

楚洲風力発電所1,2号機 ブレード損傷事故に関する報告

平成31年3月11日

沖縄新エネ開発株式会社

1. 風力発電所の概要（設置場所）

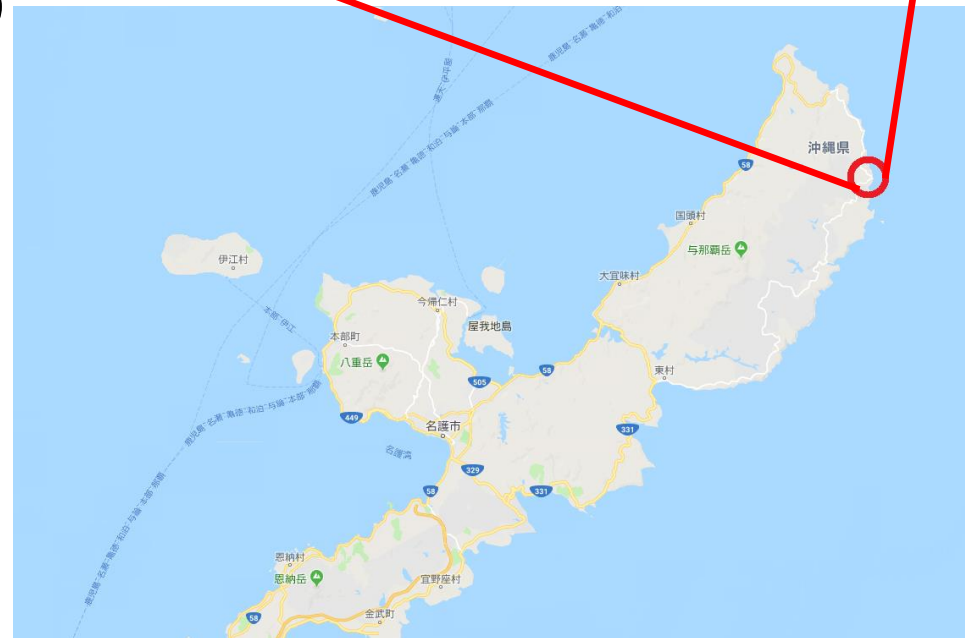
設置者：沖縄新エネ開発株式会社

発電所名：楚洲風力発電所

所在地：沖縄県国頭郡国頭村字楚洲811-16

運転開始：平成17年4月

発電所出力：3,600kW（1,800kW×2基）



1. 風力発電所の概要（風車仕様、制御方式及び制御電源喪失時の動作）

【風車仕様】

風車型式	: E66（ENERCON社製）
定格出力	: 1,800kW
ハブ高さ	: 65m
ローター直径	: 70m
ローター回転数	: 10～22.5rpm
風車耐風速規格	: IEC CLASS II ($V_{e50}=59.5\text{m/s}$)

【制御方式及び制御電源喪失時の動作】

①ヨー制御

ナセル方向を風向に対して常に正面となるように制御を行う。

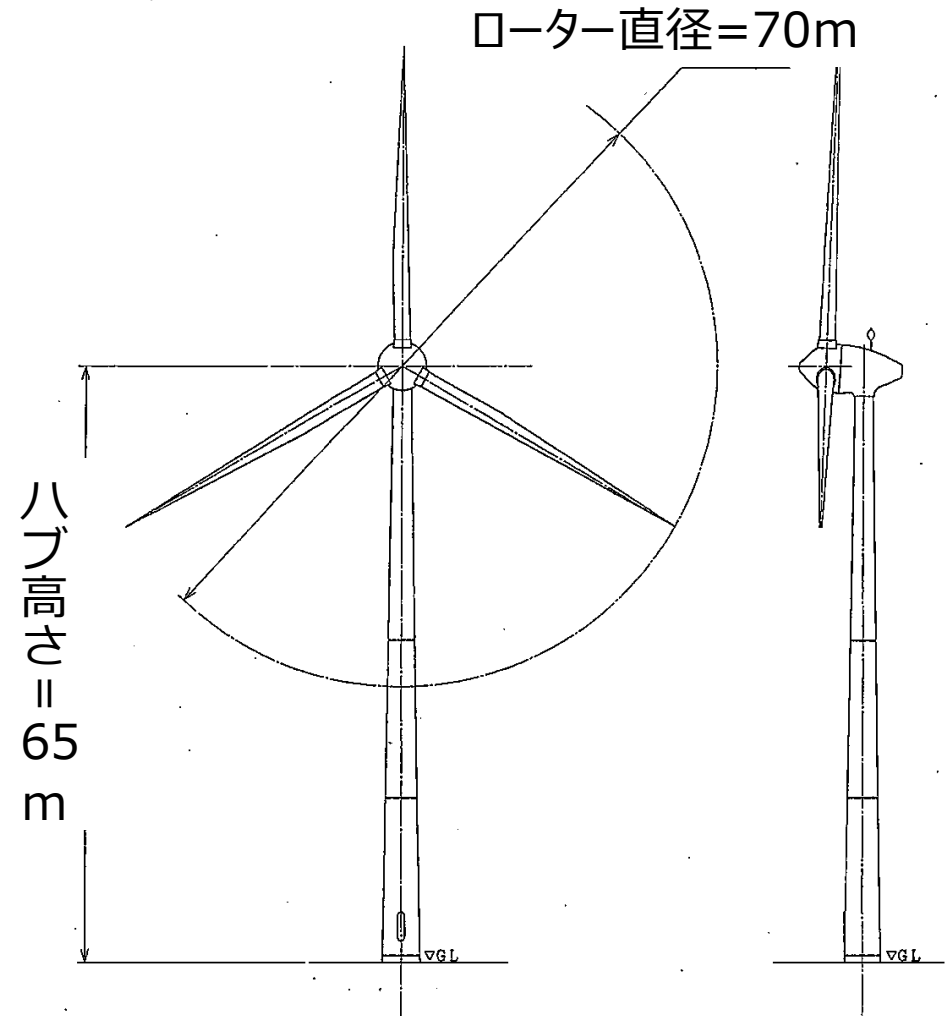
ヨー制御終了時または制御電源喪失時は、ヨーモーターのバネブレーキが動作しナセルが固定される。

②ピッチ制御

ピッチ角を変化させることで出力制御を行う。

風車運転時に制御電源が喪失した場合は、ピッチ用の非常用バッテリーからピッチモーターへ電源が供給され、ピッチアウトの状態となった後、ピッチモーターのバネブレーキが動作しピッチが固定される。

風車運転停止時は、ピッチアウトの状態ですピッチモーターのバネブレーキが動作しピッチが固定され、制御電源が喪失した場合にはその状態が保持される。



1. 風力発電所の概要（風車 IEC Class IIの選定経緯）

①風車機種を選定について

平成15年7月～8月：風車メーカー7社へ見積依頼（一括発注）

＜主な見積依頼内容＞

- 1,500kW～2,000kW級の風車2台
- 適用規格基準（建築基準法等）の遵守
- 耐風速はIEC Class II以上

平成15年8月：風車メーカー4社から見積收受（3社は見積辞退）

※耐風速 IEC Class I = 2社 耐風速 IEC Class II = 2社

平成15年8月：当社の社内機種選定委員会で、事業採算性や安定性・持続性（メンテナンス体制や故障停止時間）を勘案し、エネルコン社製（E66 IEC Class II）に決定

②電気工作物に関する関係法令等（平成16年度当時）

建築基準法：建築確認申請（平成16年7月13日受付）、確認済証（平成16年10月20日適合通知）
検査済証（平成17年3月24日適合通知）

電気事業法：工事計画届（平成16年7月5日受付）、使用前安全管理審査（平成19年3月29日適合通知）

1. 風力発電所の概要（風車 IEC Class IIの選定経緯）

③風荷重条件および強度評価

1) 風荷重条件

基準風速	: 46.0m/s (10分平均)	【沖縄県における建設大臣が定める値】
ハブ高設計風速	: 60.7m/s (10分平均)	【基準風速×高度補正1.321×地形割増1.0】
暴風時（極値）風速	: 85.0m/s (3秒平均)	【ハブ高設計風速×ガストファクター1.4】

2) 強度評価

支持物(タワー、基礎), ブレードは、建築確認申請の強度計算で以下の条件を満足していることを確認し工事計画を届出

●タワー

タワー本体、継ぎ手部、アンカーリング、タワー開口部に発生する応力が許容応力を下回っている

●基礎

すべり、転倒に対して、許容支持力が満足している

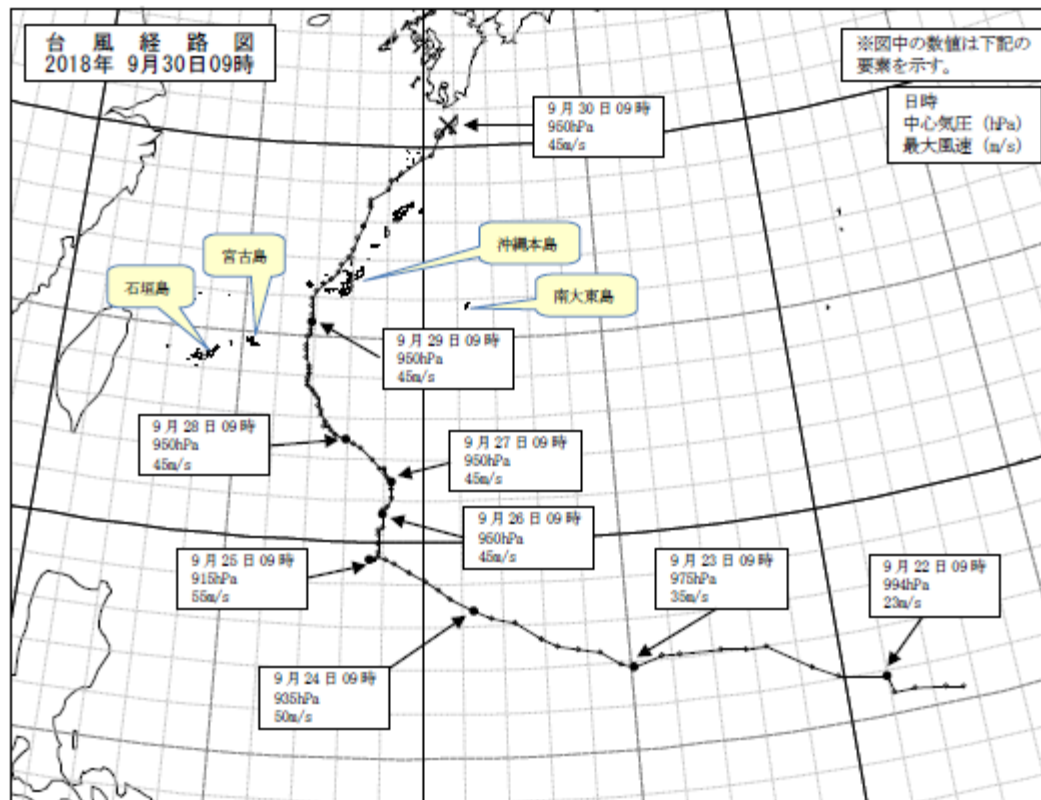
●ブレード

フェザリング状態で横風を受けた場合に、極値風速85m/s、回転速度0r/min(風車停止)を条件とし、ブレードに発生する応力は71.2MPaであり、許容応力117.7MPaを下回っている

