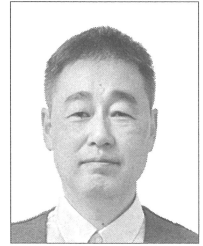


## 《特集：海洋エネルギー発電技術の最新動向》

〔展望・解説〕

沿岸域の洋上風力発電開発における  
技術課題

内田 孝紀\*

## Technical Challenges in Coastal Offshore Wind Power Development

Takanori UCHIDA

## 1. はじめに

日本政府は、2050年の脱炭素社会の実現を掲げた。その中でも特に洋上風力発電(洋上ウインドファーム)が期待されている。Fig. 1に示すように、一般的に風車ブレードの回転に伴い、風車の下流側には風車ウエイクと呼ばれる風速欠損領域が形成される。複数の風車群から構成される大規模洋上ウインドファームでは、風車ウエイクが相互に干渉し、下流側の風車群に直接的な影響(発電量の低下や風荷重の増大)を与える。最近になり、日本でも風車ウエイク現象に関する研究が幾つか報告されているものの<sup>(1)</sup>、風車ウエイク現象には未解明な問題が多い。

こうした状況の中、国内で計画中の大規模洋上ウインドファームの大半には、欧米の大手デベロッパーが参画している。加えて、導入予定の大型商用風車はすべて海外製である。つまり、洋上ウインドファームの計画エリアは日本海域でありながら、上記の風車ウエイク現象に

起因した洋上ウインドファームの最適設計には欧米の既存技術が適用され、国富が海外へ流出するだけでなく、日本のインフラを海外に依存する危機的な状況になりかねない。

日本の技術による、日本の環境に調和した、日本版の大規模洋上ウインドファームを早期に、かつ適切に実現・普及させるためには、融資適格性評価や低コスト化に資する風車ウエイク現象の高精度予測を含む日本独自の革新的な最適設計手法の確立が最重要課題である。我々の研究グループでは、複数の風車群から構成される大規模洋上ウインドファームにおいて、非線形な流動現象である風車ウエイクの相互干渉現象を正確に予測することを最大の目的とし、エンジニアリング・ウエイクモデルとCFDウエイクモデルの中間的な手法として、CFDポラリスディスク・ウエイクモデルを新たに開発・提案した<sup>(2)(3)</sup>。本稿では、本ウエイクモデルの適用を含め、特に沿岸域の洋上風力開発における課題やそれを解決するための我々の研究グループの取り組み状況を紹介する。

\*九州大学 応用力学研究所

E-mail : takanori@riam.kyushu-u.ac.jp

原稿受付日 令和4年6月10日

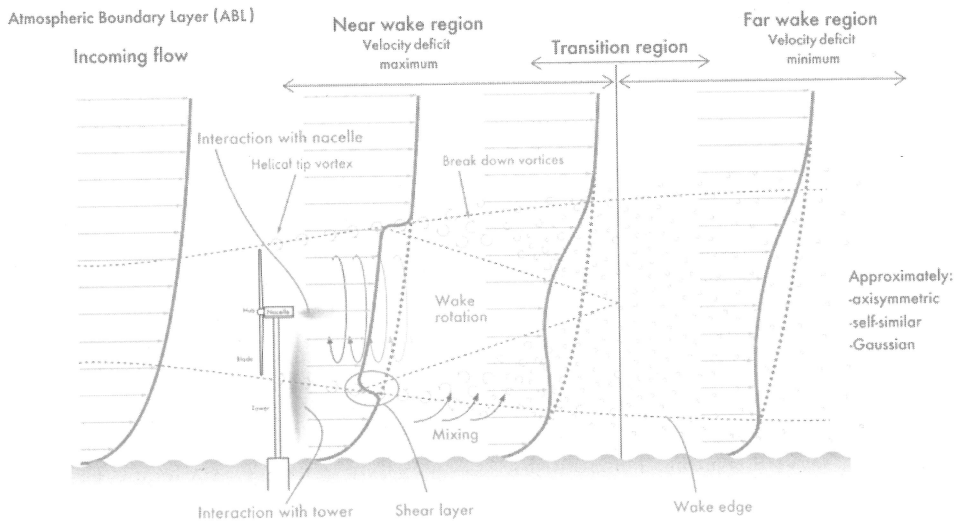


Fig. 1 Schematic diagram of the wind turbine wake structure

## 2. 北九州市響灘地区を対象とした風況面の問題意識と研究開発の取り組み状況

北九州市響灘地区は、「風力発電関連産業の総合拠点」の形成などを旨とした「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>(4)</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。Fig. 2には、気象庁GPVデータMSM-S(水平空間解像度5 km)に基づいて当研究室にて作成した2016年の年間平均風況マップを示す。研究対象とした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、Fig. 3に示すような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、大気乱流場)は当然ながら反映されていない。

