

白馬ウインドファームの ブレード折損事故について

2019年1月21日

白馬ウインドファーム株式会社

目 次

- 1. 風力発電所の概要**
- 2. 事故の概要**
- 3. 全風車の損傷状況**
- 4. 事故時の運転状況**
- 5. ブレードの破壊メカニズムの推定**
- 6. 原因**
- 7. 対策**

1. 風力発電所の概要

事業者：白馬ウインドファーム株式会社

住所：和歌山県日高郡日高川町大字平川
字小山1136-2

設備容量：1,500kw × 20基 30MW

運転開始：2010年3月

形式：GE社 GE1.5sle

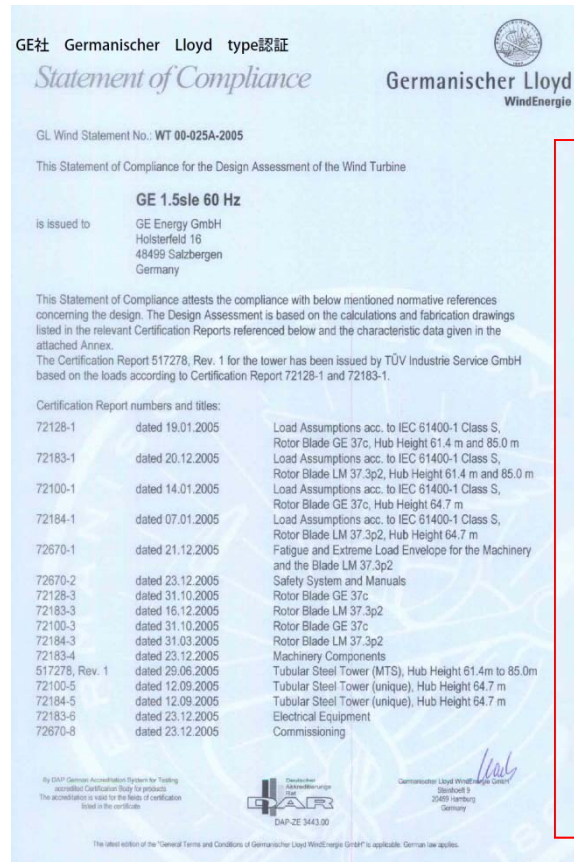
IECウインドクラス：II a($V_{e50}=55\text{m/s}$)

ブレードの製造：LM社 ブレード長：37.25m

タワーの製造：東国製鋼(韓国)ハブ高：61.6m

1. 風力発電所の概要

当該機種がIEC61400-1 Class II a ($V_{e50}=55\text{m/s}$)
のType認証を取得。



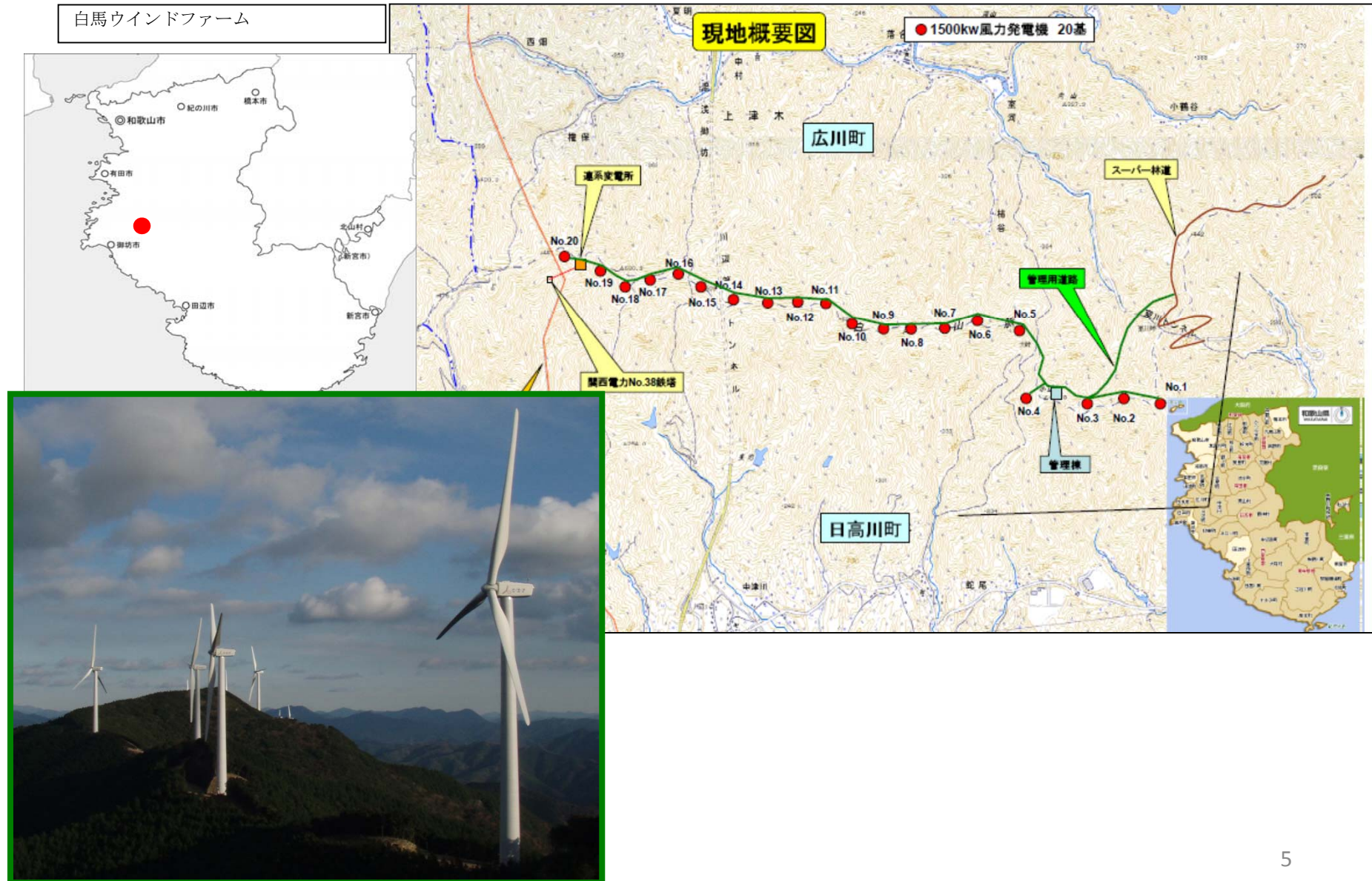
Type: horizontal axis wind turbine
with variable rotor speed
independent electromechanical pitch
system for each blade

Power regulation:

Rated power: 1500 kW
Rated grid frequency: 60 Hz
Hub height: 61.4, 64.7 and 85.0 m
Rated rotational speed: 18.3 rpm
Operating range rotational speed: 11.0...20.3 rpm
Cut-in wind speed: 3 m/s
Rated wind speed: 10.9 m/s
Cut-out-wind speed (30 s mean): 25 m/s
Extreme wind speed (50-year-gust): 55 m/s
Annual average wind speed: 8.5 m/s
IEC 61400-1 -Type class: IIa ($V_{e50}=55\text{m/s}$)

• GE 1.5sleは、第三者機関であるGermanischer Lloydにより、Type認証を受けている。

1. 風力発電所の概要



2. 事故の概要

2018年9月4日

08:31 ストームシャットダウンで風車停止。

(平均風速10分 22.5m/s、30秒25.0m/s、
3秒 27.0m/sで自動停止)

11:00 台風21号は室戸岬沖を中心気圧945hpa、最大風速 45m/s、
最大瞬間風速 60m/s非常に強い勢力で近畿地方に接近

12:31 風向計に障害が発生

12:37 エラ-が多発

12:42 ブレード3枚、確認映像

13:00頃 ブレード折損(想定)

