

4サイクルディーゼル機関の技術系統化調査

1

Historical Development of Four Stroke Diesel Engine

佐藤 一也

Kazuya Sato

■ 要旨

1776年にイギリス人のジェームス・ワット（James Watt）が蒸気機関を発明したことで、人類は初めて燃料の燃焼によって動力を得る手段を手に入れた。蒸気機関は製鉄所や紡績工場など多くの工場に設置され、続いて船舶に搭載され、そして蒸気機関車、自動車を誕生させることになり、文字通り産業革命の原動力となった。

19世紀後半になると、内燃機関の出現が活発になる。ドイツ人のオットー（N.O.Otto）が1860年に発表したオットーサイクルはのちのガス機関、ガソリン機関へ発展し、1882（明治15）年のスウェーデン人ド・ラバル（C.G.P.de Laval）と1884（明治17）年のイギリス人パーソンズ（C.A.Parsons）による蒸気タービンの発明は蒸気機関の代替原動機として発展した。そして1885（明治18）年にイギリス人プリーストマン（Prestman）が発明した石油発動機は、農業機械やポンプ駆動用として1960年代まで盛んに使用され、1886（明治19）年に同じイギリス人シュアート（H.A.Stuart）が発明した焼玉機関は、漁船用主機などに1960年代まで数多く使用された。

1897（明治30）年、ドイツ人ルドルフ・ディーゼル（Rudolf Diesel）は5年にわたる実験の結果、ついにディーゼル機関の運転に成功し世界の注目を浴びた。熱効率の高さと多様な燃料が使用できる点がほかの原動機との大きな違いだった。ディーゼル機関はまず陸上の発電や動力源に、蒸気機関の代替として利用され、続いて船舶推進用、鉄道車両用、自動車用などに用途が広がっていく。

わが国へディーゼル機関が入ってきたのは1907（明治40）年ころで、国産1号は1917（大正6）年に誕生したことが記録されている。以来船舶、陸用、鉄道車両、自動車など各分野で目覚ましい発展を遂げてきた。船舶では蒸気機関、蒸気タービンをほぼ完全に排除して高いシェアを維持しているし、鉄道用でも蒸気機関車に完全にとって代わった。また、農業機械に多く使われていた石油発動機も、漁船機関として主流を占めていた焼玉機関もディーゼル機関の経済性の前には太刀打ちできず1960年代を最後に製造が途絶えた。自動車は商用車中心だったディーゼル機関が乗用車にも次第に浸透していく勢いである。

このように、ディーゼル機関が各分野で勢いを増している反面、1990年代から特に世論の盛り上がりを見せている環境問題に関して、ディーゼル機関は窒素酸化物（NOx）と粒子状物質（PM）の排出量が高く、これらを削減することが課題になっている。これは高熱効率であることと低質燃料油の使用と密接に関係しており、新しい燃焼方式、バイオマスなど新たな燃料への適応性も含めて検討すべき課題と思われる。

本調査ではディーゼル機関の利用分野のうち、船舶用、陸用、鉄道車両用の三分野に絞り、4サイクル機関を中心として系統化し、前年度調査済みの「船用大形2サイクル低速ディーゼル機関」については重複を避けた。そしてこれらの分野に共通する主要関連技術の発達過程を横断的に調査した。調査対象時期は、ディーゼル機関が発明された19世紀末から現在までとしているが、記録の散逸が懸念される戦前についても極力記述した。これら機関にかかわる外国のライセンスや国内メーカーは多岐にわたり、現存しないメーカーもあるが、産業史のなかで果たした役割について極力記録を残すことに努めた。そして、巻末には機関メーカーの消長に関する年表、ディーゼル機関の発展系統図、4サイクルディーゼル機関の発達史などを付した。

■ Abstract

Many means of obtaining power by burning fuel have been developed since James Watt invented the steam engine in 1776. Steam engines were initially installed in plants (iron, textile, and so on) and then later on ships, in locomotives, and in automobiles. The steam engine was a driving force of the industrial revolution.

The internal combustion engines appeared during the latter half of the 19th century. The invention of the Otto cycle engine by Nicolaus Otto, a German, in 1860 led to the gas engine and gasoline engine. The invention of the steam turbine by C. G. P. de Laval, a Swede, in 1882 and by Charles Parsons, a Briton, in 1885 gradually drove out the steam engine. The kerosene engine, invented by Prestman, a Briton, in 1885 had been successfully applied to agricultural machinery and the pump driving by the 1960s. The hot bulb engine, invented by Herbert Stuart, a Briton, in 1886 had been installed on a large number of fishing vessels by the 1960s.

Rudolf Diesel finally produced a successful prototype of a compression ignition engine in 1897 as the result of much experimentation over the previous five years. His namesake engine had high thermal efficiency and could burn various kinds of fuel, making it greatly different from the other engines of the time. The diesel engine was initially applied mainly to power generators and for mechanical driving as a successor to the steam engine. Its application gradually expanded to ships, locomotives, automobiles, and so on.

The first diesel engine was imported into Japan in about 1907, and production in Japan began in 1917. Subsequently, the use of the diesel engine in Japan spread remarkably to ships, stationary use, railway cars, automobiles, and so on. It eliminated the use of steam engines and steam turbines for ship propulsion and the use of steam engines for locomotive propulsion. The production in Japan of kerosene engines (mainly for agricultural machinery) and hot bulb engines (mainly for fishing vessels) finally stopped in the 1960s. In the Japanese automobile industry, the diesel engine is now spreading from commercial to passenger vehicles.

Diesel engines emit high levels of nitrogen oxide (NO_x) and particulate matter (PM), and the reduction of these emissions has been an important research area for the past two decades. This emissions problem is closely related to the engine's high thermal efficiency and to the low quality of the fuel burned. While many researchers have tackled this problem, it remains unsolved.

This paper describes the historical development of the four stroke diesel engine for three application areas: ships, land stationary use and railway cars among its many applications. It is a follow-up to "Historical development of two stroke marine diesel engine" published in 2007. It focuses on the period following World War II, but developments before the war are described in as much detail as possible because of concern about the loss of the records.

The appendix presents a diagram showing the development time course of the diesel engine, and the genealogy of the engine builders in Japan is shown as a line drawing.

■ Profile

佐藤 一也 Kazuya Sato

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

昭和41年3月	東北大学工学部機械工学科卒業
昭和41年4月	株式会社新潟鉄工所（現新潟原動機）入社 新潟内燃機工場配属 以降主として中低速ディーゼル機関の設計・開発・製造・品質管理・サービス業務に従事
平成9年6月	同社取締役太田工場長就任
平成10年4月	同社取締役新潟内燃機工場長就任
平成13年11月	同社退職
平成14年4月	財団法人日本海事協会入会
現在	国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員 財団法人日本海事協会 事業創造大学院大学教授

■ Contents

1. はじめに	3
2. ディーゼル機関の誕生から普及まで	5
3. 船舶用ディーゼル機関の発達過程	11
4. 陸用ディーゼル機関の発達過程	40
5. 鉄道車両用ディーゼル機関の発達過程	53
6. 機関種類の発達過程	62
7. 主要関連技術の発達過程	66
8. まとめと考察	73
謝辞	75
付属資料	77

1 | はじめに

本調査は4サイクルディーゼル機関のうち、発明直後から長い歴史をもつ船舶用、陸用、鉄道車両用を対象とした。これらは比較的大中型に属する。小型に属する自動車用、農業機械用、建設機械用、はん用などの分野については調査対象外とした。

第2章では、ディーゼル機関のドイツにおける誕生から普及の過程を見るときともに、わが国における技術導入から国産化への進展を概観した。

第3章では、船舶用機関の発達過程を、船種ごとに分けて記述した。外航船を中心とする大型商船は2サイクルディーゼル機関が中心であり、前年度の「船舶大形2サイクル低速ディーゼル機関の技術系統化調査」で詳述されているので、本調査では4サイクル機関が使用されている部分について述べた。

4サイクル機関が主力の内航船、漁船、カーフェリー、作業船、官庁船、艦艇などについては、最初は外国の技術を導入しながら、わが国独自の技術発展を遂げてきた歴史的経過があり、造船工業の発展とともにその推進システムの一翼を担うディーゼル機関の技術的進歩は間断なく続いてきたとあってよい。特に、内航船や漁船に使用されてきた4サイクル低速機関はわが国独特のものであり、その発達過程は記憶に留めておきたいことであり、詳しく記述した。

艦艇は戦前の日本海軍と戦後の海上保安庁、海上自衛隊に分けてその歴史を記述した。特に日本海軍がもたらした技術的、人的遺産は、戦後のわが国の産業復興に計り知れない功績があったことが改めて認識された。

第4章では、陸用機関を常用発電機関、非常用発電機関、その他駆動用機関、ガス機関に分けて記述した。常用発電機は事業用、産業用、民生用などに分けられるが、戦後産業の発展と所得増加による電力需要の増加により、各分野とも設置が大幅に増えてきた。しかし、1970年代の二度にわたる石油危機で自家発電から買電への回帰の兆しもあったが、ディーゼル機関の熱効率向上、低質燃料油の使用などで優位性は維持することができた。それに加えて1980年代から盛んになった熱電併給（コージェネレーション）システムに代表されるエネルギーの有効活用が内燃機関の利用を促進した。さらに1990年代から環境問題に直面し、技術的対策の確立が急務となった。

常用機関の市場のひとつとして、主として途上国向けのディーゼル発電プラントがあり、欧州の機関メー

カーと激しい競争をしながら実績を積み上げてきた。世界に通用する品質、性能、価格が維持されている現れといえる。

非常用発電装置の原動機として、ディーゼル機関、ガス機関、ガスタービンが優劣を競っているが歴史的経過と今後の動向について調査を行った。

ガス機関はオットーサイクルの原点でもあり、近年の各種ガス機関はディーゼル機関から派生した一分野と位置づけることもできる。歴史的経過と今後の発展の可能性について記述した。

第5章は、鉄道車両機関についてディーゼル機関車とディーゼル動車に分けて述べている。蒸気機関車で幕開けしたわが国の鉄道が電気機関車、ディーゼル機関車へと進化していき、ディーゼル機関車がどのように発展してきたかを記述した。ディーゼル動車は電車と並んで、動力分散型システムが発達したわが国国鉄では1970年代に世界最大のディーゼル動車保有国になった。その技術水準はきわめて高く、動力システムも日本独自の技術が各所に採り入れられている。

第6章では、各分野に横断的に共通な技術の発達過程を低速、中速及び高速の各機関に分けて系統化した。特に戦後の60年あまりの間に、正味平均有効圧力、平均ピストン速度、燃料消費率がどのように変遷してきたか、そしてそれがどのような手段で実現したのかを明らかにした。

第7章は、ディーゼル機関の技術発展を支えた共通技術のうち主要なものとして、燃料噴射系、過給機および過給システム、環境対策について系統化を行った結果を記述した。燃料噴射系では無気噴射が大きな技術変革をもたらした。近年の電子制御式噴射システムも熱効率向上と排気ガス性状改善に大きな効果をもたらした。また排気タービン過給機の発明はディーゼル機関の出力と熱効率の向上の救世主とあってよい。無過給に比べ5倍の出力と2倍近い熱効率を到達できたことは驚異的である。

第8章は、調査を通じて得られた知見を筆者の考察として記述した。4サイクルディーゼル機関が将来に向かって生き続けられるのか、ほかの熱機関や燃料電池などに取って代わられるのかを予測することは難しいが、少なくとも更なる進化を続けることが不可避であることは確かである。

本文中に盛んに使用される専門用語のうち、特に頻出するものについて、簡単に紹介しておく。

(1) 正味平均有効圧力 (略号Pme、単位：kg/cm²、MPa)
機関の時間容積 (回転数と排気量の積) あたりの出力を表すもので、出力性能の目安となる。

(2) 平均ピストン速度 (略号Cm、単位：m/s)
ピストンの往復動の平均速度で、回転数とともに速度の目安となる。

また使用単位は、概ね1990年代以降はSI単位、1980年代末までは旧単位を使用した。例として出力単位は旧はPS、新はkWとし、必要なものはkWm (機関出力) とkWe (発電機出力) に区別した。また正味平均有効圧力Pmeは旧はkg/cm²、新はMPaを使用した。

	1980年代まで	1990年代以降	換算係数
出力	PS	kW、kWm、kWe	1kW=0.7355xPS
正味平均有効圧力	kg/cm ²	MPa	1MPa=0.09807kg/cm ²

2 | ディーゼル機関の誕生から普及まで

2.1 ディーゼル機関の誕生

ドイツ人ルドルフ・ディーゼル（Rudolf C. K. Diesel, 1858-1913）（図2.1）は1892（明治25）年に、独自の熱力学理論「合理的な熱機関の理論と構造」を發表し、同時にこの理論に基づく特許を取得した。高い燃焼圧力により、サイクルの温度差を大きくすることで熱効率を高めることを理論的に証明し、既にオットー（N. O. Otto, 1832-1891）によって發明された火花点火機関で用いられる予混合燃焼ではなく、燃料をシリンダの中に噴射する方式を採った。空気の圧縮熱で点火するいわゆる圧縮点火機関の發明である。

1893（明治26）年に実験機が製作され、長期にわたる試行の末1897（明治30）年に漸く実用化の目途をつけた。この間の経過は自著のなかで詳述されているが、何度かの危機を乗り越え、最後に成功を勝ち得たのは、自らが構築した熱力学理論に裏付けられた強い信念があったからに他ならない。

一連の膨大な実験は、実に多彩な内容から成っており、今日でも参考になることが多い。例えば、使用した燃料は、原油、灯油、ガソリン、都市ガスと当時入手できる燃料はほとんど試した。燃料の噴射方式も無気噴射と空気噴射の両方式を試みた結果、空気噴射方式を採用した。このことは、燃料の気化がうまくいかなかったことの裏返しでもあり、5年間の実験のほと

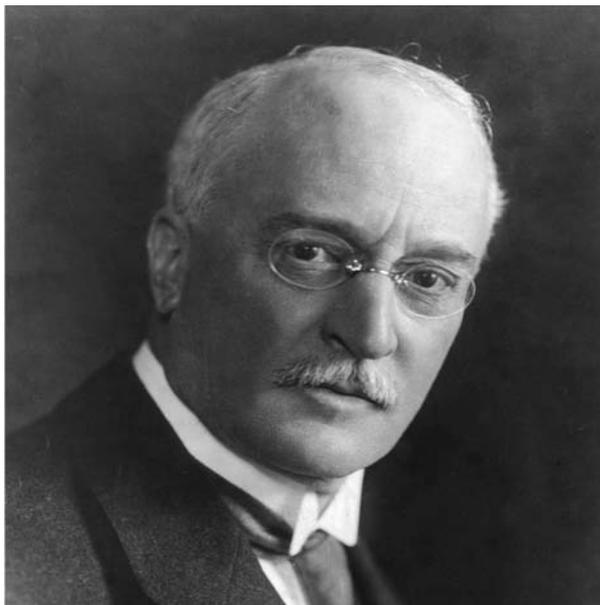


図2.1 ルドルフ・ディーゼル（1858-1913）
（MAN Diesel社提供）

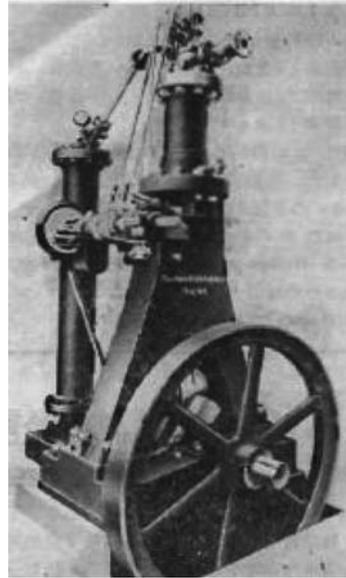


図2.2 ディーゼル機関第1号機
（MAN Diesel博物館所蔵）

んどが燃料の気化による安定な燃焼との戦いだったともいえる。

実験機は4サイクルのクロスヘッド型単気筒の機関で、口径150mm、行程400mmの初号機（図2.2）と口径220mm、行程400mmの2号機で、いずれも現在ドイツで保存されている。

ルドルフ・ディーゼルが發明家として優れていたのは単に理論の組立だけではなく、当時全盛だった蒸気機関に代わる高効率機関の実用化と普及に目標を置いたことである。そして、実験を経済的、精神的に支えたのが、ドイツのクルップ（Krupp）社、アウグスブルグ機械製作所（後のMAN社）の2社だった^{1,2,3}。

2.2 ディーゼル機関の普及

ルドルフ・ディーゼルは実用化の見通しがつく前からライセンスの供与に熱心だった。前述の2社のほか、彼がアウグスブルグの学生時代実習したことのあるスイスのスルザー（Sulzer）社をはじめ5年間に、表2.1に示す10社と技術供与の契約を交している。

欧州各地から実験機の視察に訪れた各社へライセンス契約を奨めたことはもちろん、各地を回ってディーゼル機関の優秀さをアピールし自ら契約を交わした。また、1913（大正2）年には、アメリカに渡り、發明王トーマス・エジソン（Thomas A. Edison）とも会っている。

表2.1 ルドルフ・ディーゼルの技術供与先

技術供与先	国名	契約日
Maschinen fabrik-Augsburg AG	ドイツ	1893年2月21日
Fried Krupp, Essen	ドイツ	1893年4月10日
Sulzer Brothers Ltd.	スイス	1893年5月16日
F. Dyckhoff Fils, Bar-le-Duc	フランス	1894年4月18日
Cares Freres, Ghent	ベルギー	1894年4月30日
Mirrlees, Watson & Yaryan Co., Ltd.	スコットランド	1897年3月23日
Adolphus Busch	アメリカ	1897年10月9日
Burmeister & Wain	デンマーク	1898年1月28日
Marcus Wallenburg (AB Diesel-Motorer に権利譲渡)	スウェーデン	1898年1月
Ludwig Nobel Ltd.	ロシア	1898年2月16日

(「Sulzer低速船用ディーゼル機関の歴史(1)」D.T.Brown
内燃機関1985年5月号より)

ルドルフ・ディーゼルの特許は1912年頃から満了しはじめるが、その後、これらライセンサーが拡張したネットワークで、数多くの会社が独自の設計でディーゼル機関を作るようになり、急速に普及するようになった。

2.3 ディーゼル機関の商用化

商用ディーゼル機関の1号機はアウグスブルグで1897(明治30)年製作され、ドイツ、ケムプテンのマッチ製造会社のユニオン社の動力用として1898(明治31)年に稼働開始した。これは、4サイクル、2気筒、60PS/180rpmの機関であった。

一方、Sulzer社は1903(明治36)年に4サイクル、20PS/250rpmの初のディーゼル機関をポンプ駆動用として製作した。そして、B&W社は1904(明治37)年に4サイクル機関の製造を開始、8~16PSの陸上発電用として10基を製作した。

最初の船用ディーゼル機関は、1903~4(明治36~7)年、フランス、ロシア、スイスで内航船として就航した。フランスの運河のはしけ「Petit Pierre号」は、Dyckhoff製の水平対向ピストン、口径210mm、行程300mm、25PS機関を装備した。同じ頃、ボルガ河とカスピ海を運航する650DWTタンカー「Vandal号」が就航した。主機関はスウェーデンのAB Diesel製、口径290mm、行程430mm、120PS/240rpmの4サイクル機関を3基3軸に配置したものだった。そして1904(明治37)年には、スイス、ジュネーブ湖の貨物船「Venoge号」にSulzerの4サイクル、2気筒、口径260mm、行程450mm、40PS/260rpmのディーゼル機関が搭載された⁴。

しかし、これら初期の船用機関は逆転が効かず、プロペラはディーゼル機関直結と電氣的逆転式を組合わせた取扱いにくいものだった。そこで、Sulzerは1905

(明治38)年に2サイクルの自己逆転機関を開発、続いてMAN(アウグスブルグ機械製作所の新会社)、Nobelも自己逆転機関を開発した。

初期のディーゼル機関の適用分野に潜水艦がある。それまでのガソリン機関に比べ、燃料が引火しにくいという安全面が重視された。最初の潜水艦用ディーゼルは、フランスの「Circe号」と「Calypso号」で、MANの4サイクル4気筒、口径330mm、行程360mm、300PSを4台搭載して、1907(明治40)年に就航した⁵。

最初の航洋ディーゼル船は1910(明治43)年に就航したイタリアの「Romagnolo号」で、主機としてSulzerの2サイクルトランクピストン形、4気筒、口径310mm、行程460mm、380PS/250rpm 2基が搭載された。同年末にはタンカー「Vulcanus号」がオランダのストック・ヴェルクスポアディーゼル(SWD)の4サイクル、クロスヘッド型、6気筒、口径400mm、行程600mm、500PS機関を搭載して就航した。そして1911(明治44)年には、「Toiler号」にSwedish Polarの180PS 2基を搭載して大西洋を横断した。

1912(明治45)年に、デンマークの海運会社East AsiaticはB&Wの4サイクル、口径530mm、行程730mm、1250PS 2基を「Selandia号」(図2.3)に搭載し、欧州と日本間の航路に就航させた。これをもって、世界初の本格的航洋船とする説が有力である⁶。同じ年に就航した6500DWTの貨物船「Monte Penedo号」は初めての2サイクル航洋船であり、Sulzer 4S47形、クロスヘッド型、4気筒、口径470mm、行程680mm、850PS/160rpmが2基搭載された。

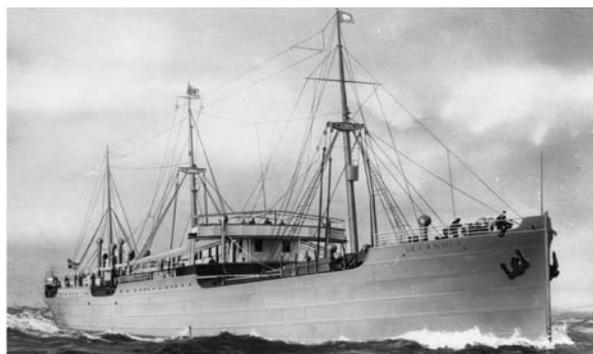


図2.3 世界初のディーゼル航洋船Selandia号
(MAN Diesel社提供)

2.4 我が国におけるディーゼル機関の誕生まで

日本人で初めてディーゼル機関に接したのは、新潟鉄工(現新潟原動機)の技師長笹村万蔵が1900(明治33)年に欧米視察の際に立ち寄ったパリ大博覧会で展示されていた実機であると思われる⁷。

1907（明治40）年、日本石油は33PSの単気筒ディーゼル機関を1台輸入した。これは本邦初のディーゼル機関と推定される。同社の機械部門であった新潟鉄工は、この機関をもとにディーゼル機関の研究を始めた。

一方、三菱重工は1912（大正元）年頃、蒸気タービンの技術習得のため渡欧中の技師が、建造中だった前述の「Selandia号」の見学の機会を得て、ディーゼル機関に強い関心を抱き、その報告に基づいて調査研究が開始された。そして三菱神戸で1917（大正6）年に、清水菊平らの設計による独自のディーゼル機関、G37.5/50型、4気筒、口径375mm、行程500mm、250PS/187rpmを完成し、三菱名古屋に納入した（図2.4）。これがわが国で製作された最初のディーゼル機関とされる^{8,9}。

早くからディーゼル機関の研究を始めていた新潟鉄工は、1916（大正5）年6月に欧米に視察中の技師加藤重男にディーゼル機関の調査を命じた。そして同年10月に、渡英中の海軍機関大佐大内愛七の紹介で、マンチェスター郊外のマーリス（Mirrlees Bickerton & Day）社を訪ねたあと、スウェーデンのAB Diesel（Polar）を視察し、1917（大正6）年帰国した。その後両社と技術提携の交渉を始めたが、AB Dieselとの交渉が難航したため、マーリス社と1918（大正7）年1月に製造権に関する契約を結んだ。

マーリスと提携したものの、非逆転機関のため舶用としては使えなかったため、マーリス経由AB Dieselの図面を入手し、4サイクル、4気筒、口径9インチ（229mm）、行程12インチ（305mm）、100PS/350rpmのM4Z型機関を1919（大正8）年6月20日に完成、東京月島工場で始動に成功した（図2.5）。これがわが国で製造された最初の舶用ディーゼル機関である¹⁰。

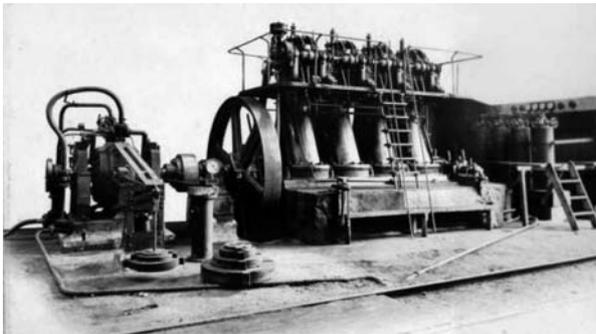


図2.4 本邦初の国産ディーゼル機関（三菱神戸1917年）
（三菱重工提供）

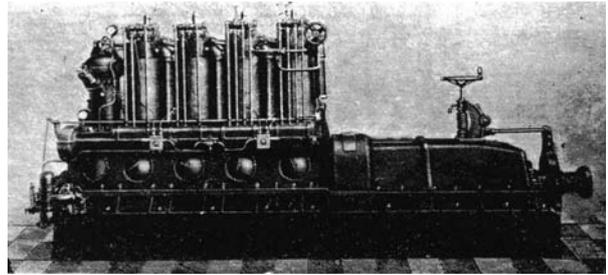


図2.5 本邦初の国産舶用ディーゼル機関（新潟鉄工1919年）
（新潟原動機提供）

2.5 海外からの技術導入

この頃日本海軍では、潜水艦の主機として、ガソリン機関からディーゼル機関への転換を決定し、欧州メーカーとの提携を推進していた。

1915（大正4）年に、川崎造船はイタリアのFIAT社と単動2サイクルの製造権に関する契約を結び、1916（大正5）年には、三菱神戸がVickers社と提携、1917（大正6）年に日本海軍はSulzer社から潜水艦用Q型ディーゼル機関の製造権を購入、翌年神戸製鋼もSulzerとQ型機関の提携を行った。1923（大正12）年頃から、技術導入が活況を呈し表2.2に示すとおり、ほぼ15年間で延べ15社が製造権の取得を果している。

表2.2 海外との技術提携の状況¹¹

契約年	契約者	提携先	サイクル	製造開始	備考
1911(明治44)	川崎造船	MAN	2	—	潜水艦
1915(大正4)	川崎造船	FIAT	2	1919(大正8)	潜水艦
1917(大正6)	三菱神戸	Vickers	4	1922(大正11)	潜水艦
1917(大正6)	日本海軍	Sulzer	2	1918(大正7)	潜水艦
1918(大正7)	神戸製鋼	Sulzer	2	1920(大正9)	潜水艦
1918(大正7)	新潟鉄工	Mirrlees	4	1920(大正9)	発電用
1920(大正9)	三菱神戸	Vickers	4	1924(大正13)	商船
1923(大正12)	川崎造船	MAN	4	1926(大正15)	潜水艦
1923(大正12)	神戸製鋼	Sulzer	2	1924(大正13)	練習船
1924(大正13)	新潟鉄工	Nobel	2	1926(大正15)	漁船
1925(大正14)	横浜船渠	Atlas	4	1926(大正15)	商船
1925(大正14)	三菱神戸	Sulzer	2	1930(昭和5)	商船
1926(大正15)	三井物産	B&W	4	1928(昭和3)	商船
1929(昭和4)	三菱横浜	MAN	2,4	1930(昭和5)	発電用
1929(昭和4)	川崎造船	MAN	2,4	1934(昭和9)	商船

2.6 わが国におけるディーゼル機関の発展

わが国において、最初に船舶に搭載されたディーゼル機関は、1917（大正6）年海軍の給油艦「高崎」の主機B&Wの4サイクル単動500PS 2基であった。引き続き1918（大正7）年には、大型潜水艦「伊51号」にSulzer Q45型単動2サイクル空気噴射式、トランクピストン型機関（6気筒、口径450mm、行程440mm、1300PS/340rpm）を2基搭載した。さらに1920（大正9）年には、「伊52号」にSulzer Q54型（8気筒、口径540mm、行程570mm、3000PS/300rpm）を2基搭載した¹²。これらは何れも、欧州から輸入した機関であった。

新潟鉄工は、1919（大正8）年に開発に成功したM4Z型100PS機関を1920（大正9）年静岡県東海遠洋漁業「第二大洋丸」の船用主機第1号として納入し、引き続き同型の2号機を漁船「海運丸」に納入した¹³。同じ年にマリス型発電用ディーゼル機関の初号機を京都の日本絹布（後の鐘紡）に納入した。そして、1922（大正11）年には農商務省調査船「白鳳丸」に4サイクル、320PS/270rpm機関2台を納入した。

さらに1924（大正13）年スウェーデンのノーベル（Nobel）社から2サイクルディーゼル機関の製造権を取得、1927（昭和2）年に共同漁業のトロール漁船「鉏路丸」に750PS型を搭載した。そして1928（昭和3）年に、同じノーベル型2サイクル、クロスヘッド型（6気筒、口径510mm、行程760mm、1500PS/150rpm）を農商務省調査船「俊鶴丸」に搭載した。本機関は当時としては、航洋船主機に較べても遜色のない大型機関として評判になったという¹⁴。

池貝鉄工も早くからディーゼル機関の研究に着手しており、1920（大正9）年に、独自で開発した4サイクル、空気噴射式単気筒、40PSディーゼル機関を完成し、東京高工に納入した。続いて、1922（大正11）年には120PSの4サイクル機関を御前崎の漁船「福生丸」、160PS機関を「明照丸」の主機として納入した¹⁵。そして1930（昭和5）年には練習帆船「日本丸」「海王丸」の補助推進機関として、無気噴油式4サイクルディーゼル機関（6気筒、口径400mm、行程600mm、600PS/220rpm）各2基を納入した。この両船はわが国初のディーゼル練習船であるばかりでなく、50年以上にわたり海上技術者の養成の場として貢献した。

商船用としてわが国で初めてディーゼル機関が搭載されたのは、1924（大正13）年三菱神戸で建造された大阪商船の内航貨客船「音戸丸」で、主機はピッカースの単動4サイクル無気噴射式（6気筒、口径463.6mm、

行程686mm、600PS/150rpm）の輸入機関が使用された。引き続き建造された姉妹船の「早鞆丸」「三原丸」には三菱神戸製の同型機が搭載された¹⁶。

1924（大正13）年三井物産造船部（現三井造船）は「赤城山丸」の主機としてB&Wから購入した4サイクル空気噴射、クロスヘッド型機関（6気筒、口径740mm、行程1500mm、1800PS/87rpm）を搭載した。これがわが国初のディーゼル航洋船である¹⁷。船主でもある三井物産は本機関選定にあたって、初代機関長となる川合菊平を欧州に派遣し、B&Wの立会のみならず他社機関や艤装品の調査にあたらせた¹⁸。結局、主機関としてはB&Wの1台だけの確保に止まったため、姉妹船の「秋葉山丸」の主機関は蒸気機関を搭載することに決まった。

竣工後、同じ北米航路に就航した両船は優劣が比較されることになり、ディーゼル船「赤城山丸」が航海日数の短縮と積荷の増加で「秋葉山丸」に大きく差を付けたと記録されている。

日本郵船が英国の造船所に発注していた初のディーゼル船2隻が、1925（大正14）年に日本に到着、1隻はSulzerの2サイクル機関を積んだ「愛宕丸」、もう1隻がB&Wの4サイクル機関を積んだ「飛鳥丸」で、いずれも2000PSを2基搭載した¹⁹。

大阪鉄工（現日立造船）では、大阪・別府航路の客船「紅丸」主機にB&W、4サイクル単動機関（6気筒、口径500mm、行程900mm、900PS/140rpm）2基を輸入して搭載した²⁰。

1926（大正15）年に三菱神戸が建造した大阪商船の「那智丸」に搭載されたのは三菱神戸製、ピッカース単動4サイクルクロスヘッド型機関（6気筒、口径463.6mm、行程686mm、600PS/150rpm）2基で、国産機関が初めて搭載された商船である²¹。

1928（昭和3）年、三井物産造船部はB&Wの国産1号機を完成し、三井物産の「高見山丸」に搭載した。4サイクル単動、空気噴射式トランクピストン型機関（6気筒、口径500mm、行程900mm、950PS/160rpm）だった。これら機関の主要目を表2.3に示す。

表2.3 初期の主な国産ディーゼル機関の主要目

船名 (納入先) 竣工年	機関製造者 機関形式*	気筒数	口径 行程 mm	出力PS 回転数 rpm	Pme* kg/cm ² Cm* m/s
三菱名古屋 1917(大正6)年	三菱神戸 単4空TP	4	375	250	5.4
			500	187	3.1
第二大洋丸 1920(大正9)年	新潟鉄工 単4空TP	4	229	100	5.1
			305	350	3.6
那智丸 1926(昭和元)年	三菱神戸/Vickers 単4無CH	6	463.6	600 x 2	5.2
			686	150	3.4
高見山丸 1928(昭和3)年	三井玉野/B&W 単4空TP	6	500	950	5.0
			900	160	4.8
俊鶴丸 1928(昭和3)年	新潟鉄工 単2空CH	6	510	1500	4.8
			760	150	3.8
日本丸 1930(昭和5)年	池貝鉄工 単4無TP	6	400	600 x 2	5.4
			600	220	4.4
帝洋丸 1931(昭和6)年	横浜船渠/MAN 複2無CH	6	600	3600 x 2	4.4
			900	125	3.8

*記号 単:単動、複:複動、2:2サイクル、4:4サイクル、空:空気噴射式、無:無気噴射式、TP:トランクピストン型、CH:クロスヘッド型、Pme:正味平均有効圧力、Cm:平均ピストン速度

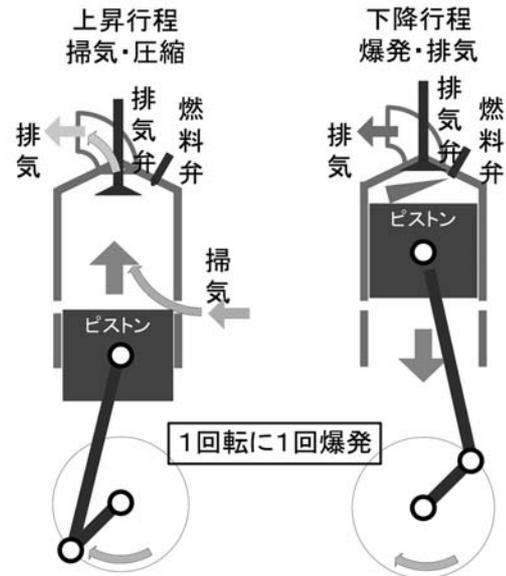


図2.7 2サイクル機関の作動原理 (図2.6 とあわせ、田山経二郎「船用大型2サイクルディーゼル機関の技術系統化調査」2006年度より引用)

2.7 2サイクル・4サイクルと単動・複動機関

ルドルフ・ディーゼルが実用化に成功したのは4サイクルディーゼル機関だったため、その製造権を得たメーカーは暫くは専ら4サイクル機関を製造していたが、1910(明治43)年頃から大型機関メーカーを中心に2サイクル機関の開発を始めた。Sulzer、FIAT、Junkers、Nobelなどが比較的早く、続いてMAN、B&Wなども2サイクル機関の製造を始めた。

船のサイズが大きくなるにつれ、所要出力が大きくなるが、当時の4サイクルでは出力が不足のため、前述の「Selandia号」、「Monte Penedo号」のように、2基搭載して所要出力を確保する方法がとられていた。

正味平均有効圧力(Pme)は4サイクルと2サイクル

で大差がなく、何れも5kg/cm²前後だったので、2サイクルにすることで、同一要目で、2倍の出力が得られたことになる。図2.6、2.7に4サイクル、2サイクル機関の作動原理を示す。

一方、単動式から複動式に移行したのも出力増加の要求によるものである。蒸気船からディーゼル船へのシフトが進むにつれ、より大きな船へのディーゼル機関搭載の需要が増し、単機出力も当然大きいものが求められた。単動式がピストンの片側で燃焼が起こるのに対し、複動式はピストンの両側で燃焼をさせて仕事量を稼ぐ仕組みである。概念図を図2.8に示した。

1929(昭和4)年頃、B&Wは4サイクル複動式でPme 5kg/cm²クラスの機関を開発した。これは4サイクル単動式に較べて2倍の出力である。1930(昭和5)年代に入ると、MAN、Sulzerが2サイクルの複動式機関を

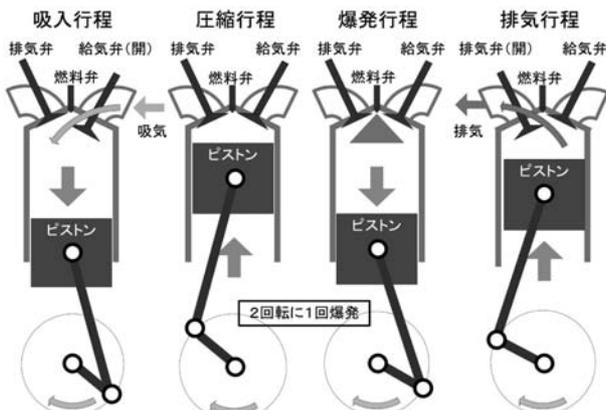


図2.6 4サイクル機関の作動原理

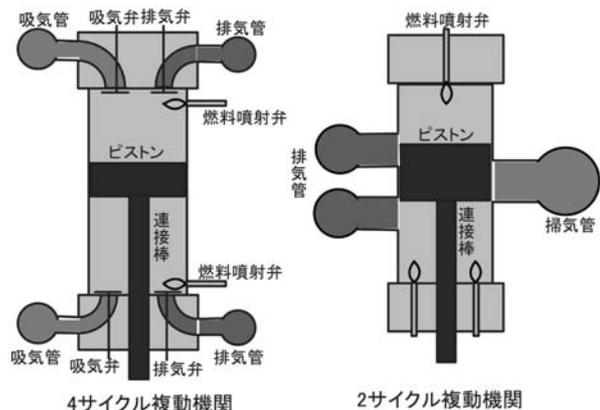


図2.8 複動ディーゼル機関の概念図

Pme 5kg/cm²程度でシリーズ化して、2サイクル単動式と4サイクル複動式に対して2倍という大出力を実現した。日本海軍は潜水艦、水上艦用に2サイクル複動を数機種開発してきたが、戦艦「大和」用に開発した艦本式13号10型機関はPme 5.0kg/cm²、平均ピストン速度Cm 7.0m/sと非常に高水準の機関であり、高い技術を有していたことが分かる。しかし本機関は「大和」には使われず水上機母艦「日進」に搭載された。

表2.4 サイクルと単動・複動の比較

Type	製造者	口径 mm	行程 mm	気筒数	出力 PS	回転数 rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
4サイクル単動	B&W	740	1500	6	1800	87	4.8	4.4
	MAN	450	420	6	1200	450	6.0	6.3
2サイクル単動	Sulzer	540	570	8	3000	300	4.3	5.7
	FIAT	440	450	6	1300	360	4.1	5.4
4サイクル複動	B&W	680	1600	8	5500	100	5.6	5.3
	B&W	840	1500	6	6750	125	5.2	6.3
2サイクル複動	Sulzer	760	1200	7	7600	113	4.2	4.5
	MAN	600	900	6	3600	125	4.5	3.8
	三菱長崎	720	1200	8	8000	110	4.4	4.4
	日本海軍	480	600	10	8000	350	5.0	7.0

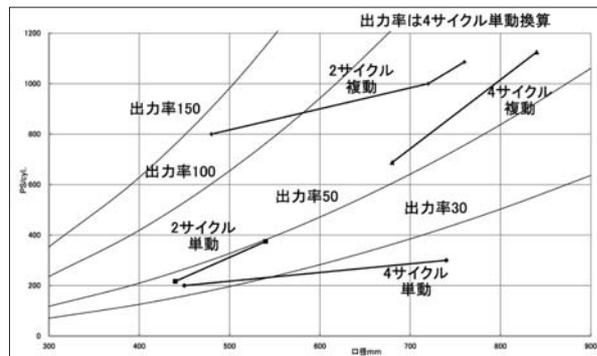


図2.9 機関種類別気筒あたりの出力比較

表2.4は代表的な機関の要目を種類別に示したもので、すべて無過給であるため、Pmeが4~6kg/cm²程度であるのに対しシリンダあたりの出力は、2サイクルまたは複動にすることにより顕著に増加することが示されている。このように、終戦までは過給機がまだ普

及していなかったため、2サイクル化、複動化が出力増加の有効な手段として用いられた。また、平均ピストン速度Cmは4~6m/sが多いなかで、艦本13号のみ7.0m/sと高かったことでも外国勢にひけをとらなかったことがうかがえる。図2.9は口径に対する気筒あたり出力を比較したもので、2、4サイクルの違いと単動、複動の違いが分かる。

- 「ディーゼルエンジンはいかにして生み出されたか」 R.Diesel (山岡茂樹訳)
- 「ディーゼル機関の発明と初期の改良」 K.Luther (笠川哲訳) 日本船用機関学会誌 (以下MESJと略称) 1981年5月
- 「ディーゼル機関-世界における第1号機の開発」 K.Luther (三村道夫訳) 内燃機関 1978年9月
- 「日本の艦艇・商船の内燃機関技術史」 藤田秀雄他 MESJ 1995年9月 P624
- 「日本の艦艇・商船の内燃機関技術史」 藤田秀雄他 MESJ 1995年9月 P625
- 「日本の艦艇・商船の内燃機関技術史」 藤田秀雄他 MESJ 1995年9月 P632
- 「新潟鉄工所百年史」 1996年3月 P82
- 「神船ディーゼル75年のあゆみ」 三菱重工神戸 1992年9月 P15
- 「船用機関技術史」 日本船舶機関士協会 2003年5月 P322
- 「新潟鉄工所百年史」 1996年3月 P83
- 「船用ディーゼル機関の技術に関する進歩の年表」 村田正之他 MESJ 1979年2月
- 「日本の艦艇・商船の内燃機関技術史」 藤田秀雄他 MESJ 1995年8月 P606
- 「日本漁船発動機史」 日本船用発動機学会 1959年7月 P78
- 「新潟鉄工所百年史」 1995 P86
- 「日本漁船発動機史」 日本船用発動機学会 1959年7月 P83
- 「神船ディーゼル75年のあゆみ」 三菱神戸 1992年9月 P17
- 「三井造船のディーゼル50年」 1986年8月 P13
- 「船用機関の回顧談」 川合菊平 MESJ 1973年2月
- 「日本郵船百年史」 1988年10月 P252, 670
- 「日立造船百年史」 1985年3月 P108
- 「神船ディーゼル75年のあゆみ」 三菱神戸 1992年9月 P17

3 | 船舶用ディーゼル機関の発達過程

3.1 商船用ディーゼル機関

3-1-1 外航船

国際航海に従事する外航船は、海運大国日本の花形として産業の発展に寄与してきた。第二次大戦後、蒸気タービンからディーゼル機関への転換が進んでいく過程で、ディーゼル機関のなかで2サイクル機関と4サイクル機関の競争が始まった。欧州のMAN、SEMT、Sulzerなどの各社が高性能の4サイクル機関を開発したのに対し、当時の2サイクル機関は、潤滑油消費が多く、燃費も悪かったため4サイクル機関に遅れをとり、外航船主機としても4サイクル機関優位の時期があった。1964（昭和39）年、川崎重工は4サイクル中速機関を3基1軸に配したコンテナ船「オーストリアンエンタープライズ」号を建造し、世界最大のマルチプルギヤード機関（複数のディーゼル機関から減速機を介してプロペラを駆動する方式）として注目された¹⁾。また、石川島播磨重工（現IHI）は1967（昭和42）年に多目的貨物船「フリーダム」に同社が技術提携したSEMT社12PC2-2型機関5130PSを搭載、20日ピッチの短いサイクルで連続建造を開始した。本シリーズは後続の「フォーチュン」でも16PC2-2V型8000PSが搭載され1980（昭和55）年までに両シリーズ合わせて実に233隻という多数を建造し、すべて外国に輸出された。これら船舶の機関を表3.1.1に示す。

表3.1.1 4サイクル機関を搭載した外航船の要目例

船名またはシリーズ船名	メーカー 主機型式	気筒数	口径 行程 mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s
オーストリアンエンタープライズ	川崎MAN V8V40/54 3台	16	400 540	8690x3 400	18.0 7.2
フリーダムシリーズ	IHI SEMT 12PC2-2V 1台	12	400 460	5130 500	13.3 7.7
フォーチュンシリーズ	IHI SEMT 16PC2-2V 1台	16	400 460	8000 500	15.6 7.7

2サイクル機関は、昭和50年代初めから、ロングストローク化、クロスヘッド式（ピストンと連接棒の間にクロスヘッドという側圧を受ける部分を設ける方式）、ユニフロー式（掃除空気がシリンダの下部から上部の排気弁に直進する方式）、静圧過給方式（7-2-4参照）などの採用で、低燃費と低質油炊対応を確立し、外航船（大型船）の分野では確固たる地位を築くことになる。

