

実現進むスーパーエコシップ



スーパーエコシップ・プロジェクトチーム
児玉 良明、加納 敏幸

1. はじめに

海上技術安全研究所では、平成 13 年 4 月から国土交通省海事局から委託を受けスーパーエコシップ・プロジェクトの研究開発を進めています。このプロジェクトでは、技術的なブレークスルーを通じ、国際的に関心の高まっている二酸化炭素など環境負荷の低減と、内航海運にとって解決すべき課題となっている運送コストの削減を図り、居住環境と労働環境を改善する 21 世紀に対応した革新的な内航船の開発を行うものです。

スーパーエコシップを普及し、内航海運活性化によるモーダルシフトの推進、運輸分野における環境負荷の低減をめざします。

2. 背景

(1) 環境負荷の低減

日本政府は、平成 15 年 6 月 4 日京都議定書を批准し、我が国は、温暖化ガスの排出量を 2008 年から 2012 年の間に 1990 年レベルから 6%低減する義務を負うことになりました。

輸送トン・キロ当たりの二酸化炭素 (CO₂) 排出量は、内航船の場合商業用普通トラックの 1/5 であり、内航船は非常に効率的な交通モードです。トラック輸送から海上輸送へのモーダルシフトを進める必要がある所以です。

さらに、東京都に見られるように、輸送分野における NO_x、SO_x 等の規制も強化される方向にあります。

(2) 若年船員の確保

内航海運を取り巻く厳しい経営環境に相まって船員の居住・労働環境は陸上輸送事業と比較しても決して良いといえず、若年労働者の確保が困難となり船員の高齢化が進展しています。若年船員の確保が喫緊の課題となっています。そのため、省力化を進め職場環境の改善と魅力ある船舶の出現が期待されています。

(3) 船舶の老朽化対策と内航海運の活性化

内航海運市況の低迷と経済性の高い船舶の不在により、内航船は、老朽化が進展しており安全上の課題だけではなく、このままでは推進効率に課題を残し環境にも悪い影響を与えることとなります。経済性が高く低環境負荷の船舶への代替を進めることが求められています。

3. 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、省エネルギー効果の大きな二重反転プロペラ（CRP）の効果を活用した抵抗の少ない船型の採用により、既存船に比較し 10%以上劣る電気推進の伝達効率を克服し、省エネ効果が図れる次世代型環境負荷対応船舶です。また、電気推進の採用で、船上での主機関のメンテナンスに要する負担の低減と、推進器に起因する振動や機関の騒音を低減し、職場環境の改善を図ることができます。これにより若年船員にも夢のある船を提供するものです。

スーパーエコシップにより、内航海運の活性化に貢献し、トラックから海上交通へのモーダルシフトを進展させ、環境負荷の低減を実現することが目標です。

(1) スーパーエコシップ・フェーズ1

スーパーエコシップ・フェーズ1は、二重反転推進方式の特徴を活かした高効率の電気推進システムと、ディーゼル発電機を組み合わせた電気推進船です。既にスーパーエコシップ・フェーズ2で開発された技術など、現有の先端技術を先行利用することにより少しでも早く環境負荷低減に貢献しようとするものです。また、省人化の観点から機関区域無人化設備を搭載しています。これにより、既存船に比較し 10%から 20%の CO₂, NO_x 排出量の低減が期待されます。図1は、749GT 型セメント船に対するスーパーエコシップ・フェーズ1のコンセプトの1例が示されています。