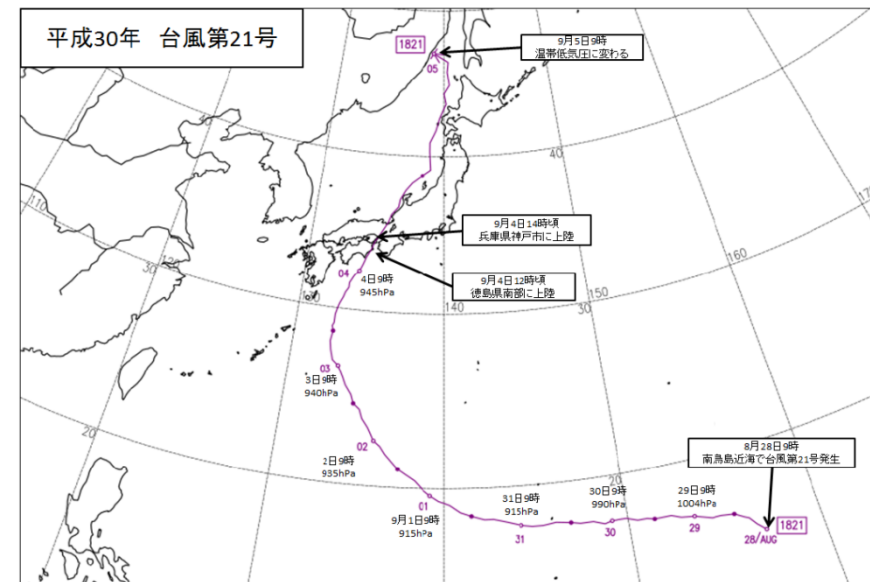
13:19 ブレード1枚折損、確認映像

13:51 関西電力送電線77kV停電

2018年9月5日

08:00 ブレード1枚折損を確認

15:02 77kV52R遮断器投入、復電



2. 事故の概要

損傷状況：20基の内、17号機のNo.1ブレード1本
が根本から≒5m付近で折損



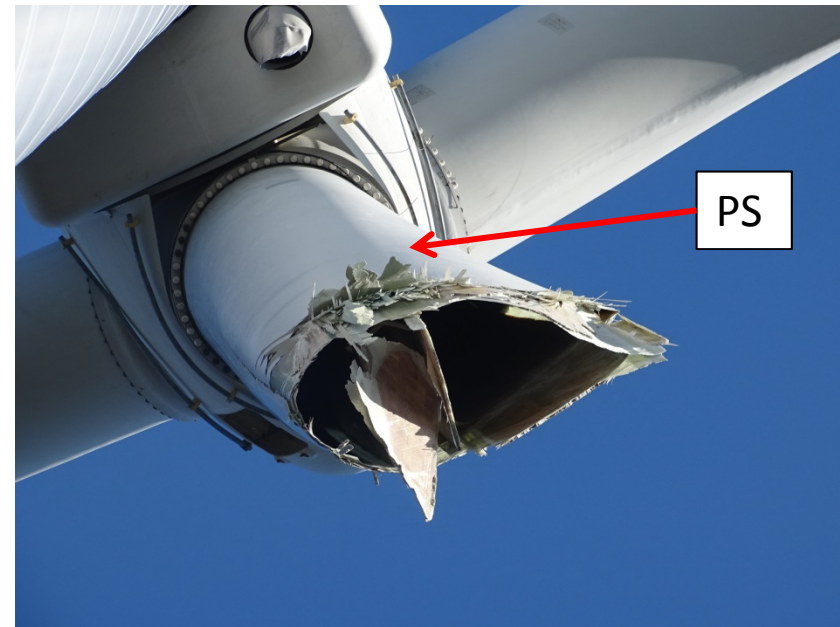
2. 事故の概要

折損したブレードは、17号機から北方向200～250mの森林に飛散



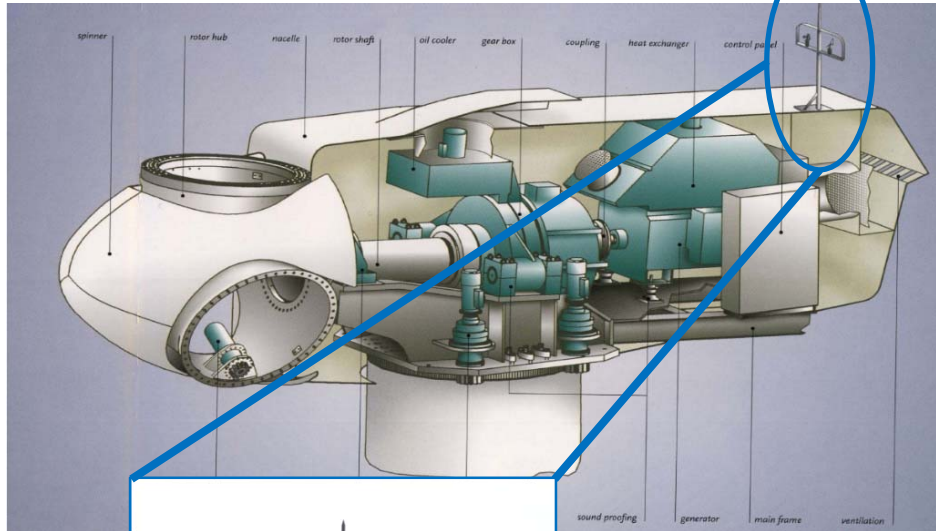
2. 事故の概要

ブレードの折損断面



3. 全風車の損傷状況

風車の風向・風速計および架台

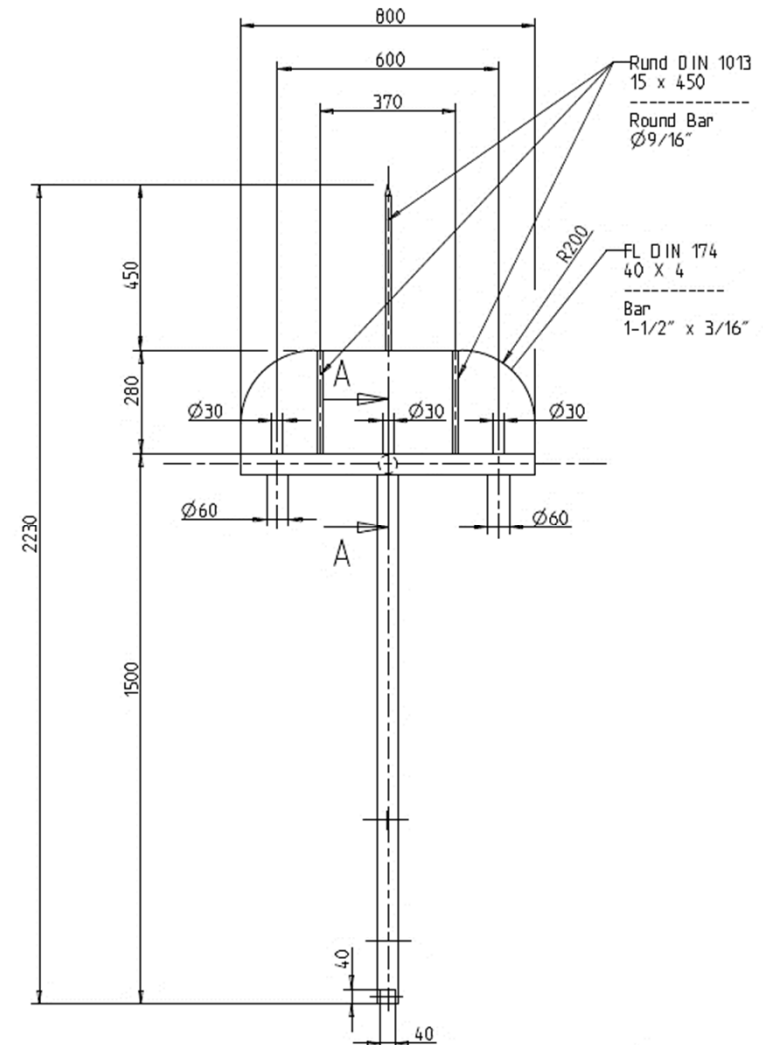


風向計

風速計



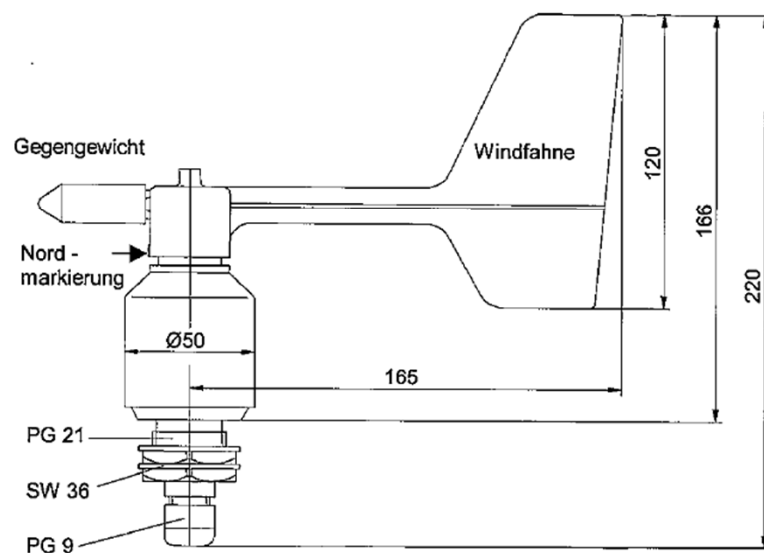
① 正常な状態の風向風速計



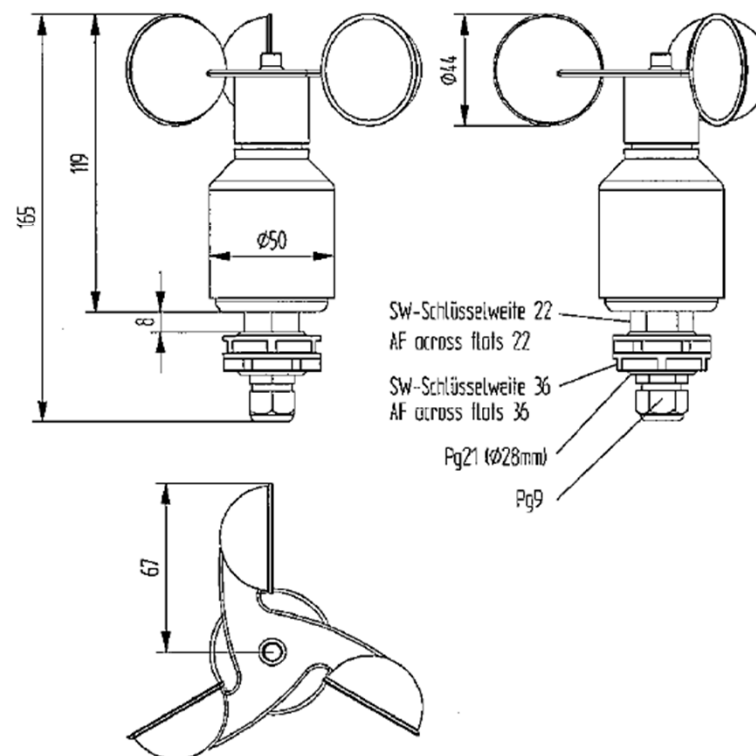
風向風速計用の架台

3. 全風車の損傷状況

風向・風速計の形状・寸法



風向計



風速計

3. 全風車の損傷状況

全風車の風向・風速計の損傷状況



*定期点検において風向風速計および支持材に問題が無いことを確認している。
17号機は、2018.8.16に検査を実施、今回の台風で損傷したものと考えられる。

3. 全風車の損傷状況

全風車の風向・風速計の損傷状況およびナセルの旋回状況

風車	風向計	風速計	ナセル位置	ピッチ位置	風向計信号	風速計信号
1号機	異常なし	異常なし	風向追従	フェザーで固定	正常	正常
2号機	異常なし	異常なし	風向から逸脱、Yaw制御停止	フェザーで固定	正常	正常
3号機	損傷・交換要(②-1)	異常なし	風向から逸脱、Yaw動作停止	フェザーで固定	異常値	正常
4号機	異常なし	異常なし	風向追従	フェザーで固定	正常	正常
5号機	損傷・交換要(②-2)	異常なし	風向から逸脱、Yaw動作停止	異常動作、フェザーから逸脱	異常値	喪失
6号機	損傷・交換要(②-2)	異常なし	風向から逸脱、Yaw誤旋回	フェザーで固定	異常値	正常
7号機	損傷・交換要(②-3)	異常なし	風向から逸脱、Yaw動作停止	フェザーで固定	異常値	正常
8号機	損傷・交換要(②-2)	異常なし	風向から逸脱、Yaw誤旋回	異常動作、フェザーから逸脱	異常値	正常
9号機	異常なし	異常なし	風向追従	フェザーで固定	正常	正常
10号機	損傷・交換要(②-2)	異常なし	風向から逸脱、Yaw誤旋回	フェザーで固定	異常値	正常