3-1-2 内航船

わが国は国土面積の割合に広い領海と長い海岸線を有する島嶼国であり、古くから人や荷物の輸送に船が使われてきた。第二次大戦後、架橋や海底トンネルなど道路や鉄道が整備され、またモータリゼーション時代の到来で自動車が増えた結果、1980年代に入り慢性的な道路の渋滞や自動車からの大気汚染が深刻な社会問題となった。このため、輸送手段をトラックから船舶や鉄道にも分担させるいわゆるモーダルシフトの取組みが官民一体で行われて今日に至っている。

輸送手段別のトンキロベースの輸送量を図3.1.1に示すとおり、内航船は過去30年余りに亘って4割前後のシェアを保ってきた。

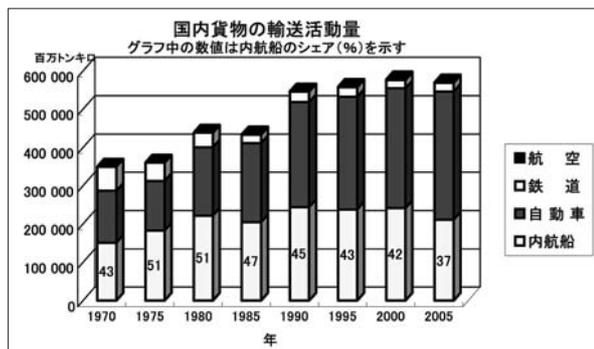


図3.1.1 国内貨物の輸送活動量の推移
（国土交通省「陸運統計要覧」より加工）

一方輸送手段別のトンキロ輸送あたりのエネルギー消費量は図3.1.2で示すとおり、内航船がトラックに比較し約5分の1と省エネルギーになっていることがわかる。

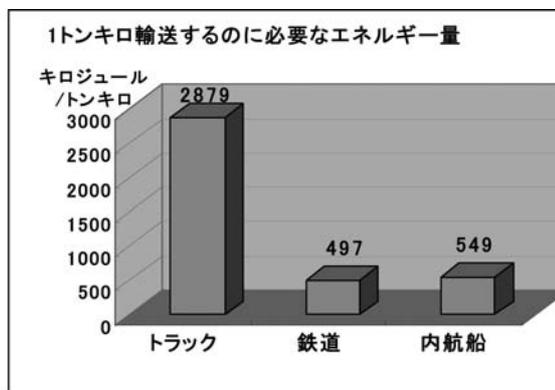


図3.1.2 輸送手段別エネルギー比較
（1998年度「交通関係エネルギー便覧・平成12年度版」より抜粋）

内航船で運ぶ貨物は、鉄鋼製品、セメント、石灰石、穀物飼料、紙、自動車、砂利、石油製品など産業基盤資材から食糧、日用雑貨に到るまでほぼ全般に亘っている。これらの貨物の種類によって、種々の船が建造される。2007（平成19）年3月末現在、内航船は6056隻、360万6920総トンとなっており、総トン数シェアで見ると、一般貨物船の48%とタンカーの27%で全体の75%を占め、残りをセメント、土・砂利・石材、自動車の各専用船が占める。

内航船は小型の199総トンから大型の10000総トンを超えるものまで、かなり幅広いサイズに分布しており、主機の出力も概ね1000PS（735kW）から23000PS（17000kW）クラスまで、広範囲に亘っているが、1970（昭和45）年ころ以降は専らディーゼル機関が使用され、およそ3000PS（2206kW）を境に小型は4サイクル低速機関が、大型は2サイクル低速機関が主流となっている。しかし、近年の電気推進機関では4サイクル中速機関が使用されている。

小型の代表的船舶である499総トン型貨物船の主機の変遷をみると、1970年代は1000～1200PSが主流だったが次第に高出力化して2000年代では1800～2000PS級のものが搭載されている。主な各社の機関を表3.1.2に比較してみる。

表3.1.2 499総トン型貨物船主機の要目比較

船種 建造年	主機メーカー 型式	気筒数	口径mm 行程mm	出力PS 出力kW	rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	燃費 推進効率
499GT 貨物船 1970年代	阪神 6LU28	6	280 480	1000 736	380	13.3 6.1	155g/PSh 39~40%
	赤阪 DM28	6	280 480	1000 736	380	13.3 6.1	
	新潟 6M28AT	6	280 480	1000 736	370	13.7 5.9	
499GT 貨物船 2000年代	阪神 LH34	6	340 640	2000 1471	270	19.1 5.8	140g/PSh 43~45%
	赤阪 A34S	6	340 660	2000 1471	260	19.3 5.7	
	新潟 6M34BT	6	340 620	2000 1471	290	18.4 6.0	

この表から約30年の間に、機関の正味平均有効圧力Pmeは約50%上昇し、回転数は約30%低下により推進効率が約10%上昇、燃費は約10%低下したため20%ほど燃料が節約できたことになり、これは速力に換算すると7%弱の増加に相当する。実際の航海速力が10ノット前後だったものが、最近では11～12ノットに上がってきているのは、燃料消費は若干増えるが、速力重視の考えに基づくものと思われる。

2002（平成14）年、内航電気推進船「千祥」（499総トン

型ケミカルタンカー）が竣工した。530kW_mの4サイクル中速機関3基で発電し、2基の電動機で全旋回式可変ピッチプロペラを回すシステムだった。主機はヤママーの6N165L-EN型1200rpmであり、在来船の4サイクル低速機関とは好対照の機関である。その後できた499トン型貨物船「新衛丸」も400kW_m 3基による発電システムだった。在来船との比較を表3.1.3に示す。

表3.1.3 在来船と電気推進船の比較

船種	主機	補機	推進動力	推進器	備考
在来船 499GT貨物船	低速 1800-2000PS	中速 180kW 2基	1800PS (1324kW)	固定 ピッチ	
新衛丸 499GT貨物船	(主発)中速機関 400kW 3基		500kW 2基 (1000kW)	二重 反転	推進系の 2系統化

電気推進システムの導入によるメリットは、

- ① 負荷変動に対する応答性が高いこと
 - ② 原動機の種類が2種類から1種類になったことによる、予備品共通化と保守の容易化
 - ③ 推進システムの2系統化による信頼性の向上
 - ④ マルチ化による動力分割が自由
 - ⑤ 推進効率の上昇による燃料消費量の節減
- などが挙げられる。

電気推進船は、貨物船だけではなくタンカーや後述のフェリー、クルーズ船、漁船など大小各種船舶に適用される例が増えてきており、今後大幅に増加していくものと思われる。

3-1-3 カーフェリー

日本では1911（明治44）年に関門海峡を鉄道車両を運ぶ連絡船が就航したのが初めての車両輸送で、その後青函連絡船と宇高連絡船が就航した。関門航路は1942（昭和17）年のトンネル開通まで、宇高航路と青函航路は1988（昭和63）年の瀬戸大橋と青函トンネル開通まで鉄道車両輸送の使命を果たした。

青函連絡船では、1955（昭和30）年に初めて「檜山丸」（初代）にディーゼル機関が使用され、1977（昭和52）年に竣工した「石狩丸（三代目）」まで16隻建造された。檜山丸主機は2サイクル無過給機関の2基2軸だったが²、津軽丸（二代目）では、16気筒の4サイクル機関の8基2軸となり、補機を含めると1隻あたりの総気筒数が152にも及んだ。以降は口径を大きくし気筒数を減らす方向に変わってきた³。これには保守整備上の利点が大きかった。またこの20年間で、正味平均有効圧力Pmeが無過給の5kg/cm²から過給機関で12.3kg/cm²と2.5倍程度に上昇していることがわかる。

表3.1.4にこれら機関の要目を示す。

表3.1.4 青函連絡船用主機要目

メーカー 型式 使用開始	サイ クル	台 数	気 筒 数	口径 行程 mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	搭載船
三菱 8TPD48 1955年	2	2	8	480 700	2600 230	5.0 5.4	檜山丸(初代) 空知丸(初代) 十和田丸(初代)
川崎MAN V8V22/30mAL 1964年	4	8	16	220 300	1600 1000	7.9 10.0	津軽丸(二代目) 松前丸(二代目) 八甲田丸ほか
三井 1226MTBF40V 1965年	4	8	12	260 400	1600 560	10.1 7.5	大雪丸、摩周丸 羊蹄丸、十勝丸 (何れも二代目)
ダイハツ 6DSM-32 1976年	4	8	6	320 380	1500 600	12.3 7.6	空知丸(二代目) 檜山丸(二代目) 石狩丸(三代目)

昭和40年代の前半、日本は急速な経済成長を背景に、本格的なモータリゼーションの時代に入った。生鮮食料品を九州、四国、北海道など各地から首都圏や京阪神に輸送するのに、トラックでそのまま乗下船ができるカーフェリーの利点が認められ需要が一気に増大した。また、離島航路に就航していた客船や貨客船に代わって、トラック、乗用車を運ぶカーフェリーも待望された。

1968(昭和43)年に神戸・小倉間に就航した阪九フェリーの「フェリー阪九」が長距離(大型)フェリーのさきがけとなり、中距離(中型)フェリーでは、1969(昭和44)年に関西汽船が神戸・高松航路に双胴船「六甲丸」を初めて就航させた。

初期のカーフェリーの主機として要求される項目として

- ①車両甲板下の機関室に収まるよう機関高さが低いこと(船体構造)
- ②B重油燃料が使用可能なこと(経済性)
- ③故障が少なく定期整備時以外の機関停止が許されないこと(定時運航)
- ④2基2軸または4基2軸など複数推進システムであること(安全性)

などが挙げられる。

これら要求を満たすには、4サイクル中速機関が適しているが、適切な製品が始めから存在していた訳でなく、機関メーカー各社は国産機種の開発または海外との技術提携でこれに対応した。大別すると、大型機関は提携機関、中型機関は国産機関が選択された。主な機関の要目を表3.1.5に示す。

表 3.1.5 1970年代のカーフェリー用主機の要目

メーカー 型式	気筒数	口径 行程 mm	出力PS/cyl 回転数rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	出力 範囲 PS
新潟 MG31EZ	6,8	310 380	350 600	18.3 7.6	2100~ 2800
ダイハツ DSM-32	6,8	320 380	350 600	17.2 7.6	2100~ 2800
MAN V40/54	6-18	400 540	560 430	17.2 7.7	3350~ 10000
SEMT PC2-5	6-18	400 460	650 500	18.7 7.7	3900~ 11700
Sulzer ZB40/48	6-16	400 480	650 530	18.3 8.5	3900~ 10400

昭和50年代半ばから初期のカーフェリーの更新時期に入り、高速化、大型化が急速に進んだ。1979(昭和54)年に敦賀・小樽航路に就航した「フェリーすずらん」と「フェリーゆーかり」は、14300GTの大型で航海速力22.5ノットと当時としては高速力であった。

1996(平成8)年に敦賀・小樽航路に就航した「すずらん」と「すいせん」は航海速力29.4ノットと大幅なスピードアップを図り所要時間を30時間から21時間程度に一気に短縮した。これにより同航路は2隻によるデイリー運行を実現し、運航効率と顧客の利便性を向上することができた。主機出力も大幅に増え、中速機関としては世界最大の出力を持つSEMT社の18PC4-2B型32400PS/410rpm 2基が提携先のディーゼルユニテッド(DU)から納入された。そして、2004(平成16)年には舞鶴・小樽航路に航海速力30.5ノットの「はまなす」「あかしあ」が同時就航した。本船は従来のフェリーの推進システムとはまったく異なる電気推進式で、1軸心上に2個のプロペラを対向配置した画期的なものだった。主機出力は、効率アップの効果もあり12600PS 2基と「すずらん」と比べて大幅に小さくなっている。

表3.1.6に1990年代のカーフェリー用主機の要目を示す。

表 3.1.6 1990年代のカーフェリー用主機の要目

メーカー 型式	気筒数	口径 行程 mm	出力 kW(PS)/cyl 回転数rpm	Pme MPa(kg/cm ²) Cm m/s	出力範囲 kW(PS)
Wärtsilä ZA40S	6- 18	400 560	750(1020) 510	2.51(25.6) 9.5	4500(6120)- 13500(18360)
SEMT PC2-6B	6- 18	400 500	750(1020) 600	2.39(24.3) 10.0	4500(6120)- 13500(18360)
SEMT PC4-2B	6- 18	570 660	1324(1800) 430	2.19(22.4) 9.5	7944(10800)- 23832(32400)
MAN 58/64	6-9	580 640	1400(1903) 428	2.32(23.7) 9.1	8400(11418)- 12600(17127)

1970年代の機関と比べて大型化（10000から30000 PS級と3倍）、高過給化（Pme18から25kg/cm²級と4割増）、高速化（Cm8から10m/s級と2割増）が図られており、各社の技術開発の努力の結果が現われたものと思われる。またこれら技術開発の成功の陰には、日本のライセンサーの協力が大きく貢献したことが挙げられる。

3-1-4 高速船

高速船は、船体を浮揚させて水の抵抗を減らすもので、種々のタイプが1950年代ころから考案されてきた。これら高速船の種類と推進システムを表3.1.7に示す。

表 3.1.7 高速船の種類と推進システムの比較

型 式	特 徴	適 用 例	推 進 器	原 動 機	
水中翼船	水平貫通型	復元力大で安定走行	シュプラマル	ウォータージェット	ディーゼル機関
	全没水単胴型	高度な制御必要	ジェットフォイル	ウォータージェット	ガスタービン
	全没水双胴型	上二型式の中間	スーパーシャトル	プロペラ、ウォータージェット	ディーゼル機関
滑走型	小型艇にのみ可能	モーターボート	プロペラ、ウォータージェット	ガソリン機関 ディーゼル機関	
半滑走型	単胴、双胴型あり	小型客船 警備艇	プロペラ、ウォータージェット	ディーゼル機関	
エアクッション船	水陸両用、超高速	ホバークラフト	空中プロペラ	ディーゼル機関	
SES	操船性改善	WISES (海面効果翼船)	プロペラ、ウォータージェット	ガスタービン ディーゼル機関	
半没水双胴船	乗り心地良い	SWATH、ウェーブピアサ	ウォータージェット	ディーゼル機関	
ハイブリッド型	水中翼+浮力又は空気圧	スーパージェット	ウォータージェット	ディーゼル機関	

これらを大別すると、水中翼型、滑走型、エアクッション型とその組合せ型に分類できる。推進器は船速が35ノット未満では在来のプロペラが、35ノット以上ではウォータージェット（船底から吸い込んだ水をポンプにより高圧にして船尾の水面近くに排出して船の推力を発生させるシステム）が適していると言われている。また原動機に要求される項目は、

- ①機関重量ができるだけ軽いこと。
- ②経済性が高いこと。
- ③機関整備は予備機との交換方式も可能。但し軽作業が船内でできることが望ましい。

が挙げられ、軽量なガスタービンが使用されてきたが、1980年代頃からディーゼル機関の軽量化が進み、その経済性と取扱性から2000年以降は、一部の船を除いてほとんどがディーゼル機関を搭載するようになった。軽量化の技術は、機関の高過給化（Pme25kg/cm²/2.5MPaクラス）、高速化（Cm12m/sクラス）の実用化

と機関本体への補機類（ポンプ、冷却器、フィルター類）の組み込みなどで実現したほか、減速機の軽量化もシステムの軽量化に寄与した。主な高速船の要目を表3.1.8に示す。

表3.1.8 代表的高速船の主要目

船名 (現船名)	型 式	造船所	年	航 路	メーカー 原動機	出力・台 回転数
シーガル2	SWATH(SSH)	三井	1988	熱海・大島	MTU ディーゼル	2680 x 4
トライデント エース	スーパージェット	日立	1993	関空・淡路	新潟 ディーゼル	2750 x 2
はやぶさ	ウェーブピアサ	川重	1996	八幡浜・白杵	CAT ディーゼル	7370 x 2 5520 x 2
シーバード	スーパージェット	日立	1997	長崎・串木野	新潟 ディーゼル	2750 x 4
サンオーブシー (とらいでんと)	SSTH	IHI	1998	高松・小豆島	ディーゼル	5338 x 2 1750
オーシャンアロー	SSTH	IHI	1998	熊本・島原	MTU ディーゼル	5338 x 2 1750

3-1-5 クルーズ船

船を単なる移動の手段ではなく、船旅そのものを楽しむために作られた船がクルーズであり、20世紀の初頭に就航した大西洋航路の客船が最初のクルーズ船といわれており、1904（明治37）年処女航海で沈没して1500人余りの死者を出したタイタニック号も初期のクルーズ船のひとつである。

時代が下って、1969（昭和44）年に就航したクイーンエリザベス2号（図3.1.3）は、70327総トンの世界最大のクルーズ船として活躍し、2004（平成16）年にクイーンメリー号にあとを譲るまでは世界を代表する船だった。主機は最初蒸気タービンだったが、1986（昭和61）年にディーゼル機関に換装された。MAN B&Wの9L58/64型16200PSを9基でそれぞれ10.5MWの発電機を回し、2基の推進器を2基の44MW電動機で駆動する世界最大の電気推進式であった。この換装工事により、燃料消費量が30%強節減され、省エネルギー効果が大きい発揮された。



図3.1.3 クイーンエリザベス2号

電気推進船のさらに進化したものとして、全旋回式推進器をポッド型容器のなかに収容したアジマス (azimuth) 推進器を装備したクルーズ船が1998 (平成10) 年頃から登場した。

推進システムの発達の推移を見てみると、初期の蒸気タービンから、ディーゼル機関へと移り、ディーゼル機関をベースとした電気推進システムが1985 (昭和60) 年頃から始まり、さらに1999 (平成11) 年頃にアジマス推進器が出現した (図3.1.4)。2000年代に入り、より高出力の要求が高まると、原動機にガスタービンを使用する船が表れた。

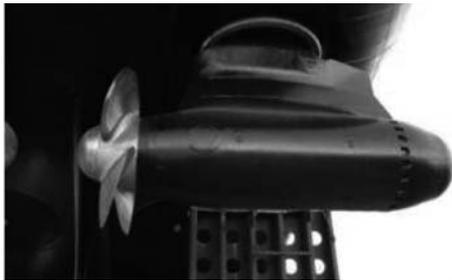


図3.1.4 アジマス推進器の一種Azipod

2003 (平成15) 年、フランスのAlstom社で竣工した「Queen Mary 2」(150000総トン) では、ガスタービンとディーゼル機関のコンビネーションによる電気推進とアジマス推進器の一種であるMermaid Pod (Rolls Royce社傘下のKaMeWa社とAlstom社の共同開発) が使用された。発電規模の大きさとシステムの新規性で世界の注目を集めた。

クルーズ船の推進機関に要求される性能は

- ①騒音・振動・排気色などが少なく、船内の環境が良好に保てること。
- ②低燃費、低質油使用が可能なこと。
- ③電気推進に適した機関であること。

などであり、総出力は数十MW級と大きいのが、単基出力は10MW級でも対応できた。

これら要求を満たす原動機は、ディーゼル機関であるが、一般商船が2サイクル機関で占められているのと対称的に、クルーズ船ではわずかな例外を除いて、4サイクル機関が圧倒的に多いのは、機関の防振対策が比較的容易なことと、電気推進の場合のコスト面での優位性などがその主な理由と思われる。代表的機関を表3.1.9に掲げる。

正味平均有効圧力Pmeが22~27kg/cm²のかなり高水準のものが多く、実際に搭載された機関は上表の最高出力を上限に、10-20%下げた出力を選定して信頼性を確保している場合が多い。

日本では、1989 (平成元年) 年日本鋼管 (現ユニバー

表3.1.9 クルーズ船用の主なディーゼル機関

メーカー 型式	気筒 数	口径mm 行程mm	出力kWm/PS 回転数rpm	出力範囲 kWm	Pme kg/cm ² Cm m/s
MAN B&W L58/64	6-9	580 640	1400/1903 428	8400- 12600	23.7 9.1
MAN B&W L48/60B	6-18	480 600	1200/1632 514	7200- 21600	26.3 10.3
Wärtsilä 46	6-18	460 580	1050/1428 500	6300- 18900	26.7 9.7
Wärtsilä Sulzer ZA40S	6-18	400 560	750/1020 510	4500- 13500	25.6 9.5
SEMT Pielstick PC2-6	6-18	400 460	552/750 520	3310- 9960	22.5 8.0

サル造船) 津造船所で建造された5218総トンの「おせあにつくぐれいす」が最初で、主機はフィンランドのバルチラ (Wärtsilä) 社16V22HF型3530PS (2596kW) 2基が使用された⁵。

1989 (平成元年) 年と翌年に三菱神戸で竣工した「ふじ丸」「にっぽん丸」は23000総トン級の船で、主機はいずれも2サイクルディーゼル機関三菱8UEC52LA型10700PS (後者は10450PS) が2基搭載された。

1990 (平成2) 年、三菱長崎で5万総トン級「クリスタルハーモニー」が竣工、8640kWの中速ディーゼル機関4基からなる電気推進船だった。

1991 (平成3) 年に、三菱長崎で28717総トンの初代「飛鳥」が完成、主機は4サイクル三菱MAN B&W 7L58/64型12600PS (9260kW) が2基搭載された。本船は2006 (平成18) 年に、「飛鳥II」(前クリスタルハーモニー) と交代するまで、わが国最大のクルーズ船だった。わが国に関連のあるクルーズ船の要目を表3.1.10に示す。

表3.1.10 日本運航又は日本建造の主なクルーズ船

船名(現船名) 竣工年	造船所 総トン数	船速KN 乗客数	推進方式 原動機	メーカー 形式	台数 出力kWm	合計出力 kWm
おせあにつくぐれいす (Clipper Odyssey) 1989	NKK津 5218	19.6 120	機関駆動 4サイクルDE	バルチラ 16V22HF	2 2596	5192
ふじ丸 1989	三菱神戸 23235	21.7 603	機関駆動 2サイクルDE	三菱 8UEC52LA	2 7870	15740
にっぽん丸 1990	三菱神戸 21903	22.4 607	機関駆動 2サイクルDE	三菱 8UEC52LA	2 7685	15370
Frontier Spirit (Bremen) 1990	三菱神戸 6752	17.5 164	機関駆動 4サイクルDE	ダイハツ 8DKM32	2 2424	4848
おりえんとびいなす 1990	IHI東京 21884	21.0 606	機関駆動 4サイクルDE	DU-SEMT 12PC2-6V	2 6818	13636
クリスタルハーモニー (飛鳥II) 1000	三菱長崎 48621	22.0 960	電気推進 4サイクルDE	三菱MAN 8L58/64	4 8640	34560
飛鳥 1991	三菱長崎 28717	21.9 584	機関駆動 4サイクルDE	三菱MAN 7L58/64	2 9260	18520
クリスタルシンフォニー 1995	Kvaener 50202	22.0 960	電気推進 4サイクルDE	Sulzer 9ZA40S	6 6480	38880
ばしふいづくびいなす 1998	IHI東京 26518	20.8 720	機械駆動 4サイクルDE	DU-SEMT 12PC2-6V	2 6818	13636

3-1-6 作業船、特殊船

(1) 作業船

港湾や海洋で諸作業を行う作業船には、浚渫船、起重機船、杭打船などがあり、自力で航行できる自航船と作業だけに使用される非自航船がある。主な作業船の種類を表3.1.11に示す。動力の種類として、浚渫ポンプ、クレーン、杭打機などがあるが、これら作業のために原動機に対して要求される項目として、

- ①過負荷や低負荷の連続運転に耐えられること
- ②大きな負荷変動に追従できること
- ③燃費、潤滑油消費が少ないこと
- ④初期投資費用が少ないこと

が挙げられる。このため、使用される原動機はディーゼル機関に限られ、とりわけ4サイクル中速機関が使用されることが多い。

一方、過負荷や低負荷に耐えるため燃料はA重油を使うことがほとんどで、これが一般商船と異なる点である。また、負荷変動の影響を緩和するために発電機を介して電動機駆動とするいわゆる電気式や空気圧や油圧を利用する方式もある。

これらは、初期投資、運転経費の面ではやや不利であるが、船としての総合経済性から考慮された結果と考えられる。

表3.1.11 主な作業船の特徴

名称	自航/非自航	機能
ポンプ浚渫船	非自航	海底の土砂をポンプで吸引し、管路で離れた場所に移送する
グラブ浚渫船	非自航	開閉式のバケットで海底の土砂をすくい、クレーンで運搬船に搭載する
ドラグサクシオン浚渫船	自航	微速で航行しながら、ポンプ先端の金具を接地して土砂を船内に吸引する
起重機船	自航	海上で重量物を吊って陸揚げしたり、海洋構造物の据付作業を行う
杭打船	非自航	杭打機を使って海底に基礎杭や鋼矢板の打設を行う

時代の推移とともに、技術の発達過程を見てみる。

(a) 黎明期 (1945～1959年)

この時期は、ポンプ浚渫船は一般船舶と同じように蒸気タービンを搭載するものもあったが、作業性と経済性からディーゼル機関に替わっていき、ディーゼル機関は過給機付のものが普及し始めた。作業船用機関専用として開発されたものではなく、一般船舶や陸上発電用の中速機関が使用された。1959 (昭和34) 年に竣工した水野組 (現五洋建設) ポンプ浚渫船「駿河」には三菱横浜MANのV8V30/42AL (2000PS/360rpm) が

採用され、これが大型浚渫船の草分けとなって、1964 (昭和39) 年までの5年間で18台の同型機が供給された。

ドラグサクシオン浚渫船は国の所有船が多く、1960 (昭和35) 年に竣工した運輸省第二港湾建設局「海龍丸」の推進兼用直流発電機関には三菱横浜MANのG6V40/54AL (1000PS/360rpm) 2基が搭載された。

(b) 高出力化、高性能化 (1960～1979年)

高度成長に支えられて、港湾整備、空港建設、大規模埋立などの海洋土木工事が最盛期を迎え、各種作業船が数多く建造されるとともに、浚渫能力の増強も図られて大型化が進んだ。一方、海外での海洋土木工事に進出する企業があらわれ、スエズ運河にポンプ浚渫船を派遣して長年に亘り作業に従事する船もあった。使用されるディーゼル機関は、5000PS級のものも現われたが、負荷変動に追従できるように、正味平均有効圧力Pmeは15kg/cm²程度に抑えた。

1978 (昭和53) 年に竣工した第五港湾建設局のドラグサクシオン浚渫兼油回収船「清龍丸」には主発電機関として三菱横浜MANの6L40/54型 (3000PS/400rpm) が2基搭載された。

(c) 低燃費化、ハイテク化 (1980年代)

二度のオイルショックを経て、作業船の機関に対しても一段と低燃費が要求された。また、一般船舶と異なり、低負荷の連続使用が多いことから低負荷性能の改善も課題となった。燃費改善については、1980 (昭和55) 年ころから、4サイクル中速機関が達成しつつあった140g/PSH台のものが適用できた。また、低負荷対策は、給気加熱方式 (低負荷時の燃焼室温度低下による燃焼不良を防ぐため、機関の冷却水の熱を使って燃焼空気を加熱する方式) などで対処した。

(d) 環境対応化 (1990年代以降)

2000年以降建造されたドラグサクシオン浚渫兼油回収船「海翔丸」、「白山」、二代目「清龍丸」の3隻は、いずれも電気推進とアジマススラスト (全旋回式推進器) の組合せとなり、主機は低NO_x型高過給の中速ディーゼル機関 (3200～3600PS) を2基搭載した。

作業船が稼働地域周辺に与える影響として、騒音、排気ガスがある。騒音については機関の低燃費化に伴う燃焼圧力の上昇で、排気騒音が大きくなったため、消音器の要領増加と性能改善で対処した。また、排気ガス成分のうち、窒素酸化物 (NO_x) は燃費とトレードオフの関係で増加が顕著になったが、燃料噴射時期の遅延や噴射系の最適化で改善をはかり、硫酸酸化物

(SOx)は低硫黄燃料の使用で対処した。ばいじん(粒子状物質PM)は発がん性も指摘されディーゼル自動車で規制され始めたが、船舶についても規制が検討されており今後対策が必要となることは必定である。

(2) 特殊船

特殊船には表3.1.12に示すようなものがあり、各種作業や運輸に従事している。

表3.1.12 主な特殊船の特徴

名称	機能
曳船	台船や構造物を曳航するオーシャンタグと港湾内で大型船舶を支援するハーバータグがある
押船	台船や構造物を船体前部に接続して押し進める船舶で、特に土砂運搬が多い
ケーブル敷設船	微速で船を移動しながらケーブルを繰り出して海底に敷設する船舶

曳船のうちハーバータグは、大型船が入港する港に配備され、船の離接岸などを単独または複数で支援するもので、操船性の良さが要求される。戦後間もないころは4サイクル低速機関と可変ピッチプロペラの2軸船だったものが、中速機関とドイツのフォイトシュナイダープロペラ(船底から縦軸を介して駆動される水平回転する推進器で操船性に優れたもの)の組合せ(2軸)となり、さらにアジマススラスト(全旋回型推進器でさらに操船性が良いもの)の2軸になって今日に至っている。アジマススラストの代表的なものとして、国産技術で開発した新潟鉄工のZペラと川崎重工のレックスペラがあげられる。

ケーブル敷設船は、微速を要求されることから低負荷連続使用に耐えられるよう近年電気推進が主流になっている。

作業船、特殊船の原動機には、ほとんど4サイクル中速ディーゼル機関が使用されており、性能、耐久性、信頼性の向上に加えて環境負荷の小さいものが要求されそれに呼応したものが国産技術として開発されてきた。具体的な例として、同規模のハーバータグ用主機の変遷を表3.1.13に示す。

表3.1.13 ハーバータグ主機の新旧比較

	1965(昭和40)年	2005(平成17)年	備考
出力	1200PS/883kW	2000PS/1471kW	67%増
回転数	600rpm	720rpm	20%増
気筒数×口径mm×行程mm	6×310×380 (2基)	6×260×350 (2基)	—
正味平均有効圧力	10.5kg/cm ²	22.4kg/cm ²	2.1倍
平均ピストン速度	7.6m/s	8.4m/s	10%増
燃料消費率	170g/PSh	145g/PSh	15%低減

- 「ギヤードディーゼルの計画と実際」中野英明 MESJ 1972年2月 P510
- 「神船ディーゼル75年のあゆみ」1992年9月 P27
- 「ダイハツディーゼル30年史」1996年12月 P97
- 「内航客船とカーフェリー」池田良穂 成山堂書店 1996年6月 P95
- 「世界の新鋭クルーズ客船」府川義辰 成山堂 2002年3月

3.2 漁船用ディーゼル機関

3-2-1 漁船用ディーゼル機関の胎動と戦前の漁船

わが国で漁船に初めてディーゼル機関が搭載されたのは、1920(大正9)年静岡県産の鮪漁船「第二大洋丸」「海運丸」の2隻であり、新潟鉄工(現新潟原動機)製M4Z型100PSであった。これは船用機関としても初めての国産ディーゼル機関であった。当時の主流であった焼玉機関に比べて、運転経費(燃料と水の消費)が3割削減できたと大いに注目された¹⁾。

1921(大正10)年には、漁業指導船「五十鈴丸」に、1922(大正11)年には、漁業取締船「白鳳丸」に相次いでディーゼル機関が搭載された。

1922(大正11)年、池貝鉄工は「福生丸」にスルザー型4サイクル120PSを納入、同年「明照丸」に同じく160PSを民間鋼製漁船用として初めて納入した²⁾。

1923(大正12)年頃から無気噴射式ディーゼル機関の研究が国内でも盛んになり、1926(大正15)年頃には、新潟鉄工、池貝鉄工、日本発動機などで実用機が完成した。そして、1927(昭和2)年に311^ト型トロール漁船「釧路丸」に初の2サイクルノーベル型750PSディーゼル機関が搭載された。引き続き、1928(昭和3)年には取締船「俊鶴丸」にも2サイクル1500PSディーゼル機関が搭載された³⁾。

1934(昭和9)年、日本水産はノルウェーから購入した捕鯨母船「凶南丸」を中心に船団を組み、我が国初めての南氷洋捕鯨に進出した。同じ大手水産会社の林兼商店(後の大洋漁業、現マルハ)も1936(昭和11)年「日新丸」船団を、極洋捕鯨(現極洋)も1938(昭和13)年「極洋丸」船団を南氷洋にそれぞれ派遣した⁴⁾。その後船団数が6となり、世界でも有数の捕鯨国に成長する。

母船の主機は大型商船よりも大きい1万7千トン級であり、蒸気機関が主流の時代に、6隻のうち3隻にディーゼル機関が使用された。捕鯨船(キャッチャーボート)の主機も蒸気機関が多かったなかで、1937(昭和

12) 年に竣工した「関丸」に初めて900PSディーゼル機関が搭載された。そして翌年にできた「文丸」にも1200PSのディーゼル機関が搭載された。

1923（大正12）年頃から無気噴射式ディーゼル機関の研究が国内でも盛んになり、1926（大正15）年頃には、池貝鉄工、日本発動機、新潟鉄工などで実用機が完成した⁵。これら機関の要目を表3.2.1に示す。

表3.2.1 戦前の主な漁船用ディーゼル機関の要目

メーカー型式*	気筒数	口径mm 行程mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s*	船名 竣工年
新潟 4単空T	4	229 305	100 350	5.1 3.6	第2大洋丸 1920
池貝 4単空T	4	152 203	160 350	5.1 3.9	明照丸 1922
神戸製鋼 2単空T	4	210 350	150 280	5.0 3.3	呉羽丸 1925
阪神 4単無T	4	220 350	100 380	4.5 4.4	第二明神丸 1930
赤阪 4単無T	4	260 390	170 360	5.1 4.7	第二春日丸 1933
新潟Nobel 2単無T	6	380 610	900 200	4.9 4.1	関丸 (1937)

*記号 2：2サイクル、4：4サイクル、単：単動、空：空気噴射式、無：無気噴射式、T：トランクピストン型、Pme：正味平均有効圧力、Cm：平均ピストン速度

3-2-2 戦後の漁船用機関の発展

漁船は沿岸用の1^ト未満の小型のものから捕鯨母船のように1万^トを超える大型のものまで幅が広く、従って搭載される機関の出力範囲も数馬力から1万馬力くらいまで広範囲に亘る。ここでは、便宜上シリンダ口径が150mm以上の中大型機関と150mm未満の小型機関に分けてその発達過程を見ていくことにする。

(1) 中大型機関（口径150mm超）

(a) 4サイクル低速機関

戦時、日本海軍の要請で海務院が4サイクルディーゼル機関の標準化を行い、これを機関メーカー各社が戦中戦後にわたって製造した。このうち100PS級の22型は沿岸、沖合漁船に、200PS級の25型は沖合、遠洋の漁船に多く使用された。これら標準の代表例を表3.2.2に示す。無過給機関のため戦前の出力レベルと変わらなかったが、戦後の物資不足、材質不良、粗悪な燃料油と潤滑油などが原因で、故障が続出し評判は良くなかった。

1953（昭和28）年頃から、22型を23型に、25型を26型にそれぞれサイズアップし設計も新しくした。そして、1956（昭和31）年ころまでに漁船の大型化に対応して、28、31、37、42、47、48型などが製作され、6

気筒で1800PSまでの出力がそろった。これら機関は、小型機関メーカーのみならず三菱横浜、三井造船など大手造船所においても、戦後しばらく製造された。

表3.2.2 海務院標準型機関の要目⁶

形式	気筒数	口径mm	行程mm	出力PS	回転数rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
3-22	3	220	360	90	400	4.9	4.8
4-22	4	220	360	120	400	4.9	4.8
4-25	4	250	380	160	380	5.1	4.8
5-25	5	250	380	210	380	5.3	4.8
6-25	6	250	380	250	380	5.3	4.8
6-31	6	310	460	400	330	5.2	5.1
6-35	6	350	520	500	290	5.2	5.0

これとは別にメーカー各社は、海軍の標準型機関の在庫流用や独自の機関の製作に着手し、各種漁船に納入した。1948（昭和23）年、赤阪鉄工はKS6型320PSを開発し、かつお・まぐろ船主機に納入した⁷。1949（昭和24）年、松井鉄工が開発したMDF4-22型120PSは上記海務院型と同一要目の機関であるが、ミーツエンドワイズ式逆転機（米国の石油発動機メーカーミーツエンドワイズ社が開発した円錐クラッチを使用した逆転機）を組み込んだ独自の設計だった⁸。1952（昭和27）年開発の阪神内燃機6Y型650PSと1953（昭和28）年開発の新潟鉄工のM6DS型900PSは海軍の艦本23型をベースにした機関であるが、前者はやがて過給機を装着して900PSとし、双方とも過給機関では独自の設計となった。このように、昭和20年代は、標準型の影響を受けながらも次第に各社の独自色を出していった時期だった。昭和30年代迄に市場に出た主な漁船機関を表3.2.3に示す。

表3.2.3 昭和30年代迄の漁船用機関の要目

メーカー形式	気筒数	口径mm 行程mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	弁数	過給機	空気冷却器
日本海軍 22型10号	10	430 450	2120 560	5.3 8.3	2	無	無
三井 628MTF45	6	280 450	300 320	4.8 5.6	2	無	無
赤阪 KS6	6	280 380	320 380	5.4 4.8	2	無	無
松井 MDF4-22	4	220 360	120 400	4.9 4.8	2	無	無
阪神 6Y	6	370 520	650 320	5.4 5.5	2	無	無
新潟 M6DS	6	370 520	900 320	7.5 5.5	2	付	無
赤阪 KD6SS	6	470 670	1700 250	8.8 5.6	2	付	付
阪神 6TS	6	490 700	2100 250	9.5 5.8	2	付	付

1952（昭和27）年頃からBBCやナピア社からの過給機の輸入に加え、国産過給機も優れたものができるようになり、ディーゼル機関とのマッチングが図られ実用化に大きく近づいた。そして1953（昭和28）年末頃から、漁船用主機として、次々に採用された⁹。

主要各社の過給機関の1号機は次の通りである。

1953（昭和28）年 愛知県水産高校「晴和丸」（新潟900PS）

1953（昭和28）年 鮪延縄漁船「第28琴平丸」（池貝850PS）

1954（昭和29）年 鮪延縄漁船「第7香取丸」（阪神400PS）

1954（昭和29）年 鮪延縄漁船「第8万栄丸」（赤阪900PS）

そして、1956（昭和31）年に、新潟鉄工が英国ナピア社と、1958（昭和33）年に石川島重工がBBCとそれぞれ技術提携したことで、過給機の普及に弾みがついた。

1967（昭和42）年に赤阪は4弁式高過給機関UHS27/42型1000PS（Pme16kg/cm²）を開発し、鯉鮪漁船「日吉丸」に搭載して高過給漁船機関に先鞭をつけた¹⁰。

(b) 2サイクルディーゼル機関

戦後2サイクル機関が比較的大出力を要する捕鯨船、捕鯨母船、冷凍運搬船等の主機に採用された。表3.2.4に示すように、終戦直後の無過給機関から近年の高過給機関まで過給度の上昇と、ピストン速度の上昇で、出力が格段に上昇しているのが分かる。

表3.2.4 漁船用2サイクル機関の主要目

メーカー 型式	気筒数	口径mm 行程mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	船種 船名(竣工年)
三井B&W 1062VF115	10	620 1150	5400 125	5.2 5.8	捕鯨母船 第1日新丸(1946)
三井B&W 642VTBF90	6	420 900	2400 200	7.2 6.0	トロール船 天城丸(1960)
神発 8UET45/75C	8	450 750	5000 230	10.3 5.8	捕鯨船 第1京丸(1971)
日立B&W 12M42CF	12	420 750	5900 248	8.6 6.2	トロール船 おおとり丸(1971)
日立B&W 12L35MC	12	350 1050	7320 200	13.6 7.0	捕鯨母船 日新丸(1987)
川崎B&W 6L35MC	6	350 1050	5280 210	18.7 7.4	捕鯨船 第2勇新丸(1998)

(c) 4サイクル中高速機関

戦時標準型の低速機関がシリーズ化されていた一方で、減速機を介してプロペラを推進する中速、高速機関の開発も始まった。

1947（昭和22）年、新潟鉄工は4気筒M4BR型、口径160mmの100PS/900rpmの中速機関を開発したが、戦後の材料不良や取扱いの不慣れなどで故障が多く、

数年で製作中止となった¹¹。

1952（昭和27）年、ヤンマーディーゼル（現ヤンマー）が6気筒6MS型、口径200mmの180PS/600rpmを減速機付きで完成した。当初逆転クラッチに問題があったが、その後解決され200PS以下の用途に使用された¹²。

その後も中高速機関の開発が続けられ、1962（昭和37）年頃までに、信頼性の高い製品が、ヤンマー、ダイハツ工業（現ダイハツディーゼル）、新潟鉄工等で完成し、まき網灯船、鮪延縄漁船等に搭載され、次第に各種漁船にも採用されるようになった。1962（昭和37）年、ダイハツは大都漁業向底曳網漁船用に6PST b M-26D型を初のギヤードディーゼルとして納入した。

複数の機関を接続して一つのプロペラを駆動するいわゆるマルチプルギヤード式は1963（昭和38）年、東京水産大（現東京海洋大）練習船「神鷹丸」に2基1軸（計800PS）、1971（昭和46）年には水産庁の漁業取締船「東光丸」に4基1軸（計8000PS）が適用された¹³。後者は可変ピッチプロペラ付で、減速機の上に発電機が2基搭載される斬新なものだった。本機関の4基の工場運転の状況を図3.2.1に示す。

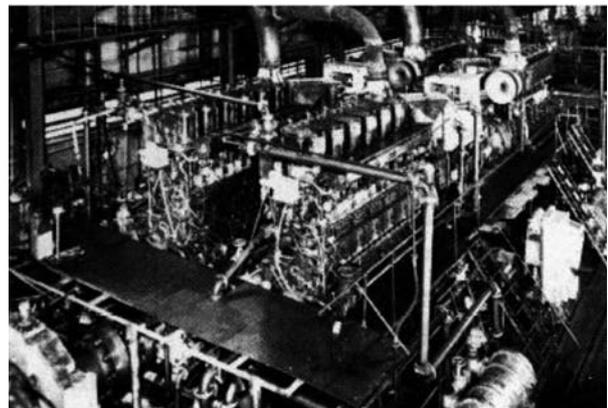


図3.2.1 「東光丸」4基1軸機関
（新潟原動機提供）

(d) 低燃費化の推進

1973（昭和48）年の第1次、1979（昭和54）年の第2次石油ショックによる燃料の高騰で漁業経営が極度に圧迫され、漁船の省エネルギー対策が緊急の課題となった。とりわけ主機関、補機関の低燃費対策が強く求められ、燃焼最高圧力の上昇、静圧過給方式や高効率過給機の採用、燃料噴射系改善による短期噴射の実現などのほか、低速機関はロングストローク化傾向に一層拍車がかかった。その結果、1975（昭和50）年から1980（昭和55）年の5年間で中速機関は160から150g/PSh前後に、低速機関は155から145g/PSh前後とそれぞれ6～7%程度の燃費低減を達成した。

低速機関は減速しないでプロペラを回すため、減速

して大口径プロペラを回すことができる中速機関に比べ、推進効率の面では不利な状況にあったが、1979（昭和54）年頃から、減速機をつけて大口径プロペラをつけるものが鮪延縄漁船で出現した。推進効率が45%から54%まであがり、1航海の燃料消費量が12%ほど低減した例も報告されている¹⁴。

(e) 低質燃料油の使用

燃料費の節減のもうひとつの方法として低質燃料油を使用する試みが盛んに行われた。大型まき網漁船、以西底曳網漁船、鮪延縄漁船などでC重油またはA重油とC重油の混合油（ACブレンド油）が使用された。

1982（昭和57）年竣工の大洋漁業499^ト型まき網漁船（赤阪2200PS/270rpm）では、通常負荷ではC重油、50%負荷以下ではACブレンド油を使用した。以西底曳漁船ではスペースの関係で船内にブレンド装置を備えることが難しいため、陸上で調整したACブレンド油を受け入れる方法を採用した。遠洋鮪延縄漁船は1航海が12～18か月にも及ぶ長期に亘るため、途中での燃料補給が可能なC重油を使用できる設備を備えた。

これらの漁船は昭和50年代後半にかなり普及したが、外地および国内の漁港における低質油の供給体制が十分ではなかったため、ごく限られた船にしか使われなかったことと、燃料価格が次第に鎮静化したこともあり、ほとんどの船が従来のA重油に戻った。

(f) 動力システムの改善

漁船は一般的に網を曳いたり、獲った魚を冷凍したりするための動力いわゆる補機動力の、推進動力に対する割合が商船に較べて大きいため、これをいかに小さくするかが船全体の省エネルギーに大いに影響する。1978（昭和53）年頃から、発電機、油圧ポンプ、冷凍機を燃費の良い主機から駆動することで、発電機の数減らしたり、容量を小さくするなどの方法が考案された。

(2) 小型機関（口径150mm以下）

小型ディーゼル機関の歴史は戦後始まったとあって良く、およそ10PS以下が石油発動機、10～50PSが焼玉機関、50PS以上がディーゼル機関で構成されていた。漁船の総隻数は、図3.2.2に示すように1965（昭和40）年から2000（平成12）年までの35年間で40万隻前後と大きく変わらないが、動力船が55%から96%に大きく増えたこととFRP船が1970（昭和45）年ころから現われ、その後30年間で全漁船の87%を占めるに至ったことが分かる¹⁵。

