

1. 西目ウインドファーム発電所と事故の概要

(1) サイトの概要

- ① 所在地 : 秋田県由利本荘市西目町出戸字奥ノ台
② 定格出力 : 30.0 MW (2,000 kW×15 基)
③ 運転開始 : 2004 年 11 月 1 日

(2) 発電設備の概要

- ① 風車 : VESTAS 社製
② 基本諸元 : 定格出力 2,000 kW、定格回転数 16.7 rpm
③ 主要寸法 : ローター直径 80 m、ローター取付高さ 78 m

(3) 事故の概要

事故発生時刻および当時の気象条件は次の通り。設計仕様を超過する風速の風は吹いていなかった。

- 発生日時 : 2019 年 10 月 15 日 (火) 2 : 24 (風車監視記録装置データから推定)
風速 : 約 12m/s, 風向 : 北西, 天候 : 曇り

事故機の確認結果を以下に示す。

- ① 13 号風車のブレード 3 枚の内 1 枚が根本（ブレードカラー）から 16 m の位置で折損した。【図-1】
当該折損部において、ガラス繊維特有の疲労損傷痕（白化）が観察された。【図-2】
さらに局部を観察すると、ブレード背側の幅方向ほぼ全域に亘ってしわの存在が確認された。当該部位にしわが深い層と浅い層が混在し、二つの層間で積層が剥離している現象が確認された。【図-3】

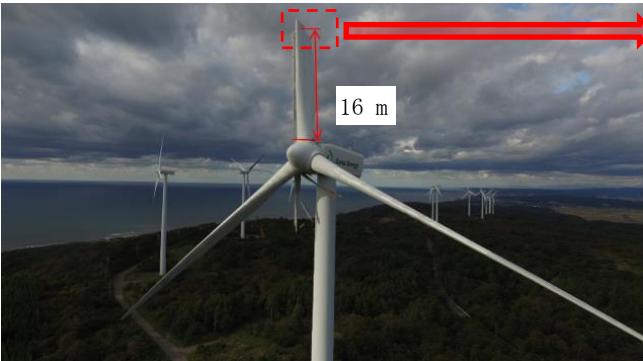


図-1 13 号風車ブレード折損状態

表-1 ブレード仕様

ブレード型	VESTAS 39 m
製造年	2003 年
ブレード長	39 m
ブレード弦長	最大 3.317 m/最小 0.497 m
ブレード重量	6500 kg/枚
材質	GFRE (Glass fiber reinforced epoxy)
構造	箱型主桁に外皮を接着

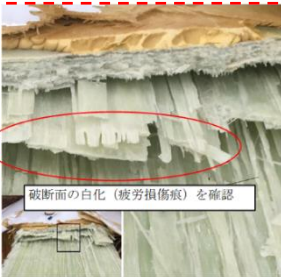


図-2 ブレード中間折損部の破断面

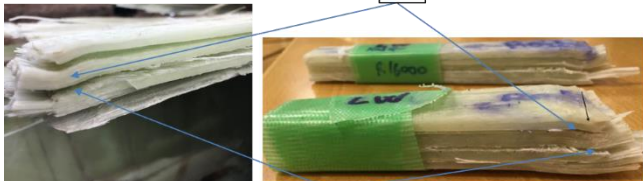


図-3 ブレード中間折損部の破断面（局部）

- ② 折損した部位から 14 m 先の位置（根元から 30 m）については背側外皮一部消失、19 m 先の位置（根本から 35 m）については外皮とブロンズチップが消失し主桁がむき出しとなった。【図-4】
当該破損部位において、ダウンコンダクターに黒い煤の付着や溶断が確認された。【図-5】
落雷検出装置の動作状況を確認したところ、電源が入っておらず、動作していなかったことを確認した。
2019 年 6 月 5 日から 18 日まで電力会社事由による長期連続停電があり、これにより UPS のバッテリーが完全放電し、UPS 非動作となったことが原因であった。この時点から落雷検出装置は機能していなかったと考えられる。
- ③ タワーのブレード先端通過高さ付近に、ブレード打痕を確認した。【図-6】
- ④ 破断したブレードは広範囲にわたり飛散した。事故発生時、風車は運転状態であったため、飛散物は風車の風下方向である南東方向へ飛散した。最大飛距離は 263 m であった。
- ⑤ 事故発生後、風車メーカー技術員のエラー遠隔リセット及び風車のエラー自動リセットにより風車は運転を再開しているが、3 回目まではローター及び発電機回転数がある程度まで上昇した後にピッチ制御エラーが発生している。4 回目については、ピッチを開いたがローター及び発電機の回転数が上昇しなかった。

