

ナセルカバーの脱落原因の推定、再発防止策の検討について、現状の進捗状況を以下に報告する。また再発防止策の設計条件と承認手順について、提案する。

1. 事故状況の推定

(1) ナセルカバー被害状況

表1 台風16号によるナセルカバーの被害状況

	1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号	8号	9号	10号
根占	上脱	上損	上脱	上損	上損	上脱	地上置	上脱	上損	上脱
佐多	ラ脱	上脱	無	無	無	無	ラ脱	ラ脱	上脱	無

上脱：可動式上カバー脱落、ラ脱：ラジエーターカバー脱落、上損：上カバー損傷、無：被害なし

(2) 事故当時の風速

ナセル風速計のデータから事故当時の風速は40~45m/s（10分平均）と推定される。（前回報告通り）

(3) 事故当時の風車の状況

台風通過中も、非常用電源により風車のヨー制御は動作する設計であったが、台風通過後の点検記録によると、根占5号は非常用発電機が停止していた。佐多2号、佐多8号は、非常用発電機は稼動していたが、風車側のエラーによりヨー制御が停止していた。

(4) 風車の状況

- ナセルカバーの形状、構造については、実測により確認済み

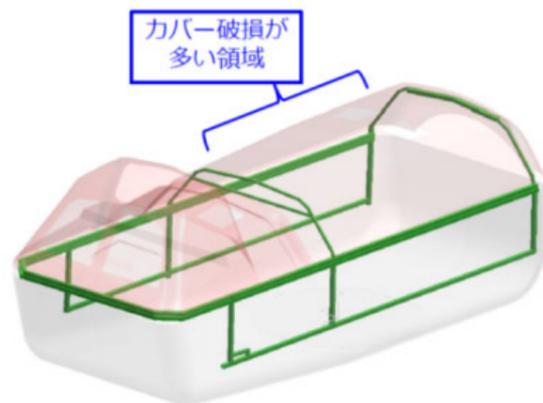


図1 既設ナセルカバー構造

- FRPの強度は、材料試験により確認済み。同等の厚さを持つ試作品と強度を比較した結果、事故品は曲げ強度が低いことが確認された。
- フレームとFRPの接合に、強度的な問題があった可能性が高い。

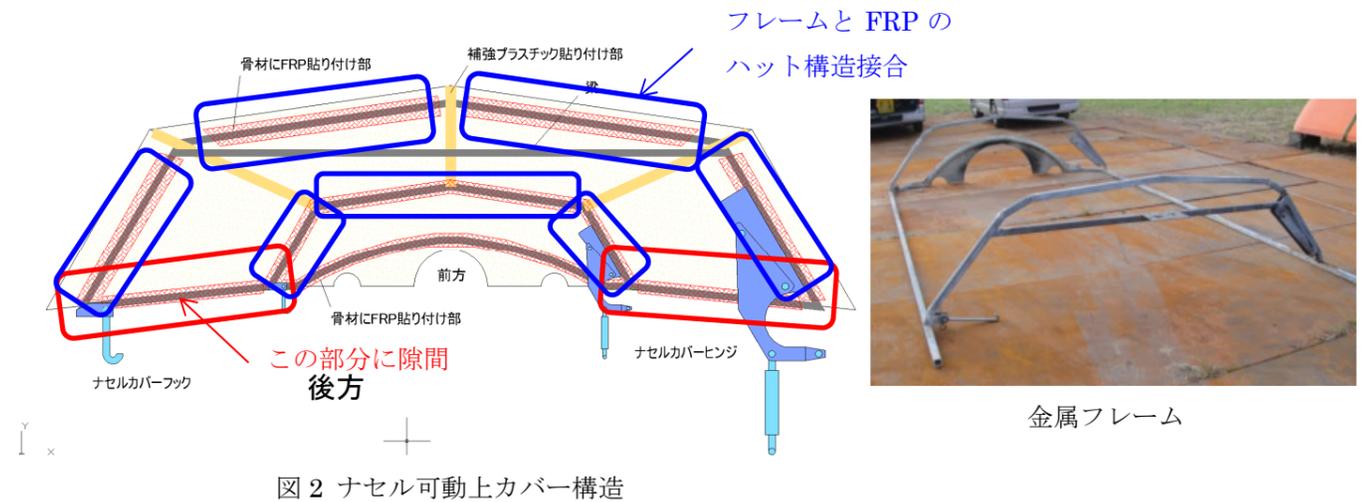
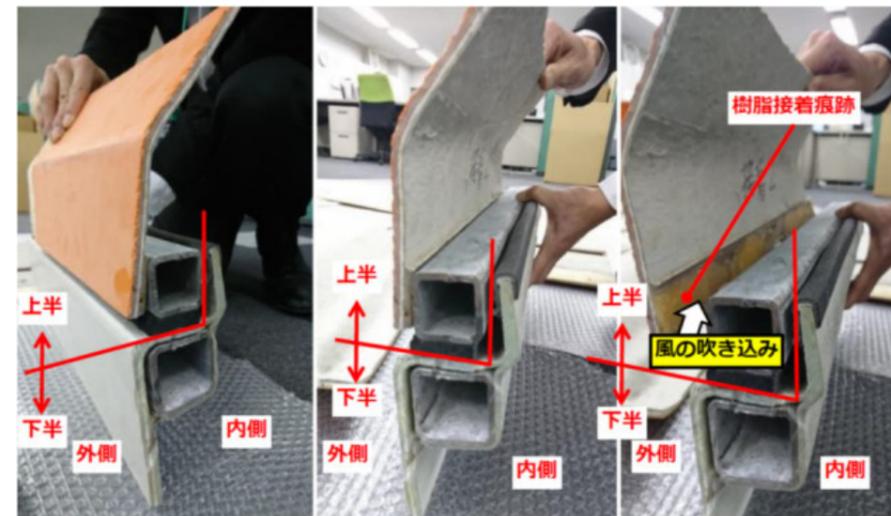


