

社 団 法 人

# 日本造船研究協会報告

第 51 号

昭 和 40 年 7 月

---

舶用ボイラにおける原油燃焼に関する研究 ..... 第58・65研究部会

Investigations on Combustion of Crude Oil for Marine Boilers  
..... The 58th & 65th Research Committees

---

The Report  
of the  
Shipbuilding Research Association  
of Japan  
Tokyo, Japan  
No. 51  
July, 1965

第 58 · 65 研究部会 委員名簿

## **Membership of the 58th and 65th Research Committees**

Chairman	Tokuitiro KADOWAKI		
Secretaries	Kazuo MATUMOTO		
Members	Akira ADATI	Sigemasa ABE	Masayosi AMANO
	Isamu ARAYAMA	Tōru ISIGAI	Kenta ISIKAWA
	Eitarō ISIHARA	Nobuo ITAMI	Zyunzo ITŌ
	Jiitirō INOUE	Masao USIDA	Hirosi UTUMI
	Osamu EGUTI	Bunzi ŌTA	Murazi OKAMOTO
	Masao OGURO	Yosirō KASAMA	Takao KUME
	Naoki KŌSAKA	Tuyosi KOBAYASI	Ken SATŌ
	Takesi SAWAYAMA	Sigeru SUGINO	Kaneaki SUGIYAMA
	Saburō SUZUKI	Masao SEO	Katuyosi TAKAGI
	Hyōe TANAKA	Yukio TOMITA	Tosiiti NAKANISI
	Masayosi NISIOKA	Teizō NOGUTI	Minoru HASIGUTI
	Yosizō HASIMOTO	Saburō HARA	Yasuo FUKUNAGA
	Masao MITUKA	Yosio MIYAZAKI	Nobuo YASIMA
	Isamu YAMASITA	Naomiti YAMADA	Minoru YAMADA
	Kazuo YOSIDA	Noritosi YONEHARA	Tadahiko WAKIKAWA
	Hagemu WAKIMOTO		

# Investigations on Combustion of Crude Oil for Marine Boilers

Recently various investigations have been made to improve operating economy of ships. As for oil tankers remarkable saving in fuel cost would be expected, if crude oil can be used as fuel for their own boilers instead of heavy bunker oil, which is more expensive than crude oil at present.

In some Japanese public utility power plants, crude oil has been already put to practical use for main steam generators without any difficulty after the experimental run. However several investigations and additional experiments should be necessary in order to ascertain safety and applicability of crude oil in marine purposes, because more reliability and better durability are required for the machinery onboard.

Following experiments were carried out to obtain necessary information as to the property of various equipments to handle and treat crude oil for burning as fuel.

## 1. Kinds of tests and experiments

1. 1 Effectiveness test of settling tank for separation of sludge and water in crude oil under various conditions.

Two kinds of crude oil with different viscosity were used as the samples. Certain amount of water was mixed with crude oil before it was led into the settling tank. Effectiveness of settling was measured for these samples under the various temperature and heating conditions shown in Table 3.1. The diagrammatic sketch of the test equipment is shown in Fig. 3.1.

1. 2 Characteristic and endurance test for various types of oil burning pump to ascertain their adaptability for crude oil.

Three types of pump, i. e. gear pump, screw pump and plunger pump, were tested. These pumps were operated for about 1,000 hours in total under the delivery pressure of 20 kg/cm<sup>2</sup>, 40 kg/cm<sup>2</sup> and 60 kg/cm<sup>2</sup>, and wearing condition was inspected. Meanwhile cavitation characteristics were investigated varying temperature of oil and suction head.

The schedule and the condition of the above tests were shown in Table 4.1 and 4.2.

1. 3 Experiment for separation of light fraction contained in crude oil by experimental simple distilling plant.

Present ship's regulation codes have some limitations for the flash point of fuel oil to be led into the engine room, and generally crude oil does not conform

to the above limitations unless some measures or treatments are applied in order to raise a flash point.

The test plant is of vacuum distillation type with electric preheater and water ejector, having the capacity of about 500 l/hr under the vacuum of 500mmHg, the diagram of which is shown in Fig. 5.1.

Required preheating temperature, rate of vacuum, amount of separated light fraction, flash point of residual oil and other data were measured for the every operatng condition shown in Table 5.1.

1. 4 Actual firing test in an experimental furnace to observe combustion characteristics of crude oil comparing with heavy oil.

Prior to the firing test atomizing characteristics were checked about the various types of atomizers to be used by means of an observation tank shown in Fig. 6.3, under the conditions as shown in Table 6.2.

Diagram of the firing test equipment and sectional view of the furnace are shown in Fig. 6.1 and Fig. 6.2 respectively. Fig. 6.5, Fig. 6.6 and Fig. 6.7 show the type of burners and atomizers used.

Characteristics of crude oil and heavy oil are shown in Table 6.1 and Fig. 6.8, 6.9.

The firing tests were carried out for the above burners under the various conditions shown in Table 6.3, comparing crude oil with heavy oil. In addition to the above, combustion stability was checked when the considerable amount of water was mixed with crude oil, injected by the apparatus shown in Fig. 6.4, and also when a sudden change of oil pressure occurred.

## 2. Test Results

2. 1 Settling tank test

The effectiveness of settling can be expressed by the "Rate of remains", which means as follows ;

$$\text{Rate of remains } (\eta_r) = \frac{\text{amount of water remaining after settling}}{\text{amount of water mixed before settling}}$$

Test results are summarized in Table 3.2, 3.3, and Fig. 3.3 to 3.11.

2. 2 Pump operation test

Table 4.3 and Table 4.4 are the summary of the results of the endurance test and cavitation test respectively.

Measurements of main wearing parts during and after endurance run are shown in Table 4.6 to 4.8.

2. 3 Distilling test

Measurements for the every operating condition are indicated in Table 5.4-1

and 5.4-2, and also plotted in Fig. 5.2, 5.3.

Characteristics of residual oil after removing light fraction is described in Table 5.6.

From the abovementioned results the required vacuum and preheating temperature to raise a flash point of residual oil up to 65.5°C are listed in Table 5.5 and plotted in Fig. 5.4 with the yield rates of heavy and light fractions.

#### 2. 4 Atomizing and firing test

Oil flow characteristics of every atomizer for crude oil and heavy oil are plotted in Fig. 6.10, 6.11, and 6.12. Discharge coefficient of mechanical atomizer and steam consumption for steam atomizer etc. are shown in Fig. 6.19 to 6.26 for reference.

As for the combustion characteristics following items were investigated and measured.

- a) Minimum excess air rate to get clear smokeless combustion. Fig. 6.13
- b) Flame length. Fig. 6.14
- c) Amount of residue sticked on the surface of the water-cooled probe mounted inside the furnace Fig. 6.15, 6.16
- d) Distribution of flame temperature. Fig. 6.18
- e) Gas temperature leaving furnace. Fig. 6.17

As the stability test it was observed that the flame of the crude oil seems to be as stable as that of the heavy oil under the given disturbances of draft and oil pressure. The flame was sufficiently stable even when 20% of water were mixed in the crude oil just before entering the atomizers.

#### 2. 5 Safety

As known already, crude oil is available for boilers as fuel. However, it has not become popular in practice on accounting the hazard of flammability by its gasified disposition. Accordingly, the authors carried out extended works for the hazard evalution in the case of using crude oil in practice and for the means of burning crude oil safely. As the results, the density of flammable gases leaked from the fuel piping was less than expectation even in the vicinity of boilers.

### 3. Conclusion

As a result of the above tests and experiments, we came to the following conclusion.

Crude oil can be burnt directly in boilers practically and rather easily compared with heavy oil.

Conventional heavy oil burners of various types can be used for crude oil without any essential modification. Three kinds of oil burning pumps tested are sufficiently applicable for handling crude oil, although screw pump is most preferable, if they are designed

with some consideration as to low viscosity and high volatility of crude oil.

As for the safety, it is reported that the concentration of the combustible gas reaches its lower inflammability limit just in small height of range above the oil surface. Moreover this gas mixture can be scavenged rapidly by the ventilation. So the utilization of crude oil is not so dangerous as expected, if some suitable ventilation system for engine room and/or local scavenging system around the oil handling equipments are applied.

Flash point can be raised up to the required temperature ( $65.5^{\circ}\text{C}$ ) conforming to the regulation code, by means of simple distilling plant, which may be installed in pump room of an actual tanker. In this case, no special consideration will be necessary for the design of pipings and other burning equipments in the conventional engine room.

# 目 次

1. 緒 言.....	1
2. 試験研究の目的.....	2
2.1 セットリング効果試験.....	2
2.2 噴燃ポンプの適性試験.....	2
2.3 原油引火点上昇のための蒸溜塔の試作ならびに試験.....	2
2.4 原油燃焼試験.....	2
3. セットリング効果試験.....	3
3.1 試験装置.....	3
3.2 試験方法.....	4
3.2.1 試験項目.....	4
3.2.2 試験油の調製方法（水の混入方法）.....	4
3.2.3 加熱方法および保持時間.....	4
3.2.4 試料採取ならびに分析方法.....	4
3.3 試験結果.....	5
3.3.1 使用した原油の性状.....	5
3.3.2 セットリング効果の判定.....	5
3.3.3 計測結果.....	6
3.4 試験結果に対する考察.....	7
3.4.1 種々の条件の変化がセットリング効果におよぼす影響.....	7
3.4.2 原油生焚の場合のセットリングの必要性.....	7
4. 噴燃ポンプの適性試験.....	9
4.1 供試ポンプ.....	9
4.1.1 ギヤ式ポンプ.....	9
4.1.2 ネジ式ポンプ.....	9
4.1.3 ピストン式ポンプ.....	10
4.2 試験装置.....	11
4.3 試験方法.....	11
4.3.1 耐久試験.....	11
4.3.2 キャビテーション試験.....	12
4.4 試験結果.....	12
4.4.1 試験経過.....	12
4.4.2 耐久試験計測結果.....	14
4.4.3 キャビテーション試験計測結果.....	14
4.4.4 開放検査記録.....	15

4.5 試験結果に対する考察	17
4.5.1 摩耗	17
4.5.2 原油中の軽質分がポンプの性能におよぼす影響	18
4.5.3 軸封装置よりの油の漏洩量	18
4.5.4 容積効率	19
4.5.5 各型式ポンプの原油に対する適性	19
5. 試作蒸溜装置による原油引火点上昇試験	20
5.1 試験装置	20
5.2 試験方法	20
5.2.1 試験項目	20
5.2.2 計測およびサンプリングの方法	21
5.2.3 腐食試験	21
5.3 試験結果	21
5.3.1 供試原油の性状	21
5.3.2 各試験項目に対する計測結果	22
5.3.3 各真空度に対する残査油引火点と収率の関係	24
5.3.4 残査油の性状	25
5.3.5 腐食試験片計測結果	25
5.4 試験結果に対する考察	27
5.4.1 引火点 65.5°C 以上を得るための条件	27
5.4.2 蒸溜装置を実船に採用する場合の問題点	28
6. 燃焼試験	29
6.1 試験装置	29
6.1.1 燃焼試験炉	29
6.1.2 供試バーナ	29
6.1.3 供試燃料	32
6.2 試験方法	33
6.2.1 噴射試験	33
6.2.2 燃焼試験	33
6.3 試験結果	36
6.3.1 噴射試験	36
6.3.2 燃焼試験	38
6.3.3 燃焼安定性試験	41
6.4 試験結果に対する考察	41
6.4.1 噴射量特性	41
6.4.2 噴霧角特性	45
6.4.3 燃焼性	46

6.4.4 伝熱特性	47
6.4.5 燃焼安定性	48
6.4.6 その他の	49
7. 安全性試験	50
7.1 試験方法	50
7.1.1 供試原油	50
7.1.2 試験装置	50
7.1.3 計測器具	52
7.1.4 試験の種類	52
7.2 試験結果	53
7.2.1 原油のガス発生量	53
7.2.2 原油の漏洩とガス濃度分布	54
7.2.3 原油の噴出とガス濃度分布	56
7.2.4 原油の着火、燃焼試験	60
7.2.5 金網による着火防止の効果	60
7.2.6 タンク内の原油量とガス濃度分布	62
7.3 試験結果の考察	62
8. 結　　論	63

## 第 1 章 緒 言

最近船舶の運航経済性を高めるため種々の研究が行なわれているが、油送船において燃料として従来使用されている重油のかわりに安価な原油をそのまま用いることができれば運航費のうち大なる部分を占める燃料費を大幅に節減できて経済性向上に寄与するところ大である。

陸上の発電所ではすでに実験段階を経て実用に入ろうとしており原油燃焼の可能なことは判明しているが、これを船用に応用するに際してはさらに各機器の耐久性・装置の安全性等につき慎重を期し、また船用としての条件に合致する必要がある。本試験研究は船用としての特殊性に重点を置き実験を行なったものである。

## 第 2 章 試験研究の目的

本試験研究の目的は燃料系統に付属する諸機器の原油に対する適性ならびに性能を確め、種類構造等の選定に必要な資料を得ることであり、第1年度には下記項目 2.1～2.3 について試験を行ない、さらに第2年度として項目 2.4 を実施しバーナおよび実際燃焼上の諸問題の解明を行なった。

### 2. 1 セットリング効果試験

原油は貯蔵中および輸送中に泥水分の混入するおそれがあり、これが燃焼を不安定にしたり、機器の腐食等の悪影響をおよぼす可能性が考えられるので、これら水分をセットリングタンクのごとき簡単な方法で取除くことの可否を調査し、もし可能の場合はいかなる条件にすれば最も効果があるかを研究する。

### 2. 2 噴燃ポンプの適性試験

原油を燃料油として用いた場合、含有する軽質分のための自己潤滑性の低下・スラッジ等固体異物による障害によるポンプの耐久性ならびに低沸点成分の存在によるベーパロックの発生にもとづくポンプ性能の低下等が問題点として考えられる。これらの問題を解明するため、実機にて諸種の作動条件にて耐久運転を施行し、その結果から噴燃ポンプの型式・構造・使用条件等の選定に必要な資料を得るのを目的とする。

### 2. 3 原油引火点上昇のための蒸溜塔の試作ならびに試験

舶用ボイラに使用する燃料に関しては、現行の A.B.S., Lloyd および日本海事協会の規定においてそれぞれ引火点について制限が設けられており、原油は通常著しく引火点が低いのでそのままでは上記規定に合致せず使用することは許されない。

したがってこれ等規定を満足するためには、原油中に含まれる軽質分を取除く装置を船内に設け引火点を上昇せしめる必要がある。この装置は陸上石油精製プラントの蒸溜装置と同様なものとなるが、舶用としての適性と大きさを備えることが必要である。

本試験の目的は上記条件を満足する船用蒸溜装置を試作し種々の条件で運転を行ない、本装置設計に対する資料を得ることである。

### 2. 4 原油燃焼試験

原油を舶用ボイラ燃料として使用する場合の燃焼上の問題点は、原油が重油に比し多量の軽質分を含み性状が千差万別である上、水泥分の混入をも考慮する必要があり、かつ陸上の場合に比し一層の安全性が要求されることにある。本試験は、各種型式バーナおよび各種原油について噴射試験、燃焼試験を実施し、上記のごとき舶用としての特殊性に対し信頼性の高いバーナ型式の選定ならびにバーナ計画上の資料を得ると同時に、燃焼性、燃焼安定性、伝熱特性等を把握するためにC重油との比較試験を行なうものである。

### 第3章 セッティング効果試験

#### 3.1 試験装置

本試験装置は Fig. 3.1 および Fig. 3.2 に示すとおりである。

装置内の各タンクは日本造船研究協会第53研究部会“燃料清浄系統の性能の研究”昭和36年度試験研究（以下 SR53 と略称する）に使用した既存設備を一部改造して流用した。

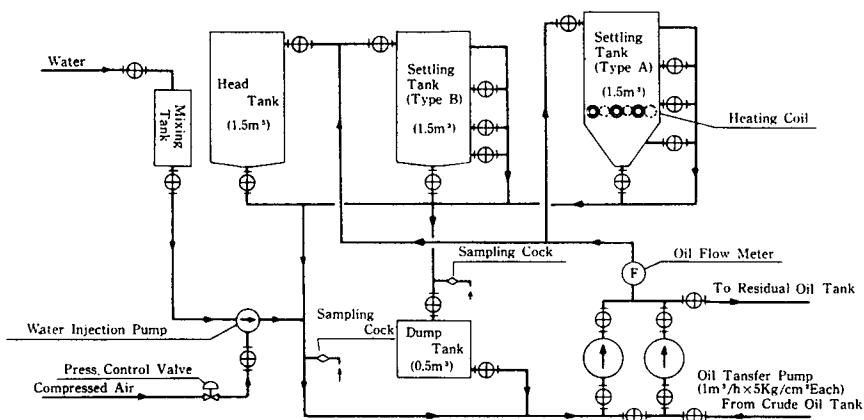
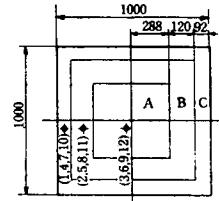
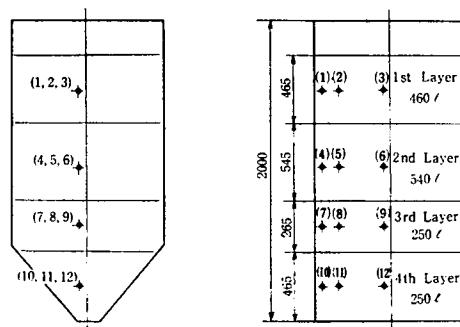


Fig. 3.1 Diagram for Settling Test Equipment



Settling Tank Type A



Settling Tank Type A

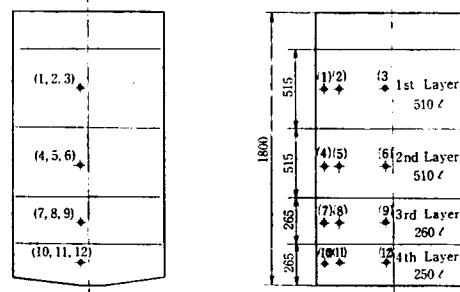


Fig. 3.2 Sampling Points for Settling Test

### 3. 2 試験方法

#### 3.2.1 試験項目

試験は次の項目を設定して行ない、相互に比較することとした。

Table 3.1 Schedule for Settling Test

Test No.	Water Content	Heating Condition & Temp.	Kind of Crude Oil
1		30°C	Wafra
2		No Heating	Gachsarahn
3		20°C	
4	2%	20°C	
5		40°C	Wafra
6		Heating with Electric Heater	60°C
7	10%	No Heating	60°C
			Gachsarahn
			Wafra

a) 原油の種類(アスファルト含有量)の影響は次の組合せで調べる。

- (i) 非加熱の場合 Test No. 2/Test No. 3
- (ii) 加熱した場合 Test No. 5/Test No. 6

b) 加熱条件(非加熱と加熱)の影響は次の組合せで調べる。

- (i) ワフラ原油の場合 Test No. 3/Test No. 5
- (ii) ガツチサラン原油の場合 Test No. 2/Test No. 6

c) 温度の影響は次の組合せで調べる。

- (i) 非加熱の場合 Test No. 1/Test No. 3
- (ii) 加熱した場合 Test No. 4/Test No. 5

d) 水分含有率の影響は次の組合せで調べる。

Test No. 3/Test No. 7

#### 3.2.2 試験油の調製方法(水の混入方法)

ヘッドタンクから移送ポンプでセッティングタンクに送油しながら移送ポンプの吸込側に水を送入する。注水ポンプは供給空気圧の調整で自由に送入量を変えられる圧縮空気駆動の歯車ポンプで送油時間中は常に一定の混入率を得るよう調整を行なった。

#### 3.2.3 加熱方法および保持時間

セッティングタンクの加熱用としては 2.5 kW 電熱ヒータ 6 本を使用した。加熱方法はタンクに試験油を入れ終った時から通電し所定の温度まで最短時間で上昇せしめ、その後はサーモスタットで自動的に一定温度を保持する方法をとった。なお電熱ヒータの加熱管の表面温度は 140°C 以下にするため 1 watt/cm<sup>2</sup> の電力負荷としてある。

またセッティング時間はすべて 6 時間として試験を行なった。

#### 3.2.4 試料採取ならびに分析方法

S R 53 試料採取ならびに分析方法のセッティング効果試験の結果よりその効果判定のサンプル採取方法の適否が問題となった経過があるので、これには慎重を期すべく予備試験を行ない、セッティング効果の判定のための試料採取方法を次のごとく定めた。

セッティングタンクを Fig. 3.2 のごとく縦方向 6 層に分割し、その各層の 1 点（その 1 点は縦方向にはその層を 2 等分する）から内径 6 mm の銅管によりタンク外へ最低 150cc を基準として抽出を行なうこととした。

なお抽出した各サンプルは十分攪拌混合して水分分析を行なった。

### 3. 3 試験結果

#### 3.3.1 使用した原油の性状

試験に使用した原油の性状は Table 5.3 のごとくである。

#### 3.3.2 セッティング効果の判定方法

セッティング効果を表わす数値として、セッティングタンクの各層についてセットル前の水分含有率とセットル後の水分含有率との比をみるとことによりタンク各層の試験油の水分の増減が表わされることになる。この比率をセッティングの目的から

$$\text{残留率} (\eta_r) = \frac{\text{セットル後の試験油の水分含有率}}{\text{セットル前の試験油の水分含有率}}$$

と定義する。すなわち残留率が小なるほどセッティング効果が大きいとするのが適當である。

この場合セッティング前の水分含有率としては、タンク各層ごとの水分率をとるべきか、タンク内全体の平均値をとるべきかが問題となるが、実際の試験では混合水を均一に入れることは非常に困難

Table 3.2 Measurement for Settling Test

Test No.		1	2	3	4	5	6	7
Kind of Crude Oil		Wafra	Gach.	Wafra		Gach.	Wafra	
Oil Quantity	l	1463	1462	1464	1464	1460	1465	1390
Water Quantity	l	35	38	37	40	43	35	150
Water Content	%	2.34	2.53	2.46	2.73	2.86	2.33	9.75
Heating Condition %		No Heating			Heating			
Oil Temp.	°C	31	18	23	40	60	60	19
Remaining Water Content	1st Layer %	0.8 0.34	0.9 0.36	1.2 0.49	1.4 0.51	1.2 0.42	1.1 0.47	5.4 0.55
	2nd Layer %	0.8 0.34	1.0 0.40	1.6 0.65	1.8 0.66	1.6 0.56	1.1 0.47	7.0 0.72
	3rd Layer %	1.2 0.51	1.3 0.51	2.0 0.81	2.2 0.81	2.0 0.70	1.6 0.69	8.2 0.84
	4th Layer %	1.1 0.47	1.6 0.63	2.0 0.81	2.6 0.95	2.0 0.70	1.8 0.77	8.2 0.84
	5th Layer %	1.5 0.64	1.8 0.71	2.0 0.81	2.6 0.95	2.0 0.70	1.9 0.82	8.8 0.90
	6th Layer %	89.0 38.0	70.0 27.7	89.0 36.2	90.0 33.0		66.0 28.3	76.0 78.0

であり、セットル前の水分含有率は各層ごとにかなり異なる場合が多いので平均値ではなく、各層ごとの水分含有率によることにした。

### 3.3.3 計測結果

前記3.2.1試験項目に従い実施した試験の計測結果は Table 3.2, Table 3.3 および Fig. 3.2 より Fig. 3.11 に示すとおりである。

Table 3.3 Variation of  $\eta_r$  with Time

Sampling Point	Settling Time	after 3hr	after 6hr	after 12hr
1st Layer		0.68	0.55	0.53
2nd Layer		0.62	0.72	0.72
4th Layer		0.88	0.84	0.82
5th Layer		0.98	1.02	1.07
6th Layer		6.33	7.80	7.20

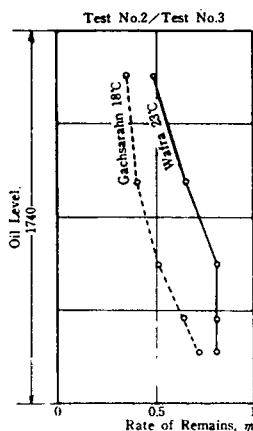


Fig. 3.3 Effect due to the Kind of Oil (No Heating)

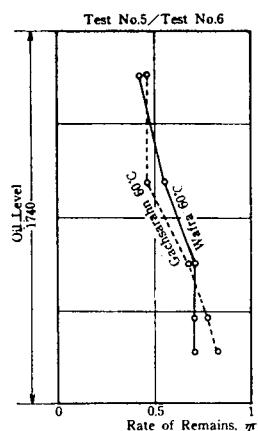


Fig. 3.4 Effect due to the Kind of Oil (with Heating)

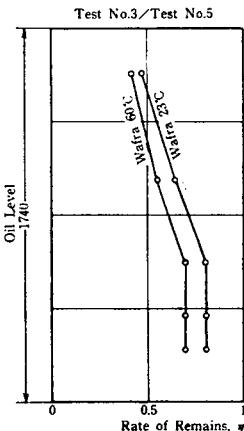


Fig. 3.5 Effect due to Heating (Wafra)

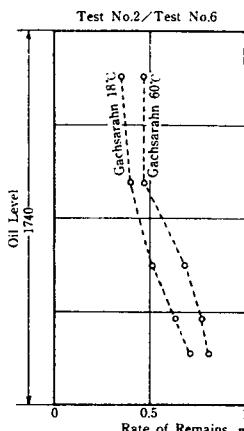


Fig. 3.6 Effect due to Heating (Gach.)

