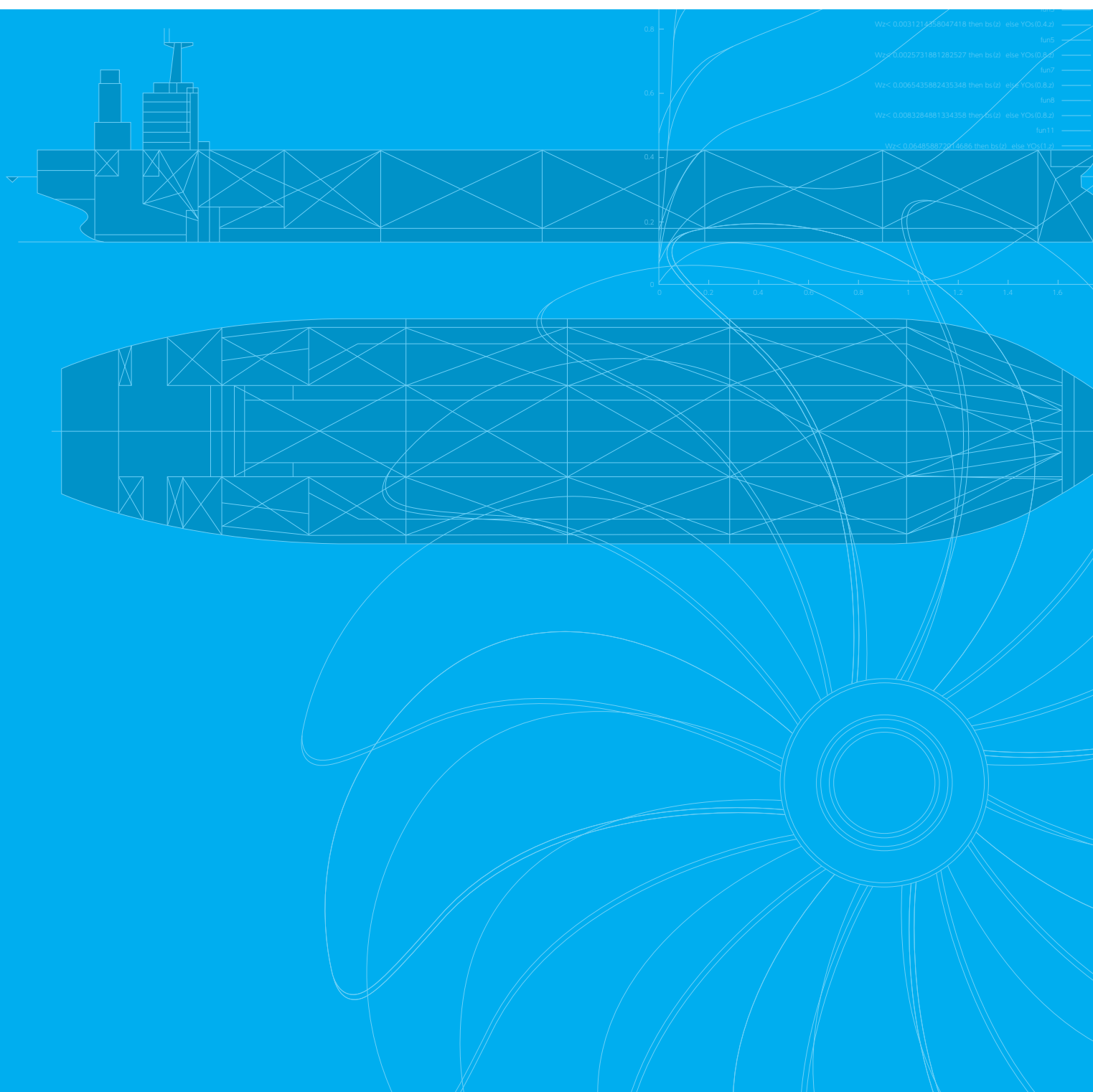


造船の最先端を見つめる技術情報誌

SRC NEWS

The Shipbuilding Research Centre of Japan

No.92
JUN 2013



CONTENTS



ロシア退役原潜の原子炉区画陸上保管施設建設事業
～機材調達代行業務(その2)～

3



東京消防庁消防艇「みやこどり」
ー国内最大級最新鋭消防艇ー

6



京コンピュータを使った
船舶推進性能推定について

8



EEDI規制がスタート(2013/1/1発効)
EEDI対応船型の開発

10



造船技術センターで実施しているCO₂削減技術に
関する共同研究の結果について(その1)

14



SRC資料室(12) 最適船型(その3)

19



伝達馬力は船速の3乗に比例する?

22



一般財団法人への移行について

23



当センターは東日本大震災復興キャンペーンを応援しています。

一般財団法人 日本造船技術センター

〒180-0003 東京都武蔵野市吉祥寺南町1丁目6番1号 吉祥寺スバルビル3階 TEL 0422-40-2820 FAX 0422-40-2827



ロシア退役原潜の原子炉区画 陸上保管施設建設事業 ～機材調達代行業務(その2)～

5. 機材の製造監視

前述のとおり、ロシア側の原子炉区画陸上保管施設の建設スケジュールに合わせて、各機材の納入期限は、2011年12月中旬までとしました。落札した請負業者は、契約直後に、それぞれの事業所の船台や生産ラインの都合を鑑みて、当センターが設定した納入期間内での納入スケジュール表を作成し提示してきました。

3つの機材の製造管理は、いずれも本邦のメーカーの管理下であったため、品質面や工程面では、東日本大震災の影響以外は、特に問題は発生しませんでした。

浮ドックとタグボートについては、当センターの職員により、主要な検査を実施しましたが、請負契約に規定された船級認証のための検査を担当するロシア船級協会(RS)は、実績隻数は少ないものの日本の造船所のやり方はよく知っており、当センターの検査に合わせて検査員が訪日して、効率よく検査業務をこなしていました。

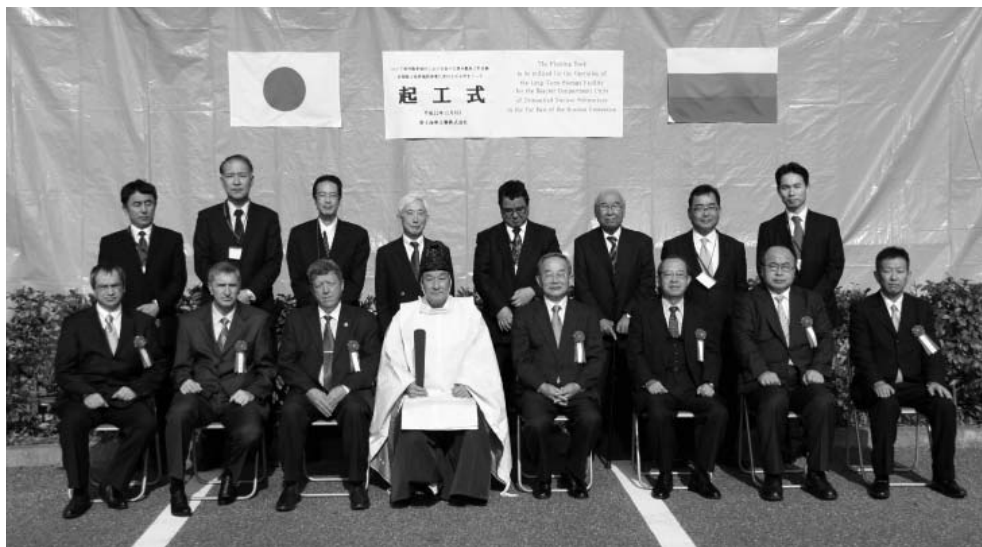
一方、岸壁クレーンの場合は、ロシアの検査機関RTNの権限が非常に強く、しかも日本製クレーンのロシアでの認証業務の実績が極めて少ない為、製造メーカーとしては最初のうち認証手続の要領を明確に理解する必要があり、頻繁に打合せのため、ウラジオストクを訪れて、現地のRTN代理店を交えてダリラオ社で協議を重ねました。当センターも、製造メーカーとダリラオ社の仲介役として、所定の品質の製品が期限どおり現地に引渡せるように支援を行ないました。

浮ドックのメーカーは、船級承認を受けた造船用鋼材の手配が、建造工程上、国内では期限内に間に合わないことから、浮ドックの船底部ブロックのみを中国で製造して、その後、日本に曳航して、その他の船体側壁部ブロックと合体させる工法を採ることになり、当センターは中国の大連の造船所に職員を3度に亘り派遣して、品質と工程のチェックを行いました。

こうして、現地に機材を納入するまでに、タグボートでは4回、岸壁クレーンでは12回、浮ドックでは14回、メーカーとともにウラジオストクのダリラオ社との技術協議やラズボイニク湾での現地協議を行いました。また、国内での製造監視のため、タグボートでは7回、浮ドックでは9回(中国での3回含む)、岸壁クレーンでは13回の立会検査や工程会議を実施しました。

3機材の調達で最も工夫を要したのは、現地工事期間の短縮です。船舶の場合には、造船所で試運転を終えて、そのままタグボートであれば自航で、浮ドックであれば曳航で、現地に搬入できますが、岸壁クレーンの場合はそうはいきません。通常であれば、クレーンの部品を現場で組み立ててゆく方式が考えられますが、この方式だと今回、現場がロシアのため、現地への輸送手段は部品をコンテナで運ぶとして、現地の通関後、現場までどうやって輸送するか、また、現場で現地業者を起用して組立作業を実施することになり、工程に与える不安定要素が増大することになります。そこで、コンテナクレーンで採用されている一体輸送方式を当初から

採用する方針にしました。請負メーカーも、現地工事のリスクを最小限化するためにはこの方式しかないことを十分理解しており、ダリラオ社との12回に及ぶ協議では、ラズボイニク湾で建設中の長期保管施設の基礎構造、レール位置と寸法、電源仕様等確認をはじめ、日本から一体輸送して現地搬入する場合の岸壁と輸送バージとの位置関係、そして工事はさほど多くはないものの、現地で必要な作業のための現地業者との交渉や契約業務など、多岐にわたる調整を事前に行いました。



浮ドックの起工式



ナホトカへの一体輸送前の岸壁クレーン

こうして、日本で完成して運転確認を無事に終えた3つの機材のうち、タグボートが平成23年7月23日に日本の青森港を自航で出発し、同25日にナホトカに到着しました。浮ドックは同9月15日に兵庫県相生を大型タグボートに曳航されて出発し、同28日にナホトカに到着しましたが、途中9月16日から23日にかけて台風15号による風波を避けるために門司港に退避しました。岸壁クレーン2基は大型バージに搭載された後、大型タグボートに曳航されて同9月30日に広島県呉を出発し、同10月6日にナホトカに到着しました。



ナホトカ港に到着したタグボート

この後、現地引渡しまでに3つの機材とも課題に直面しました。機材の納入場所が、ロシア国防省の管轄するエリア内にあるため、事前の手続が非常に重要でした。

最初に直面した課題はタグボートで発生しました。タグボートがナホトカ港に到着後、約40キロ離れたラズボイニク湾までのロシア国内の航行許可がなかなか下りなかったことです。タグボートの国内航行許可の取得はロシア側のダリラオ社の所掌でしたが、事前に申請していたにもかかわらず、沿岸警備隊等の許可がすぐに下りませんでした。ダリラオ社では国内航行許

可の取得がいつになるのか目処がたたないとして、一方、請負メーカーはナホトカ港で長期間係留させれば港湾料が高み、契約納期も遵守できなくなる為、当センターの仲介で協議を重ねた結果、平成23年7月29日にナホトカ港でダリラオ社に引渡すことで3者合意に漕ぎ着けました。なおその後、タグボートがナホトカ港からラズボイニク湾に移動できる許可が出されるまで約1ヶ月を要しました。

次に、岸壁クレーンでは更に重大な課題が発生しました。クレーンの一体輸送に使用した大型バージの船籍が日本ではなかったためです。我が国の船舶法では非自航のバージや浮ドックの船籍登録は不要ですが、ロシアでは海事法により登録が義務付けられます。この課題は同9月21日に初めて浮上しました。同9月30日の日本出港直前でした。バージの船籍が韓国である為、ロシア国内の航行許可取得に最短でも4ヶ月を要することが分かったのです。当初、ナホトカでロシア船籍のバージに積み替えて、ラズボイニク湾まで輸送する方法を検討して調査したところ、十分なブーム長さを有し重量200tの岸壁クレーンを一体のまま吊上げられる特殊な浮クレーンがナホトカはおろかロシア極東には、サハリンの石油ガスプロジェクト開発現場を除いて見当たりませんでした。最終的には、一度、日本に持ち帰ることも検討されましたが、ダリラオ社のルイセンコ社長がモスクワのロスラオ社やロスアトムに直訴し、また同社長の太平洋艦隊勤務当時の人脈等を駆使してモスクワの中枢を動かし、なんと同10月14日までに特別許可を取得できました。これは、ロシア側の関係者も口を揃えて前代未聞と驚いていました。これも、日露両国の協力による本事業の重要性が、モスクワにも十分理解されていた証左だと感じました。岸壁クレーンの現地作業と検査は順調に行なわれ、平成23年11月18日にダリラオ社に正式に引渡されました。

