

世界初のハイブリッド型CRPポッド推進高速フェリー

First Hybrid CRP-POD Driven Fast ROPAX Ferry



上田 直樹*1
Naoki Ueda

大島 明*2
Akira Oshima

雲石 隆司*3
Takashi Unseki

藤田 重友*4
Shigetomo Fujita

武田 信玄*5
Shingen Takeda

北村 徹*6
Tohru Kitamura

電気式ポッド推進器を従来のディーゼル推進システムと組み合わせ、二重反転プロペラ（Contra Rotating Propeller）と同一効果を生み出す世界初のハイブリッド型CRPポッド推進システムを搭載した高速フェリーを開発し、その2隻が2004年6月末に竣工した。試運転における最高速度は32.04 kt（時速59.3 km）であり、同クラスの大型フェリーでは世界最高速度を記録した。このシステムの採用により、従来式2軸推進システムに比べ13%の大幅な省エネルギーを達成し、運航コストの改善とCO₂排出量の削減に貢献している。新日本海フェリー(株)へ引き渡された“はまなす”“あかしあ”の両船は2004年7月から舞鶴～小樽航路に就航、従来の片道29時間の運航ダイヤを20時間へと大幅に短縮し、モデルシフトの促進も期待されている。

1. はじめに

世界的には30ノットクラスの高速カーフェリーは既に20隻以上就航しているが、高速化は燃料消費の増加による運航コストへの負担が大きく、輸送経済性及びCO₂排出量等の環境問題への配慮が重要な課題となっている。

“はまなす”“あかしあ”の両船に搭載した世界初のハイブリッドCRPポッド推進システム（図1）は従来比で10%を超えるエネルギー効率の向上、輸送経済性の向上のみならず、環境への負荷を抑えた21世紀型推進プラントである。本報では、この新形式推進プラントを中心に建造船の概要について紹介する。



図1 本船に装備したCRPポッド推進装置

2. 本船概要

本船の主要目を表1に示す。

推進性能の向上を目指し、全長は国内では初めて200mを越え224.82mとした。フェリーとしては世界最大の長さとなる。試運転では最高速度32.04 ktを記録し、大型フェリーでは世界最高速度を達成した。推進用主機関及びポッドへ電力を供給する主発電機関にはWärtsilä社製の12V46Cをそれぞれ2基ずつ搭載し、ポッド推進器は実績と信頼性の観点からABB社製のAZIPODを採用した。

3. 開発の経緯

ポッド推進器とは、ポッド(繭)状の容器の中にモー

表1 主要目

全長(m)	224.82	主機関	Wärtsilä 12 V 46 C × 2 基
全幅(m)	26.00	最大出力	12 600 kW × 500 min ⁻¹
深さ(m)	20.4	主発電機関	Wärtsilä 12 V 46 C × 2 基
喫水(m)	7.40	最大出力	12 600 kW × 514 min ⁻¹
総トン数(t)	16 810	補助発電機関	ダイハツ 8 DK 32 C × 1 基
試運転最高速度(kt)	32.04	最大出力	2 910 kW × 720 min ⁻¹
旅客定員(名)	820	ポッド推進器	AZIPOD T type 21
車両搭載能力	12m車両158台 乗用車65	常用出力(kW)	17 600

*1 船舶・海洋事業本部船舶技術部商船計画グループ主席

*2 技術本部長崎研究所船舶・海洋研究推進室主席

*3 長崎造船所造船設計部機装設計課主席

*4 長崎造船所造船設計部見積・管理グループ長

*5 長崎造船所造船設計部計画課

*6 下関造船所船舶・海洋部計画設計課長

タを組み込み、モータに直結したプロペラを駆動させるアジマスタ型の推進ユニットのことである。この推進ユニットは船尾船体下部に取り付けられ、同時に舵として回転できるものである。しかも360度自在に回転できるのでその大きな推力とあいまって港湾内及び離着岸操船時に優れた操縦性能を発揮する。