以下およそ10年の刻みで発達の過程を追ってみる。

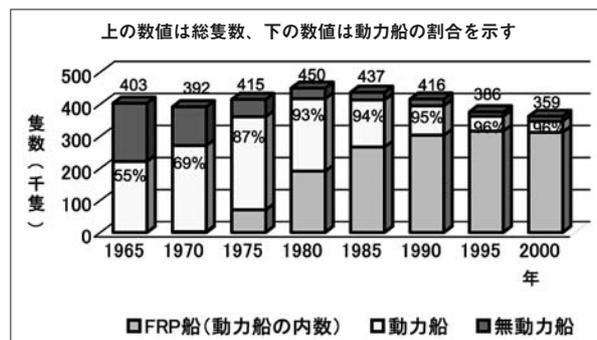


図3.2.2 漁船総隻数の推移 (水産庁漁船統計2006年版ほか)

(a) 黎明期（昭和20年代）

1947（昭和22）年、山岡内燃機（現ヤンマー）が単筒縦型5PSと2気筒10PSのディーゼル機関を開発した。本機はやがて7PS、14PSにそれぞれ増馬力する。同年新三菱重工が単筒7PSを、1950（昭和25）年久保田鉄工（現クボタ）が単筒8PSをそれぞれ開発した（図3.2.3）。

山岡のディーゼル機関は口径100mmで、主軸受が吊りメタル方式（クランク軸をクランク室に下から押え込む構造）、燃料噴射ポンプにはボッシュ式（7.1.2参照）を採用した当時としては斬新なものだった¹⁶。

この時期の機関は表3.2.5に示すように、少数気筒が多く、無過給のため正味平均有効圧力Pmeは6kg/cm²前後と低く、平均ピストン速度Cmも5m/s以下の低速機関並だった。また、逆転機を装備するのが普通で、減速機は付けずにそのままの回転数でプロペラを駆動する方式がほとんどであった。

表3.2.5 昭和20年代に開発された漁船機関要目

メーカー型式	過給機	気筒数	口径mm 行程mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	重量kg 比重量 kg/PS	開発年
山岡 LB	無	1	100	7	5.8	330	1947 (S22)
			160	900	4.8	47	
三菱 DV7	無	1	105	7	6.2	290	1947 (S22)
			150	900	4.5	41	
久保田 FMD8	無	1	110	8	5.3	530	1950 (S25)
			160	900	4.8	54	

(b) 多気筒化、高速化及び省力化（昭和30年代）

初期の高速機関は1000rpm以下が普通だったが出力増加の要請から、次第に高速になり1955（昭和30）年にヤンマーは単筒6PS/1400rpmを開発、久保田も翌年V2気筒30PS/2300rpmを開発したが、振動が多いなどの問題がありやがて姿を消した。一方ヤンマーは前記単気筒に続き、2気筒12PS、3気筒18PSを完成した。本機関は、ピストンをアルミ合金製、シリンダ内面に

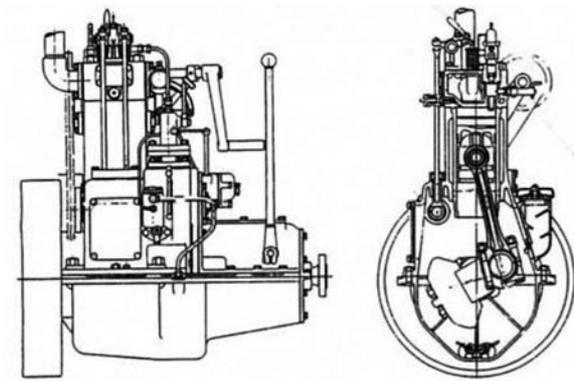


図3.2.3 FMD8型機関（久保田8PS）
 （「日本漁船機関技術史」漁船機関技術協会より）

硬質クロムメッキ施工、吊メタル式にしたため軽量化が進み、船速は8～10ノット程度まで向上した。また、軸受寿命の向上のため主軸受、クランクピン軸受は銅鉛合金（ケルメットメタル）を使用し、クランク軸は高周波焼入れして研磨仕上とした。1960（昭和35）年、三菱はこのクラスでは大型の4気筒、口径135mmの86PSを開発した（図3.2.4）。

この時期に開発された機関は無過給のため、Pmeは依然6kg/cm²強程度で、Cmが7m/s近いものが出現してやや高速になったことと、出力あたりの重量（比重量）が20kg/PSを切るものが現われやや軽量化した。

省力化も進み、昭和30年中頃からそれまで手差し注油をしていた弁腕各部を自動注油する機関が出現した。また、減速逆転機の前後進操作と主機の速度制御をワイヤケーブルによる簡易式遠隔操縦方式が開発された。これらにより、機関室には常時人を配置する必要はなくなり、機関室無人化が実現した。漁船のトン当たり主機出力は昭和30年代の初め10PS程度だったものが、30年代終りには15～20PSまでアップし、船速も10～12ノット程度まで増加した¹⁷。

表3.2.6 昭和30年代に開発された漁船機関要目

メーカー型式	過給機	気筒数	口径mm 行程mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	重量kg 比重量 kg/PS	開発年
久保田 3MCZ	無	3	110 150	30 1200	5.3 6.0	670 22	1958 (S33)
三菱 4DVB-3b	無	4	135 180	86 1200	6.3 7.2	1350 16	1960 (S35)
ヤンマー 3ST	無	3	95 150	18 1400	4.7 5.4	480 27	1961 (S37)

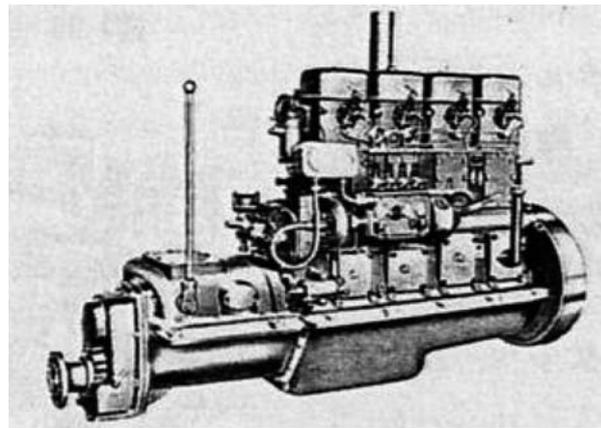


図3.2.4 4DVB-3b型機関（三菱86PS）
 （「日本漁船機関技術史」漁船機関技術協会より）

(c) 高出力化（昭和40年代）

小型漁船は木造船がほとんどであったが、昭和40年代になると強化プラスチック（FRP）船が出現した。そしてこの頃、小型ディーゼル機関にも過給機が装着されるようになって、一気に高出力化が進み、それがFRP船とうまくマッチして15～18ノットという驚異的な船速が実現した。

この時期に、いすゞ自動車や日産ディーゼルが自動車用ディーゼルを転用して船用市場に参入を図った。無過給ながら、Cmが10m/sの高速回転のため比重量は7kg/PS前後と小さく、過給機関より軽量だった。

船の軽量化と機関の高出力化が急速に進んだ結果、船体振動の問題が起こり、船体や機関取付台を補強するなどの対策がとられた。これは、FRP船が剛性不足なところに、機関の高出力化による起振力の増大によって生じた問題である。1963（昭和38）年ころから、3～4気筒機関には二次バルancer（運転によって生ずる不釣合力を軽減する装置）を設置したり、釣合の良い6気筒機関を搭載する船が非常に多くなった^{18,19}。この時期を代表する機関の要目を表3.2.7に、そのうちの1機種の外形断面図を図3.2.5に示す。

表3.2.7 昭和40年代に開発された漁船機関要目

メーカー型式	過給機	気筒数	口径mm 行程mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	重量kg 比重量 kg/PS	開発年
三菱 6GAC-2	付	6	145 200	282 1250	10.3 8.3	2860 10.1	1967 (S42)
ヤンマー 6KD-HT	付	6	145 170	200 1200	8.9 6.8	2570 6.8	1971 (S46)
久保田 M6D45CSN	付	6	145 200	210 1250	7.6 8.3	2200 10.5	1972 (S47)
いすゞ E120B	無	6	135 140	190 2200	6.5 10.3	1290 6.8	1972 (S47)
日産ディーゼル SD336	無	6	83 100	70 3200	6.1 10.4	495 7.1	1972 (S47)

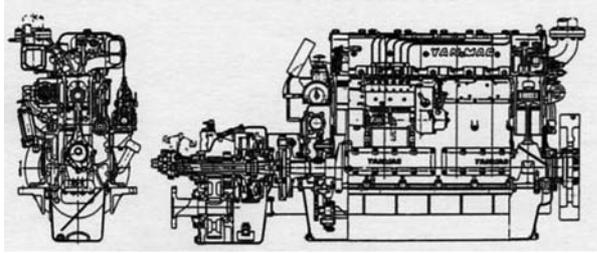


図3.2.5 6KD-HT型機関（ヤンマー200PS）
 （「日本漁船機関技術史」漁船機関技術協会より）

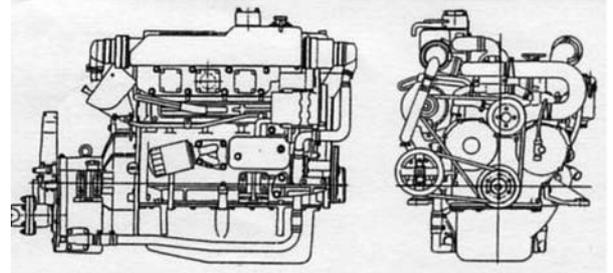


図3.2.6 MD20型機関外形図（ヤマハ60PS）
 （「日本漁船機関技術史」漁船機関技術協会より）

(d) 省エネルギー化、高出力化（昭和50年代）

1973（昭和48）年の第1次石油ショックにより、漁船の建造が急減した。これに対処するため、機関メーカーはこぞって低燃費化に取り組んだ。まず、小型機関では従来予燃焼室式が主流であったが、直噴式への変更が盛んに行われた。また、機関冷却水は海水を使用するのが一般的であったが、これを清水冷却方式に変更し、比較的高い温度で冷却することで冷却損失を減らしたり、過冷を防止して部品の寿命を長くすることに努めた。過給機関では給排気弁各2個の4弁式が主流となり、出力が上昇したこと、回転数も3000rpm級のものも現われ、比重量4kg/PS台の機関が出現した（表3.2.8）。

この市場が拡大するにしたがってさらに参入するメーカーが増え、小松製作所は建設機械用ディーゼルの船用転用型のEMシリーズで、ヤマハ発動機はMDシリーズ機関を船体との一体販売でそれぞれこの市場に参入を図った（図3.2.6）²⁰。

表3.2.8 昭和50年代に開発された漁船機関要目

メーカー型式	過給機	気筒数	口径mm 行程mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	重量kg 比重量 kg/PS	開発年
ヤマハ MD20	付	4	95 105	60 2800	6.5 9.8	402 6.7	1976 (S51)
ヤンマー 6HAK-HT	付	6	130 150	240 2000	9.0 10.0	1354 5.6	1977 (S52)
三菱 6ZKAC-1	付	6	135 150	380 2200	12.1 11.0	1700 4.5	1979 (S54)
久保田 MH50CS	付	6	119 145	270 2100	12.0 10.2	1980 4.6	1980 (S55)
いすゞ E120TC	付	6	135 140	280 2200	9.5 10.3	1550 5.5	1980 (S55)
日産ディーゼル FD6T06	付	6	100 125	175 2700	10.8 10.8	775 4.4	1981 (S56)
小松 EM440A	付	6	105 125	116 2260	10.7 9.4	640 5.5	1983 (S58)

(e) 環境対応と軽量化（昭和60年代以降）

過給機が普及すると、さらに空気冷却器を装備して増馬力を図るケースが増え、比重量は2kg/PS台のものが現われた。またユニットインジェクタ式（7-1-3参照）の燃料噴射装置を小型機関にも適用することで、低燃費と軽量化を同時に実現する機関も現われた。

一方、国際海事機関（IMO）の大気汚染防止条約の発効の動きが予測され、各社とも窒素酸化物（NOx）の低減に取り組み始めた。噴射圧力の上昇、燃焼室形状の最適化、噴射時期遅延などにより規制に備える動きが目立った。この時期に開発された機関の要目を表3.2.9に示す。

表3.2.9 昭和60年代に開発された漁船機関要目

メーカー型式	過給機	気筒数	口径mm 行程mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	重量kg 比重量 kg/PS	開発年
いすゞ 6BG1TC	付	6	105 125	210 2600	11.9 11.8	770 3.7	1989 (H1)
三菱 S6M3-MTK	付	6	117 135	460 2500	19.0 11.3	1080 2.3	1990 (H2)
日産ディーゼル PN6TA06	付	6	132.9 150	420 2100	14.4 10.5	1485 3.5	1990 (H2)
ヤマハ MD629KUH	付	6	105.8 118	285 2900	12.2 11.4	825 2.9	1990 (H2)
ヤンマー 6CA-ET	付	6	105.9 125	300 2600	15.7 10.8	870 2.9	1991 (H3)
小松 6M108A-1	付	6	108 130	345 2520	17.2 10.9	940 2.7	1992 (H4)

(f) 船内外機用ディーゼル機関（昭和50年代以降）

欧米で、主としてプレジャーボートの推進用に使用されていたガソリン船内外機のドライブ装置を輸入して国産ディーゼル機関と組み合わせて漁船用として使用する試みが昭和50年代に始まった。減速機と舵付プロペラを船内のディーゼル機関と直結してコンパクトにまとめることができ、操縦性の良さとスピードの速さが船内機よりも優れていた（図3.2.7）。

市場が拡大するに従ってドライブ装置も国産が始まりディーゼル機関も前述の船内機の転用で出力レン

ジを広げていった。表3.2.10に船内外機の代表的ディーゼル機関の主要目を時系列で示す。船内機と同様にPmeが10kg/cm²前後から14 kg/cm²程度まで上昇、Cmも12m/s前後へ上昇して、小型軽量化が10年余りのあいだに急速にすすんだ²¹。

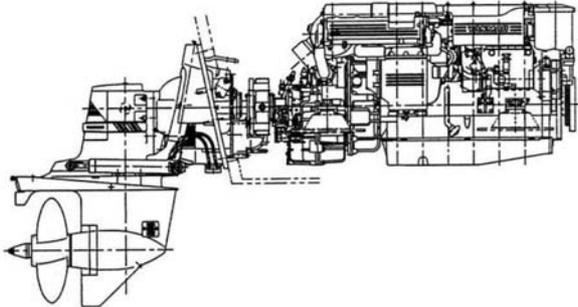


図3.2.7 船内外機外形図（ヤンマー6LY-UTZ型）
（「日本漁船機関技術史」漁船機関技術協会より）

表3.2.10 船内外機用ディーゼル機関の要目

メーカー 型式	過給機	気筒数	口径mm 行程mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	重量kg 比重量 kg/PS	開発年
久保田 OMH2600C	無	6	82 82	43.6 2712	5.6 7.4	270 6.2	1978 (S53)
三菱 S6E2-MYTK	付	6	98 98	125 3200	7.9 10.5	495 4.0	1982 (S57)
ヤマハ D200KH	付	6	91.5 100	74 3050	11.1 10.2	220 3.0	1984 (S59)
小松 EM640-T	付	6	105 125	130 2450	7.4 10.2	810 6.2	1984 (S59)
ヤンマー 6PHM-HTZ	付	6	95 110	130 3100	11.4 8.1	510 3.9	1984 (S59)
三菱 S6F-MYTK	付	6	98 98	140 3100	9.2 10.1	510 3.6	1987 (S62)
ヤマハ SX420KSH	付	6	94 100	230 3600	13.8 12.0	450 2.0	1990 (H2)
ヤンマー 6LY-UTZ	付	6	100 110	245 3000	14.2 11.0	575 2.3	1990 (H2)

(g) 船外機用ディーゼル機関（昭和50年代以降）

昭和50年代に、1ト未満の小型漁船ものFRP船が普及しはじめ、ガソリン船外機が取り付けられた。二度に亘る石油危機の到来で、1984（昭和59）年、水産庁の主導で官民連携で船外機用ディーゼル機関の開発が行われた。開発を委託されたヤンマーが1987（昭和62）年に、D36型（36PS/4500rpm）を商品化した。そしてD18型（18PS/4500rpm）、D27型（27PS/4500rpm）（図3.2.8）とともにシリーズ化を図った（表3.2.11）²²。

無過給機関であるが、4500rpmという高回転のため、プロペラを含めた比重量でも3.5kg/PSと大幅に軽量化を図っている点が注目される。燃費は190g/PSと2サイクルガソリン機関の300g/PS、4サイクルガソリン

機関の230g/PSと比べて大幅に低い。したがって、年間稼働時間が多い定置網、養殖漁業などに従事する漁船には経済性の上からディーゼル船外機の利点が多い。

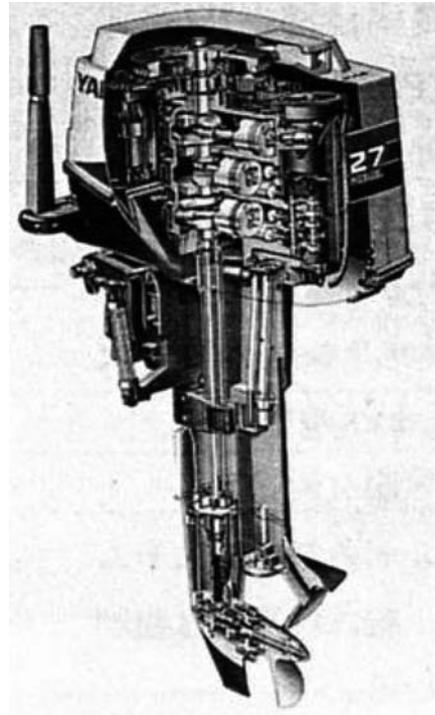


図3.2.8 ヤンマーD27型船外機カット図
（「日本漁船機関技術史」漁船機関技術協会より）

表3.2.11 船外機用ディーゼル機関の要目

メーカー 型式	過給機	気筒数	口径mm 行程mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	重量kg 比重量 kg/PS	開発年
ヤンマー D18LE	無	2	70 70	18 4500	6.7 10.5	80 4.4	1988 (S63)
ヤンマー D27LE	無	3	70 70	27 4500	6.7 10.5	95 3.5	1985 (S60)
ヤンマー D36LE	無	3	82 70	36 4500	6.5 10.5	120 3.5	1987 (S62)

- 1 「新潟鉄工所百年史」1996年3月 P66
- 2 「日本漁船発動機史」日本舶用発動機会 1959年7月 P83
- 3 「日本漁船発動機史」日本舶用発動機会 1959年7月 P90
- 4 「日本漁船史」漁船協会 1986年10月 P311
- 5 「日本漁船発動機史」日本舶用発動機会 1959年7月 P92
- 6 「日本漁船史」漁船協会 1986年10月 P173
- 7 「赤阪鉄工所60年史」1970年 P81
- 8 「日本漁船機関技術史」漁船機関技術協会 1995年3月 P63
- 9 「日本漁船機関技術史」漁船機関技術協会 1995年3月 P83
- 10 「わが社の歴史を飾った1台のエンジン」日本内燃機関連合会 2005年7月 P12
- 11 「日本漁船機関技術史」漁船機関技術協会 1995年3月 P103
- 12 「日本漁船機関技術史」漁船機関技術協会 1995年3月 P104

- 13 「日本漁船史」 漁船協会 1986年10月 P177
- 14 「日本漁船機関技術史」 漁船機関技術協会 1995年3月 P86
- 15 「漁船統計表」 水産庁統計 2006年
- 16 「日本漁船機関技術史」 漁船機関技術協会 1995年3月 P142
- 17 「日本漁船機関技術史」 漁船機関技術協会 1995年3月 P147
- 18 「日本漁船機関技術史」 漁船機関技術協会 1995年3月 P152
- 19 「漁船用小形ディーゼル機関」 水沼達夫 内燃機関
1977年3月、1978年4月
- 20 「日本漁船機関技術史」 漁船機関技術協会 1995年3月 P158
- 21 「日本漁船機関技術史」 漁船機関技術協会 1995年3月 P166
- 22 「日本漁船史」 漁船協会 1986年10月 P192

3.3 船用補機関

蒸気機関や蒸気タービンが船舶の推進用に使われていたときは、発電機やポンプの駆動源も蒸気を使うことが普通であったが、推進用にディーゼル機関が使用されはじめると、補助機関も次第にディーゼル機関に置き換わっていった。

1926（大正15）年、池貝鉄工所は4サイクル、6気筒200PSディーゼル機関を135kWの直流発電機と結合して、日本海軍巡洋艦「足柄」ほかに納入した。

1928（昭和3）年、川崎造船は海軍伊4号潜水艦の補助発電機用に450PSディーゼル機関を300kWの発電機と結合して納入した。これは船用ディーゼル発電機として当時最大のものだった。同じ年池貝は、千葉県漁業指導船「安房丸」の発電機に、ISD22型25PSを15kWの直流発電機と組合せて納入した¹。

1929（昭和4）年、三菱神戸は大阪商船「ぶえのすあいれす丸」の発電機関として4サイクルMR6C型（350PS/310rpm）のディーゼル機関を搭載した²。

三井造船は、同じ年に大連汽船の「崑山丸」「崑山丸」に4サイクル131MTHK35型（50PS）を1台、1930（昭和5）年、国際汽船「葛城丸」に428MTHK45型（210PS）を3台、さらに1931（昭和6）年には、231MTKH35型（105PS）を5隻分14台搭載し、補機分野にも進出を図った³。

1934（昭和9）年、川崎造船は「東和丸」の発電機関にMAN G7V28.5/42型（440PS/375rpm）を搭載した⁴。

1936（昭和11）年、三菱神戸は海軍の水上新艦発電用として8G31/32型（670PS/600rpm）を開発、引き続き1938（昭和13）年に完成した6G31/38型とともに、1939（昭和14）年から終戦までに44台を製作し、戦艦「大和」、「武蔵」（ともに蒸気タービン推進）と全ディーゼル式の潜水母艦「大鯨」の発電機関として搭載した⁵。

1939（昭和14）年、山岡内燃機は海軍基地の動力用、

照明用として、M2DM、M3DM型（40～60kVA）のディーゼル発電機の製造を開始した⁶。また、戦時海軍の小型艦艇の発電用として、海軍標準N5～N10型3～6kWeのディーゼル機関を製造した⁷。

1930年代の初頭、国内ディーゼル機関メーカーは高速化に成功し、市場進出を図ったが、主な用途は自動車、鉄道車両であった。この高速機関に着目したのが日本海軍で、船用発電機に積極的に採用していった。それと同時に、中高速機関の標準化に着手し、口径100、120、160及び260mmの機関の試作を、池貝、新潟、三菱の各社に指示して、これらが完成すると、海軍の制式機関として各社に発注した⁸。

表3.3.1 海軍の発電機用制式機関の要目（代表例）

型式	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力		回転数 rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
				PS	kWe			
N5	1	100	150	5	3	1000	3.8	5.0
N16	3	100	150	16	10	1000	4.1	5.0
N42	4	120	180	42	25	1200	3.9	7.2
N120	6	160	220	120	80	900	4.5	6.6
N380	6	260	340	380	250	650	5.9	7.4

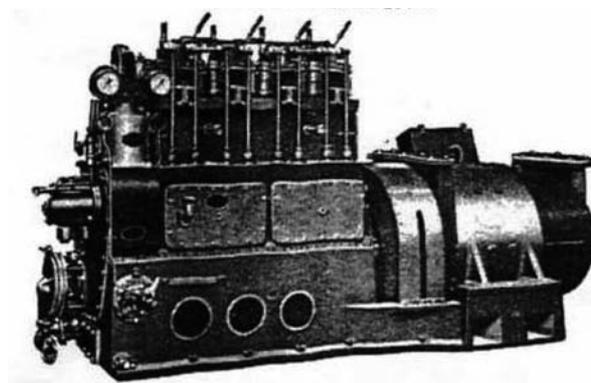


図3.3.1 海軍制式N42型25kW船用発電機関

戦後間もない1947（昭和22）年、運輸省（現国土交通省）は船舶の計画建造に着手し、海運業と造船業の復活を企図した。運輸省は合理的な船舶とするため、運航費並びに船価低減の方針を打ち出したが、民間はこれに呼応して合理化に取り組んだ。そのひとつが、電気設備の交流化とそれに適合する発電用ディーゼル機関の開発であった。

1953（昭和28）年に竣工した油送船「さんるいす丸」にはAC230V/275kVAの発電機が2台装備された。また1955（昭和30）年に竣工した貨物船「相模丸」にはAC450V/280kVAの発電機が3台装備された。

交流発電機は過渡特性の優れた自励式が開発され、1958（昭和33）年、富士電機が制作した自励交流発電機の第1号が貨物船「長良丸」に搭載された。

発電機関メーカーは本格的な交流化に向けて、周波数(60Hz)と極数から決まる回転数ごとに機関出力を設定するシリーズ化に着手し、この市場の要求に応えた。

ダイハツディーゼルは、1967(昭和42)年末までに、輸出商船300隻にPS型発電機関を搭載、同市場の過半数を占めた。そして、1968(昭和43)年に、英国スコットランド造船所から補機6PST-26D型(540PS/600rpm)を3隻分9台を受注、初の単体輸出となった。また、1969(昭和44)年、原子力船「むつ」の主発電機関として、8PSHTc-26D型を受注した。さらに、石川島播磨重工がシリーズ建造した多目的貨物船「フリーダム」船に1967(昭和42)年から1975(昭和50)年までに、87隻分210台の発電機関をPS型(360~460PS)と非常用のPK型(90PS)で納入した⁹。同じ時期に函館ドックのバラ積貨物船でも、6PST-26D型(540PS)を48台受注した。同社はこの時期に、船用補機メーカーとしての地歩を築いたものと思う。

ダイハツの補機市場での攻勢はさらに続き、1979(昭和54)年から翌年にかけて香港船主向に50隻分150台、1983(昭和58)年には三光汽船バラ積み貨物船向として、6DL-20型50隻分170~180台を受注した¹⁰。しかし、後者の大型建造計画は投機的な仕組船であったため、三光汽船は1985(昭和60)年倒産するに至った。

1993(平成5)年に完成したダイハツのDK-20型機関は、従来の主流だった6、8気筒のほかに3、5気筒を追加して出力レンジを広くとった。小型の中速機関では珍しいシリーズ化の手法をとったもので、顧客にも製造側にも部品共通の利点をもたらした。

山岡内燃機(現ヤンマー)は1942(昭和17)年に、海軍の小型艦艇用ディーゼル発電機用として、前記制式機関N5、N10型を製作開始し、戦後発展への足掛かりを築いた。

1968(昭和43)年ころからブームになった大型タンカーの補機市場をねらって、まずG型シリーズ(口径240mm、720~2900PS)を開発し、続いて1970(昭和45)年、一回り小さいU型シリーズ(口径220mm、600~1050PS)を完成した。

さらに、1971(昭和46)年にはヤンマーとしては過去最大の機関Z型シリーズ(口径280mm、1800~5000PS)を開発した。V型16気筒(5000PS)は1979(昭和54)年に完成した。

1980年代になると補機のベストセラーとなるM200型(口径200mm、830PS/900rpm)の開発、さらに軽量、高出力、低燃費のN型シリーズとして、6N165型(口径165mm、720PS/1200rpm)を開発した。

1990年代、N型シリーズを拡大し、6N280型(口径

280mm、2450PS/720rpm)、6N330型(口径330mm、3600PS/720rpm)などの大型機関を開発した。さらにこれら機関は8気筒を追加して出力範囲を広げた。

そして、各種船舶のなかで、発電用として最も用途が多い400~600kW級の機関として、従来のM 200型、S185型の後継機種となる高過給機関6N18型(口径180mm、823PS/720rpm、973PS/900rpm)と6N21型(口径210mm、1156PS/720rpm、1387PS/900rpm)を開発した。

このようにヤンマーは、この市場での商品のラインアップを図るとともに技術開発をたゆみなく続け、わが国のトップメーカーであるばかりでなく世界の補機市場をリードしている。

船用発電機関は戦後大きな発展を遂げたが、特に1973(昭和48)年と1979(昭和54)年の2度にわたるオイルショックで大きな試練を経てそれを乗り越えたことが特筆される。それを列記すると次の項目になる。

- (1) 燃料消費率の大幅低減
- (2) 低質燃料油の使用
- (3) メンテナンス間隔の延長

燃費低減に関しては、燃焼最高圧力の上昇が顕著で、オイルショックを挟む1970年と1980年の10年間で、8~15%程度の改善が認められる。

低質油は主機のみならず発電機関にも同質油の使用が要求され、従来小型機関では不可能とされたIF380と呼ばれる高粘度C重油を使用できる目途をつけるに到った。機関側では、噴射系の改善、排気弁、過給機などの耐食性改善などいくつかの方策が講じられた。

わが国の商船補機の市場には、かつて外国メーカーが市場参入を狙ったことが何度もあったが、いずれも成功していない。その理由はいくつかあるが、上記国産2社が徹底した合理的生産システムの構築でコスト競争力を維持したことと、顧客、造船所に対する引合いから納入後の部品供給に至るまでのきめの細かいサービスが認められたことが挙げられると思う。もちろん技術的水準が外国勢と比べて劣っていないことが条件ではあった。

-
- 1 「日本の艦艇・商船の内燃機関技術史-周辺機器-」
藤田秀雄他 MESJ 1997年1月 P13
 - 2 「神船ディーゼル75年のあゆみ」三菱重工神戸造船所
1992年9月 P18
 - 3 「三井造船のディーゼル50年」1986年8月 P25
 - 4 「船用ディーゼル機関の技術に関する進歩の年表」
村田正之他 MESJ 1979年2月 P150
 - 5 「神船ディーゼル75年のあゆみ」三菱重工神戸造船所
1992年9月 P21

- 6 「船用ディーゼル機関の技術に関する進歩の年表」
村田正之他 MESJ 1979年2月 P151
- 7 「日本の艦艇・商船の内燃機関技術史－小型船用内燃機
関編－」 藤田秀雄他 MESJ 1997年4月 P277
- 8 「日本の艦艇・商船の内燃機関技術史－周辺機器－」
藤田秀雄他 MESJ 1997年1月 P14
- 9 「ダイハツディーゼル30年史」1996年12月 P72
- 10 「ダイハツディーゼル30年史」1996年12月 P137

3.4 艦艇用ディーゼル機関

3-4-1 日本海軍の艦艇

(1) 日露戦争から第一次大戦まで

1904（明治37）年～1918（大正7）年

日露戦争中にアメリカのエレクトリック・ボート社から購入した潜水艇5隻が、わが国で保有した最初の潜水艇であり、180PSのガソリン機関が搭載されていた。その後各国の潜水艇を調査し、1911（明治44）年にイギリス・ビッカース社から、1913（大正2）年にフランス・シュナイダー社からそれぞれ潜水艇を購入、1915（大正4）年に川崎造船がイタリア・フィアット社の潜水艇およびディーゼル機関の製造権を取得した¹。3社とも潜水艇とその主機用ディーゼル機関を自社製作しており、ビッカースは4サイクル無気噴射600PS、シュナイダーは2サイクル空気噴射1100PS、フィアットは2サイクル空気噴射1300PSであった。

川崎造船はフィアット社に多数の技術者を派遣して技術習得に努め、1919（大正8）年に第1号機を完成し、引続き3隻分6台を製作したが、これは日本で初めての1000PSを超える国産ディーゼル機関であった²。

これらの購入潜水艇と川崎造船および海軍呉工廠で建造した同種の潜水艇の経験から、海軍は海中形潜水艦（水上速力17ノット）を標準形に制定し、1919（大正8）年より横須賀、呉、佐世保の各工廠にて建造を始めた。主機はSulzer2サイクル、空気噴射式6気筒1300PS機関で、海軍および神戸製鋼で製造した³。

また三菱造船（神戸）では1917（大正6）年ビッカース社より製造権を得て、L形潜水艦とビッカース機関の製造を開始した。同機関は4サイクル、無気噴射、12気筒、1200PSで三菱神戸で製造した⁴。

(2) 第一次大戦後からロンドン軍縮会議まで

1919（大正8）年～1930（昭和5）年

第一次大戦でのドイツ、イギリス潜水艦の活躍はめざましいものがあり、潜水艦の軍事上の価値が再認識された。1921（大正10）年に開かれたワシントン軍縮

会議で日本は主力艦のトン数を米英の6割に制限されたが、潜水艦を含む補助艦は意見がまとまらず制限は設けられなかった。

我が国はドイツから潜水艦を購入するとともに、ドイツ人技師を招聘して機雷潜水艦、巡洋潜水艦の建造技術を習得する一方、海軍独自開発の海大潜水艦など作戦目的に応じた潜水艦を盛んに建造して軍事力を増強した。

これら潜水艦の推進および発電を担ったのが、表3.4.1に掲げるディーゼル機関であり、潜水艦用として設計されたものであったが、故障が多く信頼性に乏しかった。ビッカースは排気色が悪く隠密性に欠けたし、MANは強い振り振動があり、またクランク室爆発事故も起こした⁵。Sulzerはピストン、シリンダライナの海水による腐食やクロスヘッドメタルの焼損事故を起こした。そしてその解決に数年を要している。

表3.4.1 潜水艦用ディーゼル機関要目

名称	ライセンス	サイクル	噴射方式	シリンダ数	PS	ライセンス
ビ式	Vickers	4	無気	12	1200	三菱神戸
ラ式1号	MAN	4	空気	6	1200	川崎造船
ラ式2号		4	空気	10	3000	
ズ式2号	Sulzer	2	空気	6	1300	海軍工廠 神戸製鋼
ズ式3号		2	空気	8	3400	

(3) ロンドン軍縮会議後から第二次大戦まで

1931（昭和6）年～1945（昭和20）年

(a) 潜水艦用ディーゼル機関

ワシントン軍縮会議で主力艦を米英対比で6割に制限された日本が、制限のない潜水艦の増強を図った矢先、1930（昭和5）年のロンドン会議で潜水艦の保有量を米英日同量に制限されることになった。すなわち、保有排水総量の制限、単艦排水量の制限などにより、日本の相対的競争力は著しく低下する結果になった。これを回避するため、潜水艦の高速化、すなわち水上速力25ノット級の高速艦の開発に力を注ぐことになった。当時、ラ式2号3000PS、ズ式3号3400PSと同一寸法、重量で5割増の出力の機関が必要になったが、これを国産化するか外国製を購入するか種々検討された。外国製を求めるとすれば、Sulzerがフランス海軍のために開発した9Q54形と、MANがドイツの豆戦艦Deutschland主機用に開発した複動機関MZ形が候補に挙ったが、予算の関係から自ら開発することになった⁶。

海軍ではかねてから将来に備えて単筒大型複動ディーゼル機関を試験中であり、さらに1930（昭和5）年になって4気筒の試験機にとりかかっていた。1931（昭

和6)年に試験は終了し、艦本式1号機関の基礎ができ、翌年末には実用機が完成した。そして1932(昭和7)年に海大形伊号潜水艦主機に搭載され、待望の24ノット高速潜水艦の誕生をみることになる。同艦は16日間の巡航試験を終え、ここに艦本式1号内燃機関の実用性が確認された⁷⁾。

昭和初年頃には、複動機関に関する実用的な資料は皆無であり、特異な構造に関する部分的な基礎実験から始め、単筒機関から4気筒機関を経て実用機へと進めていったが、幾多の困難に直面した。基本設計の段階では、

- ①溶接構造クランクケース
- ②鋳鉄シリンダライナなしのシリンダ
- ③ピストン棒クロスヘッド結合部の構造

などの問題に遭遇し、期限内の解決は極めて困難な状況だった。また、実験初期段階における燃焼不良は、2サイクル機関の掃気の本質に関わる問題の解決を迫られた。

これら問題を解決したのは、当時の造機部長林田恒雄の強力なリーダーシップのもと草川浩、近藤市郎をはじめとする有能な技術者、技能者の功績によるものであった。こうして完成した艦本式1号機関に続き、行程を増して出力を向上した艦本式2号機関が誕生した⁸⁾。

中形潜水艦用としては1930(昭和5)年、多量生産に適するサイズとして気筒あたり250PSを目標に、単動4サイクル、無気噴油ディーゼル機関の開発が呉海軍工廠で行われた。単筒および6気筒試験機で種々試験が行われたが、所期の目標出力は得られず、1933(昭和8)年8気筒1500PSとして実用機が誕生した。そして本機関の10気筒機関が2350PSの22号10形機関として伊12号潜水艦巡潜の主機用に搭載された⁹⁾。

三井造船では、海軍からの要請でこれら1号、2号、22号機関を多数製造した¹⁰⁾。そして、1941(昭和16)年B&W社との契約に艦艇用機関を追加した。B&W社から来日した技師と、三井造船神戸分室で、2サイクル複動無気噴射式機関642WU56/20形(6000PS/450rpm)の試設計を行った。そして玉野工場にて単筒の試験機関を作ったが、戦争の推移のなかで実機の製造には至らなかった。気筒当たり1000PSという当時としては画期的な高出力機関で、ほぼ実用化の目途が立った時点で、残念ながら幻のエンジンとなってしまった¹¹⁾。

第二次大戦の初期、ドイツの潜水艦Uボートは英国など連合国の艦艇に大きな打撃を与え、目覚ましい活躍をした。日本軍は三国軍事協定の関係から2隻のUボートを無償提供された。この目的は日独共同で印度

方面の連合国側の海上交通に打撃を与えるために、日本での潜水艦技術の向上を図るものだった。したがって日本に回航されたU551形(呂500潜)にはドイツ人技師が乗船してきたほか、船体、機関、電気などの図面や資料が多数積み込まれてきた。日本海軍では、部門別にドイツ人技師と意見交換して技術の習得と向上に努めた。主機はMANが開発したM9V40/46形で、日本海軍の22号形と同級の機関であった¹²⁾。この図面を日本語に翻訳し、26号9形機関として調整して横須賀海軍工廠造機部が製作を担当することになった。しかしこのプロジェクトも1945(昭和20)年5月のドイツの無条件降伏で中止となり実機として製作されることはなかった。この機関は戦後MAN社から独立して、フランスのSEMT社を設立したグスタフ・ピールスティック(Gustav Pielstick)がPC2形機関として世に広めた機関のプロトタイプである。これら機関の要目を表3.4.2に示す。

表3.4.2 潜水艦用ディーゼル機関要目

型式	サイクル	単複動	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力 PS	回転数 rpm	Pme kg/cm ²
1号10形	2	複	10	470	490	6300	350	5.1
2号10形	2	複	10	470	530	7800	350	5.8
22号8形	4	単	8	430	450	2080	600	6.0
26号9形	4	単	9	400	460	2200	470	8.1

(b) 水上艦用ディーゼル機関

艦艇用推進機関は低燃費(長い航続距離)、良好な始動性、増速性能が良いことなどが強く要求される。水上艦にディーゼル機関を用いる試みは1928(昭和3)年、敷設艦「巖島」にラ式1号1200PSが3軸で使用されたのに始まる。しかし、主力水上艦用の推進機関としては1基5000PS以上が要求され、また重量も25kg/PSの軽量形が求められた。

ドイツ海軍は第一次大戦後潜水艦の保有を禁止され、また戦艦の排水量は1万トン以下に制限されたので、推進機関の軽量大出力化で性能向上を図った。このころ建造されたのが1万トン形豆戦艦Deutschlandで、この推進用に採用されたのが7000PSの2サイクル複動ディーゼル機関で、8基2軸の構成であった¹³⁾。

日本では潜水母艦「大鯨」が建造されることになり、船体は溶接構造、主機はディーゼル機関が使用されることに決まった。機関は艦本式11号機関で、これを4基2軸としフルカンギヤで連結するシステムだった。しかし、溶接構造からくる船体の問題に加え、主機もピストン棒クロスヘッド接合部の折損事故を起こすなど、計画の5割程度の負荷しか出せない状況で失敗に

終わった¹⁴。

「大鯨」に続いて高速給油艦「瑞穂」「剣崎」「高崎」の主機用、水上機母艦「千歳」「千代田」の巡航用などに11号機関を搭載する計画が進められた。しかし「大鯨」の不具合を完全に解決するに至らなかったことから、ディーゼルの信頼性を回復することができず、タービンに変更された。唯一ディーゼル機関が使用された「瑞穂」は就役して間もなく沈没したため、その成績は残されていない。

1935（昭和10）年、日本海軍は戦艦「大和」の建造計画に着手した。排水量約7万ト、速力27ノット、航続7000海里の世界でも最大級の巨艦で、所要出力は4軸で15万PSと計画された。当時、大出力の原動機は蒸気タービンしかなかったため、4基の蒸気タービン駆動方式が最有力と思われていたが、燃料消費率の少ないディーゼル機関の採用の可能性が検討され、1万PS級ディーゼル機関4台をフルカンギヤで1軸に結合することで、4万PSが可能と結論づけられた。一方、大戦艦では大砲の砲塔旋回用に大容量の水圧ポンプが必要であり、この動力源として蒸気が必要であることから、内側2軸を蒸気タービン、外側2軸をディーゼル機関で駆動する方式が最終案として浮上した。

これを実現するために複動2サイクルで単機1万PSのディーゼル機関の開発に着手し、試作実験が行われた。しかし、「大和」の竣工期の関係から決定の期限が迫ったが、それまでにディーゼル機関の信頼性の確認が間に合わず、全タービン方式に決定した。ディーゼル機関を推した人にとっては、まことに悔しい決定であった¹⁵。

この機関は間もなく、13号内燃機関（口径480mm、行程600mm、シリンダ当り出力800PS、350rpm）として完成し、水上機母艦「日進」の主機として10気筒2基と12気筒1基の3基をフルカンギヤで1軸にしたものを2組で構成した6基2軸合計47000PSが搭載された。1942（昭和17）年に完成したが、残念ながら使用実績を確認することができなかった。これら機関の要目を表3.4.3に示す。

表3.4.3 水上艦用ディーゼル機関要目

型式	サイクル	単複動	気筒数	口径mm	行程mm	出力PS	回転数rpm	Pme kg/cm ²
11号10形	2	複	10	450	600	8500	400	5.4
13号10形	2	複	10	480	600	8000	350	5.1

(c) 魚雷艇用ディーゼル機関

日本海軍は戦艦「大和」「武蔵」など優秀な艦艇を造る技術を持っていたが、魚雷艇に関しては技術が遅

れていた。それは、魚雷艇に搭載する適当なディーゼル機関、すなわち1500～2000PS級で馬力あたり重量が4kg以下条件を満たす機関が日本には存在しなかったことによる。そのようななかで、横須賀機関実験部において、61号内燃機関が開発された。これは、航空技術研究所において開発した2サイクルディーゼル機関を船用化したもので、V16気筒、口径140mm、行程180mm、1000PS/1600rpmで馬力当り重量は約3kgだった。しかし、実験段階でシリンダヘッドからのガス漏れ、ピストンリング膠着、潤滑油の上昇などの問題が生じ、これを解決するための工作精度にも限界があり、ついに開発を断念した。

その後、2サイクル、4サイクルの各種機関の開発やドイツからの技術導入が試みられた結果、いずれも実用化には到らなかったが、三菱東京製作所から2サイクルZC707形、V20気筒、口径150mm、行程200mm、2000PS/1600rpmの機関が提案された。試作実験の結果、1500PS/1450rpmで良好な成績を得たが、量産に移る前に終戦を迎えた。これは64号内燃機関として、海軍の歴史に名を留めている。これら機関の要目を表3.4.4に示す¹⁶。

戦後三菱重工ではこの機関を改良、発展させ2000PS級の20ZC機関や3000PS級の24WZ機関などを完成した。そして海上自衛隊の魚雷艇主機に採用されるなど、高速艇用軽量大出力機関として確固たる地位を築いた。

表3.4.4 魚雷艇用ディーゼル機関要目

型式	サイクル	単複動	気筒数	口径mm	行程mm	出力PS	回転数rpm	Pme kg/cm ²
61号16形	2	単	16	140	180	1000	1600	6.3
64号10形	2	単	10	150	200	1000	1600	8.0

(d) 特攻兵器用ディーゼル機関

第二次大戦末期に、多種の特攻兵器が考案され、製造された。甲標的はそのひとつで、特殊潜航艇とも呼ばれ母艦より発進して敵艦隊に突進するもので、魚雷を大形化したものともいえる。甲、乙、丙、丁型があり、ハワイ真珠湾攻撃に参加したのは甲型で、電池電気推進であった。その後、戦局悪化に伴い基地防衛用にディーゼル機関を搭載した電気推進方式となり、乙型、丙型、丁型として改良され比島及び沖縄作戦で活躍し、丁型は本土決戦用として多数建造された。丁型の別称「蛟龍」は超小型ディーゼル機関の潜水艦で電気推進方式だった。主機は艦本式51号丁6形、4サイクル、6気筒、口径140mm、行程200mm、150PS/1500rpm

で新潟鉄工の設計によるものだった。「蛟龍」の終戦時の完成隻数は115隻で建造中が500隻に達した¹⁷。

「海龍」も有翼潜水艇で、主機はいすゞ大型トラックDA60ディーゼル機関で4サイクル、6気筒、口径110mm、行程150mm、110PS/2200rpmの電気推進で、本土決戦に備えて224隻造られた。

