

# 洋上風力発電の展望と 風況解析技術

鈴木 英之  
東京大学

内田 孝紀  
九州大学

谷山 賀浩  
東芝エネルギーシステムズ(株)

洋上風力, 風況解析, 浮体式, カーボンニュートラル

## 1. はじめに—国内における洋上風力の展望—

洋上風力エネルギーは国産エネルギーであり、エネルギー安全保障にも寄与することが期待される一方で、エネルギー供給の安定性、技術的成立性、コストの課題があり本格的に開発に取り組むまで時間がかかった。2000年頃には、石油・天然ガスの生産が減り始める2030年頃の利用が検討され始めるとの見通しが示されたこともあった。

ところが、2011年に発生した東日本大震災により引き起こされた福島原発事故を受けて大きく状況が変わった。基礎研究から実証研究に進む動きが加速した。さらに、2020年10月の菅前首相の所信表明演説で「2050年カーボンニュートラル」が我が国の政策目標となり、これに合わせて、2040年までに洋上風力3,000万～4,500万kWを導入するという具体的な目標が掲げられた。さらに、技術開発を後押しするために、グリーンイノベーション基金が設置され、洋上風力に1,195億円が割り当てられ、そのうち950億円を浮体式洋上風力の開発が占めることとなった。

着底式洋上風車については、2011年に(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDO)の事業として実証研究が開始され、銚子沖、北九州沖に風車と風況観測タワーが設置された<sup>(1)</sup>。現在は商業化の段階に進み、再エネ海域利用法に基づく促進区域のうち「秋田県能代市、三種町及び男鹿市沖」<sup>みなわちょう</sup>、「秋田県由利本荘市沖」<sup>かほしま</sup>、「千葉県銚子市沖」の3海域において、公募を経てそれぞれ47.88万kW、81.9万kW、39.06万kWの事業化が進められている。

一方で、我が国周辺海域の地形の特徴は、沖に出るに従って急速に水深が増すことから、本格的な洋上風力エネルギー利用には、浮体式洋上風車の開発が必要との認識は早い時期からあり、着底式と同時に実証研究が開始されている。環境省は地球温暖化対策技術の開発等観点から、東日本大震災前年の2010年に実証研究を開始している。五島列島の枕島沖水深100mの海域に、鉛直円筒状浮体の上に風車を設置したスパイ型浮体式洋上風車の実証研究が進められた<sup>(2)</sup>。また、経済産業省の支援を受けた福島プロジェクトでは、当初掲げた福島復興という観点から、事故

を起こした福島第一原子力発電所の当初の航行制限海域の外側の実証海域を設定して事業を開始した。形式の異なる3形式の浮体式洋上風車を沖合に設置し、陸と風車の間に浮体式の変電所を設置して、発電された電力を集約して陸まで送るウィンドファーム技術の実証研究を実施した<sup>(3)</sup>。技術開発競争において、我が国が世界の先頭に立ったことにより世界的に注目された。現在は、さらなる低コスト化を狙ったNEDOによる実証研究が、北九州沖にバージ型浮体式洋上風車を設置して実施されている<sup>(4)</sup>。これらの実証研究を受けて、我が国の浮体式洋上風車の技術成熟度(Technology Readiness Level:TRL)は着実に向上していると世界的に認知されている。現在は商業化に向けて、量産化や輸送・設置の効率化による格段のコスト低減に向けた検討が進められている。

本格化しつつある我が国の洋上風力エネルギー利用であるが、日本の風力エネルギーの資源状況については、大まかには、北では年平均風速が高く、南では低く、さらに台風が襲来するという特徴があり、経済性に優れた洋上風車の開発には、各候補海域における風況に応じた綿密な設計が必要になる。検討の出発点となる最も重要な情報が各候補海域の風況情報であるが、公開されている情報源としては、シミュレーションに基づいて制作されたNEDOによるNeoWins(NEDO Offshore Wind Information System)<sup>(5)</sup>などがあり、商業化支援のために海域を絞った風況観測とシミュレーションがNEDOにより実施されている状況である。風況観測とシミュレーションには広域性と解像度の問題、精度の問題が常にあり、利用する上でも研究する上でも技術の最新の状況を把握することは重要である。本稿では、洋上風力エネルギー開発の基盤となる風況解析技術と今後について展望する。

