

輪島風力発電所 2号機 ナセルカバーの一部落下 事故報告（最終報告）

1. 輪島風力発電所とナセルカバーの一部落下の事故概要

(1) 発電所の概要

- 所在地：石川県輪島市房田町三蛇1番4（2号機：標高364m）
- 定格出力：3,000kW（600kW×5基）
- 運転開始：H14年4月（石川県が建設）
H22年4月1日 北陸電力㈱が石川県から譲受

(2) 風力発電設備の概要

- 製造者：NEG-Micon（現 Vestas）
- 種類：水平軸プロペラ式固定翼型、アップウインド式
- 出力：600/150kW（極数切替方式） ・回転数：22.2/14.8rpm
- ロータ直径：48.2m ・ハブ中心高さ：50m

(3) 事故の概要

a. 事故発見の経緯

- H28年4月1日 配電線作業で全号機停止
ナセルは南向きで停止（ヨー制御は行っていない）
- H28年4月11日 復旧操作時、変電設備不具合発生（以降全号機停止）
- H28年4月12日 日常巡視点検（異常なし）
- H28年4月17日 低気圧が日本海を通過（南～南西向きの暴風）
- H28年4月18日 暴風後の特別巡視実施
ナセルカバーの一部落下【写真1】を発見（15:40）

b. 電気工作物の被害の程度

- 2号機ナセルカバーの一部が脱落し、構外へ落下（公衆被害・他物破損なし）

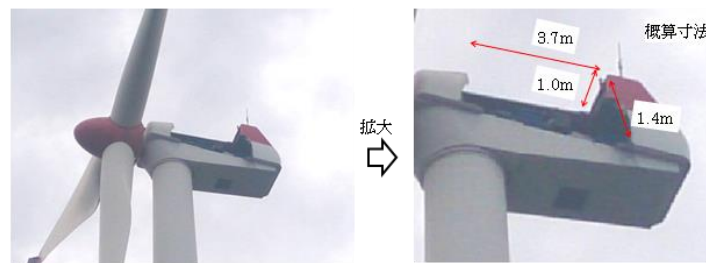


写真1 ナセルカバー脱落状況



図1 発電所位置図

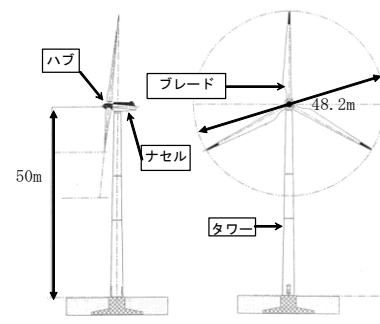


図2 風車外形図

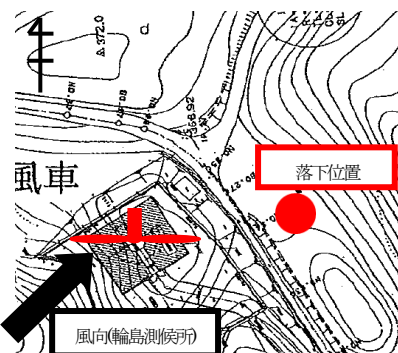


図3 ナセルカバー落下位置

2. 調査の結果と事故の原因

(1) 落下したナセルハッチの状況

a. 落下したナセルカバーとロック機構

ナセルハッチは前後2ヶ所のロック機構で開かないようにロックされている。落下したナセルカバーを調査した結果、前方側のロックピン（受金具側）破断【写真7、8】、ロック金具取付部FRPは損傷なし【写真6】、後方側のロックピン（受金具側）は変形【写真9】、ロック金具取付部FRPの割れが確認された。【写真5】

