船用ディーゼル潤滑油汚れの計測・評価に関する考察 — ペンタン不溶解分と汚染粒子 —*

木 村 功** 東 忠 則*** 住 本 守 央****

Consideration on Measurement Methods and Estimation of Lub. oil Contamination
for Marine Diesel Engines.

By Isao Kimura, Tadanori Azuma and Morio Sumimoto

In the conventional system of lubrication, lubricating oil is renewed with fresh oil after it is used for some period. Accordingly, waste oil is generated in the conventional system. The authors have developed a new system that makes it possible to use lubricating oil semi-permanently without oil renewal. In the new system, therefore, no waste oil is generated and it is enough to supply only a small amount of fresh oil sometimes to compensate for the lost oil. This system has been working well in about one thousand units of marine and cogeneration diesel engines in practice. The new system always keeps the lubricating oil clean as the kidney of animals keeps their blood always clean. This is why lubricating oil can be used semi-permanently and the new system is called kidney system. In our experience of the kidney system in practical use, we have come to know that there are some problems in the present methods of measurement and estimation of contamination of lubricating oil in marine diesel engines. This paper reports about our study on measuring normal pentane insolubles and particles in used lubricating oil.

Key words; Measurement and estimation of LO, normal pentane insolubles, contaminant particles.

1. まえがき

筆者等はLO系で発生する汚れを速やかに除去し、LOと添加剤の消耗分を補給することによってLO性状を略一定に維持し、LOを半永久的に使用してLOの消費量を低減し、廃油をゼロにするシステム（Kidney system）を開発し、既に、1000台以上の船用ディーゼルやコージェネディーゼル、約60社の工場洗浄油、約50社の油圧機器メーカーで実用化されている⁽¹⁾⁽²⁾。油圧機器への応用ではST

社のパワーショベルで、作動油は使用時間が長いほどきれいになり、新油よりもきれいになった。従来は出荷後1年間で、出荷台数の約1割にメーカーが補償すべきトラブルが発生していたが、kidney systemによってトラブルは、ほぼ完全に消滅した⁽³⁾。肥料工場の圧縮機で生ずる含油廃水から、新油よりもきれいなLOを再生している例もある⁽⁴⁾。

筆者等はkidney systemによるLO管理の実務の経験から、従来のLO汚染度の計測・評価法の中に、必要かどうかを含めて検討を要するものがあると考えている。本報では実機データを基にして、ペンタン不溶解分の遠心分離法と、粒子数測定法について考察する。

* 原稿受付 平成12年3月29日

第63回学術講演会（平成11年10月13日）

** 正会員 株式会社住本科学研究所（神戸市兵庫区本町1-6-15）

*** 正会員 帝京大学（宇都宮市豊郷台1-1）

**** 正会員 株式会社住本科学研究所（横浜市港南区港南台1-4-13）

2. ペンタン不溶分と粒子測定法に関する 問題点と考察

2.1 ASTM, A法とB法の問題点

A法はノルマルペンタン (n-Pentane) 投入後、通常、600～700Gの遠心分離機で不溶分を分離する。この方法の問題点を列挙するとつぎの通りである。(1) A法では凝集剤を使用しない計測法であるから、清浄分散剤によって不溶分は微粒子の形状で分散されているため、大部分は遠心分離できない。(2) 実際に遠心分離される量は、清浄分散剤の濃度や特性に左右されるであろう。この方法では、600～700Gで分離可能な大粒子のみが計測され、真の不溶分の量は分からない。(3) 更油に2サイクル・クロスヘッドエンジンで、ペンタン不溶解分1.5%、4サイクル・トランクピストンエンジンで2.5%の基準が示されているが、(5) 計測値が真の値を示していないのであるから、この基準値は根拠が薄くなる。したがって、エンジン保守の立場から、この方法は好ましくないと考える。

B法は凝集剤によって不溶分を凝集させたあと

表1 I社 エンジン潤滑油不溶解度分測定結果

NO	清浄時間 Hr	n-P 不溶解分 mass %			メンブラン フィルター 5 μ m
		ASTM A法	ASTM B法	4万G 遠心分離	
1	125	<0.01	<0.01		
2	400	<.001	<0.01		
3	1,140	<0.01	<0.01	0.04 約35mg /100ml	1.8mg /100ml
4	2,000	<0.01	<0.01		

表2 I社 エンジン潤滑油粒子数測定

NO	清浄時間 Hr	粒子数測定(個数/100ml)						ISO 4406
		5～15 μ m	15～25	25～50	50～100	>100	NAS	
1	125	804,817 (12)	39,617 (10)	9,267 (11)	1,100 (10)	50 (8)	12	20/16
2	400	282,217 (11)	11,867 (9)	2,200 (9)	317 (8)	33 (8)	11	19/14
3	1,140	141,033 (10)	15,067 (9)	2,433 (9)	267 (8)	0 (0)	10	18/15
4	2,000	176,967 (10)	16,500 (9)	2,133 (9)	200 (8)	0 (0)	10	18/15

