三菱UEディーゼル機関のピストンリングとシリンダライナ*

若 月 祐 之** 山 本 智 勝**

Piston Rings and Cylinder Liners of Mitsubishi UE Diesel Engines*

Yuji WAKATSUKI** Tomokatsu YAMAMOTO**

For more than half a century since 1955, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. has been manufacturing in-house designed large 2-stroke, low-speed UE type marine diesel engines. To date, Mitsubishi has been successful in developing new technologies and solving numerous technical problems. This history of success is not only due to company's own research efforts, but also the support and research opportunities created by many shipbuilders and shipowners. For many years they have used UE diesel engines aboard ship. Their contribution in the form of feedback, operational data and measurement records have all been especially valuable in helping the company further refine and improve their technologies.

For example, the problem of wear between piston rings and cylinder liners is a classic kind of reoccurring phenomenon. New knowledge therefore is gained each time this problem is tackled. Recently, the demands placed on diesel engines have greatly grown: larger engine output, compact engine size, lower speeds, longer strokes and lower quality of fuel used. Users are always looking for a more economical, reliable and environmental friendly engine.

In this paper, we will introduce the most recent technical information regarding the piston rings and cylinder liners of Mitsubishi UE Diesel Engines, and also provide some background on the development of these technologies.

1. はじめに

三菱重工業(株)が自社開発している船用大形低速2ストロークの三菱UE型ディーゼル機関は、1955年の開発開始より既に半世紀以上が経過し、これまでに種々の技術開発を経て、多くの技術的課題を解決してきた。この歴史は、単に三菱重工業という一企業の努力と研鑽の賜物というだけではなく、三菱UEディーゼル機関をご採用頂いた多くの造船所、更に三菱UEディーゼル機関の運航・メンテナンスに従事されている多くの船主、オペレータの技術者(エンジニア)からの貴重な助言や調査の機会を与えて頂いたり、数多くの運航データや計測記録を提供して頂いたりしたことが大きく貢献していることは間違いのない事実である。その中でも三菱UEディーゼル機関の長い開発の歴史の中で繰返し発生して、その度に新たな知見が蓄積されてきた代表的な事象に、ピストンリングとシリンダライナの摺動問題がある。

特に、大口径の超低速ロングストローク機関では、使用燃料油の低質化も大きく影響しているが、ディーゼル主機関への経済性に対するニーズが高く、低速・ロングストローク化し、またコンパクトで大出力化も

なされてきた。低速化するということは、燃焼時間が長くとれるためにシリンダ内の燃焼が完全燃焼に近付き、機関性能が向上する一面と、逆に燃焼火炎が十分に伸び、燃焼温度も十分に上昇するために燃焼室に与える負荷も増大するということでもある。三菱UEディーゼル機関の機関出力は、この30年程度の期間に同じシリンダ径の機種で倍増しており、これは同一の燃焼室に、熱効率上昇分を考慮しなければ、倍の燃料を噴射していることを意味している。大口径のプロペラを低速で回転することで船舶の推進効率を高めることができるため、プロペラを駆動する主機関は低速化し、ロングストローク化した。そのためピストンリングが摺動する距離(ストローク)は、往復でシリンダ径の8倍にも達している。使用燃料の船用C重油は低質化し、前処理が複雑化しただけでなく、シリンダ内燃焼における着火性や燃焼性が低下し、火炎は長くなり、狭い燃焼室ではシリンダライナ表面を火炎がアタックする心配をしなければならない状況である。しかし、大形2ストローク機関は、その熱効率がほぼ50%に達し、推進機関として比類の無い高性能を有するに至った。

本報では、三菱UEディーゼル機関の最近のピストンリングとシリンダライナに関連する技術情報を紹介し、その技術のバックグラウンドを紹介する。

* 原稿受付 平成20年12月19日。

** 正会員 三菱重工業株式会社

2. ピストンリングの仕様

三菱 UE ディーゼル機関のピストンリングの母材は、耐熱性、耐摩耗性に優れた鋳鉄を採用している。特に、一番条件の厳しいトップピストンリングには、片状黒鉛鋳鉄と球状黒鉛鋳鉄との中間的な CV 黒鉛鋳鉄が採用されてきたが、最近はますます厳しくなる摺動条件に備えるために更に保油性を考慮し、耐スカッフ性を向上した仕様となっている。(図1 参照) また、摺動表面には、特に初期の摺合せ期間における耐スカッフ性を向上するために、クロムメッキやモリブデン溶射等による非鉄金属のコーティングを施したものが一般的に採用される様になってきている。