最後に、浮ドックの現地工事でも課題が発生しました。浮ドックの場合は、曳航されるだけなので、ロシア国内での航行許可は問題ではありませんでしたが、現地での調整工事、試運転を終えて、いよいよ明日引渡予定としていた矢先に、船体の一部に異常が検出されました。直ちに日露双方で、材料、運転操作、設計強度等の観点から調査が開始され、同11月末までに必要な補強方法について合意されました。それに基き12月初めから、補強工事が現地のズベズダ造船所等の協力を得て実施され、平成24年1月16日までに終了しました。その後性能確認試験をする予定でしたが、15年ぶりの厳冬のためラズボイニク湾の海面が完全に解氷するまで、契約が延長されました。

そして、同湾を覆っていた海面の解氷が確認されたラズボイニク湾で、3-CRUに見立てた給水バージを使い、同5月4日～6日にかけて、当センター、ダリラオ社立会のもとに請負メーカーによる最終確認運転が行われました。その結果、浮ドックが所定の

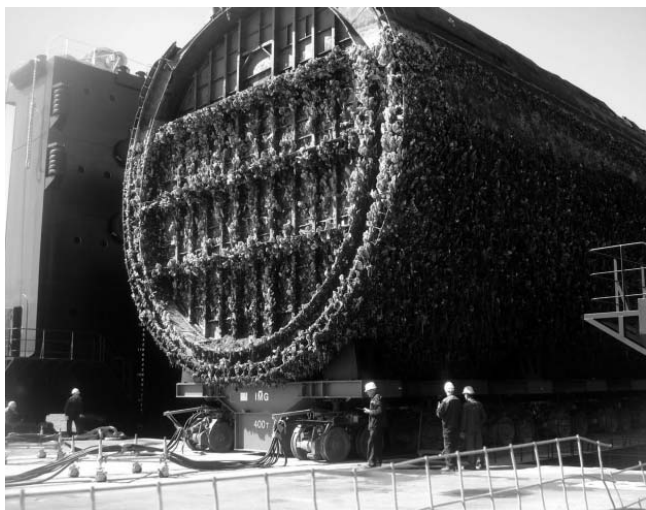
機能が発揮することが確認され、同5月10日に浮ドックがダリラオ社に正式に引渡されました。

そして、冒頭に申し上げたとおり、平成24年5月18日に、日露両政府関係者の列席の下に、3機材引渡完了式典がラズボイニク湾で行なわれたのでした。



日露代表者によるテープカット

その後、ダリラオ社による実際の3-CRUを使用した浮ドックの運転確認試験が同9月24日に実施され、当センターは実機の3-CRUが問題なく浮ドックから陸上に陸揚げされることを請負メーカーとともに作業に立会って確認しました。作業は、日本側が作成した浮ドックの操作マニュアルに基き、ダリラオ社の手で全て実施され、問題なく実施できたことで、ロシア側としても今後、安全に作業を実施する自信を得られたとして満足の意が表明されました。



実際の3-CRUを使った陸揚げ作業

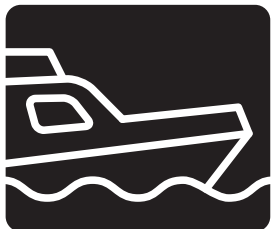
こうして、ロシアの特殊な行政システムへの戸惑いや、検査体制の相違による紆余曲折を克服し、3機材の調達代行業務を完了することができました。

6. おわりに

本事業の調達代理業務を通して、発注者である日露非核化協力委員会技術事務局殿には、終始、適切なご支援を戴きました。また、それぞれの機材の製造と納入に当られた北浜造船鉄工株式会社殿、富士海事工業株式会社殿、IHI運搬機械株式会社殿には高度な技術と豊富な経験を以って機材の製造・納入に尽力されましたことを付記致します。そして、全ての機材を最終的に滞りなく引渡しできた背景には、当センターとの信頼関係のもと、ロシアにおける様々な課題の解決に奔走してくれたダリラオ社殿はじめロシア側関係諸機関の関係諸氏の貢献があったことを忘れることはできません。

なお、日露間の協力の証として浮ドックは「SAKURA」、タグボートは「SUMIRE」と命名されました。2基の岸壁クレーンとともに、両国の友好の象徴として、日本海の環境保全への貢献が期待されます。

(海外協力部 小川 賢)



東京消防庁消防艇 「みやこどり」 —国内最大級最新鋭消防艇—



航走写真

1. はじめに

東京消防庁殿は、東京湾内の消防、救命活動に対応する消防艇を保有していますが、このうち最大の「みやこどり」について、平成22年に代替船の建造を決定されました。基本設計は平成22年度に実施された後、建造は平成23年～平成24年度の2年に渡って行われました。本船は平成25年2月28日に引渡され、現在臨港消防署を基地に消防、救命活動に活躍しております。

当センターでは、平成22年4月から平成23年1月まで本船の基本設計業務を、平成24年4月から平成25年3月まで建造監理を行いました。

以下に本船の概要と性能を紹介致します。

2. 本船の基本コンセプト

本船の建造に当たり、東京消防庁殿が決定された要求事項は以下のとおりです。

- (1) 消防活動が安全かつ迅速に行える設備及び機能を有すること。
- (2) 大規模災害等に対する防災支援に充分機能できる設備及び装置を備え、救急救命業務を円滑に遂行できること。

- (3) 最新鋭の消防艇としての耐航性を有するために、船体強度、復原性能、防振・防音に配慮し、良好な推進性能、操縦性能を有すること。
- (4) 操舵室、指揮作戦室には操船システム、主機関監視システム、消防機器監視システム及び画像集中システムを効率的に配置すること。
- (5) 上甲板には作業室及び被災者用の救護室を配し、救護室には救急資機材を効率よく配置すること。
- (6) 上甲板下には被災者用の救護室及び待機室を設け、待機室には長期の行動を考慮した諸設備を設けること。
- (7) 海洋環境保全、海洋汚染防止に配慮すること。

3. 本船の概要

(1) 一般配置

一般配置は、上甲板下に前部より船首倉庫、パウスラスタ室、上甲板下救護室、職員室、機関室及び船尾空所を配置し、上甲板には前部より上甲板救護室、作業室を配置しております。上甲板上二層目の船橋甲板には指揮作戦室を設け、上甲板上三層目の航海船橋甲板には操舵室を配置しております。

消火活動の主要装備としては、15,000Lの放水砲を上甲板前部に2門、10,000Lの放水砲を船橋甲板上前部に2門、及び5,000Lの放水砲を操舵室後部に設けた伸縮放水塔上に2門、合計60,000Lの放水能力を有しております。更に、近距離用としての放水口を上甲板救護室の前部と側面の両舷2箇所に備え、送水栓を両舷に配置しております。また、流出油処理用の放水装置を上甲板船首部に設け、船尾にはオイルフェンスのシューターを装備しております。救命活動用としては、救護者揚架装置を船尾上甲板の両舷に配置しております。また、搭載艇を上甲板中央部に搭載して、中央部に設けた2基のクレーンで揚げ降ろしをできるようにしております。

救護用の上甲板救護室には、作業室後部に設けたストレッチャーが無理なく通れる大型の両開きのドアにより被災者を搬入するようにしており、救急資機材で迅速な処置を行えるようにしております。

指揮作戦室には全ての情報を集め、大型のモニターを用いた会議ができるような配置としており、操舵室には操船コンソール、航海計器コンソール、主機補機制御/監視コンソール及び消防コンソールを配置して集中的な操船、消火活動を容易にしております。

(2) 主要目

船 質	上甲板下:高張力鋼 上部構造:軽 合 金	総トン数	195トン
		資 格	JG第4種船
全 長	43.21 m	航行区域	平水区域
登 録 長	37.81 m	航海速力	20 ノット
水 線 長	40.00 m	搭載人員	15 名
幅(型)	7.50 m	そ の 他	35 名
深さ(型)	3.80 m	合 計	50 名
計画満載喫水	2.00 m	(最大搭載人員 乗員15名、その他 85名、合計100名)	

(3) 主要装備

主機関	高速ディーゼル機関	3基	ヘリコプタTV画像受信装置	1式
	(合計出力5,994kW)		画像集中監視装置	1式
第1発電機	150kVA	1基	航海計器	1式
第2発電機	350kVA	1基	ジャイロコンパス	1台
推 進 器	ウォータージェット	3基	DGPS航法装置	1式
バウスラスター		1基	レーダー	1台
操 舵 装 置		1式	電子海図装置	1式
特殊操船装置		1式	サーチライトソナー	1式
海上監視カメラ装置		1式	マルチビームソナー	1式

4. 特徴

(1) 高速化及び操縦性能強化

本船には迅速な災害現場への移動を要求されており、これを達成するため大馬力の高速ディーゼル機関3基を搭載し、推進器としてウォータージェット3基を各々の主機に組み合わせた3機3軸として航海速力20ノットの高速性能が得られました。

また、船首に設けたバウスラスターとウォータージェットの各々の推力をコントロールすることにより、定点保持を含む自在な操船ができる機能を有しています。

(2) 放水能力

15,000Lの放水砲を2門、10,000Lの放水砲を2門、及び5,000Lの放水砲を伸縮放水塔上に2門、合計60,000Lの放水能力を有しており、本邦最大級の消火能力を有しております。更に、陸上への送水も可能としており、海、陸の両面からの消火能力を従来より強化しております。

(3) 救急救命機器

上甲板救護室、上甲板下救護室には救急資機材を搭載しております。舷の高い上甲板からの救助が困難な被災者は、救護者揚架装置を使用することにより安全に救助できるようにしております。

5. 本船主要機器写真

本船の主要部の写真を以下に示します。



操舵室



上甲板下救護室



消防装置制御盤



救護者揚架装置



指揮作戦室

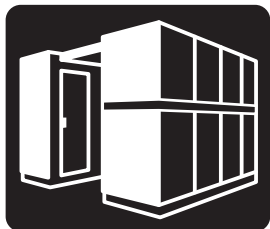


一斉放水状態

6. おわりに

本船の基本設計、建造監理を通して船主である東京消防庁殿には終始適切なご支援を戴き、心よりお礼申し上げます。また、建造に当たられた新潟造船株式会社殿には高度な造船技術と各種アイデアを駆使して消防艇としては最大級の本船建造に尽力されましたことを付記致します。

(海洋技術部 石井哲郎)



京コンピュータを使った 船舶推進性能推定について

1. はじめに

鎌倉時代、鴨長明が書いた『方丈記』の冒頭には、「ゆく河の流れは絶えずして、しかももとの水にあらず。よどみに浮かぶうたかたは、かつ消えかつ結びて、久しくとどまりたるためしなし。」と記されています。また、その数世紀後、ルネサンスの万能科学者レオナルド・ダ・ビンチのスケッチには、橋げた後方の水面上で渦巻く3次元構造が精密に描かれており、乱れた流れの中に何らかの秩序だった構造を見ていたと考えられています。

水槽試験で見えてくるものは、こういった動的な流れの平均をとった謂わば平衡状態としての力であり、特に平水中試験の場合、船体回りの流れは静的なイメージで捉えられがちです。しかしながら、実際には、時々刻々と発生し消滅する小さな縦渦が船体を覆う乱流境界層を生成し、プロペラへ流入する流場を支配するといった非常に複雑で非定常的な性質が強い現象なのです。

SRC News No.90では現在、日本造船技術センター（SRC）で取り組んでいる「Large Eddy Simulation (LES) を用いた船舶性能推定精度向上に関する研究」の平成23年度成果の一部をご紹介します。LESでは乱流境界層内の非定常な小さな縦渦を忠実に再現して飛躍的に高い精度（目標1%以内）を実現しますが、膨大な計算量を必要とします。

従来、乱流は複雑でよくわからないため、統計的手法を基に理論的研究が行われていました。統計的（確率的）手法と聞くと量子力学を思い浮かべて、それ程ミクロな世界が関係しているのかと思われるかもしれませんが、実際はニュートン力学で十分説明できるスケールの現象です。これまでの船舶分野ではこの乱流の統計量を扱う『乱流モデル』を本質的なところで使うReynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) 法を使っており、精度的な限界がありました。これを解消するべくより複雑な乱流モデルが導入され、それなりの成果を上げてきましたが、依然として、数%から数十%の誤差を含んでいます。結局、支配方程式であるNavier-Stokes方程式を忠実に解くことが精度向上への王道だと思われます。

