

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 21 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21760669

研究課題名（和文）トリマラン型 PCC の強風下での運航性能と最適航路計画に関する研究

研究課題名（英文）A Feasibility Study on a New Trimaran PCC in Strong Wind

研究代表者

二瓶 泰範 (NIHEI YASUNORI)

大阪府立大学・工学研究科・助教

研究者番号：00470055

研究成果の概要（和文）：

研究近年、世界中での自動車需要の増加に伴い、自動車専用運搬船(PCC)、自動車トラック専用運搬船(PCTC)の需要が増えている。これらの船は上部構造が大きく喫水が浅い不安定な形状をしており、このため風の影響を受けやすく、斜航及び当て舵による抵抗増加を招いている。また復原力を保つため大量のバラスト水を必要としている。このような背景から、新形式トリマラン PCC を提案し、強風下でのトリマラン PCC の運航性能を評価した。

成果の概要（英文）：

In the present work, a new trimaran PCC is proposed and a feasibility study on the ship is carried out. In this study, first, the effective horse power (EHP)/car of the PCC running in still water is predicted. By comparing the predicted EHP/car with that of a conventional mono-hull PCC, it is found that the trimaran PCC is superior to a conventional mono-hull PCC at rather higher speed. It is also found that at common service speed of PCCs, the EHP/car of a small PCC is lower than that of the conventional PCC. Also, the increase of the resistance of PCCs running in strong wind is simulated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：海上輸送システム、運行性能、自動車専用運搬船、風圧力、トリマラン、風圧下での船舶性能、風力推進

## 1. 研究開始当初の背景

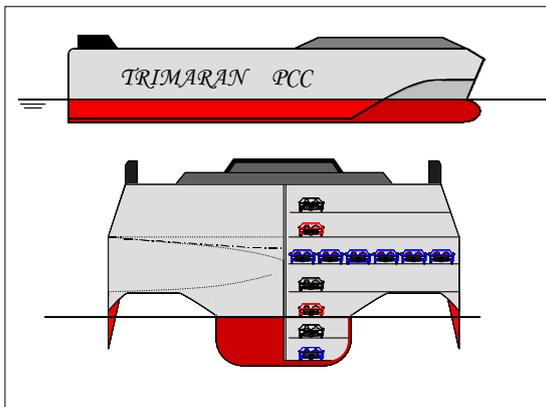
近年、船舶の燃料費高騰や安全対策、環境対策は喫緊の課題であると言える。多くの船舶は転覆しないようにバラスト水を積載する。特に近年需要が多く、多数建造されるようになったコンテナ船や PCC は喫水が浅く水

面上構造物が巨大なため重心が他の船舶と比べても高くなっており、大量のバラスト水を積載している。しかし、PCC においてはこうした大量のバラスト水を積んでも尚、強風によって転覆する事故例が報告されている。そして大量のバラスト水は排水量を増加させ、抵抗を増加させている。また、こうした

水面上巨大構造物を有する船舶は強風下で風圧力の大きな影響を受け、GPS によって測定した結果、その斜航角が進行方向に対して最大で 20° にもなり、そのための当て舵により抵抗増加することが報告され経済的にも大きな問題を抱えている。更に、環境保全の観点からバラスト水は既に IMO の厳しい規制があり、これにより各船会社が様々な難しい対策を講じる必要に迫られており、多大な労力を費やしているのが実情である。現在では、いくつかの大学や研究所において、ばら積み船のノンバラスト化に関する学術的な研究・応用研究が少しずつ行われ始めている。しかし、PCC やコンテナ船等の上記巨大構造物を有する船舶に対するノンバラスト船に関する研究は世界的に見ても非常に少ない。このような安全性や環境保全の問題を抱え、風圧力に対し性能が劣る船舶に対する解決策として革新的な新船型の研究とともに新しいコンセプトデザインの創造が求められていると言える。申請者等の研究グループは既にノンバラストの新形式トリマラン(三胴)型 PCC 等についてコンセプトをデザインを行い、簡易な推定法による馬力推定や経済性評価等の研究を行った。本船のコンセプトは以下のようになっている。

- 中央船体を細長化して抵抗を減らすとともに、乾舷甲板より上に幅の広い車両甲板を設けデッキ総数を削減し、上部構造物の風圧力を低減する
- サイドハルにより大きな復原力を確保し、ノンバラスト化する

