

# PS-9 ウェザールーティングによる ローター船の省エネ効果の評価に関する研究

流体設計系 \* 粉原 直人、久米 健一、辻本 勝

## 1. はじめに

実運航中の船舶からの温室効果ガス (GHG) 削減を目的として、近年、風を推進力に変換して利用する機構を備えた風力アシスト船に注目が集まっている。風力アシスト船の一つであるローター船では、甲板上に回転円筒 (ローター) を搭載し、マグナス効果により推進力を得ることが出来、燃料消費量の削減につながることから GHG 削減のための方策として期待されている。

著者らは、これまでにローター船の風圧力特性の推定、実海域性能の短期予測及び長期予測を通して、ローター船の省エネ効果の評価を実施している<sup>1)</sup>。本論文では、ローター船に対しウェザールーティングを適用し、省エネ効果の向上について検討した内容を報告する。

## 2. ローター船の実海域性能

本研究の対象船 (ベース船) は撒積船 (垂船間長  $L_{pp}$ : 217m) であり、ミッドシップより前方 45% $L_{pp}$ 、センターライン上にローター1本を搭載している。主要目を表-1に示す。

表-1 ローター船の主要目

対象船要目		ローター要目	
垂線間長	217.00m	高さ	24.00m
最大船幅	32.26m	直径	4.00m
夏期満載喫水	14.00m	端板直径	6.40m
正面投影面積	385.50m <sup>2</sup>	最大回転数	225rpm
主機最大連続出力	9070kW	主機回転数	87.7rpm

ローター船の風圧力特性については、一様流中の回転円筒に働く流体力の数値計算結果<sup>2)</sup>と、藤原法<sup>3)</sup>による船単独での風圧力特性に基づいて算出する。風圧力特性のうち船長方向成分である風圧抵抗係数 ( $C_X$ ) を求めた結果を図-1に示す。図中、VR は velocity ratio の略であり、ローター回転数 $\omega$ 、ローター直径  $D_{rot}$ 、相対風速  $U_r$  を用いて(1)式で定義される。 $C_X$  の定義は(2)式の通りであり、 $F_X$  はローター船に作用する前後力 (推力を正とする)、 $\rho_A$  は空気密度、 $A_T$  は船単独時の正面投影面積を表している。

$$VR = \frac{\omega \cdot 0.5 D_{rot}}{U_r} \tag{1}$$

$$C_X = \frac{F_X}{0.5 \rho_A U_r^2 A_T} \tag{2}$$

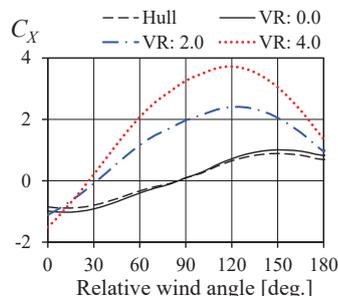


図-1 ローター船の風圧抵抗係数

ローター船の実海域性能を、一定船速で航行する船舶に作用する外力の平衡方程式を解くことにより求める。ローター船は風を利用するが、実海域では波浪にも遭遇するため波による外力として波浪中抵抗増加、定常横力、定常回頭モーメントも考慮する。ローターは相対風速が 30m/s 以下、かつ相対風向が 30 度~165 度 (向風を 0 度とする) の場合のみ稼働させる。

ローター船の実海域性能を推定した例として、平水中船速が 14.3knot となる様に主機回転数を設定したときの実海域での船速を図-2に示す。 $\gamma$  は船首を基準とした絶対風向である。 $\gamma=90\sim 150$  度において顕著な増速効果が表れていることが分かる。 $\gamma=60$  度では絶対風速の増加に伴いローターの稼働を切り替えているため、船速が単調関数となっていない。 $\gamma=0$  度、30 度ではローターを停止しており、ベース船に比べ船速が小さくなっている。

なお、図-2では風の影響のみ考慮しているが、波の影響を考慮した場合の実海域性能も同様に推定出来る。絶対風向、絶対風速、有義波高、平均波周期、主波向を系統的に変化させ、船速、燃料消費量のデータベースを構築し、ウェザールーティングにおいて利用する。

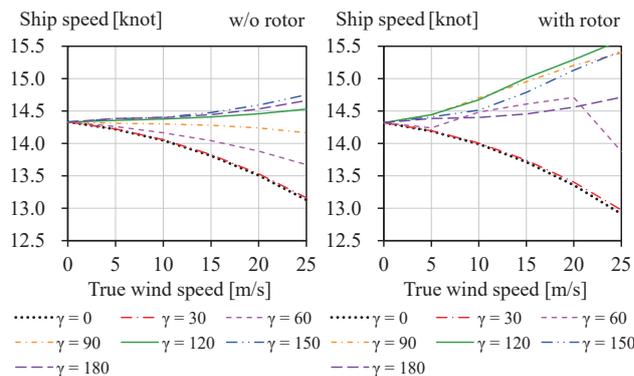


図-2 ローター船の船速 (平水中船速: 14.3knot)

### 3. ウェザールーティング

北太平洋航路の春季を対象に、ローター船でのウェザールーティングを行い省エネ効果の評価を行う。使用する気象、海象データには、気象庁が配信している GPV (格子点値) を使用する。海流データについてはパイロットチャートを電子化したものを用いる。ウェザールーティング手法については、非線形計画法による最適化手法を用い、制約条件の一つに航海時間を組み込むことで、燃料消費量を低減させ、かつ到着予定時間に入港するように航路選定、船速調整を行うことが出来るシステム<sup>4)</sup>を利用する。

