

# 風車翼の低騒音設計技術

## Low Noise Design of Wind Turbine Blades



林 健太郎\*<sup>1</sup>  
Kentaro Hayashi

西野 宏\*<sup>2</sup>  
Hiroshi Nishino

細谷 浩之\*<sup>3</sup>  
Hiroyuki Hosoya

深見 浩司\*<sup>1</sup>  
Koji Fukami

松尾 竜\*<sup>4</sup>  
Tooru Matsuo

黒岩 隆夫\*<sup>5</sup>  
Takao Kuroiwa

近年、風車の大型化、騒音規制の強化、風車と居住地の近接に伴い、風車の低騒音化が重要になっている。風車騒音は翼から発生する広帯域騒音が支配的であり、低騒音化にはこの騒音の予測技術が必要である。今回、翼の基本設計に適用可能な CFD と経験式を基にした風車翼騒音予測手法を開発し、実機試験による検証を行った。本手法を翼設計に適用し、低騒音翼を開発したので、これを紹介する。

### 1. はじめに

近年、地球温暖化の防止、エネルギーセキュリティの見直しなどに伴い再生可能エネルギーである風力発電量は急激に増加している。また、採算性や効率の観点から、一基当たりの発電量が多い大型風車の開発が進んでいる。

図1に、ロータ直径に対する風車の音響パワーレベルを示す。図1に示すように、大型風車でロータ直径の長大化に伴い音響パワーレベルが増加している傾向がある。このことから騒音が、回転数の影響より長大化による翼先端での周速の影響の方が大きいため、長大化が原因で増大していると考えられる<sup>(1)</sup>。

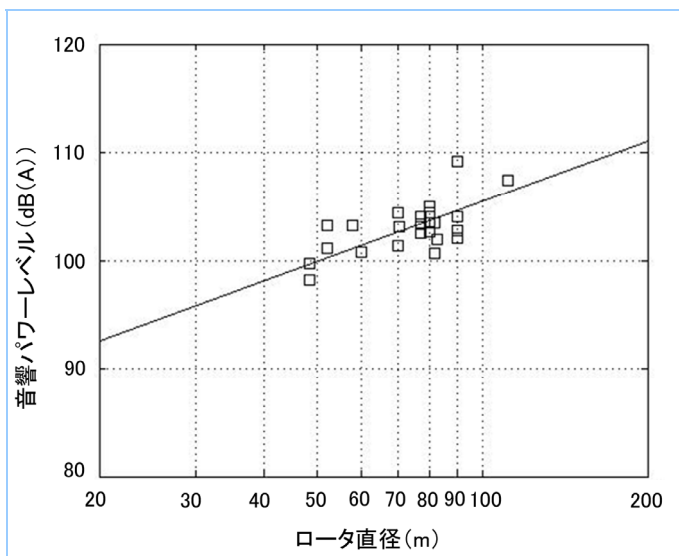


図1 風車の音響パワーレベルの変化<sup>(1)</sup>

\*1 技術統括本部長崎研究所 博士(工学)

\*2 技術統括本部長崎研究所 首席研究員 工博

\*3 技術統括本部長崎研究所

\*4 原動機事業本部風車事業部風車技術部

\*5 原動機事業本部風車事業部風車技術部 首席技師 工博

一方、風車の導入が進むにつれ、ウインドファームが居住地域に近い低風速域にも建設されるようになり、国内でも住民苦情などが発生している。このように居住地域と風車の距離が近接し、設置予定地の騒音に関する環境アセスメントの重要性が増している。

これらを受けて風力発電システムの開発計画時における騒音予測と低騒音化対策技術がより重要となっている。

従来、風車の騒音は翼空力音、ナセル・タワーなどからの機械音に分類されているが、現在ウインドファームに建設されている1～3MW クラスの大型風車では翼空力音が支配的である。そのため、風車の騒音低減のためには、翼から発生する空力騒音を低減する必要があり、翼設計時の予測技術が不可欠である。

