

的山大島風力発電所

台風9号・10号によるブレード折損事故に関する報告

2021年3月3日

株式会社の山大島風力発電所

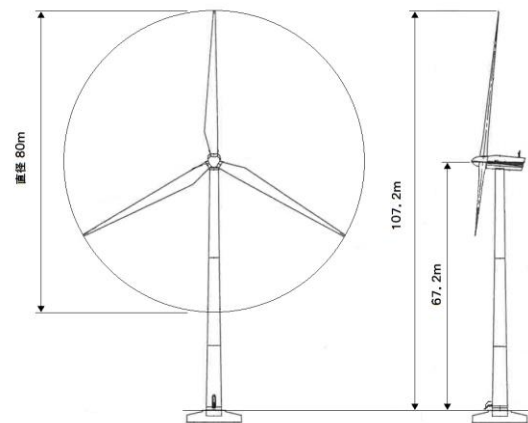
目次

- ・ 風力発電所の概要 P. 3
- ・ 事故の概要 P. 4
- ・ 第24回 新エネWG時 質問事項回答 P. 5
- ・ 前回ご報告後の原因分析について P. 12
- ・ 前回報告内容との比較 P. 14
- ・ ヨーウォームギアの構造 P. 15
- ・ 事故機のクラッチ板について P. 16
- ・ ヨーウォームギアクラッチ板SEM観察結果 P. 17
- ・ 事故原因分析 P. 19
- ・ 事故原因まとめ P. 20
- ・ 再発防止対策 P. 21

風力発電所の概要

事業者名	株式会社の山大島(あづちおおしま)風力発電所
出資比率	ミツウロコグリーンエネルギー:75% 平戸市:25%
発電所名	的山大島風力発電所
所在地	長崎県平戸市大島村前平
定格出力	32,000kW (2,000kW×16基)
運転開始	2007年3月
風車メーカー	Vestas Wind Systems A/S
機種	V80-2.0 定格出力:2,000kW
風車クラス	IECクラス:1a 設計最大風速50m/s(10min.ave)
ローター直径	:80m ナセル本体:地上より67.2m
カットイン	:4m/s 定格風速:15m/s カットアウト:25m/s

※Vestas仕様書による



ブレード長さ:39m

重量:6,500kg / 1枚



的山大島風力発電所 全景

的山大島風力発電所 位置地図



事故の概要

台風9号時

2020年9月2日から9月3日未明にかけ、的山大島の西側を通過した台風9号により

8号風車：ブレード3枚が破損

13号風車：ブレード1枚が破損

16号風車：ブレード2枚が破損

台風9号通過時に風車の風向風速計で

10分平均風速：48.8m/s

最大瞬間風速：51.9m/s

上記がサイト内測定データとして記録された。

台風10号時

台風9号が通過した直後の、2020年9月6日から9月7日早朝にかけ、的山大島の西側を通過。

7号風車：ブレード1枚が破損

8号風車、13号風車、16号風車は台風9号で受けたブレード損傷が拡大した。

第24回 新エネWG時 質問事項回答

風向風速計に関する質問回答

Q1: Error on all wind sensors のエラーが発生時に、風向風速計が出力している信号について

A1: 風向風速計のエラーについては以下の3パターンがある。(メーカー回答)

- ① センサーと風車コントローラー間の通信断が発生した場合
- ② センサー自体が故障した場合
- ③ センサーに異物付着または汚損があり、測定値に変化がなくなった場合(60秒間)

②のケース

風向風速計: **Err**
風向データ: ×
風速データ: ×

エラー信号のみ送信

風車コントローラー

エラーを発報

③のケース

風向風速計: **Err**
風向データ: △
風速データ: △

エラー信号と併せ
計測値も送信

風車コントローラー

エラーを発報

今回のエラーはセンサーの故障が無いため、一時的な要因と考えられ ③ のケースに相当する。

Q2: 測定範囲が0~50m/sの風向風速計を、Class 1A機種に取付けている理由

A2: ナセルに搭載された風向風速計はカットアウト風速(25m/s)に到達するまでの範囲で風車を制御することを目的としている。カットアウト風速(25m/s)に到達すると風車はポーズ状態(発電停止状態)となる。それ以上の風速でも風車の挙動に変化はない。上記の点を受けて、Vestas社では0-50m/sの計測範囲の風速計を採用している。(メーカー回答)

メーカーからは、発電時の風車制御のための機器との回答であるが、
今回の事故内容を踏まえ、事業者として計測範囲:0-75m/sの風速計を導入する。 (メーカー確認済)

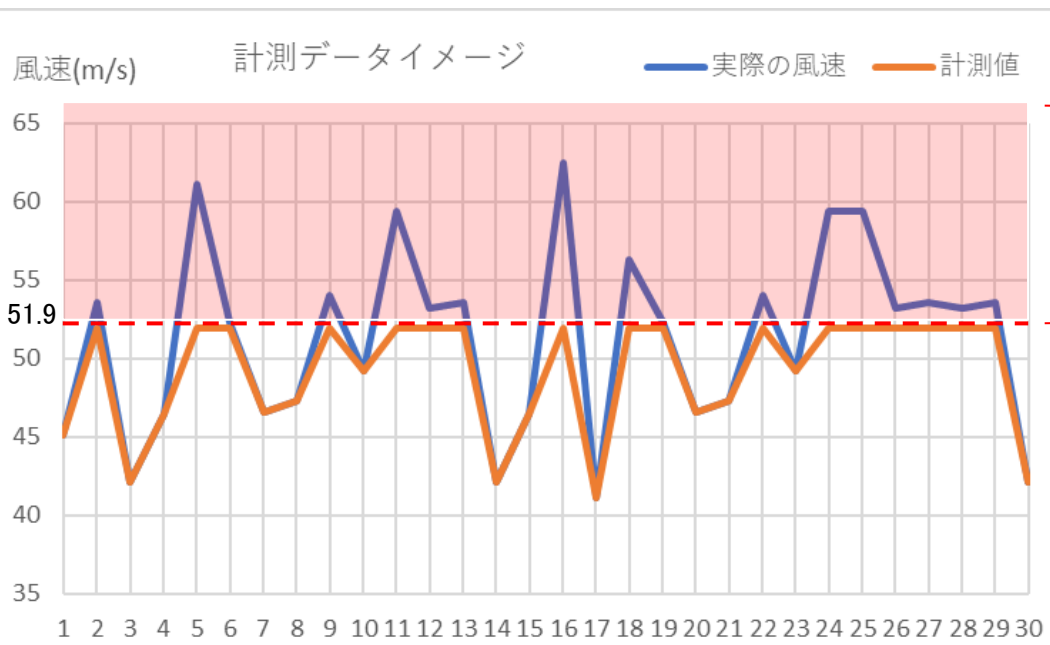
第24回 新エネWG時 質問事項回答

Q3: 最大瞬間風速(51.9m/s)と、10分平均風速(48.8m/s)の差が小さすぎる。
設置していた50m/sまでしか計測できない風向風速計で、風速が50m/sを超えたときの計測データはどう記録されるのか。
その場合、10分平均風速はどうなるのか。