## 2. 洋上風力普及に向けた風況評価

ここでは、風力業界で最も注目されている地域の一つである北九州市響灘地区<sup>ひびきなだ</sup>を例にとり、沿岸域の洋上風力開発の問題点や解決方法などについて解説する。北九州市響灘地区は、「風力発電関連産業の総合拠点」の形成などを目指した「グリーンエネルギーポートひびき」事業を推進している<sup>(6)</sup>。2020年9月2日には国土交通省より、秋田

港・能代港・鹿島港とともに港湾法に基づき、海洋再生可能エネルギー発電設備等拠点港湾（基地港湾）として初めて指定された。図1には、NeoWins<sup>(5)</sup>とほぼ類似している気象庁の数値予報モデルGPV（Grid Point Value）データ（メソ気象モデル5 km メッシュにおける地上10 m 値）に基づいて九州大学内田研究室にて作成した2016年の年間平均風況マップを示す。北九州市響灘地区の沿岸域では、年間平均風速が沖合に向かって徐々に増加している様子は見て取れるものの、点在する島々や建物、地形等に起因した風速変動（いわゆる、乱流場）は当然ながら反映されていない。

一般的に、洋上風力発電は陸上と比較して風の乱れ（乱流強度）が小さく、風況も安定しているため開発が容易であるとの意見やコメントを見かける。しかしながら、開発エリアの周囲に島などが点在する場合には、そこから地形性の複雑乱流場が発生するため注意が必要である。

特に、図2に示すように夜間に出現する頻度が高い陸風発生時には、地形や工場などの建屋群に起因して発生した複雑乱流場が洋上にも到達する可能性が指摘されており、その予測は極めて重要である。今回の計算事例で示したように、洋上ウィンドファームを計画しているエリア内に発生する乱流強度の正確な予測は、そこに設置する風車

