

(社)

社 团 法 人

日本造船研究協会報告

第 56 号

昭 和 41 年 1 月

低質油燃焼（4サイクル・ディーゼル機関）に関する研究……………第76研究部会

Research on the Combustion of 4-Stroke Cycle

Engine using Lower Grade Fuel Oil

……………The 76 th Research Committee

The Report No. 56
of the
The Shipbuilding Research Association of Japan
of Japan
Tokyo, Japan JAPAN
No. 56
January, 1966

3月号

第 76 研究部会委員名簿

| | | | |
|-----|--------|--------|--------|
| 部会長 | 門脇 徳一郎 | 狩野 慎一郎 | 山田 正一郎 |
| 幹事 | 稻見 信雄 | 内田 弘 | 大町 進 |
| 委員 | 明石 源一郎 | 岡本 連 | 小路 博 |
| | 笠原 譲 | 菊池 義次 | 清島 昭郎 |
| | 清野 薫 | 坂部 隆史 | 笛木 文造 |
| | 高瀬 健三 | 立岡 恒夫 | 立野 保次郎 |
| | 田中 兵衛 | 土屋 輝雄 | 富田 幸雄 |
| | 長畑 康夫 | 原野 次郎 | 樋高 道真 |
| | 藤田 宏美 | 山口 博 | 山下 郁夫 |
| | 横井 元昭 | 米原 令敏 | 脇川 忠彦 |

Membership of the 76th Research Committee

| | | | |
|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Chairman | Tokuitirō KADOWAKI | | |
| Secretaries | Nobuo INAMI | Shinitirō KANO | Shōitirō YAMADA |
| Members | Genitirō AKASHI | Hirosi UTIDA | Susumu ŌMATI |
| | Murazi OKAMOTO | Katuzi OKUMURA | Hirosi OMIZI |
| | Yuzuru KASAHARA | Yositugu KIKUTI | Kazuo KIYOSIMA |
| | Hitomi KIYONO | Takasi SAKABE | Bunzō SASAMOTO |
| | Kenzō TAKASE | Tuneo TATEOKA | Yasuzirō TATENO |
| | Hyōe TANAKA | Teruo TUTIYA | Yukio TOMITA |
| | Yasuo NAGAHATA | Zirō HARANO | Mitizane HIDAKA |
| | Hiromi FUZITA | Hirosi YAMAGUTI | Ikuo YAMASITA |
| | Motoaki YOKOI | Noritosi YONEHARA | Tadahiko WAKIKAWA |

Research on the Combustion of 4-Stroke Cycle Diesel Engine using Lower Grade Fuel Oil

In order to study the combustion characteristics 4-stroke cycle medium diesel engine using lower grade fuel oil by straight run process, the following tests were executed by making use of a single cylinder engine R1V 40/54. The main particulars of the engine are the same as those of Yokohama M. A. N. VV 40/54 type engine in actual service.

- 1) Performance tests by three kinds of C grade heavy fuel oil having the viscosity of Redwood No. 1 600 sec., 1200 sec. and 2500 sec. at 100°F.
- 2) The durability test by C grade heavy fuel oil having viscosity of 1200 sec., its operation amounted to 1300 hr including 260 hr continuous running.
- 3) Study on the automation of the equipments for the combustion of lower grade fuel oil.

These test results showed to our content that 4-stroke cycle diesel engines of such types have excellent combustion characteristics even when lower grade fuel oil being applied. Problems concerning to the 4-stroke cycle engine under-mentioned were also resolved, even when lower fuel grade oil was used.

Damages on exhaust valve.

Wear and corrosion of piston ring groove, piston ring and cylinder liner.

Treatment of fuel and lubricating oil.

Test results also show that this type of engine has the sufficient durability against such fuel oil.

目 次

| | |
|----------------------|--------|
| 第1章 概 要..... | (1) |
| 第2章 試験経過..... | (2) |
| 第3章 試験装置..... | (3) |
| 第4章 応急装置および記録装置..... | (8) |
| 第5章 使用燃料油および潤滑油..... | (10) |
| 第6章 試験成績..... | (12) |
| 第7章 結 論..... | (25) |

「低質油燃焼(4サイクル・ディーゼル機関)に関する研究」

第1章 概 要

従来4サイクル・トランク・ピストン型機関に低質燃料油を使用することは困難であるとされてきた。しかし、近来同型式機関の出力性能の向上および駆動方式の改善が行なわれると共に、低質燃料油の使用に対する要望が高まってきており、この実用の可能性が確かめられれば、極めて意義があり、この趣旨に沿って本試験研究を実施した。

多シリンダ機関では個々のシリンダ間の性能に差違があるため、性能確認の上で種々の困難がある。また製作、運転、解放の諸経費も僅少であることから、特に燃焼試験専用の単筒試験機関を製作した。なお、本単筒試験機関と同一諸元のV型実用機関横浜MAN.VV 40/54型機関があり、本試験研究の結果は、そのままこの実用機関に適用できる。

本試験研究では低質油の燃焼における機関構造、燃焼油および潤滑油の管理、運転条件一般、さらに各種応急装置および記録装置の自動化について試験調査を行なった。燃料油としては、一般的に市場性のあるRedw. No. 1で600s, 1,200s, 2,500s(100°Fにて)の直溜系C重油を使って性能試験を行ない、その中でも最も市場性の高い大型2サイクル機関に使用されている燃料と同程度の1,200sのC重油を使って、合計1,300hrの耐久試験を実施した。その結果本機関に対するC重油運転は何等問題なく実用し得ることが確認された。

本試験研究により、4サイクル・トランク・ピストン型機関の低質油に対する運転条件および諸装置の設置条件を把握し、この種機関の経済性の向上および多目的実用化の1資料が得られたものと考える。

第2章 試験経過

本単筒試験機関は昭和39年11月初旬に組立完了し、まずA重油による性能確認試験を実施したが、その結果実機 VV40/54 型機関とはほぼ同じ燃焼条件となっていることを確認した。この確認は蛇管冷却式アルミ合金製ピストンにより行なった。その後低質油運転用の組立式ピストンに組替え、低質油性能試験を実施した。使用した低質油は、600s, 1,200s, 2,500s の直溜系C重油3種である。また、一番需要の多いと考えられる2サイクル大型機関に使用されているC重油程度の1,200s C重油で耐久試験を実施した。

試験経過を要約すると第1期として性能試験および耐久運転、第2期として性能試験、耐久運転および連続耐久運転を実施した。

第3章 試験装置

本試験に使用した試験装置は、単筒試験機関 R1V40/54 および補機装置類およびこれらの制御装置から成る。これらの装置は、三菱重工業（株）横浜造船所組立工場内に設置された。

供試機関は図1および図2に示すような単動4サイクルの単筒機関で、機関の平衡を良くするために、燃焼シリンダの前後にそれぞれ1個の釣合用シリンダを装備している。ピストンとしては、特に高出力C重油用として設計された組立式ピストンを採用し、耐熱性、耐蝕性、強度および燃焼性の向上を図った。その他、シリンダ・ライナの注油、燃焼機構の適正化、排気弁の損傷防止対策等を施し、C重油に十分耐えうる設計とした。また過給方式は、排気タービン過給機による衝動過給方式とし、実機との過給機効率上の差は過給機の空気吸入側に電動プロワを置くことにより補うこととした。

供試機関の要目は次のとおりである。

| | |
|------|---------------------------|
| 機関名称 | R1V40/54AL |
| 型 式 | 単動4サイクル・トランク・ピストン型ディーゼル機関 |
| 過給方式 | 排気タービン過給機空気冷却器付 |

〔主要諸元〕

| | |
|----------------------------|----------------------|
| シリンダ径×ストローク | 400mm×540mm |
| 行程容積 | 67.9 ℥ |
| 圧縮比 | 12.3 |
| 機関回転数 | 375 rpm |
| 実機 (V8V40/54AL) 相当出力 | 340 ps |
| 実機 (V8V40/54AL) 相当正味平均有効圧力 | 12kg/cm ² |

各補機、タンク類は、表1、表2に示すとおりでその配置を図3に示す。給気均圧タンクは単筒機関であるため、給気の流れが間歇的になり圧力変動が生じるのを防ぐために設けた。水制動機用ヘッド・タンクは、一定の水圧を水制動機に与え、負荷の安定を図るためにもので約8mの高さに設置され、當時海水はタンクよりオーバ・フローするようにした。そのため負荷の安定性は良好であった。潤滑油および燃料油の清浄機は、巴工業K.Kより借用し試験に使用した。燃料油清浄機は定格容量1,400ℓ/hrのものを約100ℓ/hrで使用した。潤滑油清浄機は定格容量850ℓ/hrであるが、流量を少なくて使用した。

これらの装置に対し、制御記録装置および応急装置を設け機関補機類を保護することとした。主要なデータは記録装置に記録または手動により指示させることができるようにした。制御関係については、図4にブロックダイアグラムとして示し、また操作内容については表3に詳述した。（写真1～2参照）

