



# 環境にやさしく、 人にもやさしい船の開発



かのう としゆき

加納 敏幸

海上技術安全研究所(物流研究センター長)

## はじめに

内航海運は、基幹的な輸送機関であり、我が国経済を支える大動脈としての役割を担っています。また、内航海運の二酸化炭素の排出原単位は、商用トラックの5分の1であり、二酸化炭素の排出等環境負荷の低減の観点から内航海運の活用によるモーダルシフトを推進することが求められています。他方、荷主の物流合理化の影響を受け、若年船員の確保という課題と相俟って、運航事業者は厳しい経営環境に追い込まれています。モーダルシフトを実現して、地球環境保全を達成するためには、環境負荷を低減し、効率的な輸送によって高い経済性を併せ持つ船舶の出現が求められています。

この問題を解決するために、高いエネルギー効率と低い環境負荷を実現する国内向けの次世代船「スーパーエコシップ」の開発が、国土交通省のプロジェクトとして進められました。ポッド推進器という新しい推進方式によって、真横への移動やその場回頭も可能です(図1)。

## モーダルシフトの重要性

CO<sub>2</sub>などは、工場や発電所から多く発生していますが、乗り物からも全体の2割程度でています。1トンの貨物を1km運ぶときに排出されるCO<sub>2</sub>の量は、船とトラックを比較すると、船はトラックの5分の1です。ですから、トラックの輸送を船、鉄道に変えていくことが大切となります(図2)。



図1 スーパーエコシップのイメージ図

## 開発技術

海上技術安全研究所(海技研)では、国土交通省からの「次世代内航船(スーパーエコシップ)の研究開発」の委託を受け、環境負荷の低減と労働環境の改善並びに経済性を併せ持つ電気推進の次世代内航船への適用を目的として、二重反転プロペラ、ポッド推進器、船型開発、省力化支援システム等の研究開発を行いました。

### (1) 電気推進船の特徴

電気推進を船舶に採用すると以下に示すように多くのメリットがあります。

- ①主機関の冗長性 電気推進を採用すると主機関は、複数の小型の発電機に置き換わり、たとえ1台の発電機が故障しても残りの発電機を用いて航行可能であり安全性が格段に増すことになります。
- ②機関効率の向上 運航状態に合致した低負荷運転が、稼働発電機台数を調整することで効率的に実施できます。例えば、1/2負荷の場合、半分の台数の発電機を稼働させれば良く、個々の発電機にとり効率の高い状態で運転できます。
- ③船内作業環境の向上 機関のメンテナンスが容易となり、労働負荷の低減とクリーンで快適な船内作業環境など生き甲斐のある職場環境がもたらされます。
- ④推進性能の良い船型開発 また、電気推進の採用によりプロペラシャフトから解放され、主機関とプロペラの位置関係の拘束が無くなることから機関室配置の自由度が増します。そのため、船尾形状に自由度が増し、より抵抗の少ない船型の開発が可能になります。