LESでは最も支配的な縦渦を再現することが重要となりますが、この縦渦のサイズは通常SRCで使用している6m模型試験で概ね1mmの直径です。この渦一つを最低限各方向10分割の計算格子で再現するとすれば、0.1mm弱の計算格子で船体全体を覆う必要があります。そのため、計算領域全体での計算格子数は300億を超えます。

平成24年度、SRCは東京大学と共同で、文部科学省事業の京速コンピュータ「京」を中核としたHPCI（革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ）の活用を目的としたHPCI戦略プログラム「分野4 次世代ものづくり」の重点課題として神戸にある京コンピュータを利用して320億格子の船体回りの計算を行いました。準備計算を含めて京コンピュータの1/3にあたる3万ノード（24万コア）を概ね100時間使用しました。格子生成にはPointwise/Gridgen、流体計算にはFrontFlow/blue、可視化にはEnSight/FieldViewを使用しました。余談ではありますが、人間の脳には140億個の神経細胞があり、その発火サイクルは1ミリ秒だそうです。京コンピュータはその名の通り1秒間に1京回の計算ができるのですが、脳の一秒当たり発火回数の14兆回と単純に比べることはできませんが膨大な量（700倍）だということが分かります。

ところで、みなさんご承知の通り、現在、船舶からの温室効果ガスの削減対策の義務化を目的として、国際海事機関（IMO）においてEEDI（Energy Efficiency Design Index；エネルギー効率設計指標）を現在の平均ベースから最大35%程度まで、15～20年程度を掛けて段階的に低減する規制が順次実施されています。これは個船の輸送効率を水槽試験や海上試運転などで設計者・造船所が実証、さらに第三者機関によって認証する仕組みや、省エネ船や革新的技術を普及させる為のインセンティブとなるような仕組みが盛り込まれており、今後の水槽試験ニーズをますます増加させると考えられています。

このような背景の中で、近年、全世界中で次々と新しい水槽が建設されております。本計算は現在のところ、京コンピュータクラスのスーパーコンピュータでしか計算できず、かなりのコストが掛かりますが、将来的に計算機の性能が向上し（毎年ほぼ倍になっている）、値段が下がれば水槽試験より短期間、低コスト、高精度で実施でき、設計コストの削減や革新的技術開発などで海運および造船業界へ貢献することが期待できます。

本稿では平成23年度、24年度計算成果についてその一部をご紹介します。

2. 計算結果

平成23年度の計算では乱流促進デバイスを付けずに自然遷移する計算を行いました（図-1参照）。SRC News No.90執筆時点では十分な分析ができていなかったのですが、まず、流れが船首から

船底に潜り込むときに乱流に遷移し、それとは別系統で喫水付近ではside flat tangency line近辺の大きな曲率(変化)に耐え切れず乱流に遷移して行き、midshipあたりのbilge circleの上あたりで上下の乱流遷移線が合体する様子が観察されました。非常に昔の昭和30年代の論文ですが、田古里先生の研究 [1]に出ているような様子を再現しています。本計算結果の詳細は日本船舶海洋工学会論文集 [2]に掲載されています。

平成24年度計算は図-2の船体表面の渦度を見てわかるように乱流促進デバイス(stud)をつけて計算を行ったので、ほぼ全面乱流になりました。また、図-3に示すような自由表面の影響を考慮した計算ができるようになりました。これは従来法のRANS法でも十分精度のよい結果が得られていますが、ここでのポイントは自由表面も考慮しながら、しかもきちんと小さな縦渦を時々刻々と解いているところであります。

その他、プロペラ単独試験を模擬した計算を行いました。概ね流体力に関して試験結果とも良好な一致を見せ、船体にプロペラがついて自航している状態の計算も行いました(図-4)。これらすべての流体力を含んだ6自由度の船体運動計算が行えるようになると完全な曳航水槽シミュレーターの完成です。

3. おわりに

今回行った計算では膨大な情報量が得られた訳ですが、まだまだ十分な解析が終わったとは言えない状態です。今後、船体回りの乱流場を詳細に分析し、他の乱流の研究など比較して船舶特有の事象をじっくりと観察していきたいと考えています。図-5の速度勾配第2不変量と呼ばれる渦の強度を示す物理量の等値面を見ると船体近傍に小さな渦が無秩序に散らばっているように見えますが、決定論的力学系ですので運動は完全にはランダムではなく、カオス力学的構造があると考えられています。冒頭の鴨長明が見ていたものも複雑系の世界で有名な散逸構造、すなわちエネルギーが散逸していく流れの中に自己組織化によって生まれる定常的な構造だと思われます。本計算の分析を進め、小さな縦渦がプロペラにぶつかる様子をつぶさに観察すれば船舶流体力学が新たなステージに突入するのではとソワソワしています。

(技術開発部 設計システム開発課 西川達雄)

参考文献

- [1] 田古里哲夫、造船協会論文集(103)、pp.1-10、1958
- [2] 西川達雄他、日本船舶海洋工学会論文集(16)、pp.1-10、2012



図-1 船体表面の渦度分布と限界流線



図-4 自航計算の瞬時場圧力分布



図-2 船体表面の渦度分布 ($Re=4.6 \times 10^6$ 、320億格子)

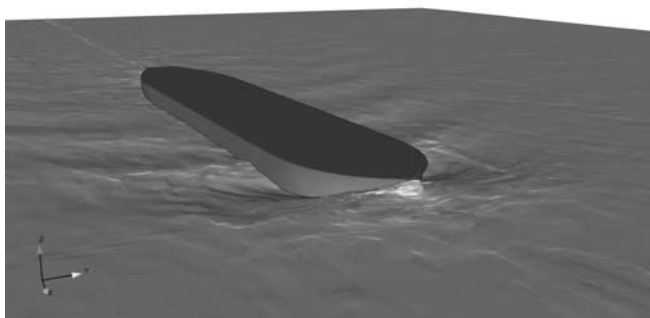


図-3 自由表面計算(計画速力)

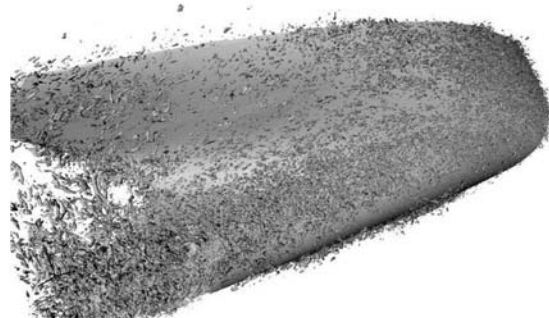


図-5 $Q=30000$ 等値面



EEDI規制がスタート (2013/1/1発効)

1. はじめに

国際海運からの温室効果ガス (Green House Gas; GHG) の排出量は、世界11機関よりなる国際コンソーシアムでの調査の結果、2007年において約8.7億トン(地球全体の排出量の約3%、ドイツ1国相当;MEPC59での報告) であると報告されています。気候変動枠組み条約京都議定書において、国際海運からのGHG排出量の抑制については、その第2条第2項で、国際航空と共に専門の国際機関(IMO、ICAO)に委ねられています。

こうした情勢の中で国際海事機関IMOは、2008年より国際海運よりのGHG排出抑制の枠組み作りに本格的に着手し、2011年7月、海洋汚染防止条約(MARPOL条約)付属書Ⅵの改正が採択され、2013年1月1日より国際海運からのGHG排出量の規制がスタートしました。

本稿では、当センターが昨年11月に実施したSRCセミナーでご紹介した資料をもとに、EEDI規制を中心にMARPOL付属書Ⅵの改正の内容について解説を試みます。

2. EEDI規制の経過

GHG排出量の抑制は、これまで、技術的・運航的手法と経済的手法に別けて議論されてきました。技術的手法は、①船舶の設計、建造段階でエネルギー効率の改善によるGHG排出抑制対策を組み込む方法(EEDI規制の概念)であり、運航的手法は、②船舶の運航方法を改善することによりGHG排出を抑制する方法(SEEMPの概念)です。さらに、現在、IMOでは、エネルギー効率の一層の改善を目指し、現存船の燃費データ収集メカニズムの検討を開始しました。これに対し、燃料油課金や排出権取引などを利用しGHG排出を抑制する手法が、経済的手法です。本稿では前者の技術的手法、中でもEEDI規制を中心に取り扱います。

国際海運からのGHG排出抑制に対し、日本は当初より積極的に係わって来ました。2008年3月のIMO第57回海洋環境保護委員会(MEPC)では、現在のEEDI規制に繋がる概念である「新造船の燃費効率を評価する指標を策定すること」を日本から提案しています。MEPC57での議論の結果、この提案の有効性、必要性が認識され、これをベースとしたGHG排出量抑制対策の策定が開始されました。

MEPC58では、日本等が提案した「エネルギー効率設計指標算出に関する暫定ガイドライン」を用いて設計指標を試行することが承認され、これを踏まえた試行が各国で行われました。試行の結果は中間会合で議論され、MEPC59において「新造船のエネルギー効率設計指標(EEDI)の算出方法に関する暫定ガイドライン」、「EEDIの自主認証に関する暫定ガイドライン」、「船舶のエネルギー効率運航指標(EEOI)の算出方法に関する暫定ガイドライン」修正案、「船舶エネルギー効率管理計画(SEEMP)に関するガイダンス」が採択されました。MEPC60では、EEDIおよびSEEMP義務化のためのMARPOL付属書Ⅵ改正案(日本、ノルウェー、アメリカ共同提案)が支持され、これをベースとした改正案の審議が開始されます。この改正案はMEPC62において採択され、この時点で2013年1月1日からのEEDI規制、SEEMP強制化の発効が決定されました。

この間並行して規制内容の議論がより具体的に進められ、MEPC61において、日本提案をベースとしたEEDI削減率の段階的強化、適用時期、適用サイズ、船種を規定した「EEDI規制パッケージ」が合意されています。さらに「EEDI計算ガイドライン」、「EEDI検査・認証ガイドライン」、「SEEMP策定ガイドライン」、「EEDIリファレンスライン作成ガイドライン」がMEPC63において採択され、これによってEEDI規制の枠組みが整えられました。

3. EEDI規制(MARPOL付属書Ⅵの改正)

3.1 EEDIとEEOIそしてSEEMP

MARPOL 付属書Ⅵの改正による船舶からのCO₂排出量削減のイメージを図-1に示します。

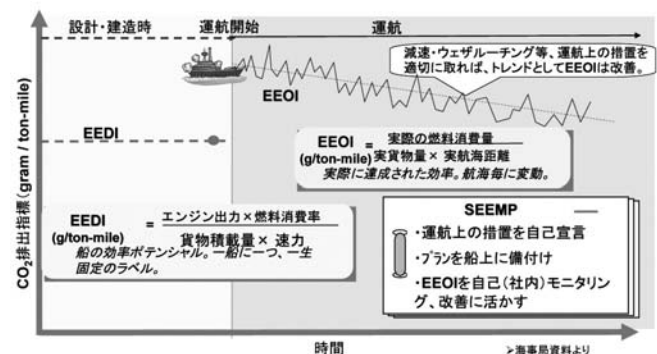


図-1 船舶からのCO₂排出量削減のイメージ
(国土交通省資料より)

図-1に示されているとおり、船舶からのCO₂排出量を把握する指標として、EEDI、EEOIという二つの値があります。それぞれの定義を(1)式、(2)式に示します。

$$EEDI(g / ton \cdot mile) = \frac{CO_2 \text{ 換算係数} \times \text{燃料消費率}(g/kWh) \times \text{機関出力}(kWh)}{\text{Capacity}(DWT \text{ 等}) \times \text{速力}(mile/h)} \quad (1)$$

$$EEOI(g / ton \cdot mile) = \frac{CO_2 \text{ 換算係数} \times \text{燃料消費量}(g)}{\text{実貨物量}(ton) \times \text{実航行距離}(mile)} \quad (2)$$

定義式からも明らかのように、両方とも1tonの貨物を1マイル運ぶ際に排出するCO₂の量を表しています。しかし、EEOIが実際に積載した貨物量、実際の航行距離、実際の燃料消費量から算出されるのに対し、EEDIは設計時の仕様によって定まる数値によって計算できるようになっています。すなわちEEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) が実際の船舶の運航時のCO₂排出量を把握するために使われるのに対し、EEDI (Energy Efficiency Design Index) は、設計段階で船舶のCO₂排出量を把握し、エネルギー効率の悪い船舶を入り口で規制しようという概念です。

