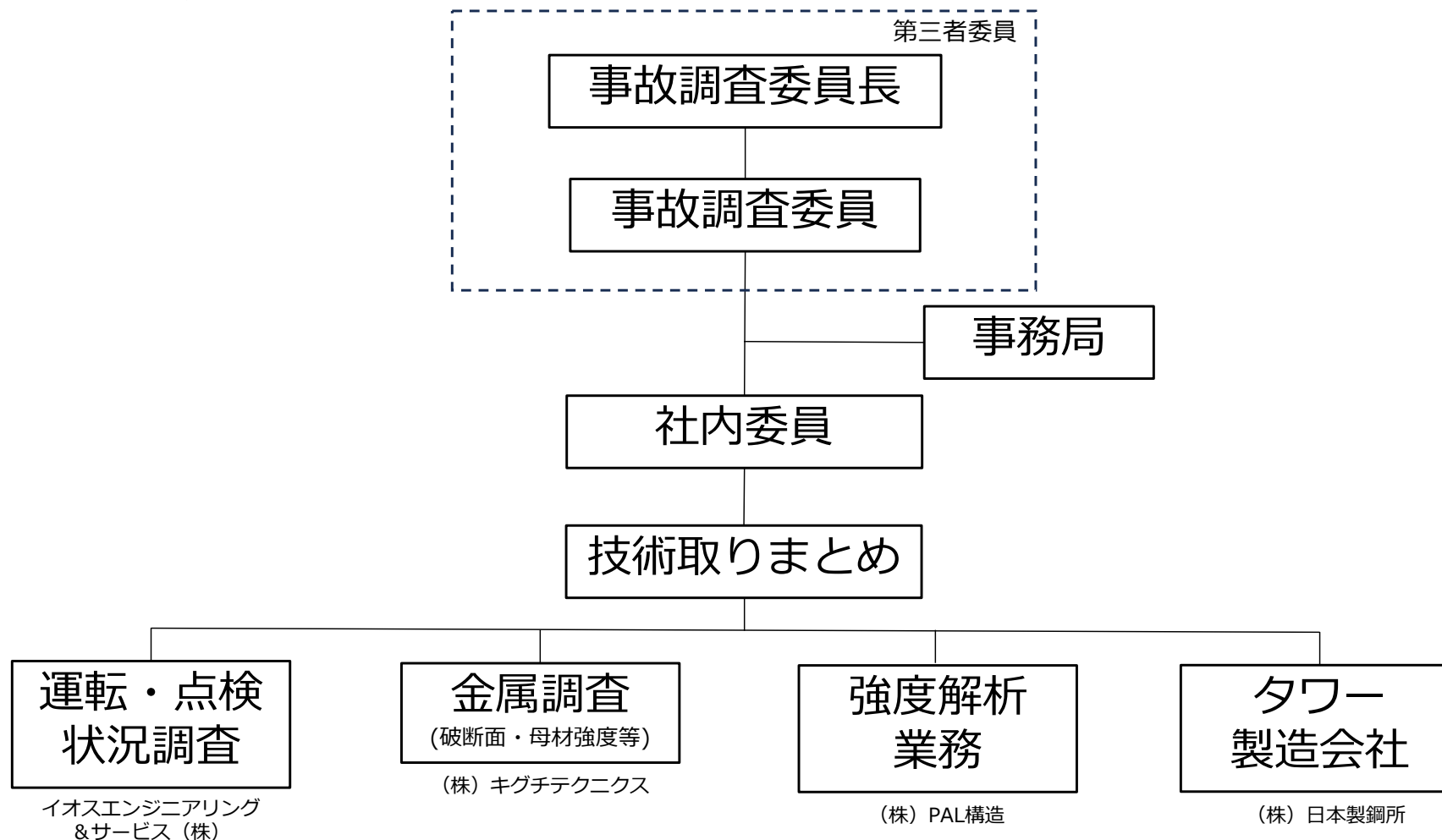


六ヶ所村風力発電所 1-3号機 タワー破損事故について

【設置者】 日本風力開発ジョイントファンド株式会社
【みなし設置者】 イオスエンジニアリング&サービス株式会社
2023年12月04日

事故調査委員会組織図



WG資料概要

- (1) 事故の状況
- (2) 事故の原因
- (3) 予防保全・再発防止策

1. 事業及び事故概要

- (1) 事業の概要
- (2) 事故の概要

2. 事故の状況

- (1) 事故発生時の風車の運転状況
- (2) タワーの損傷状況
- (3) 破断面・亀裂部の調査

3. 事故原因の究明

- (1) 亀裂進展メカニズム
 - a. 倒壊に至るまでの過程
 - b. Paris則による疲労亀裂進展時間の計算
- (2) 事故原因
 - a. フィッシュボーン図
 - b. 事故要因分析
- (3) 倒壊要因
 - a. 運用
 - b. メンテナンス
- (4) 疲労亀裂発生・進展要因

4. 予防保全・再発防止対策

- (1) 当該事故に対する予防保全・再発防止策
 - E-1. SCADAデータ利用による予防保全
 - F-1. 点検チェックシートの変更
 - F-2. タワー鏝のガイドライン(案)の作成
- (2) 類似事故を想定した予防保全策
 - a. なぜなぜ分析結果・対策
 - b. 対策実施工程
 - c. 心理的安全性

[会社略称]

JF	:	日本風力開発ジョイントファンド(株)
JWD	:	日本風力開発(株)
EES	:	イオスエンジニアリング&サービス(株)
JSW	:	(株)日本製鋼所
GE	:	ゼネラルエレクトリック社
キグチ	:	(株)キグチテクニクス

(1)事故の状況

2023年3月17日に六ヶ所村風力発電所1-3号機のタワーが破損(タワー途中で折損)しました。当該事故発生を受け、事故調査委員会を設置し、原因究明を実施してきました。

損傷した位置は、地上から約11m高さの溶接部であり、事故後の緊急点検の結果、同様の亀裂が同風力発電所の4-2号機でも発見されています(4-2号機は9月に撤去済)。



図 概要-1. 事故状況

(2)事故の原因

今回の事故は、初期疲労亀裂がタワーの内側の溶接余盛端部に発生し、その亀裂が板厚方向に進展・板貫通に至り、その後、周方向へ進展し、最終的に倒壊に至ったと判断し、原因は下記の通りと判断しました。

[亀裂発生の原因]

タワー外板の板厚変化部周方向溶接における食い違い段差(タワー製造時に発生)による応力の増加

[倒壊に至った要因]

- メンテナンスにおける亀裂の見落とし
- 倒壊前の異常振動多発現象の見落とし

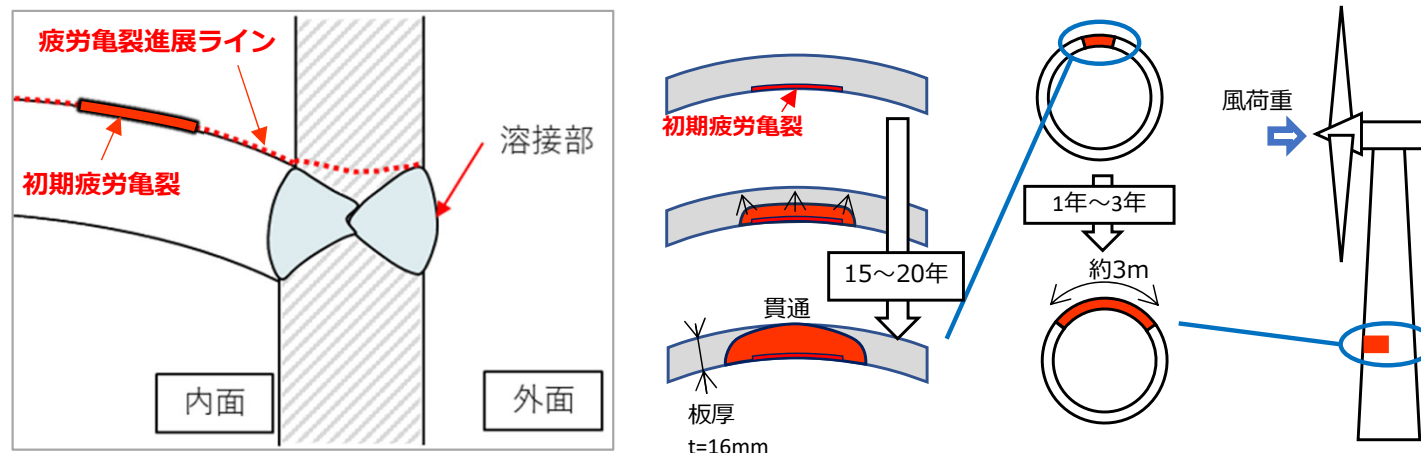


図 概要-2. 亀裂発生・進展・倒壊メカニズム

(3) 予防保全・再発防止策

① 緊急対応

国内同型機189基の溶接部の点検を実施し、倒壊した1-3号機、貫通亀裂が発見された4-2号機の2基以外には問題がないことを確認しました。

② 当該事故に対する予防保全・再発防止策

- ・ 「異常振動多発現象の見落とし」対策

事故機において倒壊前2か月間の間に発生していた異常振動に対する対応フローを決め、適用開始しました。

- ・ 「錆・亀裂事象の見落とし」の対策

定期点検方法(チェックリスト)の見直しにより、タワー内、外共に点検時に写真記録を残すこととし、特に亀裂起点となる内面については溶接線全線の管理を実施しています。

- ・ タワー錆のガイドライン(案)の作成

タワー外面の発錆に対しては、「(仮称)タワー錆のガイドライン」を取りまとめ、タワー錆管理に利用していきます。

③ 類似事故を想定した予防保全策

今回の事故だけではなく、知見のない事故等をも防ぐことができるような体制を構築するために、なぜなぜ分析から得られた結果から、対策を検討し、実行開始しております。 また、特に、「組織の中で自分の考えや気持ちを誰に対してでも安心して発言できる状態=心理的安全性」の構築による不具合情報の共有が大切と考え、その取り組みを開始しました。