図1 三菱UE機関のピストンリングの顕微鏡組織写真の例。
鋳鉄の組織の中に片状と球状の黒鉛が混在している
CV 鋳鉄-RIK29VMD. (写真提供：㈱リケン)

ピストンリングには、燃焼室のガスを漏らさないシール性、燃焼室の高温の燃焼に対応できる耐熱性、そして、ピストンと共に往復動をする際のシリンダライナ表面との摺動時に摩耗し難い耐摩耗性等の性能が要求されている。耐摩耗性に関しては、シリンダライナの材質や強度、表面形状等と共に、シリンダ潤滑油の性能も重要なファクターである。シリンダ潤滑油の皮膜が数ミクロンの厚みで存在していれば、基本的にシリンダライナとピストンリングが直接接触しないため、摩耗が発生せず、長期間のシリンダライナとピストンリングの使用が可能となる。

近年、機関の大出力化に伴いサイクル毎にシリンダ内に噴射される燃料の量が増大し、燃料油の低質化と相俟って、燃焼火炎が長くなる傾向にあり、大形機関では燃焼火炎がシリンダライナ表面をアタックしているものもあると考えられる様になってきている。もしシリンダライナの表面を燃焼火炎がアタックしているとすると、シリンダライナの表面に存在するシリンダ潤滑油は劣化して、油膜の強度を保つことができなく

なり、遂には油膜が切れてしまい、その部分ではピストンリングとシリンダライナが直接金属接触をすることとなる。鉄と鉄とが直接接触して擦れ合うと、鉄の表面同士が凝着してしまう。燃料噴射ポンプ等で発生するスティックと同じ現象である。しかし、ピストンは大きな力で動いているために、シリンダライナに凝着したピストンリングは次の瞬間引きちぎられる様にして移動していく。そのため、凝着した部分の材料の表面組織は筆り取られ、摺動により滑らかに馴染んできた表面はなくなり、凹凸の激しい新しい表面が出てきてしまい、更に摩耗が進んでいくこととなる。これがいわゆるスカuffingと呼ばれている凝着摩耗の概要である。三菱 UE ディーゼル機関では、このような初期段階での摩耗を回避するために、シリンダ潤滑油膜が切れる兆候を見せても鉄同士を凝着させないために、硬度の高いクロムやモリブデンといった非鉄金属材料がピストンリング表面コーティング材として選定されている。

三菱 UE ディーゼル機関に採用されているピストンリングの表面形状は、僅かに膨らんだバレル(樽)形状をしているものが一般的に採用されている。もともとは就航船におけるピストンリングの摩耗形状を調査し、長い間使用されて良く馴染んだピストンリングの摺動表面形状を正確に計測し、その得られた形状を製造時にピストンリングを研磨して作り上げ、馴染み期間を短縮しようとしたものであり、現在では一般的に採用されるに至っている。バレル形状は平面に近過ぎると馴染み難くなり、曲率を小さくし過ぎると接触面積が少なくなり、油膜形成には逆に不利になってしまう。そのため適正な曲率をつけて、接触面積を確保して油膜形成を図りながら、初期摩耗の少ない馴染んだ摺動を行うことを目指している。

図2 三菱UEディーゼル機関の就航船における解放点検時のピストンリング合口部の状況(トップと2ndのピストンリング摺動表面はモリブデン溶射仕様、UEC85LSII 機関)

近年の新しい考え方としては、トップピストンリング以外のピストンリングにも過大な負荷が分担されて掛かるために、2nd ピストンリングやそれ以下のリングにも十分な耐摩耗性が要求される。特に、長期間の使用でトップピストンリングの摩耗が進み、シール性が低下した様な状況下で 2nd 以下のピストンリングにシール性を分担させるために、これらのピストンリングにも、トップピストンリングと同様の母材や表面コーティングを採用する事例が、大形機関を中心に増加している。(図2 参照)

