

洋上風力発電の採算性と耐久性の最適設計に資する 日本型CAEソフトウェアの開発

沿岸域の洋上風力開発の問題解決に向けて

九州大学 内田 孝紀

はじめに

政府は2050年の脱炭素社会の実現を掲げ、その中でも洋上風力発電が特に期待されている。図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ィンドファームでは、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⁽¹⁾、風車ウエイク現象には未だ謎が多く、早急な対応が必要である。

こうした状況の中、国内で計画中の洋上ウィ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、実施計画場所は日本海域でありながら、上記の風車ウエイクに起因したウィンドファームの最適設

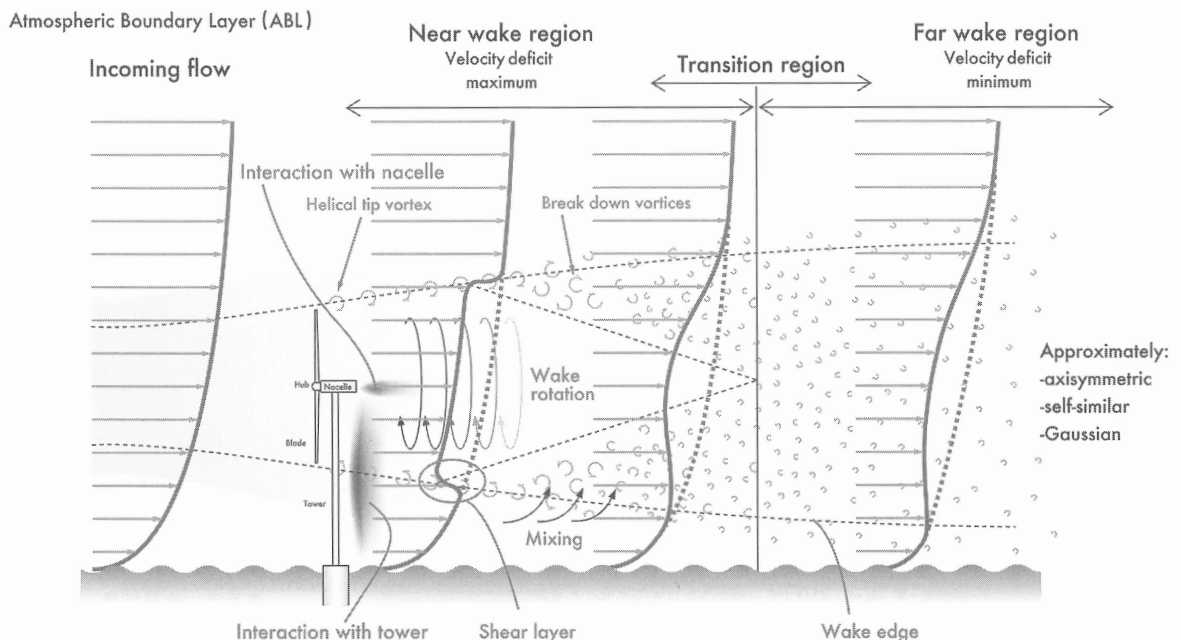


図1 風車ウエイク構造の模式図

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windファームを早期に、かつ適切に実現するためには、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洋上の大規模wind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ポーラスディスク・ウエイクモデルを新たに提案した⁽²⁾⁽³⁾。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します。

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

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⁽⁴⁾。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2には、気象GPVデータMSM-S（5kmメッシュ）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、図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、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、表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

