船用シリンダ油の性能比較*

岡崎 一正***	三島 隆志**	大塚 淳史***
三原 悠*****	望月 健*****	竹田 充志*****
黒木 修*****	梅本 眞一郎****	宮野 春雄*****

Laboratory Performance Comparison Tests and Analyses of On-Board Marine Cylinder Oils

Kazumasa OKAZAKI, Takashi MISHIMA and Atsushi OTSUKA

Yu MIHARA, Ken MOCHIZUKI, Atsushi TAKEDA, Osamu KUROKI, Shinichiro UMEMOTO and
Haruo MIYANO

Among the lubricating oils used onboard, the cylinder oil for two stroke diesel engines is used under the most severe conditions. Cylinder oil performance greatly affects a vessel's safe operation because it is used for engine propulsion. Meanwhile, from an economical viewpoint ship owners always consider the reduction of cylinder oil consumption. It is, therefore, important to understand the properties of cylinder oil to ensure the safe operation of a vessel, and to reduce costs. Various laboratory tests/analyses on over 20 brands of oil from different companies were performed in order to evaluate the performance of these oils. There were evaluated comprehensively, based on the ranking of each test/analysis result. It is considered that oil performance is influenced by the type of base oil and additive used.

1. はじめに

低速2ストロークディーゼルエンジンに使用されるシリンダ油は、船内で使用される潤滑油の中で最も過酷な条件下で使用されている潤滑油である。また推進用のエンジンに使用されていることから、シリンダ油の性能の良否が直接的に船舶の安全運航に大きく影響する。また船社(ユーザ)は、経済的な観点からシリンダ油使用量の削減を常に検討している。

シリンダ油の性状は油社の統廃合に伴う銘柄の変更や、添加剤の変更等により変化していると考えられる。また、IMO/MARPOL 73/78 条約附属書VIによる将来規制に伴う燃料油中の硫黄分の低減から、低硫黄燃料油用シリンダ油が各油社より開発されており、その種類は多様化している。こうした中で、ユーザは、油社から自社製品の性質や性能等の情報を入手する手段や、シリンダ油を評価した過去の研究事例や論文等の参考資料等[1]を入手することは出来るものの、様々な油社の現行製品を同じ基準で比較したデータを入手するこ

とは困難である。

しかしながらユーザが、船舶の安全運航および経済的な観点から、シリンダ油の比較やそれぞれの特徴を把握しておくことは重要である。

そこで著者らは、船舶で使用されているシリンダ油の実験室レベルでの試験を行い、その結果を比較・評価すること、さらにその比較・評価の結果から、シリンダ油の選定や注油率等の決定に有用なデータを得る事を目的とした。評価項目には過去に実施した性能評価試験[2,3]と同様に、酸化安定度試験、耐熱性試験(パネルコーキング試験、蒸発試験、示差走査熱量分析(Thermogravimetric -Differential Scanning Calorimeter ; 以下, TG-DSC)), 広がり性試験の他、一般性状分析を採用した。各分析および試験結果の評価は最も良い結果を得たシリンダ油が第1位となるような点数付けを行った。その点数を基に各社シリンダ油を比較し順位付けするとともに総合評価を行った。

2. 試験試料

試験試料は、実船で採用されている高BNシリンダ油(以後, BN70 タイプ)の9社10銘柄および、低硫黄燃料油用シリンダ油(以後, BN40~50 タイプ)の7社10銘柄を対象とした(表1)。

*原稿受付 平成26年2月19日。

**正会員 日本郵船(株) (千代田区丸の内2-3-2)。

*** 日本郵船(株) (千代田区丸の内2-3-2)。

****正会員 日本油化工業(株) (横浜市戸塚区上矢部町2148-3)。

***** 日本油化工業(株) (横浜市戸塚区上矢部町2148-3)。

表1 試験に用いたシリンダ油

No.	BN70 タイプ		BN40~50 タイプ	
	油社	油名	油社	油名
1	A	A oil	A	LS A-1 oil
2	B	B oil	A	LS A-2 oil
3	C	C-1 oil	B	LS B-1 oil
4	C	C-2 oil	B	LS B-2 oil
5	D	D oil	C	LS C-1 oil
6	E	E oil	C	LS C-2 oil
7	F	F oil	D	LS D oil
8	G	G oil	E	LS E oil
9	H	H oil	F	LS F oil
10	I	I oil	G	LS G oil

