



〈連載(219)〉

## アルミ製トリマラン型中速フェリーの提案



大阪府立大学大学院・海洋システム工学分野・教授  
池田 良穂

はじめに

今年の秋の日本船舶海洋工学会関西支部講演会において、アルミ製トリマランのROROフェリーの可能性について検討した論文を発表して、各方面から注目を浴びることができた。「アルミ製といえば高速船」という固定概念を打破するために、原油高騰時代に相応しいアルミ製フェリーが、中速船でもあるはず、ということで検討を開始したものである。以下に、その全文をご紹介します。アルミによる軽量化とトリマラン化による抵抗低減・復原力向上によって、在来型フェリーに比べて24%余りの馬力軽減ができ、アルミ化による船価の上昇も燃料費の減小でペイできるというのが結論となっている。ただ、研究当時は原油がピーク値にあり、その時の価格を用いて採算計算を行っているので、原油価格が低下した現在にあっては経済性についての結論については若干割り引いて評価する必要がある。

### 1. 緒言

原油価格の高騰から多くのフェリー会社は苦境に立たされており、減速航行による燃料消費の削減、運航回数の削減等の対策をとっているが、中には航路廃止、会社の清算にま

で追い込まれている事例もでてきている。原油価格については、今後、多少の変動はあると考えられるが、発展途上国の経済発展に伴う原油需要の上昇、将来的な原油資源の枯渇に起因する需給への不安等から、ある程度の高止まりは避けられないものと考えられる。

こうした原油高の中では、フェリーの総運航コストに占める燃料油コストの比率が大きくなり、燃料削減が経営に直接的に大きな影響を及ぼしている。

燃料費削減には、船型改良や付加物による推進効率の向上などが有効だが、在来型の単胴フェリー船型ではほぼ究極まで船型改良が行われており、最近の原油価格高騰に対応できるほど画期的な技術開発は難しいと思われる。

そこで、本研究では軽いアルミ製にして排水量を減らすとともに、多胴化して抵抗性能および積載効率を向上させた5000総トン、20ノットの中速ROROトラックフェリーのコンセプトを構築し、その基本性能および経済性評価を行った。中速フェリーのアルミ化の検討は、豪オースタル・シップス社でも行われており、中速の小型双胴フェリー(載貨重量350トン、14ノット)をアルミ製とした時のフィジビリティ・スタディを行い、鋼製よりも経済性が高いこと

を示している<sup>1)</sup>。本研究では、多胴船型としては、筆者の1人が提案・特許化したトリマラン船型を採用した<sup>2)</sup>。この船型は、両舷のサイドハルを防舷材として機能させることによって、センターハル内の横隔壁をなくして隔壁甲板下にトラックの積載を可能としたもので、在来の単胴フェリーに比べて積載効率を大幅によくすることができ、背を低く押さえることができる。

このトリマラン船型の採用により、十分な復原性の確保が可能であり、上部構造の高さを低くしたことにより、強風下での港内操船、離着岸が容易になると共に、航海中の斜航角を減らすことで抵抗増加を押さえることも可能と考えられ、これらについては第2報で報告する予定である。

## 2. トリマランROROフェリーの提案

航路長が約100kmの国内航路に就航する5000総トン、航海速力20ノットのROROトラックフェリーを対象に、単胴型からアルミ製トリマラン型にした時のフィージビリティ・スタディを行う。

### 2.1 基本コンセプト

本研究により提案するトリマランROROフェリー開発の基本コンセプトを以下に示す。

#### i) 軽量化による抵抗減少

アルミ合金製とすることによって、排水量が減少することによる抵抗削減。

#### ii) トリマラン船型の採用による抵抗減少

トリマランでは、造波抵抗は減少するが、浸水表面積が増加することによって摩擦抵抗が増加する。この増減によって、全抵抗は、船の大きさおよび速力によって変動する。トリマランROROフェリーの場合は20ノット手前で造波抵抗の減少が摩擦抵抗の増加を上回るため、全抵抗が減少する。

