

洋上風力発電設備による 海上無線への想定される影響

令和4年(2022年)3月24日

宮寺 好男

技術士(電気電子部門)

 日本無線株式会社

目 次

1. 本資料で検討対象とした海上無線システム	p. 3
2. (大型)洋上風力発電設備の例	p. 4
3. 海上無線通信(無線電話)への影響(単基の場合)	p. 5
4. 海上無線通信(無線電話)への影響(複数経路の電波による干渉)	p. 6
5. 海上無線通信(無線電話)への影響(ウィンドファーム)	p. 7
6. 船舶用レーダーへの影響(遠距離)	p. 8
7. 船舶用レーダーへの影響(近距離)	p. 9
8. 船舶用レーダーへの影響(ウィンドファーム内)	p. 10
9. 船舶用レーダーの分解能(ご参考)	p. 11
10. 船舶用レーダーの死角(ご参考)	p. 12
11. 船舶用レーダーの多重反射による偽像(ご参考)	p. 13
12. 船舶用レーダーのアンテナサイドローブによる偽像(ご参考)	p. 14
13. まとめ(想定される影響)	p. 15
14. おわりに	p. 16

1. 本資料で検討対象とした海上無線システム

➤ 漁船用無線電話

主に日本国内の漁船が使用している無線電話で、27 MHz／40 MHz帯の周波数の電波を使用する。

漁船どうしの通信及び漁業用海岸局と漁船の間の通信に用いられている。



➤ 国際VHF無線電話

全世界共通で使用される、国際VHF帯(156-162 MHz)の周波数の電波を用いる無線電話。

入出港時の連絡や付近を航行する他の船舶との通話などに用いられている(小型漁船ではあまり用いられていない)。



➤ 船舶用レーダー

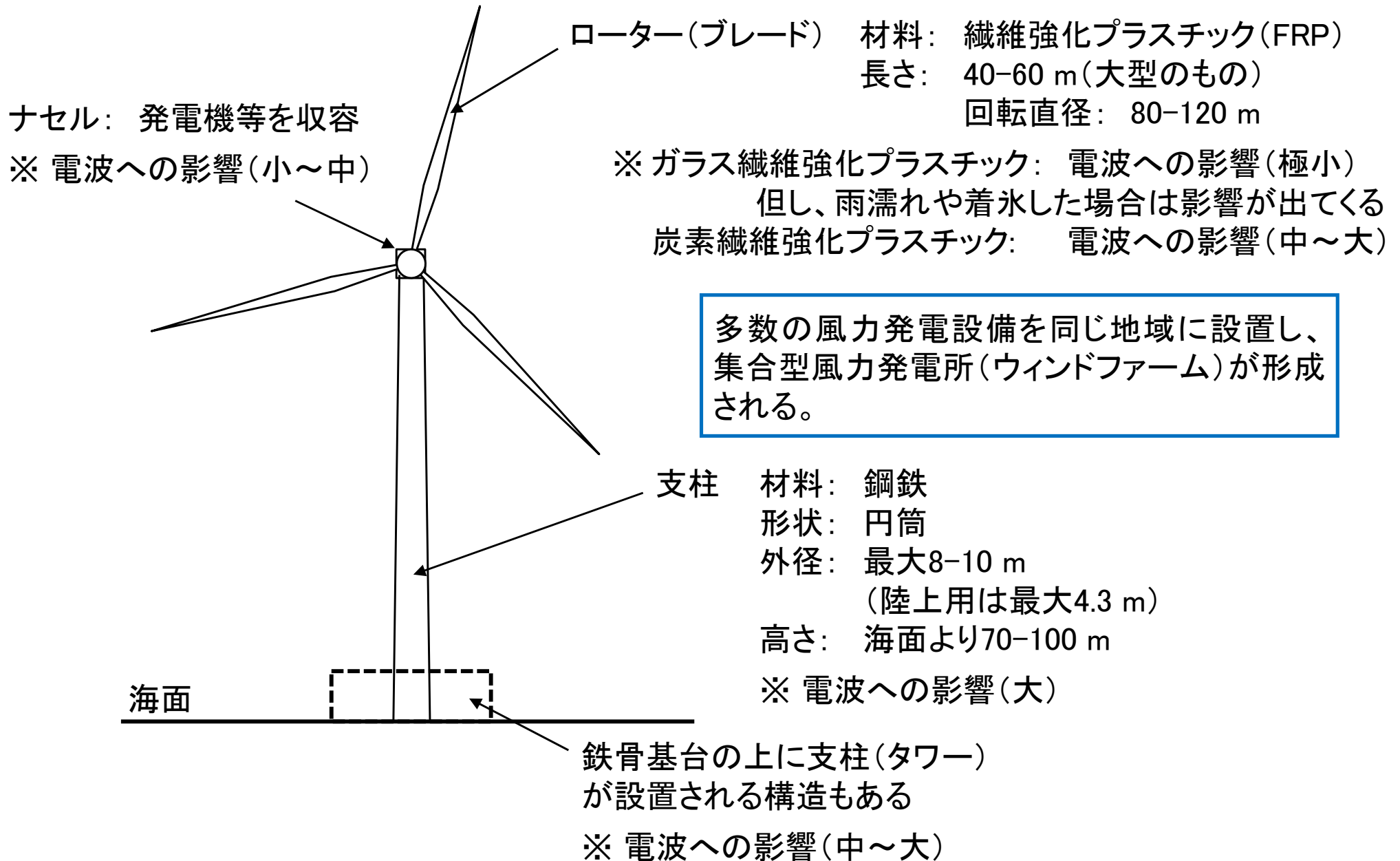
船舶で広く用いられているX帯(9 GHz帯)の周波数の電波を使用したレーダーを検討対象としている。

