

船舶における省エネルギー対策

How to Save Energy in Ships

富田 幸雄*

Yukio Tomita

1. まえがき

省エネルギーの必要性は、地球に存在する資源が有限で、しかもこれらが特定の地域に偏在しており、かつ流動的な政治的要因から安定した供給が危惧されるようになって、あらためて認識が高まってきた。

我国では資源・エネルギーの大部分を国外に依存しているため、ことに船舶に対する認識が強く、加へて世界に誇る海運・造船国であるところから、船舶の省エネルギー対策は関係各部門において着々と進められており、その成果は世界から注目を浴びている現状にある。

本稿ではこれらの対策の具体例をできるだけ数多くあげ、船舶における省エネルギー問題の概要を抜粋してみたい。また、一部に代替エネルギーの問題も含めて考えてみた。

なお、船舶の省エネルギー対策を論ずる場合、船舶そのものの省エネルギーについて考慮することは勿論であるが、これ以外に船舶は物資の輸送手段であるとの観点から、物流システム全体のなかで船舶のあるべき姿について十分配慮しておく必要がある。具体的には、ある輸送システムの構成要素である船舶に、トータルシステムから見てどんな機能、すなわち船の大きさ・速さなどを要求すべきかという問題である。これが大きく省エネルギーに貢献することは、苦肉の策ではあるが、タンカーの減速運航などに見られるところである。しかし、この問題は他稿に譲るとして、ここではもっぱら船舶自身の省エネルギー問題に絞って考えてみたい。

そこで、まずはじめに船舶の省エネルギー対策を進めるのに当り考えておかねばならない原則、理念とい

ったものについて述べ、続いて省エネルギーの具体例を要素別に、①船の推進機関に係わる対策、②これらをサポートする補機類に係わる対策、③その他の対策、に分けて紹介し、最後に今後の課題などについて触れてみたい。

2. 省エネルギー船に対する理念

船舶の省エネルギー対策を実施するとき、是非とも考慮されなければならない基本的な事項が2つある。すなわち、先ず第1はそのシステムの信頼性確保であり、第2は外的要因（例へば供給される燃料油の質、乗組員、保守態勢、就航航路、船の使用環境など）の変化に対する順応性、あるいは安定性と云ったものの確保である。

船舶の特殊性、すなわち隔離された環境下で限定された人員により自然を相手に運航してゆかなければならないという条件を考えると、この2つの事項を満足させることはきわめて重要であって、省エネルギーや高経済性を追求するあまり、複雑すぎるシステムや精巧すぎる機器を採用することは避けるべきであろう。このようなシステムや機器は系全体の信頼性を損うだけでなく、使用者に対し極端に高度な取扱いを要求したり、不測の事態に対する処置を全く困難なものとしてしまう危険性がある。また、特定の航路や使用環境にあるときなら一応満足に使いこなせるものであっても、いざ、船の航路を変えたり使用環境を変える必要が出たとき、たちまち燃料油の質の問題や保守の技術レベルの問題などで制約を受け、満足な運航に支障をきたすようなものであれば、船舶のシステムや機器として適当なものとはいえない。

このような基本的な考え方はどのようなプラントについてもいえることであるが、特に船舶の特殊性を考慮しあえて強調する次第である。

* 日立造船(株) 技術開発本部開発室室長

3. 推進機関に係わる対策

3.1 蒸気機関とディーゼル機関

蒸気往復動機関に始まった船舶の推進主機関は、液体燃料である重油が容易にかつ安価に入手できるようになってからは、熱効率の高いディーゼル機関と大出力がえられしかも取扱の簡単な蒸気タービンが競合するようになった。約30年前に過給機が導入され始めて以来、ディーゼル機関の熱効率と出力増大が飛跳的に進み、それまで1基の最大出力が10,000 PS程度であったものが50,000 ps 近くまで得られるようになり、次第にディーゼル機関が船舶の主機関として主流を占るようになってきた。

しかし、この発達過程でひとつの矛盾があった。それは以下に述べる機関の出力と回転数の関係である。

船舶の推進を考えると、プロペラ直径を大きくし回転数を低く抑えるほど、プロペラ荷重度が下ってプロペラ効率が向上し、推進所要馬力が減少することは古くから知られていたことである。

