

漁船の実用的な省エネルギー方策 [連載・第6回]

第4章 機関部の省エネルギー

4.1 漁船機関の動向

1) 漁船における燃料消費モデル

図1は漁船における燃料消費モデルを示したものである。燃料であるA重油もしくは軽油を消費する機関は推進用ディーゼル機関の主機と、発電用ディーゼル機関の補機である。このときの燃料消費量 Q [kg/h] は次式で表される。

$$Q = Q_M + Q_G \quad (1)$$

$$Q_M = be_M P_M = be_M \frac{VR}{\eta} \quad (2)$$

$$Q_G = be_G P_G \quad (3)$$

ここで、 P は機関出力 (kW)、 be は機関の燃料消費率 (kg/kWh)、 V は船速 (m/s)、 R は推進抵抗 (N)、 η は推進効率であり、添字 M は主機を、 G は補機をそれぞれ表す。

2) 省エネルギー対策の方針

上記の式に機関の運転時間 T_M 、 T_G を加味すると、漁船で消費する燃料消費量は次式が得られる。

$$Q = be_M \frac{VR}{\eta} T_M + be_G P_G T_G \quad [\text{kg}] \quad (4)$$

この式を基にして、省エネルギー対策の方針を立てると、下記のようになる。

①燃料消費量の計測

漁船の場合、主機および補機の燃料消費量を計測するための流量計はあまり設置されない。このため、省エネルギーの効果を正確に評価できないので、まずは燃料消費量を計測することから始める必要がある。これを「見える化」と呼んでいる。

②低燃料消費率機関 be の採用

就航後の主機および補機の換装は現実的に困難なので、計画建造時に可能な限り低燃料消費率機関を採用する。

③減速運転 V の実施

建造計画時に過大な船速設定はすべきでない。また、竣工後においても船速をできるだけ減速させる。

④船体・漁具抵抗 R の削減

計画建造時に船体および漁具抵抗の削減を図る。

⑤高推進効率化 η

計画建造時に船体および推進器の組み合わせによる推進効率の向上を図る。

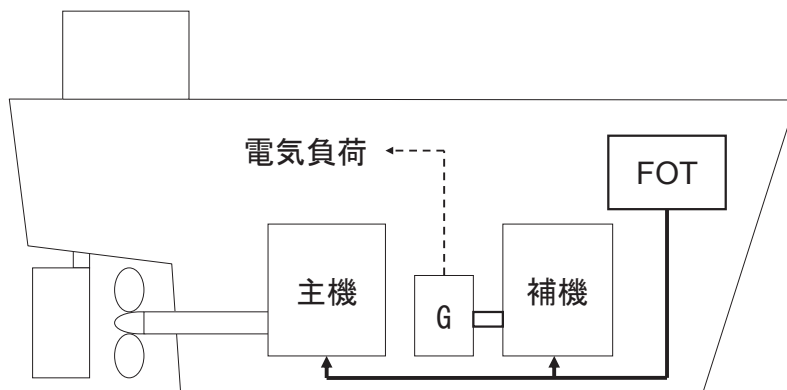


図1 漁船におけるエネルギー消費システム

⑥電力負荷 P_e の軽減

建造計画時に電力負荷の需要予測に対する発電機容量の増大化を防ぐとともに、竣工後には可能な限り船内電力の削減を図る。

⑦運転時間 T の短縮

往復、探魚、操業、適水、停泊時における主機および補機の運転時間を少なくする。

3) 各種漁船における燃料消費量の実態

図2に160トン型樽かけ回し底びき漁船、65トン型オッターボード式底びき漁船、19トン型近海まぐろ延縄漁船の運航別の主機および補機の燃料消費量の内訳を示す。これによると、3漁船とも往復航および操業（適水を含む）区分の燃料消費割合が高い。このことから、前述した省エネルギー対策の方針の

