

第4回 港湾における洋上風力発電の導入円滑化に向けた 技術ガイドライン等検討委員会

日時：平成27年3月4日（水） 10:00～12:00

場所：新橋 田中田村町ビル 8階会議室

議 事 次 第

1. 開 会

2. 事務局挨拶

3. 委員紹介

4. 委員長挨拶

5. 議 事

(1) ガイドライン（案）の説明

(2) 意見交換

6. その他

7. 閉 会

【添付資料】

- ・ 議事次第
- ・ 名簿
- ・ 配席図
- ・ 港湾における洋上風力発電施設等の技術ガイドライン（仮称）について【資料1】
- ・ 風力発電施設のレーダー映像の解析（試行）【資料2】
- ・ レーダー映像影響調査の試行【参考資料1】
- ・ 視覚影響調査の試行【参考資料2】

第4回 港湾における洋上風力発電の導入円滑化に向けた
技術ガイドライン等検討委員会 名簿

【構成委員】

- 牛山 泉 足利工業大学 学長 (○は委員長)
- 矢吹 英雄 東京海洋大学 名誉教授
- 清宮 理 早稲田大学理工学術院 創造理工学部 社会環境工学科 教授
- 林 尚吾 東京海洋大学 名誉教授
- 菊池 喜昭 (欠席) 東京理科大学 理工学部 土木工学科 教授
- 石原 孟 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授
- 鈴木 和夫 一般社団法人 日本風力発電協会 副代表理事
- 渡部 典正 公益社団法人 日本海難防止協会 専務理事
- 久郷 良夫 (欠席) 日本水先人会連合会 水先業務研究委員会委員
鹿島水先区水先人会会長
- 石川 次郎 (代理) 鹿島水先区水先人会 水先人
- 北里 英昭 一般社団法人 日本船長協会 常務理事
- 山内 章裕 (欠席) 一般社団法人 日本船主協会 海務幹事会幹事長
- 前田 耕一 外国船舶協会 専務理事
- 小山 卓三 日本内航海運組合総連合会 環境安全委員会委員
- 吉田 榮 内閣官房 総合海洋政策本部事務局 内閣参事官
- 中泉 昌光 農林水産省 水産庁 漁港漁場整備部 計画課長
- 松山 泰浩 (欠席) 経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部
新エネルギー対策課長
- 須山 照子 (代理) 新エネルギー対策課 課長補佐
- 小谷野 喜二 国土交通省 港湾局 海洋・環境課長
- 遠藤 仁彦 国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室長
- 坂本 慶介 国土交通省 海事局 海洋・環境政策課 海洋開発戦略室長
- 豊藏 俊雄 国土交通省 海上保安庁 交通部 安全課 航行指導室長
- 名倉 良雄 環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 調整官
- 宮田 正史 (欠席) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室長
- 下迫 健一郎 独立行政法人 港湾空港技術研究所 特別研究官

【オブザーバー】

- 渡邊 誠 (欠席) 経済産業省 商務情報政策局 電力安全課長
- 正影 夏紀 (代理) 経済産業省 商務情報政策局 電力安全課 課長補佐

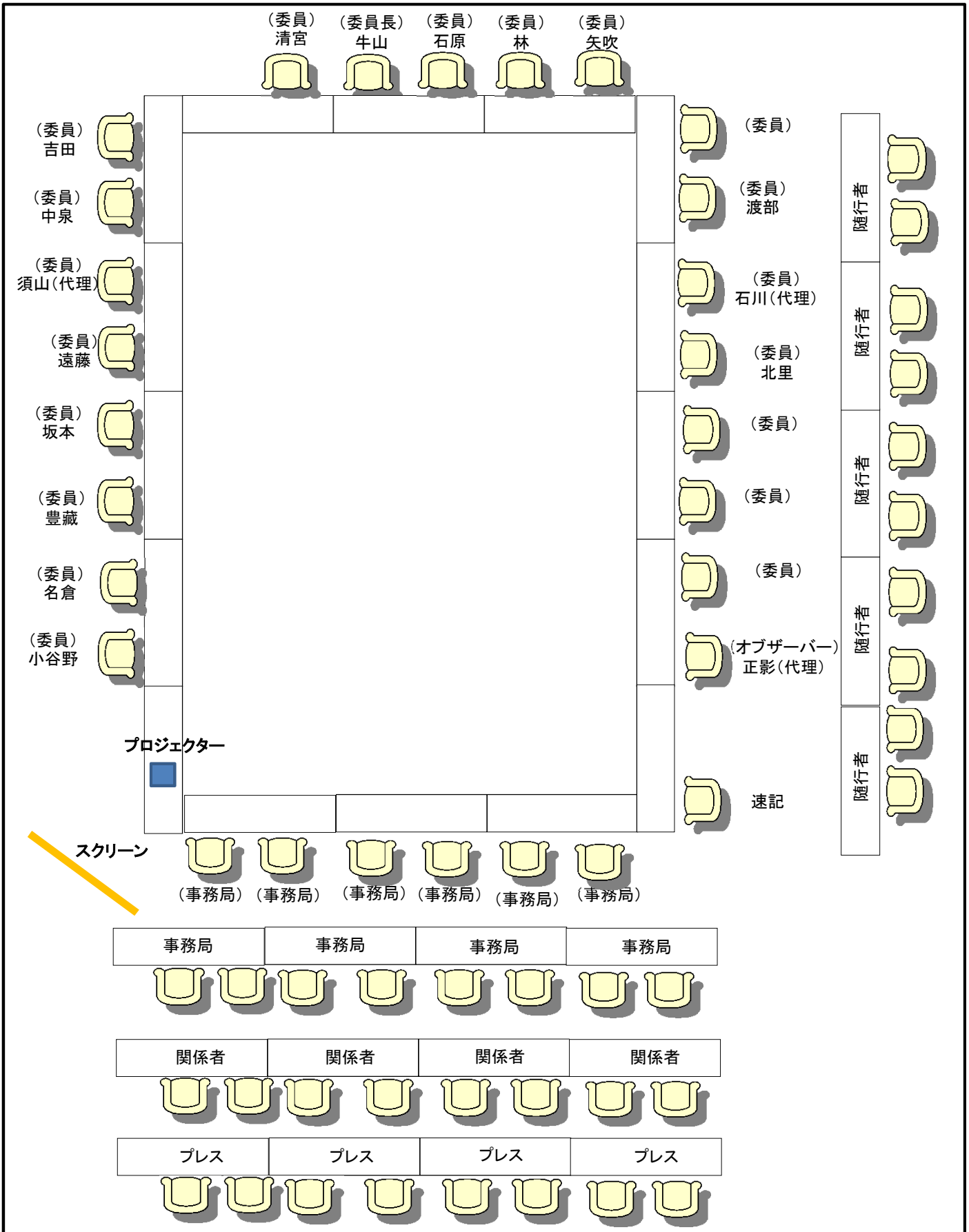
第4回 港湾における洋上風力発電設備の導入円滑化に向けた技術ガイドライン等検討委員会

配席図

日時:平成27年3月4日(水)

10:00~12:00

場所:新橋 田中・田村町ビル



港湾における洋上風力発電施設等の 技術ガイドライン(仮称)について

港湾局 海洋・環境課
平成27年3月4日(水)

技術ガイドラインの検討体制

座長：牛山先生（足利工業大学学長）

港湾における洋上風力発電設備の導入円滑化に向けた 技術ガイドライン等検討委員会

- ・メンバー：有識者、関係団体、関係機関等
- ・検討事項：検討の進め方、各分科会における検討結果の審議、技術的ガイドラインの決定等

座長：林先生（東京海洋大学名誉教授）

航行安全分科会

- ・メンバー：有識者、関係団体、関係機関等
 - ・検討事項：航行船舶の安全性確保にかかる検討等
- ① 航行船舶への影響にかかる事項等
 - ② 安全性確保に必要となる措置等の検討

座長：清宮先生（早稲田大学教授）

構造安定分科会

- ・メンバー：有識者、関係団体、関係機関等
 - ・検討事項：設計・維持管理にかかる指針等
- ① 土木学会指針等のレビュー
 - ② 安全性を踏まえた設計・施工等の検討
 - ③ 技術ガイドライン（案）の作成

第1章 総則

第2章 港湾計画への位置づけ及び占用許可申請の審査事項

港湾管理者が主務として
取り組むべき事項

第3章 洋上風力発電施設等の計画及び設計

第4章 維持管理計画

発電事業者が主務として
取り組むべき事項であり、
その実施状況を港湾管
理者が確認すべき事項

第5章 緊急時対応計画

ガイドラインの目的

洋上風力発電は、海洋基本計画等において導入拡大を図っていく旨位置付けられている再生可能エネルギーであり、その導入海域として港湾が注目されている。

港湾管理者は、導入適地の設定、港湾計画への位置付け及び占用許可の各段階において、洋上風力発電施設等の導入が、港湾の開発、利用及び保全に支障を与えないよう検討や審査を行うこととなる。

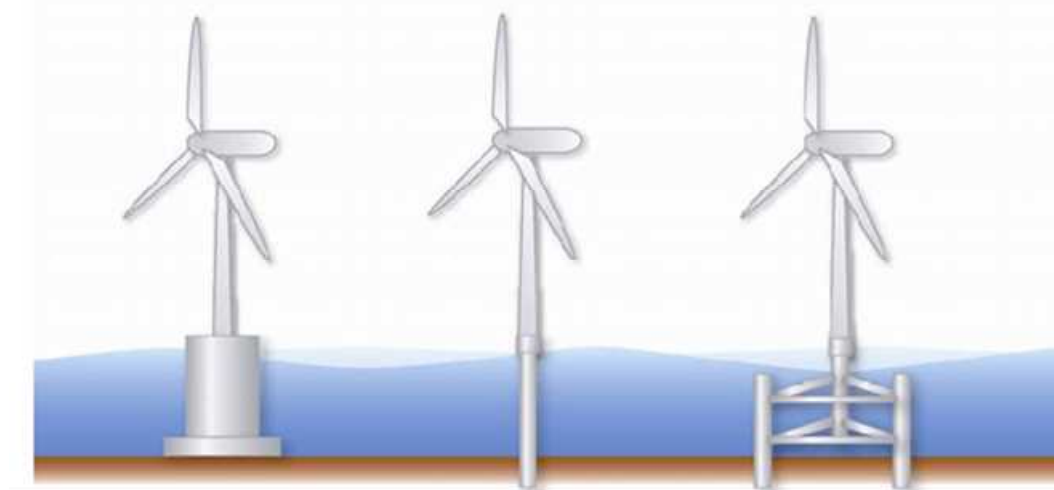
本ガイドラインは、港湾管理者が洋上風力発電施設等の導入について上記の検討及び審査を行う際の技術的な判断基準となるよう作成したものである。

適用の範囲

本ガイドラインは、原則として、港湾区域に設置される着床式の洋上風力発電施設等を対象とする。

なお、本ガイドラインに記述のない事項については、洋上風力発電施設等に関連するその他の基準・指針等※が適用される。

※ IEC61400などの国際規格、電気事業法に基づく「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令」(平成九年三月二十七日通商産業省令第五十三号)、「風力発電設備支持物構造設計指針・同解説」(土木学会)など

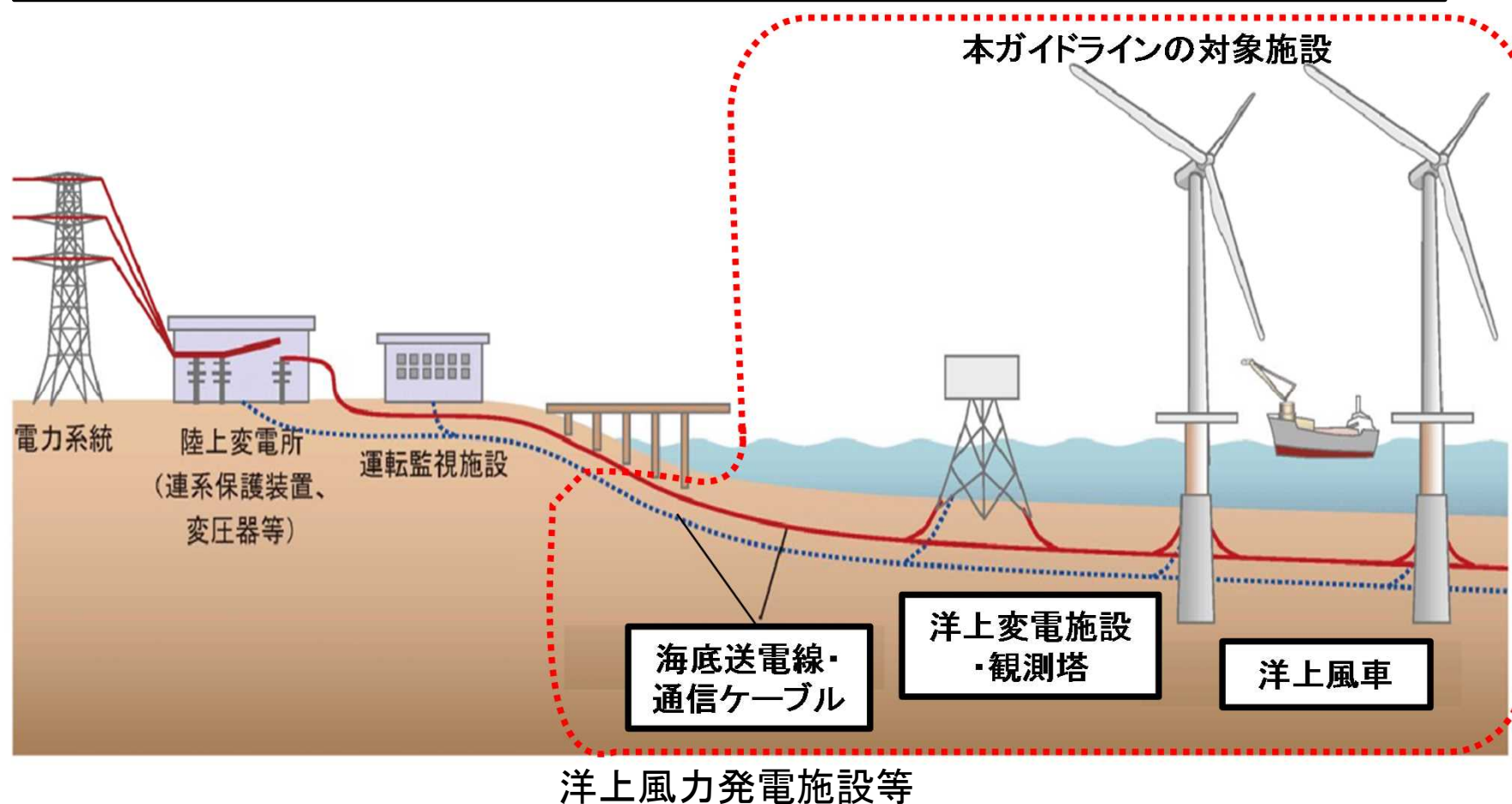


重力式基礎 (ケーソン構造) 杭式基礎 (モノパイル構造) 杭式基礎 (ジャケッ構造)

洋上風力発電施設の主な基礎形式

対象施設

- ・洋上風車
- ・洋上変電施設
- ・風向・風速などを観測する観測塔
- ・洋上風力発電に係る海底送電線・通信ケーブル



港湾計画への位置づけ

港湾管理者は、洋上風力発電を導入するにあたって港湾計画上の「再生可能エネルギー源を利活用する区域」を指定する際に、次の事項を考慮するものとする。

- ①洋上風力発電の計画規模
- ②自然条件
- ③港湾施設・海岸保全施設
- ④「その他港湾の開発、利用及び保全に関する事項」における将来構想等
- ⑤海岸保全基本計画などの既存の他の計画との整合
- ⑥飛行場等の施設
- ⑦船舶交通及びその他の水域利用等
- ⑧荒天時の避泊
- ⑨景観

占用許可申請の審査事項

洋上風力発電事業者が港湾区域に洋上風力発電施設等を設置する場合の水域占用許可申請の審査にあたって、港湾管理者は、洋上風力発電事業者が本ガイドラインの第3章以降の記載事項を実施していることを確認するものとする。

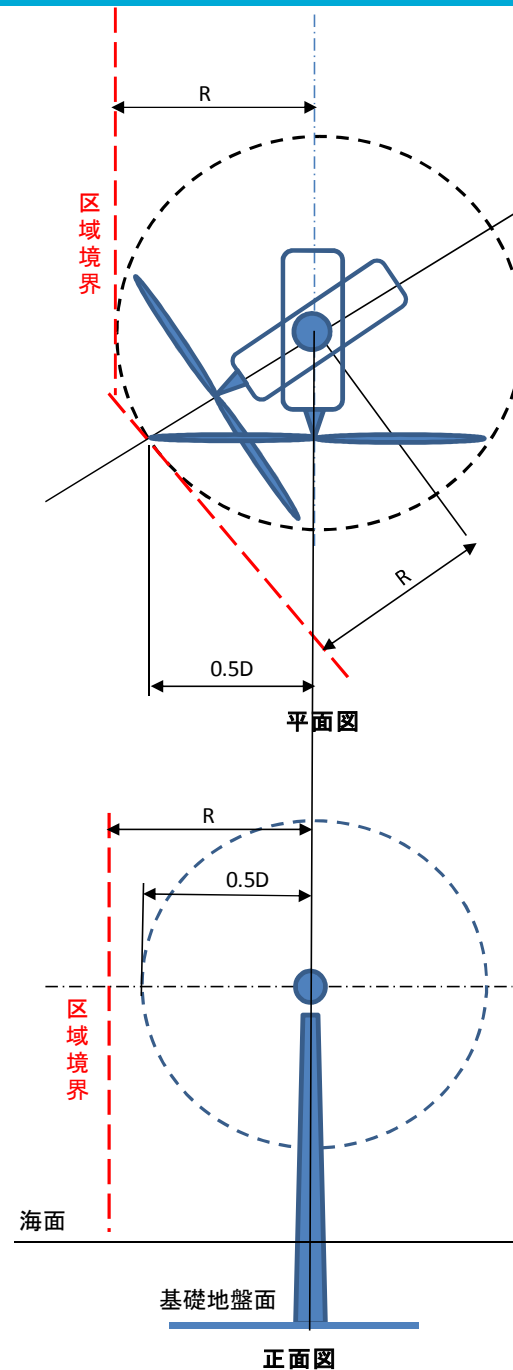
なお、確認にあたっては、「港湾における風力発電について-港湾の管理運営と共生のためのマニュアル-ver.1」（平成24年6月 国土交通省港湾局 環境省地球環境局）を参考とするものとする。

調査

洋上風力発電事業者は、港湾区域における洋上風力発電施設等の計画及び設計にあたって、気象、海象、地盤、環境、船舶交通及びその他の水域利用、港湾計画等についての調査を実施するものとする。

「再生可能エネルギー源を利活用する区域」と洋上風車

洋上風力発電事業者は、洋上風車のロータの範囲が「再生可能エネルギー源を利活用する区域」の外側に突出することがないようにするものとする。



「再生可能エネルギー源を活用する区域」の境界と洋上風車の位置関係

離隔の確保

洋上風力発電事業者は、船舶の航行安全及び港湾施設等の保全を確保するため、港湾区域に設置する洋上風力発電施設は航路や泊地、防波堤などの港湾施設等と十分な離隔距離をとって配置するものとする。

水域施設等との離隔

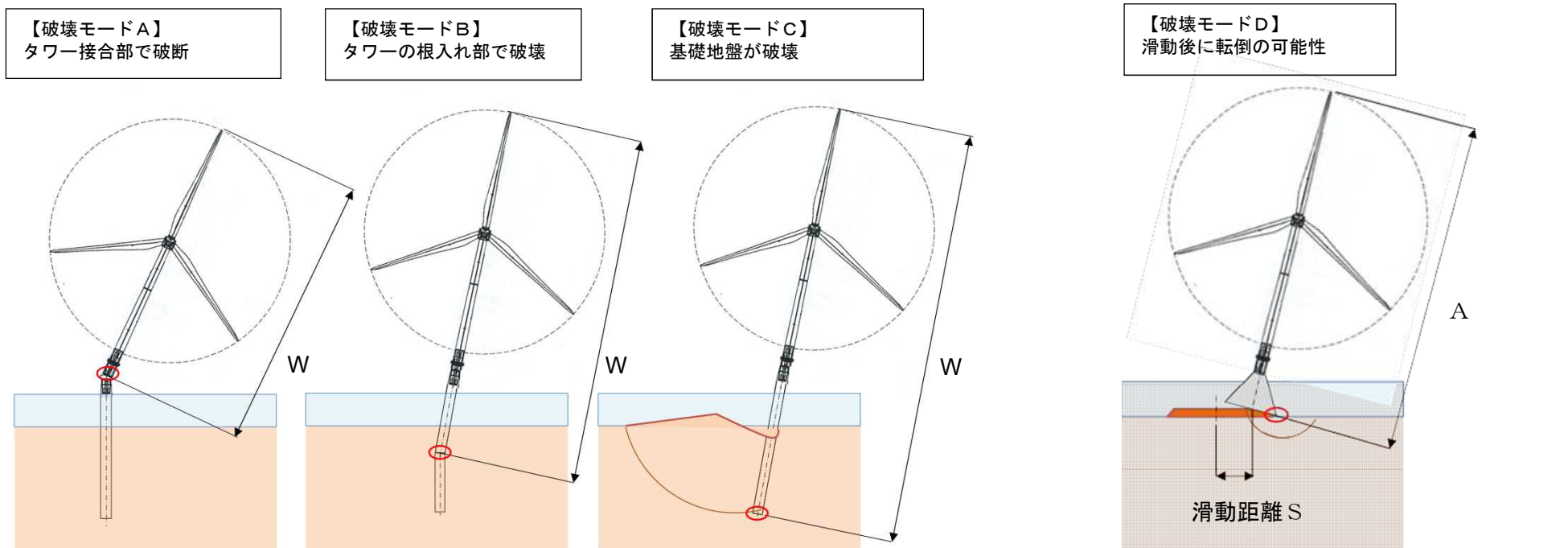
洋上風力発電事業者は、航路等の水域施設等に対して、洋上風力発電施設が万が一倒壊したとしても、水域施設等には直接の影響が及ばない離隔と風車後方の乱流範囲の影響を考慮した離隔の両方の条件を満足するように、離隔距離を確保するものとする。

