レーザ変位計を用いた潤滑油消費量計測に関する研究*

河野 高 秀** 近 藤 博 美**
乾 豊**

Measurement of Lube Oil Consumption by Laser Displacement Detector

By Takahide Kawano, Hiromi Kondoh, Yutaka Inui

This paper describes the results of lube oil consumption test in order to ensure sufficient reliability of a diesel engine, employing a prototype engine of 200 mm-diameter cylinder. The authors have tried to use a high-precision laser displacement detector in detecting the change of the lube oil surface levels in order to obtain the lube oil consumption rate when the continuous operation of the diesel engine is being performed. It was confirmed that the measurement of the lube oil consumption rate of the engine by using a laser displacement detector is more effective than the conventional method of measuring the lube oil level by visual observation. And, this paper presents the achievements that have been obtained through the tests as above described.

1. ま え が き

近年、船用ディーゼル機関では、高出力、高効率低公害の社会的要求により、平均有効圧力の増大、ピストンスピードの増加、そして、最高燃焼圧力の増大が顕著になってきている。特に、最高燃焼圧力の増大は潤滑油消費量を増加させる要因の一つである。ピストンリングの動きが悪くなると、過大な潤滑油の消費が生じたり、排気弁吹き抜けなどの重大な事故の原因となり、機関の信頼性を大幅に損なう。ディーゼル機関の十分な信頼性の確保には、潤滑油消費量の適正な制御が重要である。そこで、ディーゼル機関の評価試験の実施にあたって、短時間で潤滑油消費状況を把握し、分析するために、高精度な潤滑油消費量の計測方法が求められている。

ディーゼル機関の潤滑油消費量は、一般にサンプタンクの油面レベルの計測により算出されている。

この方法では、油面レベルの計測値のばらつきが大きく、潤滑油消費量の評価が短時間において難しい。著者らは、ディーゼル機関の連続運転において、潤滑油消費量を求めるために、油面レベル変化の検知に、高精度なレーザ変位計を用いることを試みた。本稿では、従来の機関冷態時の目視による油面レベル計測方法と比較し、レーザ変位計による機関の潤滑油消費量の計測が有効であることを確認した。これらの得られた成果について報告する。

2. 潤滑油消費量の計測

2.1 計測方法 船用ディーゼル機関では、現在審議中のIMO規制の達成のために、燃料消費量の悪化を伴うことなしにNOx技術手法が模索されている。その対策の一つとして圧縮比の増加、給気圧力の上昇と燃料噴射時期の遅延組み合わせ、さらに、燃焼改善を図り、Pmeの増大を試みている。この結果、必然的に最高燃焼圧力は増大傾向となる。この燃焼圧力の増大は、ディーゼル機関の潤滑油消

*原稿受付 平成8年12月2日

第56回春季学術講演(平成8年5月15日)

**ダイハツディーゼル(株)(滋賀県守山市阿村町45)

図1 レーザ変位計による油面位置の計測概要図

費量の増加要因である。潤滑油消費量をこれまでと同程度に維持、あるいは、さらに低減するには、潤滑油消費量に関する要素試験を実施する必要がある。そこで、さらに試験の評価を短時間で実施し潤滑油消費量の把握が重要となる。これまでの計測事例として、潤滑油消費量を求めるために次ような方法が施行されている。(イ)ストレース法、(ロ)放射性物質を利用した方法、(ハ)重量法などが試みられている。しかし、船用中速ディーゼル機関では機関の大きさや潤滑油量の保持量の多さなどの制約条件があるため、前述の方法を用いて潤滑油消費の傾向を調査するのは難しい。現状では、サンプタンクの潤滑油液面のレベル計測を機関冷態状態にて実施し、潤滑油消費量を算出している。

図1に新しく試みたレーザ変位計による計測方法の概要を示している。従来の方法では、機関運転前にサンプタンク内の油面レベル位置を計測する。そこで、サンプタンク内の潤滑油量を求める。次に計測された潤滑油温度で密度を補正し、前回の計測値を基に潤滑油消費量を算出することになる。この方法では、計測期間が短い場合、潤滑油消費量が少なくなる。このため、油面レベルの計測値のバラツキが大きくなる。そこで、確実に潤滑油消費率を算出

レーザ変位計
LD-1110M-020
(ONO SOKKI製)
測定範囲 80mm~120mm
直線性 ±0.5% FS
応答時間 FAST 0.4ms SLOW 10ms
出力電圧 ±5V フルスパン

