三井 B & W 大形低速ディーゼル機関 の構造の変遷*

小 川 光 明**

Development of Constructional Features on
Mitsui-B&W Large Diesel Engines

By Mitsuaki Ogawa

Every little part of every engine that is being made today also reflects the changes that took place in external and internal circumstances, design and manufacturing technics and process during the long days.

In the following pages the short history of development of the major parts centered around the Mitsui-B&W two-stroke, single-acting, crosshead type engines is summarized.

1. ま え が き

世界最初の航洋ディーゼル船 Selandia 号は 1912 年に就航したが、主機は B & W 社製四サイクル機関 2 基 2,500 IHP であった。1926 年三井造船は B & W 社と船用機関の製造販売に関する技術提携を結び、以来 50 年以上にわたり B & W 形ディーゼル機関の製造を続けてきた。

B & W 形機関は Selandia 号以降しばらく四サイクル形であり、逐次、高出力の機関が開発されていたが、1920 年代後半の大口徑(840mm)四サイクル複動機関 9,000 PS がその頂点であった。1929 年横浜船きょで建造された日本郵船の客船秩父丸(後の鎌倉丸)には同形機 2 基合計出力 16,500 PS が B & W から輸入とう載されている。

大形四サイクル船用機関は重量が馬力あたり 100 kg もあり、海運界から軽量・小形・高出力機関の出現が望まれて、大形二サイクル複動機関が開発された。三井造船では、1933 年 6 シリンダの 62WF140 形機関 7,000 PS を完成、三井船舶の吾妻山丸にとう載した。同形機関は戦前から戦時までに 13 基が建造され、高速船の花形機関として活躍した。なお、馬力あたり重量は 56 kg であった。

二サイクル複動機関は軽量化の目的を達成したが、保守に熟練を要し、補修費がかさむことから、二サイクル単動トランク形機関 62VF115 が開発され、1940 年就航の大阪商船高速貨客船報国丸にとう載された。同形機関は戦時商船標準機関に制定され、量産体制にはいったが、中途にて終戦となった。

一方 B & W 社では戦時において、すでに二サイクル単動クロスヘッド形機関 62VTF115 を完成していた。

1949 年三井造船では、戦後初の輸出船 Else Maersk 号の主機としてクロスヘッド形機関 762VTF115 3640 PS を製造した。これは本邦初のクロスヘッド形機関であるが、本形式の機関はその後ずっと現在にいたるまで大形船用ディーゼル機関の王座を守り続けている。その間、低質重油の燃焼の成功、排気ターボ過給の成功、自動化の導入、あるいは信頼性の向上、保守整備間隔の延長など不断の改良が行われてきた。

現在作られている機関のどの部品も過去の経験から生まれ育てられたものである。その変遷の歴史をたどってみると、そこに客観情勢の変化や、設計技術・工作技術の進歩の跡がある。本文では主として三井 B & W 二サイクル単動クロスヘッド形機関の構造の変遷について概説する。

表 1 は対象機関の主要目を示す。図 1 は三井 B & W 形機関全機種種の製造年次を示す。図 2、図 3、図 4 はそれぞれシリンダあたり出力の変遷、平均有効圧の変遷、年間製造馬力の推移を示す。

2. 骨 組 構 造

図 5 に示すごとく、当初の VTF 形機関では、台板、架構、掃気箱、シリンダジャケットとも鋳鉄製で、貫通ボルトで一体に締付けることによってシリンダ内爆発力による引張りを受持つ構造であった。1952 年 VTF 形機関で初めて台板、架構、掃気箱を鋼板溶接製とし、この部分の貫通ボルトを廃し、引張りを鋼板自身にもたせた軽量構造が適用された。この結果、骨組構造部分の重量で約 50%、機関全体として約 20% の軽量化がはかられた。