(1)事業の概要

① 風力発電所の概要

発電所名： 六ヶ所村風力発電所

所在地： 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駸字二又地区

定格出力： 33,000kW（1,500kW×22基）

運転開始： 2003年12月

② 風力発電設備の概要

風車型式： ゼネラルエレクトリック社製 GE1.5s

定格出力： 1,500kW

ロータ回転数： 11～20rpm

ロータ直径： 直径70.5m（取付位置 地上64.7m）

タワー： （株）日本製鋼所製 鋼製3分割タワー（63.1m）

1. 事業及び事故概要

(1)事業の概要：六ヶ所村風力発電所（1-3号機位置図）

事故が発生した六ヶ所村風力発電所 1-3号機の位置は下記のとおりです(4-2号機は緊急点検の結果、亀裂が見つかった号機の位置を示す)。

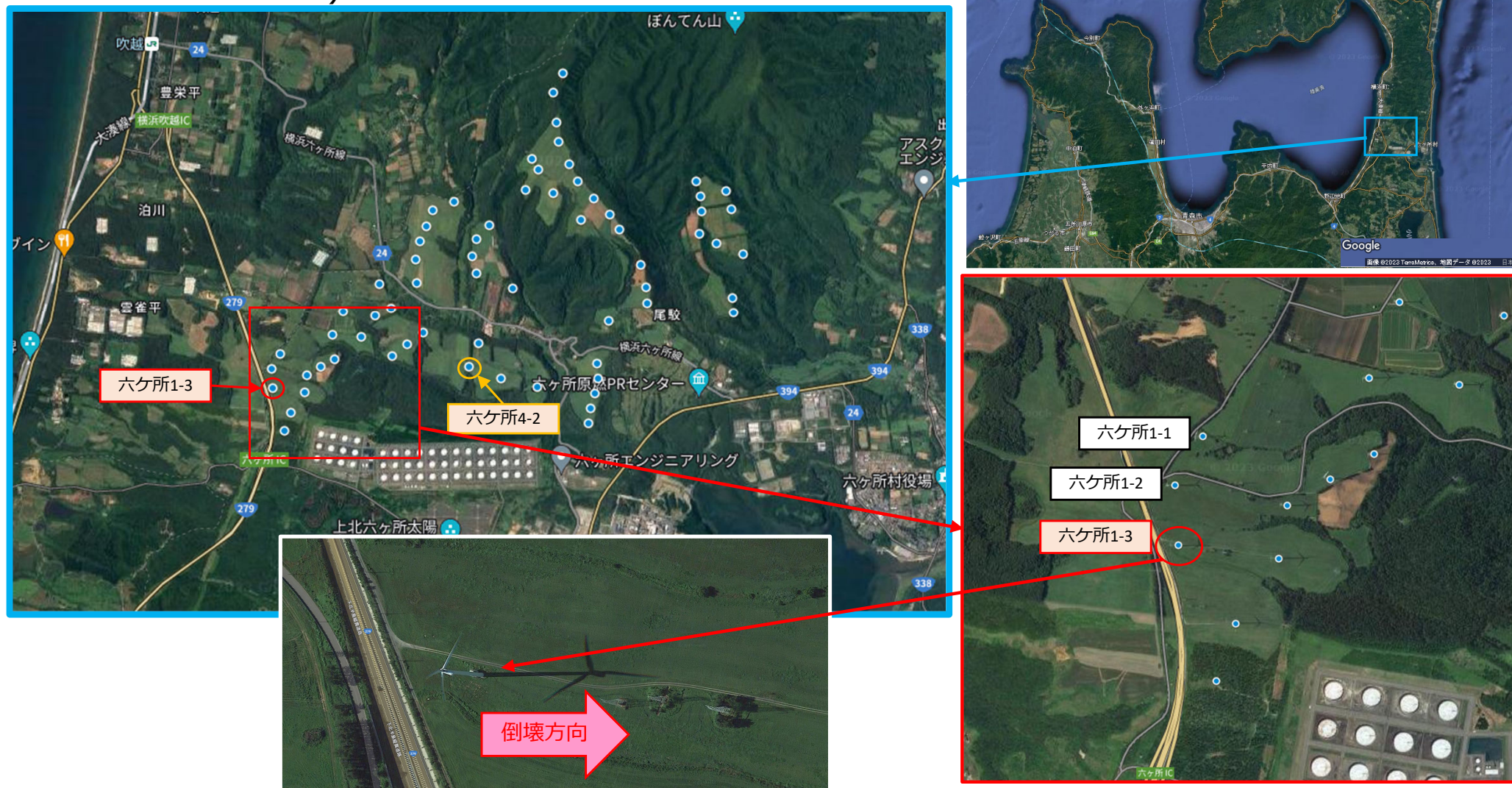


図1-1. 六ヶ所村風力発電所 1-3号機、4-2号機位置図

※引用:Google Map 地図データ2023

1. 事業及び事故概要

(1)事業の概要：風力発電設備概要

事故発生した六ヶ所村風力発電所 1-3号機の風車仕様は、下記のとおりです。同機は2003年12月に運転開始しています。

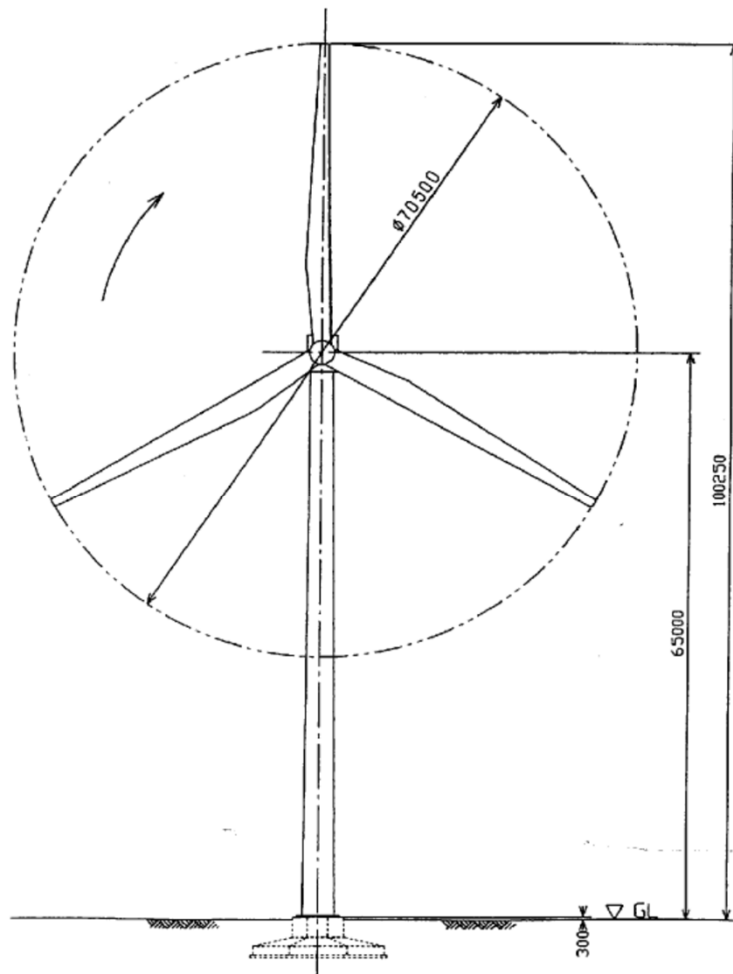


図1-2. 風力発電設備外形

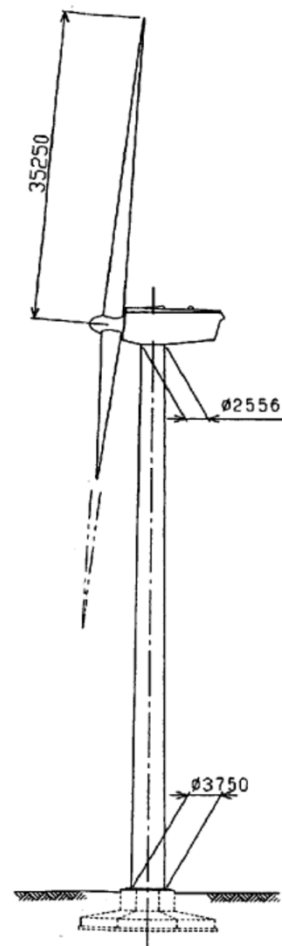


図1-3. 規格認証状況

表1-1. 風力発電設備仕様

風車機種	GE1.5s
製造者	ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
種類	アップウィンド型 可変ピッチ風車 (3翼同期)
定格出力	1,500kW
定格ロータ回転数	11-20rpm
ロータ直径	70.5m
ロータ取付位置	64.7m
カットイン風速	3m/s
定格風速	12m/s
カットアウト風速	25m/s
ブレード材質	ガラス繊維強化プラスチック (GFRP)
ブレード長さ	34.0m
ブレード重量	5,625kg±200kg
認証クラス	GLクラス3 (IEC IIクラス相当)
極値風速	42.5m/s (10分平均)

GL Wind Statement No.: WT 00-005A-2001, Revision 2

This Statement of Compliance for the Design Assessment of the Wind Turbine

GE Wind Energy 1.5s

is issued to

GE Wind Energy GmbH
Holsterfeld 16 / 48499 Salzbergen / Germany

This statement attests the compliance with below mentioned normative references concerning the design. The Design Assessment is based on the calculations and fabrication drawings listed in the relevant Certification Reports referenced below and the characteristic data given in the attached Annex.

Certification Report numbers and titles:

70999-1, Rev. 1	dated 06.02.2003	Load Assumption IEC 61400-1 and NVN 11400-0 Class IIA, Hub Heights 64.7 m or 85 m
71000-1, Suppl. 1, Rev. 1	dated 06.02.2003	Load Assumptions IEC 61400-1 and NVN 11400-0 Class IIA, Hub Height 64.7 m
71541-1, Rev. 1	dated 19.07.2004	Load Assumptions IEC 61400-1 Class IIA, Hub Height 64.7m
71169-2, Rev. 2	dated 21.07.2004	Safety System and Manuals
71541-3	dated 23.08.2004	Rotor Blade GE 34a
71169-3, Rev. 1	dated 06.02.2003	Rotor Blade GE 34c
71351-3, Rev. 1	dated 06.02.2003	Rotor Blade LM 34.0P
71169-4, Rev. 5	dated 23.08.2004	Machinery Components
71169-6, Rev. 1	dated 06.02.2003	Electrical Equipment
71351-7, Rev. 2	dated 21.07.2004	Tubular Steel Tower, IEC TC IIA, Hub Height 64.7 m

(2)事故の概要

推定時刻：2023年3月17日、1時27分と推定(回収したデータ履歴より)

事故状況：1-3号機のタワーの破損(タワー途中で折損)、ナセル及びロータハブ(ブレード3枚を含む)が地上に落下していることを確認し、六ヶ所村風力発電所 全機保安停止させました。

表1-2. 事故時対応状況

日時	対応事項
2023/3/17, 1:27	六ヶ所村風力発電所 1-3号機 情報未着発生
2023/3/17, 8:12	1-3号機 タワー破損を確認
初動対応	
2023/3/17, 8:27	電気主任技術者(六ヶ所村風力発電所) へ事故速報連絡
9:40	六ヶ所村風力発電所 全機保安停止完了
9:41	六ヶ所村役場へ速報連絡
9:42	電気主任技術者(二又風力発電所) へ事故速報連絡
9:48	野辺地警察署へ速報連絡
10:30	公衆安全対策実施完了(2次災害対策) (バリケード設置・注意喚起掲示)
10:30～	現場状況確認実施
13:00	東北産業保安監督部へ電気事故速報を連絡



図1-4. 事故時の上空からの状況写真

2. 事故の状況

11

(1) 事故発生時の風車の運転状況

事故発生時のSCADAデータ(10秒平均)を確認したところ、損傷発生時は定格出力近傍で運転中でした。雷・突風等の情報はなく、また、倒壊事故前にエラーの発生はありませんでした。

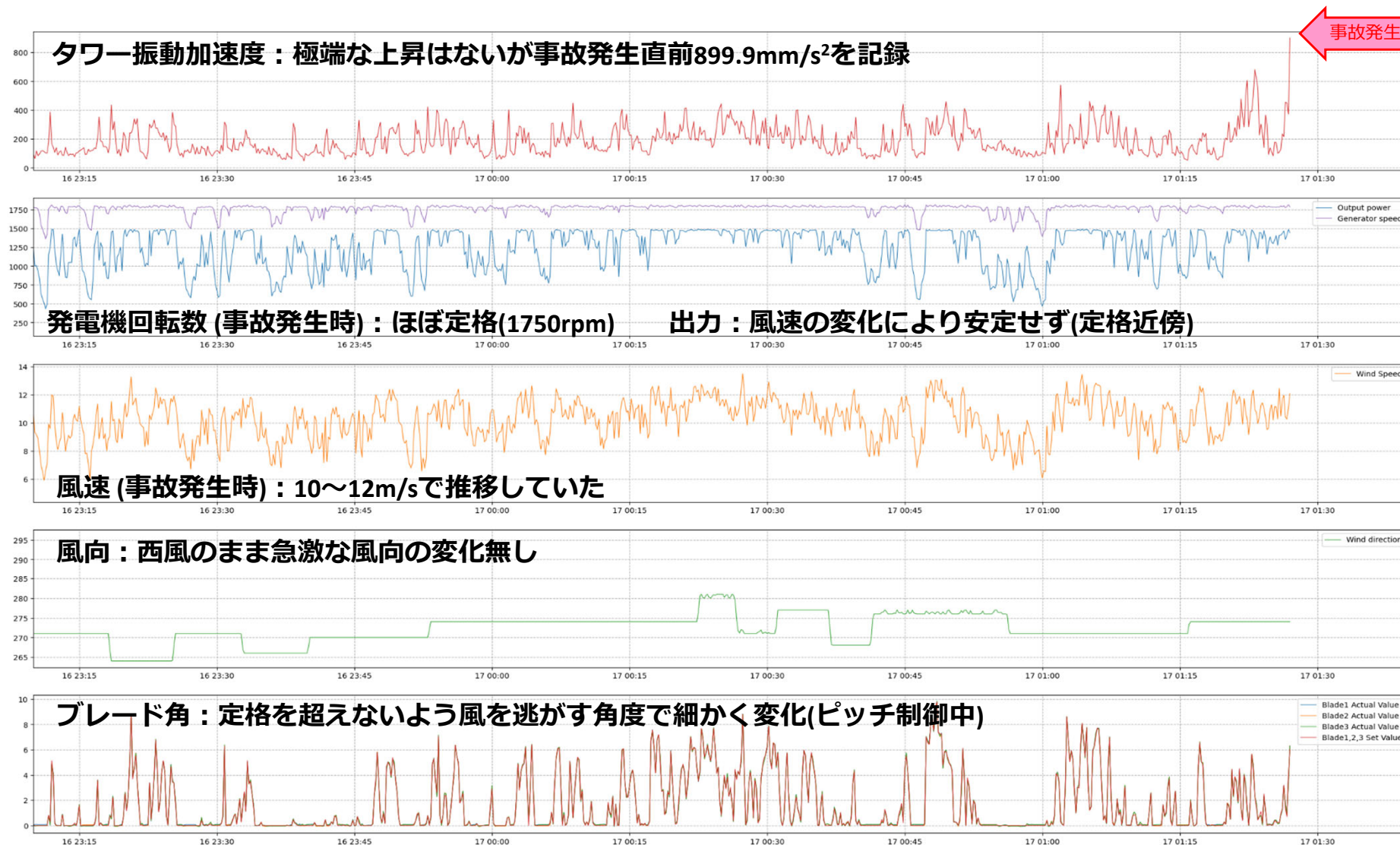


図2-1. SCADA 10秒平均値推移
(2023/3/16 19:40:00 ～ 2023/3/17 1:27:00 約6時間)

(2)タワーの損傷状況: タワー損傷位置図

損傷した位置は、フランジ接合の三分割タワーの最下段(ボトムタワー:約20m高さ)の中間部(約11m高さ)であり、周方向溶接部と合致しています。



損傷タワー下部残存部

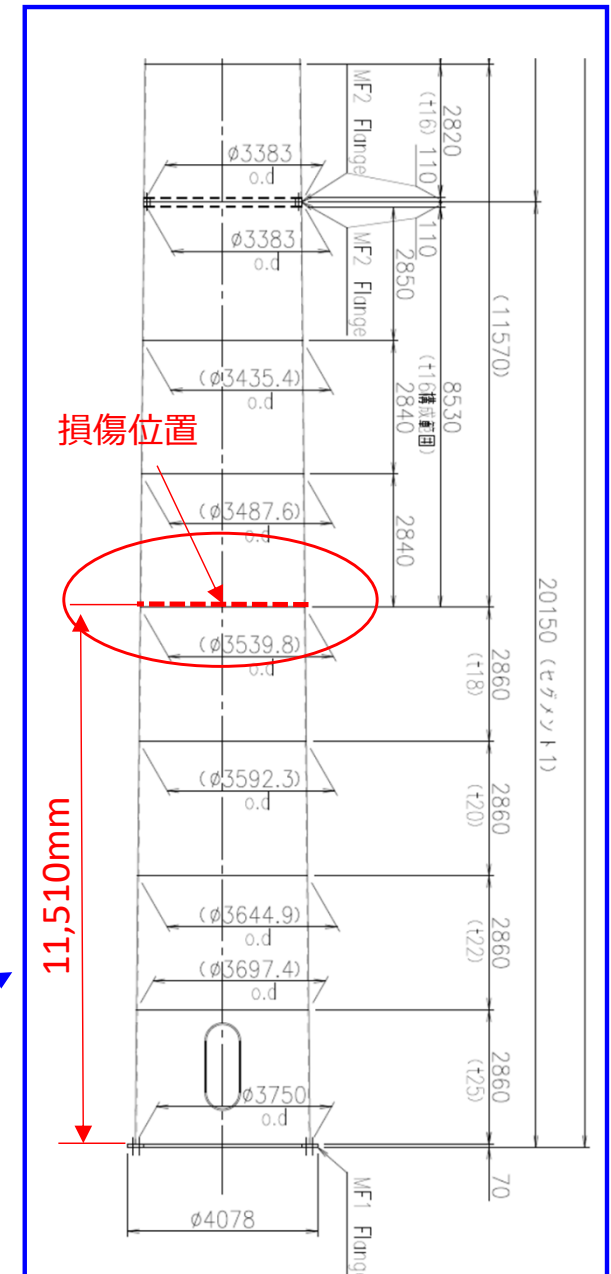
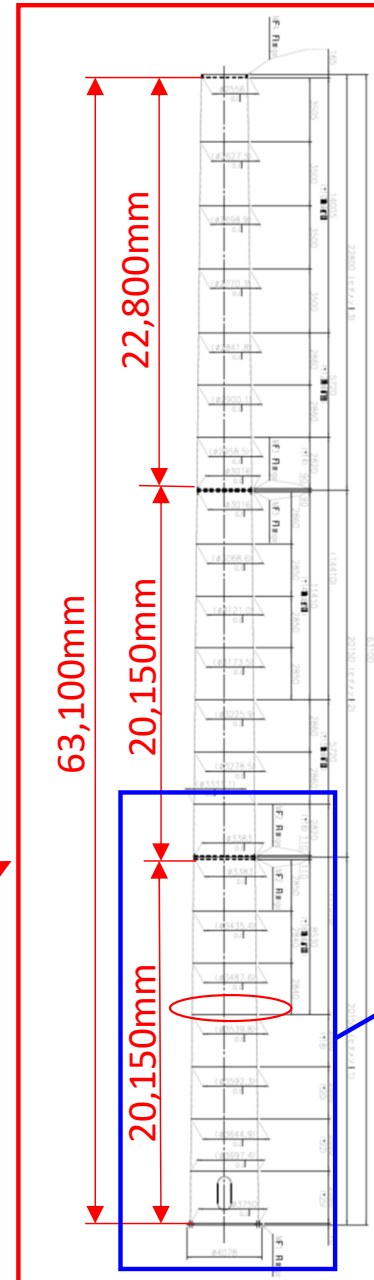
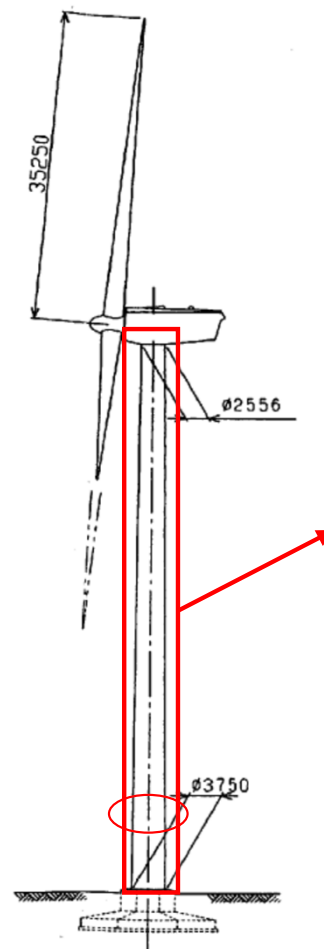


