

船の種類

はじめに

船体全般項目

船の種類コース

私たちの身近な暮らしから、日本そして世界の経済まで支える船。船には、商船（貨物船、客船、フェリー、運搬船など）や漁船（各種漁船、トロール船など）、特殊船（氷冠フェリー船、知床観測船など）ほか多様な種類があります。このコースでは商船の種類について解説します。

1. 学習目標

商船の代表的な種類とその特徴について説明できる。

船の種類-概要

定期船で運送する船の1つ：コンテナ船

MOL EFFICIENCY

不定期船の貨物は、木材、農産物、LNG（液化天然ガス）、LPG（液化石油ガス）、自動車、航空機、船舶など、多種多様な貨物を運送する。

SWIFT ACE

定期船と不定期船
商船のうち貨物を運送する船は、運航形態により以下の2つに大きく分類されます。
定期船：寄港地とスケジュールが決まっている定期航路に就航する船。
（海上輸送で言えば、電報や路網（バス））
不定期船：貨物に合わせて寄港地とスケジュールが決まる。
（海上輸送で言えば、タクシー・貸切バス）
■外航船と内航船
船が就航している海域でも呼び方が異なります。
外航船：外国航路に就航。
内航船：国内航路に就航。
貨物船の種類については、以降のページで説明します。

コンテナ船 (1)

MOL EFFICIENCY

コンテナ船は、衣類や電気製品などの生活雑貨から危険品まで多種多様な貨物が収納された**国際規格の海上コンテナ**を運送します。コンテナは荷役人がシャーンつきのトレーラーでターミナルに持ち込み、積み込まれます。離れ地でもコンテナのままで、受け荷主に届けられます。

■コンテナ：立方体の構造物（スチール製）。
貨物によって、天井高がない**オープントップコンテナ**、冷凍冷蔵品を積み込む**リファレーター**（冷凍コンテナ）などを使用。
幅：8フィート（約2.4m）
高さ：8.6/9.8フィート（約2.6/2.9m）
長さ：20/40/45フィート（約6/12/13.5m）

コンテナに積まれた貨物はトラックや鉄道などへの積み替えが容易、天候に左右されず短い時間で荷役可能。

提供：(株)商船三井

コンテナ船 (2)

荷役設備のあるコンテナターミナルに寄港

コンテナ船の特徴としては以下が挙げられます。
★荷役設備のあるコンテナターミナルに寄港するため、船には荷役設備（クレーン）を装備していない。
★安定した港湾スケジュールを維持するため、他の種類の船より高運航性能を持つ。
荷役の迅速化とともに、海陸一貫による**ドア・トゥ・ドア輸送**を実現し、国際定期船運に画期的な変化をもたらしました。1970年代、国際海上コンテナ船運は急激に伸び、コンテナ船は一気に大型化。2,000 TEU前後の定期コンテナ航路の主力となりました。大型化傾向はその後も続き、1988年には、4,000TEUクラスの**スーパーマックス**型（パナマ運河を通航できるサイズを超える船型）が登場。さらに2000年代に入ると全長300メートルを超える10,000TEUクラスも登場しました。

MOL EFFICIENCY

提供：(株)商船三井

タンカー (1)

原油タンカー：原油の輸送に適するようつくられた船

KASAGISAN

LNG船：液化天然ガスの輸送に適するようつくられた船

ENERGY PROGRESS

提供：(株)商船三井

■液体貨物を運ぶ船
液体を運ぶにはドラム缶などに比べて一般貨物船で、あるいはタンクコンテナに比べてコンテナ船で運ぶことも可能ですが、効率的かつ大量に輸送するため、各々の液体貨物に適した専用船で運ぶのが普通です。
原油タンカー、
タミカタンカー、プロダクトタンカー、
LNG船、
LPG船
などがこのグループに属しており、操縦に船のポンプが使用されるのが大きな特徴です。

タンカー (2)

KASAGISAN

■原油タンカー
タンカーといえば通常、**原油タンカー**を指します。原油を運ぶ専用船です。
何種類かの原油を積み分けられるように、通常は縦2-3つの区画に仕切られたタンク状の船倉（カーゴタンク）を持ち、さらに船倉間に区画に分割されています。船のバンプと舷上のパイプを結合すればポンプによる荷役が可能のため、岸壁などの施設を必ずしも必要とせず、水深の深いところと比較的簡単に**離岸型**（シーバース）を設けることができるため、船の大型化に拍撃がかりました。

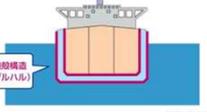
離岸型基地（シーバース）
操縦せずに離岸型基地となり船の大型化に拍撃

提供：(株)商船三井

タンカー (3)



KASAGISAN



二重船殻構造 (ダブルハル)

提供: (株)商船三井

日本経済や暮らしをエネルギーから支える原油を効率的に大量輸送するため、中近東などからの日本向け原油輸送にはVLOC (Very Large Crude Carrier) と呼ばれる20万トンから30万トン級の大型船が一般的に利用されています。

海運業界では環境に配慮して、万が一の際の原油流出を最小限に抑え、海洋を汚染しないために「二重船殻構造」(ダブルハル)船體と船底の二重構造化とすることを1996年7月に決まされた原油タンカーに義務付けました。

タンカー (3)

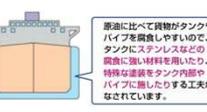
船名	KASAGISAN
船種	原油タンカー
総重量トン数 (MT)	302,478
全長 (m)	233.0
全幅 (m)	30.0
満載排水力 (t)	27,300
速力 (ノット)	13.8
船級	船級協会-PG



タンカー (4)



PIONEER EXPRESS



原油に比べて貨物がタンクやパイプを腐食しやすいので、タンクにステンレスなどの腐蝕に強い材料を用いたり、特別な塗装をタンク内部やパイプに施したりする工夫がなされています。

提供: (株)商船三井

■プロダクトタンカー
原油・軽油・灯油など石油精製品を運送する船がプロダクトタンカーです。基本的な船体構造や積荷方法は原油タンカーと同じですが、多種類の貨物を積み合わせるように、タンク数を多くしている船もあります。それに応じてパイプラインやカーゴポンプもタンクごとに独立させ、個々の石油精製品が混ざらないように配慮されています。

■ケミカルタンカー
ベンゼン・トルエン・アルコール類などの液体化学製品を主に運送船を、ケミカルタンカーと呼んでいます。運ばれる化学製品には酸類などの危険なものもあり、そうした貨物を運ぶために、万一事故が起きたりしてもできるだけ船外に漏れさせない構造になっています。

タンカー (4)

船名	PIONEER EXPRESS
船種 <td>プロダクトタンカー</td>	プロダクトタンカー
総重量トン数 (MT) <td>46,728</td>	46,728
全長 (m) <td>179.8</td>	179.8
全幅 (m) <td>29.2</td>	29.2
満載排水力 (t) <td>8,600</td>	8,600
速力 (ノット) <td>14.5</td>	14.5
船級 <td>WORLD WIDE</td>	WORLD WIDE

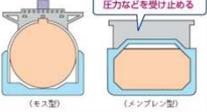


■プロダクトタンカー
原油・軽油・灯油など石油精製品を運送する船がプロダクトタンカーです。

LNG船



ENERGY PROGRESS



タンクと船体で圧力を受け止める

(モス型)

(メンブレン型)

提供: (株)商船三井

マイナス162℃に冷却し、液化した天然ガス (Liquefied Natural Gas = LNG) を専用の運送船をLNG船とします。

メタンが主成分のLNGは、気体をそのまま容積に入れて運ぶためには膨大な容積が必要ですが、液化を行うことで容積が約800分の1になり、効率的な輸送が可能となります。

LNGの沸点はマイナス161.5℃と非常に低いため、超低温に対応した特殊な材質のタンクや船体、荷役の事故を防ぐ緊急凍結装置など、最も高度な技術が要求される船です。ほぼ沸点に近い状態で輸送となるため、輸送中に液化した天然ガスを燃料として使うことの出発する蒸気タービンエンジン船が珍しいのも大きな特徴です。

かつては125,000m³型が主流でしたが、徐々に大型化が進み、現在は145,000m³型が標準船型となっており、さらに200,000m³を超える大型船の建造が予定されています。1隻の125,000m³型LNG船1航路で、一般家庭約20万戸の1年分のガス使用量を輸送することが出来ます。

LNG船

船名	ENERGY PROGRESS
船種 <td>LNG</td>	LNG
総重量トン数 (MT) <td>79,963</td>	79,963
全長 (m) <td>200.5</td>	200.5
全幅 (m) <td>48.0</td>	48.0
満載排水力 (t) <td>24,000</td>	24,000
速力 (ノット) <td>19.5</td>	19.5
船級 <td>船級協会-標準</td>	船級協会-標準



マイナス162℃に冷却し、液化した天然ガス (Liquefied Natural Gas = LNG) を専用の運送船をLNG船とします。

ばら積み船 (3)

船名	KAIEN
船種	石炭専用船
総積載トン数 (MT)	68,000
全長(m)	229.8
全幅(m)	38.0
満載排水力 (tW)	12,200
速力(ノット)	14.7
航路	主に日本-東南/インドネシア

ばら積み船 (4)

■木材チップ専用船
紙の材料になる木材チップ（一枚6~7cmの木片）を専門に運ぶ船です。
木材チップは鉄鉱石や石炭と異なり、比重が軽微に小さいので、出来るだけ大きな貨物スペースを必要とします。
穀物のような流動・腐りの心配がないため、トップサイドタンクを必要とせず、図のように船倉を船間ぎりぎりまで広げて貨物スペースを最大限にとった船型になっています。大きさは4~5万トン級が主流です。

積荷は港にあるローダーという荷役装置で行い、船が荷役は荷役装置のない港に寄港するために船に装備されたクレーンと、木材チップを積上に送り出すためのベルトコンベアを使用するのが一般的です。

■トップサイドタンクを必要とせず、船倉を船間ぎりぎりまで広げて貨物スペースを最大限にとった船型

提供：(株)商船三井

ばら積み船 (4)

船名	ALBANY PIONEER
船種	木材チップ専用船
総積載トン数 (MT)	52,000
全長(m)	303.5
全幅(m)	37.5
満載排水力 (tW)	8,100
速力(ノット)	14.4
航路	主に日本-東南/南米/中米

重荷物運搬船・モジュール船

■重荷物運搬船
プラント部品・大型建設機械・ヨット・船舶など、一つの貨物の重量が約30トンを超える重荷物を専門に運ぶ船です。
一般貨物船とはほぼ同じ構造をしていますが、船倉内に入らない大きな貨物にも対応するため、デッキ上にも貨物を積み重ねようになっています。

船倉の高さも可能な限り大きくとっています。また重荷物の荷役中に船体が大きく傾斜することを防ぐため、大容量のバラストタンクを船尾に設置しています。

荷役の要となる貨物の積み揚げ装置には強力なクレーンを採用。800トンの吊り上げ能力を持つような、力持ちの船もあります。

■強力なクレーンを採用

提供：(株)商船三井

重荷物運搬船・モジュール船

船名	POSEIDON TRIUMPH
船種	重荷物運搬船
総積載トン数 (MT)	12,214
全長(m)	117.8
全幅(m)	21.0
満載排水力 (tW)	3,900
速力(ノット)	19.0
航路	WORLD WIDE

■強力なクレーンを採用

自動車専用船 (1)

自動車専用船は、PCO (Pure car carrier) あるいは PCTO (Pure car and truck carrier) と呼ばれ、その名の通り純粋に自動車（自走できる建設機械を含む）を輸送対象に設計された船です。

クレーンなどの荷役装置を持たず、船前と船尾部の入り口から岸壁側にランプウェイ（センターランプ・スターンランプ）を突出し、その上を専用のドライバーが自動車を運転して岸壁から船内に積み込んだり、船内から岸壁に降揚げしたりする荷役方式をとっています。

このような荷役方式をロールオン・ロールオフ (RO/RO) 方式と呼んでいます。これに対して、岸壁のクレーンなどを使用して貨物を積み・降揚する方式をリフトオン・リフトオフ (L/O/L/O) 方式と呼びます。

■専用のドライバーが自動車を運転

■ランプウェイ

提供：(株)商船三井

自動車専用船 (1)

船名	SWIFT ACE
船種	自動車専用船
総トン数 (MT)	56,695
総積載トン数 (MT)	5000位
全長 (m)	200.0
全幅 (m)	38.0
総積載能力 (台)	15,100
速力 (ノット)	20.7
航路	WORLD WIDE

提供: (株)商船三井

自動車専用船 (2)

積み付け間隔
前後30cm、
左右10cm

一部デッキは
車高に合わせて
高さの調節が可能

立体駐車場のような
デッキ構造

船内は何層ものデッキ構造になっており、全体として立体駐車場のような構造をしています。

できるだけ多くの車を積めるよう、車と車の積み付け間隔は前後30cm、左右10cmほどです。

大部分の貨物は乗用車・商用車ですが、大型バス・トラックなどの車両や建設機械なども積み込めるよう、一部デッキは車高に合わせて高さの調節が可能になっています。

現在主流の最大船型では約6,400台（基本小型車）の乗用車が積載可能です。

提供: (株)商船三井

客船

クルーズ船
「日常を離れ、豪華な海上の時間を過ごしたい」、こんな夢がかなえられるのが、レジャークルーズのための客船、クルーズ船です。

船内に娯楽を楽しんでいただくために、何層にもわたるデッキにはさまざまな客室やレストラン・ラウンジ・映画館・バー・劇場などの設備が配置されています。乗船中はショーやイベントで充実した時間を過ごすことができ、またゆったりと過ごすことができます。さらに入浴施設や温泉施設、プティックなどの施設も完備しています。いわば動く「リゾートホテル」、昼やかな時間の流れが、船客を楽しませてくれます。

機械的防振装置「フィスタビライザー」を備えて乗り心地を良くした船や、船の操作性を向上するためにバウスラスト（船の横方向への推進力を出す装置）、可変ピッチプロペラ（向きを変えられるスクリュー）などを装備した船が一般的です。

日本のクルーズ船の場合、船客定員は300~400人が主流になっていますが、海外のものでは、2,000人を超えるものもあります。

提供: (株)商船三井

客船

船名	たつぽん丸
船種	客船
総トン数 (MT)	21,903
総積載トン数 (MT)	6000位
全長 (m)	166.0
全幅 (m)	24.0
総積載能力 (台)	2,700
速力 (ノット)	18.0
航路	WORLD WIDE

