船用エンジンに及ぼす燃料重質化 の影響とエンジン油からの対応*

酒井 功** 稲葉 一樹***

Effects of Fuel Quality Deterioration on Marine Diesel Engine
and Countermeasures by Engine Oils

By Isao Sakai, Kazuki Inaba

In recent years, the quality of marine bunker fuel oil has been deteriorating and is anticipated to be poorer in the future.

Although it is anxious that there must be happened many of considerable problems caused by degraded fuels, the more advanced technology of design and materials, including engine oil, on marine diesel engine is expected to solve such problems.

This paper describes the influence of fuel deterioration against engine lubrication, and various charts and graphs show the effects of TBN and additive arrangement of engine oils on piston deposit and wear reduction.

For this investigation, two types of test engine were applied, i.e. a Bolnes engine for cylinder lubricant of the crosshead diesel engine and a single cylinder Caterpillar test engine for the medium-speed trunk piston diesel engine oil. And as for fuels in these engine tests, three grades of residual fuels in viscosity were burnt, i.e. IF 100, 180 and 380.

In the last part of this paper, oxidative degradation tendency among three types of system oil; premium type, HD type and so-called mini-HD type in Bolnes engine test is discussed.

1. ま え が き

第二次石油危機を契機として各産業界は石油資源の将来に一層の不安を深め、省エネルギー対策、代替エネルギーへの転換等種々の対応を進めている。しかしながら、このような対応にも数多く問題があり、石油エネルギーに将来をまかざるを得ない分野も多い。そしてそこでは、一段と厳しい省エネルギー対策が求められると同時に燃料油の質的变化への対応が強いられている。

船用燃料のおかれている環境は正にその代表とも言うべきもので、取分け船用ディーゼル機関にとっては極めて深刻な問題であり、関連分野をあげて対応策が検討されている。

著者らは船用ディーゼル機関用エンジン油による対応という観点から燃料油品質変化、特に“重質化”の問題をとらえ、低速クロスヘッド機関用シリンダ油および中速トランクピストン機関用エンジン油の品質改良研究を

行ってきた。本稿ではその中で実施してきたエンジン試験のいくつかを紹介する。

2. 船用燃料油の粗悪化

将来の船用燃料“Future Marine Fuel”についての論議が1978年以降急激に高まり、各エンジンメーカーは次々に“Future Fuel”に対する対応策を発表し現在も活発な論議が続いている¹⁾。

一般に“バンカー重油の粗悪化”とか“粗悪重油”と言われているが、これらは広義に解釈する場合と狭義に解釈する場合とで若干内容が異なる。

広義においては直留残さによる“重質化”も、接触分解(例えばFCC)、熱分解(例えばVis Breaking)等の残油混入による“劣質化”も燃焼性を低下させる意味ではいずれも“粗悪化”と言えるが、狭義には、FCCやVis Breaking等の分解系の残油を多量に使用した燃料、即ち従来の直留系残さ燃料とは著しく異なる性状を有し、燃焼性の低下のみならずエンジン各部に弊害をもたらすような重油の質的变化を特に“粗悪化”と呼ぶことがある。

しかし、「粘度を中心に考える場合には“低質油”と

* 原稿受付 昭和56年9月17日

** 三菱石油(株)研究所(川崎市川崎区扇町4-1)

*** 正会員 三菱石油(株)研究所(川崎市川崎区扇町4-1)

呼び、粘度以外の性状を特に問題とする場合に“粗悪油”とか“粗悪化”という言葉を使用する」としている例²⁾も見られるように必ずしも一定していない。

そこで本稿では“粗悪化”を二つの要因に分け、直留残さの増加を主体とする高粘度化を“重質化”と呼び、分解系材源の配合などによる粘度以外の品質低下を“劣質化”と呼ぶことにする。

いずれにしても、このような“粗悪化”が生じる背景には石油資源の問題があり、原油の重質化と石油精製法の変化によるものである。そして、今後日本やヨーロッパの石油製品需要パターンがアメリカ型に移行するにつれ更に深刻度が増してくる。これらについての詳しい説明は多くの解説³⁾などがあるのでここでは省略し、その“粗悪化”が舶用ディーゼル機関に及ぼす影響について触れることにする。これらについても数多くの調査や報告^{4),5)}などがなされているがエンジンに及ぼす影響は大きく二つに分けられる。

