

# 船用ディーゼル機関の潤滑油管理

邦正丸主機のシステム油に関する二、三の知見

米 盛 亨

## On the Maintenance of Lubricating Oil in the Marine Diesel Engine

Some Notes on the System Oil in a M.A.N.-KZ Engine

Tōru YONEMORI

### Abstract

The M. A. N.-KZ type is one of large two-cycle marine diesel engines. In order to save the system oil in engines, it is important to reduce the leakage loss and to keep the oil in good quality as far as possible.

Leakage tests and measurements of acid value, performed on the Hōsei Maru during her three voyages in 1960, gave the following results.

1) The mean total consumption was 130 l/day, and the rate of consumption as "piston rod scraped oil" was largest (Table 1, Table 2, Fig. 2). It should be collected carefully, and be returned into the system after a chemical treatment (Fig. 3).

2) Water and combustibles gave heavy injuries to the system oil.

3) A mass of exhaust gas leaking into the crank case through control valve bearings caused a severe deterioration to the system oil. For the purpose of intercepting exhaust gas, it seems useful to reinforce Labyrinth seals and apply a special grease to bearings (Fig. 1, ① ④).

4) Heavy duty oil is not suitable to this kind of engine, because it makes emulsion with water and gives fatal damages not only to the oil but also to the engine (Table 3).

### 1. 緒 言

現今、大型船用ディーゼル機関の主流は、2サイクル単動クロスヘッド型によって占められている。クロスヘッド型機関の潤滑油系統は、内部油（シリンダ油）と外部油（システム油）の二つに大別出来るが、シリンダ油は反復使用されることはないのに対して、システム油は長時間にわたり循環給油されるので、その管理については細心の配慮が要求される。筆者は1960年1月より満1年間、日邦汽船株式会社所属の鉾石専用船邦正丸に乗船中、システム油管理の運航費に及ぼす影響が極めて大きかったので、油費節約のためにその消費量を低減せしめ、且つ有効使用時間の延長をはかる方法について種々の考察及び実験を行なった。後者のためにはよくシステム油の性状を知ることが必要であるが、船内に於ける分析試験の実施は設備と労力の面より制約をうけるので殆んど不可能である。従って船用機関の潤滑油試験は陸上の研究所に全面的に依存するのが常識とされている。然しその結果が船に報告されるのは数カ月後であるので、使用油の現状把握のためには何等かの船内試験を行なうことが望ましい。筆者は試験項目を一つだけ選択するに当って全酸価

測定法を採用した。その根拠は従来研究所で行なわれた本船試油の試験結果において、全酸価の異常上昇が唯一の難点であり、且つ燃烧生成物の混入比率を推定するにはこの方法によるのが最も適切であると判断した点にある。

勿論、一項目の測定結果のみによって性状を判断したことについては、若干の危惧を持つので筆者としては今後更に資料を加えて、総合的判断を下したいと考えている。

この分野に於ける研究は、外航船 137 隻を対象とする統計的調査資料<sup>1)</sup>が発表されているのみで、実験的資料は皆無である。

長期間にわたる運転実験資料を必要とするシステム油劣化問題は簡単な台上試験によっては解決されないので、不自由な環境ながら実船試験に頼らざるを得ない。

この認識に立って、船主、乗組員、機関メーカー及び潤滑油メーカーの四者が一体となって努力されるならば、大型ディーゼル機関の今後は、一層の発展が期待出来ると思う。

## 2. 実験材料及び方法

### 1. 邦正丸要目

総屯数 10,504t, 全長 161.20m, 巾 22.40m, 深さ 12.50m, 速力 14kt

建造年月日 1958年10月14日

建造者 株式会社呉造船所

### 2. 主機関型式要目

M.A.N.-K 8 Z 70/120 C型 1基

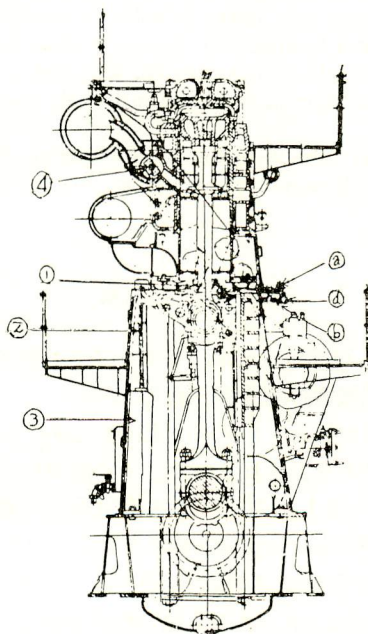


Fig. 1. Section View of KZ engine.