図-1は、船舶の設計、建造、運航という時間経過を横軸に、CO₂排出量を縦軸にとっています。設計時は当該船舶の設計仕様に基づいた水槽試験結果より計算されたEEDIに基づいて仮認証が行われ、建造後、試運転結果に基づいて再計算されたEEDIで認証が行われます。認証されたEEDIはその船舶の生涯にわたり一意に固定されたラベルになり、これが規制値以下でなければ運航が認められません。EEDI規制は、①2013/1/1以後建造契約が結ばれる船舶、②建造契約が無い場合2013/7/1以後起工される船舶、③2015/7/1以後引き渡しが行われる船舶、に適用されます。

一方、就航後は船舶のエネルギー効率を向上 (CO₂を抑制) させる取り組みや目標等を記載した船舶エネルギー効率管理計画を作成し、その実施が求められます。また、EEOIを用いて実際の運航におけるCO₂排出量を把握 (即ちエネルギー効率を把握) することが推奨されています。この船舶エネルギー効率管理計画がSEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) と呼ばれ、排他的経済水域 (EEZ) を越えて航行する400GT以上の船舶に作成・備え置きが義務づけられています。

3.2 リファレンスライン

具体的にCO₂排出量の削減を行うに当たり、EEDI削減率のベースとなる値を決めなければなりません。そのベースとなる値がリファレンスライン (ベースラインと呼ばれる場合もあります) です。リファレンスラインの一例を図-2に示します。

横軸に載貨重量DWT、縦軸にEEDIの形式で現存船のEEDI (◆) を整理し、回帰分析により(3)式を当てはめて得られる線がリファレンスラインです。現存船の値はIHSフェアプレーのデータベースを出典としています。係数aおよび乗数cは、船種毎に回帰分析により決定される定数であり、4章および表-1で説明します。

$$EEDI = a(DWT)^{-c} \quad (3)$$

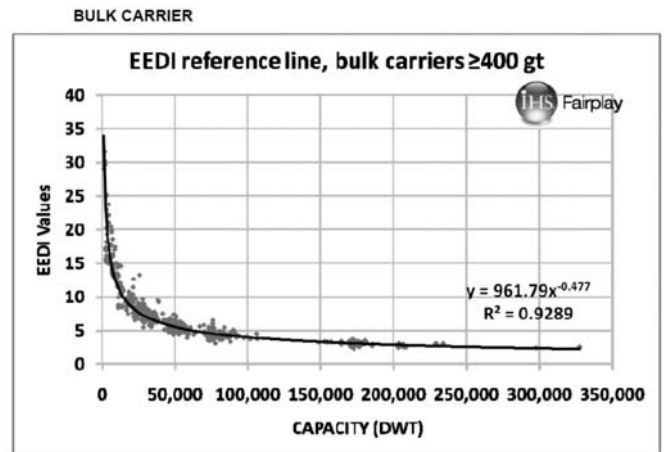


図-2 バルクキャリアに対するEEDIリファレンスライン (IMO/MEPC 62/64 Annex1資料より)

3.3 EEDI規制の段階的強化

EEDI規制値は船舶のサイズ(載貨重量;DWT)、船種によって決定され、時を経る毎に段階的に規制が強化されていくことが特徴です。図-3にEEDI規制値段階的強化のイメージを示します。横軸に船舶の載貨重量をとり、下段の図の縦軸はEEDIを、上段の図の縦軸はリファレンスラインに対するEEDIの削減率をそれぞれ示しています。

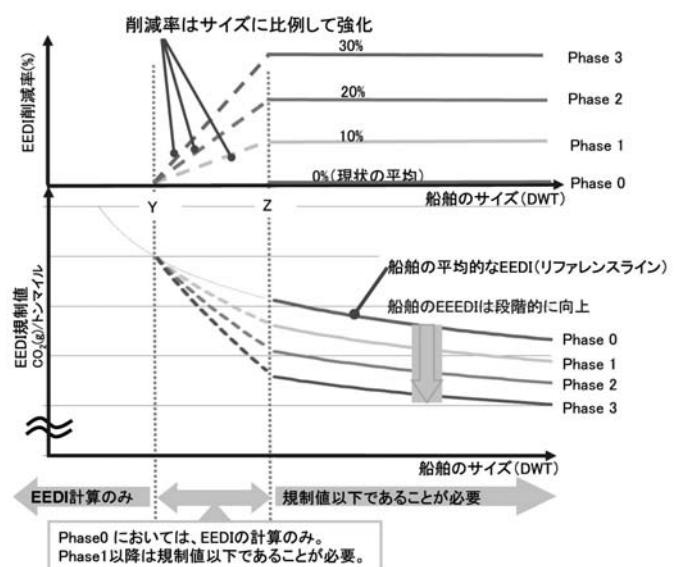


図-3 EEDI規制値段階的強化のイメージ (国土交通省HPより*1)

上段、下段とも4本のラインが引かれています。これは2013/1/1から2025/1/1までに段階的に規制が強化されることを表したラインであり、それぞれの適用期間は次のように定められています。

- Phase 0； 0% (2013/1/1～2014/12/31)
- Phase 1；10% (2015/1/1～2019/12/31)
- Phase 2；20% (2020/1/1～2024/12/31)
- Phase 3；30% (2025/1/1～)

船舶のサイズによってもリファレンスラインからの削減率は異なっています。DWTがYより小さい場合はEEDIを計算することのみ要求されます。しかしZより大きいDWTをもつ船舶は、各Phaseで一定の削減率を要求されます。DWTがYからZの間にある船舶は、上段に示されたとおり、DWTに比例したEEDI削減率が課されます。

4. 船種ごとのEEDI

(3)式のa, cの値、図-3のY, Zの値、そしてEEDI削減率は、船種によって異なっています。

表-1にリファレンスラインを定義するa, cの値を示します。表-1に併せて示されているR²は回帰式の重相関係数、Populationは回帰式を作成するときに使用したデータ数を示しています。バルクキャリアやタンカーの重相関係数は0.9以上、データ数も充分大きいため信頼性の高いリファレンスラインが得られていると考えられます。

表-2に船種毎に各PhaseにおけるEEDI削減率を示します。サイズの項目は各船種で2段になっていますが、上段はDWT≥Zの値を、下段はY-Z間の値をそれぞれ示しています。ここで使われている船種の定義はIMOのHP²⁾に記載されています。

なお、現在EEDI規制の適用対象をLNG運搬船や自動車運搬船等に拡大するため、これらの船舶等に関して、条約改正案が審議されており、次回MEPC66 (2014年3月末開催予定) で採択され、2015年8月頃規制が開始される見込みとなっています。

5. おわりに

以上ご説明してきたように、EEDIの規制は今年の元旦より発効しています。これによって造船会社はEEDIの各フェーズに対応するため、継続的な技術開発により船舶のエネルギー効率を向上させて行かなければならない責務を負ったこととなります。しかしこれは全世界共通の責務であり、見方を変えれば技術力により自社製品の差別化を図るまたとない好機と考えることもできます。

当センターは以上のような考えの基に、EEDI規制に係わる国際的な動向をフォローしていくと共に、これまでに蓄積してきた

水槽試験、船型開発のノウハウを応用して、EEDI規制をクリアする高性能船型の開発を継続的に支援して行きたいと考えています。

本稿を作成するに当たり貴重なご意見をいただいた、国土交通省海事局安全基準課殿に感謝いたします。

(試験センター技術部 金井 健)

表-1 船種毎のリファレンスライン
(IMO/MEPC 62/64資料より)

Parameters for determination of reference line values calculated using a minimum ship size of 400 GT*						
Ship type	Ship size	Parameters		R ²	Population	Excluded***
		a	c			
Bulk Carrier	≥400 GT	961.79	0.477	0.9289	2512	16
Gas tanker	≥400 GT	1120.00	0.456	0.9446	354	0
Tanker	≥400 GT	1218.80	0.488	0.9574	3655	14
Container ship	≥400 GT	186.52	0.200	0.6191	2406	32
General cargo ship	≥400 GT	107.48	0.216	0.3344	2086	47
Refrigerated cargo carrier	≥400 GT	227.01	0.244	0.5130	61	1
Combination carrier	≥400 GT	1219.00	0.488	0.9575	6**	0

* Supplied by IHS Fairplay, www.ihsfairplay.com; Copyright © and Database Right, IHS Global Limited (year of publication). All rights reserved.
** The Working Group at MEPC 61 agreed that combination carriers should use the same reference line and reduction rates as for tankers (MEPC 61/WP.10, paragraph 4.11). The 6 combination carriers were added to 3,655 tankers giving a total population of 3,661 and a reference line for combination carriers calculated.
*** The number of discarded ships due to more than two standard deviations from the regression line.

表-2 船種、載貨重量毎のEEDI削減率
(国土交通省HPより*1)

船種	船舶のサイズ (DWT)	EEDI 削減率			
		Phase 0 [2013/1/1-2014/12/31]	Phase 1 [2015/1/1-2019/12/31]	Phase 2 [2020/1/1-2024/12/31]	Phase 3 [2025/1/1 -]
ばら積み	20,000(Z)-	0	10	20	30
貨物船	10,000(Y) - 20,000(Z)	N.A	0-10	0-20	0-30
ガスタンカー	10,000(Z) -	0	10	20	30
	2,000(Y) - 10,000(Z)	N.A	0-10	0-20	0-30
タンカー	20,000(Z) -	0	10	20	30
	4,000(Y) - 20,000(Z)	N.A	0-10	0-20	0-30
コンテナ船	15,000(Z) -	0	10	20	30
	10,000(Y) - 15,000(Z)	N.A	0-10	0-20	0-30
一般貨物船	15,000(Z) -	0	10	15	30
	3,000(Y) - 15,000(Z)	N.A	0-10	0-15	0-30
冷凍運搬船	5,000(Z) -	0	10	15	30
	3,000(Y) - 5,000(Z)	N.A	0-10	0-15	0-30

参考HP

- *1 <http://www.mlit.go.jp/common/000125332.pdf>
- *2 [http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Technical%20and%20Operational%20Measures/MEPC.215\(63\).pdf](http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Technical%20and%20Operational%20Measures/MEPC.215(63).pdf)

EEDI対応船型の開発

1. はじめに

2013年1月1日より発効したEEDI規制に対応するため、造船各社は、建造船のエネルギー効率改善に関わる技術開発が必須の課題となってきています。こうした状況の中(一社)中小型造船工業会殿は(一財)日本海事協会殿(以下NK)と共同で、昨年度「中小型造船所の建造船舶のEEDIの改善のための研究開発」を実施し、会員造船会社から募集した6社の船型についてEEDI規制対応の高性能船型を開発しました。

当センター(以下SRC)もこの研究開発に参加する機会を得、以上6社のうち神田造船所殿と下ノ江造船殿の船型開発を担当し、成果を上げることができました。本稿ではその概要を紹介します。

2. 船型開発の手法

船型開発は、SRCが開発した船型設計システムであるSRC TipsとCFDを駆使して行いました。SRC TipsはSRCで推進性能試験を行った3000隻以上の膨大な1軸排水量型船型のデータベースを基礎とし、ニューラルネットワーク、遺伝的アルゴリズム、数学的船型表示法等の技術を応用した船型初期設計システムです。図-1にSRC Tipsの構成とCFDとのつながりを示します。

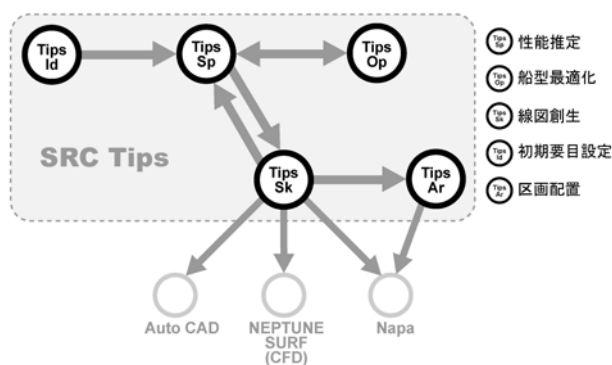


図-1 SRC Tipsの構成とCFDとの連携

今回の船型開発では、原型の性能をTips Spで確認した後、Tips Opで船型最適化を行い、得られたCp,Cwカーブ、船首尾プロファイルよりフレームラインを創生し、得られた船型の性能をTips SpやCFDを用いてチェックするという手順で船型開発を進めました。

3. 33,000DWTバルクキャリアの船型開発

神田造船所殿の対象船型は、33,000DWT型のバルクキャリアです。本船型の開発は、全長を原型より短くした上で、載貨重量を増やし、その他の主要目は原型と同一とする制約条件のもとでEEDI=5.26(フェーズ2クリア)を目標とする、非常に厳しい課題となりました。

