(昭和 38 年 5 月造船協会春季講演会において講演)

ディーゼル機関の原油使用の研究

正員 瀬 尾 正 雄* 稲 見 信 雄*
井 ノ 内 一 雄* 大 竹 和 夫*
加 藤 寛* 渡 辺 和 夫**

Study on the availability of crude oil in diesel engine

By Masao Seo, *Member* Nobuo Inami,
Kazuo Inouchi, Kazuo Otake,
Hiroshi Kato, Kazuo Watanabe,

Summary

In large marine diesel engine, it is most general to use bunker oil as fuel for the reduction of fuel cost at present. Furthermore, if crude oil will be used as fuel in stead of bunker oil the expense of fuel would be reduced about 50 percent. In this point of view, the combustion experiments on the availability of crude oil as fuel have been carried out using the test engine. According to the experimental results, it seems to be possible to use crude oil as fuel without any reconstruction of ship hull or machinery apparatuses. Results obtained are as follows ;

1. The combustion of crude oil generally showed good results. Ignitability, fuel consumption and knocking performance of crude oil were as similar as those of diesel fuel.
2. The rate of corrosion of the cylinder liner yielded by using of crude oil was slightly more than that of diesel oil which contained same percentage of sulphur.
3. While testing being performed, inflammable gases produced from crude oil around the engine were inspected, however, it was always assured to be safe.
4. At lower temperature, paraffinic wax was euded at the bottom of the fuel tank but it did not appear to influence on practical performances.

1 緒 言

ディーゼル機関は蒸気機関に比べて燃費が少ないから、船舶が大形化してきたにもかかわらず大形ディーゼル機関が開発され広く採用されている。そしてこれら主機関の燃料には燃料費の節減を図るため、AやB重油に代えてC重油が主用され、かなりの成果を挙げている。しかしC重油を使用する場合は助燃剤を使用している上A重油をも併用しているので、労力は増加している。ディーゼル機関に原油を使用すれば燃料費はさらに著しく減少できる。船舶で使用されるA重油は約 11,000 円/k l であり、C重油は約 7,000 円/k l である。これに比べて原油は約 3,500 円/k l であるから燃料費は半分以下になる。しかも添加剤の使用いかんによつてはさらに燃料費を節減できる。一般の船舶では原油の入手は比較的困難であるから外航の油槽船のみに原油を使用すると仮定してみる。ディーゼル主機関を使用している大形油槽船は約 60 隻あつて、燃料消費量は 4 万噸級で年間約 16,000 k l 、2 万噸級で約 9,000 k l であるから、原油を使用すればそれぞれ 1 隻当り 5,000 万円および 3,000 万円以上の燃料費の減少になる。それゆえ油槽船のみでも年間の運航費の節約は約 20 億円となるから海運界に益するところ大であると考え早急に実験に着手した。実験の結果はディーゼル機関における原油の燃焼性能は良好で、現装置を大した改変することなく使用可能であると思われる。しかし何分当所実験施設は実船とはかなり相異がある上

原稿受付 昭和 37 年 12 月 20 日

* 運輸技術研究所船舶機関部

** 運輸省航海訓練所

試験期間も短かつたので、今後調査すべき点もある。特に安全性、法規との関連等については調査中である。

2 実験経過

実験用小形ディーゼル機関（単筒 4ps×750rpm）でB重油にガソリンを 10% および 20% 添加したものを試用して、点火性や耐爆性等を調査したところ、燃焼は良好であり異常はなかつたので、実験用中形ディーゼル機関（単筒 80ps×500rpm）を用いて実験することにした。まずC重油、軽油およびガソリンを混合し、ガソリン分が 10~20% の試験油を作り予備試験を行なつた。試験の結果は良好であつたから本試験を行なうことにした。まず試験に先だちわが国に輸入されている中東原油の性状等について調査した。原油の分留性状¹⁾は図1の通り

図1 中東地区原油の分留性状

で、ガソリンの含有量は約 15~35% であつた。それゆゑこれら原油の成分を参考にしてガソリン分が 10~40% の合成原油を作り試験に使用した。合成原油による試験終了後、クウェート原油を使用して合成原油との差異を調査した。

3 実験方法

3.1 供試燃料

予備試験には表1の試験油を、本試験には表2の各種石油製品を用いて試作した合成原油とクウェート原油および比較のためのA重油を使用した。なお合成原油の成分と性状は表3の通りである。

3.2 試験装置

燃焼性能試験には中形単筒ディーゼル機関を使用し、腐食摩耗試験には小形単筒ディーゼル機関を使用した。それぞれの要目を表4に示す。なお燃焼性能試験用機関の概要図は図2に示す通りで、また燃焼圧力の計測は抵抗線式エンジン指圧計および電磁オシロを用いて指圧波形を記録した。

