

西海市環境実践モデル都市地域連携協議会  
西海市風力発電等に係るゾーニング計画 勉強会

- ・日時：平成 29 年 1 2 月 2 1 日（木） 15：30～16：30
- ・場所：西海市大瀬戸コミュニティセンター

内 容

1. 開会

2. 講演

洋上風力発電と漁業協調

講師：国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産工学研究所  
水産業システム研究センター長 明田定満 氏

3. 閉会

# 洋上風力発電と漁業協調

平成29年12月21日

国立研究開発法人水産研究・教育機構  
水産工学研究所  
明田定満

1

## 「洋上風力」の特徴(長所)

我が国は海に囲まれた島国であるため、風力発電の立地可能な広大な海域、長大な海岸線を有する。洋上風力発電は陸上風力発電と比較して、

- ①年間を通じて風況が良く、風の乱れが小さい(安定)
- ②土地や道路の制約がなく、資材機材の運搬コストが低い
- ③景観、騒音への影響が小さい



安定的かつ効率的な発電や風車の大型化が可能



我が国では、実証試験(事業)を実施中

着底式: 銚子市沖(千葉県)、北九州市沖(福岡県)

浮体式: 栂島沖・崎山沖(長崎県)、福島沖(福島県)

from wikipedia<sup>2</sup>

## 「洋上風力」の特徴(短所)

洋上風力発電は、陸上風力発電と比較して、

- ①施設の基礎、施設本体の建設及び維持管理
- ②洋上変電設備及び海底ケーブルの建設及び維持管理
- ③大水深になるに従い、建設及び維持管理

にコストが掛かる。

洋上風力発電の実用化に当たり、気象海象条件が異なる欧州の  
先行事例を適用し難い

- ①海域(日本海側、太平洋側)の洋上風特性の把握
  - ②施設の建設費や維持管理費の縮減策
- 等、解決すべき課題が多い。

from wikipedia<sup>3</sup>

## 「洋上風力」の動向(欧州)

(稼働中)	総量		
London Array	630MW	175 × 3.6MW	(2012)
Gwynty Mor	576MW	160 × 3.6MW	(2015)
GreaterGabbard	504MW	140 × 3.6MW	(2012)
Anholt	400MW	111 × 3.6MW	(2013)
Bard Offshore 1	400MW	80 × 5MW	(2013)
Grobal Tech 1	400MW	80 × 5MW	(2013)

(整備中)

Gemini	600MW	150 × 4MW	(2017)
Gode Wind	582MW	97 × 6MW	(2016)
Sandbank	288MW	72 × 4MW	(2017)

洋上風力発電の大規模化、原動機の大大型化  
2009年: 3MW／基、2015年: 4-7MW／基

from wikipedia<sup>4</sup>

# 着底式風力発電施設(欧州)

Lillgrund Wind Farm(スウェーデン)



風車の大型化  
2015: 7.0MW、高さ160mブレード80m

陸上6000MW、洋上630MW  
の風力発電所が建設されている(2013)

ミドルグロン洋上風力発電施設(デンマーク)



from wikipedia

# 着底式風力発電施設(日本)

鹿島港(茨城県)沖、洋上風力発電施設の完成予想図  
5MW×20基 → 一般家庭の約6万世帯分

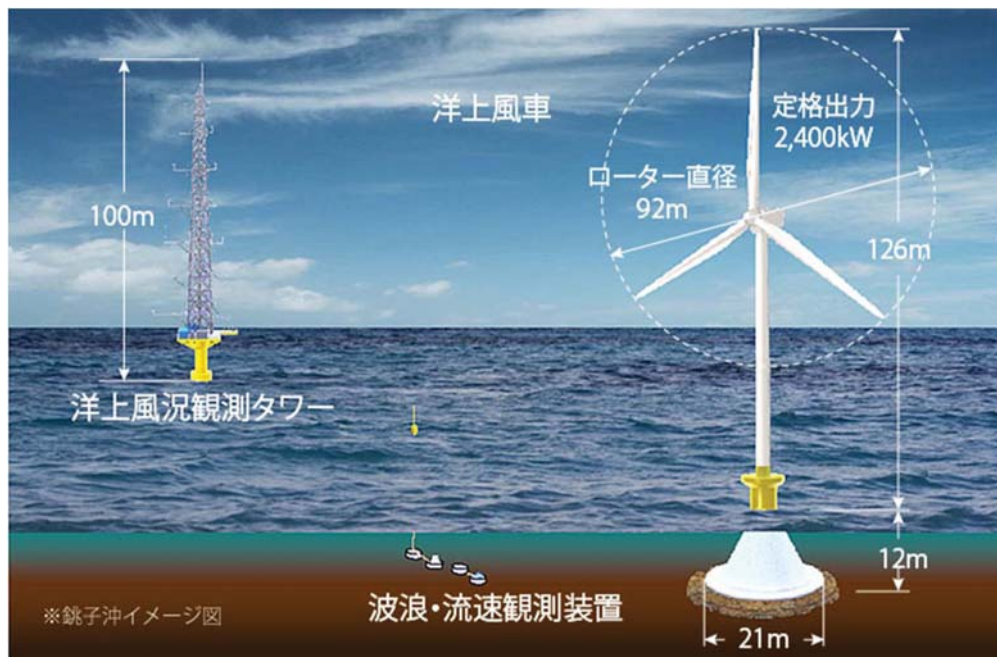


我が国の洋上風力発電は、2004年、瀬棚港(北海道)、酒田港(山形県)の静穏水域に整備。2009年、鹿島港隣接海岸(茨城県)に2MW×7基を建設。

<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1407/01/news080.html>

# 「洋上風力」の実証試験

(銚子市沖、着底式、モノパイル式)

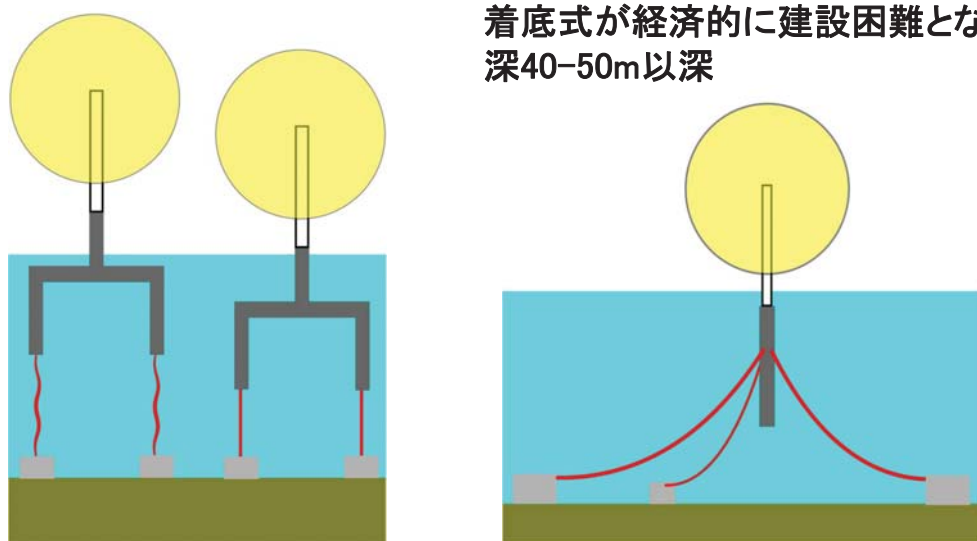


銚子市沖(千葉県)、北九州市沖(福岡県)で実証試験

①洋上風況観測、②洋上風力発電施設の運用

7

## 浮体式風力発電施設のイメージ



2009年にノルウェーのスタバングル沖洋上10kmに、世界で初めて実用化。日本では2011年に長崎県杵島沖で実証試験開始。2014年には福島県櫛葉町沖洋上20kmに、浮体式洋上風力発電施設 **ふくしま未来** が設置。

