

昆布盛ウインドファーム 6号機風車破損事故に関する報告 【第2報】

令和元年10月28日
JEN昆布盛ウインドファーム株式会社

1. 概要

1.1 サイト概要

- ・所在地：北海道根室市昆布盛 1 4 9 - 1 2
- ・設置者：JEN昆布盛ウインドファーム株式会社
- ・定格出力：1,500kW×5基（1号機～5号機）
2,500kW×1基（6号機）
- ・運転開始：2004年（1号～5号）,2008年（6号）



図1.1 発電所所在地

1.2 風力発電設備の概要（6号機）

- ・風車メーカー：GE
- ・機種：GE - 2.5-88

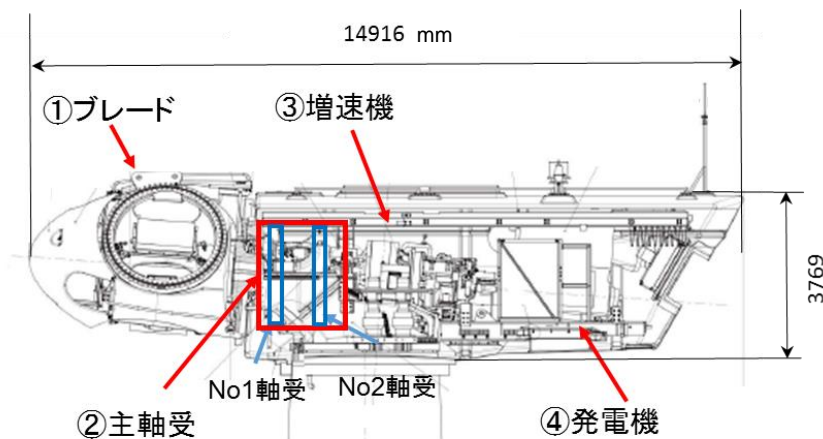


図1.2 (1) 6号機風車ナセル内部図

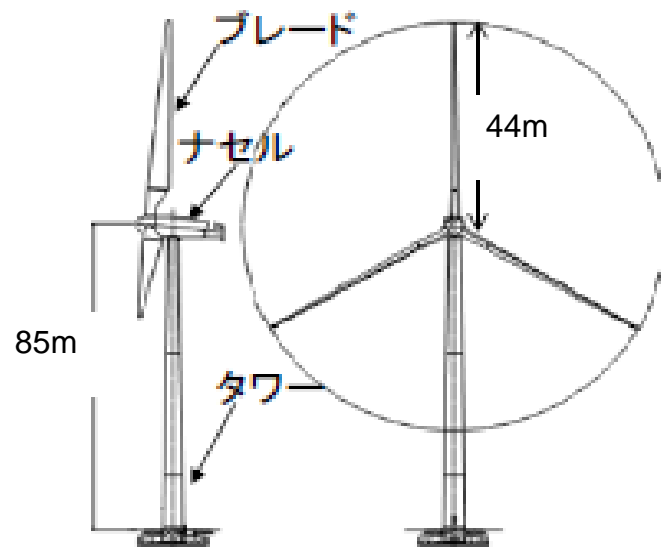


図1.2 (2) 6号機風車外形図

1. 概要

1.3 6号機事故の概要（2019年4月8日）

- ・ 運転中「ベアリング温度高」警報発生（2:08）し風車が発電停止（ピッチ制御:フェザー）。（参考：ピッチ制御：電動，Yaw制御：電動）
- ・ 運転保守受託会社保守員（24時間交替勤務）が直ちに現場に出向きタワー内を点検した。その際、火の粉の落下と異臭を確認したため、外部へ退避した。その際ナセル付近より火炎を確認した（覚知）（3:00頃）。
- ・ 消防へ第一報（3:16頃）、消防入所（3:30頃）
- ・ 北海道産業保安監督部電力安全課へ第一報報告(4:17頃)
- ・ 念のため消防車1台が安全確認出来るまで待機。
- ・ 自然にナセルの火が消え再現性が無いことを確認後6:00頃退所。
- ・ ナセル落下の恐れがゼロではないため6号機立ち入り禁止処置を実施
※外部に対する人的、物的被害なし



図1.3 (1) 火災事故(消火後)



図1.3 (2) 火災事故(延焼部分)

2. 事故状況

2.1 事故発生時の気象状況・風況（根室気象台2:30情報）

- ・ 発生日時 （4月8日（月）午前2時26頃）
- ・ 天候 晴れ（落雷はなし）
- ・ 気温 1.0°C
- ・ 風速 北西 9.5m/s（現地風向 北西、風速6m/s～8m/s）

2.2 事故発生時の風車の状況

- 2:08： ベアリング温度高風車発電停止（Shaft bearing Overtemperature）
- 2:26： 火報動作（Fire Alarm）
- 2:38： アイドリング（Idling command at WTG）
- 2:44： ナセル室内温度故障（Container/nacelle temp. fault）
- 2:56： PLC故障（PLC fault collection）
 - 24V電源故障（PLC fault 24V-power supply）
 - 自動-手動モード切替（Maintenance switch pitch）
 - ヒューズ断発生（Motor protection fuses）
 - ハブPLC通信故障（Rotor CCU collective faults）
 - ブレード制御不良（Blade angle not plausible axis-1-2-3）
 - 火報故障（Fire alarm sensor error）

3. 火災発生箇所の調査

3.1 火元の推定

火災によるススの付着量、および部材の焼損状態を確認した結果、増速機より前方側の焼損が著しい。

⇒火元は発電機ではなく、ナセル前半分の可能性が高いと推定。(図3.1)

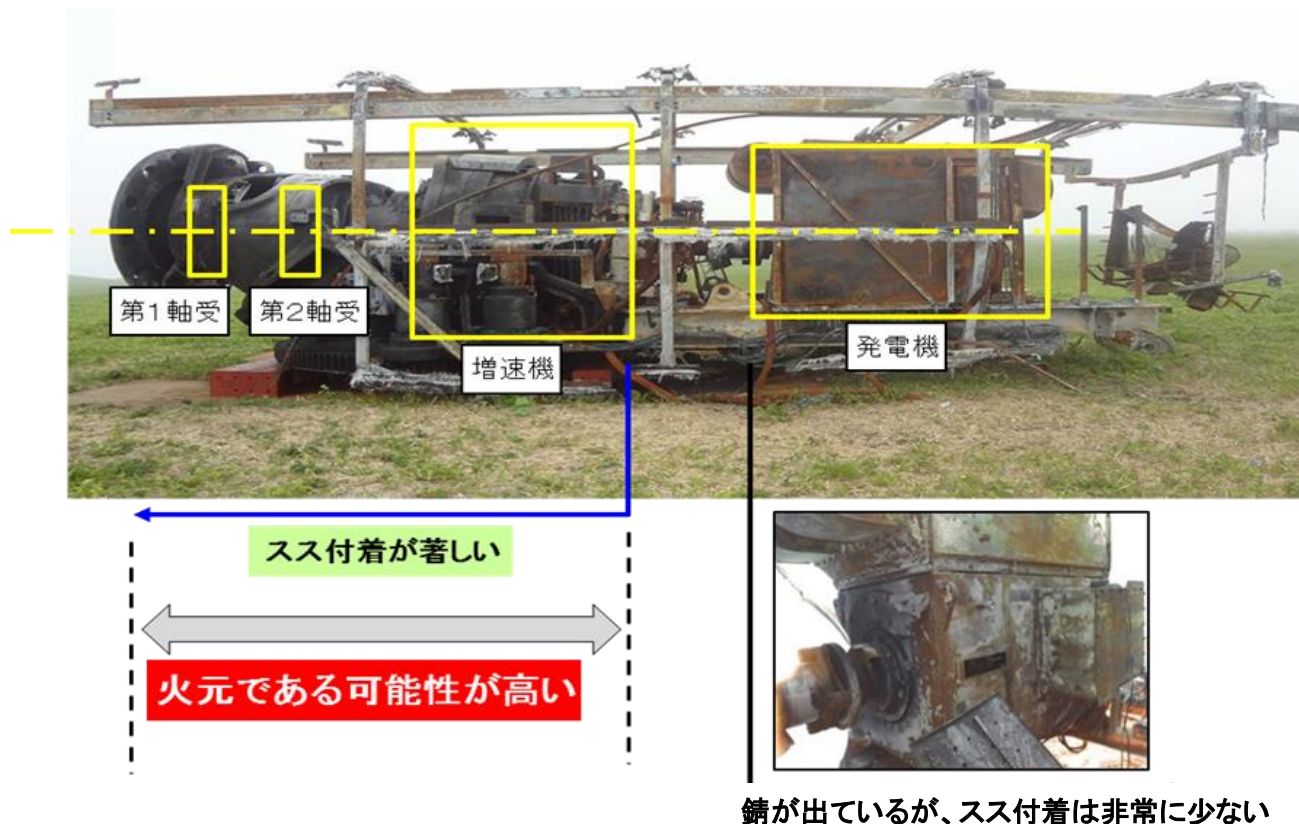


図3.1 ナセル状況

4. 火災発生 の 過程 (推定)