表 2 予備試験用燃料

試験油名	P.G. 10	P.G. 20	A 重油
成分	混合油 ガソリン	90 % 80 %	— —
比重 15/4℃	0.8894	0.8660	0.8878
粘度(RVN)Sec at 27℃	124.4	57.2	59.3
備考	1) 混合油 = C 重油 5 : 軽油 3 (比重 15/4℃) (比重 15/4℃) (比重 15/4℃) 0.875 0.857 0.828 2) ガソリン (加鉛) 比重 15/4℃ 0.74		

表 3 本試験用合成原油

試験油名	G 10	G 20	G 30	G 40
成分	混合油 ガソリン	90 % 80 %	70 % 20 %	60 % 30 %
比重 15/4℃	0.885	0.874	0.857	0.835
粘度(RVN)Sec at 27℃	140.5	87.4	54.8	42.4
備考	1) 混合油 = C 重油 5 : 軽油 2 : 灯油 1 (比重 15/4℃) (比重 15/4℃) (比重 15/4℃) (比重 15/4℃) 0.875 0.861 0.826 0.781 2) ガソリン (無鉛) 比重 15/4℃ 0.69/4			

表 2 本試験用合成原油の基油およびクウェート原油等の性状

油 種	合成原油の基油				A 重油	クウェート原油
	C 重油	軽油	灯油	ガソリン		
比重 15/4℃	0.9461	0.8266	0.7817	0.6914	0.8778	0.8693
引火点 °C	90	73	46	—	71	—
粘度 cSt	—	—	—	—	—	—
② 30°	—	3.011	—	—	—	—
④ 50°	119.2	—	—	—	2.87	—
流動点 °C	-75	<-20	—	—	<-20	—
硫黄分 wt %	3.47	0.35	0.00	—	0.96	2.61
灰分 wt %	0.02	—	—	—	0.00	—
残炭 wt %	8.41	* 0.01	—	—	1.30	—
水分 vol %	0.0	—	—	—	0.0	0.0
泥水分 vol %	—	—	—	—	—	0.0
塩分 wt %	—	—	—	—	—	2.0
分留性状	—	—	—	—	—	—
初留 °C	—	182	162	46	—	23
5% °C	—	—	166	59	—	76
10% °C	—	215	168	62	—	112
20% °C	—	—	—	—	—	169
30% °C	—	—	—	—	—	230
40% °C	—	—	—	—	—	285 Cal
50% °C	—	256	174	80	—	—
60% °C	—	312	199	112	—	—
70% °C	—	338	212	126	—	—
77% °C	—	—	220	142	—	—
終炭 °C	—	377	230	162	—	—
留出量 vol %	—	98.5	98.5	98.0	—	—
残油量 vol %	—	1.0	1.0	1.0	—	—
セタン価	—	55	—	—	—	—

* 10% 残油の残留炭素分を示す。

表 4 実験機関要目表

名 稱	新三菱重工業株式会社	ヤシマー SS 4
形 式	4 汽缸 直列 4 行程 直噴式	4 汽缸 直列 4 行程 直噴式
連続運転最大回転数	800 PS x 500 RPM	4 PS x 750 RPM
シリンダ数 x 径	1 x 275 mm	1 x 95 mm
ピストン行程	400 mm	150 mm
燃 料 方式	直接燃焼式	予燃燃焼式
注油方式	強制循環式 燃料水試	強制循環式 燃料水試
燃料噴射弁	高圧薬用多孔式	高圧薬用多孔式
孔数 x 径 x 噴射圧力	0.35 mm x 6 x 250 kg/cm ²	0.25 mm x 1 x 150 kg/cm ²
吸気弁	開 BDC	22°
閉 ABDC	43°	20°
排気弁	開 BBDC	41°
閉 ATDC	14°	18°
上死点 スキマ	5.8 mm	5.0 mm

図3 各試験油による燃焼性能

4 試験結果

4.1 予備燃焼性能試験

各試験油による燃焼性能を比較した場合、始動性はいずれも良好であり、燃費率、排気温度および燃焼最高圧力ともA重油と大差なく、ノックの傾向もなかった。すなわちこの程度のガソリンを混入しても性能にほとんど影響ないことがわかったので、合成原油および原油による本試験を行なうことにした。