図2 レーザ変位計の設置状況

するには、ディーゼル機関を長時間運転することが必要であった。著者らは、レーザ変位計の分解能に着目し、連続運転での潤滑油面の変位を検出し、潤滑油消費量を求めることを試みた。レーザ変位計は取扱が容易で、ディーゼル機関のサンプタンクの横に設置した油面計測部に取り付けた。この方法は、潤滑油消費率の算出にあたって、試験期間の大幅な短縮を図ることができる。図2にレーザ変位計の取付け状況を示す。

尚、本試験の定常運転の範囲内では、計測中でのレベルの外乱のもとになるミスト圧の影響は見られなかった。また、潤滑油の温度は、機関起動後20分程度で安定した。

2.2 解析方法 中速小型ディーゼル機関を用いて、200時間運転時の時系列データを次の2種類の方法で計測した。一つは、従来の目視によるレベル計測方法で、さらに、レーザ変位による計測方法とを同時に実施した。解析では、それぞれの時系

列データを用いて単回帰分析を行い、潤滑油消費量および潤滑油消費率を求め評価した。

潤滑油消費量 (m³) =

レーザ変位量 (m) × サンプタンクの油面位置での面積 (m²)

潤滑油消費率 (g/kW・hr) =

$$\frac{\text{潤滑油消費量 (m}^3\text{)} \times \text{密度 (kg/m}^3\text{)} \times 10^{-3}}{\text{機関出力 (kW)} \times \text{運転時間 (hr)}}$$

3. 試験結果および考察

3.1 供試機関および運転条件 表1に供試機関の緒元を示している。機関は、気筒径200mmの6シリンダの中速小型ディーゼル機関で、設計上20MPaの最高燃焼圧力を想定している。燃焼改善の方策として、燃料噴霧の過大な貫徹力を避け、短時間で燃焼を終了させるため、従来の多噴孔型ノズ

ル(8孔)に対して、10孔の噴孔数ノズルを採用している。さらに、ピストン冠が比較的深い皿型で、バルブリセスをなくした。最高燃料噴射圧力は、150MPaに達している。機関の運転条件は、機関回転数900min⁻¹、正味平均有効圧力1.74MPaで、出力率159kg/cm²・m/sである。潤滑油消費状況の調査のために、機関を連続的に200hr程度運転した。その際に、2種類の燃料を使用した。1つがA重油(密度0.8536, S分0.29wt%)、他方がC重油(0.9554, 粘度175cSt, S分2.88wt%)である。それぞれの使用運転時間は、A重油で150hr, C重油で50hrである。潤滑油は、TBN10程度のもを用いた。

3.2 機関性能 図3は、機関運転時の機関性能の経時変化を示している。横軸が運転時間で、縦軸に最高燃焼圧力P_{max}、給気圧力P_b、燃料ラック量Rと6シリンダの平均排気温度T_{ec}をとっている。

連続運転時、最高燃焼圧力P_{max}は、ほぼ15MPaで、200hrの間で約0.5MPa程度変動している。また、排気温度T_{ec}が370~395℃程度の間で推移している。排気温度は吸い込み空気温度の影響を受けており、その変動差が比較的大きい。

3.3 潤滑油消費量の変化

1) レーザ変位計による油面状況の検知

ディーゼル機関の起動から停止までの期間において、サンプタンク油面の位置を連続して記録した。起動時には、機関および潤滑油配管系に潤滑油が封

表1 機関緒元と条件

Cylinder Bore	mm	200
Piston Stroke	mm	300
Numbers of Cylinder		6
Engine Speed	min ⁻¹	900
P _{me}	MPa	1.74
Output (NCR)	kW	735
(MCR)	kW	955

図3 機関性能の経時変化

図4 機関起動時の油面の挙動

図6 機関停止時の油面の挙動

図5 安定期の油面変化

入、循環されるため、急激に油面レベルが変化する。本試験の場合、油面レベルが比較的安定するまでに1時間程度必要とした。図4、5、6に機関起動時、安定期、機関停止時の3種の油面レベルの変化具合を示している。

図4は機関起動時の油面の変化具合を示している。横軸が運転時間、縦軸が油面の相対位置である。油面の位置は、レーザ変位計の出力電圧に見合った相対的な換算変位量で表している。また図中では、レーザ変位計で計測した油面の応答を確認するために、機関の起動、発停を繰り返しその様子を観察した。その状況は、図中に見られるように、敏感に反応している。