これまでの調査結果をもとに、火災発生 の 過程 を推定

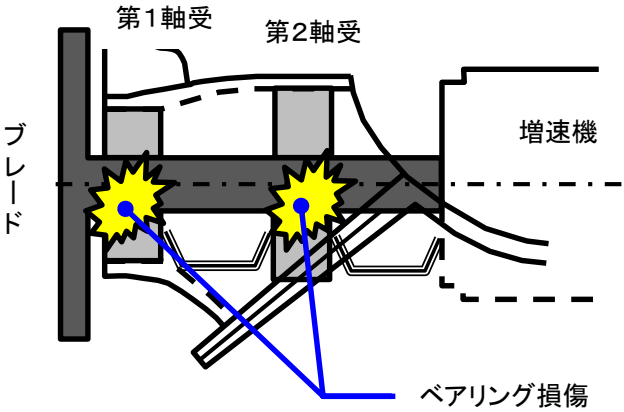
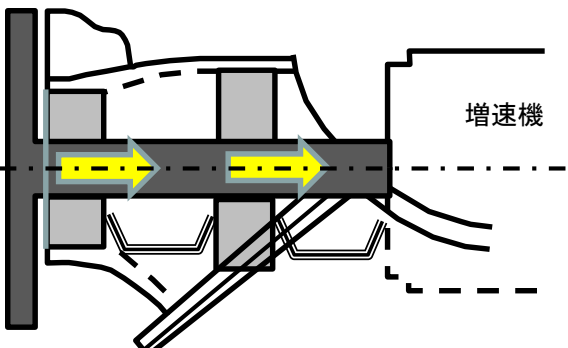
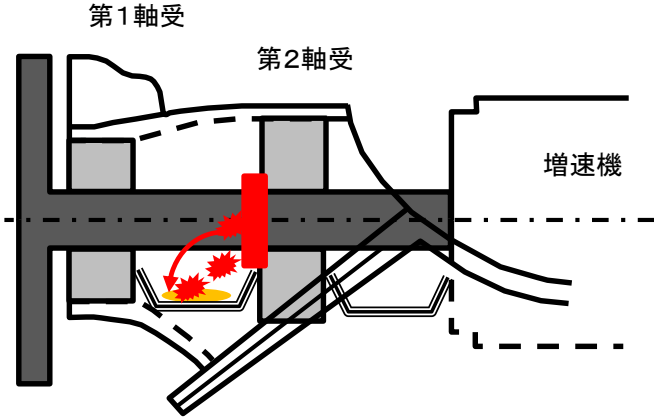
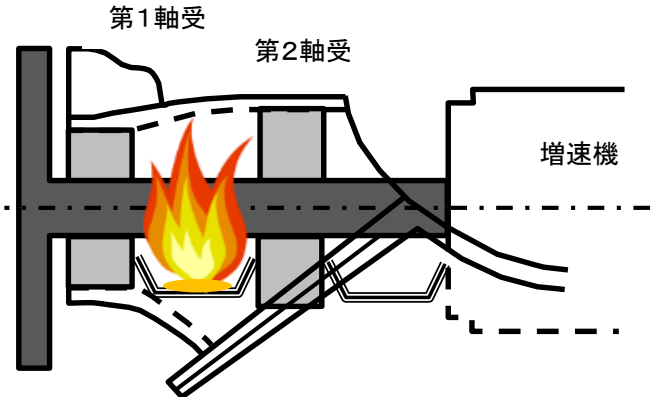
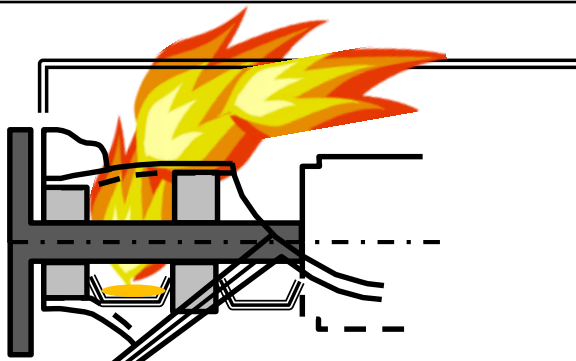
	解説図	状 況
Step 1		<ul style="list-style-type: none">・ベアリングが損傷した。
Step 2		<ul style="list-style-type: none">・主軸を支持する力が失われ、主軸がナセル後方へ押し込まれた。

表4 火災発生 の 過程 (推定)

4. 火災発生過程(推定)

	解説図	状況
Step 3		<ul style="list-style-type: none">・ 主軸が後退したことにより主軸と一体となって回転しているラビリンスリングが第2軸受側面に強く押し付けられた状態となり、主軸又はラビリンスリングが剥離。軸回転による摺動摩擦で高温の鉄片等が落下。・ これらが火種となって直下の廃グリス受皿へ落ちた。
Step 4		<ul style="list-style-type: none">・ 廃グリス受皿内のグリスに引火した。

4. 火災発生 の 過程 (推定)

	解説図	状況
Step 5		<ul style="list-style-type: none">・ 火炎がナセル内に充満し、ナセル全体へ延焼した。

ベアリングが損傷したことにより主軸がナセル後方へ押し込まれた



軸受側面に押し付けられた主軸又はラビリンスリング等が剥離し摩擦熱で高温となって廃グリス受皿へ落下した



グリス受皿の廃グリスに引火した

前回ワーキング(令和元年7月12日)での指摘事項

- (1) 廃グリスについて
廃グリス受皿やメンテナンス方法について適切であったか調査すること
- (2) 主軸回転数の調査
主軸の回転数情報を加えて考察すること
- (3) 第1軸受(スラスト軸受)が壊れた原因を調査すること
- (4) 二次被害(火災)を起こした原因とその対策をまとめること

5. 火災原因調査の考え方

火災発生

要因1

運転管理不良

不具合発見時の整備計画

火災発生時の回転数他挙動

要因2

整備点検不良

グリス注入方法

グリス適合良否

廃グリス管理方法

要因3

設計・製造不良

軸受材質不良

シール材質確認

軸受強度不足

(1) 運転記録、整備記録の確認

- ・過去3年間に遡り保安規程等に基づく整備記録、運転記録から軸受不具合の兆候調査

(2) 主軸回転による火災の影響確認

- ・事故時における主軸回転数の降下状況と火災の関係をSCADAデータで調査

(1) グリス管理方法の検証

- ・メーカーのオートグリーサー仕様書、配管系統等をもとに注入量や注入方法、頻度等を調査
- ・定期事業者検査記録をもとに半年毎のグリス補充量を調査

(2) グリス適合良否検証

- ・メーカー推奨品と一部に推奨以外のグリスを混在して使用した経過があるため、外部機関にてグリス試験を実施しグリス特性への影響を調査

(3) 廃グリス管理方法の確認

- ・事故前に連続注入した事で廃グリス回収に問題ない事をO&M作業人にヒアリングと廃グリスパンの容積で確認
- ・廃グリスパン形状に設計から変更ない事を確認

(1) 同型機の不具合実績確認

- ・軸受およびシール材の材質、構造図をメーカー確認
- ・同型機の導入実績と類似火災の事例をメーカー確認
- ・主軸の製造品質管理内容をメーカーに確認
- ・GE2.5の設計評価確認、サイト風況解析

6. 火災原因調査結果(要因1-(1))

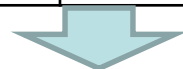
6.1 要因1 運転管理不良 不具合発見時の整備計画

(1) 運転記録、整備記録の確認

a. 整備記録

過去3年間に遡り電気事業法に基づく保安規程・定期事業者検査要領書、メーカー推奨項目に基づく点検マニュアルに基づいた点検記録を調査。

調査項目	点検及び頻度		点検内容	結果	
保安規程 (回転機)	法定	巡視点検手入	1ヶ月	温度、回転、過熱、異臭、給油状況	異常なし
		定期点検手入	3ヶ月	音響、振動、温度	異常なし
			1年	汚損、緩み、伝達装置外観点検	異常なし
		精密点検手入	適宜	定期点検結果より内部分解	異常なし
定期事業者検査 (主軸受)		半年点検	6ヶ月	グリス状態(色)を確認	異常なし
JEAG5005(指針) に基づく点検	自主	年次点検	1年	自主:SCADA(監視装置):常時軸受温度モニタリング	異常なし
点検マニュアル (メーカー推奨項目選定)		点検マニュアル	6ヶ月	グリースコンテナの清掃	異常なし
	1年		オートグリーサへのグリス補充 目視によるベアリングの動作状況	異常なし	