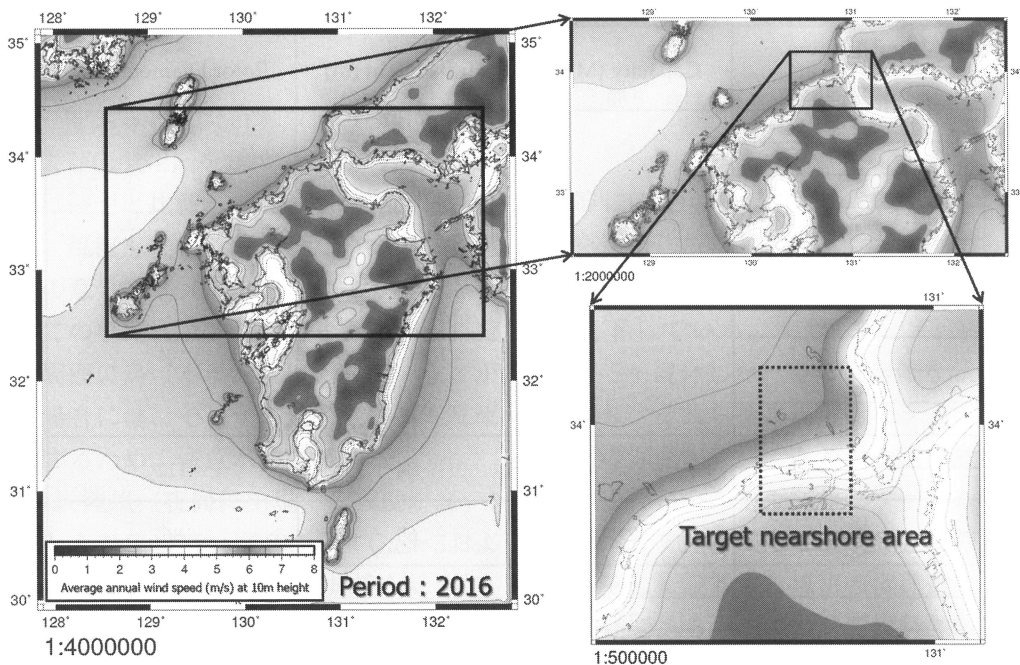


図2 気象GPVデータMSM-Sを用いた2016年の風況マップ

(出典：内田研究室にて作成)

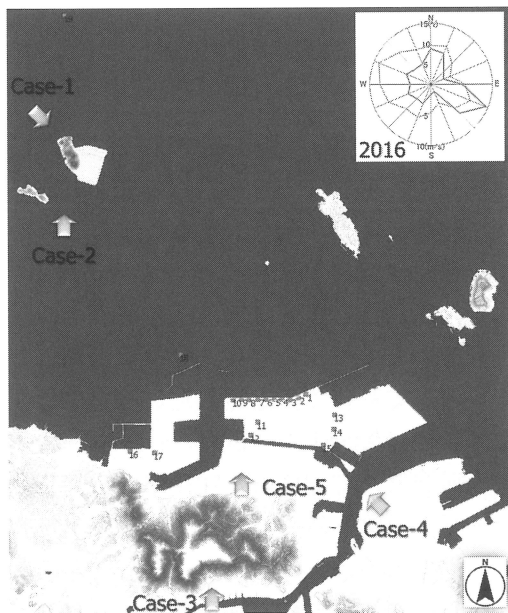


図3 北九州市響灘地区の沿岸域における地勢など

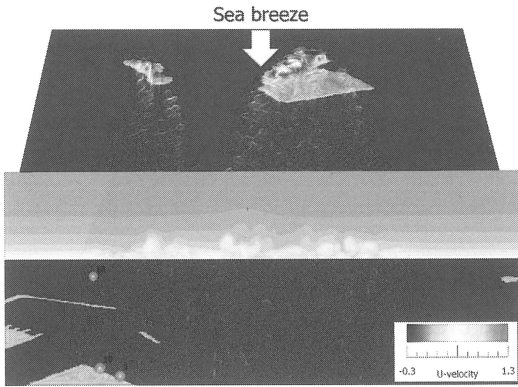
れている。また、同地区の洋上には九州電力株式会社の子会社である九電みらいエナジー株式会社を代表会社とし、西部ガス株式会社や電源開発株式会社など計5社が

出資するひびきウインドエナジー株式会社が着床式の「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 9.5MWアップウインド風車（ロータ直径174m、ハブ高さ約110m、最高到達点約200m、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15km、水深約50m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3MW風車、ロータ直径100m、ハブ高さ72m、最高到達点122m）の実証運転が、2019年5月21日より日立造船株式会社などにより開始されている。以上のように、風力業界では最も注目されている地域の一つである。

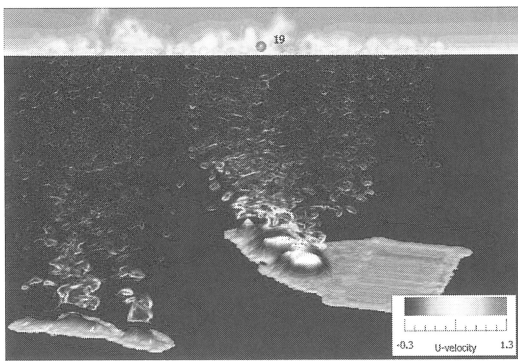
これ以降は、図3に示すCase1～Case5の風向を対象に我々の研究グループが実施してきた計算事例を示し、今後解決すべき問題点などを議論する。図4には、海風（昼間に出現する頻