A3:

実際の風速が60m/sだった場合、センサーから送信される計測データは51.9m/s(4%上振の上限値)となる。
風速50m/sを超えた場合の10分平均風速は、実際の平均風速よりも低い値となる。(メーカー回答)

風向風速の計測データについては、エラー発生時以外は記録として残っており、
10分平均値:48.8m/sとして記録されている数値を、前回指摘のあった突風率で1.5倍すると、
瞬間風速は73m/sを超えていた可能性があるが、その場合でも計測データは51.9m/sと記録されるため、
10分平均風速の計算は実際の値よりも低い数値となる。



風速 51.9m/s を超える部分は
計測値 : 51.9m/s と記録される

上記の理由により、**網掛**部分は
平均風速の計算に考慮されない

風車の10分平均風速値は
記録された計測値より算出されるため

実際の平均風速よりも低い値となる

第24回 新エネWG時 質問事項回答

ヨーイングに関する質問回答

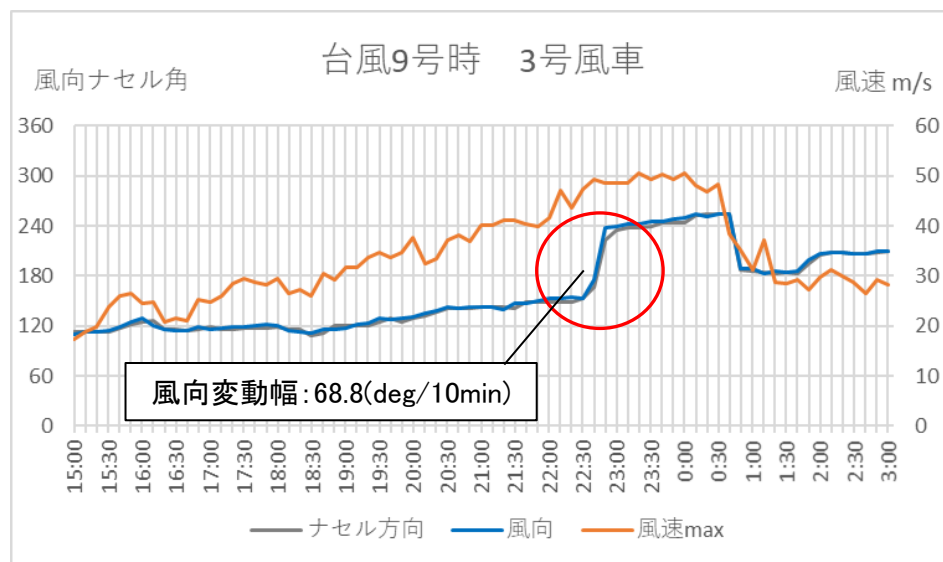
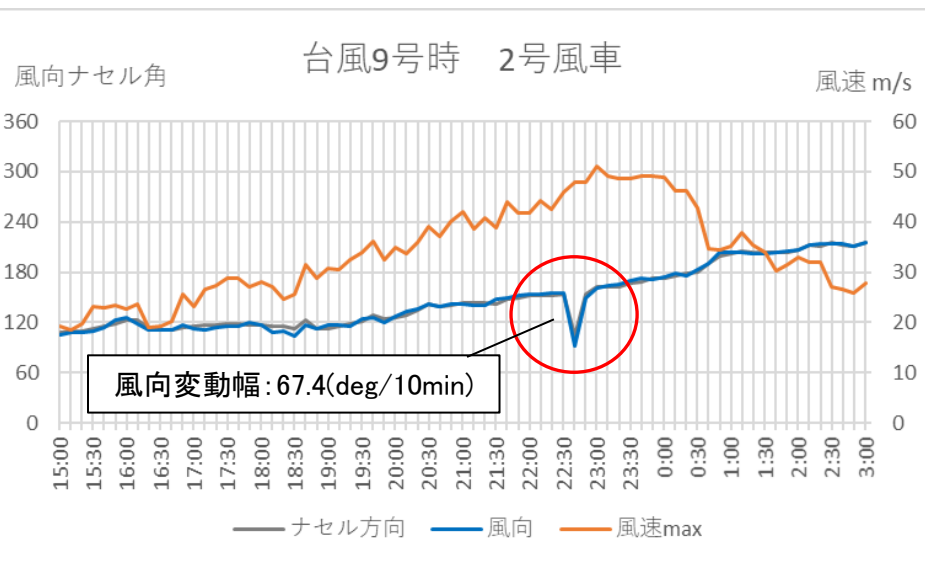
Q4: 今回のヨーウォームギアクラッチ板の破損について

適切な点検が行われている状態で、10分平均風速50m/s以下であれば、風向に対しナセルが正対しない状態でもクラッチ板が破損することなく、ナセルが風向に対し追従可能であったのか

A4: 適切な点検が行われている限り、10分平均風速50m/s以下においては追従可能である。(メーカー回答)

ヨー追従速度は 29.7 (deg/min) であり、健全機については今回の台風の風向変化への追従に問題はなかった。

事故機を除く健全機の全ての風車において、台風時の風向変化での追従動作に問題はなかった。その中でも風向が特に大きく変動した、2号風車、3号風車のデータを下図に示す。