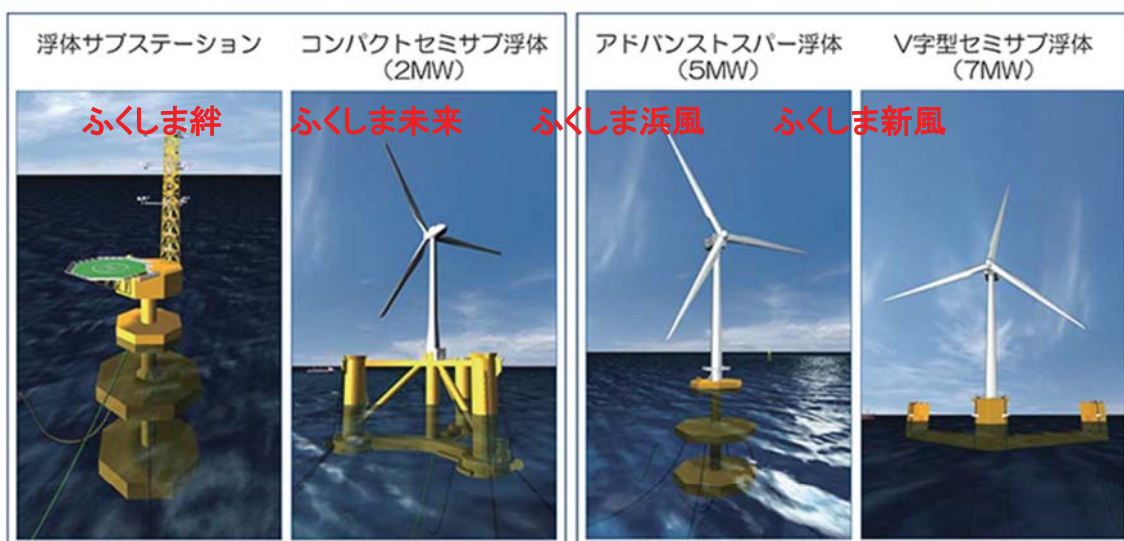
8



# 浮体式風力発電施設の実証試験

第1期（2011～2013）

第2期（2014～2015）



## 福島復興・浮体式洋上Wind Farm実証研究

東日本大震災からの復興に向けて、再生可能エネルギーを中心とした新たな産業の集積・雇用の創出を行い、福島が風車産業の一大集積地となることを目指している。

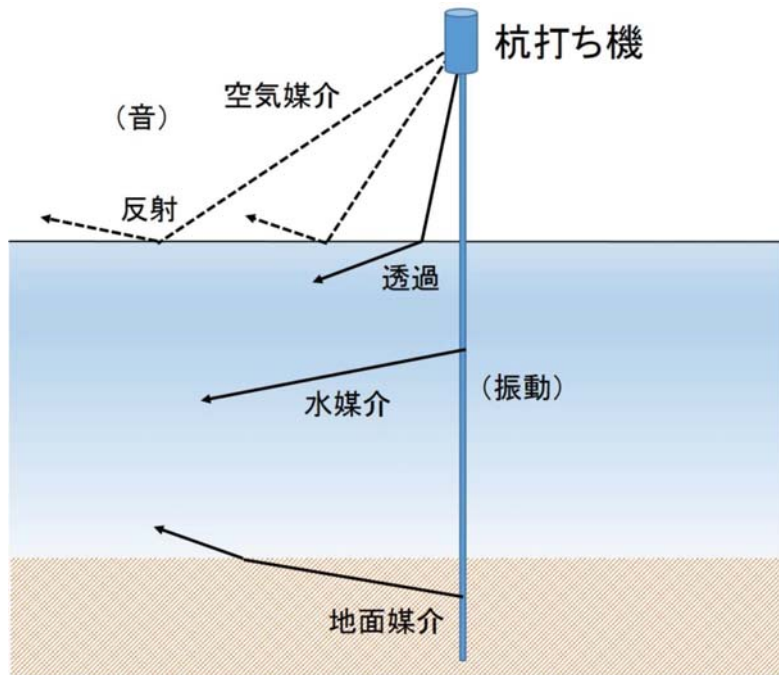
<http://www.fukushima-forward.jp/>

## 浮体式風力発電施設（五島崎山沖）

（浮体式、長崎県五島崎山沖5km、規模2MW、3点係留方式）



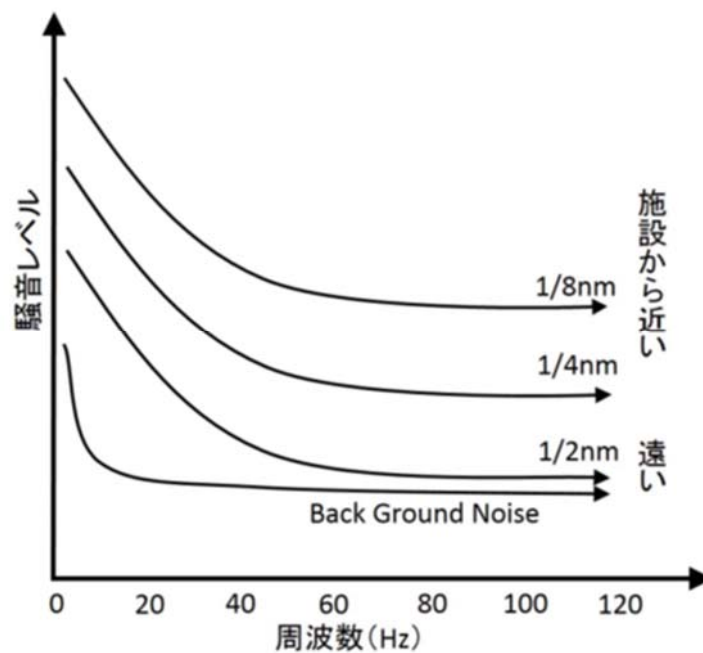
## 「洋上風力」から振動の伝達特性(1)



- ・施設からの音・振動は、空中、水、地面を介して伝達。
- ・空中の騒音は、施設直近直下を除き水面で反射される。

11

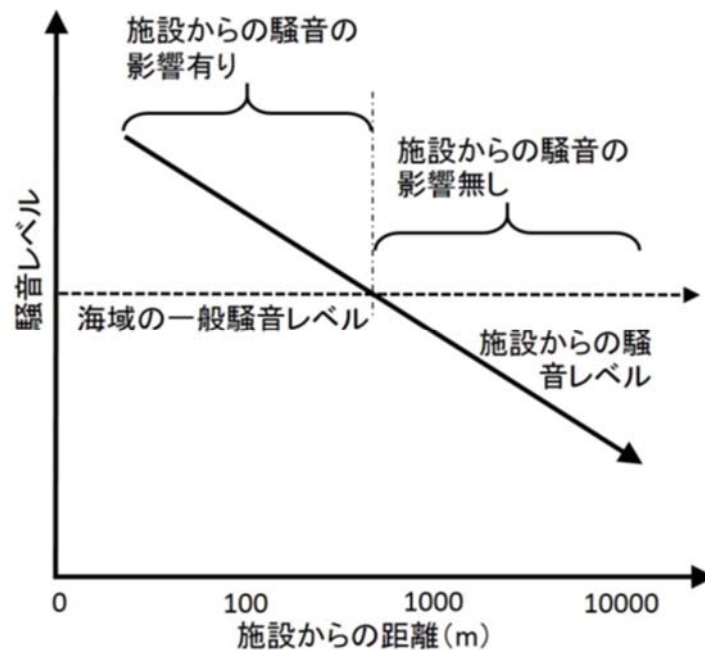
## 「洋上風力」から振動の伝達特性(2)



