

平成 26 年度再生可能エネルギー発電設備耐力調査費補助事業による
南大隅ウィンドファームの風車タワーの精密測定について（公表資料）

本調査は、平成26年度再生可能エネルギー発電設備耐力調査費補助事業により実施したものであり、新たな調査方法等を採用して行ったものである。この実施により得られた知見を取りまとめ、以下に報告する。

1. 調査について

(1) 調査目的

風車タワー（以下「タワー」という）の支持物としての耐力調査のための精密外形測定。

(2) 経緯と調査の概要

① 経緯

南大隅ウィンドファーム（以下「南大隅 WF」という）の根占発電所の 7 号機において、平成 26 年 5 月、タワーに変状のあることが確認された。このため、7 号機のタワー変状の原因究明を進めると共に、7 号機と同工場で製造された同発電所の他号機のタワーについて、同様な変状はないものの、タワーの十分な耐力が保持されているか調査する必要があると判断し、その方法を検討することとした。

② 調査の概要

変状があった根占発電所 7 号機のタワーと同工場で製造された同発電所の他号機及び、製作工場が異なるものの同メーカーの同機種 of 風車である同 WF の佐多発電所の代表号機（1 号機）のタワーについて、タワーの耐力判定に資する調査を実施することとした。本調査では、タワーの状態を把握するのに重要なタワーの鉛直度と真円度についてレーザー測長器を用いて高精度に計測することとした。

(3) 調査対象

南大隅 WF（鹿児島県肝属郡南大隅町）

- ・ 根占発電所 1～6 号機、8～10 号機 （運転開始年月：2003 年 3 月）
- ・ 佐多発電所 1 号機 （運転開始年月：2004 年 3 月）

合計 10 基のタワー

(4) 風車の諸元

製造者：IHI-NORDEX（独）

型 式：IN-1300

出 力：1,300kW

ブレード直径：60m

支持物（タワー）高さ：60m

(5) 調査期間（検討・準備及び計測後の考察を含む）

平成 26 年 11 月 1 日～平成 27 年 2 月 27 日

（計測期間：平成 26 年 11 月 4 日～平成 26 年 11 月 11 日）

(6)本調査の新規性

タワーの鉛直度とタワーフランジ部の真円度について、レーザー測長器を用いて $\pm 1\text{mm}$ 程度の精度で計測を行う。これにより、タワーの鉛直度と三次元形状を高精度に計測し、支持物の強度に影響を与える異常変形の有無を確認し、タワーの健全性を判断する。

風車サイトは強風が吹くことが多く、タワーが風で振動することから形状の精密測定が困難であった。本調査ではレーザー測長器を用いて短時間で計測を行うため、1 時間程度の無風時間があれば計測可能であり、また少人数で短時間に計測を行うため、コスト面でもメリットが大きい。本調査に先駆け、変状のあった根占発電所 7 号機にてレーザー測長器を用いた精密測定を行ったが、その際は 1 基当たり 2 日程度を要した。本調査では工程を合理化したことで、1 基当たり半日（10 基では 6 日間）の計測にすることが可能となり、計測の一層の低コスト化を図ることができた。また本調査と同様な計測は、煙突や製鉄所の高炉で実績があるものの、風車タワーでは初のケースとなる。これらの点が今回調査の新規性となる。

(7)得られる成果

本調査で提案するレーザー測長器によるタワーの鉛直度と真円度の測定は、タワー形状の異常の有無を高い精度で確認することができる。またタワー据付時等の過去データがある場合は、タワー形状の変化をモニタリングすることができる。

なお、本調査にて測定した数値によりタワー形状の異常が確認された場合には、本調査のデータを活用して、有限要素解析等による詳細調査を行うことで、タワーの健全性を確認することができる。

上記により、支持物の強度に影響を与えるような重大な欠陥がないことが確認できれば、支持物が十分な耐力を有することが立証され、発電所の保安確保に有用である。

(8)波及効果

本調査の計測は、極めて短期間に行えるため、風の強いサイトでも、1 時間程度の無風時間があればタワーの形状を高精度に計測することが可能である。このため広範囲な条件のサイトに適用できる。

また、タワーに変状が確認された場合や大地震があった場合に、本調査を行うことでタワーの健全性が確認できる。さらに定期的に計測を行うことでタワーの状態をモニタリングすることができ、タワーの保安確保に有用である。

(9) 調査方法

タワーチューブ 鉛直度・真円度計測方法

鉛直度計測

- タワーフランジに任意の測定点を複数決める
- 測定点からタワー内部をレーザー測長器で測定し、空間中心線を求める。
- クロスゲージ上の3Dレーザースキャナーを空間中心線上に設置し、実測したタワーチューブ中心線と鉛直線の差異を求める。