特に、夜間や視程不良時に物標(障害物、他船等)の位置を表示することにより、衝突防止等に用いられている。

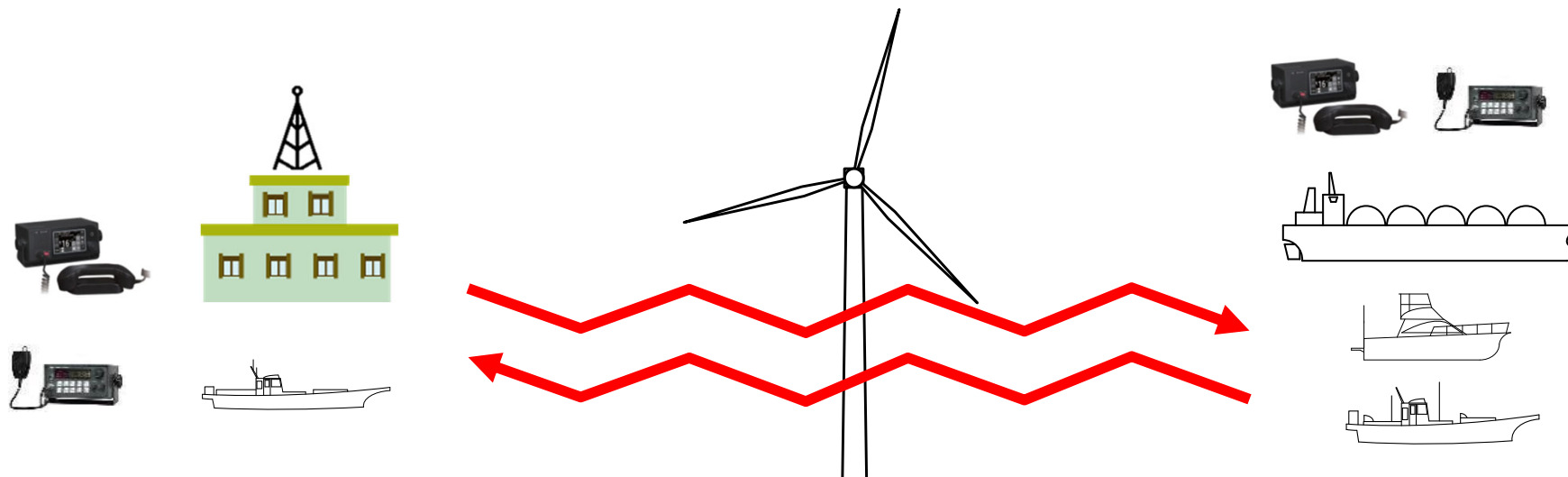


※ 船舶では、500 kHz～30 GHzの周波数帯の電波を用いた各種の無線システムを使用している。それらのうち、洋上風力発電設備による影響が特に懸念される無線システムを取り上げた。無線通信はアナログ音声通信のみを対象としたが、データ通信への影響も考えられる。

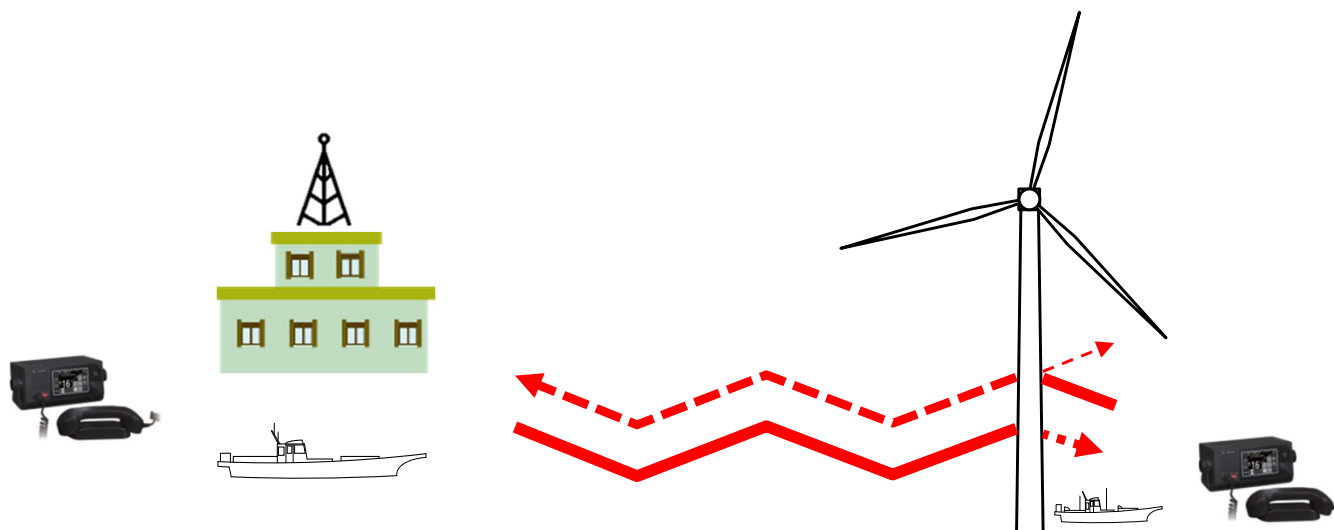
2. (大型)洋上風力発電設備の例



3. 海上無線通信(無線電話)への影響(単基の場合)

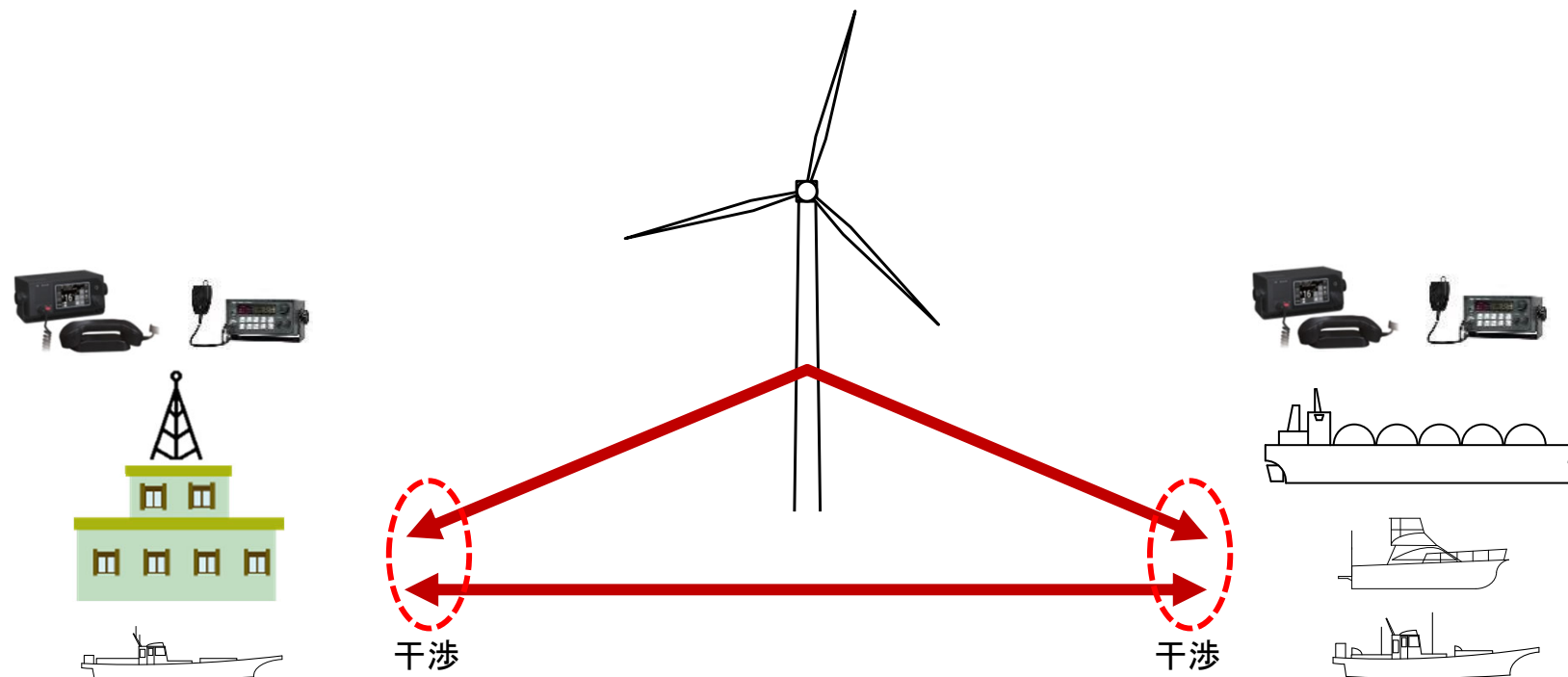


単基の洋上風力発電設備の場合はほとんど影響なし(漁船用無線／国際VHF無線)
(後述の複数経路による電波の干渉の可能性はある)



