

複雑地形におけるウインドファームの CFD を用いた 乱流による故障リスク評価*

Application of CFD for Turbulence Related Operational Risks Assessment of Wind Turbines in Complex Terrain

李 貫行**
Graham LI

高桑 晋**
Susumu TAKAKUWA

内田 孝紀***
Takanori UCHIDA

1. はじめに

近年、世界中で風力発電が導入されている中、日本においても再生可能エネルギー特別措置法案が可決され、さらなる普及に向けた準備が進みつつある。その一方、解決すべき課題も数多く存在することも事実であり、技術的な課題としては騒音や、落雷、乱流などがある。特に乱流は稼働率の低下や修理費用を増加させる故障の原因であり、事業に大きな影響を及ぼす。この乱流は地形の複雑さに起因するものであり、海外に比べ山岳地帯の多い日本では開発エリアが複雑地形となることが多く、乱流による故障リスクが高いと言える。勿論、複雑地形に設置した全ての風車が壊れているわけではなく、地形の起伏により風速が増速する一面もある。平坦地の開発可能エリアは減少する一方であり、国内風力発電の普及には事業者が複雑地形と上手に付き合っていく必要がある。

乱流があるかどうかを確認するには、風速計を設置することが最も確実である。しかしながら、複雑地形では数百メートル離れば異なる風況となっている場合があり、風速計の風の乱れが各風車位置と同じとは限らない。各風車位置全てに風速計を建てることもコスト面から考えると現実的ではない。建設後に想定外の故障を起こさないためにも建設前に故障リスクを評価し、レイアウトの最適化や最適な機種を選定することが望まれている。そこで本研究では、CFD (Computational Fluid Dynamics) を用いて故障リスクを評価することを検討した。CFD はコンピュータ上で風の流れを計算できるツールであり、建設前の机上検討が可能となる。

以前からよく使われている風況解析ソフトとしては WAsP があるが、これは定常線形解析という性質上、

複雑地形には適さない。近年パソコンの性能向上と共に非定常非線形解析が可能となってきており、乱流モデルに LES を使用した複雑地形の風況解析事例¹⁻³⁾も紹介されつつある。そこで本研究では LES による非定常非線形解析が可能である RIAM-COMPACT を使用し、複雑地形におけるウインドファームの風況解析を実施した。対象としたウインドファームでは一つの風車にのみ乱流が原因と思われるヨーギアやヨーモーターの故障が頻発している。故障の多い風車と少ない風車で CFD の結果を比較することで故障リスク評価を行う。

2. ウインドファームの概要

周辺地形が複雑で尾根上に位置する当社のウインドファームを対象とした。ウインドファーム全体を図 1 に示す。2004 年 2 月に運転を開始し、基数は 16 基である。ウインドファーム全体を図 1 に示す。風車は Siemens の 1.3MW、ローター径 62m、ハブ高さ 60m、IEC クラス I A である。

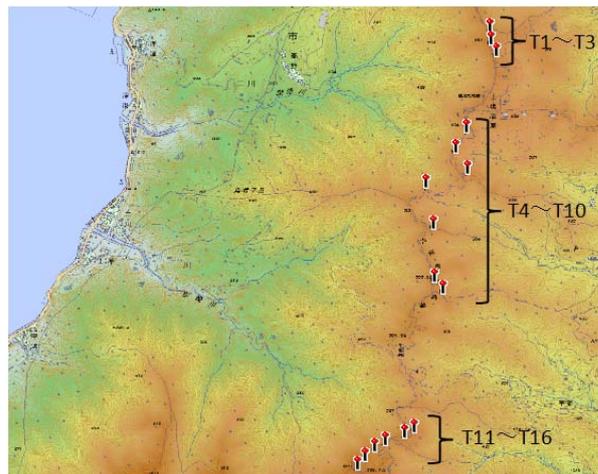


図 1. ウインドファーム全体図
1号機(T1)から16号機(T16)まで

運転開始から7年間の各風車におけるヨーギアとヨーモーターの合計故障件数を図 2 に示す。7号機が突出して多いことがわかる。ヨーギアの破損状況を図 3 に示す。亀裂や軸の折損が起きており、ヨーギアに