すなわち、燃焼に影響するものと、それ以外に影響するものとである。船主協会のWorking Groupでは燃料による障害について燃料が噴射されるまでに生じた障害を一次障害、燃焼室内に噴射された以降の障害を二次障害と区別しているのもそのゆえんである⁶⁾。もちろん、障害に至る原因は一元的なものとは限らず、因果関係は単純ではないが、燃料の“粗悪化”要素である燃料性状と、エンジンでの障害を一次、二次に分けて関係づけて見ると表1のようになり、

極めて多くの影響があることが分る。これらの障害は相応の対応によってある程度未然に防ぐことが可能であるが、そのためには燃料の性状を適確に把握することが必要条件である。しかしながら、舶用燃料の規格が現在の粘度のみによるものでは到底無理であることから、BSIやCIMAC等で品質を裏づける規格の検討が進められており、また各エンジンメーカーも粘度以外の性状についても使用可能な許容値を定め障害の防止に努めている。表2は各エンジンメーカーが将来の燃料を対象として発表した各性状の限界許容値をまとめたものである⁷⁾。これを見ると低速クロスヘッド機関では4500秒～6000秒クラスのもの、中速トランクピストン機関では1500秒～3500秒のものまでと非常に広範囲の燃料が使用可能とされているのは特筆すべきことであるが、同時に粘度以外の種々の性状についても使用可能範囲を明らかにしていることが注目される。

一方、船舶を運航する側からすると、将来の“粗悪油”

表2 舶用ディーゼル機関各社の燃料性状許容値

性 状 項 目		低速クロスヘッド機関	中速トランクピストン機関
比 重	15/4℃	0.99 Max	0.97-0.99 Max
動 粘 度	cSt @ 50℃	450-600 Max	180-420 Max
硫 黄 分	wt %	4.0-5.0 Max	3.5-4.0 Max
水 分	vol %	1.0-2.0 Max	0.5-1.0 Max
引 火 点	℃	60-65 Min	60-65 Min
流 動 点	℃	30 Max (MAN)	-
残 留 炭 素 分	wt %	15-20 Max	12-18 Max
アスファルテン	wt %	8-14 Max*	8-10 Max**
V	ppm	300-600 Max	150-300 Max
Na	ppm	(1/2-1/3)×V Max	15-80 Max***

* SULZER : 2/3 × 残留炭素分Max
** MAN & SULZER : 2/3 × 残留炭素分Max
*** MAN & SULZER : 1/3 × V Max

表1 燃料重質化・劣質化の及ぼす影響

性 状 項 目	直 留 残 さ に よ る 重 質 化	分 解 系 残 油 に よ る 劣 質 化	一 次 障 害 (特記事項)	二 次 障 害				
				燃 焼 不 良	堆 積 物 増 加	腐 食 摩 耗	アブレイジブ 摩 耗	高 温 腐 食
比 重	→		清 浄 処 理 困 難	△	△		△	
粘 度	→		噴 霧 性 低 下	○	△			
流 動 点	→		加 熱 器 へ の 堆 積 物					
硫 黄 分	→				△	◎		
残 留 炭 素 分	→	→	汙 過 性 低 下	◎	◎	△		
アスファルテン分	→	→	同 上	◎	◎	△		
灰 分	→	→					○	○
水 分	→	→	腐食、ペーパーロック	○				
V, Na	→							◎
Al, Si	→	→	燃 料 ポンプ の 摩 耗				◎	
セ タ ン 価	→	→		◎	○			
混 合 安 定 性	→	→	ス ラ ッ ジ 生 成	◎	○			

(注) 矢印は変化の傾向を示す。また二次障害の記号は影響度を示す。
◎(極めて影響大) ○(直接的に影響する) △(間接的に影響する)

対策を施している船舶ばかりでなく、在来船においては運航の安定性の面から燃料の“粗悪化”におのずと限界を設けざるを得ず多様な対流をしてゆかねばならない。

しかし、図1⁸⁾に示すようなバンカー燃料の高騰により、運航経費に占める燃料費は50%を越すと言われ、その低減が重要な課題である。ここに見られるようにIF 180(1500秒クラス)とIF 380(3500秒クラス)との間の価格差は今後広がることはあっても狭まることはないと思われることから、ますます、より安価な燃料の使用が余儀なくされ船会社においてははかに“粗悪燃料”を使いこなしてゆくかが採算上の大きな鍵となる。

図1 バンカー燃料価格推移(ロッテルダム)