11号機	損傷・交換要(②-1)	異常なし	風向から逸脱、Yaw動作停止	フェザーで固定	異常値	正常
12号機	異常なし	異常なし	風向追従	フェザーで固定	正常	正常
13号機	損傷・交換要(②-2)	異常なし	風向から逸脱、Yaw誤旋回	フェザーで固定	異常値	正常
14号機	損傷・交換要(②-1)	異常なし	風向から逸脱、Yaw誤旋回	異常動作、フェザーから逸脱	異常値	正常
15号機	異常なし	異常なし	風向追従	フェザーで固定	正常	正常
16号機	異常なし	異常なし	風向追従	フェザーで固定	正常	正常
17号機	損傷・交換要(③)	損傷・交換要(③)	風向から逸脱、Yaw誤旋回	異常動作、フェザーから逸脱	異常値	喪失
18号機	異常なし	異常なし	風向追従	フェザーで固定	正常	正常
19号機	損傷・交換要(②-2)	異常なし	風向から逸脱、Yaw誤旋回	異常動作、フェザーから逸脱	異常値	正常
20号機	損傷・交換要(②-4)	異常なし	風向から逸脱、Yaw動作停止	フェザーで固定	異常値	正常

Yaw制御停止: 風向計は破損しなかったが、一時的に制御系が非常停止となりYaw制御停止

Yaw動作停止: 風向計が破損したが、Yaw旋回せずに停止していた状態

Yaw誤旋回: 風向計が破損し、風向に関係なくYawが旋回する状態

注: 風向信号が切断、制御電源喪失等の場合ヨー制御は停止

3. 全風車の損傷状況

ブレードの損傷状況

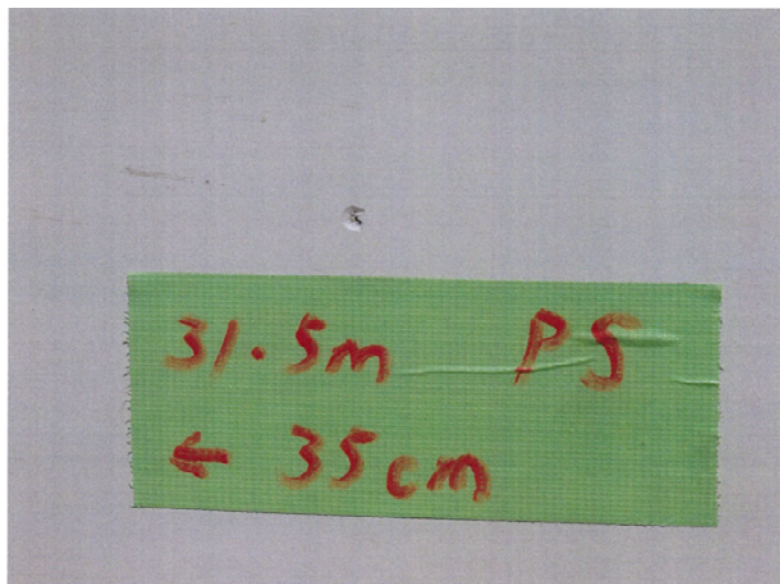
風車	ブレード1				ブレード2				ブレード3			
	外部目視点検	内部目視点検	固有振動検査	UT点検	外部目視点検	内部目視点検	固有振動検査	UT点検	外部目視点検	内部目視点検	固有振動検査	UT点検
1号機	キズ				キズ				キズ			
2号機	キズ				キズ							
3号機	キズ											
4号機	キズ				キズ				キズ			
5号機												
6号機	キズ											
7号機	キズ				キズ				キズ			
8号機	キズ											
9号機					キズ				キズ			
10号機	キズ				キズ	キズ						内部損傷有
11号機	キズ	キズ			キズ				キズ			
12号機		キズ			キズ				キズ			
13号機	キズ				キズ							
14号機					キズ							
15号機	キズ				キズ				キズ			
16号機	キズ				キズ				キズ			
17号機	ブレード折損				未点検	未点検		未点検	未点検	未点検		未点検
18号機	キズ				キズ							
19号機	キズ				キズ				キズ			
20号機	キズ				キズ				キズ			

