

交通流解析に基づく洋上発電設備への衝突危険性の検討

河島 園子¹・伊藤 博子²・木村 新太³

Collision Frequency to Offshore Floating Installations based on Analysis of Ship Traffic Flow

Sonoko KAWASHIMA, Hiroko ITOH and Arata KIMURA

Abstract

A variety of offshore power generation installations have been set in many countries. In the offing of Fukushima, one offshore floating transformer substation and three offshore floating wind turbines have been set as an empirical study to realize the world's first Wind Farm. However, some effects on ship traffic have been concerned due to installation and collision between ships and installations might occur. In order to maintain and improve navigational safety, it is important to understand collision risks around the installations.

In this paper, authors analyzed navigation conditions around the installations by AIS data to consider navigation safety. Also, collision frequencies to the installations were calculated as an index of collision risk based on the analysis of the ship traffic, and consider risks and effects caused by Wind Farm. It is found that there were collision risks because ships navigated near the installations, so that another safety measures may be needed.

Keywords : maritime traffic engineering, ship traffic volume, floating offshore installation, collision frequency

キーワード: 海上交通工学, 船舶交通量, 浮体設備, 衝突頻度

1. はじめに

近年、自然再生エネルギーの需要の高まりから各種発電施設の海域利用が進んでいる。洋上風力発電に関しては、着床式発電は25年程前から欧州を中心に大規模開発が行われている。一方、浮体式発電はノルウェーで2009年に世界で初めて実用化されたばかりで、現在は世界各国で単体の発電施設の設置が進んでいるが、大規模な浮体式洋上ウィンドファーム（以下、WFとする）は実現されていない。

日本では、世界初となるWFを実現するため、福島沖で浮体式洋上風力発電の実証研究が進められている⁽¹⁾。2013年の変電設備と発電設備の各1基の設置に始まり、2015年と2016年に新たに発電設備が1基ずつ設置され、現在計4基によるWFが形成されて

いる。（以下、これらの変電・発電設備を、浮体設備とする。）

一方、大規模WFの設置には、浮体設計や送変電システム等の技術的な課題や、航行安全や環境影響の評価手法の確立等の課題が存在する。これらの課題の中で、航行安全に関しては、浮体設備設置に伴う周辺海域における海上交通への影響が懸念されている。当該海域は元々船舶が多く航行する航路が形成されていた⁽²⁾が、そこに浮体設備が4基設置されたため、設置前後の海上交通の変化や、船舶同士もしくは船舶と浮体の衝突の危険性は、航行安全を確保するために把握する必要がある。

さて、実証研究を行っている「福島洋上風力コンソーシアム」は、始めの2基設置時の2013年10月

¹ 正会員 海上技術安全研究所 海洋リスク評価系 (〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1) kawashima-s@nmri.go.jp

² 正会員 海上技術安全研究所 海洋リスク評価系 (〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1)

³ 非会員 海上技術安全研究所 海洋リスク評価系 (〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1)

及び3基目設置時の2015年7月に、各浮体設備から1海里(NM)以内の海域を「離隔距離確保依頼区域」と指定し、航行安全上、浮体設備から1NM以上の離隔距離を確保して航行することを求めた^{(3),(4)}。(但し、航行の安全を図るために当該区域内に入るとは支障ない。)しかし、浮体設備設置により、船舶の誤操船や浮体の漂流等が発生して、それが原因で船舶同士もしくは船舶と浮体の衝突が発生する可能性は否定できない。浮体設備と船舶の安全な共存のため、当該海域の海上交通を把握し、衝突危険について検討することは重要である。

以上より、浮体設備設置海域における船舶の航行安全を評価するために、①海上交通の把握、及び、②衝突危険性の検討、が重要となる。①は、浮体設備設置前後の福島沖全体の海上交通流の可視化や船舶同士の遭遇頻度の推定により把握することができ、既往研究にて実施した^{(2),(5)}。②は、浮体設備近傍(離隔距離確保依頼区域内)における船舶と浮体の衝突が発生する恐れがあることを考え、当該海域を通航する船舶数等の航行状況を詳しく調査した上で、衝突危険性を検討する必要がある。

そこで、本研究では、浮体設備近傍のAIS搭載船舶を対象とし、航行状況に着目して衝突危険性の検討を行う。AISデータを解析し、当該海域の通航隻数や航行船舶の特徴を調査した上で、浮体設備へ衝突する可能性を頻度として示す。これより、海域に浮体設備を設置した際の衝突危険や影響を検討する。