3. 燃料重質化に対するエンジン油の役割

表1に示したように燃料性状の変化に伴い種々の問題が生じるが、その現象には突発的あるいは短期的なもの、長期間にわたって徐々に顕われるものがある。

また、表2に示した各エンジンメーカーが許容する燃料性状範囲はある期間を区切った場合に使用可能であると見るべきものも含まれており、長期間の使用に対してはメンテナンスによるカバーや関連分野の技術の今後の進歩に期待がかけられていると見るべきものが少なくない。

そのような意味では、エンジン油の性能の果たす役割は関連分野の技術の中でも大きなものの一つであり、より一層の性能向上が期待されている。しかしながら、それらの種々の問題がすべてエンジン油に関係するものではなく、また、解決できるものではない。例えば、FCCの触媒破片によるアブレイジブ摩耗をエンジン油で少な

くすることは無理と言わざるを得ない。

表1に示した問題の中でエンジン油に課せられた役割を見ると、燃料の種々の性状変化に関連して生じる堆積物の増加と、主に硫黄分の増加に関連する腐食摩耗の増加に対してそれらを抑制するという大きな2点すなわち清浄分散性と酸中中性があげられる。

特に、ピストンリング溝への堆積物の増加はリングの正常な作動を阻害し、ひいては摩耗の増大やリング折損につながることからリング溝の堆積物を抑制し清浄に保つことはエンジン油の性能上極めて重要な要素である。

また、燃焼性の低下に伴って未燃焼のすすが油中に混入する傾向が高まり、エンジン内部の汚損や堆積物が増加することになることからこれらを抑制することも重要である。

一方、船用ディーゼル機関は燃料粗悪化への対応と同時に常に高効率機関であることを指向しており、言い換えると高出力で、且つメンテナンスフリーであることを目指している。このことはまたエンジン油に対し一層厳しい条件を与えるものであり、ここでもエンジン油の性能向上が不可欠な要素となる。

従って、エンジン油の性能にはそれらを含めた対応が必要であり前記の清浄分散性、酸中中性はもとより、その他の種々の性能、例えば、酸化安定性、水分離性、極圧性などの向上が求められている。

4. エンジン試験によるエンジン油の検討結果

4.1 エンジン試験 船用燃料油の重質化に対応したエンジン油の改良、開発を行うに当り最も困難なことは如何に適切な試験方法、評価手段を選ぶかと言うことである。

最も好ましい方法は実際の船用ディーゼル機関で試験を行うことであるとは言うまでもないが、この方法は数多くの困難を伴い、特に試験に費やされる時間が多大であって試験回数に限られるという致命的な問題がある。したがって、通常は最終的な性能確認を行うに止まり、研究的な内容の試験には不向きである。

また、実験室的なビーカー試験ではエンジン油としての性能を一面的にしか捕えられないことは周知のとおりで、できるだけ実機での諸条件に近づけるべく種々の工夫をしながら試験を行っているが、やはり限界のあることは否めない。

著者らはこれらの問題を克服するために早くから台上エンジン試験による船用エンジン油の評価方法を検討し、数多くの試験を実施してきた。

表3-1, 2, 3は試験に供したエンジンの諸元および試験条件であるが、船用シリンダ油の検討にはユニフロー掃気式クロスヘッド型機関Bolnes 2Lエンジンを、中速トランクピストン機関用エンジン油の検討にはCaterpillar 社潤滑油試験用単筒エンジンを用い、それぞれ燃料に重質重油を使用した試験方法を考案し実施した。

表 3-1 供試エンジン諸元

項 目	Bolnes 試 験	1-G2-H/F 試験
供 試 エ ン ジ ン	Bolnes 2L エンジン (2 サイクルユニフロー掃気クロスヘッド型)	Caterpillar 単筒試験エンジン (4 サイクルトランクピストン型)
気 筒 数	2	1
シリンダ径×ストローク mm	190×350	146.0×203.2
回 転 数 rpm	430	1800
出 力 MCR PS/cyl	50	42
正 味 平 均 有 効 圧 力 kg/cm ²	5.3	10.3
シ リ ン ダ 潤 滑 方 式	シリンダ注油	はねかけ

表 3-2 Bolnes エンジン試験条件

回 転 数	rpm	430
負 荷	BHP	80
ピストン冷却油温	℃	65
シリンダ冷却水温	℃	75
燃 料 噴 射 時 期	°BTDC	14
燃 料 加 熱 温 度	℃	80
シリンダ注油量	g/BHP・hr	0.75
シ ス テ ム 油 量	l	90
試 験 時 間	hrs	100