- ・水中の音は施設から離れるに連れ急速に減衰。
- ・高周波成分が遠方まで伝達。

12

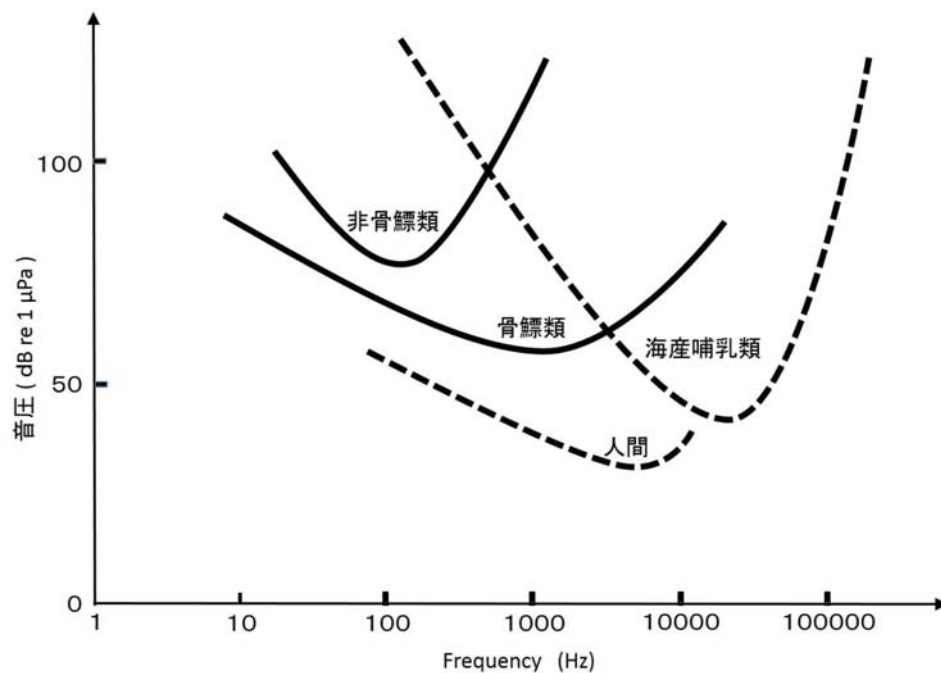
# 洋上風力発電施設の影響の範囲



- ・施設から離れるに従い、騒音の音圧レベルは急激に低下する。
- ・音圧レベルが海域の一般騒音の音圧レベルより低くなると影響は少ない。

13

# 海洋生物の聴覚特性

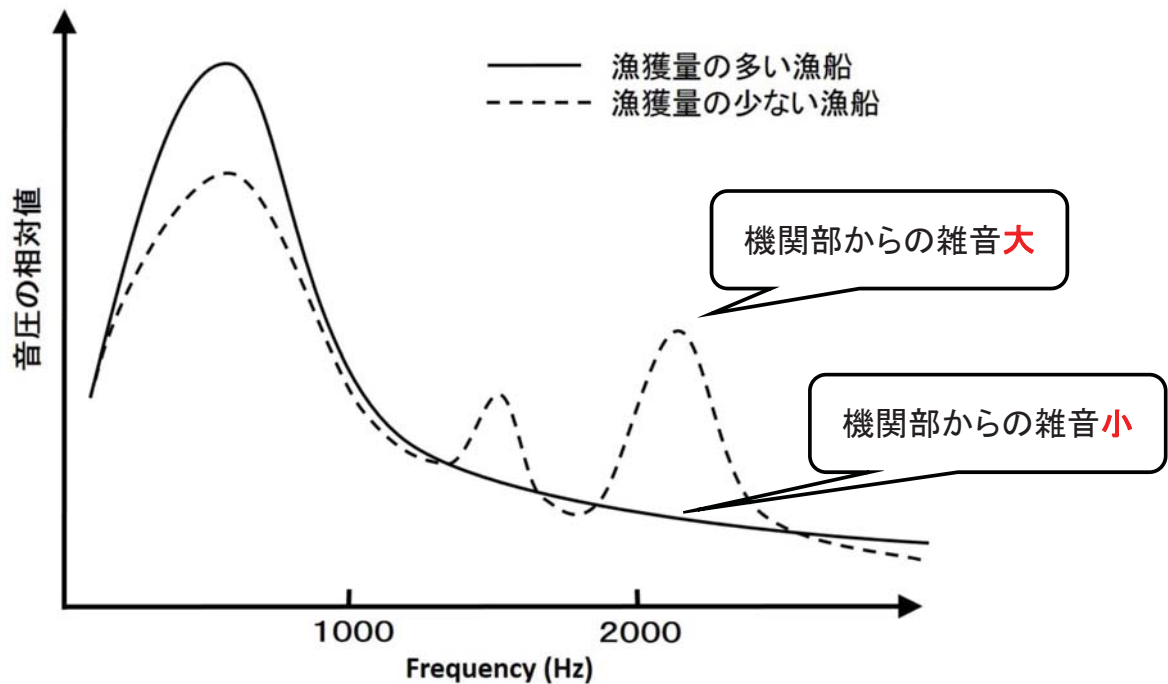


- ・大半の淡水魚、骨鰾類の可聴音帯は10～数1,000Hz
- ・大半の海産魚類、非骨鰾類の可聴音帯数10～数1,000Hz
- ・海産哺乳類の可聴音帯は数100～数100,000Hz

14



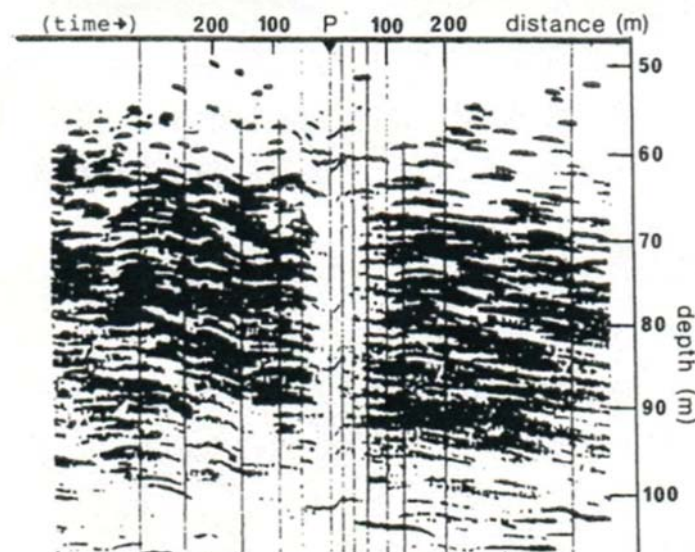
## 船舶から発する音の影響(1)



漁獲量の少ない漁船から1,500Hz、2,500kHz付近にプロペラ軸からの雑音が生じている。(Erickson;1979)

15

## 船舶から発する音の影響(2)



船舶騒音による魚群の逃避反応 (Olsen; 1983)

- ・20,000Hz以上の高周波数帯の船舶雑音の影響は少ない。
- ・音響手法を用いた資源量評価を行うには、魚群探知機の周波数帯(20～200,000Hz)に加え、魚類の可聴域の船舶雑音の低減が必要。

16

# 魚の行動と水中音の関係(1)

魚類の行動と水中音(音圧)との関係には、(畠山ら、1997)

- ①行動を規定する4段階の音圧レベルがある。
- ②魚種により威嚇音圧レベルが異なること。
- ③同一種でも周波数の違いにより聴覚閾値が異なること。
- ④最高感度の閾値は80-105dB(100-300Hzで)、  
その際の可聴範囲は50-1,000Hzであること。

損傷レベル (死亡、損傷する音圧): 200-210dB以上  
威嚇レベル (忌避、逃避する音圧): 140-160dB  
誘致レベル (快適な音圧) : 110-130dB

最小知覚レベル (聴覚閾値)

感度の良い魚 : 60-80dB  
一般的な魚類 : 90-110dB

17

# 魚の行動と水中音の関係(2)

本州四国連絡架橋、関西国際空港、中部新国際空港等に関わる  
道路工事、架橋建設、埋立工事、船舶・航空機の運航等に起因す  
る水中音の魚類行動に及ぼす影響の調査