2. 台風24号（概要）

大型で非常に強い台風24号は、平成30年9月29日から9月30日にかけて沖縄本島へ接近し通過した。

楚洲風力発電所から約8.2km（直線距離）に位置する奥観測所では、9月29日の14時54分に最大瞬間風速53.8m/s（南東）が観測されている。



台風第24号経路図（2018年9月30日09時現在 速報値）



3. 事故の概要

平成30年9月30日：台風24号通過後の目視点検で、以下の状況を確認した。

- ・1号機：ブレードAが180°反転、ブレードCの根元部にクラック有り
- ・2号機：ブレードB及びCの根元部にクラック有り
- ・非常用発電機：系統停電発生後、非常用発電機が起動し風車の制御電源が継続して確保されたが、冷却水温度上昇により停止していることを故障表示で確認した。

なお、当社の保安規程で定められた月一回（9月3日実施）の巡視点検及び試運転（停電模擬試験）では、異常は無かった。

安全対策として、風力発電設備に注意喚起の看板を設置しているが、更なる対策として設備周辺にトラロープを張り、外部からの進入を制限した。

平成30年10月1日：非常用発電機メーカーによる点検でラジエターの冷却水の減少を確認したため、冷却水を補充し、単体試験を行い非常用発電機に異常がないことを確認した。

冷却水の減少は、冷却水温度上昇に伴う熱膨張により内部圧力が上昇し、キャップの安全弁が動作し冷却水が外部へ噴出したと考えられる。

平成30年10月11日：風車メーカーによるブレード点検で新たに以下の状況を確認した。

- ・1号機：ブレードA根元部の内外部にクラック確認
ブレードBの内部に軽微なクラック確認、外側の損傷なし
- ・2号機：ブレードAのリーディングエッジ内側にブレード外部からの光を確認、外側の損傷なし

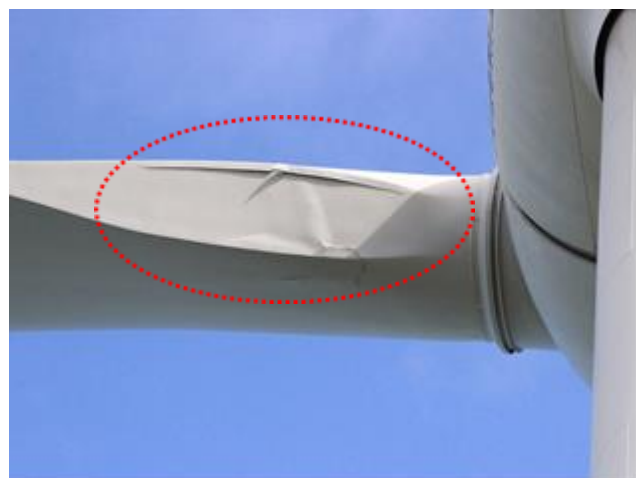
※ブレードのクラックについては、内部からFRPで補修を行い安全対策を施している。

4. ブレード損傷状況 (1号機)

製造メーカー：ENERCON社製
ブレードタイプ：E70/3

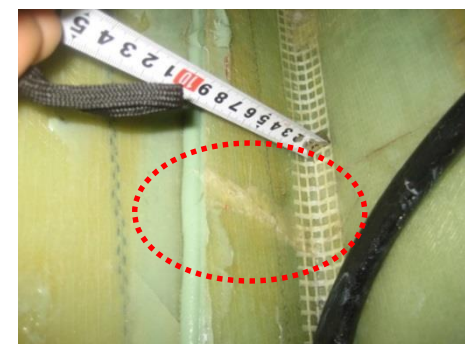
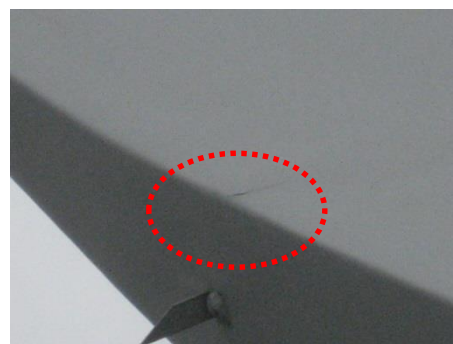
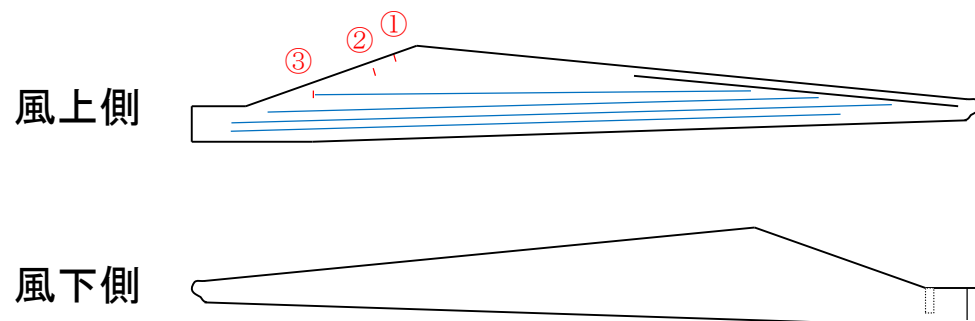


【写真1(1号機全体写真及びブレードAの状態)】



【写真2(1号機ブレードcの根元部)】

1号機 (ブレードA)



①ブレード根本部クラック (左：外側 右：内側)



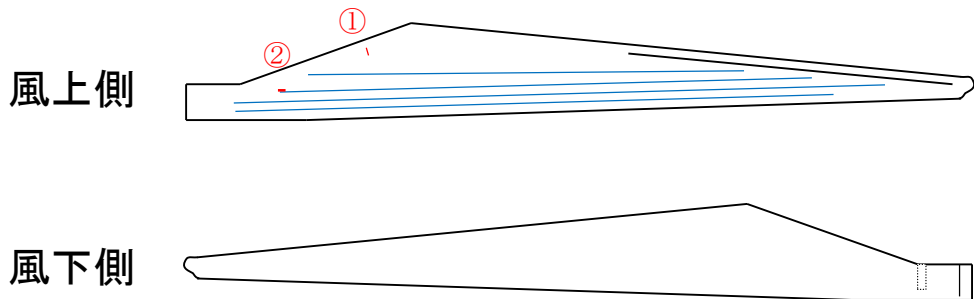
②ブレード内部クラック



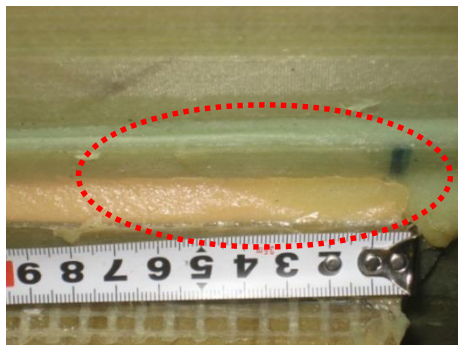
③ウェブ接着部クラック

4. ブレード損傷状況 (1号機)

1号機 (ブレードB)

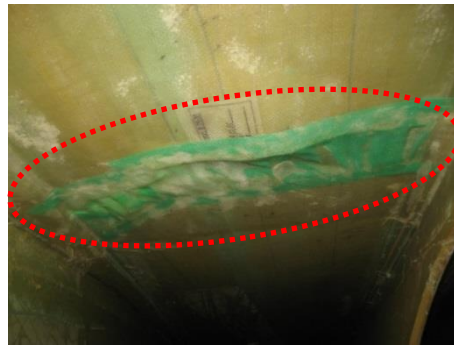
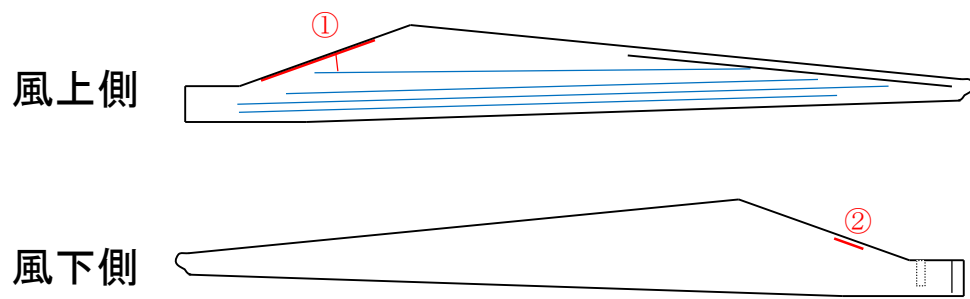


①ブレード内部クラック

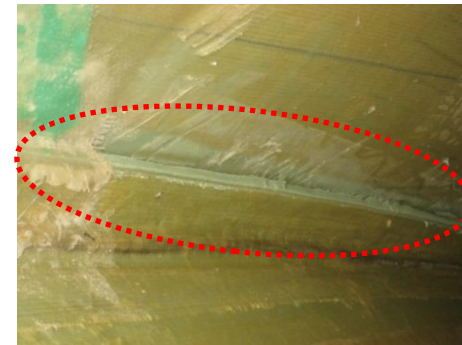


②ウェブ接着部クラック

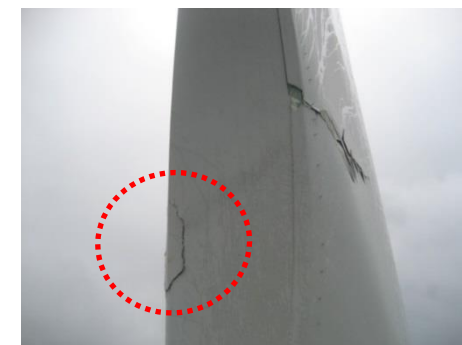
1号機 (ブレードC)



