

環境負荷低減型コンテナ船「eFuture 13000C」の開発

Development of Environmentally-Friendly Container Carrier “eFuture 13000C”

増子 章	株式会社アイ・エイチ・アイ	マリンユナイテッド	基本設計部	主幹	博士（工学）
阪口 克典	株式会社アイ・エイチ・アイ	マリンユナイテッド	基本設計部	主査	技術士（船舶・海洋部門）
木田 隆之	株式会社アイ・エイチ・アイ	マリンユナイテッド	基本設計部	主査	
内藤 裕司	株式会社アイ・エイチ・アイ	マリンユナイテッド	基本設計部		
井上 智文	株式会社アイ・エイチ・アイ	マリンユナイテッド	基本設計部		

環境負荷低減型の 13 000 個積みコンテナ船を開発し、概念設計を完了した。2 軸船型（ツインスケグ）の採用などによる推進性能の向上と、主機関廃熱回収などでのエネルギー効率向上で、従来船と比べて温室効果ガス（Green House Gas：GHG）の排出量と燃費を約 30%削減する。また、太陽光発電パネルを採用して自然エネルギーを大容量蓄電池に蓄電するなどの工夫も行っている。本船は環境負荷低減船シリーズ「eFuture」の第 1 弾として位置づけ、「eFuture 13000C」と名づけた。

Plans for the energy-saving, environmentally-friendly 13 000TEU Container Carrier have been developed and its conceptual design is complete. Green House Gas (GHG) emissions and fuel consumption will be reduced by about 30% compared to conventional container carriers of the same size. Propulsive performance will be improved through the newly developed twin-skeg hull form, and energy efficiency will increase due to the waste heat recovery system of the main engine. The carrier will use natural energy from photovoltaic panels and store it in large-capacity storage batteries. This newly developed container carrier is called “eFuture 13000C,” and it is the first ship of IHIMU's environmentally-friendly ship series “eFuture.”

1. 緒 言

世界的に GHG（温室効果ガス）の削減が社会的要請として叫ばれている昨今、国際海運を担う外航船舶においても、この要求を考慮した船舶が求められている。株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド (IHIMU) では船舶における GHG 削減のための研究開発を進め、この最新技術を織り込んだ環境負荷低減型 13 000 個積みコンテナ船を開発、この概念設計を完了した。従来船と比較した GHG 排出削減率は約 30%である。GHG 削減のための個別技術の概要とその効果について述べる。

2. 環境負荷低減型コンテナ船「eFuture13000C」コンセプト

概念設計を行ったのは 13 000 個積みの環境負荷低減型コンテナ船である。従来船と比較して GHG の排出量を約 30%削減する。燃費についても同様に、従来船と比較して約 30%の削減となる。詳細の個別技術については後述するが、特長としては、新たに開発した 2 軸船型（ツインスケグ）および省エネ船尾付加物などの採用による推進性能の大幅な向上、最大限の廃熱回収を前提とした機

関部プラントシステムによるプラント効率向上が挙げられる。これに加えて太陽光発電パネルを搭載し自然エネルギーを大容量蓄電池に蓄電できるようにするなどの工夫も行っている。

これら新コンセプトに基づく環境負荷低減船を「eFuture」と名づけ、今回概念設計を行った 13 000 個積みコンテナ船を「eFuture 13000C」と呼ぶこととした（第 1 図）。

本コンセプトの最大の特長は、すぐにでも実現可能な



第 1 図 「eFuture 13000C」の外観
Fig. 1 The exterior of “eFuture 13000C”

技術の組合せで、コンテナ 1 個当たり GHG 排出量の約 30%削減が達成できることである。今回採用したそれぞれの技術要素と個々の GHG 削減効果を整理すると第 1 表のようになる。