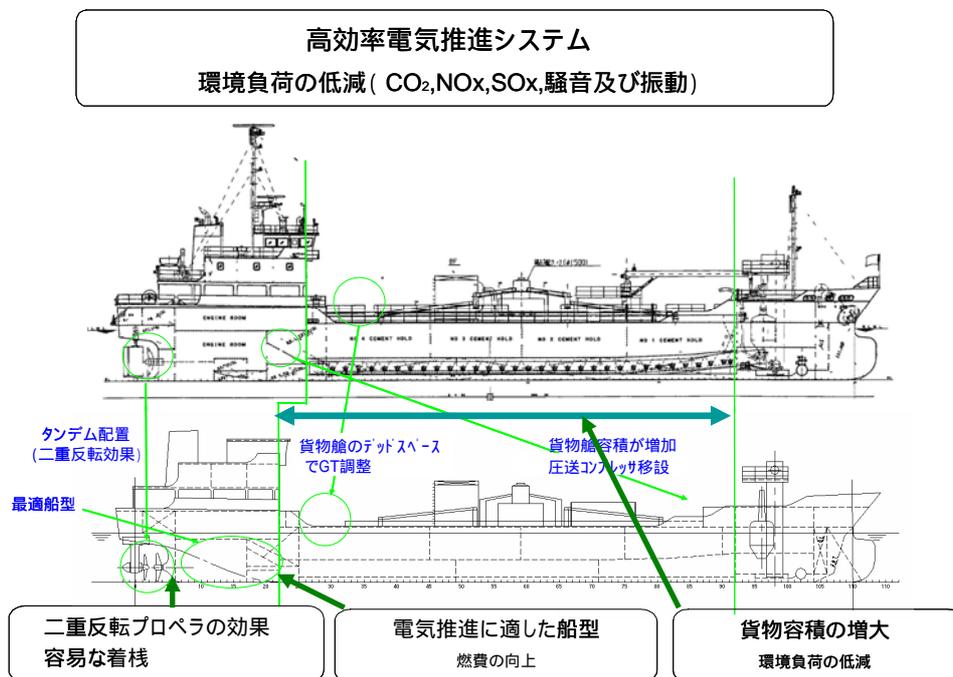


図1 スーパーエコシップ・フェーズ1のコンセプト例

(2) スーパーエコシップ・フェーズ2

スーパーエコシップ・フェーズ2は、省エネルギー効果の大きな二重反転プロペラ（CRP）型ポッド推進器を採用し、ディーゼル機関に比較し NO_x, SO_x の

排出量の格段に少ないスーパーマリンガスタービン (SMGT: Super Marine Gas Turbine) を搭載する次世代型環境負荷対応電機推進船です。このような革新的なコンセプトと技術が適用されています。二重反転プロペラ型ポッド推進器は、高い推進効率と極めて良好な操縦性能と柔軟な操船を可能にします。このSMGTと二重反転プロペラ型ポッド推進器を用いた電気推進システムにより、主機関と船型設計の配置の自由度が大幅に増大します。その結果、従来に比べ貨物スペースを2割程度増大し、CFD (Computational Fluid Dynamics: 数値流体力学) 技術を駆使した最適船型と二重反転プロペラを組み合わせることで、総合的な運航効率を10%向上し、トン・キロベースでの二酸化炭素の排出量を25%削減、ガスタービンを用いて窒素酸化物を1/10に削減します。これにより、環境に優しいだけでなく経済性も兼ね備えた次世代内航船を提案します。