図-2にCFD計算による最終船型の船尾限界流線を示します。改良第1船型は、造船所殿の希望によりLCBを原型より後方に制限していました。この結果、目標EEDIは達成できましたが、流場観察やCFD計算の結果、船尾流場に問題があることが分かりました。更なる性能向上が目指した最終船型は、LCBを原型並みとし、船尾フレームラインをCFDや船尾流場観察の結果を参考に改良し、図-2のようなスムーズな限界流線を実現しました。

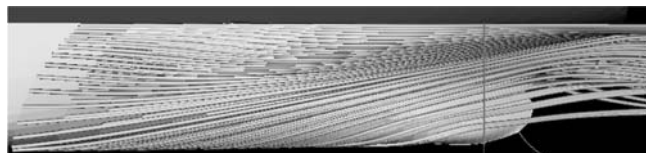


図-2 最終船型CFD計算結果(船尾限界流線)

さらに船首バルブの改良、船尾付加物の採用により、最終船型のEEDIは、目標を2%強下回る5.14を達成しました。この値はフェーズ2のEEDI規制値=5.41を5%下まわる値です。

4. 3500m³型のLPG船の船型開発

下ノ江造船殿の対象船型は3500m³型のLPG船です。本船型はフェーズ3をクリアするEEDI=21.04を目標に開発することとされました。このために全長制限一杯まで長さを伸ばし、船尾形状を変更することにより大直径プロペラを装備します。幅、喫水は原型と同一です。

改良第1船型でEEDI=17.56を達成し、さらに図-3にCFD計算による圧力分布と流線を示した最終船型では、EEDI=16.57に達し、目標EEDIを21%下まわることができました。

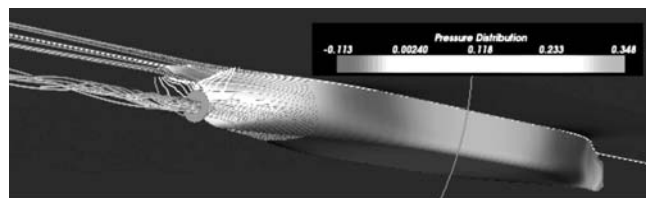
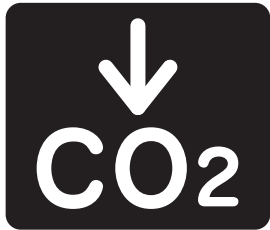


図-3 最終船型のCFD計算結果(圧力分布と流線)

5. まとめ

約1年間の船型開発により、当センターが担当した2船型は当初目標を上回る成果を得ることができました。これによりEEDI対応の高性能船型の開発という本研究プロジェクトの目的は達成できたものと考えています。最後に本研究開発にご尽力いただいた、一般財団法人日本海事協会殿、一般社団法人日本中小型造船工業会殿、そして研究を分担していただいた株式会社神田造船所殿、下ノ江造船株式会社殿に感謝致します。

(試験センター技術部 金井 健)



造船技術センターで実施している CO₂削減技術に関する共同研究の 結果について(その1)

1. はじめに

当センターは、平成22年度より、船舶からのCO₂排出量の30%削減を目標とする国土交通省の「船舶からのCO₂削減技術開発支援事業」(平成21年度から4ヶ年実施)において採択された技術開発プロジェクトのうち、次に掲げる4つの課題について、造船事業者等と共同研究を実施しました。これらの研究成果と実用化の状況を2回に分けて紹介します。

(共同研究の概要については、SRC NEWS No.88 (2011 July)で紹介しております。)

■ 空荷時に搭載するバラスト水を少なくし、推進効率を高める船型「MIBS」の開発

共同開発者：(株)名村造船所、(株)大島造船所

■ 波浪中の抵抗増加の少ない船首形状「ステップ」の開発と実船計測による検証

共同研究者：内海造船(株)

■ 水中の船体を気泡で覆って船体の摩擦抵抗を低減する技術(空気潤滑法)の開発

共同研究者：

大型外航船 (株)大島造船所、日本郵船(株)、(株)MTI

小型外航船 今治造船所(株)

■ 高性能、高機能帆を用いた次世代帆走商船の研究開発

共同研究者：ユニバーサル造船(株)

2. バラスト水低減船型(MIBS)の開発

バラスト水低減船型(Minimal Ballast water Ship)とは、船体形状を工夫することにより、空荷時に搭載するバラスト水を削減し、その分排水量を小さくして推進性能を高めた船型です。

MIBSは、船体形状(中央断面形状)に特徴があり、そのコンセプトを図2-1に示します。下に凸な船体形状とすることで、少ないバラスト水で安全な航海に支障がない程度の船首尾喫水が確保できるようになっています。

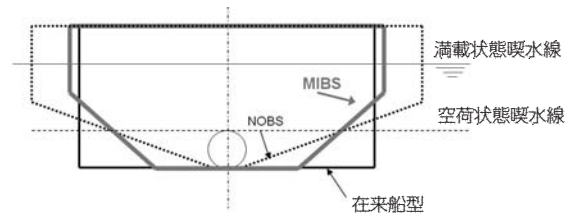


図2-1 MIBSのコンセプト

今回開発したのは、VLCCとバルカーで、それぞれ株式会社名村造船所と株式会社 大島造船所と共同で実施しました。本開発で最終的に得られた結果は以下のとおりです。なお、本開発の背景、船型のコンセプト、中間段階の開発状況は、SRC NEWS No.89(2011 Dec.)に掲載しておりますのでご参照ください。

①平水中推進性能

何パターンもの船型のCFD計算を行い、優れたものを選び、配置検討と水槽試験を行いました。VLCCとバルカー、それぞれ2隻の水槽試験を行った結果を表2-1に示します。開発目標であるCO₂の10%以上削減を達成しました(D.W.は在来船型と同じ)。また、バラスト水搭載量も在来船と比べて60%以上の削減を達成し、バラスト水搭載装置を大幅に削減できることを確認しました。

	VLCC			Bulk Carrier		
	在来船型	O1(MIBS)	O2(MIBS)	在来船型	B1(MIBS)	B2(MIBS)
L (m)	333.0			210.0		
B (m)	60.0			36.5	37.5	
D (m)	29.0	30.0	31.0	22.95	23.95	
d _{95%} (m)	20.5	21.5		9.8	10.8	
Deadweight (t)	300,000			49,000		
Water ballast weight (t)	85,000	31,000	28,000	25,000	8,200	9,600
CO ₂ 削減率 (Full load / Ballast Condi.)	-	1% / -16%	-4% / -20%	-	-3% / -26%	-5% / -24%
CO ₂ 削減率 (Total)	-	-8%	-12%	-	-14%	-15%

表2-1 MIBSの主要目とCO₂削減率

本開発では、VLCC、バルカーそれぞれにおいてCO₂の削減率に勝るO2(MIBS)とB2(MIBS)を選び、波浪中試験、自由横揺れ試験、操縦性能試験を行い、各種性能を確認しました。

②波浪中試験

正面向波中で船体運動と波浪中抵抗増加を計測しました。O2 (MIBS)、B2 (MIBS)ともに、満載状態において、在来船と同程度の抵抗増加量となることを確認しました。また、空荷状態での抵抗増加量も計測しました。

③自由横揺れ試験

自由横揺れ試験を実施し、O2 (MIBS)とB2 (MIBS)ともに、満載状態において在来船と同程度の横揺れ減衰となることを確認しました。また、空荷状態では在来船より非常に大きい横揺れ減衰となることを確認しました。

④操縦運動性能

PMM試験と操縦運動シミュレーションを実施し、O2 (MIBS)とB2 (MIBS)ともに、満載状態においてIMOの操縦性能基準 (A.751 (18))を十分満足する、良好な操縦性能であることを確認しました。

⑤詳細設計

詳細設計を行い、カーゴスペース、ポンプ・エンジンルーム等の配置に問題がないことを確認しました。VLCCの概略配置図を図2-2に、バルカーの概略配置図を図2-3に示します。

⑥1航海(往復)あたりのCO₂削減量

最終船型について、在来船と比べて1航海あたりのCO₂削減量は次のように得られました。

VLCC ; 約11% バルカー ; 約15%

以上により、MIBSは省エネ性能の達成に加えて、実船建造に必要な諸性能を満たすことを確認することができました。

最後に、平成21年度の事業は日本財団のご支援を受けて実施しました。また、今回開発されたVLCCのMIBSに対し、(株)名村造船所が(一財)日本海事協会のコンセプト承認を平成25年2月に取得したことを併せて紹介させていただきます。

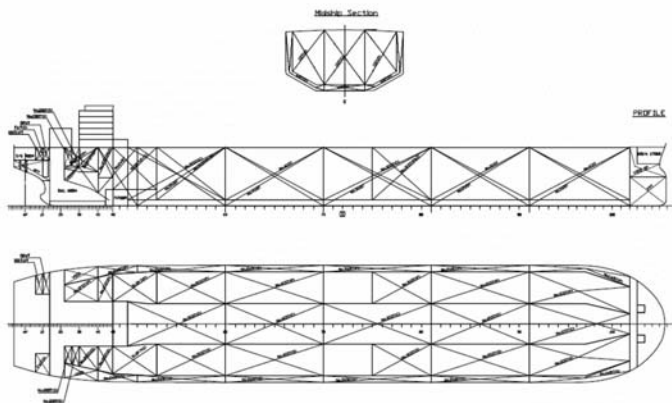


図2-2 VLCC概略配置

ROUGH GENERAL ARRANGEMENT

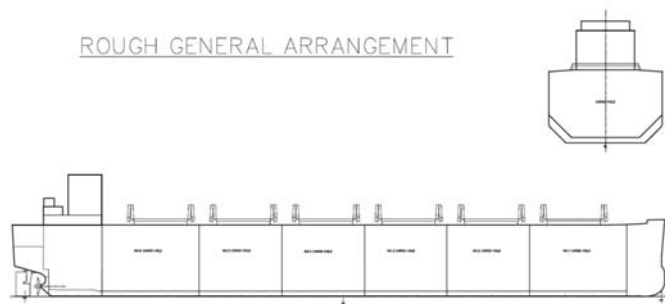


図2-3 バルカー概略配置

3. 省エネ装置「ステップ」の開発と実船計測による検証

内海造船(株)と独立行政法人海上技術安全研究所が共同で開発した、船舶が実際に航行する実海域での推進性能の向上とCO₂排出量削減をするための船首形状等の開発を省エネ装置「ステップ」(SPRAY TEARING PLATE)を5,000台積み自動車運搬船にステップを装着して実船計測を行い、効果を検証しました。

3-1 ステップの概要

ステップは、大型の中高速船を対象とした省エネ装置で、船首部喫水線に取り付けられた矩形の形状の構造物で、船首部で船体に当たる波の向きを横方向に変えと共に、上昇する波を崩すことにより、波浪が船体に生じさせる抵抗を低減させるものです。

3-2 ステップのコンセプト

ステップのコンセプトは次のとおりです。

- 1 船舶が航走するとき自走により船首部の水面が盛り上がります。
- 2 海面に波がある場合、波はこの盛り上がった水面の上を進みます。
- 3 このとき船体に当たった波が生じる前後方向の力が抵抗増加となります。
- 4 船体に当たる波を横向きに変え、上昇しないようにすることで抵抗増加が抑えられます。

これにより船体が波をうけることによって生じる速力低下を抑え、結果として燃費悪化を減少させることができます。また、平水中を航行する際には、自走による水位上昇よりも上方に設置するため、抵抗を増加させることはありません。

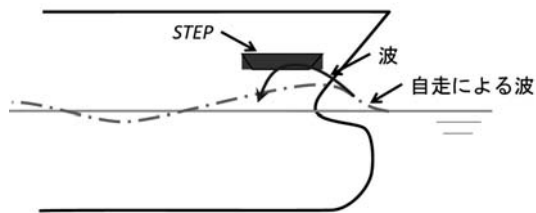


図3-1 ステップの模式図

波条件	・ ビューフォート6 (有義波高 3m、平均波周期 6.7s) ・ 主波向 正面向い
船速・喫水条件	・ 夏期満載状態 ・ 計画速力 フルード数0.239

表3-1 ステップ設計条件

海上技術安全研究所が実施した水槽試験では、短波長（波長船長比0.3）、波高3mの向波規則波中で調査を行い、図3-4に示す通り、今回開発したステップにより波浪中抵抗増加係数（ K_{AW} ）が約18%低減されることを確認しました。また、波高・波向・波長船長比などが設計条件と異なる状態でも調査を行い、図3-5に示す通り、幅広く効果が得られることを確認しています。