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| ①...Piston rod stuffing box    | ②...Piston cooling telescopic tube                        |
| ③...Cooling water vessel       | ④...Post charging slide valve (Exhaust gas control valve) |
| a...Lantern oil discharge pipe |   |
| ④...Common pipe a and b        | b...Scraped oil discharge pipe                            |

排気タービン過給 2 サイクル単動クロスヘッド型, シリンダ数 8, シリンダ内径 700mm, 行程 1,200mm, 回転数 128 R.P.M., 馬力 7,200 B.H.P.

製作年月日 1958 年 8 月 1 日

製 作 者 川崎重工業株式会社

### 3. 使用潤滑油

シリンダ油 スワライン USD-40 (丸善石油)

システム油 スワライン O-30 (丸善石油)

### 4. 試験方法

(i) 試料採取個所は次の通り一定した。

システム油 機関入口濾器の空気抜コック。

掻揚油 Fig. 2 に示す管⑩ (Fig. 3 に於ける a) に相当) を機外で分離した。

ランタン油 Fig. 3 に於ける管⑤ を機外で分離した。

(ii) 消費量計測試験

内訳を Table 2 に示す 8 項目に分類して, 1 週間にわたる回収を続け平均値を求めた。

(iii) 性状試験

運転中の機関から同時採取した三試油の全酸価測定を即日船内で実施した。測定は JIS (k2501) に定める指示薬滴定法による。

### 5. 試験期間中の運転及び整備状況

冷却清水温度 (機関入口) 53°C

" ( " 出口) 63~65°C

システム油 温度 ( " 入口) 40°C

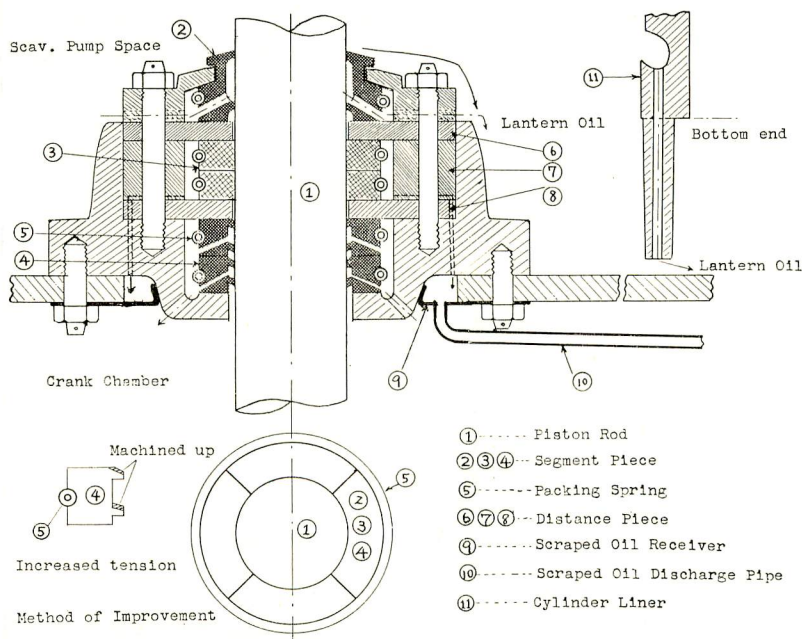


Fig. 2. Detail of Piston Rod Stuffing Box.