(水域施設等との離隔)

$$= \max \{ \text{風車後方の乱流範囲 } 2D, \text{ 破壊モードを考慮した倒壊影響距離 } W \}$$

杭式基礎と重力式基礎の破壊モード

洋上風力発電施設の破壊モードを考慮した倒壊影響距離 W とは、洋上風力発電施設の基礎形式が杭式基礎の場合は、想定した破壊モードの破壊箇所から施設の最上端(洋上風車にあっては、ロータの最高到達点)までの高さとし、重力式基礎の場合は、基礎マウンド上面から施設の最上端までの高さ A に滑動距離 S を加えたものとする。



破壊モードを考慮した倒壊影響距離 $=W$

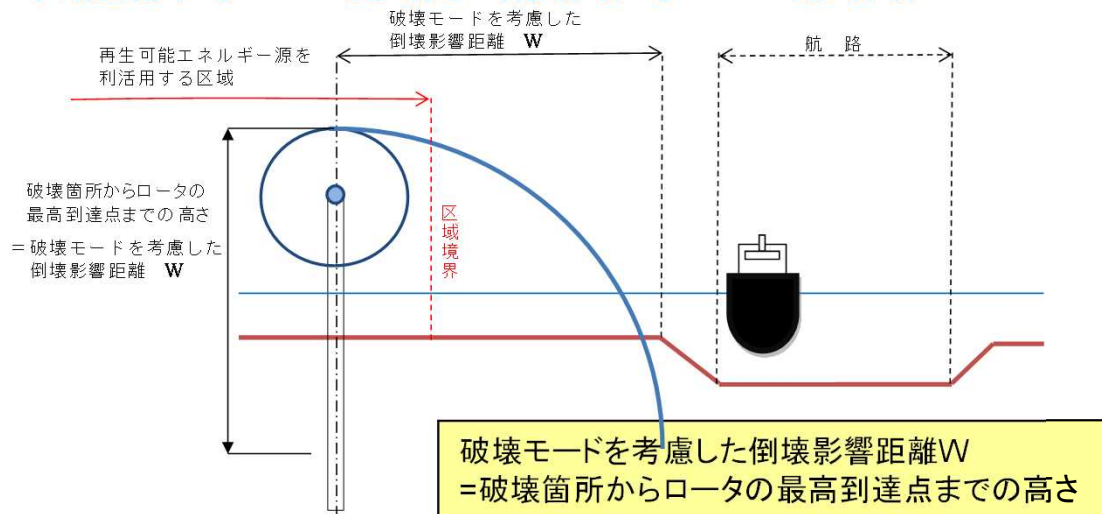
《杭式基礎(モノパイル構造)の破壊モード》

倒壊影響距離 $W =$ 倒壊高さ $A +$ 滑動距離 S

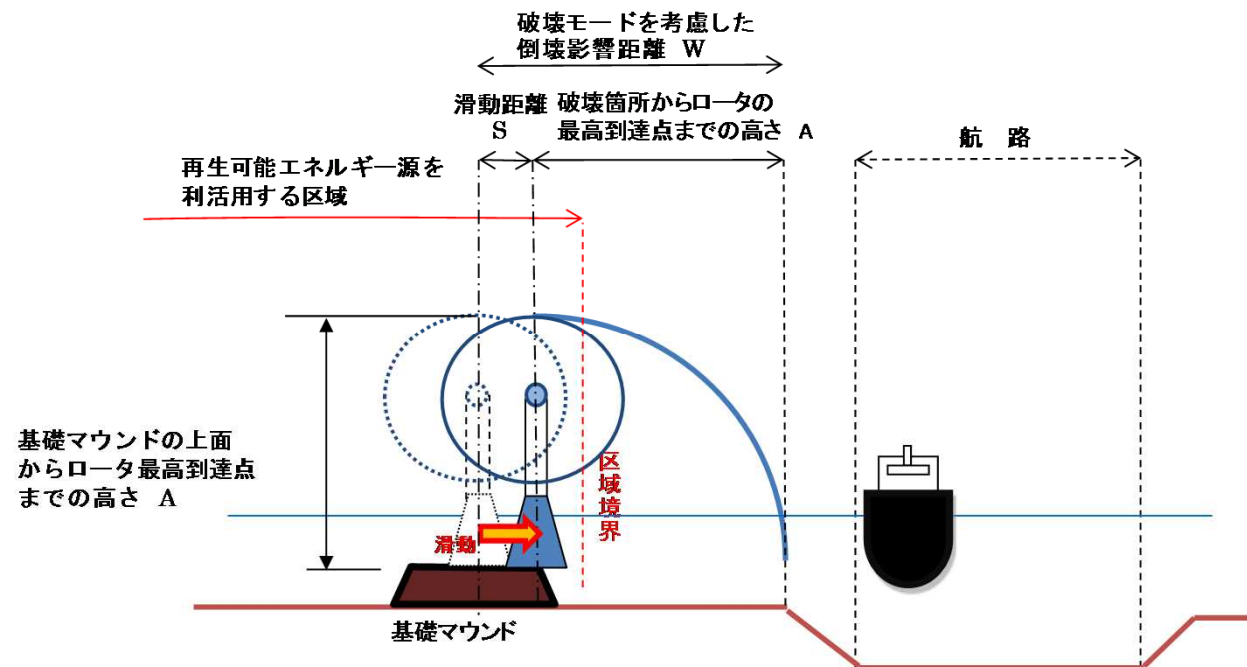
《重力式基礎の破壊モード》

第3章 洋上風力発電施設の計画及び設計

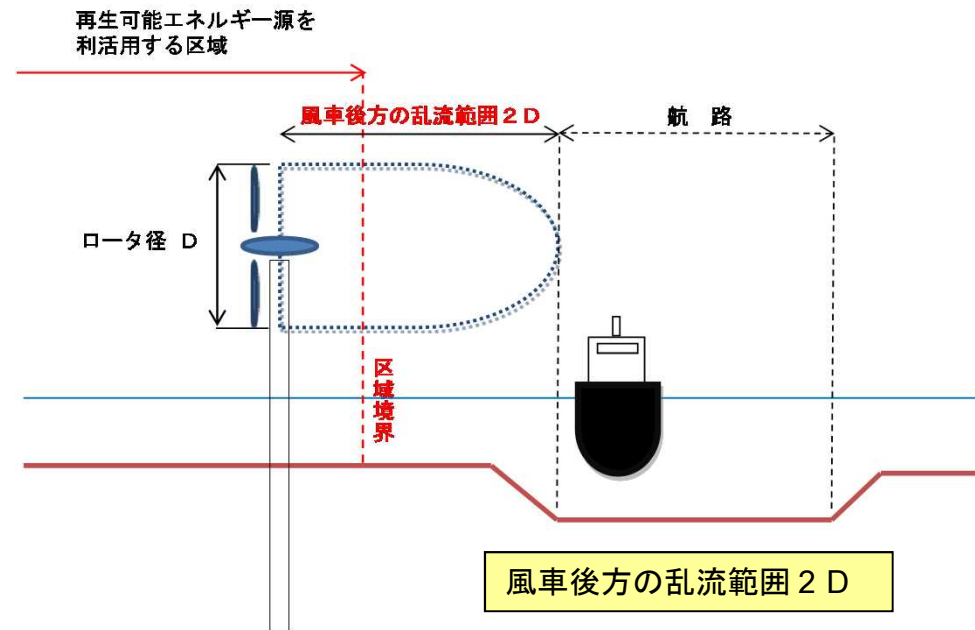
水域施設等との離隔（航路等との離隔）



《杭式基礎の破壊モードを考慮した倒壊影響距離の離隔の例》



《重力式基礎の破壊モードを考慮した倒壊影響距離の例》

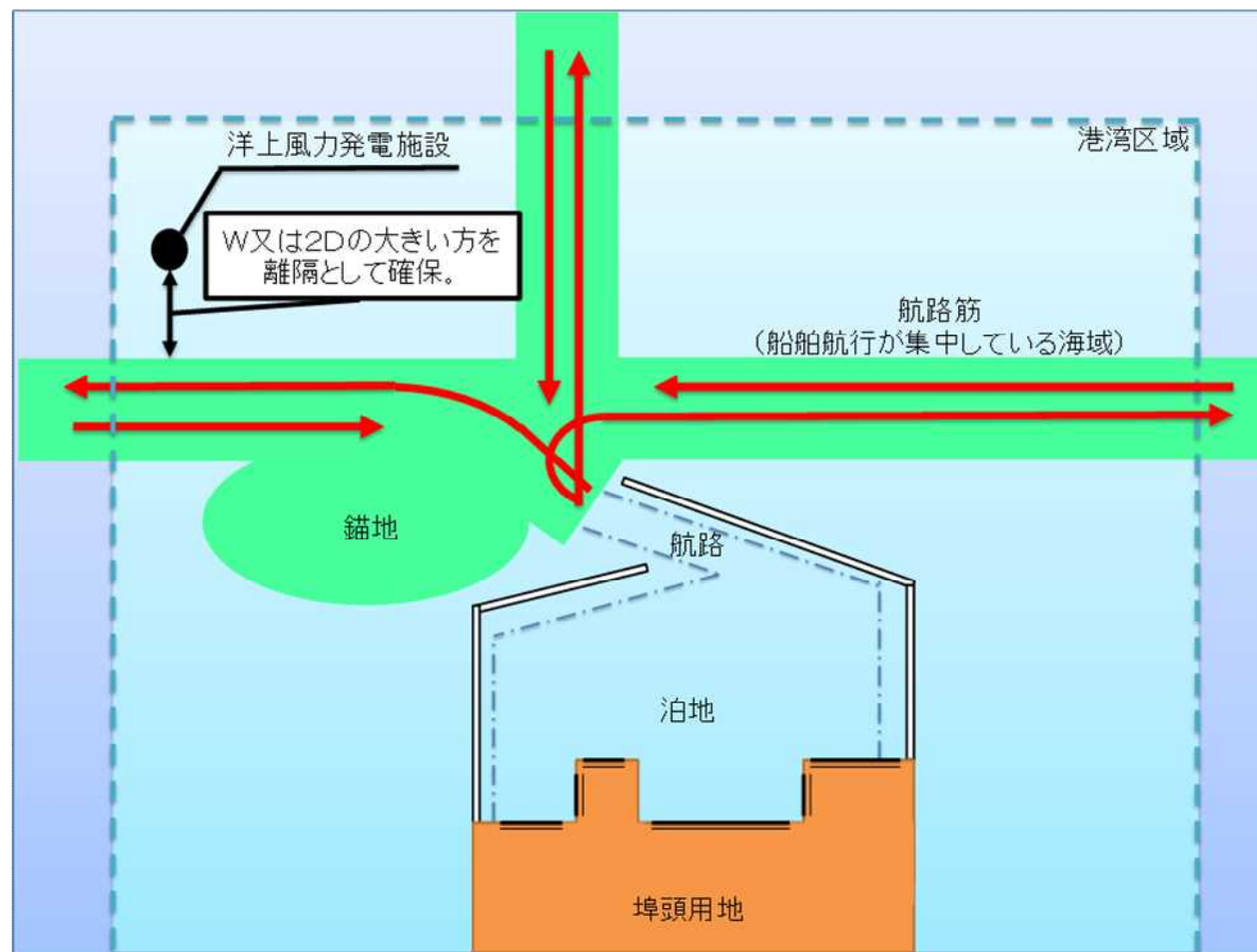


《船舶への風車後方の乱流を考慮した離隔の例》

第3章 洋上風力発電施設の計画及び設計

水域施設等との離隔（航路筋等との離隔）

航路筋等に対しても「水域施設等との離隔」を適用する。



・航路筋等

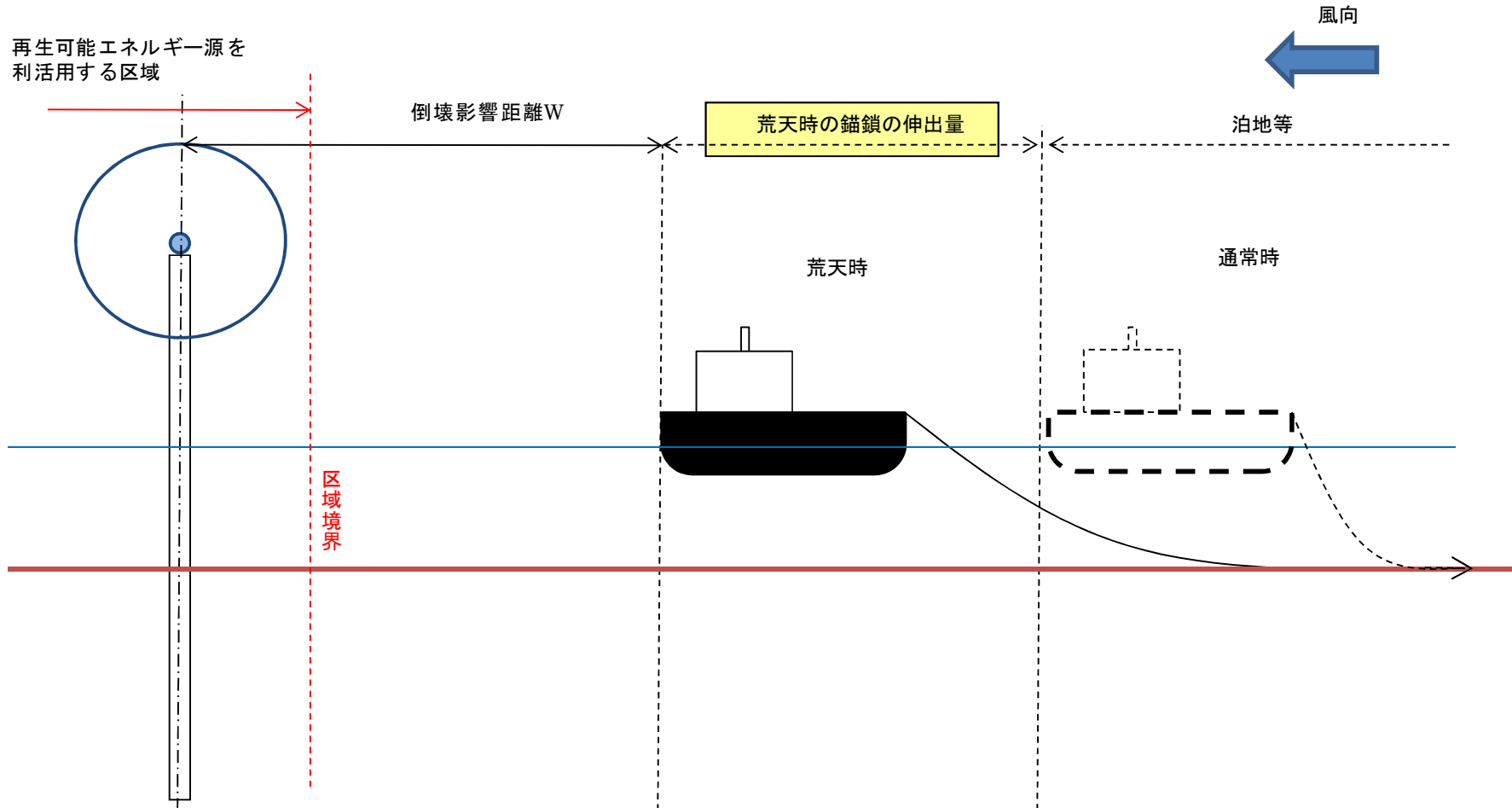
船舶が集中し、一つの慣習的な流れができ、船員の常識として「航路筋」と考えられるようになった水域や、水深や底質が好適であるため実態として頻繁に錨泊に用いられている水域など

《 航路筋等との離隔の例 》

第3章 洋上風力発電施設の計画及び設計

水域施設等との離隔（泊地等との離隔）

泊地等との離隔については、「荒天時の錨鎖の伸出量」を考慮する。



《 泊地等との離隔の例 》

注) 荒天時の錨鎖の伸出量:

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(1979年版 社団法人 日本港湾協会)の第6編第3章 泊地を参照のこと。

第3章 洋上風力発電施設の計画及び設計

外郭施設等との離隔

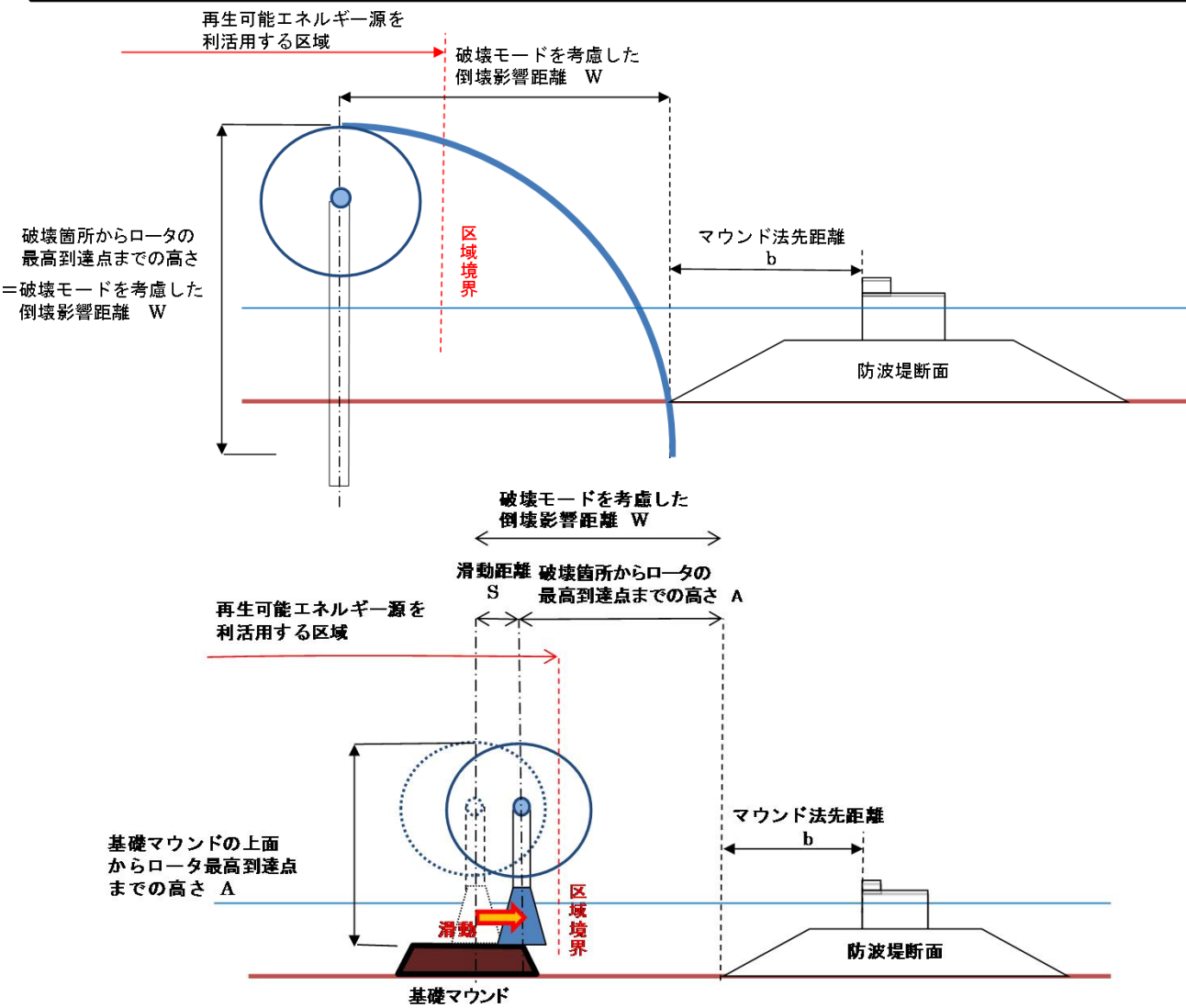
洋上風力発電事業者は、防波堤等の外郭施設、あるいは離岸堤や潜堤などの海岸保全施設に対して、洋上風力発電施設が倒壊しても直接の影響が及ばない離隔距離を確保することを標準とする。

