

単胴型高速カーフェリー “ゆにこん” の開発

Development of High Speed Mono-Hull Type Passenger and Car Ferry “Unicorn”

下関造船所 鷲尾 祐 秀*¹ 濱田 知 聰*¹
 瀧 本 努*²
 技術本部 土岐 直 二*³
 船舶・海洋事業本部 上 田 直 樹*⁴

乗客 423 名と乗用車 106 台を搭載し、在来船の約 2 倍の 42 kn の高速航行が可能なカーフェリーを開発、建造した。現在、函館～青森の定期航路に就航中である。本船の特徴は次のとおりである。(1) 推進性能に優れ、凌(りょう)波性が高い新開発のディープ V 型細長単胴船型。(2) 船体は高張力鋼を多用した鋼製、客室はアルミ合金製、また艦(ぎ)装品の多くにアルミ合金を採用した超軽量化船体。(3) 世界最高の重量馬力比の高速ディーゼル機関 4 基に各々独立の操舵(た)・反転装置付きウォータージェット推進ポンプを接続した信頼性の高い高出力推進システム。

The fastest passenger and car ferry in Japan, which can carry 423 passengers and 106 cars, has been completed. The Ship can be operated at a speed of more than 42 knots which is about twice that of a conventional car ferry and now in commercial service on the Tsugaru Channel between the Honshu Island and Hokkaido Islands. The technical features are as follows. (1) Newly developed slender deep-V form mono-hull. (2) A tough light weight construction using high tensile steel in the main hull and aluminum alloy in the superstructure. (3) A reliable high-power propulsion system consisting of 4 high-speed diesel engines and 4 individually steerable water jet pumps.

1. ま え が き

近年、船舶が高速化する中で、特にカーフェリーの高速化が強く求められている。本船は 100 台以上の乗用車を搭載し、速力は在来船の 2 倍程度、鉄道、トンネルなど他の輸送手段との競争力を持つことを開発のねらいとした日本初の単胴型高速カーフェリーである。

本船“ゆにこん”は、1996 年 5 月に建造に着手し、1997 年 6 月に東日本フェリー(株)により営業運航を開始し、青函航路に就航し好評を博している(図 1 参照)。

2. 高速カーフェリーの現況

長距離・中距離航路の国内カーフェリーは、トラック、トレーラの輸送手段として国内物流を担っており、これらの速力は、20～27 kn 程度と一般商船では高速域に属し、通常排水量型船型の上限に位置する。

一方、旅客輸送に対する高速化の要望はますます高まり、近年、小型の高速コキュータ艇が離島航路を中心に多く登場している⁽¹⁾。

図 2 に現存する船舶の速力と載貨重量の関係を示すが、高速カーフェリーは速力 30～40 kn の高速領域で数 100～1 000 t の載貨重量が必要で、これは在来の排水量船型及び超高速艇の外挿域に当り、船としては未開拓の性能を要することが分かる⁽²⁾。

高速カーフェリーは既に 4～5 年前から欧州を中心に出現しているが、我が国で投入するには日本のカーフェリー運航の実状に合った製品とする必要がある。

特に、

- (1) 日本沿岸の厳しい海象条件下でも年間を通じて、在来船並みの就航率を維持できる信頼性の高さ。
- (2) 既存の航路が貨物輸送も兼ねているため、高速性を損なわない範囲で貨物車両の搭載能力を有すること。