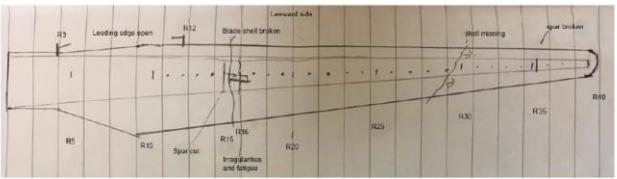


Figure 10 Overview of findings, leeward side.

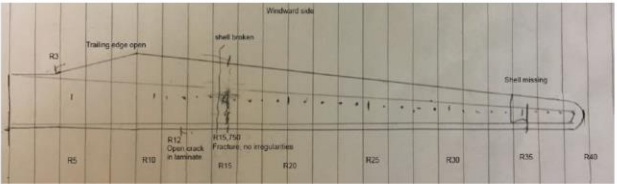


Figure 11 Overview of findings, windward side.

図-4 ブレード破損位置調査結果



図-5 ダウンコンダクター溶断部



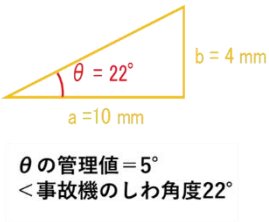
図-6 タワーのブレード打痕

2. 事故原因調査

(1) 設計・製造管理・環境の要因調査

① 設計・製造管理要因

主桁について、材料の GFRE は配向方向の引張応力に対しては強いが、圧縮応力やその他の方向の応力には弱い異方性材料である。そのため、製造時の配向角のずれ（しわ）の管理値を設定している【図-7】。
主桁は積層構造となっており、グラスファイバーを積層する工程が存在する。グラスファイバー層を吊り上げる際、両端 2 点をクランプで把持しており、把持部付近でしわが生じやすいことを確認した。【図-8】
しわの有無については作業員が管理値以内か確認し、超過した場合は手直しすることとなっているが、当該ブレードの製造当時は目視で確認を行っており、見逃しの可能性は否定できないこと、また見逃して新たに積層した場合、内部のしわの検知が困難となることを確認した（事故機は管理値を超過【図-7】）。



θ の管理値 = 5°
< 事故機のしわ角度 22°

図-7 しわ角度の管理値と事故機のしわ

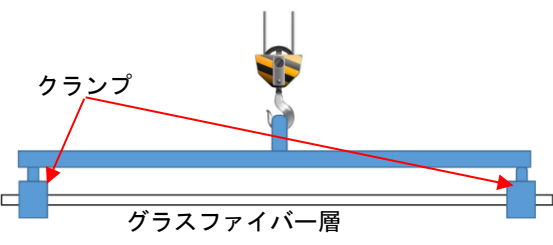


図-8 クランプでの吊上げ

② 環境要因

図-5 に示すとおり、ダウンコンダクターが溶断し、黒い煤が付着していたことから受雷し雷電流が流れた形跡がある。溶断部近傍のブレードは機械的衝撃と高温環境下に晒されており、主桁の強度低下と変形が推測される。直近のブレード検査記録を【表-2】に示す。
ダウンコンダクターについては 2019 年 7 月 17 日まで、ブレード表面については同年 9 月 13 日まで異常が見られなかった。一方、直近の西目 WF 付近の落雷記録を【表-3】に示す（落雷検出装置が不動作であったため気象データを確認）。事故発生 2 か月前に多くの落雷履歴がある。この事実と検査記録を踏まえると 2019 年 8 月 10 日に受雷し、ダウンコンダクター溶断、それに伴う強度低下及び変形が推測される。その後も受雷した可能性があるが、検出装置不動作のため同定不可能である。