機関室配置の自由度が増します。そのため、船尾形状に自由度が増し、より抵抗の少ない船型の開発が可能になります。

- ⑤高い操縦性能と安全性 ポッド推進器を採用すれば、小回りが効き、すぐに止まれる旋回性能、緊急停止距離の短い操縦性能の

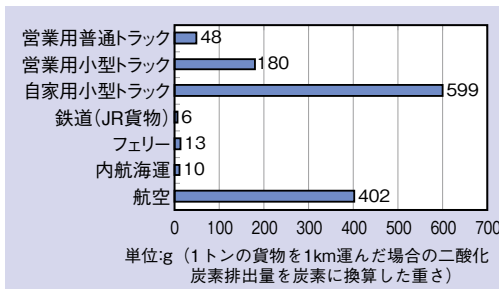


図2 貨物輸送機関のCO<sub>2</sub>排出原単位

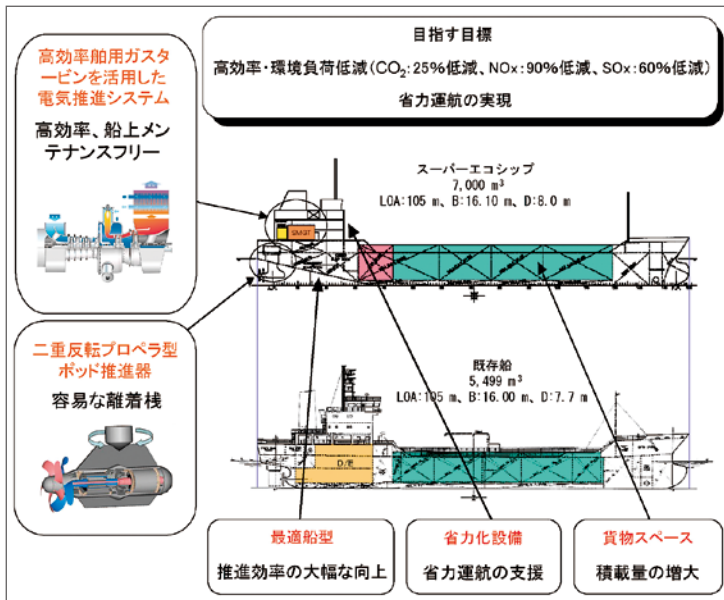


図3 スーパーエコシップのコンセプト

優れた船舶が実現します。また、バウスラストとの組み合わせで、その場回頭、真横移動を容易に行うことができ、特に離着桟回数の多い内航船は大きなメリットを得ます。

このようなメリットがあるのですが、電気推進船は、ディーゼル機関による推進システムの従来船に比較して伝達効率の悪さから、その長所を最大限活用できる旅客船、砕氷船を除いて一般の商船には普及していません。ディーゼル機関は極めて効率の高い機関なのです。

従って、電気推進システムの機関配置等設計の自由度を活用した高効率の船型開発と、効率の高い推進方式の採用によりこの伝達効率15%のロスを補うことが課題となります。

## (2) スーパーエコシップのコンセプト

スーパーエコシップは電気推進船なので、プロペラシャフトなどの機械部品が不要となります。従来ならエンジンを推進器の近くに置かなくてはならないなど、機器の配置に設計上の制約が多いのですが、電気推進なら設計の自由度が大きく向上します。

そのため、貨物スペースの増大や水の抵抗の少ない理想的な船型が実現できます。

海技研が開発したスーパーエコシップの大きな特徴の一つは、自由自在な操船を可能にする「ポッド推進器」です。ポッド推進器とは、まゆ (pod) 型の容器の中にモーターやバベルギヤーを収納した推進装置のことで、推進器全体が360度自由に回転できます。そのため通常の船にはできない動きが可能になります。真横に移動したり、その場で回転したりもできるので、港での離発着が安全かつ短時間に行えます。また、推進効率の向上のため二重反転プロペラを採用しています。

スーパーエコシップは、「スーパーマリンガスタービン」

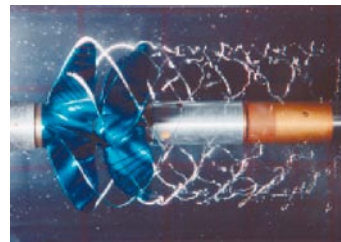


図4 二重反転プロペラの模型試験

という高効率のガスタービンを搭載し、電気で推進します。大気汚染の原因となる窒素酸化物 (NOx) の排出を大幅に低減できるなど、環境にやさしいのも特徴です (図3)。

## (3) 主要な技術開発

推進効率向上のため、二重反転プロペラを採用することとしました。さらに、内航船は、外航船と比較して航海距離が短く離着桟の回数が多いため港内操船性能が求められます。そのため、ポッド推進器を採用し、ポッド船は我が国で経験が無いので新たに船型開発を行いました。

### 1) 二重反転プロペラ型ポッド推進器

ポッド推進器は、海技研がナカシマプロペラ(株)などと共同で開発しました。逆方向に回転する2枚のプロペラを直列に配置した二重反転プロペラを採用し、従来のプロペラよりも10%以上の効率向上を得ることができ、環境にやさしい推進器となっています。二重反転のプロペラを構成するために、モーター2台が直列にポッドの中に内蔵され、前のプロペラのシャフトの中に後ろのプロペラのシャフトを通すといった世界初の機構を採用しています。