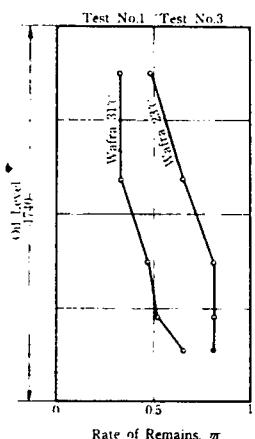


Fig. 3.7 Effect due to Temp. (No Heating)

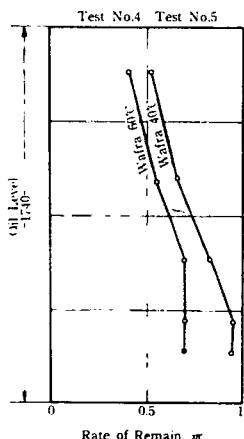


Fig. 3.8 Effect due to Temp. (Heating)

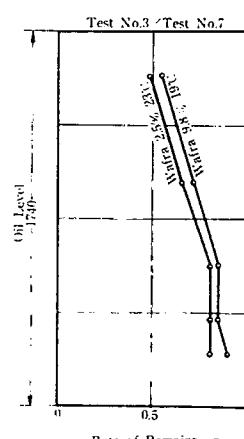


Fig. 3.9 Effect due to Water Content (without Heating)

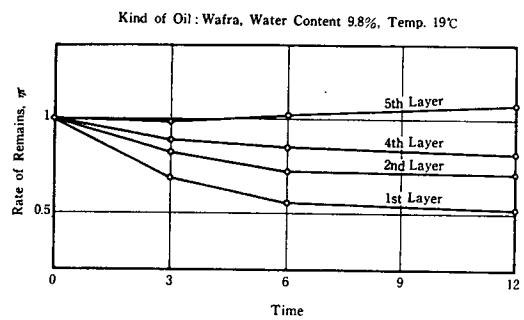


Fig. 3.10 Variation of  $\eta_r$  with Time

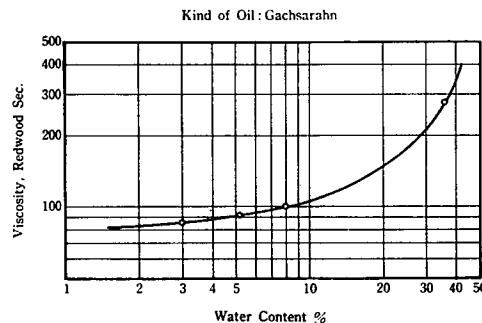


Fig. 3.11 Water Content vs. Viscosity

### 3. 4 試験結果に対する考察

#### 3.4.1 原油生焚の場合のセッティングの必要性

セッティングによる上層部の含有水分の減少割合・すなわち残留率  $\eta_r$  は本試験の範囲、すなわち初期含水率 2—2.5%で時間を 6 時間とした場合 0.34—0.47 という値を示している。

いいかえればセッティングにより含有水分は最初の1/3—1/2程度にまでしか減少しないことがわかる。また含水率を上げても時間を延長しても残留率は余り変わらないことを示している。

ただし、この値は本試験に採用したような注水方法、したがって、この状態によって定まる粒度分布におけるものであって他の混入方法および粒度分布を与えた場合にはどうなるか不明である。

以上のごとく本試験による結果は極く限られた条件に対するものであり、また原油を燃料として使用する場合許容される水分含有率がいかほどか不明の現在ではセッティングが必要か否かを論ずることはできない。ただ通常船内における原油燃焼系統中には原油を一時貯えるタンクがあるので、これにセッティング効果を持たせることは容易にできるので、この場合どの程度の効果を期待し得るかを推定する一つの資料になると考える。

#### 3.4.2 種々の条件の変化がセッティング効果におよぼす影響

前項に述べたごとくセッティングが不純分除去に有効か否かは現在のところ論ずることはできないがセッティングタンクを採用した場合、種々の条件がセッティング効果にいかに影響するかは本試験結果より定性的に推論することができる。

##### a) 原油の種類（含有軽質分の多少）による影響

通常軽質油の方が重質油よりセッティング効果がよいと考えられるが、本試験においても Test No. 2/3 のごとく同様の傾向があらわれている。しかし加熱した場合は Test No. 5/6 のようにはっきりこの差があらわれない。

これは後述の加熱による影響が加わったためであろう。

##### b) セッティングタンクにヒータを入れ加熱した場合

この場合加熱することが必ずしも有利ではない。例えば Test No. 2/6 のごとくかえって加熱した方が効果が悪くなっている。これは温度の上昇による粘度の低下および水粒子と油の比重差の増大による利益が加熱による対流および軽質分の気泡化による粒子の浮上の悪影響により阻害され

るからと推察される。

c) セットリングタンクに入れる前に加熱した場合

セットリングタンク内で加熱することがあまり有利でないかまたは否定的に作用するのに対し、Test No. 1/3 のようにあらかじめ温度の高い油をタンクに入れた場合には前項の対流等の悪影響がないため、セットリングにとって有利な条件となる。

d) 水分の量による影響

水分含有率が多くなっても残留率はあまり変化しない。

これは水の混入方法が同じために粒度分布が変らず、一定の粒度以下のものは沈降しないためと推察される。

e) 時間の影響

Fig. 3.10 に示すように残留率はほぼ 6 時間程度で飽和してそれ以上時間をかけても効果はあまり変わらない。

## 第4章 ポンプの適性試験

### 4.1 供試ポンプ

本試験に供する試験用ポンプは次記の3種とした。ポンプ吐出容量は $1\sim2\text{ m}^3/\text{h}$ 、吐出圧力は舶用ボイラの広範囲自動燃焼制御を考慮して最高 $60\text{ kg/cm}^2\text{g}$ を目標とし、現在までに十分実績を有するものをさらに原油使用のための必要条件を加味して研究改善するようポンプ製造者に製作を依頼した。

なおポンプ製造者が製作したポンプ要目および原油使用のため考慮した点は次のとくである。

#### 4.1.1 ギヤ式ポンプ

##### a) ポンプ要目

型 式	電動横型ギヤ式（新興 HGI-25 型）
吐 出 圧 力	$20\sim60\text{ kg/cm}^2\text{g}$
吐 出 量	$1.2\text{ m}^3/\text{h}$
理 論 吐 出 量	$3.5\text{ m}^3/\text{h}$ (970 rpm)
回 転 数	970 rpm
製 造 所 名	株式会社 新興金属工業所

##### b) 製作に際し考慮した点

- (i) 低粘度・小容量・高圧のため内部漏洩による容積効率低下を警戒し、各部間隙について特に留意し従来の同型ポンプより小さく取った。
- (ii) 吐出圧力が高いため、軸受荷重が大きくなるので歯車の外径に比較し、歯巾を少なくして荷重の軽減に努めた。
- (iii) 歯車および軸は、焼入硬化し歯面受圧力の上昇と原油中のスラリー等による損傷を防止するように計画した。
- (iv) 軸受メタルにはカーボンベアリングを採用し原油の非潤滑性・スラリー等による損傷に対処した。
- (v) 原油中のスラリー等による摩減を考慮しウエアリングプレート（サイドメタル）を装備し、サイドクリアランス調整をなし得る構造とした。またウエアリングプレートには熱伝導性が高く、耐摩耗性を有する鉛青銅を採用した。
- (vi) グランドパッキンはメタリックパッキン（ピラー 634）・セミメタリックパッキン（ピラー #669）を併用し、なおパッキンに高圧が作用せぬようパッキング中央にランタンリングを設けポンプ吸込側に戻す構造とした。

#### 4.1.2 ネジ式ポンプ

##### a) ポンプ要目

型 式	電動横型スクリュ式（小坂 GH-7-43 型）
-----	-------------------------

吐 出 圧 力	20~80 kg/cm <sup>2</sup> g
吐 出 量	2 m <sup>3</sup> /h
理 論 吐 出 量	3.72 m <sup>3</sup> /h (1,450 rpm にて)
回 転 数	1,450 rpm
製 造 所 名	株式会社 小坂研究所

b) 製作に際し考慮した点

- (i) 低粘度・高圧力のためネジの噛合い回数を増し従来の重油の場合にて 100 kg/cm<sup>2</sup> 以上の圧力を出しうる長さのものを使用した。なお高圧による変形の無理をなくすよう考慮し本体を低圧側と高圧側の 2 つに分けた構造として無理なく高圧を得るよう設計した。
- (ii) 低粘度・非潤滑性のためネジとスリープ間との摩耗が多くなる心配があり、特に軸受を有していない従ネジとスリープとの間の摩耗が強く考えられるので、これを避けるためスリープ内面を窒化加工し、従ネジの表面をコーティングにより硬化させて硬度を上げ摩耗防止を考慮した。
- (iii) 使用液温が高い場合には、粘度の低下による吐出量の低下と熱による変形が問題になる。この熱変形に対しては本体をできるだけ対称的な形状にし弯曲が生ぜず均等に伸びるよう計画した。また本体の固定を駆動側に近い個所で行ない反対方向に伸びを逃す構造とした。
- (iv) グランドシール部よりの漏洩に対してはオイルシールを使用し、その背圧をできるだけ下げるためポンプ吸込側に大きく戻す構造とした。

#### 4.1.3 ピストン式ポンプ

a) ポンプ要目

型 式	電動横型 2 連プランジャ型 (新興 HLS-2H 型)
吐 出 圧 力	60 kg/cm <sup>2</sup> g
吐 出 量	1 m <sup>3</sup> /h
理 論 吐 出 量	1.205 m <sup>3</sup> /h (90 rpm)
回 転 数	90 rpm
製 造 所 名	株式会社 新興金属工業所

b) 製作に際し考慮した点

- (i) ポンプ筒内のクッションボリュームを少なくしてポンプ回転数を従来の同型ポンプの約½とし、ピストンスピードを下げるよう計画した。
- (ii) プランジャは原油の非潤滑性およびスラリー等による摩耗を考慮し炭素鋼に表面焼入硬化加工を施した。
- (iii) グランドパッキンはメタリックパッキン (ピラー #634)・セミメタリックパッキン (ピラー #669) を併用し、なおパッキンに高圧が作用せぬようパッキング中央にランタンリングを設けポンプ吸込側に戻す構造とした。
- (iv) ポンプ吐出圧力の脈動を除去するために従来往復動ポンプ吐出側に設けられた空気室では高圧になると空気室容量が大きくなり実用的でないので、今回は経済的見地からも考えて圧力

調整装置としてベローズ・プラタ型アキュームレータを採用した。

## 4. 2 試験装置

本試験装置は Fig. 4.1 に示すとおりである。

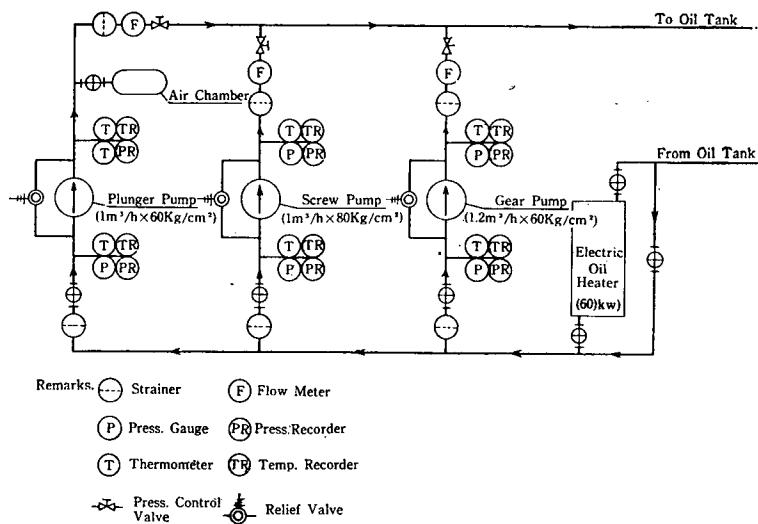


Fig. 4.1 Diagram for Pump Endurance Test Equipment

## 4. 3 試験方法

### 4.3.1 耐久試験

試験は前述の3種の試用ポンプを並列運転し、試験用原油を循環させ、次の項目に示すごとくポンプ吐出圧力を数段階に変え、各圧力段階ごとに所定の累計運転時間に到達したら開放検査を行なうことにした。合計運転時間は1,000時間を目指とした。

Table 4.1 Schedule for Endurance Test

Test No.	Pump Delivery Press.	Running Time	Oil Temp.	Kind of Oil
1	$20\text{ kg/cm}^2\text{g}$	40 hr	Ambient Temp.	Gachsarahn
2			Overhaul	
3	$40\text{ kg/cm}^2\text{g}$	120 hr	Ambient Temp.	Gachsarahn
4			Overhaul	
5	$60\text{ kg/cm}^2\text{g}$	60 hr	Ambient Temp.	Gachsarahn
6			Overhaul	
7	$60\text{ kg/cm}^2\text{g}$	760 hr	Ambient Temp.	Gachsarahn & Wafra
8			Overhaul	

Remarks, (a) Setting of Delivery Press.

Delivery pressure of the pumps were set by adjusting the valves fitted at the outlet of the oil flow meter for each pump delivery.

(b) Overhaul

At each interval of running the pumps were stopped and overhauled, measuring the dimensions of main parts to examine wearing.

#### 4.3.2 キャビテーション試験

原油は重油に比較して蒸気圧の高い軽質分を含んでいるため、ポンプ吸入側での気泡の発生が起り易いと考えられるので各試用ポンプの吸込圧力および油温を変化させてポンプの性能低下、すなわちキャビテーションの発生条件を調べた。

##### (a) キャビテーション発生条件

各試用ポンプ吸込油管系統中に設けられた電熱式油加熱器により油温を右表に示すことなく設定し、各油の温度について吸込弁を徐々に絞り吸込圧力を下げキャビテーションを発生させ、その点の吸込圧力を求めた。

##### (b) キャビテーション

各試用ポンプ吸込圧力の低下によって気泡が発生しキャビテーションを起した場合に表われる特徴は騒音・振動・圧力低下および圧力変動ならびに吐出量の減少である。

従って騒音の変化・振動の増加吐出圧力の変動および吐出量の変化によってキャビテーションの発生を判断した。

### 4.4 試験結果

#### 4.4.1 試験経過

本試験の経過は Fig. 4.2 に示すごとくである。Test No. 4 開放検査は Test No. 2 開放検査の結果から省略した。

また Test No. 6 は Test No. 5 設定圧力  $60 \text{ kg/cm}^2$  試験の運転時間を70時間に延長した後に行った。なお耐久試験の途中数回にわたってキャビテーション試験を行なった。

試験において不具合であったことは

(a) ギヤ式ポンプにおいて運転開始後間もなく配管のフラッシング不十分から固形異物が歯車に噛み、歯形が変形し歯車の歯巾が大きくなり、そのためポンプのウェアリングプレート

Table 4.2 Schedule for Pump Cavitation Test

Test No.	Kind of Oil	Oil Temp.	Ambient Temp.
			20°C
9	Gachsarahn	50°C	50°C
		80°C	80°C
10	Wafra	Ambient Temp.	20°C
			50°C
			80°C

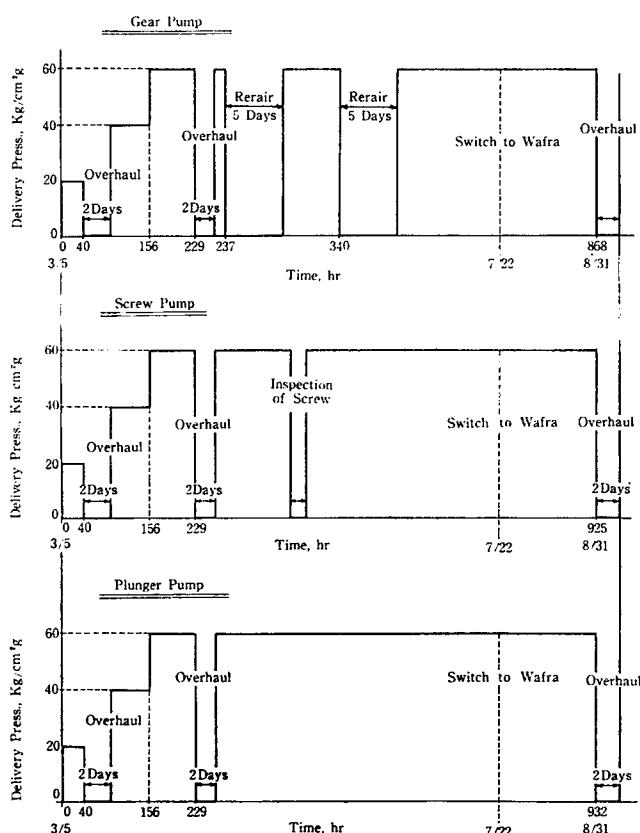


Fig. 4.2 Process of Pump Endurance Test

Table 4.3 Measurements for Endurance Test

Test No.	Date	Kind of Oil	Gachsarahn						Wafran					
			Mar. 7-63	Mar. 22-62	April 4-63	May 9-63	June 4-63	June 27-63	July 13-63	July 20-63	July 23-63	Aug. 13-63	Aug. 13-63	Sept. 6-63
Delivery Press.	kg/cm <sup>2</sup> g	20	40	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Suction Press.	kg/cm <sup>2</sup> g	0.15	0.15	0.16	0.07	0.05	0.01	0	0	0.06	0.43	0.03	0.03	20 mmHg
Oil Temp.	°C	9	15	20	30	27	40	49	41	43	53	38	38	29
Oil Flow	m <sup>3</sup> /h	3.02	2.32	1.67	0.878	2.4	2.32	2.40	2.52	2.48	2.25	2.60	2.60	3.07
Motor Current	A	19.5	21	26	26	27	26	26	26	26	27	27	27	28
Running Time	Hr	20	90	160	250	370	520	607	637	650	752	866	866	868
Delivery Press.	kg/cm <sup>2</sup> g	20	40	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Suction Press.	kg/cm <sup>2</sup> g	0.14	0.15	0.16	0.07	0.07	0.01	0.01	0	0.02	0.04	0.01	0.01	20 mmHg
Oil Temp.	°C	9	15	20	30	27	40	40	41	43	53	58	58	29
Oil Flow	m <sup>3</sup> /h	3.00	2.25	1.55	1.042	1.162	0.81	0.70	1.31	1.055	0.690	1.60	1.60	2.05
Motor Current	A	26.5	27	31	28	27	28	30	29	29	29	29	29	28
Running Time	Hr	20	90	160	285	425	575	664	694	707	809	923	923	925
Delivery Press.	kg/cm <sup>2</sup> g	20	40	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Suction Press.	kg/cm <sup>2</sup> g	0.16	0.18	0.20	0.10	0.10	0.01	20 mmHg	0	0.04	0	0.03	0.03	20 mmHg
Oil Temp.	°C	9	15	20	30	27	40	40	41	43	53	58	58	29
Oil Flow	m <sup>3</sup> /h	1.24	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.195	1.20	1.184	1.192	1.192	1.185
Motor Current	A	10.2	10.5	15	13	12	12.5	13	12.5	12.5	13	13	13	12.5
Running Time	Hr	20	90	160	285	425	575	671	701	714	816	930	930	932
Voltage	V	220	215	220	215	210	210	212	210	215	215	215	215	212
Ambient Temp.	°C	9	12	19					30	25	29	35	25	26

Remarks 1. The kind of oil was changed from Gachsarahn to Wafran on 22nd July.  
 2. Date for Test No. 8 was measured after the final overhaul.

(サイドメタル) が相当量摩耗したために試験の途中でプレートの補修加工を行なったので、ポンプの性能に大きな影響を与えるウェアリングプレートの摩耗試験を完全に行ない得なかった。

(b) ネジ式ポンプの安全弁のねが折損していることを Test No. 8 開放検査時に発見した。従って試験途中におけるネジ式ポンプの吐出量の計測値は多少の誤差があると考えねばならない。

(c) 各試用ポンプ吸込側油温度を常温状態で行なったため大気温度の変化に従いポンプ吐出量が変動を生じた。

#### 4.4.2 耐久試験計測結果

耐久試験の計測結果について全部の計測結果を示すのは大量になるので代表的な計測結果を選んで Table 4.3 に示す。

#### 4.4.3 キャビテーション試験計測結果

耐久試験の途中にて数回にわたり行なったキャビテーション試験の計測結果は Table 4.4 に示すごとくである。なおピストン式ポンプはキャビテーションの現象が明瞭に表われず判定し難いので計測を行なっていない。

Table 4.4 Results of Cavitation Test

Test No.	Kind of Oil	Gear Pump				Screw Pump				
		Oil Temp. °C	Initial Delivery Press. kg/cm <sup>2</sup> g	Condition when Cavitation Occurred Delivery Press. kg/cm <sup>2</sup> g	Suction Press. mmHg	Oil Temp. °C	Initial Delivery Press. kg/cm <sup>2</sup> g	Condition when Cavitation Occurred Delivery Press. kg/cm <sup>2</sup> g	Suction Press. mmHg	
9	Gachsaahn	4	20	19.5	420	4	20	19.5	530	
			10	9.5	440		10	9.5	440	
			20	19.5	430		20	19.5	440	
		38	30	29	430	38	30	29	470	
			40	39	430		40	39	450	
			50	49	430		50	49	450	
			60	59	430		60	59	450	
		40	40	39	400	40	40	39	430	
			10				10	9.5	250	
			20				20	19.5	340	
10	Wafra	53	30	Cavitation occurred under zero suction		53	30	29	370	
			40				40	39	380	
			50				50	49	360	
			60				60	59	320	
		42	20	19.5	470	20	19.5	470		
			40	39	470		40	39	480	
			60	59	470		60	59	470	
			20	19.5	50		20	19.5	250	
		59	40	39	210	63	40	39	270	
			60	59	220		60	59	280	

Table 4.5 Measurements of Noise

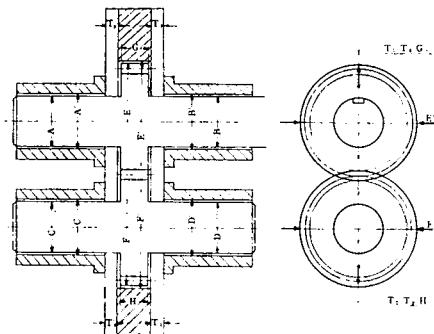
Dete Aug. 30, 63 Kind of Oil Wafra  
 Atmospheric Temp 27.6°C Oil Temp. 42°C

Del. Press	20 kg/cm <sup>2</sup> g	40 kg/cm <sup>2</sup> g	60 kg/cm <sup>2</sup> g
Kind of Pump			
Gear Pump	87 phon	89 phon	87 phon
Screw Pump	77 phon	76.5 phon	77 phon
Plunger Pump	91 phon	94 phon	96 phon

#### 4.4.4 開放検査記録

耐久試験項目中の開放検査を行なった際の記録は Table 4.6 から Table 4.8 までに示すとくである。

Table 4.6 Results of Overhauling for Gear Pump



Measuring Points	Gear O.D.		Casing I.D.		Gear Teeth Width	
	E	F	E'	F'	G	H
Dimension Designed (mm)		92φ		92φ		27
Deviation before Test (mm)	+0.185	+0.185	+0.045	+0.030	-0.025	-0.035
Test No.	Date	Atmos. temp.				
2	Mar. 11-63	5°C	+0.185	+0.190	+0.045	+0.030
6	April 16-63	16°C	+0.185	+0.190	+0.045	+0.030
8	Sept. 2-63	28°C	+0.190	+0.195	+0.030	+0.030

Wearing Plate Thickness	Driving Gear Shaft Dia.		Following Gear Shaft Dia.		Driving Gear Bearing I.D.		Following Gear Bearing I.D.					
	T <sub>1</sub> (上)	T <sub>1</sub> '(下)	T <sub>2</sub> (上)	T <sub>2</sub> '(下)	A	B	C	D	A'	B'	C'	D'
10					40φ		40φ		40φ		40φ	
+0.015			+0.010	0	0	0	0	0	+0.020	+0.020	+0.025	+0.020
-0.030	+0.020	-0.040	+0.020	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	+0.050	+0.040	+0.070	+0.045
-0.030	+0.020	+0.040	+0.015	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	+0.055	+0.045	+0.070	+0.060
-0.050	-0.050	-0.370	-0.370	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.015	+0.065	+0.050	+0.075	+0.070