* 平成 23 年 11 月 30 日

第 33 回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

** 会員 (株) ユーラスエナジーホールディングス
〒105-0001 東京都港区虎ノ門 4-3-13

*** 会員 九州大学応用力学研究所

過度の力が加わり、破損に至ったと考えられる。このような現象が7号機に集中していることから7号機特有の原因があると考えられ、設置位置の周辺地形による乱流の可能性は高い。

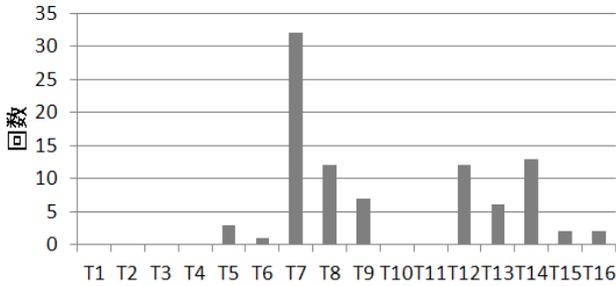


図 2. ヨーギア+ヨーモーターの故障回数

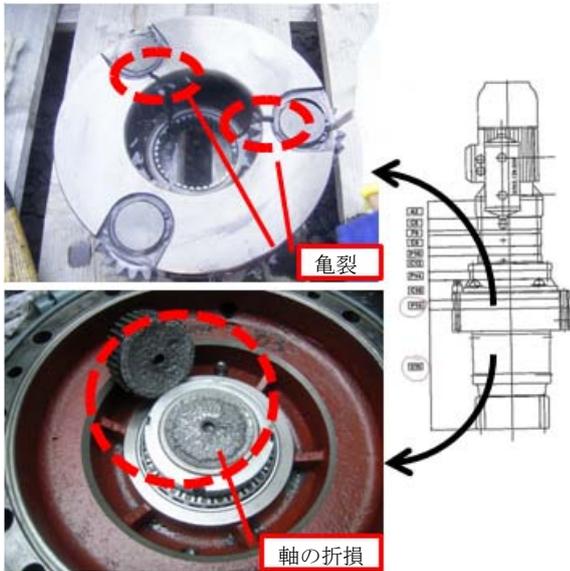


図 3. ヨーギア破損状況

7号機が受けている乱流を調べるため、SCADA データから得られた乱流強度を図4に示す。比較のため故障が少ない5号機を合わせて示す。各点は10分データの乱流強度一つ一つを示しており、5号機より7号機の方が乱流強度は強いことがわかる。平均+1σで風速7m/s以上からほぼIECクラスA上であり、12m/s以上でクラスAを上回っている。次に稼働から7年間のクラスAを越える乱流強度が発生した10分データの個数を図5に示す。5号機に比べ圧倒的に多くクラスAを越える乱流を受けていることがわかる。また、色分けはクラスAに対する超え幅を表しており、7号機は強い乱流を頻繁に受けていることになる。ここでは示さないが、全ての風車の中で最も7号機がクラスAを越える乱流を受けており、乱流が7号機の故障の原因となっている可能性は非常に高い。