図2-2. タワー損傷位置図

2. 事故の状況

13

(2) タワーの損傷状況：破断面観察状況・発錆範囲

損傷した部分の溶接線部断面には発錆が見られており、以前より亀裂が発生していたと認められます(発錆している範囲は130-140°程度：破断部はキグチにて調査を実施済み)。

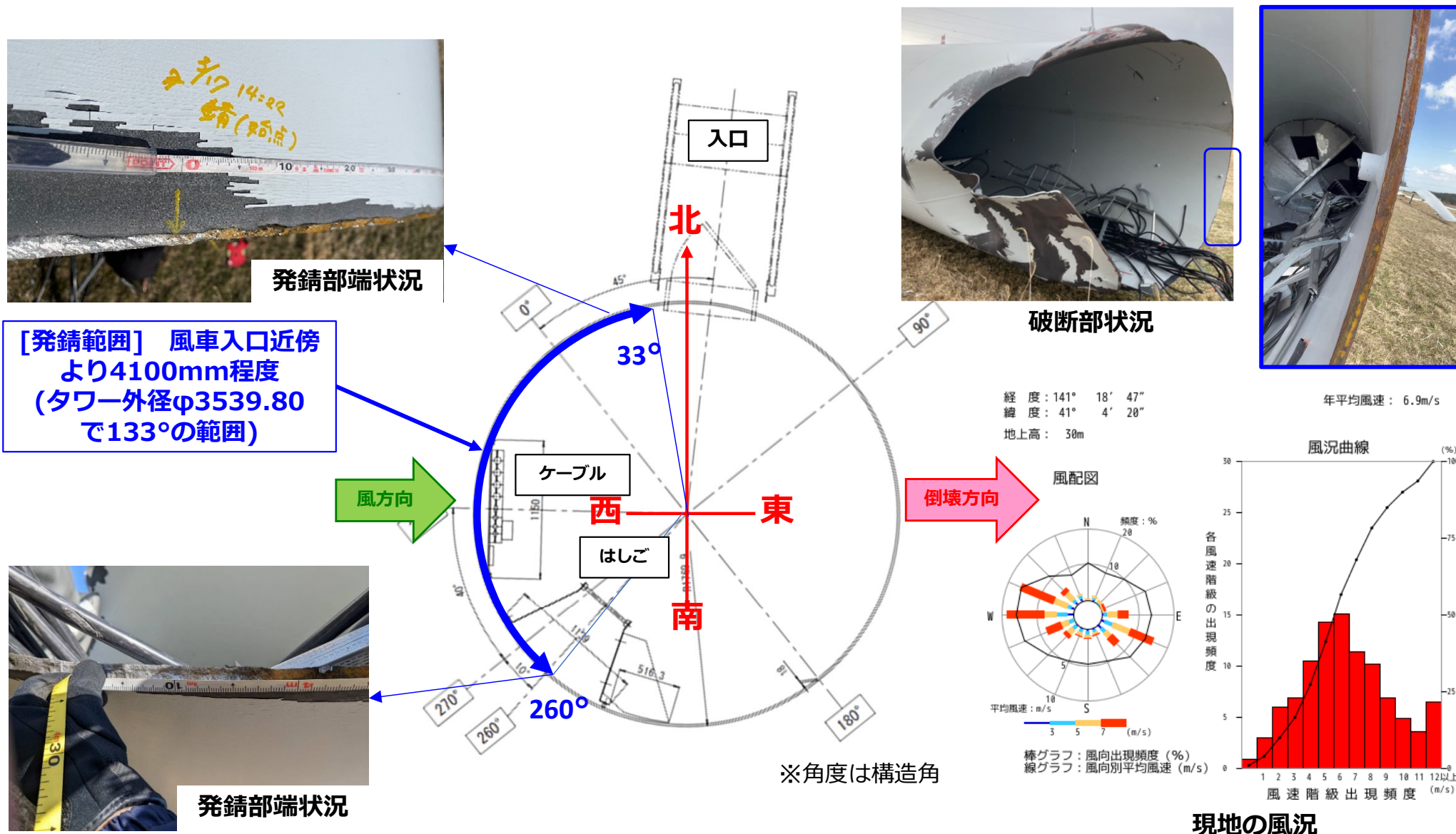
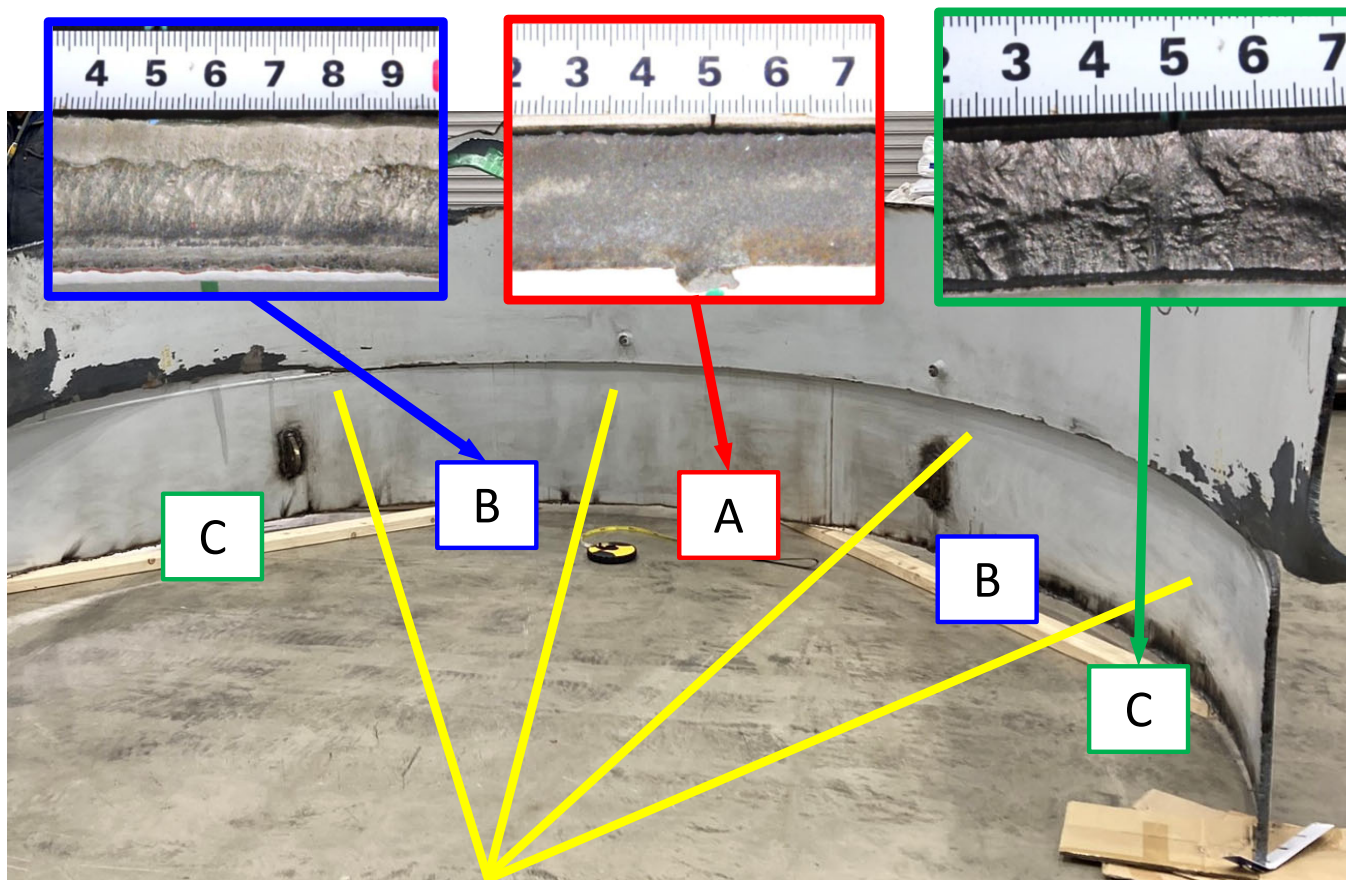


図2-3. タワーの損傷状況：破断面観察状況・発錆範囲

(3) 破断面・亀裂部の調査 a. 1-3号機破断面(1)

材料の評価の第三者機関であるキグチにて調査(破断面の記録、溶接部形状計測)を実施し、詳細調査を実施しました。試験体観察(破断面の外観確認:4/12実施)の結果、亀裂は領域Aから発生し、領域B・領域Cへと広がったと認められます。



破断面調査の結果、破断面の状態を4種類に大別

- ・ **領域A** :
全面平坦な初期疲労破面
- ・ **領域B** :
内側は疲労破面(板に鉛直・直線)、外側は強制破面(板に対して傾斜)
- ・ **領域C** :
全体的に大きく傾斜した破面。
- ・ **領域D (A～C以外)** :
錆がない破断面

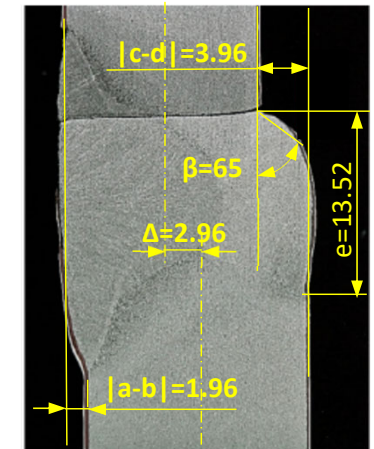
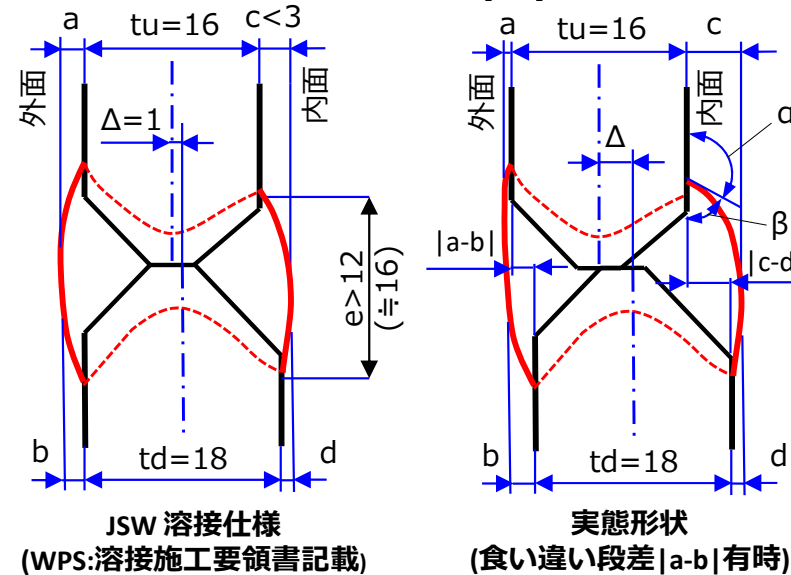
図2-4. #1-3試験体観察(4/12実施)

2. 事故の状況

(3) 破断面・亀裂部の調査 a. #1-3号機破断面(2)

溶接線形状計測の結果、外面で最大1.96mmの食い違い段差|a-b|が確認されました。

食い違い段差|a-b|($\div$ |c-d|-2)と余盛端角 β ($=180^\circ$ -フランク角 α)が大きい範囲と主風向が重なったことが、過大な応力集中を招き疲労亀裂進展を進めやすい環境にあったと考えられます。



1-3号機310°マクロ断面

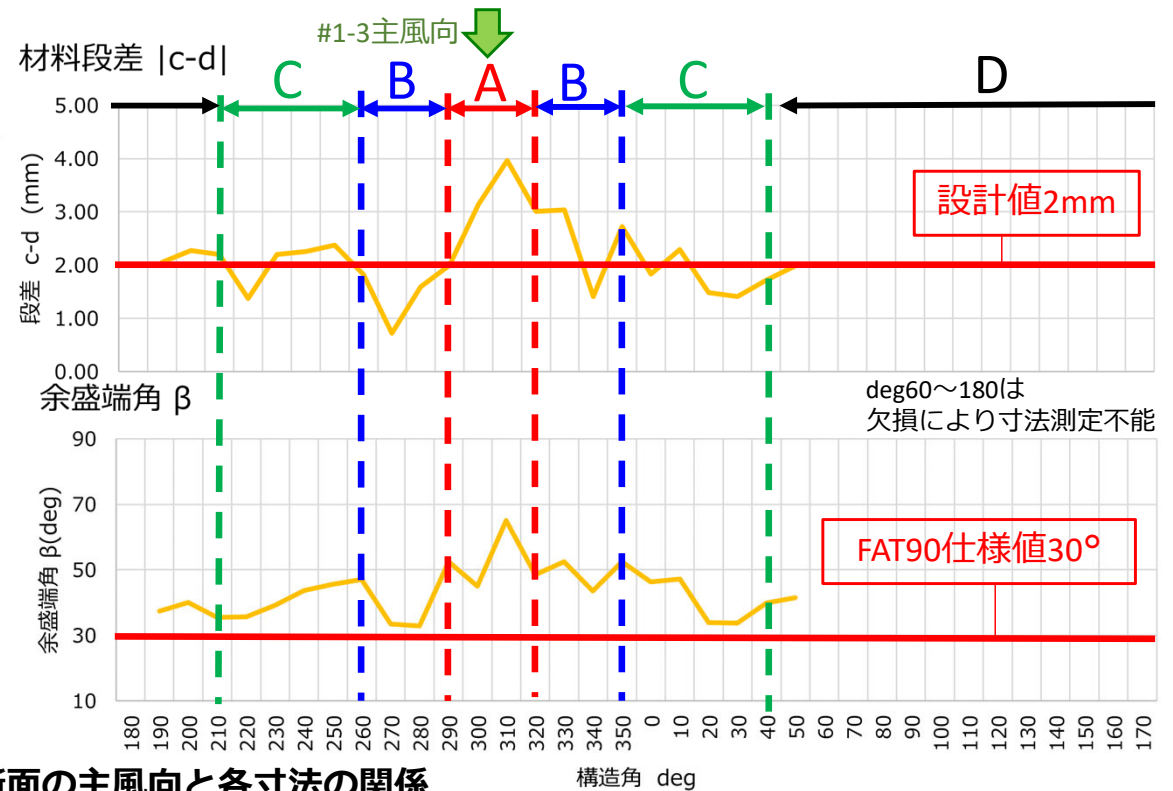
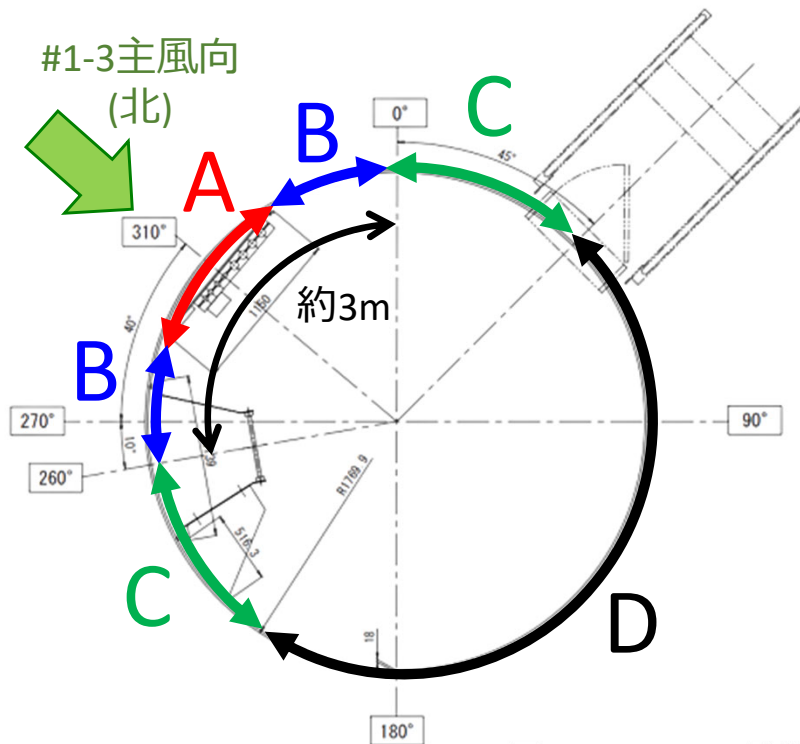