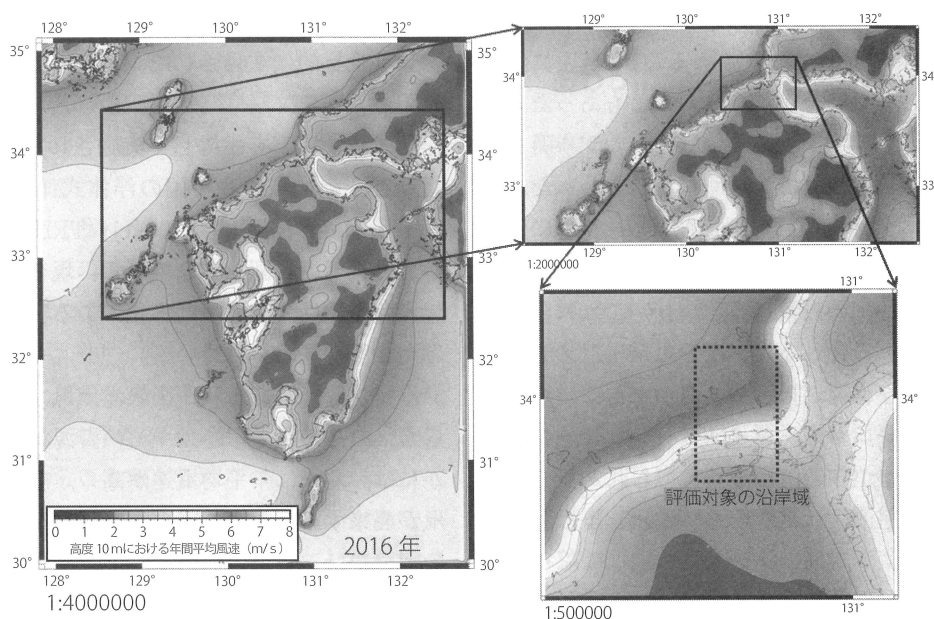


図1 気象GPVデータを用いた2016年の風況マップ（九州大学内田研究室にて作成）  
（カラーの図は口絵参照）

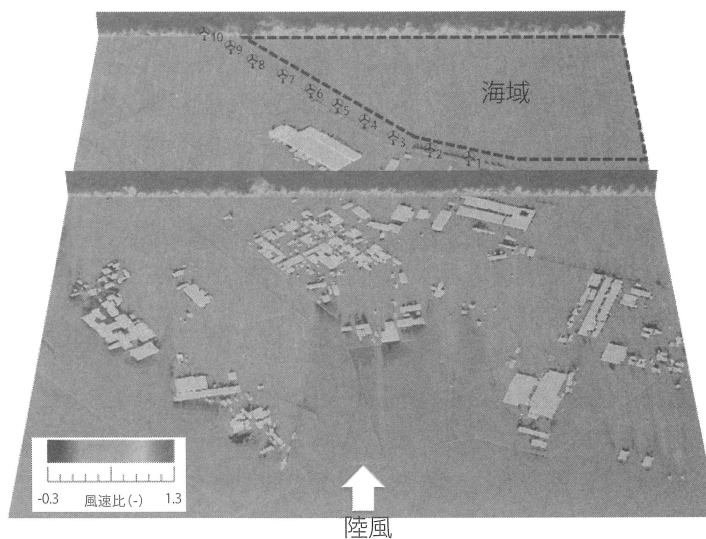


図2 陸風を対象にした建物群を考慮した計算事例（九州大学内田研究室提供）  
（カラーの図は口絵参照）

の機種選定等に直結する問題であるため、最重要検討課題である。さらに、洋上ウィンドファームが既設の陸上風車群に与える影響（あるいは、既設の陸上風車群が洋上ウィンドファームに与える影響）、既設風車群どうしの影響などが今後、顕在化することが予想され、こうした状況に関してもきめ細やかな検討が必要である。

### 3. 風況解析技術を活かした取り組みと期待

第1章で示した日本政府が掲げる洋上風力の導入目標の達成には、発電事業者における事業採算性の向上が不可欠となる。これは、端的には、風車本体を始めとする機器に対する初期投資コスト、および運用・保守にかかるコストを上回る売電収入を得ることであり、各種コストの低減、および売電収入に直結する発電量を増加させる施策が必要である。本章では、第2章で述べた風況解析技術がこれら施策へどのように貢献するかについて紹介する。

#### 3.1 発電量と風況解析

一般的な風車は、風速3～4 m/sから発電を開始、12 m/s前後で定格運転となり、25 m/sを超えると安全のため運転を停止する。また、乱流強度や風向変動が大きな場合も停止する制御を行う。このため、洋上ウィンドファームを建設する場所は、同じ風向から、遅すぎず速すぎない安定的な風が吹いていることが理想的となる。しかしながら、国内の洋上風力の多くは、ヨーロッパと異なる立地環境にあり、①昼夜／季節で反転する風向、②短い離岸距離、③碁盤の目のような密集した配置、の大きく3点で計画段階から風況を把握する必要がある。具体的には、①は卓越する風向を知り、そしてその風向における鉛直方向の風速分布や乱流強度などの風の特徴を、また②では、陸風の場合は第2章の解析結果が示すように陸上の地形や建物などの影響が残ること、逆に海風の場合は海岸線付近にて風速変化（フェッチ効果）が生じること、などの現象を、そして③では、上流側に位置する風車を通過した風の乱れ（ウエイク）による影響を、それぞれ考慮し、またこれらの相互干渉を理解したうえで、風況を評価、期待される発電量を試算する。

