

## 漁船の実用的な省エネルギー方策 [連載・第9回]

### 第6章 まとめ

本特集の第1回（本誌116号、2014.7）の冒頭で述べたように、わが国の漁船漁業の省エネルギー対策を確実に推進するためには、技術開発のみならず、漁船の省エネルギー化に関する知識の普及啓発を促進することが重要である。そのような観点に立ち、本号までの約1年半、「漁船の実用的な省エネルギー方策」として、ハード（省エネルギー設備）とソフト（運用技術）の両面から漁船の省エネルギー技術を俯瞰しつつ、各種の省エネルギー方策の解説並びに漁船の省エネルギー化を目的とした幾つかの最新のトピックスの紹介など、これまで計8回にわたりの連載してきた。

この特集では、これまでに公表された多くの調査研究結果のレビューに基づく各種の省エネルギー技術あるいは方策を取り上げた。特に、漁船の要素技術などに着目して実用的な省エネルギー指針として平成25年にとりまとめられた、国立研究開発法人水産総合研究センター水産工学研究所及び開発調査センターの公表資料（一部、非公開）<sup>1), 2)</sup>の記載内容を基礎としている。

#### 6.1 换算

この特集を連載する過程で、本誌の編集委員会で漁船漁業の省エネルギー化に関連して、次に示す幾つかの情報が話題となった。

- (1) ウェザーラーティングによる漁船の省エネルギー化に関する研究
- (2) 減速運航の組織的な取組み例、例えば速力競争を必要としない水揚げ方式の導入など
- (3) 「船体延長」による省エネルギー化

なお、(1)に関して、最近、日本沿岸に就航する内航商船を対象としてウェザーラーティング(Weather Routing)による最小燃料消費航路(MFR:

Minimum Fuel Route) の計算法を検討するとともに、シミュレーションにより省エネルギー効果を評価した結果が報告されている<sup>3)</sup>。漁船と商船の運航パターンは異なり、文献<sup>3)</sup>の結果をそのまま漁船に適用することは出来ない。したがって、漁船を対象としたウェザーラーティングによる省エネルギー化に関する調査研究結果は興味深い。現在、その最終的な結果を取りまとめ中のため、公表できる段階にはないと聞いている。今後の研究成果の公表に期待する。また、(2)及び(3)については、その後、新たな詳細情報が得られないこと、あるいは計画延期などのため、ここに紹介する段階にはない。

今後、このような事例を含めて、漁船漁業に係わる新たな省エネルギー化への取組みや技術開発に関する情報収集に努め、次の機会に報告したい。読者の皆様からの情報提供を期待する（情報提供は当協会の編集委員会事務局まで）。

さて、「2.6 可変ピッチプロペラの構造及び運用とその省エネルギー効果」で可変ピッチプロペラの特性などについて詳細に解説されている。ここでは、文献<sup>2)</sup>に照らして参考となるプロペラに関する情報について以下に補完する。

#### 6.1.1 プロペラ性能（プロペラ特性）

プロペラの性能（プロペラが発生するスラスト、トルク及びプロペラ効率）は、図6.1.1に示すような図（あるいは表）で示されるのが一般的である。

このような図を一般的にプロペラ単独性能曲線図と呼ぶ。プロペラは、船の船尾に装備されることから、通常、船体形状の影響を受けた流れの中で作動する。しかしながら、プロペラの性能は、プロペラが船の後ろに取り付けられた状態の性能（特性）ではなく、プロペラが単独で一様な流れの中で作動する状態の性能を表すことが一般的であり、その意味

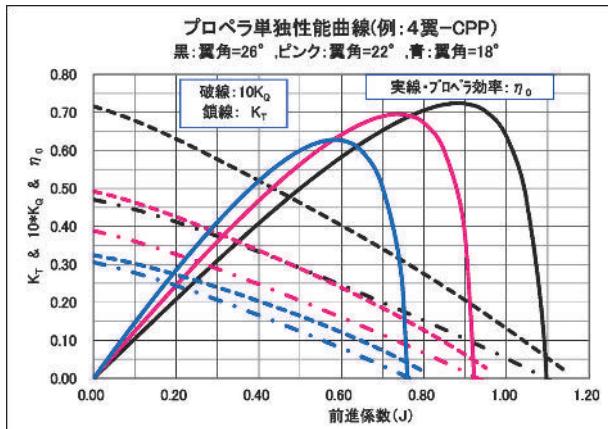


図6.1.1 プロペラ単独性能曲線図の例  
(4翼CPP: 幾つかの翼角のみ表示)

で、プロペラ単独性能と呼ばれている。なお、プロペラの性能は、翼数、翼型、翼展開面積比などのプロペラの要目により異なる。

図6.1.1には、図の煩雑さを避けるため、4翼の可変ピッチ・プロペラ(CPP)の翼角が26°(ピッチ比: 約1.07に相当)、22°(同: 約0.89)及び18°(同: 約0.71)の3組の性能曲線群のみ示した。

このように、CPPの場合は、プロペラの前進係数( $J$ : プロペラが前進する速度に対応する値)に対して、プロペラが発生するスラスト(推力)の大きさを示すスラスト係数( $K_T$ : 図中の鎖線)、トルクの大きさを示すトルク係数( $K_Q$ : 図中の点線)。性能曲線図では、値を10倍して表示されるのが一般的である)およびプロペラ(単独)効率( $\eta_{\infty}$ : 図中の実線)の3本1組とする5~6組の曲線群としてプロペラ性能が示される。

一方、固定ピッチ・プロペラ(FPP)ではピッチが固定され、例えばピッチ比が約0.89の固定ピッチ・プロペラの場合、図6.1.1の図中のピンク色で示されたスラスト係数、トルク係数及びプロペラ効率の3本の曲線で示される特性となる。

なお、スラスト係数などそれぞれの係数の定義についてはNote-1を参照のこと。また、プロペラ効率は、Note-1に示すように、前進係数、スラスト係数及びトルク係数から求まる。

図6.1.1から、CPPのプロペラ効率について、以下のことが分かる。

①例えば、翼角が22°(ピッチ比が約1.07のFPPと考えてもよい)に着目すると、プロペラ効率は、

前進係数( $J$ )が大きくなるに従って右肩上がりの傾向を示し、前進係数が約0.75となる付近で最大値約0.69を示す。それ以上の前進係数になるとプロペラ効率は急激に小さくなる。

②翼角(ピッチ比)が大きくなると、プロペラ効率の最大値は増加する。

③この図で、例えば、翼角が最も大きな曲線(22°: 黒色の実線)と最も小さな曲線(18°: 青色の実線)に着目すると、 $0 \leq J < \text{約}0.6$ の範囲では、翼角18°の方がプロペラ効率は高い。すなわち、前進係数( $J$ )が約0.6以上となる運用状態(例えば、通常の航海時などに相当と推測される)では、翼角22°の方がプロペラ効率は高い。

一方、前進係数( $J$ )が約0.6以下となる運用状態(例えば、荒天時に大波浪を受けて前進する場合、あるいは底びき網の漁具を曳く場合など、大きな力を必要とする場合に相当)には、翼角18°の方がプロペラ効率は高い。

このことは、CPPでは翼角(ピッチ)と回転数( $n$ )の適切な組み合わせを選択すれば、船体の負荷状態に応じたプロペラ効率の高い状態でプロペラを運用できることを意味する。したがって、CPPを適切に運用することにより、省エネルギー効果が得られる可能性がある。なお、燃料消費量はプロペラ効率のほかに、各種のパラメータに影響されることに留意する必要がある。

以上のように、船舶の負荷状況に応じてプロペラのピッチと回転数を変更してプロペラ効率の比較的高いポイントで運用できることがCPPの特徴のひとつである。一方、FPPではピッチが固定されていることから、負荷状況に応じて変更できるのはプロペラ回転数のみである。

図6.1.1には、代表的な3種類の翼角に対応した性能曲線群を示したが、実際のCPPの運用では翼角を連続的に変更できることから、翼角と回転数( $n$ )を適切に調整することにより、原理的には、図に描かれた翼角の異なる3本のプロペラ効率曲線群の抱絡線上に相当するプロペラ効率、すなわち、プロペラの負荷状態に応じてプロペラ効率が最大となるポイントで運用できる可能性がある。

しかしながら、現実には、主機関の運転特性に一定の制限(例えば、連続使用が可能な最低回転数、あるいは最大トルクの制限など)があること、ある

いは、船体抵抗特性や船体・プロペラの相互作用などから、燃料消費量が最小となる翼角と回転数の組み合わせが決まり、必ずしもプロペラ効率が最大となるポイントと一致するとは限らない。

以上のように、CPPでは、一定の制限条件はあるものの、同一の船速に対して、「翼角（ピッチ）」と「回転数」（プロペラの回転数は、主機関の回転数に減速装置の減速比を乗じた値となるので、主機関の回転数と読み替えるても良い）に関して各種の組み合わせが可能である。したがって、原理的には、その両者の適切な組み合わせを選択することにより、プロペラ効率の良い状態で運用できることから、燃料消費量の削減が期待できる。

そのためには、プロペラ・メーカから提供される手引き・資料（マニュアル）に従って「翼角」と「回転数」の両者を適切に操作・設定することが求められる。

ところで、実際の漁船の運航では、風波浪等の影響を受け船舶の負荷状態は時々刻々変化するのが一般的である。したがって、そのような環境下において、手動でCPPプロペラの「翼角」と「回転数」の最適な組み合わせを選定・設定する操作は非常に複雑であると言われている。また、煩雑である。なお、「翼角」と「回転数」の組み合わせの選定が不適切である場合にはプロペラ効率が極端に悪い状態で運用される危険性があること、あるいは主機関に過大な負荷を与え、主機関故障などの不具合を生ずる危険性も孕んでいる。

このようなことから、CPPの実際の運用に当たっては、一定のコストを要するものの、船舶の負荷状態に応じて「翼角（ピッチ）」と「回転数」の最良な組み合わせを自動的に制御する装置（例えば、自動負荷制御装置ALC（Automatic Load Control：負荷一定制御）、コンビネータコントロール、自動船速制御装置（ASC：Automatic Speed Control）、あるいはプログラム制御装置（PGM）など）など、CPP装備船には何らかのCPP制御装置が導入されているのが一般的である。これらの自動制御装置については、第2章の2.6に詳述されている（本誌119号、2015.1参照）。

CPPの運用例を以下に示す。

#### 例-1：61GT型漁業調査船

（L<sub>pp</sub> × B × D × d=25.0m × 5.20m × 2.0m × 1.7m、

満載出港状態の排水量：約130トン、  
主機関：1,000PS×900/523rpm）

例示船は、4翼のCPP（プロペラ直径=1,500mm）を装備している。定期点検の一環として、船体及びプロペラ清掃後に、プロペラ翼角一定（翼角18.5°）並びに主機関回転数一定（810rpm：約80%MCR）とした速力試験が実施された。その解析結果を図6.1.2に示す。なお、図中の縦軸の値、1時間当たりの燃料消費量（L/h）は、燃料流量計による実測値である。

例示船の通常の航海速力は11～12ノットとされている。この例に限れば、船速を9ノットから12ノットの範囲で運用する場合、船速が約11.5ノット以下では、翼角を一定として運航する場合（例えば、翼角を18.5°に固定して回転数を変更する方法）は、回転数を一定として運航する場合（例えば、主機関の回転数を810rpm一定として、CPPの翼角を変更する方法）に比べて、燃料消費量（L/h）が少ないことが分かる。

例えば、船速10ノットで比較すると、回転数一定運航（回転数：810rpm、翼角：約13.4°）に比べて、翼角一定運航（翼角：18.5°、回転数：約619rpm）の場合が、燃料消費量（L/h）が約32%少ない結果となっている。

このことは、同じ船速であっても、CPPの翼角と回転数の設定により燃料消費量が異なることを意味している。換言すれば、適切な翼角と回転数の組み合わせを選択することにより、ある船速における燃

