船用エンジンと潤滑油の半永久使用技術による
半永久無解放の提案*

住 本 守 央**

光 田 寛 治***

橋 本 正 孝****

東 忠 則*****

Proposal for Semi-permanent Extension of Engine Overhaul Interval
Using Technology for Semi-permanent Use of Marine Engines and Lube Oil

By Morio Sumimoto, Kanji Mitsuda, Masataka Hashimoto and Tadanori Azuma

We have successfully developed a technology of semi-permanent use of engines and near zero waste oil with almost no wear and near constant thermal efficiency, with remarkable reduction in engine trouble and parts replacement. The results were verified through ship tests 8 years (33,000h). The technology has been in practical use in many marine and diesel generator engines. Also, we presented our theory and technology for the integration of various lube oils ideally with a TBN close to zero. Empirical tests have started in June 2014 and are on-going. Based on the results, we propose a semi-permanent extension of TBO (Time Between Overhaul) by establishing a monitoring system that indicates whether an overhaul is really required or not.

1. はじめに

本技術は世界の従来技術と逆方向であるが何れも実証済みであり、今回の半永久無解放も世界の常識を越えたものであろうが、我々の提案は現場実績に基づいている。本技術では摩耗はほぼ初期摩耗だけで、その後なじんだ状態が維持されている。よって本報でエンジン半永久無解放とモニタリングシステムの整備を提案する。この技術の実船試験で潤滑油(LO)消費の他に部品交換も減少し、概略、コスト低減比率が(a) LO : (b) 部品費 : (c) 部品交換作業費 $\approx 1 : 4 : 5$, すなわち LO 費低減の約 10 倍のコスト低減となる。何れ(d) 燃料(FO)費低減の実績も出るであろう。よって今後この技術を導入し船舶の運航費と部品交換の大幅減少と稼働率向上により、大きな利益を得ると共に省資源と環境保全に貢献する多くの本技術使用者が現れる事を期待し、本報では主に公表された代表的な報告で信頼性向上を中心に研究開発(R&D)経過を示す。また、既就航船の 2 サイクル主機と 4 サイクル補機ディーゼル機関で半永久使用及びシリンダ油と 2 種のシステム油を 1 種に統合する準備段階の実船試験中で、2

種のシステム油を統合し、シリンダ油を半永久使用とし、全塩基価 TBN ≈ 0 に改造し好調に就航中である。

以下では燃焼室、ピストン、ライナ、クランクケース、軸受、給排気系とその駆動系等々エンジン内部が常にスラッジ ≈ 0 で、エンジンは常に製造直後と同じ様に、またはそれ以上に清浄な状態を clean engine と呼ぶ。また、スラッジ ≈ 0 の LO と FO を clean LO/FO, これを実現している本技術を Clean LO/FO System と呼ぶ。本技術は省資源のため廃棄物 ≈ 0 の基本方針で開発された技術の一つである。結果、LO と FO を清浄にするための Clean LO/FO System により、エンジン内スラッジ ≈ 0 にした clean engine で前記の成果を得た。エンジン半永久使用の条件は(1)半永久的に摩耗 ≈ 0 , (2)半永久的に熱効率 $\eta_{th} \approx \text{Const.}$ であるが、多くのデータからこの 2 条件を実現する原理はスラッジ ≈ 0 の clean engine である事を帰納的に発見した。

我々の Clean LO/FO System は clean engine 即ちエンジン半永久使用の一つの方法(技術)であり、理論的には多くの技術があり得るが、エンジンで実用されているのはこの技術だけである。実績によれば FO が比較的良質な場合は clean LO で clean engine になり、約 10 年 48,200h の間、clean engine で航行中のひまわり 5 の FO は Redwood 1,500 秒の重油であるが、Clean LO System だけで clean engine になっている。この指標は、実績では LO 不純物の normal pentane 不溶分(np 不溶分) $\leq 0.1\text{wt}\%$ (A 法)とし、粘度 μ , ス

