

環境・省エネ時代に向けての 超省エネ船開発の展望

株式会社大内海洋コンサルタント
代表取締役 大内 一之



1. 環境・省エネ時代の幕明け

最近の原油価格の値上がりは著しく、130ドル/バレルを突破し、近い将来200ドル/バレルを突破するという予測もある。また、米、麦、大豆等の穀物価格も需要増加による品薄感から大幅に値上がりしており、水不足に関しては、アフリカなどでは衛生上の危機的状況に直面している。これらの人類の最も根源的なインフラである食糧、水、エネルギーがグローバルに一挙に値上がりしている背景には、投資ファンドマネーによる投機的な要因という側面もあるが、やはり、その底流には、人口大国である中国・インド・ブラジル・南アジア諸国の人団増加と生活水準の向上によりこれらの需要圧力が増大し、有限な宇宙船地球号においての将来的な供給不安がある。さらに、これらの大量消費と生産によって、CO₂の増加、熱帯雨林の減少、砂漠化などが進行し、地球温暖化による環境破壊が徐々に始まっていることが明らかになっている。産業革命以来、急速な右肩上がりの成長を続けてきた人団にとって、昨今の情勢は明らかにそのトレンドの変更を余儀なくさせるものであり、早く手を打たないと、環境破壊、食糧、水、エネルギー不足問題の顕在化により、取り返しのつかない破滅的事態に追い込まれることを覚悟しなければならない。

このような人類史上の大きな転換時期に、われわれの海事産業とそれを支える海事技術は、どのようにこの難局を乗り切るための貢献ができるのだろうか。これから環境・省エネ時代に向けて、海事産業・技術のさらなる飛躍と成長のためにはどのような戦略が求められるのかを考え

てみたい。

2. 超省エネ船の開発

わが国の海事技術・産業は、世界でもトップクラスの質と量を備えており、グローバルに産業をリードしていく力と責任がある。京都議定書のCO₂削減目標では、国際海運・航空分野は除外されたが、今後の新しいCO₂削減の枠組みを討議する洞爺湖サミットでは、海運にも確実に削減目標が課せられる状況である。削減目標がトンマイル当たりになるのか総量規制になるのか、いずれにせよCO₂の排出の多寡により応分のペナルティを払わなければならない時代に突入するであろう。現在、国際海運に使用される大型船舶はほとんど全て石油を燃料エネルギーとして利用している。船舶のような補給間隔の長い移動体においては、高密度でかつ安全・操作性の良いエネルギー源が必要であり、CO₂を出さない原子力、自然エネルギー等の化石燃料以外のエネルギー源に移行することは、陸上の施設とは異なりほぼ不可能と考えられる。従って、まずやらなければならないことは、石油の消費量を大幅に削減することであり、超省エネ船の開発である。

大幅な省エネを達成するためには、多種多様な技術を評価し統合する必要があり、石油の入力エネルギーが最終的に実効エネルギーに至るまでの損失を洗い出し、その損失をミニマイズする努力が求められる。表1は現在の国際海運物流の太宗を担っている最新型のタンカー、バルカーの燃料（C重油）エネルギーが最終的に航海速力に変換され

表1 船舶におけるエネルギー損失

燃料 (C重油)	ディーゼル機関 (燃焼／回転力)	軸系 (伝達効率)	プロペラ推進系 (回転力／推進力)	シーマージン (実海域影響)	船体抵抗
変換効率	0.50	0.98	0.72	0.85	
損失原因	排ガス・冷却水 の排熱	軸受・シールの摩擦	運動量・粘性・ 旋回流による損失	風波・動搖による 抵抗増加	摩擦・圧力・造波抵抗
損失エネルギー	0.50	0.01	0.14	0.05	0.30
伝達エネルギー	1.00	0.50	0.49	0.35	0.30
馬力		BHP	DHP	EHP	
速力				平水中速力	航海速力

までの損失の原因とその概略量を表したものである。

損失の大きい項目は大きい順に、①主機からの排熱(50%)、②船体抵抗(30%)、③プロペラ推進系(14%)、(カッコ内損失割合)となっている。これらの損失を減らす努力は、取りも直さずこれまでの船舶工学・省エネ技術の進歩の歴史そのものである。一般論として、現在の造船における省エネ技術レベルは究極的なところまで来ており、これ以上の大幅な省エネは無理だととの意見も多いが、こうして調べてみると決してそうではなく、種々の工夫・努力によりさらなる省エネの可能性が見えてくる。つまり、①～③の損失はまだまだ大きなものであり、技術的フロンティアとして大幅な改善・改良の余地は大いに残っていることを強調したい。