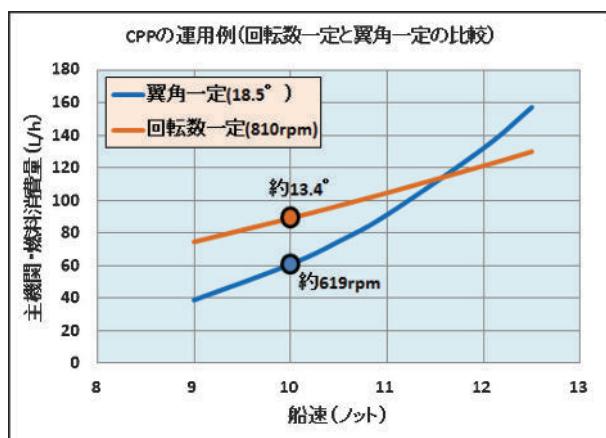


図6.1.2 CPPの運用例  
(翼角一定、並びに回転数一定とした場合の船速と  
1時間当たりの燃料消費量の関係)

料消費量を最小にできる可能性があることを意味している。

ここに示した結果は一例であり、翼角や回転数の設定値（それを一定とするために選択した値）、あるいはプロペラ特性や船体抵抗特性などにより、燃料消費量の削減効果は異なることに注意する必要がある。

ところで、CPPを装備した漁船について、プロペラの翼角（ピッチ）と回転数の適切な組み合わせによる燃料消費量の削減効果を推定するには、船体抵抗特性（船速と抵抗の関係）並びに推進係数に係わる各要素の値が必要となる。その中の重要な要素のひとつが「プロペラ効率」である。しかしながら、プロペラの主要目（直径、ピッチ、翼数など）の公表例は比較的多いものの、「プロペラ効率」の値を特定するために必要なプロペラ単独性能に関する資料（図6.1.1に示したようなプロペラ性能曲線図あるいはプロペラ性能を示す数表など）あるいはその他の要目（例えば、展開翼面積など）については、漁業調査・練習船などの一部の官庁船を除き、漁船ではほとんど公表されていないのが現状である。

漁船の省エネルギー化の促進、並びに省エネルギー効果の検証などのためには、プロペラ性能曲線（数表）をはじめ、プロペラ性能に関する資料の公表を期待したい。

### 6.1.2 大直径・低回転プロペラ

1970年代の石油ショック時には、省エネルギー対策のひとつとして、船舶では「大直径プロペラ」を採用して「低回転」で運用する方策が普及した（いわゆる、「大直径・低回転」プロペラの採用）。現在でも、この方策が省エネルギー対策のひとつとして採用されることが多い。

このことは、以下に示す理由による（文献<sup>4)</sup>から転載。ただし、説明の便宜上、数式番号の付加など、筆者が微少の修正した箇所がある。）

### §5. (プロペラの) 運動量理論

この理論は、1865年にRankineによって初めて導かれた。その後、1883年にR. E. Froudeによって改良された。初期の運動量理論は、プロペラを一枚の作動円盤Actuator Discと考えて、そこを通過する水は、軸方向に一様に加速されて、その反動Reactionでそのプロペラ円盤（ディスク）Propeller

Diskの上に一様な推力が発生すると仮定した。Froudeの述べた方法によって、その作用を説明すると次のようになる。

静止流体中をプロペラが前進する替わりに、静止しているプロペラに速度 $V_0$ の一様な流れが円盤に当たると考える。単位時間にプロペラディスクを通過する流体の質量を $M$ とする。また、これだけの質量の流体がプロペラによって軸方向に加速されたために、無限下流において流体の速度が $u$ だけ増加したとする。

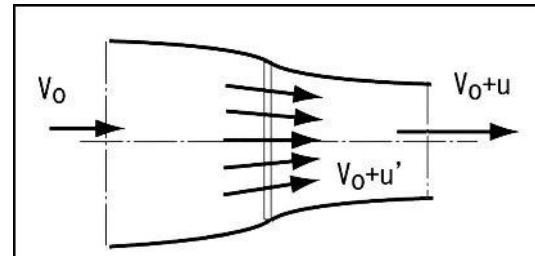
推力 $T$ は、軸方向における流体の単位時間の運動エネルギーの変化に等しいから、

$$T = Mu \quad \dots (6.1.1)$$

と書くことができる。

次に、これだけの推力 $T$ を発生する際に、プロペラによって単位時間に流体に対してなされた仕事は、流体の運動量変化に等しい。したがって、次のように書ける。

$$P = \frac{1}{2} \{(V_0 + u)^2 - V_0^2\} M = u(V_0 + \frac{u}{2}) M \quad \dots (6.1.2)$$



一方、プロペラが流体に仕事をしている状態を考えると、プロペラディスクの前後に圧力の差ができる、その差によって出てくる力、即ち、推力 $T$ が円盤を通過する流体に仕事をしていると考えられるから、丁度、円盤を通過する際に流体の速度の増加量を $u'$ とすると、このプロペラの単位時間になす仕事 $P$ は、次のように書ける。

$$P = (V_0 + u') T = (V_0 + u') \cdot Mu \quad \dots (6.1.3)$$

この2式を比較すると、

$$u' = \frac{u}{2} \quad \dots (6.1.4)$$

ということが分かる。従って、プロペラの作用によって、無限後方における流体の速度の増加量の丁度半分の速度が、ディスクを流体が通過する際に流

体に与えられる。

プロペラの円盤の面積を $A$ とすると、単位時間に通過する際の流体の質量は、

$$M = \rho A (V_0 + u) = \rho A (V_0 + \frac{u}{2}) \quad \dots (6.1.5)$$

となり、従って、推力の式は

$$T = \rho A (V_0 + \frac{u}{2}) u \quad \dots (6.1.6)$$

となる。無限後方での速度の増加量 $u$ に対して、円板上の速度増加量は $u/2$ であるから、推進器後流 Propeller Race の断面積は、プロペラの円盤の面積よりも小さくなる。よって、推進器後流は、収縮することが分かる。速度の増加量 $u$ は、失脚速度 Slip Velocity と呼ばれる。これは、流れの速度 $V_0$ との比で表されることが多く、その方が便利である。この失脚比 Slip Ratio を $s'$ とすると、

$$s' = \frac{u}{V_0} \quad \dots (6.1.7)$$

これを使って、推力 Thrust の式を表すと、

$$T = \rho A V_0^2 (1 + \frac{s'}{2}) s' \quad \dots (6.1.8)$$

または、

$$\tau = \frac{T}{\rho A V_0^2} = (1 + \frac{s'}{2}) s' \quad \dots (6.1.9)$$

ここで、 $\tau$  は推進器荷重係数 Propeller Load Coefficient と呼ばれている。ここに考えた作動円盤 推進器は、想像しうる推進器のうちで、最も損失 Loss の少ない理想的なものであって、その効率は、理論的に達しうる効率の最高の極限を示す。この極限、即ち、理想効率 Ideal Efficiency を表す式を求めるため、円盤プロペラが無限に広い静止流体中を速度 $V_0$ で前進すると考える。この時、推力 $T$ によって、単位時間に有効になされる仕事量は $TV_0$ となる。プロペラに供給された動力 Power は、流体の摩擦を無視すると、先に求めたプロペラが流体に単位時間になす仕事 $P$ に等しい。すなわち、

$$P = \rho A (V_0 + \frac{u}{2})^2 u = T (V_0 + \frac{u}{2}) \quad \dots (6.1.10)$$

と書ける。よって、理想効率 Ideal Efficiency  $\eta_i$  は、

$$\eta_i = \frac{TV_0}{P} = \frac{V_0}{V_0 + \frac{u}{2}} = \frac{2}{2+s'} \quad \dots (6.1.11)$$

となる。失脚比 $s'$ の代わりに、推進器荷重係数 $\tau$  を用いると、

$$\eta_i = \frac{2}{1 + \sqrt{2\tau + 1}} \quad \dots (6.1.12)$$

と表現される。ここで、 $\tau$  が有限であれば、

$$\eta_i < 1$$

であることが分かる。

Froude は、ここで述べたように、その運動量理論をたてるに当たって、プロペラの推力は円盤上に一様に分布しており、失脚速度 $u$ をプロペラの後流の断面上で一様であると仮定した。その後、更に、問題を一般化して、推力、従って失脚速度が半径方向に変化する場合について計算が行われた。その結果によると、最良の効率を与えるのは、推力、スラストが円盤上に一様に分布する場合であることが分かり、ここで求めた式が理想効率を表し、その値は、

$$\eta_i = \frac{2}{1 + \sqrt{2\tau + 1}} \quad \dots (6.1.13)$$

となる。

さて、上式から、推進器荷重係数の高いプロペラは、推進器荷重係数の低いプロペラに比べて、効率が低い。従って、等しい推力を発生している時は、作動円盤面積が大きい程効率が良い。このことは、ジェットプロペラの噴流 Jet の断面が、実際上の理由によって、一般に、それと同等のスクリュープロペラの作動円盤面積 Disk Area や Paddle Wheel の翼面積に比べて著しく小さくなるので、効率が著しく低いことと対応している。推進器荷重係数 $\tau$  は、また、等しい推力に対して、前進速度の大きいほど小さくなる。従って、等しい推力において前進速度の低い場合は、効率は一般に低いと言うことができる。

(以上、文献<sup>4)</sup> から転載。)

ここで、(6.1.11) 式は、(6.1.1)、(6.1.3) 式及び (6.1.4) 式を考慮すると、次のように書ける。

$$\eta_i = \frac{TV_0}{P} = \frac{TV_0}{TV_0 + \frac{1}{2}Mu^2} \quad \dots (6.1.14)$$

(6.1.14) 式から明らかのように、「推力 ( $T$ ) を一定とすれば、プロペラの効率を大きくするためには、( $u$ ) を小さくして、( $M$ ) を大きくすれば良い」ことが分かる。すなわち、「大量の流体を少し加速すると効率が良い」ことを示す。このことは、「作動面積（例えば、プロペラ直径）を大きくして、プロペラ回転数を下げることがプロペラ効率（プロペラ単独効率）向上の観点から有利である」ことを意味

している。このことが、省エネルギー対策のひとつとして、大直径・低回転プロペラが採用された由縁である。

## 6.2 FAO出版文献の紹介

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations : 国際連合食糧農業機関) は、近年、小型漁船の省エネルギーに係わるレポートを刊行している。その代表的なレポートは、FAOの漁業技術論文383「小型漁船の運航者のための燃料及び経費節減について」<sup>5)</sup>、並びに「小型漁船の燃料節減のためのマニュアル」<sup>6)</sup>である。いずれも、題名が示すように小型漁船を対象として、それまでに公表された漁船の省エネルギーに関連した研究成果や経験などに基づき取り纏められたガイドライン（解説書）及びマニュアルである。具体的には、船の長さが約16mまでの漁船、低速の排水量型漁船（後者のマニュアルでは10ノット以下）を主な対象としている。なお、後者のマニュアルは、前者の論文及び1986年にFAO/SIDAによって公表された「ベンガル湾プログラムBOBP/WP/27：小型漁船の燃料費の削減について」をベースとしている。ここに示した資料は、いずれもFAOのホームページなどからダウンロードできる<sup>7)</sup>。参考までに、文献<sup>5)</sup>及び文献<sup>6)</sup>の目次を表6.2.1及び6.2.2に示す。

表6.2.1及び6.2.2に示したように、両資料の内容は多岐に渡り、本誌に連載してきた「漁船の省エネルギー特集」では省略した「漁船の設計」段階で考慮すべき省エネルギー方策も示されており興味深い。また、多くの図表を用いた解説が随所に見られ、特に文献<sup>6)</sup>では文章よりはカラー図表を中心に、かつ、項目ごとに1ページに集約して解説するなど、読者である漁業関係者へのアピールと内容を一目で理解できるような配慮が感じられる資料である。

ところで、それらの資料の主なターゲットは、船の長さが16m以下、航海速力が10ノット以下の低速排水量型小型漁船である。それらのクラスに焦点を当てた理由として、世界の大多数の漁船はこのクラスの小型漁船であること、また、そのような小規模漁船（漁業）には造船学的な情報提供が十分でないことが多いが挙げられている。また、高速滑走型漁船に関連する技術や運航方策については触れていないものの、多くの場合に、資料に示された基本原理は、