- 目視にてグリス状態(色)を確認 ⇒ 変色他異常なし
- SCADA(監視装置):常時軸受温度モニタリング ⇒ 第1軸受、第2軸受とも異常値なし

6. 火災原因調査結果(要因1-(1))

b. 運転記録

過去3年間の運転日誌および日常整備記録から軸受不具合の兆候調査

事故原因と関連する故障履歴と整備記録

年月日		内容	
2018年	9月20日	ロータ回転検出器故障のため交換 (先端部の削れを確認)	12ページ
2019年	3月6日	ローター回転検出器の間隙調整 (先端部の摺れを確認)	
	3月7日	第1軸受異音確認 グリス黒化確認	13ページ
		オートグリーサーを間欠運転から常時運転に変更	16ページ
	3月12日	メーカー推奨品と異なるグリスを押し出し用に変更	16ページ
	3月19日	オートグリーサーのライン変更(第1軸受+第2軸受 ⇒ 第1軸受)	
	4月8日	火災発生	15ページ

6. 火災原因調査結果(要因1-(1))

a. ローター一回転検出器故障

2018年9月20日 ローター一回転検出器の先端部が削れているのを発見し、故障のため交換。

2019年3月 6日 ローター一回転検出器の先端部が摺れていたのを発見し、隙間を調整。

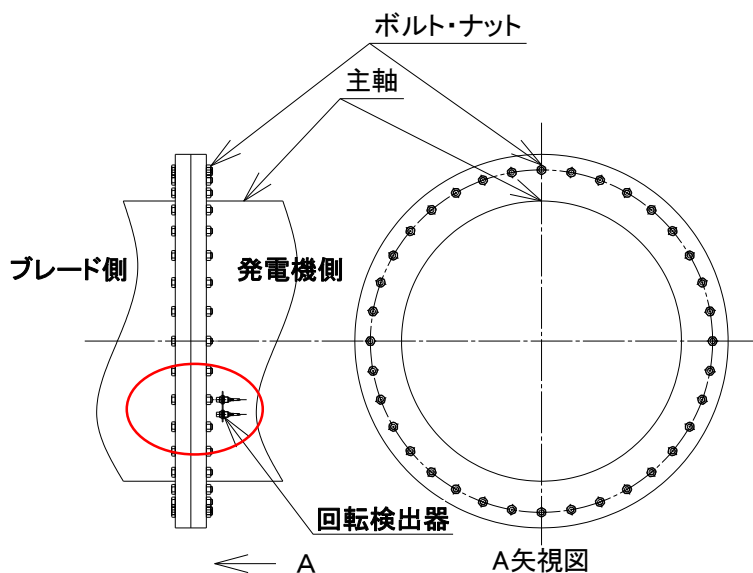


図6.1 回転検出器取付位置

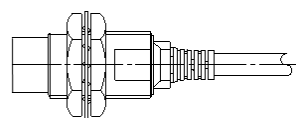


図6.2 回転検出器
(近接センサー)

※主軸回転数を計測して保護制御に用いるもので、主軸の回転により近接センサーの前をボルトの先端が通過する事でパルス信号が発生し、それにより回転を検出する。

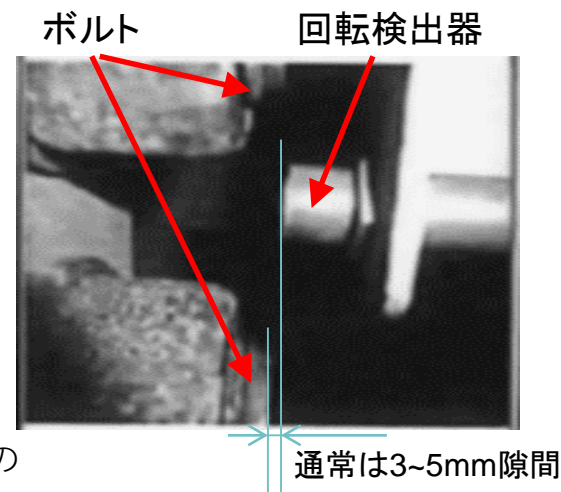


図6.3 回転検出器取付部

通常は近接センサーとボルトの間には隙間があるが、**主軸が押し込まれたことにより、ローターのボルトと接触して故障したものと推定。**

6. 火災原因調査結果(要因1-(1))

b. 第1軸受廃グリスの変色

2019年3月7日 グリスの黒化を確認

第1軸受から擦れている音がしたためグリス不足と判断しオートグリーサーをマニュアル運転に切り替えて給脂。その際に、**排出されたグリスが黒化**していることを確認。以降 グリス入替のため**オートグリーサーを間欠運転から連続運転**とした。



図6.4 1号機グリス注入時の状態
(モービルSHC460WT)

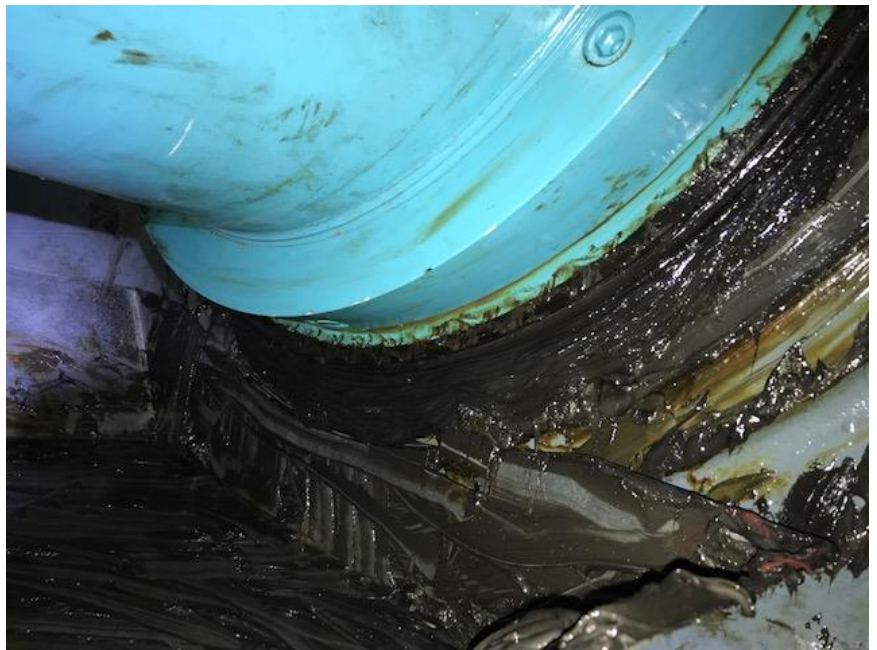


図6.5 6号機グリス黒化状態

6. 火災原因調査結果(要因1-(2))

6.2 要因1 運転管理不良 火災発生時の回転数他挙動

(2) 主軸回転による火災への影響

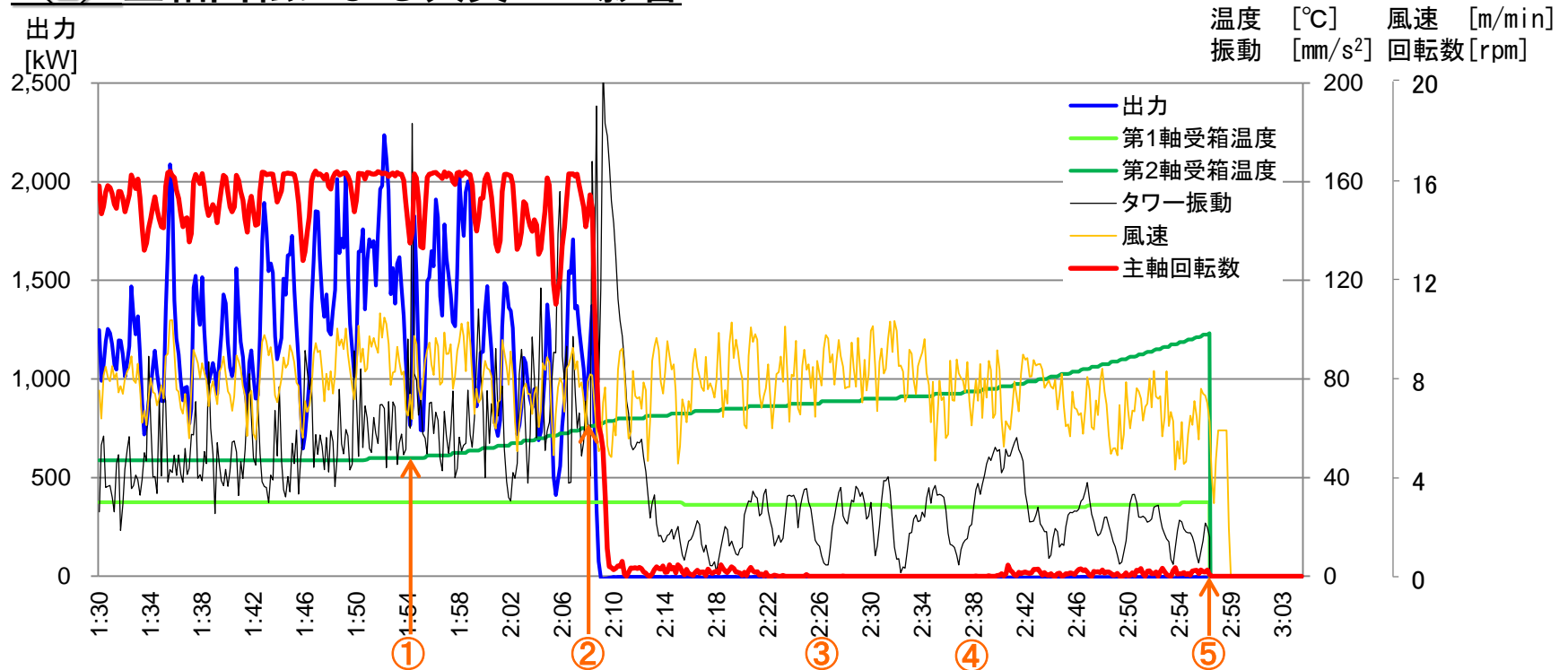


図6.6 トレンドデータ(2019年4月8日1:30~4月8日3:00)