破壊モードを考慮した倒壊影響距離W

《 杭式基礎の離隔 》

破壊モードを考慮した倒壊影響距離W = 滑動距離S + 基礎マウンド上面からロータ最高到達点までの高さA

《 重力式基礎の離隔 》



施工時における安全確保

施工期間中の事故を防止するよう適切に対策をとるものとする。

また、一時的な場合であっても、洋上風力発電施設等の設置工事やその他の関連工事に供する水域が周辺の航路等の水域施設等にはみ出し、一般船舶の航行安全に著しい影響を及ぼさないように、洋上風力発電事業者は、あらかじめ施工期間中の工事に供する水域を考えた洋上風力発電施設等の配置計画及び施工計画を策定することを標準とする。

洋上風力発電施設等の設置工事やその他の関連工事の安全対策については、「港湾工事安全施工指針」(一般社団法人日本埋立浚渫協会 国土交通省港湾局監修)を参考にして、具体的な工事方法などを検討する。

船舶交通に与える影響の評価

洋上風力発電事業者は、港湾区域における洋上風力発電施設の具体的な配置計画作成に際して、施設の具体的な配置が、船舶交通に影響が懸念されるときは、その影響の度合いを評価し、必要に応じて影響を軽減する措置を実施するものとする。

①影響評価及び影響軽減措置の考え方

- ・港湾の関係者への説明と意見聴取
- ・影響が懸念される場合は影響度合いを評価(②)し、必要に応じ軽減措置を実施(③)



②評価の方法

- ・洋上風力発電施設の設置・運用が船舶交通実態調査により把握された既存の水域利用に及ぼす影響を評価

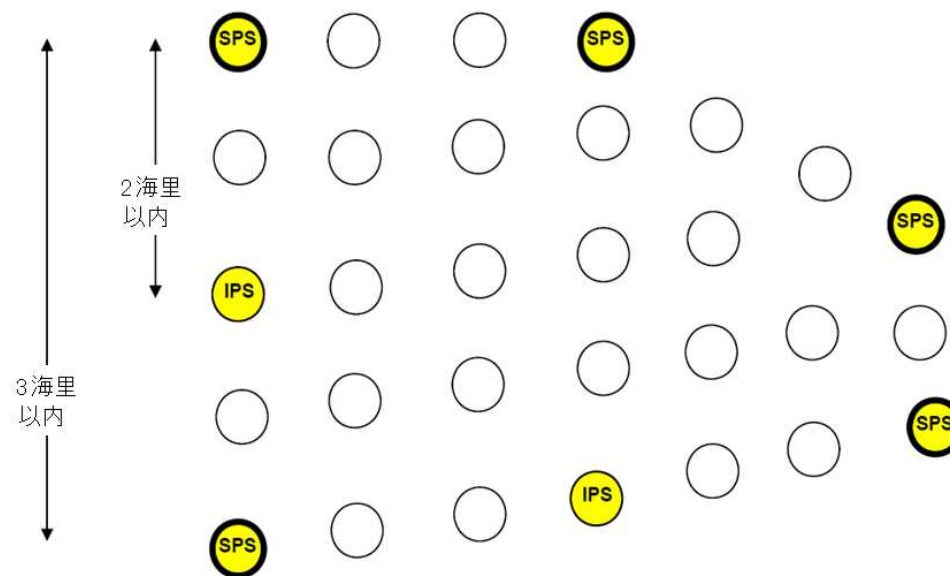
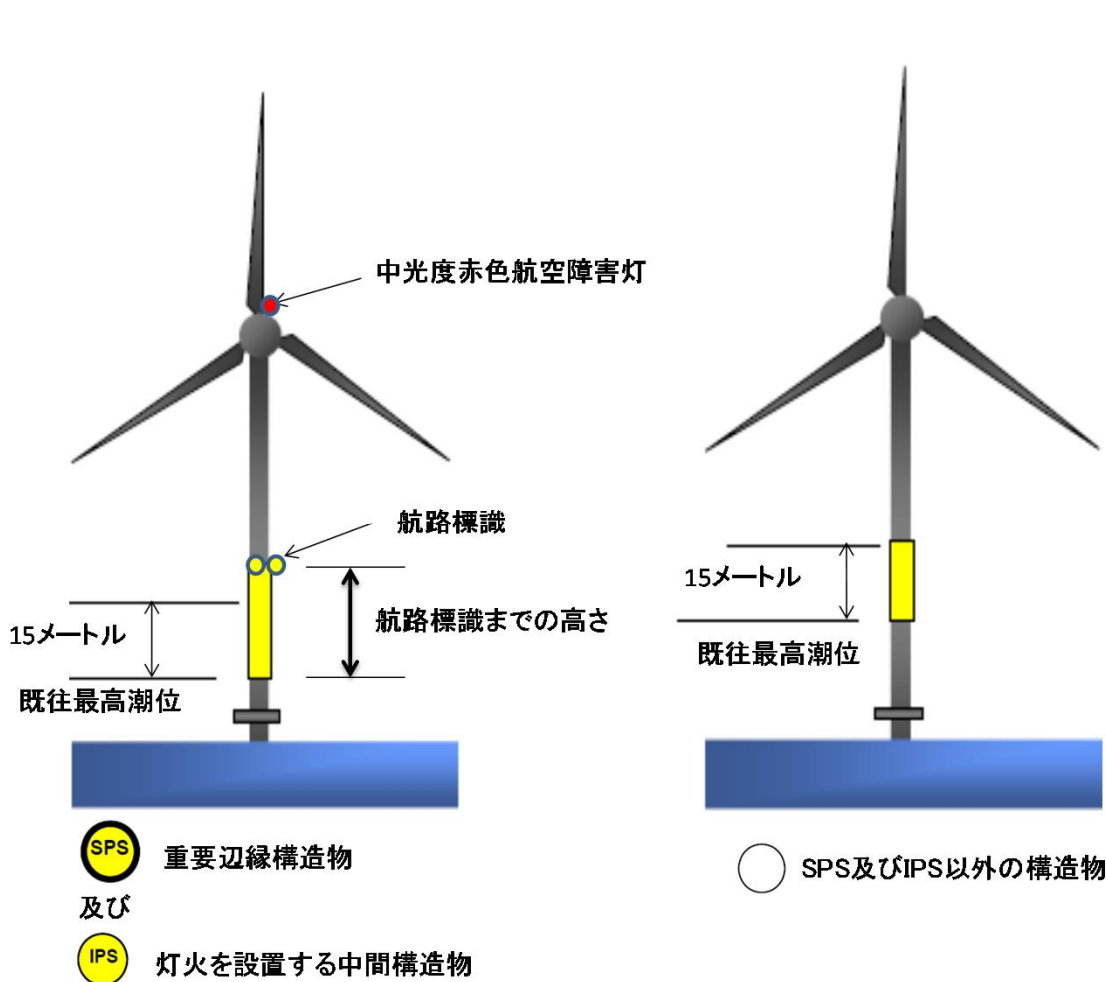


③影響軽減措置の実施

- ・必要に応じて影響軽減措置を実施

洋上風力発電施設の捕捉・識別性

船舶接近に対し十分な安全性を維持するため、洋上風力発電事業者は、洋上風力発電施設を昼夜や気象などの環境条件に関わらず、常に容易な捕捉・識別が可能であるものとする。



- SPS** SPS—全周にわたる水平面から視認できる灯火。これらの灯火はIALAの「特殊標識」の灯質である黄色閃光を表示する同期点滅で、5海里以上の光達距離を有するものとする。(1海里=1,852m)
- IPS** ウィンドファームの辺縁部におけるSPS以外の選択された中間構造物—全周にわたる水平面から海員が視認できる黄色閃光の灯火。これらの灯火はSPSと明確に異なる灯質で、2海里以上の光達距離を有するものとする。
- SPS及びIPS以外の構造物

《 洋上風力発電施設の塗色及び灯火の例 》

《 ウィンドファームの標識灯の平面配置例 》

洋上風力発電施設が操船者の視覚等に及ぼす影響

洋上風力発電事業者は、洋上風力発電施設が船舶操船時において他の船舶、地形、航行援助施設、その他の物標等の捕捉・識別を阻害する可能性に配慮して配置するものとする。

船舶用レーダー等の機器に及ぼす影響

洋上風力発電事業者は、洋上風力発電施設の設置及び運用が船用レーダーその他の電子航海機器に支障を与える可能性に配慮して計画するものとする。

洋上風車のロータ最下端の最低高さ

洋上風力発電事業者は、洋上風車のロータ最下端の最低高さを適切に設定するものとする。

設計手法

港湾区域における洋上風力発電施設等の設計は、「土木学会指針」に原則準拠するものとする。

設計における配慮事項

(1)基礎地盤の変化

洋上風力発電事業者は、波浪・潮流・津波による基礎地盤の洗掘、港湾工事に伴う浚渫及び基礎形式が重力式基礎の場合には施設設置後の圧密沈下といった基礎地盤の変化が考えられる場合、あらかじめその変化量を考慮する。地震による基礎地盤の液状化が考えられる場合、あらかじめその変状を考慮する。また、それらに対して、必要に応じて適切な対策を講じるものとする。

(2)漂砂による部材等の摩耗

洋上風力発電事業者は、洋上風力発電施設の基礎工が海水中の腐食作用のほか、海底砂の移動による構造表面の摩擦作用を受けることに留意するものとする。

外力、要求性能及び照査方法

外力、要求性能及び照査方法については、「土木学会指針」に準拠するものとする。

海底ケーブル敷設時の留意事項

海底送電線・通信ケーブルの敷設は、埋設を標準とし、港湾の利用若しくは保全に支障を与え、港湾計画の遂行を阻害し、その他港湾の開発発展に支障を与えるものであってはならない。なお、海底地盤が岩盤である等の理由により埋設が不可能な場合においては、防護管等により海底送電線・通信ケーブルを適切に保護することや強度を有するケーブル材の活用をもって、埋設に代えることも可とする。

(1)埋設深さ

洋上風力発電事業者は、港湾の利用実態や将来における港湾施設の整備を考慮して敷設ルート及び埋設深さを適切に決定する。また、海底送電線・通信ケーブルを埋設しようとする場所において、将来の浚渫計画がある場合は将来の浚渫深さを考慮して、その埋設位置を決定する。

(2)外郭施設等の横断

洋上風力発電事業者は、海底送電線・通信ケーブルが外郭施設を横断する必要がある場合には、外郭施設等の維持管理に支障がないように施設管理者と協議のうえ計画するものとする。

維持管理計画の策定

洋上風力発電事業者は、港湾管理者に対し、電気事業法第42条の1第1項に規定される「保安規程」とは別に、当該設備についての「維持管理計画」を策定し、維持管理計画に従って維持管理を実施する。なお、その結果を港湾管理者に報告するものとする。

維持管理計画の概要

「維持管理計画」には、JIS C1400-3及びIEC 61400-3 14.5 Maintenance manualの要求事項を満たすと共に、次の事項について記載するものとする。

- (1)維持管理体制
- (2)維持管理項目
 - ・防食管理
 - ・基礎地盤の変化

緊急時対応計画の策定

洋上風力発電事業者は、洋上風力発電施設等についての「緊急時対応計画」を策定する。

なお、洋上風力発電施設等に何らかの異常が発生した場合等の緊急事態が発生した際には、その対応について関係機関に報告するものとする。

緊急時対応計画の概要

「緊急時対応計画」には、次の事項について記載するものとする。

- (1) 関係機関との連絡体制
- (2) 緊急時における対応手段
- (3) 緊急時対応訓練の実施

風力発電施設のレーダー映像の解析（試行）

1. レーダー映像調査の目的、調査方法

<2013年度調査>

- 海外の事例では、林立する風車によってレーダー電波が反射され、実際に存在しない像が映像として出現したり(偽像の発生)、映像の一部が消失する現象が起きることが確認されている。
- このようなレーダー映像への影響を調査するため、既存の風力発電施設近辺において、陸上から、レーダー映像を試行的に観測した。



<今年度調査>

- 2013年度調査で得られたレーダ映像を解析し、
 - ①レーダ感度別の映像を例示
 - ②風力発電施設のレーダ反射断面積を試算
 することにより、風力発電施設のレーダ映像影響について具体的に検討することを目的とした。

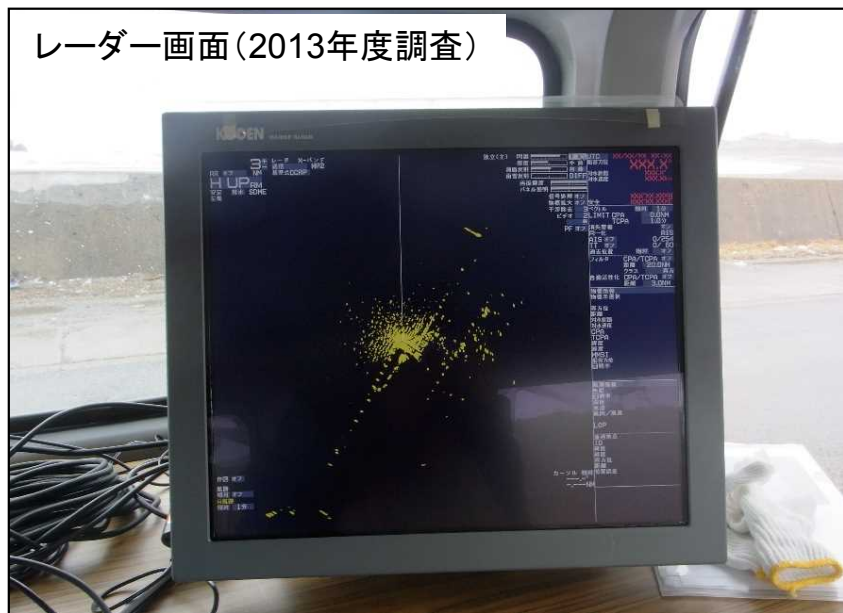
調査用レーダーの諸元

Xバンド航海用レーダー 諸元

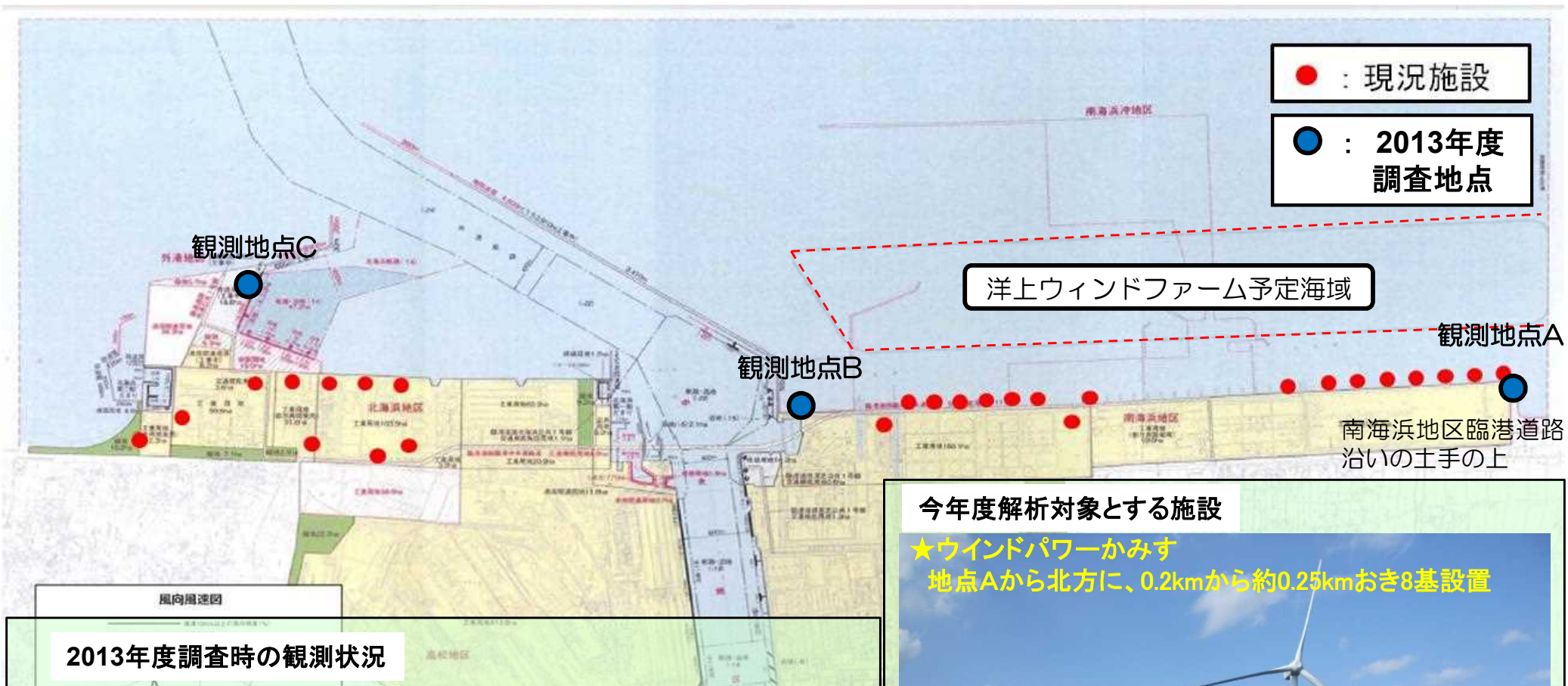
周波数	9,410MHz
光速	約30万km/s
波長	3.2cm
アンテナ長さ	6フィート
ビーム幅	水平1.2° / 垂直25°
送信出力	12 kW

周波数(Hz)	波長	用途
3×10 ¹⁶	ガンマ線	医療 材料検査 エックス線写真
3×10 ¹⁶	エックス線	
3×10 ¹⁵	紫外線	
3×10 ¹³	可視光線	レーダー
3×10 ¹²	赤外線 1/10mm	
3×10 ¹¹	サブミリ線 1mm	
3×10 ¹⁰	ミリ波 (EHF) 1cm	
3×10 ⁹	センチ波 (SHF) 10cm	電子レンジ 衛星通信
3×10 ⁸	極超短波 (UHF) 1m	
3×10 ⁷	超短波 (VHF) 10m	警察・消防通信 テレビ放送
3×10 ⁶	短波 (HF) 100m	
3×10 ⁵	中波 (MF) 1km	FM放送・ テレビ放送 民間無線/ トランシーバー
3×10 ⁴	長波 (LF) 10km	
3000	超長波 (VLF) 100km	AM放送・ アマチュア無線
50~60	極低周波 (ELF) 5000~6000km	海上無線 長距離通信 送配電線・家電製品

レーダー画面 (2013年度調査)



2. 解析対象としたレーダー映像の調査地点



今年度解析対象とする施設

★ウインドパワーかみす
地点Aから北方に、0.2kmから約0.25kmおき8基設置

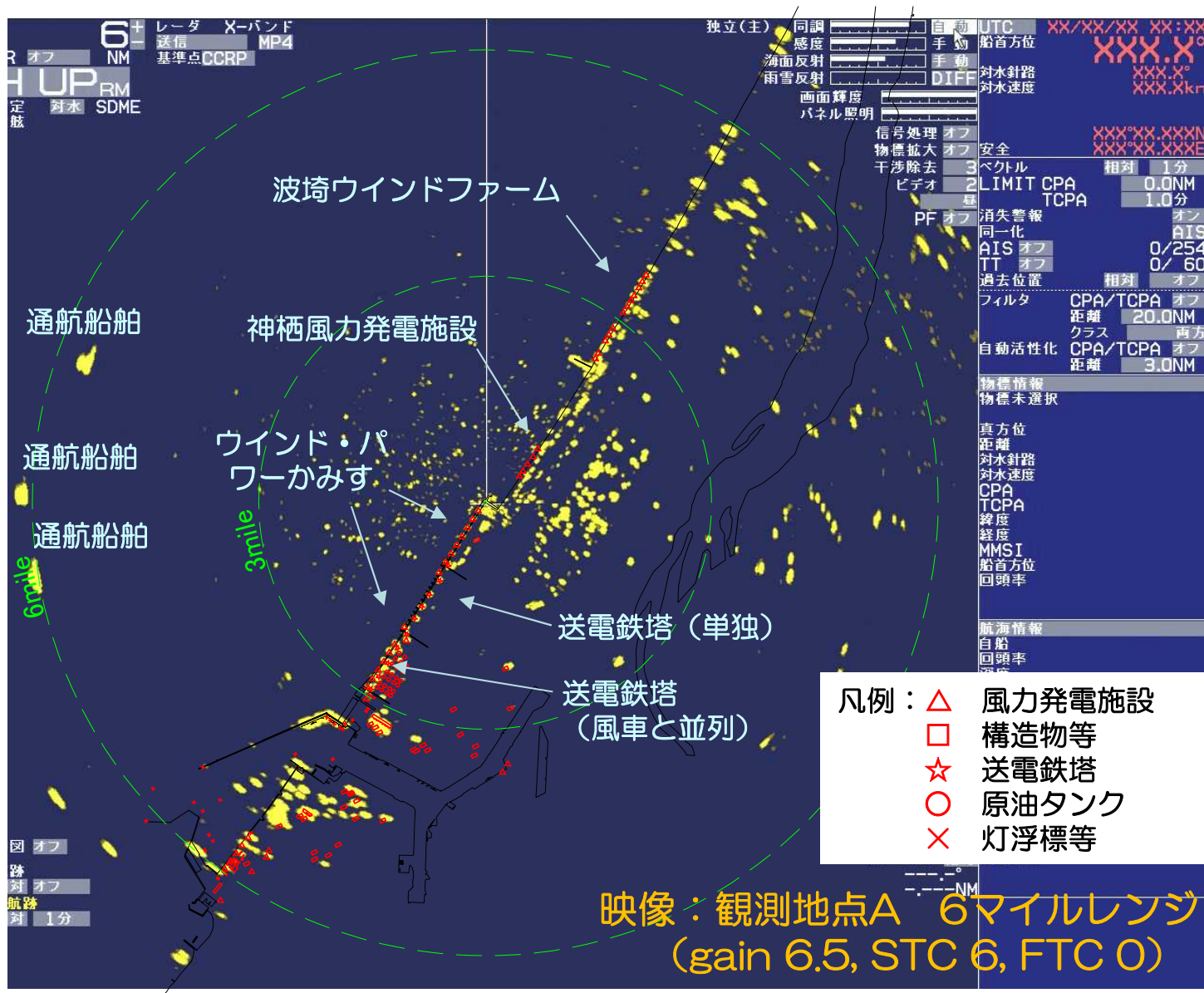


2013年度調査時の観測状況



3. 解析対象としたレーダー映像(観測地点A)

