

ウィンドチャレンジャー計画

— 帆主機従船の開発 —

技術研究所

1. はじめに

地球温暖化防止のためのCO₂排出削減は、いまや世界的規模での社会的な課題となっている。2050年のCO₂排出総量50%削減に向けて、鉄道・自動車では電化・ハイブリッド化等により化石燃料からの脱却が進行中である。ディーゼル機関を動力源とし、ほとんど全てのエネルギーを石油に頼っている海運業においても、船体抵抗低減、推進効率向上、機関廃熱利用等、CO₂排出削減のための様々な技術開発がなされてきている。

このような中、船舶からの大幅なCO₂排出削減を目指して、海上の風力エネルギーを主な推進エネルギーとして用いる帆主機従船の開発を目指すプロジェクトが2009年10月に発足した。このプロジェクトは、東京大学が中心となり、海運、造船、複合材料メーカーといった異業種企業が参加して行われるJoint Industries Project (JIP) 方式をとっており、2010年9月現在、日本郵船(株)、(株)商船三井、川崎汽船(株)、(株)大島造船所、帝人(株)、(株)タダノ、(財)日本海事協会の7団体が参加している。

本プロジェクトはウィンドチャレンジャー計画と名付けられ、最近急速に進歩している先端複合材料技術、流体シミュレーション技術、海気象予測技術、自動制御操作技術、物流最適化技術などを有機的に統合し、炭素繊維複合材料(CFRP; Carbon Fiber Reinforced Plastic)製の硬帆を用いた帆主機従方式(船の推進力は、主として風力による帆で得る。微風状態及び港湾内等では、プロペラディーゼル機関を補完的な推進力として使用する。)の風力推進船の開発を行う。

開発項目は下記3つである。

- 複合材を使用し自動操帆化された大面積高揚力伸縮硬帆の開発
- 上記を使用した帆主機従の大型帆走商船の設計技術の研究
- 上記商船の運航・運用技術の研究

当該船舶は、再生可能エネルギー利用によるCO₂排出の大幅な削減と、商船の重要な要件である定時性の両者を確保し、これにより、同サイズのディーゼル推進船と比べ、CO₂排出量を1/3にすることを目指している。

現在、Deadweight 18万トンのケープサイズバルクキャリアを対象に、帆主機従船の開発設計を行っており、2012年の設計完了及びこれを用いたビジネスモデルの完

成を目指している。¹⁾

図1、図2及び図3に本プロジェクトで目標としている帆主機従船の航海中及び停泊中の想像図を示す。

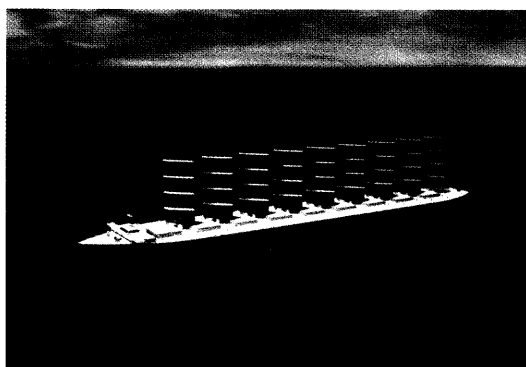


図1 帆主機従型風力推進船(航海中、側面)
(出典: 東京大学 ウェブサイト)

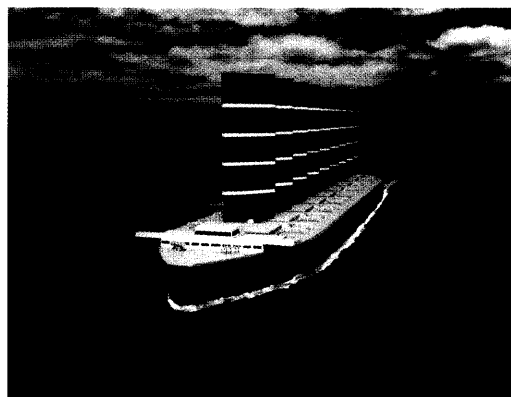


図2 帆主機従型風力推進船(航海中・正面)
(出典: 東京大学 ウェブサイト)