申請者の研究グループは既にこれの特許申請しており、申請者は既に簡易な抵抗推定から経済性評価を行っている。そして 5000 台積み以上の場合 25knot 以上の運航速度でトリマラン船の方が有利になる試算を得た。また積載効率の向上により風圧力低減に直結する上部構造物の低層化が可能であるという試算も得ている。簡易推定は単胴型 PCC と同じ積載台数としてトリマラン型 PCC の主要目を決定し、そこから載貨重量や軽貨重量



を概算し、二次元外挿法により有効馬力を推定している。すなわち強風下において PCC やコンテナ船が抱える昨今の問題に対し、申請者の研究グループが提案するトリマランの適用は環境保全・安全・経済上、極めて重要な技術に資する研究であると言える。

## 2. 研究の目的

既に述べたように申請者は簡易な抵抗推定から経済評価を行った。しかし、PCC やコンテナ船は強風下での風圧力による船速低下や斜航による当て舵抵抗が大きな問題となっており、申請者の研究グループが提案するトリマラン型 PCC についても風や波という、より実海域に近い条件下での運航性能を把握することが必要であるという。特に風の影響は顕著であると言える。そこで本申請研究では以下の具体的な研究を遂行することにより、トリマラン型 PCC の可能性について研究することを目的とする。

- 水槽試験及び風洞試験による流体力評価に関する研究
- VPP による運航性能に関する研究

以上の研究から大きく以下のことを明らかにする。

- 風圧下・波浪中における在来船とトリマラン型 PCC の運航性能の違い
- 海域を実際に航行する場合の在来船とトリマラン型 PCC の経済性の違い

更に、近年化石燃料の消費の大幅な削減が求められているのは周知の事実といえる。商船においてもこの流れに沿うことは重要であり、帆走商船の実用化に伴い、本申請研究では船舶に搭載する巨大帆についても風洞試験、数値計算プログラムを開発することによって翼列等の影響について調査することとする。

## 3. 研究の方法

本申請研究の研究開発分野は次の項目からなり、方法等の詳細は以下の通りである。

### 1. 流体性能評価研究

本評価研究では運航性能を評価するために必要な流体力を求める。これらの流体力は風圧力、船体等に作用する水面下の流体力に分けられ、具体的に以下の項目を実施する。

#### a) 平水中抵抗試験:

トリマラン型 PCC の試設計を研究協力者とともにを行い、その船型の模型を用いた抵抗試験を実施する。また直進時の抵抗試験とともに運航・安全性能シミュレーションで必要な流体力微係数を求めるために斜航試験・傾斜試験等も行う。

#### b) 風圧力測定試験と風圧力推定法の確立:

水面上構造物は非常に複雑なため CFD によ

って推定することは実用的には難しい。これと比べて上部構造模型船の風圧力測定や、船体周りの流れの物理現象と関連した成分分離モデルから回帰分析に基づく風圧力推定法は実用的であると言え、これまで多数の研究が成されてきた。本研究ではトリマラン模型の様々な風速・風向角における風圧力測定試験を実施する。そして物理現象から成分分離モデルを構築し、トリマランにおいて有効な風圧力推定法を確立する。

#### ii. 運航性能評価研究

運航性能評価研究は得られた流体力からVPPを開発し、更に自航試験を実施することにより様々な条件下での運航性能を評価し、在来型単胴船と本申請研究において提案するトリマラン型PCCとの運航性能の比較を行う。

##### a) VPPの開発:

風圧力や船体に作用する流体力微係数から船速低下量、偏角量、横傾斜角、当て舵量を未知数として前進・横流れ・旋回・横傾斜の4自由度連立非線形方程式をニュートン・ラプソン法により求めるプログラムの開発を行う。

#### 4. 研究成果

本申請研究ではトリマラン型PCCの風中での運航性能を評価するプログラム(VPP)を開発した。本プログラムはトリマラン型PCCの上部構造物に作用する風圧力、トリマラン船水面下に作用する流体力を実験的に求め、釣り合い方程式を解くことによって風圧下における船速低下量、舵角、斜航角を求めるものである。

本研究においては、水面上風圧側面積が大きく風の影響が顕著である大型のPCCを対象に、強風下での定常航行状態の推定を行い、運航性能を評価した。また、トリマランPCCの運航性能も評価し比較した。

