

PS-17 風力推進の利用のための風の発現確率の評価

流体設計系 *金子 杏実, 辻本 勝

1. はじめに

国際海事機関 (IMO) ではエネルギー効率設計指標 (EEDI) 規制のフェーズ 3 の後の, 設計段階での規制のあり方を検討している. また, 2018 年に採択された IMO GHG 削減戦略⁽¹⁾ における GHG 削減目標を達成するには, 船舶の大幅なエネルギー効率の向上が必要である.

EEDI 規制では革新的省エネ技術の導入にインセンティブを与えるため, 革新的省エネ技術ガイダンス⁽²⁾が作成されている. このガイダンスの中では風力推進の利用について例示されており, 全球の風速-風向の同時発現確率 (Global Wind Probability Matrix) を適用し, 風力推進の効果を適切に評価することとなっている. IMO の第 62 回環境保護委員会 (MEPC62) にてドイツより全球の風速発現確率が示されている⁽³⁾. 本稿では, その風速発現確率の評価に関係して実施した調査内容を報告する.

2. Global Wind Probability Matrix の評価

2.1 概要

革新的省エネ技術ガイダンスでは表 1 に示すカテゴリーに分け B-1, B-2, C-1, C-2 の革新的省エネ技術の EEDI 到達値での効果算定方法を示している. このうち, 風力推進は B-2 に分類され, 主機出力の低減効果の評価するものの, 環境 (風速・風向) に依存して効果が変化する.

革新的省エネ技術ガイダンスでは, 主機出力の低減効果 ($f_{eff} P_{eff}$) を(1)式で算定することになっているが, 風速・風向による推進効率変化を踏まえると(2)式で計算することがより適切である.

表 1 革新的省エネ技術のカテゴリー

| 分類 | 低減対象 | 船舶性能との分離 | 利用可能 | 例示 |
|-----|------|----------|------|----------|
| A | | 不可能 | — | 低摩擦塗料 |
| B-1 | 主機出力 | 可能 | 常時 | 空気潤滑システム |
| B-2 | | | 環境依存 | 風力推進 |
| C-1 | 補機出力 | 可能 | 常時 | 排熱回収システム |
| C-2 | | | 環境依存 | 太陽光発電 |

f_{eff} は利用率, P_{eff} は有効な主機出力 [kW], V_{ref} は 75%MCR での船速 [knot] (一部船種を除く), η_T は V_{ref} での推進効率, $F_{i,j}$

は風による推進力, $W_{i,j}$ は全球の風速-風向の同時発現確率, $P_{i,j}$ は風力推進システムの作動に必要な出力である. 風速は m 個に区分され, 風向は n 個に区分される. なお, η_T は船速の他, 風による推進力・風圧力によっても変化するため, η_T は η_{Tij} として, 主機出力の低減効果を風向, 風速ごとに正しく算定することが必要である.

全球の風速-風向の同時発現確率 $W_{i,j}$ の具体例は MEPC 62/INF.34⁽³⁾に示されているが, 風速-風向の同時発現確率は将来 MEPC で承認される事項となっている⁽²⁾.

$$f_{eff} P_{eff} = \frac{0.5144 V_{ref}}{\eta_T} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F(V_{ref})_{i,j} W_{i,j} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P(V_{ref})_{i,j} W_{i,j} \quad (1)$$

$$f_{eff} P_{eff} = 0.5144 V_{ref} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{F(V_{ref})_{i,j} W_{i,j}}{\eta_T (V_{ref})_{i,j}} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P(V_{ref})_{i,j} W_{i,j} \quad (2)$$

2.2 全球の波と風データベース (GLOBUS)

全球の波と風データベース (以下 GLOBUS: グローバス) は, 気象庁の風と波の推算値を基に, 気象・海象の各要素について長期の統計値を求め, 発現頻度表の形で海上技術安全研究所がデータベースを構築したものである⁽⁴⁾. 風と波の推算値は, 気象庁よりファイル形式で配信される GPV (Grid Point Value) であり, データベースでは 2006 年から 10 年間の GPV を使用している.

データベース化されている気象・海象要素は有義波高, 卓越波周期, 卓越波向, 平均風速, 平均風向の 5 項目であり, 各 2 要素の同時発現頻度表が利用できる. また, 海域は緯度・経度各 2.5 度で区分しており, 各海域における各要素の発現頻度が利用できる.

3. 風速発現確率の評価

3.1 海域・航路

風速-風向の同時発現確率は全球のものを使用することになっているが, 全球平均では実際に船舶通航の少ない海域も均等に含まれてしまうことから, MEPC 62/INF.34 では船舶通行を考慮し, 代表航路を取り上げ, 風速-風向の同時発現確率を求めている. 代表航路での評価は, EEDI での風力推進

へのインセンティブを考えると妥当な方法と評価できる。この代表航路を図 1 に示す。対応する風速発現確率を GLOBUS で抽出し、解析する。

また、航路別特性を評価するため MEPC 62/INF.34 に示す航路から代表的な 6 航路を取り上げ、各航路でも風速の発現確率を求める。6 航路は北大西洋航路(North Atlantic)、北太平洋航路(North Pacific)、インド洋航路(Indian Ocean)、太平洋南北航路(West Pacific (NS))、大西洋南北航路(Atlantic (NS))、中東一極東航路(Middle East to Far East)である。