推進モータをポッド内にコンパクトにまとめたこのシステムは、1980年代初めに欧州の電機メーカーと造船所で砕氷船用に共同開発された。

ポッド推進器は船の推進系として画期的なシステムであり、既に70基以上の実績があるが、高価なシステムであるため、優れた操縦性、振動・騒音抑制効果、船内配置の自由度の高さ等、その特徴を活かせるクルーズ客船に多く採用されている。

当社でも、当初大型クルーズ客船やLNG船への適用を前提とした船型の開発・適用の検討を進めていたが、2000年頃より2軸船、特に当社の主力機種であるフェリー・RORO船の競争力強化の一環としてポッド推進器を用いた新たな推進プラントの検討を開始した。

その結果、従来型のプロペラ推進器にポッド推進器を組み合わせる“ポッド加勢推進方式”ならば一般商船においてもポッド推進器の利点を生かし、経済的に成立する可能性があることが分かった。同じ時期、欧州でもポッド推進器の応用例として当社と同様のハイブリッドシステムをフェリーに適用する検討が盛んに行なわれ、当社は2002年の4月からは本コンセプトの開発・売り込みに意欲的なメーカーであるABB社と共同研究を開始した。

4. ハイブリッドCRPポッド推進の概要

一般に大型フェリーは喫水の制限からプロペラ直径の制限を受け、また万一のトラブルの際に旅客の安全を確保するため、独立した複数の推進プラントが必要となり左右対称に2組の推進システムを配置した、いわゆる2軸船型が採用されている。

2軸船型では図2のような流線形状をした船体からプロペラ軸が露出し、軸をボッシングとブラケットが支持する“シャフト・ブラケット方式”が一般的で、

付加物抵抗は全抵抗の1割を占めることもある。

図3に示すように、本船ではポッド推進器を1軸の主プロペラの同心線上直後に配置して2組のプロペラがあたかも1組の二重反転型推進器のような配置としている。主プロペラは可変ピッチプロペラで、クラッチ付き減速機と中間軸を介して2基の中速ディーゼル主機関により直接駆動される。後方に位置するポッドプロペラは発電プラントからの電力によりポッド内の電動モータで駆動される電気推進である。

これによって、シャフト・ブラケット等の付加物を持たずに2組のプロペラを配置することが可能となり、抵抗性能は従来の2軸船型に比べると大幅に改善できる。更に近接したプロペラ同士を反転させること(いわゆるContra Rotating Propeller = CRP)による回転流回収効果も期待できる。また、本来ポッド推進器は電気推進に伴うエネルギー変換のロスが機械駆動に比べ大きいのが、従来の推進方式と組み合わせることで電気推進の分担を下げることでこのデメリットを軽減している。このように本システムは、ポッド推進を従来の機械駆動推進プラントと組み合わせることでCRPのコンセプトを実現していることから“ハイブリッド型CRPポッド推進”と呼んでいる。図4は在来型の機械駆動2軸方式を採用した場合とプラント構成を比較しているが、省エネ効果は13%にも達する。

また、二つの駆動系統は完全に独立した構成となっており、2軸船と同等の冗長性を有している。

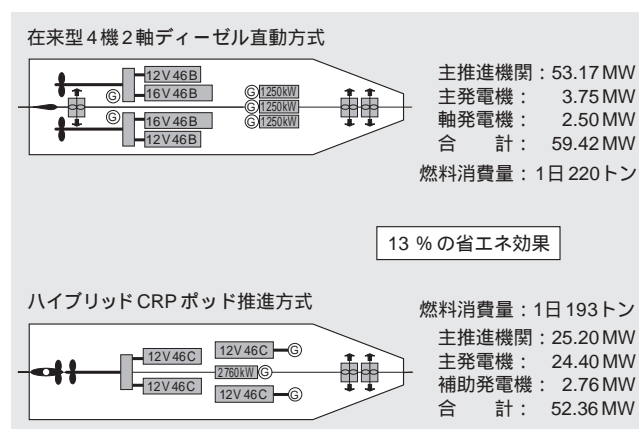


図4 プラント比較

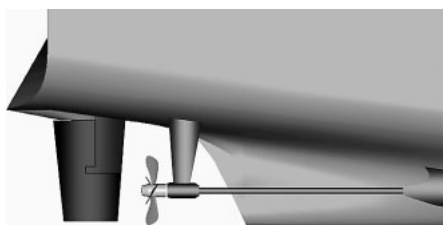


図2 在来型2軸船のプロペラ(シャフト・ブラケット方式)

