

# 地形性乱流が風車ブレードに与える影響に関する研究

川島, 泰史

<https://hdl.handle.net/2324/1959132>

---

出版情報 : 九州大学, 2018, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 川島 泰史

論 文 名 : 地形性乱流が風車ブレードに与える影響に関する研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

世界的に再生可能エネルギーの導入拡大が進む中、わが国においても近年の風力発電設備の導入増加が進む一方で、特に山岳部などの複雑地形上に建設された風力発電所において、風車ナセル落下事故などの重大事故が増加傾向にある。この事故の増加傾向を受けて、国は定期安全管理審査制度を導入した。こうした風力発電設備に対する安全規制が強化される中、最近の事故状況から、山岳部などの複雑地形上に建設された風車内外のトラブルに対して、風車直近の地形起伏の変化が起源となり、そこから発生する風の乱れ（地形性乱流）が強く関係していることが指摘されている。一方で、国の政策であるエネルギーミックスを達成するためには、他の電源と比較して、風力発電がコスト競争力のある電源となる必要がある。この様な背景とわが国の7割が山岳地形であることを踏まえると、複雑地形上の風車の設置計画や維持・管理を行う上で、過酷な風況条件による疲労蓄積（ストレス）を回避し、事故や故障の低減による稼働率の向上がますます重要となる。

本論文は、鹿児島県いちき串木野市羽島地区に位置する串木野れいめい風力発電所の風車10号機を対象に、風力発電設備の健全な運転維持を主目的とし、現地風条件である地形性乱流を十分に考慮し、風車の疲労蓄積による事故や故障を低減し、かつ高効率的に発電可能な風車最適配置計画や風車安全管理のため、風車ブレードへの地形性乱流の影響に対して、風車ブレード歪み・風況データ計測、実測データ解析およびLES（ラージ・エディ・シミュレーション）に基づいた高解像度数値風況シミュレーション結果を使用して検討を行った。

本論文は5つの章から構成されている。

第1章では、風車の最適配置計画と風車安全管理のため、地形性乱流と風車ブレードの疲労荷重に関する検討が必要となる研究背景、目的および本論文の構成を示した。

第2章では、実測データ解析結果および数値計算結果を述べる。風車ブレード（曲げ）疲労荷重への影響に関して風車運転データとブレード歪み計測データを解析した結果、東風時（10分平均風速9.1m/s）においてDEL〔疲労等価荷重（ブレード曲げ）〕が2.03（同じ気流性状の風が継続して発生した場合5.88年で設計荷重に達する）と最も大きくなることが確認された。また、計測期間で最も出現率の高かった北風を対象に、風速標準偏差・乱流強度およびDELを解析し、東風の結果と比較した結果、平均風速9m/s程度の風が発生した場合、東風における風速標準偏差・乱流強度およびDELは北風時と比べて約2倍となり、明確な差異が確認された。これら一連の実測データ解析結果から、東風の場合が風車の風荷重に最も影響を与える風向として特定された。風車10号機を対象とした2方位（東および北）の風速標準偏差・乱流強度およびDELの差異については、10号機東側（78deg方向）約300mに位置する弁財天山（標高519m）の影響と推察された。

次に、非定常乱流モデル LES による気流場解析結果とその考察について述べる。地形性乱流の影響が最も大きいと推察された東風と、それらの影響が小さい北風の2方位を対象として、数値風況シミュレーションを実施した。その結果、東風が発生した場合、10号機の上流に位置する弁財天山から剥離流(地形性乱流)が形成され、風車10号機は、ブレード受風面内で大きな風速の変動幅が発生していることが明確に確認された。さらに、風車ハブ高さ(地上高60m)における主流方向(x)の風速成分(u)の時系列データ(実時間で10分間)を確認した結果、東風の場合、北風の場合と比較して風速の変動幅が大きく、風速標準偏差は約2倍となっていることが分かった。実測データ解析の結果、平均9m/s程度の風が発生した場合の風速標準偏差は、東風時で2.3m/s、北風時で1.3m/sであったのに対して、数値風況シミュレーション結果は、東風時で2.36m/s、北風時で0.99m/sとなり、実測データとほぼ同様の傾向が再現された。東風の場合、実測データ解析と数値風況シミュレーション結果(複雑地形に起因した地形性乱流の発生)から、風車構成機器の金属疲労の蓄積を想定より早く進行させているのではないかと推測された。

第3章では、第2章に引き続き、実測データの解析結果を述べる。第3章では風車ブレード(曲げ)の疲労荷重の蓄積に影響を与える、発電開始風速4m/s以上の全風速階級に対応する各種データを解析対象とした。風車ブレード(曲げ)疲労蓄積に影響を与える風況データとして、発電開始風速4m以上の全風速階級を対象に、風況データとDEL〔疲労等価荷重(ブレード曲げ)〕データの相関性を解析した。その結果、風速標準偏差と風車ブレードDEL(曲げ)は、風速と重回帰直線で近似されることが示された。さらに、風車ブレードDEL(曲げ)と同時刻の風速・風向・風速標準偏差のデータを用いて解析した結果、風速-風速標準偏差の傾きが大きい場合に、風速-風車ブレードDEL(曲げ)の傾きも大きくなることが明らかになった。最後に、東風時と北風時の風車ブレード(曲げ)疲労蓄積の試算を行うため、風車ブレード歪計測期間の2015年11月3日0時~2016年3月17日7時の期間において、実測されたブレード歪みに基づく曲げモーメントの時系列データで評価されたフラップ曲げ方向のDELを重回帰直線で近似した。重回帰直線で近似した、東方位と北方位の疲労荷重式と設計DELおよび風車10号機のナセル風速・風向データ10分間値〔2015年4月~2016年3月(1年間)〕を用いて、東風時と北風時のDELを積算し、疲労蓄積を試算した。

試算の結果、設計DELに対する実測DELの割合は、東風時は0.86、北風時は0.56となり、設計を満足する結果となった。しかしながら、東風時の疲労割合は0.86となり、北風時と比べて2倍程度となった。

第4章では、本研究で得られた結論を総括した。

第5章では、本研究で得られた結論を踏まえ、将来に向けた提案〔風車最適配置基準および風車運用(保守・運転)管理値の確立に向けて〕を行った。