表 4 エンジン試験用供試燃料

性 状 項 目		HF-1	HF-2	HF-3
比 重	15/4℃	0.940	0.950	0.960
動 粘 度	cSt @ 50℃	105	175	380
(概略レッドウッド # 1 秒)		(800)	(1500)	(3500)
硫 黄 分*	wt%	2.8	2.8	3.5
残留炭素分	wt%	6.8	8.1	10.7
アスファルテン分**	wt%	3.4	4.3	6.5
灰 分	wt%	0.02	0.02	0.03

* 0.3～0.4 wt %に相当する DBDS を添加して調整。
** n ヘプタン不溶分として測定。

表 3-3 1-G2-H/F エンジン試験条件

回 転 数	rpm	1800
燃 料 供 給	kg/hr	8.1*
クランクケース油温	℃	95
シリンダ冷却水温	℃	87
燃 料 噴 射 時 期	°BTDC	12
燃 料 加 熱 温 度	℃	110
油 量	kg	5.1
補 給 油	kg	0.9/12 hr 毎
油 交 換		なし
試 験 時 間	hrs	200

* この燃料供給により約 40 BHP の出力が得られる。

以下前者を Bolnes 試験、後者を 1-G2-H/F 試験と呼ぶことにする。1-G2-H/F の意味は、このエンジンの本来の目的である陸上ディーゼルエンジン油の評価試験法である最もか酷な 1-G2 法を修正し、燃料に重油 (Heavy Fuel: H/F) を使用することから名付けたものである。

試験条件の設定に際しては燃料性状とのマッチングが重要であるが、種々の検討の結果、表に示す条件を設定することができた。

表 4 はこれらのエンジン試験に供試した 3 種類の燃料油の性状であるが、いずれも直留残さをベースにしたもので分解系の材源は含まれていない。

この理由は前にも述べたように燃料粗悪化に対するエンジン油の役割の大部分はピストンへの堆積物の増加と酸腐食摩耗の増大に対応することであり、これらは直留残さ分を増加した重質重油の試験で代表できるからである。

ここに示した供試燃料を粘度グレードで言いあらわすと HF-1 が IF 100 (800 秒相当)、HF-2 が IF 180 (1500 秒相当)、HF-3 が IF 380 (3500 秒相当) となる。HF-1 は中程度の粘度の高硫黄 C 重油、HF-2 は高粘度の高硫黄 C 重油をベースとし、硫黄分はいずれも 2.4 wt% であるものを di-tert-Butyl-di-Sulfide(DBCS) で 2.8 wt% に高め、また、HF-3 は高粘度の高硫黄 C 重油に直留アスファルトを混合して重質度を高め、更に硫黄分を 3.2 wt% から 3.5 wt% まで DBDS で高めたものである。表に示した各性状はそれぞれいくつかのバッチの平均値を示したものであるが、粘度、硫黄分の他に残留炭素分、アスファルテン分も HF-1 から HF-2、HF-3 の順に高くなっている。

4.2 シリンダ油の検討結果 Bolnes 試験においては注油するシリンダ油の種類を変更することにより、その性能を評価するが、100 時間ごとの試験の都度リングは新替えし、ライナは清浄にして繰返し使用する (約 10 回) 方法をとっている。

試験終了後ピストンの清浄度、リングおよびライナの摩耗計測を行い、ピストン清浄度についてはリング溝、ピストンランド、スカート を JPI 法で評価し、リングの摩耗量は重量減少、ライナについては寸法増加を測定した。

図 2 は 3 種類のシリンダ油について燃料の影響を見たもので、ピストン清浄度はピストン各部のメリット評点 (10=清浄) を平均し、更に 2 気筒の平均値を示したもので、リング摩耗については各気筒 5 本のリングの重量減

図2 Bolnes 試験結果 — 燃料の影響

少合計を平均して示したものである。

シリンダ油の全塩基価(mgKOH/g, 以下TBNと略す)はC-1が60, C-2が80, C-3が100で同じ過塩基性清浄分散剤を配合してあるが, C-2には更に無灰系清浄分散剤が添加してある。