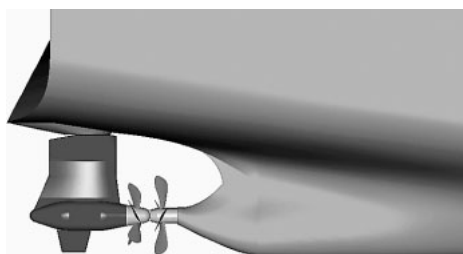


図3 CRPポッド推進装置

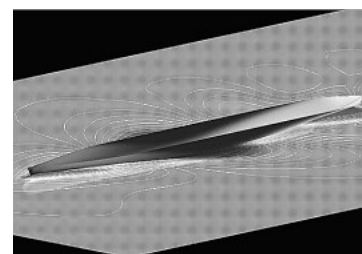


図5 CFDによる計算波形

5. 開発における技術課題

5.1 推進性能検討

開発当初、船型計画は当社長崎研究所の試験水槽とポッド推進船の実績をもつオランダMARIN社の減圧曳航水槽とを使って抵抗・推進性能及びプロペラ変動圧力を調査した。その知見を基にCFD (Computational Fluid Dynamics) を駆使し、計画速度における抵抗が最小となる船型を開発し、長崎研究所の水槽試験で検証した。図5はCFDによる船側波形の一例を示す。

その結果、長さを最適化した効果もあいまって、図6に示すように1998年に当社で開発した30kt RORO船と比較し、22%の剰余抵抗低減を実現した。

主プロペラは船体の伴流中で作動するため、キャビテーションの発生とプロペラ変動圧力の低減に重きを置き、ポッドプロペラは主プロペラから発生するチップボルトックスを回避することとポッド操舵時の流体力に対する強度に重きを置き設計した。ポッドプロペラの設計はABB社と共同で進め、検証に万全を期した。

CRPプロペラの設計ではCFDによる数値計算と模型検証を繰り返し実施した。数値計算ではNavier-Stokesの方程式をプロペラ作動状態で解くことでプロペラへの流れを計算し、当社で長年の実績を持つ数値プロペラ計算法UQCM (Unsteady Quasi-Continuous Method) で設計したプロペラ流体力を再度、マルチブロック格子構造論によるCFDモデルに戻すことで精度の高い理論計算が可能となった。図7にプロペラ作動状態でのポッド表面の圧力分布と速度ベクトルの計算例を示す。

