

ユーラス釜石広域ウインドファーム 6 号風車ブレード破損事故（最終報告概要）

1. ユーラス釜石広域ウインドファーム（釜石 WF）と事故の概要

(1) サイトの概要

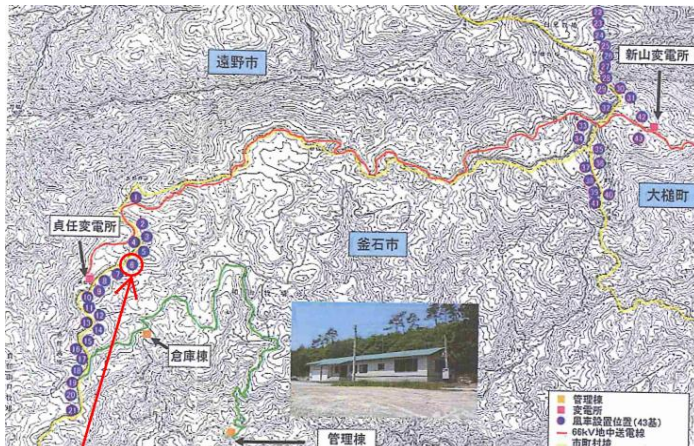
- ・ 所 在 地：岩手県釜石市橋野町、遠野市土淵町柵内及び上閉伊郡大槌町小槌・金澤地内
- ・ 定格出力：42,900kW(1,000kW×42 基+900kW×1 基)
- ・ 運転開始：2004 年 12 月 1 日

(2) 風力発電設備の概要

- ・ 風車：MWT-1000A(三菱重工業(株)製)
- ・ 出力：1,000/250kW(極数切換え方式)
- ・ ロータ回転数：19.8/13.2rpm
- ・ ロータ：直径 61.4m、取付位置 地上 68m

(3) 事故の概要

- ・ 日 時：2014 年 11 月 15 日(土)12 時 22 分
(事業所長が現地確認し、ブレード破損事故と判断したのは同日 14 時 50 分)
- ・ 状 況：6 号風車にて過回転が発生し、ブレードが破損



6 号風車

図 1 釜石 WF 風車位置

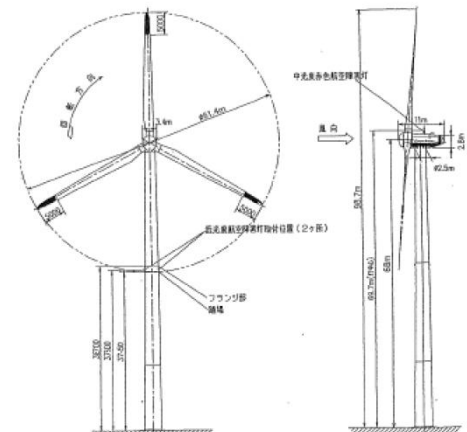


図 2 風車外形図

2. 事故状況

(1) 気象状況

- 気候：曇り時々雪
- 風速：20m/s 前後(事故発生時の 6 号風車風速計では 10m/s 前後であったが、他号風車のピッチ角と風速の関係から、実際には 20m/s 前後であった。)
- 落雷：無し(ユーラス監視センターの落雷観測データより、2014 年 10 月 17 日以降に釜石 WF 近傍の落雷実績は無し。)

(2) 事故発生の経緯

- 事故発生の経緯は以下の通り。
 - ・ 12 時 22 分に貞任連系変電設備の遮断器 52F6(1 号～9 号風車が接続する遮断器)がトリップ(遮断)。
 - ↓
 - ・ 1 号～9 号風車が負荷遮断の状態。
 - ↓
 - ・ 本来は負荷遮断とともに翼ピッチがファインからフェザーに動作して自動停止するところ、6 号風車は翼ピッチが動作せず。(1～9 号風車のうち 6 号風車以外は、フェザーに移行して自動停止)
 - ↓
 - ・ 6 号風車にて過回転が発生。
 - ↓
 - ・ 6 号風車のブレードが破損。



(1) ブレード



(2) タワー



(3) ナセル

図 3 事故状況(2014 年 11 月 15 日撮影)