■ 風力発電施設は、独立した映像として把握でき、レーダー偽像は観測されなかった。



4. 風力発電施設の感度別レーダー映像例(観測地点A)

風力発電施設のレーダー映像として、次の感度別の映像を例示する。

- (a) 感度-45dBm (感度を極度に落としたレベル)
 - (b) 感度-50dBm
 - (c) 感度-55dBm
 - (d) 感度-60dBm
 - (e) 感度-65dBm
 - (f) 感度-70dBm
 - (g) 感度-75dBm
 - (h) 感度-80dBm
 - (i) 感度-85dBm (感度を極度に上げたレベル)
- 一般的に-65dBm付近が航海中に使用される感度である

※感度-XdBmとは、入射波の電力の $1/(10^{X/10})$ までの反射波の電力を感知するという意味。

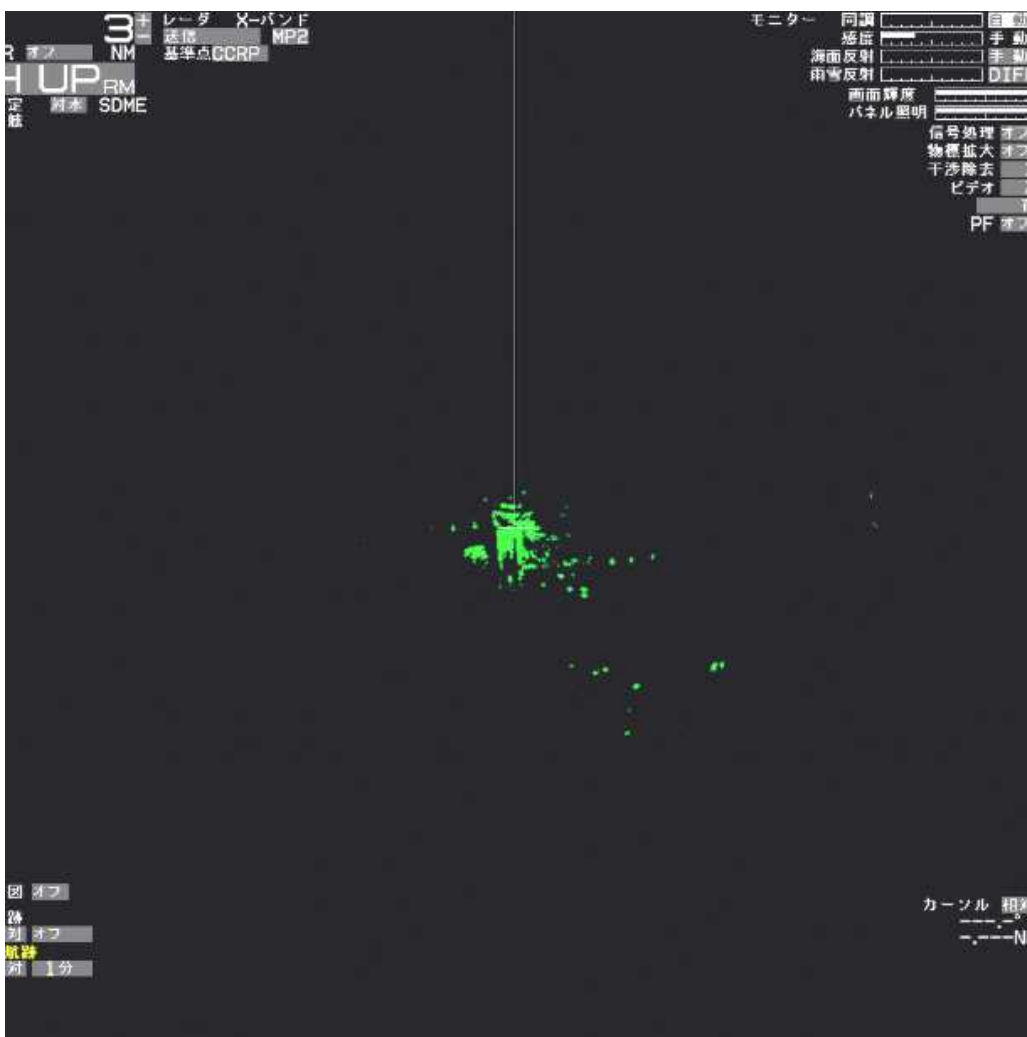
感度別の風力発電施設のレーダー映像の特徴

- ①感度-45~-55dBmの場合(感度を落としている場合)、風力発電施設は十分に映っていない。
- ②感度-60~-70dBmの場合、7基の風力発電施設すべてが映っている。
- ③感度-75~-85dBmの場合(感度を上げている場合)、近距離に位置する風力発電施設は海面や陸上からの反射波に埋もれて判別できない。

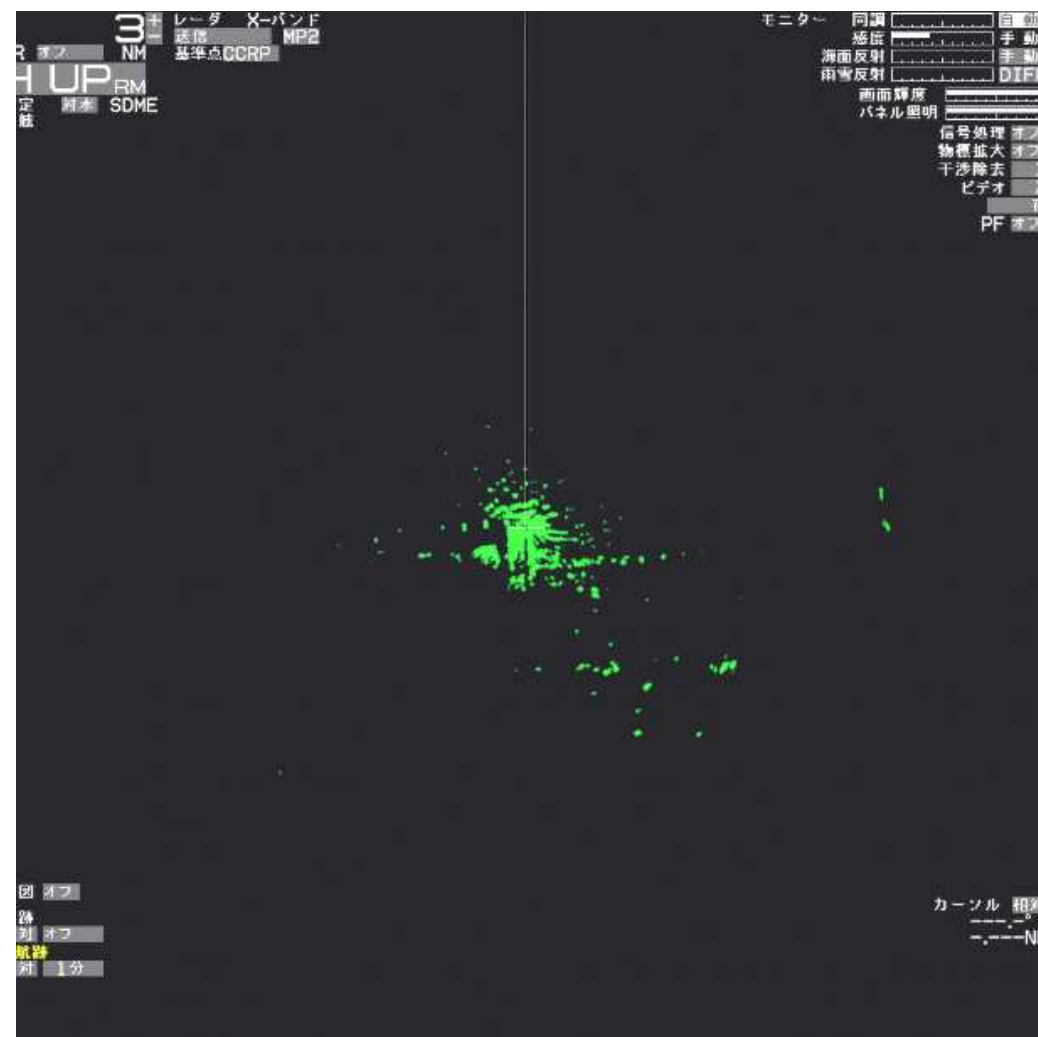
4. 風力発電施設の感度別レーダー映像例(観測地点A)

■感度-45~-55dBmの場合(感度を落としている場合)、風力発電施設は十分に映っていない。

■感度-45dBm以上の映像



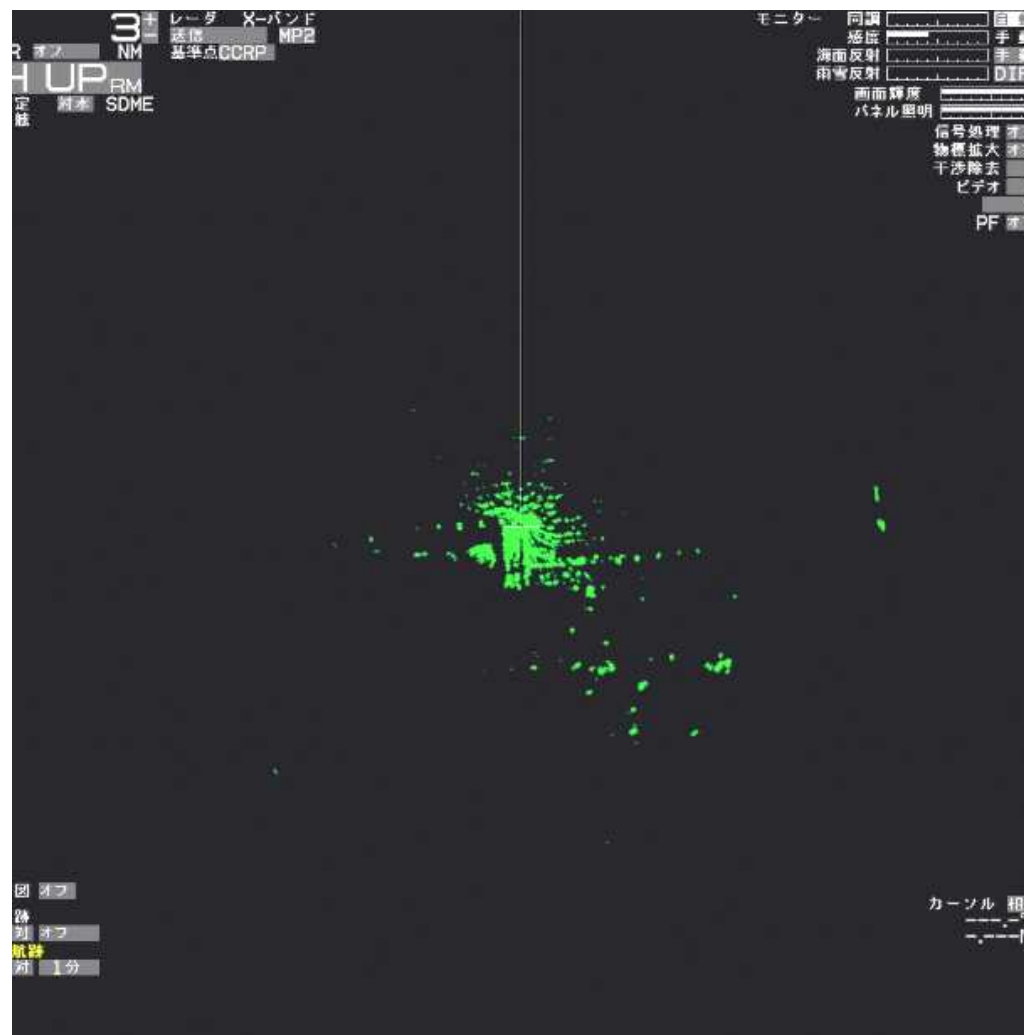
■感度-50dBm以上の映像



4. 風力発電施設の感度別レーダー映像例(観測地点A)

■ 感度-45~-55dBmの場合(感度を落としている場合)、風力発電施設は十分に映っていない。

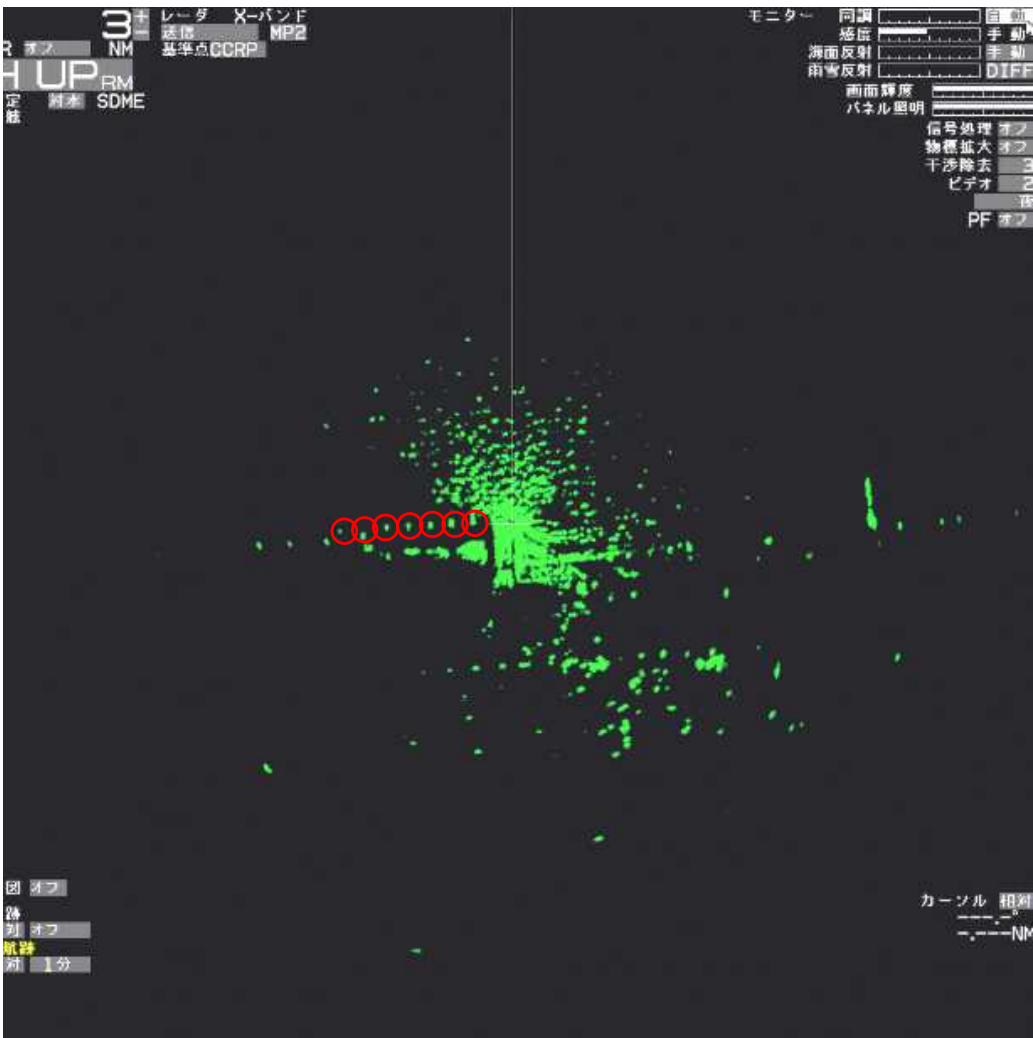
■ 感度-55dBm以上の映像



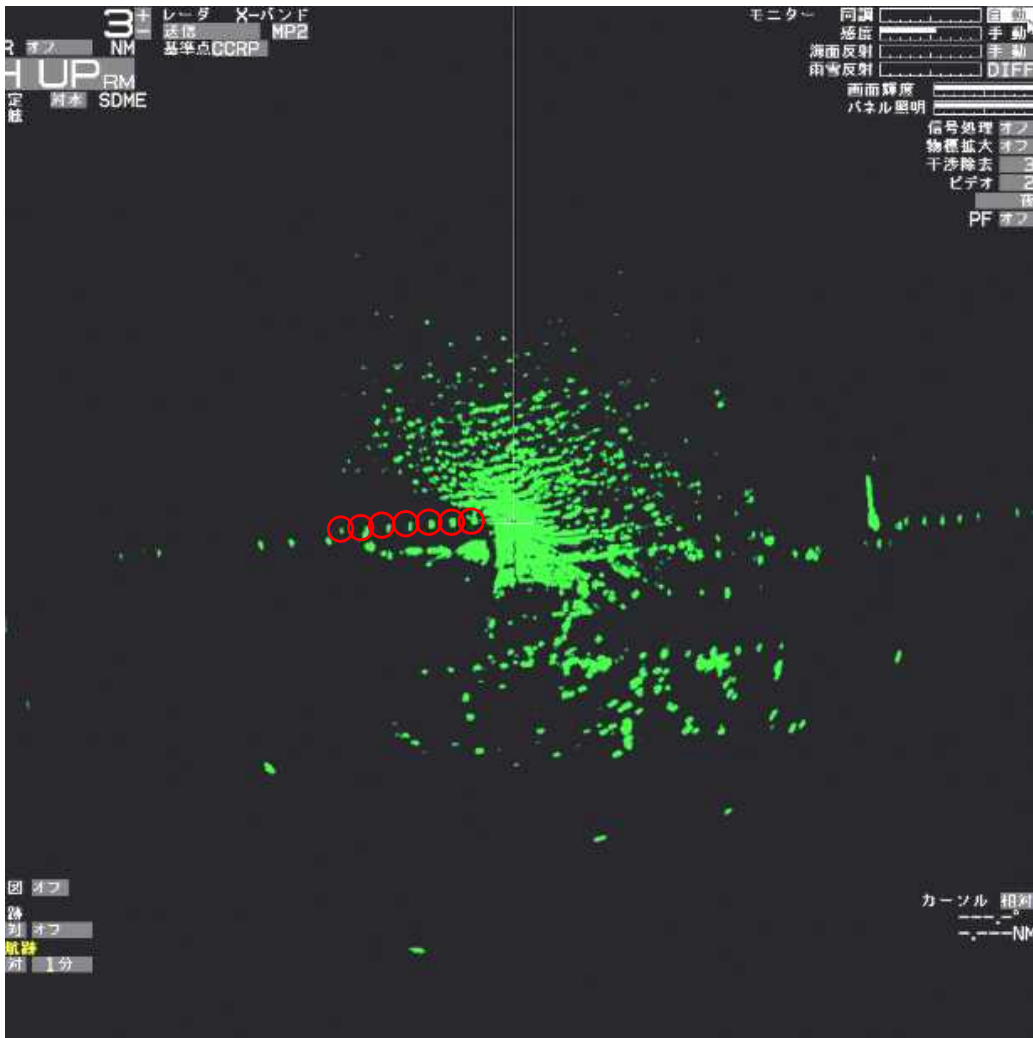
4. 風力発電施設の感度別レーダー映像例(観測地点A)