図2 ナセル可動上カバー構造



FRPと金属フレームが接着剤で直接されていた部分が剥離しており、隙間部分から風が吹き込む構造となっていた。

図3 上カバー下端部の隙間

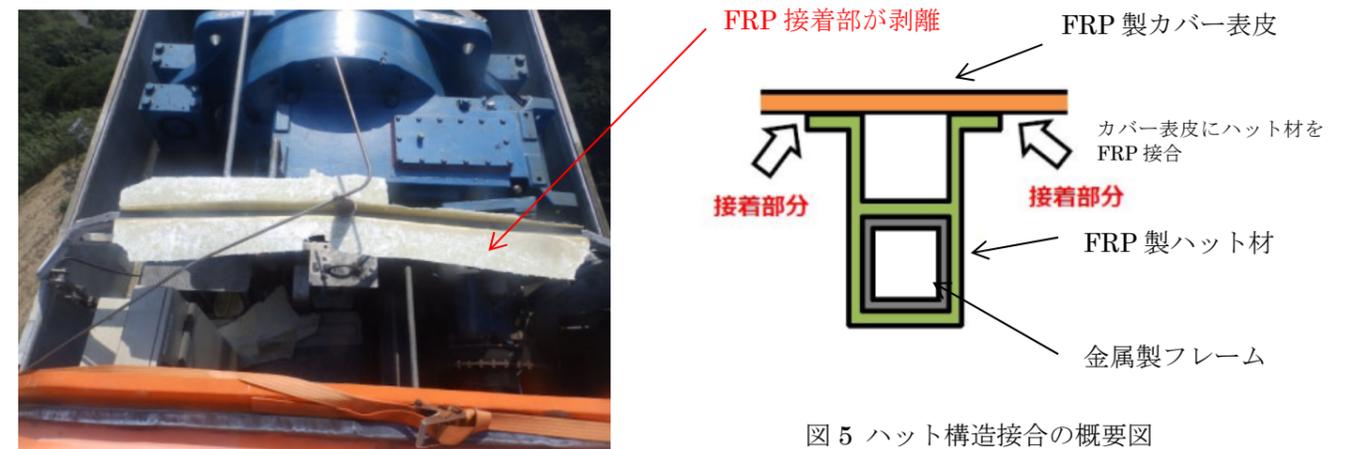


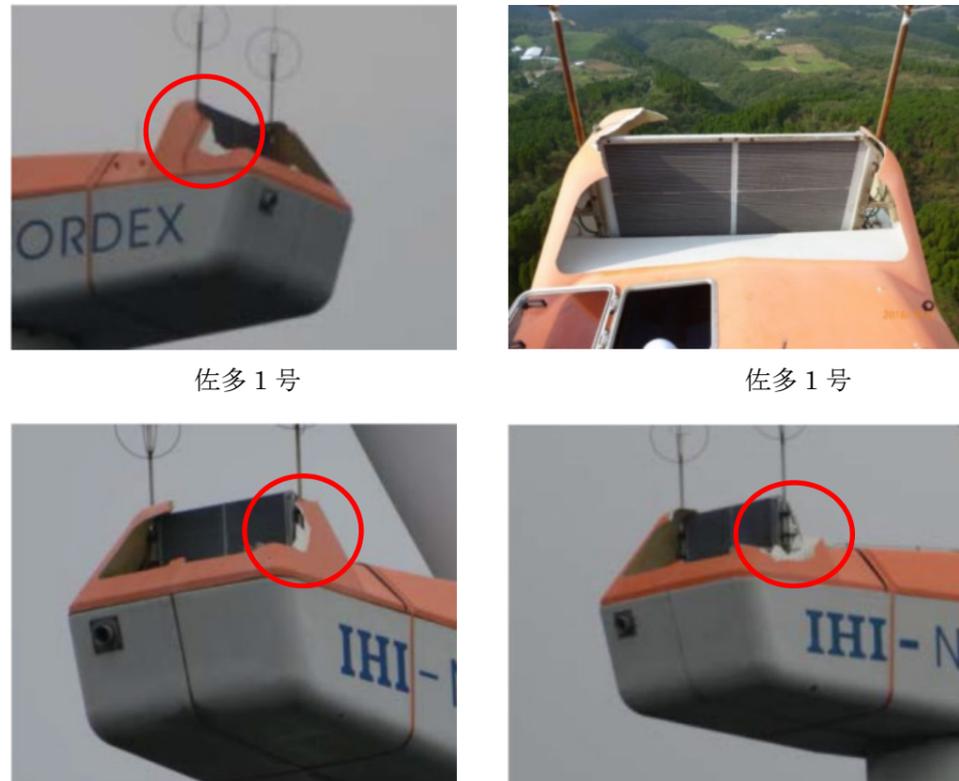
図5 ハット構造接合の概要図



図4 ハット構造接合の剥離例（写真は根占4号脱落時のもの）

- ラジエター部の FRP カバーは、側面はフレームに固定されていたが、上部にはフレームとの固定箇所がなく、その部分から引きちぎられた様子。