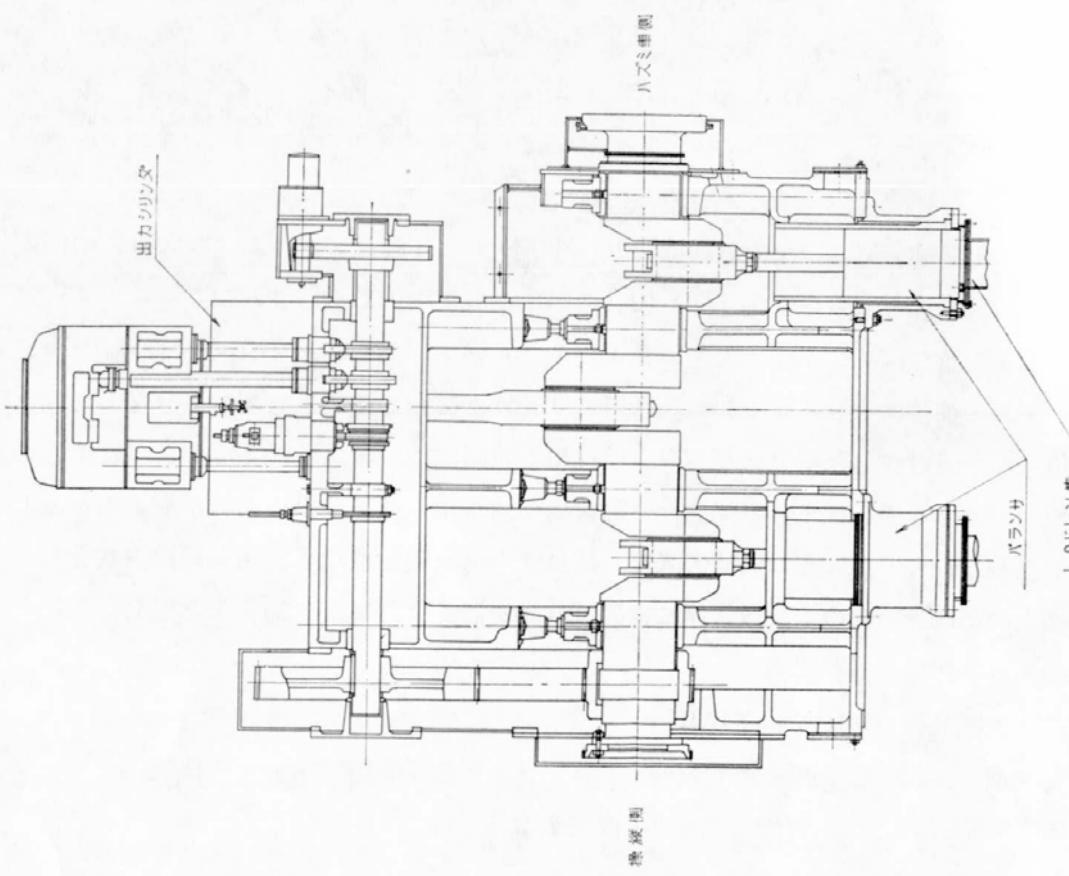


図2 R1V40/54AL 機関縦断面図

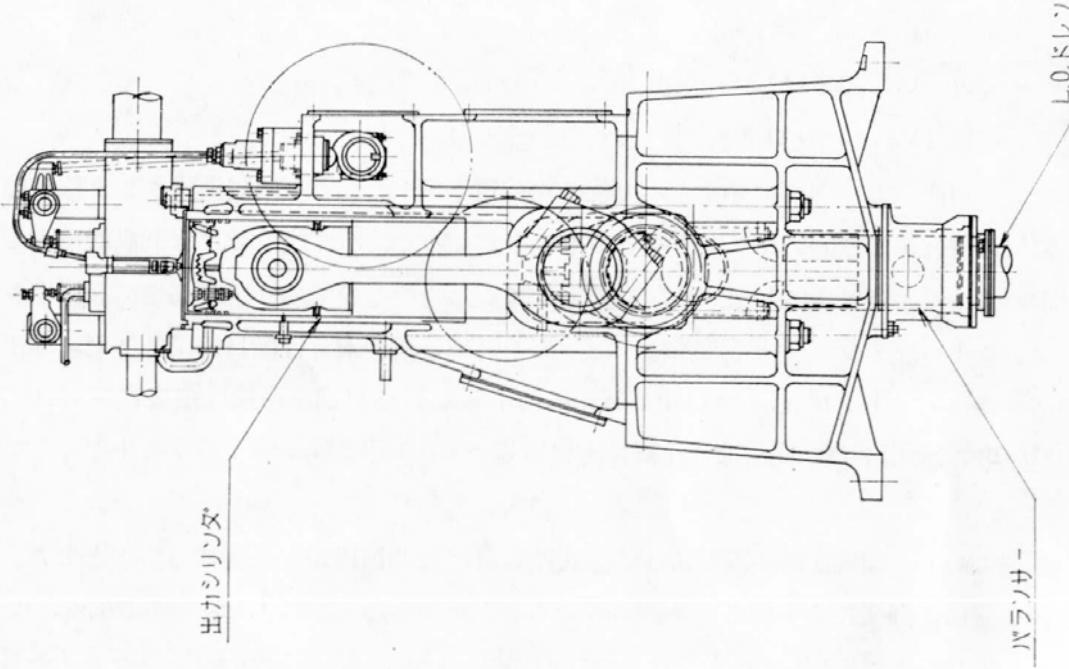


図1 R1V40/54AL 機関横断面図

表1 機関々係補機類

| 品名 | 容 量 | 備 考 |
|------------|-----------------------|------------------------|
| 清水ポンプ | 3.0 m^3/hr | |
| 潤滑油ポンプ | 9.8 " | |
| 燃料供給ポンプ | 0.7 " | |
| 清水冷却器 | 7.5 m^3 | |
| 潤滑油冷却器 | 3.5 m^3 | |
| 空気冷却器 | 1.3 m^3 | |
| 空気均圧タンク | 1.21 m^3 | |
| 過給前置プロワ(1) | 300mmAq × 150 m^3/m | |
| " " (2) | 700mmAq × 33 m^3/m | } プロワ(1)および(2)を直列として前置 |

表2 試験用タンク類

| 品名 | 容 量 | 備 考 |
|-------------|--------------------|---|
| ストレージ・タンク | 1.9 m^3 | 20 kWヒータ付 |
| セントリング・タンク | 1 " | 15 " " |
| サービス・タンク | 1.5 " | 15 " " |
| A重油タンク | 1 " | |
| シリンダ注油タンク | 0.2 " | |
| 潤滑油タンク | 1 " | |
| 清水タンク | 2 " | |
| 水制動機用ヘッドタンク | 0.8 " | H=8m |
| F.O.清浄機用加熱器 | 1.0 kW | |
| F.O.機関用加熱器 | 1.0 " | |
| L.O.清浄機用加熱器 | 4 " | |
| 温水タンク | 0.4 m^3 | 4 kW |
| F.O.清浄機 | 100 l/hr | 巴工業グラビトロール DH-500A型ポンプ付(1400 l/hr) 改造品 |
| L.O.清浄機 | 250 " | 巴工業シャープレス AS-14VHO-2P型ポンプ付(850 l/hr) 改造品 |
| 移送ポンプ | 1.5 m^3/hr | ストレージタンクよりセントリングタンクへの 移送用 |
| 海水ポンプ | 150 " | |
| 水制動機 | 600 rpm × 3,500 ps | |
| CJCFィルタ | 80 l/hr | HDU38/80 |
| 遠心式汎器 | 約400 " | 東京汎器GF2 |