■感度-60~-70dBmの場合、7基の風力発電施設すべてが映っている。

■感度-60dBm以上の映像



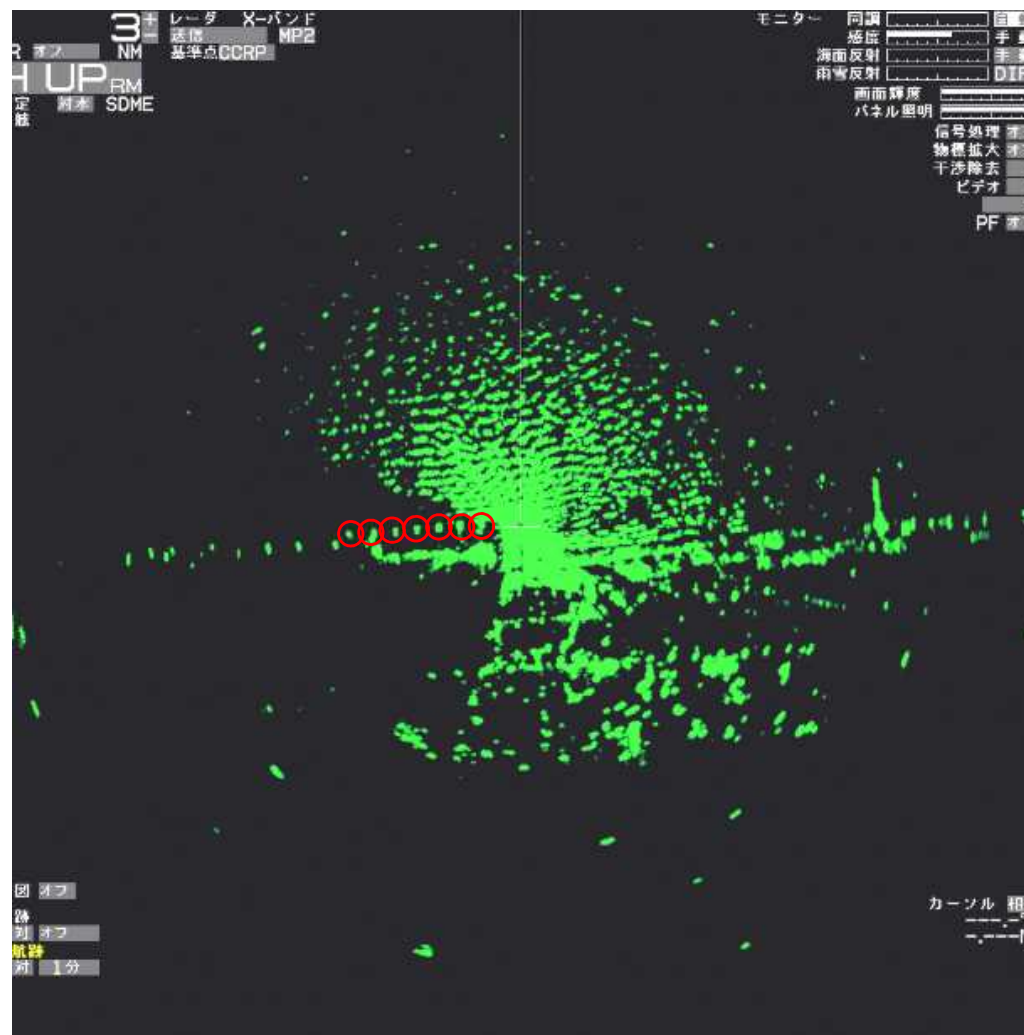
■感度-65dBm以上の映像



4. 風力発電施設の感度別レーダー映像例(観測地点A)

■ 感度-60~-70dBmの場合、7基の風力発電施設すべてが映っている。

■ 感度-70dBm以上の映像

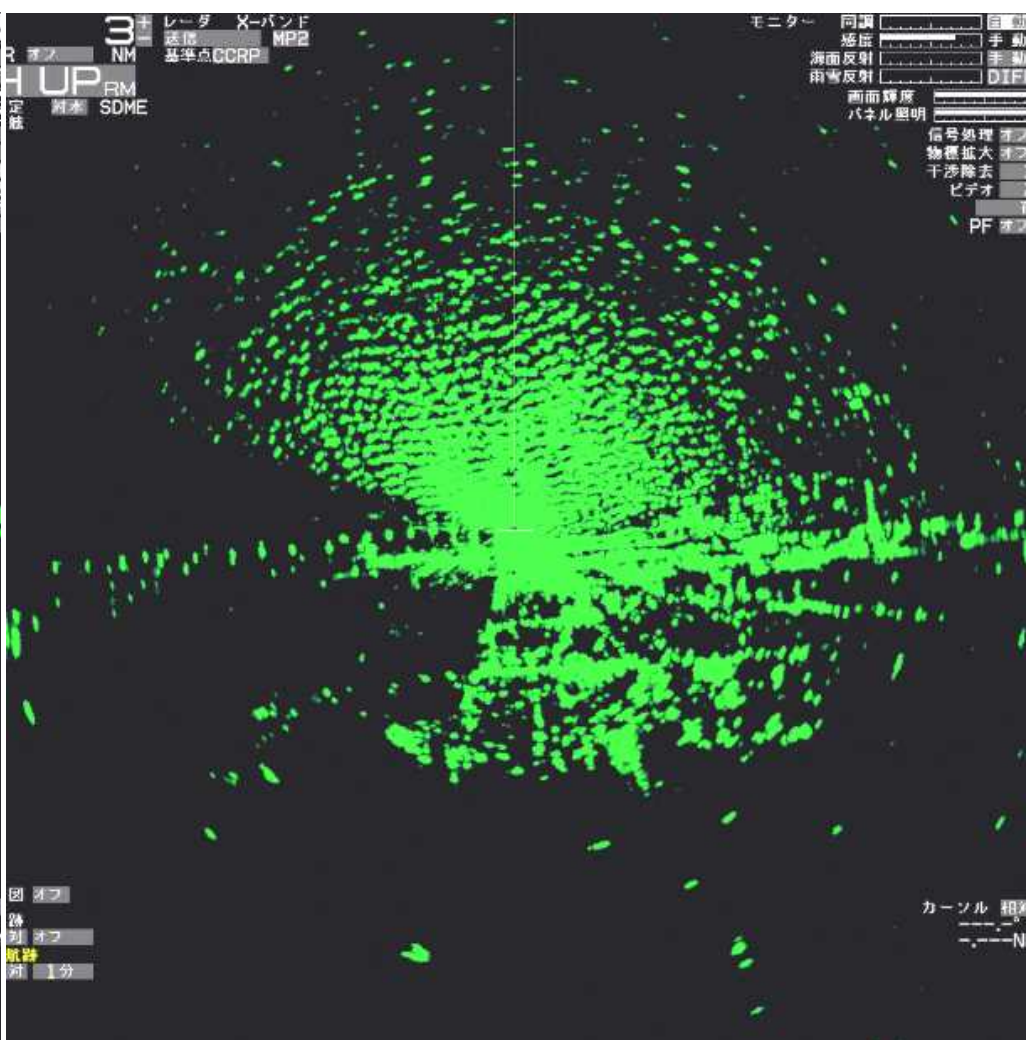
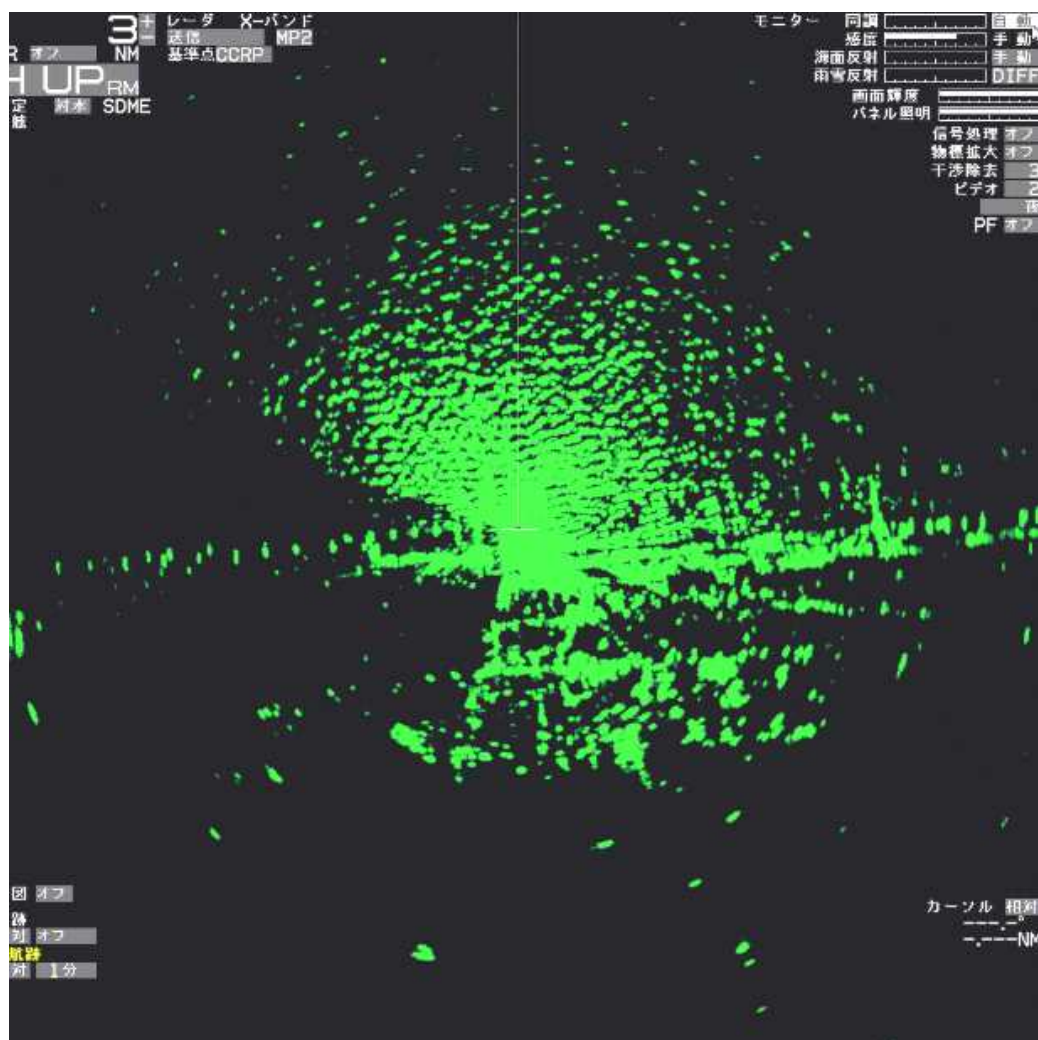


4. 風力発電施設の感度別レーダー映像例(観測地点A)

■ 感度-75~-85dBmの場合(感度を上げている場合)、海面や陸上からの反射が大きく、近距離に位置する風力発電施設は判別できない。

■ 感度-75dBm以上の映像

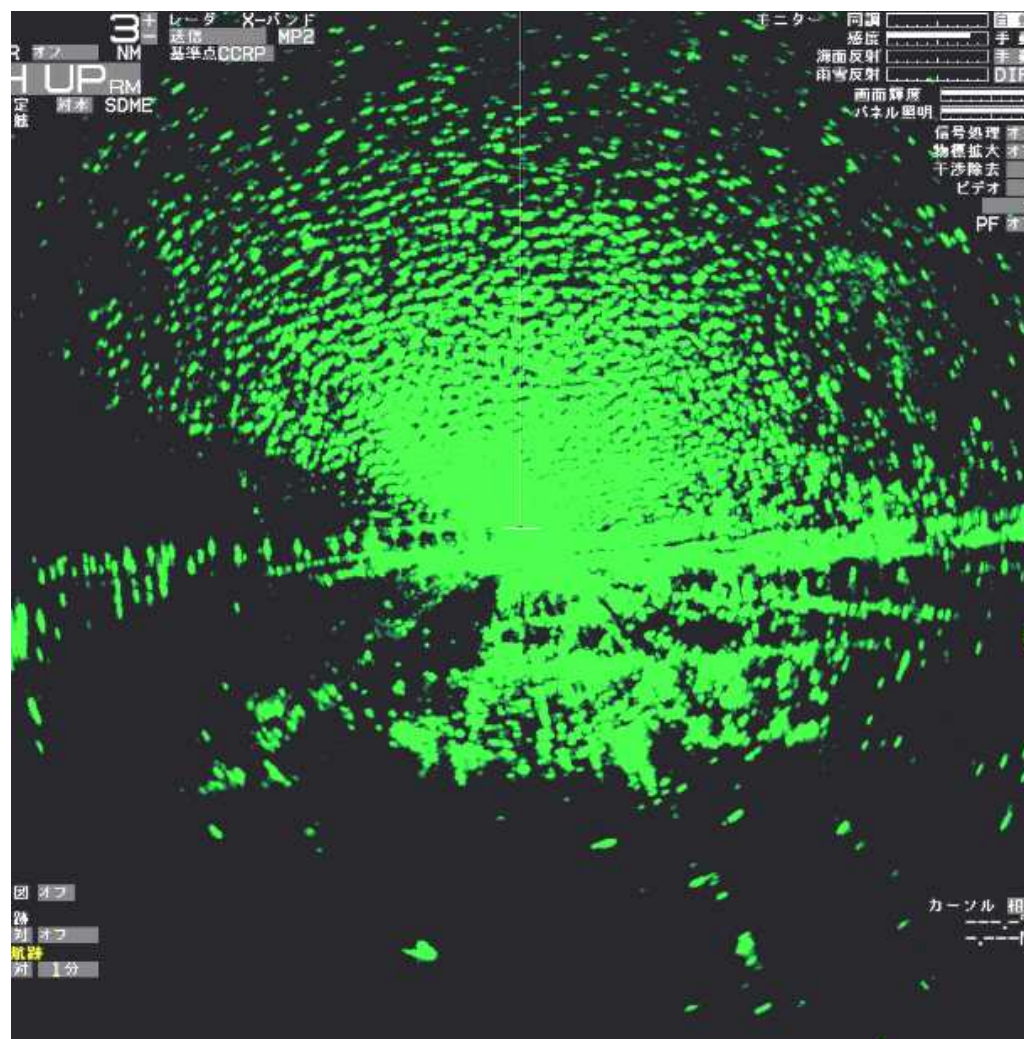
■ 感度-80dBm以上の映像



4. 風力発電施設の感度別レーダー映像例(観測地点A)

■ 感度-75~-85dBmの場合(感度を上げている場合)、海面や陸上からの反射が大きく、近距離に位置する風力発電施設は判別できない。

■ 感度-85dBm以上の映像



5. 風力発電施設のレーダー反射断面積の推定

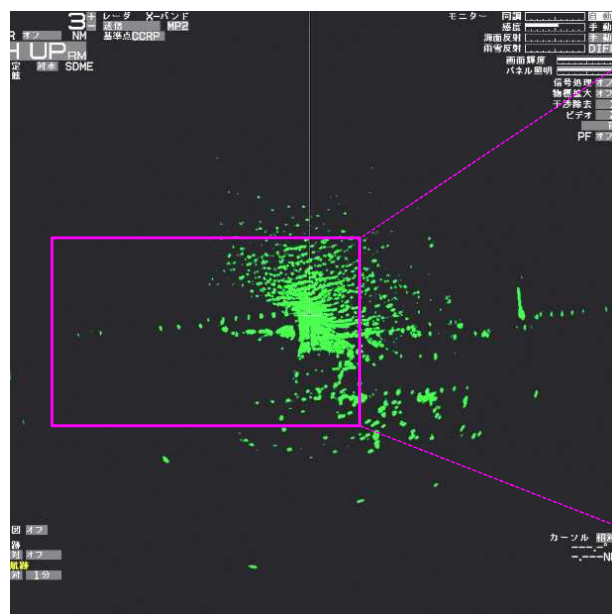
■観測データからの反射断面積の算出

◎反射断面積 σ [m²] の算出式は、 $\sigma = 4\pi \cdot Sr / So$
 ここに、So: 物標に入射する電波の単位面積当たりの電力[W/m²]
 Sr : 物標からレーダーに向かって反射される単位立体角当たりの電力[W]

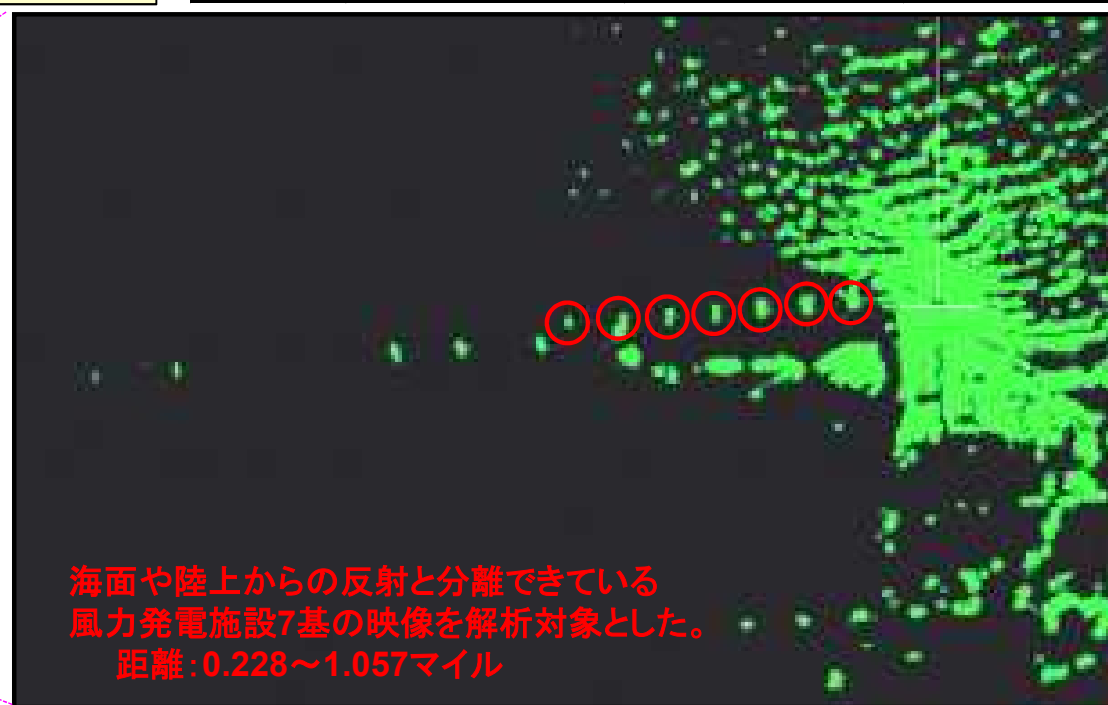
施設7基の観測データを用いて解析した結果
 → 反射断面積11.1m²~128.6m²とばらついたが
 全体の平均=62.3m²、中央3点の平均=60.8m²

風力発電施設の反射強度と反射断面積の解析結果

設備No.	距離[NM]	反射強度[dBm]	反射断面積[m ²]
1	0.228	-36.7	11.1
2	0.361	-37.4	59.2
3	0.501	-42.9	61.8
4	0.629	-50.4	27.3
5	0.775	-49.0	86.9
6	0.890	-49.7	128.6
7	1.057	-55.9	61.5



拡大



海面や陸上からの反射と分離できている
 風力発電施設7基の映像を解析対象とした。
 距離: 0.228~1.057マイル

5. 風力発電施設のレーダー反射断面積の推定

■レーダー反射断面積の理論値の算出

風力発電施設の条件設定

- ◎羽根: FRP製であり、ほとんどレーダー電波を反射しないものと仮定する。
- ◎ナセル: 観測時はいずれのナセルも60°程度の角度をもっていたことから、ほとんどレーダー電波を反射していないものとする。
- ◎タワー: 全体形状として円錐台状であり、その壁面は、レーダーから見た場合、鉛直よりわずかに後方に傾斜がある。

理論値の算出において、タワーをモデル化

- ◎レーダー電波の波長を考慮した円柱の積み重ね(波長 $\lambda = 3.2 \times 10^{-2}$ [m], (3.2cm))
- ◎円柱への電波の入射角を考慮する。
- ◎高さ10m以上の部分を対象とする(10m以下は電波吸収材でカット)。

- ◎入射角度がある場合の円柱の反射断面積 σ の算出式は、

$$\sigma = r \lambda / (2 \pi \theta^2)$$

ここに、 r : 円柱の半径[m]、 λ : レーダー電波の波長[m]

θ : 円柱の法線に対するレーダー電波の入射角度[rad]