これには、洋上ウィンドファームとその近傍を含む数km～数十km四方の範囲を対象に、風車に影響を与える空間サイズの分解能で、気象解析で考慮するマクロな現象を考慮しつつ、流体解析的に地形影響などを捉える「風況解析技術」がキーとなり、発電量を最大化する立地選定や風車配置設計に欠かせないばかりか、風車の健全性を担保するうえで重要となる（図3）。

特に風況実測（図4）が非常に高コストとなる洋上においては、平均風速だけではなく詳細な風況を解析的に把握

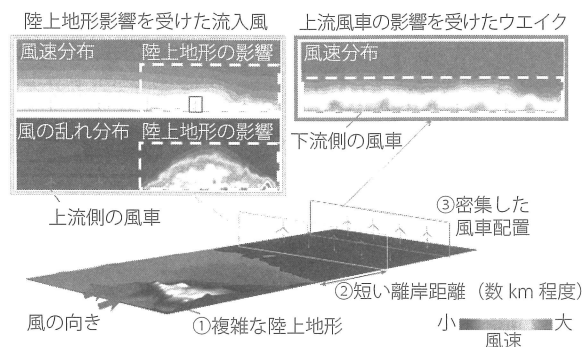
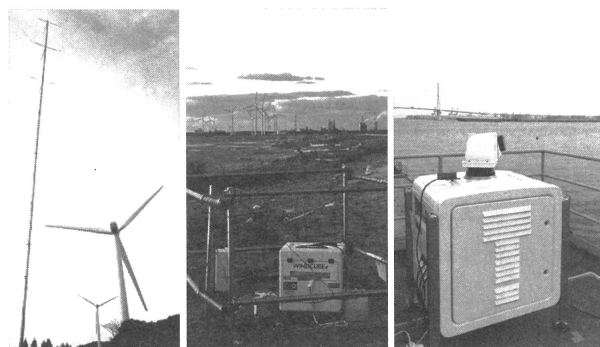


図3 国内洋上ウィンドファームの風況特徴と解析結果例  
(カラーの図は口絵参照)



(a) 観測マスト (b) 鉛直ライダー (c) スキャニングライダー  
図4 風況観測の様子

できることは発電事業者にとっても、風車メーカーにとっても意義は大きく、その解析精度向上は期待される場所であり、解析技術の革新に加え、風洞試験や実風況計測結果との比較検証など、さまざまな取り組みが行われている。

#### 3.2 初期投資コストと風況解析

浮体式洋上風車は係留索に接続された浮体構造に風車を搭載、風車タワー基部で連結した構成で、浮体構造は波浪や潮流に加え、自身による造波や渦の、そして風車は流入風の、それぞれ流体力を受けて動揺する。図5はセミサブ型浮体式洋上風車を例にそれぞれにかかる流体力を簡易的に示したものである。

回転機器や電機品を搭載する風車は、できるだけ動揺を小さく抑えることが望ましいものの、そのためには浮体構造を大きくすることとなるため、風車設計と浮体構造設計を一体で設計検討、互いのトレードオフを取った最適設計を行うことが初期投資コストの低減につながる。この最適設計には、外力となる波浪や流入風を正しく捉える必要がある。流入風においては、風況解析により、海域や季節によって異なる風況の特徴を与えることが期待される。

#### 3.3 運用・保守コストと風況解析

原子力発電や火力発電のように管理された環境での運用とは異なり、厳しい自然環境下で、かつ運転条件も変動す

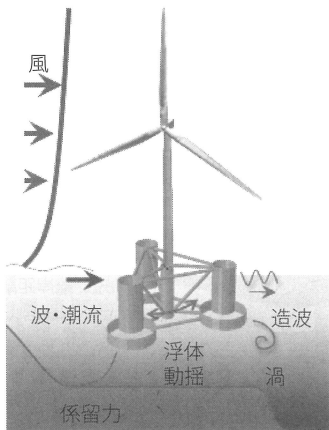


図5 浮体式洋上風車にかかる流体力

る風力発電システムは、常に故障リスクにさらされていると言っても過言ではない。特に洋上風力では、修復作業のみならず、天候によっては風車へのアクセスそのものが容易でなく、海域によっては、アクセス船が接舫可能な日は年間の1/3程度と言われるところもあるなど、一度故障することによって大きな発電機会ロスにつながる。