図2-5. #1-3破断面の主風向と各寸法の関係

3. 事故原因の究明

(1) 倒壊メカニズム a. 倒壊に至るまでの過程

当該風車は、タワーに作用する繰り返しの風荷重によって、疲労亀裂が進展したため強度が低下し、最終的には瞬間的な風荷重に耐えられずに座屈し、倒壊したと推定されます。最初に初期疲労亀裂がタワーの内側の溶接余盛端部に発生し、その亀裂が板厚方向に進展・板貫通に至り（①15年から20年）、その後、周方向へ進展したと推定されます（②1年から3年）。最終局面では、き裂先端の応力が大きくなり延性破壊によって急速に亀裂が進展したと推定されます（③倒壊まで数か月）。

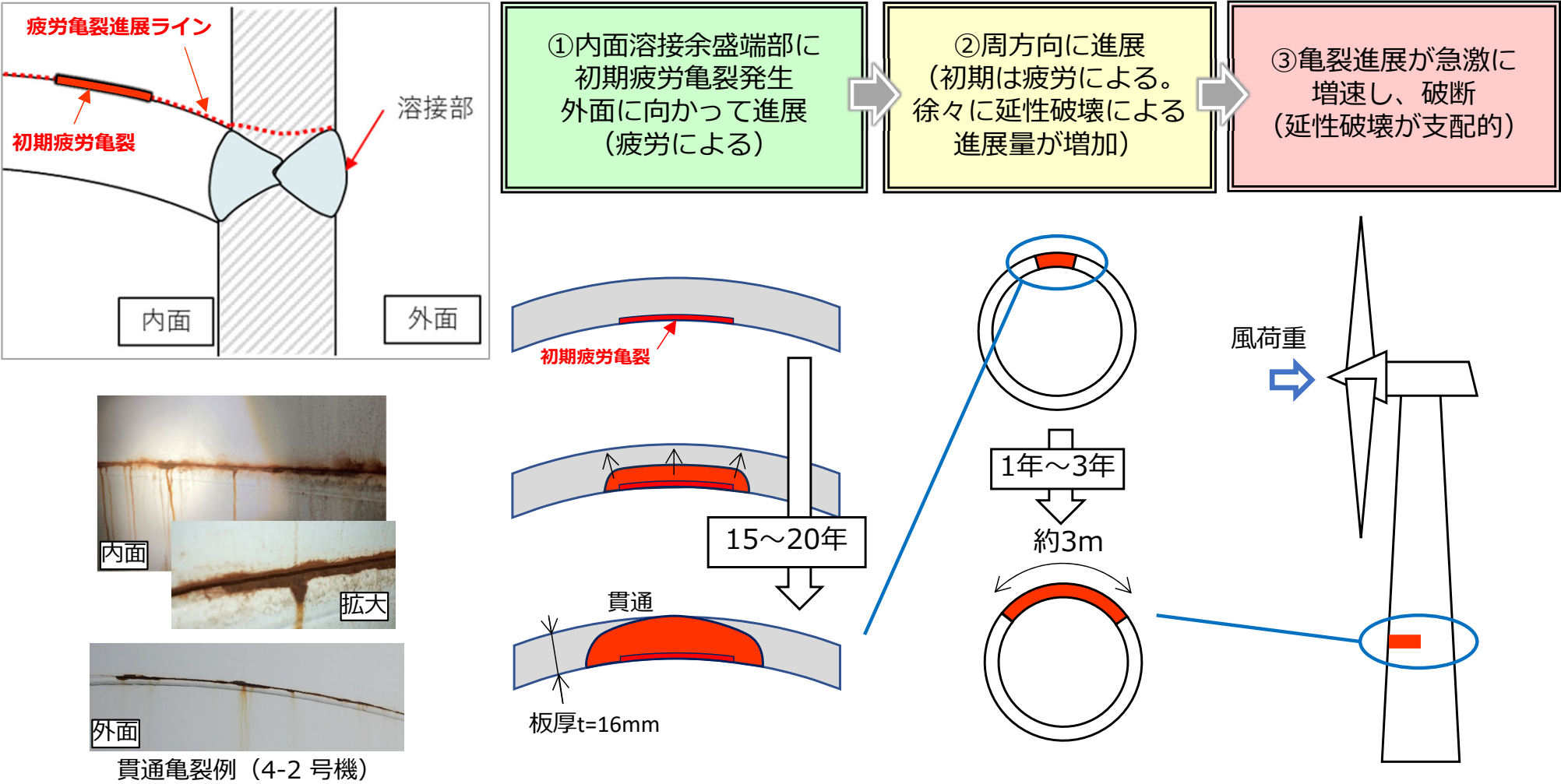


図3-1. 倒壊に至るまでの過程

3. 事故原因の究明

(1) 倒壊メカニズム b. Paris則による疲労亀裂進展時間の計算

17

Paris則を用いて計算した結果、疲労亀裂は、①15～20年、②1～3年、③数か月をかけて進展したと考えられます。①の疲労亀裂進展時間は長い期間を要しますが、②および③は、①より短い時間で亀裂が進展することがわかります。したがって、再発防止の観点からは①の内面側に発生した亀裂が貫通するまでに、点検によって亀裂を早期に発見することが重要となります。

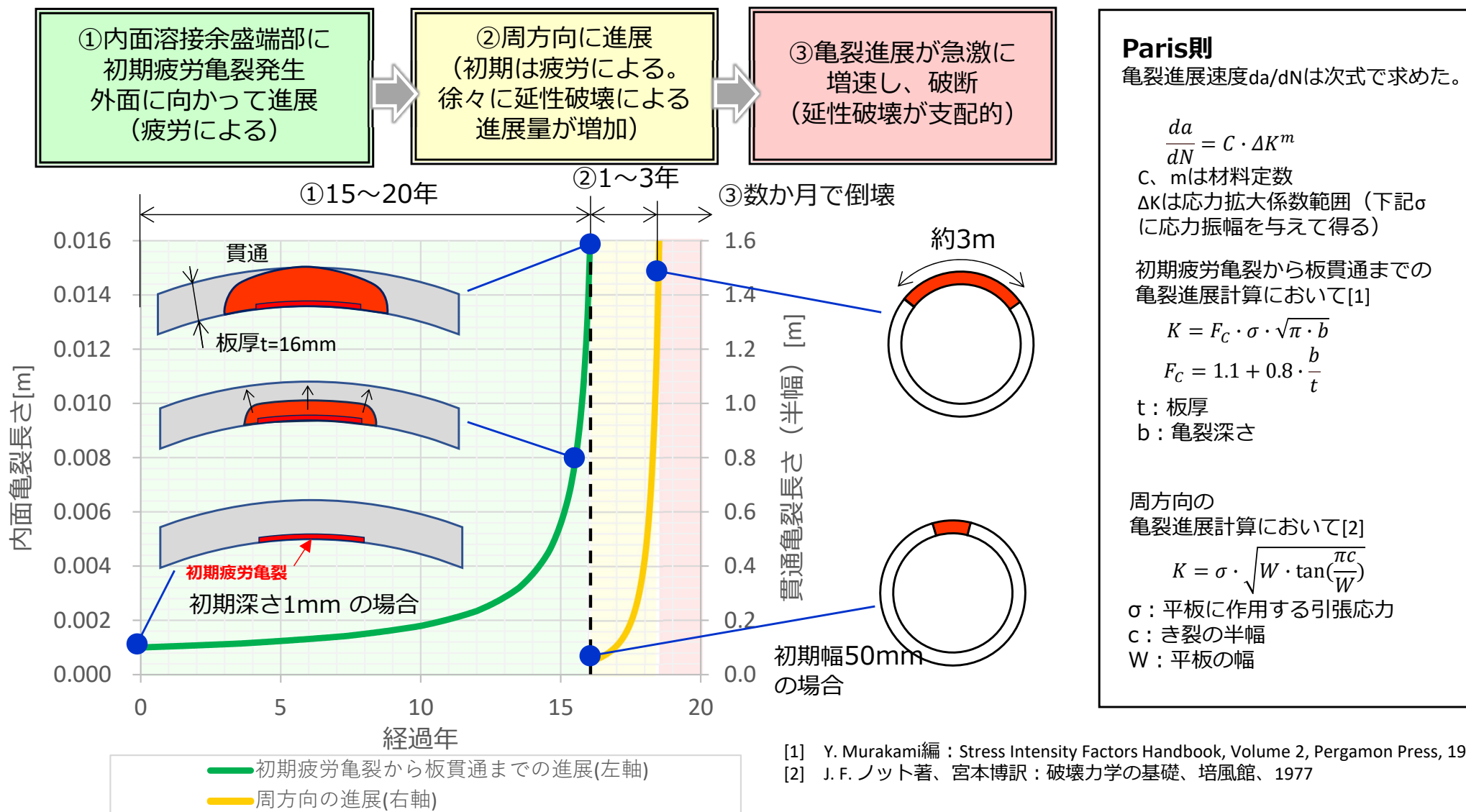


図3-2. Paris則による疲労亀裂進展時間

[1] Y. Murakami編：Stress Intensity Factors Handbook, Volume 2, Pergamon Press, 1987

[2] J. F. ノット著、宮本博訳：破壊力学の基礎、培風館、1977

(2) 事故原因 a. フィッシュボーン図

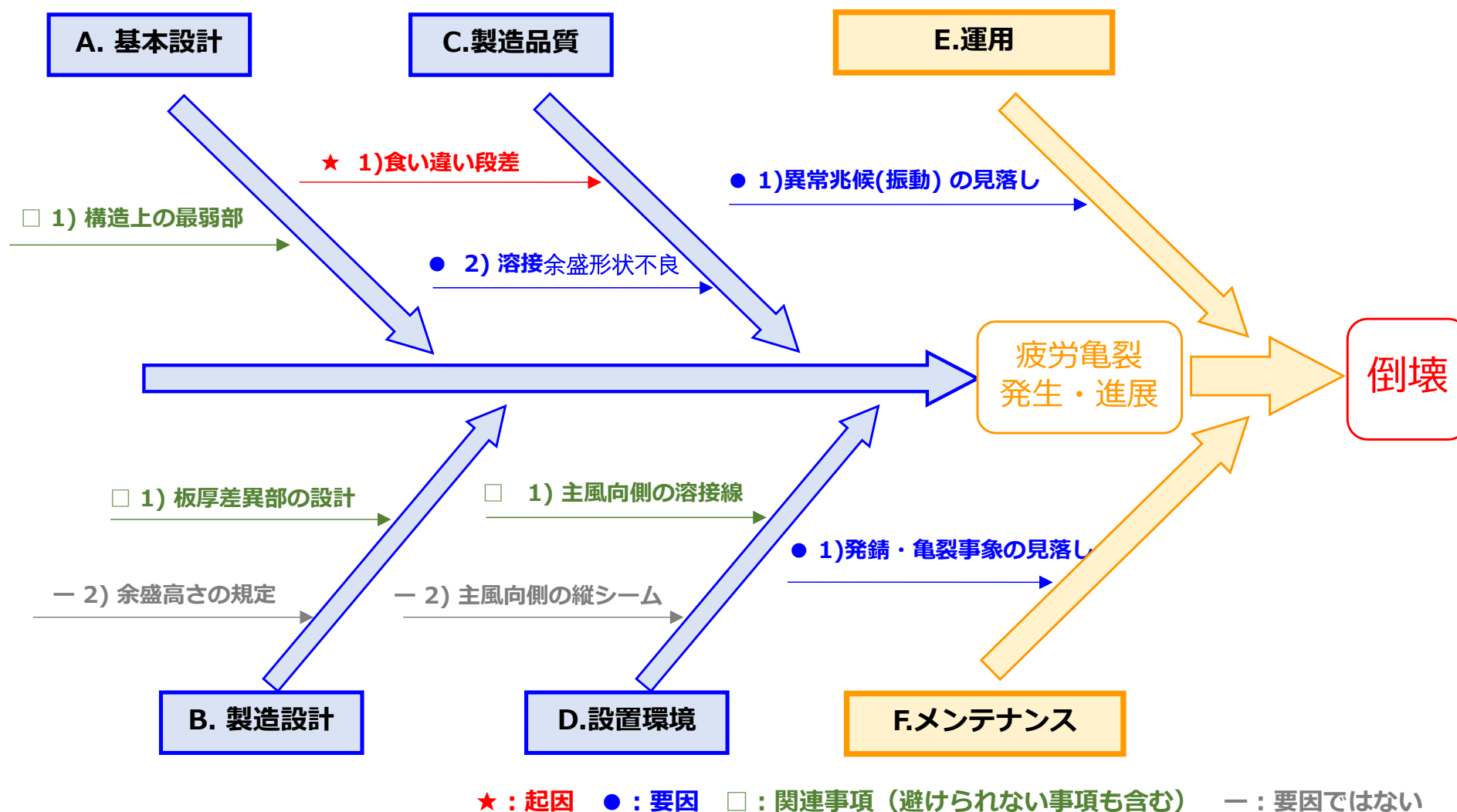


図3-3. 事故原因(フィッシュボーン図)

亀裂が発生しタワーが倒壊した事象の起因は、溶接部における板の食い違い段差であり、倒壊は運用、メンテナンスの「見落とし」であることが判明しました。そのため緊急対応として既に全風車の溶接部での亀裂の有無を点検し亀裂がないことを確認しましたが、今後も定期的に亀裂の有無を確認します。さらに、振動エラー発生時に振動データの時系列を分析して、異常がないかを確認します。