支柱の直ぐ近くでは、支柱の影となる方向との通信可能距離が短くなる可能性
(国際VHF無線の場合、漁船用無線への影響は小さい)

4. 海上無線通信(無線電話)への影響(複数経路の電波による干渉)



洋上風力発電設備で反射された電波と直接届く電波との干渉(マルチパスフェージング)により、

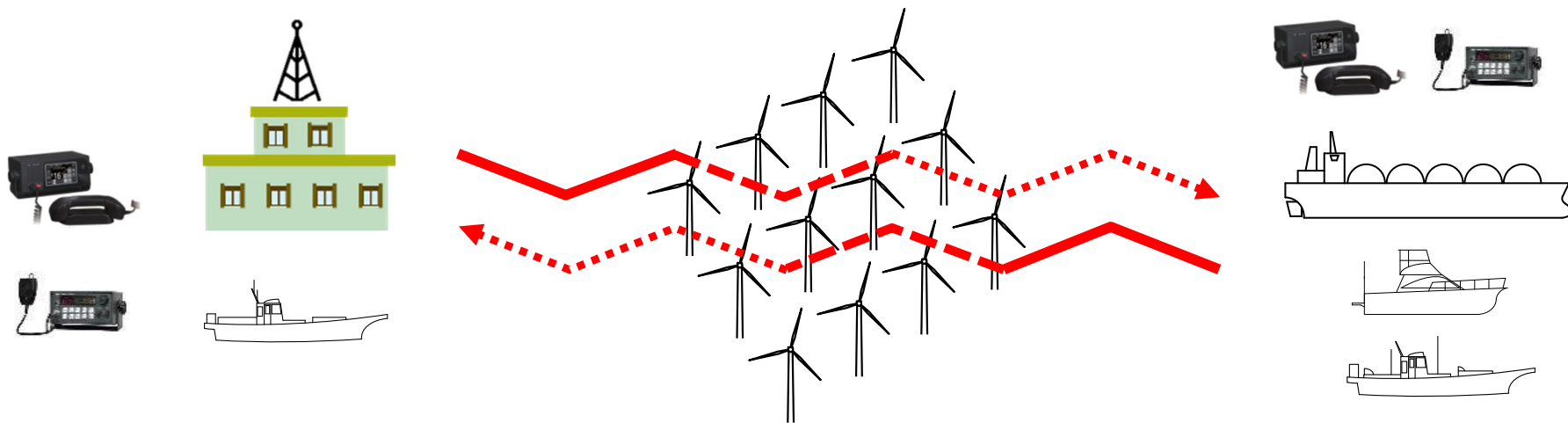
漁船用無線電話: 「受信電波の強度が周期的に変動する(受信した音声揺れて聞こえる)」などの影響を受ける可能性

国際VHF無線電話: 「受信電波の強度が短い周期で変動する(受信した音声揺れて聞こえる)」などの影響を受ける可能性

送信側から直接届く電波と、洋上風力発電設備で反射(屈折、散乱)されて届く電波が受信側に到達するために、それらの電波が干渉し、受信電波強度が変動したり、音声歪んで聞こえたりする可能性がある。

音声通信の場合は揺らぎとなって聞こえるが、データ通信の場合はエラーとなる可能性がある。

5. 海上無線通信(無線電話)への影響(ウィンドファーム)

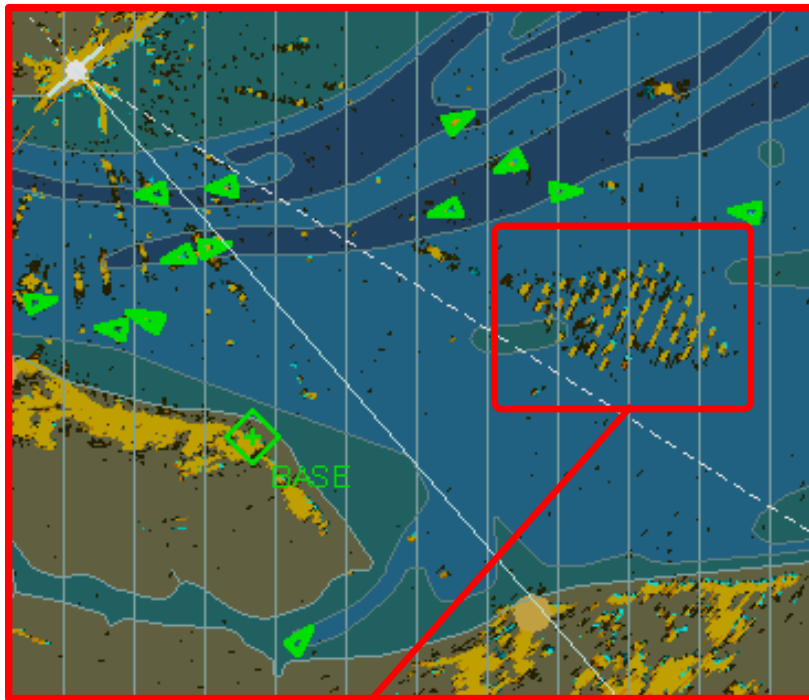
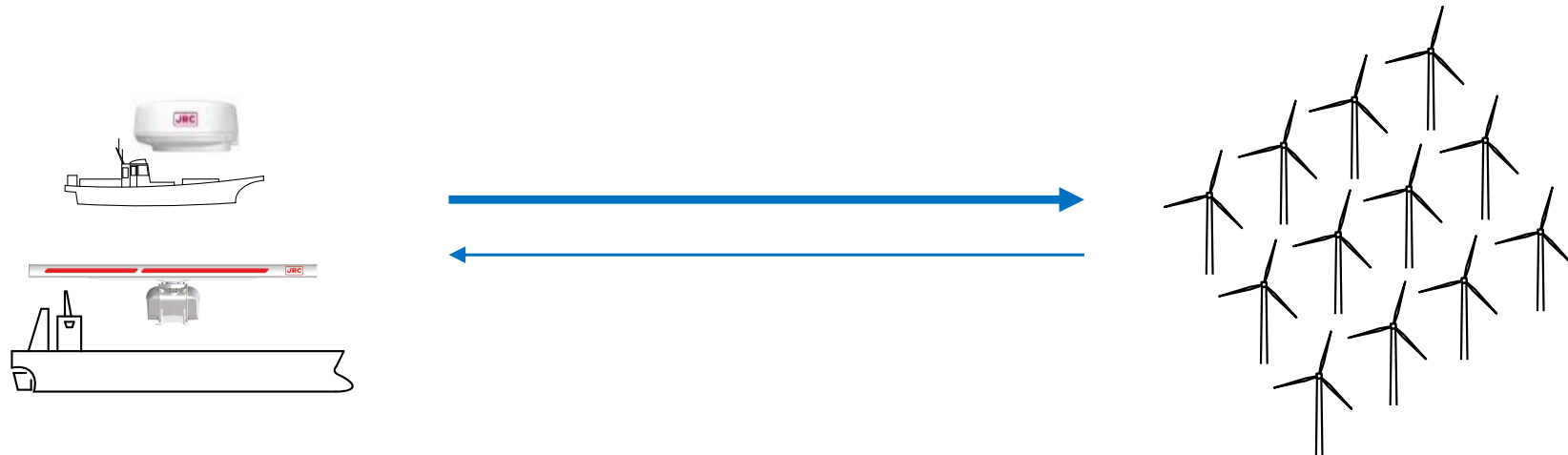