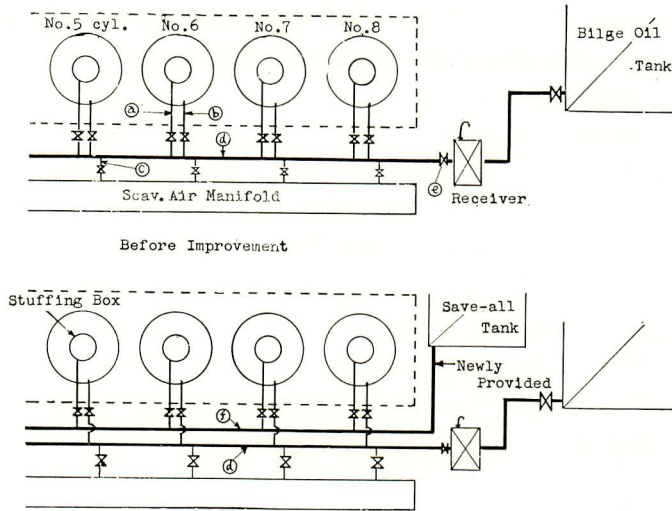


Fig. 3. Pipe Diagram Showing Collection of Waste Oil.

システム油 温度 (機関出口) 44~45°C

” 圧力 (” 入口) 3.2 kg/cm<sup>2</sup>

シリンダ油消費量 100~110 l/day

システム油量は常に7~8klの間に保ち、その清浄のために、処理能力2,000 l/hのシャープレス型遠心清浄機(巴工業製)を航海中連続運転して無注水側流清浄を行ない、その結果平均1 kg/dayのスラッジを分離した。尚、碇泊中は澄し槽による静置分離法を併用した。前記消費量計試験中の平均回転数は119.5 R.P.M. 平均馬力は6,030 B.H.P.で、この標準負荷は全乗船期間を通じて極力保持された。実験開始時の機関総運転時間は8,600時間であった。またピストン抜作業は1,500~2,000時間毎に行なわれ、シリンダ磨耗量は平均0.12 mm/1,000hrsであった。

### 3. 実験結果とその考察

システム油費は漏洩等による見かけの消費量と、劣化により限定される有効使用時間数との二要素にて左右される。

Table 1. Normal consumption of system oil in famous marine diesel engines.

Maker	Type	Consumption (cc/B.H.P./h)
H	10 VTBF	0.16
U	7 SD 72	0.24
H'	7 RSD 76	0.21
M	8 MS 72	0.30
M	7 UEC	0.37
Y	K 9 Z	0.38
K	K 8 Z	0.89 (Hōsei Maru)

All engines are two-cycle, single acting, cross-head type.

Table 2. Result of oil leakage tests on Hōsei Maru.

Classification of leakage	Quantity (l/day)
A) Piston rod scraped oil	37
B) Into cooling fresh water	24
C) From crank doors, st'b'd	22
D) From crank doors, port	8
E) From L. O. pump and piping	7
F) Loss due to cleaning strainers	8
G) Loss due to purifying oil	10
H) Others	14
Total	130

### I. 見かけの消費量

Table 2 に於いて合計消費量 130 l/day はドレンタンクの減量より求めた。この量は 0.89 cc/B.H.P./h となり Table 1 に示す如く他船の実績に比べて非常に大きい。以下 Table 2 の主要項目について考察する。

#### A) ピストン棒搔揚油

KZ 型のシリンダ下部は補助掃気ポンプに利用され、クランク室とは Fig. 2 の通り棚板及びスタフィングボックスで隔絶されている。搔揚油の実際の回収量は 40 l/day であったが、このうち約 3 l/day はランタン油であると判断される。その理由は Fig. 4a よりランタン油の搔揚油に占める割合が平均 7% と見なされるからである。この項目は劣化問題とも関係が深いので後述する。