凡例

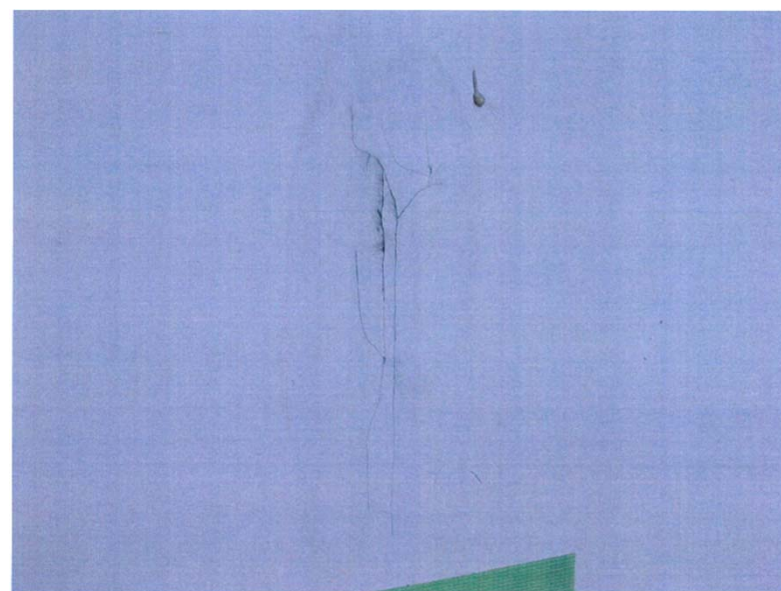
- 異常なし
- 運転可能、軽微な傷有り
- 運転可能、要観察で6ヶ月以内の補修要
- 運転停止、交換要

3. 全風車の損傷状況

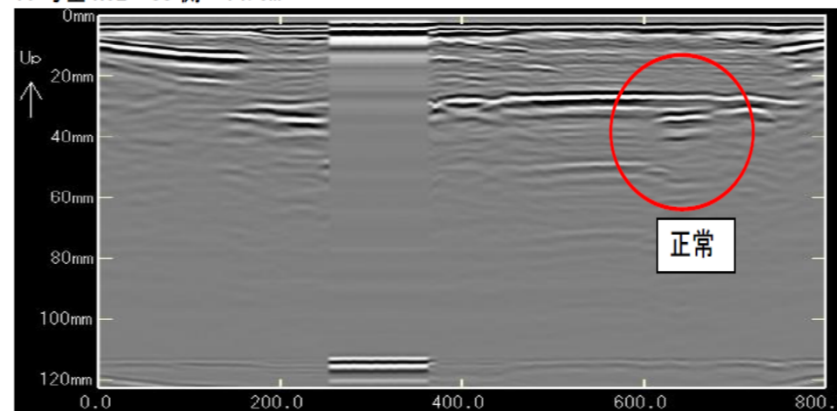
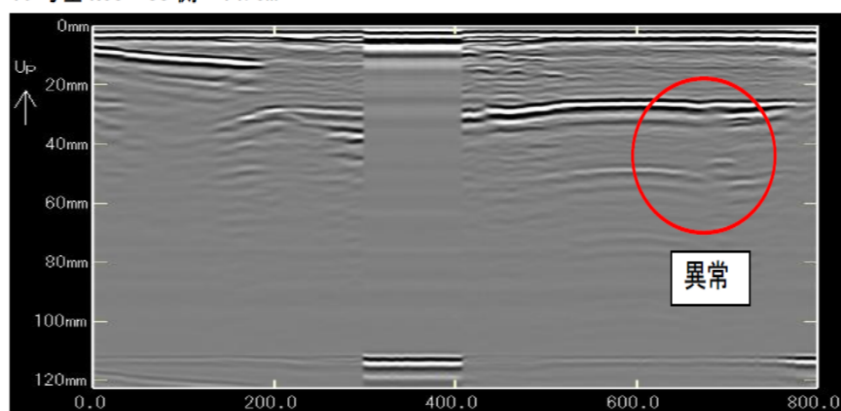
ブレードの損傷状況



ブレードのキズ(軽微)



ブレードのキズ(要観察)



ブレードのUT検査結果

3. 全風車の損傷状況及び対応

全風車のその他損傷状況

風車	風車本体					タワー	基礎
	ロータ・ハブ	ピッチシステム	ヨーシステム	ブレーキシステム	その他設備		
1号機							
2号機			ブレーキパッド損傷×4				
3号機				2次ブレーキリバ-損傷×1			
4号機							
5号機			ブレーキパッド損傷×1 ヨードラブ損傷×3	2次ブレーキリバ-損傷×1 2次ブレーキディスク損傷×1 油圧ユニット損傷×1	発電機ケーブル損傷		
6号機							
7号機							
8号機		ピッチモーター損傷×1					
9号機							
10号機							
11号機			ブレーキパッド損傷×1				
12号機							
13号機					増速機潤滑油ポンプコンタクター損傷×1		
14号機		ピッチモーター損傷×1	ブレーキパッド損傷×1				
15号機		Axis2 主ブレーキ焼損×1			増速機オイルポンプ損傷×1		
16号機					増速機潤滑油ポンプコンタクター損傷×1		
17号機	ハブハッチ損傷 ギアコック損傷 グリスホース損傷	ピッチモーター損傷×3		2次ブレーキリバ-損傷×1 2次ブレーキディスク損傷×1 油圧ユニット損傷×1			
18号機							
19号機			ブレーキパッド損傷×4	2次ブレーキリバ-損傷×1 2次ブレーキディスク損傷×1 油圧ユニット損傷×1	発電機ケーブル損傷		
20号機							

凡例

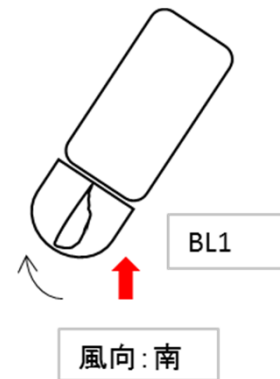
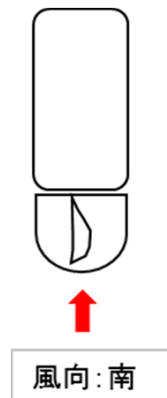
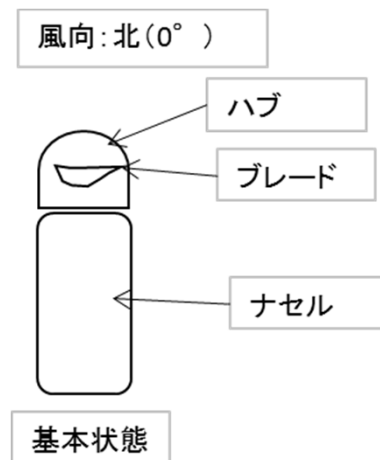
	異常なし
	運転可能、補修要
	運転停止、交換要