3. シリンダライナの仕様

ピストンリングが摺動するシリンダライナは、ピストンリングと共に重要な摺動部材であり、また、冷却水により摺動面の温度コントロールを受け持つ機能もある。また、ピストンリングはある程度消耗品的な性格があり、船舶のドック工事等のタイミングで新替えされることが常であるが、シリンダライナは、ピストンリングと比べると価格も高く、交換に要する工事も大きなものになることより、半永久的に使用するものとの見方をされる時もある。一般的には長い間に徐々に摩耗が進み、10 年程度あるいはそれ以上使用されて交換されることが多い。しかし、種々の理由により交換時期が早まることもある。

三菱 UE ディーゼル機関のシリンダライナには、硬さと柔らかさとの両面の性質を持ち、保油性に優れたボロン鉄(ターカロイ材)が母材に採用されている。シリンダライナとして必要な強度と耐摩耗性および潤滑油膜の保持能力に優れており、長く採用されてきた材料で、良好な就航実績も豊富である。(図3 参照)

図3 三菱 UE ディーゼル機関のシリンダライナの顕微鏡組織写真の例。硬いハードフェーズ(白っぽく見える組織)と柔らかいグラフアイト(黒く細長く見える組織)とが混在する組織。(写真提供：東亜工機株)

シリンダライナの摺動表面にはコルゲート加工により浅い溝が連続的に設けられており、この溝が潤滑油の保持に果たす役割は小さくない。また、大形機関では、コルゲート溝加工の境目にできる突起部分をホーニング加工によって均し、馴染み期間中のピストンリングとの摺動を一層滑らかに維持する工夫がなされている。(図4 参照)

図4 三菱 UE ディーゼル機関のシリンダライナ内面のコルゲート加工の状況 (UEC60LSE 形機関)

前述の様に、シリンダライナは冷却水により冷却されて、摺動表面を適切な温度に保持する機能を持っている。シリンダ上部に設けられたクーリングボア等の冷却部をシリンダジャケット冷却清水が通り、シリンダライナを冷却する。この冷却水により、シリンダライナ表面の潤滑油膜の温度が制御され、腐食環境を回避しつつ、摺動における信頼性を維持している。更に、ピストンリングからの熱も吸収して、ピストンリングの温度制御の役割まで受け持っている。ピストンリング摺動範囲の上死点付近におけるシリンダライナの表面温度は重要な設計ポイントであり、この部分の温度を設計値に保つことにより、ピストンリングとシリンダライナを腐食摩耗や凝着摩耗から保護していると言っても過言ではない。三菱 UE ディーゼル機関では、このトップピストンリングの上死点位置付近のシリンダライナ壁表面温度をシリンダ油の信頼性が十分確保できる温度に設定している。

三菱 UE ディーゼル機関では、シリンダライナの温度モニタリングと警報を備えたシステム T-MAS を装備することができる。このシステムは、シリンダライナに装備した熱電対による温度変動の計測によりシリンダ潤滑油膜の油膜切れを検知して、凝着摩耗等の現象が発生する前にアラームを鳴らすものであり、このアラームが発生した時点で適切な処置を講じることにより、スカuffingによるシリンダライナの過大摩耗を回避することができる。

2 ストローク、ユニフロー掃気式のディーゼル機関のシリンダライナ下部に、掃気ポートが設けてある。この掃気ポートは、燃焼室に新しい空気を供給すると同時に、スワールと呼ばれるシリンダ内空気流動を発生させて、良好な燃焼を促進する。従来から三菱 UE 機関では、CSS ポート(Controlled Swirl Scavenging)を採用し、通常の掃気ポートよりも高い掃気効率を得ることができるため、機関性能に優れ、機関の信頼性も高いものとなっている。(図5、6 参照)

図5 三菱UEディーゼル機関のシリンダライナが装備するCSS ポート(掃気ポート)の形状 (UEC60LSE 形機関)

図6 CSS ポートの効果: 左側の従来の掃気ポートよりもシリンダ内に残留する排ガス量が大きく低減する

4. シリンダ注油系

大形2 ストロークディーゼル機関のシリンダライナ上部には、シリンダ注油棒(弁)が装備されており、ピストンリングとの摺動面にシリンダ潤滑油を供給している。近年、シリンダ注油技術が飛躍的に発展し、従来のシリンダ注油システムと比較すると、シリンダ潤

