

日本における船舶省エネルギーの最近の動向*

今 井 清**

1. ま え が き

1973年秋のオイルショック以来の原油価格の急騰は、単に燃料油価格へのはね返りというだけでなく、原油埋蔵量の有限説と関連して、各国ともエネルギー問題に強い関心を持つに至った。日本の各産業界においても、熱エネルギーの効果的な利用についての技術開発のみでなく、原子力の利用のほか、石炭、LNG、潮力、地熱、太陽熱等の代替エネルギーの研究が、「サンシャイン計画」として進められつつある。

海上輸送に消費される石油燃料エネルギーは、全石油燃料エネルギーの20%といわれており、燃料費の高騰は海運業界の最大の関心事である。例えば、20万DWT程度のタンカーにおける燃料費は、全運航費の40%にも及んでいる。したがって、海運業界は造船所ともども、熱心に省燃費対策を進めつつある。特に鉾炭船においては、荷主、船会社、造船所でグループを作り各グループがそれぞれの特長を持った省エネルギー船建造を目指している。

従来は省燃費対策として、船の大型化によるトンマイル当たりの主機出力の減少、及び計画的減速運転による燃料費の節約などが主なものであるが、ここでは、同じ船速を得るための省燃費対策、すなわち、機関システムの効率向上、及び船型の改善等についての最近の諸例並びに代替エネルギーの諸問題、更にこれらに対するNKの寄与などについて紹介する。

2. 省燃費対策

この1, 2年日本海事協会の船級を取得する船の推進機関はすべてディーゼル機関である。将来の推進機関としては、低質燃料が使用でき、保守費も低い蒸気タービンが有利であるとの説を米国 General Electric 社が発表¹⁾しているが、ここでは最近の船級船のディーゼル機関プラントを中心として省エネルギーの諸例及びその間

題について述べる。

ディーゼル主機関の燃料油発熱量を100%とすれば、プロペラを有効に回転させるに要するエネルギーは、一計算例では図1に示すように32%に過ぎず、他の大部分は排気熱量40%、冷却損失(潤滑油、ジャケット及びピストン)18%、プロペラ損失10%などとなって失われてしまう²⁾。したがって、省エネルギーを図るためには、これらの熱損失の有効利用、機関そのものの効率の向上、プロペラ推進効率の向上等が考えられる。

2.1 主機関の排熱の有効利用による省燃費対策

排気熱量と冷却水熱量の利用の主なものは、次のとおりである³⁾。

排ガスターボ発電プラント:

主機関の排ガスを有効に利用して、排ガスエコノマイザより発生させた蒸気でターボ発電機を回し、航海中必要な電力を賄い、余剰の低圧蒸気を雑用蒸気として使用する設計がある。

このような排ガス利用ターボ発電プラントの設計は十数年前からあり、多くの実績があるが、一時期は採用が少なかった。最近は年ごとに増加しており、NK入級船では1977年に3隻、78年に13隻、79年に15隻、80年には29隻となっている。図2は、これらの船の主機MCRと排ガスターボ発電機出力の関係を示している。ターボ発電機を利用できる主機出力の限界は(もちろんタイプによって異なるが)1万馬力程度である。今後は、可能な限界まで熱回収を図り、不足分を主軸駆動発電機で補うなど、徹底した排熱回収を行う方法が採用されるのではないかと思う。

図3はM社のプラントを示し、高圧蒸気(排ガスターボ発電用、圧力11.5 kg/cm²)と低圧蒸気(雑用、圧力4 kg/cm²)と別々に取り出す構造とすることにより、効率の改善が図られている。

図4に、K社のプラントの排ガスボイラ及び排ガスエコノマイザ部分を示す。排ガスボイラ部にON・OFF制御の重油燃焼装置を有し、主機停止又は低速運転時には切り替えダンパにより排ガスをバイパスさせ、重油追いだきを行って排ガスターボ発電機を連続運転させるのが特長である。ダンパはエンジンテレグラフと連動し、シ

* 本稿は1981年9月24日及び9月28日マニラ及び香港にて開催された技術講演会において発表された論文の和訳文である

** 副会長

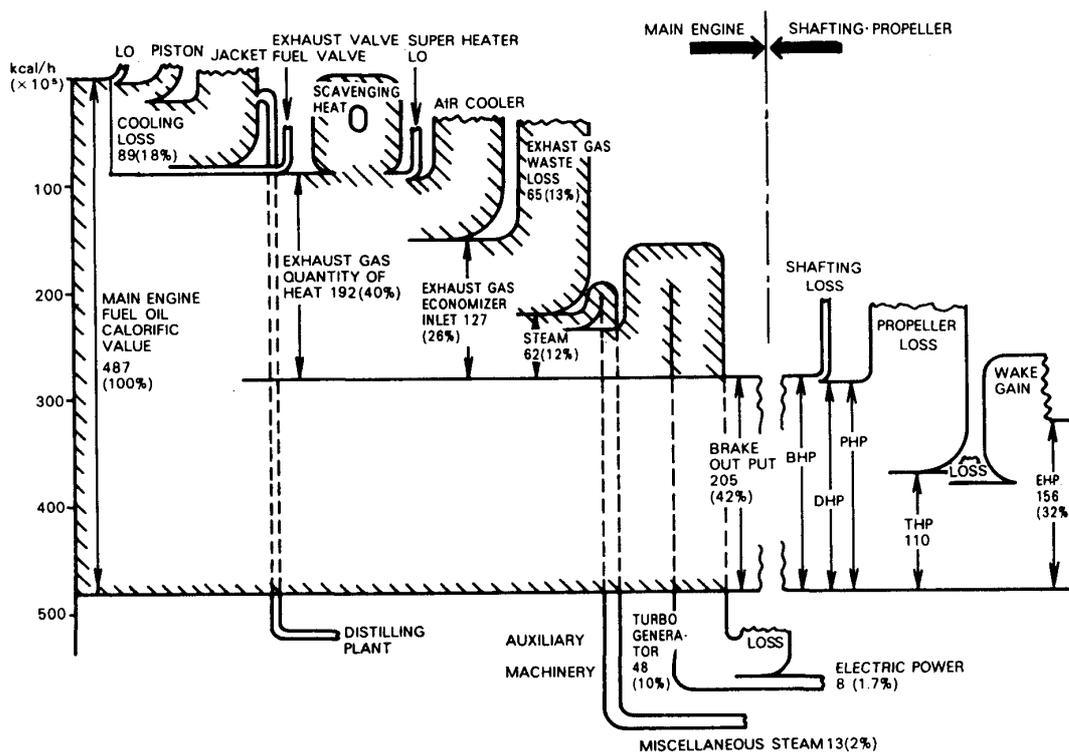


図 1 ディーゼルタンカの損失エネルギー

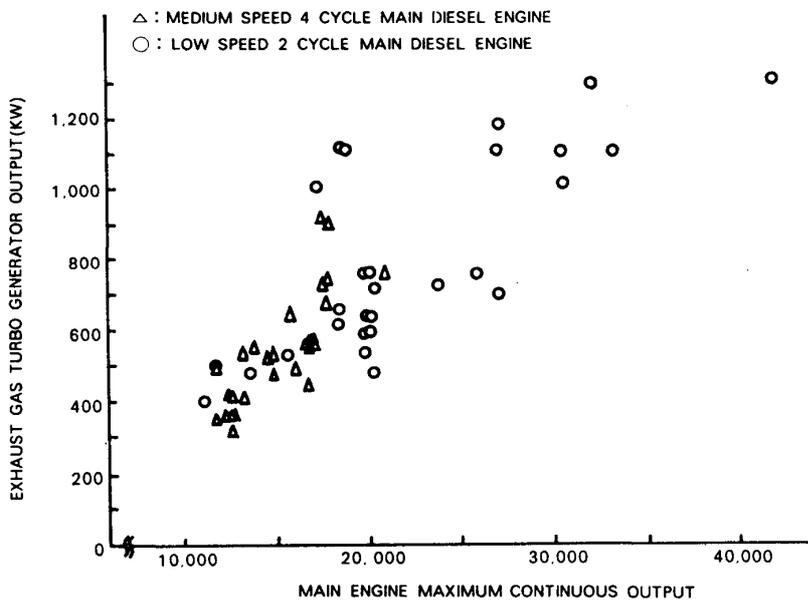


図 2 主機出力と排ガスターボ発電機出力との関係

ンプルな構造となっている。

図 5 は I 社のプラントの説明図であり、排ガスターボ発電機を 2 段切り替えの変速装置を介して主軸駆動もできるようにしたユニークなものである。本船はタンカーで、変速装置を Low に入れると、減速航行時も軸駆動発電機として使用できる。また、タンカーサービスにも排ガスエコマイザによる蒸気を使用できる。なお、蒸