図8は減圧水槽を使ったキャビテーション観察例である。試運転においても実船観測を実施し、推定結果の妥当性を検証した。

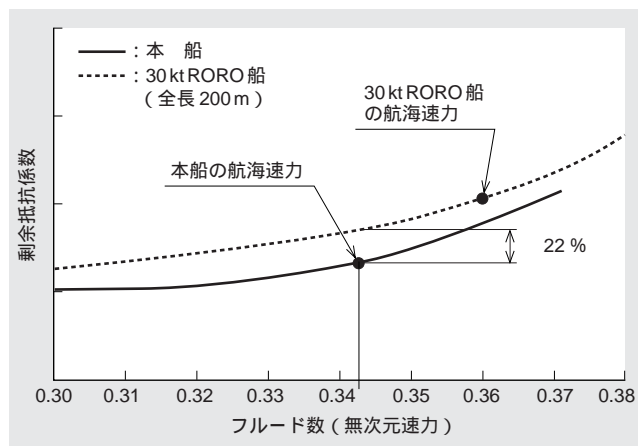


図6 剰余抵抗の比較（主船体のみ）

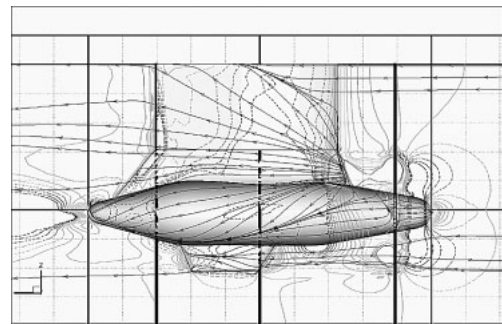


図7 ポッド表面の圧力・流線ベクトル計算

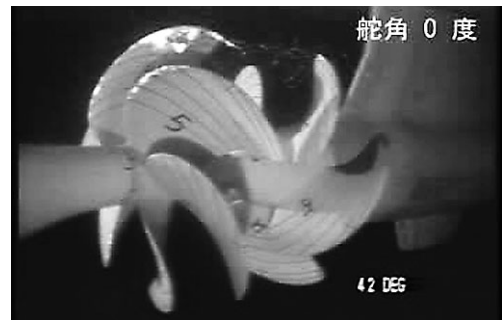


図8 減圧水槽でのキャビテーション観測例

5.2 操縦性能

ポッド推進器は高い操縦性能がセールスポイントであるが、ハイブリッド方式の場合には、従来型の推進系と組み合わせた操船バリエーションが考えられる。図9は模型試験によるCRPモード、ポッド単独、そして主プロペラ単独の三種類の旋回航跡を示している。主プロペラ単独状態ではポッドプロペラは遊転しており、ポッドが舵としての機能を果たしていることがわかる。

図10は模型試験における低速前進状態からバウスラストとポッド90度操舵による回頭運動の航跡を示している。旋回運動はほとんどその場回頭に近い状態で完了しており、港内等の狭水域で安全かつ迅速な操船が実現できる。

本船にはポッド・主プロペラ各々の出力バランスを最適な状態に維持する自動制御システムが組み込まれており、常用航海中は主機テレグラフハンドル1本にてポッド・主プロペラを同時に増減速する“CRPモード”での運転が可能である。港内操船では、“マニユバリングモード”に切り替えることでポッド・主プロペラそれぞれ独立での操作が可能となる。操舵室のウィング操作盤には主プロペラの推力、ポッドの推力と操舵、バウスラストの操作リモコンが装備されている。在来船とは操船感覚が異なるが、短期間のうちに習熟され、操船性の良さは実運航で実証されている。

5.3 構造強度、振動対策

船尾端に装備されたポッドの重量、ポッドプロペラ

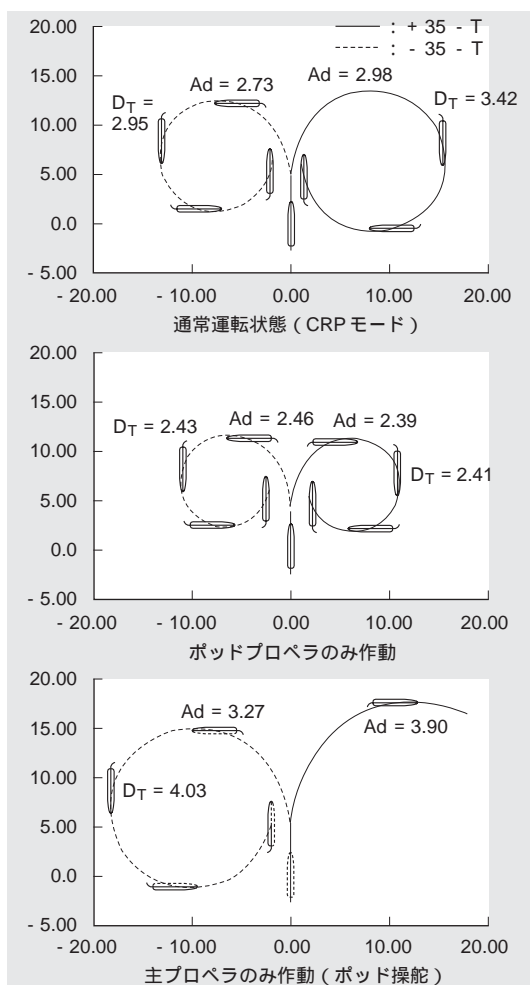


図9 旋回性能 (模型試験)