黒文字: 交換済み
赤文字: 未交換

4. 事故時の運転状況

12:31:20 風向計が故障、ブレードはフェザリング状態でLE側から風を受ける

12:32:40 ナセルが回転し始める



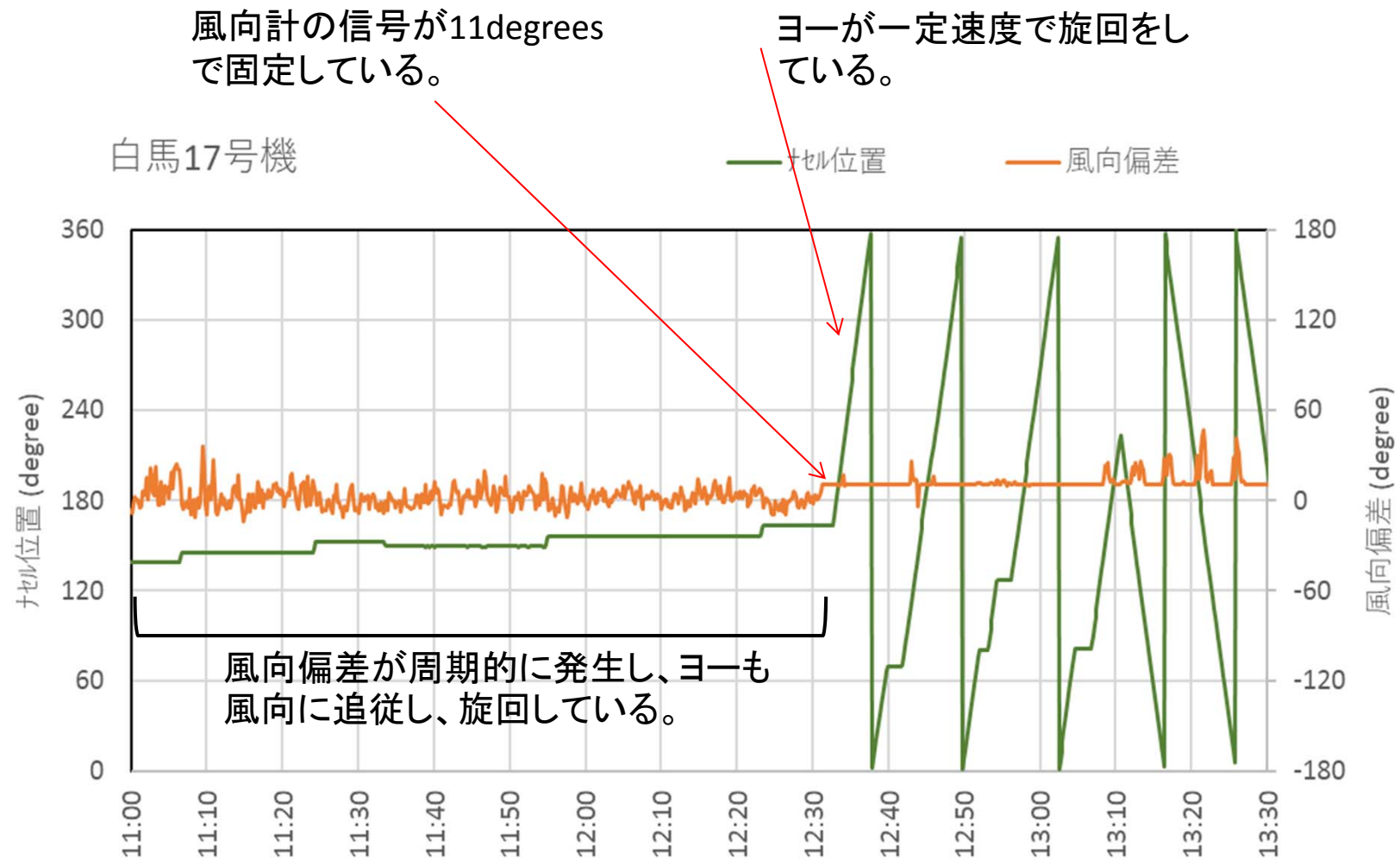
12:31:20の状態
(風に対して正対)

12:32:40の状態
(ナセルが回転)



多くの飛来物が飛んでいるのが確認できる。

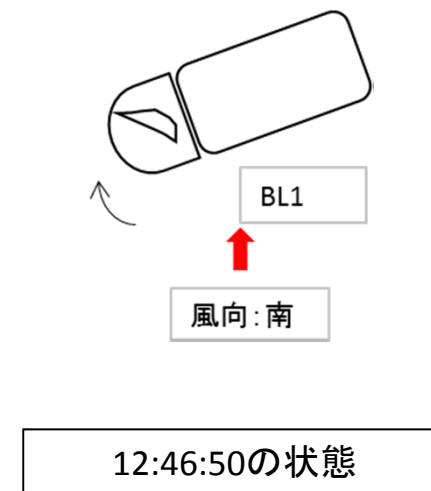
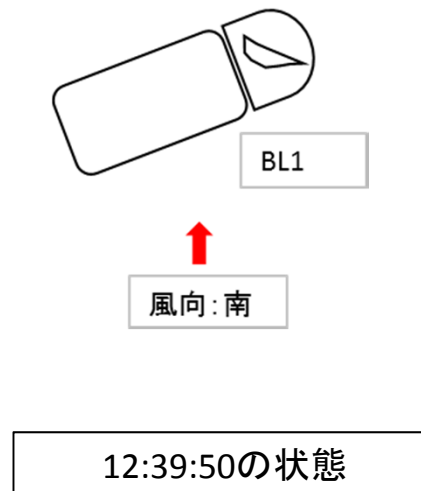
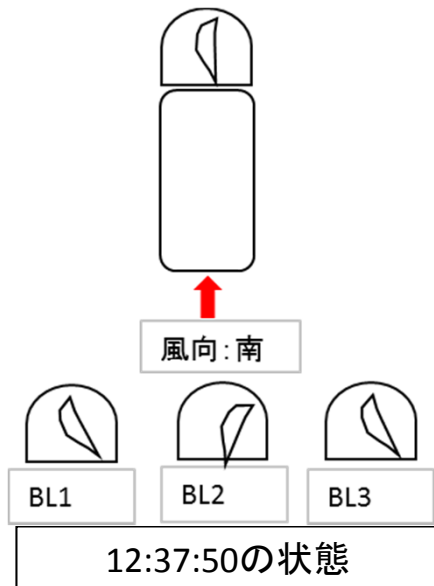
4. 事故時の運転状況



4. 事故時の運転状況

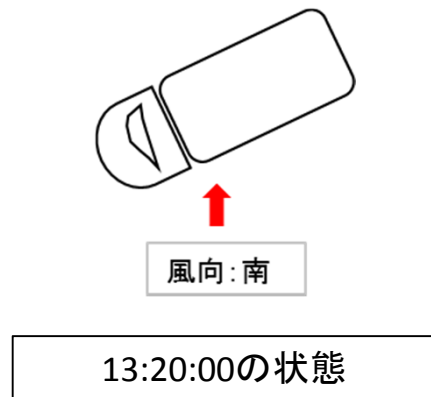
12:37:40 ナセルが風下を向き、ブレード3枚共、フェザリングの状態状態でTE側から風を受ける

12:37:50 ピッチが3翼共に異常な動き
(ピッチが故障)
ナセルは回転を続ける
ブレードは様々な角度から強風を受ける



4. 事故時の運転状況

13:00頃 No.1ブレードが折損



- ・事故当時の映像からは、落雷などの影響で破損する状況は確認出来なかった。
- ・13:09:30から、風速の記録が途切れている。

4. 事故時の運転状況

ブレード折損時の状況

- ・ブレードは正転と逆転を繰り返す
- ・ブレード2 (BL2) は運転時のピッチ角度 (ファイン)
- ・ブレード1 (BL1) は運転時と真逆のピッチ角度 (逆ファイン)
- ・ローターは10rpmまで上昇



4. 事故時の運転状況

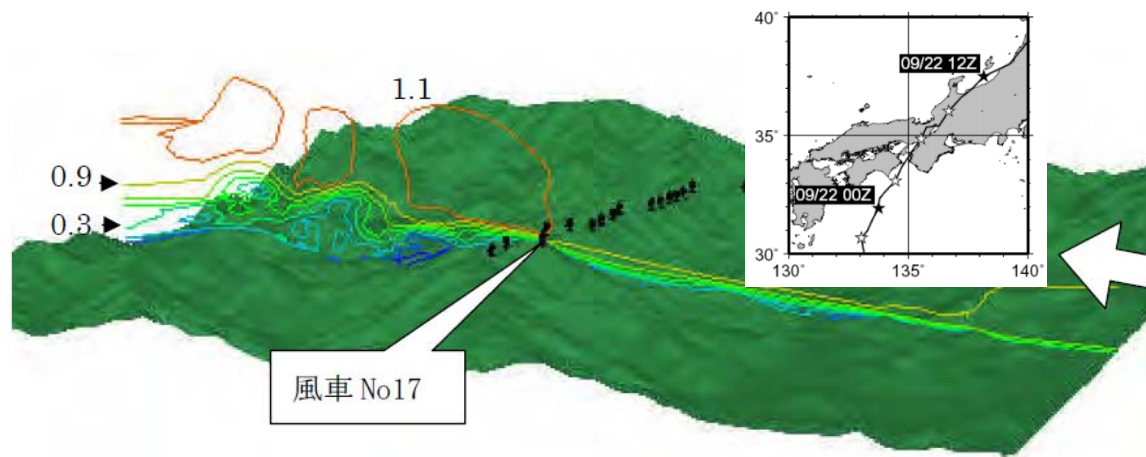
複数号機で耐風速を超過。(3秒平均風速の計算値は10・11・13・14・19号機で60m/s超過)

17号機は、風速が計測不能になる。

風車No.	10分平均 記録値	10秒平均 記録値	3秒平均 * 換算値	備考
T01	34.97	—	48.96	・ * 換算値 IEC規格では10分平均風速から 3秒平均風速への換算は1.4倍。
T02	41.87	—	58.62	
T03	31.75	48.20	44.45	
T04	36.05	53.83	50.47	・ ログに記録される風速は 10分平均値および10秒平均値。
T05	32.13	57.57	44.98	
T06	38.22	—	53.51	
T07	33.17	—	46.44	・ 10秒平均値の — は 10時間以上経過の為に消失。
T08	26.68	—	37.35	
T09	32.24	—	45.14	
T10	43.87	59.13	61.42	・ 赤字: 耐風速仕様超え。 GE1.5sleクラスIIaの耐風速仕様 10分平均値: 42.5m/s 3秒平均値: 55.0m/s
T11	43.43	53.84	60.80	
T12	37.42	53.98	52.39	
T13	44.36	58.99	62.10	・ 17号機は13:09:30から計測不能
T14	45.08	59.25	63.11	
T15	36.58	49.62	51.21	
T16	36.28	44.86	50.79	
T17	41.92	58.86	58.69	
T18	30.92	43.16	43.29	
T19	43.80	59.04	61.32	
T20	37.91	47.24	53.07	