(3) 事故状況

- ①ブレード(図 3(1) 参照)
 - ・ 3 翼の根元が折れ曲がり、主桁と外皮が損傷。
 - ・ 1、2 翼の先端が損傷。
- ②タワー(図 3(2) 参照)
 - ・ 地上から 38m 付近に接触傷あり。
- ③ナセル(図 3(3) 参照)
 - ・ 損傷した 3 翼が干渉し、左舷前方側面に穴が開いた状況。
 - ・ ナセル上面の風向風速計も損傷。
- ④主軸ブレーキ
 - ・ 主軸ブレーキの動作形跡があり、ブレーキパッドが著しく摩耗。
- ⑤ブレード破片の飛散状況
 - ・ 6 号風車から東方向(風下側)にブレード破片が飛散。(ブレード破片は回収済み)
- ⑥人身事故、公衆事故、環境事故(漏油)
 - ・ 無し。

3. 事故時の運転状況

事故時のアラームログと運転データより、以下のことが確認された。

- ・ 12 時 22 分 54 秒に負荷遮断のため 6 号風車が停電となり、翼ピッチ指令角はフェザーを指令したが、翼ピッチ実角はファインのままであり、風車回転数が上昇(図 4_①)。
- ・ 同 55 秒に「過速度 115%」エラーが発生し、主軸ブレーキの動作指令が出たが、風車回転数は上昇(図 4_②)。
- ・ 同 23 分 05 秒に「風車振動大」エラーが発生(図 4_③)し、同 07 秒に「主軸ブレーキパッド摩耗」エラーが発生(図 4_④)した後、同 09 秒に発電機回転数が最大 4,380rpm となった(図 4_⑤)。
- ・ 同 10 秒より翼ピッチ実角がフェザーに移行し始め(図 4_⑥)、同 21 秒にフェザー位置になった。また、回転数も下降した(図 4_⑦)。

