

東伯風力発電所 4号機ブレード折損事故について (続報)

2020年6月3日

日本風力開発ジョイントファンド株式会社

目次

1.設備概要事故概要

- (1)設置者及び関係者の説明
- (2)発電所概要
- (3)風車概要
- (4)ブレードの各部名称

2. 事故概要

- (1)事故概要
- (2)損傷部材の飛散状況

3.当該ブレードの点検・保守状況

- (1)点検履歴
- (2)点検履歴詳細(損傷ブレード先端部判断状況)

4.事故原因の究明

- (1)破損起点の推定
- (2)破損起点状態
 - オーバーラミネート補修及び有無による損傷形態の違い
- (3)破損起点の推定(コード方向クラックの詳細)
- (4)推定した損傷順番
 - 初期破断のSS外皮破断面調査
- (5)推定損傷メカニズム
- (6)原因分析
- (7)まとめ

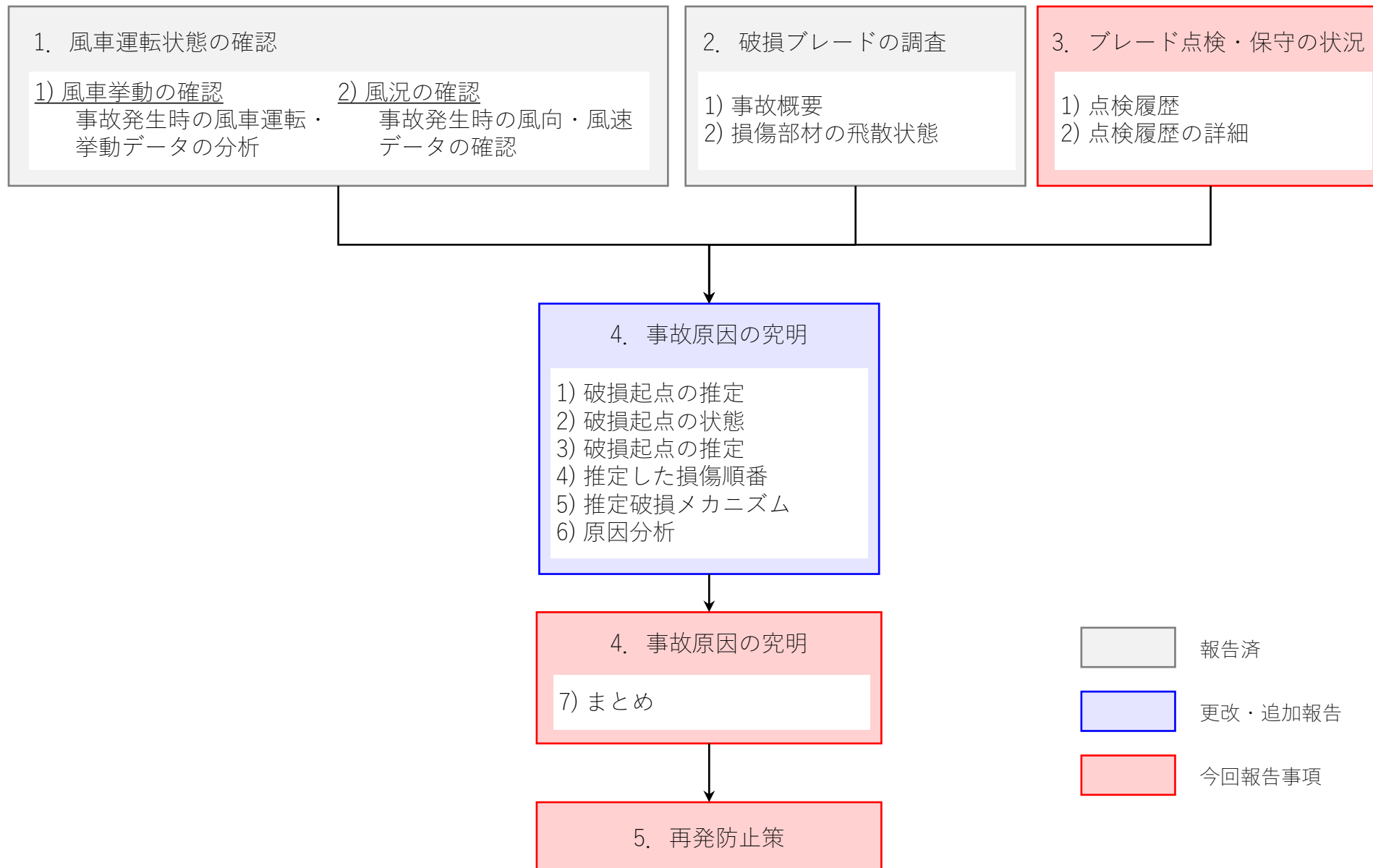
5.再発防止策

- (1)ブレード点検方法の改善
- (2)ブレード補修時期の見直し
- (3)設置者における運営方法の改善
- (4)メンテナンス会社における改善
 - ブレードメンテナンス業務フロー

参考

事故原因の分析

原因究明・分析・再発防止策フロー図



前回ワーキング(2020年4月1日)での指摘事項及び今回説明要旨

[前回指摘事項] ※末尾で補足説明

- ・ 次回WGで過去の点検記録を提出し、点検結果の引き継ぎがどのように行われていたか
- ・ 補修が遅れている状況において安全のための停止措置がなぜ実施されなかったのか
- ・ ブレード損傷レベルが4のものについて他号機でもあるのか

[原因究明結果]

- ・ 主要因は①LEエロージョンに対するメンテナンス遅れ、②本来止めるべき点検結果（LE開口・コード方向クラック）に対する判断基準（レベル4）の誤り、③補修期限の延長を判断する保安体制の不備。

[原因究明における新たな判明事項]

- ・ 破損ブレードの先端切断フランジ部に工場でのオーバーラミネート補修があったこと
- ・ 切断フランジにオーバーラミネート補修されている箇所の損傷が急激に進むことがなく、エロージョンの段階で適切な補修することで損傷が避けられる。

[原因分析・再発防止策]

原因分析の結果、以下の再発防止策を実施する。

ブレード点検方法の改善

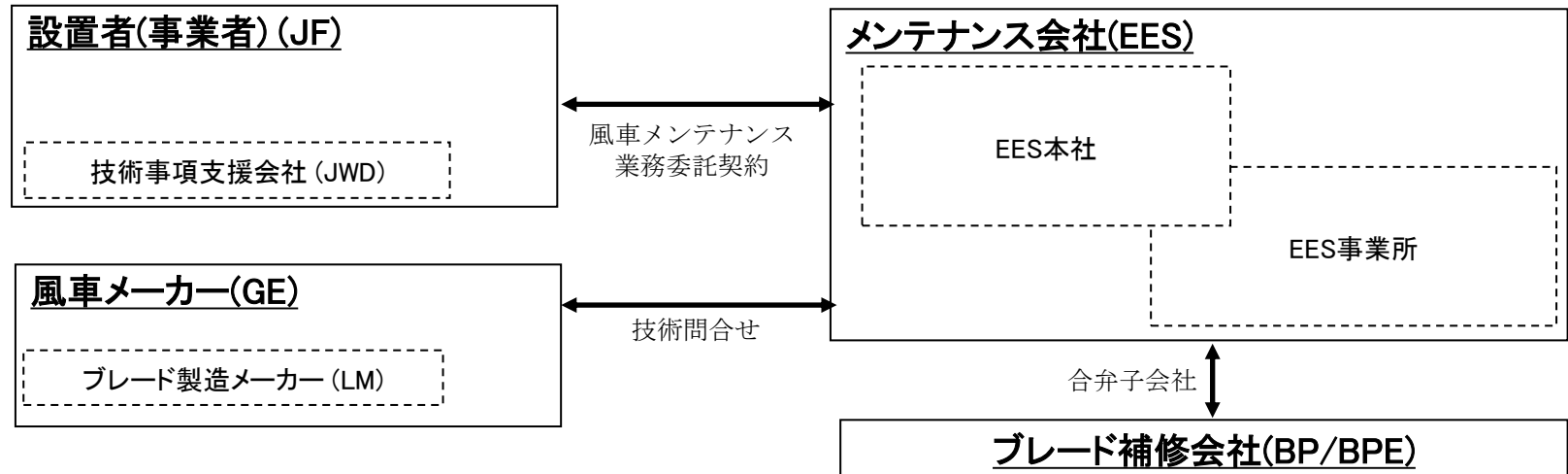
点検頻度の改善として月例巡視・半年点検での傷の進捗の記録の徹底の他、毎年の詳細点検を実施する。点検精度の向上として検査データの一元管理、損傷の判定を実施する管理部局、責任者を設置し、判断出来ぬものは再検査を行う。

ブレード点検結果の判断基準と補修時期を判断する保安体制の見直し

構造強度に影響のある損傷(現行判断基準レベル4以上)は即時停止、補修を行う。レベル4未満のLEエロージョンについては適切な時期に補修を行う。

1. 設備概要

(1) 設置者及び関係者の説明(風車保守管理体制図)



組織名	社名	略称
設置者 (事業者) ※	日本風力開発ジョイントファンド株式会社	JF
メンテナンス会社 (みなし設置者)	イオスエンジニアリング&サービス株式会社	EES
ブレード補修会社	株式会社ブレードパートナーズ	BP (欧州側:BPE)
風車メーカー	GEリニューアブルエナジー	GE
ブレード製造メーカー	LMウインド・パワー	LM
技術事項支援会社	日本風力開発株式会社	JWD
【備考】		
※旧設置者	琴浦ウィンドファーム株式会社 (運転開始時の設置者、JWD100%子会社)	琴浦WF
	ウインドアセット株式会社 (JWD100%子会社、JWDより発電所資産を吸収分割にて承継)	WA

