シリンダ油ドレンによる機関摺動部の の状態監視

山 田 洋** 菅 原 広**
羽 根 田 誠** 永 井 義 和**

Condition Monitoring of Diesel Engine by Cylinder Oil Drain Analysis

By Hiroshi Yamada, Makoto Haneda, Hiroshi Sugawara, Yoshikazu Nagai

As marine diesel engine output increases, the combustion chamber will be put under ever more strain. Recently, the catalyst fines of Bunker Fuel Oil by FCC has seriously damaged moving parts and such wear and tear has reportedly affected the safe navigation of ships.

In order to know the wear and tear of moving parts within the combustion chamber, inspection and maintenance are carried out at anchorage; if wear and tear could be studied on board, at sea, such data could improve engine operations and help to prevent engine troubles.

Mitsui O.S.K. Lines has found, as a result of the continuous monitoring and analysis of cylinder oil drain from large-output marine diesel engines, that analyzing such data will allow the continuous monitoring of the wear and tear of moving parts. Consequently, a reduction in the amount of cylinder oil used will contribute to cutting costs.

During the monitoring process, we have tried in various ways to invent a kit which enables easy measurement on board of the concentration of iron powder within cylinder oil drain. We have been successful in developing such a kit using a magnet. We believe that this kit may also be used for monitoring the concentration of iron powder in actuating oil.

We sincerely hope that monitoring wear and tear will secure the safe navigation of ships.

1. は じ め に

ディーゼル機関を使用している船会社にとっては、シリンダ油の適性注油率を選定、維持することにより、機関摺動部のスカuffing等による機関事故を回避し、安全運航に貢献すること及び過剰なシリンダ注油を避けコスト節減を図ること、即ち効率的、経済的に機関のパフォーマンスを引き出すことが不可欠であり、商船としての機関管理技術の中でも重要課題と言えるものである。さて、機関摺動部の監視を行うに当たってはシリンダライナとピストンの摩耗状況を探る航海中の情報が少なく短時間の停泊期間中の点検

作業に委ねている現状から機関運転中に状態監視が可能な手法があることが有効打となり得る。ディーゼル機関の燃焼室内では、シリンダ油の特性(アルカリ価⁽¹⁾、酸中和速度、粘度等)、シリンダライナの材質、構造、燃料噴射装置、メンテナンス、燃料油の特性等、各種要素がピストンリング、シリンダライナの異常摩耗に影響しており、多方面の情報を見ながら管理することが必要となる。効率的、経済的適性注油率を選定するには、シリンダライナ、ピストンリング等の摩耗状況を確認することが重要となることは言うまでも無い。これまでも摩耗状況を把握することを目的に機関無開放での状態監視手法が探られている。例えばフェログラフィーによる鉄金属粒子の測定(2)やシリンダライナの壁温監視等であり、それら情報収集技術が注目されてきていることにその意義が切実に表

* 原稿受付 平成12年1月11日

** 正会員 株式会社商船三井(大田区2-22-5)

〈A船の推移〉

【図-1】

【図-2】

【図-3】

【図-4】

れていると言える。当社では、機関摺動部の状態を把握する方法として、シリンダ油ドレンに注目し、1995年1月より新造船5隻を対象にシリンダ油ドレンの分析、解析を実施してきた。その結果、シリンダ油ドレン中のFe濃度や残存アルカリ価の挙動とピストンリング、シリンダライナの摩耗状況との間に一定の関係が認められ、ピストンリング、シリンダライナの状態監視に対する有効性を見極めることが出来たので、ここに紹介させて頂く。また、シリンダ油ドレンの調査の中から航海中にタイムリーに計測が出来、コストパフォーマンスを発揮することになる、当社が開発した油中摩耗鉄分の簡易測定器「シリンダ油ドレン簡易測定装置(特許出願中)」を開発したのでそれについても言及させて頂く。