気タービン出力が電力需要を上回るときは、余剰動力は船の推進力に利用できる。以上の諸例による燃費節減率は 6~9% である。

1969 年ごろこの廃熱利用プラントに、タービンディスク及び翼の損傷、及び排ガスエコマイザのストファイアが相次いで発生した。当会はこのような損傷を防止し、信頼性を向上させるための委員会を設けて対策を検

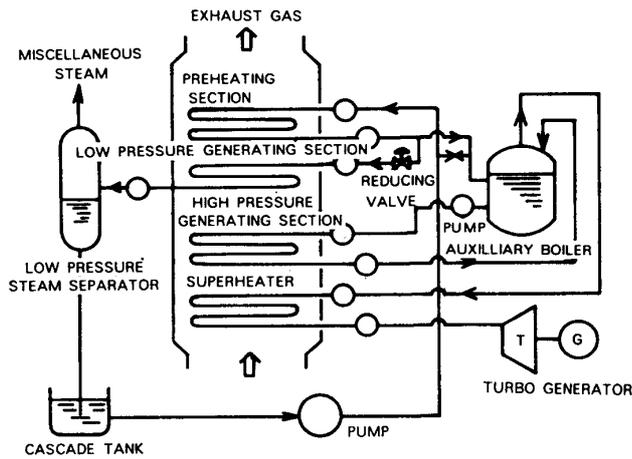


図 3 M型省エネルギーシステムの概要

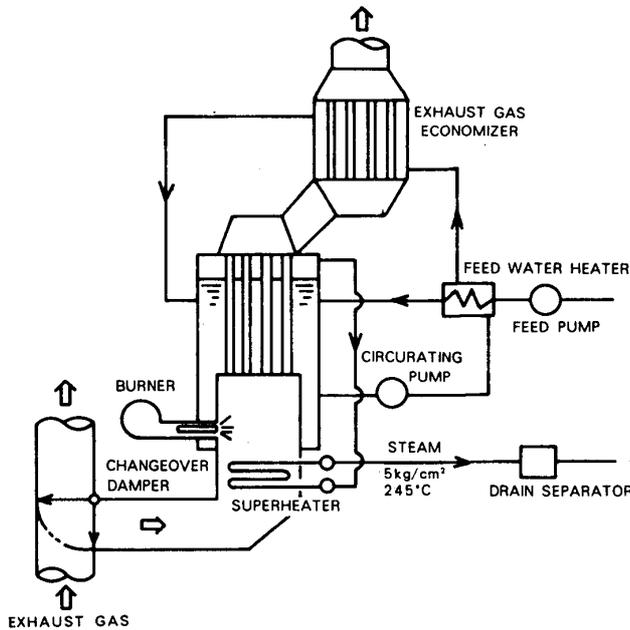


図 4 K型省エネルギーシステムの概要

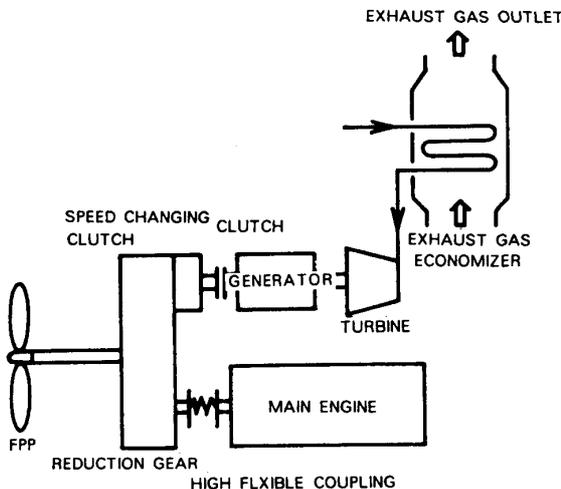


図 5 I型省エネルギーシステムの概要

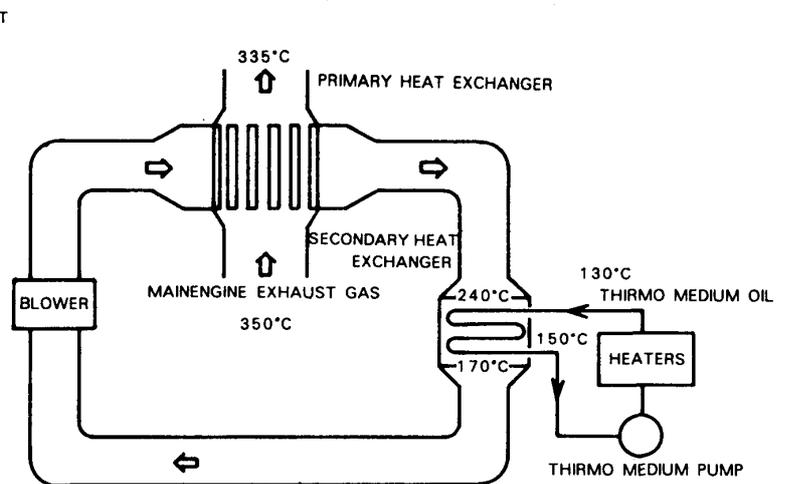


図 6 排ガスエネルギーを利用したT型熱媒加熱器システムの概要

討した。これらの損傷は、前者は蒸気発生器（補助ボイラの蒸気スペース）における排ガスエコマイザからの戻りの缶水の膨水による水面変動が誘起したキャリーオーバーのためであり、後者は排ガスエコマイザに付着した煤の火災であり、ボイラ給水の水質、気水分離ドラムのプライミング防止、蒸気管系にドレン分離器の設置その他の対策を発表⁴⁾してその後の損傷防止に寄与した。

更に当会は昨年末、省エネルギー特別研究委員会を設け、排ガスの廃熱利用蒸気プラントに対する設計及び保守について検討し、近く指針を発表する予定である。その内容は定常航走時及び出入港時のプラント操作上の問題点、廃熱利用蒸気プラントの構造上の問題点を含んでいる。

その他の熱回収設備：

図 6 は熱媒ヒータの例であり、主機排ガスにより空気を加熱し、これを 2 次熱源として熱媒（油）を用いて熱を回収しているものである。また、主機のジャケット冷却水保有熱及び主機過給機のインタークーラ前の過給空気保有熱を造水装置、給水加熱器又は吸収式冷凍機に利用している例もある。

2.2 主軸駆動発電装置による燃費の節約

補機類、特に発電機を C 重油を燃料とする主機で駆動すれば、A 重油と C 重油の価格差の分だけ節約できる。

最近の 4 年間に NK 船級を取得した船に装備された軸駆動発電機は、1977 年 11 台、1978 年 14 台、1979 年 21 台、1980 年 28 台であり、1980 年の 28 台のうち、CPP を採用した船は 20 隻となっている。一般に、軸駆動発電機では主機回転数の変動に基づく周波数変動が問題となる。実績によれば、波の穏やかな Inland sea では問題ないが、外洋では特に荒天中には CPP を装備した船であっても周波数変動があり、定周波装置を設けた