3. 推進性能の向上

3.1 ツインスケグ船型

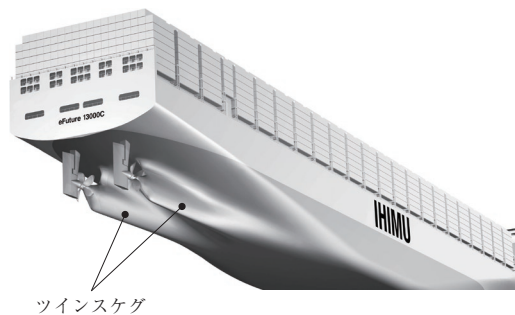
推進性能向上は省エネひいては GHG 削減に直接結びつくため、製品差別化の根幹技術である。「eFuture 13000C」では推進性能向上の大きな要素としてツインスケグ船型を採用している。

ツインスケグ船型は、2 軸船の軸の部分に船体の一部（スケグ）で包んだものである（第 2 図）。通常の 2 軸船に比べればプロペラへの水流が滑らかになる利点があるが、1 軸船に比べると浸水表面積が増えるので、船体抵抗が増加する。

「eFuture 13000C」では、船型改良によって 1 軸船

第 1 表 「eFuture 13000C」における GHG 削減技術とその効果
Table 1 GHG emission reduction technologies and their effects in “eFuture 13000C”

目的	GHG 削減技術	効果 (%)
推進性能向上	ツインスケグ船型/低摩擦抵抗塗料	14
	船首ブリッジ/船首ボンネット	5
	舵バルブ/チップレーキプロペラ	4
エネルギー有効利用/ プラント効率向上	ハイブリッド推進機関/廃熱回収	10
	停泊時の陸上電力利用	
	太陽光発電/リチウムイオン蓄電池	1
合計		30



第 2 図 ツインスケグ船型
Fig. 2 The twin-skeg hull form

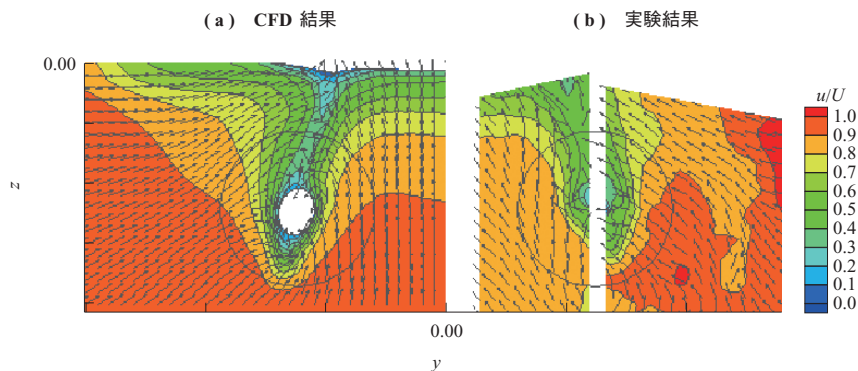
と同等の船体抵抗とすることに成功した。船型改良には CFD (Computational Fluid Dynamics) を駆使した（第 3 図）。船体抵抗が同じなのでプロペラ負荷は 1 軸船の場合の半分となる。このため、プロペラ翼面上のキャビテーションが発生しにくくなり、より高効率のプロペラ翼採用が可能になる。さらに、プロペラ負荷が小さくなることによって、プロペラの作動点がより効率の高い点に移動する（第 4 図）。以上の効果によって、約 10%の省エネ効果を水槽試験で確認している。

水面下の船体表面には低摩擦抵抗塗料を採用し、船体の摩擦抵抗を低減する。ツインスケグによる効果と合わせて約 14%の省エネ効果を見込んでいる。

3.2 舵バルブおよびチップレーキプロペラ

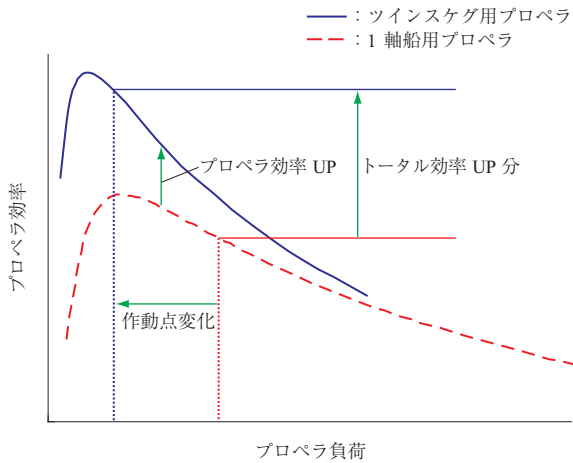
ツインスケグ船型採用によるプロペラ効率向上に加え、プロペラ周辺の省エネ技術の採用によってプロペラ効率のさらなる向上を図った。