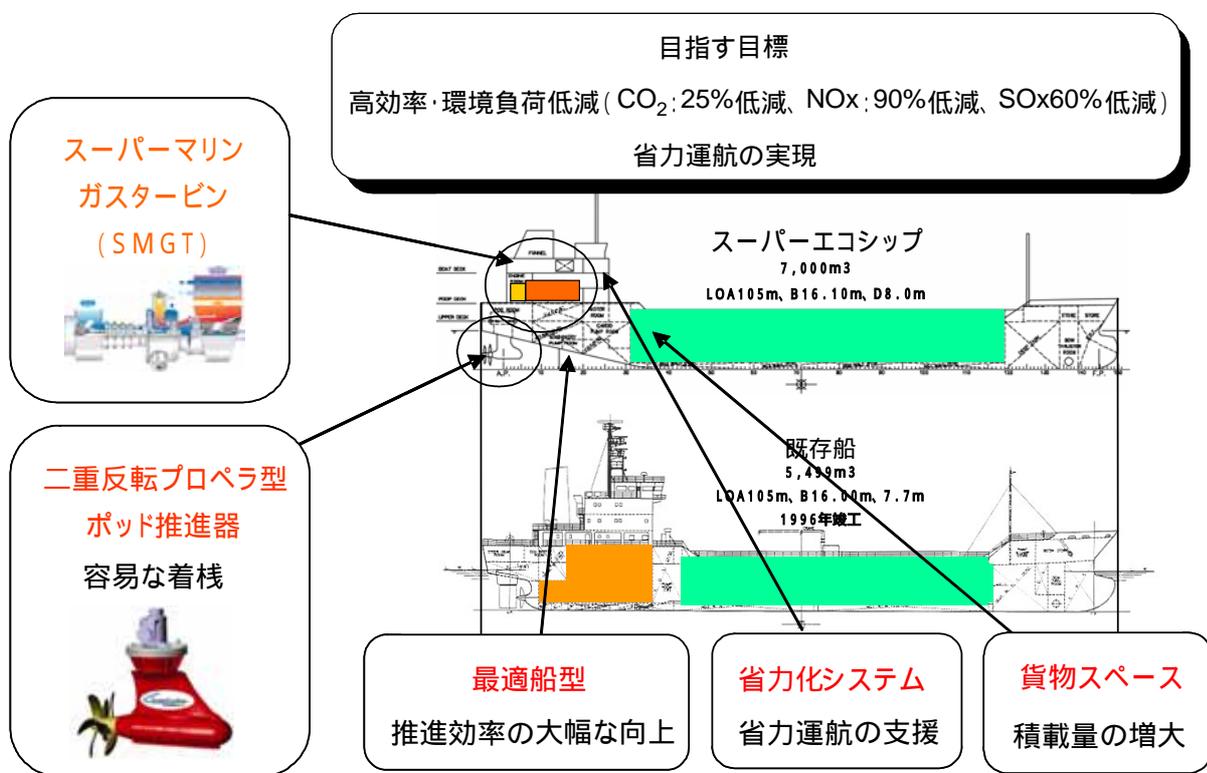


図2 スーパーエコシップ・フェーズ2のコンセプト

また、近年、内航海運は、物流合理化の流れや若年船員の確保など様々な問題を抱えていますが、ガスタービンは船上でのメンテナンスを前提とせず、不純物の少ない油種を用いること、冷却水の配管が不要となることなどから、船上での主機関のメンテナンスに要する負担の低減と、推進器に起因する振動や機関の騒音を低減し、職場環境の改善を図ることができます。また、一般の電機推進システムの場合でも、これまでの大出力の主機関が小型の複数の発電機に代替することにより冗長性が増し、保守整備も容易になり省力化を図る事ができます。他方、船舶の運航の省力化には、機関部だけではなく甲板部等の作業を総合的に

考慮し省力化を図る必要があります。そのため、スーパーエコシップ・フェーズ2の実証船には、航海支援、離着岸支援、係船支援、荷役支援システムが開発され搭載されることになっています。航海支援システムには、高度に統合されたブリッジ構成も含まれています。これらの省力化支援システムは、船員の高齢化と減少に呼応して重要な設備となってきています。

4. R & Dから現実のスーパーエコシップの建造に向けて

海上技術安全研究所においては、これまでCFDを活用した船型開発、二重反転プロペラ型ポッド推進器の開発、二重反転プロペラ理論設計手法、性能推定プログラムの研究開発、省力化システムのソフト開発等種々の研究開発を行ってきました。

ポッド推進器は欧米で関心が高く、特に欧州ではEU主導で研究開発が行われ、今後はポッド船の操縦性能等の基準の検討がIMOの場で議論されることが予想されます。今般、ナカシマプロペラ(株)及び東芝三菱電機産業システム(株)等の協力を得て海技研が開発した二重反転プロペラ型ポッド推進器は、推進効率において世界でトップクラスのものであります(図3)。欧米に肩を並べることができました。

また、スーパーマリンガスタービン(SMGT)は、日本財団の支援を受けSMGT技術研究組合が開発を行ってきました(図4)。今後は、これまでに開発された技術の普及の段階に入ってきます。