表1 各風車の主な仕様

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

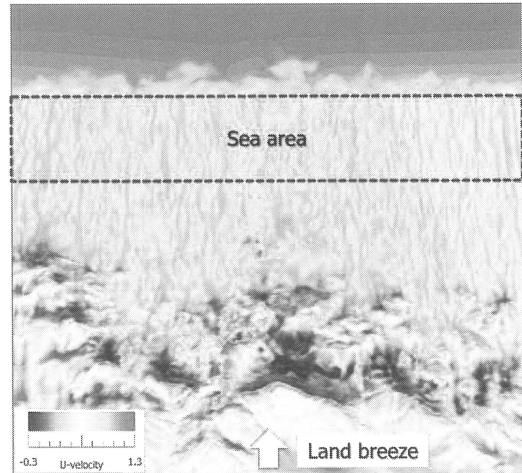


(a) Caes-1

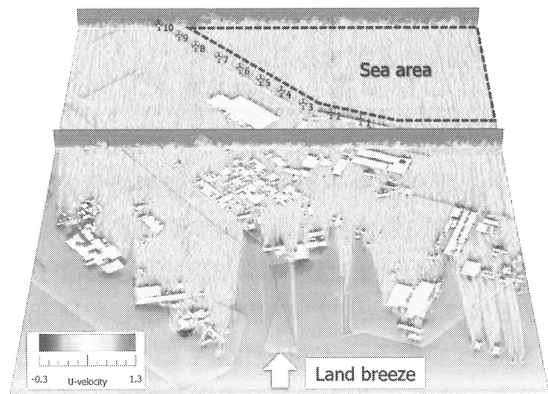


(b) Caes-2

図4 海風を対象にした計算事例 (図3を参照)



(a) Caes-3



(b) Caes-4

図5 海風を対象にした計算事例 (図3を参照)

度が高い)を対象にした計算事例(図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、この事例に示されているように、開発エリアの周囲に島(本事例では、白島)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。

図5には、陸風(夜間に出現する頻度が高い)を対象にした計算事例(図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起因して発生した複雑乱流場が洋上にも到達している様子が再現されている。図6には、表1に示す18基の風

車群にCFDポーラスディスク・ウエイクモデルを適用した結果を示す。各風車から形成された風車ウエイクが複雑に相互干渉しながら沖合に流下している。実際には、Case-3、Case-4、Case-5が複合した、さらに複雑な状況が発生しており、それらを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wind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wind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

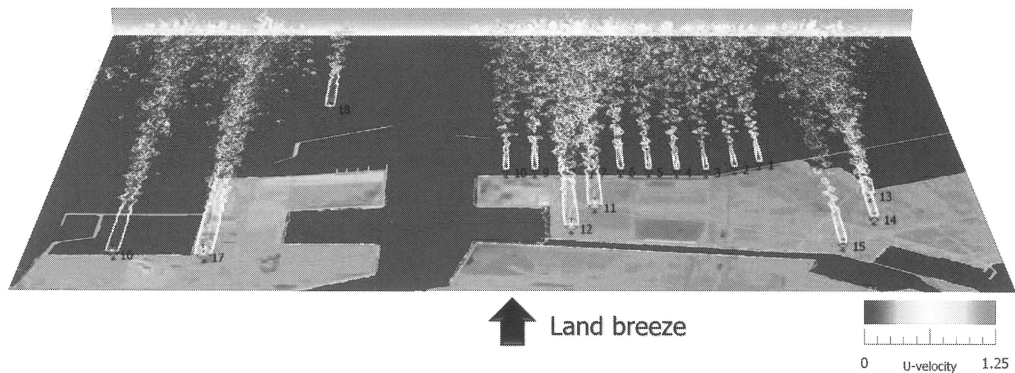


図6 陸風を対象にしたCase-5の計算事例、18基の風車群にCFDポーラスディスク・ウエイクモデルを適用した結果

が洋上wind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。

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、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windエネルギーリサーチパーク(同)が所有する風力発電設備(3.3MW風車2基)を活用した研究開発を実施中である(課題番号/JPMJTR211C)。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

本研究開発に関連し、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(2022)

<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, Vol.221, pp.1-17 (2021)
- (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, 13(12), 3197 (2020)
- (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>

【筆者紹介】

内田 孝紀
九州大学 応用力学研究所 准教授