ウィンドファームをまたぐ無線通信(電波の経路上にウィンドファームがある場合)では、

漁船用無線電話: 「通信可能距離が多少短くなる」などの影響を受ける可能性

国際VHF無線電話: 「通信可能距離が短くなる」などの影響を受ける可能性

6. 船舶用レーダーへの影響(遠距離)

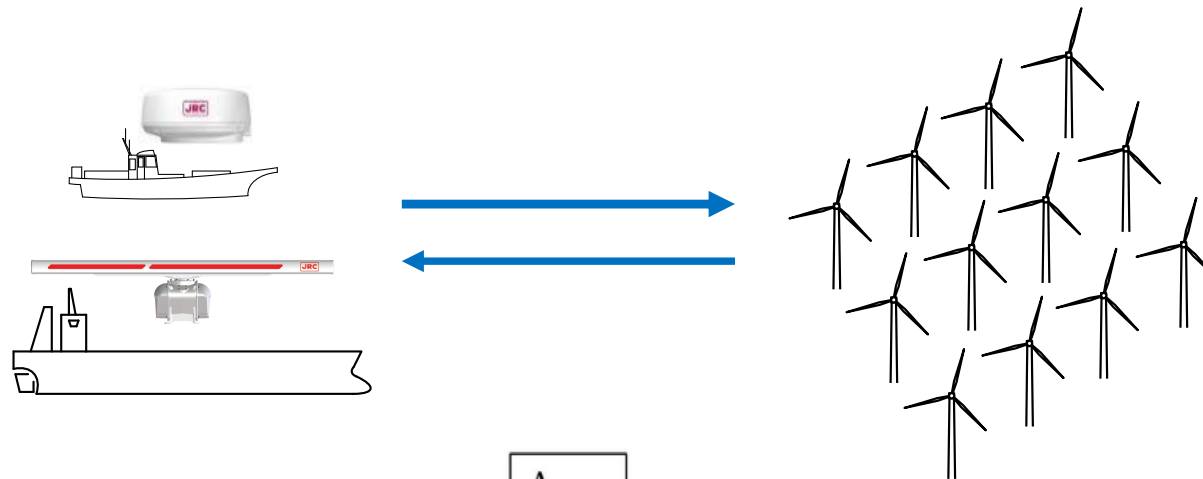


ウィンドファームの映像

船舶が洋上風力発電設備から離れている場合、船舶用レーダーの映像は悪影響を受けにくいですが、ウィンドファーム内部の船舶の探知は困難になる。

左の画像は、英国シューバーイネス(Shoeburyness)からケンティッシュ・フラッツ(Kentish Flats)のウィンドファームを捉えたレーダーの映像。レーダーからウィンドファームまでの距離は約10海里(約18.5 km)。電子海図情報、レーダーの映像及び船舶自動識別装置(AIS)による情報を重畳して表示している。

7. 船舶用レーダーへの影響(近距離)



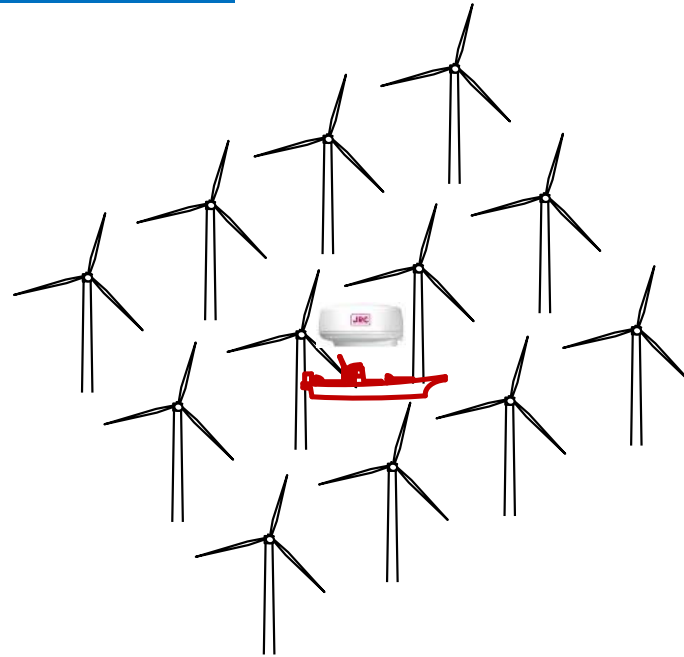
参考文献 2 より

船舶がウィンドファームの周辺を航行中は、レーダーの電波がウィンドファームから強く反射されるために、レーダーの画面に偽像が現れることがある。A、B及びCの赤枠で囲った映像が偽像。

左の画像は、ウィンドファームから約1.3海里(約2.5 km)離れていると思われる船舶におけるレーダーの映像例。

レーダーの利得(感度)を下げることにより偽像の発生を抑制できるが、小さな物標(障害物、船舶等)の探知が難しくなる。

8. 船舶用レーダーへの影響(ウィンドファーム内)



船舶がウィンドファーム内を航行中は、周囲よりレーダーの電波が強く反射されるために、レーダーの画面全体に偽像が現れることがある。

左の画像は、英国サネット(Thanet)のウィンドファーム内における船舶用レーダーの映像例。

レーダーの利得(感度)を下げることにより偽像の発生を抑制できるが、小さな物標(障害物、船舶等)の探知が難しくなる。

参考文献 1 より

FIGURE 1.3 Photograph of the display of a shipboard radar operated in a U.K. wind farm.