3. 試験方法

シリンダ油の性能比較は、以下の3-1~3-3項の試験から得られた結果によって評価した。その他、性状調査のために一般性状分析を実施した。

3.1 酸化安定度試験

シリンダ油が高温環境下でシリンダライナとピストンリングの摺動により酸化された場合、粘度、酸価、塩基価等が変化し、潤滑性、耐腐食性、中和力等が低下することにより、良好な性能(潤滑)を発揮出来なくなるとの想定のもと、内燃機関用潤滑油酸化安定度試験に準拠した方法 ISO4263 (JIS K 2514) を実施した。

3.2 耐熱性試験

シリンダ油が受ける熱負荷によって、蒸発、粘度上昇、コーキング量の増加などの性能低下が起り、良好な性能(潤滑)が発揮できなくなるとの想定のもと、以下の実験を実施した。

(1) パネルコーキング試験

アルミニウム試験片を使用し、下記の試験条件にて実施した[4]。試料油量 300ml, パネル温度 315℃, オイルバス温度 100℃, スプラッシュ(運転 15 秒・停止 45 秒), 試験時間 3 時間。

(2) 蒸発試験

試料油 20g をアルミ容器に採取し、250 および 300℃ の条件にて 1 時間保持する。放冷後、試料油の重量を計測し、減量率を求めた。また試験後の試料油の動粘度を計測した。

(3) TG-DSC 試験による加熱減量試験蒸発試験

TG-DSC により試料油を 100℃/分の条件で 250℃ および 300℃ まで昇温させ、4 時間保持した後の試料の重量および熱発生量の変化を記録した。

3.3 広がり性

シリンダ油の性能として、注油された油は、シリンダライナの円周面に均一に供給される必要がある。そ

のため、求める性能の一つとして広がり性が重要である。広がり性試験[7]は、250℃に加熱したアルミプレート上に試験試料を 10 μ l 滴下し、1 分後の油滴痕の最大直径を計測した。

3.4 一般性状分析

性状調査のために、つぎの一般性状分析を実施した。

1) 密度(15℃), 2) 動粘度(40℃, 100℃), 3) 水分, 4) 酸価, 5) 塩基価(過塩素酸), 6) 灰分, 7) ペンタシアン不溶解分, 8) 硫黄分。

4. 評価方法

試験試料は、BN70 タイプおよび BN40~50 タイプの 2 つのタイプに分類し、上述の試験により得られた結果をもとに点数付けを行い、タイプ別ごとに評価を実施した。各試験の順位付けおよび評価の方法は最も評価の高い結果を 1 という基準にし、その他の結果の比率を算出してスコアとした。順位付け評価方法の詳細は以下の通りである。

4.1 酸化安定度

動粘度差、酸価差および塩基価差のスコアの合計から順位付けを行った。

(1) 動粘度差

試験前後の差の絶対値をスコアとした。試験後に試験前データと差のあるものを劣化しているとして、スコアの小さい方から大きい方へ順位付けをした。

(2) 酸価差

試験前後の差をスコアとした。試験後に試験前データよりも酸化が進んでいるものを劣化しているとして、スコアの小さい方から大きい方へ順位付けをした。

(3) 塩基価差

試験前後の差をスコアとした。試験後に試験前データよりも塩基価が低下するものを劣化しているとして、スコアの小さい方から大きい方へ順位付けをした。

4.2 耐熱性

パネルコーキング試験、蒸発試験および TG-DSC 試験のスコアの合計から順位付けを行った。

(1) パネルコーキング試験

2 回の試験の平均をスコアとした。試験試料が加熱したアルミ板へコーキングしやすいものは、清浄分散性能などの性能が劣るとして、スコアの小さい方から大きい方へ順位付けをした。

(2) 蒸発試験

試験前後の減量率および、動粘度増加率をスコアとした。加熱後の減量率や動粘度増加率が高いものは、

性能が劣るとして、スコアの小さい方から大きい方へ順位付けをした。

(3) TG-DSC 試験

試験前後の減量率をスコアとした。減量率の高い試験試料は高温における熱安定性が劣るとして、スコアの小さい方から大きい方へ順位付けをした。

4.3 広がり性

試験後の油滴痕の直径をスコアとした。直径が最も大きかった試料油をスコア 1 とし、これに対する他の試料の比率を算出し、スコアの小さい方から大きい方へ順位付けをした。