提供: (株)商船三井

フェリー

「モーダルシフト」の担い手...
自動車貨物輸送と比べ、
CO₂の排出量が相対的に少ない

モーダルシフト

自動車による貨物輸送に比べて、温室化の原因とされるCO₂の排出量が相対的に少ないため、中長距離の幹線貨物輸送機関をトラックから海運などに転換する「モーダルシフト」の担い手としても、大いに期待されています。

一般的に船体下部には自動車・貨物車などの収容スペースがあり、前部・後部または側面に設けられたランプウェイで、P/O方式により積み降ろしされます。上部デッキは客室・レストランなどに充てられます。

最近の高距離フェリーは大型化の傾向にあり、客船のような豪華施設を備えた船もあります。

提供: (株)商船三井

フェリー

船名	さんらわーさっぽろ
船種	フェリー
総トン数 (MT)	13,654
総積載トン数 (MT)	積載能力約3000台
全長 (m)	152.0
全幅 (m)	27.0
総積載能力 (台)	13000
速力 (ノット)	24.0
航路	大東-浜小浜

提供: (株)商船三井

作業船 (1)



ANDROMEDA V

提供：五洋建設(株)

港湾における工事、海洋における大型構造物の築造工事等、工事で活潑する船舶を総称して作業船と呼びます。水深を深くするため海底の土砂を掘削する「浚渫船」、港湾構造物の掘削を行うクレーンを搭載した「築港船」、海底の軟弱地盤を強固に改良する作業船等、その用途に合わせて様々な作業船が活躍し、現在日本では10,000隻以上の船が就役しています。

海洋土木工事は、海上あるいは海中等の気象・海象条件の影響を受けやすく、一般船舶と比較し特殊な形状および構造をしています。海洋フロントや高性能なGPS、自動操縦技術など精度の高いシステムを搭載しているほか、CO2の排出量を低減する環境面にも配慮した作業船も増えています。

写真の自航式浚渫船「ANDROMEDA V」は、海底に埋設させたドラグヘッドを通して、浚渫ポンプにより海底の土砂を海水とともに吸引し込み、船内のホッパー（容積20,000立方メートル）に土砂を積載して運搬し、土砂を排出することができる大型ドラグサクソン浚渫船です。

作業船 (1)

船名	ANDROMEDA V
総トン数 (T)	22,049
長さ(m)	166.7
幅(m)	31.0
深さ(m)	12.5
排水量(トン)	13.0
排水深度(m)	30~70
浚渫ポンプ(揚力)出力(kw)	241,000
浚渫ポンプ(揚力)出力(kw)	270,000
ジェットポンプ出力	21,350
主機関出力(kw)	27,000
機関出力(kw)	27,000

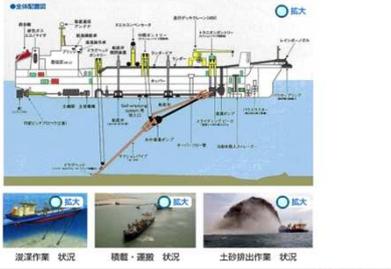


ANDROMEDA V

作業船 (2)

自航式浚渫船「ANDROMEDA V」は、海底に埋設させたドラグヘッドを通して、浚渫ポンプにより海底の土砂を海水とともに吸引し込み、船内のホッパー（容積20,000立方メートル）に土砂を積載して運搬し、土砂を排出することができる大型ドラグサクソン浚渫船です。

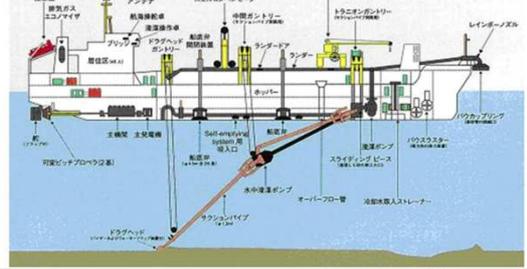
●全体配置図



浚渫作業 状況 積載・運搬 状況 土砂排出作業 状況

作業船 (2)

●全体配置図



作業船 (2)

自航式浚渫船「ANDROMEDA V」は、海底に埋設させたドラグヘッドを通して、浚渫ポンプにより海底の土砂を海水とともに吸引し込み、船内のホッパー（容積20,000立方メートル）に土砂を積載して運搬し、土砂を排出することができる大型ドラグサクソン浚渫船です。



浚渫作業 状況

浚渫作業 状況 積載・運搬 状況 土砂排出作業 状況

作業船 (2)

自航式浚渫船「ANDROMEDA V」は、海底に埋設させたドラグヘッドを通して、浚渫ポンプにより海底の土砂を海水とともに吸引し込み、船内のホッパー（容積20,000立方メートル）に土砂を積載して運搬し、土砂を排出することができる大型ドラグサクソン浚渫船です。



積載・運搬 状況

浚渫作業 状況 積載・運搬 状況 土砂排出作業 状況



船速と機関出力

はじめに

船体全般項目

船速と機関出力コース

このコースでは船の船速や船体、推進、機関出力、シーマージン、機関（プロペラ）回転数マージンについて解説します。

学習目標
船速と機関出力の概要について説明できる。

船速と主機出力 (1)

船の**速力性能**は船速と主機出力の関係を表す出力曲線図(左図)で評価されます。

これは、風波、潮のない平坦な海面を、船が所定の荷物を積んだ状態で、ある主機出力で運転した場合に、どれだけの船速で航行できるかを示します。

【出力曲線図：ある船の「船速vs出力」関係の一例】

船速と主機出力 (2)

船の設計においては、この出力曲線を精度よく推定すること、またより少ない出力で所定の船速が出せる船型を開発することが求められます。

ここで、それぞれの船速における主機出力は次のように表すことができます。

$$BHP = \frac{EHP}{\eta}$$

BHP：主機出力(Brake power)
EHP：船速Vにおける船体抵抗である船を、船速Vで航行するのに必要な仕事率
 η (推進効率)：主機出力が船を航行させるのにどれだけ有効に使われたかを示す係数(低速船の場合、一般的に0.6-0.7程度)

従って、船の速力性能は、船の抵抗特性によって決まるEHPと推進性能によって決まる推進効率 η から構成されます。

【出力曲線図：ある船の「船速vs出力」関係の一例】

仕事率と船体抵抗

EHPは船を一定の速度で曳航する仕事率と等しいので、抵抗と船速から次のようになります。

$$EHP = R \times V$$

R：抵抗
V：船速

ここで、船が航行するとき、船が水から受ける抵抗Rは大きく、粘性抵抗Rvと造波抵抗Rwに分けて考えることができます。

$$R = Rv + Rw$$

■粘性抵抗
船体表面を流れる水の粘性に起因する抵抗が粘性抵抗です。粘性抵抗は船と水との摩擦成分と船体後方の渦流が生み出す圧力成分から構成されます。

■造波抵抗
船が航行中に船体の周囲に波が発生します。この波の発生のために消費されるエネルギーに相当する抵抗が造波抵抗です。

実船の抵抗は、模型船による水槽試験、理論計算等を用いて推定

水槽試験(三井造船船体研究所)

推進効率

船の推進性能を決める効率には次の4つの要素があり、それらの積が推進効率になります。

$$\eta = \eta_H \times \eta_D \times \eta_P \times \eta_R$$

η_H (伝達効率)：船体の船体による機械的な損失を表す係数
 η_D は一般船舶において0.97-0.99程度
 η_P (船殻効率)：プロペラと船体との相互作用、干渉の影響
 η_R は一般船舶において1.1-1.3程度
 η_P (プロペラ効率)：一般流中で単独で回転するプロペラがトルクをスラストに変換する効率
 η_R は一般船舶において0.5-0.7程度
 η_R (プロペラ効率)：船尾での複雑な流れにおけるプロペラ効率とプロペラ推進効率との比
 η_R は一般船舶において0.95-1.05程度

ここで、 η_H は船を受ける構造から、 η_D はプロペラの形状から、 η_P 、 η_R は船型とプロペラの形状から決まります。

主機出力

主機出力は、主に連続最大出力(MCO)と常用出力(CSO)があります。

MCO: Maximum Continuous Output
CSO: Continuous Service Output
CSOはMCOの75-80%に設定するのが一般的です。

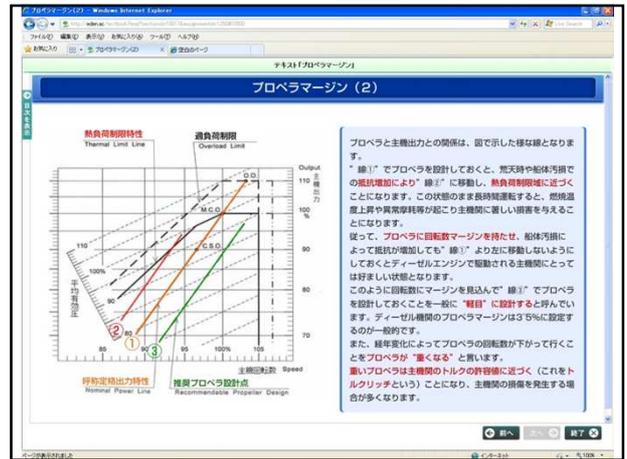
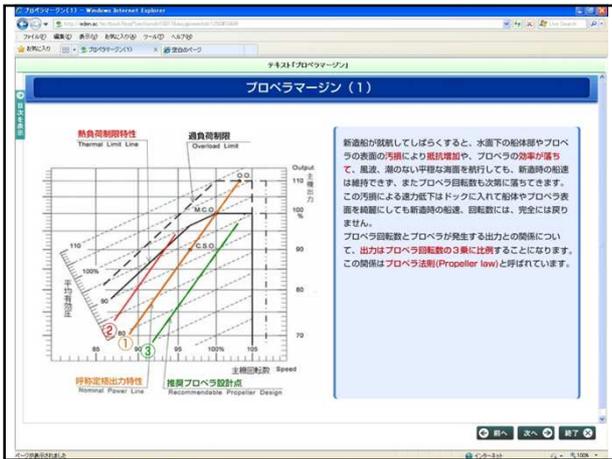
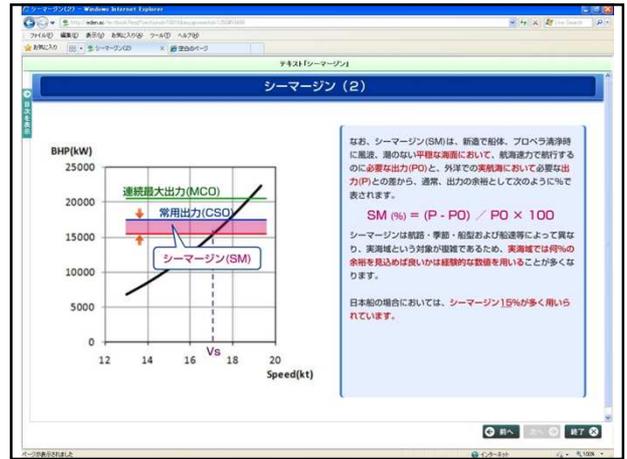
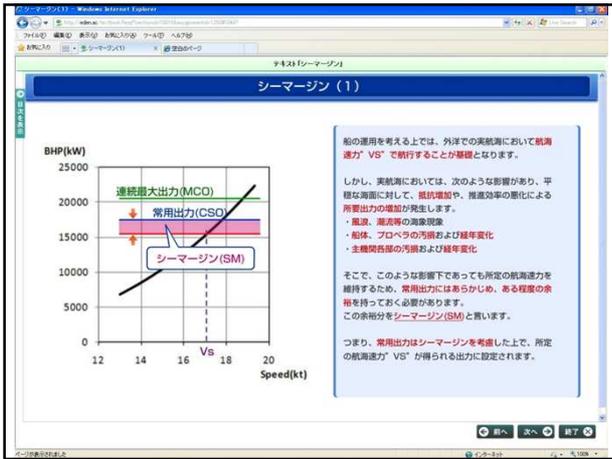
■連続最大出力
機関が安全に連続使用できる最大の出力であり、機関、軸系、プロペラ等の強度の基礎となる出力です。

■常用出力
航海速度を得るために採用する出力で、主機効率や保守の点から経済的な出力です。また、航路距離や燃料消費等、運用の基礎となる出力です。

その他の呼称としては、通常出力と後進出力等があります。

■後進出力
連続最大出力を超えて短時間発揮できる出力です。

■後進出力
船の後進時に用いる最大出力です。



船舶の建造の概論

船舶の建造の概論

船舶は船主から造船所へ見積りが出され競争入札の上、注文されます。建造契約を交して設計を開始し、発注・引渡までに2~3年間の長いVVT(Vertical Time)が必要です。また、その建造の決定に当たっては、船主や船主を助ける企業など(プレイヤー)が関係しており、建造費や運賃は巨額の取引となるため世界経済の影響を大きく受け、プロジェクト的な側面となります。

船主がオーダーメイドにて注文生産され、建造までに船主と造船所で綿密な打合せと用途(貨物の種類・積積など)に応じた船の船体と設計を行い、船主、船協、造船所の共同作業で建造が進められています。

船主から造船所へ見積りが出され競争入札の上、注文されます。建造契約を交して設計を開始し、発注・引渡までに2~3年間の長いVVT(Vertical Time)が必要です。また、その建造の決定に当たっては、船主や船主を助ける企業など(プレイヤー)が関係しており、建造費や運賃は巨額の取引となるため世界経済の影響を大きく受け、プロジェクト的な側面となります。

船主がオーダーメイドにて注文生産され、建造までに船主と造船所で綿密な打合せと用途(貨物の種類・積積など)に応じた船の船体と設計を行い、船主、船協、造船所の共同作業で建造が進められています。

参考例：船舶に関わるプレイヤー(多種多様な関係者が存在)

船舶の建造工程、契約と基本設計

船舶の建造は、まず船主から造船所への引合(見積)があり、建造契約(受注)を交して詳細設計を開始し、必要材料・部品・船体の発注・加工・組立、船体加工(ブロック組立)、船台・ドックでのブロック積組、船主・船主との打ち合わせ、船内内装工事や様々な装置・機器の積組(せり)の工事が行われます。最後に海上試運転を行い航行性能の確認をした後、船主へ引渡されます。

引合(見積)から基本設計が始まり、「船舶に要求される仕様」、「現場にやさしい現場船舶とは何なのか」という船主と造船所との打合せが行われます。船主の希望する船舶の規模・大きさ・航行速度などの船体の仕様は計画され、船体仕様と見積(船台)の提示によって船主から造船所へ建造する旨の指示が出されます。