2. 航行安全評価方法

本章では、検討対象とする浮体設備を示す。更に、その近傍海域を航行する船舶のAISデータを用いた本研究での衝突危険性の評価方法を説明する。

2.1 浮体設備とその周辺海域

浮体設備に関する情報を表1及び表2に、浮体設備の位置関係と離隔距離確保依頼区域を図1に示す。洋上サブステーション(変電設備)の「ふくしま絆」(陸から約10NM沖合に設置)を中心に、3基の発電設備が設置されている。カタナリー係留によるもので、合計発電能力が14MWの世界最大のWFである。各浮体設備はAIS局から航路標識通報を3分間隔で送信し、これを受信した船舶のAIS表示器またはAIS信号が表示可能なレーダー画面上に、図2のAISシンボルが表示される。但し、表示されるシンボルは、船舶側のAIS装置によって異なる場合がある⁽¹⁾。

なお、浮体設備との離隔距離の確保の依頼は、3基目の「ふくしま新風」設置時までには通達があったが、4基目の「ふくしま浜風」設置以降は出されていない。それまでの依頼状況に鑑みると、現在も1NM以上離して航行することが推奨されると考えられる。

表1 浮体式洋上風力発電設備の設置情報⁽¹⁾

名称	種類	設置月	北緯 37度	東経 141度
		AIS運用 開始月		
ふくしま絆	洋上サブ ステーション	2013.7	18分 39秒	14分 24秒
		2013.8		
ふくしま未来	2MW 発電設備	2013.7	18分 38秒	15分 46秒
		2013.8		
ふくしま新風	7MW 発電設備	2015.7	17分 41秒	15分 44秒
		2015.9		
ふくしま浜風	5MW 発電設備	2016.7	19分 30秒	15分 48秒
		2016.8		

表2 浮体式洋上風力発電設備の主要目⁽¹⁾

		絆	未来	新風	浜風
風車	水面上高さ	60m	106m	189m	150m
	ロータ直径	---	80m	167m	126m
	浮体幅	33m	64m	150m	51m
	喫水	50m	16m	17m	33m
灯火	灯火数・色	4・黄	3・黄	4・黄	4・黄
	光達距離	5.8NM	5.8NM	5.0NM	5.0NM
	灯質	3秒1閃光, 同期点滅			

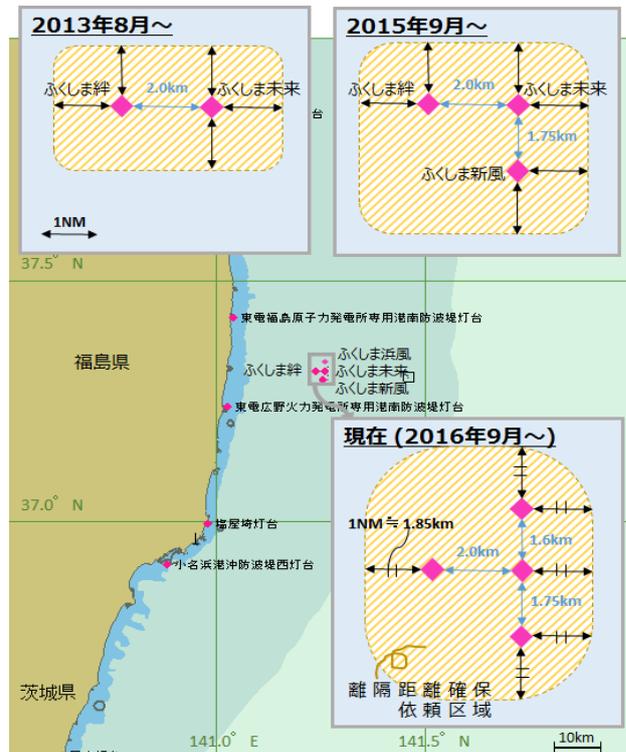


図1 浮体式洋上風力発電設備設置海域



図2 AIS信号表示イメージ

表1及び図1より、浮体設備は3段階（2013年、2015年、2016年）で設置された。本研究では、各段階における航行状況及び衝突危険性を検討する。

2.2 衝突危険性の算出方法

事故評価の考え方として、事故頻度（確率）推定と影響分析の2つの要素から成るモデルがある⁽⁶⁾。船舶の事故評価モデルの大半は、海域における衝突頻度を推定するものであり、Fujii や Macduff により(1)式のモデルが提案されている^{(6),(7)}。

$$P = N_G \cdot P_C \quad (1)$$

ここで、 P は衝突頻度（隻/年）、 N_G は幾何学的衝突回数（避航動作を取らない場合の年間衝突発生数）、 P_C は原因確率（事故発生の状況確率）である。

本研究で示す衝突危険性は、浮体設備近傍において船舶の誤操船や浮体の漂流が発生する危険があることを考慮して、浮体設備近傍を航行する船舶が衝突する可能性を、頻度として算出したものを指す。ここで、(1)式の P は、衝突する危険のある船舶数(N_G)と、衝突危険を回避することに失敗する確率(P)により算出されるため、衝突危険のある船舶数と捉えることができる。本研究では、これを衝突危険性の指標とし、(1)式に浮体設備近傍の海上交通の実態（船舶数等データ値）を当てはめて算出する。