通常、各チューブフロアーにある測定用開口部よりレーザーレベラー等で計測するが、根占発電所および佐多発電所のように、風力発電機に開口部が無い場合は、上記方法で鉛直度を求める。

チューブ真円度計測

- 各タワーチューブの下部のフランジに、クロスゲージを取り付ける。
- クロスゲージ中央部よりレーザーレベラーで計測高さを設定しマーキングする。
- マーキング位置にターゲットをセットしクロスゲージのフランジ取付け部よりレーザー測長器で、各ターゲットまでの距離を測る。

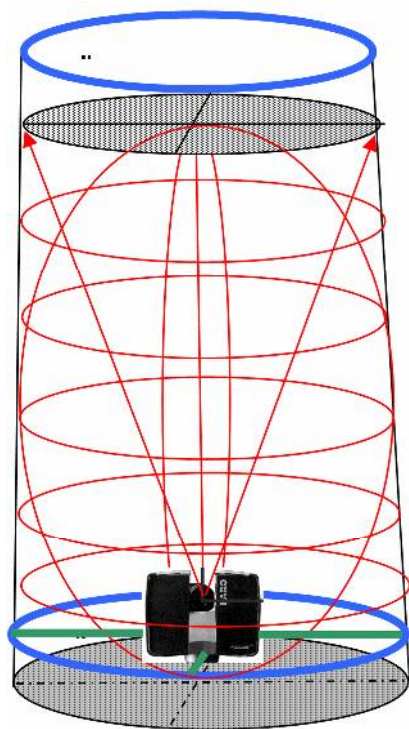
※計測ポイントは各タワーチューブで3箇所以上とする。

各ステージフロアーからの計測は、タワー変状に伴い設置誤差が大きい可能性があるため、変形量の少ない強固なタワーチューブのフランジ部を使用する。

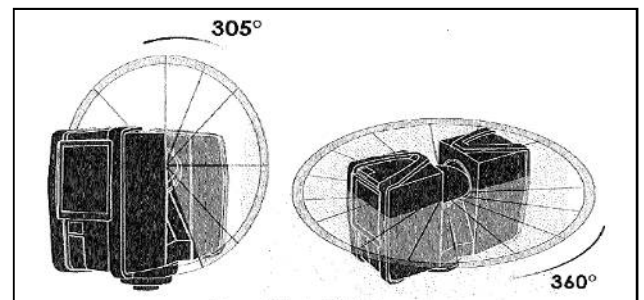
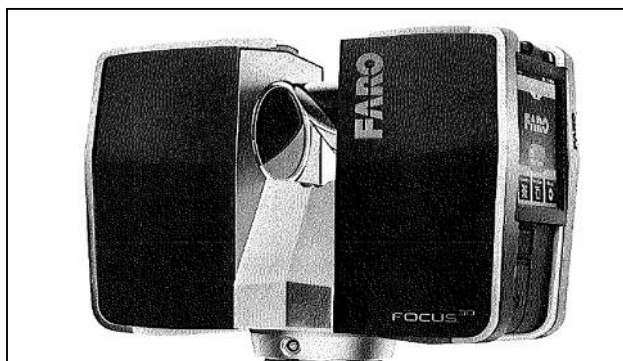
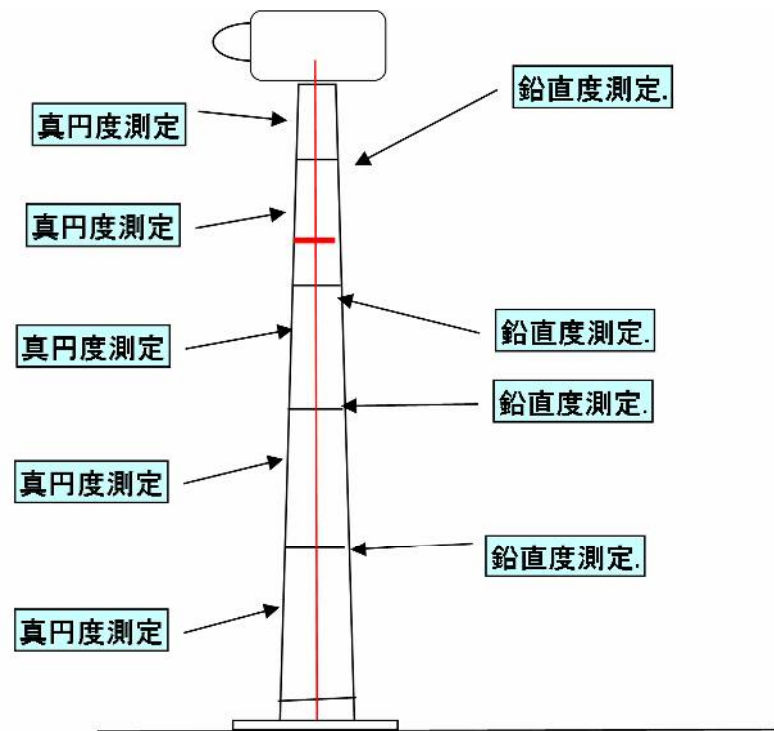
※計測においては、各フランジのクロスゲージを作成する必要があり、現地にて実寸測定を行い、製作する。