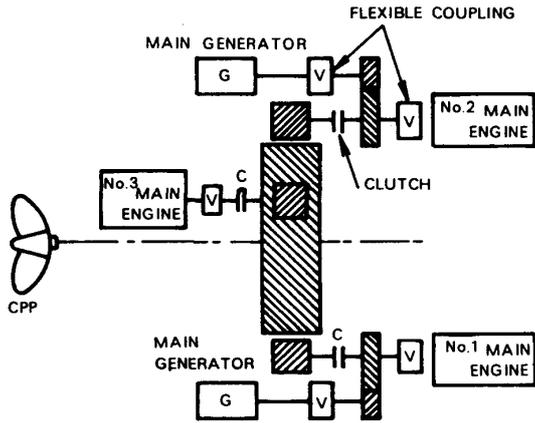


図 7 主機駆動発電システムの概要

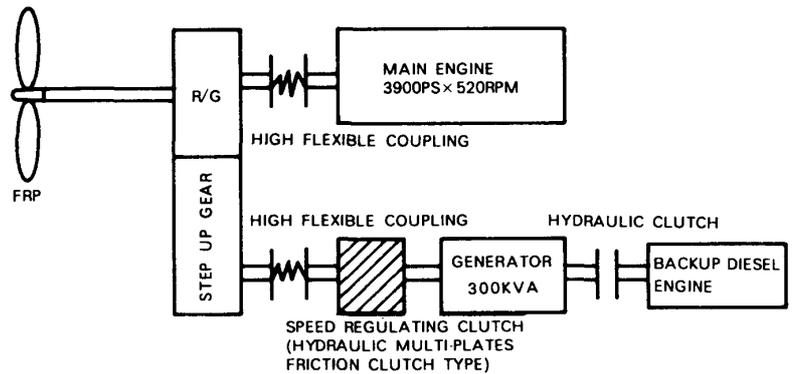


図 8 軸発によるN型システムの概要

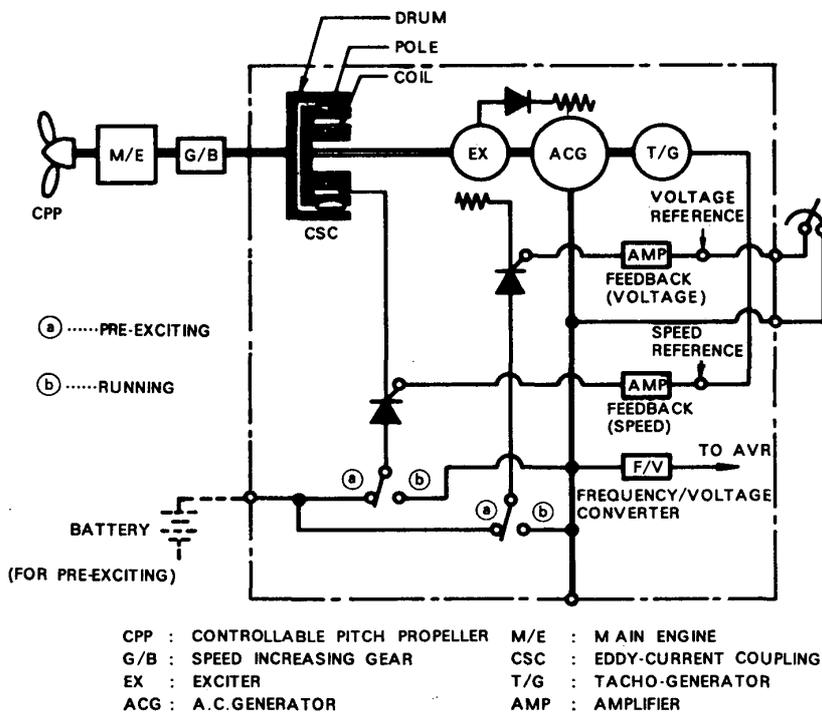


図 9 渦電流継手装置の概要

方がよいという結果になっている。

軸駆動発電機の定周波装置には種々の方式があるが、主機回転変動の大きいとき、推進軸系から発電機を切り離し、独立の D/G として使用するもの、スリップ可能な油圧多板クラッチを使用して、主機回転変動を常時スリップさせることにより吸収するもの、油圧ポンプを主機駆動にして発電機を油圧モータ駆動とするもの、渦電流方式のスリップ継手を使用するものなどは、発電機を一定回転に保つ定回転装置である。最近開発されたものでは、軸駆動発電機の周波数を変換する装置を持つサイリスタ・インバータ・コンバータ方式のものがある。

これらの諸例を 図 7~図 10 に示す。

図 7 はクラッチにより、推進軸系から発電機と駆動用主機を切り離せるものを示すが、もう一つの方法として

発電機駆動用のバックアップディーゼルをスタートさせる方式のものもある。

図 8 はスリップ可能な油圧多板クラッチによるもの、及び図 9 は渦電流方式のスリップ継手によるものを示すが、これらは常時スリップさせておくので、吸収しうる変動回転範囲を大きくすればする程、損失が大きくなる。(この現象は主軸駆動油圧ポンプによる油圧モータ駆動発電機の場合も同様である。)

図 10 はサイリスタ・インバータ・コンバータ方式の周波数変換器を持つ装置で、この装置の場合は、発電機は電動機としても使用できるので、ターボ発電機の余剰電力は推進動力として使用できる。

2.3 低回転機関及びプロペラ推進効率の向上

推進用機関そのものの熱効率の向上については、各機

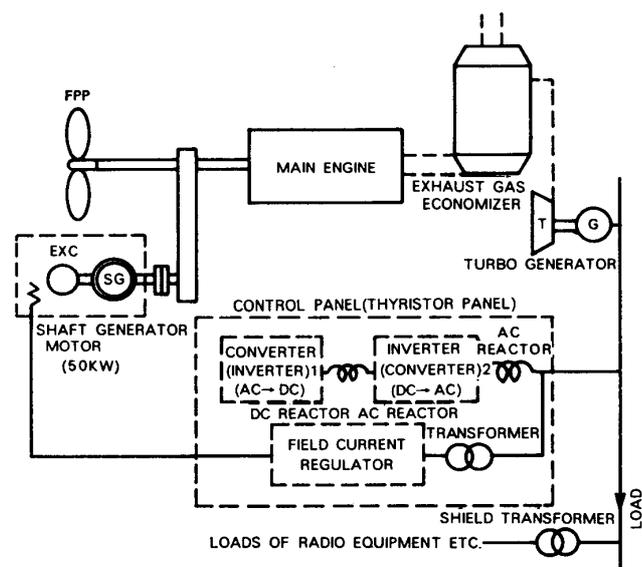


図 10 サイリスタインバータを利用した K 型軸発電機システム

関メーカーの努力によって種々の対策が講じられ、より燃料消費の少ない新型式の機関の開発が図られている。すなわち、2ストローク機関 (Sulzer, MAN, B & W, UEC) では、静圧過給方式の採用はもちろん、ピストン行程を長くして低回転とし、その回転数に最適の大直径プロペラを用いて、プロペラ推進効率を更に高めようとする動きが活発である。静圧過給はかねてから Sulzer の RND シリーズ, MAN の KSZ シリーズなどポート掃気方式の機関に採用されていたが、従来動圧過給方式を専用していた B & W, UEC などのユニフロー掃気方式の機関においても、前者は K-GFC 及び L-GFC シリーズ以降、後者は UEC-H シリーズ以降、それぞれ静圧過給方式に踏み切って、大型、小型を問わず 2 ストローク機関はすべて静圧指向となっているのが現状である。

例えば、B & W 型では、ロングストロークの L-GF シリーズの開発により 8%、静圧過給の L-GFC シリーズの開発により更に 7% の燃料消費率の改善が行われ、L-GB/L-GBE シリーズでは常用出力時の燃料消費率が実に 126 gr/PS. h となると称されている。

Sulzer 型では、RND-M シリーズ, RLA 及び RLB シリーズにおいて、ピストン下部掃気ポンプのキャンセル装置を採用することにより、常用出力時の機械効率を高め、更に燃料噴射のタイミングを機関の回転数に応じて自動的に変更し、燃料消費率の向上を目的とした VIP 装置 (Variable injection timing 装置) も設けられるようになった。また、最近では 4 シリンダ、5 シリンダ等の小数シリンダ機関を製作して省燃費とメンテナンス

コストの削減を図っている。

三菱 UEC 型では、いち早くシリンダ口径 370 mm のミニボア静圧過給機関を開発するとともに、従来シリンダ当たり 3 個の排気弁が設けられていたものを 1 排気弁 (2 燃料弁) 式に変更し、無冷却 S-MET の過給機の採用によって 10% もの燃料消費率の削減を図っており、これが一連の UEC-H シリーズの基本となっている。