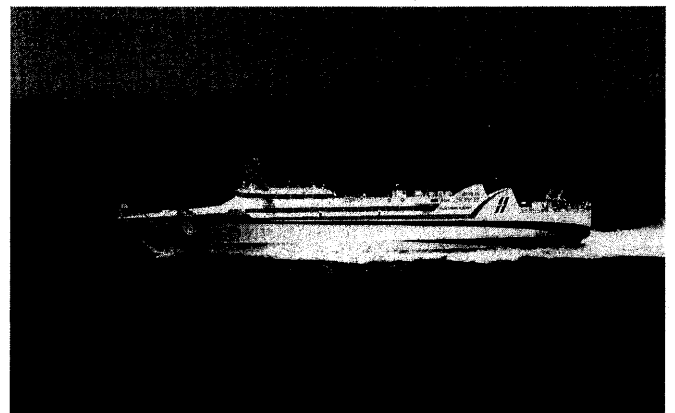


図 1 航行中の“ゆにこん”
Photograph of Unicorn

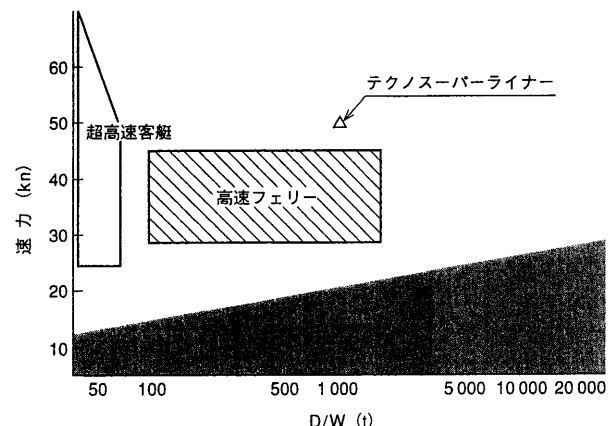


図 2 高速カーフェリーの位置づけ 高速カーフェリーが載貨重量と速力から見て未開拓の領域であることを示す。
Deadweight and speed range of high speed passenger and car ferry

*1 船舶・海洋部主査

*3 長崎研究所船舶・海洋研究推進室長

*2 船舶・海洋部構造・装備設計課

*4 船舶技術部商船計画グループ

以上の2点を考慮し、数多くの高速艇の実績、及びテクノスーパーライナーの開発で培った要素技術を生かした、当社独自の技術で開発することとした。

3. 設計の概要

船体形状は凌波性の優れた新開発のディープV型細長単胴船型とした。

本船の主要目を表1に、一般配置を図3に示す。

車両は1層の車両甲板と甲板上2.65mの高さに設けたアルミ合金製中間甲板に搭載するが、中央2レーンは大型車両用とし、大型バス、20tクラスのトラックを最大5台まで搭載できる。車両甲板後部は、中小型のトラックが搭載できる。船尾に幅5.2mのランプを1基装備し、乗用車は船首部の旋回スペースで反転する配置とした。中間甲板用可動ランプもアルミ合金製である。

高速船の場合、目標速度を達成するための最大の課題は、全体重量の7~8割を占める自重の軽量化である。そのために船体全体をアルミ合金製とすることも検討したが、衝突時の安全性、車両区画の防火対策、補修の容易さ、建造コストなども考慮の上、上甲板下の主船体は高張力鋼を多用した鋼製、客室の上部構造はアルミ合金とし、主船体とはクラッド鋼を介して溶接する様式を採用した。

推進プラントは、信頼性の面から複雑な構成を極力排除し、また部品の共通化を図るため、同一形式の主機、ギヤ、ウォータージェットを組合せた4基4軸方式を採用した。ウォータージェットは4軸とも操舵・反転装置付きとし、場合に応じた最適な組合せが選択できる。また、船橋両舷(げん)側にはジョイスティックコントローラを配置し、バウスラストとの連動により自在な操船が可能である。

3.1 推進性能の特性

(1) 付加物による抵抗

船体抵抗全体に占める割合の小さいフィンスタビライザやバウスラストなどの付加物抵抗についても、船体抵抗最小化による推進性能向上の面から、これらを定量的に把握する必要がある。

一例として、バウスラストについてはCFD (Computational Fluid Dynamics) による流場解析を行い、流線を乱さない開口形状に変更し、さらにタフトを用いた流場の観察にてグリッド