2.2.1 幾何学的衝突回数 N_G の定義

N_G は、一般に、船舶の航行密度や大きさ、速さや進路等船舶情報（統計量）で決定するもので、避航動作を考慮しない幾何学的な衝突発生数を表す。 N_G の推定式は複数の研究者により提案されている⁽⁶⁾。

本研究の対象海域である浮体設備近傍では、通航量が少なく⁽⁵⁾、船舶情報が十分でないことから、既往の推定式を用いた N_G の算出は妥当でない。そこで、本検討では、浮体設備近傍において大胆な避航を取らない（大胆な針路変更をしない）船舶を「避航動作を取らない船舶」とし、その船舶数を年間換算したものを N_G とした。

2.2.2 原因確率 P_C の定義

P_C は、船員の操船技術や操船性能等の事故時の状況により決定する確率である。多くの場合、統計データにより推定されるが、事故状況（見合い関係（同航/反航/横切り）等）や海域により確率は異なる。しかし、海域が異なる場合も、統計データを基にして P_C を一定値として考えることが多い^{(6),(8),(9)}。これに倣い、本研究では、海域の違いは考慮しない。

ある実態調査による2船間の衝突は、同航・反航等の違いはあるが、 P_C はどれも 10^{-4} に近い値とされる⁽⁹⁾。乗揚げや障害物との衝突は、他船による避航がないため、 P_C は $10^{-3.7}$ と少し大きく推定される⁽⁹⁾。

上記は、衝突事故における各シナリオでの衝突確率を表し、広く使われている。本研究の衝突危険性は、「固定された浮体に対する船舶の衝突回避に失敗する危険性」と捉えることができるため、ここでは、乗揚げや障害物との衝突と同様に、避航失敗確率として P_C を $10^{-3.7}$ (≈ 0.0002)とした。

3. 航行制限海域の航行状況の調査

本章では、前章で示した幾何学的衝突回数 N_G を算出する基となる浮体設備近傍の航行状況に関して、通航隻数及び航行船舶の特徴を示す。

3.1 浮体設備近傍の航行状況

AIS搭載船舶の通航隻数及び航行船舶の特徴を示すため、海域に設置した仮想ゲートを通じた船舶からAISデータを取得し、解析した。

福島沖の交通流はおおむね南北方向である⁽⁵⁾ため、ほぼ同緯度に設置されたふくしま絆とふくしま未来（始めに設置された2基の浮体設備）の平均緯度（北緯37度18分38.5秒）上に仮想ゲートを設置し、ゲートと2基の浮体設備の各経度の交点から0.25NM間隔にゲートを区切った（図3）。また、この2基の浮体設備間（約2km）は5分割した。



図3 福島沖仮想ゲート設置図

本節では、始めの2基を設置し、AISの運用を開始してしばらく経過した2013年12月24日～2014年2月25日におけるAIS搭載船舶の航行状況を示す。但し、システムの都合により、2014年1月18日～1月22日の5日間はデータに欠損が見られたため、残りの59日間のAISデータを使用する。

3.1.1 通航船舶数

幾何学的衝突回数 N_c の算出の基となる通航隻数を、浮体設備からの離隔距離別に表3に示す。ここで、表3の「制限海域」は、離隔距離確保依頼区域（浮体設備から1NM内の海域）を指し、本論文では、当該区域内を「WF内」と定義する。また、交通流はおおむね南北方向であることより、表3の「浮体設備間」は、ふくしま絆とふくしま未来の間とする（図1参照）。これらの定義は以降においても同様とする。

WF内は航行制限が求められている一方、WF内を航行する船舶が多数存在することが表3よりわかった。そこで、WF内を航行する船舶の静的情報（船種や船長）や動的情報（航跡や速力）を、AISデータより確認した。各船舶には識別番号であるMMSI番号が与えられているため、MMSI番号を基に、同一船舶の航行有無についても調査した。その結果、WF内に以下の航行船舶が存在することが判明した。

① ある港とWF間を往来する船舶

ある特定の港とWF間を往来している船舶が複数見られた。更に、WF内やその近傍でしばらく留まっている船舶も存在した。これらは本実証研究に関わる通航船であると考えられる。