ただし、 $\theta \neq 0$

- ◎個々の円柱の反射断面積を求め、タワー全体の反射断面積を得る。

以上より、推定される反射断面積 = 68m²

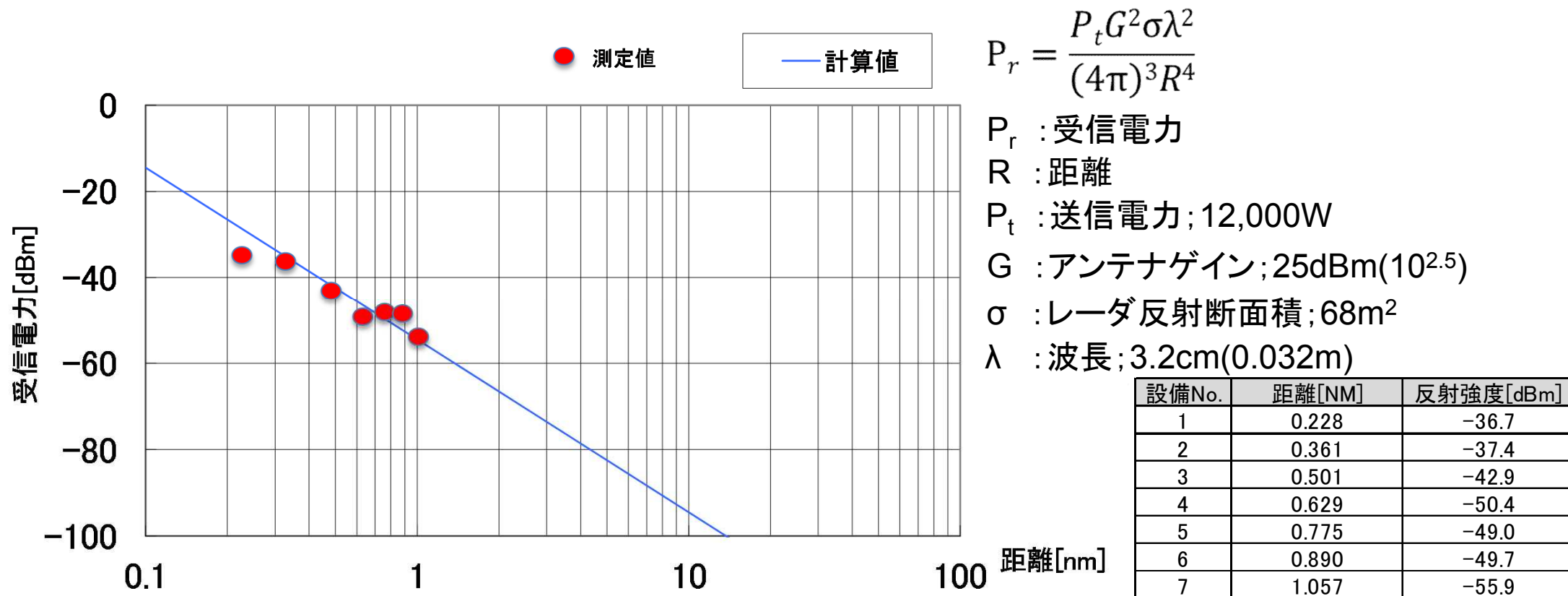


5. 風力発電施設のレーダー反射断面積の推定

■レーダー反射断面積の観測値と理論値の比較

反射断面積の確認

◎観測データ(実際の受信電力)と、反射断面積の理論値を用いて推定した受信電力を、比較したところ、下図に示すとおり、観測値と理論値は概ね一致していると考えられる。



☆観測条件に即してタワーのみを対象とした解析を実施したが、状況によりナセルからの反射もあり得る。
 (レーダアンテナとナセルの高さ関係、電波の入射角度により、ナセルからの反射強度は大きく異なる)

→ 風力発電施設の反射断面積は **概ね100m²程度** と推定される。

6. 風力発電施設のレーダー映像の特徴

- ◎ 感度別のレーダー映像を整理したところ、通常の調整状態である感度 $-60\sim-70\text{dBm}$ の場合、ごく近距離の1基を除き、距離 $0.2\sim 1$ マイルの7基の風力発電施設が適切に映っていることが確認できた。
- ◎ レーダ反射断面積を推定したところ、風力発電施設の反射断面積は概ね 100m^2 程度であると考えられる。既存資料に照らすと、小型貨物船程度(総トン数 $500\sim 1,000$ トン程度)の反射断面積と言える。



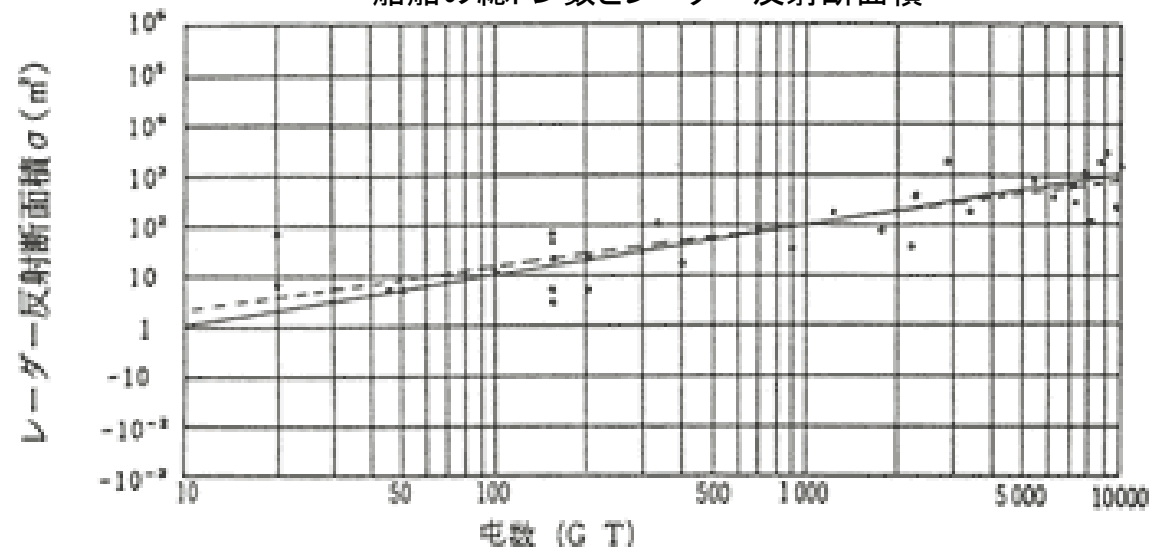
単体の風力発電施設は、小型貨物船程度の反射断面積を有し、通常の調整状態のレーダで十分探知することが可能と言える。また、一次反射体としてレーダ偽像を頻繁に引き起こすような、強い反射特性を示すものではないと考えられる。

船の種類と反射断面積 ($\lambda=3\text{cm}$)

船の種類	σ (m^2)
油槽船	2,200
小型貨物船	140
中型貨物船	7,000
大型貨物船	15,000
小型潜水艦 (海上の場合)	140
船長12mの巡視船	7

出典「電波航法」(成山堂)

船舶の総トン数とレーダー反射断面積



出典「レーダの理論と実際」(海文堂) 15

レーザー映像影響調査の試行

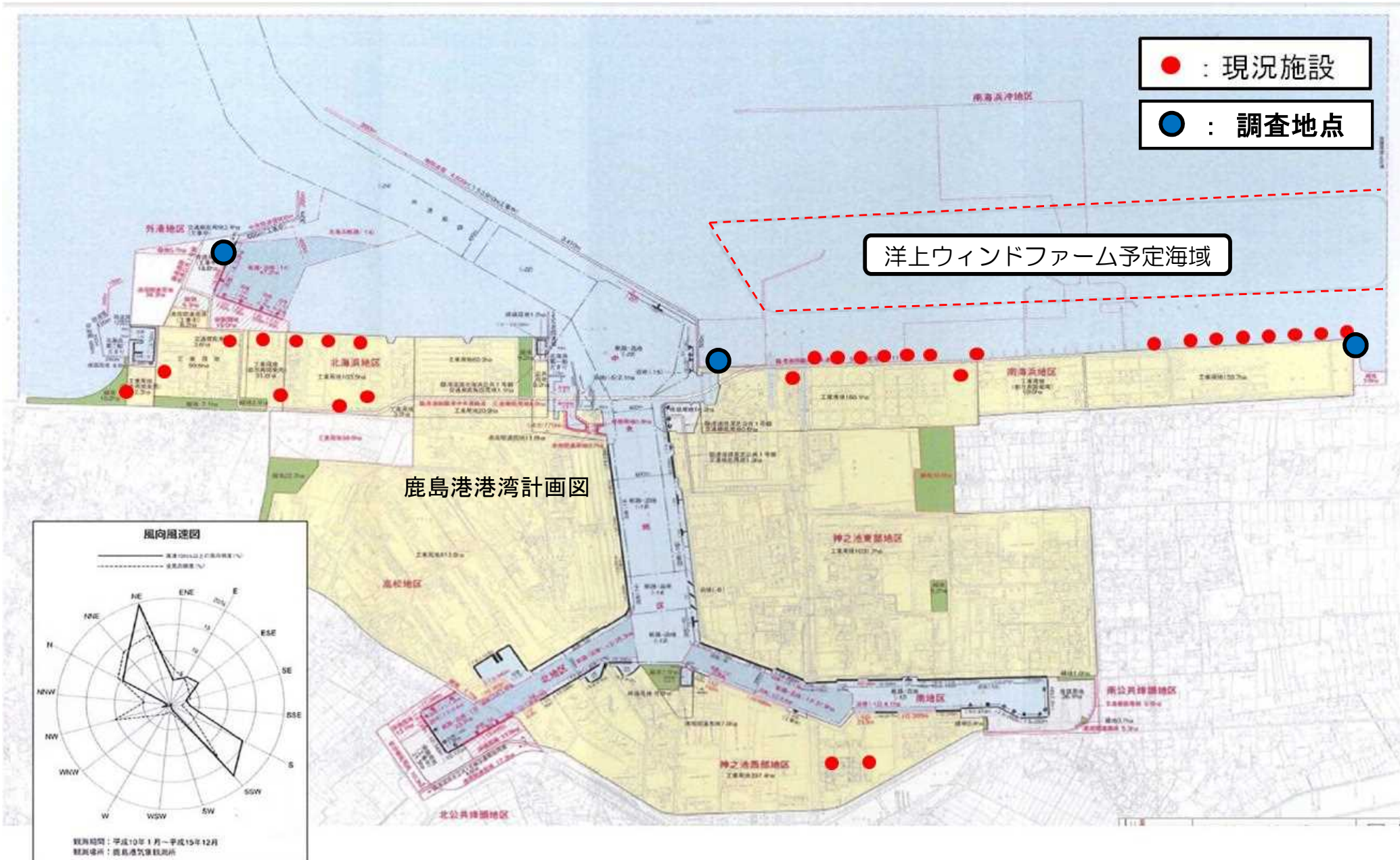
1. レーダー映像調査の目的、調査方法

- 海外の事例では、林立する風車によってレーダー電波が反射され、実際に存在しない像が映像として出現したり(偽像の発生)、映像の一部が消失する現象が起きることが確認されている。
- このようなレーダー映像への影響を調査するため、既存の風力発電施設近辺において、陸上から、レーダー映像を試行的に観測する。



Xバンド航海用レーダー 諸元	
周波数	9,410MHz
アンテナ長さ	6フィート
ビーム幅	水平1.2° / 垂直25°
送信出力	12 kW

2. レーダー映像調査地点



2. レーダー映像調査地点



3. 風力発電設備のレーダー映像(観測地点A)

(1) 観測地点A : 南海浜地区臨港道路沿いの土手の上

【特徴】小高い丘の上から海岸線に並ぶ風車群を3方向に観測できる。

- <神栖風力発電施設> 南方の概ね1.2~2.1kmに5基の風車群
- <波埼ウインドファーム> 南方4.5km付近に12基の風車群
- <ウインドパワーかみす> 北方に、0.2kmから約0.25kmおきに7基設置

<観測地点Aから北方向を望む>

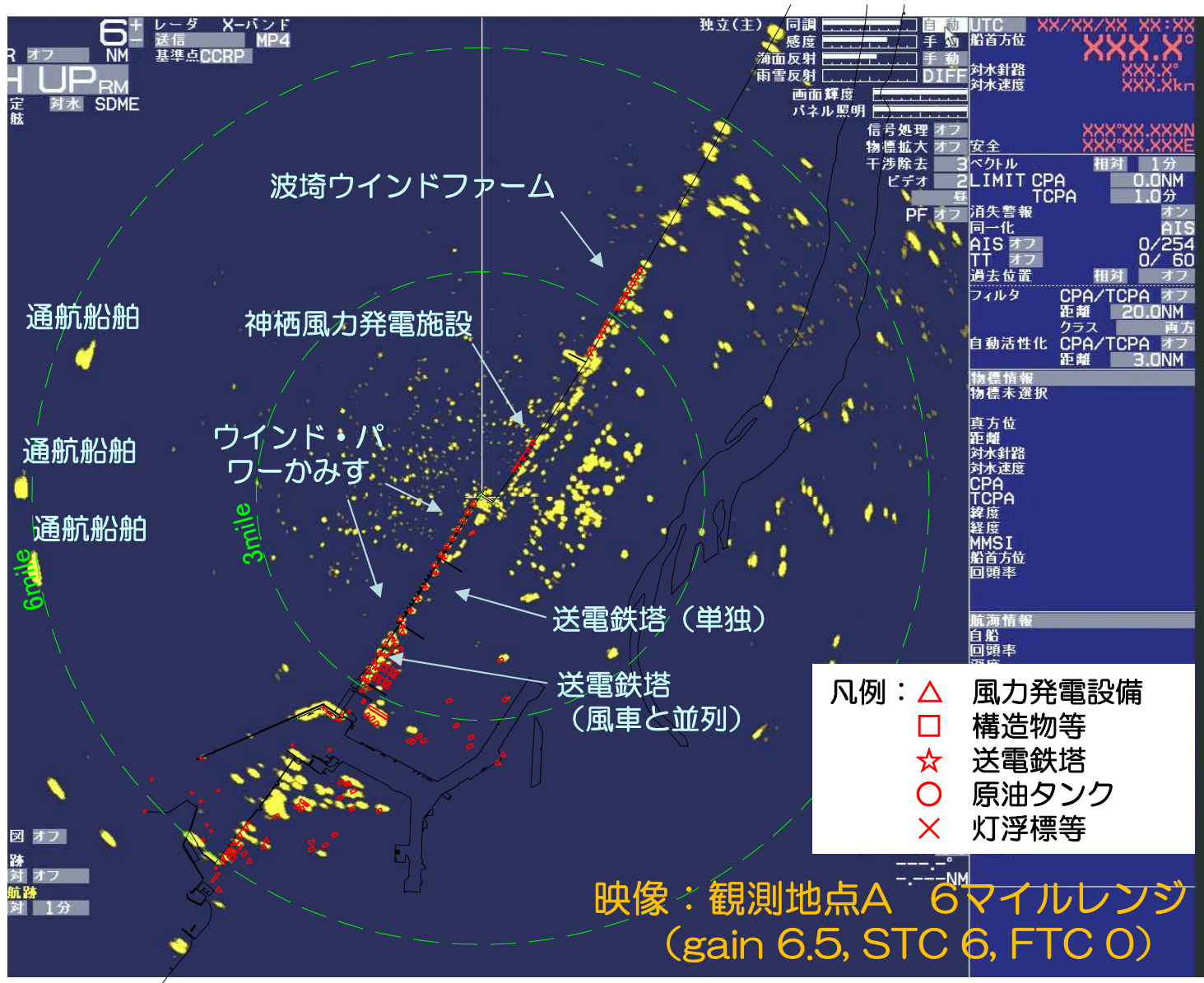


<観測地点Aから南方向を望む>



3. 風力発電設備のレーダー映像(観測地点A)

■ 風力発電施設は、独立した映像として把握でき、レーダー偽像は生じなかった。



3. 風力発電設備のレーダー映像(観測地点B)

(2) 観測地点B : 南防波堤基部

【特徴】複数の風車が一直線上に並ぶ状態を観測できる。

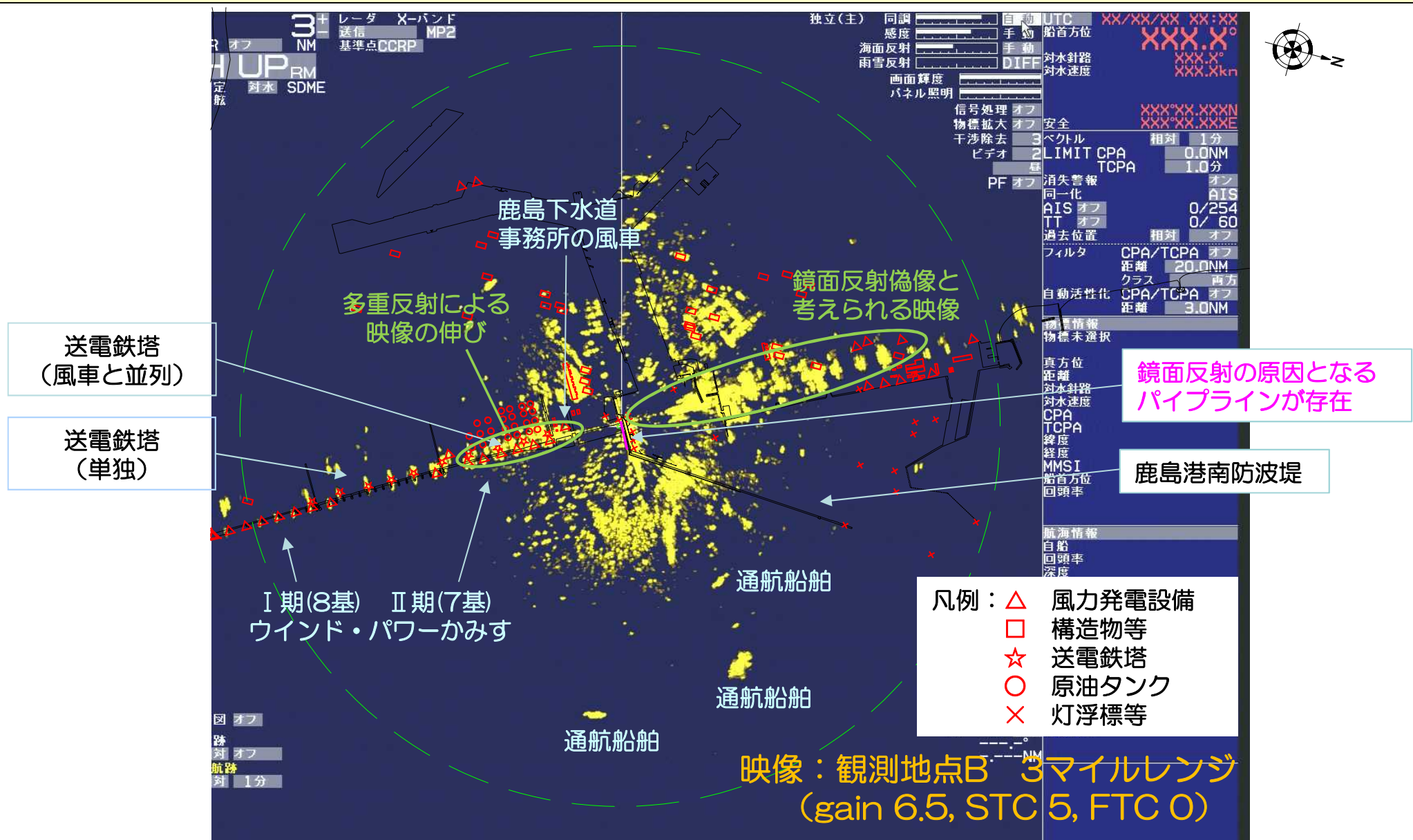
＜ウインドパワーかみす＞ 防波堤外側に8基が設置され、観測地点から最も近い風車まで約1.0km

＜鹿島下水道事務所＞ 防波堤内側に1基



3. 風力発電設備のレーダー映像(観測地点B)

■周囲の構造物(パイプラインや防波堤)の存在が強反射体となった風力発電設備の偽像(鏡面反射偽造)、及び、風力発電設備間や隣接する送電鉄塔との間で生じた多重反射による映像の伸び(多重反射)が確認された。



3. 風力発電設備のレーダー映像(観測地点C)