Table 4.7 Results of Overhauling  
for Screw Pump



Measuring Points			Main Screw Major Dia.				Main Screw Sleeve I.D.			
	A	B	C	D	A'	B'	C'	D'		
Dimensions Designed (mm)	41.275 $\phi$						41.275 $\phi$			
Deviation before Test (mm)	-0.085	-0.085	-0.085	-0.085	+0.040	+0.025	+0.020	+0.020		
Test No.	Date	Atm. Temp.								
2	Mar. 11-63	5°C	-0.080	-0.075	-0.070	-0.070	+0.045	+0.025	+0.030	+0.020
6	Apr. 16-63	16°C	-0.080	-0.075	-0.070	-0.070	+0.045	+0.030	+0.030	+0.025
8	Sept. 2-63	28°C	-0.085	-0.085	-0.085	-0.075	+0.040	+0.030	+0.030	+0.030
Following Screw Minor Dia.			Main Screw Bearing Shaft Dia.				Main Screw Bearing I.D.			
a	b	c	d	E	F	E'	F'			
24.765 $\phi$						32 $\phi$	19 $\phi$	32 $\phi$	19 $\phi$	
+0.010	+0.015	+0.015	+0.010	-0.035	-0.245	+0.020	+0.021			
+0.015	-0.005	+0.010	+0.005	-0.030	-0.250	+0.040	-0.170			
+0.010	-0.005	+0.005	+0.005	-0.030	-0.250	+0.040	-0.170			
+0.015	-0.005	0	+0.005	-0.030	-0.250	+0.050	-0.150			
Following Screw Major Dia.			Following Screw Sleeve Hole I.D.				Following Screw Lead Width			
1 A	1 B	3 C	3 D	1 A'	1 B'	3 C'	3 D'	1 A	3 D	
24.765 $\phi$						24.765 $\phi$				
-0.010	-0.015	-0.020	-0.025	+0.040	+0.030	+0.015	+0.025	13.26	13.36	
0	-0.010	-0.020	-0.030	+0.040	+0.030	+0.020	+0.010	13.10	13.17	
0	-0.010	-0.025	-0.030	+0.040	+0.030	+0.020	+0.015	13.10	13.15	
0	-0.030	-0.025	-0.035	+0.040	+0.035	+0.025	+0.020	13.09	13.15	
Following Screw Major Dia.			Following Screw Sleeve Hole I.D.				Following Screw Lead Width			
2 A	2 B	4 C	4 D	2 A'	2 B'	4 C'	4 D'	2 A	4 D	
24.765 $\phi$						24.765 $\phi$				
-0.025	-0.015	-0.025	-0.030	+0.040	+0.035	+0.025	+0.025	13.36	13.33	
-0.030	-0.015	-0.025	-0.040	+0.035	+0.035	+0.020	+0.020	13.17	13.10	
-0.030	-0.020	-0.030	-0.040	+0.040	+0.035	+0.020	+0.020	13.15	13.10	
-0.035	-0.030	-0.030	-0.045	+0.040	+0.040	+0.030	+0.030	13.15	13.10	

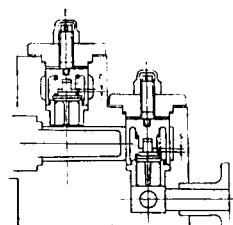
Table 4.8 Results of Overhauling for Plunger Pump



Measuring Points	Plunger O.D. (Left)				
	A	B	C	D	E
Dimension Designed (mm)	$45 \phi$				
Deviation before Test (mm)	-0.010	-0.010	-0.011	-0.013	-0.013
Test No.	Date	Atm Temp.			
2	Mar. 11-63	5°C	-0.015	-0.015	-0.015
6	Apr. 16-63	16°C	-0.015	-0.015	-0.020
8	Sept. 2-63	28°C	-0.015	-0.015	-0.025

Plunger O. D. (Right)				
A	B	C	D	E
$45 \phi$				
-0.011	-0.012	-0.015	-0.018	-0.016
-0.010	-0.010	-0.015	-0.015	-0.025
-0.010	-0.015	-0.020	-0.020	-0.025
-0.010	-0.015	-0.020	-0.040	-0.025

Valve Lift(Left)		Valve Lift(Right)	
S	D	S	D
4.070	2.980	4.060	3.000
4.030	2.890	4.000	2.895
4.030	2.890	4.000	2.900
4.030	2.920	4.010	2.960



#### 4.5 試験結果に対する考察

##### 4.5.1 摩耗

一般にC重油用のポンプを原油に使用した場合に潤滑性の低下により摩耗が早いといわれているが、本耐久試験後の開放検査の結果では3種の供試ポンプとも特に問題とする程度の摩耗は認められなかった。

供試ポンプは摩耗に対する考慮を払って設計・工作が行なわれているが、特に従来の重油用ポンプ

と構造が異なっている訳ではなく 4.1.1 に示した程度の考慮を払えば摩耗に対する問題とならないことがわかった。

#### 4.5.2 原油中の軽質分がポンプの性能におよぼす影響

原油中には沸点の低い軽質分が相当量含有されているので、これが配管内で気泡となってポンプ性能を害し、甚だしい場合はキャビテーション現象を起してポンプの機能を失うことが想像された。

現に運転中気泡発生のためと思われる吐出量の減少、また一旦停止後の再起動の場合吸込側に気泡がたまつたと思われる起動不能の現象が経験された。

本試験研究にて行なわれたキャビテーション試験の結果により、原油を取扱う場合のポンプ吸込側の条件を選定する上に参考となる資料を得られたと信ずる。なおキャビテーション発生に至らずとも上記のごとく気泡の停滞による不安定現象をさけるため配管に対する考慮が必要なことが痛感された。

#### 4.5.3 軸封装置よりの油の漏洩量

原油を使用する場合安全性の見地から漏洩は最小限度に止める必要がある。本試験に使用されたギヤ式ポンプは通常のグランドパッキンが使われ、またネジ式ポンプにはオイルシールの方式が採用された。グランドパッキンではパッキンの保護のため多少の漏洩は避けられない。実測した結果  $14\text{g/h}$  程度であったが、この程度のものは後に行なわれた安全性試験の結果さほど問題にする必要はない。ネジ式に採用されたオイルシール方式では漏洩はほとんどなく適切な設計により原油に対しても十分な適応性を有していると考える。

#### 4.5.4 容積効率

本試験により算出された容積効率と粘度の関係をプロットして見ると吐出圧力の上昇に従い容積効率が低下し、また吐出圧力一定では粘度が下がるに従い効率は低下する。粘度による影響は吐出圧力が高いほど著しい。これらの現象はあらかじめ推察されたところであるが容積効率はポンプの加工精度（例えばクリヤランスの大小）により大幅に影響を受けることが見られるので設計時に効率を推定する場合には慎重を要する。(Fig. 4.3 参照)

#### 4.5.5 各型式ポンプの原油に対する適性

本試験に使用された 3 種のポンプはそれぞれその型式の 1 例にすぎないのでこの試験結果により 3 型式の優劣を論することはできないが、強いて述べればピストン式ポンプが容積重量が大きく、圧力変動が多い点から他の 2 型式に比して劣り、スクリュー式ポンプが最も好ましいが、3 型式ともに原油に対して特に不都合な点はない。

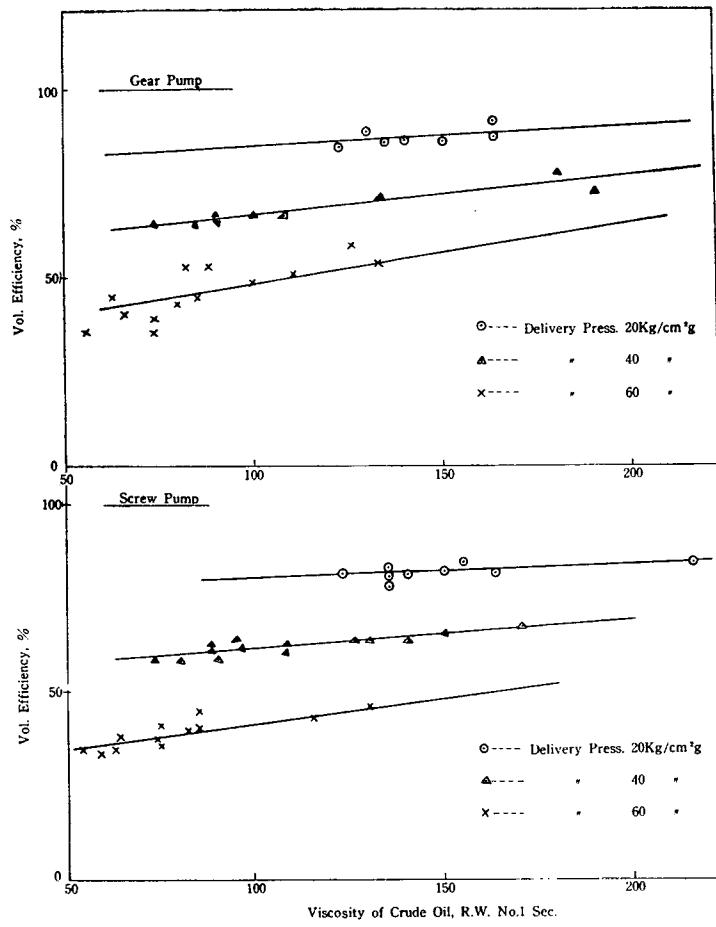


Fig. 4.3 Volumetric Efficiency based on the Results of Pump Tests (Gachsarahn & Wafra)

## 第5章 試作蒸溜装置による原油引火点上昇試験

### 5.1 試験装置

本試験に使用するため試作した原油蒸溜装置は、計画時ワフラ原油およびカタール原油にて予備実験を行なった結果

- (a) 陸用石油精製プラントにて実施している常圧蒸溜式では高温熱源を必要とする、
- (b) 予備実験結果から見て常圧蒸溜方式より減圧蒸溜方式の方が残渣油（燃料油として使用するもの）の収率がよい、

などの理由から舶用としては減圧蒸溜方式が適するものと考え試作原油蒸溜装置パイロットプラントは減圧蒸溜方式を採用した。

なお試作プラントにては真空装置として動力源の関係から水エゼクタ方式としたが、これは実際に舶用として製作する場合は他の方式に変え得られると考えられる。

また試作プラントの構成各機器は実験結果ならびに実機へのスケールアップを考慮して要目を定めた。

本試作原油蒸溜装置の概要是 Fig. 5.1 に示すとくである。

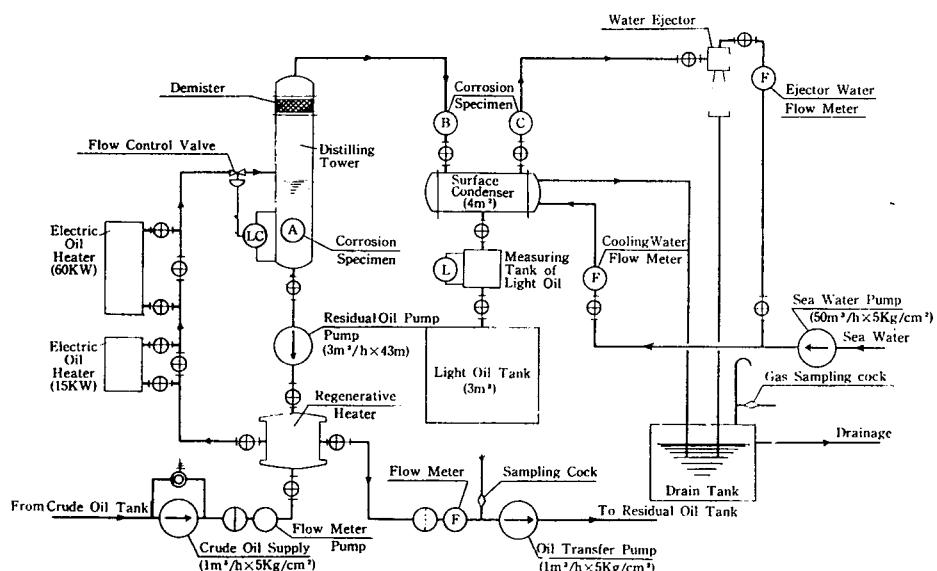


Fig. 5.1 Diagram of Experimental Distilling Plant

### 5.2 試験方法

#### 5.2.1 試験項目

実験室で行なった予備試験結果により、試作原油蒸溜装置パイロットプラントを用いて引火点65.5°Cを得るに必要な原油加熱温度を推定して次の項目を設定した。

Table 5.1 Schedule of Distilling Test

Test No.	Operation No.	Operation Vacuum	Oil Temp. Leaving Heater	Kind of Oil
1	600-1 G	600 mmHg	240°C	Gachsarahn
2	600-2 G	—	210°C	
3	500-1 G	500 mmHg	205°C	
4	500-2 G	—	230°C	
5	400-1 G	400 mmHg	240°C	
6	400-2 G	—	250°C	
7	600-1 W	600 mmHg	245°C	
8	600-2 W	—	230°C	
9	500-1 W	500 mmHg	250°C	
10	500-2 W	—	210°C	
11	400-1 W	400 mmHg	245°C	
12	400-2 W	—	275°C	

### 5.2.2 計測およびサンプリングの方法

#### (a) 計測

各操作番号毎に設定点に対する運転定常状態を1時間維持し、その間に下記の計測を行なった。

- (i) パイロットプラントの作動状態を示す箇所の計測点は7回(10分間隔)計測した。
- (ii) 残渣油(燃料油として使用するもの)試料は5回(15分間隔)採取した。
- (iii) 軽質油(凝結回収し得える油)試料は1回採取した。
- (iv) 排水ピット内にエゼクタ、駆動水とともに排出されピット内で気化したガスの試料は1回採取した。

#### (b) 試料の分析

上記にて採取した各試料は次のとく性状分析および測定をした。

- (i) 残渣油試料は性状分析を行なった。
- (ii) 軽質油試料は比重測定を行なった。
- (iii) ガス試料はガスクロマトグラフによる分析測定を行なった。

### 5.2.3 腐食試験

原油蒸溜装置を船舶として実用化する場合、装置各部の適切な材質選択を行なう資料を得るために Fig. 5.1 に示すことなく試作されたパイロットプラント内に Table 5.2 に示す腐食試験片を設置した。

Table 5.2 Specimen for Corrosion Test

Specimen No.	Material of Specimen	Specimen No.	Material of Specimen	Specimen No.	Material of Specimen
1	SB35	4	SUS33(18-8Mo)	7	BS3
2	SUS21 (13Cr)	5	2S(Pure Aluminium)	8	PBC(Phosphor Bronze)
3	SUS27 (18-8)	6	52S(Aluminium Alloy)	9	Cu (Pure Copper)

Remarks 1. Specimen No. 3 was tested with 2 different dimensions of thickness.

### 5.3 試験結果

#### 5.3.1 供試原油の性状

試験に使用した原油の分析結果は Table 5.3 のごとくである。

Table 5.3 Characteristics of Crude Oil used for Distilling Test

Kind of Crude Oil		Gachsarahn		Wafra	
Specific Gravity	15/4°C	0.884	0.904	0.914	0.918
Gravity A.P.I.	60°F	28.48	24.94	23.23	22.55
Aniline Point	°C	73	78	77	73
Flash Point	°C	16	32	25	28
Fire Point	°C	16	53	—	—
Viscosity	16 °C	107	—	—	—
Redwood	26 °C	Sec.	—	—	330
	30 °C	—	167	200	—
Water Content	%	0.20	0.20	Trace	Trace
Carbon Residue	%	5.36	6.87	7.77	6.77
Ash Content	%	0.02	0.02	0.02	0.02
Hard Asphalt	%	2.40	3.17	3.05	3.67
Sulfur (Bomb)	%	0.02	0.02	0.02	0.02
Diesel Index	%	46.6	43.0	39.7	36.87
Thermal Value (Gross)	kcal/kg	10,600	10,500	10,430	10,400

### 5.3.2 各試験項目に対する計測結果

前記 5.2.1 試験項目に従い実施した試験の計測結果の平均値は Table 5.4 および Fig. 5.2 より Fig. 5.3 に示すとおりである。なお、計測結果中で Test No. 2, 3 および 11 において全回収率（残渣油収率+軽質油収率をいう）が 100% を越えているのは計測の誤差であると考える。

Table 5.4-A Measurements for Distilling Test

Test No.		1	2	3	4	5	6
Operation No.		600-1 G	600-2 G	500-1 G	500-2 G	400-1 G	400-2 G
Kind of Crude Oil		Gachsarahn					
Crude Oil Supplied	l/h	473.5	436.2	430.0	492.0	451.0	569.4
Residual Oil Obtained	l/h	313.3	328.6	346.0	366.7	338.6	442.2
Light Oil Obtained	l/h	114.6	121.7	105.2	128.0	113.4	130.6
Crude Oil Density	15/4 °C	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902
Residual Oil Density	15/4 °C	0.944	0.932	0.924	0.934	0.936	0.949
Light Oil Density	15/4 °C	0.784	0.765	0.759	0.750	0.768	0.775
Flash Point	°C	86.0	64.0	52.0	64.0	57.0	67.0
Yield Rate (Res. Oil)	wt %	68.5	77.1	81.6	76.6	77.6	79.9
Yield Rate (Light Oil)	wt %	20.9	23.8	20.7	20.6	21.5	19.6
Total Yield Rate	wt %	89.4	100.9	102.3	97.2	99.1	99.5
Oil Heater Inlet Temp.	°C	36.0	35.7	40.8	44.2	52.0	32.5
Oil Heater Outlet Temp.	°C	104.2	100.0	102.0	106.2		
Electric Heater Outlet Temp.	°C	240.5	211.5	206.0	230.5	242.0	252.7
Electric Heater Outlet Press.	kg/cm²g	5.0	5.0	5.0	4.23	5.0	5.0
Oil Press. at the Inlet of Tower	kg/cm²g	1.68	1.40	0.83	1.30	1.1	0.7
Vaccum in Tower	mmHg	600.0	580.0	500.0	502.1	400.0	400.0
Oil Temp. in Tower	°C	180.7	160.7	160.6	180.0	188.0	212.7
Vapour Temp. in Tower	°C	156.0	137.4	132.0	153.7	162.3	185.8
Residual Oil Pump Delivery Press.	kg/cm²g	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6

Test No.		1	2	3	4	5	6
Operation No.		600-1G	600-2G	500-1G	500-2G	400-1G	400-2G
Kind of Crude Oil		Gachsarahn					
Res. Oil Temp. at Heater Inlet	°C	169.2	153.0	152.7	167.4	175.9	197.0
Res. Oil Temp. at Heater Outlet	°C	60.9	57.0	60.6	64.5	68.6	83.8
Res. Oil Temp. at Flow Meter	°C	53.9	50.0	54.0	57.0	59.5	63.6
Gas Temp. at Condenser Inlet	°C	96.5	85.3	79.3	88.5	95.6	
Gas Temp. at Condenser Outlet	°C	37.7	24.4	27.4	31.1	35.5	29.4
Vacuum in Condenser	mmHg	621.4	590.0	520.0	520.7	400.0	411.7
Cooling Water Quantity	m³/h	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Light Oil Temp.	°C						
Ejector Water Press.	kg/cm²g	29.1	4.0	3.2	2.67	2.1	3.4
Ejector Water Quantity	m³/h	36.0	40.0	37.7	35.0	32.0	35.0
Sea Water Temp.	°C	22.0	21.8	22.5	22.5	23.0	25.0

Table 5.4-B Measurements for Distilling Test

Test No.		7	8	9	10	11	12
Operation No.		600-1W	600-2W	500-1W	500-2W	400-1W	400-2W
Kind of Crude Oil		Wafra					
Crude Oil Supplied	l/h	421.2	412.2	451.6	376.9	351.3	412.1
Residual Oil Obtained	l/h	312.0	316.8	347.9	320.7	309.4	321.1
Light Oil Obtained	l/h	99.0	91.8	109.3	55.6	50.3	93.7
Crude Oil Density	15/4 °C	0.914	0.914	0.914	0.914	0.918	0.918
Residual Oil Density	15/4 °C	0.961	0.954	0.958	0.944	0.945	0.962
Light Oil Density	15/4 °C	0.785	0.772	0.774	0.749	0.758	0.786
Flash Point	°C	85.0	71.0	71.0	50.0	54.0	78.0
Yield Rate (Res. Oil)	wt %	76.5	79.2	79.3	87.0	89.5	80.1
Yield Rate (Light Oil)	wt %	20.1	18.8	20.4	12.1	11.8	19.3
Total Yield Rate	wt %	96.6	98.0	99.7	99.1	101.3	99.4
Oil Heater Inlet Temp.	°C	30.0	32.0	27.0	31.3	31.0	30.0
Oil Heater Outlet Temp.	°C	117.6	113.0	118.8	105.0	107.3	126.0
Electric Heater Outlet Temp.	°C	245.3	233.4	251.6	214.4	246.6	276.7
Electric Heater Outlet Press.	kg/cm²g	5.2	5.2	5.1	5.2	5.3	5.2
Oil Press. at the Inlet of Tower	kg/cm²g	0.4	0.93	1.01	0.5	0.23	0.47
Vacuum in Tower	mmHg	604.3	597.1	501.4	507.1	387.1	418.6
Oil Temp. in Tower	°C	193.0	179.7	201.6	163.0	179.5	224.6
Vapour Temp. in Tower	°C	165.9	149.4	168.6	127.0	141.1	193.4
Residual Oil Pump Delivery Press.	kg/cm²g	3.4	3.4	3.5	3.5	3.8	3.6
Res. Oil Temp. at Heater Inlet	°C	179.4	165.4	185.7	151.7	161.0	202.1
Res. Oil Temp. at Heater Outlet	°C	66.9	62.0	71.0	56.6	60.0	75.9
Res. Oil Temp. at Flow Meter	°C	59.2	52.9	55.3	48.4	50.7	60.1
Gas Temp. at Condenser Inlet	°C	110.3	98.0	111.3	77.6	77.4	120.0
Gas Temp. at Condenser Outlet	°C	29.6	26.4	26.8	27.0	28.0	26.9
Vacuum in Condenser	mmHg	620.9	617.1	518.6	525.7	402.9	438.6
Cooling Water Quantity	m³/h	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Light Oil Temp.	°C			29.1	28.0	29.3	36.6
Ejector Water Press.	kg/cm²g	3.93	3.0	3.0	3.0	2.2	2.4
Ejector Water Quantity	m³/h	40.0	35.0	36.0	35.0	31.7	34.0
Sea Water Temp.	°C	26.5	26.0	25.0	25.0	24.0	24.0

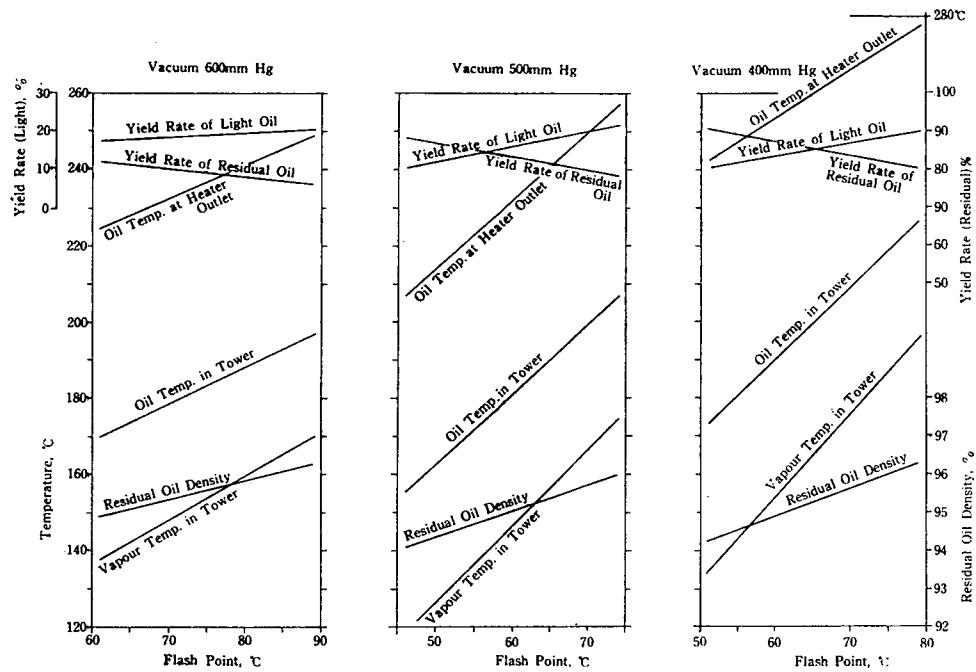


Fig. 5.2 Results of Distilling Test (Wafra)

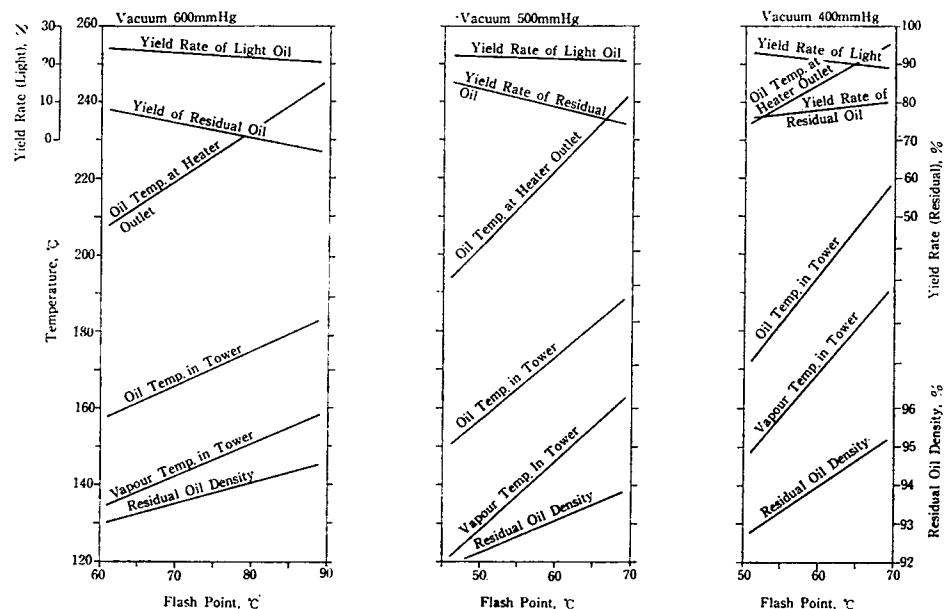


Fig. 5.3 Results of Distilling Test (Gachsarahn)

