UEC52L形船用ディーゼル機関の開発*

平山義則**・関岡信明**

Development of the UEC52L Type Marine Diesel Engine

By Yoshinori Hirayama, Nobuaki Sekioka

Mitsubishi Heavy Industries Ltd., which has been developing and manufacturing many UEC type diesel engines since 1955, completed and delivered the first 6UEC52L type engine, one of the newest L series on February 1984 as scheduled.

The L series of UEC diesel engines, based on the good experiences obtained with more than 300 H and HA type engines, has been developed and designed based on the philosophy of meeting the needs of customers, i.e., energy saving, lowest propeller revolution, high reliability and easy maintenance.

The L type engine has been designed so as to have the merits for each shipowners, crews and shipyards respectively.

This paper describes the concepts used in developing the L type engine, its main features and the test results of the first 6UEC52L engine. From the test results the UEC L type engine has been proved to have the best specific fuel consumption, as low as the designed value, and the same reliability as conventional type engines as confirmed from various measurements.

1. はじめに

当社は、独自の技術開発による三菱 UE 形機関を船用主機として、昭和 30 年以來供給し続けている。このたび、その最新シリーズである UEC-L 形機関の初号機 6UEC52L 形機関を完成した。

低燃費・ロングストローク機関として、昭和 54 年に UEC-H 形を開発、更に昭和 57 年には、出力を約 10% 増大させ、燃費を 5~6 g/ps.h 改善した HA 形を開発した。これらは時代のニーズに合致したものとして、海運界に好評裡に迎えられた。昭和 58 年までの生産台数は、H 形が 253 台、HA 形が 134 台となっており、昭和 58 年の国内主機生産実績台数の首位を占めている。

これら実績を踏まえて、このたび更に出力を 5% 増大し、燃費を 4 g/ps.h 低減した超ロングストローク・低回転の UEC-L 形機関を開発した。

図 1 に、本機関の開発経緯と特長を示す。本機関は、船主・乗組員・造船所各々にメリットがあるように配慮して開発した機関である。

図1 UEC-L形機関の開発経緯と特長

* 原稿受付 昭和59年5月10日

** 正会員 三菱重工業(株) (横浜市金沢区幸浦1-8-1)

2. 主要諸元

L形の主要諸元決定に際しては、船舶の動向と主機出力・回転数の適合性に留意し、最適のストローク/ボア比を選定した。

図2に、これまで生産されたH形とHA形の定格点を集計して示す。併せて、今後10年間位に要求される主機出力と回転数の関係の将来予測例を示す。

図2 機関出力－回転数の現状と将来予測

図3に、L形の出力と回転数範囲を示す。図2と3を比べるとわかるように、L形機関は、H形などを搭載した従来形の船舶にも適合すると共に、今後の新しい低回転仕様の船舶にも広く対応できる出力仕様としている。

表1に、L形シリーズの主要目を示す。60L、52L、45L形のストローク/ボア比は、3.17～3.0の超ロングストロークとし、回転数を低減させている。しかし、37L形は回転数よりむしろ総合経済性を考えて、従来のH、HA形と同一のストローク、回転数としている。

H形以降の燃費低減の経緯とその手法を図4に示す。燃費は過去5年間に、静圧過給化、燃料噴射系改善、最高圧力の上昇、過給機効率の向上、掃気効率の改善、ロングストローク化等により、約25 g/ps・h低減してきた。

L形の燃費は、掃気効率の改善・最高圧力の上昇・ロングストローク化・掃排気タイミング遅延による有効ストローク増大等の手段で達成している。

図5に、52HA形と52L形の断面図、主要寸法、重量の比較を示す。ピストンストロークは、L形の方が350 mm 長いにもかかわらず、小連桿比等の採用により、機関全高は500 mm、ピストン引抜き高さは360 mmの増加にとどまっている。機関全長は、クランク軸径を増大してシリンダ中心距離を縮め、さらにスラストカラー部配置の工夫により、逆に810 mm短縮している。