(2) 事故原因 b.事故要因分析

事故要因分析から、亀裂発生起因は、板厚差異部の主風向側にあった製造時の食い違い段差による応力の増加であり、倒壊に至った要因は、メンテナンス時の亀裂の見落とし、及び倒壊前の異常振動多発が亀裂進展を表すことに気がつかなかったことと判断しました。

表3-1. 事故要因分析表

要因	原因	内容	評価	根拠
A 基本設計	1) 構造上の最弱部	十分な安全率は有しているが、タワー内では疲労強度最弱部	□	タワー全体は安全率を考慮して疲労設計されていた。しかしながら当該部（溶接線第④節）は耐疲労余裕度が他の板厚差異部に比して一番小さく、そこに食い違い段差があったことで、疲労亀裂が発生した。
B 製造設計	1) 板厚差異部の設計	板厚差異部の合わせ方(外側合わせ)	□	JSWタワーは外面合わせだが、同型タワーの他社製2社はセンター合わせであり、他社と比して応力集中率が高くなる。設計としては問題ないが、製造誤差方向により、食い違い段差が生じる要因となっていた。
	2) 余盛高さの規定	溶接余盛高さGE仕様規定外(溶接幅の10%以下の規定を守っていない)	—	当該部の余盛高さ基準として溶接幅の10%以下にするとの規定があったが、JSWの当時のWPSにはそれが記載されていなかった。調査の結果、当時の「建築工事標準仕様書 JASS6 鉄骨工事」に則って規定しており、製造設計としては要求基準強度は満たしていた。
C 製造品質	1) 食い違い段差	製缶時の製造誤差により、食い違い段差が生じていた	★	上部側(t16)が下部側(t18)に比して外側に飛び出す、食い違い段差が生じていた。溶接前には誤差を矯正していたと推定されるが、溶接時に食い違い段差が生じた状態で溶接されたと推定。段差と溶接形状による応力集中と、偏心による曲げを招いた。
	2) 溶接余盛形状	溶接端部の角度が高くなることで応力集中が増大	●	今回の亀裂始点には食い違い段差も生じており、溶接段差がより高くなっており、溶接端の角度が高くなっていた。
D 設置環境	1) 主風向側の溶接線	亀裂発生個所は主風向側であり、風向頻度が高い方向に発生	□	主風向側に生じていた食い違い段差の影響で疲労亀裂が発生した。主風向側にあったことから、高い繰り返し応力が頻度高く付加され、亀裂進展につながった。
	2) 主風向側の縦シーム	縦シーム溶接部との交差	—	1-3号機の疲労亀裂基点部は縦シーム溶接との交差点であり、応力集中を助長した可能性があったが、貫通亀裂が見つかった4-2号機は横シーム溶接のみの箇所であり、要因ではない。
E 運用	1) 異常兆候(振動)の見落とし	倒壊前2か月間の間に、振動エラーが多発していた	●	振動エラー発生時の振動データの時系列を分析した結果、倒壊した風車と通常の風車とで明らかな違いがあった。この点を倒壊前に把握していれば、倒壊を防げた。
F メンテナンス	1) 発錆・亀裂事象の見落とし	点検時の溶接線部発錆・亀裂事象の見落とし	●	内面から発生する疲労亀裂の進展速度を解析した結果、内面亀裂が発生してから貫通亀裂、さらには倒壊に至るまでに数年を要することが分かった。この間に亀裂を発見していれば倒壊を防げた。

★：起因 ●：要因 □：関連事項（避けられない事項も含む） —：要因ではない

3. 事故原因の究明

(3) 倒壊要因 E. 運用(異常兆候(振動) の見落とし)

倒壊前2か月間の間に、1-3号機ナセルの振動エラー(EM177)が多発していました(年間約5~10回の発生だったものが、倒壊前2か月で21回発生)。今までの経験からこの振動エラーは、乱流時やピッチ関係機器の不調時に発生すると認識しており、多発し始めたことは認識しつつも、現地確認では過去のブレード損傷事故を想定したブレード状態確認(外観・異音)を実施して運転再開しており、倒壊に至るタワーの異常兆候は認識できず、倒壊に至りました。(当時は振動エラー発生後に、SCADA振動データの確認をしていませんでした)。

表3-2. 2023年の1-3号機ナセルの振動エラー(EM177)発生状況(2023年1月~3月事故発生まで:計21回)

No.	発生日	時刻	停止時間	復旧※	対応内容	No.	発生日	時刻	停止時間	復旧※	対応内容
1	1/29	3:09	0:03	自動		12	2/25	22:36	0:03	自動	
2	1/31	14:00	0:02	自動		13	2/26	4:35	0:03	自動	
3	2/2	0:37	0:03	自動		14	2/26	8:13	0:11	遠隔	現地ブレード外観確認
4	2/2	4:51	2:50	遠隔	現地ブレード外観確認	15	2/26	8:48	1:11	遠隔	現地ブレード外観確認
5	2/3	9:13	5:31	遠隔	現地ブレード外観確認	16	3/4	13:19	0:02	自動	
6	2/9	5:32	0:02	自動		17	3/4	13:42	5:32	遠隔	現地ブレード外観確認
7	2/9	5:56	6:06	遠隔	現地ブレード外観確認	18	3/10	22:16	0:02	自動	
8	2/9	12:56	3:37	遠隔	現地ブレード外観確認	19	3/11	1:24	0:03	自動	
9	2/9	19:53	15:50	遠隔	現地ブレード外観確認 出力制限1,000kW(~2/10 8:48) 振動計通信部品を交換し復旧	20	3/11	3:51	4:56	遠隔	現地ブレード外観確認
10	2/20	3:56	0:02	自動		21	3/13	17:09	0:02	自動	
11	2/21	17:53	0:02	自動			3/17	1:27	-		倒壊事故発生

※復旧項目の「自動」はプログラムによる自動リセット、「遠隔」は現地確認後の監視センターによる手動リセットを示す。

(3) 倒壊要因 F. メンテナンス(発錆・亀裂事象の見落とし)

事故機のタワー外面は、フランジ継手部(下図赤丸部)に多く発錆があり見られ、その部分については塗装補修を行いました。それに比べて錆の少ない溶接線部分(下図青丸部分)については、注意が疎かになっていました(塗装補修は実施せず)。また、内面溶接線部に関しては、フランジの溶接線部以外の溶接線に亀裂が発生することは想定していなかったため、定期点検時にチェックすることになっていませんでした。

そのため、少なくとも1年～3年前には貫通亀裂が発生し、発錆があったと推定されていますが、その亀裂、発錆を見落としていたと推定しています。

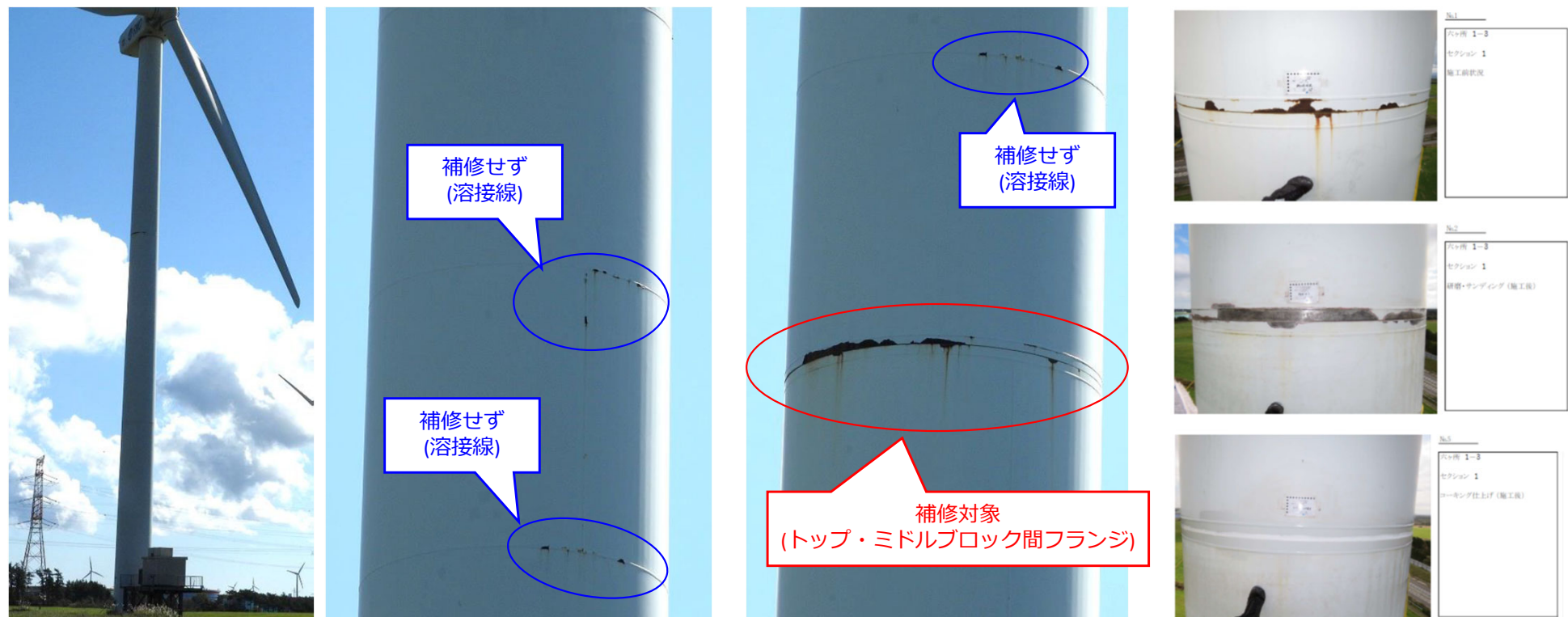


図3-4. 2021年9月21日 1-3号機 タワー外観点検記録写真

図3-5. フランジ部補修
2022.10月

(4) 疲労亀裂発生・進展要因 (基本設計・製造設計・製造品質)

当該タワーの基本設計は、IEC 61400-1 Class II Aに基づきGermanischer Lloyd (GL)から認証を受けていました。溶接部の基本設計・製造設計・製造品質の状況は下表のとおりです。損傷したタワーの食い違い段差および溶接余盛形状は、当時の製造品質基準を満たしていませんでした。

[溶接部適用規格]

①タワー図面：DIN4133(1991年度版)表B.1の継手の種類1のクラス2（溶接疲労強度はFAT90）

②タワー仕様書：DVS0705(1994年版)の表4aのクラスB（DVS0705は溶接規格DIN EN25817,ISO5817の推奨基準）

Tabelle B.1. Kerbfallkatalog

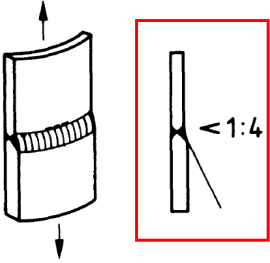
1	125/112/90
Transverse splices in shell Butt weld carried out from both sides Quality class 1 125 Quality class 2 90 Quality class 2 in flat position 112	
	

図3-6 DIN4133（表B.1の図1の溶接クラス2）

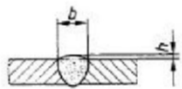
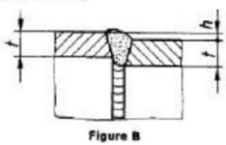
No.	Imperfection designation	ISO 6520 reference	Remarks	Limits for imperfections for quality levels		
				Moderate D	Intermediate C	Stringent B
12	Excess weld metal	502	Smooth transition is required 	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,25 b$, max. 10 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 b$, max. 7 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$, max. 5 mm
18	Linear mis-alignment	507	The limits relate to deviations from the correct position. Unless otherwise specified, the correct position is that when the centrelines coincide (see also clause 1). 	Figure B – Circumferential welds $a \leq 0,5 z$ max. 4 mm max. 3 mm max. 2 mm		

図3-7 DIN EN25817(1992)におけるクラスBの規定

表3-3. 基本設計・製造設計・製造品質比較

項目	基本設計書の記載(GE社)	製造設計(JSW)	1-3,4-2号機の測定値
余盛高さ(h)	①DIN4133 $h < 0.1 \times B$ B:余盛幅	余盛高さについては、GE社と協議しJASS6(建築工事標準仕様書)に基づき製造設計	1-3号機: 余盛高さ2.3~4.5mm(余盛幅の19~30%)
	②DVS0705 $h < 1 \text{ mm} + 0.1 \times B$ B:余盛幅(最大5mm)	余盛高さは、18mm母材部からの余盛高さ3mm以下とした	4-2号機: 余盛高さ3.0~5.0mm(余盛幅の15~28%)
板厚差異部 テーパ	①DIN4133 1:4 (0.25)以下	外面合わせで段差2mm/開先幅12mm=0.17 製造精度1mm込みで $2 \pm 1 \text{ mm} / 12 \leq 0.25$	1-3号機：亀裂起点部で $3.96 / 12 = 0.33$ 4-2号機：亀裂起点部で $4.38 / 12 = 0.37$
食い違い段差(d)	①DIN4133 規定なし	溶接工程で最大1.0mm目標で管理	1-3号機亀裂部最大2.96mm(板厚中心) 4-2号機亀裂部最大3.38mm(板厚中心)
	②DVS0705 最大3mm(板端)		
	②DIN EN25817 最大2mm(板厚中心)		

[緊急対応]

国内同型機189基の溶接部の点検を実施し、倒壊した1-3号機、貫通亀裂が発見された4-2号機の2基以外には問題がないことを確認しました。

(1)当該事故に対する予防保全・再発防止策

E-1. SCADAデータ利用による予防保全

事故機において倒壊前2か月間の間に、振動エラーEM177が従来より多発していたことがわかっており、当該エラー発生時の対応フローを決め、予防保全を開始しました。

F-1. 点検チェックシートの変更

「錆・亀裂事象の見落とし」の対策として、定期点検方法の見直しを実施しました。具体的には、タワー内、外共に点検時に写真記録を残すこととし、特に亀裂起点となる内面については360°カメラを利用した溶接線全線の管理を実施しています。なお、その他のチェックシートについても見直しを開始しています。

F-2. タワー錆のガイドライン(案)の作成

タワー外面の発錆に対しては、従来重要視せず、溶接線部の貫通亀裂による外面発錆を見逃す要因となりました。今後はタワーの発錆状態について、「(仮称)タワー錆のガイドライン」を取りまとめ、タワー錆について写真管理してしていきます。

(2) 類似事故を想定した予防保全策

今回の事故だけではなく、知見のない事故等をも防ぐことができるような体制を構築するために、なぜなぜ分析から得られた結果から、対策を検討し、実行開始しております。また、特に、「組織の中で自分の考えや気持ちを誰に対してでも安心して発言できる状態=心理的安全性」の構築による不具合情報の共有が大切と考え、その取り組みを開始しました。