C-1とC-2それぞれについて清浄性, 耐摩耗性を見ると, 燃料が重質化する程清浄度評価点が下がり, 摩耗量が増加するのが認められるが, 特にTBN60のC-1の場合にはHF-1からHF-2に変わただけで摩耗量が大幅に増加している。これはTBNと硫黄分の関係だけでは説明できず, 重質化に伴う残留炭素分やアスファルテン分が影響していると考えられる。すなわち, 残留炭素分やアスファルテンの増加により燃焼残さが増え, これがピストンに堆積すると同時に燃焼ガス中の硫酸を吸着し金属にアタックする酸の量を相対的に増やしていると考えられる。一方, C-2においてはその差が少ないが, この場合には, TBNが80と酸中和能に余裕があるために酸腐食を抑制していると見ることができる。しかし更に, HF-3まで重質化すると摩耗量が明らかに増加しており, ここまで重質化すると酸中和能の不足が考えられる。そこでTBN100のC-3についてHF-3での試験を行ったところ図に示したようにほとんど効果は認められず, 清浄性については逆に低下した。

このことから単純にTBNを上げて堆積物や摩耗を抑制することは難しいことが分り, むしろ, 無灰系清浄分散剤を併用する方がよい結果が期待できるという見方ができる。

一般に無灰系清浄分散剤は油中のスラッジを安定に分散させる作用を有するものであるが, これらの結果から分るとおり, ピストン堆積物の抑制にも効果があり, しかし, 燃焼しても灰分を生成しないという利点がある。

従来無灰系清浄分散剤は高温条件下での性能が金属系清浄分散剤より劣るとされていたが, ここで用いたものは高温での清浄性に優れたものでありシリンダ油の分野においても十分効果のあることが分った。

次に無灰系清浄分散剤の種類と量の影響について実験した結果を図3に示す。これらは2種類の無灰系清浄分散剤A₁, A₂について比較したものであり, 燃料にはHF-1を用い, TBNはすべて60で同じ過塩基性清浄分散剤を含む。無灰系清浄分散剤を含まないC-1に比べ, A₁, A₂を添加したC-4, C-5, C-6の清浄性が向上しているのは前に述べたとおりであるが, A₁の場合, 添加率を増すことにより清浄性が一段と向上しているのが分る。しかし, A₂の場合高添加率でもA₁の低添加率とあまり差が認められなかった。

一方, 無灰系清浄分散剤の摩耗に対する効果については酸中和作用という点ではほとんど期待できないが酸が金属と反応するのを界面化学的に抑制する効果はある程度期待でき, 図2においてC-2とC-3の摩耗量があまり変わらないことの一つの理由としてあげられる。しかし図3のHF-1ではほとんど効果が認められないように, 摩耗防止に対して無灰系清浄分散剤に多くを期待することはできず, 基本的には金属系の過塩基性清浄分散により適正な酸中和作用を賦与する必要がある, 無灰系清浄分散剤は効果的に併用してゆくことが望ましい。図4はHF-3を燃料とし, 代表的な金属系清浄分散剤のタイプ3種類を選びTBN100のシリンダ油について実験した結果である。ここではC-8の清浄性が他の2種よりやや良好で, 先の図2のC-2と同等であるが, 摩耗についてはC-8が他の2種より劣りC-3, C-7はほぼ同等である。このような差は金属系清浄分散剤の化学組成の違い

図3 Bolnes 試験結果 — 無灰系清浄分散剤の効果

図4 Bolnes 試験結果 — 金属系清淨分散剤の比較

によるもので、特に摩耗に関しては添加剤を構成する有機の塩と無機の塩（一般には炭酸塩）の酸に対する反応性が個々に異なり、エンジンのシリンダライナ表面での酸を中和する速度に差を生じるのでその結果同じ TBN であっても摩耗量が異なることになる。

また、ここに使用した金属系清淨分散剤はいずれも Ca 系であるが、この金属の種類（他に Ba 系、Mg 系などがある）によって、また同じ系統の添加剤であっても製造方法によって差があることが認められ、実験室的な酸中和速度試験や摩耗試験によっても確かめられている。

従来シリンダ油の性能は TBN とともに向上してきた面があるが、以上述べてきたように今後ますます深刻となる燃料の重質化に対応してゆくには添加剤の配合技術が一層重要となると考える。

4.3 中速トランクピストン機関用エンジン油の検討結果 中速トランクピストン機関に使用されている燃料は低速クロスヘッド機関に比べ比較的良質であり、表2でも低速クロスヘッド機関の場合より明らかに良質の側によったものとされている。しかしこの中では IF 380 のものまで使用可能とされ、既に使用実績もあると報告されていることから著者らはこれから中心的に使用されてゆく IF 180 に該当する HF-2 を供試燃料の中心に選び、更に、IF 380 相当の HF-3 についても実験を行った。