#### iii) トリマラン化に伴うセンターハルの横隔壁減少に伴う積付台数の増加

トリマランのサイドハルを防舷材として活用することによって損傷時復原性規則をクリアして、センターハル内の横隔壁を減らし、隔壁甲板下に長い車両甲板を確保する。また、トリマラン化に伴う上部甲板の幅が広がり、積付効率の向上を図る。

#### iv) トリマラン化による復原力増加に伴う就航率向上

## 2.2 トリマランROROフェリーの船型決定

### 2.2.1 トリマラン型ROROフェリーの設計条件

トリマラン型ROROフェリーと、在来型単胴ROROフェリーの車両デッキ面積の大きさが等しくなるように寸法を決定した。

トリマラン型ROROフェリーに関する設計条件は以下の通りとする。

i) メインハルのL/B=12.0

ii) メインハルの柱形係数 $C_p=0.6$

iii) メインハルの排水量：サイドハルの排水量=8:1

iv) サイドハルの長さ=メインハルの長さの70%

v) サイドハルのL/B=20

また、船体材料はアルミ合金とし、在来船に使われる鋼材との密度比は0.3、板厚を1.5倍とする。

### 2.2.2 軽荷重量の推定

軽荷重量は、在来船の船体重量を基準にして、船体外板面積とデッキ面積の和から算出される総鋼板面積の比より推定する。

在来船の満載排水量 $\Delta$ は、柱形係数 $C_p=0.6$ 、中央横断面係数 $C_m=0.925$ とし、(1)式により求める

$$\Delta \text{ (ton)} = \rho g \times L_{PP} \times B \times d \times C_p \times C_m$$

### 2.3 在来船との主要目比較

以上のようにして決定したトリマランROROフェリーの主要目と、在来船の主要目の比較をTable 1に示す。また、在来型ROROフェリーの簡単な一般配置図をFig.1に、トリマランROROフェリーのものをFig.2に示す。

Table 1 Principal particulars of ships

	Mono-hull	Trimaran
Distance of route	113km	
$V_s$	20.0kt	
Number of voyage	5 times/day	
$L_{on}$	130 m	140 m
$L_{to}$	121 m	132 m
B	21 m	33 m
Deck height	4.5m	4.5m
$D'$	13 m	11.5 m
$D$	7 m	7 m
$d$	5.5 m	5.05 m
D.W.	2,600 t	2,636 t
(trailer weight)	(1938 t)	(1994 t)
"	7950 t	5216 t
vehicles	trailer×55 (12.5 m×2.5 m)	trailer×56 (12.5 m×2.5 m)
BHP	11000 ps	8358 ps

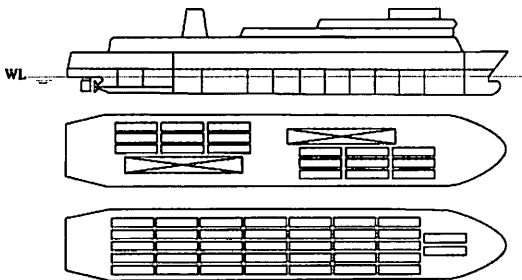


Fig.1 Rough arrangement of conventional RORO-ferry

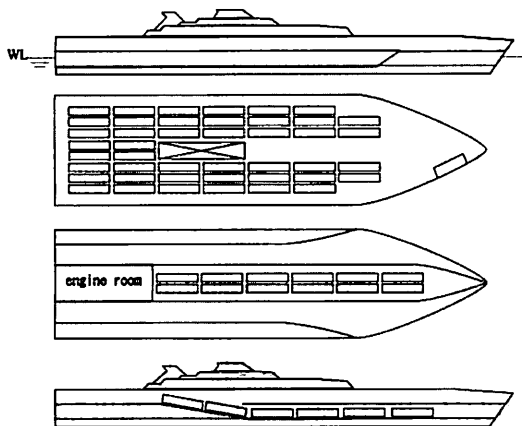


Fig.2 Rough arrangement of proposed trimaran RORO-ferry

### 3.トリマランROROフェリーの抵抗特性

(2)式に示す2次元外挿法を用いて在来型ROROフェリーとトリマランROROフェリーの抵抗を推定し、トリマラン化による有効馬力の削減率を求める。

$$R_T = \frac{1}{2} \times (C_F + C_R) \times \rho \times S \times V_s^2$$

#### 3.1 計算条件

計算時に用いた条件は以下のとおりである。

- i) 摩擦抵抗係数の計算にはShoenherrの式を用いた。
- ii) 剰余抵抗係数は(3)式の関数をもつTaylor-chartを1次外挿して求める。
- iii) トリマランのサイドハルは平板状のため造波抵抗が非常に小さいので無視できるとし、摩擦抵抗のみ計算する。
- iv) ハル間の造波干渉は無視できるとする。