ところが、オイルショック前までは重油価格が非常に安く、船舶を運航するために必要な費用、いわゆる船費において船価の占る割合が約50%であったのに対し燃料費はわずかに10%前後にしかすぎなかった。このため、船価をできるだけ下げるべく船舶は大型化と同時に肥大船型へと発展していった。一方、ディーゼル機関も高出力・高性能化を追求したことから、図-1に示すよう次第に回転数は高いものとなっていった。この結果、特に肥大船型の多いタンカー・バルクキャリア等においてプロペラ荷重度が上がりプロペラ効率が低下し推進所要馬力の増大を招いていた。この関係を図-2に示す。

3.2 低回転大口径プロペラ

オイルショック後、前述の船費において燃料費の占る割合が約10%から30%にもなり、船価と拮抗するようになってくると、少しでも回転数を下げてプロペラ効率を向上させるべきだということに気付く結果となった。

プロペラ回転数を下げるためにはプロペラ直径を大きくする必要があるが、これには吃水との関係があり限度がある。すなわち、バラスト状態でのプロペラ深度、荒天時のプロペラレーシング等を十分考慮する必要があり、これらを検討した結果は図-3に示す如くタンカー、バルクキャリアにおいて、20~40%のプロペラ増径が可能でプロペラ効率は10~20%向上するこ

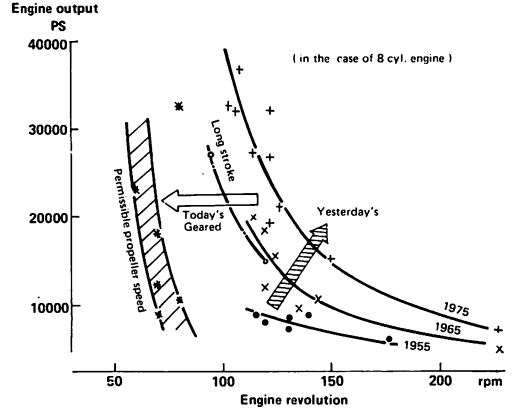


図-1 Progress of diesel engine

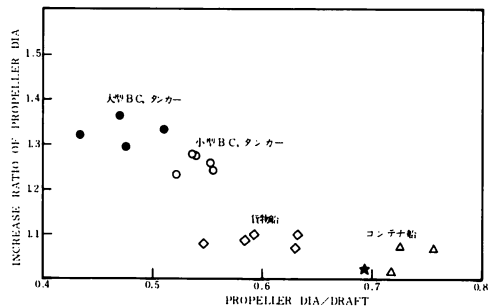


図-2 プロペラ増径度と船型

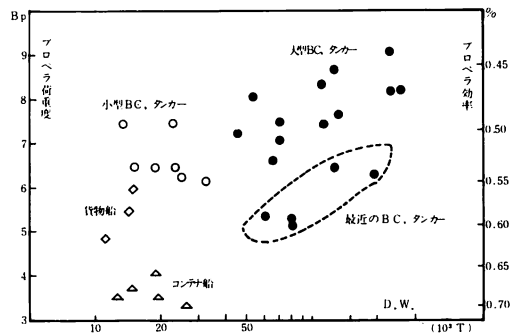


図-3 船型の大きさとプロペラ荷重度

とになる。

3.3 低回転機関

プロペラと直結されるディーゼル機関にとって、回転数を下げることは至上の課題となっていった。これにいち早く答えたのがB&W社が開発したロングストローク型機関で、22%ストロークを長くし18%回転を下げたものである。これによりプロペラ効率は4~5%改善されたが、これではまだ不十分でさらに回転数

の低い機関が望まれた。

ここで登場したのが昭和51年に日立造船がB&W社と共同で開発したツインバンク機関である。

この機関の発想は、タービン船に比べてディーゼル船のプロペラ回転数はたゞ高いのか、タービンは減速機をつけてその船に最適なプロペラ回転数を選べるのにディーゼルはなぜ自由に回転数を選べないのか、という素直な疑問が発端であった。