健全機については10分間で約70° 近い台風の風向変化でもヨー追従動作に問題はない。

第24回 新エネWG時 質問事項回答

風車制御に関する質問回答

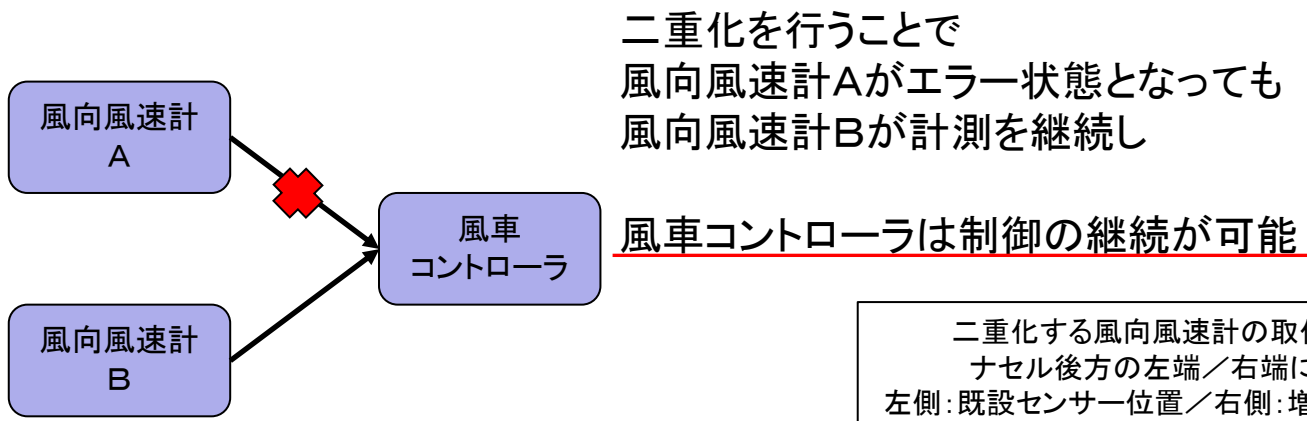
Q5: 台風における強風下で、エラーが出たあと、60秒間制御が停止したとのことであるが、エラー解消後、60秒後に再スタートとなるが、この60秒に設定されている理由は何か。

A5: センサーはエラーが解消すると、風車は60秒後に自動で再起動する。
同一内容のエラーが60分間に4回発生した場合、風車の再起動には機器の確認のため手動介入が必要な状態となる。

60秒間の設定を短くした場合、短時間で複数回発生するエラーにより自動での再起動が妨げられる可能性が高まる。
自動での再起動が妨げられた場合、手動介入が必要なため、結果として風車が制御できなくなる時間が長くなる。
このため、この60秒間の設定については、多くの風力発電設備におけるVestas社の経験値から最適とされている。(メーカー回答)

60秒後の再起動については、**風車が制御できない危険な状態を回避する目的**があり、短縮は推奨しない旨の回答であるため、事業者として以下の対応を取ります。

風向風速計の二重化により冗長性を持たせ、エラーそのものを発生させない対策を実施する。
二重化により、一方が計測不能となっても他方が計測を継続しエラーを発生させない。



二重化する風向風速計の取付予定位置
ナセル後方の左端／右端に取付ける
左側: 既設センサー位置／右側: 増設センサー位置



※ 二重化する風向風速計は、ベスタス社V80に標準で採用されているFTテクノロジー社製の製品を予定。
(二重化することについてはメーカー確認済)

第24回 新エネWG時 質問事項回答

安全裕度に関する質問回答

Q6: 当時のIEC規格では、横風に耐えられるものではなかったのではないかと。
風車はどの程度余裕をもった設計となっているのか

A6:

ヨーイング機能が正常な状態での耐風速 ⇒ 50m/s(10min.ave)

風向変動幅 ±15° での安全裕度 : 1.35

風向変動幅 15° ~345° での安全裕度 : 1.1

ヨーイング機能を失った状態での耐風速 ⇒ 45m/s(10min.ave)

計算式 ⇒ $\text{Sqrt}(1.1/1.35) \times 50\text{m/s} = 45\text{m/s}(10\text{min.ave})$ (メーカー回答)

上記の通り、ヨーイング機能を失った状態での耐風速は 45m/s (10min.ave) であり、そのためブレードが破損した可能性が高いと考えられる。

第24回 新エネWG時 質問事項回答

Q7: 設置時の想定風速、
建築基準法の設計風速はどうなっていたのか

A7: 風車建設前に行われた、2001年7月～2003年7月の
2年間の気象観測ポールの観測データを元にして
想定風速を設定した。
また、建築確認申請時当時の長崎県平戸市の
基準風速は34m/s(10min.ave)
(平成12年建設省告示第1454号による)であり、
建築確認申請はこの数値を元に行われている。

§-2 各部の設計

2-1 風車諸元

型式	V80-2MW	
参照図面	IEC (60-67M)	
タワー高さ	67 m	
ローター直径	80 m	
タワー頂部直径	2.3 mφ	
タワー底部直径	4.0 mφ	
設計風速	カットアウト時	25 m/s
	暴風時	34 m/s
	定格運転時	16 m/s
各部の重量	ローター	37.2 ton
	ナセル	67.5 ton
	サントチャンパー	8.0 ton
	Σ	112.7 ton
タワーの重量	タワー	147.3 ton
	付属品	4.9 ton
	Σ	152.1 ton
合計		264.8 ton
		2595 kN
各部の高さ	h ₂	1.7 m
	H	64.9 m
	h ₁	0.8 m
	GLからの高さ	67.4 m

告示1454号より

(積載を含んで0.075t/mと仮定)

(アンカーリング重量含まず)

↓ 下表※ Production Estimate Azuchi-Japan より抜粋

Based on the available information, the following climatic summary has been estimated:

Operational temperature limits	: -3 °C to 35 °C
A-factor, at hub height	: 7.8 m/s
Form factor (k-factor) at hub height	: 1.73
Yearly average wind speed at hub height	: 7.0 m/s
Wind shear exponent	: 0.17
Extreme wind speed (10 min. average) at hub height	: 44 m/s
Survival wind speed (2 or 3 sec. gust) at hub height	: 60 m/s
Characteristic turbulence intensity at 15 m/s	: 13 %
Air density, maximum (kg/m ³)	: 1.28 kg/m ³
Air density, minimum (kg/m ³)	: 1.13 kg/m ³
Air density, yearly average (kg/m ³)	: 1.20 kg/m ³
Distance between WTGs in wind farms (rotor Ø)	: 1.9
Maximum in-flow angle	: ± 9 °

↑ 上表 : 2006年(平成18年)提出:建築確認申請書類より抜粋

第24回 新エネWG時 質問事項回答

クラッチ板に関する質問回答

Q8: 事故機以外のヨーギアは大丈夫だったのか

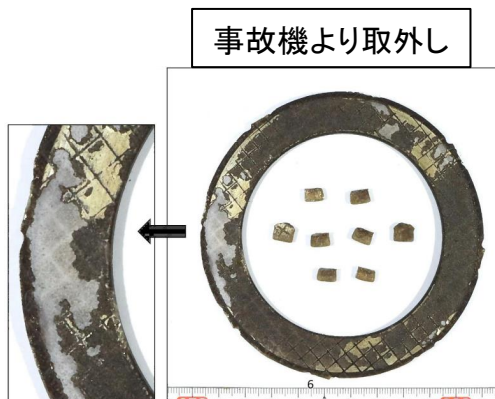
A8: 健全機より取外したヨーギアのクラッチ板には顕著な摩耗は見られず問題は見受けられない。他の全ての健全機についても、事故後に実施した1年点検でクラッチ板の確認を行ったが、異常は無かった。



