

地形が気流に影響を与える風力発電サイトにおける 風況予測精度向上に関する研究

高桑, 晋

<https://hdl.handle.net/2324/6787657>

出版情報 : Kyushu University, 2022, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 高桑 晋

Name

論文名 : 地形が気流に影響を与える風力発電サイトにおける風況予測精度向上に関する
研究

Title

区 分 : 甲

Category

論文内容の要旨

Thesis Summary

近年、再生可能エネルギーの普及が国内外において求められており、日本においても風力発電が増加しつつあるが、適地の減少と入札への移行より風力発電事業開発の難易度はますます高まっている。事業を成功させるには、これまで以上に適切な観測と信頼できる発電量予測が必要となるが、それには日本固有の問題も解決しなければならない。陸上風力においては海外では平坦地形サイトが多い一方、国内は複雑地形サイトが多いため、地形起伏による影響を考慮しなければならない。また、今後導入が促進される洋上においても欧州では海岸から 20km 程度離れた沖合に建設される一方、国内では水深がすぐに深くなるため数 km 程度で計画されることが多く、陸上地形の影響を受けることになる。陸上風力と洋上風力ともに、地形影響によりサイト内で風速が非一様となり、風況観測地点と各風車位置で異なる風速を気流シミュレーション等により補正する必要がある。洋上の方がサイト内の風速変化はかなり穏やかではあるが、洋上の風況観測は一か所あたり数億円と陸上観測の約 20 倍、サイト規模は約 10 倍となるため観測地点が少ないことが予測を難しくしている。そのため、陸上および洋上風力発電事業において気流シミュレーションの精度は発電量最大のレイアウト作成および正しい事業性評価を行うための肝になっており、厳しい事業環境においてカーボンニュートラル達成に向け日本でも風力発電の導入を加速させるために、本研究の目的は日本特有の地形・気象条件に適した風況予測技術を開発することにある。

本論文の第 1 章では緒言として、まず国内外の風力発電の導入状況と 2050 年カーボンニュートラルに向けた政府の風力発電への期待、および今後導入が加速する洋上風力発電に関する政策と事業環境についてまとめた。日本の風力発電は陸上と洋上ともに海外に対して著しく遅れているものの、政府は風力発電に大きな期待をしており、今後の発展が期待できる産業である。次に、日本特有の課題および厳しい競争環境を背景に、事業性評価のために風況予測が如何に大切か、その為にどのような気流シミュレーションが求められているか、本研究の背景と目的を説明する。

第 2 章では複雑地形の稼働中陸上風力発電所においてヨーギア・ヨーモーター関連の故障が突出して多い風車に着目し、その風車特有の風況構造を詳細に把握するため、気流シミュレーションにより流れ場を再現し、風況と故障の相関メカニズムを考察した。SCADA データ(風車操業データ)から得られる乱流強度において、故障の多い風車は出現頻度の高い風向で高い乱流強度が観測されている。その風向において、従来用いられている大気安定度中立を仮定した LES による気流シミュレーションでは故障の多い風車と少ない風車で風の乱れに関する差ははっきりと現れており、気流シミュレーションは故障リスク評価および風車レイアウトの最適化に資する可能性を十分に持っていることがわかった。

第3章では、国内の山岳地形における実際に稼働中の陸上風力発電所を対象に、流入風の風向条件が気流シミュレーションの風況予測精度に与える影響を確認した。建設前に発電所の事業性評価を行うには、通常風況観測マストによる風況観測を1年間実施する。観測データの風速に風車のパワーカーブ（風速と出力の関係）を当てはめることで、1年間の出力が時系列で得られることになるが、地形の起伏がある場合は観測位置と各風車位置で風速が異なるため、気流シミュレーションによる風速比で観測データを各風車位置の風速に補正する。この風速比は風向毎に異なるため、従来法では大気安定度中立を仮定した気流シミュレーションを16風向毎に実施する。この際、1風向あたり22.5度の幅を持つことになるが、現実には22.5度の範囲でも風上地形の起伏が異なるため流れ場も変化することを考慮できていないことになる。そこで本研究では、風向区分中心の解析に加え±11度の解析も実施し、この3ケースの風速比を混ぜることで各風車位置の風速比の予測精度を改善できることを確認した。また、流入風向を時系列で±11度振らせることにも効果があることも確認した。さらには、±11度の変化で風速比が大きく変化する号機に着目し、気流シミュレーションによる流れ場を詳細分析することで、本手法の効果を考察した。

第4章ではシンプルな孤立峰を対象に大気安定度が流れ場に与える影響に着目し、安定度による気流変化の発生メカニズムを明らかにした。従来法では大気安定度中立を仮定しているが、現実には様々な大気安定度が存在している。第3章で風向±11度を加えることで精度改善を確認できたが、各風車位置の風速比の差が実際よりも大きい傾向が残っており、大気安定度中立を仮定していることで実際よりも地形起伏による気流の剥離が強めに出ている可能性も否めない。そこで本研究では最初にパラメトリックスタディによりメッシュサイズや流入風の鉛直プロファイル等の外的要因による気流構造と影響を明確にした上で、中立から強安定まで様々な安定度で気流シミュレーションを実施し、流れ場の変化を考察した。その結果、大気安定度を中立以外も考慮することで予測精度が改善できる可能性があることがわかった。また、流れ場大きく変化する臨界リチャードソン数が存在することもわかった。加えて、実際の地形での解析により、安定度の仮定が中立と安定で発電量は大きく異なることも確認でき、大気安定度を考慮することの重要性が示された。

第5章では、第3章と同じ発電所を対象に、大気安定度を中立以外も考慮することによる効果を検証した。WRFによる1年間の解析により大気安定度の年間出現頻度を算出すると、安定側に幅広く分布しており、中立は平均的な事象ではないことが確認された。この出現頻度を参考に代表的な3ケースの大気安定度で気流シミュレーションを実施した結果、安定度によって流れ場が大きく変化する、各風車位置の風速比も大きく変化することがわかった。現実には様々な安定度が存在することを考慮し、3ケースの安定度の風速比を組み合わせることで、各風車位置の風速比の予測精度が改善することがわかった。第3章および第5章の結果から、風向条件の工夫と大気安定度の考慮により、さらなる予測精度の改善が示唆された。

第6章では、これまでの成果を総合的に考慮し、洋上風力発電所が計画されている区域の島内で計測した4か所の風況観測データを用いて、流入風向区分幅の風上地形変化と大気安定度の考慮による精度向上の検討を行った。すなわち、第2章から第5章までの知見を統合した本研究の総括である。精密な風況観測結果を通じて、実サイトの大気安定度は、安定～中立～不安定まで幅広く存在し、風向によって出現頻度は異なることを示した。風況観測マスト間の風速比を用いて、①風向区分中心のみで大気安定度中立のみの従来法、②風向区分中心のみで代表的な複数の大気安定度を組み合わせる方法、③風向区分中心と±11度の風向3ケースで大気安定度中立のみの解析を組み合わせる方法、④風向区分中心と±11度の風向3ケースで代表的な複数の大気安定度を組み合わせる方法の4つの手法で予測精度を検証した結果、④、②、③、①の順に精度が良いことがわかった。大気安定度や風向の処理幅や、数値シミュレーションの結果の取り入れ方に関して、これまでになく新たな手法を提案することに成功し、結果として、従来手法と比較しては平均均誤差および最大誤差を観測データに対して大幅に改善できることを明らかにした。

最後に、第7章で本研究を総括し、結言とした。