### 5.3.3 各真空度に対する残渣油引火点と収率の関係

前記 5.3.2 計測結果より Table 5.5 および Fig. 5.4 に示す関係が成りたつものと考えられる。

Table 5.5 Condition (Vacuum, Temperature and Yield Rate) Required in Order to get Flash Point of 65.5°C

Kind of Oil		Gachsarahn			Wafra		
Vacuum	mmHg	400	500	600	400	500	600
Heating Temp.	°C	251	233.5	213.5	261	242	229
Oil Temp. in Tower	°C	209	182.5	162	201	191.5	174.5
Vapour Temp. in Tower	°C	183	156.5	139	166	157.5	143
Yield Rate (Heavy)	wt %	79.6	76	76.5	85	81.3	79.3
Yield Rate (Light)	wt %	19.9	22.3	22.6	14.4	18.2	18.3
Total Yield Rate	wt %	99.5	98.3	99.1	99.4	99.5	97.6

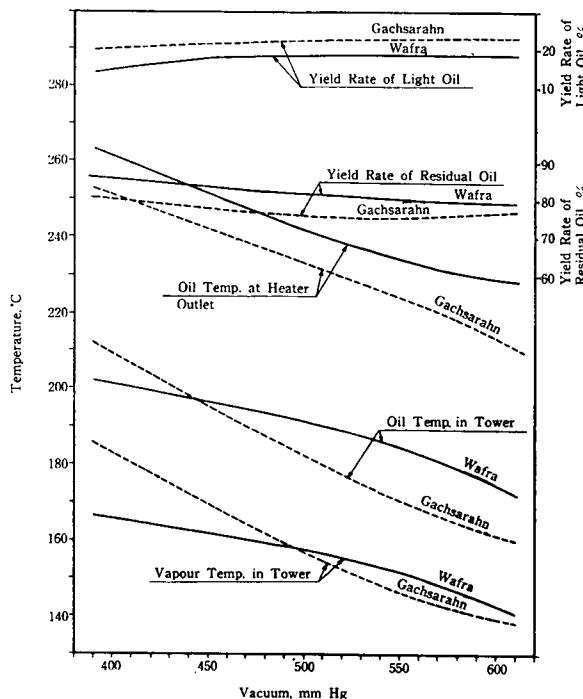


Fig. 5.4 Condition Required for Obtaining Flash Point of 65.5°C

### 5.3.4 残渣油の性状

前記 5.2.1 試験項目に従い実施した試験で採取した残渣油試料の性状分析結果の代表的な数値は Table 5.6 に示すとおりである。

### 5.3.5 腐食試験片計測結果

前記 5.2.3 腐食試験に述べた材質の異なる試験片を 5.2.1 原油引火点上昇試験終了後に取り出して計測した結果は Table 5.7 に示すとおりである。

#### a) 腐食量の表示

腐食量の表示の方法には種々あるが、今回の場合各材質試験片に対する比重の差、表面状況の差等は考慮せず腐食減量のみを表示した。

Table 5.6 Characteristics of Residual Oil (Heavy Fraction)

Test No.		2	4	6	7	9	12
		600-2 G	500-2 G	400-2 G	600-1 W	500-1 W	400-2 W
Specific Gravity	15/4 °C	0.932	0.934	0.949	0.961	0.958	0.962
Gravity A.P.I.	60 °F	20.24	19.91	17.52	15.66	16.12	15.50
Aniline Point	°C	81	86	86	84	83	83
Flash Point	°C	64	64	67	85	70	78
Fire Point	°C	86	97	105	132	123	112
Viscosity,	30°C	716	761				
Redwood	50°C	211	248	511	947	748	845
	80°C	79	83	140	217	190	216
Water Content	%	Trace	Trace	Trace	Nil	Nil	Nil
Carbon Residue	%	7.30	8.70	10.03	8.60	9.87	9.67
Ash Content	%	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Hard Asphalt	%	3.52	3.47	4.06	3.98	3.97	4.28
Sulfur (Bomb)	%	2.28	2.23	3.00	3.76	3.78	3.74
Diesel (Index)		36.0	37.0	32.7	28.7	29.2	28.1
Thermal Value (Gross)	kcal/kg	10,390	10,350	10,310	10,200	10,250	10,200

Table 5.7 Measurements for Corrosion Test

Material of Specimen	Specimen No.		Weight before Test g	Weight after Test g	Corrosion Rate g
S B 35	1	A	8.9070	8.6801	0.2269
		B	8.9218	8.1783	0.7435
		C	8.8960	7.2635	1.6325
S U S 21	2	A	4.7050	4.7034	0.0016
		B	4.7230	4.7057	0.0173
		C	4.7275	4.4111	0.3164
S U S 27	3	A	3.9880	3.9877	0.0003
		B	3.9980	3.9960	0.0020
		C	4.0000	3.9733	0.0267
S U S 27	3'	A	18.7225	18.7184	0.0041
		B	18.7945	18.7905	0.0040
		C	18.8038	18.7867	0.0171
S U S 33	4	A	11.0050	11.0022	0.0028
		B	11.0600	11.0580	0.0020
		C	10.9875	10.9833	0.0042
2 S	5	A	2.6050	2.6022	0.0028
		B	2.5850	2.5759	0.0091
		C	2.5935	2.4687	0.1248
52 S	6	A	2.6100	2.5834	0.0266
		B	2.6175	2.5910	0.0265
		C	2.6165	2.5033	0.1132
B S 3	7	A	6.5278	6.5213	0.0065
		B	6.5335	6.4979	0.0356
		C	6.5225	6.4035	0.1190

Material of Specimen	Specimen No.	Weight before Test g	Weight after Test g	Corrosion Rate g
P B S	A	7.2935	7.1026	0.1909
	B	7.2935	7.1623	0.1312
	C	7.2317	7.0387	0.1930
C U	A	8.7875	8.5193	0.2682
	B	8.7630	8.4664	0.2966
	C	8.7510	8.6362	0.1148
Remarks 1. Marks A, B and C shown in the column of Specimen No. mean the locations of specimens as shown in following.				
A-Sunk below oil level in distilling tower				
B-In gas stream entering condenser				
C-In gas stream leaving condenser				

b) 腐食減量純銅と鉛青銅を除き、いずれも“A”点（蒸溜塔内液部）が最も少なく、“B”点（コンデンサ・ガス入口配管中），“C”点（コンデンサ、ガス出口配管中）の順に腐食減量が多くなっている。特に“C”位置が最も著しく、“A”との差はステンレス系、アルミ系が特に多い。減量の絶対値が多いのは軟鋼板で、最も少ないのはSUS33である。

#### c) 腐食状況

銅系は全表面が黒色の皮膜となり、イオウ分による影響と考えられる。純銅とブロンズ系はA～Cに大差なく、プラス系はA～Cの順に減量が増大している。

アルミ系およびステンレス系を除き、表面状況は全面腐食の傾向を示しているが、特にオーステナイト系ステンレスに局部腐食の傾向が甚だしく、SUS27試験片では一部ピッティングにより1mm厚さの板が貫通している。

### 5. 4 試験結果に対する考察

#### 5.4.1 引火点 65.5°C 以上を得るための条件

真圧度に対する所要加熱温度および収率の関係は実験室内で行なった予備試験と比較すると温度においては多少高めに、収率においては多少低めに出ている。これは実験室データは原油を容器内で逐時加熱する微分蒸溜であるのに対し、本試験においてはあらかじめ加熱したものをフラッシュさせたもので、その方法に大なる差があるためであろう。

いずれにしても加熱温度の点からは真圧度の高い方が好ましいが、本試験の結果では収率が僅かではあるが真圧度を上げるにしたがい減ずる傾向を示している。

実船に本装置を応用する場合はあらかじめ実験室において処理すべき原油について上記の関係を調査し、これより各真圧度に対する所要加熱温度を推定し、同時に船内にて使用し得る熱源（多くの場合蒸気による加熱となるからその場合加熱蒸気の圧力）と併せ考慮して逆に所要真圧度を求めることがとなろう。

通常得られる加熱用蒸気の飽和温度は250°C以下であるから真圧度は500～600mmの範囲となるであろう。

#### 5.4.2 蒸溜装置を実船に採用する場合の問題点

本試作蒸溜装置による運転結果から性能的には要求どおりの引火点の高い油を採取することの可能性は認められたが、これを実用に供する場合にはなお解決されねばならぬ問題が残されている。この内特に重要なものは次の点である。

- (a) 採取されている油の引火点が常に指定温度以上になるごとくにするための装置の自動制御の方法および警報装置。
- (b) 副産物として分離される軽質分の処置
- (c) コンデンサ内にて凝縮されずに放出されるガスの回収または放棄の方法
- (d) 蒸溜装置各部に使用する耐食性材料の選定

(a)に対しては引火点を連続的かつ自動的に計測する装置の開発が必要であり、(b)に対しては軽質分の需要面の調査研究の要がある。(c)に対しては安全性および海水汚染の規制の面からできる限り回収するよう考慮すべきで、その回収の方法についてさらに研究の要がある。

(d)に関しては本試験に付随して行なわれた腐食試験の結果が一応の資料になるが、期間が短かく原油処理量にして約 20 kl 程度であったので未だ結論を出すには早計である。SUS 33 以外はいずれも耐食性において満足なものとはいひ難く、SUS33にても 1 部ピッティングがみられるので実機に対する材料の選定にはさらに十分な実験を行ない、検討の余地が残されている。

## 第6章 燃焼試験

### 6.1 試験装置

#### 6.1.1 燃焼試験炉

燃焼試験は実際ボイラ火炉に近い水冷壁を有する燃焼室内にて行なう必要がある。試験炉は、Fig. 6.2 に示すごとく側壁および天井が水冷壁、前面および床面が煉瓦壁、後面に1列の蒸気発生装置用蒸気管を配列したもので側壁は一部煉瓦にて覆ってある。火炉寸法は幅2m、高さ2.6m、奥行3mとし、これに1本のバーナを装着する。試験炉々壁の水冷は、天井水タンクおよび二重囲の側壁ジャケット部に水を張り天井水タンク内の送水分布管より側壁ジャケット下端部に連結せられた降水管により水循環が行なわれる。炉出口部に配置せる蒸気発生器は常用  $14 \text{ kg/cm}^2\text{g}$  とし油加熱および噴霧用蒸気を供給する。試験炉の前、後、側壁には数多の覗孔およびガス採取孔を設け、燃焼状況の観察ならびに各種測定に役立てる。火炉出口部には吸引式温度計を、煙道には  $\text{CO}_2$  分析指示記録計を設ける。火炉の大きさは燃油量約  $800 \text{ kg/h}$  時の火炉負荷として約  $400,000 \text{ kcal/m}^3\text{h}$  である。試験設備系統図を Fig. 6.1 に示す。Fig. 6.3 は噴射試験装置、Fig. 6.4 はバーナ注水装置である。

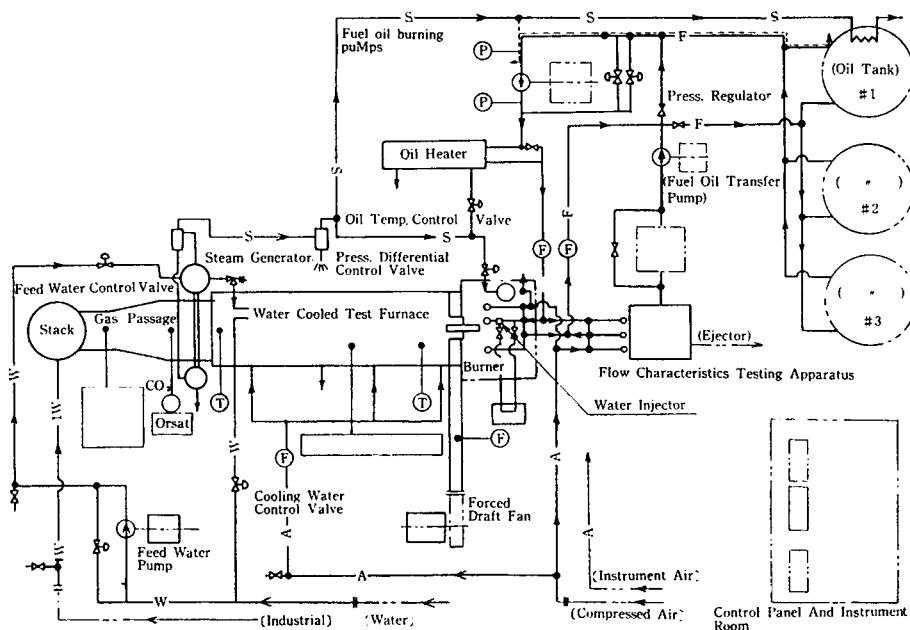


Fig. 6.1 Diagram of Apparatus for Combustion Test

#### 6.1.2 供試バーナ

エアレジスタ

TODD 社製 D-16型 (406φ) ディフューザ付

Fig. 6.5

三菱横浜製 TVP-31型 (430φ) 一次空気付

Fig. 6.6

アトマイザチップ (Fig. 6.7)

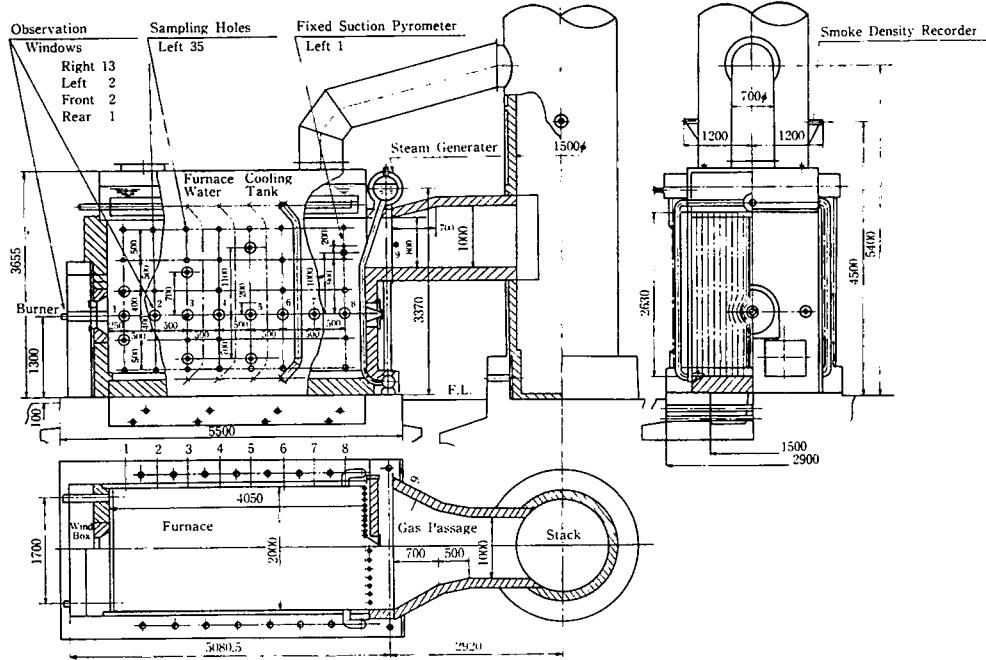


Fig. 6.2 Firing Test Furnace

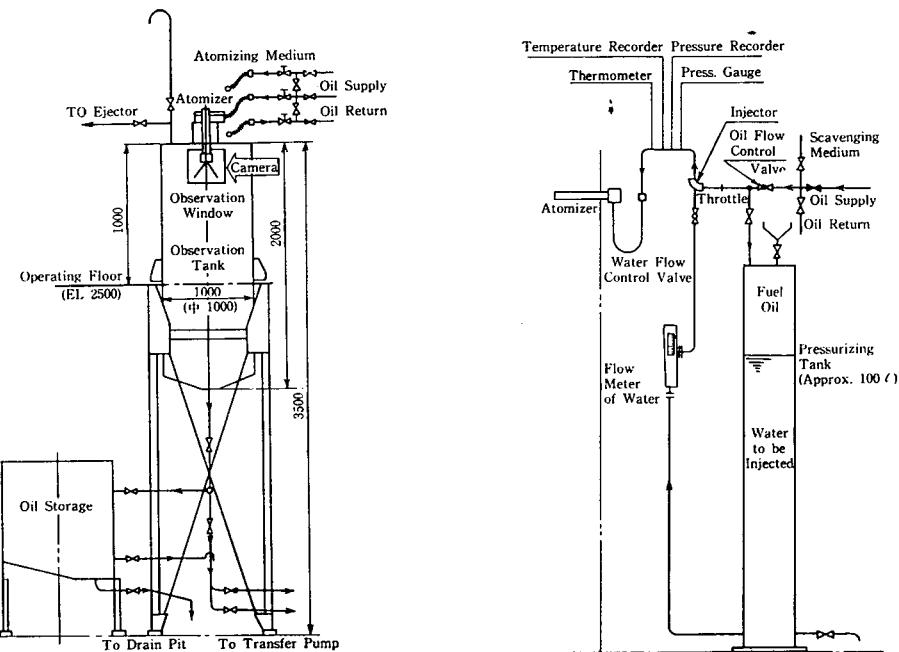


Fig. 6.3 Testing Apparatus for Flow Characteristics of Atomizer

Fig. 6.4 Water Injector to Atomizer

TODD 社製	直接圧力噴霧式	TODD 型
三菱横浜製	プランジャー型圧力噴霧式	VC81 型
	直接圧力噴霧式	WM 型
	リターンフロー型	WRM 型
	蒸気噴霧式	WRSH 型

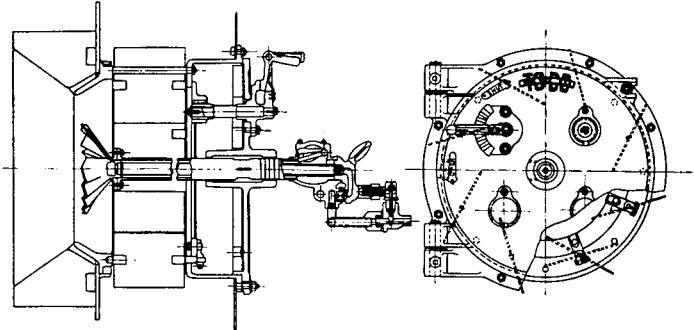


Fig. 6.5 Todd Air Register Type D-16

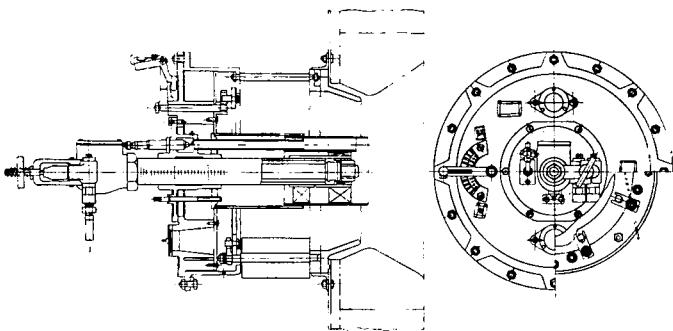


Fig. 6.6 Mitsubishi-Yokohama Air Register Type TVP-31

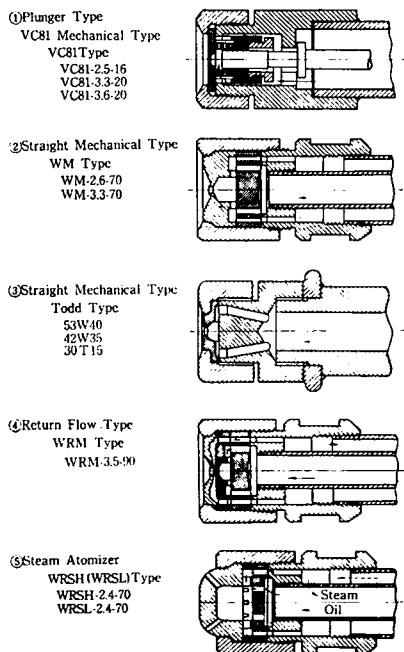


Fig. 6.7 Details of Burner Tips

### 6.1.3 供試燃料

原油としては代表的なものとしてカフジ、軽質原油としてカタール、重質原油としてワフラ（ブルガン）を選び、それぞれ 35 kl, 25 kl, 10 kl を消費した。また比較のため実施せる重油燃焼試験のために C 重油 20 kl, スタート用として A 重油 10 kl を使用した。分析値は Table 6.1, Fig. 6.8 および Fig. 6.9 に示す。

Table 6.1 Fuel Analysis

Item	F-39	F-71	F-108	F-76	F-38	F-46	F-47	F-64	F-84	F-58
Kind of Fuel	Heavy Oil "C"			Wafra	Khafji			Qatar	Khafji	
Date of Anal.	Feb. 27, 64	May 15, 64	July 25, 64	June 4, 64	Feb. 25, 64	Mar. 10, 64	Mar. 10, 64	May 6, 64	July 25, 64	
Sp. Gr.	15/4°C	0.947	0.944	0.941	0.911	0.896	0.894	0.891	0.898	0.820
Flash P't.	°C	89	88	99	< Room Temp.	< 20	< 20	< 20	< Room Temp.	< Room Temp.
Vis.					(23°C)	(20°C)	(20°C)	(20°C)	(25°C)	(30°C)
R.W.No. 1	50°C sec	352	271	288	266	156	156	141	152	34
	80°C sec	107	87	89						236
										68
Water Cont.	%	0.08	0.02	0.08	0.10	0.16	0.10	trace	trace	0.02
Carbon Residu.	%	9.15	7.90	7.25	6.74	8.76	7.87	8.19	7.70	1.16
Ash Cont.	%	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	trace
Asphalt Cont.	%	5.40	2.26	2.77	2.89	5.50	5.10	5.30	4.32	
Sulf. Cont.	%	2.69	2.90	3.04	3.05	3.23	2.92	2.90	2.95	1.10
Hydrogen Cont.	%	11.40	11.50	12.44	12.09	12.50	12.40		12.50	12.93
Carbon Cont.	%	85.10	85.00			82.80	82.70		82.70	
Gross Thermal Value	kcal/kg	10,380	10,400	10,320	10,430	10,450	10,450	10,430	10,430	10,750
Net Thermal Value	kcal/kg	9,760	9,780	9,670	9,780	9,780	9,780		9,760	10,050
Surface Tension	20°C dyne/cm				(23°C) 31.9	33.4				
	30°C dyne/cm			(29°C) 34.7		32.5			(29.5°C) 31.1	(26°C) 29.8
	40°C dyne/cm					31.2			(35°C) 30.5	
Distillation										
I B P	°C	194	185		95	61			64	45
5%	°C	259	248		130	111			101	82
10%	°C	293	259		160	133			126	98
15%	°C	302	265		186	160			152	115
20%	°C				220	194			179	130
25%	°C				262	224			222	141
30%	°C				273	266			244	172
35%	°C				295				263	200
40%	°C				310				221	
45%	°C								235	
50%	°C								250	

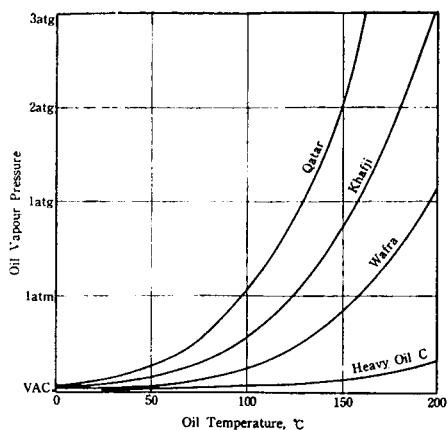


Fig. 6.8 Vapour Pressure vs Temperature Curve

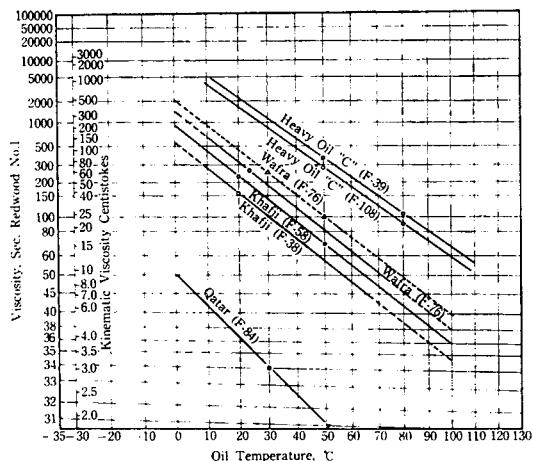


Fig. 6.9 Viscosity vs Temperature Curve

## 6. 2 試験方法

### 6.2.1 噴射試験

原油は原産地による性状変化が著しく流量特性におよぼす影響も噴霧型式により定まらないので、各種バーナチップの噴射量特性をできる限り広範囲にわたって実験的に調査する必要がある。このために燃焼試験とは別に噴射試験を実施した。噴射試験は燃さずに噴射量特性を調査すると同時に噴霧状況を観察する目的を兼ねているが、噴霧粒径および粒度分布測定は実施しなかった。