船舶のシステム全般を規定した詳細な契約仕様書、船舶の全体を示した一般船図面や、居住区配図、機関室配図等の基本計画の図面が作成され、建造費用、引渡時期などが決められ、建造契約書が交わされます。また、主機関などの大物機器は、建造契約後の早くにメーカーへの注文が行われます。

0.5~1年: 引合、基本設計、受注、詳細設計、資材発注

2~3年: 加工、ブロック組立、進水、積組、試運転、引渡

業務部門、設計部門、資材管理、倉庫、船体加工、船内内装、機器積組、船主・船主との打ち合わせ

詳細設計と資材発注

基本設計の仕様に基づき、建造に必要な詳細な設計図書や図面の作成(詳細設計)が進められます。詳細設計では、船体構造、居住区構造をはじめとする船体構造や、各種装置(船体、機器、電気)の設計が開始され、実際に船に搭載する部品の一つ一つの詳細設計が作成されます。その詳細設計によって船主と船協との図面承認が行われ、また、造船所とメーカー間でも図面の承認作業が行われます。

船協は資材発注が容易なため、コミュニケーションや解析、3次元CAD(Computer Aided Design)が多く導入され、コンピュータを使用し効率的に設計作業が進められています。

詳細設計では、建造に必要な材料、機器および部品のすべてを手にしており、大物機器を含め、その資材調達率は建造費の6割以上を占めます。船の構造を対角線や、荷物の積み下ろしを行うクレーンなどの荷役装置、機関室のエンジン、ポンプなどの機器やパイプなどの装置類、また電気、配管などの電気設備、イカリ、チェーンなど大きなものからネジのような小さなものまで、更に人が住むためのトイレやベッドや机やイスなど、多岐にわたる部品があります。

3次元CADによる機関室設計(例)

原価シミュレーションに必要な材料

材料	重量	体積	用途
鋼材	●重量: 200t	●体積: 1000m³	船体
銅材	●重量: 100t	●体積: 1000m³	船内内装
電気	●重量: 1000t	●体積: 1000m³	機器
パイプ	●重量: 1000t	●体積: 1000m³	配管
その他	●重量: 1000t	●体積: 1000m³	その他

鋼材加工、部材組立

①鋼材の搬入 ②鋼材の切断

③曲げ加工「熱間加工」 ④曲げ加工「冷間加工」

⑤小組立 ⑥中組立 ⑦大組立

①、②、③、④鋼材の搬入、切断、曲げ加工

船の構造を組む際は、工場に搬入された後に切断や曲げ加工を行い、建造が開始されます。

鋼材の切断では、省資源や廃棄物の発生を極力抑えるため、鋼材を無駄なく利用するよう、設計データからコンピュータの制御によるNC(Numerical Control)自動切断機で効率的に切断され、船の基礎的な部材に加工されます。使用される鋼材は厚いものでは6cm以上のものも有ります。

切断された鋼材は、プレスやローラーで曲げる「冷間加工」(3)や、バーナーにより熱変形させる「熱間加工」(4)により、複雑な形状をした船型部材や船殻部材が製造されます。

⑤、⑥、⑦ブロック組立

鋼材は、小組立・中組立・大組立という工程を経て大きなブロックに組み立てられます。これを「ブロック工法」といいます。

ブロック工法とドック内建造

⑧ブロック積組

機殻の位置、及び配管設備等の積組品(付属品)をブロックの段階で早期に取付けられる積組工事が行われます。ブロック工法では、あらかじめ地上工場での足場での施工のため、作業効率を向上させることができ、先行した積組工事が行えることで、建造期間を飛躍的に短縮できます。

⑨ブロック搭載、⑩ドック内建造

大組立されたブロックは、最終的に船台やドックで船の形に、組み合わせて密着させられ、この工程を「ブロック積組」といいます。最初のブロックを搭載するとき「配」と呼ばれる。ブロック積組では、クレーンで吊り上げてドックや船台まで運び、設置された後に溶接でつなぎ合わせて船の形にしていきます。造船所のクレーンには、1基1200トンを持ち上げられる巨大なゴライアスクレーン(門型クレーン)などがあります。

機殻で最も大きなものは主機関ですが、数万kWを発生するエンジンは小さな住宅ほどの大きさであり、一括搭載されますが更に大きな主機関ではエンジンを別立てして搭載される場合もあります。また、舵、スクループロペラ、羅、ウインドラス(羅を巻き上げる機械)、煙突など、あらゆる積組品が、荷役機種の大きさに応じて、船とクレーンシステムを機軸に計画して、次々に組み込まれていきます。

⑧ブロック積組 ⑨ブロック搭載、ブロック積組(溶接) ⑩ドック内建造

船舶の進水

⑪進水

船体が引き出されると、進水です。積組した台を滑走する船台方式と、ドックという大きな船に水をいれて浮かせられるドック方式があります。

船台方式では、進水式が行われます。船台の傾斜は約3度、その上には2本のレールが敷かれ、船内設計のボールと同じ大きさの鉄の玉が数千個敷き詰められています。船が勝手に滑り出さないよう、固定装置がしっかりと取り付けられています。進水式が完了すると、その固定装置を外され、船と船をつなぐブロックのような装置を吊るリフトのみで船が支えられます。装置によって、トリガーが同時に引っ張り込まれると、船が滑り出すという仕組みになっています。

ドックで建造の場合は、ドックに注水して船を浮かせ、タグボートでドックの外へ引き出します。この方式では、進水式が行われず、完成して引き出す時に命名式を行うことが多くなります。

<船台進水の仕組み>

船主と造船所の関係者が出席して船の命名式が行われ、船の支えが切り分けられ、船の先端に取り付けられたクレーンが船を吊り上げ、同時に主機関の積組が完了します。船が3000トンからの歴史のある船づくりにあたって、建造の進めざまな進水式が行われてきましたが、中でも新しい船の誕生を祝う進水式は、現在でも重要な儀式の一つとなっています。

Windows Internet Explorer

アドレス欄: http://www.nipponkaiun.jp/

メニュー: 検索窓 表示設定 印刷/印刷 文字サイズ ヘルプ

アドレスバー: 検索 表示設定/印刷/印刷 文字サイズ ヘルプ

テキスト「船舶の建造」

造水後から引き渡し

- ①岸壁構築
 
- ②海上試運転
 
- ③引き渡し
 

①岸壁構築工事
 造水が終わると、船は専用の岸壁（桟橋）で船内の様々な装置・機器などの取付や内装工事（配管作業）が行われます。船体を運送するために必要な設備や部材を備付ける「船体構築」「機関構築」「電気構築」があり、建築内装工事にあたるこれらの工事は「構築（せそう）」と呼ばれています。

②試運転
 構築工事が終わりに近づくと、海上を実際に走って船が設計どおりの船速にて作動するかを調べます。これが海上試運転です。試運転では、建造に関わった技術者も多数に乗り込み、速力、旋回力、後進、備力、燃料消費量（燃費率）などいろいろな性能確認試験が行われます。海上試運転は、通常3～4日での期間が標準することなく、海上で次々と絶え間なく試験が行われます。

③引き渡し
 全ての試験に合格すると船は船主に引き渡され、初めての航海へ向け造船所を出航します。ドックで建造した場合は、このとき、命名・引渡式が行われます。

前へ 次へ 終了

ペイント

区画別要求性能 (1)

海上を航行する船舶は、海水環境と露光の強い環境に曝露されると同時に、水面上は強い太陽光線（紫外線）に照射され、水面下は海中生物の攻撃をうけます。更に、通過する環境によっては、耐酸性、耐アルカリ性、耐腐食性、耐熱性、のみならず食品衛生上の適正も要求される箇所があります。

▲ 外舷部
▲ 海水の汚染
▲ 漂流物、水、塩分、生物付着

区画別要求性能 (2)

表1. 各区分画別の要求性能を記載します。船底部、水線部、外舷部、パラスタンは常時海水と接触したり、乾湿交互状態にあるため厳しい環境条件に曝露されます。そのため塗料には十分な耐食性能が要求されます。プロペラは表面粗度増加による推進効率低下を防ぐために定期的に研削処理が行われ、多くの場合無塗装です。

表1. 区画別の塗料の要求性能

	防食性	防汚性	耐酸性	耐腐食性	耐熱性	美観	機能性
船底部	○	○					
水線部	○	○	○	○	○		耐摩耗性
外舷部	○		○			○	
デッキ	○		○	○			滑り止め
上構部	○		○			○	
ホールド(船倉)	○			○			耐摩耗性
エンジンルーム	○						
原油タンク	○						耐食品
パラスタック	○						
カーゴタンク	○						耐食品

○ 特要される性能

塗料の選択 (1)

適用区画により、適切な塗料の選択が行われています。船舶用塗料として多く使用されている塗料とその性状を表2. に示します。適用区画によっては、IMOや船級又は公的機関の認証された塗料を使わなければなりません。

表2. 塗料タイプの性能比較

	エポキシ	変性エポキシ	ポリウレタン	アルキド	塩化ゴム	ビニル
乾燥性	○	○	○	○	○	○
強度	○	○	○	△	○	○
鋼板との付着性	○	○	○	○	○	△
耐水性	○	○	○	△	○	○
耐油性	○	○	○	△	×	○
耐電解防食性	○	○	○	○	○	○
耐酸性	○	○	○	△	○	○
耐アルカリ性	○	○	○	×	○	○
耐緑性	△	△	○	○	○	○
塗料形態	2液混合タイプ			1液タイプ		

○: 優, △: 良, ○: やや不良, ×: 不適合
 チョーキング: 塗料表面に結露状態の発生、熱・水分・風等により塗料表面の表面層が劣化し、塗料の色成分の塗料がチョーキングのような状態になって剥がれる現象や状態

塗料の選択 (2)

表3. に標準的な塗り回数を示します。

表3. 区画別の塗料仕様例

	防食塗装	鋼厚	上塗り塗装	鋼厚
船底部	1~2回塗り	300μm	2~3回塗り	250μm
水線部	1~2回塗り	300μm	1~2回塗り	100μm
外舷部	1~2回塗り	200μm	1~2回塗り	70μm
デッキ	1~2回塗り	150μm	1~2回塗り	75μm
上構部	1~2回塗り	150μm	1~2回塗り	50μm
ホールド(船倉)	1~2回塗り	200μm	-	-
エンジンルーム	1~2回塗り	100μm	1~2回塗り	30μm
原油タンク	2回塗り	320μm	-	-
パラスタック	2回塗り	320μm	-	-
カーゴタンク	2~3回塗り	250μm	-	-
飲料水タンク	1~2回塗り	300μm	-	-

鋼厚は一般的な例 μm: ミクロン

塗装工程の概要

① ショッププライマー自動塗装

船舶の塗装はショップコート方式と称して、1952~55年に掛けて日本が世界に先駆けて採用した方式で、この方式とブロック建造方式を船舶建造に採用したことが、日本の造船業が世界一になった理由の一つとして挙げられます。1955(昭和30)年ブロック建造方式に合わせてブロック建造方式が行われ始め、ブロック高車などの船外での塗装が殆どであったが、次第に船内にブロックを入れて塗装する方式になりました。

② ブロック搭載

溶接部の二次表面処理を行い防食塗料を塗装します。

③ ブロック搭載

溶接部の補修塗装を行い、上塗り塗料を塗装します。

④ ファイナルドック

引渡し前の最終仕上げ塗装を行います。

表面処理 (1)

塗装を行う前の鋼板表面の予処理や塗重ねの間の表面処理は塗料性能を十分に発揮させるために非常に重要です。防食塗装は船の寿命を決定する最も重要な項目の一つであり、強固な塗装膜を造るには十分な予処理が必要となります。上塗り塗装は船の美観、船体への生物付着を防止するために防食塗装との付着性を確保するためには十分な二次表面処理が必要となります。

工程① 一次表面処理~ショッププライマー塗装、鋼材処理

ISO 8501-1
 プラスト処理の規格の一つ、一般的にISO 8501-1規格 S 1.2 / 1/2等と管理されます。
 プラスト処理とは高圧空気と一緒に研削材と呼ばれるサンド(粒砂)やショット、グリッド等の金属粒を吹き付けて鋼板等の塗料の前下地を処理したり、塗料時に既存塗膜を剥がしたりする作業のことです。高圧空気の代わりに水を用いた、高圧空気と水を併用する浸漬ジェットと呼ばれる方法もあります。

NCマーキング

鋼板表面
 プラスト処理後にコンパレーター(プラスト表面粗さ)の測定、評価用比較片(本船)などで比較、確認できます。

鋼板表面
 NCマーキング(NC)制御による鋼材への設計データの船印等により部材が切欠加工・溶接されていますが、その際、鋼材処理も必要です。シャープエッジ部などは除去しないと十分な塗膜が得られず、腐食しやすくなる等の問題が生じます。

Web browser window showing a page titled "塗装作業 (2)" (Painting Work (2)).