表1 主要目
Principal particulars

全長	100.56 m	旅客定員	423名
全幅	14.90 m	車両搭載	乗用車 106台
深さ	10.30 m		乗用車 78台・大型車両 5台
喫水	2.70 m	主機関	MTU 20 V 1163 TB 73 L×4基
総トン数	1498 t	連続最大出力	8840 PS×1275 rpm
試運転最高速力	42.39 kn	推進器	KaMeWa W/J 112 SII×4基

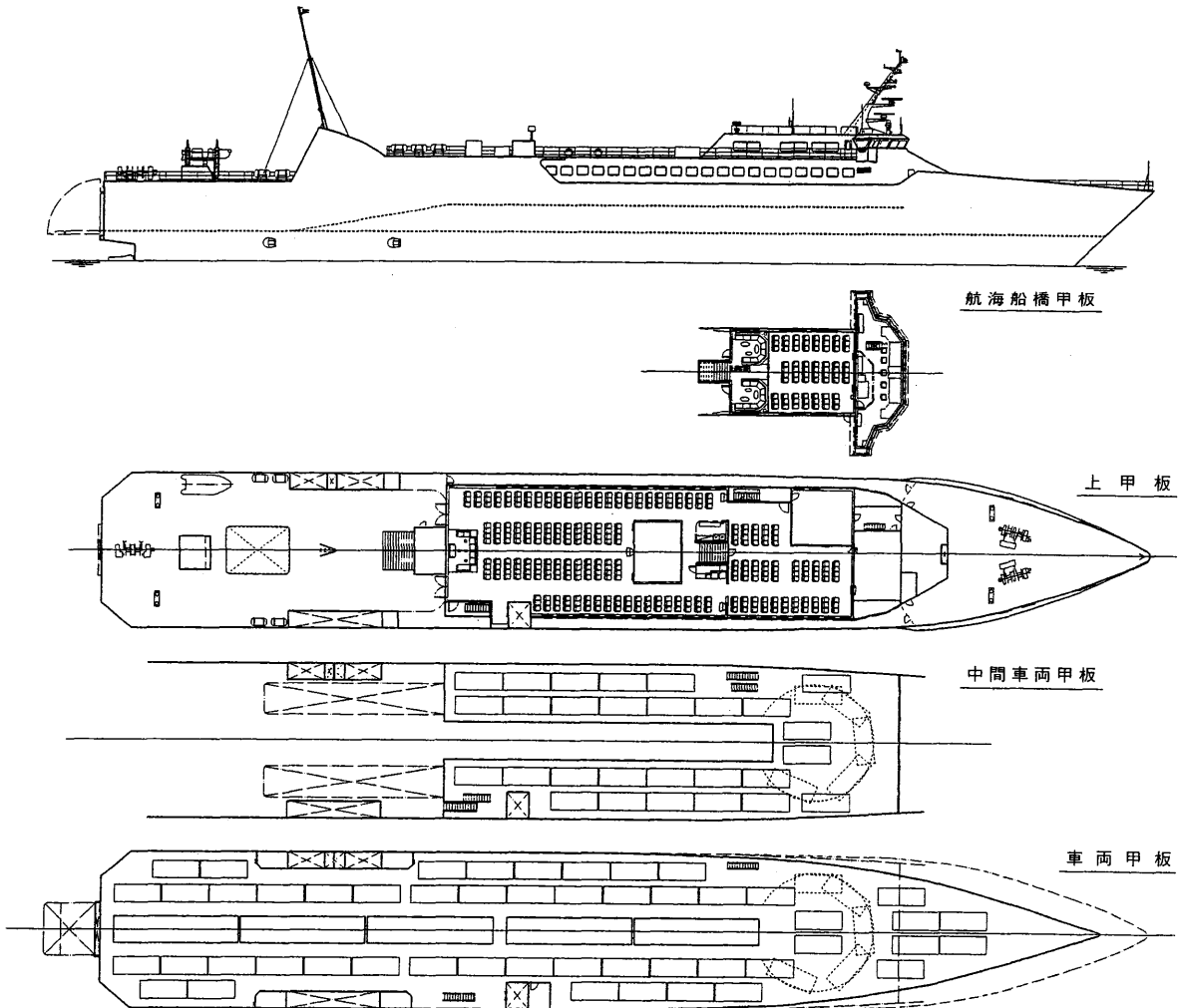


図3 一般配置図 本船の配置を示す。
General arrangement

の取付け角を調査した。これらの結果を母船型に織込むことで船体抵抗全体が最小となる最適船型を選択した。

(2) ウォータジェット取水口の相互干渉

配置の制約により高出力のウォータジェット4基が非常に近接しており、各ウォータジェット取水口間での流体の相互干渉による推力の低下が懸念された。

この点について小型のウォータジェットを使った自航模型による流場観測、境界層内の流速分布計測を行い、CFDにより実船スケールでの流場を推定し、フラッシュタイプの取水口における自航要素及び相互干渉量の推定技術を確認した。

(3) 波浪中の推進性能

波浪中、ウォータジェット取水口から空気吸込みが生じた場合、インペラの負荷が瞬間的にほぼゼロとなるため、主機関は過回転状態とならないように燃料噴射が自動的にカットされる。頻発すると速力の低下、主機への悪影響が懸念される。

横波中の自航模型試験の結果、水面上に飛出したフィンスタビライザが巻込んだ空気が混入する可能性があることが確認されたため、動揺低減効果を損なわない範囲でフィンスタビライザ位置を調整した。

3.2 船体構造及び織装

船殻構造設計においては、部材の重要度や損傷した場合の影響度を考慮しためりはりのある軽量化設計に努めた。

本船は、従来フェリーと高速艇との中間的性格を有しており、現段階では直接適用できる基準がないため、本船の構造設計には最近整備されたばかりの船長50mまでの単胴型高速船に関する基準⁽⁹⁾を準用した。なお、各部材の最終寸法の決定には、水槽試験とシミュレーション計算で推定した波浪中船体運動及び波浪荷重を用いて設計荷重を検証した。こうして主構造の配置・部材寸法を決めた後、各種FEM(有限要素法)解析を実施し、細部を見直すと同時に疲労強度評価をすることで構造信頼性を確認した。

