

船舶からの GHG 排出削減のための
ベストプラクティスに関する調査

2009年3月

日本船舶輸出組合

ジャパン・シップ・センター

日本船舶技術研究協会

目 次

はじめに.....	5
1. 国際海運からの GHG 削減の必要性	7
1. 1 はじめに.....	7
1. 2 海運の卓越した CO ₂ パフォーマンス.....	7
1. 3 海運のエネルギー効率の歴史的発展	9
1. 4 経済性と将来の海上輸送需要.....	11
2. 具体的なベストプラクティス集.....	14
2. 1 ソフト関係対策の概観:物流チェーンの改良(enhanced logistics)と個船ソフト関係対策.....	14
2. 1. 1 船隊マネジメントの改善 (Improved fleet management)	15
2. 1. 2 運航状態の陸上モニタリング(Monitoring voyage plan)	15
2. 1. 3 サプライチェーン全体の排出量計算・削減	15
2. 1. 4 減速航行.....	16
2. 1. 5 ウェザー・ルーティング.....	18
2. 1. 6 エンジン出力最適化 (軸馬力最適化)	20
2. 1. 7 最適トリム	21
2. 1. 8 最適バラスト.....	23
2. 1. 9 最適プロペラピッチ	23
2. 1. 10 最適舵角	23
2. 1. 11 船体・プロペラ・機器メンテナンス	23

2. 1. 1 2	推進系統メンテナンス	25
2. 1. 1 3	船上エネルギーマネジメント	25
2. 1. 1 4	燃料油添加剤	26
2. 2	ハード関係対策の概観：船体形状最適化・船体抵抗軽減等	26
2. 2. 1	船体形状最適化・大型化	27
2. 2. 2	最適プロペラの選定	28
2. 2. 3	船体付加物	29
2. 2. 4	船底塗料	29
2. 2. 5	船体甲板等への遮熱塗装	30
2. 2. 6	オートパイロットの最適利用	31
2. 2. 7	船用機関	32
2. 2. 8	廃熱利用	38
2. 2. 9	船用機関の長期的技術開発	39
2. 2. 1 0	船用太陽光発電システムの開発	40
2. 2. 1 1	風力利用	40
2. 2. 1 2	代替燃料の使用	41
2. 2. 1 3	二次的な燃料生産	43
2. 2. 1 4	炭素回収と貯蔵	43
2. 3	その他の対策	43
2. 3. 1	陸上電力供給	43
2. 3. 2	港湾関係事項	44
2. 3. 3	荷役作業の改善（カーゴハンドリング・係留・錨泊等）	44

2. 3. 4	ジャスト・イン・タイム.....	45
2. 3. 5	貨物プール.....	45
2. 3. 6	入港料の差別化.....	45
2. 3. 7	冷媒ガス漏洩率の制限.....	46
3.	SHIP EFFICIENCY MANAGEMENT PLAN の導入等に関する IMO での議論状況	47
附録 1 :	SKYSAILS システムの概要.....	53
附録 2 :	GREENWAVE プロジェクト（船舶のハード面での対策例）	60
附録 3 :	船主団体、海運企業等の取組み例エラー! ブックマークが定義されていません。	

はじめに

2004年に発効した「気候変動枠組条約京都議定書」は、先進国に対し、2008～2012年のGHG排出量が1990年比で国により0～8%減となるよう求めているが、同議定書では国際海運は対象外（内航のみ対象）となっている。

京都議定書第2条第2項には、削減対象国はIMOを通じて、船舶からの温室効果ガスの排出の抑制又は削減を追求することと規定されている。これを踏まえ、IMOでは現在、エネルギー効率設計指標（デザイン・インデックス）、エネルギー効率運航指標（オペレーショナル・インデックス）及び市場メカニズムを活用した経済的手法によるCO₂排出削減対策（課金、排出権取引制度等）に関する議論が進められている。

一方、EUでは、2005年からEU排出量取引制度(EU-ETS)を開始して、現在(05～07年の第1フェーズ)は電力、鉄鋼、石油精製、セメントなどの主要エネルギー多消費型産業部門の大規模排出者が出すCO₂を対象に運用中である。EC(欧州委員会)は、国際航空に関しEU-ETSの対象とする旨のEC指令案を10月末に採択した。また、国際海運についても、2009年の気候変動枠組条約締約国会議(COP15)までにIMOにおける議論に一定の成果が見られない場合には、欧州独自の対策としてEU-ETSに取り入れることをすでに表明している。

国際的な制度設計にあたっては、国籍が異なる荷主、運航者、船主の誰が対象とすべきか（排出削減のコミットをするか）について、国別排出割当量との関係を整理しながら検討する必要があるうえ、EUなどの一部地域の実施では効果が極めて限定的であるため、グローバルに参加し得る制度を構築しなければならない。また、途上国の参加を促す支援スキームも同時に開発する必要がある。

さらに、産業政策の観点から、日本の造船技術と運航技術を活かして、世界のCO₂削減に貢献すること、「優れた船舶を設計・建造する者が報われる」という市場原理が機能するようにすることが必要である。

また、国際的な制度設計にあたっては、将来のCO₂排出量(削減量)をコミットできるのは誰か、またどの程度の義務度合いが適切かについて十分に考慮す

る必要がある。CO₂排出量を削減できる要素をそれぞれ考えれば、燃費性能の良い船を調達する役割は船主にあり、効率的な運航や配船を行うのは運航者、また、荷役の効率化や船型を大型化して輸送ロットを拡大するには、港湾・施設整備との連携が不可欠となる。また、業態の違いも考慮すべきで、定期航路事業は運航者がCO₂削減をコミットできるだろうが、不定期事業においては運航者ではなく、荷主がコミットできる場合も多いと考えられる。さらに、港湾地域における陸電施設の活用等の可能性の検討も重要である。

一方、船舶を調達する際に、より実運航の燃費がよい船を選ぶためには、他船と比較できる指標が必要である。このため、新造時において実海域の燃費を評価して船舶の性能格付けとすべく「海の10モードプロジェクト」の開発が行われている。これによりハードとしての船舶の燃費性能格付けという意味で、例えば、入港時に船舶の性能に応じたインセンティブ・スキーム（例えば港湾使用料の差別化）を策定することも可能となる。

また、義務の適用のあり方とその範囲について考えてみると、排出量取引や排出量の制限のためには、これまでのIMO関係条約の規定に倣うと、ベースライン（現状の排出量）と、将来、合理的な努力で達成可能な排出削減量の見通しを持った上で船舶に排出許容量(削減量)を課していくこととなるが、これも新造船からの適用が一般的であり、現存船への強制適用は現実的ではない。したがって、現存船対策として、現在IMOには、運航管理マネジメント制度の導入等ソフト面での対応が中心に提起されているところである。

このように、船舶からのGHG削減に関する対策は、船舶のハード(技術革新による燃料消費量の低減)やソフト(運航管理の改善と革新)のみならず、港湾・陸上における対策にも及び広範に渡る。したがって、本調査は、これらの削減対策（ベストプラクティス）とそれらの効果を整理し、我が国海事関係者に提供することにより、CO₂の削減と、我が国海事産業の優位性を十分に確保する環境作りに資することを目的とする。

1. 国際海運からの GHG 削減の必要性

1. 1 はじめに

気候変動に関する議論において、海運は世界的な輸送ニーズを充足するための最適ソリューションである。海運こそが、最もエネルギー効率の高い輸送モードであり、世界貿易の主体をなすものである。膨大な量の貨物が船舶によって輸送されていることにかんがみると、海運からの CO₂ 排出（トン・マイルベース）は小さいと考えるべきである。なぜなら、本件に関する特別の法規制がなかったにもかかわらず、海運は長年、燃料油消費削減を進めるものとして強力な市場牽引機能を果たしてきたことが挙げられる。

しかしながら、海運業界は、世界経済の今後の伸びと海運の果たす役割の観点から、海運における単位輸送量あたりの更なる排出量削減の必要性を認識するとともに、本問題については包括的な解決策が模索されるべきであると考えている。これが成功するためには、排出削減を可能とする新技術と、イノベーション活性化と世界経済の伸びを考慮することが必要である。一方で、SO_x、NO_x のような汚染物質削減については、CO₂ 削減に悪影響が発生する可能性もある。したがって、長期的に環境全体を改善するためには、大気問題に関する包括的なアプローチが必要である。

1. 2 海運の卓越した CO₂ パフォーマンス

定義上、地球温暖化は、地球規模の課題である。一方、海運もまた、全産業の中で最もグローバル化が進んでいる産業である。海上輸送の需要こそが、海上貿易量を決定し、したがって海運からの GHG 排出量を決定する主要因となる。船舶からの CO₂ 全排出量を評価する調査が数多く行われている。

IEA の推計¹によれば、国際海運からの CO₂ 排出は、少なくとも 2030 年まで地球全体の排出量の約 2% 台で推移するとしている。

また、最新の IMO 調査によれば、国際海運からの CO₂ 排出は 2007 年現在、2.7% であり、2050 年までの間、2.4-3.0% の範囲で推移するものと推定している。

¹ World Energy Outlook 2006

表1 2007年のCO₂排出量（コンセンサスベース）

	下限	コンセンサス値	上限	コンセンサス割合（%）
海運全体（注1）	854	1019	1224	3.3
国際海運（注2）	685	843	1039	2.7

出典：IMO

単位：百万トン

注1：内航海運及び漁業を含む。軍用除く。

2：漁業及び軍用を除く。

この推定では、エネルギー価格の長期的上昇基調に対処するための抜本的なエネルギー効率改善見込みも考慮されている。すなわち、国際海運からのCO₂排出量を削減するといっても、輸送効率改善の追及のみでは海上輸送の継続的な伸びによるCO₂排出量増大を吸収することは不可能なため、この流れを軌道修正するか、排出量のきわめて低い新技術導入を可能とするメカニズムを開発する等の取組みが必要である。

一方、一般的に言って、海運業は、他の如何なる形態の輸送機関よりもトン・マイル当たりのCO₂排出量が低いことは明らかである。また、造船技術の発展と船型の大型化が、輸送の効率性を継続的に改善している。具体例としては、以下の図表のとおりである。

表2 輸送モードごとのCO₂排出量比較（例1）

大型トレーラー	貨物船（2000-8000dw t）	貨物船（8000dwt以上）	ボーイング747-400
50	21	15	540

出典）Swedish Network for Transport and the Environment

単位：g / t - kM

表3 輸送モードごとのCO₂排出量比較（例2）

船種船型	載貨容量	運航速力	CO ₂ 排出量（g/t-km）
パナマックスばら積み運搬船	8000DWT	15ノット	3
コンテナ船	6600TEU	25ノット	8
貨物船	3000DTW	13ノット	20

出典）デンマーク船主協会

表4 輸送モードごとのCO₂排出量比較（例3）

コンテナ船(4800TEU)	バージ・フィーダー(400TEU)	鉄道(80TEU)	トラック(2TEU)
0.119	0.477	0.673	2.296

出典) Institut für Energie und Umwelt

単位 : kg/TEU-km

表 5 輸送モードごとの CO₂ 排出量比較 (例 4)

輸送モード		CO ₂ (g/t-km)
道路	小型ディーゼル車	410
	大型ディーゼル車	91
鉄道	ディーゼル貨物列車	38
	電気貨物列車	19
内水	バージ	31
航空	貨物機	673
海運	タンカー	11
	ばら積み運搬船	10
	一般・特殊貨物船	42
	コンテナ・リーファー船	18

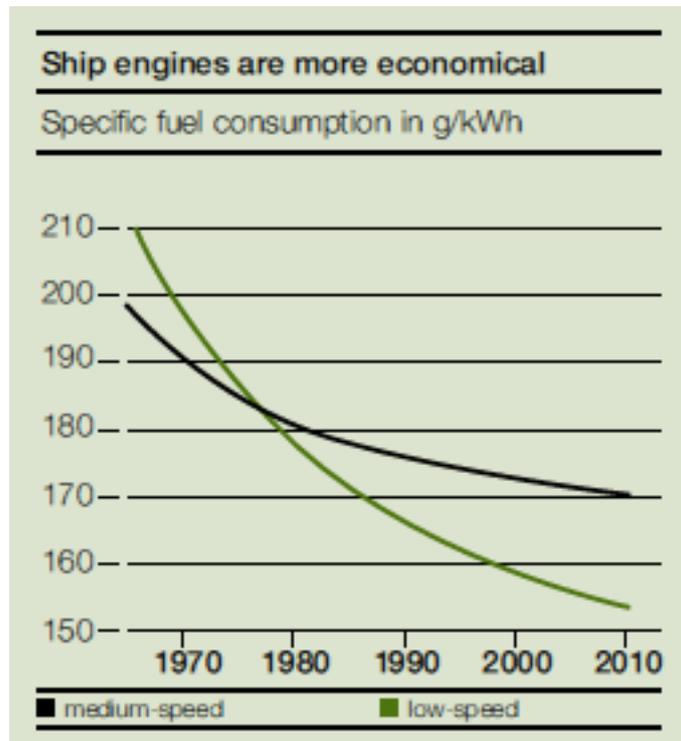
出典) Transporti e Territorio Consulting, University of Karlsruhe, Infras consulting group

これらの事実を踏まえると、輸送全般に関する CO₂ 削減については、海運・水運の更なる活用を推奨するべきであることが認識されるべきである。このような考えは、道路交通輸送の混雑緩和に向けたモーダルシフト政策とも方向性が合致しているものである。

1. 3 海運のエネルギー効率の歴史的発展

CO₂ は、燃焼により、燃料油消費量に比例生成されるものであることから、CO₂ 排出量の削減は直接的に燃料油消費削減につながるものである。また、燃料油は、船舶運用コスト全般の過半を占めている。したがって、船主は、温暖化問題が議論される以前からも、燃料油の節減に力を傾注してきた事実がある。船用機関の導入以来、燃料油消費節減のため、導入可能な新技術を適用し船体形状・エンジン効率の最適化などに取組んできている。

図 1 単位馬力あたりの燃料油消費量削減の歴史



出典) Man Diesel レポート

例えば、欧州船主協会によれば、30年前建造時点の最大級コンテナ船と現代の最大級コンテナ船のコンテナ一個当たりの燃料消費量を比較したところでは、この30年間で1/5まで燃料油消費量が減少している結果となっている。このような顕著な消費量の削減を可能としているのは、燃料効率向上を目的とした船用機関、船型及びプロペラ推進システムシステムの開発によるものであるだけでなく、現代の最大級コンテナ船1隻のコンテナ積載容量が30年前建造船舶の10倍にまで大型化されたことが最も重要な理由である。

しかしながら、この顕著なCO₂排出量の削減が、法規制により進められたわけではなく、市場原理の力が推進役であったことについても注目すべきである。ロッテルダム、ハンブルグ、アントワープ港などの欧州域の港湾統計でも、海上貿易の伸びは顕著である一方、同港に入港する船舶隻数は減少していることから、CO₂排出量削減にとって船体大型化が果たしてきた役割の大きさが窺えるところである。

このようなことを踏まえると、海運は環境保全と経済発展の観点からポジティブな貢献をしてきているものであることを十分に認識しつつ対策を検討していくべきである。

1. 4 経済性と将来の海上輸送需要

船舶からの CO₂ 排出量を考えるにあたって、現時点での海上輸送の需要量・分布が世界全体の商船船腹量の規模と活動レベルを支配し、最も重要なドライバーである。輸送量は、貿易動向、生産拠点の配置状況、原材料の消費度合い及びその他の要因によって決定される一方、航行距離は、貿易パターンの変化や新航路開発等の要因によって影響を受けるものである。

IMO2007 年調査の将来予測は図 2 のとおり。

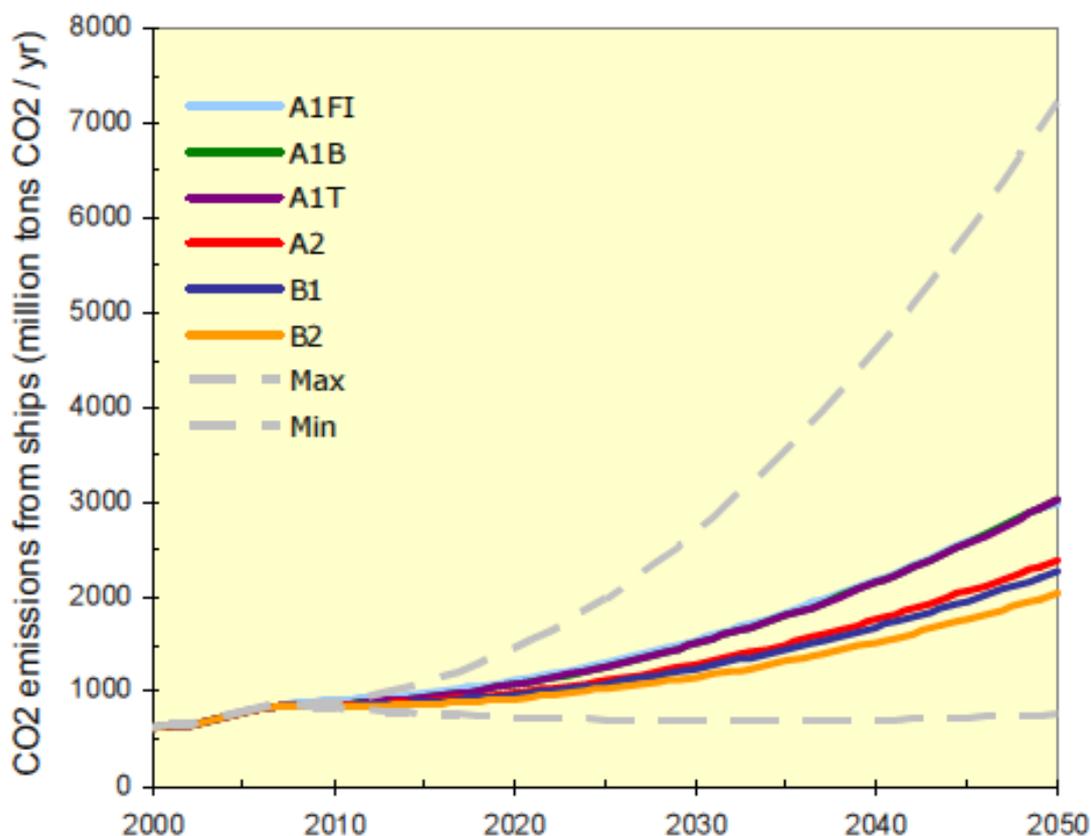


図2 海運からのCO₂排出量予測²

出典) IMO/MEPC58/INF6

これによれば、CO₂排出量の顕著な伸びが今後見込まれているが、この伸びは海上輸送量増加による要因が強い。

図2中の排出量予測で最大のものは、business as usual 状態で最低限のエ

² グラフ中の各シナリオの前提条件は IPCC(気候変動に関する政府間パネル)に基づく。各シナリオの概要は以下のとおり。

- A1：急速な経済成長、世界人口の世紀半ばでのピーク（その後の減少）及び新たな効率的技術の急速な導入。主要な事象として、経済文化の同一化・キャパシティービルディングの拡大と一人当たり収入の地域格差減少があげられる。このような世界では、人間は、環境は一より個人の富を追及するものと考えられる。このような状況下で、A1FIは燃料油に重点が置かれ、A1Tは技術に重点がおかれ、A1Bは両方バランスした場合のシナリオ。
- A2：世界人口の増加が継続し地域的な経済格差も拡大するという混在シナリオ。
- B1：世界人口についてはA1と同じシナリオであるが、物質集中度が低くなり、サービス・情報経済に向けて経済構造が急速に変化しつつ、クリーンかつ資源効率に長けた新技術の導入が進むシナリオ。
- B2：経済、社会及び環境持続性を地域的な解決を目指し、(A2以下の)世界人口成長と中間的な経済発展のシナリオ。

エネルギー改善効果のみを見込んだ場合の推定値である。2050年に向けエネルギー価格が安定的に推移することが前提条件になっている。したがって、最近のエネルギー価格の上下動を踏まえると、この最大排出量予測シナリオは現実的ではないと考えるのが妥当であろう。