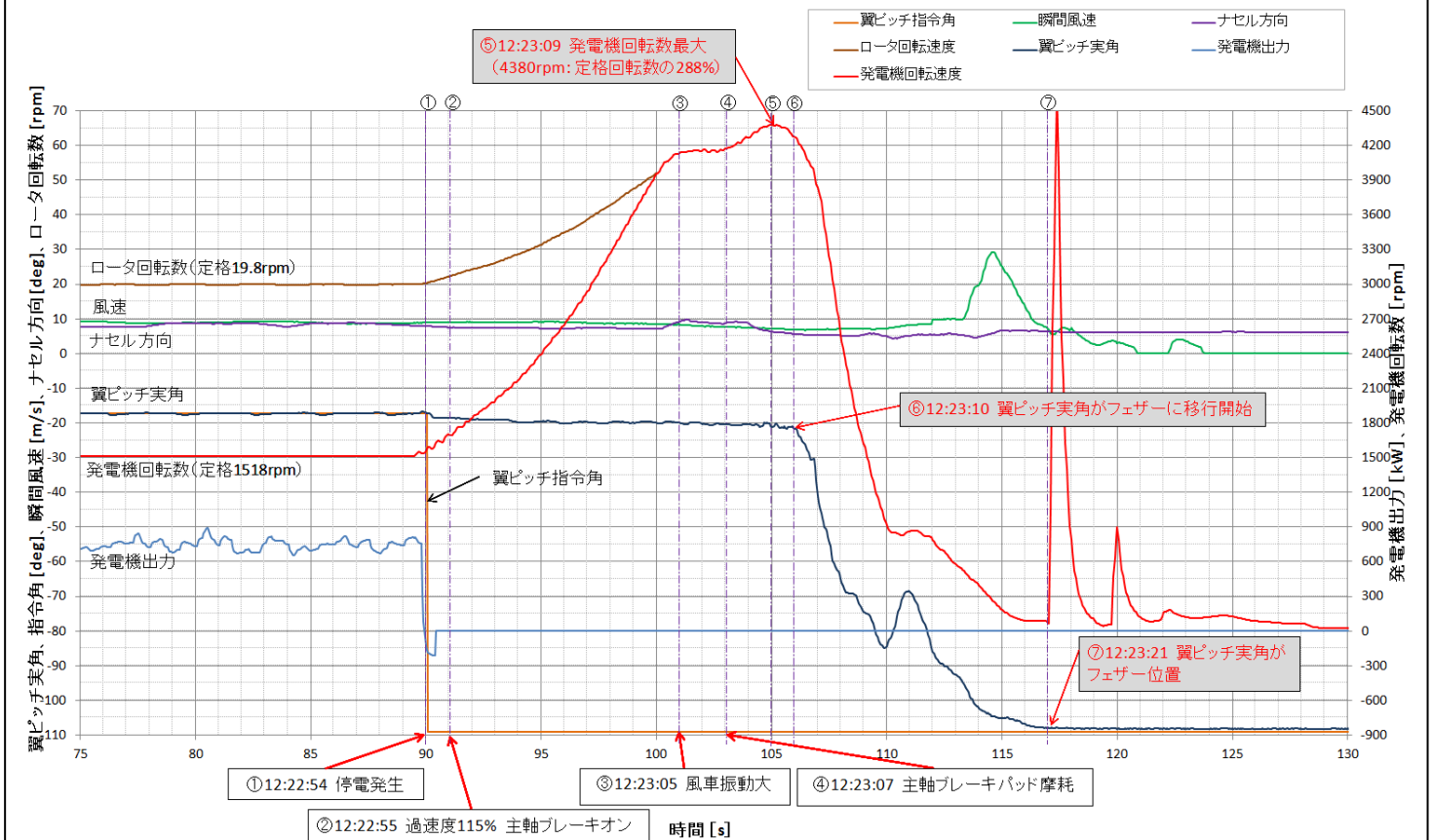


図 4 事故時の運転データ

4. 事故原因究明

4-1. 事故原因の究明方針

今回発生した事故をフローにすると図5の通りである。事故発生時には「風速計誤検出」と「翼ピッチ不動作」、「主軸ブレーキ制動不良」の三つの不具合事象が発生しており、これらが同時に発生した為に、ブレード破損に至ったと考えられた。「風速計誤検出」は、今回発生したフィーダトリップの原因ではあるが、フィーダトリップ自体は、電気設備を保護する正常動作であり、事故の直接原因ではない。従って、風車過回転に伴うブレード破損の原因と考えられる「翼ピッチ不動作」と「主軸ブレーキ制動不良」について調査する方針とした。

