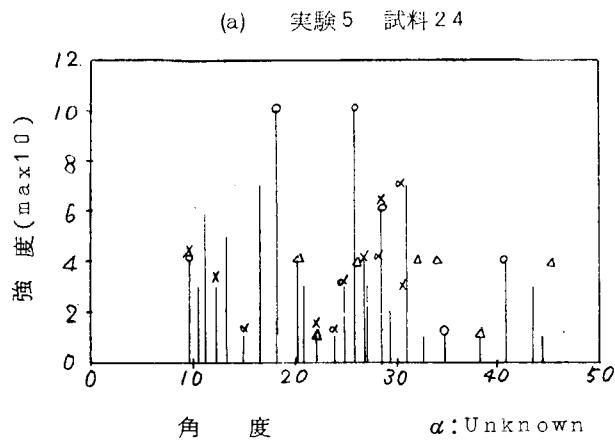
実験7の高温での附着物は上のスペクトルとは全然違つており(第3.8図a、b)、温度条件で化合物の変ることがわかる。ただし、a、bのスペクトルと同定できる物質は判明しなかつた。第1層のスペクトルには他の表層にもみられた物質 α のものがみられる。これはNa系化合物と考えられるが、この程度の温度になるとNaが反応に参加すると考えられる。管壁温度が低くとも表層になると温度は高くなるから、低い温度の場合にも α が存在するのは当然予想される。

(ii) 高温側附着物

第3.9図a、第3.11図aは第1列の附着物の分析結果であるが、最も多いのは Fe_2O_3 であり、これと Na_2SO_4

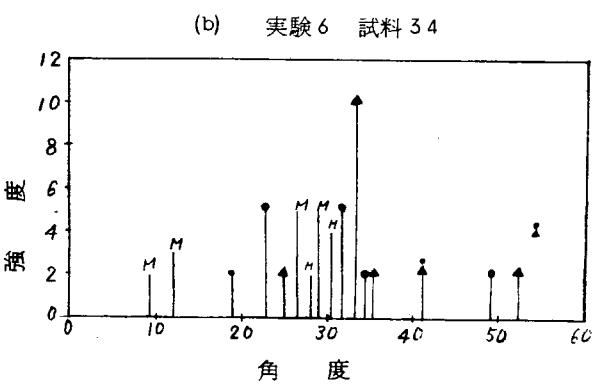
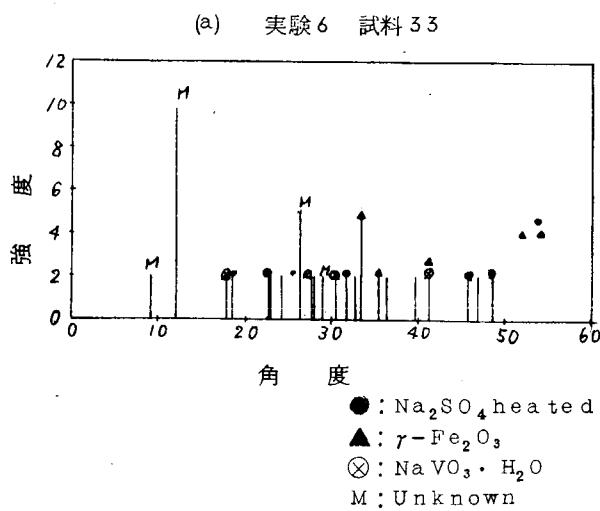
(heated)で大部分を占める。それに $\text{NaVO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ と考えられる化合物が少し含まれている。第2列目以降では rFe_2O_3 は少なくなり、 Na_2SO_4 (heated) および同定できない物質Mが主要物質となる。

MはV化合物と考えられるのは、第3.1.1図 b、cと同じ試料の定量分析結果から判断できる。

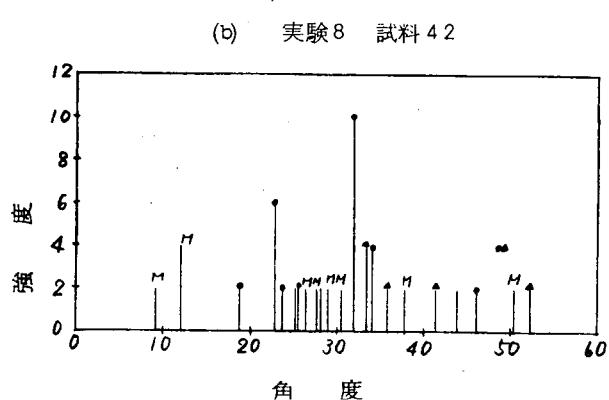
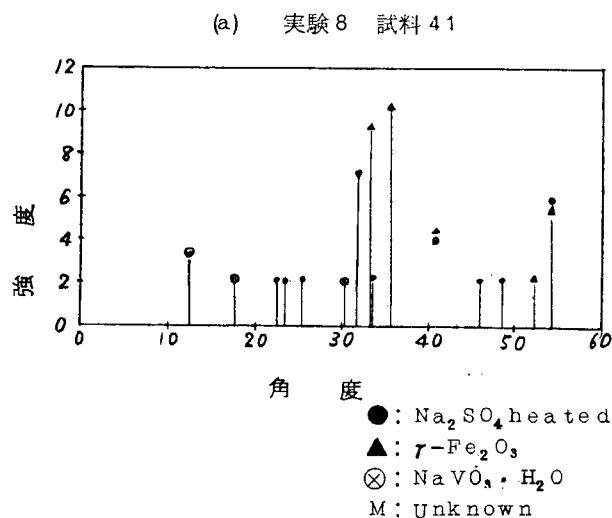


第3.5図 X線回折のスペクトル線図

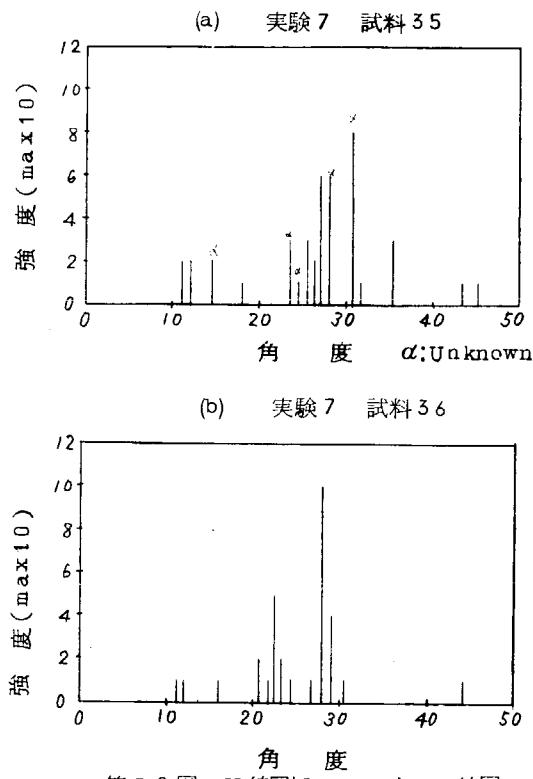
第3.6図 X線回折のスペクトル線図



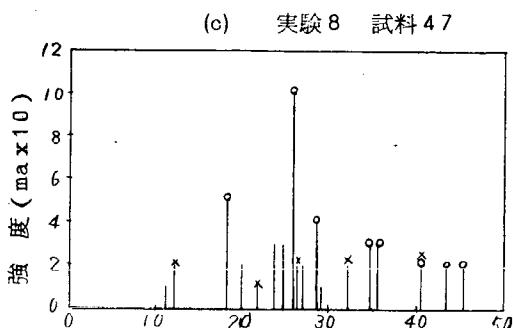
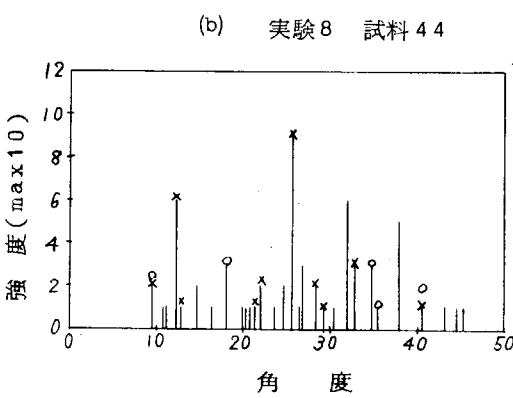
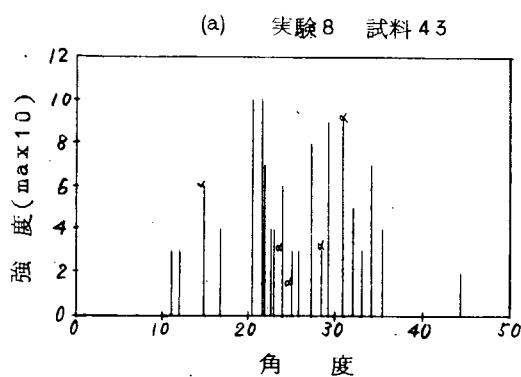
第3.7図 X線回折のスペクトル線図



第3.9図 X線回折のスペクトル線図

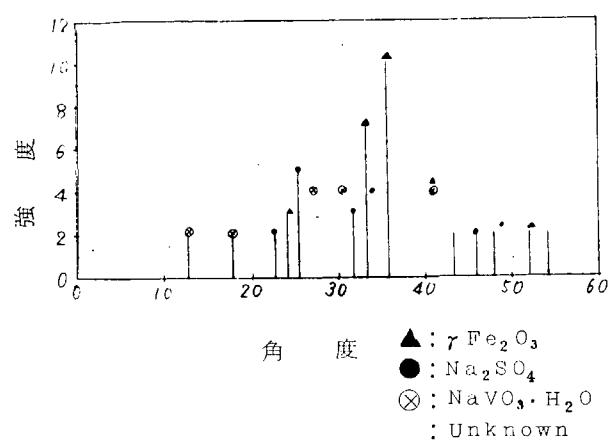


第3.8図 X線回折のスペクトル線図

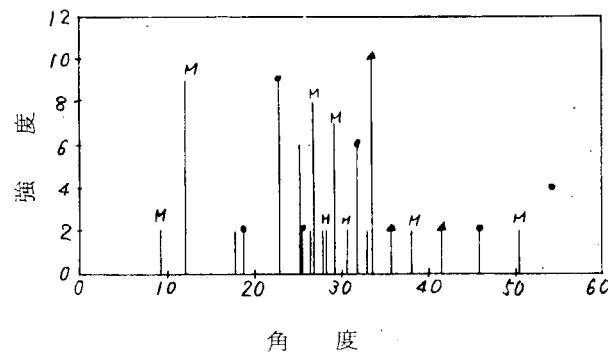


第3.10図 X線回折のスペクトル線図

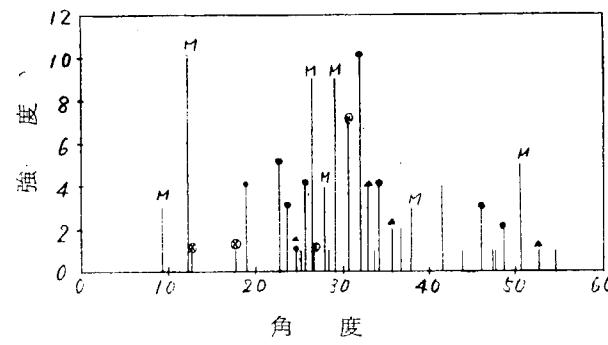
(a) 実験9 試料48



(b) 実験9 試料49

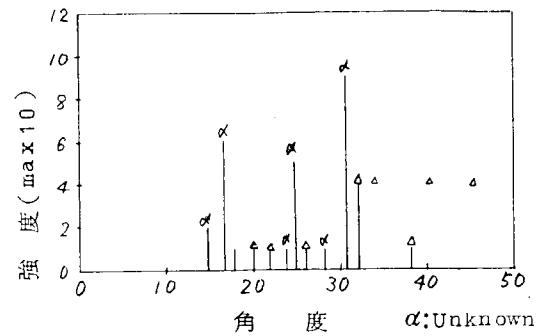


(c) 実験9 試料50

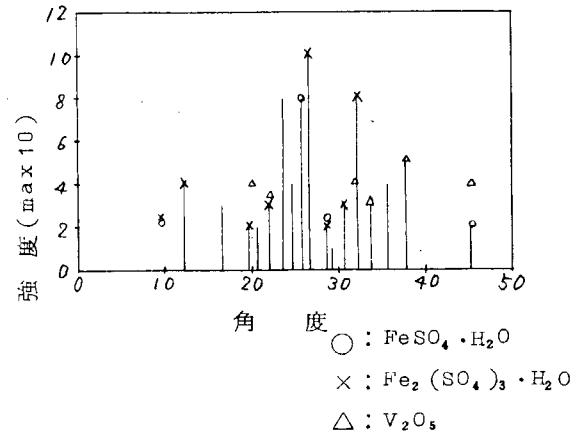


第3.1.1図 X線回折のスペクトル線図

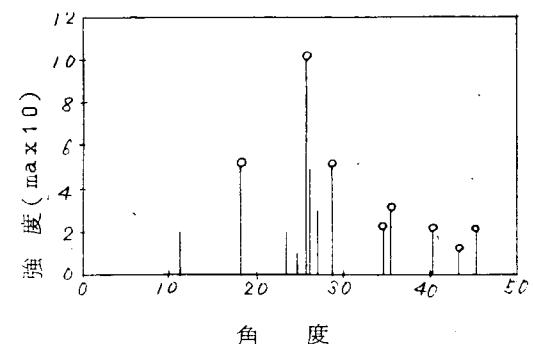
(a) 実験9 試料51



(b) 実験9 試料52



(c) 実験9 試料53



第3.1.2図 X線回折のスペクトル線図

(3) 附着物生成機構

(a) 低温側附着物

管壁温度 180°C 以下では附着物は硫酸鉄である。硫酸第1鉄は青緑色で 100°C で1水塩、熱すれば 300°C で無水の白色粉末となる。また空気中に放置すると酸化されて第2鉄 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ に変化する。硫酸第2鉄は一般にかつ色系統の色を呈する。

硫酸鉄の上の性質とこれまでの分析結果、附着状況観測結果から、管壁温度 $75 \sim 180^{\circ}\text{C}$ での汚れ機構は次のように考えることができる。

(第1段階) 最初管壁についた硫酸は管材の鉄と化合して $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ を形成する。これが時間とともに発達していく。一方管壁に到達する燃焼生成物はいろいろであるが、 $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ の結晶が形成される領域から押し出されるため、これらの生成物は外側の層へ集まつてくる。

(第2段階) ある程度の時間がたち、 $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ の層が発達すると、その外側の層は温度もいく分高くなることがあつて、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ に酸化されはじめる。 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ が形成されはじめると、これと $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ は結晶であるから、その境界は明確になるはずである。

$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ の外側はここでの実験時間においてはもう外部層であり、単純な物質だけでなく、種々の生成物が温度条件によつていろいろな化合物を形成すると考えられる。さらに時間が経つて化合物の量が増加すると、それが結晶構造である限りそれのみからなる新しい層が形成される。このようにして汚れは層状構造をなしながら成長していくものと考えられる。最外層にはバナジウムも当然附着するが、この程度の温度(300°C以下)ではVは化学反応には参加せず、単なる粒子として附着するにすぎない。

管壁温度が230°C程度になるとしかし最初に形成される物質は $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ではなくなる。この場合の化合物については判明していないが、低温の場合の外部層とよく似ていることから考えて、その理由は温度条件が主因と考えられる。

(b) 高温側附着物

高温側に関しては調査し得る程度に附着物を採取できるようになつたのは実験8、9だけであり、明らかな層状構造は得られず、追加実験をまたねばならない。

実験結果をみると、600°Cを越えると附着物は Fe_2O_3 と Na_2SO_4 (heated)が主要な化合物である。450~560°Cでは Na_2SO_4 (heated)とV系化合物が主要となる。Vが反応に参加することは V_2O_5 が附着物中に見られないことから明らかである。

3.1.5 結論

以上の実験で低温伝熱面の附着生成機構はかなり明らかとなつた。すなわち管壁温度75~180°Cではまず最初に $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ が、ついで $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ が形成される。その後にはNaが参加すると考えられる化合物が形成され、こうして時間が経つとともに外へ向つてつきつきと層状構造が発達する。そしてこれらの化合物に参加しない物質は外へ外へと押しやられる。各層がどのような化合物で成るかは、燃焼生成物の組成と温度条件で決定される。燃焼生成物の組成は一般に大きくは変わらないと考えられるから、温度条件が最も重要である。

高温伝熱面の調査についてはまだ試料不足で追加実験が必要である。

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 水冷式テストプローブによる調査結果

(1) 使用燃料油性状

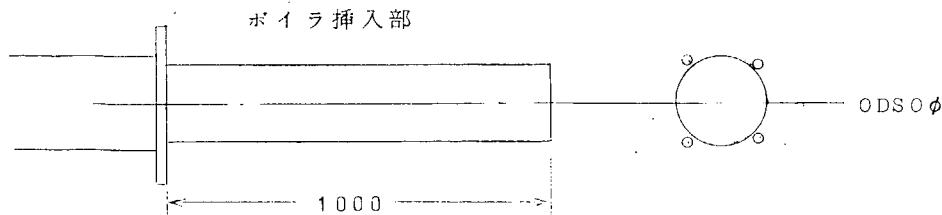
重油 比重	0.9341
粘度	58.3 CS (50°C)
レドウッド	238 (50°C)
硫黄分	2.64%
灰分	0.024%
Hu	10400 kcal/Kg

なお取付ボイラは平川鉄工所製MP500の横置煙管ボイラである。

(2) テストプローブテスト条件

保有水設定圧力	3.0 kg/cm²
飽和温度 Ts	142.9°C
取付期間	2カ月

(3) 附着物観察



上面部

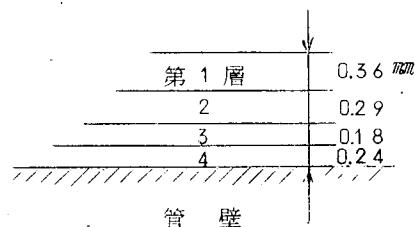
- 第1層 黒色、さらさらとして息を吹きかける程度でとれる。
- 第2層 黒灰色、第1層より粒子が細く附着も密である。(膜状)
- 第3層 黄白色、層はそれほど厚くないが固くがさがさしている。
- 第4層 黄緑色、層は薄いが管壁に一様に密に附着している。

下面部

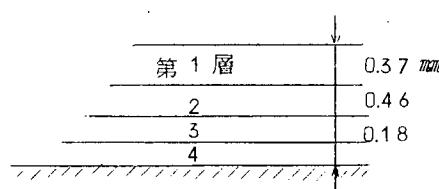
- 第1層 黒色、さらさらとよくとれる。
- 第2層 黒灰色、上層部と同様。
- 第3層 白灰色、がさがさの性状で固くボロボロと大きくはがれる。
- 第4層 バナジウム色、非常に層は薄いがこびりついている。吸湿性あり。

(4) 各層厚さ測定

* 上面部



* 下面部



(5) 標準噴射装置による附着特性の調査

ノズル径 $D = 3.0 \phi$

* 上面部

$L = 120$ $5.7 \sim 5.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 \text{hr}}$ (第2、3層除去)
 $L = 30$ $4.1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 \text{hr}}$ ("")

* 下面部

$L = 30$ $0.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 \text{hr}}$ (第2層除去)
 $L = 2.0 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 \text{hr}}$ (第2、3層除去)

(写真 3.2 5 ~ 29 参照)

第3.6表 テストプローブ附着物の分析結果

測定項目 採取位置	上側		下側				第1層 (赤色) フランジ部	2、3層 プローブ根本
	1、2層	3、4層	1層	2層	3層	4層		
pH (0.19/100mℓ)	3.35	3.55	3.80	3.20	3.40	3.40	3.20	3.25
Tg-Loss (%)	8.8	6.52	5.94	8.18	6.70	6.62	5.68	7.30
Water-Sol. (%)	2.50	5.72	6.02	4.24	4.46	7.28	6.76	6.52
Acid insol. (%)	1.40	0.35	2.41	1.77	5.42	1.73	1.37	1.61
Total s as SO ₃ (%)	19.4	4.90	27.1	28.2	42.0	48.1	37.7	40.0
Total Fe as Fe ₂ O ₃ (%)	8.19	24.7	8.66	11.8	20.2	24.5	21.1	22.1
Total V as V ₂ O ₅ (%)	3.50	11.7	10.4	5.32	3.72	2.37	5.28	4.69
Total Ni as NiO (%)	1.60	3.12	1.72	1.65	3.03	3.20	2.97	2.33
Total Mg+Ca as CaO (%)	<0.1	<0.1	1.44	<0.1	<0.1	<0.1	0.62	<0.1
Total Na as Na ₂ O (%)	1.32	0.27	8.68	1.51	0.59	0.38	2.30	0.99
C (%)	44.1	14.7	26.6	43.0	20.2	16.7	16.9	27.9
Total (%)	29.51	93.66	87.01	93.25	95.16	97.08	100.57	99.62

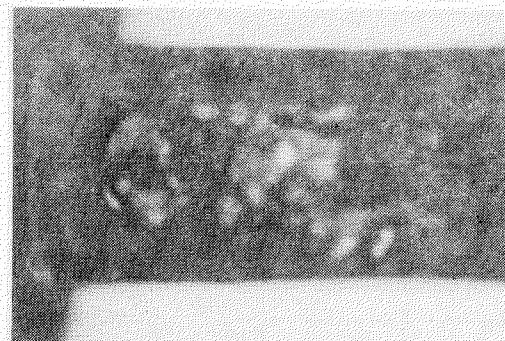


写真3.2.5

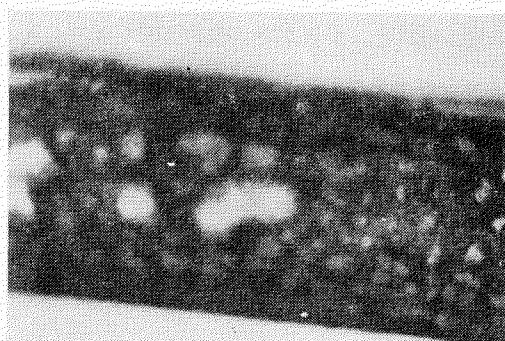


写真3.2.6



写真3.2.7



写真3.2.8

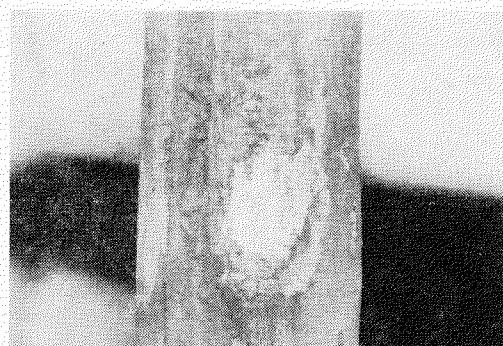


写真3.2.9

3.2.2 空冷式テストプローブおよび小型模型管群による附着物生成に関する実験

(1) テストプローブによる実験

(a) 取付場所

神戸市東川崎町2丁目14番地

川崎重工業株式会社

(b) テストプローブ取付炉と取付位置

第3.1.3図に示すようなテストフアーネスにおいて、煙道部Bとガス冷却塔Cに取付けた。

(c) 使用せるテストプローブ

製作所： 三菱重工業株式会社

型 式： 空冷式温度調節計付プローブ

詳細構造は昭和42年3月発行の第92研究部会報告書P44に記載のため省略する。

本 数： 3本

(d) 取付要領および実験要領

(i) 煙道部Bでの取付

取付要領を第3.1.4図に示す。ここでLは煙道壁からプローブ先端熱電対埋込点までの距離である。

ガス温度は煙道内に熱電対を挿入して読んだ。

プローブ表面温度は指示計をみながらクーリングバルブにて調節した。

(ii) ガス冷却塔Cでの取付

取付要領を第3.1.5図に示す。実験方法は前項と同じであるが、プローブ本数は設置場所の関係上2本とした。

(e) 試験期間

(i) 煙道部Bでの実験 L = 350mm

昭和42年5月31日～昭和42年6月12日

実験時間 36時間

(ii) 煙道部Bでの実験 L = -40mm

昭和42年6月20日～昭和42年7月2日

実験時間 34時間

(iii) ガス冷却塔Cでの実験

昭和42年7月7日～昭和42年7月20日

実験時間 39時間

(f) 実験状況

(i) 煙道部Bでの実験 L = 350mm

1) 試験条件

ガス温度 780～840°C

プローブ表面温度

テストプローブA6.1 275～286°C

“ A6.2 358～385°C

“ A6.3 620～647°C

煙道ガス流速 7.6～8.22 m/s

燃 料 バンカーC重油

C : 8.5.2.8% (重量)

H : 11.53% (重量)
S : 2.91% (")
水分 : 0.2% (")

空気比 1.07 ~ 1.35

(a) 実験結果

36時間運転後プローブを取り外したところ、No.1プローブの表面に黒つい附着物が微量附着していたのみでNo.2、No.3プローブには附着物は見られなかつた。No.1プローブの附着物は分析不可能であつた。

(ii) 煙道部Bでの実験 L = -40mm

前項の実験で附着物がみられなかつたが、プローブ取付穴部H部に附着物が少量ついていたので測定部を穴部に入れガス流速の影響をさけて実験した。実験条件は前項と同じとした。しかし附着物はほとんど見られなかつた。