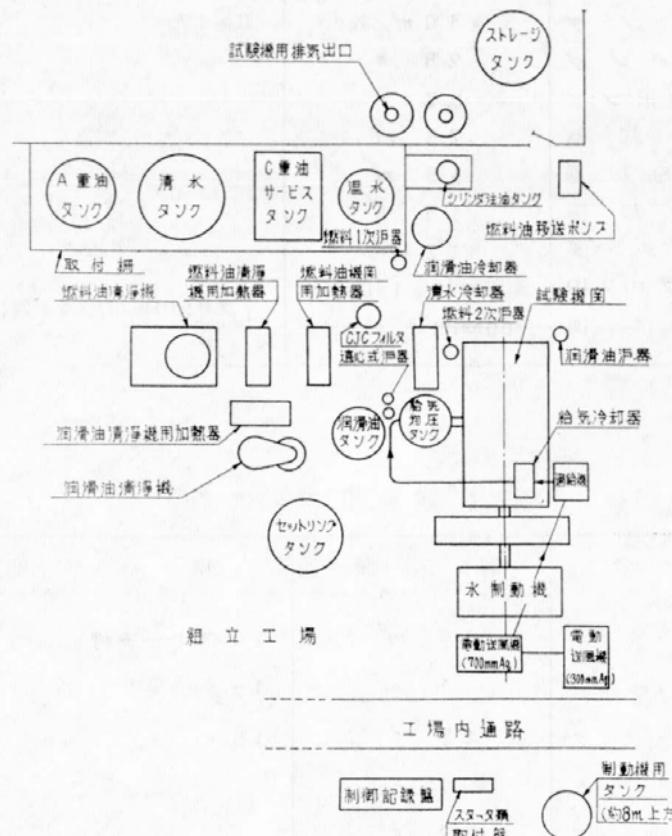


図3 低質油燃焼試験装置配置図

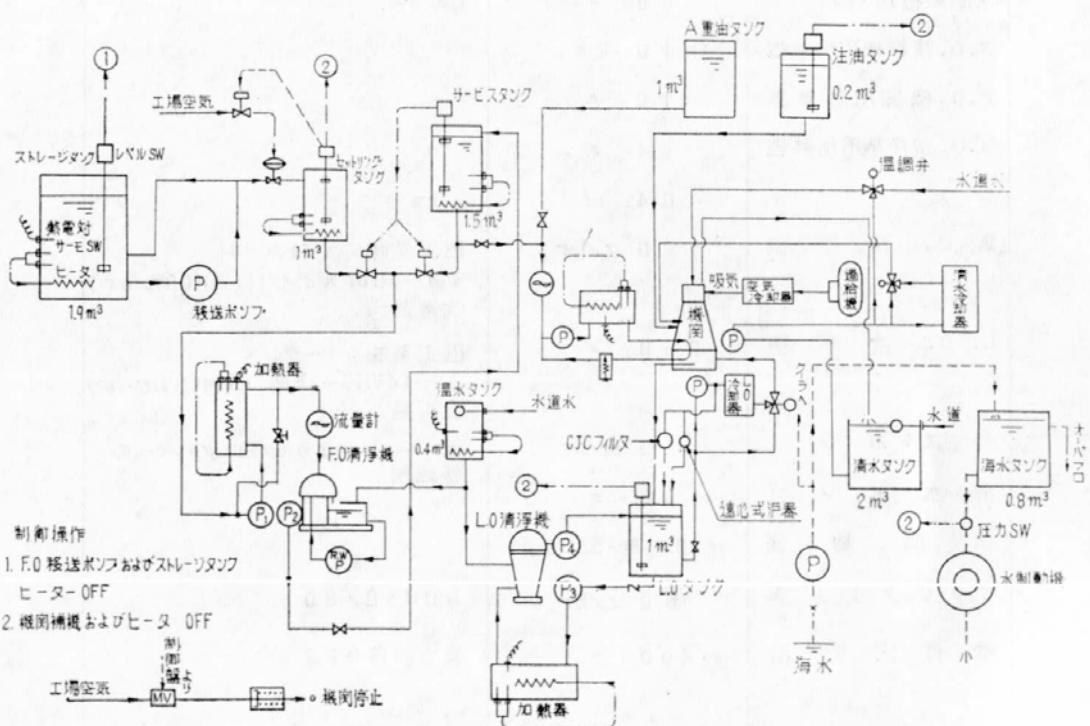


図4 R1V40/54 試験装置図

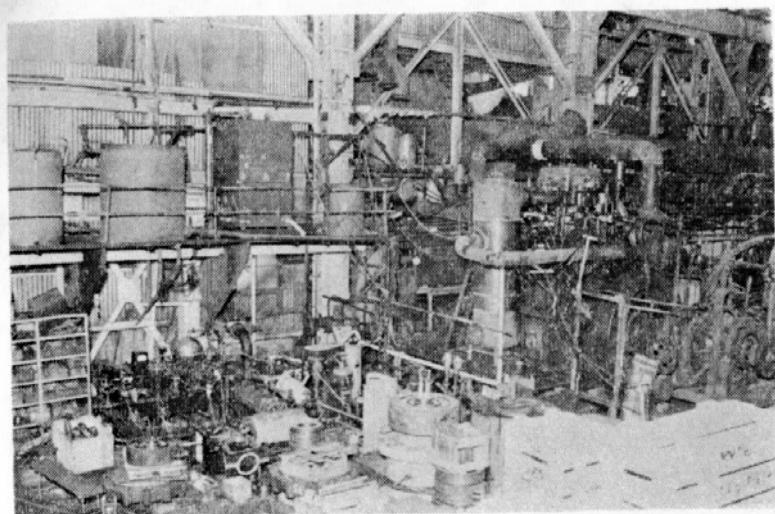


写真1 試験装置全景

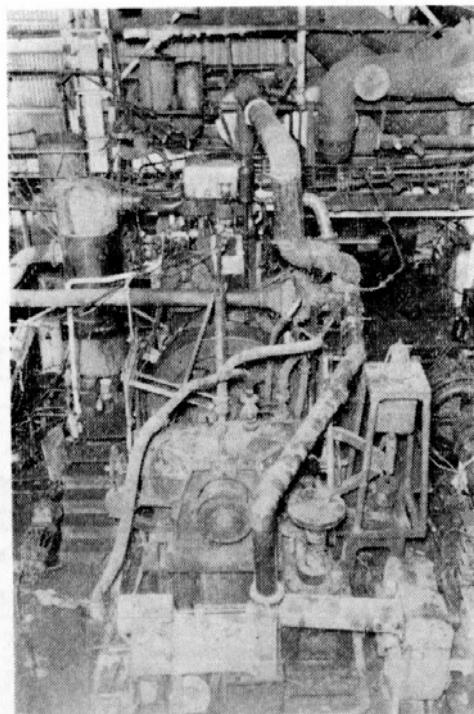


写真2 供試機関

第4章 応急装置および記録装置

本試験では、耐久運転の必要があることから、無人運転が可能な応急装置および記録装置を備えた。応急装置は、機関設置に異常が生じた場合機関が危急停止するようにし、機関性能の測定は必要最小限に止めた。応急装置の作動様式および記録項目は表3に、制御盤の前面構成を図5および写真3に示した。

低質燃料機関の装置はタンクおよび加熱器の数が多いので、少ない人員で適確な運転操作をするためには、少なくとも本試験装置程度の監視記録装置が必要である。

耐久運転時の自動運転に対しても、サービスタンクと燃料清浄機との間の切替電動弁が作動不良を起したこと以外は、問題なく作動し、この種の自動運転に対する1つの目安とすることことができた。

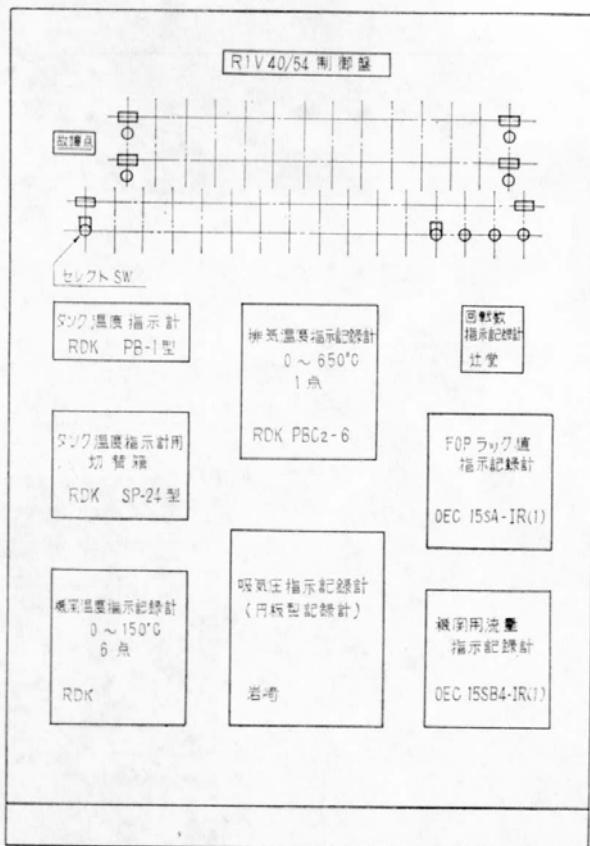


図5 制御盤前面構成図

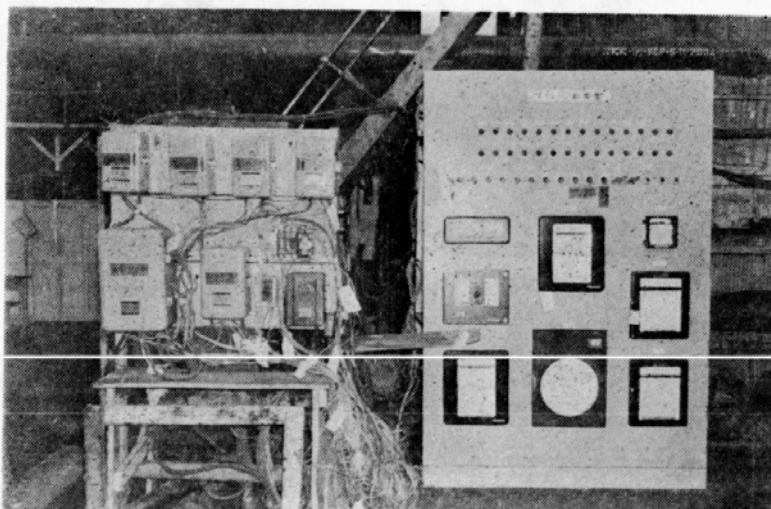


写真3 制御盤

表3 応急装置および記録装置（制御操作①は機関・補機ヒータ類の停止）

| 機器名称 | 項目 | 監視 | 記録 | 警報 | | 制御 ① | 制御②の操作内容 | 制御用設定値 |
|--------------|------------|-----|------|----|---|---------|--------------------------|-----------------------|
| | | | | ① | ② | | | |
| ストレージタンク | レベル SW | | | ○ | ○ | | 移送ポンプおよびヒータ OFF | レベル低下 |
| | サーモ SW | | | | ○ | | ヒータ OFF | 設定温度超過 |
| | 熱電対 | ○ | | | | | | |
| セツトリングタンク | レベル SW | | | ○ | ○ | | | レベル低下 |
| | " | . | | | ○ | | タイヤフランク弁閉 | レベル上昇 |
| | サーモ SW | | | | ○ | | ヒータ OFF | 設定温度超過 |
| | 熱電対 | ○ | | | | | | |
| F.O. 清浄機用加熱器 | サーモ SW | | | | ○ | | ヒータ OFF | 設定温度超過 |
| | 熱電対 | ○ | | | | | | |
| F.O. 清浄機 | 自己警報回路 | | | ○ | ○ | | | 作動異常 |
| サービスタンク | レベル SW | | | | ○ | | サービス・タンク・セツトリング・タンクの流れ切換 | レベル上昇 |
| | " | | | ○ | ○ | | | レベル低下 |
| | サーモ SW | | | | ○ | | ヒータ OFF | 設定温度超過 |
| | 熱電対 | ○ | | | | | | |
| 温水封水タンク | サーモ SW | | | | ○ | | ヒータ OFF | 80°C以上 |
| | 熱電対 | ○ | | ○ | ○ | | | |
| L.O. 清浄機 | 自己警報回路 | | | | | | | 作動異常 |
| 水制動機 | 圧力 SW | | | ○ | ○ | | | 0.4kg/cm²以下 |
| L.O. 加熱器 | サーモ SW | | | | ○ | | ヒータ OFF | 60°C以上 |
| | 熱電対 | ○ | | | | | | |
| シリンドラ注油タンク | レベル SW | | | ○ | ○ | | | |
| 燃料流量計 | 清浄機用流量計 | (O) | 現場指示 | | | | | |
| | 機関流量計 | (O) | | | | | | |
| 潤滑油タンク | レベル SW | | | ○ | ○ | | | レベル低下 |
| 〔機関本体関係〕 | | | | | | | | |
| 圧力 | 2次冷却海水圧 | | | ○ | ○ | | | 0.7kg/cm²以下 |
| | 1次冷却水圧 | ○ | | ○ | ○ | | | 0.7 " " |
| | 機関L.O.圧力 | ○ | | ○ | ○ | | | 2.0 " " |
| | タービンL.O.圧力 | ○ | | ○ | ○ | | | 0.5 " " |
| | 給気圧力 | ○ | ○ | | | | | |
| 温度 | 排気温度 | ○ | ○ | ○ | ○ | | | シリンドラ出口450°C以上 |
| | L.O.温度 | ○ | ○ | ○ | ○ | | | 機関入口50°C以上 |
| | 燃料温度 | ○ | ○ | ○ | ○ | | | 70°C以下および150°C以上 |
| | 冷却水温度 | ○ | ○ | ○ | ○ | | | 機関出口70°C以上 |
| | 給気温度 | ○ | ○ | ○ | ○ | | | 50°C以上 |
| その他 | 噴射ポンプラジク値 | ○ | ○ | | | | | |
| | バイブレSW | | | ○ | ○ | | | 機関異常振動 |
| | 電気式回転計 | ○ | ○ | ○ | ○ | | | 412 rpm以上および520 rpm以下 |
| | クランク室圧力 | | | ○ | ○ | | | 50mmHg以上 |
| 機関用燃料加熱器 | サーモ SW | | | | ○ | | ヒータ OFF | 設定温度 |
| | 熱電対 | ○ | | | | | | |
| リモート監視 | 排気温度 | ○ | | | | | | |
| | 噴射式ポンプラジク値 | ○ | | | | | | |

(注) 設定値に関しては、別表タンク温度設定値参照のこと。

第5章 使用燃料油および潤滑油

使用燃料油の性状については3段階に分け、これに比較的近い性状をもつもので、国内的に入手しやすい油を使用することとした。その結果、直溜系C重油で粘度 Redw. No. 1, 100°F で、600s, 1,200~1,500s, 2,500~3,000s の3種とした。しかし、2,500~3,000s のC重油が入手困難で、2,3000s のC重油をようやく入手した状況である。これらのC重油を使用して、燃焼性能試験を実施した。また耐久試験には、市場性の面を考え合せて、1,200s C重油を使って実施した。

潤滑油については、システム油はプレミアム・タイプのダイヤモンド・マリン30Pを、シリンド油はハイアルカリ価のダイヤモンド・マリンSHDを採用した。

表4 燃料油の入手希望性状〔粘度〕

| 種類 | I | II | III | 備考 |
|---|------|--------------|--------------|----|
| 粘度(Redw. No. 1 at 100°F) | 600s | 1,200~1,500s | 2,500~3,000s | |