$$C_R = F(\sqrt[3]{L^3}, C_p, B/d)$$

#### 3.2 有効馬力の比較

在来型ROROフェリーとトリマランROROフェリーの有効馬力をFig.3、Fig.4に示す。

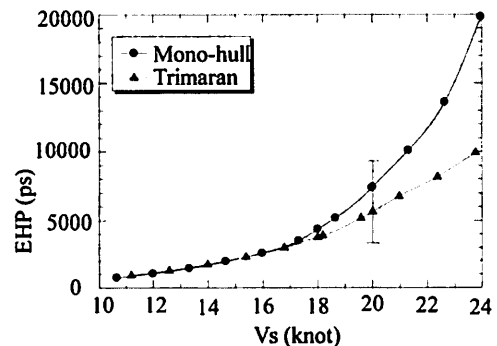


Fig.3 Predicted Effective Horse Power of conventional mono-hull and proposed trimaran

Fig.3から16ノット程度でトリマランROROフェリーの方が在来ROROフェリーよりも有効馬

力が小さくなり、それより高速域では速度の増加に従いトリマラン化による有効馬力削減効果も大きくなることが分かる。

Fig.4に示すように、在来船の運航速度である20ノットではトリマラン化による有効馬力の削減率は24%となる。

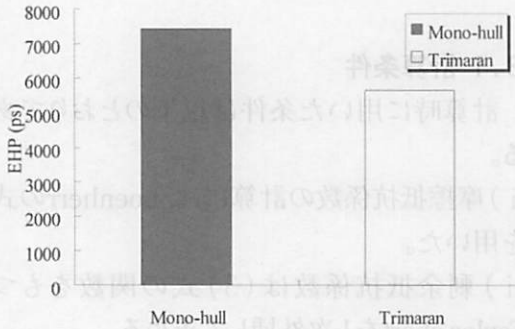


Fig.4 Comparison of EHP of conventional monohull and proposed trimaran at 20 knot

### 3.3 抵抗成分に関する考察

トリマランでは、センターハルを細長化することによってFig.5のように剰余抵抗を減少させることが出来るが、その一方で浸水面積が増えFig.6のように摩擦抵抗が増加する。すなわち、トリマラン化による造波抵抗の減少と、摩擦抵抗の増加はトレードオフの関係にあり、剰余抵抗の減少が摩擦抵抗の増加を上回ると全体の抵抗は減少することになる。

そこで、以下のようにトリマランと単胴との間の抵抗成分の変化量を  $\Delta R_r$  と  $\Delta R_f$  と定義し、その比 ( $\Delta R_r / \Delta R_f$ ) をとることとすると、この比が1以上になると、トリマラン化したことによって全抵抗は単胴型よりも減少することとなる。

$\Delta R_r$  = 単胴船の剰余抵抗 - トリマランの剰余抵抗

$\Delta R_f$  = トリマランの摩擦抵抗 - 単胴船の摩擦抵抗

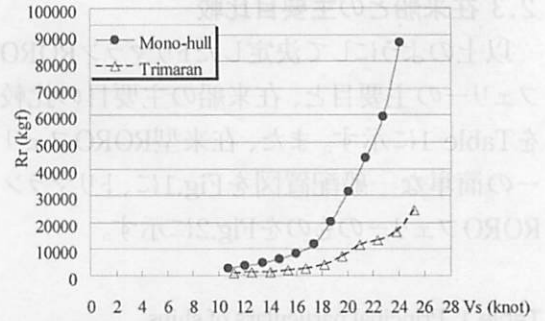


Fig.5 Predicted residual resistance of conventional mono-hull and proposed trimaran

