

Techno Scope



ハイブリッド自動車運搬船「EMERALD ACE」には、甲板に160kWの太陽電池が敷き詰められ、発電した電力は約2.2MWhのリチウムイオン電池に蓄えられる。



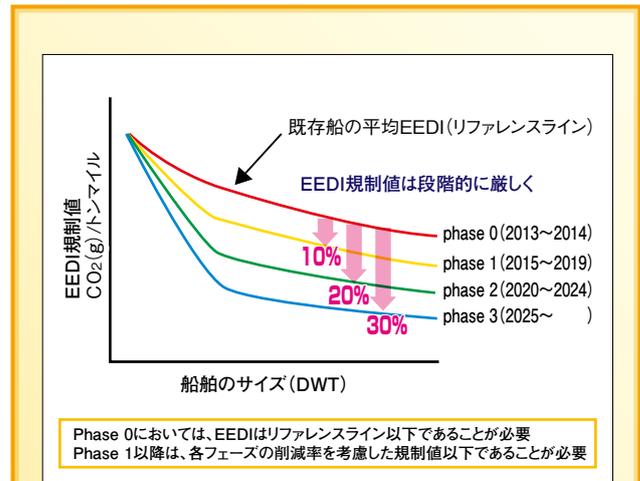
地球にやさしい エコシップの開発

エネルギー価格の高騰や地球環境への関心の高まりから、海運の分野においても、エネルギー効率がよく環境への負荷が少ない船舶、いわゆる「エコシップ」へのニーズが高まっている。特に外航船については、2013年からは新たな洋上の環境規制が導入され、エコシップ技術はますます注目される。この分野で世界をリードする日本の造船技術の動向について紹介する。

強化される船舶への環境規制

近年、洋上における温室効果ガス(CO₂)や大気汚染物質の排出規制が強化されつつある。国際海運ではIMO(国際海事機関)において、増加を続ける船舶のCO₂排出量について規制導入の議論が行われている。2011年7月に開催されたIMOの第62回海洋環境保護委員会(MEPC62)では、2013年から導入される新たな規制が決定された。これは、2013年以降に建造契約が締結される新造船に対するCO₂排出指標(エネルギー効率設計指標:EEDI)の導入と、これに基づくCO₂排出規制の実施、さらに「船舶エネルギー効率管理計画(SEEMP)」の作成、の義務付けである。この規制は、EEDIを先進国や新興国に関係なく適用し、第三者機関により評価される点に特徴がある。SO_x、NO_xと同様にCO₂の排出規制も段階的に強化される予定で、2013年~2014年をPhase 0として、最終的に2025年から開始されるPhase 3では、Phase 0からさらに30%の削減が求められるため、これに対応できるエコシップ技術の重要性が高まっている。

CO₂排出規制の動向



EEDI(Energy Efficiency Design Index)とは、1トンの貨物を1マイル運ぶのに必要なCO₂量を示す指標である。一般的に船舶の燃費は大型化するほど向上し、EEDIも小さくなる。MEPC62で決定された環境規制は2013~2014年の「Phase 0」を基準として、2025年の「Phase 3」まで段階的に強化されていく予定である。

(造船各社取材を元に作成)



日本が取り組むエコシップ技術

「エコシップ」に明確な定義はないが、従来の船舶と比較して、エネルギー効率の高い環境配慮型の船舶を、ここではエコシップと呼ぶことにする。日本におけるエコシップ開発の取り組みとして、内航船向けでは「次世代内航船(スーパーエコシップ)研究開発プロジェクト」が挙げられる。

2001～2008年度に国土交通省が行った「次世代内航船研究開発プロジェクト」は、内航海運の環境負荷低減、労働環境改善、物流効率化などの解決を目的として実施されたものである。エコシップの要素技術として、①高信頼性の電気推進システム導入、②抵抗の少ない船型開発、③推進性能および操船性能を向上した二重反転ポッドプロペラ、④省力化支援システム、などの研究が行われた。2006年に電気推進システムを備えた「フェーズI」船が建造され、CO₂およびNO_x排出量低減、船型改善による燃料消費量削減などの効果が検証された後、フェリーやタンカーなどの船種で建造が続いている。2008年度にはSES(スーパーエコシップ)第1船(旅客船)が就航し、

