

# 新しい環境基準に適應した 船用エンジン

## 地球に優しいディーゼルエンジンを効率的に開発

動力近代化は人々の生活を画期的に豊かにした一方で環境負荷を増大した。そのため 1970 年に、生活環境に影響が大きい自動車用エンジンに対して、アメリカが世界初の厳しい排ガス規制を課した。昨今の健康や地球環境保護への意識高揚から、船舶用エンジンの排ガス規制の強化が 2016 年から計画されている。規制に適合するエンジンシステムの適時市場投入が必須であり、効率的な開発手法がエンジンメーカー生き残りの鍵を握る。

株式会社 IHI  
技術開発本部

山田 剛



2 ストローク低速エンジンを搭載した大型コンテナ船  
(アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド社建造)



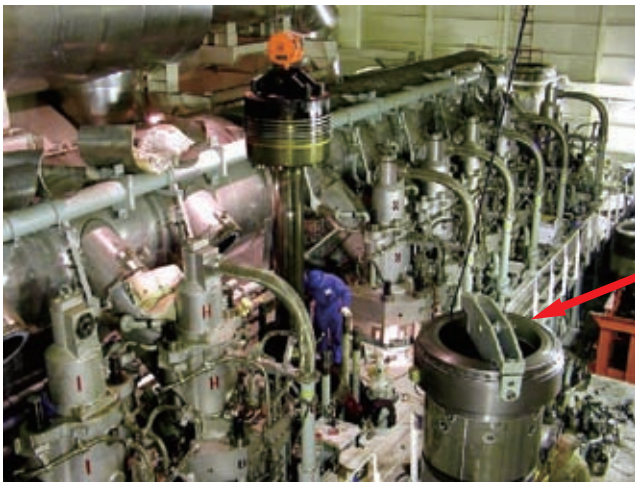
ディーゼル ユナイテッド社製 12RT-flex96C



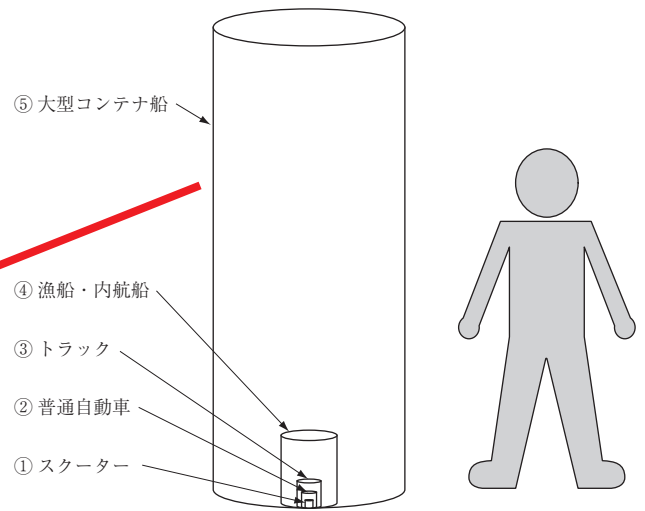
4 ストローク中速エンジンを搭載した内航船



新潟原動機社製 4 ストローク中速エンジン (6L17AHX)



大型コンテナ船内でのエンジンメンテナンス



各種エンジンのシリンダサイズの比較例

### 強化される海上での排ガス規制

複数の国を往来する外洋航路の船舶に対するさまざまな規制は、国際海事機関 (IMO) によって定められている。IMO は、海上航行の安全性、海運技術の向上、海洋汚染や海難防止などを目的とする国際的な取り決めを審議する機関で、1948 年に国際連合によって設置が採択され現在に至っている国際機関である。

自動車に対する排ガス規制は 1970 年に世界に先駆けてアメリカで施行されたが、船用エンジンでは 2000 年に初めて IMO によって排ガス規制が課せられ、段階的に規制が強化され、来る 2016 年からはさらに厳しい 3 次規制が行われる。3 次規制では排ガスに含まれる有害物質、すなわち窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>) などが規制対象となり、人口が密集する沿岸部隣接の指定海域で、特に排出量の規制が強化されることが特徴的である。

これらの規制に対応するために、エンジンシステム

などの研究開発が各国で盛んに進められているところである。

### 船舶ではディーゼルエンジンが主流

船用エンジンには長い間、石炭を燃料として使用できる蒸気タービンが用いられてきた。しかし、可搬性に優れた石油を燃料とし、燃料消費を飛躍的に低減できる船用ディーゼルエンジンが開発されたことによって、特に経済性が重視される商用船舶にはディーゼルエンジンが採用されるようになった。

船舶には国内沿岸を主に航行する内航船と、外洋を航行する外航船があるが、いずれもディーゼルエンジンで推進用のプロペラを駆動しており、前者は主に 4 ストローク中速エンジンが用いられ、後者は最大級の場合、出力は 80 800 kW に至る 2 ストローク低速エンジンが主に用いられている。IHI グループでは前者を新潟原動機株式会社が、後者を株式会社ディーゼル