噴射量特性試験はプランジャ型圧力噴霧式（VC 81型チップ）およびリターン型（WRM型）につき実施し、その他アトマイザについては噴霧状況の観察に止めた。蒸気噴霧式（WRSH型）については噴射油にドレンが混入しては好ましくないので空気噴霧にて噴射状況を観察し、燃焼試験時に蒸気噴霧特性を調べた。噴射後の油は組成変化が無視できず反復使用を避けた。

圧力噴霧式アトマイザは噴射量特性の計算的取扱が比較的容易であるが、粘度変化に伴いノズル流量係数が変化するので、この関係をできるだけ普遍的に調べるために種々の渦巻室特性値（K値とよぶ）につき油種、油温を変化させた。

試験は Fig. 6.3 に示すバーナ流量特性試験装置を使用し、噴霧角度は写真判定によった。

試験実施項目は Table 6.2 に示すとおりである。

### 6.2.2 燃焼試験

燃焼状態はバーナ側の条件のみならず火炉側の条件により著しく影響されるものであるから、本試験炉の特性を把握する程度にC重油燃焼試験を実施し、各種原油との比較を行なった。

燃焼試験は、(a)燃焼性、(b)伝熱特性、(c)燃焼安定性、(d)噴射量特性、(e)腐蝕の問題、等につき下記のごとく実施した。

#### (a) 燃焼性

煙道における燃焼ガス分析をオルザートにて行ない、これより煙突からの煙発生限界における空気過剰率ならびにその場合の火炎長さおよび拡がりを求めた。さらに火炎中のガスを水冷ガス採取

Table 6.2 Schedule for Flow Characteristics Test

Burner Type	Tip Type & Size	$\delta$ or Atom. Medium	Oil Press. (atü)	Oil Temp. (°C)		Oil Flow (kg/h)
				Heavy Oil "C"	Khafji	
MP-23	VC81-2.5-16	0 ( $\alpha=75$ )	5, 10, 20, 40	40, 70, 90	25, 35, 60	100~ 280
		2 ( $\alpha=59$ )	5, 10 20, 40	40, 80, 90 (100)	40, 60 40, 80	210~ 520
		4 ( $\alpha=51$ )	5, 10, 20, 40	40, 80, 90 (100)	45, 70	260~ 700
		6 ( $\alpha=50$ )	5, 10, 20, 40	40, 80, 90 (100)	45, 65	290~ 730
		0 ( $\alpha=78$ )	5, 10 20, 40	50, 80, 110 45, 80, 130	30, 75~95 40, 110	180~ 440
	VC81-3.3-20	2 ( $\alpha=64$ )	5, 10 20, 40	50, 80, 130 40, 80, 130	40, 110 40, 120	330~ 850
		4 ( $\alpha=55$ )	5, 10, 20, 40	90, 130	40, 95	460~1200
		6 ( $\alpha=53$ )	5, 10, 20, 40	80, 90	45, 75	430~1250
		WM-2.6-70	5, 10, 20, 40 ( $\alpha=75$ )	40, 80, 100	45, 100	120~ 450
			7, 15, 30	40	45, 100	135~ 390
	WM-3.3-70	WM-3.3-70	5, 10, 20, 40 ( $\alpha=70$ )	40, 80, 100	40, 80	260~ 835
			7, 15, 30	45	40, 80	300~ 725
WRM	WRM-3.5-90	—	20 40	—	45 40	~ 490 ~ 655
WRH	WRSH-2.4-70	Air	0.5	—	30	15
		(Press. Diff. = 0.5, 10 kg/cm <sup>2</sup> )	1, 2 3 4 5	30, 40 30, 35 35 35, 40	30, 40 30, 35 30, 35 40	~ 200 ~ 270 ~ 380 ~ 470
		42W35	—	10, 20, 30	—	360~ 600
		30T15	—	10, 20	—	480~ 690

Remarks, 1.  $\delta$  : Position of Plunger  
 $\alpha$  : Spray Angle

管により採取し、オルザートならびにガスクロマトグラフによる分析を行ない火炎または燃焼ガスの流れに沿う組成分布を求めて燃焼反応の完結度を調べた。燃焼の完結度は最終的には未燃損失として煙突から失なわれるものを採るのが妥当と考えられるので、当初は煤塵量の測定を予定していたが供試燃料ならびに試験期間の制約上この試験を省略した。このほかに火炉熱面の汚れを推定するための資料を得るべく、外径 34 mm の水冷ガス採取管を流用、これを水冷プローブとして先端が火炉中心線にいたるまで炉内に挿入し、冷却水出口温度が約 50°C を保つよう冷却水量を調節して30分放置後の表面附着物を採取し、この秤量ならびに可燃分の分析を行なった。水冷プローブ固定位置は Fig. 6.1 のガスサンプリング孔 No. 4 である。

### (b) 伝熱特性

燃料組成、燃焼性の差異による輝炎輻射、燃焼ガス組成等の変化にもとづくボイラ特性への影響を確認した。このために火炉出口温度を吸引式温度計により、また輝炎温度を光学式高温計により計測した。

(c) 燃焼安定性

燃焼装置系統が正常な条件下にある場合のみならず、実際ボイラにて起り得る苛酷な外乱条件を人为的に加えて、この場合にもボイラが危険なく運転されることを確認することが目的である。安定燃焼阻害因子としては、

ポンプ吐出圧の変動（圧力調節弁にて脈動を与える）

押込送風圧の変動（風量調節ダンバ開度を急激に変える）

油温過昇による気化発生（低油圧にて油温を上げる）

原油中への水分の混入（バーナ直前にて注水する）

を探り上げた。原油中への水分の混入は、注水量測定精度を上げるためにバーナ直前に混合器を設けた。注水装置は Fig. 6.4 に示すとおりで、混入水の流量は面積式流量計を用いた。実船では海

Table 6.3 Schedule for Firing Test

Tip Type & Size	$\delta$ or Atom. Medium	Oil Press. (atü)	Oil Temp. (°C)			Oil Flow (Approx. kg/h)
			Heavy Oil "C"	Wafra	Khafji	
VC 81-2.5-16	0	10	65		30	150
		20	65		30, 55, 60	200
		40	70		30, 40	300
	2	10, 20, 40	70		30, 40, 60	270~500
VC 81-3.3-20	0	10, 20	65		30, 45, 60	400~550
		40	65		35, 60	140
		5		55	30, 45, 65	250~350
	2	10	75, 90, 100	35, 50, 60, 70	30, 40, 60	450
		15			30, 35, 50, 70	250
		20	80	35, 55, 65	30, 40, 60	400
		5			35, 50	460
	6	10	75	45	30, 40, 55	600
		5			40, 50	400
		10			30, 40	600
	0	5, 10, 20			30, 70	150~300
		5			30, 60	300
		10			30, 40, 60	400
	2	5			75	500
		10			30, 70	450~650
		15				
WM-26-70		10, 27	70		30, 65	200~300
WM-3.3-70		10, 20	75		20	400~550
TODD-53W-40		20, 40	70, 75		40	200~270
TODD-42W35		5				230
		10	70		40	350
		15		35, 40, 60	30, 40, 45	420
		20	70, 75, 80			500
		30	65, 70	35, 45		620
TODD-30T15		5, 15			40, 60	320, 550
		10	65, 70	45	40	500
		20	65, 70	45		700
WRM-3.5-90		20	65		35, 45	30, 43, 48
WRSH-2.4-70	Steam	0	80, 85, 90	60	40, 45	
		0.5	70	40	30, 35, 55, 60	
		1.0	65, 70, 75	40, 65, 80, 90	30, 50, 70	30, 35, 55, 60
		1.5	60, 70, 80, 90	40, 45	35	35, 60
	Air	0.5, 1.0	60		10, 70	
WRSL-2.4-70	Steam	0				35, 40
		0.5				35, 60
		1.0			30	35, 40, 75, 80
		1.5			30	
	Air	0, 0.5			10	

水の混入が考えられるが、燃焼安定性におよぼす影響を見る目的であるので試験には清水を使用した。

#### (d) 噴射量特性

噴射試験では実施し難い蒸気噴霧式バーナならびに燃焼試験と同時に試験しうるバーナについては燃焼試験より噴射量特性を求めた。

#### (e) 腐食問題

腐食に関する問題は短期間の燃焼試験では結論を導くに足る資料は得難く、特にこのための試験は実施せず燃焼分析値ならびに燃焼性の試験結果より推定することとした。

このほか燃焼状況一般について炉壁に設けられた18個の観察孔より観察すると同時に、後壁観察孔より火炎の正面写真をいくつか撮影してC重油と原油の火炎状況を比較する一助とした。

Table 6.3 に一般燃焼試験項目、Table 6.4 にポンプ吐出圧変動試験項目、Table 6.5 に注水試験項目を示す。

Table 6.4 Schedule for Stability Test on Oscillating Delivery Pressure of Burning Pump (Khafji)

Tip Type & Size	Pos'n of Plunger	Oil Press. (atü)	Oscillation of Oil Press. (kg/cm <sup>2</sup> )	Oil Temp. (°C)	Oil Flow (Approx kg/h)	Excess Air Ratio
VC81-2.5-16	0	10	±0.8	40	170	1.17~1.80
	2	10	±0.8	40	290	1.28~1.83
	6	10	±0.8	45	380	1.60
		20	±0.4	45	520	1.44
				75	520	1.67
						1.51

Table 6.5 Schedule for Water Injection Test

Tip Type & Size	Oil Press. (atü)	Oil Temp. (°C)	Oil Flow (kg/h)	Water Flow (kg/h)	Rate of Injected Water (%)	Kind of Fuel
VC81-3.3-30	10	25~30	427~309	0, 20, 40, 54 81, 122, 138	0, 4.2, 8.7, 12.2 19.4, 33.0, 39.7	Khafji
	10~17.5	30~37	351~382	0, 20, 40, 60 80, 100, 150	0, 4.7, 9.3, 14.2 15.0, 23.5, 37.4	Khafji
	12.5~15	40~46	349~370	0, 20, 32 44, 65	0, 5.2, 8.9 11.1, 15.7	Qatar

## 6.3 試験結果

前記試験方法および項目に従い実施した試験結果のうち代表的なものを下記図表に示す。なお、計測値の記載は割愛する。

### 6.3.1 噴射試験

#### (a) 圧力噴霧式アトマイザ噴射量曲線

Fig. 6.10

直接圧力噴霧式 (①, ②, ③, ⑥)

プランジャ型圧力噴霧式 (④, ⑤)

#### (b) リターンフロー型アトマイザ

Fig. 6.11

(c) 蒸気噴霧式アトマイザ

(d) 噴霧角度

Fig. 6.12

Table 6.2

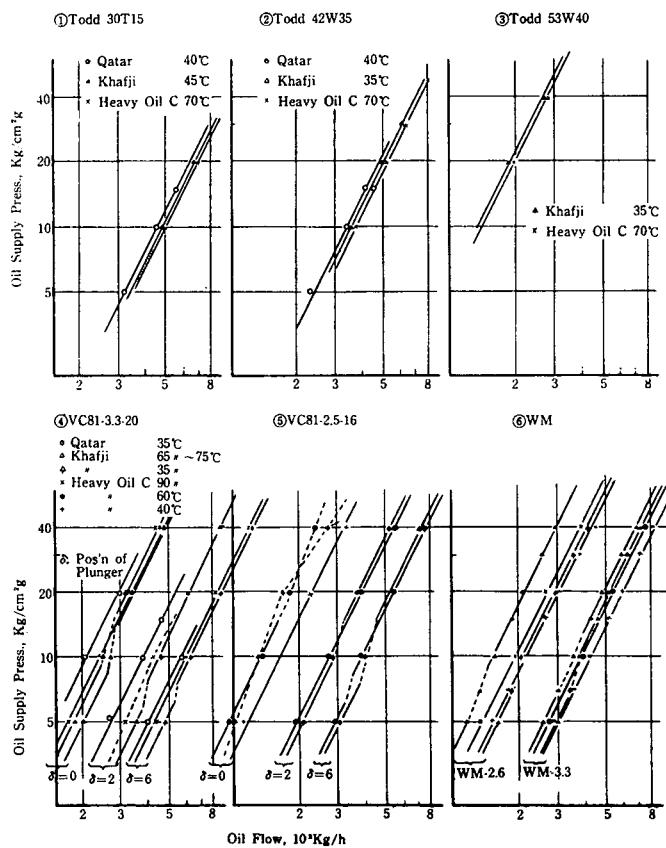


Fig. 6.10 Flow Characteristics of Mechanical Atomizer

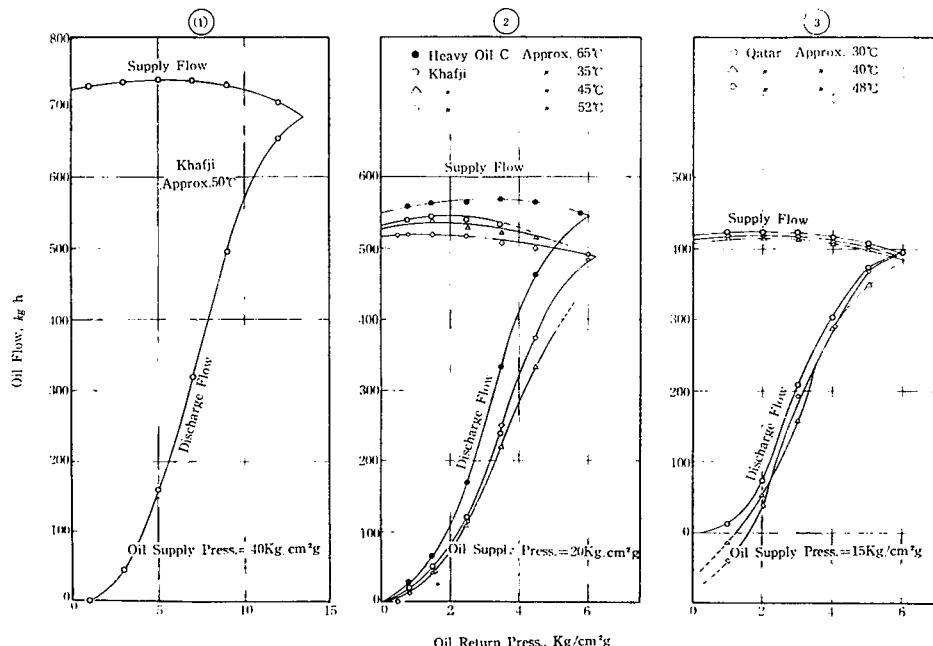


Fig. 6.11 Flow Characteristics of Return Flow Type of Mechanical Atomizer (WRM-35-90)

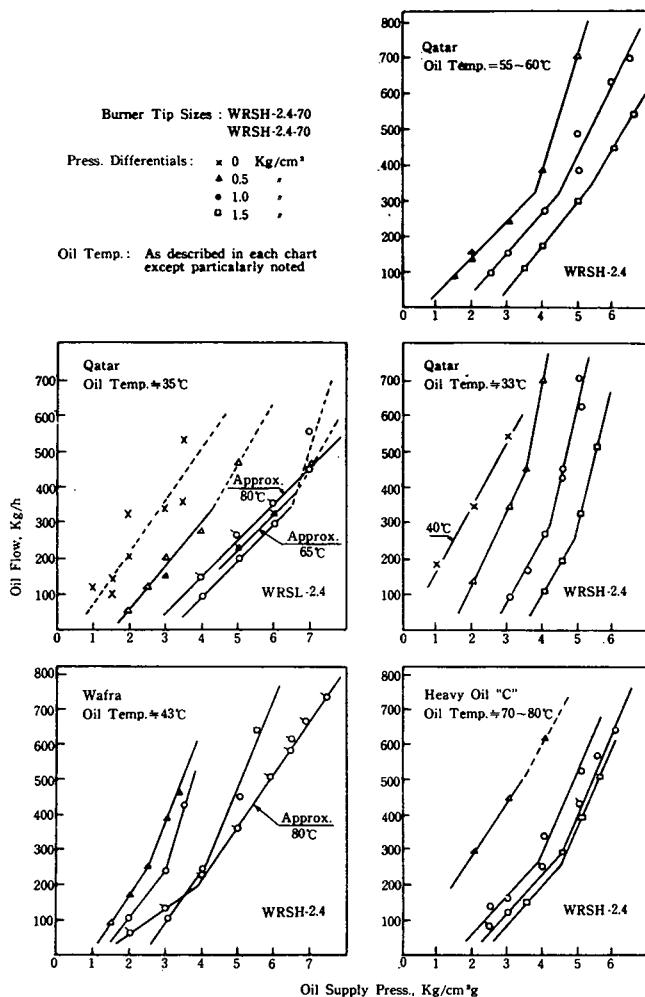


Fig. 6.12 Flow Characteristics of Steam Atomizer

### 6.3.2 燃焼試験

- |                    |           |
|--------------------|-----------|
| (a) 煙発生限界における空気過剰率 | Fig. 6.13 |
| (b) 火炎長さ           | Fig. 6.14 |
| (c) 水冷プローブ附着物重量    | Fig. 6.15 |
| (d) 水冷プローブ附着物可燃分   | Fig. 6.16 |
| (e) 火炉出口ガス温度       | Fig. 6.17 |
| (f) 輝炎温度分布         | Fig. 6.18 |
| (g) 炉内ガス分析結果       |           |

火炎は3次元的に複雑な流れ模様を呈するので炎ガスの採取は少なくとも2次元的に行なう必要がある。このために各種燃料、バーナ型式についての採取分析点は膨大な数となり試料の保存、分析作業が容易でなかったができるだけ流れ模様に合致した採取点を選んでガス組成分布を調べた結果C重油、ワフラ、カフジおよびカタールにつき何ら一定の傾向（例えば%COの減衰