*原稿受付 平成 27 年 3 月 20 日。

**正会員 住本科学研究所(横須賀市夏島町 15-8)。

***正会員 安芸海運(大阪市北区梅田 1-1-3)。

****正会員 神戸大学 (神戸市東灘区深江南町 5-1-1)。

*****正会員 元帝京大学。

ポットテスト、エンジン内目視等を合わせて判断してきたが、一般的には np 不溶分計測法を、A 法より微細なスラッジまで検出する B 法にすべきである。

FO にも想像以上のスラッジがある。これが FO と共に噴出されると燃焼が良くてもスラッジが火炎の中に含まれ、4 サイクル機関で FO 弁から排気弁の方へシリンダヘッド内側にスラッジが付着した例がある。重質 FO でスラッジが多くなると、LO/FO スラッジが排気系を汚し T/C(Turbo-charger)入口を詰まらせ、給気圧が低下して燃焼が悪化し、スラッジで排気弁のブローバイが生じる。従来技術で FO スラッジが排気弁にセメントのように固着した例がある。重質 FO を使う大形低速 2 サイクル機関で Clean FO System が大きな効果を示した例がある。

2. 半永久使用の研究開発

2.1 Clean LO/FO System

Fig.1(a),(b)に従来法と Clean LO System の原理の違いを示す。従来法では、原理上フィルターメッシュより大きいスラッジを引掛けて除去するが、重度に酸化が進んだ粘着性の強い LO 酸化物はフィルターに粘着し、フィルターメッシュを塞ぐ。Clean LO System では平行に配置されたフィルター紙の間を流れている間に、粘り有害酸化物がフィルター紙に粘着して除去されると共に、フィルター紙をハエ取り紙の様に、スラッジ除去能力を向上させる¹⁾。さらに LO に溶解している有効酸化物は LO と共に流出して潤滑面に吸着し、LO の潤滑能力を向上させる¹⁾。

Fig.1 Filter

開発された新型フィルターの長所は、(1)約 $1\mu\text{m}$ 以下の超微粒子は流れの中でジグザグのブラウン運動をしてフィルター紙に衝突するか微小粒子が凝集してフィルター紙に付着除去され LO がきれいになっている。(2)LO 酸化物には、(a)酸化が重度に進み、分子量が大きく粘着性が強く LO に溶けず金属を腐食させる潤滑に有害な酸化物と、(b)初期酸化物で分子量が基油 (base oil) とほとんど同じで LO に溶け、金属面に吸着して境界膜を形成し潤滑面を保護する有効酸化物¹⁾があるが、有害酸化物は粘着除去され有効酸化物が残る。

(3) フィルター紙の両面がスラッジを除去する。(4) 従来型に比べて同一体積のフィルター面積が 100~150 倍有る。(5)LO がフィルター紙の間を流れるので流動抵抗が小さく、同流量では入口と出口の差圧 Δp が従来法の約 1/10 である。

Fig.2 Filter Element

Fig.2 はこの方式のフィルター型式の 1 例である。この例では真中に穴のあるディスク状のフィルター紙が円筒型の筒の中に重ねられている。中心の穴が上下に連なって LO の出口流路になる。汚れた LO は上部入口より流れ込み、衝突板に当り半径外方向へ流れを変え、円筒内壁に沿って下方へ流れ、フィルター紙間を円筒中心に向かって流れる間にスラッジは除去される。清浄された LO は中心を通り下出口から流出する。

Clean LO System では、新型フィルターの前に構造簡単な遠心分離機を置き、予め粗スラッジを除去して新型フィルターの寿命を延長する。粗スラッジはこれの中で固化されるので、適宜これを外へ取り出す。分離機と言うよりも道具と言うべきで、スラッジ固化器と称している。細かいスラッジは、その後設置されているフィルターで除去される。 $1\mu\text{m}$ 以下のスラッジの一部分は除去されず残るが、耐焼付き荷重は向上する。

遠心分離機による従来法はスラッジと水を LO から分離しコックを開いて(水+スラッジ)を排出する。従来法の欠点は、(1)回転速度が大きいと漏止めシールが損傷する。また回転軸の首振りが大きくなる等で回転速度すなわち遠心力に限界がある。(2)そのため LO と比重差のあるスラッジ粒子でも、現状では $5\mu\text{m}$ 程度まで約 85%除去が限界の様である。(3)LO と比重差の小さいスラッジは除去出来ない。従って、LO 酸化物は除去出来ない。(4)実績ではコックからの排出物の 70~80%が LO であり、LO 清浄過程で大量の LO が廃棄されている。(5)船内汚れ作業の大部分はこの排出物処理で、乗組員の負担になっている等である。