表5 入手可能で、実際に使用した燃料油性状

| 燃料油種名 | B-CFO | CFO | H/V CFO(I) | H/V CFO(II) | 備考 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| 比重(15/4°C) | 0.9430 | 0.9448 | 0.9503 | 0.9560 | |
| 引火点(°C) | 95 | 105 | 116 | 127 | |
| 粘度($\text{cst. at } 50^{\circ}\text{C}$) | 74.5 | 106.7 | 129.8 | 223.6 | |
| " ($\text{cst. at } 100^{\circ}\text{F}$) | 135 | 245 | 275 | 550 | |
| " (Redw. No. 1 at 100°F) | 555 | 1,000 | 1,300 | 2,244 | |
| 残留炭素(wt%) | 9.28 | 8.86 | 9.27 | 9.5 | |
| 灰分(wt%) | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | |
| 流动点(°C) | ±0 | +5 | ±0 | ±2.5 | |
| 水分(vol %) | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.01 | |
| 硫黄点(wt%) | 2.72 | 3.31 | 3.40 | 3.9 | |
| V含有量(ppm) | 39 | 4.5 | 50 | 49 | |
| ノード・アスフルト(P-E)(vol %) | 2.5 | 3.0~3.4 | 3.2 | 3.2 | |
| オセタンカ | 32 | 30 | 22 | 22 | *推定値 |
| 発熱量高/低(cal/kg) | 10390 /9760 | 10560 /9730 | 10400 /9770 | 10322 /9690 | |

表6 使用潤滑油の性状

| | システム油 | シリンド油 | 備考 |
|----------------------|------------------|------------------|--------------|
| 銘柄 | ダイヤモンドマリン 30P | ダイヤモンドマリン SHD | 三菱石油のカタログによる |
| 比重(15/4°C) | 0.895 | 0.950 | |
| 色相(ユニオン) | 4(-) | >8 | |
| 引火点(c) | 235 | 220 | |
| 粘度(cst at 37.8°C) | 112 | 265 | |
| " (RW-N1 at) 50°C | 245 | 514 | |
| 粘度指数 | 96 | 68 | |
| 流动点 | -15 | -22.5 | |
| 残留炭素(wt%) | 0.2 | 7.7 | |
| 全アルカリ価(mgKOH/g) | 0.0 | 6.0 | |

第6章 試験成績

6.1 性能試験

まずA重油を使用して、機関性能を確認した後600 s, 1,200 s, 高粘度C重油(1,300 s油), 2,500 sの各C重油の性能試験を実施した。1,200 s C重油については燃焼条件を左右すると考えられる諸元の変更試験に特に重点を置いて行なった。

6.1.1 A重油性能試験

A重油を使用して、実機V8V40/54AL型機関とほとんど同じ性能になるように調整確認が行なわれた。試験の結果を図6に示す。

6.1.2 600 s C重油試験

機関の燃料温度は、燃料ポンプの戻り油について、I-C熱電対で測った値を基準とした。600 sのC重油試験では、燃料温度を90°Cに加熱するだけで、すでに良好な燃焼が得られたが、僅かな燃焼

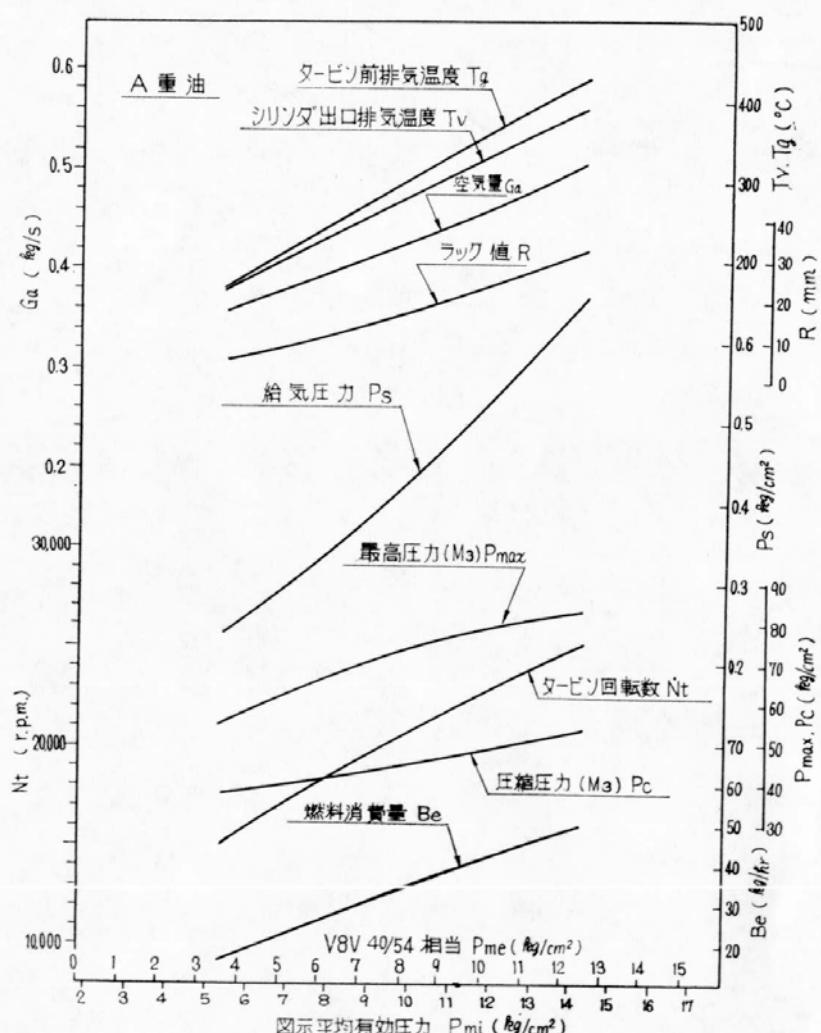


図6 R1 V40/54A-L性能曲線

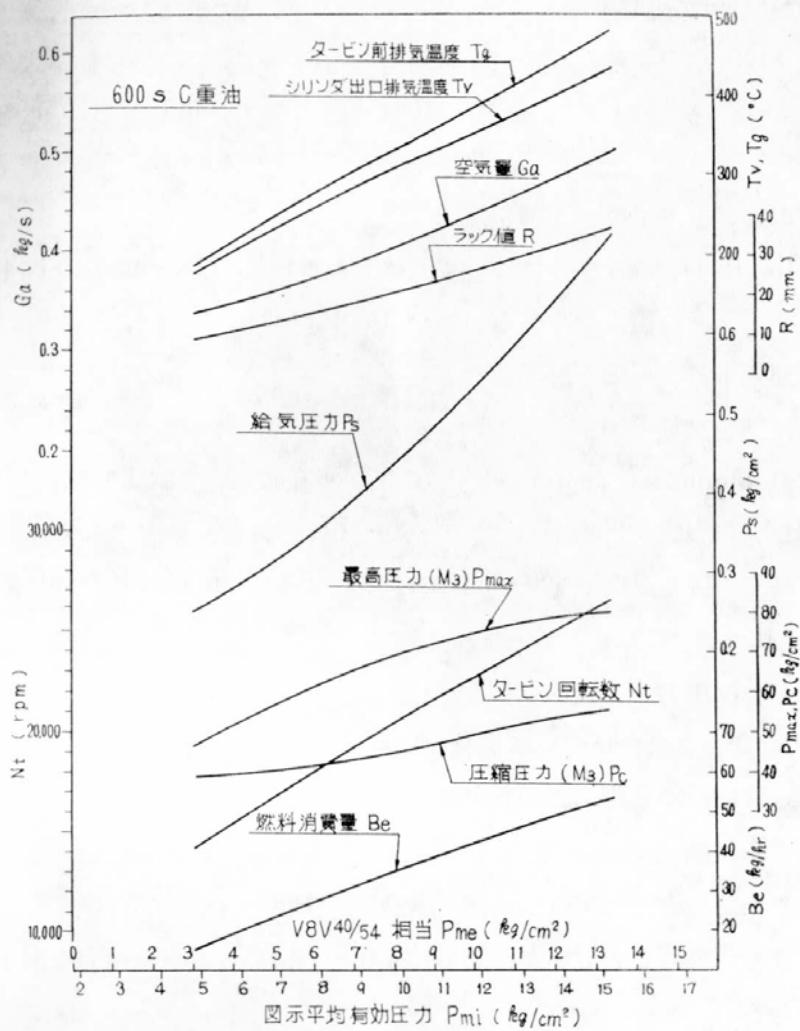


図7 R 1 V 40/54 A-L性能曲線

の遅れが認められたので、燃料の噴射時期を 12° から 14° BTDC に進めた。試験の結果は図7 のとおりで、A重油運転の性能と比較して排気温度はシリンダ出口で約 10°C 上昇した。給気圧力は $0.01\sim 0.02\text{kg}/\text{cm}^2$ の上昇があった。それにともなって、空気流量も僅かであるが、増加の傾向にあった。最高圧力は、同じ燃料噴射時期でA重油の $83\text{kg}/\text{cm}^2$ が $80\text{kg}/\text{cm}^2$ に低下した。ボツシュのスモーク・メータ値も、3ストロークの採取紙に対し $0\sim 0.1$ で、排気色は無色であり、A重油の排気色よりは良好であった。

解放状況はA重油の使用時に比較して、全般的にカーボン附着量が僅かに多いが、軟弱性のものであった。ピストンについては、燃焼面には非常に軟い薄いカーボンが附着していたが、容易に剥離される性質のものであった。ピストン・リングは完全に自由状態で満足すべきものであった。シリンダ・カバーには排気側に潤滑油によるカーボンの附着が見られる外は、きれいな燃焼面であった。燃料弁、排気弁および給気弁共にカーボンの附着はほとんど認められなく、ノズルおよびシート面は全く問題がなかった。ライナの摺動面も鏡面状態で、A重油運転と変化は認められなかった。

6.1.3 1,200s および高粘度C重油試験

1,200s C重油試験では、燃焼状態と関係を持つと考えられる条件の撰定試験を、特に重点的に行なった。

(i) 燃料油加熱温度撰定試験

100°, 110°, 120°C の 3 条件について試験した。100°Cまではボツシュ式スモーク・メータを使用して 3 ストロークで約 0.1 であるが、110°C以上では 0~0.1 で、120°Cとの差は認められなかった。

(ii) 燃料噴射ポンプ・タイミング撰定試験

12°, 14°, 16° BTDC の 3 条件について試験した。12° BTDC では指圧図上で燃焼遅れが認められ、スモーク・メータ値もやや劣る。14°, 16° BTDC については性能上ほとんど差がないが、16° BTDC は運転上やや早期の感がある。