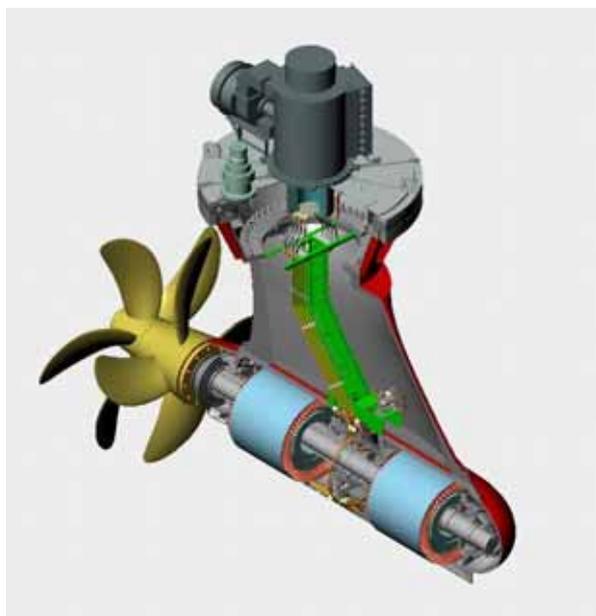


図3 二重反転プロペラ型ポッド推進器

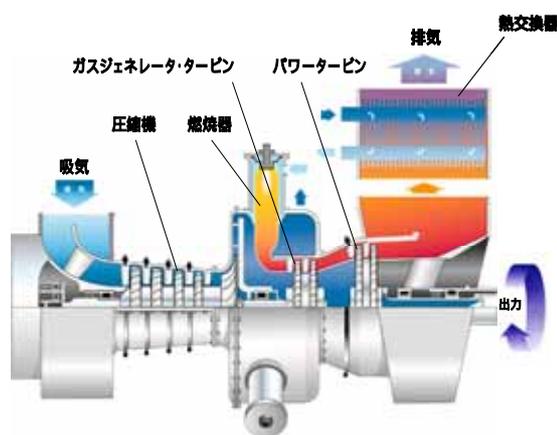


図4 SMGT

これまで研究開発を行ってきた個々の技術は、組み合わせによる幾つかの効果

が期待できます。二重反転プロペラ、ポッド推進器、電気推進システムの組み合わせを考慮して船の設計を行えば、個々のシステムも有効性を発揮し以下のような利点が期待できます。

- 環境負荷低減型推進器，排出ガスの減少
- 緊急時の操船性能の向上による安全性の確保
- 貨物搭載量の増大、運航時の経済性の向上
- 高効率の推進効率，燃費率の向上
- 一般配置の自由度の増大
- 特に低速時、着棧時の卓越した操船性能
- 低騒音、低振動

4.1 スーパーエコシップ・フェーズ1

フェーズ1では、鉄道建設・運輸施設整備支援機構（鉄・運機構）の支援により、今年度、スーパーエコシップ第1号としてJR西日本旅客フェリー(247GT)が建造されます。また、その他貨物船、ケミカルタンカー等が計画されています。

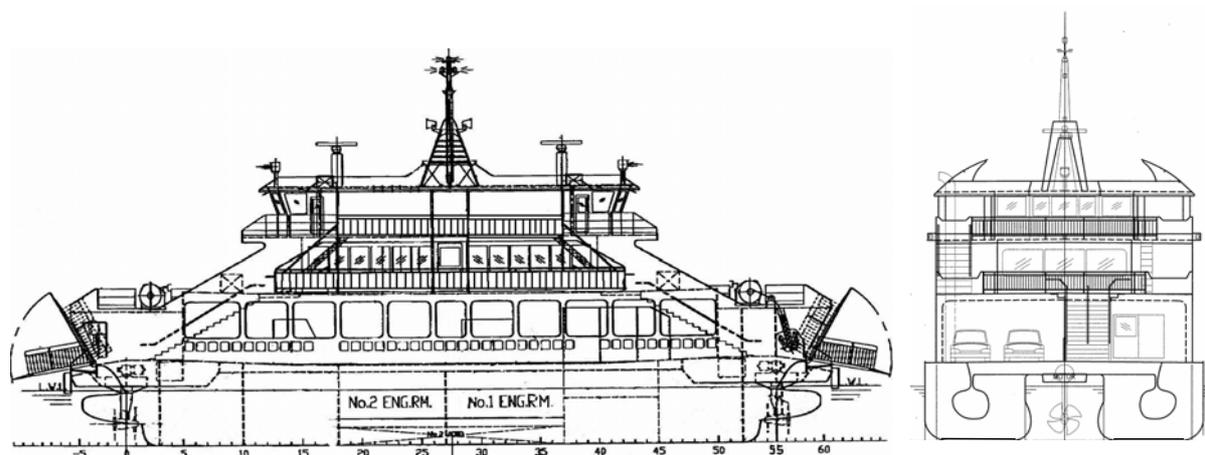


図5 スーパーエコシップ・フェーズ1第1号船

海上技術安全研究所は、スーパーエコシップ・フェーズ1船について、これまでの水槽試験結果による性能推定、当所で開発した二重反転プロペラの設計プログラム、性能推定プログラムによりCRPプロペラ設計を行うなどの支援を行っています。また、推進性能の良い電気推進船に適した船型も提案しています。