またカバーの側面部には、FRP 板材の剥離も確認されている。ラジエター部の損傷の原因として、以下の可能性が考えられる。

- ①上部に FRP とラジエターフレームとの固定箇所がなかったこと
- ②側面のフレーム固定強度が不足していたこと
- ③FRP 表皮の強度が不足しており、剥離したこと



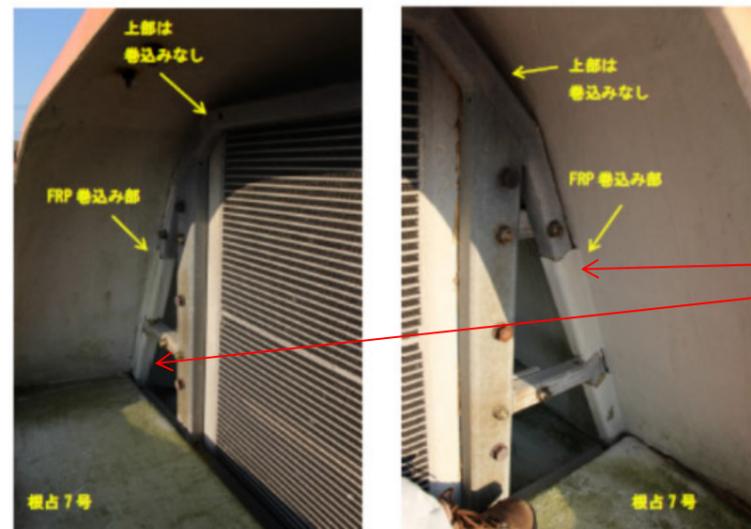
佐多1号

佐多1号

佐多7号

佐多8号

図6 ラジエター部の損傷状況 ○部は FRP 剥離部



FRP の固定は
この部分のみ

図7 ラジエター部の構造 (根占7号)