(iii) ガス冷却塔Cでの実験

(1) 実験条件

ガス温度 550 ~ 630°C

テストピース表面温度

ピース No.1 250 ~ 280°C

ピース No.2 520 ~ 550°C

ガス流速 4 ~ 4.8 m/s

空 気 比 1.07 ~ 1.35

燃 料 前記したものと同一

(a) 実験結果

ガス流速を大部遅くしたにもかかわらず附着物はほとんど見られなかつた。

(2) 小型模型管群による実験

(a) 実験装置概要

実験装置全体配置図および管群構成を第3.1.6図、第3.1.7図に示す。ガスは管外面を通り、冷却空気は管内を通過するようになつている。

(b) 実験条件

平均ガス温度 620 ~ 690°C

平均管壁温度 180 ~ 205°C

平均ガス流速 6.5 ~ 7.3 m/s

空 気 比 1.6 ~ 1.7 (これは冷却用空気を混入したためである)

燃 料 前述と同一組成のパンカーオーC重油

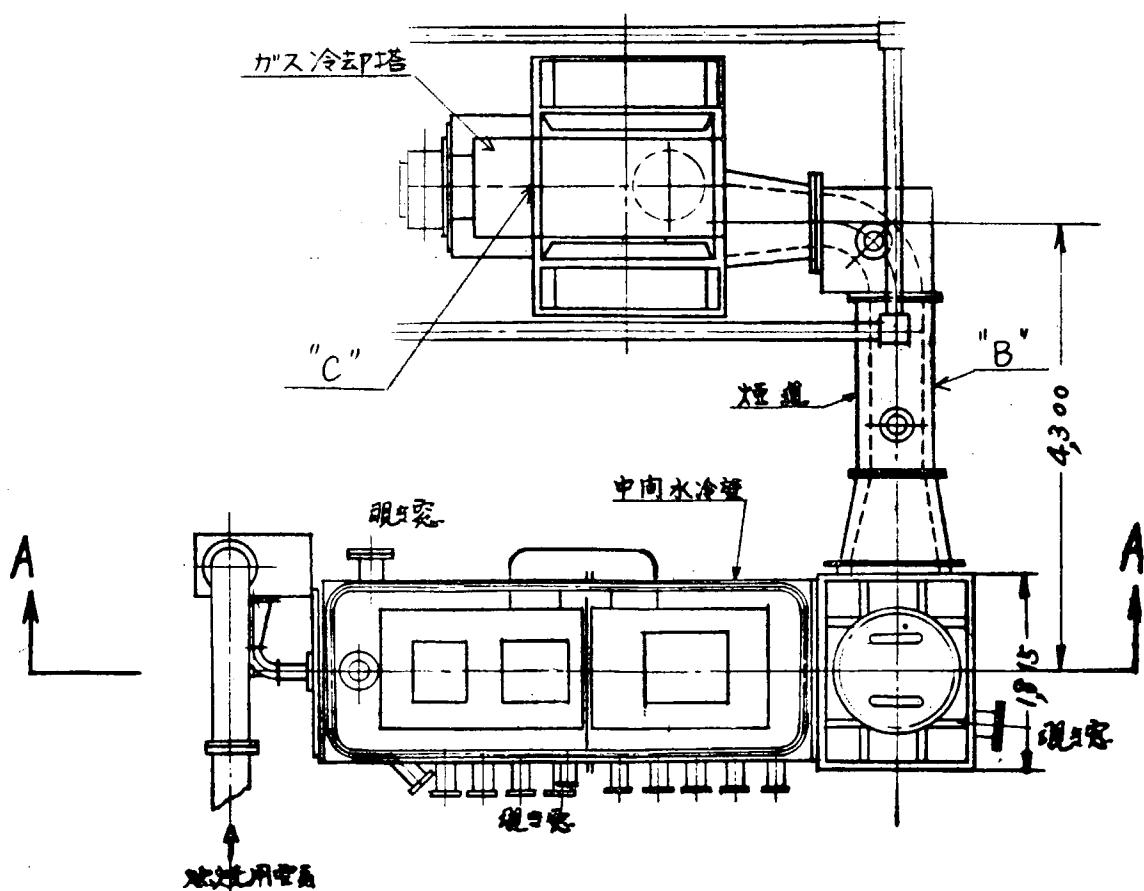
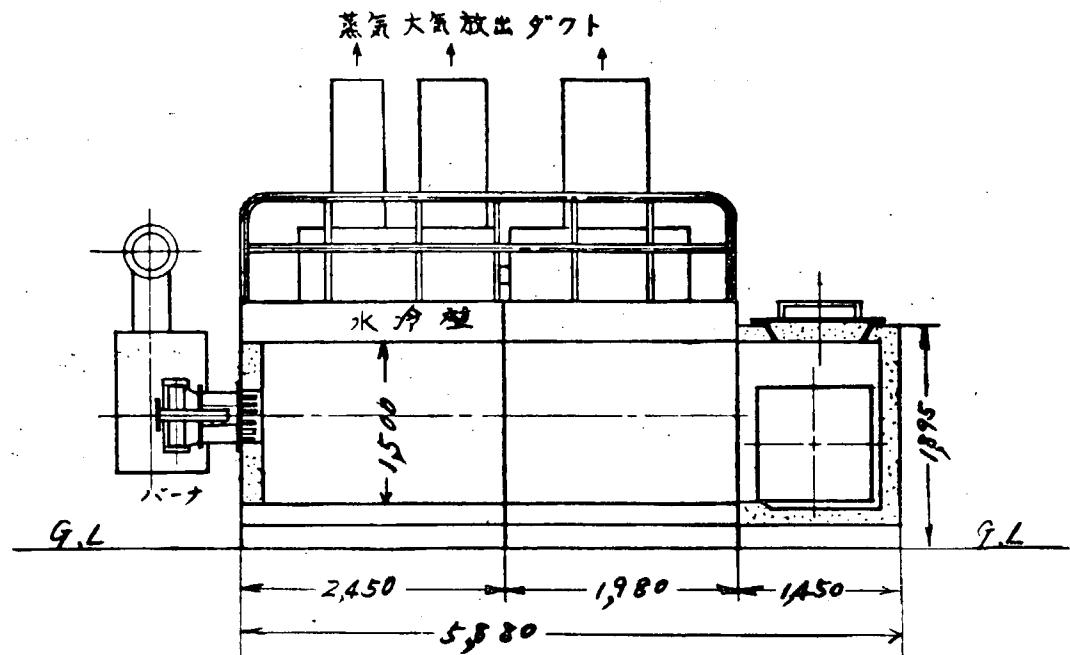
実験時間 15時間

(c) 実験結果

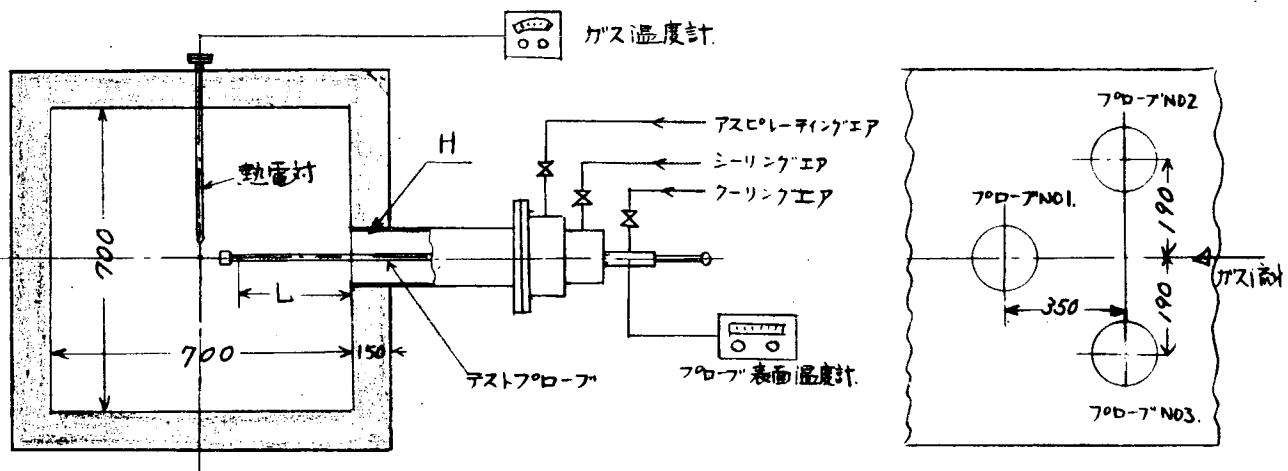
管は一面に黒色の附着物でおおわれていたが附着物はあまり多くなかつた。

附着物の分析結果を第3.7表に示す。

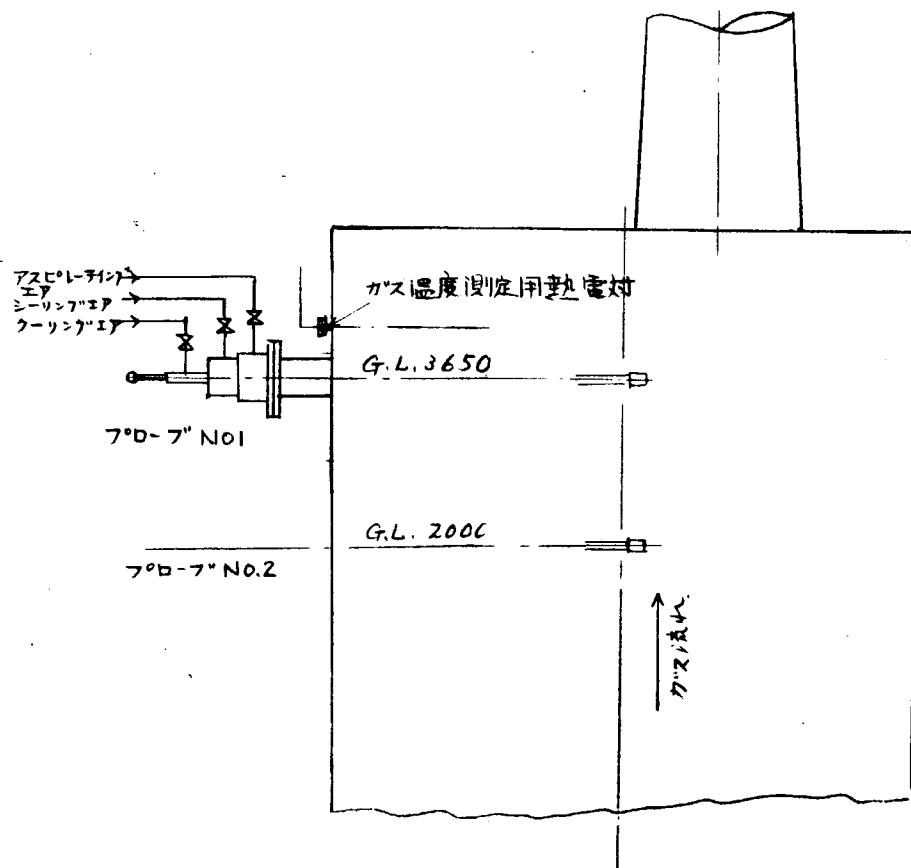
断面 A - A



第3.13図 テストフアーネス

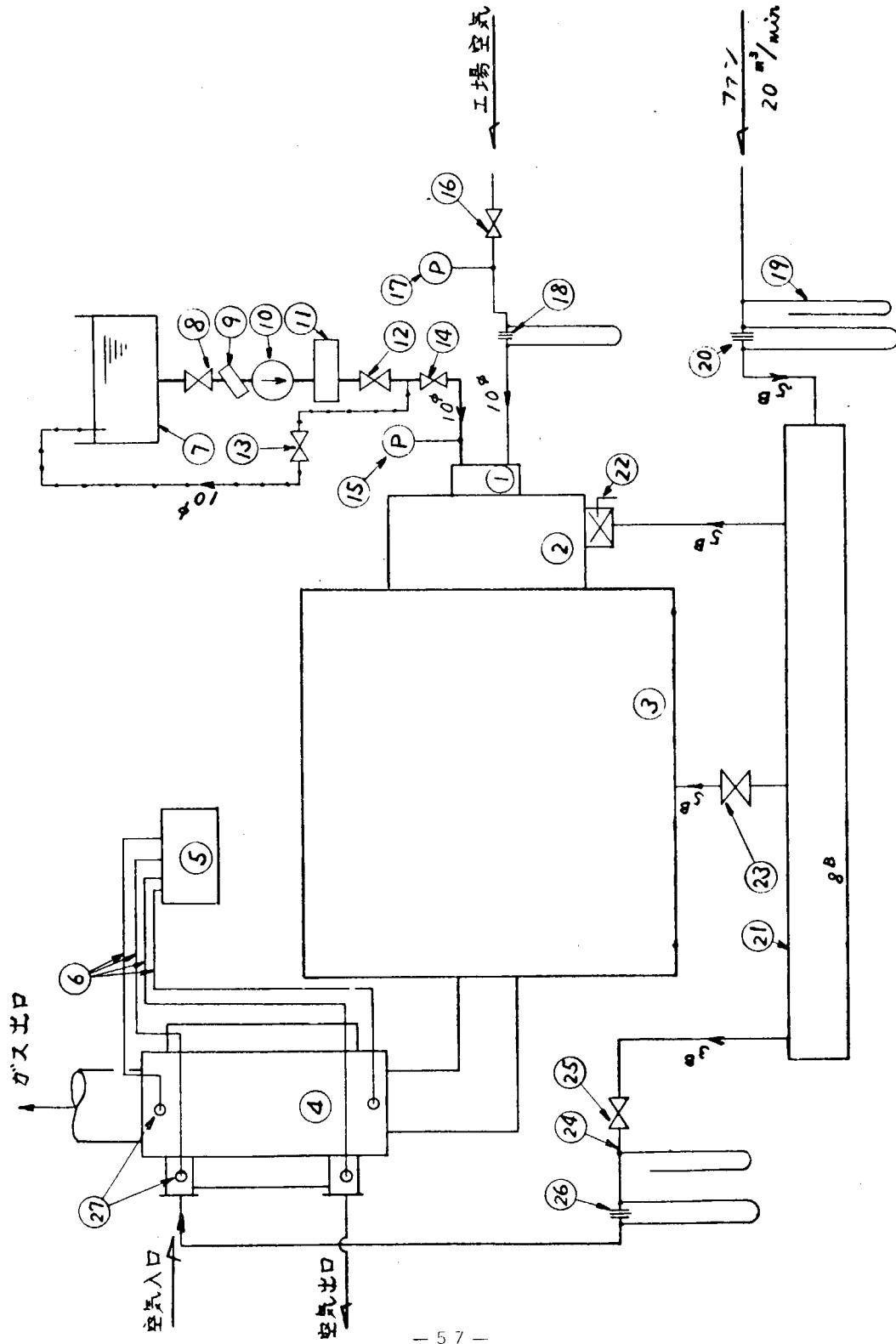


第3.1.4図 煙道部Bでのプローブ取付状況

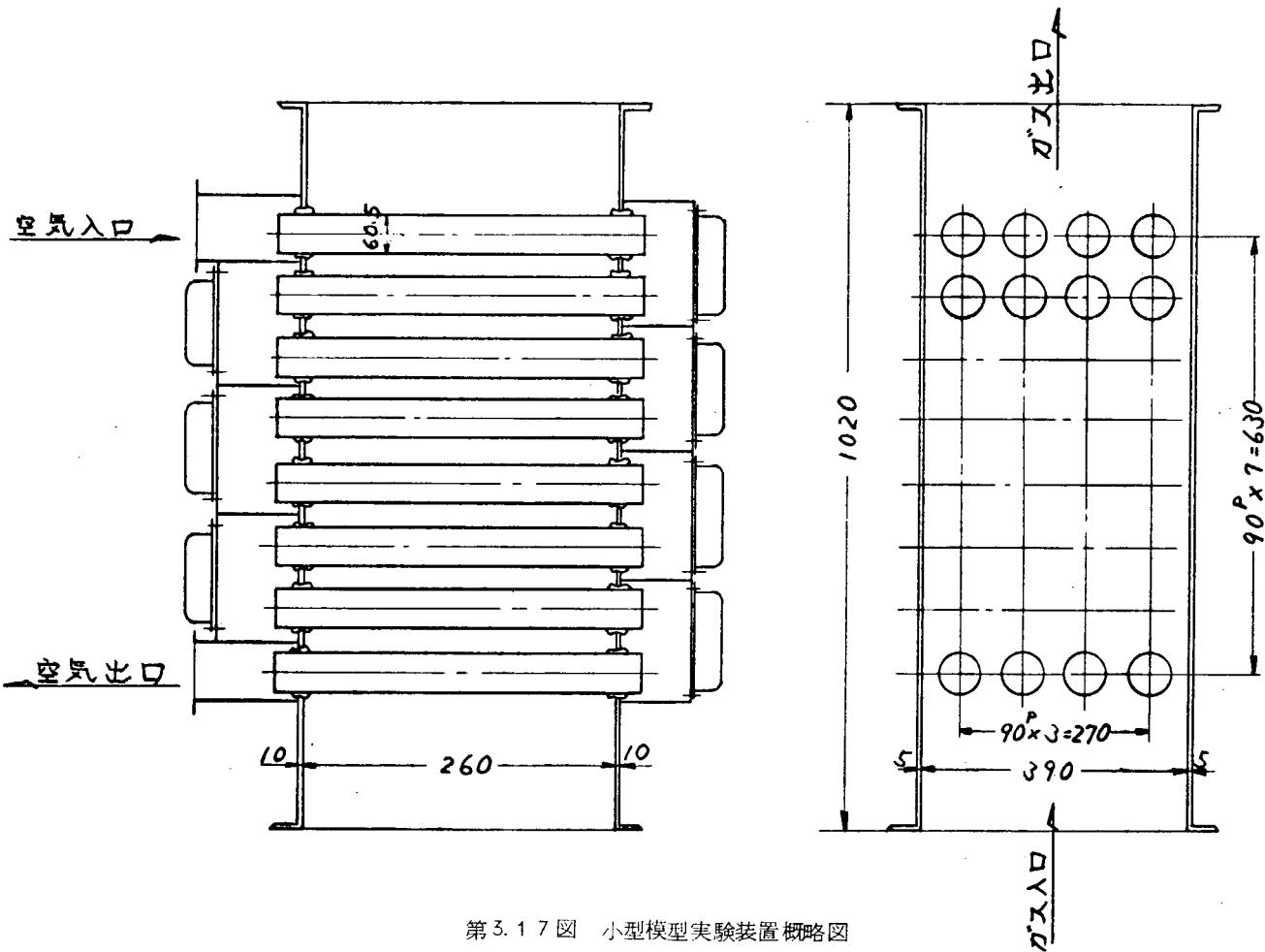


第3.1.5図 ガス冷却塔Cでのプローブ取付状況

符号	名 称
1	バーナ
2	予燃焼室
3	主燃焼室
4	小型管群模型
5	バイロメータ
6	熱電対
7	オイルタンク
8	F.O用バルブ
9	ストレーナ
10	ポンプ
11	ヒータ
12	F.O用バルブ
13	F.O戻り管付バルブ
14	F.O用バルブ
15	圧力計
16	燃焼空気用バルブ
17	圧力計
18	オリフィスおよびマノメータ
19	マノメータ
20	オリフィスおよびマノメータ(8B)
21	レシーバー
22	ダンパー
23	冷却空気用バルブ(5K-130)
24	マノメータ
25	空気用バルブ(5K-180)
26	オリフィスおよびマノメータ
27	測定用穴



第3.1 6 図 小型模型実験装置概略図



第3.17図 小型模型実験装置概略図

第3.7表 附着物分光定性成績表

成分 種別	灼熱 減量				C			灼熱 残量					
	18.7% (C、水分、その他)				17.3%			8.13%					
	Fe	Na	Zn	Cu	Si	Al	Mn	Mg	Pb	V	Ca	K	Sn
	++++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++	++	++	++	+
	Ni	Mo	Ti	Cr									
	+	+	±	±									
スペクトルの強さ	++	明瞭	1.	各元素間の(+)符号数と含有量は無関係である。(元素が異なればスペクトル強度が異なるためである。)									
+++++ すこぶる強	+	弱											
++++ 強	±	辛じて認む	2.	同一系統の試料が2コ以上の場合は同じ元素の(+)符号数(縦方向)の大小は含有量の大小を示す。しかしその場合においても(+)符号数はなんら含有量の割合を示さず。									
+++ すこぶる明瞭													

3.2.3 煙管ボイラに取り付けたテストピースによる実験

(1) 実験方法および装置

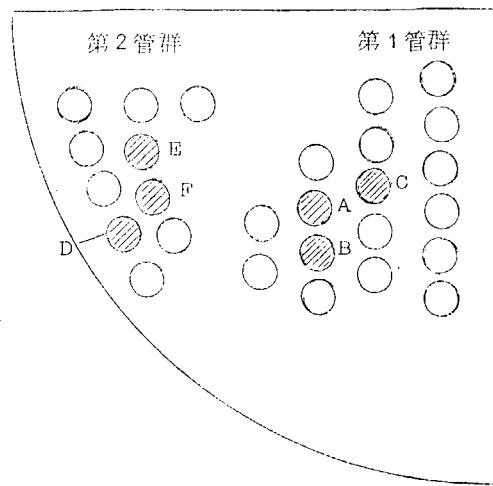
前回の本部会報告書(研究資料No.58)と同じ装置で行なつた。前回の実験は主として燃料中に助燃剤を入れた場合は入れない場合よりもすすの成長度合が減少するか否かであつた。今回は助燃剤を使用しない状態ですべての附着状況に重点をおいた。なおガス高温部および中温部に各々2組ずつテストピースを取り付けたが、低温部はすす堆積量がわずかなので除外した。取付位置および名称を第3.18図に示す。

(2) 燃 料

燃料油はB、C半々混合で分析結果は次のとおりである。

比重	0.931	硫黄分	2.64%
粘度	5.83 Cst 50°C	灰 分	0.024%
	238 RW 50°C	発熱量	10.400 Kcal/Kg

第3.18図



(3) 計 測

ボイラは24時間運転で、休日は運転を中止する。テストピースの挿入前にブラシで煙管掃除を行なつた。すすの附着量は、その重量を化学天秤により最初は一週後に、それ以後は2週ごとに計測して算出した。第1管群のテストピースは、A、B、Cと挿入し、そのうちC点のみは最初に挿入したまま最終計測まで放置しておいた。これは最終測定時にA点およびB点のテストピースの増加重量には一致していることを確認して計測の信頼性をたしかめるためである。第2管群のD点も同様としたが、その期間中にはずれていたので、これは確認できなかつた。

(4) 調査結果

(a) 附着状況

第3.19図に示すように最初は大量のすすが急速に堆積していくが第2週にかけて漸次緩慢となり、第2週以後は飽和状態に達し、第3週から第5週の間に大量のすすが剥離し脱落している。これは第1管群、第2管群とも同様である。ただし第2管群の附着量は第1管群の1/2程度であつた。そして第3～第5週の間に第2管群でも第1管群と同様にすすが脱落したらしい。その影響は、わずかに排ガス温度の低下となつて出ているが、しかし全体としては緩慢な右上りとなつてていることがわかる。第1管群、第2管群のすすの堆積層は明らかに4層にわかれていたこと、そして最表面層は非常に軽い黒色の瘤がみられ、厚さは全厚さの50～60%を占めていた。次の層は白色で、その下は薄い黒色を呈しており、管群表面に密着した層は茶褐色であつた。これらの各層の附着力や硬さは管壁表面の最下層がもつとも大きく、ガスに接触する最表面層は非常に剥離し易い状態であつた。したがつてその附着力や硬さおよびその量から推定した前述の第3～第5週の間に落下した層は、この最表面層であつたものと思われる。