うち、往復航および操業区分に関連する往復航時および操業時の減速運航と、船体・漁具抵抗の軽減が省エネルギーの費用対効果大きいことが裏付けられる。

4) 機関における燃料消費量の評価方法

漁船における燃料消費量の評価には、燃料消費率および燃料流量の二つがある。

燃料消費率 be とは、機関における出力・時間あたりの燃料流量であり、次式で表される。

$$be = \frac{1000Q}{P} \quad [g/kWh] \quad (5)$$

ここで、 Q は燃料流量 [kg/h]、 P は機関出力 [kW] である。

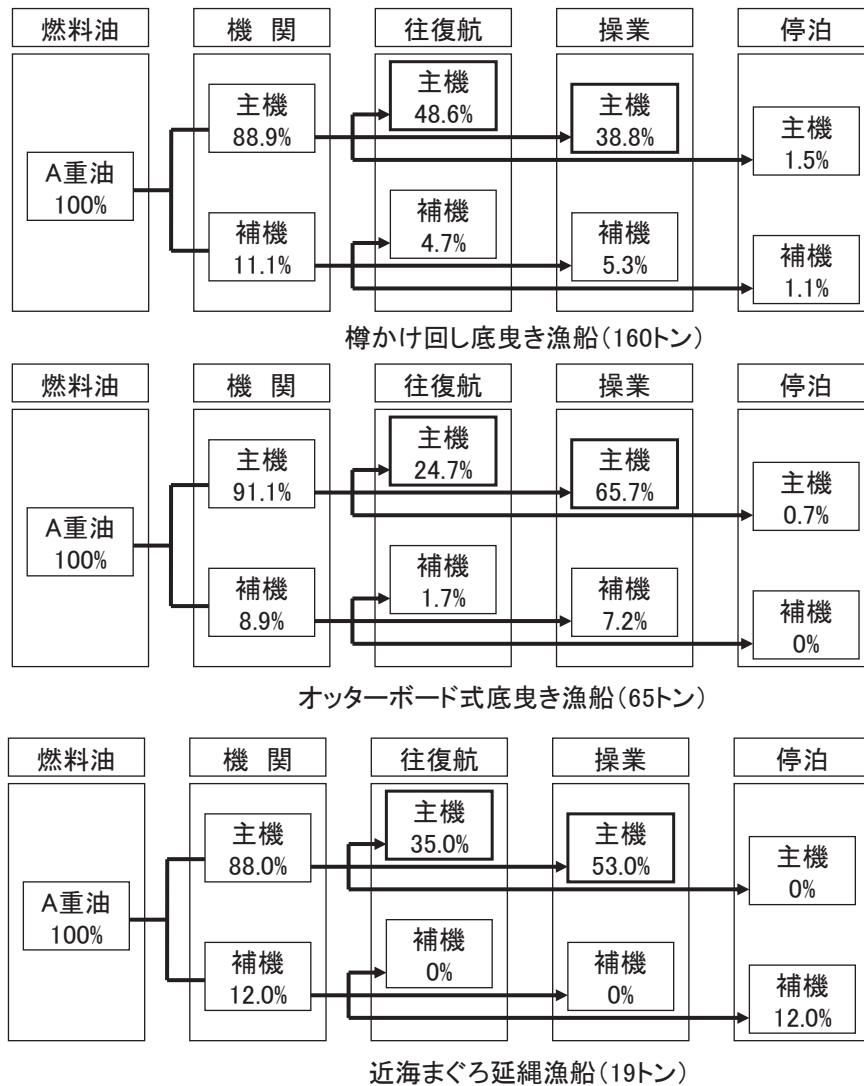


図2 各種漁船における燃料油の消費内訳

①燃料流量

燃料流量 Q は単位として [kg/h] または [L/h] で表される。漁船の場合、燃料搭載時の商取引において、[L] が用いられる。また、外航船の場合、[MT] (Metric Ton: メトリックトン) が用いられる。これは、重量換算単位の一つで、メートル法でのトン (1,000キログラム) のことである。余談ながら、[LT] (Long Ton: ロングトン) は重量換算単位の一つで、英トン (1,016.0469088キログラム、2,240ポンド) のことであり、[ST] (Short Ton: ショートトン) は重量換算単位の一つで、米トン (907.18474キログラム、2,000ポンド) のことであり、注意を要する。