#### B) 冷却清水系統への混入

KZ 機関のシリンダ及びピストンの冷却には清水が使用される。然し清水とシステム油は互に独立した冷却器を用いてそれぞれ海水によって冷やされるので、冷却器における混入はあり得ない。考えられる唯一のものはピストン冷却用伸縮管の往復運動による油膜運搬の機構である。即ち Fig. 1 に示される様に、下降行程中の伸縮管②はクランク室内で浴びた油を途中のパッキンにて掻き落されつつ、冷却水筒③に進入するのであるが、一部は油膜として附着したまま冷却水中に運ばれる。水に触れた油膜はその親水性に応じて乳化を起し冷却水中に流れ出るのである。O-30 は後述する如く非常に親水性に富むので、冷却清水槽に集まる乳化油の量は 40 l/day に達した。この乳化油から水分を加熱蒸発法によって除いた結果、システム油の比率は 60% であることが判明した。パッキンの構造は既に高度に複雑でこれ以上改善の余地は少なく、この損失の軽減法は使用油の変更にまつのが効果的である。抗乳化度の高い油を使用すれば、水中に流れ出る油量が若干減少すると期待され、漏入油の回収及び再生も容易になると思われる。

#### C), D) クランクドアー隙間よりの漏洩

元来このドアーは取付けにパッキンを使用しない構造になっているが、左舷側はオイルシートパッキンを採用することによって漏洩を減らし得た。右舷側は整備、点検の都度開閉するので前記パッキンは破損し易くて採用出来ない。

この部は合成ゴムパッキンの採用により、大巾に漏洩の減少が期待出来る。

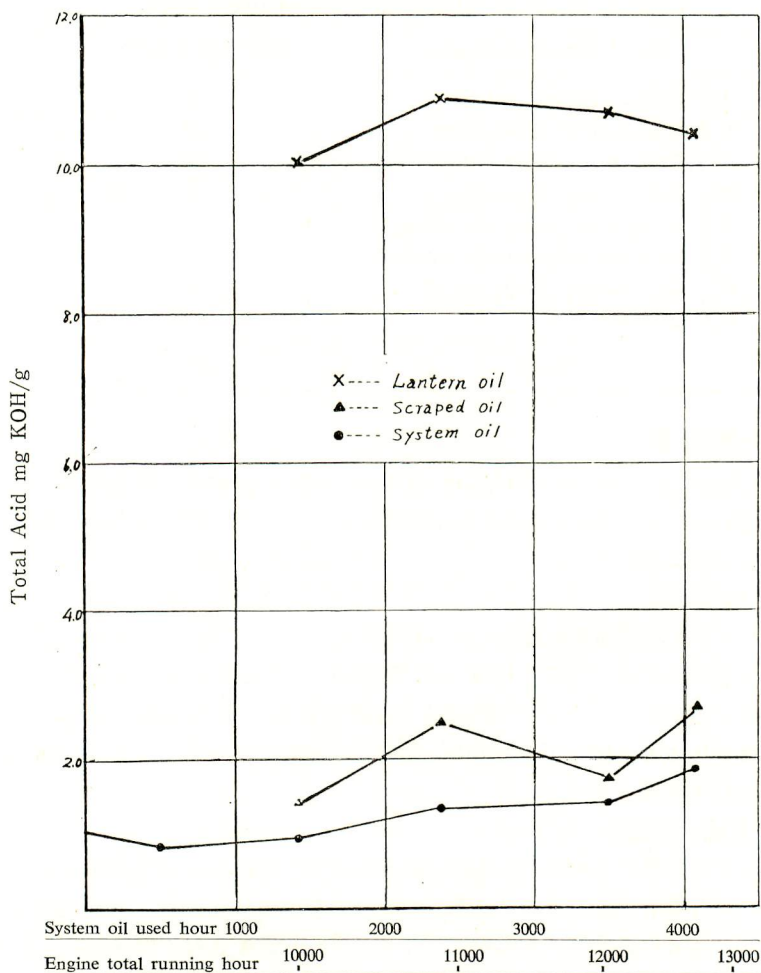


Fig. 4 a. Graph showing Acid Value of the System Oil in Hōsei Maru.