表6.2.1 文献<sup>5)</sup>の目次  
(表紙等を含めて全55頁のガイドランス)

はじめに
背景
ガイドランスの目的
エネルギー・ロスの要因
●運航に関連した方策
主機関操作
・船速のスローダウン
・主機関の性能
・主機関のメンテナンス
船体の状況
・船体汚損
・船体表面の粗さ
操業に関連した事項
・自律性:漁船の自律性と操業パターンの変更等
・漁獲技術:1艘曳きから2艘曳きへ
・航海:操業ルーチンの改善
帆を利用した推進
●技術的改善による方策
プロペラ
・プロペラの効率に影響を及ぼす要因
・プロペラ設計—適正なプロペラを装備しているか？
船体設計(船型設計)
・プロペラに流入する流れ
・船型
主機関
・適正な主機関出力を
・主機関タイプの選択
・機関の据付
・排気と換気
付録1:記録の保持
付録2:意志決定支援
付録3:最適な船速のガイドランス
付録4:Crouchによるプロペラ決定法
文献目録(107の文献)

低速あるいは高速の両方漁船に適用可能であるとしている。

我が国の漁船に置き換えると、概ね20GT未満、かつフルード数が0.6以下の排水量型小型漁船に参考となる内容が記述されている。なお、我が国の中・大型漁船にそのまま適用できる省エネルギー方策とは言い難い方策もあるものの、それらの資料に示された考え方や方策には、船の規模や漁業種類に拘わらず参考となる事項も多い。

紙面などの関係上全てを紹介することは困難であることから、今回の連載では取り上げられなかった事項あるいは省略した事項などを中心に幾つかの事

項を紹介する。なお、以下に紹介する内容は、原典を忠実に翻訳したものではない。したがって、より正確な情報を必要とする方あるいはご興味のある方、特に、造船所の技術者の方々、研究機関の研究者の方々など、省エネルギー型漁船の設計や研究開発に携わる方々には、是非、出典を参照されることをお勧めする。

### 6.2.1 「小型漁船の運航者のための燃料及び経費節減について」文献<sup>5)</sup>の内容の紹介

表6.2.1に示したように、その内容は大きく2つの主要なセクションに分けて解説されている。そのひとつは、漁船の運航技術に関する事項、ふたつ目は、新船の建造、既存船の修理あるいはリニューアル時などに必要となる技術的な各種の関連情報である。表6.2.1に示した目次の中から、以下の項目について、その概要を紹介する。

#### (1) エネルギー・ロスの要因

機関が発生したエネルギーは、排熱や摩擦などのエネルギー・ロスによりプロペラに達するエネルギーはわずかその約1/3であること、底びき網漁船の場合に、さらに、その約1/3だけが、実際に網を曳く有効なエネルギー（結局、機関が発生したエネルギーの約10%）として使用されるにすぎないことなどが図入りで示されている。

#### (2) 操業に関連した事項（自律性）

漁船の操業パターンは燃料効率に直接的な影響を及ぼす。特に、漁場への往復航海に相当な時間が費やされるような操業パターンでは、例えば、日帰り操業を2日間の操業パターンに変更するなど、漁場に長時間滞在することで効果的な燃料節約ができるとしている。そのためには、船が自律的に操業できる環境（漁獲物の鮮度保持のための防熱魚倉・氷、沖泊のための居住設備・厨房設備、耐候性の確保など）を整える必要があり、それらのことが2日以上の操業パターンに変更する際に重大な障害となる場合が多いことなどが解説されている。

#### (3) 操業に関連した事項（漁獲技術）

底びき網漁業、特に、特に沿岸の小規模漁業では、古典的なオッター・トロール操業よりは、2そ ubiqui 操業方式の方が漁獲量1トン当たりに換算して船隊の燃料消費量が25~35%削減された事例が報告されている（出典<sup>8)</sup>）。

#### (4) 航海に関連した事項

人工衛星を利用した航法や音響測深機の小規模漁業への普及、特に、衛星航法を活用した漁船の運航は約10%の燃料消費量の節減に貢献している（出典<sup>9)</sup>）としている。

このことは、現在では、GPSや魚群探知機・ソナーの活用によるピンポイント操業が相当量の燃料消費量の削減に寄与していることを示唆している。なお、筆者は、現時点でのことを示す文献・資料を把握していない。

#### (5) 技術的な方策：プロペラ

文献<sup>5)</sup>では、約9ページにわたり、プロペラに関連した事項が詳述されている。具体的には、以下に示すプロペラに関連した事項を挙げ、それらひとつひとつが燃料消費量に及ぼす影響の解説、並びに注意点あるいはアドバイスなどきめ細かな内容となっている。

まず、プロペラ効率に影響を及ぼす要素として、直径、回転数、キャビテーション、翼数、翼面積、翼断面形状、ボス、レイキ、船体とのクリアランスとプロペラ・アパー・チャーチー、翼の状態（粗さ、欠損、生物付着などの汚損、腐蝕など）、フィン・ダクト・ノズルなどのプロペラの周辺装置などを挙げ、それぞれの影響度あるいは重要性について解説している。例えば、プロペラと船体のクリアランスについて、3翼のプロペラを対象としたガイドライン（推奨値：プロペラ直径に対する比率で表示）として、以下の値が示されている（図6.2.1参照：文献<sup>5)</sup>の図はやや不鮮明のため文献<sup>6)</sup>の図を転載）。

- |                   |       |
|-------------------|-------|
| ①翼端と船体            | : 17% |
| ②翼端とキール上面         | : 5%  |
| ③船尾材とプロペラ直径の35%位置 | : 27% |
| ④プロペラ直径の35%位置と舵   | : 10% |

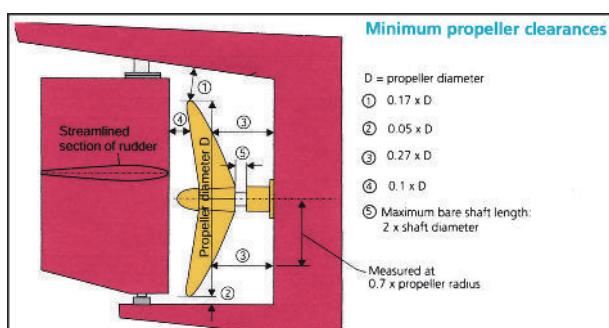


図6.2.1 プロペラと船体のクリアランス

（文献<sup>6)</sup>のSheet 33から転載）

⑤プロペラ・シャフトのむき出し部の長さ：

シャフト直径の2～4倍

ここで、④は最大の推奨値、それ以外のクリアランスは最小の推奨値である。また、①と③のクリアランスは翼数と密接な関連を持ち、次式で推定できるとされている。

$$\textcircled{1} < (0.23(0.02 \times n))$$

$$\textcircled{3} < (0.33 - (0.02 \times n))$$

$n$ ：プロペラの翼数

これらの推奨値のわが国の中・大型漁船への適用性については検討の余地がある。

また、プロペラ設計では、船型及び主機関の特性などに適合した適正なプロペラ選定のための解説がある。さらに、底びき網漁船へのノズル・プロペラの有効性などにも触れている（後述）。

(6) 技術的な方策（船型設計）

小型漁船の燃料効率に直接影響を及ぼすひとつとして、船体後半部、特にプロペラに流入する流れの状況を左右するプロペラ直前およびその周辺の船体形状の適正化について、図6.2.2に示すようなイラストをmajieで解説している。

図6.2.2の下図のように、プロペラ前方の船尾材の後縁から前に、プロペラ直径の約1.3倍の範囲のフェアリングが省エネルギーあるいは振動防止の観点から重要であるとしている。

これらの例のように、文献<sup>5)</sup>ではきめ細かい解説、図あるいはデータなどが随所に見られる。

(7) 付録1：記録の保存

小規模漁業の多くが、いわゆる「とんぶり勘定」で経営していることに警鐘を鳴らしている。すなわち、自船がどれだけ効率的に運航されているかを把握するためには、基本的な事項の記録と保存が重要であることを解説している。それらの日々の記録は、自船の性能の変化や他の漁船との性能比較、あるいは自船の最適な運航速度の選択のための船主あるいは船頭の判断材料となるなどを挙げ、漁業関係者の意識改革を促している。また、長期的には新船を建造する際の投資の妥当性を判断する材料にもなることなどを挙げている。なお、記録をとる場合の重要なポイントとして次に示す4点を挙げている。

- ・必要な情報を簡潔に
- ・正確かつシンプルな情報の収集が基本
- ・同一人物が同一の方法で一貫して収集
- ・規則的にかつ頻繁に収集

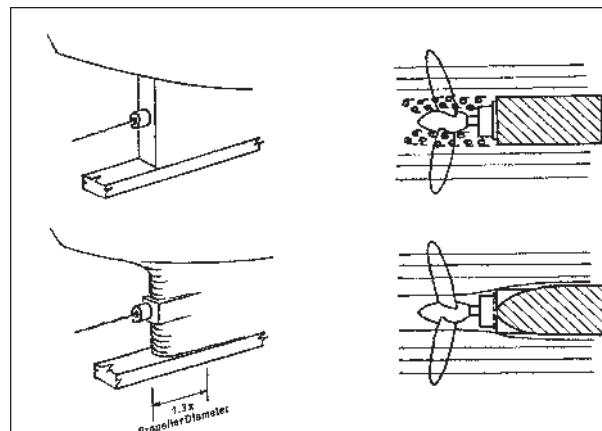


図6.2.2 プロペラ前方の船体形状のフェアリング  
(文献<sup>5)</sup>のFigure 13を転載)

例えば、自船の燃料効率を監視するために定期的に収集すべき主要な項目として以下を挙げている。

- ・購入した燃料ならびにオイルの量
- ・それらの価格
- ・機関の運転時間
- ・航海距離

このほか、収益性に関して記録すべき項目、それらの記録用のフォーマットの例示、さらには月ごとにまとめるなど記録の記載方法にまで言及している。

(8) 付録2：意志決定のための支援

船主あるいは船頭が、自船の省エネルギー化のために必要な装置（技術）を導入する際に、それら装置に投資すべきか否かを判断することが求められることが多い。そのような意志決定に際して、参考となる簡易的な計算法（迅速に判定できる概算的な方法）を例示している。ここでは、詳細は省略する。

その他、付録3「最適な運航速度のガイドス、及び付録4「Crouchによるプロペラ決定法」については省略する。なお、それらに関連した事項は次節で触れる。

## 6.2.2 「小型漁船の燃料節減のためのマニュアル」<sup>6)</sup>の内容の紹介

前述のように、このマニュアルには、多くのカラフルな図表が使用され、各項目について1ページに簡潔な文章でその指針やガイダンスが示されている。

表6.2.2に示した目次に従って、幾つかの事項を紹介する。

表6.2.2 文献<sup>6)</sup> の目次

(表紙等を含めて全71頁のマニュアル)

はじめに
<b>漁業における燃油使用の状況</b>
・燃油価格(1990~2010年の変動)
・漁業におけるエネルギー消費
・漁業資源量(資源の持続的利用)
・燃料効率
・燃料消費パターン(受動型漁法)
・燃料消費パターン(能動型漁法)
<b>既存漁船に対する燃油削減方策</b>
・船速=燃料消費量を決める最重要的要素
・減速運航
・減速運航による燃料節減例-1
・減速運航による燃料節減例-2
・漁船の水線長と燃料節減速度
・船体船底の清浄化
・主機関の点検と空気取り込み
<b>底びき網漁船の燃料節減方策</b>
<b>燃料削減のための操業方式の変更</b>
・数日間操業と母船式操業
<b>高効率の主機関の選定法</b>
・船外機とディーゼル機関の比較
・船外機とディーゼル機関の比較実験例(カヌー)
・ディーゼル機関の導入はペイするか
・ディーゼル機関の各種の据付法
・上下式プロペラの据付
<b>省エネルギーのための帆の活用</b>
・帆の種類
・帆の使用法
・ラグ セイル - 復原性のチェック
・ラグ セイルの詳細とアウトリガー式カヌー
<b>燃料節減のための機関の選定法</b>
・機関に選定について
・選定された機関の出力例
・燃料節減のための機関出力と回転数
・機関メーカーのリーフレットの精読
<b>燃料節減のためのプロペラ選定法</b>
・プロペラ変更と燃料消費量の関係
・プロペラ直径とプロペラ・ピッチの計測法
・プロペラの選定法
・プロペラ・クリアランスの確保とスケグのフェアリング
・低回転・大直径プロペラによる燃料節減
<b>新造船のためのガイド</b>
・高燃料効率漁船とするための主機関出力と主要目
・低抵抗型船型の船体線図
・船首部の形状
・一般配置図
・アウトリガー漁船と多胴船の燃料節減