(iii) ノズル孔径撰定試験

0.45mm ϕ , 0.48mm ϕ , 0.50mm ϕ の 3 種のノズル孔について試験した。0.48mm ϕ 孔ノズルは 0.45mm ϕ に比し発煙度がやや高く、スモーク・メータ値も 0.1~0.2 であった。0.5mm ϕ 孔ノズルは発煙度も高く、排気温度も 420~430°C に達した。0.48mm ϕ , 0.50mm ϕ 孔のいずれも 0.45mm ϕ ノズルに比べ劣っていた。

(iv) 燃料噴射弁開閉圧力

180, 230kg/cm² の 2 条件について試験を実施した。噴射弁開閉圧力を 230kg/cm² に上昇させても特に著しい性能上の変化は認められなかった。

(v) 一体型ノズル試験

負荷全般にわたる発煙度は幾分低いが、本試験の $P_{me} = 12\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度の出力度では、それほど熱負荷は大きくなないので著しい差は認められなかつたが、さらに出力を向上させた場合は効果があると思われる。

以上の試験の結果から、次の運転条件により、耐久運転を実施することとした。

| | |
|-------------|----------------------------|
| 燃料油加熱温度 | 110°C |
| 噴射ポンプ・タイミング | 14° BTDC |
| ノズル・チップ | 0.45mm ϕ × 10 個 × 72° |
| 燃料噴射弁開閉圧力 | 180kg/cm ² |

1,200 s C 重油の燃焼性能は、600 s の C 重油に比し、さらに C 重油としての差異が顕著であった。排気温度はさらに約 10°C 上昇し、シリンダ出口で 410°C に達した。燃焼最高圧力はさらに 2~3 kg/cm² 低下し、78kg/cm² となった。燃焼音は A 重油の場合に比し緩慢で静肅な音となった。燃料ラック値は A 重油から C 重油に負荷を一定にして切換えた場合約 1 低くなった。燃料消費量も同発熱量に換算して同じ値が保証できることが確認された。排氣色は 600s C 重油の場合と同じく、スモーク・メータ値で 0~0.1 で無煙状態であった。(図 8 参照)

解放結果は 600s C 重油の場合に比し、燃焼室周りのカーボン附着量がやや多く、附着したカーボンも僅かに固い感じがした。ピストン上面に附着したカーボンは機関を急激に停止した状態では乾燥した薄い層となっており、容易に剥離する性質のものであった。第 1 ピストン・リング上部にはカーボンの附着が見られるが、第 1 リングより下部のランド部にはカーボンの附着はほとんどなく清浄な状態であり、ピストン・リングは完全に自由状態で、固着現象は全く見られず、本機関のピストンの冷

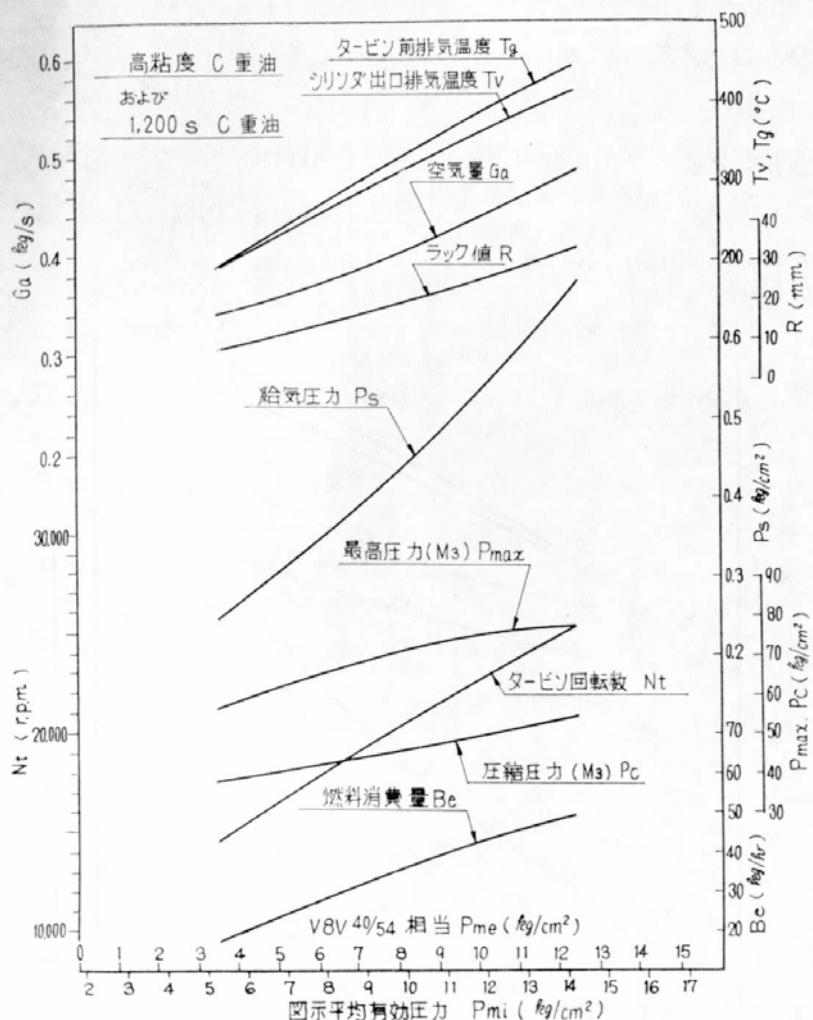


図 8 R 1 V 40/54 A-L 性能曲線

却効果は大きいことがうかがわれた。シリンダ・カバーの燃焼面も潤滑油の燃焼によると思われる堆積物が一部見られるほかは、燃焼残渣物の附着は少なく、排気弁弁座部も良好な状態を保っていた。ライナの摺動面もピストン同様に良好な状態を呈している。

この後、2,500 s C 重油試験に入るため高粘度 C 重油を入手したが、実際は高粘度 C 重油 H/VCFO (I) として表 5 に示す性状のとおりで、粘度は約 1,300 s で、希望性状より可成り低いものであった。しかし、内容的には本油は拔釜油単体で、前記の 1,200 s C 重油とは本質的に異なり、燃焼性も低く、セタン価も相当に低いものと推定される。そこで 2,500 s C 重油試験に入る前に取りあえず本燃料油で試験を行なった。結果は 1,200 s C 重油に示すものとほとんど同じ性能が得られた。燃焼性能も、全く同様に良好なものであった。ただ配管中で、ストレージ・タンク出口に 50 A の Y 型ストレーナを使つたが、目つまりを起し送油不能になった。これはエレメントの清掃により解決したが、この種のストレーナは複式にして、清掃上の便宜を図ることが必要である。この試験後、時間的制約のため解放することなく、次の 2,500 s C 重油試験に入った。

6.1.4 2,500sC重油試験

運転条件は次のとおりである。

| | |
|---------------|---------------------------|
| 燃料加熱温度 | 120°C |
| 燃料噴射ポンプ・タイミング | 14° BTDC |
| ノズル・チップ | 0.45mm ϕ × 10個 × 72° |
| 燃料噴射弁開閉圧力 | 180kg/cm² |

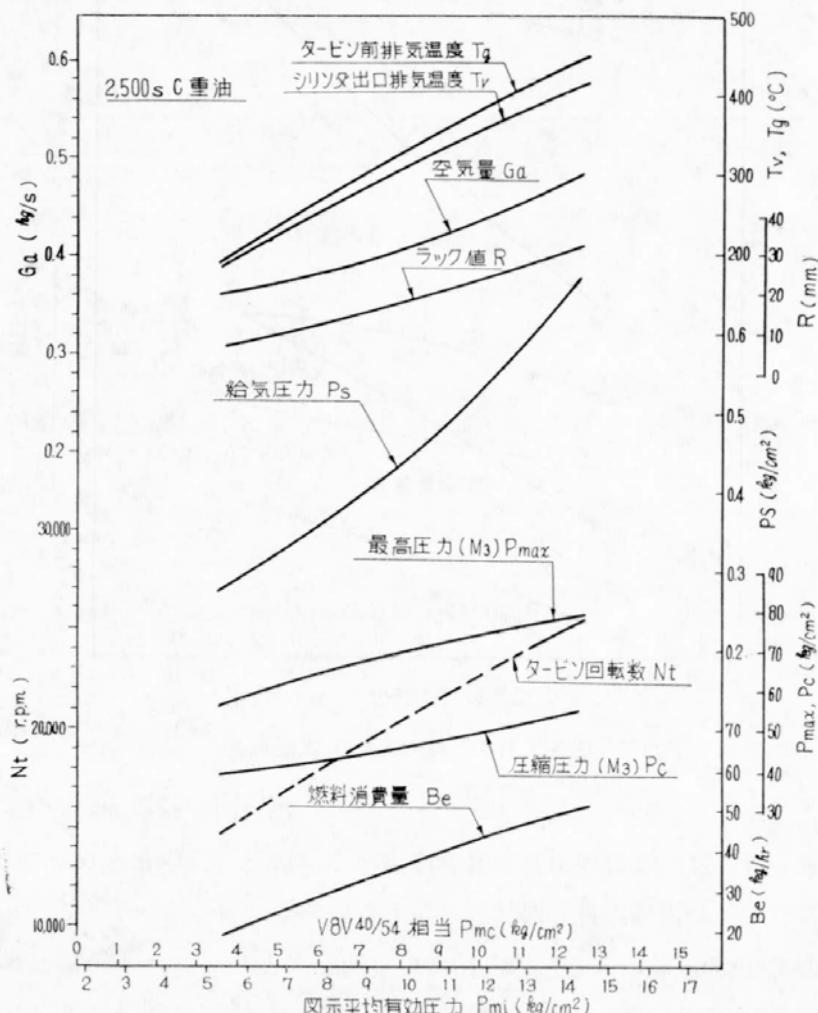


図9 R 1 V 40/54 A L性能曲線

2,500sC重油は完全な抜釜油で、燃焼性も相当低下しているにもかかわらず、運転性能は1,200sC重油とほとんど同じで(図9参照)、排氣色もスモーク・メータ値で0~0.1(3ストロークにて)、無煙状態で、良好なものであった。ただ、この程度の高粘度の油では配管にも加熱装置をつけるなどの考慮を払っておく必要がある。

6.2 加熱器およびタンク温度

各タンクおよび加熱器の温度は表7に示すごとく設定した。ストレージ・タンクおよびセッティング・タンクの温度は高温のための熱変性を起こさぬ程度の加熱温度とし、燃料清浄機用加熱器、サービス・タンク、機関用燃料加熱器の各温度は熱変性と溶質分とを防ぐことを考慮し、系統中で温度の降下が生じないように温度を定めた。