図5は安定期の油面の変化具合である。この運転

条件下では、油面が1 mm変化するのに8時間程度必要とする。レーザ変位計の出力値（電圧）は、非常に安定し、機関の振動やミスト圧などの影響をほとんど受けていない。

図6は、機関停止時の油面の変化具合である。機関停止後、急激に油面位置を示す浮子が計測円筒部に接触し、出力がステップ状になっている。

2) 潤滑油消費のレベルの変化

図7は、表1に示した中速小型ディーゼル機関を用いて、200hr連続運転時の油面の経時変化を示している。計測方法は、従来の目盛の読値とレーザ変位計による計測値である。それぞれ4 hr毎に計測したものを図示している。レーザ変位計での値に比し、従来の方法での値は比較的大きい。とくに、機関のなじみ期間で50hr程度において、油面が8 mm程度下降し、その変化具合は比較的大きい。その後、油面の下降傾向は比較的穏やかである。レーザ変位計では、前述のなじみ期間（区間①）と50 hr以後の区間②、区間③の油面の下降傾向とを比較すると、区間①の下降勾配が比較的大きい。しかし、レーザ計測の区間①、②、③において下降変化のばらつき度合いは、従来の計測方法に比べて小さい。尚、区間②と区間③において機関を一度停止し、レーザ変位計の出力調整のために、その位置を再調整したので、区間②と③の間でステップ状に油面が変化している。

区間①と区間②、③での潤滑油消費率を求めると、区間①で0.45 g/kWh、②、③で0.29～0.30 g/kWh程度である。この試験範囲内では、50hr程度

図7 潤滑油消費の経時変化

表2 相関係数と潤滑油消費率

方法	データ数	相関係数	潤滑油消費率 t/kWh
従来方法 区間①②	30	-0.934	0.36
③	24	-0.982	0.28
レーザ変位計 ①②	29	-0.980	0.28
による方法 ③	24	-0.987	0.29

図8 目視による油面データの回帰分析 (区間①と②)

のなじみ期間での潤滑油消費量が50hr以後のものに比べて、1.5倍程度大きくなっている。

3.4 回帰分析の結果

1) 潤滑油面データの単回帰分析

図8は、従来の計測方法による油面データの単回

図9 レーザ変位計による油面のデータの回帰分析 (区間①と②)

帰分析事例で、区間①と②の間のデータ数30個を用いて相関度合いをもとめている。図中には、回帰直線の95%信頼区間とデータの95%信頼区間を同時に併記している。図9と図10はレーザ変位計による油面データの単回帰分析事例で、図9が区間①と②の場合で、図10が区間③の場合である。表2に上記のそれぞれの場合についてデータ数、相関係数と潤滑油消費率を示している。相関度合は、従来の方法によるものと比較して、レーザ変位計による方法がよい傾向を示している。それらの相関係数は、負の勾配で-0.980~-0.987である。従来の方法でも区間③では比較的良好な相関を示しており、-0.982の値

~~~~~メッセージ~~~~~

図10 レーザ変位計による油面データの回帰分析(区間③)

となっている。潤滑油消費率の値は、いずれの場合も0.28~0.36 g/kWh程度の範囲内に入っている。

また、3.2節の機関性能の排気温度変動の要因とその寄与度合いを確認するために、排気温度について重回帰分析を実施した。その変動因子として、室温、給気圧力と給気温度の3因子を考えた。本試験の範囲内では、排気温度の変動に室温の寄与が大きく、室温1℃上昇すると、排気温度1.5℃程度増加している。

4. む す び

中速小形ディーゼル機関の潤滑油消費量の計測を目的として、レーザ変位計を用いたサンプタンク内の油面計測を実施した。本試験の範囲内では、下記のことがあった。

- (1) レーザ変位計による油面計測は、短い期間に潤滑油消費量の傾向が把握できる。
また、その方法は、簡単で便利である。
- (2) しかし、負荷が変動する過渡状態では、正確な潤滑油消費量の評価が難しい。
- (3) 初期なじみ時の潤滑油消費量の挙動を含め、実用機関での定常運転時の潤滑油消費量の診断などにも十分利用可能である。

河野高秀

近藤博美

乾 豊

船用、陸用にかかわらずディーゼル機関の潤滑油消費量を、継続的かつタイムリーに把握することは、機関の各種摺動部の潤滑状態を知るうえで重要なことである。

テスト機関用としては様々な潤滑油消費量計測技術が紹介されている。

本報告で提示したレーザ変位計を利用した計測方法は簡便な方法である。それは比較的高い精度を有し、出力を計測機器、コンピューター等に接続する事で様々な処理が可能であります。

船上で、また、ベンチテストで容易に計測できる技術として活用され、ディーゼル機関の信頼性確認の検証に役立てば幸いです。