1. 設備概要

(2) 発電所概要

東伯風力発電所は鳥取県東伯郡琴浦町に出力1,500kWの風車13基を有し、2007年4月1日に運転を開始した。

発電所の位置図及びサイト内に設置されている風車レイアウトを図に示す。

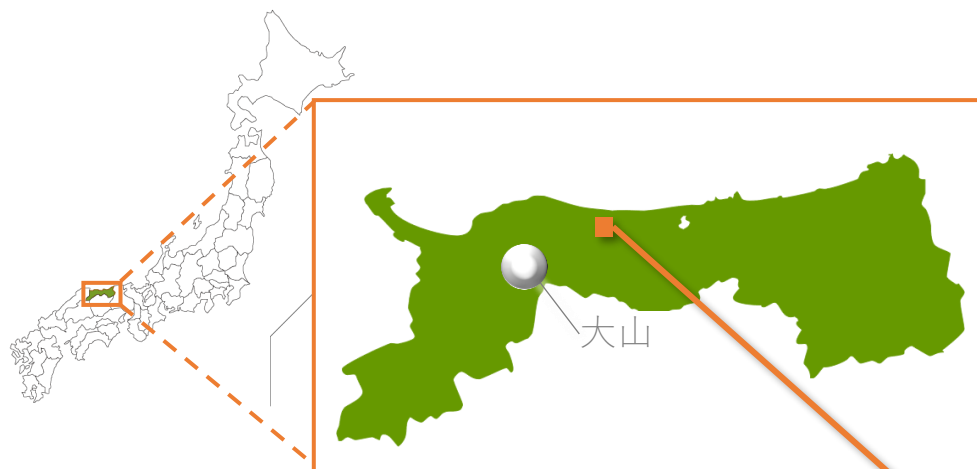
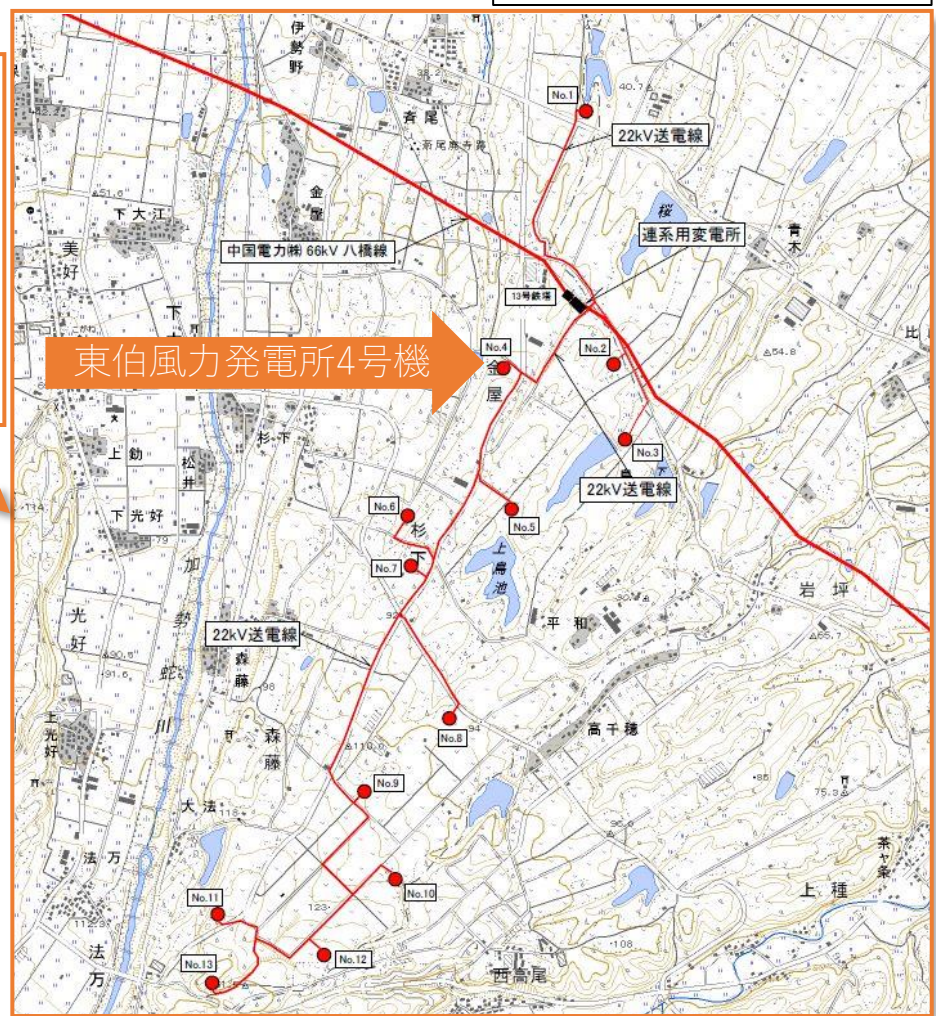


図1-1 風車レイアウト図



※東伯風力発電所設置者の変遷

- 2007年4月 琴浦WF (JWD100%子会社) の発電所として運転開始
- 2008年1月 琴浦WFとJWDとの合併に伴い、設置者がJWDに変更
- 2016年6月 JWDによるWAへの吸収分割に伴い、設置者がWAへ変更
- 2016年6月 JFによるWA吸収合併に伴い、設置者がJFへ変更

1. 設備概要

(3) 風車概要

東伯風力発電所に設置されている風車の基本諸元を表1-1に、風車外形を図1-2に、ブレード外形を図1-3に示す。

表1-1 風力発電設備の基本諸元

風車本体	
風車機種	GE1.5s
製造者	ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
種類	アップウィンド型 可変ピッチ風車 (3翼同期)
定格出力	1,500kW × 13基
ロータ回転数	11-20rpm
ロータ直径	70.5m
ロータ取付位置	64.7m
カットイン風速	3m/s
定格風速	12m/s
カットアウト風速	25m/s
認証クラス	GLクラス3 (IEC IIクラス相当)
極値風速	42.5m/s (10分平均) 、59.5m/s (3秒平均)
ブレード	
ブレード型番	LM34
製造者	LM Glasfiber A/S
素材	ガラス繊維強化プラスチック (GFRP)
全長	34.0m
重量	MAX 5,800kg MIN5,500kg 工場検査時5,600kg
破損ブレード 製造番号	199

図1-2 風車外形図

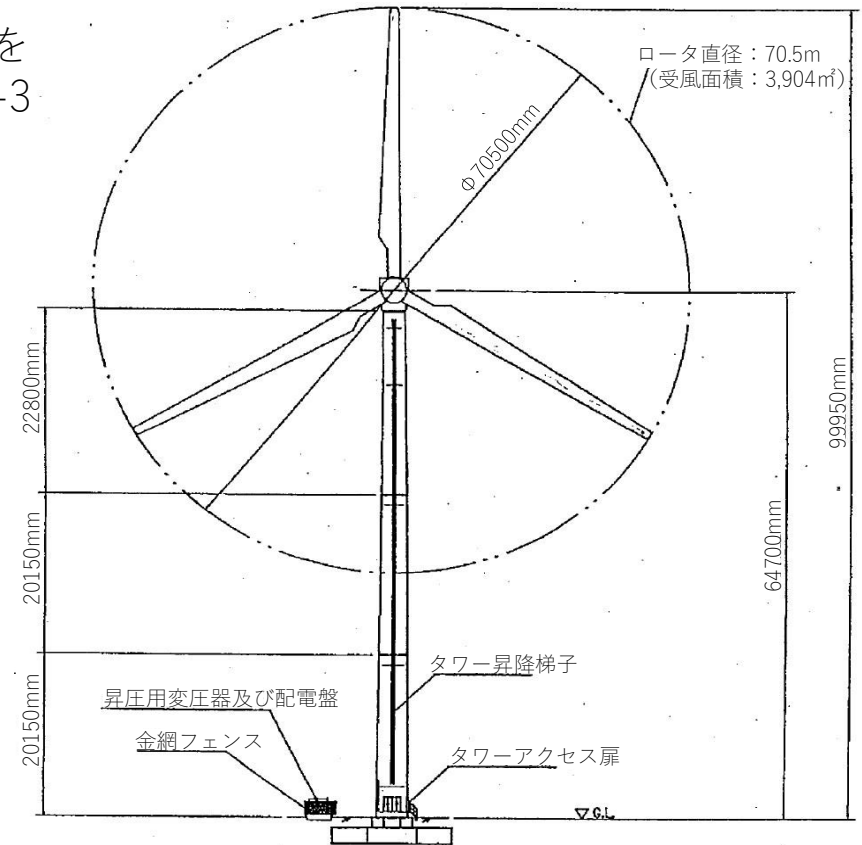
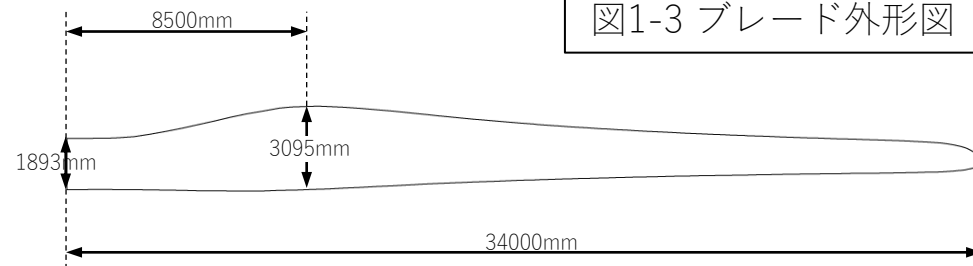


図1-3 ブレード外形図

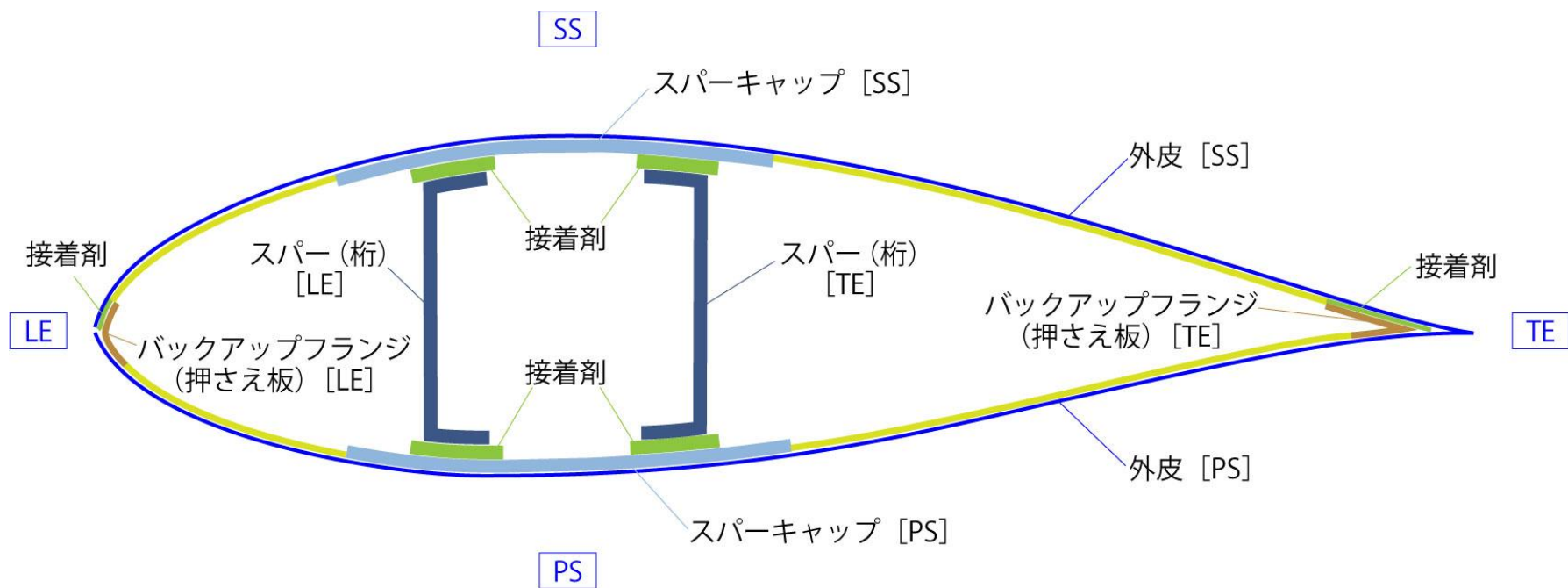


1. 設備概要

(4) ブレードの各部名称

東伯風力発電所に設置されている風車のブレードの断面図及びブレードの各部名称を図1-4に示す。

図1-4 ブレード断面各部名称



Root
(ルート)

Tip
(チップ)

- LE (Leading Edge) : リーディングエッジ (前縁)
- TE (Trailing Edge) : トレーリングエッジ (後縁)
- PS (Pressure Side) : プレッシャーサイド (正圧側)
- SS (Suction Side) : サクションサイド (負圧側)

2. 事故概要

(1) 事故概要

2020年1月8日17:30頃、東伯風力発電所 4号機（以下「東伯4号機」）の#1ブレードが折損、飛散した。折損した風車の状況を図2-1に、事故発生前後の対応内容を表2-1に示す。