- ① 杭打工事: 149-167dB(距離30m、暗騒音108-128dB)、149-189dB(22m)
- ② 基礎捨石投入工事: 150dB(60m)、浚渫工事140-150dB(10m)
- ③ 杭打工事: 120-165dB(400m)、180dB(1km)
- ④ 発破音212dB(200m)、発破音162-213dB(500m)、杭打音193dB(10m)
- ⑤ サンドコンパクション160dB(26m)
- ⑥ 離陸時飛行機135-140dB(100m)
- ⑦ 水中翼船146dB(100m)、高速艇136dB(100m)、フェリー129dB(140m)、  
漁船128dB(100m)、貨物船131dB(300m)、ジェットフォイル船141dB(50m)、  
サンドポンプ船160-175dB(5m)
- ⑧ 鉄道橋列車通過時137-143dB(6m)、通過時の海底振動58-69dB(6m)



一過性の威嚇レベル以上の水中音に対して、何らかの  
反応を示すが、時間経過とともに元の行動に戻る。

18

## 海洋生物に逃避行動が生じる 音圧レベルになる距離

Marine Animal	Distance Where $dB_{ht} = 90 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}$ and Avoidance Reaction May Occur (meters)
Toothed Whales Harbor Porpoise Striped Dolphin Bottlenose Dolphin, White-Sided Dolphin, Pilot & Minke Whales	回避行動が生じるとされる距離 歯クジラ類 1,410 ネズミイルカ 790 スジイルカ 710 バンドウイルカ
Baleen Whales All Species	ヒゲクジラ類 320
Hair Seals Harbor Seal Gray Seal Harp & Hooded Seals	アザラシ類 1,120 ゴマフアザラシ 250 ハイイロアザラシ 1,120
Sea Turtles—All Species	海カメ類 < 30
Finfish Tautog Bass Cod Atlantic Salmon	ベラ類 180 バス類 100 タラ類 350 大西洋サケ 60

90dB<sub>ht</sub> (re 1μPa) (可聴閾値以上90dB) で50%の確率で忌避行動が生じ、130dB<sub>ht</sub> (re 1μPa) (可聴閾値以上130dB) で危害を及ぼすとされる

19  
Cape Wind Energy Project Final Environmental Impact Report (2007)

## 生物行動に影響を及ぼす可能性のある 「洋上風力」に起因する水中音

洋上風力発電施設から発生する水中音圧レベル (NEDO、2006)

風車運転に伴う水中騒音は、空中伝達・水中伝達・地中伝達に依る。音圧は風速や風車出力に依存する。ブレードの風切音は水面で反射し、水中には殆ど影響しない。

(Dong Energy et al.; 2006)

水中音は、発電機、ギアボックス、変圧器の冷却装置等の機械装置由来、タワーの振動を介して水中に伝播する。(Nedwell and Howell, 2004)

Vindeby (デンマーク)、Gotland (スウェーデン) において20m離れた水中音の音圧 ピークは119dB (暗騒音86dB)、95dB (暗騒音70dB)、(Degn, 2000)

低周波騒音に対して、アザラシやイルカは衝動的な動きはないが、忌避行動を含めて何らかの反応を示す。(Koschinski et al., 2003)

風車直下の騒音レベルは100dB程度、ロータ回転の固有周波数は1.1Hz、発電機の固有周波数は30Hzである

**稼働時の騒音レベルは、魚類に影響を及ぼさない**

20

# 米国風力発電協会

## 【魚類】

- ①施設の基礎構造は人工魚礁として機能し、数種の魚種については、生息域の増大、局地的な生息数の増加をもたらす。
- ②建設や撤去に伴う音や振動は一時的、局所的であり、魚の聴覚組織、解剖的、生理学的に危害を与えることはない。日常的な稼働時の音は平常時の周囲レベル以下であり、長期的かつ量的な影響はない。

## 【底生動物、プランクトン】

- ①施設の基礎構造や浸食防止工は海底に三次元構造を提供し、底生動物の生息地が形成される。
- ②基礎構造が人工魚礁として機能することで生物の多様性を高め、大型無脊椎動物の避難場、幼稚仔魚の保育場、餌場として役立つ。③施設は底生動物環境に影響を与える海水の変化を起こさない。
- ④施設から発生する音や振動、杭打ち工事や建設に伴う活動は、底生動物やプランクトンの生息環境に悪影響を与えることはない。



「風力発電」が、野生生物の生息に及ぼす影響は小さい。

21

# デンマーク・エネルギー庁

・1990年代以降、デンマーク沿岸に建設されたAnholt、Nysted、HornRev、Rodsand等における洋上風力発電所を対象に環境影響調査を実施。

・HornRev1、Nystedを対象にしたEIA Report；  
Offshore wind farms and the environment(2006)を公表し、魚類、海産哺乳類、鳥類等に対する環境影響評価結果を示した。  
HornRev(2002-2004)では、魚群探知機や刺網による漁獲調査を行われ、主な漁獲対象種であるイカナゴが、洋上風力発電所の設置後300%増加するなど、**風力発電の存在が漁獲量に負の影響を与えることがない**ことを示した。

・その後も施設建設後の環境変動調査が継続して行われ、  
Danish Offshore Wind Key Environmental Issues  
Follow-up(2013)として結果が公表されている。

22

## Olivia Langhamer(2012)

洋上再生可能エネルギーを生産する構造物(洋上風力発電施設)が人工礁として機能し、海洋生物の新たな生息空間を供給することを示した。

浸食防止用の基礎構造物は人工礁としての機能を発揮し、多様性のある豊かな生息環境を生み出すとともに、設置海域はトロール漁業に対する保護海域として機能し、稚仔魚の保護、生残率の向上、周辺海域への浸み出し効果等が期待される。

それまで生息していなかった種が進入・定着し、新たな生息環境を作ること、既存種の生息環境に影響を及ぼす可能性がある。

## Wilhemssonら(2006)

ノルウェーのバルト海沿岸のカルマー洋上風力発電所を対象に、発電所基部の魚礁効果に関する調査を行い、発電所基部付近に有用魚類の餌料となる稚仔魚が多く集まることを確認し、発電所基部が集魚機能を持つ可能性を提示

23

## 漁業と協調する洋上風力発電(提言)

提案1。洋上風力発電施設の漁業協調型活用方策の提案(2013)  
独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所

提案2。消波堤を活用した増養殖場などの操業協調型施設の提案  
(2013)、一般財団法人漁港漁場漁村技術研究所

提案3。漁業と協調する洋上風力発電施設の事例提案(2013)  
一般社団法人マリノフォーラム21

提案4。洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言  
(第1版、2013)、一般社団法人海洋産業研究会

提案5。洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言  
(第2版、2015)、一般社団法人海洋産業研究会

<http://www.jfa.maff.go.jp/test/kikaku/other/energy.html>

24



# 漁業と協調するコンセプト

(提案4、提案5)

1. 漁業の場としての利用
2. 海洋データの収集提供
3. 観光レクリエーション利用
4. 電力供給利用
5. 人材育成・海洋教育
6. 洋上発電関連事業への参画
7. 安全・防災機能の提供

(提案2、提案3)

(提案1)

1. 漁業への利活用に向けた海洋生態系のモニタリング
2. 漁海況予測に向けた海洋データの付加価値向上と情報発信
3. 魚礁、藻礁

25

## 海洋観測データの収集発信(1)

洋上風力発電施設の建設は、対象海域で営まれる漁業や漁場の消失等、沿岸漁業に直接的な影響を及ぼすのみならず、沿岸域の生態系に多大な影響を及ぼすことが懸念される(漁業は海域の先行利用者)。

- ①「洋上風力」の建設は、漁業者を始めとする幅広い利害関係者間の合意に基づく。
- ② 洋上風力発電施設の建設がもたらす生物や生態系への影響を事前に充分検討し、その対策を講じておく。沿岸域の漁業や生態系は不確実性が高いことから、建設前、建設中のみならず、建設後においても定期的な環境モニタリングを行い、順応的管理の実施が不可欠である。