4. 予防保全・再発防止策

(1) 当該事故に対する予防保全・再発防止策

異常兆候(振動)の見落とし/発錆・亀裂事象の見落としについて、なぜなぜ分析等の結果から、運用・メンテナンスにおける問題点を抽出し、対策を検討、実行しました。

表4-1. 運用・メンテナンスにおける問題点と対策

要因		原因		主要問題点	主要対策	説明ページ
E	運用	1)	異常兆候(振動エラー多発)の見落とし	倒壊前2か月間の間に、 振動エラーが多発 していたことは認識しつつも、この 多発が倒壊に至るタワーの異常兆候とは認識できず 。	振動警報発生時に、 SCADAデータによる振動分析を実施 することを規定した。	E-1. SCADAデータ利用による予防保全
		F	1)	発錆・亀裂事象の見落とし(全般)	点検チェックシートは溶接線毎の良否判断ではなく、 タワー全体での「腐食、フランジ亀裂、溶接継目、塗装損傷」の良否判断 となっていた。	チェックシートを改善 し、特に亀裂起点である内面溶接線については、全溶接線の 360°カメラによる記録を残す こととした。
チェックシートの 良・非の判定 は、現場技術員のみでの判断で行われており、 個人の主観による判断 で行われていた。	写真を撮り、記録を残す ようにチェックシートを改定し複数者で状態確認が出来るようにした。 客観的判定のためにタワー錆のガイドライン(案) を制定した。				F-1. 点検チェックシートの変更 F-2. タワー錆のガイドライン(案)	
今回のタワー損傷形態(工場溶接部からの損傷)の知見がなく、フランジ部近傍以外の タワー内面工場溶接部に対する危険認識がなかった 。	タワー錆のガイドライン(案) を作成し、錆・状態の判定や、 錆の程度による対応方法を明確 にした。				F-2. タワー錆のガイドライン(案)	
錆は過去から発生して、徐々に拡大しており、過去の点検において問題なしとなっていた場合、月例巡視・半年/年点検での 変化に気が付くことができず、危険との認識はできなかった 。	写真管理にて記録することとし、過去の状態とも比較できる ようにした。判断はタワー錆のガイドライン(案)に準じて実施することとした。				F-1. 点検チェックシートの変更 F-2. タワー錆のガイドライン(案)	
2)	発錆・亀裂事象の見落とし(タワー内面)		点検実施する内面フランジボルト近辺についてはプラットフォームがあり、ボルト点検時に目視点検していたが、その他の箇所は 点検場所との認識がなかった 。	チェックシートを改善 し、特に亀裂起点である内面溶接線については、全溶接線の点検を 360°カメラによって実施し記録を残す こととした。	F-1. 点検チェックシートの変更	
			プラットフォームがない途中の溶接線は点検場所が暗く、通過するだけだった。	高輝度LEDライトをつけた高解像度360°カメラによって撮影実施し、 写真にて確認できるようにした 。	F-1. 点検チェックシートの変更	
3)	発錆・亀裂事象の見落とし(タワー外面)	外面の発錆は劣化、環境要因と認識しており、亀裂を伴う 重大損傷の可能性があると認識がなかった 。	タワー錆のガイドライン(案) を作成し、錆・状態の判定や、錆の程度による対応方法を明確にした。	F-2. タワー錆のガイドライン(案)		

(1) 当該事故に対する予防保全・再発防止策 E-1. SCADAデータ利用による予防保全

事故機において倒壊前2か月間の間に、振動警報EM177が従来に比べて多発していました。事故後に、振動警報時の振動を分析したところ、事故機以外の振動警報時の振動と異なっていました。この違いを、今後の振動警報EM177が発生した場合に即時分析することとしています。(6/20の制定以降、8/17までにEM177が50件発生し、そのうち6件がデータ分析対象となり、判定実施：すべて異常なし)

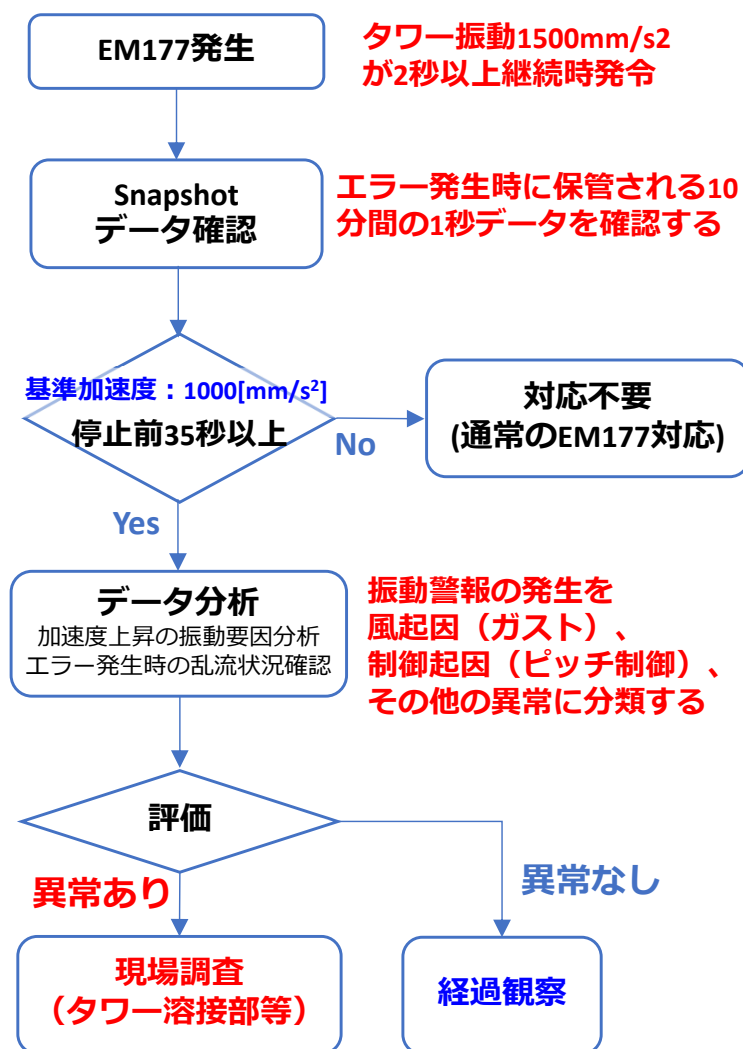


図4-1. EM177発生時の対応フロー

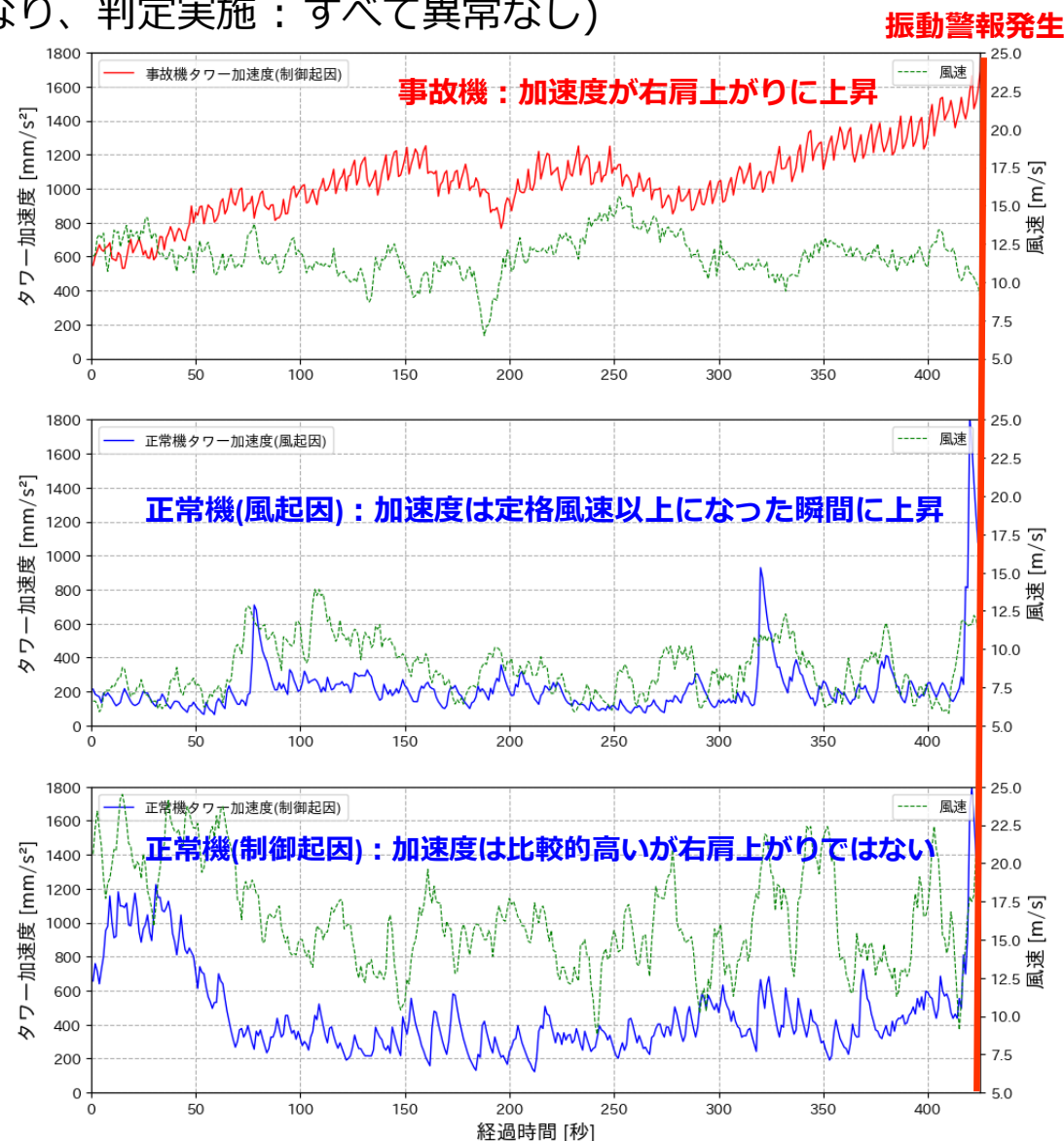


図4-2. Snapshotデータ(1sec×10分間)

4. 予防保全・再発防止策

(1) 当該事故に対する予防保全・再発防止策 F-1. 点検チェックシートの変更

タワー全体での「腐食、フランジ亀裂、溶接継目、塗装損傷」の良否判断となっていたチェックシートを変更し、点検箇所、及び点検手法・評価について詳細に定めました。タワー内面の溶接線管理については、点検において360°半自動撮影ができる機材を使用し、点検と共にデータを取り、検査員の確認だけでなく、責任者も確認できるように、且つ過去の点検結果と比較できるようにしました。なお、その他のチェックシートについても見直しを開始しています。

変更前

タワー壁面				
4.2 Y	項目	腐食、フランジ亀裂、溶接継目、塗装損傷、フランジ間の隙間、接地線	目視点検	腐食他異常無し 良・否
		電気照明(点灯消灯)	機能試験	点灯消灯異常無し 良・否

図4-3. 定期点検方法の見直し

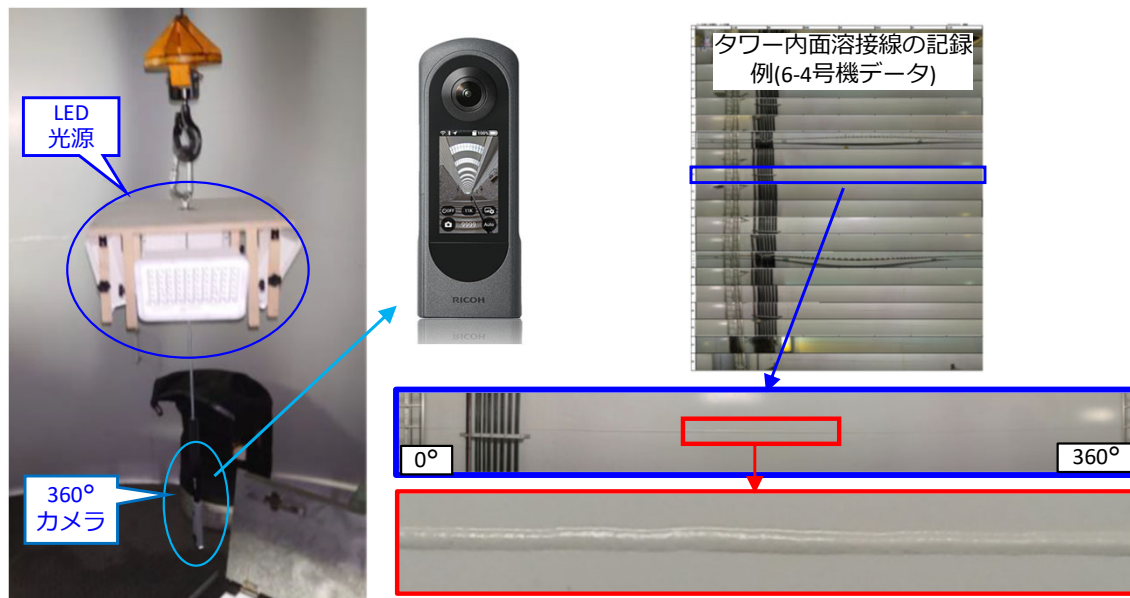


図4-4. 360°カメラによる内部溶接線の撮影

変更後

-別紙8-

タワー溶接線写真点検記録書				承認(電技)		印
				承認日		
	検査員	点検日	評価者 (検査責任者)	評価日	評価	
外面					良、要詳細調査	
内面					良、要詳細調査	
詳細調査結果						
評価日：		良(運転可)	・詳細調査報告書 文書番号 写真の保存先 等々			
		否(運転不可)	亀裂は確認されなかった。			

タワー溶接線写真点検要領

1. 検査の目的

タワー壁面の損傷拡大によるタワー倒壊等の事故を防止する。

2. 検査の周期

年1回

3. 検査の方法(検査員による目視点検及び検査責任者による写真検査)

① タワー外面の溶接部、フランジ部の発錆状況の点検

・タワー外面を望遠カメラ等を用いて点検を行い、塗装割れ・発錆部を確認・別紙8-1に記録する。

② タワー内面の溶接部、フランジ部の発錆状況の点検

・全ての周方向溶接線を360°カメラで撮影・点検を行い、塗装割れ・発錆部を確認、別紙8-2に記録する。
360°カメラで撮影出来ない部位(アンカーフランジ部等)は通常のカメラで全周を分割撮影する。