乱流強度が高い場合、その主要因となっている地形があり、特定の風向に対し乱流強度が高くなる。そこで7号機において風向別に乱流強度を調べたところ、

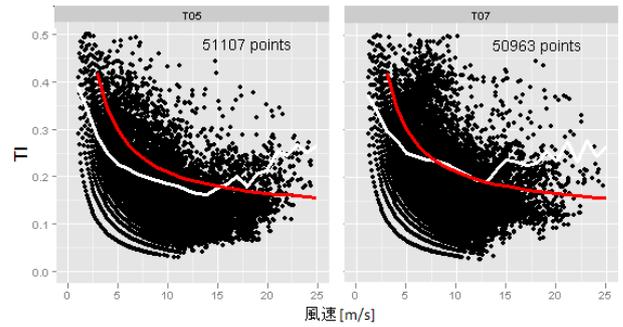


図 4. 5号機と7号機の乱流強度
稼働から1年間、右上数値はデータ数
グレーはIECクラスA、白は平均+1σ

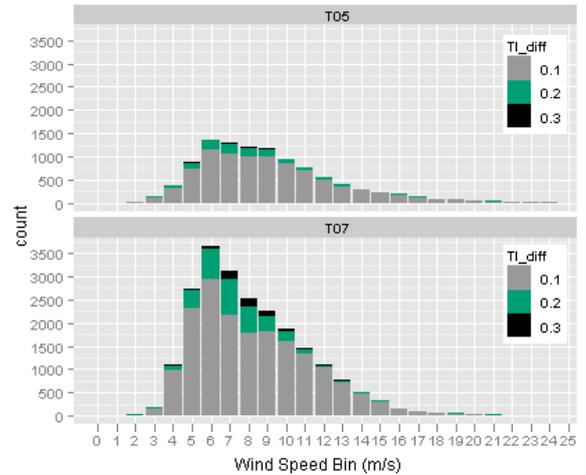


図 5. IECクラスAを越える乱流の発生回数

西から北西にかけて乱流強度が高いことがわかった。この風向の7年間の乱流強度を図6に示す。西から北西の風向は全体の1/3を占めるため(北西が主風向)、影響は大きいと考えられる。比較のため、東南東から南南東(第2風向が南東)の乱流強度を図7に示す。風向別に乱流強度を見ることで、西～北西方向の地形で乱流が発生していることがわかった。

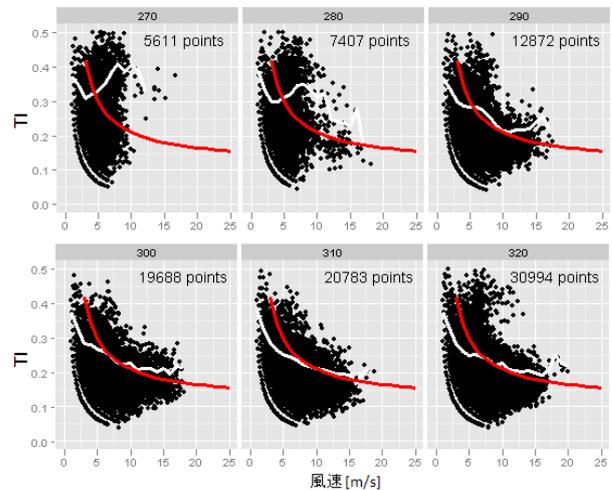


図 6. 7号機の西～北西の乱流強度
左上が270度、10度毎に左下が320度

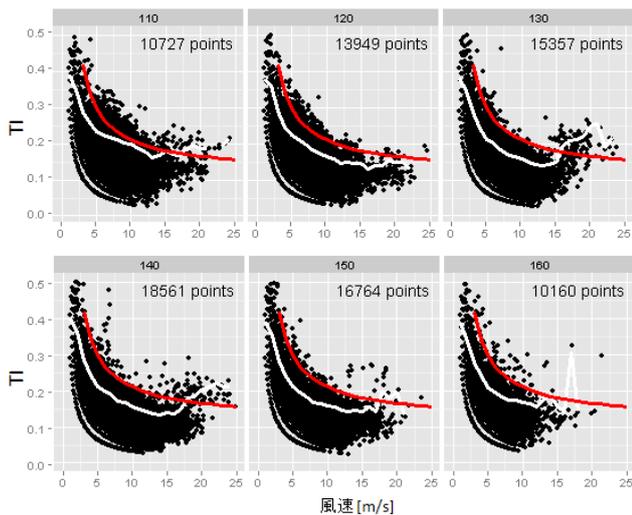


図 7. 7号機の東南東～南南東の乱流強度

7号機周辺の地形を図8に示す。西～北西方向に複数の尾根がある。この尾根を撮影した写真を図9に示す。起伏の大きい複雑地形となっており、この尾根により流れが剥離し、乱れを引き起こしていると思われる。