政府の省エネルギー化促進策
<b>参考文献(16編)及び資料(14編)</b>
<b>付録</b>
1 – ライフサイクル・エネルギー解析(LCA)
2 – 燃料消費量の計測法
3 – 燃料節減の計算法
4 – 機関運転のコスト解析
5 – 積荷無しの場合の漁船重量の計算法
6 – プロペラ計算法
7 – プロペラの選定法

## (1) 漁業におけるエネルギー消費

この項目には、漁業において、漁業現場から消費者までの過程でエネルギーがどのように消費されているか、いわば、漁業の全体的なエネルギー消費のイメージが一目で理解できる図と解説がある(図6.2.3参照)。

図6.2.3の上図に全体的なイメージを、中段の図にはそれぞれの過程について、人力等に頼った時代

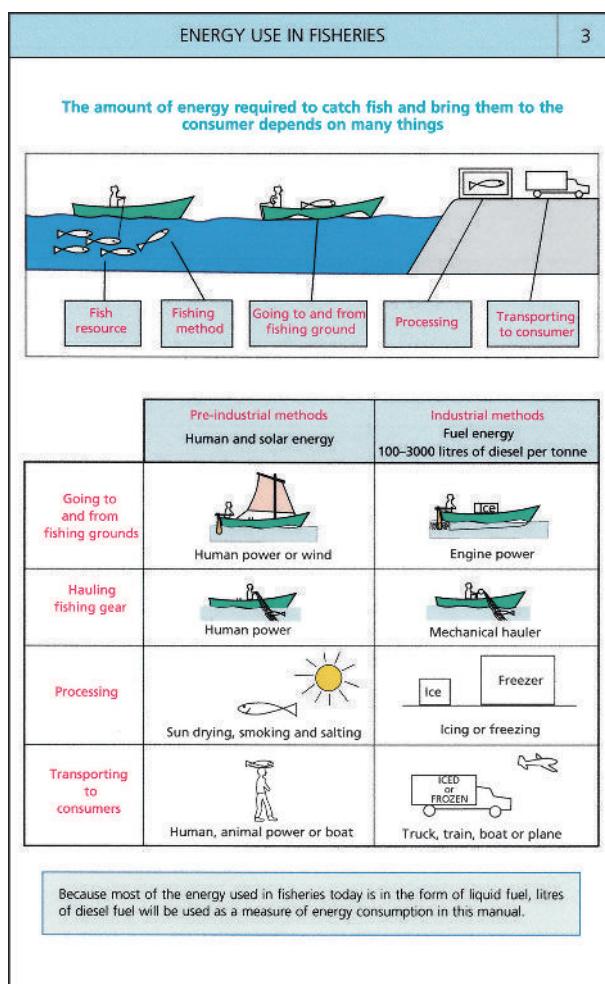


図6.2.3 漁業におけるエネルギー消費

(文献<sup>6)</sup> のSheet-3を転載)

(風、太陽など自然エネルギー、人・家畜のパワー利用)と工業化・機械化された現代の漁業(ディーゼル機関利用でトン当たりの燃料消費量は100~3,000L)を対比して、現代の漁業が如何に多くのエネルギーが必要かを解説している。なお、この例のように、イラストなどを含めて、理解しやすい極めてユニークな内容・解説が随所にみられる。

### (2) 漁業資源

燃料消費量を左右する重要な因子の一つである漁業資源量に触れている。資源が豊富であれば、1航海当たり多くの漁獲量が見込め、魚群探査のために無駄な時間を必要とせず、燃料消費量も少ない(ディーゼル機関の場合:漁獲量1トン当たり200L程度)。一方、資源が乏しくなると1航海当たり多くの漁獲量が見込めず、魚群探査のために多くの時間を費やし、結果として多くの燃料が必要となる(同:漁獲量1トン当たり倍の400L程度)ことなどが例示されている。

また、ニューファンドランド漁場のタラ資源の変動を例に、漁業資源を持続的に利用するためには乱獲(オーバー・フィッシング)を避けることを説いている。

### (3) 燃料効率

燃料消費量は、漁獲物の市場価格と関連している。例えば、市場価格の高いエビやマグロを漁獲するためには、漁場まで長距離航海のために多量の燃料を消費しても、トロール網、延縄、まき網などによる操業が行われているとしている。

その説明として、漁獲物(生重量)1トンを水揚げに要する燃料消費量を漁法あるいは漁場別に調査した結果<sup>10)</sup>が示されている(図6.2.4参照)。

図6.2.4の右端に示された最も多量に燃料を必要とする例としては、エビ・トロール操業(南西太平洋)で漁獲物1トン当たり3,000Lとされている。次がマグロ延縄操業(太平洋)の2,200L、マグロのまき網操業(太平洋)の1,500Lなどの例が続いている。

なお、これらの数値は、漁獲量の年変動や出港・入港地と操業漁場などにより異なると推測される。しかしながら、現時点では、文献<sup>10)</sup>が未入手のため、それらの算出根拠などについては今後の調査となる。また、我が国の漁船を対象とした同様の解析例(第1章の「1.3 漁船漁業と燃料消費量の実態」:本誌116号、2014.7)との比較も興味深い。

また、ライフ・サイクル・エネルギー解析

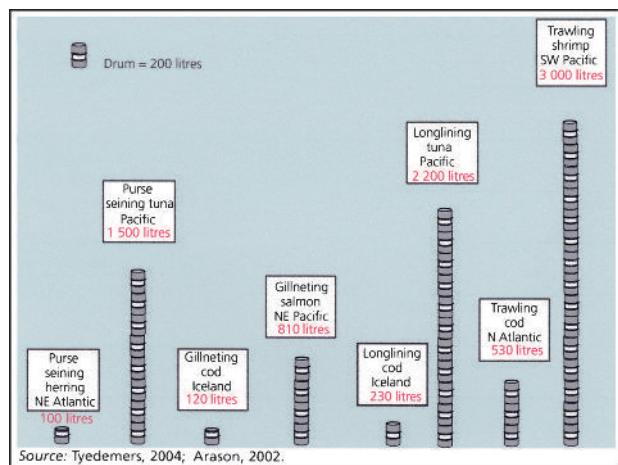


図6.2.4 漁具漁法別の燃料効率

(図中のドラム缶1本が200L)

(文献<sup>10)</sup>のSheet-5から転載)

(LCA)によれば、漁船運航に要する燃料消費量が漁業におけるエネルギー消費の主要な部分を占め、それは漁船建造時に要するエネルギーに比べても大きいとされている。

さらに、漁獲物の空輸には多量のエネルギーが消費される例として、ノルウェーから日本への漁獲物輸送に関する試算例を示し、漁獲物輸送の省エネルギー化にも言及している。具体的には、ノルウェーから日本まで氷漬の鮭を空輸の場合、サケ1トンあたりディーゼル燃料に換算して3,600L、一方、冷凍サケのコンテナ船輸送では、空輸の約1/10の390Lで済む試算例<sup>11)</sup>が示されている。

### (4) 燃料消費パターン(受動型漁法)

受動型漁法とは、底はえ縄、刺し網、流し網に代表されるように、漁場の往復並びに漁具の設置や網揚げ時に漁船を使用して、魚類が漁具にかかるのを待つ漁法である(図6.2.5の上図参照)。

それらの漁法で操業する場合の燃料消費量のパターンが、模式図として図6.2.5の下図に示されている。この操業における燃料消費量は、漁場の往復航海時が最も多く、次いで漁具の設置や網揚げ時に、漁具の設置後網揚げまではほとんど燃料を必要としないパターンが一般的であり、図はその特徴を示している。

このような漁法を用いた操業に従事する漁船の省エネルギー方策としては、以下のことを推奨している。

- ・航海時の減速
- ・船体汚損を防ぐための工夫

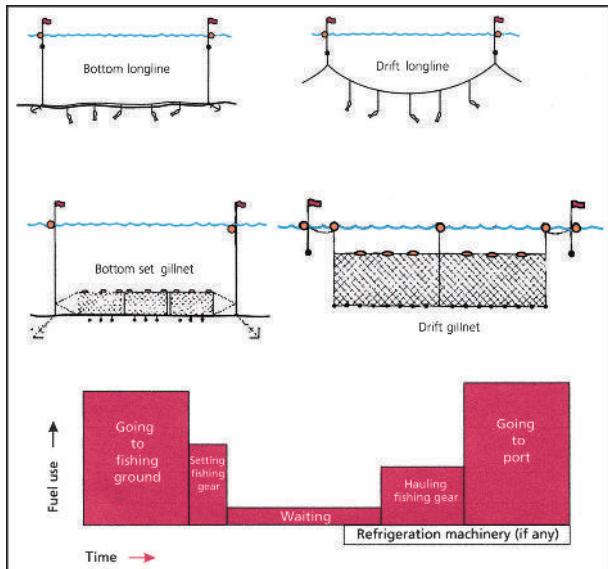


図6.2.5 受動型漁法の燃料消費パターン  
(文献<sup>6)</sup>のSheet-6から転載)

- ・減速比の高い減速装置と効率的なプロペラの採用
- ・ガソリン船外機からディーゼル機関への換装

#### (5) 燃料消費パターン（能動型漁法）

能動型漁法の代表として、曳縄釣り漁法（トローリング）、まき網及び底びき網漁法の燃料消費パターンと省エネルギー方策などについて解説している（図6.2.6～6.2.8参照）。

曳縄釣り漁法による操業では、漁場の往復航海時に加えて、トロールリング時も比較的多くの燃料を要する燃料消費パターンが代表的なパターンであろう（図6.2.6参照）。

このような操業方式の省エネルギー方策として以下の方策が推奨されている。

- ・ディーゼル機関への換装
- ・高速を必要とするマグロを釣る場合を除く航海速力の減速
- ・船体汚損を防ぐための工夫
- ・減速比の大きい減速装置と大直径プロペラの装備

なお、世界的にはガソリンを燃料とする船外機を使用する小型漁船が大多数であることから、船外機船を念頭に効率の良いディーゼル機関への換装を推奨していると推測される。

次に、まき網漁船の燃料消費パターンは、漁場の往復航海時のほかに、魚群探査時に多くの燃料が消費される特徴が示されている（図6.2.7参照）。

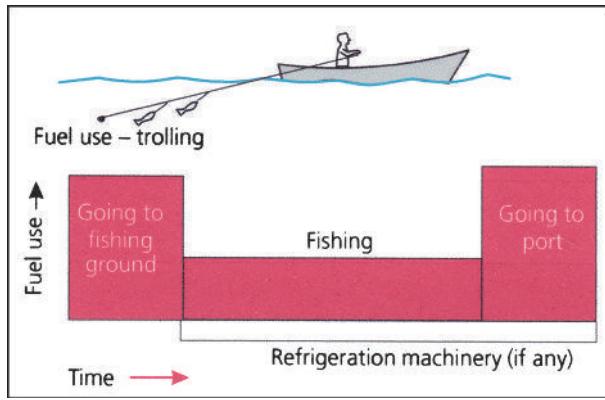


図6.2.6 曳縄釣り漁船と燃料消費パターン  
(文献<sup>6)</sup>のSheet-7から転載)

