中速ディーゼル機関における重質燃料油 使用に関する研究

—短時間摩耗評価法の活用例—*

荒川 貞雄**・ 増井 和雄***
鳥石 泰庸*** 坂本 正博**
高橋 透***

Study on the Use of Degraded Fuel Oil for Medium
Speed Diesel Engines
— Application of New Wear Evaluation Technique
in Short Period Operation —

By Sadao Arakawa, Kazuo Masui, Yasutsune Toriishi,
Masahiro Sakamoto, and Tohru Takahashi

Reducing wear in the engine parts is one of the most important themes for study to allow the use of fuel oils of the higher specific gravities and viscosity, and of low combustibility. It could easily be imagined, that huge amount of time and cost are needed to find out optimal combinations from among a great number of conditions through repetitious round of operations conducted for a long period of time.

In order to meet the requirement, the authors had tried to develop a new wear evaluation technique which requires only a short time operation, as a part of the study on the use of degraded fuel oils.

As a result, we have successfully found the method that allows the evaluation of wear rate on cylinder liners and piston rings, which are apt to be affected by the fuel properties, through operations of around 10 hours. The newly developed technique has been introduced at the 20th Lecture Meeting, commemorating the 10th anniversary of the organization, and also at the 17th CIMAC Congress. In the present paper, the authors would like to introduce some examples of practical applications of the technique.

1. ま え が き

重質燃料油の使用を可能にするための重要な研究課題のひとつに、摩耗の低減がある。しかし、長時間の運転をくり返して、数多くの条件の中から最適組合せを見出すためには、膨大な時間と費用を必要とすることは容易に想像できる。

そこで著者らは、重質燃料油使用に関する研究の中で、短時間摩耗評価法の開発に取り組んだ。その結果、燃料の重質化の影響を受け易い、シリンダライナとピストンシリングまわりの摩耗速度の評価を数時間の運転で可能とする方法を見い出した。第20回創立10周年記念事業講演会¹⁾及び第17回C I M A C大会²⁾においてその手法を紹介したので、今回はその活用例を紹介し、皆様方の参

考に供したい。

2. 供試機関および供試燃料油

本研究に使用した機関は、表1に示すシリンダ径 $\phi 200$ mmの単気筒実験機関であるが、現在販売されている6シリンダの実用機関と同一諸元に製作されている。

表1 供試機関の諸元

Number of cylinder	: 1
Bore	: $\phi 200$ mm
Stroke	: 260 mm
Displacement volume	: 8.17 ℓ
Compression ratio	: 13.0
Speed	: 720 rpm
Rated power	: 73.6 kW (100 PS)
Piston speed	: 6.24 m/s
B. M. P. E.	: 1.5 MPa
Capacity of Lub. oil	: 100 ℓ

* 原稿受付 平成元年4月17日

第25回特別基金講演 (昭和63年12月1日)

** 正会員 ヤンマーディーゼル機 (京都府乙訓郡大山崎町字円明寺鎌田16)

*** ヤンマーディーゼル機 (京都府乙訓郡大山崎町字円明寺鎌田16)

また、供試燃料の性状を表2に示す。7000秒油(Fuel D)の使用に際しては、ピュリファイヤ処理を行った後、0.49MPa(5kgf/cm²G), 150℃に昇圧、昇温して燃料ポンプへ供給した。

表2 供試燃料の性状

Fuel		A	D
Specific gravity	15/4℃	0.8452	0.9842
Pour point	℃	-15	-2.5
Kinematic Viscosity	50℃cst	2.84	723.9
	100℃cst	—	56.1
Sulphur	wt %	0.67	3.11
CCR	wt %	0.03	16.3
Ash content	wt %	0.01	0.06
Water content	wt %	trace	trace
Calorific value	Kcal/kg	10170	9660
Asphaltene	wt %	0.01	9.62
C	wt %	86.3	85.2
H	wt %	13.5	10.5
C.C.A.I		798	838
Diesel Index		54	21
V	ppm		209
Na	ppm		11
Si	ppm	NIL	NIL
Al	ppm	NIL	NIL
Note		MDO	CIMAC H55

3. 短時間摩耗評価法の概要

ピストンリングやシリンダライナの摩耗状況をとらえるには、ピストンリング摺動部の潤滑油中に含まれる金属元素の濃度を知れば良いとの考えに基づき、図1に示すようなピストンを製作した。第2リング溝底の対向する2ヶ所にφ1.0のキリ穴を設け、ステンレスチューブおよびリンク機構に添わせたテフロンチューブを介して、機関外に潤滑油を導き出すものである。このピストンとリンク装置を単気筒実験機関に組み込んで種々な条件の下で50時間の連続運転を行い、ピストンリング溝から採取した潤滑油中のCr濃度とピストンリングの摩耗速度およびFe濃度とシリンダライナの摩耗速度の関係を調査した。その結果、図2および図3に示すように、摩耗速度の評価に使用できる程度の相関が得られることが判った。

