“東栄丸”主機関全ピストン 3 年間 無開放達成について*

山本修身** 檀上裕二** 御 卒 強**

M/T “TOEIMARU” Three Years’ Operation without
Overhauling any Piston of the Main Engine

By Osami Yamamoto, Yuji Danjho, Tsuyoshi Misao

On March 1976, M/T TOEIMARU, 36000 Dead Weight tanker succeeded her three years of operation with none of her main engine piston’s overhauled in that period and is now challenging four years non-overhaul operation.

Cylinder liner wear rate during the period is 0.02–0.03mm/1000hrs and estimated piston ring wear is 0.05–0.15mm/1000hrs at the top ring.

In this paper, the detail of operation and inspection results and also improved points for the long term non-overhaul operation is reported.

1. はじめに

船用大形ディーゼル機関の保守整備項目の中で、重要な部分を占めるピストン開放整備および主要軸受の開放作業は、作業時間、要求される作業員の熟練度および特にタンカーにおける荷役中のデッドシップ禁止等の制約を考えると、ドック期間中に行うことが最も好ましいといえる。一方、最近の各船のドック間隔は1年半から2年に達しようとしており、ドック期間中の船体関係工事量とのバランスを考えると、一回のドック期間中に行える機関整備作業は機関全体の半分のシリンダ程度と考えるのが妥当である。よって、ピストン開放を含む上記整備間隔は3年ないし4年に延長することが要求されてくる。このような状況のもとに、タンカーの主機関を対象として長期無開放運転達成を目標として、船主、造船所、機関メーカ、潤滑油メーカの4社が共同して行った開放期間延長テストの結果を以下に報告する。

2. 対象機関について

本テストの対象船である36,000重量トンのタンカー東栄丸（昭和48年3月15日就航）の主機関三井B&W 6K 84 EFの要目を表1に示す。K 84 EF形機関は昭和43年秋に一番機を完成して以来、東栄丸就航まですでに37台、358シリンダの就航実績を有する。安定した機関の一つであった。

表1 三井B&W 6K 84 EF 要目

機関形式	三井B&W 6K 84 EF
気筒数	6
シリンダ内径	840 mm
ピストン行程	1,800 mm
出力 (MCR 負荷時)	15,500 BHP
回転数 (MCR 負荷時)	114 rpm
平均有効圧力 (MCR 負荷時)	10.2 kg/cm ²

3. 長期無開放達成するために行った改良点

長期無開放を達成する上で軸受類は、クロスヘッド軸受にオーバーレイを昭和41年から標準として採用して以来、軸受類の事故率は皆無に等しいものとなり全く問題ないが、問題となるピストン開放間隔を左右するシリンダライナおよびピストンリングの摩耗率は図1に示すごとく分布していた。この図からピストンリングとシリンダライナの摩耗率の比はほぼ10:1という傾向はうかがえるが、データのバラツキが大きく長期無開放を達成する上で安定性を欠ききらいがあった。この摩耗率のバラツキを小さくし、安定した摩耗率を得るために、下記の実績にもとづく改良が行われた。

3.1 シリンダライナ材質 従来使用されてきたシリンダライナ材は、パンチット鉄のはいたいわゆるチタン・バナジウム鋳鉄であるが、このライナ材の場合は、K-EFクラスの高出力機関になると、ピストンリングおよびシリンダライナ摩耗の点で、図1に示すごとく、やや不安定な面が出てくるので、この材料にかわる新しいシリンダライナ材を求めているいろいろの研究、開発を行った。この中で当時自動車用小形機関にて、シリン

*原稿受付 昭和51年12月1日

**正会員 三井造船(株)玉野造船所(玉野市玉3-1-1)

注) 摩耗率はシリンダー毎の最大値を示す。

シリンダーライナー摩耗は初期摩耗を含めた値である。

図1 シリンダーライナー材質と摩耗率の関係
三井B & WK 84 EFの実績

ダライナ摩耗性能の非常に優れていることが確認されていたボロン入り鋳鉄が有力候補に上がり、この材料の大形船用ディーゼル機関への適用を計画し、約2年にわたり安定した材料組織、材料強度を持つ大形シリンダーライナの鍛造技術を開発、完成させると共に、さらに、3~4年にわたり小口径機関から順次大口径機関へと適用範囲を広げ、図1の黒丸印に示すごとく、ピストンリング摩耗に関して、大形機関においても非常に優れていることが確認されつつあった。今回の長期無開放テストに際し、以上のような背景のもとに大形機関へと順次適用範囲を広げつつあったボロン入り鋳鉄(日本ピストンリング社商品名としてターカロイと呼称されている)を本機関にも採用することを決定した。以来このボロン入り鋳鉄を三井B & W機関全機種にわたりシリンダーライナ材として標準採用し今日に至っている。