なお、中東一極東航路では中国で VLCC 入港可能な港⁽⁵⁾から、寧波港、天津港とした。

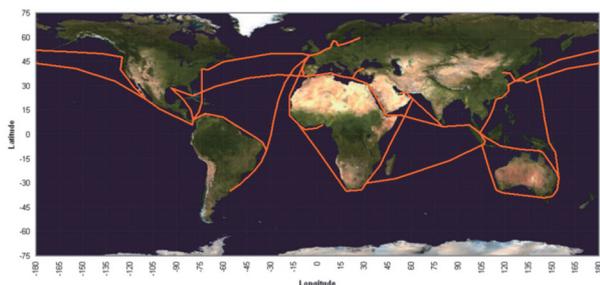


図 1 代表航路⁽³⁾

3. 2 海域・航路

続いて、GLOBUS を用いて航路別の評価を行った。航路別の風速超過確率を図 2 に、航路別の風速と有義波高の平均値 ($Q=0.5$), $1/100$ 期待値 ($Q=0.01$), $1/1000$ 期待値 ($Q=0.001$) を表 2 に示す。

航路別検討から、統計的に、北大西洋航路、北太平洋航路は全航路より大きい風速を示し、太平洋南北航路、大西洋南北航路、中東一極東航路、インド洋航路の順で風速が小さくなる傾向が分かる。その傾向は有義波高でも同じである。

表 2 風速と有義波高の統計値

| 超過確率(Q) | 0.5 | | | 0.01 | | | 0.001 | | |
|---------|---------|-------|-------|---------|------|-------|-------|------|-------|
| | 0.5 | 0.01 | 0.001 | 0.5 | 0.01 | 0.001 | 0.5 | 0.01 | 0.001 |
| 航路 | 風速(m/s) | | | 有義波高(m) | | | | | |
| 北大西洋(N) | 8.96 | 20.28 | 24.75 | 2.74 | 8.44 | 10.97 | | | |
| 北大西洋(S) | 6.74 | 15.87 | 19.78 | 2.10 | 6.71 | 8.91 | | | |
| 北太平洋(N) | 8.44 | 19.81 | 21.12 | 2.54 | 7.73 | 9.95 | | | |
| 北太平洋(S) | 7.10 | 19.06 | 21.06 | 2.32 | 8.22 | 10.08 | | | |
| インド洋(N) | 5.85 | 14.52 | 17.15 | 1.57 | 4.78 | 6.48 | | | |
| インド洋(S) | 7.11 | 14.05 | 17.15 | 1.51 | 5.17 | 6.75 | | | |
| 太平洋南北 | 6.07 | 15.39 | 19.48 | 1.83 | 4.99 | 7.03 | | | |
| 大西洋南北 | 6.77 | 14.73 | 19.37 | 2.05 | 5.93 | 8.45 | | | |
| 中東-極東 | 5.88 | 14.33 | 17.58 | 1.43 | 5.14 | 6.58 | | | |
| 全航路 | 6.43 | 17.12 | 22.16 | 1.76 | 6.85 | 9.24 | | | |

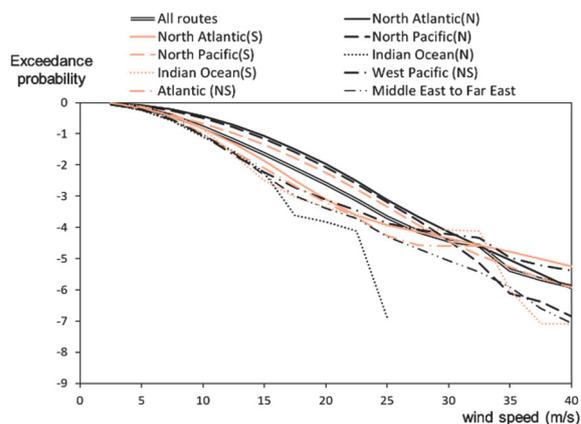


図 2 風速の超過確率の比較 (航路別)

4. 結言

EEDI での風力推進の利用を目的として、風速・風向の発現確率の評価を実施した。その結果、航路別評価では北大西洋、北太平洋は全航路での風速より大きく、南北航路 (大西洋、太平洋)、インド洋、中東一極東航路は風速が小さいことが明らかとなった。

謝辞

本研究の一部は、日本財団の助成事業である (一財) 日本船舶技術研究協会の「2019 年度船舶の省エネ性能向上のための技術基準の検討に関する調査研究 (省エネ性能向上技術基準検討プロジェクト) - 風力推進システムに関する他国提案の技術的妥当性評価に関する作業 -」により実施された。

参考文献

- (1) Resolution MEPC.304, Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emission from Ships, International Maritime Organization, 2018.
- (2) MEPC.1/Circ.815, 2013 Guidance on Treatment of Innovative Energy Efficiency Technologies for Calculation and Verification of the Attained EEDI, International Maritime Organization, 2013.
- (3) MEPC 62/INF.34, Reduction of GHG Emission from Ships, Global Wind Specification along the Main Global Shipping Routes to be applied in the EEDI Calculation of Wind Propulsion Systems, Submitted by Germany, International Maritime Organization, 2011.
- (4) Tsujimoto, M., Matsuzawa, T. and Kume, K., Statistical Characteristics of Global Winds and Waves, Proceedings of the Twenty-eighth (2018) International Ocean and Polar Engineering Conference, pp. 379-386, 2018.
- (5) 咸 曉黎, 黒川 久幸: 中国の原油輸入における船隊及び船員の確保に関する研究, 日本航海学会論文集, 第 135 号, pp. 70-82, 2016.