(b) 附着量

附着量のデータは第3.8表(a)(b)に示す。

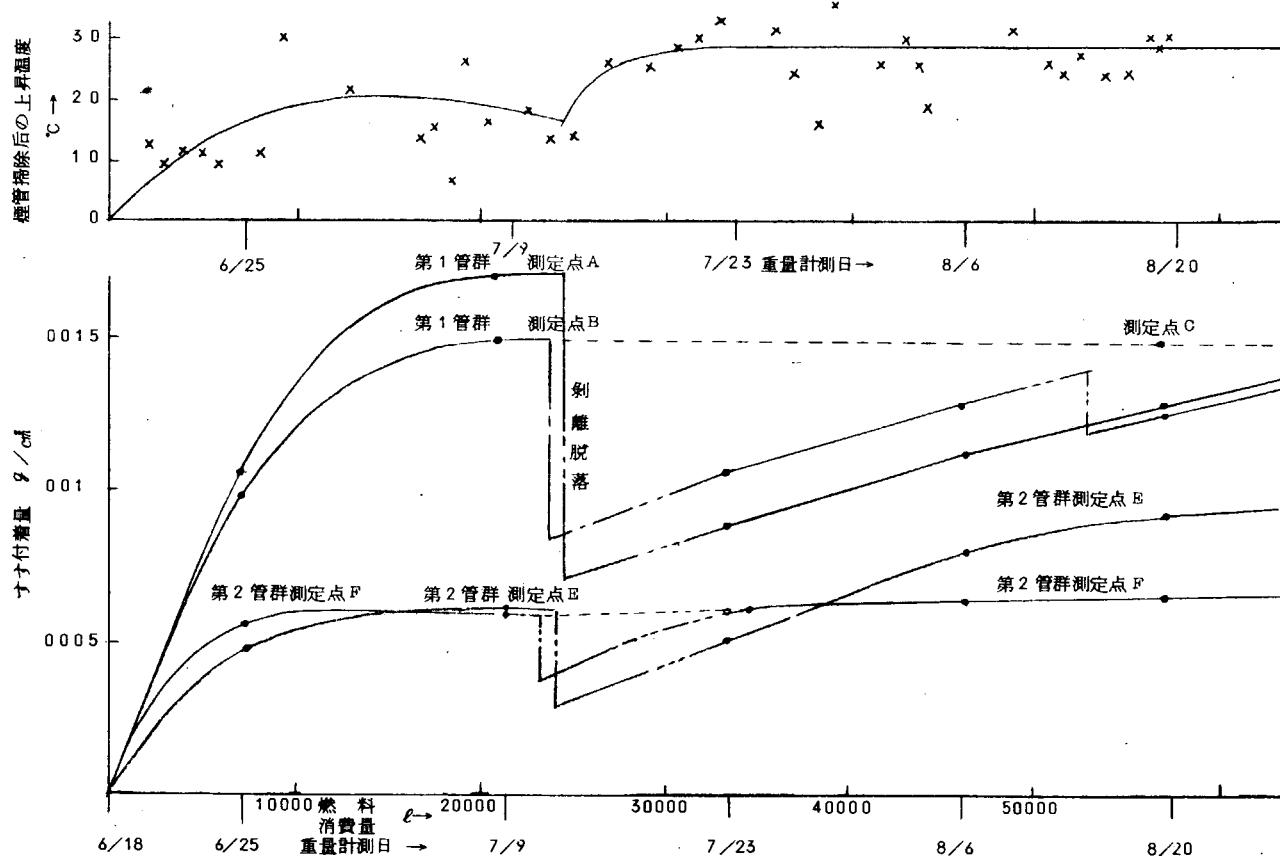
これらの結果を第3.19図に示す。

(5) 考 察

- 測定結果によれば第2～3週ですす增加重量がほぼ飽和していること。また排ガス温度も同傾向で飽和していること。このことから附着量と排ガス温度の間には密接な関係がある。
- 第2管群の附着重量が第1管群の附着重量の1/2であつたこと。これは粒子の粗いですが、第1管群から第2管群へ入るさいに通過する煙室でガス流速が低下して落下し、第2管群にはそれよりも小さい粒子が堆積し量的にも減少しているためと思われる。

3) 計測結果によると第2～3週で飽和状態に達したのち第3～5週の間に大量のすすが剥離し脱落している。これは計測のためにテストピースを動かしたことによるのかも知れないが、しかし、次のような理由も考えられる。すなわち、すすの層が初期のまだ全体の厚さが薄い場合でもやはり4層にわかれていたことから考えると、この4層はすすの堆積量とともに、ないしは燃焼経過時間とともにそれが成長するものと思われる。しかしその成長速度は最表面層とその下層とでは異なり、最表面層の成長速度がはるかに早い。反面この最表面層は軟かく脱落し易い性質がある。したがつて、ある程度堆積するとガス速度などの関係から附着力と脱落の度合がバランスして平衡状態——すなわち飽和状態に達する。そのときなんらかの振動や衝撃などのアンバランスによって最表面層の大量のすすが脱落する。しかし第2層以下はそのまま残つており、この上にまた最表面層の堆積がはじまる。これもやがて平衡状態に達するというわけである。

4) 堆積したすすが大量に脱落しても排ガス温度に、それほど影響しなかつたということは、前項の説明をうらづけるものといえるかも知れない。すなわち最表面層は脱落しても、第2層以下の3層はそのまま残つていて断熱層としてはかなりの比重をしめたままになつていることによる。そしてさらに推察すると、このテストピースでは大量のすすが脱落したとしても、そのすすはボイラ外に搬出されるのではなく、ボイラ内のいずれかの部分に再堆積しているはずで、したがつて排ガス温度との関係は直接の影響がみられなかつた、といえるかも知れない。なお、最表面層はわずかの振動や衝撃で容易に脱落させうるが、第2層以下の剥離にはかなりの衝撃が必要である。



第3.19図

第3.8表(a)

記号	計測日	全重量(含テ ストピース) t	増加重量(%)	積算重量(%)	記号	全重量(含テ ストピース) t	増加重量(%)	積算重量(%)	全積算重量 (正味煤重量) t
A (上)	6/18	88.6980			A (下)	89.8740			
	6/25	89.250	0.552	0.552		91.339	1.605	1.605	2.157
	7/9	89.7195	0.469	1.021		92.1545	0.8155	2.4205	3.4415
	7/23	89.450	-0.2695	0.751		90.763	-1.391	1.0295	1.7805
	8/6	89.7695	0.3195	1.071		91.4340	0.671	1.2005	2.2715
	8/20	89.911	0.1415	1.2125		91.098	-0.336	1.3645	2.577
B (上)	6/18	80.8400			B (下)	80.1885			
	6/25	81.399	0.559	0.559		81.700	1.511	1.511	2.070
	7/9	81.7335	0.334	0.893		82.2915	0.591	2.102	2.995
	7/23	81.840	0.1065	0.9995		81.375	-0.9165	1.1855	2.1850
	8/6	81.9430	0.1030	1.1085		81.7120	0.337	1.522	2.6245
	8/20	81.950	0.015	1.1175		81.575	-0.137	1.3855	2.503
C (上)	6/18	80.7485			C (下)	80.0840			
	6/25								
	7/9								
	7/23								
	8/6								
	8/20	81.820	1.0715			81.912	1.828		2.899
D (上)	6/18	78.1965			D (下)	77.8180			
	6/25								
	7/9								
	7/23								
	8/6								
	8/20	79.395	1.1985			78.525	0.707		
E (上)	6/18	85.7380			E (下)	85.8690			
	6/25	86.403	0.665	0.665		86.167	0.298	0.298	0.963
	7/9	85.9985	-0.4045	0.2605		86.8375	0.6705	0.9685	1.229
	7/23	86.170	0.1715	0.432		86.514	-0.3235	0.6450	1.077
	8/6	86.3780	0.208	0.640		86.8850	0.371	1.016	1.656
	8/20	86.470	0.092	0.732		87.027	0.142	1.158	1.890
F (上)	6/18	88.6015			F (下)	88.6330			
	6/25	88.928	0.4265	0.4265		89.390	0.735	0.735	1.1615
	7/9	88.8616	-0.0664	0.3601		89.5150	0.125	0.860	1.2201
	7/23	88.892	0.0304	0.3905		89.598	0.083	0.943	1.3335
	8/6	88.9350	0.0430	0.4335		89.600	0.002	0.945	1.3785
	8/20	88.997	0.062	0.4955		89.538	-0.062	0.883	1.3785

第3.8表 (b)

日付	油量計よみ(ℓ)	油量差(ℓ)	正味消費量(ℓ)	排ガス温度差(℃)	相対湿度(%)	備考
6/18	0 0 5 6.1			0	61	
19	1,4 3 1.2	1.3 7 5.1	1,3 7 5.1	0	54	重量計測
20	2,6 4 7.4	1,2 1 6.2	2,5 9 1.3	13	32~54	
21	3,1 8 4.0	5 3 6.6	3,1 2 7.9	10	42~66	
22	4,3 3 8.5	1,1 5 4.5	4,2 8 2.4	12	50~68	
23	5,4 1 8.9	1,0 8 0.4	5,3 6 2.8	12	59~72	
24	6,5 9 1.0	1,1 7 2.1	6,5 3 4.9	10	44~72	
(25)	7,1 1 3.0	5 2 2.0	7,0 5 6.9			
26	8,4 0 4.0	1,2 9 1.0	8,3 4 7.9	12	40~55	重量計測
27	9,6 5 8.5	1,2 5 4.5	9,6 0 2.4	30	42~55	
28	1,0 3 3.5	1,3 7 5.0	10,9 7 7.4	26	76~85	
29	2,1 9 0.7	1,1 5 7.2	12,1 3 4.6		38~62	
30	3,4 6 1.4	1,2 7 0.7	13,4 0 5.3	28	37~60	
7/1	4,1 9 1.4	7 3 0.0	14,1 3 5.3		44~73	
(2)	4,1 9 1.4	0				
3	5,1 4 0.0	9 4 8.6	15,0 8 3.9	17	74~90	
4	6,4 3 0.6	1,2 9 0.6	16,3 7 4.5	17	49~77	
5	7,7 7 5.2	1,3 4 4.6	17,7 1 9.1	18	65~80	
6	8,9 6 2.2	1,1 8 7.0	18,9 0 6.1	8	63~76	
7	0 2 5 1.8	1,2 8 9.6	20,1 9 5.7	27	73~81	
8	1,4 6 5.7	1,2 1 3.9	21,4 0 9.6	17	86~100	
(9)						重量計測
10	2,5 3 9.0	1,0 7 3.3	22,4 8 2.9	19	60~95	
11	3,5 8 6.8	1,0 4 7.8	23,5 3 0.7	14	50~70	
12	4,7 1 6.4	1,1 2 9.6	24,6 6 0.3	17	86~95	
13	5,7 9 4.8	1,0 7 8.4	25,7 3 8.7	15	57~86	
14	6,8 5 4.5	1,0 5 7.7	26,7 9 8.4		50~78	
15	7,8 8 6.7	1,0 3 2.2	27,8 3 0.6	27	52~65	
(16)						
17	9,0 0 9.4	1,1 2 2.7	28,9 5 3.3		52~65	
18	0 1 3 6.4	1,1 2 7.0	30,0 8 0.3	26	39~65	
19	1,1 7 0.4	1,0 3 4.0	31,1 1 4.3		44.2~82	
20	2,1 2 1.1	9 5 0.7	32,0 6 5.0	24	47~68	
21	2,9 7 9.3	8 5 8.2	32,9 2 3.2	30	52~65	
22	3,9 4 0.4	9 6 1.1	33,8 8 4.3	35	44~61	
(23)						重量計測
24	5,0 9 1.6	1,1 5 1.2	35,0 3 5.5		46~60	

第3.8表(b)(続)

日付	油量計よみ(ℓ)	油量差(ℓ)	正味消費量(ℓ)	排ガス温度差(℃)	相対湿度(%)	備考
7/25	6,220.6	1.129.0	36,164.5	33	45~59	
26	7,122.9	902.3	37,066.8	26	55.8~65	
27	8,178.6	1,055.7	38,122.5		47~67	
28	9,290.2	1,111.6	39,234.1	18	51~62	
29	0692.0	1,401.8	40,635.9	39	49~68	
30						
31	1,766.8	1,074.8	41,710.7	27	47~65	
8/1	2,830.0	1,063.2	42,773.9		49~71	
2	3,906.1	1,076.1	43,850.0	29	47~60	
3	4,905.2	999.1	44,848.1	25	45~67	
4	5,958.4	1,053.2	45,902.3	21	49~71	
5	6,472.4	514.0	46,416.3		48~62	
(6)						重量計測
7						
8						
9	7,335.9	863.5	47,279.8	33	44~58	
10	8,179.5	843.6	48,123.4	27	44~65	
11	9,079.5	899.8	49,023.2		47~65	
12	9,998.4	919.1	49,942.3	35	59~75	
(13)						
14	1,228.5	1,230.1	51,172.4		45~75	
15	2,552.6	1,324.1	52,496.5	95	49~75	
16	3,800.0	1,247.8	53,744.3	35	49~72	
17	5,009.7	1,209.7	54,953.6	30	48~72	
18	6,244.4	1,234.4	56,188.3	29	23~57	
19	7,480.5	1,256.1	57,424.4	30	29~58	
20	7,782.6	302.1	57,726.5	—	47~74	重量計測

第4章 附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

昭和41年度は平板に一様に塗布した固体粉状附着物を空気噴流で除去する。実験を行ない、附着物除去機構に関する調査を行なつた。本年度はこの基礎調査をもとにして小規模な管群模型を作成し、空気噴流による管群内管表面附着物の除去特性について調査した。

管群の除去特性を考える場合、まず管群内での噴流の流動状態を知らねばならないが、管群内の噴流は上流管の影響を受けてきわめて複雑な流れとなり、これを解析的に求めることは不可能ではないにしても膨大な手数を要する。そこで、ここでは昨年と同様標準附着物試料を用いる方法をとつた。

すなわち附着力のわかつている試料を塗布した管で管群を構成し、この管群に噴流を吹きつける。管の試料が飛びはじめたとき、その管には既知の噴流力が働いていると見なすのである。既知の噴流力はここでは単管による値を用いることとする。この方法はスートプロワを考える場合もつとも直接的な方法ではあるが、管群内での噴流の持つどのような特性が附着物除去に働くかという問題を飛びこして、単管での標準附着物試料のデータを基準とすることにより、附着物除去にあづかるスートプロワの特性量を調査することが可能である。

上の実験により、今年度は管群内の管表面附着物に必要なノズル噴射圧力が、管群内管の位置、管の配列、管径、管群とノズルとの距離、ノズル径によってどのように変化するかを明らかにした。さらに附着物の除去される範囲についても調査した。

4.1.2 標準附着物試料の作成

昨年度はおもに粒度一定の砂を水と接着剤で結合させた試料を用いたが、今年度の管群の実験ではより附着力の弱い試料を作つて実験範囲を拡大する必要があつた。

附着力が小さく、かつ安定した試料を作ることはかなり困難なので改めて附着物の性質について考慮することとした。噴流によつて固体表面の附着物が除去される過程は、まず附着層が噴流のエネルギーによつて破壊される過程、ついでそれが固体表面からはがされる過程の二つに分けられる。除去特性におよぼす附着物の性質は上記二つの過程に対応する附着物そのものの破壊特性と固体表面への附着物の附着性の二つがある。これまでの実験観察から、固体附着物の場合附着特性はおもに前者によつて決ると考えられる。固体附着物は粒子集合組織体としてあつかい得るが、この破壊は、集合体が機械的応力をうけたとき一般に弾性変形とは異なる不可逆的な塑性変形を受けてクラックや破面を生じていくつかに分離する現象として粉体工学では定義される。ここで実験においても現象は同様と考えてよいであろう。

さて、このような粒子集合組織体の破壊については種々の理論や実験事実があるが、結局のところ粒子自身および固体媒体によつて結合している多孔性物質からなる組織体の場合、破壊の機構（このような組織体の破壊は粒子自身の変形はほとんどなく、粒界の不均一な異常部分に応力が生じ集中して生じる、いわゆるせん性破壊である）にかかわらず、一般に次式で表わされる。

$$\sigma_p = k \cdot d_p^{-a} \cdot e^{-b\epsilon}$$

ここで σ_p : 破壊強度、 k 、 a 、 b : 定数

d_p : 粒子直径、 ϵ : 空げき率

k 、 a 、 b は物性値であるが、粒子の形や直径が変れば変化する値である。さらに上式では粒子間の結合力は粒子自身によるもの（静電力、Van der Waals力など）と固体媒体（結合剤）によるものだけで生じると考えているが、大気中にある組織体は必ず大気中の水分を吸収しているのでそれの影響がはいつてき、それによる k 、 a 、 b の変化も考慮しなければならない。

これまでの実験経験から破壊強度を上式で考えることは正しいと考えられる。

ここでは除去特性の安定した試料を得るわけだが、上の破壊強度への影響因子を考慮して次の条件で試料を作成することとした。

(1) 試 料

J I S では試験用粉体として 6 種類の粉体があげられているが、この中で入手可能で試料として適当なのはフライアッシュだけである。ただしフライアッシュは粒度が小さいために強度が大きく、ここでは使用に適さない。大規模な噴流を用いる場合はフライアッシュがよいだろう。

ここでは保温材として市販されているパーライトを用いた。これは樹脂粉体であるため化学的安定性(経年変化)均一性もよく、かつ粒度もかなり自由に調整できて好都合である。

よつて 200 メッシュ以下のパーライトを試料とした。

(2) 試験片の作成

パーライトを水でといて試料とするが水とパーライトの混合比は空げき率 ϵ に関係するので一定としなければならない。結合剤としてボンド CZ (商品名、水溶性) を用いるがこれの添加量によって強度をえることができる。なお、水とパーライトの混合比はその比率とともに絶対量も決めねばならない。以下では試料の表示を次のようにする。

[P 30 W 120 CZ 0.2]

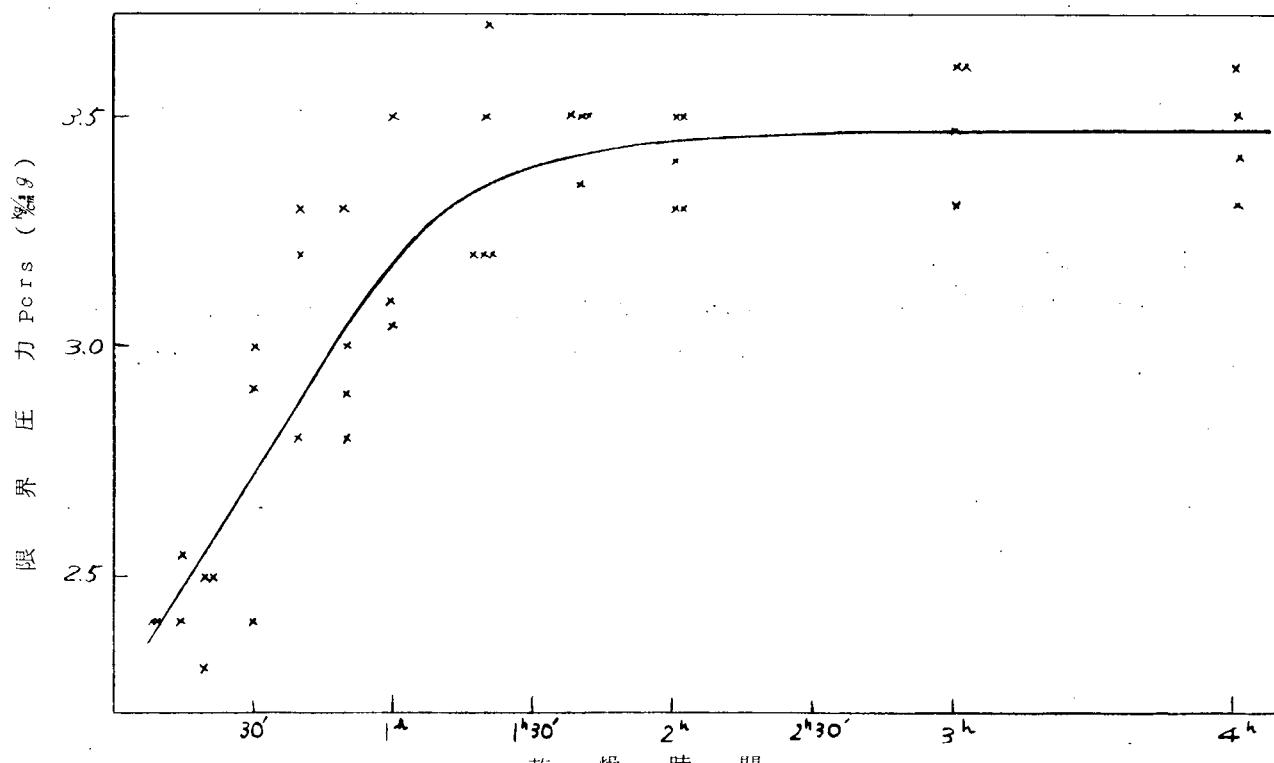
これはパーライト 30 g、水 120 g、ボンド 0.2 g をといて試料としたことを意味する。

塗布はスプレーガンによる。スプレーガンの空気圧、スプレーガンと試験片との距離、塗布時間は常に一定とする。なお、試験片(アルミ管)はこの間軸まわりに一定速度で回転させ、半径方向の分布が一様となるようにした。

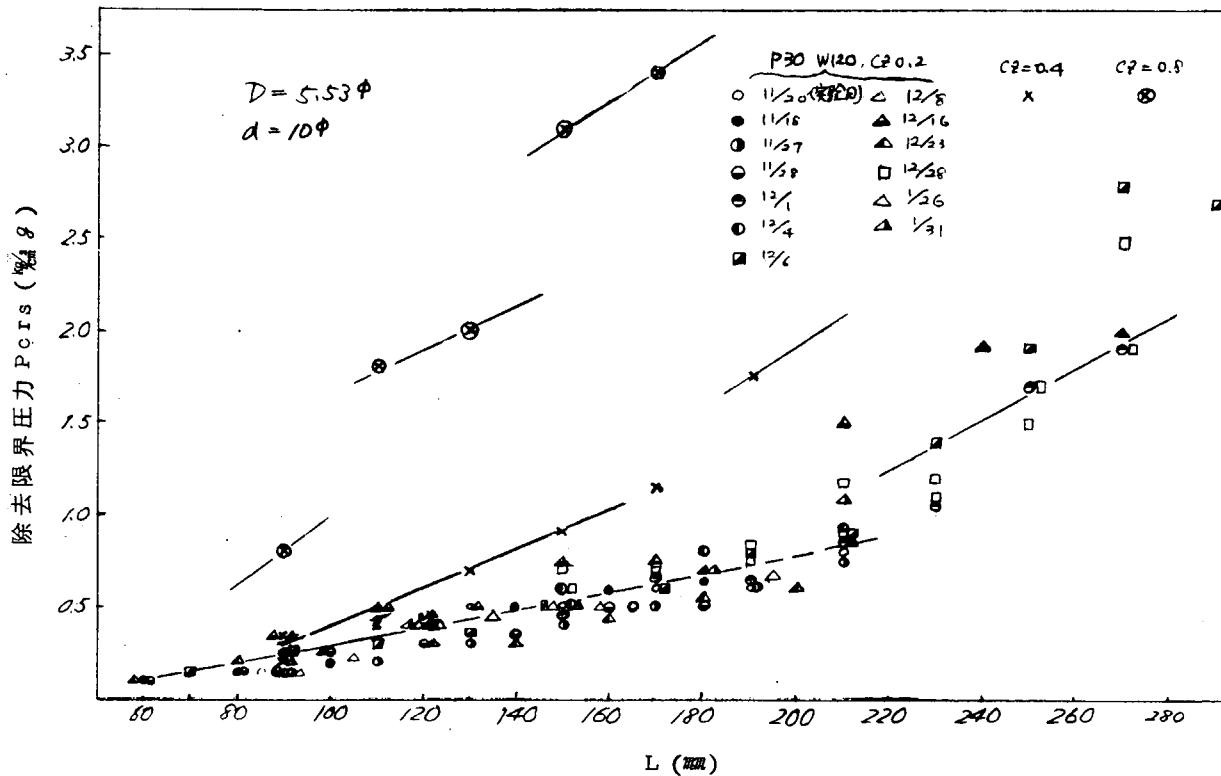
この後試験片は乾燥室に入れて一定時間乾燥させた後実験に供する。乾燥室内温度は 60 °C である。

第 4.1 図は乾燥時間と強度との関係を示したものであるが、これより 2 時間乾燥すれば強度は一定となることがわかつたので乾燥時間は 2 時間とした。

以上の条件によつて試験片を作成したが、この試験片によるデータの安定性は第 4.2 図に示す程度であり、一応良好と考えられる。



第 4.1 図 乾燥室内乾燥時間の影響



第4.2図 試料の再現性(単管)

なお乾燥室から取り出した後は大気中の湿分の影響があるが、これは1時間以内のオーダならばあまり注意しなくてよいことが明らかとなつた。

4.1.3 単管の除去実験

管群実験では単管の除去特性を基準とするので管群の実験に入る前に単管の除去特性を調査した。以下はその結果である。

(1) 除去限界圧力 P_{crs}

除去限界圧力の定義は昨年度と同様で、試験片の附着物が吹き飛びはじめる瞬間のノズル噴出圧力である。なお実験装置は前回と同様なので省略する。

第4.2図、第4.3図にて P_{crs} とノズルからの距離 L との関係を示す。前者はパラメータとして試料の強度、後者では管径 d をとつてある。いずれのグラフでも 1.5 kg/cm^2 前後で不連続点を有する。第4.2図の試料強度の大きい場合には数点の不連続点が P_{crs} の段階に応じて現われている。各パラメータの変化にかかわらずこの不連続点の P_{crs} は一定なのでこれは噴流側に原因があると推定される。

昨年の平板の実験で附着物が除去されるのは噴流によつて生じる附着面に沿う方向の動圧がある値になつた時であることが解つている。第4.4図a、bは、ノズル圧力と管の上流側よどみ点の圧力(岐点圧) p_0' との関係を示したものである。図からわかるようにノズル圧が臨界圧力を越えると昨年の平板でみられた同様の複雑な関係となる。 p_0' と動圧とは同傾向があるので P_{crs} に不連続点の発生するのはこれが原因と考えられる。

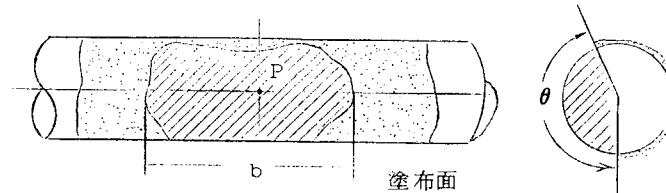
なお第4.3図で管径による P_{crs} の変化は管径 22ϕ を除くとそれほど大きくなつておらず、不連続現象などによる影響のほうが大きい。第4.5図は管のまわりの圧力分布を示したものである。測定は距離が変つても p_0' が同じになるようにノズル圧を変えて行なつたもので、図のたて軸は各点の圧力を p_0' で除して無次元化してある。動圧が最大となつているのは図で圧力が最小になつているところと考えて大略正しいが、その意味で図の最小圧力の値に注意すると距離 L が大きいほど最小圧力は小さくなり、距離による変化は次第に小さくなる。したがつて距離が大きくなるほど同じ岐点圧でも最大動圧は大きくなる。また同図a、bを比較すれば、同じ距離、同じ岐点圧でも管径が小さいほど最大動圧は大きいことがわかる。