図2-1 折損した風車の状況



表2-1事故発生前後の対応内容

2020年 1月	8日	17:29:39	タワーバイブレーション 検出 →ブレード フェザリング（エラーにより風車運転自動停止）
		17:31:08	タワーバイブレーション 警報受信
		17:30-40	破損の一報がありメンテナンス会社がブレードの破損を認識
		18:03:02	東伯風力発電所4号機遠隔停止（風車起動禁止処置）
		19:30	電気主任技術者へ一報
		19:30	東伯風力発電所 全風車手動停止
	9日	10:00	飛散物回収開始 中国四国産業保安監督部へ事故速報提出
	10日	12:00 - 17:00	保安監督部立入検査
	12日	17:00 - 17:15	鳥取県内の該当事業者所有風力発電所（大山風力発電所，中山風力発電所）全風車手動停止
	14日		事故調査委員会立上、調査計画立案
	16-17日		事故調査委員長と関係者で現地詳細調査
	19-22日		ブレード撤去 東伯風力発電所4号機付近道路通行止め解除

2. 事故概要

(2) 損傷部材の飛散状況

主な部材の飛散状況を図2-2に示す。損傷部材は風車の真下から約226mまでの間に飛散した。飛散した損傷部材による人身・物損事故はなかった。

図2-2 飛散状況

① スパー (TE) ② スパー (TE)



③ スパー (LE) ④ 外皮先端



⑤ ⑥



⑦ ⑦



⑧ ⑨



3. 当該ブレードの点検・保守状況

(1) 点検履歴

破損ブレードの点検は、運転開始以降の月例巡視及び定期点検に加え、2012年から他号機で落雷事故があったことからロープ点検を実施している。

東伯4号機#1ブレードのLE（リーディングエッジ部）の各点検での判定は下表の状況となっていた。

2019年5月のロープ点検以降、同年7月に定期点検を実施し、8月以降月次巡視点検を実施しているが、各々の点検では、ブレード損傷の進展を写真等で記録する体制にしておらず、「異常なし」と点検表に記し、主任技術者・事業所長も点検表を確認（押印）していた。また、当該ブレードに異常があったとの報告がないことから、補修期限延長を設置者代表が了承していた。

表3-1 損傷ブレードの点検状況

検査日	LE部欠陥	検査方法	写真	当該欠陥の判断	判定者	レベル評価方法
2012/10/3	ゲルコート部分剥離	ロープ	無	レベル判断無	メンテナンス会社	無
2013/8/20	ゲルコート部分剥離 繊維剥離	ロープ	無	レベル判断無	メンテナンス会社	無
2014/9/24	ゲルコート剥離 繊維損傷	ロープ	有	L2（補修が必要）	メンテナンス会社	3段階（L3は早急な補修が必要）
2015/8/6	ゲルコート剥離 繊維損傷	ロープ	有	L2（補修が必要）	メンテナンス会社	3段階（L3は早急な補修が必要）
2016/6/21	LE 23m 開口	ロープ	有	早急な補修が必要	メンテナンス会社	2段階 補修要否判断
2017/6/16	LE 23m 開口	ロープ	有	早急な補修が必要	メンテナンス会社	2段階 補修要否判断
	LE エロージョン 繊維損傷			早急な補修が必要		
2019/5/31	LE 23m 開口	ロープ	有	L4	ブレード補修会社	5段階
	LE エロージョン 開口 繊維損傷				↓	
	LE 30m 横クラック			メンテナンス会社		

3. 当該ブレードの点検・保守状況

(2) 点検履歴詳細(損傷ブレード先端部判断状況)

表3-2 損傷ブレード点検履歴詳細

2014年からブレード先端部LE部にエロージョンが発見され、数年かけてエロージョンが進行し、2019年の点検時には開口状態となっており、ルート側開口終端部の31mの地点にコード方向クラックを発見していた。

31m地点から先端にかけてのエロージョンはL4（強度に影響がある可能性のある欠陥。3か月以内の補修を推奨）、コード方向クラックもL4の評価であった(2019年の判断基準)。

表3-3 評価判定基準

5段階評価判定基準（2018.1.19以降）

- レベル5：非常に深刻なダメージ。運転の前に修理の必要。風車の運転は不可。
- レベル4：設計強度に影響を与えるダメージであり、**3ヵ月以内の修理が必要。風車の運転は可能。1ヵ月ごとのダメージ経過観察が推奨される。**
- レベル3：設計強度に影響を与えるようなダメージではないが、**6ヵ月以内の修理が必要。風車の運転は可能。3ヵ月ごとのダメージ経過観察が推奨される。**
- レベル2：表面、表層のダメージだが修理が望ましい。他のダメージの修理を計画するときに同時に修理することが推奨される。マイナーダメージ。風車の運転は可能。
- レベル1：表面、表層の軽微なダメージ。修理の必要なし。風車の運転は可能。

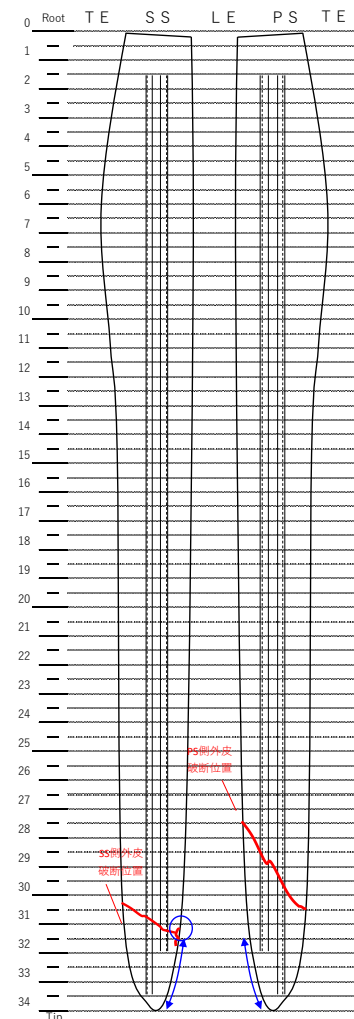
点検実施年	東伯4号機 #1ブレード		判定
	先端近辺 エロージョン	31m付近コード方向 クラック	
2014年		-	レベル2/EES3段階評価 (補修が必要な号機)
	TIP近傍 ゲルコート剥離・繊維損傷	-	
2015年		-	レベル2/EES3段階評価 (補修が必要な号機)
	21.5～TIP ゲルコート剥離・繊維損傷	-	
2016年	(写真なし)	-	レベル2/EES2段階評価 (早急な計画的補修を推奨)
	23～TIP ゲルコート剥離・繊維損傷	-	
2017年		-	レベル2/EES3段階評価 (前年度より損傷箇所が増えており、早急な補修が必要)
	23～TIP エロージョン・繊維損傷	-	
2019年			レベル4(開口、コード方向クラック各々)/BPE5段階評価 (設計強度に影響を与えるダメージであり、3か月以内の修理が必要。風車の運転は可能。1ヵ月ごとのダメージ経過観察が推奨される)
	31m～TIP 開口、繊維損傷あり	コード方向クラック20cm	

4. 事故原因の究明

(1) 破損起点の推定

破損ブレード破片状況・過去の点検記録から、破損開始箇所を2019年5月点検時に発生していたLE部コード方向クラックを起点とした先端部SS側外皮と推定。

図4-1 推定破損開始箇所図



7	~21m ~TIP	LE	21m~Tip エロージョン 23m付近 貫通有 31mからTipにかけて開口、繊維損傷有
10	~31m	LE~ SSにかけて	コード方向クラック 20cm 繊維損傷有

2019.5.31点検時記載事項



23m近傍スパン方向クラック (2019.5.31点検時7番位置)

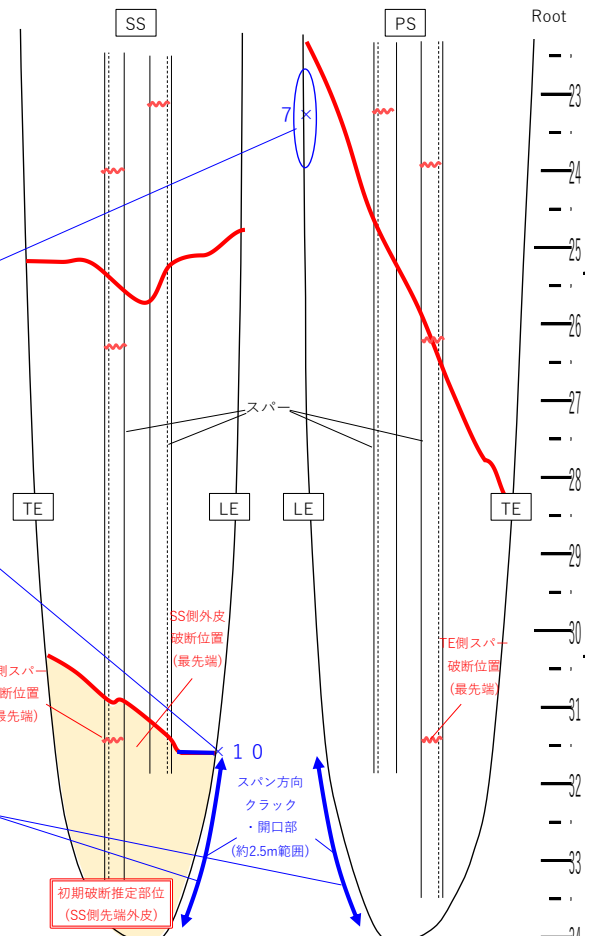


31m近傍コード方向クラック (2019.5.31点検時10番位置)



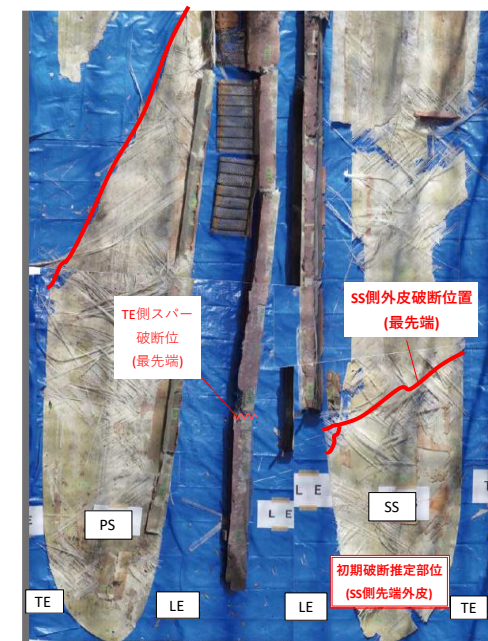
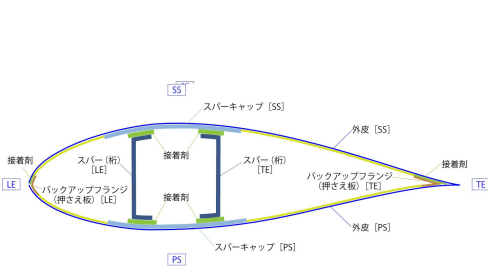
先端付近開口 (2019.5.31点検時31m~Tip間約2.5m範囲)

2019.5.31点検時写真



先端部破断状態模式図

(青字は点検時損傷位置,赤字は破損位置)