の発生スラスト，さらに旋回中に発生する大きな旋回力を支える支持構造の強度検討にも慎重を期した．図11はポッド支持構造を含む船尾部のFEM解析モデルで，支持構造と船体の取り合い部は板厚相当のメッシュサイズまで細分化している．

旅客船としての静粛性を確保するため全船FEMモデルによる振動モード・局部振動の検討を行った．本船は主機関・主発電機関・ポッドプロペラ及び主プロペラという周波数の異なる4つの起振源があるが支配的な起振源である主プロペラによる振動対策には特に細心の注意を払った．海上運転で確認し，推定どおりの結果を得た．

5.4 推進プラントの配置

推進プラントの原動機については，保守部品の共通化も考慮し，機械駆動系・電気推進系共にWärtsilä社製12V46Cをそれぞれ2基採用することとした．

さらに，発電プラントには停泊中の電力をまかなう為の補助発電機関を1台装備した．3台の発電機は6600Vで高圧配電盤に供給される．

損傷時復原性を確保するための対策としてこれらの主要機器の配置は発電機室・発電機関室・主機関室の

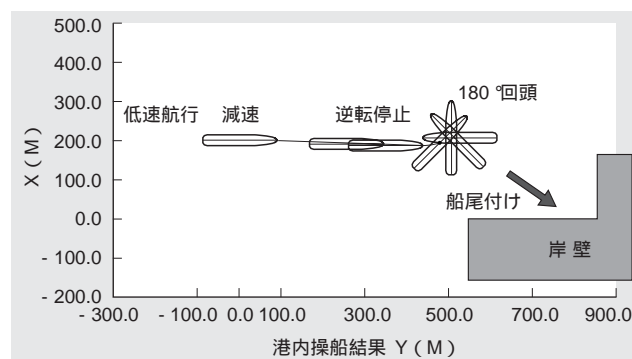


図10 その場回頭 (模型試験)

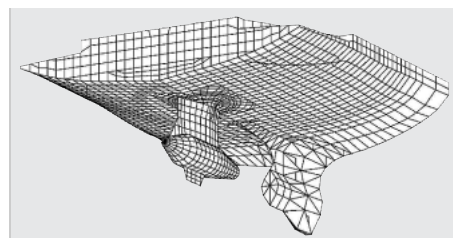


図11 ポッド支持構造FEMモデル

3つの独立区画とした．主機関室の後方のスペースは乗用車用甲板として有効活用している．

車両甲板の船尾部直下に設けたポッド室にはポッド旋回装置及びその油圧ユニット，冷却ユニット，スリップリングを車両甲板に突出させずコンパクトに配置するために，各甲板の船尾部分にシアを付け，更にポッドの冷却ユニット・スリップリングは高さを抑えた特注品とした．

6. ま と め

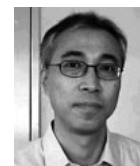
シリーズ第1船の“はまなす”は試走直後に機関室で火災事故を起こし，船主殿をはじめ，各方面には多大なご迷惑と心配をおかけしたが，迅速な復旧作業の結果，予定通りの納期に引渡しを終え就航後も順調な営業航海を行なっている．



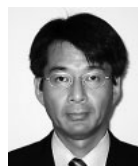
上田直樹



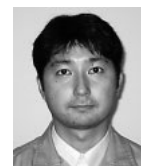
大島明



雲石隆司



藤田重友



武田信玄



北村徹