3-3 開発状況

垂線間長170.0m、船幅30.2m、夏期満載喫水8.95mの5,000台積みの自動車運搬船（図3-2）にステップを装着しました。理論検討・水槽試験により、ステップの形状・設置位置などの検討を行いました。開発したステップの実船への取り付け状況を図3-3に示します。形状については、有効性の他、工作上的の簡便性も考慮し、喫水線に対しほぼ平行に設置することにしました。また、ステップの張り出し角度は構造強度を確保できる角度とし、錨との干渉を考慮し、張り出し量は最大で1.6m程度、船長方向長さは約6mとなっています。



図3-2 開発対象とした5,000台積み自動車運搬船



図3-3 ステップの実船への設置状況

設計条件は、表3-1の通りで、波浪については、北大西洋・北太平洋の長期波浪統計より、平均海象に相当するビューフォート風力階級6に相当する状態を対象とし、船速・喫水条件については、どのような運航状態でもステップが平水中性能に影響を及ぼさないように、通常運航で静的水位上昇による水面の盛り上がりが見られ、最も高くなる夏期満載状態・計画速力の状態としました。

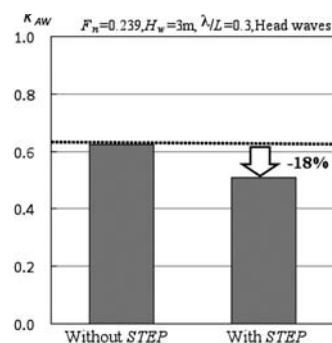
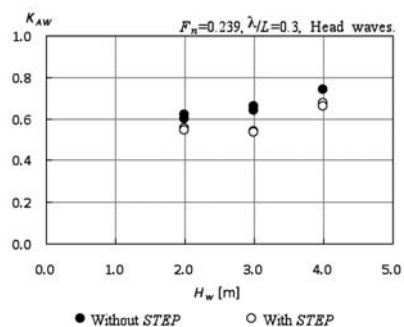
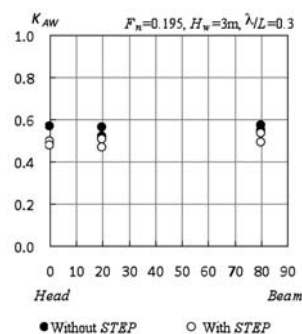


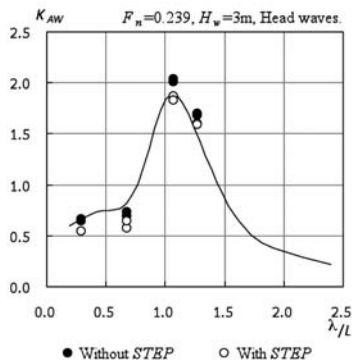
図3-4 波浪中抵抗増加試験結果(夏期満載状態)



(1) 波高影響



(2) 波向影響



(3) 波長船長比影響

図3-5 波浪中抵抗増加に対する各状況でのステップの効果

水槽試験結果で確認された短波長域での抵抗増加の低減効果から、ステップの設計条件での燃費削減効果を算出すると、約2%と推定されます。

3-4 実船計測

3-4-1 実船計測データによる検証方法

ステップの実船での効果を調査するため、ステップを実際に装着した船と、ステップを装着していない同型船により、実船計測を行いました。今回調査に用いた実船データの計測期間は、ステップを装着した船が2011年6月30日から2012年2月6日までの約7カ月、ステップを装着していない同型船が2011年1月28日から2012年1月29日までの約1年間となります。表3-2に今回解析に使用した実船データと計測・算出方法を示します。位置、対地・対水船速、舵角、相対風速・風向、主機回転数、主機燃料消費量については、計測値を使用し、主機出力・波浪データについては、それぞれ、主機燃料消費量からの換算値・気象庁波浪推算値から補間した値を用いました。

項目	取得方法
位置(経度・緯度)、方位	GPS、ジャイロ
対地速度、対水速度	GPS、電磁ログ
舵角	舵角計
相対風速・相対風向	風速・風向計
主機回転数	回転数計
主機燃料消費量	流量計
主機出力	主機燃料消費量から換算
波浪データ	気象庁波浪推算値から補間

表3-2 実船データリスト

波高と船速低下の関係、速力と主機出力の関係から効果を調査することとし、以下の3つの手順によりデータの解析を行いました。

①データの抽出

すべての有効データから、ステップの設計条件に近いデータを抽出しました。今回は、常用出力の±5%以内・夏期満載状態での排水量の±7.6%以内(アドミラルティ係数で主機出力5%の変化に相当します)、波向は向波±90度以内のデータを抽出しました。

②状態統一のための補正

実船運航状態では、主機出力、排水量、気象海象状態が計測の度に異なります。このため、主機出力・排水量は、アドミラルティ係数を利用し、常用出力・夏期満載状態の排水量に相当するように対水船速を補正しました。また、気象海象状態の補正では、波風の状態をパラメトリックに変化させて船速低下量を事前に計算し、これに計測された波風の状態を当てはめ、補正量を求めました。この時、ステップを装着していない同型船の計算結果を、ステップを装着している船舶の実船データの補正にも用いることにより、補正後の波風の無い状態に対応するデータにステップの効果が残るようにし、ステップの有無による比較を行いました。

③ステップ効果の算定

速力と主機出力の関係から見たステップの効果を(1)式により $r_p\%$ として算出します。ここで、 $Power_{withSTEP}$ 、 $Power_{w/oSTEP}$ はそれぞれ、実船計測結果から得たステップを装着した船の主機出力、実船計測結果から得たステップを装着しない同型船の主機出力であり、 r_p は計測点を含む速度範囲で求めました。

$$r_p = \frac{Power_{withSTEP} - Power_{w/oSTEP}}{Power_{w/oSTEP}} \times 100 \quad (1)$$

3-4-2 ステップ効果の検証

最初に、ステップ装着の有無による船速低下の違いを調べるため、有義波高(H)と船速低下(ΔV)の関係を図3-6に示します。なお、気象海象の補正では、有義波高との関係を調べるため風のみを補正しました。この図より、本船では設置高さも関係し、波高2m以上の範囲でステップを装着している方が船速低下が小さくなる傾向が示されており、ステップによる波浪中抵抗増加低減効果によるものと考えられます。

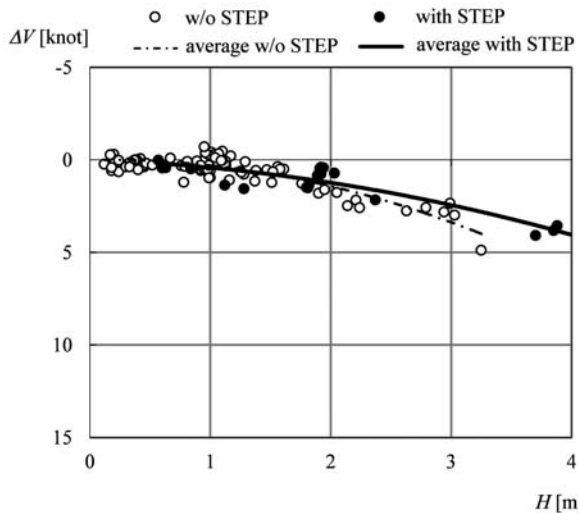


図3-6 有義波高と船速低下の関係

次に、対水速力(V_s)と主機出力(Power)の関係でステップ装着の有無による違いを調べたものを図3-7に示します。ここでは、主機出力と対水速力との関係を探るため、主機出力によるデータの絞込みは行わず、排水量についてのみアドミラルティ係数を利用した修正を行っています。ここで、波高1m以下のデータを平水中とみなしました。

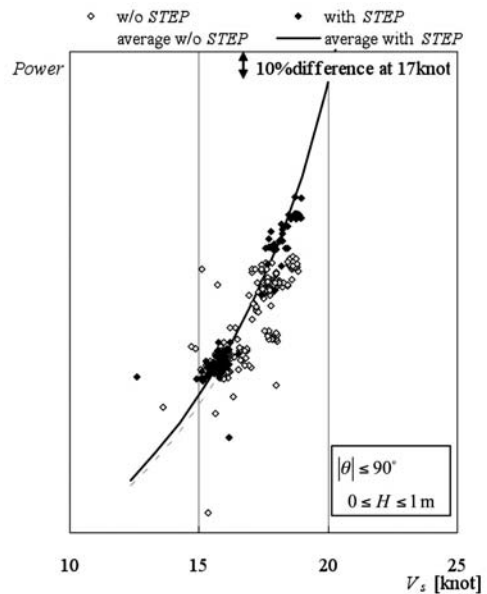
本来、平水中ではステップは効果を生じないことから、平水中での r_p の大きさを計測・補正による誤差として考慮すると、ステップによる燃費削減効果は3%となり、これは水槽試験から算定した効果とほぼ同等でした。

これらの結果より、ステップが実海域中で省エネ効果を発揮することが検証できました。

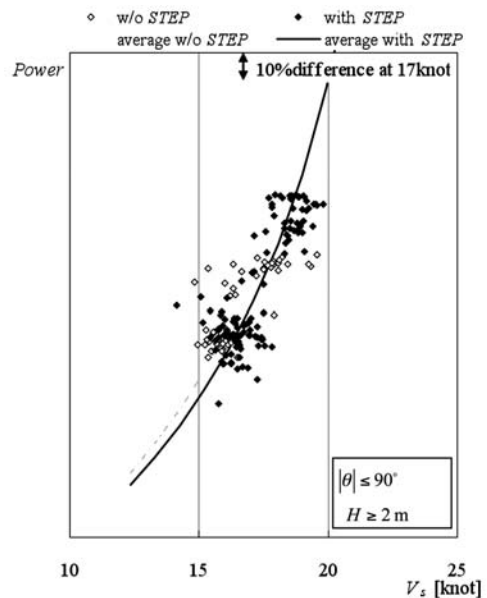
3-5 まとめ

今回、実船計測によりステップの効果を検証し約3%が得られました。この成果を基に、内海造船(株)では、内航RoRo船用のステップの開発を行っています。また、ステップは、船体付加物として新造船以外の装着も可能であり、省エネ、CO₂削減に貢献できる技術であります。

また、平成21年度の事業は、日本財団及び(一財)日本海事協会のご支援を受けて実施しました。今回の実船試験では、日産専用船株式会社殿のご協力によりステップの有無による比較データの取得、効果の検証を行いましたことに感謝申し上げます。



(1) 波高1m以下



(2) 波高2m以上

図3-7 速力と主機出力の関係(夏期満載状態、向波±90度)



最適船型(その3)

4. 最適船速

本節では最適船速について記述します。本章のタイトル「最適船型」からは逸脱しますが、大きさや船型が同じ船の船速を変えた場合の収入と支出を比較することによって、経済性からみた最適な船速を求めてみます。個々の船型について船速を変えた場合の収入、支出を求めて比較すればよい訳ですが、ここでは、一般的傾向を求めるため船速による収入、支出の変化を簡略化します。

ある期間 t に距離 d の航路を船速 V でピストン輸送するケースを想定し、この期間の運賃収入 I は、この期間中の航海数 K に比例すると仮定し、

$$I=rK \quad (5)$$

$$K=t/(d/V+c) \quad (6)$$

c ; 荷役時間等の航海していない時間

d/V ; 航海している時間

と置きます。ここに、 r は航海数を運賃収入に換算する係数で、ここでは定数とします。上式は、(4)式(SRC NEWS No.91)の N を1.0とした場合に対応します。

次に、同じ期間における支出 O は船舶建造費、船員費等の船速に依存しない固定部分 O_F と船速に依存する部分 O_V との和

$$O=O_F+O_V \quad (7)$$

とし、さらに、船速依存部分は港湾使用料等の航海数 K に比例する部分と馬力に比例する部分の和

$$O_V=hK+pV^M\{d/V\}/(d/V+c) \quad (8)$$

で表します。 h は航海数を費用に換算する係数で、これも定数とします。この式では馬力は船速 V の M 乗で変化すると仮定しています。第2項目の $\{ \}$ 内は、全時間に対する航海時間の割合を示しています。

p は馬力を支出に換算する係数で、性能の悪い船型では大きくなり、燃料費単価が上昇すると大きくなりますが、その値を一般的に決めることが困難ですので、固定部分 O_F との比較で表すこととし、

$$O_F=pV_1^M \rightarrow p=O_F/V_1^M \quad (9)$$

によって V_1 に変換します。 V_1 は、荷役時間を無視し、連続して一定の船速で航海する場合に馬力依存部分が固定部分に等しくなるような船速です。 V_1 は p とは逆の方向に変化しますが、固定部分とは同じ方向に変化します。すなわち、船舶建造費等の固定部分が上昇するとこの船速も上昇します。