2. シリンダライナ摩耗状況監視手法の提案とその実船テストによる検証

機関無開放にてシリンダライナ摩耗の状態をモニタリングする方法として、シリンダ油ドレンサンプルのフェログラフィー分析が試行されていたが手法として

確実にするには困難を極めていた。シリンダ油ドレンからの情報としては摩耗による鉄粉と滴下した残存油の性状が考えられ、比較的容易に計測出来るFe濃度や残存アルカリ価の分析から得られる情報と機関ピストンリング折損事例とに何らかの因果関係があるものと推定された。そこで5隻の新造船を対象としたシリンダ油ドレンのサンプル分析を比較的長期間実施する事により、シリンダ油ドレンと言う不均一と思われるものからでもFe濃度や残存アルカリ価の動向を監視する事により、機関運転中にその機関に応じた特徴を有する摺動部の摩耗状態を把握することが出来る事を検証しようと試みた。5隻の実船対象船のうち、比較的良好な状態で推移したA船と、損傷が発生したB船の例を以下に挙げる。(添付、推移グラフ図1～図8参照)

1) A船の推移(図1～図4)

乗り出し後の摺り合わせ運転終了後から順次シリンダ油の注油量を削減しており、第26回目の計測時点(26,500 hr)で注油率1.10 g/BHP/Hr⁽³⁾まで減量している。シリンダ油ドレン中のFe濃度は乗り出し時より10～100ppmの範囲で順調に推移しており、ピ

〈B船の推移〉

【図-5】

【図-6】

【図-7】

【図-8】

ストンリング異常やシリンダライナの異常摩耗は発生していない。第21回目以降の分析結果において、注油率の削減に伴うFe濃度の上昇、並びにアルカリ価の低下が認められるが、良好な状態で推移している例と言える。

2) B船の推移(図5～図8)

一方、本船は乗り出し後からシリンダライナの摩耗に異常が認められ、各シリンダ毎に注油量を加減して機関運転を行っていた経緯がある(シリンダ油注油率 1.47～2.70 g/BHP/Hrで推移)。入渠時における主機燃焼室の使用部品の変更を実施する以前(14回目計測以前)の分析では、Fe濃度90 ppm、残存アルカリ価60 mg/KOH/gと共に比較的高い値を示しており、特に残存アルカリ価が高い値で推移している原因はシリンダライナの摩耗を抑える為にシリンダ油注油量を多目に調整していた為と推測される。15回目の計測はシリンダライナ取り替え直後の挙動であり、Fe濃度は115～310 ppmの範囲まで上昇しており、残存アルカリ価は25 mg/KOH/gまで低下している。その後、16回目以降の状況では注油率が1.15 g/BHP/Hr、残存アルカリ価は若干高目であ

り、Fe濃度は低いレベルで推移していることから、状況を監視しつつ更なる注油率の削減を検討している。尚、主機燃焼室の部品変更後においてピストンリング、シリンダライナの異常は報告されていない。B船はピストンリング、シリンダライナの摩耗に変動が生じた時に、シリンダ油ドレンの性状にその傾向を見出した例と言える。

3. 検証結果の考察

3-1 シリンダ油ドレンに含まれる Fe 濃度と残存アルカリ価の関係 シリンダ油ドレン中に含まれる夾雑物としては、主に燃焼残渣物(硫酸カルシウム、炭酸カルシウム等)やシリンダ油の変質、劣化したレジン質、燃料油の未燃分(接触粒子を含む燃料成分)ならびにピストンリング・シリンダライナの摩耗粉(Fe, Cr 等)が挙げられる。特にFe粉は機関運転中にピストンリングとシリンダライナの摺動面から絶えず発生しており、両者の摩耗状況を推測する要素のひとつである事は言うまでも無い。更に、潤滑油性状について捉えるならば、シリンダ油ドレンとして排出

シリンダ油ドレン簡易測定装置 (特許申請中)

シリンダ油ドレン中の金属濃度 (主に鉄) をその場でチェック

測定要領 (シリンダ油ドレン中の鉄分濃度を測定する場合)

される潤滑油は強酸であってはず、摺動面全体にわたりアルカリ性が保たれている事を保証する為にシリンダ油ドレンの残存アルカリ価が30mg/KOH/g以上を示す事が望ましいと言われているが、5隻を対象とした計測においては30mg/KOH/g以下となった場合においても異常を認めた事例は無い。データから見る限り、シリンダ油ドレン中の Fe 濃度と残存アルカリ価の関係は、初期馴染み運転終了後の通常運転状態では、残存アルカリ価が低下すると Fe 濃度が増加する傾向にある事が明確に示されている。一般的にはピストンリング折損やシリンダライナの異常摩耗時にブローバイ気味となり、シリンダ油が燃焼残渣物と激しく接触する状況により、酸中和の為のアルカリ成分がより消耗される為シリンダ油ドレン中の残存アルカリ価が低下するものと推測される。尚、残存アルカリ価の低下限度については、略30mg/KOH/g 程度と考えられるものの、機関使用状況、機関メーカー、形式、並びに使用シリンダ油の性能により、若干の差は生じる事が予想される。