滑油の消費量が大幅に低減できる様になった。以下に現在、三菱 UE ディーゼル機関が採用している注油方式を紹介する。

(1) タイミング注油

三菱 UE ディーゼル機関のシリンダ注油には、長く機械式のタイミング注油方式が採用されてきた。また、古い機種では、シリンダライナの上部に注油溝がなく、下部に溝のついているものがある。通常上部の注油溝は、シリンダ潤滑油を周方向に拡げて潤滑油の行渡りを促進するためのものであるが、溝があるために潤滑油がシリンダ内圧により押し下げられてしまい、ピストン上死点近傍へのシリンダ潤滑油の供給を阻害するという考え方もあった。古い形式の機関では大きな影響が見られなかったが、ロングストローク化、大出力化された新しい機関では、特に大口径機種において、周方向への行渡りがないとピストンリングとシリンダライナの状況はかなり厳しいものとなるため、最近の機種で従来式のタイミング注油を採用している機関では、シリンダライナ上部に注油溝が設けられている。

シリンダライナ下部の注油溝は、腐食摩耗対策であり、掃気室からの水分混入に対し、潤滑油膜の強化をすることで、油膜切れの機会を低減しようとするものである。最近の機関では、空気冷却器後流に設けられているドレンキャッチャーが大型化して性能や信頼性が向上し、また、掃気室のドレンの排水能力を向上していること等により、掃気への水分混入が原因となる腐食摩耗は低減しており、近年ではシリンダライナ下部の注油溝は採用されていないケースもある。

従来型の機械式タイミング方式のシリンダ注油は、ピストンがストロークのかなり下方にいるところで注油が始まり、ピストンが注油孔を通過する時には注油を終えていた。1 回で供給したシリンダ潤滑油を上昇するピストンリングが掻き揚げて、上死点近傍の潤滑特性を向上させていた。この方式は、長い期間にわたり採用されてきたもので、シリンダ注油器の駆動は、カム軸の回転を歯車で注油器に伝達して行われている。近年、機関がロングストローク化されて、カム軸とシリンダ上部との距離が離れたことにより、この動力伝達機構も複雑化してきた。更に、シリンダライナ上部の潤滑油供給の必要な範囲が広がると、周方向の注油点数を増加させたり、上下二段の注油配置にしたりして、潤滑油がより行渡り易い様な注油棒のアレンジが工夫された。

(2) SIP 注油

SIP注油が従来の注油方式と決定的に異なる点は、こ

れまでシリンダ壁面に低圧で供給していたシリンダ潤滑油を、シリンダライナ上部の一定の範囲に吹き付ける様に噴射する点である。ピストンリングによるシリンダ潤滑油の拡散を期待せず、注油方式でシリンダ油を供給したい場所へ供給したい量を噴射する。SIPとは、Swirl Injection Principleの頭文字をとったもので、スワールつまりシリンダ内の空気の旋回流とシリンダ潤滑油の噴射によりシリンダ内に潤滑油を供給する原理という意味になる。(図7参照)

図 7 SIP注油のベンチテストにおけるシリンダ潤滑油噴射の状況(噴射開始より15msec後)

シリンダ内にシリンダ潤滑油を噴射するため、従来よりも高圧で噴射することとなった。また、シリンダ潤滑油の温度も噴射特性に影響を与えることより重要な管理ファクターとなってきた。さらに、噴射する狙いも狂いなく設定する必要があり、筒内スワール強度とシリンダ潤滑油の噴射の強さと方向を最適なポジションに設定すると非常に効率の良いシリンダ注油を行うことができる。尚、シリンダ注油器の駆動は、従来方式と同様にカム軸の駆動であるが、伝達方式にチェーンを採用している。更に、噴射されたシリンダ潤滑油は十分な広がりをもって付着するため、ピストンリングによりシリンダライナ表面を周方向に広がらせる必要もなく、シリンダライナ上部の油溝も必要なくなった。

シリンダ内に噴射したシリンダ潤滑油は、従来注油方式に比較してピストンリングとシリンダライナの摺動の潤滑剤として無駄なく使用されるため、従来のシリンダ注油方式と比較してSIP注油方式ではシリンダ潤滑油の使用(消費)量が半減した機種もある程、経済性の高い注油方式となった。具体的には、従来シリンダ注油方式でピストンリングが掻き揚げたシリンダ潤滑油の一部はピストンリングの上面等の摺動部以外に行き、ピストンリング溝やリングランド部に納まり、潤滑剤としての仕事をしないままシリンダジャケット