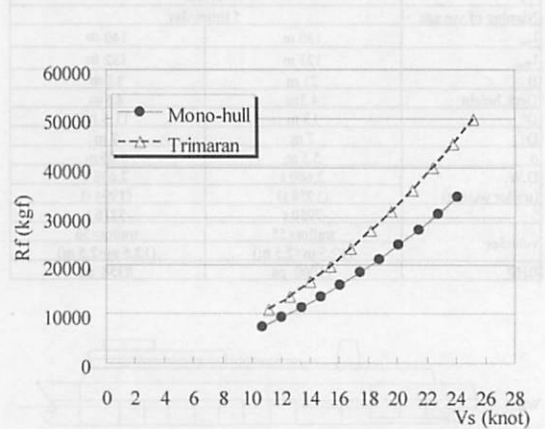


Fig.6 Predicted frictional resistance of conventional mono-hull and proposed trimaran

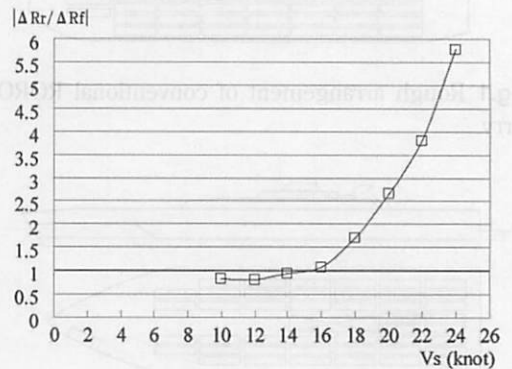


Fig.7 Ratio of reduction of residual resistance to increase of frictional resistance of proposed trimaran from conventional monohull

提案するトリマランROROフェリーと在来型ROROフェリーについて計算した結果をFig.7に示す。図中で1以上になる速度域でトリマランの全抵抗が単胴船のものよりも小さくなる。

約16ノットの時点で剰余抵抗の減少が摩擦抵抗の増加を上回っており、比較的低速でもトリマラン化による抵抗削減効果が現れることが分かる。

#### 4. 経済性評価

第3節で在来船とトリマランの有効馬力を推定し、その結果16ノット以上の速度ではトリマランROROフェリーの方が全抵抗が小さくなり、在来船の運航速度と等しい20ノットで航行した場合のトリマランROROフェリーの有効馬力は在来船のものより24%小さくなることが分かった。有効馬力の減少はそのままエンジンの制動馬力の減少につながるため、大きな燃料費の削減が可能である。しかし、本研究で提案するトリマランROROフェリーの船体材料にはアルミを用いるため、それによる船価の増大を考慮に入れた経済性評価を行う必要がある。そこで、この船価増に伴う年間の運航コスト増を推定して、燃料コストの削減と比較して、アルミ製トリマラン化の経済性を評価することとする。

##### 4.1 トリマラン化による年間運航コストの変化

アルミ製トリマランにすることによって、船価が増加し、一方燃料費が減少するが、その他のコストは変わらないので、年間の運航コストのうち船価に関わる費用と燃料費のみTable2のようにして推定し、在来船とトリマランの結果を比較する。

Table2  
Data to calculate operational cost

interest	5% of building cost of ship
insurance	1% of building cost
depreciation (term of redemption)	90% of building cost / term of redemption (15 years)
fuel cost	0.2 (l/ps·h)×fuel price (yen/l)

##### 4.2 計算条件

2004年以降の内航船用C重油の価格推移の様子をFig.8に示す。2004年度にはC重油の燃料費は1klあたり約3万円だったが、2007年度には6万円に倍増しており、2008年の4-6月に7万円以上にまで上昇し、同年7月には9万円を超えている。この燃料価格の変化をTable2中のfuel priceに反映し、燃料費削減量を求める。