##### 4-1 定常航行運動数学モデル

船体が強風の中を定常航行する際の前進速度  $V$  (m/s)、斜航角  $\beta$  (deg.)、当て舵の角度  $\delta$  (deg.) を求める。船体運動は船体重心を原点とした船体固定座標系で表現する。船体に働く  $x, y$  方向の外力及び回頭モーメントは  $X, Y, N$  で表す。船体が定常状態で航行している場合には船体に働く外力及び回頭モーメントの和が0となる。これらの外力及びモーメントは次式のように分離して取り扱うことが出来ることとする。

$$X = X_H + X_P + X_R + X_A$$

$$Y = Y_H + Y_R + Y_A$$

$$N = N_H + N_R + N_A$$

ここで、添え字の  $H, P, R, A$  はそれぞれ船

体、プロペラ、舵に作用する水流体力、水面上船体に働く風圧力を示す。以上のようにして得られた式を船速  $V$ 、斜航角  $\beta$ 、当て舵角  $\delta$  を変数として解き、強風中を定常航行している船の斜航角、当て舵角及び船速を求める。

直進時に船体に働く抵抗は二次元外挿法等によって推定する。船が静水中を斜航しながら前進速度  $V$  (m/s) で航行するとき、船体に働く横流体力  $Y_H$  及び回頭モーメント  $N_H$  はそれぞれ次式のように表される。

$$Y_H = Y_H' \times \frac{1}{2} \rho L d V^2$$

$$N_H = N_H' \times \frac{1}{2} \rho L^2 d V^2 \quad \text{for mono-hull}$$

$$N_H = L_N \times Y_H \quad \text{for trimaran}$$

ここで、 $Y_H'$  は横方向の流体力係数、 $N_H'$  は船体重心周りの回頭モーメント係数である。 $L, d$  はそれぞれメインハルの長さ及び喫水である。これらの流体力係数は、貴島らによって提案された船の主要目を用いた近似式を援用し、斜航角の一次関数として表す。また、 $L_N$  は船体中心から揚力作用点までの距離であり、船首から  $0.3L$  のところを揚力作用点とする。前後方向の抵抗増加については、実験による斜航角と抵抗増加の関係から得た次式を用いる。

$$X_H = X_{H0}(1 + 0.7173\beta) \quad \text{for mono-hull}$$

$$X_H = X_{H0}(1 + 2.1112\beta) \quad (0 \text{deg.} \leq \beta \leq 5 \text{deg.})$$

for trimaran

ここで、 $X_{H0}$  は斜航していないときの抵抗を表している。

##### 4-2 プロペラ推力

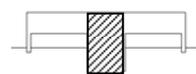
プロペラ推力は一定とし、無風時に単胴PCCが設定速度を維持できるように定める。

##### 4-3 舵力

舵角を  $\delta$  としたときの舵に作用する流体力は、貴島らを参考にして推定する。ここでは舵アスペクト比を1.5とし、PCCの舵面積比 ( $A_R/Ld$ ) を0.025とした。舵への有効流入速度は船速と等しいとし、舵への有効流入角は舵角と同じとした。さらに、舵に作用する横力は微小なため、計算を簡単にするため  $Y_R=0$  とする。

##### 4-4 風圧力

単胴PCCの風圧力の推定には藤原の方法を用いた。トリマランPCCについては李によって求められた値を基に推定し、上部構造を流線形化したトリマランの風圧力係数は実験によって得られた前後方向の風圧力係数  $C_x$  に補正係数をかけて求めた。この係数は、風向角が  $0 \text{deg.}$  のときに実験によって得た  $C_x(\text{exp.})$  と推定によって求めた  $C_x(\text{est.})$  との比であり、 $C_x(\text{est.})$  は以下の方法によって求める。



トリマランPCCのメインハルの部分(左図の網掛けの部分)は藤原の方法

を用いて単胴 PCC と同様に計算し、それ以外の部分は流線型であるため、抗力係数は 0.2 とする。上部構造を流線形化したトリマラン PCC の横力係数  $C_Y$  及び回頭モーメント係数  $C_N$  は流線形化していないものと同じとした。

#### 4-5 VPP シミュレーション

##### 4-5-1 対象船舶

対象船舶は 6000 台積みの PCC とし、居住区の大きさは、在来船のデータを基に、縦×横×高さ=38.8m×24m×5.6m とした。また、トリマラン PCC を流線形化する際は積載台数が変化しないようにした。単胴 PCC、トリマラン PCC 及び上部構造を流線形化したトリマラン PCC (trimaran2) の主要目を Table1 に示す。