従来、中速ディーゼル機関に減速機を組合せたいわゆるギヤード機関がフェリーなど特殊な船舶に用いられてきたが、使用燃料油に比較的良質のものが必要で保守にも問題があるため、一般商船の推進機関として主流にはなり得ないという判断から、使い馴れた低速ディーゼル機関にいかにして減速機を組合せるべきかという問題を巧みに解決したものがツインバンク機関であった。

ツインバンク機関の概念図は図-4に示すとおり、2つの機関を背中あわせに合体することにより従来の機関に比べ、減速機を含む機関長さ・巾を減少させ、高さを半減させしかも重量において約40%も軽いコンパクトな機関が得られた。実機の全景を図-5に示す。

この機関は先ずB&WK45GF型機関を母体として具体化され、その1番機は本年6月より8万トンタンカーに搭載され好評裡に運航されている。続いてB&WL55GFCA型機関を母体として昭和56年末を目標に開発が進められている。これらの機関要目を表-1に示す。

ツインバンク機関は低速クロスヘッド型機関であるため低質重油の使用が可能で、しかも比較的小口径機関であるため保守費用もシリンダ数が増加するにもかかわらず従来型の機関に比べ安くなるほか、緊急時には片バンク運転が可能であり、信頼性・安定性を兼ね

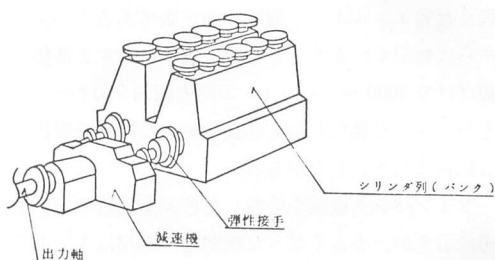


図-4 ツインバンク型機関の構成

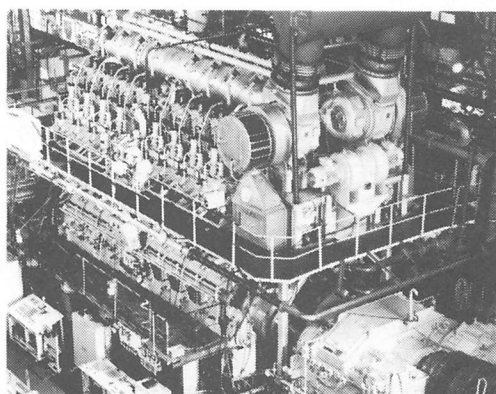


図-5 日立B&Wツインバンク型2X8K45GT C機関全景

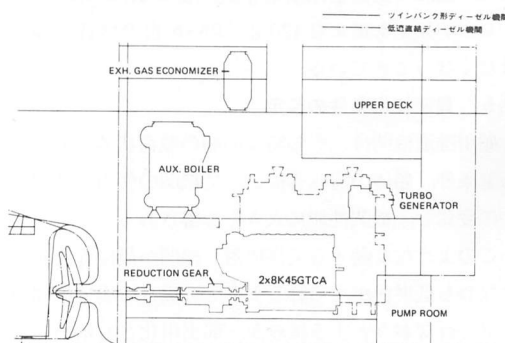


図-6 8万トンタンカー機関室配置

表1 ツインバンク機関の主要目表

機 関 型 式		日立B&W 2サイクル・クロスヘッド型	
		2XK45GTCA	2XL55GTCA
シ	リ	ン	ダ
径	(mm)	450	550
ス	ト	ロ	ーク
スト	ロ	ーク	(mm)
900		1,380	
連 出 続 最 力 大 時	シリンダ当り出力 (ps/cyl)	986	1,500
	機 関 回 転 数 (rpm)	234	155
	燃 料 消 費 率 (g/ps.h)	143	136
機 関 寸 法 (mm)	全体長さ (含減速機) (8 cyl)	12,500	14,000
	機 関 台 板 巾	4,100	5,440
	機 関 高 さ (クランク軸中心より)	4,545	6,385
	機 関 解 放 高 さ (クランク軸中心より)	5,600	7,590
機 関 重 量 (含 減 速 機) 8 cyl (ton)		320	580

備えた省エネルギー形機関の決定版であるといえる。さらに特記すべきこととして、表1に示す2種類の機関だけで4000～35000 psの出力範囲をカバーすることができ、安価なしかも品質の優れた機関を提供できる意義は大きいものがある。