発電事業者と漁業者が、共に利益を共有する利用方策を探る。  
(Win-Winの関係を築く)



海洋観測定点としての活用し、漁業関係機関(者)宛に有益な情報を発信

## 海洋観測データの収集発信(2)

### 「洋上風力」を海洋観測定点にする利点

調査船観測データを同化した高精度な海況予測(FRA-ROMS)結果を、漁業団体や研究機関宛に定期的に情報提供

- ①長期間連続観測に必要な**安定した電力供給**が可能
- ②観測データの**送受信のための通信施設の設置**が容易
- ③豊富な電力を利用した**海洋観測機器の保守点検**が容易
- ④浮体式の場合、**沖合大水深域での長期連続観測**が可能

「洋上風力」を海洋観測定点として活用することで、長期間連続観測された質の高い海洋観測データの測得が可能、海況予測のさらなる精度向上を期待

海洋観測定点の整備費は、「洋上風力」整備費に比べて少額なため、海洋の生物や生態系の長期連続観測する観測定点として利用可能  
(→漁業、水産業への情報提供)。

洋上風力発電施設の漁業協調型活用方策の提案(2013)、水産工学研究所

27

## 海洋観測データの収集発信(3)

### (情報発信システムの構築)

■「洋上風力」で観測した海洋情報、水産資源情報、生物分布情報に基づき、周辺の海洋環境や水産資源の動態を可視化し、地域の漁業者などにリアルタイムで情報発信するシステムを構築。

### (海域の漁場形成推定モデルの開発)

■「洋上風力」の周辺海域を対象に、高分解能な流動・低次生態系モデルを適用し、海洋環境の時空間変動を再現・予測。

■流動・低次生態系モデルを用いた推定結果と、周辺海域で行われる魚の分布情報(漁海況予報)との比較から、「**魚が、どこに、どの位いるか、どのように分布しているか**」を推定する漁場形成推定モデルの開発。

### (計画的な漁業操業や適正な資源管理に活用)

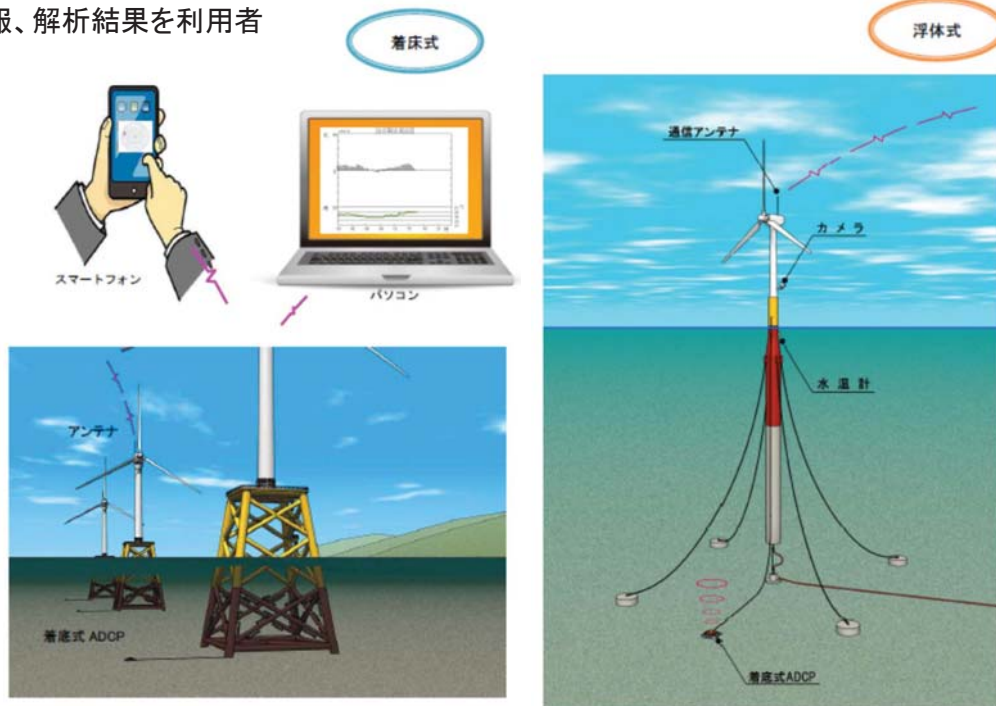
■漁場形成推定モデルに基づく計画的な漁業操業、適正な資源管理を実施

洋上風力発電施設の漁業協調型活用方策の提案(2013)、水産工学研究所

28

# 海洋観測データの収集発信(4)

海洋情報、解析結果を利用者に配信

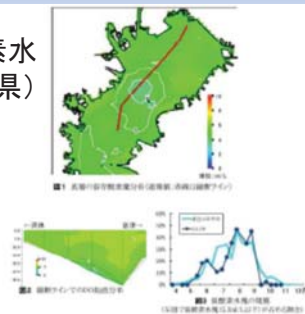


洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言《第2版》  
[www.rioe.or.jp/2015teigen.pdf](http://www.rioe.or.jp/2015teigen.pdf)

29

# 海洋観測データの収集発信(5)

東京湾貧酸素水塊予測(千葉県)



瀬戸内海流動・水質予測(水工研)

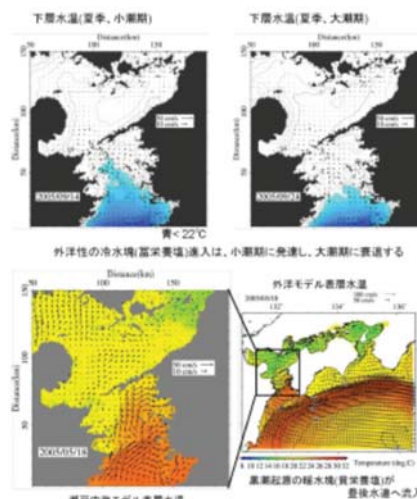


図 千葉県水産総合研究センターが行う東京湾貧酸素水塊速報

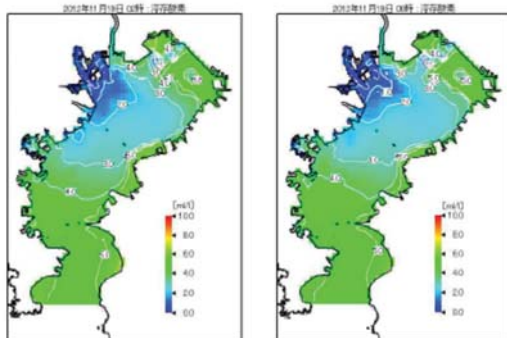


図 東京湾貧酸素水塊推定システム (6時間毎に表示)