■主なエコシップの技術分野

燃料(エネルギー)	・自然エネルギー(太陽光、風力など)の利用 ・低環境負荷燃料の採用(LNG焚き船など)
推進システム	・排熱利用・熱利用の高効率化 ・省エネ推進装置 ・プロペラ効率の向上
船体形状	・高効率船型 ・抵抗低減(風圧、波浪、船体摩擦など)
軽量化	・新材料、高強度材料の採用 ・効率的・合理的な構造の採用

(造船各社取材を元に作成)

続いて貨物船が就航するにつれて、環境性能、経済性、静粛性について高い評価を受けている。

一方、外航船についても、国土交通省が「新造船政策検討会」や「海洋政策懇談会」などで検討しているほか、海運・造船各社が船体への風や水の抵抗の低減技術、推進システム

■就航しているスーパーエコシップ

2013年1月末までに、23隻のSES(スーパーエコシップ)が就航しており、燃費向上、CO₂、SO_x、NO_xの排出量低減に加えて、船室内の静粛性、操船性や安全性の向上などの効果が確認されている。



推進方式にラインシャフト二重反転方式を採用したSESとして初の749総トン型セメント船。



二重反転式ポッド推進器を初めて搭載した1300総トン型旅客船。



推進方式にラインシャフト二重反転方式を採用したSESとして初の749総トン型LPG船。



推進方式にタンデムハイブリッド方式を採用した15000総トン型セメント船。

資料提供：(独)鉄道建設・運輸施設整備機構

の効率化など、あらゆる角度から技術開発の取り組みを行っている。エコシップ技術にはさまざまなアプローチがあり、船舶の形状、用途や運用方法によっても有効な技術が異なるため、最適な技術を組み合わせて適用していく必要がある。次章以降、代表的なエコシップ技術として、風や水の抵抗軽減、推進システムの効率化を中心に紹介していく。

風圧抵抗の低減と軽量化への取り組み

船舶が受ける抵抗には風の抵抗と、水の抵抗がある。特に海面上の体積が大きく広い面積を持つ自動車運搬船やLNG（液化天然ガス）運搬船などでは、風圧抵抗の低減も燃費向上に有効である。

積載台数を確保するために箱型の形状になる自動車運搬船では風の影響を大きく受けるため、船首にラウンド形状や、船側部に隅切形状が採用された船舶が建造され、就航している。隅切形状は甲板上の居住区などにも採用されている例がある。（連携記事を参照）

また、球型タンクを搭載するMOSS型と呼ばれるタンカーでは、タンクと船体を一体化した連続カバーで覆った「さやえんどう」型の船舶が開発されている。従来のMOSS型では、自立球型タンクをスカートと呼ばれる円筒形の支持構造で固定しており、船体甲板上に突き出たタンクの上半球部分を、半球状のカバーで覆う構造になっている。個々のタンクを覆っていた半球状のカバーを連続カバーにより一体化することで、航行中の風圧抵抗を大幅に低減することが可能になっている。また、従来まではタンク上の配管、電線、通路などを支える構造物が必要であったが、連続カバーの採用によって、これらの構造物が不要になり、鋼材使用量の削減とメンテナンス性の向上を同時に実現している。

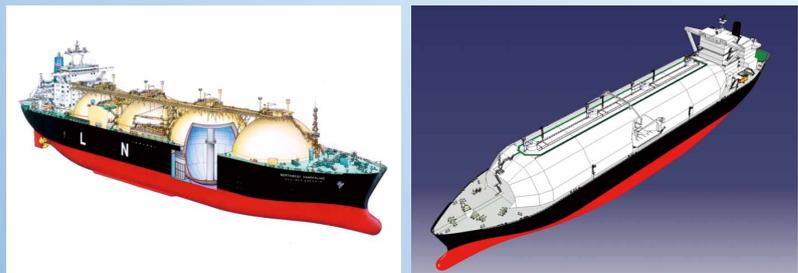
また、船舶においても軽量化は重要な課題である。船舶では、船体全体を曲げようとする荷重（縦曲げ）を受け止める構造部材（縦強度部材）が十分な強度を持つ必要がある。特にコンテナ船やMOSS型LNG船のように上甲板に大開口を持つ船では、大型化するに従って、部材の厚手化と高強度化によって対応してきた。新しく開発された「さやえんどう型」LNGタンカー

では、連続カバーを採用して縦強度を高めることで、従来よりも軽量化が可能となっている。連続カバーによる軽量化効果は船舶のサイズにより異なるが、約5～10%が見込まれている。また、大型コンテナ船では、LNG船以上に容積効率が重視されるため、降伏応力390MPa級、厚さ70mm前後の極厚板が縦強度部材として用いられていたが、高強度と高靱性を両立させた460MPa級の高強度鋼が開発され、船体の軽量化、低重心化、安全性強化を実現している。なお、高強度化に伴う溶接部の靱性の低下については、鋼材中の酸化物の微細分散技術、構造の工夫などによって、アレスト性を確保している。