4.2 燃焼性能試験

試験はA重油、合成原油およびクウェート原油について表5に示す試験を行なった。その結果は図3～6、写

図4 燃焼圧力上昇の比較

図5 点火時期の比較

図6 圧力上昇率の比較

真1および2に示す通りである。各試験油とも始動性は良好であり、運転状況は 25% 負荷を除いて良好であった。25% 負荷では各試験油とも多少ノックの傾向が認められた。これは機関が低温のための燃焼遅れが主因となり、図6に示すように燃焼圧力上昇率 $dp/d\theta$ が高くなり $6 \text{ kg/cm}^2/\text{deg}$ にもなったためで、ガソリン分の影響ではない。J. J. Broeze 氏²⁾ も $dp/d\theta$ が $6 \sim 6.7 \text{ kg/cm}^2/\text{deg}$ を越えると著しいノックを発生すると述べている。

各試験油の燃費率は図3に示す通りでA重油と各合成原油とでは差異はなかつたが、クウェート原油のみ燃料噴射時間 BTC 10° で約 10 g/ps/hr 増加していた。これはクウェート原油の噴射時の物理的性質と噴射時期の遅れとによるものであろう。4.6 の沈でん物試験でわかつた原油中のロウ分も原因の一つであらう。燃焼最高圧力 P_{max} は図3に示す通り、各試験油でやや差があつた。しかし P_{max} は圧縮圧力 P_c に関係し、 P_c は同一条件でもかなり差異があるので、燃焼圧力上昇値 $P_{max} - P_c$ を求めた。その結果は図4に示す通りとなり、各試験

写真2 燃料噴射弁のカーボン付着状況

油の差異はなかつた。燃焼指圧波形は写真1に示す通りであり、各試験油とも大差はなかつた。25%負荷では2段燃焼があり、点火直後の圧力波形上昇率も著しく、明らかに燃焼性の悪いことを示しており、これがノックの原因となつたものと思う。50% 負荷以上では頂部の波形は多少異うがいずれも2段燃焼はなくなり良好な燃焼を示している。次に点火時期は図5に示す通りでA重油および合成原油の差はないがクウェート原油のみ燃料噴射時期 BTC 13° および 16° において約 1~2° の遅れを示している。この点からしてクウェート原油は他の油より燃料噴射時期を進めた状態で使用した方がよいと考えられる。燃焼堆積物についてはそれぞれの試験後に燃料噴射弁に付着したカーボンを観察した。その結果は写真2に示す通りでA重油の場合は僅かにスス状のものが付着していたが、合成原油の場合はタール状のものが先端および周辺に付着していた。しかしその量はガソリン分の増加とともに減少の傾向を示していた。クウェート原油の場合は合成原油のと同じ程度の付着量であつたが、質は乾燥した硬いカーボンであつた。また付着カーボンの傾向は各試験油中に含まれている重質油の量に比例している。

3.4 引火性ガス試験

原油を使用する場合に最も心配されるのは引火性のガスによる危険性である。それゆえ原油等の試験中、燃料系統の数箇所すなわち、燃料タンク上の給油口および機関周辺の3個所で引火性ガスの検知を行なつた。使用した検知器は空気中の引火性ガスを特殊の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という原理を応用して、電氣的にその濃度を測定する光明式引火性ガス検知器である。試験の結果は図7に示す如く機関周辺は各試験油とも常温でメータ示度が常に5~6で安全の範囲内であつた。燃料タンク上の燃料給油口ではA重油および合成原油 G10, G20 のいずれもメータ示度が9~10で安全範囲であつたが、G30になると前者より気温が低いにもかかわらずメータ示度は30の注意範囲となり、G40になると示度は60の危険範囲を示していた。またクウェート原油の場合は気温が6°Cの低温であつたにもかかわらずメータ示度は92で危険範囲の上部を示し、全試験油中の最高示度になつた。本試験に使用したタンクは燃費計測のための小容量のもので、しばしば補給する関係上、上部の補給口は開放のものを用いた。そのため原油等の引火性ガスの蒸発が多い

図7 引火性ガスの測定

試験油の場合には示度が高かつた。しかし給油口からはずれたタンクの周辺ではメータ示度は7の安全範囲を示していたので一般に使用されているところの蓋付の燃料タンクの場合では油の洩れがないかぎり安全と考えられる。

4.4 腐食摩耗試験

試験は表に示す小形ディーゼル機関を用い、4ps×750rpmで200時間の運転を行ない、シリンダ等の磨耗および汚損状況を調査した。これを筆者等が先に行なつた同一機関、同一運転条件による燃料中の硫黄分の影響試験⁹⁾の成績と比較すると図8に示す通りとなる。原油運転の場合の腐食磨耗は硫黄分3.1%のA重油の摩耗値とよく似ている。原油中の硫黄分は2.61%であるから前記のA重油よりやや少ないが、燃料中には硫黄分以外にも腐食摩耗に影響する塩分やバナジウム等があり、その含有量に相異があるために差を生じたものであろう。また原油使用によるピストン、ピストンリング溝およびリングの汚損も前記のA重油よりわずかに多い程