② 塗装
 良好な塗装を行うためにスプレーガンと並行に、一定の速度で動かして塗装します。

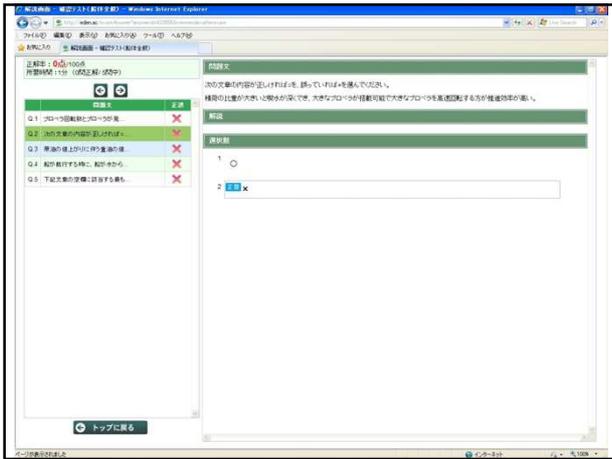
換気と養生
 溶剤が揮発し、硬化が完了するまで換気を十分行って下さい。

WFT測定
 ウェットゲージで目的の膜厚が得られたか確認します。

DFIT測定
 電圧膜厚計等により、最終膜厚を確認します。

露点計算尺	WET膜厚計	DRY(デジタル)膜厚計

Navigation buttons: 戻る (Back), 進む (Next), 終了 (End)



推進軸系装置

はじめに (学習目標)

推進軸系装置

推進軸系装置コース

このコースでは軸系装置について解説します。

1. 学習目標

1. プロペラによる推進原理を理解します。
2. 「油潤滑式の船尾管軸受及びシール装置」と「海水潤滑式の船尾管軸受及びシール装置」との違いを理解します。
3. 各種推進装置 (CPP, CRP, アジマススラスト, ボッド型推進機, トンネルスラスト) の構造を理解します。
4. わねじ駆動, アライメントの重要性について理解します。

軸系装置全般

プロペラと主機あるいは動力伝達装置 (減速機, クラッチなど) の間にある推進に関する構成要素の総称を軸系装置といい、次のような基本機能を持っています。

- 1) プロペラと主機あるいは動力伝達装置の間をつなぎ主駆動力をプロペラに伝えます。
- 2) プロペラから発生するスラスト (推力) を船体に伝えます。
- 3) プロペラおよび軸の潤滑を支えます。
- 4) 軸が船体船殻を貫通する部分の水密を保ちます。

これは推進に関する重要な機能であり、トラブルが生じると航行不能となる可能性もあり、場合によっては入渠工事を余儀なくされることもあります。したがって、十分な強度と信頼性が求められます。

軸系には様々な種類があるが、主な分類として次のようなものが挙げられます。

- ◆ FPP (固定ピッチプロペラ, Fixed Pitch Propeller) と CPP (可変ピッチプロペラ, Controllable Pitch Propeller)
- ◆ 油潤滑式船尾管海水潤滑式船尾管

その他、主機の違い (低速ディーゼル, 中速ディーゼル, 高気タービン, 電動機等) によっても軸系装置の構成要素は変わってきます。

軸系記置例

プロペラは数枚の翼と、それらを保持するとともに、プロペラをプロペラ軸に固定する役目を持つボスからなっています。この翼とボスが一体に構造されるものを固定ピッチプロペラ (FPP) といいます。

プロペラはできるだけ深い流れの中で動作する方が効率が良くなります。船尾流では水の粘性によって船体表面に引きずられてできる流れの遅い領域があります。この遅い領域でプロペラを動作させて推進効率を上げるためにプロペラは船尾に設置されます。

プロペラは主機間からスラスト軸、中継軸、プロペラ軸へと伝達したトルクで回転し、プロペラが回転することによって発生したスラストはスラスト軸を介して船体に伝達されます。

一般にはスラスト軸受は機間内蔵されています。(右図はスラスト軸受が機間内蔵されていない場合を示します。)

プロペラは主機間で発生した推力をスラスト (推力) に変えて船を押し進める推進装置であり、FPPは推進装置の一種です。

現在では、キーを用いることなくプロペラ軸に圧入し表着する、キーレスプロペラが大半です。

FPPの構造 (1)

FPPは翼とボス部分が一体に構成する部品がなく単体で、各部品の名称は以下のように定義されています。翼数とは翼の枚数を示し、船用プロペラとしては2-6翼が設定されます。プロペラの回転により翼先端の軌跡が描く円の直径をプロペラの直径といい、プロペラの翼形状は直径と同心円線上で定義されます。プロペラのピッチはネジのピッチと同様に各半径位置で一回転したときに進む距離を示します。

プロペラの性能と各形状パラメータは密接な関係があります。プロペラの効率、振動/キャビテーション (後項目参照)、強度のバランスを考慮して適切に応じた設計されます。

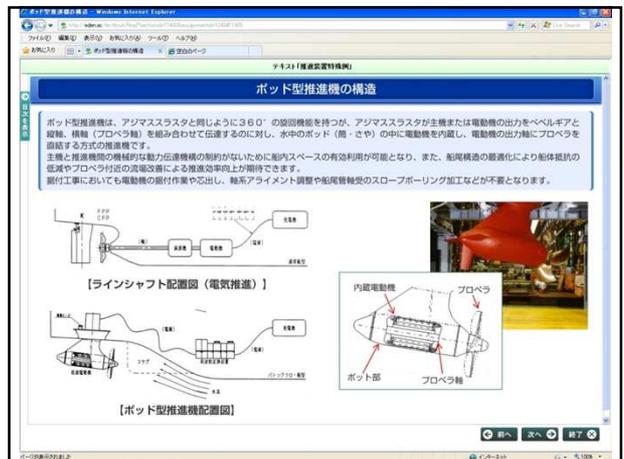
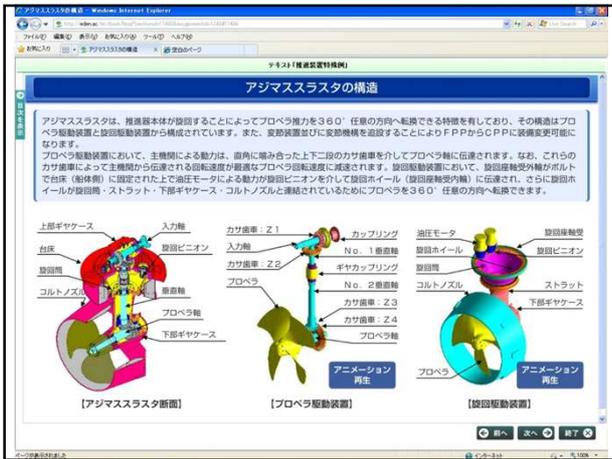
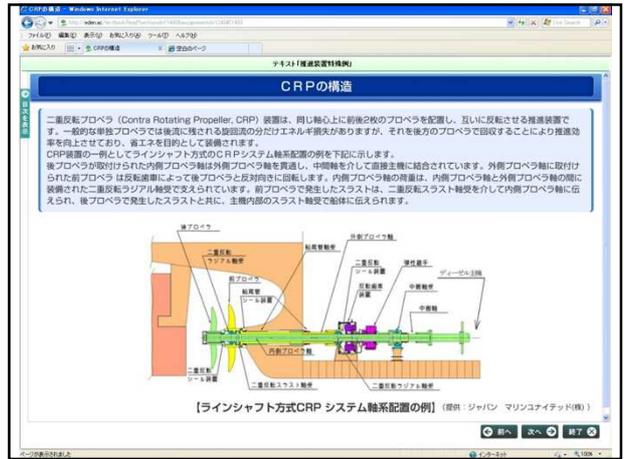
FPPの構造 (2)

プロペラはベルヌーイの定理、翼表面理論に基づき推力を発生しています。プロペラが回転しているとき、プロペラには円周方向の速度と流れの速度を合成した相対速度で翼面に流れが流入します。翼の前縁で別れた流れは翼面において渦巻の渦巻が渦巻するバックで速度は遅く速くなり、翼の trailing edge 付近では速度は速くなります。流れに沿って成り立つエネルギー保存の法則により、流れが速いと圧力が低く、速いと圧力が高くなります。これにより圧力差が生じ、流れに対し、進路方向に推力が、平行方向に抵抗力が発生します。この二つの力の合力の方向成分がスラストとなります。

プロペラの性能計算には翼表面理論 (運動量理論, 翼表面理論, 渦理論 (翼力面理論など), CFD (Computational Fluid Dynamics) による解析の三つに大別されます。性能上の可能性、開発やプロペラ周りの流れなどの基本的事項を理解するには翼表面理論、プロペラ理論設計には翼表面理論、詳細なプロペラ性能シミュレーションにはCFDが適しています。

キャビテーション

船尾に設置されるプロペラには船速よりも速い流れが流入します。この速い流れの領域を伴流または Wake といい、流れの速度分布の急激な変化を伴流分布といいますが、伴流分布は船尾に様々で、プロペラの翼面上に発生するキャビテーションに大きく影響を及ぼします。キャビテーションとは液体の蒸気圧以下になった液体が気泡を発生する現象 (空泡現象) です。プロペラの場合、伴流の時に速い領域を翼が通過する際に翼表面に発生する流れの速度が大きくなり、バック部の圧力が急激に低下し、キャビテーションが発生します。また、流線の遅い領域を通過した後は圧力の回復し、発生した気泡は崩壊します。プロペラが伴流中で回転する中で気泡の発生と崩壊は繰り返されます。プロペラの作用に伴うキャビテーションには翼面上のキャビテーション (シートキャビテーション, パールキャビテーションなど)、翼先端の渦により発生するチップカックキャビテーション、プロペラの回転流によって軸心後方に発生するハブカックキャビテーションに大別されます。気泡が翼面上で崩壊した瞬間、その瞬間に伴って発生する衝撃圧力が翼表面に作用し、翼面が凹みだす状態をエロージョン (浸食) といいますが、プロペラにとって顕著な現象です。



トンネルスラスタの構造

ボート型推進機は、アジマススラスタと同じように360°の旋回機能を持つが、アジマススラスタが主機または電動機の出力をペベルギアと旋軸（プロペラ軸）を組み合わせることで推進するのに対し、水中のボッド（筒・高）の中に電動機を内蔵し、電動機の出力軸にプロペラを回転させる方式の推進機である。

主機と推進機間の機械的な動力伝達機構の制約がないために船内スペースの有効利用が可能となり、また、船尾構造の最適化により船体抵抗の低減やプロペラ付近の高速度域による推進効率向上が期待できます。

航行工事中において電動機の駆動作業や応出し、軸系アライメント調整や船尾管軸受のスローボーリング加工などが不要となります。

ラダー
ペベルギア
プロペラ軸
プロペラ
プロペラハブ (電動機機)
主電動機 取付台
入力軸
トンネルスラスタ x 2台

ねじり振動(1)

ディーゼル機関は主機として広く利用されていますが、ディーゼル機関ではその構造上、シリンダー内の燃焼圧力によるトルク及び往復運動の慣性トルクが周期的に軸系に作用します。これらのトルクが駆動力となり、軸系にねじり振動が発生します。ねじり振動は軸折損など大きな事故に結びつく可能性があるため、十分な注意が必要です。

ねじり振動において最も注意すべきは共振です。主機の回転数は運転状態により変化するため、軸系の固有振動数と一致する回転数では大きな振動を引き起こす可能性があります。そのため、ねじり振動により発生する応力を計算し、船体構造が定める応力値以下になるよう軸系の調整が必要です。

ねじり振動は実験で計測を行い確認する必要があります。

燃焼圧力 (周期的に作用)
注意部
ねじり振動発生
ねじり振動の発生
許容応力
共振点
主機回転数

【ねじり振動 (ディーゼル主機、プロペラ直結)】

【ねじり振動計算結果 (例)】

ねじり振動(2)

ねじり振動の共振回転数における応力が船体構造の定める値を超える場合には「バードレンジ」と呼ばれる連続運転禁止範囲（主機回転数の変更時に高早く通過させる）を設定する必要があります。

バードレンジを設ける場合、船の操縦性に影響があるため、その設定には注意を払う必要があります。

一般的に共振回転数を大幅に変化させることは困難ですが、軸系の変更、主機に装備するはずみ車の大型化、ねじり振動ダンパーの装備などによって、共振回転数の移動やねじり振動応力の低減が可能です。バードレンジを調整できます。

バードレンジ (連続運転禁止)
許容応力
この値を超える場合バードレンジを設ける

バードレンジの調整例

- 軸径を太くする、軸を短くする
→共振回転数は高くなり、振動応力は低下する
- 軸径を細くする、軸を長くする
→共振回転数は低くなり、振動応力は増加する
- 主機ははずみ車を大きくする
→共振回転数は低くなり、振動応力も低下する

【ねじり振動計算結果 (例)】

アライメント

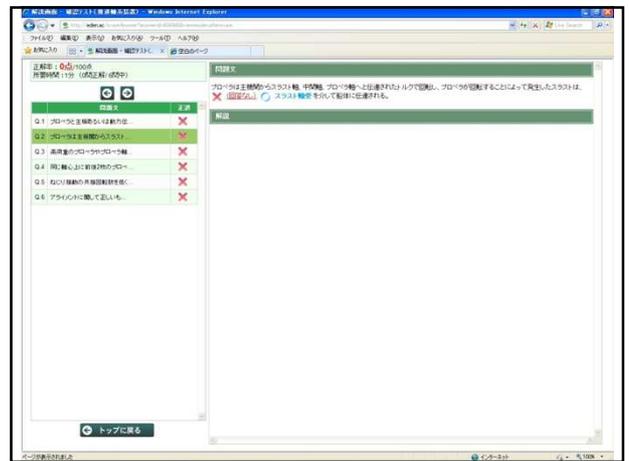
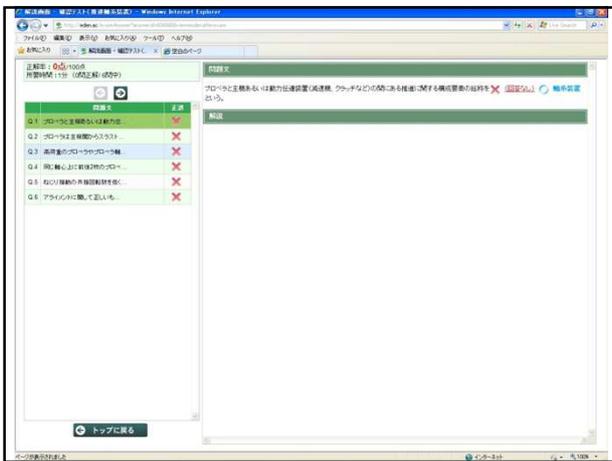
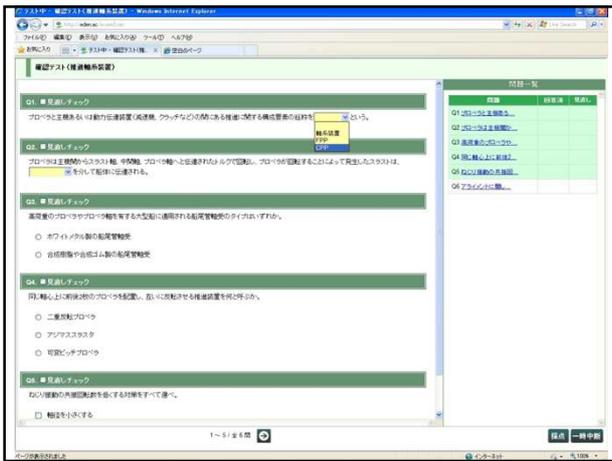
プロペラを含む軸系の共振は、船尾管軸受、中間軸受及び主機内部の軸受などにより支えられている。各軸受の荷重が適正となるように軸系の配置、高さを計画することをアライメント計画という。