まき網漁船に推奨される省エネルギー方策としては以下の方策が示されている。

- ・航海速力の減速
- ・最新の魚群探査装置の導入
- ・船体汚損を防ぐための工夫
- ・減速比の大きい減速装置と大直径プロペラの装備

底びき網漁船の燃料消費パターンは、トロール漁具を海底あるいは中層を曳く時に最も多くの燃料を消費する（図6.2.8参照）。

底びき網漁船に対しては、漁場の往復航海時の航海速力の減速のほか、以下の省エネルギー方策が推奨されている。

- ・トロール網とオッターボードの改良

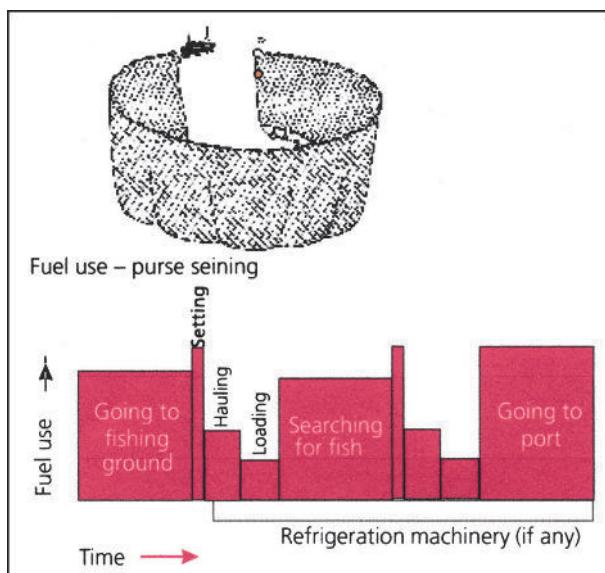


図6.2.7 まき網漁船の燃料消費パターン  
(文献<sup>6)</sup>のSheet-7から転載)

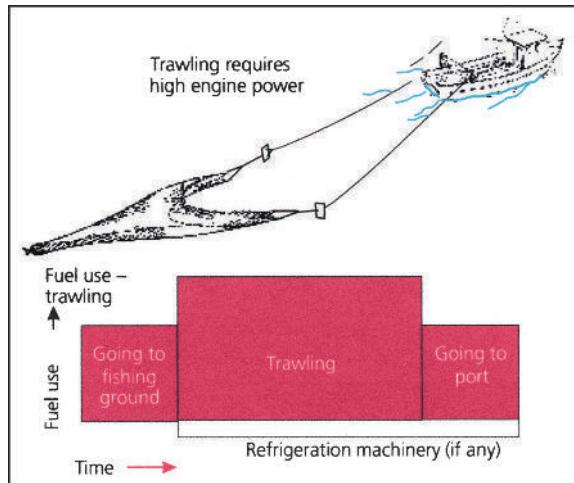


図6.2.8 底びき網漁船の燃料消費パターン  
(文献<sup>6)</sup>のSheet-7から転載)

- ・入手可能な最も減速比の大きな減速装置とノズル付の大直径プロペラの採用
- ・最新の魚群探査装置の導入
- ・操業方式を2そうびき方式あるいは掛け回し方式(Danish seining)など操業方式への転換も一案

ところで、本誌連載の第1章1.4 漁業種類とエネルギー・フローでは、我が国の漁船について実際の航海・操業記録などに基づく同様の解析結果とその燃料消費パターンに対応した幾つかの省エネルギー方策を示した(本誌第116号、2014.7)。

文献<sup>6)</sup>に示されたこれらの例では、漁業種類ごとの特徴を強調した燃料消費パターンを示し、そのパターンから直感的に理解できる省エネルギー方策が簡潔に示されているなど、この種のマニュアルやガイドラインを作成する際の参考となろう。

#### (6) 既存漁船に対する燃料削減方策：減速運航

本誌と同様に、「燃料節約のためには、減速運航が最も容易かつ効果的な方法」であることを幾つかの例をして解説している。なお、燃料消費量の簡易な計測装置の作成(ホーム・メイド)法とその装置による計測法が付録2に掲載されているほか、減速運航による燃料消費量の削減量や燃料費の削減額を事前に推定することの出来る試算用の計算様式が付録3に示されている。

#### (7) 既存漁船に対する燃料削減方策：漁船の水線長と燃料節減のための適正速度

ある船速を越えると急激に船体抵抗(主に造波抵抗)が増えること、その結果、燃料消費量が急激に

増加することを解説するとともに、燃料節減の観点から適切な船速は、船速・船長比が1.2に相当する船速であるとしている(船の長さは水線長)。

船速・船長比が1.2は、フルード数に換算すると大凡0.35に相当する。

ところで、文献<sup>2)</sup>には、我が国の漁船の模型抵抗試験結果の再解析などに基づき導かれた排水量型漁船に対する「エコ運航の船速範囲」の目安が示されている(図6.2.9参照)。すなわち、文献<sup>6)</sup>並びに文献<sup>2)</sup>に示された燃料消費量の観点から適正と考えられる船速に関するガイドラインはほぼ同じ内容である。これは、一般に、フルード数で大凡0.3~0.35に相当する船速を超えると船の造波抵抗が急激に増加する、すなわち、船が流体中を航走する場合の物理的な特性であり、船の規模に拘わらずこのフルード数付近で船の全抵抗は急激に増加することによる。したがって、燃料節減の観点から、不要不急の場合にはこのフルード数に相当する船速以下で運航することが望ましいことは言うまでもない。

これらのガイドラインに従えば、例えば、船の長さが15mの漁船のエコ運航の船速範囲は6から8ノット程度、30mの漁船では8から11ノット程度となる。

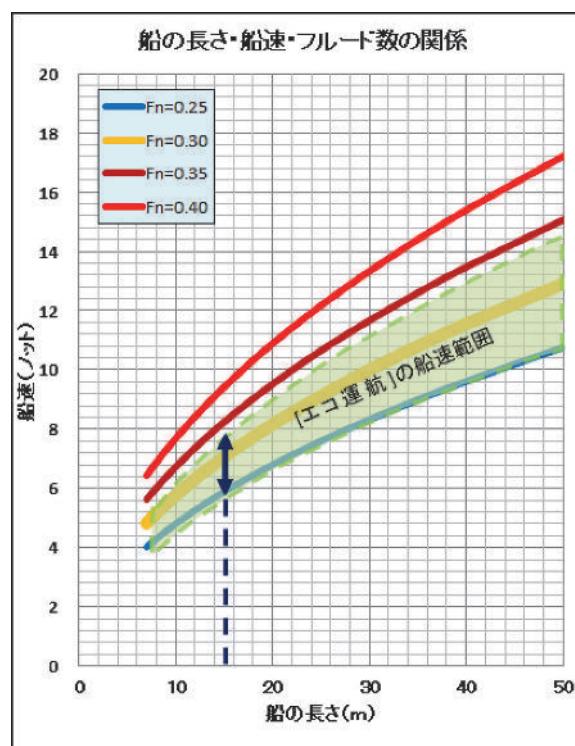


図6.2.9 排水量型漁船に対するエコ運航の船速範囲  
(文献<sup>2)</sup>から転載)

### (8) 高効率の主機関の選定法：船外機とディーゼル機関の比較

船外機（2及び4ストロークのガソリン使用の機関）とディーゼル機関のそれぞれの特徴を解説して、ディーゼル機関は船外機に比べ高価であるものの、燃料消費量の点では優位であることを説いている（図6.2.10参照）。

**図6.2.10**中の赤色が2ストローク船外機、青色が4ストローク船外機、緑色がディーゼル機関を示し、同じ出力であれば、ディーゼル機関の燃料消費量（縦軸の単位はL/h）は2ストローク船外機の大凡半分で済むとしている。

この例として、ガーナのカヌー（長さ：14m、排水量：3.1トン）を対象に、35HPの船外機から引揚げ可能な（上下式）プロペラと舵を有するディーゼル機関（最大出力23HP、3,000rpm：船内に固定）への改造（換装）例を示している。この改造例では、減速比1/3の減速装置などの採用によるプロペラ効率の改善効果も含めて、船速8ノットにおいて船外機使用時に比べて約62%の燃料節減効果が得られたことが報告されている（図6.2.11参照）。なお、プロペラの直径は船外機用304mm、ディーゼル機関用508mmであり、船速8ノット時の回転数は、前者で1,750rpm、後者で930rpmであった。

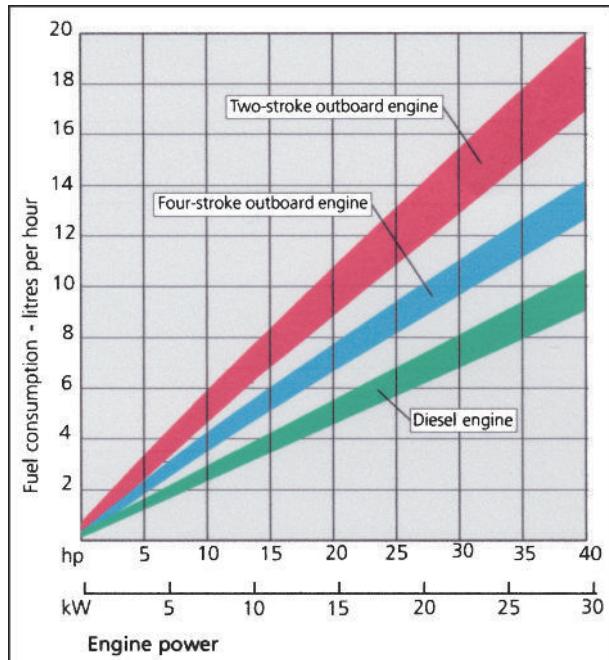


図6.2.10 船外機とディーゼル機関の燃料消費量の比較（40HPまで）  
（文献<sup>6)</sup>のSheet-17から転載）

また、船外機に比べて高価なディーゼル機関を購入した場合、機関の有効稼働年数（service life）や銀行から融資を受けた場合の利子、修理費、燃料費などの支出と燃料節減による燃料費の減額分などを考慮した簡易的なコスト分析の試算例も示されている。また、その簡易的な試算用のワークシートが付録4に示されている。

### (9) 省エネルギーのための帆の活用

我が国ではヨットに用いられているような比較的簡単な構造の数種類の帆の利用について、それらの特徴・利点（省エネルギー効果など）、使用例、並びに注意点（復原性のチェック）などについて4頁を割いて紹介している。現状では、それらの帆を我が国の漁船の省エネルギー技術としてそのまま導入できるとは考え難い。しかしながら、燃料価格が極めて高い水準となり、かつその状況が長期間継続することが予想される場合、あるいは地球温暖化防止を目的とした自然エネルギーの積極的な利用の観点から、例えば、5トン以下の沿岸小型漁船の省エネルギー化を促進する場合などには参考となる。

なお、我が国では、石油危機に遭遇した時期など、これまでに、漁船や商船を対象として帆（硬帆あるいは軟帆）を利用した省エネルギー化の幾つかの調査研究や取組みがなされている。それらの成果に基

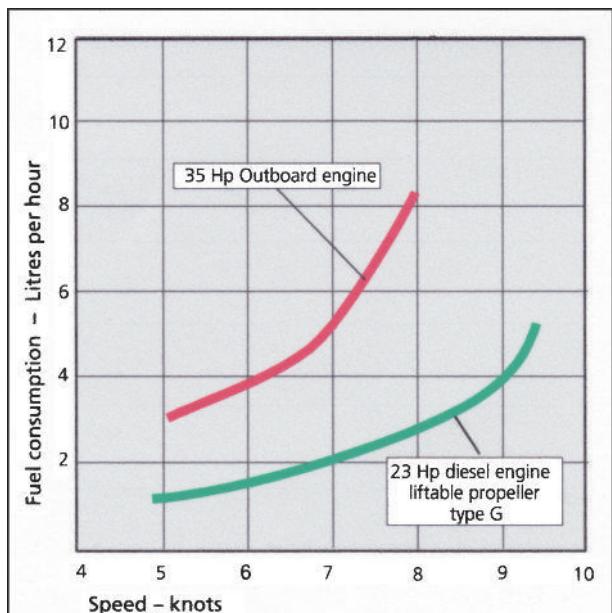


図6.2.11 カヌー搭載機関の換装・改造時の燃料消費量の比較  
船外機：赤色、ディーゼル機関：緑色  
（文献<sup>6)</sup>のSheet-18から転載）