ツインバンク機関を搭載した機関室配置の一例を図-6に示すが、小さくなった機関室の効果は大である。

3.4 低燃費機関

ツインバンク機関を使って同時に行なわれた開発は、静圧過給方式による機関自身の低燃費化であった。

これは従来B&W形機関に採用されていた動圧過給方式に替え、ニューフロー掃気機関では初めての試みである静圧過給方式を採用し、併せて燃料噴射系の改善を行ない一挙に7%のぼる低燃費化を達成したもので、画期的なことであった。この成功により、以後全てのB&W機関に静圧過給が採用され飛跳的に燃費が低減された。

これを契期に各エンジンメーカーの間に燃料消費率低減競争が始まり、B&W形機関を筆頭に各社の燃費改善が急速に進み、数年前まで150～155 g/ps・hであったものが135～140 g/ps・hも低減されてきた。また、機関の出力と回転数を多少落した、いわゆるデレーティングにより120 g/ps・h台の燃費も夢ではなくなってきている。

3.5 最適使用条件の設定

船用推進機関は、その時々船の载荷状態、船速、海象条件、船体の汚れ等によって機関の使用状態が大巾に変化し、機関性能に大きく影響される。

このような変動する条件に対し機関が最適な性能、すなわち低燃費がえられるようその場その場で機関の調整を行なおうとする試みが一部実用化され始めている。具体的には、マイクロコンピュータを使って機関の燃料噴射条件（タイミング、圧力、量など）、排気タイミング、過給機ノズル等を随時自動調節しようとするものであり、これによって可成りの低燃費が期待される。

また、これと同様な考え方からプロペラピッチを可変としたCPPがある。このCPPは、元来操船性を重んじるフェリーなど特殊船に採用されてきたが、一般商船にも採用した例が出てきている。ただ、プロペラピッチを可変とするための機構をプロペラボス内に設けるため、ボス比が大きくプロペラ効率が若干悪くなる短所もあるが、上記のマイコン制御と組合せることにより今後一段と実用化が進むと思われる。

4. 補機類に係わる対策

4.1 補機の主機駆動

電動モータによる補機駆動は、発電機用ディーゼル機関が主機関に比べ熱効率が悪く、しかも、発電機、モータの効率損失が加わることから、これを主機関で駆動しようというのが補機の主機駆動である。

駆動方式は増速機を介して機械的に駆動するものと、油圧モータを介して駆動するものがあり、駆動される補機は潤滑油ポンプ、冷却水ポンプなどで、タンカーのカーゴオイルポンプなども検討されている。

期待される省エネルギー効果は少ないが、後述の廃熱回収ターボ発電機の不足がちな出力をカバーする点や、カーゴオイルポンプ駆動に要する巨大なボイラ設備が不要となる点で全体的な省エネルギーに効果がある。

4.2 主軸駆動発電機

同様の考え方から主機関により発電機を駆動させるものであるが、問題は航海中主機関の回転数が変動するのに対し、定周波の交流電源をいかにして作るかである。これには同期発電機と誘導発電機を使うものがある。

同期発電機の場合はサイリスタインバータ方式が多く採用されている。この方式は変動周波数をもった電力をコンバータにより一旦直流電力に変換したのちインバータにより定周波の交流電力に変換するもので、欠点は設備コストが高いことである。

誘導発電機の場合は誘導発電機の2次側の交流電力をコンバータとインバータにより定周波の交流に変換したものを1次側へ再生することにより、発電機回転数にかかわらず定周波の電力をとりだすもので今後の主流を占めるものと思われる。

4.3 廃熱回収

ディーゼル主機関の熱効率は約45%と極めて高いが、それでも全投入エネルギーの60%近くは排ガスや冷却損失として捨てられている。このエネルギーを徹底的に回収すべく開発されたのが日立造船式低圧ターボ発電プラントである。このシステムの概要を図-7に示す。

これは主機の冷却水、過給空気を持つエネルギーを給水予熱に利用し、排ガスからより多くの熱量を回収すべく発生蒸気の圧力を大巾に下げ、しかも低圧蒸気で効率よく作動するタービンをういたもので、従来20,000 PSクラス以上の船にしか採用されなかったターボ発電プラントを10,000 psクラスの船に採用可能