等)は見出だされず、燃焼性を暗示する資料は得られなかった。

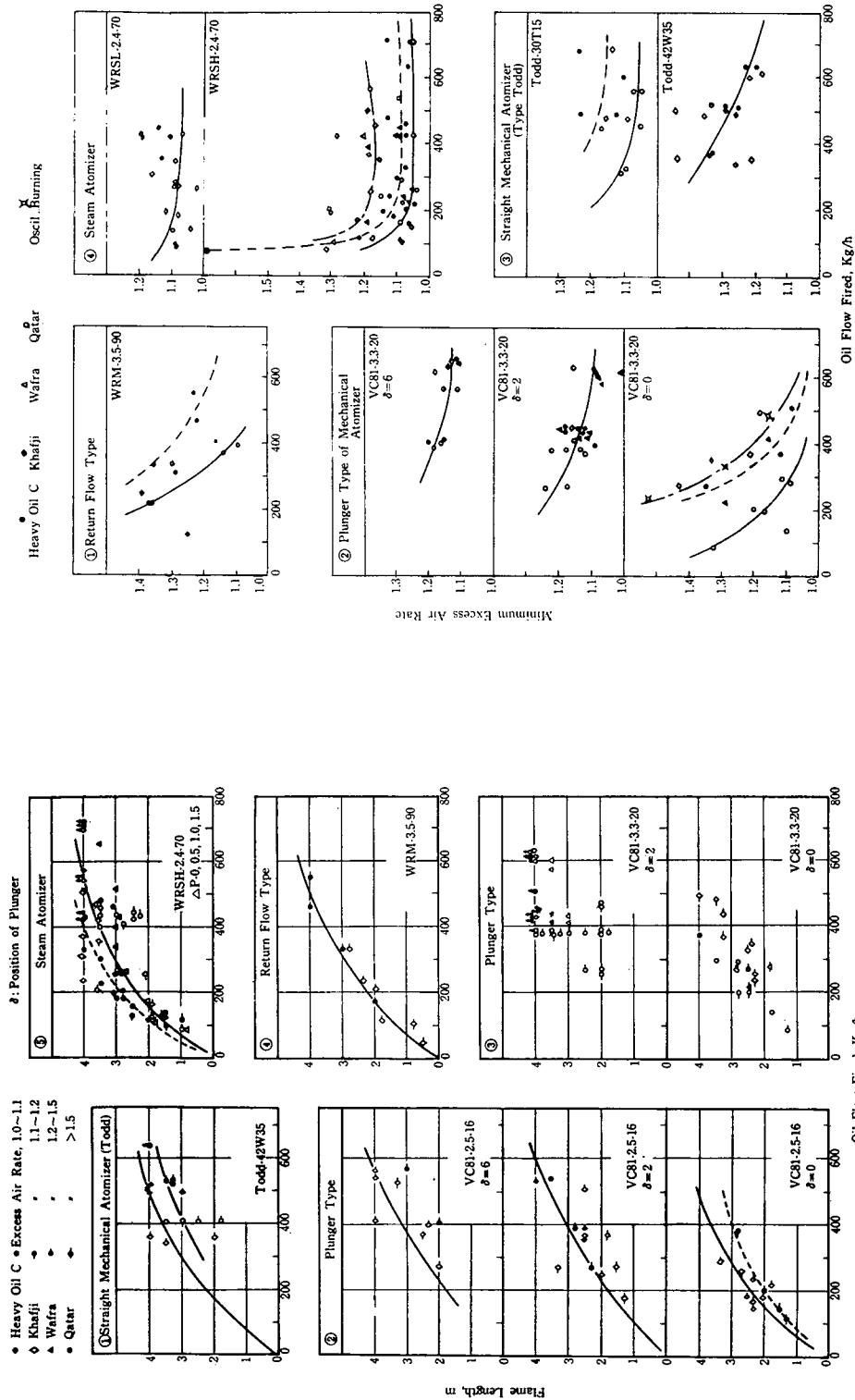


Fig. 6.14 Flame Length

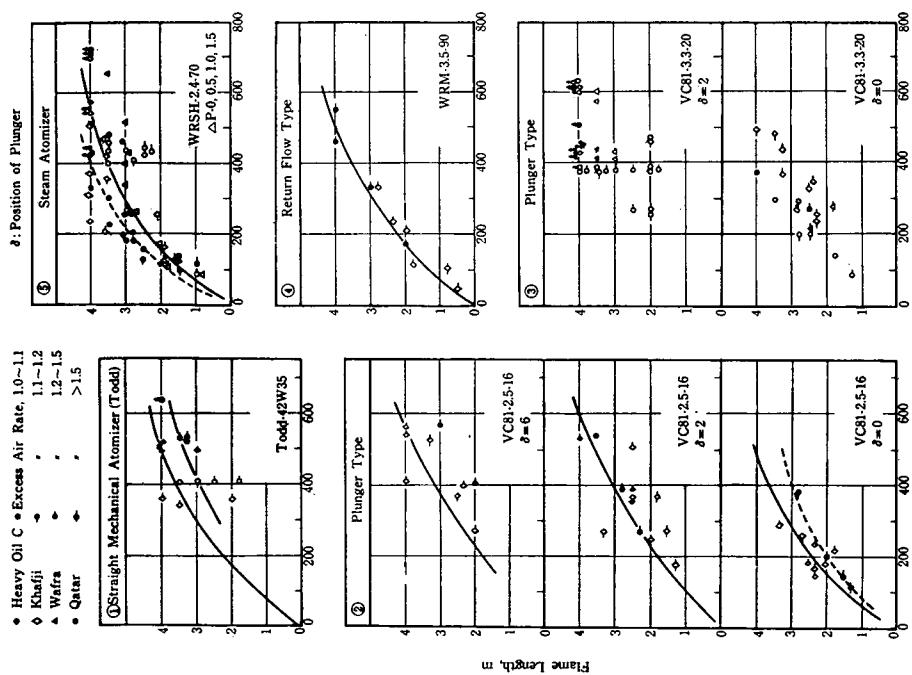


Fig. 6.13 Minimum Excess Air Rate to Get Clear Smokeless Combustion

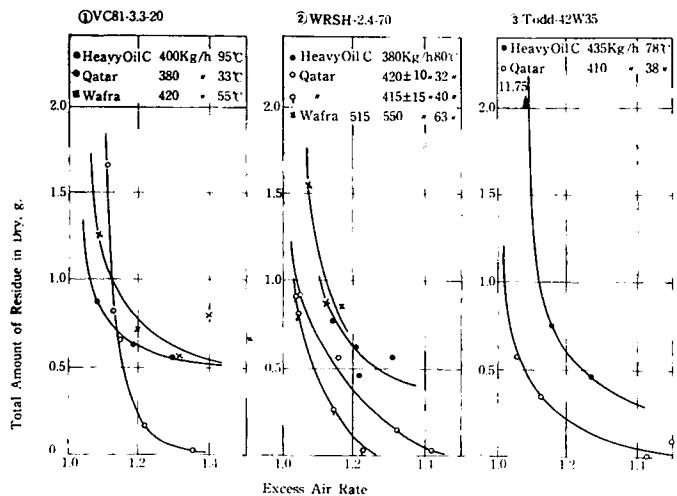


Fig. 6.15 Amount of Residue Sticked on Water-cooled Probe

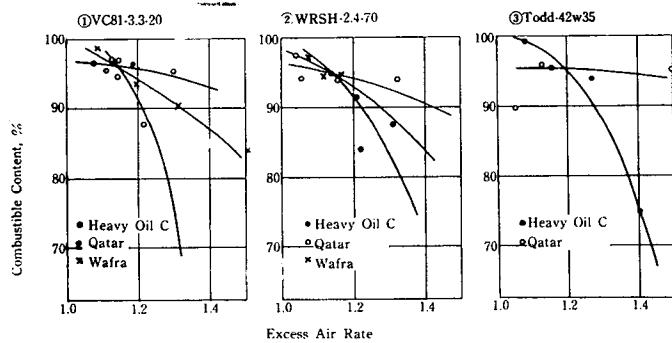


Fig. 6.16 Combustible Content in Residue Sticked on Water-cooled Probe

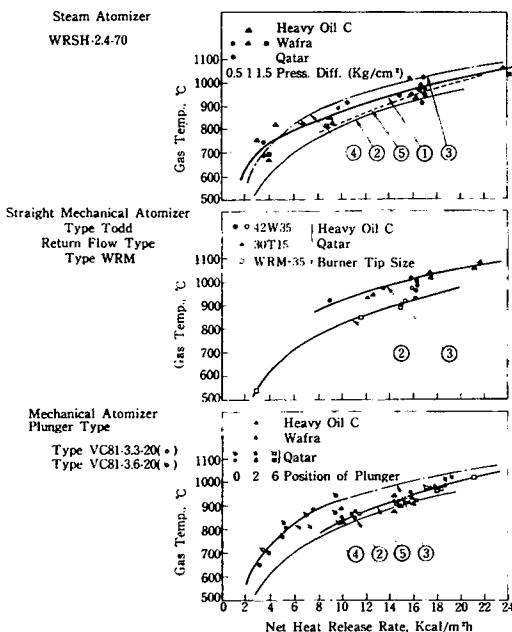


Fig. 6.17 Gas Temperature lvg Furnace

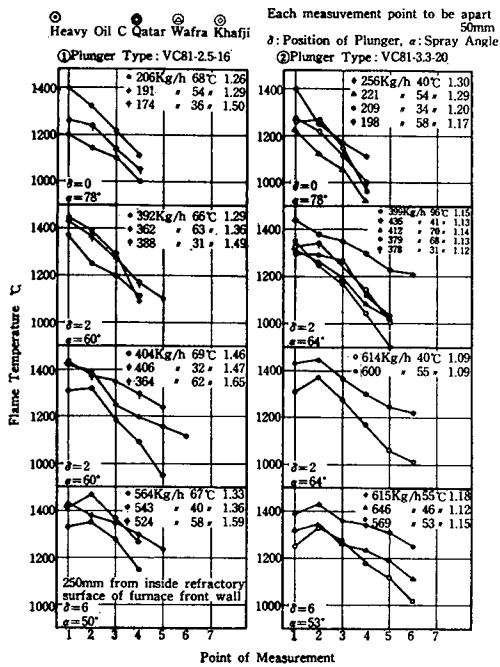


Fig. 6.18(I) Distribution of Flame Temperature

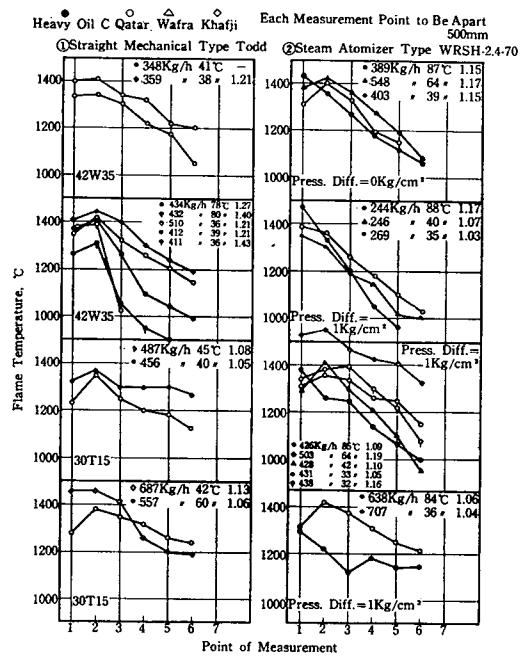


Fig. 6.18(II) Distribution of Flame Temperature

### 6.3.3 燃焼安定性試験

燃焼安定性阻害因子を与えない場合に、空気過剰率を次第に減らしていくと本燃焼試験炉では原油の方がC重油に比し振動燃焼を多発し易い傾向が認められた。

押込送風圧の急激な変動の影響はC重油と原油に差は全く認められない。ポンプ吐出圧の変動はTable 6.4に示す状態でも全く燃焼安定性をそこなうことはなかった。また、特に軽質のカタールにつき制御範囲の下限界まで油圧を下げた状態で油温を80°C程度まで加熱したが、いずれのバーナについても異常噴射による不安定現象は発生しなかった。原油中に水が混入した場合にも、注水率20%までは全く異常はなく20~30%にて火炎がやや細長くなるが不安定ではない。注水率39.7%においてカフジ原油の場合は着火点が不安定となった。

## 6.4 試験結果に対する考察

### 6.4.1 噴射量特性

#### (a) 圧力噴霧式アトマイザ

- (i) 噴射量特性はおおむね比重換算を行なえばよい。
- (ii) ただし粘度が著しく異なる場合には粘性に対する考慮を払い修正する必要がある。
- (iii) 粘性の影響はFig. 6.19に示すごとく粘性の影響を直接的に把握するのに便利であるが、この関係図では流量要素がはいっていないためのバラツキが除去されていない。
- (iv) このバラツキは流量係数をレイノルズ数にて整理すれば除去される。レイノルズ数  $R_e$  は  $R_e = vr/\nu$  で与えられ、 $v$ : 涡巻室流入速度 m/s,  $r$ : 涡巻室流入半径 m,  $\nu$ : 油の動粘度 m²/s とする。

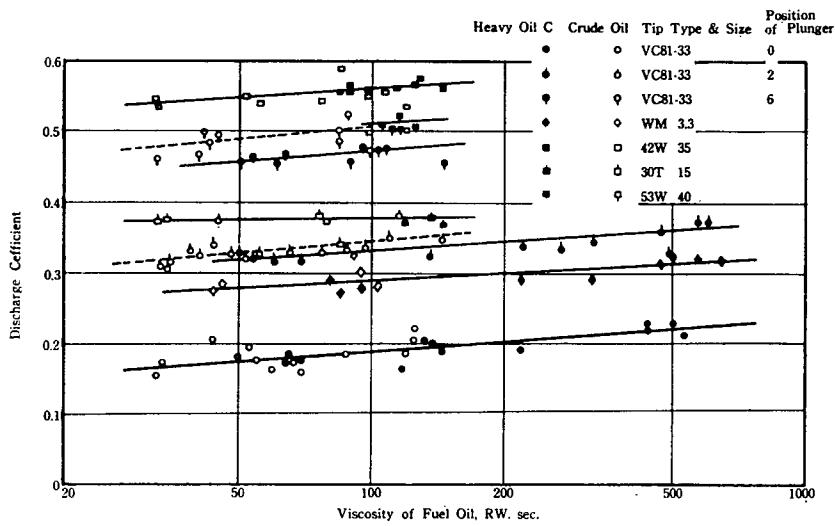


Fig. 6.19 Discharge Coefficient of Mechanical Atomizer vs Viscosity

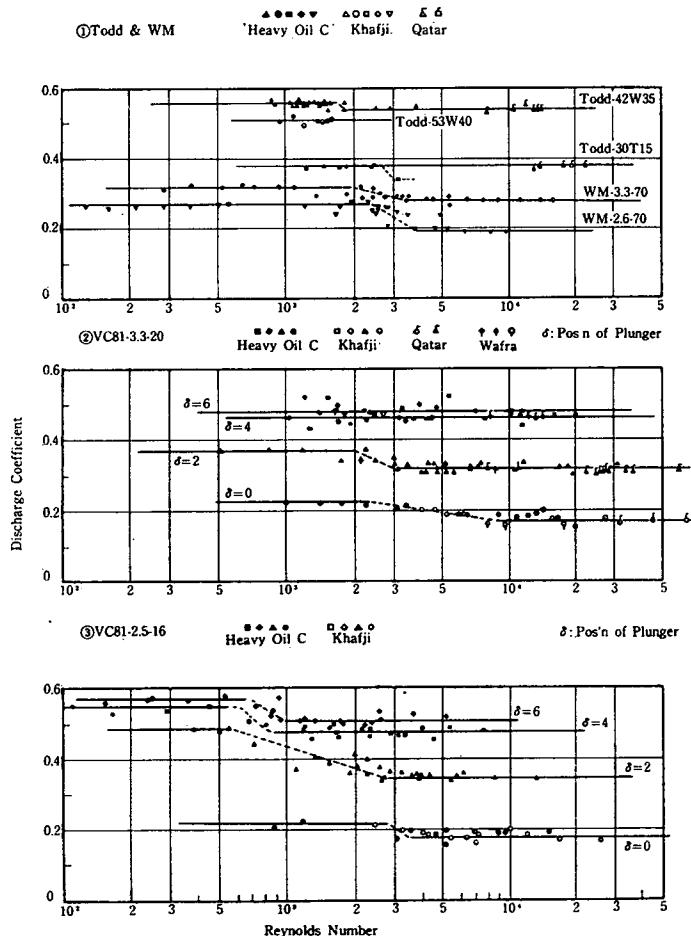


Fig. 6.20 Discharge Coefficient of Mechanical Atomizer

- (v) 流量係数は Fig. 6.20 に示すとく、あるレイノルズ数において突変する。流量係数の変化率、臨界レイノルズ数ならびに乱流遷移領域の範囲は各チップにより区々で一定の法則性は見いだされないが、TODD 型アトマイザの場合は流量係数の変化がほとんど認められない。
- (vi) 湧巻室特性値の小さいほど臨界レイノルズ数は高い傾向がある。湧巻室特性値が小さいほど噴射角は大きいから、噴射角度の大きいチップでは特に粘性に留意する必要がある。すなわち C 重油に対しては臨界レイノルズ数以下が常用範囲であり低粘度原油では臨界レイノルズ数以上にて使用することがあるためである。
- (vii) 最大定格時の油圧が  $40 \text{ kg/cm}^2\text{g}$  の場合は臨界レイノルズ数を超えるものと考えられるが  $20 \text{ kg/cm}^2\text{g}$  程度では (vi) 項の配慮が必要であろう。

(b) リターンフロー型アトマイザ (Fig. 6.11 参照)

- (i) カフジ、カタールは C 重油に比し噴射量が少ない。この減少率は原油と C 重油の比重差のみでは説明できない。
- (ii) 噴射量の低下は油温が高い場合にも表われる。
- (iii) 噴射量特性は他の条件が同じならば供給油圧の平方根にはほぼ比例する。供給油圧および比重の修正のみでは、カフジとカタールの流量差は説明できない。

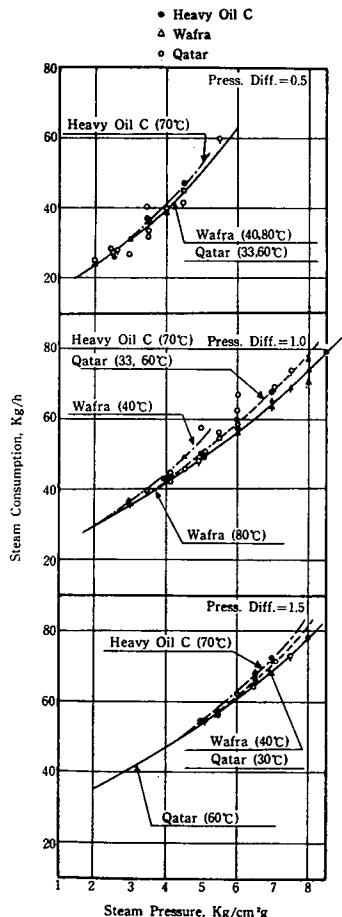


Fig. 6.21 Steam Consumption in Steam Atomizer

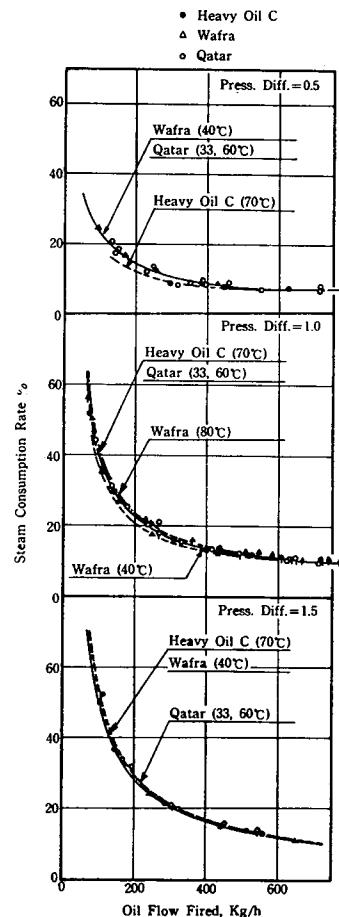


Fig. 6.22 Steam Consumption Rate in Steam Atomizer

- (iv) 以上の原因は主に粘性にあると考えられる。
- (v) 軽質分が多いほど、また加熱温度が高いほど噴射量の低下は著しいが、これは戻りライン中のバブリングのために見掛け噴射量が減少したものと考えられる。
- (vi) したがって軽質油を使用する場合は、配管中バブリングによる流量測定精度の低下ならびに気化損失の増大が避けられずリターンフロー型アトマイザは適切でない。
- (c) 蒸気噴霧式アトマイザ
- (i) 噴射量特性は Fig. 6.12 のごとくほとんどすべて直線とならず下に凸の曲線を呈した。これはC重油、原油（ワフラ、カフジ、カタール）につき加熱度（30～80°C）にかかわらず共通している。この原因は本試験装置にて使用した噴霧蒸気の乾き度が十分でなかったためである。
- (ii) 高負荷では Fig. 6.22 および Fig. 6.25 に見ることく蒸気油流量比が小さくなるためチップ混合室内における蒸気の凝縮量が多く、混合室内圧力が低下するために油量が急増する。Fig. 6.23, Fig. 6.26 は混合室に入る油孔の流量係数を 0.8 として算出した混合室内圧力を示しある油量において急激に圧力の上昇率が鈍化する様子を表わしている。
- (iii) この傾向は蒸気消費率の小さい WRSR 型チップ (Fig. 6.21～6.23) では顕著に現われ、消費率の大きい WRSL 型チップ (Fig. 6.24～6.26) ではこの傾向が軽減される。
- (iv) 油温が高いほど噴射量は減る。これは粘性抵抗の低下よりも遙かに蒸気凝縮の影響が著しいことを示している。
- (v) 同温におけるC重油と原油では概して原油の方が噴射量が少ない。これは混合室内での気化の影響と考えられる。
- (vi) しかし気化発生の程度は負荷を下げた場合、油温を上げた場合または蒸気消費率を上げた場合に顕著に表われるが、いずれの場合にも急激に増大することはなく噴射量特性、燃焼状況

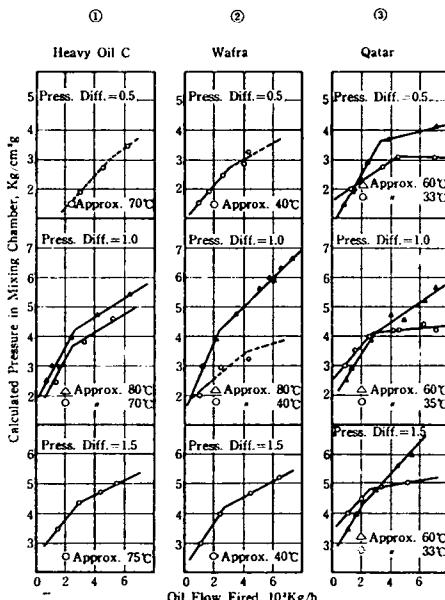


Fig. 6.23 Calculated Pressure in Mixing Chamber of Steam Atomizer

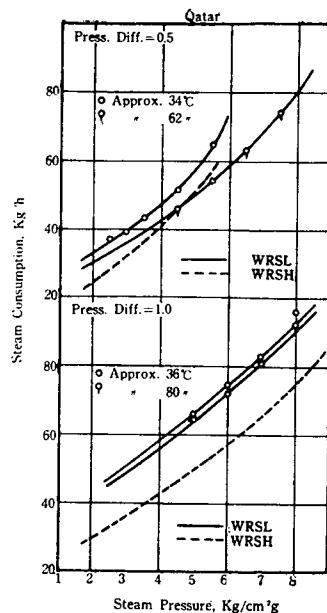


Fig. 6.24 Steam Consumption in Steam Atomizer

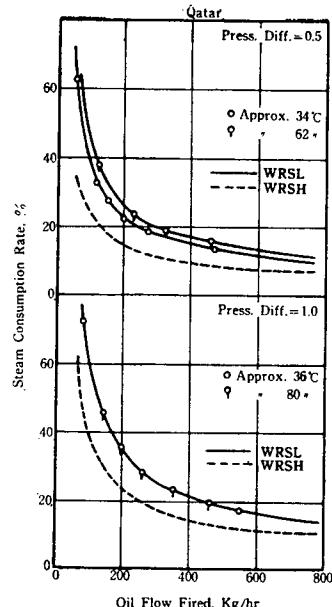


Fig. 6.25 Steam Consumption Rate in Steam Atomizer

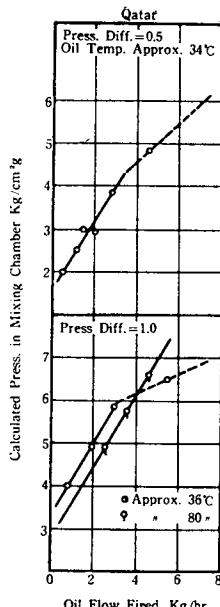


Fig. 6.26 Calculated Press. in Mixing Chamber of Steam Atomizer

いずれの面からも低負荷での不安定現象はない。

- (vii) 噴霧蒸気消費量は Fig. 6.21, Fig. 6.24 に示すごとく、燃料の種類および燃料加熱度の影響をあまり受けないが、混合室内における蒸気凝縮量が著しくなると蒸気通過孔の流量特性は 2 次圧の影響を受けて僅かに変わること。
- (viii) 噴霧蒸気・油流量比は、油種、油温の影響を受けないことが Fig. 6.22 および Fig. 6.25 より明らかである。
- (ix) 加熱 C 重油用のチップ (WRSR 型) はそのままでは常温原油に使用できない。上記のごとく混合室での蒸気の凝縮が原因で異常噴射を発生するためであり、この蒸気凝縮を噴霧蒸気量を増すことにより防止するためには、噴霧蒸気油流量比を少なくとも 15% 以上、できる限り 20% 以上にとる必要がある。これは加熱油の場合の約 2 倍の消費率である。
- (x) 以上のごとく蒸気噴霧式アトマイザの採用条件は、蒸気凝縮量を抑え噴射量（同時に霧化）を安定させることである。このためには油温の上昇、噴霧蒸気量の増大または噴霧蒸気の過熱等が考えられるが、バーナチップを交換して噴霧蒸気消費量を増大させる方法が設備ならばに取扱上最も簡便にして有効な手段と考えられる。

#### 6.4.2 噴霧角特性

噴霧角は噴射試験時の噴霧写真より判定したものでノズル直後の切線角度を持った。この結果各型式アトマイザおよび C 重油、原油について差は認められず、流量分布ならびに噴霧粒径分布にも燃焼性を根本的に左右する差はないものと考えられる。

### 6.4.3 燃 焼 性

原油は多量の低沸点分を含むためバーナ噴射直後の着火点近傍の燃焼がC重油と比べて異なることが予想されたのでバーナ中心部に一次空気を供給しうる構造のTVP-31型と、これと比較する意味でディフューザ付のTODD-D-16型の2種のエアレジスタを使用した。燃焼試験炉の冷却効果が著しくこのために発煙限界における空気過剰率はかなり高かったが、実際ボイラでは有効輻射伝熱面当たりの入熱および火炉負荷がさらに高く、限界空気過剰率は低下し、火炎長さも短くなるものと考えられる。

#### (a) 煙突からの発煙限界における空気過剰率

Fig. 6.13 は各型式バーナについて発煙限界と燃油量との関係を示すもので、結論的にC重油と各種原油との間に差は認められない。特に、C重油、ワフラおよびカフジでは差なくカタールのみ若干低下しうる。蒸気噴霧式バーナでは蒸気の凝縮による異常噴射がなければ燃料油による差は表われないものと考えられる。圧力噴霧式バーナでは、噴霧角度が小さい場合には燃料油による差は表われず噴霧角度が大きい場合には判然と差が見られ軽質分の多いカタールについて空気過剰率は最低となる。限界空気過剰率は噴霧角度の大きい方が低減できるが、油温および一次空気の有無は本質的な影響を示していない。

#### (b) 火炎の状況

火炎長さは、C重油、カフジ、ワフラについて全く差は見いだされず僅かにカタールの場合に短い。火炎長さはその定義がむずかしく、また火炎状況が空気過剰率やエアレジスタの設定により複雑に変化するために火炎観測長さはばらつきが大きい(Fig. 6.14)。C重油、カフジおよびワフラについてはTable 6.1 に示すごとく含有する残溜炭素またはアスファルトがほとんど同程度であるため火炎長さに差は表われない。

燃焼状況一般についても各油種による著しい差は認められないが、原油、特にカタールの場合は圧力噴霧式バーナ使用時に半透明状の火炎を呈する場合が多い。蒸気噴霧式バーナ使用時はチップ混合室における蒸気の凝縮量が著しくない限り全く差がなく白色輝炎を呈する。ただし常温原油を使用して異常噴射状態に近づくと炎は乱れ火粉が飛散し火炎も長大となる。

#### (c) 炉内の汚れ

ボイラの輻射および対流伝熱面への未燃分の附着量を本試験装置において直接的に調査することはむずかしい。そこで管表面が大体一定温度に保たれるよう冷却水流量が調節される水冷プローブを炉内定位置に挿入固定し、これに一定時間(30分)中に附着する未燃分を秤量して各種燃料に対する汚れを推定する比較資料を求めた。この結果をFig. 6.15に示す。本図が示すごとく附着物重量は空気過剰率が1.1以下において急増しており、これは水冷プローブの位置まで軟炎が延びてくる点と大体一致している。各燃料につき試験条件をできる限り同一に保つよう配慮し、エアレジスタの設定を揃え、油量(入熱)もできるだけ等しく保ちかつ空気過剰率を種々変えて測定したが図中に記載の程度の差がある。このことを考慮に入れるといずれの型式のバーナについてもC重油ワフラ両者にはほとんど差がなくカタールの場合に一段と少ないことがわかる。Fig. 6.15においてC重油よりワフラの方がやや附着量は多いが入熱の差を加味すればほぼ図程度かないしは若干少なめであると考えてよい。バーナ型式による差は特筆すべきものはない。

以上の結果から、一応実際ボイラ伝熱面の汚れに関して、C重油、ワフラ、カフジについては差はなくカタールの場合のみ一段と減少するであろうこと、また伝熱面の汚れは燃料中の残溜炭素またはアスファルト含有量が重きをなしていることが推察される。

#### (d) 燃焼完結度

炉内ガスの組成分布は、当初バーナ中心線上にいくつかの点を選び各点のガス分析をオルザートにより求めたが、火炎が3次元的に複雑な流れ模様を呈するために満足な結果が得られなかった。次にバーナ軸方向上に3点を選び各位置においてバーナ中心線に対し直交する方向に採取管をトラバースして、バーナ中心線を含む平面上のガス組成分布( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ )を求めたが、バーナ型式、エアレジスタ設定、空気過剰率、油量等により組成分布は著しく変化する上、採取点数が膨大な数に上るために、分析上試料保存にも問題があった。さらに採取ガスが燃焼反応帯の中間生成物を多量に含むためにオルザート分析では不完全でありながら全点につきガスクロマトグラフ分析を実施することは容易でないので、結果的にはこの方法により燃焼反応の完結度を正確に把握することは困難であった。

しかし、各型式バーナおよび各種燃料について2次元的採取ならびに分析を行なった結果、Solid Flameの場合(TODD型および蒸気噴霧式)には火炎中心部の燃焼反応が外周部に比しおくれるためにバーナ中心線上の%COが比載的大きくなるので、バーナ軸方向のガス組成分布が把握しやすい。この結果による限り%COはバーナより遠ざかるにつれ当然減少するが、% $\text{CO}_2$ , % $\text{O}_2$ は必ずしも一定の傾向を示さない。かつC重油、カフジ、カタールにつき特筆すべき差は見出だされない。ガスクロマトグラフ分析によれば反応帯におけるガス中には相当多量のH<sub>2</sub>、少量のCH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>等が含まれているが、油種による差は見出だされない。

一方、前項に記した水冷プローブ附着物について可燃分の定量を行なった。Fig. 6.16は可燃分を空気過剰率についてプロットしたものである。各型式バーナ、各種燃料とも空気過剰率の増加とともに可燃分含有率は減少する。未燃分の発生が同程度であれば燃料中の灰分の多いほど可燃分含有率は減少することが予想されるが、Fig. 6.16-②およびFig. 6.16-③はこの傾向を表わしている。これに対しFig. 6.16-①は燃料中の灰分含有量の多いC重油およびワフラの方がカタールに比し多量の可燃分を含有することを示している。これはVC-81-3.3型バーナチップを装備したプランジャー型圧力噴霧式バーナ使用時は水冷プローブ位置に相当量の油滴が飛来していたために前2者と異なる結果となったものと思われる。