一方、如何なるシナリオであっても、2050年時点の排出量に顕著な削減は見込まれていないことは注目に値する。このような顕著な削減の達成は、以下に示すような構造的変化がない限り、きわめて困難なものと考えられる。

- 海上輸送と世界経済の関連性の突然の乖離。(ただし、本 IMO 調査で用いられたモデルは、GDP 成長度合いより低いレベルで輸送需要が伸びていくとされているところ、そのような乖離は急激かつ顕著でなければならない。)
- B 2 シナリオよりもさらに低い経済成長。
- 化石燃料の枯渇。
- 画期的な新技術の導入。

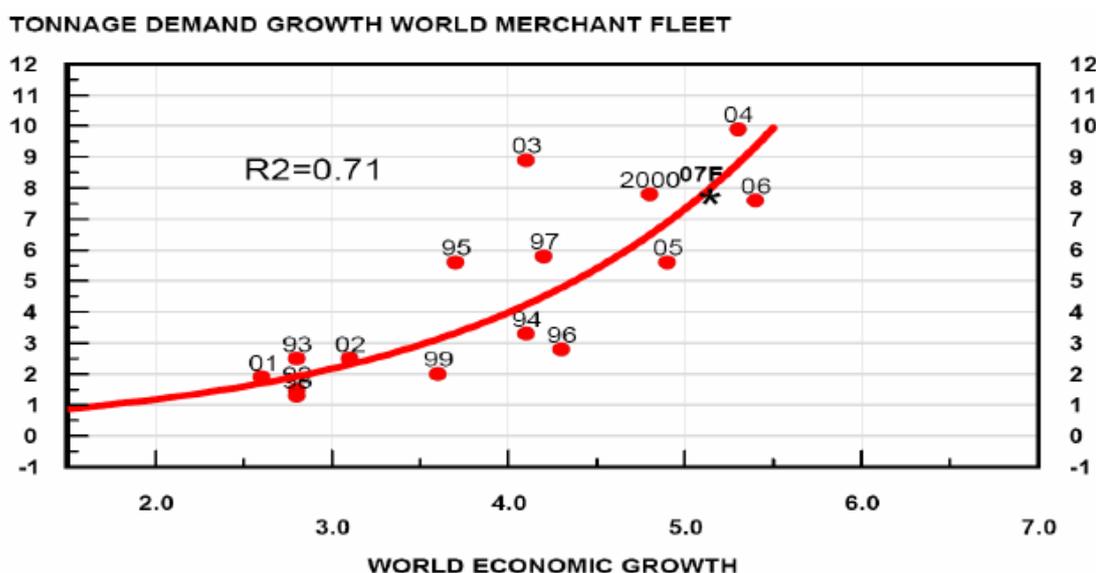


図3 世界経済成長と海上貿易量の伸びの歴史的相関関係
 出典)MEPC58/INF. 14
 縦軸:世界商船船腹量の増加率、横軸:世界経済の成長率

2. 具体的なベストプラクティス集

海運会社、造船会社、船主団体、造船団体等で実施・検討されているベストプラクティスについて幅広く調査した。以下、①ソフト関係対策、②ハード関係対策、及び③その他の3つのカテゴリ別に、概要、効果、長所、短所等について記載する³。

2.1 ソフト関係対策の概観:物流チェーンの改良(enhanced logistics)と個船ソフト関係対策

より大型船舶の利活用率の向上、複数傭船者化による貨物の混載・統合、物流チェーンの改良、最適航路の追求、到着時間の調整、傭船者と船主間の契約フォーマット変更(減速航行の許容等)など、物流チェーンのすべての箇所において改善点を見出すことができ、これらすべての点において最適化が図られることが重要である。

また、個別船舶におけるソフト関係対策としては、減速航行、ウェザー・ルーティングの改良、トリム及びバラスト調整の最適化、船体及びプロペラのクリーニング、主機・補機のメンテナンス及びチューニングの向上、燃料油購入の最適化、航海、性能測定及び報告の強化、消費電力の大きい機材の効率的運転、新技術の効果的導入が検討対象となる。

加えて、海運界の航行上の習慣を見直すことによりCO₂削減効果が上がるものもあると考えられる。例えば、現在、岸壁離着岸や運河通行の際の順番については、全て**First Arrive, First Serviced**になっているが、例えばこれをインターネット等を通じて予め着岸ウインドウ、通行ウインドウを予約するシステムが開発されると、計画的航行のインセンティブが働き、順番を取るために急いで航行し、到着し、そこで長期間待つなどという無駄(=余剰CO₂排出量の削減効果)をなくすことも可能となると考えられる。

以下、個別のソフト関係対策について記述する。

³ 本調査の一環として、欧米地域の代表的な海運事業者のGHG削減に関する取組み及び欧州地域における先進的な技術開発動向についてヒアリング調査を行ったところその結果を附録1以下に添付する。

2. 1. 1 船隊マネジメントの改善 (Improved fleet management)

フリートキャパシティの活用率の向上は通例、船隊構成・配船計画の改善によって達成することが可能である。例えば、配船計画改善により、バラスト航海の短縮化を図ることも可能となる。このような改善は、高信頼性・メンテナンス可能な社船情報を所有船舶全体で共有することにより効果的に実施することが可能となる。また、競争政策とのバランスにも配慮した上で他社船とのコンソーシアム構築についても検討の余地があるものと考えられる。したがって、このようなツールの積極的な検討が望まれる。

当該措置活用の一例としては、ノルウェー沖の補給船隊編成の再検討・隻数削減により、40%の削減効果があったというものが挙げられる。また、別の例では、商船隊編成の再検討により、船社全体で5-15%のCO₂削減効果があったというものもある。

2. 1. 2 運航状態の陸上モニタリング(Monitoring voyage plan)

航海計画の慎重な検討と実施を通じて、最適航路の選択と効率改善が達成可能となる。詳細な航海計画の策定には時間が必要とされるが、これを可能とする多くのソフトウェアの開発・公開が進められている。

[事例]
A船社では、過去、運航管理に必要な本船データを本船船員が手書の記録を航海終了後に、陸上の運航担当者に提出していた。数年前よりこれを改め、E-mailとインターネットを使い、運航担当者が運航状態を日々確認できる電子情報システム (SPAS: Ship Performance Analyzing System) を導入し、同社船約520隻へ適用済み。同システムにより、運航担当者は、速力や燃料消費量の最新情報から、より細やかな指示や効率的な運航が行えるようになったという。

2. 1. 3 サプライチェーン全体の排出量計算・削減

オペレーション最適化のための排出「フットプリント」確立のために、燃料消費計算プログラムの開発と改善目標の設定及び進捗状況把握が、インセンティブスキームとして検討されている。

[事例]
B社により開発された計算ツールは、工場におけるピックアップから販

売地点に至るまでのサプライチェーン全体のCO₂排出量をマッピングすることができる。これには、海運輸送担当部分だけではなく、航空、トラック輸送、鉄道、港湾輸送、倉庫保管も含まれ、さらに乾貨物・冷蔵貨物による輸送の場合分けの計算も可能となっている。本ツールの活用により、サプライチェーン内でどの過程においてCO₂排出量削減が最も必要とされているかについて特定することも可能である。

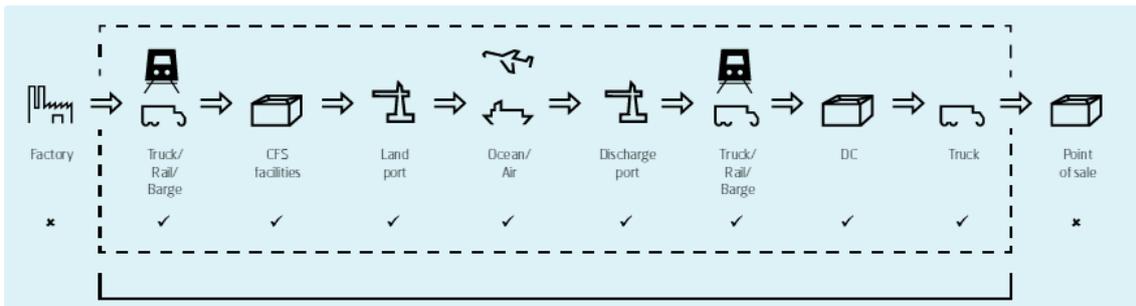


図4 フットプリント計算対象の概念図

2. 1. 4 減速航行

船主は通常、その時点での経済性の追及と将来の市場変動見込みも考慮しながら、船隊全体のオペレーションと個別船舶の運航速度を決定していく。すなわち、経済的な観点からは、最適速度は、船舶の収支を最大化するはずの速度として定義できる。

しかしながら、最適速度は必ずしも、輸送チェーン内のすべての利害関係者にとって同一というものではない。荷主は通常、貨物の時間価値と港湾到着時間及び輸送コストを比較検討し、輸送モードを選択する。他方、船主は通例、輸送契約に基づき、収支を計算する。このように、荷主と船主間で、最適速度への考え方が相違するケースも多く存在する。さらに、契約様式及び輸送条件は、航路ごとに違うものであることが通例であり、貨物の起点・終点が同じであっても、船舶自体の最適速度が違うケースもある。

輸送需要と比較し供給キャパシティ過多のマーケット下では一般的に言って、減速航行が望ましい。しかしながら、荷主の期待するサービスレベルも考慮した上で、減速航行を実施することが重要である。

もともと、減速航行措置は、船舶からのGHG排出削減にとってコスト的に有効な即応策である。例えば、距岸200マイル内減速航行義務化等をとれば、

海洋法条約で認められた環境保全に関する沿岸国の権利も活用し、対策を講ずることも可能と考えられる。また、仮にこの義務的対策導入により物流に重大な影響が発生するというのであれば、段階的導入を措置すること等により激変緩和を確保しつつ実施することも可能と思われる。

減速航行措置は、ウェザープランニングや運航計画改善 など、他の運航上の措置と効果的に組み合わせることにより、特定航路別の燃料油消費量と CO₂ 排出を最小限に抑えることが一層可能となる。換言すれば、航海中の一部区間だけを低速航行したことによりかえって、ボトルネックの発生、港湾での停船・待機の発生、最適速度での航行が不可能となるなどの悪影響がおこることもあり、このような状況を回避するために、航海マネジメントやプランニングをより慎重に検討することが必要である。

GHG 削減効果については、IMO の 2000 年調査によれば、世界の全船舶が 10%の減速航行をすると、23%の CO₂ 削減効果があると推計されている。また、1 ノット減速と港湾滞船時間 25%削減により、1 - 4 %の GHG 削減効果があるものと推定されている。

また、4%の速度制限で 13%程度の CO₂ 排出量削減も可能との試算⁴もある。さらに、例えば大手コンテナ海運会社によれば、ある航路での 12 隻の商船隊（20.5 ノット運航）を 19 ノットに減速した上でサービスレベル維持のために 13 隻に増配船した場合であっても、航路全体での CO₂ 排出量は 16%削減を達成したという例もあった。船用機関の最適レベルでの稼動を前提としたこのような速度制限の実施は、即効性の高い GHG 排出削減策の一つと言えよう。

一方、減速航行の実施を主機関の特性を考慮せずに行うと、個別船舶の最適速度以下の航行によりかえってより多くの燃料油消費になってしまう可能性があることについて注意も必要である。すなわち、減速航行を実施するとしても、それはトンマイル当たりの燃料油消費量の最小レベル化を目的に実施されるものであって、速度の最小化を意味するものではない。

また、多くの船用機関において、減速航行は、振動及び煤煙量の増加を誘発する。煤煙に関する問題は通常、不完全燃焼と単位燃料油消費あたりの GHG 排出量の増加という結果をもたらす。仮に、減速航行を長期的に継続するのであれば、船用機関改造の実施もひとつの選択肢として検討する余地がある。

⁴ MEPC/57/4/5

また、速力は通常、船舶運航者ではなく、傭船者のコントロール下にあるものであることから、傭船契約締結時に、傭船者が CO₂ 削減対策のために速力削減を実施することを合意しておくことも重要である。

さらに言えば、輸送機関の航行速度は、一義的には、生産者と消費者間の時間価値に関する考え方の関係により自ずと決定されるものである。すなわち、運送契約を獲得するために船舶運航者は競争力のある航行速度の提示義務を負っていることは市場原理の必然である。また、海運よりもコスト効率に優れた他の選択肢（輸送手段）が競合している場合にあっては、輸送利用者がこれら他の輸送手段を選択する可能性も存在するため、選択の余地が広がる。さらに、減速しつつも同量の海上輸送を継続的に行なう輸送ニーズがある場合（例えば、定期コンテナ航路）には、より多数の船舶が必要な状態になる。

このように、他の輸送手段が選択されたり、船舶数が増加したり、さらにはその両方が生じることとなれば、減速航行により個船ごとの CO₂ 排出量は削減できたとしても、全体としての CO₂ 排出量がかえって増加し、結果として地球環境に悪影響を与える可能性もある。

また、世界経済の現状と「ジャスト・イン・タイム」が望ましいとされるサプライチェーンの特質を踏まえると、（港湾ロジスティックスに改善余地もあるものの、）減速航行の拡がりに伴い、船舶到着待ちの貨物が港湾区域に「積上がる」状態のような港湾部分でのボトルネックが発生し、かえってロジスティックに悪影響が生じるおそれもある。したがって、減速航行措置は、輸送チェーン全体での最適化追求の一環として取組まれることが不可欠である。

加えて、仮に法定の速度制限を課することを検討する際には、各航路に従事している船舶の隻数とその航海速力のバランス、さらには当該航路の貨物需要にも十分配慮する必要がある。また、世界の海運市場の歪曲を防止する観点からも、すべての国・船舶が参加することが重要である。

2. 1. 5 ウェザー・ルーティング

気象、海象及び潮流等の変動により、船速は影響を受ける。ウェザー・ルーティングは、燃料油消費を最適化するために、実際の気象・海象条件を最適利用することを意図して行われるものである。

したがって、信頼性の高い気象、潮流予測が必要であるが、近代の気象予測と通信技術により、ルーティングの最適化、潮流効果の最大化、及び高波・悪天候の回避が可能となっており、燃料油消費量の削減が可能となる。なお、ルートを選択にあたっては、安全性、貨物損害の回避、乗員乗客の快適性、到着時間制限等について考慮がなされなければならない。

ウェザー・ルーティングシステム設置コストは、5,000 から 10,000 米ドル程度と考えられる。気象予測データは商業的に公開されており、ウェザー・ルーティングシステム適用の主要コストは、これらサービスの購入費用である。同システム利用による時間・燃料油使用削減効果は、2-4%の効果があると考えられる。

また、ウェザー・ルーティングは、特定航路の燃料油消費効率化に高いポテンシャルがある。すべての船型と多くの貿易エリアで実現可能であるが、航続距離が長いほうが効果も高いものと考えられる。また、不安定な天候が続く海域においても、ウェザー・ルーティングの効果は高いとされており、例えば、大西洋・太平洋の南北海域及びインド洋南部海域がこれにあたると思われる。また、風力活用との併用の際に効果が上がるものと考えられる。

また、潮流も燃料油消費に多大な影響を与えるものである。太平洋・大西洋上の航路における潮流探査・活用により、控えめに見積もっても 8,000 万米ドルの年間燃料費消費量の削減が可能という試算もある。

しかしながら、この最適化を実施するためには、サプライチェーンの他の利害関係者（荷主等）が、入港時間等についてより柔軟に対応する（寛容になる）ことが必要である。また、ウェザー・ルーティングは時として、不利な気象条件を避けるために、高速航行を必要とする可能性もあるため、燃料油消費削減のための減速航行との両立が困難な場合もある。

[事例 1]

C社は、最新の気象・海象予測情報をe-mailで本船へ配信し、安全かつ効率的な航海計画の立案を支援するシステムを開発・運用している。同システムにより、6時間ごとの気象・海象情報を最大10日先まで表示することが可能であり、従来FAXで各船に配信されていた天気図情報に比べ、格段に詳細な情報量を提供することが可能となった。現在、同システムを、陸上オペレーション部署で約50人、船舶は約350隻が使用

しており、航海中海域の気象・海象の情報を陸と海双方で共有することで、よりきめ細やかなオペレーションに役立てられている。

[事例2]

中東などから原油を運ぶ大型タンカーは、台湾近海より海流（黒潮）を利用して北上する。海流は常に変化するため、従来の海流推測図では海流の正確な位置・規模を推測することは困難であったが、地元の海洋研究者団体が開発した海流予測情報により、黒潮流域内の流速分布の把握が可能となった。D社では、従来の海流予測情報よりも精度が大幅に向上したこの新しい海流予測情報（約18km四方での予測）を使用し、より適切な航路を選択した場合の効果検証を行なった結果、最大約9%の効果を確認している。

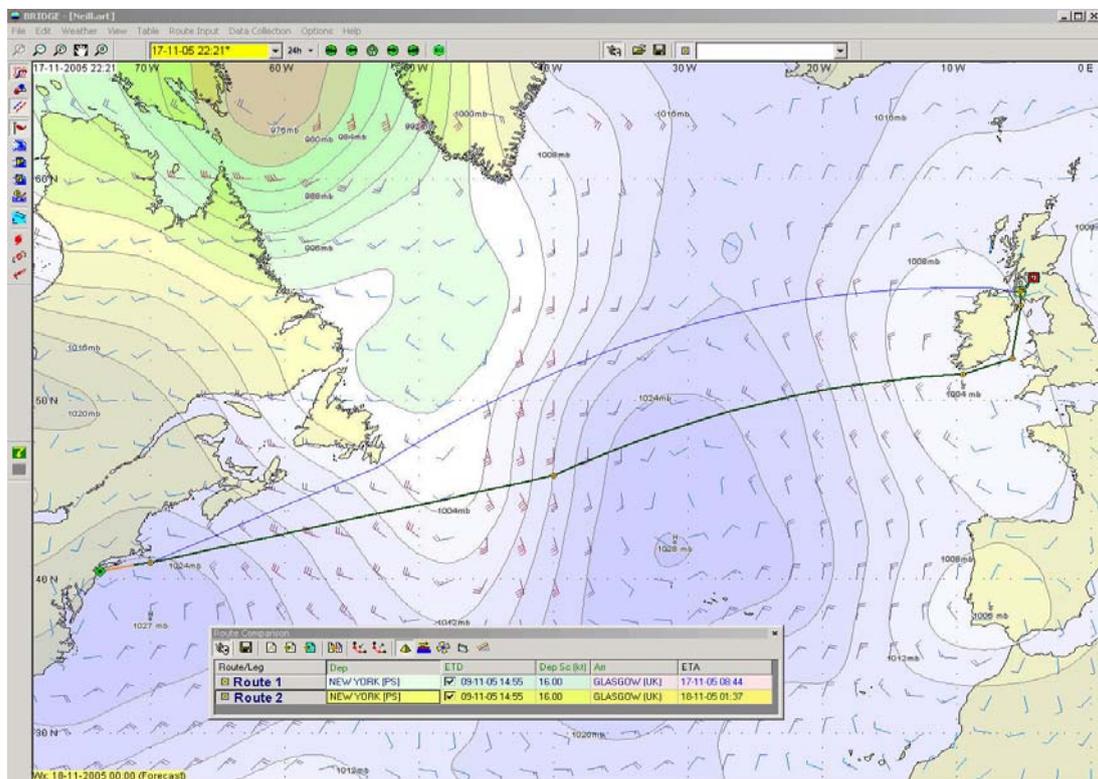


図5 ルーティング計算結果例

2. 1. 6 エンジン出力最適化（軸馬力最適化）

一定の軸馬力での航行のほうが、速度調整を継続的に行うよりも、エネルギー効率が高いことは自明である。すなわち、船舶からのCO₂排出量削減のためには、エンジンの最適特性を引き出す対策（例：エンジン効率の最も高い速度での継続的運航）が有効である。

通常の高速航行状態と比較すると、一定出力(回転数変動最小化)時の燃料油消費は0.1-2%の削減効果があると推定される。

当該措置を実施するためには、推定到着時刻を踏まえた主機関回転数の選択検討が不可欠であり、ウェザー・ルーティングとの併用が望ましい。また、少なくとも、機関部員への教育と動機付けも優先して実施されるべきである。