#### ●二重反転プロペラ

船は、プロペラで水を押しだし、その反作用で推力を得て前進しています。普通の1枚のプロペラでは、プロペラが回転することから後方の水流は螺旋 (らせん) 状に回転してしまいます。この回転の分は、前進力にはならない無駄なものです。そこで、前後2個のプロペラを逆方向に回転させ、回転流を打ち消すようにするとエネルギーを無駄なく使えるようになります。このようにして考案されたのが二重反転プロペラです (図4・図5)。スーパーエコシップでは二つのプロペラを逆回転させ、回転流を打ち消し、エネルギーを無駄なく使っています。

#### ●二重反転プロペラ型ポッド推進器の構造

海技研が開発した二重反転プロペラ型ポッド推進器の構造は、図6のような構造のもので、以下の特徴を有します。

■二重反転プロペラ 5枚と4枚の羽根をもった二つのプロペラがたがいに逆回転します。二つのプロペラの羽根

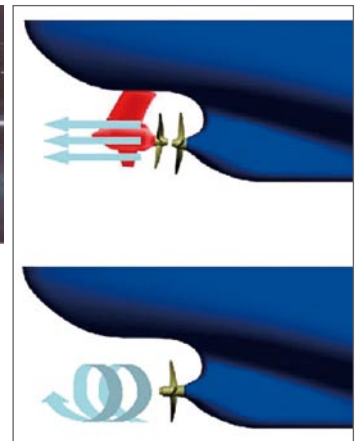


図5 通常のプロペラと二重反転プロペラの比較図

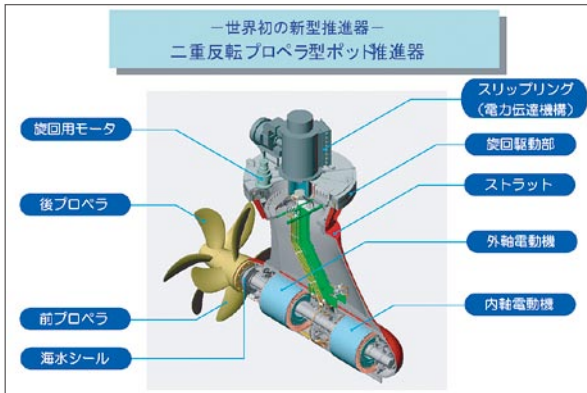


図6 二重反転プロペラ型ポッド推進器の構造

の数が異なっているのは、同期して振動が増大するのを防ぐためです。

■二重シャフト 二つのプロペラをたがいに逆回転させるため、シャフトが二重構造になっており、内側のシャフトと外側のシャフトが逆回転します。複雑な構造になるため、潤滑油の循環や海水の流入防止などが技術課題となります。

■旋回用モーター ポッド推進器全体を360度回転させるためのモーターです。ポッド自体が回転することで、舵なしでの方向転換が可能となります。

■配管類 1.潤滑油を循環させるための配管、2.さびの原因となる海水が機器に入らないよう空気圧をかけるための配管、3.万一海水が機器内部に入った時に海水を吸い上げるための配管、などがあります。

また、ポッドの形状について、CFDを駆使して抵抗の少ない形状を追求しました。モーターは、その直径が小さくなるように永久磁石を使用しポッドのスリム化をおこない抵抗を減らしています。さらに、簡単に取り外しなどを行えるようにモジュール化していますので保守点検についても簡単にできます。

●性能確認

開発したポッド推進器を用いて造船所ドック内で平成16年7月から8月にかけて実機試験を行い、性能、信頼性を評価し優れた性能を確認しました(図7)。現在、この実証機は、東海大学海洋科学博物館に展示されています。