北九州市響灘地区には、Table 1に示すように種々のスケールの陸上風車が既に設置・運営されている。また、同地区の洋上には九州電力

(株)の子会社である九電みらいエネルギー(株)を代表会社とし、西部ガス(株)や電源開発(株)など計5社が出資するひびきウインドエネルギー(株)が着床式の「北九州響灘洋上ウインドファーム(仮称)」の計画を進めている。ここでは、三菱重工業グループの「MHIヴェスタス」(デンマーク)のV164 9.5 MWアップウインド風車(ロータ直径174 m、ハブ高さ約110 m、最高到達点約200 m、IEC-ClassT)が採用されることが正式に発表されている(2019年10月30日)。2022年度に設置工事が開始予定である。さらに、北九州市沖約15 km、水深約50 mの海域においては、日本初のバージ型浮体式洋上風力発電システム(2枚翼アップウインド型3 MW風車、ロータ直径100 m、ハブ高さ72 m、最高到達点122 m)の実証運転が、2019年5月21日より日立造船(株)などにより開始されている。以上のように、北九州市響灘地区は風力業界では最も注目されている地域の一つである。

これ以降は、Fig. 3に示すCase-1～Case-5の風向を対象に我々の研究グループが実施してき

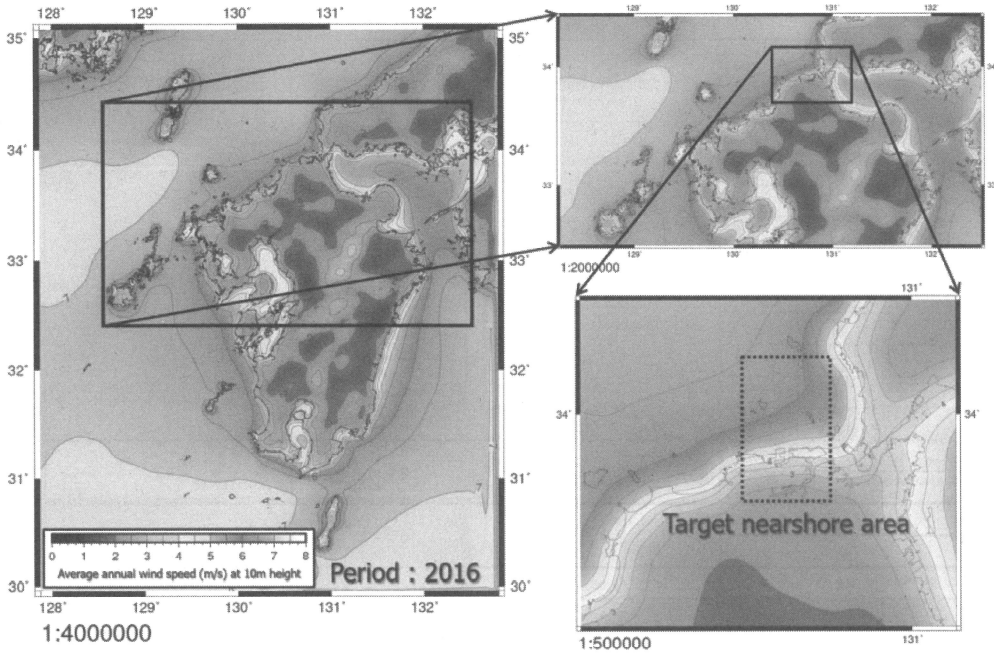


Fig. 2 2016 wind resource map using meteorological GPV MSM-S data (created by Uchida laboratory)