づき、その当時、実際に何隻かの帆装船（漁船及び商船）が建造・運航された<sup>12)~16)</sup>。しかしながら、漁船では帆の操作性あるいは甲板上の作業性の観点などから、広範囲の漁船に普及するには至らなかった。また、就航した漁船もその数年後には帆による運航を取りやめたと聞いている。したがって、漁船の省エネルギー方策のひとつとして帆の利用を考える場合には、まず、これまでに実施された国内外の事例の調査、特に、普及できなかった、いわば失敗例から教訓を得ることから始める必要があろう。

#### (10) 燃料節減のための機関の選定法

新たな機関に換装する場合など、以前よりも大きな出力の機関を搭載して他の船よりも少しでも早く航走することに意義を感じる漁師が多いことなど、しばしば不合理な感情に基づき機関が選定されている。そのことが漁船の高速化による速力競争をもたらし、今日の燃料費の高騰によるしわ寄せが漁業者自身に跳ね返ってきていていることなどを説いている。

マニュアルの目的が、漁業者が同等レベルの漁獲量を維持しつつ、燃料消費量（燃料費）削減を達成することを手助けすることにあるとして、そのことを達成する方策としては現状の主機関よりも小出力の機関への換装に帰着することなどを強調している。

また、水線長8m、魚倉半載状態の排水量（サービス排水量と称している）5トンの漁船（Silver Fish号）を対象に、必要な機関出力の試算例が以下のような手順で示されている。

①静水面状態：風浪の無い静水面を6ノットで航走する場合に必要な馬力は、わずか7HPである。

②荒天時：波長が船の長さとほぼ等しい波浪中を航行する場合の抵抗増加分、並びに風圧抵抗（風速15m/sの風を船の真正面から受けると仮定）による抵抗増加分は、5ノットで約10HP、7.5ノットで約15HPと推定されている。波浪中の抵抗増加分の推定は、文献<sup>17)</sup>による。

③航海状態：通常の航海状態（風浪等の天候条件と船体・プロペラ汚損などの船体状態）をどのレベルとするかなど議論の余地があるものの、標準的な燃料消費量を①と②の中間の値と仮定している。

この船規模の燃料節約のために適正な航海船速が6ノットであることを考慮すると、航海時に必要な機関出力は13HP程度と試算され、その機関出力で荒天時にも約5ノットで航走できる（図6.2.12参照）と推定されている。

④機関のマージン：機関の説明書に記載された仕様・性能、過負荷状態の運転回避、熱帯地区での出力減少（高温・多湿の影響：約6%）などを考慮すると、機関のマージンは航海時に必要な機関出力の約40%と推定されている。

事例の「Silver Fish号」に適用すると、機関のマージンは5HPと推定されている。

なお、「機関メーカーのリーフレットの精読」の項で、機関メーカーから提供される機関の仕様・性能などが記載されたリーフレットの見方や注意点にも触れている。

⑤要求される機関出力：以上のことから、機間に要求される最小出力は18HPと推定されている。こ

の値は、排水量当たり3.6HPとなる。また、風浪の少ない静水面であれば、約6.8ノットで航走できる機関出力であるとしている。

なお、前節の（7）で述べたように、漁船の水線長と燃料節減のための適正速度の関係が再整理され、水線長さ5mから16mの漁船について、標準的なサービス排水量3～4状態に対する適正な航海速力、最大船速と必要な機関出力及び定格軸馬力の組み合わせが表として示されている。

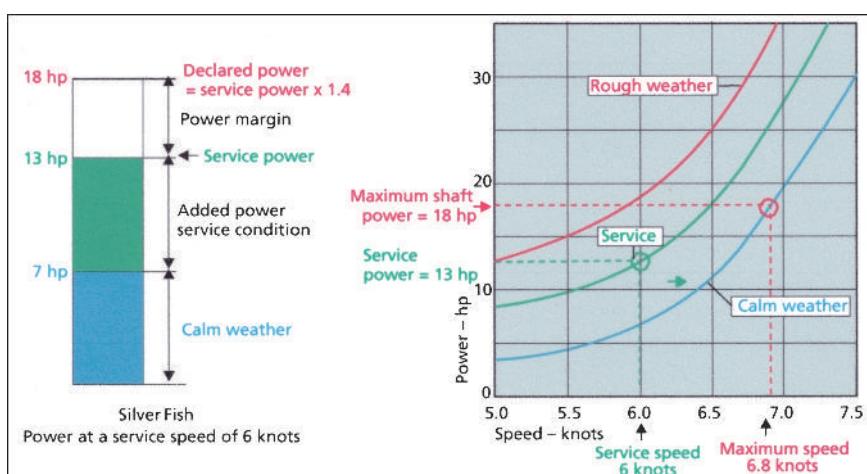


図6.2.12 長さ8m漁船の機関の選定例：機関出力の決定  
(文献<sup>6)</sup>のSheet-27から転載)

漁業者がこの表を参照すれば、自船が省エネルギー運航しているか否かの判断や省エネルギー運航のための適正船速等の情報を簡単に得ることができる工夫がある。

#### (11) 燃料節減のためのプロペラ選定法：プロペラ変更と燃料消費量の関係

プロペラを変更した場合の試算例を示し、漁船の省エネルギー化のための適正なプロペラの選定法を詳述するとともに、その重要性を強調している。

具体的には、通常使用されていたプロペラA（最大回転数100%で最大出力100%を得るように設計）とプロペラB（プロペラAに比べて直径とピッチが大きいプロペラ）の比較例を示すとともに以下のように解説されている（図6.2.13参照）。

プロペラAに関しては、(10) の④で述べたような機関のマージンを考慮すると、通常、最大回転数の90%の回転数、すなわち最大出力の大凡70%で運用される（図中のservice power）。

図6.2.13に示されたように、プロペラBの出力特性を示す曲線は、その一部が最小の燃料消費率の領域に入るため、プロペラAと同じ出力レベルとするとプロペラA装備状態に比べて約6～7%の燃料節約が期待できる。また、プロペラA装備の場合と

同じ減速比とすれば、プロペラAに比べ直径が大きく低回転で運用できるプロペラBはAに比べてプロペラ効率が良いことから約5～6%の燃料消費量を節減が期待できる。これらのこと考慮すると、プロペラをBに変更することにより従来よりも12～15%程度の燃料の節約が期待される。また、プロペラAをBに変更することにより、従来よりも低い回転数で機関を運用できることから機関の有効寿命も長くなることも期待できる。さらに、注意点としては、プロペラBの場合は、最大回転数の約85%で過負荷状態に陥る可能性があることから、機関損傷などから機関を保護するために、最大回転数の約85%以下に回転数を抑える機能を付加することが必須であることにも言及している。

このほか、物差しなど簡易な測定器を使用してプロペラの直径やピッチを計測する方法、プロペラの選定法（適正なプロペラ直径など）、プロペラと船体・舵などとクリアランス（6.2.1の（5）参照）などに関して詳細に解説されている。付録6～7には、いわゆるBpチャートによるプロペラ設計法などの解説も掲載されている。

#### (12) 新造船のためのガイダンス

燃料効率の良い漁船とするための主機関出力と主要目、低抵抗型船型の船体線図など表6.2.2に示した項目に関連して考慮すべき事項などが記載されている。ここでは、詳細は省略する。

#### (13) 政府の省エネルギー化促進策

政府が実施すべき最重要事項は、持続的な漁業のための管理計画の提示とそれらの施策などを通じて、漁業者と協力して次世代のための資源の維持・確保することであるとしている。

また、燃料費に補助金を出すよりは効率的な機関に換装するなど、燃料節減に直接効果を及ぼす技術などの普及を主導する施策の実施、並びに専門家検討チームによる省エネルギー化技術の開発の促進などに言及している。

以上のように、ここに紹介したFAOが出版した2つの漁船漁業の省エネルギー化に関するガイドラインは、東南アジア、アフリカなどに存在するカヌーを含めた数トン未満の小型漁船から16m未満の小型漁船を主な対象としている。そのため、一部を除いて我が国の漁船にそのまま適用できる方策・技術は多くないものの、本誌に連載できなかった内容や興

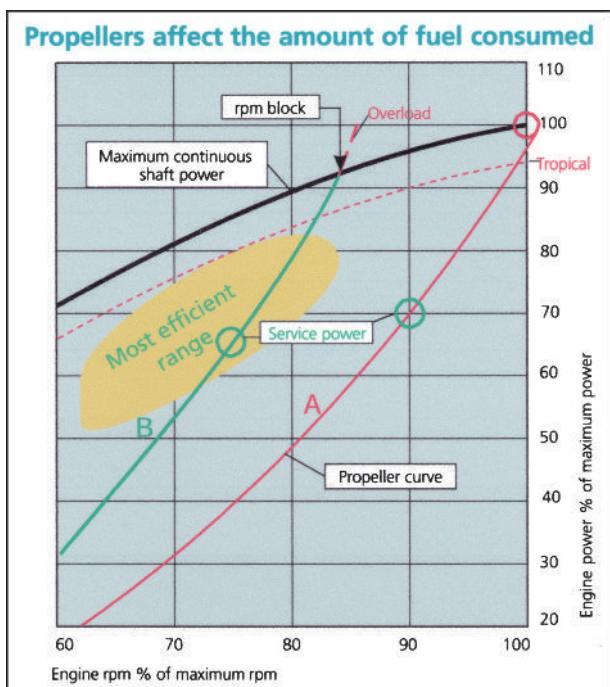


図6.2.13 プロペラを変更した場合の燃料消費量の変化

（文献<sup>6)</sup>のSheet-30から転載）

味深い提言なども記載されている。ここに、それらの幾つかを紹介した。今後、これらのガイダンスに示された技術や方策の我が国の小型漁船への適用性について詳細に検討することも考慮したい。

### 6.3 おわりに

本特集では、実際に漁船に乗って活動している船頭・船長をはじめとした漁業者、並びに船主、造船所の設計者など漁業関係者の方々に容易に理解頂けるような平易な解説に努めた。

しかしながら、一部の読者の方々からは「内容が難しく、理解できない」などの声も聞く。

また、それぞれの方策や技術を実践することによって期待される省エネルギー効果が、どのような仕組みあるいは原理に基づく効果であるかなどに力点を置き解説するとともに、客観的なデータあるいは資料に基づき、得られた省エネルギー効果の検証に努めた。

しかしながら、一部の方策などについて、その省エネルギー効果の検証やその結果が得られる合理的な根拠（物理的な根拠）が不十分、あるいは厳密さを欠く事例もある。

さらに、ここでは、漁船の出港一漁場における操業一入港まで（図6.2.3の上図の船が海上に浮かんでいるブルーの部分に該当）、すなわち、漁船自体に係わる代表的な、かつ実用的な漁船の省エネルギー方策に焦点を絞り解説、紹介した。このほかに、付録に示した文献など、これまでに調査研究された多くの省エネルギー方策あるいは技術が存在し、全てを網羅したわけではない。また、6.2のFAO出版資料の項で一部を紹介したように、本来は、漁船の設計段階で十分な検討や対策を講ずるべき漁船の省エネルギー化のための本質的な課題、例えば、省エネルギー型船型の開発、高効率な機関・プロペラの選定などに関する解説や紹介は十分ではない。

このように、幾つかの課題が残る。これらの課題については、今後、これまでの連載内容を見直すとともに、さらに事例の収集などに努め、次の機会に追加・修正することしたい。

ところで、編集委員の丸山明男氏から漁船の省エネルギーに関する文献あるいは資料の提供があった（それらの文献・資料の一部は、付録に収録した）。

その中に、第1次あるいは第2次石油ショック時などに取りまとめられた省エネルギー対策や方策などの貴重な情報や記録がある。それらの提供資料に限らず、各造船所あるいは関係機関には漁船の省エネルギー化に関する貴重な資料が埋もれている可能性がある。そのような、いわば、歴史的な資料や記録の発掘・保存、あるいはそれら資料・記録の再解析や復刻版の作成などについても、今後の検討課題のひとつであろう。それは、漁船の省エネルギー化に関する技術や方策の再レビュー、あるいは漁船史を綴る上でも有益かつ貴重な材料となろう。