2) ポッド推進器採用の効果

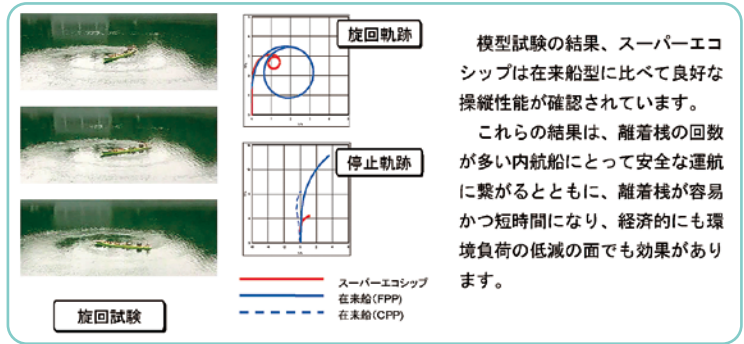
このようなポッド推進器を用いれば、従来の船と比べて旋回半径は約半分、緊急停止の距離も2分の1から3分の1となり安全な船になります(図8)。

開発技術の社会還元

スーパーエコシップ・プロジェクトにおいて開発された二重反転プロペラ、船型開発の技術により、電気推進の長



図7 開発した二重反転プロペラ型ポッド推進器の実験



模型試験の結果、スーパーエコシップは在来船型に比べて良好な操縦性能が確認されています。これらの結果は、離着棧の回数が多い内航船にとって安全な運航に繋がるとともに、離着棧が容易かつ短時間になり、経済的にも環境負荷の低減の面でも効果があります。

図8

所を最大限に活かせば、多くの場合、既存船に比較して5%から10%程度省エネを図れる船舶が実現できます(図9)。

平成13年度から研究開発を行ってきた二重反転プロペラ、ポッド推進器、船型開発等の研究成果の先行利用と機動的な地球温暖化対策の観点から、平成17年度から国土交通省は、省エネ型電気推進船：スーパーエコシップ (SES) フェーズ1船に対し(独)鉄道建設・運輸施設整備事業団等船主に対する支援策を講じています。

海技研では、内航の電気推進船に相応しい、離着棧性能が高く既存船に比較し省エネを図ることのできる電気推進システムとモディファイドバトックフロー船型を開発するとともに、バトックフロー船型の弱点であった針路安定性能を確保するコントロール・サーフェスを開発しました(図10, 11)。また、これらの成果を平成18年及び19年