人間魚雷「回天」は頭部に1.5トンの弾薬を積んで30ノットの速力で敵艦に突進する一人乗り魚雷であり、まさに玉砕戦術の手段として考案された。これに使用された機関は、石油を純酸素で燃焼させてその高温高压ガスを往復動機関に供給して動力を得たもので550PSであった。この「回天」は1型とよばれ、1944（昭和19）年末から終戦まで、米艦船を多数撃沈して敵に多大な脅威を与えた。2、3及び4型も1500PSの往復動機関とガスタービンを搭載し、40ノットに能力アップして試作されたが実用機は誕生しなかった¹⁸。

(4) 日本海軍の功績

明治末期の日露戦争に端を発し、第二次大戦終結までの約40年間は、我が国にとっては戦争の歴史でもあった。日本の陸海軍にとっても欧米露の列強に負けない兵力と隊員のスキルを上げるためにあらゆる努力をし、世界に誇る技術力を有していたことは紛れもない事実である。しかし第2次大戦の敗北は、敵の高高度爆撃と情報戦の弱さが原因と言ってもよいであろう。

海軍には誇れる技術がいくつかあり、その例として潜水艦用複動機関艦本式1号型、2号型、戦後の高速ディーゼルの礎となった魚雷艇用の三菱重工ZC型機関、さらに戦後の国鉄制式のDMF、DML型の源流となった新潟鉄工のSV型から発展した巡洋艦用発電機関など、大きな功績を残したものが多い。そしてさらに大きいのは、日本海軍の優秀な人材が、戦後海運、造船、自動車、航空機、機械産業などの分野に転身して、これら産業・技術の発展に大きく貢献したことであり、このことは永く記憶にとどめておきたいことである。

3-4-2 海上保安庁

(1) 海上保安庁と海上自衛隊の誕生

第二次大戦後の日本周辺海域は密航、密輸、略奪などが横行し、また戦時中に日米海軍が敷設した機雷に接触する事故が頻発していた。連合軍最高司令部は、これら事態に鑑み、海の秩序回復と接雷事故防止のため、日本政府に対し、米沿岸警備隊（USCG）にならった海上保安体制の整備を求めた。その結果、1948（昭和23）年5月に海上保安庁（海保）が誕生した。

1950（昭和25）年に勃発した朝鮮動乱を契機に、海

上防衛の必要性が認識され始め、1952（昭和27）年4月に海保の機関として海上警備隊が発足し、同年8月に、海保から離れて、新設の保安庁警備隊と名前を変えた。この時点で、海保の役割は警備救難、水路、灯台の三つになった。そして、1954（昭和29）年7月に保安庁警備隊は海上自衛隊として創設された¹⁹。

(2) 海上保安庁の草創期

1950年代の日本は戦後の混乱から抜け出せないながら、急速に経済発展を遂げ、工場からの廃棄物やタンカーの揚荷によるスラッジ等が海洋に廃棄され、海の汚染が著しく進んだ時期だった。国際的にも海洋汚染が深刻となり、1954（昭和29）年のオイルポリューション条約を皮切りに規制が強化されるとともに、国内法の整備も進んで、海保は汚染防止活動と監視取締りの役割を担うことになる。

海難では漁船の転覆や沈没事故が深刻だった。主として荒天時の出漁と過積みが原因で、さげます船団の大型遭難事故も発生した。近年は様相が変わり、海難件数のトップは漁船からプレジャーボートに入れ替わっている。

警備面では、密航、密輸などの取締りの主要任務のほか、韓国、ソ連の領海周辺で操業する漁船のこれらの国による拿捕の防止が海保の任務だった。近年では、北朝鮮の工作船など不審船の監視や麻薬、覚醒剤の取締りが主要な警備上の任務になっている²⁰。

1950（昭和25）年以降、海保は順調に歩み始める。まず、1951（昭和26）年に、南極観測船「宗谷」が建造された。2500総トンの砕氷船で、主機として新潟鉄工製2サイクルディーゼル機関TN8E形2400PSが採用された²¹。

(3) 各種巡視船の発展過程

1) 350トンの巡視船

1954（昭和29）年には、350トン型巡視船「とかち」が就役した。主機は池貝鉄工の4サイクルディーゼル機関6MSB31S形700PS/525rpm 2基が採用された。この350トン型巡視船は改「やはぎ」型、改2「まつうら」型、改3「くなしり」型、改4「びほろ」型として改良を重ねながら継承され、1978（昭和53）年竣工の「しなの」などまで、20年間に亘り40隻余りが建造され、文字通り海の秩序回復や警備救難業務に活躍した。

1974（昭和49）年に東京湾で起きたLPGタンカー「第十雄洋丸」の衝突炎上事故を契機に、火災事故、油流出事故に備えるための特殊防災型巡視船特350トン型「たかとり」が1978（昭和53）年に竣工した。

新海洋法秩序対策の一環として、「びほろ」型の拡大改良型、500^ト型巡視船「てしお」（後の「なつい」）が1980（昭和55）年に竣工した。主機出力を維持したままで同一速力を確保した。

近年になり、高速化する密漁船への対応や事故現場への時間短縮のため、巡視船高速化の要求が一段と高まってきた。新350^ト型の登場で、速力を500^ト型の18ノットから25ノットへと上げるため、船型を半滑走型とし、船体を高張力鋼、上部構造を軽合金として軽量化し、さらに主機出力は2軸で7000PSと500^ト型の2倍以上とした。1番船「あまみ」は1992（平成4）年に竣工し、1998（平成10）年竣工の「くなしり」「みなべ」まで4隻が建造された。2003（平成15）年竣工の「とから」型から軽合金製船体に3基3軸のウォータージェット船となり、5000PSの高速機関が採用された。

これら巡視船の主機の要目を表3.4.5に示す。本表に示す主機の中で、池貝鉄工と新潟鉄工が納入した機種が同一であることが注目される。これは、海保の主導で両社が共同設計して生まれた機種で、巡視船専用で製作されたものである。本機関を含め、改3型までは自己逆転式の4サイクル中速機関が使用された。その後改3型の後半1972（昭和47）年竣工の「やえやま」から主機の形式は4サイクル低速機関となり、推進器も固定ピッチから可変ピッチに変わり、操船性は格段に向上し燃費性能も大幅に改善された。主として内航貨物船や漁船の主機として使用されていた4サイクル低速機関を採用したのは、その信頼性に負うところが大きい。

本シリーズは、その後高速機関の2基2軸から、さらに3基3軸に変わり、合計出力は15000PSにも達して当初の船とはすっかり様変わりしている。

2) 1000^ト級巡視船

1965（昭和40）年、1000^ト型に先立って900^ト型巡視船「えりも」が竣工した。主機は三井造船の2サイクル中速機関635V2BU45型が2基使用された²²。翌年には同型船「さつま」が竣工し、北と南の海域の警備に携わった。海上保安庁で2サイクル機関が使用されたのは「宗谷」とこの船だけと思われる。

新海洋秩序維持の目的で、新しい船型として1000^ト型巡視船が計画され、1978（昭和53）年11月竣工の「しれとこ」から1982（昭和57）年3月竣工の「あまぎ」までわずか3年4か月の間に28隻が完成した²³。北は稚内から南は石垣まで主要保安部に広く配属され、警備救難の機動力増強に大いに貢献した。主機は新潟鉄工、富士ディーゼルの4サイクル低速ディーゼル機関、

表3.4.5 350^ト系巡視船の主機要目

船型 (建造隻数)	一番船 竣工年	主機 製造者	形式	台	出力 PS	回転数 rpm
350 ^ト とから型(2)	1954	池貝 新潟	6MSB31S	2	700	525
改350 ^ト やはぎ型(7)	1956	池貝 新潟	6MSB31S	2	700	525
改2-350 ^ト まつうら型(5)	1961	池貝 新潟	6MSB31S	2	700	525
改3-350 ^ト くなしり型(7)	1969	新潟 富士	6MA31X 6MD32H	2	1300 1500	550 600
	1973	新潟 富士	6M31EX 6SD32H	2	1500 1500	380 380
改4-350 ^ト びほろ型(20)	1980	新潟 富士	6M31EX 6SD32H	2	1500 1500	380 380
500 ^ト なつい型(14)	1992	新潟 富士	6M31EX 6SD32H	2	1500 1500	380 380
350 ^ト あまみ型(4)	1998	新潟	16PA4V 200VGA	2	3500	1475
350 ^ト とから型	2003	新潟	S12U-MTK 16V20FX	3	3494 5020	1175 1650

3500PS/380rpmが2基搭載され、速力は20ノットと500^ト型の18ノットを上回っている²⁴。

1000^ト型はやや大型化した新船型として1989（平成元）年に完成した「のじま」（のちの「おき」）に継承される。そしてこれの発展改良型が1991（平成3）年に竣工した新1000^ト型「おじか」で、2000（平成12）年竣工の「もとぶ」まで7隻が建造された。主機は3500PSの中速機関2基が搭載された²⁵。

これら機関の要目を表3.4.6に示す。

表3.4.6 1000^ト型巡視船の主機要目

船型 (建造隻数)	一番船 竣工年	主機 製造者	形式	台	出力 PS	回転数 rpm
900 ^ト えりも型(2)	1965	三井	635V2BU45	2	2400	475
1000 ^ト しれとこ型(28)	1978	新潟 富士	8MA40X 8S40B	2	3500	380
1000 ^ト おじか型(7)	1991	新潟	8MG32CLX	2	3500	600

3) 3000^ト超級の巡視船

「しれとこ」が建造されたと同じころ、日本近海の広範な海域をより機動的に警備救難するため、ヘリコプター搭載の巡視船が計画された。その1番船が1978（昭和53）年に竣工した「そうや」であり、初代「宗谷」と同様砕氷能力を備えていたが、南極観測支援は海上自衛隊の所管になったため、釧路に配備されて専ら警備救難業務に従事した²⁶。続いて1979（昭和54）年竣工の「つがる」から2001（平成13）年9月竣工の「だいせん」まで9隻のヘリコプター1機搭載船が建造されて北海道から沖縄までの主要保安部に配備され

た。「そうや」も含め、長さ100m、3000総トン級の大型船だけに主機はフランスSEMT社の12PC2-5V形2基の15,600PSと巡視船としては過去最大の出力となり、SEMT社のライセンスである石川島播磨、日本鋼管、新潟鉄工の3社が製造した。



図3.4.1 巡視船「そうや」

さらに機動力を増すためにヘリコプター2基搭載型巡視船「みずほ」が1986（昭和61）年完成し、2年後に竣工した「やしま」とともにそれぞれ名古屋と横浜に配備された。主機出力は増強されて、同じSEMT社の14PC2-5V形2基の18,200PSとなった。これらの機関の要目を表3.4.7に示す。

このほかヘリ搭載船として1992（平成4）年に完成した「しきしま」はプルトニウムの海上輸送を護衛するために建造されたもので、長さ150m、7000総トン級と世界最大級の巡視船であるが、保安上の問題から速力や主機出力などは明らかにされていない。

表3.4.7 ヘリ搭載型巡視船の主機要目

船型 (建造隻数)	一番船 竣工年	主機 製造者	形式	台	出力 PS	回転数 rpm
そうや(1)	1978	IHI, NKK、 新潟	12PC2-5V	2	7800	520
つがる型(9)	1979					
みずほ型(2)	1983	IHI, NKK	14PC2-5V	2	9100	520

大型巡視船のうち、1993（平成5）年に竣工した「こじま」は同名巡視船の後継として、呉に配属され海上保安大学の実習船を兼ねた3000トン級の大型船で、ヘリコプターの発着ができる甲板を備えている。

1995（平成7）年1月に発生した関西淡路大震災では救援活動の中心となるべき第5管区海上保安部自身が被害を受け、救援活動が十分行えなかった。そこで、優れた通信機材を備え、災害対策本部としての機能が果たせる巡視船の整備が計画された。1997（平成9）年に完成した3500トン型巡視船「いず」がそれである²⁷。

続いて1998（平成10）年10月に竣工した巡視船「みうら」は「いず」に続く災害対応型で、船型は「こじま」と同型で、災害対策本部機能のほか、医療・給食設備を備えている。また、横須賀に配備され海上保安

学校の海上実習船としても使用されている。これら機関の要目を表3.4.8に示す。

表3.4.8 3000トン超級巡視船の主機要目

船型 船名	竣工年	主機 製造者	形式	台	出力 PS	回転数 rpm
3000トン こじま みうら	1993 1998	新潟	8MG32CLX	2	4000	650
3500トン いず	1997	新潟	8PC2-6L	2	6000	520

4) 180トン型巡視船

1985（昭和60）年日向灘で発生した不審船事件を契機に、外洋を高速で警備する巡視船の整備が計画された。180トン型35ノットの高速船であり、船体は軽合金製、高速ディーゼル機関3機3軸で両舷2機がプロペラ駆動、中央機がウォータージェット駆動という画期的なものだった。主機出力も3機で9400PSと小型船では類を見ない大出力のものだった。この主機の選定にあたっては、軽量大出力という条件で国産と海外製品の両方が選定された。国産では三菱重工のSU-MTK型が、海外製品では欧州海軍などの実績からSEMT社の16PA4V-200型（提携先の富士ディーゼルが製作）が採用された。一番船「みはし」（のちの「あきよし」、「しんざん」）が1988（昭和63）年に完成したあと1991（平成3）年までに4隻が竣工した²⁸。

「みはし」型の航続距離を延ばし、さらに食料、水の搭載量を増し居住性も改善した「びざん」が1994（平成6）年に完成した。主機は「みはし」型と同一形式であるが、中央機の出力を両舷機と同一に増加し、3機合計で9600PSとなった。また、主機メーカーは富士ディーゼルが1998（平成10）年廃業したのに伴い、PA4シリーズのライセンスを継承した新潟鉄工が製作を担当した。これら機関の要目を表3.4.9に示す。

表3.4.9 180トン型巡視船の主機要目

船型 (隻数)	一番船 竣工年	主機 製造者	形式	台	出力 PS	回転数 rpm
みはし型 (4)	1988	三菱	S12U-MTK	2	3500	
			S8U-MTK	1	2400	
		富士 新潟	16PA4V- 200VGA	2	3500	1475
びざん型 (8)	1994	新潟	12PA4V- 200VGA	1	2400	1475
			16PA4V- 200VGA	2	3500	1475
			12PA4V- 200VGA	1	2400	1475

5) 測量船

海底の地形の測量、海流や潮流の観測、海洋汚染の調査などに従事する船が測量船であり、近年建造された大型測量船では、1983（昭和58）年に竣工した「拓洋」と1998（平成10）年に竣工した「昭洋」があり、前者はディーゼル機関2基2軸のプロペラ駆動に対し、後者はディーゼル機関2基と電動機2基による電気推進方式を海保として始めて採用した。主機は造船各社が国家プロジェクトとして共同開発し、三井造船が製作した高性能機関6ADD30V型が採用された²⁹。これら機関の要目を表3.4.10に示す。

表3.4.10 測量船の主機要目

船名	竣工年	主機製造者	形式	台	出力PS	回転数rpm
拓洋	1983	富士	6S40B	2	2600	380
昭洋	1998	三井	6ADD30V	2	4050	720

6) 巡視艇

海保には既述の巡視船など大型船のほか概ね長さ40m以下の巡視艇が多数ある。2006（平成18）年4月現在の在籍数は、20mを超えるPC型が60隻、20m以下のCL型が170隻と合計230隻にのぼる。因みに既述の巡視船は同時期で計117隻で、巡視艇はこの約2倍を有することになる。巡視艇の役目は、港内、湾内など比較的狭い海域の警備救難哨戒などであるが、海難事故は沿岸が圧倒的に多いことからこれら巡視艇の常駐性と機動性は重要な要素である。

35m型「はやなみ」型は1993（平成5）年から1996（平成8）年までの間に11隻建造され、速力25ノット、主機はドイツMTU社の高速ディーゼル機関12V396TB94型（2000PS/1975rpm）の2基2軸で130^ト型巡視船に匹敵する出力がある。

「はやなみ」の改良型「はまぐも」も1999（平成11）年から翌年の間に4隻が竣工した。推進システム及び出力は「はまなみ」と同一である。

特23m型「あきづき」型は狭水道の通行監視用に整備された巡視艇で、1975（昭和50）年から1983（昭和58）年までの間に12隻が建造された。軽合金製船体で22ノットを出す一方、港内速力12ノットを長時間維持することが要求されるため推進システムはディーゼル機関による3機3軸の方式を採用した。所要速力に応じて主機の運転台数を1から3台に切替える方式である。

23m型「しまぎり」型は1985（昭和60）年に3隻竣工、軽合金製船体で速力30ノット、主機はMTU社12V396TB93型（1500PS/1975rpm）の2基2軸式だった。1990（平成2）年に2隻竣工した特23m型「なつぎり」

型は、1988（昭和63）年の潜水艦「なだしお」と遊漁船「第一富士丸」の衝突事故を契機に横須賀周辺の航路哨戒用として建造された。船体は高張力鋼としたため、速力は27.5ノットとやや低下したが、推進システムは「しまぎり」を踏襲した。

30m型「あそぎり」型は23m型の後継であるが多目的巡視艇であり、30ノットを出すため主機はMTU社16V396TB94型（2600PS/2040rpm）の2基2軸と大出力になり、1994（平成6）年から4隻が竣工した。同じ30m型「かがゆき」型は新日韓漁業協定の発効により高速の韓国漁船を取締まるために1999（平成11）年から3隻が竣工した。36ノットを出すため、軽合金製船体で主機はMTU社16V4000M70型（2600PS/1940rpm）の2基で2台のウォータージェットを駆動する方式を採用した³⁰。

同じ30m型であるが、新海洋秩序に対応して整備された30ノット型「むらくも」は1978（昭和53）年に竣工し、1983（昭和58）年までに22隻が建造された。軽合金製船体で2200PSの高速ディーゼル機関2基2軸プロペラ方式が採用された。

20m型「ちよかぜ」型は1968（昭和43）年から1976（昭和51）年までの間に96隻建造と隻数の記録を作ったが、その後継として1992（平成4）年に完成した「すずかぜ」型は124隻と記録を更新した。高張力鋼製船体で30ノットを出すのにMTU社12V183TE92型（910PS/2230PS）の2基2軸でプロペラ方式が採用された。これら船舶と主機の要目を表3.4.11に示す。

表3.4.11 巡視艇の主機要目

船型	隻数	一番船竣工年	船体材料	速力kt	基数軸数	推進器*	合計出力
35m型 はやなみ型	11	1993	高張力鋼	25	2 2	FPP	4000
35m型 はまぐも型	4	1999	高張力鋼	24	2 2	FPP	4000
特23m型 あきづき型	12	1985	軽合金	22	3 3	FPP	3000
23m型 しまぎり型	3	1985	軽合金	30	2 2	FPP	3000
30m型 あそぎり型	4	1994	高張力鋼	30	2 2	FPP	5200
30m型 かがゆき型	3	1999	軽合金	36	2 2	WJ	5200
30m型 むらくも型	22	1978	軽合金	30	2 2	FPP	4400
20m型 すずかぜ型	124	1992	高張力鋼	30	2 2	FPP	1820

*FPP:固定ピッチプロペラ、WJ:ウォータージェット推進器

(4) 海保のあゆみと功績

戦後の混乱のなかで発足した海保は、時代の趨勢とともに、変化し発展してきた。沿岸200海里を専管漁業水域とする新海洋秩序への移行や、広域化する船舶事故の対応、周辺国との漁業をめぐるトラブルの対処、不審船の取締りなどその都度船艇の整備やシステムの強化を図ってきた。船舶推進システムの面で見ると、昭和40年代終盤までの自己逆転式ディーゼル機関から、可変ピッチプロペラの採用、さらには低速直結から中速ギヤード機関への移行、そして高速化に伴う軽量大出力の高速ディーゼル機関とウォータージェット推進方式など、新しい技術の導入に積極的に取り組んできた。

一方機関メーカーの側からは、商船や漁船用で培った過酷な使用条件における信頼性の確保は海保船艇に対しても全く同様であり、海保向けに特化した機関を設計するより、汎用性のある機関を提供してきた。

そして海保船艇の一番大きな特徴は、一部の小型艇がガソリン機関を使用している以外は、圧倒的多数が4サイクルディーゼル機関で占められていることであり、官民を通じて最大のユーザーとして、この分野の技術発展に貢献してきた点に注目すべきであろう。

3-4-3 海上自衛隊

(1) 海上自衛隊の創立期

1954（昭和29）年7月1日の海上自衛隊（海自）発足時、保有する艦艇は、警備艦（PF）17隻、警備艇（LSSL）12隻及び海保から移管された掃海艇など76隻だった。海自発足直前の、1954（昭和29）年5月に調印された「日米艦艇貸与協定」に基き、警備艇「あさかぜ」「はたかぜ」等ほか潜水艦1隻が日本に貸与されることになった。米海軍潜水艦「ミンゴ」（Mingo）が1955（昭和30）年9月に、米サンディエゴ海軍基地を訓練を受けた海自隊員の手で横須賀に向け出航した。本艦は「くろしお」と命名され、その後の潜水艦の発展に大いに貢献した³¹。

(2) 国産艦艇の建造

海自発足前の1953（昭和28）年度予算で艦船建造費30億円が計上され、護衛艦5隻、掃海艇3隻、魚雷艇6隻、電纜敷設艦艇2隻の16隻が計画された。そして1955（昭和30）年12月、三菱日本重工において戦後初の国産艦である敷設艦「つがる」が竣工、翌年には初の国産護衛艦「はるかぜ」が就役するなど、各種艦艇が次々と完成した³²。

1958（昭和33）年度から1976（昭和51）年度に亘り、

防衛力整備計画が4回実施された。通称「1次防」から「4次防」まででこの間に国産艦艇が本格的に建造された。

以下、艦種ごとにその技術推移を見てゆく。

(3) 各種艦艇の発達過程

1) 護衛艦

諸外国では一般にデストロイヤー（Destroyer、駆逐艦）とよばれているものを海自では護衛艦と称している。装備が「外への攻撃」ではなく「外からの防御」に重点をおいていることもあるが、軍隊ではなく自衛隊と呼ぶのと同様の配慮からのことである。戦時中の日本海軍の主力艦の主機が蒸気タービンであったのに対し、護衛艦主機は蒸気タービンかディーゼル機関かで大論争があった。その結果、1000^ト型護衛艦が蒸気タービンとディーゼル機関の両方で造られることになり、それぞれ「あけぼの」と「いかづち」として1956（昭和31）年に竣工した。「いかづち」は三菱長崎が開発した2サイクルの排気タービン過給式中速機関9UET44/55が使用された。本機は引渡しまで幾多のトラブルに見舞われたが会社をあげての対応の結果、遂に問題を解決したことが記録されている³³。2番艦「いなづま」主機には三井造船の2サイクル過給機関950VBU60型6000PS/350rpmが採用された³⁴。単機6000PSは戦前では複動機関で漸く実現できた出力であり、過給機の装着で成し得た大きな成果であった。

1960（昭和35）年頃から、さらに大出力主機の護衛艦が計画され、ディーゼル機関の単機出力では限界があるためギヤードディーゼルが検討された。1960（昭和35）年に三井造船が製作開始した1235VBU45V型4000PS/350rpmは上記50VBU60型機関を小型化したもので、これを4基2軸にして、DE型護衛艦「いすず」の主機用に納入した。続いて1963（昭和38）年、同系の護衛艦「おおい」に、さらに小型の1228V3BU38V型4250PS/650rpmが4基2軸で納入された。1964（昭和39）年から就役した「ちくご」型11隻のうち7隻に三井の同型機が使用され、4隻に三菱の2サイクル中速V型機関12UEV30/40N型4250PS/600rpmが使用された。

1964（昭和39）年竣工したDDK型護衛艦「やまぐも」型はさらに大出力が要求されたため、6基2軸の推進システムとなり、三井は1628V3BU38V型5600PS/650rpm 2基と1228V3BU38V型4基の組み合わせ、三菱は12UEV30/40型4650PS/600rpm 6基で合計推進出力26,500PSとなった。これら機関は流体継手と減速機で結合された。28V3BU38V型は10隻分で計46台が護衛艦用として納入された³⁵。これら艦艇の主機要目を表3.4.12に示す。

表3.4.12 護衛艦用主機ディーゼル機関要目

船型 初竣工年 (隻数)	主機メーカー 型式	台数	サイ クル	気 筒 数	口径 行程	出力 回転数	Pme kg/cm ² Cm m/s
いかづち型 1956 (2)	三菱 9UET44/55	2	2	9	440 550	6000 380	9.4 7.0
	三井 950VBU60	2	2	9	500 600	6000 350	7.3 7.0
いすず型 1960 (4)	三井 1235VBU45V	4	2	12	350 450	4000 475	7.3 7.1
	三井 1228V3BU38V	4	2	12	280 380	4250 650	10.5 8.2
ちくご型 1964 (11)	三井 1228V3BU38V	4	2	12	280 380	4250 650	10.5 8.2
	三菱 12UEV30/40N	4	2	12	300 400	4250 600	9.4 8.0
やまぐも型 1965 (6)	三井 1228V3BU38V	4	2	12	280 380	4250 650	10.5 8.2
	三井 1628V3BU38V	4	2	16	280 380	5600 650	10.4 8.1
みねぐも型 1968 (3)	三菱 12UEV30/40	6	2	12	300 400	4650 600	10.3 8.0

護衛艦のなかで、ミサイル護衛艦 (DDG) 「あまつかぜ」 (1964年就役)、多目的護衛艦 (DDA) 「たかつき」 (1966年就役)、ヘリ搭載護衛艦 (DDH) 「はるな」 (1972年就役) などはいずれも主機出力60000～70000PSと大きく、適応するディーゼル機関がなかったため、蒸気機関の2基2軸方式が採用された。1982 (昭和57) 年竣工のDDG「さわかぜ」まで、これら3艦種で12隻が同様のシステムで建造されている。

1981 (昭和56) 年就役した護衛艦 (DD) 「はつゆき」の主機に初めてガスタービンの4基2軸方式が採用された。巡航用には4620PS2基、加速用に22500PS2基がそれぞれ使用されるシステムでCOGOG式 (Combination Of Gas turbine Or Gas turbine) とよばれる方式が採用された。「はつゆき」型は1986 (昭和61) 年まで12隻が建造された。

一方、1980 (昭和55) 年から3隻就役した「いしかり」型護衛艦 (DE) は前述のディーゼル艦「ちくご」型の後継艦であるが、推進システムはCODOG式 (Combination Of Diesel Or Gas turbine) の2基1軸方式が採用され、ディーゼル主機は三菱重工の2サイクル中速機関6DRV35/44型4650PS/570rpmが使用された。

これに続くDE「あぶくま」型は1989 (平成元) 年から1993 (平成5) 年にかけて6隻建造されたが、主機は4基2軸のCODOG式でディーゼル主機として三菱4サイクル高速機関S12U-MTK型3000PS/1200rpmが2基搭載された。

1994 (平成6) 年に竣工した練習艦「かしま」は4基2軸のCODOG式が採用され、ディーゼル主機は三菱

の高速機関S16U-MTK型4000PS/1200rpmが使用された。これら艦艇の主機要目を表3.4.13に示す。

表3.4.13 護衛艦、練習艦の主機要目

船型初竣工年(隻数) システム	主機メーカー 型式	台数	サイ クル	気 筒 数	口径 行程	出力 回転数	Pme kg/cm ² Cm m/s
いしかり型 DE/1980 (3)	Rolls Royce TM3B	1	-	--	---	22500 5490	---
	三菱 6RDV35/44	1	2	6	350 440	4650 570	14.5 8.4
あぶくま型 DE/1989 (6)	Rolls Royce SM1A	2	-	--	---	14000 5500	---
	三菱 S12U-MTK	2	4	12	240 260	3000 1200	15.9 10.4
かしま TV/1995	Rolls Royce SM1C	2	-	--	---	14000 5500	---
	三菱 S16U-MTK	2	4	16	240 260	4000 1200	15.9 10.4

2) 潜水艦

潜水艦の建造は1次防でスターとし、まず1960 (昭和35) 年に「おやしお」が竣工した。主機は川崎MANのV8V22/30mAL型1350PSが2基搭載された。2次防では「おおしお」型5隻が建造され、主機は同じMANのV8V24/30mMAL型1800PSが2基搭載された。3次防では、海自初の涙滴型「うずしお」型が1971 (昭和46) 年に完成し、水中速力が20ノットと大幅に増加した。この型は1978 (昭和53) 年までに7隻建造された。そして4次防になると、1980 (昭和55) 年に拡大改良型の「ゆうしお」型が完成し、1989 (平成元) 年まで、11隻が建造された。さらに改良された「はるしお」型は1990 (平成2) 年から1997 (平成9) 年まで7隻が就役した³⁶。

続いて1998 (平成10) 年に、「おやしお」型が初めて葉巻型として完成した (図3.4.2)。潜水艦主機の要目を表3.4.14に示す。30年の間にPmeが77%、Cmが18%それぞれ増加し、その積である出力率がちょうど2倍になっていることが分かる。

潜水艦はディーゼル機関で発電し、バッテリーに電気を蓄えて、その電力で推進モーターを回し、プロペラを駆動するディーゼルエレクトリック方式が採用されている。水上ではディーゼル機関が運転できるので電力の需給はバランスがとれるが、水中ではディーゼル機関を停止するため、蓄えたバッテリーの電気量分だけ航走できる。そこで、水中でも運転できる機関すなわち大気に依存しない推進システムAIP (Air Independent Propulsion) が以前から研究されていた。そのひとつが、原子炉を搭載した原子力潜水艦であり、米ソでは多く建造されたが、わが国では造られていな

い。AIPのひとつであるスターリング機関を用いたシステムが実用化の段階にはいっており、さらに液体水素と液体酸素を使った燃料電池を搭載の推進システムも研究が行われており、海外で実用された例が報告されている³⁷。



図3.4.2 潜水艦「おやしお」

表3.4.14 潜水艦主機要目

船型 初竣工年 (隻数)	主機メーカー 型式	台数	サイ クル	気 筒 数	口径 行程 mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s
おやしお型 1960(1)	川崎 V8V22/30mAL	2	4	16	220 300	1350 850	7.8 8.5
おおしお型 1964(5)	川崎 V8V24/30mMAL	2	4	16	240 300	1350 850	8.8 8.5
うずしお型 1970(7)	川崎 V8V24/30AMT	2	4	16	240 300	2100 850	10.2 8.5
ゆうしお型 1979(10)	川崎 V8V24/30AMT	2	4	16	240 300	2100 850	10.2 8.5
はるしお型 1990(7)	川崎 12V25/25S	2	4	12	250 250	2700 1200	13.8 10.0
おやしお型 1997(11)	川崎 12V25/25S	2	4	12	250 250	2700 1200	13.8 10.0

3) 掃海艦艇

第二次大戦で米軍が日本周辺に敷設した機雷に接触する事故が戦後も頻発し、海上保安庁（海保）の設立のきっかけにもなった。海自発足により、機雷を処理する掃海業務は海自に移管され、海保所有の掃海艇76隻も海自に移管された。掃海艇が最初に活躍したのは、海保時代の1950（昭和25）年に勃発した朝鮮戦争で、ソ連軍が敷設した機雷の掃海業務だった。近年では、1991（平成3）年に湾岸戦争後のペルシャ湾の機雷掃海に参加して計34発の機雷を処分している。

掃海艦艇は磁力を感知して爆発する機雷から自らを護るため、木造船でありこの技術を継承しているのは、日本鋼管鶴見造船所と日立造船神奈川工場の2造船所

だけであり、戦後の掃海艦艇の建造はすべてこの2社が担ってきた。この2社の造船部門が合併して、現在はユニバーサル造船京浜事業所となっている。

1000^t級の掃海艦MSO（Minesweeper Ocean）「やえやま」型は深深度に敷設された機雷を除去する目的で、1993（平成5）年から3隻建造され、主機は三菱4サイクル非磁性ディーゼル機関6NMU-TKI型1200PS/1000rpmが2基2軸で搭載された（図3.4.3）³⁸。

一方500^t級の掃海艇MSC（Minesweeper Coastal）は1979（昭和54）年以降に竣工した「はつしま」型（23隻）が普通深度の機雷掃海を担い、1990（平成2）年以降に竣工した「うわじま」型（9隻）と1999（平成11）年に竣工した「すがしま」型は中深度の掃海を担っている³⁹。

掃海母艦MST（Minesweeper Tender）は掃海艇への水や油の補給やダイバーの救護などの支援業務を担う。1997（平成9）年と翌年にそれぞれ就役した「うらが」と「ぶんど」の2隻があり、機雷敷設能力はあるが、掃海能力はない。これら艦艇の主機要目を表3.4.15に示す。



図3.4.3 掃海艇「やえやま」

表3.4.15 掃海艦艇主機要目

船型 初竣工年 (隻数)	主機メーカー 型式	台数	サイ クル	気 筒 数	口径 行程 mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s
やえやま型 1993(3)	三菱 6NMU-TK I	2	4	6	240 260	1200 1000	15.3 8.7
はつしま型 1979(23)	三菱 12ZC15/20 I	2	2	12	150 200	720 1350	5.7 9.0
うわじま型 1990(9)	三菱 6NMU-TA I	2	4	6	240 260	900 1000	11.5 8.7
すがしま型 1999(11)	三菱 6NMU-TA (B) EI	2	4	6	240 260	900 1000	11.5 8.7
うらが型 1997(2)	三井 12V42MA	2	4	12	420 450	9900 600	19.8 9.0

3-4-4 その他の官公庁船

(1) 練習船関係

わが国には古くから、海員養成のための商船学校が各地に設立され、大学として東京高等商船（東京商船大学を経て現東京海洋大学）と神戸高等商船（神戸商船大学を経て現神戸大学）の2校と、富山、鳥羽、弓削、大島、広島の5つの商船学校（現商船高専）があり、独自で練習船を保有していた。

一方、運輸省（現国土交通省）には航海訓練所があり、上記商船関係学校の学生を含めて、海員養成のための練習船を保有してきた。古くは1930（昭和5）年に竣工した初代帆船日本丸、海王丸に代わって1984（昭和59）年と1989（平成元）年に竣工した日本丸Ⅱ世、海王丸Ⅱ世には、補助推進機関として4サイクルディーゼル機関が搭載されたが、50年余りの歳月を経ているので、両船の機関の進歩は際立って見える。（表3.4.16）正味平均有効圧力Pmeと平均ピストン速度Cmの積を出力率と呼んでいるがこれはピストン面積当たりの出力を表す指標である。両者の出力率の割合は約5倍になっており、同一口径ならば出力がその倍率で増えたことと同じである。

表3.4.16 練習帆船の新旧機関の比較

船名	初代日本丸 初代海王丸	二代目日本丸	二代目海王丸
竣工年	1930年	1984年	1898年
主機メーカー 型式・台数	池貝 2台	ダイハツ 6DSMB-28N 2台	ヤンマー Z280-ST 2台
シリンダ数	6	6	6
口径 x 行程	400mm x 600mm	280mm x 340mm	280mm x 360mm
出力/回転数	600PS/220rpm	1500PS/720rpm	1500PS/650rpm
Pme kg/cm ²	5.4	14.9	15.6
Cm m/s	4.4	8.2	7.8
出力率	24	122	122

一方、漁船の乗組員の養成のための練習船も古くからあり、大学水産学部、水産高校が独自に所有してきた。これら練習船は漁労実習ができるよう実際の漁船と同一の設備を有しており、主機もその時代の実用機関を搭載して訓練の用に供していた。表3.4.17に1950年代と1990年代に建造された水産高校練習船の主機要目を対比してその進歩を明らかにした。

これら機関はすべて、4サイクル低速機関であって、遠洋まぐろ漁船主機として使用されていたものである。

無過給から過給機関に変わったとはいえ、この40年で出力率が4～5倍に上昇したことになり、前期練習船と同じような技術進歩が見てとれる。

東京水産大学（現東京海洋大学）では、1963（昭和38）年に、400PSの中速機関を2基1軸に配して、練習

船「神鷹丸」の主機に搭載した⁴⁰。中速ギヤード機関（減速機を介してプロペラ回転数を落とすシステム）がまだ出現して間もない時期に、マルチプルギヤードシステム（複数の機関で1個のプロペラを減速して回すシステム）が出たことは先駆的と言ってよい。

表3.4.17 水産高校練習船の主機要目の比較

船名 竣工年	主機メーカー 型式	口径mm 行程mm	気筒 数	出力PS 回転数 Rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	出力率
雄山丸 1956	新潟 M6F26	260 400	6	320 410	4.8 5.5	26
海洋丸 1995	新潟 6M28HFT	280 480	6	1500 420	18.1 6.7	121
長水丸 1953	赤阪 MK6	300 420	6	380 370	5.2 5.2	27
やいづ 1990	赤阪 K31FD	310 530	6	1800 370	18.2 6.5	118
三重丸 1954	阪神 6CP	310 440	6	400 350	5.2 5.1	27
土佐海援丸 1991	阪神 LH28L	280 530	6	1600 380	19.4 6.7	130

(2) 取締船関係

(a) 税関監視艇

税関では、貿易港を拠点として監視艇を配備して、入港する外国船舶や外国に寄港した日本漁船等に対し、密輸入の取締りを行ってきた。

1950（昭和25）年ころから、警備艇が建造され、主機として米ゼネラルモーター（GM）社（現デトロイトディーゼル社DDC）製、2サイクル高速ディーゼル機関4-71型144PSまたは6-71型230PSが1基が搭載された。その後2基搭載型になり、まず1961（昭和36）年に6-71型230-270PSが、続いて1963（昭和38）年に8V-71N型320PSが、そして1973（昭和48）年に8V-71TI型390-425PSが、それぞれ採用された。

1995（平成7）年ころから、ドイツのMTU社製の高速機関が採用されるようになり、比較的小さい12V183TE92型911PS（670kW）から、高速機関としては中型の16V396TE94型2768PS（2036kW）まで、数種類の機関が選定された。これらの機関の要目を表3.4.18に示す。

長年2サイクル高速機関を製造してきたDDC社と4サイクル高速機関の専門メーカーのMTU社は、2001（平成13）年に技術提携を行い、性能、環境両面から世界に通用する製品の共同開発に着手した結果、2サイクル機関は環境対策面から断念し、4サイクルの新シリーズで電子制御化した2000及び4000シリーズにシフトし、高速船市場に実績を伸ばしている。

表3.4.18 税関監視船の主機要目

メーカー 型式	サイ クル	気 筒 数	口径mm 行程mm	出力PS 出力kW	rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s
DDC 4-71N	2	2	108 127	144 104	2300	6.1 9.7
DDC 16V-149TI	2	2	146.1 146.1	2135 1570	2100	11.7 10.2
MTU 12V183TE92	4	4	128 142	911 670	2230	16.8 10.6
MTU 16V400M70	4	4	165 190	3154 2320	2000	21.8 12.7

DDC：デトロイトディーゼル社(米)

MTU：MTU Friedrichshafen GmbH(独)

(b) 水産庁および都道府県取締船

戦後水産庁では、1952(昭和27)年に取締船「白鷺丸」「白嶺丸」を建造し前者には400PSの4サイクル中速機関を、後者には470PSの4サイクル低速機関をそれぞれ搭載した。

1971(昭和46)年に水産庁は1基2000PSの中速機関を4基1軸に配置した「東光丸」を完成した。可変ピッチプロペラ付で減速機の上に発電機を2基搭載するという斬新なものだった⁴¹。このシステムの工場試運転の様相を図3.4.4に示す。1995(平成7)年に竣工した新「東光丸」には1基4000PSの中速機関の2基1軸方式が採用された。機関の出力率が33%向上し、総気筒数が24から16と3分の2に減少して、保守整備も容易になった。新旧比較を表3.4.19に示す。

表3.4.19 漁業取締船東光丸の新旧比較

船名(竣工年)	東光丸(1971年)	東光丸(1995年)
主機メーカー 型式・台数	新潟 6MG31EZ 4台	ヤンマー 8N330-UN 2台
気筒数(総数)	6(24)	8(16)
口径×行程	310mm×380mm	330mm×440mm
出力/回転数 総出力	2000PS/600rpm 8000PS	4000PS/620rpm 8000PS
Pme・Cm	17.4kg/cm ² ・7.6m/s	14.9kg/cm ² ・9.1m/s
出力率	132	176

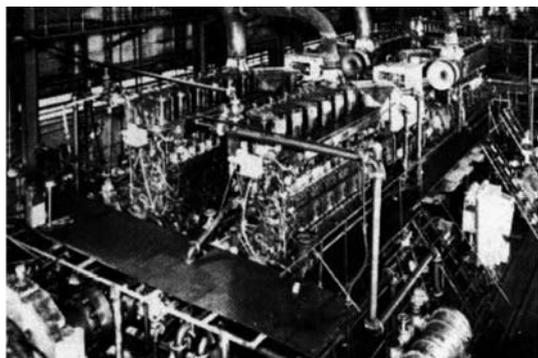


図3.4.4 東光丸4基1軸の工場試運転の様相
(新潟原動機提供)

都道府県の取締船は20総トン数未満の小型漁船を取り締まるのが主目的のため、機動性の高い高速船型が用いられてきた。出力は1基1000PS以上の高速機関を2基2軸で構成し、外国製のDDCとMTUが多く使用されが、国産機関では新潟鉄工の16FX型が使用されている。代表的な機関を表3.4.20に示す。この分野でも軽量の2サイクル機関から4サイクル機関へ代っており、4サイクル機関の過給度の向上による軽量化と低燃費、低公害の利点が生かされた結果と思われる。

表3.4.20 都道府県の漁業取締船の機関要目(代表例)

メーカー(年) 型式	サイ クル	気 筒 数	口径mm 行程mm	出力PS 出力kW	rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s
DDC(1980) 16V-92TI	2	16	123 127	1100 809	2300	8.9 9.7
MTU(1993) 12V396TB94	4	12	165 185	2373 1745	2040	22.0 12.6
新潟(1997) 16V16FX	4	16	165 185	2750 2022	1950	20.0 12.0

(3) 試験船・調査船

(a) 水産庁関係

1949(昭和24)年、農林省の調査船「天鷹丸」が竣工し、主機には430PSの4サイクル中速機関が使用され、1954(昭和29)年完成の調査兼取締船「東光丸」には2300PSの2サイクル低速機関が使用された。続いて1956(昭和31)年に完成の「照洋丸」には農林省の船として初めての過給機付1200PS 4サイクル低速機関が搭載された。

1967(昭和42)年に竣工した「開洋丸」は電気推進の一番船であり、主発電機関には池貝鉄工がダイムラーベンツ(Daimler Benz)社と提携して製作した950PSの高速機関4台を搭載した斬新なものだった⁴²。1991(平成3)年に竣工した新「海洋丸」は大型化され3500PSの中速機関2基による電気推進が採用された。新旧の比較を表3.4.21に示す。

表3.4.21 漁業調査船開洋丸の新旧比較

船名(竣工年) 推進システム	開洋丸(1967年) 電気推進式	開洋丸(1991年) 電気推進式
主機メーカー 型式・台数	池貝ベンツ MB820Db 4台	ダイハツ 8DK-32 2台
気筒数(総数)	12(48)	8(16)
口径×行程	175mm×205mm	320mm×360mm
出力/回転数 総出力	950PS/1200rpm 3800PS	3500PS/720rpm 7000PS
Pme・Cm	12.0kg/cm ² ・8.2m/s	18.9kg/cm ² ・8.6m/s
出力率	98	163

開洋丸の新旧比較では、出力率の6割以上の上昇もさることながら、総出力が2倍近いにも関わらず、総気筒数を3分の1に減らして保守整備の簡易化を狙っていることが注目される。また、前述の漁業取締船と並んで、中高速機関の採用、電気推進システムの採用など新機軸をとりいれたものが多く技術開発推進の役割を果たした。

(b) 南極観測船

初代「宗谷」は、気象観測船として1951（昭和26）年に竣工し主機は新潟鉄工の2サイクル機関TN8E型2400PS 2台が搭載され、1956（昭和31）年から南極観測に従事した⁴³。しかし砕氷能力その他の性能が劣るため、二代目「ふじ」が建造され、1965（昭和40）年に竣工した。推進システムは砕氷時の操船性から電気推進が採用され、三菱MANのV8V30/42AL型3500PS 4基による直流発電機駆動方式であった⁴⁴。また、推進電動機は2250kW 2台を串型につないだものが2組という斬新なものだった。圧巻は、工場で1軸分の電動機を水制動計（水車の原理を応用し、動力を吸収して計測を行う装置）と接続し、機関の運転とともに総合試運転を行ったことだった。

三代目「しらせ」は更に大型化、高性能化し1982（昭和57）年に竣工した。主機は三井の12V42M型5750PS 6基と推進電動機6基3軸によるディーゼル電気推進である。

(c) 海洋科学技術センター（現海洋研究開発機構）

同センターでは潜水調査船「しんかい6500」とその支援母船「よこすか」を1990（平成2）年に完成した。「よこすか」の主機には3000PSの中速ディーゼル機関が2基可変ピッチプロペラ付で搭載された。潜水船との交信に使う超音波の障害にならないよう母船の振動と騒音が厳しく規制された。特に防振対策として主機をV字型の防振ゴムを介して据え付ける方式を採用した⁴⁵。