①ブレード根本部クラック (内側)



①ブレード根元部クラック (外側)



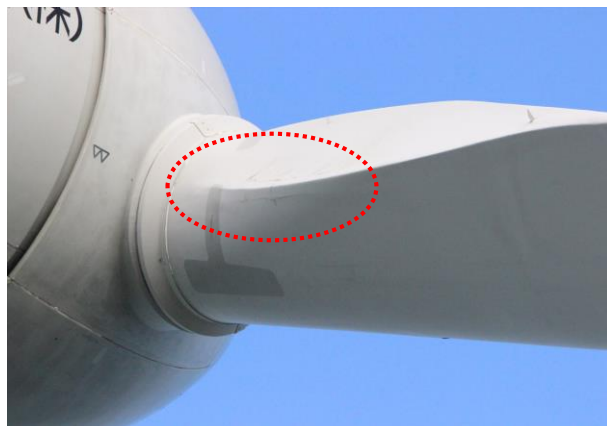
②ブレード根元部クラック (外側)

4. ブレード損傷状況（2号機）

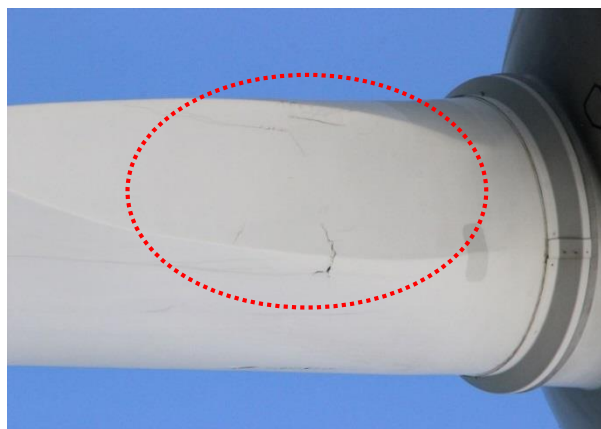
製造メーカー：ENERCON社製
ブレードタイプ：E70/3



【写真3（2号機全体写真）】



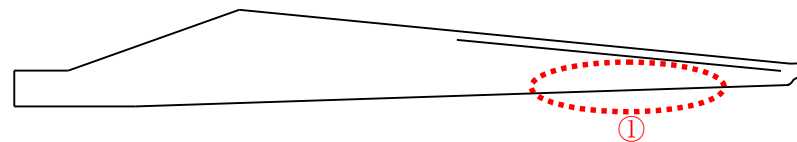
【写真4（2号機ブレードBの根元部）】



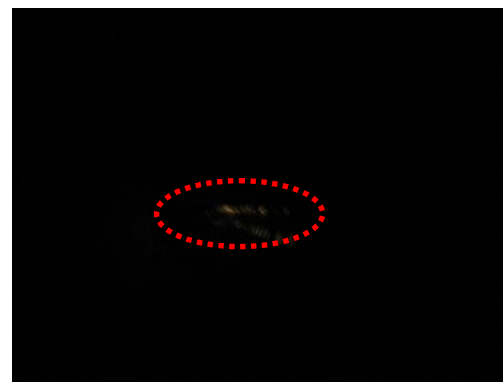
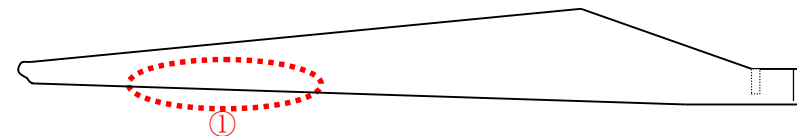
【写真5（2号機ブレードCの根元部）】

2号機（ブレードA）

風上側



風下側

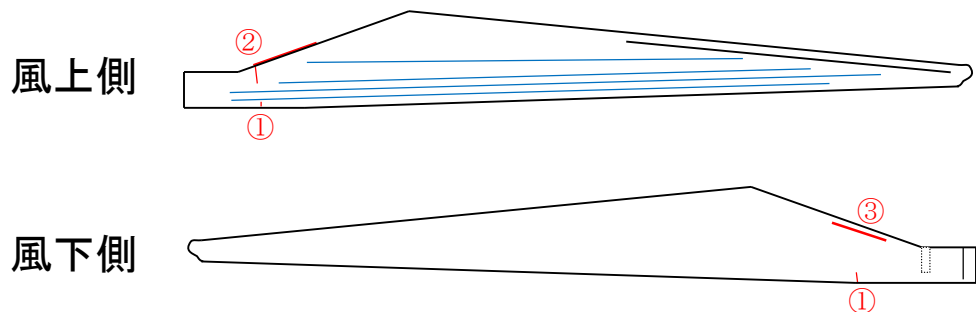


①リーディングエッジ外部の光透過

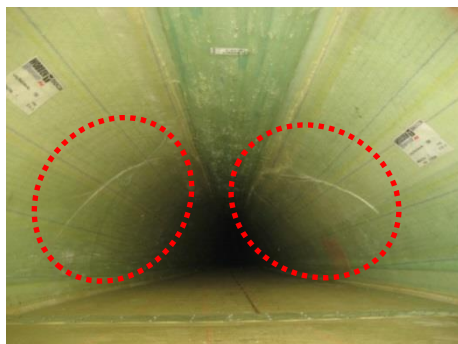
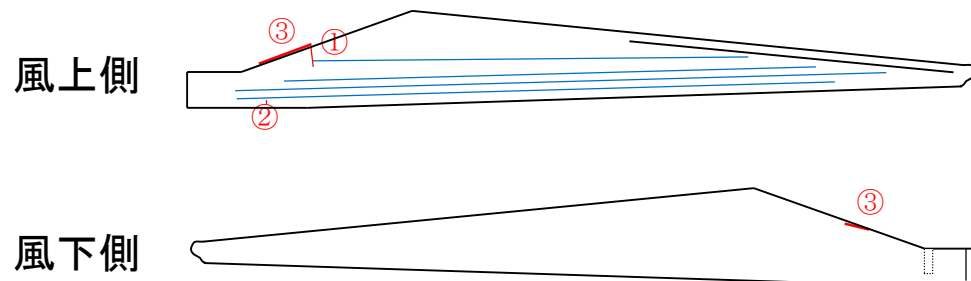
※リーディングエッジ内側にブレード外部からの光が確認されていますが、外側には損傷が確認されませんでした。

4. ブレード損傷状況 (2号機)

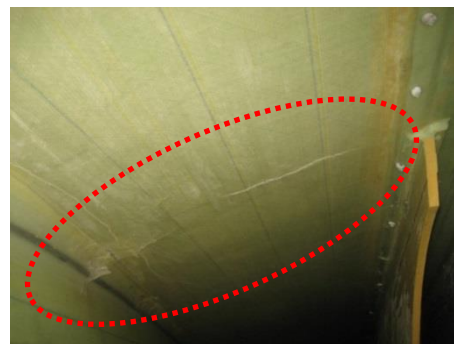
2号機 (ブレードB)



2号機 (ブレードC)



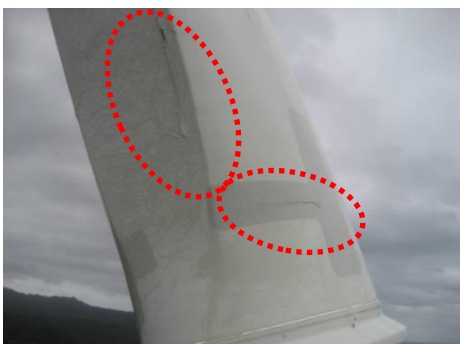
①ブレード根本部クラック (左: 外側 右: 内側)



①ブレード根元部クラック (内側)



②ブレード根元部クラック (外側)



②ブレード根元部クラック (外側)



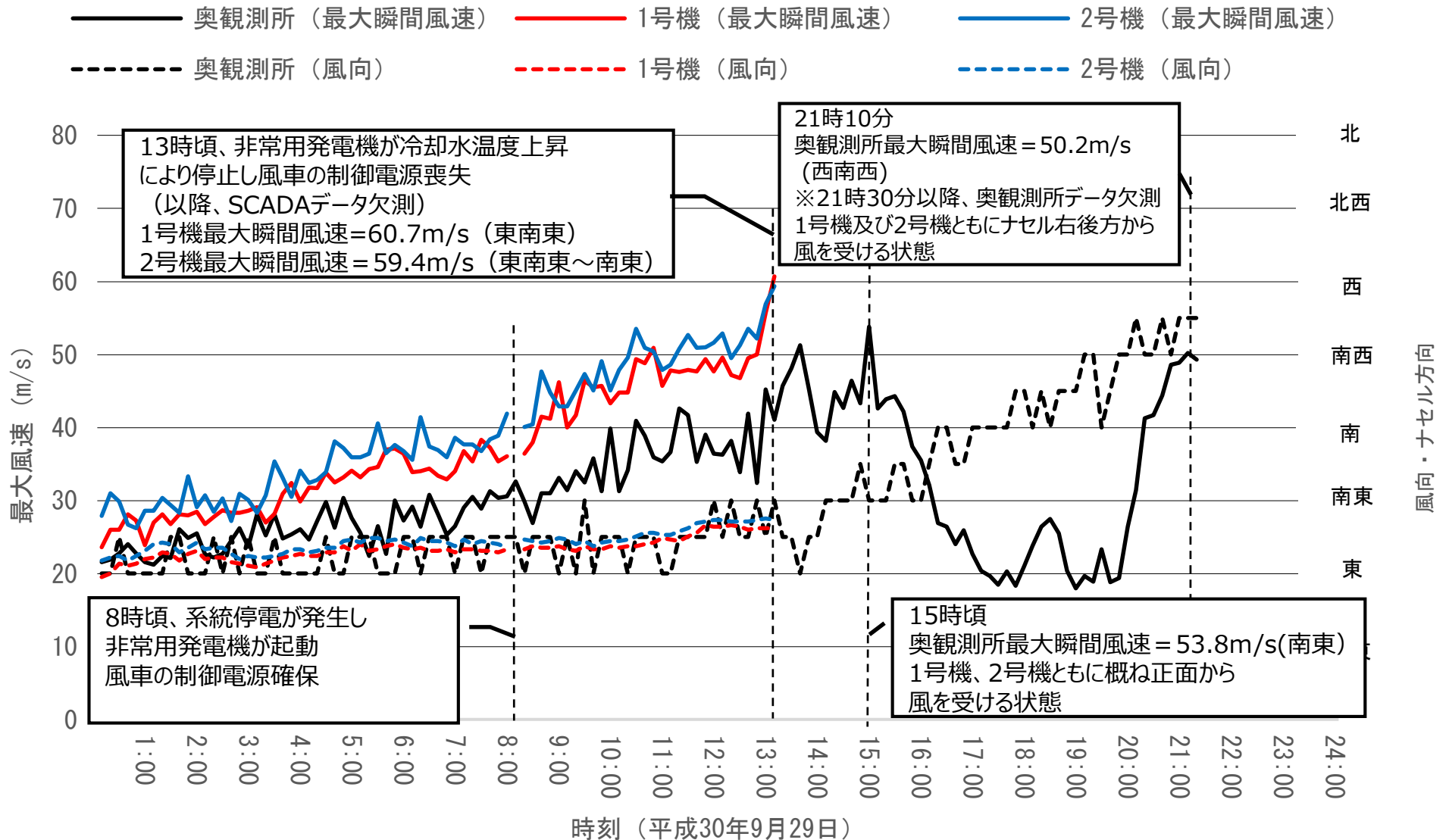
③ブレード根元部クラック (内側)