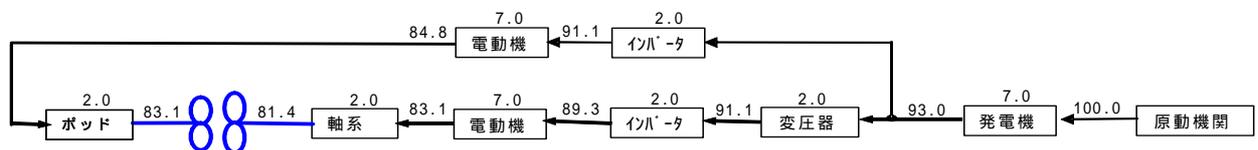
(1) 二重反転プロペラを採用したMB船型

フェーズ1プロジェクトに対しては、海技研において造船技術センター武隈技監等の協力を得て、ディーゼル機関を用いた電気推進船向けの船型を開発しています。図6には、電気推進船の伝達効率の1例が示されていますが、電気推進船は、既存のディーゼル機関を搭載した船に比較して伝達効率が16%程

度劣るため、これを克服することが大きな課題となります。これには、二重反転プロペラの効果を活用し、これに適応した船型が1つの解決策となります。

二重反転プロペラは、反対方向に回転する2個のプロペラを直列に配置することにより流体力学的な効率を高めることにより、現状の技術で最高のプロペラ効率を得るものです。そのアイデア自体は、すでに19世紀前半にその概念が考えられていましたが、二重反転プロペラの軸機構の複雑さや推進効率推定法の難しさが大きな阻害要因となり、理論的研究と実船装備が本格化するのには20世紀になってからです。その特徴は、省エネルギー効果であり、通常の単独プロペラでは、プロペラの作り出す旋回流は再利用されることなく船尾から無駄に流れ去っていきませんが、この旋回流のエネルギーを反転する後のプロペラで回収し推力に変換して再利用するのが二重反転プロペラの特徴で、単独プロペラよりも高い効率を達成することが可能となります。

ハイブリッド（プロペラ+ポッド）の伝達効率：82.1%（インバータ方式の場合）



16%の伝達ロス

在来船（ラインシャフト）の伝達効率：96.0%

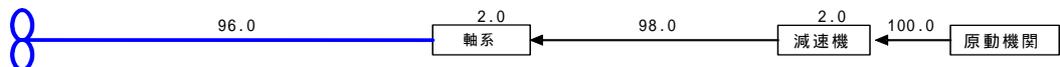


図6 伝達効率の1例

図7には、内航船用の新船型MBマリンベアーが示されています。



図7 電気推進船に適したMB船型
(MB: Modified Buttock flow hull form)

(2) 推進性能等の比較

宇部興産海運等の船社の協力を得て、スーパーエコシップ・フェーズ1のコンセプトで749GT型セメント船についての試設計を行いました。その結果である一般配置図が図1に示されています。検討したセメント船の主要諸元は、表1に示すもので、推進システムの異なる3種類の模型(図8)を制作し、海

技研の曳航水槽と、80m 角水槽において抵抗・自航試験及び IMO のガイドラインを基本に操縦性能試験を行いました。

推進性能については、図 9 に示されていますが、ハイブリッド方式が最も性能が良いこと、MB 船型の採用により、伝達効率が 16%程度劣るとも BHP ベースで所要馬力を低減することができ CO₂ 排出量の低減が見込まれます。また、表 2 に示される操縦性能試験結果によれば、IMO のガイドラインの推奨値を満足することができています。特に、ポッド推進器を使えば、推進力の方向を直接変えられることから真横移動やその場回頭等が容易に行うことができ操船性能が格段に向上します。ポッド推進システムとは、上から吊り下げられた繭型(ポッド)の容器の中に取り付けられたプロペラを回転させ推進するシステムであり、ポッドを水平方向に 360°旋回させることにより推力の方向が制御できることから舵機能をそれ自体が有しています。ポッド型電気推進システムは、1998 年、ABB 社の AZIPOD が大型客船に納入されて以来、欧米では、ほとんどの大型客船に採用されています。特に EU 主導の OPTIPOD* などの開発プロジェクトにより、欧州で普及しています。また、客船以外の船種についてもケミカルタンカーなどその利用に広がりを見せています。