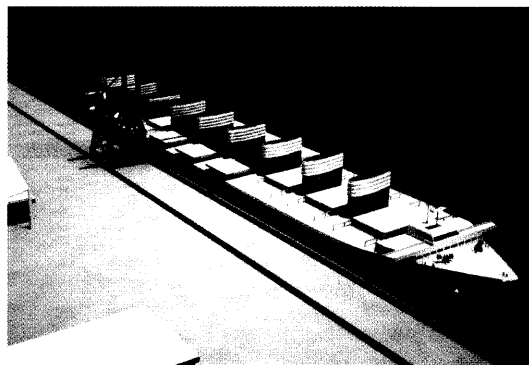


図3 帆主機従型風力推進船(停泊中)
(出典: 東京大学 ウェブサイト)

2. 帆主機従型風力推進船

日本の船舶における省エネ対策は2度の石油危機を経て確実に発展をとげてきたが、その中でも風力を利用した商船の開発は特異なものであった。1980年（昭和55年）、世界初の自動操帆化された帆主機従船「新愛徳丸」（図4）が竣工した。日本船用機器開発協会（現：日本船用工業会）と日本鋼管が開発し、建造は今村造船所で行われ、内航タンカーとして運航した。新愛徳丸の実用化以降、同様の帆を搭載した船舶が相次いで建造された。

最近ではコンピュータ制御された巨大な帆を利用した商船“Beluga Sky Sail”（図5）が実用化される等、風から船の推進力を得る風力推進船の開発は現在も行われている。しかし、いずれも帆は補助的な推進装置という「機主帆従」のコンセプトであり、CO₂排出の抜本的削減を目指した風力推進船の技術開発は未だ世界的に見ても行われていない。

本プロジェクトでは、船の推進力は主に帆で得る風力とし、風の弱いときや港湾内等では、プロペラディーゼル機関を補完的な推進力として使用する帆主機従方式の風力推進船を開発する。

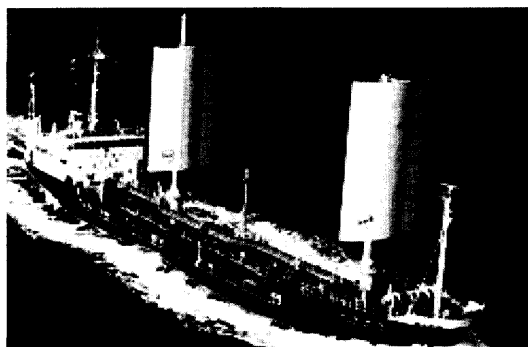


図4 新愛徳丸
（出典：日本財団図書館）

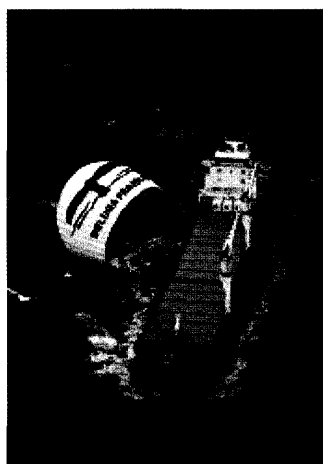


図5 Beluga Sky Sail
（出典：Sky Sails ウェブサイト）

3. 大型伸縮式硬帆

本プロジェクトでは、18万トンのケーブサイズバルクキャリアの甲板上に帆面積1000m²（幅20m×高さ50m）のCFRP製硬帆を9本装備する計画である。帆は上下方向に5分割されており、図6のようにテレスコピック機構を備えたマスト（スパー）により硬帆は伸縮することができ、荷役時や荒天時は縮帆可能となる。

推進力を発生させるために必要な風圧に耐えるよう硬帆の強度解析を行った結果、硬帆パネルにはリブを設ける必要があり、幅20m、高さ50m、重量30トンの硬帆（材質：CFRPのみ）において十分な強度を有することが確認された（図7参照）。²⁾

また、5段の硬帆パネル内に伸縮可能なマストを設けた硬帆の強度解析では、マストが鋼製、硬帆パネルがCFRPとアルミハニカムのサンドイッチ構造（t=1mmのCFRPと厚さ50mmのアルミハニカムコア）の硬帆に風速30m/sの面直風圧をかけた場合であっても、十分な強度を有することが確認された。このときのCFRP重量は約13トンである（図8参照）。²⁾