- ① 1時54分 第2軸受箱温度上昇開始
- ② 2時08分 軸受温度高(60°C)により発電停止、主軸回転停止
- ③ 2時26分 火災警報発報
- ④ 2時38分 運転員がタワー下に到着、火災確認
- ⑤ 2時56分 制御電源喪失、非常停止

発電停止と共に回転数は降下しており、火災につながるような動作は確認できない

6. 火災原因調査結果(要因2-(1))

6.3 要因2 整備点検不良 グリス注入方法

(1) グリス管理方法の検証

注入量、方法、頻度等の調査

- メーカー調査 : グリス注入の適切な頻度、量
- ① 注入量 : グリスポンプ仕様 24g/分
 - ② 給脂方法 : 自動給脂 (第1軸受 + 第2軸受)
 - ③ 頻度 : 1回/週 11分間運転
264g/週
- 年間注入量 (軸受2台分) : 13.8kg
- ④ 軸受グリス充填量
 - ・ 第1軸受のグリス充填量 : 40kg
 - ・ 第2軸受のグリス充填量 : 30kg
 - ⑤ 仕様グリス (風車メーカー推奨品)
モービルSHC460WT 他

定期事業者検査記録で半年毎のグリス補充量を調査した結果、
毎回グリス補充していることを確認。



図6.7 オートグリーサー

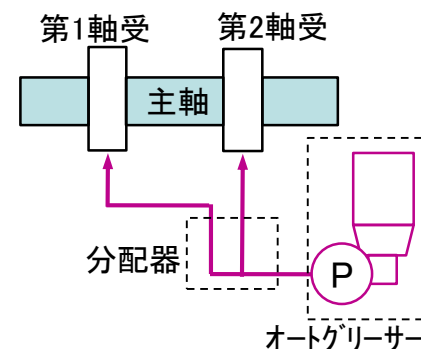


図6.8 グリス注入系統

6. 火災原因調査結果 (要因2-(1))

6号機グリス注入調査結果

		注入方式	注入量	注入頻度	ポンプ補給量	グリス種類
	メーカー標準	自動	24g/分・2軸受 (間欠:11分間)	1回/週	13.8kg/年・2軸受	SHC460WT
2019	3月6日前	※ メーカー標準方法によりグリス補充を実施				
	3月7日	※ メーカー標準にない方法で黒化グリスの入替作業を実施				
		自動	24g/分・2軸受	連続	16kg/日・2軸受	SHC460WT
	3月12日	自動	24g/分・2軸受	連続	16kg/日・2軸受	エピノック
	3月19日後	自動	24g/分・1軸受	連続	16kg/日・1軸受	エピノック

黒化
グリス
入替

メーカー推奨品: モービルSHC 460WT(以下SHC460WT)、
パージ用: エピノックグリスAP(N)2(以下エピノック)

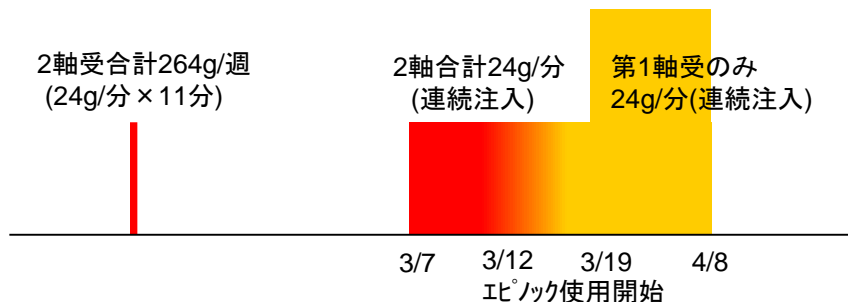


図6.9 第1軸受のグリス注入イメージ

6. 火災原因調査結果（要因2-(2)）

6.4 要因2 整備点検不良 グリス適合良否

(2) グリス適合良否

- ・ メーカー推奨品と一部に推奨以外のグリスを混在して使用した経過があるため事故への影響調査

[試験目的]

- ・ グリス入替の際、メーカー推奨品ではないグリスを用いて給脂したため**異種グリスが混合状態でグリスの特性に変化が生じるか確認する。**

[試験方法]

- ・ メーカー推奨の確認試験の中から代表的な4つの試験方法を選択
 - ① シェル4球融着荷重試験 (ASTM D2783) 摩擦摩耗試験
 - ② SRV試験 (ASTM D5706) 振動摩耗試験 (焼付き試験)
 - ③ 低温トルク試験 (JIS K2220) 起動・回転トルク試験
 - ④ 引火点試験 (JIS K2265-2)
- ・ 試験はメーカー推奨品を基準として、パージ用グリスとの比率を **100:0 , 75:25 , 50:50 , 25:75, 0:100 wt%** に変えて実施。

[試験結果]

- ・ 混合比率を段階的に変えてグリス性能確認したところ顕著な変化は見られなかった
⇒ **推奨以外のグリスが混在したことで、潤滑不良が発生して軸受が損傷したとは考え難い**

6. 火災原因調査結果 (要因2-(2))

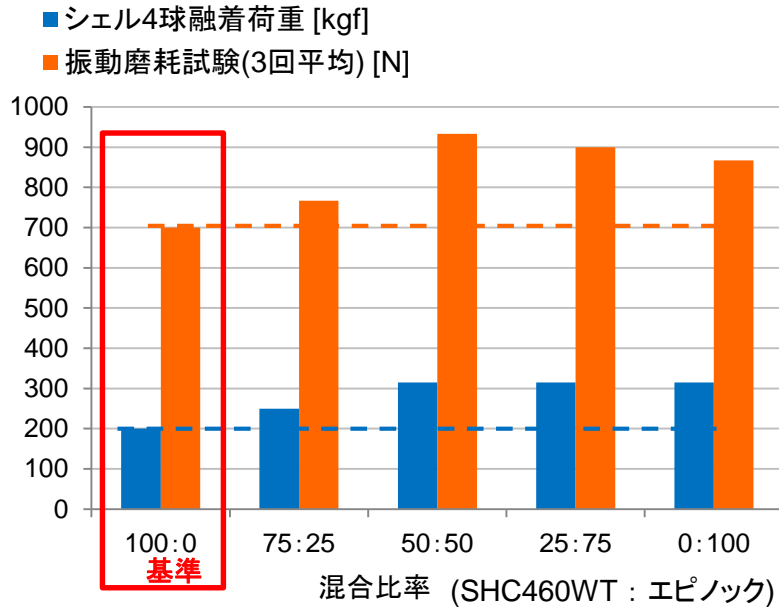


図6.10 シェル4球 融着荷重試験果、振動磨耗試験結果

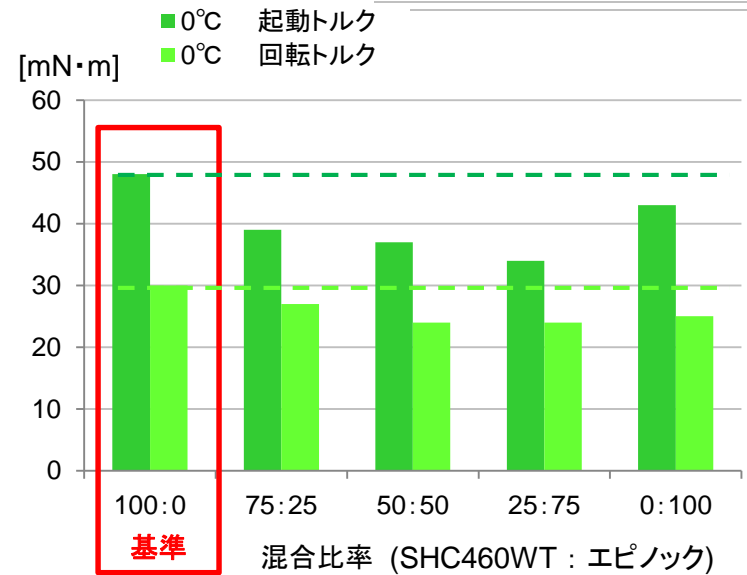


図6.11 低温トルク試験結果

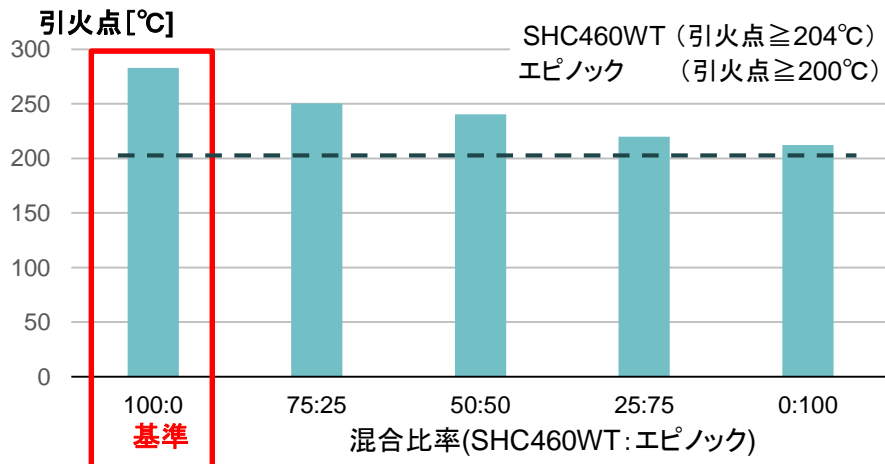


図6.13 引火点試験結果

6. 火災原因調査結果 (要因2-(3))