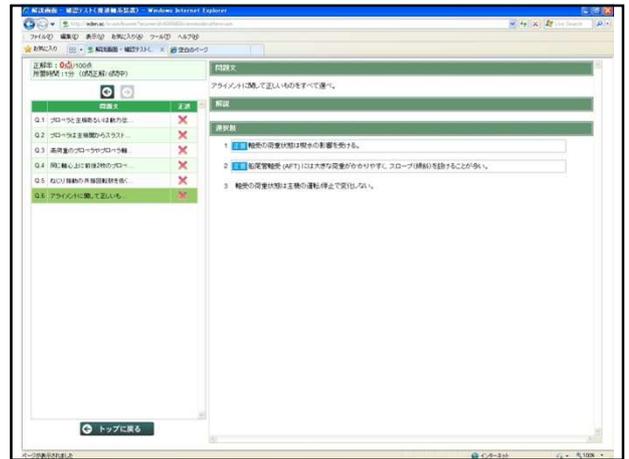
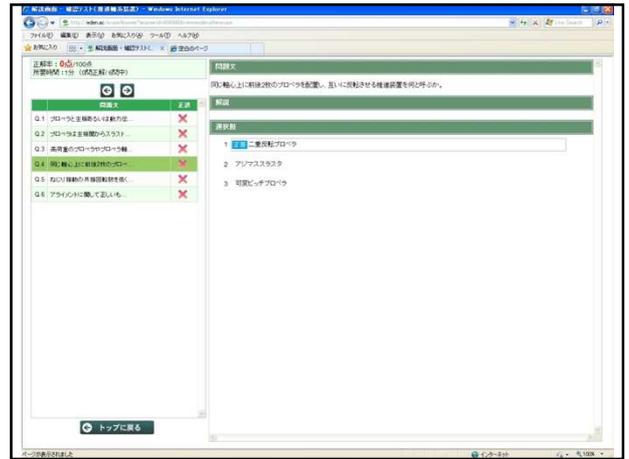
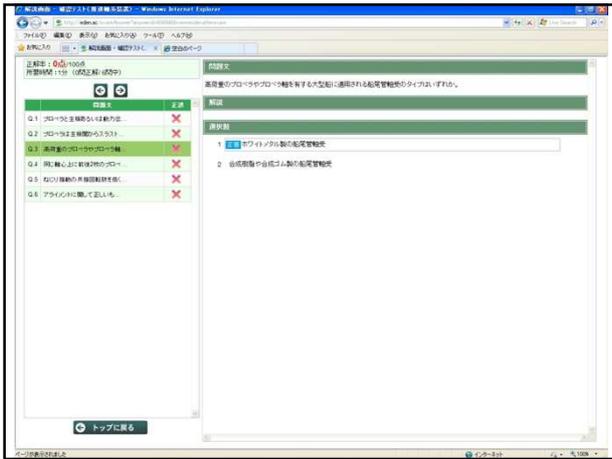
仮に全ての軸受の高さを同じとした場合（ストレートアライメント）、プロペラの重量が重いため、一番近くで支える軸受の荷重が最大となり、一番遠側の軸受では軸が浮き上がる可能性がある。このような状態では軸受の荷重を引き起こす可能性があるため、適切な軸受配置が必要となる。また、軸受の荷重状態は主機の運転停止による温度変化（熱膨張）や船の固有状態による船体変形などにも影響を受けるため、これらも考慮して軸受配置を決定する必要がある。実際には、軸系の取付状態が計画の範囲内に収まっているか計測し、必要があれば調整を行う。

【軸系取付の一例】

船尾管軸受 (AFT) には大きな荷重がかかりやすく、スロープ (傾斜) を設けることが多い
主機を含め、船軸系は下部の湾りオフセットを設定する。オフセット量は実際には大きくても数ミリの程度である。

プロペラ
船尾管軸受 (AFT)
中間軸受
船尾管軸受 (FWD)
ディーゼル主機





エンジンシステムの概要

はじめに

エンジン項目

エンジンシステムの概要コース

このコースでは、エンジンの種類や各種機種の熱効率、船の種類と主機、船用主機の搭載割合など、船舶におけるエンジンシステムについて解説します。

学習目標

エンジンシステムの概要について説明できる。

エンジンの種類

船舶の原動機

熱機関

- 容積形
 - ディーゼル機関
 - ガソリン機関
 - ガスタービン
- 速度形
 - ジェットエンジン

外燃機関

- 容積形
 - 蒸気往復機関
 - スターリングエンジン
- 速度形
 - 蒸気タービン

船舶には一般的に、燃料の燃焼による熱エネルギーを往復運動または回転運動に変えて動力を発生する「熱機関」が、原動機として用いられています。

熱機関は、作動流体に熱を与える方法によって、「内燃機関」と「外燃機関」に、また、作動流体の作用によって、「容積形」と「速度形」に分類できます。

現在、船舶の動力源としては、右図の表にて示したものが用いられていますが、初期の動力源には蒸気往復機関が用いられていましたが、**ディーゼル機関**によって代わられました。

ディーゼル機関

2ストロークディーゼル機関の1例

[MAN B&W 6S60MC-C]
提供：MAN Diesel & Turbo SE

ディーゼル機関は、ルドルフ・ディーゼル：Rudolf Diesel (1858～1913)によって発明されました。

- ・ 動力W=90,000kWと出力レンジが広い、
- ・ 熱効率が低い、
- ・ 燃料にC重油の使用が可能などの特長があり、船の主機、補機(発電機)に使用されています。

ガソリン機関、ガス機関

ディーゼル機関には、2ストローク機関と4ストローク機関の2種類があります。2ストローク機関の基本構造上の特長を部品名をクリックしながら確認しましょう。

■ガソリン機関
ガソリン機関は、ディーゼル機関に比べれば小型・軽量です。機関出力が限られるため、小形漁船、プレジャーボートなどに、船外機として使用されているものが多いです。

■ガス機関
ガス機関は、陸上の発電用には多く使用されています。しかし、燃料ガスタンクや配管系統の船舶設計基準がない、過海での燃料ガスの供給インフラがないなどの事情により、船舶への選定は非常に少なく、現時点では、バリエーションを航行する船舶に例があるのみです。ディーゼル機関に比べ、

- ・ 排気ガスがクリーン、
- ・ CO₂の排出量が少ない

などの特長があり、今後、普及が進むものと考えられています。

石油からガスへ燃料を代ると、CO₂の排出量が約25%削減できます。

ガスタービン、蒸気タービン

ガスタービンの1例

■ガスタービン
ガスタービンは、ディーゼル機関に比べ、小型・軽量で発することが最大の特長です。また、排気ガスもクリーンです。しかし、

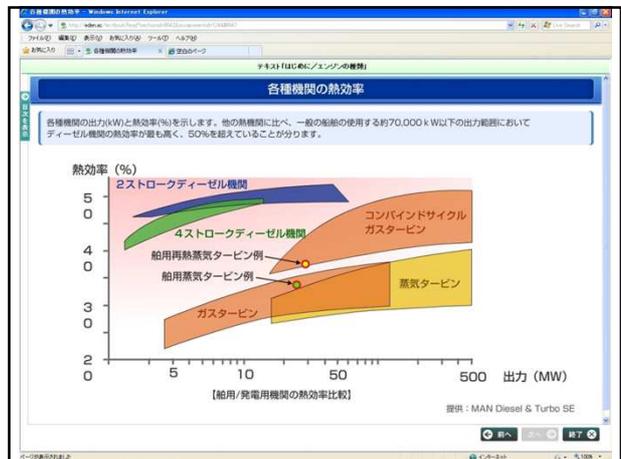
- ・ 熱効率が低い、
- ・ 燃料は軽油が変われる、
- ・ 機関およびメンテナンスのコストが高い

など、経済性に優点がありません。経済性より小型・軽量が優先される高速船、一部の客船などに使用されています。

■蒸気タービン
蒸気タービンは、機関からのボイラガス燃料を使用できるLNG船に使用されます。

ジェットフォイル：ガスタービンを使用

提供：川崎重工業



船の種類と主機 (1)

積み荷は？
緊急性は？
船速は？
経済性は？

最適主機は...

ここでは、船の種類により主機がどのように設定されるかを説明します。船の主機はおおむね次の要素から決定されます。

■ 積荷の性質

- ・ 積荷の比重
- ・ 比重が大きいと喫水が深くでき、大きなプロペラが搭載可能。(大きなプロペラを低速回転の方が推進効率が高い)

■ 船速の緊急性

- ・ 快適性 (騒音、騒音)

■ 船速

- ・ 主機出力 × 船速の3乗

■ その他

- ・ 機関高さ (機関室高さ、配管)
- ・ 燃料消費 (プロペラ効率、減速機のロス)
- ・ 整備性の低減性 (シリンダ数が少ないほど整備性が良い)

提供：(社)日本船主協会 東フェリーさんふらわ MAN Diesel & Turbo SE

船の種類と主機 (2)

超低速2ストローク
ディーゼル機関が最適

■ タンカー (原油) / ばら積み船

選定条件

- ・ 積荷の比重が大きく船速の緊急性が低いため、大直径のプロペラが搭載でき低速での航行が可能。
- ・ 機関室の高さ制限はなく、経済性のみにて主機の決定が可能。

選定結果

- ・ 大出力が出せプロペラを直結できる。
- ・ 超低速2ストロークディーゼル機関が最適。
- ・ 燃費が良く、シリンダ数が少ないため保守の維持が容易。

【タンカー / ばら積み船】
積荷：原油 / 鉄鉱石 / 穀物など
船速：14 kt (約26 km/h)

提供：(社)日本船主協会

船の種類と主機 (3)

低速2ストローク
ディーゼル機関が最適

■ コンテナ船

選定条件

- ・ 積荷 (コンテナ) の比重が小さく、船速の緊急性が高い。
- ・ 経済性から大量コンテナを積載して高速航行するため、超大出力の主機が必要。

選定結果

- ・ 船速が7.5kt以上の大出力が出せ、プロペラ直結の可能な低速2ストロークディーゼル機関が最適。
- ・ 船水が浅いため大直径プロペラの搭載には適さず、少し小さめのプロペラをややく回転する。

【コンテナ船】
積荷：コンテナ
船速：25 kt (約46 km/h)

提供：(社)日本船主協会

船の種類と主機 (4)

4ストローク
ディーゼル機関が最適

■ フェリー / 客船

選定条件

- ・ 船体比較的小型、人 / 車が対象のため、居住性から低出力の組機が最適。
- ・ 車の乗り入、フロアの確保、快適性を考慮し、デッキ下に機関室を設けるため、低い機関高さ。

選定結果

- ・ 機関室の高さが低く、船体小さい4ストロークディーゼル機関が最適。
- ・ 安全性の向上と出力確保のため複数の主機を搭載。一般に減速機を介してプロペラ回転数まで減速する。
- ・ 大型クルーズ船では、大出力を得るため数多くの主機を搭載して発電。集めた電力でプロペラをモータ駆動するが一般的。

【フェリー / 客船】
積荷：人、車
船速：18~25kt (約33~46 km/h)

提供：東フェリーさんふらわ

船の種類と主機 (5)

蒸気タービン
が最適

■ LNG船

選定条件

- ・ 圧縮液化した天然ガスの一部が航行中にタンク内で気化するため、このガスを燃料として有効利用。

選定結果

- ・ 気化ガスをボイラで燃焼し、発生蒸気タービンを回す蒸気タービンが最適。
- ・ タービン回転数は数千rpm以上と高く、プロペラ回転数まで減速するため大きな減速装置を装備。
- ・ 最近では、より熱効率の良いシステムとして、ボイルオフガスを直燃燃焼できる4ストロークガスエンジンを使用して発電し、モータでプロペラを回すシステムもある。

【LNG船】
積荷：液化天然ガス
船速：19kt (約35 km/h)

提供：(社)日本船主協会

船用主機の搭載割合

2009年世界ベース (合計2,000万GT以上の船用主機)

- 4ストロークディーゼル機関: 37.5% (851隻)
- タービン: 0.5% (12隻)
- 2ストロークディーゼル機関: 62% (1,407隻)

2009年日本ベース (合計2,000万GT以上の船用主機)

- 4ストロークディーゼル機関: 20.8% (587万kW)
- タービン: 1.1% (32万kW)
- 2ストロークディーゼル機関: 78.1% (2,202万kW)

ここでは、統計資料に基づいた主機の搭載状況を見てみます。

■ 主機別隻数比較

右図は、2009年に全世界で竣工した2,000,000GT以上の船舶の主機の搭載割合を示しています。全世界2,270隻の内、99.5%が熱効率の高いディーゼル機関を搭載しています。

■ 主機別出力比較

データを出して整理しなおすと4ストロークディーゼル機関の割合は約80%となります。これは、搭載されている2ストロークディーゼル機関の出力が4ストロークディーゼル機関と比べて大きいことを示しています。

1隻の搭載する機関台数を1台と仮定し、右図の出力を隻数で割ると、2ストローク、4ストロークディーゼル機関の平均出力は、それぞれ15,700kWおよび7,000kWとなります。

提供：社団法人日本船用工業会

2ストローク機関 (基本構造)

ディーゼル機関には、2ストローク機関と4ストローク機関の2種類があります。2ストローク機関の基本構造上の特徴は下記の通りです。

- ・シリンダ上部に排気弁および燃料噴射弁を有するシリンダヘッドがある。
- ・ピストンはシリンダライナの中を上下に運動する。
- ・シリンダライナ下部には、空気（新気）を供給するポートがある。
- ・ピストンの上下運動は、スタフリングボックスを貫通するピストン棒を介してクロスヘッドへ伝達される。
- ・クロスヘッドの上下運動は、連接棒を介してクランク軸の回転運動に変換される。
- ・クランクケース下部に台板を有し、台板と主軸受キャップでクランク軸を支えている。
- ・機械駆動方式の場合、カム軸はクランク軸と同一の回転速度で回転し、排気弁および燃料噴射ポンプを駆動する。（電子制御方式の場合、カム軸はない）
- ・シリンダライナ上部の外周とシリンダヘッドは、冷却水で冷却されている。

【接続棒】

[Kawasaki MAN-B&W 7570MC-C8] 資料：川崎重工業（株）

2ストローク機関 (基本構造)

ディーゼル機関には、2ストローク機関と4ストローク機関の2種類があります。2ストローク機関の基本構造上の特徴は下記の通りです。

- ・シリンダ上部に排気弁および燃料噴射弁を有するシリンダヘッドがある。
- ・ピストンはシリンダライナの中を上下に運動する。
- ・シリンダライナ下部には、空気（新気）を供給するポートがある。
- ・ピストンの上下運動は、スタフリングボックスを貫通するピストン棒を介してクロスヘッドへ伝達される。
- ・クロスヘッドの上下運動は、連接棒を介してクランク軸の回転運動に変換される。
- ・クランクケース下部に台板を有し、台板と主軸受キャップでクランク軸を支えている。
- ・機械駆動方式の場合、カム軸はクランク軸と同一の回転速度で回転し、排気弁および燃料噴射ポンプを駆動する。（電子制御方式の場合、カム軸はない）
- ・シリンダライナ上部の外周とシリンダヘッドは、冷却水で冷却されている。