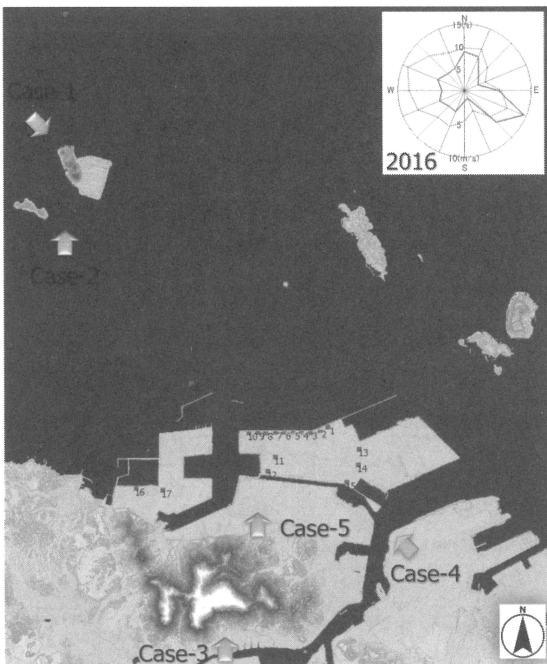


Fig. 3 Topography in the coastal area of the Hibikinada seaside industrial area in Wakamatsu-ku, Kitakyushu city

た計算事例を示し、今後解決すべき問題点などを議論する。Fig. 4には、(昼間に出現する頻度が高い)海風を対象にした計算事例(Fig. 3に示すCase-1およびCase-2)を示す。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、その開発が容易であるとの意見が散見される。しかしながら、この事例に示されているように、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な大気乱流場が発生するため、詳細な検討が必要である。

Fig. 5には、(夜間に出現する頻度が高い)陸風を対象にした計算事例(Fig. 3に示すCase-3およびCase-4)を示す。Case-3では大規模な地形に、Case-4では工場などの建屋群にそれぞれ起因して発生した複雑な大気乱流場が洋上にも到達している様子が再現されている。

Fig. 6には、Table 1に示す18基の風車群に、

Table 1 Main specifications of each wind turbine

| Wind Turbine Number | Capacity (MW) | Hub Height (m) | Rotor Diameter (m) |
|---------------------|---------------|----------------|--------------------|
| 1                   | 1.5           | 65             | 70                 |
| 2                   |               |                |                    |
| 3                   |               |                |                    |
| 4                   |               |                |                    |
| 5                   |               |                |                    |
| 6                   |               |                |                    |
| 7                   |               |                |                    |
| 8                   |               |                |                    |
| 9                   |               |                |                    |
| 10                  |               |                |                    |
| 11                  | 3.3           | 84             | 112                |
| 12                  |               |                |                    |
| 13                  | 2.0           | 65             | 86                 |
| 14                  |               |                |                    |
| 15                  | 1.99          | 67             | 80                 |
| 16                  | 2.7           | 80             | 103                |
| 17                  | 5.0           | 89.4           | 136                |
| 18                  | 2.0           | 80             | 83                 |
| 19                  | 3.0           | 72             | 100                |

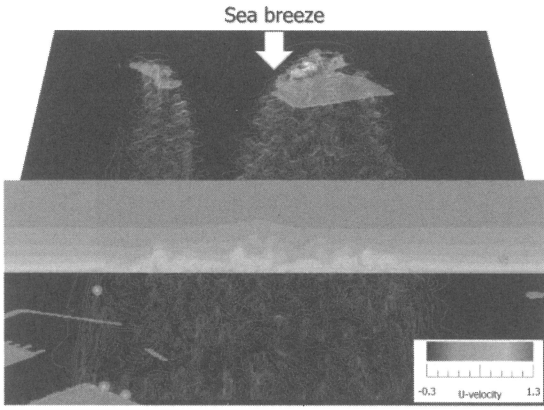
我々が開発したCFDポーラスディスク・ウエイクモデルを適用した計算結果(陸風)を示す。各風車から風車ウエイクが形成され、それらが相互干渉しながら沖合に流下している様子が明確に再現されている。実際には、Case-3、Case-4、Case-5に示す各々の計算結果が複合し、さらに複雑な状況が発生していると推測される。よって、それらの複雑な状況を高度に再現可能なシミュレーション技術の開発が急務である。今回の計算事例で示したように、洋上ウインドファームを計画しているエリア内に発生する乱流強度の正確な予測は、そこに設置する風車の機種選定等に直結する問題であるため、最重要検討課題である。さらに、洋上ウイン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イ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。