遠心分離するので、汚れの絶対量を評価するには、一見、A法よりも秀れているように思われる。しかし、このB法ではA法と同じ600～700Gの分離力が問題である。

2.2 実機データによる考察

2.2.1 汚染物の主要存在領域

表1は、I社4サイクル機関のシステムオイル2900Lをkidney systemで清浄し、表に示す時間毎に分析した結果である。不溶分はA法、B法ともに非常に少なく計測不能であり、1.5%の更油基準からすれば、このLOは非常にきれいだと判定される。

油圧機器における作動油は、通常NAS 8級または、それよりもきれいな油が用いられるが、最近、LO管理にNASやISO-4406を用いるところが現れ、LO中の粒子測定が行われている。表2は、表1(I社)のLOの粒子測定結果である。例えば粒子直径 $d=5\sim15\mu\text{m}$ に着目すると、清浄時間と共に粒子数は約80万個、30万個、14万個と減少し、表1で示すようにA法、B法ともに不溶分は計測不能のまま、表2では清浄時間と共にNAS等級がよくなっている。清浄時間1140hr (No.3)の時の $d=5\sim15\mu\text{m}$ の粒子は約14万個であり、そのためにNAS10級であるから、作動油の考え方を適用すれば、この清浄度のLOはあまりよくないと判定される。これに対して表1で、不溶分はASTM, A, B法ともに計測不能なほどに微量であり、LOとしての清浄度は全く問題ないと判定され、LOの評価は不溶分で合格、粒子で不合格となる。

図1は、表2のLO (I社)をマイクロトラック法によって、清浄1140hr (No.3)の粒度分布を計測したものである。これによると、 $d>5\mu\text{m}$ の大きい粒子の数は、 $5\mu\text{m}$ 以下の粒子数に比べて無視できる程度であり、この状態で供試LO中に残存する

粒子は、 $d<5\mu\text{m}$ の微粒子が全てと言っても過言ではない。粒度分布から不溶分の容積を計算すると、 $d>5\mu\text{m}$ の比較的大きな粒子の占める容積は、全粒子が占める容積の約1%に過ぎない。これは横松等の報告⁽⁶⁾とも一致する。したがって表2の粒子数で汚染度を評価すると、全体のわずか1%で、LOの良否を評価していることになる。

表1, No.3の1140hrの計測で、A法とB

図1 粒度分布測定結果

マイクロトラック法
 サンプル油：表1、表2—I社—No.3
 容積%
 $< 5 \mu\text{m}$: 98.91%
 $> 5 \mu\text{m}$: 1.09%

法による不溶分は計測不能なほどの微量であるが、これは遠心分離機的能力が低く小さい粒子を分離できないからである。 $d < 5 \mu\text{m}$ 級の微小粒子が多いのであるから、遠心分離機的能力が高ければ、不溶分が計測されるはずである。これを確認するために、No.3 (1140hr) とNo.4 (2000hr) のLOを、 $5 \mu\text{m}$ メンブランフィルタと4万Gの遠心分離

機で処理した。その結果、表1に示されるように、1140hrで不溶分は、メンブランフィルタによる $5 \mu\text{m}$ 以上の粒子が1.8mg、4万G遠心分離による不溶分が約35mgである。2000hrでは4万G遠心分離で、不溶分0.01% (9mg) となった。

表3と表4は、K社とM社における2サイクルエンジン用LOの計測結果である。K社は従来システムで清浄されていたLO系統にkidney systemを導入し、1997. 8/8から97. 12/3まで約3ヶ月間、kidney systemによって連続清浄時の計測結果である。ISO-4406方式では22/17の汚れである。ISO方式のX/Yの分子Xは、直径 $5 \mu\text{m}$ 以上の粒子数の総数のコードNoであり、Yは $15 \mu\text{m}$ 以上の粒子数のコードNoである。X、Yが大きいほど粒子数が多い。運転開始から約4カ月後の、計測No.8に着目すると、この時B法による不溶分は計測不能であるが、4万G計測では、0.03% (約26mg) である。それから約1カ月後の計測ではISO、22/17と変わらないが、4万G計測では不溶分は計測不能の微量となっている。

表4に示すように、M社は同様に97. 7/10から98. 7/31の約1年間、連続清浄時に計測した。運転開始から約1年後のNo.5ではISO-4406で21/16であるが、B法による不溶分は計測不能、4万Gでは0.15% (約135mg) である。