としたものである。

省エネルギー効果も、ディーゼル発電機に使用する燃料がほとんど不要となるため5～7%の節約となる。

このほか、廃熱から熱回収し船内冷房用の吸収式冷凍機を駆動させるもの、蒸気でなく液体熱媒を使ってカーゴオイルの加熱を行なうもの等がある。また主機の冷却水からの熱回収を容易にするため130℃程度の高温水で冷却をするいわゆる高温冷却の考え方も出てきている。

4.4 低質油対策

石油製品のうち軽質分に対する需要増から今後船舶用の重油は増々低質化してゆくことが予想され、比較的良質な重油との価格差も広がってゆくと見られている。このため主機関には低速クロスヘッド型ディーゼル機関が主流とされてきているが、超重質油となると限度があり、どうしても船内処理装置の改善対策が必要となってくる。低質油中の夾雑物を分離する清浄機の改良、均一化するホモジナイザー、超音波を使った処理装置の開発が進められている。また、A重油を使用している発電用ディーゼル機関にC重油を混合させるためのブレンダー装置はすでに実用化されている。

5. 船体部・航海機器に係わる対策

5.1 船体部

船の推進抵抗の中で75～90%を占める粘性抵抗は、船体没水部の表面状態に支配される摩擦抵抗と船体形状に支配される形状抵抗とに分けられる。

摩擦抵抗を減少するためには外板の表面、塗装面粗度、経年による汚損などについて配慮する必要があり、長期型防汚塗料、親水性皮膜形成塗料などの開発・実用化が計られている。形状抵抗や造波抵抗の減少のため、船型、特に船尾形状や船首バルブの形状についての開発は従来から引続いて精力的に行なわれている。

また、船尾形状と併せて船尾附加物（ダクト・ノズル等）による推進効率の向上が計られている。

5.2 航海機器

操舵装置の性能を改善し、従来避けえなかった不感帯をなくし、応答性をあげ良好な保針性を発揮することにより推進馬力の損失を3～5%抑える新しい制御方式（シングループ式操舵装置）が実用化されている。

このほか、外洋航行中に自己の位置を正確に知り目的地へ最短コースをとるための航法システムなどがある。

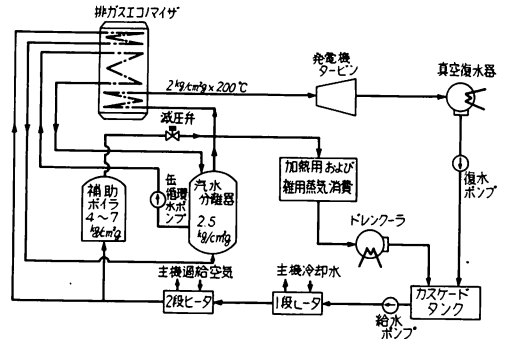


図-7 日立造船式低圧ターボ発電システム

6. まとめ

船舶の省エネルギー対策について列挙してきたが、これらの諸策は従前から積重ねられた努力と周辺技術の進歩によるところが多い。しかし、ここ数年の間に達成した成果は特記に値するもので、日立造船が4年前に提唱した低燃費船の構想を契機として飛躍的に開発が進み、達成された省エネルギー効果は30%前後にも及んでいる。今後も開発努力は続けられてゆくであろうが、このような企画的な変革は少なく、各要素についてのブラッシュアップとこれらを無理なく巧みに組合せてゆくことに対し努力が必要であろう。

今後の大きな課題は、物流のトータルシステムのなかで船舶に要求する性格や仕様をどのようにむだなく決めてゆくかという問題と、船舶自身にあっては矢張りマイコンの広範囲に亘る徹底した適用ではなからうか。前述したマイコンによる主機関の最適制御に加へ、補機器の無駄のない運転、最適トリム・バラストの設定、載荷状態と海象状況から輸送目的と照し合わせての船速・コース設定など、マイコンに期待するものが多い。

なお、風力・太陽熱などの自然エネルギー利用もこれからの課題であるし、代替燃料、ことに石炭や石油残渣に対する対応も重要となり、ボイラ・タービンの再認識も必要となるであろう。 おわり