未使用品と健全機のクラッチ板の比較

全ての健全機より取外したクラッチ板には顕著な摩耗は見られない。

未使用品と比較すると、摺動による表面の光沢は見られるが、クラッチ板表面の異常な摩耗はみられない。



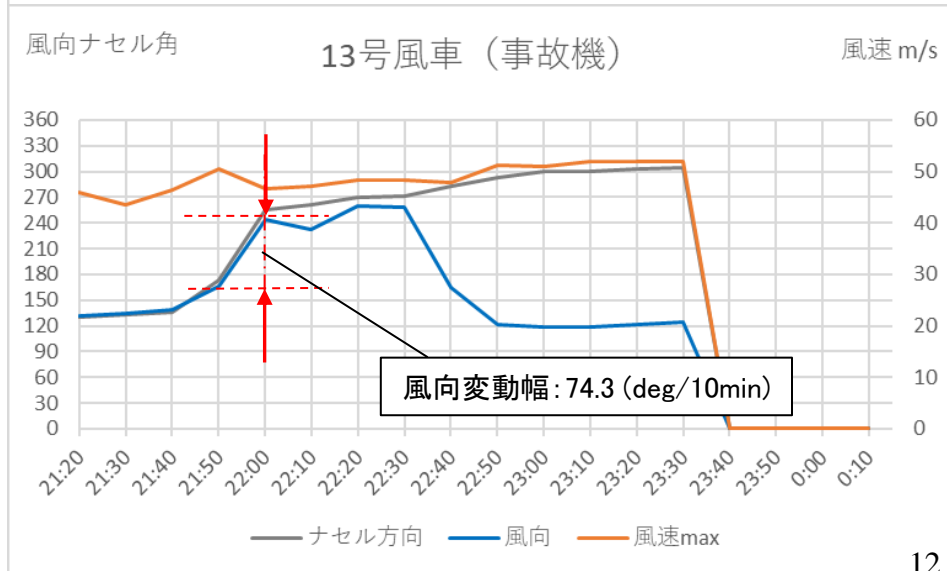
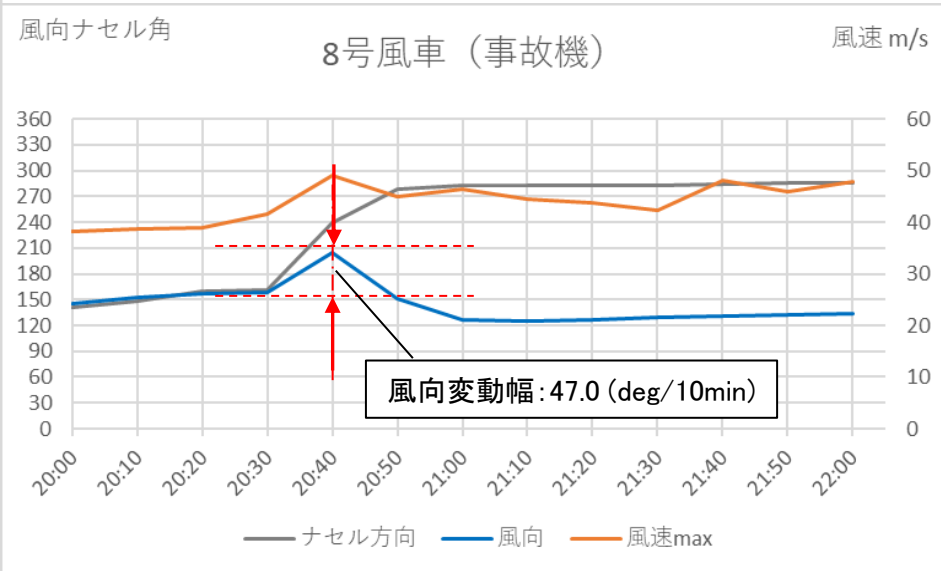
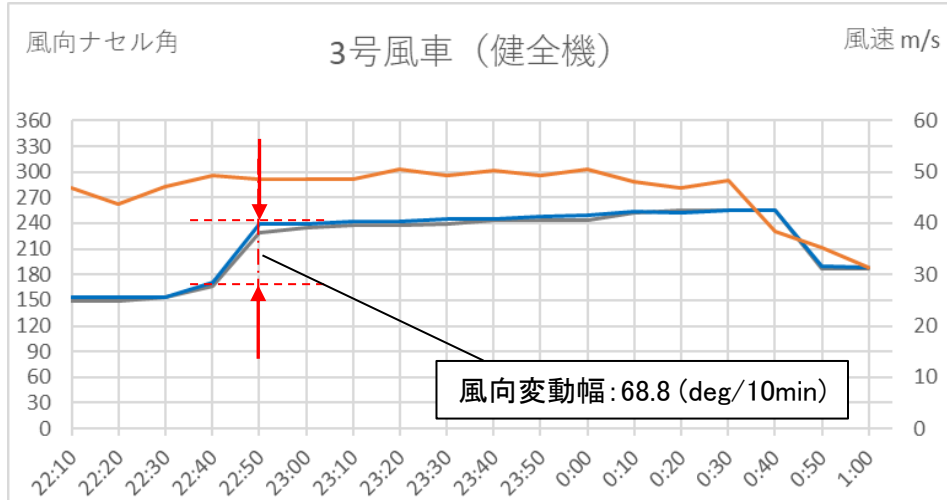
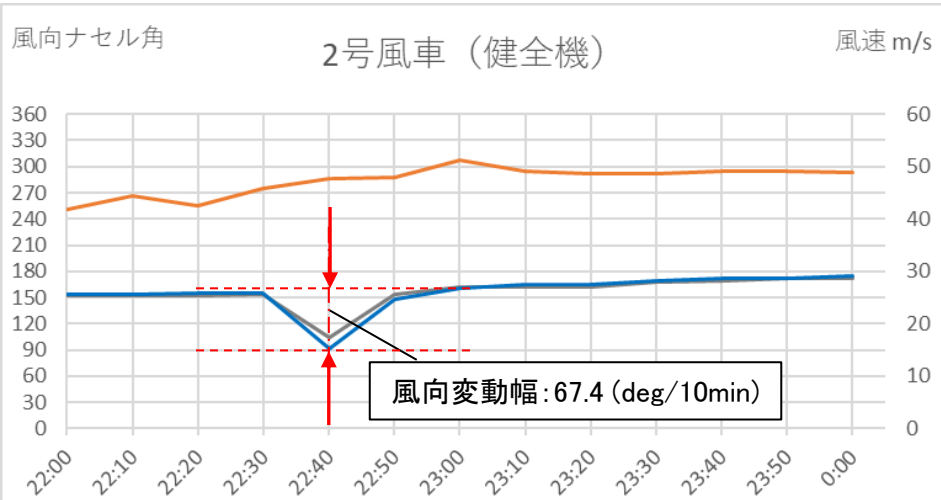
健全機と事故機のクラッチ板の比較