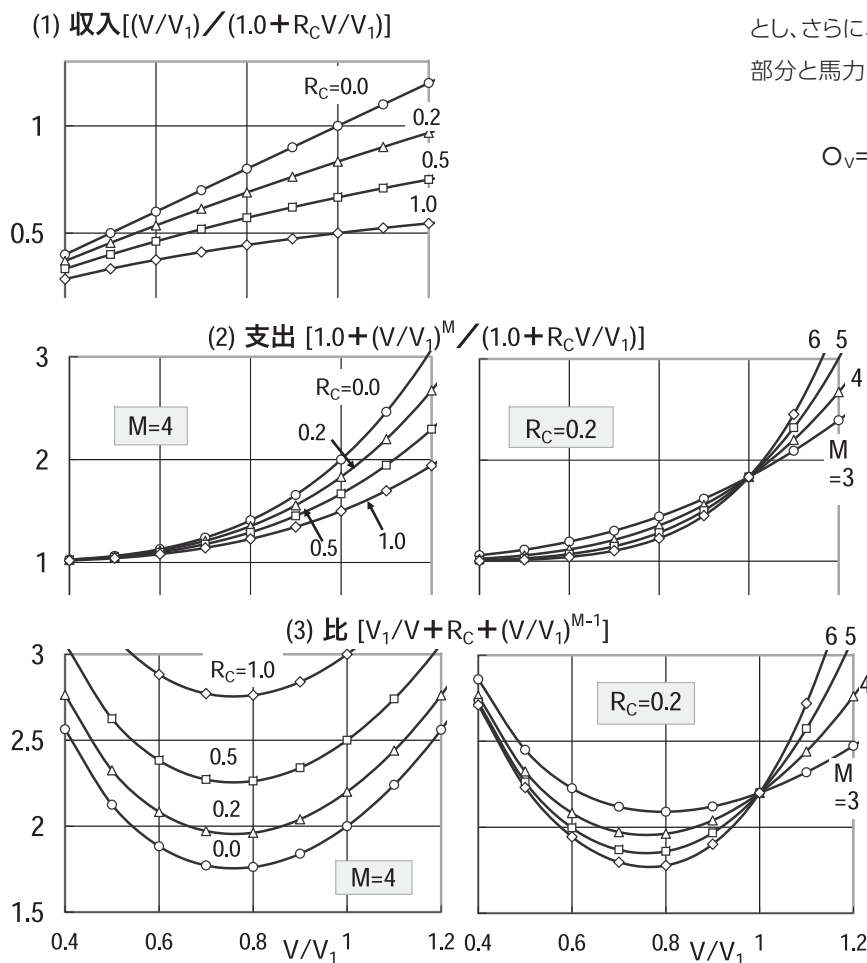


図-17 支出、収入の船速による変化

次に、荷役時間 c も次式で無次元化しますが、

$$R_c = cV_1/d \quad (10)$$

これは、航海距離 d を船速 V_1 で航海するのに要する時間 d/V_1 と荷役時間との比を表す係数で、荷役時間が無視できるほど少ない場合は $R_c=0.0$ 、航海時間と荷役時間が同じ場合は $R_c=1.0$ です。

これらの変数置き換えの結果、

$$I = (rtV_1/d)[(V/V_1) / (1 + R_c V/V_1)] \quad (11)$$

$$O = O_F[1 + (V/V_1)^M / (1 + R_c V/V_1)] + hl/r \quad (12)$$

$$O/I = (dO_F/rtV_1)[V_1/V + R_c + (V/V_1)^{M+1}] + h/r \quad (13)$$

となります。これらの式の[]内の値を図-17に示しますが、収入 I と支出 O の変化の違いから、その比には最小値があります。この比が最小となる船速を「最適船速」と定義します。

最適船速は(13)式を V で微分することによって得られますが、その際、 M は V に依らないと仮定します。後述のコラムの図-24に示すように M は V に依り変化しますが、それを考慮すると複雑な表式となり一般化が困難となります。 M を定数と仮定した場合の $d(O/I)/dV=0$ となる V を最適船速 V_{OPT} としますと、それは

$$V_{OPT}/V_1 = (M-1)^{-1/M} \quad (14)$$

となります。最適船速は V_1 に対する比として M のみの関数として表されています。 R_c は表には現れていません。また、支出の航海数比例部分は、 O/I では定数となりますので最適船速とは無関係となります。(14)式を図-18に示しますが、 $M>3.5$ では $V_{OPT}/V_1=0.76\sim 0.77$ 程度と狭い値域となります。すなわち、最適船速 V_{OPT} は、 V_1 （連続して一定の船速で航海する場合に馬力依存部分が固定部分に等しくなるような船速）の76～77%程度となります。船速 V_1 の算定は多少面倒かも知れませんが、その76～77%は簡単に求まります。

最適船速での収入 I_{OPT} 、支出 O_{OPT} およびその比は

$$I_{OPT} = (rtV_1/d)[1 / (R_c + (M-1)^{-1/M})] \quad (15)$$

$$O_{OPT} = O_F[1 + 1 / (M-1)\{1 + R_c(M-1)^{-1/M}\}] + hK_{OPT} \quad (16)$$

$$O_{OPT}/I_{OPT} = (dO_F/rtV_1)[R_c + M(M-1)^{1/M-1}] + h/r \quad (17)$$

となります。(16)式の[]内の第二項を図-19に示します。これは、馬力依存部分の固定部分に対する割合ですが、 $M=4$ の場合、荷役時間が少なく $R_c=0.1$ 程度の航路では、馬力依存部分の費用が固定部分の30%となるような船速が最適船速となることが分かります。航海時間と荷役時間が同程度である $R_c=1.0$ の航路では、馬力依存部分の費用が固定部分の20%となるような船速が最適船速と

なります。馬力依存部分は M が小さい場合に大きくなり、 M が大きい場合に小さくなります。図-18に比べて、図-19の表現の方が直感的に分かり易いかもしれません。

5. 最適浮心前後位置

以上、第4節までは、長さ、幅、喫水、排水量、計画速力という船の基本的な要目に関する最適船型の検討ですが、以降の節は、もう少し細かい船型要素の最適値に関する検討です。本節では、所要馬力等が最小となる浮心前後位置の例を示します。

「船の長さ、幅、喫水が同一」という条件で方形係数を大きくすると、それに比例して排水量は増加しますが、概ね、抵抗増加等により推進性能は悪く（所要馬力が増加）なります。逆に方形係数を小さく

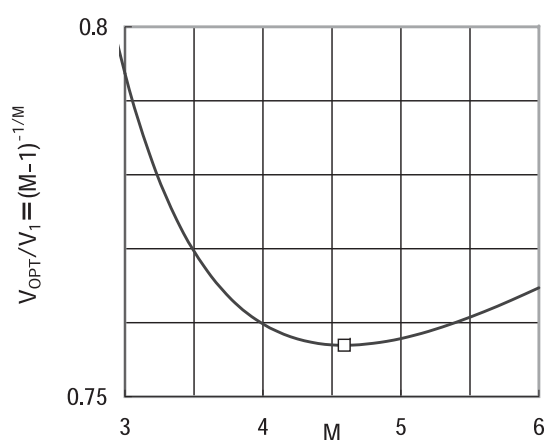


図-18 最適船速

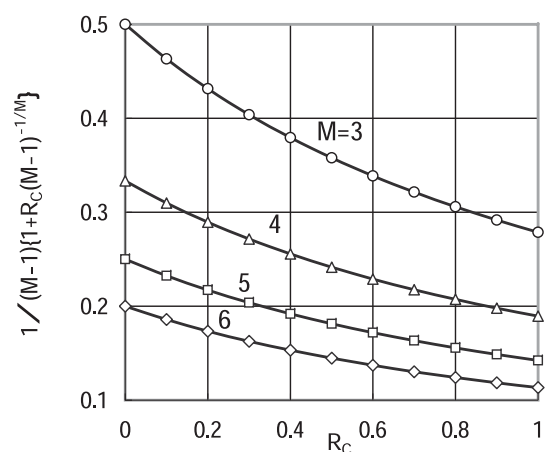


図-19 最適船速の場合の馬力比例部分の固定部分に対する割合

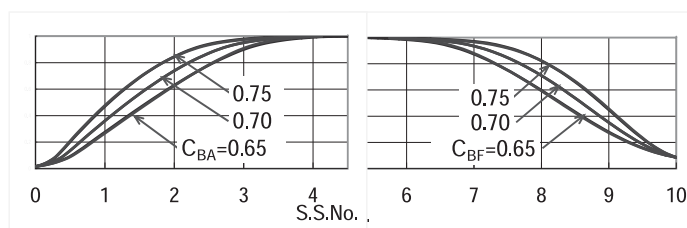


図-20 船体後半部、前半部の方形係数を変えた C_p カーブの例

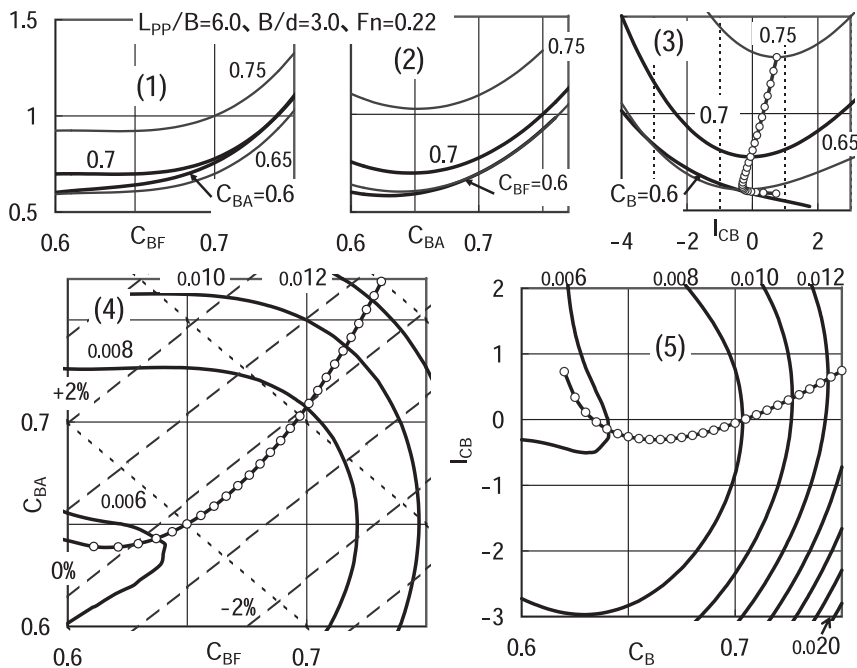


図-21 造波抵抗係数 $R_W/\rho(L_{pp}Bd)^{2/3}V^2$ の例

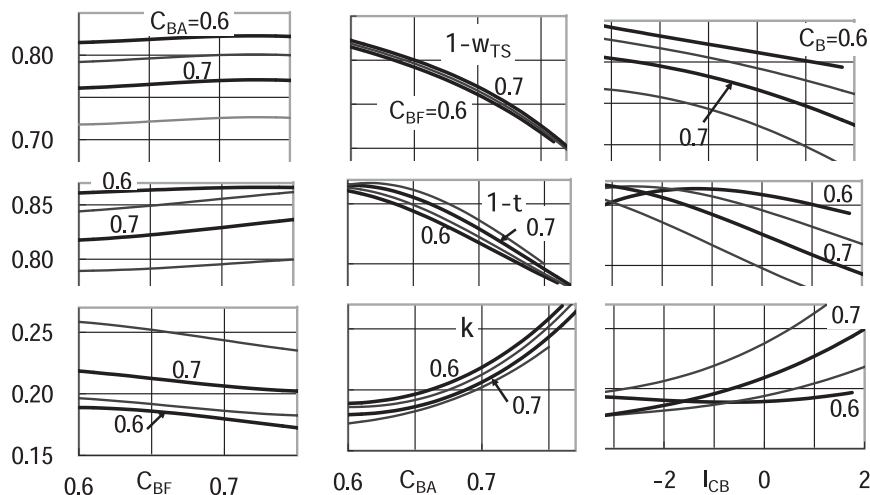


図-22 形状影響係数、スラスト減少係数、有効伴流係数の例

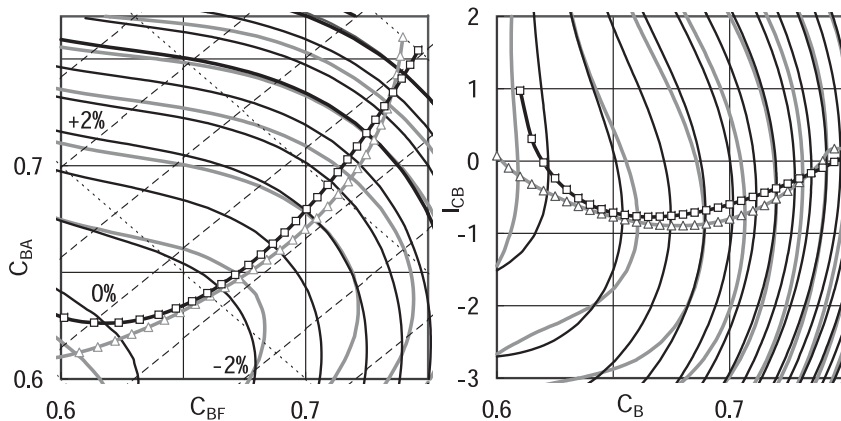


図-23 全抵抗係数、馬力係数の例

すると推進性能は良くなります。しからば、たとえば、後半部方形係数を大きくするが、その分だけ前半部の方形係数を小さくして全体の排水量を変えない場合、推進性能はどうなるでしょうか？この場合、船の浮心位置は船体後方に移動しますが、推進性能が最適となる浮心前後位置が存在する場合、それを最適浮心前後位置と呼んでいます。最適浮心前後位置は C_p カーブの形やフレームライン等のより微細な船型要素によっても変わりますが、本節では、最適浮心前後位置を後半部、前半部の方形係数との関連でのみ検討します。そのために、図-20に示すように、後半部、前半部の方形係数 C_{BA} 、 C_{BF} を変えた船型の推進性能を推定して比較します。フレームライン等はステーション移動法で変更しました。

