

川崎 M.A.N.4 サイクル過給

ディーゼル機関の最近の進歩

川崎重工業 K K *
造機設計部安 藤 彦 夫
遠 藤 定 男

川崎重工業株式会社においてこの 2, 3 年の間に新しく開発された KV45/66 型, VV22/30 型の 2 種の排気ターボ過給ディーゼル機関についてその特長並びに構造の概要を述べる。

KV 45/66 ディーゼル機関

1. 緒 言

4 サイクルディーゼル機関に対する排気タービン駆動過給機の研究歴史はかなり古く、第 2 次大戦後わが国においても急速なる普及を見て今日にいたっている。一方 2 サイクルターボ過給機関も最近には目覚ましい発達を遂げ、信頼性に対する不安も次第に除去され、本機関の比重量、比容積、燃料消費量等の経済上の特長により船用主機としての使用範囲を次第に拡張し、近時ますますその過給度を高めて大出力機関への適合性が従来以上に高く評価されるようになって来た。ここに従来より余り大きな出力を期待出来なかつた 4 サイクル機関にあつて、回転数を高めて減速装置と結合して使用することにより 2 サイクル機関の経済性に対抗して将来発展を期待する一形式の機関が開発され実用に供されるにいたつた。以下其の機関について概要を紹介する。

一般にディーゼル機関の比重量 W_t (kg/H.P.) は平均有効圧力 P_e と回転数 N の増加に逆比例して減少するものなることは明白であり、従つてピストン速度 V_m を同一とすれば行程 S と直径 D が小なる程有利となつて来ることは容易にうなづけると思われる。特に P_e と N とが重量軽減に同一の効果を持つており、一般商船にあつては推進器回転数が 110~115 R.P.M. であり、この数倍で廻るディーゼル機関を製作することは P_e を高めることより遙かに容易な手段であり、かつ近時工作精度の向上により信頼性豊かなものとなつた歯車軽速機構と組合せる方向に新しい発展の分野を拓かんと試みても無理ではないと考える。

しかしながら、粗悪油使用を考慮せねばならぬ船用ディーゼル機関にあつて、保守、寿命その他の点より考えるなら減速装置付商船主機関として直ちに小型高速機関を採り上げることについては尚疑問と議論の余地があるであらう。

P_e も高め、 N も或る程度高め、かつ粗悪油も使用出来る機関として、M.A.N. 社では第 2 次大戦後数年にわたる周到なる考察、実験、研究の結果、平均有効圧力 21 kg/cm² 熱効率 45% の超高過給 4 サイクル実験機関を完成して 1951 年にその詳細資料を発表し、その後更に研究を続け Geared Diesel として極めて適合性のある実用機関 KV45/66 型を完成した。

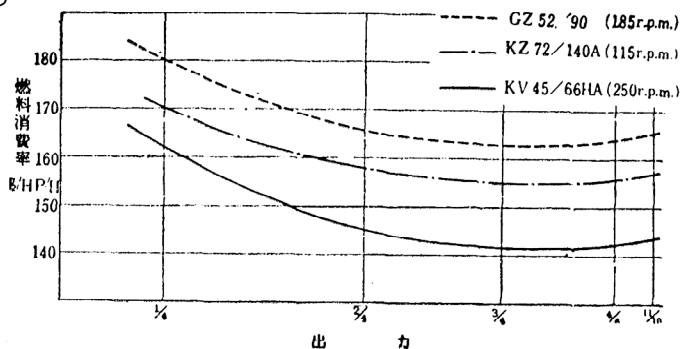
当社では昨年 4 月本機を完成し、川崎式電磁スリッパカップリングを介して歯車減速機構に結び 2 台を 1 軸となし、川崎汽船照川丸主機として就航させ、続いて本年 1 月姉妹船智利丸が就航、現在第 3 番船、第 4 番船用機関が近く完成することとなつている。

2. 本機関の特長

本機関の主要目を第 1 表に記す。平均有効圧力 16 kg/cm² に達する KV45/66 型ディーゼル機関は未だ実用に供

第 1 表 川崎 MAN KV45/66 型 4 サイクル
単缶クロスヘッドディーゼル機関 要目表

シリンダー数		6	8
シリンダー径	mm	450	450
行程	mm	660	660
毎分回転数	R.P.M.	250	250
出力	B.H.P.	2,800	3,700
正味平均有効圧力	kg/cm ²	16	16
ピストン速度	m/sec	5.5	5.5
重量	ton	76	96
馬力当重量	kg/B.H.P.	27	26
燃料消費率	gr/BHP/H	142	142