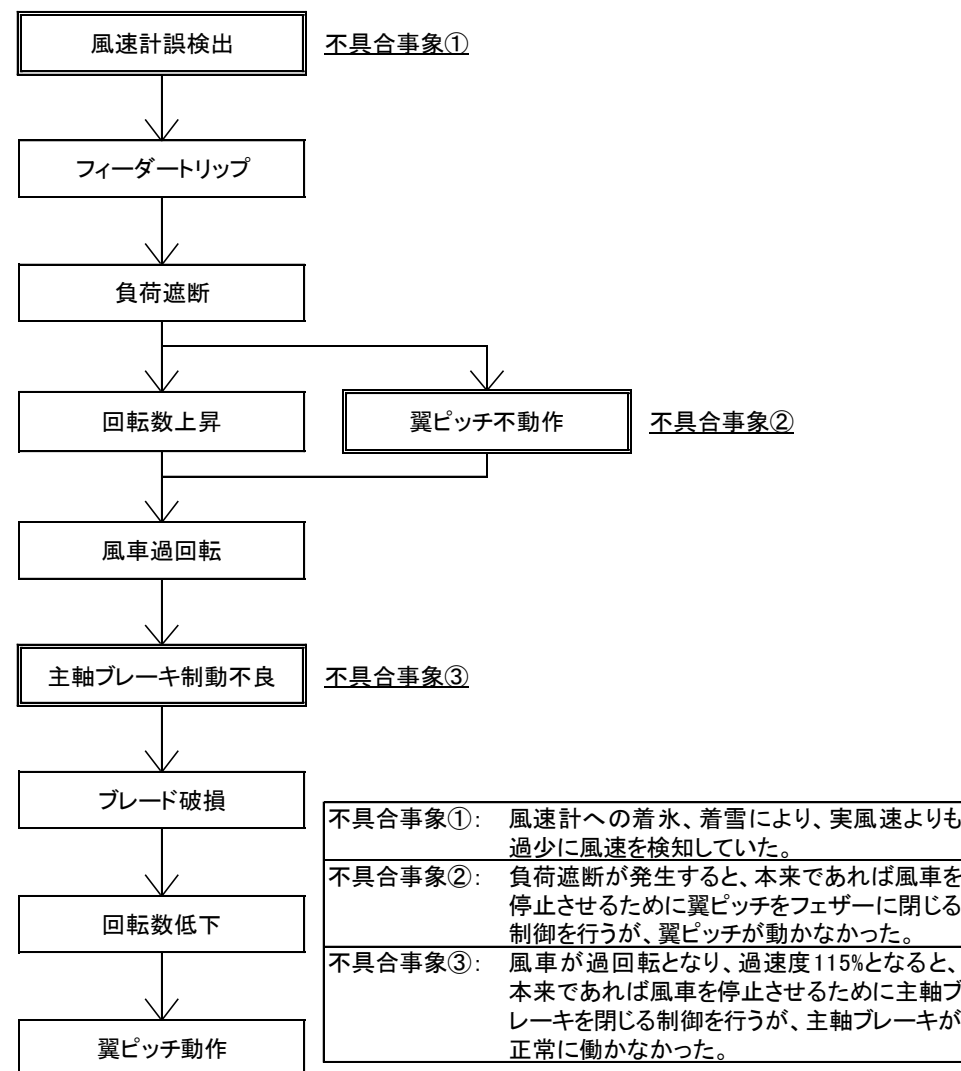


図5 事故発生時のフロー

4-2. 事実確認

(1) 翼ピッチ関連

(a) 翼ピッチ動作確認

ブレードを取り外した状態で翼ピッチ操作を行い、可能な限りゆっくり翼ピッチを動作させ、引っ掛かりがないか、引きずり音がしないか、部品の干渉で動きが阻害されないかを調査した。その結果、翼ピッチ動作に関連する部位（翼旋回輪軸受、ピッチシリンダー、リンク機構等）に異常はなかった。また、リンク機構を取り外した状態（3翼が独立して動かせる状態）でも同様の調査を3翼それぞれ実施したが、リンク機構を取り付けた状態及び3翼それぞれで違いが無かった。

(b) 翼ピッチ部品分解調査

取り外した翼旋回輪軸受及び翼ピッチ操作を行う電磁弁、パイロットチェック弁の分解調査を行った。この結果、軸受及び電磁弁、パイロットチェック弁内部に翼ピッチ不動作の原因となるような不具合はなかった。

(c) 翼旋回輪軸受グリス分析、制御油分析

取り外した翼旋回輪軸受内部のグリスを分析した結果、グリスは水分含有量が一般的には0.1wt%程度であるのに対して、10wt%と異常に多かった。制御油ユニットから取り出した制御油を分析した結果、油は清浄であり、油圧機器に不具合を生じるような異常はなかった。

(2) 主軸ブレーキ関連

(a) 主軸ブレーキの構造

主軸ブレーキのブレーキパッドは対になっており、一方が可動シューに、もう一方が固定シューに固定されており、可動シューは主軸ブレーキ本体内部の皿ばねの弾性力により動く仕組みとなっている。風車運転中の主軸ブレーキオフ時は、主軸ブレーキ本体内部に油圧が保持されており、ピストンにより皿ばねが締められ、可動シューが開いている。主軸ブレーキオン時は、油圧が抜けることで皿ばねの弾性力が働き、可動シューが閉じる構造となっている。