図8 原油運転によるシリンダの磨耗

度であつた。これはいずれも潤滑油の種類によつても解決できる問題である。なお燃料噴射弁の汚れおよびシリンダライナの表面は写真3に示す通りである。付着カーボンは燃焼性能試験の場合と同様硬質のものであつた。シリンダライナの腐食状況は硫黄分3.1%のA重油の場合と大差なかつた。

4.5 蒸発試験

原油からは常に引火性ガスの発生があるので危険性があるから機関用燃料として使用する場合には、その性質をよく知つておく必要がある。本試験では油の表面積を28cm²とし、温度と時間の影響を調べた。なお比較のためA重油、混合油(合成原油の基油)および合成原油G30の試験も行なつた。試験の結果は図9の左に示す通りで、常温(12~15℃)における単位時間、単位面積当りの蒸発量は、A重油および混合油で 0.4×10^{-3} g/cm²/hr程度の極く僅かな量であり、時間における変化もほとんどない。それに比べ原油および合成原油G30は最初の2hrにおける蒸発量は著しく多く、合成原油G30で 6.85×10^{-3} g/cm²/hr、原油は 12.25×10^{-3} g/cm²/hrであつた。その後急激に減少し、20hrでは合成原油G30は 2.95×10^{-3} g/cm²/hr、原油は 2.7×10^{-3} g/cm²/hrとなり、

燃料噴射弁(50hr)

燃料噴射弁(100hr)

シリンダライフ(50hr)

シリンダライフ(100hr)

写3 腐食摩耗試験

図9 原油等の蒸発量

68 hr では合成原油 G30 は $1.95 \times 10^{-3} g/cm^2/hr$, 原油は $1.1 \times 10^{-3} g/cm^2/hr$ となつている。両者の蒸発量を見ると最初の間は原油の蒸発が多いが、時間の経過とともに逆に合成原油が多くなつている。これは原油中に低沸点の成分が含まれているためである。30°C における蒸発量は図9中の表に示す通りであり、この結果からしても前述のことがうかがえる。また原油中の低沸点成分は短時間に蒸発し、その量は温度に影響する。そこで10, 20および30°Cにおける短時間の蒸発量を調べた。しかし極く短時間の試験では誤差が大きくなるので試験時間を10 minとした。結果は図9中の右に示す通りで、蒸発量は温度の上昇とともに著しく増加している。

4.6 沈でん物試験

燃焼性能試験および腐食摩耗試験中に燃料タンクの底部にスラッジのようなものが多く沈でんした。沈でん物の成分を調べるために先ず沈でん物を試験管にとり、温水中に浸したところ約50°Cで沈でん物は流動しだし、

さらに温度を上げた場合、完全に溶けて液状になった。次に温度を下げて見たところ約 45°C で流動を失ない凝固した。この結果からみて沈でん物の大半はロウ分と考えられる。普通ロウの融点は 45~65°C で比重は約 0.9 である。原油の比重は 0.8693 であつたから底に沈でんしたのである。次に沈でん物をベンゾールで洗滌し、残つた物を焼いて灰分を調べた。その結果、ベンゾール不溶解分（固形物）は 11.3%，燃焼後の灰分は 0.09% であり金属性のものは少なく、機関に使用してもさしつかえないと考えた。

5 結 論

原油をディーゼル機関に使用した試験の結果は次の通りで、A 重油と比べて大差ない、そして C 重油に比べると著しく良好で添加剤等を使用せずとも実用可能であろう。原油の使用は油槽船の燃料費の節約に極めて有効な手段であるから、安全性、原油の性状の影響等に留意するとともに実用化の促進を図るべきであろう。

i) ディーゼル機関の燃料としてクウェート原油は始動性、燃焼性および運転状況とも良好で現装置を改善することなく生だきは可能である。

ii) クウェート原油を使用する場合は A 重油に比べると点火性が多少悪いので噴射時期をやや進めて使用するといふ。

iii) クウェート原油の燃焼によるシリンダの腐食摩耗は原油中の主として硫黄分によつてきまるが、適性潤滑油を用いることによつて摩耗を減少させることができる。

iv) 原油使用の場合、燃料油管系の接手部からの洩れは絶対禁物であるが、ガス検知器を常時備えていれば安心して運転ができる。

v) 原油によりロウ分の含有量が異なるが、特にロウ分の多量な原油の場合には著しい低温では加熱の必要もあろう。

文 献

- 1) 日石レビュー 第2巻第3号
- 2) J. J. Broeze : Combustion in Internal Combustion, Engng, Vol. 169, 1950, April
- 3) 稲見, 井ノ内, 大竹 日本機械学会講演会 1962-10