

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：32660

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656291

研究課題名（和文）実大型風車運転時のブレードの対風挙動を簡易かつ精度良く把握する手法の開発

研究課題名（英文）Development of accurate and precise measurement method of large wind turbine blades' wind-induced responses during its operation

研究代表者

木村 吉郎 (KIMURA KICHIRO)

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号：50242003

研究成果の概要（和文）：

3次元運動解析ソフトを用いて、発電用風車のブレード（羽根）の稼働時の対風応答を、簡易かつ精度良く把握する測定手法の確立を目的とした。ブレード先端の振動を把握するためには、カメラを相似関係を満たすように精度良く設置し、得られるデータを正確に座標変換する必要があった。得られた風向方向変位は、追尾の精度の問題などから不連続が生じている場合もあり、必ずしも十分な精度は得られていないが、ブレードの振動特性をある程度把握することができた。

研究成果の概要（英文）：

The objective of the study is to develop a simple and accurate measurement method of the wind-induced response of wind turbine blades under its operation. A 3 dimensional motion analysis software was used. In order to obtain the blade tip vibration, two hi-speed cameras had to be set so that they conform to the similarity between the measurement and the calibration. An accurate coordinate transformation was also necessary. The obtained response in along-wind direction sometimes had error caused by miss-tracing of the blade tip, and may not be accurate enough. But the response characteristics of the blades could be obtained to some extent.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学， 構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：風車， 風車ブレード， 対風応答， 運動解析， 振動モニタリング， 風工学

1. 研究開始当初の背景

わが国でも風力発電の導入が精力的に進められている。しかし、主としてヨーロッパで開発が進められてきた大型風車を日本に設置する場合、台風による高風速の風や、起伏の大きな地形中に設置されることにより生じる大きな風速変動の影響を適切に考慮した耐風設計を実施する必要がある。過去には不適切な耐風設計を原因とした風車の強風被害例も多かったが、2007年に土木学会より風力発電設備支持物構造設計指針・同解説

が出され、それに基づいた設計が行われていくことにより、タワー（支柱）や基礎などの強風被害は低減していると考えられる。

一方、強風時に大型風車のブレード（羽根）が破損する事故が生じることがあり、大きな問題となっている。ブレードが疲労破壊する場合や、ブレードが風により過大変形することによりタワーに衝突して破損するといった事故例があり、1枚のブレードの破損によりバランスが崩れ、風車全体の崩壊につながるなど、深刻な事故となる。こうした被害を

防ぐには、強風時や、複雑地形中に設置された場合に風速・風向や風速変動特性が高さ方向に変化する気流中における、ブレードの応答特性を明確に把握し、それに基づく耐風設計手法を確立することが必要である。

一方、CCD カメラ等による動画を用いて運動解析を行うことにより、応答などを測定する手法については開発が進んでおり、人体の運動や構造物の振動など、多くの分野に適用されるようになってきている。この測定手法を適用して、風車ブレードの簡易かつ精度良い応答測定手法を確立したいと考えた。

2. 研究の目的

発電用大型風車のブレード（羽根）の稼働時の対風応答を、簡易かつ精度良く把握する測定手法を確立することが本研究の目的である。測定には、ブレードの先端を高速カメラで撮影した動画に対する3次元運動解析を用いる。本研究の成果は、風洞実験等では把握することの困難な、ブレードの対風応答特性を明らかにするとともに、ブレードの精緻な対風応答予測手法の開発につながり、それを活用することにより、風車の安全性、発電効率、環境負荷低減といった性能の向上に波及することが期待される。

3. 研究の方法

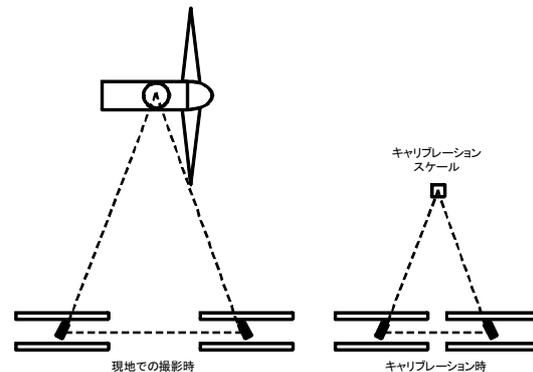
3次元運動解析ソフト DIPP-Motion PRO(DITECT 製)を用いた。まず模型風車を用いて、実験室内においてブレード先端の変位を精度良く計測できるようなカメラ配置等の検討を行った。