のランタンスペースへ落ちてしまうものがあったと考えられる。これに対してシリンダライナ表面に吹付けられたシリンダ潤滑油は、そのほとんどが潤滑剤としての役割を果たし、無駄に噴射されたシリンダ潤滑油が少なく、従来方式よりもシリンダ潤滑油の供給量を低減してもピストンリングとシリンダライナの潤滑状態を同じ様に維持することができると考えられる。

図 8 SIP注油器

(3) ECL システム

Electronically Controlled Lubricatingの頭文字をとったネーミングの三菱重工業が開発した電子制御式シリンダ注油システムである。従来方式のタイミング注油システムを基本に電子制御化して、注油時期等を最適化した注油方式である。従来方式のカム軸による駆動方法では、カム軸をなくしてしまった電子制御機関UEC-Ecoディーゼル機関では成立しなくなったため、噴射タイミングをクランク角度信号による制御で行わなければならない、必然的にECLシステムが装備されることとなる。

ECLシステムは、従来の注油器に相当するディストリビュータと従来の注油棒に相当する注油弁とで構成されている。従来のタイミング注油方式とは異なり、注油弁は圧力により開閉する圧力弁となり、ディストリビュータの電磁弁の作動に併せて増減するシリンダ潤滑油の圧力により開閉する。シリンダ潤滑油は、ピストンリングが通過するタイミングで直接ピストンリングパッケージへ供給され、ピストンリングが掻き揚げる方式は従来と類似しているが、従来のものはトップリングのみが大部分のシリンダ油を掻き揚げていたのに比べ、ECLでは全段のピストンリングがシリンダ潤滑油を上方へ供給するために、ピストンリング上面やリング溝にあふれ出して溜まり、無駄になるシリンダ潤滑油の量が少ないと考えられる。そのためECLシステムは、SIP注油システムと同じ様に経済的なシリンダ注油を実現することができている。

図9 注油器に相当するECLディストリビュータと状態監視をする圧力トランスミッタ(上の四角いカバーの部品)

5. 掃気系

ピストンリングとシリンダライナの健全な摺動性を確保するためには、供給する空気の状態も重要なファクターのひとつである。過給機や空気冷却器の選定による適正な掃気圧、掃気温度を確保することは、従来よりなされてきた機関設定である。供給される空気は、排ガス過給機により掃気圧まで加圧され、高温になった給入空気は、空気冷却器で掃気温度まで冷却される。この際に湿度の高い海域等では、掃気は相対湿度100%となり、それ以上に含まれていた空気中の水分は凝縮して結露することとなる。その様な水分をシリンダ内部へ持込まない様に、空気冷却器の後流に掃気ドレンセパレータが装備されている。掃気中の凝縮水は水滴の状態でシリンダライナへ侵入すると考えられ、シリンダライナ表面の潤滑油膜を破壊して凝着摩耗の原因を作り出したり、燃料中の硫黄分と結合して硫酸となり、シリンダライナの腐食摩耗の原因となったりすると考えられる。そのため、近年では掃気ドレンセパレータの性能向上が提案されている。

掃気ドレンセパレータは、掃気を細い通路に通して、流れを曲げて、壁面の鉤状の突起により水滴を捕獲する構造となっている。近年では、捕獲する水滴をより多くするために、掃気ドレンセパレータの掃気流れ方向の長さを従来のものより延長している。また、掃気ドレンセパレータの捕集効率を向上するために、掃気ドレンセパレータ前の空気導管内部にガイドベーンを設けて、掃気の流れを均一化している。過去のドレン

セパレータはアルミニウム製であったが、腐食する問題があり、樹脂製に変更された。しかし、樹脂製は機関の運転操作ミス等で掃気温度が規定値より上昇する様なことがあると熱による変形を起こして掃気ドレンを捕集しなくなってしまう現象が散見されたため、現在では標準的にSUS材が使用されている。

掃気ドレンセパレータが捕集した掃気ドレンを速やかに機関外へ排出することも重要であり、これが上手くできないと折角捕集したドレンが通路の下部に溜まり、新たな水滴となってシリンダライナに運ばれてしまう。また、掃気ドレンセパレータ入口前のスペースにも水が溜まるためにドレン排出を行わなければならないが、このドレン管を掃気ドレンセパレータ下部や後流側のものと機関の外側で結合すると、上流側で捕集して排出した筈の掃気ドレンが、後流側等のドレン管を逆流して、掃気室へ噴出してしてしまうこととなる。従って、この掃気ドレン排出管のアレンジも重要な設計ポイントである。