一つは舵バルブの採用である。これはプロペラボスと近



(注) 1. ベクトルは面内流速ベクトルを、カラーは軸方向流速の大きさを表す。
2. 図中の記号は次に示す。
z : 船の深さ方向位置
y : 船の幅方向位置
u : 軸方向流速の大きさ
U : 船速

第 3 図 ツインスケグまわりの流れの CFD と実験結果との比較 (プロペラ位置断面)
Fig. 3 CFD results for flow around a twin-skeg hull compared with experimental data (Propeller section)



第 4 図 ツインスケグ船型によるプロペラ効率の向上
Fig. 4 Improvement of propeller efficiency by twin-skeg hull

接するように舵にバルブ（ふくらみ）をもたせ、プロペラボスから発生する渦（ハブ渦）を抑制してプロペラ単独効率を向上させるものである。

もう一つはチップレーキプロペラの採用である。プロペラ翼の先端部を若干曲げることによってプロペラ単独効率をさらに向上させる。

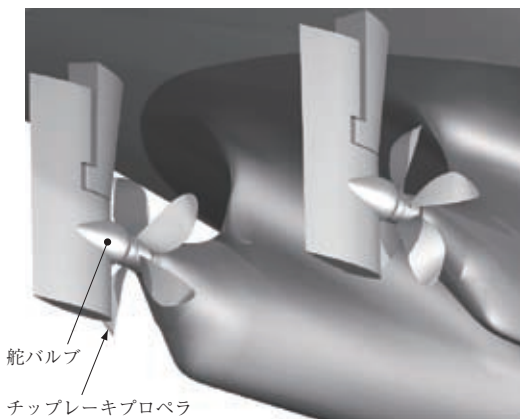
以上の効果によってプロペラ単独効率は約 4% 向上する。これらを織り込んだ船尾部イメージを第 5 図に示す。

3.3 船首ブリッジおよび船首ボンネット

船橋（ブリッジ）および居住区画を船首に設けることによって、前方視界確保によるコンテナの積み付け制限がなくなり、コンテナの積み個数を増加させる。これによってコンテナ 1 個当たりの GHG 排出量を削減できる。

この船橋から船首端を覆うように巨大な船首ボンネットを装備し、船橋前方の流れを整流して風圧抵抗を低減する。

これら船首ブリッジとボンネットの採用（第 6 図）によって、合せて約 5% の省エネ効果が得られる。船首ボン



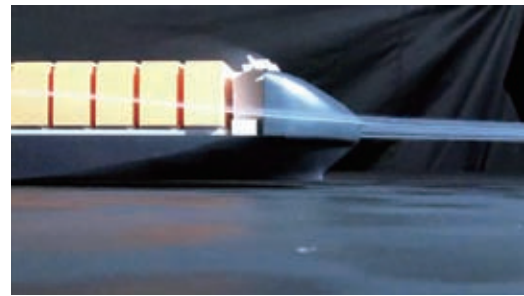
第 5 図 チップレーキプロペラと舵バルブ
Fig. 5 Tip-raked propeller and rudder bulb