以上のうち、A), B) の二項目は筆者の創意によって判明したが、目に見える漏洩である C) 項がその時まで放置されていたことは驚くべきことである。結局筆者の乗船中に実施された対策は A), E), F) の三項目についてのみであったが、これによって 45 l/day の節約が事実可能となった。B), C), D) について筆者の示唆通り処置された場合は更に 30 l/day の節約が見込まれる。尚、給油圧力の低下が A)~E) の各項目に対して有効である。

## II. 性状劣化について

本船提出の試料を基に油メーカーが実施する総合的試験結果に於いて、粘度、引火点、固形物等については余り大きな問題はなかった。稀に試油中に水分の検出を見るのみで、最大の難点として酸価の上昇が指摘された。

全酸価についてクロスヘッド型機関を有する各船との比較は Fig. 4b の通り甚だしい異常値を示した。この原因をシステム油自身の劣化と酸性物質の混入とに分けて考察する。

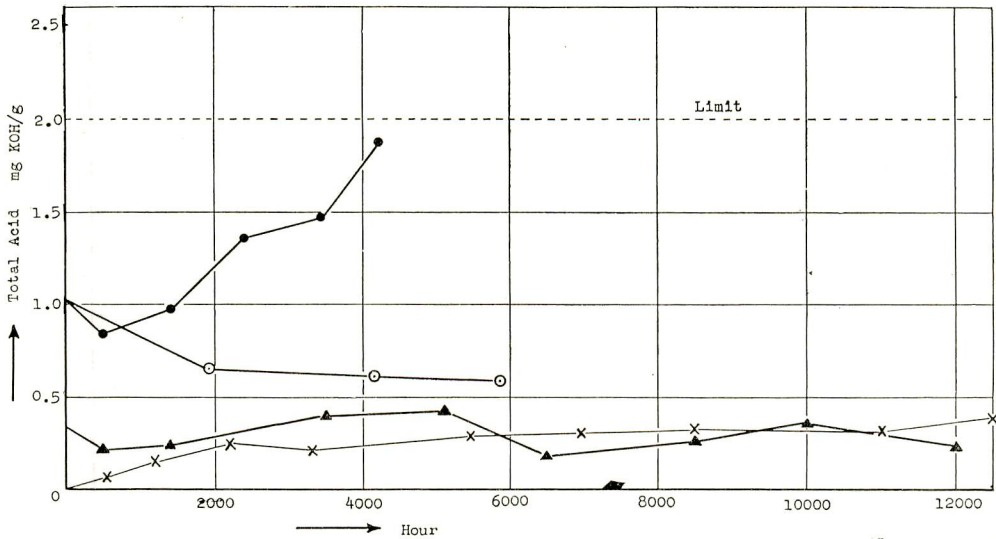


Fig. 4 b. Graph Showing Acid-Value of System Oil.

	type of engine	brand of oil
●	Hōsei Maru K8Z 70/120 C	O-30
○	A Maru 7UEC	O-30
▲	J Maru 7RSAD	W-30
×	N Maru 6SD	S-30

## II. 1 システム油自体の劣化

空気による酸化が一般に重視されているが酸化促進に最も影響の大きい温度条件は、本船の場合それ程苛酷ではない。また触媒として働く磨耗金属粉も検出されていない。酸化防止剤入りの油がこの様な早期劣化を受けるのは、混入水分による劣化の促進が主因と思われる。ピストン冷却用伸縮管の上昇行程で連続的に運ばれる水分以外に、伸縮管とピストン棒下部とを連結する銅管の破損事故による大量混水があり、後者の影響は Fig. 4b の酸価急上昇の時期に現われている。