第 1 図 燃料消費率曲線

*神戸市生田区東川崎町 2 丁目

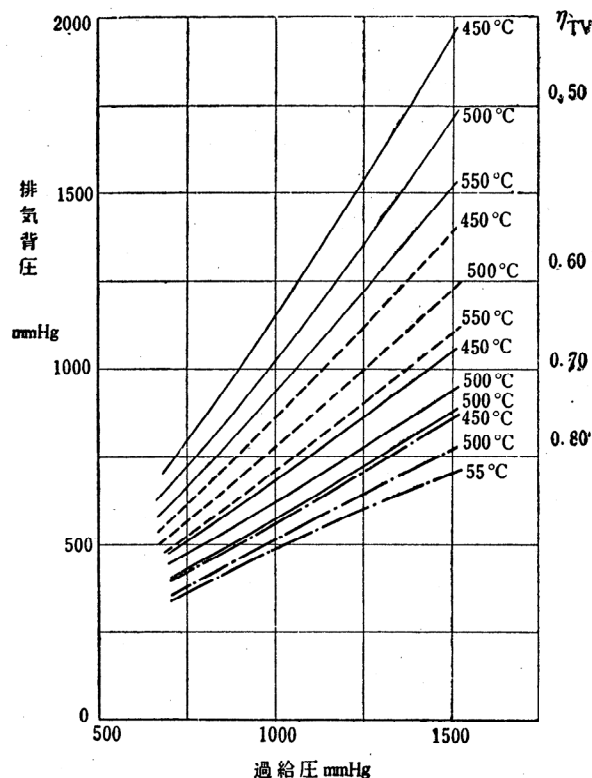
されていない50%過給2サイクル機関の P_e の2倍の値に達しているため作動回数が2サイクル機関の半分であるという4サイクル機関の根本的な不利を完全にカバーしているものである。燃料消費率142gr/H.P./Hrの値も未だ得られたことのない驚異的な値である。第1図に何れも当社にて製作する低回転機関と中速回転数の2サイクル機関の燃料消費率曲線を本KV機関のそれとを比較して見たが、2サイクル機関では回転数を上昇すると低速機関に比して消費率が悪くなり、これに減速装置及び電磁接手若しくはフルカン流体接手による3~4%の効率低下を考慮する時、回転数の比較的高い機関を減速して使用するという点においては2サイクル機関の適合性には余り期待を持ち得ないことが分る。

KV 機関にあつてはこれ等の損失を見込んでも尚且つ150gr/H.P./Hr以下の燃料消費率を保証し得て大型過給2サイクルディーゼル機関の経済性と十二分に対抗し得ているのである。

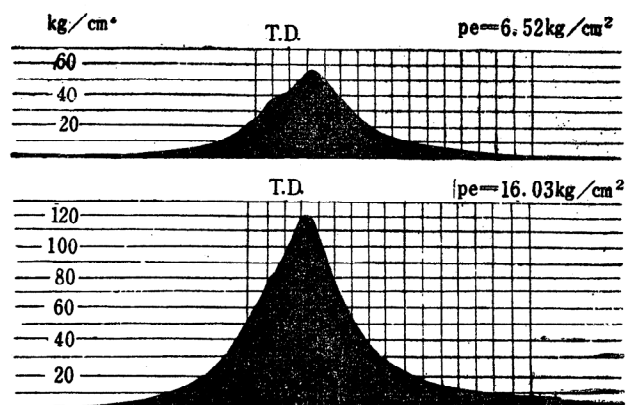
1) 充填空気量について

平均有効圧力16kg/cm²即ち200%の過給を達成するためには過給機が機関に対して完全に適合することが肝要であり、過給機の性能が機関の性能に大きな影響を及ぼすものである。