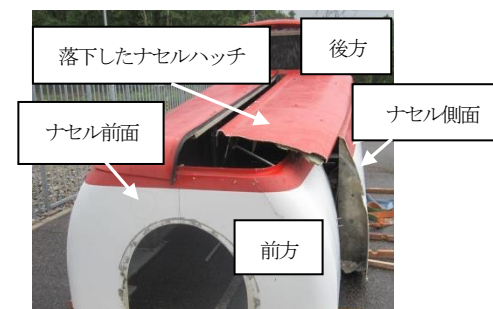


写真2 ナセルハッチ（全体）

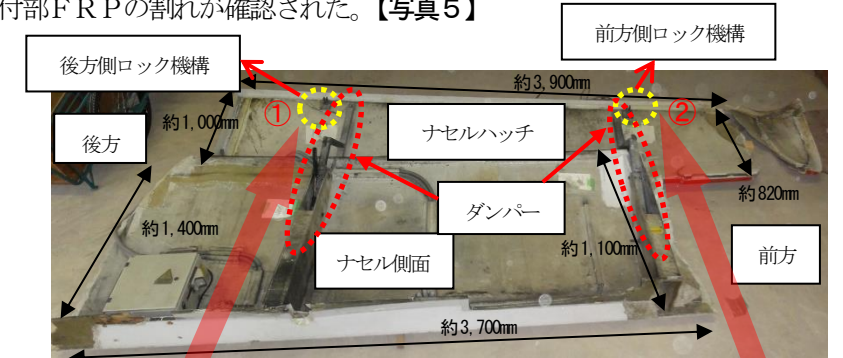


写真3 落下したナセルカバー（全体）

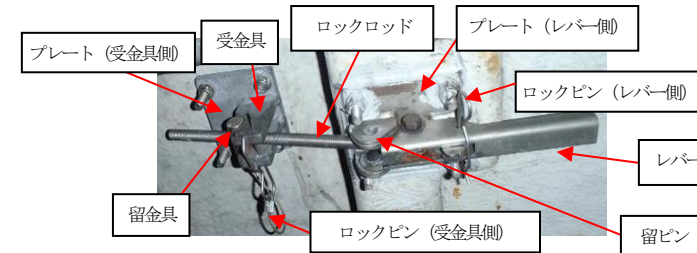


写真4 ナセルハッチロック機構

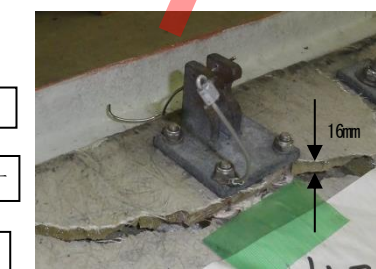


写真5 ①部拡大 ロッド受金具側（後方側）

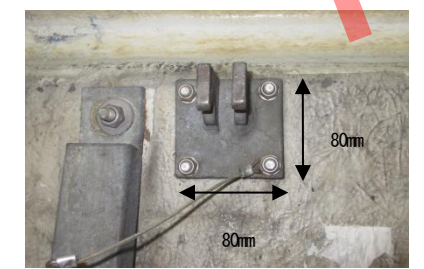


写真6 ②部拡大 ロッド受金具側（前方側）



写真7 前方側ロックピン（受金具側）

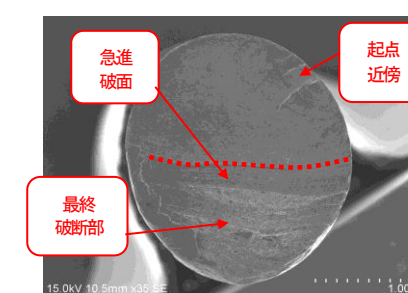


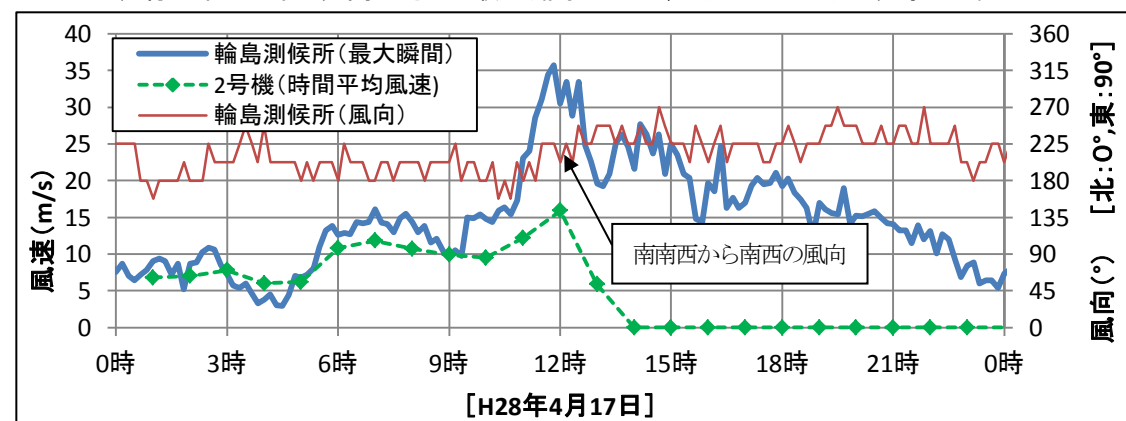
写真8 前方側ロックピンの破断面



写真9 後方側ロックピン（受金具側）

(4) 事故発生時の風況

- 4月17日12時頃に輪島測候所で最大瞬間風速35.7m/s以上の風速を観測。【グラフ1】
- 12時過ぎから2号機の風速計データが欠落している。（ナセルカバー落下によりデータ欠落発生したものと想定）
- これらから、停止中の風車に、南西向きの最大瞬間風速30m/s以上の風が吹き、事故が発生したものと想定される。