2. 1. 7 最適トリム

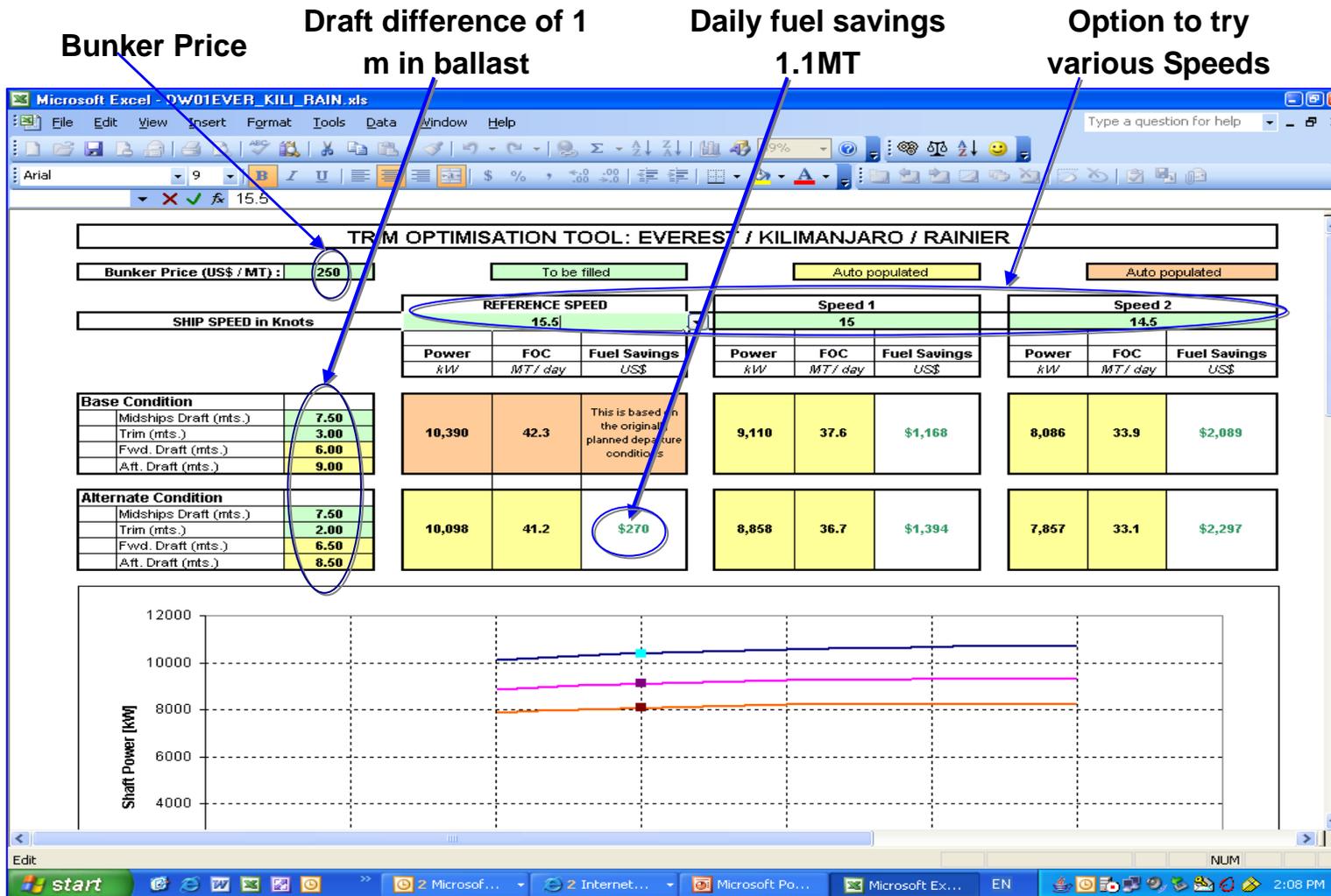
トリムは海上の船舶の抵抗に重要な影響を及ぼす。設計時には、一定の航行条件下での最適トリムが算定されるが、航路の変更や、風力推進活用や減速航行実施に伴う設計条件外での航行時には、最適トリムを再度算定する必要がある。

また、満載時と空荷時のトリムの違いは、水中抵抗に多大な影響を与えることから、最適トリムの追求は顕著な燃料節約を可能とする。いずれにしろ、如何なる喫水条件下でも、抵抗を最小化するトリム設定は可能なものと考えられ、船舶によっては、航海を通じて継続的に燃料油消費効率化を果たすためのトリム条件設定が可能であると考えられる。

最適トリムの実施により、3%の削減効果があるとの試算もある。

ただし、最適トリム選定にあたり、船体構造上の安全性と船舶の保身性能が優先されるべきであることは言うまでもない。

図6 最適トリム計算ツールの例(Trim Optimization Tool)



2. 1. 8 最適バラスト

最適トリムと航行条件等を考慮しつつ、バラスト調整は実施されなければならない。また、最適バラスト条件を決定・実施する際には、バラスト条約で要求されるバラスト水マネジメントプランに示される条件、バラストマネジメントアレンジメントを確保しつつこれを行うことが重要である。

最適バラスト(バラスト水の削減)は、定常状態航行と比べ、0.1 から 1 %の燃料油消費削減効果がある。

一方、バラスト条件の変更は、復原性、推進効率、操船要件（自動航行条件設定を含む）及び構造要件等に大きな影響を与えるので、慎重に実施する必要がある。

2. 1. 9 最適プロペラピッチ

可変プロペラシステムにおける最適プロペラピッチの使用により、定常状態に比べ、0.1-1%の燃料油削減効果がある。この効果は、喫水、速度及び気象・海象状態に大きく依存する。プロペラピッチ調整は、手動又は自動操作により行われる。

2. 1. 10 最適舵角

燃料油消費量を最小化するための安定舵角・最小舵角変動（オートパイロット使用時）は、通常航行状態に比べ、0.1-3%の燃料油消費削減効果がある。当該措置を実施するためには、喫水、船速及び気象・海象状態を考慮した最適オートパイロットの設定と、その後の条件変化への対応が必要である。多変数制御原則に基づいたコンピュータベースのオートパイロットが通常最良のパフォーマンスを達成する。旧形式のシステムより最新型のほうが効果的であることは言うまでもない。

2. 1. 11 船体・プロペラ・機器メンテナンス

効率的メンテナンスを通じて、不稼働割合の低減と高次元での船体、プロペラ、機器効率性の維持が可能となる。不稼働損削減と航行遅延是正のための措

置は、船舶の稼働率を増加させ、燃料油消費量と CO₂ 排出量の一層の削減を可能とさせる。

船体やプロペラに付着する海藻や貝殻などで船体の摩擦抵抗が増加し、燃料油消費量が増加する。船底には、海藻等の付着を防ぐための塗料が塗布されるが、一定期間を過ぎ防止効果が低下すると、これらの付着が開始する。船体の汚れは、船体メンテナンス方法に大きく依存するだけでなく、航行区域・状態にも影響を受ける。船体汚れとメンテナンス方法の関連性を統計学的に証明することはきわめて難しいが、典型的な入渠中メンテナンス作業と、自己研磨型塗料の塗布を実施したとしても、10年船齢の船舶(2度入渠)の船体汚れ残りが発生し、航行速度を維持するためには、出力3-4%増加の必要があるという試算もある⁵。

このように、船体汚れの増加は、摩擦抵抗の増加を意味し、結果として、船の一生の間、一定の船速を維持するためには出力を増加させなければならなくなる。また、不適切な塗装方法の採用、塗装システムの寿命超過時での使用、又は港湾区域・温暖海域での滞船長期化等によっても船体汚れはひどくなる。

したがって、定期的にダイバーにより海中の船体汚損状況や船底塗装状況を点検し、最適な時期にアンダー・ウォーター・クリーニング (UWC) を行い、海中での船底付着物の除去及びプロペラ研磨を実施することが重要である。また、プロペラのクリーニング、研磨、さらには適切なコーティングも燃料油消費削減効果を向上させるものである。

また、船体表面粗度が一定値を超えた場合、船体塗料全体をサンドブラスト等で取り除き、リコーティングすることも摩擦抵抗低減に極めて有効であるし、結果的に燃料油消費削減に寄与する。

なお、UWCのためのドック間隔については、用船者による船舶パフォーマンスの継続的評価と併せて検討されるべきである。船体抵抗 (摩擦抵抗)は、新技術によるコーティングシステムと、船体清掃のコスト・頻度のバランス検討を通じて最適化されていくものと考えられる。

さらには、寄港時における水中船体クリーニングの必要性も、寄港国に十分認識され、積極的に活用されるようになるべきである。

⁵ MEPC45/8

一方、船体汚れほどではないが、プロペラのメンテナンスについても対策が有効である。プロペラの汚れを低いレベルで抑制するために、入渠時の汚れ計測が推奨され、0.2mm を超過した際には研磨されるべきである。すなわち、目視による汚れ確認のみでは不十分と考えられる。

C 社の実績では、UWC により約 10%、プロペラ研磨で 1~2% の燃料消費量の低下がみられ、このような船体のメンテナンスに積極的に取り組んでいる船社もある。

IMO によれば、船体・プロペラメンテナンスによって、以下の表 6 に示すエネルギー削減が可能とされている。

表 6 既存船舶の船体・プロペラメンテナンスによるエネルギー削減可能性

対策	燃料/ CO ₂ 削減可能性	両対策同時実施
最適船体メンテナンス	3 - 5 %	
プロペラメンテナンス	1 - 3 %	3 - 8 %

出典) MEPC45/8

2. 1. 12 推進システムメンテナンス

エンジンメーカー指示によるメンテナンススケジュールに準拠した船用機関（主機・補機）・推進系のメンテナンスは、燃料消費効率を維持させる。また、エンジンモニタリングの活用は、高効率維持に役立つツールである。

2. 1. 13 船上エネルギーマネジメント

船上電力計画の見直しは、エネルギー効率の画期的向上を果たすことがある。また、断熱材の使用は、エネルギー使用の削減に当たって明らかに効果的な手段であることから、活用を検討すべきである。

ただし、船上電力計画の過度の見直しにより、船内照明等電力サービスの不用意な切断がおこる場合には、これによる新たな安全性問題も発生することから、十分な注意が必要である。

2. 1. 14 燃料油添加剤

通常、燃料油中にはスラッジ成分が含有されており分散しているが、安静下保存中においては、タンク底等に徐々に堆積していく。添加剤を投入することによりこのようなスラッジ成分の堆積を防止し、拡散したままの状態を維持し、スラッジ成分も効率的にエンジン内で燃焼することが出来るため、燃料油消費量が節減される。

本措置により 1.5%以上の燃料油消費改善がみられ、現在ほぼ全運航船舶での導入を措置している海運会社もある。同社は、これにより、CO₂ 排出や、煤塵を押さえることも可能となり、大気汚染物質の削減にも寄与していると評価している。

表 7 では、上記等のソフト関係対策による燃料削減効果を示す。

表 7 ソフト関係対策による燃料油削減可能性

対策	燃料消費可能性	同時措置による可能性	合計
運航計画・速度選定			
船隊計画の改善	5 - 40%		
ジャストインタイム・ルーティング	1 - 5%	1 - 40%	
ウェザー・ルーティング	2 - 4%		
その他措置			1 - 40%
軸馬力最適化	0 - 2%		
最適トリム	0 - 1%	0 - 5%	
最適バラスト	0 - 1%		
最適プロペラピッチ	0 - 2%		
最適舵角	0 - 0.3%		

出典) MEPC45/8

2. 2 ハード関係対策の概観：船体形状最適化・船体抵抗軽減等

国際海運は、経済的に高いレベルで最適化されたビジネスである。燃料油消費が、多くの商船において主要なオペレーティングコストである。したがって、船舶設計は通常、最大限の利益追求ができるように公正かつ適切に最適化されるものである。すなわち、外部経済条件が変更する際に、より良い設計とプロペラ選定による効率化が望まれることになる。

具体的には、新造船を中心に、船体形状最適化、プロペラ選択、燃料噴射・熱回収システム等による船用機関の改善、船体抵抗低減などが技術的な措置として考えられる。

2000年のIMOのGHG調査によると、技術的措置はCO₂削減に関し大きなポテンシャルを持ち、新船で30%、既存船でも20%までの削減が可能とされている。これらは燃料油消費削減を通じてランニングコスト節約にも繋がるものである。これらの技術は既に実証されており利用可能であることから、積極的活用が望まれる。

ただし、船体形状最適化等を既存船に適用すると言うことは、大規模改造を意味するため経済的に適用不可能であるとともに、他の技術的措置についても全ての既存船舶へ適用できるわけではないことに注意が必要であり、慎重に適用技術措置を検討することが重要である。

以下、個別のハード関係対策について記述する。⁶

2. 2. 1 船体形状最適化・大型化

長年、船体形状最適化に多くの努力が費やされてきたため、改善の余地はそれほどないと考えられやすい。しかしながら、曳航水槽使用実績が示すところによれば⁷、船首及び船尾における比較的小規模の改良により、20%台の出力削減が可能である。これを踏まえると、船体設計の改良によりいまだ出力削減に顕著な可能性があり、新造船設計過程での船体最適化に積極的に取り組むべきであることが明らかである。

船体形状最適化のための設計コストは、個船の船型とは関連がなく、固定的コストと考えられるものである。したがって、小型船舶よりも大型船舶用の船体形状最適化のほうが、より大きな利益を発生させやすい。当該コストは、5万から20万米ドルの範囲内であるものと推定される。この設計コスト増に加えて、複雑化した船型の建造コストが追加されるものと考えられる。

⁶ 附録2に、現在欧州・ギリシャにおいて進められている研究開発（Greenwaveプロジェクト）の概要を記載。

⁷ MEPC45/8

2. 2. 2 最適プロペラの選定

通常の推進プロペラの効率は、その主要目に大きく依存する。プロペラ設計の結果は主に、キャビテーション、騒音等に関連性を有する。新造船については、設計制約要因を適切に考慮し、プロペラ主要目が適切に選定されるものと考えられる。典型的な設計制約要因としては、直径、キャビテーション等が考えられる。したがって、プロペラ選定による出力削減は、主にプロペラアレンジメント選定に依存する。

最適速度又は最適プロペラでのエネルギー推進力への変換プロセスを最適化することを目指し、プロペラ設計することが重要である。また、プロペラは一般に大口徑・低回転ほど高効率が得られやすいことから、船体主要寸法、特に設計喫水選定がプロペラ効率に大きく関係していて重要である。

通常、プロペラの選定は、新造船の設計・建造段階で決定されるものであるが、既存船舶についても、よりエネルギー効率的な新プロペラをレトロフィッティングすることも可能であり、その実現について検討する余地は高い。

一方で、プロペラは推進系統の一部をなしていることから、推進系統全体の効率を考慮せずにプロペラ単体を変更することは燃料消費効率化にポジティブな影響がないばかりか、最悪の場合、燃料油消費量を増加させる恐れもある。したがって、慎重な検討が必要である。

最適プロペラの選定により、5－10%のGHG削減効果があるとの試算⁸もある。

⁸ MEPC45/8



図7 プロペラボスキャップの例（出典：Teekay Shipping）

2. 2. 3 船体付加物

波や風の抵抗が少なくなれば少ないほど、省エネルギー運航が可能となる。このため、船体に取り付けることで抵抗を軽減させることを目的としたいろいろな船体付加物が考案されている。例えば、航海中の水面下では、プロペラの回転から生まれる旋回流により、推進力が損なわれる現象が起きるが、船体に翼をつけることで、損失推進力の回収効果が実証され、約4～6%の省エネ効果が確認された事例もある。

2. 2. 4 船底塗料

船体外板没水部分における海藻付着等による汚染を防止するとともに摩擦抵抗を最小化するために、船底塗料の開発が進んでいる。現在の自己研磨型防汚塗料システムは、塗装間隔が適切である限り、入渠間隔中の船体汚れを低減させる。

しかしながら、入渠時の船体メンテナンスの方法が極めて重要である。これは、建造当初は滑らかであった船体も入渠時にメンテナンスをしていたとしても、入渠回数が増加するに従い、船体の滑らかさも減少するという統計を見ても明らかである⁹。このことから、自己研磨型（又は同等効力の）塗装方法に加え、より良い船体メンテナンス方法の適用が望まれる。また、船体外板への再ブラストも定期的にも実施されるべきである。

⁹ MEPC45/8

また、過去、船底塗料に含まれる有害化学物質等により水中生物、魚類に悪影響が生じ、AFS 条約による塗料規制が開始されており、船底塗料の選択にあたっては、海洋環境防止の観点からの検討も不可欠であることは言うまでもない。

試算によれば、6%の削減効果が見込まれるとしている船底塗料もある。

[事例]

E塗料製造会社が2005年に販売開始した船底塗料は、燃費の向上とCO₂排出量削減を同時に実現する新しいタイプの船底塗料として、海運会社・造船会社から高く評価されている。

この船底塗料は、省エネルギーで海中をより速く泳ぐマグロやイルカなどの体の表面を覆っている粘膜にヒントを得た全く新しいタイプの低摩擦型船底塗料であり、船底塗料の主流を占める自己研磨型よりもさらなる燃費改善を実現することを目標として、同社が大学との共同研究で開発した。

具体的には、塗料を被塗物に塗装すると目視では確認できない微細な凹凸が発生するが、同船底塗料はその成分に含まれる天然由来素材ヒドロゲルの特性を利用し、塗膜表面に水を捕捉させることにより凹凸部分を減少させ摩擦抵抗を少なくするというメカニズムに最大の特長がある。この摩擦抵抗の減少により高い燃費改善効果が得られると同時に、燃料となる重油使用量減少に伴うCO₂排出量の削減が可能となった。

実船を使った解析結果では、従来の自己研磨型と比較して約4%程度の燃費改善効果が確認できている。また、船底に海洋生物が付着することを防ぐ防汚機能についても、従来の船底塗料と同等の性能を有していることが確認された。

同塗料は、20年度だけでも約70隻の国内外の新造船・修繕船に採用されており、累計採用船は100隻を超える見込み。

2. 2. 5 船体甲板等への遮熱塗装

遮熱塗料は、屋根・甲板など直接太陽光が当たる部分に塗装することにより、熱エネルギーの侵入を抑えて建物内部の温度上昇を抑制し、空調機の消費電力の削減や、船内発電機で消費する消費燃料油の削減を可能にするものである。

また、太陽光が塗装表面に当たり、赤外線が塗膜に吸収されると、振動が発生し熱エネルギーに変わることから、この熱エネルギーの進入を、高い日光反射率を持たせた特殊な顔料を使用すれば、太陽光線(赤外線)を撥ね返す原理を利

用することも可能となる。

[事例]

F社は、2007年から2008年にかけて主要塗料メーカー10社の遮熱塗料の効果を比較検証した。この検証で最も効果の高かった遮熱塗料を、大型フェリーの甲板に試験施工し、船室内部の温度上昇抑制並びに冷房機運転電力削減の効果を確認した。試験に使用した遮熱塗料は、太陽熱エネルギーの侵入を抑えるものであり、室内の温度環境改善や空調効率の改善、CO₂排出量の削減のみならず、塗料の超耐候性から長期にわたって遮熱効果を保ち、ライフサイクルコストの低減にも貢献するものと考えられる。

今回の施工で測定した遮熱・室内温度低減効果を基に算出した陸上空調設備における冷房用エネルギー削減量では、47.7%の冷房負荷軽減が確認され、居住区上の甲板800m²の塗装による年間のCO₂排出削減量は、8.9トン/年（C重油換算で約2.2トン/年）となることが確認された。（なお、当該効果確認は、陸上建築物用計算システムを利用しているところ、外航船舶における遮熱塗装においては、熱吸収率や使用場所の違い（赤道上など気温の高い海域も航行し、空調機稼働率が高い）から、外航船舶における使用においては当該シミュレーション結果以上の削減効果が確実に期待できると考えられる。