2005（平成17）年に完成した地球深部探査船「ちきゅう」は、世界初の大深度の科学掘削船として注目を集めた。推進システムは5000kW6台と2500kW2台のディーゼル機関による電気推進式で、船首、船尾に4200kW各3台のアジマススラスト（全旋回式推進機）が搭載された大規模で斬新なものだった。主機は造船7社が国のプロジェクトとして共同開発し、三井造船が製作したADD30V型が8台搭載された。

前項の観測船と合わせ代表的な船の機関要目を表3.4.22に掲載する。

ADD30型機関の出力が突出していることがこの表から読み取れる。

表3.4.22 主な観測船・調査船の主機要目

船名 竣工年	メーカー 型式	台数	サイ クル	気 筒 数	口径mm 行程mm	出力PS 出力kW	rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s
ふじ 1965	三菱MAN V8V30/42AL	2	4	16	300 420	3500 2574	600	11.1 8.4
しらせ 1982	三井 12V42M	6	4	12	420 450	5750 4229	600	11.5 9.0
よこすか 1990	ダイハツ 8DLM-32	2	4	8	320 400	3000 2206	600	17.5 8.0
ちきゅう 2005	三井 12ADD30V	6	4	12	300 480	7166 5270	720	22.0 11.5
	6ADD30V	2	4	6	300 480	3583 2645	720	22.0 11.5

- 1 「日本海軍の艦艇用内燃機関の発達史」 近藤市郎他
内燃機関 1980年12月 P48
- 2 「川崎重工業百年史」 1997年6月 P369
- 3 「日本の艦艇・商船の内燃機関史（その1）」 藤田秀雄他
MESJ 1995年7月 P478
- 4 「神船ディーゼル75年のあゆみ」 三菱神戸 1992年9月 P16
- 5 「日本の艦艇・商船の内燃機関史（その1）」 藤田秀雄他
MESJ 1995年7月 P483
- 6 「日本の艦艇・商船の内燃機関史（その1）」 藤田秀雄他
MESJ 1995年7月 P484
- 7 「日本海軍の艦艇用内燃機関の発達史」 近藤市郎他
内燃機関 1980年12月 P52
- 8 「日本の艦艇・商船の内燃機関史（その1）」 藤田秀雄他
MESJ 1995年7月 P485
- 9 「日本の艦艇・商船の内燃機関史（その1）」 藤田秀雄他
MESJ 1995年7月 P486
- 10 「三井造船のディーゼル50年」 1976年8月 P31
- 11 「三井造船のディーゼル50年」 1976年8月 P33
- 12 「日本の艦艇・商船の内燃機関史（その2）」 藤田秀雄他
MESJ 1995年8月 P613
- 13 「日本海軍の艦艇用内燃機関の発達史」 近藤市郎他
内燃機関 1980年12月 P53
- 14 「日本の艦艇・商船の内燃機関史（その1）」 藤田秀雄他
MESJ 1995年7月 P486
- 15 「日本の艦艇・商船の内燃機関史（その1）」 藤田秀雄他
MESJ 1995年7月 P486
- 16 「日本の艦艇・商船の内燃機関史（その2）」 藤田秀雄他
MESJ 1995年8月 P608
- 17 「日本の艦艇・商船の内燃機関史（その2）」 藤田秀雄他
MESJ 1995年8月 P613
- 18 「日本の艦艇・商船の内燃機関史（その2）」 藤田秀雄他
MESJ 1995年8月 P615
- 19 「21世紀を迎える海上保安庁」 邊見正和 世界の艦船
2000年5月 P133

- 20 「21世紀を迎える海上保安庁」 邊見正和 世界の艦船
2000年5月 P134
- 21 「新潟鐵工所百年史」 1996年3月
- 22 「三井造船のディーゼル50年」 1976年8月 P31
- 23 「世界の艦船」 2003年7月号 P144
- 24 「警備救難業務用船」 世界の艦艇 2004年7月 P149
- 25 「世界の艦船」 2003年7月号 P151
- 26 「世界の艦船」 2003年7月号 P140
- 27 「世界の艦船」 2003年7月号 P156
- 28 「世界の艦船」 2003年7月号 P150
- 29 「新大型測量船「昭洋」の推進システム」 小坂光雄他
MESJ 1998年8月 P559
- 30 「世界の艦船」 2003年7月号 P170
- 31 「海上自衛艦隊50年の歩み」 長田博 世界の艦船 2002年
5月 P140
- 32 「自衛艦隊その誕生から今日まで」 山崎眞 世界の艦船
2007年1月 P124
- 33 「開発と創造の60年-泉修平さんの追想-」 2007年 P46
- 34 「三井造船のディーゼル50年」 1976年8月 P69
- 35 「三井造船のディーゼル50年」 1976年8月 P71
- 36 「川崎重工業百年史」 1997年6月 P369
- 37 「世界の艦船」 2007年1月 P142
- 38 「海上自衛隊艦艇と航空機集」 平成18年度版 海上自衛
新聞社 P125
- 39 「わかりやすい艦艇の基礎知識」 菊池雅之 イカロス出版
P238
- 40 「日本漁船史」 漁船協会 1986年10月 P177
- 41 「新潟鐵工所百年史」 1996年3月 P162
- 42 「日本漁船機関技術史」 漁船機関技術協会 1995年3月
P105
- 43 「新潟鐵工所百年史」 1996年3月 P133
- 44 「三菱重工横浜製作所百年史」 1992年2月 P513
- 45 「ダイハツディーゼル30年史」 1996年12月 P167,206

4 | 陸用ディーゼル機関の発達過程

4.1 戦前の陸用機関

(1) 陸用ディーゼル機関の起源

ルドルフ・ディーゼルがディーゼル機関の実験に成功したあと、最初の商用機はアウグスブルグで1897（明治30）年製作され、ドイツ、ケムプテンにあるユニオン社の動力用として1898（明治31）年に稼働開始した。これは、4サイクル、2気筒、60PS/180rpmの機関であった。そして、1904（明治37）年から1907（明治40）年にかけて、ロシアのキエフに発電用として、2400PSの機関を6台納入した。これは世界初の発電用ディーゼル機関に記録されている（図4.1）。蒸気機関が全盛時代にディーゼル機関の良さはなかなか理解されなかったが、動力用、発電用の分野で次第に普及していった。

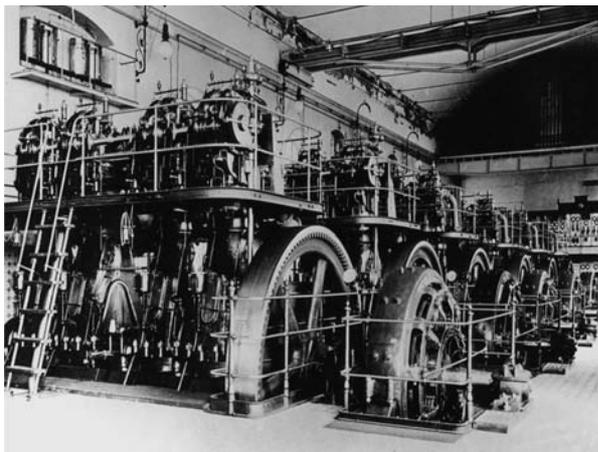


図4.1 世界初の発電用ディーゼル機関
(MAN Diesel社提供)

(2) わが国の陸用機関

日本では、1915（大正4）年に三菱神戸が、東京ガス大森森ヶ崎発電所に設置されていたドイツのDeutz社製ディーゼル機関（4気筒、250PS（150kW）発電機関2台）を手本に設計を開始した。そして、1916（大正5）年末に初号機が完成したが、安定運転されたのは1917（大正6）年の春だったという。これがわが国最初に回った国産ディーゼル機関と推定される。この機関は三菱名古屋に発電用として納入された¹。

1918（大正7）年、新潟鉄工（現新潟原動機）は英国マリス社と技術提携するが、1919（大正8）年最初に製造したディーゼル機関はポラー型をベースにした船用機関であった。そして1920（大正9）年にマーリ

ス型空気噴射式4サイクル300PSを完成し、京都山科絹布に発電用として納入した²。同じ年、池貝鉄工は自社開発の空気噴射式4サイクル単気筒40PSディーゼル機関を東京高等工業学校に実験用として納入した³。

1926（昭和元）年、池貝鉄工は無気噴射式175kW及び250kWディーゼル機関を軍部に納入、また、伊藤鉄工はMAN型単気筒無気噴射式ディーゼル機関を完成、焼津市の帆布工場に納入、1929（昭和4）年には、110PS無気噴射式機関を清水市の上水道用として納入している⁴。

1928（昭和3）年、新潟鉄工は2サイクルクロスヘッド、空気噴射式LN6G型1650PS機関を新潟水力電気に発電用として納入した。これは当時わが国として最大の陸用機関であった⁵。

このころ、原動機は蒸気機関のほか、石油発動機、ガス発動機、焼玉機関、ガソリン機関などが各種用途に使われていたが、陸用、船用とも大型になるほどディーゼル機関の経済性が認められて、次第に普及した。

1930（昭和5）年、横浜船渠（現三菱重工横浜）は、前年に提携したMAN社の初号機4サイクルG2V21.5/33（55PS/450rpm）型を完成し、内務省仙台出張所の灌漑ポンプ駆動用に納入した⁶。

三井造船は1932（昭和7）年、日本製粉神戸工場に4サイクル533MTS60型450PSを陸用1番機として納入したあと、1934（昭和9）年と翌年に神島人造肥料にJ331MTS35型150PSを2基納入した。同社ではこれらを含めて戦後までに、4サイクルを15台、2サイクルを2台陸用機関として納入した⁷。

山岡内燃機（現ヤンマー）は、1939（昭和14）年2、3DM形（50～90PS）立型機関を海軍から陸上発電用として艦政本部の制式として採用された⁸。

このように、戦前においてはわが国の陸用ディーゼル機関は小規模で、かつ基礎的な産業分野への普及に止まったが、確実に実績をのばしていった。また、4サイクルが主流ではあったが、2サイクル機関もかなり使われていた。

4.2 常用機関

(1) 産業用ディーゼル機関

戦後の産業復興に際し、わが国政府は戦争で甚大な被害を蒙った電力設備の復旧と各地に分散していた電力会社を9社にまとめるなど、電力供給網の整備に取り組んだが、供給量が絶対的に不足しかつ停電の頻発など供給が不安定な状態が相当長く続いた。

産業界は、この状況を打開するため自ら発電設備を設置して電力確保に努めた。戦後間もないころに設置されたディーゼル機関は、2サイクルまたは4サイクル低速で、無過給機関がほとんどだったが、次第に4サイクルの中速機関で過給機付に変わっていった⁹。1960年代までに設置された主な常用機関を表4.1に示す。

表4.1 1960年代迄の主な常用発電用機関の要目

納入先年	機関メーカー	形式サイクル	気筒数	口径工程mm	出力PS 回転数rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s
椿本チェーン 1952	三井	425MTBS40 4サイクル	4	245	300	7.9
				400	450	6.0
東洋レーヨン 1954	三井	642VS75 2サイクル	6	420	1500	4.6
				750	240	6.0
近藤紡績 1953	新潟	L7D 4サイクル	7	370	788	5.5
				520	327	5.7
東亜紡織 1953	三菱神戸 Vickers	RCD8A 4サイクル	8	310	780	7.2
				450	360	5.4

1970年代になると、日本各地の大容量電力消費の工場に、大規模自家発電装置が次々と設置された。代表的なものに表4.2のようなプラントが挙げられる。

当時大型機関では、ドイツのMAN社、フランスのSEMT社などが提携先を通じて日本市場に浸透し始めた時期で、三菱横浜が納入した三菱化成直江津工場はアルミニウムの精錬のため大電力を要し、1~4系までの発電所に米国Cooper Bessemer社ガス機関（4.4ガス機関参照）とMAN型ディーゼル機関あわせて74台、総発電容量301,850kWというわが国随一の大規模自家発電装置となった¹⁰。

一方、新潟鉄工では40X型中速機関（図4.2）を自社開発し、陸用、船用の分野に浸透を図った結果、岡山化成倉敷工場、日本セメント上磯工場などの大型プラントの受注に成功したほか、各種用途に進出を果たした¹¹。

これらに使用された機関は単機5000kWクラスで、大型プラントでは台数が増える点で、やや効率が悪かった。

中速機関は船用、陸用の双方で需要の多くなった10000kW（14000PS）級への大型化が図られた。代表

的な大型機関を表4.3に示す。

1974（昭和49）年にIHIが自社相生工場の自家発電用に設置した12PC4V型18000PS/400rpmは同社がSEMT社と共同開発したPC4型初号機である。

表4.2 1970年前後の大型発電プラントの要目

納入先 総出力	メーカー	形式	気筒数	口径mm	行程mm	出力 kWe×台数 PS×台数	回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s
岡山化成倉敷 60,500kW	新潟	16V40X	16	400	520	5500×11	400	16.7
						7750×11		6.9
日本軽金属新潟 47,250kW	富士 SEMT	16PC2-2V	18	400	460	5250×9	500	12.9
						7435×9		7.7
三菱化成直江津3系 85,050kW	三菱 MAN	V7V40/54	14	400	540	4725×18	400	15.8
						6690×18		7.2
三菱化成直江津4系 80,325kW	三菱 MAN	V8V40/54	16	400	540	5400×16	400	15.9
						7650×16		7.2
昭和電工大町 46,400kW	三菱 MAN	V8V40/54	8	400	540	5800×8	428	16.9
						8160×8		7.7
日本セメント上磯工場 56,500kW	日本 鋼管	18PC2-2V	18	400	460	5800×5	500	14.2
						8215×5		7.7
	新潟	16V40X	16	400	520	5500×5	429	16.1
						7750×5		7.4

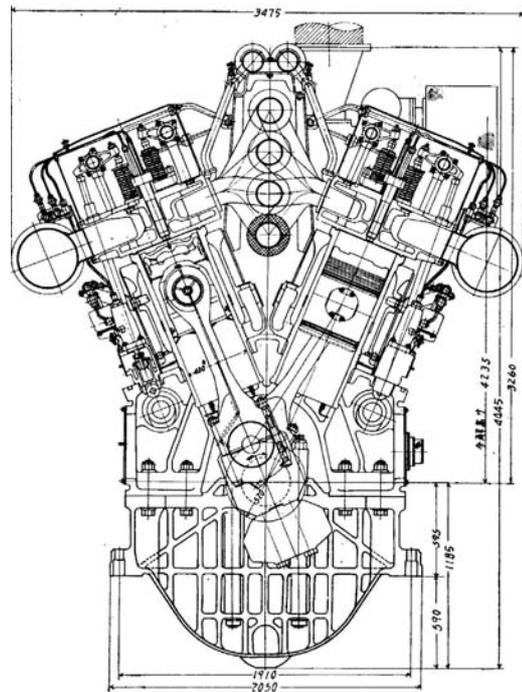


図4.2 新潟16V40X型機関
（新潟原動機提供）

国内各社も陸舶兼用の大型機関の開発に取り組んだ。三井造船はV60M（1500PS/cyl.）、新潟鉄工はV54X（1000PS/cyl.）の開発を行った。これらはその後実機として市場にでた、V42M（三井）、V46HX（新潟）のそれぞれさきがけとなった¹²。図4.3に三井が開発したL42Mの断面図を示す。

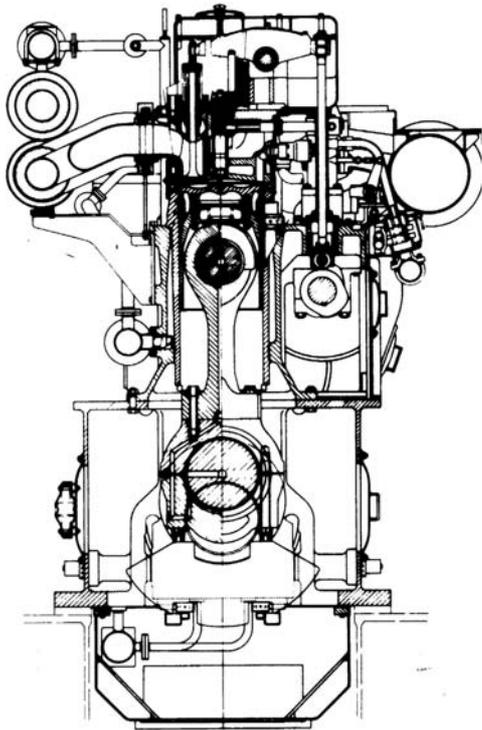


図4.3 三井L42M型機関
(三井造船提供)

表4.3 陸用大型中速機関の要目

ライセンス ライセンス	型式	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力PS/cyl 単機出力PS.	回転数 rpm	Pme Cm
MAN 三菱、川崎	L(V) V52/55B	6-18	520	550	1200 (V:1055) 7200-18990	450	20.6 8.3
SEMT IHI, NKK, 新潟	PC4-2L (V)	6-18	570	620	1650 9900-29700	400	23.5 8.3
Sulzer 日立造船	ZVB40/48	6-18	400	480	650 3900-11700	500	19.4 8.0
MAK 宇部興産	M551AK	6-18	450	550	667 4050-12150	429	16.0 8.3
三井	L(V) 42M	8-18	420	450	750 4500-13500	530	20.0 8.0
MAN 三菱	L58/64	6-9	580	640	1905 11430-17140	428	23.7 9.1

1986 (昭和61) 年に、通産省 (現経産省) から「コージェネレーションガイドライン」が發布されたのを契機に、買電から自家発への流れが急速に進んだ。産業用、民生用とも電気のほかに機関からの排熱を利用するコージェネレーションプラントが設置された。

原動機は、ディーゼル機関、ガス機関およびガスタービンの3種類を電気と熱の需要割合によって使い分けられ、都市型はガス機関またはガスタービン、非都市型はディーゼル機関が使用されるケースが多かった。

機関メーカー各社が提案した機関のサイズは1000～5000kW級がほとんどで、所要出力によって単機出力と台数を組合せて最適なプラントを構成する方法をとった。代表的な機関の要目を表4.4に示す。これによ

ると、正味平均有効圧力Pmeが20～22kg/cm²程度に、平均ピストン速度Cmが9.0m/s前後になっており、表4.3に示す機関よりも出力レベルが上昇していることが分かる。

表4.4 コージェネレーション用機関の要目

機関 メーカー	形式	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力 PS/cyl.	回転数 rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
SEMT新潟	PA5	6-18	255	270	260	900 1000	21.8 19.6	8.1 9.0
新潟	32CX 32CLX	6-18	320	360 420	500	720 600	21.6 22.2	8.6 8.4
三菱	KU30A	12-18	300	380	444	720 750	20.7 19.8	9.5 9.1
ダイハツ	DK-32	6-16	320	360	500	720 750	21.6 20.7	8.6 9.0

1995 (平成7) 年に、電気事業法 (電事法) の改正があり、電力会社に卸電力を供給する独立発電事業者 (IPP) の参入と、大型ビル群など特定地点を対象とした特定電気事業者の小売供給が認められた。これにより、商社、金融、石油、ガス、製造などの多くの業種が単独あるいは共同でIPP事業に参入を図ってきた。これらIPPは電力の調達を、自前で発電をするか購入するかの何れかであるが、余剰電力を持っているところは少なく、結局新たな発電所の建設が必要となり、各地に続々と新設された。

発電の原動機は、蒸気タービンを使用する大規模発電所のほか、ディーゼル機関、ガス機関、ガスタービンなどの中規模のもの、そして自然エネルギーの利用促進の見地から風力タービンなどを使う小規模発電設備など種々のものが建設された。

ディーゼル機関に関しては、コージェネレーションブームの際に普及した単機出力5000kW級が相変わらず需要の中心だった。

電力の自由化はさらに進み、2000 (平成12) 年には、2000kW以上の大口需要家に対し、特定規模電気事業者による小売りが認められ、2004 (平成16) 年には500kW以上、翌年には50kW以上に引下げられ、小規模需要家に対しても小売が認められるようになり、小型コージェネレーションが普及した。

(2) 島嶼発電用ディーゼル機関

戦後、各地域に分散していた中小規模の電力会社が1951 (昭和26) 年5月、9電力会社に統合され、水力主体の電源構成から、次第に火力に比重が移っていくことになる。一方、わが国には多くの島があり、これらに対し発電所が整備されていくが、その規模と効率面

で内燃力発電すなわちディーゼル発電が設置された。

1952（昭和27）年、離島の電力整備の第1号として、東北電力佐渡火力発電所に新潟鉄工の2サイクルLN7B型1100PS2基が設置された¹³。

昭和30年代に設置された、ディーゼル発電機関はちょうど過給機が装着され始めたころで、出力は1000～2000kWクラスが主体であった。その後、次第に島の産業が発達したり、家電製品や冷暖房の普及などで電力需要は増加し、昭和40年代には4000～6000kWクラスの新設、増設が多数行われた。さらに昭和50年代には、効率性を求めて単機10000kWクラスのディーゼル機関の需要が出始め、内外の機関メーカーはこれに呼応するように、このクラスの機関開発に力を入れた。これは、前項の産業用機関の大出力化の時期とも一致しており、表4.5に示すような大型中速機関が開発された。

1985（昭和60）年ころのわが国全体の島嶼発電装置の台数は約260台、総出力は約240MWに達した。

表4.5 島嶼用ディーゼル発電機関の要目

機関メーカー形式	気筒数	口径mm	行程mm	出力PS 発電出力KWe	回転数rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s
新潟 L8F43AHS	8	430	540	2400 1650	360	9.6 6.5
MAN G6V30/42AL	12	300	420	900 600	500	9.1 7.0
新潟 16V40X	16	400	520	6400 4500	400	13.8 6.9
SEMT 16PC2-5V	16	400	460	8400 6000	514	15.9 7.9
MAN V8V52/55	16	520	550	14000 10000	450	15.0 8.3
SEMT 12PC4V	12	570	620	14000 10000	400	16.6 8.3
三井 8L42M	8	420	450	4200 3000	450	16.8 6.8
新潟 16V46HX	16	460	600	14000 10000	450	17.6 9.0

本表で、正味平均有効圧力Pmeは初期のころは10kg/cm²程度だったものが次第に増加し17kg/cm²程度に増加しており、中速機関の発展の傾向を表しているが、それぞれの機種トップ出力に対しては約80%を定格出力として、信頼性の確保に重点を置いた機種選定になっている。これは事業用発電と民間の自家発電との大きな違いといえる。

(3) 海外発電プラント

陸用機関の市場のひとつとして、海外の発電プラントがある。プラントの立地条件や規模によって、選定される原動機が変わる。最近多くなった大規模発電の場

合は、火力（石油、石炭、天然ガスなど）、水力、原子力などが選ばれることが多いが、100MW級以下の中小規模発電では以前から、ディーゼル発電が選ばれることが多かった。

発電用ディーゼル機関の輸出の記録として、1926（大正15）年に、三菱神戸がピッカースVA6型機関（535PS/277rpm）を朝鮮（現韓国）の咸興に進出した日本窒素の工場に納入したものが、最も古いものと推定される¹⁴。日本企業の海外進出に伴うものではあるが、この頃の海外工事には大変な苦勞があったものと推察される。

戦後になって、新潟鉄工は、1956（昭和31）年ころから東南アジア、南米で開かれた日本機械見本市に、ディーゼル機関を出品して宣伝に努めた結果、1958（昭和33）年に、アルゼンチン向にL6F43BHS型機関（1450PS/375rpm）など30台の受注に成功した。そして、1961（昭和36）年ころからインドネシア向にLF型、LD型、KB型などの機種を大量に輸出した。また、1962（昭和37）年には、韓国の6000kW発電所向にL8F43AHS型（2200PS）4台を受注した¹⁵。

三菱神戸は1963（昭和38）年、ラオスの3000kW発電所にJB16VA型1000kW 3台を納入した。標高の高い土地であることと常用発電であることを考慮して1600kWの能力のある機関を1000kWにおさえた¹⁶。

同じ年、三井造船では、東レのタイ工場に1026MTBF40V型1500PS 3台を納入した。同型機が2年後に1台増設されて4台プラントになった¹⁷。

1969（昭和44）年、ダイハツはエチオピア電力省向に8PSHTb-26D型860PSと6PSTc-20F型274PSを各8台を生活用常用電源として納入した¹⁸。

これらの機関の要目を表4.6に示す。

表4.6 戦後（1970年迄）の輸出用発電機関の要目

メーカー設置年	形式・台 サイクル	口径 行程 mm	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	国 総発電出力
新潟 1962	L8F43AHS 4台 4	430 540	2200 360	8.8 6.5	韓国 6000kW
三菱神戸 1963	JB16VA 3台 4	275 400	1620 500	7.7 6.7	ラオス 3000kW
三井 1963	1026MTBF40V 4台 4	260 400	1500 600	10.6 8.0	タイ 4000kW
ダイハツ 1969	8PSHTb-26D 8台 4	260 320	860 720	7.9 7.7	エチオピア 4400kW

1970年代になるとわが国産業の国外進出が盛んになり、特に韓国、タイ、インドネシアなどに、繊維、化学工業などが海外工場を盛んに建設した。これらの諸国は、労働力は豊富にあったが電力は自前で準備しな

ければならない状況で、自家発電設備を設置するケースがほとんどだった。発電の規模は1000～5000kW級が多く、従って単機出力は1000～2000kW級を組合わせて使うことが多かった。

新潟鉄工では1970（昭和45）年ころから数年間に、インドネシアの日系繊維企業だけで表4.7に代表されるような1000～3000kWe級の発電セットを50台余り納入した。これらの機関の中には、35年余り稼働しまだ運転し続けているものもある。これら機関はいずれも中速高過給機関であったが、常用出力をやや下げて運転していたこと、比較的良質な燃料油を使用していたこと、適切なメンテナンスを維持してきたことなどが相乗して、記録的な長寿命に貢献しているものと推定される。

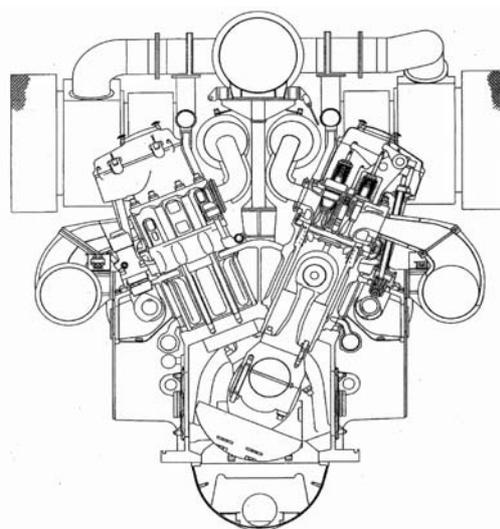


図4.4 PC4-2型機関横断面図
(ディーゼルユナイテッド社提供)

表4.7 インドネシア向発電機関の要目

メーカー	気筒数	口径mm 行程mm	PS kWe	rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s
新潟 6L31EZ	6	310	2150	600	18.7
		380	1500		7.6
新潟 8L40X	8	400	3600	400	15.5
		520	2750		6.9

1975（昭和50）年ころから、海外進出は日系企業に依存しない幅広い分野に広がっていった。そのひとつは、発展途上国の電力会社向で、韓国、台湾、マレーシア、インドネシアなどのアジア地域のほかサウジアラビアなど中近東諸国などに多くの需要があった。これらの市場には、日本のほかに欧州の機関メーカーが競合することが多く、いわゆる国際入札による熾烈な受注合戦が展開された。そして、出力規模が次第に大きくなってゆき、単機5000～10000kW級がその中心となっていった。

これらの需要を見こして世界の機関メーカーは競って大型開発に力を入れ、多くの新機種が生まれた。これは国内プラントの大型化の時期とも一致し、前出の表4.3に示すような機関がこの市場にも投入された。その代表としてPC4-2型機関の断面図を図4.4に示す。

1980年代の後半に入ると、インド、パキスタンや中国での電力需要が急速に増加し、インド、パキスタンでは電力会社の送電網の整備が遅れていたため、繊維産業を筆頭に、製鉄、セメント、化学、などの基幹産業用が自家発電設備を導入することが多く、ディーゼル発電機が多く設置された。一方、中国では特に産業発展の著しい広東省など南部を中心に地域発電所の建設が活発となり、単機5000～9000kW級のディーゼル機関を複数台設置するものが多かった。これら地域で

は、日本と欧州の受注競争が行われたが、インドでは日本が有利に、中国では欧州がやや有利に展開した。使用された機関は、日本勢は純国産と提携機種、欧州はライセンス自身の製作によるものが提供された。これらの機関要目を表4.8に示す。

表4.8 インド、中国等向の主な発電機関の要目

メーカー 型式	気筒数	口径 行程 mm	出力PS kWe	rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	備考
富士 16VH32	16	320	7800	600	19.3	インド
		470	5500		9.4	
新潟 18V32CLX	18	320	8390	600	20.7	インド、 パキスタン
		420	5960		8.4	
Sulzer 18Z40/48	18	400	11330	500	19.4	中国
		480	8000		8.0	
SEMT 18PC2-6V	18	400	11330	500	20.2	中国
		460	8000		7.7	

1990年代になると、海外でも独立発電事業者（IPP）による発電所建設が盛んになり、規模も大きいものが多く前述の10000kW級のディーゼル機関がこれに用いられた。

戦前から始まった海外発電ビジネスは、戦後市場拡大を求めて、国産品のPRに努めた結果、次第に認知されるようになり1960年代に輸出が復活した。さらに、1970年代の日系企業の海外進出が牽引役を果たし、輸出は大幅に増加した。続いて、アジア諸国で各種産業が成長するが、電力事情が悪く、建設工期の短いディーゼル発電装置が、電力会社または需要者によって設置されるケースが増えてきた。さらに1990年代には、IPPによる大規模発電所が世界各地に建設されるようになってきた。この間、常に海外機関メーカーとの競

合を繰広げてきたが、技術力やアフターサービスの面からわが国の製品は高く評価され、成功した事例は多かった。

4.3 非常用ディーゼル機関

(1) 非常用発電機関

1939（昭和14）年、発動機製造（現ダイハツディーゼル）は、日本放送協会（NHK）の放送会館にディーゼル機関8LS-21型300PSを納入した¹⁹。これはわが国初の非常用ディーゼル機関と推定される。

戦後、しばらくの間電力の供給が不安定であったため、放送局、電報電話局など公共性の高い施設では特に非常用電源設備を必要とした。日本電信電話公社（現NTT各社）ではいち早く、非常用電源を導入し、1955（昭和30）年にヤンマーディーゼル（現ヤンマー）製LEM型機関を使用した無停電装置を²⁰、そして1959（昭和34）年には、三菱神戸製JB12VA型およびJB16VA型を全国各局に設置した²¹。

NHKでは東京五輪に備えて非常用発電設備の強化を図るべく、1963（昭和38）年に2500kW級の設備を渋谷の放送センター内に設置し、ディーゼル機関は新潟鉄工製3500PSの16V33XB型を使用した²²。

昭和40年代後半になると、電力供給網は良く整備され、安定供給という面からも他の先進国にひけをとらないほど高水準といわれるレベルに達した。しかし、台風や地震など自然災害や人為的な事故などによる停電に備えて、非常用電源を確保することは自衛上必要なことであり、また法的に義務付けられている施設もあった。

このような事情から、非常用発電設備の需要は以前から多かったが、近年のコンピューターの普及によるシステム障害や、高度に進んだ製造プラントのライン停止による復旧の困難などを回避するため、急速な予備電源の立上げや無停電装置などの要求が増えてきている。

このような非常用電源に供される原動機は、常用発電機の場合と同じく、ディーゼル機関、ガス機関およびガスタービンの3種の内燃機関に限定されるといってよい。これらがどのように選定されるかは、それぞれの機関の特徴をいかにうまく使うかにかかっている。表4.9に特徴を比較した結果を示す。

非常用発電装置は、ビルなどの施設内では屋上や地下室などに防音仕様のパッケージとして設置されることが多いため、音源の大きいディーゼル機関、ガス機関はパッケージの価格がその分高くなる。

表4.9 非常用発電機関の得失比較

	ディーゼル機関	ガス機関	ガスタービン
始動確実性	最も良い	やや劣る	ディーゼルとほぼ同等
始動後負荷投入までの時間	10-15秒位	40秒位	40秒位
負荷投入量	部分負荷投入要	部分負荷投入要	全負荷投入可
燃料	軽油、重油	ガス	軽油、ガス
燃料遮断リスク	なし、但し時間制限あり	供給ラインの遮断リスク	左の何れか
設置スペース	大きい	大きい	小さい
冷却水	必要	必要	不要
価格	最も安い	中間	最も高い
排気ガス	NOx、PM	NOx	NOx
振動・騒音	大きい	大きい	小さい

非常用に使用されるディーゼル機関は、常用機関と共通の機種が選定されることが多いが、定格出力は常用機関と比べて高めに設定することが一般的である。別の表現をすれば、非常用はその機種の設計最大出力を定格とするのに対し、常用機関は最大出力から10～15%程度減じた出力を定格とする場合が多い。燃料の質が非常用は軽油、A重油に対し、常用はC重油というような使い分けをする場合も考慮してのことである。

非常用ディーゼル機関には、ほとんどの場合4サイクル中高速機関が使用される。それは、燃費で代表される維持経費よりも始動性、負荷追従性などの動的性能や建設費を加味すると、中高速機関が有利であることによる。

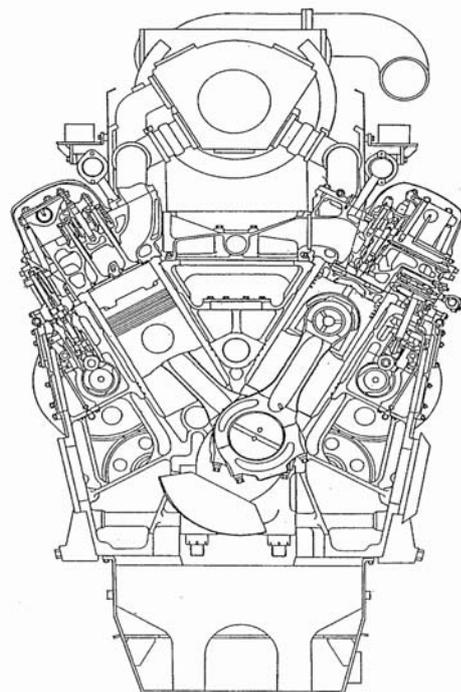


図4.5 SEMT PA6型機関
(新潟原動機提供)

(2) 原子力発電用非常用ディーゼル機関

わが国の商用原子力発電は、1966（昭和41）年に運転開始した日本原子力発電東海発電所1号機の166MWであり、2006（平成18）年に運転開始した北陸電力志賀原子力発電所2号機の1358MWまで累計56基、総出力49,746MWに達している。うち1号炉の東海発電所が1998（平成10）年に停止になった以外は、営業運転を継続しており、わが国電力の主要電源になっていることは周知の事実である。

これら原発の中核ともいえる原子炉の冷却材が万一喪失した場合、原子炉に冷却水を供給し、燃料の過熱を防ぐための安全保護装置として、多重化された炉心冷却装置が設けられており、各種ポンプ、モーター等で構成されている。その電源は発電所外からの送電により供給されるが、地震その他で外部電源が喪失した場合を想定して、非常用発電装置を、1原子炉あたり2～3基備えており原動機はディーゼル機関が使用されている。

ディーゼル機関に要求される性能として、耐震性を備えていること、急速始動が可能なこと、過負荷を含むロード・シーケンスに耐えることなどである。しかし、機関の大きさが5000～10000PS級の大型となり、慣性力も大きいため急速始動には不利であり、種々の対策が施されている。具体的には、始動空気系の強化とガバナ（機関の回転数を保つようにする装置）の応答性の向上などである。また、負荷応答性は燃料制御機構を含めたガバナ系の改善を行っている。原子炉の型式に沸騰水型（BWR）と加圧水型（PWR）の2つがあり、それぞれに使用されている機関の要目を表4.10に示す。

本表のPme、Cmの推移をみると、約40年間の間に大幅に高過給化、高速化が進んでいることがわかる。

これは、原子力発電所が信頼性確保が最大の課題である一方、建設費の削減も強く要請されており、非常用発電設備も信頼性を維持しながら、より軽量コンパクトな製品（図4.5、4.6）にシフトしてきた経緯が顕われている。またわが国の原子力発電プラントは、初期のころは米国から実績のあるプラントの輸入であり、その後は技術提携により供与された図面により国産化に取り組んだ。そして、次第に自主技術によりプラントの大型化や信頼性の向上に成果をあげてきた。

一方、非常用ディーゼル機関は前述の基本性能を満足するために、むしろ国産機関のほうが対応しやすいとの考えから、最初から国産機関を充当し次第に実績を積んで、より良い機種選定が行われてきた経緯がある。従ってプラント全体として自主技術の確立に大いに貢献した側面がある。

表4.10 原発非常用ディーゼル機関の要目

メーカー 運転開始年 機関形式	気筒数	口径mm 行程mm	出力PS 回転数rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	適用発電所名	炉型式
川崎(1963) V8V22/30ATL	16	220 300	1740 750	11.4 7.5	東海	B W R
新潟(1968) 12V33XB	12	330 450	2900 514	11.0 7.7	敦賀1号	
新潟(1969) 18V40X	18	400 520	9300 429	16.6 7.4	福島第一-1-6号 東海第二	
新潟(1978) 18PC2-3V	18	400 460	9450 500	16.3 7.7	福島第二1-4号、浜丘3.4号 柏崎刈羽1-5号	
新潟(1987) 18PA6V	18	280 290	7200 1000	20.2 9.7	柏崎刈羽2-7号、女川2.3号 東通1号	
新潟(1999) 18V32CX	18	320 360	8750 750	20.1 9.0	女川3号、東通1号	
川崎(2004) 18PA6-CL	18	280 350	7200 720	23.2 8.4	志賀2号	
三菱(1970) V6V30/42AL	16	300 420	2835 600	11.9 8.4	美浜1号ほか	P W R
三菱(1975) V6V40/54	12	400 540	5100 400	14.1 7.2	玄海1号ほか	
三菱(1977) V5V40/54A	10	400 540	5100 400	16.9 7.2	伊方1号ほか	
三菱(1984) 18V40/54	18	400 540	9780 400	18.0 7.2	敦賀2号	
三菱(1991) 16V40/54A	16	400 540	10400 450	19.2 8.1	大飯1号ほか	

注：同一機種で、向先により出力/回転数が異なる場合は、トルク(Pme)最大値を表示した。

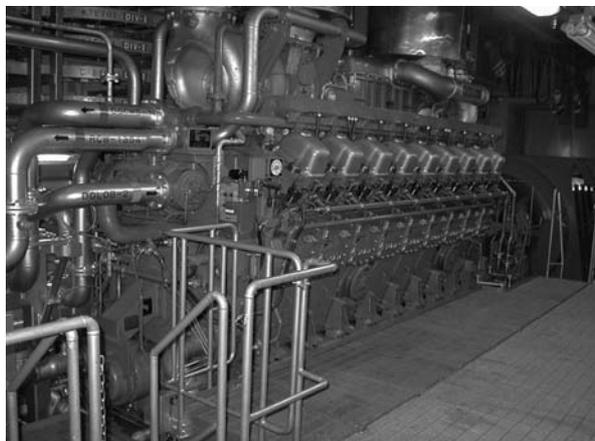


図4.6 原子力発電所向SEMT 18PA6型機関
(新潟原動機提供)

(3) 水処理関係施設

日本国内には、都市農村とを問わず、上水を処理供給する浄水場と下水を処理排水する下水道施設が高度に普及している。これらの施設は、いずれもポンプ動力と熱源を必要としており、ポンプの駆動源としてモーターまたはディーゼル機関が選ばれる。

電力は、通常時は売電でまかない、停電に備えて非常用発電設備を設置する場合と自家発電設備を設置する場合がある。いずれの場合も、ディーゼル機

関が原動機として使用されることが多かったが、近年ガスタービンの使用も増えてきている。その理由に、常用電源の場合排熱の利用がしやすいこと、非常用電源の場合コンパクトで冷却水のいらぬことなどが挙げられる。

下水道施設の整備が本格的に始まったのは、1965（昭和40）年の「第一次下水道整備5カ年計画」からで、第二次、第三次と継続されていく。

水処理関係では、ほかに排水機場などポンプの動力用としてディーゼル機関が使用されることが多い。代表的な機関を表4.11に示す。

表4.11 下水道処理場向機関の要目

メーカー 型式	気筒数	口径mm 行程mm	PS	rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s	備考
ダイハツ 6DS-28	6	280 360	2000	720	18.8 8.6	大阪府など
新潟 8L40X	8	400 520	4000	429	16.1 7.4	東京都など

4.4 ガス機関

4-4-1 ガス機関の黎明期

ガス機関の起源は、ドイツのオットー（Nicholus O. Otto, 1832-1891）が1867年に完成した4サイクル大気圧ガス機関にさかのぼる。1972（明治5）年には、「ドイツガス機関製作所」を設立し、各種工業用にガス機関を製造した。カール・ベンツ（Carl Benz 1844-1929）も、1879年の大みそかに2サイクルガス機関の始動に成功した。横型クロスヘッド1PS/135rpmだった（図4.7）。そして、1883（明治16）年に、「ベンツ・ラインガス機関製造所」（後のMWM社）を設立した²³。

1900（明治33）年頃から、石炭ガスの価格が急上昇したため、MWM社は石炭からガスを発生させる、ガス発生装置を付けたガス機関の販売を開始した。当時の燃料の違いによる単位馬力、単位時間あたりの費用は、最も高いガソリンを10とすると、電気モーターが7、石炭ガス使用のガス機関が6に対し、ガス発生機による石炭ガス使用のガス機関が1と断然自家製ガスが安かった²⁴。

このころの内燃機関は、ダイムラー、ベンツなどが発明する自動車用ガソリン機関が普及する前で、主として蒸気機関の代替として、ガス発動機*が各種工場の動力用として使用されていた。そして、発動機とガス発生機はドイツ、英国を中心にクロスレー、ラストン等多くのメーカーが手がけ、両者は必ずしも同じメーカーの組合せでなくても良かった。

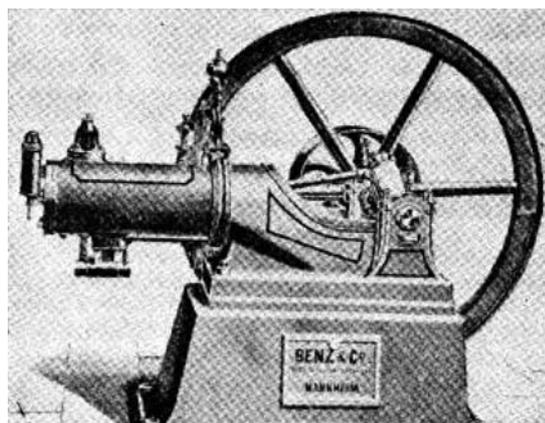


図4.7 ベンツが発明したガス発動機（1879年）
（「創立100年を迎えたMWM社」内燃機関1980年12月号より）

日本にガス発動機が導入されたのは、発動機製造（現ダイハツ工業、ダイハツディーゼル）が1908（明治41）年に6PSを2台完成させたのが初めてである。前年に竣工した大阪の自社工場に発電用に設置した英国のラストン・プロックター社製の吸入ガス発動機を参考に自社で設計、製造したものである（図4.8）。そして、製品のシリーズ化を行い、8PS～100PSまで7機種の品揃えを図った²⁵。

同社のガス発動機は、当時小型内燃機関の主流だった石油発動機に較べ非常に経済的だったのと、石炭（コークス）や木炭という手近な燃料が利用できたことから、陸上発電用と船舶用の両方に使用された。特に1909（明治42）年頃から日本各地に設立された電灯会社には、吸入ガス発動機が多数納入された。発動機製造のガス発動機は、さらに大型化を図り、1915（大正4）年に日立鉱山に400PSを3基、1919（大正8）年に津電灯会社に500PSを1基納入した²⁶。

*19世紀後半に種々の内燃機関が発明されたが、初期のものは空気や混合気を圧縮しないかまたは圧縮比が低いもので、石油（灯油）を燃料とし火花点火するものが「石油発動機」、同じく重油や軽油を赤熱点火するものが「焼玉機関」、ガスを燃料とし火花点火するものを「ガス発動機」と呼んでいる。「吸入ガス機関」、「大気圧ガス機関」という呼称の機関は圧縮比が小さいという意味で、ここでは「ガス発動機」という呼称とする。

なお、圧縮比が高い内燃機関は、1876（明治9）年にオットーが発明した火花点火式の「ガソリン機関」と、1892（明治25）年にルドルフ・ディーゼルが発明した圧縮点火式の「ディーゼル機関」であり、ここで扱う「ガス機関」はディーゼル機関並の高圧縮比のガス燃料機関という意味で、「ディーゼル機関」の一分野と位置づける。