燃料流量 [kg/h] を直接計測するには質量流量計が用いられるが、非常に高価なので一般的には容積流量計が用いられる。この場合、1Lもしくは10L通過したときの時間を計測し、毎時リットルに換算すると、[L/h] が得られる。ただし、燃料容積は燃料温度により変化するので、15°Cの油温に換算して表示される。換算方法は、石油類の温度に対する密度換算プログラムソフトも市販されているが、市販されている石油類 密度・質量・容量換算表 (以下、換算表という) により、ガラス製密度浮ひょう (比重計のこと) を用いて、密度を15°Cの密度に換算する方法が用いられる。具体的にはサンプル油をガラス製密度浮ひょうおよび温度計を用いて密度および温度を得る。これらの数値から換算表により換算密度 (15°C) が得

られる。次に換算密度と流量計を通過した燃料の油温から、換算表により容積換算係数が得られる。この係数と計測された容積の乗算により得られた数値は15°Cの換算容積である。また、[kg] を得るには、換算密度と換算容積の乗算により得られる。簡易的には次式が用いられる。

$$m = \frac{(\rho_t - 0.7(t - 15)) \cdot Q}{1000} \quad (6)$$

ただし、 m [kg] は質量、 ρ_t はサンプル油の油温 t における計測密度 [kg/m³]、 t は同計測温度、 Q [L] は燃料容積である。

次に、燃料流量計の設置場所を図3に示す。小型漁船における主機の場合、燃料タンクから燃料フィードポンプを経て燃料ポンプに送られ、余剰の燃料は直接燃料タンクに戻る方式をとっている。通常、機関の定格出力における燃料消費量の3~5倍の流量を燃料フィードポンプが燃料ポンプに送り込んでいる。このような燃料系統では図に示すように燃料供給ラインと燃料戻りラインの2か所に流量計を設置し、その差を燃料消費量としている。

大形漁船でも同様であるが、燃料タンクと主機の間に空気分離器と空気抜き管を設けるので、燃料タンクから空気分離器までの配管に燃料流量計を設置する。この場合、この流量計の数値が機関の燃料消費量になる。なお、上記の小型漁船で示した燃料系統を有する場合でも、空気抜きを設置

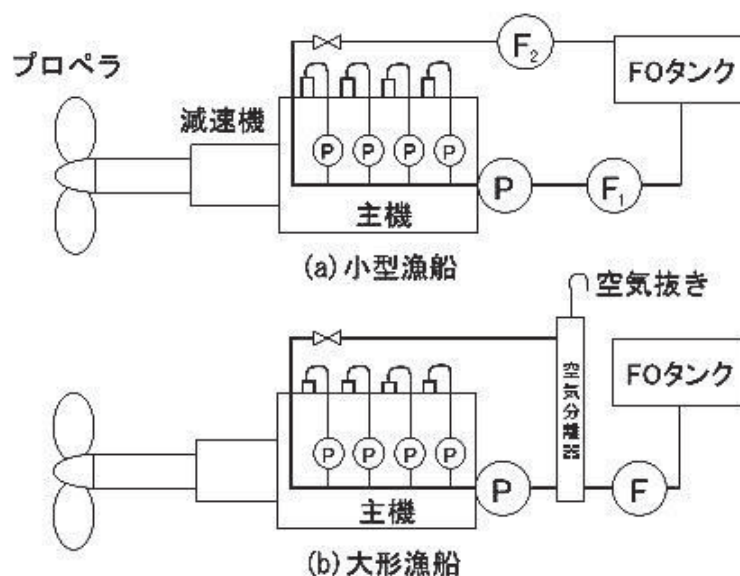


図3 漁船における燃料系統の概要

して燃料流量計を1つのみ設置することがある。この目的は、計測誤差を小さくするためである。

②機関出力

機関出力は、プロペラ軸に取り付けられた軸出力計により、プロペラ軸のねじりモーメント（トルク）と軸回転数が計測され、それらの乗算により軸出力、すなわち機関出力が算出される。しかし、この計測装置は漁船ではほとんど装備されない。機関出力の推定方法は、JIS-Fにより明記されているが、一般的には次に2つの方法が用いられる。

