

風力タービンの後流

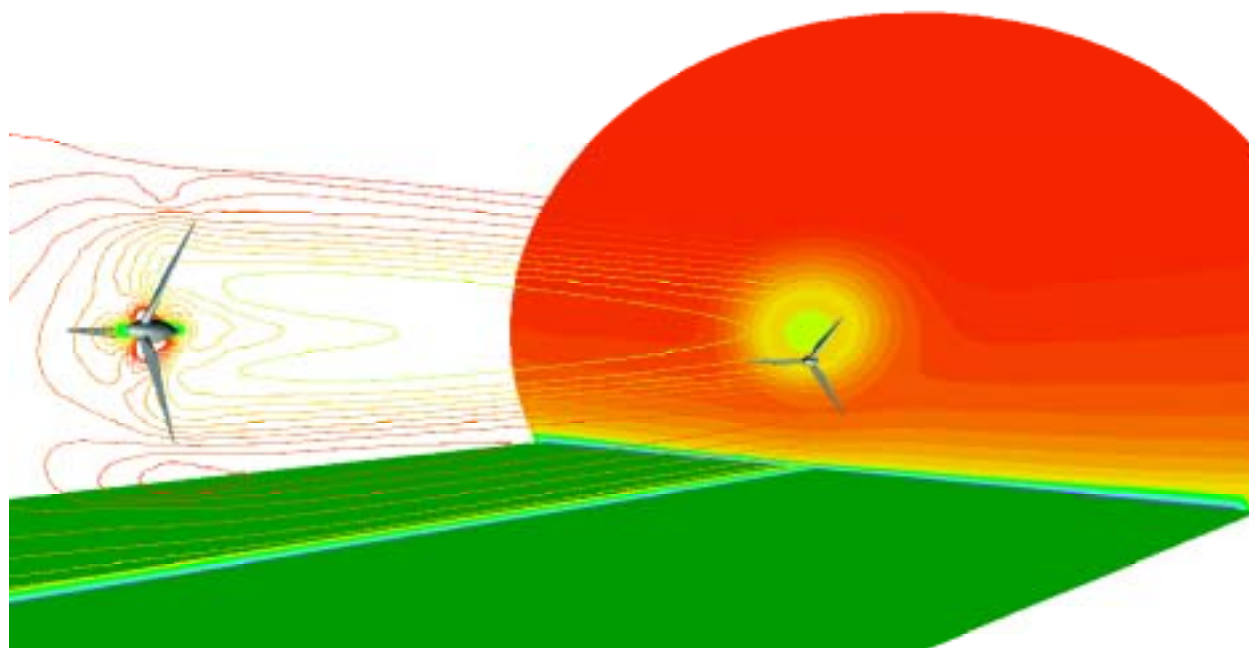
Thomas Hahm, Jürgen Kröning (ドイツ ハンブルグ, TÜV Nord e.V.)

独自の技術と専門知識を活かして新たなエネルギー源の開発を行なっている企業は、世界各国に多数あります。温室効果ガス排出の包括的削減を求める1997年の京都議定書や、環境保護に対する関心の高まりなどから、クリーンで持続可能なエネルギーの生産に関与する企業の数が増え続けていくことは間違いありません。

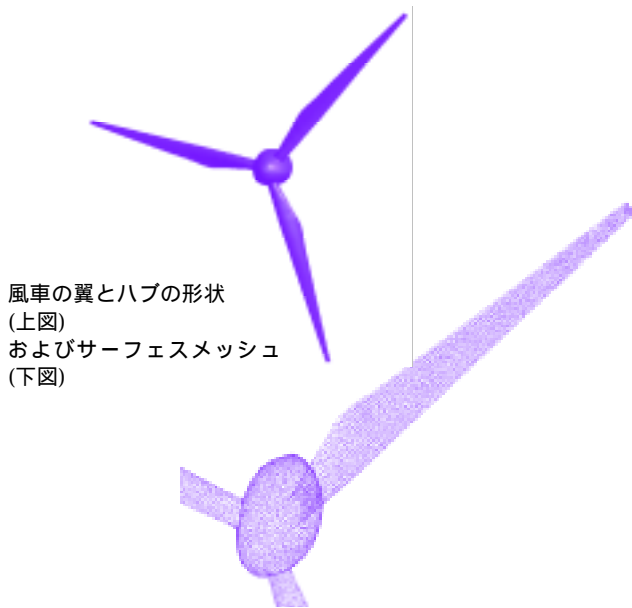
風力は、新しいエネルギー源として最も豊富に利用できるものの1つで、風からエネルギーを効率よく取り出して発電する技術はすでに実用化されています。風力の利用効率は複数の要因によって変化しますが、その1つに、発電用風車間の距離や風車から他の構造物までの距離があります。下流側の風力タービンまでの距離が短いと後流の影響が強まり、風圧が変動したりエネルギー変換効率が低下したりする可能性があります。