3.2 燃料清浄系統 在来の遠心式清浄機に替り、最近いろいろのメーカーが機械式フィルタを開発しており、当社においても船主要望により、これらの機械式フィルタを装備した船が建造されている。これらの各船の就航実績を調査してみると、遠心式清浄機を用いている場合と比較して、シリンダーライナ、ピストンリング摩耗が図2に示すごとく増加していることが判明した。現在まで本件に関して、2,3の調査報告がなされているが、明確な原因は判明していない。しかし、燃料清浄方法によりシリンダーライナ、ピストンリングの摩耗が影響されることは明白なので、本船の清浄系統は図3に示すごとく配

シリンダーライナ摩耗率

ピストンリング摩耗率

図2 遠心式清浄機にかわる特殊フィルタを用いた場合の摩耗率
(三井B & WK 74 EFの実績)

図3 燃料油移送および清浄管系

慮をはらった。すなわち、両舷にリザーブタンクを設け、左舷燃料タンクはセッティングタンクと兼用させてシステムを簡略化した。C重油の清浄は連続清浄方式とし、燃料サービスタンを大容量とし、ハイサクションを高くしても十分余裕のあるものとした。さらに、燃料セイボールタンクの油は廃油焼却炉にて焼却する系統にし、性能を低下させる要因となり得るものは再使用しないようにした。

3.3 冷却海水系統 高出力機関においては、掃気圧力の上昇に伴い凝縮水の発生が問題となる。この対策としてK-EF形機関よりさらに高出力化されたK-GF機関においては、掃気冷却器後にウォーターシストキャッチャを取付け掃気中の凝縮水のほぼ85%を捕獲し機関外に排出するように設計されているが、本機関においては掃気冷却器の冷却海水入口温度を一定にし、凝縮水の発生を防止するように配慮した。すなわち、掃気冷却器

海水入口温度を掃気の露点 $-5\sim-8^{\circ}\text{C}$ 以内に保てば凝縮水の発生を防止出来ることが実験上確かめられている。これをK84EF機関にあてはめると、掃気圧力:CSO時:1.85ATA, 吸入空気温度: 35°C , 吸入空気の相対湿度: 50% とすると、海水入口温度は $25^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$ となり、通常の航路における各船の掃気冷却器入口海水温度と比べ、かけはなれた値ではないことがいえる。以上のことから本船の冷却海水系統は自動温度調節を用いた 図4に示すごとき配置とし、掃気冷却器前の海水温度を 25°C に一定に保つように設計された。

3.4 潤滑油

イ) シリンダ油 C重油運転を行うディーゼル機関のシリンダ油として酸中和能力を有するシリンダ油が開発されて以来、シリンダ油の開発は、この酸中和能力をいかに向上させるかに重点が置かれて来たようである。しかるに、最近の高出力機関においては、ピストンリング域およびシリンダライナしゅう動面の汚れが目立ちはじめ、これらの汚れがピストン開放間隔に及ぼす影響を及ぼすか問題視されていた。当社製機関において、この汚れとピストンリング摩耗率の関係を調査してみると、図5に示すごとく汚れの多い機関では、ピストンリングの摩耗率が大きくなる傾向が表れている。この対策として、本テストに参画した日本石油は、将来のディーゼル機関用シリンダ油開発の一つの布石として、清浄分散性能を特別に考慮したシリンダ油を試製し本機に用い、在来の市販油と比較テストを行うこととした。

ロ) システム油 ピストン長期無開放を達成するためには、ピストン冷却効果を良好な状態に保ち、ピストン過熱によるピストンリング固着、折損およびピストン冠の焼損を防ぐ配慮が必要となる。三井B&WK形機関用システム油として、イ) ピストン冷却面のカーボン付着防止、ロ) 軸受材の有機酸による腐食防止、ハ) ピストン棒スタフィングボックスドレン油の船内管理の簡略