図3 UEC-L形機関出力・回転数範囲

表1 UEC-L形機関主要目

形式		UEC37L	UEC45L	UEC52L	UEC60L	
シリンダ数		4 ～ 8	4 ～ 8	4 ～ 8	4 ～ 8	
シリンダ径	mm	370	450	520	600	
ピストン ストローク (S/D)	mm	880 (2.38)	1,350 (3.00)	1,600 (3.08)	1,900 (3.17)	
シリンダ当り出力		PS/cyl	700	1,200	1,600	2,100
回転数	Rev/ min	210	158	133	110	
正味平均有効圧力	kg/cm ² (bar)	15.85 (15.54)	15.92 (15.61)	15.93 (15.62)	15.99 (15.68)	
機関全長	mm	4,650 - 7,535	4,650 - 7,930	5,350 - 9,190	6,100 - 10,540	
機関重量	ton	54 - 97	111 - 200	171 - 308	265 - 476	
ピストン 引抜き高さ	mm	4,770	6,600	7,700	9,030	
台板幅	mm	1,900	2,540	3,000	3,450	
燃料消費率	g/PS・h (g/kwh)	132 (179)	130 (177)	128 (174)	127 (173)

図4 燃費低減とその手法

図5 UEC-HA及びL形機関断面比較

図6 6UEC52L形機関外形図

図7 MET-SB形過給機断面図

図8 6UEC52L形機関

図6に、52L形機関の外形図を示す。L形では、過給機への接近性、作業性を考慮して、容量の許す限り1台の過給機としている。過給機は、UE機関で従来から採用している無冷却式MET-SB形を搭載している。図7に、その断面図を示す。

過給機配置については、主機関と発電機関の間のスペースを節減でき、機関室長さを数フレーム短縮できること、及び排気導管の配置が容易になるよう出力軸端側の図6の位置を選んだ。

空気冷却器についても、船外取出し、掃除等を考慮して、上段の図の位置に配置した。

図8に、6UEC52L形機関初号機の写真を示す。

3. 特 長

3.1 新形掃気方式CSS (Controlled Swirl Scavenging System) 2サイクル機関では、掃気効率が燃費、熱負荷を左右する重要な要素である。このたび掃気効率の改善を狙って開発したCSS掃気方式をL形機関に採用した。

この掃気孔の構成は、ポートの上部が掃気に強い旋回流を与える流入角度、下部が掃気を中心部に流入させる角度になっており、掃気終了時点でシリンダ内に停滞する燃焼ガス量を従来形に比べて減少することができた。

このCSS方式のシリンダライナを実機に組み込み、掃気効率向上試験を事前に実施した。この結果を、図9に示す。CSS方式により掃気効率を、従来形に比し、5~7%向上させることができた。

図9 掃気効率の計測結果(6UEC 45 HA)

この手段が、L形の燃費低減量のうちの約2g/ps・hを占めている。

3.2 開弁圧制御式燃料弁 船舶運航形態の多様化により、減速運航の例が増えている。ジャック式燃料噴射系では、必然的に、低回転域で噴射圧力が低下し、噴霧生成が高回転域に比べて劣る傾向にある。これを改善するため、中低負荷時には、燃料弁の開弁圧を高くして、噴射圧を高め、良好な燃焼が得られる開弁圧制御式燃料弁を開発した。

52 L形で開弁圧を320kg/cm²と550kg/cm²にして試験した結果を図10に示す。開弁圧を高めると、噴射圧が増大し、噴射期間も短縮されて、かつその差は低負荷域が大きくなっている。その結果、特に低負荷域での燃費が改善された。これら燃焼改善は、受熱率の解析によっても裏付けられている。

燃料弁の構造を図11に示す。開弁圧の切替は、あらかじめ設定された負荷又は回転数に応じて自動的に行われる。燃料弁頭部にある串形の管制ピストンに制御空気を投入することで、弁ばねをピストンのストローク分強めて開弁圧を上昇させ、又空気を排出することで開弁圧を下げる。開弁圧を高くすると、極低負荷で不整噴射を

図10 燃料弁開弁圧変化性能比較

図11 燃料弁構造

生じ、又高負荷域では噴射圧が過昇するので、高開弁圧の運転範囲は、標準としては、30%から70%負荷までとしている。

3.3 補機の小容量化 UE機関の補機系統は、ジャケット冷却水系(燃料弁冷却水系を含む)と潤滑油系(ピストン冷却、過給機潤滑を含む)の各1系統より成り、簡単な系統となっている。L形でもこの特長をそのまま踏襲すると共に、諸試験の成果を反映させて補機容量を