第2図は過給機の効と率排気温度及び過給圧の関係を示している。



第2図 過給圧及排気圧に関する排気温度

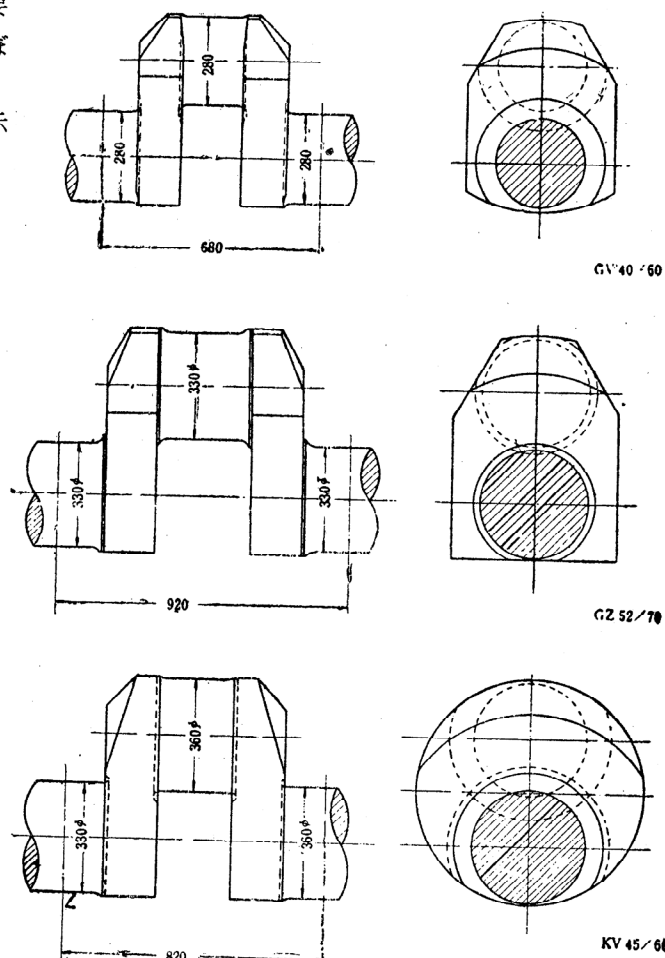


第3図 指示線図

理論式

$$\eta_{TV} = \eta_T \cdot \eta_V = \frac{G_L R_L T_{L1} \frac{K_L}{K-1}}{G_T R_A T_{A1} \frac{K_A}{K_A-1}} \cdot \frac{\left(\frac{P_{L2}}{P_{L1}}\right)^{\frac{K_L-1}{K_L}} - 1}{1 - \left(\frac{P_{A2}}{P_{A1}}\right)^{\frac{K_A-1}{K_A}}}$$

に於て排気側の圧力損失 300mmW.S. 過給室気側の圧力損失 300mmW.S. と仮定したものである。一定の排気温度、圧力の元では高い過給圧を得るためには過給機の総合効率が高くなければならぬことが分る。本機の過給定気圧力は第6図性能曲線に見られる通り、全力時2.5ata



第4図 クランク法比較図

生産と技術

に達し通常の過給機関の1.5~1.6ataに比して一段と高く、又充填空気は空気冷却器によつて130°Cより約40°Cまで冷却されているのでその室気密度は相当に高い。本機の過給機はラジアル圧縮2段、軸流タービン2段の

のと比較したクランク軸の寸法を第4図に示す。これ等は何れも回転数250 R.P.M.で等しく、前者は6 cylにて1010 H.P.の4サイクル、後者は6 cyl 2550 H.P.の2サイクル機関である。又第2表に各型式の機関の比較として

第2表 各種機関比較表

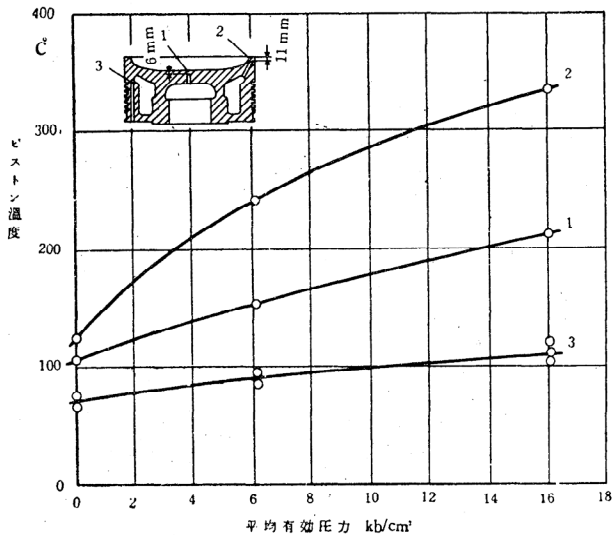
型 式		2サイクル単効クロスヘッド			2サイクル単効トランクピストン		4サイクルトランクピストン		4サイクルクロスヘッド
		KZ78/140	KZ70/120	KZ60/105	GZ52/90	GZ52/70	GV52/74	GV40/60	KV 45/66
シリンダー容積	l	669	462	297	191	149	157	76	105
シリンダー容積当り重量	kg/l	95	92.5	99	83	90	72	76	119
シリンダー容積当り出力 (無過給)	H.P./l	1.35	1.45	1.76	1.96	2.7	1.43	1.62	—
シリンダー容積当り出力 (過給)	H.P./l	25% 1.69	25% 1.82	25% 2.19	—	—	40% 1.91	60% 2.61	4.45