(3) 観測地点C : 外港地区岸壁

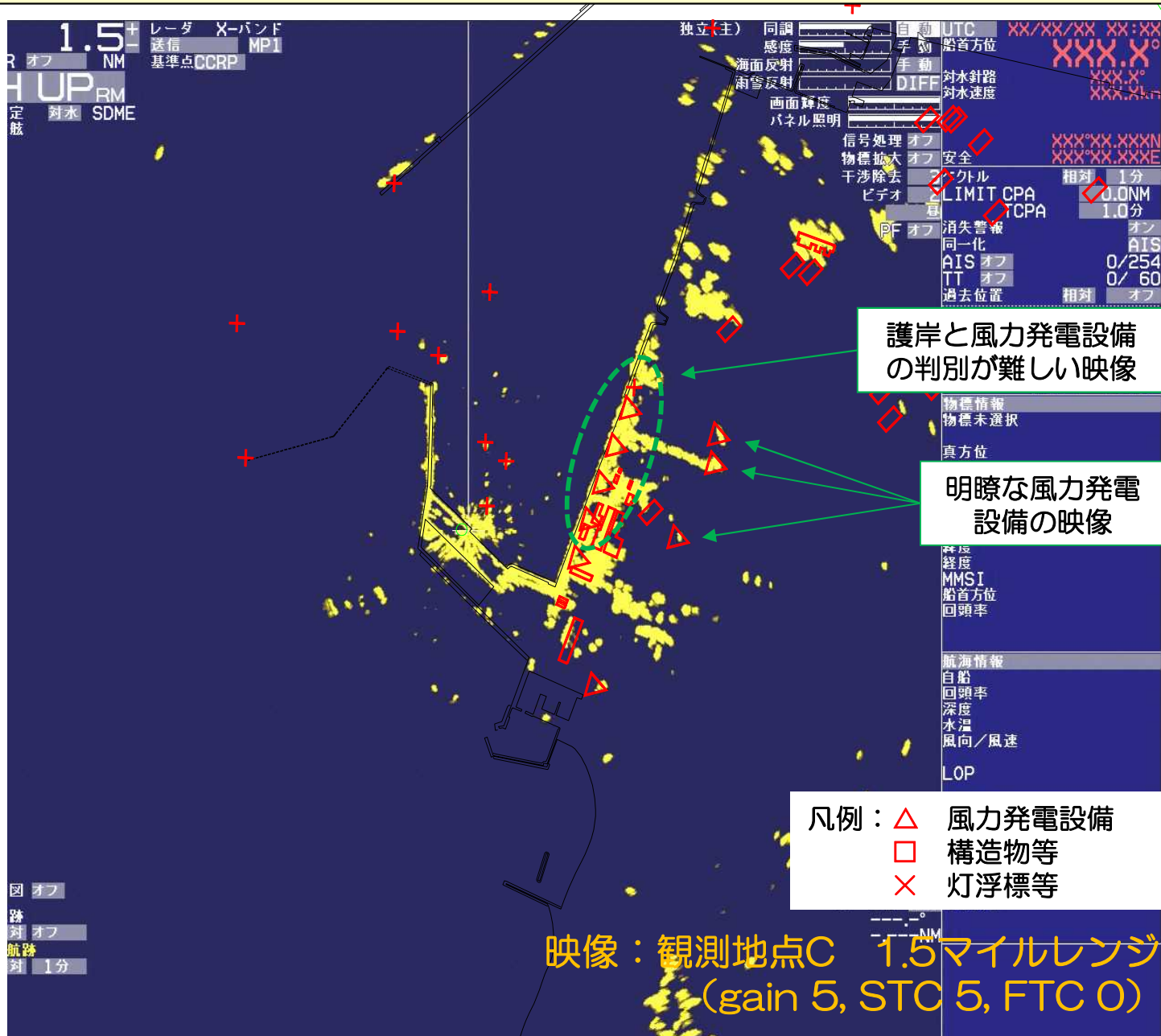
【特徴】海上を挟んで陸上に設置された風車を観測でき、風車が陸上方向に2列となった状態を観測できる。

・対岸の護岸沿いの風車まで、直線距離で約0.72~1.25km



3. 風力発電設備のレーダー映像(観測地点C)

■護岸沿いに設置されている風力発電設備は、護岸の映像に埋もれる傾向があることが確認された。



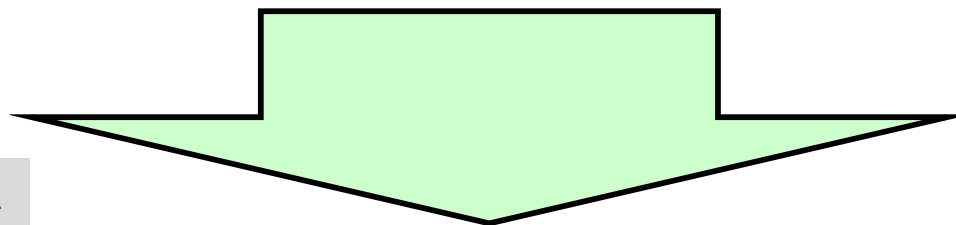
4. レーダー映像調査の実施結果

■レーダー映像調査の結果

○海岸に並ぶ風力発電設備は独立した映像として把握可能であったが、次の場合は、偽像等のレーダー映像への影響が生じることが分かった。

- ・ 周囲に強反射体となる構造物(パイプライン)が存在する場合(鏡面反射偽像)
- ・ 送電鉄塔に隣接して風車が設置している場合(多重反射)

○さらに、護岸沿いに設置された風力発電設備は、護岸の反射映像に埋もれてしまう傾向にあった。



■レーダー偽像等への対応

○自船周囲の構造物が強反射体である場合、鏡面反射偽像の発生が予想される。

○港湾付近においての強反射体としては、防波堤、他船、大きな建造物等が想定される。

○これらの強反射体の近傍に風車を設置する場合には、レーダー偽像等の影響発生に配慮する必要がある。

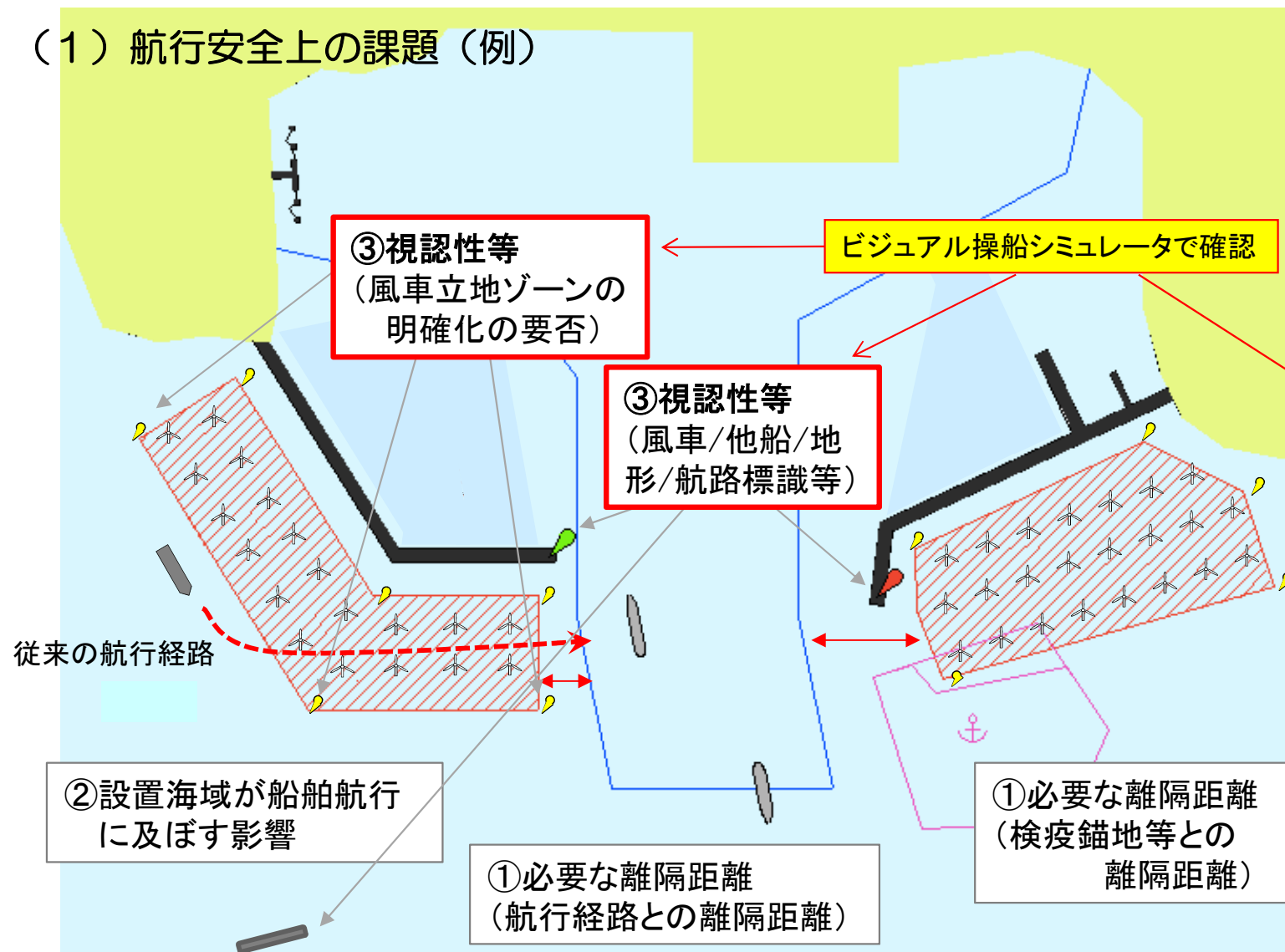
視覚影響調査の試行

1. 視覚影響調査の目的、調査方法
2. シミュレーションの条件設定及び操船シナリオ
3. シミュレーションの実施状況
4. シミュレーションの実施結果

1. 視覚影響調査の目的、調査方法

- 港湾に洋上風力発電施設を導入するにあたっては、港湾の本来機能に与える影響として、特に航行安全に与える影響を洗い出し、当該影響の回避・低減方策を検討する必要がある。
- このため、ビジュアル操船シミュレータで特定の港湾(鹿島港)の景観を再現し、航行船舶からの施設の視認性や他船、地形、航路標識の視認性に与える影響を試行的に評価する。

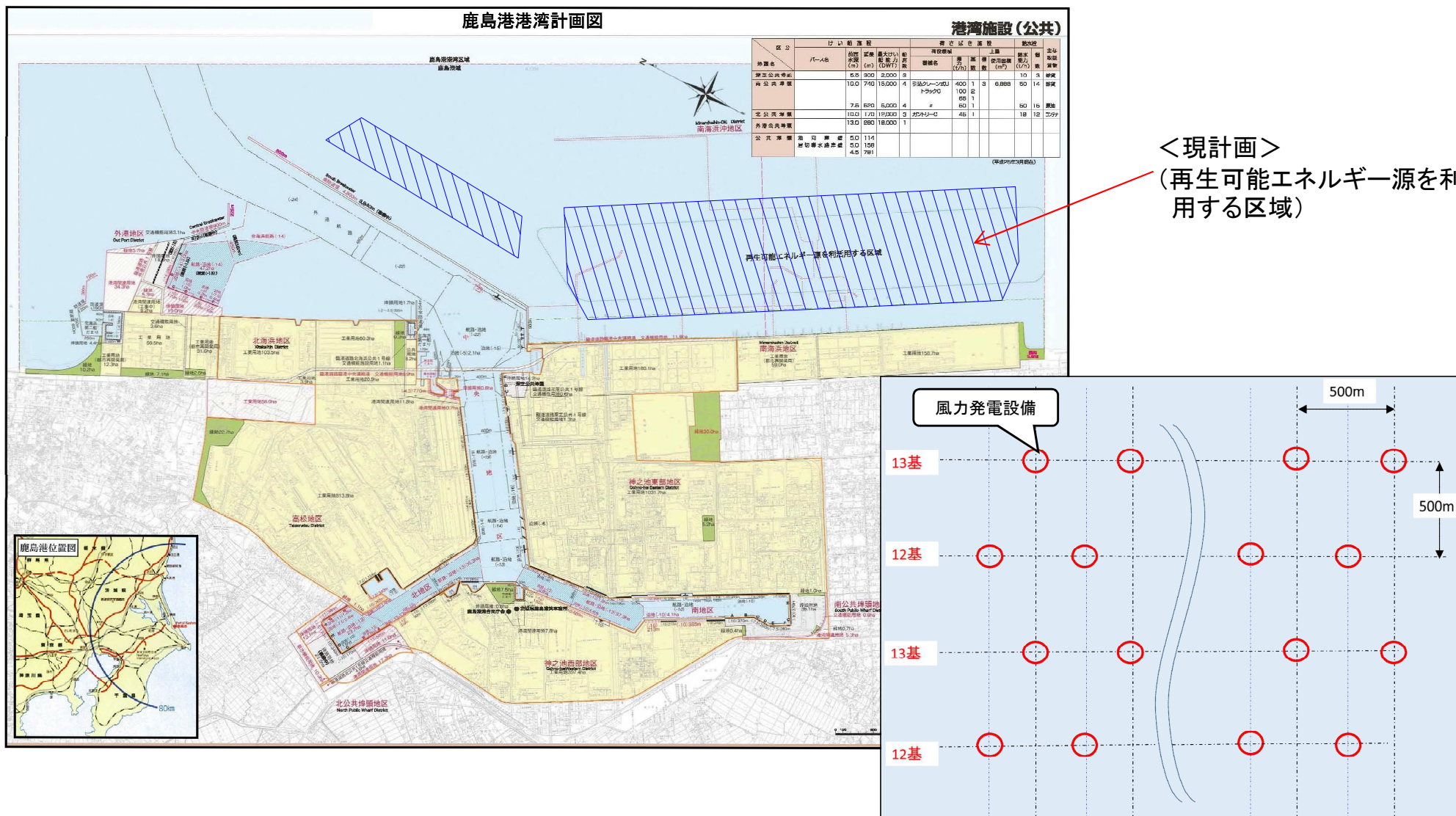
(1) 航行安全上の課題(例)



- ①必要な離隔距離
 - ・風車が船舶航行や錨泊状況に及ぼす影響
 - ・航行経路や検疫錨地等から、どの程度離隔距離が必要か。
- ②設置海域が船舶航行に及ぼす影響
 - ・林立する風車間を航行する場合等における影響等。
- ③視認性等
 - ・施設によるレーダー映像の偽像等、船舶用レーダー映像への影響
 - ・風車/他船/地形/航路標識等の視認性。
 - ・風車が立地する領域の隅角部に標識等を設置する必要性の有無。
- ④その他
 - ・無線施設等への影響
 - ・工事中の安全対策
 - ・想定されるリスクとその対応

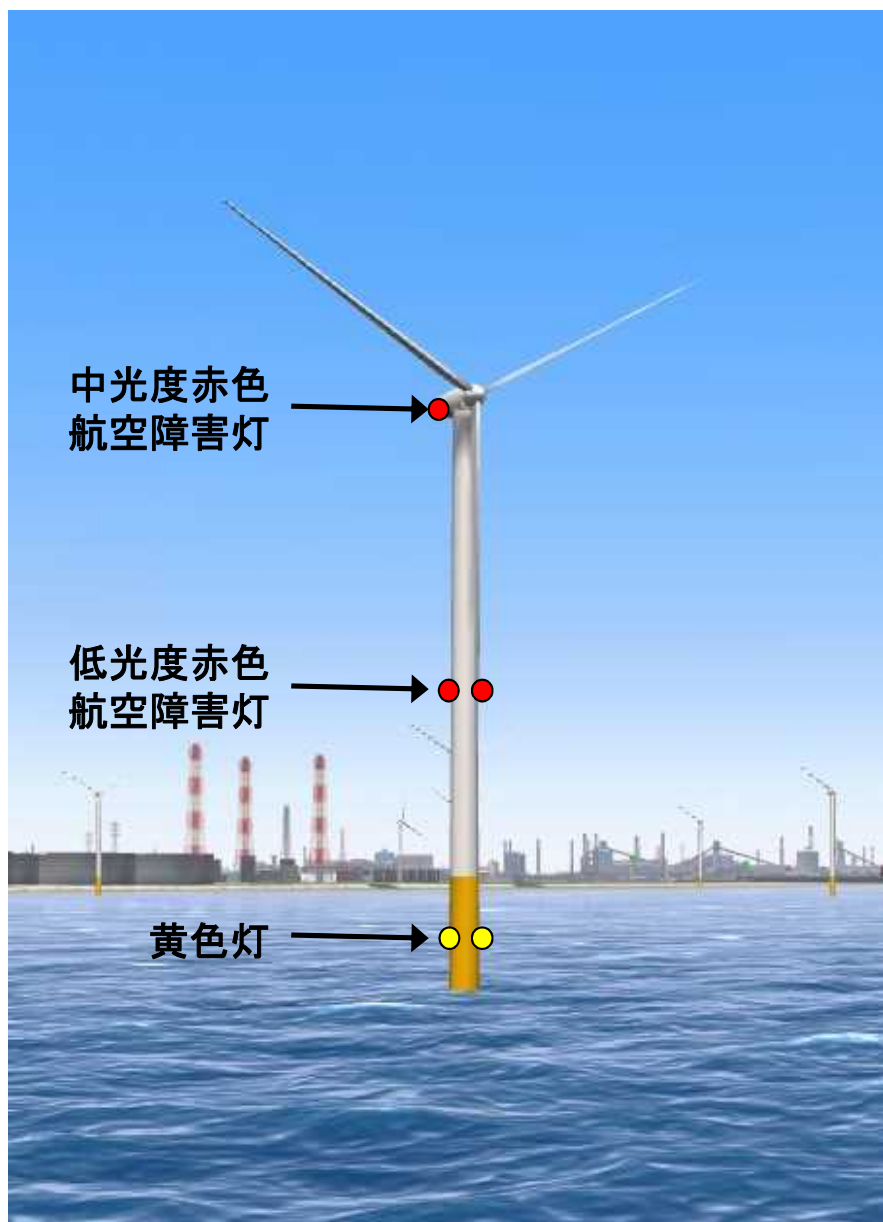
2. シミュレーションの条件設定 ①風力発電施設の設置位置

- シミュレーションは、現在風力発電施設配置の検討が進められている鹿島港湾をモデルとし、視認性評価をしやすいように、計画位置から防波堤の外側まで風車立地想定範囲を拡大させた。
- 風車の設置間隔は、現在の鹿島港における風車計画から試算し、500m間隔で配置した。



2. シミュレーションの条件設定 ② 風力発電設備

- 風力発電施設の諸元は、一般的な2MWとした。
- 塗色や灯火は、航路標識許可基準(航路標識法)及びIALA勧告に準拠した。



風力発電の諸元

上部	2MW アップウィンド式	
下部	着床式	
水面上高さ	約80m(ナセル高さ)	
ブレード	約40m	
柱直径	最大4m	
赤色灯	中光度赤色航空障害灯	全発電施設に設置 全周から視認可能な明滅光 (40回/分)
赤色灯	低光度赤色航空障害灯	全発電施設に設置 設置高さ: 支柱中間部(40m) 全周から視認可能な不動光
黄色灯	端部の発電施設に設置 設置高さ: 海面から6m 全周から視認可能な点滅光	
塗色	水面上15mを黄色に塗色	

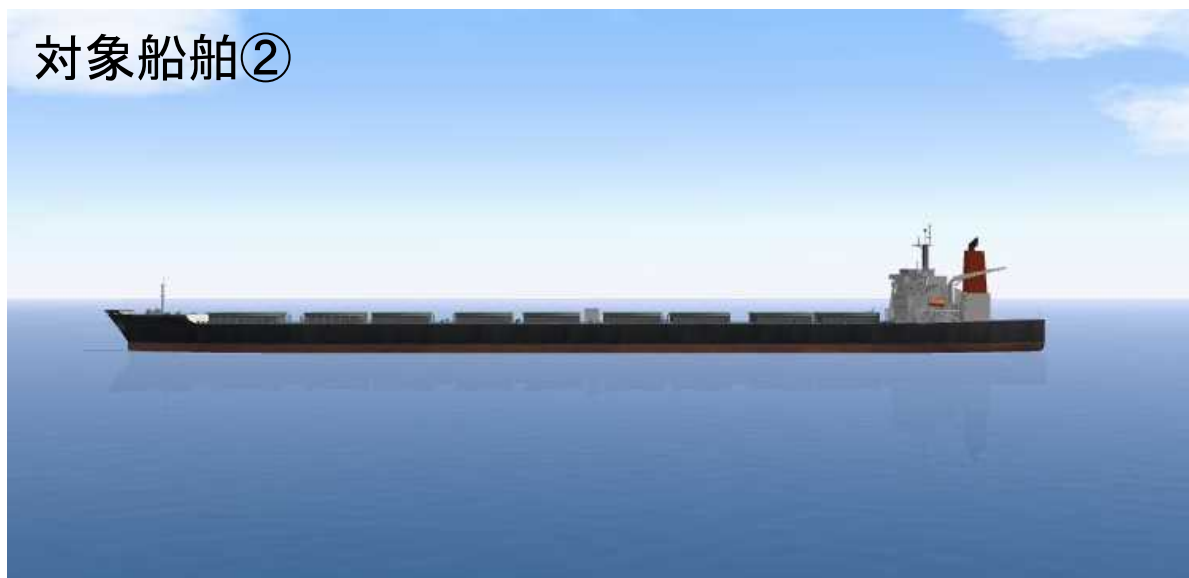
2. シミュレーションの条件設定 ③対象船舶

■ 対象船舶は、一定数の航行があると考えられる船種・船型として、499GTの貨物船、16万GTの鉱石専用船の二船を設定した。

対象船舶①

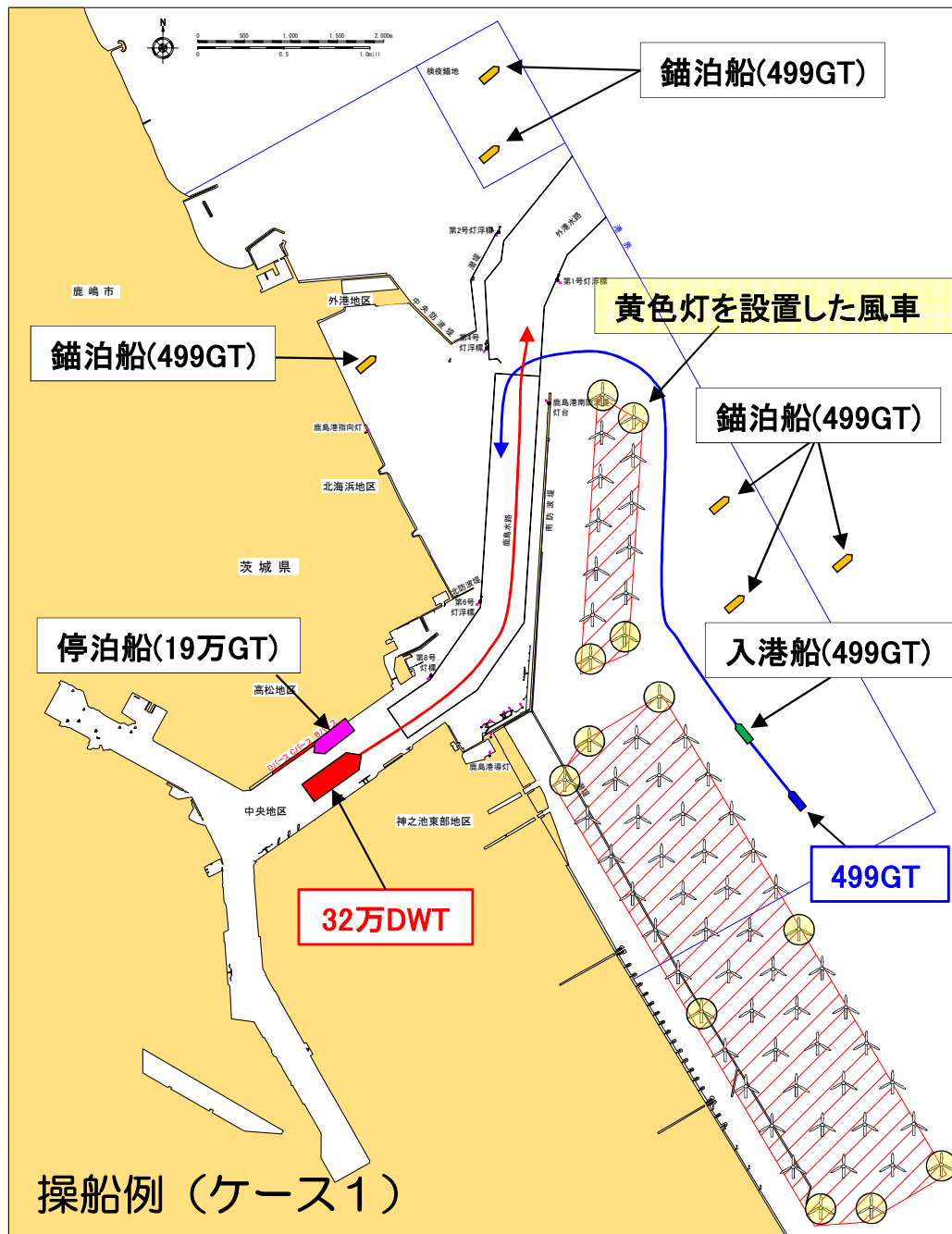


対象船舶②



	対象船舶①	対象船舶②
船種	貨物船	鉱石専用船
総トン数	499GT	16万GT (32万DWT)
全長	65.7m	340.0m
船幅	10.6m	60.0m
喫水	3.7m	18.0m
眼高	10.4m	29.0m