表-2 ブレード検査記録

2018 年 7 月 22 日	ブレードのダウンコンダクターの導通点検を実施し、一部導通が無い箇所を確認。ブレード表面には亀裂・損傷等なし。
2018 年 10 月 15 日	ブレードのレセプター交換を実施→導通含む健全性を確認。
2019 年 7 月 17 日	ブレード年次点検を実施し、ブレード表面及びレセプター表面に亀裂や損傷等がないことを確認。
2019 年 9 月 13 日	月例巡査時にブレード表面を確認し、亀裂・損傷がないことを確認。

表-3 西目 WF10 km 以内の落雷回数

2019 年 8 月 10 日	46 回
2019 年 8 月 25 日	1 回
2019 年 8 月 31 日	1 回
2019 年 10 月 3 日	1 回

(2) 事故の実績調査

風車メーカーからのヒアリングにより、以下の情報を得た。

- ① 事故機ブレードと同型且つ製造方法が同じブレードにおける破損事故発生件数は今回の事故を含め、これまでに全世界で 3 件である（分母は 8000 基）。
 - ② 上記 3 件とも、破損発生箇所はグラスファイバー吊り上げ時のクランプ把持部であり、積層のしわが確認されている。
- (3) ブレード破損の原因とメカニズムについて
1. (3) 項の事故状況と 2. (1) (2) 項の調査結果より、以下の事項が判明している。

- ①ブレード中間折損部の主桁に疲労損傷痕、製造不良に起因する配向角のずれ（しわ）、層間剝離が存在しており、主桁の配向角のずれが強度を担保するための製造管理値を超過していたこと
- ②ブレード先端部のダウンコンダクターが溶断していたことより受雷していたことと、ダウンコンダクター周辺が黒く煤けており、受雷による強度低下及び変形が想定されること（2019 年 8 月 10 日に当該風車周辺への多くの落雷履歴がある）。ただし、2019 年 6 月より落雷検出装置不作動のため受雷回数は同定不可能。
- ③風車停止前に 3 回、運転再開（ローター回転数の上昇）とピッチ制御エラーによる停止を繰り返しており、ブレード折損前に破損によりブレードのバランスが悪化していたこと
- ④定格運転時のブレード先端とタワーとの隙間が 7 m 以上確保されることを踏まえると、タワーのブレード打痕は、ブレード中間部あるいはブレード先端部が大きく破損した後にタワーにブレードが接触したものと考えられること【図-9】

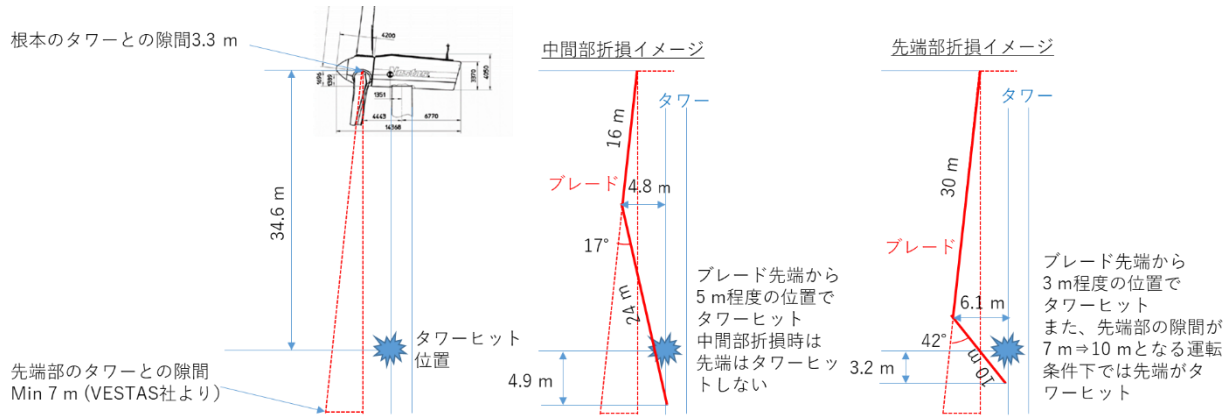
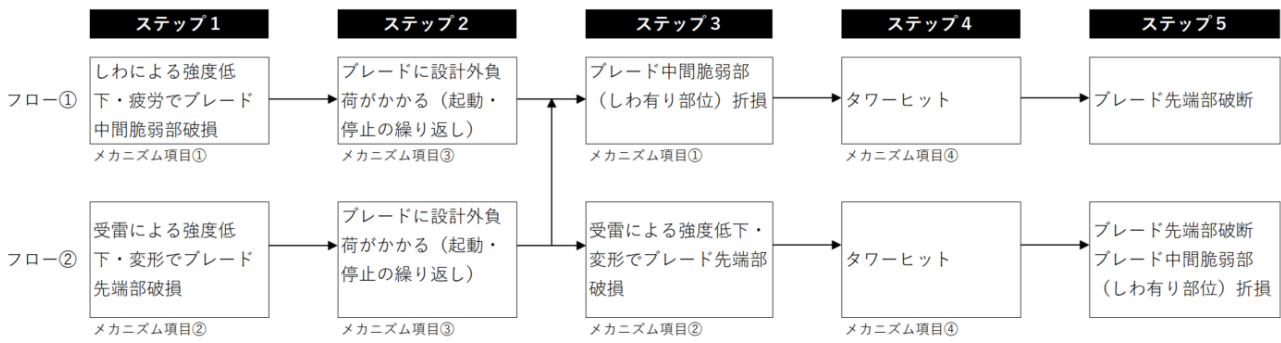