3-2 シリンダ油ドレン中に含まれる Fe 濃度とピストンリング・シリンダライナの摩耗との関係

5隻の船舶を対象とした定期的なシリンダ油ドレン分析において、ピストンリング及びシリンダライナの目視点検等を実施した際の摩耗状況と Fe 濃度の分析結果を照らし合わせると、金属分析において Fe 濃度が0~100ppmの範囲で推移する場合はシリンダライナが適正な摩耗状況にあると考えられ、適正濃度である 0~100ppm の範囲で推移している状況下で Fe 濃度が 200ppm 以上に増加した場合にはピストンリングの切損やシリンダライナの異常摩耗等の、摺動面状態が悪化した場合を示唆するものとなっている。更にピストンリング・シリンダライナの新替え等に伴う初期摩耗時における適正 Fe 濃度は 100~300ppm で推移する事や、比較的短時間で適正摩耗範囲となる事も採取データから推察出来る。

4. シリンダ油ドレン簡易測定装置の開発

先に述べた様に、燃焼室内摺動部材の摩耗状況を把握するには、主に停泊中の点検、保全作業に頼ることになるが、船舶の航走中に船上で容易にシリンダライナの摩耗状況を把握できれば、運航阻害を回避

する為の有効な情報となり、機関運転管理に反映させる事が出来る。当社では、前記実験船5隻の調査を基に、主機燃焼室内摺動部の異常の早期発見と、シリンダ油減少時の判断目安を主な目的とし、シリンダ油ドレン中の鉄分濃度を船上でタイムリーに、且つ容易に計測出来る分析装置を模索していたが、この度、磁石を利用した簡易分析装置を開発し、試作器による実船実験においても、その有効性を確認できたので製品化し販売している。(概要は添付した測定要領を参照下さい) 本簡易測定装置はサンプル写真と供試試料の磁石上の鉄粉附着残像とを比較する事によりある範囲(濃度)にある事を確認する手法をとっており、簡便であり機関運転中のサンプルをその場で分析が可能であり、特殊な分析技術を必要としない。装置の構造が簡単で特に校正や整備の必要もない。更に当該装置は甲板機などの油圧作動油中の鉄分濃度の簡易的把握にも利用が期待出来るものと考えている。尚、鉄分濃度の増加には残存アルカリ価の減少を伴うが、本装置による本船特有の推移把握に加え、絶対値の確認の為に年1~2回程度のラボでの分析を勧めている。

5. ま と め

以上の様な状況を踏まえ当社では対象船5隻について主機摺り合わせの状態監視やシリンダ油注油量の絞込み時等の資料として活用しており、シリンダ油ドレン分析の有効性が立証されたものと考えている。

初期馴染み運転終了後の定常運転状態では残存アルカリ価が低下すると、Fe濃度が増加する傾向が見られる事、アルカリ価の低下限度(略30mg/KOH/g)の目安が出来る事、更にFe濃度が0~100ppmの範囲で推移する場合には適正な摩耗状況にあると考えられ、これが200ppm以上に変化する場合にはピストンリングの折損やシリンダライナの異常摩耗等の摺動面状態が悪化した場合を示唆するものと読み取ることが出来ると考えている。尚、同じ摩耗量であっても注油率(量)や機関負荷によりFe濃度や残存アルカリ価は当然変わるものである事、及び濃度表示ゆえにサンプリング方法(構造)の相違による影響も見られ、各船の事情により各船毎にレベルが若干異なる事を認識しておく必要があることを述べておきたい。

- (1) アルカリ価試験方法はASTM D4739に準拠
- (2) (参考文献) 橋本・馬場・青木 船用機関学会学術講演論文集(第61回)
- (3) シリンダ油注油率はカタログ値