2. シミュレーションの条件設定 ④ 操船シナリオ

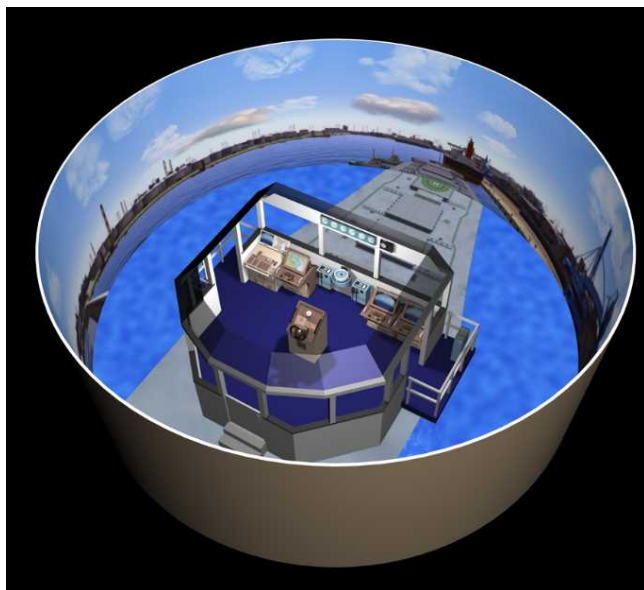


- 以下のケースでシミュレーションした。
 - ① 499t小型船が防波堤南東から北上し、風力発電施設の東側を航過するのに合わせて、32万DWT大型船が港内から出航する。
 - ② 32万DWT大型船が防波堤北東から入港するのに合わせて、小型船舶が港内から出航する。
- 上記の他、視認性の悪い場合(薄明時や濃霧時等)における視認性の確認を行った。
- 操船する対象船舶のほか、自動操船の入港船(499GT) 1隻、錨泊船(499GT) 6隻、新日鐵住金Bバースの停泊船(19万GT) 1隻を配置してシミュレーションを行った。

NO.	入港	出港	時間帯	天候
1	499GT	32万DWT	昼間	晴れ
2	499GT	32万DWT	夜間	晴れ
3	32万DWT	499GT	昼間	晴れ
4	32万DWT	499GT	夜間	晴れ

3. シミュレーションの実施状況

(1) ビジュアルシミュレータ



それぞれの船橋は、操舵装置や航海計器等を実際の船橋と同様に模擬しており、視界再現装置によって船橋から見た景観が表示される。

- 第1船橋：プロジェクター及びスクリーン
（360度視野と下方視界を写す）
- 第2船橋：大型ディスプレイ



第1船橋（32万DWT）



第2船橋（499GT）

3. シミュレーションの実施状況

(2) ビジュアルシミュレーション

日時：平成26年2月27日（木）10:00～12:00

場所：(株)エム・オー・エル・マリンコンサルティング シミュレータ室



第1船橋（32万DWT）の様子



第2船橋（499GT）の様子

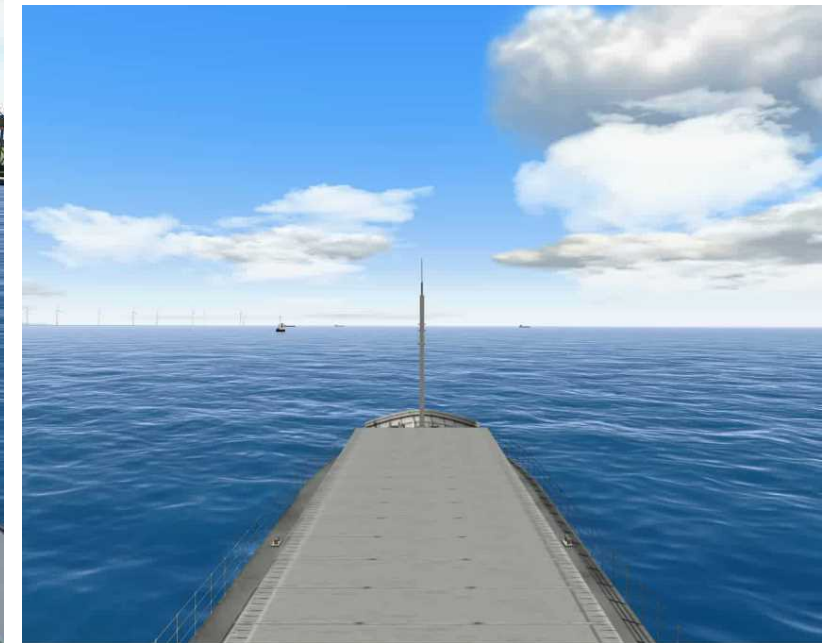
4. シミュレーションの実施結果

(1) 船橋からの映像 (ケース1)



第1 船橋：32万DWT
(眼高 29.0m)

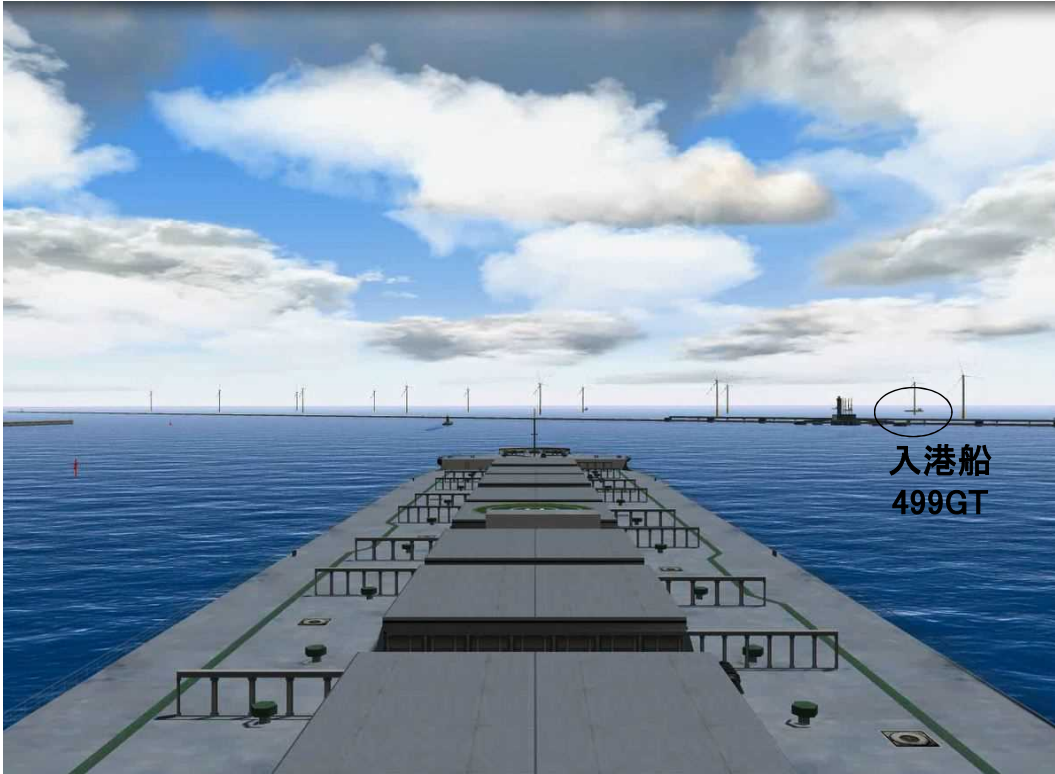
※5倍速で再生しています。



第2船橋：499GT
(眼高 10.4m)

4. シミュレーションの実施結果

(2) 船橋からの画像（第1船橋：32万DWT）



昼間出港時

夜間出港時



4. シミュレーションの実施結果

(3) 船橋からの画像（第1船橋：32万DWT）



錨泊船
499GT

昼間入港時

夜間入港時



錨泊船
499GT

風力発電施設

4. シミュレーションの実施結果

(4) 船橋からの画像 (第2船橋: 499GT)



昼間出港時

夜間出港時



4. シミュレーションの実施結果

(5) 船橋からの画像（第2船橋：499GT）



昼間入港時

夜間入港時



4. シミュレーションの実施結果

(6) 船橋からの画像（薄明時間帯）



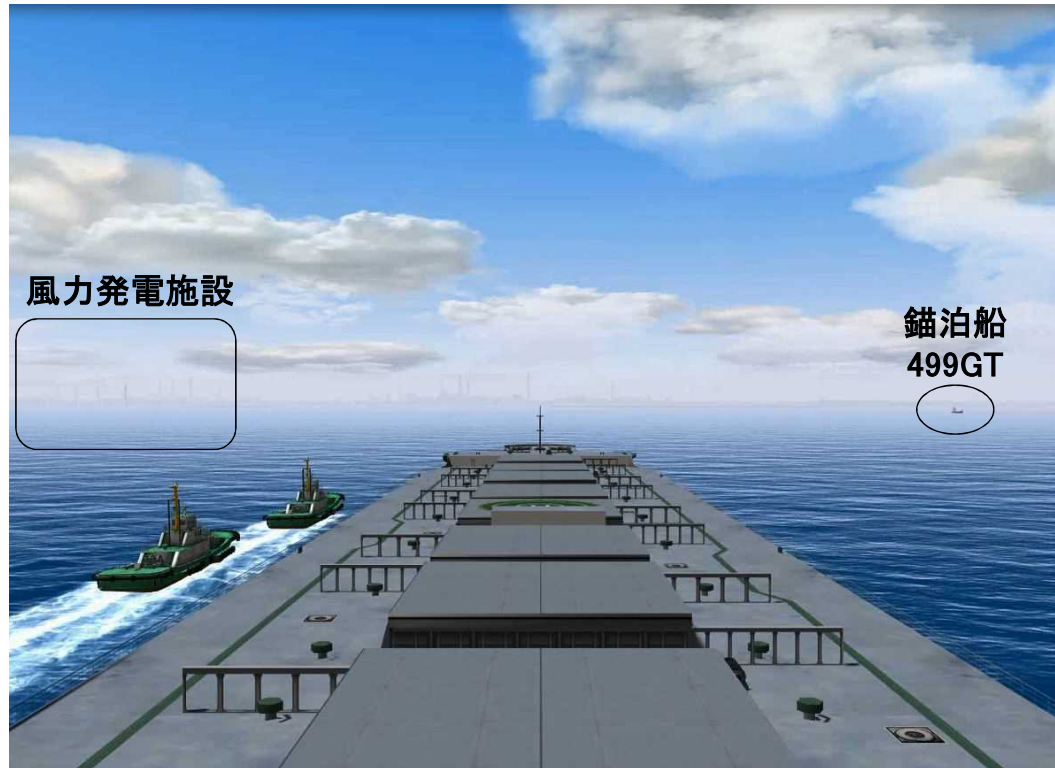
入港時(32万DWT)

出港時(499GT)



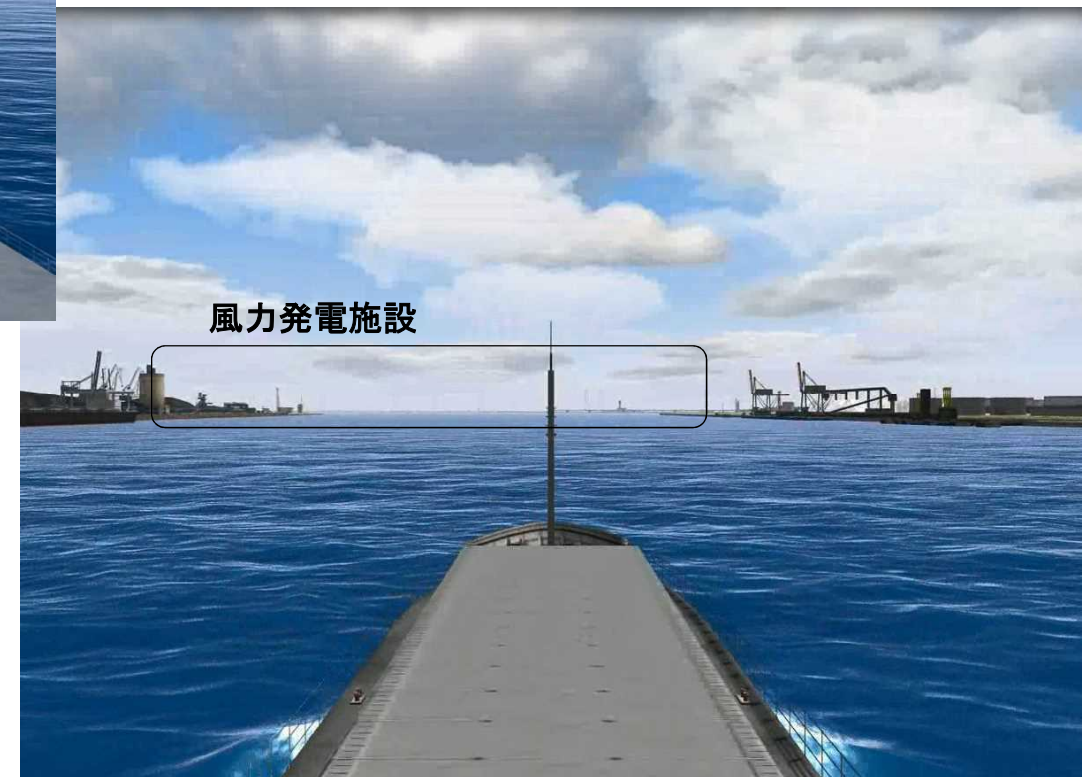
4. シミュレーションの実施結果

(7) 船橋からの画像（視程：4マイル）



入港時(32万DWT)

出港時(499GT)



(7) 船橋からの画像 (拡大)

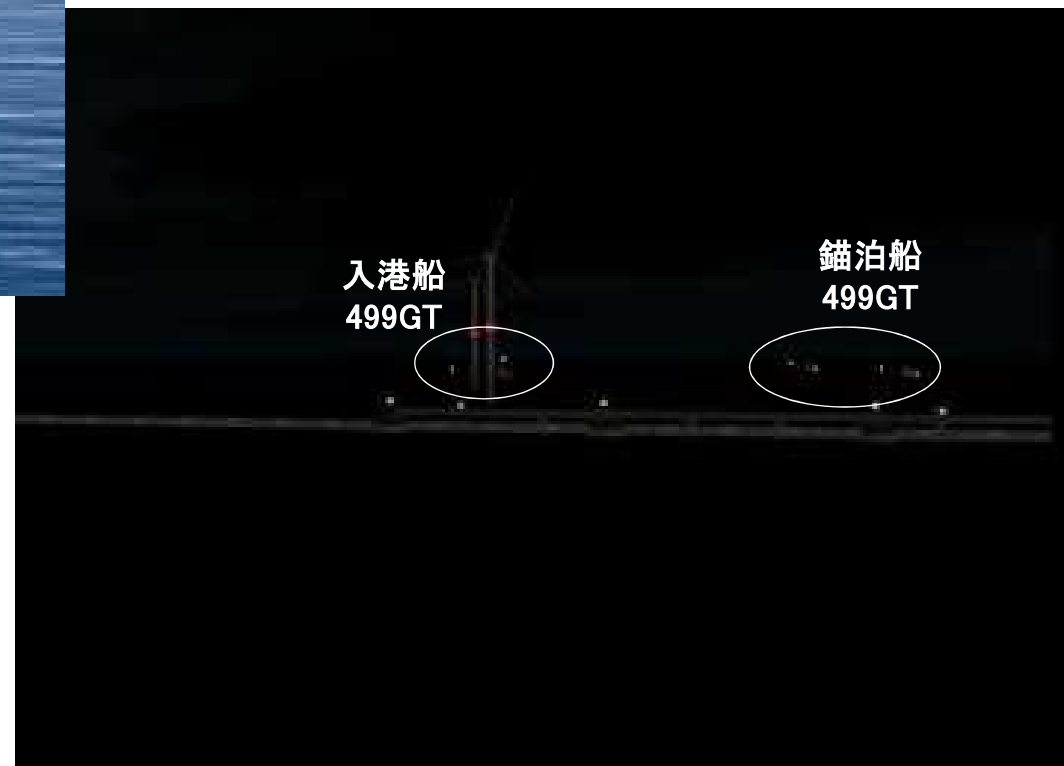


入港船
499GT

錨泊船
499GT

風力発電施設の背後を航行する入港船 (昼間)

風力発電施設の背後を航行する入港船 (夜間)



入港船
499GT

錨泊船
499GT

4. シミュレーションの実施結果

1. 昼夜間とも、風力発電施設が、航路標識や他船の視認性を大きく阻害することはなかった。
2. 逆に、風力発電施設は、遠方からの視認性が高く、船舶操船時の目標物としての役割をはたす可能性も考えられる。
3. 風力発電施設の配置（縦列に重なって見る場合）や施設の大きさ（支柱の太さ）によっては、航路標識や他船の視認性を阻害する可能性が考えられるため、船舶が通航する向きを考慮して施設の配置を検討する必要がある。
4. ウインドファームのエリア標示の是非を検討する必要がある。

4. シミュレーションの実施結果

(参考) アンケート調査の結果 (主な意見)

【昼間操船ケースでの意見】

- 風力発電施設の存在が船舶の操船に与える影響は少ない。
- 風力発電施設の設置間隔が広く、一時的に航路標識が確認できない時があるが、他船や航路標識の視認性に与える影響は少ない。
- 風力発電施設が操船の目標物になり得る。
- 視界制限時に支柱基部の黄色塗装は視認性向上につながる。

【夜間操船ケースでの意見】

- 風力発電施設に多くの灯火が設置されることで、船舶や航路標識の灯火との誤認を懸念したが、船舶の操船に与える影響は少ないと感じた。
- 風力発電施設の灯火は操船の目標物になり得る。
- 海面から6mに設置した黄色灯は小型船からの視認に有効である。
- 距離が離れると風力発電施設の灯火は視認しづらい。
- 眼高によっては、風力発電施設の灯火と他船の灯火を誤認する可能性もある。
- 灯火以外の方法で位置 (航路入口付近の風力発電施設のみで可) を確認できる設備が必要。

【その他の意見】

- ウィンドファームの端部を示す工夫があると良い。
- ウィンドファームの間を航行するようなケースでも視認性の確認をした方が良い。
- 風力発電施設を縦列に重なる方向から見たときには、一時的に航路標識や他船が死角になることも考えられる。(施設の配置と航路の方向による。)