すなわち距離 L 、管径 d が小さいほど、同じ附着物除去するに要する岐点圧 P_{crs} は小さくすむことがわかる。また L の影響は管径が大きいほど大きいことがわかる。これらは噴流の規模と管径の相対的寸法の影響として考えれば納得でき、したがつてノズル径 D がどういう影響をするかは推定可能である。

以上単管の場合の除去限界圧について若干の考察を試みたが、しかしいずれも定性的な説明にとどまり、これに昨年度調査した寸法効果の影響もはいつてきて、定量的評価は現在のところ不可能である。

この試料で安定なデータの得られることがわかつたので一応単管の考察はこの程度に止めておく。結論的には第4.6図に示すように P_{crs} は $(L/D)^2$ に比例して増加するのが一般的傾向である。同図によりノズル径 D の影響は距離 L を D によって無次元化することで処理できることがわかる。

(2) 単管の除去範囲



左図のように P_{crs} に至ると斜線部分が除去される。この除去範囲を図のように最大巾 b 、最大除去角度 θ で表現することとする。噴流は紙面に垂直に軸線が P 点を通るようにあたる。

この場合除去巾は P を対称にして大略左右同じ値となるので、以下では巾は $b/2$ で考察する。

(a) 最大除去巾 ($b/2$)

第4.7図a、b、c、dに除去巾と距離との関係を示してある。

a図は圧力の影響を、b図はノズル径、c図は試料強度、d図は管径の影響をそれぞれ見たものである。

距離による除去巾の変化はあまり顕著ではないが、一度極小となり、その後極大点を経て急減する。急減するのは限界圧力に至るためである。このような変化の傾向についてはすでに昨年度に考察してある。

a～d図をみると、除去巾はノズル圧、ノズル径、管径のいずれによつても増加する傾向にある。試料強度によつては当然ながら強度が大なるほど除去巾は小さくなる。試料強度による変化は L による変化と同様の理由で説明可能である。

第4.7図a、b、c、dのパラメータを横軸にとつてそれらの影響をみると第4.8図a、b、cのようになり、実験範囲内では大略除去巾と各パラメータは指數関係にあることがわかる。

(b) 最大除去角度 (θ)

第4.9図a、b、cは除去角度と距離 L との関係を示したものである。a図は試料強度の、b図はノズル径の、c図は管径の影響をそれぞれ見たものである。あまりデータはつきりしないが全周除去される距離から θ が 360° 以下になる位置は大体除去巾の極小点に対応するようである。それ以後 θ は減少して 0° に近づく。管径が大きいと θ は小さくなる。(除去巾は D とともに減少) ノズル径 D によつては D とともに増加する。試料強度によつては除去巾と同様強度とともに減少する。

以上単管の除去範囲について一般的な傾向をみた。これだけの準備をして管群の実験にはいることとする。

4.1.4 管群の除去実験

(1) 実験方法および実験計画

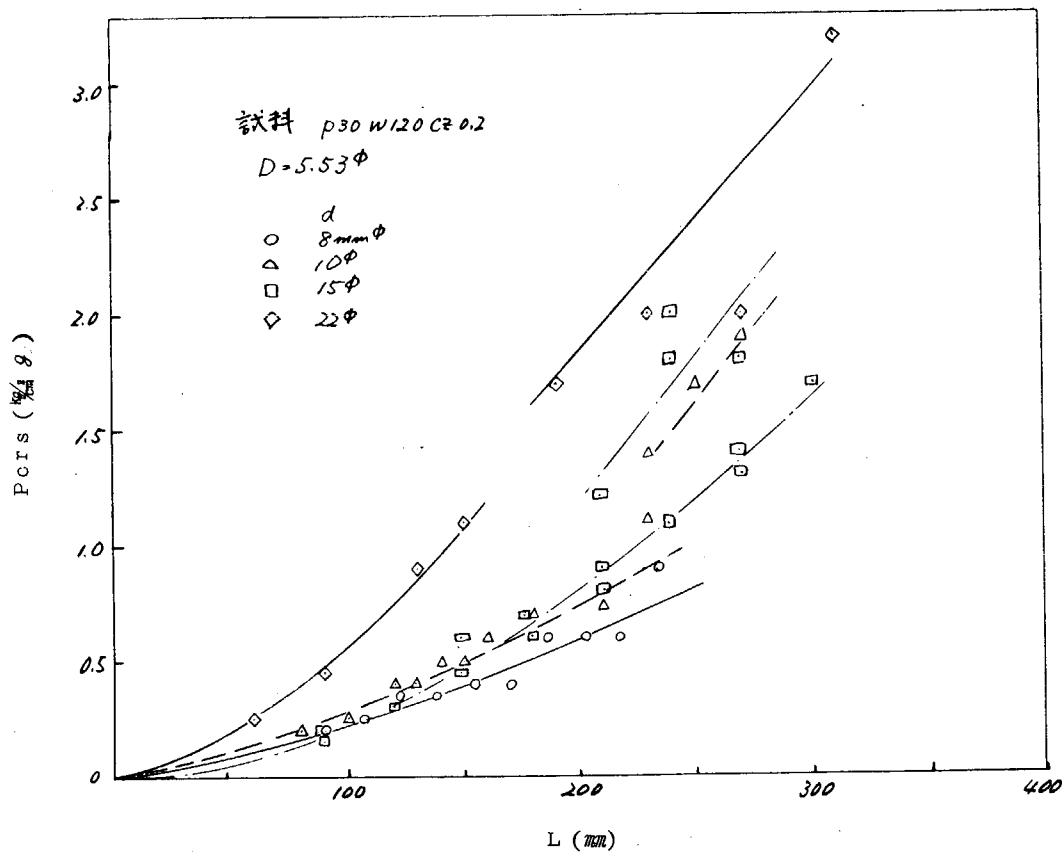
(a) 実験方法

装置の概略およびノズルと管群の位置関係を第4.10図に示す。実験は調査すべき管の位置にのみ試料を塗布した管を挿入し、他の管は試料を塗布していないままで行なつた。この状態でノズル圧を次第に上げ、試料が吹き飛びはじめる圧力を限界圧力 P_{crm} としたのは単管の場合と同様である。

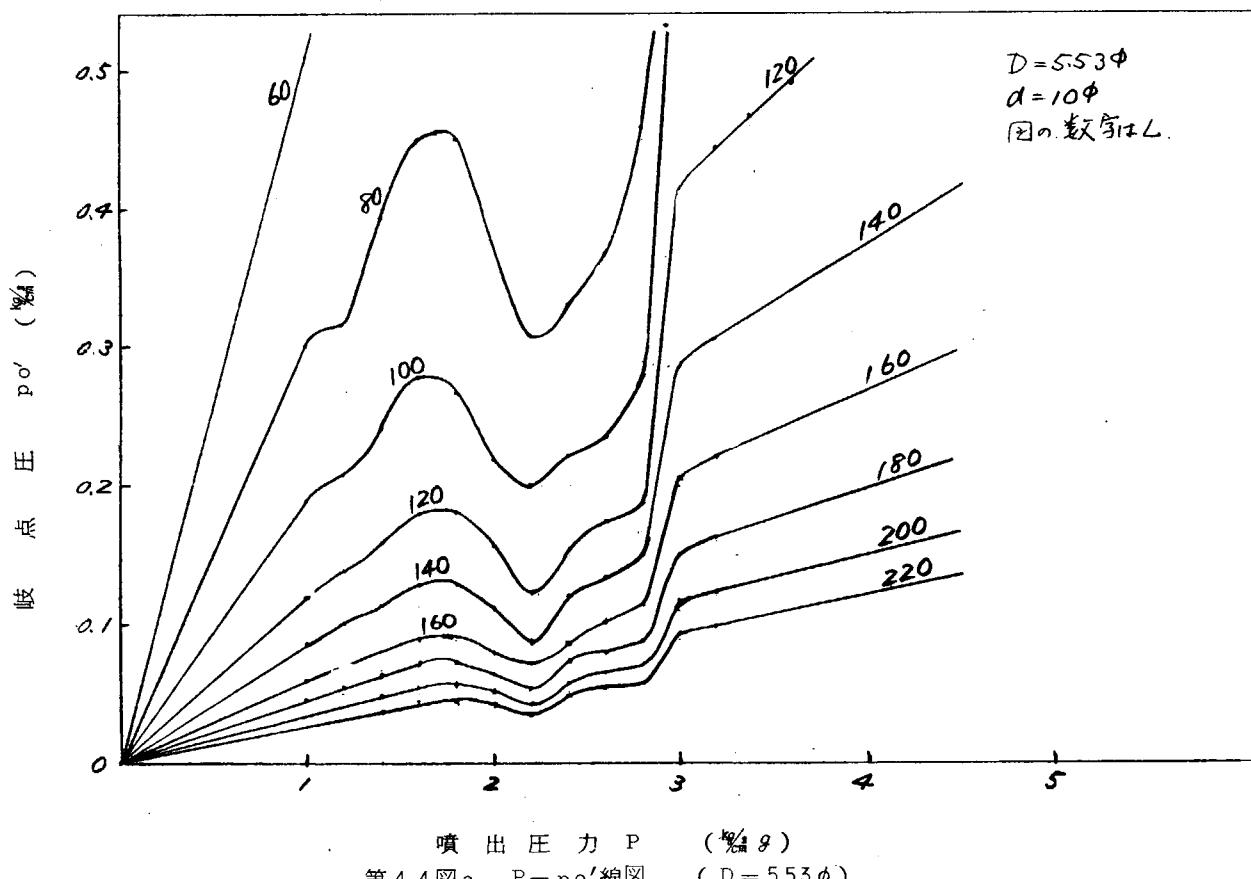
なお限界圧力の調査実験の後、圧力をある値まで上げて除去範囲の測定を行なつた。

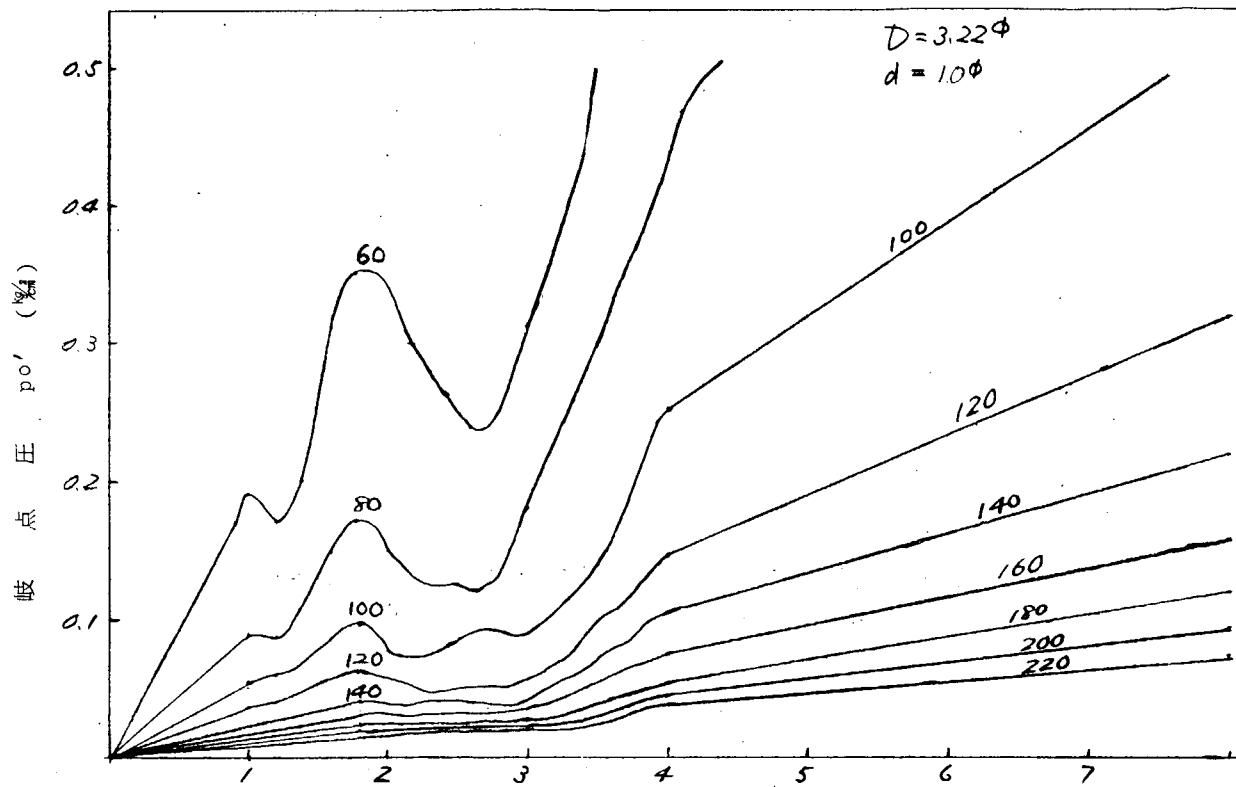
(b) 実験計画

実験変数として、 P_{crm} に関してはノズル径 D 、管径 d 、管ピッチ p 、管配列、定置距離 L_0 、ノズル位置 S およ

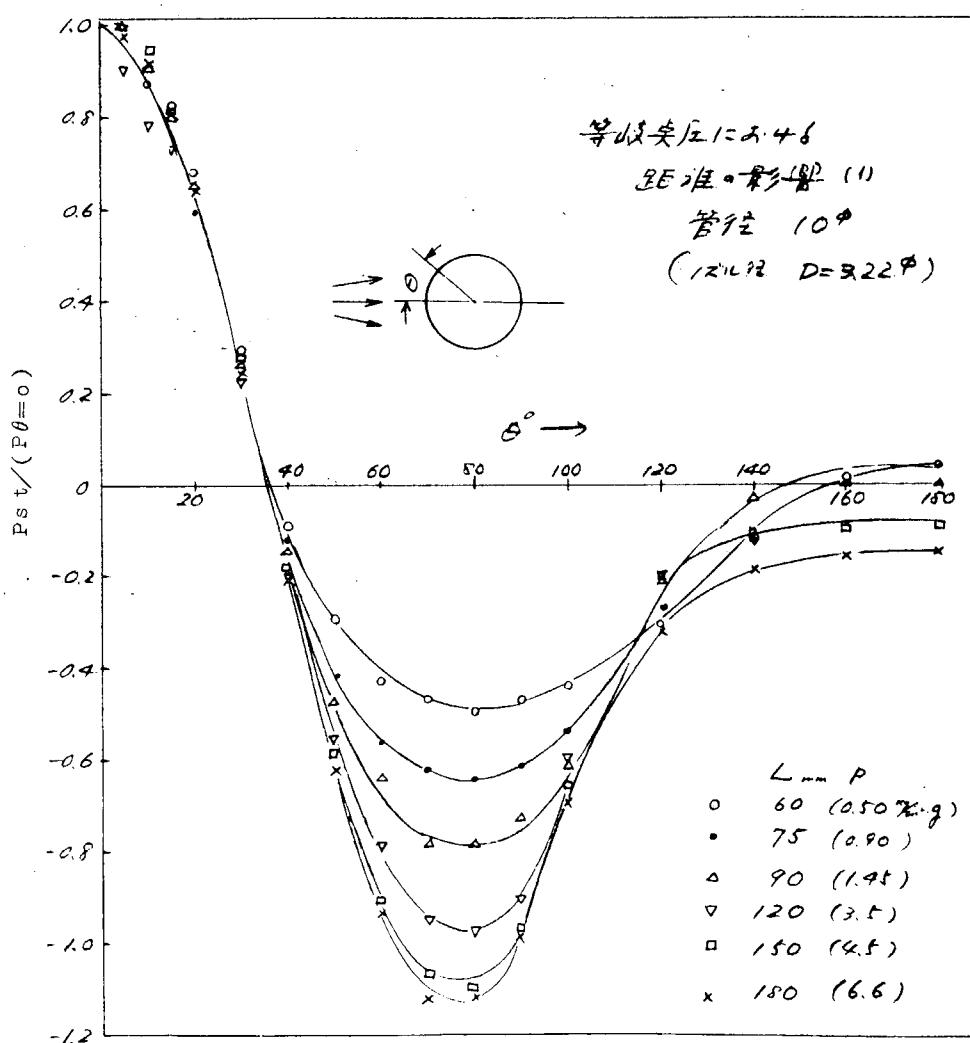


第4.3図 除去限界圧力と管径

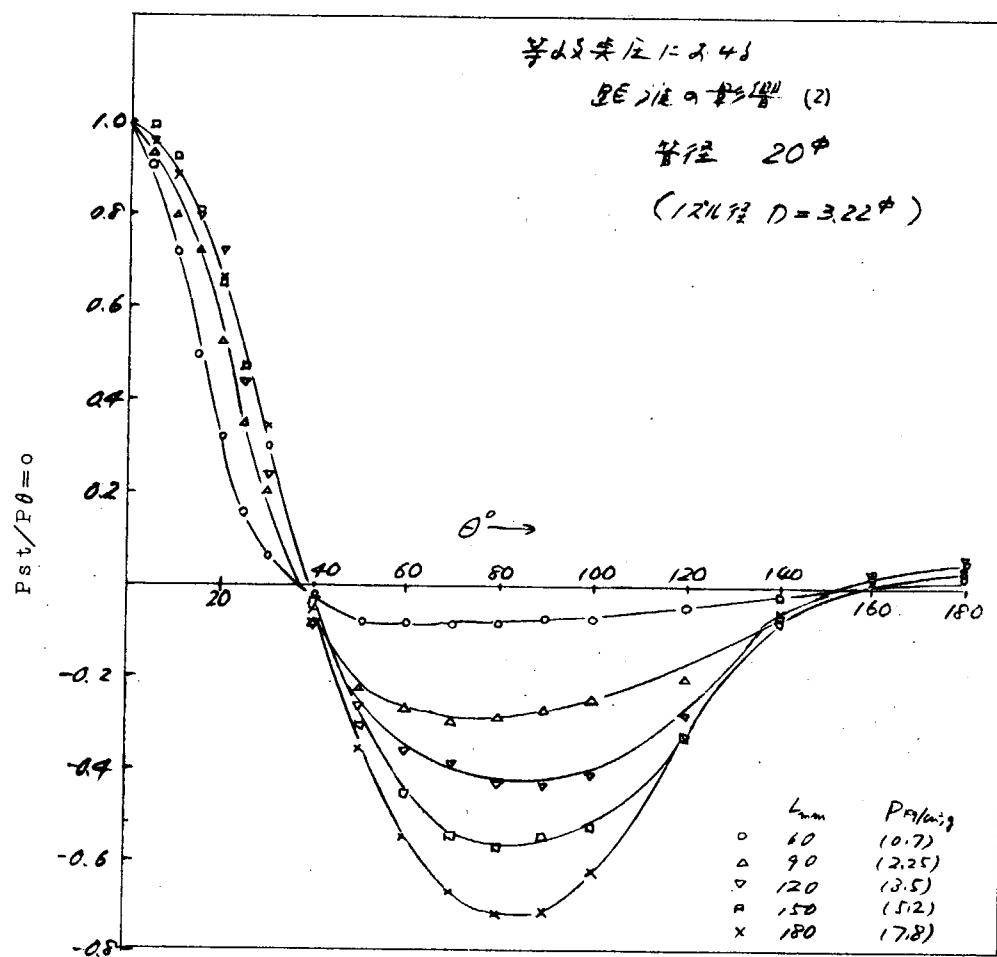




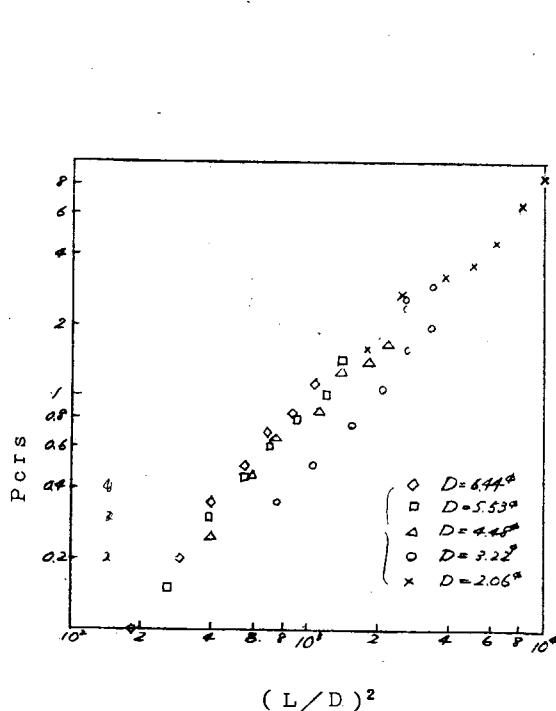
第4.4図b $P - p_0'$ 線図 ($D = 3.22\phi$)



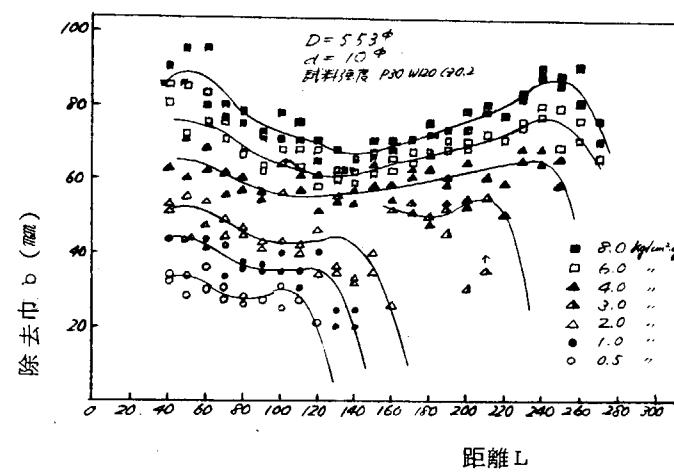
第4.5図a 管表面の圧力分布 (管径 10ϕ)



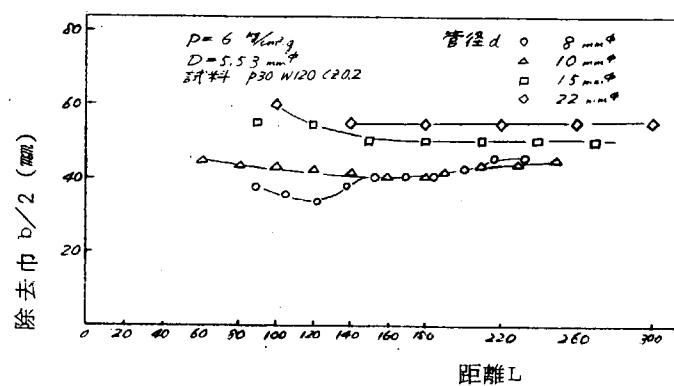
第4.5図b 管表面の圧力分布(管径 20ϕ)