本計測は 内部より各タワーチューブの鉛直度と真円度を同時計測し タワーチューブの変形度合いを計測する。

3Dレーザースキャナーを使用し、断層的に変形を確認する。



3Dスキャナー計測イメージ



(注意事項)

各タワーチューブは フロアーにより区画/遮蔽されているため、フランジから上部フロアー間の計測となる。

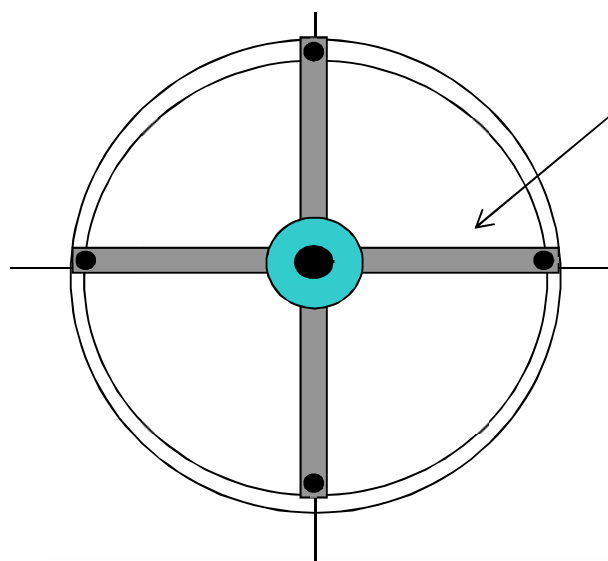
全てのタワーチューブを連結した計測は出来ない。

計測から解析までは ある程度の作業時間が必要となる。

鉛直度はタワーチューブごとに計測した数値を積算して タワー全体の傾きとして提示する。

若干の計測精度誤差があり、提示する数値は参考数値の扱いである。

鉛直度は各タワーチューブの接合フランジに クロスゲージを取り付け、測定を行う。

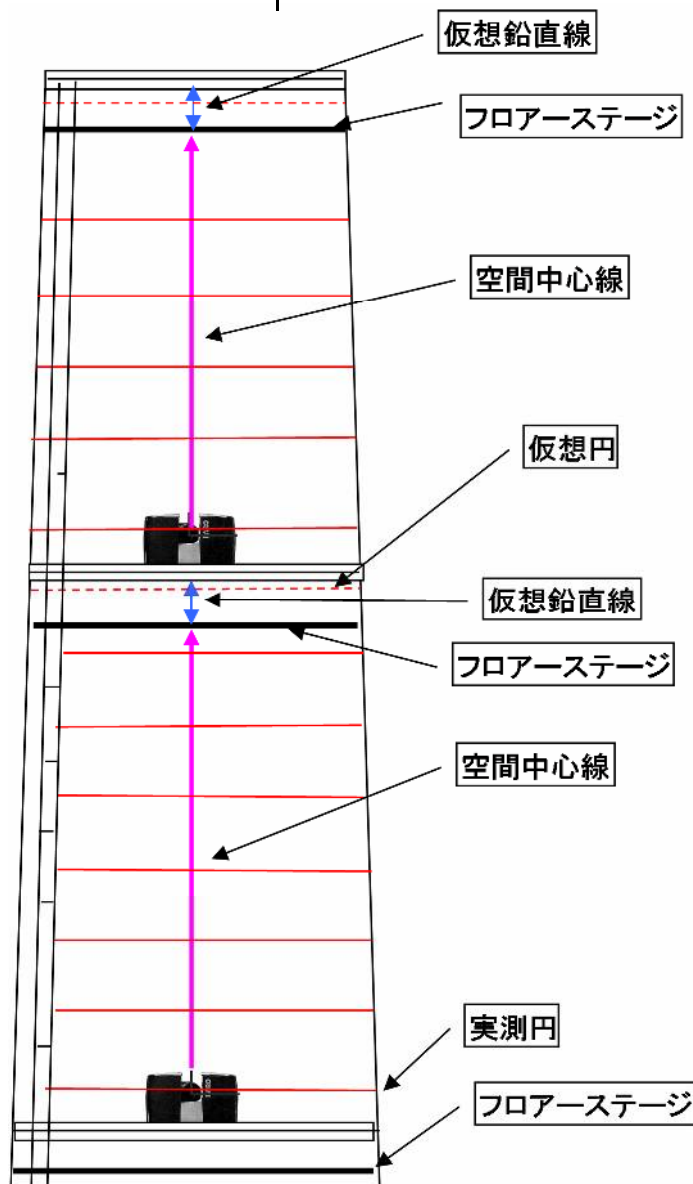


クロスゲージを各フランジへセットする。

クロスゲージは 各フランジごとに作成する。

(注意事項)