③ブレード根元部クラック(左:内側 右:外側)



5. 台風時の風向風速データ (SCADA・奥観測所データ)



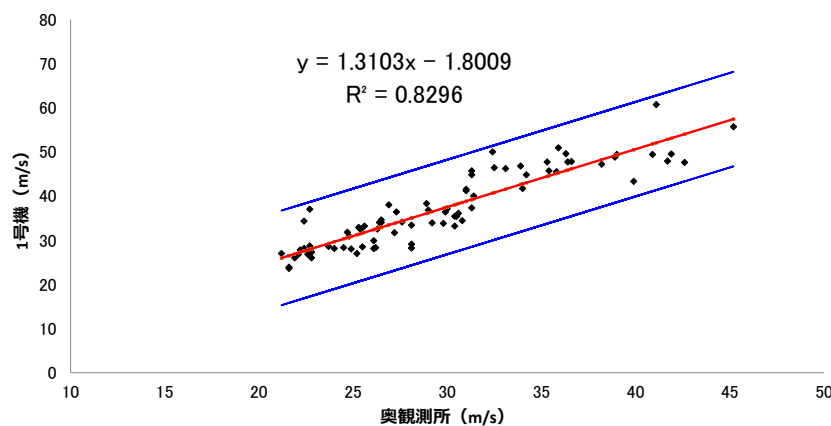
6. 最大風速の推定

使用したデータは、1号機及び2号機のナセル高での最大瞬間風速と奥観測所で記録されている最大瞬間風速とした。

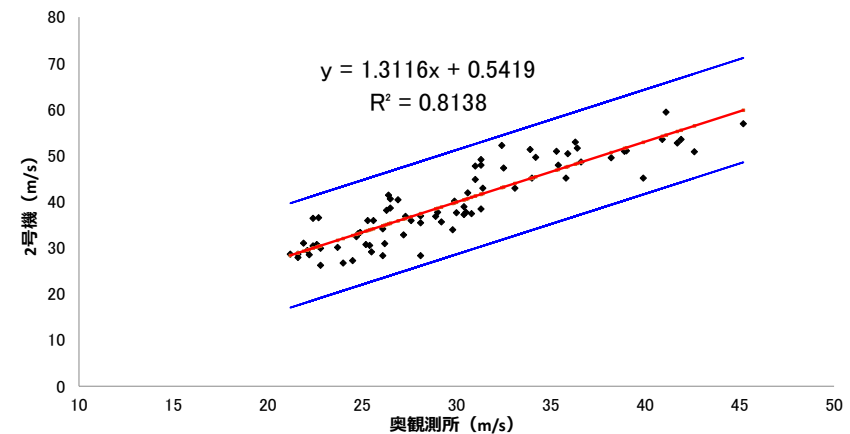
ただし、楚洲風力発電所のデータに欠測があったことから、0時から13時10分までのデータとしている。

(a) , (b) に示した近似式（赤線）と標準偏差 $\pm 3\sigma$ （青線）から、台風通過前（15:00）と台風通過後（21:10）の1号機及び2号機ナセル高での最大瞬間風速を推定した。

楚洲風力発電所と奥観測所の最大瞬間風速の相関関係



(a) 1号機－奥観測所



(b) 2号機－奥観測所

1号機及び2号機のナセル高での最大瞬間風速（推定）

時刻	奥観測所	1号機	2号機
15:00	53.8 m/s（南東）	58.0～79.4m/s	59.8～82.4 m/s
21:10	50.2 m/s（西南西）	53.3～74.7m/s	55.1～77.7 m/s

7. ブレード損傷の原因推定（台風通過前・後の風車状態及び風況状況）

【台風通過前（9/29,15:00）】

風車のナセル方向

1号機 東南東

2号機 東南東～南東

奥観測所のデータから推定した最大瞬間風速（風向）

1号機 58.0～79.4m/s（南東）

2号機 59.8～82.4m/s（南東）

概ね正面からの風を受ける状態



【台風通過後（9/29,21:10）】

風車のナセル方向（※）

1号機 東南東

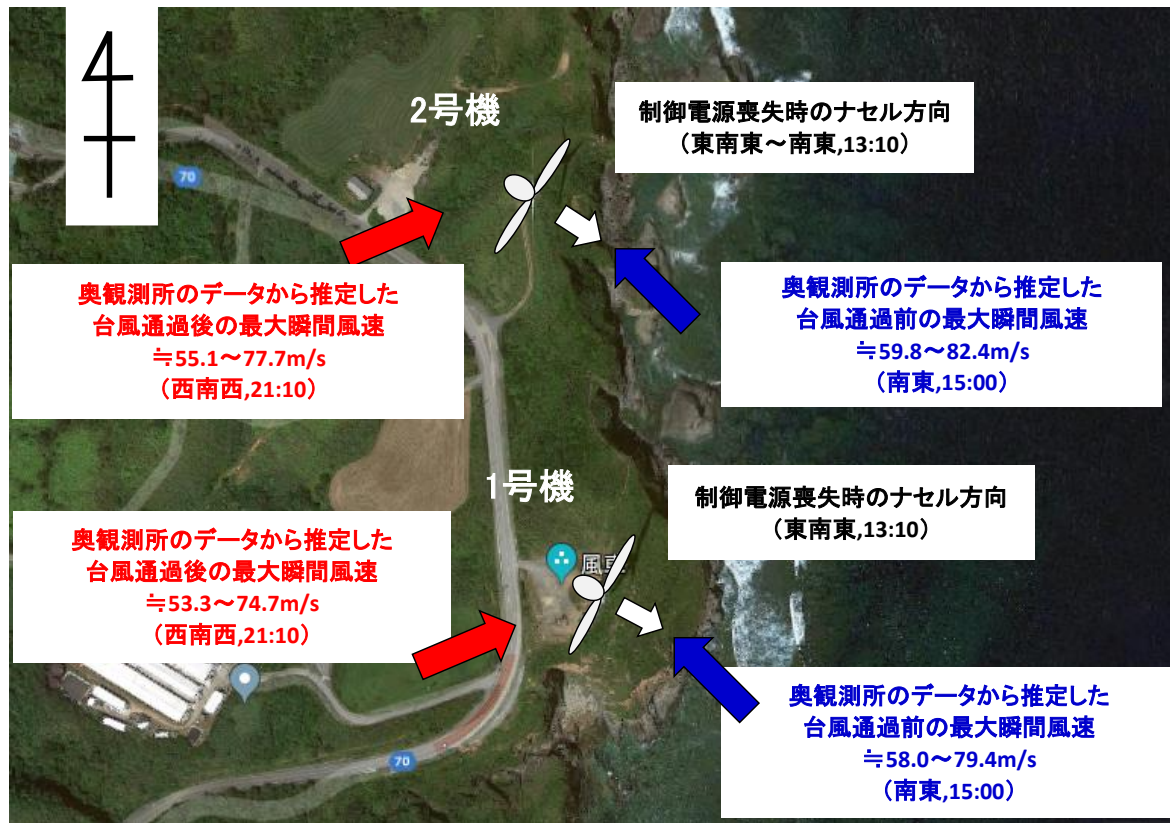
2号機 東南東～南東

奥観測所のデータから推定した最大瞬間風速（風向）

1号機 53.3～74.7m/s（西南西）

2号機 55.1～77.7m/s（西南西）

ナセル右後方からの風を受ける状態



※ 制御電源喪失によりヨーモーターのバネブレーキが動作し、ナセルが固定されていたため、台風通過前と同じ方向（台風通過後の点検でも同方向であることを確認）。

台風通過前・後の風車状態及び風況状況（推定）

7. ブレード損傷の原因推定（まとめ）

【原因推定】

- ①台風通過前は非常用発電機から風車の制御電源が確保され、ヨー制御により常に正面からの風を受けていたため、ブレードの損傷はなかったものと考えられる。（※）
- ②1号機・2号機ともに3本あるブレードのうち2本に外側のクラックが確認されたことを踏まえ、被害を受けた当時は概ね真横（南南西～南西）からの風を受ける状態であったと推定。
- ③推定した最大瞬間風速は、1号機で53.3m/s～74.7m/s、2号機で55.1m/s～77.7m/sではあったものの、ブレードにクラックが確認されたことを踏まえ、風荷重条件の極値風速である85m/s前後の風が吹いたと推定。

（※）これまでの台風時における運用実績（7. ブレード損傷の原因推定（台風通過時の風車状態）参照）から、台風通過時においても非常用発電機から風車の制御電源が確保され、ヨー制御により常に正面からの風を受けていれば、ブレード損傷には至らなかったものと考えられる。