* 原稿受付 昭和 52 年 7 月 30 日

** 正会員 三井造船(株)玉野造船所(玉野市玉 3-1-1)

表1 三井B&W機関主要目の変遷

機 関 形 式	D/S mm	PS/cyl	rpm	Pe kg/cm ²	Vp m/sec	完 成 年
62WF140	620/1400	1330	125	5.7	5.83	1933
62VF115	620/1150	600	150	5.2	5.75	1940
74VTF160	740/1600	920	115	5.2	6.13	1950
74VTBF160	740/1600	1250	115	7.1	6.13	1953
84VT2BF180	840/1800	2300	114	9.1	6.84	1960
K84EF	840/1800	2580	114	10.2	6.84	1968
K98FF	980/2000	3800	103	11.0	6.87	1969
K90GF	900/1800	3410	114	11.8	6.84	1973
L90GF	900/2180	3410	94	11.8	6.83	1978

図1 三井B&W機関形式別製造年次

図2 三井B&W機関のシリンダ出力の変遷

図3 三井B&W機関の平均有効圧の変遷

図4 三井B&Wクロスヘッド形機関の製造馬力の推移

図5 骨組構造の変遷

VT2BF形機関では、過給度の上昇に伴う大きな爆発力に対処するため、再び貫通ボルト構造が復活した。

KGF形機関では、さらに、水平方向の曲げ剛性を増加させた高脚形台板として、すえ付面の微少変位による摩耗を避ける構造とした。さらに、掃気箱とシリンダジャケットを一体に鋳造して、曲げ剛性を増加させ、爆発力の分散をはかり、ジャケットと架構上面の接合面の微少変位による摩耗を避けた。

1) 台板(図6) VTF形機関初期の台板は鋳鉄構造で、クロスガーダの両端をロンジガーダにボルト締めするものであった。その後、溶接構造の導入により、クロスガーダとロンジガーダが鋼板溶接で結合され大ブロックとなった。この構造はVTBF形機関にも使用された。

VT2BF形機関では、高過給化に対処するため貫通ボルトが復活し、応力集中の高いクロスガーダ部が鋳鋼製となった。

KGF形機関では、主軸受サイドスラストに対する剛性を高めるため高脚形構造が採用された。

2) 架構およびクロスヘッドガイドプレート(図7)
初期のVTF形機関は、Aコラムにボルト締めされた4

本の鋳鉄製ガイドプレートでクロスヘッドを案内する構造であった。溶接構造の導入とともに貫通ボルトを廃し、爆発力を溶接製Aコラム自体で受けもたせる構造となった。この構造はVTBF形機関にも使われた。

VT2BF形機関では貫通ボルトが復活し、Aコラムには支柱管が設けられた。

KGF形機関では、骨組全体としてのねじり剛性を増加させるとともに、油密な構造とするため溶接箱形構造が採用され、分割面は中央のチェーンケース部だけの前部後部2ブロックよりなる大ブロック構造となった。ガイドプレートは、加工能力上の制約から従来の取付方法が適用できなくなったので、それ自体で十分な剛性のある重構造の梁となった。

LGF形機関では、工作機械の導入により、箱形構造に直接ガイドプレートを溶接してもしゅう動面の加工が可能となった。架構の重量が軽減され、ガイドプレートの剛性が3倍に増加した。

3) シリンダブロック(図8) 初期のVTF形機関

図6 台板の変遷

図7 架構の変遷

図8 シリンダブロックの変遷

ではシリンダジャケットと掃気箱とは、それぞれ1 シリンダずつの铸造構造であった。溶接構造の導入とともに、掃気箱は溶接構造の連筒形となった。

VT2BF形機関の後期から、シリンダジャケットも連筒で铸造され、剛性が増加した。

KGF形機関では、シリンダジャケットと掃気箱を一体铸造ブロックとし、曲げ剛性増加による爆発力の分散化がはかられた。

3. 燃 焼 室

図9に示すごとく、VTF形機関の初期のものはシリンダカバーとシリンダライナをフランジ結合し、それをジャケット内に懸架していた。

その後、ピストン開放を容易にするため、シリンダカバーとシリンダライナをジャケット上面に出した。この構造はKEF形機関に至るまで長期にわたって使用された。

KFF形機関では高過給化に対処して、铸铁部材のシリンダライナを燃焼室構成材からはずし、鋼だけで燃焼室を構成させた。シリンダライナのフランジ部にはボアクーリングが適用され、ピストン第1リング位置の壁温上昇に対処した。さらに、高過給のKGF形機関では、シリンダカバーは強度的にすぐれた鍛鋼製となった。