各チューブのフランジが著しく 変形している場合は クロスゲージを設置しても中心点が定められないため製作採寸時に確認を行う。



注意事項

各フロアステージ上の真円度・鉛直度はレーザーが遮断される為 仮想円・仮想線での 計測報告となる。

各チューブの計測基準点は接合フランジ部となる。

ラダー・照明・配線等はレーザー計測の障害物となるのでデータをとることが出来ない。報告書では データなしと記載するが、仮想円は明記する。

各チューブの計測間隔は協議の上、決定する。

風速及び計測タイミング等で計測数値に誤差が生じる可能性がある。

<測定準備状況>



3D レーザースキャナー
使用機種 FARO 社製
Laser Scanner Focus 3D



空間中心線を割り出すための 計測状況



3D レーザースキャナー設置確認状況



クロスゲージ製作状況 溶接



クロスゲージ水平設置確認状況



クロスゲージ製作状況 部品作成



クロスゲージ製作状況 組立確認

②実施スケジュール

件名		南大隅ウィンドファーム　タワー精度調査工事　（根占9台・佐多1台）										J F E メカニカル 西日本事業所		自	2014	年	11	月	4	日				
												メンテナンス工事部 中央工事室		至	2014	年	11	月	11	日				
No	項目	期間	移動日	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	備　考													
			11月4日	11月5日	11月6日	11月7日	11月8日	11月9日	11月10日	11月11日														
	移動		→									計測者　1名												
												計測補助者　2名												
	機材搬入			●——●																				
	設置位置マーキング （2基）			●——●								根占1号機・2号機												
	3D スキャナー測定（2 基）				●——●																			
	設置位置マーキング （2基）				●——●							根占3号機・4号機												
	3D スキャナー測定（2 基）					●——●																		
	設置位置マーキング （2基）					●——●						根占5号機・6号機												
	3D スキャナー測定（2 基）						●——●																	
	設置位置マーキング （2基）						●——●					根占8号機・9号機												
	3D スキャナー測定（2 基）							●——●																
	設置位置マーキング （1基）							●——●				根占10号機 佐多　1号機												
	機材移動（根占→佐 多）							●——●																
	3D スキャナー測定（1 基）								●——●															
	機材搬出　機材発送								●——●															
	移動									→														

2. 本調査の成果

本調査を実施した結果は以下の通りであった。参考にされたい。

- ① 本調査は11月の風が強い時期の実施となり、業者技術員は風速(5m/s以下が目安)を逐一確認し、時には深夜に計測する場合もあったが、無風時には短時間で計測できる手法であるため、予定期間で計測を完了することができた。
- ② 本調査対象のタワーには昇降装置が設置されていなかったが、計測機器は梯子を使って上がれる程、軽量であったため、容易に作業を実施することができた。
- ③ 本調査を行うことでタワーの形状を高精度に測定し、タワーの状態を確認することができた。なお、一番歪みの大きかった号機については、本調査とは別に本調査で計測したデータを活用して有限要素解析を行い、十分な健全性を有することを確認できた。

3. まとめ

本調査は、レーザー測長器によりタワーの鉛直度と真円度の三次元形状を高精度に計測し、タワーの強度に影響を与える異常変形の有無を確認して、タワーの健全性を判断するものである。メリットは以下の点である。

- ① 高精度で短時間に計測が可能である。
- ② 風の強いサイトでも、1 時間程度の無風な時間があれば計測が可能である。
- ③ 短時間で少人数により計測を行うため、低コストである。
- ④ タワーの変状を確認した時や大地震後に本計測を行うことにより、タワーの状態を高精度に把握することができる。異常変形が確認された場合には、この計測データを活用して有限要素解析等を行うことにより、風車タワーの健全性を有することを確認できる。
- ⑤ タワー据付時及び定期的な計測時のデータから、タワーの状態をモニタリングすることができ、タワーの保安を確保することができる。

以上のように本調査は高精度、短時間、低コストでタワーの形状を計測することが可能であり、タワーの健全性を確認する上で非常に有効な手法である。

以 上