上記背景から、実設計では性能や荷重などと同時に騒音の評価が必要とされる。そのため、翼設計では短時間で精度よく騒音を予測する手法が必要とされている。

空力音の予測は非定常CFDによる解法が考えられるが、解析対象として風車は大規模であり、計算時間が長くなり実用的ではない。また、短時間で予測可能な実験に基づいた経験式による手法があるが、風車へ適用する際には、2次元翼の予測式を翼全体へ拡張すること、翼型の影響を考慮するなど解析精度に対する課題がある。

そこで、設計ニーズに合った解析精度と計算時間で予測可能な定常CFDと実験を基にした経験式とを連携した風車翼広帯域騒音予測手法を開発した。この技術を適用し、高性能・低騒音翼を開発したので、本稿で紹介する。

## 2. 騒音予測手法

定常CFDと実験を基にした経験式を連携した騒音予測手法は、NASAのBrooksらによる翼騒音予測式<sup>(2)</sup>を用いている。Brooksらによる翼騒音予測式を基にした予測手法の概要を示す。Brooksらの予測式では2次元翼断面の騒音スペクトルを予測することができる。風車では翼を多数の翼素に分割し、各翼素が発生する騒音スペクトルの予測にBrooksらの予測式を適用することで風車全体の騒音を予測することができる<sup>(3)</sup>。

当社の風車に適用するため、以下の手法を取り入れた風車翼広帯域騒音予測手法を開発し、騒音予測精度向上と計算時間短縮を図った。

- ・ 風車の回転翼に適用するため、3翼が回転軸を中心に回転する影響を考慮する。つまり、回転による翼位置変化による伝搬の距離、指向性の変化を考慮する。
- ・ Brooksらの式はNACA0012翼型に対する予測式であり、ほかの翼型の予測には修正が必要である。翼型による流れの変化は境界層厚に顕著であると仮定し、各翼型の境界層厚をCFDで予測し、予測式の境界層厚とする。

騒音予測は以下の手順で行う。

- ①翼形状・風速・翼回転数・翼ピッチ角から、分割した各翼素の流入風速・迎角を算出する。
- ②流入風速・迎角より、各翼素の境界層厚を定常CFDにて予測する。
- ③翼形状、流入風速、迎角、境界層厚よりBrooksらの予測式を用いて、各翼素の騒音予測を行う。

このように、実験結果に基づいたBrooksらの予測式と定常CFDの結果を用いることで、騒音予測にかかる時間は大幅に短縮でき、翼設計と同時に騒音値の評価が可能となる。

実機の翼設計では翼型、コード長、ツイスト角、回転数など様々なパラメータを変化させ設計する必要がある。本手法による騒音予測は、それらのパラメータを変化させても、騒音値を短時間で予測することができるため、設計段階での騒音評価手法として適している。

本騒音予測手法の妥当性について以下に示す。本手法で予測した風車実機の騒音値と実測結果との比較を図2に示す。風車の音響パワーレベルの予測値は各基準化風速で±2dB以内で良い一致を示している。