読者の皆様方のなかに、この種の情報、資料あるいは記録など情報提供頂ける方がおられましたら当協会の編集委員会事務局までご連絡・ご相談いただければ幸いです。

ところで、資源エネルギー庁の公表資料によれば、平成27年8月現在、A重油・軽油とも1L約65円と本特集開始時の約1年前に比べ燃油価格は3割安価となっている。このため、「のど元過ぎれば熱さを忘れる」の喩のように、漁業者あるいはその関係者に漁船の省エネルギー化への関心が薄れつつあるように見受けられる。

しかしながら、この連載の第1章にも述べたように、第1次石油危機以来最近の燃油高騰まで、いつの時代でも「漁船の省エネルギー化」は、古くて新しい課題のひとつである。したがって、このように燃油価格が比較的安値で推移しているこの機会に、次に遭遇するであろう石油危機に備えた重要な防衛策のひとつである「漁船漁業の省エネルギー化」に係わる技術や施策などについて静かにゆっくりと時間をかけて再検討することが期待される。

本特集の連載で取り上げた内容が、個々の経営者、漁業者、あるいは漁業協同組合など漁業関係者が最新の省エネルギー技術、漁船運用のノウハウ等に関する理解を深める一助となり、漁船の省エネルギー化の一層の促進に寄与すると確信している。また、本特集で取り上げた各種の省エネルギー方策が漁船漁業の実用的な省エネルギーの指針となるとともに、それらを実践する際に漁業者関係者の意思決定の際の参考となれば幸いである。さらに、省エネルギーを追求した漁船設計あるいは既存漁船の改造時の参考となるとともに、「漁船漁業の省エネルギー化」に係わる技術や施策を再検討する場合のベースとして活用されることを期待する。

最後に、本特集を企画された（一社）海洋水産システム協会顧問 長島徳雄氏に敬意を表します。また、本特集を企画・編集に当たっては、国立研究開発法人水産総合研究センターの全面的なご協力・ご支援並びに貴重な資料のご提供をいただいた。ここに、感謝申し上げる。加えて、FAO文献の内容の一部転載や引用にご尽力頂いた津端英樹会長、並びに本特集の主旨をご理解いただき快く執筆をお引き受け頂いた執筆者各位に感謝の意を表します。

（\*山越康行）

#### ※Note-1：プロペラに関する係数の名称、定義等

$K_T$ ：スラスト（推進）係数（Thrust coefficient）

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^5}$$

$K_Q$ ：トルク係数（Torque coefficient）

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$

$J$ ：前進係数（Advance coefficient）

$$J = \frac{V_a}{nD}$$

$s_R$ ：失脚比（slip ratio）

$$s_R = 1 - \frac{V_a}{nP} = 1 - \frac{J}{P}$$

$\eta_0$ ：推進器（プロペラ）効率（Propeller efficiency）

$$\eta_0 = \frac{THP}{DHP} = \frac{TV_a}{2\pi n Q} = \frac{J}{2\pi} \frac{K_T}{K_Q}$$

$T$ ：スラスト（kg）

$Q$ ：トルク（kg-m）

$\rho$ ：海水の比重（通常は、 $\rho = 104.51 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ ）

$n$ ：プロペラ回転数（rps）

$D$ ：推進器（プロペラ）直径（m）

$V_a$ ：プロペラの前進速度（m/sec）

$P$ ：プロペラ・ピッチ（m）

$p$ ：ピッチ比  $= \frac{P}{D}$

※翼展開面積比（Expanded Area Ratio）：

$$a_E = \frac{A_E}{A_0}$$

$A_E$ ：プロペラ翼の展開面積；湾曲しているプロペラの翼根を平面上にひき伸ばした場合の面積に翼数を乗じた値（m<sup>2</sup>）

$A_0$ ：プロペラ全円面積（m<sup>2</sup>）

$$A_0 = \frac{\pi D}{4}$$

#### ※Note-2：推進器荷重度係数

推進器荷重度係数は、推進器がプロペラの場合に、単にプロペラ荷重度とも呼ばれる。

これは、6.1.2項に示した（6.1.9）式あるいは（6.1.15）式に定義されるように、プロペラ面を通過する流体の面積当たりプロペラが負担すべき推力（T）がどの程度であるかを示す指標を示す。換言すれば、船の推進や漁船が漁具を曳航する際などに必要な推進力（曳航力）を得るために、プロペラが受け持つ荷重の度合いを示す。なお、推進器荷重係数（プロペラ荷重度）は、（1.6.9）式の代わりに、次式で定義されることが多い。

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \cdot \rho A V_a^2} \quad \cdots (6.1.15)$$

その場合、（6.1.12）式の効率は次式となる。

$$\eta_i = \frac{2}{1 + \sqrt{C_T + 1}} \quad \cdots (6.1.16)$$

（6.1.16）式の関係を図6.1.14に示す。なお、この関係は、プロペラの理想作動状態の結果である。

図6.1.14に示すように、プロペラ効率は、プロペラの荷重度係数（プロペラ荷重度と呼ばれることもある。）が増すに従って小さくなる。（6.1.16）式は、プロペラ効率の上限（図中の赤色の実線）を示す。しかしながら、実際のプロペラ効率は、プロペラ後流の旋回流（回転流）による損失、粘性抗力に

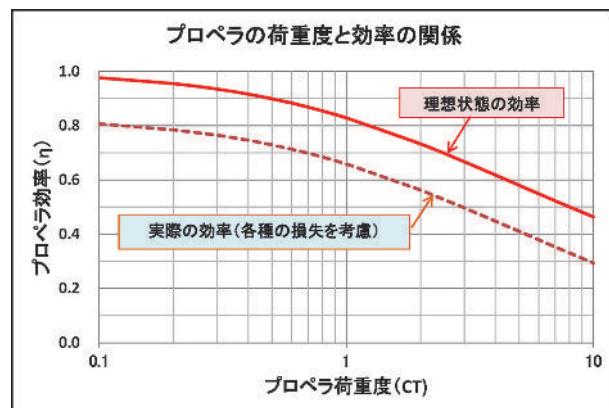


図6.1.14 プロペラの荷重度と効率

実線：理想状態の効率（6.1.16式の関係）

点線：実際の効率（筆者が推定した概略値）

\*元水産工学研究所

よる損失などにより、図中の理想的な効率（赤色の線）よりも小さく、点線に近い値（プロペラ特性などによって異なるが代表的な推定値）となろう。

**図6.1.14**から明らかなように、プロペラの荷重度が大きくなるに従って、プロペラ効率の上限は減少する（それ以上のプロペラ効率にはならない。第3章の**Note-8**参照：本誌120号、2015.3）。

漁船は、一般に、高荷重度の状態でプロペラが運用されること  $[C_T \approx 1]$  が多いことから、省エネルギーの観点からは、プロペラ荷重度を下げる工夫も重要となる。

プロペラをダクト内に収容したダクト・プロペラ（コルトノズル・プロペラ）は、プロペラを覆うダクトが必要な推力の一部を受け持つ構造となっている。そのため、プロペラ自体の荷重度を減ずることができることから、プロペラ効率の向上が期待できる。そのためには、ダクトの形状、船体やプロペラとの整合性などを考慮した適切な設計が不可欠であることは言うまでもない。

ダクト・プロペラは、古くから、曳船（タグ・ボート）など高荷重度となる船舶に用いられ、プロペラ荷重度を下げることによるプロペラ効率の向上を意図したものである。また、北欧では、底びき網漁船など多くの漁船に採用されているとの報告もある。なお、ダクト・プロペラの利点あるいは欠点などについては、文献<sup>5), 6)</sup>に比較的詳しく述べられている。しかしながら、それら具体的な効率などの詳細については不明の点も多い。

## 参考文献等

- 1) 「漁船漁業の省エネルギーに向けて（ガイドブック）」、（独）水総合研究センター 水産工学研究所・開発調査センター、平成25年5月  
<http://nrije.fra.affrc.go.jp/seika/syounen/guide.pdf>
- 2) 「漁船漁業の省エネルギー解説書」平成24年度版、（独）水産総合研究センター 水産工学研究所・開発調査センター、平成25年3月（未公表）
- 3) 内航商船に対するウェザールーティングについて：高嶋恭子、海事交通研究（年報）、60、2011.12
- 4) 「丸尾孟教授の船体抵抗推進論」：丸尾孟教授の教科書刊行の会、H21.9
- 5) Fuel and financial savings for operators of small fishing vessels : J.D.K.Wilson, FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER 383, FAO, 1999
- 6) Fuel savings for small fishing vessels (A manual) : Oyvind Gulbrandsen, FAO, 2012
- 7) FAOのHPのほか、公益社団法人 国際農林業協働協会（JAICAF）のHPにあるFAO本部図書館 藏書検索（FAO-BIB）機能を使用してもダウンロード可能。  
(<http://www.jaicaf.or.jp/reference-room/fao-library/fao-publication.html> )
- 8) Energy conservation programme in the Indian fisheries : Aegisson, G & Endal, A., Energy conservation programme, IDN Ref.402009.00.02.92, Marintek, Norway, 1992
- 9) Cutting fuel costs: Alternatives for commercial fishermen : Hollin, D. & Windth, S., Texas A&M University Sea Grant College Program, USA, 1984
- 10) Fisheries and energy use. *Encyclopedia of Energy*, 2. : Tyedemers, P., The Netherlands, Elsevier, 2004
- 11) Carbon footprint and energy use of Norwegian seafood products : Winther, U. etc., SINTEF Fisheries and Aquaculture. Norway, 2009.
- 12) “新愛徳丸”の追跡調査とその結果（コンピュータでよみがえった帆船）：船舶技術開発株、船の科学、34、1981.10
- 13) 漁船の省エネルギー対策について（帆走の効果）：三保造船、船の科学、38、1985.9
- 14) 世界で最初の319トン型近代帆装鮪延縄漁船“第1八千代丸”：吉村利七郎、漁船、264、1986.8
- 15) 近代帆装漁船“第1八千代丸”的帆装と主機関について：志賀竹麿、漁船、264、1986.8
- 16) 近代帆装鮪延縄漁船第1八千代丸の初航海の状況について：志賀竹麿、漁船、268、1987.4
- 17) Principles of yacht design : Larsson, L. & Eliasson, R., Adlard Coles Nautical, London, 1994

## 付録

漁船の省エネルギー化技術・方策などに関連してこれまでに公表された文献は多数ある。ここに参考のため、現在までに筆者が収集した文献（主に、当協会発行の「漁船」及び「海洋水産エンジニアリング」など）の一部を掲げる。今後、適宜、補完・追加する予定である。

### A：総合報告書、特集、解説等

- A-1) 漁船漁業の省エネルギー：(独)水産総合研究センター水産業エネルギー技術研究会、2009.3
- A-2) 「漁船漁業の省エネルギー」解説書：(独)水産総合研究センター水産工学研究所・開発調査センター、(非公開)、2013.6
- A-3) 「漁船漁業の省エネルギーに向けて（ガイドブック）」：(独)水産総合研究センター水産工学研究所・開発調査センター、水産工学研究所HP、2013.6
- A-4) 「漁船漁業の省エネルギーに向けて（パンフレット）」：(独)水産総合研究センター水産工学研究所・開発調査センター、水産工学研究所HP、2013.6
- A-5) 「Dr. 省エネ」：(独)水産総合研究センター水産工学研究所・開発調査センター、水産工学研究所HP、2013.6
- A-6) 平成18年度～平成22年度「省エネルギー技術導入効果実証試験事業」報告書：(社)海洋水産システム協会、2007.3～2011.3
- A-7) かつお・まぐろ漁船省エネルギー対策研究報告書：日本鰹鮪漁業協同組合連合会・日本鰹鮪漁業者協会・(社)漁船協会、1981.3
- A-8) 既存かつお・まぐろ漁船省エネルギー研究報告書：日本鰹鮪漁業協同組合連合会・日本鰹鮪漁業者協会・(社)漁船協会、1983.2
- A-9) 中型漁船の省エネルギー対策に関する報告書：全漁連、1984.9
- A-10) 小型漁船の省エネルギー対策に関する報告書：全国漁業協同組合連合会、1987.4
- A-11) 遠洋まぐろ延縄漁業の将来展望に係る中間取りまとめ：遠洋まぐろ延縄漁業将来展望検討委員会・全国遠洋沖合漁業信用基金協会、2008.5
- A-12) H18年度 漁船の省エネルギー推進のてびき：(財)省エネルギーセンター、2007.3
- A-13) H18年度版 内航船の省エネルギー推進のて