事故機より取外したクラッチ板は表面が摩耗し破損している。

- ・表面の金属コーティングが剥がれている。
- ・8箇所歯が欠けている。

前報告後の原因分析について

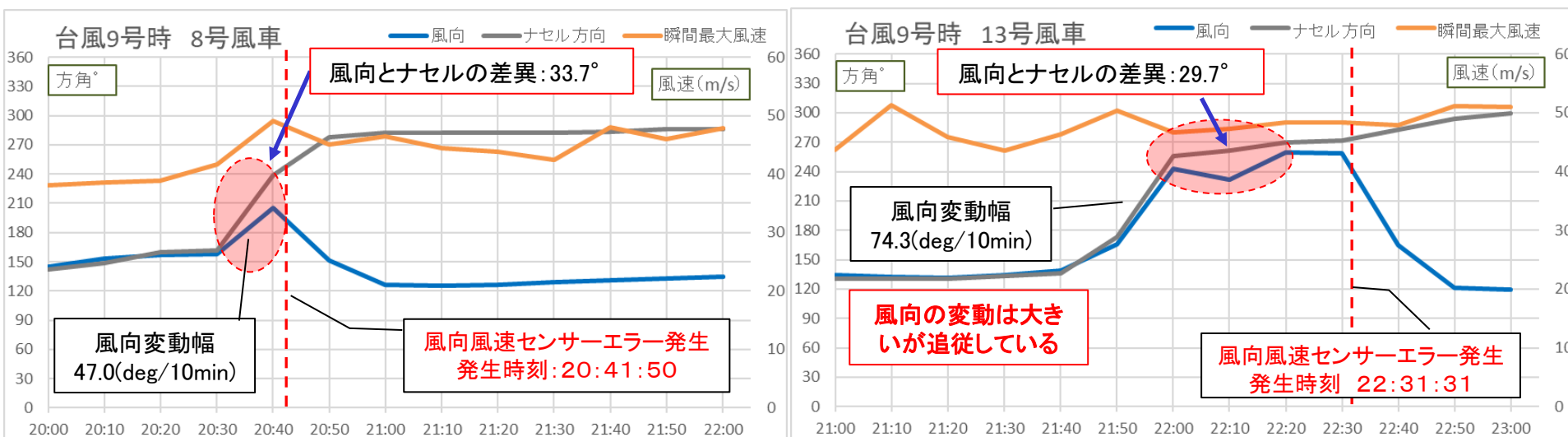
事故機を除く健全機の全ての風車において、台風時の風向変化でのナセル追従動作に問題はなかった。健全機の中でも風向が特に大きく変動した2号風車、3号風車と、事故機の風向変動のデータの比較を下図に示す。いずれも、風速は50m/sに近い状態で風向が急激に変化しているが、健全機ではヨーの制御に問題は見受けられず、事故機だけ風向変化や強風が特別厳しい条件であったといえるものではないと考えられる。



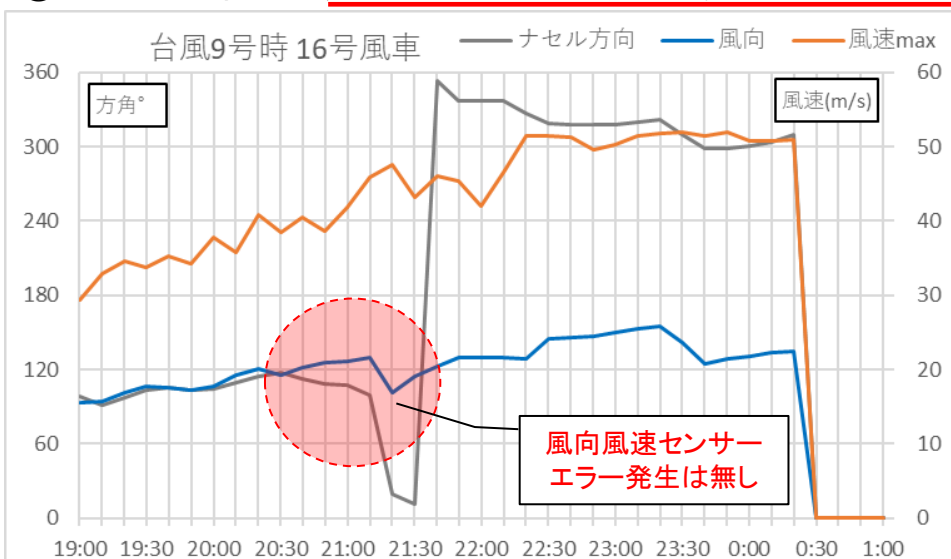
前報告後の原因分析について

前回、風向風速計のエラーが原因の可能性が高いと考えていたが、他の要因が無いかの調査を行った。

① 事故機である8号風車、13号風車では、エラー発生時刻の前に風向変化へのナセル追従動作に差異が発生。



② 16号風車では、風向風速計のエラーが発生していない状況でナセル追従動作に差異が発生。



①、②より、ナセル追従の異常発生は風向風速計のエラーに起因しておらず、ナセル追従動作の異常についてはヨーイング動作そのものに異常が発生した可能性が高いと判断した。

前回の報告内容との比較

前回の審議後に行ったクラッチ板の分析結果や、原因究明の進捗より、風向風速計のエラー発生以前にナセル方向追従動作の異常が判明したことから、以下の内容へと変更を行った。

前回審議時

- ① 風向風速計のエラー発生
- ↓
- ② 風向の変化にナセルが追従しようとする
- ↓
- ③ ヨーウォームギアの破損によりヨーイングに異常が発生
- ↓
- ④ 横方向、または後方からの強風によりブレードが破損