また、今回、大型フェリーで効果検証に使用した遮熱塗料は、フッ素系塗料の超耐候性により、紫外線による劣化に対する塗膜の耐久性に優れているものである。

さらに、一般塗料と比較して塗替周期が15～20年と非常に長く、長期にわたって遮熱効果を保つことが可能で、保全コストの低減にも貢献するものである。

2. 2. 6 オートパイロットの最適利用

技術開発の進展により、自動廻頭・操船システムが大きく改善されている。

従来、これらはブリッジ担当チームの効率化・省力化を主目的に開発されたが、近代オートパイロット装置はこの主目的以上のことを成し遂げることが可能となっている。例えば、統合航海指令システムは、航路からの逸脱を減少させることによって、燃料節約効果が非常に高い。また、航路補正の回数・度合い低減を通じた良好な航路コントロール確保は、舵翼抵抗の減少を可能とさせる。

このような、より効果の高いオートパイロットの適用については、新造船だけでなく、現存船への適用を検討する余地も十分あるものと考えられる。

しかしながら一方で、港湾等へのアプローチの際には、廻頭指示に舵を即応させる必要があるため、オートパイロットの使用は制限されることが通例である。また、悪天候・海象状態の際にもオートパイロットの使用は不可能である。

2. 2. 7 船用機関

主機関の選定等について検討する場合に、CO₂削減の観点からのみの検討は困難であり、CO₂とNO_xの関連性も考慮することが必要である。すなわち、NO_x排出削減を目的とした措置は、CO₂排出についての影響も強く、両者はトレードオフの関係にある。両者のトレードオフに関する関係をグラフ図8に示す。

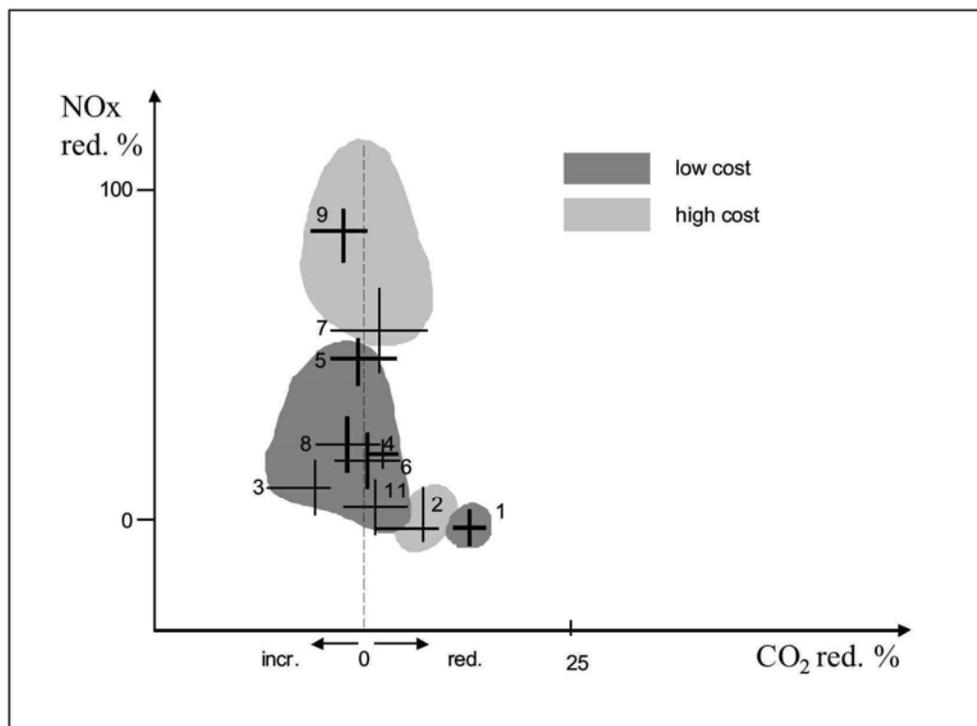


図8 NOx削減策とCO₂のトレードオフの関係¹⁰

出典) MEPC45/8

例えば、NOx削減のための手法として最も多く採用されている燃料噴射時期遅延化については、CO₂排出量の増加を結果として惹起することが知られている。NOxの放出が6-8 g/kWhのレベルで削減できたとしても、燃料消費量がかえって5-7 g/kWh増加するという報告もある。

以下に、コンベンショナルな形式のディーゼル機関に係るCO₂削減対策を提示する。

2. 2. 7. 1 効率最適化

効率的又は経済的出力を実現するためには、圧縮比の増加と燃料噴射の調整両者の複合的対策措置が極めて重要である。燃料ノズルの開放圧力及び噴射圧

¹⁰グラフ中の数字は個別措置を表し、具体的には以下のとおり。

1:効率最適化、2:プラントコンセプト、3:燃料噴射遅延化、4:低NOx燃焼、5:水噴射、6:水エマルジョン、7:加湿式エアモーター、8:排気ガス再循環、9:選択触媒還元、11:機関モニタリング

力を上昇させることによって、燃料噴射回数及び燃料噴霧比が改善される必要がある。

また、燃料噴射時間短縮化による燃料噴射調整により、2-4 g/kWh の燃料消費削減可能との試算¹¹もある。燃料噴射調整にかかるコストは、それほど多額にはならないと想定される。

また、中速船用エンジンに最新技術を適用し効率的出力を達成することによって、10-12%の範囲の燃料油消費の削減が可能である。2ストローク低速船用エンジンにあっては、2-5%の燃料油消費量削減が可能と考えられる。

なお、当該対策を既存船舶に設置済みの船用エンジンに適用する場合には、大幅な改造、部品等の交換が必要になることはいうまでもない。当該対策実施のためには、ピーク圧力の上昇にエンジンの構造強度が耐えられることが必要である。

¹¹ MEPC45/8

De-rating example

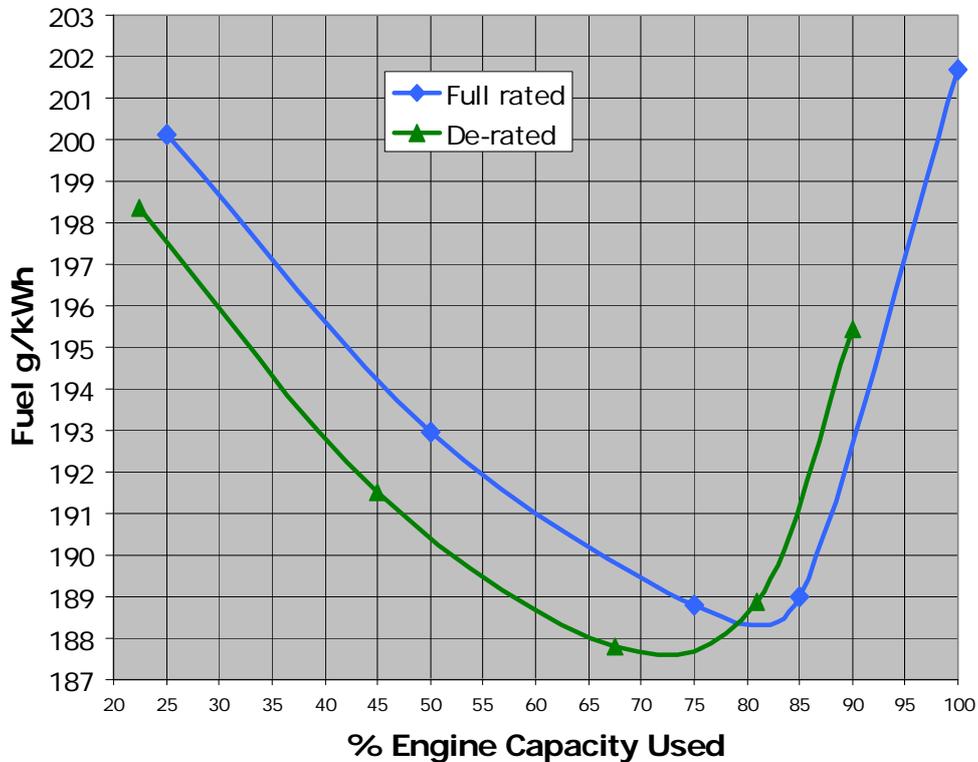


図9 ディレーティングの例

出典) MAERSK Line

2. 2. 7. 2 プラントコンセプト

新造船を設計する際、エンジンプラントの配置・形状については多くの選択肢がある。例えば、伝統的な主機関・固定プロペラの組み合わせと、近代的な電子制御式ディーゼル推進方式とでは、大きな違いがある。各々の航行条件の違いに見合った選択肢の採用が有効である。

2. 2. 7. 3 燃料油性状

軽油燃料の燃焼特性は高く、かつ NO_x 生成量も重油燃料と比べ低い。また、硫黄成分含有量も低いため、SO_x 排出量は低くなる。重質燃料油 (HFO) から船用ディーゼル油 (MDO) への転換により、CO₂ 排出量も 4-5% の範囲で削減される。これは主に、重質燃料油中の炭素・水素比の低さのためである。しかしなが

ら、両燃料油の実勢価格差を踏まえると、燃料油転換の検討は現実的ではないものと考えられる。

2. 2. 7. 4 機関状態・効率性モニタリング

機関状態等の定期的モニタリングは、燃料油消費量を低減させ、したがってCO₂排出量を削減することになる。設計時の想定最適運転状態と実際の運転状態との乖離により、燃料油消費量が増加する恐れもあることから、定期的モニタリングが実施されるべきであり、オンラインによるモニタリングが推奨される。これにより、0.5-1.0%の燃料油消費量の削減が可能になるものと考えられる。

[事例]
G社においては、省エネ運航の支援装置として、燃料油消費1トンあたりの航海距離といった、燃費性能をリアルタイムで表示する燃費計が開発されている。これにより、車の燃費計と同じような機能で、運航中の自船の燃費効率を把握し、その改善に役立てることも可能となる。同時に、速力、進路、風向・風速、舵角、メインエンジンの回転数などを計測し、気象・海象、船体挙動が燃料油消費に与える影響分析も可能となる。

2. 2. 7. 5 低NO_x燃焼

当該措置には、効率低下を惹起することなくNO_x排出量を削減する目的で既存エンジンを調整することも含まれる。燃料噴射時期の遅延化と噴射時間の短縮化により、エンジン効率の観点からは最適な燃焼が可能となる。低NO_x燃焼技術の導入により、燃料消費量及びCO₂排出量削減も可能である。

2. 2. 7. 6 水エマルジョン燃料

水エマルジョン燃料は、燃料油と水を混合して乳化（エマルジョン）したものであり、燃料消費効率の良い燃料として注目されている。水エマルジョン燃料の使用により、燃料油消費削減によるCO₂排出量の低減、さらに燃焼時には燃料油中の水分が気化して熱を奪うため燃焼温度が下がり、高温燃焼時に発生しやすいNO_xとPMの発生も抑えることが可能となる。

2. 2. 7. 7 ガバナー改良による燃料噴射量の最適化

船用主機関は、絶えず変化する海象の中であっても、船速（又はプロペラ回転数）を維持するために、ガバナーにより燃料噴射量を調節している。ガバナーを改良し噴射量調整の動きを緩慢にすることで、従来に比べて約 1.3%の省エネ効果が確認された事例もある。

2. 2. 7. 8 排気タービン過給機の交換

既存船舶における排気タービン過給機の新型機への交換については、相応のCO₂削減効果が見込まれるものの、交換コストが多額になると見込まれることから、費用対効果も十分考慮して当該対策の検討を進める必要がある。

IMO によれば、ディーゼル機関に関するこれらの対策により、表 8 及び 9 に示す燃料油・CO₂削減が可能としている。

表 8 新造船のディーゼル機関対策による CO₂削減可能性（10-20年使用の既存エンジンとの比較）

対策	燃料油/CO ₂ 削減可能性	他対策との同時実施の際の削減可能性	合計
①効率最適化	10-12% ¹⁾ 2-5% ²⁾	14-17% (③との同時実施)	
②プラントコンセプト	4-6%	18-23% (①及び③との同時実施)	
③燃料油性状 (HF0からMDOへの転換)	4-5%		
④機関モニタリング 出典)MEPC45/8	0.5-1%		14-23%

1) 重質油燃料油を新型中速エンジンで運転した場合

2) 低速エンジンで運転した場合 (NO_xとのトレードオフを許容)

表9 既存船舶のディーゼル機関対策によるCO₂削減可能性

対策	燃料油/CO ₂ 削減可能性	他対策との同時実施の際の削減可能性	合計
燃料噴射	1 - 2 %		
HF0からMDOへの転換	4 - 5 %	5 - 7 %	
出力効率化	3 - 5 %		
HF0からMDOへの転換	4 - 5 %	7 - 10 %	
出力効率化及び排気タービン過給機交換	5 - 7 %		
HF0からMDOへの転換	4 - 5 %	9 - 12 %	5 - 12 %

出典)MEPC45/8

2. 2. 8 廃熱利用

廃熱利用とは、主機関の排ガスに含有されるエネルギーを推進動力や船上電力消費に有効活用することである。エネルギーは以下の2つの方法により回収される。

- ① 排気ガスがエンジンから放出される際、高温・高気圧である(380度・2.2バール)が、通常、このガスはすべて主機ターボ発電機を通過するが、一部は発電機作動用ガスタービンを回転させる。
- ② ターボチャージャーの後、排気ガスはまだ高温である(250-300度)。その後、排気ボイラーを通過させ、スチームタービン駆動発電機を運転させるために活用される。

ほとんどの大型船舶は、排ガスエコマイザーを搭載し、エンジンから発生する廃熱を利用して発生させた蒸気でターボ発電機を作動させ航海中に使用する電力の一部を賄っている。ある船社の大型コンテナ船では、10%の廃熱回収により、年間燃料油消費量の15000トンの削減が確認された。また、他船社では、航海中の発電のためだけに使用していた燃料油を使用する必要がなくなったとの報告もされている。

一方、比較的小型の船舶にはターボ発電機を搭載していないものもあるが、その場合には蒸気を燃料油の加熱や調理・給湯用として活用して船舶もある。

廃熱利用システムは、現存船舶への適用ではなく、新造船用のオプションと考えることが自然である。造船会社は、新造船設計に当該技術を組込むことを積極的に検討すべきである。

また、将来、廃熱回収によるエネルギーを直接的に推進に利用するシステムが大型船市場において広く普及すれば、船舶の推進力は維持される一方で、主機関の所要出力を低下させることが可能となり、地球環境へのインパクトを低下させることができるようになる。すなわち、本システムの使用により、同一軸馬力下での燃料油消費量と排気ガス量双方の減少を可能となる。

なお、廃熱利用は、利用可能な「排出された」熱量を損なわない措置のみと両立可能である。例えば、風力推進テクノロジー等の再生利用可能なエネルギー活用措置とのコンビネーションにおいては、エネルギー利用による主機関出力減少に伴い、主機関からの廃熱発生も少なくなるため、燃料油消費量の削減効果がそれほど高くないものと考えられる。

2. 2. 9 船用機関の長期的技術開発

今後数十年にわたり、ディーゼル機関が主動力源として主要な役割を担い続けることが予想される。よりクリーンで高効率なディーゼル機関技術開発が望まれるものの、過去 20 年間で達成された効率化と同程度のものが将来も達成できると考えることは現実的ではない。

燃料噴射システム、吸気システムの改良、廃熱利用システムの有効活用等についての努力が行われるべきである。船主からの要望も多い、船用機関の信頼性向上についての技術開発も重要である。電子制御をはじめとした新たな推進システムの模索も望まれる。

ディーゼル機関の代替については、ガスタービン機関製造者の市場獲得に関する積極的な努力が望まれる。燃焼性に優れた全体効率の向上や、プラントパッケージ化の提案などが期待される。

一方、燃料電池の開発も継続されるべきである。自動車産業で取り組まれている燃料電池技術の船用分野への転用も検討されるべきである。しかしながら、海運分野における継続的な高出力需要が、船用燃料電池開発におけるパワー密度達成に高いハードルになる可能性もある。船用燃料電池開発に当たっての主要課題は、低パワー密度及び水素運搬経路の確保である。

2. 2. 10 船用太陽光発電システムの開発

再生可能なエネルギーの一つとして、太陽光発電システムの開発が注目されており、船用分野への応用も以前から期待されていたものの、船舶への太陽光発電システム設置は、塩害や振動など設置環境が過酷なことから、これまで乗組員の居住区での生活用途に限られてきた。

しかしながら、地球温暖化問題への取組みの重要性が一層高まっていることにもかんがみ、船舶推進動力へ安定した太陽光発電の電力供給実現のための実証実験が、船社によるイニシアティブにより開始されている。具体的には、新造自動車運搬船の甲板上に 300 枚以上の太陽光パネルを設置し、今後、約 2 年間、塩害・風圧・振動下での耐久性と、太陽光発電と船舶電力系統との連系を検証し、太陽光エネルギー船の実用化を目指すものである。

2. 2. 11 風力利用¹²

帆又は帆を商船の補助推進力として利用するものであり、既の実験が行われている。しかしながら、装置によっては、製造、搭載の困難性、操作の複雑さが問題になる可能性がある。また、それ単体では、大型船舶の主機関にはならないが、補助機関としての役割を果たす可能性はある。これまでも、様々な種類及び配置での帆が商船による実証試験が行われている。

いずれにしろ、太陽光発電などと並んで、海事分野における再生可能エネルギーの利用方法のひとつであるものと考えられる。

具体的には、以下の 3 つのアプローチが可能と考えられる。

- ① 帆走：材料、自動化、デザイン(及び高燃料コスト)が近代帆走の新たな役割を開く(特に、視界の開けた平坦なデッキを有するタンカー、バルカーにおいて可能性が高い)。
- ② 風力タービン：多様なタービン設計が風力活用を可能としている。
- ③ 帆：大型帆を船上に揚げ、安定的強風を活用する。

いずれのアプローチでも、風効果の最大活用のために、最適ルートプランニ

¹² 革新的な風力利用技術を開発導入した SkySails 社等へのインタビューを附録 1 に記載。

ングやウェザー・ルーティングとの併用が可能である。

風力利用措置については、投資コスト効率も比較的良く、CO₂のみならず他の大気汚染物質の削減も同時に達成可能であり、5%のCO₂削減効果があるとの試算もある。

一方で、沿岸域航海における風力利用については、通常、航路混雑や航路制限等により現実的でない場合も考えられる。

また、帆・凧の操縦のための習熟訓練が必要であり、そのための追加的コストも負担する必要がある。

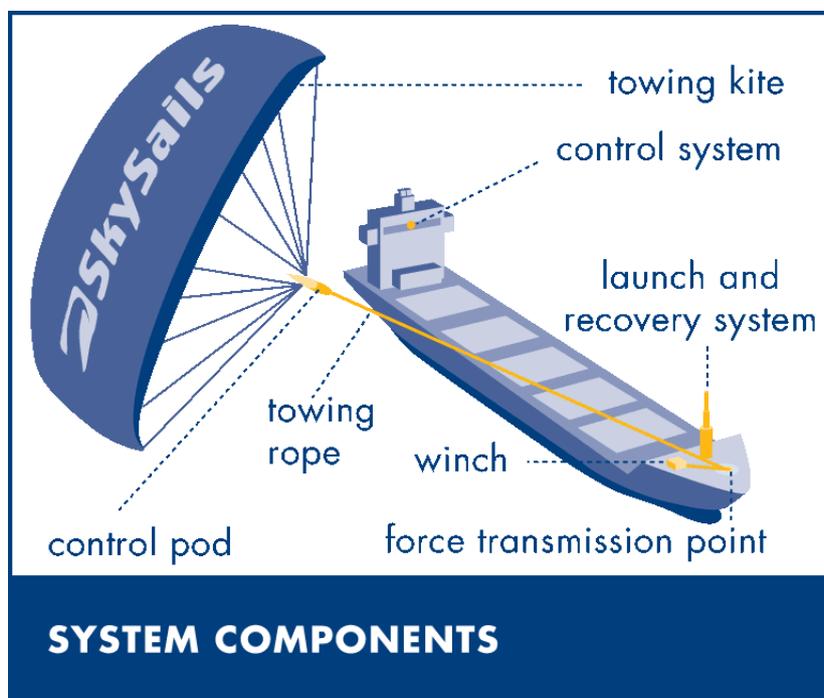


図 10 風力利用技術の例（出典：Skysails 社）

2. 2. 1 2 代替燃料の使用

天然ガス、水素燃料又はバイオ燃料などの代替燃料、燃料電池技術の利用は、GHG 排出量を大幅に削減させる可能性がある。

2. 2. 1 2. 1 天然ガス

天然ガスの水素含有量は石油より高いことから、この点で CO₂ 排出量の削減に効果があると考えるのが自然である。天然ガス燃焼による排ガスは重油の燃焼に比べて約 20%の CO₂ 削減につながるとの試算もある。また、天然ガスの貯蔵量が世界的に多いことにも注目すべきである。