比較的簡単な構造乍ら総合効率高く本機関の成果を得るために重要な要素となつている。

2) 機械的強度について

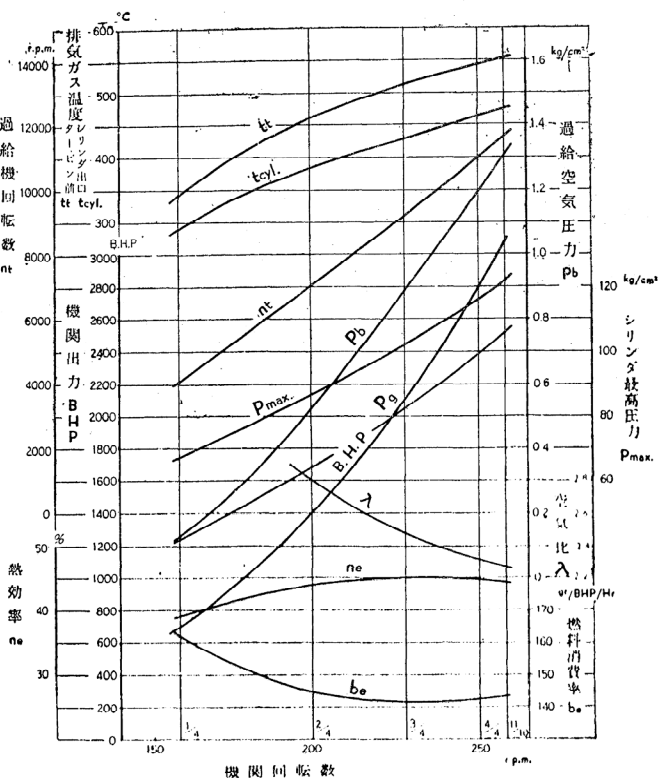
第3図に示すのは無過給4サイクル機関とKV型機関の指圧線図を比較したものである。圧縮比は通常の無過給機関とはほぼ同じであるが、2.5ataの充填空気圧のもとに其の圧縮圧力は80~85kg/cm²に、最高圧力は110~

容積当り重量を列記して見た。他の機関より重量割合の1段と大きくなつてゐることが分かる。この2例から見ても各部の構造は極めて頑丈に作られてゐることが推察されると思う。



第5図 ピストン温度

120kg/cm²にまで達する。しかしこの焼燃圧力曲線の時間微分値 $dp/d\alpha$ をこの図によつて求めるに無過給機関においては2.57kg/cm²/degree, KV機関にて2.75~3.1kg/cm²/degree と極く僅か大であるに過ぎない。よつて衝撃的な力に対しては無過給機関に対すると同程度の考慮にて差支えなく、只ピストン頭部に伝く静的な爆発圧力に対処して各強度メンバーの寸法を安全範囲の圧力、応力に止めるように構成すればよいことになる。その1例として当社製作のGV40/60及びGZ52/70型機関のも



第6図

3) 熱負荷について

KV機関の研究報告が1951年発表された時、高過給機関の熱負荷についての詳細な資料も発表されている。本KV型機関の熱負荷は200%の高過給にもかかわらず極めて小さいことに関しては既に多くの文献もある

ので改めて詳述はしないが、第5図に M. A. N. 社にて行つたピストンの温度測定の結果を示す。ピストンの頭部温度は機関の熱負荷を端的に表わすものであるが、ピストン冠の全力時温度 340°C は2サイクル機関の $450\sim 500^{\circ}\text{C}$ に較べてかなり低く、又ピストン第1リング近傍にて 110°C 程度なることはリング膠着の限界温度 200°C なることから見ても遙かに安全な側にあると言える。

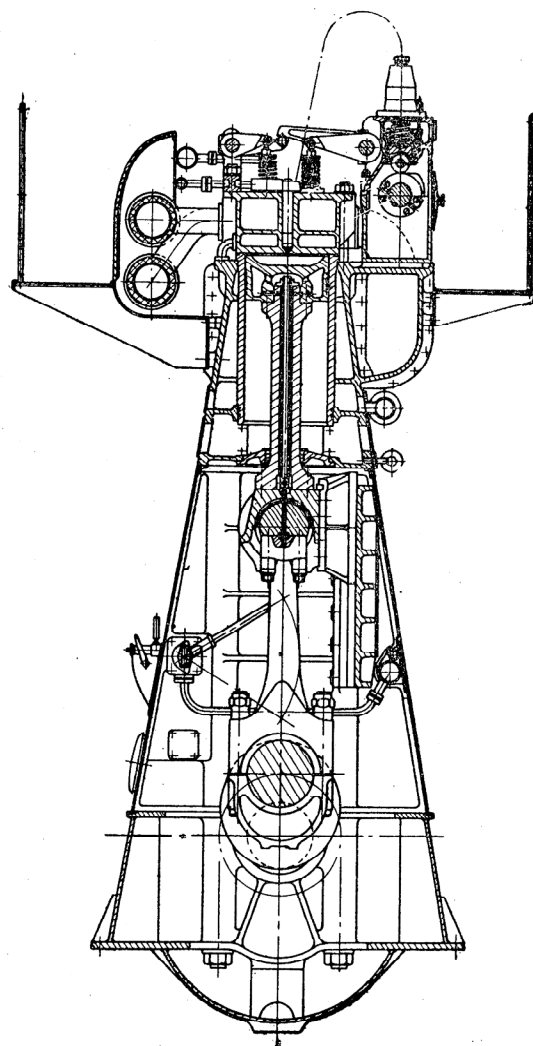
4) 経済性の高いことについて

第1表に示したる如く本機関の比重量は $27\text{kg}/\text{H.P}$ である。照川丸以下の主機関で電磁接手、減速歯車を包含した場合でも $37\text{kg}/\text{H.P}$ となるだけで、低速直結機関の $50\text{kg}/\text{H.P}$ 前後なることと比較して大分軽い。同時に行程、直径共に小さくて機関容積が小なることより商船として載貨重量、載貨容積をそれだけ増加し得ることとなる。第6図の性能曲線に見られる如く全力時における燃料消費率、 $140\sim 142\text{gr}/\text{HP}/\text{Hr}$ 、又部分負荷特性の優れていることは接手、歯車損失を考慮しても尚現在の2サイクル直結機関より良好なる性能を示している。