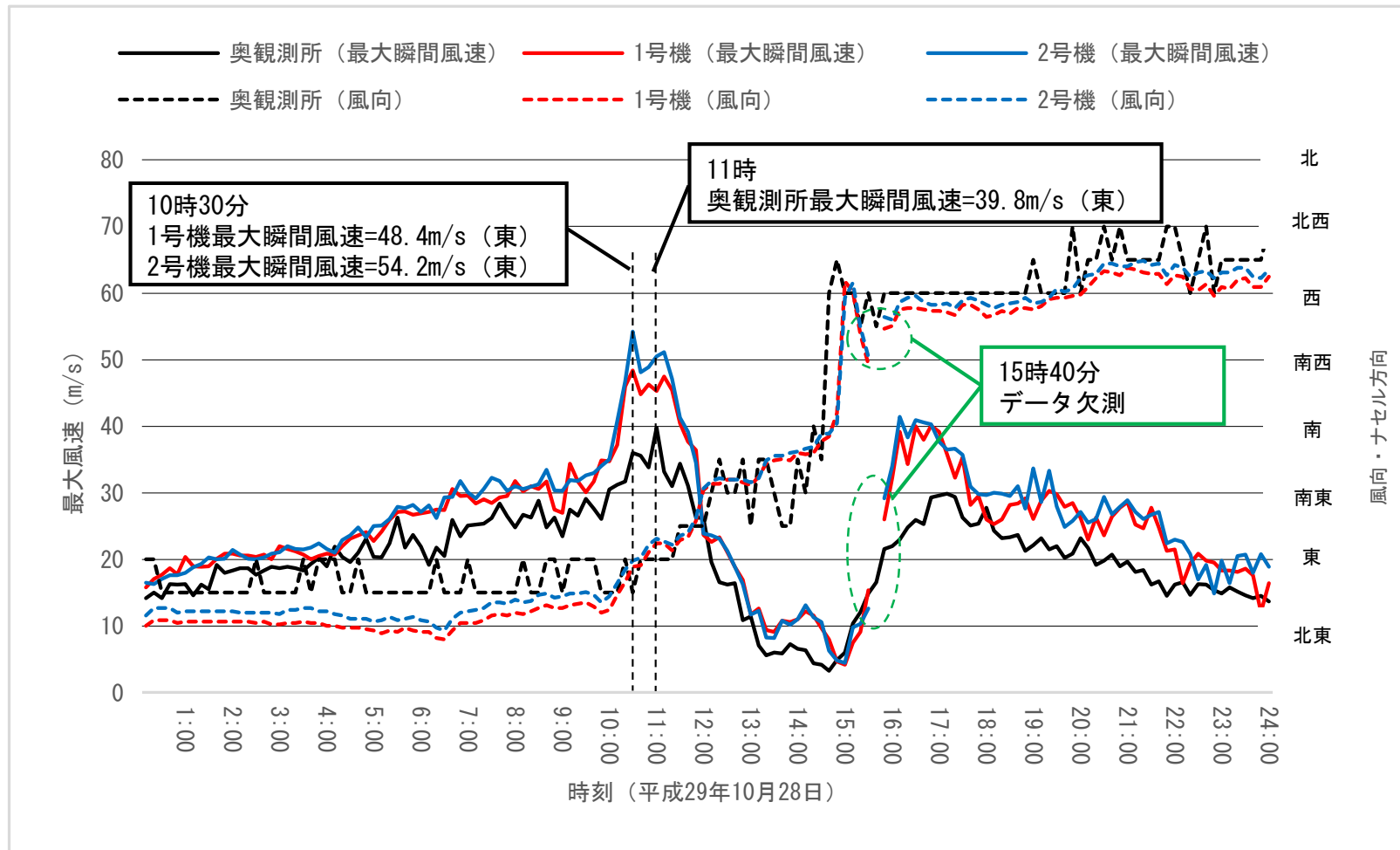
【まとめ】

以上のことから、今回のブレード損傷の原因は、非常用発電機が冷却水温度上昇で停止したことにより風車の制御電源が喪失したためヨー制御が不能となり、ナセルが東南東～南東方向に固定された状態で、概ね真横（南南西～南西）から風荷重条件の極値風速である85m/s前後の風を受けたことによりブレードにクラックが発生したものと推定。

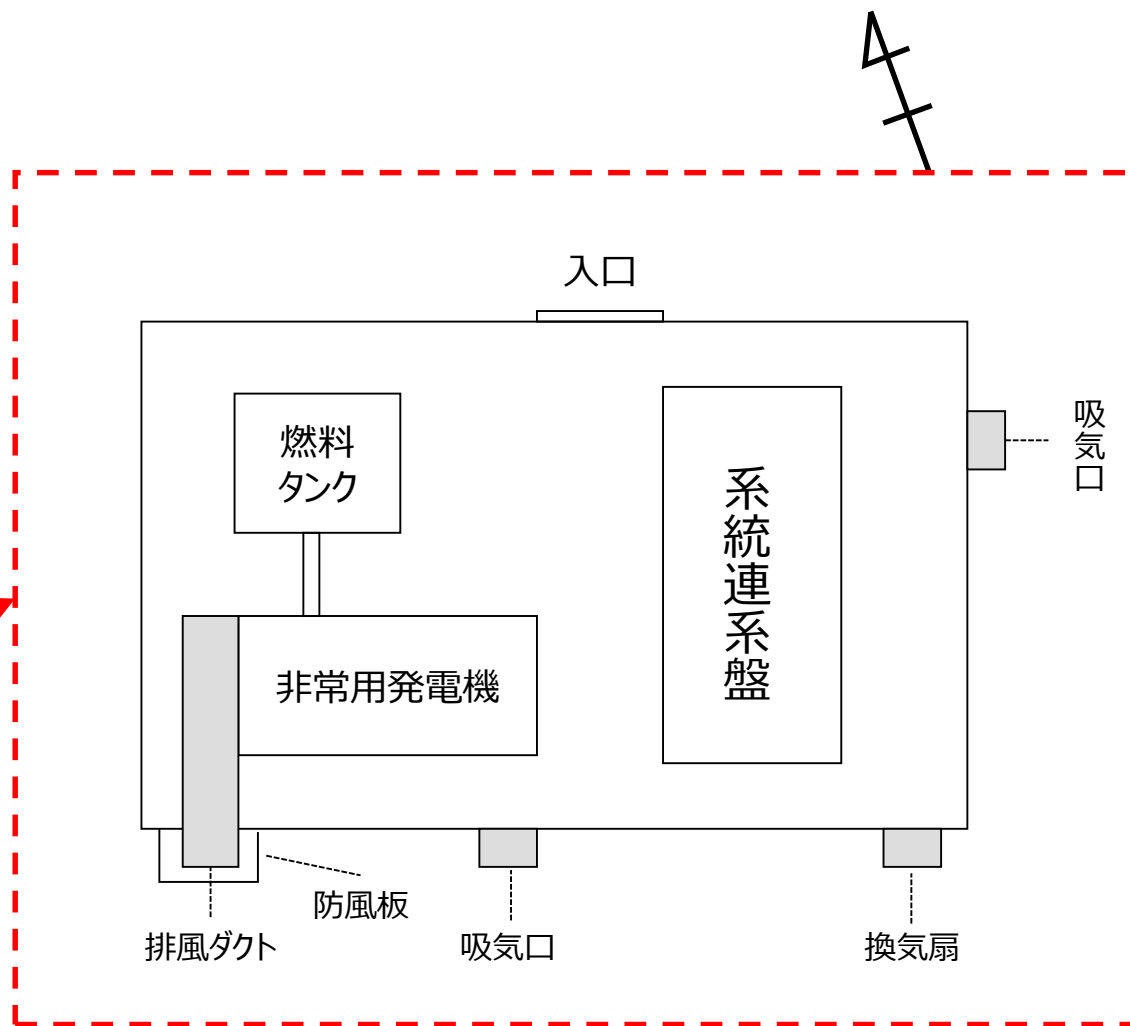
7. ブレード損傷の原因推定（台風通過時の風車状態）

平成29年10月28日の台風22号通過時は、ヨー制御電源が確保され、常に正面からの風を受けるフェザリング状態であった。

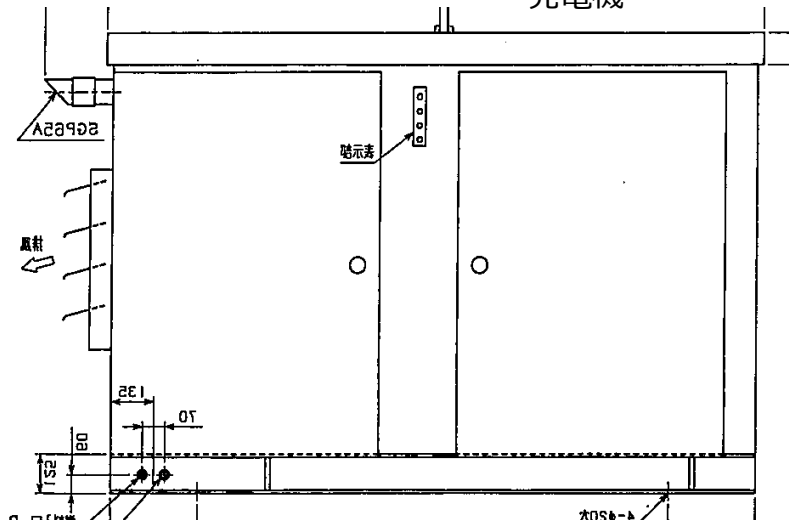
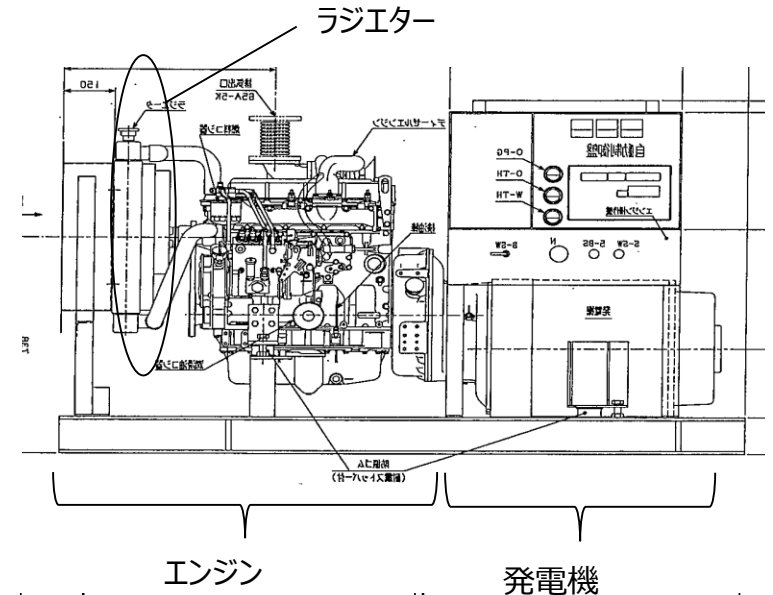
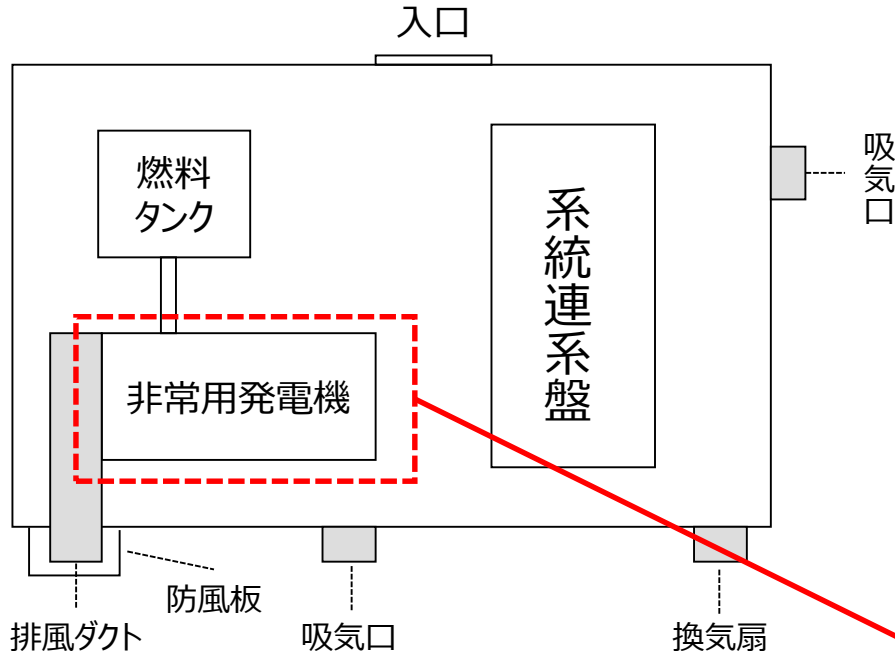
また、台風通過後の点検ではブレードに損傷は確認されていない。