ネットの風洞試験の様子（第 7 図）および CFD 計算結果（第 8 図）を示す。

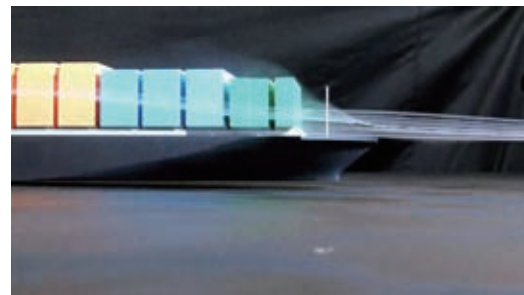


第 6 図 船首ブリッジと船首ボンネット
Fig. 6 Forward bridge and bow bonnet

(a) 「eFuture 13000C」



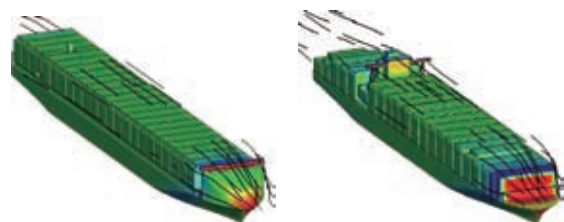
(b) 従来船



第 7 図 風洞試験における船首まわりの気流の様子
Fig. 7 Air flow around bow in wind tunnel test

(a) 「eFuture 13000C」

(b) 従来船



第 8 図 CFD による船体まわりの空気の流れと圧力分布
Fig. 8 CFD simulation of air flow and pressure distribution around ship

4. エネルギー有効利用／機関部プラント効率向上

4.1 機関部プラント概要

「eFuture 13000C」では、ツインステグ船型の採用によって一つのプロペラが受けもつ馬力は1軸船から半減する。そこで機関部プラントとしては在来のコンテナ船の主機関よりも低回転の低速ロングストロークディーゼル機関を2機装備する。この主機関に電子制御を採用し、燃費性能の改善を図る。また主機関の廃熱を最大限回収し電力に換える廃熱回収型発電プラントを装備するとともに、電動機による推進加勢を行えるハイブリッド推進プラントとする。そのほかの自然エネルギー利用も含め、省エネ型機関部プラントのコンセプトを第9図に示す。

それぞれの関連省エネ技術要素を複合させたプラントを運用することによって、約10%の省エネ効果となる。

4.2 ハイブリッド推進機関

主機関とプロペラとの間の中間軸に軸発電／電動機を装備し、船内で余剰電力が発生する場合においては、電動機によって推進加勢を行えるハイブリッド推進プラントとする。推進加勢時は、相応分を主ディーゼル機関の負荷を下げることによって省エネが可能となる。