Table 1 Principal particulars of ships.

	mono-hull	trimaran	trimaran2
Cap. Cars	6328	6288	6288
$L_{OA}$ (m)	198	190	190
$L_{PP}$ (m)	192	185	185
$B_m$ (m)	32	20	20
$B$ (m)		84	84
$d$ (m)	8.89	12.477	12.477
$L_{side}$ (m)		129.5	129.5
$B_{side}$ (m)		2.158	2.158
$d_{side}$ (m)		2.477	2.477
$\Delta$ (ton)	31075	27645	27645
AF (m <sup>2</sup> )	1061.4	1022	1123
AL (m <sup>2</sup> )	5917	3251	3095

##### 4-5-2 流体力及び風圧力係数

Table1 に示した主要目をもつ PCC の斜航による横力及び回頭モーメントの推定結果を Fig.1 に示す。Fig.1 から、トリマラン PCC の横力は単胴 PCC の 2 倍以上になっており、回頭モーメントもトリマラン PCC の方がかなり大きいことが分かる。

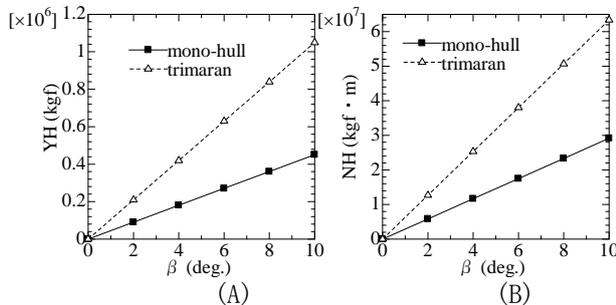


Fig.1 Calculated lateral hydrodynamic force (A) and yaw moment (B) of the trimaran PCC compared with that of the mono-hull PCC.

単胴 PCC 及びトリマラン PCC の風圧力係数を Fig.2 に示す。Fig.2 中の trimaran 2 は、上述したような方法で実験値を修正したときのトリマラン PCC の前後方向の風圧力係数である。上部構造を流線形化していない前後方向の風圧力係数に比べ、値が大変小さくなる事が分かる。また、横風圧力係数 ( $C_Y$ ) のグラフより、トリマラン PCC では相対風向角  $\phi$  が 90deg. のときに横風圧力係数が小さくなる事が分かる。

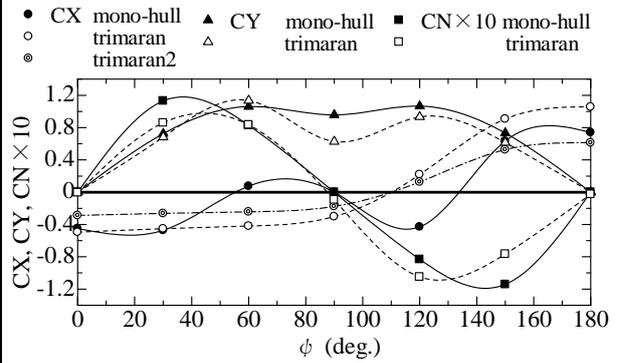


Fig.2 Longitudinal wind force coefficients  $C_x$  of the mono-hull PCC and the trimaran PCC

##### 4-5-3 数値計算結果

Fig.3 の A に単胴 PCC、トリマラン PCC 及び流線形化したトリマラン PCC (trimaran 2) の強風下定常航行状態の計算結果を示す。それぞれ、未知数として求めた  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $V$  の結果である。風向角  $\alpha$  は 30deg. 刻みで 0deg. から 180deg. まで計算した。風速  $U_w$  は 20m/s とした。

Fig.3 の A より、全ての風向角に対してトリマラン PCC の斜航角は単胴 PCC よりも小さいことがわかる。この理由は、トリマラン PCC の方が風圧側面積が小さい上に斜航時の横力が大きいためである。また、Fig.6 の B に示した当て舵の角度についても、トリマラン PCC の方が単胴 PCC よりもかなり小さくなる事が分かる。Fig.3 の C に示す船速低下のグラフを見ると、単胴 PCC では風向角が 0deg. から 90deg. まで 2 ノット~4 ノットの船速低下が見られるが、トリマラン PCC の船速低下量は 2 ノット程度であり、単胴 PCC の問題である強風中での船速低下がトリマラン化により改善出来る事が分かる。また、上部構造を流線形化することで、真正面及び斜め向かい風によって引き起こされる船速低下を軽減できる事が分かる。上部構造が流線形化されたトリマラン PCC は単胴 PCC に比べ強風中での性能がかなりよくなる事が分った。