グラフ1 4月17日の風向・風速

b. ロックロッドの摩耗状況

ロックピンが破断した前方側ロック機構部を調査した結果、ロックロッドは溝状に2.6mm摩耗【写真10】していた。また、ロックピン穴も下方方向に摩耗【写真11】していたことから、ロックロッドにロックピンが押し付けられ、ロックロッドが摩耗し、ロックピンが嵌る程の摩耗溝が形成されたものと推定する。【写真12】

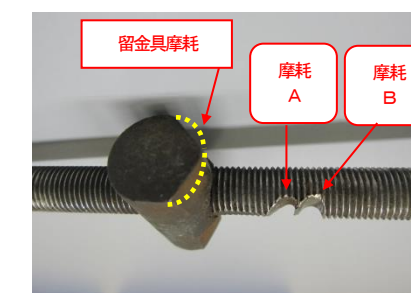


写真10 ロックロッドの摩耗状況



写真11 受金具摩耗の状況



写真12 摩耗溝へのロックピン嵌り状況

c. ナセルハッチの状況

ナセルハッチ前方が落ち込んでいることが確認できた。【写真13】なお、落ち込み量はパッキン跡の汚れから約50mmであることが確認できた。【写真14, 写真15】



写真13 ナセルハッチ落ち込み状況



写真14 ナセルハッチが落ち込んだ状態

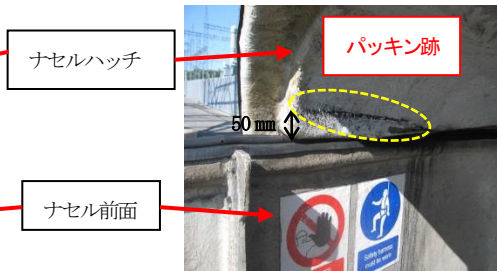


写真15 ナセルハッチが落ち込んでいない状態

(2) 正常状態におけるナセルハッチロック機構部の強度検討

後方側ロック機構部のロック金具取付部のFRPが割れているため、ロック機構部の強度を検討する。

ナセルハッチ破損状況を確認すると、後方側ロック機構部において、ロック金具取付部のFRPが割れているのに対し、ロック金具自体は破損していないため、ロック金具自体の強度はFRPの強度よりも強いと判断できる。すなわち、ロック機構部の弱点部はFRP取付部であるため、FRP取付部の強度を検証する。

a. ナセルハッチに作用する風荷重

ナセルハッチには、風の流れの剥離により負圧が生じる。この時、ナセルハッチに作用する力を図4に示す。

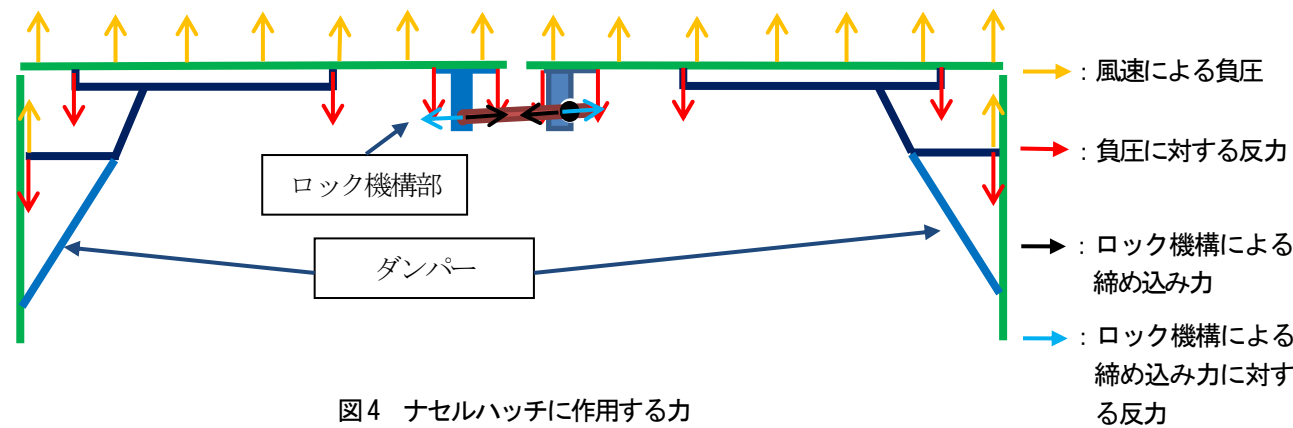


図4 ナセルハッチに作用する力

(a) ナセルの設計風速における速度圧

$$q = \frac{1}{2} \rho U_n^2$$

ρ : 空気密度 (1.22 kg/m³) U_n : 風速 (10分平均) (40.8 m/s (メーカー設計諸元))