この評価法を用いれば、図4に示す手順により、機関を分解することなく数条件の摩耗速度を相対的に評価す

図1 ピストンリング溝底から潤滑油を採取するピストンの断面図

図2 ピストンリング溝部の潤滑油中に含まれるCr濃度と第1ピストンリングの摩耗速度の関係

図3 ピストンリング溝部の潤滑油中に含まれるFe濃度とシリンダライナの摩耗速度の関係

図4 摩耗速度の評価手順

ることが可能となる。各部の温度、燃焼性能等と併せて考察することにより、重質燃料油使用に関する研究を効率的に進めることが出来た。

潤滑油および燃料中の金属元素は、蛍光X線分析装置を用いて分析した。また、潤滑油中の微粒子数は、潤滑油を灯油で希釈した後、H I A C自動粒子カウンタを用いて計測した。

4. 短時間摩耗評価法の活用例

本評価法を用いて得られた結果および実用機関の性能を改善した事例を紹介する。

4.1 筒内最高圧力の影響 近年、筒内最高圧力を高めてサイクル効率を改善することにより、燃料消費率の低減を図ろうとする試みがなされており、その効果を示す実験結果は、多く報告されている。しかし、摩耗に関する報告は、ほとんど見当たらない。

そこで、噴射時期を変更することによって筒内最高圧力を変更した場合の摩耗速度の変化を、本評価法を用いて調査した。その結果、図5および6に示すように、筒内最高圧力の上昇に伴って燃料消費率、排気煙濃度、排気温度等の燃焼性能は改善されるが、ピストンリング溝底やシリンダライナの温度は上昇する。

また、ブローバイガス量が増加し、Cr および Fe 濃度が増加する。すなわち、ピストンリング、ピストンリング溝およびシリンダライナ等の摩耗が増加することを意味している。これらの理由として、次のようなことが考えられる。

① ピストンリング周辺部の温度が上昇して、潤滑油粘度の低下と油膜厚さの低下をもたらす上に、ピストンリング摺動面やピストンリング下面に作用する力が増加する。

② ブローバイ量が増加することによって、ピストンリング部に多量の固形微粒子が持ち込まれるようになり、それが一種の研摩材として働く。

図5 筒内最高圧力を変更した時の燃焼性能とピストンリング溝およびシリンダライナ温度の変化

図6 筒内最高圧力を変更した時のCr およびFe 濃度の変化

③ 全塩基価の低下量が大きくなっていることから、酸性物質が増加し、腐食作用が強まる。

従って、筒内圧力を高める場合には、ピストンの剛性アップ、ピストンプロフィールの適正化、油膜の確保等に対する充分な考慮が必要となる。最近では、シリンダ径 $\phi 200$ 以下の機関においても高温強度、熱膨張、冷却等の点からダクタイル鋳鉄ピストンが使用されるようになって来し、更にはピストンリング溝部の摩耗を低減するために、リング溝の焼入も行われている。

図7に示すような一体形ダクタイル鋳鉄ピストンはピストン上部の冷却性に優れ、ピストンリング部の油膜確保とトップランド部に付着する潤滑油等の燃焼残渣物の軽減に効果があった。

図7 ピストンリング溝の上下面をレーザ焼入したピストンの例

4.2 低負荷燃焼改善の効果 燃料の重質化に伴い、低負荷時の燃焼を良好に保つことが次第に困難となって来た。これに対処するため、冷却水温度や給気温度を高く保って燃焼を改善することにより、重質燃料で運転可能な最低負荷の限界を下げる努力がなされている。ここでは低負荷時の摩耗に関する実験結果を二つ紹介する。

4.2.1 給気加熱の効果 図8に1/4負荷時において給気温度を変更した結果を示す。給気温度を35℃から65℃に高めることによって排気温度が10℃上昇し、排気煙濃度が1.0から0.6まで改善された。しかも、CrおよびFe濃度が低下しており、ピストンリング、シリンダライナ等に対する摩耗低減効果が大きいことを示している。

表面から1.0 mmのところまで計測した第一ピストンリング溝およびシリンダライナの温度はそれぞれ109℃、120℃であり、ほとんど変化はなかった。腐食性ガスの発生およびそれに伴う腐食摩耗の程度が変化するものと思われるが、メカニズムの詳細は不明である。