3. 燃料半減船の実現に向けて

環境・省エネ時代の海上物流を担う太宗船の燃料消費量の節減について、今後の研究開発によりどこまで可能であるかを考えてみたい。ここでは、燃料消費量を半減できるような大きな省エネが期待される3つの技術開発についてその可能性について考察する。

3.1 海洋温度差発電技術による主機関からの排熱回収

舶用の大型ディーゼル主機関のエネルギー効率は熱機関の中でも最高の50%を越える効率を誇っているが、これ以上の効率向上はNOxの増加の問題もあり極めて困難な状況にある。一方、主機からの排熱については、現状では排熱エネルギーの約半分は排気ガスとして大気中に、残り半分はジャケット・エアクーラー等の冷却排水として海中に捨てられているが、これを回収して有効に使用することは主機の効率向上よりも比較的容易に達成可能である。現在、主機排熱を回収し動力生成を行うことで実用化しているシステムとしては、高馬力船における排ガスエコノマイザーと蒸気タービンによる発電であるが、エネルギーの回収量としては主機出力の約3%程度の回収に止まっている。

熱回収の際に、効率に関連して問題になるのは排熱温度である。排ガスのような300°Cの高温であれば回収効率も高いが、冷却排水のように80°Cとなれば海水温度との差は60°C程度しかなく熱回収効率は低くなる。しかし、これらの熱源を統合的に効率よく働かせ、全体としての回収効率を高める試みは、最近の省エネ要請から各方面で研究され始めている。ここでは、温度が低く非常に回収が難しいといわれる冷却水

排熱の回収方法として、海洋温度差発電(OTEC)に使われている高効率な熱回収技術を導入した統合的排熱回収システムの構築を提案する。このサイクルはアンモニア水を作動流体としたウエハラサイクルといわれる温度差20°Cでも動力生成・発電が可能な技術であり、主機冷却水の効率の良い熱回収に応用することが可能である。図1にウエハラサイクルのダイアグラムを示す[1]。最近の調査研究によれば、主機出力の10%程度の排熱回収はほぼ実用化の段階であり、将来的にはその周辺の省エネ技術も組み合わせて10～15%程度の回収は可能であるとの検討がなされている。

3.2 二軸船によるプロペラ効率の向上

軸の回転力を船体の前進力に変換するスクリュープロペラの効率については、現在の大型肥大船で0.55～0.6程度であり、コンテナ船、PCCのような瘦せ型高速船の約0.7に比べて20%程度劣っている。しかし、肥大船では瘦せ型船に比べて船尾の伴流(Wake)が大きく、伴流の中でプロペラを作動させることによる伴流利得がより多く得られるため全体的な推進効率はこれほど悪くはならない。逆に、肥大船においてその伴流利得を損ねないようにしながら、プロペラ単独効率を高速船並の0.7程度で使用できるような船型とプロペラの開発を行えば、現状よりも10%程度は推進効率向上が期待できる。プロペラ単独効率を0.55から0.7に上げるにはプロペラの面積を倍にして荷重度を半減する必要がある。そのためにはプロペラ直径を大きくしたが、バラスト状態でプロペラを沈める必要があるため、