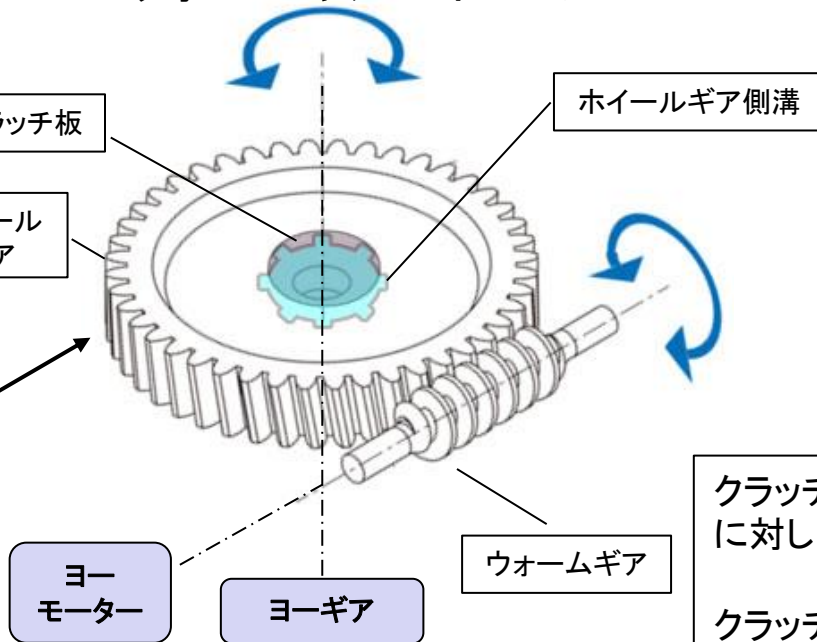
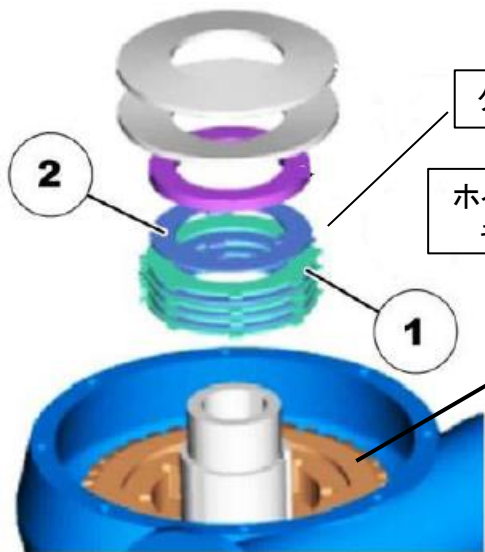
今回の報告内容

- ① 風向の変化にナセルが追従しようとする
- ↓
- ② **ヨーウォームギア破損によりヨーイングに異常が発生**
- ↓
- ③ 風向風速計のエラー発生
- ↓
- ④ 横方向、または後方からの強風によりブレードが破損

ヨーウォームギアの構造

ヨーウォームギアのイメージ

①・②：クラッチ板



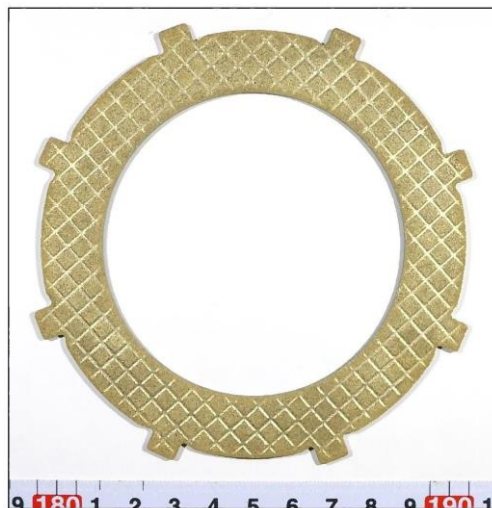
クラッチ板は、風車(ギア)への過大な応力に対し、ヨーギア等を保護する役割がある。