#### 6.4.4 伝熱特性

原油燃焼に関する問題中ボイラの特性へおよぼす主たる要素は、燃焼ガス側の伝熱特性ならびに排气ガス損失である。C重油、ワフラ、カフジ、カタールにつき理論燃焼計算を試みると、理論燃焼温度はC重油に比し原油は最高25°Cほど低く(ただし熱解離を考慮せず空気過剰率を1.1とする)、燃焼ガス量は単位正味入熱当り約2%原油の方が大きくなる。また燃焼ガス中発生水分はC重油に比しカタールは13%ほど多い。したがって原油を使用した場合は油種による程度の差はあるとしても、同一空気過剰率とすれば、若干排ガス損失は増加する傾向がある。しかしその差はきわめて僅少であり、以上に見てきたごとく燃焼性においてC重油に比し若干すぐれているので結果的にはボイラ伝熱

特性ないし効率に問題となるような影響はおよばさないと考えられる。

#### (a) 火炉出口ガス温度

火炉出口ガス温度は理論燃焼温度にはほとんど差がないことからも C 重油と各種原油との間に大きな差は認められないことが予想される。試験結果でも、一部を Fig. 6.17 に示すごとく、計測上のバラツキ以上の差は現われない。実際問題としてはむしろ輝炎の輻射率がバーナ噴霧型式、エアレジスタ型式および設定条件、スタビライザ効果、噴射スラスト、空気温度、炎の形状、空気過剰率などの影響により変化するので、火炉出口ガス温度もこれら条件に支配され Fig. 6.17 のごとき結果を示した。Fig. 6.17 にて曲線①は蒸気噴霧式、②はリターンフロー型、③は TODD 型直接圧力噴霧式、④および⑤はプランジャ型圧力噴霧式の場合を示す。

#### (b) 輝炎温度分布

Fig. 6.18 は各バーナ別にほぼ一定油量および空気過剰率における輝炎温度分布計測結果の 1 例である。図中に一部油温および空気過剰率の影響等を示した。上述のごとく理論燃焼温度は各油種により差はないが、実際にはバーナ条件による影響で図示のごとき差が表われる。計測値の差は油種によるものよりバーナ条件の因子の影響が大きいが、むしろ C 重油が低目に、カフジが高目に出ている場合が多い。カタール燃焼時はほとんどの場合着火点直後の温度が低くなった。この原因はバーナ直後の火炎の輝度が低く C/H 比の小さい燃料によく見られる半透明状火炎を呈したためである。

### 6.4.5 燃 焼 安 定 性

#### (a) 振動燃焼

燃焼試験炉壁冷却効果が良好なために無煙状態を保持するのに相当多量の空気過剰率を必要としたが、圧力噴霧式バーナの場合は、一次空気の有無にかかわらず発煙限界まで空気量を低下させる前に炉内圧の振動がしばしば観察された。この傾向は噴霧角が小さい場合に多発し、一次空気のある TVP-31 型エアレジスタの方が起きにくい。また C 重油に比し原油使用時にやや多発の傾向があった。振動現象には 3 つの形態がある。1 つは、比較的噴霧角度の広い場合にエアレジスタ空気旋回力が強いと中心に不着火部が生じ、この大きさが変動するために生ずるもので C 重油と原油にて差はない。第 2 は、比載的噴霧角が小さく、空気旋回力が比載的強い場合に火炎に沿って点在する多数の黒煙の塊が生じ、これが発生・消滅を繰返すために発生するもので原油燃焼時に発生しやすい。第 3 は、噴霧角度が非常に小さく空気旋回力も弱い場合に、着火点が大きく離れこの浮上り距離が変動するために生ずるもので原油燃焼時に起き易い傾向がある。

しかしいずれの場合も連続燃焼が不安定となることはなく、また実際ボイラでは炉伝熱面の構成等燃焼条件として改善されるので問題ないと考えられるが一応留意すべき点と考える。

#### (b) 外乱因子を与えた場合の燃焼の安定性

送風機吐出風圧、ポンプ吐出圧に大幅の変動を与えて特に不安定現象はなく、C 重油に対する同様の注意を怠らなければ危険はない。

気化発生のための異常噴射に起因する異常燃焼も全くない。すなわち、この点で最も条件の苦しいカタールにつき油温を 80°C まで加熱し最低負荷まで油圧を低下させても、圧力式、蒸気式を問

わざ連続的に油量の低下が可能であり、間歇噴射や消火は発生しなかった。

燃料中に多量の水分が瞬時混入した場合もまず心配はなく、実際ボイラ取扱上火炉内の安全性についてもC重油と変わらないものと考えてよい。

#### 6.4.6 そ の 他

腐食の問題については燃焼試験遂行上、時間および燃料の制約があり試験は実施しなかった。しかし燃料中の硫黄含有率はワフラ、カフジについては、C重油と同程度であり、ヴァナジウムについてもカフジの分析結果によればC重油と変りはないので低温部の腐食に関する限りC重油と同程度ないしやや楽な条件であると考えられる。

しかし含有塩類は原油の方が遙かに多いから高温伝熱面への溶解附着物の量は増加する可能性がある。特に油中に海水が混入した場合に溶解附着物、煉瓦の損傷などが促進される可能性があるから生原油を取扱う際にはこの点に留意する必要がある。

また、安全性に関しては船舶技術研究所において試験が実施されたが、本燃焼試験実施中にも可燃性ガスが発生し易い場所を選んで可燃性ガス濃度測定を行ない、実際ボイラ取扱上に発生する危険度を確認した。計測は光明式ガス検知器を使用した。最高ガス濃度が記録されたのはバーナ着脱時におけるバーナ周辺であるが、この場合でも爆発下限界を100として30程度である。しかし実際にはページラインを設けておくことが望ましい。

## 第7章 安全性試験

油送船において原油生だきを行なう場合、安全性は燃焼性とともに最も重要な問題である。原油中には常温で常に可燃性ガスの発生があり危険性が大きい。これを燃料として使用する場合には、よくその性質を把握し慎重に取扱う必要がある。それゆえ使用上の安全性を確立する資料を得るために、燃料系統において生ずる漏えいおよび噴出等の諸条件を考慮し、原油の危険性の程度を調査するとともに災害防止上の安全対策を解明する試験を船舶技術研究所で実施した。

### 7.1 試験方法

#### 7.1.1 供試原油

供試原油は現在の輸入原油の関係上、中近東地区のものとした。しかし原油の性状はかなり相違しており、危険性のあるガソリン分も10~40%含有されている。そこで供試油は原油中でも危険性の著しく大きいカタール原油（ガソリン分約40%）とガソリン分は比較的少ないが実用の可能性が大きいカフジ原油（ガソリン分約20%）を選定して使用した。その性状を Table 7.1 に示す。

Table 7.1 Properties of Test Crude Oils

Name of Crude Oil		Khafji	Qatar
Specific Gravity	15/4°C	0.887	0.8293
Viscosity RW #1	21°C	180	45
Distillation	I P	44	22
	5%	72	—
	10%	140	89
	20%	199	134
	30%	265	171
	35%	294 cut	215/40%
	50%	—	261 cut
Vapor Press.	mmHg	490/40°C	478/37.8°C
Gas Composition	Methane wt%	Trace	0
	Ethane "	0.05	0.10
	Propane "	0.50	1.90
	Iso-butane "	0.21	0.90
	N-butane "	0.93	2.90
	Iso-pentane "	0.54	1.10
	N-pentane "	1.04	1.00
	The Others	96.73	29.10

#### 7.1.2 試験装置

試験は、機関室内の燃料管系より原油が漏えいおよび噴出した場合における危険性を調査するため Fig. 7.1 に示す試験設備を使用した。試験室は長さ 7.40m, 幅 5.55m, 高さ 3.56m, 室内容積 165 m<sup>3</sup> であり、室内には燃料管を配置し、外部より原油を送って漏えいおよび噴出試験が行なえる。ま

た室内には通風管を設置し、外部の送風機を用い送風、排気および局部排気を行なった場合の試験も行なえる。その他原油タンク、漏えい油計量タンク、噴出用ギヤポンプ、および排油用ギヤポンプならびに排油計量タンクの設備がある。Fig. 7.2 は室内のガス濃度分布を計測するために配置したガス採集管（上下、左右36点）の位置と室内換気用通風管および原油受皿の位置を示した。なお各ガス採集管により採集したガスは室外に設置した可燃性ガス濃度指示計に導き、それぞれの場所のガス濃度を計測できるようにした。

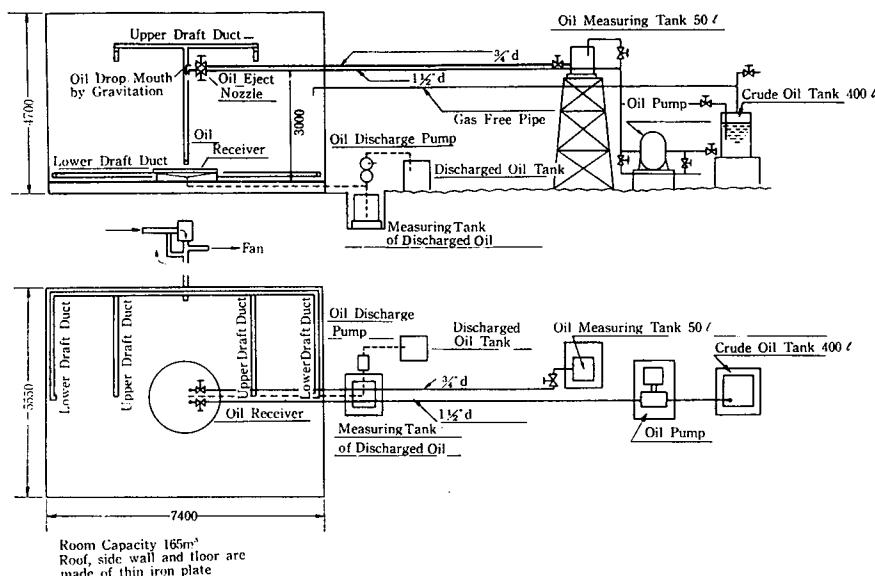


Fig. 7.1 Safety Test Equipment

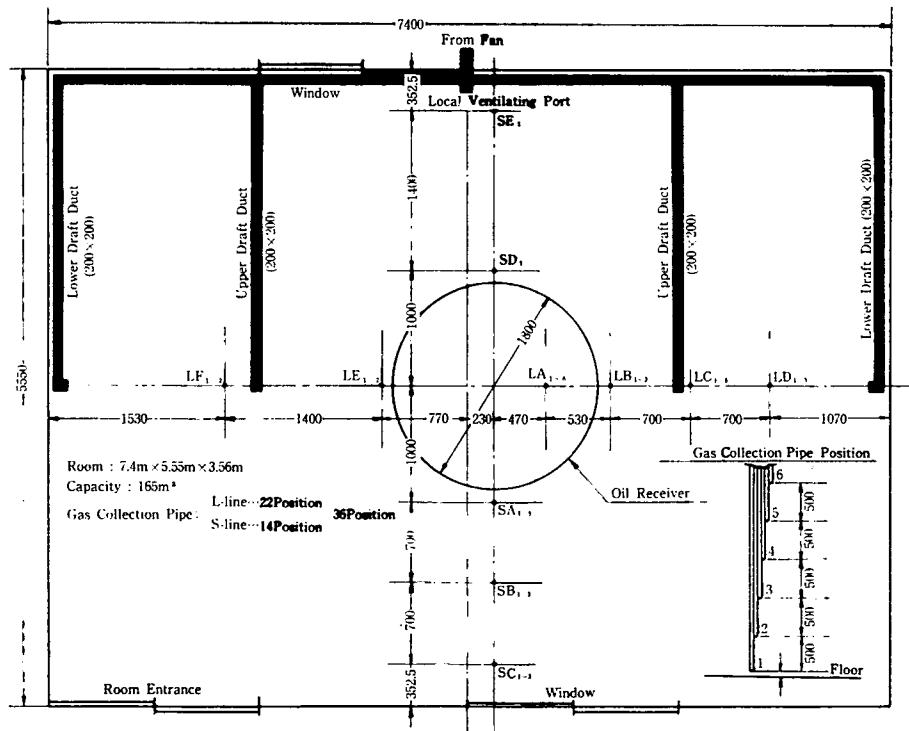


Fig. 7.2 Arrangement of Gas Suction and Draft Duct

### 7.1.3 計測器具

試験に使用した可燃性ガス濃度指示計は光明理化製のもので、原理は空気中の可燃性ガスを特殊な活性触媒を用いて接触燃焼させ、その温度上昇がガス濃度に比例することを応用し、電気的にガス濃度を測定するものである。またこの計器は原油ガスのごとき数種類の可燃性ガスが存在しても総合した危険度を直読することができる。メータ示度はガスの爆発下限界（引火する最低濃度）を100とし、危険度を数値と色別で示してある。その他温度の測定には指示熱電温度計（HPF形 600°C/24mv YEW 製）、通風量の測定にはオリフィスおよび風速計（ビーラム）を用い、油量の測定は台秤を使用した。

### 7.1.4 試験の種類

試験は原油使用時の安全を図るために燃料系統のすべての装置について行なうことが望ましいが、装置と状態を組合せばきわめて複雑になる。しかし生ずる現象は原油の漏えい、噴出、ガスの漏えいのいずれかである。それゆえこれらの状態を考慮し種々の条件を変え Table 7.2 の試験を行なった。

Table 7.2 Sorts of Test

i) Vaporised Inflammable Gas Quantity of Crude Oil

Test Item	Condition			Remarks
	Oil Quanitity (gr.)	Oil Temp.(°C)	Oil Depth (mm)	
Gas Quantity	2.5~78	27~46	2~40	

ii) Inflammable Gas Concentration for Oil Dropping Test.

Test Item	Condition				Remarks
	Oil Quantity (kg/30min)	Drop Mouth Height (m)	Drafting Method	Temp. (°C)	
Oil Quantity and Gas Concentration	5, 10, 18	2, 5	nil	31~35	
Drop Height and Gas Concentration	18	2.5, 1.0, 0.2	"	35~38	
Max. Oil Quantity and Gas Concentration	150/70min	0.2	"	23~32	
Gas Concentration (under Draft)	18	2.5	Draft (Upper and Lower) Ventilation (Lower)	33~37	
Gas Concentration (under Local Ventilation)	20	0.2	3 kinds	32~35	
Drop on Hot Iron Plate and Gas Concentration	8/8min	2.5	nil	24~27	Iron Plate Temp. 65, 100°C

iii) Inflammable Gas Concentration for Oil Ejection Test

Test Item	Condition					Remarks
	Oil Press. (kg/cm <sup>2</sup> )	Oil Quantity (kg/5min)	Nozzle Height(m)	Drafting Method	Temp. (°C)	
Oil Press. and Gas Concentration	3, 5, 7.5	10	1.5	nil	29~32	
Gas Concentration (under Draft)	6	12	1.5	Draft (Upper)	34	
Gas Concentration (under Local Ventilation)	7.5	10	1.5	2 kinds	35	
Ejection on Hot Iron Plate and Gas Concentration	7.5	10	1.5	nil	37	Iron Plate Temp. 100°C

iv) The Test of Firing, Burning and Fire-extinguishing for Crude Oil

Test Item	Crude Oil Quantity (kg)	Condition	Beginning Time of Fire Extinguishing after Firing
Fire Extinguishing Test (Dry Chemical)	2, 5, 10, 15, 20	Paloma Light (600gr.) (800gr.)	13 sec(Khafji)
Fire Extinguishing Test (Carbon Dioxide)	2, 5, 10, 15, 20	CO <sub>2</sub> 5 Type	7 sec(Qatar)
Test of Fire Prevention	5	—	—

## 7. 2 試験結果

### 7.2.1 原油のガス発生量

原油の危険性はガスの発生に起因し、その多少が重要な問題である。ガス発生量は原油の種類によって大差があるうえ、油温度、大気の温度と湿度、通風の状態、油層の厚さ、油面の広さ、ガス発生時間、油の流動または動搖の状態等によって影響される。これが錯綜しているから所要の条件でのガス発生量を正確に求めることは難しい。油の蒸気圧等を求めて推定することも考えられるが、原油は種々の成分の混合したものである上、発生したガスが重く液面に滞留しやすいので、その状況によっても著しい差を生じる。それゆえ簡単な試験装置により、これらの諸元の影響とガス発生量を求めた。試験の結果は Fig. 7.3~7.6 のとおりで次のような傾向であった。

- a) Fig. 7.3 は油温度とガス発生量の関係を、Fig. 7.4 は油温度とガス発生率（ガス発生量／油量）の関係を示したものである。ガス発生量は温度の上昇に伴なってほぼ直線的に増加している。
- b) Fig. 7.5 は原油が大気中に曝露された時間とガス発生量の関係を示したものである。ガス発生量は曝露された初期に多く、時間の経過とともに減少するが油層が薄い場合ほど減少が早い。
- c) Fig. 7.6 は油層の厚さとガス発生量の関係を示したもので、油層が厚くなればガス発生量は増加する。カフジ原油のように比較的粘度が高く、ガソリン分の少ないものは油層の厚さの影響は少ないが、カタール原油のように粘度が低くガソリン分の多いものは油層の増加とともにガス発生量は増加する。なおカタール原油の油層を厚くした場合、油層を 10 mm から 20 mm にするとガス発生量の増加率が 125% であったものが 20mm から 30mm の場合の増加率は 110% で、この付近から急減している。

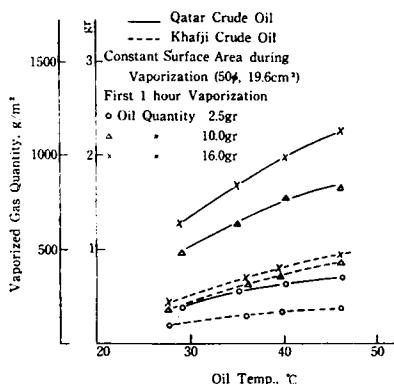


Fig. 7.3 Crude Oil Temp. and Vaporised Gas Quantity

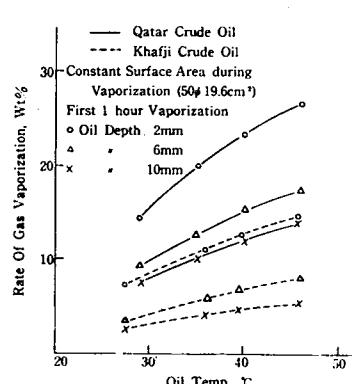


Fig. 7.4 Crude Oil Temp. and Gas Vaporization Rate

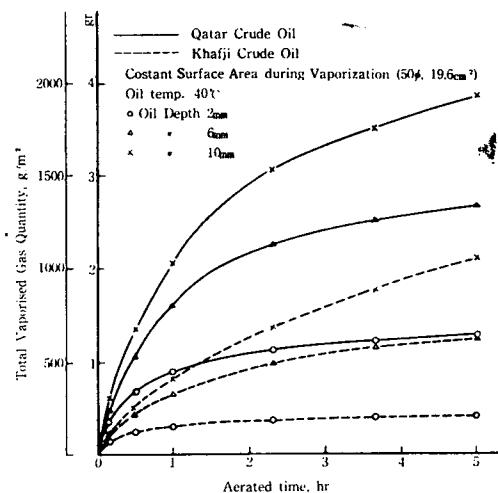


Fig. 7.5 Crude Oil Aired Time and Vaporized Gas Quantity

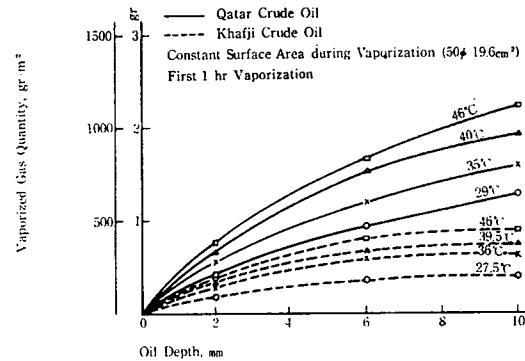


Fig. 7.6 Crude Oil Depth and Vaporized Gas Quantity

d) 油の表面積が増加すれば当然ガス発生の全量は増加するが単位表面積当りの発生量は減少する。油面が  $20\text{ cm}^2$  で  $2.7\text{ gr}$  ( $1,350\text{ g/m}^2$ ) のものが  $30\text{ cm}^2$  の油面の場合は  $3.2\text{ gr}$  ( $1,067\text{ g/m}^2$ ) となった。それゆえ大量に油が流れた場合は表面積が大きいからガス発生量は多いが、ほぼ面積の平方根に比例した程度で増加するであろう。

e) カタール原油のガス発生量はカフジ原油の  $2 \sim 3$  倍であった。

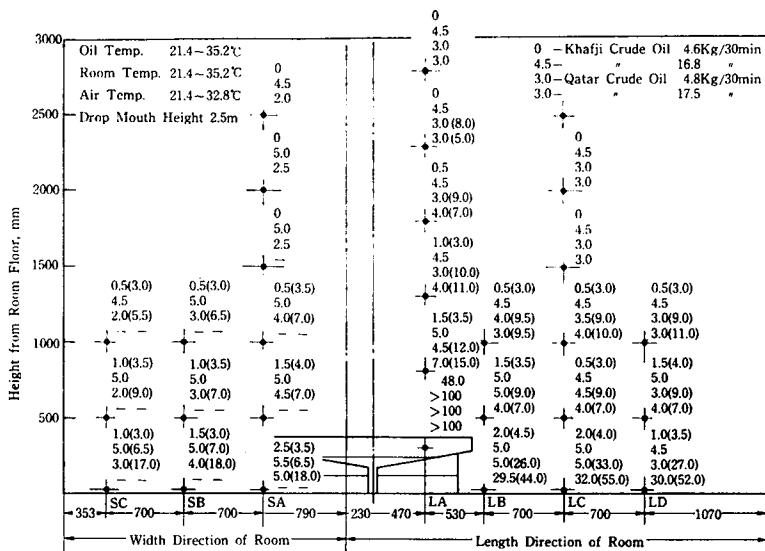
f)  $40^\circ\text{C}$  のカタール原油が  $10\text{ mm}$  の油層で表面積が  $1\text{ m}^2$  になるように流れたとすれば、1時間のガス発生量は Fig. 7.6 より約  $1\text{ kg}$  となる。無通風で  $10 \times 10 \times 5\text{ m}$  の室に平均して分布したとすればガス濃度は約  $0.14\%$  となり、ガス濃度指示計の示度は約  $7$  になる。しかしこの場合は  $20\text{ cm}^2$  の油の表面積のものが相互に影響することなく分散した状態から算出したものである。もしガス発生量が表面積の平方根に比例するとすればガス濃度は上記の  $1/20$  になる。また換気があればそれだけ低くなる。

## 7.2.2 原油の漏洩とガス濃度分布

試験は原油の漏えい量、漏えい高さ、通風中の漏えい、漏えい部分の局部排気および高温鉄板上の漏えい等について行なった。ガス濃度の測定は漏えい中および漏えい停止後について行ない、ガス濃度分布の変化を調査した。なお試験時間は約1時間とし、その間30分間原油を漏えいさせた。

a) 無風の場合

無風の室内において原油の漏えい量および漏えい高さによるガスの濃度分布を測定した。Fig. 7.7 は結果の一例で室内各位置におけるガス濃度をメータ示度で示した。なお( )内の数値は試験中の最高示度を示したものである。両原油の漏えいの場合ともガス濃度が爆発下限界に達した場所は流出油がたまっている油面上の約  $5\text{ cm}$  までの高さであり、その他の場所は濃度に多少の差はあるがすべて引火する濃度には達しなかった。なお漏油の飛散した床面で局部的にガス濃度が高くなることもあったが、カタール原油で示度が約  $50$ 、カフジ原油で  $10$  以下であった。



1. Figures indicate reading values inflammable gas detector.
2. Figures in brackets indicate max. reading values during the test.

Fig. 7.7 Crude Oil Dropped Quantity and Distribution of Gas Concentration.