$$q = \frac{1}{2} \times 1.22 \times 40.8^2 \approx 1,016 \text{ N/m}^2$$

(b) ナセルハッチに作用するピーク風圧係数 \hat{C}_C

\hat{C}_{pe} の値	領域
-3.0	a_1 $0.25W_n$
-4.0	b_1 $0.3L_n$
-4.4	b_2 $0.1L_n$
-5.8	

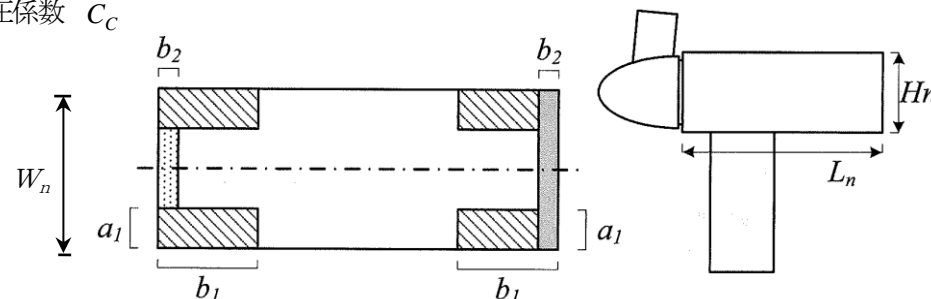


図5 ナセル上面に作用する負のピーク外圧係数 (土木学会：風力発電設備支持物構造設計 指針・同解説 2010年版, P.94)

図5では負のピーク外圧係数は-3.0~-5.8であり、平均すると-3.6となる。ナセルの内圧変動の効果を表す係数は $C_{pi} = 0.5$ (土木学会：風力発電設備支持物構造設計 指針・同解説, P95より)であり、ピーク風圧係数 \hat{C}_C は、 $\hat{C}_C = \hat{C}_{pe} - \hat{C}_{pi} = -3.6 - 0.5 = -4.1$ となる。

(c) ナセルへの風荷重 W_c

ナセルハッチの面積 (上面全体) A は、 $A = 3.9 \times (2.0 + 1.64) / 2 \approx 7.1 \text{ m}^2$

$$W_c = A q \hat{C}_C = 7.1 \times 1,016 \times (-4.1) \approx -29,576 \text{ N}$$

よって、設計風速時には、ナセルハッチに、29,576Nの風荷重が作用する。

b. ロック機構部のFRPにかかる力

落下したナセルカバーの後方側ロッド受金具部【写真5】では、周辺のFRPが割れており、風荷重を受けた際の弱点部は、ロック機構金具が取り付けられている部分のFRPである。

前方および後方のロック機構部にはプレートが4枚あり、全ての風荷重をプレートで支えるとした場合、プレート1枚当たりが受け持つ風荷重 W_r は、最大でナセルハッチに作用する風荷重の1/4であり、

$$W_r = W_c / 4 \approx 7,394 \text{ N}$$

この時のロック機構部のFRPにかかる応力は、 $\text{応力} = W_r / (80 \times 16) \approx 5.8 \text{ N/mm}^2$ である。

c. FRPの強度

ナセルハッチのFRP強度を確認するために、2号機の落下しなかったナセルハッチを切り出し、曲げ応力測定を実施した。試料については、FRPの繊維方向を考慮し、縦横5試料づつとした。

表1の測定結果から、平均で29.3 N/mm²、最小で20.8 N/mm²であることがわかる。

FRPの機械特性は、せん断応力=曲げ応力×(0.3~0.8程度:機械工学便覧より)であり、せん断応力=20.8×(0.3~0.8)≈6.2~16.6 N/mm²となる。

試料	破断時の応力 (N/mm ²)
縦1	26.5
縦2	27.0
縦3	39.2
縦4	27.8
縦5	30.8
横1	20.8
横2	33.6
横3	25.7
横4	25.1
横5	36.3
平均値	29.3

d. 結論

FRP応力 (6.2 N/mm²) > 風荷重による応力 (5.8 N/mm²) となり、前方および後方のロック機構が共に正常な状態では、FRPが破断することはない。即ちロック機構部の強度には問題ない。