【クランク軸】

[Kawasaki MAN-B&W 7570MC-C8] 資料：川崎重工業（株）

2ストローク機関 (基本構造)

ディーゼル機関には、2ストローク機関と4ストローク機関の2種類があります。2ストローク機関の基本構造上の特徴は下記の通りです。

- ・シリンダ上部に排気弁および燃料噴射弁を有するシリンダヘッドがある。
- ・ピストンはシリンダライナの中を上下に運動する。
- ・シリンダライナ下部には、空気（新気）を供給するポートがある。
- ・ピストンの上下運動は、スタフリングボックスを貫通するピストン棒を介してクロスヘッドへ伝達される。
- ・クロスヘッドの上下運動は、連接棒を介してクランク軸の回転運動に変換される。
- ・クランクケース下部に台板を有し、台板と主軸受キャップでクランク軸を支えている。
- ・機械駆動方式の場合、カム軸はクランク軸と同一の回転速度で回転し、排気弁および燃料噴射ポンプを駆動する。（電子制御方式の場合、カム軸はない）
- ・シリンダライナ上部の外周とシリンダヘッドは、冷却水で冷却されている。

【ピストンとピストン棒】

[Kawasaki MAN-B&W 7570MC-C8] 資料：川崎重工業（株）

2ストローク機関 (基本構造)

ディーゼル機関には、2ストローク機関と4ストローク機関の2種類があります。2ストローク機関の基本構造上の特徴は下記の通りです。

- ・シリンダ上部に排気弁および燃料噴射弁を有するシリンダヘッドがある。
- ・ピストンはシリンダライナの中を上下に運動する。
- ・シリンダライナ下部には、空気（新気）を供給するポートがある。
- ・ピストンの上下運動は、スタフリングボックスを貫通するピストン棒を介してクロスヘッドへ伝達される。
- ・クロスヘッドの上下運動は、連接棒を介してクランク軸の回転運動に変換される。
- ・クランクケース下部に台板を有し、台板と主軸受キャップでクランク軸を支えている。
- ・機械駆動方式の場合、カム軸はクランク軸と同一の回転速度で回転し、排気弁および燃料噴射ポンプを駆動する。（電子制御方式の場合、カム軸はない）
- ・シリンダライナ上部の外周とシリンダヘッドは、冷却水で冷却されている。

【クランクケース】

[Kawasaki MAN-B&W 7570MC-C8] 資料：川崎重工業（株）

2ストローク機関 (外観、カット図)

2ストローク機関の外観および構造が判るカット図の一瞥です。

[Kawasaki MAN B&W 12K98ME] 資料：川崎重工業（株）
出力：68,500 kW 回転速度：94 min⁻¹
全長：24.3 m 全高：16.5 m 質量：1,950 t

[MAN B&W 6S60MC-C] 資料：MAN Diesel & Turbo SE
出力：14,280 kW 回転速度：105 min⁻¹
全長：8.14 m 全高：11.08 m 質量：368 t

4ストローク機関 (基本構造)

2ストローク機関の基本構造説明に引き続き、4ストローク機関の基本構造上の特徴を下記に示します。

- ・シリンダ上部に給気弁および燃料噴射弁を有するシリンダヘッドがある。
- ・ピストンはシリンダライナの中を上下に運動する。
- ・ピストンの上下運動は、連接棒を介して、クランク軸の回転運動に変換される。
- ・クランク軸は、クランクケースと軸受けキャップで支えられている。（機関の種類によっては、クランクケース下部に台板を有し、台板と主軸受キャップでクランク軸を支えるものもある）
- ・カム軸は、クランク軸の1/2の回転速度で回転し、給気弁および燃料噴射ポンプを駆動する。
- ・シリンダライナ上部の外周とシリンダヘッドは、冷却水で冷却されている。

[MAN V48/60CP型機関 断面図] 資料：MAN Diesel & Turbo SE

4ストローク機関 (基本構造)

ストローク機関の基本構造説明に引き続き、4ストローク機関の機構上の特徴を下記に示します。

シリンダの上部に **給油バルブ** および **燃料噴射バルブ** を有する **シリンダヘッド** がある。

ピストン はシリンダライナの中を **上下に移動** する。**ピストン** の上下運動は **連結棒** を介して、**クランク軸の回転運動** に変換される。

クランク軸は、クランクケースと軸受けキャップで支えられている。(機関の回転によっては、クランクケース下部に台板を有し、台板と主軸受けキャップでクランク軸を支えるものもある)

カム軸は、クランク軸の $1/2$ の回転速度で回転し、**給油バルブ** および **燃料噴射バルブ** を駆動する。

シリンダライナ上部の外周とシリンダヘッドは、**冷却水** で冷却されている。

【燃焼室と給・排気】

【燃焼室と給・排気】

4ストローク機関 (基本構造)

【MAN V48/60CR型機関 断面図】

【クランク軸と連結棒】

4ストローク機関 (外観、カット図)

4ストローク機関の外観および構造がわかるカット図の一例です。

【YANMAR 6EY18型機関】 図説：ヤンマー(株)

【YANMAR 6EY18型機関】 図説：ヤンマー(株)

シリンダ数-シリンダ内径×行程(mm)：6-180×280
 6EY18BL 連続定格出力(kW)：800 定格回転速度 (min-1)：900/1000
 6EY18L 連続定格出力(kW)：615 定格回転速度 (min-1)：720/750
 全長：2.75m 全高：1.49m 全重：1.65t 質量：6.6 t

2ストロークと4ストローク機関の比較 (1)

2ストローク、4ストローク機関のサイクル、構造について、最も根本的に違う点は **回転速度** と **大きさ**、**出力** です。下図は、出力約22,000kWの2ストロークと4ストローク機関の概算断面図です。**剛出力がありながら**、2ストロークは4ストローク機関と比べ **高さで2.4倍**、**幅で1.7倍大きく**、**質量で2.4倍重く** なっています。

2ストローク	4ストローク
Kawasaki MAN-BGW 7S70MC-CB	MAN 1B48/60CR
出力：22,880 kW	出力：21,600 kW
回転速度：91 min-1	回転速度：514 min-1
シリンダ内径：700 mm	シリンダ内径：480 mm
ストローク：2,800 mm	ストローク：600 mm
質量：624 t	質量：265 t
全長：10.7 m	全長：14.1 m
ピストン速度：8.5 m/s	ピストン速度：10.3 m/s

2ストロークと4ストローク機関の比較 (2)

2ストローク機関は、プロペラ軸と曲軸(機関回転速度=プロペラ回転速度)することを前提に設計されるため、**ピストン速度を低く**、かつ **回転速度を上げるためにストローク(行程)を長く** する必要があり、**全高は高く** なります。

一方、4ストローク機関では **減速機** を介して **プロペラ軸と結合** するため、**回転速度を高め** て **ピストン速度** を速めることができるため、**ストローク行程が短く**、結果として **コンパクト** になります。

同出力でもサイズに大差がある4ストローク機関は出力を回転速度で稼ぎます

2ストローク	4ストローク
Kawasaki MAN-BGW 7S70MC-CB	MAN 1B48/60CR
出力：22,880 kW	出力：21,600 kW
回転速度：91 min-1	回転速度：514 min-1
シリンダ内径：700 mm	シリンダ内径：480 mm
ストローク：2,800 mm	ストローク：600 mm
質量：624 t	質量：265 t
全長：10.7 m	全長：14.1 m
ピストン速度：8.5 m/s	ピストン速度：10.3 m/s

トルクと出力 (1)

ディーゼル機関の運転においてトルクが「大きい」「小さい」という言葉が使われるため、トルクの意味について説明します。

出力(仕事率)は **力と速度の積** として(1)式で表されます。

即ち、ある質量の物体に力を加えて単位時間にどれだけ移動できるかを表すものです。

例えば、1質量とは第一級で75kgfの荷物を1秒間に1m引上げる仕事率であり、**75kgf・m/s**と表されます。

$$P(\text{出力}) = F(\text{力}) \times V(\text{速度}) \quad \dots (1)$$

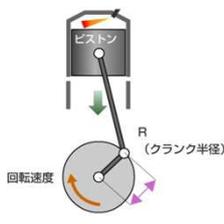
単位：kgf・m/s = kgf × m/s

トルクと出力 (2)

一方、船のプロペラ軸の仕事とは荷物を引掛ける代わりに回すことであり、**軸を回す能力をトルク**と呼び、**力と長さの積**として(2)式で表されます。機関では一般に長さとしてクランク半長(R)を用います。

$$T(\text{トルク}) = F(\text{力}) \times R(\text{長さ}) \dots (2)$$

単位: $\text{kgf} \cdot \text{m} = \text{kgf} \times \text{m}$



回転速度

回転速度

トルクと出力 (3)

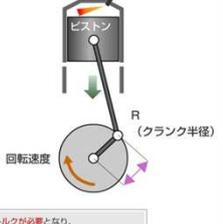
クランク半長に回転速度を乗じると(3)式に示すようにクランクピンの動く速さ(V)となります。また、(2)式の両辺に回転速度(N)を乗じると、(4)式となり、右辺のR × Nは(3)式のクランクピンの動く速さ(V)で表せるため、右辺は力と速度の積(F × V)、即ち、出力(P)となります。ここで、αは出力、回転速度を見積れた単位とするための定数です。

$$2\pi \times R(\text{クランク半長}) \times N(\text{回転速度}) = V(\text{クランクピンの動く速さ}) \dots (3)$$

単位: $\text{m} \times 1/\text{s} = \text{m/s}$

$$T(\text{トルク}) \times N(\text{回転速度}) = F(\text{力}) \times R(\text{長さ}) \times N(\text{回転速度}) = F(\text{力}) \times V(\text{速度}) = P(\text{出力}) \times \alpha \dots (4)$$

単位: $\text{kgf} \cdot \text{m} \times 1/\text{s} = \text{kgf} \cdot \text{m/s}$



回転速度

回転速度

R (クランク半長)

(4)式から分るように、同じ出力を得ようとする場合、回転速度を小さくすると大きなトルクが必要となり、逆に、回転速度を速くすると小さなトルクで済みます。これが、先程の2ストロークと4ストロークの違いを生み出します。

船用主機とトラック用エンジンの比較

ディーゼル機関は船用だけでなく陸上トラック用としても多数使用されています。ここでは、船用のディーゼル機関とトラックに搭載されるディーゼル機関との違いについて比較します。

■稼働稼働時間
 統計によると一般の商用トラックの年間の稼働稼働時間は荷物の積み降ろしに時間を費やすため、実走行時間で約1,200時間です。一方、船用主機は船の稼働稼働時間が長いので、稼働稼働時間の約70%に相当する稼働稼働時間を確保できます。港での稼働稼働時間に比べて航海稼働時間が長く、通常、港-港間はノンストップで航行します。

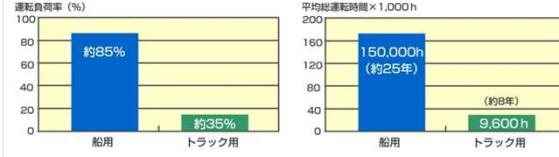


用途	年間稼働時間 (h)
船用	約6,000 h
トラック用 (実走行時間)	約1,200 h

船用主機とトラック用エンジンの比較

■運転負荷率
 トラック用エンジンは全力(100%負荷)で運転されるのは急な坂道での運転等に限られ、平均負荷率は約35%程度です。一方、船では航海速度が船用主機の85%負荷を基準に設計されており、通常、主機は85%負荷付近で連続運転されます。

■平均稼働時間(ライフタイム)
 トラックの稼働稼働までの平均稼働率は約8年で、その間のエンジンの稼働稼働時間は約9,600時間です。一方、船舶の平均寿命は約25年で、この間、主機は15万時間稼働されることになります。

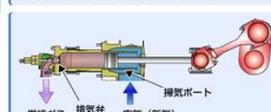


項目	船用	トラック用
運転負荷率 (%)	約85%	約35%
平均稼働時間 (h)	約150,000h (約25年)	約9,600h (約8年)

即ち、船用ディーゼル機関は、トラック用ディーゼル機関と比較して、常に約2.5倍の厳しい条件で運転され、約16倍の寿命を要求されています。

2ストローク機関 (作動原理) (1)

2ストローク機関では1回転ごとに圧縮・燃焼・膨張を繰り返すため、独立した給気・排気行程はありません。



燃焼ガス 排気管へ

排気弁

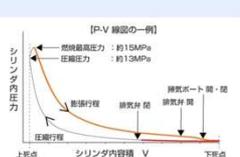
空気 (新気) 排気管より

排気ポート

提供: 川崎重工業

■吸入行程
 ピストン上部が下死点から上昇し排気ポートを閉じるとシリンダへの新気流入は停止し、排気弁が閉まった時点でピストンが上死点に来るまでの間、シリンダ内の空気が圧縮されます。

■燃焼行程
 燃焼行程の終わりにシリンダ内に燃料が噴射され、圧縮された空気に燃焼して着火・燃焼します。その後、燃焼ガスはピストンを押し下けて仕事をします。



[P-V 線図の一例]

燃焼最高圧力: 約15MPa

圧縮圧力: 約1MPa

燃焼行程

排気弁閉

排気弁開

排気ポート閉・開

シリンダ内圧力

上死点

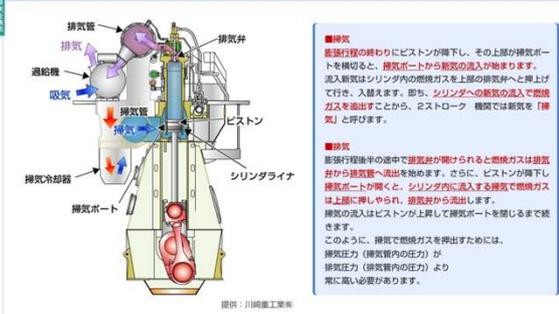
シリンダ内容積 V

下死点

2ストローク機関 (作動原理) (2)