SOURCE: Seafreeze, Ltd., included in public comments submitted to the 2019 U.S. Coast Guard

Port Access Route Study: The Areas Offshore of Massachusetts and Rhode Island

(USCG-2019-0131-0026)

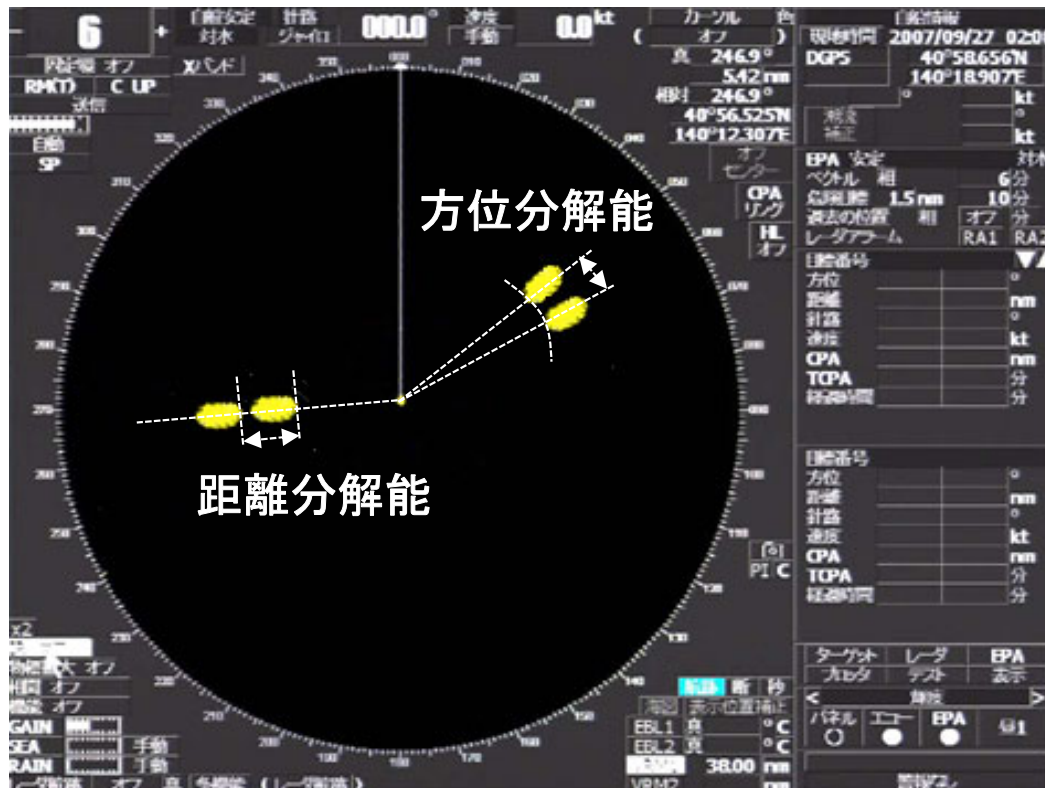
9. 船舶用レーダーの分解能(ご参考)

➤ 船舶用レーダーのしくみ

船舶用レーダーは、アンテナを回転させながら電波を発射し、物標(障害物、船舶等)より反射された電波が戻ってくるまでの時間及びそのときの方位から計算した映像を画面に表示する。

➤ 船舶用レーダーの分解能

分解能には、方位分解能および距離分解能があり、大型船に搭載するレーダーには国際海事機関(IMO)により性能基準が下記のように定められている。しかし、洋上風力発電設備の影響(レーダー電波の多重反射等)により、これらの性能が劣化する。また、小型船が使用する小型空中線(アンテナ)を用いたレーダーでは、一般的に分解能は悪くなる。



■ 方位分解能(例):

同一距離で異なる方位の2つの物標がどこまで分離して表示できるか？

IMO要件: 2.5° 以下(1 km先で約44 m)

■ 距離分解能(例):