(3) 事故発生メカニズム

破損したナセルハッチの状況、および前方後方のロック機構部が正常であればロック機構の強度に問題ないことから、事故発生メカニズムは以下のように推定できる。

a. 建設当初ナセルハッチ (レバー側) は、ナセル前面壁上の正しい位置に乗っていた。【図6】

b. ナセルハッチ (レバー側) の歪み等により、ナセルハッチ前方部が落ち込んだ。落ち込みにより、前方側のロックロッドとロックピンが接触状態となった。【図7】

c. 受金具とレバー側のナセルハッチに隙間が生じたため、ロックロッド留金具を調整(125mm→117mm)した。【図8】

d. ナセルの振動等により、ロックロッド (ロックピンの接触部) が溝状の摩耗 (摩耗A) となった。【写真10】

硬度 (mHV) は、ロックピンは485、ロックロッドは311であった。硬度差によりロックロッド側が著しく摩耗 (溝形状) した。

e. 摩耗進展によりナセルハッチは再度落ち込み、ナセルハッチ間に隙間が生じたため再度留金具を調整(117mm→112mm)した。ナセルの振動等により、ロックロッドが溝状の摩耗 (摩耗B) となった。【写真10】

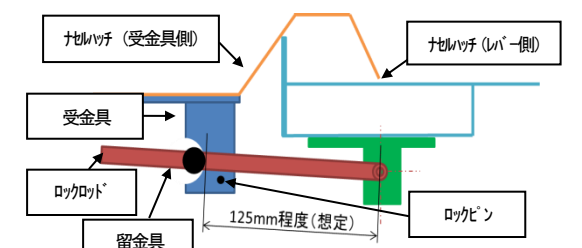


図6 建設当初

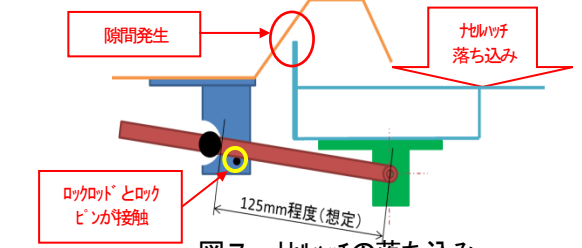


図7 ナセルハッチの落ち込み

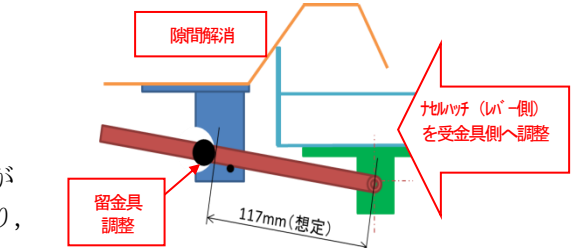


図8 ロックロッド調整後

定常的にロックロッドの摩擦溝にロックピンが嵌り、ナセルの振動によりロックピンに繰返し応力が加わる状態となった。【図9】

f. 疲労限界に達したロックピンが破断した。【写真7, 8】

g. 暴風によるナセルの振動等により、前方側ロックロッドが受金具から外れた。【図10】

h. 風速による負圧により、ナセルハッチの前方部が開き、ナセルハッチ内面が正圧の風荷重を受けた。【図12】

i. 後方側ロック機構部に過大な応力が作用し、ロッド受金具周辺のFRPが割れた。

j. 後方側ロックロッドが受金具から外れ、更に正圧の風荷重を受けた。

k. ナセルカバー側面が割れ、カバーの破損に至った。

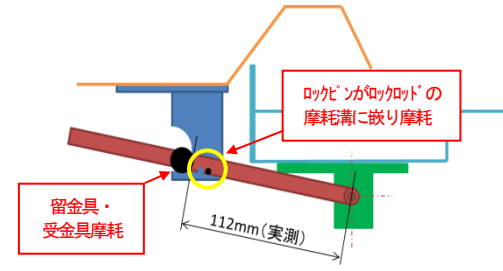


図9 ナセル破損前

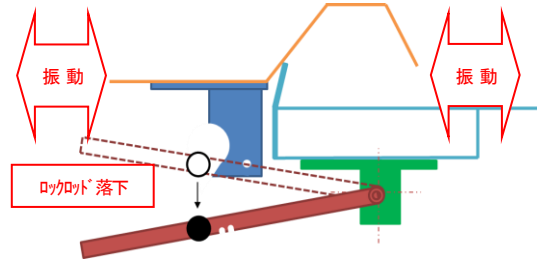


図10 ロックロッド脱落