FEM解析モデルの一例を図4に示す。

また、本船の就航海域は季節によっては鯨の出現を頻発に見るため、万一衝突した場合の発生応力を推定した。計算結果を図5

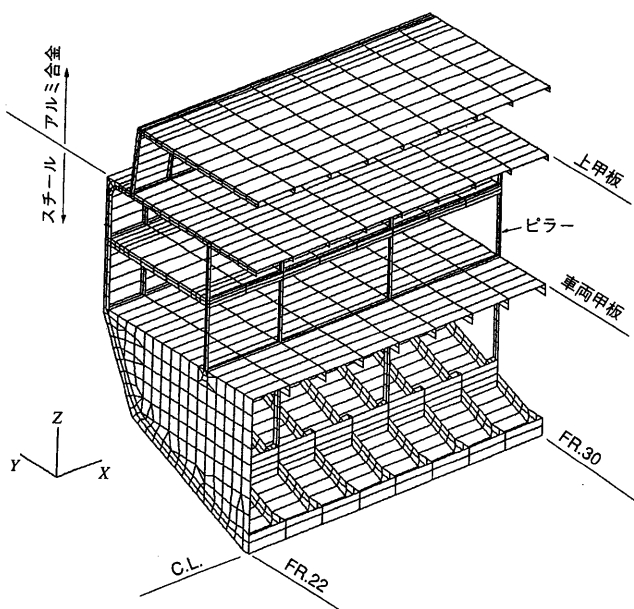


図4 横強度 FEM モデル
Example of FEM model

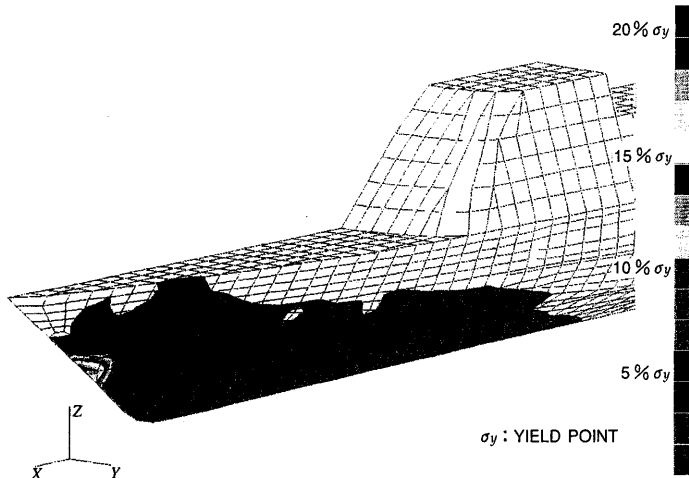


図5 鯨との衝突による発生応力 鯨と衝突した際の応力を推定した結果を示す。
Stress analysis of collision with whale

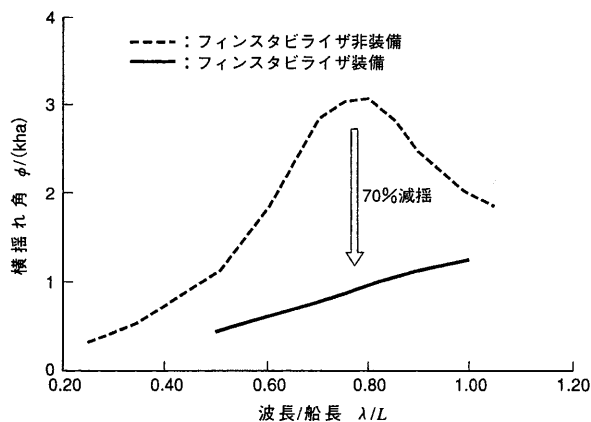


図6 フィンスタビライザの横揺れ減揺効果 水槽試験結果で推定したフィンスタビライザ装備による横揺れ減揺の効果を示す。
Roll dumping by fin-stabilizer

に示すが、船体は損傷しないレベルであり、また衝突加速度も非常に小さく安全性に問題ないことを検証した。

各種織装品においても使用条件を考慮しつつ、メーカーの標準規格を見直し、大幅な軽量化を達成した。特に係船装置のガンフォースアンカーワイヤの採用、無鎧(がい)装電線、アルミハニカム製内装壁材など来フェリーとは異なる材料、仕様を多数採用している。

建造に当たっても搭載するブロック、購入機器すべてを計量して重量を管理した結果、計画重量に対し完成値はその差わずか0.5%に納めることができた。

旅客船としての快適な居住性の確保のために、主たる起振源である主機、発電機のみならず、油圧機器に対しても起振力低減のため防振支持を採用した。特にウォータジェットダクト部などの複雑な構造部にはFEMによる振動応答解析を実施した。騒音解析においても、上部構造がアルミ合金製という特殊な構造に対してSEA (Statistical Energy Analysis) 法による推定計算を実施し、防音材の施工箇所等を決定した。

3.3 動揺低減装置

本船の動揺低減装置を選定する上で就航する青函航路の波浪状況を調査した結果、青函航路では波高が3mを超える海象では横波が支配的で、横揺れの低減が乗心地改善に最も効果的であるこ