5. 試験結果

試験結果を基に、定義した評価方法によって酸化安定度、耐熱性、広がり性についての順位付け、および総合順位付け評価を実施した。何れの評価項目も、スコアが小さい程性能に優れていると判定される。つまり各タイプのシリンダ油の性能評価から得られた総合順位は、試験毎のスコアを合計した値が小さい程優れていると判定されることとなる。逆にスコアを合計した値が大きい程、劣ると判定されることになる。

5.1 酸価安定度

BN70 タイプおよび BN40~50 タイプの酸化安定度試験の評価結果一覧表を表 2 に示す。図 1, 2 は、酸化安定度試験にて行った 3 項目の試験(動粘度, 酸価および、塩基価)のスコアを積み上げ式の棒グラフで表している。上述の通り図中の縦軸の値が小さいほど性能に優れた結果を示している。この試験結果の特徴を以下に述べる。

- (1) BN70 タイプにおける酸化安定度の評価は、試験試料の動粘度差の結果でほぼ決定される。
- (2) BN40~50 タイプでの場合、酸化安定度の評価は、試験試料の動粘度差と塩基価差の結果でほぼ決定される。
- (3) BN70 タイプおよび BN40~50 タイプいずれの酸化安定度試験評価も、酸価差の結果は総合評価に殆ど影響を及ぼさない。

表 2 酸化安定度の評価結果一覧

(上: BN70 タイプ, 下: BN40~50 タイプ)

Oil name	Difference in K.Viscosity	Difference in AN	Difference in BN	Oxidation Stability
I	Small and stable	Large	Average	Good
F	Average	Small and stable	Large	Average
H	Small and stable	Average	Average	Good
E	Average	Average	Small and stable	Average
C-1	Small and stable	Average	Extremely large	Very good
D	Average	Large	Average	Average
C-2	Large	Average	Average	Bad
A	Average	Extremely large	Large	Average
B	Large	Small and stable	Small and stable	Bad
G	Extremely large	Small and stable	Small and stable	The lowest

Oil name	Difference in k. viscosity	Difference in AN	Difference in BN	Oxidation Stability
LS B-1	Average	Average	Large	Bad
LS A-1	Average	Small and stable	Extremely large	The lowest
LS D	Small and stable	Average	Small and stable	Very good
LS E	Small and stable	Average	Average	Good
LS F	Average	Small and stable	Average	Average
LS A-2	Average	Large	Average	Average
LS C-1	Small and stable	Large	Large	Good
LS B-2	Large	Average	Small and stable	Average
LS C-2	Extremely large	Extremely large	Small and stable	Bad
LS G	Large	Small and stable	Small and stable	Average

図 1 酸化安定度の評価結果 (BN70 タイプ, 10 試料)

図 2 酸化安定度の評価結果 (BN40~50 タイプ, 10 試料)

5.2 耐熱性

BN70 タイプおよびBN40～50 タイプの耐熱性試験の評価結果一覧表およびグラフを、表 3 および図 3,4 に示す。参考にパネルコーキング試験後のアルミ試験片の写真を写真 1 に示す。図 3,4 は、耐熱性の 3 種類の試験（パネルコーキング試験、蒸発試験および、TG-DSC 試験）のスコアを積み上げ式の棒グラフで表している。図中の縦軸の値が小さい程、性能に優れた結果を示している。この結果の特徴を以下に述べる。

- (1) BN70 タイプおよび BN40～50 タイプいずれの耐熱性試験評価においてもパネルコーキング試験の結果が総合評価に大きく影響を与えている。
- (2) BN70 タイプおよび BN40～50 タイプいずれの耐熱性試験評価においても、TG-DSC 試験結果は、総合評価に殆ど影響を及ぼしていない。

図 3 耐熱性の評価結果 (BN70 タイプ, 10 試料)

図 4 耐熱性の評価結果 (BN40～50 タイプ, 10 試料)

図 5 パネルコーキング試験結果

表 3 耐熱性の評価結果一覧

(上: BN70 タイプ, 下: BN40～50 タイプ)

Oil name	Panel Coking Test	Reduction (Evaporation Test)	Reduction (TG-DSC)	Whole heat-resistant characteristics
I	Small and stable	Small and stable	Average	Very good
F	Average	Small and stable	Average	Good
H	Average	Average	Average	Average
E	Small and stable	Average	Large	Good
C-1	Extremely large	Small and stable	Small and stable	Average
D	Small and stable	Large	Small and stable	Average
C-2	Average	Average	Small and stable	Average
A	Large	Average	Extremely large	Bad
B	Average	Large	Large	Bad
G	Large	Extremely large	Average	The lowest