8. 非常用発電機停止の原因推定（配置図）



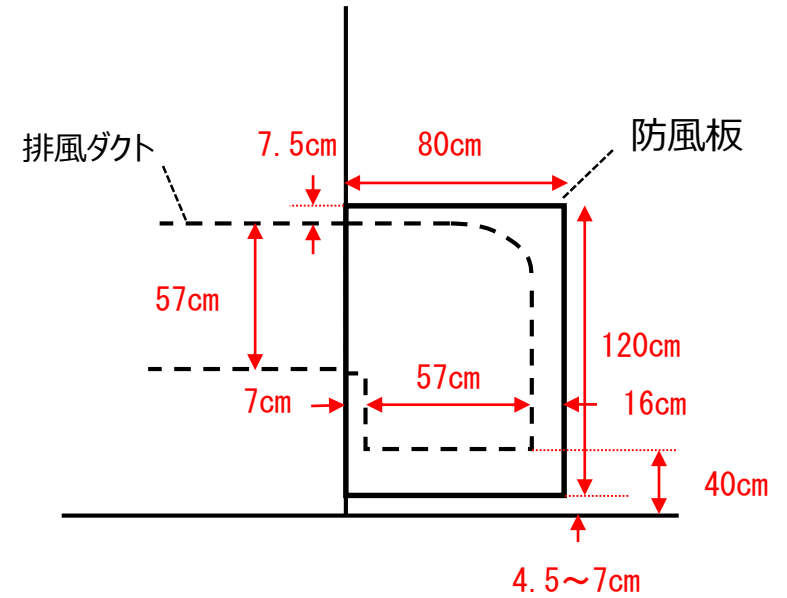
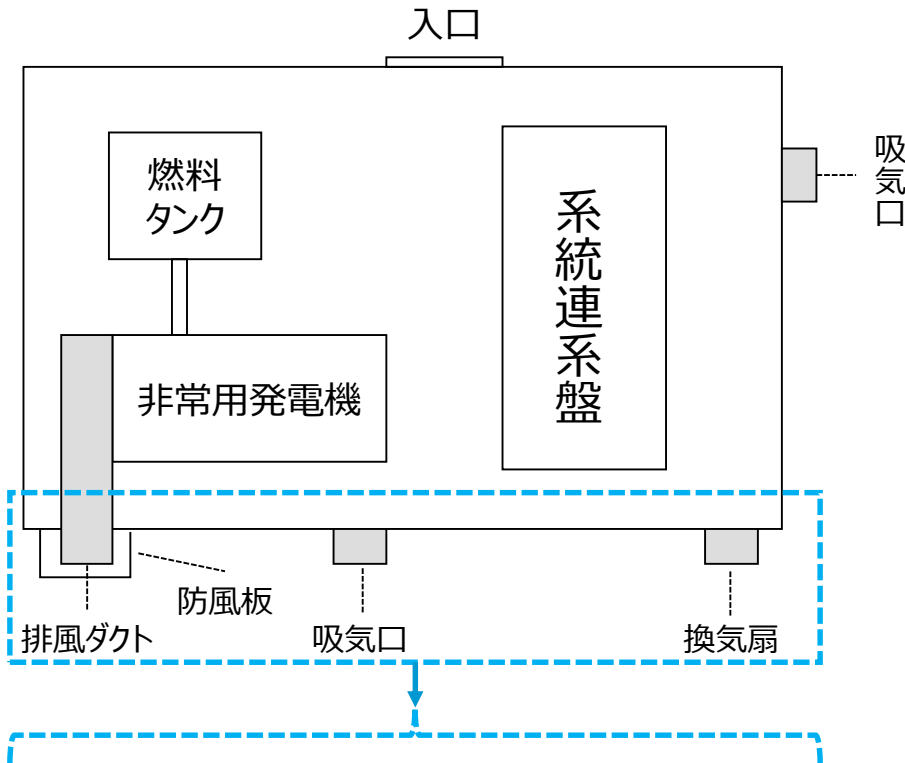
8. 非常用発電機停止の原因推定 (非常用発電機仕様及び外形図)



非常用発電機仕様 (概要)

型式	YAP80
発電機容量	80kVA
冷却方式 (発電機部)	空冷式
冷却方式 (エンジン部)	ラジエター冷却

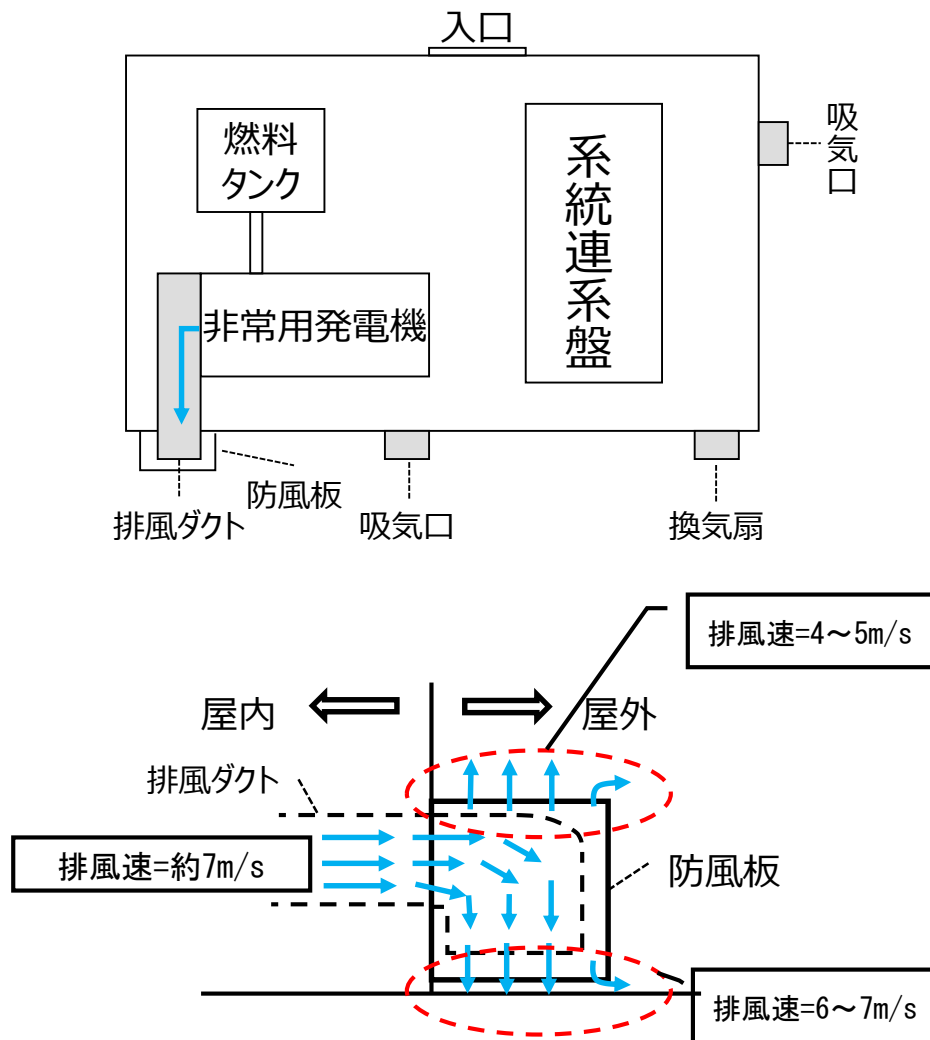
8. 非常用発電機停止の原因推定 (排風ダクト及び防風板の外形図)