Fig.3 に従来型遠心分離 FO 清浄装置と Clean FO System の比較を示す。従来型は遠心分離機(C)とサービスタンク(ST)から成る。Clean FO System は(1)遠心分離機の前にスラッジ粉碎機(Sludge Breaker, S)があり、(2)サービスタンクの中に浮遊吸込口(Floating High Suction, FHS)がある。

Fig.3 FO Service System

重質油では FCC(Fluid Catalytic Cracking)触媒等の固体粒子にスラッジが絡んで大きな塊と成り、FO と比重差の小さい浮き袋の様な形に成っているため、固体粒子がほとんど除去出来ない。Sはこのスラッジ塊を粉碎し、固体粒子を分離除去出来る様にする。

従来法のサービスタンク(ST)は、底部に近い所から FO がエンジンに供給されるが、ST の下部にはスラッジが多い。荒波等のショックで下部のスラッジが浮上り、エンジンに入ってトラブルになった例がある。Clean FO System では、ST 内に FHS をフレキシブルで支え、タンク上面の clean FO が FHS 外周の穴から FHS 内に流入しエンジンに供給される。

2.2 研究開発経過の概要

ここでは公表された報告で R&D の経過を示すが、まず、半永久無解放につながる信頼性向上が、本 R & D のテーマの一つである事を示す。Clean LO System 装備の 4 サイクル機関で LO の np 不溶分 $\leq 0.1\%$ で LO の半永久使用が可能であることを実証し、従来 system 装備に比べてピストンやピストンリング交換が非常に少ない結果になった²⁾。また長期間で固着したスラッジは通常のフラッシングで除去できないが、化学薬品を用いるフラッシングにより約 30 分で除去できる事を示した³⁾。実機で使用した LO では耐焼付き荷重が 使用油 > 新油 である事も分った⁴⁾。

Clean LO/FO System 装備の 4 サイクル機関は軸受や T/C を含めエンジン全体がスラッジ ≈ 0 で摩耗が非

常に少ない事を確認した⁵⁾。FO, LO, HO (hydraulic oil) にも予想外のスラッジがある事や排気弁にスラッジがセメントのように固着していた例や、従来 LO システムではメタル裏面にスラッジが不均一に分布し、その上でメタルがくり返し荷重を受け、うろこ状の薄片にはく離するが、Clean LO System で LO スラッジが完全に除去される事を確認し、さらに clean FO で 2 サイクル機関 TBO の大幅延長が示され⁶⁾、これらの結果を基にエンジンの半永久使用を予測し⁷⁾、Clean LO System 装備の 4 サイクル G/E の実船試験(8 年)で半永久使用を検証した⁸⁾。パワーショベルの作動油系に新型フィルターを装備し、メーカー補償トラブルを出荷台数の約 9% からほぼゼロにした例もある⁹⁾。さらに clean LO で多種の LO を統合し理想的 TBN ≈ 0 の理論と技術を示し¹⁰⁾、目下その実船試験の中、本報で半永久無解放の提案となった。

3. 信頼性向上の研究開発

ここでは 3.1~3.9 に代表的な報告を時系列で各節に 1 つ取り上げ、主な内容を述べて主題に関する経過と要点を示し、続いて現状を示す。

3.1 LO 半永久使用、廃油 ≈ 0 の実船試験²⁾

Fig.4 Field test comparing LO systems²⁾

Fig.4 は LO 半永久使用を検証のため、同じ仕様のエンジンを搭載した 3 隻の同型船を np 不溶分(A 法計測)で、(1) LO 清浄無し、(2) 従来型、(3) Clean LO System を比較した。無しでは 2,400h、従来型では約 6,000h で np 不溶分 $= 1.5 \sim 2.5 \text{ wt}\%$ で LO 交換されたが、Clean LO System では試験中もその後も、np 不溶分 $\approx 0.1\%$ で LO もエンジンも清浄に維持され、LO 交換無しで半永久使用を実証した。

他に 2 台の 720rpm 小形エンジンで運航費節減のため C 重油を使用し、同航路を 16,000h 就航中に、Clean

LO System 装備のエンジンはピストンとリング交換が 0 と 159, 従来システムでは 13 と 239 であり, clean LO が信頼性向上になる事を実証した. この結果がエンジン半永久使用と半永久無解放への出発点である.