表7 タンクおよび加熱器類設定温度

| 油種 | 600s C重油 | 1,200s C重油 | 1,300s C重油 | 2,500s C重油 | 潤滑油 |
|--|-------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| 粘度 (100°F) ($\frac{\text{RdW}}{\text{sec}}$) | 600 | 1,000 | 1,300 | 2,200 | ダイヤモンド マリン30P |
| ストレージタンク (°C) | 80 | 80 | 80 | 80 | |
| セッティングタンク (°C) | 80 | 85 | 85 | 85 | |
| 燃料清浄用加熱器 (°C) | 80 | 95 | 95 | 95 | |
| サービスタンク (°C) | 85 | 95 | 95 | 95 | |
| 燃料機関前加熱器 (°C) | 90 | 110 | 115 | 120 | |
| 同上相当粘度 ($\frac{\text{Raw}}{\text{sec}}$) | 約65 | " 60 | " 60 | " 60 | |
| 潤滑油清浄機 加熱器 (°C) | | | | | 60 |
| ただし燃料機関前加熱器温度は、燃料噴射ポンプ戻油をIC熱電対にて計測した値である。 | | | | | |

6.3 排気ガス分析

A重油と、1,300sの高粘度C重油の排気分析値とを表8に示す。

表8 排気ガス分析値

| 運転 | 図示平均有効 圧力 (kg) | 成 分 (vol.%) | | |
|------------|-------------------|-----------------|----------------|----|
| | | CO ₂ | O ₂ | CO |
| A重油 | 13.8 | 6.0 | 12.3 | 0 |
| 1,300s C重油 | " | 6.0 | 12.2 | 0 |

6.4 指圧線図

ここでは高粘度C重油(1,300sC重油)の燃焼試験における手引指圧線図および指圧器駆動装置によるタビ型線図を、図10に示す。燃焼は非常に穏やかであることがこの指圧線図からもうかがわれる。なお機関出力の算定にはタビ型線図を使用して図示平均有効圧力を求め、これから実機相当の正味平均有効圧力を推定した。

6.5 オツシロ計測

各々の性能試験において、シリンダ内燃焼圧力、燃料弁開時期、および噴射管内圧力上昇等をオツシロで同時計測し、燃焼状態の解析資料とした。A重油、600s、1,200s、1,300sおよび2,500sC重油の各オツシロ計測結果の例を図11~15図に示す。

1,200s C重油の性能試験の結果は、次の状態に対

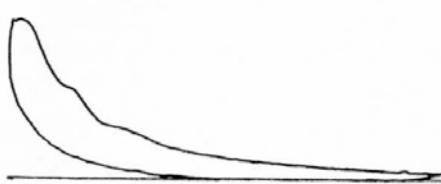
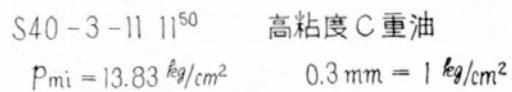
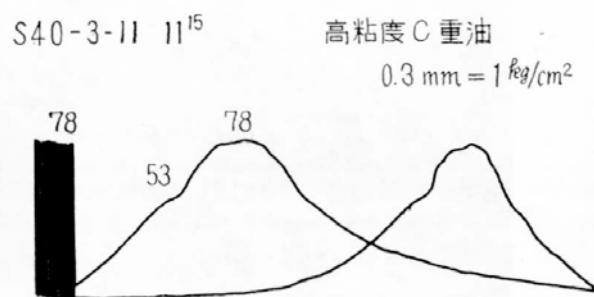
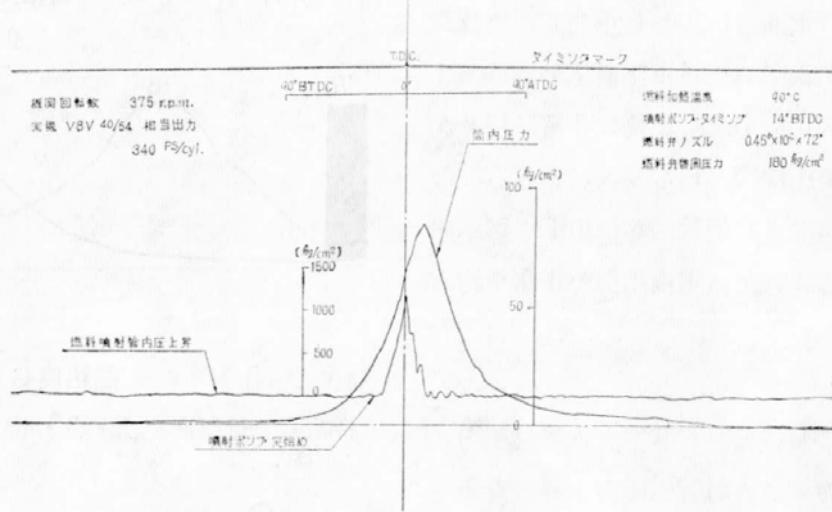
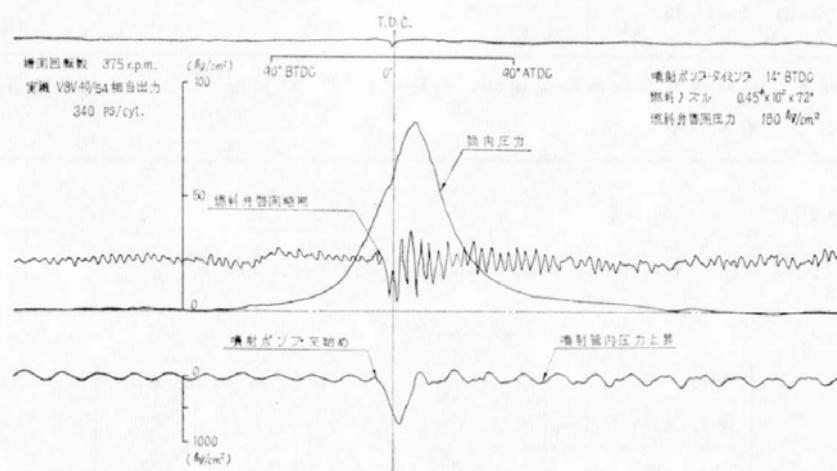


図 10

するものである。

| | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 加熱温度 | 110°C |
| 噴射ポンプ・タイミング | 14°BTDC |
| ノズル孔径 | 0.45mm ϕ |
| 噴射弁開閉圧力180kg/cm ² の場合に | |
| 管内圧力上昇 | 970kg/cm ² |
| 着火遅れ | 10.5° |
| 燃焼圧力上昇度 | 3.3kg/cm ² /deg. |
| 最高圧力 | 78kg/cm ² |
| 排気温度 | 410°C |



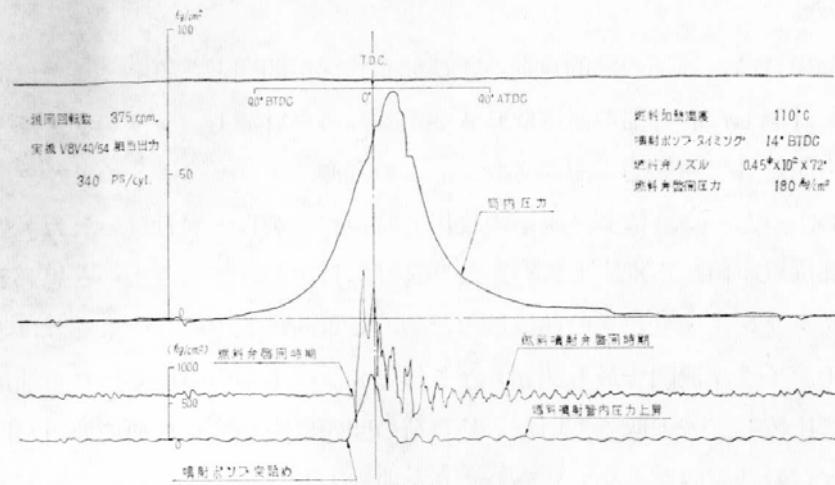


図 13

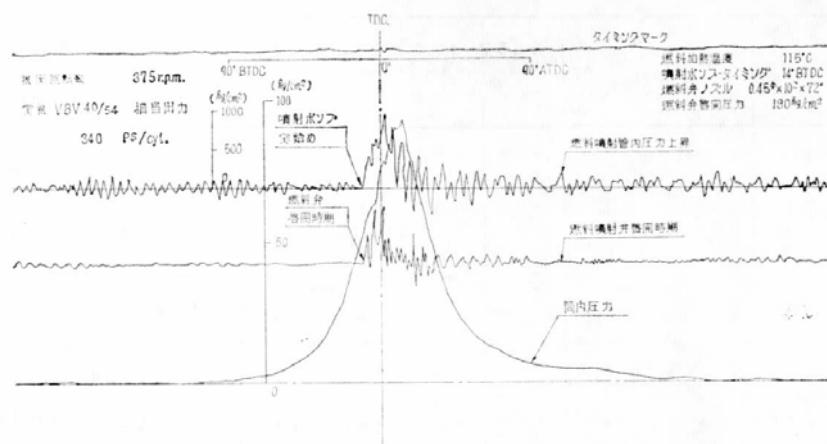


図 14

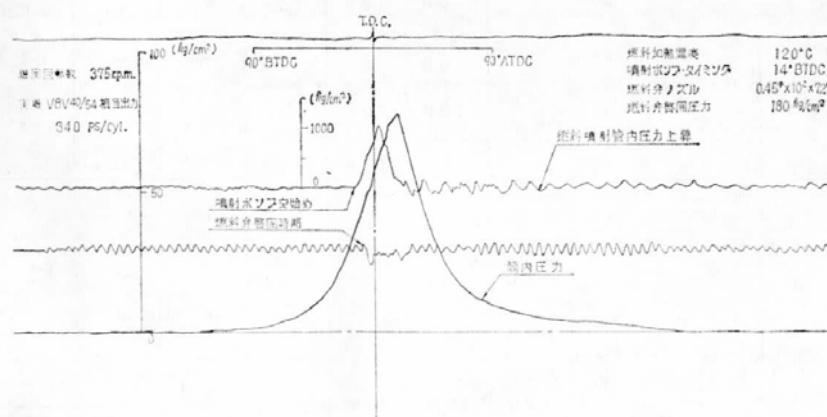


図 15

6.6 各部温度計測

C重油を使用した場合に、各部の熱的負荷および分布状況が問題となる。ここでは試験機関の熱的負荷が問題となる点を計測した。各部の温度はCA熱電対により計測し、シリンダ・ライナ、排気弁座環および排気弁は多点記録計で連続的に記録された。この計測によりピストンのリング溝部の冷却が十分に行なわれることがわかった。これはピストンの抜出し時の状況からも裏付けられた。燃料弁先端部の冷却状況もこの計測部位置の値から推定して、かなり良好に行なわれているものと思われる。排気弁座環のシート部の温度もシリンダ・カバえの熱放散のため、C重油燃焼の場合でもそれほど高温にならないことがわかった。4サイクル機関で最も問題となる排気弁シート部の温度も、C重油における計測温度が、A重油の場合に比較して若干低く、単なる熱負荷の問題に限ればC重油の使用が問題とならないことがわかった。これらの計測値を表9に、またこれを曲線として図16に、さらに運転時の各部の温度計測、シリンダ出口の排気温度、燃料ラック値の各記録をそれぞれ、図17～図19に掲げた。

