

造船業界を取り巻く状況と今治造船の技術的な取り組み



企業レポート

堀 正 寿*

Introduction of Situation to Surrounded Shipbuilding Industry
and Technical Development in IMAZO

Key Words : Environmental Regulation, Ship Performance Development, Propulsion

1. はじめに

日本は世界でも有数の造船・海運大国の1つであるにも関わらず、その実情について良く知る人は少ないと思われる。造船・海運産業に関わる分野の裾野は広く、世界単一市場であるため、国内外の様々な方面・分野からの影響を受けながらの企業活動が展開されている。

本報では、造船・海運業界に関する概要と当社・今治造船の技術的な取り組みを紹介させて頂く。工学異分野の読者の方々の興味を引くことが出来れば幸いである。

2. 船舶の役割

経済の発展に伴って、世界全体の荷動き量は増加の一途を辿っているが、その中で船舶による海上輸送が占める割合は大きい。特に日本に関しては、貿易貨物の実に99.7% (重量×距離ベース) を船舶による海上輸送が占めている。運ばれる貨物の種類は様々で、三大バルク (ばら積み貨物) と呼ばれる石炭・鉄鉱石・穀物や、原油・液化天然ガス (LNG)、コンテナ、自動車などが挙げられ、其々の貨物に対する専用船も多く存在する。(図1) 其々の貨物輸送ニーズは世界経済の動向と密接に結びついているため、それらを運搬する各専用船の需要もまた、経済動向に合わせて変動している。

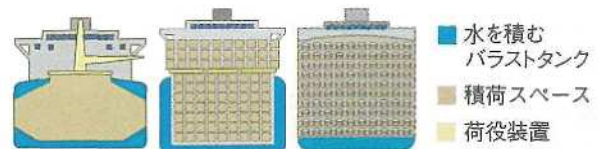


図1 貨物専用船の構造 [1]
(左から、ばら積み運搬船、コンテナ船、自動車運搬船)

3. 昨今の造船業界を取り巻く状況

昨今では様々な環境規制が強化の一途を辿っており、そのことが船舶設計・建造に与えるインパクトは大きい。

具体的には、地球温暖化対策を目的とした、二酸化炭素 (CO₂)・窒素酸化物 (NO_x)・硫黄酸化物 (SO_x) 等の主機からの排出規制 (地球温暖化対策)、海洋生態系保全を目的とした、水生微生物を含むパラスタック水に関する排出規制 [2] 等が徐々に強化されつつあり、様々な対応を迫られている。(主機の振動・騒音がイルカ等の海洋生物に与える影響の評価も研究・調査段階。) その中で、船の船型設計において極めて重要であるのがEEDI規制 (Energy Efficiency Design Index: エネルギー効率設計指標) である [3]。これは1999-2008年に世界で建造された外航船舶の平均的な燃費性能を基準として、2015年、2020年、2025年を境にそれぞれ10%、20%、30%のCO₂排出量の削減を求めるものである。

EEDI値は、簡単には、単位貨物輸送量 (1トンの貨物を1マイル運ぶ) 当たりのCO₂排出量として定義されており (下式)、積載可能な貨物重量とその時の船速、主機出力等によって算出する。この算式に対して、EEDI値軽減のためには、船舶大型化による貨物積載量の増加と、船速一定とした場合の主機出力低減、が容易に思いつく。



* Masatoshi HORI

1980年10月生まれ
大阪大学大学院 工学研究科 地球総合
工学専攻 博士後期課程 (2017年)
現在、今治造船株式会社 丸亀事業本部
基本設計グループ 船型性能チーム
係長 工学博士 船舶推進性能
TEL: 0877-25-5000
FAX: 0877-25-5170
E-mail: hori.masatoshi@imazo.com

EEDI 値 (g/ton · mile)

$$= \frac{CO_2 \text{ 換算係数} \cdot \text{燃料消費率} (g/kWh) \cdot \text{主機出力} (kW)}{\text{貨物積載重量} (ton) \cdot \text{船速} (mile/h)}$$

一般的に、船舶を大型化することによって、単位貨物量当たりの主機所要馬力は下がる。簡単には、例えば長さ・幅・喫水共に α 倍となると、主機馬力（船体抵抗値と関連）は α^2 倍となるのに対して、排水量（貨物積載量と関連）は α^3 倍となるからである。