3.2 固着スラッジ短時間除去のフラッシング³⁾

約 20 年使用のエンジンに通常フラッシングの後, Clean LO System を装備し, 固着した LO の溶出で LO が汚れる前に新型フィルターを度々取替え, clean LO に維持されるまで約 5 年要したが, 別の工場実験で新フラッシング法で固着スラッジを約 30 分で除去.

3.3 Clean LO System で使用中に LO 性能向上⁴⁾

日産化学富山工場の計測で Clean LO System で, 使用油の耐焼きつき荷重が新油より約 25% 大きい結果が得られた. これは軍関係で古くから経験的に知られていた様であるが, 一般には殆ど知られていない.

3.4 Clean LO/FO System で摩耗減少⁵⁾

FO には微細な固体粒子を核に, 比重が FO とほぼ同じの大きなスラッジ粒子があり, 従来法では除去できないが, Clean FO System で完全に除去されており摩耗は非常に少ない.

3.5 Clean LO/FO による信頼性向上のデータ⁶⁾

この報告は信頼性向上を示す実機データの集大成として良い. その中で Fig.5 の FO, LO, HO スラッジ写真を示した. また Clean LO /FO System 装備の大形低速 2 サイクルエンジンで, 4 年 21,000h 後のシリンダライナーで摩耗≒0 等の報告が有る.

Fig.5 Sludge in FO, LO and HO⁶⁾

3.6 エンジン半永久使用を論ず⁷⁾

以上の結果を基にエンジン半永久使用を論じた. ここでは従来システムと, Clean LO/FO System によるエンジン外観, シリンダヘッド, クランクケース, 軸受等の比較写真を示した.

3.7 エンジン半永久使用を実船試験で実証⁸⁾

前記エンジン半永久使用の予測⁷⁾ は, Clean LO または Clean LO/FO System 装備の個々のエンジン, または数台の比較試験の結果による予測である. ひまわり 5 では, 1 隻の船で計画的な長期の実船試験で, 摩耗≒0, 熱効率≒const. の半永久使用を実証した. Table 1 に示す通り約 10 年で部品交換代金が約半分であるが, 冒頭で述べた様に交換工事費用が部品代よりやや多い.

3.8 Clean な作動油で, トラブル≒0⁹⁾

油圧機器の作動油 (HO, hydraulic oil) にも想像以上のスラッジがある. ST 社 (文献 9 参照) のパワーショベルでは従来型の清浄法で, 出荷台数の約 9% にメーカー補償のトラブルが発生していたが, 新型フィルターだけの装備で約 0.3% になった. 油圧機器ではエンジンのすすの様なスラッジ発生が無いので, スラッジ発生率より除去率が大きく, HO 中のスラッジ粒子数は, 使用 HO < 新 HO になる. LO の焼きつき荷重が, 使用 LO > 新 LO になる様に, 使用 HO の方が品質が良くなる.

3.9 LO 統合と TBN≒0 の理論と技術を発表¹⁰⁾

LO の種類は無数である. その原因はたとえばエンジンオイルでは, 主にスラッジ障害に対処するため, 約 10 種の化学薬品と base oil の組み合わせで LO が調合され, 各 LO メーカーに夫々多くの種類の LO がある事による. スラッジがなければ, 流体潤滑の基礎式 $\partial P / \partial x = \partial (\mu \partial u / \partial y) / \partial y$ から, 粘度 μ だけで種類分けするのが正しい. また発生する酸による腐食摩耗を防止するため LO のアルカリ価は, 時間 dt に酸 dA が発生し, これを中和する dB があれば常に中性の $TBN=0$ が理想である. 実機テスト済みの $TBN=0$ の技術と, LO 統合システムの 1 例を示した.