6.5 要因2 整備点検不良

(3) 廃グリス受皿の清掃方法と形状について

通常、オートグリーサーによる自動間欠給脂であれば、廃グリス(約0.7L/月)の除去は月1回の清掃で十分だが、連続給脂中のため排出量が多く(約20L/日)毎日除去していた。

廃グリス受皿の設置場所及び形状についてはメーカー標準からの変更なし(約85L)連続給脂でも1日に排出されるグリスを受けるには十分な容積がある。

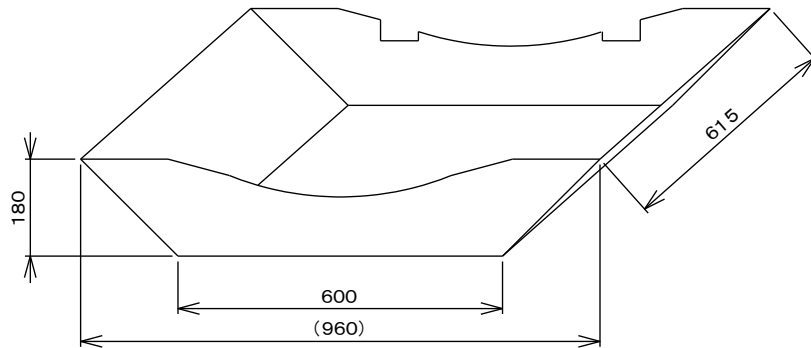


図6.14 廃グリス受皿外形図
(収容容積 約85L)



図6.15 廃グリス受皿 清掃前
(廃グリス 約20Lをほぼ毎日回収)

6. 火災原因調査結果 (要因3-(1))

6.6 要因3 設計・製造不良

(1) 軸受材質不良、軸受強度不足、シール材質確認

材料同型機の不具合実績を確認

a. GE2.5-88 導入実績

- ・ 国内43基 / 海外含む 96基
- ・ 類似火災の報告はなし

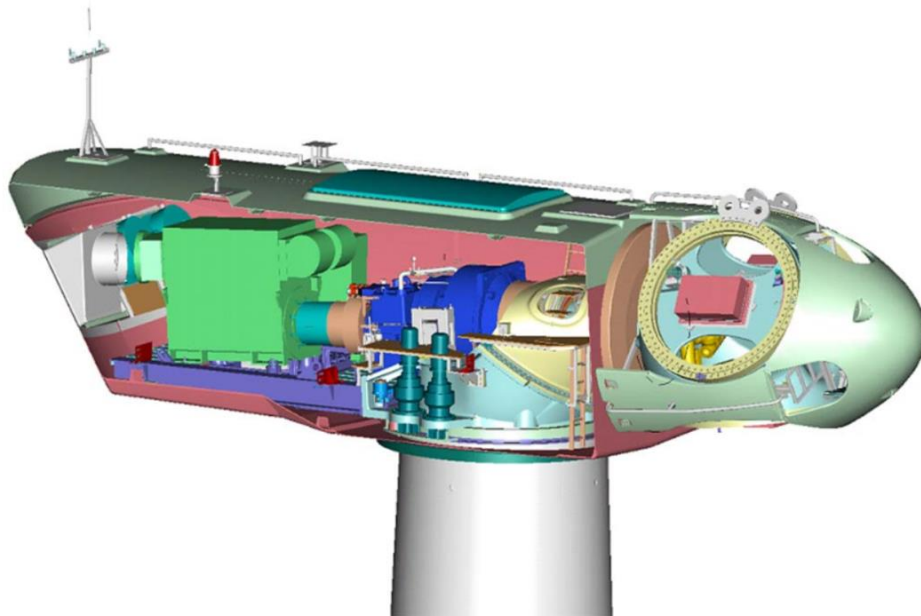


図6.16 ナセル構造図

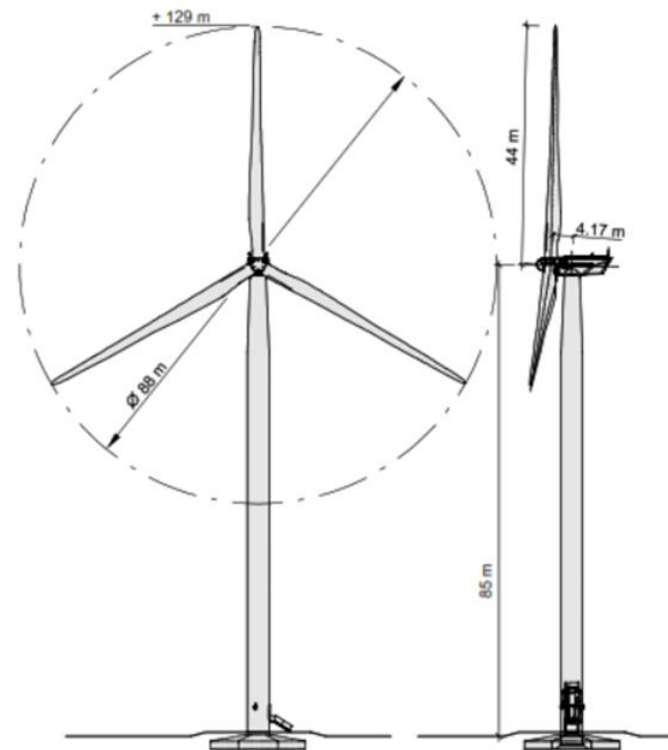


図6.17 風車外形図

6. 火災原因調査結果 (要因3-(1))

b. メインベアリングの製造品質管理

○製造時全数検査項目

- ・寸法検査 (外径、内径、外輪幅、内輪幅)
- ・エッチング検査、磁気探傷検査

○ロット検査項目

- ・材料試験 (硬さ試験、成分分析)

寸法検査成績書

QUALITÄTSSICHERUNG - QUALITY ASSURANCE

Meßprotocoll - Measuring report		Purchase Order: 4210022Z	1 / 2007	As-To: EASWE-SAW3										
Bauform - Design form: Zyrola		Kunde - Customer: General Electrics Wind												
Lagertyp - Bearing type		General Electrics Wind												
Pos. / Item	Kenngröße / Characteristic	Kurzzeichen / Abbreviation	Nennmaß / Nominal Size / Sollwert / Nominal Value	Ein. / Unit	Toleranz / Tolerance	Lager Nr. - Serial number of bearings								
						501	502	503	504	505				
1	Outer Diameter	∅	100,000	mm	-0,125	-0,062	-0,070	-0,060	-0,040	-0,045				
2	Bore Diameter	∅	71,000	mm	-0,075	-0,037	-0,060	-0,060	-0,050	-0,040				
3	Breath Outer	-	236,000	mm	-0,750	-0,25	-0,29	-0,32	-0,17	-0,26				
4	Breath Inner	-	236,000	mm	-0,750	-0,16	-0,16	-0,16	-0,12	-0,11				
5	Radial Clearance	-	0,25 - 0,39	mm	-	0,316	0,290	0,345	0,320	0,300				
6														
7														
8														
Bemerkung - Remarks		Istwert bzw. Abweichung vom Nennmaß / Actual size respectively deviation of nominal size												

Prüfer - Examiner	Abteilung - Department	Datum - Date	Telefon - Phone	Unterschrift - Signature
		18.10.2007		

材料試験成績書

Material Certificate											
Customer: [Redacted]											
Customer order no: [Redacted]											
Customer spec. no: [Redacted]											
Dimension / Type: [Redacted]											
Internal order no: [Redacted]											
Material grade: [Redacted]											
Revision: [Redacted]											
Quantity: [Redacted]											
No of pallets: [Redacted]											
Certificate according to: EN 10 204											
Certification tag: [Redacted]											
Value	Chemical composition %					Residual elements					
	Cu	Zn	Al	Fe	Pb	Al	Fe	Ni	Mn	Si	Sn
	Min	57,32	39,67	0,3452	0,0965	1,6890	-	-	0,0460	0,0000	0,0077
Max	57,95	40,15	0,3570	0,1745	1,6960	-	-	0,1000	0,0043	0,0107	0,1782
Mechanical properties											
Heat	Tensile (Mpa)		Yield (Mpa)		Elongation (%)		Hardness (HB)				
2095	424		168		22		107				