この結果を実用機関に適用した例を図9に示す。給気熱交換器の中を二つに仕切ってそれぞれ冷水と温水を流しておき、あらかじめ設定された負荷以上では給気を冷却し、それ以下では給気を加熱するようにしたものである。実機でもその効果が認められ、既に数十台の使用実績がある。

4.2.2 スワールの効果 小形高速直噴機関において

図8 給気温度を変更した時のCrおよびFe濃度の変化

図9 負荷に対応して給気を冷却または加熱することができる熱交換器

では、燃焼を改善するためにスワールを利用する場合が多い。しかし、 $\phi 200$ 程度以上の比較的シリンダ径の大

きい機関においては、スワールの助けを借りなくとも良好な燃焼性能を得ることができる。ところが、重質燃料を使用して低負荷運転する場合、排気煙濃度が悪化することは知られているが、これを改善する一方策としてスワールを強めることが有効である。

図10に、 $1/4$ 負荷でスワールの影響を調査した結果を示す。スワールの強さは、シュラウドバルブを用いて変更した。スワール比を1.0から3.0に高めることによって排気煙濃度は1.0から0.2まで改善された。それに伴って、ピストンリング部から採取した潤滑油中の微粒子量が減少し、Cr および Fe の濃度も低減した。

図10 スワールの強さを変更した時のCr および Fe 濃度の変化

このように、冷却水温度、給気温度等を適正に調整すれば、低負荷時の摩耗速度は低減され、高負荷時のそれに比べて十分低い値に抑えることが出来ることが判った。また、4.1 項および 4.2.1 項の結果や本研究に関する一連の実験結果から考えると、燃焼によって生じる固形微粒子がピストンリング、シリンダライナ等の主要部品の摩耗を左右する重要な役割を演じているように思われる。

4.3 潤滑油性状の影響 硫黄分の多い重質燃料油を使用する機関においては、ならし運転中にはMDO (A 重油) を使用するよう指導されている。従って、MDO に適合した比較的 TBN の低い潤滑油を使用するのが望ましいが、その期間は200時間程度と短い。この場合、ならし運転が終了した時点で、潤滑油も TBN の高いものに交換することになる。しかし、ならし運転中から高い TBN の潤滑油を使用できれば、潤滑油を交換することが不要になるので、その経済的メリットは大き

い。

今、燃料をMDO (Fuel A) と7000秒油 (Fuel D) 潤滑油の TBN (全塩基価) を10, 25, 45 と変更した結果を図11に示す。それぞれの燃料で潤滑油の TBN を変更しても、燃焼性能と主要部温度に変化は無かった。また、他の条件を変更した場合に比べてCr および Fe 濃度も変化が少なく、むしろ、MDO 使用時には、TBN45の方が TBN10 よりも金属濃度が低くなっている。すなわち、MDO によるならし運転中から、TBN の高い潤滑油を使用しても摩耗上大きな問題のないことを示している。市場での実績もふまえ、当社の重質燃料使用機関に対しては、使用する重質燃料に適合した潤滑油をならし運転初期から投入してさしつかえないとしている。

図11 潤滑油の TBN を変更した時のCr および Fe 濃度の変化

4.4 触媒粒子の影響 接触分解燃料に含まれる触媒粒子の有害性については、既に多くの研究報告がある。著者らも触媒粒子の濃度、粒度分布、燃料処理方法等と摩耗の関係についての研究を行った。図12は7000秒油 (Fuel D) に混入した触媒粒子の粒度分布であり、図13は燃料中の触媒粒子の濃度を約15ppm (A1) 一定に保って、粒子径を変更した結果である。平均粒子径1.8 μm では、Cr および Fe の濃度にほとんど変化が無いが、4.6 μm , 14.5 μm , 22.5 μm と粒子径を大きくするにしたがって濃度が高くなっており、ピストンリング、シリンダライナ等の摩耗が増加することを示している。ここで興味深いことは、平均粒子径1.8 μm の場合、ピストンリング部から採取した潤滑油中に Si および Al がほとんど検出されないことであり、非常に小さな触媒粒子はシリンダ壁面まで到達し難いことを意味している。その理由は現在のところ明らかでないが、触媒粒子の液

図12 燃料油Dに混入した触媒粒子の粒度分布

図13 触媒粒子径を変更した時のCr, Fe, Al及びSi濃度の変化

化またはガス化,あるいは運動量が小さいことによる貫徹力の低下などが考えられる。図13の結果を実証するために,50時間の連続運転を行ったところ,図14に示すように,平均粒子径1.8 μ mの場合,ピストンリングの摩耗速度は増加しなかった。なお,燃料処理に関する研究の結果,燃料中の触媒粒子を除去するためには,遠心分離機内での滞留時間を長く保つため,燃料処理流量を低く設定するのが効果的であることが判った(図15)。