③ 再点検

・別紙8-1、8-2にて塗装割れ・発錆が認められた箇所については、(〇〇〇-社内手順書)に基づき再点検を行い、別紙8-1、別紙8-2に記録する。

④ 損傷評価

・別紙8-1、8-2の点検記録を用いて評価者(検査責任者)は内面部の溶接線部に塗装割れ・発錆がないか確認、評価して本記録書に記録する。

⑤ 詳細調査と評価

・④にて非破壊検査要と評価された損傷については詳細点検として非破壊検査(UT/MT)を実施し、亀裂の有無、範囲を確認して検査者は評価者に報告する。

・亀裂有りの報告を受けた評価者はOM本部技術部と協議し運転可否、監視方法等の評価を行う。

※ 点検実施における注意事項

・外面の溶接線上部は、タワー真下からでは見えないため、ある程度遠方から見る。

・2023年3月発生のタワー倒壊事故機破断部はタワー塔体の板厚変化部溶接線上部(板厚小側)で発生しており、板厚変化部の溶接線上部について注意して観察する。

・点検は周方向溶接を全線確認するが、疲労亀裂発生方向は主風向側であることが確認されているので、主風向側に特に注意する。

・⑤で亀裂が発見された場合の処置(運転可否、監視方法)等は損傷程度に応じ個々に規定する。

(1) 当該事故に対する予防保全・再発防止策 F-2. タワー鏽のガイドライン(案)の作成

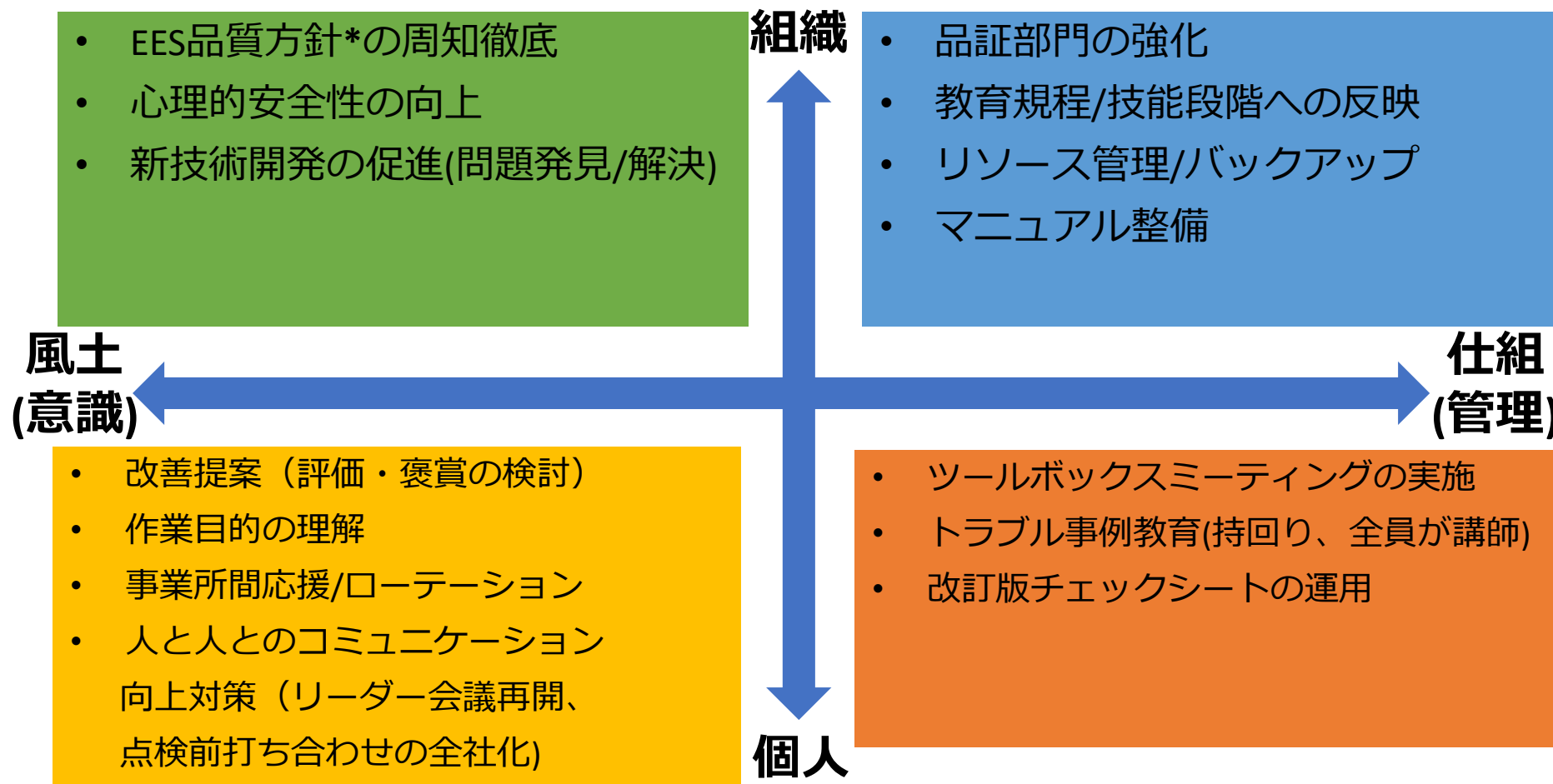
タワー外面の発錆に対しては、従来重要視せず、溶接線部の貫通亀裂による外面発錆を見逃す要因となりました。今後はタワーの発錆状態について、「(仮称)タワー鏽のガイドライン」を取りまとめ、タワー鏽について写真管理してしていきます。ガイドラインでは、鏽の位置・状態によって、A:危険(即時停止し確認)、B:要注意(定期点検時まで詳細調査)、C:観察継続(過去写真の確認)に分類し、今まで主観的だった判断を客観化するとともに、過去の状態と継続的に比較できるようにします。



図4-5. タワー鏽のガイドライン

(2) 類似事故を想定した再発防止策 a.なぜなぜ分析結果・対策

タワー発錆の見落としについて、管理者・実務者・技術員各階層にてなぜなぜ分析を実施し、その結果を類似事故（これまで発生していない事故）の再発防止も想定し、風土・意識、仕組・管理の観点で区分し、組織レベルから担当レベルまで、改善を図る対策を検討し、実施しています。



組織レベルから担当レベルまで、風土も仕組も改善を図る

図4-6. なぜなぜ分析の結果分類

(2) 類似事故を想定した再発防止策 b. 対策実施工程

なぜなぜ分析の結果から検討された各再発防止対策に対して重要度・緊急性等評価を行い、重要度の高いものから実施し、年内の実施を目標として進めています。本年以降は定常業務(ルーチンワークand/or教育センターによる教育計画)に組み込み、ブラッシュアップを行います。

★…タワー倒壊に直接関係する項目

項目		緊急度	重要度	実現性	評価	2023年														
						7月			8月				9月					10～12月		
						1-	10-	20-	1-	10-	17-	24-	1-	8-	15-	22-	29-			
組織の仕組み	品証部門の強化・連携	3	3	3	9	7/1 新品証体制発足 定期点検レビュー・立ち合い														
組織の仕組み	リソース管理/バックアップ	3	3	3	9	★360°カメラの報告書まとめのバックアップ														定期点検記録のバックアップ
組織の仕組み	教育規程/技能段階への反映	1	1	2	4															教育規程反映
組織の仕組み	マニュアル整備	1	2	1	4															経年数に応じた点検+α
組織の風土	新技術開発の促進(問題発見/解決)	3	3	3	9	★360°カメラ導入による作業・データ管理効率化														
組織の風土	EES品質方針の周知徹底	2	2	2	6	現場パトロール・品質に関するアナウンスを定期的実施														
組織の風土	心理的安全性の向上	3	3	2	8															社外講習受講・社内展開
個人の管理	改訂版チェックシートの運用	1	2	3	6	★改訂版チェックシートの運用														
個人の管理	TBMの実施	1	2	2	5	朝礼見直、着手作業の過去事例共有														
個人の管理	トラブル事例教育	1	2	2	5	トラブル事例教育(持回り、全員が講師)														
個人の意識	事業所間応援/ローテーション	2	3	2	7	7/1 ローテーション実施				事業所間応援・ローテーションの継続										
個人の意識	コミュニケーション向上対策	2	2	2	6	リーダー会議再開、点検前打合全社化														
個人の意識	作業目的の理解	2	2	1	5	作業目的の理解														
個人の意識	改善提案	1	2	1	4	評価・褒賞検討														

図4-7. 再発防止策実施状況

(2) 類似事故を想定した再発防止策 c. 心理的安全性

なぜなぜ分析の結果、多くの項目の根底にあった心理的安全性欠如については、外部講師による研修を9月26日に実施しました。初回の受講は管理職を主体としたメンバーとし、以後は社内「教育センター」と、外部講師の助力により教育計画に組み込んで恒常的に実施することを考えています。

■ 心理的安全性

『組織の中で自分の考えや気持ちを誰に対してでも安心して発言できる状態』

○心理的安全性を高める4つの因子

- ・話しやすさ⇒傾聴のコミュニケーション
- ・助け合い⇒「競争」ではなく「共創」の風土
- ・挑戦⇒失敗を恐れずにやってみる。ダメだったら、反省すればよい
- ・新奇歓迎⇒チーム内に視点や価値観の違い、相違点こそが相乗効果をもたらす

●心理的安全性の不足が引き起こす4つの不安

- ・『無知』だと思われる不安
- ・『無能』だと思われる不安
- ・『邪魔』をしていると思われる不安
- ・『ネガティブ』だと思われる不安

⇒報連相の習慣、チーム力の強化につながる

⇒本社-事業所間、事業所-事業所間のコミュニケーションも活性化

	促進要因	阻害要因
若年層	○仕事ができるようになる、腕が上がる ○考えていた仕事や条件と差がない ○成功体験とそれを認められたこと ◇職場に歓迎されている ◇同年代に近い人との交流場面 ◇相談しやすい環境	×仕事を分かるように教えてくれない ×できないことを咎められる ×なんとなくの仕事、職場選択であった ◆給与、休日、残業への不満 ◆先輩が会社を否定する ◆健康を損ねかねない状況への不安
中堅層	○仕事で成長している感覚を持てる ○自己裁量領域がある、多くある ○顧客、ユーザーからの強い支持 ◇評価が客観的で納得できる ◇この先のキャリアイメージが描ける ◇会社による働く者への配慮がある	×他者と比較したときの自分の限界感 ×業務成績が芳しくない ×毎日が同じことの繰り返しである ◆人間関係への不満（特に上司との） ◆評価基準の不透明さ ◆仕事や事業の社会的価値への疑問
中核層	○将来の事業戦略への自らの関与 ○自分の専門分野で貢献できる ○組織や仕事のやり方を変える可能性 ◇権限の委譲と拡大が行われている ◇経営層との業務接点や公私の交流 ◇社内外での有形無形の高評価	×組織管理（専門）能力が伸びない ×業務上の大きな失態 ×不得手な分野での業務遂行 ◆責任や目標達成への重圧 ◆同僚中核層、上位層の力量への不満 ◆重圧も含めた精神的疲労

図出典：㈱オフィス55

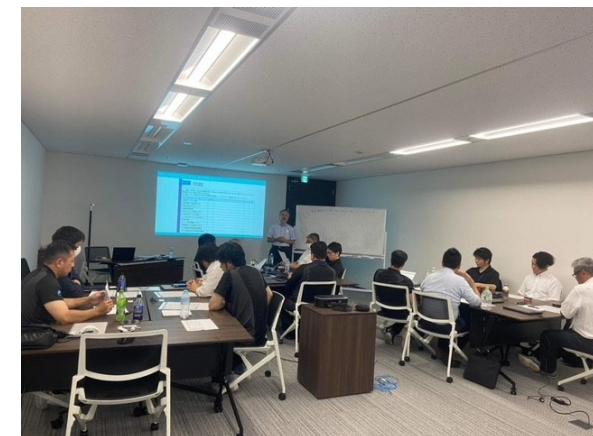


図4-8. 心理的安全性教育

六ヶ所村風力発電所 1-3号機 タワー破損事故について

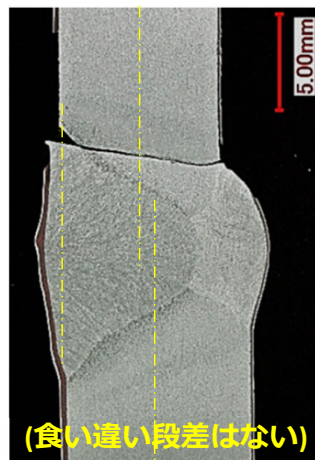
了

補足: #18WGの委員質問事項への回答

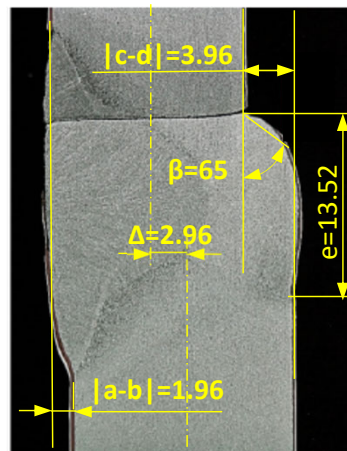
(1) フランク角と事故原因の関係

【質問】 報告書の中では亀裂の進展の有無で事故の有無を検討しているが、フランク角が直接的な事故原因になったのか確認できたのか。

【回答】 今回のご報告にある通り、その後の溶接線計測結果(六ヶ所村WF1-3号機、4-2号機、他社製風車等)から、亀裂の起因は、「食い違い段差」であり、食い違い段差により、食い違い段差による作用応力の増加及び溶接形状不良(溶接端角増大)が引き起こされたことが確認できました。 製缶溶接時に発生した食い違い段差により、設計値で板厚差2mmであった内面段差が、亀裂起点では4mm程度となっており、内面溶接時に大きな溶接端角を生じさせる原因となったと推定しました。



1-3号機290°マクロ断面



1-3号機310°マクロ断面

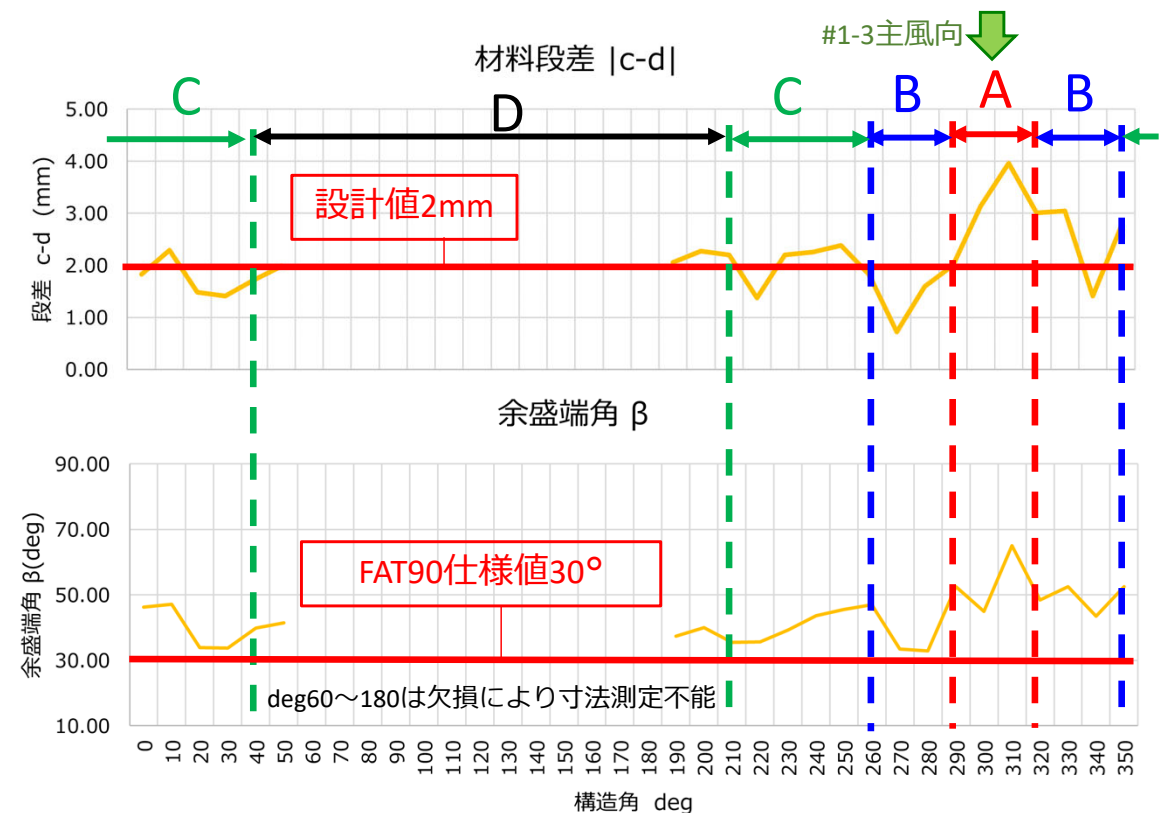


図 補-1 亀裂起点の余盛形状

(2) 仕様逸脱溶接形状対応

[質問]