MAN では、燃料噴射を電子制御する構造を出し、実機実験を行っているが、その結果によれば、かなりの省燃費となっている。

以上概述した機関の改善により、2ストローク機関では低質燃料油使用においても、優れた燃焼が確保されるようになってきている。

一方、中速機関においては、例えば SEMT では MPC (Modular Pulse Converter) 過給方式の採用や燃料噴射ポンプの改造などにより、燃費 141 gr/PS. h を 131 gr/PS. h としており、MAN の中速機関においても燃料噴射弁タイミング、過給機効率向上により、現在では 134 gr/PS. h としており、今後は更に常用域と低負荷時のいずれでも過給機効率を上げるため、可変ピッチタービンノズルの実用化が研究されている。14V 52/55 機関を搭載した“西海丸” (日本郵船) には、ディーゼル機関のリモートコントロールを、従来の電気・空気式に代えてマイクロプロセッサを応用し、調速と操縦のすべてをコンピュータで制御する電子リモコン装置 (MEDEA, Mitsubishi Electric Diesel Engine Aids) が装備されている。これは三菱重工業の開発によるものであるが、高精度の速度制御を行うものであり、燃費の節減にもなっている。

また、日本において古くから開発されている低速中型 4 サイクル機関 (赤阪, 阪神, 新潟, ダイハツ等) もそれぞれ燃費改善, ロングストローク化が図られている。

低回転大径プロペラの一例によれば、プロペラ径を 6 m から 8.5 m とし回転数を下げて、9% の燃費が節約できるといわれている。前述のように NK の省エネルギー研究委員会では低回転大径プロペラについて検討を行った。図 11⁵⁾ は 3 万総トンの貨物船の場合の例を示す。図は、プロペラ単独効率は低回転 (全回転の 80, 64, 51%) とした時、著しく増大するが、伴流ゲインによる船体効率の減少分を差し引いただけの推進効率の増大を示している。しかし、プロペラ直径を大きくした場合には、船体振動、軸系振動の起振源となる変動外力、水平力変動、水平曲げモーメント変動、垂直力変動、垂直曲げモーメント変動などが増大するので注意を要す

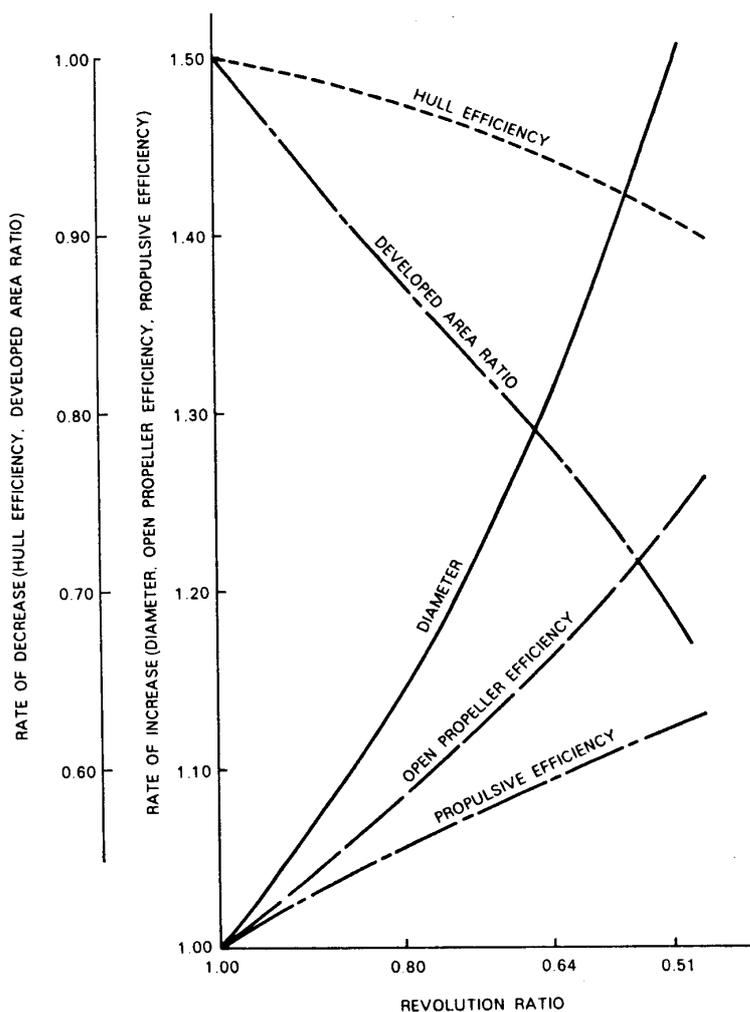
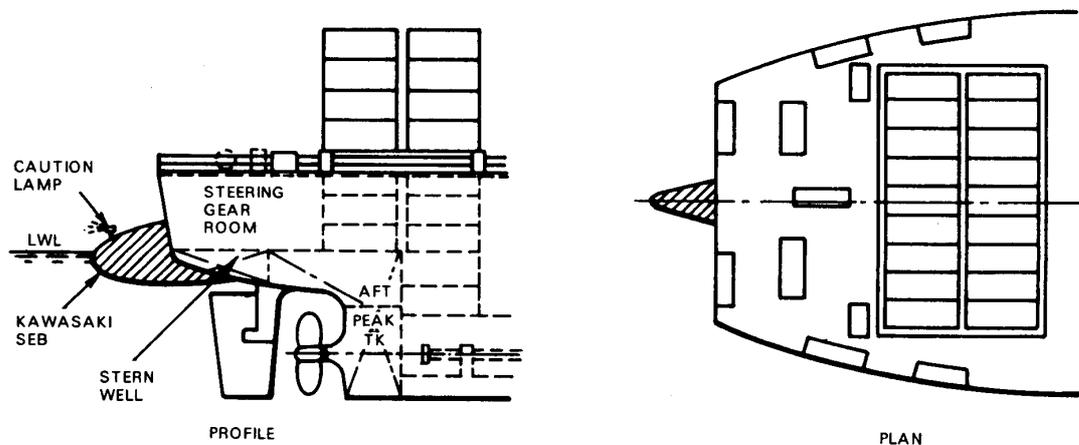


図 11 プロペラの回転比による効率変化



ARRANGEMENT OF THE STERN END BULB DEVICE DEVELOPED BY TOKYO UNIVERSITY AND KAWASAKI: ALREADY PROVEN ON A FERRY, IT IS SAID TO OFFER CONSIDERABLE FUEL-SAVING POTENTIAL WHEN APPLIED TO CONTAINER SHIPS

図 12 船尾バルブ (川崎重工)

る^{5),6)}。また、大径プロペラを装備した船が波浪中を航行するとき、プロペラが海面上に出る確率は大径化に応じて増加するとも考えられる⁵⁾。したがって、大径プロペラを採用する場合は船尾の形状には十分な注意を払うべきである。

一方、ホワイトメタルの船尾管軸受は、低回転領域で苦しくなるので注意を要する。

船尾形状について一例は、川崎重工業が開発した Stern end bulb (SEB) であり、図 12 に示す⁷⁾。このバルブによって波の干渉を利用し船尾の造波抵抗を減らすのが目的であり、5% の省燃費が図られたと称されている。

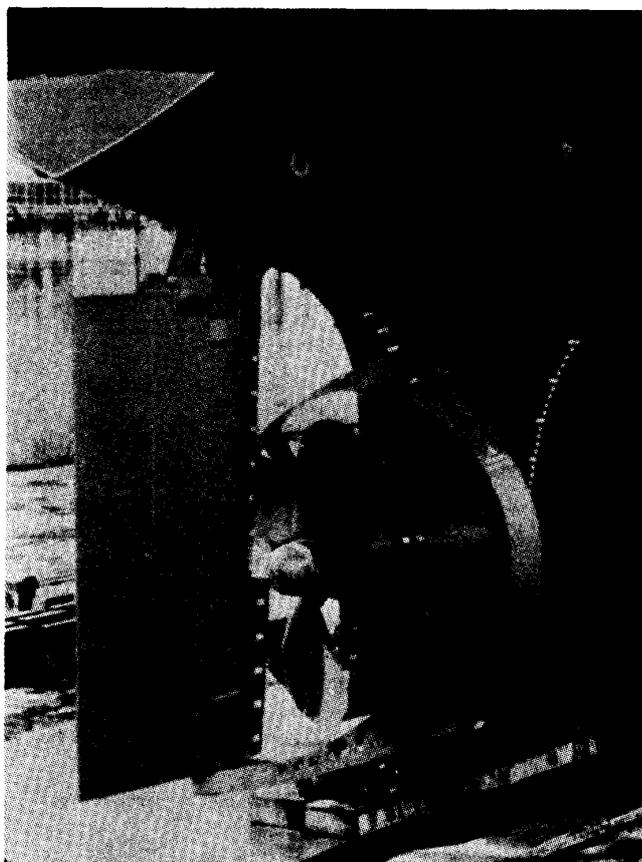


図 13 三菱リアクションフィン

また、図 13 は三菱リアクションフィンの図である。この装置はプロペラの前後に発生する循環水流（サーキュレーション）を防ぎ、推進効率を向上させたものでプロペラの前部に取り付けるものである。この方法ではコルトノズルの場合に発生するキャビテーションも生ぜず、材質も安価な鋳鋼が用いられる。実績によれば 2 万 PS、13 万重量トンバルクキャリアに装備した場合、馬力節減率は 5.5% であった。また、船尾端の振動振幅が 1/2~1/3 に減少するという効果も報告されている。