4. 事故時の運転状況

過去の台風シミュレーションの結果では17号機が最も増速されることから、事故当時は、60～70m/sの強風が吹いていたものと推測する。



a. 風車 No17 を過ぎる鉛直断面における南北成分の瞬間風速の分布

1998年台風7号(9807号)をシミュレーションした増速率の検討

・台風21号と同じ様な進路をたどった9807号台風をベースとしたシミュレーション結果では、17号機の増速率が最も高い結果となっており、風車では途中から風速の記録が途切れてしまったが、風速70m/sの強風が吹いていたものと推測する。

風車 No.	風向			
	E	SE	S	SW
1	1.48	0.85	1.11	1.05
2	1.51	0.80	1.21	1.19
3	0.49	1.05	1.12	0.61
4	1.41	0.66	1.39	1.02
5	1.19	0.90	1.22	0.87
6	0.97	0.65	1.67	0.80
7	0.82	0.90	1.65	0.53
8	0.99	1.16	1.46	1.02
9	1.07	1.14	1.31	1.00
10	1.24	1.09	1.56	0.85
11	1.33	0.36	1.72	0.94
12	0.85	1.04	1.27	1.16
13	0.66	0.70	1.19	0.97
14	0.63	0.83	1.16	0.94
15	0.83	0.94	1.67	1.07
16	0.82	1.00	1.45	0.87
17	0.66	0.99	1.84	1.17
18	0.94	0.83	1.24	1.17
19	0.71	0.66	0.90	1.29
20	0.65	0.65	1.62	1.11

5. ブレードの破壊メカニズムの推定

1) ブレードの解析条件

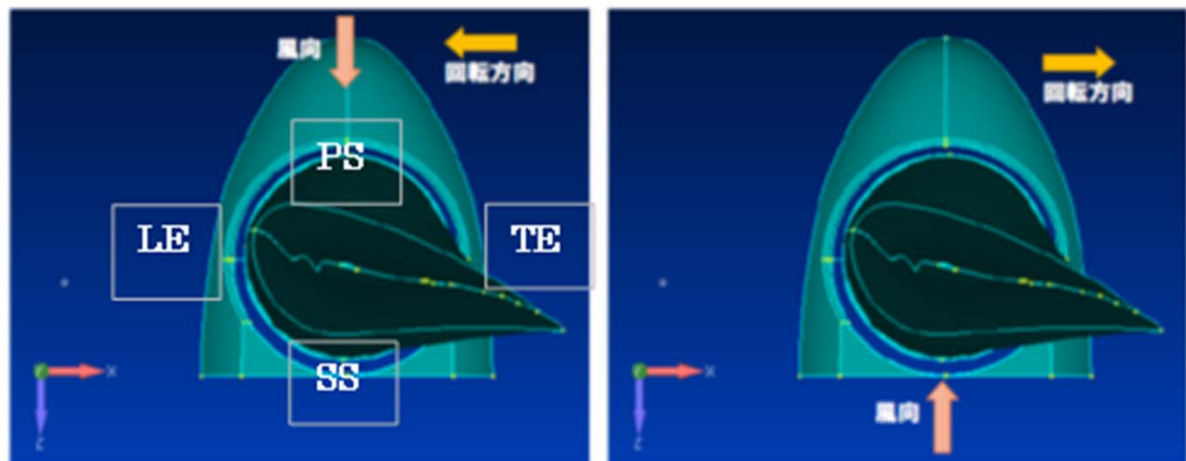
ブレード折損時の状況を再現するため以下の2条件でCFD解析を行い、ブレードに発生する応力をFEM解析により求めた。

①解析条件－1 風向に正対し、ローターがLE側から回転する状況

- 風速: 70m/s (一様流)
- 風向: 0°
- ピッチの状態: ファイン
- ローター回転数: 10rpm

②解析条件－2 風向の逆を向き、ローターがTE側から回転する状況

- 風速: 70m/s (一様流)
- 風向: 180°
- ピッチの状態: 逆ファイン
- ローター回転数: 10rpm

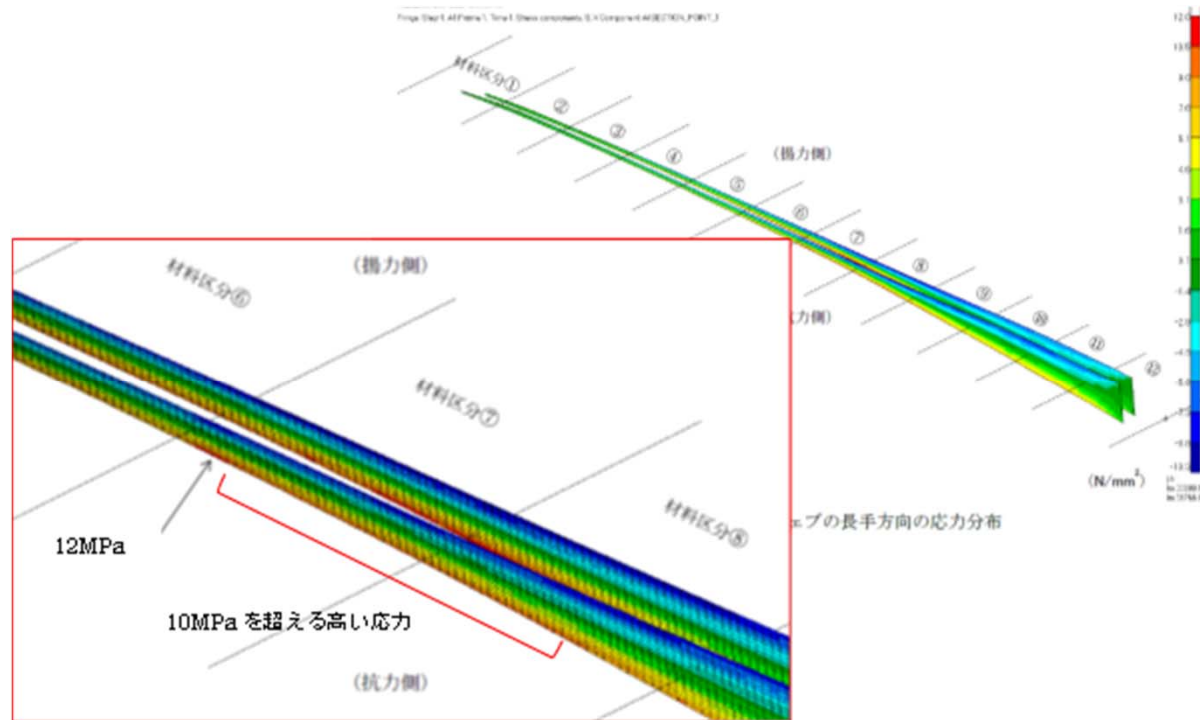


5. ブレードの破壊メカニズムの推定

2) ブレードに発生する応力

①解析条件－1

桁とシェルとの接合部近くに10MPaを超える応力が材料区分⑦～⑧にかけて広がっている。当該部分の材料試験の引張強さは9MPaであり、材料強度を超える結果となった。