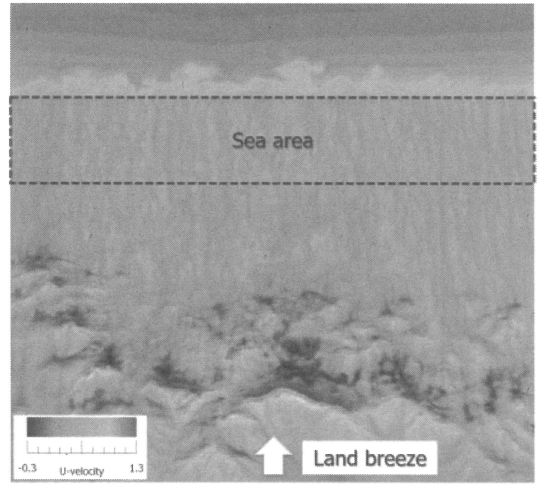
### 3. おわりに

我々の研究グループでは、融資適格性評価や低コスト化に資する風車ウエイク現象の高精度予測を含む日本独自の革新的な最適設計手法(CAEソフトウェア)の確立を目指した研究開発を行っている。本稿では、CFDポーラスディスク・ウエイクモデルの適用を含め、特に沿岸域の洋上風力開発における課題やそれを解決するために我々の研究グループが取り組んでいる代表的な事例を紹介した。

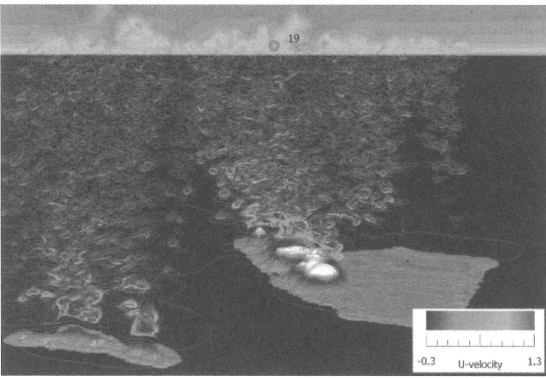
現在、北九州市響灘地区において、著者はジャパン・リニューアブル・エナジー(株)および東京ガス(株)とともに、科学技術振興機構(JST)のA-STEP産学共同(本格型)に採択され、響灘ウ



(a) Case-1

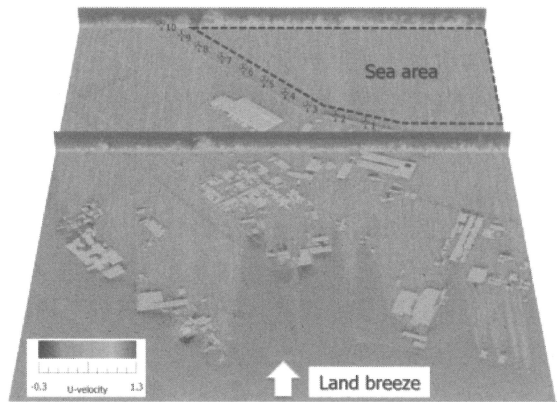


(a) Case-3



(b) Case-2

Fig. 4 Simulation example for sea breeze (see Fig. 3)



(b) Case-4

Fig. 5 Simulation example for land breeze (see Fig. 3)

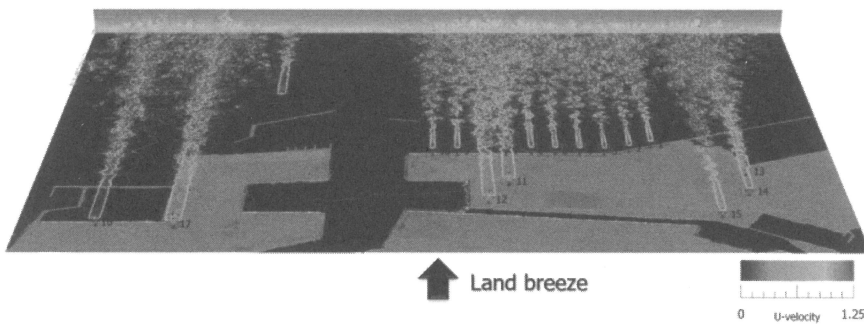


Fig. 6 Case-5 simulation example for land breeze. This is the result of applying the CFD porous disc wake model to a group of 18 wind turbines