6. 燃料噴射系・燃焼系

ピストンリングとシリンダライナの信頼性には、ディーゼル機関で使用される燃料とその燃焼状態が大きく影響する。三菱UEディーゼル機関では、使用する燃料油は基本的にISO 8217の標準に基づいている。しかし、近年の船用燃料油を取巻く事情は複雑化しており、従来の標準では判断できない性質も指摘され、関係者の議論を呼んでいるが、船用燃料油に関してここで論ずるには誌面が足りないので、別の機会に譲ることとする。

燃料を噴射する燃料噴射系は、従来カムにより駆動されている燃料噴射ポンプとその圧力により開閉する燃料噴射弁から構成されており、最近の電子制御機関に関しても基本的な構造に変化はない。燃料噴射弁は、30MPa程度で開弁して、噴射を開始するが、主噴射の部分では、80～90MPa程度の圧力となる。これだけ高い圧力で噴射するのは、燃料が燃焼室内に噴射された直後より安定した粒径の細かい噴霧となり、空気との混合を逸早く促進して、良い燃焼状態を確立するためである。そのために燃焼室内の空気は巡回流動しており、空気の純度もできる限り高められている。

前述の繰返しになるが、狭い燃焼室内での燃料噴霧が伸びて、燃料噴霧や燃料が燃焼した火炎がシリンダライナ壁面に衝突することが考えられる。シリンダライナ壁面にはシリンダ潤滑油膜が存在するが、噴射燃料や燃焼火炎により破壊されて、油膜切れを起し易くなり、凝着摩耗の原因となる。これらを防止するため

に、シリンダ内スワールや圧縮圧、燃料噴射圧、燃料噴射タイミング等とマッチした燃料噴射弁の燃料噴射方向を決定する必要がある。この燃料噴霧の燃焼室内におけるアレンジは、シリンダライナとピストンリングの信頼性を確保するだけでなく、燃料消費率を最適化し、ピストンや排気弁、シリンダカバー等の燃焼室構成部材の温度をも決定し、信頼性を確保する非常に重要な設計ファクターである。三菱UEディーゼル機関では、新機種の初号機試験において、上記の総合的な評価を行いながら燃料噴射弁の仕様を決定する試験を実施している。近年では、これにNO_x排出量のファクターも加わり、設計評価指針はより複雑になってきている。また、燃料噴射系の電子制御化により、そのフレキシビリティにも広がりを見せている。

7. 制御系・操縦系

ディーゼル機関の制御は、基本的にはガバナによる燃料調量制御である。本船からの回転数指示信号に基づき、主機関の機関回転数がその指示値になるまで燃料を増減してゆく。その時に本船の積荷の状況や気象、海象条件または経年変化等の理由により、機関負荷が重くなったり軽くなったりすることがある。機関負荷、言い換えるとプロペラ軸のトルクが過大になる時は、同じ機関回転数の通常時に比べて燃焼室内に噴射される燃料噴射量が多いこととなるため、前項でも記載した様に燃焼火炎が伸びて、シリンダライナをアタックする可能性が増大する。この様な状況を回避するために、ディーゼル機関の制御系・操縦系においてリミッタと呼ばれている制限設定値を設けて、主機関制御を行っている。

三菱UEディーゼル機関の制御系で設けているリミッタには、回転数リミッタ、トルクリミッタ、掃気圧リミッタ等がある。また、操縦系にはメカストップと呼ばれる機能もある。これらの機能は、船舶の航行の安全性を確保するためや、主機関の信頼性を維持するためのものであるが、ピストンリングとシリンダライナの信頼性においても重要なファクターとなる。これらの機関制御によって主機関が設定されたレンジ内で運転され、燃料噴射量過大や空気量不足等を起さず、正常な燃焼が得られる様になる。特に、荒天時の負荷変動や低負荷運転時の不安定性を解消することも重要である。これらの制御系・操縦系における設定と低負荷域で使用される補助ブロワの能力増強等により、低負荷運転時の燃焼により発生する燃焼残渣(デポジット)の析出が抑制されて、ピストンリングとシリンダライナの信頼性が向上した。(図10参照)

