2009 年度研究開発の成果報告

3. 船舶からの地球温暖化ガス排出削減に対する NK の取組み

船舶からの地球温暖化ガス排出削減に対するNKの取組み

― EEOI鑑定サービスの実施に向けた取組み ―

1. はじめに

近年，地球温暖化問題に対する社会的関心が急速に高まっており，省エネやCO_2排出削減に関する話題が各方面で聞かれるようになった。国際海運の分野でも，地球温暖化対策に対する要求が高まりつつあり，国際海事機関(IMO: International Maritime Organization)において地球温暖化ガス排出削減に向けた審議が継続して行われている。

本稿では，IMOにおけるこれまでの議論について概要を説明すると共に，EEOI鑑定サービスの実施に向けた本会の取組み，及び業界との共同研究開発プロジェクトの概要を紹介する。

2. IMOにおける審議動向

2.1 地球温暖化ガス排出削減手法に関するこれまでの議論

IMOにおける地球温暖化ガス排出削減に関する議論は海洋環境保護委員会(MEPC: Marine Environmental Protection Committee)のもとで行われている。本節では，これまでにMEPCの場で議論されてきた地球温暖化ガス排出削減手法とそれを促進するためのツールについてまず整理しておく。なお，船舶から排出される地球温暖化ガスの大部分はCO_2が占めていることから，国際海運においては削減対象をCO_2に限定しており，本稿においても「地球温暖化ガス」はCO_2と同義として取り扱うことにする。

船舶からのCO_2排出は，使用される燃料の種類に応じて，船上で実際に燃焼された燃料の量に比例するため，これを削減するためには船舶の活動量（輸送量）を抑制することにより燃料の使用量を減らすか，船舶のエネルギー効率（活動量当たりの燃料消費量）を改善することが必要になる。船舶の活動量は途上国を含む世界全体の経済成長と密接に関係するため，CO_2排出削減と経済発展を両立する観点から，IMOにおいては船舶のエネルギー効率を改善することに主眼をおいて審議が行われている。

IMOにおけるこれまでの議論では，CO_2排出削減手法として，以下に詳述する「技術的手法」「運航的手法」及び「経済的手法」が検討されている。ここで，技術的手法と運航的手法は共に船舶のエネルギー効率を改善するための直接的な手段であり，前者は船舶のハードウェア的改良によって，後者は船舶の運航上の工夫や改善によって実行されるものである。これに対し，経済的手法は直接的にCO_2排出削減を行うための手法ではなく，前述の技術的手法や運航的手法の実施を推進する経済的なインセンティブを与えるための手法といえる。

2.1.1 技術的手法

技術的手法は，前述の通り船舶のハードウェア的改良によってエネルギー効率の改善を目指すものである。技術的手法の具体例としては，例えば以下が挙げられる。

- 船体形状の改良（推進抵抗の軽減）

- プロペラの改良（推進効率の改善）
- 船体省エネ付加物
- 船体大型化による積載量の増加
- 廃熱回収エネルギーの利用
- 再生可能エネルギー（風力や太陽光等）の利用

技術的手法を評価するための指標として，IMO ではエネルギー効率設計指標(EEDI: Energy Efficiency Design Index)が提案されている。EEDI は新造船のエネルギー効率を表すスペックとしての指標であり，以下の算式により求められる。

$$EEDI(\mathrm{g/ton\,mile}) = \frac{\mathrm{CO_2}\text{換算係数} \times \text{燃料消費率}(\mathrm{g/kWh}) \times \text{機関出力}(\mathrm{kW})}{Capacity(\mathrm{ton}) \times \text{速力}(\mathrm{mile/h})}$$

上式から分かるように，EEDI は設計値をパラメータとして算出される値で，船舶からの CO_2 排出率のポテンシャルを表している。EEDI については，将来的に新造船に対して IMO の基準値（船種毎に DWT 応じて設定）を満足することが要求される見込みとなっている。

2.1.2　運航的手法

運航的手法は，前述の通り船舶の運航上の工夫や改善によってエネルギー効率の改善を目指すものである。一口に運航的手法といっても，個船単位で対応できることから船舶管理会社単独での努力範囲を超えて関係者との連携が必要なものまで様々であるが，その具体例としては，例えば以下が挙げられる。

- 個船や船隊の運航計画の最適化
- 減速運転
- ウェザールーティング
- ジャストインタイム入港
- 船体メンテナンス（例えば船体洗浄による推進抵抗の軽減）
- 機関メンテナンス

運航的手法の実施を促進するためのツールとして，IMO では以下に示すエネルギー効率運航指標(EEOI: Energy Efficiency Operational Indicator)と船舶エネルギー効率管理計画書(SEEMP: Ship Energy Efficiency Management Plan)が提案されている。

このうち EEOI は就航後の船舶のエネルギー効率を表す指標であり，以下の算式により求められる。

$$EEOI(\mathrm{g/ton\,mile}) = \frac{\mathrm{CO_2}\text{換算係数} \times \text{燃料消費量}(\mathrm{g})}{\text{実貨物重量}(\mathrm{ton}) \times \text{実航行距離}(\mathrm{mile})}$$

EEOI は EEDI と同様に船舶からの CO_2 排出率を表しているが，実航海中に計測された数値から算出される点において EEDI とは異なっている（EEDI については，2.1.1 で示したように設計値から算出される）。上式から分かるように，EEOI はオペレーション（航路，積荷等）の違いにより容易に変動するため，得られた数値を他船との比較に利用すること

は一般に適当でなく，自船のエネルギー効率改善効果を評価するための指標として利用すべき性質のものである。

一方 SEEMP は，運航的手法によるエネルギー効率改善を実施する上で用意すべき管理計画書であり，自船に適した運航的手法についてその実行計画等を記載するものである。

EEOI と SEEMP は共に，船舶運航者が自船のエネルギー効率を自主的に改善（すなわち，燃料消費率を削減）したいと考えた場合に活用できる有用なツールとして位置づけられる。実際に運航的手法を実施する場合，各船舶はエネルギー効率，すなわち EEOI を自己モニタリングしながら，計画した運航的手法を SEEMP に従って実行することになる。

2.1.3　経済的手法

経済的手法は，前述の通り技術的手法や運航的手法の実施を推進する経済的なインセンティブを与えるための手法である。経済的手法に関しては IMO において幾つかの異なる方法論が提案されており，大きくは次の 2 つが挙げられる。

(1)　燃料油課金制度（デンマーク案）

(2)　排出権取引制度（ノルウェー，独，仏提案）

燃料油課金制度では，燃料油を購入する際に一定額の課金が自動的に徴収され，集められた基金は途上国における温暖化ガス削減プロジェクト等に利用される。日本はこの燃料油課金制度をベースに，優れた効率改善が行われた船舶に対して課金の一部を還付することにより，効率改善に対するインセンティブをより強化することを提案している。一方，排出権取引制度では，海運からの CO_2 総排出量が規定され，そこから各船舶に割り当てられた排出枠と実際の CO_2 排出量の差分が他船や他セクターとの間で取り引きされることになる。

2.2　規制導入の流れ

上記の CO_2 排出削減手法，すなわち技術的手法，運航的手法及び経済的手法の 3 つは，将来段階的に IMO の規制の枠組みに取り入れられるものと考えられる。将来の規制導入について，その具体的な時期は未定であるものの，概ね表 1 に示すような流れになることが想定されている。

表 1　想定される規制導入の流れ

第 1 世代の規制	EEDI の義務化：新造船は，EEDI が船種やサイズ毎に設定される基準値を満足することが要求される
	SEEMP の義務化：船舶は SEEMP を作成，所持することが要求される
第 2 世代の規制	経済的手法の導入

2.3　最近の審議動向

2009 年 7 月に開催された MEPC59 において，技術的手法や運航的手法に関連する以下のガイドライン及びガイダンスが採択された。

(1)　EEDI 算出方法に関する暫定ガイドライン　(MEPC.1/Circ.681)

(2)　EEDI の自主的認証に関する暫定ガイドライン　(MEPC.1/Circ.682)