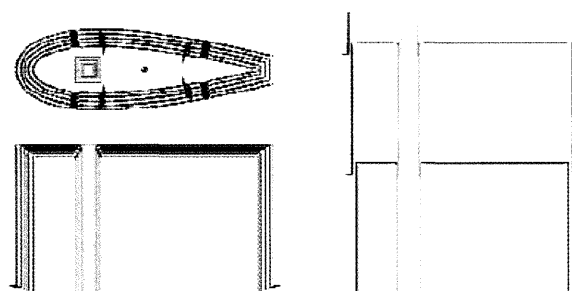


図6 伸縮式硬帆の構造
（出典：鷗沢、木村、宮田、金子、大内；複合材料による大型伸縮式硬翼帆の基礎検討、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第10号、2010年5月）

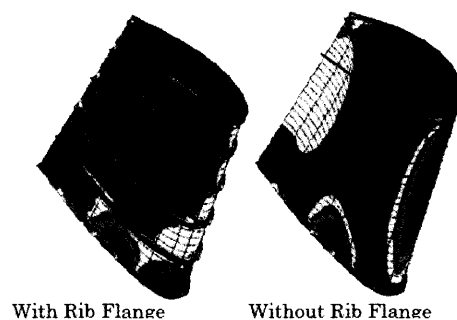


図7 CFRP製硬帆の強度解析結果
（出典：鷗沢、木村、宮田、金子、大内；複合材料による大型伸縮式硬翼帆の基礎検討、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第10号、2010年5月）

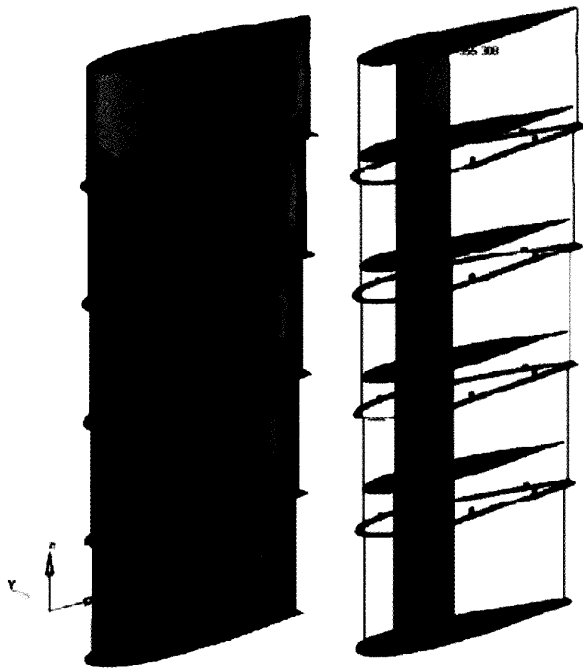


図8 伸縮式硬帆の強度解析結果
(出典：鶴沢、木村、宮田、金子、大内；複合材料による大型伸縮式硬翼帆の基礎検討，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第10号，2010年5月)

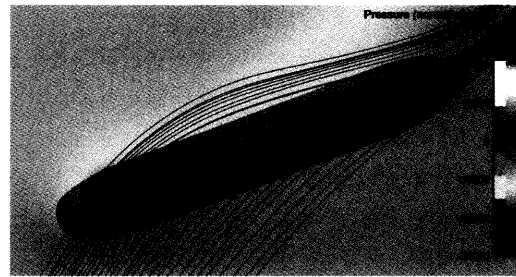


図9 帆翼列周りの風の流れの解析一例
(出典：(有)エイ・シー・ティー提供資料)

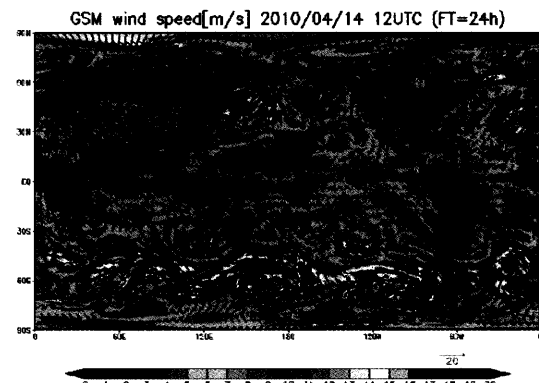


図10 海上風予測の一例
(出典：早稲田、西田；ウィンドチャレンジャー計画における海上風予測に関する研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第10号，2010年5月)