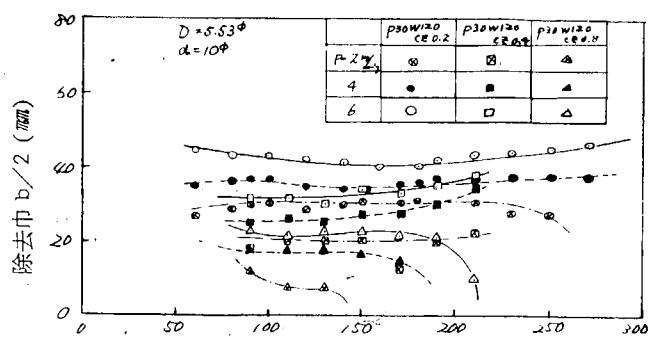
第4.6図 単管の除去限界圧力



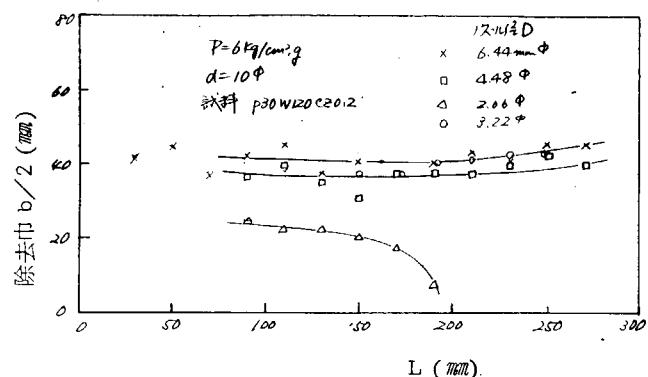
第4.7図a 除去巾に及ぼす圧力の影響



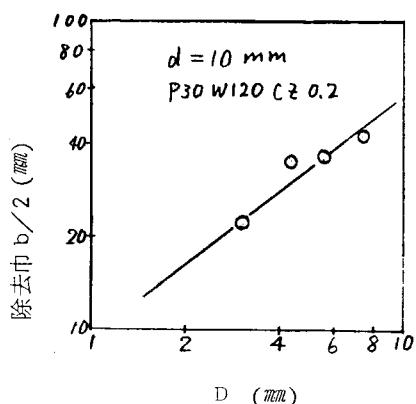
第4.7図b 除去巾に及ぼす管径の影響



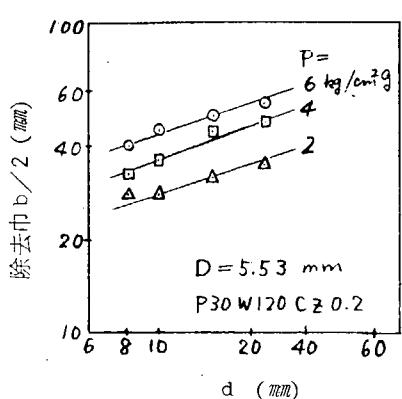
第4.7図c 除去巾におよぼす試料強度の影響



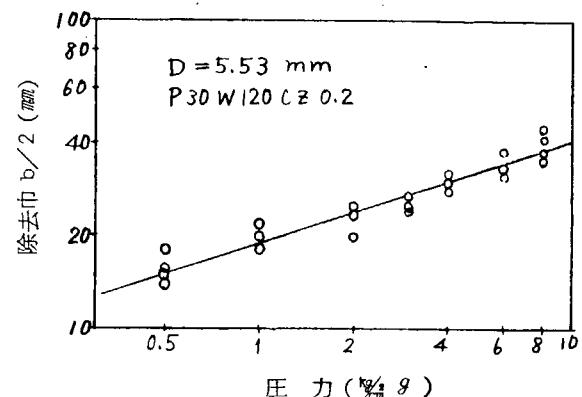
第4.7図d 除去巾におよぼすノズル径Dの影響



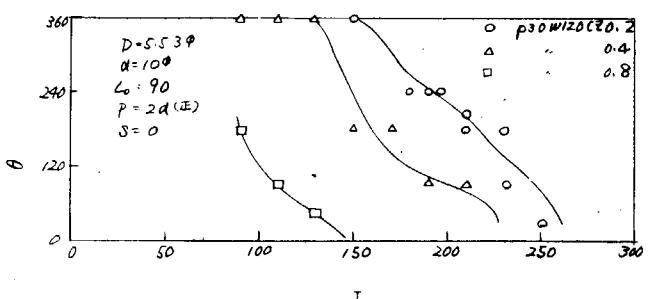
第4.8図b 除去巾とノズル径の関係



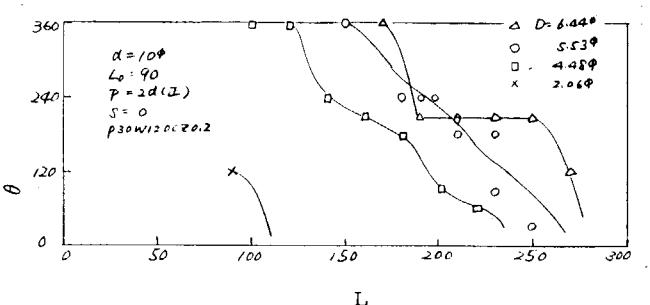
第4.8図c 除去巾と管径の関係



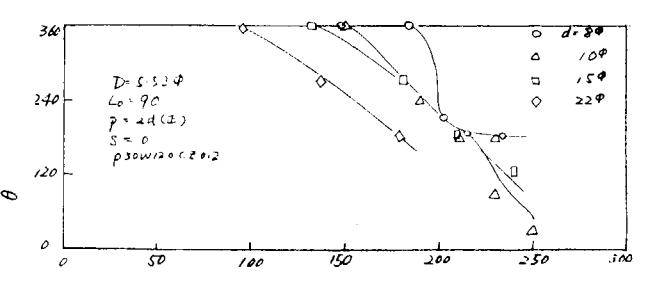
第4.8図a 除去巾に対するノズル圧の影響



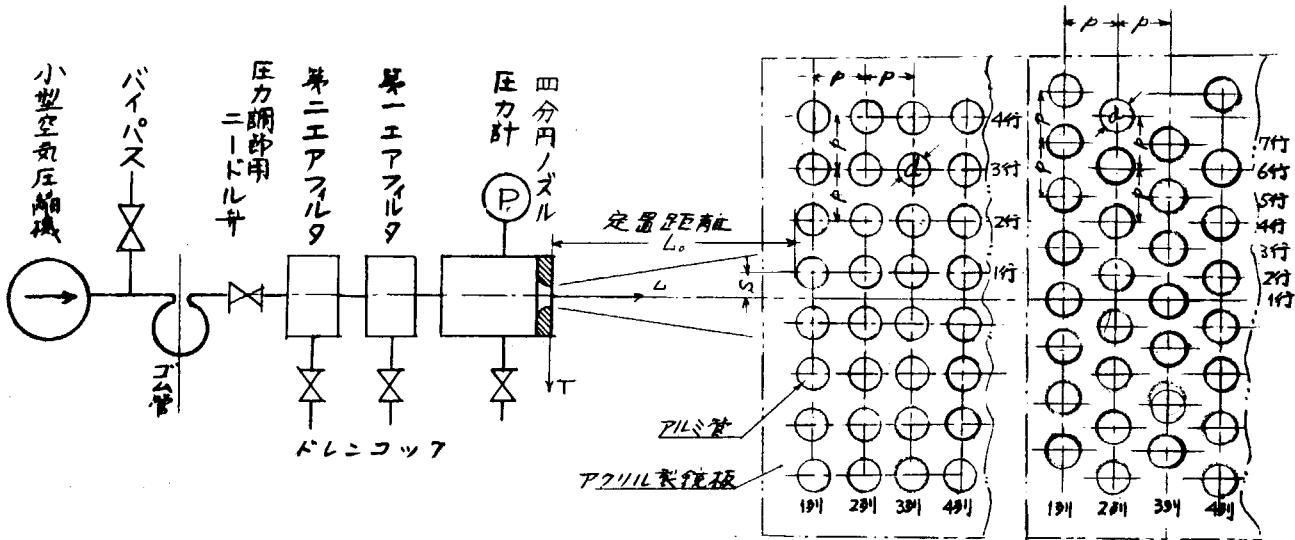
第4.9図a 除去角度と試料強度の関係



第4.9図b 除去角度とノズル径の関係



第4.9図c 除去角度と管径の関係



第4.10図 管群実験の実験装置および諸値の定義

び試料強度とし、除去範囲に関してはノズル圧力 P をも取り上げた。

実験変数が上述のように多いため、実験条件の一つを標準にし他の変数はこれを中心として変えて影響をみるとした。標準の実験条件は

$$D = 5.53 \text{ mm} \phi, P = 2 d, d = 10 \text{ mm} \phi, L_0 = 90 \text{ mm},$$

$$\text{試料強度 } P_{30W120CZ0.2}$$

であり、これを中心として実験を計画した。その範囲は第4.1表に示すとおりである。管配列は正方形基盤目配列およびL方向T方向に等しい距離にある千鳥配列の2種類、ノズル位置は基盤目配列に対しては全実験点で $S = 0$ 、 $p/2$ の2種、千鳥配列に対しては $S = 0, 1$ 種を行なつた。第4.1表で丸印をつけた点が実験点であり、空欄は実験していないことを意味する。

なお除去範囲を調査する場合同表すべての場合に対してノズル圧力 $P = 2, 4, 6 \text{ mmHg}$ の3種を行なつた。またすべての実験点でそのつど D 、 d 、試料強度の等しい単管の実験を行なつてある。

以下実験結果について述べる。

(2) 除去限界圧力 P_{crm}

(a) 管群内における噴流の流動状態

上述の要領で除去限界圧力を測定した例を第4.11図a、b、c、d、e、fに示す。図は横軸にノズルからの距離 L を、たて軸に P_{crm} をとつてあるが、管の噴流軸方向の位置(列)はLで、軸に直角方向の位置(行)はパラメータで示してある。これらの図における P_{crm} の変化の様子から、管群内の噴流の流動状態は、一般的にみて次図のように三つの領域に大別できることがわかる。管群入口附近でLとともに P_{crm} が急激に減少する領域、つきの P_{crm}

第4.1表 管群における実験計画表

基盤目配列

$$(D = 5.53 \phi, P = 2 d, P_{30W120CZ0.2})$$

左表◎における実験範囲

$$(d = 10 \phi, L_0 = 90)$$

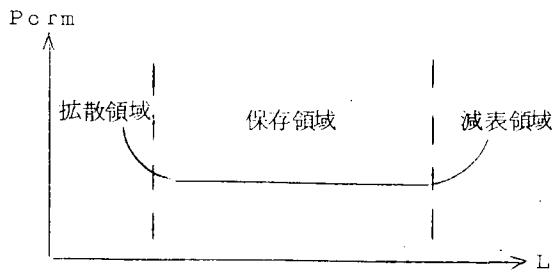
d	8	10	15	22		
L_0	0	$p/2$	0	$p/2$	0	$p/2$
60			○	○	○	○
90	○	○	○	○	○	○
150			○	○	○	○

D	6.44	5.53	4.48	3.22	2.06	
S	0	$p/2$	0	$p/2$	0	$p/2$
1.5d CZ 0.2			○	○		
CZ 0.2 CZ 0.4	○	○	○	○	○	○
CZ 0.4 CZ 0.8			○			
CZ 0.8 CZ 1.5			○	○		
CZ 1.5 CZ 2.0						
CZ 2.0 CZ 3.0						
CZ 3.0 CZ 4.0						

千鳥配列

($D = 5.5 \phi$, $d = 1.0 \phi$, $P30W120CZ0.2$, $S = 0$)

P	L_0	60	90	150
1.5 d			○	
2 d	○	○	○	
3 d			○	



が L によってあまり変化せぬ大略一定とみなしえる領域、最後の P_{crm} が急激に増大する領域の三つであり、ここではこれらをそれぞれ拡散領域、保存領域、減衰領域と名づけることにする。

周知のごとく噴流は軸方向に広がりを持つから、軸に直角方向の距離 L が同じでも L によっては噴流主流部にはいる場合とはいらない場合がある。同じ L では L が大きいほど主流部に近くなり、その境界附近にある管はその影響が大きい。図で拡散領域と保存領域の境界が上の境界と考えてよい。管群入口附近で同じ行にある管は距離が増加するほど主流部に近くなるため、 P_{crm} は L とともに減少するのであり、主流部にはいつてしまふまでの領域が上の拡散領域と定義した領域である。管群にはいつた噴流は管の影響を受けて抵抗の少ない管と管の間の流路を流れるため、流動状態は自由噴流のように距離とともに単調に減少しない領域が存在する。図の保存領域がそれでこの領域では P_{crm} は大略一定とみなしてさしつかえない。しかし自由噴流よりは、管群内では当然強い抵抗が存在するから、噴流のエネルギーの L による変化は管群内噴流のほうが大きいはずで、この変化の様子は保存領域が存在することもあつて除去能力に関する限りかなり顕著に現われる。上の減衰領域がそれである。減衰領域にはいると図からもわかるように除去能力は急激に減少し、ここではもはや噴流の除去能力はなくなつたとみなさねばならない。拡散領域も初期領域としてストップロワを考える場合は主要でないので、以下ではもっぱら保存領域を対象として限界圧力の性格を調査することとする。

なお、 $S = 0$ の場合の 1 行目、すなわち噴流軸上にある管は拡散領域はない。また噴流はこの場合この行はよけて両側へ進む傾向が強いので 1 行目は他の行と違つた挙動を示す場合が多いことを附記しておく。

以下主に保存領域を対象として各パラメータの影響を述べる。

(b) 距離 L の影響

以下では除去限界圧力 P_{crm} を、その時同時に行なつた単管の同じ圧力 P_{crs} で除した値 i (限界圧力比) で現わすことにする。第 4.1.1 図 g, h はたて軸に i 、よこ軸に $(L/D)^2$ をとつて対数線図に示したものである。図からわかるように行数にかかわらず i と $(L/D)^2$ との関係は直線すなわち指數関係であり、しかもこう配も一定である。図では定置距離 L_0 もパラメータとして示してあるがこれによつてもこう配はめらず、この関係は他の変数を変えた場合(第 4.1.2, 4.1.3 図など)も同様である。なお図で L/D の小さいところで直線から離れて i の大きくなっている領域は拡散領域、 L/D の大きいところで直線からはずれている領域は減衰領域であり、ここでは考慮しない。結論的にいつて保存領域では次式が成立する。

$$i = k_m (L/D)^{-2} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

これは前述したように保存領域では P_{crm} は大略一定であること、および第 4.6 図に示すように単管の P_{crs} が $(L/D)^2$ に比例することから当然予想される結果である。しかし注目すべきは、第 4.1.2, 4.1.3 図からわかるようにピッチや管径の影響は考慮する必要がなく、それらによる T の変化さえ考慮すれば、流れ方向に関する限り上式によつて i は整理できることである。なお第 4.1.4 図に示すように千鳥配列の場合も大略同様の関係にあるとみなすことができる。

そして以下に述べる各変数の影響も千鳥、碁盤目の配列は影響がないことがわかつたので以下ではとくに断わらない限り、千鳥と碁盤目を区別しないこととする。

他の変数、試料強度、 L_0 などの影響は(1)式の定数 k_m の変化となつて現われることになる。

(c) 定置距離し。の影響

第4.11図a、bにみるように定置距離 L_0 が大きいほど \bar{v} は大きくなる傾向にある。これらの図から k_m と L_0 の関係をみると第4.15図のごとくになる。 $S=0$ の2行目のデータだけ傾向が異なるが他の場合すべて k_m は L_0 に比例して増加する傾向にある。すなわち管径、千鳥に関係なく、

$$km = k_1 \cdot Lo \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

なる式で表現できる。

(d) ノズル径 D の影響

ノズル径Dをパラメータにして $i \leftrightarrow (L/D)^2$ 曲線を示すと、第4.16図a、bのようになる。図から明らかのようにDが大きいほどiは小さくなり、kmとDとの関係は第4.17図のようになる。行数、ノズル位置に關係なく、

$$k_m = k_1 \cdot D^{-2} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

で表わすことができる。

(e) 管径 d および管ピッチ p の影響

管径d、およびピッチpをパラメータにした $i \leftrightarrow (L/D)^2$ 線図を第4.1.3図および第4.1.2図に示す。これらの図をみると k_m の値はd、pによって変化しているが、その変化の様子をみると、d、pの影響として見るよりも軸に直角方向の距離Tの影響によって k_m が変化していると考えられる。そこで $k_m \leftrightarrow T$ の関係として取り出すと第4.1.8図のようになり、管径、管ピッチの影響は k_m とTの関係としておきかえて十分であることがわかる。同図より

$$k_m = k_3 \cdot T^{1.5} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

となる。

さて噴流の持つエネルギーは、臨界圧力以上ではとくに損失を考慮しなければ（ここでのノズル圧力ではこの損失はほとんどない）、ノズル径 D^2 に比例する。一方管群内での噴流エネルギーの軸に直角方向の分布状態は各実験変数が同じ場合ノズル圧力によつて大して変化しないことはここで実験から明らかである。かつ限界圧力比を求める基準になる単管の限界圧力 P_{crit} は噴流軸上に単管をおいたときの値である。(3)式、(4)式の関係は噴流軸上にない管に対するのみ成り立つ。

以上四つの条件から、噴流軸上にない管の i は T/D となんらかの関係があり、 T/D が大きいほど i の大きくなることが推定される。(3)式(4式の結果はこれを意味しており、 T と D の指数が一致しないが定性的には上述の説明で理解できる関係である。

(f) 管群内除去限界圧力への各影響因子のとりまとめ

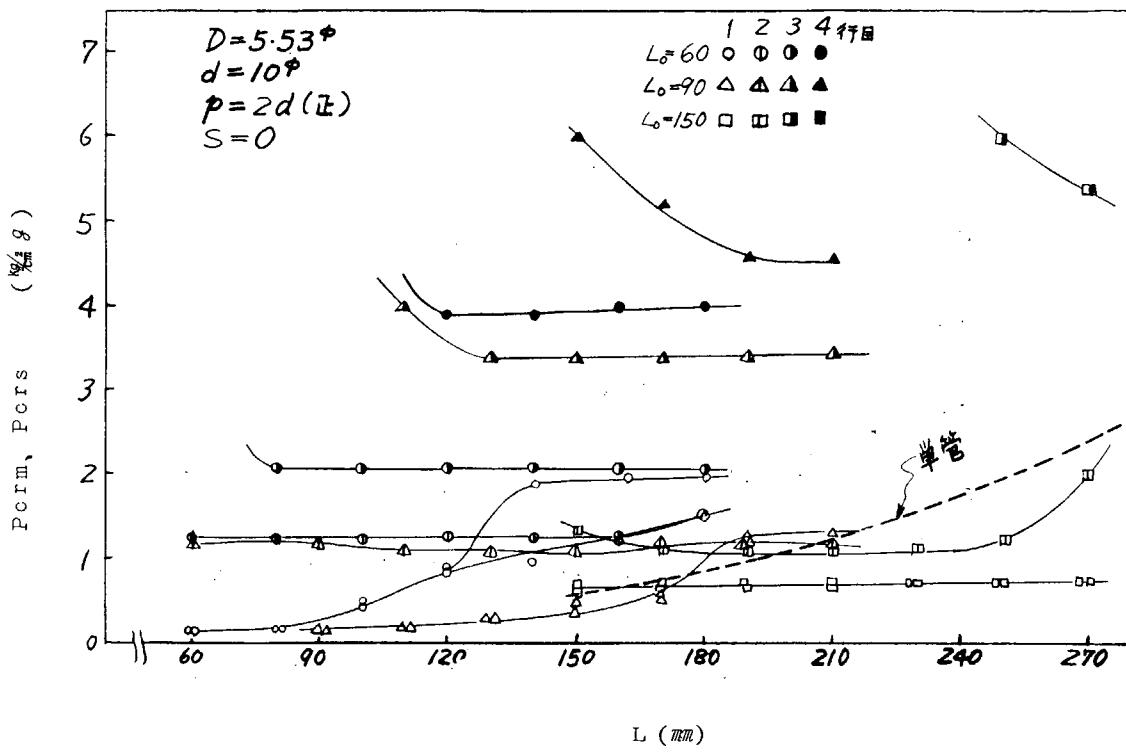
以上管群内の除去限界圧力によよすと考えられる諸因子について調査した。個々の因子の影響は(1)~(4)式によつて表わすことができるるので、これらをまとめると管群内噴流の保存領域では、

$$i = K \cdot L_o \cdot D^{-2} \cdot T^{1.5} (L/D)^{-2} \\ = K \cdot L_o^{0.5} (L_o/D)^{0.5} (T/D)^{1.5} (L/D)^{-2} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

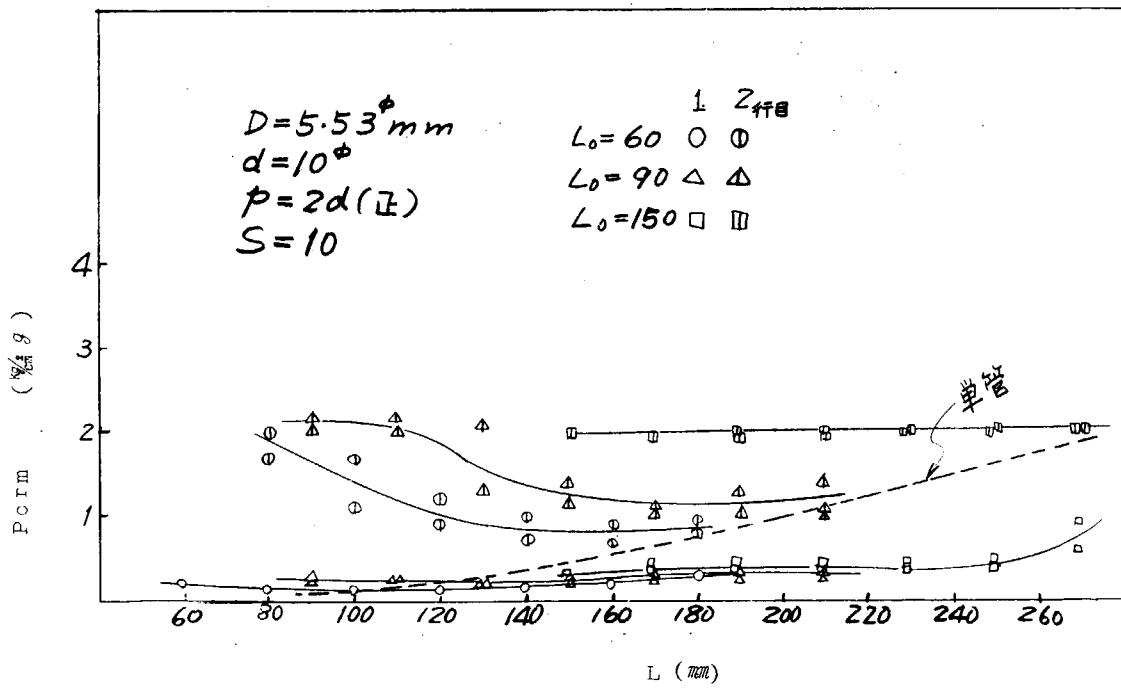
の関係で除去限界圧力を表わすことができる。そして附着物の強度によって定数Kは決定される。これまでの全測定値を(5)式によつて整理すると第4.1.9図のようになり、(5)式で整理可能であることがわかる。

いま単管の P_{cros} が図から、 $P_{cros} = k \cdot (L/D)^2$ の関係とみなすと、(5)式と合わせて $P_{corm} = K/k L^{0.5} (L_o/D)^{0.5} (T/D)^{1.5}$

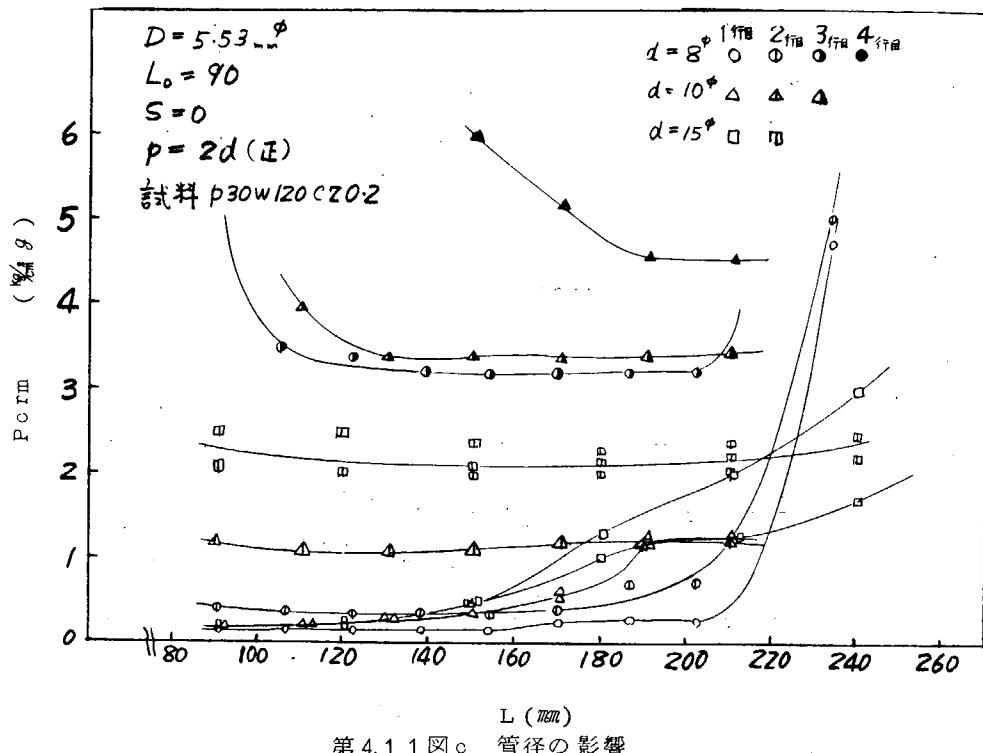
実験値から K/k を求めると、 $CZ=0.2$ のとき 4.17×10^3 、 $CZ=0.4$ のとき 4.36×10^{-3} 、 $CZ=0.8$ のとき 6.56×10^{-3} となる。この比が一定であれば、 P_{ors} を基準として P_{orm} を定量的に評価することができる。実験結果は大略良好な傾向をとっている。