(3)　SEEMP に関するガイダンス　(MEPC.1/Circ.683)

(4)　EEOI 算出方法に関する暫定ガイドライン　(MEPC.1/Circ.684)

2010 年 3 月に開催された MEPC60 においては，EEDI と SEEMP の強制化についての審議が行われ，MARPOL ANNEX VI の条文改正案の検討が開始された。また，経済的手法について，現在までに提案された各手法の実施可能性，海運への影響評価を行うための専門家会合を設置することとなった。

3. 運航的手法によるエネルギー効率改善

現時点において船舶からの CO_2 排出削減は強制化されている訳ではないが，これを自主的に実施することは，環境保護の観点のみならず燃料消費量削減，すなわち運航コスト削減の意味においても極めて有意義であると思われる。特に運航的手法によるエネルギー効率改善は，技術的手法のようにハード面の改造を伴うものではないため，新造船だけではなく既存船に対しても多くの手法が適用可能である。本章では，「SEEMP に関するガイダンス」（以下，SEEMP ガイダンスと呼ぶ）に従った運航手法によるエネルギー効率改善の手順についてその概要を説明する。

3.1 SEEMP を用いたエネルギー効率改善サイクル

SEEMP ガイダンスに従ったエネルギー効率改善は，表 2 に示す項目を 1 サイクルとして，これらを繰り返し行うことにより実施することとされている（以下，この繰り返し手順をエネルギー効率改善サイクルと呼ぶ）。エネルギー効率改善サイクルを模式的に示したものが図 1 である（図中，自主的報告及びレビューについては 3.2 にて後述）。

表 2　SEEMP によるエネルギー効率改善実施手順

項　目	概　要
計画 (Planning)	船舶の現状におけるエネルギー使用を把握した上で，適用すべきエネルギー効率改善措置を決定し，エネルギー効率改善目標を設定する。 また，エネルギー効率改善を実施するため手順や担当責任者等を決定し，システムとして確立する。
実施 (Implementation)	計画に従って，エネルギー効率改善措置を実施する。
モニタリング (Monitoring)	船舶のエネルギー効率を定量的にモニタリングする。モニタリングは一貫した方法で継続的に実施する必要がある。
自己評価及び改善 (Self-evaluation/Improvement)	モニタリング結果をもとに，実施したエネルギー効率改善措置の効果について評価を行う。当該評価結果を次のエネルギー効率改善サイクルにフィードバックし，更なる効率改善を目指す。

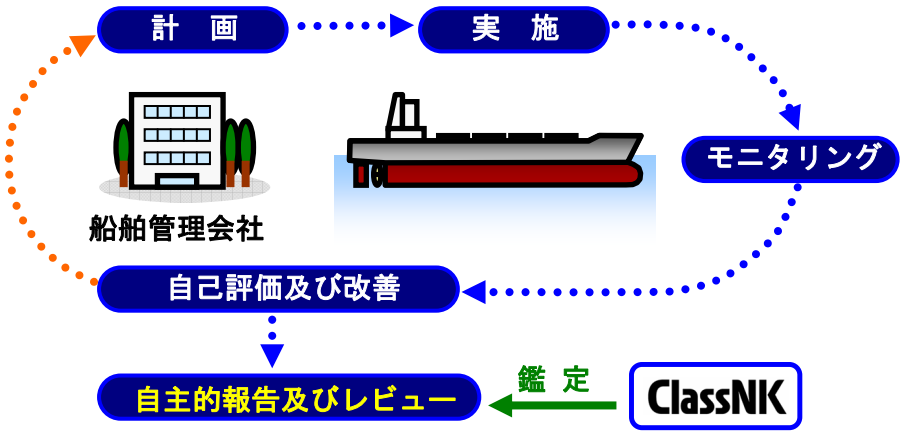


図 1　エネルギー効率改善サイクル

なお，SEEMP は表 2 に示した項目を実施する上での管理計画書であり，以下の項目を記載することになっている。これらの項目は「計画」の段階において検討されるべき内容である。

(1)　各個船に対して適当と考えられるエネルギー効率改善措置
(2)　モニタリングツールに関する記述
(3)　目標（計測可能なエネルギー効率改善目標値）
(4)　自己評価の手順

このうち，(1)のエネルギー効率改善措置については，SEEMP ガイダンス中にベストプラクティスガイダンスが含まれており，代表的なものが例示されている。エネルギー効率改善措置の SEEMP への記載例を表 3 に示す。

表 3　エネルギー効率改善措置の SEEMP への記載例

効率改善措置	実施方法（開始日を含む）	責任者
ウェザールーティング	サービスプロバイダ A 社とウェザールーティングシステムの使用契約を結ぶ。2012 年 7 月 1 日より使用を開始する。	A 社からの情報に基づき最適ルートを選択することについては，船長が責任を有する。
速力最適化	計画速力(85%MCR)は 19.0 ノットであるが，最高速力を 17.0 ノットに設定する。2012 年 7 月 1 日より開始する。	速力の維持については，船長が責任を有する。 ログブックへの記載は毎日確認する。
⋮	⋮	⋮

(2)から(4)の項目については，SEEMP ガイダンスに具体的な記載例は示されていないが，(2)のモニタリングツールについては，例えば評価指標として EEOI を用いる場合にはその旨を記載し，モニタリングのために計測するデータ（貨物量，燃料消費量，航海距離等）

について計測の方法，頻度，担当者等を明確にしておくべきと思われる。また，(3)の目標については，例えば目標とする年間平均 EEOI 値等の具体的な数値を，(4)の評価手順については，実施したエネルギー効率改善措置の効果検証や目標値達成度評価等について具体的な手順をそれぞれ記載すべきであろう。

エネルギー効率改善サイクルにおいては，計画したスケジュールに従ってエネルギー効率改善措置を順次「実施」し，EEOI の「モニタリング」結果を参照することにより，設定した目標に対する達成度を最終的に「自己評価」することになるが，実際には 1 サイクルの途中においても定期的にモニタリング結果を分析し，オペレーションによる影響や実施した効率改善措置の効果等について検証するのが望ましいと思われる。定期的なモニタリングにおいては，例えば図 2 のように 1 航海毎の EEOI をトレンドグラフとして表示することにより，エネルギー効率の変動に対する要因を視覚的に確認することが容易になる。図 2 の例では，実施したエネルギー効率改善措置（船体洗浄）の時期と EEOI トレンドを重ねて表示することによりその効果を確認している。

なお，EEOI は貨物量の影響や海象の影響等を受けて容易に変動するため，「EEOI 算出方法に関する暫定ガイドライン」は，一定期間毎の移動平均値を評価指標として用いることについても触れている。図 2 の例では，航海毎の EEOI はその時の積荷率（Load index）の影響を受けて大幅に変動しているが，3 航海毎の移動平均を取ることによりその影響が平均化され，エネルギー効率のトレンドを把握し易くなっていることが分かる。