また空気比は過給機の性能の良好なるため全力近傍でも $2\sim 2.2$ 程度を示す。一般に空気過剰率 λ は燃焼に対する値 λ_v と吹抜け掃気に関連する λ_{sp} とに分けて考えられるが、熱効率に関与するものはこの中の λ_v であり、通常の Büchi 方式と異つて弁重なりを小さくして掃気を行う最小限度に止めてあるため、本機関では λ_v/λ_{sp} の値が普通の過給機関に比べて大きい。理論熱効率と空気過剰率とは或る関係があるが、本機関では λ_v は通常の過給機関における1.6程度に対して全力時にも2程度を保っているためそれだけ理論熱効率も高い。又排気管内圧力と給気圧の曲線を見るに両者間の圧力差が大きく全力時には約 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ に達する故、極めて小さい弁重なりにもかかわらず残留ガスは有効適切に掃気されている。

更に実測による冷却水損失熱量は供給熱量の12%程度でこれは通常の機関の半分である。一般にディーゼル機関の熱効率は理論熱効率、機関完全度及び機械効率の積にて表わされるが、計算と実測値から総合算出すると機関完全度は90%の高い値を示していることが分かる。

次に本機関の冷却損失が小さいことから機関冷却用の各種冷却器、清水海水ポンプ、潤滑油ポンプ等が小容量で差支えないとか、また接手付きであるから機関の始動は無負荷で行われるので始動空気槽の容量が小さくて良いとか、シリンダー蓋、ピストン、ライナーの重量が軽いからこれ等の開放も極く手軽に出来るとか、排気温度が高い為め排熱ボイラーを小型に出来るとかさまざまの附属的な利点が派生し、機関室全体として考える時には先に述べたように重量、容積、価格等の面にて相当の利点があると叫び得るのである。



第7図 機関断面図

3. 構造の概要

第7図に機関の断面図を示す。ピストンは耐熱鋳鋼製でその長さは非常に短い。これはクロスヘッド付きでピストンは側圧を受けないためである。内部は潤滑油で冷却される。ライナーは耐磨耗性特殊鋳鉄、台板は鋳鋼の軸受台と鋼板とから溶接されて作られ、架構は鋳鉄製、シリンダーブロックは3筋分1体の鋳鉄製2個を結合してある。この台板、架構、シリンダーブロックの三者はタイロッドにて強固な1体のものに結合されている。主軸受は普通の白色合金を使用するが、クロスヘッド軸受は高い面圧に耐え得るようケルメット軸受で、クランクピン軸受は三元軸受を使用している。給排気弁は各2本づつありクランク軸よりチェーンにて駆動されるシリンダー蓋側方のカム軸によりプッシュロッドなしに動弁腕にて直接作動される。給排気弁には高い給排気圧の元に作動するために弁本体と弁軸との間の気密には特別の考慮が払われている。ピストン抜出はシリンダー蓋を外すことなく、下方におろして架構側蓋を外して機関の側方に引出すような構造となつている。

4. 結 び

現在就航中の2隻に対し当社は此の機関の耐久力には関心を払って注意しているが、次第に資料が集りつつある。本機関が熱負荷、機械的強度の見地からは高過給機関であるにもかかわらず、極めて信頼性に富む所以は既に言及した。実際にライナーの磨耗も高度の過給にもかかわらず0.2mm/1.00Hr程度で大したことはない。只排気弁の弁及弁座は最高圧力が高いために粗悪油を使用する時には燃焼残留物がガラス状に固い被膜を作り、それが時々剥落ちてそこから漏洩することに依り gas erosion を生ずる心配がある。弁、弁座には耐熱耐磨耗性特殊合金を盛金して漏洩に対して万全を期しているが、当初においてはこの合金にはなかなかの苦心を払った。しかし最近には900Hr運航で1回摺合せを行うという所までこぎつけている。尚過給機に関して言えば3点軸受なるが故にその動的バランシングには非常な努力を要したり、又大型ケルメット軸受の鋳造技術に並々ならぬ苦心を払ったり主として製作技術上かなりの苦勞を重ねたものである。

いわゆるマルチプル機関型式の船用主機がぼつぼつ出現を見ている時に、先鞭をつけてこの種機関をわが国に開発した当社はこの種ディーゼルの発展に対し非常な関心を持って見守っている次第である。