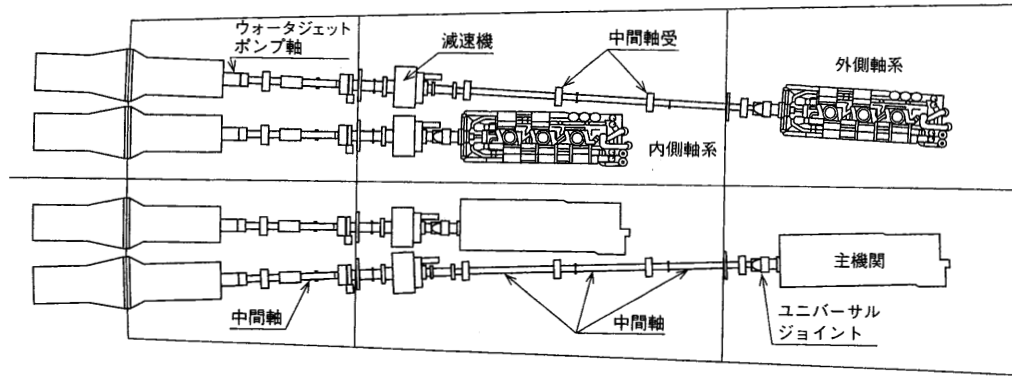


図7 主機・軸系配置
Arrangement of main engines and water jets

とが分かった。そこで、本船の動揺低減装置としては、フィンスタビライザのみで十分であることを確認した上で非格納式のものを選定した。

図6にフィンスタビライザの制御効果を示す。本図から、本船の横揺れは、フィンスタビライザを装備することにより、同調点で約70%減揺されていることが分かる。

3.4 推進プラント

図7に本船の推進プラント配置を示す。主機は欧州の高速フェリーで実績が多く信頼性も高い、連続最大出力6500kWを有する高速ディーゼルを4基配置し、推進プラントの冗長性及び軽量化の面から、それぞれの主機を減速機を介してウォータージェット装置に結合した。

減速機は、遊星歯車式で小型化し、さらにケーシングはアルミ合金製にしている。中間軸の材料は、高強度材料ニッケルクロムモリブデン鋼(SNCM 439)を採用した。中間軸受は、高速船に実績の多い二つ割ボールベアリングを採用し、軽量化のためケーシングはアルミ合金製としている。

航海中は、2台の機関監視システムとVTRカメラにより操舵室で集中制御し、機関室内無人運転としている。

4. 海上試験

本船の諸性能を確認する目的で海上試験を実施した。表2に海上運転結果の例を示す。

本船の試運転時における最高速度は42.39knであった。この速度は鋼製でディーゼル主機搭載の船では世界最高速である。運動性能についても緊急停止距離約580m、旋回径約400m(左右旋回の平均、4艇身相当)と通常のカーフェリーに比してはるかに優れた運動性能を有していることが確認できた。

また、振動・騒音計測の結果は、居住区における騒音レベルは55dB(A)から67dB(A)を達成し、振動レベルはISOの下限レベ

表2 試運転結果
Results of sea trial

項目	試験結果		
速度	試運転最高: 42.39 kn (1/3 D/W, 100%出力)		
緊急停止距離	約580 m		
旋回		最大縦距	最大横距
	左旋回	約400 m	約440 m
	右旋回	約370 m	約390 m
騒音	全居住区域にて55~67 dB(A)		
振動	全居住区域にてISO基準下限値の1/2以下		

ルの1/2以下となり、本船が十分な静寂性を有することを確認した。

5. むすび

単胴型高速カーフェリーの第一船として建造した国内最高速のカーフェリー“ゆにこん”は、1997年6月5日から1日2便(夏場は3便)の定期運行を開始しており、青函航路の新しい主役になりつつある。当初の目標であった信頼性の確保のため、就航後も構造・運動についてはデータの集積を行い、本船の性能把握と第二船以降の設計にフィードバックを実施することとしている。

最後に、数多くの新規要素を持った本船“ゆにこん”建造の機会を与えて頂きました東日本フェリー(株)の関係各位に対し、深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 木原和之ほか, 全没型水中翼双胴船の開発, 三菱重工技報 Vol.31 No.3 (1994) p.171
- (2) 鷲尾祐秀, 「RoRo 船の種類と特徴」, 日本造船学会誌 797号 平成7年11月
- (3) 運輸省海上技術安全局, 高速船構造基準 平成8年1月