先端部破断部品集約状況

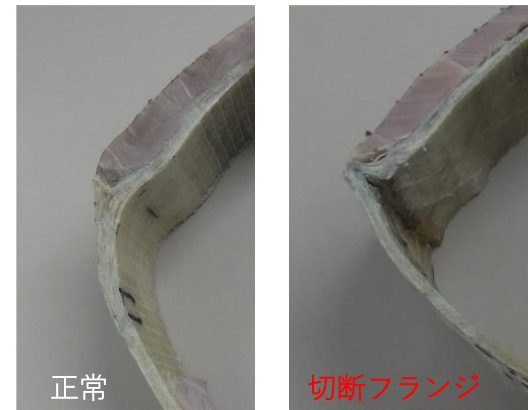
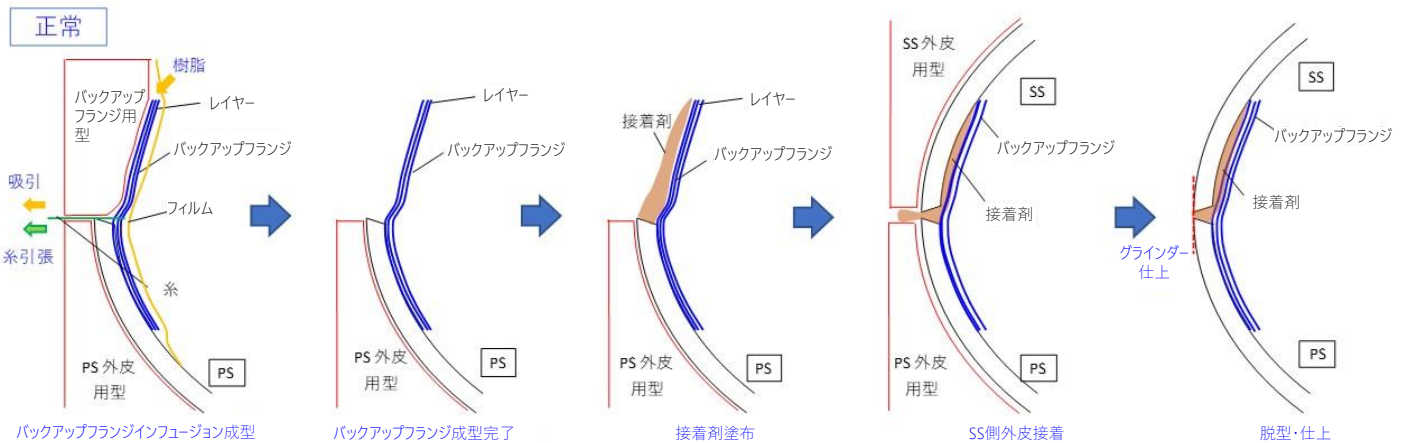
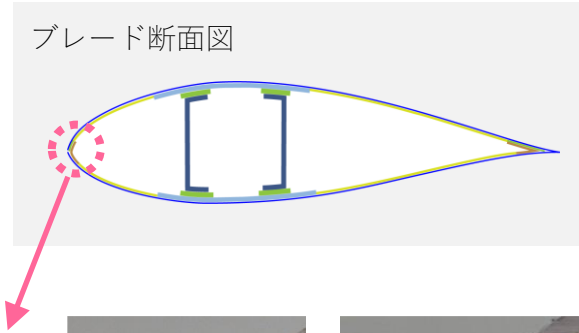
(外板は内側がみえている)

4. 事故原因の究明

(2) 破損起点状態 (LE部切断フランジ+オーバーラミネート)

推定破損開始箇所のLE開口部のバックアップフランジには、工場製造時にバックアップフランジ成型時においてグラスファイバーレイヤーを巻き込んで切断し (切断フランジ)、その後外面にオーバーラミネート補修を施した痕跡があった(その存在は4月6-9日に実施したGE専門家による現地調査で確認された※)。このため、オーバーラミネートがエロージョンで喪失すると切断フランジによりクラック・開口が広がることがわかった。

※オーバーラミネートの確認については、別途資料参照



LE部カットモデル (破損ブレードより切り出し)

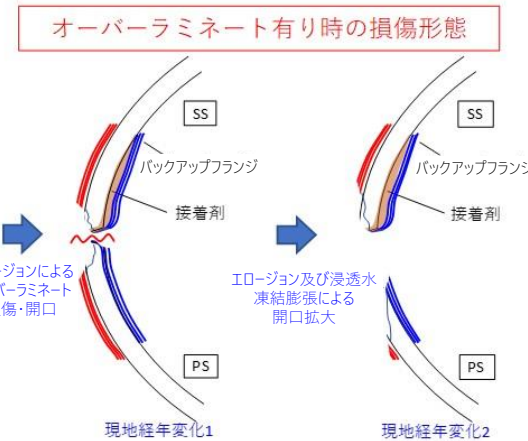
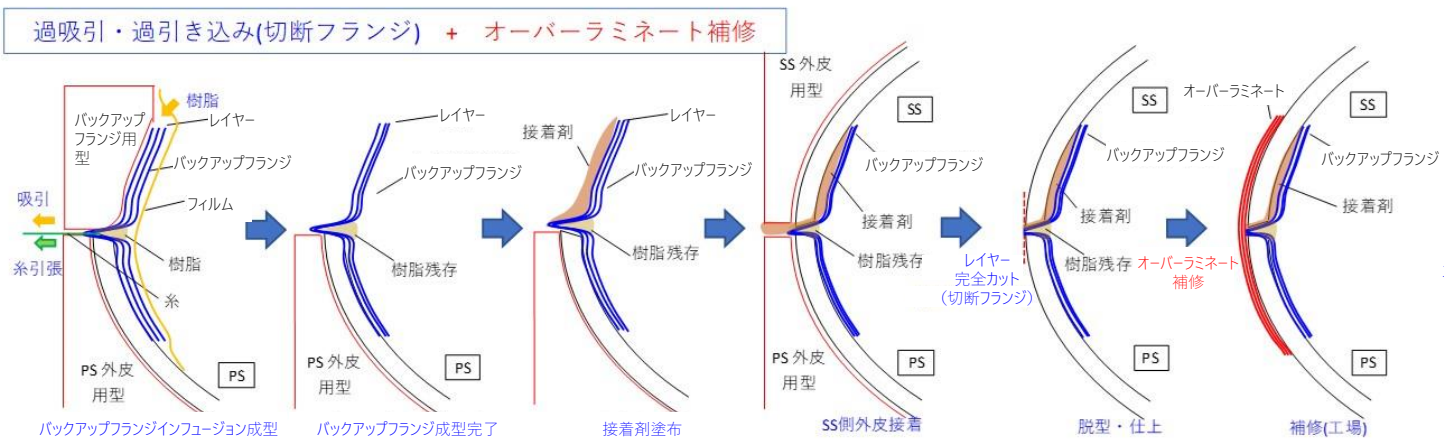


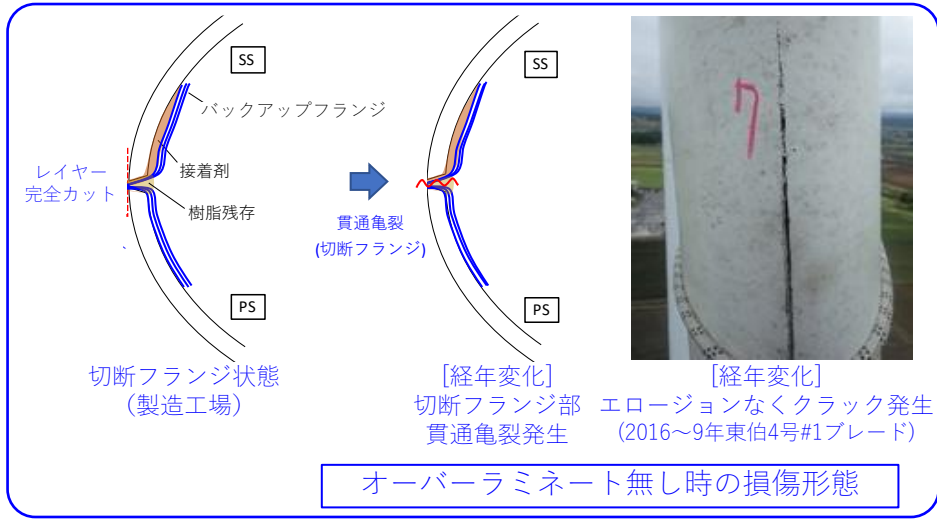
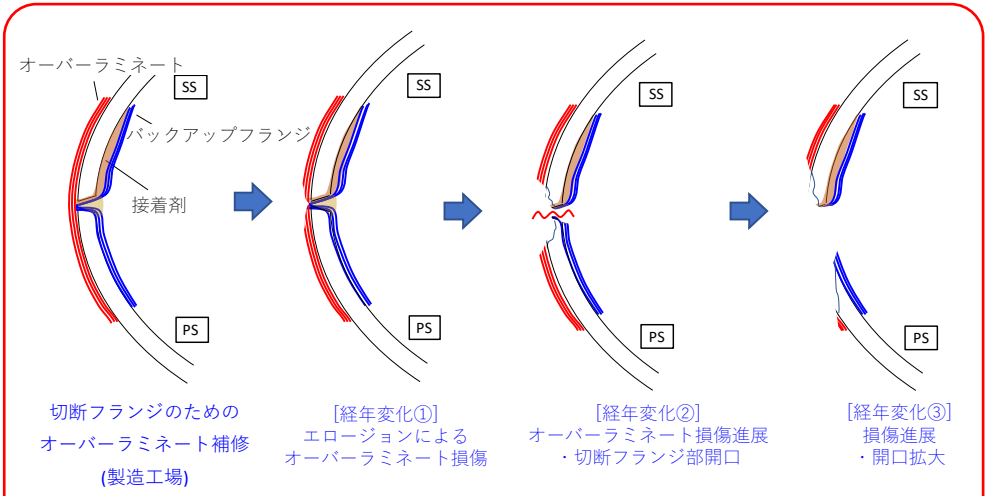
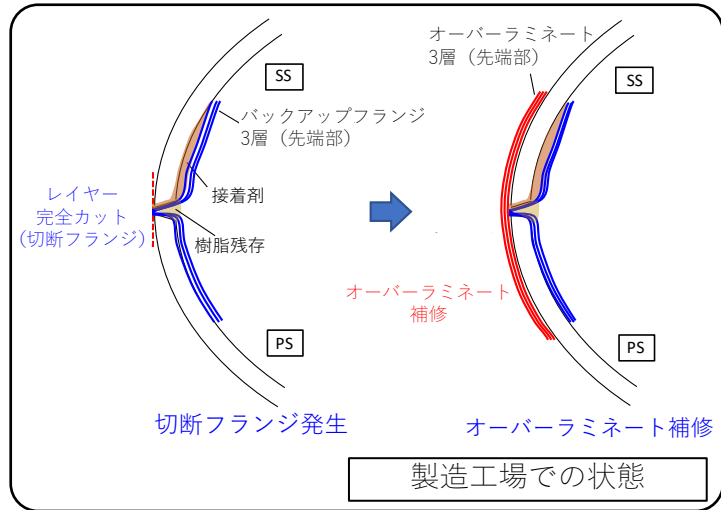
図4-2 バックアップフランジ部製造方法及び損傷形態

4. 事故原因の究明

補足: オーバーラミネート補修及び有無による損傷形態の違い

切断フランジ部の工場でのオーバーラミネート補修は、バックアップフランジと同様の構成(先端部は3層)のレイヤーで外面に補修を行ったものであり、切断されたバックアップフランジを補っている。 オーバーラミネート補修された部分の損傷は、①エロージョンによるオーバーラミネート損傷→②切断フランジ部開口→③開口拡大となるため、①の段階で補修計画・補修、少なくとも②の段階では停止措置を行えば、ブレード損傷は防ぐことができる。

図4-3 損傷形態詳細



【経年変化①】
エロージョンによる
オーバーラミネート損傷
(2015年東伯4号#1ブレード)



【経年変化②】
オーバーラミネート損傷進展
・切断フランジ部開口
(2017年東伯4号#1ブレード)



【経年変化③】
損傷進展・開口拡大
(2019年東伯4号#1ブレード)