さらに、試設計によれば、1434m³ の載貨容積が 96m³ 増加 (7%の載貨容積が増大) することが見込めます。このように推進効率の向上により環境負荷の低減と経済性の向上が期待され、また、操縦性が改善されることから、運航性能や安全性の向上も期待されます。特に、輻輳海域を航行する機会が多く、また、離着岸の回数も多い内航船にとってその効果は大きいと考えられます。

ポッド推進器を 2 基
並列配置(ツインポッド
方式)

従来型の推進器の直
後にポッド推進器を
1 基配置(ハイブリッ
ド方式)

二重反転プロペラ型
ポッド推進器を 1 基
配置(CRPポッド方
式)



図 8 3 種類の推進システムの模型

* OPTIPOD: EU 主導でポッド船の設計、運航指針の作成、ポッド推進器の運航時性能評価を行ったプロジェクトである。クルーズ客船のミレニアム等 5 隻のポッド船についてポッド荷重、主機の負荷変動、騒音などをモニタリングも実施している。

表 1 749GT セメント船の諸元

	模型船	実船
船長 L_{pp} [m]	4.71	66.00
船幅 B [m]	0.84	11.80
喫水 d [m]	0.33	4.57
船速 U [m/s]	1.55	5.81(11.3knot)
排水容積 [m ³]	0.92	2530.00
貨物艙容積 [m ³]	-	1530.00

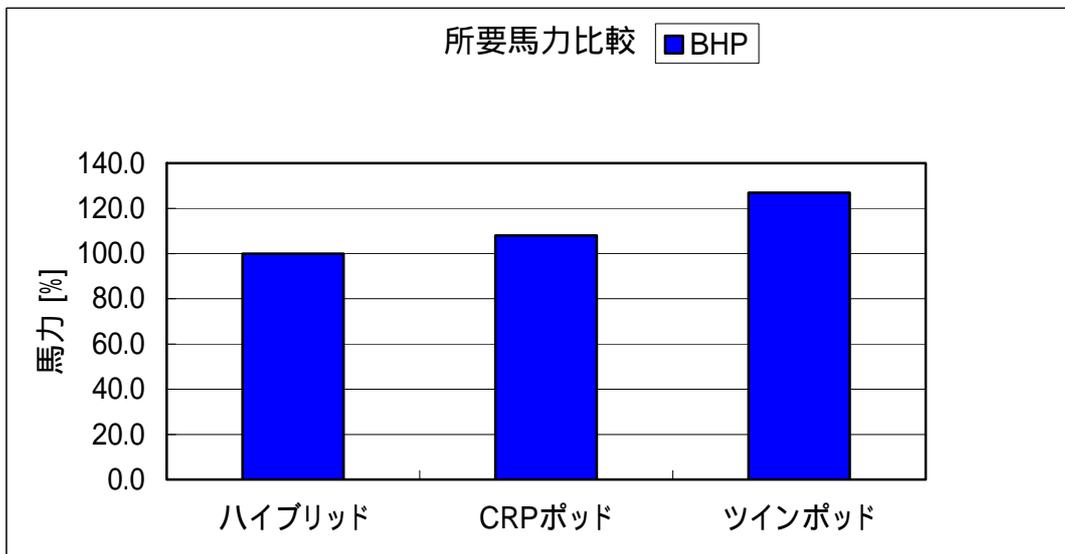


図 9 推進性能の比較

なお、これまでの検討で、ポッド船は旋回性能が良いことが分かっていますが、このことは舵をとると回頭し易いということですから、船が多少の風による外乱を受けても真っ直ぐ進むという性能、保針性能が悪くなる傾向があります。これまで検討の対象とした1軸船の5000DWT油タンカーについて、保針性能についてはスパイラル試験時の不安定ループ幅が7°であり、今後さらなる改善を要することとなりましたが、今般、保針性能を改善するため補助舵をプロペラ前方に設ける(特許出願中)ことにより不安定ループ幅は1°と改善され十分な旋回性能と保針性能を確保しています。