4. 運航・運用技術の研究開発

本プロジェクトで開発を目指す船舶の特長は、風の力を利用することにより燃料消費量を節約するという点にある。この特長を最大限活用するためには、風向や風速に応じた適切な帆の制御、及び進路選択が重要な要素となる。本プロジェクトでは、アメリカズカップなどヨットセーリングの分野で培われてきたセーリング技術を、CFD (Computational Fluid Dynamics) など最新の解析技術と組み合わせた帆走推進時の航行サポートシステムの開発を行っている。

このシステムは大きく二つに分類される。一つは、風向や風速、及びその時の船速に応じて、帆を最適な角度に制御できるようにするシステムである。ここでは、3次元CFDを用いた帆翼列周りの風の流れの解析(図9参照)が大きな力を発揮している。

もう一つは、最適航路の選定である。風力を効果的に利用するためには、海域の風力、風向及び海象を予想し、最適な推進力が得られるような航路を選定することも極めて重要である。本プロジェクトでは、船の最適な針路を選定できるような支援システムを開発するため、地球全体規模における風況の空間的・時間的な特徴を把握し、帆船による風の利用が期待できる海域の特定及び期待される燃料消費率の見積もり等に応用できる海上風予測に関する研究を行っている(図10参照)。

5. NKの取り組み

世界的な省エネ船開発の機運の高まりにより、今後帆主機従型風力推進船に注目が集まるものと予想される。このため、船級協会は上記船舶に対する規則、指針等を早期に検討し、策定する必要があると考える。弊会は本プロジェクトに参加し、船舶の安全性という観点から、複数の帆を搭載した帆主機従船に関連する規則の整備及び条約への対応等について検討している。

本プロジェクトの初年度は、複数の帆を搭載した船首ブリッジ配置の帆主機従船(船種：バルクキャリア)の検討を行った。検討結果を以下に示す。

5.1 現行規則及び条約の適用

次の項目について、帆主機従船を現行規則及び関連する条約に適用する上での問題点の抽出等を行った。

- 船橋視界
- 復原性要件
- 乾舷算出方法
- 航海機器(レーダー)
- 航海灯
- 救命艇
- 舷梯
- その他(船首ブリッジへの青波打ち込み対策等)

5.2 暫定規則骨子案の検討

帆主機従船に関する暫定規則の骨子案、及び暫定規則作成のために考慮すべき事項について検討を行った。具体的な項目は以下のとおり。

(1) 暫定規則骨子案

- 硬帆の強度（硬帆パネル、スパー、スパー基部）
- 硬帆の操作（荒天時、操帆装置故障時等）
- 船体構造、操船性
- その他

(2) 暫定規則作成のための要検討事項

- 硬帆及びスパーの強度要件（スパー基部を含む）
- 荒天時の縮帆や操帆装置故障時の対応等
- 操縦性能及び設計速力
- その他

6. おわりに

今後、本プロジェクトでは、硬帆模型の製作及び帆主機従船の実海域での有効性を評価する実験等を予定している。弊会においても、引き続き帆主機従船に関する規則整備及び条約への対応を円滑に進め、時宜を得た対応を行うべく、帆主機従船の開発に取り組む考えである。

本プロジェクトによる帆主機従船の開発実用化が実現すれば、海運業におけるCO₂排出削減に向けて大きく貢献できるものと期待される。

参考文献

- 1) 東京大学，記者会見「ウィンドチャレンジャー計画の発足－低炭素海運へ向けた新形式の帆主機従風力推進船の開発－」発表資料
- 2) 鶴沢 潔，木村 学，宮田武志，金子彰則，大内一之；複合材料による大型伸縮式硬翼帆の基礎検討，日本船舶海洋工学会講演会論文集 第10号，2010年5月