しかしながら、天然ガスの船舶用燃料としての利用可能性はまだ低く、LNG 及び CNG の流通インフラを含めた国際的な流通システムが確立するまでの間は、一部地域で限定的に使用可能と考えられるのみである。さらに、流通システムの確立には相当の時間が必要であろう。

また、LNG の液化には相当のエネルギーが必要とされるため、当面は CNG の利用が好ましいものと考えられる。さらに、天然ガスによる燃料電池の開発については当面、小型船舶及び補助機関用として実施されるべきである。

さらに、既存船舶にとっては、既設置の重油用燃料タンクをガス用タンクに換装することは殆ど不可能であることから、ガス燃料使用への移行は困難である。その上、天然ガスの利用は、天然ガス燃焼用の適切な船用機関形式でない限り、かえって効率性が悪くなる。さらに、燃料電池はまだ実験段階であり、今後一層の研究開発が必要であろう。

2. 2. 1 2. 2 水素ガス

水素燃料の使用は、CO₂ 排出量削減の方法として害が少なく、有効な措置である。しかしながら、燃料としての水素の天然資源はないことから、何らかの方法により水素燃料を生成しなければならない。また、水素の保存困難性についても十分考慮する必要がある。

しかしながら、水素燃料の船舶への応用については、今後 20 年間に目立った成果が上がるものとは考えにくい。2030 年から 2050 年にかけてこれらのオプションが実行可能な選択肢になっていくものと見込まれる。

2. 2. 1 2. 3 バイオ燃料

世界の商船からの CO₂ 排出量削減に十分な効果を与えるほどのバイオ燃料の船舶での使用については、今後 20 年程度にわたって可能性は低いものと考えられる。おそらく、2030 年から 2050 年になって実行可能な選択肢となると見込ま

れる。

また、バイオ燃料の生産量は限られており、その増産は、かえって環境に悪影響（森林破壊、湿地帯破壊など）を及ぼすおそれがあることから、将来あるべきバイオ燃料源は、現在有効に利用されていない海草・藻を中心に開発していくべきと考えられる。。

2. 2. 1 3 二次的な燃料生産

船用機関からの排気ガスを回収し、これを船上で軽油を製造するためのベースプロダクトとして活用する可能性があり、技術開発の余地がある。こうしたシステムは、生産された二次的燃料を補助機関に使用することにより船上で活用できる可能性がある。ただし、こうした方法で生産された二次的燃料は、排気ガス起源の不純物を内包する可能性もあり、短期的に導入可能な措置とは考えにくい。

2. 2. 1 4 炭素回収と貯蔵

産業として認知されるほどまで十分に技術開発されているわけではないが、排ガスから炭素を回収する技術は存在し、プロトタイプフォームの実証は終了している。したがって、将来的には、船舶から排出されたガスから炭素を回収することも可能になるものと考えられる。ただし、このためには適切な処理プラントと貯蔵施設を船上に設置することが必要である。

こうしたことから、技術はすでに確立しているものの、海運業界では即時実施可能なスキームとはみなされておらず、世界の商船からの CO₂ 削減に十分な効果を与えるほどの CO₂ 削減量が当該措置によって得られる見込みは短期的にはない。おそらく、2030 年から 2050 年になってこれらのオプションが実行可能な選択肢となるものと見込まれる。

2. 3 その他の対策

2. 3. 1 陸上電力供給

世界各地の港湾の中には陸上からの電源供給が可能となっているところもあるが、これは主に港湾区域の大気環境の改善を目的として整備されているもの

である。仮に、陸上からの電力供給が低炭素のものであるならば、CO₂ 排出量削減に実質的な効果がある。

船舶への陸上電力供給に関する国際標準の策定のために ISO/IEC での作業が現在進行中である。陸上電力導入にあたっては、コスト効率、高圧陸上電力供給に関する技術基準、陸上発電所からの CO₂ 排出量の増加可能性などを考慮しなければならない。

なお、電源によっては、他の場所（陸上発電所）での発電が増加することもあり、CO₂ 削減総量が限定的になる可能性もある。また、状況によっては、CO₂（及び他の大気汚染物質）の総排出量が増える可能性もある。

2. 3. 2 港湾関係事項

港湾関係事項の改善については、船舶の喫水・長さなどの制限、混雑、港での荷役作業の遅さが最大の制約要因であり、大型船舶へ対応した港湾整備、24時間操業、荷物の積み込み・積み下ろしのスピードアップ、港のスロット配置の効率化が対象となる。

2. 3. 3 荷役作業の改善（カーゴハンドリング・係留・錨泊等）

荷役作業の最適化、港湾ターミナルでのピーク拡散プログラムや高能率荷役・港湾設備の開発利用等により、港湾区域の混雑軽減、係船、係留、錨泊期間等が最適化される。荷役作業の改善により、燃料油消費と CO₂ 排出量が削減され、コスト面と環境面双方に有効な対策である。

また、港湾域内航行において、巨大な船用主機関を運転せずに、排気ガス排出量を低レベルで押さえられるタグボートを使用することも CO₂ 排出量削減に効果があるものと考えられる。

一方で、荷役作業は多くの場合、港湾側の監督下におかれている。船舶と港湾事情にマッチした最適ソリューションが追及されるべきである。

また、当該措置はあくまでボランタリー措置であり、かつコンプライアンスの確保も困難であるため、CO₂ 排出量の削減も不確実にとどまり、効果も限定的と考えられる。

2. 3. 4 ジャスト・イン・タイム

次寄港地との良好かつ早期の連絡は、港湾側のオペレーション手続きと当該アプローチとが同調しているならば、バース稼働率の向上と航海速度の最適化を促進するものである。このオペレーションの最適化には、港湾ごとの違ったハンドリングアレンジメントの変更も含まれる。港湾当局は、効率化の最大と遅延の最小限化が求められる。

具体的措置としては、より大型船舶への貨物積載及び利用率の向上、運航者同士の貨物の統合、物流チェーンの改良、航路の改良、到着時間の調整、傭船者と船主間の契約様式の変更が対象となる。

2. 3. 5 貨物プール

船腹キャパシティ活用増加のための貨物プールは CO₂ 排出量削減に大きな影響がある。シッパーは、ロジスティックス効果を最大化するために貨物量増加の重要性にかんがみ、他シッパーと協調して共同ロジスティックスシステムを構築することが望まれる。

ノルウェー西岸では、肥料会社、合金会社、アルミニウム会社及び製材会社が協力して、欧州大陸市場等への共同ロジスティックスシステムを構築している。

2. 3. 6 入港料の差別化

入港料差別化についてはすでにスウェーデンにおいて、NO_x、SO_x 削減を目的として実施されている。克服すべき課題の一つは、CO₂ インデックスのような形式で正当に簡潔でかつ公平性を有する差別化クライテリアを設定できるか否かである。港湾間の競争を阻害する恐れもあることから、同一地域のすべての港湾に同じルールを適用する必要がある。

さらに、当該措置においては、エネルギー効率の異なる船舶では入港料が差別化されるが、民間埠頭においてはこれが問題になる可能性がある。なぜなら、現在、入港料は交渉により決定されることが通例であり、特に大口顧客(荷主)にこの傾向が強いからである。

2. 3. 7 冷媒ガス漏洩率の制限

フロン等の冷媒ガスは、CO₂ ガスの地球温暖化効果に比べ、数千倍の影響があり、地球温暖化寄与度が極めて高い。ただし、モントリオール議定書の発効により、地球温暖化に対する冷媒ガスの役割は急激に減少しつつある。

船舶からの冷媒ガスの放出は相当量存在する。UNEP の試算によれば、冷媒コンテナとリーファー貨物船からの冷媒ガスの放出は世界全体の冷媒ガス放出量の 10% を占める。このように船舶からの冷媒ガスの放出が高い理由としては、塩害、高湿度、振動等の海上特有の高負荷環境下に船舶がさらされていることに加え、劣悪な整備、機器使用の長期化等によるものと考えられる。

現在、船舶からの冷媒ガスの漏洩率は比較的に高く、漏洩の削減は比較的に容易であると考えられる。具体的対策としては、船舶上の冷媒ガス漏洩に対して厳格な上限値を設定する規制を導入することが挙げられる。冷媒ガスの保守と記録の改善はコスト効率の向上ももたらすものであり、それゆえに、海運業者にとって受け入れやすく、導入もしやすい措置と考えられる。

しかしながら、こういった上限設定が国際的に受け入れられるためには、IMO のような適格な多国間機関を通じて合意形成されることが必要であり、それゆえ実現までに時間がかかる可能性もある。

また、記録データの質（と記録漏れ）の問題が生じる恐れがある。すなわち、対象船舶が、モニタリングと報告を厳格に要求しない国において、冷媒ガスを購入する可能性もあるためである。したがって、このような国も含めて、IMO のような適切な多国間機関を通じてより包括的な国際合意を形成したうえで対策を開始することが望ましい。

3. Ship Efficiency Management Plan の導入等に関する IMO での議論状況

IMO においてベスト・プラクティスの取り扱いについて議論が本格化したのは、MEPC57（2008年4月）以後である。同 MEPC57 では、同会合までに関心を有する国・機関間で進められていたコレスポンデンスグループ（CG）によって抽出された船舶からの GHG 排出量削減のための短期的措置・長期的措置について、詳細にレビューされた。その際に、可能な措置として挙げられたものは下表のとおりである。

**POSSIBLE MEASURES IDENTIFIED BY THE CORRESPONDENCE GROUP
(MEPC 57/4/5)**

SHORT-TERM MEASURES	NEXT STEPS	STAKEHOLDERS²
Improvement of specific fuel consumption (paragraph 5.2)	Oslo meeting/Best practices (BP)	Shipping Engine manufacturers Shipbuilding
Energy Efficiency Design and Management Plan/Using a Test Mode for estimating CO ₂ -index of new-build ships (5.3)	Oslo to develop separate guidelines/BP	Shipping Shipbuilding
Onshore power supply (5.4)	Oslo/BP	Shipping, ISO, port authorities, IEC
Use of wind power (5.5)	Oslo/BP	Shipping Shipbuilding
Voluntary/mandatory requirements to report CO ₂ index values, information exchange/outreach and rating performance of ships and operators (5.6)	Oslo to develop report scheme as a separate standard or guideline + BP (see chapter 5)	Shipping
Strict limitations on leakage rates of refrigerant gases (5.7)	DE and BLG to develop separate mandatory guidelines on design and operation	Shipping Shipbuilding Classification societies Suppliers Manufacturers
Vessel speed reductions (5.8)	Oslo/BP	Shipping Shipbuilding Shippers Charterers Engine manufacturers
Measures to improve traffic control, fleet management, cargo handling operations and energy efficiency (5.9)	Oslo/BP	Shipping, Shippers Port operators Charterers
Consider Black Carbon and Nitrogen Oxides in evaluation of GHG emissions from ships (5.10)	Scientific and technical review	Engine manufacturers
Hybrid mechanism: Charge-cap-and-trade/a global levy on all fuel for shipping combined with a fund to buy credits/ marine fuel charge (5.11)	Oslo/BP	Port authorities Shippers Fuel suppliers
Voluntary commitments between economic sectors and government (5.12)	Oslo	Ports Shipping

LONG-TERM MEASURES	NEXT STEPS	STAKEHOLDERS
Technical measures for ship design (Paragraph 6.2)	Correspondence Group (CG) and 2000 IMO GHG Study Update	Shipping Shipbuilding Classification societies
Use of alternative fuels (6.3)	Oslo/BP	Shipping, Shipbuilding Fuel suppliers Engine manufacturers Charterers
A Mandatory CO ₂ Design Index for new ships (6.4)	Oslo to develop text + BP (see chapter 4)	Shipping, Shipbuilding Classification societies Engine manufacturers
External verification scheme for CO ₂ operational index (6.5)	Oslo/BP (see chapter 5)	Classification societies
Unitary CO ₂ operational index limit combined with penalty for non-compliance (6.6)	CG (see chapter 5)	Classification societies
Emissions Trading Scheme (ETS) and/or Clean Development Mechanisms (CDM) (6.7)	Oslo	Shipping
Inclusion of mandatory CO ₂ element in port infrastructure charging (6.8)	CG	Port authorities Charterers

これらのうち、いくつかの措置については、船舶からの GHG 削減にとって即効性があることから、早期に導入すべきであるとの認識が醸成された。したがって、MEPC57 では、次回 MEPC においてベストプラクティスに関する委員会決議を作成することを合意した。すなわち、特定された各種措置・プラクティスについて、船主、造船所、用船者、荷主、港湾、その他関係者が海運からの GHG 削減のために如何なる方法により努力をすればよいかという観点からの委員会決議を作成することとなった。

その後、同年 6 月にオスロにおいて GHG 削減に関する中間会合が開催され、ベストプラクティスに関する議論も進められた。同会合には、事務局より、以下の 2 つの決議案が提示された。

決議案 1 : 船舶のエネルギー効率運用のためのベストプラクティスに関する決議案 (ルーティング、速度調整、最適船舶運用、メンテナンス、船隊マネジメント改善及び荷役など、用船者、船長及び航海員が GHG 削減のために影響を及ぼすことができる措置に関するもの)

決議案 2 : 新造船用の技術的事項又は既存船舶のアップグレード・メンテナンスに関する事項及び用船者、船長及び航海員のみでは実施不可能

で他者の協力が必要となるオペレーション関連事項に関する決議案

これに関し、世界的な海運業界団体である ICS は、ベストプラクティス検討の重要性を踏まえ、マネジメントツールとしてベストプラクティスをいかに活用していくかについて積極的に議論に参画・ドキュメント提出していくことを同会合で述べた。

これらの議論を受け、オスロ会合では、デンマークを議長とする小非公式会合が持たれ、上記 2 つの決議案については統合し、船舶の燃料効率化運用のためのベストプラクティスに関するガイダンス案を作成することとなった。

また、同会合では、①燃料消費に向けたプラクティスの内容は、航路の違いによっても変わってくること、②プラクティスごとに並存不可能なもの、又はトレードオフの関係にあるものも存在すること等が確認された。

この後、同年 10 月の MEPC58 において ICS は、BIMCO 等とともに、船舶効率運用計画 (Ship Efficiency Management Plan) を ISM (船舶の安全運航及び汚染防止のための国際管理コード) の一環として取り込むことを提案している。すなわち、個船ごとに、実施すべきベストプラクティスを事前にとりまとめ、実施状況を記録し、ISM の船舶検査の際に確認を受けるというものである。具体的な提案フォーマットは下表のとおりである。

4 Model Ship Efficiency Management Plan

Name of vessel:	Capacity(TEU/DWT/Pass./TLM):
Vessel type:	CO ₂ Operational Index (MEPC/Circ.471)
GRT:

Energy Saving Option Management/Operational Measures	Date of Implementation <i>Insert: Relevant date/Under consideration</i>	Energy Saving <i>Insert: unit/time</i>	Energy Saving Potential <i>Insert: unit/time</i>
Weather Routeing <i>Remarks: Software available/weather charts</i>			
Routeing (Voyage optimization) <i>Remarks: Optimized voyage planning – including consideration of current and tide optimization</i>			

Trim Optimization <i>Remarks: Each draught has an assigned best trim/trim tables/best practice subject to the ballast water management plan</i>			
Improved Usage of Engine cooling water <i>Remarks: (Generation of technical water or even drinking water), improvements</i>			
Pumps, Fans and electrical equipment <i>Remarks: Cooling/ventilation systems not always under full load/rpm control. Installation of a speed/power control unit for engine-room pumps and fans will conserve electrical energy demand where pumps are not required to be operated at their full-speed rating</i>			
Hull resistance management <i>Remarks: Performance monitoring for hull conditions and fouling</i>			
Propeller maintenance <i>Remarks: Cleaning/polishing of propeller/maintenance</i>			

Optimizing autopilot function <i>Remarks: Improved autopilot software for efficiency</i>			
Speed optimization <i>Remarks: Speed reduction may reduce emissions</i>			
Engine Performance Optimization Programme <i>Remarks: Good monitoring programme/functionality of parts/optimization of cylinder pressure</i>			
Energy Conservation Awareness training programme <i>Remarks: Onboard training for energy efficient operation</i>			
VOCON <i>Remarks: Implementation of VOCON operational procedure on board to reduce non-Methane VOC emissions</i>			
Efficient usage of an incinerator <i>Remarks: Discharge ashore/minimized application but consider how disposal will occur ashore</i>			

本提案については、他の議題との関係もあり MEPC58 では議論されていない。しかしながら一方で、今後採られる GHG 削減策を新造船・既存船の別に考えた場合、前者については設計指標（トンマイルあたりの CO₂ 排出量）の義務化を中心に議論されており、市場の太宗を占める既存船についても何らかの取組みが必要との認識も IMO 参加国、業界において強いことから、検討が進められていくものと考えられる。

I S Mコード策定の経緯

近年起こった船舶事故の多くが 人的ミス に起因していることから、主として船舶のハード面に着目し、船体向上や設備の充実により対処してきた従来の安全対策とは別に、人的要因というソフト面からの安全対策の必要性が世界的に認識され、I M O（国際海事機関）において「人的要因（Human Element）」についての検討が進められてきた。

この結果、船舶の運航管理体制に関する国際的規範を定めることにより、各海運企業の運航管理体制を確立し、船舶の安全運航の向上を図ることが決定され、1993年10月 I M O総会において I S Mコード（国際安全管理コード）として採択された。これを受け、1994年5月には「海上人命安全条約」（S O L A S条約）が改正され、旅客船・タンカー等について1998年7月1日から同コードが強制化されている。また、同コードの実施にあたり、世界的に統一のとれた実施を図るためのガイドラインが、1995年11月の I M O総会において採択されている。

I S Mコードの概要

上述のとおり、I S Mコードは、人的要因に係るソフト面での安全対策を充実・強化することにより、船舶の安全運航を実現しようとするものである。

具体的には、船舶所有者等に対し、安全管理システム（S M S）の策定・実施、陸上担当者の選任、安全運航マニュアルの作成・船舶への備え付け、緊急事態への準備・対応手続きの確立、船舶・設備の保守手続きの確立等を行わせる一方、船長に対しては、船内における安全管理制度の実施、海運企業への報告等の義務付けを行ったうえ、旗国（船の登録されている国）政府による安全管理システムの審査や、寄港国政府による検査（P S C）等により、その実効性を担保しようとするものである。

同コードは、船上の安全管理のみならずそれを支援する陸上部門の管理体制を含めた包括的な安全管理体制の確立を図ったものであり、事故防止対策として極めて有効なものであると考えられる。