図10 三菱UEC85LSII形ディーゼル機関の運転レンジと各リミッタの設定例

電子制御化は、従来機関に装備されていた制御系・操縦系の様相を一変し、燃焼形態のフレキシビリティも増大し、ピストンリングとシリンダライナの信頼性向上にも大いに貢献している。特に、機械式ではどうしても達成できなかった低負荷域の燃焼改善は著しく、スモークが低減する等の効果は、そのまま低負荷運転域で発生するデポジットの大幅低減に繋がっている。燃料噴射系およびシリンダ注油系の最適化により、電子制御機関は従来の機械式ディーゼル機関に比べて運転調整範囲が広がり、今後NO_x排出量低減対策等のために燃焼状態を最適化できない場合でも、ピストンリングやシリンダライナの信頼性を維持し易いと考えている。

8. おわりに

本報では、燃料油に関する問題、シリンダ潤滑油に関する問題および機関の取扱いに関する問題等について、多くは言及していない。例えば、燃料油に関しても時代と共にその性状や燃焼形態が変化しており、機関設計時点で想定していなかった状況になっている例もある。三菱重工業では、この様な状況の変化に対す

る情報や特定の船舶で発生した事象等の情報は、「サービス通報」という形でユーザへタイムリーに提供されており、ユーザはこれをウェブサイトでも閲覧が可能である。

図 11 三菱 6UEC68LSE 形ディーゼル機関 (三菱重工神戸造船所)

現在の大型 2 ストロークディーゼル機関の各機種は、ユニフロー掃気式のロングストローク機関となり、かつての様にバラエティに富んだ設計の違いがなくなっているが、多くの苦労を経た設計思想であるピストンリングとシリンダライナに関しては、それがまだそれらの特徴に残っていると言える。ひとつの問題を解決しても次の設計変更時にまた別の問題が起これ、船舶の運航形態や燃料の性状等の外的な変化にも遭遇し、新たな問題が持ち上がるということを繰り返し経験してきた部品である。その様な設計的にも問題の多い部分であるが、そういった問題の歴史の積重ねの上に今日の大型低速 2 ストロークディーゼル機関が成立しているといっても過言ではない。その意味では、これまでに多くのユーザより、多くの就航データのご提供や就航船舶における試験の実施等にご協力頂いてきたことに対して、長年ディーゼル機関の開発に携わってきた者としては、この誌面を借りて大いに感謝の意を表したい。

三菱 UE ディーゼル機関のピストンリングとシリンダライナの開発の歴史には、多くの技術者が関わり、培ってきたものがある。各部品の材料の選定や基本的な技術の採用の多くは、その先人たちが確立してきた事項であり、本報に紹介している技術項目の中にも多く含まれている。これらの技術の礎の上に乗り、私達

は新しい技術開発に取り組んでいる。そのことを忘れずにいることが、しっかりとした技術開発の成果にも繋がると考えている。

9. 謝 辞

本報は、本誌トライボロジ特集号に合わせて、編集委員の川崎重工業(株)の白井 栄一 氏より発表の機会を頂き、深く感謝の意を表す。ピストンリングおよびシリンダライナの顕微鏡組織写真は、それぞれ(株)リケン殿および東亜工機(株)殿よりご提供頂き、改めて感謝する。また、原稿執筆に際してレビューや協力を頂いた三菱重工の同僚諸氏に感謝の意を表す。

10. 参考文献

- 1) 日本海事協会 船用燃料重油の難燃化対策指針検討委員会編「船用燃料重油の低質化対策指針 Version II - 難燃性燃料油対策 -」(2008.06)
- 2) 若月 日マリ学会誌 Vol.43, No.2「船用大型低速ディーゼル機関の燃料噴射系システム」(2008.03)
- 3) 若月, 渡辺, 山本 日マリ学会誌 Vol.41, No.6「過大摩耗が発生する前にスカuffingを検知する T-MAS」(2006.11)
- 4) 阪口, 山本 日マリ学会誌 Vol.40, No.2「シリンダ注油システムの最新動向」(2005.03)
- 5) 杉原 日マリ学会誌 Vol.39, No.12「環境対応ディーゼル機関 “三菱 UEC Eco-Engine”」(2004.12)
- 6) 本村, 近藤, 岡部, 下田, 幕田 三菱重工技報 Vol.29, No.3「三菱 UEC85LSII 形ディーゼル機関の開発」(1992.05)