実風車としては、(株)駒井ハルテック 富津工場の KWT300 型の中型風車（定格出力 300kW、ロータ直径 33m）を対象とした。風車ブレードの先端を、2 台の高速カメラ (HAS-L1, DITECT 製)を用いて 500fps で撮影した。それを 3次元データに直すために行うキャリブレーションは、図 1 に示すような相似関係を用いて、東京理科大学野田キャンパスの建物屋上近くにキャリブレーションスケールを設置して行った。図 1(a)の平面図中のカメラの前後に平行に描かれている棒状のものは、三脚の位置を正確に決定するために製作した三脚支持台を設置する山形アンクル材である。その設置は、高さがある水平内になるとともに、所定の位置となるように、測量により正確に行った。また測定データに対して、座標変換を適用することにより、x 軸が風車の風上向き、y 軸が上向き、z 軸が水平風向直角方向（右手系）となるようにした。なお原点は、タワーの中心軸位置のロータの中心高さにとった。

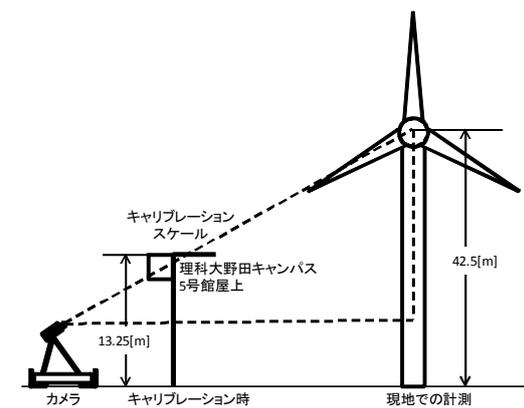
図 2 に、ブレードを 2 台のカメラにより撮影したそれぞれの画像の例を、運動解析ソフトにより得られたブレード先端の追尾の軌

跡と共に示す。先端の追尾は、運動解析ソフトにより基本的には自動で行われ、その精度は、最終的に得られる結果に直結する。追尾のずれが発生しやすかったのは、ブレードがタワーの日陰を通過する際（図 3）と、太陽の光により画像に生じるフレアの近傍（図 4）であった。

画角とカメラを設置できる位置の制約から、ブレード先端の追尾は、ほぼ最下点から、水平近くまでの、1 回転全体ではなく、その約 1/4 程度についてのみ行えた。



(a) 平面図



(b) 立面図

図 1 現地とキャリブレーションの相似関係



図 2 2 台のカメラによる画像と追尾の例

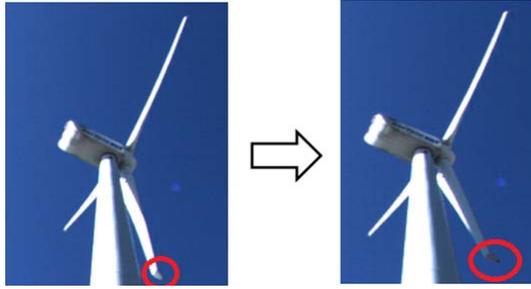


図3 タワーの影の影響

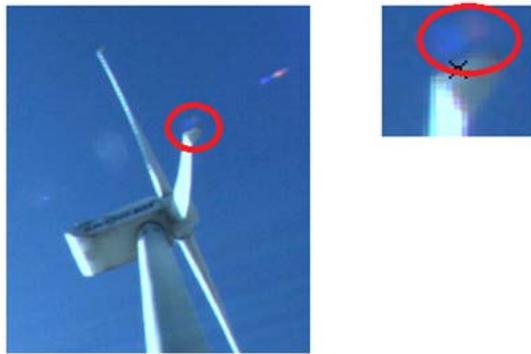


図4 フレアの影響

4. 研究成果

図5に測定結果の例(回転数は28.4rpm)を示す。図には3つのブレード先端を次々追尾した結果を示しており、左から、ブレード1→ブレード2→ブレード3→ブレード1→...の先端の変位を表す。ロータ回転面から直角方向のx座標の変化量は小さいものの、変動しており、これは、ブレードの弱軸に関する曲げ振動に対応する変位であると考えられる。例えば図5(a)の左から3番目の、ブレード3先端の変位を正弦波で近似してみると(図6)、実測値には、追尾が十分正確に行われていないことにより生じていると考えられるデータの不連続が少し見られるが、概ね正弦波で近似できている。このようにしてブレードの振動数を求めると、2.3~2.6Hzであった。同形式のブレード単体の固有振動数は、1次で2.66~2.67Hz、2次で7.51~7.53Hzであった。これらの値よりはやや低めではあるが、両者は概ね一致していることから、本測定では、ブレードの1次モードの振動を捉えられていると考えられる。