表9 各部温度計測値 (°Cにて)

1,200s C重油運転

| 品名 | 測定点 | 出力 (ps) 表示平均有効圧 (kgf/cm ²) | 測定位置図 | | | | |
|-------------|-----|--|-------|------|------|------|--------------------|
| | | | 105 | 193 | 280 | 340 | (実機V8V40/54AL相当出力) |
| ピストン | P 1 | 頂面中央 | 169 | 197 | 225 | 253 | |
| | P 2 | 肩 部 | *125 | *157 | *157 | *160 | |
| | P 3 | 第1リング上部 | | 105 | 114 | 116 | |
| | P 4 | 第1, 第2リング間 | | 79 | 89 | 90 | |
| シリンダ ライナ | L 1 | 排 気 側 | | 120 | 150 | 180 | |
| | L 2 | " " | | 100 | 130 | 160 | |
| | L 3 | " " | | 40 | 60 | 70 | |
| | L 4 | " " | | 130 | 170 | 200 | |
| | L 1 | カ ム 側 | | 120 | 150 | 180 | |
| | L 2 | " " | | 80 | 100 | 130 | |
| | L 3 | " " | | 60 | 70 | 90 | |
| | L 1 | ハ ズ ミ 車 側 | | 100 | 120 | 140 | |
| | L 2 | " " | | 90 | 120 | 140 | |
| | L 3 | " " | | 60 | 80 | 90 | |
| 燃料弁 | N 1 | ノスルチップ | *30 | *35 | *37 | *42 | |
| | N 2 | 1体型ノズル、 ノズル部 | *40 | *44 | *56 | *59 | |
| 排気弁 弁座環 | V 1 | 排気弁座環 シート部 | 120 | 150 | 190 | 230 | |
| 排気弁 | V 2 | 排気弁 A重油 | 200 | 260 | 350 | 400 | |
| | | シート部 C重油 | | | | 390 | |

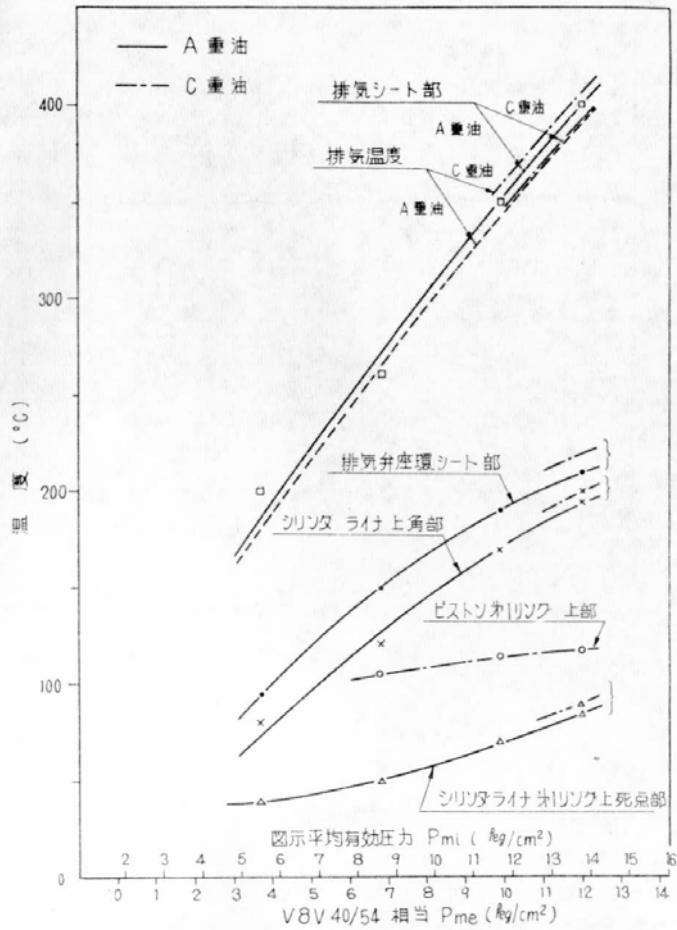


図16 燃焼室周囲温度

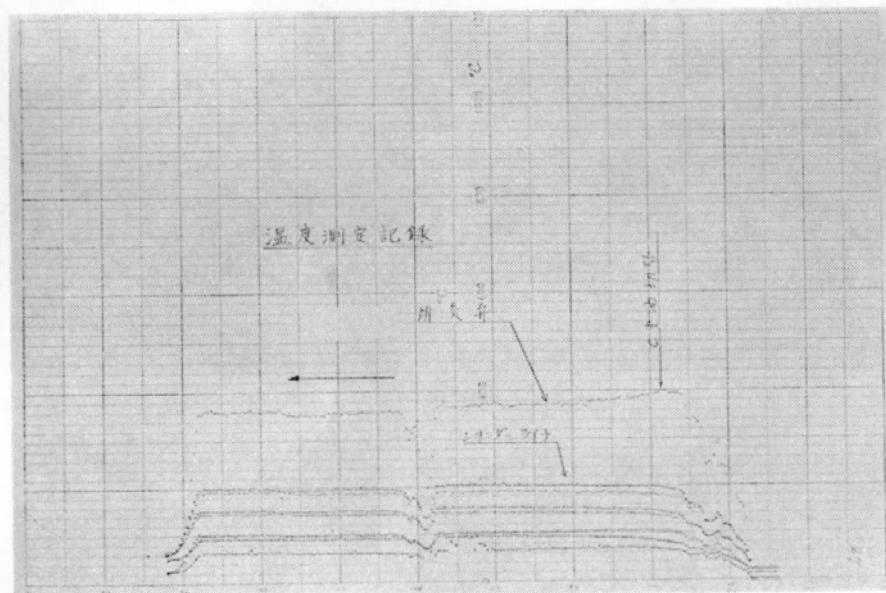


図 17

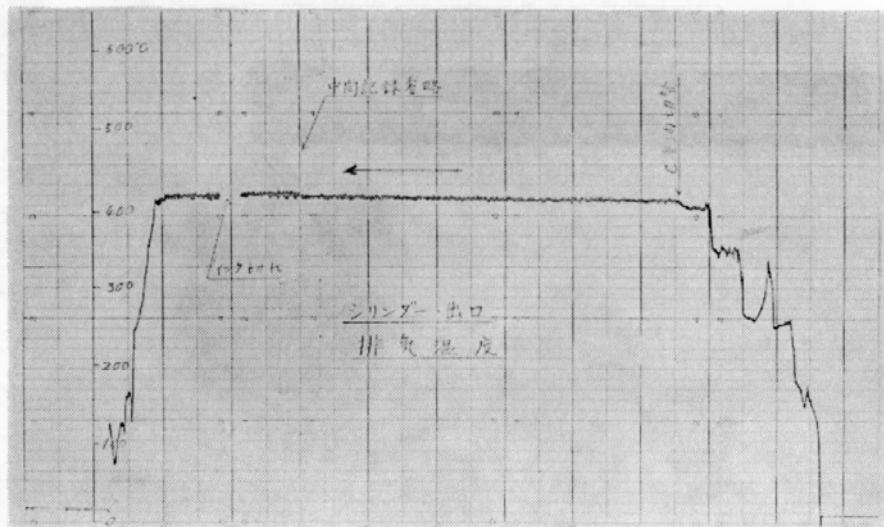


図 18

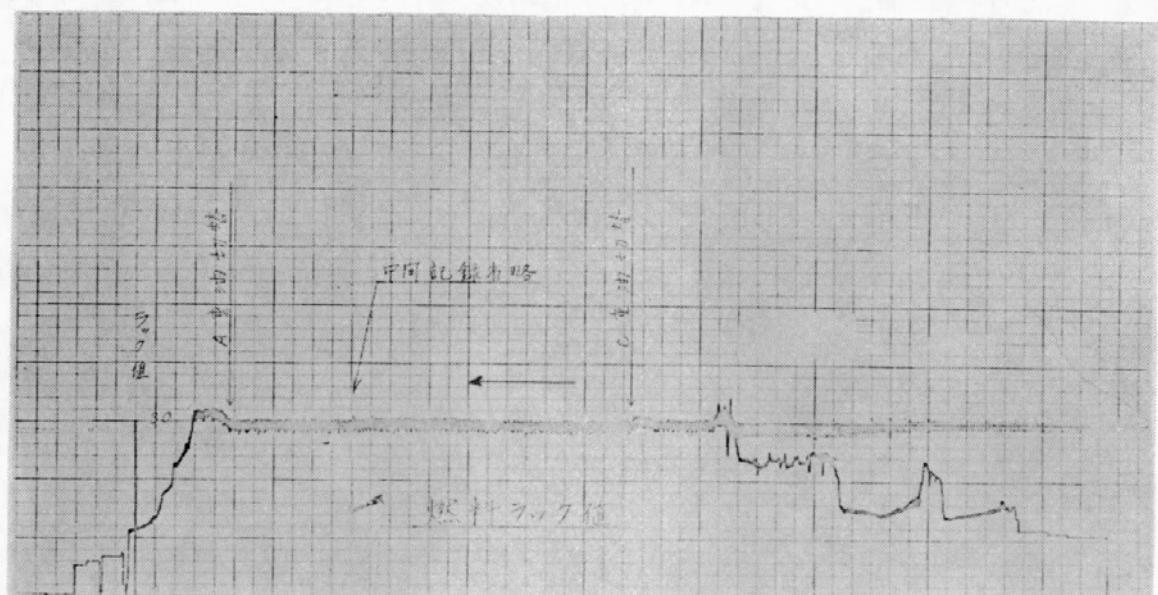


図 19

6.7 連続耐久運転

C重油の性能試験後、1,200s C重油を使用して、耐久運転を行なった。前回解放後、無停止連続耐久262hr を含め約1,000hr 運転を行なってから、機関解放点検および計測を行なった。またこの運転中応急装置および自動記録装置を使用し、これらの信頼性の確認を行なった。