また、回転翼や近くの送電線は、振動によって材料が疲労する危険性があります。

風速が変化しても比較的安定した出力を得るための方法として、可変ピッチ制御(翼のピッチ角 = 取り付け角を調整する)の研究がさかんに行なわれています。可変ピッチ風車の後流は、さまざまな要因によって変化します。風車側の要因としては翼の形状、ピッチ角、翼の回転速度などがあり、外的要因としては風速、乱流特性、風速勾配などがあります。このように、影響するパラメータが多いことから、後流の影響によって、設計時に考慮されていない負荷が発生するかどうかの判断は難しいものです。TÜV Nordでは、前提条件として可変ピッチ風車の形状と運転条件を規定し、FLUENTを使って一連のシミュレーションを実施して、これらの風車における後流の特性を調べました。



上流側風車の後流による下流側小風車への影響を速度分布図により表示



風車の翼とハブの形状
(上図)
およびサーフェスマッシュ
(下図)

TÜV Nordは、あらゆる種類の工学的な装置やシステムによる悪影響から、人間や環境、ならびに財産を保護することを目標とするドイツの検査機関で、この目標を達成するため、工学的な装置や製品および施設などの効率的な設置や製造、使用などを促進すべく活動しています。

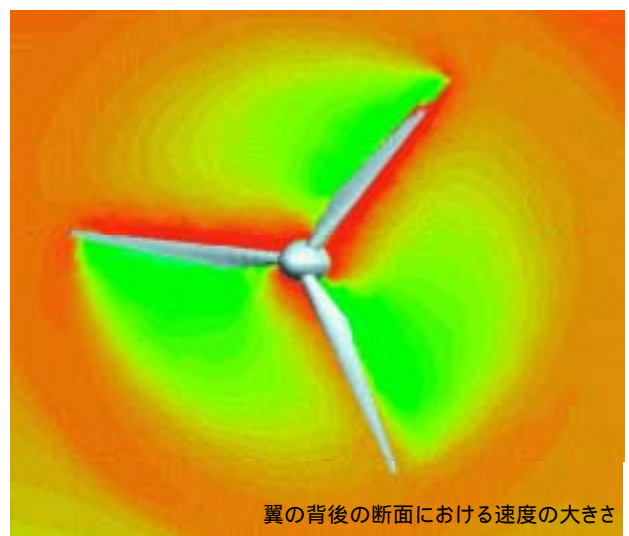
一連のシミュレーションでは、通常、1枚の翼の形状データを約650の点データで表現しています。この翼の表面全体に細かい表面メッシュを生成し、さらにそれをもとに約75万セルのポリウムメッシュを生成します。ポリウムメッシュは、翼から遠ざかるにつれて徐々に格子の間隔がまばらになるように設定します。計算領域は、個々の問題の特性に合わせて調整します。これまでに、下流側の風力タービンまでの距離が翼の直径の6～10倍程度であるモデルが複数作成されました。翼の回転は、複数基準座標モデルを使用することにより考慮されます。CFD解析では、翼のピッチ角、風速、風向、乱流強度、乱流長さスケール、翼の回転速度を入力パラメータとしました。

CFDモデルの有効性は、[文献1]から、55kWの可変ピッチ制御つき風車の背後における後流の計測結果を使用して検証されました。風速に関しては計測値そのものの中に矛盾する部分があったものの、解析結果は計測値に対して高い精度で一致しました。また、[文献1]の計算は翼形状データを使わない単純化したモデ

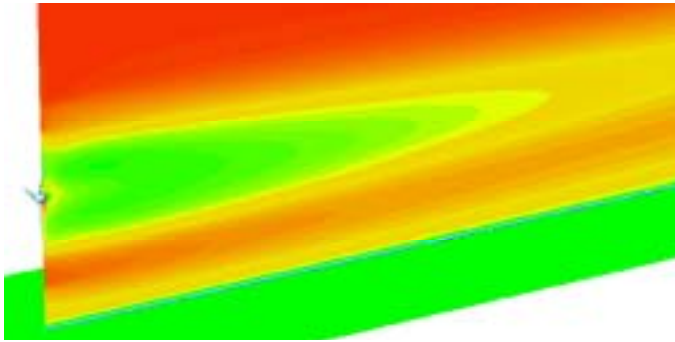
ルによるものですが、これによって予測できていない現象が、FLUENTによる3次元モデルの解析では再現できています。特に後流のエッジ部での風速の増加は計測値より大きめに見積もられているものの、このCFD解析によってのみ予測されました。