項目	単位	①	②	③	④	⑤
主な用途	-	スクーター	普通自動車	トラック	漁船・内航船	大型コンテナ船
燃料	-	ガソリン	ガソリン	軽油	軽油・A重油	C重油
シリンダ口径	cm	4	7.5	12	28	96
総排気量	l	0.05	1.5	9.8	144	21 715
最高回転数	min <sup>-1</sup>	8 000	6 000	1 800	800	102
最高出力	kW	3.3	80	279	2 200	68 640

各種エンジンの比較例

ユナイテッドが製造している。

船舶を推進するプロペラは一般的に大口徑で、低回転させることで推進効率が向上することが知られており、船舶が大型化するほどプロペラ口径も大きくなるため、より低回転大トルク型のディーゼルエンジンが求められることとなる。内航船などの中型船舶では中速 (200 ~ 1 000 rpm) エンジンに減速機を組み合わせて所望のプロペラ回転数を得ることが多いが、外航船などの大型船舶では、低速 (70 ~ 130 rpm) エンジンがプロペラと直結され直径 10 m を超えるの大口徑プロペラを駆動し、高推進効率に貢献している。

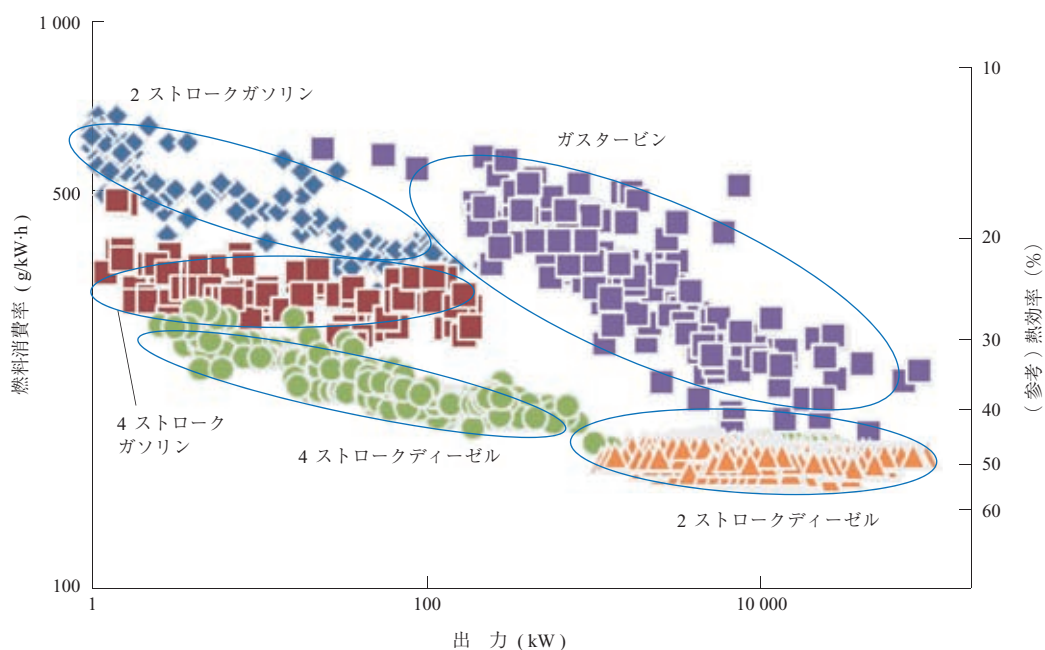
## 船用ディーゼルエンジンとは

これら船用ディーゼルエンジンは、潤沢な空気を最適化された形状の広い燃焼室空間に取り込み、別途吹き込まれる燃料を比較的高い圧力で燃焼させるため、燃料のもつエネルギーを効率的に機械的エネルギーに変換可能であり、他の原動機と比較して熱力学的に卓越した熱効率が得られる特長がある。そのため地球温暖化の一因とされる二酸化炭素の排出量低減手段として、トラックなどに代表される陸上交通手段から海上輸送への転換、いわゆるモーダルシフトが中速ディーゼルエンジンを搭載した内航船を中心に盛んに検討さ

れている。また、外洋航路を航行する大型船舶に搭載される大型低速ディーゼルエンジンでは、高効率の過給機との組合せによって熱効率が 50% を超えるものもあり、エンジン単体の熱効率で船用ディーゼルエンジンに勝る原動機は地球上に存在しない。

さらに、ガソリンなどの高価な軽質油類を蒸留精製した後に残る、不純物を多く含む粗悪で安価な重質油を燃料として使用できることも併せて、船用ディーゼルエンジンは地球環境に優しく、かつ、経済性に優れた輸送手段 (Ecology & Economy) を提供していると言える。たとえば、外洋を航行する大型船舶では燃料使用量が膨大 (DU-12RT-flex96C が 1 日に消費する燃料量は A 重油換算で約 275 t) であるため、わずかな熱効率の差でも二酸化炭素排出量や燃料代に大きな影響を与えることが容易に予想できるであろう。