なお、三井造船が開発した MIDP (Mitsui Integrated Duct Propeller) なども多くの船に装備され好結果を得ていると聞いている。

2.4 船体摩擦抵抗の減少策

現在、一般の航洋船は 2 年ごとに入渠し、船底及び船側に適当な塗料を塗って航海を続けるのが一般であり、出渠後年月経過とともに船底が汚損するので、所定の速力を維持するためには機関の出力を大きくとらなければならない。これら汚損をできるだけ減少させるには、船体外板表面にさび止め塗料及び防汚塗料を塗るが、船体抵抗のうち摩擦抵抗が最も大きい（全体の 60~80% といわれる）ので、塗料の効果によっては大きな省燃費となる。

最近、英国のインターナショナルペンツ社が実用化した SPC (Self polishing polimer) など塗膜がなくなるまで船底表面を常に滑らかに維持する塗料が開発されている。また、BP Marine International でも 1973 年ころからの研究に基づき、新しい防汚塗料（ワックスコーティングを含むもの）を開発し、約 3 年の摩擦抵抗の実績が非常に良かったことを発表している⁸⁾。

2.5 最近の省エネルギー船計画の諸例

1) 主機換装

大型タンカー及びコンテナ船の主機タービンをディーゼル機関に換装する工事は、1980 年 7 月までに日本の造船所において表 1 のように 26 隻受注されている⁹⁾ (1981 年 8 月現在更に 7 隻が追加された)。26 隻の内訳はタンカー 14 隻、コンテナ 12 隻であり、タンカーの場合 1 隻に低速機関を使用したほかはすべてほぼ同等出力の中速機関に、またコンテナ船ではすべて出力をほぼ 70% に落とした低速機関が使用されている。

この場合、中速機関を使うか低速機関を使うかは、現状のタービン船の機関室でバルクヘッドの移設など大幅な改造を伴わないこと、軸系周りがそのまま使用できるかどうか、低質燃料油使用の可能性などによって選ばれるが、各船ごとの特殊事情もあるようである。

なお、燃料油価格は年少なくとも 10% 上昇すること、ディーゼル船はタービン船に比べて年間修繕費を余分に必要とすることなどを考慮したうえで、主機換装によって得られる燃料費の節減を、すべて主機換装に必要な費用に充当して償却するとしたとき、23 万トン型タンカーでの一計算例では 4~5 年で償却できるといわれており、メリットは十分あると思われる。

VLCC “Mobil Hawk” の主機換装船の運航実績¹⁰⁾によれば、次のとおりである。

表 1 タービンからディーゼルへの主機換装船一覧

Ship's name	Shipowner	When built	DWT	Engine Output (before converting) PS	Engine Type	Output PS	Shipbuilder	When converted
Oil Tanker								
Mobil Hawk	Mobil Shipping and Trans. Co.	1976	285,440	34,400	12PC4 V×2	36,000	IHI Aioi	1978Sep-Nov
Alva Sea	Alva Sea Shipping Co.	1973	221,457	32,450	16V52/55×2	33,760	MHI Yokohama	1979Jan-July
Seiko Maru	Sanko Kisen	1979	248,228	36,000	18V52/55A×2	36,000	KHI Sakaide	1979March-
Takasaka Maru	N Y K	1976	269,618	36,000	12PC4 V×2	36,000	IHI Aioi	1980Mar-June
Atlantic Venture	Golden Peak Maritime Agencies-Ltd.	1969	133,429	23,500	12V52/55A×2	25,320	MHI Yokohama	1980Mar-June
Mobil Eagle	Mobil Shipping and Trans. Co.	1976	285,440	36,515	12PC4 V×2	36,000	IHI Aioi	1980June-Aug
Tokiwa Maru	N Y K, Okada Shosen.	1973	237,458	34,000	16V52/55A×2	33,760	MHI Nagasaki	1980June-
Amoko Seafaror	Amoco Intern. Oil.	1974	273,263	36,000	12L55GFCA×2	35,800	Mitsui Yura	1980June-Sep
Mobil Falcorn	Mobil Shipping and Trans. Co.	1975	281,503	38,000	12PC4 V×2	36,000	IHI Aioi	1980Aug-Oct
Athos	Mobil Oil Franc.	1975	276,234	38,000	12PC4 V×2	36,000	◇	1980Oct-1981
D'artagnan	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	1981Jan-Apr
Valencia	Compania Espanola de Petroleos S.A.	1977	173,266	32,000	12V52/55A×2	25,320	Hitachi Sakai	1981Feb-May
Saudi Glory	Mobil Shipping and Trans. Co.	1974	276,368	38,000	12PC4 V×2	36,000	IHI Aioi	1981Apr-June
Al Haramain	Mobil Shipping and Trans. Co.	1975	281,596	38,000	12PC4 V×2	36,000	◇	1981July-Sep
Container Ship								
Kasuga Maru	N Y K	1976	43,896	80,000	8 RND90M	55,600	MHI Kobe	1980Feb-June
Rhine Maru	M O L	1972	35,544	80,000	7 K90GFCA	55,200	Mitsui Tamano	1980July-Nov
Kitano Maru	N Y K	1972	35,198	80,000	8 RND90M	53,600	MHI Kobe	1980Aug-Dec
City of Edinburgh	Bernard Street Holdings Ltd.	1973	49,590	88,000	K7SZ90/160BL	51,380	KHI Kobe	1980Oct-1981Mar
Candigan Bay	Overseas Containers Ltd.	1973	48,554	81,120	8 RND90M	50,880	MHI Kobe	1980Dec-1981
Tokyo Bay	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇ May
Korrigan	Compagnie Generale Maritime.	◇	49,690	88,000	◇	53,600	MHI Yokohama	1981Jan-May
Benalder	The Ben Line Steamers Domina Container Ship.	1972	49,590	88,000	K7SE90/160BL	51,380	KHI Kobe	1981Apr-Aug.
Liverpool Bay	Overseas Containers Ltd.	1973	48,554	81,120	8 RND90M	50,880	MHI Kobe	1981May-Sep
Osaka Bay	◇	◇	48,542	◇	◇	◇	IHI Aioi	1981June-Oct
Benavon	The Ben Line Steamers Domina Container Ship.	1973	49,590	88,000	K7SZ90/160BL	51,380	KHI Kobe	1981Aug-1982
Kowloon Bay	Overseas Containers Ltd.	1973	48,554	81,120	8 RND90M	50,880	MHI Kobe	1981Sep-1982