水の摩擦と波浪抵抗を低減する

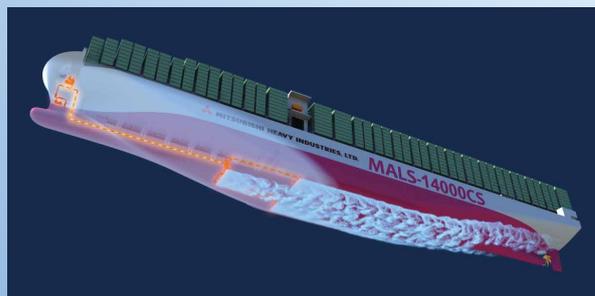
航行中の船舶が受ける海水による摩擦抵抗は全抵抗の50～80%を占めるといわれており、摩擦抵抗の低減は船舶の燃費向上に直結している。水の抵抗を低減する方法として、従来から船体形状の最適化などが行われてきたが、近年、低摩擦抵抗型船底塗料が開発されている。これは塗膜の凹部が水を捕捉することで塗膜表面の水流に対する凹凸を減らし、摩擦抵抗を低減する仕組みである。さらにこの塗料は自己研磨性を持つため、航続距離が伸びれば伸びるほど表面が平滑化されていくという特長も持っている。

■従来タイプと「さやえんどう」型LNGタンカーの透視比較



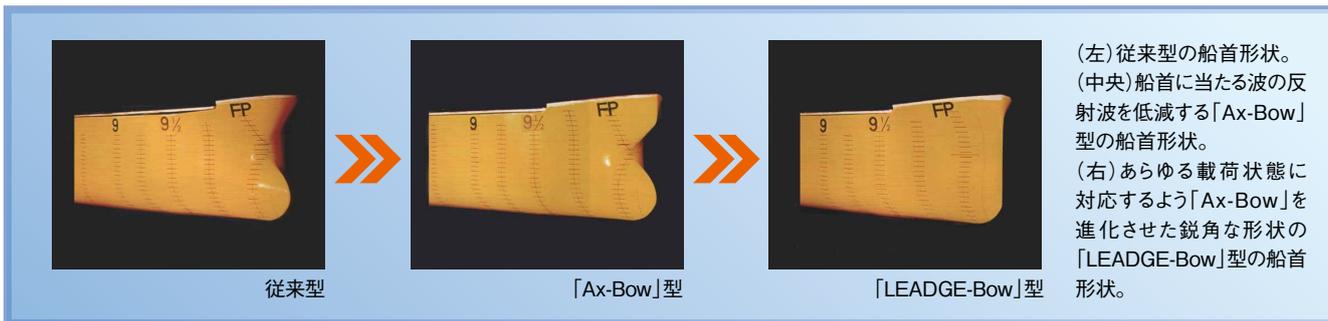
自立球型タンクを円筒形の支持構造（スカート）で支持・固定しているが、従来タイプ（MOSS方式）（左図）では、船体甲板上に突き出たタンクの上半球部分を半球状のカバーで覆うのに対し、さやえんどう型（右図）では一体型の連続カバーでタンクを覆っている。

■空気潤滑システム



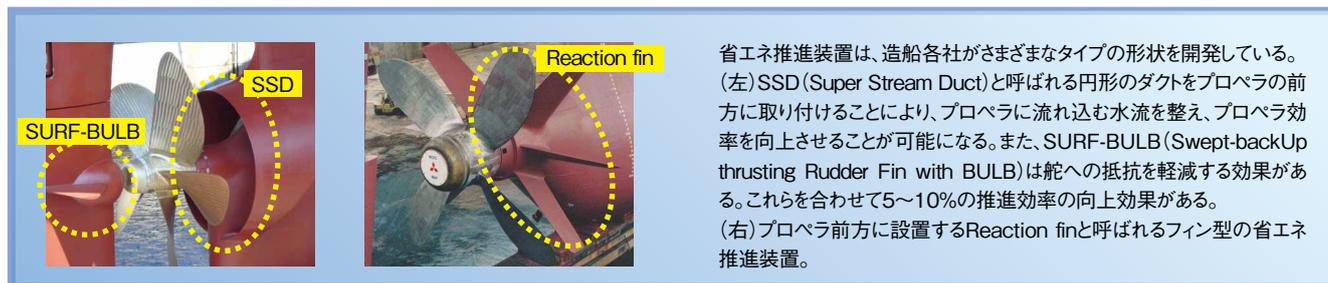
船首付近に取り付けられた送風機から送り出された空気を、船底から泡として吹き出す。一般的に比較的噴水が浅く、平たく広い船底を持つ船舶で効果的である。