図5 シリンダライナしゅう動面の汚れとピストンリング摩耗の関係

化、を目的として高温安定性の優れたアルカリシステム油を用いることを推奨して来たが、今回のテストに際しアルカリ価12の高性能システム油を使用することとした。なお、燃料系統の場合と同じように性能を低下させる要因となり得るものは再使用しないこととし、L.Oセイボールタンクの油はボイラ燃料として使用する系統とした。

3.5 保守整備体制 東栄丸を含む3隻のシリーズ船は日本石油喜入製油所を中心に運航しているため、船主は陸上要員による保守整備体制を採用することを決定し、イ) 排気弁、燃料弁を含むシリンダカバー付き諸弁の開放整備、ロ) クランクケース内点検、ハ) 冷却器、フィルタの掃除、等の一切の整備作業はあらかじめ決められた手入間隔にもとづき陸上整備員の手で行われることとなった。

4. 就航実績

本船昭和48年3月15日常石造船にて引渡し完了後直ちに就役を開始し、昭和51年3月14日をもって全シリンダピストン3年間無開放の記録を達成した。その後もこの無開放記録は延長されており昭和52年3月に達成される4年間無開放の記録に現在も挑戦中である。以下に昭和51年3月14日に達成した3年間無開放までの実績をまとめる。

4.1 3年間の運転記録 本船は日本石油喜入製油所を基地として、室蘭、新瀉、横浜等の製油所への原油の二次輸送に就役している。このため通常航海は積地にて半日停泊、約2昼夜航行、揚地にて1日停泊というパターンを取り、ベルシャ湾日本間に就航する一般のタンカーと比べると特異な就航形態をとっている。すなわち、年間の運転時間は約4,500時間と短い、出入港回数は130回と著しく多い。この3年間の具体的な運航状況は下記の通りである。

主機総運転時間:13,400時間、積算回転数:8,100万回転、航海回数:168航海、入港回数:392回、事故発

図4 冷却水管系

図 6.1 主機運転状況

図 6.2 主機運転状況

図 7 東栄丸主機燃料油性状 (日本石油M-951 Fuel oil)

生件数：機関停止を伴うもの：0件／3年間，機関減速を伴うもの：1件／3年間。

4.2 運転状況 就航開始より3年間の主機運転状況を図6.1, 6.2に示す。この図より主機関は3年間十分安定して運転されているといえる。

4.3 使用燃料油 使用油はインターミディエイト No.10 相当品であり，その性状について図7に示す。なお，燃料配管系統の特徴であるセtringタンクの省略による弊害はなんら見いだせなかったことを付記する。

4.4 潤滑油

イ) シリンダ注油量 シリンダ注油量は推奨値の33 L/DAY/CYL. AT 110 rpmを10%ほど上回る値を目標にして図8に示すとき推移をたどっている。なお，9,000 HR時点より注油量を増加したのはシリンダライナ内面の汚れが多少みとめられたのでこの対策として行ったものである。

ロ) システム油管理 遠心式清浄機による連続側流清浄を行っている。ピストン棒スタフィングボックスドレン油はシステム油性状の経年変化を追跡調達するため意図的に再使用しなかった。このために，システム油の消費量は3年間で36.8 KLで，馬力，時間当たりで0.17 gr/BHP/HRとなりK-EF形機関の計画システム油消費量0.15 gr/BHP/HRを少し上回る値となっている。システム油の性状の推移を図9に示す。

4.5 主機関点検結果

イ) シリンダライナ摩耗 排気弁開放整備の機会を利用し，シリンダライナ内径の計測を行った。結果は図10に示すごとく，摩耗率は0.02~0.03 mm/1,000 HRである，シリンダライナの摩耗限度をシリンダ内径840 mmの0.5%としシリンダライナ寿命を単純に計算すれば31~47年となる。

ロ) ピストンリング摩耗 ピストンリング摩耗はピストン開放を行っていないため正確な値ではないが，ピストンリングの切口ギャップ寸法を，シリンダライナの掃気孔より計測し摩耗量を推定した。図11に示すごとく，トップリングの摩耗率は0.05~0.15 mm/1,000 HRである。ピストンリングの摩耗限度は生れのピストンリング幅25 mmの15%であるので，この場合，取り替えを要するまでのピストンリング使用時間は，トップリングで25,000~75,000時間となる。

図8 シリンダ注油量

図9 東栄丸主機システム油性状変化 (MDL NEW UX 30)

図10 シリンダライナ最大内径

図11 ピストンリング推定摩耗率 (トップリング)