3.10 エンジン半永久使用へ改造船で LO 統合と $TBN=0$ の実船試験中

安芸海運 (株) の既就航船に Clean LO System を装備し, 2 サイクル主機のシリンダ油とシステム油及び 4 サイクル補機のシステム油を共通 LO にする準備段階の実船試験中である. この試験では, M/E と G/E の 2 種のシステム油を統合し, 2 サイクル主機のシリ

Tab.1 "HIMAWARI 5" G/E Parts Cost Record from 2003 to 2013 (単位: 千円)

		数	PS	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	合計
ヤンマー	6N21	2	1,319	522	2,965	522	522	556	8,621	522	3,052	522	522	8,835	26,637
	推奨交換	8N21	2	1,768	696	3,952	696	696	741	11,491	696	4,068	696	696	35,508
	部品金額	計	4	6,174	1,218	6,917	1,218	1,218	1,297	20,112	1,218	7,119	1,218	1,218	62,145
ひまわり 5 実績	6N21	2	1,319	0	85	0	1,016	247	398	2,861	730	930	3,013	861	10,141
	8N21	2	1,768	0	1,448	0	3,996	2,817	664	924	1,341	972	1,071	5,239	18,472
	計	4	6,174	0	1,533	0	5,013	3,064	1,062	3,765	2,071	1,902	4,084	6,100	28,613

シリンダ油(Main Engine)を半永久使用とし、更に新型フィルターに中和剤等の添加剤を染込ませ、 $TBN \approx 0$ の実船試験を2014年6月13日に開始、目下好調に就航中である。

3.11 R&D 哲学でエンジン半永久無解放へ前進

本技術発明者のR&D哲学は借水思考、即ち、未来の子孫から借りている水(資源)に $+\alpha$ して返す事であり様々な試みをしてきた。機械はそのひとつで、廃棄物 ≈ 0 であり、半永久無解放で一步前進となる。従来はTBO(Time Between Overhaul)を決めて一定時間毎に解放している。しかしclean engineでは異状があれば解放(手術)するが、健康体は手術しないのが科学的であり、借水思考に沿っている。

Clean LOで10年以上就航中のひまわり5では、その間磨耗 ≈ 0 であるが、最近、シリンダライナトップリング位置の階段状磨耗(step wear) ≈ 0 を確認し、clean engineの効果を改めて認識した。これが本報を講演時の長期無解放から一步進めて半永久とした理由である。

4. Monitoring Systemの整備

Clean LO/FO Systemの特徴の一つは原理が簡単で効果大きいことである。その象徴が新型フィルターである。モニタリングも通常は外観目視で良い。

4.1 Monitoring は大別して外観目視、ふたあけ内部目視、通常計測、異状検知の4種

(1) 外観目視では、給排気弁棒の周囲、LOをビンに入れたものやスポットテスト等でごみがないか目視チェックする。医者が顔色や目等を見るのと同じ。

(2) ふたを開け内部目視では、クランクケースの外板やシリンダヘッドを外して、汚れていないか、FO弁からスラッジが出ていないか、ピストン等が汚れていないかをチェックする。口の中や舌を見ると同じ。

(3) 通常計測では、np不溶分(B法)、粘度 μ 等の計測がある。FOがLOに混入するとClean LO/FO Systemでは μ が下がる。従来法では、FOとLOの組合せが悪いとスラッジが発生し μ は上昇する。この計測は、人間の体温、血圧、BMI等に相当する。

(4) 異状検知では、LOのFe分析や適正注油率、正常/異常磨耗のモニタリングがある¹¹⁻¹⁵⁾。また、2サイクル機関のライナ/リング磨耗Wを、FOの硫黄分Sと残炭C及びライナから取出したLOサンプル中中和値Bの関数として $W = f(S, C, B)$ の実験式を得ているR&D¹⁵⁾もあるが、何れにしてもドレンにFeが多いと異状磨耗と判定する。人間で血液分析、レントゲン写真等で異状があれば手術するのと同じ方向で、モニタリングについてはかなりのR&Dがある¹¹⁻²²⁾。