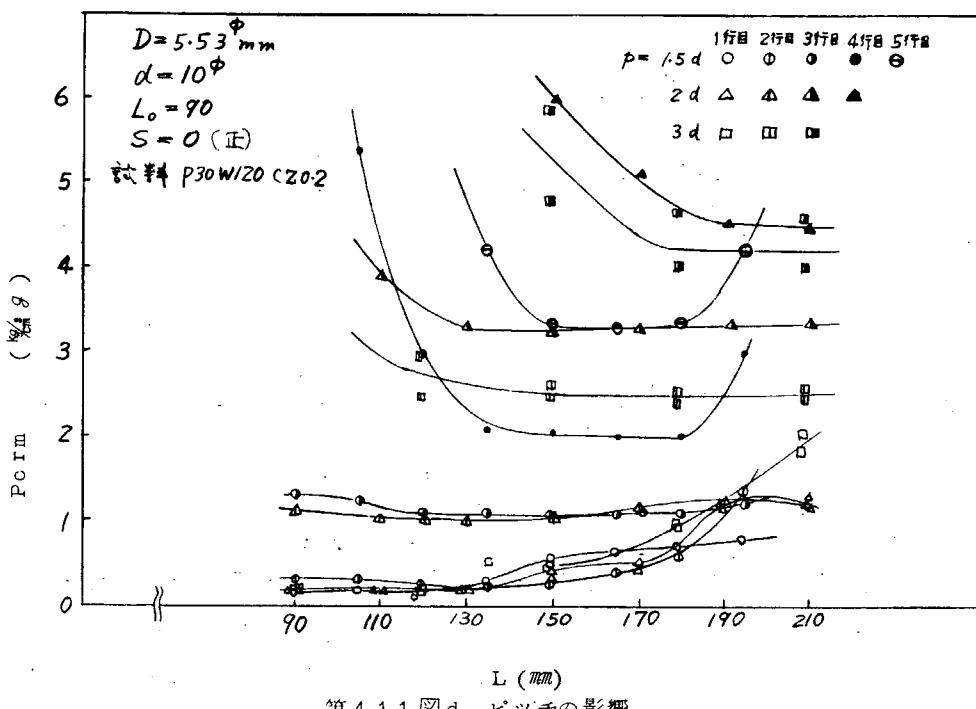
第4.1.1図a 除去限界圧力に及ぼす定置距離 L_0 の影響 ($S=0$)



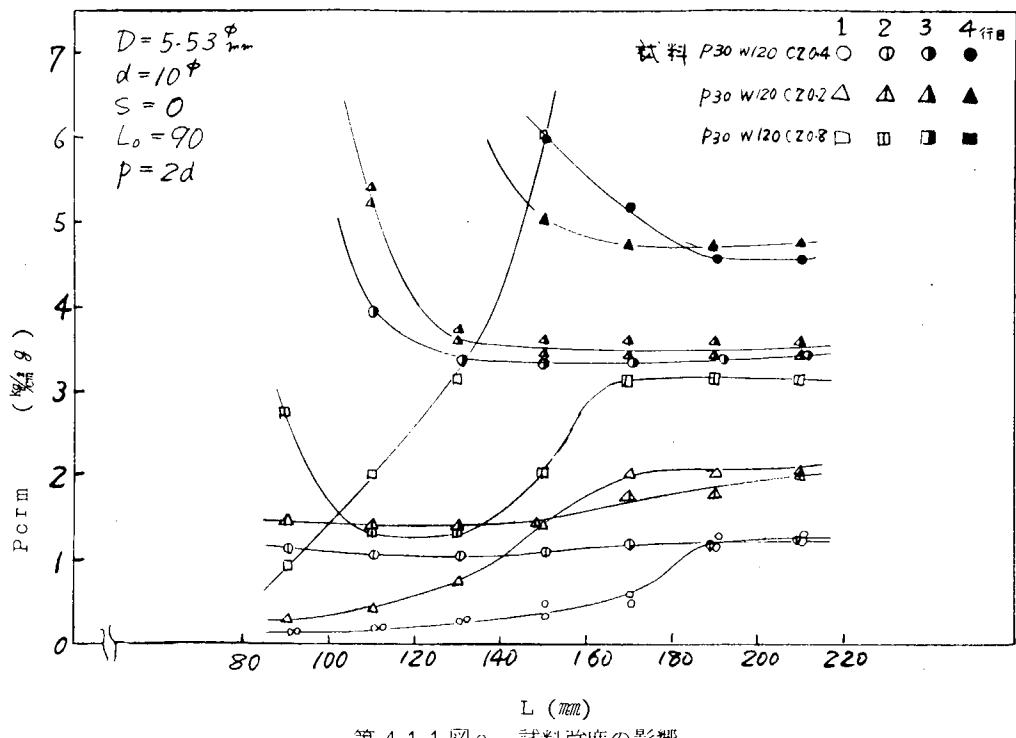
第4.1.1図b 除去限界圧力に及ぼす定置距離 L_0 の影響 ($S=10$)



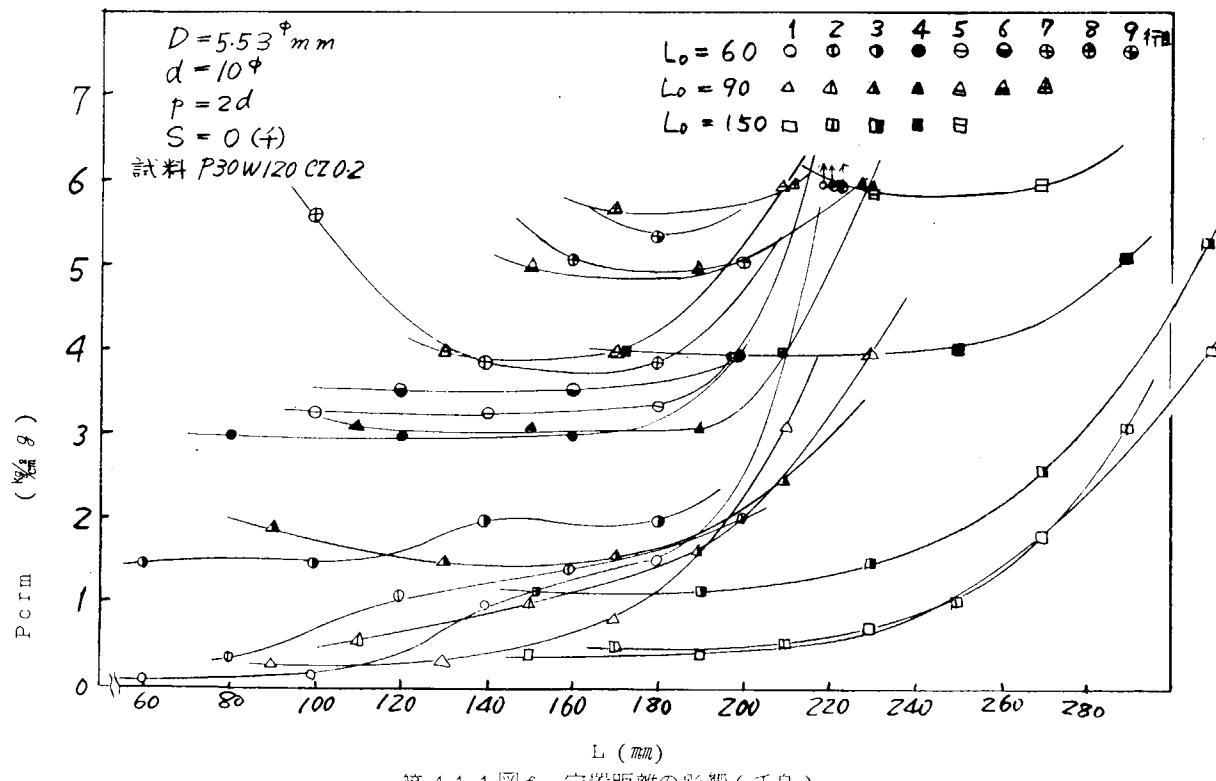
第4.1.1図c 管径の影響



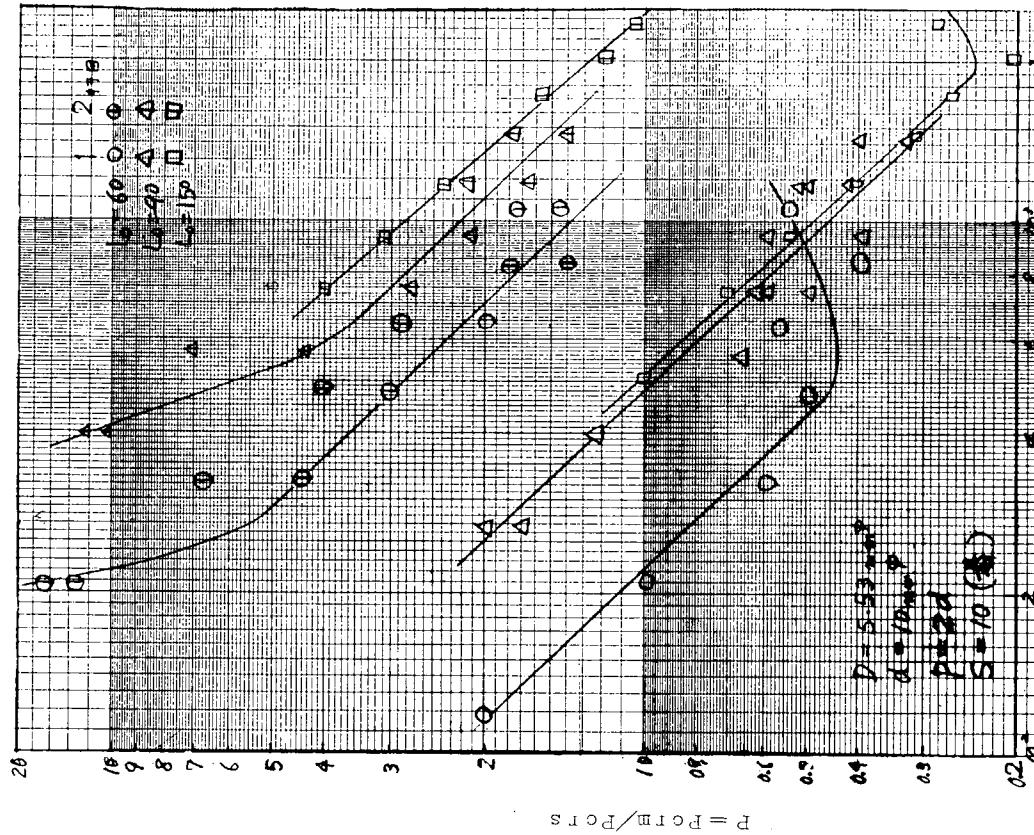
第4.1.1図d ピッチの影響



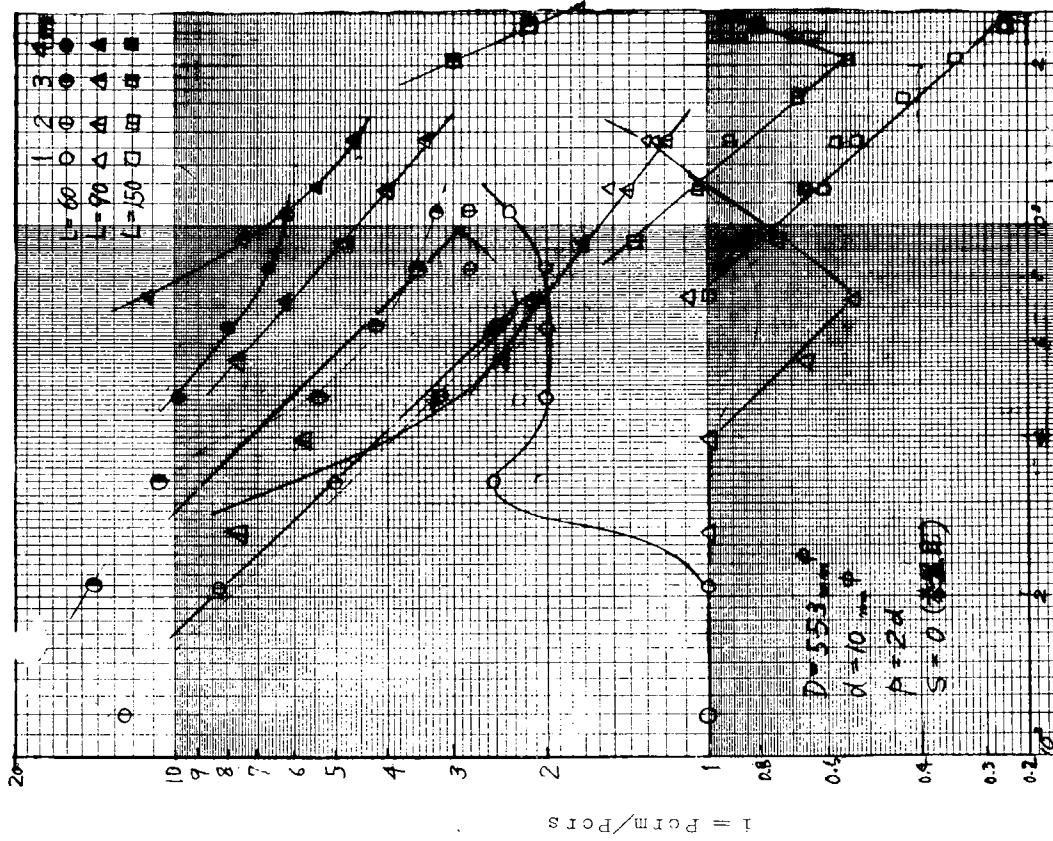
第 4.1.1 図 e 試料強度の影響



第 4.1.1 図 f 定置距離の影響 (千鳥)

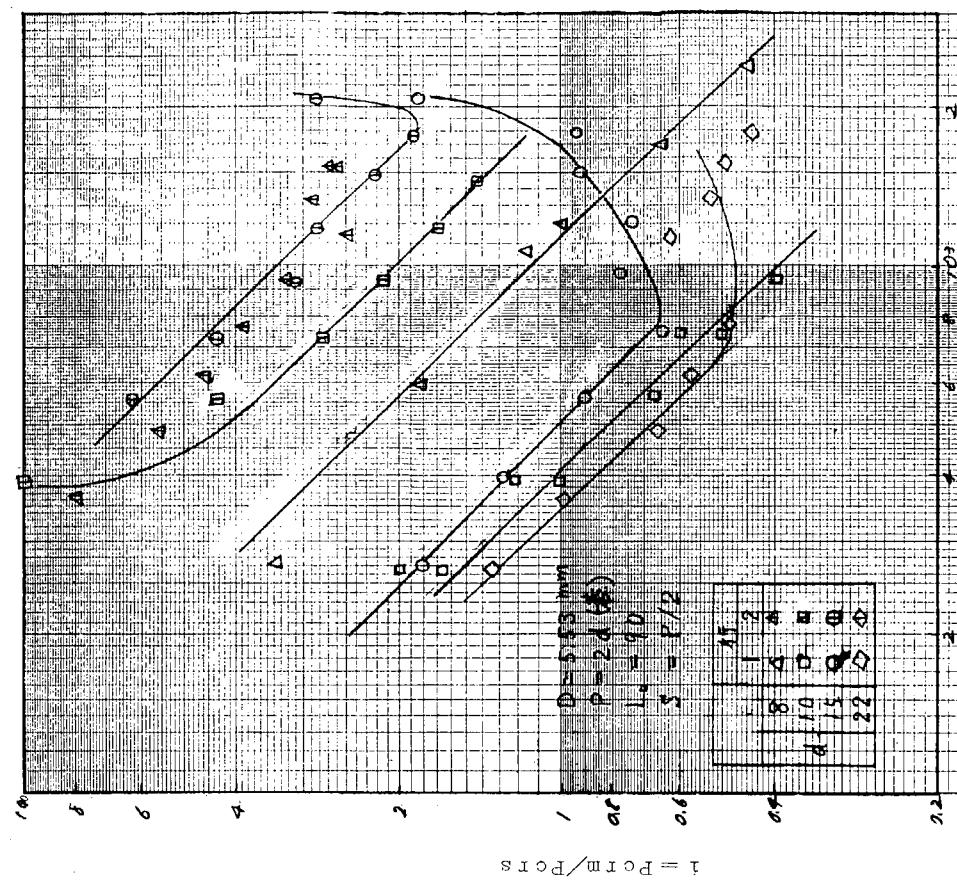


第4.1.1図 h 定置距離の影響
 $(L/D)^2$

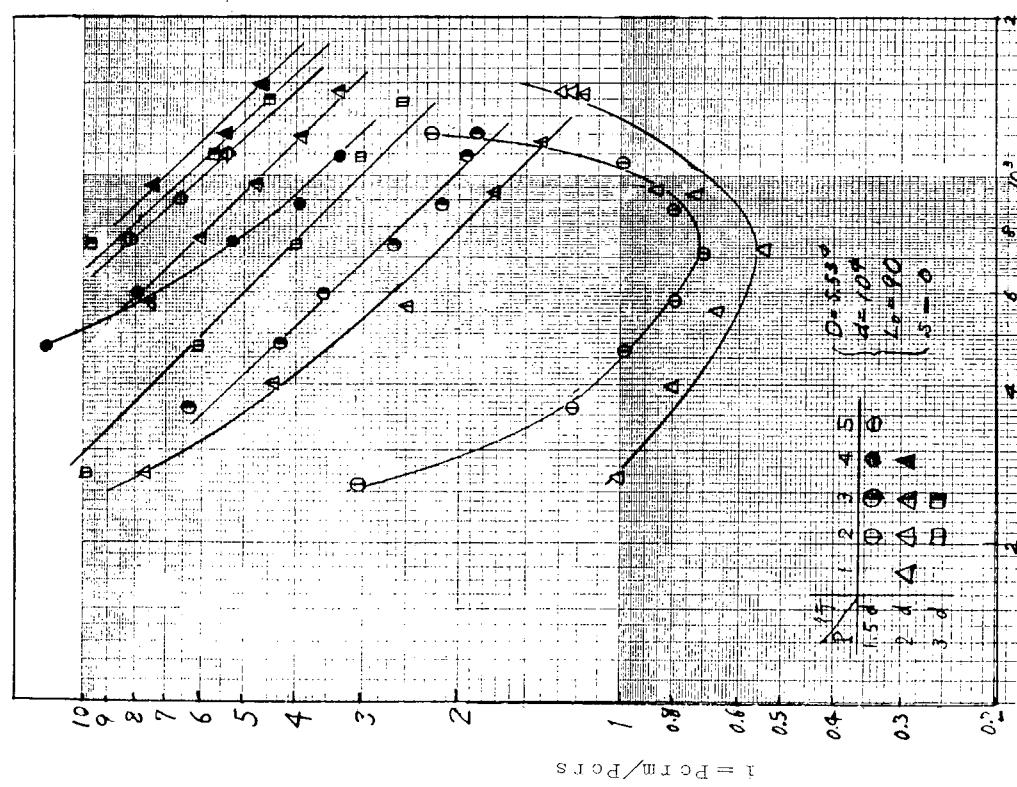


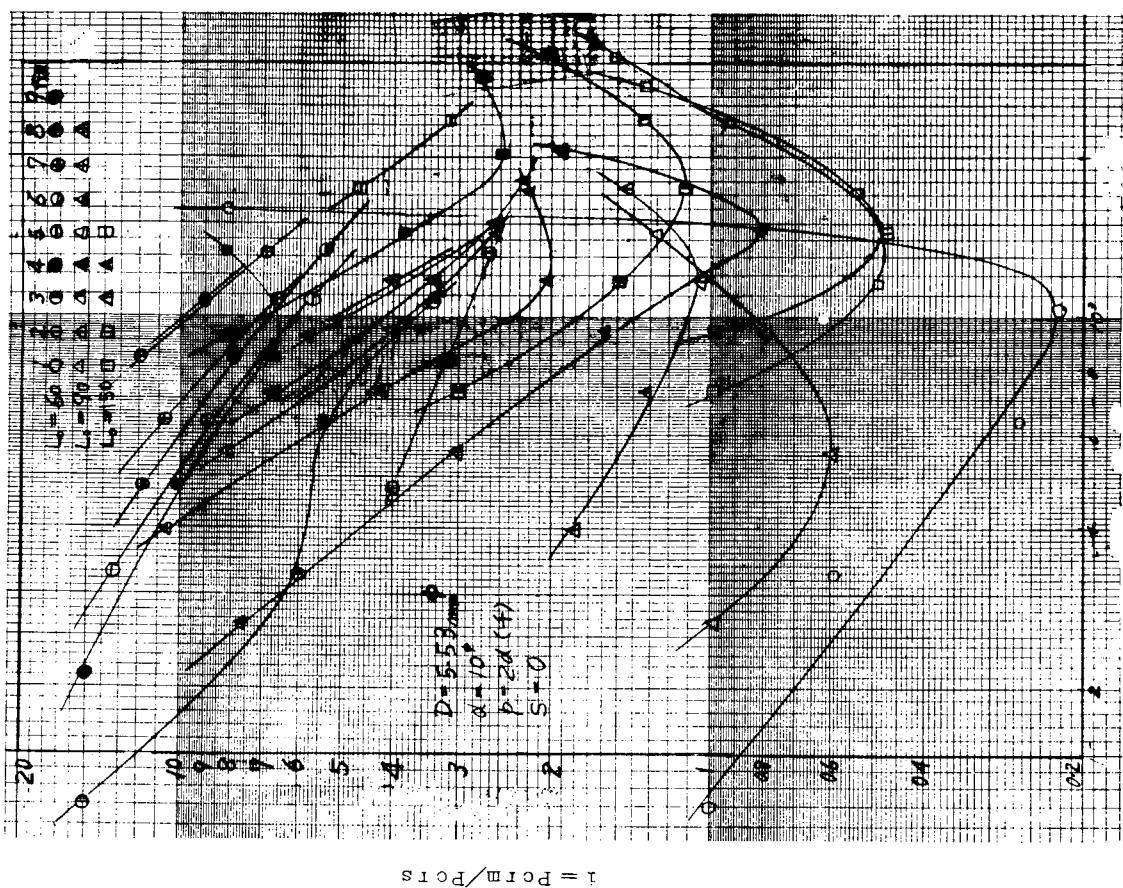
第4.1.1図 g 定置距離の影響
 $(L/D)^2$

(L/D)²
第4.13図 管径の影響



(L/D)²
第4.12図 ビッチの影響

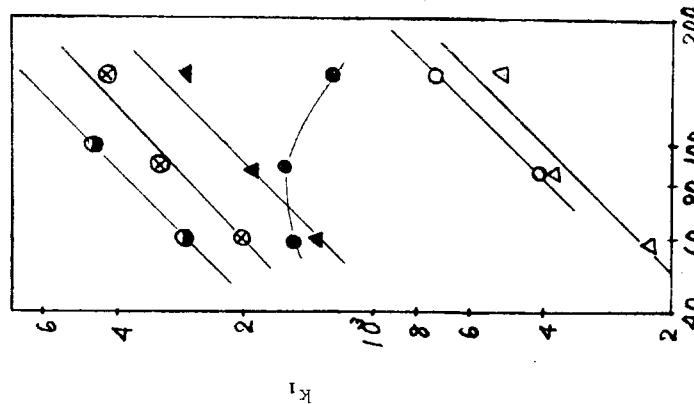




第4.14図 距離の影響(千鳥)

P30W120CZ0.2
 $p=2\text{d}$, $D=5.53$, $L_0=90$

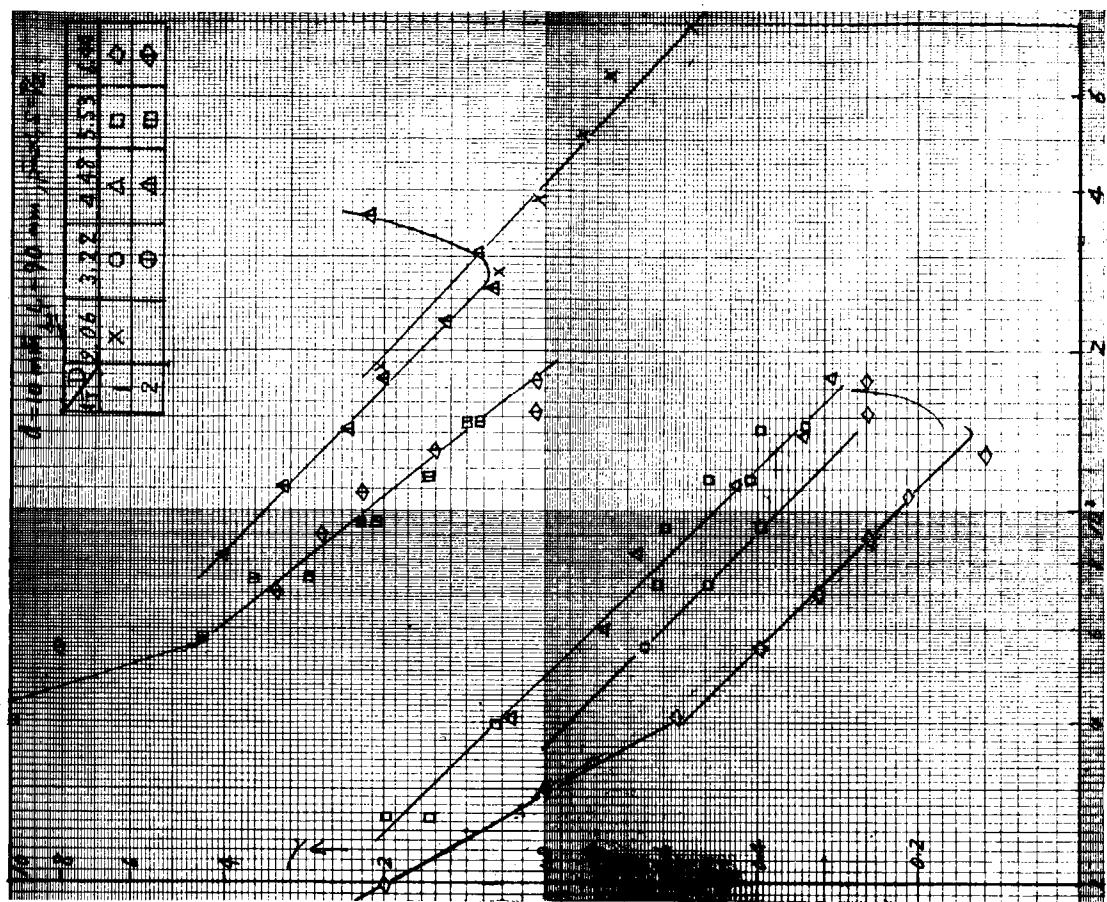
記号	O	●	○	▲	△	▲	▲	▲	▲	▲	▲
d	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
行	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2