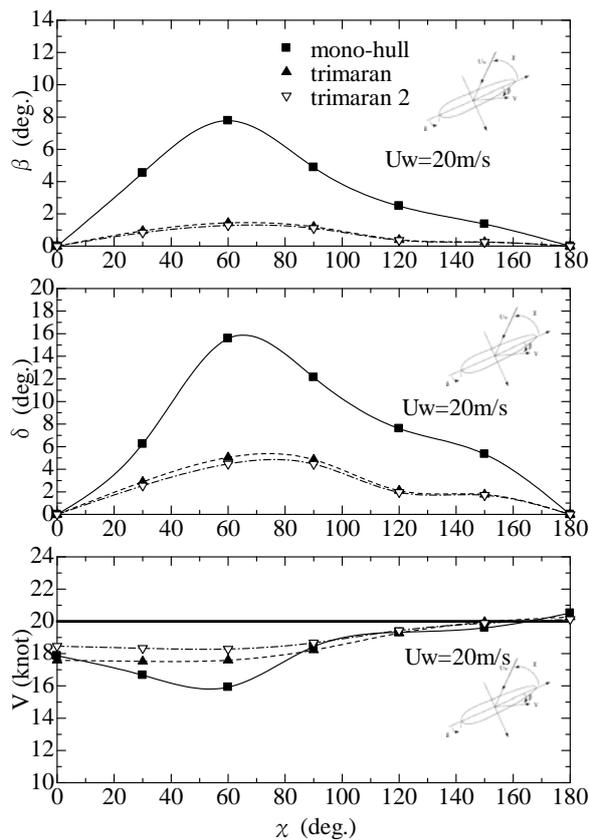


Fig.3 Calculated result of drift angle (A), counter helm angle of rudder (B) and speed loss (C) for PCC in steady winds (20m/s)

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 二瓶泰範、李僑、池田良穂、An Experimental Study on Wind Loads Acting on a Trimaran PCC、Journal of Marine Science And Application (JMSA) (海洋工学論文集)、査読有り、Vollume 9, 2010. 6、121-128
- ② 溝邊辰大、二瓶泰範、池田良穂、A Feasibility Study on a new Trimaran PCC in Medium Speed、Journal of Marine Science And Application (JMSA) (海洋工学論文集)、Vollume 9, 査読有り、2010. 6、143-148

[学会発表] (計6件)

- ① 小浦拓也、溝邊辰大、二瓶泰範、池田良穂、中速トリマラン型 PCC の開発、日本船舶海洋工学会講演会論文集第8号、神戸、2009. 5. 28, 251-254

- ② 二瓶泰範、李僑、池田良穂、An Experimental Study on Wind Loads Acting on a Trimaran PCC、The 6<sup>th</sup> International Workshop on ship Hydrodynamics, IWSH 2010, Harbin, 2010. 1. 10
- ③ 溝邊辰大、二瓶泰範、池田良穂、The 6<sup>th</sup> International Workshop on ship Hydrodynamics, IWSH 2010, Harbin, 2010. 1. 10
- ④ 二瓶泰範、李僑、中島卓司、池田良穂、A Basic Study on Wind Pressure Characteristics of a Trimaran PCC、OMAE 2010、Shanghai, 2010. 6. 8、121-128
- ⑤ 中島卓司、山下芳弘、二瓶泰範、李僑、A Basic Study for Propulsive Performance Prediction of a Cascade of Wing Sails Considering their Aerodynamic Interaction、ISOPE2010、Hawaii, Maui, 2011. 6. 21, 995-1001
- ⑥ 堀井龍、池田良穂、二瓶泰範、トリマラン型カーフェリーの損傷時復原性に関する研究、日本船舶海洋工学会講演会論文集第12号、2011. 5. 20 福岡、533-536

[その他]

ホームページ等

<http://www.marine.osakafu-u.ac.jp/~lab15/nihei/index.html>

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

二瓶 泰範 (NIHEI YASUNORI)

大阪府立大学・工学研究科・助教

研究者番号： 00470055

#### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

#### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：