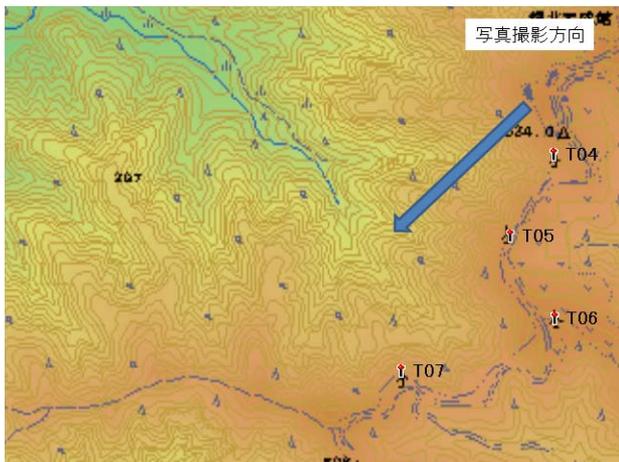


図 8. 7号機周辺の地形



図 9. 7号機周辺の写真

3. CFDの実施

7号機のヨーギア・ヨーモーターの故障を引き起こしている風がどのように乱れているかを調べるため、CFDを実施した。また、故障の少ない風車と比較することで、故障リスク評価に対するCFDの可能性を検証した。本研究で使用したRIAM-COMPACTは乱流モデルにLESを用いた非定常非線形流体解析の市販ソフトであり、流れの剥離・渦を再現することができる。手法についての詳細は既に論文⁴⁾に発表されているため、ここでは省略する。図10に解析モデルを示す。主流方向(x)に5.6km、主流直角方向(y)に6.3km、鉛直方向(z)に3.1kmの解析領域を取り、x方向格子サイズは風車周辺で密になるよう不等間隔、y方向は等間隔、z方向は地表面で密になるよう不等間隔とし、最小格子サイズはx方向、y方向ともに10m、z方向は1mである。計算格子数は401(x)×631(y)×61(z)点の合計1543万点である。解析風向は西北西、流入風速は7m/sである。境界条件などは、参考文献¹⁻⁴⁾を参照されたい。

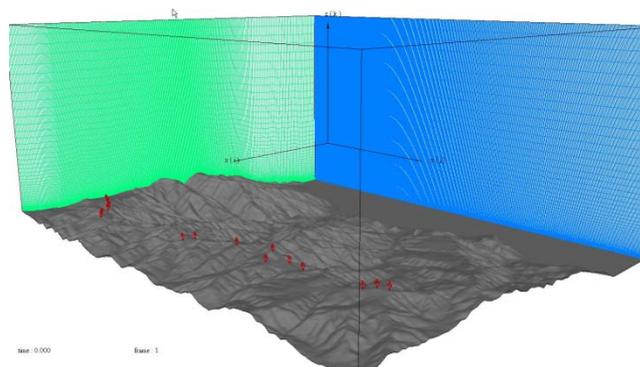


図 10. 解析モデル

図11に5号機と7号機のハブ高さにおける時系列風速結果を示す。5号機は風速変動が少ないのに対し、7号機は大きく変動していることから、7号機は比較的に乱流が強いことがわかる。図12に5号機と7号機における鉛直断面の瞬時の速度ベクトルを示す。5号機に対しては流れが剥離せず、乱れが少ない。一方、7号機に対しては手前の尾根で流れが剥離しており、渦がローター面を通過していることがわかる。図13にハブ高さ水平断面内の速度分布の瞬時値を示す。5号機では一様に近い流れになっているのに対し、7号機はローター面の左右で風速差が生じている。図に示す瞬間では風車から上流を見てローター左側が右側より7m/s風速が速い。このような風速差によりローター左右の風荷重にも差が生じる。その結果ナセルを回転させるように力が働き、ヨーギアは衝撃荷重を