表 2 主要日本造船所における省エネルギー船の建造 (計画) 例

	Use	Shipbuilder	Hull	Machinery	Propeller Generator	Ship speed Fuel saving rate	Special items for saving energy
A	Ore-Coal carrier	Kawasaki Heavy Ind.	208,000DWT LBDd=305 ×50×24.6× 18.3	Kawasaki-MAN K8SZ70/150C 15,500PS× 126/45rpm	CPP TG540kw×1 DG800kw×1 SG150kw×1	12.5KT 43.5T/day (-39%)	<ul style="list-style-type: none"> Improved block coefficient Reduction gear and flexible coupling 3 blade propeller Exhaust gas turbo generator High tensile steel
B	Bulk carrier	Mitsubishi Heavy Ind.	207,000DWT LBDd=302.5 ×50×24.6× 18.3	Mitsubishi UE 6UEC60/150H×2 18,900PS× 140/60rpm	CPP TG680kw×1 DG600kw×2 SG280kw×1	13.0KT 53T/day (-27%)	<ul style="list-style-type: none"> Exhaust gas turbo generating plant Improved main engine Low speed propeller Reaction fin
C	Ore-Coal carrier	Sumitomo Heavy Ind.	177,000DWT LBDd=285 ×47.5×24.5× 17.7	Sumitomo Sulzer 5RLB76 12,900PS× 120/50rpm	CPP TG 1 DG 2	12.0KT 35T/day (-38%)	<ul style="list-style-type: none"> Stern bulb Low speed propeller High tensile steel Self polishing paint Improved main engine Effective use of waste heat
D	Ore-Bulk carrier	Nippon Kokan K.K.	141,900DWT LBDd=260 ×43×23.8× 17.2	NKK-Pielstick 14PC4V 16,700PS× /64rpm	CPP TG800kw×1 DG640kw×2 SG/M 160kw/250kw×1	13.8KT 1,980kg/h (-37%)	<ul style="list-style-type: none"> Derating engine Low speed propeller Effective use of waste heat Shaft generator and motor system Improved hull form
E	Oil tanker	Mitsui Engineering & Shipbuilding Co.	66,000DWT LBDd=205 ×35.5×19 ×13	Mitsui B & W 7L67GBE 14,600PS 121/60rpm	FPP TG500kw×1 DG630kw×2 SG120kw×1	15KT 41T/day (-35%)	<ul style="list-style-type: none"> Integrated duct propeller Low speed propeller Derating engine Effective use of waste heat
F	Bulk carrier	Hitachi Shipbuilding Ltd.	61,000DWT LBD=215 ×32.2×17.8	Hitachi B & W Twin Bank 2×7L45GTBE 12,300PS /70rpm	CPP TG500kw×1 DG500kw×2 SG500kw×1	14.5KT 35T/day (-27%)	<ul style="list-style-type: none"> Twin bank engine HZ nozzle Effective use of waste heat Improved navigation
G	Bulk carrier	Ishikawajima Harima Heavy Ind.	60,850DWT LBDd=215.4 ×32.2×17.8 ×12.4	IHI Pielstick 6PC4-2L 9,540PS× 400/77.9rpm	FPP TG660kw×1 (SG) DG560kw×2	13.5KT 30.7T/day (-33.5%)	<ul style="list-style-type: none"> Improved main engine (MPC system) Effective use of waste heat (mixing pressure type turbo generator)

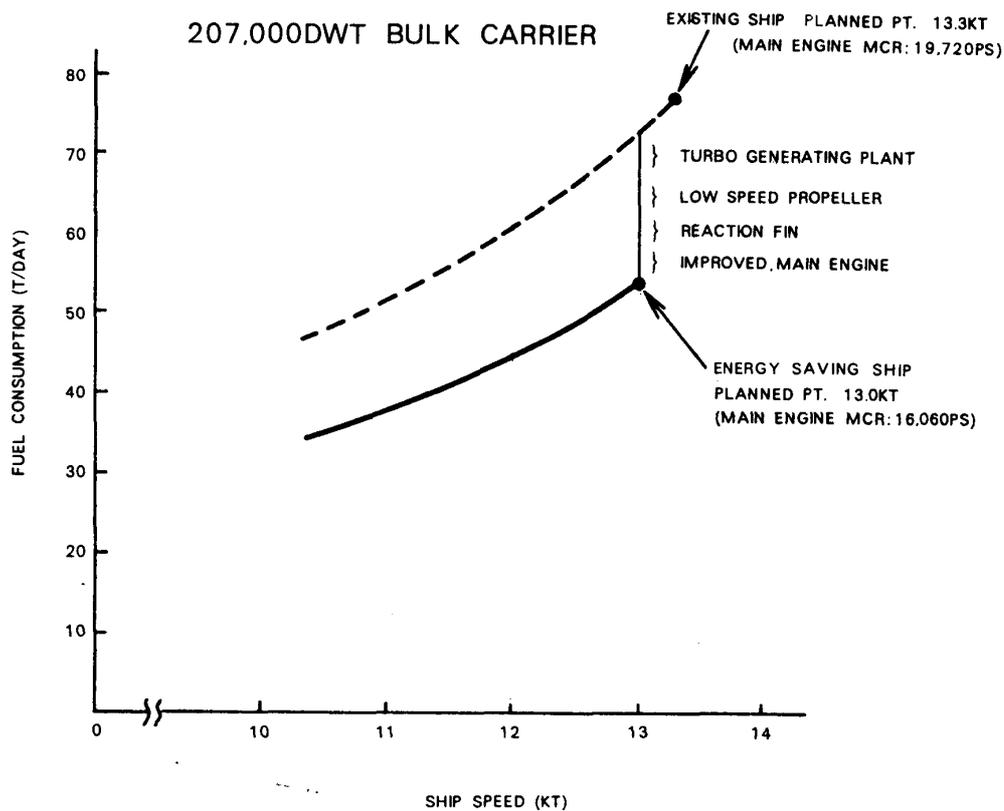


図 14 省エネルギー船と在来船の燃料消費量 (例 B 船)

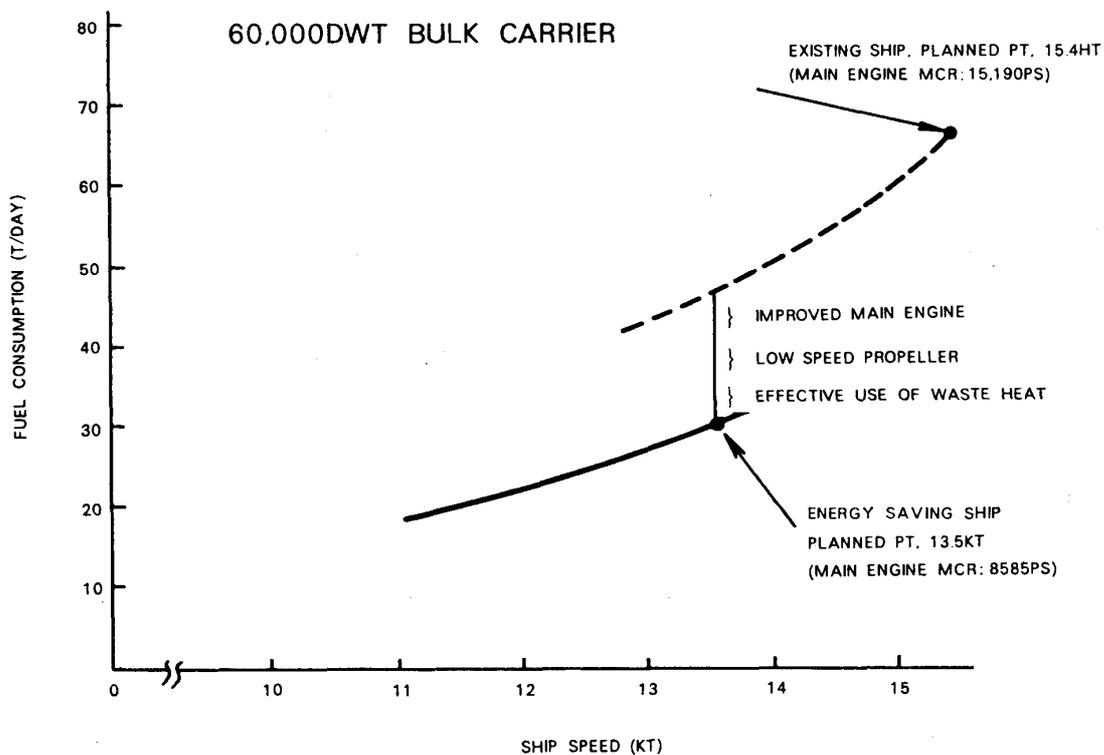


図 15 省エネルギー船と在来船の燃料消費量 (例 G 船)

	Turbine Ship	After Convention to Diesel
Route	P.G.↔U.S. Gulf	Same
Fuel Consumption		
C Heavy Oil	170 t/day	117 t/day
A Heavy Oil		5 t/day
Lubricating Oil Cons.		Main Engine 0.8 t/day
		Diesel Generator 0.05 t/day
Days which are necessary to sail for both ways	60 days	60.5 days