一つは、ディーゼル主機の陸上公式試運転結果をもとに、縦軸に機関出力、横軸に回転数と調速機のガバナーインデックスの積をとり、各負荷時（50、75、100%）の数値をプロットしたものを作成しておき、出力を求めるときどきの回転数とガバナーインデックスの積を入力して算出する。

もう一つも同様に縦軸に機関出力、横軸に過給機タービン回転数をとり、各負荷時（50、75、100%）の数値をプロットしたものを作成しておき、出力を求めるときどきの過給機タービン回転数を入力して算出する。

なお、機関出力とは、国際標準では機関クランク軸出力端における出力である。しかし、漁船主機の場合、機関と減速機が一体の構成をとるため、減速機出力フランジ端とする場合があるので注意する必要がある。この場合、機関クランク軸出力端に換算するには、減速機効率、たとえば0.98で除算すれば良い。

5) 燃料消費率の表示方法

今、図4にディーゼル機関の燃料消費率の一例を示す。一般的な傾向として、機関の負荷率が増加すると、燃料消費率も向上するが、定格出力時には若干悪化する。このとき、この機関における燃料消費率は一つの数値をもって表されるが、その表し方にはいくつかの方法がある。

①負荷率100%値

最も一般的な表現方法である。機関の負荷率100%における燃料消費率を代表値とする。

②最小値

負荷率に関係なく、燃料消費率の最小値を代表値とする。（図4に示す）

③4モード（可変速機関）

各負荷における燃料消費率に重み係数（JIS B 8008-4 試験サイクルE3に定める出力25%、50%、75%、100%時）を乗じ積算した数値である。ただし、回転数100%負荷率100%で0.2、回転数91%負荷率75%で0.5、回転数80%出力50%で0.15、回転数63%出力25%で0.15の重み係数とする。この算出方法は、省エネ機器等導入推進事業 省エネ機器導入指針（一般社団法人漁業経営安定化推進協会）で用いられている。

④4モード（定速機関）

各負荷における燃料消費率に重み係数（JIS B 8008-4 試験サイクルD2に定める出力25%、50%、75%、100%時）を乗じ積算した数値を代表値とする。ただし、回転数は定格回転数であり、トルク100%で0.05、トルク75%で0.25、トルク50%で0.3、トルク25%で0.3の重み係数とする。

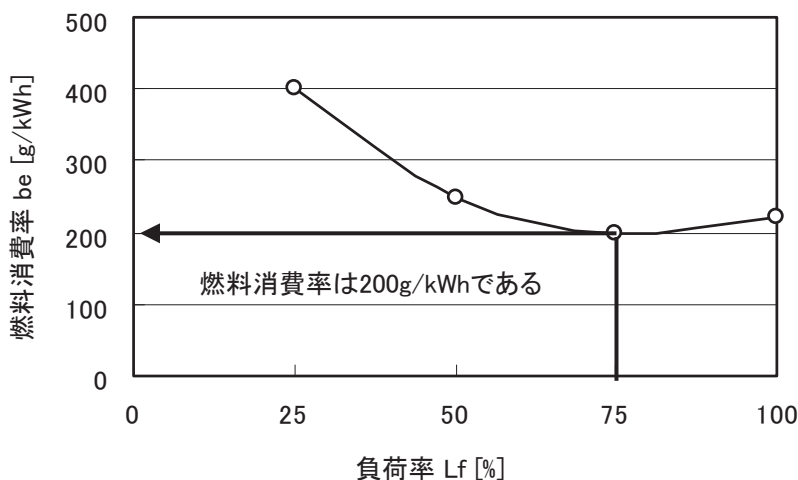


図4 機関の燃料消費率の一例

以上のように燃料消費率の表し方において、出力の計測場所、燃料消費率の算出方法が複数存在するので、どの方法を用いて算出されているのかを注意する必要がある。

6) 機関選定時における燃料消費率の注意事項

図4に、ある機関の燃料消費率を示す。燃料消費率が最も少ない数値をこの機関の燃料消費率とすると、図の例では燃料消費率200g/kWhの機関であるという。次に、同じ系統のファミリー機関の定格出力450、540、670、735kWの4種の燃料消費率の一例を図5に示す。高出力機ほど、燃料消費率は改善される。これらの機関の燃料消費量 [kg/h] を縦