② 福島沖を通過していく船舶

対地針路をほぼ変えずに、WF内を南北方向に航行する船舶が存在した。金華山（宮城県）方面から犬吠埼（千葉県）方面へ向かう船舶（以下、南航船とする）、もしくは、犬吠埼方面から金華山方面へ向かう船舶（以下、北航船とする）で、貨物船やタンカーが大半であった。大型の船舶は航行してなく、速力は福島沖全体の航行船舶の平均速度（次項の表4）とほぼ同程度であった。

③ 福島県周辺に寄港する船舶

WF内を航行して福島県周辺の港に寄る、もしくは、福島県周辺の港を出航してWF内を航行する船舶が数隻存在した。

以上より、WF内は「通航」（上記①）と「一般船舶」（上記②・③）が航行していることがわかった。一般船舶に関しては、浮体設備から0.5NM内の海域では、上記②が大半を占めていた。

通航は安全を考慮して航行していると想定し、 N_c の算出対象から除外し、 N_c は一般船舶数から算出することとした。表3に一般船舶数を示す。表3では、各浮体設備との離隔距離別の船舶数を示すために、浮体設備の陸側（ふくしま絆の西側）の海域と沖側（ふくしま未来の東側）の海域を航行する船舶の合計数を表している。

表3より、WF内を航行した一般船舶数は、146隻（2.47隻/日）で、全体の4.1%であった。一般船舶の大半は北航船・南航船であるが、WF周辺を往来する進路が定まらない船舶もあった。また、WF内航行船舶の平均船長は109m、平均船速は14.2knotであった。0.5NM内の航行船舶のみの場合、平均船長が89m、平均船速が12.7knotで、小さくなった。

表3 ゲート通航隻数（2013.12.24-2014.2.25）

離隔距離		全船舶数	通航	一般船舶
(総数)		3576		
制限海域	浮体設備間	19	17	2
	0.0-0.25NM	8	7	1
	0.25-0.5NM	14	0	14
	0.5-1.0NM	129	0	129
	1.0-1.5NM	326	---	---
1.5-2.0NM		368	---	---

3.1.2 離隔距離と船長・船速との関係

船舶の離隔距離と平均船長・船速の関係を検討した。沿岸と沖合の航行船舶に違いがあると推測し、浮体設備の陸側と沖側に分けて調査した。

福島沖の航行船舶の平均船長・船速を表4に、離隔距離別の陸側の平均船長・船速を図4に、沖側の平均船長・船速を図5に示す。図4と図5より、陸側・沖側ともに、浮体設備から離れるにつれて全体の平均船長・船速が大きくなり、文献(5)と傾向が一致した。これは、沿岸海域では大型船・高速船は陸から離れて航行する傾向と同様と考えられる。一方、陸側では、離隔距離が2NM以上の船舶の平均船長・船速が小さいが、沿岸の小型船舶が影響している。

沖側では、離隔距離が1~2NMで平均船長・船速ともに大きくなった。客船が多く航行しているためであると図5より推測するが、当該海域に客船が多い要因は、従来の交通流にあると考えられる。浮体設備の設置前は福島沖の客船の6割がWF内を航行していたが、設置に伴い離隔距離確保依頼区域を避けるために進路を少し変更したと見られる。客船は航行制限を厳守していることとなる。

表4 福島沖平均船長・船速

	平均船長	平均船速
福島沖全体	117.7 m	14.4 knot
浮体設備 陸側	98.7 m	13.4 knot
浮体設備 沖側	157.1 m	16.5 knot