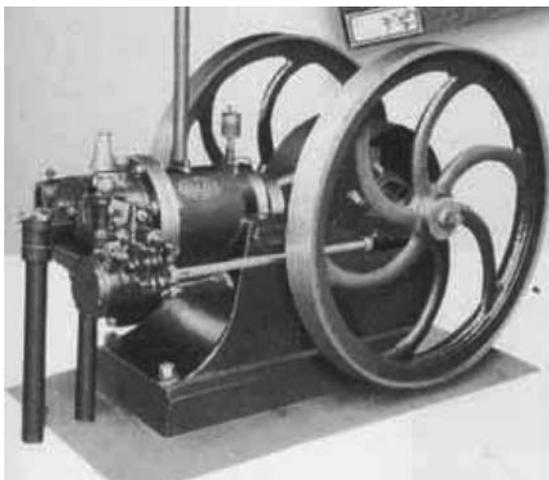


図4.8 発動機製造の国産初のガス発動機（1908年）
（ダイハツディーゼル提供）

1910（明治43）年、三井鉱山は三池焦煤（コークス）工場に、コークス炉ガスと高炉ガスを燃料とする大型ガス機関の導入を決定した。当時大型ガス機関の実績は日本では皆無であり、最も経験のあるMAN社に発電所全体の建設を発注した。機関の型式は、4サイクル横型複動くし型4気筒DTZ型で、口径1000mm、行程1200mm、3000PS/100rpmが2台、合計6000PS（4160kWe）の巨大な発電所が、1913（大正2）年に完成した。その後電力需要が増えたので、三井三池製作所では輸入機をもとに国産化を計画し、国内素材メーカー等の協力により、1919（大正8）年と翌年に同型機をそれぞれ1台増設し、合計4台で常時3台（6240kWe）の発電所となり、1949（昭和24）年まで、30年近くにわたって稼働を続けた。なお、同じMANの複動2気筒DT13b型、口径1200mm、行程1300mm、2400PS/94rpm 4台が鉄道省矢口発電所に、1914（大正3）年に竣工したが、1926（大正15）年に撤去された²⁷。

4-4-2 ガス機関の停滞と第二次大戦前後の発展

石油燃料が次第に普及してくると、石油発動機、焼玉機関、ガソリン機関、ディーゼル機関などいわゆる液体燃料を使う内燃機関が優勢となり、ガス機関の需要はしばらく頭打ちになった。特に1920（大正9）年台になって、効率に優れたディーゼル機関が各種用途に使用されるようになったため、ガス機関はガスの入手しやすい地区を中心に使用されるに留まった。

第二次世界大戦が近づいた1940（昭和15）年頃から、日本では燃料の統制が始まり、とりわけ石油燃料は極度に使用が制限され、戦後の1951（昭和26）年に統制解除されるまでひっ迫状態が続いた。この間、鉄道車両、路線バスなどのディーゼル機関はガス機関として使用され、燃料には天然ガス、木炭などが使用された。

ディーゼル機関はガス炊のための改造が必要だったが、メーカーやユーザーの努力で何とか実用になるものができた。木炭はガス発生機を搭載したバスに多く使用されたが、数十年前に開発されたガス発生機の技術が役立ち、またガス機関が一時的にせよ重要な役目を果たしたことは記憶にとどめたい。

4-4-3 戦後のガス機関の復活と技術の進化

戦後の内燃機関は、小型では石油発動機、焼玉機関、ガソリン機関、中大型ではディーゼル機関が優勢を占めていた。しかし時代の推移とともに、ガス機関の低公害性が脚光を浴びてきた。すなわち、硫黄分がごく微量のためSOxが少ないこと、低NOxが比較的容易に実現できること、ばいじんが出ないこと、化石燃料中最少のCO₂排出量であることが挙げられる。そして、都市ガスの供給網の整備や消化ガス、バイオガスなどの入手性の向上からガス機関の需要が次第に増加していった。

ここでは、ガス機関の種類ごとにその発展過程を追ってみる。

(1) 二元燃料ガス機関

戦後比較的早い時期に、国産のガス機関が生まれた。最初のタイプはディーゼル機関をベースにしたもので、比較的大型の直噴二元燃料型であり、性能はディーゼルモードとほぼ同等なものだった。

1963（昭和38）年神戸製鋼は、米国クーパー・ベッセマー（Cooper Bessemer）社と同社が開発したLSV型機関の技術提携を行った。純ガスモード、二元燃料モード、純ディーゼルモードの3通りの運転モードができるトライヒューエル機関と呼ばれるもので、火花点火のガスモードとパイロット燃料点火の二元燃料モード及び純ディーゼルモードの切換えは、点火栓と噴射弁の交換作業に数時間を要するだけで、ユーティリティの高い機関として注目を集めた。常用発電用に特化した機関ゆえ、正味平均有効圧力は11.6kg/cm²と低めに抑えて、信頼性の確保に重点を置いた²⁸。

フランスのSEMT社も1960年代から二元燃料ガス機関を開発しており、PC2およびPA6シリーズと後に開発されたPA5シリーズなどに適用された。IHI、NKK、富士ディーゼル（後に新潟鉄工が継承）の3社が国内外の発電用に納入した²⁹。そのほか、富士ディーゼルでは、同社オリジナル機関のラインアップを図り、200～5000PS級までそろえ、発電用として多数納入した³⁰。表4.12に代表的な二元燃料ガス機関の主要目を示す。

表4.12 二元燃料ガス機関の主要目

メーカー形式	サイクル	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力 PS/cyl.	回転数 rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
Cooper Bessemer LSV-	4	12-20	394	559	350	400	11.6	7.5
SEMT PC2-5DF	4	6-18	400	460	535 535	500 514	16.7 16.2	7.7 7.9
富士 G32X	4	6-18	320	380	275	600	13.5	7.6
SEMT PA5DF	4	5-18	255	270	180 200	1000 1200	13.1 13.1	8.1 9.0

(2) ストイキ燃焼（三元触媒）ガス機関

ガス機関の一方式として、理論空燃比（燃料の燃焼に必要な理論空気量と燃料の質量比）付近で燃焼させるストイキ燃焼方式がある。

ヤンマーでは、1983（昭和58）年大型ガス機関SHLG型を開発し、16気筒で900PSまでカバーするシリーズ化を図った。1986（昭和61）年、新潟では本方式のガス機関を開発し、ゴミ埋立地から発生する消化ガスを燃料とするガス機関を東京都夢の島に設置し、施設内の電源を供給した。ダイハツでは、1987（昭和62）年に札幌市のスポーツセンターにコージェネレーション用としてLPG燃料の8GSV-22型1200PS/1000rpmを2台とさらに増設2台の合計4台を納入した³¹。

日本鋼管（現JFEエンジニアリング）では、ガス機関で高い技術を有する米国Waukesha社製のストイキ機関を技術提携し、日本の市場に参入した。これら機関の主要目を表4.13に示す。

ストイキ機関は、理論空燃比のために排気温度が高く、排熱回収率が高くできる反面、ノッキング（燃料が瞬時に燃焼して異常圧力を発生すること）しやすく、排気温度が高いため出力が制限される。また機関自身のNO_x値は高いが、三元触媒（残存酸素がない状態で、NO_x、CO、HCの3つの有害成分を除去する物質で通常多孔質セラミックス製）が使用できるので機関出口でのNO_x値を十分低くできた。

表4.13 ストイキ燃焼ガス機関の主要目

メーカー形式	サイクル	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力 PS/cyl.	回転数 rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
ヤンマー SHLG	4	6-16	165	185	46.9	1000	10.7	6.2
					56.3	1200	10.7	7.4
					68.3	1500	10.4	9.3
新潟 NSAK-SG	4	4-16	132.9	160	34.9	1500	9.4	8.0
					41.2	1800	9.3	9.6
ダイハツ 8GSV-22	4	8	220	280	150	1000	12.7	9.3
NKK Waukesha F(L)-GSI	4	6,12	238	216	113.3	1000	10.6	7.2
					131.4	1200	10.3	8.6

(3) ガス噴射機関

1979（昭和54）年、三井造船は新しいタイプのガス機関を開発した。ガスインジェクションディーゼル機関（GIDE）という名称で、高圧（24.7MPa）に圧縮したガス燃料を、上死点付近でシリンダ内に直接噴射し、同時期に従来のディーゼル機関用燃料弁から噴射されるパイロット燃料で点火させる方式のため、ディーゼル機関並の出力と熱効率が得られる利点があった³²。

最初、4サイクル機関で基礎試験をしたあと、1985（昭和60）年には2サイクル6L35MCE型機関で燃焼試験を行い、1994（平成6）年には自社工場の常用電源設備を兼ねた40MW級大型実証プラントを建設した^{33,34}。2サイクル機関を使用したのは、蒸気タービンが主に使用されているLNG船主機としての適合性を実証するためであった。また4サイクル機関においては、三井のデンマーク子会社が受注したデンマークの地域発電所の原動機に、MANB&W16V28/32-GI型ガス噴射機関が納入され、燃料噴射弁は三井が開発したものが使用された³⁵。

フィンランドのバルチラ（Wärtsilä）社でも、ガス噴射機関を開発し、欧州を中心にかなりの納入実績が報告されている。これらを表4.14に示す。

これらのタイプはガスを高圧に圧縮するための動力が5%程度必要となり、総合効率の点で、後述の希薄燃焼式に劣るためこれによって替わられた。

表4.14 ガス噴射機関の主要目

形式	サイクル	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力 kW	回転数 rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
三井MAN B&W 12K80MC-GI-S	2	12	800	2300	40680	103.4	17.4	7.9
Wärtsilä VASA 18V32GD	4	18	320	350	7200	750	23.9	8.8
MAN B&W 16V28/32-GI	4	16	280	320	3200	750	18.4	8.0

(4) 希薄燃焼ガス機関（火花点火式）

ガス噴射機関と並行するかたちで新しい型のガス機関の開発が行われた。いわゆる希薄燃焼副室火花点火式といわれるもので、低NO_x型である。三菱重工、新潟、ヤンマー、ダイハツなどが1985（昭和60）年頃から相次いで開発に乗りだし、常用発電とりわけコージェネレーション（熱電併給）用として急速に普及した³⁶。また、米国のWaukesha、オーストリアのJenbacher（現GE Jenbacher）、フィンランドのWärtsiläなどが日本市場に参入を図った³⁷。

燃焼方式は副室（予燃焼室ともいう）内に吹き込んだ少量のパイロットガスに点火プラグで点火しこのエ

エネルギーを主室の希薄混合ガスの燃焼に利用するもので、従来のストイキ燃焼式、ガス噴射機関に比べNOx値が格段に低く、ばいじんが皆無であることに加えて、熱効率が高いことが特徴である。

ヤンマーでは、1989（平成元）年開発したNHLGシリーズにミラーサイクル（給気弁を早くまたは遅く閉じて、圧縮比に対して膨張比を大きくして熱効率の向上を狙ったもの）方式を適用した6NHLM-ST型機関を1999（平成11）年に開発した。

三菱重工でもミラーサイクル、高性能過給機の採用、燃焼系の改良などにより高効率ガス機関を開発した。JFEエンジニアリングでは排ガス再循環（EGR＝排気ガスの一部を新気と混合して再びシリンダに導くことで、NOxの低減とノッキング防止を狙ったもの）方式を採用して、高出力と高効率を実現した。

また、川崎重工でも熱効率を大幅に向上した希薄燃焼ガス機関を開発し、実用化に成功した³⁸。

これらの新しいタイプのガス機関は後述の圧縮点火の2方式に比べても、同等以上の熱効率を有しており、今後競争が一段と激化することが予想される。このタイプに属する機関の要目を表4.15に示す。

表4.15 希薄燃焼ガス機関（火花点火式）の主要目

形式	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力 PS/cyl	回転数 rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
三菱重工 GS-R	6-16	170	180	69.1 79.3	1200 1500	13.4 12.2	7.2 9.0
三菱重工 KU30G	12-18	300	380	290 290	720 750	13.5 13.0	9.1 9.5
新潟鉄工 V26HXG	12-16	260	275	200 222	900 1000	13.7 13.7	8.3 9.2
新潟鉄工 V33CXG	12-18	335	360	348 360	720 750	13.7 13.7	8.6 9.0
ヤンマー NHLG-ST	6-16	165	185	73.8 83.8	1500 1800	11.2 10.6	9.3 11.1
JFEエンジニアリング F(L)-GDSI	6 12	245	260	118 118	900 1000	9.6 8.7	7.8 8.7
Jenbacher JMS3	12-20	135	170	52.7 65.1	1200 1500	16.0 16.0	6.8 8.5
Waukesher AT27GL	8-16	275	300	251 279	900 1000	14.1 14.1	9.0 10.0
ヤンマー NHLM-ST	6	165	185	73.3	1500	11.1	9.3
Wartsila 34SG	12-18	340	350	469	750	17.7	8.8
JFEエンジニアリング E3G	6,12	400	500	850	600	20.3	10.0
川崎重工 KG	12-18	300	-	605 582	720 750	-	-

(5) 希薄燃焼ガス機関（副室マイクロパイロット点火式）

2000（平成12）年頃からディーゼル機関並の高出力

で低NOx、高効率ガス機関の開発が始まった。その結果、火花点火ではエネルギーが小さいため、瞬時に燃焼し得る混合気量（燃料と空気の混合気）の限界があるので、出力アップが容易ではないこと、点火プラグの寿命がディーゼル機関固有の部品に比べて短いことなどからパイロット点火を液体燃料で行うことにより、これら欠点を補うことが考えられた。しかし、従来の二元燃料のようにガス運転モードで液体燃料の割合が5～10%と多い場合は、液体燃料の燃焼によって、NOx、ばいじんが多く発生し、ガス運転の利点が相殺される問題があった。

本方式は、パイロット燃料を1%程度におさえ、極力クリーンなガス機関の特徴を生かすことに工夫をこらし、火花点火式と同じように副室を設け、少量でも確実な点火が得られるようにした。

三菱重工横浜では、本方式とコモンレールを併用したガス機関MACH-30G型を開発して国内のコージェネレーション市場に大きく進出した^{39,40}。

新潟原動機でもマイクロパイロット点火方式の22AG型、28AG型の2型式を開発し、1～6MWクラスの出力範囲をカバーしてこの市場への進出を図った⁴¹。

(6) 希薄燃焼ガス機関（直噴式）

2005（平成17）年ころから、さらに新しい概念のガス機関が登場した。三井造船とダイハツディーゼルが共同で開発したもので、希薄燃焼で低NOxを維持しながら、直噴型コモンレール式を採用した。そして、空燃比を最適に制御することで、安定運転、NOxの制御および良好な燃焼を実現した^{42,43}。

(5)、(6)の二つの方式のガス機関の主要目を表4.16に示す。

表4.16 希薄燃焼ガス機関（液体噴射式）の主要目

形式	方式	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力 kW/cyl	回転数 rpm	Pme MPa	Cm m/s
新潟 22AG	副室	6-18	220	300	167 186	900 1000	1.96 1.96	9.0 10.0
新潟 28AG	副室	18	295	400	322 335	720 750	1.96 1.96	9.6 10.0
三菱 MACH-30G	副室	8,12-18	300	380	305 319	720 750	1.96 1.96	9.1 9.5
Wärtsilä 50DF	副室	6-18	500	580	917 917	500 514	2.00 1.95	9.7 9.9
MAN 51/60DF	直噴	6-18	510	600	975 1000	500 514	1.91 1.91	10.0 10.3
三井/ダイハツ MD20G	直噴	6,8	200	300	139 139	900 1000	2.05 1.84	9.0 10.0
三井/ダイハツ MD36G	直噴	6,8 12-	360 360	480 460	469 450	600 600	2.00 2.00	9.6 9.2

4-4-4 船用ガス機関

ガス機関の船用への応用例は、1981（昭和56）年に富士ディーゼルが二元燃料型6LG32X型（6気筒、口径320mm、行程380mm、1600PS/600rpm）を豪州の石灰石運搬船の主機として納入した例がある。本機は世界で初めてロイド船級協会に合格した二元燃料ガス機関であり、天然ガスを使用した⁴⁴。

近年、環境問題が世界的に論議されるなか、ノルウェーのフェリー（郵便船）で、従来のディーゼル機関推進では、排煙による霧の発生で運航が妨げられることと、北欧で特に顕著な酸性雨による森林枯渇を防止する目的で、液化天然ガス（LNG）炊きのガス機関が主機として選定され、当初は欧州製機関が使用されていたが、2000（平成12）年に就航したフェリー「GULTRA」に三菱GS12R675kWeが4基、電気推進方式で採用された^{45, 46}。LNGタンクにすることで、燃料の容積を小さくすることが可能となり、従来のフェリー並の積載車両数を確保した。ガス機関のタイプは前項（4）の火花点火希薄燃焼式である。

ガス機関のもう一つの用途としてLNG運搬船があり、航海中のLNGタンクの昇圧を防止するために発生するボイルオフガス（BOG）の利用や再液化してBOGそのものを減らす試みがなされてきた。現在はBOGを燃料とする蒸気タービンが主流であるが、効率のよいガス機関の使用は以前から研究されてきており、最近漸くこれが実現した。Wärtsilä社の中速機関50DF型を主機として4台搭載した電気推進船で、前述の副室希薄燃焼式が採用されており、フランスのガス公社向ほか多数の建造が行われている。MAN社でも大型ディーゼル機関をベースにした51/60DF型機関を開発した。従来の二元燃料機関と異なり、ガス運転モードでマイクロパイロット噴射とし、高出力と高効率を両立させ、船用ならびに陸用市場への参入を図っている。

これらガス機関が船舶用に使用されるようになって、船舶の検査組織である船級協会（主な海運国にあり、わが国では財団法人日本海事協会）では、安全面から機関室およびガス機関の規則を制定しており、ガス検知器の設置やガス供給ラインの二重化などを要求している。

1 「神船ディーゼル75年のあゆみ」1992年9月 P15
2 「新潟鉄工所百年史」1996年3月 P83
3 「船用ディーゼル機関の技術に関する進歩の年表」
村田正之他 MESJ 1979年2月 P147

4 「船用ディーゼル機関の技術に関する進歩の年表」
村田正之他 MESJ 1979年2月
5 「新潟鉄工所百年史」1996年3月 P86
6 「三菱重工横浜製作所百年史」1992年2月 P512
7 「三井造船のディーゼル機50年」1976年8月 P25
8 「燃料報国」ヤンマー1996年3月 P25, P196
9 「神船ディーゼル75年のあゆみ」1992年9月 P15
10 「三菱重工横浜製作所百年史」1992年2月
11 「新潟鉄工所百年史」1996年3月 P374
12 「三井造船のディーゼル機50年」1976年8月 P121-123
13 「新潟鉄工所百年史」1996年3月 P164
14 「神船ディーゼル75年のあゆみ」1992年9月 P18
15 「新潟鉄工所百年史」1996年3月 P157
16 「神船ディーゼル75年のあゆみ」1992年9月 P33
17 「三井造船のディーゼル機50年」1976年8月 P97
18 「ダイハツディーゼル30年史」1996年12月 P74
19 「ダイハツディーゼル30年史」1996年12月 P36
20 「燃料報国」ヤンマー 1996年3月 P25, P196
21 「神船ディーゼル75年のあゆみ」1992年9月 P28
22 「新潟鉄工所百年史」1996年3月 P165
23 「創立100年を迎えたMWM社」オノ・ジュアセン 内燃機関 1980年12月 P36
24 「創立100年を迎えたMWM社」オノ・ジュアセン 内燃機関 1980年12月 P37
25 「ダイハツディーゼル30年史」1996年12月 P4
26 「ダイハツディーゼル30年史」1996年12月 P5
27 「三池のマンモスガスエンジン」山岡茂樹 内燃機関 1993年7月 P73-79
28 「LSVトライヒューエルエンジン（1）（2）」川上茂三他 内燃機関 1967年8月 P47
29 「天然ガス燃機関の長期無解放運転とその結果」
J.F.シャピユイ 内燃機関 1990年5月 P64
30 「富士ガスディーゼル機関」川崎昭久 内燃機関 1983年9月 P29-37
31 「ダイハツディーゼル30年史」1996年12月 P166
32 「The development of high output, highly efficient gas burning diesel engines」CIMAC Congress, 15th '83, M.Miyake et al.
33 「ガスインジェクションディーゼル機関における最近の開発」三宅幹彦他内燃機関 1987年10月 P44-46
34 「Development of the World's First large-Bore Gas-Injection Engine」21st CIMAC Congress'95 D51, T.Fukuda et al.
35 「Development of the 28/32 Gas Injection Engine」ISME Kobe '90
36 「ヤンマー-NHLG形希薄燃焼ガスエンジンの研究と開発」
ト蔵伝一郎他 内燃機関 1992年1月 P87-93
37 「Making Cogen Work in Japan」Diesel & Gas Turbine Worldwide May 2007 P16

- 38 「川崎重工業の8MW級大型ガスエンジン」 桜井秀明
クリーンエネルギー 2007年11月 P45-48
- 39 「高性能希薄燃焼ガスエンジンの研究開発」 中川洋他
三菱重工技報 1997年7月
- 40 「更に進化した世界最高効率41.5%のガスエンジンコー
ジェネレーション発電システム」 野口知宏他 三菱重工
技報 2005年10月
- 41 「高効率・高出力ガスエンジン22AGの開発」 後藤悟他
石川島播磨技報 2003年11月
- 42 「小型ガスエンジンMD20型の稼働実績」 田中一郎他
三井造船技報 2007年6月
- 43 「高効率大型ガスエンジンの開発」 近藤守男他 三井造
船技報 2007年6月
- 44 「富士ガスディーゼル機関」 川崎昭久 内燃機関 1983年9月
P29-37
- 45 「LNGガスエンジン搭載電機推進船」 角濱義隆 エンジン
テクノロジー 2006年6月 P34
- 46 「LNGを燃料とするガスエンジンを搭載した欧州フェリー」
角濱義隆 日本造船学会誌 2000年10月 P68-71

5 | 鉄道車両用ディーゼル機関の発達過程

5.1 ディーゼル機関車用ディーゼル機関

5.1.1 ディーゼル機関車の誕生と戦前の発達

わが国では、1927（昭和2）年頃から国産の小型ディーゼル機関車が日立、川崎車両、汽車会社などで作られ始めたが、構内運搬や鉄道工事用が主であった。

国鉄の最初のディーゼル機関車は、第一次世界大戦後にドイツから購入した2両で、国鉄形式でDC11、DC10と呼ばれ、それぞれ1929（昭和4）年と1930（昭和5）年に日本に到着した。DC11形はエスリングン社製の電気式機関車でMAN社製ディーゼル機関が搭載され、DC10形は機械式で車両、ディーゼル機関ともクルップ社製であった。DC11形は故障が多く、特に機関トラブルが多発し、1935（昭和10）年休車となり、1945（昭和20）年に廃車となった。DC10形はトラブルは少なかったが、歯車3段の変速機は具合が悪く、歯車の切換に時間がかかり操作性が悪かった。これらの機関は実用上の問題はあったがその後の国産化の研究に役立った^{1,2}。図5.1にDC11形機関車の外観を示す。

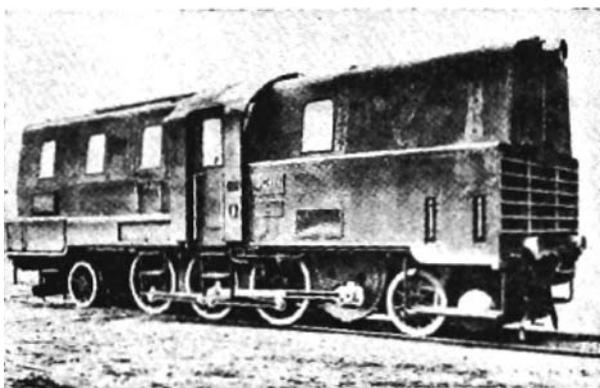


図5.1 国鉄最初のディーゼル機関車DC11形（ドイツ製）
（神代邦雄「わが国鉄道における内燃機関発達史（6）」
内燃機関1972年12月）

純国産の国鉄向けディーゼル機関車は、1932（昭和7）年のDB10形8両の製造が最初である。機関は4サイクル、4気筒、口径120mm、行程180mm、50PS/1000rpmで池貝鉄工、神戸製鋼が製造した。歯車式動力伝達方式で、最高速度25km/h、車長6mの小形機関車であり、専ら構内入換用として使用された。大きさも性能も、とても本格的なものとはいえなかった³。

1935（昭和10）年、本線で使えるディーゼルをめざして、国鉄と車両メーカー6社の共同設計で電気式の

DD10形を開発した。車両は川崎車両、ディーゼル機関は新潟鉄工がそれぞれ担当し1936（昭和11）年に完成した。機関要目は、直列立形、水冷4サイクル、8気筒、口径250mm、行程290mm、500PS/900rpm、7700kgで、軽合金製ピストンを使用するなど、当時としては最新鋭の機関であった⁴。

1937（昭和12）年に日華事変が始まると、燃料規制が実施され、石油系燃料が使えなくなり、ディーゼル機関車に代わって蒸気機関車が復活することになる。1952（昭和27）年この規制が撤廃されるまで、ディーゼル機関車の空白の時代が続き、欧米の技術に大きく遅れをとることになる。戦前の主なディーゼル機関車の要目を表5.1に示す。

表5.1 戦前のディーゼル機関車の要目

	DC11	DC10	DB10	DD10	
車両メーカー	Esslingen	Krupp	川車、日車、日立	川車	
製作年	1929(昭和4)	1930(昭和5)	1932(昭和7)	1935(昭和10)	
動力伝達方式	電気式	機械式	電気式	電気式	
ディーゼル機関	メーカー	MAN	Krupp	池貝、神鋼	新潟
	サイクル	4	4	4	4
	PS/rpm	600/700	600/540	60/1000	500/900
	シリンダ数	6	6	4	8
	口径x行程	280x350	320x350	120x180	250x290
排気量 L	140	169	8.1	114	
用途	本線・入換	本線・入換	入換	本線	
製作両数	1	1	8	1	

5.1.2 戦後のディーゼル機関車の発達

1945（昭和20）年、駐留米軍が本国から持ち込んだDD12形ディーゼル機関車8両が戦後初のもので、主として軍用貨物の運搬用に使われた。ディーゼル機関はキャタピラ（Caterpillar）社製D1700形2基、4サイクル水冷、無過給、予燃焼室式で8気筒、口径146mm、行程203mm、180PSで動力伝達方式は電気式であった。1956（昭和31）年に国鉄に払い下げになったあと、1973（昭和48）年まで使用された⁵。

1952（昭和27）年に石油製品の統制が撤廃されたのを機に、国鉄ではディーゼル機関車の製作が検討され、まず電気式DD50の開発に着手し、1953（昭和28）年、新三菱重工（神戸）で3両が完成し北陸本線の急勾配区間で使用されたが、非常に好成績だったという。機関は新三菱がSulzer社と提携して製作した8LDA25形で、4サイクル、列形、水冷式、直接噴射、排気ター

ピン過給式で、8気筒、口径250mm、行程320mm、900PS、850rpmという大出力機関で最高速度は90km/hだった⁶。

1957（昭和32）年3月にDF50が出現した。ディーゼル機関はSulzer8LDA25A形で1080PSに出力を上げたタイプであった。川崎車両と日立製作所は同形車を1958（昭和33）年に製作し、MAN V6V22/30mA形機関1200PSを搭載した（表5.2）。DF50は国鉄標準機関車となり、1963（昭和38）年までに、新三菱が63両、川車、日立が合わせて73両の計136両を製造した⁷。

表5.2 DF50形機関車の搭載ディーゼル機関

ライセンス形式	口径mm	行程mm	N	PS	rpm	Pme kg/cm ²	重量kg
Sulzer 8LDA25A	250	320	8	1080	800	9.5	8600
MAN V6V22/30mA	220	300	12	1200	900	8.8	7900

1954（昭和29）年、気動車用として開発されたディーゼル機関DMH17B形と液体変速機を各2基搭載したDD11形が試作され、入換用として使用されたのが液体式機関車の最初である。DMH17Bは立形直列、水冷4サイクル予燃焼室機関（8気筒、口径130mm、行程160mm、160PS/1500rpm）で、気動車用ディーゼル機関として最も多く使用されたDMH17シリーズの1機種である。DD11形（図5.2）は本機を2基使用し320PSとしたが、入換用としても出力不足で、9両で製作は打ち切られた。しかし液体式機関車のさきがけとして、その後の発展の礎となった。



図5.2 DD11形ディーゼル機関車
（神代邦雄「わが国鉄道における内燃機関発達史（7）」
内燃機関1973年1月）

1958（昭和33）年に登場したDD13は新開発したDMF31S形ディーゼル機関370PSを2基搭載した。DD11と同様入替用及び支線用であったため、出力に余裕があったこともあり、液体式ディーゼル機関車として信頼性が高かった。ディーゼル機関が前後に配置されたセンタキャブ方式で、その後のディーゼル機関車の基本スタイルになった。DMF31S形機関は、戦前

に使用された横形、口径180mm、行程200mmの流れをくむもので、直列、立形、水冷、4サイクルで、6気筒、口径180mm、行程200mm、370PS/1300rpmの予燃焼室式で、国鉄、新潟鉄工、振興造機（後の神鋼造機）、ダイハツ工業（現ダイハツディーゼル）の4社の共同設計だった。この機関は1961（昭和36）年に、主要運動部分の強化、ピストンクラウンの形状変更、噴射ポンプ、噴射ノズル、予燃焼室噴口の改良等により500PS/1500rpmに出力アップされ、名称もDMF31SBに変更された（図5.3）。このDD13形ディーゼル機関車は1967（昭和42）年まで409両製作された⁸。

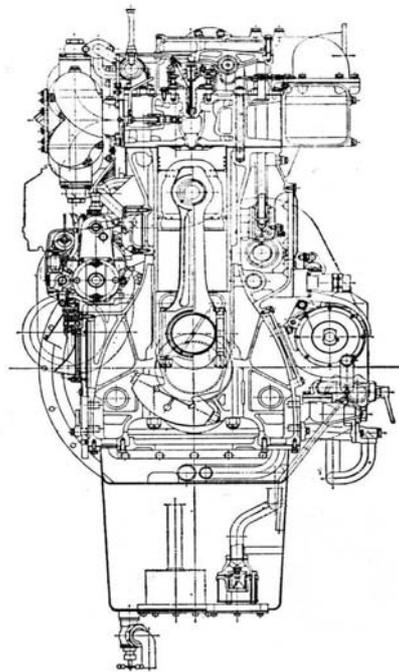


図5.3 DMF31SB形機関
（神代邦雄「わが国鉄道における内燃機関発達史（8）」
内燃機関1973年2月）

わが国では、主要幹線はすべて電化するという方針が打ち出されていたので、本線用ディーゼル機関車の活躍する分野はおのずと閑散線区に限られてしまい、従って、投資効率からも安価なディーゼル機関車が求められていた。本線用の機関は2000PS程度が要求されるが、当時はまだ1000PS級の高速国産機関すらなかったもので、まず1000PS級を完成しこれを2基搭載して2000PSとすることを計画した。そこで、前述のDMF31SB 500PSをベースに、1960（昭和35）年にV形12シリンダにしたDML61Sが1000PSとして誕生した。DD51形に本機関が2基搭載され、時速95km/hを実現した。1号機は、日立水戸工場で1962（昭和37）年に完成し、国鉄車両史上でも名機のひとつといわれるほどの外観であった⁹。

DML61S形機関は、1964（昭和39）年に空気冷却器を付けてDML61Z形1100PS/1500rpmとなり、稼働済の機関もすべてこの形式に置き換わった（図5.4）。

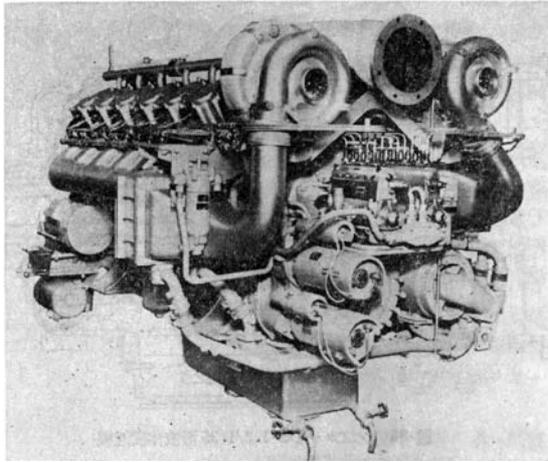


図5.4 DML61Z形機関
（神代邦雄「わが国鉄道における内燃機関発達史（8）」
内燃機関1973年2月）

DD51が完成すると、DF50（1000PS級）とDD51（2000PS級）の間の出力の亜幹線用の貨客兼用ディーゼル機関車の必要性が論じられ、その開発が決定した。そして、日立、三菱、日本車輛の3社が試作したディーゼル機関車を国鉄が借用して、試用するかたちをとった（表5.3）。

表5.3 試作機関車の主要諸元

車両メーカー・形式 機関メーカー・形式	口径 mm	行程 mm	N	PS	rpm	Pme kg/cm ²
三菱重工業DD91 Maybach MD870	185	200	16	1820	1500	12.7
日立、日車DD93 MAN L12V18/21mA	180	210	12	1100	1500	10.3

これらのうち福知山線で試用されたDD91が好成績をおさめ、これをベースにディーゼル機関は、三菱神戸が提携して製作したマイバッハMD870形を使用し、その他の搭載機器も国産に置換えたのがDD54である。

マイバッハ社は世界的に有名な高速ディーゼル機関メーカーであり、MD870形機関は、水冷4サイクル、過給機付、予燃焼室式で、クランクケースは銅板溶接構造、クランク軸主軸受はコロ軸受式のトンネル形、連接棒はフォーク形、シリンダヘッドは給排気弁各3個の6弁式の頭上カム（OHC）方式という斬新なものだった¹⁰。

D51が開発された時点で、機関車用の国産ディーゼル機関は1000PSのDML61S形と500PSのDMF31SB形の2系列になった。このうちDD13はDMF31SBが2台搭

載されており、これを1000PSのDML61S形1台に置換えた車両の生産が1958（昭和33）年に始まった。しかし、1000PSは支線区用としては、不足であることとブレーキ性能が蒸気機関車より劣るため、1966（昭和41）年、入替、支線区兼用のディーゼル機関車DE10形が、空気冷却器独立冷却式機関DML61ZA形1250PSを搭載して完成した¹¹。

1967（昭和42）年には、主軸受にコロ軸受を使用してトンネル形クランク軸構造のDML61ZB形1350PS（図5.5）が試作され、1970（昭和45）年に、DE10形の機関として採用された。鋼製ピストンクラウン、ピストン内部強制冷却、シリンダライナの内外周クロムメッキなどを採用して信頼性の確保を図った。DE10形は1977（昭和52）年までに708両が製作された。

DML61Z形の後継機とし、V形16気筒のDMP81Z形が1969（昭和44）年に試作され、2000PS/1500rpmとして、国際鉄道連盟UICの耐久試験に適合することが確認された。そして1970（昭和45）年に本機関を搭載したDE50形ディーゼル機関車が完成した¹²。

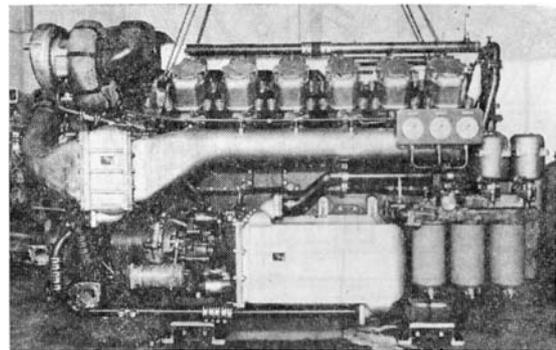


図5.5 DML61ZB形ディーゼル機関
（長谷川一夫「国鉄ディーゼル機関の開発と現状」
内燃機関1974年11月）

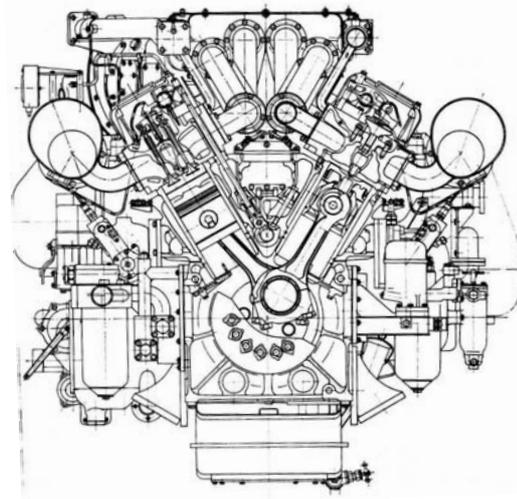


図5.6 DMP81Z形ディーゼル機関
（副島廣海「車両用DPM81Z形ディーゼル機関」
内燃機関1970年5月）

5.1.3 民営化後のディーゼル機関車

民営化で発足した貨物輸送会社のJR貨物は国鉄時代のDD51形などを主力に使っていたが、幹線の電化率の低い北海道では老朽化による出力不足から止む無く重連運転を強いられていた。これを解消すべく1992（平成4）年にDF200形ディーゼル機関車を開発した。動力伝達方式は1957（昭和32）年に完成したDF50形以来実に35年ぶりの電気式が採用された。これは大出力対応の液体変速機の開発が困難であったこととインバータ制御など電気機器システムが長足の進歩を遂げたことで小型化と保守の容易化が可能になったことによる。

機関はドイツのマイバッハ（Maybach）社の流れをくむ、MTU社の高速機関12V396TE14形1700PS/1800rpmが2基使用された。本機関は艦艇や高速船に世界的に広く使用されている軽量大出力機関である。そして1999（平成11）年以降の改良型車両からはコマツのSDA12V170-1形1800PS/1800rpmに変更になった。この機関は、DD51形の機関換装に使用された実績から機種統合による保守整備性の向上を狙ったものである¹³。これら大型機関の要目を表5.4に示す。

表5.4 大型機関の主要目

形式	口径 mm	行程 mm	気筒数	出力 PS	回転数 rpm	Pme kg/cm ²	主な 搭載車両
DML61Z	180	200	12	1100	1500	9.8	DD51
DML61ZB	180	200	12	1350	1550	12.8	DE10
DMP81Z	180	200	16	2000	1500	14.7	DE50
12V396TE14	165	185	12	1700	1800	17.9	DF2000
SA12V170-1	170	170	12	1100	1500	14.3	DD51換装
SDA12V170-1	170	170	12	1800	1800	19.4	DF2000

5.2 ディーゼル動車用ディーゼル機関

5.2.1 戦前のディーゼル動車

我が国では、1928（昭和3）年に長岡鉄道が最初にMANの45PS機関を搭載したディーゼル動車を採用した。その後1933（昭和8）年までに、メルセデスベンツ、AEC、ユンカースなどの外国製ディーゼル機関を据付けた地方鉄道向のディーゼル動車が続々製作された。そして1934（昭和9）年、国産ディーゼル機関の初号機LH6Z形85PSが誕生し、筑前参宮鉄道に納入されて以降、新潟鉄工、池貝鉄工、三菱重工製を取り付けたディーゼル動車が現れた。これらディーゼル機関は製作技術が未熟だったためにトラブルが続出し、ガソリン機関に換装されるものもあった¹⁴。

国鉄では、1934（昭和9）年にキハ41000のガソリン機関GMF13形（100PS/1300rpm）と同等で代替可能

なディーゼル機関の開発を計画し、新潟鉄工と三菱重工が試作機を製作した。新潟のLH6形は口径130mm、行程160mmの渦流室式、三菱の6100形は直噴式の口径135mm、行程170mmで何れも立形4サイクル、6気筒で、キハ41000に搭載され名古屋地区で試用された。

このころ、150PSのGMH17形を搭載したキハ42000形ガソリン動車が現われ、これをディーゼル機関に置換える試みがなされ、新潟、三菱、池貝の3社がそれぞれ試作を行った。新潟、三菱はLH6形、6100形を8気筒にしたLH8形、8100形を、そして池貝は8気筒、口径130mm、行程160mmの8HSD13形を製作した。これらの機関は、キハ42500という呼称で試用されたが、3両だけで終わってしまった¹⁵。

1935（昭和10）年ころ、ドイツで固定編成の電気式ディーゼル動車が活躍しているのに影響され、わが国でも単車のガソリン動車から、連結による総括運転可能な電気式ディーゼル動車の製作が検討された。1937（昭和12）年に完成したキハ43000で、3両編成の両端が動力車、中央が付随車の構成だった。この動車は機関、発電機など動力装置をすべて床下に装備したことが特徴で、そのためディーゼル機関は当時としては珍しい横型となった（図5.7）。国鉄と新潟、三菱、池貝が共同設計の形をとり、基本的な諸元は共通にしたが、噴射装置と燃焼室は各社自信のあるシステムを採用した。6シリンダ、口径180mm、行程200mm、240PS、1300rpmの基本仕様に対し、

新潟、三菱—予燃焼室

池貝—蓄熱式渦流燃焼室

であった。この機関は、キハ43000に使われただけで終わっているが、戦後に完成したDMF31S形機関の原型となった。

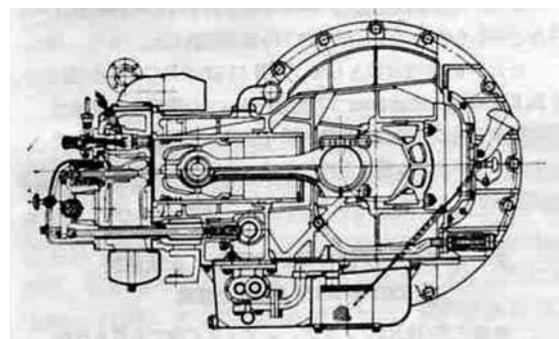


図5.7 240PS横形ディーゼル機関
（神代邦雄「わが国鉄道における内燃機関発達史（2）」
内燃機関1972年8月）

ディーゼル機関車と同様その後の燃料規制の実施により、ディーゼル動車の発展は戦後を待たなければならなかった。

5.2.2 戦後のディーゼル動車復活

戦後の旅客の急増と客車の不足に対処するため、気動車運転の復活が計画されたが、依然として燃料の入手が難しく、天然ガス産地の千葉、新潟地区で実車で天然ガス使用のための車体改造が行われた。圧力150kg/cm²の40Lポンペを20～24床下に収納できるようにしたキハ42000が製作され、出力はガソリン機関に較べ85%程度であった。34両が改造されたが、衝突時の危険が予想されたことと、機関自体の老朽化から1952（昭和27）年頃までに、ディーゼル機関に置換えられている。

1950（昭和25）年、キハ41000のGMF13形ガソリン機関の換装用として、当時自動車用として最大だった日野DA55形ディーゼル機関（4サイクル、直列、立型、6気筒、口径120mm、行程160mm、75PS/1200rpm）が選定された。ディーゼル機関換装のキハ41000形はキハ41500と改称され、1951（昭和26）年までに、新製、改造あわせて123両に達した¹⁶。

5.2.3 国鉄標準ディーゼル機関の誕生

国鉄標準型ディーゼル機関、DMH17形の設計が1942（昭和17）年に行われたままになっていたが、主要鍛造部品が神戸製鋼大垣工場に残っていることがわかり、まもなく同工場が独立してできた振興造機が製作を始め、1951（昭和26）年2月に1号機が完成した。これがDMH17A 150PS機関である。そしてこのシリーズは改良を加えながら7000台以上が製作された。

1951（昭和26）年にDMH17A形機関が完成すると、直ちにキハ42000に搭載のGMH17形ガソリン機関との換装が始まり、キハ42500と称された。本機関は直列、立形、水冷、渦流燃焼室式、4サイクル、8気筒、口径130mm、行程160mm、150PS/1500rpmで、振興、新潟、池貝、三菱の4社あわせて63台が製造された。

そして、1952（昭和27）年には、石油製品の統制も撤廃され、ディーゼル動車の需要が急速に高まってきた。また、それまでの単車式から連結による効率的な輸送が指向され、それを実現するために重連統括制御方式の研究が始まった。最初が日野DA55形の電気式ディーゼル動車で、その後のキハ44000形の電気式にはDMH17A形ディーゼル機関が採用された。2両連結を基本とし、最大6両まで連結可能で、最高速度90km/hだった¹⁷。

5.2.4 液体式ディーゼル動車

戦前から行われていた液体変速機の研究が、戦後鉄道技術研究所と振興造機により再開され、実用的なト

ルクコンバーターが1952（昭和27）年に完成した。DMH17の改良形DMH17B形と組合せて、総括制御可能なキハ44500形が1953（昭和28）年3月に4両試作された。DMH17B形はトルクコンバーターと接続するため、ハズミ車室の形状が変更になったほか、燃焼室が渦流室式から予燃焼室式に変わり、噴射弁もピントル形からスロットル形（7.1.1参照）に変更された。これらの変更で、出力も10PS上がって160PS/1500rpmとなった。キハ44500は非常に成績が良く、その後のディーゼル動車の標準型としての基礎を築いた。

1953（昭和28）年から翌年にかけて、キハ44500の後継車となるキハ45000（キハ17）、キハ46000（キハ18）形が量産され一気に220両に達した。トルクコンバーターはその後の標準機種となる、振興造機のTC-2形と新潟コンバーターのDF-115形の2機種が採用され、機関はDMH17B形が継続使用された。

1955（昭和30）年ころから、輸送の近代化の要請をうけて、急行、準急列車、こう配区間の登はん能力増強、北海道の輸送強化、一等車の増車など新形気動車の需要が飛躍的に増し、以降数年にわたり毎年200両から400両も生産された。そして1959（昭和34）年には、気動車の総数は1800両ともなり、全国各地の急行、準急、緩行列車として活躍した。その間に機関は1958（昭和33）年に、DMH17C形に改良された。

DMH17C（図5.8）の改良点は、予燃焼室の噴口穴数を4から3個に、噴射ポンププランジャの径を8から9mmに、給排気弁タイミングおよび噴射時期を変更し、出力を20PS向上して180PS/1500rpmとした。