Oil name	Panel Coking Test	Reduction (Evaporation Test)	Reduction (TG-DSC)	Whole heat-resistant characteristics
LS B-1	Small and stable	Small and stable	Small and stable	Very good
LS A-1	Small and stable	Small and stable	Small and stable	Good
LS D	Small and stable	Large	Small and stable	Good
LS E	Average	Average	Average	Average
LS F	Average	Large	Average	Average
LS A-2	Average	Average	Average	Average
LS C-1	Large	Small and stable	Extremely large	Bad
LS B-2	Average	Average	Large	Average
LS C-2	Large	Average	Average	Bad
LS G	Extremely large	Extremely large	Large	The lowest

Table display	
Item Panel Coking Test or Evaporation Test or TG-DSC	Item Whole heat-resistant characteristics
Rank1-3 : Small and stable	Rank 1 : Very good
Rank4-7 : Average	Rank 2-3 : Good
Rank8-9 : Large	Rank 4-7 : Average
Rank10 : Extremely large	Rank 8-9 : Bad
	Rank10 : The lowest

5.3 広がり性

広がり性試験から得られた各試験結果を図 6,7 に示す。図中の縦軸は、広がり性のスコアを示しており、既述の通りその比率の値が小さい程、広がり性能に優れている評価となる。結果から BN70 タイプは、比較的どの試験試料も概ね結果値が揃っている一方、BN40～50 タイプの場合は、試料ごとの結果値にばらつきが認められた。BN40～50 タイプは、添加剤の種類やそれらの配合割合に多様性があることを示唆している。

図 6 広がり性の評価結果 (BN70 タイプ, 10 試料)

図 7 広がり性の評価結果 (BN40~50 タイプ, 10 試料)

5.4 総合評価

大型 2 ストロークディーゼル機関シリンダ油の性状・性能調査結果から、BN70 タイプおよび BN40～50 タイプ別に総合評価を行った。順位、銘柄、特徴等を整理した結果を表 4 および図 8,9 に示す。

表 4 総合評価 (上 : BN70 タイプ, 下 : BN40～50 タイプ)

Rank	Oil name	Characteristic			
		Oxidation Stability	Heat-Resistance	Spreadability	Total Evaluation
1	LS B-1	Bad	Very good	Bad	Best in rank
2	LS A-1	The lowest	Good	Average	Stable on the whole
3	LS D	Very good	Good	The lowest	Stable on the whole
4	LS E	Good	Average	Average	Average on the whole
5	LS F	Average	Average	Very good	Average on the whole
6	LS A-2	Average	Average	Good	Average on the whole
7	LS C-1	Good	Bad	Average	Average on the whole
8	LS B-2	Average	Average	Bad	Bad on the whole
9	LS C-2	Bad	Bad	Good	Bad on the whole
10	LS G	Average	The lowest	Average	Lowest in rank

Rank	Oil name	Characteristic			
		Oxidation Stability	Heat-Resistance	Spreadability	Total Evaluation
1	I	Good	Very good	Good	Best in rank
2	F	Average	Good	Very good	Stable on the whole
3	H	Good	Average	Average	Stable on the whole
4	E	Average	Good	The lowest	Average on the whole
5	C-1	Very good	Average	Average	Average on the whole
6	D	Average	Average	Bad	Average on the whole
7	C-2	Bad	Average	Good	Average on the whole
8	A	Average	Bad	Average	Bad on the whole
9	B	Bad	Bad	Bad	Bad on the whole
10	G	The lowest	The lowest	Average	Lowest in rank

Table display		
Item	Stability or	Item
Oxidation		Total Evaluation
Heat-Resistance	Spread ability	
Rank 1	: Very good	Rank 1 : Best in rank
Rank 2-3	: Good	Rank 2-3 : Stable on the whole
Rank 4-7	: Average	Rank 4-7 : Average on the whole
Rank 8-9	: Bad	Rank 8-9 : Bad on the whole
Rank 10	: The lowest	Rank 10 : Lowest in rank

図 8, 9 は、総合評価の対象となる 3 種類の試験(酸化安定度試験, 耐熱性試験, 広がり性試験 C)のスコアを積み上げ式の棒グラフで表しており、縦軸の値が小さいほど総合的な性能に優れている。総合評価の特徴を以下に述べる。