浮心前後位置は重心前後位置と一致する必要がありますので、推進性能の都合のみで決めることはできませんが、船型設計においては常に意識しておくべき問題です。

図-21は、図-20のように C_{BA} 、 C_{BF} を変えた場合の造波抵抗係数を示します。これは、直接的な実験結果ではなく、当センターで実施した水槽試験結果から求めた回帰式による計算結果で、 $L_{pp}/B=6.0$ 、 $B/d=3.0$ の平均的な船型の満載喫水におけるフルード数 0.22 での性能です（以下、同様）。また、造波抵抗係数としては、分母に排水量を含まない係数としてあります（以下、同様）。(1)は C_{BF} ベースの造波抵抗係数です。(2)、(3)は同じデータを C_{BA} ベース、浮心前後位置 l_{CB} ベースで示した図です。なお、 l_{CB} は、船体中央を基準にその後方にある場合を+とし、垂線間長 L_{pp} に対する割合(%)で表しています。下段の(4)、(5)は同じデータの等高線表示です。(4)の破線、点線は浮心前後位置、全体の方形係数が一定の線です。

全体の方形係数が一定という条件下で造波抵抗が最小となる浮心前後位置、後半部、前半部の方形係数を○印の点列で示してあります。これが、造波抵抗係数ベースの最適浮心前後位置で、(3)では各曲線の最小値を結んだ線、(5)では各等高線の最右点を結んだ線、(4)では各等高線が方形係数一定の点線と接する点を結んだ線で、すべて同じ曲線を異なる形式で示すものとなっています。

従来、造波抵抗理論の応用問題として、図-21に示す造波抵抗が最小となる浮心前後位置に関する研究が実施されていますが、最終的に重要なのは、造波抵抗ではなく馬力です。有効馬力は造波抵抗に加えて形状影響係数によって変わります。伝達馬力は、さらに自航要素やプロペラ効率によって変わります。図-22は、形状影響係数、スラスト減少係数、有効伴流係数の変化を図-21の(1)-(3)と同じ形式で示した図です。これらの性能要素は浮心前後位置によって変わりますが、その主因は C_{BA} の影響であることが分かります。図-23はこれらを考慮して計算した全抵抗係数、馬力

係数(有効馬力、伝達馬力の無次元係数)の等高線で、図-21の(4)、(5)と同じ形式で示してあります。薄い線が全抵抗係数、濃い線が馬力係数の等高線です。全抵抗係数ベース、馬力係数ベースの最適浮心前後位置を△印、□印の点列で示してあります。

ここで示した例は平均的船型に関する例ですが、最適浮心前後位置は主要寸法比や次回に紹介予定の C_F カーブの肩張り度、さらに、フレームライン等のより微細な船型要素によっても変化します。

(技術顧問 佐藤和範)

Column

伝達馬力は船速の3乗に比例する?

船の所要馬力は船速増加に伴い増加しますが、普通、船速の3乗に比例して増加するといわれます。図-24に当センターで実施した水槽試験結果から求めた回帰式による計算例(計画満載状態)を示します。左下の(1)は方形係数が $C_B=0.50, 0.55, \dots, 0.90$ の船型の船速 V ベースの伝達馬力 P_D です。図中の各馬力カーブには、 $P_D \propto V^M$ とした時の累乗 M が整数となる点を○印で示し、各馬力カーブ上で同じ M の値となる○印を繋いだ線も示してあります。左上の(2)は同じデータについて縦軸を馬力係数 p' とした図です。右側の図は左側の図に示した M を C_B ベースで示した図で、縦軸は(3)フルード数 Fn 、(4)船速です。

馬力係数にハンプのある $Fn=0.315$ 付近より小さいフルード数では船速増加に伴い M が増加していることが分かります。指数 M は馬力カーブの立ち上がりの急激さを示す数値にもなっています。

図-25は M の実績を示す図で、当センターで水槽試験を実施した船型の計画船速付近の伝達馬力の M です。 $M=3 \sim 9$ の範囲にばらついていますが、船の長さとの相関が大きいたく見えます。すなわち、小さな船の M は大きく平均値は $M=5$ 程度、大きな船では小さく $M=3$ 程度です。普通言われている $M=3$ は、平均的値では無く下限値とでも言うべき値で、全体的平均値は $M=4$ 程度となっています。

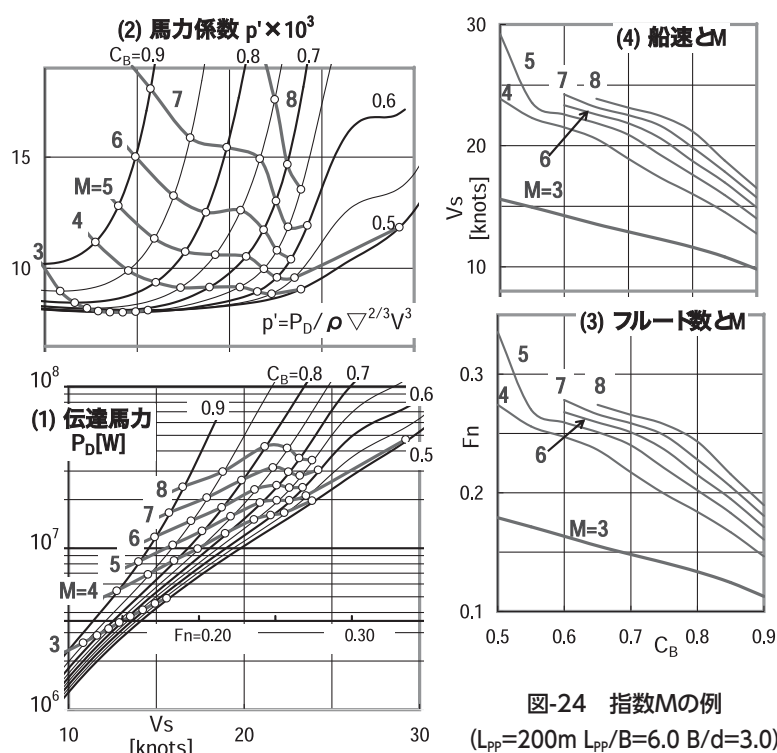


図-24 指数 M の例
($L_{PP}=200m$ $L_{PP}/B=6.0$ $B/d=3.0$)

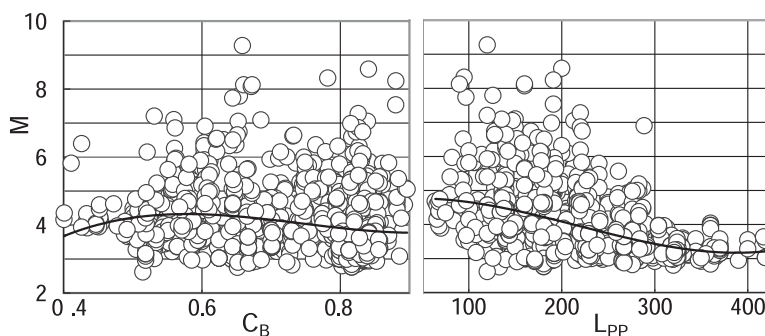


図-25 指数 M の実績

一般財団法人への移行について

当センターは、公益法人制度改革に伴い、一般財団法人への移行を進めてまいりましたが、この度、内閣総理大臣の認可を受け、平成25年4月1日付で、「一般財団法人 日本造船技術センター」に移行しました。

委員会等

【一般財団法人移行前】

●第2回 SPCG委員会(平成24年度)

平成25年1月25日
日本造船技術センター大会議室

●第120回 HRC委員会

平成25年1月25日
日本造船技術センター大会議室

●第36回 評議員会

平成25年3月21日
日本造船技術センター役員会議室

●第165回 理事会

平成25年3月22日
日本造船技術センター役員会議室

●第3回 SPCG委員会(平成24年度)

平成25年3月26日
日本造船技術センター大会議室

●第121回 HRC委員会

平成25年3月26日
日本造船技術センター大会議室

【一般財団法人移行後】

●第1回 理事会

平成25年4月1日
日本造船技術センター役員会議室

●第1回 評議員会

平成25年4月16日
日本造船技術センター役員会議室

●第2回 理事会

平成25年6月6日
日本造船技術センター役員会議室

編集後記

4月を過ぎてから、取引等のある社団・財団法人から「一般(社団・財団)法人(又は公益(社団・財団)法人)へ移行しました」(注)という案内が多数届いているのではないのでしょうか。

これは、公益法人制度改革の一環として、全国に20,800あった旧制度上の社団・財団法人が、平成20年12月から本年11月までの5年間に新制度上の一般法人又は公益法人に移行する手続きをとることを求められており、その中でも今年の4月に移行した法人が多かったためと思われます。

公益認定等委員会のホームページによりますと、今年3月末現在では全体の88.2%に当たる18,340の法人が移行を終了又は移行のための申請手続き(内閣府又は都道府県へ)を終了しており、このうち、一般法人と公益法人の比率は53.4:46.6とやや一般法人を選択した法人が多くなっています。

上記トピックスでもお知らせしたとおり、当センターも、内閣総理大臣の認可を受け、今年4月1日に、「一般財団法人 日本造船技術センター」の設立登記を行い、一般財団法人に移行しました。一般法人は監督官庁の規制が殆どなくなり事業経営の自由度が増す反面、旧制度上の社団・財団法人に認められていた税制上の優遇措置が無くなり、また、旧法人が保有する財産相当額を一定期間かけて公益的な事業に支出する「公益目的支出計画」の実施を求められております。

「公益目的支出計画」の実施は、今後の当センターの運営上の負担となることも予想されますが、これまで以上に業務の合理化・効率化、技術力の向上、新規需要の開拓に努めるなど事業活動の一層の充実を図ることにより、皆様のご要望にお応えしていきたいと思っておりますので、今後とも宜しくお願い致します。

注)「一般法人」には一般社団法人と一般財団法人が、
「公益法人」には公益社団法人と公益財団法人があります。

(M.T)

申し込みの受付

試験等の申し込み、問い合わせは
下記までご連絡をお願いいたします。

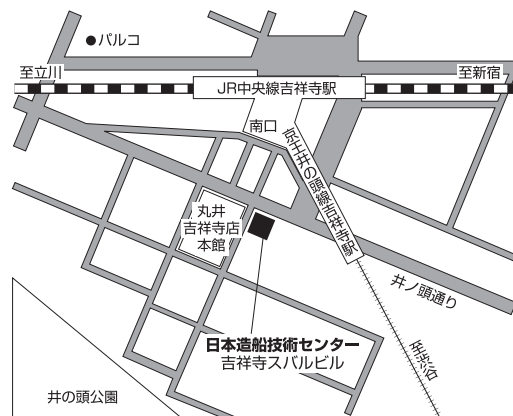
〒180-0003

東京都武蔵野市吉祥寺南町1丁目6番1号

吉祥寺スバルビル3階

TEL 0422-40-2820

地図





The Shipbuilding Research Centre of Japan
一般財団法人 日本造船技術センター

<http://www.srcj.or.jp>