それぞれの追尾の開始時点と終了時点近くの詳細については、ターゲットとしているブレードの先端が、タワーの影のそばになる、または距離が遠くなるため、追

尾の誤差が大きくなり、一般に精度が悪くなる傾向があった。しかしほとんどのデータで、追尾の開始時点はx軸方向に変位が増加する傾向がみられ、これは、タワーの存在によりブレードに作用する風荷重が減少するために生じる振動が支配的となっていることを示している可能性がある。

なお図5に示した結果は、カメラで撮影された動画に対して、明るさが急に变化するエッジの部分強調するような、Kirshフィルタを用いて画像変換し、ブレード先端をより追尾しやすくした後に処理を行ったもので

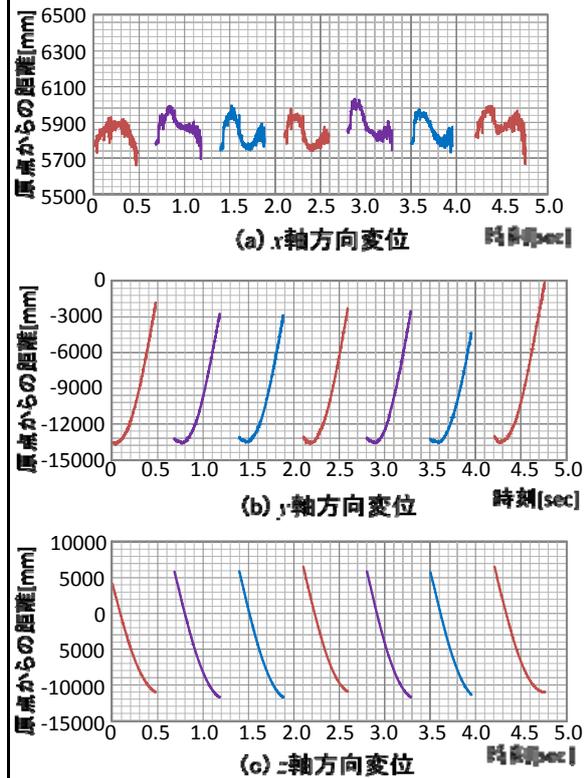


図5 ブレード先端変位の測定結果の例

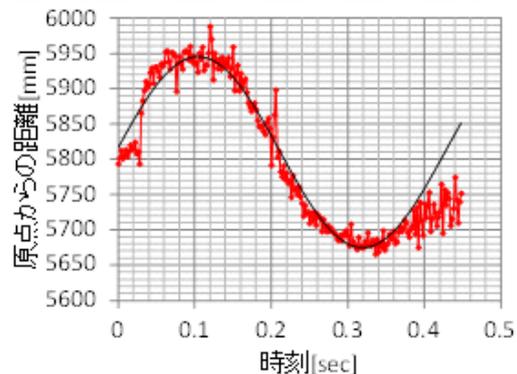


図6 風向方向変位 x とその正弦波による近似

ある。また、風速が高いほどブレードの応答が大きくなる傾向もみられた。ブレードの疲労問題を考えると、高風速時の観測が重要と考えられるが、測量器具の扱い等、設置作業が難しくなるため精度が低下する恐れもある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

(1) 木村吉郎，星野龍一郎，木村大知，幽谷栄二郎，運転時の風車ブレードの3次元運動解析ソフトを用いた振動測定の検討，土木学会平成25年度全国大会第68回年次講演会講演概要集，2013.9.5 習志野市 日本大学生産工学部 津田沼キャンパス

(2) 木村吉郎，岡本浩，八幡太一，3次元運動解析ソフトを用いた風車ブレードの振動測定手法の検討，土木学会平成24年度全国大会第67回年次講演会講演概要集，I-307，pp.613-614，2012.9.7 名古屋市 名古屋大学東山キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 吉郎 (KIMURA KICHIRO)
東京理科大学・理工学部・教授
研究者番号：50242003

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし