

# 日の岬ウインドパーク風力発電所の 倒壊事故について（中間報告）

2019年7月12日

アドエコロジー株式会社

# 目次

1. 事故概要
2. 調査結果
3. 調査結果から推定される座屈フロー
4. 今後のスケジュール

# 1. 事故概要 (1/4)

発電所名	日の岬ウィンドパーク風力発電所
所在地	和歌山県日高町大字阿尾字御野脇1990-18
運転開始日	2010年9月 (8年稼働)
風車型式	エネルギー社 E-82 E1
製造メーカー	ENERCON社 (ドイツ)
定格出力	1,990 kW
ハブ高	78m
ロータ直径	82m
風車耐風速規格	IEC/クラスII A
V <sub>e50</sub> (3秒間平均)	59.5m/s
V <sub>ref</sub> (10分間平均規準風速)	42.5m/s
乱流強度	A

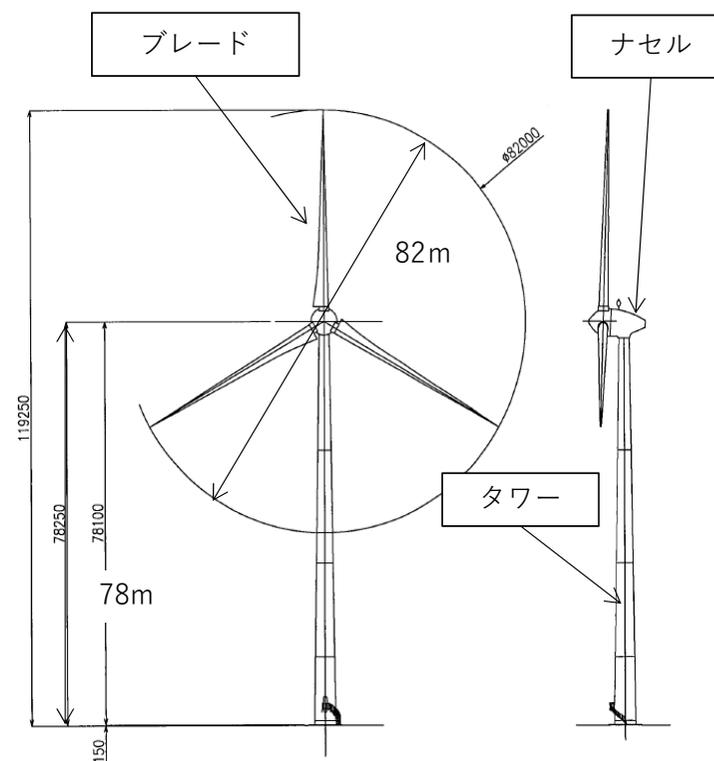


図1 風車外形図

# 1. 事故概要 (2/4)



事故前の風車



地形全体

# 1. 事故概要 (3/4)

## 【当日の運転状況】

2018年9月4日

- 7時20分頃      セクターマネジメント（風速18m/s以上(10分平均)）で発電停止  
※過去の故障からベアリングへの負荷等を考慮して、上記セクターマネジメントを常時実施中であった
- 10時00分頃      当該風車のSCADAデータで風速41.5m/s(3秒平均)を記録する。
- 10時30分頃      **地域停電が発生が発生し、SCADAデータ記録不能**となる  
停電に際して、以下の動作を実施
- ①ヨー制御：停止直前の風向（東南東 102度）を向いて停止  
※SCADAデータによる
  - ②ピッチ   ：バッテリー電源による独立ピッチ制御で、ピッチ角度92度を確保（フェザリング）
  - ③ブレーキ：ピッチおよびヨーのブレーキは無励磁作動型の電磁ブレーキであり、コイルスプリングにてブレーキをロック
- 12時過ぎ      台風21号 徳島県上陸 この後に事故が発生したものと推測

# 1. 事故概要 (4/4)

停電時のブレードピッチ動作フロー図

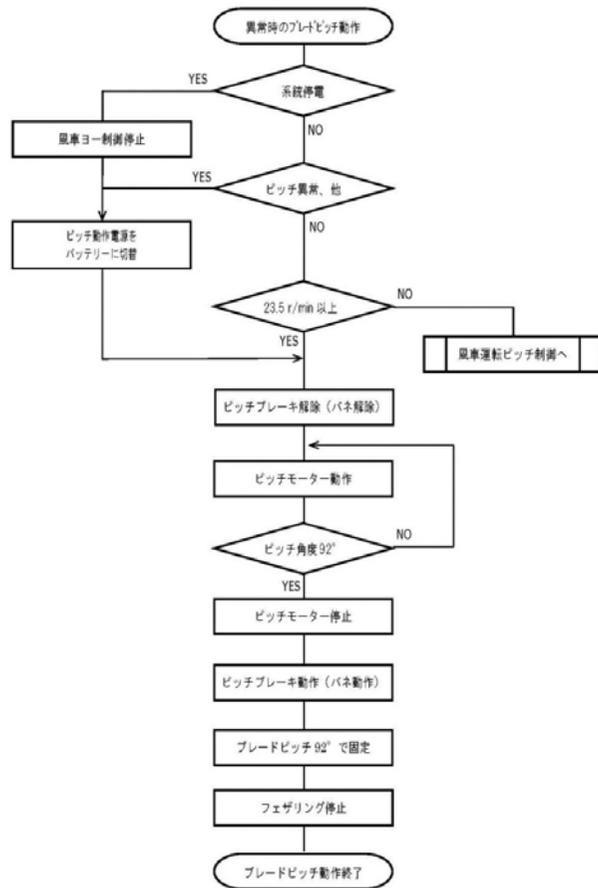


図 停電時のブレードピッチ動作フロー図



タワー中間部（約37m付近）より北西側へ座屈

ブレードはナセル部に接続したまま、地上に落下

地面のナセル向きがヨー制御停止時と異なる

## 2. 調査結果 (1/6)

- 台風通過2時間前からの停電にてSCADAデータが無いため、検討にあたっては以下のフローにより進めた

### (1) 事故発生時の台風21号モデルによる風速解析

台風21号による台風モデルを用いて、上空の風速と風向を求め、地形形状を考慮の上、ハブ高さでの時系列の風速、風向（10分間平均風速）を求める。

### (2) タワー破損の構造解析

風向4ケースで、2007年度版の土木学会の指針に基づき、座屈の風速を逆算にて求める。

### (3) 破損現物の調査による品質確認（溶接、ブレーキ力）

現地解体作業と並行して、回収した部材の破損状況等から風車実機の性能に問題が無かったかを確認する。

### (4) メーカー（エネルギーコン社）による解析他

日立パワーソリューションズ・メーカーによる倒壊時の応答解析などによる検証する

済

済

済

## 2. 調査結果 (2/6)

### 1) 事故発生時の状況

- ・ 地域停電により風車制御電源が喪失し、SCADAデータ記録不能

### 2) 事故発生時の台風21号モデルによる風速解析

- ・ 台風モデルによる風速解析結果 10分平均風速：52.2m/s

標準偏差+2 $\sigma$ (注)(データが含まれる確率95%)：62.6m/s

注：信頼度としてよく用いられる95%とすると、正規分布ではおよそ平均 $\pm 2\sigma$ が信頼区間となる

### 3) タワー座屈の構造解析

- ・ 国土交通大臣認定書から逆算したタワー座屈時の10分平均風速：63.09m/s(横風の条件)
- ・ 構造解析に基づく、タワー座屈高さ：36.9m

### 4) 破損現物の調査による品質確認

#### (1) タワー座屈状況

- ・ 座屈高さ：36.98m (構造解析に基づく座屈位置と一致)
- ・ タワーフランジ部や溶接部で座屈していない (タワーの製造欠陥はない)

#### (2) タワー製造記録の確認 (タワーの製造記録上欠陥はない)

- ・ 鋼材の強度、材料分析結果、異常なし
- ・ ミルシート(材料証明書)、異常なし

#### (3) ピッチモーター/ピッチギア点検結果 (ピッチモーターの製品欠陥はない)

- ・ 全3台の分解点検で、製品異常は認められなかった
- ・ 全3台の分解点検で、ブレーキ滑りが確認された
- ・ 全3台のピッチギア全周に異常は認められなかった

## 2. 調査結果 (3/6)

### (4) ヨーモータ／ヨーギア点検結果 (ヨーモータの製品欠陥はない)

- ・全6台のうち3台は、タワー座屈により損傷したため点検不可
- ・全6台のうち3台の分解点検で、製品異常は認められなかった
- ・全6台のうち3台の分解点検で、ブレーキ滑りが確認された
- ・ヨーギア全周に異常は認められなかった

### (5) ブレードピッチ制御

- ・ブレードはピッチモーターブレーキ (全3機：ブレード毎に独立、無励磁作動型) により固定されていた
- ・タワー座屈後のピッチ角度は、ブレードA (海側) が約186度、ブレードB (広場側) が約193度、ブレードC (天側) が約237度であり、ブレードCを除き逆ファイン状態であった  
ブレードCは座屈時にブレードを巻き込んでいることから、その影響を受けた可能性が高い

〔ブレード状態  
ファイン：0度 フェザリング：92度 逆ファイン：180度〕

- ・ブレーキ粉が多量に発生し、焼けた臭いがしたことから、ブレーキ動作 (無励磁作動型) 状態で、ブレードが風荷重により、フェザリング状態から逆ファイン状態へ回転したと推定される  
ピッチモーターブレーキの制動力100Nmを超過する風荷重を受けたと推定される
- ・ブレードA、B、Cいずれも損傷していたが、ブレード構造物が広く飛散していないことから、ナセルおよびブレードが、タワー座屈中や地面へ落下した衝撃で損傷したと推定される
- ・風車が過回転 (定格回転数18r/min×130%) になると、遠心力によりメカニカル過速度検出が動作し、ブレードをフェザリング位置へ作動させるシステムがあるため、ローターフリーであっても風車過回転は継続しない

## 2. 調査結果 (4/6)

### (6) タワーヨー制御

- ・ 停電直後の角度（ナセル向き）は102度（真北を0度、東南東）
- ・ タワー座屈後の角度は約330度（北北西）
- ・ ブレーキ動作（無励磁作動型）状態でヨーが約130度半時計回りに回転したと推定される
- ・ タワー座屈前の長時間でのナセル回転であれば、ブレーキ粉が多量に発生するため、風荷重によりナセルが回転したのではなく、タワー座屈時にタワートップのナセル自重でヨーが回転したと推定する
- ・ 過去の経験上、強風による風荷重でヨーが回転したことはなく、ヨー回転前にブレードが先に回転し、風荷重が減少する

## 2. 調査結果 (5/6)

(\*1): ○:可能性大、△:可能性あり、×:可能性なし

事象	大項目	調査項目	確認内容	確認結果	評価(*1)
<b>風車タワー座屈</b> <small>・系統停電のためシャット            ダウン中の風車が、            タワー中央部(地上約38m/ナセル            中心までのタワー高約78m)で座屈            ナセル(ブレード含み)が地上へ落下</small>	設計的要因	(1)設計強度不良	強度計算書	強度上、最弱部でタワー座屈	×
		(2)材料選定不良	ミルシートとの照合	記録上異常なし	×
		(3)構造不良	図面と現品の照合	座屈部板厚の図面と一致を確認	×
	製作上の要因 (品質管理)	(1)材料不良	ミルシート確認	記録上異常なし	×
		(2)引張試験	当該構造物の機械的性質および成分分析	記録上異常なし	×
		(3)溶接管理不良	(1)溶接部非破壊検査(UT)	記録上異常なし	×
			(2)溶接員の資格および認証	記録上異常なし	×
			(3)鋼材調達体制	記録上異常なし	×
			(4)鋼材調達品質管理体制	記録上異常なし	×
		(4)検査不良	(1)溶接部非破壊検査(UT)	記録上異常なし	×
			(2)塗装検査	記録上異常なし	×
	施工要因	(1)組立不良	据付・組立記録の確認	記録上異常なし	×

## 2. 調査結果 (6/6)

(\*1) : ○ : 可能性大、△ : 可能性あり、× : 可能性なし

事象	大項目	調査項目	確認内容	確認結果	評価(*1)
<b>風車タワー座屈</b> <small>・系統停電のためシャットダウン中の風車が、タワー中央部(地上約38m/ナセル中心までのタワー高約78m)で座屈ナセル(ブレード含み)が地上へ落下</small>	環境要因	(1)過大風速(台風)	運転データによる確認	設計風速42.5m/s(10分平均)を超過する風速52.2m/s(10分平均)を想定	△
		(2)乱流、渦流影響	運転データによる確認	事故発生前、IEC規格を上回る乱流を計測	△
		(3)飛来物影響	風車損傷状況、周囲の確認	タワーを座屈させる飛来物なし	×
		(4)落雷影響	風車損傷状況の確認	電気品の損傷なし	×
		(5)停電影響	停電前/タワー座屈後の風車状況確認	ヨー制御不可、制動力を超える風速によりブレードフェザリング保持不可	△
	保守的要因	(1)作業不良	過去の点検記録確認	点検記録異常なし	×
		(2)保守不良	過去の点検記録確認	点検記録異常なし	×
		(3)経年劣化	交換部品の調査確認	タワーに関する交換部品なし	×
	運転中要因	(1)トラブル影響	運転中のトラブルによる影響確認	タワー座屈前にトラブル発生なし	×
		(2)過大負荷影響	運転データによる確認	過去に主軸ベアリング損傷事故あり	△
		(3)運転制限影響	運転データによる確認	運転中は運転制限が正常作動	×

### 3. 調査結果から推定される座屈フロー

停電時風向（ナセル向き）は102度（東南東）で、ブレードはフェザリングの状態に固定



風向が変化して横風（南風）となる



ブレードがフェザリング状態（92度）であったため、横風（南風）により風荷重が大きくなる



検証中

風車への風荷重が、タワー耐力を超過し、タワーが座屈し始める  
タワー座屈開始以降に、風荷重がピッチブレーキ制動力を超過し、  
ブレードがフェザリング状態（92度）から逆ファイン方向（180度）へ滑り始める



タワー座屈過程で、ナセル重心がタワーセンターからずれていることもあり、2段目の座屈時の衝撃でヨーモータブレーキが滑り、ナセルが旋回し始め、東南東から北西方向に倒壊する



最終的にナセルが南西方向を向いた時に地上へ衝突した

## 4. 今後のスケジュール