2) 大型省エネルギー船新造計画

表2は、日本の造船所各社が計画している省エネ船仕様の例で、ごく最近発表されたもの¹¹⁾を示す。特に鉄鉱石輸送船の省燃費化は荷主の要請もあって重要な項目となっている。このような省エネルギー船の共通的な特徴は、次のようなものがある。

- (a) 鉱石運搬船では、速力が従来船に比べ遅くなっている。
- (b) 廃熱をできるだけ利用するプラントを採用している。
- (c) 低回転大径プロペラを採用している。
- (d) 主機関そのものは最も新しい型式のものを使用している。
- (e) 船型を改良している。

等であり、更に高張力鋼の採用による船体の軽量化などもある。図14及び図15は、船速と燃料消費量との関係(省エネルギー効果)を示す2例である。これらの表の例によれば、各船とも在来船に比べ、同スピードで比べると27%~39%の省エネルギーが達成されるといわれる。

3) 内航省エネルギー船の計画¹²⁾

船舶整備公団では、999総トン型タンカーについて省エネルギー船型及び省エネルギー機器システムを採用した試設計を発表している。これによれば、プロペラを低回転大直径とすることにより、推進のための所要馬力を13%節減できることが水槽試験によって確認され、また、省エネルギー機器システムの採用により約20%の省エネルギーが可能であることが分かった。なお、省エネルギー船型及び省エネルギー機器システムの採用により若干の船価アップが見込まれる。しかし、この船価アップは1.3~1.7年で回収される見込みといわれている。

3. 低質燃料油対策

前述のように燃料油価格は、1979年初めごろから一層の高騰が続いているが、A重油はC重油の5割増である。省燃費策としては、2.2で述べたような発電機などの補助機関の主機駆動(C重油燃焼)のほか、発電機用ディーゼル機関の燃料油としてA、C重油の混合使用があり、実船に多く使用されている。

その他、低質燃料への対応策としては、燃焼性を改善するため機関側の改善、例えば排気弁の冷却方法、弁ガイドしゅう動部潤滑法等の改善などがある。また、燃料自体の性質をより燃えやすい状態に改質する方法も試みられている。その1例は、超音波を使って燃料を改質する方法¹³⁾である。これは低質油に超音波をあて、含まれているスラッジの粒子を細分化しつつ細かいメッシュのフィルタを通過させる方法で、現在38,000総トンの実船の発電機ディーゼルで耐久試験が行われており、機関開放点検の結果では、異常なく良好な成績を得ているということである。

さて、従来の船用燃料油は常圧蒸留によって得られた重質残さを主体に、軽質留出油が配分されたものであったが、今後の船用燃料油は、熱分解法又は接触分解法によってできた残さ油主体のものに移行する方向にあり、この燃料油は、固形炭素分が多く、燃焼し難く、また、ケイ素、アルミナ等の混入によりシリンダライナの異常摩耗、スカフティング等の損傷を起こしやすい。

このような燃料油の使用上からは、低速ディーゼルの方が有利とも考えられるが、これに対する機関側の対応策として、燃料の清浄、遠心分離、正常な加熱などの処理のほか、機関については、ライナ温度の観察、摩耗の察知、シリンダ燃焼圧力の解析などコンディションモニタリングの開発も有効と思われる。

なお、NKでは省エネルギー特別研究委員会において「船舶用燃料油の低質化対策」を取り上げ調査検討しており、近くその成果をまとめて「指針」として発刊する予定である。その内容の概要は次のとおりである。

まず、船舶における粗悪燃料油による障害を調査し、総計165件のdataを得ているが、これを機器別にみるとディーゼル船のうちディーゼル機関41%、同補機54%、タービン船5%となっており、ディーゼル機関では燃料ポンプ、燃料弁等のスティック、摩耗等が多く、補機では清浄機のスラッジ異常折出、清浄不能、ストレーナの目詰まり等が多い。指針では、障害と原因と考えられる燃料油成分性状とを関連づけている。次に、船舶用燃料油の仕様の現状と船内における燃料油の簡単な試

験方法（粘度，比重，キシレン当量，混合安全性，水分，流動性，FCC 触媒等），粗悪燃料油を補油したときの応急処置のポイントについて述べ，ディーゼル機関の機種，燃料油関連装置の方式の違いによって，1船ごとに処置方法に差があるので，メーカーや造船所と打ち合わせて粗悪油と遭遇したときのために，あらかじめ対策を講じておくことが望ましいと述べている。更に，低質燃料油対策として，恒久的な設備あるいは運航保守の面から見た燃料油装置について言及しており，船主あるいは造船所に参考となるものと考えている。

4. 代替エネルギーによる船舶の推進

4.1 風力の利用

海上において自然エネルギーとしての風力の利用は，推進力のリバイバルとして 1976 年ころから英国及び西独で研究が進められている。西独の設計例では，17,000 重量トンタンカーの帆船で 19 ノットの速力を出しうることを示している¹⁴⁾。また，我が国でも日本船用機器開発協会と日本鋼管(株)共同開発になる，機主帆従方式タンカー実験船が建造され，経済性も検討されている。

図 16 は，同じく日本船用機器開発協会が日本鋼管(株)等と開発した 699 総トン帆装タンカー“新愛徳丸”で昨年 9 月に完工した。本船はコンピュータ制御システムによる帆の展縮を行う装置のほか，船型，省エネルギー主機，熱媒利用による廃熱有効利用，油圧ポンプによる主軸駆動発電システム等，特色ある装置を持っている。ほぼ 1 年の就航実績によれば，非常な好成績を得ており，付随

的な長所として向かい風のときにも船のピッチング，ローリングが在来船に比べ少ないとのことである。

風力利用の歴史¹⁵⁾をたどると 1920 年代には帆走の代わりに回転シリンダを持つ“Flettner Rotator Ship”として知られる船が現われた。また，最近ロンドンで開かれたシンポジウムで，縦軸又は横軸を持つ風力タービンによる推進船が論議され，風力船の復元性，翼の高さ，荷役装置，動力伝達の方法，乗員，翼の強度等も検討されている。

このような帆の利用は，風向きがよく知られた一定の地域では一層有効と考えられるが，国際航海に従事する一般の船舶に対しては，帆の揚げ降ろし装置の自動化なども含め，なお，多くの検討事項があるように思われる。

4.2 石炭の利用

世界の石炭資源は 1.2 兆トンといわれ埋蔵量は石油に比べけた違いに大きい。したがって，石炭を利用する意味があるが，利用方法としては，流体中心のエネルギー消費構造に適合するような形でのリバイバル，すなわち，石炭のガス化，石炭の液化に注目しなければならない。これらのテーマは専ら発電技術の面から我が国でも“サンシャイン計画”の一つの研究テーマとして開発され，一方では，電力会社等が企業ベースで開発しているのが現状である。このような利用方法が船舶用機関の燃料として活用されるとしても，大分先のことと思われる。

一方，微粉炭の流動床燃焼に関する技術は，石炭を砂，

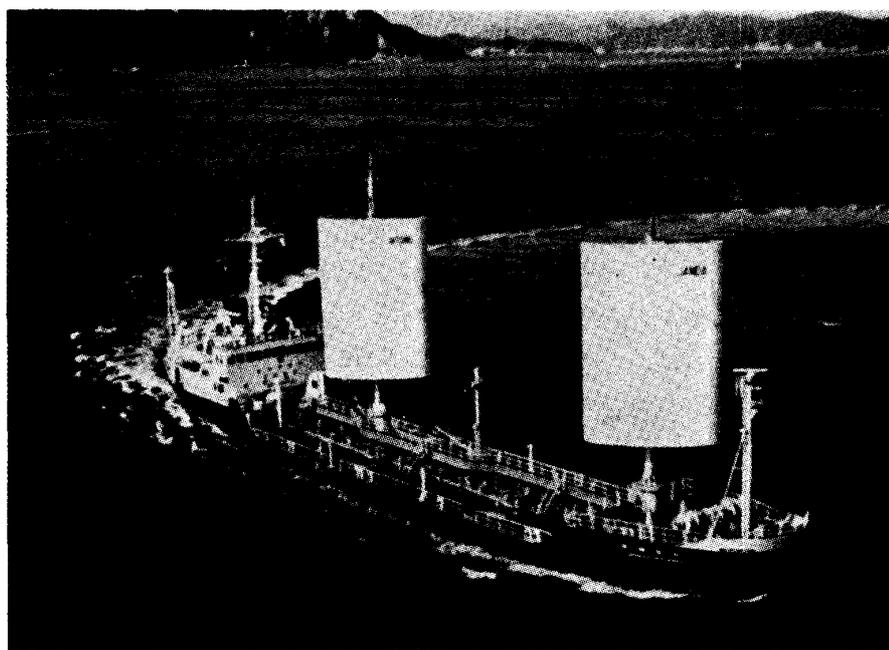


図 16 帆装ディーゼルタンカー“新愛徳丸”