低減した。すなわち、図 12 に示すように、潤滑油・清水の流量を H 形から各々 27%, 60% 低減し、その結果、補機所要動力を約 45% 低減することができた。これによって、造船所における艤装費用や運転中の船内所要電力の節減に寄与することができる。

図 12 補機容量の低減

3.4 無冷却排気弁箱 UE機関では、図 7 に示したように、完全無冷却形三菱 MET-SB 形過給機を採用しており、過給機出口排気温度が比較的高く、排熱回収をより有効に行うことができる。

L 形では、これに加えて、排気弁箱内のガス通路部の無冷却化を図り、排気温度を約 5℃ 上昇することができた。図 13 に、従来形排気弁と比較して、その構造を示す。排気弁の寿命に大きな影響を与える弁座部とブッシュ部は従来どおり冷却をしているので、排気弁の保守間隔に悪影響を与えることはない。このことは、陸上運転での排気弁各部の温度計測、就航船での実船供与試験等

図 13 排気弁構造比較

で確認している。

4. 性能試験結果

4.1 機関性能 UEC 52 L 形初号機の出力 7730 PS/112 rpm における機関一般性能を図 14 に示す。燃費は、カタログ値より 2 g/ps·h 以上低い値を目標としていたが、85% 負荷で 122.4 g/ps·h, 100% 負荷で 125.0 g/ps·h と、予想どおりの値を記録した。排気温度、掃気圧力、最高圧力等、その他の性能値も所期の計画値を達成した。

図 14 6UEC 52 L 形機関性能曲線

UEC-HA 形機関から採用している MET-SB 形過給機については、軸受のまさつ損失を少なくする等、更に低負荷側の効率を改善した。この効率改善によって、L 形機関では、後述のように、低負荷性能が良好となっている。

機関の運転状態(出力と回転数の組合せ)は、可変ピッチプロペラの使用、あるいは、主機駆動発電機の採用等により、可成り広い範囲に亘る場合がある。UE 機関では、このような状況に対応して、許容する運転範囲を広く設定しているが、この範囲内での機関性能を確認すべく、定力率試験を実施した。この一般性能の結果を図 15 に示す。従来機関と同様、燃費は常用負荷域で最低で、かつ比較的フラットで好ましい特性となっている。

図15 定力率性能曲線

4.2 低負荷性能 UE機関では、H形の静圧過給機関以来、補助ブロワを起動時より50%負荷域まで使用することになっている。低負荷性能試験の目的は、前記のように低負荷性能を改善したMET-SB形過給機を採用しているL形機関において、どの負荷で補助ブロワを停止して良いかを確認するために実施した。

その結果を、初期の6UEC52HA形機関と比較して、図16に示す。50%負荷で比較してみると、HA形では補助ブロワを停止すると、排気温度や排気弁温度が上昇したが、L形では停止してもほとんど上昇することなく、ほぼ同一温度であった。L形は50%以下の負荷域で、補助ブロワを停止しても掃気圧力や空気量の減り方も少く、これら温度の上昇傾向も少い。この性能差は、L形の掃気圧力を若干高く設定したことや、MET-SB形過給機の低負荷性能向上によるところが大きい。

従来のH、HA形では、掃気圧力0.6kg/cm²程度(MR仕様で約50%負荷に相当)まで補助ブロワを使用していたが、L形では、掃気圧力0.5kg/cm²(本機の計画出力で約40%負荷に相当)にて、従来形と同程度の性能を確保できることがわかった。L形では、補助ブロワの使用範囲を40%負荷まで下げることにした。

なお、補助ブロワ1台が故障した場合を想定して、補助ブロワ1台のみ使用の試験も実施したが、従来機関と同様、始動も含めて何ら問題なく運転できることを確認した。

図16 低負荷性能比較

4.3 過給機カット試験 過給機が万一故障した場合を想定して、可能な上限出力を確認するために、過給機カット試験を実施した。この結果を図17に示す。

試験は、過給機ローターを固定して、排気がタービン

図17 過給機カット運転性能比較

を通過する場合と、過給機外部のバイパス管を通過する場合、及び2台の補助ブロウを直列と並列に結合させる場合、それに補助ブロウ1台のみの場合について行った。

図より、排気バイパスの有無については、排気温度や排気弁の温度から、バイパスした方がより高い出力まで出せる結果を得た。バイパスした場合の、補助ブロウの結合方法については、両者の差は小さく、並列結合の方が若干良い結果を得た。