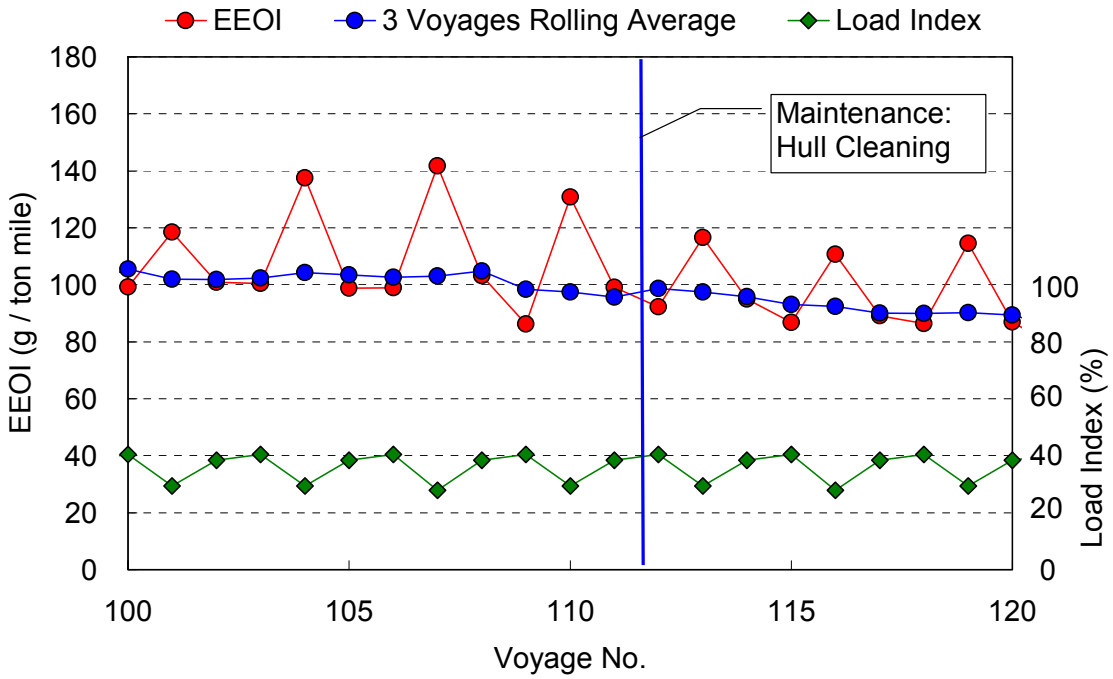


図 2　EEOI のトレンドグラフ表示の例（数値は架空の値）

3.2　自己評価結果の公表

SEEMP ガイダンスでは，エネルギー効率改善サイクルの中で達成された改善効果について，自己評価結果を自主的に公表することについても言及している。(自主的報告及びレビュー：Voluntary reporting/Review)。これは，エネルギー効率の高い船舶に対する社会的な評価によって，当該船舶が様々な恩恵を享受する可能性を念頭に置いたものである。例えば，特定の港湾においてはエネルギー効率の高い，すなわち環境に優しい船舶に対して港湾使用料等の優遇措置を設けることが考えられる。同様な例として，現在一部港湾においては, NOx や SOx 等の排出量が少ない船舶に対し入港税の減額措置がとられている。また，環境保護に対する社会的関心の高まりから，消費者製品製造者の多くが自社製品を市場に輸送する際に，より環境に配慮した輸送手段を求めるようになることも予想される。

こうした背景においては，公表されるエネルギー効率評価結果は，第三者による確認を受けたものであることが望ましいと考えられることから，本会では EEOI に代表されるエネルギー効率指標に関する鑑定サービスの提供を一部開始している。次章において本鑑定サービスに関する本会の取組みを紹介する。

4.　EEOI 鑑定サービスの実施に向けた取組み

本会では EEOI の鑑定サービスをより充実したものとするために，EEOI の計算・分析やレポート作成を支援するシステムの提供を計画しており, 既にその開発に着手している。

本システムの基本機能としては，インターネットを経由した本船上からのデータ入力あるいは各船舶管理会社が使用している既存の電子アブログシステムとの連携により, EEOI 計算に必要なデータを本会サーバに蓄積し，必要に応じて計算結果を出力することを予定している。システム構成の概念図を図 3 に示す。本システムを利用することにより，鑑定サービスに要する手続きの簡略化，サービス提供の迅速化が可能になると考えている。

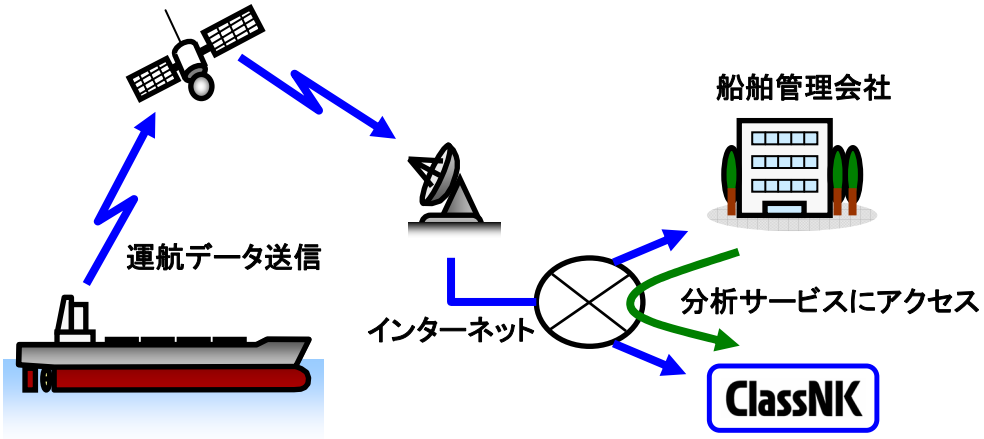
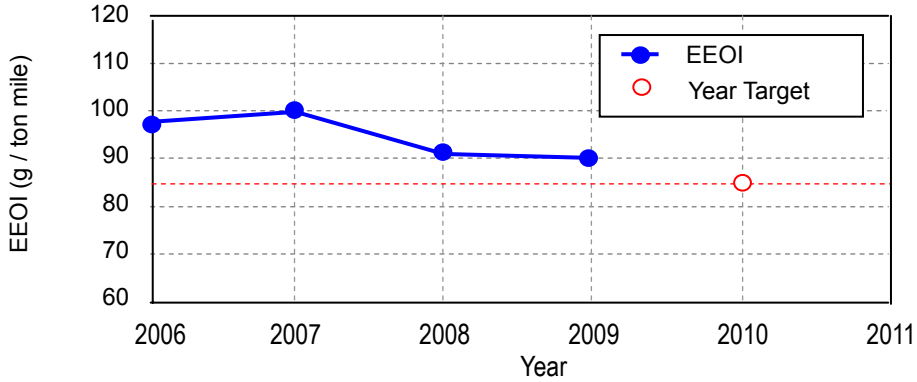


図 3　システム構成の概念図

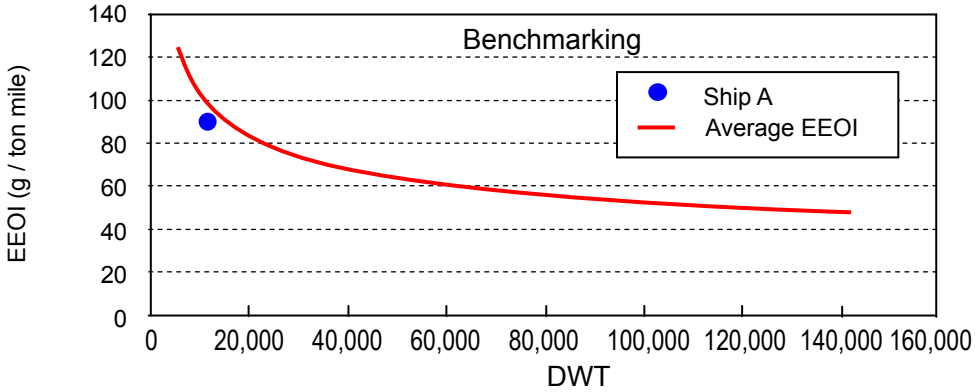
また，同システムにはエネルギー効率改善を実施する上での種々の支援機能を付加する予定であり，第 1 バージョンにおいては EEOI 計算機能の他に次頁に示す機能を付加することを計画している。

- EEOI のトレンドグラフ表示
- エネルギー効率改善目標値設定支援
- ベンチマーキング（同一船種内での平均値との比較）
- フリート内での EEOI 比較
- 各種レポート作成支援　等