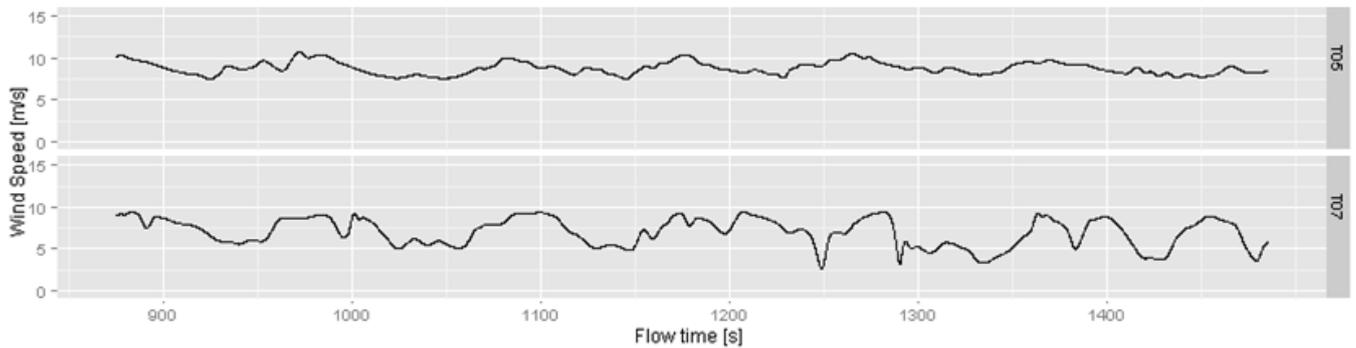


図 11. 5号機と7号機のハブ高さ風速

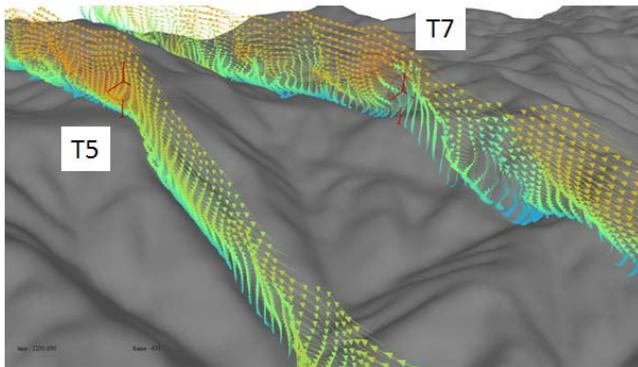


図 12. 鉛直断面の速度ベクトル（瞬時）

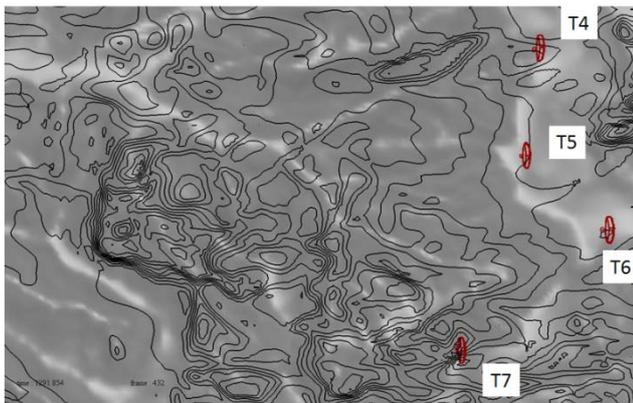


図 13. ハブ高さ水平断面の速度分布（瞬時）
1m/s の風速等値線

受け、故障に至ったと考えられる。すなわち、CFD により風速変動やローター面内の風速分布を調べることにより、故障リスクを事前に評価できる可能性がある。

4. まとめ

各風車のヨーギア・ヨーモーターの故障回数と乱流強度の関係を調査し、故障回数の多い7号機は風車設計クラスを越える乱流を受ける頻度も多いことがわかった。CFD を実施し、故障の少ない風車は乱れの少ない流れを受けているのに対し、7号機は手前の尾根で剥離することで乱れた流れを受ける結果となっ

た。ローター面内で大きな風速差が生じており、ヨーギア・ヨーモーターへの故障につながったと考えられる。

一般的に同じ風速・風向でも実測乱流強度にはばらつきがあり、CFD で実際の風を完全に再現することはできないが、本研究で使用した LES による非定常非線形の CFD であれば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、故障リスク評価に使用できる可能性は十分に持っている。今後は様々なウインドファーム、風車機種に対して同様の検証を行い、ツールとしての精度を高めることで新規ウインドファーム開発へ適用したい。

参考文献

- 1) 内田孝紀, 丸山敬, 竹見哲也, 奥勇一郎, 大屋裕二, 李貫行, 気象モデルと流体力学モデルを用いた風車設置地点における設計風速評価手法の提案, 風力エネルギー協会誌, Vol.34, 通巻 94, pp.118-124,2010.
- 2) 内田孝紀, 大屋裕二, 李貫行, 風車立地点近傍に発生する地形乱流の高解像度 LES, 風力エネルギー協会誌, Vol.34, 通巻.93, pp.121-126,2010.
- 3) 内田孝紀, 大屋裕二, 諏訪部哲也, 李貫行, 非定常・非線形風況シミュレータ RIAM-COMPACT によるウインドファーム風況診断の提案, 日本風力エネルギー協会誌, Vol.30, No.2, 通巻 78, pp.101-108,2006.
- 4) Takanori Uchida and Yuji Ohya, Micro-siting Technique for Wind Turbine Generators by Using Large-Eddy Simulation, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, Vol.96, pp.2121-2138,2008.