エンジン試験条件の中で回転数を 1800 rpm に設定したことから燃焼性を十分検討し、燃料加熱温度、噴射タイミングの最適値を求めた結

果、良好な燃焼状態を得ることができた。また、未燃焼のすすがクランクケース油に異常混入するようなことはなかった。

トランクピストン機関ではシリンダ注油の有無にかかわらずクランクケース油のはねかけがシリンダ部での潤滑や冷却に大きな役割を果たしているが、一方では、そこでの劣化汚損を背負いながら長期間の使用に耐えなければならない、トランクピストンエンジン油には幅広い性能が要求されている。

シリンダ油の項で述べたピストン清浄性に加えて、トランクピストンエンジン油ではスラッジ分散作用が重要であり、特に燃料の重質化は油中に燃焼残さを増加させるので、今後分散性の向上はますます要求されてくる。

図5は著者らが10年程前にエンジン使用油の過熱性に及ぼすエンジン油添加剤の影響について検討を行った際の、やはり C 重油（硫黄分 3wt% に調整）を燃料とした Caterpillar 社単筒エンジンによる修正 1-D 法エンジン試験結果の一部である。

無灰系清淨分散剤を配合することにより使用油中の全スラッジ（ここでは超遠心ヘプタン不溶分）に対する大粒子スラッジ（ここではヘプタン不溶分）の割合が少なく、安定に分散し分散性が大きく向上しているのが分る。同時に清浄性についても著しく向上し、無灰系清淨分散剤の中でも熱安定性に優れた Y の方がより良好な効果を示

(注) 清浄度評価は CRC No. 5 による。

図5 修正 1-D 法エンジン試験 — ピストン清浄度および使用油性状

すことが認められた(なお、ここでの清浄性評価はCRC No. 5によるものである)。

これらの効果は実機でも確認できたことから今回の燃料重質化に対する検討では、今後のトランクピストンエンジン油には無灰系清浄分散剤の配合は必須要素の一つであると判断し各種の検討を取り進めた。

図6はHF-2を使用して金属系清浄分散剤の種類の比較を行ったものであるが、これらはすべてTBN25で、無灰系清浄分散剤と酸化防止剤ならびに軸受腐食防止剤であるZn-di-Alkyl-di-Thio-Phosphate(Zn-DTP)を同一に添加してある。

図6 1-G2-H/F試験結果 — 金属系清浄分散剤の比較

試験終了後はBolnes試験と同様ピストン清浄度をJPI法で評価し、リングの重量減少を計測している。なお、このエンジン試験ではピストン、リング、シリンダライナは試験ごとに新替えるが、重油を使用することにより吸・排気弁、バルブガイドが著しく損傷するので都度新替えた。

ここに示したのはリング溝、ピストンランドのメリット評点を合計して平均値を求めたものであるが、金属系清浄分散剤の種類によってかなりの差が生じることが分る。この中ではT-2とT-5が清浄性に優れ、T-4がその次であるが、T-1とT-2に配合した添加剤を併用したT-3はT-1とT-2の中間的な性能を示した。また、T-4とT-5に配合した金属系清浄分散剤M₅とM₆は同じ有機酸の塩であるが賦与されている過塩基度が異なり、過塩基度の高いM₅を配合したT-4の方が清浄性が劣る。このことはTBNを同じにした場合には過塩基度の高い方が相対的に有機酸塩が少なくなり清浄性能が低くなることを意味している。

次に燃料の種類を変えて実験した

図7 1-G2-H/F試験結果 — TBNの比較

のが図7である。ここではTBN25のT-3とTBN35のT-6について比較したが、T-6とT-3に配合してある金属系清浄分散剤M₂、M₄2種のうちM₂を増量しTBN35に高めたものである。その結果、ピストン堆積物にはT-3、T-6いずれについても燃料重質化度合の差があまり顕著に見られず、T-3とT-6との比較ではTBNの高いT-6の方が良好な清浄性を示すことが分った。一方、摩耗について4本のリング重量減少合計を見るとTBN25のT-3の場合には燃料重質化の影響が顕著に見られるのに対し、TBN35のT-6では思った程の差が生じていない。

図8はこれらの試験において定期的に使用油を採取し、全塩基価、不溶解分の変化を見たものであるが、T-3の場合にはHF-2とHF-3との差が大きく、特にHF-3の場合の低下傾向が急である。それに比べT-6の場合には燃料による違いは認められるもののその差は小さい。

図8 1-G2-H/F試験使用油性状

これらのことから TBN25 の T-3 の場合には酸中和能に限界があり、重質化度の高い HF-3 では酸腐食摩耗が増大したが、TBN35 に上げた T-6 では酸中和能が高められた結果、HF-3 に対しても腐食摩耗を抑制できたものと考えられる。

もちろん、酸中和能は単に TBN だけで表わされるものではなく、添加剤ごとに差があることはシリンダ油のところで触れたとおりである。

また、この実験からも言えるようにトランクピストン機関においてはクランクケース使用油の全塩基価保持が燃料の重質化が進む程重要であり、全塩基価の保持性に優れた添加剤が望まれる。

なお、油中スラッジの分散状態については遠心力を変えて不溶解分を測定しそれらの比や差から判断をしたが、いずれについても良好である。同時に不溶解分の値も小さく、途中から平衡状態を示しており、未燃焼のすすが異常に混入していることはなく良好な燃焼状態であると判断できる。

ところで、Bolnes 試験においては燃料重質化の影響がピストンの汚れや摩耗に顕著に表われたのに対し、1-G2-H/F 試験では摩耗には明らかな傾向が見られたものの、ピストンの汚れには影響が小さいという結果が得られた。

この理由としてはそれぞれの機関の特性と同時に試験条件を重質燃料に適した条件に変えたことが挙げられるが、もう一つの考え方としてはねかけ式の場合、ピストン周囲に存在する油量がシリンダ注油だけの場合に比べかなり潤沢であり、清浄効果、冷却効果が有効に働き燃料重質化による堆積物の増加がそれほど出なかったとも考えられる。

実際の舶用ディーゼル機関において低速クロスヘッド機関と中速トランクピストン機関のどちらが燃料重質化の影響を受けやすいか興味ある問題であり、今後注目してゆきたいと思うが、今回のエンジン試験の結果も一つの参考となろう。

4.4 クロスヘッド機関用システム油検討結果

最後にクロスヘッド機関用システム油について簡単に触れておく。クロスヘッド機関においてはシステム油はシリンダ潤滑系統から隔離されており、燃料重質化の影響は極めて少ないと考えられる。しかしながら、スタフィングボックスからの漏油の再使用によっては無視できない影響があり、また、シリンダドレン油が直接システム油に混入しないとは限らない。

著者らは Bolnes エンジンが油冷式ピストンであり、比較的システム油にシリンダドレン油が混入しやすいことから、システム油の劣化を評価するのに適しているので、前述のシリンダ油の試験を行いながら各種のシステム油について性状変化を追跡した。しかし、シリンダ油の試験を優先したので残念ながら燃料油やシリンダ油の種類を体系的に整えることはできなかったが、興味ある

結果を得たので紹介する。

なお、システム油量は 90 l でオイルクーラーで 65℃ に冷却されピストン冠に送られオイルパンに戻る。油量の調整はほとんどなく 100 時間ごとにレベルを合わせる程度であり、循環系統にはストレーナー以外の浄化装置はない。

図 9 に示したのは 5 種類のシステム油供試油について使用時間に対する粘度上昇率を見たものである。5 種類のうち S-1, S-2 が酸化防止剤のみを配合した所謂プレミアムタイプで、S-3, S-4 は酸化防止剤と清浄分散剤を配合し TBN1 程度のもので若干の清浄性と酸中和性を有するものでやはりプレミアムタイプに属するものであるが、ここでは区別するために“ミニ HD”タイプと呼ぶことにする。残りの S-5 はトランクピストン機関のシステム油に使用される TBN10 の HD タイプである。

これらの結果を見ると粘度上昇カーブが酸化劣化のパターンに非常によく似ており誘導期間を超えると急激に劣化が進行しているが、プレミアムタイプよりミニ HD タイプの方が酸化誘導期間が長く、HD タイプの S-5 は 500 時間以上安定であることが分った (S-5 について 500 時間で試験を打切った)。

一方、これらの劣化の時間を見ると実際のエンジンではプレミアムタイプでもかなり長期間使用されるのに対し極めて短時間に劣化している点が注目される。もちろん、エンジンの運転条件が高負荷であり、ピストン冷却部で熱的に酷い条件を受けているが、大きな理由として前に述べたようにシリンダドレン油の混入が比較的多いことがあげられる。この点については実験室の酸化試験においてシステム油の新油にシリンダドレン油を少量添加すると酸化安定性が著しく低下するを確かめており、シリンダドレン油中に含まれる酸性成分が酸化反応に触媒的に作用し反応を促進するためと考えられる。