軸に、出力を横軸にとると図6に表される。建造時に算出される所要主機出力が400kWとすると、搭載予定の定格出力450kWの機関の代わりに、燃料消費率が約10g/kWh改善できるという理由で735kWの機関を選択する。これにより、400kWの運転出力では、定格出力735kWの機関では、定格出力450kWの機関に比べて、約10kg/hの燃料消費量の増加をもたらすことになる。このことから、機関の選定にあたっては、燃料消費率だけでなく、燃焼消費量も合わせて考慮する必要がある。建造時の機関出力も選定を間違うと、省エネルギーどころか燃料消費量の増加をもたらす危険性があることを認識する必要がある。

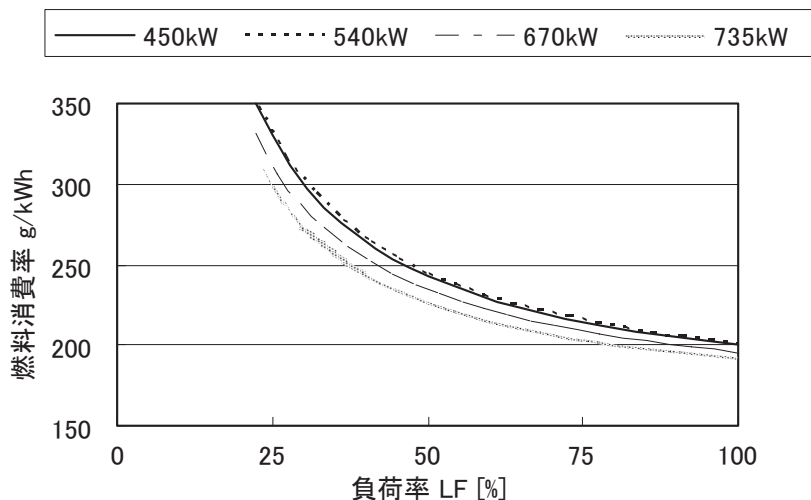


図5 機関の負荷率と燃料消費率の関係の一例

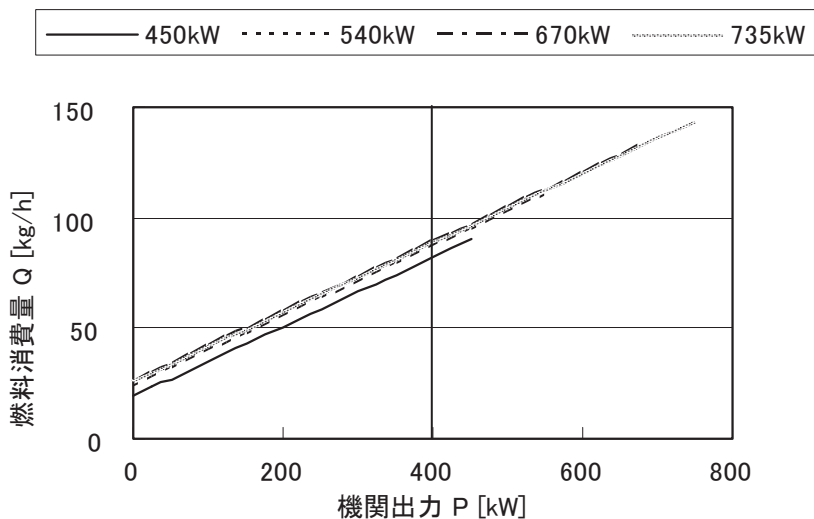


図6 図5に示した機関の出力と燃料消費量の関係

7) 漁船用主機の燃料消費率の変遷

漁船用主機の燃料消費率の変遷を明らかにすることは困難である。なぜならば、機関メーカーではトン数別の搭載可能な機関の燃料消費率を確実に把握しているが、ユーザー側である著者は複数社の機関メーカーのカタログをもとに推察しなければならないからである。そこで、20トン未満の小型漁船用主機の燃料消費率の変遷をメーカーのカタログ値から抜き出し、推察したものが図7である。時代背景、法律上の規制などを踏まえて、著者の独断で変動理由を記述する。なお、機関メーカーは1gの燃料消費率の低減に努力を重ねているので、的外れの記述にはご容赦いただきたい。