## II. 2 燃焼生成物の混入による影響

侵入経路として二箇所 (Fig. 1 の ①, ④) が考えられる。

### a) ブローバイガス及びランタン油の混入

前述の如く搔揚油に7%のランタン油混入が認められたが、搔揚油回収に当ってはブローバイガスを含む掃気も一緒に吹き出す。これらはスタフィングボックス中段よりの排出が完全でない場合はクランク室に侵入するわけである。Fig. 2 の ④に関する改造が機関メーカーの発意で実施されたが、面圧増大による早期磨耗が懸念されたので筆者は Fig. 3 に示す導油管の配管改良を同時に行なわせた。筆者提案の主旨はスタフィングボックスの完全遮断は困難であるとの前提から、むしろ搔揚油の積極的排出をはかりこれを機外に於いてランタン油と混ぜることなく回収して、薬品処理を施した後、システム補油として再使用し、質と量の両面より成果をあげる点にあった。そして異常な劣化速度から、他にもっと大きな燃焼生成物侵入経路が存在するであろうと判断して調査を進めた。

### b) 排気管制弁軸の漏洩

KZ 機関は掃気の充填効率を増進する為に回転弁による排気管制を行なっている。管制弁は全シリンダの分を連結の上、カム軸よりチェーンにて回転される (Fig. 1 参照)。K 8 Z の場合は No. 4 と No. 5 シリンダに挟まれる一区画にカム軸駆動歯車と管制弁軸駆動装置が配置されるので、管制弁軸はクランク室に通じているわけである。K 8 Z の管制弁軸は 10 個のコロ軸受で支持され、軸受と管制弁の間にはそれぞれラビリンスパッキンを設けて排気の漏洩を防いでいる。これの効果を確かめる為に運転中の実体調査を行なった処、火の粉を混えた多量の排気が No. 5, No. 6 軸受よりクランク室に侵入するのを発見した。この軸受潤滑には機関メーカーの指示によりアルバニヤ No. 2 グリースを全軸受について 250 g/day 供給して来たが再検討すべき点が多い。即ち軸受に近接する管制弁が 300°C 以上の排気にさらされている為に、軸受の温度条件は非常に苛酷である。軸受内部の平衡温度はこの場合軸受自身の発生熱量よりも、排気からもたらされる熱量によって支配されると思われる。

軸受の摩擦熱量及び外部からの伝熱量の計算は困難なので、グリース供給孔に棒温度計 (排気温測定用) を挿入して外輪部の温度を実測した処 110°C を得た。今、ラビリンスの効果を完全と考えた場合でも内輪部の温度は平野 (1955)<sup>2)</sup> の云う如く約 150°C と推定される。

邦正丸の場合は明らかに排気の吹抜けが起っているので、軸受中心部は 200°C に達することが想像される。このことは全軸受開放検査の結果、使用温度 170°C と称されるアルバニヤグリースが完全にゴム状化 (中心部はカーボン化) していた事実によって裏づけられた。そして軸受の早期磨耗はラビリンス磨滅の原因となって悪循環の排気吹抜けを起す。この様な悪条件を克服する為には、高性能耐熱潤滑剤の適量供給とラビリンスパッキンの強化策が有効である。

耐熱潤滑剤グラファイトグリースの実用試験は外輪部で 15~20°C の温度低下を示したが、これは供給量減少 (従来 1/2) による攪拌熱の低下と粗雑面に対する黒鉛の被膜効果が原因であると思われる。見本入手のみに終わったが、シリコングリース及びモリコート採用は更に好成績が期待された。筆者提案のラビリンス強化の対策として最近、掃気を利用するエヤーシール法が三菱日本重工横浜造船所にて研究され、好成績を収めているようである。

### c) システム油選定上の問題点

Table 3 より次の考察が得られる。

O-30 はアルカリ反応を示す反面全酸価は最も高い。或る種の添加剤グループ (Table 3

Table 3. Comparison of "Swaline" series.

Brand	Reaction	Total acid	Kind of additive
S-30	Neutral	mg KOH/g 0.01	None
W-30	Neutral	0.34	Anti-oxidant, Anti-corrosive, Oiliness agent, Anti-foaming
O-30	Slight alkaline	1.03	Anti-Oxidant, Anti-corrosive, Oiliness agent, Anti-foaming, Sludge dissolver



から判断すれば清浄剤)は水溶性の無機塩基を含み、また油溶性の有機酸やエステルから成るものと思われる。またFig. 4bに於いてW並びにO (Table 3 参照)の使用開始後、相当期間はその全酸価が若干低下の傾向を示すのは、使用によって添加剤が消耗されつつある過程と考えられる。