表 2 操縦性能試験結果

		ツインポッド	ハイブリッド型 CRPポッド	シングル CRPポッド
試験内容	IMOガイド ラインの値	実験値 (左側/右側)		
旋回試験 旋回縦距	4.5L未満	2.8L/2.8L	3.0L/3.0L	3.1L/3.2L
旋回試験 旋回横距	5.0L未満	2.2L/2.2L	2.6L/2.5L	2.6L/2.6L
10° Z試験 トラックリーチ	2.5L未満	1.9L/1.9L	2.4L/2.2L	1.9L/1.8L
10° Z試験 1stオーバーシュート	10.6° 未満	12.5° /12.0°	5.8° /8.4°	8.5° /8.0°
10° Z試験 2ndオーバーシュート	26.0° 未満	22.1° /25.1°	18.3° /9.8°	11.5° /11.0°
20° Z試験 1stオーバーシュート	25.0° 未満	23.5° /22.2°	17.0° /16.2°	15.6° /15.7°
停止試験 トラックリーチ	15.0L未満	6.4L	6.0L	7.8L

(3) 幾つかの技術支援

海上技術安全研究所では、これまで行ってきた水槽試験結果、試設計例等を基に電気推進船の性能推定を鉄・運機構、建造造船所等からの依頼を受け実施する他、以下のマニュアル類を作成し、船主等の協力を得て広く多くの内航船の建造造船所、船主、運航者等に対して電気推進船の普及を図るための技術支援を行っていくことにしています。

船主、内航船の建造造船所を対象に、基本計画の段階で、既存船と電気推進船の性能評価が行えるツールの作成

内航船の建造造船所においても電機推進船に適した船型設計ができるような船型設計マニュアルの作成

運航者を対象に、ポッド船特有の操船性能を活かした運航マニュアルの作成

建造造船所において、二重反転プロペラの性能を初期の段階で把握できる設計チャートの作成

4.2 スーパーエコシップ・フェーズ2

フェーズ2では、スーパーエコシップのコンセプトで4999DWT型白油タンカーが建造され、国と日本財団の支援の下スーパーエコシップ技術研究組合により実証試験が実施されます。この後、英雄海運(株)が、商業利用します。

フェーズ2のプロジェクトでは、SMGTと二重反転プロペラ型ポッド推進器

等の技術開発を終了し、スーパーエコシップ技術研究組合が設立され、現在建造の段階に進んでいます。海技研は、船型に関しては、母船型を提供し、本組合が設計した船型について CFD 計算を行いました。また、二重反転プロペラの設計、操縦性能の自航模型による水槽試験の実施等により建造に係る設計支援を行っています。現在、省力化システムの機能要件を整理し、その機能を満足させるソフト開発を実施しています。今後は、その評価法の検討と実証試験時の評価に研究の重点は移行していくことになります。

おわりに

海上技術安全研究所では、2001年から国土交通省の委託を受けスーパーエコシップに係る研究開発を行ってきました。その間、日本政府が先進38ヶ国に二酸化炭素などの地球温暖化ガスの削減目標を定めた京都議定書を2002年6月地球温暖化防止条約・京都議定書の批准を承認するなど環境問題に対する認識が高まり、疲弊している内航海運業などの支援、船員の高齢化の政策的課題等が追い風となって、スーパーエコシップ・フェーズ1のプロジェクトを産み、国土交通省、鉄・運機構、内航船主等の努力により研究開発から実用化の時代を迎えようとしています。この船は、現存船に比較し高い経済性、運航性能をもつ船として広く利用される必要があります。普及してこそ、モーダルシフトを実現し、地球環境保全を達成することができます。

海上安全研究所における研究開発という役割は、今年度で終了しますが、これまでの成果である、個々の技術は幅広く活用できるものとなっています。これらの技術を眠らせることなくその普及に大きな役割を担いたいと考えていますので関係者各位のご協力をお願いいたします。