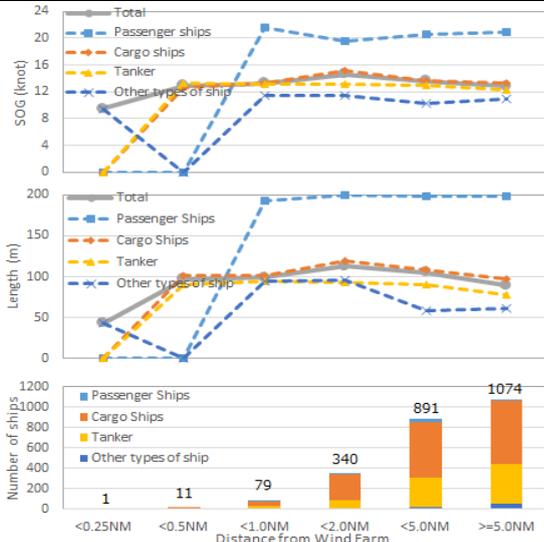


図4 浮体設備の陸側の船舶の特徴

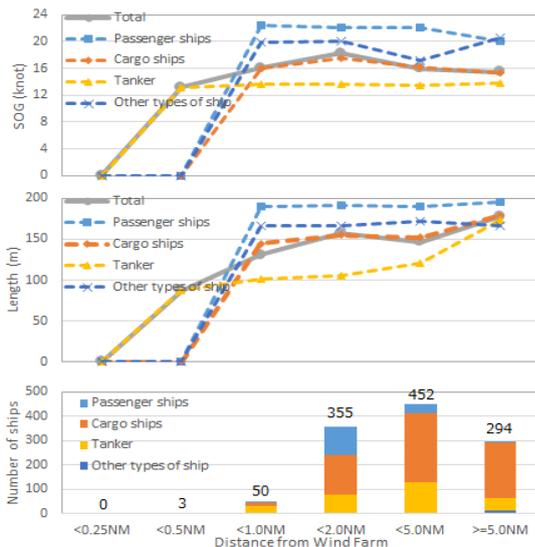


図5 浮体設備の沖側の船舶の特徴

3.1.3 WF 内航行船舶の状況

WF 内の一般船舶の航行は、浮体設備設置前の交通流が関係していると考えられる。ここで、設置前の福島沖の航行船舶の航跡を図6に示す。また、始めの2基設置後のWF上及び緯度38度上のゲート通航分布を図6上に重ねてそれぞれ示す。

図6より、設置前は金華山と犬吠埼を結ぶ直線航路（本論文における「航路」とは、船舶が航行する主な道筋とする）が形成されており、現在WFはその航路上に設置されていることがわかる。3.1.1項より、設置後にWF内を航行した一般船舶の大半が金華山沖を通航する北航船及び南航船であったが、現在

も従来の航路を航行する船舶が存在している。

なお、離隔距離確保依頼区域内の航行制限は、実証研究実施側より依頼されたもので義務ではないため、当該区域を航行することは、安全を考慮した上での各操船者の判断によるものとなる。また、本航行制限について認知されていない可能性もある。一方、表2より、浮体設備の視認性は高いため、たとえ航行制限を認知していない場合でも、浮体設備に気付かず接近したとは言い難い。よって、操船者が安全に航過できると見越した可能性がある。

ここで、WF内のうち、浮体設備から0.5NM内の海域を航行する一般船舶（表3より17隻）の離隔距離を算出したところ、以下の平均値と最小値が得られた。最小離隔距離は比較的小型な船舶のものであるが、浮体設備周辺にはカテナリー係留によるチェーン等が張られていることや船舶の誤操船・浮体の漂流を考えると、浮体設備に接近した航行は危険で、安全な航過とは言い難い。

- 平均離隔距離：667.1 m
- 最小離隔距離：204.9 m

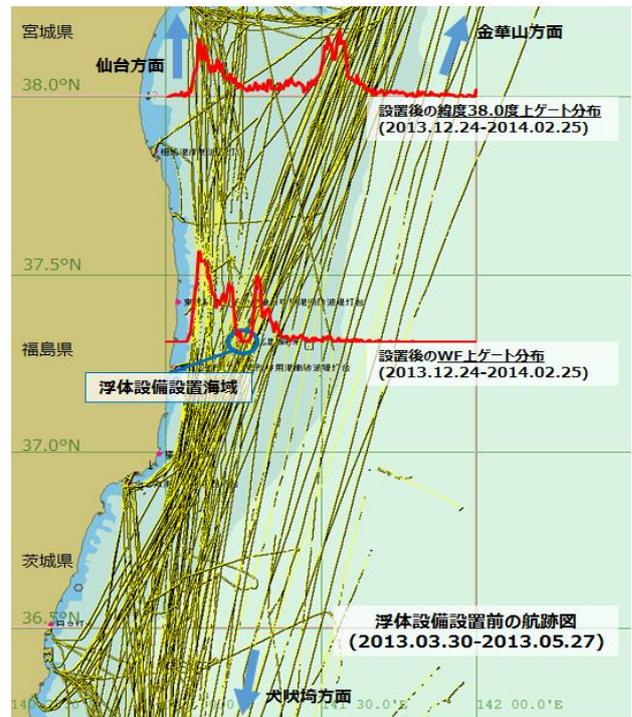


図6 浮体設備設置前の福島沖航行船舶の航跡図

3.2 浮体設備近傍の海上交通の比較

本節では、前節の対象期間（浮体設備2基設置後）と比較するため、3基目及び4基目設置後の航行状況（WF内の通航隻数、平均船長・船速、種類）を示し、設置時期による違いや特徴を検討する。