然しながら、船舶大型化に関しては、造船所の建造能力以外に、水路・港湾設備の制限（長さ・幅・喫水・荷役設備等）も関連するため、海運業界の要望に加えて、国・世界の後押しが必要となることも多い。有名な例としては、パナマ運河の拡張がある。長年、通航可能な船舶のサイズの制限（長さ・幅・喫水）が 294[m]・32.3[m]・12[m] であったのに対して、2016 年より拡張パナマ運河が通航可能となり、其々の制限値が 366[m]・49[m]・15.2[m] と大幅に拡張されている。（幅についてはさらに 2[m] 程度大きくなる予定である。）長い間、パナマ運河を通航できる最大サイズ（“PANAMAX” と呼ぶ。）が外航船舶の設計上の重要な要素であったのだが、これが変わり、設計の幅が大幅に広がるため、益々、各造船会社の設計の特色を出す良いきっかけにもなっている。

船舶の大型化に関して、近年特に顕著なのがコンテナ船である。図 2 に、1995 年以降の新造コンテナ船の最大船型の変遷を示す。縦軸の“TEU”は Twenty-feet Equivalent Unit の略で、長さ 20 フィートのコンテナに換算したときの積載可能数である。これによると、1995 年頃の新造船最大船型が 5,000 TEU 程度だったのに対して、2017 年頃には 20,000 TEU と、約 4 倍程度となっていることが分かる。この背景としてあるのは、コンテナ貨物量の急激な増加である。（国際規格に則した貨物用コンテナは、陸上輸送と組み合わせた一貫輸送が可能であり、非常に利便性が良い。）この動きに合わせて、専用ターミナルなどの港湾設備向上・造船所の建造能力向上が伴った結果、コンテナ船の大型化が急激に進むこととなった。（この動きの中で船舶大型化による輸送効率向上もなされている。）当社も建造能力増強の一環として、2017 年に 600 m 級の大型

ドックを新設し、20,000TEU 級のコンテナ船（長さ約 400 m）を連続建造可能としている。

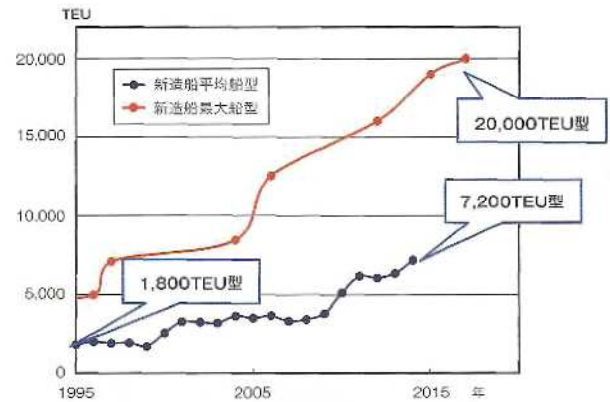


図 2 コンテナ船の船型の変遷 [4]

4. 研究開発基点の増強・構築

これらの業界を取り巻く環境・要因に合わせて、当社でも建造・開発能力の増強を進めている。（建造能力増強に関しては前節記載の通り。）ここでは新船型開発、特に推進性能向上に関して紹介する。（ここでの“船型”とは、喫水線よりも下方の、没水部分の形状のことを云う。）船舶の推進性能を推定するのに、古くから相似模型を使った水槽試験が実施されている。水槽施設を大きく分類すると 2 種類あり、1 つは“曳航水槽”と呼び、静止している水に浮かべた模型船を曳航するタイプのもので、比較的大きい模型船（3～8 m）を使用する。曳航水槽自体のサイズは様々であり、国内最大のものは長さ 400 m にも及ぶ。もう 1 つは“回流水槽”と呼び、流れのある水槽に模型船を固定するタイプのものである。その設備の大きさによる制限を理由に、小型の模型船（1～2 m 程度）を使用することが多い。どちらも一長一短有り、開発段階に合わせて組み合わせ活用されることが多いのではないだろうか。（一般的には、曳航水槽で大きい模型船を使った試験の方が計測精度は良いとされる。）当社では 1986 年に回流水槽設備を新設し、年間数十隻程度の模型船に対して、推進性能試験を実施している。そこで絞り込まれた候補船型に対して、外部機関が所有する曳航水槽にて、改めて大型模型（6～7 m 程度）を用いた試験を実施し、最終的な性能を推定してきた。これらの船型開発ループを社内で完結させること、また今後の技術・研究開発力向上を目的として、当