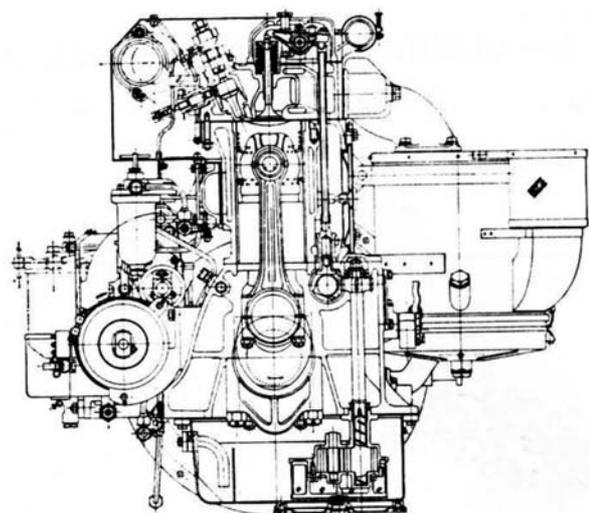


図5.8 DMH17C形ディーゼル機関
（神代邦雄「わが国鉄道における内燃機関発達史（3）」
内燃機関1972年9月）

5.2.5 新形ディーゼル動車の出現

1958（昭和33）年から、DMH17C形を2基搭載してこう配区間の出力不足を克服する列車が現れた。しかし床下に2台搭載することの配置上の問題や、1編成あたりの保守点検の負荷の増加などから、これを1台でまかなう400PS級機関の開発が要請された。

ちょうどこのころ、国産の入換用ディーゼル機関車DD13形が開発されており、これに使用したDMF31S形機関（370PS/1300rpm）を横形とし、さらにピストン冷却方式の改善や過給機の改良で、出力を400PS/1300rpmに上げたDMF31HSA形機関が出現した（図5.9）。そして1960（昭和35）年に誕生したキハ60形式に搭載された。キハ60は3両しか製作されなかったが新技術が導入され、その後の特急車両や新幹線にも受け継がれていく。

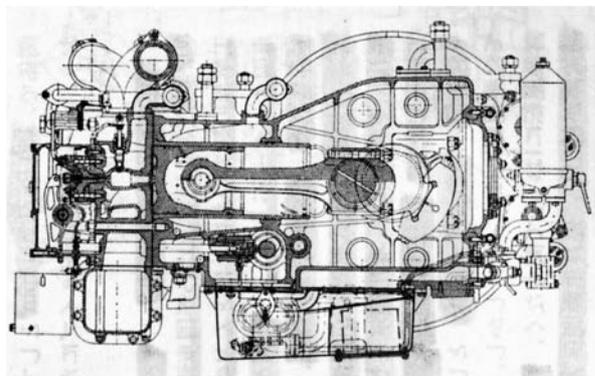


図5.9 DMF31HSA形ディーゼル機関
（神代邦雄「わが国鉄道における内燃機関発達史（4）」
内燃機関1972年10月）

5.2.6 ディーゼル特急の誕生と横形機関

非電化区間の特急気動車の動力用に、1959（昭和34）年に、DMH17系ディーゼル機関を2基床下に搭載する横形機関DMH17H形（図5.10）の開発が始まった。DMH17C形との部品の互換性を極力維持したうえで、横形の特徴である車両機装上のメリットを生かす設計が行われた。また冷房用電源の発電機関として姉妹機

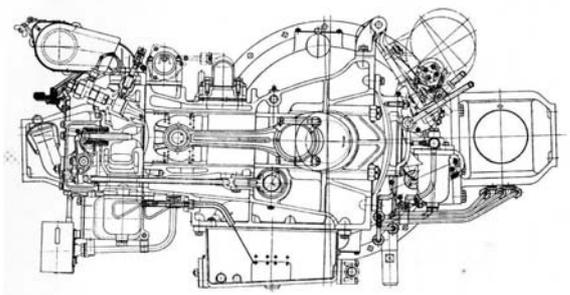


図5.10 DMH17H形ディーゼル機関
（神代邦雄「わが国鉄道における内燃機関発達史（4）」
内燃機関1972年10月）

のDMH17H-G形が160PS/1200rpmとして同時に開発された。

1960（昭和35）年10月に日本で「第2回アジア鉄道首脳会議」が開催されることになり、この機会に国鉄の高い技術力をアピールしようと、キハ80系の特急形気動車が開発されることになった。キハ81（図5.11）は設計開始からわずか10ヶ月で完成し、公試運転が大宮・小山間で行われ、鉄道首脳会議のメンバーには日光見物に試乗してもらうなど開業にむけて好調なすべりだしだった。こうして12月10日に上野・青森間にディーゼル特急「はつかり」がさっそうとデビューしたが多難な幕開けとなった。初期故障が続発し、特に機関の排気管過熱による発煙や制御関係のトラブルで運行停止になることもあった。さらに、翌年1月には火災事故を起こし、マスコミから「はつかりは故障ばかり」と叩かれた。しかし、関係者の努力で故障もやがてなくなり、安定した運行を維持することができた^{18,19}。



図5.11 キハ81形ディーゼル特急
（交通科学博物館ホームページより）

「はつかり」のあと、1961（昭和36）年から2次特急キハ82などが量産され各地で活躍した。

この気動車から採用されたDMH17H形機関は、急行形キハ28、58、通勤形キハ35、36、近郊形キハ45、23などに使用され、車種が異なっても徹底した標準形原動機として10000台近く製作され、取扱いと保守の面で計り知れないメリットをもたらした。

5.2.7 新形ディーゼル動車と新形機関の出現

DMH17シリーズは気動車の標準機関として、標準化されて効率的な運用の実現に大いに寄与したが、開発から20年近い歳月を経て、やや能力不足が目立ってきた。即ち、こう配区間では、180PS機関2基搭載でも電車に比べパワー不足であり、また冷房装置の取付スペースが確保できない問題もあった。

そこで次世代の気動車用の動力システムとして、ディーゼル機関と流体変速機の開発が1961（昭和36）年から始まり、まず1962（昭和37）年にDW3形流体変速機が完成し、続いて1963（昭和38）年には新形機関DMF15HS形が完成した。検修体制や設備を維持するため、従来機関の口径、行程を大きく変えない要目とした。口径は130から140mm、気筒数は8から6と小さくしたが、過給機を装着して240PS/1600rpmと3割ほど出力を上げている。このプロトタイプをベースに空気冷却器を付けて300PS/1600rpmとしたのが、DMF15HZ形、対向12気筒にしたのが、500PS/1600rpmのDML30HS形である。DML30HS形機関は床下搭載のディーゼル機関としては世界的に見ても最大級のものであった（表5.5）²⁰。

表5.5 横形機関の新旧比較

形式	口径 mm	行程 mm	気筒数	出力 PS	回転数 rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
DMH17H	130	160	8	180	1500	6.4	8.0
DMF15HZC	140	160	6	300	1600	11.4	8.5
DML30HSC	140	160	12	500	1600	9.5	8.5

1966（昭和41）年には、新形気動車が誕生し、新潟鉄工製のキハ90形にはDMF15HZAが、富士重工製のキハ91形にはDML30HSA（図5.12）がそれぞれ搭載され各種試験が実施された。そして1967（昭和42）年にこれら試験に基づき改良設計が行われ、DML30HSBとなり、試作車10両が完成し、同年10月から名古屋・長野間の急行として営業運転に入った。引続き、新形気動車、キハ181系が従来のキハ82系の後継として誕生し、1968（昭和43）年10月の白紙ダイヤ改正時に中央西線の特急「しなの」として投入された。そして、特急「しなの」に続いて「つばさ」「おき」「やくも」「南風」「しおかぜ」などが新設された²¹。

機関は試作車の使用実績に基づいて、改良形DML30HSCを搭載した。しかし、運転開始早々トラブルが続出し、機関関係では、エンストやガasket

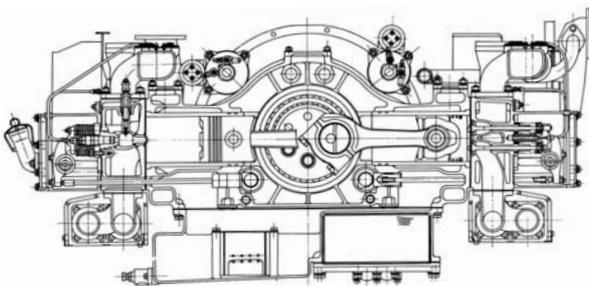


図5.12 DML30HSC形ディーゼル機関
（石井幸孝「新しい国鉄ディーゼル動車用水平機関」
内燃機関1966年8月）

からのガス漏れなどが多発し、やがてDML30HSE形に改良されていく²²。

DML30HS系のクランク軸（図5.13）は、ジャーナルがクランクアームと兼用になっており、ころがり軸受が使用されている。そしてクランクアームの厚みの中心で各スローが締め合わされており、クランク室はコロ軸受でクランク軸を支えるトンネル構造であり、機関全長を大幅に短縮した。しかし、クランクアームの締め合わせ面がフレットングを起こす不具合があり、一体型に設計変更された²³。

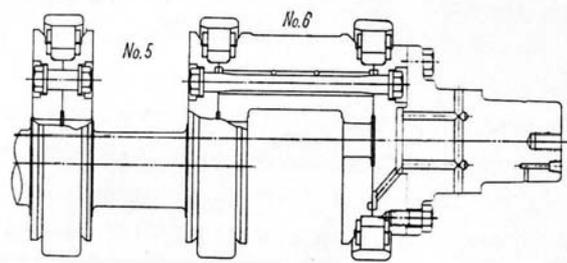


図5.13 DML30HSC形クランク軸
（石井幸孝「新しい国鉄ディーゼル動車用水平機関」
内燃機関1966年8月）

DMF15Hシリーズは1977（昭和52）年に開発された普通列車のキハ40系に、220PS/1600rpmのDMF15HSA型として採用された。これは、DMF15HZAの空気冷却器を外して、出力を下げたものである。しかしキハ40系は、車両重量が重かった割に、機関出力が小さかったため速度が低く、のちに空気冷却器を付けて出力を上げたり、大出力機関への換装で増強を図ったが十分な成果が得られず、1960年代の車両であるキハ52形（DMH17H 180PS 2基搭載）がなかなか現役を退けない原因にもなった。

5.2.8 民営化移行期の気動車

国鉄の民営化が行われた1987（昭和62）年に向けて、いくつかの動きがあった。そのひとつとして、1986（昭和61）年11月の国鉄最後のダイヤ改正からキハ185系が登場した。軽量ステンレス製の特急気動車で、新型の直噴型ディーゼル機関DMF13HS（250PS/1900rpm）が2基搭載された。民営化後のJR四国、JR九州に継承され幹線の特急用として使用されている。本機関は、1983（昭和58）年に完成したキハ37形に初めて直噴形として搭載されたDMF13S（230PS/1900rpm）型機関を横型にして出力アップしたものである。これまでの国鉄制式機関ではなく、新潟鉄工所が船舶用と気動車用兼用で開発した機関であり、国鉄制式からの離脱が民営化の時期と奇しくも一致した。

そしてこのシリーズ機関は1986（昭和21）年から製造され、のちにJRに移管されたJR九州のキハ31形、JR四国のキハ32形に1台/両、そしてJR北海道のキハ54形500番台に2台/両が搭載されて、ローカル線の普通列車にそれぞれ使用されている。

5.2.9 振り気動車

振り車両は曲線部での速度を維持するための車両構造で、台車と車体の間にコロまたはベアリングを挿入して、曲線部で発生する遠心力が台車に伝わるのを緩和するように考えられた構造である。欧州では1955（昭和30）年頃から研究が始められたが実用には至らず、日本で1973（昭和48）年に381系電車が、中央西線の長野・名古屋間の特急電車「しなの」として世界初の振り車両として登場し、大幅な時間短縮に貢献した。

1989（平成元）年、JR四国が開発したディーゼル振り車両2000系が登場した。こう配と曲線の多い土讃線のスピードアップを狙ったもので、乗り心地が悪かった従来の自然振り式から曲線の前後で徐々に傾斜をさせる制御付自然振り式と呼ばれる方式を採用した。車両は富士重工が製作し、機関はコマツが開発したSA6D125H形（330PS）が採用された。

振り気動車は1994（平成6）年と1997（平成9）年にそれぞれデビューしたキハ281系、キハ283系に継承されJR北海道の幹線特急用として130km/hを実現した。機関はコマツの同一モデルを350PSにアップしたものを採用した。

5.2.10 JR各社の気動車

1988（昭和63）年、JR東海は軽量ステンレス製で大きな窓を設けた新型特急キハ85系を登場させた。機関は戦後初めてとなる外国製で、カミンズNTA855-R1形（JR名称C-DMF14HZ）水平形直墳350PS/2000rpm 2基で、最高速度120km/hを出した²⁴。また、1989（平成元）年に、ローカル線用としてキハ11形気動車をカミンズC-DMF14HZ形330PS/2000rpmを1基搭載して完成した。そして急行用として1993（平成5）年に完成したキハ75形には85系と同じ機関350PS 2基を搭載した。JR東日本では、1990（平成2）年にローカル線のスピードアップのためキハ100系を運用開始した。機関はコマツDMF14HZ（SA6D125H）と新潟DMF13HZの330PSが搭載された。そして急行用への転用を意図したキハ110形は新潟DMF13HZAとカミンズDMF14HZ（NTA855-R4）の420PS/2000rpmが使用された。1997（平成9）年にJR北海道が運用開始したキハ201系は近郊電車と同性能でかつ協調運転ができる気動車と

いう条件で設計され、機関は新潟のN-DMF13HZE形450PS 2基搭載で130km/hを達成した。

JR四国では、振り気動車2000系が完成した1989（平成元）年にローカル線の高速化、近代化のために1000形気動車も完成した。機関はコマツSA6D125H-1形400PS/2000rpmとなり増強された。

JR西日本では京阪神から山陰に至る路線の一部を持つ智頭急行が、1994（平成6）年に完成させたHOT7000系振り気動車の運用を受託した。JR四国の2000系を踏襲したが、機関は同一機種で出力のみ350PSにアップした。2001（平成13）年には、急こう配、急カーブの多い山陰線の高速化のため、キハ181系の代替用としてHOT7000の流れをくむ振り気動車キハ187系を完成した。機関はコマツSA6D140H形450PS/2100rpm 2基が搭載された²⁵。これら機関の要目を表5.6に示す。

表5.6 民営化後のディーゼル機関要目

形式	口径 行程 mm	気筒 数	出力PS 回転数 rpm	Pme kg/cm ² Cm	主な搭載車両 (台/両)
新潟 DMF13HS	130 160	6	250 1900	9.3 10.1	キハ185(2) キハ31、32(1) キハ54(2)
新潟 DMF13HZ	130 160	6	330 2000	11.6 10.7	キハ100(1)
新潟 DMF13HZA	130 160	6	420 2000	14.8 10.7	キハ110(1)
新潟 DMF13HZE	130 160	6	450 2000	15.9 10.7	キハ201(2)
コマツ SA6D125H	125 150	6	330 2000	13.4 10.0	2000(2)
コマツ SA6D125H-1	125 150	6	350 2000	14.2 10.0	HOT7000(2) N2000(2) キハ281、283(2)
コマツ SA6D125H-1	125 150	6	400 2000	16.3 10.0	1000(1)
コマツ SA6D140H	140 170	6	450 2000	17.5 11.3	キハ187(2)
カミンズ NT855-R1 C-DMF14HZA	140 152	6	350 2000	11.2 10.1	キハ85(2)
カミンズ NTA855-R4	140 152	6	420 2000	13.5 10.1	キハ110(1)

-
- 1 「わが国鉄道における内燃機関発達史 (6)」 神代邦雄
内燃機関 1972年12月 P91
 - 2 「日本のディーゼル機関車 国鉄DL 40年のあゆみ」
駒澤信勝 鉄道ジャーナル 2006年9月 P63
 - 3 「わが国鉄道における内燃機関発達史 (6)」 神代邦雄
内燃機関 1972年12月 P92
 - 4 「新潟鉄工所百年史」1996年3月 P93
 - 5 「わが国鉄道における内燃機関発達史 (7)」 神代邦雄
内燃機関 1973年1月 P75
 - 6 「神船ディーゼル75年のあゆみ」1992年9月 P25
 - 7 「国鉄ディーゼル機関の開発と現状」長谷川一夫 内燃
機関 1974年11月 P22
 - 8 「わが国鉄道における内燃機関発達史 (8)」 神代邦雄
内燃機関 1973年2月 P74
 - 9 「わが国鉄道における内燃機関発達史 (8)」 神代邦雄
内燃機関 1973年2月 P75
 - 10 「国鉄ディーゼル機関の開発と現状」長谷川一夫 内燃
機関 1974年11月 P27
 - 11 「わが国鉄道における内燃機関発達史 (9)」 神代邦雄
内燃機関 1973年3月 P93
 - 12 「車両用DPM81Z形ディーゼル機関」副島廣海 内燃機
関 1970年5月 P39-46
 - 13 「北海道のディーゼル機関車」鶴通孝 鉄道ジャーナル
2006年9月 P32
 - 14 「わが国鉄道における内燃機関発達史 (2)」 神代邦雄
内燃機関 1972年8月 P67
 - 15 「わが国鉄道における内燃機関発達史 (2)」 神代邦雄
内燃機関 1972年8月 P68
 - 16 「わが国鉄道における内燃機関発達史 (3)」 神代邦雄
内燃機関 1972年9月 P89
 - 17 「わが国鉄道における内燃機関発達史 (3)」 神代邦雄
内燃機関 1972年9月 P90
 - 18 「わが国鉄道における内燃機関発達史 (4)」 神代邦雄
内燃機関 1972年10月 P102
 - 19 「名列車列伝シリーズ4」イカロス出版 1998年5月 P78
 - 20 「新形気動車用ディーゼル機関と液体変速機」真野
内燃機関 1977年8月 P25-35
 - 21 「名列車列伝シリーズ4」イカロス出版 1998年5月 P93
 - 22 「国鉄車両用DML30HSH形ディーゼル機関」堀田公郎
内燃機関 1975年9月 P41-47
 - 23 「新しい国鉄ディーゼル動車用水平機関」石井幸孝
内燃機関 1966年8月 P27-33
 - 24 「JRのディーゼル特急」鉄道ジャーナル 2007年7月 P38-41
 - 25 「振子式ディーゼル特急スーパーはくと」鉄道ジャーナ
ル 2007年7月 P27-37

6 機関種類別の発達過程

これまで、4サイクルディーゼル機関を中心に、その利用分野別に発達過程を見てきたが、本章では機関の種類を下記のように分類し、それぞれについてその発達過程を見ていく。

- ①4サイクル低速機関
- ②4サイクル中速機関
- ③4サイクル高速機関

6.1 4サイクル低速機関

おおむね、シリンダ口径が230～500mm、回転数が400～200rpm、平均ピストン速度Cmが5～7m/sくらいの範囲の機関を指す。各種漁船や内航船の主機として、わが国独自で発展してきた分野で、諸外国には存在しない分野である。しかし、ディーゼル機関の初期のものとは上記低速機関の範囲に入ると考えると、この分野はディーゼル機関の源流ともいえる。

わが国でこの分野が発展したきっかけは、1940（昭和15）年に、日本海軍の要請で制定された海務院型船用機関であった。特に、終戦後機関メーカーでは製造設備の不備や要員の不足で機関の製造に支障を来していたので、この標準型の図面や仕様の提供は非常に大きな助けとなった。表6.1に海務院型のうち、比較的多く各社が採用した型式を示す。

表6.1 代表的海務院型機関の要目

型式	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力 PS	回転数 rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
4-22	4	220	360	120	400	4.9	4.8
6-25	6	250	380	250	380	5.3	4.8
6-37	6	370	520	650	320	5.5	5.5

昭和20年代後半に、過給機が普及してくると、海務院型の主要目をベースにしながらも、次第に各社独自の仕様に変化していく。そして、昭和30年代に入ると、各社が大型機関の開発に着手する。代表的なものが、1956（昭和31）年の赤阪鉄工KD6SS（6気筒、口径470mm、1700PS）や1957（昭和32）年の阪神6TS型（6気筒、口径490mm、2100PS）などで主に大型まぐろ漁船などに使用された。これらの機関の正味平均有効圧力Pmeは9～10kg/cm²位であった。

表6.2 過給機付機関の要目（昭和30年代）

型式	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力 PS	回転数 rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
新潟 M6DS	6	370	520	900	320	7.5	5.5
赤阪 KD6SS	6	470	670	1700	250	8.8	5.6
阪神 6TS	6	490	700	2100	250	9.6	5.8

昭和40年代には、更なる出力向上の研究が進み、それまでの2弁式（給気弁、排気弁各1個）にかわって、中速機関と同じ4弁式（給気弁、排気弁各2個）として、過給機、空気冷却器付きと組み合わせてPmeの向上を図った。1967（昭和42）年、日本船用機器開発協会の委託により、赤阪、阪神の2社が共同でUHS27/42型（6気筒、口径270mm、1000PS）機関の開発に成功した。Pmeはそれまでのレベルを大幅に超え16kg/cm²に達した。これを契機に各社が4弁式高過給機関を競って開発し、昭和40年代後半にはPmeが18～20kg/cm²時代に突入する。

二度の石油ショックを経て、低燃費、低質燃料油対応、取扱いの容易性が強く求められた結果、昭和50年代は、低速機関にとって大きな転機をむかえた。各社をとった対応策は次のようなものだった。

- ①ロングストローク化
- ②高Pmax（燃焼最高圧力）化
- ③2弁式でかつ弁箱型給排気弁（シリンダヘッドの分解なしで弁の保守ができる構造）
- ④清水高恒温冷却

1976（昭和51）年、松井鉄工はMS245GSC型（6気筒、口径245mm、行程470mm、1000PS/420rpm）機関を開発した。行程口径比（S/D比）が1.92とそれまでの1.5～1.6を大幅に上回るロングストローク機関だった。燃費152g/PShはこのクラスでは5～6%の改善で

表6.3 昭和40年代以降の高過給機関の要目

型式	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力 PS	回転数 rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
赤阪阪神 UHS27/45	6	270	420	1000	390	16.0	5.5
松井 MS245GSC	6	245	470	1000	420	16.1	6.6
阪神 6EL32	6	320	640	2200	280	22.9	6.0
赤阪 A31	6	310	600	1800	290	20.6	5.8
新潟 6M31BLT	6	310	600	1800	290	20.6	5.8

あり、低回転による推進効率の改善とあわせ省エネに大いに貢献した。1980（昭和55）年に、阪神6EL32型（口径320mm、行程640、S/D比2.0）、赤阪A31型（口径310mm、行程600、S/D比1.94）はいずれもロングストロークであるばかりでなくPmeが20kg/cm²を超える低燃費高過給機関でもあった。

昭和60年代から平成時代にかけて、環境に対する厳しい目が向けられ、とりわけ排気ガスの環境への影響を少なくすることが求められた。低速機関は船用用途が主であることから、国際海事機関（IMO）が定めた大気汚染防止条約に基づき窒素酸化物（NOx）の排出濃度の規制を受けるようになり、燃料噴射系や給排気系などの改善によりこの規制に通るよう対処している。

戦後の低速機関の主要諸元の推移を振りかえってみる。まず、正味平均有効圧力Pmeの変遷を図6.1に示す。戦後50年で約5倍となっていることがわかる。

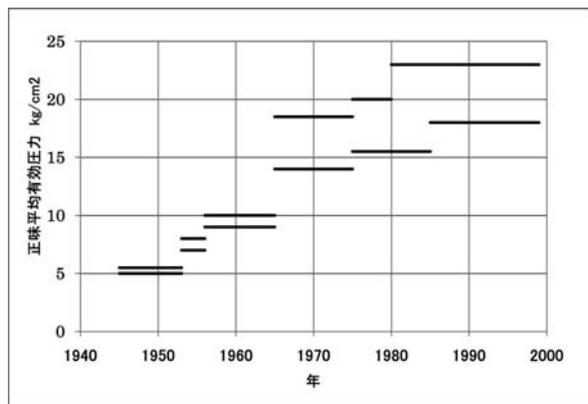


図6.1 正味平均有効圧力Pmeの変遷

次に図6.2に平均ピストン速度Cmの変遷を示した。昭和50年代から6m/sを超えるものが現われ、その後かつての中速機関の領域だった7m/sを超えるものがあらわれ現在に至っている。戦後50年でのCm上昇率は25~30%とみることができる。

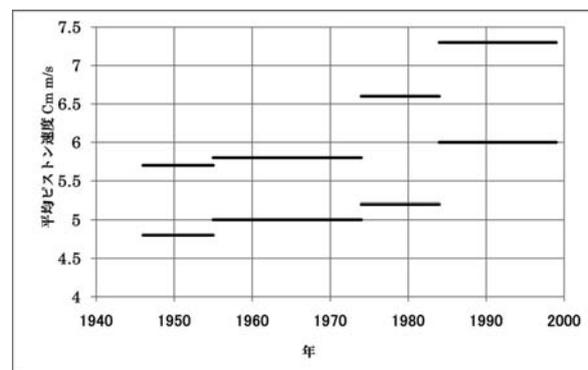


図6.2 平均ピストン速度Cmの変遷

図6.3に燃料消費率の推移を示した。第1次石油ショックの1973（昭和48）年のあとに140g/PSh台を達成したものが出てきて急速に低燃費化が進んだ。戦後50年間で、20~25%の改善が達成された。これは正味熱効率で約10ポイントの上昇に相当する。

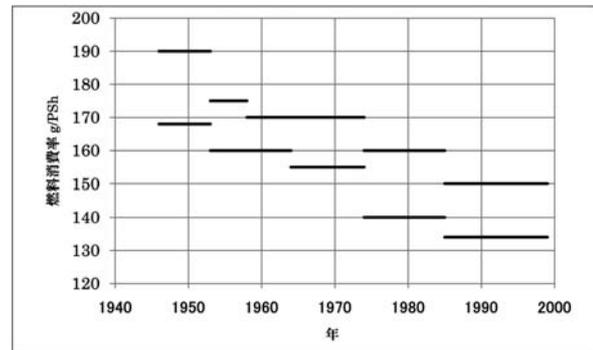


図6.3 燃料消費率の推移

6.2 4サイクル中速機関

中速・高速機関を区分する明確な定義はないが、ここでは回転数1000rpm以下、平均ピストン速度Cm7.5~10.0m/sを中速機関とする。中速機関と呼ばれる機関が出現したのは、戦後船用主機に減速機が使用されたことが契機になったと推測される。ここでは世代を3つに区切ってその発展のようすを見てゆく。

6-2-1 第一世代の中速機関（1945-1964年）

戦時ドイツのMAN社で潜水艦Uボート主機として開発された、M9V40/46型機関はわが国にも図面が提供され日本海軍の艦本26号9形として制定されたが、終戦を迎え日の目を見なかった。戦後MAN社を退職して故郷のフランスに帰ったピールスティック（G. Pielstick）はSEMT社を設立し、この機関をベースにPC1型機関を開発した。この機関はPC2型になってから、日本の石川島播磨（現IHIおよびディーゼルユナイテッド）、日本鋼管（現JFEエンジニアリング）、富士ディーゼルの3社が1964（昭和39）年技術提携して製作することになる。そしてMANの中速機関R（V）V40/54型は三菱横浜と川崎重工で製作され日本の船用、陸用市場に多数納入された。新潟鉄工では、1962（昭和37）年に漁船用ギヤード機関第1号の6MG18型を納入、引き続き中速機関の開発が行われ、L（V）40X型などが各種用途に納入された。一方1962（昭和37）年ダイハツでもギヤード機関として6PSTbM-26D型が納入された。表6.4にこれら中速機関の要目を示す。

表6.4 第一世代の中速機関の主要目

型式	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力 PS/cyl.	回転数 rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
IHI、NKK、SEMT PC2	6-18	400	460	465	500	14.5	7.7
三菱、川崎MAN R(V) V40/54AL	5-18	400	540	500	400	16.6	7.2
新潟 L(V) 40X	6-18	400	520	500	400	17.2	6.9
ダイハツ PSTbM-26D	6,8	260	320	116	680	8.6	7.3
三井、日立B&W 26-MTBF-40(V)	5-16	260	400	180	600	12.7	8.0

6-2-2 第二世代中速機関 (1965-1984年)

船用主機として、2サイクル機関との競争が激化するなか、4サイクル機関は大型化に向かった。1968(昭和43)年、MANはVV52/55(1000PS/cyl.)を、1972(昭和47)年、SEMTは石川島播磨と共同でPC4型(1500PS/cyl.)を開発した。スイスSulzerは2サイクルの中速V型機関Z40型を4サイクルの対抗としてきたが同じ口径・行程の機関を4サイクルにモデルチェンジして新たにZ40/48型として1970年代後半にデビューした。

国内でも大型化の開発が行われ、三井造船では1970年代後半にV60M(1500PS/cyl.)を、さらにV42M(750PS/cyl.)を開発して広範囲の出力に対応した。中型では、ダイハツのDS32型(450PS/cyl.)や新潟がSEMTと共同開発したPA5型(300PS/cyl.)が市場に投入された。この時期の代表的な機関の要目を表6.5に示す。

表6.5 第二世代の中速機関の主要目

型式	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力 PS/cyl.	回転数 rpm	Pme kg/cm ²	Cm m/s
三菱、川崎MAN VV52/55	12-18	520	460	1000	430	17.9	7.9
IHI、NKK、SEMT PC4V	12-18	570	540	1500	400	21.3	8.3
三井 LV42M	6-18	420	520	750	500	20.4	7.5
日立、住友、Sulzer Z40/48	6-18	400	320	750	512	20.4	8.5
ダイハツ DS-32	6,8	320	400	400	600	19.6	7.6
新潟 SEMT PA5	5-18	255	270	300	1000	19.6	9.0

6-2-3 第三世代中速機関 (1985-2000年)

中速機関は、2サイクル機関と大型船主機の首座を争ってきたが、1980年代に入って、2サイクル機関が低燃費を実現し、次第に優勢になってきた。その結果、中速の大型機関は特定の船舶、フェリー、RORO船、

クルーズ船や陸用機関などに焦点を絞って開発を進めることになった。そして、ロングストローク化やV型から列型への変換、さらに低燃費、低NOxを両立させることが大きな課題となった。SEMTではPC20L、PC40L、MANではL58/64など列型シリーズが開発された。フィンランドWärtsiläでは32型の上位機種として、同社として最大の機種となる46型機関を開発して、陸用及び船用分野への進出を図った。

国内では新潟がV32CXで陸用市場に参入を図るとともに、それに続くHXシリーズとしてV46HX型、V41HX型の大型のほか、HLXシリーズとして22、28及び34型を開発した。このHLXシリーズはPme25kg/cm²(2.45MPa)、Cm10m/sと世界最先端を行く水準だった。また、NOxに関しては船舶の国際条約基準を満たすのはもちろんのこと、地域ごとの規制に準拠するよう一層の低NOx化が図られた。

正味平均有効圧力Pmeは無過給の5~5.5kg/cm²から最新のもので27kg/cm²まで約5倍に上昇しており、戦後50年で大きな発展を遂げたことを物語っている。平均ピストン速度Cmは中速機関だけに最初から8m/sクラスのものもあったが、概ね6m/s以下であったことから、1.5~2倍程度に上昇していることがわかる。

表6.6 第三世代の中速機関の主要目

型式	気筒数	口径 mm	行程 mm	出力kW/cyl PS/cyl.	回転数 rpm	Pme MPa kg/cm ²	Cm m/s
三菱、川崎MAN L58/64	6-9	580	640	1400 1903	428	2.32 23.7	9.1
IHI、NKK、SEMT PC40	6-9	570	750	1214 1650	350	2.17 22.2	8.8
Wartsila 46	6-18	460	580	1050 1428	500	2.62 26.7	9.7
Wartsila-Sulzer ZA40S	6-18	400	560	750 1020	510	2.51 25.6	9.5
新潟 34HLX	6-18	340	500	552 750	600	2.43 24.8	10.0
ダイハツ DKM-36	6,8	360	480	552 750	600	2.26 23.0	9.6

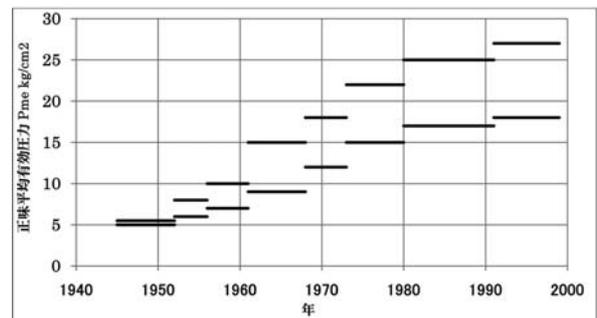


図6.4 正味平均有効圧力Pmeの変遷

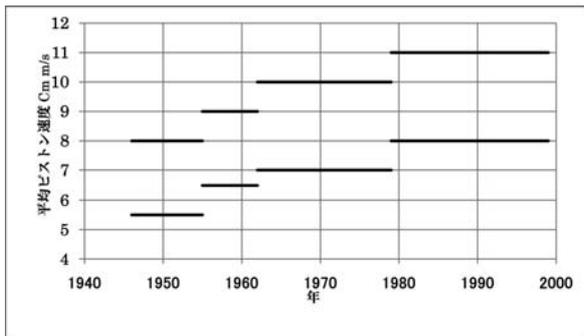


図6.5 平均ピストン速度Cmの変遷

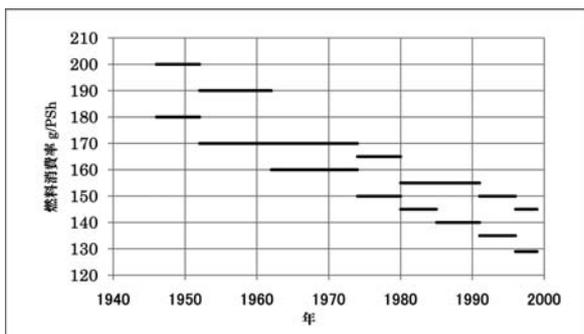


図6.6 燃料消費率の推移

燃費に関しては、先に見た低速機関と同じく、過給機の装着により大きく低減したのちも種々の対策で、改善が続けられ、1990年代後半には遂に130g/PSHを切るものが出現した。戦後50年における改善幅は30%に達し、正味熱効率の改善幅に換算すると12~13ポイントに相当する。

6.3 4サイクル高速機関

高速機関には大きく分けて2つの分野がある。ひとつは汎用機関と呼ばれる小出力、少気筒、小口径のものでポンプ駆動、農業機械、小型船舶などで使われるもので、世界的に見てもわが国が技術的にも生産量的にもトップの座にある分野である。もうひとつは主に高速船の推進用に使用される比較的大型の高速機関であり、3-1-3高速船や3-4艦艇用ディーゼル機関でも取り上げたものである。本稿では、対象分野の関係から後者の高速機関について記述する。

高速ディーゼル機関は艦艇、官庁船、民間船などの用途に使用されてきた歴史を持ち、ドイツのダイムラーベンツやマイバッハなどがルーツと思われる。米国でもゼネラルモーターズのディーゼル部門が高速機関を世界に供給してきた。一方わが国でも日本海軍が魚雷艇用に開発した艦本61号などは戦後の高速機関に継承された。これらには、2サイクル、4サイクル機関の両方があるが、機関の高速化、高出力化に伴って次第に4サイクルに集約されていった経過がある。

図6.7に4サイクル高速機関の出力率（PmeとCmの積でピストン面積あたりの出力を示すもの）の変遷を示す。第一世代と第三世代では出力率で約2倍の差があることを示している。

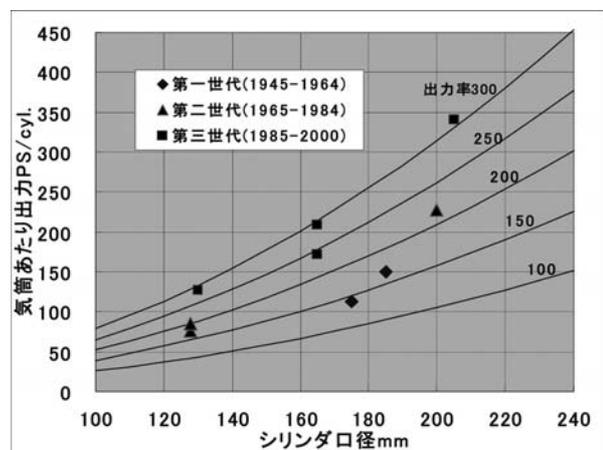


図6.7 4サイクル高速機関の出力率変遷

第三世代の各種類別の出力率を比較してみると、

$$\text{低速機関} \quad 23.0 \times 7.3 = 168 \text{ kg/cm}^2 \times \text{m/s}$$

$$\text{中速機関} \quad 27.0 \times 11.0 = 297 \text{ kg/cm}^2 \times \text{m/s}$$

$$\text{高速機関} \quad 25.5 \times 12.1 = 307 \text{ kg/cm}^2 \times \text{m/s}$$

と中高速機関がほぼ300 (kg/cm²×m/s) に達しているのに対し低速機関は170クラスにとどまり、歴然とした差が出ている。低速機関は平均ピストン速度が高くとれないことのほか、2弁式のため給排気の交換が4弁式に比べ不利なため正味平均有効圧力Pmeが低めであることが影響している。

7 主要関連技術の発達過程

7.1 燃料噴射系

燃料噴射系のなかで、燃料をシリンダ内に噴霧する燃料噴射弁と高圧の燃料を作る燃料噴射ポンプについて、技術の発達過程を調べてみる。

7-1-1 燃料噴射弁

燃料噴射弁は圧縮された燃焼室のなかに液体燃料を微粒化して噴くもので、噴射の3要素として霧化 (Atomization)、分布 (Distribution)、貫通力 (Penetration) を備えたものでなければならない。

タイプは図7.1に示すように、ピントル型 (A) (B)、スロットル型 (C)、単孔型 (D)、多孔型 (E) などに分けられるが、いずれも一定圧 (開弁圧) 以上で開き、一定圧 (閉弁圧) 以下で閉じる自動弁である。

ピントルノズル、スロットルノズルはいずれも針弁の周囲の環状すきまから燃料を噴くが、ピントルノズルが最初から流量が確保されるのに対し、スロットルノズルは開き始めの噴射量を抑えている。どちらも、副燃焼室 (副室) に使用される。

単孔型はほとんど使用されず、多孔型は直噴型のあらゆる機関に使用される最もポピュラーなものである。直噴型が口径100mm以下の小型機関にまで適用されている現在では、ごく小型機関を除いてほとんどが多孔型というが良い。

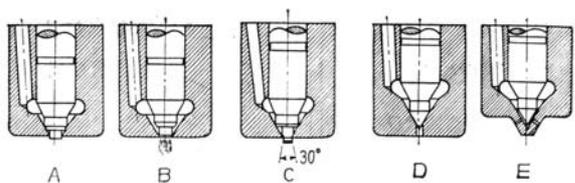


図7.1 燃料噴射弁の種類 (仲谷新治「ディーゼル機関講義中巻」より)

噴射弁の技術的発達、構造面よりも過酷な使用環境への対応であり、初期の無気噴射で20~30MPaだった噴射圧が120~150MPaまで上がったこととC重油のような粗悪燃料に如何に耐えるかであり、材質、熱処理、工作技術の進歩がこれらを解決したといえる。

7-1-2 燃料噴射ポンプ

ルドルフ・ディーゼルが運転に成功したディーゼル機関は、圧縮空気を使って燃料を霧化する空気噴射式

だったが、圧縮空気を作るのに出力の10%程度の動力が必要であったこともあり、後の研究者は燃料を直接噴射する方法を盛んに実験研究した。

クロックナー・フンボルト・ドイツ (KHD社) が考案したスピール型と呼ばれるもの (図7.2) は、プランジャで加圧した燃料を噴射弁に送り込む際、偏心軸を介してスピール弁から燃料を解放することで噴射量の制御をする方法だった。また、噴射始めの調整は、プランジャの下部に設けた噴射時期加減弁で行うことができた。この型の噴射ポンプは主に大型機関を中心に、1960年代まで使用されていた。

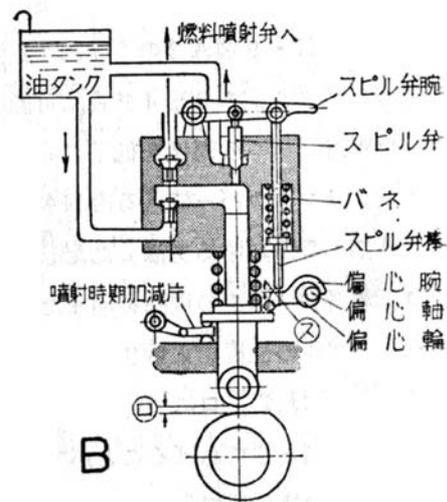


図7.2 スピール型噴射ポンプ (KHD社考案) (仲谷新治「ディーゼル機関講義中巻」より)

ロバート・ボッシュが考案したいわゆるボッシュ式噴射ポンプは、スピール弁を使わない自動逃がし機構付ポンプで、構造が簡単で応答性も良いため、高速機関に適していた (図7.3)。プランジャの上端より吸い込んだ (A) 燃料を加圧した後 (B)、斜めの切欠き溝の上縁が吸入ポート下縁と一致した瞬間に、圧力が解放され (C) 噴射を終わる。プランジャの縦溝が吸入ポートにかかっていると (D) 圧力が立たず、無噴射となる。負荷に応じて適切な噴射量がガバナからの出力で制御される。

この方式が発明されるや否や、世界中に急速に広まった。日本ではディーゼル機器 (現ボッシュ) がロバート・ボッシュのライセンスを取得して、製作販売した。本発明はディーゼル機関の発展に計り知れない貢献をし、今日まで噴射ポンプのベストセラーの地位を保ち続けている。そして、機関のサイズや燃料の種類 (軽

油、重油、灯油、バイオ燃料など）を問わず、ほとんどあらゆる分野のディーゼル機関に利用されている。

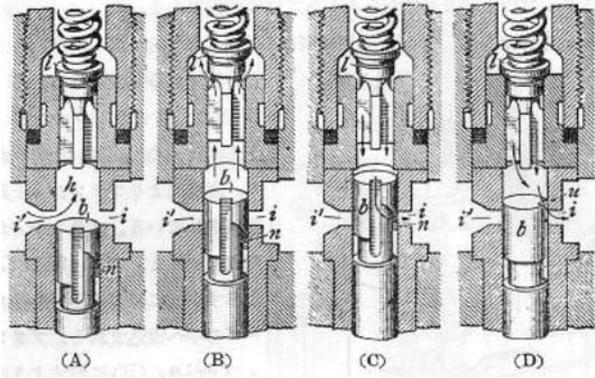


図7.3 ボッシュ式噴射ポンプ
(長尾不二夫「内燃機関講義上巻」より)

7-1-3 ユニットインジェクタ

噴射ポンプと噴射弁をつなぐ噴射管が長くなると、圧力波が発生し噴射系に乱れが出たり、噴射遅れが生じたりする不都合があるので、噴射管を極力短くする工夫がされてきた。その究極は、噴射ポンプと噴射弁を合体したユニットインジェクタであり、管継手からの燃料の漏洩や管そのものの破損が解消される。上部が噴射ポンプ、下部が噴射弁で燃料は直接送油される。

米ゼネラルモーター社が開発し、のちにそのディーゼル部門が独立してできたデトロイトディーゼル社 (DDC) に引き継がれた。構造上、頭上カム (OHC) とともに使用され、自動車用を含め高速機関に多く使用されている。

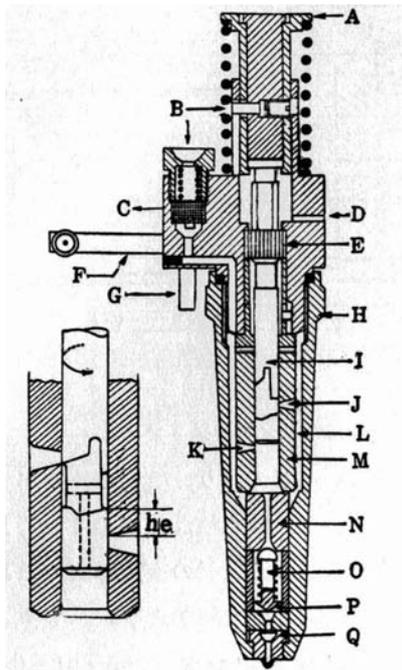


図7.4 ユニットインジェクタ
(長尾不二夫「内燃機関講義上巻」より)

7-1-4 コモンレールシステム

全盛を誇ったボッシュ式噴射ポンプにも限界があり、低負荷 (低回転) になるほど噴射圧が下がることで良質の噴射が得られないことと2000気圧 (200MPa) 級の超高压は構造的に難しくなることなどである。これらを一挙に解決し、かつ噴射タイミングを任意に制御するシステムがコモンレールシステムである。高压ポンプで昇圧した燃料をコモンレールと呼ばれる蓄圧管に蓄えておき、噴射弁に接続して任意のタイミングで噴射を電子制御する。

自動車用の小型機関に比較的早く採用され、次第に船用など大型にも拡大し近年は2サイクル船用低速機関にも適用されている。さらに、4サイクル機関にも適用され始めており、種々のサイズの機関への適用が進んでいくと思われる。