3.2.1 3基目設置後の海上交通

3基目の浮体設備を設置して、AISの運用を開始した直後の2015年10月1日～11月30日のAISデータを解析した。但し、10月7、8日のデータは、船舶数が非常に少なく、欠損している可能性があるため、それを除いた残りの59日間を対象とした。

3.1.1項と同様な方法で、当該期間の通航隻数を調査したところ、表5が得られた。WF内は144隻(2.44隻/日)で、全体の3.1%であった。2基設置時に比べ、浮体設備間の通航隻数は増えたが、どれも金華山沖を通航する北航船及び南航船であり、従来の航路で航行している船舶が減少していないことがわかった。また、WF内航行船舶の平均船長は99m、平均船速は13.6knotであった。

表5 ゲート通航隻数 (2015.10.1-2015.11.30)

離隔距離		全船舶数	通航	一般船舶
(総数)		4658		
制限海域	浮体設備間	18	11	7
	0.0-0.25NM	12	3	9
	0.25-0.5NM	11	0	11
	0.5-1.0NM	117	0	117
	1.0-1.5NM	391	---	---
1.5-2.0NM	430	---	---	

3.2.2 4基目設置後の海上交通

4基目の浮体設備を設置して、AISの運用を開始した直後の2016年8月20日～10月20日のAISデータを解析した。但し、8月22、29、30日のデータは、船舶数が非常に少なく、欠損している可能性があるため、残りの59日間を対象とした。

当該期間では通航の他にタグボートがWF内を航行していた。これも N_0 の算出対象から除外すると、WF内通航隻数は表6より110隻(1.86隻/日)で、全体の2.3%であった。3基設置時に比べ、WF内の通航隻数は減少した。一方、北航船及び南航船が存在することに変わりはない。また、WF内航行船舶の平均船長は89m、平均船速は12.4knotであった。

表6 ゲート通航隻数 (2016.8.20-2016.10.20)

離隔距離		全船舶数	通航	一般船舶
(総数)		4764		
制限海域	浮体設備間	56	55	1
	0.0-0.25NM	26	19	7
	0.25-0.5NM	12	10	2
	0.5-1.0NM	100	0	100
	1.0-1.5NM	398	---	---
1.5-2.0NM	513	---	---	

3.2.3 設置時期における比較

3.1.1項(最初の2基設置後)、3.2.1項(3基目設置後)、3.2.2項(4基目設置後)のWF内通航隻数を比較すると、福島沖全体に対するWF内航行船舶の割合は、WFの拡大に伴い、徐々に減少していた。

また、浮体設備設置当初(2013年)は、進路が定まらない船舶が存在したが、最近(2015、2016年)では、進路が安定した北航船及び南航船が大半を占めていた。3基設置時及び4基設置時におけるWF内の航行船舶のMMSI番号を調べたところ、同一の船舶が複数存在したため、WF内を航路として航行していることも考えられる。現在までに浮体設備近傍での衝突事故は報告されていないが、WF内の航行を防ぐための措置が今後必要となる可能性がある。

4. 航行制限海域の衝突危険性

4.1 WFにおける航行リスクの考え方

船舶のWFに対する航過距離に関して、現在、一般的な規定は定められていない。一方、英国のMCA(Maritime and Coastguard Agency)では、WFと船舶航路の間の距離に関する研究を行っており、船舶領域理論とレーダー結果による離隔距離のリスクの許容度について検討している⁽¹⁰⁾。この関係を表7に示す。これは規範的ツールではないが、船舶の安全な航過のために適当な考え方の一つである。当該距離は、北海におけるレーダシミュレーションを基に船舶領域の統計データより得られたもので、これによると、0.5NM以内の海域は航行の危険度が高いとされる。

表7のリスク許容度、及び福島沖のふくしま絆とふくしま未来の間の距離は約2km(≒1.08NM)であることを踏まえ、本研究では、図7のように各浮体設備から0.5NM圏内の海域を航行する船舶を、衝突危険があると仮定して、衝突頻度を算出する。

表7 WFと船舶の距離とリスクの関係⁽¹⁰⁾

Distance of Turbine Boundary from Shipping Route (NM)	Risk	Tolerability
<0.25 NM	VERY HIGH	INTOLERABLE
<0.5 NM	VERY HIGH	INTOLERABLE
<1.0 NM	HIGH	ALARP
<1.5 NM	MEDIUM	ALARP
<2.0 NM	MEDIUM	ALARP
<5.0 NM	LOW	ALARP
5.0 NM～	VERY LOW	ACCEPTABLE