【排風ダクト及び防風板の寸法】

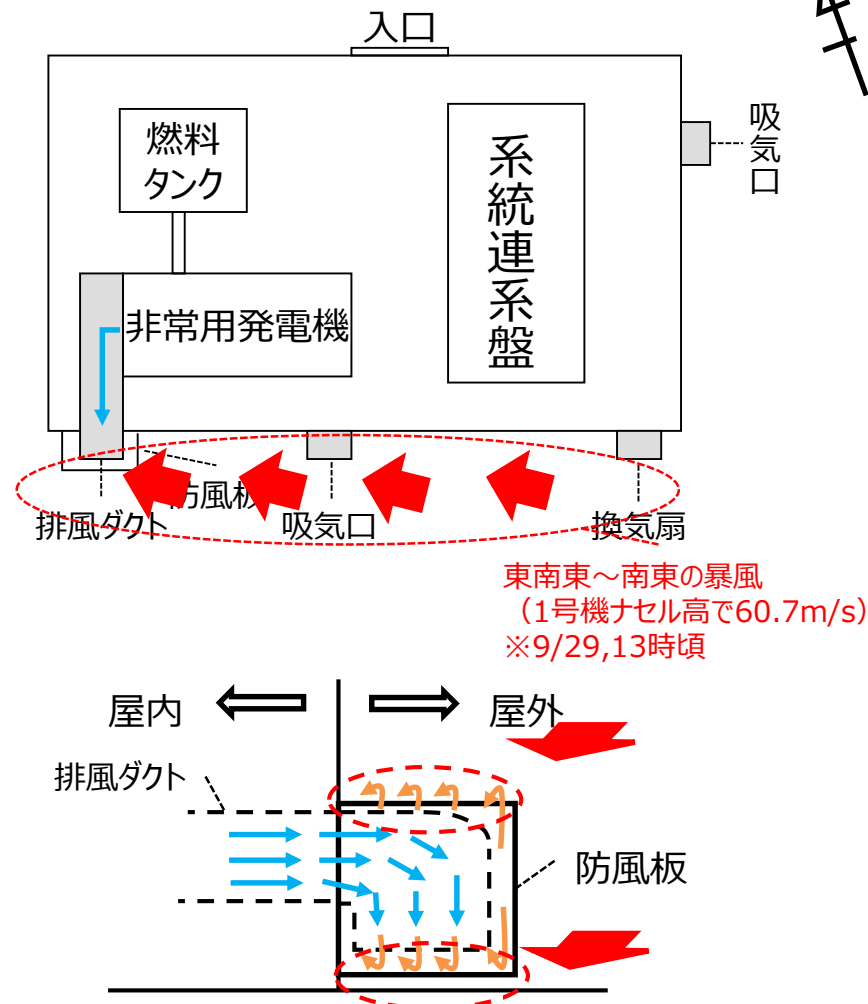


8. 非常用発電機停止の原因推定（排風の流れ及び冷却水温度（推定））



【平常時】

排風ダクトを通り、防風板の上下から排気する。
冷却水温度は約70℃で飽和（2月25日実測値）。



【暴風時】

排風口（防風板の上下）に暴風が直接吹付け、冷却空気の屋外への排気が困難。
冷却水温度は上限値（105℃）に達し、非常用発電機が停止。

8. 非常用発電機停止の原因推定

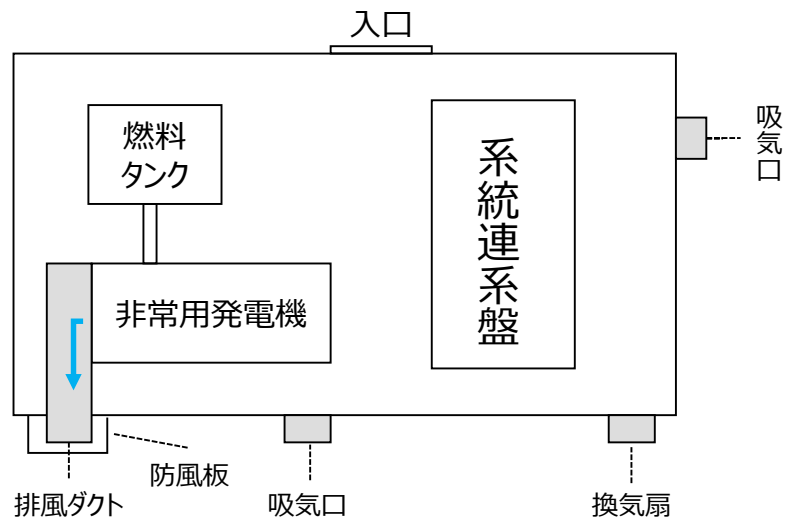
非常用発電機停止の原因は、非常用発電機の冷却ファン排風口（防風板の上下）に暴風が直接吹付けたことにより冷却空気の屋外への排気が困難となり、ラジエターの冷却機能が低下し、冷却水温度上昇により非常用発電機が停止したものと推定。

9. 復旧方法

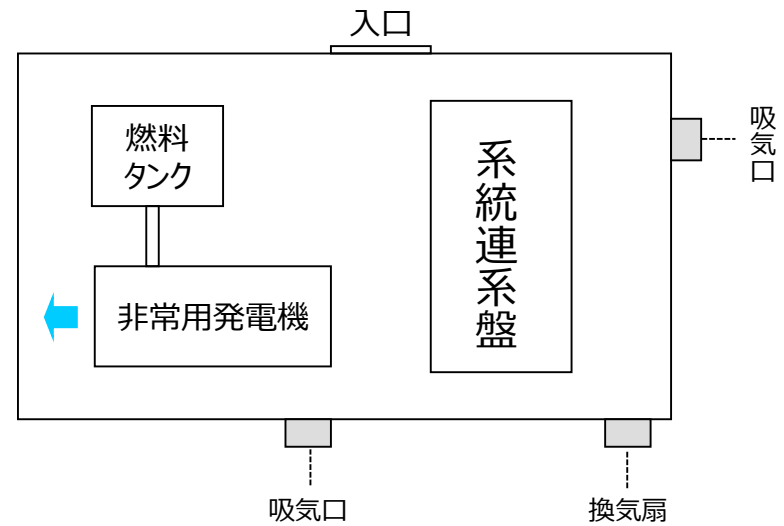
ブレードの修理による復旧は可能ではあるが、輸送と修理による費用を踏まえるとコスト高となることや、工期も長期間となることが想定されるため、ブレード取替えにより復旧する（平成31年5月～6月予定）。