連続耐久運転の試験条件は次のとおりである。

| | |
|----------------------------|------------------------------|
| 機関回転数 | 375rpm |
| 実機 (V 8 V40/54) 相当正味平均有効圧力 | |
| | Pme = 12.0kg/cm ² |

| | |
|--------|-------|
| 連続運転時間 | 262hr |
|--------|-------|

連続運転時の機関性能は前掲の機関性能に示すのと同じで、極めて安定した燃焼性能が得られ、排気色は完全な無煙状態であった。この運転中燃料および潤滑油清浄機は連続して運転され、問題なく作動した。潤滑油は注水清浄を施したが、600 ℥/hr の通油量により完全に潤滑油の性状は一定になり、潤滑油の劣化は進行しないことが確認された。実機においては、A重油またはB重油運転の連続清浄を施さない場合の汚損上昇をあわせて考えれば、さらに清浄機の容量を減少することが可能である。なおこの試験を通じて潤滑油の取り換えは行なわず、潤滑油不足分だけを適宜補充した。燃料油は連続式遠心清浄機により100 ℥/hr の通油量で連続的に清浄した。これは機関消費量の約50%大であるので、サービス・タンクがある液面以上になるとサービス・タンクの清浄油を再び清浄機に反して部分的に清浄を繰り返した。この試験を通じて燃料噴射系統には全く故障は生じなかった。その理由の1つとして、燃料の清浄が完全に行なわれたことをあげができると思う。

連続262hr の運転を含む延べ1,269hr 後の解放の結果は、極めて満足すべきものであった。まず燃料噴射弁は運転期間を通じて終始良好に作動した。解放の結果もいわゆる「カーボン・フラワー」の生成現象は見られなかった。ピストンについても上面に若干の堆積は見られたが、軟質剝離性のものであった。ピストン側面のカーボン附着は第1ピストン・リング上部のみで、ピストン・リングはすべて完全に自由状態であり、組立式ピストンの冷却効果の大きいことがうかがえる。またピストンのリング溝部の摩耗は認められなかった。ピストン摺動面の状況も良好であり、これにはシリンダ油の分布が良好であることと共に同油の清浄分散効果があったものと思われる。(写真4～写真9参照) またC重油燃焼時によく問題とされるラッカー状物質の生成も全く認められなかった。シリンダ・ライナも、ピストン

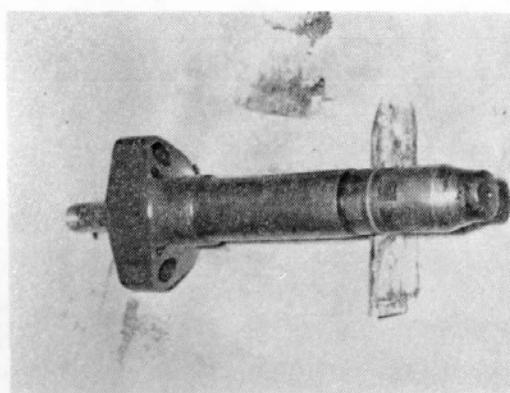


写真4 燃料噴射弁

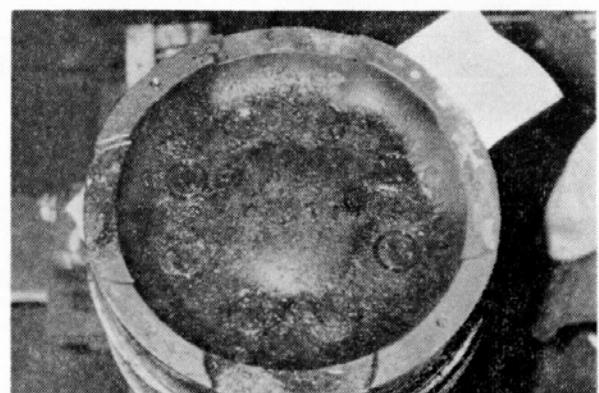


写真5 ピストン頂面

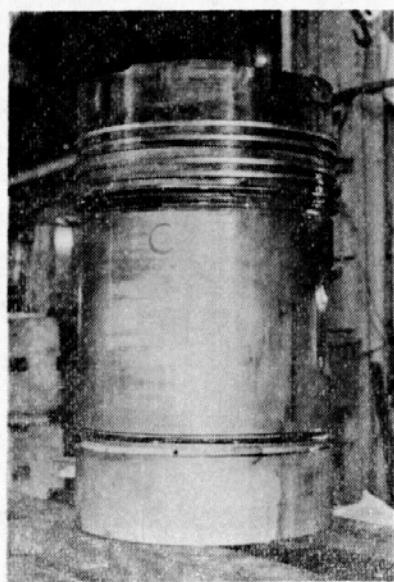


写真6 ピストン給気側

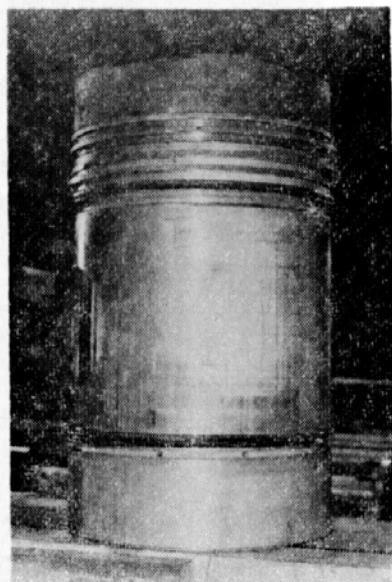


写真7 ピストン排気側

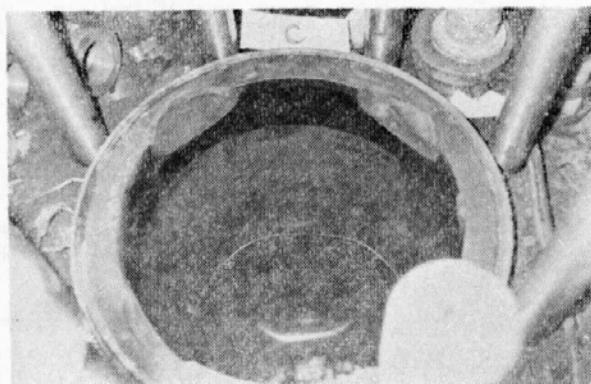


写真8 シリンダ・ライナ

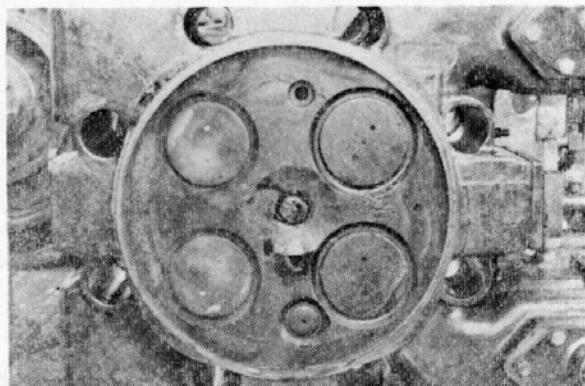


写真9 燃焼面シリンダ・カバ

同様に良い摺動面の状況を示しており、摩耗量も $0.06\sim0.1\text{mm}/1,000\text{hr}$ で良好といえる。またピストン・リングの摺動面も正常であり、摩耗量は半径方向で、第1リングにおいて $1,000\text{hr}$ 当り 0.05mm であった。排気弁についても排気弁および排気弁弁座環の各シート部とともに、十分C重油運転に耐え得ることが確認された。これは、この種4サイクル機関の同部の温度が排気温度の上昇にもかかわらず、A重油運転時に比較して高くないことが多分に関係しているものと思われる。(写真10～写真11参照)

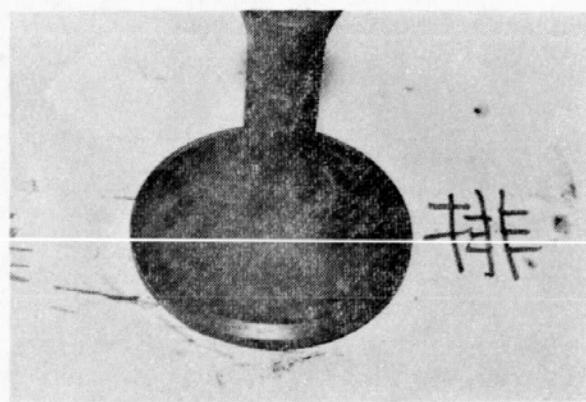


写真10 排気弁シート部

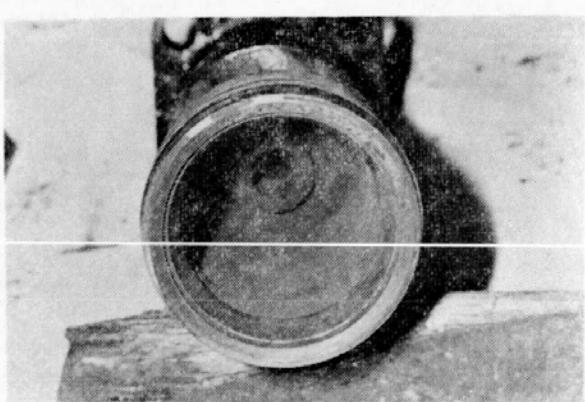


写真11 排気弁弁座環

以上、耐久試験の結果は機関性能および燃料潤滑油の処理効果について、極めて満足すべきものであった。

第7章 結論

C重油の燃焼試験を実施するに当り、あらかじめ予想される燃焼上および構造上の問題について、考えられる限りの対策を施して試験機関ならびに試験装置を準備し、最終的に最良の状態で試験を行なったため、本試験で取扱った3種類のC重油の使用に関しては全く問題が無く、極めて良好な成績を収めることができた。全負荷で、約260hrの連続運転を実施したが、その前後における燃焼状態は全く変らず、排氣色は無色で、燃費および排氣温度の変化もなく、解放後の燃料噴射弁、給排氣弁および燃焼室の汚れもほとんどなく、十分満足できるもので、予想以上の好成果が得られた。総運転時間は約1,312hr(うち、C重油運転1074.5hr)であるが、シリンダ・ライナの摩耗も少なく、排氣弁の損傷も全くなく、長時間の無解放運転が可能であると判断された。また適当な燃料加熱装置を備えれば、機関停止の際にA重油に切替えずC重油のままで停止し、冷態から再起動が可能で、この場合も燃焼上何等問題がないことを確認した。従って、大型2サイクル機関で、使用可能なC重油は、本型式機関にすべて使用できるものと考えられる。

本試験研究では、低質油として直溜系C重油についてその燃焼性を調べたが、機会を見て、クラッキング系C重油を使用して確認したいと考えている。

応急装置および記録装置についても、計画どおり良好な成果が得られたが、低質油燃焼装置に対しては、最小限本試験装置程度の監視記録装置が必要である。

日本造船研究報告

昭和41年1月20日 印刷

昭和41年1月30日 発行

日本造船研究報告 第56号

発行人 菅 四 郎

発行所 社団法人日本造船研究協会

東京都港区芝琴平町35

「船舶振興ビル」8階

電話 (502) 2371~80

内線 (421~426)

印刷所 株式会社 青 光 社

東京都品川区五反田1の249

電話 (441) 0006, 4444, 2020