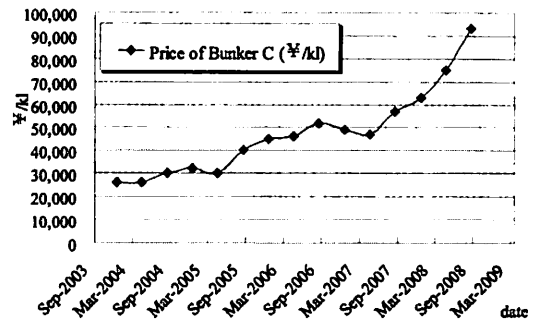


Fig.8 Change of fuel price

また、在来型単胴ROROフェリーの船価を70億円と仮定した。アルミ製トリマラン型ROROフェリーの船価については、オースタル・シップ社の小型双胴型船での推定<sup>1)</sup>では材料費の上昇とエンジン価格の減少がちょうどキャンセルして船価は同じとしているが、単胴型とトリマラン型との違いがあるので10%の船価上昇を仮定した。

##### 4.3 結果と考察

以上のようにして求めたトリマラン化による年間の燃料コストの削減量と、船価上昇による年間コスト増加(減価償却費、利子、保険料)の推定結果をFig.9に示す。トリマラン化による燃料費の削減量は、毎年の燃料価格の高騰によって急激に大きくなっていることが分かる。10%の船価上昇による年間コストの増加額と比較すると2004年9月、すなわちC重油価格がキロリットルあたり3万円において両者

が一致しており、それ以上の価格では燃料コストの削減が船価増による年間コストの増加を上回っている。

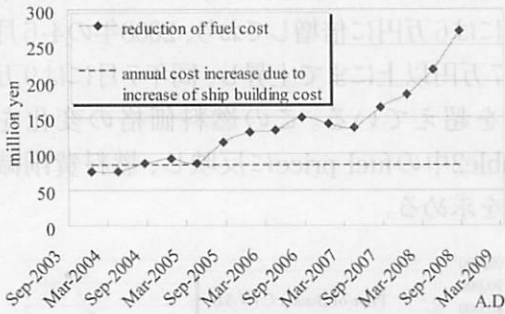


Fig.9 Reduction of annual fuel cost and increase of annual cost from building cost of proposed aluminum trimaran RORO ferry compared with steel mono-hull RORO ferry

## 5. 結言

本研究においては、国内航路に就航する在来型単胴ROROトラックフェリーをアルミ製トリマラン型にして大幅に燃費を低減することを目的として、同トリマラン船のコンセプト設計、運航時の有効馬力を推定および経済性の検討を行った。その結果得られた知見を以下に要約する。

- 1) 5000総トン型ROROトラックフェリーをアルミ製トリマラン船型にすると、同じトラック積載能力を持つ在来単胴型船に比べて、満載排水量は約35%減少する。
- 2) 同トリマラン型ROROフェリーでは、鋼製の

在来型単胴船に比べ、摩擦抵抗は大きくなるが、剰余抵抗が小さくなるため、16ノットよりも高速域で全抵抗がより小さくなる。

3) 航海速度を20ノットと仮定すると、同トリマランの有効馬力は在来型船よりも24%小さくなる。

4) 2008年9月現在のC重油価格で年間約1.8億円の燃料コスト削減が期待できる。この燃料コスト削減額は、在来船の船価を70億円、トリマラン型船を10%増の77億円と想定すると、その船価増に伴う年間コスト増を数倍上回る。

## 《参考文献》

- 1) Lower operating costs with all-aluminum vessels, The Motor Ship, January 2007
- 2) 池田良穂；特許2006E33号、トリマラン構造船、2006
- 3) 池田良穂、曾根智宏；トリマラン型PCCの可能性評価に関する研究、日本船舶海洋工学会講演会論文集 第4号
- 4) 赤木新介；旅客用高速船の経済性評価と需要予測、関西造船協会誌 第220号、平成5年9月
- 5) 西村里和、池田良穂；高速カーフェリーを用いた海上交通システムのフィージビリティスタディ、関西造船協会誌 第232号、平成11年9月
- 6) 池田良穂、中林恵美子、伊藤藍；ペンタマラン型高速RoRoバージ船のコンセプトデザイン、日本船舶海洋工学会論文集 第1号