社でも自前の大型水槽を所有・運用することとした。数年前から検討を進め、2018年中の稼働を目指している。この水槽施設には、長細い水槽（図3“曳航水槽”と呼称。長さ212[m]・幅13[m]・水深6.5[m]）と、幅のある水槽（図4“耐航性能水槽”と呼称。長さ65[m]・幅27.5[m]・水深3.0[m]）の他、模型製作設備（最大長さ10m程度の模型船が製作可能）を備える。“曳航水槽”では、主に直進航行時の平水・波浪中推進性能に関する試験を行う。“耐航性能水槽”には、水槽の3辺に251台のプランジャー式造波機を備え、それらを個別に制御することで、船舶が実運航時に遭遇するような不規則な波を起こすことができる。また計測終了後は、個別の造波機を波吸収モードにて稼働させ、残存する波を速やかに抑えることが出来る仕様としている。その他、“耐航性能水槽”では、船舶の平面的な運動性能（曲がる等。操縦性能と云う。）に関する試験も行うことができる。また、時に、船体周囲の流場挙動が設計上で重要となる（代表例：船尾プロペラ面に流れ込む3次元流場情報はプロペラ設計の際に重要）。これについても、従来の5孔ピトー管による計測の他、SPIV（Stereo Particle Image Velocimetry）原理による流場計測装置を導入し、詳細な流場情報を効率的に収集することを可能としている [5]。これらの設備・機器を活用した試験の組み合わせにより、流体力学的な分野に限ってではあるが、先ずは一般的な船舶性能の推定技術の向上が見込める。（各種試験データの蓄積によるCFD（数値流体力学）シミュレーション技術の開発への寄与も期待している。）加えて、非常に複雑な船舶の挙動・性能に関

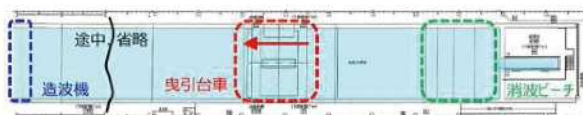


図3 今治造船“曳航水槽”（長さ方向、途中省略）

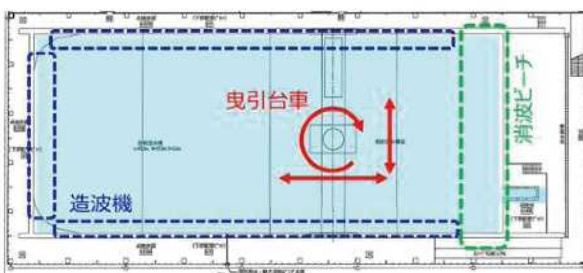


図4 今治造船“耐航性能水槽”

しても、深みのある検討・開発を行うことができる。造船会社としての技術力向上を促すものと考えている。

5. 開発トピックス

近年の当社の開発トピックスを、推進性能・構造/強度・航海の安全面といった3つの観点に分けて紹介する。

推進性能の観点では、当社の代表的な省エネ装置として、舵に取り付ける“HybridFin”（図5）がある。プロペラ回転による螺旋状の後流は、それ自体は推進性能にとって損失となるため、これをなるべく回収するために考案されたものである。具体的には、対称翼断面形状をもつ物体“二次元翼型フィン”と、その両側に付随する非対称翼断面形状を有する“非対称翼型フィン”の異なる2つの翼型フィンの組み合わせで構成されるものを、プロペラ軸心延長線上の舵前縁に装着する。“非対称翼型フィン”では、螺旋後流中において前進方向力の発生を期待しており、“二次元翼型フィン”では伴流利得（即ち、プロペラ面に流入する流速を遅くして、プロペラによる蹴り出し効果を大きくする。）を期待するものである。主にばら積船・タンカー等の肥大な船型に搭載され、その省エネ効果は船型にもよるが3～6%程度である。可動部が無くシンプルな構造であることも特徴である。



図5 HybridFin 付舵（左）と実船搭載された様子（右）

推進性能の観点でもうひとつ、上部構造物（喫水面よりも上方にある居住区画など）の形状検討について紹介する。船体が航走中に受ける抵抗は、喫水面下で海水から受ける抵抗と、喫水面上方で空気から受ける風圧抵抗に大別される。空気密度は海水密度の約800分の1倍であるため、喫水面下で海水から受ける抵抗が、船体全抵抗の殆ど全てを占める。が、近年では、上部構造物の形状、及び海上で遭遇する波風状況によっては風圧抵抗が無視できない、とも

指摘されている。当社では、風圧抵抗低減に関して、2種類の上部構造物の形状検討事例が有る。バラ積み運搬船における“エアロ”居住区と、コンテナ船における船首部の“バウカバー”である。