5. あとがき

知りたい部分から直接潤滑油を採取することに成功したことにより,摩耗の評価に使用できる程度に再現性のあるデータが得られた。本稿では,たがいに関連のない事例の紹介にとどまったが,本評価法の有用性について御理解いただけたと思う。これらの事例の他にも,機関

*: ①, ②, ③は, 図12に対応する。

図14 触媒粒子径を変更した時のピストンリング摩耗速度の比較 (50時間連続運転による)

図15 ピュリファイヤ処理方法と触媒除去効果の関係

の運転状態に関する多くの情報を得ることが出来るので,皆様方の研究の中でも活用いただければ,著者らの喜びとするところである。

文 献

- 1) 荒川ほか3名, 舶機誌, 21-12 (昭61-12).
- 2) MORI et al., Research Works to Utilize Degraded Fuel Oil on Medium Speed Diesel Engines, CIMAC '87 D-34.

〔質 疑 応 答〕

質問者 小田健一

〔質問〕 図14に触媒粒子径を変更した時のピストンリング摩耗速度について比較されていますが、ライナ摩耗燃料ポンプのプランジャ、バレルや燃料弁の摩耗に関する触媒粒子径の影響はどうでしょうか。

〔回答〕 (1) 触媒粒子径によるシリンダライナの摩耗は、図14に対応して、触媒粒子混入無しするとき、最大摩耗箇所は $3\text{ }\mu\text{m}/50\text{ hours}$ 、平均触媒粒子径 $1.8\text{ }\mu\text{m}$ を混入したときは $3.5\text{ }\mu\text{m}/50\text{ hours}$ 、 $22.5\text{ }\mu\text{m}$ を混入したときは、 $17\text{ }\mu\text{m}/50\text{ hours}$ となる。ピストンリング摩耗と同様に、粒子径 $1.8\text{ }\mu\text{m}$ までは影響は小さいが、 $22.5\text{ }\mu\text{m}$ では約6倍に増大した。

(2) 燃料噴射弁の摩耗に関しては、ニードル弁表面の写真で示すとおり、 $1.8\text{ }\mu\text{m}$ の触媒粒子でも接触部の表面あらさは増加した。また $22.5\text{ }\mu\text{m}$ では、表面あらさが著しく増大し、噴口部にも大きな損傷が発生した。

燃料ポンプのプランジャ、バレルについても、燃料噴射弁の摩耗と同様の結果を得た。これらの解決には材質の改善で対処している。

Fuel D

Fuel D
+Catalyst fines
($1.8\text{ }\mu\text{m}$)

Fuel D
+Catalyst fines
($22.5\text{ }\mu\text{m}$)

*Rated power $\times 50\text{ hours}$

図16 ニードル弁の摩耗状況

編 集 後 記

この特集号は、平成元年度春期講演会の第2日目の午後開催されたシンポジウム「リング・ライナの摩耗と対応」での発表論文から6編、第25回特別基金講演会「船用ディーゼル機関における燃料・燃焼・摩耗」(昨年12月1日、海事センタービルで開催)での発表論文の中から潤滑摩耗に関連する2編、春期講演会の発表論文から1編、それにこの方面の専門家である多くの先輩からお寄せ頂いた解説、随想記事などをまとめたものです。近年船用機関は高出力化、低燃費化が急速に進みましたが、その反面多くの問題が未解決のままになっている。その一つがリング・ライナの潤滑・摩耗問題です。新型、改良型の機関が短期間の内に開発されるが、十分な実証テストをすることなく実船に搭載させるために、保守管理のノウハウが充分に乗組員に伝えられていない状況である。この問題で一番苦労されているのが船舶を運航管理されている乗組員の方達であることがよく分かる。乗組員の少人数化、燃料の粗悪化という状況も加わって問題

解決をさらに複雑にしています。最近、海運界を取り巻く環境には幾分明るさが見えてきたようである。しかし、経営合理化のためには乗組員の少人数化、非専門家化の傾向はこれからも続くと思われている。このような状況下では船用機関に対する自動化の要求、信頼性向上の要求はますます強くなっている。船用機関の信頼性向上のためには潤滑・摩耗に関連する問題を解決することが最も重要であると思う。本特集号では、この分野で問題解決に日夜努力されている方達の現状を知ることができ、船用ディーゼル機関の生産量世界一を誇る日本のこれからの発展を非常に力強く感じることができる。特集号が今後の船用機関の発展に少しでも役に立てば幸いである。この特集号の編集には、松園編集主任、編集委員会の多大な協力を頂いた。この紙面をお借りして厚くお礼申し上げます。

(塩出敬二郎記)