2019年3月1日12時に東京を出発し、米国サンフランシスコに向かう航海について、ベース船、ローター船のそれぞれを対象にウェザールーティングを行う。最適化における設計変数は船位及び主機回転数であり、最小化のための目的関数は航海で消費する総燃料消費量である。航海時間については、大圏航路長(4650NM)及び設定船速(10.8knot)に基づき431時間とした。

まず、大圏航路において実海域性能を推定し、大圏航路でのローター船による省エネ効果を評価すると表-2の通りである。大圏航路でのローター船の省エネ効果は6.2%となっている。次に、ベース船、ローター船のそれぞれにウェザールーティングを行い、選定航路での省エネ効果を評価した結果を表-3に、選定航路を図-3にそれぞれ示す。選定航路での省エネ効果は14.9%であり大圏航路での値に比べ大きくなっている。ローター船の選定航路での燃料消費量(251.9ton)はベース船の大圏航路での値(319.2ton)に比べ21.1%小さく、ウェザールーティングと組み合わせることでローター船の省エネ効果を向上できることが分かる。

ベース船、ローター船ともに東経170度までは大圏航路を航行するが、それ以降は大圏航路より南側の航路が選定されている。図-4は選定航路での風況で、ローター船はベース船よりも南側を航行することで、ローターにとって有利な風況に遭遇出来ていることを示している。図-5は選定航路での主機回転数、船速であり、ローター船は船速を維持しつつベース船よりも低い回転数で運航していることが分かる。

表-2 大圏航路での省エネ効果

	航海距離 [NM]	航海時間 [hour]	平均回転数 [rpm]	燃料消費量 [ton]
ベース船	4652.3	428.2	70.7	319.2
ローター船	4652.3	428.4	69.7	299.4
省エネ効果				6.2%

表-3 選定航路での省エネ効果

	航海距離 [NM]	航海時間 [hour]	平均回転数 [rpm]	燃料消費量 [ton]
ベース船	4712.5	427.5	67.0	295.9
ローター船	4743.6	428.1	64.0	251.9
省エネ効果				14.9%

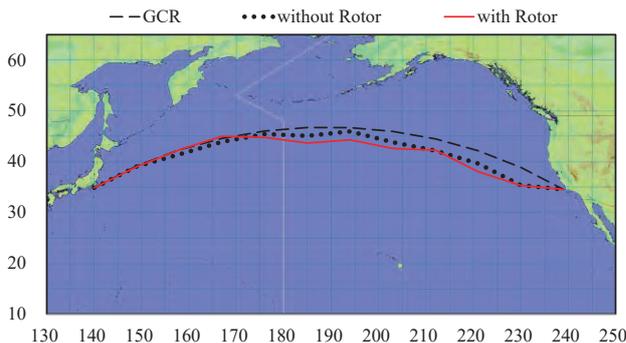


図-3 ウェザールーティングによる選定航路

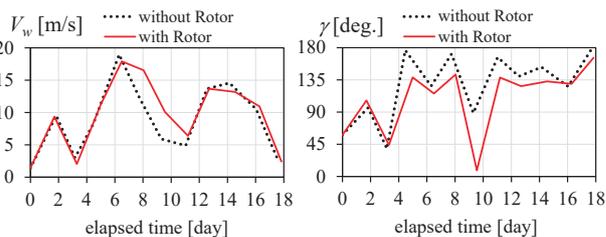


図-4 選定航路での風況(左:絶対風速 $V_w$ , 右:絶対風向 $\gamma$ )  
(絶対風向については船体の対称性より0から180度の範囲で記載)

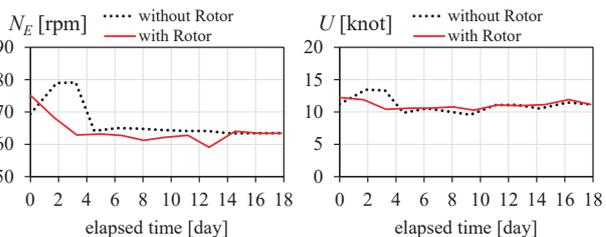


図-5 選定航路での主機回転数 $N_e$ , 船速U

### 4. まとめ

本研究では、風力アシスト船の一つであるローター船について、風圧力特性及び実海域性能の計算を行い、その計算結果を利用してウェザールーティングによりローター船の省エネ効果の評価を実施した。今回の場合、大圏航路において6.2%の省エネ効果が得られ、ウェザールーティングを適用することで省エネ効果が21.1%に向上することを示した。

### 参考文献

- 1) 粉原他: 実海域におけるローター船の省エネ効果の評価, 日本船舶海洋工学会論文集, 第35号, 2022.
- 2) Jones et al.: Predicted Fuel-Savings for a Flettner Rotor Assisted Tanker Using Computational Fluid Dynamics, Wind Proplulsion 2019, RINA.
- 3) 藤原他: 成分分離型モデルを利用した新しい風圧力推定法, 日本船舶海洋工学会論文集, 第2号, pp.243-255, 2005.
- 4) 辻本他: 次世代型帆走船用ウェザールーティングシステムの開発とその評価, 関西造船協会論文集, 第242号, pp. 25-36, 2004.