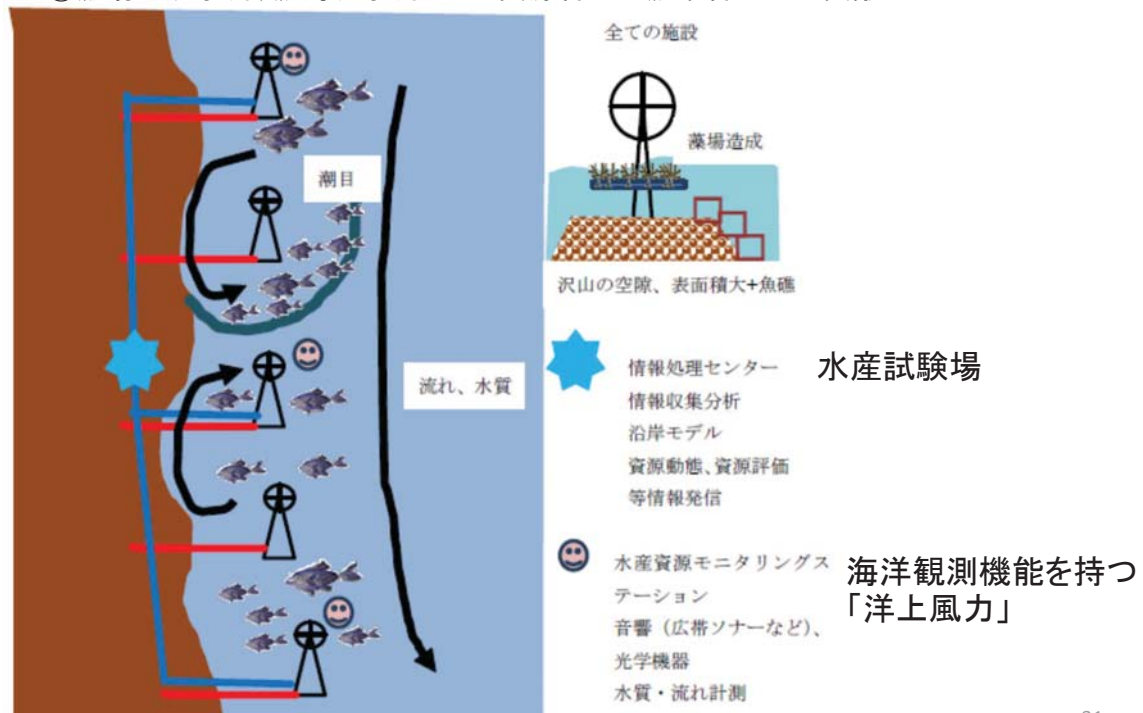
<http://www.pref.chiba.lg.jp/pbcbsuishi/cbtk/04tk-hinsanso/hinsanso.pdf>  
<http://www.pref.chiba.lg.jp/lab-suisan/suisan/hinsanso/index.html>

洋上風力発電施設の漁業協調型活用方策の提案 (水産工学研究所、2012)

30

# 海洋観測データの収集発信(6)

- ①海況モニタリング、データベース化
- ②生態系モデルによる解析、資源動態モデルによる解析
- ③漁場形成予測、漁海況予測による資源管理や漁業管理への貢献



洋上風力発電施設の漁業協調型活用方策の提案（水産工学研究所、2012）

31

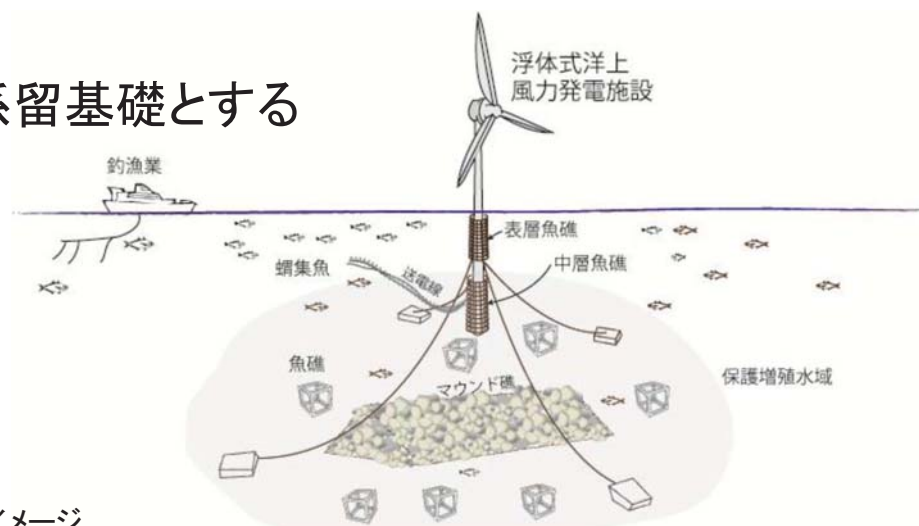
## 漁業の場として活用(1)

(魚礁)

着底式:基礎マウンド部に集魚機能や藻類・貝類等の増殖機能を付加させる。浮体式:浮魚礁とみなす。

(養殖)