同一方位で異なる距離の2つの物標がどこまで分離して表示できるか？

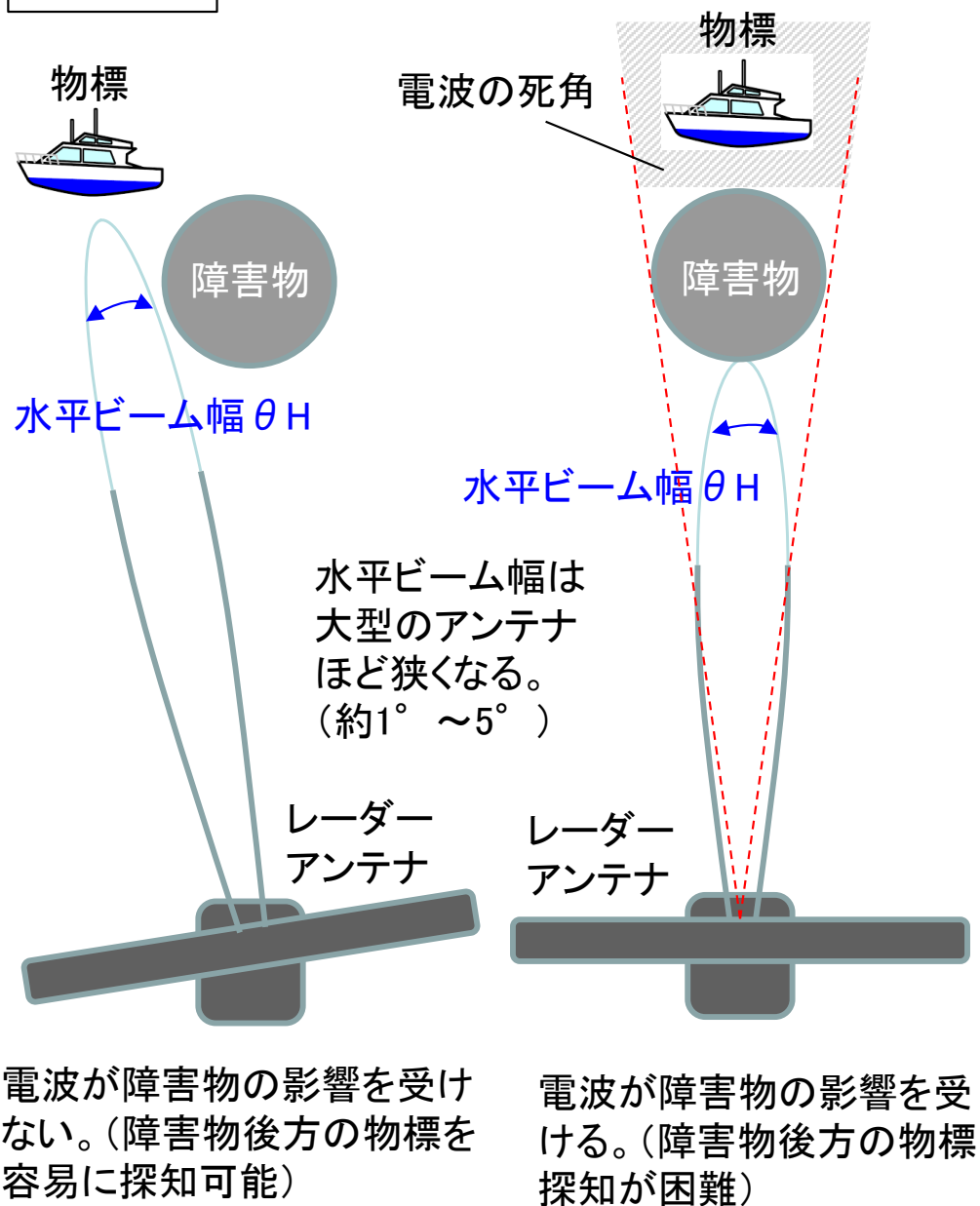
IMO要件: 40 m 以下

IMO要件の試験では、 $\sigma = 10 \text{ m}^2$ の物標を使用する(σ :レーダー反射断面積)。

観測範囲は1.5海里(約2.8 km)以下の設定で実施する。

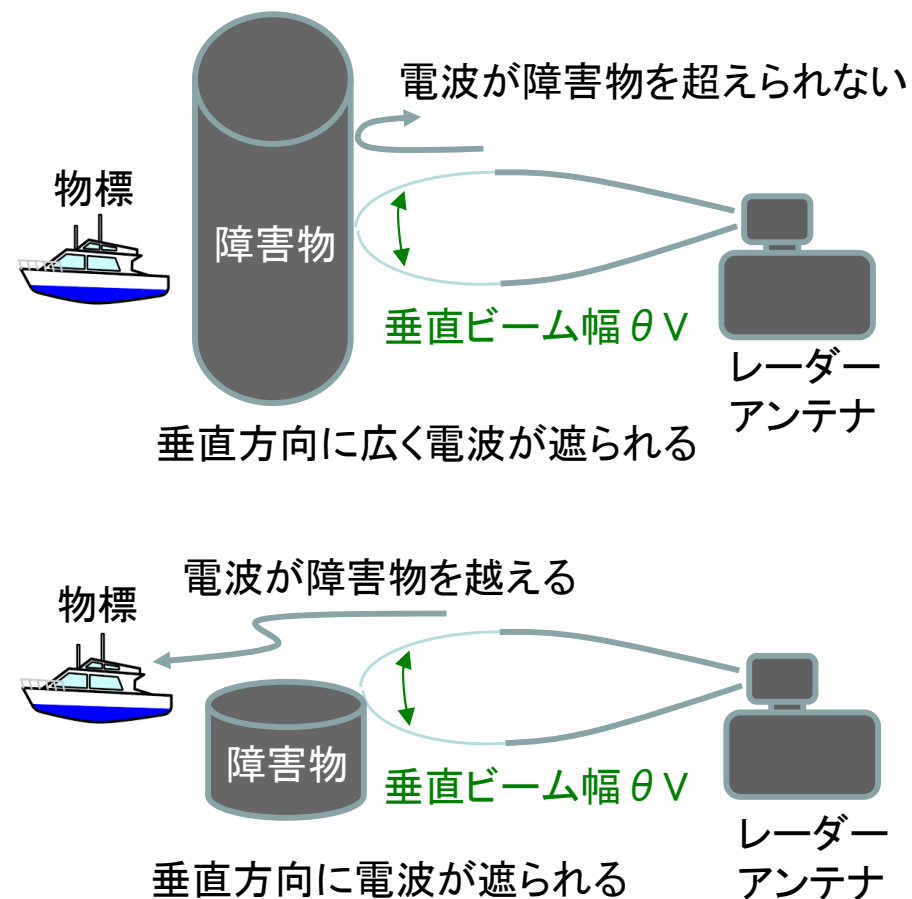
10. 船舶用レーダーの死角(ご参考)