従って全酸価が上昇に転じた時以後の上昇角度が真に劣化の度合を示すのであって、単なる縦軸上の座標が劣化の程度を表わすものではない。しかし新油の示す全酸価の大小に拘わらずシステム油交換の目安は一応2.0と云われている。新油の示す全酸価が高い場合は高度の添加油で、それだけ酸化に対して安定だとされているからである。

この意味に於いて、邦正丸に示される傾向は多分に警戒を要する。建造後二、三年は各部の腐蝕も余り目立たないであろうが、数年後には何等かの形で表面化して来るとと思われる。

劣化原因がシステム油自身の変質にあるか、又は燃焼生成物特に硫酸分の混入によるものかの判定は、強酸価測定法の併用によって相当な程度まで可能であると思われる。

クロスヘッド型機関は燃焼生成物混入に対する信頼度が高いとされて、通常、強酸価の測定を省略されるけれども、本船の様に複雑な考察が得られる場合にはその必要が痛感される。O-30の抗乳化度は1.8<sup>1)</sup>と云う低いもので、その親水性のために冷却清水への混入を増し、システム油自身の劣化を促進し、更に酸価上昇抑制策である加水清浄法の実施を殆んど不可能にして、質及び量の両面からその管理を困難なものにしている。

一般に油性向上剤<sup>3)</sup>及び清浄剤<sup>4)</sup>が大なる親水性を示すと云われるが、特に清浄剤は本質的に水滴分散剤として働くので最も影響が大きい。

この意味でTable 3よりこの機関の適油を求めるならばS又はWと云うことになり、価格の点でも有利である。

以上、種々の対策を検討したがその多くが回収処理法又は潤滑剤の選定法等消極的な面にかたよったのは、早期解決を主眼として検討したからである。機関の構造的改良は当然研究されるべきであるが、M. A. N.社との関係もあってメーカーによる基本的設計の変更は困難な実情にあった。

#### 4. 結 言

本試験は実務上の必要から激しい稼働状況の下で進められたもので、測定資料等についても精度を欠く憾みがあるが、実用的見地からシステム油の見かけの消費量の低減並びに有効使用時間の延長対策として結論すれば、次のことが云えよう。

1) システム油の見かけの消費量130 l/dayの行方を解明した。このうちピストン棒掻揚油とピストン冷却用伸縮管の運動による漏洩油は量が多く、漏洩の機構も複雑であるので、部分的改造によって完全に防止することは難かしい。前者に対しては回収法及び再生処理法の確立、後者に対しては使用油の変更が効果的である。(Table 2, Fig. 1の①, ②; Fig. 2, Fig. 3 参照)

2) システム油自身の酸化は水分の混入によって促進され、強酸分の侵入と相まって全酸価は異常に上昇する。

3) 強酸分の侵入箇所としてピストン棒スタフィンボックスと排気管制弁軸受部が考

えられるが、後者の可能性が極めて大きい。(Fig. 1の①, ④参照)

この対策としては、エヤーシール法及び高性能特殊潤滑剤の採用が効果的である。

4) ピストン水冷式機関に、所謂 Heavy duty oil の採用はぜい沢であるのみならず、二、三の重大な逆効果をもたらしているので、抗乳化度に重点を置いて適油を選定する必要がある。(Table 3 参照)

終りに、本報をまとめるに当って御示唆を賜わった本学工学部石神重男教授に対し深く謝意を表す。

#### 文 献

- (1) 宮嶋時三(1961):日本船に於ける潤滑油の使用状況調査(2). 船舶, **34**(3), 364~373.
- (2) 平野富士夫(1955):軸受の潤滑. 日本機械学会誌, **58**(432), 9~12.
- (3) 幸林良作(1962):“機械潤滑法及潤滑剤”, 74~76 (産業図書, 東京, 日本).
- (4) 若菜 章(1957):熱機関用潤滑油. “熱機関大系”, **3**, 340 (山海堂, 東京, 日本).