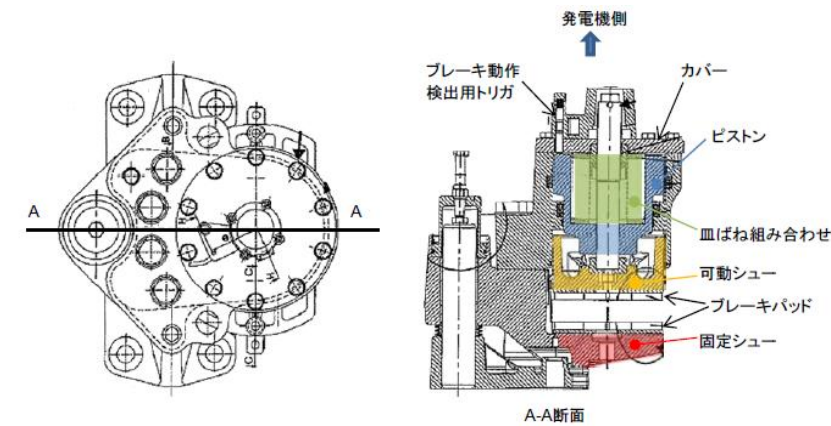


図6 主軸ブレーキ構造

(b) ブレーキパッド押しつけ力の調査

6号風車（事故機）及び8号風車（健全機）の主軸ブレーキブレーキパッドの押しつけ力を静的に測定した。ここで静的とは、ピストンストロークと油圧の関係を計測するために、ハンドポンプにより一度油圧をかけた状態から徐々に減圧した際の計測値とする。

この結果、6号風車と8号風車でピストンストロークが同じときの押しつけ力は同等であり、皿ばねのばね力自体には差異がないことが確認された。

また、上記調査の際に6号風車では主軸ブレーキオフ時に可動シューとピストンが離れる現象が確認された。この現象により、ピストンと可動シューの間に隙間がある状態で、後述するクリアランス調整を行った場合正確に調整できず、その結果、ピストンストロークが隙間分大きくなり、ばね力をロスすることによりブレーキパッドの押しつけ力が低下することが分かった。そのイメージを図7に、ピストンストロークと押しつけ力の関係を図8に示す。