図-9 タワーヒット位置とブレードの位置関係

これらを踏まえるとブレード中間部については製造不良に起因する脆弱部からの折損、ブレード先端部については落雷に伴う主桁の強度低下と変形およびタワーとの干渉による破断が推定され、大きく 2 通りの事故のフローが想定される【図-10】。一方、警報等の運転データからブレード先端部破損とブレード中間部破損とを検知・同定する項目・方法は当該風車には装備されておらず（風車メーカー見解）、破損メカニズムの絞り込みは困難である。このため、想定される破損メカニズムの起回事象全てに対して対策を行うこととした。



※ メカニズム項目番号は2.（3）項で挙げた事項の附番と対応

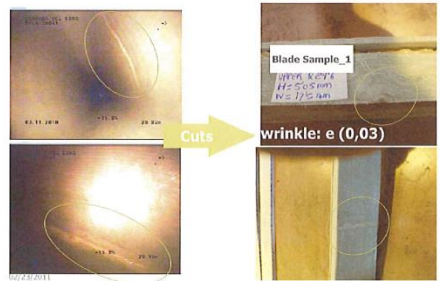
図-10 想定事故メカニズム

3. 再発防止対策

(1) 設備保全上の対策

- ① 製造不良に起因するしわに関して、グラスファイバーの材料特性に着目すると、疲労進展により微細な亀裂が入った場合は光の透過性の違いにより白化する傾向があり、当社他 WF におけるブレード折損対策検討時に確認したブレードカットサンプルでは疲労進展が進んだしわを白化現象により検知している。

【図-11】



(a) 主桁内部（表面に変色あり） (b) 主桁断面（内部表面の変色箇所にシワあり）

図-11 ブレードしわ部分カットサンプル

当該白化現象の目視検査はブレード設置状態においても可能で、検知可能なしわと製造管理値との相関は不明であるが、強度上脆弱で疲労進展が進んだしわについては検知可能である。そこで、西目 WF の全ブレードについて、内側より白化現象の有無を確認し、再発防止を図る。

- ② 受雷による損傷に関しては、受雷を検知すれば地上からの巡視により損傷を検知できることを踏まえ、落雷検出装置の機能維持を対策とする。具体的には従来の定期検査項目に UPS の動作確認（バッテリー残量確認も含む）も併せて行うこと、二日以上連続停電時は復電後に全風車にて落雷検出装置と UPS の動作確認を行うことで、再発防止を図る。
- (2) 風車メーカーの製造プロセス上の対策・対応

風車メーカーとしては根本原因根絶のため、設備投資を行い、パキュームで主桁を一様に吊り上げる方式を採用している。また、次期型以降は引抜成形方式を採用し、再発防止を図っている。

以上