■排気
 燃焼行程の終わりにピストンが降下し、その上部が排気ポートを閉じると、排気ポートから燃焼ガスの流入が始まります。流入燃焼ガスはシリンダ内の燃焼ガスを上部の排気管へと押し上げて行き、入替えます。即ち、シリンダへの燃焼ガスの流入で燃焼ガスを排出することから、2ストローク 機関では燃焼ガスを「排気」と呼びます。

■給気
 燃焼行程の後半途中で排気弁が開かれると燃焼ガスは排気管から排気管へ流出を促されます。さらに、ピストンが降下し排気ポートが開くと、シリンダ内に流入する排気管で燃焼ガスは上部に押しやられ、排気管から流出します。燃焼ガスの流入はピストンが上昇して排気ポートを閉じるまで続きます。このように、排気管で燃焼ガスを排出するためには、排気圧力 (排気管内の圧力) が排気圧力 (排気管外の圧力) より常に高い必要があります。



排気管

排気弁

過給機

吸気

排気管

排気冷却器

排気ポート

シリンダライナ

ピストン

提供: 川崎重工業

4ストローク機関 (作動原理)

4ストローク機関は、シリンダ上部(リングヘッド)に給気弁と排気弁を有しており、これらの弁はクランク軸の1/2の回転速度で回るカム軸に取り付けられたカムによって開閉されます。

■吸気行程
排気弁が開いて給気が開き、ピストンが下降するにつれて、空気がシリンダ内に供給されます。

■圧縮行程
給気弁、排気弁ともに閉じ、ピストンが上昇するにつれて、供給された空気が圧縮されます。

■膨張行程
圧縮行程の終わりまで燃料が燃料噴射弁から噴射され、高温の空気に触れて自己着火し燃焼します。その後、高温・膨張した燃焼ガスは、ピストンを押し下げて仕事をします。

■排気行程
ピストンが下死点に達する少し前に、排気弁が開き、燃焼ガスの排出が始まる。次にピストンが上昇し、上死点に達するまで排出が続けられる。このようにして1サイクルを完了します。

4ストローク機関では、4行程中の1行程(膨張行程)だけが仕事をし、他の3行程では、ほぼ等量の慣性力によって回転を続けます

定容サイクル

前章(作動原理)について熱力学的なサイクル論を学びます。
定容サイクルは、図のように、2つの断熱膨張と2つの定容変化から成り、ガソリン機関の基本サイクルです。「オートサイクル」ともいいます。

このサイクルでは、
・定容変化[2-3]で熱量を受け、
・[4-1]で熱量を捨て、
・その差である(Q₁-Q₂)が仕事に変えられます。

理論熱効率ηは次式で求められます。
$$\eta = 1 - \frac{T_1 - T_2}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}}$$

ここでいうεは、 $\epsilon = v_1/v_2$ (圧縮比)で、 γ は断熱指数です。

定圧サイクル

定圧サイクルは、図のように、2つの断熱膨張と定圧変化および定容変化から成っています。
断熱は定圧変化[2-3]で、
膨張は定容変化[4-1]で行われます。

このサイクルは、低速ディーゼル機関の基本サイクルで、「ディーゼルサイクル」ともいわれます。
理論熱効率ηは次式で求められます。
$$\eta = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}} \times \sigma^{\gamma-1} \times \frac{\sigma - 1}{\gamma(\sigma - 1)}$$

ここでいうσは、 $\sigma = v_3/v_2$ で、断熱比といわれます。

複合サイクル

複合サイクルは、図のように
・空気を断熱圧縮し、
・圧縮行程の終りに定容変化[2-2']で熱量Q₂を受け、
・続いて定圧膨張[2'-3]で熱量Q₂を受けたあと、
・断熱膨張し、
・定容変化[4-1]で熱量Q₂を捨てるもので、
高速ディーゼル機関の基本サイクルです。「ワバサイクル」ともいわれます。

理論熱効率ηは次式で求められます。
$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}} \times \frac{\rho \sigma^{\gamma-1} - 1}{(\rho - 1) + \gamma \rho (\rho - 1)}$$

ここでいうρは、 $\rho = P_2' / P_2$ で、(最高)圧力比または断熱比といわれます。

各サイクルの熱効率

定容サイクル、定圧サイクル、複合サイクル各々の、
圧縮比を変えたときの理論熱効率の変化を図に示します。

各サイクルとも圧縮比が高くなると、理論熱効率が増します。しかし、燃焼室の大きさ(高さ)、燃焼熱圧力、ノッキングなど、設計上考慮すべき点があり、圧縮比をむやみに高くすることはできません。

4ストローク機関の圧縮比は、
2Q (小形機関)~12 (大型機関) が一般的です。

2ストローク機関の過給と給排気

■要約
出力の増加のために、ある一定量のシリンダ中でより多くの燃料を燃焼せよとすると、より多くの空気を投入する必要があります。

(例えば、3倍の燃料の燃焼には3倍の空気が必要となり、3倍の空気量と同じ容積に充填するには空気の密度を3倍にする必要があります。このため、空気をより3倍に圧縮すれば、断熱膨張により圧縮空気の温度が上がるため密度は3倍には達せず、圧縮後に冷却して密度を上げる必要があります。)

実際では図に示すように、排気ガスのエネルギーにより駆動される過給機により、吸気は圧縮され、冷却器で冷された後、燃焼室に供給されます。
最近の2ストローク機関では排気圧力が0.35MPa (絶対圧力)を超えています。即ち、吸気は大気圧から3.5倍以上に圧縮され、シリンダに供給されます。

燃料噴射弁

図は、ボッシュタイプの燃料噴射弁の一例です。噴射ポンプから送られた燃料油の圧力が、一定値を超えると、ニードルを押し上げて、ノズルから噴射されます。

【燃料噴射弁】 提供：ニコロ建設機(株)

電子制御燃料噴射システム

近年要求される地球環境に優しい機関を満足すべく、燃料噴射を電子制御で行う機関が出てきました。それにより、機関の高効率、高出力、NOx低減、スモーク改善などを図ることが可能とされています。

一例として小型機関で採用しているコモンレールシステムを示します。尚、2ストローク大型機関でも電子制御燃料噴射システムは使用されています。

図はコモンレールシステムの概観図です。高圧ポンプで加圧された燃料をコモンレールに蓄積し、燃料噴射弁に蓄積された燃料を噴射して燃料を供給するこのシステムは、機関の回転速度に関わらず常に高い噴射圧を維持し、良好な燃焼を得るため噴射時間、噴射量の最適化や、1サイクルあたり複数回の燃料噴射が可能などの特徴があります。

【コモンレールシステムの概観図】 提供：ヤンマー(株)

燃料油

ディーゼル機関の燃料には主として、原油を精製した石油油が用いられています。石油(軽油、重油など)の主成分は、炭化水素(炭素：Cと水素：Hの化合物)であり、燃焼の結果、CO2とH2Oが生成されます。わが国の石油製品別(燃料油)需要の推移を見ると、他の石油製品(A重油—ガソリン)に比べ、船用燃料にも用いられるB・C重油の需要が急激に減少していることがわかります。需要の激化に対応して、B・C重油の原料である残渣油を、触媒を用いて分解し、ガソリンを製造する設備(FCC 装置)が増設されています。

近年、石油以外の動植物油、動物脂肪メチルエステル(動植物油を化学処理した燃料)、DME(ジメチルエーテル)、GTL(天然ガスを化学合成した液体燃料)などが検討されています。

年次	B・C重油	A重油	軽油	灯油	ガソリン	燃料油計
1973年度	111,007	19,306	16,759	21,600	36,240	234,158
1975年度	92,303	18,962	15,997	21,663	32,031	212,639
1980年度	79,189	21,053	21,564	23,566	26,297	209,219
1990年度	46,623	27,066	37,690	26,701	37,423	218,012
2000年度	31,364	29,516	41,745	29,924	47,686	243,218
2009年度	16,300	18,043	32,257	20,045	47,310	194,933

【わが国の石油製品別(燃料油)需要の推移】 出典：今日の石油産業2011(石油連盟)

船用燃料油の製造工程

船用燃料油の製造工程について見てみましょう。図中の軽油、A重油、C重油が船用に用いられます。

一般船舶では、動粘度180、380、700mm²/s(cSt) at 50°Cの船用燃料油が用いられていますが、常温では移送できず、燃料タンクの加熱が必要で、良好な燃料噴霧とするためディーゼル機関入口で動粘度は、10~18mm²/sとすることが要求され、110~150と高温に加熱することが必要となります。

A重油
軽油部分に規定の炭素量を加えて軽油取扱税の対象としたもので、日本独特の油種。

C重油
軽油にカッター軽油部分、灯油部分を加えて、粘度低下させたもの。

潤滑 (1)

ディーゼル機関には、ピストンとシリンダライナ、クランクヘッド、クランク軸受など相対運動する部分があり、その潤滑が必須です。潤滑油の主目的は機械的摩擦部分を潤滑して、摩擦抵抗を減少し、焼付きや摩耗を防ぎ、動力の消費を削減することです。図は、Richard Stribeckが提唱したストライベック曲線です。この曲線は、軸受の摩擦係数が、摩擦しあう軸受の形状、材質、運転条件及び両表面間の距離に依存し、「流体潤滑領域」「混合潤滑領域」「境界潤滑領域」の3つの状態に区分されることを表したものです。

【ストライベック曲線】

潤滑 (2)

3つの区分各々の特徴は下記の通りです。

- 流体潤滑領域**
 摩擦：表面同士が離れた潤滑膜でへだてられていて、その厚さは表面あらしに比べ大きい。
 摩擦抵抗：潤滑油の内部摩擦によるもので、固体間の直接接触がないので摩擦は少ない。
 摩擦係数：小さい。(0.001~0.01程度)
- 混合潤滑領域**
 摩擦：潤滑油の一部が流体により、または表面摩擦により変えられる。
 摩擦抵抗：一部は潤滑膜のせん断力、一部は表面あらしの作用による。
 厳しい運転条件、不完全な潤滑膜保持、始動時(低速時)、振動、揺動、給油不足などによりおこる状態。
- 境界潤滑領域**
 摩擦：荷重の増加、速度低下又は温度上昇により油膜が薄くなり、摩擦係数は増大する。
 摩擦抵抗：顕著な固体接触がおこり、部分流体膜により変えられている部分が少ない。
 摩擦係数：0.1~0.3程度。

ディーゼル機関用潤滑油の機能

ディーゼル機関用潤滑油には、次のような機能が要求されます。

- 摩耗力および磨耗の減少【**潤滑作用**】
- 燃焼熱、燃焼によるピストン加熱などの熱エネルギーの導出。【**冷却作用**】
- 潤滑油の分散【**応力分散作用**】
- 潤滑油(シリンダ、ピストンリングおよびピストン側、排気弁およびバルブガイドなど)を密封し、燃焼ガスや軽質の漏出を防止する。【**密封作用**】
- ピストンリング部からラッカーカーボンなどを除去、蓄積し、機関内部に堆積しないように潤滑油中に分散させる。【**洗浄分散作用**】
- 燃料中の炭質分が燃焼して生成される硫酸に潤滑油に混入するため、これを中和するアルカリ成分を潤滑油に持たせる。【**中和作用**】
- 金属材料を油膜で覆い、水や腐食性ガスによるさびの防止。【**さび止め作用**】

左記の機能を果たすため潤滑油が働きます。

[MAN B&W 6S60MC-C] 提供: MAN Diesel & Turbo SE

ディーゼル機関用潤滑油の添加剤

潤滑油が劣化しつと事故の原因になるので、劣化防止剤が添加される。

酸化防止剤: EP Agent
摩擦条件が過酷な境界潤滑条件下で作用する添加剤。

さび止め剤: Rust Inhibitor
金属が水、空気と触れてさびを生ずるのを防止する。

中和防止剤: Antioxidant, Oxidation Inhibitor
空気中の酸素による酸化劣化によるスラッジ、ワニス、腐食性物質の生成を防止する。

洗浄分散剤: Detergent Dispersant
潤滑油は、使用中に酸化したり、燃焼生成物、金属摩耗粉などが混入する。洗浄分散剤は、これらの生成物がラッカーカーボンとして成長するのを防止し、ピストンリング溝や機関内部を洗浄し保つ。

油質向上剤: Oiliness Improver
金属材料に付着して、増粘潤滑の際にも、潤滑油膜が切れにくい性質を付与する物質。

ディーゼル機関用潤滑油には、下記のような機能が求められるため、「基油が持つ性質を熱し高める」、「基油が持つ性質を付与し性能を向上する」などの目的で、いろいろな添加剤が加えられています。

ディーゼル機関用潤滑油の機能

- 潤滑作用
- 冷却作用
- 応力分散作用
- 密封作用
- 洗浄分散作用
- 中和作用
- さび止め作用

【ディーゼル機関用潤滑油の添加剤】

ディーゼル機関用潤滑油の粘度

SAE 粘度グレード	低温に於ける粘度(100°C)		高温時(150°C)に於ける粘度(100°C)	
	最小	最大	最小	最大
W	6,000 @-35°C	60,000 @-40°C	3.8	—
5W	6,600 @-30°C	60,000 @-35°C	3.8	—
10W	7,200 @-25°C	60,000 @-30°C	4.1	—
15W	7,800 @-20°C	60,000 @-25°C	5.6	—
20W	8,500 @-15°C	60,000 @-20°C	5.6	—
25W	13,000 @-10°C	60,000 @-15°C	9.3	—
30	—	—	5.6	9.3
30	—	—	9.3	<12.5
40	—	—	12.5	<16.3
40	—	—	12.5	<18.3
50	—	—	16.3	<21.0
60	—	—	21.0	<26.1

潤滑性能に影響の大きい潤滑油の特性の一つが粘度です。

ディーゼル機関用潤滑油の粘度には、SAE(Society of Automotive Engineers: 米自動車技術会)の粘度分類が、国際的に用いられています。

表は、エンジン油のSAE粘度分類をまとめたもので、粘度グレードの数字が大きいほど粘度が高くなります。

小型ディーゼル機関に用いられるマルチグレード油では、2つの粘度分類にまたがるため、10W-30、15W-40などと表示されます。

マルチグレード油は、基油に分子重量数十万程度の高分子化合物(Polymer)の粘度指数向上剤(VI: Viscosity Index Improver)が添加されています。

粘度指数向上剤は、温度によって高分子化合物の形状が変化することによって、高温時の見かけの粘度が高くなるものです。

1) ASTM D2503, 2) ASTM D4694, 3) ASTM D446, 4) ASTM D4693

2ストローク機関用潤滑油 (1)