機関メーカーと噴射装置メーカーの共同開発で生まれたものが多く、デンソー、ボッシュ (Bosch)、デルファイ (Delphi) などが本システムを提供している。

近年、ディーゼル機関に対する環境対策が一段と強く要求され、燃費 (CO2) を維持したままNOx、微粒子 (PM) を削減が求められているが、コモンレールシステムは特にPM削減に大きく寄与することが確認されている。

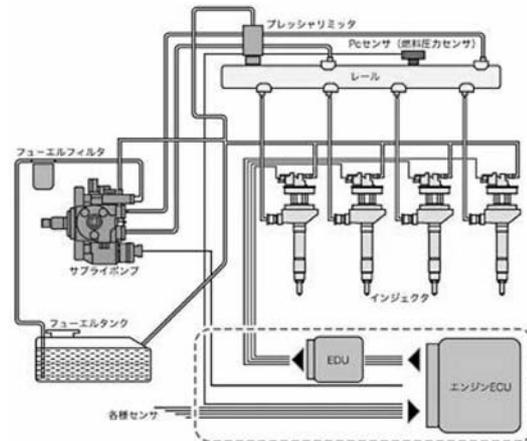


図7.5 コモンレールシステム
(デンソー技術資料より)

7.2 過給機

7-2-1 過給機の発明と普及

過給機には機械式と排気タービン式があり、前者はクランク軸で空気圧縮機を駆動するもので、スーパーチャージャとも呼ばれ、最初は主として航空用ガソリン機関の高度性能を維持する目的で使用された。後者は機関の排気ガスエネルギーで空気圧縮機を駆動するものでターボチャージャともよばれ、スイス人ビュッヒ (Alfred J. Buchi) によって、1905年に発明された。

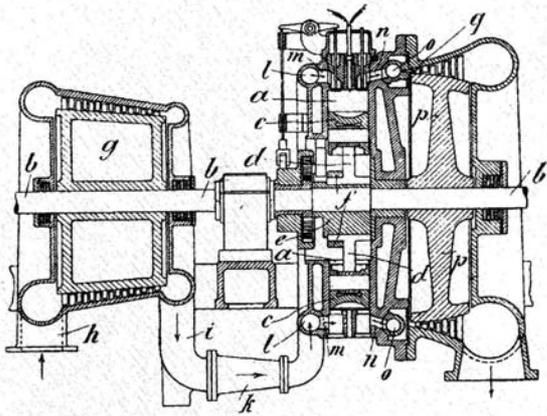


図7.6 ビュッヒが特許を受けた複動機関
(ターボシステムズユニテッド (TSU) 社提供)

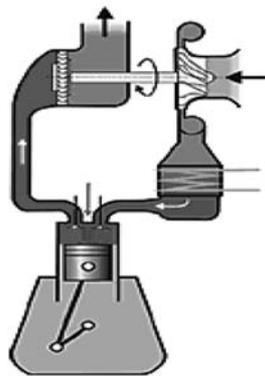


図7.7 排気タービン過給機の基本原理
(TSU社提供)

その構造は図7.6に示されるように、タービンの内部に往復動機関を内蔵した複動機関である。

ディーゼル機関に、排気タービン過給機が利用されたのは、スイスのブラウンボベリ社 (BBC 現ABB社)、英国ナピア社、ドイツMAN社などが過給機を製造しはじめた1920年代からである。その基本原理を図7.7に示す。

三井造船では1931 (昭和6) 年に「那智山丸」主機4サイクル855MTBF100型に過給機を装着した¹。そして、1936 (昭和11) 年、新潟鉄工はBBCから過給機を購入し、2サイクル機関T6YB型350PSに装着した²。さらに、横浜船渠 (現三菱重工横浜) は、1939 (昭和14) 年に台湾総督府向「開南丸」主機G6V28.5/42型 (500PS/375rpm) にわが国初の国産過給機を搭載した³。

7-2-2 戦後の過給機関

戦後の混乱期を過ぎたころから、過給機に対する重要性が再認識され、1952 (昭和27) 年新潟鉄工は英国ナピア社から過給機を購入して、鮪魚船「福洋丸」主機M6F28S型550PSと愛知県水産高校練習船「晴和丸」主機M6DS型900PSに取付け好成績を収めた⁴。

三井造船は提携先のB&Wが開発した過給機を装着して、1952 (昭和27) 年、陸用発電用に4サイクル過給機

関425MTBS40型300PSを納入した。そして1953 (昭和28) 年「有馬山丸」換装主機B&W774VTBF160型 (8200PS/115rpm) を完成した。これはわが国で初めての2サイクル過給機関である。続いて「榛名山丸」向974VTBF160型のほか、艦艇用として1956 (昭和31) 年、「はやぶさ」主機に1222VBU34V型2000PS、「いなづま」主機に950VBU60型6000PSのいずれも2サイクル機関を搭載した⁵。

三菱神戸は1953 (昭和28) 年、陸用RCD8A型780PS/360rpmで陸用として初めての過給機付きディーゼル機関を納入した⁶。

阪神内燃機は1953 (昭和28) 年、6NS型400PSを初の過給機関として完成した⁷。

池貝鉄工は1954 (昭和29) 年、鮪魚船「琴平丸」に6-37型800PSを三菱横浜製の過給機を付けて完成した⁸。これらの過給機関の要目を表7.1に示す。

表7.1 初期の過給機関主要目

船名 (納入先) 納入年	メーカー 型式	サイ クル	筒 数	口径mm 行程mm	出力PS 回転数rpm	Pme kg/cm ² Cm m/s
那智山丸 1931	三井B&W 855MTBF100	4	8	550 1000	1848 140	6.2 4.7
開南丸 1939	三菱横浜MAN G6V28.5/42	4	6	285 420	500 375	7.6 5.5
椿本チェーン 1952	三井B&W 425MTBS40	2	4	245 400	300 514	7.0 6.9
有馬山丸 1953	三井B&W 774VTBF160	2	7	740 1600	8200 115	6.5 6.5
榛名山丸 1953	三井B&W 974VTBF160	2	9	740 1600	11250 115	7.1 6.5
福洋丸 1952	新潟 M6F28S	4	6	280 420	550 380	8.4 5.3
晴和丸 1953	新潟 M6DS	4	6	370 520	900 320	7.5 5.5
琴平丸 1954	池貝 6-37	4	6	370 520	800 320	6.7 5.5
はやぶさ 1956	三井B&W 1222VBU34V	2	12	220 340	2000 800	7.3 9.1
いなづま 1956	三井B&W 950VBU60	2	9	500 600	6000 350	9.9 7.0

7-2-3 排気慣性機関

過給機の普及が始まったころ、新潟鉄工では、斉藤宗三らによって排気管内の排気脈動圧を応用した排気慣性方式の研究が進められ、1954 (昭和29) 年その初号機として、M6F26R型350PSが完成し、漁船「第3共進丸」に搭載された。出力は15~20%増し、燃費は5~10%低減するという画期的なものだった。理論的には、気筒数に関係なく利用することができたが、最もポピュラーな6気筒機関に適用することが多く、過給機が普及するまでの間、数百台に適用された⁹。その原理を図7.8に示す。

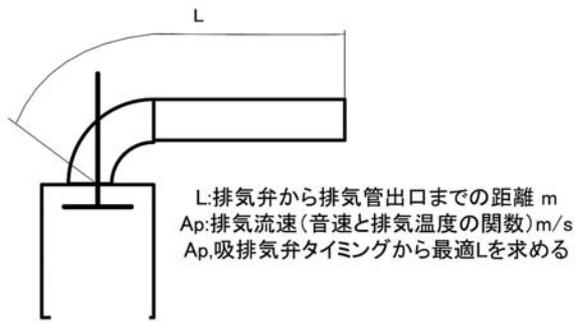


図7.8 排気慣性の原理

また、鐘淵デイズルはこれに刺激されて、6気筒の機関で、吸気管を3気筒ずつの2組に分けて長さを適当に選ぶことで、吸気の充填効率が高まる吸気慣性方法を考案したが、排気慣性ほどの効果は得られなかった¹⁰。

7-2-4 過給機の技術提携と国産化

1951（昭和26）年、石川島重工業（現IHI）と芝浦タービン（現IHK）は国産過給機IEG型、LA型を開発した¹¹（図7.9）。



図7.9 石川島製LA26型過給機 (TSU社提供)

三菱重工横浜では1956（昭和31）年に、2サイクルのMAN型K3Z78/140試験機関で動圧過給方式を確立し、実機では「佐渡丸」主機K9Z78/140C（1200PS/118rpm、 $P_{me}=7.6\text{kg/cm}^2$ ）に初めて搭載した¹²。同じ年三菱神戸では、スルザー7RSAD76型（9300PS/118rpm）で、初めて過給機を装着した¹³。

1956（昭和31）年、新潟鉄工は英国ナピア社と技術提携し翌年HP90型を完成した¹⁴。また1958（昭和33）年、石川島重工業はスイスBBC社と技術提携し、VTR型などの過給機を生産開始した。

一方、三菱重工長崎では自社開発の2サイクル機関用に1964（昭和39）年にMET型過給機の開発に成功し、「むらさき丸」に搭載して2年間の耐久試験を無事故で完了した¹⁵。

これら、技術提携と国産技術の融合により過給機の空力性能の改善、材料の開発が進みより高い圧力比、温度に耐えられる製品の開発が進んでいく。そして、機関の

正味平均有効圧力 P_{me} は、4サイクル機関で 8kg/cm^2 程度から1960年代には 20kg/cm^2 台へと飛躍を遂げる。

7-2-5 二段過給

P_{me} が 20kg/cm^2 を超えると排気温度や圧力比の点で、過給機の限界が近づいてくる。したがって次のステップすなわち $P_{me}25\text{kg/cm}^2$ 級では、過給機を直列に配置する二段過給が必要とされた。

三菱横浜では、早くから二段過給の開発に取り組んでおり、1954（昭和29）年に、MAN12V40/45型で $P_{me}25.3\text{kg/cm}^2$ の試験に成功した¹⁶。

富士ディーゼルでは1969（昭和44）年に4サイクルW6M26H型で初の二段過給の試験を行い $P_{me}25\text{kg/cm}^2$ の試験に成功した¹⁷。SEMT社では1970年代に、PC2-5BTC型（850PS/cyl）の二段過給を発表し、日本のライセンスIHI（現ディーゼルユナイテッド）は約20台の二段過給機関を納入した。2サイクル機関の実用機は、1975（昭和50）年三菱重工が開発した8UEC52/105E型（10600PS）を神戸発動機が世界で初めて製作した¹⁸。

これらの機関は、出力増加率25~30%となり、1970年代末ころまで製作されたが、その後過給機の高圧力比が進み、一段過給でも P_{me} は4サイクルで 25kg/cm^2 、2サイクルで 19kg/cm^2 程度まで出るようになり、二段過給は姿を消すことになる。二段過給の概念図を図7.10に、主要目を表7.2に示す。

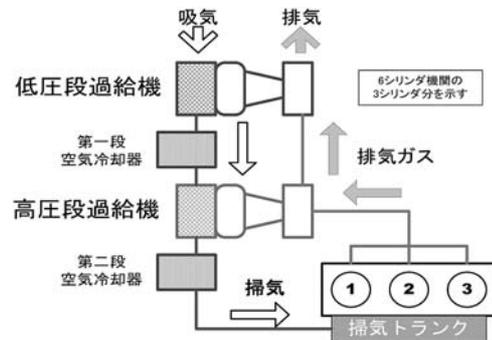


図7.10 二段過給の概念図（田山経二郎氏提供）

表7.2 二段加給機関の主要目

開発年	メーカー型式	サイクル	筒数	口径mm 行程mm	出力PS 回転数rpm	P_{me} kg/cm ² Cm/m/s
1954	三菱横浜MAN 12V40/45	4	12	400 450	9900 520	25.3 7.8
1969	富士ディーゼル W6M26H	4	6	260 320	2120 750	25.0 8.0
1978	IHI SEMT 16PC2-5BTC	4	16	400 460	13600 520	25.5 8.0
1975	三菱長崎 8UEC52/105E	2	8	520 1050	10600 175	17.0 6.1

7-2-6 動圧過給と静圧過給

ビュッヒが最初に発明した過給機は動圧方式といって、機関からの圧力脈動をそのまま過給機のタービン翼に導くもので、排ガスエネルギーを有効に利用する一方法である。特に気筒数が3の倍数のときは、3気筒の排ガスを1本の排気管に集合して過給機に導くと非常に効率よくエネルギーを利用できるが、たとえば8気筒の場合、4気筒ずつ1本の排気管にすると排気干渉がおこり性能低下を来す。これを回避するために、2気筒ずつ集合した2組の排気管を過給機の直前で結合するパルスコンバータ方式なども考案されたが、排気管の配列は複雑になる難点があった。

これらの解決策として登場したのが、静圧過給方式と呼ばれるもので、径の大きい集合管に一旦集めた排ガスを過給機に導く方式で、文字通り平滑化された圧力を伝えるものである。従来から、負荷変動の少ない陸上機関ではこの方式が採用されたことはあるが、負荷変動が多くかつ低負荷も用いられる船用主機では不向きだとされてきた。しかし、排気弁の啓開角度や排気管の径を適切に選ぶことと2サイクル機関では低負荷用の補助プロアとの併用で、静圧過給の欠点を解決した。

2サイクル機関では、三菱横浜が1963（昭和38）年に、「宝永丸」主機MAN K7Z60/105C型（6300PS/165rpm）に初めて採用した¹⁹。そして、1978（昭和53）年三菱重工が開発した6UEC52/125H型（8000PS）を神戸発動機がUE型として初めて完成し翌年に出荷した²⁰。

4サイクル機関では、1968（昭和43）年三菱横浜が三菱化成直江津向の発電用MAN V7V40/54型18台に適用したのが最初と思われる²¹。新潟鉄工では、1970（昭和45）年に納入した岡山化成の発電用16V40X型11台に適用した²²。同じ年三菱横浜は阪九フェリーの「フェリーせと」、「フェリーはりま」の主機V7V40/54型に船用として初めて静圧過給方式を採用した。また、SEMT社はPC2-6型機関で、静圧過給の一種であるが集合管の径を小さくしかつ枝管の断面形状を特殊にした方式を考案し、陸用と船用の両方に多数納入した。

7-2-7 水冷過給機と無冷却過給機

初期の過給機は、タービンケーシングの排気ガスによる熱応力に対処するために、ケーシングを海水または清水で冷却していたが、燃料中の硫黄分によるガス通路の硫酸腐食でケーシングの寿命が、2~3年と短いことが問題だった。そこで、過給機メーカー各社は無冷却過給機の開発に取り組んだ。

三菱重工では無冷却式のMET型過給機を1964（昭

和39）年に開発し、自社UE型機関のみならず、各機関メーカーに納入しこの分野をリードした。MANは大型のNA型と小型のNR型過給機を1980年代に開発し、日本のライセンサー、三井、川崎、新潟を通じて国内機関メーカーへ売込みを図った。無冷却型でやや出遅れたBBC社（現ABB Turbo Systems）は1981（昭和56）年に2サイクル機関として無冷却のVTR型過給機を、また1990年代の後半に、大型のTPL型と小型のTPS型を開発し、それまで高いシェアを維持してきた水冷過給機VTR型の実績と知名度を武器に浸透を図った。

7-2-8 シーケンシャル過給

過給機の性能や過給方式の改善で、正味平均有効圧力Pmeが上昇し高負荷における性能が良くなった代りに、低負荷における性能が犠牲になることが多かった。低負荷では大容量過給機を効率よく回すエネルギーが不足のため、過給機の性能が十分発揮できないことによる。

これを回避するため、大容量過給機1台を小容量過給機2台に分けて、負荷によって1台と2台を使い分ける方式が開発され、これをシーケンシャル過給という。1990年代初めにMTUと新潟鉄工の高速機関で実施され、各種高速船に納入されている。本技術の最も難しい点は、過給機入口の排気管通路の開閉をバルブで確実に行うことであり、高温部だけに耐熱性がありかつ確実な作動が要求されることであるが、現在では信頼性のあるものが開発されている。

7-2-9 可変ノズル付過給機

シーケンシャル過給と同じ目的で、過給機の性能を広範囲に維持するために、タービンの入口に設置されている静止翼（ノズル）の面積を負荷に応じて変えるのが可変ノズルと呼ばれるものである。この研究は1970年代から過給機メーカー各社で行われていたが、高温部に可動部分を設けることによる確実性、信頼性の確証が得られず実用例はほとんどなかった。

しかし、2000年代になり過給度が一段と上昇したことから、従来の固定ノズルでは低負荷性能が確保できなくなり可変ノズルの実用化研究が活発になった。（図7.11）

特に陸用発電用ガス機関など空気量制御が必要な機関においては、信頼性の評価も終り実用化されているものもある。船用機関においては燃焼残渣の影響が大きいため、実用化に向け引き続き試験評価が行われている。

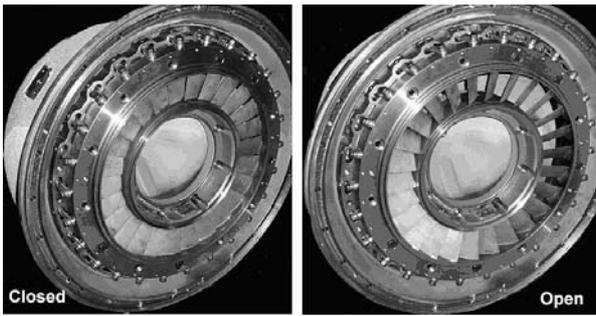


図7.11 可変ノズル (MAN Diesel社提供)

7.3 環境対策

ディーゼル機関は熱効率の優位性などから、熱機関のなかでも確固たる地位を築いてきたが、環境に対しては負の影響を与えてきた側面もある。振動や騒音が他の熱機関より大きいこともそのひとつであるが、これらは実用的に問題ないレベルまで対策がとられている。一方排気ガスに関しては窒素酸化物 (NO_x)、一酸化炭素 (CO)、炭化水素 (HC)、粒子状物質 (Particulate Matter:PM) 等の排出が問題であり、このうちCOとHCはガソリン機関に比較すれば小さい。一方、NO_x、PMに関してはディーゼル機関の燃焼方式と使用燃料性状に大きく依存している。すなわち高い熱効率と粗悪重油の使用可能という経済効果と引き換えに、これら有害物質の排出を余儀なくされている。以下この二つの物質についての現状と課題について検証してみる。

7-3-1 窒素酸化物 (NO_x)

NO_xは燃焼中に空気中あるいは燃料中の窒素分が酸素と結合することによって生成する。問題になるのは、空気中の窒素がNO_xに変換されるサーマルNO_xで、これは燃焼温度が高いほど、燃焼時間が長いほど生成量が増えるため熱効率と負の相関 (トレードオフ) となる。したがって4サイクル機関に比べ低速2サイクル機関が高く、同じサイクルなら回転数の低いほうが高いNO_x値を示す。

我が国でNO_xが社会問題になったのは、1970年に光化学スモッグが初めて確認されたところで、以来自動車を皮切りにNO_x規制が始まり、固定型内燃機関には1988 (昭和63) 年から、船舶に対しては国際航行船が2000年 (平成12年) から、内航船が2005 (平成17) 年からそれぞれ規制が始まった。船舶のNO_x国際規制は二次、三次と強化されることが決定しており、沿岸に適用される三次規制は一次の80%削減という大幅なものとなっており、機関単独で対処できる水準を超えて

いる。したがって、これをクリアするために脱硝装置 (排気ガス中のNO_xを、触媒などにより化学的に処理する装置) などの設置が必須となり、初期投資や維持費用の負担が増えることになる。一方ディーゼル機関の技術上の競争は、NO_x排出量よりも燃費が対象になることも予想され、再び1980年代の低燃費競争が激化する可能性がある。

7-3-2 粒子状物質 (PM)

従来、この物質はバス、トラックなどの自動車用ディーゼル機関からの排出が問題となってきたが、近年になって船舶からの排出が陸上にも影響を及ぼすとの観点から関心が高まってきた。PMの種類として、ドライスト (固形状炭素)、可溶性有機成分 (Soluble Organic Fraction:SOF)、燃料中の硫黄分が酸化してできるサルフェート (Sulphate) があり、燃料成分や燃焼の方法などで排出が決まってくる。

大都市圏のディーゼル車は2001 (平成13) 年から規制を受けるようになり、ディーゼルパーティキュレートフィルター (DPF) の設置を義務付けられており、さらに2007 (平成19) 年に規制が強化されている。

船舶からのPMはわが国では現在、規制の対象にはなっていないが、欧州ではECボート指令で2005 (平成17) 年から小型機関に適用された。PMの測定は精密な質量計測を含めて専門的な技術が要求されることから、船舶用機関で行う場合、工場や船上で測定する場合の調査研究が始まっており²³、今後測定方法の確立とともにPM削減の手法が研究されていくものと考えられる。

- 1 「三井造船のディーゼル50年」 1976年8月 P65
- 2 「新潟鉄工所百年史」 1996年3月 P87
- 3 「三菱重工横浜製作所百年史」 1992年2月 P513
- 4 「新潟鉄工所百年史」 1996年3月 P156
- 5 「三井造船のディーゼル50年」 1976年8月 P69
- 6 「神船ディーゼル75年のあゆみ」 三菱重工神戸 1992年3月 P26
- 7 「ハンシン技術ニュースNo.33」 1998年9月 P10
- 8 「日本船用発動機史」 日本船用発動機会 1959年7月 P126
- 9 「排気慣性機関第1,2報」 斎藤宗三 日本機械学会論文集 1963年2月
- 10 「日本船用発動機史」 日本船用発動機会 1959年7月 P130
- 11 「日本船用発動機史」 日本船用発動機会 1959年7月 P124
- 12 「三菱横浜製作所百年史」 1992年2月 P520
- 13 「神船ディーゼル75年のあゆみ」 三菱重工神戸 1992年9月 P26

- 14 「新潟鉄工所百年史」1996年3月 P156
- 15 「船用大形2サイクル低速ディーゼル機関の技術系統化調査」田山経二郎 国立科学博物館 2006年 P219
- 16 「三菱重工横浜製作所百年史」1992年2月
- 17 「2段過給方式による高過給機関の開発について」浅見与一他 MESJ 1974年6月 P63
- 18 「神船ディーゼル75年のあゆみ」三菱重工神戸 1992年3月
- 19 「三菱重工横浜製作所百年史」1992年2月 P520
- 20 「神船ディーゼル75年のあゆみ」三菱重工神戸 1992年3月
- 21 「三菱重工横浜製作所百年史」1992年2月 P515
- 22 「新潟鉄工所百年史」1996年3月 P156
- 23 「小型船舶用ディーゼル機関から排出される粒子状物質等の測定方法に関する調査報告書」日本小型船舶検査機構 2004年3月

8 | まとめと考察

本調査を通じて多くの知見が得られたし、新たな発見もあった。それは同時に、今後の技術動向の方向性を占うヒントにもなる。

まず船舶用の分野では、造船業の発展に牽引される形で、ディーゼル機関が産業としての地歩を固める。特に戦後20年くらいの間、日本の復興の原動力となった造船業は、蒸気タービンからディーゼル機関への転換の時期とも一致する。そして、2サイクル機関と4サイクル機関は大型船の分野で激しい技術競争を展開する。4サイクル機関が過給機付き、ギヤードディーゼル、潤滑油消費などで、1960年代に優位を占めたが、1970年代に2サイクル機関は、ロングストローク、低燃費、低質燃料油対応などで4サイクル機関を次第に敗北に追いやった。そして1980年からさらなるロングストローク化と静圧過給の採用で確固たる地位を築いた。

この間、4サイクル機関も大口径機関600mm級の開発を、世界の主要メーカーが手掛けたが結果的に2サイクル対抗機関としては成功していない。大型化する船舶単機出力として、30,000PSクラスでは不足していたことと燃費も同等レベルだったからだ。ただ、4サイクル機関は船用の中でも外航貨物船やタンカーを除く他の分野では主流を占める。特にフェリー、クルーズ船、高速船など客船は4サイクル中高速機関が断然多いし、漁船、作業船、官庁船、艦艇、内航貨物船などの分野でも4サイクルの低中速機関が主に使用されている。また、電気推進方式が次第に増えることは4サイクル機関の需要を高めることにつながる。

船用機関の発展は2サイクルと4サイクルの競争もさることながら、日本の造船業が韓国や中国の激しい追上げにどう打ち勝つかにかかっている。つまり、造船業の隆盛がディーゼル機関を含む船用工業の興盛につながり、技術進歩もそこから生まれてきたし今後も間違いなくそうなる。

陸用機関の歴史は、船用機関とほぼ同じ経緯をたどることになる。その理由は、大中型の陸用機関は陸用専用に開発されたものはまれで、ほとんどが両者兼用機関として、開発されているからである。すなわち、汎用性をもたせて量的効果を出すことで価格競争に打ち勝つことをめざした。そして陸用機関は船用に先立って1990年ごろからNOxの対策を求められた。国、地方条例の厳しい規制に対応すべく対策を講じたが、脱硝装置など後処理装置を備えないとクリアできない製品は価格競争を失って、他の原動機、ガス機関、ガスタ

ービンに市場を奪われたこともある。火力発電のうち、事業用の大型はガスタービンと蒸気タービンの複合発電や原子力発電が主流で、ディーゼル発電は中小規模のものに限定されるが、鳥しょ発電や分散型発電で役割を果たすことが期待される。

車両用機関のうち、ディーゼル機関車は蒸気機関車に代わって非電化線区の無煙化の役目を担った。1964（昭和39）年から量産されたDD51形ディーゼル機関車はその後14年間の間に実に649両という多数が製造され、高度成長期の日本の運輸部門を支えた。一方ディーゼル動車は、分散型動力車として、電車が都市型だったのに対し地方線区の輸送をまかなった。わが国は、狭い国土を網の目のような細かく鉄道網が敷設され、機動性の高い電車やディーゼル動車の割合が高く、特にディーゼル動車は1970年代に、世界最大の保有国となり、1800両あまりが全国を走っていたという。急こう配や急カーブの多いわが国の地形をディーゼル動車が、所定の速度で走るために車両側の対策として、近年振り子形車両も開発されたが、ディーゼル機関には小型で高性能のものが常に要求され、それにきてきた歴史がある。

次に、技術開発に果たした官民の役割について考察してみる。ディーゼル機関の技術導入は基本的に、民間ベースで始まったが、日本海軍が1932（昭和7）年に完成した艦本式1号2サイクル複動ディーゼル機関は、純国産の高性能機関だった。このあと海軍制式機関が種々の艦艇用として数多く開発され、技術の蓄積が進む。これらの技術は戦後、船用高速機関、鉄道車両用機関の基となって結実する。また、人材も各方面で活躍して斯業の発展に貢献した。

海上保安庁でも、初期の巡視船用機関で官民共同で標準型機関を制定したことがあるが、比較的短期間に解消されてメーカー独自設計のものに変わった。

鉄道車両機関における国鉄と民間の関係については、設計段階から官民共同の形でスタートし、数々の製品を生み出してきた。いわゆる国鉄制式機関である。製作は設計を担当した機関メーカーが分担したが、ユーザーの国鉄が設計に関わったことで、運用方法、保守方法を容易に取得できるとともに、設計へのフィードバックが円滑にできたと推定する。1988（昭和63）年の民営化後は、民間各社が独自に開発した機関を採用するようになり、制式機関の役割が終わった。

漁船用機関が戦後間もなく海務院型標準形式でスター

トし、機関メーカーの設計負担を軽減して製造を支援した。戦後、設備も人材も不足していたメーカーが生産を軌道に載せるきっかけとなった。

このように、わが国では官民が重要な局面で協力体制を築き、技術開発や標準化に取り組み、メーカーが力をつけるとメーカー主導に変えて競争原理を働かせて合理的な調達を行うように変わっている。このことは歴史的にみると技術の発展にプラスの効果をもたらしたと思われる。

いまディーゼル機関が直面している最大の課題は環

境問題である。短中期的には窒素酸化物（NO_x）、粒子状物質（PM）の削減が求められているが、長期的には二酸化炭素（CO₂）の削減がどこまでできるかで真価がとわれている。ディーゼル機関の理論熱効率は60～70%といわれているので、50%を超えた現在、ほぼ限界に近いところまで来ているが、排熱からの動力回収でこれに10ポイントくらいの上積みは可能と思われる。これを経済的に成立させるための技術開発が今後期待される。

謝辞

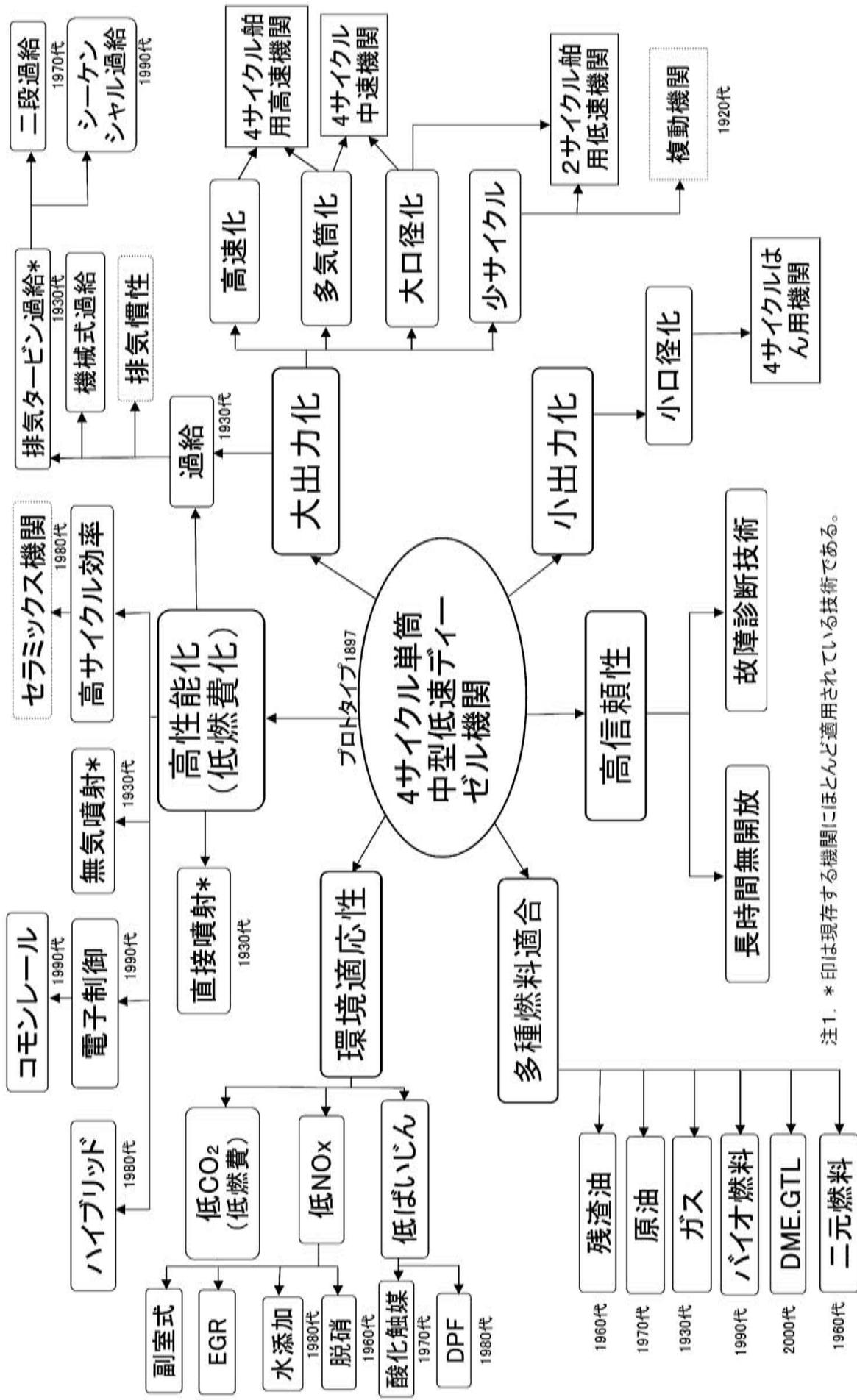
本稿を執筆するにあたり、多方面の方々から資料や情報の提供はもとより、記述内容に対する貴重な意見を寄せていただいた。組織名と代表者の氏名だけ掲げたが、このほかにも多くの方々にご協力をいただいたことを付記して、深くお礼を申し上げたい。

株式会社赤阪鐵工所	見澤 啓介 氏
川崎重工業株式会社	桜井 秀明 氏
キャタピラーインク日本株式会社	大橋 英雄 氏
株式会社小松製作所	芦刈 真也 氏
JFEエンジニアリング株式会社	戸田 伸一 氏
ターボシステムズユナイテッド株式会社	秋田 隆 氏
ダイハツディーゼル株式会社	中田 薫 氏
ディーゼルユナイテッド株式会社	梅本 義幸 氏
富永物産株式会社	押谷 幸男 氏
新潟原動機株式会社	遠藤 次郎 氏
バルチラジャパン株式会社	駒形 泰史 氏
阪神内燃機工業株式会社	佐々木卓郎 氏
マンディーゼルジャパン株式会社	佐々木 耕 氏
三井造船株式会社	田中 一郎 氏
三菱重工業株式会社神戸造船所	若月 祐之 氏
三菱重工業株式会社東京製作所	山本 俊英 氏
三菱重工業株式会社横浜製作所	長面川昇司 氏
ヤンマー株式会社	沢田 浩一 氏

社団法人海洋水産システム協会
 財団法人日本海事協会
 日本内燃機関連合会
 社団法人日本船用工業会
 社団法人日本陸用内燃機関連協会

登録候補一覧

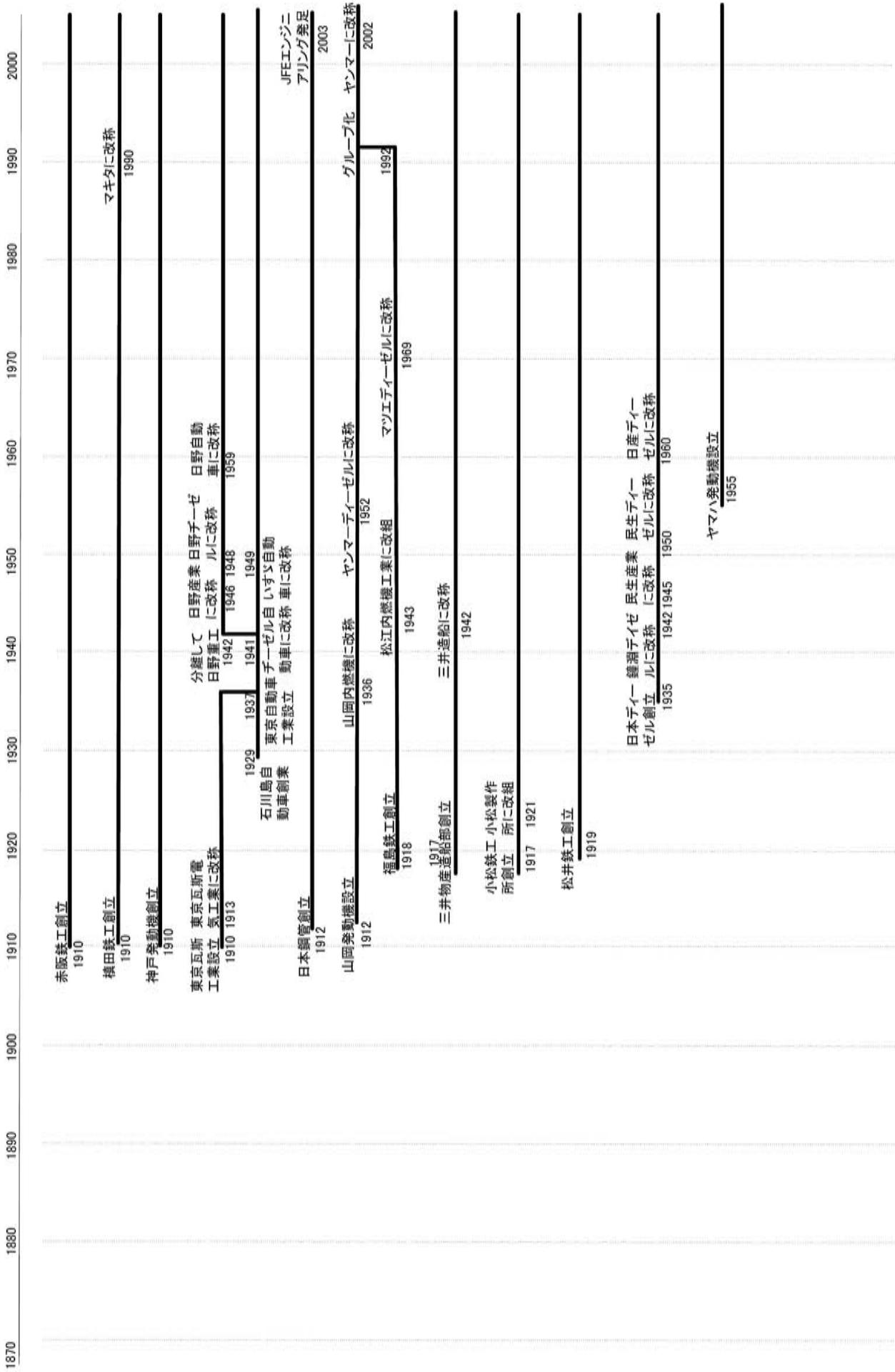
番号	名称	資料形態	所在地	製作者	製作年	選定理由
1	世界最古のディーゼル機関	実機	ヤンマー	MAN	1899	ルドルフ・ディーゼルが 1897 年に運転に成功した直後に MAN 社で製作された初期のディーゼル機関で、世界に数台しか現存しない貴重なものである。
2	E-B8 吸入ガス発動機	実機	ダイハツディーゼル	発動機製造	1913	英国から購入した自社設備のガス発動機をもとに国産化した初期のガス発動機で、残存する最古のものと推測する。
3	LP2 型ディーゼル機関	実機	新潟原動機	新潟鐵工所	1928	国産初の船用ディーゼル機関 M4Z 型 (1919 年製) と同型 2 気筒機関で九州帝国大学 (現九州大学) の実験機として 70 年あまり使用されたのち、新潟原動機に寄贈された。
4	HB-5 型ディーゼル機関	実機	ヤンマー	山岡発動機	1933	世界初の小型 4 サイクル水冷横型ディーゼル機関で、単筒 5PS、通称「横水」と呼ばれ小型ディーゼル機関の代名詞になった。
5	微粉炭炊ディーゼル機関	実機	赤阪鐵工所	赤阪鐵工所	1934	世界的に見ても珍しい微粉炭炊ディーゼル機関の試験機で、実用には至らなかったが後の木炭ガスエンジンの技術開発などに継承された。
6	TN8E 型ディーゼル機関	実機	船の科学館	新潟鐵工所	1954	南極観測船「宗谷」主機関として 2 基搭載された国産の 2 サイクル機関で、船とともに保存されている珍しい機関である。



注1. *印は現存する機関にほとんど適用されている技術である。

開発技術	2サイクル機関・複動機関	過給機関	高過給化・中速ギヤード	多種燃料
外航船	無気噴射	大型化(大口径化)	低燃費・低質油	環境対応
	ディーゼル船の黎明	戦時標準船から自社開発へ	提揚機関とギヤードディーゼル	国産大型化
内航船	ディーゼル船の黎明	内航船のディーゼル化	省エネ型の開発・超長行程機関	低NOx機関・電気推進船
	国産機を製造開始	海務院型低速シリーズを各社製作	1964ダイハツは石炭船4基1軸輸入	1980年代2弁式低速機関普及
フェリー	フェリー前史	フェリー時代の幕開け	高過給化と大型化の進展	超大型低燃費・低NOx機関
	1910関門海峡フェリー就航(蒸気機関)	1955青函連絡船に初のディーゼル搭載	1964川崎MAN V8V22/30mAL(普函)	1983「ニューやま」と「中速12000PS搭載
漁船	ディーゼル漁船の黎明	機関のシリーズ化と過給機関	大型化・高過給化・低燃費	低NOx・保守性向上
	1920「第二大洋丸」に初のディーゼル	捕鯨船・トロール船に大出力機関	1960年代に小型機関に過給機装着	1980年代2弁式低速機関普及
艦艇	西欧技術の導入による国産化	海保	低速から中速機関へ	高速大出力機関
	1911川崎造船/MANI(独)	1930艦本式22号10型2350PS(潜水艦)	1951「宗谷」に2サイクル2400PS搭載	1988富士16PA4V型高速機関(180GT型)
	1915川崎造船/Fiat(伊)	1932艦本式1号10型6300PS	1954池良/新潟700PS(350GT巡視船)	1991新潟8MG32CLX型(1000GT型)
	1917日本海軍/Sulzer(スイス)	1942艦本式13号12型9600PS「日進」	1978HI/NKK/新潟12PC2-5V(ヘリ巡)	1998三井16ADD30型(測量船)
	1920三菱神戸/Vickers(英)	1943MAN M9V40/46型(PC2原型)	国産2サイクル機関と提携4サイクル機関	国産高速機関の開発
	1920神戸製鋼/Sulzer(スイス)	1944新潟SV型(戦後の国鉄機関原型)	1956三井950VBU61型(護衛艦)	1988三菱S12/16U-MTK型(護衛艦)
	などが潜水艦の主機関用に国産開始	1945三菱東京ZC707型(魚雷艇)	1960三井1235VBU45V(護衛艦)	1990三菱6NMU-TAI(掃海艦)
			1979三菱12ZC15/201型(掃海艇)	1997三井12V42M-A(掃海母艦)

1900	1925	1945	1960	1980	2000
技術開発	複動機関	過給機関	高過給化	多種燃料	
	空気噴射から無気噴射へ	大形化(大口径)	低燃費・低質油	環境対応	
陸用機関	国産機関の誕生	2サイクル、4サイクル並存時期	大型発電プラント、低質油・低燃費	超大型機関、低NOx機関	
	1917三菱神戸初のディーゼル機関製作 1920新潟が山科絹布にディーゼル納入 1926池貝が無気ディーゼルの陸軍に納入	1926伊藤鉄工無気ディーゼルを帆布工場に納入 1928新潟は2サイクル1650PS発電用納入 1930三菱横浜はポンプ用ディーゼル納入 1932三井450PSディーゼルの発電用に納入 1939ダイハツがNHKに非常用ディーゼル納入	1952三井300PS発電機関を橋本チエーンに納入 1952新潟は雄鳥発電機関の初号機納入 1955ヤンマーは電電公社向無停電装置納入 1958新潟はアルゼンチン向発電機30台納入 1959三菱神戸は電電公社向非常用機関納入	1980年代MAN社58/64型、SEMT社PC4-2型など2000PS/cyl級出現 1990年代コジェネ用低燃費・低NOx機関の内外競争(三菱KU30、新潟32CX、バルチラ32等)	
ガス機関	国産ガス機関の誕生	石炭・木炭ガス用機関	二元燃料機関・ストイキ燃焼機関	希薄燃焼低NOx機関	
	1908発動機製造が国産初のガス発動機開発 1914鉄道省がMAN型2400を発電用に設置 1915発動機製造が日立鉱山に400PS3台納入	1950年代天然ガス、木炭ガスなどの代替燃料使用が盛ん	1963神戸製鋼がCooper社ガス機関提携 1970年代SEMT社、富士などが二元燃料機関開発	1980年代ディーゼルメーカー各社が低NO高効率機関を開発(効率40%超) 2000年代希薄直噴と希薄二元機関の出現	
機関車	国産機関の誕生	過給機関の導入と国鉄制式機関誕生	高過給化の進展	民営化による世界調達	
	1932池貝/神戸製鋼が入換用DB10型に60PS納入 1936新潟が本線用DD10型に500PS納入	1957 Sulzer 8LDA25A型(DF50用) 1958 MAN V6V22/30mA型(DF50用) 1958 DMF31S型370PS国鉄制式機関誕生	1960 DML61S型1000PS(DD51用) 1966 DML61ZA型1250PS(DE10用) 1970 DMP81Z型2000PS(DE50用)	1992 MTU 12V396TE14型1700PS 1999コマツSDA12V170-1型1800PS	
気動車	国産機関の誕生	国鉄制式機関の誕生	国鉄制式機関の高度化	民営化による世界調達	
	1933新潟が国産初の85PSをキハ1に搭載 1935三菱が国産機関を製作(キハ41000) 1937国鉄と民間3社で初の横型機関製作	1951振興などが共同で国鉄制式機関開発 1958国鉄制式DMH17C 180PS誕生 1960国鉄制式DMF31HSA(機型「キハ60」)	1960 DMH17H型機関誕生(ベストセラー) 1963 DMF15HZA/DML30HS誕生	1986 DMF13HS型(キハ185系) 1989コマツSA6D125H型(2000系) 1990カミンズC-DMF14HZ	



国立科学博物館 技術の系統化調査報告 第12集

平成20(2008)年3月28日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館
産業技術史資料情報センター
(担当：コーディネイト・エディット 永田 宇征、エディット 大倉敏彦・久保田稔男)
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20
TEL：03-3822-0111
- デザイン・印刷 株式会社ジェイ・スパーク