■さまざまな船首形状



(左)従来型の船首形状。
(中央)船首に当たる波の反射波を低減する「Ax-Bow」型の船首形状。
(右)あらゆる載荷状態に対応するよう「Ax-Bow」を進化させた鋭角な形状の「LEADGE-Bow」型の船首形状。

■さまざまな形状の省エネ推進装置



省エネ推進装置は、造船各社がさまざまなタイプの形状を開発している。
(左)SSD(Super Stream Duct)と呼ばれる円形のダクトをプロペラの前方に取り付けることにより、プロペラに流れ込む水流を整え、プロペラ効率を向上させることが可能になる。また、SURF-BULB(Swept-backUp thrusting Rudder Fin with BULB)は舵への抵抗を軽減する効果がある。これらを合わせて5~10%の推進効率の向上効果がある。
(右)プロペラ前方に設置するReaction finと呼ばれるフィン型の省エネ推進装置。

また、空気潤滑システムと呼ばれる方法が開発されている。これは船首付近の船底から吹き出した空気で船底を覆うことによって、航行中の摩擦抵抗を低減するものである。空気潤滑システムは、重量物を運搬するモジュール運搬船などの平たく広い船底を持つ船舶に適しているが、フェリーなどの高速・やせ型船においても、燃費向上と環境負荷低減の効果が確認されている。フェリーでは5%のCO₂削減効果が実証されている。大型コンテナ船では他のエコシップ技術と合わせて、開発船型にて35%のCO₂削減効果が見込まれている。なお、泡による摩擦低減機構は詳しくは解明されておらず、吹き出す泡の大きさの最適化などがノウハウになっている。

船舶が受ける水の抵抗では、波による抵抗も重要である。船首形状については、従来から水槽試験を使用した研究開発が行われている。近年は、CFD(Computational Fluid Dynamics:数値流体力学)を活用することにより開発の効率化が進められており、現在もさまざまな改良が加えられている。例えば、タンカーやバルクキャリア(ばら積み船)などの大型肥大船では、船首に当たる波の反射波が、抵抗の原因になっている。このため、船首形状を前方に尖らせた船首形状が開発され、実船で採用されている。

推進システムなどの効率化

船舶では主機関と呼ばれる船舶用エンジンがプロペラを回転させ、推進力を得ている。大型船舶の多くは巨大なディーゼル機関を主機関としているが、高い信頼性が求められるシリンダやピストン周辺には、高温と摩耗に耐える高強度のCr-Mo鍛

鋼、鋳鋼、ねずみ鋳鉄(片状黒鉛鋳鉄)などが用いられる。従来までは鋳鉄製であったシリンダフレームなどには厚鋼板を用いることで軽量化が図られている。

エンジン効率の改善では、ディーゼル機関の排熱を回収して発電するシステムや、効率を高めた蒸気タービンが開発されている。

また、プロペラ効率の改善では、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を使用したプロペラの軽量化などのほか、省エネ推進装置と呼ばれる渦や乱流により失われるエネルギーを回収して、推進力として利用するための仕組みが採用されている。ダクト型やフィン型などさまざまな形状のものがあり、これらに翼状の断面を持たせることで、抵抗軽減だけでなく、推力増加の効果も持たせている。

エコシップでは、推進システムの効率化に加えて、環境負荷の低減も大きな課題である。そこで期待されているのが、太陽光や風力などの自然エネルギーを利用したり、環境負荷の少ないLNGを燃料とする推進システムの開発である。今後、増加すると予想されるLNG焚き船の普及にはLNGサブシステムの整備などのインフラ面の整備も課題になっている。

IMOのPhase 3規制は、現在の日本のエコシップ技術でも達成が難しいといわれている。かつては世界一の建造量を誇った日本の造船業が存在感を示すためには、厳しい規制を満足するエコシップを実現可能とする、いっそうの技術開発が必要である。

- 取材協力 三菱重工業(株)、ジャパン マリンユナイテッド(株)
(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構
- 文 石田 亮一