1) シリンダカバー(図10) VTF形機関からKFF形機関に至るまで、耐熱・耐食性のCr-Mo 铸鋼が使用された。KFF形機関ではシリンダカバーとシリンダライナの接合面を初期のVTF形機関にみられる位置にまで下げた構造となった。このごろ、各社で開発された超大形機関に共通の事故として問題化したシリンダカバーのき裂事故は、三井B&W K98FF形機関も例外ではなかったが、形状変更によって応力を下げると共に、その上半分と下半分を別々に铸造し、それらを溶接で一体とすることにより、铸鋼製カバーに固有の材料欠陥を回避した溶接形カバーで解決した。

図9 燃焼室の変遷

KGF形機関では、従来のものとは様相の一変した放射冷却水穴をもつ鍛鋼製カバーが誕生した。

2) ピストン(図11) VTF形機関では、Cr-Mo 铸鋼製のクラウンが铸铁製のスカートにねじ込まれていた。VTBF形機関では、クラウンを下方に延長し、铸铁スカートと共にピストン棒に3枚締めした。この結果、ピストンクラウン頂面および第1リング部の温度上昇が避けられなかったため、積極的なシーカー効果を取り入れた。

VT2BF形機関ではピストン内面上隅部の铸造時のノッチを除くため、この部分を内面突起のない構造とし機械加工で仕上げた。

KEF形機関から、クラウンの中支え方式が採用された。これは爆発力を半径方向でピストン外径の約3/4の位置で支えることにより、クラウン内隅部の応力を緩和すると共に、ピストンスカートの熱膨張を拘束しない

図10 シリンダカバーの変遷

図11 ピストンの変遷

構造となった。

3) シリンダライナ(図12) ライナ材としては、VTF形機関からKEF形機関の初期までチタンバナジウム鉄が採用された。VTF形機関の後期から低質燃料油時代となり、その対策として、アルカリシリンダ油の採用、注油孔の増設と油溝の設置、ポーラスクロムメッキの採用(注、これは最近ほとんど採用されていない)、ライナ内面のホーニング仕上から波目ボーリング仕上の変更が行われた。

KEF形機関後期からライナ材にボロン鉄(ターカロイ)が採用された。これはシリンダライナとピストンリングの耐磨耗性に優れているばかりでなく、強度的にも安定した材料である。

KFF形機関、KGF形機関では、シリンダカバーとシリンダライナの接合面位置を下げ、シリンダライナが高温燃焼ガスにできるだけさらされないようになった。

4) 排気弁および駆動装置(図13) VTF形機関の当初よりKFF形機関に至るまで一貫してポペット排気弁、レバー駆動方式が採用された。VTBF形機関で排気ターボ過給が導入されると、弁の急速開閉が要求され、これに対処して衝棒の下にオイルクッションを挿入し、着座時の衝撃が緩和された。

排気弁棒の弁座はVTF形機関当時からステライトが盛られていたが、KEF形機関からケーシング弁座部にもステライトが盛られて、その寿命が著しく延長された。排気弁ばねは上下2分割とし中間ばねガイドが設けられていたが、KFF形機関以降構造簡単なマルチばね方式に置き換えられた。

図12 シリンダライナの変遷

図13 排気弁および駆動装置の変遷

KGF形機関では弁棒ブッシュにサイドスラストの作用しない油圧管制式排気弁駆動装置が適用された。

4. 燃料噴射系統

1) 燃料弁(図14) VTF形機関からKFF形機関に至るまで油冷却形燃料弁が使われた。当初、冷却油は燃料油自身であったが、低質油の使用とともに独立のディーゼル油が使われるようになった。

その後、スタンバイ中も低質油の使用が要求されるようになったため、高圧こし器に弁を設けて万一スピンド

ルが固着しても、機関停止中にプライミングポンプ圧では燃料油がシリンダ内にはいらないようにした。KEF形機関となって、スピンドル座を従来のフラットシートからコニカルシートにかえ、材質の進歩もあずかって寿命が著しく延長された。