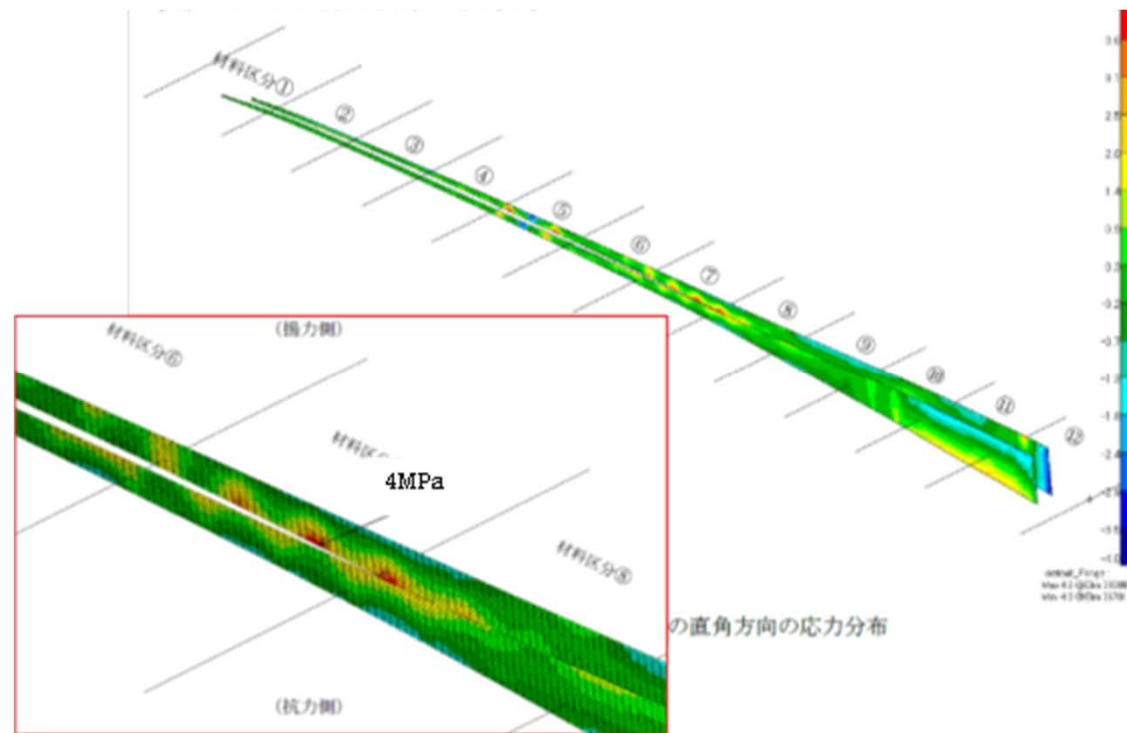
解析条件－1 (PSから風を受ける場合) 内部桁の周方向応力分布

5. ブレードの破壊メカニズムの推定

2) ブレードに発生する応力

①解析条件－1

桁の接着部にせん断力がかかる軸方向の応力では、4MPaの応力が発生しており、接着部のせん断強度3MPaを超える結果となった。



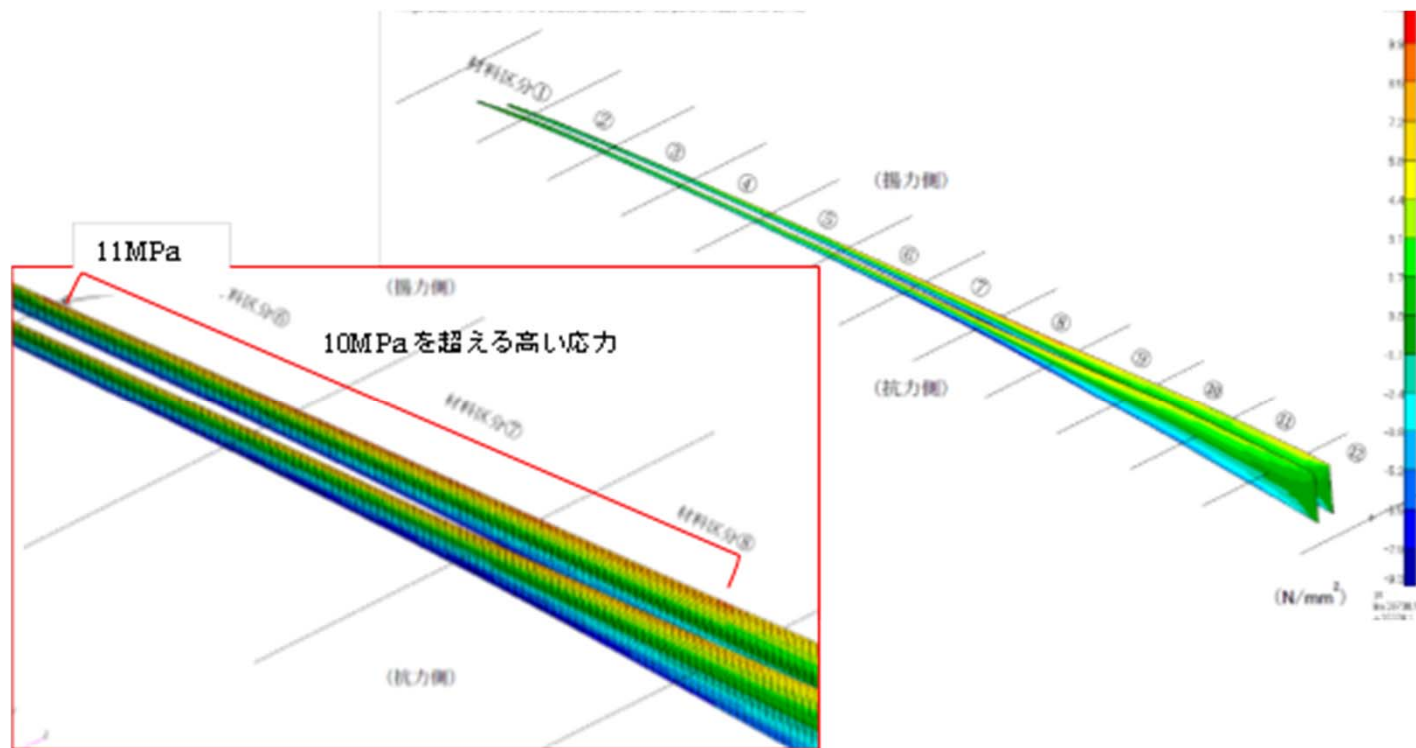
解析条件－1 (PSから風を受ける場合) 内部桁の軸方向応力分布

5. ブレードの破壊メカニズムの推定

2) ブレードに発生する応力

②解析条件－2

内部桁の周方向の応力を示す。桁とシェルの接合部近くに10MPaを超える応力が材料区分⑥～⑧にかけて広がっている。当該部分の材料試験の引張強さは9MPaであり、材料強度を超える結果となった。