4.2 スポットテストの注意点

Fig.6(a)に示す様に、分散剤が中程度までは新型フィルターでLOスラッジはほぼ完全に除去され、スポットテストは新油とほぼ同じである。Clean LO Systemの実機LOでは使用LOと新LOのスポットテストはほとんど同じものの²³⁾があるので、前報¹⁰⁾でClean LO Systemでは、使用LOと新LOのスポットテストはほとんど同じとした。しかし強い分散剤があると、スポットの最も外側までスラッジが広がり、使用油と新油スポットテストは同じでない。Fig.6(b)に例を示す⁶⁾。

Clean LO Systemで使用中/使用後のLOは、熱分解したLO分子等が新型フィルターで除去されず、外観は黒いものの分散剤が強くなければFig.6(a)清浄後の様にLOは綺麗で、耐焼付き性能は向上している。

Fig.6 Spot test of a diesel engine⁶⁾

4.3 モニタリングの注意点

2サイクル機関で、システム油がシリンダドレンに5~50%¹¹⁾や10~70%¹²⁾の広い範囲の混入が見られる。これで残留BN値が低くなるとシリンダ内は腐食環境との印象を与え、実態は正常でも異常と判定される。システム油の混入比は、システム油には有るがシリンダ油に無い添加剤中のメタル分を計測し判断する¹¹⁾。

5. 今後の課題及び新旧システム比較の補足

今後の課題であるが、この技術は次に示す様にユーザーの経営、労働、環境等に良い事づくめである。(1) FOとLO消費量低減と、部品交換大幅低減による運航費低減、(2)トラブル減少と半永久無解放による稼働率向上(3)エンジン半永久使用と、LO統合による船内構造の簡素化での初期投資低減等の他に、(4)船内汚れ作業の大半を占める廃油処理作業が少なくなる、(5)船内手直し作業の大部分を占める排気弁手直し作業が少なくなる、(6)LO統合で管理が容易になり、間違いによるトラブルの減少等がある。(1)~(3)の運航費と初期投資軽減はエンジンが大きくなるほど大きいと予想され、これが実用拡大を促進して現場経験

が多くなり、半永久無解放を促進するであろう。

次に、従来法と Clean System の比較を補足する。

(1) 従来法ではモニタリング R&D でも LO が経時劣化しているため、本技術へ応用する際は要注意。

(2) FCC 系 FO の触媒粒子によるトラブルも少なくない様であるが^{12~14)}、その原因が、2.1 の Clean FO System で述べた様に、触媒粒子にスラッジが絡んで、FO と比重差の小さい大スラッジ塊になっている事が理解されていない様である。

(3) Clean LO System による LO 統合理論¹⁰⁾では、LO 粘度 μ による機械効率 η_m への影響は余り無い事を次元解析で示した。他方、現在の高出力エンジンの高いシリンダ温度では、LO の種類による μ の差はほとんど無いとされている¹⁶⁾。スラッジ量に差がある従来法で μ に差が無ければ、Clean LO System では一層 μ の差は無いと言える。

(4) LO に関する R&D では LO 統合が究極目標のひとつとする言及が有るが²⁴⁾、Clean LO/FO System は、既にこれを完成しつつある。

6. おわりに

(1) 本技術は LO 潤滑と油圧作動の機械全般に適用できるが、本報では船用を重点にした。

(2) 3.11 でライナの step wear ≈ 0 を示した。さらに、内航船“ひまわり 5”でシリンダ注油の約 30% がドレンであった。これは、注油の約 70% の一部は掃気ダクトに入るが、残りは LO の燃焼と熱分解によるスラッジ化や蒸発等で、FO スラッジと共に排気中に放出される。これは PM 増加を意味する。他方、陸上エンジンで LO 添加剤 ZnDTP がガス浄化の 3 元触媒を劣化させるとした代替添加剤 R&D 報告²⁵⁾や、船用で SCR(Selective Catalytic Reduction)への添加剤の悪影響に対応する R&D²⁶⁾もある。本技術はこれ等の問題も改善する。