養殖施設の係留基礎とする



「洋上風力」の漁業活用イメージ  
洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言《第2版》

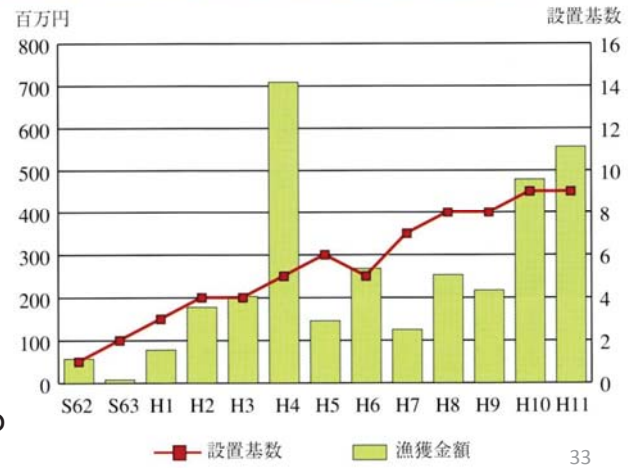
32



# 浮魚礁での操業風景

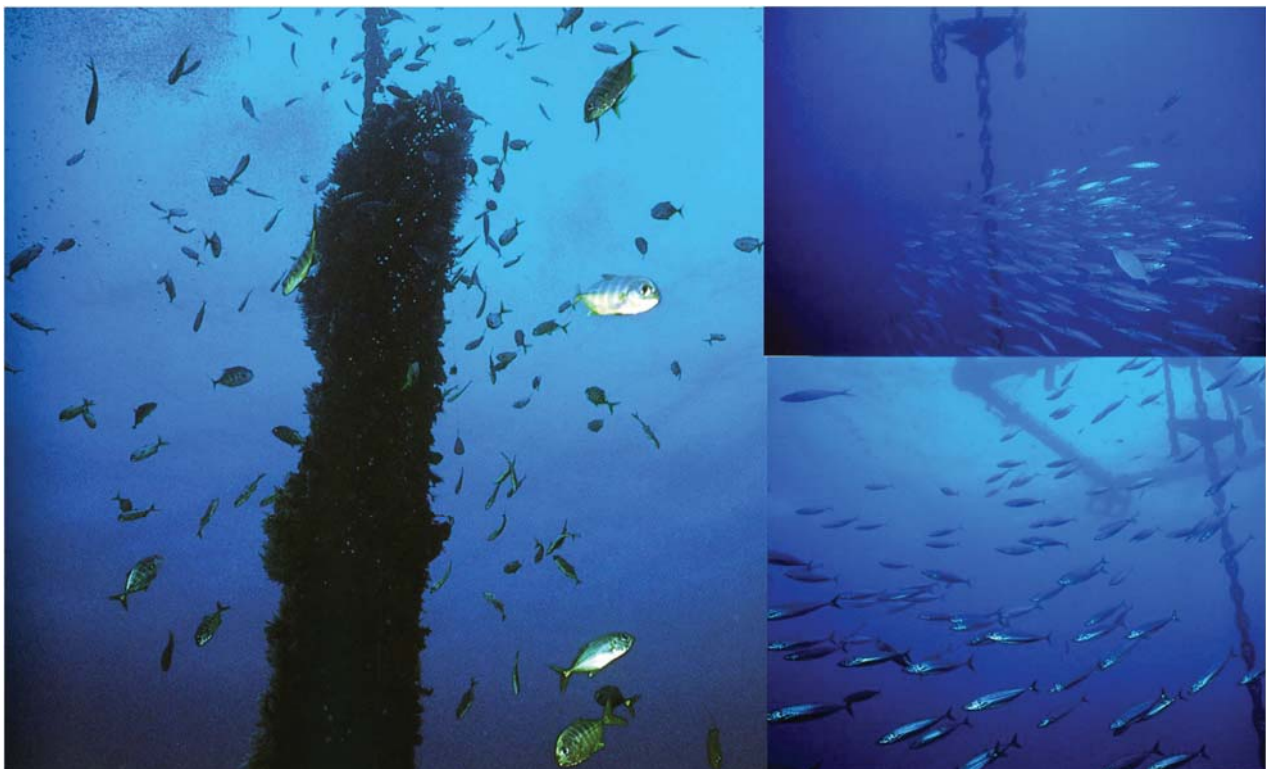


浮魚礁は、回遊魚の「魚道」に設置することが効果的



33

# 浮魚礁に蛸集する魚たち



34



# 鋼製魚礁



コンクリート製は10m程度。鋼製魚礁は40m程度

35

## 高層魚礁と蛸集する魚たち





# 音響馴致(音で餌付けする)施設



## 漁業の場として活用(2)

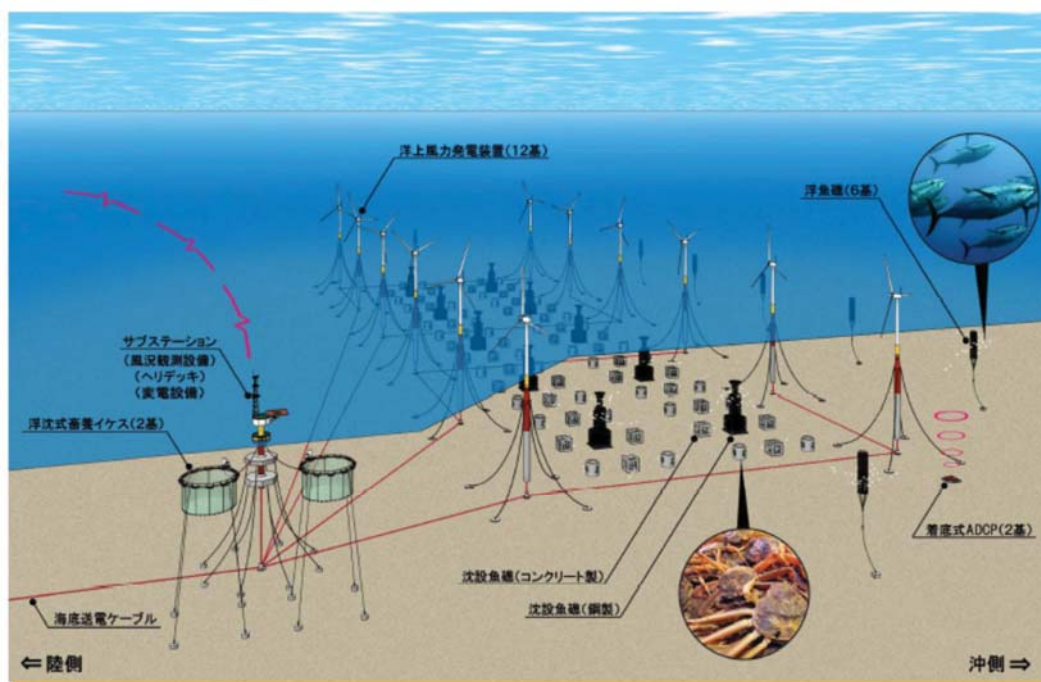


## 漁業の場として活用(3)



消波堤を活用した増養殖場などの操業協調型施設の提案(2013)、漁港漁場漁村技術研究所 <sup>39</sup>

## 漁業の場として活用(4)

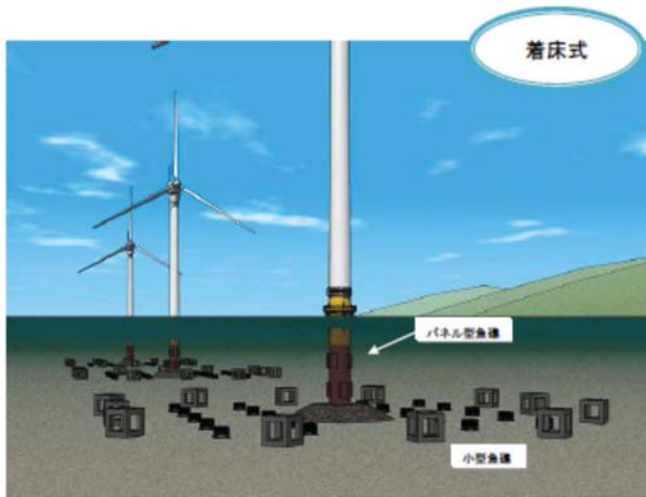


(浮体式洋上ウィンドファームにおける漁業協調メニューの概念図)

洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言《第2版》  
[www.rioe.or.jp/2015teigen.pdf](http://www.rioe.or.jp/2015teigen.pdf)

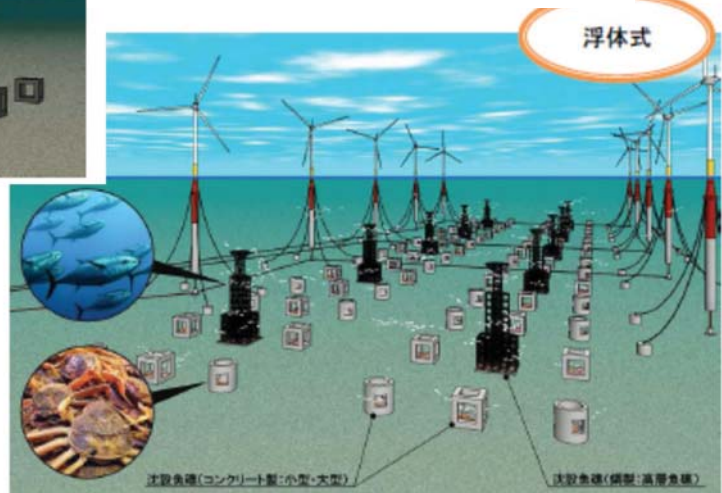


# 漁業の場として活用(魚礁)



「洋上風力」周辺に、魚礁を設置

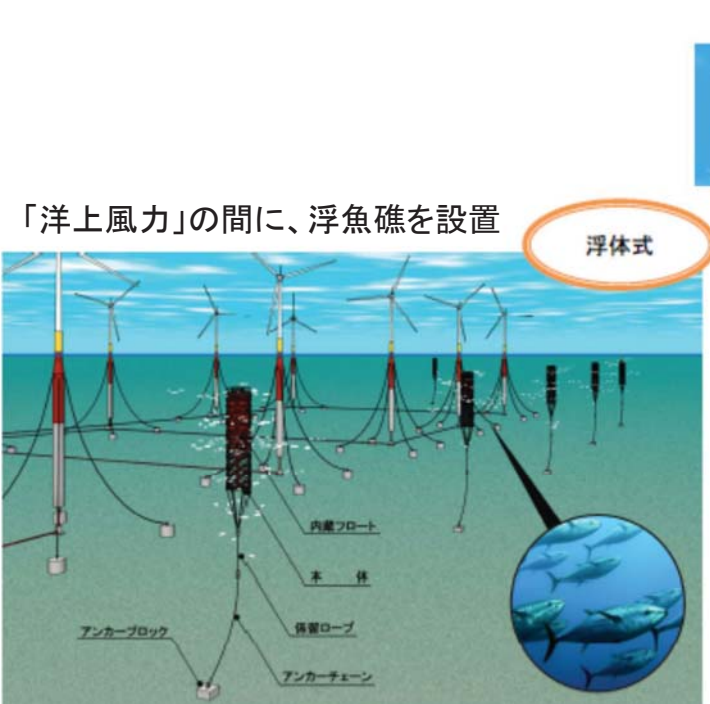
「洋上風力」周辺に、魚礁を設置



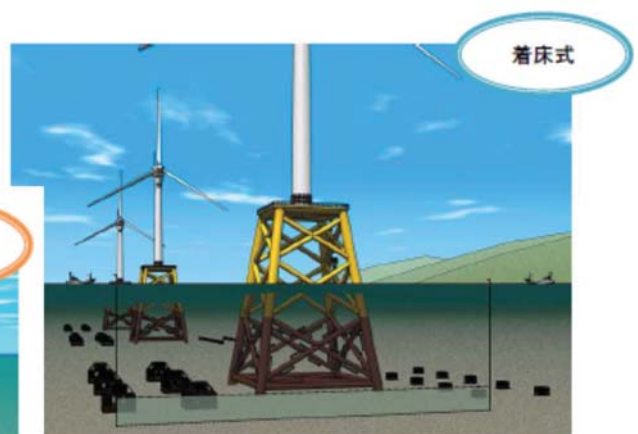
洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言(第2版、2015)、海洋産業研究会