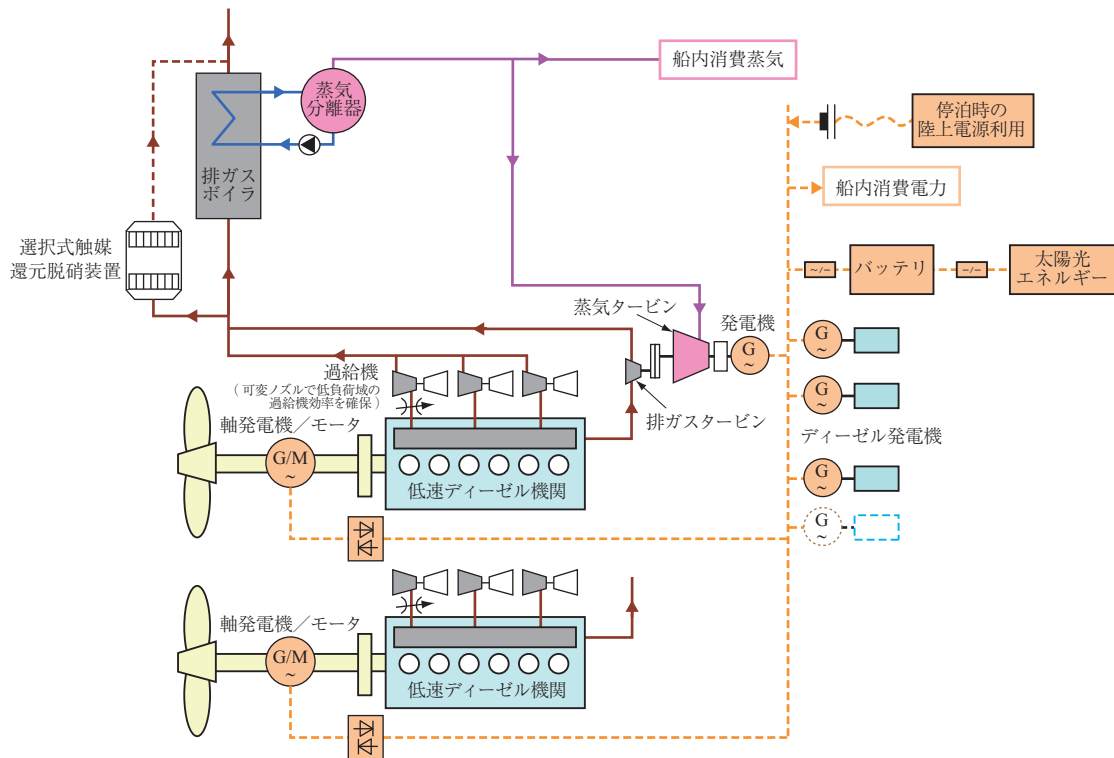
4.3 廃熱回収型発電プラント

船舶において最大のエネルギー消費元は主機関である。

この主機関が無駄に放出する各種の廃熱から熱エネルギーを回収し、船内需要に還元することはプラントとして非常に有効な省エネ手法である。主機関の排ガス廃熱を利用して排ガスエコマイザで蒸気を発生させ、この蒸気によって蒸気タービンを駆動し発電するシステムは実施例がある。今回のコンセプトでは、さらなる回収を目指して、主機関の排ガスの一部を過給機を通さずに排ガスタービン（パワータービン）に導くことで、これによっても発電を行うシステムを採用した。

4.4 可変ノズルエリア過給機

ノズル開度を可変の機構とした可変ノズルエリア過給機を採用する。通常の固定ノズル過給機では、主機関最大出力時のガス量を考慮しながらガス供給ノズルエリアを計画し、常用負荷域においてディーゼル機関から必要とされる効率を満足するような仕様の選定とマッチングが行われる。このため、常用以下の負荷（低速）においては必ずしもその状態での最適な効率を達成していない。可変ノズルエリア過給機では、ノズルエリアを常用以下の負荷域の各々の状態における最適な設定に任意に変更することによって機関性能の向上が図れる。ノズルエリア可変制御を主機関そのものの電子制御システムと連携させることで、機関の負荷や状態によって自動で最適な過給機ノズルエリアをつねに維持させることができる。



第9図 機関部プラントのコンセプト
Fig. 9 Concept for main engine plant

4.5 停泊時の陸上電力の利用

外部からの受電設備を船舶に設けることによって、港湾においては陸上電力の供給を受けることが可能となる。これによって、停泊時には船内に装備している発電機を運用することなく必要電力を賄え、船舶からの GHG 排出をゼロとする。

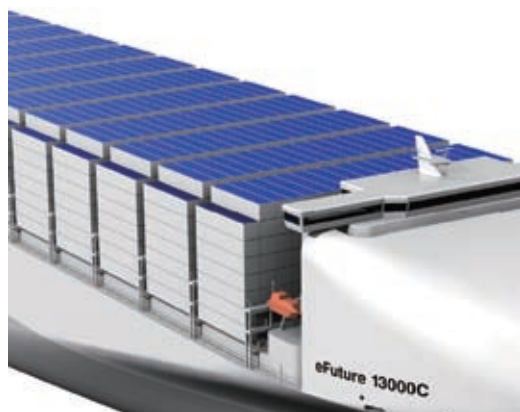
4.6 自然エネルギーの利用および蓄電

地球上の自然エネルギーを効率的に回収し利用できれば、それは最もクリーンであり理想的なエネルギー源といえる。そのなかでも太陽光発電は要素技術の進歩が目覚しく、今後の活用と発展が見込まれる技術である。コンテナ船のデッキ上のコンテナ最上段に太陽光パネルとフレームで構成したモジュールをそれぞれ個別に搭載する（第 10 図）。このモジュールのフレームには一般のコンテナと同じ隅金物が装備されており、コンテナと同じようにガントリークレーンなどによるハンドリングが可能である。