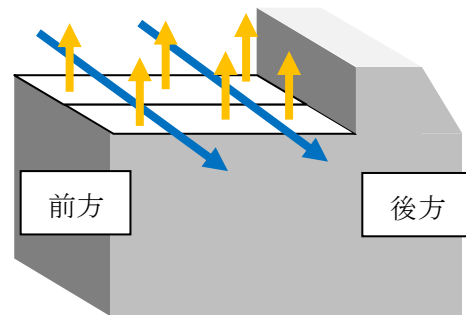


図11 ナセルハッチへの負圧

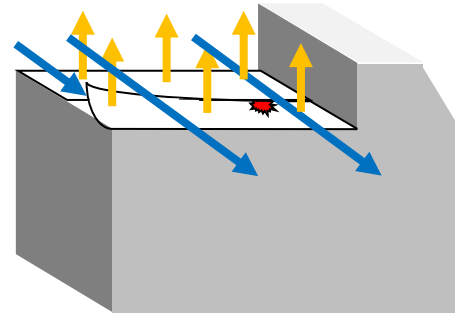


図12 ナセルハッチ前方「開」

(4) 原因

根本原因はナセルハッチが落ち込んだことであり、ナセルハッチの落ち込みに起因し、ロックロッドが受金具から外れたため、事故に至ったものと判断している。

3. 再発防止対策

(1) ナセルハッチ落ち込み防止対策および評価

a. ナセルハッチ落ち込み防止対策の調査

対策はナセルハッチ落ち込み防止であるが、既に実施済みのナセルもあり、各号機について落ち込み防止対策の状況・ロックロッドとロックピンとの関係・ロックロッドの摩耗量について調査を行った。結果を表2に示す。

表2 各号機の状況 (単位:mm)

号機	ナセルハッチ 落ち込み防止対策	位置	ロックロッド留金具と留ピン間の長さ	ロックロッドとロックピンの隙間	ナセルハッチ落ち込み時		ロックロッド摩耗量(深さ)
					落ち込み量	ロックロッドとロックピンの隙間減少量	
1号	未実施	前方	147	2.5	3.0	2	0
		後方	157	2		0.5	
2号	未実施	前方	112	不明	5.0	6 (接触)	2.6
		後方	152	不明		1	
3号	ナセルハッチ受部にFRP接着	前方	172	5.5	0	なし	0
		後方	172	4			
4号	ナセルハッチ受部にFRP接着	前方	162	5.5	0	なし	0
		後方	172	4.5			
5号	ナセルハッチ受部にLアングル取付	前方	172	3	0	なし	0
		後方	177	4.5			

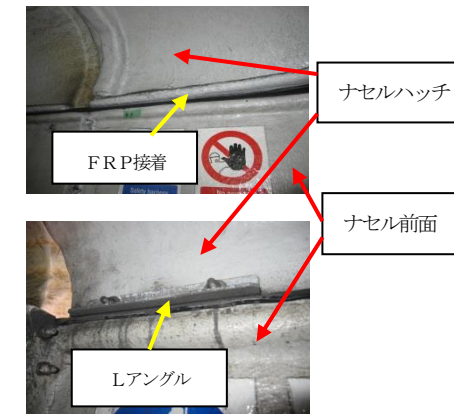


写真16 落ち込み防止対策

- ・落ち込み防止対策が無い場合、正常位置にあるナセルハッチが、歪み等により落ち込み、元には戻らない。
- ・落ち込み防止対策がある場合、歪み等により前方に動いても、落ち込み防止対策部がナセル前面と接し、ナセルハッチは落ち込まない。
- ・ナセルハッチ落ち込み量が同じであれば、ロックロッド留金具と留ピン間の長さが短い方が、ロックロッドとロックピンの隙間減少量が大きくなることから分かる。よって2号機は、ナセルハッチ落ち込み量が50mmと大きく、ロックロッド留金具と留ピン間の長さが112mmと他号機より短いため、ロックロッドとロックピンが接触し、ロックピンが破断したものと考えられる。