実船においても極めてまれにプレミアムタイプのシステム油が急激に劣化することがあるが、この原因の一つとしてシリンダドレン油の混入が考えられる。また、そのような場合の処置として HD タイプ油に交換すると以後異常劣化が生じないことがあるが、図 9 の結果からも

図 9 Bolnes エンジンシステム油性状

うなずけることである。

通常、油冷式ピストンのクロスヘッド機関ではピストン冠冷却部を清浄に保つために TBN5~10 の HD タイプが好んで使用され、水冷式ピストンの場合にはプレミアムタイプが一般的である。しかしながら、シリンダドレン油の混入に関してはそのようなタイプの区別なく起こり得ることであり、今後、燃料の重質化に伴ってシリンダドレン油の性状も一層悪くなる方向にあることを考えると、システム油にはプレミアムタイプよりはミニHDタイプ、更には、HDタイプがより安定して使用できると考えられる。

5. あとがき

以上、船用燃料油の“粗悪化”の動向とその問題点、その中でも特に“重質化”に焦点をあて、エンジン油からの対応についていくつかのエンジン試験結果をもとに考察してきた。これらの結果から船用燃料油重質化によって起こる潤滑上の障害に対してエンジン油は種々の貢献ができることが分った。もちろん、エンジン油には重

質化に果たす役割と同時に本文中でも述べたとおり、機関高出力化やメンテナンスフリーへの対応も重要な項目であり、それらの性能の向上に関しても数多くの検討が必要である。本稿では触れられなかったそれらの検討結果は、また別の機会にゆずることとして、今後ますます厳しくなる船用燃料の環境に対応する上で本稿が何んらかの参考となれば幸いである。

文 献

- 1) 14th CIMAC (Jun. 1981), Session (D), Future Fuels.
- 2) 石川, マリンエンジニア, No.407 (Feb.1981), 21.
- 3) 野崎, 燃料協会誌, Vol.60, No.646 (Feb.1981), 76.
- 4) H. C. A. Brandt et al, 14th CIMAC, (Jun. 1981), D31.
- 5) 金子, 三菱石油技術資料, No.55 (Mar.1980), 41.
- 6) 佐山, 舶機誌, Vol.15, No.11 (Nov.1980), 872.
- 7) G. W. van der Horst et al, 14th CIMAC (Jun. 1981), D102.
- 8) H. Klintorp, 5th Intl. Waterborne Transit Conference (Nov. 1980).

研究委員会報告要旨

低質油燃料とボイラの計画に関する調査研究

ボイラ研究委員会

この報告書はボイラ研究委員会が1979年から1981年にわたってとりあげた研究課題をまとめたものである。

この調査研究はここ数年船用燃料油の低質化が進みつつある事情を考慮して、近い将来の船用燃料油の性状の動向を調べ、そのような性状の油が現在使用されているボイラに使用された場合に必要となる配慮、対策についてとりまとめる目的で行われたものである。

報告書の内容構成はつぎのとおりである。

1. 近い将来予想される燃料油
2. 低質燃料燃焼上の問題
3. 燃料油に起因すると推定される障害について
4. 低質油燃料を現用ボイラに適用する場合の対策

1.は近い将来予想される燃料油の性状、燃料油の需要動向について、石油会社7社にアンケートして入手した資料をまとめたもの、及び将来燃料油に関するCIMAC

の討議内容をまとめたものから成り、いずれも燃料油の船内取扱、燃焼、ガス側障害に関わる燃料油の各種性状値について、予想される数値を整理したものである。2.には、低質燃料燃焼技術、すすの性状などについて、本研究会が専門家から受けた講義内容を収めている。3.は、船会社で最近の燃料油低質化に伴って経験している障害についての資料で、日本船主協会機関管理研究会が昭和51年1月から昭和53年12月にわたって実施したアンケート調査報告を転載させてもらったものである。4.は、1~3の資料を受けて、燃料低質化に伴って必要となるボイラ技術上の対策、留意点について述べている。内容は、燃料配管及び設備、バーナ及び燃焼技術、空気予熱器、過熱器外部汚れと腐食で、燃料低質化がとくに関係してくると考えられる系統に絞って問題点や留意事項をまとめてある。(会告参照)