附録 1 : SkySails システムの概要¹³

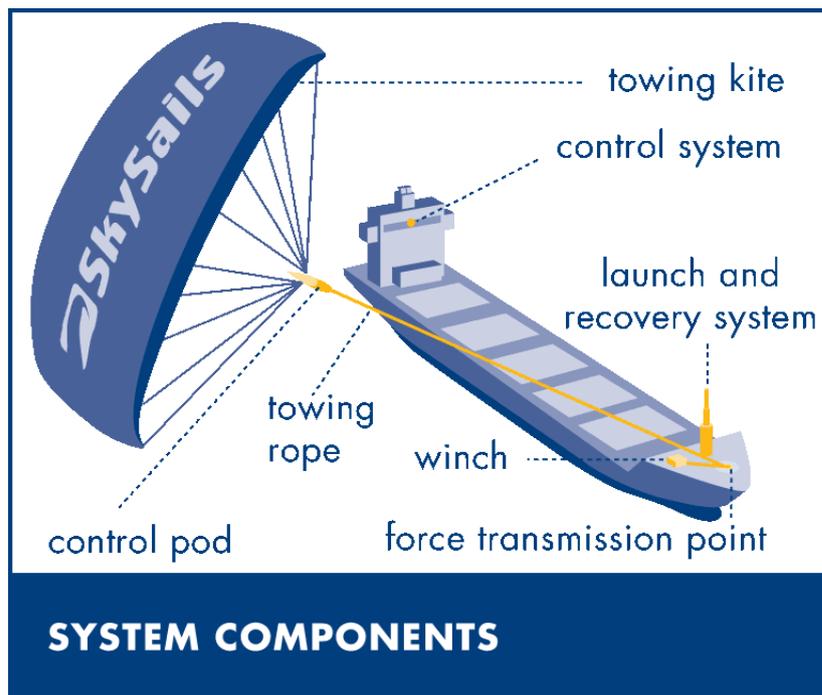


SkySails 社の SMM での出典ブース

SkySails システムの概要

- SkySails 社は 2001 年に設立、現在ハンブルクに本部を設置しており、社員は約 70 名である。
- システムは、3つの主要部分、すなわち Towing Kite (帆の部分) と Towing Rope、Towing Kite 発射・収納装置、自動操縦装置 (Control Pod、Control System (含む自動操縦ソフト)) から構成される。
- システムは Towing Kite の展開から収納まで全て船橋に備えられた Control System で制御される。展開時及び収納時にボタンを押すこと以外は全自動である。
- Towing Kite は Control Pod と一本の制御可能なベルトと複数の細いロープで繋がれておりパラセイルのように Control Pod がベルトを左右に引っ張ることにより Towing Kite の方向を数字の“8”の字を描く様に動的に変化させ最適な牽引力を得るようになっている。
- Towing Kite を常に動かすことにより (Towing Kite 自身の平均速度 70～80 km/h)、翼形状立体的に展開されている Towing Kite は揚力を発生し、これが Towing Rope を伝って船舶の推進力となる。

¹³ GHG 削減技術の 1 つとして風力を活用した推進システムである SkySails システムについて、当該システムの開発企業である SkySails 社及び当該システムを世界で始めて実運航中の船舶に搭載した海運会社 Beluga Shipping 社への調査結果 (実施日: 2008 年 9 月 25 日 (木))。

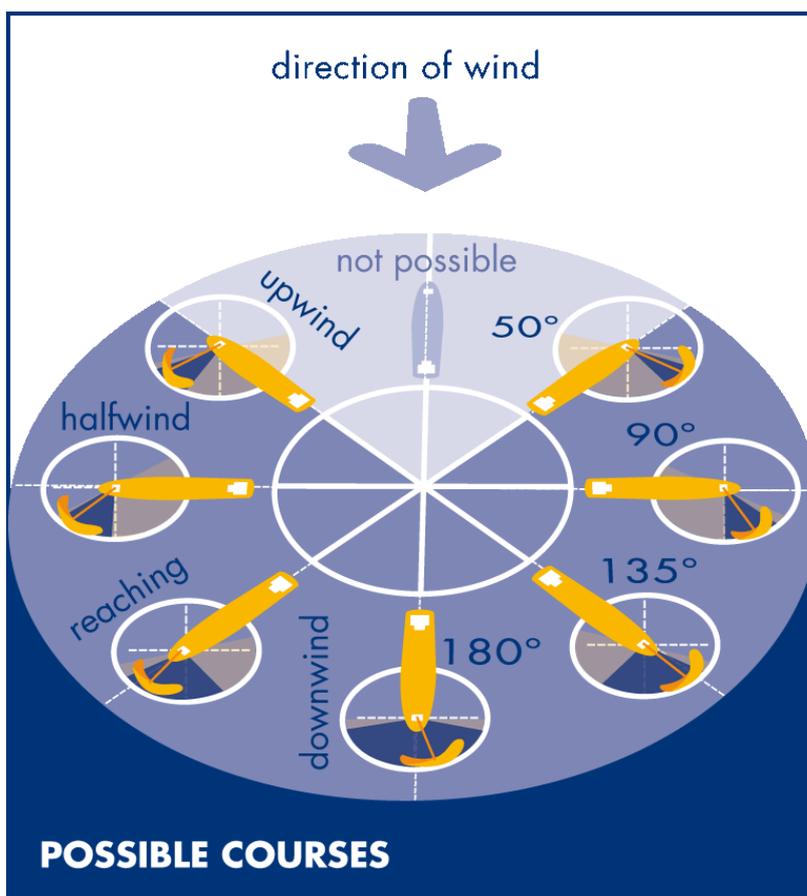


- Control Pod には Towing Kite を引っ張るゴムベルト、ベルトを動かすモーター、風速・風向き・風力等のセンサーが搭載されており、Towing Rope を伝って得られたデータは船橋の Control System に送られる。得られたデータは Control System に搭載されたソフトで計算され、再び Towing Rope を伝って命令が Control Pod に伝えられ Towing Kite をコントロールすることになる。このようなデータのやり取りにより高効率に Towing Kite は揚力を発生させることが可能となった。



Control Pod の写真

- 風向きに対して針路が50度から310度の角度の範囲での航行が可能である。現在、Beluga社の船舶に搭載している Towing Kite の展開面積は160m²であり、今後は320m²のものに拡大する予定である。なお、同社の資料によると従来の帆船例えば、マスト4本に総面積3,000m²の帆を有する船舶と同等の推進力を得るためには Towing Kite の面積が300~600m²のものを搭載することで可能とのことである。



SkySails 社の見解

① *SkySails* システムの開発コンセプト

SkySails 社の Chairman である Mr. Steph Wrage (1972 年生) が 15 年以上も前からアイデアを暖めてきたもの。パラセイリングと同様の空気力学理論に基づく技術であり、それ自体は決して新しいものではない。船舶の補助推進装置として実用化するための技術開発を行った。

② *SkySails* システムの技術開発期間

2001 年から 2006 年の 6 年間技術開発を実施した。現在は実証試験の段階である。

③ 技術開発を行う上で技術的に最も困難だったもの

本システムは打ち上げから収納まで全て全自動で行われるが、これを実現する上で特に、打ち上げ及び収納時を自動化するのが困難であった。また、効率性を高める上で風況、海象に適切に自動応答するソフト・ハード開発に苦勞をした。

④ *技術開発のための総額費用*

システムの開発には総計で 25 百万ユーロかかった。開発に当たっては、ドイツ政府及びハンブルク州からの支援並びにプライベートカンパニーからの出資があった。公的機関からの支援の割合は 10% 程度である。

⑤ *SkySails システムの稼動が可能な気象海象条件*

ビューフォート 3～8 で利用が可能だが、実証試験により 5～6 が最適であることがわかった。

⑥ *従来の風力を利用した推進システムと異なる点*

従来のものとはマストが無いのが最大の相違であり、その結果、船舶の安全性を確保しつつ、また荷物の積み下ろしの際にも邪魔にならず、さらに貨物スペースへの影響もない。

⑦ *SkySails システムを搭載するための初期コスト*

システムの大きさ等で若干の相違はあるが、例えば、Beluga 社の多目的重量物運搬船には展開面積 160 m² のシステムを搭載しており、この場合は 500,000 ユーロであった。

⑧ *SkySails システムの年間維持管理コスト*

これも同様にシステムの大きさ等で若干の相違はあるが、Beluga 社の多目的重量物運搬船に搭載されているシステムであれば、年間 65,000 ユーロかかる。

⑨ *SkySails システムの耐久期間*

システムは複数の構成部品により成り立っており、構成部品によって耐久期間が異なる。最も耐久時間が短いものは Towing Kite (帆の部分) であり使用条件にもよるが 1 年～2 年に 1 回の交換が必要であり、この交換経費は先ほどのメンテナンス費に含まれている。メンテナンスコストを下げる上で Towing Kite の強度改善が今後の課題と考えている。ちなみに、実証航海試験中に Towing Kite の Textile の強度試験を行うために、Towing Kite を動かす速度を通常速度の 70～80 km/h から徐々にあげていったところ、180 km/h に達した瞬間にカイトが破裂した。

⑩ *SkySails システムの導入による船舶運航コストの削減効果*

気象・海象条件及び燃料価格にもよるが、10～20% の経費削減につながると考えている。カイトは 15～17 ノットの運航速度の船舶に適

している。

⑪ *Beluga Shipping* 社の船舶を利用した *SkySails* システムの実証試験への公的資金補助の有無(FP7等)

WINTECC プロジェクトとしてEUに認定され補助を受けているが、これは LIFE というEUの自然環境保護プログラムの一環として位置づけられており、技術開発を対象としていない。あくまで実用段階にあるものとして実証試験に対してEUより資金補助を得ている。FP7自体はよく知らないが、それ自体とは無関係である。なお、提供された資料によると、WINTECC プロジェクトの総額は 4,115,882 ユーロでありうち EU の補助は 1,212,685 ユーロである。また、プロジェクトの期間は、2006年1月から2009年6月とされている。

Beluga Shipping 社の見解

⑫ *Beluga Shipping* 社参加の理由

同社の社長と *SkySails* 社の社長が偶然同じ会議に出席しており、議場外で *SkySails* システムのことについて両社長が話をしたのが、そもそものきっかけ。双方の社長が若くチャレンジスピリットにあふれていることも本プロジェクトに参加することになった大きな要因と思う。当社としては、高騰する燃料、環境規制の強化、海運会社の社会的責任を考慮して、*SkySails* システムが風力を利用した非常に効果的なシステムであることから本プロジェクトに参加することとした。

⑬ *SkySails* システムの操作に必要なスキル、及びその習得方法

SkySails システムを搭載する船舶に乗船予定の者には、3日間のトレーニングコースを受講させた。トレーニングコースは、基礎プログラム(理論、システムの機能、操作方法)及び実地訓練(船上訓練、シュミレーション)で構成されている。このコースで得られた Know-How 以外には本システムの操作には必要ない。その後の当社の船舶を利用した外洋航行自体がトレーニングキャンプのような位置づけになる。

⑭ *SkySails* システム操作専用乗組員乗船の必要性

SkySails システムはコンピュータ制御された全自動システムであるので、通常の乗組員以外に別の者を乗船させる必要は無い。

⑮ *SkySails* システム操作上の困難な点

現在実証試験中であり、そもそも実証実験の目的がシステムのバグ取り。対応した事項の例としては、*SkySails* システムの展開時に荒波で船舶が急激に波底まで下降した際に、展開ができなかった。これについては、Kite 展開補正システムを追加搭載することにより対応できた。もう一

つの例としては、Control Pod の反応をソフトウェアの修正により改善させた。

⑯ SkySails システムの利用による燃費削減効果

厳密な数値については現在分析中である。しかし、10～15%の燃費削減につながると考える。1日当たり約2.5トンの燃料節約であり、これは現状の燃料費から計算すると1日当たり2000ドルの削減に等しい。当社としては、このシステムの有用性を考慮して、今後、本システムを搭載した船舶を2隻就航させる予定である。実証実験に搭載されている Towing Kite の展開面積は160m²であるが、今後就航させる2隻には600m²のものを搭載する予定にしている。これにより1日当たり約10トンの燃料節約となり、費用に換算すると1日当たり約6000ドルの削減に繋がることが見込まれる。

⑰ 初期費用及びメンテナンスコスト等を勘案してのSkySails システムの採算性

当社の船舶へのイニシャルコストは約500,000ユーロであり、メンテナンスコスト、燃費削減効果等を考慮すると3-4年の償却期間となり採算性はあると考える。

⑱ SkySails システムに適した運航航路或いは船種

Towing Kite 自体が18ノットで推進するので、運航速度が16ノット以下の船舶への適用が可能と考える。全ての航路で試験航海をしていないので確かなことは言えないが、陸岸から3マイル以遠の海上で、一定以上の長さの航路であれば本システムは機能すると考える。

2. 提供された資料による関係データ

(1) SkySails システムによる標準条件化(standard conditions)での最大牽引力

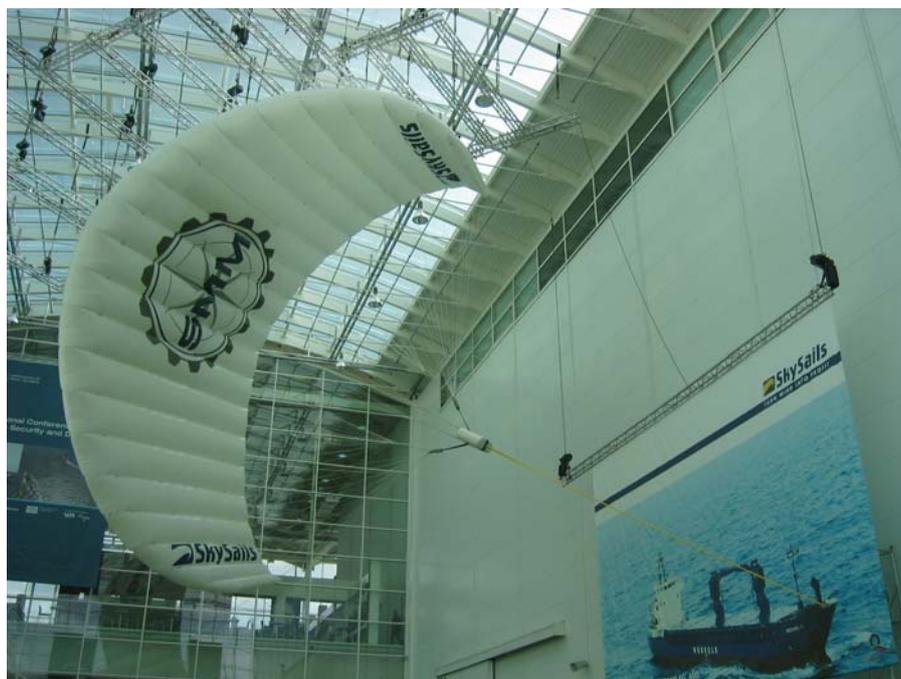
- ① 8～32トンの牽引力を実験にて確認済み
- ② 8トンの牽引力は、主機関のほぼ600～1000KWに相当
- ③ 標準条件化は以下のとおり。

変数	値
風速	12.8m/s(25knots)
真風向	130°
船速	5.1m/s(10knots)
風浪階級	2
プロペラ効率	0.6

- ④ 燃費削減効果
10～35% (風況による)

(2) 船舶データ

船名	Beluga SkySails
船種	多目的重量物運搬船
全長	133m
主機関出力	3,840 kW
定格速度	14knot
燃料価格 (トン当たり) (2008年5月1日)	370€
年間消費燃料(210日/年と仮定)	3,150t
年間燃料コスト (210日/年と仮定)	1,165,500€
航路	北大西洋
SkySails-System	SKS C 320
標準条件化での最大牽引力	16t
削減効果	19%
燃費削減	221,445€
初期コスト	750,000€
改造費	55,000€
年間維持費 (ランニングコスト)	65,000€
年間コスト削減効果	156,445€
減価償却期間	4.8年



SMM2008 メインエントランスに展示された模型

附録 2 : Greenwave プロジェクト (船舶のハード面での対策例) ¹⁴

Greenwave プロジェクトは、ギリシャのピレウスにあるギリシャ海運コミュニティが出資しているプロジェクトであり、燃料油消費を削減し、その結果排ガス削減を成し遂げることを目的としている。世界各国から各方面の専門家が集まり、ニュージーランドのオークランド大学の協力で進められている。このプロジェクトは 4 つの分野の研究開発より成り立っており、それらは DRACS, WASP, HYDRIS, PASS と呼ばれている。

1 DRACS Drag Reducing Aerodynamic Components for Shipping

DRACS は、空気力学を利用した船体の空気抵抗を軽減する研究のことである。船舶航行中には船体表面や甲板上設備に空気抵抗が発生し、それが航行速度や燃料消費に大きく関わってくる。この研究は、船体のどの部分に一番空気抵抗が発生するかを突き止め、それに対処するものである。模型を使用したニュージーランドのオークランド大学での風洞試験で、船体のどこに負の空気抵抗が発生するかを突き止め、それを省エネ付加物の試作品を開発し、コンピュータで省エネ付加物の設置前・後の数値を測定したところ、大きな改善がみられた。開発された省エネ付加物は、追加搭載が容易であり、3 年で投資金額の回収ができると見込まれている。実験段階では最高 20%の空気抵抗削減を達成し、その結果年間 50 トンの燃料削減を達成している。

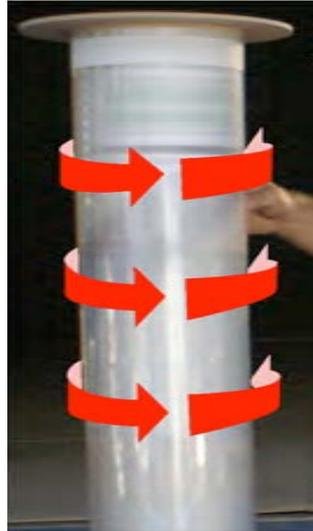
¹⁴ ロイズマリタイムアカデミー主催セミナーでの発表 (2008 年 11 月 12 日～13 日) をもとに、JSC において追加調査。



出典 Greenwave project webpage

2 WASP Wind Assisted Ship Propulsion

WASP は、風力を効果的に推進力に変えるための研究である。具体的には、1852年にグスタフ・マグナスによって発見されたグスタフ効果を使用した風力エンジンである。これは風が垂直に起立し回転するシリンダーにぶつかった時、ごく僅かな力が片方に働き、進行方向への推進力に変換されるものである。まずニュージーランドのオークランド大学で風洞試験が行われ、その後曳航水槽での抵抗試験が、英国のサウスハンプトンソレント大学で行われた。実験結果では、船舶航行に必要な推進力の 13%に当たる推進力を発生させ、年間 900 トンの燃料消費削減につながる結果を残している。