2ストローク機関の場合、シリンダ油とシステム油の2種類の潤滑油が用いられます。

シリンダ油
シリンダライナ内面に注油され、ピストン、ピストンリング、シリンダライナ側の潤滑を行います。一般的に、粘度はSAE50です。

なお、シリンダライナから掻き出されたシリンダ油は回収され廃棄されます。潤滑油中の炭質分は、燃焼により酸化され、水分に溶け込んで硫酸となります。シリンダライナ表面に付着した硫酸によるシリンダライナ、ピストンリング、ピストンの腐食を防止するため、シリンダ油にはアルカリ性(アルカリ値)が必要ですが、ただし、潤滑油のアルカリ性は、潤滑油の劣化を促進してピストンラッシュなどの原因となるため、シリンダ油のアルカリ値(TBN)には、燃料油の炭質含有量に対応したものを選択します。

[MAN B&W 6S60MC-C] 提供: MAN Diesel & Turbo SE

2ストローク機関用潤滑油 (2)

システム油
クランクケース内部のクランクヘッド、連動棒、クランク軸の潤滑とピストン冷却には、システム油が用いられます。粘度グレードは、SAE30が用いられます。

1-1の基本構造で示すように、上部の圧力を持つ排気室と下部のクランクケースとの間をスタッキングボックスがシールしており、クランクケース内のシステム油が潤滑ガスと接触することはありません。そのため、システム油のアルカリ値(TBN)は10以下のものが用いられます。また、システム油の劣化は少なく、定期的な交換されるものではありません。

[MAN B&W 6S60MC-C] 提供: MAN Diesel & Turbo SE

4ストローク機関用潤滑油

4ストローク機関の場合、シリンダ油、システム油の使い分けなし。

粘度グレードは、SAE30または40が指定される場合が多いです。

小形高速ディーゼル機関では、マルチグレード油(10W-30、15W-40)が指定されている場合もあります。

4ストロークディーゼル機関用潤滑油には、アルカリ値10~50の油が準備されており、使用燃料油の炭質含有量に応じたTBNを選択して使用します。

4ストロークディーゼル機関の潤滑油は、燃焼生成物(炭酸、カーボン)の混入、高温による潤滑油の酸化劣化などが起こるので、使用中の潤滑油の性状を分析し、機関メーカーの指定する規定値を超えたら、交換する必要があります。

また、潤滑油残込み量の少ない小形の4ストローク機関では、規定の運転時間毎に交換を必要とするものもあります。

[YANMAR 6CV16型機関] 提供: ヤンマー(株)

エンジンルームの配管系統

はじめに

エンジン項目

エンジンルームの配管系統コース

ここでは船用大形低速2ストロークディーゼル機関を主機とする船舶の主要な管系(配管システム)と、系統内に設置される代表的な機器及びその役割について概説します。

注)各メーカーまたは造船所の代表的な管系などを参考に作成しましたが、実際の配管の詳細は船々の船型により異なります。

概要

1. 熱機関のひとつ(筒形内部機関)であるディーゼル機関は、燃料が有毒な化学的エネルギーをシリング内における燃焼とピストンクランク機構により、機械的エネルギーに変換します。
2. 効率よく安全にディーゼル機関を運転するためには、次のものを適切に供給または循環させることが必要です。
 - (1) 圧縮空気 (2) 燃料油 (3) 潤滑油 (4) 冷却水
 これらについて順を追って説明します。

圧縮空気管系統 (1) 注)O4機関室補機/ O406(空気圧縮機) コース 参照

トラック用ディーゼル機関などは異なり、船用ディーゼル機関のシリング径は大きく、適宜セルモータの駆動エネルギーでは、始動することはできません。そこで、圧縮高圧空気を蓄積シリング内に送り込み、ピストンを押し下げクランク軸を回転させることにより始動します。更に始動に必要な空気を制御し、順次着火順序に従って各シリングに導くためのシステムと合せて、始動空気管系統です。

図1 始動空気管系統

圧縮空気管系統 (2) 注)O4機関室補機/ O406(空気圧縮機) コース 参照

図1 始動空気管系統

始動空気管系統の概要は、次の通りです。

- (1) 始動空気(高圧空気)管系統
始動機よりシリング内に送り込みピストンを押し下げることにより、実際にクランク軸を回転させるための高圧空気(始動空気)用の配管です。
- (2) 管制空気(減圧空気)管系統
始動空気分配弁により、管制空気を各シリングに取り付けられた空気制御式排気弁に送り、その閉鎖を解除するための配管です。図1に示すように、管制空気管系統は減圧空気管系統のひとつで、高圧の始動空気着火順序に従ってシリング内へ導入されることを実現するための制御用の空気管系統です。

その他への利用
図1に示すように、減圧空気は次の用途にも用いられます。

- ① 排気弁駆動用: 図2に示す排気弁の空気ばねに供給される
- ② 各種制御用空気: 空気圧を利用した各種の制御機器の駆動用
- ③ 潤滑空気: 船内各部での作業等に使用される

図2 2 排気弁作動油加圧ポンプと油圧駆動排気弁

圧縮空気管系統 (2) 注)O4機関室補機/ O406(空気圧縮機) コース 参照

図1 始動空気管系統

圧縮空気管系統 (2) 注)O4機関室補機/ O406(空気圧縮機) コース 参照

図2 2 排気弁作動油加圧ポンプと油圧駆動排気弁

図3 始動・操縦装置の概要

通常、始動及び操縦操作は、機関制御室制御コンソールのハンドルで行いますが、機関運転や緊急時には機関操縦盤から操作することも可能です。

- (1) 始動手続き完了後、機関制御室のハンドルで始動操作を開始すると、始動空気遮断弁が開き、始動空気はまず各シリンダに設けられた空気管射式始動弁に達します。
- (2) 一方、空気管射式始動弁の閉鎖を制御する管制空気は、ハンドルにより選択された回転方向にしたいが、始動空気分配弁に達します。
- (3) ここで始動空気分配弁は、クランク軸の回転により駆動され、始動ハンドルで指示された回転方向の上死点を通過した適切な位置にあるいくつかのシリンダの空気管射式始動弁へ制御空気を送ります。
- (4) その結果、制御空気により空気管射式始動弁が開かれ、始動に適した位置にあるシリンダ内に高圧の始動空気が逐次送り込まれます。
- (5) この高圧の始動空気によりピストンが押し下げられ、所定の回転方向へクランク軸が回転し始めます。
- (6) なお、たとえクランク軸とターニング装置が適合した状態で始動すると機能するため、安全装置として毎回の始動インクロックが組み込まれており、このような状態では始動できない仕組みとなっています。

図3 始動・操縦装置の概要

通常、始動及び操縦操作は、機関制御室制御コンソールのハンドルで行いますが、機関運転や緊急時には機関操縦盤から操作することも可能です。

- (1) 始動手続き完了後、機関制御室のハンドルで始動操作を開始すると、始動空気遮断弁が開き、始動空気はまず各シリンダに設けられた空気管射式始動弁に達します。
- (2) 一方、空気管射式始動弁の閉鎖を制御する管制空気は、ハンドルにより選択された回転方向にしたいが、始動空気分配弁に達します。
- (3) ここで始動空気分配弁は、クランク軸の回転により駆動され、始動ハンドルで指示された回転方向の上死点を通過した適切な位置にあるいくつかのシリンダの空気管射式始動弁へ制御空気を送ります。
- (4) その結果、制御空気により空気管射式始動弁が開かれ、始動に適した位置にあるシリンダ内に高圧の始動空気が逐次送り込まれます。
- (5) この高圧の始動空気によりピストンが押し下げられ、所定の回転方向へクランク軸が回転し始めます。
- (6) なお、たとえクランク軸とターニング装置が適合した状態で始動すると機能するため、安全装置として毎回の始動インクロックが組み込まれており、このような状態では始動できない仕組みとなっています。

燃料油供給システム (1)

- (1) 配付タンク等に貯蔵されている燃料油(重油HFO・Heavy Fuel Oil)は、燃料油移送ポンプにより遊星タンク (Setting tank) に送られ、塵埃により不純物の沈殿を行ったのち、燃料油洗浄機などにより不純物を取り除いて常用タンク(Daily service tank)に保管されます。
- (2) 機関室を使用する船舶であっても、出入港時などは主機関の始動・停止を繰り返すため、着火性及び燃焼性に優れた軽油(DO/Diesel Oil)も備用を使用します。そのため必要に応じてこれらの燃料を切り替えることができますように、遊星タンクの常用タンクと切替ラインが装備されます。

図4 燃料油供給システム

燃料油供給システム (1)

- (1) 配付タンク等に貯蔵されている燃料油(重油HFO・Heavy Fuel Oil)は、燃料油移送ポンプにより遊星タンク (Setting tank) に送られ、塵埃により不純物の沈殿を行ったのち、燃料油洗浄機などにより不純物を取り除いて常用タンク(Daily service tank)に保管されます。
- (2) 機関室を使用する船舶であっても、出入港時などは主機関の始動・停止を繰り返すため、着火性及び燃焼性に優れた軽油(DO/Diesel Oil)も備用を使用します。そのため必要に応じてこれらの燃料を切り替えることができますように、遊星タンクの常用タンクと切替ラインが装備されます。

図4 燃料油供給システム

燃料油供給システム (2)

- (3) 常用タンクの燃料油は、流量計を経由して燃料油ブーストポンプにより燃料噴射ポンプへ噴射され、燃焼します。
- (4) 燃料噴射ポンプから高圧で送出された燃料油は、シリンダ内に取り付けられた燃料噴射弁から高圧噴霧としてシリンダ内に噴射され、燃焼します。
- (5) 燃料噴射弁駆動部の閉鎖などから発生した燃料油は、燃料油戻り遊タンクへ戻され、再び主に供給されます。
- (6) 燃料油ブーストポンプと燃料噴射ポンプの間には、潤滑に適した粘度を維持することを目的として、燃料油加熱器および粘度調整器が設置されるとともに、細かい不純物を除去するためにフィルタが設置されます。

図4 燃料油供給システム

燃料油供給システム (2)

- (3) 常用タンクの燃料油は、流量計を経由して燃料油ブーストポンプにより燃料噴射ポンプへ噴射され、燃焼します。
- (4) 燃料噴射ポンプから高圧で送出された燃料油は、シリンダ内に取り付けられた燃料噴射弁から高圧噴霧としてシリンダ内に噴射され、燃焼します。
- (5) 燃料噴射弁駆動部の閉鎖などから発生した燃料油は、燃料油戻り遊タンクへ戻され、再び主に供給されます。
- (6) 燃料油ブーストポンプと燃料噴射ポンプの間には、潤滑に適した粘度を維持することを目的として、燃料油加熱器および粘度調整器が設置されるとともに、細かい不純物を除去するためにフィルタが設置されます。

図4 燃料油供給システム

概要

ピストンとシリンダの運動部、クランク軸などの軸受、動弁装置などは、熱や大きな力を受けながら作動し続けます。これらの部分に潤滑油を適切に供給し、焼き付きなどが生じないようにするために潤滑油を供給する装置が必要です。

潤滑油系統は、次の2つの系統に分けられます。

- (1) システム油系統
各部の潤滑等を行う系統です。この潤滑油は、管系の途中にフィルタなどを設置し、突如物の除去等を行いつつ循環して使用されます。シリンダ内の潤滑については、低速ストロークディーゼル機関などは②に示した別系統を構築しますが、軽貨車を用いる中速ディーゼル機関では、システム油の一部をシリンダ油へ供給することによりシリンダ内の潤滑もを行います。なお、出力が大きい低速ストロークディーゼル機関では、燃焼室からの高温にさらされるピストン頭面を冷却するため、ピストンを内部から潤滑油で冷却することが一般的です。このピストン冷却油は、一般的にシステム油系統から分岐されます。
- (2) シリンダ油系統
低速ストロークディーゼル機関など出力の大きな機関や重貨油を使用する機関の場合、システム油系統とは別に、シリンダ内へ所要の性能を備えたシリンダ油を供給します。シリンダ油は専用の注油機によりシリンダ内に高圧で供給され、ピストン(リングとシリンダ壁)間の潤滑等を行います。シリンダ油の大部分は燃焼し燃焼ガスとともに排気として排出され、残りは燃焼残渣等により汚損しドレンとして排出されるため、システム油とは異なり繰り返し使用されません。

潤滑油系統 (2)

図5 潤滑油系統

- 1 システム油系統
 - (1) 潤滑油タンクから潤滑油ポンプで吸入されたシステム油は、潤滑油冷却器により計画温度へ冷却された後、主機へ供給されます。
 - (2) 主機に供給されるシステム油は、次の経路に分岐されます。
 - ① 主軸受潤滑油系統
 - ② ピストン冷却油系統
 - ③ カム軸潤滑油および排気弁作動油系統
 - ④ 高回転軸受潤滑油系統
 - (3) 各部の潤滑、冷却等を行った後、システム油はオイルパン(流路)に集められ、重力で潤滑油タンクに戻ります。
- 2 シリンダ油系統
 - (1) シリンダ油は、貯蔵タンクよりポンプでシリンダ油計量タンクに汲み上げられ、送油管まで高圧で供給されます。
 - (2) 注油機により、シリンダ内に注油されたシリンダ油の大部分は、燃料と共に燃焼し、残りはスワッピングボックスのドレンとして回収されます。

潤滑油系統 (2)

図5 潤滑油系統

原理

図6 冷却清水系統

- (1) 冷却清水系統(図6)
 - ① 清水冷却器で冷却された清水は、清水ポンプで主機に供給、循環されます。清水冷却器の冷却は、海水を利用します。
 - ② 温調機は冷却器出口に設けられた三方口温度調整弁で行います。
 - ③ 廃熱を海水に利用するため、海水装置を経由して清水冷却器に戻ることが一般的です。
 - ④ 主機メーカーコメントにより防凍装置を装備する場合や、また、機関の目的で加熱器を装備する場合があります。
 - ⑤ 清水で冷却を行う場合、送油機の注入等による水質管理が可能となり、水衣部の汚損・防錆に備えています。

原理

(2) 冷却海水系統(図7)

- ① 小形機関では直接海水で主機を冷却するものもありますが、保守の観点からは機関の冷却は清水とすることが望ましいです。
- ② 腐食対策等の観点から、海水配管はできるだけ少なくすることが好ましいです。
- ③ 冷却海水は、冷却水の冷却以外に、前述した潤滑油系統の潤滑油冷却器など各種の冷却器へも送られ、潤滑油などの冷却にも利用されます。

図7 冷却海水系統