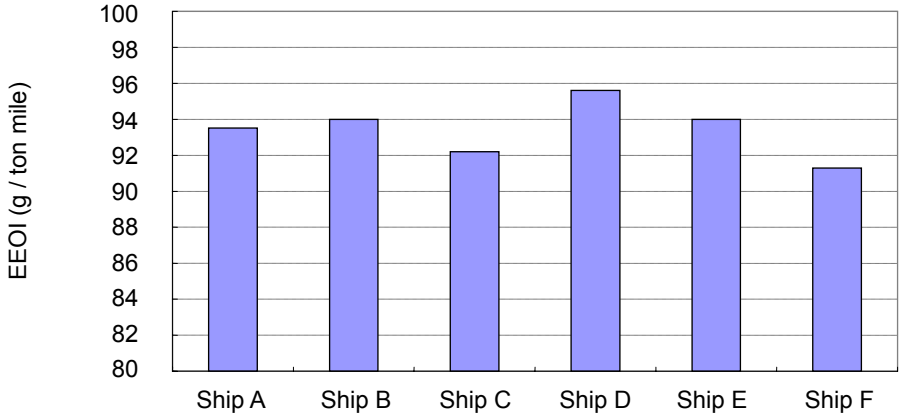
一部の機能について出力画面のイメージを図 4 に示す。将来的には，更に EEOI の変動に対する要因分析機能を付加し，エネルギー効率改善をより効果的に行うための支援ツールとしても利用できるシステムにしたいと考えている。



(a) エネルギー効率改善目標値設定支援



(b) ベンチマーキング



(c) フリート内 EEOI 比較

図 4　EEOI 計算システム出力画面のイメージ（例）

― GHG 削減技術開発に関する業界との共同研究開発プロジェクト ―

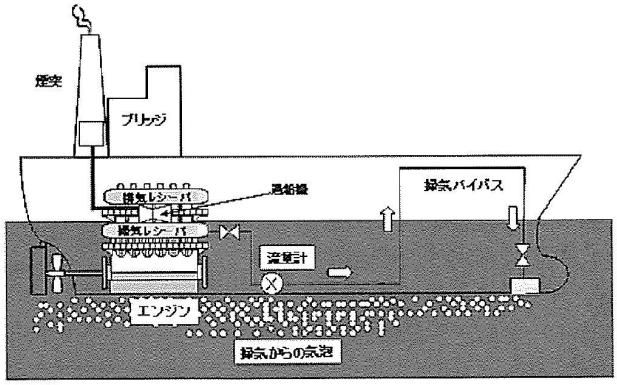
本会は業界との数多くの共同研究開発プロジェクトを実施しており，国土交通省の補助対象事業である「船舶からの CO_2 削減技術開発支援事業」（平成 21 年度から 4 ヵ年計画）に関しても，多くのプロジェクトに参加している。当該支援事業は幅広い分野に及び，表 1 のように分類される。プロジェクトの合計は 22 件であり，このうち本会は 19 件のプロジェクトに参加している。19 件のプロジェクトの概略を表 2 に示す。

表 1　船舶からの CO_2 削減技術開発支援事業と本会参加プロジェクトの件数

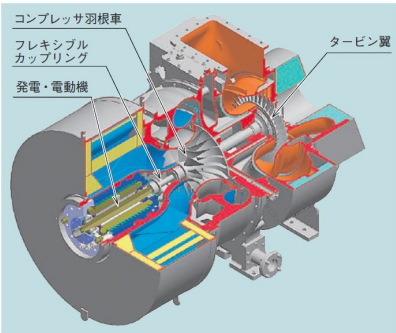
技術分野	事業件数	本会が参加している事業の件数
① 抵抗が少ない・推進効率の高い船型の開発	4	2
② 船体の摩擦抵抗の低減技術の開発	3	3
③ プロペラ効率の向上	3	3
④ ディーゼル機関の効率向上，廃熱回収	4	4
⑤ 運航・操船の効率化	5	5
⑥ ハイブリッド推進システムの開発	3	2
合計	22	19

表 2　「船舶からの CO_2 削減技術開発支援事業」の概略
（本会が参加しているプロジェクトのみ）

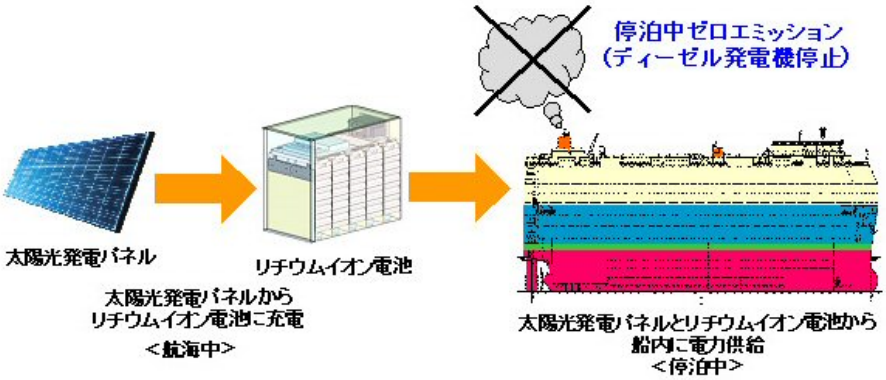
No.	事業名称
	実施者等（“株式会社”は省略）
	概要
①-1	GHG 削減 CRP 適合船型の研究開発
	IHI MU，IHI
	二重反転プロペラ（CRP）は大幅な省エネ効果を有する。本プロジェクトでは，CRP の効率を有効に高めるダクトや船型の開発を行う [1)]。
①-2	GHG 削減省エネ大型コンテナ船の研究開発
	IHI MU，IHI，ディーゼルユナイテッド
	近年、高出力化が著しい大型コンテナ船では，省エネルギー化による大幅な燃費低減（GHG 削減）が期待される。本プロジェクトでは，Twin-Skeg 船型の試設計及び性能確認，高効率主機関の基本検討，廃熱回収技術の検討などにより，従来にない大幅な省エネ効果を有する省エネ大型コンテナ船を開発するのが目的である [2)]。

②-1	空気潤滑法による外航船舶の省エネ技術の研究開発
	大島造船所，IHI MU，今治造船，MTI，川崎造船，住友重機マリンエンジニアリング，ツネイシホールディングス，三井造船，三菱重工業，ユニバーサル造船
	外航船への空気潤滑法の適用が，有効な省エネ技術であることを実証し，空気潤滑法を適用した船舶の設計法を確立する。 空気潤滑法の開発に併せて，同技術を適用した船舶に対する設計支援システム（設計ツール）や，主機の過給機を利用した空気供給システム（掃気ガスシステム）も開発する。空気潤滑法の実用化に向けた個別技術課題の抽出と，その解決法の検討を行う [3]。  出典:海事プレス 2009 年 11 月 12 日
②-2	大型浅喫水二軸船による摩擦抵抗低減技術の実証試験
	三菱重工業，日本郵船，MTI
	本プロジェクトでは，ブロワ（送風機）方式により空気を船底に送り込む空気潤滑システムの実証実験が行われる。同システムの恒久的運用は世界初の試みで，約 10%の CO_2 削減効果を見込んでいる。 実験は，モジュール運搬船で実施される。モジュール運搬船は大型船の中では幅広で喫水が浅いという特徴があるため，水圧が比較的小さく船底に空気を送り込む際の送風機の必要電力量が小さくなることと，船底が平らで幅広のため送り込んだ空気を船底部分に滞留させやすいことから，実証実験として CO_2 削減効果の検証をしやすい [4]。 本システムを搭載したモジュール運搬船を下から見たイメージ 出典:三菱重工業ニュースリリース 2010 年 2 月 24 日