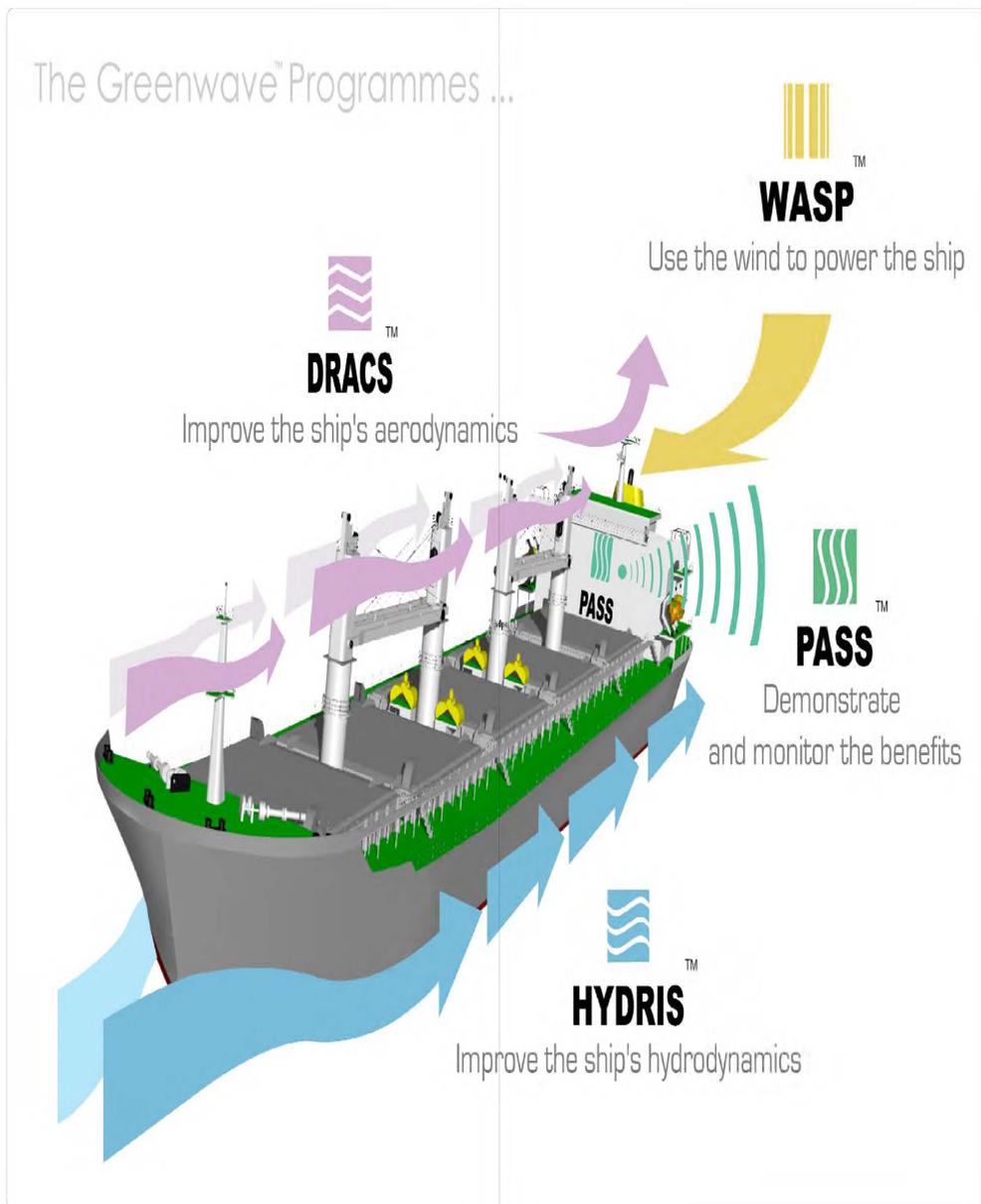
出典 Greenwave project webpage

3 HYDRIS Hydrodynamic Drag Reduction Sail Assisted Shipping

HYDRIS は、英国のサウスハンプトン・ソレント大学と共同で、いかに水面下の船体抵抗を抑えるかを目的とした研究である。船体にかかる抵抗のうち一番負荷の大きいのは、船体に対してかかる水の抵抗であり、それを抑えることができれば、膨大な量の燃料を削減することが可能となり、その結果排ガス削減にもつながるものである。今までのところ研究チームは、船体に一番水の抵抗がかかる箇所を特定し、そこに泡の層をつくり、常に水と船体の間にクッションをおいて水の粘性抵抗を削減する研究を行っている。

4 PASS Performance Analysis Software System

この PASS は運航最適化プログラムで、地上司令室と船舶をネットで接続し、PASS プログラムに様々な条件（船体サイズ、仕様、天候、航行予定距離、潮の干満など）を入力することにより、予想燃料消費量が表示される。それを元に、空気抵抗を低減する装置の最適な角度や風エンジンのシリンダー回転速度や方向の最適化、泡の層が現在の海の状況に適しているかなど Greenwave プロジェクトで開発された燃費削減技術を統合管理し、最適なパフォーマンスを引き出す役割をもっている。



Greenwave プロジェクト概念図

出典 Greenwave project webpage

附録 3：船主団体、海運企業等の取組み例

3. 1 Maersk Line の取組み¹

1. 基本認識

世界最大のコンテナ船運航会社として、引き続き、環境に配慮した会社経営をしていくことを目標にしている。中でも、CO₂ 削減については最重要課題の一つと認識している。

また、顧客である荷主等からの環境配慮、また、最終消費者からも透明性確保への要請が年々高まっており、環境インパクトを最小限化することが不可欠であると認識している。

例えば近年、以下の例のように、多くの荷主から運航経路のカーボン・フットプリントの計算をはじめとしたさまざまな環境に関する取組みを要請されており、対応してきている。

- **IKEA**（スウェーデンの家具会社）：**IKEA** へのサービス提供者は **IKEA** 独自の環境・社会・労働基準に準拠することが要求されている。2008 年 3 月、**Maersk Line** は世界の海運会社で始めて当該純準拠の承認を受けている。
- **TESCO**（英国の小売業）：同社は、7 万商品全品にカーボン・フットプリント・ラベルを貼付予定。

海運は、世界の CO₂ 排出量の 4% を占めるに過ぎない一方で、世界中の商品・物品のうち 90% を輸送するきわめてエネルギー効率の高い産業であると認識している。

また、海運は、航空輸送の 70 倍、また自動車輸送の 5 倍のエネルギー効率を果たしている。

また、世界の手コンテナ船運航会社（13 社）との比較においても、**Maersk Line** は、世界の平均以下の単位あたり CO₂ 排出量を達成している。

¹ インタビュー等調査結果（2009 年 1 月調査実施）

しかしながら、このような現状にも Maersk Line として満足しているわけではない。同社所有のコンテナ船は 2002 年から 2007 年の 5 年間にかけて、8% 平均の CO₂ 排出量の削減を果たしているが、この努力を一層強化し、2007 年から 2012 年にかけてはさらに 10% の削減を目標としている。

対策の一つとして挙げられるのは、大型船型への更新を進めていくこと。例えば、同社の最大船型のコンテナ船は 11,000TEU 積みであるが、同コンテナ船の TEU/km 当たりの CO₂ 排出量は 2,500TEU 積みコンテナ船のおよそ半分程度でしかない。

2. 環境インパクトを低減するための主なイニシアティブ

- ▶ 廃熱再利用システム：主機関の排ガスからのエネルギーを回収し、推進及び電力供給に再利用可能。当該システムの採用により最大 10% の燃料油消費の削減が可能になっている。2008 年現在、同社所有の船舶の 20 隻以上が当該システムを採用している。また、新造船 38 隻についてはすべて、当該システムを標準仕様として採用する予定。コストは、5-15 百万米ドル（レトロフィットのものほど高コストになる。）。
- ▶ 電子制御式船用機関：電子制御式を採用することによって、燃料噴射・排気弁の調整が電氣的に可能となり、燃料油消費量を削減することを通じて、0.5% の CO₂ 排出量削減が可能。
- ▶ 減速航行：ある航路での 12 隻の商船隊（20.5 ノット運航）を 19 ノットに減速した上でサービスレベル維持のために 13 隻に増配船した場合であっても、航路全体での CO₂ 排出量は 16% 削減を達成。
- ▶ 航海効率システム：すべての Maersk Line 所有船舶に設置。当該システムは、同一航路の先着船舶の航海データ、最新の海象データ等を活用し、最適航海速力を算出するもの。当該システムの活用により、ジャスト・イン・タイムを達成する一方で、CO₂ 排出量の 1% 削減も可能となっている。
- ▶ QUEST システム：リーファーコンテナの冷蔵装置は従来、一定温度を継続させるのみであったため、エネルギー消費が大きかった。冷蔵庫同様に庫内の温度を一定に保つ範囲で冷却温度を変動させる QUEST ソフトウェアを設置することにより、リーファー冷却用エネルギーが半分にまで削減可能。2008 年末までに Maersk Line 所有の全リーファーコンテナに同システムを設置する予定であり、これにより CO₂ 年間排出量を

325,000 トン削減。

- 船体・プロペラ清掃：水中クリーニングも積極的に取り組むことにより、船速は0.2-0.5%上昇するとともに燃料油消費量は1%まで削減。
- 最適トリム：最適トリムは、速度と乾舷のコンビネーションに依存する。Maersk Line は、水槽実験を繰り返すことを通じて、各船型ごとの最適速度・乾舷・トリムを明らかにした。最適トリムの採用により1%のCO₂削減が期待される。

3. カーボン・フットプリント計算に関する取組み

上述したとおり、荷主や顧客の環境保護に関する認識の高まりに応じて、近年、荷主、顧客は、輸送オーダーの引き合い時に、輸送経路でどれだけのCO₂が排出されたか明示する要請が増えてきている。すなわち、現在、どの輸送モードを採用するか決定する際には、単にコスト比較だけではなく、CO₂排出量も重要なファクターになっていると考えている。

このため、Maersk Line では、顧客のニーズに応えるため、カーボン・フットプリント計算システムを開発し、計算結果を顧客に提供している。

このような要請は世界中の企業から寄せられており、規模で言えば中小企業が多い（大企業は自社で計算可能な体制を採用している。）。年間100社規模の依頼があり、営業ベースで対応してきている。

同システムの活用により、Maersk Line のコンテナ船のCO₂排出量が他船主のコンテナ船より環境へのインパクトが低いことが証明され、結果として海運からのCO₂削減が一層進むことを期待している。

(Maersk Line のプレゼンテーション資料)



1



Our standpoint

"The environment is an important element of our business. At Maersk Line, we work towards developing solutions that meet future standards and exceed existing ones.

We are committed to the continuous improvement of our environmental performance while increasing the transparency and understanding of our CO₂ emissions."

Eivind Kolding, CEO Maersk Line



2

Our customers increasingly focus on environmental impact

- > Public awareness is growing
- > End-consumers demand action and transparency
- > Focus on minimising environmental impact is a pre-requisite today



3

Our customers increasingly focus on environmental impact

IKEA®

“Suppliers are also obligated to continuously strive towards minimising the environmental impact of their operations”

WAL*MART®

“One of our biggest opportunities – for the future of our business and of the world – is to become a more sustainable company”

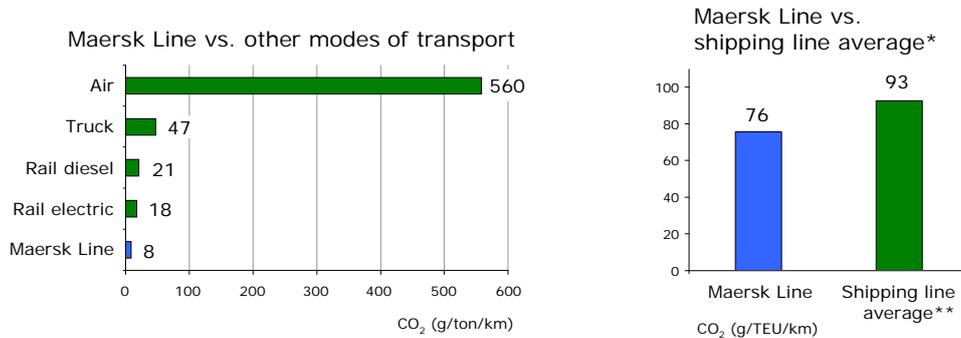
TESCO plc

“We believe in sustainable growth - it is responsible, it is what our customers want and it makes good business sense. If we take decisions that are unsustainable, we may harm the world we all live in. Similarly, if we fail to minimise our environmental impacts, we will be inefficient and increase our costs”

4

The most energy efficient way of transporting goods

> How to reduce CO₂ by shipping with Maersk Line



> Maersk Line's CO₂ emissions are by far lower than the container shipping industry average: 76 as opposed to 93 grams/TEU/km

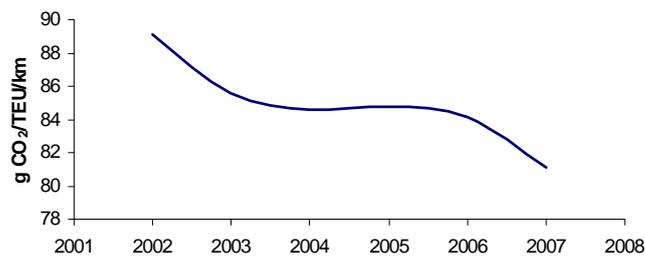
* As per CCWG
** Including Maersk Line

5

Maersk Line significantly reduced CO₂ emissions

> 8% reduction in fuel consumption and CO₂ emissions in 5 years

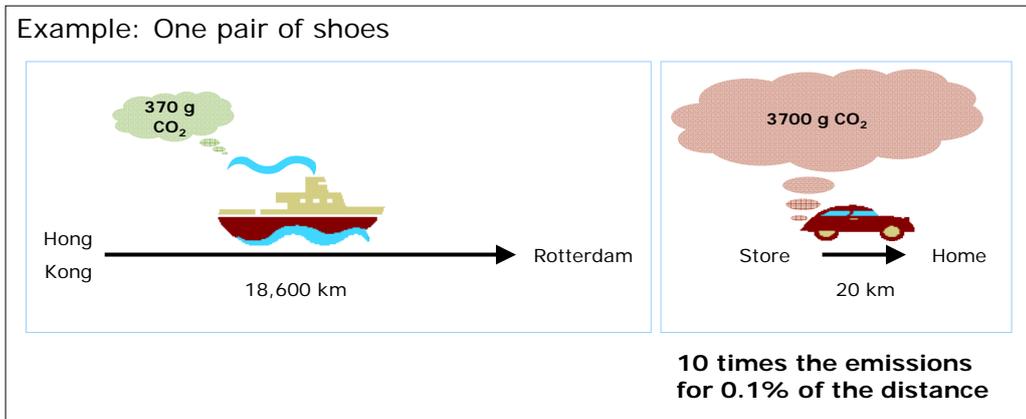
Average air emissions from AP. Moller - Maersk owned container vessels 2002-2007



> Our goal is to reduce the CO₂ emissions from Maersk Line owned vessels an additional 10% per TEU/km from 2007 to 2012

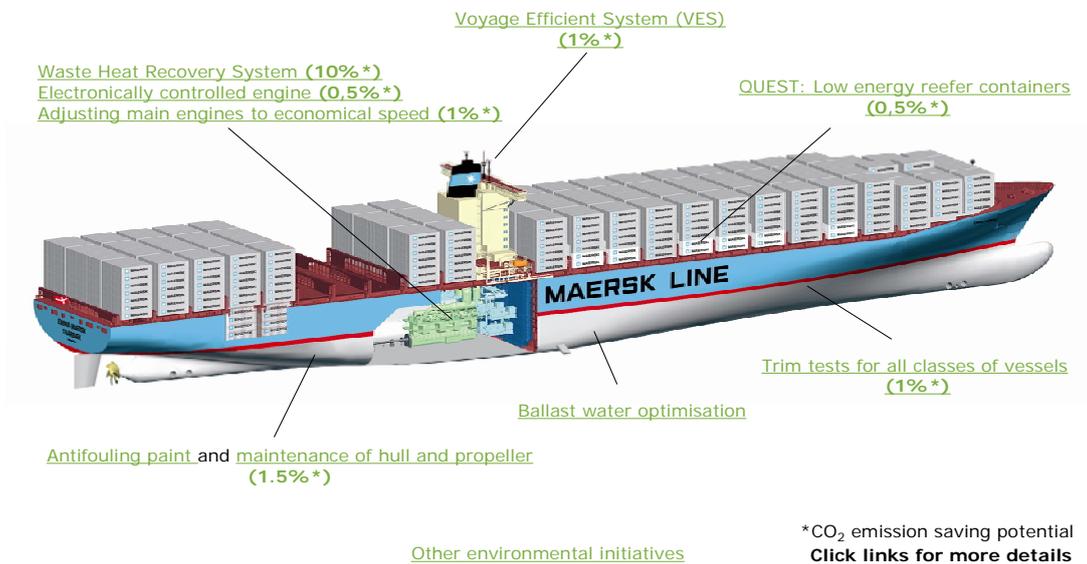
6

The carbon footprint of shipping is less than other modes of transport

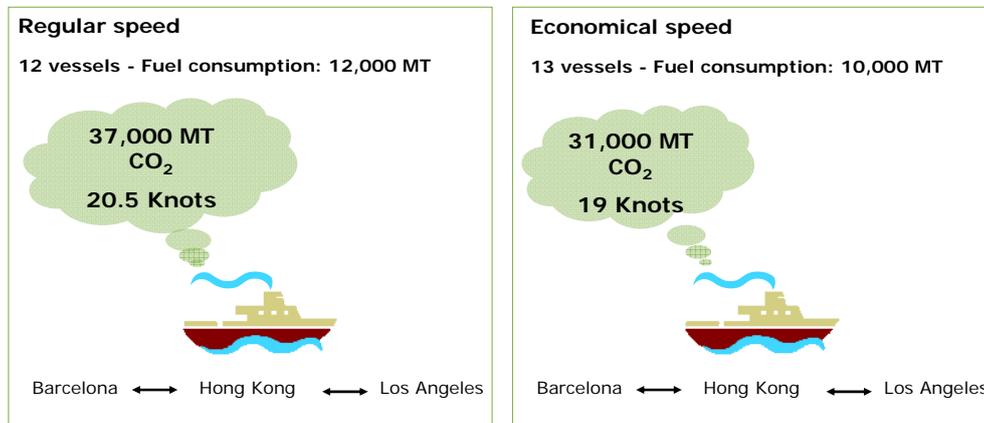


Local production may not be the most environmentally friendly

Main initiatives to minimise environmental impact



Economical speed – significantly reducing cost and environmental impact



16% savings on CO₂

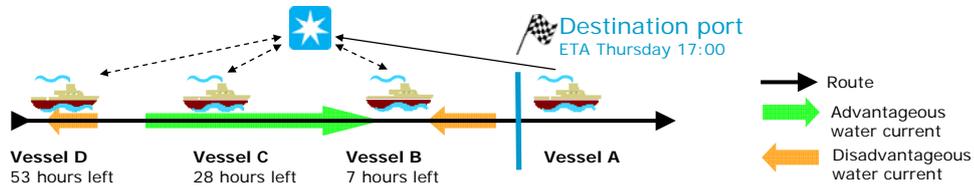
Fuel consumption increases exponentially with speed

Carbon Footprint Calculator for our customers

- > We can calculate CO₂ emissions for our customers
 - > For a given port-to-port ocean corridor and inland haulage
- > The carbon footprint enables our customers to
 - > Identify opportunities for optimisation in their supply chain
 - > Provide their end consumers with CO₂ details for transportation of a specific product



Voyage Efficiency System (VES) – which speed is optimal?