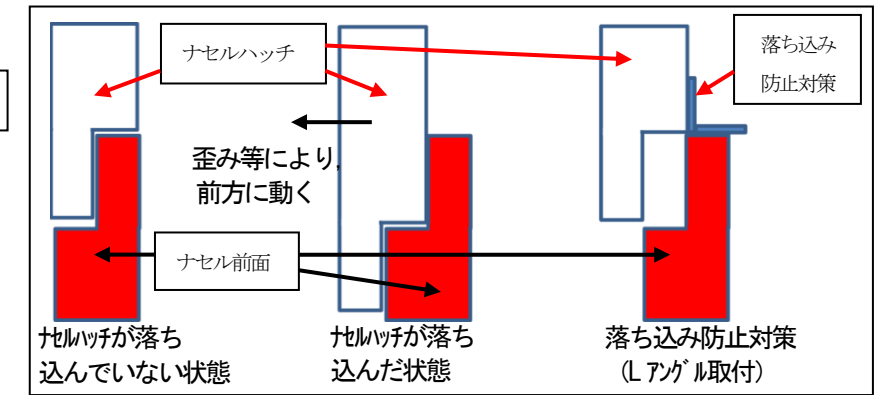


図13 落ち込み防止対策模式図

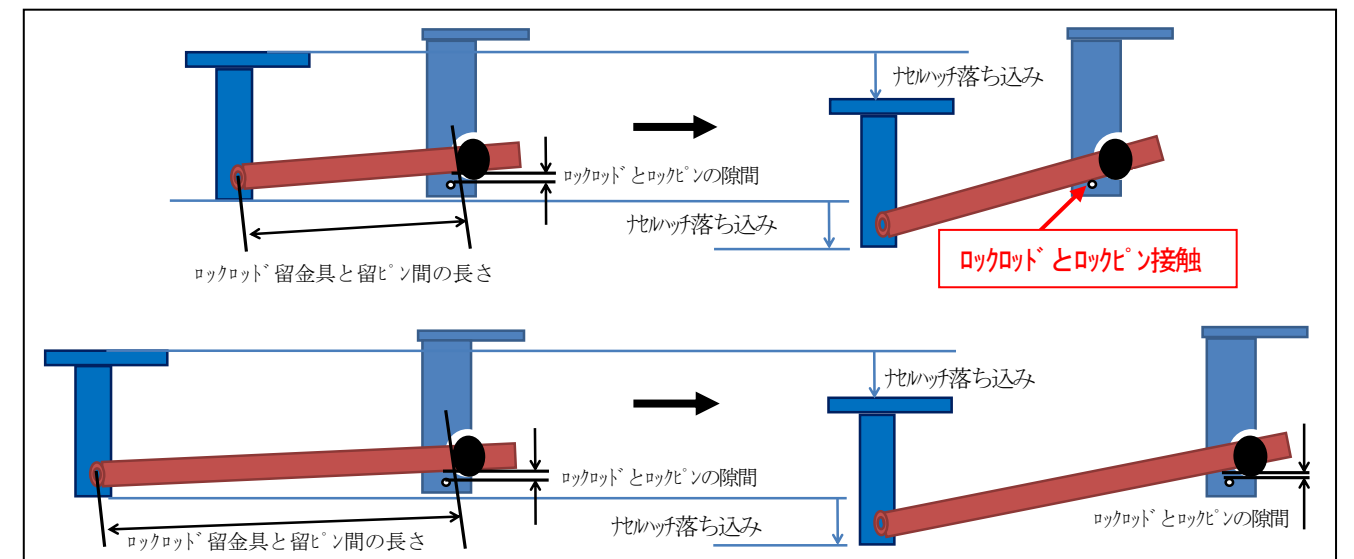


図14 ロック機構模式図

b. ナセルハッチ落ち込み防止対策の評価

3・4・5号機は落ち込み防止対策により、常にロックロッドとロックピンの隙間が3～5.5mm確保されている。1号機はナセルハッチが落ち込むとロックロッドとロックピンの隙間が0.5～2mm小さくなり、更に落ち込み量が拡大した場合、接触・摩擦に進展することも否定できない。1号機に落ち込み防止対策を施すと隙間を2～2.5mm確保できる。よって、この対策は有効であると評価している。

(2) 再発防止対策

再発防止対策は表3のようになる。

表3 再発防止対策

根本原因	対策	対象
ナセルハッチの落ち込み	ナセルハッチにLアングルを取り付け、落ち込みを防止する	1号機

- ・万一、想定外の原因によりロックピンが破断した場合に備え、ロックロッドが受金具から脱落しないように、ワイヤーでロックロッドを支持する対策を、1・3・4・5号機に念のため実施する。【図15】

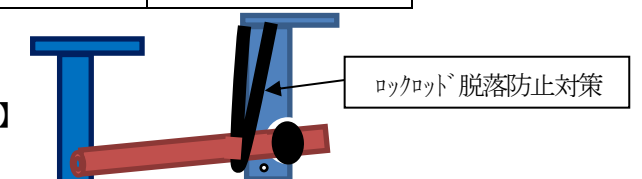


図15 ロックロッド支持対策模式図

(3) 点検項目の見直し

再発防止対策が機能していることを定期的に確認するため、日常巡視点検項目および半年・年次点検項目の見直しを実施し、事故の未然防止を図る。

a. 日常巡視

- ナセルハッチが落ち込んでいないこと、および落ち込んでいた場合はその量を測定する
 - ロックロッドとロックピンが接触していないことを確認する
- (a) 日常巡視チェックリスト (変更前)