2. 解析による事故の再現

現在、解析による事故の再現を試みている。その概要を以下に示す。

- 3D 計測と材料試験の結果から、寸法や構造強度を再現したナセルモデルに事故時の風 (45m/s @10 分値) を作用させる。(0° および 90°)
- FRP 各部の荷重および接合部の荷重を確認する。
- 下端部の FRP 接着有無で、荷重の移動を確認する。(下図にて、下端部の接着が無くなることで、○部にカバーとフレームの間の荷重が移動し、○部で接着破壊強度を超える可能性あり。)

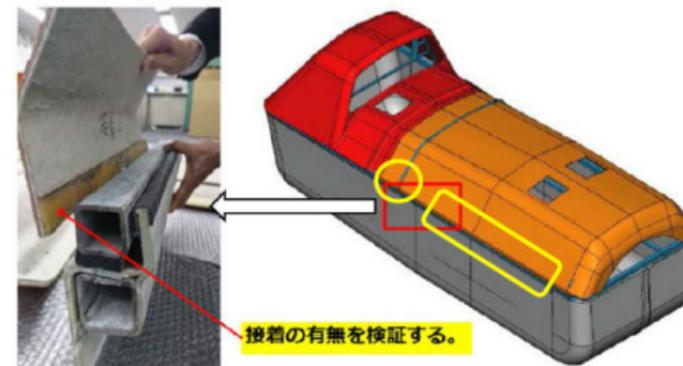
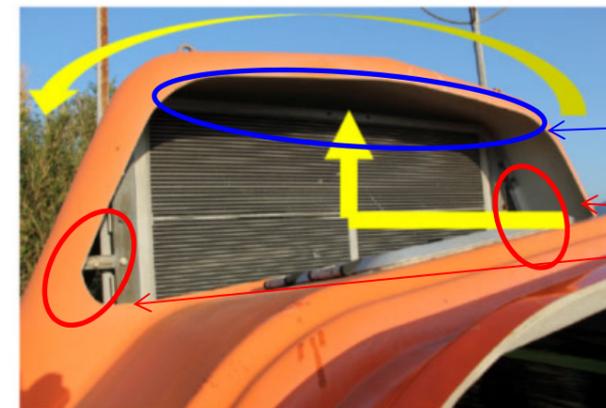


図8 荷重移動の検証

- ラジエター部は、外側通過風による負圧と内側の吹き上げ (正圧) の合成で、上部 FRP とフレームとの接合部、FRP 表皮に許容値を越える力が働くことを確認する。



FRP はハット構造接合により、フレームに固定

図9 ラジエター部の検証

3. 再発防止対策の設計

(1) 構造部補強対策案

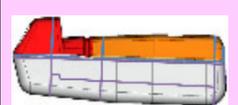
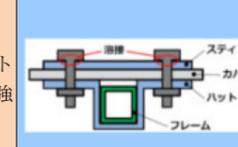
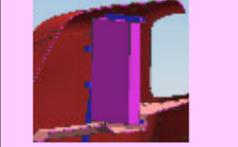
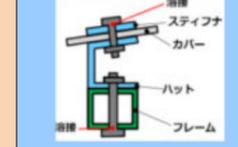
今回カバーが飛散しなかったものを含めて、全 19 台の上部カバーを再製作する。下部カバーは今回損傷を受けていないことから、構造解析で問題がなければ流用する。

表2 ナセルカバー補強方針

種別	現状	仮補修	恒久対策
ナセルカバーが飛散したもの (表1の「上脱」、「ラ脱」)	カバー脱落により停止、雨水侵入、防水養生中	→	2017年の台風時期前に上部カバーを再製作し取付け
ナセルカバーが飛散しなかったもの (表1の「上損」、「無」)	「上損」風車は、軽補修し待機、「無」風車は暫定運転中	→	2017年の台風時期前に現状のナセルカバーにて、FRP と金属フレームの接合部分を強化

表3は現在検討している対策案の例である。今回問題となったFRPと金属フレームの構造は、表3に記載したボルト締結による方法に加えて、FRPを金属フレームに巻き込み、フレームと固定する巻き込み強化策についても検討中である。具体的な対策は、現在実施している構造解析の検討結果を踏まえて、今後決定する。