水平方向



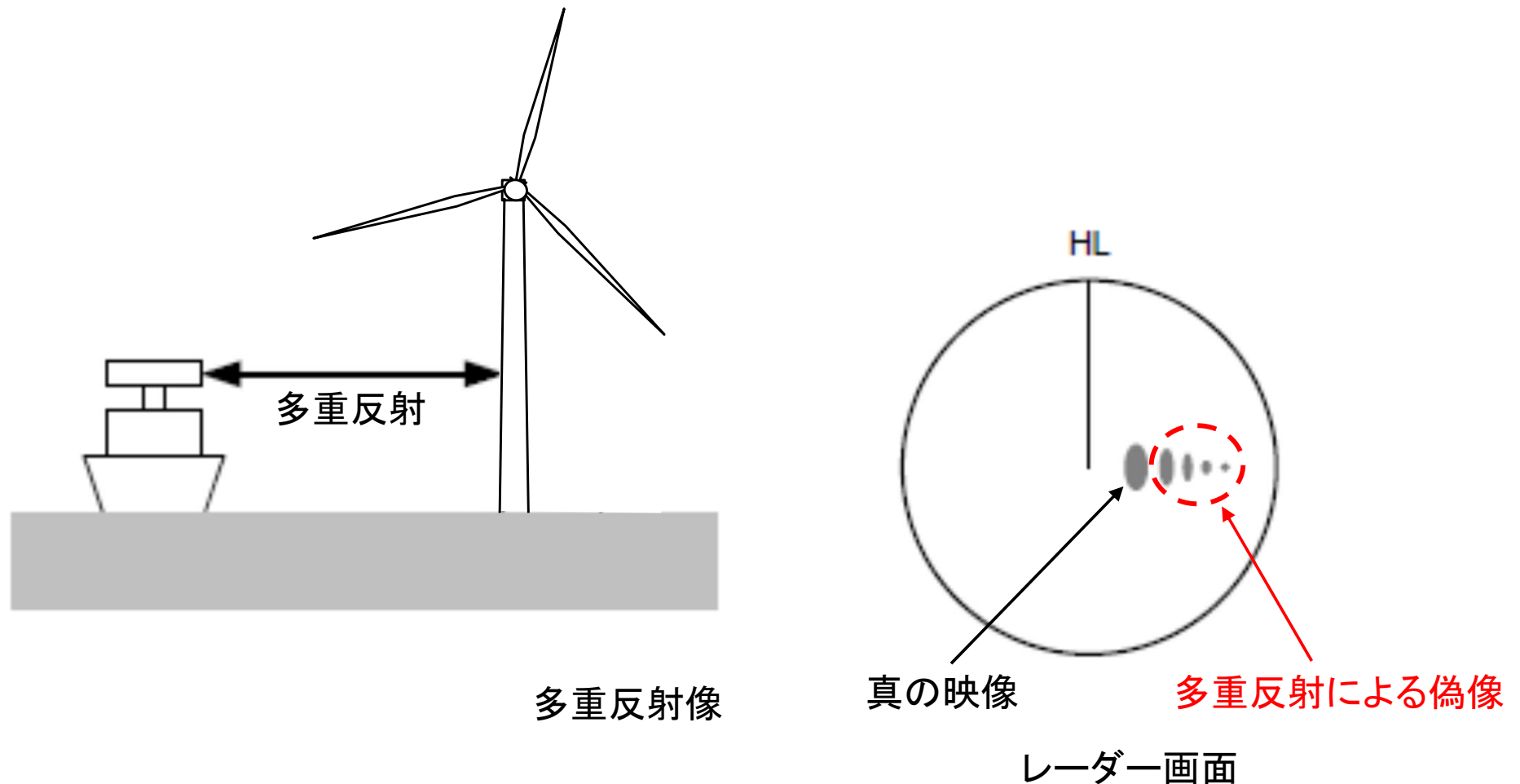
垂直方向

レーダーアンテナは垂直ビーム幅が広く(20° ~ 30°) 障害物の高さが低ければ(レーダーアンテナと障害物の高さの差が大きければ)死角は軽減される。



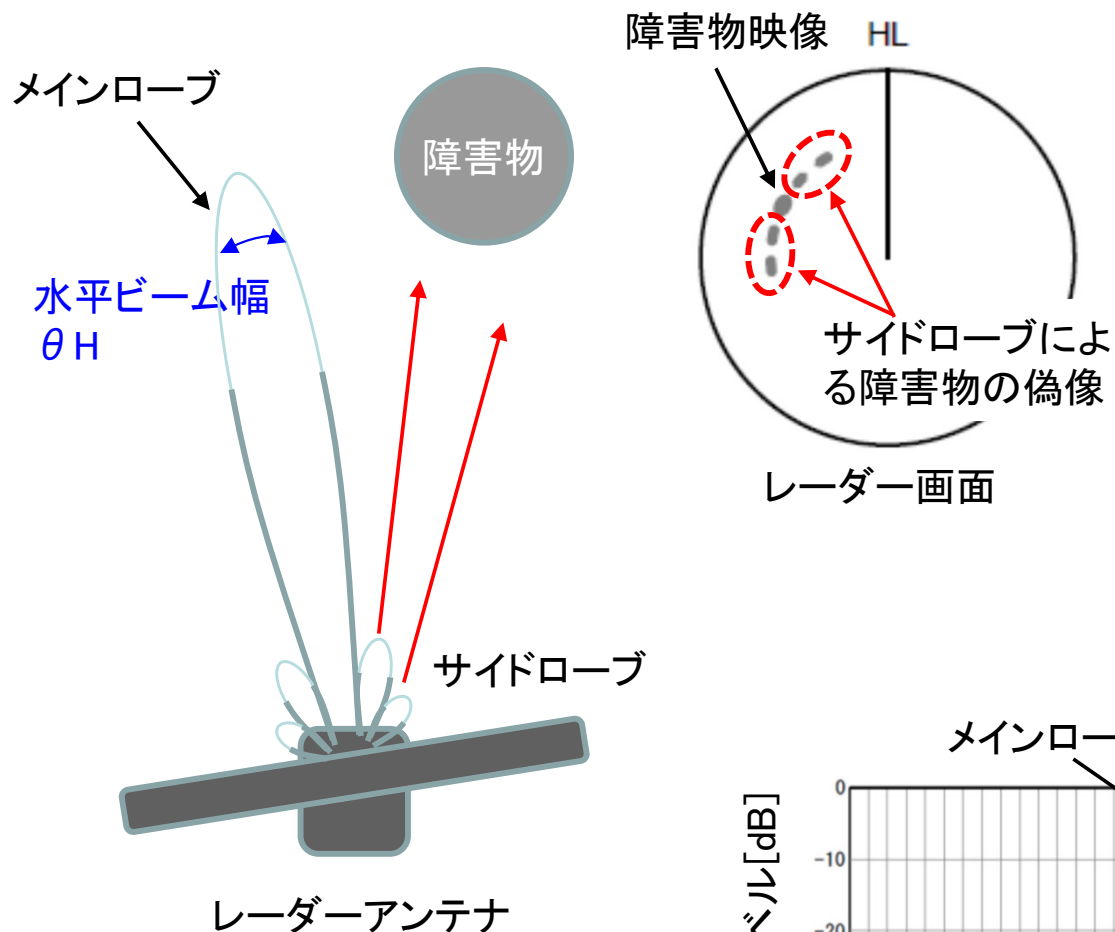
11. 船舶用レーダーの多重反射による偽像(ご参考)