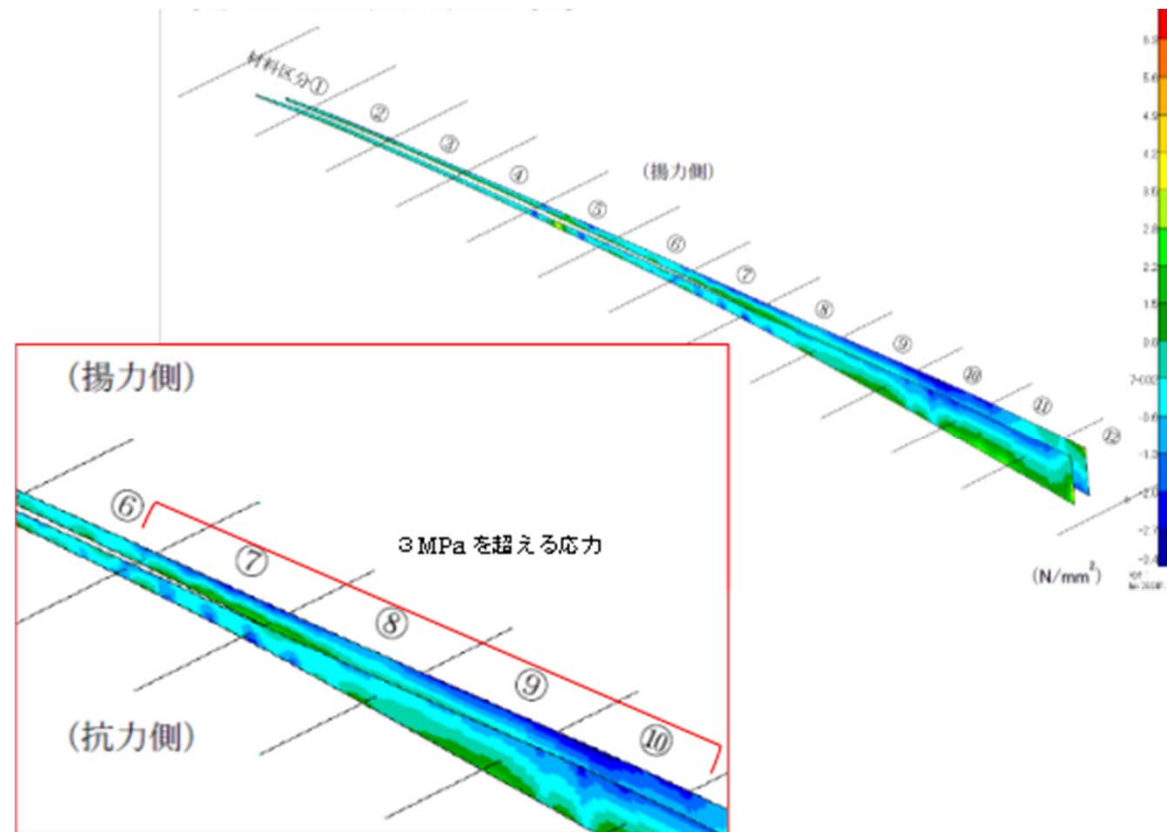
解析条件－2 (SSから風を受ける場合) 内部桁の周方向応力分布

5. ブレードの破壊メカニズムの推定

2) ブレードに発生する応力

②解析条件－2

桁の接着部にせん断力がかかる軸方向の応力では、3MPaを超える応力が発生し、接着部のせん断強度3MPaを超える結果となった。



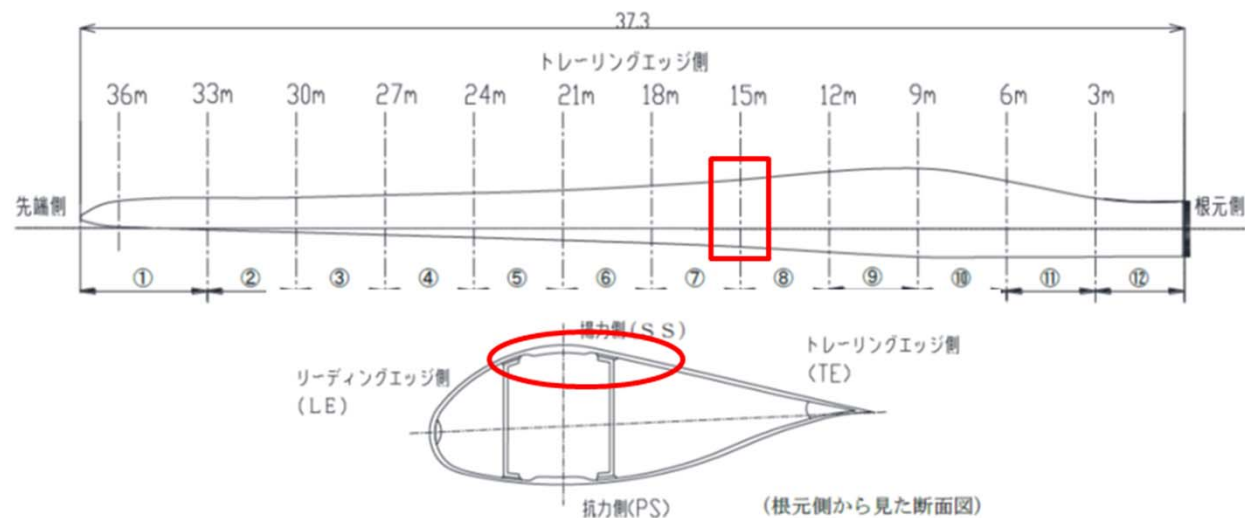
解析条件－2 (SSから風を受ける場合) 内部桁の軸方向応力分布

5. ブレードの破壊メカニズムの推定

3) その他のブレードの損傷状況

現地のブレードのUT検査からも、10号機のブレードの桁接合部で、解析結果と同様の異常が発見されている。

これらのことより、ブレードは、強風の影響で内部桁の接合部が損傷したものと推測される。

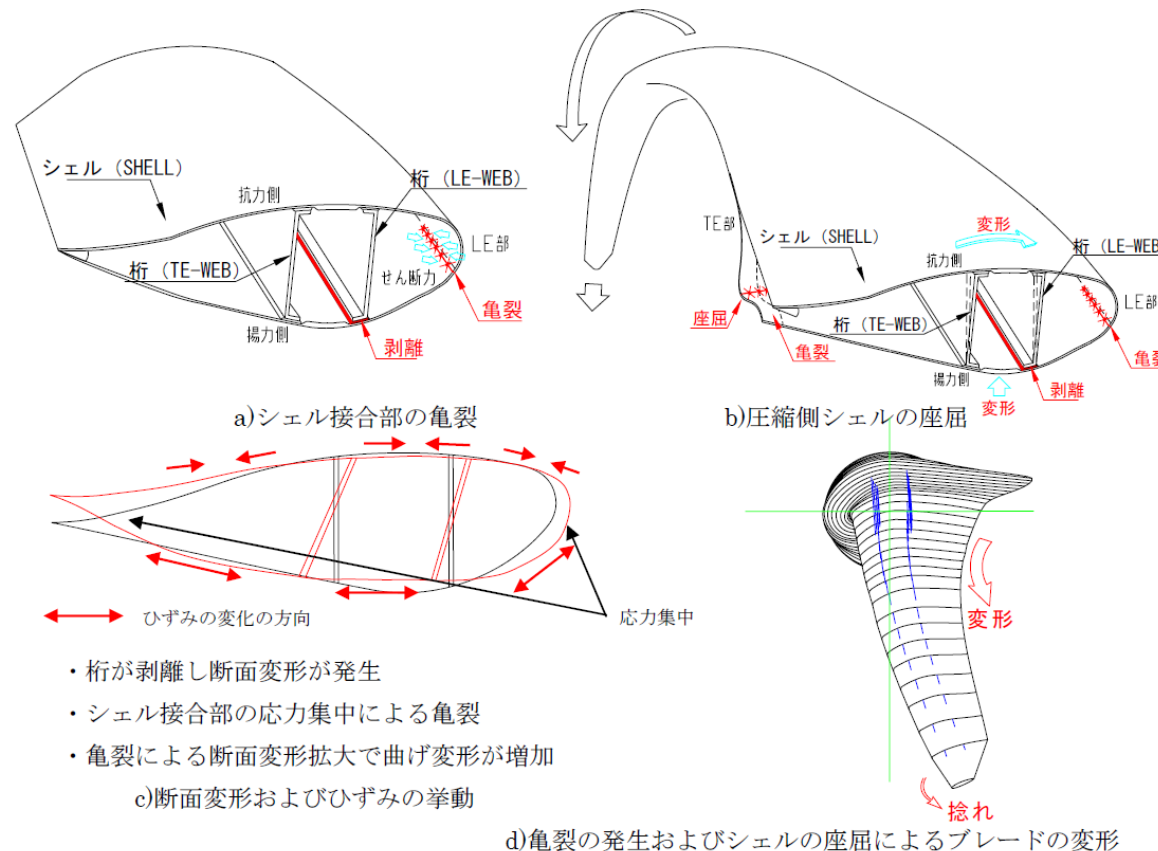


10号機のUT検査における異常箇所

5. ブレードの破壊メカニズムの推定

4) ブレードの破壊メカニズム

2009年の5号機ブレード破損事において、内部桁の接合部に損傷が発生するとブレード破損に至ることが確認されており、今回の事故も同様の課程を経て、破壊したものと推定される。



6. 原因

- ①台風21号により、風車の耐風速(55m/s)を上回る強風が吹いた。
- ②飛来物により風向計が損傷し、ヨー制御が不能となり、強風の中をナセルが回転し、ピッチも故障。
- ③ナセルの回転により、ブレードはリーディングエッジ(LE)側からだけでなく、抗力側(PS)、揚力側(SS)、トレーリングエッジ(TE)側など様々な方向から強風を受けた。
- ④ブレードが耐風速を超える強風を繰り返し受けることにより、内部桁の接合部が損傷し、それが発展することでブレードの折損に至ったものと推定される。

7. 対策

1) 風向計の損傷を防止し、ヨ一制御不能を回避

① 風向計を新機種に交換

② 風向風速計の取付位置の変更

		現行風向計	新規風向計
種類		風向計	風向・風速計
メーカー名		Adolf Thies	FT Technology
型番		4.3128.00.000	FT702
計測方式		翼型	超音波式
風向	計測レンジ	0～360度	0～360度
	精度	+/-0.5度	+/-2度
使用条件	温度	-30℃～+70℃	-40℃～+85℃
	湿度	0 ～ 100%	0 ～ 100%
	耐風速	80m/s	85m/s
保護等級		IP55	IP67
重量		600g	320g
外観			

7. 対策

2) 第三者障害の防止

当事業所は山の尾根に有り、出入口は一か所となっている。現在、出入口は電動ゲートで、関係者以外の立入を禁止し、第三者が容易に構内に進入出来ないよう管理している。

今後も、第三者障害を防止すべく、関係者以外が立入らぬようにゲートの管理を徹底する。