VV 22/30 ディーゼル機関

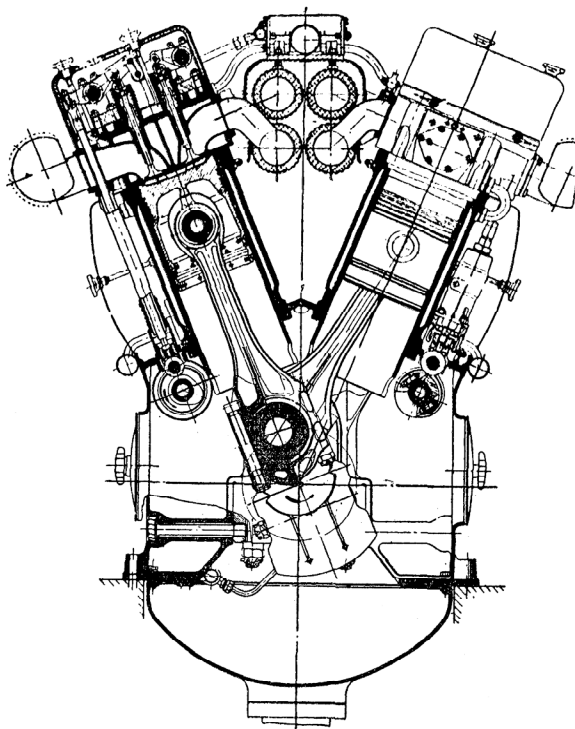
1. 緒 言

この型式の機関は小型高速の4サイクルディーゼル機関である。近年小型高速機関の発展は誠に目覚しく、船舶用、鉄道車輛用、発電用、あるいは自動車用とその用途はますます拡がり需用も次第に増加している現状である。そして多種多様の機関がそれぞれの用途向けに発表されている。しかしながらこれ等新機種多くの夫々の用途目的に合致するように作られることが多く、普遍的に使用されて尚お常に高い性能を発揮しうる機関を探すとなると案外少いものである。ここに紹介するVV型4サイクル機関は現在の世界の水準を抜く高速高性能のディーゼル機関であり、現在まで多数製作、広範囲に実用に供され、極めて高い信頼性と耐久性を示している画期的ディーゼル機関であると思う。当社にては28年より此の機関の試作に着手、29年末完成を見て以来今日迄防衛庁の駆潜艇主機関並びに国鉄ディーゼルロコ用として納入、その優れた性能を誇りながら現在も引続いて多数の生産を続けているものである。

以下に本機関の概要を説明する。

2. 構造について

第3表に主なる要目を記す。尚最近のものは短時間定格として回転数を毎分1,000とし出力を更に4%増加している。第8図に組立断面図を示す。



第8図 組立断面図

第3表 川崎 M.A.N.VV^{22/30} 型4サイクル単缶トランクピストンディーゼル機関要目表

シリンダー数		12	16
シリンダー配列		45°—6 V	45°—8 V
シリンダー径	mm	220	220
行程	mm	300	300
行程容積	litre	136.8	182.4
毎分回転数	R.P.M.	900	900
出力	B.H.P.	1,500	2,000
ピストン速度	m/sec	9	9
正味平均有効圧力	kg/cm ²	11	11
重量	ton	7.3	9.4
馬力当重量	kg/B.H.P.	4.9	4.7
燃料消費率	gr/BHP/Hr	165	165

架構は全溶接の1体構造で各シリンダー間にある主軸受台を兼ねる鋳鋼製の隔壁とこれを軸方向につなぐ長手方向の鋼板の溶接とより成っている。架構の側面には丸窓があり内部の点検、軸受の取引等もここから容易に行われる。架構の下部には油受けが取付けられる。

シリンダーは鋳鉄製で3又は4シリンダー每一体に鋳造されたものと特殊用途用として1シリンダー毎単体と

なつたものとの2種がある。シリンダーと架構とは引張ボルトにて締付けられてシリンダー自体には爆発圧力はかからない。

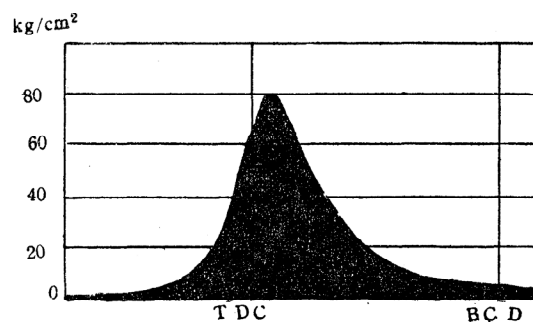
シリンダーライナーは耐摩耗性特殊鋳鉄製湿式ライナーでシリンダーとの間は冷却水室となる。ライナーは精密中ぐり及びホーニングを行い、真円度真直度共に $\frac{1}{100}$ mm 以下に保たれている。表面粗度は 1μ 以下である。

シリンダー蓋は鋳鉄製で冷却水室の形成には特に留意した薄肉構造のものである。シリンダー蓋には各2個の給気弁、排気弁、各1個のボッシュ型燃料弁、起動弁、安全弁、指圧器弁が取付けられ、また蓋の中央部は予燃焼室を形成して主燃焼室との間には口金を嵌め込むようになっている。