KGF形機関では、シリンダカバーが大幅に変更され、燃料弁取付部のカバー壁温が非常に下がったので、独立の燃料弁冷却は不用となり、構造が軽量簡略化された。

2) 燃料ポンプ(図15) VTF形機関とVTBF形機関では燃料カムの形状は凸形カムであった。カムのベ

図14 燃料弁の変遷

図15 燃料ポンプの変遷

ースサークル期間が長い、燃料油の充てんは比較的容易にライナー下部に設けた穴から行われた。トップリフトの調整はテーパ締めされた二つ割りの燃料カムをずらして行った。

VT2BF形機関では、ハート形凹形カムを採用した結果、吸入期間が短時間になった。このため、ポンプの上部に吸入弁を設けた。燃料油はポンプの下部からパーレルを温めつつ上部へ上がったあと、ポンプ内へ供給される構造とし、低質油によるスタンバイを可能にした。トップリフトの調整は偏心調整機構付の中間ローラによった。

KEF形機関ではパーレルをポンプカバーにつり下げた構造とし、パーレルを上下させることで、トップリフトの調整を行う。また、ポンプ下部にシールリングを設け潤滑油への燃料油の混入を防いだ。

KGF形機関ではパーレルの上下機構が簡略化された。

5. 動力伝達部

1) クランク軸(図16) VTF形、VTBF形、VT2BF形機関では、おおむね全組立形クランク軸が使用され、クランクピン軸受潤滑用の油穴が開けられていた。VTBF形、VT2BF形機関でも、シリンダ数の多いものでは、所要ジャーナル径が大きくなり、全組立形クランク軸ではアームのメカネ中央部の肉厚が不足して焼ばめは握力が不足するために、半組立形クランク軸が採用された。

KEF形機関では少数シリンダ機を除き半組立形クランク軸が採用された。クランクピンの油孔部の応力集中を避けるためこれを廃し、潤滑はクロスヘッドより行うことになった。バランシングはクランクピン部を中空化することにより行われた。

2) クロスヘッド(図17) VTF形機関ではクロスヘッド軸受はフォークエンド形連接棒に取付けられていた。VTBF形機関からテーブルエンド形連接棒になった。軸受メタルに鉛-錫のオーバーレイを施行する方法に

成功し多年の軸受破損の問題を解決した。

KEF形機関からは軸受脚の内側部分を弱くした非対象形軸受により、軸受面圧の均等分布がはかられた。KGF形機関では、高負荷に対処するためクロスヘッドのピン径を大きくするとともに、シエル形軸受の採用により軸受負荷能力の増大と保守の容易化がはかられた。

6. カム軸駆動装置

1) カム軸およびチェーン配置(図18) 初期のVTF

図17 クロスヘッドの変遷

図16 クランク軸の変遷

図18 カム軸駆動チェーン配置の変遷

形機関は1本カム軸であったが、シリンダカバーとライナの構造変更とともに2本カム軸に変更され、カム軸駆動系が簡略化された。

VT2BF形機関では凹形燃料カムの採用によって、カム軸が1本にまとめられた。KEF形機関ではチェーン緊張装置全体がクランクケースの中に納められ、構造がさらに簡略化された。

2) カム軸逆転機構(図19) 無過給のVTF形機関では排気カムのアドバンス角が小さいため、前後進操作時の位相調整をする必要がなく、燃料カムに対してのみ位相調整を行った。

過給のVTBF形機関では排ガスエネルギーの必要量確保の面から排気カムのアドバンス角が大きくなり、排気カムに対しても前後進操作時に位相調整を行う必要が生じ、B&W形機関特有のベルクランク機構が開発された。

機関の大形化とともに増大した逆転機構・カム軸の慣性力のために、ブレーキシリンダによるカム軸固縛が限界に近づいたと判断され、KGF形機関では油圧モーターにより、カム軸の切り換えを行うようにし、逆転性能を大幅に向上させることができた。

図19 カム軸逆転機構の変遷