ケイ砂等に混ぜ高圧空気を送り込んで燃焼させ、蒸発管に接触させて高圧の蒸気を得る装置であり、熱伝達がよく（従来のボイラの 5~10 倍）、低温 600~900°C 燃焼ができるので、ナトリウム、バナジウムなどによる高温腐食による損傷がない等の利点を有している。これは重質燃料油にも応用でき、1980 年代後半には、この流動床ボイラによる蒸気再熱タービン (101~141 ata, 600°/600°C) による船舶推進装置の実用化が期待できる¹⁶⁾。

また、石炭と油のスラリーも考えられるが、これを処理する施設を建設するには相当な費用を要する。

なお、NK ではメカニカルストーカ方式の石炭だき船に関する検査要領を定め発表¹⁷⁾している。

4.3 天然ガス

石油の次の時代は天然ガスの時代といわれる。

図 16 は R. H. Pry (米 GE 社) 及び C. Marchetti (伊物理学者) によるエネルギー資源の市場占有率を示すものである。ガスを燃料とする機関、すなわちガスタービンが今後は延びてゆくのではないだろうか。

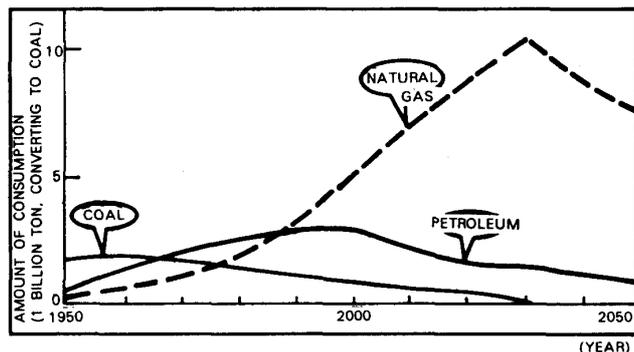


図 17 エネルギー消費量 (世界)

4.4 水素の利用

将来の燃料として豊富に手に入れやすく、かつ、クリーンであるという点で水素が注目されている。石油の電気エネルギー変換率は 35% であるのに対し、水素は 75% と抜群に良い。既に水素を燃料とする自動車が開発され、400 lbs の重さの容器に入れた水素で 120 マイルを走行できるという。また、飛行機用燃料としても US National Aeronautics はロッキード社と契約し、可能性調査を始めており、1986 年までにはパリ-ロスアンゼルス間を 2 時間 20 分で音速の 6 倍の速さをもって飛ばしたいとの計画もある¹⁸⁾。

現在、問題は水素を石油や天然ガスから製造しており、これを無限にある水からいかにして安いコストで製造するかであり、我が国でも横浜国大などで研究が進められている。また、船舶技術研究所では、水素ガスを燃料とするガスタービン、ディーゼル機関の研究が行われ

ており、将来の船用機関として極めて有望のように思われる。

4.5 その他の代替エネルギー、新形式機関など

原子力船“むつ”のしゃへい改修工事は、ようやく開始されており、昨年原子力委員会の原子力船専門部会が原子力船研究のあり方の審議を行った。原子力船は商船としての実績は少ないが、米国では潜水艦として数多く建造され、技術的に特別な問題はそれほど多くはないように思われる。むしろ、原子力船の各国への寄港、あるいは事故発生時の損害賠償の問題などが進まない限り、原子力船建造の気運は進展しないように思われる。現在、IMCO で原子力船の安全基準が審議されており、これが速やかに決議され、それが一つのきっかけとなって原子力船の開発が促進されるのが望ましいと思われる。

外燃機関としてスターリング機関の研究が、オランダ、米国などで進められ、我が国でも日本造船研究協会に取り上げられ、基礎研究が実施されている。この機関は熱効率が高く、燃料の多様化に応じられること、低騒音、低排気公害の点でも有利であることから、将来の見通しは明るいように思われる。

将来の機関としては上記のほかにも、低温電気抵抗が零となる性質を利用する超電導電動機、純水と濃度の高い塩類との蒸気圧の差を利用し、低熱源から熱エネルギーを吸収する濃度差エネルギーシステム、あるいは、高温燃焼ガスを磁石の間に通過させて直接電気を作る MHD 発電などが開発されているが、実用化には、なお日時を要するであろう。更に、海洋の自然エネルギーの一つである波力を利用する波力発電の研究が“海明”を実験船として海洋科学技術センタで実施され、世界各国の関心を集めて開発が進められていることは、大変喜ばしいことである。

5. あとがき

将来のエネルギー及び推進機関については前項で述べたが、船用ディーゼル機関は熱効率が最も良く、粗悪燃料油対策が研究され、当分の間はやはり船舶の主機として主流を占めるものと考えられる。

現在、日本において省エネルギー船の建造とともに話題となっているのは、船舶の乗組定員の少ない超合理化船であり、17 名以下にするためには法律を改正せねばならず General Purpose Crew System の導入が必要であり、運輸省の船員近代化委員会によって検討が行われている。

さて、前述のような省エネルギー船の構造、設備は前提としてシステムの信頼性が十分なものでなければなら

ず、かつ次第に小人数となる乗組員が安全に運転操作のできるものでなければならない。

かつ、また、船主は、省エネルギー設備の使用を始めた後は、それらの設備は、他の設備と同様に適切な保守によってのみその性能を維持し、安全性を保ち得るものであることを銘記しなければならないと思う。

我々、船級協会は設計の審査あるいは検査においては、船舶技術の発展を阻害するようなことがあってはならないが、今日まで培ってきた経験を十分發揮して、船舶の安全を守るために慎重に対処しなければならないと考えている。

謝 辞

本文をまとめるに当たり、日本の造船所の多くの省エネルギーシステム設計を参照させて頂き、日本船用機器開発協会からも資料を頂いた。また、当会機関部成毛次長、遠藤主管の助言を得た。ここに、各位に対し厚くお礼申し上げる次第である。

References

- 1) Steam or Diesel in the 1980's? MER, June 1979
- 2) Akagi, Journal of MESJ, Vol. 10, No. 11, p. 2
- 3) Naruke & Miyoshi, Shipbuilding & Engineering, Vol. 14, No. 7, July 1981
- 4) Nippon Kaiji Kyokai, "Report by Research Committee for prevention of failure of exhaustgas turbo generator", Nov. 1969
- 5) Nippon Kaiji Kyokai, "Annual Report 1980", p. 29
- 6) K. K. Kobe Steel, "Design system on low speed propeller", p. 10
- 7) The Motor Ship, May 1981, p. 87
- 8) BP Marine International Catalogue
- 9) Nippon Kaiji Shinbun, July 18, 1980
- 10) Yamada et al, Journal of MESJ, Vol. 15, No. 2, p. 89
- 11) Shipbureau of Ministry of Transportation, "Ship energy conservating engineering", June 1981
- 12) Senpaku Seibi Kodan, "Study on highly economic coastwise ships", March 1980
- 13) NIKKEI MECHANICAL, 1979. 4. 2
- 14) Fresh breeze for commercial sail. The Motor Ship, Aug. 1979
- 15) "Cures for Consumption, A History of Marine Fuel Saving Schemes", Lloyd's Calender 1979
- 16) Tamaki, "Present and future trend of fluidized-bed burning engineering"
- 17) Nippon Kaiji Kyokai, "Guidance for the Survey and Construction of Coal Burning Instllations in Ships", 1981
- 18) "Natural Gas", Feb. 1980
- 19) New Straits Times, Sep. 9, 1979