クランク軸は特殊鋼の一体型鍛造品よりの削り出して軸受部は焼入硬化の上研磨されている。接合棒は同じく特殊鋼のI型断面型鍛造品で並置式であり、このためV型機関として軸受の巾だけ機関全長が長くなるが、形状としては最も単純なものである。主軸受及び接合棒上下部軸受裏金は何れもケルメット合金であり、油溝の形成には特別の留意を行っている。

ピストンは軽合金製鋳造品で4本のリングと3本の油リングを有し、上部の2本のリングはクローム鍍金を施している。ピストンの形状は中心軸を含む断面は円壱円錐の組合せでなく、ふくらんだ卵形であり、軸を切る断面は楕円形となるように特殊の倣い加工を行っている。

通常の加工をなしたピストンを摺合運転しては当りの強い所を落すことを幾回か繰返して行くと最後にはこのような形状となるものであり、それを始めから機械加工で行っているということである。後で述べるがこの加工によつてピストンの磨耗を減少しようと共に熱の逃げも良好となり、機関の耐久性を向上させるに相当の効果をあげているものである。

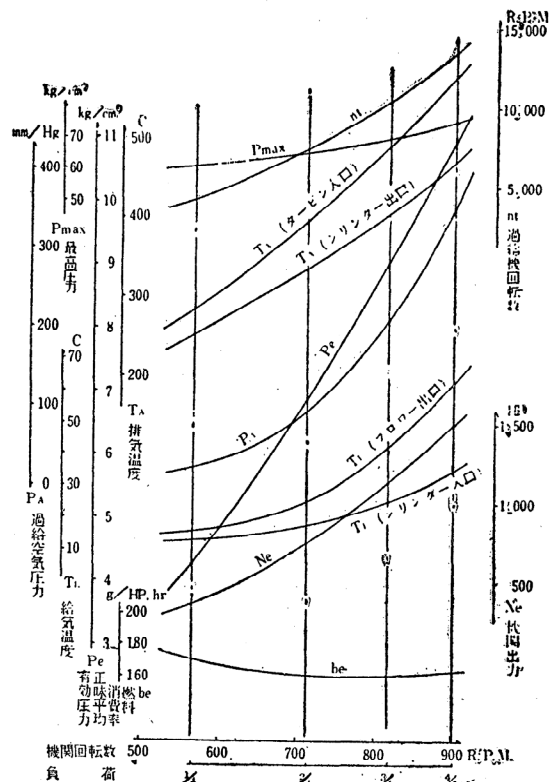


第9図 指示線図

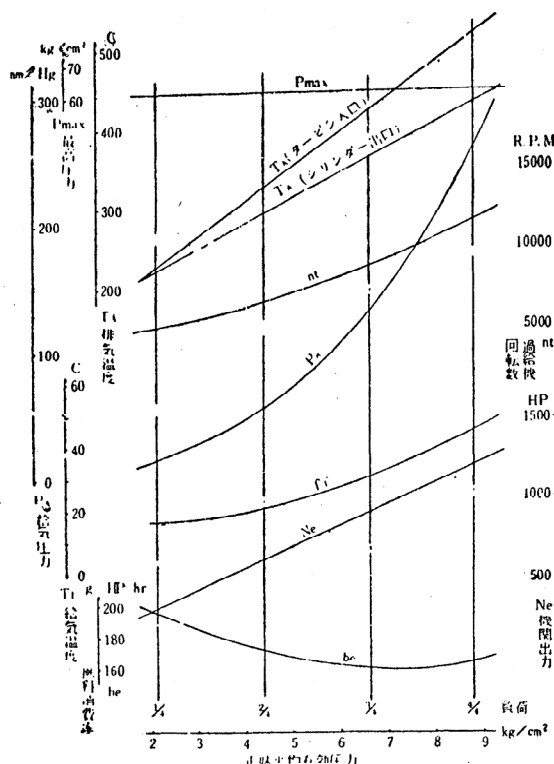
3. 本機関の特長

1) 燃焼の完全なることについて

本機関は予燃焼室機関である。従つて平均有効圧力11 kg/cm²、最高圧力75~85kg/cm²という高い圧力にも拘らず運転は極めて静粛に行われる。第9図にファンボロー指圧線図を示すが、その圧力上昇率はクランク角度1度について最大2.7kg/cm²に過ぎず緩慢な上昇を示して



第10図 性能曲線プロペラ (法則による場合)



第11図 同 (回転一定空気冷却器なし)

いる。また一般に高速ディーゼル機関は燃料の性質に極めて敏感であり燃料の仕様によつても機関の調子が変わるものであるが、本機関は予燃焼室式であるためその点は鈍く、当社の試験中に比重 0.82より0.92までの各種燃料で運転した結果は性能上に何等の差異が認められなかった。

燃料噴射弁は単孔スロットル弁を使用する。このため多孔型弁にあるような噴射弁がつまるという例は未だ1回も経験していない。勿論予燃焼室式は開放噴射に較べて燃料消費率増加という短所もあるが、1.6ataの過給機関では燃料消費率の増加は何ら問題とはならない。