ハ) シリンダライナおよびピストンリングの状況

シリンダライナのしゅう動面の状態はシリンダライナの掃気孔より、あるいは排気弁開放の機会に点検したが、しゅう動面への油の乗りは良好であり、また、しゅう動面の汚れは全く無かった。また、新造時加工されたコルゲート機械加工の跡は、写真1に示すごとくピストントップ位置にもまだ残存していた。ピストンリングは、シリンダライナの掃気孔から点検したが折損あるいはステック、しゅう動面のマイクロシージャもなく、シリンダ油の乗りも良好であった。ピストン冠リング棚のデボジット付着状況は、写真2に示すごとく3年間という使用時間から見ると良好な状態にある。

ニ) ピストン冠焼損量 ピストン冠の焼損量は0.5mm以下であり、燃焼状態の良好なことおよびピストン

写真1.1 ピストントップ位置付近

写真1.2 掃気ポート付近

掃気孔よりトップリング付近を写したもの
写真2 ピストンおよびピストンリング

冠冷却面へのデボジット付着の少ないことを物語っている。なお、具体的な状況は4年目の主機関開放時点において明確に判明されると考える。

ホ) クランクケース内主要軸受 主要軸受(主軸受, 推力軸受, クランクピン軸受およびクロスヘッド軸受)も3年間無開放のままであるが、クランクケース内自体は非常にきれいであり、各軸受間隙の変化、ホワイトメタルの流出などもなく、各軸受とも良好な状態にあるものと判断される。

5. ま と め

東栄丸は昭和51年3月14日に3年間全シリンダピストン無開放および全軸受無開放の記録を達成した。今までも長期ピストン無開放という記録はいろいろあるが、全シリンダ3年間無開放記録は本船がはじめて達成したものである。本テストにたずさわった一員として、この記録が今後、十分な信頼性をもって他船において再現されるにはどうすべきか考察してみたい。

3項で述べた長期無開放達成のためにに行った改良点のうち、燃料清浄系統と冷却海水系統の2項目は、新造当時から計画されれば容易に採用出来る。シリンダライナ材質および潤滑油についても同一品質のものを採用することになんら問題ない。すなわち、東栄丸と同一のタンカーを建造することは容易であるが、この船で再び3年間無開放を達成するにはどのような点に特に配慮を要するべきか検討してみる。まず、一番にあげる項目として燃料油がある。燃料油に関しては、清浄方法を含め良好な燃焼をなさしめ摩耗、腐食をいかに最小限におさえるかいろいろの研究が行われているが、C重油という広範な性状をもつ燃料油の特性を本船に供給されるためには把握することは困難である。東栄丸の場合は、図7に示すごとく比較的安定した性状の燃料油を用い、しかも、燃料供給者を一定にし、出来るだけ均一な燃料油を使用するよう配慮され、本船就航初期に異常が起こらなければ、その後同一燃料油を用いることで燃料油自体に起因するであろう性能低下を除外出来た。つづいて、燃焼管理についてはB&W形機関はユニフロスカベンジング方式を採用しているため燃料不良を起こしにくい特質をそなえているが、さらに船主側の保守整備体制もこの燃焼管理を重視し燃料弁アトマイザおよびスピンドル、スピンドルガイドは一定期間使用後廃却する方針を採用した。また、掃、排気系統の保守も掃気冷却器、過給機の掃除を適正に行い、これらを常に良好な状態に保つことに十分なる配慮をはらった。最後に万一異常が発生したとき早期に発見し適切な対策を施行し大事に至らないようにするため、機関メーカ、潤滑油メーカの技師が定期的に訪船し本船乗組員および保守整備員と共同で点検を行い、異常を発見した場合、直ちに適確な対策を施行出来るような体制を整えている。すなわち、燃焼という不確かな部分の多い分野に対し、十分な考慮を払い管理体制

制を整えた。そして、機関に現れる摩耗および腐食現象を各メーカーのスペシャリスト達により確認または必要に応じ対策を講じ燃焼不良に基づく、摩耗腐食、焼損事故を未然に防いで来たことが長期無開放を可能にした大きな要因だったと考える。さらに今後の課題としては、機

関自体の信頼性と耐久性を向上させるために、摩耗という関連因子の多い不確かな現象を一つづつ明確にして行く地道な努力が必要であると同時に、運転中の機関で起こるであろう異常を早期にしかも定量的に計測する技術の開発も必要のものであると確信する。