従来型の居住区は、その後方に位置する機関部ケーシングとファンネル（煙突）を別構造としているが、“エアロ”居住区は、それらを一体化・スリム化した構造（上から見ると涙型形状）としており、周囲の風がよりスムーズに流れることによる風圧抵抗減を期待している。（図6）その推進性能への寄与は、CFD（数値流体力学）シミュレーション（図7）と風洞試験結果から、従来型居住区を基準として、風圧抵抗の25～30%程度を軽減できるとして実船に展開している。



図6 従来型居住区（左）とエアロ型居住区（右）

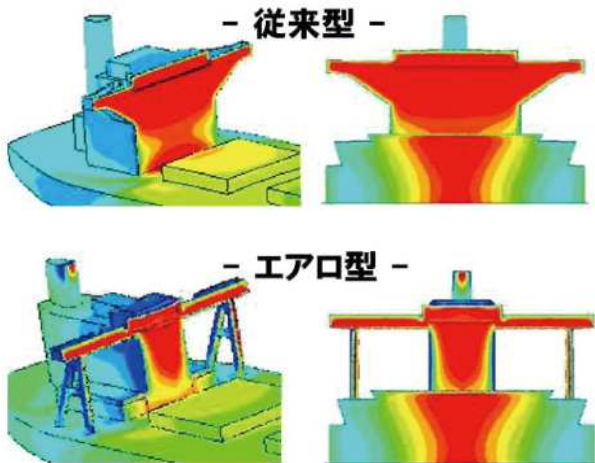


図7 CFD計算による居住区付近の風圧力分布（赤色に近いほど風圧力が大きいことを表す。）

“バウカバー”は、コンテナ船をターゲットとしたものである。甲板上にもコンテナ貨物を積載するコンテナ船では、時に船首部付近で進行方向に対して垂直な壁のようにコンテナが積み上げられ、大きな風圧抵抗を受けることになる。その風圧抵抗の低減を目的として検討・開発され、2016年に実船搭

載されたのが“バウカバー”である。“エアロ”型居住区と同様に、CFDシミュレーション（図8）と風洞試験によって流体力学的性能を確認の上、船体重量の増加・船員の作業性も考慮して、最小限の大ききで高い効果が得られる形状として実船建造に至った。これにより約5%の風圧抵抗軽減を確認している。

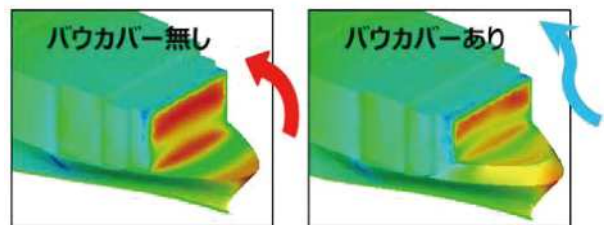


図8 コンテナ船航走状態（上）と船首部の風圧力分布（下）

構造/強度的な観点での開発実用事例としては、高延性厚鋼板“NSafe®-Hull”の実船採用（新日鐵住金株式会社・(国研)海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所との共同研究)がある [6][7][8]。“NSafe®-Hull”は鋼板の延びに優れ、衝撃が加わった場合には鋼板がへこむことで衝撃エネルギーを吸収する。これを船舶外板に採用することで、万が一に船舶が衝突した場合でも、その衝撃を吸収できるエネルギーが従来の鋼板と比べて約3倍となる（図9）。そのため、従来の鋼材に比べて、船体に破口・亀裂が起きにくく（図10）、浸水防止や貨物の保護、

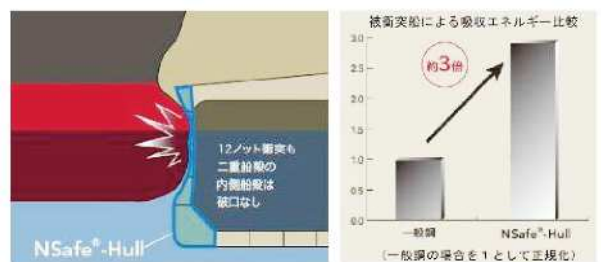


図9 船舶衝突イメージ（左）と吸収エネルギー比較（右） [7]

及び深刻な環境汚染につながる油流出の防止役も担っている。また、(一財)日本海事協会では、衝突や座礁に対するエネルギー吸収に効果のある高延性鋼を適用した船舶に付与する船級符号を制定しており、安全性向上が目に見える形に整えている。