第4.15図 定置距離の影響

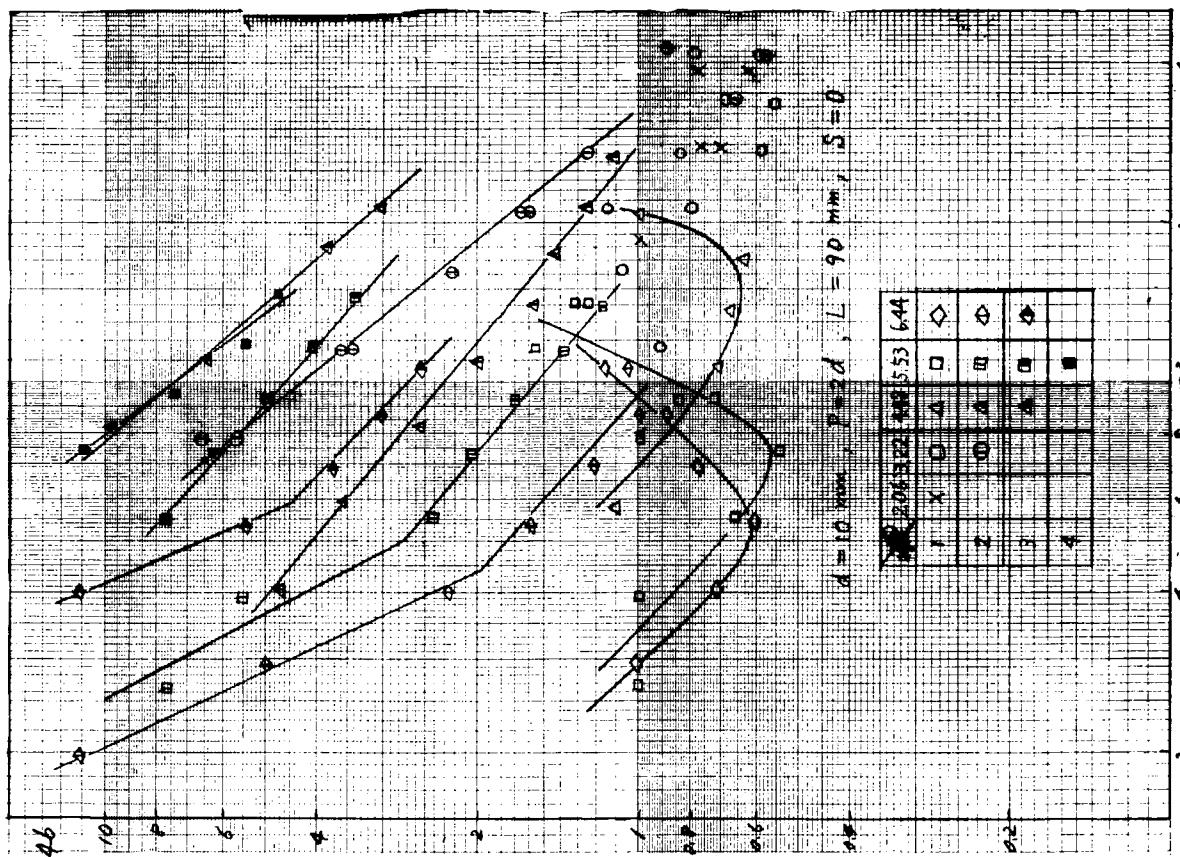
$(L/D)^2$

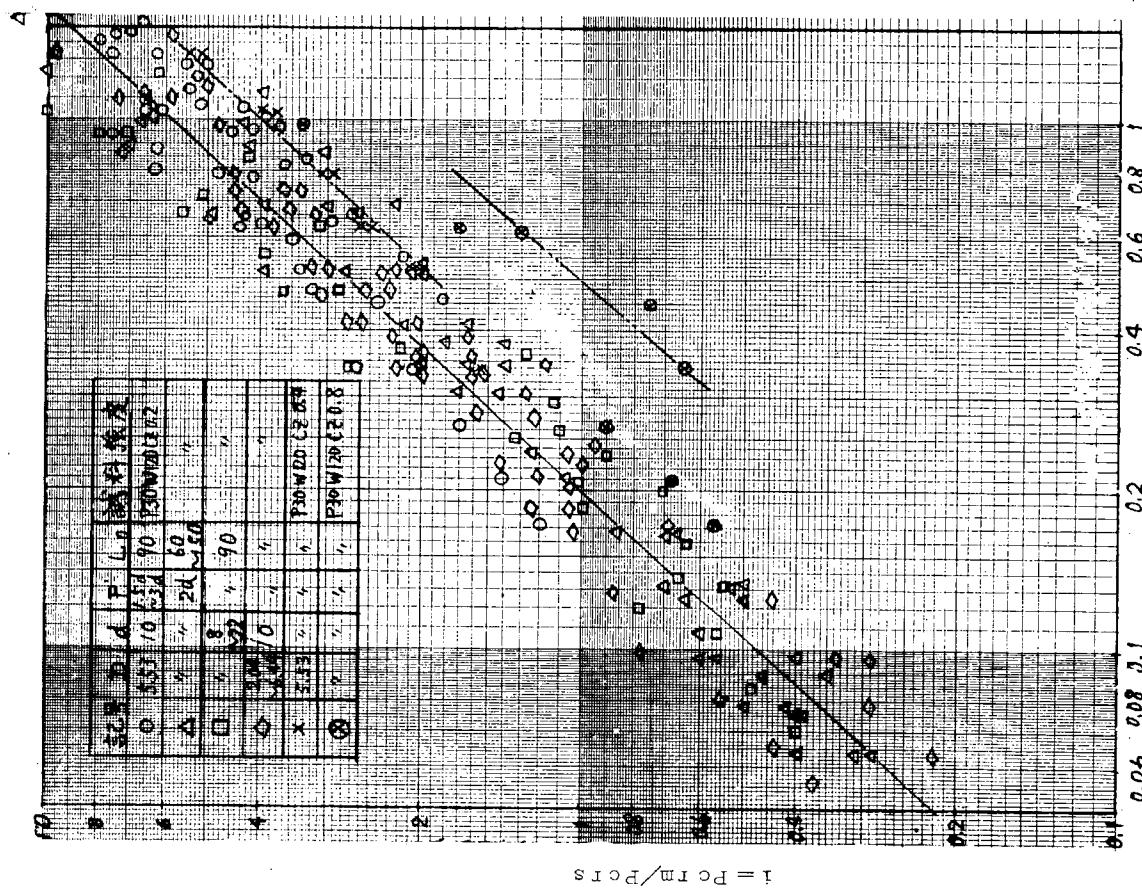
第4.16図b ノズル径Dの影響



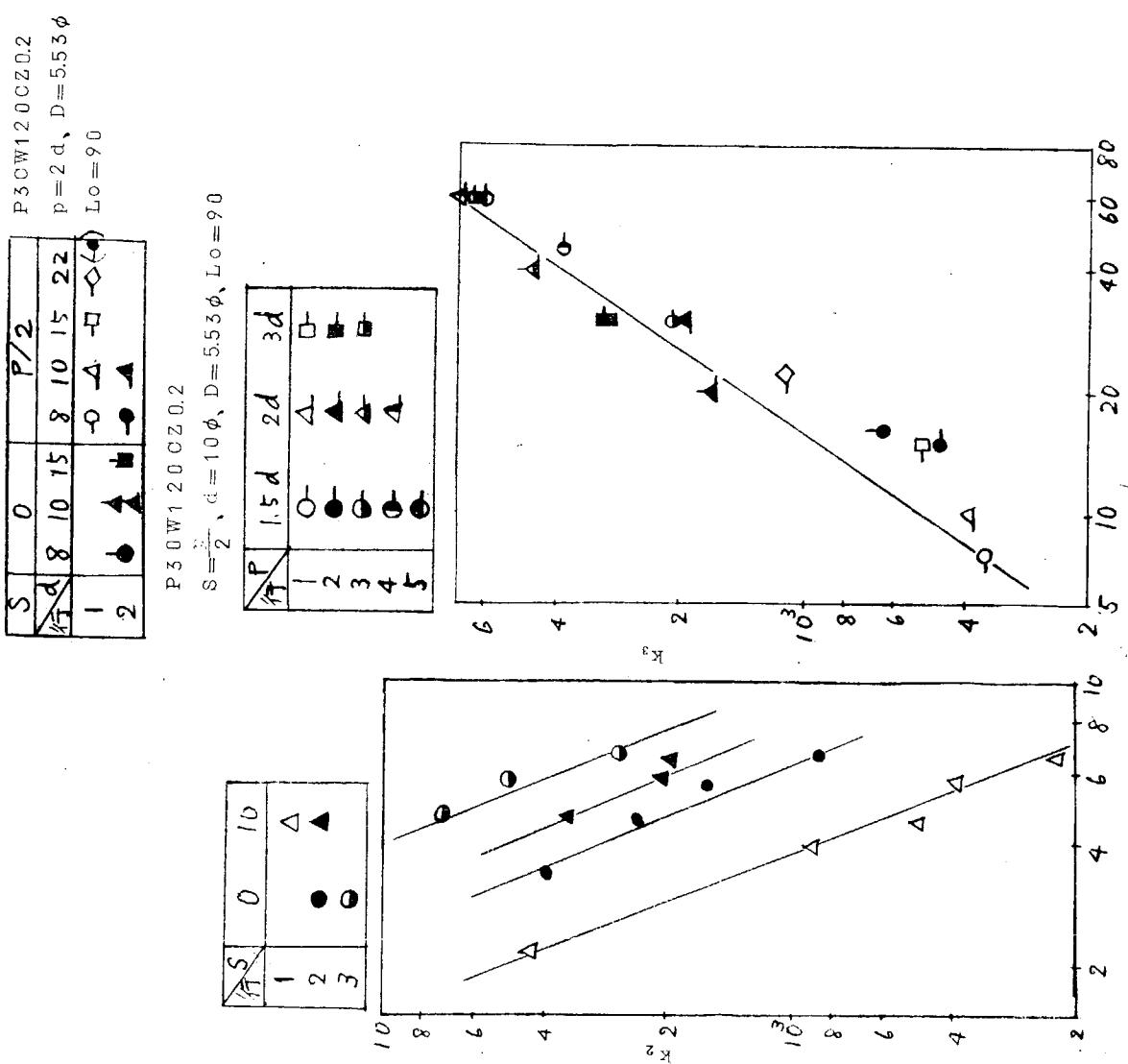
$(L/D)^2$
ノズル径の影響

第4.16図a





第4.19図 管群の除去限界圧力比
 $L_o^{0.5} (L_o/D)^{0.5} (T/D)^{1.5} (L/D)^{-2}$



第4.17図 ノズル径の影響

第4.18図 噴流軸上からの距離Tの影響

(3) 除去範囲

管群における除去範囲を単管の場合と同様に除去巾および除去角度によって調べることとする。

(a) 除去範囲の一般的傾向

第4.2.0図a、b、第4.2.1図a、b、第4.2.2図a、bに除去巾および除去角度の測定例を示す。同図aはよこ軸にし、たて軸に除去巾 b の半分をプロットしてある。他の表示方法は除去限界圧力の場合と同様である。同図bは除去された角度範囲を斜線で示してある。いずれも最大値(角)である。

これらの図をみると基盤目、 $S = 0$ の1行目と2行目以上とで大きく傾向の異なることがわかる。 $S = p/2$ の場合の1行目は $S = 0$ のそれと似ているが除去巾の極大値の山はかなりゆるやかとなり、2行目の傾向にも似ている中間の傾向を示す。そして2行目以上はいずれの場合もよく似た傾向である。図示しないが千鳥の場合はいずれの行も基盤目の場合の2行目以上の傾向に似ている。

上図を除去巾と除去角度とを対応させて示すと第4.2.3図から第4.2.5図のようになる。なお図示した角度θは第4.2.0～2.2図において一つの管で2カ所に別れている場合はその二つを合計した値である。同図には実験範囲内で拡散領域、減衰領域の現われているものはそれぞれの保存領域との境界値をLの値で示してある。これらの領域と除去角度範囲との対応関係から、管群内の除去範囲の一般的範囲として次のようにいいうことができる。この傾向は図示した例だけでなくすべての実験条件についていいうことができる。すなわち、

1) 基盤目、 $S = 0$ の1行目に対して、

除去巾は2～3列目で極大値に達し、それをすぎると急に減少した後大略一定値を保ち、減衰域に至つて急減する。極大値の位置はノズル圧Pによって変化する。

除去角度は除去巾極大値に至るLの位置まで一定値を持続し、それ以後漸減する。

2) 基盤目、 $S = 0$ 、 $p/2$ の2行目以降と千鳥配列に対して、除去巾は拡散領域、保存領域の区別なく、距離Lとともに単調に増加し、保存領域と減衰領域の境界附近で極大値に達した後急減する。

除去角度は1列目からLとともに増加し、拡散領域と保存領域の境界附近で極大値に達し、それ以後漸減し、除去巾0となるLで0となる。この位置はその位置にある管の限界圧力とノズル圧力とが等しくなる点である。

以上が除去範囲の一般的傾向であるが、除去限界圧力の傾向も合せて考えると減衰領域、拡散領域はストップロワの有効範囲としては考慮に入れることができず、保存領域の重要であることがよりはつきりするであろう。

加えて種々の場合において上記三つの領域を定量的に知ることが重要であることがわかる。よつて残された問題は実験変数によつて各領域がどう変化するか、および除去巾、除去角度がどのように変化するかを調査することである。しかし今年度は一般的な傾向を見る程度に終つたので定量的な評価は次年度で行なうこととしたい。

一般的に除去範囲はPが大きいほど大きく、試料強度が大なるほど小さくなるのは当然だが(第4.2.3図)、そのほか次の二つの影響が見られた。

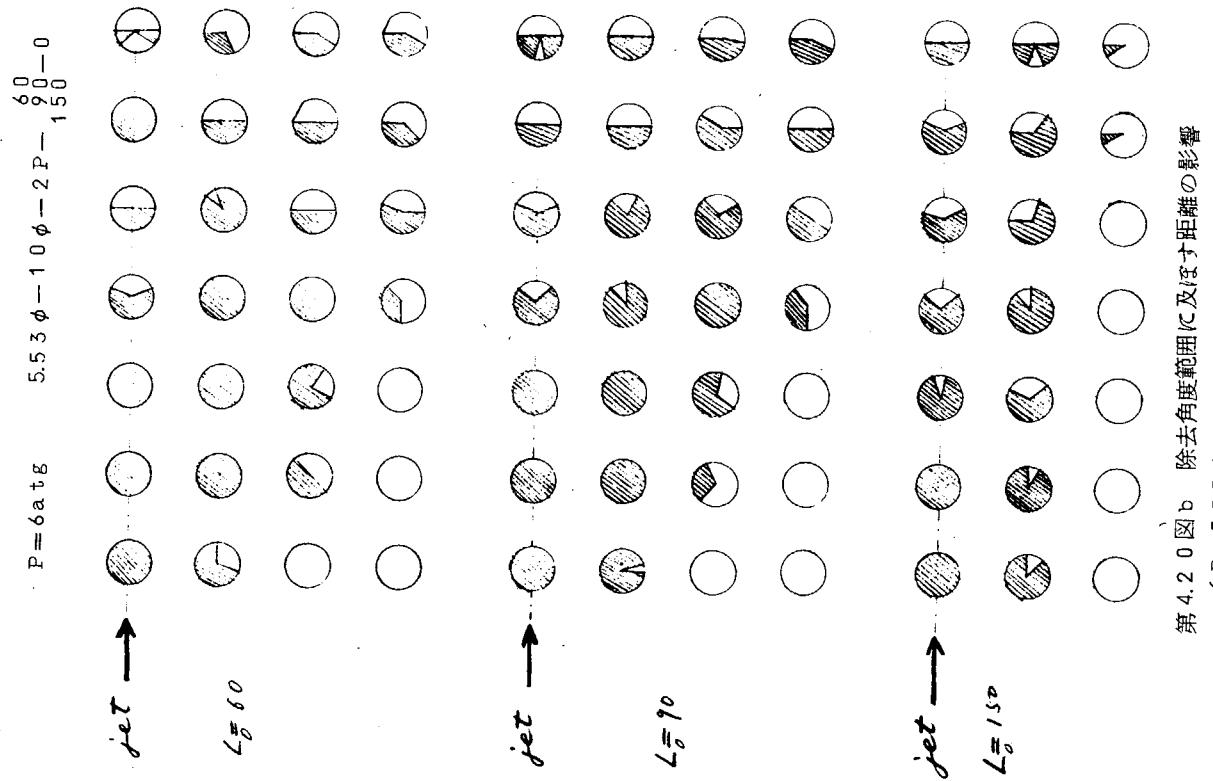
(b) 定置距離Loの影響

第4.2.4図a、bに示す。a図は $S = 0$ 、b図は $S = p/2$ の場合であるが、 $S = 0$ の1行目では除去巾はLoとともに減少し、除去角度は大して変化しない。 $S = 0$ の2行目以上および $S = \frac{p}{2}$ の場合は逆の傾向で、除去巾はLoとともに増加し、角度は反対に減少していく。

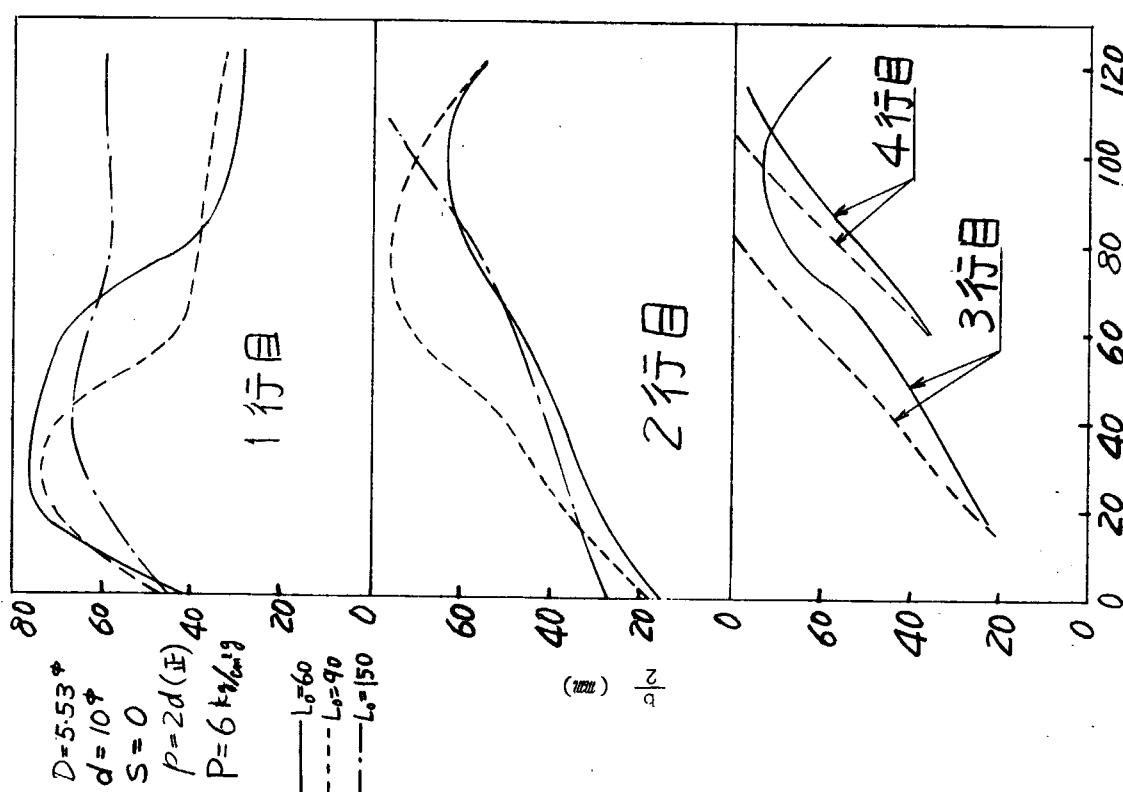
(c) ノズル径Dの影響

第4.2.6図a、bに $S = 0$ 、 $p/2$ の場合を示す。図からわかるように除去範囲は限界圧力のように単調な関係ではなく、ノズル径6.44φの除去範囲は5.53φのものよりもむしろ狭くなつておらず、実験した $D = 2.06 \sim 6.44$ φの範囲では5.53φの場合にもつとも除去範囲が広い。除去限界圧力とは違い、除去範囲のほうは実験条件によつて、それが最大となる最適ノズル径があるような傾向を示している。

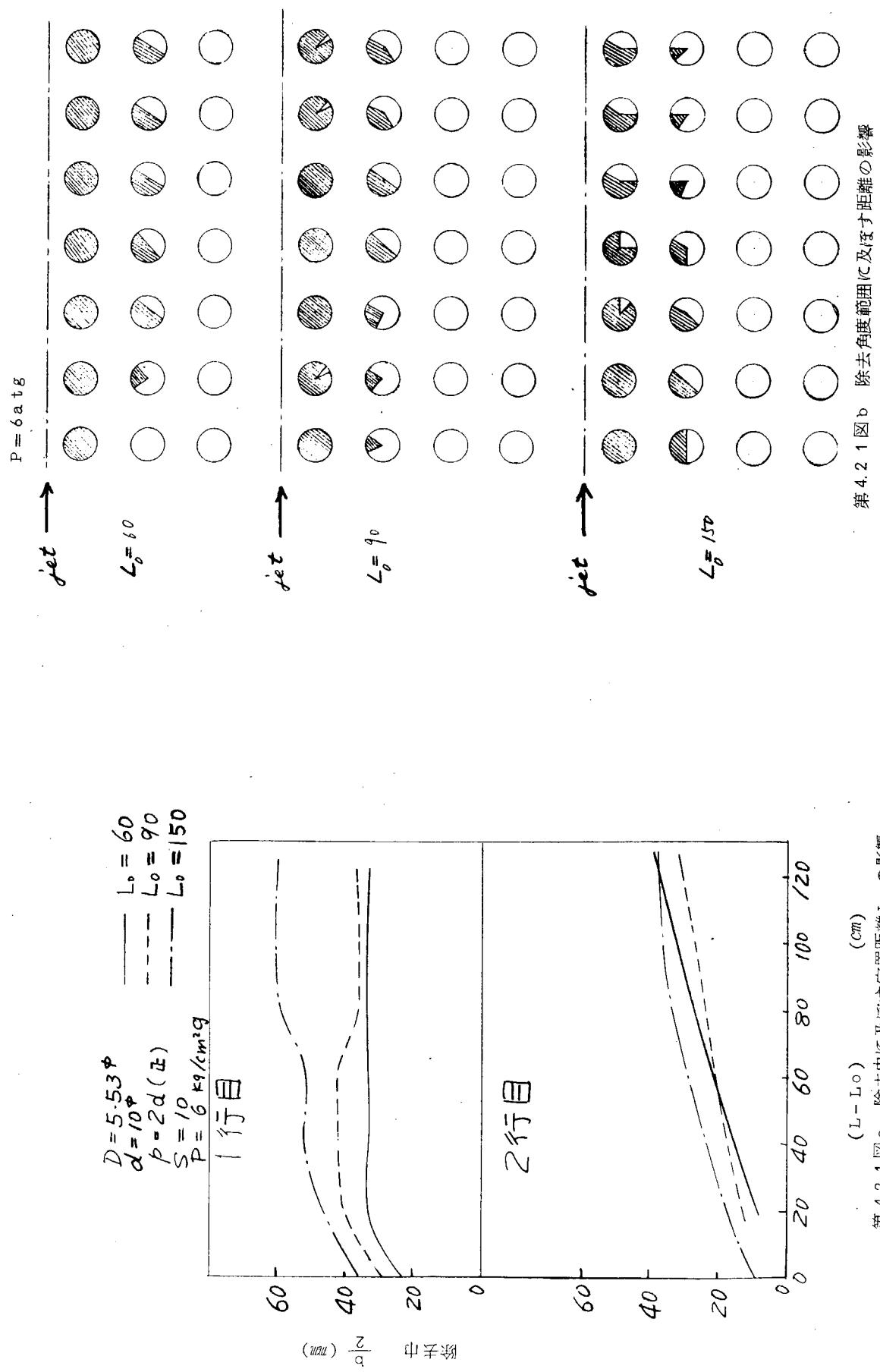
以上実験結果の1例を上げて除去範囲の一般的な傾向について述べたが、定量的な結論は来年度に行なうこととしたい。