6. 火災原因調査結果 (要因3-(1))

c. GE 2.5 設計評価 IEC61400-1 class IIa

GE 2.5 60Hz: 設計評価にて荷重条件(Load Assumptions)、荷重計算 (Load Calculations)やその他安全設計機能はすべて評価・審査を完了。 GE 2.5 50Hz/60Hzのコンポーネントの違いは電源周波数の相違による機器のみが該当

- ①増速機 ②発電機 ③モータ・ギア類 ④照明器具

Statement of Compliance



Annex 2

22nd June 2011
page 1/4

GL Renewables Statement No. **DAA-GL-003-2006, Rev. 2**

Technical specifications for GE 2.5 60 Hz

Main data	Type	
	Type	Horizontal axis wind turbine with variable rotor speed
	Rotor diameter	88 m
	Power regulation	Independent electromechanical pitch system for each blade
	Rated power	2500 kW
	Hub height	85 m
	Rated rotational speed	16.5 rpm
	Operating range rotational speed	5... 18.33 rpm
	Cut-in wind speed	3.5 m/s
	Rated wind speed	12.2 m/s
	Cut-out-wind speed (10 min mean)	25.0 m/s
	Extreme wind speed (50-year-gust)	59.5 m/s
	Annual average wind speed	8.5 m/s
	Design life time	20 years
	IEC 61400-1, class	IIa

6. 火災原因調査結果 (要因3-(1))

d. サイト風況解析

平均風速、極地風速、乱流強度は設計風速以下

	設計値 IEC class IIa	サイト風況
極値風速 (Vref) (m/s 10min平均)	42.5	21.6
年間平均風速 (m/s)	8.5	6.2
乱流強度 (15m/s時)	0.16	0.08

図6.18 昆布盛6号機風速分布 (2018/4 - 2019/4)

Ave=6.24m/s, Max=21.56m/s (10min)

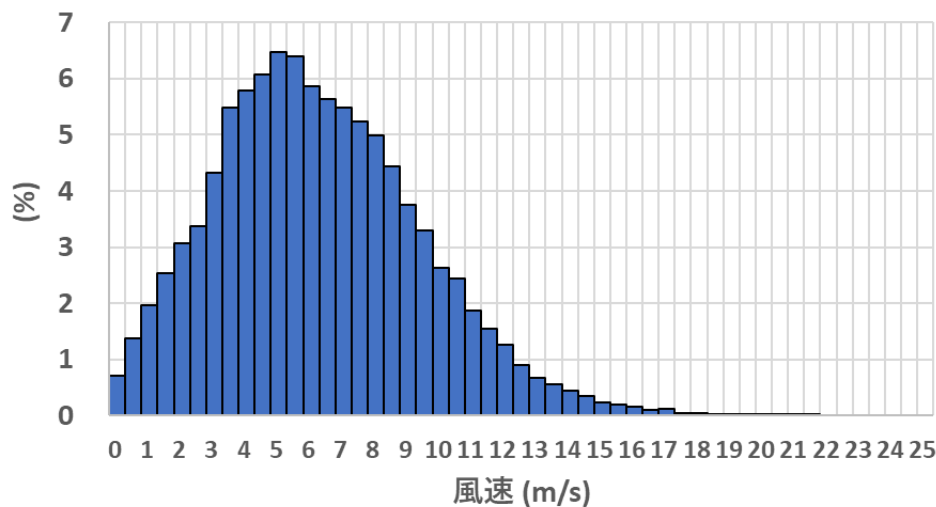
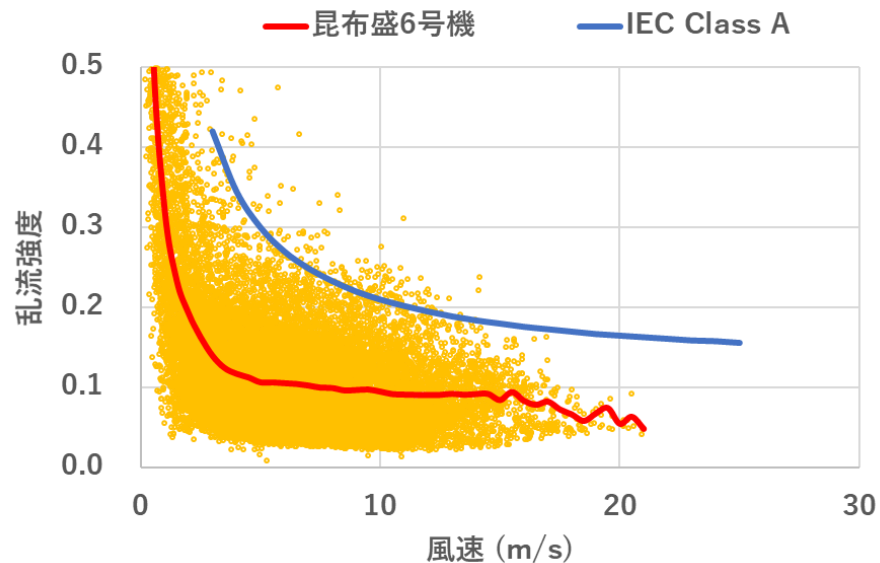


図6.19 サイト乱流強度



6. 火災原因調査結果

6.7 事故原因調査結果まとめ

調査項目		コメント	評価
要因 1 (1)	運転記録、整備記録確認	ローター回転検出センサ（近接センサ）の故障や主軸ベアリングから異音が発生していた記録(事故の予兆)があった。	○
要因 1 (2)	主軸回転による火災の影響確認	軸受温度高により風車は停止したため、火災を助長することはなかった。	×
要因 2 (1)	グリス管理方法の検証	グリス入替のため、メーカー推奨品ではないグリスを連続給脂していた。その結果、廃グリスが多くなっていた。	○
要因 2 (2)	グリス適合良否検証	異種グリス混合による、グリス性能の低下はなかった。	×
要因 2 (3)	廃グリス管理方法の確認	大量の廃グリスに引火したことにより延焼した。	○
要因 3 (1)	同型機の不具合実績確認	同型機の不具合実績は無く、サイトの風況も設計仕様を超えるものではなかった。	×