図10 衝突シミュレーション結果のイメージ [7]
一般鋼 (左) と NSafe®-Hull (右)

航海の安全面についての開発事例としては、“エアロ・シタデル”がある [6]。これは、様々な海賊対策設備を“エアロ”居住区と組み合わせたものである。窓の防弾化や鋼製扉の強化、放水装置等の組み合わせにて海賊の接近・船内侵入を防ぎ、併せて船員が数日間たてこまれる船内避難区画“シタデル”を配置し、そこでは二重セキュリティドア、本船操作機能（操舵・主機停止等）、データ収録機能（本船位置・音声・映像）、通信手段を装備している。(図11) 本設計コンセプトは、事業リスクに特化したコンサルティング会社（Control Risks社）から、セキュリティ面の認証を受けており、船主・船舶運航側により一層の安心をもたらすものと考えている。



図11 船員避難区画“シタデル”のイメージ図

6. 今後の開発トピックス

造船・海運業界においても、ビッグデータ・IoT・AI・自律化等に関心が向けられている。その目的は、例えばヒューマンエラーの回避であるだろうし、造船・海運業界における労働力不足の解消にも効果が期待され、様々な観点で研究開発が始まっている。

当社では2009年より、就航船の実運航・管理の

サポート、及び、実運航データによる性能解析を見据えて、“IBSS”という実船データの自動収集・通信システムを導入している [6]。“IBSS”は、本船搭載の航海計器・主機データロガー等から、船舶の位置・船速・風速・風向・主機・発電機等のデータを自動収集・保存し、必要に応じてインターネットを介して陸側に送信する機能を有するシステムであり、運航管理側（主に海運会社）では、船舶の動性がほぼリアルタイムに把握可能となる。また今後、海気象予報と組み合わせることによって、推奨航路の提言（例えば安全第一、燃料消費量を最小化）も可能となり、より最適な航海を後押ししてくれるものとして期待されることも多い。造船会社では、収集されたデータを見ることで、実際に船舶・搭載機器がどのような使われ方をしているか・設計通りの性能を発揮しているかの確認、及び、その後の設計業務へのフィードバックが期待できる。

計測機器・通信環境の発達に伴って、取得できるデータは今後益々増えていく。それは運航中の船舶に限らず、造船工場・物流ヤード等の陸上施設から得られるものも多いであろう。その大量のデータに埋もれず、十分に利活用できるように、先々のロードマップを描いておくことが重要と考えている。

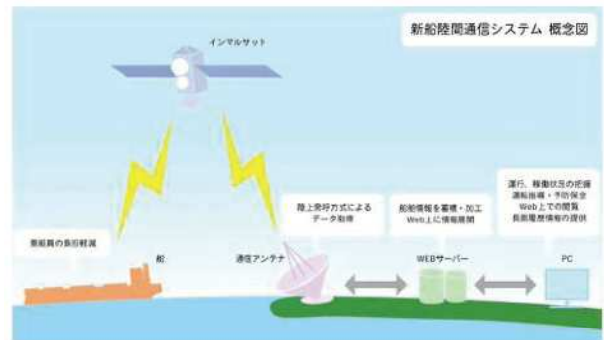


図12 船陸間通信システム“IBSS”概念図 [6]

7. 終わりに

本稿では、最近の造船・海運業界の概要、及び当社今治造船の技術的な取り組みを紹介させて頂いた。何らかの形で読者の皆様の新たな発想を掻き立てる事に結びつけば嬉しい限りである。

参考文献

- [1] 池田良穂：船の最新知識、サイエンス・アイ新書
- [2] 水成剛：船舶バラスト水管理条約の発効と課題、

- OPRI 海洋政策研究所 HP
(https://www.spf.org/opri-j/projects/information/newsletter/backnumber/2017/396_1.html)
- [3] 「特集 EEDI (その1)」日本船舶海洋工学会誌 第53号、平成26年3月
- [4] “海洋へのいざない”、公益社団法人 日本船舶海洋工学会、2017
- [5] “PIVハンドブック”、可視化情報学会、森北出版株式会社、2002
- [6] 今治造船株式会社 HP
(http://www.imazo.co.jp/html/products/pro_tech.html)
- [7] 船舶用高延性厚鋼板 NSafe®-Hull、新日鐵住金株式会社 HP
(<http://www.nssmc.com/product/>)
- [8] 衝突時の被害低減のための船体構造への高延性鋼適用に関する研究 (その1)～(その3)、日本船舶海洋工学会講演会論文集 第22号 (2016)