②-3	超低燃費型船底防汚塗料の研究開発
	日本ペイント，日本ペイントマリン，商船三井
	本プロジェクトでは，日本ペイント株式会社と日本ペイントマリン株式会社が開発した低燃費型船底塗料「LF-Sea」の発展型塗料を開発推進する。船舶が排出する CO_2 は航行時に消費する燃料によるもので，燃料消費の大部分は海水との摩擦抵抗で発生する。この海水との摩擦抵抗は航行中の船が受ける抵抗の 50～80%を占め，海水摩擦を低減することは燃費低減に直接寄与する。 「LF-Sea」の低摩擦性（低燃費性）をさらに発展・向上させた超低燃費型船底防汚塗料を開発することで，従来型防汚塗料よりも約 10%の CO_2 削減を目標としている。就航船舶での効果解析も併せて行う [5]。
③-1	限定小翼面積 NHV（Non Hub-Vortex）プロペラの研究開発
	ナカシマプロペラ
	最近の研究によれば，翼先端付近の翼形状を適切に設計すれば，翼面積を現行よりもさらに小さくしてもキャビテーションエロージョンや船尾振動の増大を回避できるという模型実験結果が得られている。また，プロペラ効率改善のためにハブボルテックスキャビテーションを減少，消滅させた NHV（Non Hub-Vortex）プロペラも既に開発されている。 本プロジェクトでは，4 隻の実証船を対象に，小翼面積と NHV 両方の省エネ効果をもつ“限界小面積 NHV プロペラ”を理論計算，模型実験により設計する。そして，実機プロペラを製作，換装して現装プロペラとの比較実船実験を行い，既存の高性能プロペラよりさらに約 3%の省エネ効果があることを実証する [3]。
③-2	翼間干渉影響を利用した省エネ付加物装置の研究開発
	新来島どっく
	既存の省エネ付加物は，プロペラ回転エネルギーの回収による省エネを目的として開発されてきたが，本プロジェクトにおいては，プロペラ翼と付加物の流体力学的な交互干渉影響によるプロペラ効率の向上を目的として開発が進められる。こうした技術はフラップ付翼など，航空分野では翼間干渉影響を利用した揚力向上技術として積極的に導入されている。 省エネ付加物については，翼数はプロペラ翼数と同じで，直径はプロペラ直径の 50%程度を想定し，プロペラボス部にボルトで固定される。付加物を装着してプロペラトルクを減少（プロペラスラストを増加）させることによりプロペラ効率は向上し，約 3%の省エネ化を目標としている [6]。
③-3	気象・海象の周期的外乱に対する負荷変動安定化装置の開発
	日本郵船，MTI，寺崎電気産業，川崎重工業
	船舶の燃料消費量は主機が気象・海象の影響を受けることで変動する。本プロジェクトでは，負荷変動を平準化することによって主機の燃料消費量を削減することを目的とし，可変ピッチプロペラ及び軸発電機モーターの新たな制御方式の開発を行う [7]。

④-1	舶用大型低速ディーゼル機関の CO_2 削減技術の研究開発
	三井造船
	大型低速ディーゼル機関（電子制御機関）を対象として，廃熱回収システム，高低温排気分離システムなどを採用することにより総合的に CO_2 排出を削減する。具体的には，４シリンダのテストエンジン（シリンダ内径：500mm）を製作して各種の実験が行われる。実機と同じものとし，かつ 15 年先のエンジンスペックにも適合できる仕様とする予定となっている[6)]。
④-2	舶用ディーゼル機関の廃熱回収システムの研究開発
	ヤンマー
	大型ディーゼル機関においては，廃熱回収システムは陸用・舶用で既に実用化されており，機関の廃熱から蒸気を発生させ，蒸気タービンにより動力回収が行われている。しかし，小型のものでは，蒸気タービンの効率低下が大きく，コスト高になるため実用化には至っていない。 本プロジェクトにおいては，内航船主機及び発電用補機として用いられる小型のディーゼル機関に対しても適用できるような，安価で高効率な蒸気膨張機と廃熱回収システムの研究開発を行う。機関の CO_2 発生量（エネルギー消費量）を約６％削減することを目標としている[6)]。
④-3	次世代船舶推進用デュアルフューエル機関の研究開発
	新潟原動機
	船舶用デュアルフューエル（DF）ディーゼル機関は，欧州メーカが既に開発し，大型 LNG 船用の発電機関としての実績があるが，一般商船ではまだ実績がない。本プロジェクトで開発する機関は，燃料タンク（ガス）の確保ができる内航船向けが主であり，１万馬力までの中速機関の製造を目指している。従来のディーゼル機関に比べ，CO_2 を 15%程度削減する目標を設定している[6)]。
④-4	ハイブリッドターボチャージャーの船舶実用化技術の開発
	日本郵船，MTI，ユニバーサル造船，三菱重工業
	2011 年竣工予定のケープサイズばら積運搬船にハイブリッド過給機発電システムを搭載し，その効果を検証する。この発電システムは低速ディーゼル主機に搭載の過給機に内蔵された小型の高速発電機と電力周波数変換装置から構成され，通常航海中に必要な船内の全電力を供給することができる。このため，通常航海中ではディーゼル発電機を運転する必要がなくなり，CO_2 の削減効果が見込まれる[7)]。  出典：三菱重工技報 Vol.44, No.1 (2007)

⑤-1	運航最適化による CO_2 削減を目指した運航支援システムの研究開発
	ユニバーサル造船
	船舶の最適航路などを探索する運航支援ソフト「Sea-Navi」には，海気象予測データと船体や主機などの特性を基に，最短時間や最小燃費で航海可能な最適航路を探索する機能があり，CO_2 を 5～8%削減できる省エネ効果がある。このほか，船舶の運航状態のデータを蓄積するモニタリング機能や，運航データから船体の疲労強度を解析，船の構造寿命を推定する保守・管理機能を備えている。 同ソフトの開発はほぼ終了しているが，本プロジェクトではさらに複数隻の実船に搭載し実証試験を行う [8]。
⑤-2	国際運航管理システムの開発
	日本郵船，MTI
	CO_2 の排出を削減するためには無駄のない船舶の運航が必要不可欠である。本プロジェクトでは，世界共通の荷役・通峡時間の予約システムを開発する。国際的な港湾管理システムが導入されることで，更なる滞船時間の短縮及び減速航海が可能となる。また，システムの導入に付随する国際サービスにも言及し，国際運航管理における将来的役割を提案する [9]。
⑤-3	船舶大型化に伴う操船性能に関する研究開発
	日本郵船，MTI，日本海洋科学
	現在，日本の自動車専用船は全長 200m 未満が主流となっている。しかし，自動車専用船の大型化を行うことにより，原単位あたりの CO_2 排出量（自動車１台を輸送するために排出される CO_2）を削減させることができる。本プロジェクトでは，シミュレーター技術などを用いて全長 200m を超える自動車専用船の避航・操船性能（衝突回避性能）を検証し，従来の船舶と同等の操船性能を保つために必要な技術を提案する [9]。
⑤-4	「操船支援システム」の研究開発
	大島造船所，九州大学，流体テクノ，大島エンジニアリング
	本プロジェクトでは，操船者に対して，気象・海象予測データに基づき，最適航路を選択することを支援するとともに，荒天海域・制限域において最適な運航を行うことを支援する操船支援システムを開発する [10]。
⑤-5	本船性能モニタリングシステムの開発
	日本郵船，MTI，郵船商事，川重テクノロジー
	本プロジェクトでは，船陸一体となった効率的な運航の基盤となる運航モニタリングシステムを開発する。このシステムは，船の状況を陸上で正確に把握し，一定の基準に基づいて適切な船速を船に連絡する。また，波浪，船体運動のより精密な計測をし，それらが船の推進性能に与える影響を把握することも目的としている [7]。

⑥-1	大容量・新型ニッケル水素電池を用いた外洋航海向け二次電池の利用技術の研究開発
	川崎造船，川崎重工業，日本郵船，MTI
	本プロジェクトでは，既存のディーゼル発電機と大容量・新型ニッケル水素電池（川崎重工業製ギガセル®）を組み合わせたハイブリッド給電システムを開発し，実証試験装置を自動車運搬船に搭載して実海域での試験を実施する[7]。 出典:川崎重工業 WEB SITE ギガセル®
⑥-2	自動車運搬船における電力システムのハイブリッド化による CO_2 排出削減技術の研究開発
	商船三井，三菱重工業，三洋電機
	太陽光発電システムとリチウムイオン電池を組み合わせたハイブリッド電力供給システムを開発する。自然エネルギーを有効活用し，大洋航海中に太陽光発電システムで発電した電気をリチウムイオン電池に蓄え，停泊中に消費することでディーゼル機関を停止し，停泊中のゼロエミッションを目指す。 本システムを装備した「ハイブリッド自動車船」を建造し（2012 年竣工予定），実運航を通じて CO_2 削減効果の検証・評価を行い，将来に向けてより効果的な CO_2 削減技術の確立を目指す[11]。  出典:商船三井プレスリリース，2010 年 1 月 14 日