このため、運転中の風車状態監視は重要となるが、ここでも風況解析が活躍する。風況と密接に関連する風車挙動を理解するために必要だからである。

さらに今後は、洋上風車のメンテナンス作業でも風況評価は重要視されるであろう。例えば、ドローンによる風車

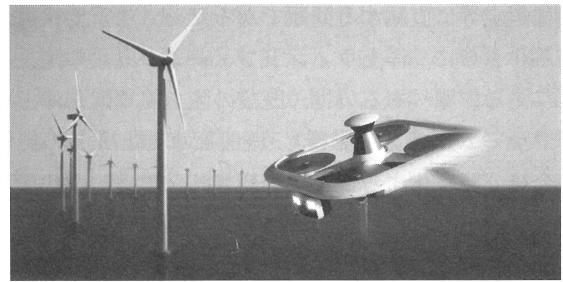


図6 ドローン自動飛行によるメンテナンスイメージ

の遠隔自動点検（図6）では、気象条件と連携させた局所的な風況把握がドローンを安全に飛行させることに有用である。また、有人で実施する保守点検でも、点検計画立案の参考とすることで効率的に遂行することが可能となる。

これらは一例であるが、風資源が豊富な海域に設置される洋上風力では、陸上風力以上に風況解析技術はさまざまなシーンで活用することが期待される。

以上、本稿では、2050年のカーボンニュートラルの担い手の一つとして期待される洋上風力発電における国内の概況、および導入促進に向けて重要なキー技術の一つである風況解析について紹介した。この他にも開発・高度化すべき技術はいくつもあり、高いハードルもあるが、風況解析技術のように産学連携により着実に解決、政府が掲げる洋上風力の導入目標の達成に貢献していきたい。

## 文 献

- (1) 銚子・北九州着床式洋上風車実証研究  
<https://www.nedo.go.jp/fuusha/shiryo.html>
- (2) 五島市杵島沖 浮体式洋上風力発電実証事業（環境省）  
<https://haenkaze.com>
- (3) 福島洋上風力コンソーシアムプロジェクト  
<http://www.fukushima-forward.jp>
- (4) 次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究  
<https://www.nedo.go.jp/floating/index.html>
- (5) NeoWins（洋上風況マップ）  
[https://appwdcl.infoc.nedo.go.jp/Nedo\\_Webgis/top.html](https://appwdcl.infoc.nedo.go.jp/Nedo_Webgis/top.html)
- (6) グリーンエネルギーポートひびき（Full）  
<https://www.youtube.com/watch?v=R1f3XLO0YpU>

## 鈴木 英之



### すずき・ひでゆき

1987年3月東京大学大学院工学系研究科船舶工学博士課程修了。同年4月東京大学工学部講師。准教授を経て、2003年4月より同大学大学院工学系研究科教授。海洋構造システム工学を専門として、浮体式洋上風車の研究に携わる。工学博士。

## 内田 孝紀



### うちだ・たかのり

1999年3月九州大学大学院 後期博士課程修了。2000年4月同大学助手、2007年4月同大学助教、2011年9月同大学准教授、現在に至る。風況予測モデル・リアムコンパクトの開発責任者。博士（工学）。

## 谷山 賀浩



### たにやま・よしひろ

東芝エネルギーシステムズ(株)機械技術開発部シニアマネージャー。風力事業における研究開発の取りまとめ、および風況解析技術開発を担当。