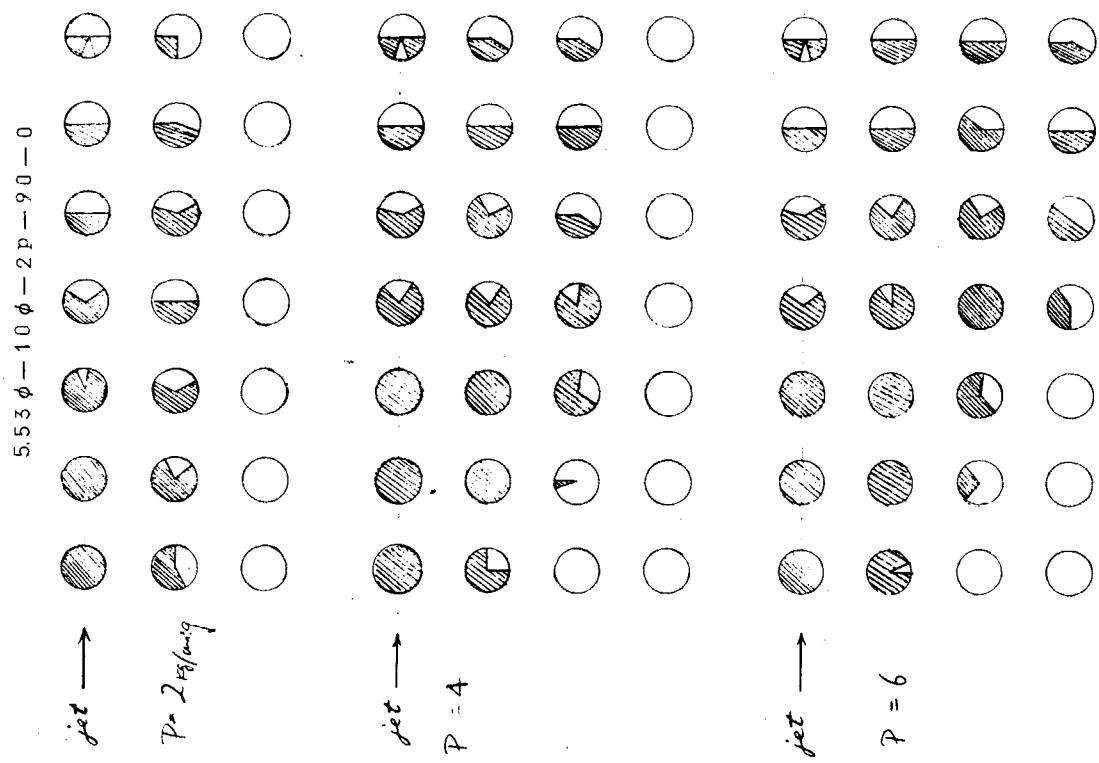


第4.20図b 除去角度範囲に及ぼす距離の影響
($D = 5.53\phi$ 、 $d = 10\phi$ 、 $p = 2d$ 、 $S = 0$)

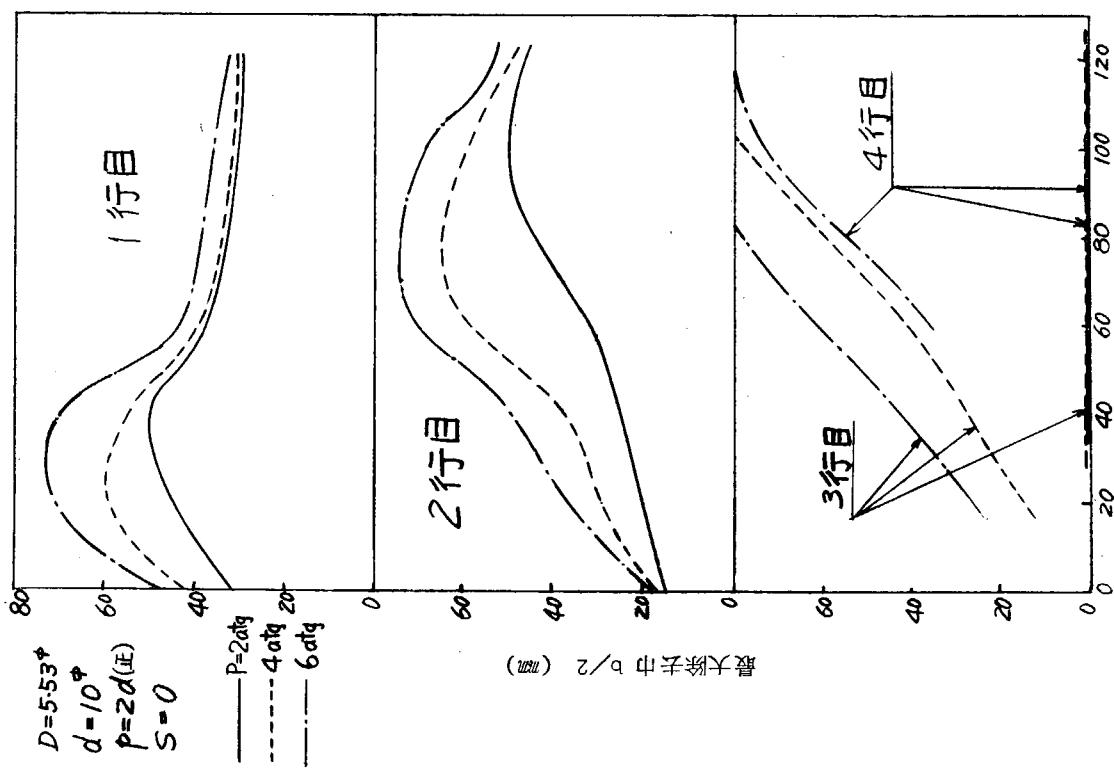


第4.20図a 除去巾に及ぼす定置距離 L_0 の影響
($L-L_0$) (mm)





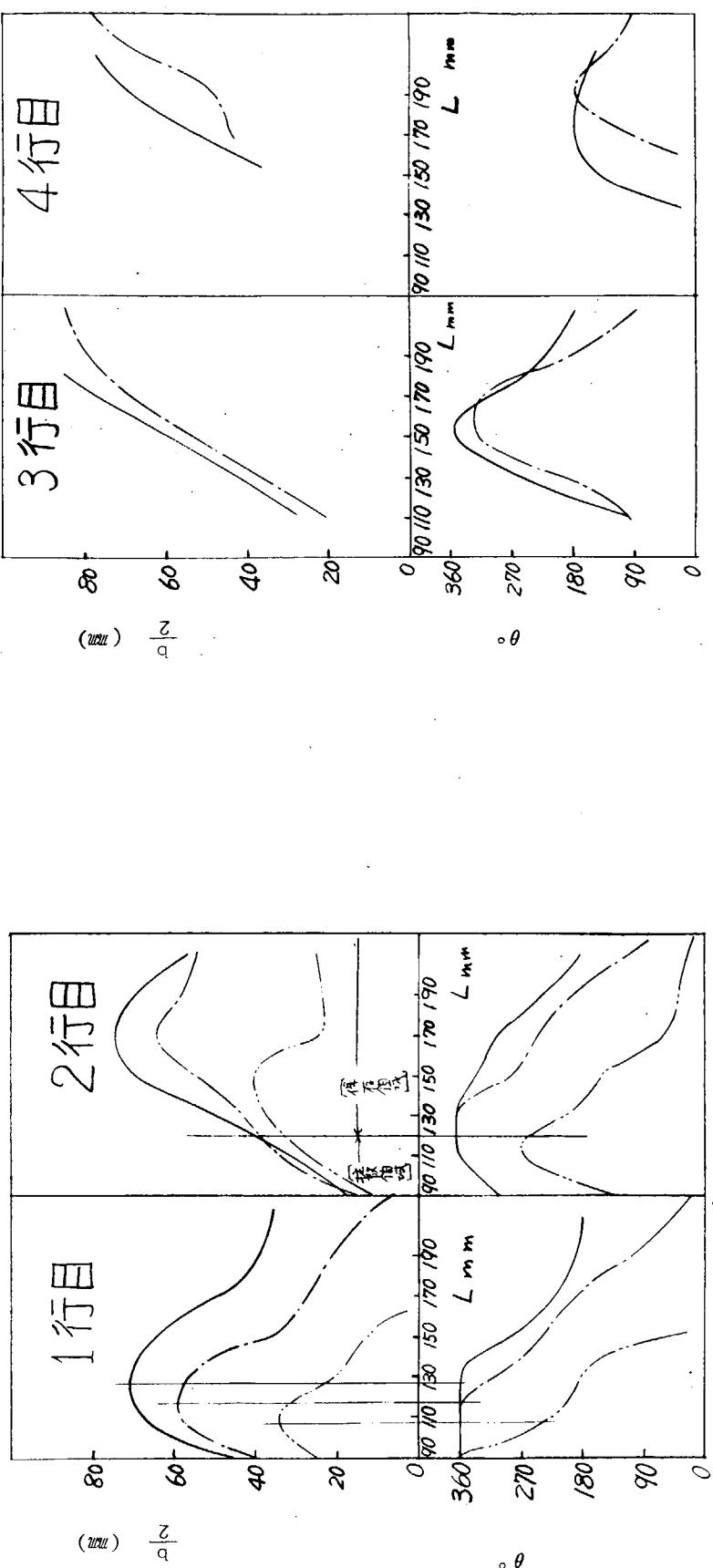
第4.2.2図b 除去角度範囲に及ぼす圧力の影響
($D = 5.53\phi$ 、 $a = 10\phi$ 、 $p = 2d$ 、 $S = 0$)



第4.2.2図a 除去巾に及ぼす噴出圧力Pの影響
($L - L_0$ (mm))

第4.2.3図 (その2) 除去巾と除去角度に及ぼす試料強度の影響

第4.2.3図 (その1) 除去巾と除去角度に及ぼす試料強度の影響



$$\begin{aligned}
 D &= 5.53\text{mm} \\
 d &= 10\text{mm} \\
 P &= 2d \\
 L_o &= 90\text{mm} \\
 S &= 0 \\
 P &= 6\text{kg/cm}^2\text{g}
 \end{aligned}
 \quad \frac{CZ_0.2}{CZ_0.4} \quad \frac{CZ_0.4}{CZ_0.8}$$

$$\begin{aligned}
 D &= 5.53\text{mm} \\
 d &= 10\text{mm} \\
 P &= 2d \\
 L_o &= 90\text{mm} \\
 S &= 0 \\
 P &= 6\text{kg/cm}^2\text{g}
 \end{aligned}
 \quad \frac{CZ_0.2}{CZ_0.4} \quad \frac{CZ_0.4}{CZ_0.8}$$

$$D = 5.53\text{mm}$$

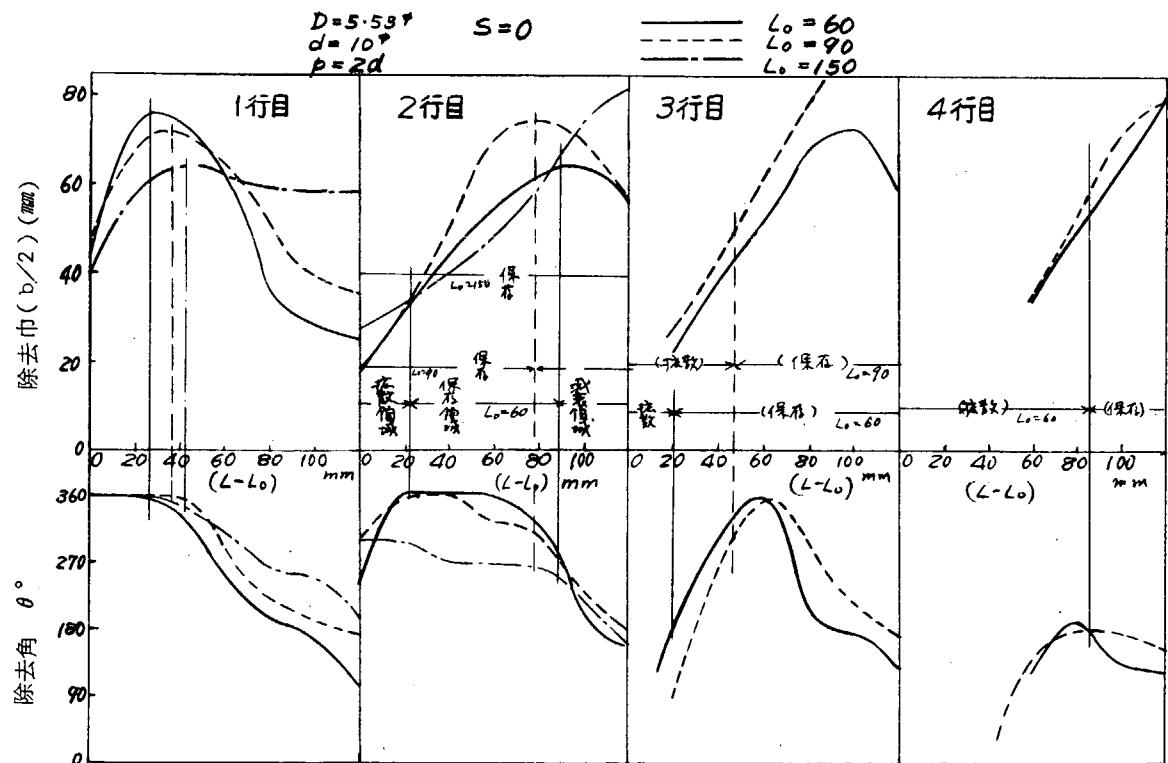
$$d = 10\text{mm}$$

$$P = 2d$$

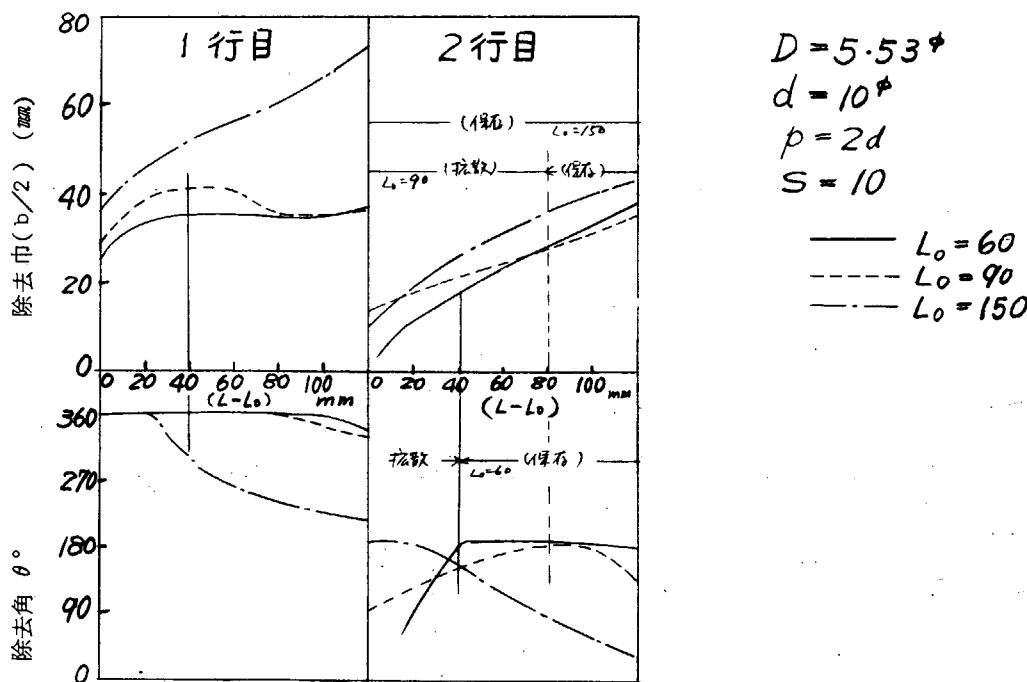
$$L_o = 90\text{mm}$$

$$S = 0$$

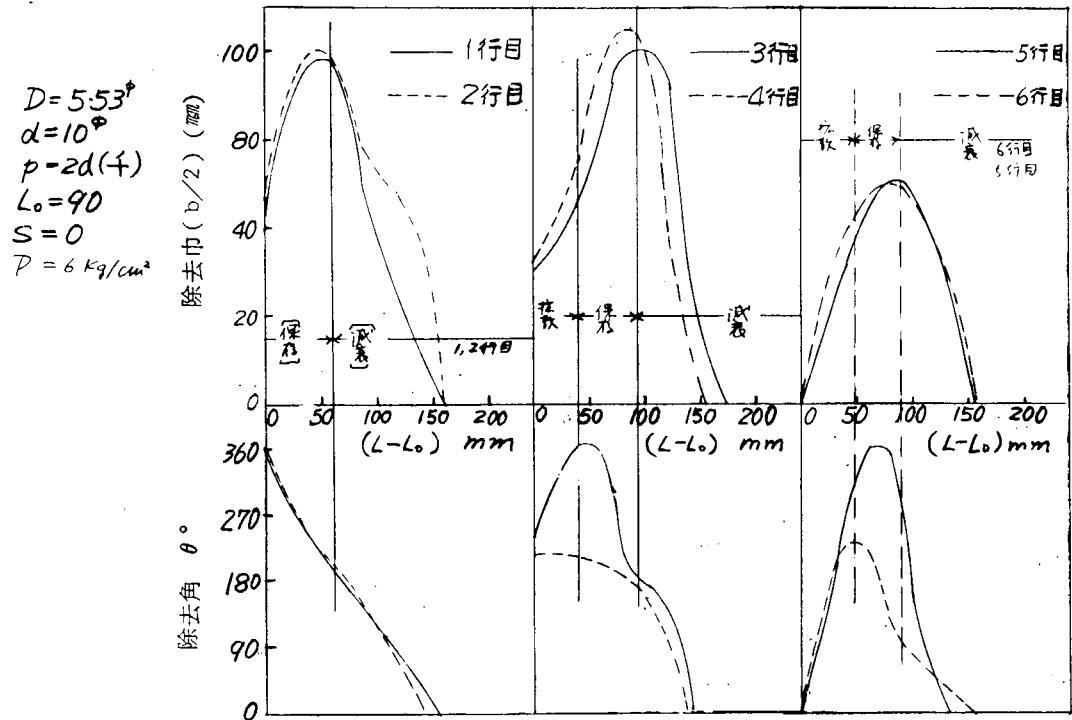
$$P = 6\text{kg/cm}^2\text{g}$$



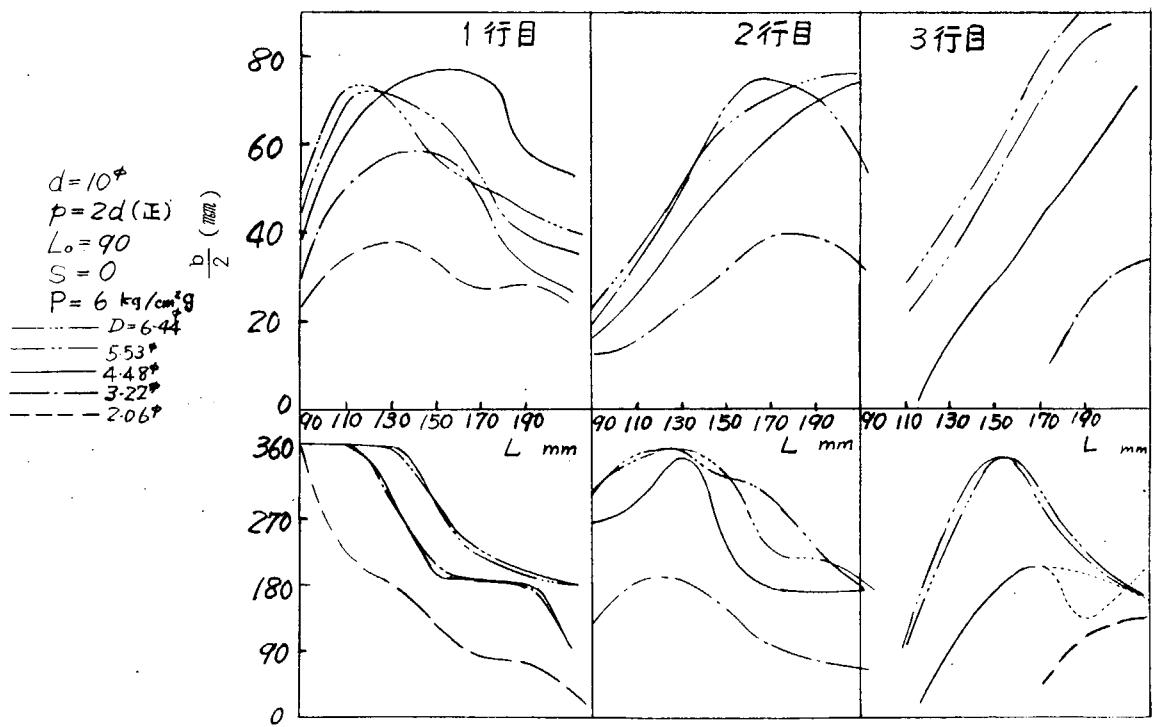
第4.2.4図a 除去巾・除去角度に及ぼす定置距離の影響



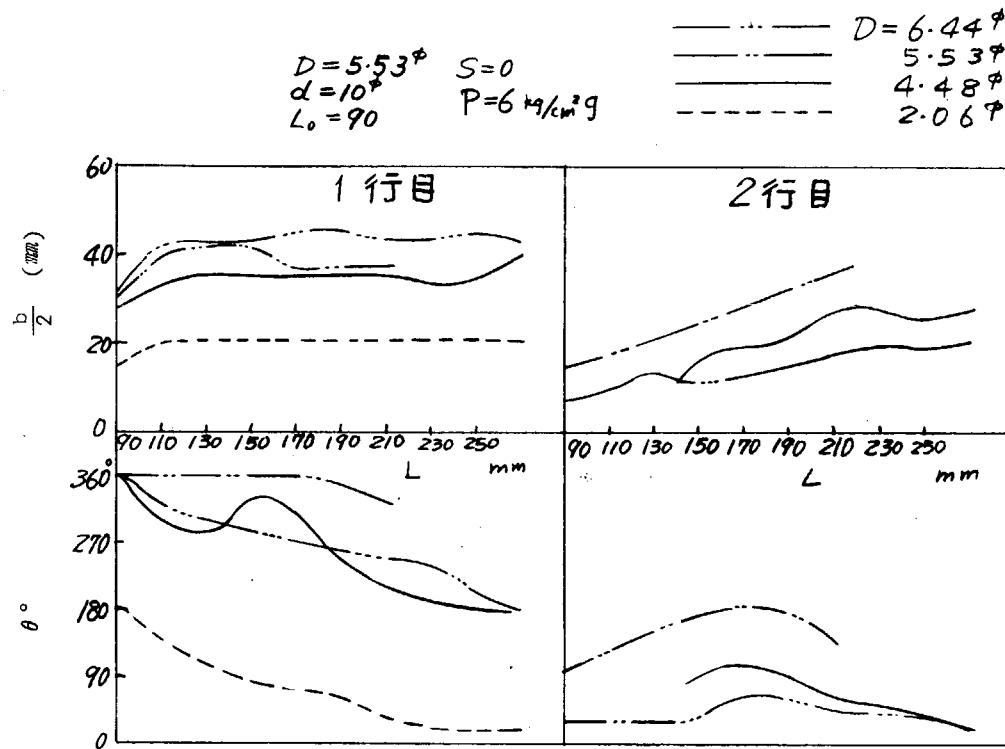
第4.2.4図b 除去巾・除去角度に及ぼす定置距離の影響



第4.2.5図 除去巾・除去角度(千鳥配列)



第4.2.6図a 除去巾・除去角度に及ぼすノズル径の影響



第4.26図b 除去巾・除去角度に及ぼすノズル径の影響

4.1.5 結論

昭和42年度はおもに管群内管表面附着物の除去限界圧力について調査を行なつた。得られた結果をまとめると次のとおりである。

- 標準附着物試料についての検討を行ない、除去特性を調査するに必要な附着特性の安定した試料を決定した。すなわち試料として200メッシュ以下のパーライトを採用し、これを水および接着剤と一定の混合比で混合したものを管表面にスプレーガンで塗布する。試料を塗布した試験片は乾燥室に入れて一定時間乾燥室にて乾燥した後直ちに実験に供する。
- 塗布法、乾燥作業にも十分な注意が必要である。
- 管群内における噴流の流動状態は一般に三つの領域に大別できる。すなわち管群入口側から拡散領域、保存領域、減衰領域であり、実験の結果除去に関する噴流の有効範囲は主として保存領域であり、拡散領域、減衰領域は有効範囲から除外したほうがよいことが明らかとなつた。
- 管群内管表面附着物の除去特性に影響する因子として、ノズル径D、管径d、管ピッチp、管配列(千鳥と正方形基盤目配列の2種)、ノズルから管群までの距離L、ノズル位置S、試料強度を取り上げ、それらの影響について調査した結果、保存領域における限界除去圧力P_{crm}は単管の限界圧力P_{crs}との比で次式によつて表わせることが明らかとなつた。

$$i = KL^{0.5} (L_0/D)^{0.5} (T/D)^{1.5} (L/D)^{-2}$$

ここで $i = P_{crm}/P_{crs}$

一方 P_{crs} は、 $P_{crs} = k(L/D)^2$

として表わせる。上式でK、kは試料強度によつて変化する値であるが、K/kが試料強度にかかわらず一定となると考えられるので、上式により、単管の除去限界圧力を基準にして管群内管表面附着物の除去限界圧力を定量的に表現することが可能と考えられる。

- 除去範囲は定性的な傾向をみるに止まつたが、一般的にいって、除去巾は拡散領域では小さい値で、それ以後保存領域の終りまで単調に増加し、減衰領域に入ると急減する。除去角度は拡散領域と保存領域の境界附近で極大値を有し、

それ以後減衰領域に至るまで漸減する。

ただしノズル位置 $S = 0$ の場合の 1 行目の管は上記一般的と別の傾向を有する。すなわち除去巾は 2 ~ 3 列目で極大値を有し、それ以後領域に関係なく減少する。除去角度は列が増加するに従い漸減する。