点検箇所	点検項目	点検要領	結果	備考
ナセル内	全般	損傷、変形		
		浸水、雨漏り		
	接地線	端子緩み、破損、損傷		
	ナセルカバー	浸水、破損、損傷		
カバー開閉時のストッパー、ロック金具の状態				
以下省略				

(b) 日常巡視チェックリスト (変更後) 朱書き部:変更箇所

点検箇所	点検項目	点検要領	結果	備考
ナセル内	全般	損傷、変形		
		浸水、雨漏り		
	接地線	端子緩み、破損、損傷		
	ナセルカバー	浸水、破損、損傷		
		カバー開閉時のストッパー、ロック金具の状態		
		ナセルハッチ落ち込みの有無	無・有	有: 〇mm
	ロックロッドとロックピンの接触 (前側)	無・有		
	ロックロッドとロックピンの接触 (後側)	無・有		
以下省略				

b. 半年・年次点検

- ナセルハッチが落ち込んでいないこと、および落ち込んでいた場合はその量を測定する
 - ロックロッドの摩耗量・ロックロッドとロックピンの隙間測定の実施
- (a) 半年・年次点検チェックリスト (変更前)

No	点検箇所	点検内容	注記	周期		実施項目	判定	特記No
				半年	1年			
ナセルカバー								
1	ボルト:ナセルカバー/フレーム	トルクチェック・状態確認	80N-M12(19mm)		●			
2	その他のボルト	何ヶ所か点検			●			
3	ショックアブソーバー/フレーム	状態・傷・注油	オイルブレイ	●				
4	ショックアブソーバー	状態・傷・注油	オイルブレイ	●				
5	カバーロックレバー	状態・傷・注油	オイルブレイ	●				
6	カバーパッキン	固定状態・傷		●				
以下 省略								

(b) 半年・年次点検チェックリスト (変更後) 朱書き部:変更箇所 緑書き部:定期事業者検査制度導入に伴う追加箇所

No	点検箇所	点検内容	注記	周期		実施項目	判定	特記No
				半年	1年			
ナセルカバー								
1	ボルト:ナセルカバー/フレーム	トルクチェック・状態確認	80N-M12(19mm)		●			
		ナセルハッチ落ち込みの有無		●		無・有	有: 〇mm	
		損傷・変形 継ぎ目部分からの雨水浸入		●			雨水が異常に浸入していないか確認	
2	その他のボルト	何ヶ所か点検			●			
3	ショックアブソーバー/フレーム	状態・傷・注油	オイルブレイ	●				
4	ショックアブソーバー	状態・傷・注油	オイルブレイ	●				
5	カバーロックレバー	ロックレバーで緩みなくロック(触手)			●			
		状態・傷・注油	オイルブレイ	●				
		ロックロッドの摩耗量		●		—	前側: 深さ〇mm	
				●		—	後側: 深さ〇mm	
		ロックロッドとロックピンの隙間測定		●		—	前側: 〇mm	
				●		—	後側: 〇mm	
6	カバーパッキン	固定状態・傷		●				
以下 省略								

(参考) 引継時の実施内容

輪島風力発電所は、H22年4月に石川県から譲り受けた発電所であり、参考に引継時に実施した内容を以下に記す。

(1) 設備の確認

- 固定資産台帳と現物設備の照合
- 引継前に行った修理結果等の確認

(2) 保安に必要な書類の確認 (引継図書リストに基づき書類を確認)

- 図面、シーケンス
- 工事記録、改修履歴、巡視記録、点検記録、トラブル対応記録
- 運転要領、保守要領

(3) 設備の検査 (使用前自主検査相当の引継時検査を実施し、技術基準適合性等を確認)

- 外観検査
- 使用前自主検査記録の確認

(4) 同行巡視

- 日常巡視に同行し、巡視方法を確認

(5) 引継書類におけるロック機構の良否に関する情報の有無

- 巡視記録
巡視チェックリストに確認項目として「ロックレバーの確認」を設定しておらず、一般的な「外観確認」の中で確認 異常の記載無し
- 点検記録
点検項目として「カバーロックレバー」が設定されているが、全て結果「良」
- 修理歴・トラブル対応記録
記載なし
- 懸案事項等としての記載
記載なし

以上