CFDモデルの有効性が検証された段階で、後流の影響を調べるため、このモデルを使った解析がいくつか実施されました。前ページの図は、大きな風車の後流の中に小型の風車が置かれている状態を示しています。これは、風速12.5m/secと乱流強度13%の条件を1つ目の風車の風上に与えた場合の解析結果です。小型風車の位置に作成した速度分布図では、4つの円形の等高線がみられますが、この速度場は不均一で、中心軸に一致していないことが分かります。また、両方の風車を横切る流れ方向の断面に示した等高線表示からは、上流の風車から離れるにしたがって後流が減衰していく様子が分かります。こうした結果を参考に、下流側の風車にかかる後流の負荷が検討されました。

他にも、電線の励振現象に関する調査を実施したところ、電線に垂直な方向から1～7m/sの風が吹くときに最も励振が起きやすいことが判明しました。後流による風速の変動が激しく、電線に影響が及ぶ場合には、電線に防振装置を取りつける必要があることも示されました。風車の中心軸に比べて十分低い地上から25mの位置に電力線を通した場合について解析したところ、後流は電力線の上を通過し、問題が起きないことが確認されました。



翼の背後の断面における速度の大きさ

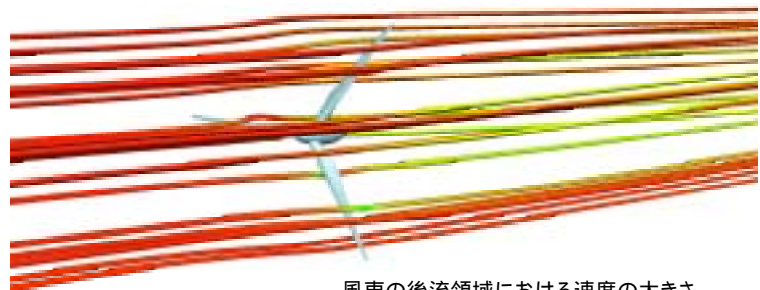


現在、設置済みの発電用風車の近傍における乱流強度に関してはデータが不足しており、さらなる調査が必要です。風車の後流における乱流強度の予測には、いくつかの経験式モデルが使用されています^{3, 4}。これらのモデルは、後流の軸に沿った各点において平均値のみを予測するものですが、モデル間で計算結果に差があることから、CFD解析結果の検証には利用できません。FLUENTで計算した後流領域の乱流強度の分布特性は、理論値に対して十分な精度で一致しました。現在のモデルでは、翼端渦や後流の蛇行などの現象が把握できないため、乱流強度の値そのものは計測値よりかなり低い値となっています。それでも、将来的にはCFDの機能拡張と精度向上により、風力エネルギーの利用効率向上に関して単純なモデルでは得られない詳細な知見を得るためのツールとして利用できることは間違いありません。

要約すると、翼の形状と運転条件を入力データとするCFD解析により、風車の後流領域における風速の予測が可能で、ピッチ角や翼の回転速度といった詳細な運転条件も簡単に分析できると言えます。また、風車に関する3次元シミュレーションは、地形(次ページ参照)や、後流領域の周辺に存在するその他の物体についても応用可能です。

References

1. Beyer, H.G. et. al.; *Messungen von Windgeschwindigkeit und Turbulenz in der Nachlaufströmung eines 55 kW Windenergiekonverters mit variabler Drehzahl (Measurement of windspeed profiles and turbulence in the flow after a 55 kW wind energy converter with variable speed)*; DEWEK '92, Deutsche Windenergie-Konferenz 1992; Wilhelmshaven 1993.
2. Degener, T.; Kießling, F.; Tzschoppe, J.; *Mindestabstand zwischen Windenergieanlagen und Freileitungen (Minimum distance between wind energy plants and overhead lines)*; *Elektrizitätswirtschaft* Jg. 98 (1999), No. 7, p. 32-35.
3. Dekker, J.W.M.; Pierik, J.T.G. (Eds); *European Wind Turbine Standards II*; Petten, The Netherlands: ECN Solar & Wind Energy, 1998.
4. Frandsen, St.; Thogersen, L.; *Integrated Fatigue Loading for Wind Turbines in Wind Farms by Combining Ambient Turbulence and Wakes*; *Wind Engineering*, Vol. 23, No. 6, 1999.



風車の後流領域における速度の大きさ