K社のNo.8とM社のNo.6を比較すると、4万G

表3 K社 エンジン潤滑油清浄結果

NO	粒子数測定(個数/100ml)					NAS	ISO 4406	n-p不溶解分(%)		洗浄時間 hr
	5~15 μm	15~25	25~50	50~100	>100			4万G	B法	
1	1,724,370 (>12)	66,217 (11)	4,533 (10)	180 (7)	60 (8)	>12	21/17			始動前
2	1,518,850 (>12)	33,927 (10)	1,440 (8)	80 (6)	30 (7)	>12	21/16			190
3	1,032,840 (>12)	8,100 (8)	627 (7)	87 (6)	20 (7)	>12	21/14			360
4	547,777 (12)	2,533 (6)	353 (6)	60 (6)	17 (7)	12	20/12			740
5	309,113 (11)	1,503 (6)	190 (5)	30 (5)	10 (6)	11	19/11			1,000
6	212,705 (10)	2,705 (6)	380 (6)	35 (5)	10 (6)	10	18/17			1,520
7	2,645,770 (>12)	117,085 (12)	4,325 (10)	130 (7)	15 (7)	>12	22/17			1,650
8	2,621,870 (>12)	124,080 (12)	4,970 (10)	260 (8)	35 (8)	>12	22/17	*	<0.01	2,500
9	2,452,380 (>12)	106,195 (12)	4,315 (10)	195 (8)	60 (8)	>12	22/17	<0.01	<0.01	3,500
10	414,665 (11)	8,195 (8)	990 (7)	150 (7)	70 (9)	11	19/14	<0.01	<0.01	3,640
11	68,660 (9)	5,935 (8)	1,530 (8)	530 (9)	205 (10)	10	17/14			5,450

* NO.8の不溶解分：4万G 遠心分離=約26mg/100ml

表4 M社 エンジン潤滑油清浄結果

NO	粒 子 数 測 定 (個数/100ml)						ISO 4406	n-p不溶解分(%)		洗浄時間 hr	サンプル
	5~15 μ m	16~25	25~50	50~100	>100	NAS		4万G	B法		
1	2,992,900 (>12)	65,333 (11)	7,833 (10)	1,667 (11)	33 (8)	>12	22/17	0.23		360	フィルタ入口
2	2,665,770 (>12)	42,900 (10)	11,400 (11)	2,667 (11)	33 (8)	>12	21/16	0.18		360	出口
3	2,525,620 (>12)	132,190 (12)	5,213 (10)	93 (7)	20 (7)	>12	22/18	0.21		1,200	出口
4	882,720 (12)	1,550 (6)	120 (4)	30 (5)	0 (0)	12	20/11	0.24	<0.01	2,200	出口
5	1,888,700 (>12)	45,007 (10)	607 (7)	63 (6)	0 (0)	>12	21/16	0.15	<0.01	4,000	出口
6	476,767 (11)	2,750 (6)	517 (7)	67 (6)	0 (0)	11	19/12	0.14	<0.01	5,000	出口

NO.6の不溶解分：4万G 遠心分離＝約125mg/100ml、 $>5\mu\text{m}=4.5\text{mg}/100\text{ml}$

表5 K社 エンジン潤滑油粒子数測定値不安定例

NO	粒 子 数 測 定 (個数/100ml)						ISO 4406	サンプル 採取場所	測定 会社	洗浄時間 hr
	5~15 μ m	15~25	25~50	50~100	>100	NAS				
6-1	212,705 (10)	2,705 (6)	380 (6)	35 (5)	10 (6)	10	18/12	洗浄装置 出口	S社	1,520
6-2	709,982 (12)	98,787 (12)	21,940 (12)	579 (9)	13 (6)	12	20/17	洗浄装置 出口	K社	1,520
6-3	888,228 (12)	73,929 (11)	1,516 (11)	117 (7)	20 (7)	12	20/17	エンジン 入口	K社	1,520
7-1	2,645,770 (>12)	117,085 (12)	4,325 (10)	130 (7)	15 (7)	>12	22/17	洗浄装置 出口	S社	1,650
7-2	188,281 (10)	73,057 (11)	31,680 (12)	195 (8)	8 (5)	12	19/17	洗浄装置 出口	K社	1,650

による計測ではK社約26mgに対し、M社135mgであり、不溶分の質量はM社がK社の約5倍である。それにもかかわらず、ISO-4406の表示ではK社が22/17、M社が19/12となり、M社のLOの方が非常にきれいということになる。この矛盾は、粒子測定による評価法において、 $5\mu\text{m}$ 以下の粒子が無視されているが、汚染物の総質量は $5\mu\text{m}$ 以下が圧倒的に多いからである。