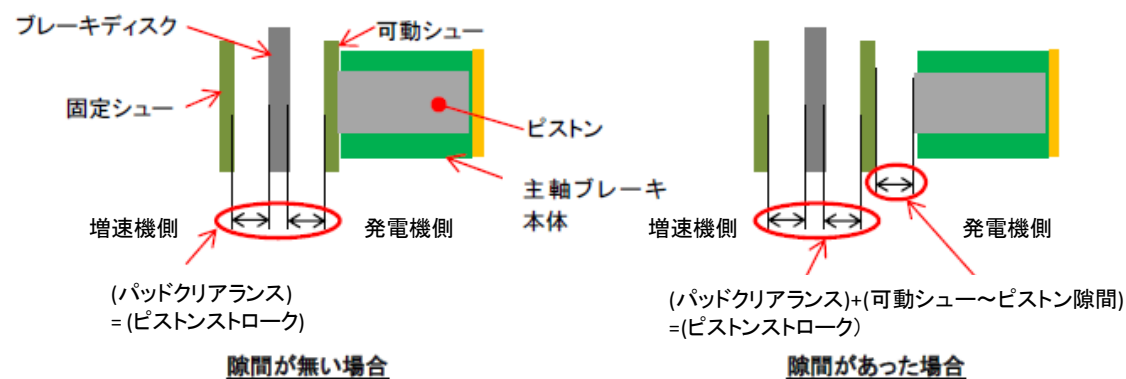


図7 可動シューとピストンの間に隙間があった場合の押しつけカロスのイメージ

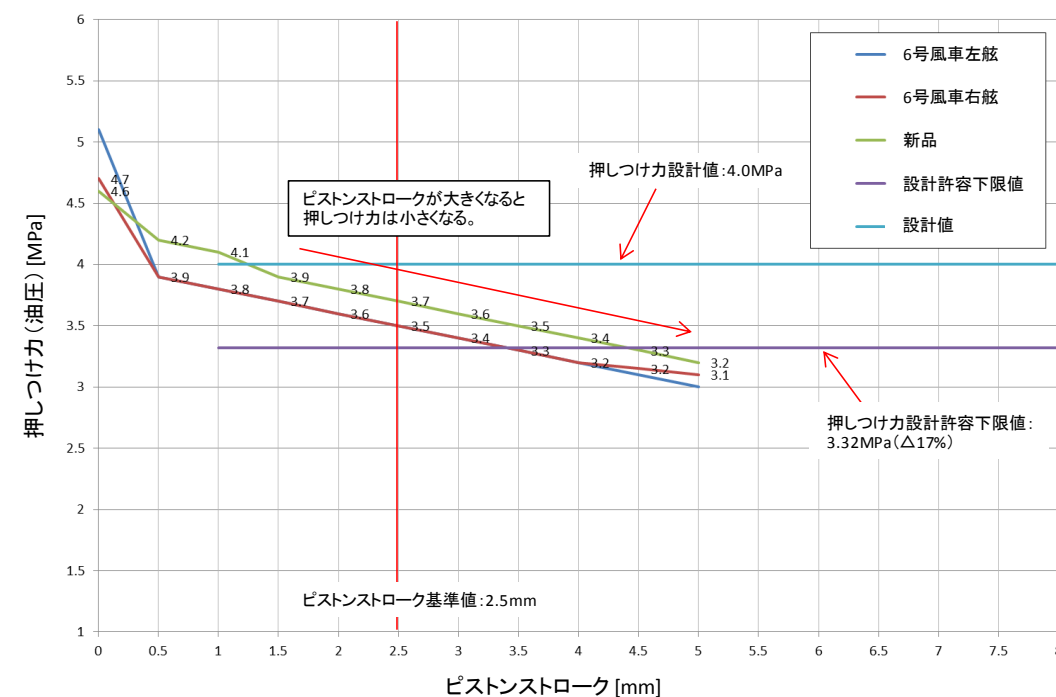


図8 ピストンストロークと押しつけ力の関係

(c) 主軸ブレーキパッドクリアランスの調整状況

(b) 項の調査時に 8 号風車のパッドクリアランスの再計測及びピストンストロークの計測との比較を行った結果、パッドクリアランス調整によるピストンストロークの精度が出しにくいことが判明した。表 1 に今回の計測結果及び直近の定期点検でのパッドクリアランス調整結果を示す。

表 1 8 号風車のパッドクリアランス及びピストンストローク

		パッドクリアランス 増速機側 [mm] 基準値：0.6～0.7	パッドクリアランス 発電機側 [mm] 基準値：1.8～1.9	ピストンストローク [mm] 基準値：2.5	計測方法	備考
定期点検記録 2015 年 1 月 30 日	左舷	0.7	1.8	① 2.5	13mm 幅シック ネスゲージ	パッドクリアランス 合計による計算値
	右舷	0.7	1.8	2.5		
パッドクリアランス計測 2015 年 3 月 12 日	左舷	0.8	③ 2.6～2.8	④ 3.4～3.6	13mm 幅シック ネスゲージ	パッドクリアランス 合計による計算値
	右舷	② 1.0～1.1	2.4～2.5	3.4～3.6		
ピストンストローク計測 2015 年 3 月 12 日	左舷	－	－	⑤ 4.50	ダイヤルゲー ジ	実測値
	右舷	－	－	4.25		

- ・定期点検でのパッドクリアランス調整結果(①)と今回の計測結果(④)の差異から、同じ調整方法でも作業者によるばらつきがある。
- ・同じ測定箇所でもシックネスゲージを挿入する位置や可動シューのがたつき状況により計測値が定まらずばらつきがある(②、③)。
- ・ピストンストロークで比較すると、シックネスゲージ計測による計算値(④)よりもダイヤルゲージによる実測値(⑤)の方が大きい。

以上の結果から、従来当社で使用していたシックネスゲージではパッドクリアランスが正しく調整できない可能性があることが分かった。8 号風車ではピストンストロークが計画値 2.5mm に対して 4.5mm であった為、2.0mm 分の押しつけ力をロスしていた。図 9 に 8 号風車のパッドクリアランスの実情の模式図を示す。

仮に 6 号風車においてもピストンストロークが 4.5mm となるようにパッドクリアランス調整されていた場合、図 8 より押しつけ力は 3.1MPa となり、設計許容下限値の 93%となることが分かった。