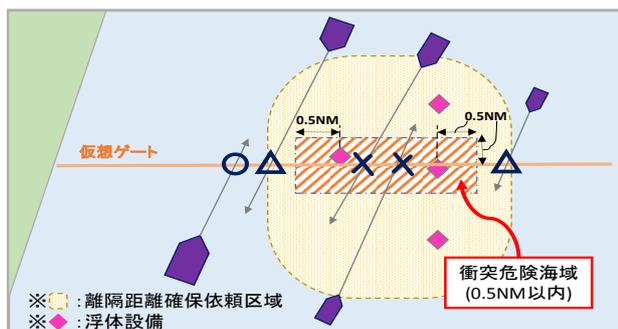


図7 航行危険推定海域

4.2 AIS搭載船舶の衝突頻度

前節で示した危険海域の衝突頻度を、2基設置時、3基目設置時、及び4基目設置時において検討した。

4.2.1 2基の浮体設備近傍への衝突危険性

2基設置後の2013年12月24日～2014年2月25日における浮体設備0.5NM内の船舶数は、表3より17隻（約0.29隻/日）であった。この船舶数を年間換算した N_c 及び避航失敗確率（原因確率） P_c を用いると、表8に示す衝突頻度 P が得られた。これは、50年に1回程度の衝突発生割合に相当する。

表8 2基設置時の衝突頻度

船舶数 N_c	避航失敗確率 P_c	衝突頻度 P
105.2 隻/年	0.0002	0.0210 隻/年

4.2.2 3基の浮体設備近傍への衝突危険性

3基目設置後の2015年10月1日～11月30日における浮体設備0.5NM内の船舶数は、表5より27隻（約0.45隻/日）であった。前項と同様に衝突頻度 P を算出した結果、表9が得られた。これは、30年に1回程度の衝突発生割合に相当する。

表9 3基設置時の衝突頻度

船舶数 N_c	避航失敗確率 P_c	衝突頻度 P
167.0 隻/年	0.0002	0.0334 隻/年

4.2.3 4基の浮体設備近傍への衝突危険性

4基目設置後の2016年8月20日～10月20日における浮体設備0.5NM内の船舶数は、表6より10隻（約0.17隻/日）であった。衝突頻度 P は、表10が得られた。これは、80年に1回程度の衝突発生割合に相当する。

表10 4基設置時の衝突頻度

船舶数 N_c	避航失敗確率 P_c	衝突頻度 P
61.86 隻/年	0.0002	0.0124 隻/年

4.3 浮体設備への衝突の危険性

4.2.1項～4.2.3項を基に、始めの2基設置後（2013年8月20日）から4基目設置後（2016年11月30日）までの衝突頻度 P を図8にまとめる。図8は、各浮体設備設置後（始めの2基設置後、3基目設置後、4基目設置後）から2ヶ月単位の P を示し、浮体数による衝突頻度の移り変わりを表している。各浮体設備設置後の平均衝突頻度は以下である。設置当初に比べ、現在は衝突頻度が減少していた。

- 始めの2基設置後：0.0437 隻/年
- 3基目設置後：0.0290 隻/年
- 4基目設置後：0.0135 隻/年

図8より、始めの2基設置後から4ヶ月以内は、衝突頻度が高い状態が続いていた。その後は減少していることから、当初は航行制限の認知度が低かった可能性が考えられる。また、浮体数が増えて時間が経過すると、衝突頻度が減少しているという結果が得られた。これは、認知度が高まったことと、浮体数増大によるWFの拡大により、浮体設備を避けて従来の交通流とは異なる海域を航行する船舶が増えたことが考えられる。

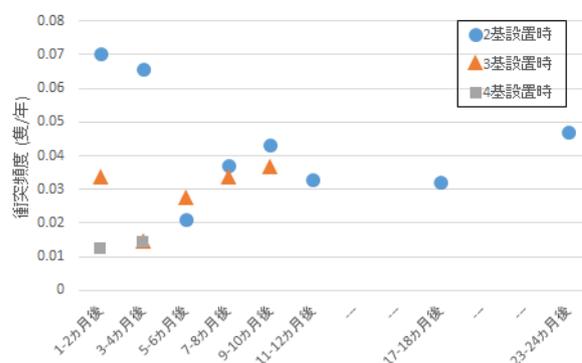


図8 衝突頻度の移り変わり

時期や状況により通航隻数や危険とされる要素は異なるが、上記より、4基が設置されている現在のWF内の衝突頻度は以前より小さいと推定される。これより、浮体設備の設置場所や周辺海域の船舶の航行状況が同様な傾向にあれば、今後更なる浮体設備の設置によりWFが拡大したとしても、WF内を航行する船舶数は増加しないと考えられる。