10. 再発防止対策（対策案）

冷却ファン排風口に暴風が直接吹付けることがないように屋内排気方式とすることで、再発防止を図る。



【現状】

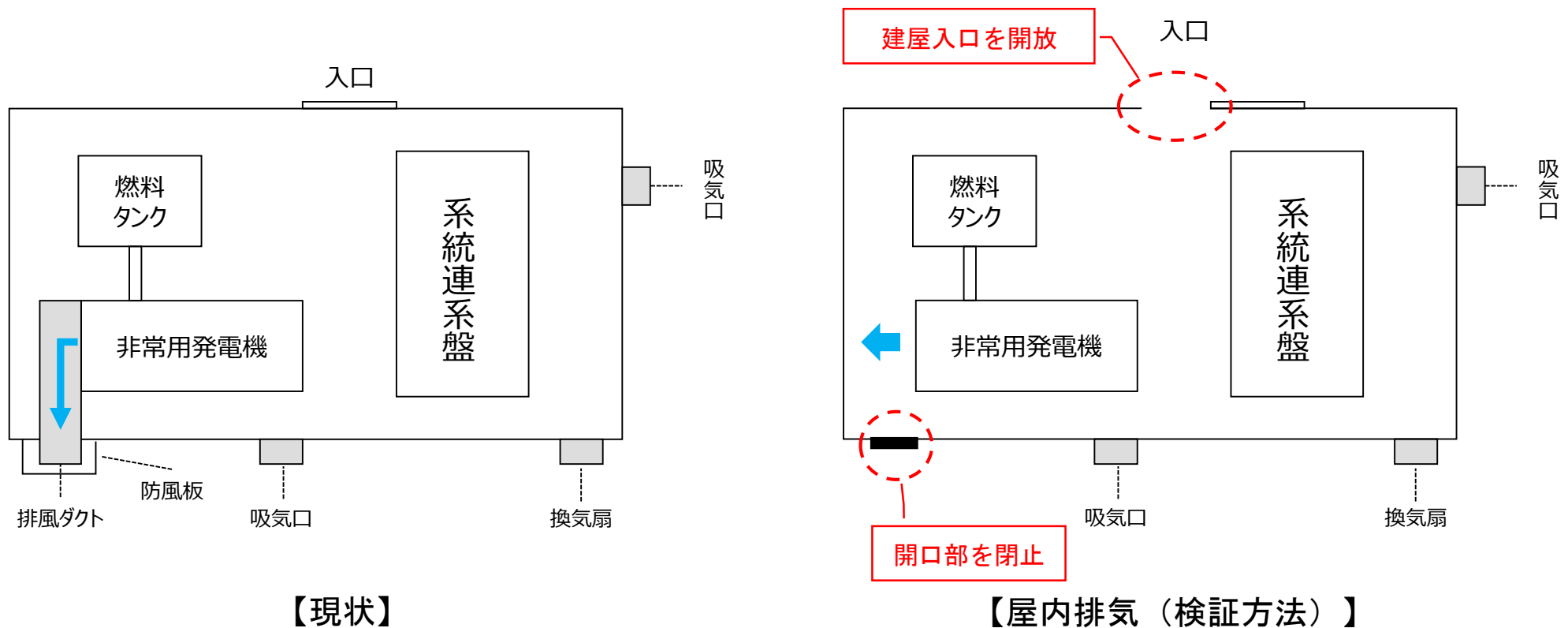


【屋内排気方式】

10. 再発防止対策（屋内排気による検証-検証方法）

平成31年3月22日に、楚洲風力発電所の実機を使用し非常用発電機の排風ダクト及び防風板を撤去し、屋内排気による検証を実施した。

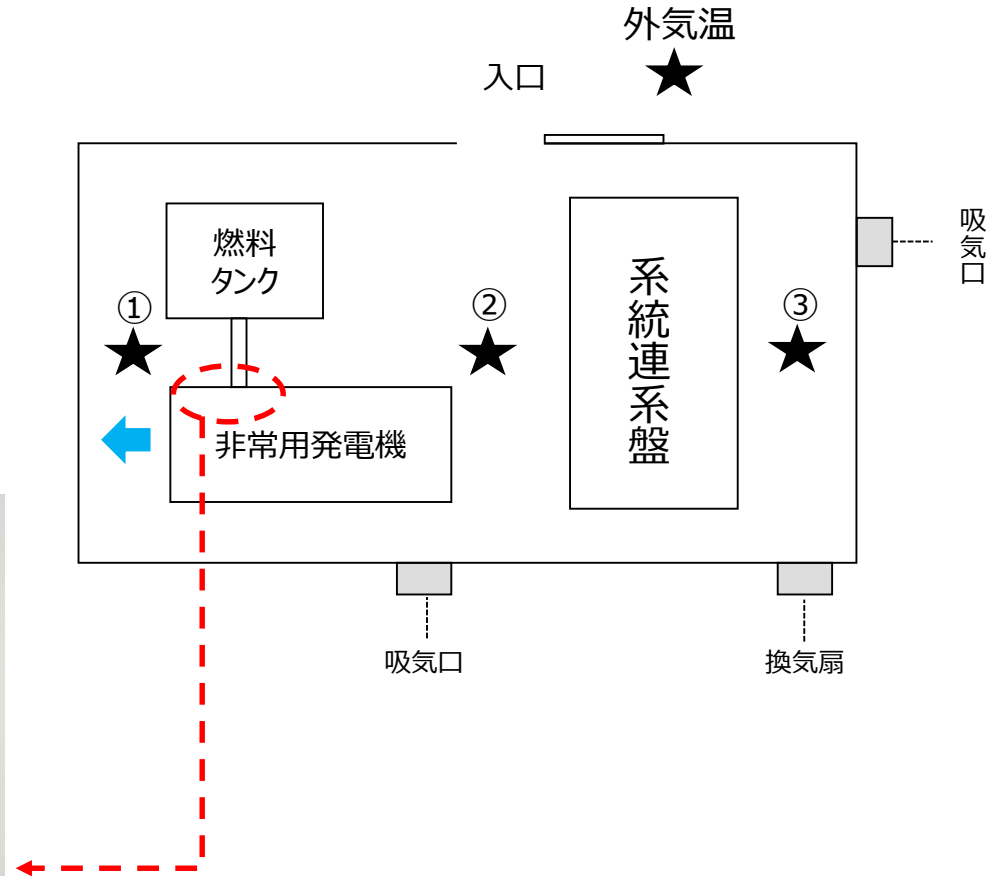
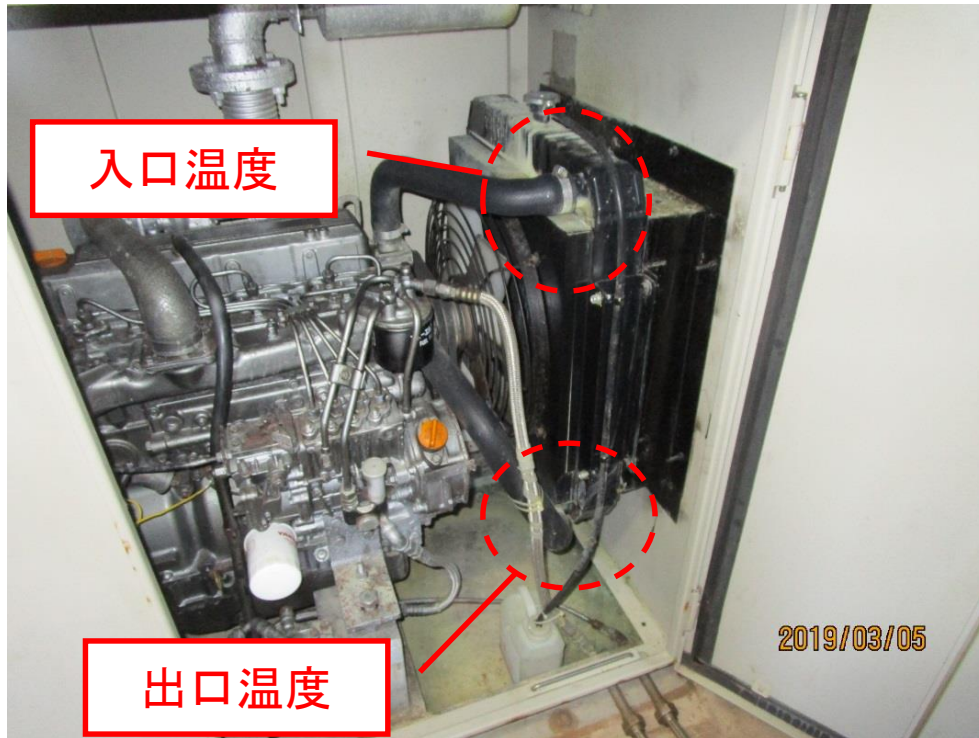
検証実施にあたっては、撤去した排風ダクトの開口部を閉止し、吸排気口として建屋入口を開放状態とした。



10. 再発防止対策（屋内排気による検証-取得データ）

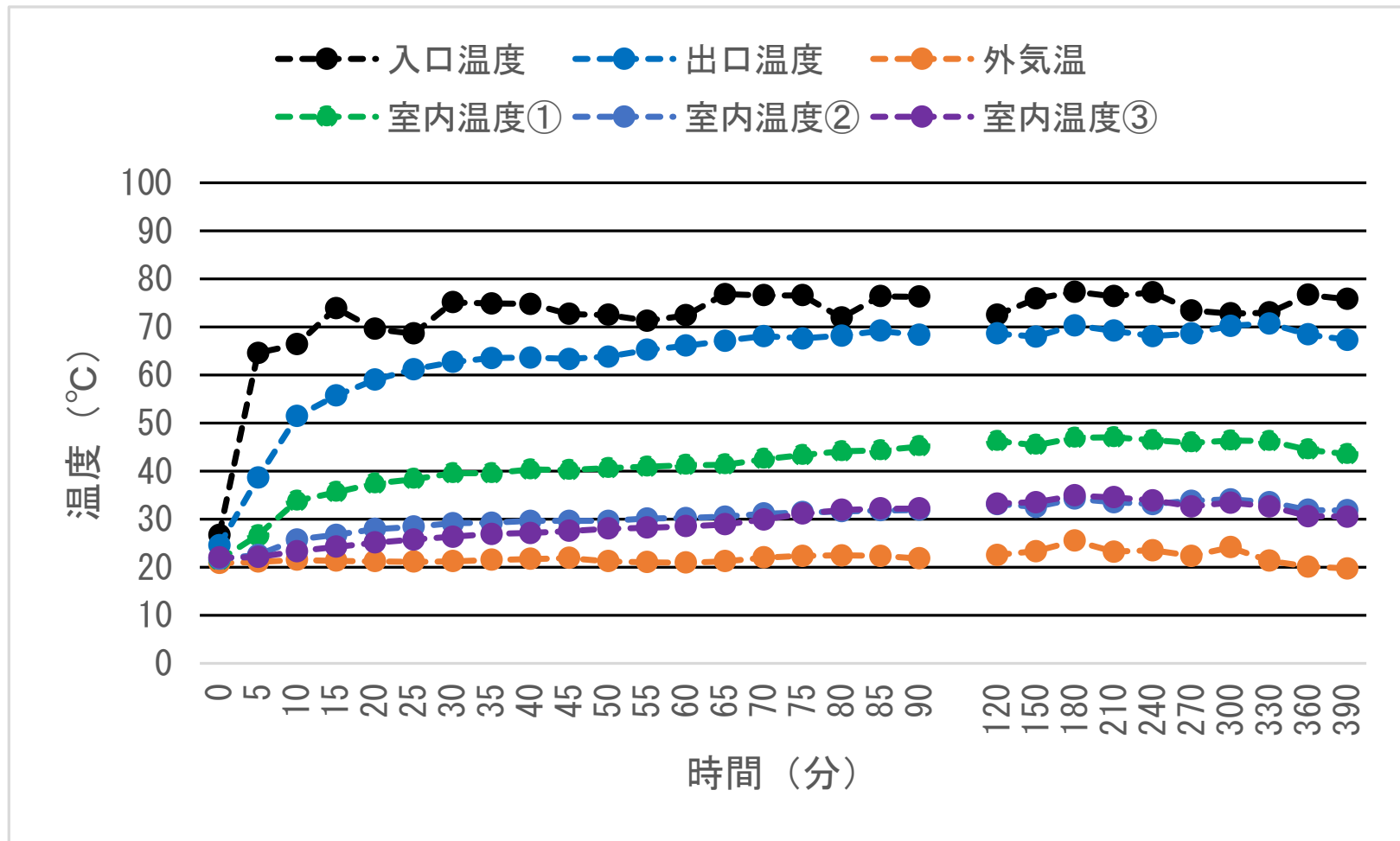
<取得データ>

- ・ラジエターの入口温度
- ・ラジエターの出口温度
- ・室内温度①～③
- ・外気温



10. 再発防止対策（屋内排気による検証-検証結果）

検証の結果、下図に示すとおりラジエターの入口温度は上限値である105℃に達することなく約75℃～77℃で飽和することや、室内温度も約30℃～47℃で飽和することを確認した。



10. 再発防止対策（まとめ）

検証の結果、屋内排気方式においてもラジエターの入口温度は上限値である105℃に達することなく80℃以下で飽和することや室内温度も50℃以下で飽和し、連続運転が可能であることを確認したため、非常用発電機の排気方式を現行の屋外排気方式から屋内排気方式とする。

これにより、台風通過時に系統が停電した場合でも非常用発電機から風車のヨ一制御電源が確保され、常に正面からの風を受けるフェザリング状態とすることで、再発防止対策とする（非常用発電機から供給される電源は最大約50時間程度（11. 参考資料（非常用発電機の連続運転可能時間）参照））。

ただし、台風は通過する経路によって、あらゆる方向からの暴風が想定されるため、電気室建屋の四方に新たな吸気口・排気口を設け、この対策が暴風時において十分な効果があるのかについて引き続き確認する。

また、再発防止対策実施後に屋内排気による連続運転（約1日程度）の確認試験を行い、ラジエターの入口温度が80℃程度であることや室内温度が50℃程度であることを確認する。

加えて、風車のヨ一制御電源の確保だけではなく、ヨ一制御に必要な様々な制御機能（検出器・制御装置・風向・風速計等）についても、メーカーの点検要領に従った定期点検で確認するとともに、台風通過後の点検でも異常がないか確認し、異常が確認された場合は速やかに取替えを行うとともに予備品の確保を行う。

以上のように、台風通過時に系統が停電した場合でも非常用発電機から風車のヨ一制御電源を確保することで常に正面からの風を受ける状態とし、ヨ一制御に必要な様々な制御機能の維持管理を行うことで、極値風速である85m/s前後の風荷重を受けてもブレードにクラックが発生することを防止する。

1 1 . 参考資料（非常用発電機の連続運転可能時間）

①非常用発電機仕様から算定

- ・ 燃料消費量 = 20.5L/h（100%負荷時）
- ・ 燃料タンク = 490L

$$\begin{aligned}\langle \text{連続運転可能時間} \rangle &= 490\text{L} \div 20.5\text{L/h} \\ &= 23.9\text{h} \\ &\rightarrow \text{約24時間の連続運転が可能}\end{aligned}$$

②運用実績から算定（今回の台風24号通過時の実績）

- ・ 非常用発電機運転時間 = 5.1h
- ・ 非常用発電機が運転した時間で使用された燃料 = 50L
- ・ 燃料消費量 = $50\text{L} \div 5.1\text{h} = 9.8\text{L/h}$
- ・ 燃料タンク = 490L

$$\begin{aligned}\langle \text{連続運転可能時間} \rangle &= 490\text{L} \div 9.8\text{L/h} \\ &= 50\text{h} \\ &\rightarrow \text{約50時間の連続運転が可能}\end{aligned}$$