本会は，国土交通省の補助対象事業以外にも，業界との共同研究開発プロジェクトを幾つか実施している。典型的なものを表 3 に示す。

表 3　業界との共同研究開発プロジェクトの一例
（国土交通省の補助対象事業以外）

名称
実施者等（“株式会社”は省略）
概要
ウィンドチャレンジャー計画（帆主機従型大型風力推進船の研究開発）
東京大学，商船三井，日本郵船，川崎汽船，大島造船所，帝人，ＮＫ，ほか
本プロジェクトは，複合材を使った大面積高揚力伸縮硬帆の開発と，これを使用した帆主機従型の大型帆走商船設計及び運航方法の研究開発を行い，燃料消費量を従来型商船の 1/3 に減らすことを目標とし，海運物流の低炭素化に貢献することを目的とする[12]。   出典:「低炭素化社会へ向けての風力推進船の概念設計」、大内、鵜沢、日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会、第 21 回海洋工学シンポジウム、2009 年 8 月

参考文献

1)　日本財団 WEB SITE>事業一覧>GHG 削減二重反転プロペラ適合船型の研究開発-1~2
2)　日本財団 WEB SITE>事業一覧>GHG 削減省エネ大型コンテナ船の研究開発-1~3
3)　海事プレス，2009 年 11 月 12 日
4)　三菱重工業，ニュースリリース，2010 年 2 月 24 日
5)　日本ペイント，2010 年のニュース 1.25（月）
6)　海事プレス，2009 年 11 月 30 日
7)　日本郵船，ニュースリリース，2009 年 12 月 21 日
8)　海事プレス，2009 年 12 月 11 日
9)　日本郵船，ニュースリリース，2009 年 6 月 15 日
10）日本財団 WEB SITE>事業一覧>操船支援システムの研究開発-1~4
11）商船三井，プレスリリース，2010 年 1 月 14 日
12）東京大学 WEB SITE>広報・情報公開>記者発表一覧>記者会見「ウィンドチャレンジャー計画の発足 - 低炭素海運へ向けた新形式の帆主機従風力推進船の開発 -」

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

2010 ClassNK 春季技術セミナー

船舶からの地球温暖化ガス排出削減に対するNKの取組み

1

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

目　次

PART A

1. IMOにおける審議
2. 運航的手法によるエネルギー効率改善
3. EEOI鑑定サービスに向けたNKの取組み
4. まとめ

PART B

GHG削減技術開発に関する業界との共同研究開発プロジェクトの紹介

2

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

IMOにおける審議

- 京都議定書は、各国毎のGHG排出削減量（総量規制）を割り当て
- IMOは、船舶に適用可能な合理的手法として、船舶のエネルギー効率を改善するための以下の手法を検討中
  - 技術的手法（ハードウェア的改良）
  - 運航的手法（運航上の工夫：減速航行 等）
  - 経済的手法（燃料油課金、排出権取引 等）

3

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

IMOにおける審議

① 技術的手法　ハードウェア的改良による効率改善

- 船体形状の改良（推進抵抗の軽減）
- プロペラの改良（推進効率の改善）
- 船体省エネ付加物
- 廃熱回収
- 再生可能エネルギー利用

etc.

出典：（株）IHI WEB SITE/プレスリリース/ 2002年6月6日

4

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

IMOにおける審議

技術的手法を評価するための指標:

エネルギー効率設計指標

EEDI (Energy Efficiency Design Index)

$$\text{EEDI} = \frac{\text{CO2換算係数} \times \text{燃料消費率(g/kWh)} \times \text{機関出力(kW)}}{\text{Capacity(ton)} \times \text{速力(mile/h)}}$$

(g/ton mile)

将来は、新造船に対してIMO基準値を満足することが要求される

5

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

IMOにおける審議

② 運航的手法　運航上の工夫による効率改善

- 個船や船隊の運航計画の最適化
- 減速運転
- ウェザールーティング
- ジャストインタイム入港
- 船体メンテナンス
- 機関メンテナンス

etc.

船速を50%にすれば・・・
燃料消費率は$(1/2)^3$ = 1/8
ただし航行時間が倍なので
1/8 x 2 = 1/4 になる

運航的手法は既存船においても実行可能

6

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

IMOにおける審議

運航的手法を評価するための指標：

エネルギ効率運航指標

EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator)

$$\underset{(g/ton\ mile)}{EEOI} = \frac{CO2換算係数 \times 燃料消費量(g)}{実貨物重量(ton) \times 実航行距離(mile)}$$

運航的手法を実行するための管理計画書：

船舶エネルギ効率管理計画書

SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan)

将来は、SEEMPの船上所持が要求される見込み

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

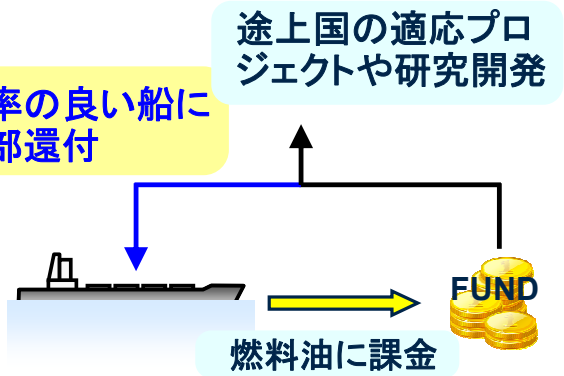
IMOにおける審議

③ 経済的手法　経済的なインセンティブを創出

- **燃料油課金制度（デンマーク）**
- **排出権取引制度（仏、独、ノルウェー）**

日本政府案

燃料油課金制度をベースに、エネルギー効率の良い船舶に課金の一部を還付することを提案



ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

IMOにおける審議

規制導入の流れ

第一世代の規制（規制開始時期：早ければ2013年～）

① 技術的排出削減手法を促進する
EEDI の義務化：新造船のEEDI < 船種・サイズ毎の基準値
② 運航的排出削減手法を促進する
SEEMP の義務化：作成、所持を要求

第二世代の規制（規制開始時期：未定）

経済的手法（燃料油課金 or 排出権取引 ？）

9

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

IMOにおける審議

MEPC59

以下のガイドライン、ガイダンスをMEPCサーキュラーとして発行

- EEDI の算出方法
- EEDI の自主的認証方法
- SEEMP の作成方法
- EEOI の自主的使用方法

MEPC60

- EEDI, SEEMPの強制化について、MARPOL ANNEX VI の改正条文等の検討を開始
- 経済的手法について、各提案手法の実施可能性や影響評価を行うための専門家会合を設置

10

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

目　次

PART A

1. IMOにおける審議
2. **運航的手法によるエネルギー効率改善**
3. EEOI鑑定サービスに向けたNKの取組み
4. まとめ

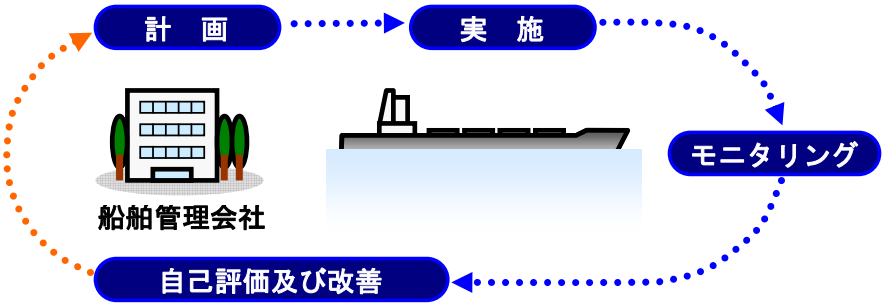
PART B

GHG削減技術開発に関する業界との共同研究開発プロジェクトの紹介

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

運航的手法によるエネルギー効率改善

SEEMPを用いたエネルギー効率改善サイクル
（SEEMP：船舶エネルギー効率管理計画書）

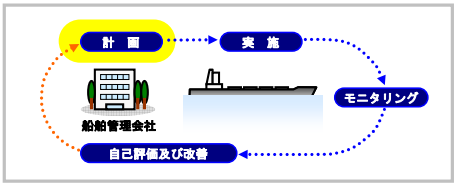


SEEMPガイダンス(MEPC.1/Circ.683)