クラッチ板を重ね合わせ、その摩擦力によりモーターの駆動をヨーギアへと伝える。

ギアにクラッチ板の摩擦力を上回る過大な応力が加わると、クラッチ板が滑り、ヨーギアの破損を防ぐ動作をする。

②のヨーギア側のクラッチ板の歯は、垂直方向の軸の3箇の溝とかみ合う構造となっている。

①のホイールギア側のクラッチ板は8本の歯があり、ホイールギアの8箇所溝とかみ合う。



ホイールギア側クラッチ板

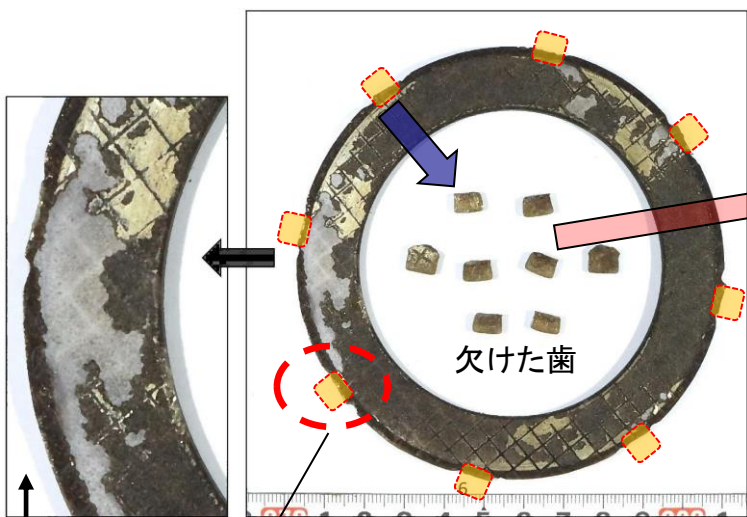
事故機のクラッチ板について

クラッチ板破損品

事故機より取外し

欠けた歯の拡大図

欠けた歯の破面



欠けた歯

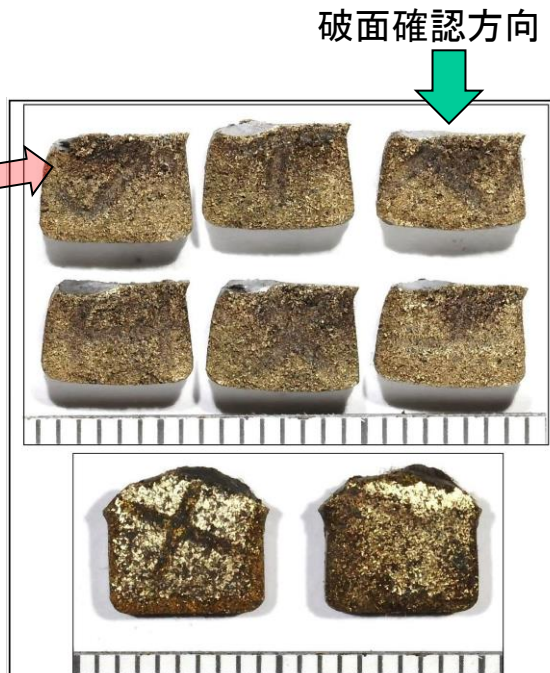
正常な状態では8本の歯があるが、
欠けた状態となっている

事故機クラッチ板

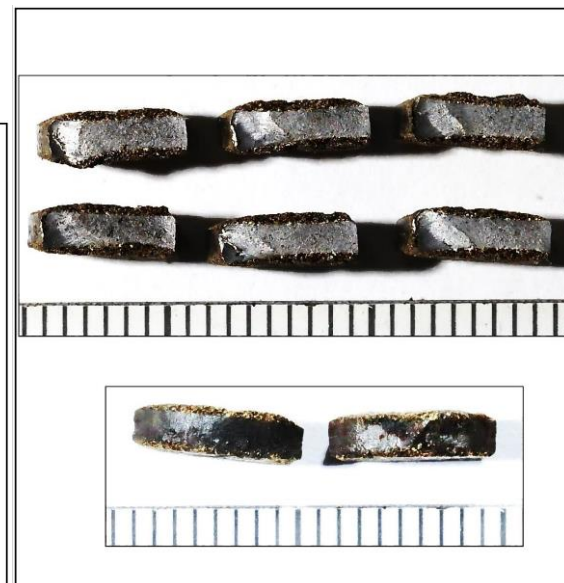
歯の破面：顕著な塑性変形は見られない

腐食の痕跡もなし

摺動面：金属コーティングが摩耗し剥離



破面確認方向



事故機から取外したクラッチ板は、表面の金属コーティングが摩耗し剥離している。
クラッチ板が滑るだけでなく、クラッチ板同士が固着した状態、または滑り機能が低下した状態で、
本来であればクラッチ板が滑る応力がクラッチ板の歯に加わり、歯が欠けたと推測する。

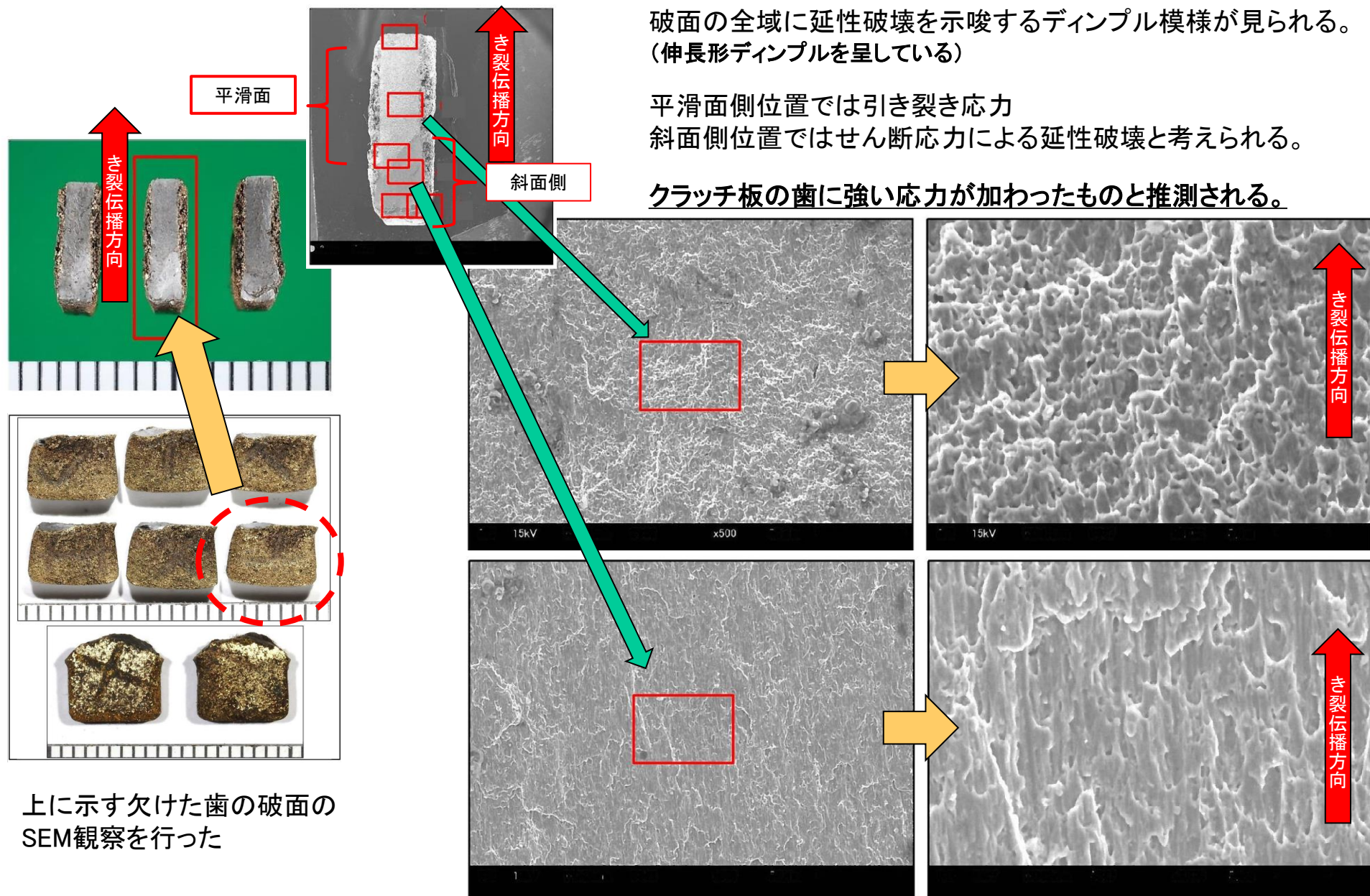
ヨーウォームギアクラッチ板SEM観察結果

(SEM : 走査電子顕微鏡)

破面の全域に延性破壊を示唆するディンプル模様が見られる。
(伸長形ディンプルを呈している)