7. 火災発生過程

2018年9月20日、2019年3月6日 **回転検出器故障発生**



いずれかの時点で軸受のスラスト保持力が低下したことにより、**主軸が押し込まれた兆候があったが運転を継続**した。

2019年3月7日 **主軸ベアリングの異常を確認**

- ・ 第1主軸ベアリングから異音発生
- ・ 排出されるグリスの黒化



黒化したグリスの**早期入替で軸受損傷の進行を抑制する対応**を図った。

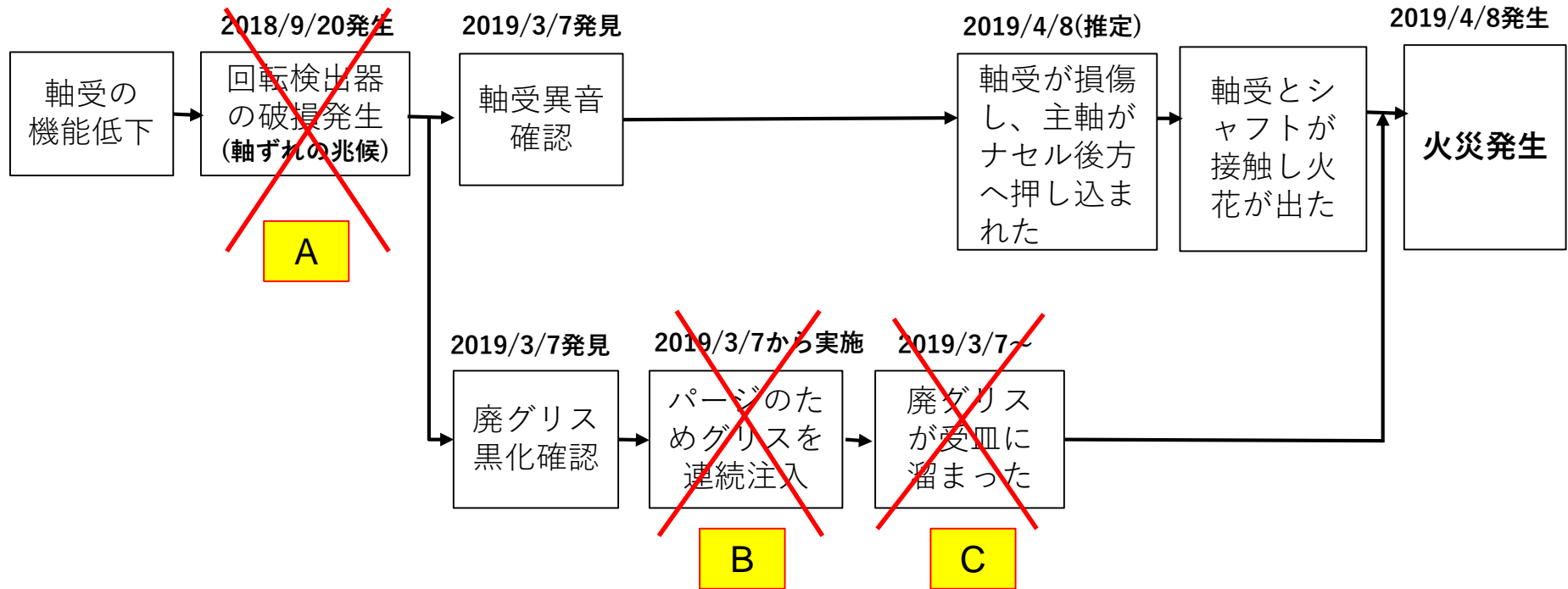
本格的な軸ずれが発生し、主軸又はラビリンスの摺動摩擦で高温の鉄粉が落下



連続給脂により、可燃物である廃グリスが大量に堆積する状態であった。

ナセル火災に至った

8. 火災を起こした要因

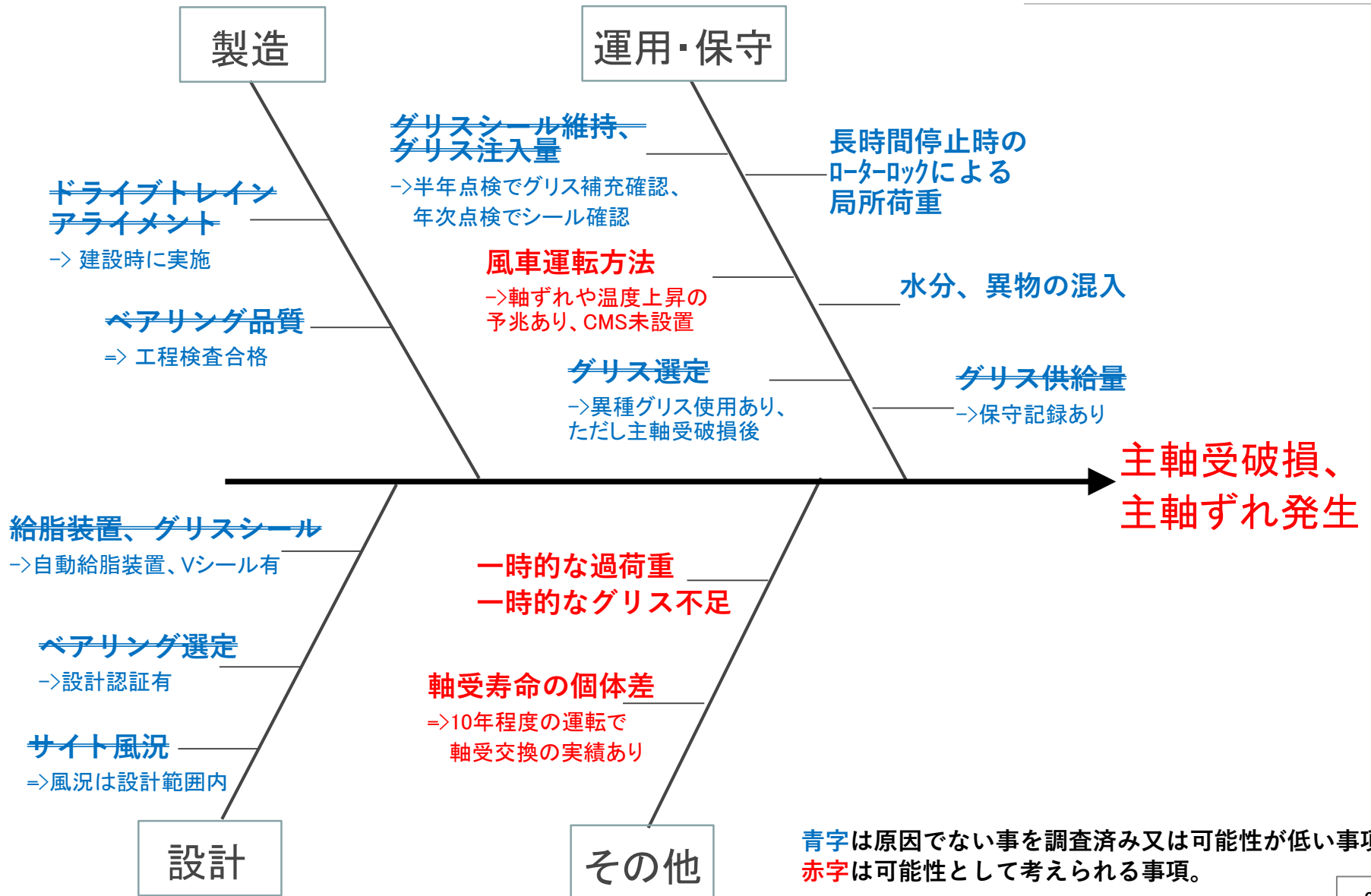


× : 火災に至るチェーンを断ち切る要因

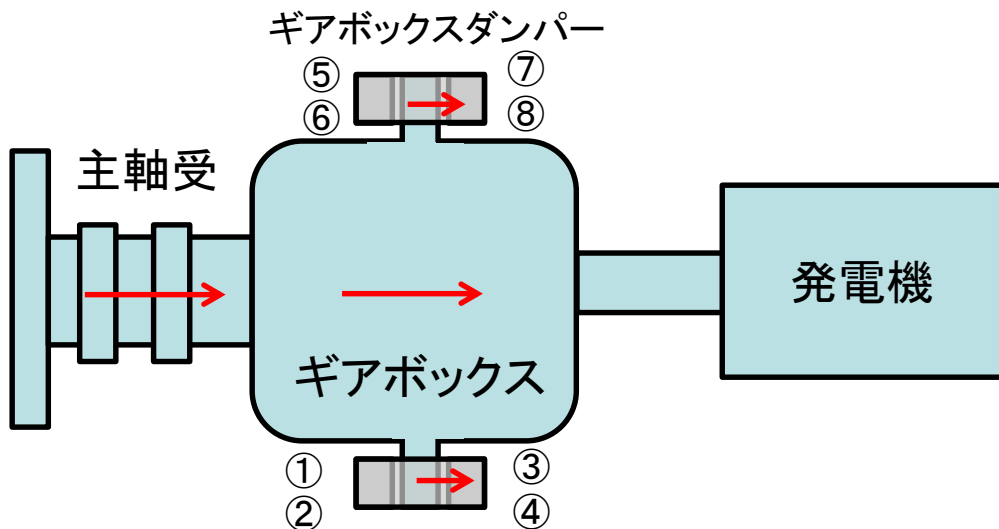
9. 再発防止対策

	火災防止 要因	項目	再発防止対策
ソフト 対策	A	運転基準値 の明確化	<ul style="list-style-type: none">主軸のズレ又は回転検出器故障等ベアリング機能低下の兆候が認められた際に、運転継続可否と修理の判断基準を明確化する。
	B・C	グリス交換 方法標準化	<ul style="list-style-type: none">主軸グリス交換作業についてメーカー技術資料を参考に作業標準書を整備する。
	A・B・C	教育の徹底	<ul style="list-style-type: none">上記項目をO&M要員に教育する。
ハード 対策	A	軸ズレ検知 センサーの 追加設置	<ul style="list-style-type: none">万一の軸ズレを検知し運転停止するセンサーを追加する。