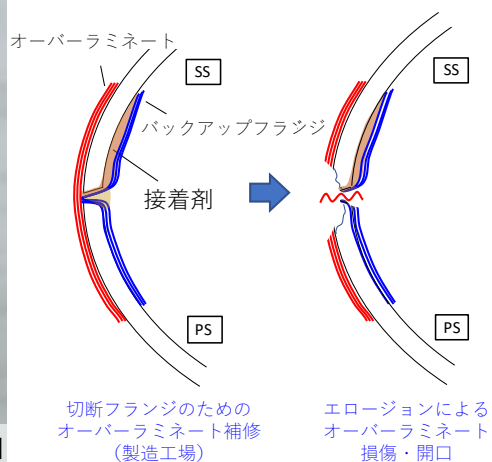
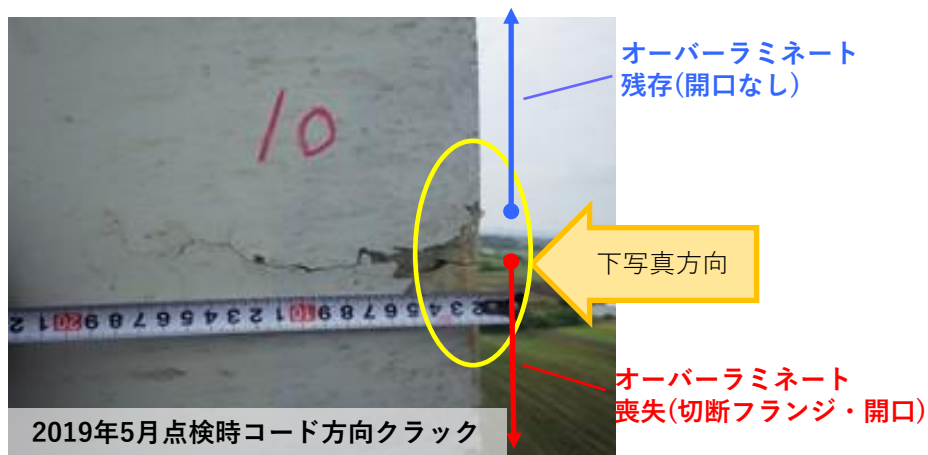
オーバーラミネート有り時の損傷形態

4. 事故原因の究明

(3) 破損起点の推定(コード方向クラックの詳細)

破損起点と推定されているコード方向クラック部はオーバーラミネート喪失・切断フランジ開口部と健全部(オーバーラミネート残存部)の境目であることが2019年5月点検時の写真の再確認でわかり、またその箇所はブレード内部のスパークが1→2本に変化する箇所であることもわかっている。

図4-4 破損起点状態



4. 事故原因の究明

(4) 推定した損傷順番

推定した損傷順序は以下の通り。(3)~(5)は事故発生時に短時間で起きたと推定。

(1) 先端から3mでの、LEの開口とコード方向クラック (青い線)

2019年5月31日の点検時に確認

(2) 先端部分のSS外皮とスパー (桁) の剥がれ

(3) SS外皮の破断 (赤い線) 及びTE側スパー (桁) の破断 (赤い波線)

SS外皮の先端部の飛散(黄色網掛部): 破断面は一発破壊の様相

(4) PS外皮とスパー (桁) の剥がれが、ブレードルートに向かって進行

PS外皮が破断、飛散 (赤い点線)

(5) SS外皮が25m付近で破断、飛散 (赤い点線)

この際にスパー (桁) ⑱~⑳が、ロータ回転方向に飛散

(2.(2)損傷部材の飛散状況参照)

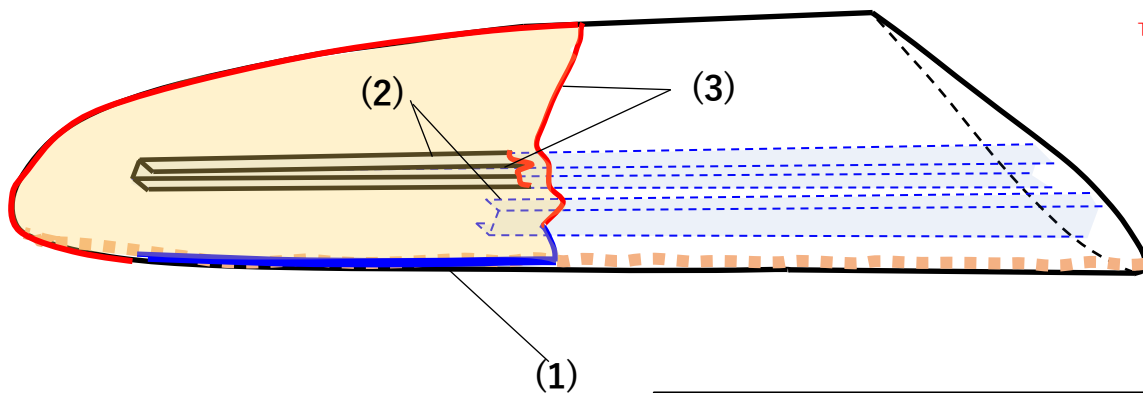
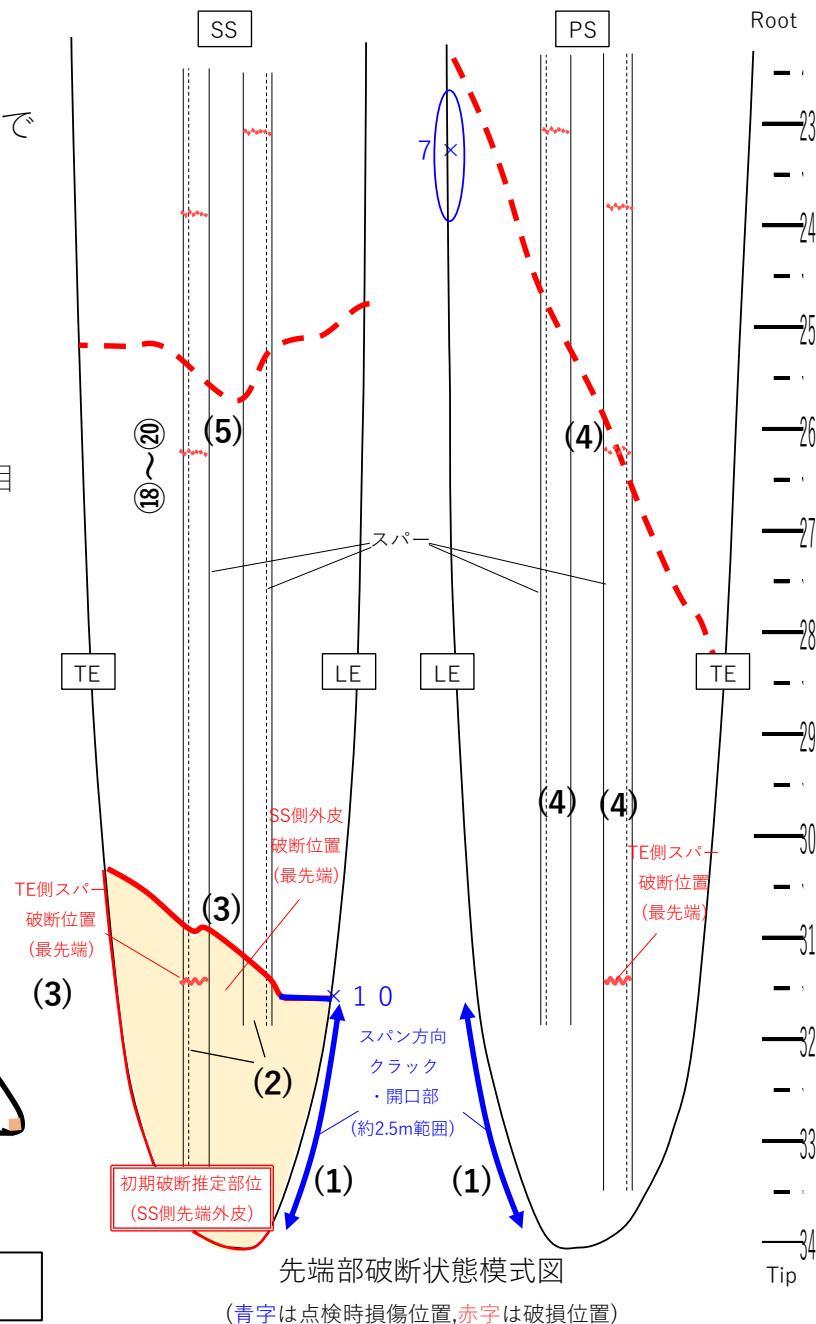


図4-5 損傷順番

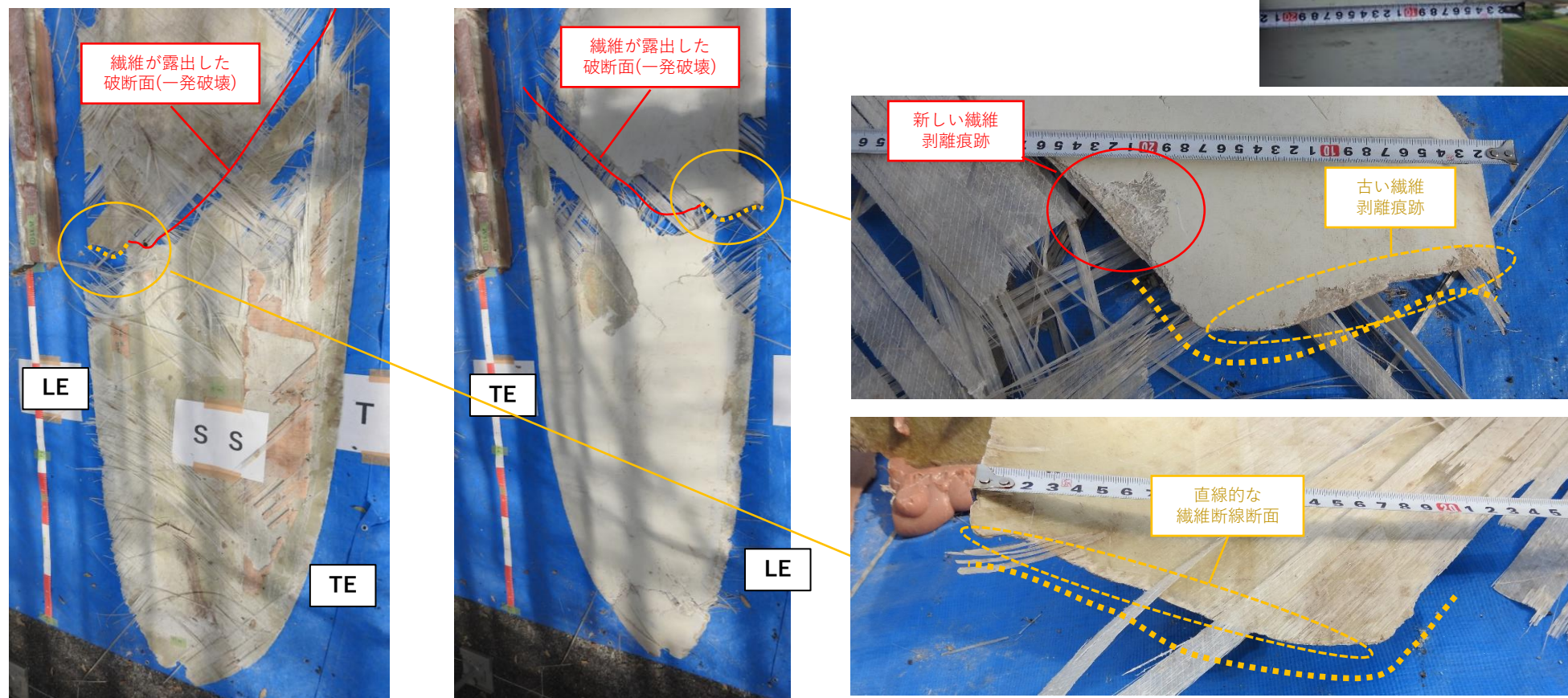


4. 事故原因の究明

[補足] 初期破断のSS外皮破断面調査
(2019年5月点検時から破損前までの状態推定)