これら太陽光パネルによって発電された電力を船内に別途装備したリチウムイオン電池に蓄電することで、必要なときに自然エネルギーを有効に利用できるシステムとなる。運用例として、航海中に蓄電した電力を、接岸時に運転されるスラスト用電源として供給し、船内の発電機容量を削減、あるいは発電機台数を削減する。船のもつ発電プラントのダウンサイジングへつなげることも可能となる。

5. その他の環境負荷低減手法

前章までは、「eFuture 13000C」の GHG 削減のための個別技術について述べた。これらの技術はすべてハード技術であり、これを採用した「eFuture 13000C」はコンテナ 1 個当たりの輸送時 GHG 排出量を約 30%削減可能であることを示した。これらのハード技術は 13 000 個積みに限



第 10 図 太陽光パネルの配置
Fig. 10 Arrangement of photovoltaic panels

らず、ほかのサイズのコンテナ船にも適用可能である。

これに加え、従来船にも適用できる運航手法の工夫によって、さらなる GHG 削減が可能であり、それはハードでの改良と同様に大きな寄与を産み出す。これら運航面での技術として、最近に検討あるいは実際に実施されている手法について簡単に紹介する。

一つ目は低速（減速）運航である。同一距離を運航するときの燃料消費量は船速の 2 乗に比例するので、低速で船舶を運航すればするほど省エネ効果がある。例えば船速を 10%低速化させると約 20%の省エネ効果および GHG 削減率となる。なお、10%程度の船速低下であれば 3.1 節で述べたツインスケグの効果は変わらないことを水槽試験で確認している。

二つ目は最適運航システムと呼ばれるもので、最新の海気象データと船舶の実海域性能を考慮して、最短航路、最小燃費航路などを算出する。算出された航路をたどることができれば、GHG 削減効果は 4～8%得られる、というものである。

以上、開発した「eFuture 13000C」に運航面でのソフト的な技術を組合せれば、GHG の 50%削減も十分可能である。

6. 結 言

環境負荷低減型 13 000 個積みコンテナ船「eFuture 13000C」を開発し、その概念設計を完了した。従来船と比較した GHG 排出削減率は約 30%である。GHG 削減に寄与した主な技術は以下のとおりである。

- (1) 2 軸船型（ツインスケグ）の採用によってプロペラ効率を大幅に向上させた。
- (2) チップレーキプロペラ、舵バルブの採用によって推進効率をさらに向上させた。
- (3) 低摩擦型塗料の採用、船首ボンネットによって船体抵抗を低減させた。
- (4) ブリッジを船首に設けることによってコンテナ積載数を増加させた。
- (5) 主機関の電子制御、可変ノズルエリア過給機の採用によって主機関の燃費性能を向上させた。
- (6) コンテナと同じハンドリングが可能な太陽光発電パネルを考案した。コンテナトップに積載し、発電した電力は大容量蓄電池に蓄電して使用する。

以上の技術の大半は現時点において実現可能なものであり、GHG 30%削減の要請にすぐにでも対応可能な状態で

ある。また、個々の技術はほかのサイズのコンテナ船にも適用可能であり、今後の受注活動に生かしていきたい。

— 謝 辞 —

本船の風洞試験に関しては九州大学低騒音風洞で実施、協力をいただきました。九州大学関係各位に深く感謝いたします。また、本船の CFD 解析と水槽試験に関しては、

技術開発本部船舶海洋開発部、解析技術部および株式会社 IHI 検査計測研究開発事業部の協力をいただきました。

なお、今回紹介した GHG 削減技術の一部は、国土交通省の「船舶からの CO₂ 削減技術開発支援事業」に選定され、日本海事協会の共同研究事業と日本財団の助成事業での枠組みにおける支援を受けています。