びき (RO-RO船版)：(財)省エネルギーセンター、2007.3

- A-14) H19年度 漁船の省エネルギー推進のてびき：(財)省エネルギーセンター、2008.3
- A-15) H19年度版 内航船の省エネルギー推進のてびき：(財)省エネルギーセンター、2008.3
- A-16) Fuel and financial savings for operators of small fishing vessels : Wilson, J.D.K, FAO Fisheries Technical Paper, No.383, FAO, 1999
- A-17) Fuel savings for small fishing vessels (A manual) : Oyvind Gulbrandsen, FAO, 2012
- A-18) 「省エネルギー船」特集：日本造船学会誌、632、1982.2
- A-19) 省エネ特集にあたり：土屋 孟、海洋水産エンジニアリング、55、2006.3
- A-20) 当社の省エネルギー対策の経過について：松元 要、海洋水産エンジニアリング、55、2006.3
- A-21) ディーゼル機関における環境・省エネの最近の取組：矢口敬一・他
- A-22) 省エネ運行に関する提言：田口雅規、海洋水産エンジニアリング、55、2006.3
- A-23) 漁船の省エネルギー化に向けて—電気推進システムについて：ヤンマー(株)、海洋水産エンジニアリング、55、2006.3
- A-24) NIPシステム（ナカシマ省エネ推進システム）：ナカシマプロペラ(株)、海洋水産エンジニアリング、55、2006.3
- A-25) 漁船漁業の省エネ対策への提言：土屋 孟、海洋水産エンジニアリング、56、2006.4
- A-26) 船体部門の省エネルギー対策～漁業者向け説明～：小林 務、海洋水産エンジニアリング、56、2006.4
- A-27) 漁船冷凍保蔵設備（防熱も含む）の省エネ対策研究：小川 豊・正篠浩一、海洋水産エンジニアリング、57、2006.5
- A-28) 魚の品質価値向上と漁船の省エネを目指して：小川 豊、海洋水産エンジニアリング、68、2007.4
- A-30) 次世代型遠洋まぐろはえ縄漁船の開発 一平成16年度～平成18年度3ヵ年の研究成果一：日本かつお・まぐろ漁業協同組合、海洋水産エンジニアリング、76、2007.12
- A-31) 我が国の動力漁船の燃油使用量の概略：長

- 谷川勝男、海洋水産エンジニアリング、77、  
2008.1
- A-32) 電気推進漁船を考える（上）：川島敏彦、海洋水産エンジニアリング、82、2008.12
- A-33) 電気推進漁船を考える（下）：川島敏彦・西本 仁・玉島正裕・大倉一高、海洋水産エンジニアリング、83、2009.1
- A-34) 省燃油操業実証事業の実践は何を提起したのか：濱田武士、海洋水産エンジニアリング、83、  
2010.1
- A-35) 沖合および遠洋漁船の燃油消費実態：長谷川勝男・他、海洋水産エンジニアリング、112、  
2013.11
- A-36) イカ釣り漁業における省エネルギー化技術：渡部俊広、海洋水産エンジニアリング、113、  
2014.1
- A-37) 省エネルギー技術導入促進事業報告書（総集編）：海洋水産システム協会、海洋水産エンジニアリング、113、2014.1
- A-38) II 省エネルギーのための船型改良：小林務、漁船、200、1975.12
- A-39) 現存かつお・まぐろ漁船省エネルギー研究報告書（第2回）、漁船、247、1983.10
- A-40) 現存かつお・まぐろ漁船省エネルギー研究報告書（第3回）、漁船、248、1983.12
- A-41) 平成20年度 環境バイオマス総合対策推進事業のうち農林水産分野における地球温暖化対策調査（全国調査事業）に関する報告書：（独）水産総合研究センター中央水産研究所・水産工学研究所・株水土舎、2009.3
- A-42) 平成25年度日本水産工学会秋季シンポジウム：「漁船漁業の省コスト化に向けた技術開発の現状と展望～漁船の省エネルギーに向けた技術開発～」・漁船の省エネルギーに向けた取り組み：酒井久治、水産工学、51-2、2014.11
- A-43) 平成25年度日本水産工学会秋季シンポジウム：「漁船漁業の省コスト化に向けた技術開発の現状と展望～漁船の省エネルギーに向けた技術開発～」・漁船の燃料油消費量の見える化による省エネルギー気運の醸成：溝口弘泰・長谷川勝男・他、51-2、2014.11
- A-44) 平成25年度日本水産工学会秋季シンポジウム：「漁船漁業の省コスト化に向けた技術開発の現状と展望～漁船の省エネルギーに向けた技術開発～」・漁船漁業の省コスト化に繋がる新たな漁具漁法技術—底びき網漁業における事例—：熊沢泰生・平山 完・他、51-2、2014.11
- A-45) 平成25年度日本水産工学会秋季シンポジウム：「漁船漁業の省コスト化に向けた技術開発の現状と展望～漁船の省エネルギーに向けた技術開発～」・九十九里地区の二艘まき網漁業の省エネルギー方策：長谷川勝男・升也利一・他、51-2、  
2014.11
- A-46) 平成25年度日本水産工学会秋季シンポジウム：「漁船漁業の省コスト化に向けた技術開発の現状と展望～漁船の省エネルギーに向けた技術開発～」・資料：漁船漁業の省エネには，“エコ運航”がお勧めです!!：溝口弘泰・長谷川勝男・他、  
51-2、2014.11
- A-47) 省エネルギー漁船船型の開発：高橋洋二・他、IHI技報、18-3、1978.5
- A-48) まぐろ延縄漁業における省エネルギー型漁船の一考察：東海造船工業会・漁船勉強会、  
1976.3
- A-49) 漁船における省エネルギー対策：安藤和昌、航海、66、1980.12
- A-50) 漁船配置の適正化による船団全体の造波抵抗低減に関する研究—第1報：粒子群最適化による最適漁船配置の計算—：升也利一・三好潤・川田忠宏、水産工学、52-1、2014.7
- A-51) 表計算ソフトを用いた沿岸漁船の適正トリムの推定：升也利一、水産工学、50-1、2013.7
- A-52) 多漁船の省エネ改造に対する制約条件付き極小造波抵抗理論の応用について—Cpカーブの最適化に対する点拘束条件の検討—：升也利一、  
水産工学、49-3、2013.2
- A-53) 表計算ソフトを利用した沿岸漁船の省エネルギー化：升也利一、水産工学、48-3、2012.2
- A-54) 沿岸小型漁船の大型バルブによる抵抗軽減について（模型試験結果）：鈴木四郎・山越康行、しおさい7号、水産工学研究所、2000.11
- A-55) 中速艇に装備の船首バルブの一考察：後藤義輔・栗田英夫、FRP漁船、156、1993.6
- A-56) 荒天時の航行における出力と船速及び燃料消費量の変化：津田稔・前田和幸・小松和成・三好佳廣、海洋水産エンジニアリング、80、2008.7
- A-57) 電気補助推進システムによる省エネルギー技術：鎌田和弘、海洋水産エンジニアリング、80、

2008.12

- A-58) 航行中の漁船における燃費・CO<sub>2</sub>低減：前田和幸、海洋水産エンジニアリング、86、2009.7
- A-59) 燃料半減船の実現に向けて—環境時代の船舶省エネ技術開発—：大内一之、海洋水産エンジニアリング、86、2009.7
- A-60) 北海道ほたて桁引き漁船の省エネ取り組み：大窪英治、海洋水産エンジニアリング、90、2010.3
- A-61) 漁船の燃油消費の実態と省エネルギー方策：長谷川勝男、海洋水産エンジニアリング、94、2010.11
- A-62) さんま棒受網漁船の行動分析と燃油消費：長谷川勝男、海洋水産エンジニアリング、99、2014.3

**B：船体清掃、塗装等**

- B-1) 小型漁船の船底清掃による燃料消費量とNO<sub>x</sub>排出量の低減効果：濱口正人・他、水産工学、32-3、1996
- B-2) 環境対応型加水分解塗料の開発：中国塗料株、海洋水産エンジニアリング、93、2010.9
- B-3) 超平滑塗膜でさらなる燃費低減を可能にSEAFL NEO Z：中国塗料株、海洋水産エンジニアリング、113、2014.1
- B-4) 「船舶用塗料の変遷と展望」について：横田浩二、海洋水産エンジニアリング、118、2014.11
- B-5) 摩擦抵抗低減型船底防汚塗料の開発：鈴木隼人、塗装工学、47-9、2012
- B-6) 海洋生物付着による船底汚損の影響について—CPP装備船での航走実験結果の検討—：鈴木三郎・中井昇、日本航海学会論文集、68、1982.10
- B-7) 船舶のシーマージンの確率論的検討：細田龍介・吉野邦昭、日本造船学会論文集、167、1990
- B-8) Some Considerations in Energy Conservation of Fishing Boats (Adoption of Self-polishnig Anti-fouling Paint) : Kaname Sato, etc.、日本航海学会論文集、68、1982.10
- B-9) 3.7 省エネルギー塗料の経済性についての考察：船舶整備公団、高経済性内航船に関する調査研究、1980.3
- B-10) 船体表面粗度と船速低下について：折戸博公・柿沼勝、日本造船学会誌、616、1980.10

- B-11) 船舶の経年速度変化：羽田知所、日本造船学会誌、606、1979.12
- B-12) 船舶の就航実績解析プログラムと解析例：田中稔、船舶、1982.5
- B-13) 青函連絡船の船底汚損が推進馬力に及ぼす影響について：井村博之、漁船、241、1982.10

**C：帆、波浪、ウェザールーティング等**

- C-1) 「ウェザールーティングによる燃料節約—コンテナ船の航海データを用いたシミュレーション」：高嶋恭子・萩原秀樹・庄司るり、日本航海学会論文集、111、2004.9
- C-2) 内航商船に対するウェザー・ルーティングについて：高嶋恭子、海事交通研究（年報）、60、2011.12
- C-3) 漁船の運航の効率に関する一考察：武田誠一・他、航海、101、1989.9
- C-4) 漁船研究発表討論会研究発表（その2）省エネルギー船型の波浪中動揺について：山越康行、漁船、236、1981.12
- C-5) 漁船の省エネルギー対策について（帆走の効果）：三保造船、船の科学、Vol.38、1985.9
- C-6) 漁船用補助帆走装置の概要、普及の現況と省エネ効果：池田義明、(社)漁船協会・第157回月例懇談会資料、1985.9
- C-7) “新愛徳丸”の追跡調査とその結果（コンピュータでよみがえった帆船）：船舶技術開発株、船の科学、34、1981.10
- C-8) 帆装タンカー“新愛徳丸”について（続々と就航する機主帆従式帆装船）：JAMDA、1983.9
- C-9) 世界で最初の319トン型近代帆装鮪延縄漁船“第1八千代丸”：吉村利七郎、漁船、264、1986.8
- C-10) 近代帆装漁船“第1八千代丸”的帆装と主機関について：志賀竹磨、漁船、264、1986.8
- C-11) 近代帆装鮪延縄漁船第1八千代丸の初航海の状況について：志賀竹磨、漁船、268、1987.4
- C-12) D/W 26,00M.T.型近代帆装貨物船“ウスキパイオニア”：(財)日本船舶振興会・他、1985
- C-13) 近代帆装貨物船・ウスキパイオニア：第1次航海報告書：(財)日本舶用機器開発協会・他、1985.5