SS側先端外皮の破断面を確認した結果、大部分が繊維露出した破断面で事故時の破壊と推定されるが、LE側の破断部には、2019年5月の点検時に見つかったコード方向クラック部と推定される部分が見つかった。事故前までに、この部分の長さが大きく進展した痕跡は見られない。

図4-6 SS外皮破断面

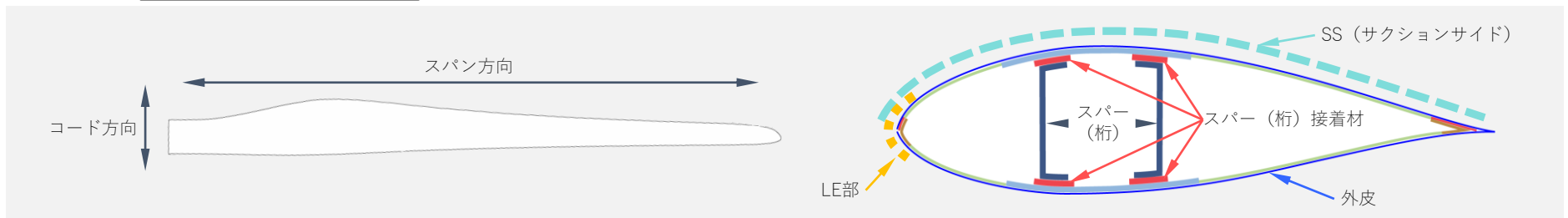
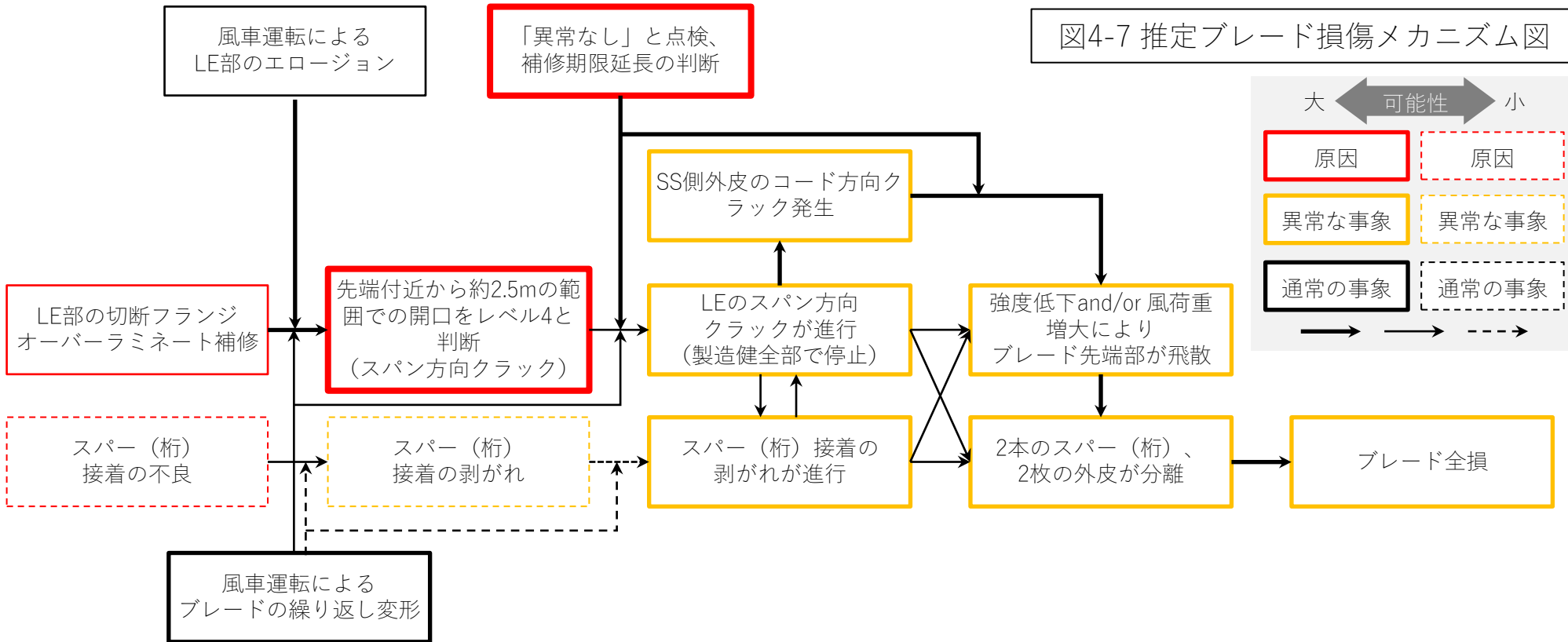


4. 事故原因の究明

(5) 推定損傷メカニズム

LE先端部に製造時の切断フランジ+オーバーラミネート補修が存在し、エロージョンによりオーバーラミネート部が喪失し、クラック・開口が進行した状況下で、月例・半年点検での「異常なし」結果を受け、当該ブレードの補修期限の延長を判断したため、破損したと推定。

図4-7 推定ブレード損傷メカニズム図



4. 事故原因の究明

(6) 原因分析

原因分析の結果、**主要因としてブレード補修遅れによる開口状態での運転**、**副次要因として先端LE部のエロージョンによるオーバーラミネート補修層の喪失及び開口を広範囲に広げた製造時のLE先端部の切断フランジの存在(その存在を設置者が知らなかった)と**解明。

表4-1 原因分析表

◎：主要因 ○：副次要因 ×：要因ではない

事象	要因	原因	内容	評価	評価根拠			
ブレード折損	A	設計	1	設計強度不足	a	設計仕様強度を満たしていない	×	GLクラス3 (IEC Class II 相当) タイプサート取得機種。
	B	製造	2	製造品質不良	a	Spar/Spar cap/Shell FRP強度不足	×	破損ブレード現物確認の結果、一部樹脂接着が弱かったとみられる部材があるものの、主因ではないと判断。
					b	Spar-Spar cap間接着剤強度不足	×	破損ブレード現物確認の結果、接着剤自身の強度不足があると推定される事象は現状なかった。
					c	Spar-Spar cap間接着剤接着不良 (接着剤の過太厚、接着面積不足)	×	破損品実体で接着幅が少ない箇所は見られたが、GEエンジニアの所見では許容範囲内との判断。残存ブレードのUT検査の結果やLMエンジニアの所見も、異状なし。 破損ブレードでは接着の剥離による異音が続観察されていたという報告あったが、内部確認の結果、接着時にあふれた接着剤が多数みられており、これが剥離して音を出していたと思われる。
					d	リーディングエッジ部切断フランジ部へのオーバーラミネート補修	×	破損品・残存ブレード確認の結果、ブレード先端LE部のバックアップフランジのグラスファイバーレイヤーが製造時に外部に巻き込まれて切断されており(切断フランジ)、外面にオーバーラミネート補修が施工されていたが、出荷時としては合格品であった。
	C	運転	1	風況異常	a	過去風況 (風速・乱流) が過大で疲労蓄	×	他のサイトに比して定格風速低い。乱流も特に変わらず。
					b	風速過大 (事故時)	×	特に異常なデータは確認されず。よって、当日の高風速が破損の起点となったことは否めないが、主因ではないと推定。日本気象協会による調査からも異常は見られない。
					c	乱流・突風 (事故時)	×	異常な乱流は確認されなかった。タワー周辺に突風の痕跡なし。タワーヒットの痕跡はない。
			2	落雷	a	落雷 (事故時)	×	落雷情報なし。
					b	落雷 (過去)	×	過去落雷実績 (痕跡多数) あるが、現物確認の結果、今回の破損につながるような落雷痕はなし。
			3	外的衝撃	a	飛来物衝突	×	タワー/他ブレード等に痕跡なし。
					4	制御異常	a	ピッチコントロール異常で過大力作用
			b	ヨーコントロール異常で過大力作用			×	異常作動履歴なし。
	D	メンテナンス	1	損傷履歴	a	過去に損傷・補修履歴あり	×	大がかりな補修履歴無き事確認済み。
			2	製造履歴	a	製造時の品質情報未入手	○	破損品・残存ブレード確認の結果、ブレード先端LE部のバックアップフランジのグラスファイバーレイヤーが製造時に外部に巻き込まれて切断されており(切断フランジ)、外面にオーバーラミネート補修が施工されていたが、その情報がメーカから事業者には伝達されておらず、オーバーラミネート損傷時のリスクを把握していなかった。
3			異常兆候	a	リーディングエッジのエロージョン	○	21m~TipにかけてLE部全面的に発生している。先端部はエロージョンにより切断フランジ対策のオーバーラミネート層が喪失し、開口となっていた。	
				b	リーディングエッジのクラック・部分開口	◎	2019.5月段階で、ルートから23m近隣、31m~先端部等にLEコード方向クラック・口開きの記録があるにも関わらず、補修せず運転継続していた。	
				c	レセプター異常	×	メンテ記録でPS側が測定不能との記録あり。ただしSS側は導通していたこと、当日落雷が無いこと、破損ブレード現物に大きな落雷損傷 (焦げ等) が見受けられないことから、起因とは考えづらい。	

[推定破壊ストーリー]

長期使用に伴う先端近傍LEエロージョン部に切断フランジに起因したと推定されるスパン方向開口が発生し、強度が不足した状態となっていた。スパン方向亀裂の終端 (切断フランジと健全フランジ部との境目) に発生していたコード方向SS側クラックが進展し、事故当時にSS側外皮剥離が発生し、最終破壊に至った (先端部エロージョン+リーディングエッジ部スパン方向開口→開口終端SS側コード方向クラック部からSS側外皮剥離→スパー (桁) 損傷)

4. 事故原因の究明

(7) まとめ

2019年5月点検で先端部ブレード損傷状態がレベル4と判定されてから、補修延期を決定するまでの経緯、それぞれの問題点、再発防止策を表4-2に示す。また、解明された原因からの分析の詳細については、[参考] 事故原因の分析に示す。