一方、衝突危険性（衝突頻度 P ）のオーダーは 10^{-2} であった。今後浮体設備が増加した場合、浮体の漂流頻度は高くなり、更に、船舶の誤操船は様々な状況下で起こり得るため、浮体設備近傍の航行は問題ないとは言い難い。そのため、衝突の危険性は増す恐れがあることに留意しなければならない。

もし、浮体設備を増設するならば、その周知が重要となり、船舶は指定された航行制限に従うことが必要とされる。更に、浮体が漂流しないための対策を検討し、実施することが必要とされる。

4.4 WF 内航行船舶と衝突危険性

現在、WF 内を航行する船舶は浮体設備設置当初より減少してきているが、これらの船舶は、操船者が安全に航過できると判断した上で航行した可能性がある。自船周りの安全領域は、海域や障害物等を考慮した操船者の判断に委ねられる⁽¹¹⁾が、当該浮体設備の場合、係留方法や状況を踏まえ、離隔距離の余裕を大きく見積もる必要がある。

そのため、当該浮体設備に設定された離隔距離を厳守することがまず求められるが、WF 内を航行する船舶が今後も多数存在するようであれば、衝突危険性と照らし合わせながら、予防的措置の検討も必要となるであろう。

なお、航路が形成された海域を航行制限することは、従来の交通流を崩すことにつながると考えられる。一方、浮体設備の設置海域の決定は、他の要素（環境影響等）との兼ね合いもあるため、衝突危険性を含めて総合的に判断する必要がある。

5. まとめ

福島沖の洋上風力発電設備周辺の航行制限海域（WF 内）における船舶の航行安全のため、AIS データの海上交通の実態より衝突危険性を検討した。

WF 内を航行している AIS 搭載船舶の実態を調査したところ、比較的小型な船舶が複数いることを確認した。浮体設備設置前の WF 内に形成された北上/南下する船舶の航路を、現在も一部の船舶が航行していることがわかった。

衝突危険性は、海上交通の実態（船舶数）と衝突頻度モデルを用いて算出した。その結果、設置浮体数が増えると、衝突頻度が低くなると推定された。WF が拡大しても、現在と同様な傾向にあれば WF 内の航行船舶数は増加しないと考えられるが、船舶の誤操船や浮体の漂流により危険性は増す恐れがある。

海域への浮体設備設置による船舶の衝突危険性は、その実態（データ）より検討することができる。一方、WF 内の航行は操船者の判断に委ねられており、データだけでは計り知れない部分もあるが、航行状況を確認しつつ衝突危険性と照らし合わせながら、予防的措置の考案も検討する必要がある。

謝辞

本研究の一部は、東京大学からの委託業務「浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業に係る航行安全性の評価」により実施したものである。

参考文献

- (1) 福島洋上風力 コンソーシアム：
<http://www.fukushima-forward.jp/>, 2017. 1.
- (2) 伊藤博子：“AIS Analyzer”の開発とその技術応用，平成 27 年度(第 15 回)海上技術安全研究所研究発表会講演集，pp.166-175，2015. 6. 26.
- (3) 福島洋上風力 コンソーシアム：航行時の洋上実証施設からの離隔距離確保のお願い，
http://www.fukushima-forward.jp/project01/safety/pdf/131005_1.pdf
- (4) 福島洋上風力 コンソーシアム：洋上実証研究設備からの離隔距離確保のお願い，
<http://www.fukushima-forward.jp/project01/safety/pdf/150609.pdf>
- (5) 伊藤博子他：AIS 非搭載船舶を含む船舶通航量の推定，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 19 号，pp.327-330，2014. 11. 20.
- (6) Suyi Li, Qiang Meng, and Xiaobo Qu：An Overview of Maritime Waterway Quantitative Risk Assessment Models, Risk Analysis, Vol. 32, No. 3, pp.496-512, 2011. 10, (doi: 10.1111/j.1539-6924.2011.01697.x).
- (7) Y. Fujii, et. al：Some Factors Affecting the Frequency of Accidents in Marine Traffic, Journal of Navigation, Vol.27, pp.235-247, 1974.
- (8) F. Kaneko：Methods for probabilistic safety assessment of ships, Journal of Marine Science and Technology, Vol.7, No.1, pp.1-16, 2002.
- (9) 藤井弥平，巻島勉，原潔：海上交通工学，pp.79-85，海文堂，1981.
- (10) Maritime and Coastguard Agency(MCA)：Offshore Renewable Energy Installations (OREIs)- Guidance on UK Navigation Practice, Safety and Emergency Response Issues, MGN 371 (M+F), 2008.
- (11) 井上欣三：操船の理論と実際，pp.170-172，成山堂書店，2014.