計画的なエネルギー効率改善の実施により、
効率的な燃料消費量の削減が期待される

運航的手法によるエネルギー効率改善

エネルギ効率改善の「計画」

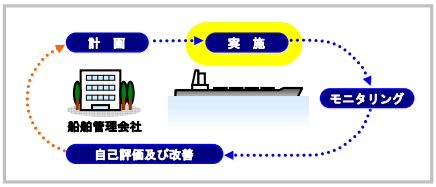


- 下記項目について検討し、実施システムとして確立する
- SEEMPを作成する（下記項目について記載）

- 適用するエネルギー効率改善措置（実施方法、責任者）
- モニタリングツールに関する詳細（計測方法、頻度等）
- 目標（計測可能なエネルギー効率改善目標値）
- 自己評価の手順

運航的手法によるエネルギー効率改善

エネルギー効率改善措置の「実施」

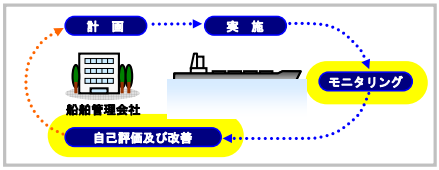


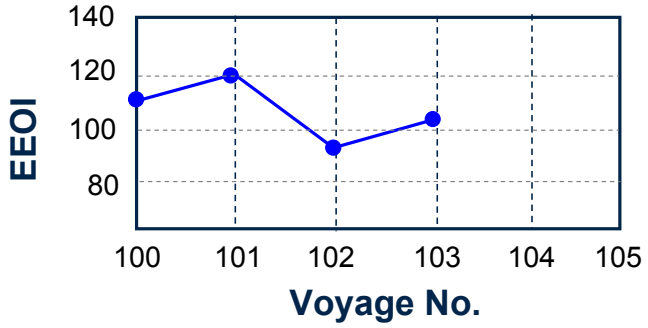
改善措置のSEEMPへの記載例

効率改善措置	実施方法（開始日を含む）	責任者
ウェザールーティング	サービスプロバイダA社とシステム使用契約を結ぶ。2012年7月1日より使用開始。	最適ルート選択について、船長が責任を有する。
速力最適化	計画速力は19ノットだが、最高速力を17ノットに設定する。2012年7月1日より開始。	速力維持について、船長が責任を有する。また、ログブックへの記載を毎日確認する。

運航的手法によるエネルギー効率改善

EEOIの「モニタリング」及び「自己評価及び改善」





EEOIのトレンド表示 ➡ - EEOI変動要因を視覚的に確認
- 目標達成度の確認

運航的手法によるエネルギー効率改善

自己評価結果の自主的な公表

エネルギー効率の高い船舶に対する社会的評価

例えば、

- 環境負荷の小さな船舶への入港税優遇措置
- より環境に配慮した船舶を荷主が選択, etc.

自船のエネルギー効率を公表することにより対外的にアピール

⇧

第三者認証（鑑定）が有効

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

目　次

PART A

1. IMOにおける審議
2. 運航的手法によるエネルギー効率改善
3. **EEOI鑑定サービスに向けたNKの取組み**
4. まとめ

PART B

GHG削減技術開発に関する業界との共同研究開発プロジェクトの紹介

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

EEOI鑑定サービスに向けたNKの取組み

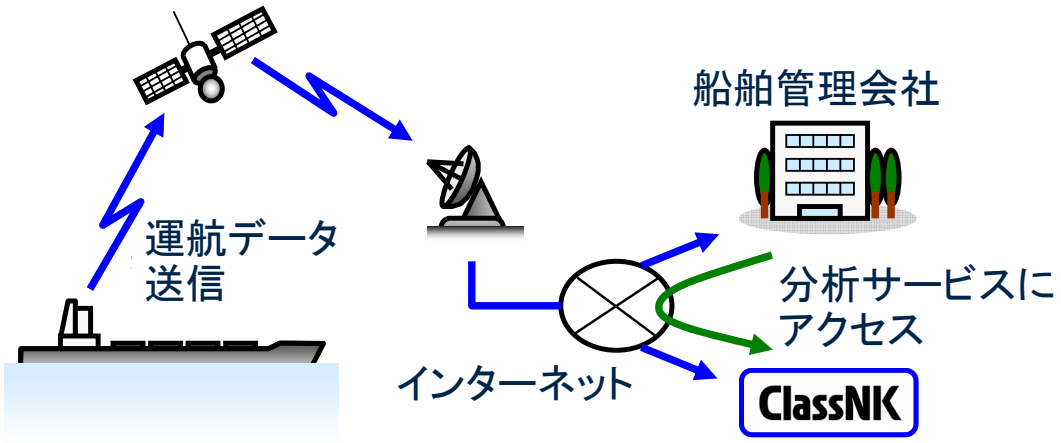
EEOIの計算・分析を支援するシステムの開発に着手

システムの基本機能

- データ入力
  ① Web画面上入力
  ② 既存の電子アブログシステムとの連携
- データ蓄積・管理
- EEOI計算
- 計算結果のビジュアル化

EEOI鑑定サービスに向けたNKの取組み

EEOI計算・分析システムの構成（予定）



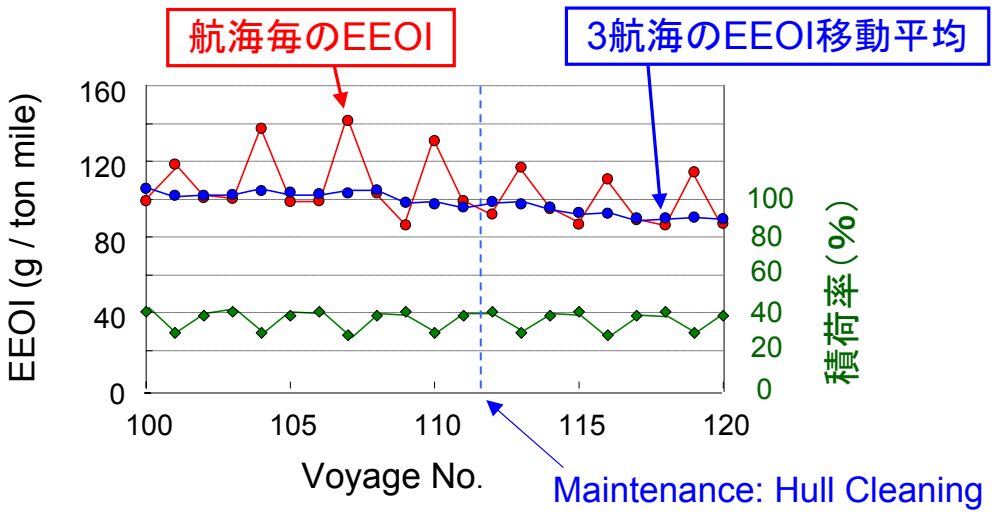
システムを用いて迅速なEEOI鑑定サービスを提供

19

EEOI鑑定サービスに向けたNKの取組み

計算結果のビジュアル化

➢ EEOIトレンドグラフ表示

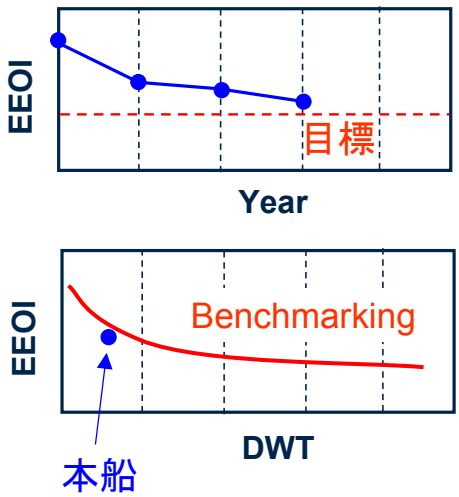


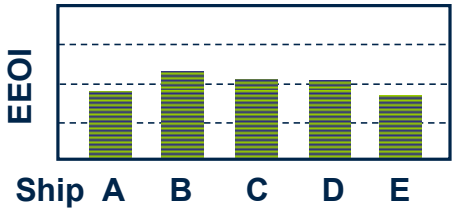
20

EEOI鑑定サービスに向けたNKの取組み

計算結果のビジュアル化

- エネルギー効率改善目標値設定
- ベンチマーキング
- フリート内EEOI比較, etc.