表4-2 ブレード補修遅れ経緯

いつ	経緯	誰が関わって	判断した人	問題点	再発防止対策
2019年5月31日	ブレード補修会社がローワーク検査によるブレード点検結果を写真にてレベル4と判断。 (補修期限3ヶ月の構造強度に影響がある損傷) メンテナンス会社は点検結果を設置者、現地事業所に共有。	メンテナンス会社(事業所)、ブレード補修会社	メンテナンス会社(本社)	<ul style="list-style-type: none"> ●本来、風車の運転を止めるべき点検結果(LE開口、コード方向クラック)であったが、運転を継続した。 ⇒ブレード損傷評価に対する誤判断 ●メンテナンス会社(本社)は、点検で発見されたブレードの損傷状態に対する経過観察に関して、具体的な点検方法・対応指示をメンテナンス会社(事業所)へ行っていなかった。 ⇒メンテナンス会社の本社と事業所間の情報共有不足 ●風車メーカーからの製造時の品質情報未入手(オーバラミネート補修) ⇒ブレード製造履歴の情報共有不足 	<ul style="list-style-type: none"> ○ブレード点検方法の改善(点検精度の向上) ○設置者によるメンテナンス会社(本社・事業所)の改善 <ul style="list-style-type: none"> a) 事業所運営の改善 b) ブレード点検及び補修の業務フローの改善、教育の徹底 ○保安停止時期の見直し
2019年6月5日	メンテナンス会社が月次巡視点検を実施(1回/月) (以降、事故発生日(1/8)まで月次で、7/2, 8/9, 9/12, 10/1, 11/1, 12/2に実施)	メンテナンス会社(本社)	メンテナンス会社(事業所)	<ul style="list-style-type: none"> ●月次巡視点検では、ブレード損傷の進展を写真等で記録する体制にしておらず、「異常なし」と点検表に記し、主任技術者・事業所長も点検表を確認(押印)していた。 ⇒ブレードの知見、リスク認識・管理の不足 	○設置者によるメンテナンス会社(本社・事業所)の改善
2019年7月6日	月次担当者会議※にてメンテナンス会社が設置者にブレード補修計画を提案。	設置者	メンテナンス会社(本社)	<ul style="list-style-type: none"> ●設置者の運営を討議する設置者とメンテナンス会社の会議(月次担当者会議、マネジメントミーティング)にリスク情報が上がる仕組みがなかった。 ⇒リスク認識・管理の不足 	○設置者における運営方法の改善
2019年7月8日	ブレード補修発注の内示	メンテナンス会社(本社)	設置者	—	—
2019年7月18日	メンテナンス会社が定期点検実施(1回/半年)	メンテナンス会社(本社)	メンテナンス会社(事業所)	<ul style="list-style-type: none"> ●定期点検では、ブレード損傷の進展を写真等で記録する体制にしておらず、「異常なし」と点検表に記し、主任技術者・事業所長も点検表を確認(押印)していた。 ⇒ブレードの知見、リスク認識・管理の不足 	<ul style="list-style-type: none"> ○設置者によるメンテナンス会社(本社・事業所)の改善 ○ブレード点検方法の改善(点検頻度の改善)
2019年8月29日	ブレード補修の正式発注	メンテナンス会社(本社)	設置者	<ul style="list-style-type: none"> ●補修計画全体の遅れの対策時に、設置者・メンテナンス会社(本社)ともに、事故発生のリスクを把握していなかった。 	○設置者における運営方法の改善
2019年10月30日	月次担当者会議※にて2020年8月へブレード補修の延期を了承。 (天候不順・突発補修等で設置者が計画していたブレード補修が全体的に遅延) ※設置者とメンテナンス会社が参加する担当者会議及びマネジメントミーティング月次で討議が実施され、設置者が意思決定を行う。	メンテナンス会社(本社)	設置者	<ul style="list-style-type: none"> ●設置者及びメンテナンス会社は、補修期限を約5ヶ月過ぎていることは認識していたが、運転を継続することで事故が発生するリスクを認識していなかった。 ⇒リスク認識・管理の不足 ●設置者は、レベル4のブレード損傷を確認していたが、メンテナンス会社が実施する月例巡視点検、定期点検の結果、当該ブレードに異常があったとの報告がないことから、補修期限延長・風車運転継続を設置者代表が承していた。 ⇒補修期限の延長を判断する保安体制の不備 	○設置者における運営方法の改善

5. 再発防止策

再発防止策は、東伯発電所だけではなく、全ての発電所で実施する。

(1) ブレード点検方法の改善

a) 点検頻度の改善

これまでのロープワークによる詳細点検（東伯風力発電所は2年に一度）に加えて、詳細点検のない年には年1回、ドローン・望遠カメラ等でのブレード表層写真検査を実施する（写真検査の結果、問題ありと判断される場合はロープワーク検査）。

b) 点検精度向上

検査写真は現地事務所ではなくメンテナンス会社本社にて一元管理し、その損傷の有無、大小を判定する管理部局、責任者(専門技術者※)を置き、電気主任技術者に助言する体制を敷く。

その責任者にて判断出来ぬものはロープワーク検査を行う。

(2) 保安停止時期の見直し

構造強度に影響のある損傷（現行判断基準レベル4以上）は即時停止、補修を行う。

※専門技術者:

LM、Vestas、Siemens等のブレード及び風車メーカーでブレードの製造、補修、研修を受け、ブレードの設計・製造に関して研修・教育を受けた経験10年以上の技術者

5. 再発防止策

(3) 設置者における運営方法の改善

設置者の月次担当者会議、マネジメントミーティングにおいて、ブレードの損傷とリスクを継続して検討・管理する体制を確立するとともに、技術顧問としてJWDのエンジニアリング部門から担当者を任命し、月次の担当者会議及びマネジメントミーティングに出席、技術面での責任を担う。

また、今後は月次担当者会議において、設置者として責任をもって以下の項目を実施する。

- ① ブレード評価・補修管理表の作成
- ② 要補修ブレードの認識、期限、実施が確認できる体制の構築・維持
- ③ 補修計画のレビューと補修管理の徹底

(4) 設置者によるメンテナンス会社本社及び事業所の改善

a) 事業所運営の改善

保安規程細則を制定し、月例巡視及び定期点検実施要領を規定し、電気主任技術者を含めた保安停止手順等の要領を規定する。

b) ブレード点検及び補修のフローの改善及び教育の徹底

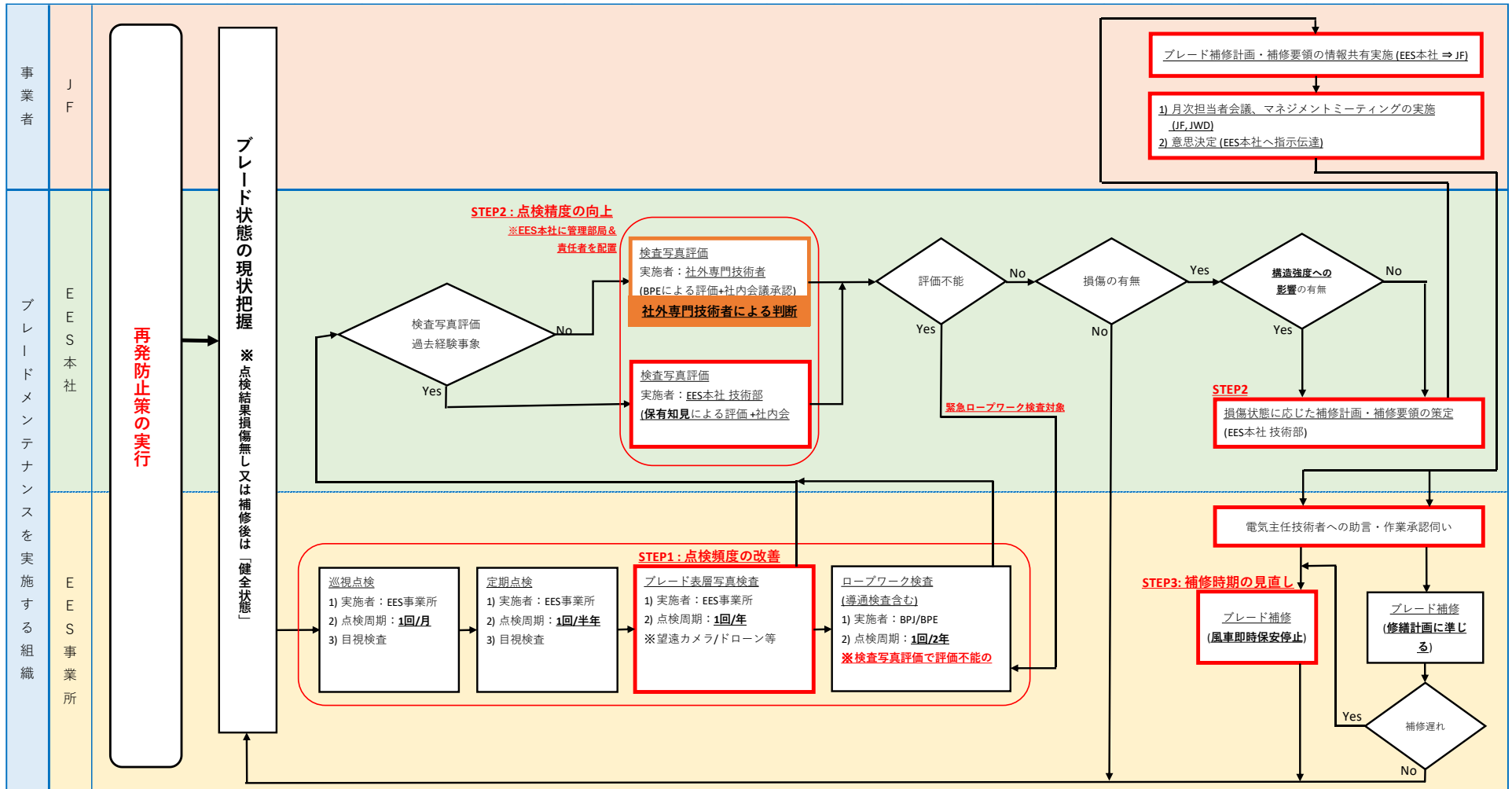
メンテナンス会社の業務通達を見直し、メンテナンス会社（本社）、ブレード補修会社（国内法人、欧州法人）、メンテナンス会社現地事業所のフローを明確にし、点検結果の取扱い及び責任の所在を明確にする。

また、メンテナンス会社としてのブレード損傷評価及び風車運転基準、事例集等を作成し、事業所所員及び社員教育を行う。教育の実施については、保安規程細則に規定する。

なお、4号機の復旧（ブレードの交換）については、撤去も含め方針検討中

補足: ブレードメンテナンス業務フロー

再発防止策、点検方法の改善(点検頻度の改善/点検精度の向上)及びブレード補修時期の見直しを考慮した、ブレードメンテナンス業務フロー図を以下に示す。



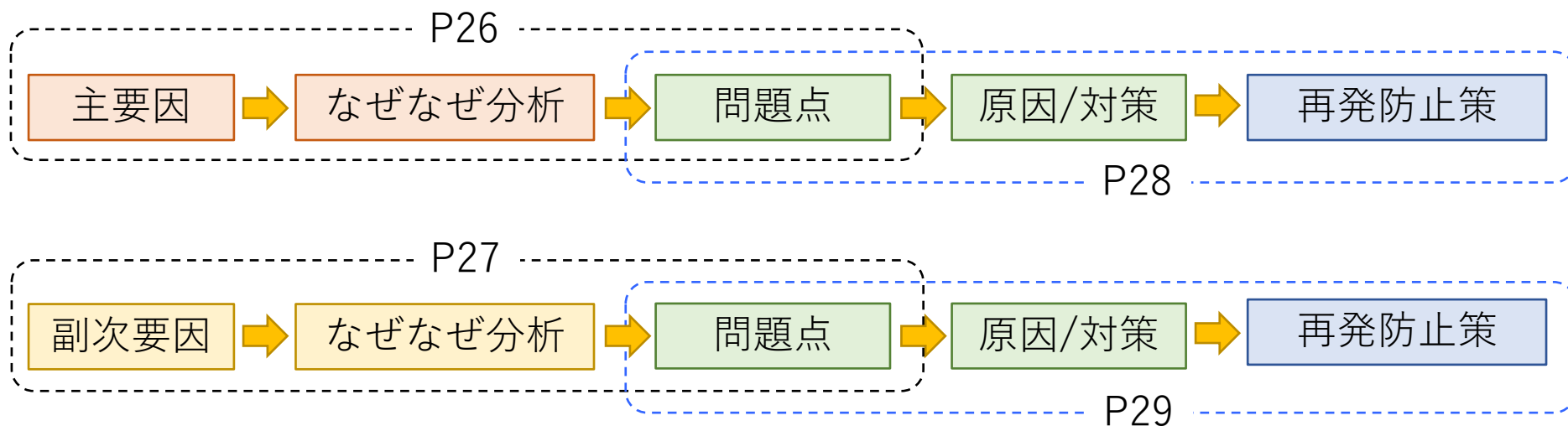
[参考] 事故原因の分析

(1) 事故原因の分析方法

原因究明により、事故原因は下記と特定された。

[主要因]	リーディングエッジのクラック、部分開口状態での運転継続
[副次要因]	製造時の品質情報未入手(リーディングエッジ部切断フランジのオーバーラミネート補修実施) リーディングエッジのエロージョン