下記の図に示すように大きな垂直面を持った建造物や大型船があるときに、多重反射による映像が現れることがある。この像は等間隔に現れる最も近い像が真の物標の映像。

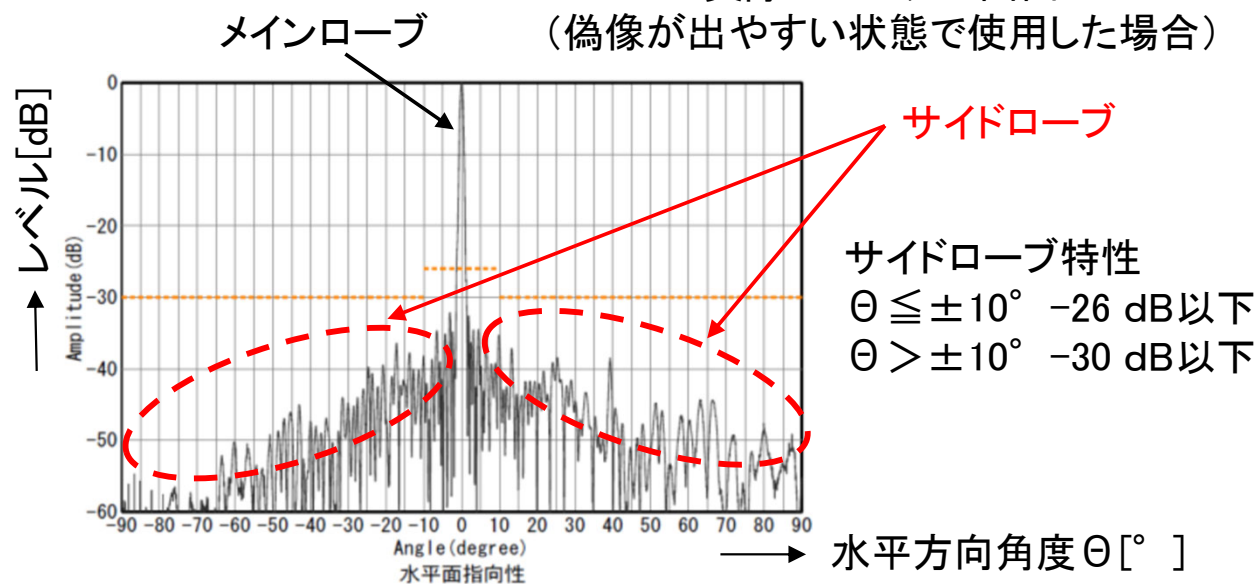
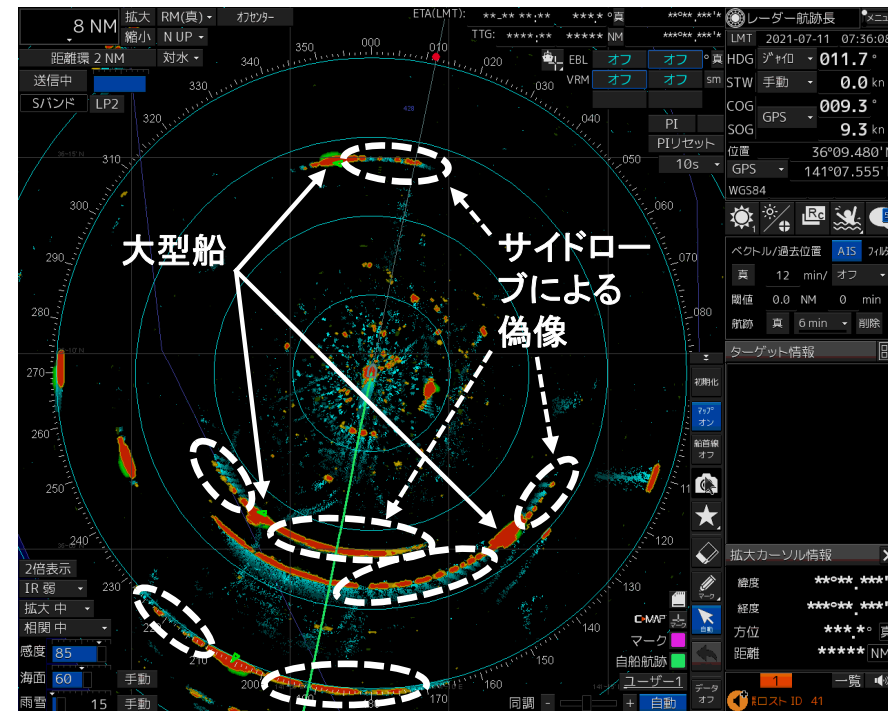


支柱による電波反射のほかに、回転するローターによる電波の反射・回折・散乱により、レーダー画面に予期せぬ映像が現れる可能性もある。

12. 船舶用レーダーのアンテナサイドローブによる偽像(ご参考)



サイドローブのレベルは小さいとはいえ、障害物からの反射電力が大きいほどサイドローブによる反射波が強く返ってくるので、レーダー映像に偽像として現れる。



レーダーアンテナ指向特性例(水平面特性)

13. まとめ(想定される影響)

➤ 漁船用無線電話

- 単基の洋上風力発電設備による影響はほぼ受けないと考えられる
- まれに、相手局から直接届く電波と、洋上風力発電設備に反射して届く電波が干渉して「受信電波の強度が周期的に変動する(受信した音声が揺れて聞こえる)」などの影響を受ける可能性
- ウィンドファームをまたぐ通信では、「通信可能距離が多少短くなる」などの影響を受ける可能性

➤ 国際VHF無線電話

- 単基の洋上風力発電設備による影響はほぼ受けないと考えられるが、支柱の近くでは、「支柱の影となる方向の通信相手との通信可能距離が短くなる」などの影響を受ける可能性
- 相手局から直接届く電波と、洋上風力発電設備に反射して届く電波が干渉して「受信電波の強度が短い周期で変動する(受信した音声が揺れて聞こえる)」などの影響を受ける可能性
- ウィンドファームをまたぐ通信では、「通信可能距離が短くなる」などの影響を受ける可能性

➤ 船舶用レーダー

- 洋上風力発電設備の「影(後ろ側)」にある物標(船舶等)は表示されない」ことがある
- 洋上風力発電設備の周辺では、支柱等による強力な電波の反射により「レーダー画面に偽像が現れる」可能性
- ウィンドファームの内部及び周辺ではレーダー画面に偽像が多く発生し、物標(船舶等)の「識別が困難又は不可」となる可能性

※ ウィンドファーム内部及び周辺では、レーダーによる船舶の探知が難しくなる場合が予想されるため、船舶自動識別装置(AIS)を併用して他の船舶の位置確認をすることが有効である。

14. おわりに

➤ 本資料について

我が国の洋上風力発電はこれから本格的導入が始められるため、洋上風力発電設備（特にウィンドファームの場合やローターの回転）が海上無線へ与える影響に関する知見は十分でない。

本資料は、無線技術に関する経験及び長年にわたって培った海上無線に関する知見を基に、海外の事例等も参考にして「想定」として作成しているが、洋上風力発電の本格的導入と並行して海上無線へ与える影響を調査する必要があると考える。設備の形状や配置により影響は異なるので、それぞれの設備における無線環境のアセスメント及び対策も必要であるとする。

海外事例については下記文献等を調査した。下記文献では海上無線通信（無線電話）に対する大きな悪影響は報告されていないが、船舶用レーダーへの悪影響は多数報告されている。

安全・安心・効率的な洋上風力発電設備の運用のために

工事中を含め、洋上風力発電設備（特にウィンドファーム）周辺では船舶用レーダーによる物標（障害物、他船等）の探知が難しいことが予想されるため、陸上（海岸）及び洋上施設に設置したレーダー及び船舶自動識別装置（AIS）による周辺海域の監視、監視カメラの活用等が有効と考える。さらに、小型船舶へのAIS搭載の普及促進も有効と考える。

- 参考文献
- 1 “Wind Turbine Generator Impacts to Marine Vessel Radar” (prepublication version)
National Academies, 2022
<http://nap.edu/26430>
 - 2 “Investigation of Technical and Operational Effects on Marine Radar Close to Kentish Flats Offshore Wind Farm Kentish Flats”
Marico Marine for BWEA (British Wind Energy Association、現在はRenewableUK), April 2007
http://users.ece.utexas.edu/~ling/EU3%20UK%20Kentish%20Flats%20marine_radar%20study.pdf
 - 3 “Horns Rev 3 Offshore Wind Farm, Technical report no. 12, Radio Communication and Radars”
Danish Energy Agency, April 2014
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/radio_communication_and_radars_ver3.pdf