目　次

PART A

1. IMOにおける審議
2. 運航的手法によるエネルギー効率改善
3. EEOI鑑定サービスに向けたNKの取組み
4. **まとめ**

PART B

GHG削減技術開発に関する業界との共同研究開発プロジェクトの紹介

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

まとめ

地球温暖化ガス削減に関するIMOにおける審議

- ✓ エネルギー効率改善
  - ・技術的手法，運航的手法，経済的手法を検討中
- ✓ 運航的手法
  - ・SEEMPを用いた計画的なエネルギー効率の改善が重要

NKの取組み

- ✓ EEOI鑑定サービス
  - ・EEOIの計算・分析を支援するシステム）の開発に着手

23

ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

目　次

PART A

1. IMOにおける審議
2. 運航的手法によるエネルギー効率改善
3. EEOI鑑定サービスに向けたNKの取組み
4. まとめ

PART B

GHG削減技術開発に関する業界との共同研究開発プロジェクトの紹介

24

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

業界との共同研究開発プロジェクト

- 国土交通省の補助対象事業「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」
  - ➡ 相当数のプロジェクトにNKが参加

分類	事業件数	NK参加
① 抵抗軽減、推進効率向上	4	2
② 船体摩擦抵抗軽減	3	3
③ プロペラ効率向上	3	3
④ ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ機関の効率向上、廃熱回収	4	4
⑤ 運航、操船の効率化	5	5
⑥ ハイブリッド推進システム	3	2
合計	22	19

25

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

業界との共同研究開発プロジェクト

「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」

分類	プロジェクト名称	実施者等	NK
① 抵抗軽減、推進効率向上	バラスト水低減船の研究開発	名村造船所、大島造船所	
	GHG削減CRP適合船型の研究開発	IHI MU、IHI	○
	波浪中抵抗増加の小さい大型中高速の船首形状の開発	内海造船	
	GHG削減省エネ大型コンテナ船の研究開発	IHI MU、IHI、ディーゼルユナイテッド	○

26

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

業界との共同研究開発プロジェクト

「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」

分類	プロジェクト名称	実施者等	NK
② 船体摩擦抵抗軽減	空気潤滑法による外航船舶の省エネ技術の研究開発 （空気潤滑法の実船装備に関する研究）	大島、IHI MU、今治、MTI、川造、住重、ﾂﾈｲｼ、三井、三菱、ﾕﾆ造	○
	（大型外航船舶への適用）	大島造船所	
	（小型外航船舶への適用）	今治造船	
	大型浅喫水二軸船による摩擦抵抗低減技術の実証試験	三菱重工業、日本郵船、MTI	○
	超低燃費型船底防汚塗料の研究開発	日本ﾍﾟｲﾝﾄ、日本ﾍﾟｲﾝﾄﾏﾘﾝ、商船三井	○

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

業界との共同研究開発プロジェクト

空気潤滑法

本システムを搭載したモジュール運搬船を下から見たイメージ

出典：三菱重工業ニュースリリース 2010年2月24日

- ブロワ（送風機）方式で空気を船底に送り込む。
- モジュール運搬船（幅広で喫水が浅い）で実証実験。

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

業界との共同研究開発プロジェクト

「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」

分類	プロジェクト名称	実施者等	NK
③ プロペラ効率向上	限定小翼面積NHV (Non Hub-Vortex)プロペラの研究開発	ナカシマプロペラ	○
	翼間干渉影響を考慮した省エネ負荷物装置の研究開発	新来島どっく	○
	気象・海象の周期的外乱に対する負荷変動安定化装置の開発	日本郵船、MTI、寺崎電気産業,川崎重工業	○

29

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

業界との共同研究開発プロジェクト

「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」

分類	プロジェクト名称	実施者等	NK
④ ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ機関の効率向上、廃熱回収	舶用大型低速ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ機関のCO2削減技術の研究開発	三井造船	○
	舶用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ機関の廃熱回収システムの研究開発	ヤンマー	○
	次世代船舶推進用ﾃﾞｭｱﾙﾌｭｰｴﾙ機関の研究開発	新潟原動機	○
	ﾊｲﾌﾞﾘｯﾄﾞﾀｰﾎﾞﾁｬｰｼﾞｬｰの船舶実用化技術の開発	日本郵船、MTI、ユニバーサル造船、三菱重工業	○

30

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

業界との共同研究開発プロジェクト

「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」

分類	プロジェクト名称	実施者等	NK
⑤ 運航、操船の効率化	運航最適化によるCO2削減を目指した運航支援システムの研究開発	ユニバーサル造船	○
	国際運航管理システムの開発	日本郵船、MTI	○
	船舶大型化に伴う操船性能に関する研究開発	日本郵船、MTI、日本海洋科学	○
	「操船支援システム」の研究開発	大島造船所	○
	本船性能モニタリングシステムの開発	日本郵船、MTI、郵船商事、川重テクノロジー	○

31

ClassNK NIPPON KAIJI KYOKAI

業界との共同研究開発プロジェクト

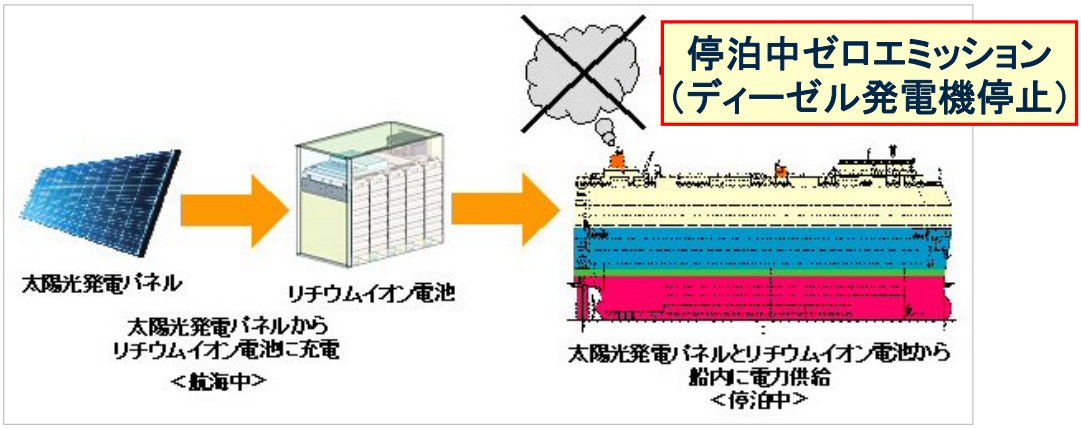
「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」

分類	プロジェクト名称	実施者等	NK
⑥ ハイブリッド推進システム	大容量・新型ニッケル水素電池を用いた外洋航海向け二次電池の利用技術の研究開発	川崎造船、川崎重工業、日本郵船、MTI	○
	CO2削減を目指した次世代帆走商船の研究開発	ユニバーサル造船	
	自動車運搬船における電力システムのハイブリッド化によるCO2排出削減技術の研究開発	商船三井、三菱重工業、三洋電機	○

32

業界との共同研究開発プロジェクト

電力供給システムのハイブリッド化



出典：商船三井プレスリリース，2010年1月14日

- 太陽光発電システム＋リチウムイオン電池

業界との共同研究開発プロジェクト

- その他の業界との共同研究開発プロジェクト（一例）

プロジェクト名称	実施者等
ウィンドチャレンジャー計画（帆主機従型大型風力推進船の研究開発）	東京大学、商船三井、日本郵船、川崎汽船、大島造船所、帝人、NK、ほか

出典：大内、鵜沢、日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会、第21回海洋工学シンポジウム、2009年8月

- ✓ 複合材を用いた大面積高揚力硬帆の開発
- ✓ 大型帆走商船設計
- ✓ 運航方法についても検討