また、ガソリンエンジンと比較して、構造が簡単で丈夫であるディーゼルエンジンは、長時間運転に適しているという特長も併せもつ。船用ディーゼルエンジンの年間稼働時間は約 7 000 時間に達するが、乗用車では 200 時間程度、比較的稼働率の高いトラックや建設機械でも 1 000 ~ 3 000 時間程度の年間稼働時間と言われていることと比較すれば、船用ディーゼルエンジンの高い耐久性や信頼性をうかがい知ることができる。



各種内燃機関の熱効率比較



一方、船用ディーゼルエンジンの特長である高効率や粗悪な重質燃料の安定燃焼を実現させるために、圧縮・燃焼圧力を高めていることから、丈夫な構造とする必要があるため小型化・軽量化が難しく、また、高効率を得る優れた燃焼形態は、 $\text{NO}_x$  や粒子状物質 (PM) の発生を助長し、特長と欠点の克服を両立させるためには高い技術力が求められる。

このような船用ディーゼルエンジンは、日常我々の身の回りに存在するエンジンとは比べものにならない大きさである。最も大きな船用エンジンは、25 m プール 1 杯分の空気をわずか 3 秒足らずで吸い込み、毎秒約 2 l の燃料油を飲み干し、エンジン全高は約 14 m と 4 階建てのビルに匹敵する。また、あまり知られていないが、大型 2 ストローク低速エンジンは自己逆転機能を備えており、歯車装置などの補助を要さずにプロペラを逆転させて、船を後進させることができることも、大きな特長の一つと言える。

日本の貿易貨物の 99.7% (2007 年：重量ベース) が船舶輸送に委ねられている実情を考えると、屈指の高効率を誇る船用ディーゼルエンジンが、頑丈で高い信頼性をもって日本経済を支えていると言える。

## 解析技術を駆使したエンジン開発

大きな船用エンジンの開発や改良などを行う場合、比較的サイズの小さな自動車用エンジンのように多くの実機を一度に試験運転に供し、幾度も実験を繰り返すことは、経済性や機動性の点で不合理である。そのため信頼性や耐久性を検証する手段として構造解析や機構解析が用いられ、エンジン性能を最適化するために重要な流体の挙動や燃焼状態の推定には流体解析や燃焼解析などの数値シミュレーションが多用されている。

厳しい排ガス規制に適合するエンジンを開発しようとするとき、新燃焼システムによる有害排気物質生成抑制や排気浄化システムなどによる有害物質の除去、または有害排気物質が生成され難い、低硫黄燃料、LNG (Liquefied Natural Gas：液化天然ガス) やバイオ燃料などへの燃料転換が有効な手段となるが、いずれの場合も高度な技術開発を要する。

これらの厳しい排ガス規制に対応したエンジン開発では、多くのエンジン部品を新規開発する必要がある。

り、それらの部品の信頼性や耐久性の検証手段として構造解析などが重用されている。また、特に中型船舶に搭載される機会の多い 4 ストローク中速エンジンでは、狭いエンジンルームに適合したコンパクトなエンジンが求められることから、最適設計や各部品相互間の影響などを、設計パラメタの多変量解析として数値シミュレーションによって検証する技術も近年では重要な戦力となっている。これらの解析手法によって、エンジン開発期間の短縮と精度の高い最適化が可能となり、実験主体の開発では到達困難な軽量化にも成功するに至っている。

さらに、燃料転換や燃焼改善を行う場合、エンジン内の空気や燃料などの挙動や燃焼状態を推定して、意図する燃焼やエンジン性能を実現するために流体解析・燃焼解析やエンジン性能シミュレーションなどが重要となるばかりでなく、これらは実機実験結果の現象把握を論理的に助ける必要不可欠な手段となる。これらは、未経験ゾーンに踏み込んだ対応策などを模索する際に特に有効性を発揮する。

構造解析や流体解析などの数値解析では、適切なモデル化や境界条件などの設定が必要となり、これらは機械的・一義的な操作ではカバーできず、エンジンメーカーが独自に自社エンジンに合わせて蓄積した経験が、大きく解析結果の精度に影響する。また、解析結果と実験結果の突合せなどを通じて、現象の論理的理解を促進し、新たなノウハウの蓄積にも大いに貢献している。

造船事業をルーツの一つに持つ IHI グループは、卓越した船舶関連技術を有しており、また多種多様な製品群の開発を支える豊富な基盤技術力を蓄積している。これらの上に長年のエンジン開発で培われた豊富な知識とノウハウ、および材料強度、温度、圧力、燃焼などに関するデータベースを駆使して、スピーディーで効率的なエンジン開発を行っている。

問い合わせ先

株式会社 IHI

技術開発本部 管理部

電話 (045) 759-2213

URL: [www.ihico.jp/](http://www.ihico.jp/)