#### b) 通風時の場合

試験は漏えい量を約 18 kg、漏えい高さを 2.5 m とし、室内の上部風路および下部風路より送風（約 1,570 m<sup>3</sup>/hr で室内容積の約 9.5 倍）した場合と下部風路より排気（約 3,900 m<sup>3</sup>/hr で室内容積の約 2.4 倍）した場合について行なった。結果はいずれの場合も極めてガス濃度は低く、無風時試験で爆発下限界に達していた油面上においても示度は10以下で安全状態であった。また通風効果の確認のため送風停止および再送風を行なって油面上のLA<sub>1</sub>点でガス濃度の変化を調査した。Fig. 7.8 はその結果を示したもので、送風停止 1 分後よりガス濃度は増加し、その後約 2 分で爆発下限界の 100 に達している。再送風した場合には約30秒後にガス濃度は低下しだし、約 2 分後には示度10以下の安全状態となり通風効果の大きさことがわかった。なお油面上以外の点は通風を停

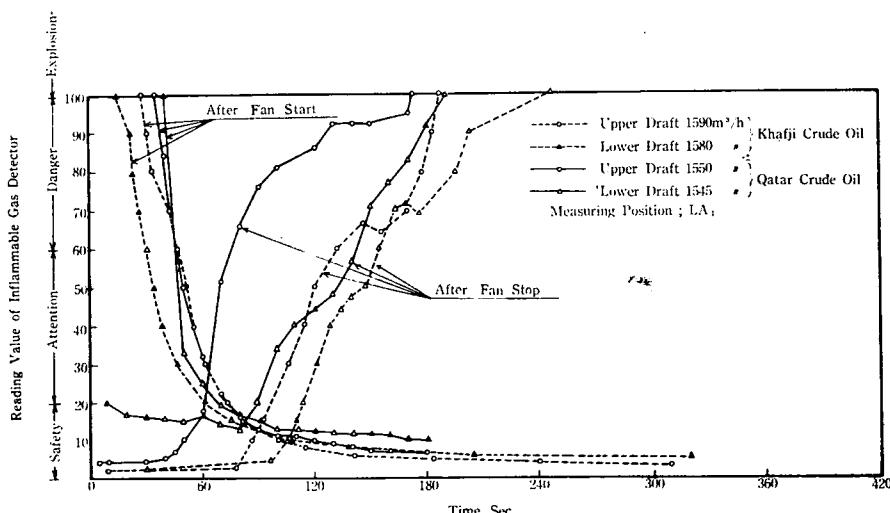
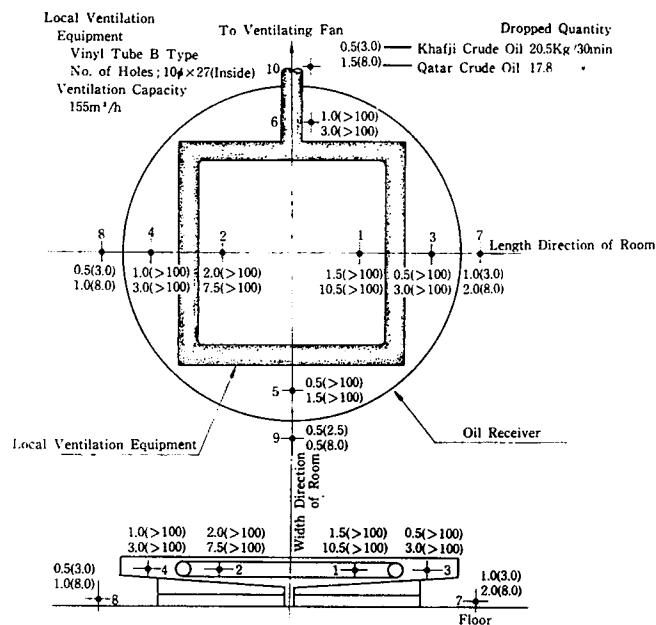


Fig. 7.8 Transient Variation of Gas Concentration After Fan Stop and Start

止した場合においても示度は10以下であった。

### c) 局部排気の場合

以上の試験から漏えいによる危険の範囲は油のたまっている付近だけであるから、その場所のガスを局部的に排気すればガスの拡散はなく、さらに安全であると考えて局部排気の試験を行なった。試験は塩ビ管で簡単に試作した局部排気装置を漏油の周囲に設置してガスの排気を行なった場合と燃料系統部品の分解時用として試作した局部排気装置を使用した場合等について行なった。1例として漏油から発生するガスの局部排気を Fig. 7.9 に示す。結果は油面上のガス濃度もきわめて低く、局部排気効果の大きいことを示した。なお図中( )内の数値は排気を停止した時のガス濃度を示したものである。



- Figures indicate reading values of inflammable gas detector.
- Figures in brackets indicate inflammable gas detector reading values when the ventilation stop.

Fig. 7.9 Local Ventilation and Distribution of Gas Concentration

### d) 高温鉄板上の漏えいの場合

漏えい原油が高温部に触れた場合の危険性を知るため、油受皿表面を 65 および 100°C に加熱し、そこに原油を漏えいさせてガス濃度を測定した。結果は漏えい油が高温部に触ると急激な蒸発が行なわれ白煙を上げて室内に拡がった。しかし各点におけるガス濃度は示度 5 ~ 15 で意外に低く、試験後は油面上の中心部で 30, 中間部で 15, 油面端で 7 であり、常温試験時の油面上の値より著しく低い値を示していた。また一方原油も重油と同様に高温の場合には自然発火の危険も考えられる。しかし自然発火温度の試験結果は約 450°C で重油と同程度であるから特に考慮の必要はない。

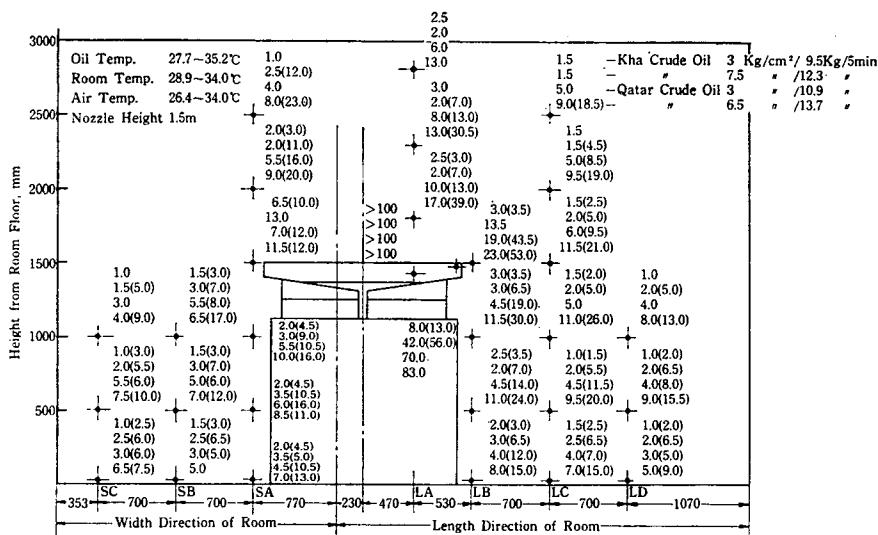
#### 7.2.3 原油の噴出とガス濃度分布

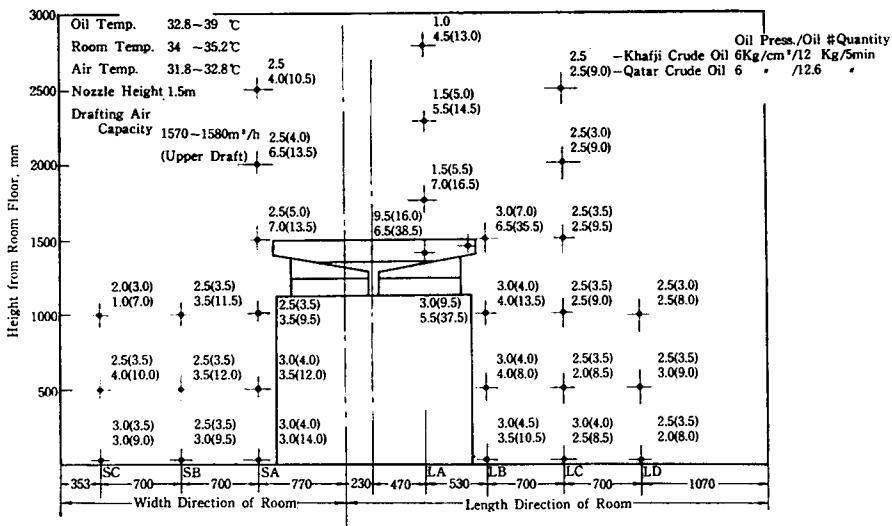
圧力をもった原油が噴出した時には飛散が大きく、発生ガスも広範囲に拡がることが予想される、

それゆえ噴出した場合の影響を調査するため、噴出圧、通風、局部排気等の条件を変えて試験を行ないガス濃度の分布状況を調査した。なお試験は噴霧が油受皿の外に拡がるので油受皿を床面より1m上げ、噴射高さを1.5mとして行なった。そのためガス採集管LA<sub>2</sub>を受皿縁の内側に、LA<sub>3</sub>は受皿縁の外側に配置した。

#### a) 無風の場合

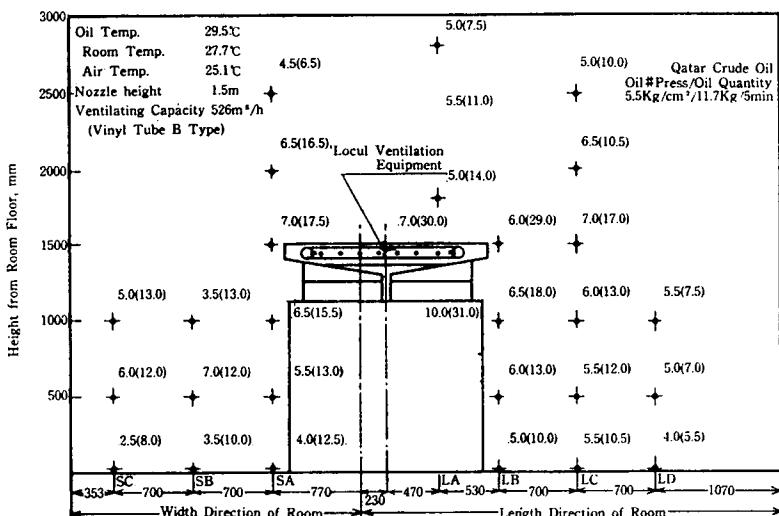
無風の室内に原油を3.5および7kg/cm<sup>2</sup>で5分間噴出させ、ガス濃度分布を調査した。Fig. 7.10はその結果を示したもので、ガス濃度は噴出圧に大体比例して高くなるが、圧力が高いと油粒が細かくなり飛散するので、噴油の周辺および油受皿付近のガス濃度が比較的高くなる。ガス濃度はカタール原油の方が高く、試験中油受皿の周辺で最高示度が53を示したが、油面上以外はいずれも引火する濃度には達しなかった。カフジ原油はかなり低く、同じ受皿付近でも示度は15以下であった。しかし油面上はカタール原油と同様に爆発下限界の100を示していた。





- Figures indicate reading values of inflammable gas detector.
- Figures in brackets indicate inflammable gas detector max. reading values during the test.

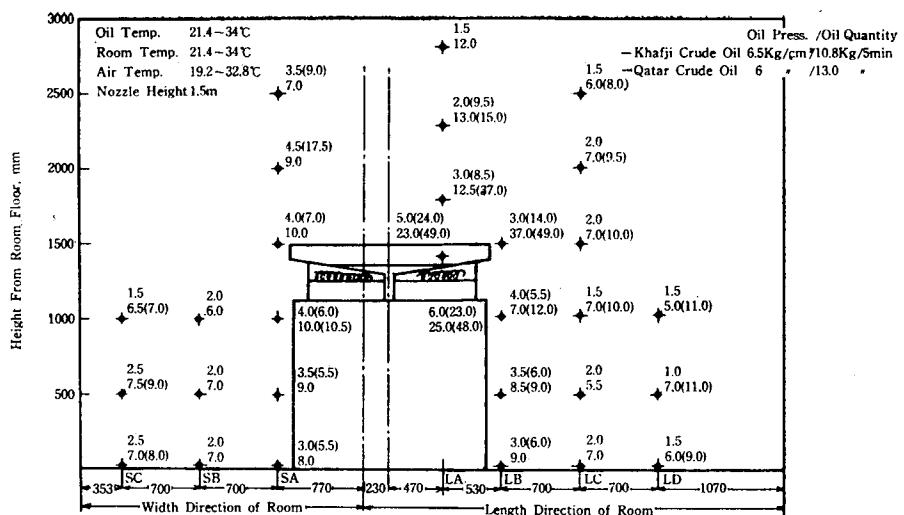
Fig. 7.11 Crude Oil Ejection under Drafting and distribution of Gas Concentration



- Figures indicate reading values of inflammable gas detector.
- Figures in brackets indicate inflammable gas detector max. reading values during the test.

Fig. 7.12 Local Ventilation under Oil Ejection and Distribution of Gas Concentration.

油受皿を 100°C に加熱し、そこに原油を圧力約 6 kg/cm² で 5 分間噴出させガス濃度を測定した。結果は Fig. 7.13 に示すとおりであるが、ガスの発生状態は漏えい試験の場合より早く、短時間に白煙が室内に立ちこめた。しかしガス濃度は意外に低く、漏えい試験の場合より多少高い示度を示した程度であった。



- Figures indicate reading values of inflammable gas detector.
- Figures in brackets indicate inflammable gas detector max. reading values during the test.

Fig. 7.13 Crude Oil Ejection on Hot Iron Plate (100°C) and Gas Concentration

Khafji {—x—dry chemical } air temp. 29.5~32°C (Beginning time of fire extinguishing ;)  
 {...x...carbon dioxide} room temp. 33~37.2°C (after firing 13 sec)

Qatar {—●—dry chemical } air temp. 24.5~29°C (Beginning time of fire extinguishing ;)  
 {...●...carbon dioxide} rppm temp. 26.5~31°C (after firing 7 sec)

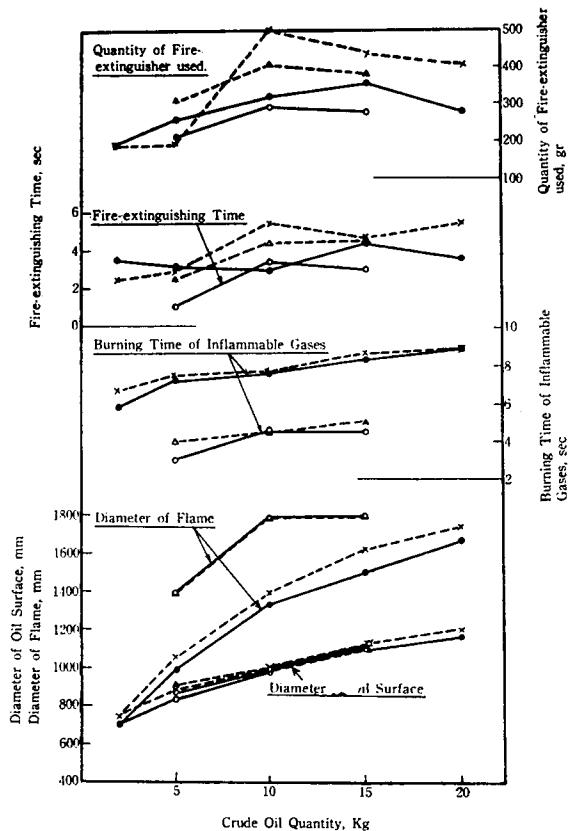


Fig. 7.14 Firing, Burning, and Fire-extinguishing Test of Crude Oil.

### 7.2.4 原油の着火、燃焼試験

試験は油量を 2~20 kg とし、それぞれの着火、燃焼および消火状況を 8% 撮影機で写し詳細に調べた結果を Fig. 7.14 に示す。着火および燃焼状況は原油によりかなり相違している。カフジ原油は点火すると油面上のガスが青い炎を約 20cm 程度あげて油面上をはうように炎え拡がっていく。そのガスの燃焼時間は 6 ~ 9 秒で、その後引続きガスの燃焼熱により気化した油蒸気の燃焼（ここでは本燃焼という）が始まる。本燃焼は油面上全体が赤い炎となり時間の経過とともに火勢は強くなる。その状態は 20kg の原油で約 13 秒後に火炎高さは約 50cm であった。カタール原油の場合もガス燃焼は前者と同様であったが、ガス燃焼が終る以前に点火位置付近より本燃焼に移り、火炎の高さも約 2 m 程度となった。消火に使用した消火剤はドライケミカルと炭酸ガスであったが消火に要した時間は前者が約 3 ~ 4.5 秒、後者が 2 ~ 6 秒であり、平均して前者の方が早く消火することができ、その上消火操作も容易であった。

### 7.2.5 金網による着火防止の効果

通常重油タンクのガス抜き開口部には金網が使用され、タンク内に引火することを防止している。原油のごとき多量に可燃性ガスを含むものをタンク内に張込んだ場合においても、その金網が有効か否かを調べるために実験装置の原油タンクよりガス抜き管を試験室内に導き、開口部に 2, 3 の金網（50, 30, 20 メッシュ）を使用して試験した。また機関室内に原油の漏えいがあった場合、発生ガスがモータ等の火花により火災になることも考えられる。このような時金網でモータを覆えば災害防止

Table 7.3 Variation of Gas Concentration at Gas Free Pipe in Crude Oil Tank.

#### i) Oil Circulation in Oil Tank

Test Gauze Wire	Reading of Inflammable Gas Detector		Oil Temp. of Tank Inside	Gas Temp. of Tank Inside	Room Temp.	Open Air Temp.
Mesh	Inside of Pipe	Outside of Pipe	°C	°C	°C	°C
50	>100	5~20	34.0	34.0	30.3	27.2
32	>100	40~55*	35.2	34.0	30.3	26.5
20	>100	>100	35.2	34.0	30.3	26.5

\* It was found that reading of inflammable gas detector showed <100> at outside of pipe, sometimes.

#### ii) Air Blow into Oil for Agitation

Test Gauze Wire	Reading of Inflammable Gas Detector		Oil Temp. of Tank Inside	Gas Temp. of Tank Inside	Room Temp.	Open Air Temp.
Mesh	Inside of Pipe	Outside of Pipe	°C	°C	°C	°C
50	Over Upper Explosive Limit	>100	26.5	32.8	28.6	28.6
32	"	>100	25.1	31.6	27.2	27.2
20	"	>100	25.1	30.3	27.2	26.5

Remarks 1) It was found that gas concentration inside gas free pipe and oil tank exceeded upper explosive limit.

2) Air blow quantity into oil; 760 l/h

Table 7.4 Inflammable Gas Distribution in Crude Oil Storage Tank

Name of Oil	Condition	Khafji crude oil						Qatar crude oil					
		Oil supply			Oil discharge			Oil supply			Oil discharge		
Oil quantity	77 ℥	153 ℥	192 ℥	192 ℥	>100 O.U.E.L.	>O.U.E.L.	77 ℥	153 ℥	192 ℥	192 ℥	153 ℥	>100 O.U.E.L.	O.U.E.L.
Top 0cm	38	>100 O.U.E.L.	>O.U.E.L.	>O.U.E.L.	>O.U.E.L.	>O.U.E.L.	>100	>100	>100	>100	>100	>100 O.U.E.L.	>100 O.U.E.L.
5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
10	67	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	O.U.E.L.
15	90	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
20	>100	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
25	"	"	"	"	"	"	O.U.E.L.	"	"	"	"	"	"
30	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
35	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
40	"	O.U.E.L.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
45	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
50	"	"	"	"	"	"	O.U.E.L.	"	"	"	"	"	"
55	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
60	"	"	Oil surface	Oil surface	"	"	"	"	Oil surface	Oil surface	"	"	"
65	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
70	"	Oil surface	"	"	Oil surface	"	"	"	Oil surface	Oil surface	"	"	"
75	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
80	O.U.E.L.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
85	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
90	Oil surface	"	"	"	"	"	Oil surface	Oil surface	"	Oil surface	"	"	"
95	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
100	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
105	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Bottom 110	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Oil depth from bottom (cm)	20	40	50	50	40	20	20	40	50	50	40	40	20
Oil temp.(°C)	23.4	23.4	23.4	24.6	27.2	32.0	30.5	30.5	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Inflammable gas temp.(°C)	23.4	23.4	23.4	39.4	44.0	39.4	35.5	35.5	37.0	37.0	34.5	34.5	33.0
Open air temp.(°C)	20.9	20.9	20.9	29.6	30.8	27.2	29.5	29.5	30.5	30.5	29.5	29.5	29.5

Remark  
 1. O.U.E.L. ; Over upper explosive limit  
 2. Crude oil tank dimensions : D=70cm, H=110cm, V=422 # 1  
 3. Figures indicate reading values of inflammable gas detector.  
 4. Time measured is 15 minutes after oil supply or discharge.

に有効であるかを調べるため、原油ガス濃度が爆発下限界にある場所に金網（50, 30, 20 メッシュ）で覆った火源を近づけ、効果を調べた。ガス抜開口部の試験結果は Table 7.3 に示すとおりで、その 1 の場合は 50 メッシュの金網が當時安全な濃度を示した。その 2 の場合は多量なガスを発生させた場合であり、タンクおよび管内のガス濃度は爆発上限界を越し内部には引火しない濃度を示し、金網をでた付近はいずれも爆発下限界以上で引火する濃度を示した。したがってこの場合には引火しても金網外だけで燃えることになる。次に火源を金網で覆って可燃性ガス内に入った試験の結果は、50 メッシュの場合は金網内に入ったガスは燃えるが外部のガスは引火せず安全であった。32 メッシュの場合は、はじめのうちは金網内で燃えていたがそのうち外部に引火した。また 20 メッシュの場合には、ガス内に入れると同時に外部が燃焼した。本試験の結果、着火防止に効果のあった金網は 50 メッシュであり、32 メッシュ付近が限界点であった。

#### 7.2.6 タンク内の原油量とガス濃度分布

常用タンク内では原油の給油および排出によりガス濃度に相当な差を生じる。その関係を直径 70 cm, 高さ 110cm, 容積 422 l のタンクを使用して調査した。結果は Table 7.4 に示すとおりでタンク内のガス濃度は原油の種類、油量および給排時により差がある。また油量によってはガス濃度が全部濃厚な状態となり、爆発下限界以上の濃度になることがわかった。

### 7.3 試験結果の考察

原油をボイラに使用する試験では、常にガスの検知を行なっているが危険な濃度を示したことはない。しかしそれだけでは実船に実用するには不安があるので今回広範囲にその安全性を調査した。その結果は次のとおりで、原油のガス発生は緩慢である上、常に10倍程度の重油を伴って流出するため流出量に比して危険は少なく発見は容易である。その上通風や排気によって容易にガス濃度を低下させることができるので最低線の注意を怠らなければ十分安心して使用しうる。

- (i) 単位面積当たりのガス発生量は少量の場合ほど多く、カタール原油 40°C 1 時間で  $1 \text{ kg/m}^2$  程度であるが、大量になるとその数分の 1 以下になる。
- (ii) 漏えいおよび噴出原油の危険範囲はその量や状態によって多少相違するが、大体油面上および周辺の 5 cm 程度の高さである。また原油の流れた周辺の低所には徐々にガスが滞留する傾向がある。
- (iii) 送風または排気はきわめて有効でガス濃度は油面上においてすら著しく低下する。
- (iv) 局部排気はきわめて有効で漏えい原油の発生ガスを排除できる。漏えい個所の覆いを併用すれば、さらに有効である。
- (v) 原油の燃焼の伝播は早いが短時間で重油の燃焼に移る。20 kg 程度の原油は小形消火器で容易に消火しうる。
- (vi) 金網は防火に有効で火の元やガス抜きを 50 メッシュ程度の金網で覆うことにより引火を防止しうる。

## 第 8 章 結 言

結論としてC重油燃焼として計画されたボイラ設備に原油を使用するのに根本的な問題点はないと考えられる。

バーナ型式としては圧力噴霧式、リターンフロー型、蒸気噴霧式のいずれについてもC重油バーナに本質的な改造を加えることなく原油に対して適用することができるが、原油の性状が大幅に変化することを考慮し流量特性、霧化特性が安定し燃料油の取扱が容易である圧力噴霧式アトマイザが最も適切である。燃焼性、燃焼安定性および伝熱特性についても原油とC重油の間に特筆すべき差異は見いだされない。

噴燃ポンプについてはネジ式、ギヤ式およびピストン式の3種につき試験を行ない、いずれの型式をも採用しうるが、揮発分の多い低粘度原油に対する考慮を払えばネジ式ポンプが最適である。

以上のごとく原油生焚の実用化に当り根本的問題点は原油取扱上の安全性に絞られてくるが、この点についても今回広範囲に実施した原油の安全性試験結果よりかなり明るい見通しが得られた。すなわち、可燃ガス濃度はその発生源の周囲、きわめて狭い範囲内のみが爆発限界に達し、たとえこのような可燃混合気が生成した場合においても適切な換気装置を設けることにより迅速な処理が容易にされ、特に可燃ガスを発生し易い場所の局部換気が非常に有効であるから案ずるほどの危険性はない。

しかしながら一方現行の鋼船規定に合致せしめるためには、原油の引火点を規定温度にまで上昇させる必要があり、そのため蒸留塔の試作試験を行ない、その結果、簡単な蒸留装置をポンプ室に設備することにより十分この目的を達成しうることが明らかとなった。この場合、従来のC重油燃焼設備を何ら変更することなく原油を使用することが可能であるが、軽質分の処置その他でさらに検討の余地が残されている。

昭和40年8月10日 印刷  
昭和40年8月15日 発行

**日本造船研究協会報告 第51号**

発行人 管 四 郎

発行所 社団法人日本造船研究協会  
東京都港区芝平町35  
船舶振興ビル8階  
電話 (502) 2371~80  
内線 (421~429)

印刷所 船舶印刷株式会社  
東京都台東区東上野1-28-3  
電話 (831) 4181~4