この事故原因に対する問題の特定及び対策の検討のため、次ページ以降のなぜなぜ分析により問題点の抽出を行い、その問題点を分類し対策・再発防止策を検討を実施した。



[参考] 事故原因の分析

(2) 問題点分析(主要因)

[参考] 表1 問題点分析 (主要因) 表

内容	なぜ1	なぜ2	なぜ3	問題点
[補修せず運転継続(3か月期限)] 2019年5月段階で、ルートから 23m近隣、31m～先端部等にLE コード方向クラック・口開きの 記録があるにも関わらず、補修 せず運転継続していた。	2019年5月31日のブレード点検でL4(毎月点検、補修期限3か月の構造強度に問題がある可能性のある損傷)と判断されていたが、EES内で、補修期限の認識と再評価の規定がなく、損傷ごとの詳細な評価が欠けていた(通常の月例点検で異常報告がないため、「異常なし」としていた)から。	地上からの目視で実施される月例巡視点検では、過去のブレード点検記録の結果を踏まえた点検を実施する認識がなかったため、「異常なし」と判断していたから。	EES本社は、点検で発見されたブレードの損傷状態に対する経過観察に関して、具体的な点検方法・対応指示をEES事業所へ行っていなかったから。 月例巡視点検及び、定期点検において、EES各事業所ごとのチェックリストがあるが、その手順を定める実施要領書がなかったから。	メンテナンス会社 (EES)における 風車保守管理上の不備
	L5と評価すべきLEスパン方向クラックとコード方向クラックの複合損傷を、BPEは、個別の写真を元に評価し、各々L4と評価したから。	BPEは切断フランジ開口部から横クラックが発展していたことを認識せず、早急な補修が必要な欠陥であることを認識していなかったから。	BPEからの評価をEESで再評価し、損傷判断および運転判断につなげる仕組みがなかったから。	
	JFは、直近の2019年5月31日の点検結果において、ブレード損傷があったことは確認していたが、風車停止が必要であるときはJFにEESから報告があると認識していたから。	EESは、損傷があったブレードに対しての月例巡視点検で補修遅れ等があった場合に停止処置やJFへの連絡等をする必要があると認識していなかったから。	EES内で、月次で、ブレードの補修遅れをチェックし、再評価し、事故防止につなげる仕組みがなかったから。	
	JFは、当該機補修の優先順位が高いと認識し、2019年7月に内示(EESは受注処理)、同年8月に補修の正式発注がなされていたが、JF全体の補修計画が遅れ、同年11月に2020年8月への補修の延期を決定したから。	補修計画全体の遅れの対策時に、JF及びEESともに、個別の事情(リスク)を把握していなかったから。	当該事項を含め、JFの運営を討議するJFとEESの会議(月次担当者会議、マネジメントミーティング)にリスク情報が上がる仕組みがなかったから。	事業者(JF)による 修繕計画・事故リスクの 認識・管理不足

[参考] 事故原因の分析

(3) 問題点分析(副次要因)

[参考] 表2 問題点分析 (副次要因) 表

[問題事象]内容	なぜ1	なぜ2	なぜ3	問題点
<p>[製造時の品質情報(オーバーラミネート)未入手] 破損品・残存ブレード確認の結果、ブレード先端LE部のバックアップフランジのグラスファイバーレイヤーが製造時に外部に巻き込まれて切断されており(切断フランジ)、外面にオーバーラミネート補修が施工されていたが、その情報がメーカーから事業者には伝達されておらず、オーバーラミネート損傷時のリスクを把握していなかった。</p>	<p>GEは、オーバーラミネートは工場での標準補修であり、出荷自身は合格として出荷していたから。</p>	<p>GEは、2007メンテナンスマニュアルに2年毎の点検で15cm/m以上のクラックが発生したときにエンジンに連絡する規定が示してあり、オーバーラミネート補修品も、これで十分と認識しているから。</p>	<p>GEは、当該規定(閾値15cm/m以上のクラック)は安全側であり、エロージョンによるオーバーラミネート喪失+切断フランジによるクラックに限定せず、どのクラックでも適用できる値と認識しているから。</p>	<p>ブレード製造履歴の情報共有不足</p>
	<p>GEは、LM製ブレードに切断フランジとオーバーラミネート補修の事実は認識していたが、東伯の破損ブレードであるLM34.0Pブレードは対象外だったから。</p>	<p>LM34.0Pブレードでは、切断フランジによるクラックの問題が発生していなかったから。</p>	<p>切断フランジによるクラックは、オーバーラミネートがエロージョンで喪失しないと発生しないから。</p>	
<p>[エロージョン(通常事象)] 21m~TipにかけてLE部全面的に発生している。先端部はエロージョンにより切断フランジ対策のオーバーラミネート層が喪失し、開口となっていた。</p>	<p>一般的に、エロージョンに対する閾値は明確でないから。</p>	<p>エロージョンは環境に影響されるため、一律の規定を作るにはそぐわないから。</p>		
	<p>EESでは、当該ブレードのエロージョン自身が重大な損傷につながるという認識がなかったから。</p>	<p>EESでは、エロージョンは表面かつ先端の損傷なので、構造強度に影響を及ぼすものではないという認識があったから。</p>		

[参考] 事故原因の分析

(4) 対策検討(主要因)

[参考] 表1 対策検討(主要因) 表

問題点	根本原因	対策	再発防止対策
メンテナンス会社(EES)における風車保守管理上の不備	a) ブレード損傷のレベルに応じた補修管理の不備 ●ブレード破損風車に関しては、設計強度に影響を与えるダメージ(レベル4)であり、3ヶ月以内の補修が未実施かつ運転を継続していたこと。	①ブレード損傷発見後の点検方法について保守運用基準を作成する。 ②切断フランジの存在を想定した先端LE部エロージョンの適切な補修方法の実施 ③EESとしてのブレード損傷評価及び風車運転基準を制定し、社員教育を行う。	(1)-a ブレード点検方法の改善
	b) 月例巡視、定期点検報告書、手順の不備 ●定期点検報告書にブレード検査の詳細記録を記載する様式になっていなかったこと。 ●定期事業者検査実施要領書に従った手順が定期点検報告書に適切に反映されていなかったこと。	①定期事業者検査要領書の要求内容に合致した適切な実施要領を保安規程細則に定め、統一した方法で実施。 ②巡視点検並びに定期点検に要領書がないため、保安規定細則で要領を制定する。	(4)EES事業所運営の改善
	c) EES本社とBP及び全事業所との連携不足(点検結果の引継ぎ不備) ●EES本社はBPからブレード点検報告を受けていたが、点検結果に対する具体的な対応指示を、社内及び事業所へ行っていなかったこと。	①ブレード点検結果はEESとBPEで評価する体制を構築する。 ②ブレード点検結果の取扱・管理を実施する組織、責任の所在を明確にする。	(1)-b ブレード点検精度の向上
	ブレード点検後の補修遅れ	ブレードの構造強度に影響がある損傷が確認されている場合は、風車を即時保安停止し、ブレード補修を実施。	(2) 補修時期の見直し
事業者(JF)による修繕計画・事故リスクの認識・管理不足	a) 補修期限超過の状態で保安停止ができなかったこと ●EES大山事業所では、月次点検・定期点検(2019.6.21)が実施されていたが、EESからJFに対して、ブレード破損変化に関する報告が未実施であったこと。 ●JFは問題ないと認識し、ブレード補修延期のリスクに対する認識が不足していたこと。	①事業者(JF)に対してメンテナンス会社(EES)より的確に情報が伝達されること。 (補修計画のレビューと補修管理の徹底) ⇒JF担当者会議では、メンテナンス会社(EES)とともにブレード評価、補修管理表を作成し、管理を徹底する。本管理表に基づき、要補修ブレードの認識、期限および実施の確認を確実にを行う。 ②EESからの報告に基づき、事業者としての判断が行われる仕組みを構築すること。 ⇒JWD(JFの構成員)からJFの立場で技術事項に関する責任者を任命、並びに担当者会議および上部会議への参加。	(3) JFにおける運営方法の改善

[参考] 事故原因の分析

(5) 対策検討(副次要因)

[参考] 対策検討（副次要因）表

問題点	対策	再発防止策
ブレード製造履歴 の情報共有不足	ブレード内部に切断フランジが存在する場合、エロージョンのリスクが大きいことから、エロージョンは早期に補修することとし、先端部のエロージョンが進行し、15cm/m以上の開口が発見された時点で、保安停止し、補修する。	ブレード内部に切断フランジ存在しても事故につながらないよう、再発防止策として以下を実施。 ①エロージョンによる繊維損傷が発見された段階で、補修計画を立案。 ②先端部のエロージョンの進行により開口が発見された段階で、即時保安停止、補修を実施。

補足： 前回指摘事項に対する回答(1)

(1) 点検結果の引き継ぎがどのように行われていたか

ブレード点検はメンテナンス会社現地事業所とブレード補修会社（国内）が実施し、結果は報告書としてメンテナンス会社本社、ブレード補修会社（欧州）に送られ評価を受けメンテナンス会社現地事業所にて管理していたが、その後の月例巡視、定期点検では点検結果が引き継がれていなかった。



[対策] 保安規定細則に実施要領を定め、過去のブレード点検記録、定期点検記録を参照する旨、明記する。

補足： 前回指摘事項に対する回答(2)

(2) 補修が遅れている状況において安全のための停止措置がなぜ実施されなかったのか

設置者及びメンテナンス会社（本社）共に、現地事業所から異常報告がないため、運転可能として判断していたが、メンテナンス会社現地事業所では明示的に注意していなかった。



[対策] 補修期限のあるものは、その期限を超えた場合、保安停止をして、処置を決定することとする（または保安規定細則で規定する）。

※風車運転において構造強度に影響のある損傷(現行判断基準レベル4以上)は即時停止、補修を行う。

参考： 当該ブレード損傷の補修が遅れた経緯

1. 設置者の意思決定は、設置者メンバーとメンテナンス会社が参加する月次の担当者会議及びマネジメントミーティングで討議し、決定されている。
2. 東伯の当該ブレード損傷については、2019年5-6月の点検終了後、メンテナンス会社から補修提案があり、設置者からメンテナンス会社に、7月初めに補修発注の内示、8月に正式発注がなされていたが、天候不順・突発補修等で設置者保有発電所全体の計画が遅れ、11月に翌年の2020年8月へ補修の延期を決定した。

補足: 前回指摘事項に対する回答(3)

(3) 点検で発見されている強度に影響がある損傷 (L4)への対応

1. 2020年1月8日の事故発生後、設置者の全GE1.5s風車90基のブレードの点検（地上より目視、望遠鏡又は望遠カメラを使用）を実施し、異常の有無を確認するとともに、L4損傷ブレードを持つ風車は、全機、停止し当該損傷の補修する(着手中)。
2. 補修は、資格を持ちトレーニングを受けた、欧州並びに日本の技術者が実施し、補修記録を残す(実施中)。

(END)