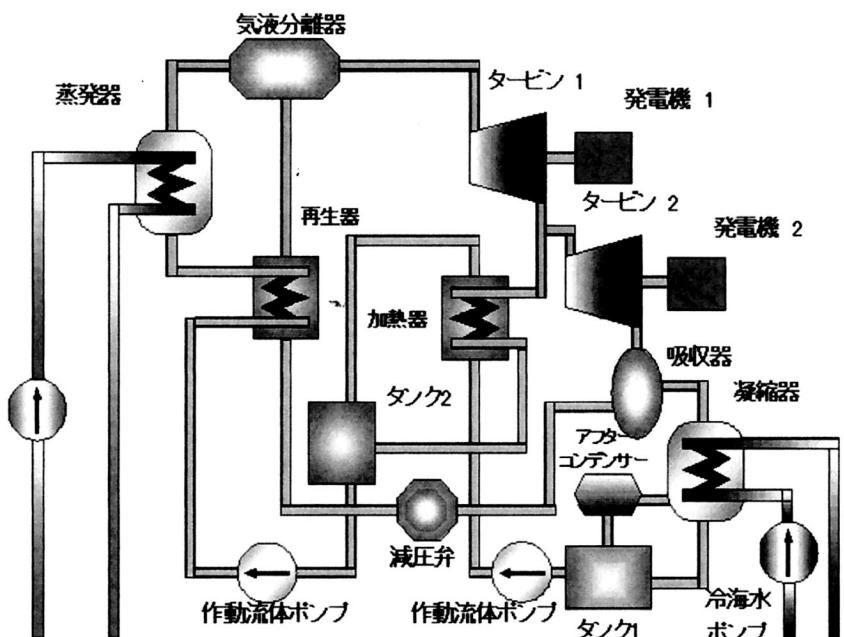


図1 ウエハラサイクルの原理図

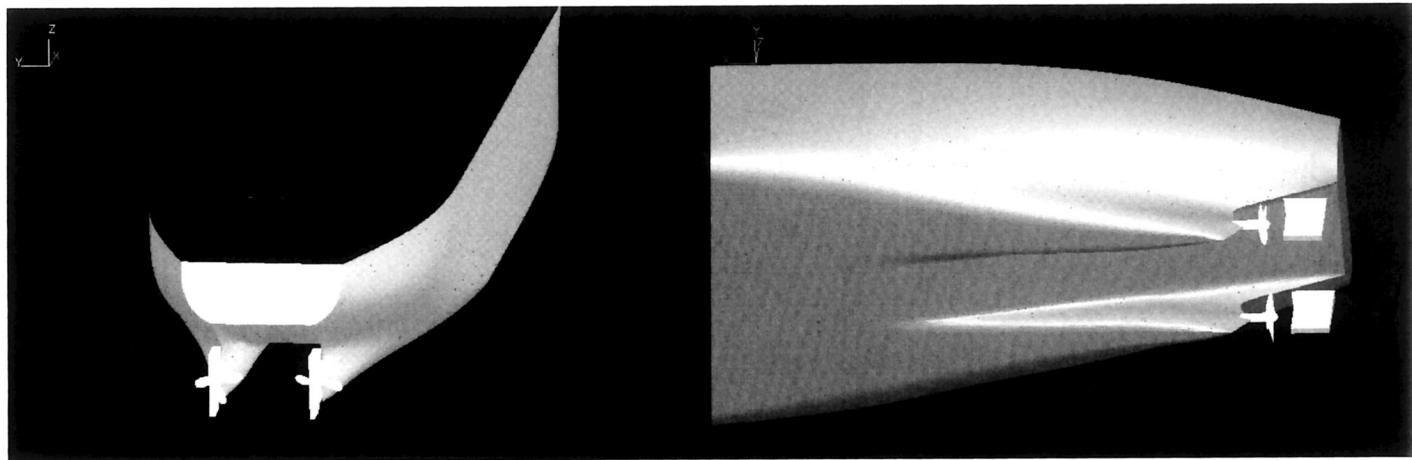


図2 二軸大直径低回転プロペラ推進船のTwin-Skeg船尾

喫水が深くなり排水量が増え船体抵抗が増加し芳しくない。そこで、プロペラ面積を倍にするために従来型1軸船と同直径のプロペラを2基装備する2軸船を考え、船尾伴流も適切な流速となるようなTwin-Skeg船型と組み合わせた2軸大直径低回転プロペラ推進船（図2参照）の開発を行うこととする。本コンセプトにさらにディレーティングエンジンの採用、プロペラ後流の旋回流回収装置（PBCF、ラダーバルブ・フィン、ステータフィン等）を組み合わせることにより、合計で15～20%程度の省エネが期待される[2]。

3.3 気泡潤滑による船体抵抗の低減

気泡を船体表面に這わすことにより、船体表面の摩擦抵抗係数を大幅に減らせるることは古くから知られている。最近の研究[3]によれば船底平底部の左右舷に端板をつけ10mm程度の厚さで気泡を這わせることにより、その部分の摩擦抵抗が半減することが実船速の12ノットでの模型実験で確認されている。また、2008年3月に行われた長さ120mのセメント運搬船（図3参照）による実航海実験でも、

船底平坦部に空気プロワーにより約60m³/min（大気圧）の気泡を注入して気泡潤滑を行った結果、満載/バラスト平均で、船体抵抗低減による省エネ率で約7%、気泡注入プロワーの動力を差し引いた正味の省エネ率で約5%という結果が得られている。

これらの結果から、平底面積の割合が全浸水面積の50%程度のVLCCのような幅広肥大船に対しては、うまく平底に気泡を万遍なく這わすことができれば、浸水面積の半分の面積の摩擦抵抗が半分になるわけで、全摩擦抵抗が25%減少する。大型肥大船では摩擦抵抗は船体抵抗の7～8割を占めるので、船体抵抗全体は15～20%減少することとなり、非常に大きな省エネポテンシャルを持った技術と言える。

しかし、上記実験船では満載/バラスト喫水が、それぞれ7m/4mであり、気泡注入動力は推進出力の2%程度（満載/バラスト平均）で済んでいるが、喫水が深くなると気泡も水圧で圧縮されるため、所定の気泡体積を確保するには喫水圧に打ち克つ圧力に加えて、水圧で圧縮された気泡の体積を補完するための空気注入量を確保する必要があ



図3 気泡潤滑実船実験船パシフィックシーガル

総トン数：7,809ton
垂線間長＝120.0m、
全長＝126.7m
幅＝21.4m
満載喫水＝7.2m、
バラスト喫水＝4.1m
連続最大主機出力：5,280PS
航海速力 V＝12.4kt