41

# 漁業の場として活用(魚礁)



「洋上風力」の間に、浮魚礁を設置

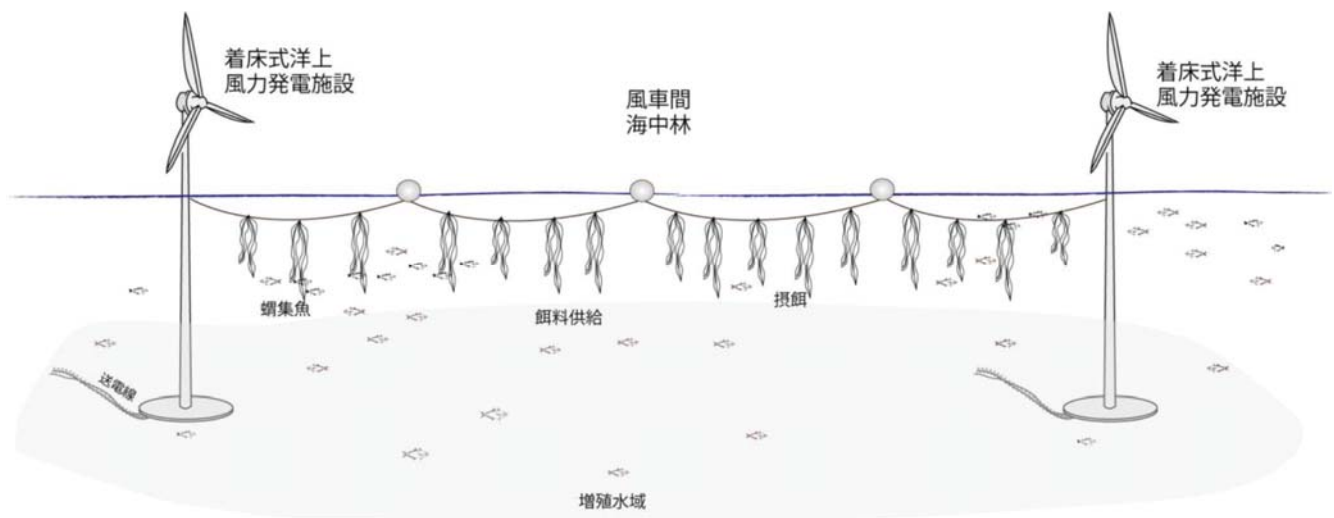


「洋上風力」周辺に、魚礁を設置

洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言(第2版、2015)、海洋産業研究会

42

# 漁業の場として活用(養殖)

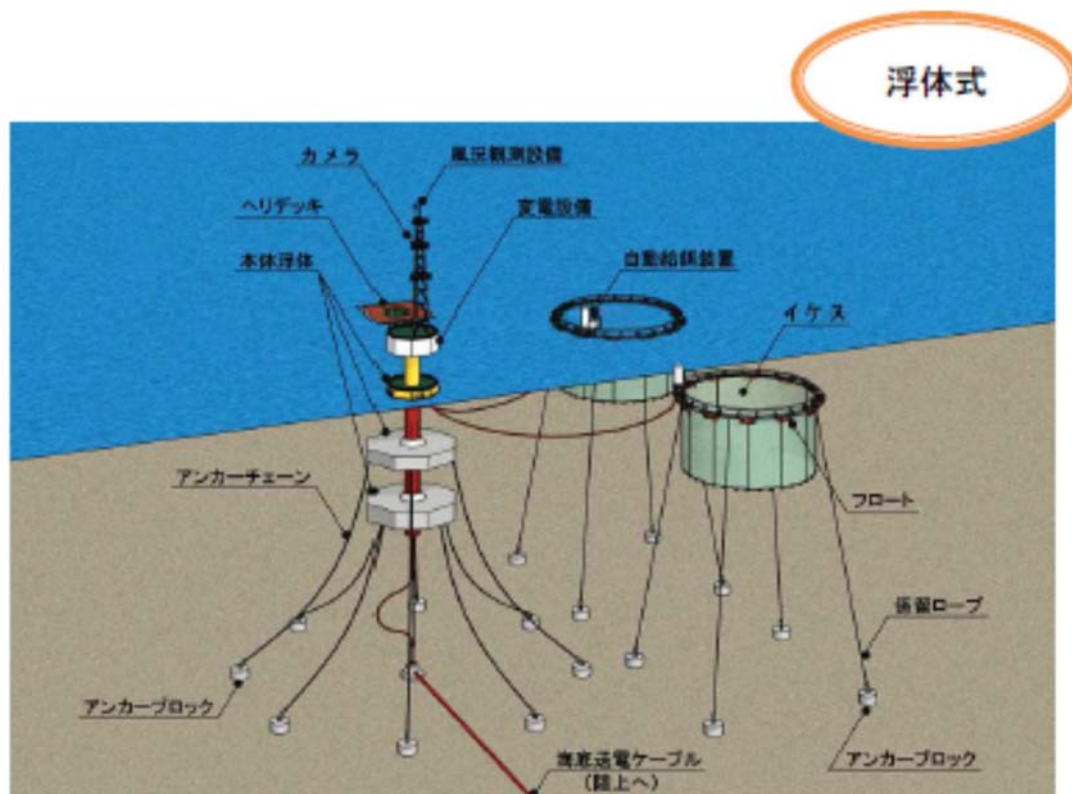


「洋上風力」本体を延縄式養殖施設の係留基礎とする

洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言(第2版、2015)、海洋産業研究会

43

# 漁業の場として活用(養殖)



洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言(第2版、2015)、海洋産業研究会

44



# 漁業協調に関する基本的考え方

## 発電事業者も漁業者も共に潤うWin-Win方式

両者が対立的な関係ではなく、発電事業者もメリットを得るとともに、漁業者も同時にメリットを享受できる「メリット共有方式」。

## 地域社会全体の活性化に貢献

発電事業者と漁業者だけでなく、それ以外の地域の住民・市民、来訪者・観光客等を含め、地域社会全体の活性化に貢献。

**透明性を確保**した合意形成計画当初から、想定海域における漁業者や関連自治体、利害関係者に対して、情報開示、情報提供、事前説明等に努め、合意形成に向けた真摯な姿勢。

## 生態系に対する影響に配慮

沿岸域の生態系や漁業は不確実性が高いことから、建設前～建設中～建設後においても、継続的な環境モニタリングと、観測結果に応じた環境の順応的管理の実施。

## 漁業との新たな関係を築くための 地域との合意形成の留意点

洋上風力発電の実現には、地域との合意形成が重要。事業内容を地域とともにゼロから作り上げていくことが望ましい。

- ① 事業者からの**丁寧な説明**。地域が抱える不安や心配について事業者も一緒に考える姿勢
- ② 地域側における**主体的な検討**の姿勢
- ③ **幅広いメンバー**からの意見
- ④ **議論の透明性の確保・信頼関係の構築**
- ⑤ 関係者が**相互にメリットを共有**する

地域での信頼を積み重ねていくことで、**地域や事業者が応援団**となり、地域と共存した形での洋上風力発電の実現も夢ではない。

# ご静聴有り難うございました

国立研究開発法人水産研究・教育機構では、洋上風力等海洋再生可能エネルギー利用に係る様々な調査研究を実施しています。これらに関する調査研究に関して要望がありましたら、下記宛に問い合わせ願います。

水産研究・教育機構本部  
045-227-2600(代表)  
水産工学研究所  
0479-44-5929(代表)