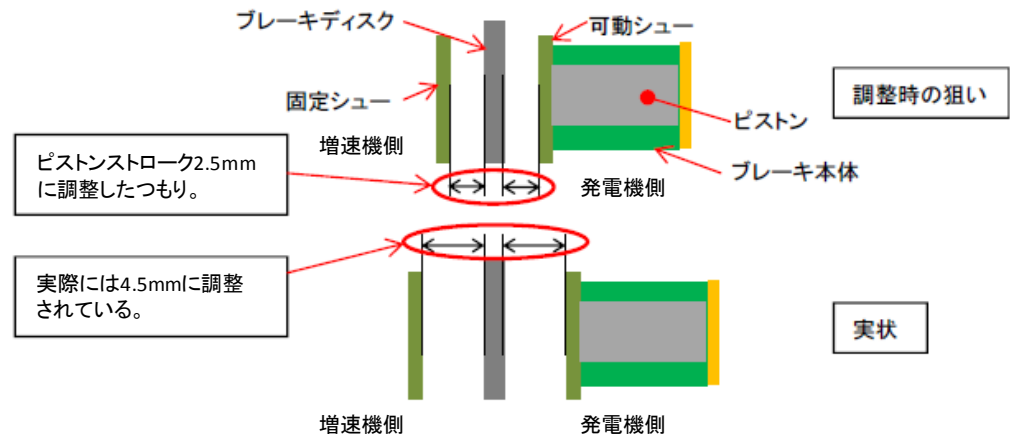


図 9 8 号風車パッドクリアランスの実情の模式図

(d) 主軸ブレーキ部品分解調査

取り外した主軸ブレーキの分解調査を行った。この結果、主軸ブレーキ本体内部及び電磁弁に主軸ブレーキ制動不良の原因となるような不具合は無かった。

(3) まとめ

翼ピッチ関連及び主軸ブレーキ関連の事実確認によって、以下のことが分かった。

①翼ピッチ不動作の原因

翼旋回輪軸受のグリス中水分量が異常に多い為に、通常よりもグリスのちょう度が低下していた。さらに、外気温がマイナスの状況で長時間一定の翼ピッチ角度にて固定されていた為に、翼ピッチが固着した可能性がある。

②主軸ブレーキ制動不良の原因

主軸ブレーキパッドクリアランス調整誤差により、ピストンストロークが基準値以上となっていた為に、制動力が低下した可能性がある。

4-3. MWT-1000A の Safety Concept

MWT-1000A は Germanischer Lloyd (GL) のデザイン認証を取得している。MWT-1000A は GL 認証を取得するにあたり、会社によるルールブックを満たしていることが前提となっている。翼ピッチ動作を含めて他の機器が機能不完全となり過回転が発生した際に、減速させるための最後の機構として主軸ブレーキを位置付けている。

従って、主軸ブレーキの機能を担保することが事故の再発防止として、最重要課題と判断した。

4-4. ピストンストロークと主軸ブレーキ制動力の数値解析

ピストンストロークが主軸ブレーキ制動力に与える影響を確認する為に、事故機と同型の空力弾性モデルを構築し、数値解析を行った。ピストンストロークが 4.5mm の場合、事故機と同様の過回転が発生する結果となった。数値解析の条件を表 2 に、結果を図 10 に示す。

表 2 数値解析の条件

	①設計許容下限値	②	③	④
ブレーキトルク [Nm]	9700	9500	9300	9012
設計許容下限値に対する割合 [%]	100	98	96	93
6号風車のピストンストローク [mm]	3.5	3.8	4.1	4.5