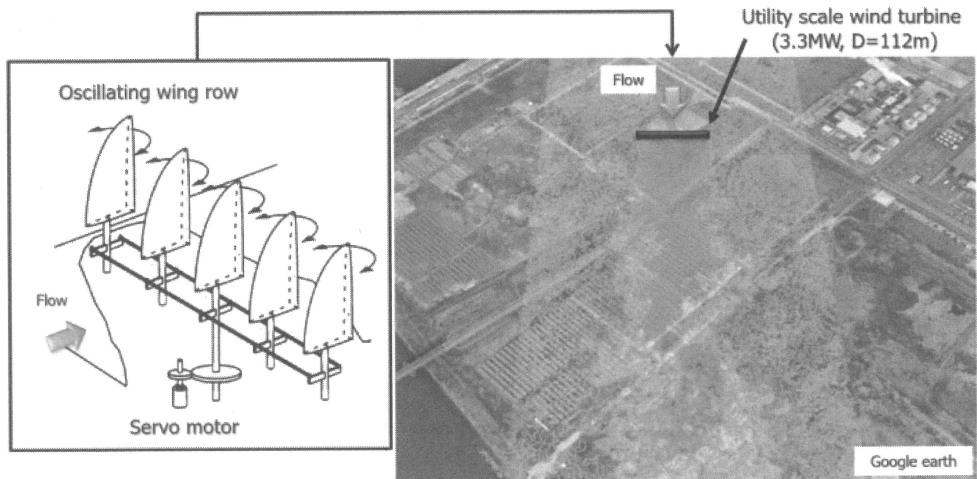


Fig. 7 Simulation result of CFD porous disc wake model considering inflow turbulence

インドエナジーリサーチパーク合同会社が所有する風力発電設備(3.3 MW風車2基)を活用した研究開発を実施中である(課題番号/JPMJTR 211C)。代表的な計算事例として、Fig. 7に自然風(流入変動風)を考慮したCFDポーラスディスク・ウエイクモデルの結果を示す。ここで、流入変動風は大気拡散実験での可動翼列を模擬して作成した<sup>(5)</sup>。Fig. 7を観察すると、風車に侵入する流入変動風の影響を受け、風車ウエイクが主流直交方向に大きく蛇行して流下している様子が再現されている。本プロジェクトで得られた最新の研究成果は改めて別の機会でご報告する予定である。

今後も我々の研究グループは、本稿で紹介した研究開発をさらに加速させ、国内の風力事業者が取り組む風力プロジェクトへの技術支援を積極的に行っていく。

#### [謝辞]

CFDポーラスディスク・ウエイクモデルの研究開発に関連し、2022年には以下の賞を受賞した。ここに記して、関係者に感謝の意を表します。

- 第54回、市村賞「市村地球環境学術賞・貢献賞」、(公財)市村清新技術財団
- 令和3年度、新エネ大賞「審査委員長特別賞」、(一社)新エネルギー財団

#### <参考文献>

- (1) G.W. Qian, T. Ishihara, Wind Farm Power Maximization through Wake Steering with a New Multiple Wake Model for Prediction of Turbulence Intensity, *Energy* 2021, 220, 119680.
- (2) Takanori UCHIDA, Yoshihiro TANIYAMA, Yuki FUKATANI, Michiko NAKANO, Zhiren BAI, Tadasuke YOSHIDA and Masaki INUI, A New Wind Turbine CFD Modeling Method Based on a Porous Disk Approach for Practical Wind Farm Design, *Energies* 2020, 13(12), 3197.
- (3) Takanori UCHIDA, Tadasuke YOSHIDA, Masaki INUI and Yoshihiro TANIYAMA, Doppler Lidar Investigations of Wind Turbine Near-Wakes and LES Modeling with New Porous Disc Approach, *Energies* 2021, 14(8) (2101).
- (4) グリーンエネルギーポータルひびき (Full), <https://www.youtube.com/watch?v=R1f3XLO0YpU>
- (5) 永井清之・水本伸子, 可動翼列を用いた大気拡散風洞実験(Ⅲ), *大気環境学会誌*, 第36巻, 第5号(2001), pp.290-300.