(3) 理論上、従来型の遠心分離機を Clean LO System の前に配置すれば、新型フィルターに水が入り、その寿命を縮め、LO の水分も多くなる。“ひまわり 5”では、従来法装備のシステムに Clean LO System を追加した配置になっていたのでもたまたまこれを確認した。

(4) “ひまわり 5”で、最近誤って Clean LO System を 3 ヶ月間不作動にして、エンジンの汚れが進み、同じエンジンで Clean LO System と従来システムの比較データが得られた。(2)~(4)は何れ報告する。

(5) 潤滑面焼付きの前兆として温度上昇²⁷⁾があるが、負荷を下れば自己修復すると考えられる。この前兆を、振動の形で取出す事も可能かもしれない。他方、消費電力とコストが非常に低い新世代型近距離無

線通信の R&D(Zig Bee 法, etc.)が進められている様であり、これ等より、焼付きの前兆を捉えるモニタリングの R&D が考えられる。

(6) Clean LO System による信頼性向上と、新型フィルターに添加剤を浸み込ませるのは早くから報告^{2,28,29)}している。

参考文献

- 1) 佐々木徹, 油空圧技術, 連載 6~8, 1996.11~97.1
- 2) 東忠則ら, 日本船用機関学会誌 (船機誌), 35-3 (2000-3), pp.178~189
- 3) 住本守央ら, 船機誌, 34-1 (1999-1), pp.33~40
- 4) 東忠則ら, 船機誌, 36-4 (2001-4), pp.48~54
- 5) 住本守央ら, 船機誌, 35-8 (2000-8), pp.562~570
- 6) Morio SUMIMOTO and Tadanori AZUMA, Proce.of the 7th ISME, Tokyo, October 24th to 28th, 2005, P.No.33-3.
- 7) Morio SUMIMOTO, Masataka HASHIMOTO and Tadanori AZUMA, ISME 2009, BEXCO, Busan, Oct. 2009
- 8) Masataka HASHIMOTO, Tadanori AZUMA, Morio SUMIMOTO and Kanji MITSUDA, JSAE 2011-01-2113.
- 9) 東忠則ら, 日本油空圧学会論文集, 31-3, (2000-5), pp.7~11
- 10) 東忠則, 橋本正孝, 住本守央, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 49-3 (2014), pp.29~34.
- 11) Paul Harrold et al., CIMAC 2013, Shanghai, No.82
- 12) Lue Verbeeke et al., CIMAC 2013, Shanghai, No.120
- 13) Matthias Winkler, CIMAC 2010, Bergen, No.35
- 14) 安岡茂雄, 日マリ誌, 48-2 (2013), pp.59~63
- 15) M.Miyazaki, S.Takeshima, S.Okushima and M.Tanaka, CIMAC 1993, D27, pp.1~16
- 16) 羽根田誠, 他 4 人, 日マリ誌, 44-2 (2009), pp.93~98
- 17) 椎原裕美ら, 日マリ誌, 44-2 (2009), pp.19~27
- 18) 稲住元気, 日マリ誌, 46-2 (2011), pp.40~49
- 19) 竹島茂樹, 日マリ誌, 48-2 (2013), pp.47~52
- 20) 藤井幹, 日マリ誌, 48-2 (2013), pp.64~66
- 21) 吉村考一, 日マリ誌, 48-2 (2013), pp.67~70
- 22) 三輪誠, 日マリ誌, 48-2 (2013), pp.77~82
- 23) 橋本正孝ら, 日マリ誌, 41-2 (2006), pp.125~132
- 24) John Smythe and Georg Bleimshein, CIMAC 2013 Shanghai, Paper No.94
- 25) JEFFREY M. GUEVREMONT et al., Tribology Transactions, 51:324-331, 2008, pp.324~331
- 26) Peter Van Hauten et al., CIMAC 2013, Shanghai, Paper No.108
- 27) 澤田弘, 土居良規, 階戸秀雄, 潤滑学会秋季学術講演会論文集, B-36, pp.293~296
- 28) 東, 住本, 木村, 船機誌, 33-6 (1998-6), pp.406~411.
- 29) 東, 住本, 木村, 日マリ誌, 38-10 (2003-10), pp.25~31.