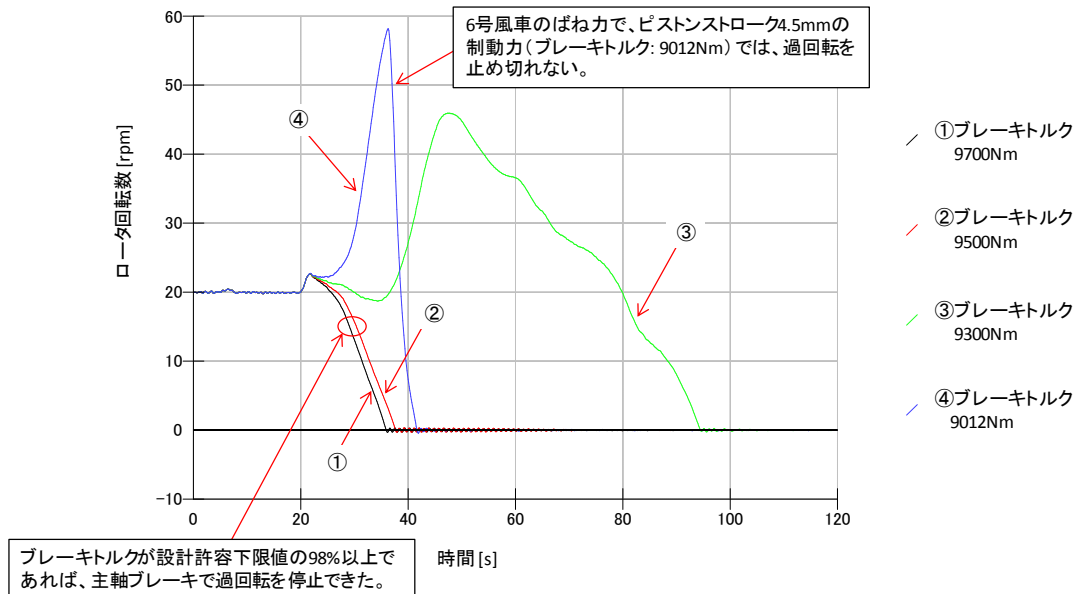


図 10 数値解析結果

5. 事故原因まとめ

これまでの調査結果を踏まえて、過回転に伴うブレード破損が発生するに至った原因は、以下の通りであることが明らかとなった。

- ・今回の事故は「風速計誤検出」と「翼ピッチ不動作」、「主軸ブレーキ制動不良」が重なって発生した為に、ブレード破損に至った。
- ・「風速計誤検出」と「翼ピッチ不動作」が発生していたとしても、主軸ブレーキが正常に機能していれば、事故は防止できたことが解析からも実証されており、「主軸ブレーキ制動不良」となったことが直接の原因である。
- ・「主軸ブレーキ制動不良」は、定期点検時の主軸ブレーキパッドクリアランス調整誤差により、主軸ブレーキの制動力が低下していたために発生した。

6. 再発防止対策

事故の再発防止を図るための「事故原因に対する防止対策」と設備保全の更なる強化のための「予防保全の徹底」を国内同型機全 101 機（宗谷 WF、浜頓別 II WF、釜石 WF）にて、下記の通り実施する。

(1) 事故原因に対する防止対策

- ・主軸ブレーキ機能の担保

パッドクリアランス調整用の治具を作製し、調整手法を変更する。具体的には通常幅のシックネスゲージではなく、パッド幅及び長さと同じサイズの治具を作製し、治具を引き抜ける状態で調整終了とせず、治具を挟み込む状況まで調整する。これにより、可動シューとピストンを密着させた状態で、正確なパッドクリアランス調整が可能となる。

上記については既に治具を発注済みであり、手順書を周知徹底させ、治具納品後直ちに実施する。治具納品までの暫定対策として、緊急点検（パッドクリアランス再計測、再調整）を国内同型機全機で実施済み。

- ・翼ピッチ固着の防止

翼旋回輪軸受のグリスの水分量について管理値を設けて、グリス分析を半年に一回実施する。管理値を超えたものについては、翼旋回輪軸受にグリスを給脂し、オイルシールを交換する。

(2) 予防保全の徹底

- ・風速計の誤検出による過出力の防止

風速計で計測される風速と風車発電機出力の関係が設計値を逸脱した場合には、風速計への着氷、着雪等による異常と判断し、エラーを発報するとともに、発電機出力のみの翼ピッチ制御に変更するプログラムを、2014 年 12 月に国内同型機全機に導入した。