表3 ナセルカバー補強案の例（現在検討しているものの一例）

部位	従来	仮補修案	恒久対策案
① 上半フレーム	 3本縦フレーム構造	----- 従来と同じ	 2本追加し5本フレーム構造
② フレームハット断面	 樹脂ハットでの接着	 スタッドボルト締結による補強	 金属ハットでのボルト締結
③ ラジエーター上部	 1本フレームで上部カバーとの締結なし	----- 従来と同じ	 上部カバーとのボルト締結
④ 上下半合せ部 上半側フレーム	 片面接着	 セルフタップネジ固定による補強	 ボルトでの締結
⑤ 上下半クランプ	 片側3箇所	----- 従来と同じ	 片側4箇所(1箇所追加)
⑥ ラッシングベルト	 2本	 4本による補強	 なし

FRPは、チョップドストランドマット材とロービングクロス材の積層構造を、ポルエステル樹脂で硬化するものとする。具体的な厚みや積層数は、構造解析の結果決定する。製法はハンドレイアップ工法。

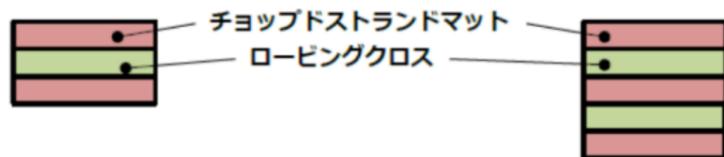


図10 FRP 積層構造

チョップドストランドマット：ガラス繊維をランダムに分散させて均一な厚みに積層し、ポリエステル結合剤によりシート状に成形したもの。強度の方向性が少なく、FRP成型品に広く用いられる。

ロービングクロス：たて糸及びよこ糸にガラス繊維をより合わせたロービングを用いて製作したもの。強度を要求される船やタンクなど大型FRP成型品に用いられる。

ハンドレイアップ工法：FRPを型に当てて成型し、人手によって樹脂をハケやローラーで含浸させ、脱泡しながら所定の厚さまで積層する成形法。複雑な形状の成型に向いており、船舶や大型FRP製品に用いられる。

(2) 構造強度の照査方法

a) 風条件の評価

ナセルカバーの設計（仮補修および恒久対策）で考慮する風条件は、以下の通りとする。

ハブ高さ H=60m、基準風速 V₀=40m/s

	粗度区分 II
設計風速 V _{ref}	52.2m/s
ガストファクター	1.4
極値風速 V _{e50}	73.1m/s
高さ z _g	350m
べき指数 α	0.15

- ・設計風速 V_{ref}=1.7×(H/z_g)^α×V₀
- ・極値風速 V_{e50}=1.4×V_{ref}

b) 風荷重の検討

ナセルカバーの再発防止策の設計で考慮する DLC は以下とする。

- ・DLC6.1 待機中の暴風
(極値風速 V_{e50} 73.1m/s、安全率 1.35 (全方位)) (今回台風通過時にヨーが停止した風車があったことから、ナセルカバーの強度は全方位に対して、DLC6.1 を満たすこととする)
- ・DLC7.1 待機中の故障発生
(極値風速 V_{e1} 58.5m/s) 安全率 1.1 (全方位))

c) 風圧係数の設定

- ナセルの風荷重は、風洞実験から求められた風圧係数（「Wind tunnel test on mean wind forces and peak pressures acting on wind turbine nacelles」 Wind Energy[2012]）、CFD による計算結果、建築基準法を参考に、適切に設定する。
- ナセル内圧は、土木学会指針に従い、外部が負圧の時には風圧係数 0.5、外部が正圧の時には風圧係数-0.5 を考慮する。

d) 製作品の性能検証

- FRP 工程管理（材料管理、温度管理等）を適切に行うことで、所要性能を確保する。
- 材料については、FRP のサンプル試験、フレームの硬さ試験にて性能を確認し、設計に反映する。

e) 設計検証

構造解析結果および再発防止策については、専門家会議で審議し、承認を得ることとする。

4. 補修工程（案）

現在想定されるナセルカバーの製作、補修工程は以下の通りである。（4月以降の工程は、再発防止策について、3月末に専門家会議の承認を得た場合の想定スケジュール）

	2017年									備考
	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月		
新カバー設計	[Bar]									
仮補修設計	[Bar]									
専門家会議			★ 再発防止策承認							
仮補修工事			[Bar]							
新カバー製作			今回飛散分	[Bar]		仮補修対象機	[Bar]			今回飛散分 上カバー-7台 ラジエーターカバー-3台 仮補修対象機9台
新カバー輸送					[Bar]					
新カバー交換						[Bar]				仮補修機のカバー交換は、 2018年6月までに実施

以上