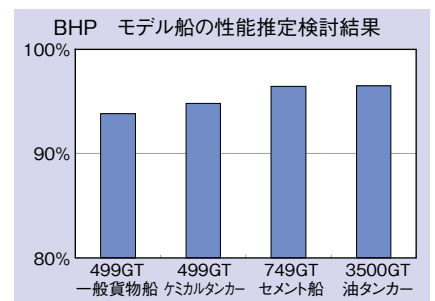


図9 推進性能比較



図10 モディファイド・バトックフロー

(Modified Buttock flow) 船型

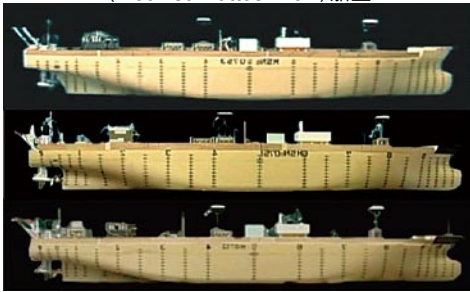


図 11 水槽試験模型

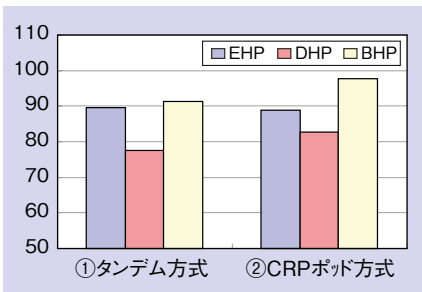


図 12 水槽試験による馬力推定結果

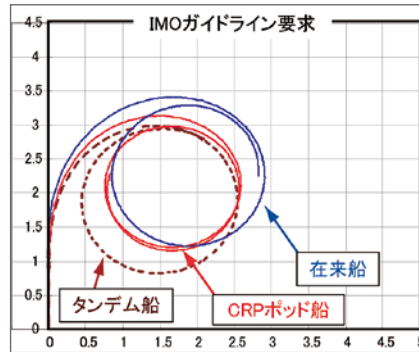


図 13 35° 旋回軌跡

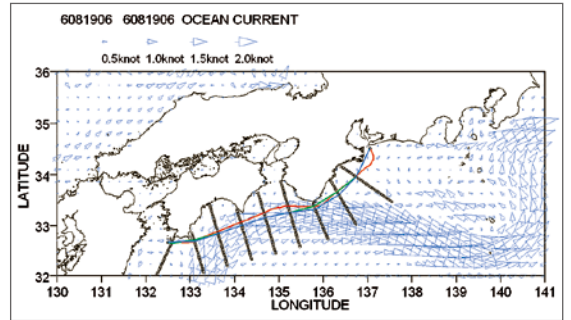


図 14 航海支援システムによる航路計画

表 1 我が国の電気推進船建造実績

	船名	建造造船所	推進方式
2002.07	千祥	中谷	パラレル・シングルポッド
2006.04	第八勝栄丸	木戸浦	パラレル・シングルポッド
2006.07	はまなす	MHI	前プロペラディーゼル駆動二重反転タンデム方式
2006.07	あかしあ	MHI	前プロペラディーゼル駆動二重反転タンデム方式
2006.01	日本丸	三保	前プロペラディーゼル駆動二重反転タンデム方式?
2007.01	みやじま丸	中谷	シングルポッド方式
2007.02	新衛丸	讃岐	ラインシャフト方式
2007.05	第五日光丸	興亜	ラインシャフト方式
2007.11	なでしこ丸	前畑	ラインシャフト方式

に3回のスーパーエコシップ技術支援セミナーを実施するなど研究成果の社会還元に努めています。

●モディファイド・バトックフロー船型の性能

①推進性能 水槽試験結果を用いた馬力推定結果を、在来船の性能をそれぞれ100として比較したものを図12に示します。どちらのタイプのMB船型も在来船と比較して所要馬力が少なく省エネ効果が期待されますが、特にタンデム方式はCRPポッド方式よりも性能が良く、15%の伝達ロスを補い、さらに8%ものゲインを得ることが期待できます。

②操縦性能 舵を35° とる発令から後の模型船の軌跡を図13に示します。これによると、本船型が在来船と比較し、アドバンス(旋回縦距)、タクティカル(旋回径)のいずれも小さく旋回性能が良いことが解ります。

電気推進船の普及

最近の電気推進船の建造実績は、現在までに、JR西日本「みやじま丸」(旅客カーフェリー)、新島物産「新衛丸」(貨物船兼タンカー)及び国鵬汽船「第五日光丸」(ケミカルタンカー)の3隻のSES1船が就航しています。この他の電気推進船を含めると、表1に示すように国土交通省、鉄道建設・運輸施設整備事業団、NEDOなどの支援により電気推進船の建造が進んでいます。今後、改正省エネ法の荷主事業者、海運事業者への適用、最近の燃料費の高騰と相俟って省エネの観点からの普及が益々進展するものと思われれます。

将来技術

今後の技術課題としては、電気推進船の短所である電動機の伝達効率の改善を図る超電導モーターや、燃料電池、電力貯蔵技術などが課題となると思われます。また、運航状況に対応した低負荷運転が稼働発電機台数を調整することにより実施できる電気推進システムと、海流、風、波の状況に応じた最適航路を提案する航海支援システムとが連携すれば、大幅な省エネ効果も期待できます(図14)。

おわりに

スーパーエコシップは、海上技術安全研究所において開発が進められ、二重反転プロペラ、SES船簡易性能推定法等の研究成果は、スーパーエコシップフェーズ1(SES1)等の電気推進船に活用されています。

スーパーエコシップは、効率的な輸送を実現し高い経済性を持ち得る船舶です。また、電気推進のクリーンな機関室のイメージは、若年船員にとってかっこいいものと映ります。すなわち地球にとっても、荷主、船主にとっても、また、乗り組み員にとっても優れた船であり、内航海運の持つ社会的課題解決に貢献し得るものです。

筆者は、この21世紀にふさわしい革新的な内航船が市場に受け入れられ、環境対応型航海支援システムといったソフト面での技術革新と統合される形で普及・定着することにより、我が国の海運分野での環境負荷低減が図られることを念願しています。そのための技術支援を今後とも進めていくこととしております。皆様のご支援ご鞭撻をお願いします。RRR