2) 燃料消費率の少いことについて

第10図、11図にV 6 V機関の運転性能曲線を示すが全力時で164gr/H.P./Hr分力時においても全力時と大差のない良好なる性能を示し得た。この分力時の燃費の低いことは4サイクル機関の特質であり、2サイクル機関ではいかに全力時の消費量が良好であつても、低力時の掃気の不安定等のため完全燃焼を望み得ず低速では急激に増大するものである。この事実は低力において運転されることの多い軍用艦艇にあつては重要な問題であり、行動半径と燃料積載量が制約される時この種機関の有利性は大きく取上げられるものである。当社の実績でV 8 V 2,000H.P.機関は $\frac{1}{10}$ 出力即ち200H.P.時においてさえ190gr/H.P./Hr以下の値を得ている。又軍用艦艇に限らず、無負荷運転と全力運転をのみ交互に繰返し、無負荷運転時間が総稼働時間の半ば近くに達するような鉄道車輛にあつても完全なる燃焼と低消費率とは経済上大きな利点であろう。

3) 燃焼室壁の熱負荷の低いことについて

全力時平均有効圧力11kg/cm²、シリンダー出口温度500~520°Cの排気温度は2サイクル機関に比してかなり高い値を示している。しかし熱負荷はこれ等見掛けの数値にかかわらず余り増加はしない。このことはEichelberg氏の実験式によつて計算することが出来る。高度に過給されているが熱負荷の程度は無過給の機関の計算値と大差なく、同程度の容積、同程度の出力の2サイクル機関の計算値より大分低い値が求められる。

ピストンは鋳造アルミ製で無冷却のままであり、ただ頭部に受けた熱量をシリンダー壁に逃げ易いように形状を特別に加工したり、第1リングより上方を運転状態にあつては熱膨脹により丁度ライナーに接着するような寸法に仕上げていることによつてピストン温度の上昇を抑えている。

4) 軽量にして小型なること

V型構造で床面積は12シリンダーにて4.5m²、16シリンダーにて約6m²、馬力当り30cm²に過ぎない。馬力当り重量は5kg以下である。一方シリンダー容積当り重量は約50kg/litreでこの程度の機関としてはやや大き

い値を示している。このことはシリンダー囲りにおける肉づきの程度を示すものでその重量の割合に構造的には充分の堅牢さを持つていると云い得ると思う。又補機類、調速機等極めて接近し易い個所につけられ、分解結合の容易なる単純な構造となつてゐることも他の同種機関と比較して取上げ得る長所と思つてゐる。

4. 製作に関して

現在防衛庁駆潜艇主機関及び国鉄ディーゼル電気式機関車として数多く稼動しているが、その状況は全く満足すべきものである。しかしながらこれが試作当時においては、ある程度の問題に直面をした。第1に軸受であるが、或が国の軸受メーカーにとつては直径も大きく且つ薄肉の合金にて其の鑄造の当初における不良率も相当多数に上つた。高い圧力にてピストンピンの変形によるケルメットの極部的剝離も起つたが現在では場所により三元軸受を使用したり、加工形状を変えることによつて解決している。

過給機に関して運転中アルミ軽合金鑄造のプロワーが破壊し、過給機を壊す事故も起つた。一度惹起した事故がその後2度も引続いたのでこれが原因を探求するため破壊が何処から始まるかを見つけるべく、拾数個のプロワーを試験機にてさまざまな角度から破壊することをなしたこともある。本機関の過給機はいわゆるM.A.N.型でタービン翼車とプロワー扇車との間には2ヶの平軸受があつて、翼車と扇車は片持ちになつてゐる極めて単純な構造のものであるが、翼車軸に扇車はテーパにて押込み摩擦にて駆動トルクを伝えるようになってゐるが、この押込み代が計算通りではいかなかったこともある。鑄造扇車にて据張力18kg/mm²を示してゐても降伏点はその $\frac{1}{3}$ にも満たない場合があり、ゆるんで回り、位置決めノックの点から破壊が始まることもあると判明した。現在では鑄造品に対する強度と伸率に細かい仕様を定めて解決を見ている。その他ピストンの鑄造法も当初は失敗を重ね、またその他部品も加工法に苦心を積み重ね、設計、工作共に対策を樹てて今日の機関を生むに至つた。

5. 結 び

本機関は最初に述べた如く可成り広範囲に使用される高速大出力機関であるが、当社においてはV 8 V 2000 H.P.機関にはフルカン接手と逆転用トルクコンバーターを介して減速歯車に結び船用機関として使用している。又車輛機関用としては空気圧力を利用した独特の調速機を設け、遠隔縦方式を採つて電気式ディーゼル機関車として使用している。軽量にして信頼性と耐久力に富む高出力のV V型ディーゼル機関の利用と発展に今後も益々研究と努力を続けて行く積りである。