10. 主軸受損傷、主軸ずれの推定原因調査の方向性

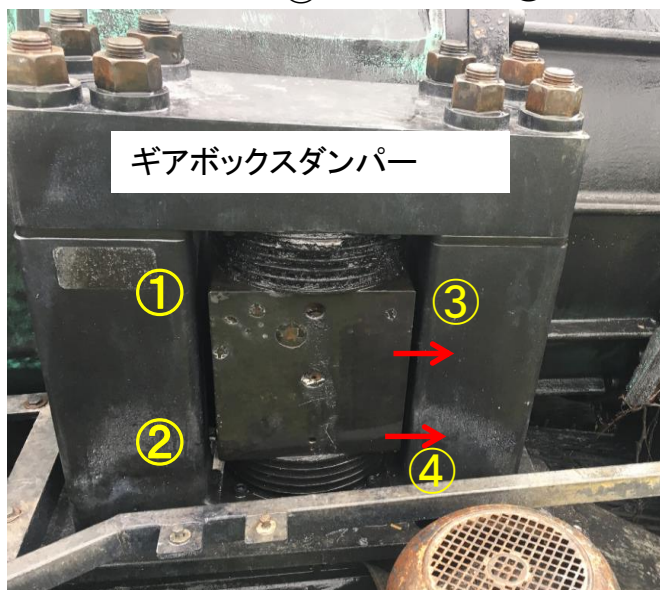


補助資料①：主軸受損傷、主軸ずれの兆候

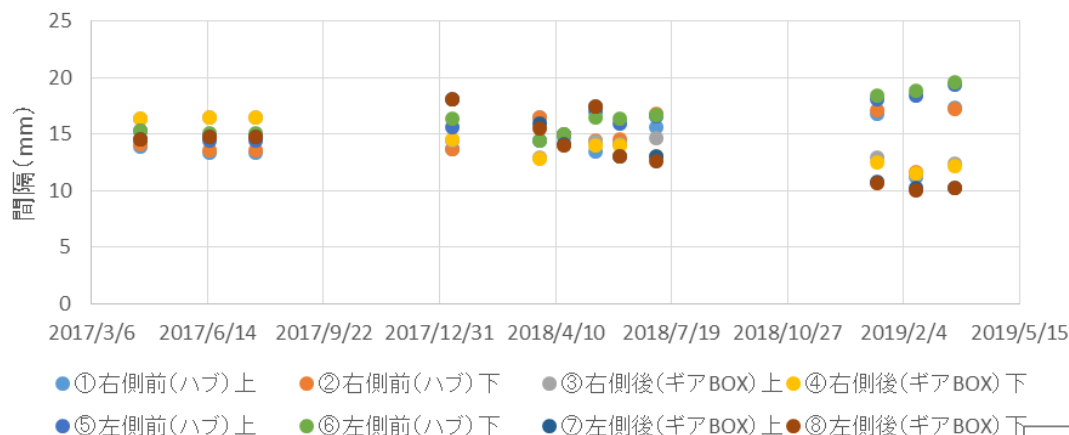


主軸受損傷によって主軸、ギアボックスが発電機方向に移動したため、ギアボックスダンパーのギャップが変動。

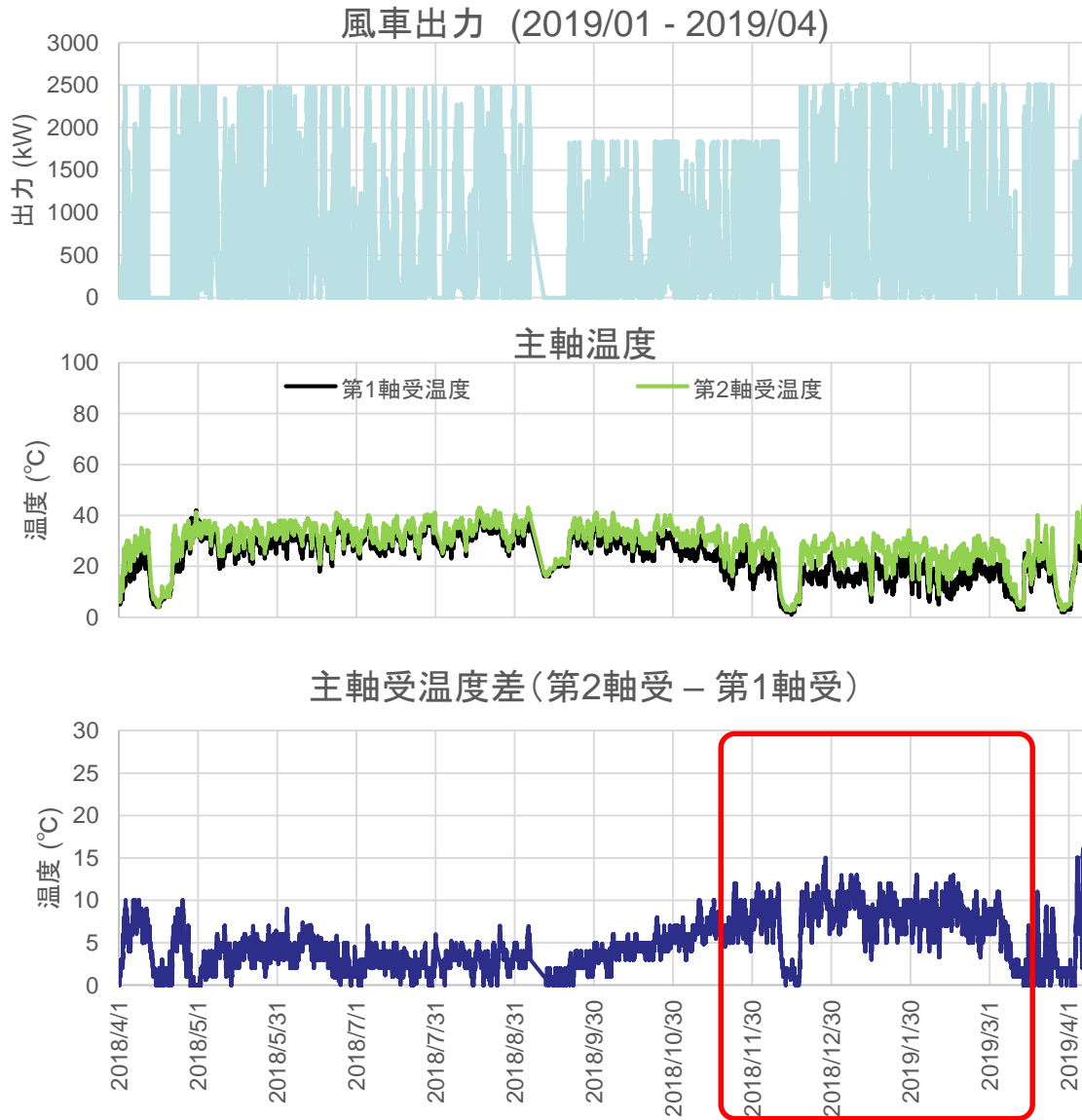
過去の自主点検記録(参考値につきデータ欠損あり)からも主軸移動の兆候が認められる。



昆布盛6号機ギアボックスダンパー間隔測定



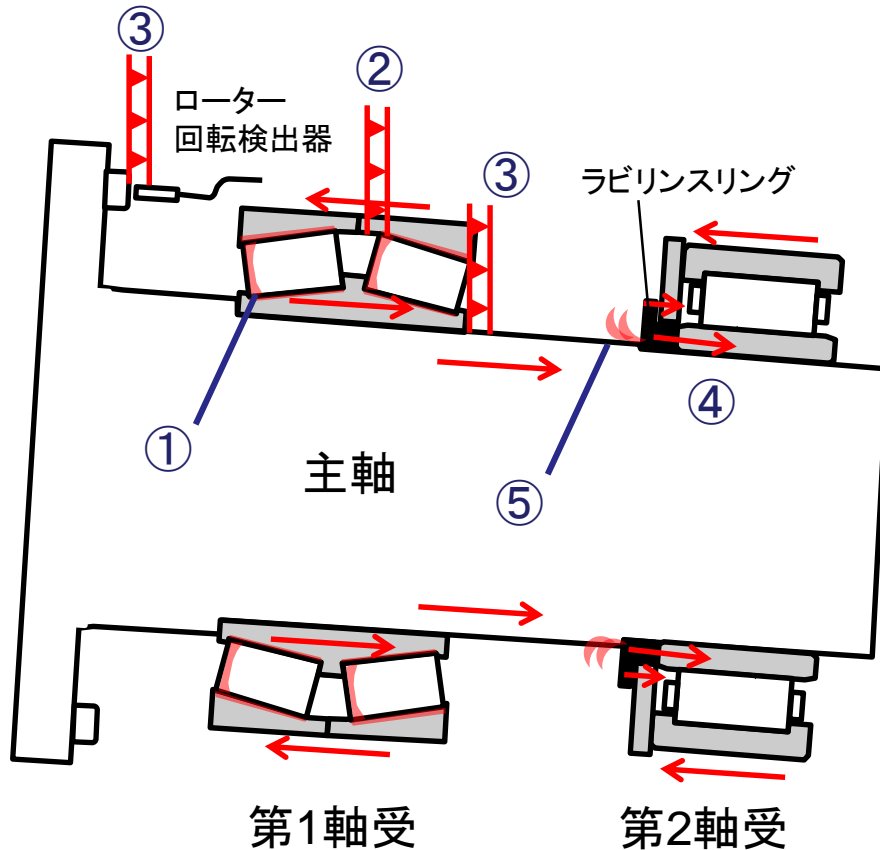
補助資料②：主軸受損傷の推定時期




2018年12月頃から第2軸受温度が相対的に上昇。

主軸移動によって、ラビリンスリングが第2軸受内輪に接触、及び主軸との摩擦が発生したと推定する。

補助資料③：主軸受損傷、主軸ずれの過程（推定）



- ①第一軸受のころ、内輪、外輪に摩耗、剥離が発生（グリス変色）
- ②第一軸受の軸方向のギャップ発生
- ③主軸が軸方向に移動（2018/9月）（ローター近接スイッチ、ギアボックスダンパーの 空隙変動）
- ④第二軸受けラビリスリングが第二軸受け内輪、エンドカバーに接触（第二軸受け温度上昇、グリス黒化、異音発生）
- ⑤ラビリスリングと主軸の間に摩擦が発生し、高温の鉄粉が発生



以上