る。そのため、気泡注入動力は喫水の約二乗に比例すると考えられ、10mを越す深喫水の船では、気泡注入動力が大きくなり、正味の省エネ効果を得るのは難しくなる。大型深喫水船でも適用可能とするためには、後方に流れ去っていく気泡の回収再利用技術を開発する必要がある。気泡潤滑技術の一般化のためには、船底での安定的な気泡分布状態の実現と、気泡の回収による注入動力の極小化が求められる。成功すれば15~20%の正味の省エネが期待できる。

3.4 燃料消費低減率

上記の3つの技術の組み合わせによる燃料消費低減率は、最大で $0.85 \times 0.8 \times 0.8 = 0.54$ 、最小で $0.9 \times 0.85 \times 0.85 = 0.65$ となり、35%~46%の燃料削減が期待される。また、この他に実海域中の風浪による船体抵抗増加(シーマージン)の削減、海流等も考慮したウェザールーティングの開発等による燃料低減も加えれば、近い将来での燃料半減船の実現は決して不可能ではないと思われる。

4. 究極のエコシップ風力水素推進船

さて、たとえ今後の研究努力により燃料半減船を実現しCO₂排出を半減したとしても、将来確実に増えると予想される海運物流のトンマイルが2倍以上になれば、CO₂排出総量は増加してしまい、温暖化への流れを戻すことはできない。その意味で、環境時代の究極の船は、CO₂排出ゼロの船舶の開発であり、石油燃料から脱却した船舶の開発である。

最後に、このような考えに立った究極のエコシップの一

例として、風力推進のための自動制御型大型硬帆を装備した帆主機従(帆走が主で、プロペラ等での機走が従)の風力水素船を提案したい。基本的には大洋航海は帆走のみを原則とし充分な帆面積を確保する。港内・狭水道等での機走のための燃料は水素とし、水素は補給港にて本船の水素タンク(液体または圧縮)に貯蔵する。水素は必要なときに燃料電池に供給し発電し、電動モーター駆動でプロペラを回し、船内電力も貯うものとする。本コンセプトの実現のためには、翼の揚力として10トン以上のオーダーのスラストを発生させ得る巨大かつ必要強度を具備した縮帆可能な硬帆翼を開発することと、風のある海域を就航航路に組み込むためのウェザールーティング技術が前提となる。図4にプロトタイプとしての風力水素推進海洋調査船の要目と想像図を示し、本稿を終ることとした。

参考文献

- [1] NPO法人海洋温度差発電推進機構ホームページ：海洋温度差発電(OTEC)とは、<http://www.opotec.jp/>、2008
- [2] 大内一之：二軸大直径低回転プロペラ、超省エネ船シンポジウムテキスト、日本船舶海洋工学会、pp63-69、2007.12
- [3] 児玉良明：空気潤滑による船体抵抗低減技術、超省エネ船シンポジウムテキスト、日本船舶海洋工学会、pp47-62、2007.12

Length (oa) :	.....	80m
Length (pp) :	.....	70m
Breadth :	.....	24m
Depth :	.....	11m
Draft :	.....	6.5m
Ship Type :	.....	Katamaran
Displacement :	.....	3,000ton
Speed (Wind15m/s) :	.....	12kt
Sail Area :	.....	810m ²
Prop. Motor :	.....	2 x 500kw
Generator :	.....	4 x 500kw
Gross Tonnage :	.....	4,000ton
Accomo. Area :	.....	2,200m ²

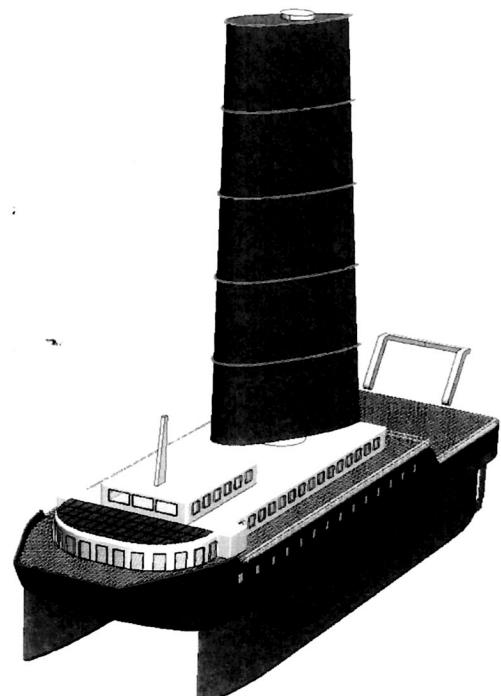


図4 風力水素推進海洋調査船