2.2.2 粒子数計測の不安定性

表5は粒子測定の安定性を調べるために行った計測結果である。K社のサンプリングは通常、清浄機出口である。6-1と6-2は同じサンプルをS社とK社で計測したもの、6-3は6-1と同時刻に、エンジン入口で採取したサンプルをK社が計測した結果である。3者は、ほとんど同じ結果になるものと予想したが、結果には大きな違いがある。これを確認するため、約1カ月後に再び、S社とK社で同じサンプルを計測したものが7-1と7-2であるが、両者には大差があり、粒子数の計測には再現性がなく、極めて不安定であることが分かった。なお、6-1に比べて7-2の粒子数が多いのは、

7-2は運転直後だからである。

2.2.3 粒子数による評価法の非妥当性

油圧機器においては、サーボ弁のノズル、ノズルフラップ等到大粒子、特に固形の大粒子が1個でもひっかかれれば、それは直ちにサーボ弁不調による機器の誤作動、等の重度障害になる。したがって、油圧機器では個数は少なくても、大きい粒子が大敵である。

エンジンでは柔らかい粒子が主体であるが、大きい粒子が間欠的に摺動面に現われ、付着しても直ぐには障害にならない。また汚れ粒子であっても潤滑性ゼロではない。これに対して微粒子は集合して大粒子を形成し、穴に引っかけて汚れを除去する従来型のフィルタでは、フィルタ目詰りを生じさせる⁽⁶⁾。

以上の結果を総括すれば、 $d>5\mu\text{m}$ の領域の粒子数でLO汚染を評価することは、エンジンLOの実体を正しく反映していない。油圧機器作動油の汚染評価法を便宜的に適用したものと考えられ、粒子数によるエンジンLOの評価法が必要かどうか検討すべきである。

3. 結 論

- (1) ペンタン不溶解分の遠心分離に、A、B法ともに 600～700Gでは不十分である。
- (2) ISO-4406の粒子数計測では、 $5\mu\text{m}$ 以下の粒子は無視されているに等しいが、汚染物の総質量の約99%は $5\mu\text{m}$ 以下の粒子である。
- (3) 粒子数の計測結果は極めて不安定であり、LO汚染度の評価には不適當と考えられる。
- (4) 計測結果が不安定であるのは、エンジンLOの汚染物の主体は、 $1\mu\text{m}$ 以下の煤であり、これが絶えず分散、集合しているためと考えられる。
- (5) 粒子数測定による汚染度の計測・評価法が、必要かどうか検討を要する。

参考文献

- (1) 東・住本・木村, 舶機誌, 33-6 (1998-6), 406-411
- (2) 東・住本・木村, 舶機誌, 35-3 (2000-3), 178-189
- (3) 東・住本・木村, 日本油空圧学会誌, 34-4 (2000-4)
- (4) 住本・東・木村, 水環境学会誌, 23-1 (2000-1), 55-58
- (5) 燃料潤滑油用語事典, 成山堂書店 (1994), 48
- (6) 横松, 三藤・小泉, 舶機誌, 33-11 (1998/11), 808-814

~~~~~ メッセージ ~~~~~

木村 功

LOの添加剤については、機械技術者の多くは殆ど、良く理解しないまま、使用してきた。

エンジンLO中の不溶解分は、 $1\mu\text{m}$ 以下の超微粒子の質量が90%以上を占め、汚染粒子は個数も全質量も、 $1\mu\text{m}$ 以下の粒子が圧倒的に大きい。これまで、汚れの主体は大きい粒子と考えていたので、計測によってこの事実を知った時は、正直な

ところ驚いた。従来の清浄システムでは $1\mu\text{m}$ 以下は除去不可能であるが、kidney systemでは除去可能である。これまでの経験では分散剤が多いと、 $0.1\mu\text{m}$ 級の粒子が油中に強力に分散されているため、小さい粒子が集合して大きくなりにくい。そして、kidney systemのフィルタでも、除去する際のじゃまになっていると推定される。そこで、kidney systemで $0.1\mu\text{m}$ 級の粒子を効果的に除去するには、分散剤の少ないLOがよい。従って、現在の標準オイルにこだわることは、大きなマイナスになる場合のあることを理解してほしい。

東 忠則

LOに係わるようになってから、我々機械技術者が、いかにLOのことを知らないか痛感している。LOのことを知らないために、エンジンや油圧機器などで、油をどの程度きれいにしておけばよいのか、汚染度をどう計測し、判断すればよいのか等が、正しく行われていないように思われる。本報は、このような問題へ踏み込んだ筆者等の第一歩である。

住本守央

廃棄物に対する環境への影響は、リサイクル法等の法制化により、発生企業の責任が益々重くなる傾向にある。廃油ゼロ対策技術は、廃油が産業廃棄物とされている以上その確立は急がれている。幸い我々の開発している廃油ゼロシステムは、環境保全のみならず資源保護や、エンジンの信頼性を向上される技術

としてFO管理とLO管理を合わせた予防工学的見地から見たもので、廃油排出者のメリットは測り知れないものがあり、投資効果面でも有効である。