- (1) BN70 タイプにおいて、総合評価が突出して悪かった 2 件の試料油(ワースト 1 位, 2 位)は、酸化安定度試験の結果が他銘柄に比較してかなり悪かった。
- (2) BN40～50 タイプにおいて、耐熱性試験の良否が総合評価結果に大きく影響している。

図8 総合評価 (BN70 タイプ, 10 試料)

図9 総合評価 (BN40~50 タイプ, 10 試料)

6. まとめ

船舶で使用されている各油社のシリンダ油について、酸化安定度試験、耐熱性試験(パネルコーキング試験、蒸発試験, TG-DSC), 広がり性試験のほか、一般性状分析を行った。それらの結果から得られた性能の優劣を、相対比較および評価した結果、シリンダ油間で性能差が認められた。また、本研究で扱った低硫黄燃料油用シリンダ油(BN40~50 タイプ C)では、耐熱性試験の良否が総合評価結果に大きく影響していることが判明した。高効率・大型エンジンの開発や効果的なシリンダ注油方法の開発が日々進められており、シリンダ油に求められる性能は年々厳しくなっている。また、IMO/MARPOL 73/78 条約附属書VIによる将来規制に伴う硫黄分低減により、低硫黄燃料油に対応した低アルカリ価のシリンダ油の必要性が高まっている。一方で近年、低負荷運転時のシリンダライナの低温腐食が問題になってきており、シリンダ注油率と燃料油硫黄分含有率の関係から高アルカリ価のシリンダオイルの使用を余儀なくされるケースも散見される。このような状況下油社は、ベースオイルや添加剤等のデザインを適宜変更するなどして、高性能のシリンダオイルの開発を進めている。従って我々ユーザは、新しいシリンダ油の実使用前あるいは銘柄を変更する際の検討材料

となるような各油社のシリンダ油の性能を適宜把握しておく必要があると考える。

以上のように船舶の安全運航および経済的な観点から、今後もこのような試験や評価を継続的に実施し、シリンダ油の性能をモニタリングしていくことが重要であると考えられる。なお、実船においてはシリンダドレン油中の鉄粉濃度計測によるピストンの摺動状態監視装置が実用化されており、ピストンリングーシリンダライナ間の潤滑状態が推測可能となっている。このように、シリンダ油の注油量やピストンリングーシリンダライナの摺動状態を連続的に監視していくなど、ユーザの視点で評価していくことが今後ますます重要となっていくものと推察される。

質疑応答内容

2013 年 9 月 3 日、当学会でのシンポジウムの質疑応答内容を参考として以下のとおり記す。

質問 1 酸化安定度の試験は動粘度、酸価、塩基価で調べたようであるが、酸価も塩基価もどちらも調べる必要があるのか？

回答 1 動粘度も含め一般的に用いる項目であり、燃焼残渣物、酸中和能力、劣化の程度を知るためにこれら 3 項目を調べている。酸価が上がれば塩基価も同じように変化をするというわけではなく、今回の結果でも得られるようにマイナス側に化する例もあった。一律に変化をするのではない。

質問 2 定期的に調査・試験をされているようですが、実船での比較はしていないのか？シリンダ油の購買においては価格だけ見て評価する方もいる。是非とも実船での比較も検討頂きたい。油社によってもそれぞれコンセプトが異なる製品を出していると考え。陰ながら、調査データを提示いただけるとメーカーもより一層努力できると考える。

回答 2 今回は実船での比較はしていない。2004 年の CIMAC 投稿論文[2]では、シリンダの磨耗率との関係について考察したことがある。実船との関係については今後も検討課題としたい。

参考文献

- (1) Boons, M. et al., "Lubrication Challenges for Distillate Fuel Operated Two-stroke Engines", *CIMAC Congress 2010 Bergen*, Paper No. 111, (2010).
- (2) Ohno, N. et al., "Laboratory Performance Analysis Comparison of On-board Marine Cylinder Oils", *CIMAC Congress 2004 Kyoto*, Paper No. 159, (2004).
- (3) Goto, K. et al., "Laboratory Performance Comparison Test and Analyses of On-board Marine Cylinder Oils" *ISME 2011 Kobe*, Paper No. 156,
- (4) FED No. 791 Rev.B Test Method 3462, (1969).