2000年ごろまで漁船用主機の燃料消費率の低減は見られない。これは社会的に低減しなければならない理由がなかったためと考えられる。

ところが2005年に窒素酸化物の排出規制が実施された。これは、機関出力130kW以上の原動機に適用された国際的な排出規制である。機関メーカーではこの規制値をクリアするため、過去に実施された陸上用原動機の窒素酸化物の低減方法を導入した。すなわち、圧縮比の増加、過給機のマッチングによる吸気圧力の増加により、窒素酸化物の低減と燃料消費率の低減が同時に得られたものである。このため、2005年以降を燃料消費率が低減したものと考えられる。

次に2012年に実施されたTier II と呼ばれる窒素酸

化物の排出規制では、Tier I に比べて20%程度の窒素酸化物の排出削減が求められた。この対策として、Tier I に導入された技術では対応できず、新たな方法が必要であった。排ガス中の窒素酸化物と燃料消費率の関係はトレンドオフの関係にあり、窒素酸化物の排出量は燃焼ガス温度の低下に伴って減少する。このことから、排気ガス温度を低下させる方法として、吸気弁の開時期を遅らせるか、閉時期を早めるかの対策、すなわちミラーサイクルが導入された。当然ながら、この対策は燃料消費率を悪化させるので、その分を過給機の高性能化、機関とのマッチングの改善により燃料消費率の悪化を補い、結果的に燃料消費率の大きな改善は見られなかった。

今後、2025年前後に規制される更なる窒素酸化物の排出規制Tier III では更に80%の削減が求められる。これは、従前のミラーサイクルでは達成できないので、たとえば、排ガス循環方式EGRや排気ガスへの尿素の注入による窒素酸化物のアンモニア化SCRなどの導入が必要になろう。したがって、将来的には大幅な燃料消費率の改善は期待できないであろう。

以上のことから、省エネルギー対策の方針としては、建造時には過大な計画船速を設定しない、機関の計画出力に対して過大な出力を選定しない。燃料消費率の良好な機関の選択、またありきたりな言葉であるが、航走時および操業時の船速の低下が重要であろう。

(*酒井久治)

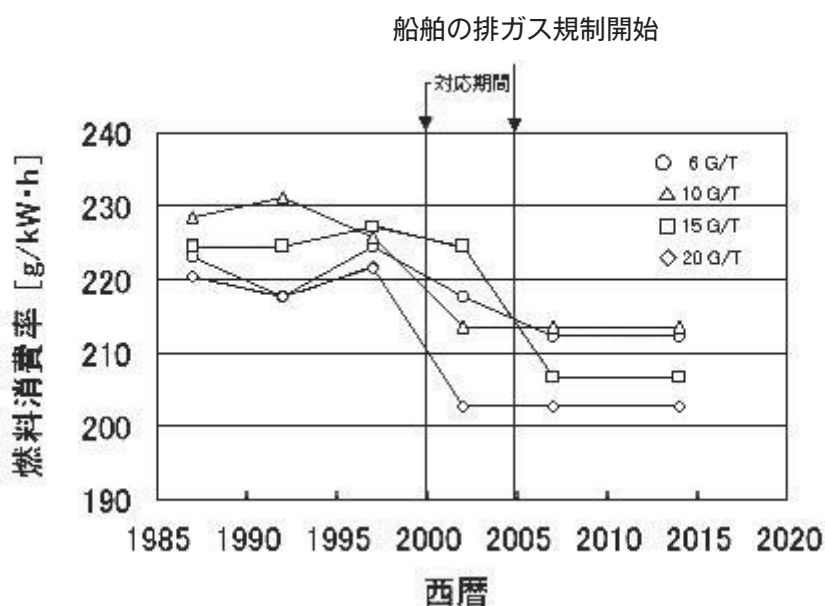


図7 小型漁船用主機の燃料消費率の動向

*東京海洋大学 海洋科学部 海洋環境学科 教授