本機関では、上限出力の目安を、就航後の経年変化も考慮して、60%回転数比(約22%負荷相当)に設定したが、更に平均有効圧力の低い機関では、より高い回転数比まで上げることができる。

5. 信頼性確認試験結果

5.1 燃焼室部品温度 燃焼室部品の温度計測結果を、各部品の主要点について、図18に示す。

図18 6UEC 52L形機関燃焼室壁温度

ピストンクラウンの最高温度は390℃で、従来のリブ式ピストンの温度より、数十度低い結果を得た。

従来機関に比べると、冷却油量を減らしているにもかかわらず、冷却ノズルの合理的な配置により、効果的に冷却できていることが判った。

シリンダカバー、シリンダライナの最高温度は従来機関とほぼ同レベルである。

リング・ライナの摺動面温度は、潤滑性能及び酸食まもうの点からみても、トップリングの上死点相当位置で約180℃と、計画どおりの適正な結果を得た。

排気弁温度は、弁傘下面中央部で最高580℃で、高温ふ食に対しても十分余裕のある温度である。シート部も最高約370℃と、従来形機関に比べ数十度も低い温度であった。

又、排気弁の円周方向温度差は、10℃程度で非常に小

さく、均一とみなすことができる。保守取扱いの点では、燃料弁の数は少ない方が良く、排気弁温度や燃焼上から、60L形でも1シリンダ2燃料弁で十分問題ないことを確認した。

5.2 主要部応力 機関本体の応力計測結果を図19に示す。最高圧力の上昇、ロングストローク化、小連桿比に対して、FEM計算等で必要な剛性を確保する本体構造としていたが、応力は従来形機関と同レベル又は低目の結果で、高い信頼性を有することを確認した。

図19 6UEC 52L形機関本体応力

5.3 機関振動 陸上据付時にハンマリングを行って、機関の固有振動数を計測した結果を図20に示す。又、ハンマリング実測結果を推定計算値と対比して、表2に示す。同表には、参考のため、実績のある6UEC 60HA形についても併せて示した。

6UEC 52L形のH形及びX形の固有振動数計算値は、機関主要寸法(高さ、幅、長さ)から、従来形機関の実測値をもとに推定計算した値である。6UEC 52L形の実測値は計算値より15~20%高い結果を得た。これは機関の剛性が従来機関より高かったことを示している。

前後振動の固有振動数は、2次元モデルによるFEM計算で推定した。この方法は、従来からかなりの精度で推定できることがわかっており、6UEC 52L形においても計算値は実測値と精度よく一致する結果を得た。

陸上運転時の機関振動の計測結果を図21に示す。機関のH形共振点は98rpm付近に現われており、ハンマリング試験における固有振動数と一致している。共振時のシリンダカバー左右方向の振幅は±0.16mmと、ロングストローク化されているにもかかわらず、剛性が高い機関本体のため小さく、又、全回転数域にわたり、左右

図20 6UEC 52L形機関ハンマリング試験結果

		6UEC52L	6UEC60HA
MR仕様時の機関回転数(rpm)		133	140
ストローク / ボア (cm)		160/52(=3.08)	150/60(=2.5)
固有振動数	H形振動	実測値 fmes (cpm/Hz)	600/10.0
		計算値 fcal (cpm/Hz)	510/8.5
		fmes/fcal	1.18
	X形振動	実測値 fmes (cpm/Hz)	1188/19.8
		計算値 fcal (cpm/Hz)	1020/17.0
		fmes/fcal	1.16
	前後振動	実測値 fmes (cpm/Hz)	846/14.1
		計算値 fcal (cpm/Hz)	848/14.1
		fmes/fcal	1.00

表2 実測固有振動数と計算推定値との比較

図21 6UEC 52L形機関振動計測結果

振動，前後振動共，振幅は十分小さい結果を得た。

6. あとがき

UEC-L形機関の開発設計の思想，主な特長と6UEC 52L形機関初号機での主な試験結果について述べた。

L形機関は，H及びHA形機関の300台以上にのぼる

就航実績に加え，新たに十分な基礎研究と実機試験，長期にわたる実船試験を行い，ユーザの立場に立って開発と設計を行ってきた。そして，初号機の諸試験結果から，L形で新たに導入した各特長は，計画値を満足し，十分な性能と信頼性のあることが確認できた。