- > Traditionally
 - > Vessel speed is only calculated on distance and time left
 - > Vessels need to constantly adjust their speed to water currents – and burn fuel unnecessarily at high speed
- > VES
 - > Calculates the optimal average speed based on data of vessels which already arrived at the next port
 - > Potentially reduces fuel consumption and air emissions by around 1%

Go back to

17

Waste Heat Recovery System (WHRS)

- > WHRS captures heat from the exhaust gas and uses it to
 - > Provide energy useful for propulsion as well as onboard electricity
 - > Consume less fuel and generate less emissions with the same power
- > Fuel consumption is reduced by approximately 10%



Go back to



18

Electronically controlled engine

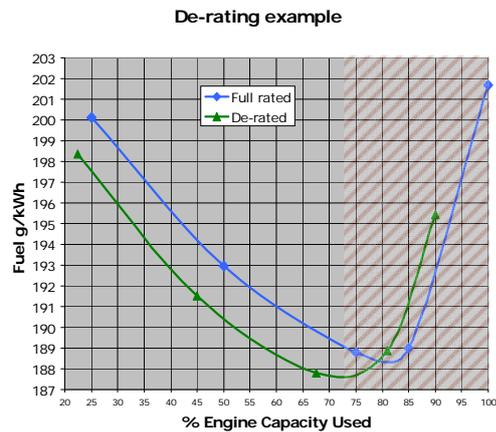
- > Traditional engines have camshafts and are "mechanically" controlled
- > New Maersk Line vessels control fuel injection and exhaust valves electronically
 - > Online adjustment of running engine
 - > Reduction of emissions and fuel consumption



Go back to 

Adjusting main engines to economical speed

- > Traditionally, vessels are optimised for high speed
- > Lower economical speed allows for de-rating of the main engine
- > The maximum engine power is restricted
 - > Significant lower fuel consumption at medium power



Go back to 

QUEST – software for low energy use in reefer containers

- > Maintaining a constant cargo temperature in reefers
 - > Traditionally: By constant cooling, resulting in large energy loss
 - > With QUEST: By fluctuating cooling similar to a refrigerator, managed by a sophisticated temperature control software
- > QUEST
 - > Ensures equal cargo temperature consistency
 - > Will be implemented in all 200,000 Maersk Line reefer containers by end of 2008
 - > Reduces CO₂ emissions by 325,000 tonnes annually



Go back to 

21

Hull and propeller polish

- > In order to reduce the draught we polish the hull and propeller to keep it free from barnacles, algae, and mollusks
- > Gain in speed: 0.2 – 0.5%
- > Savings on fuel consumption: up to 1%
- > Underwater polishing of a propeller can be done in 4-6 hours



Go back to 

23

Trim tests

- > The optimal trim of a vessel depends on its speed and draught
- > Maersk Line carried out experiments to identify the optimal trim at different speeds and draughts



Examples of model experiments



Go back to



3. 2 TEEKAY SHIPPING の取組み¹

1. 基本的な認識

ハード・ソフト対策に加え、財政的・競争的インセンティブ（排出税、排出権取引又は他のマーケットベースのメカニズム）が、CO₂ 排出削減の長期的目標の達成のためには、不可欠と考えている。

実際、様々なソフト・ハード対策が存在するが、どの措置を採るかについては、この企業の事情等によって異なってくるものと認識している。

2. ハード関係の取組みとその想定効果

- プロペラ清掃：効率向上のための定期的水中清掃。0.5%の削減効果。
- 軸発電機：主機関に軸発電機を設置することにより2%の削減効果。
- 船体抵抗マネジメント：定期かつ必要に応じた水中・入居中船体清掃により1-2%の削減効果。
- 船用機関パフォーマンス最適化プログラム：シリンダー圧、ターボチャージャー、空冷装置、燃料油ポンプ・燃料噴射等のモニタリング・最適化等のパフォーマンスモニタリング並びに代替品の適時交換のための定期的評価実施により1-2%の削減効果。
- 主機シリンダー油・潤滑油の最適化システム：燃料油品質確保等のためのエンジンメーカー推奨に準拠した特定のシリンダー油の計画的消費削減により0.2%の削減効果。
- シリコンプロペラコーティング：プロペラ清掃の代替として、プロペラ流体特性等の向上のためのシリコンベースコーティングの採用。1%の削減効果。
- 高速船舶船体のシリコン防汚：2-3%の削減効果。
- プロペラボスキャップ：ハブ渦発生によるエネルギー損失を解消するためのプロペラボスキャップの設置。モデルテストにより、4-5%の削減効果が明らか。
- スライドタイプ燃料弁の採用：0.5%の削減効果。PM 粒子の現象等にも効果。
- トリム最適化：船体要目、プロペラピッチ及び主機関出力により、最適トリムを算出するソフトウェアの使用。0.5%の削減効果。

3. ソフト関係の取組みとその想定効果

- 航海速度最適化：気象・海象条件と市場ファクター(用船契約条件)等を考慮した航海速度の最適化。1%の削減効果。

¹ 2008年11月の書面調査結果。

- ▶ ウェザー・ルーティング：強風・高波等の荒天条件を回避するとともに潮流を活用することにより船舶パフォーマンスを改善させることができる最適ルートプランニングの選定。

4. 短期・中長期的に GHG 削減に効果的な対策

短期的には、ソフト関係対策の削減効果が高いものと考えている。なぜなら、船舶の長い寿命を踏まえると、新技術の適用にはきわめて長期間を要するためである。

一方、中長期的観点からどの対策が最も効果が高いかについては、今後様々なハード・ソフト対策も出現してくるであろうから、明示することは困難である。

(TEEKAY SHIPPING のプレゼンテーション資料)



Vessel Performance – A Snapshot



2 | www.teekay.com



OBJECTIVES

- ▶ Optimize fuel oil consumption
- ▶ Reduce Green House Gas (GHG) emissions
- ▶ Maintain speed/vessel availability
- ▶ Improve customer satisfaction

3 | www.teekay.com



OVERVIEW OF VESSEL PERFORMANCE PROGRAM

An optimization program with focus on:

- ▶ **Engine Performance Optimization**
- ▶ **Hull & propeller Optimization**
- ▶ **Voyage Optimization**
- ▶ **Performance Reporting & Review**

4 | www.teekay.com



Engine Performance Optimization

What is the goal?

Optimize performance of critical parameters within engine maker's recommended range.

What are the benefits?

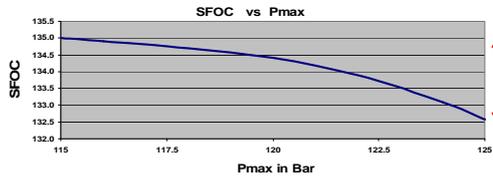
- Optimized fuel oil consumption leading to lower emissions
- Improved engine cleanliness
- Reduced operating costs

5 | www.teekay.com



Examples of Optimisation

Effect on Specific Fuel Oil Cons. by monitoring a critical M/E parameter



Source: MAN B&W

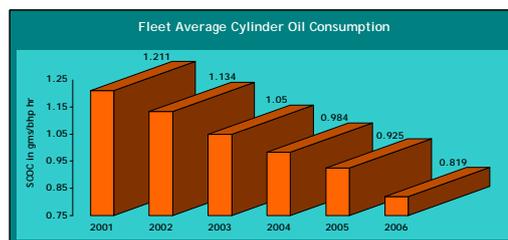
SFOC units in gms/bhp hr

10 bar increase in Pressure = 1.8% drop in Specific Fuel Consumption

Optimization for cleaner engines and reduced deposits

The fleet Cylinder oil consumption was optimised to bring in line with engine builders' recommendations.

SCOC units in gms/bhp hr



6 | www.teekay.com



Hull & Propeller Optimization

What is the goal?

Minimize hull resistance and degradation of propeller efficiency through timely maintenance.

What are the benefits?

- ▶ Optimized fuel oil consumption
- ▶ Optimized speed
- ▶ Well-maintained hull and propeller surfaces

7 | www.teekay.com



Examples of Optimization



Example of a vessel with silicone coated propeller and rudder to improve performance and avoid fouling

Model testing benefits establishment of improved guidelines on vessels draft and trim condition for optimization of fuel consumption and speed



8 | www.teekay.com



Examples of Alternatives

Propellers

- ▶ Propeller Boss Cap Fin (PBCF)
Reduces stern vibrations, propeller noise and rudder erosion.
(Estimated 5% fuel savings or 2% increase in speed)



- ▶ Stone Manganese high efficiency propeller
Modern blade profile with low drag properties (Est. 4% reduction)

9 | www.teekay.com



Voyage Optimization

What is the goal?

Optimise route planning through effective use of bridge equipment, weather routing and trim optimization tool.

What are the benefits?

- ▶ Reduced fuel oil consumption
- ▶ Increased speed
- ▶ Increased safety

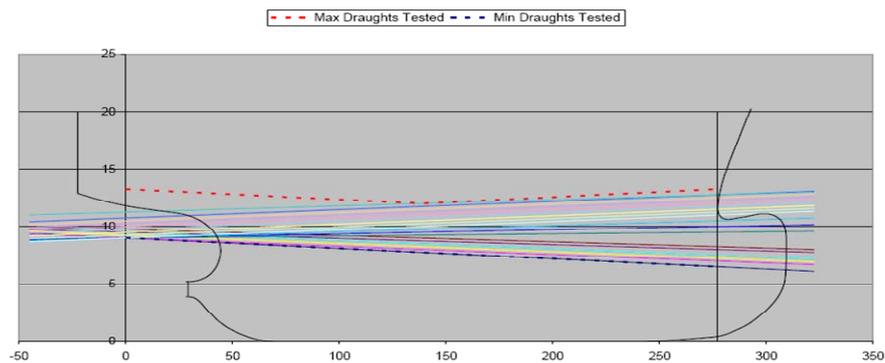
10 | www.teekay.com



Examples of Optimisation

▶ Effect of vessel trim on performance

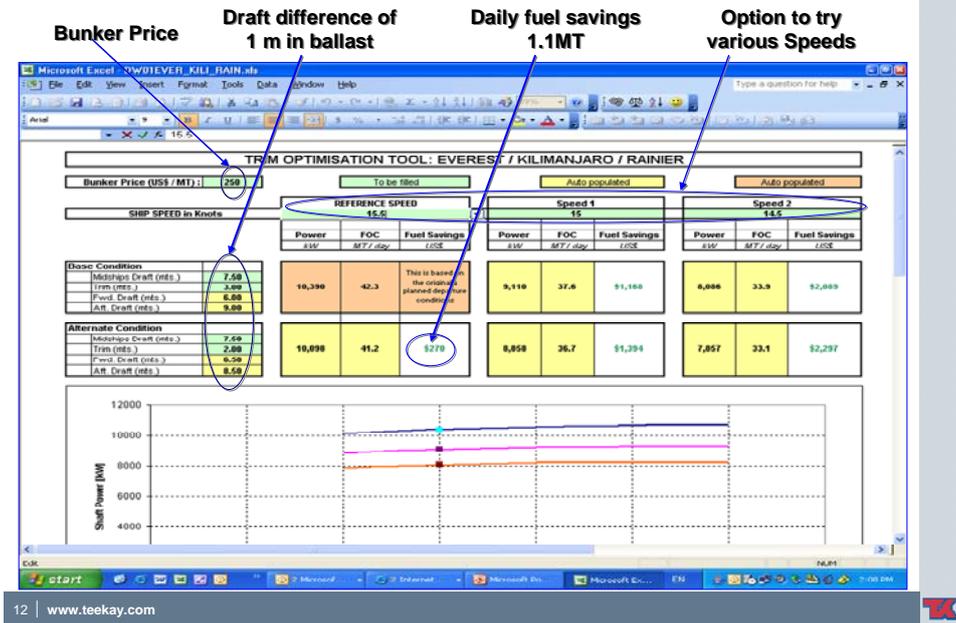
Based on our estimates there is a potential 1% fuel saving in operating vessels in optimal ballast conditions. Additionally potential for savings in laden conditions



11 | www.teekay.com



Trim Optimization Tool



Trim Optimization Tool

Success Stories:

In Leyte Spirit's case, by optimizing their trim the vessel reported an estimated savings of US \$6,760 during a 10-day passage. Leyte Spirit was loaded at 9.7m (midship draft) and would have normally sailed with a 1.4m trim on the stern. However, using the TOT it was found sailing the vessel on an even keel would optimize consumption. Ballast was used forward to maintain even keel throughout the voyage.

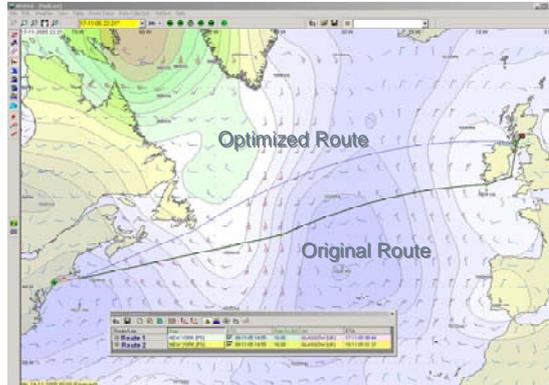
It is interesting that Captain George's experience regarding trimming vessels has been echoed by other Masters in Teekay's fleet since the rollout of the *Trim Optimization Tool* early last month. As previously reported in our November 2005 Newsletter, Captain Castellano of Gotland Spirit had already reported savings of US \$4,515 using his vessel-specific *Trim Optimization Tool* on a laden 15-day passage from the Suez Canal to Tanjung Pelapas. He found that trimming his vessel 1m by the head in this condition was saving 1.2 MT/day on fuel consumption. Thus, Captain Castellano's findings on Gotland Spirit reinforce Captain George's practice.

Examples of Optimisation

► On-board Route Optimization Tool

Optimize routes for:

- Minimum en-route time
- Fixed ETA
- No-go zones
- Weather avoidance constraints
- Maximum fuel economy



14 | www.teekay.com



Performance Reporting & Review

What is the goal?

Optimize commercial vessel operations through

- Optimum service speed
- Timing of maintenance activities
- Reflecting market conditions and/or contract obligations

What are the benefits?

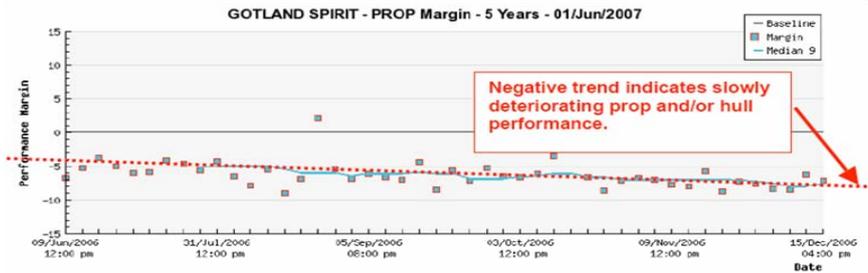
- Cost savings and revenue gains
- Early and accurate detection of degradation in performance

15 | www.teekay.com



Performance Reporting & Review

Vessel Name:	GOTLAND SPIRIT	Hull Scrub:	15/Jun/2005
Build Date:	01/Jun/1995	Prop Polish:	15/Jun/2005
Drydock:	15/Jun/2005	Prop Coated:	



REPORT LEGEND

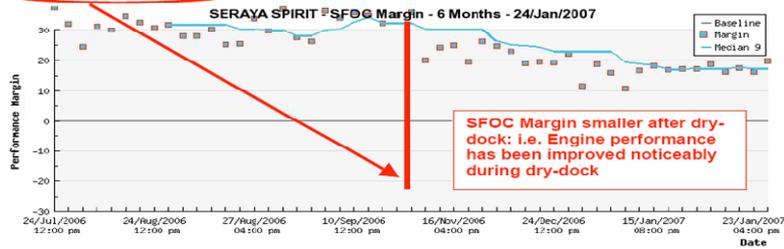
	ENGINE	HULL	PROPELLER	
Power Margin		●	●	Continuing POSITIVE trend indicates performance drop & requires investigation
RPM Margin		●	●	Continuing POSITIVE trend indicates performance drop & requires investigation
Propeller Margin		●	●	Continuing NEGATIVE trend indicates performance drop & requires investigation
SFOC Margin	●			Continuing POSITIVE trend indicates performance drop & requires investigation
FOC Margin	●	●	●	Continuing POSITIVE trend indicates performance drop & requires investigation

16 | www.teekay.com

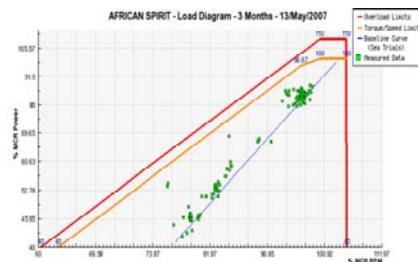


Performance Reporting & Review

Vessel Name:	SERAYA SPIRIT	Hull Scrub:	23/Oct/2006
Build Date:	04/May/1992	Prop Polish:	23/Oct/2006
Drydock:	23/Oct/2005	Prop Coated:	



A Load Diagram representing the typical operating conditions under loaded and ballast conditions.



17 | www.teekay.com



3. 3 INTERTANKO (INTERTANKO 推奨のベストプラクティス集のアウトライン)

Best Practice on Tanker Emissions and Energy Efficiency

*The following recommended **Best Practice on Tanker Emissions and Energy Efficiency** is based on experience gained from members of INTERTANKO's ISTEK and Environmental Committee. This experience reflects actual on board implementation of the efficiency measures on existing tankers. It should be recognised that the information is from a broad spectrum of tanker types and sizes and as such due consideration to the applicability and effectiveness of each recommended measure will have to be given dependant on a company's particular fleet characteristics. Furthermore, the variation in operational parameters and fleet characteristics will yield varying savings in energy expenditure.*

It is suggested that each measure can be implemented directly by the operating company. However, the importance of charterer involvement as well as other external parties can not be underestimated when implementing, measuring and monitoring a tanker's efficiency over time.

*Detailed definitions of each of the measures suggested in this Best Practice are provided in **INTERTANKO's Guide for a Tanker Efficiency and Emission Management Plan**. The Management Plan relates directly to the six measures and provides detailed guidance to tanker operators on how the measures may be implemented based on current experience gained.*

1. Programme for Measuring and Monitoring Ship Efficiency

2. Voyage Optimization Programme

- i. Speed selection optimization
- ii. Optimised route planning
- iii. Trim Optimization

3. Propulsion Resistance Management Programme

- i. Hull Resistance
- ii. Propeller Resistance

4. Machinery Optimisation Programme

- i. Main Engine monitoring and optimisation
- ii. Optimisation of lubrication as well as other machinery and equipment

5. Cargo Handling Optimization

- i. Cargo vapours control procedure on all crude tankers
- ii. Cargo temperature control optimization

6. Energy Conservation Awareness Plan

- i. On board and on shore training and familiarisation of company's efficiency programme

Accommodation-specific energy conservation programme

3. 4 欧州船主協会 (ECSA) (ECSA Position Paper より抜粋)

Technical and Operational Options

These options have a direct impact on the emissions per unit of transport work.

- > **Increased efficiency of the power plant** - Over the last decades there has been continuous development in producing more efficient engines. There are several existing options not fully utilized due to their high cost and/or complexity as well as novel ideas not fully explored.
- > **Optimisation of hull and propeller design** - Also in these areas, extensive R&D has resulted in ever more efficient hull and propeller systems. It is therefore believed that the remaining potential is diminishing, but there remains room for improvement.
- > **Energy optimal fleet operation** - Significant reductions in fuel consumption, and thus CO₂ emissions, in relation to the transport work produced can in theory be achieved by maximising the utilization of the cargo carrying capacity on all voyages and by improving logistics. However, there has always been a focus by shipping companies on this aspect in order to obtain maximum exploitation of the tonnage, and the scope for further improvement is therefore probably limited.
- > While **reduction of ship speeds** will reduce the CO₂ emissions per unit of transport work, the feasibility of the option will largely depend on the type of shipping involved; for the bulk sector, for example, the option has considerable potential which should be explored further, while for the container trades in particular it presents significant difficulties. In the latter regard, it would require the consent of major customers as they would in general have to wait longer to receive their goods; there would also be a requirement to hold larger inventories in some cases. Shippers seek to maintain supply continuity and time of delivery is often an essential competitive parameter. In relation to ferries, travelling time for passengers and goods is a key issue in the extensive competition with other transport modes; in addition, they should be considered as a bridge between areas forming essential and reliable infrastructure. It should also be noted that reducing ship speed will reduce the transport capacity, and

in order to maintain the same transport capacity more crews will have to be recruited – which is already problematic today - and more ships may have to be built which will require additional use of energy in the production process and thus more CO₂ emissions. Further analysis will therefore be needed on the pros and cons of this option.

> **Better waste heat utilization** – The exhaust gas and cooling water from ships contains substantial energy and by better utilizing this energy the overall thermal efficiency of the engine system can be improved, in many cases by 5-10%, thus reducing the overall fuel consumption.

> **Alternative fuels and means of energy** - There are several possibilities for replacement by energy sources which reduce the dependence on fossil fuel:

- **Bio fuel** seems doubtful because of the limited capacity and ethical problems, but is an environmentally sound solution when looked at from the point of view of an individual ship. Bio fuel in the form of bio diesel works well in ship engines and reduces the emission of CO₂ considerably. If bio diesel is used 100% then the CO₂ emissions would no doubt be reduced significantly. Bio diesel can be blended with the normal fuel and, for example, 5% bio diesel in the fuel can result in a CO₂ reduction of about 4%. An additional positive factor is that bio diesel does not contain sulphur. A clear disadvantage is the very high price as well as the risk that it will not be available in usable amounts due to the likely high demand by land transport, notably cars.
- **Nuclear power**, whilst having a proven track in military vessels, requires a large critical mass and involves significant political problems as well as complex legal issues e.g. the relation to the International Atomic Energy Agency. Crew competency is also likely to be a significant barrier to the commercial application of nuclear power, with the controversial issue of disposal of nuclear waste being a further complicating factor.
- **Gas (LNG)** will in the short term be able to reduce the CO₂ emission, for example, of auxiliary engines, and also of the main engine for shorter distances. While this type of fuel takes up a lot of space on board and is less relevant for ocean going ships, it

could be of benefit to short sea shipping, e.g. ferries. There are large reserves of gas, making it one of the fuels for the future.

- **Fuel cells** are a possibility in the long term but currently they are not energy efficient.
- **Wind and Solar energy** could become a supplementary source on selected routes but are not considered realistic options for the foreseeable future.