平滑面側位置では引き裂き応力
斜面側位置ではせん断応力による延性破壊と考えられる。

クラッチ板の歯に強い応力が加わったものと推測される。



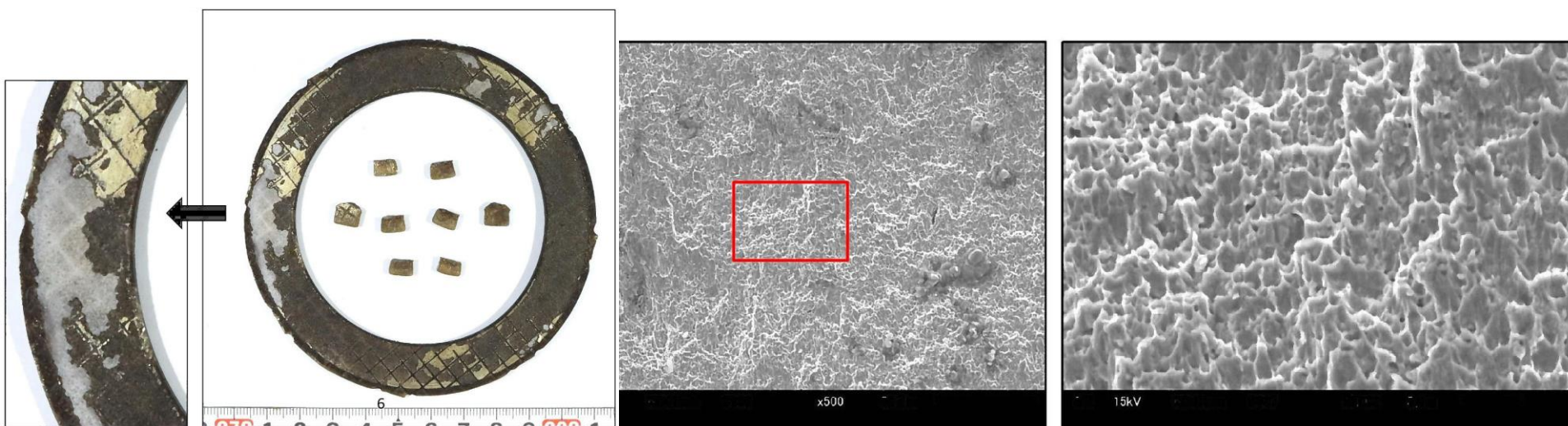
上に示す欠けた歯の破面のSEM観察を行った

ヨーウォームギアクラッチ板SEM観察結果

クラッチ板代表破面の破壊形態の確認より、**延性破壊**とみられる様相が確認された。

摺動面のキズの状態より、**摩擦によるクラッチ板同士の固着、または動性鈍化**が考えられる。

歯の破断は鋼材の降伏点を超える外部応力が作用したものと考えられる。



クラッチ板のSEM観察より

破面の腐食はないこと、破面は延性破壊であること、クラッチ板表面のキズの状態からクラッチ板摺動面が摩擦による固着や動性鈍化したことが考えられるとの調査結果を得たことから、クラッチ板の滑り機能が低下し、過大な力が加わったことでクラッチ板の歯が欠けたと推測する。

事故原因分析

判定 ○:可能性なし △:可能性小 ×:可能性大

事象	要因	確認・調査項目	確認・調査結果	判定	
ブレード破損	設計	設計耐風速	設計耐風速を確認(建築申請:34m/s、観測:44m/s)	IEC Class1A(50m/s 10min.ave) IEC 61400-1 ed.2(1999)機種を選定	○
		製造	製造不良	出荷前のブレードバランステスト報告書を確認	特に問題なし
	落雷		台風接近時の落雷の有無を調査	特に問題なし	○
	環境	風況異常	設計耐風速を上回る風速だったか調査	設計耐風速を超えたと考えられる(ヨー機能喪失時:45m/s(10min.ave))	×
		飛来物衝突	ブレードへの飛来物衝突の痕跡確認	ブレードやタワーへの外部からの飛来物衝突の痕跡はなし	○
		風車停止	風速25m/sを超えた時点で風車は停止状態か	風車は全機停止していた	○
	制御	ヨー制御	ヨー制御に問題はなかったか	健全機:ヨー制御に異常はなく、風向に対しナセルは追従していた 事故機:台風の強風による風向変化等で、ナセル追従に異常が生じた	○ ×
		ピッチ制御	ブレードピッチ制御に問題はなかったか	健全機:ピッチ角はフェザリング状態であり、ピッチシステムに異常なし 事故機:ピッチはフェザリング状態だったが強風を受けピッチシリンダが破損した	○ △
	エラー	エラー履歴	台風通過時のエラー履歴を確認	健全機:台風通過時に、ヨー制御を妨げるエラー発生はなし 事故機:台風通過時に風向風速計やピッチ角にエラーが発生している。どちらのエラーについても、ナセル追従に異常が生じた後の発生、またはエラー自体発生していないため、エラーが起因してブレード破損に至ったものではないと考えられる。	○ △
	点検	ブレード	直近、および過去の点検記録内容を確認	定期点検、月次点検、日常点検の記録・内容を確認したが、ブレード破損に至る異常はなし	○
		ピッチシステム	直近、および過去の点検記録内容を確認	定期点検、月次点検、日常点検の記録・内容を確認したが、ブレード破損に至る異常はなし	○
		ヨーシステム	直近、および過去の点検記録内容を確認	健全機:ヨーウォームギアについて前年度の1年点検時にトルク値での点検を行っているが、台風襲来時点で今年度の1年点検は未着手であった。事故後にヨーウォームギアの点検を行ったが、内部クラッチ板には顕著な摩耗や損傷は見られなかった。 事故機:点検内容は健全機と同様、今年度の1年点検は未着手であったが、事故前の動作には問題がなかった。事故後行ったヨーウォームギアの点検で、内部クラッチ板に破損が多数見受けられた。	○ ×
	補修	ブレード	直近、および過去の補修記録内容を確認	年間4~5機の計画的な定期補修を実施。日常点検等で発見された異常については直ちに風車を保安停止させ、臨時補修を実施している。	○
		ピッチシステム	直近、および過去の補修記録内容を確認	故障や異常の際は風車を直ちに保安停止させ、部品交換・修理等の補修作業を行い、健全性を確認している。	○
		ヨーシステム	直近、および過去の補修記録内容を確認	故障や異常の際は風車を直ちに保安停止させ、部品交換・修理等の補修作業を行い、健全性を確認しているが、ヨー動作で特に異常がなければ内部クラッチ板の確認は行っていない。	△

事故原因まとめ



事故発生後、風車全号機のクラッチ板の調査を行ったところ

事故機については、クラッチ板が摩耗し破損していた。
健全機については、クラッチ板の摩耗は軽微であった。

結論

事故機は台風襲来の時点でクラッチ板の異常が発生しており、クラッチ板同士の固着等により滑り機能が低下した状態でクラッチ板の歯に強い力が加わり破損した。

クラッチ板破損によりヨーイングができなくなり、耐風速45m/s(10min.ave)を超えた強い横風を受けブレードが破損した。

再発防止対策

事故発生の状況を踏まえ下記の対策を全号機に実施します。

① CMS:コンディション モニタリング システムの導入

ヨー動作時の異常振動、ヨーモーターの負荷電流変化等の常時モニタリングを可能とするCMSを導入する。

異常振動、電流負荷変動を常時監視することで、クラッチ板の状態を把握し、余寿命管理を含め異常の早期発見、早期解決を図る。

② 耐候性の高い風向風速計への変更、および二重化の実施

現状の計測範囲:0-50m/s の風速計を、0-75m/sの機種に変更する。

風向風速計を2台取付け、二重化による冗長性を確保する。

二重化により、エラー発生による停止状態を生じさせない対策を取る。