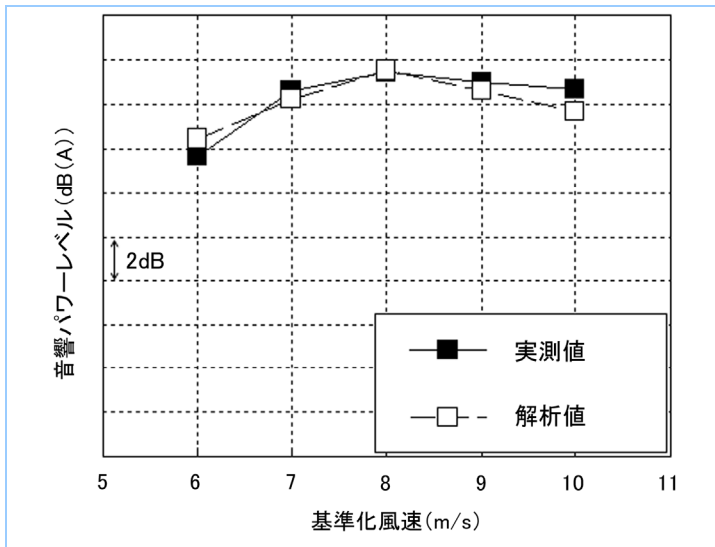


図2 音響パワーレベルの予測値と実測値

### 3. 騒音低減手法について

騒音の周波数特性は発生騒音の特性を理解するのに重要であり、その分析を行うことで事前に対策を打つことが可能となる。開発した本予測手法は発生騒音の周波数特性予測が可能な利点を有している。図3に本予測手法で得られた風車から発生する空力騒音のスペクトルの例を示す。騒音源ごとにスペクトルを推定することができる。予測結果より、騒音の主成分は乱流境界層騒音(Turbulent boundary layer noise)、後縁渦騒音(Trailing edge bluntness noise)と考えられる。また、それぞれの発生周波数は乱流境界層騒音が200Hz～1kHz程度、後縁渦騒音が2～3kHzと推定される。これらの周波数特性から、対策を打つべき騒音源はどれかを判断することができる。

また、翼を翼素として分割し騒音を予測するため、各翼素の騒音レベルが把握できる。これより翼のどの部位に対策を打つと効果的かを判断することができる。図4に翼の各部位の騒音レベルを予測した一例を示す。図4より翼先端側の騒音の寄与が高いが、これは乱流境界層騒音が主騒音であり周速の増加とともに騒音レベルが増大していることに起因する。また、図3のスペクトルから主騒音は乱流境界層騒音であることがわかる。すなわち、低減すべき騒音源は翼先端側の乱流境界層騒音であることがわかる。このように設計段階で部位、騒音の種類を特定し対策することで、性能を低下させず効果的な低騒音化を可能とし、当社では従来比-2dB以上の低騒音翼を開発した。

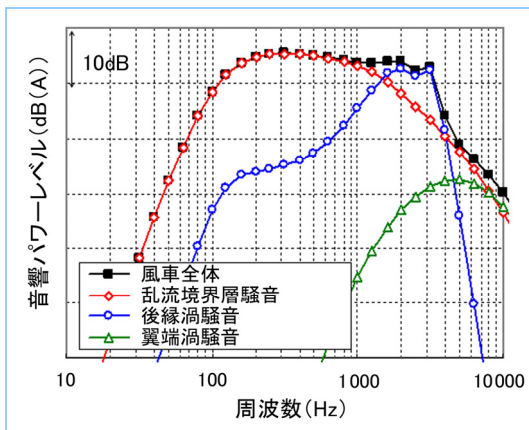


図3 各音源の予測スペクトル

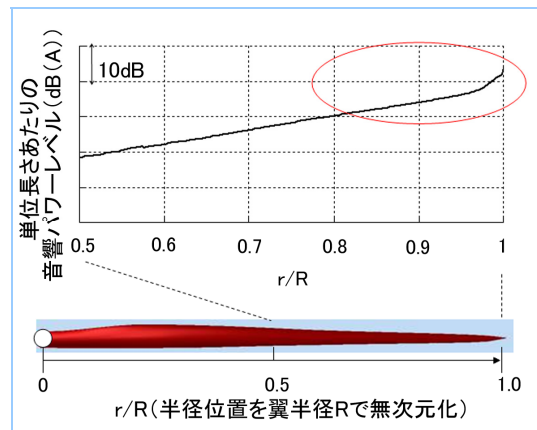


図4 翼長方向の騒音分布

## 4. まとめ

風車の騒音は環境アセスメントの点から重要性が増しており、更なる低騒音化が求められてきている。そのためには、騒音源の特徴、位置の把握とその対策が重要であり、設計段階で、スピーディーに評価可能な騒音予測手法が必要である。本稿では現在のコンピュータ計算能力と開発スピードを両立させた、実用的な風車翼の騒音予測手法を紹介した。当社では本手法を用いることで高性能・低騒音風車翼を開発し、自然エネルギーの有効利用と環境アセスメントを両立できる地球環境にやさしい風車をお客様にお届けしていく。

## 参考文献

- (1) Velsler L. et. al, Wind Energy 2005, (2005),BWE-Service GmbH.
- (2) Brooks T.F. et. al, Airfoil Self-Noise and Prediction, NASA RP-1218 (1989)
- (3) Grosveld F.W., Prediction of Broadband Noise from Large Horizontal Axis Wind Turbine Generators, AIAA-Paper 84-2357 (1984)