- ◆GE1.5sの仕様に沿っていない溶接となっていることについて、今後どのような形で品質を確保していくのか。
- ◆製造時に非破壊検査で亀裂を検査することも有益だが、製造プロセスの管理によって、品質を確保する方法もあるのではないか。

[回答] (JSW)

現在は風車建設のために型式認証の取得が工事計画届の審査に通常必要とされており、型式認証プロセスに基づき品質体制の確認を行うことになっています(図1)。さらに上位のプロジェクト認証では、製造(工場)サーベイを受けることとなります(図2)。製造サーベイプロセスでは、必要な製造プロセス管理・出荷前検査を実施することとなっております。今回の事故調査結果を踏まえ、今後は認証取得に加え以下の対応を行う必要があると考えています。

- ・ 製造設計図面並びに仕様が、タワー基本設計と合致していることを確認し、その内容を記録に残すこと。
- ・ 検査について、溶接後或いは出荷前検査時に余盛形状と食違い段差をはじめとする品質担保のために重要な箇所の検査項目を加える。

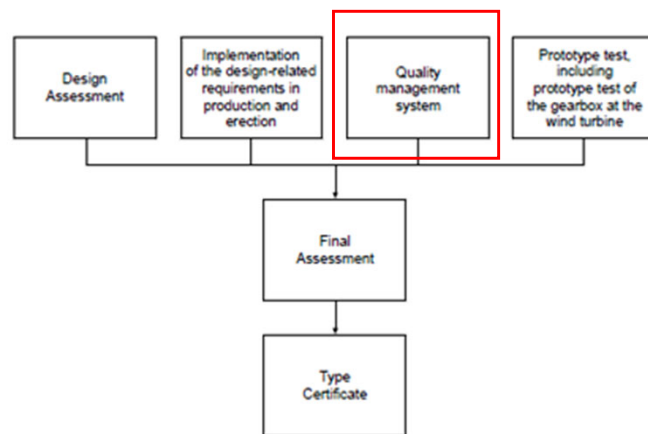


図 補-2 型式認証

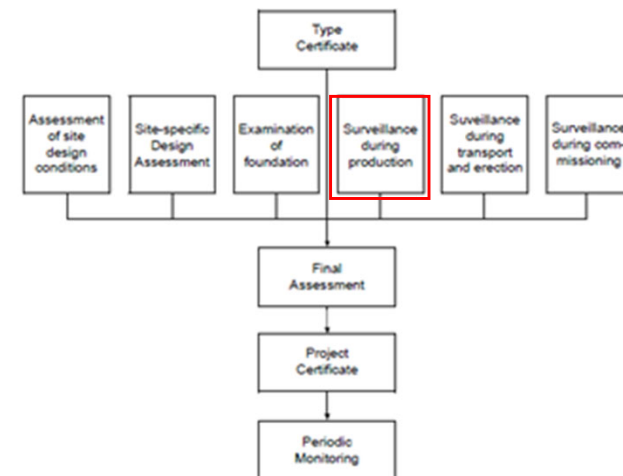


図 補-3 プロジェクト認証

補足: #18WGでの質問事項

(3) 溶接線部点検対応

[質問]

今回壊れているのは溶接部で、フランジ部ではないということだが、表面発錆の補修はフランジ部でされているということだが、溶接部は対応されていなかったということだが、今後は溶接部の対応も求められるのではないか。

[回答] ご指摘の通り、外面溶接部の発錆に対しては、従来重要視せず、貫通亀裂による外面発錆を見逃す要因となりました。 今後は外面の発錆状態について、「(仮称)タワー錆のガイドライン」を取りまとめ、タワー錆について管理していきます。

タワー錆のガイドライン
(案)

●錆の評価区分を以下の3段階とする。

ランク	ステータス
A	危険
B	要注意
C	観察継続

※すべての錆の箇所は下記の情報とともに必ず画像を残す

- ・タワー番号 → 複数基所有している場合
例) # 1、6-2、南1-1 等
- ・発生部位 → 例) 3部 溶接線、FU
- ・方角 → 例) 北、南東、北北西

※どのような錆でも内側の同箇所の錆を確認する

※方角は撮影ポイントとなるので、正確に記載してください

●錆の評価区分詳細3

Cランク：写真管理

画像	拡大画像

●錆の評価区分詳細2

Bランク：要詳細調査

画像	拡大画像

●特徴

- ・溶接部or溶接
- ・塗装不良のため
- ・作業時に金属が

●対応

- ・半年点検時に
- 錆の進行

Aランク：要精密調査

画像	拡大画像

●特徴

- ・溶接部or溶接
- 下からよく
- 線にな
- 剥離せず

●対応

- ・外部の錆と同箇所
- ・次回定期点検時
- ・錆部対象(必要)

●錆の評価区分詳細1

Aランク：要精密調査

画像	拡大画像

●特徴

- ・溶接上部に線状の連続した錆
- !! 重要
- ・外部と同じ箇所に発生している
- !! 重要
- ・水の跡がみられる(貫通している可能性大)
- 錆がない場合もあるので注意

●対応

- ※先に外部を確認している場合
- ①貫通あり → 運転停止、本部に連絡して指示を受ける
- ②貫通なし → 本部に報告して指示を受ける
- ※外部を確認していない場合
- ・直ちに同箇所外部を確認
- 外部同箇所同様に錆が確認されたら ①の対応
- 外部同箇所同様に錆が確認されない場合 ②の対応
- ※詳細な調査

●錆の評価区分詳細2

Cランク：要詳細調査(経過観察)

画像	拡大画像

●特徴

- ・Aランクに該当
- 溶接上部に
- A-Bランク

●対応

- ※先に外部を確認
- ①外部に錆あり
- ②外部に錆なし
- ※外部を確認してい
- 直ちに同箇所外
-

図 補-4 タワー錆のガイドライン

(4) 過去風による累積疲労検討

[質問] 約20年間の累積的疲労により損傷に至ったのか確認してほしい。

[回答] 食い違い段差および溶接余盛形状による応力の増加を考慮すると、GE設計での20年間での疲労強度尤度およびGLガイドラインで考慮されていた安全率を超過し、これにより疲労損傷が発生した可能性があります。今回の報告でご説明したとおり、計算上での亀裂進展速度については、材料試験とパリズ則で推定いたしました。また、該当号機および比較として他サイト風車にて、実風況による消費寿命評価を実施しました。

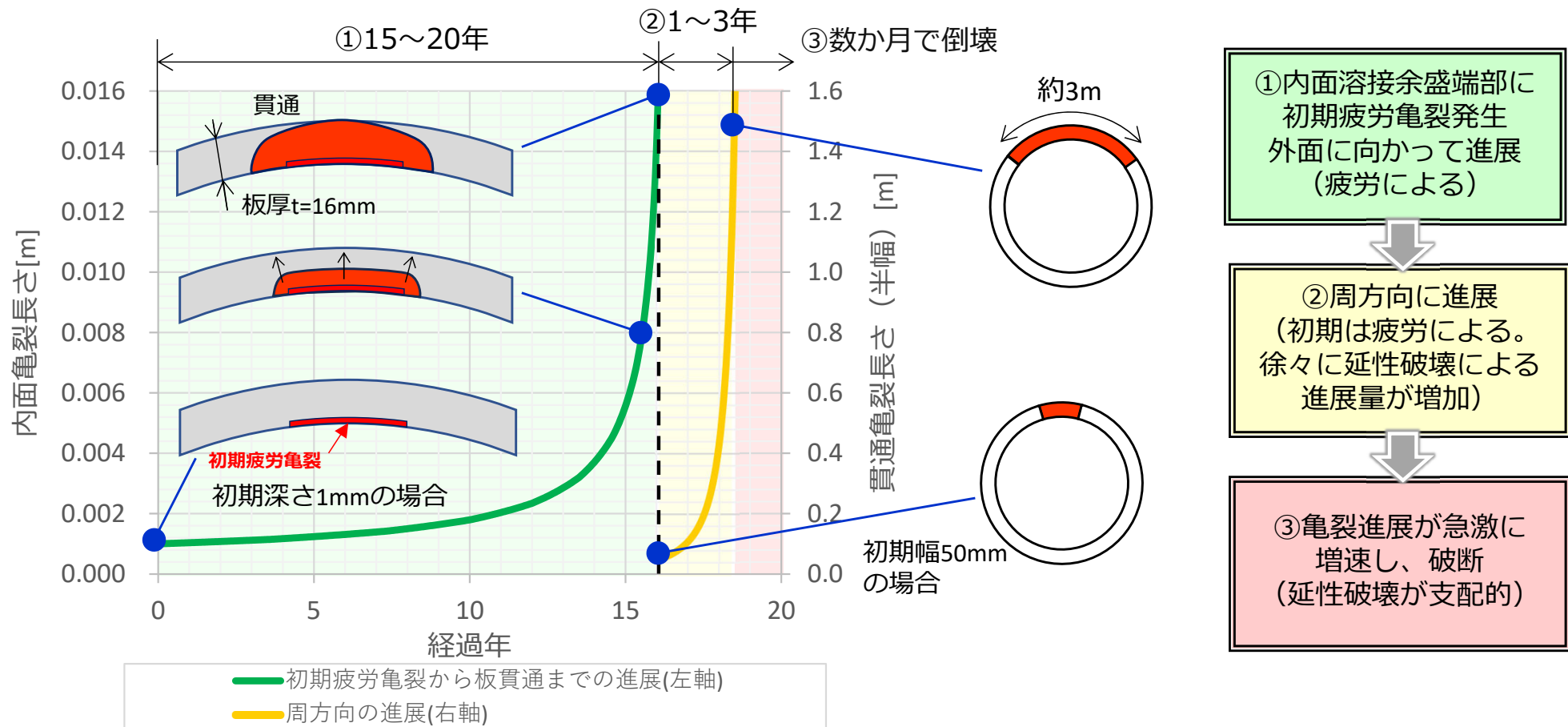
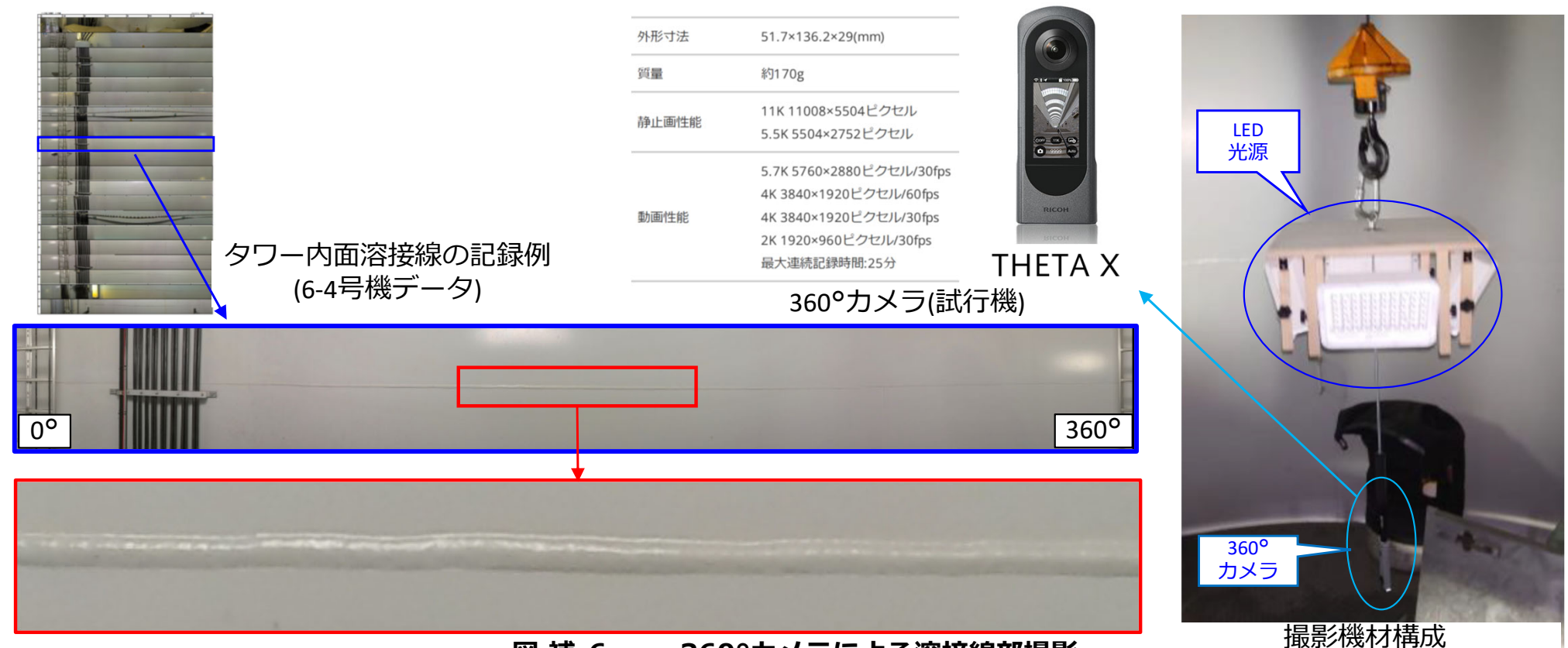


図 補-5. Paris則による疲労亀裂進展時間

(5) 亀裂発生号機の運転可否

【質問】 製造の不備がある可能性があるのではないかと。品質条件を満たしていない風車を運転してよいのか？亀裂が入っているのに運転するのか。タワーは主要構造物で、亀裂が入っていたら修繕せずに運転してよいのか。

【回答】 今回の報告でご説明したとおり、基本設計には問題がなく、亀裂発生・進展の起因は製造時の品質管理に起因する「食い違い段差」であり、それが主風向の第④節にあったことと判明しました。亀裂進展速度についても、貫通亀裂後は1~数年で倒壊に至ると推定しており貫通亀裂については運転停止・撤去が妥当と考えています。現在、内面亀裂が存在する号機はございませんが、内面亀裂発生確認のための点検方法を立案し定期点検実施しており、初期の内面亀裂が発生した場合においては、溶接補修(現在JSWにて施工方法検討中)および経過観察を実施することを検討しています。



(6) 溶接線錆と亀裂の判定方法

[質問] 溶接の接手、溶接線の錆・亀裂有無確認について判定方法をこれから整理するという理解でよいか。

[回答] 溶接の接手、溶接線の錆・亀裂有無確認について判定方法を現在整備しております。 外面の発錆状態について、「(仮称)タワー錆のガイドライン」を取りまとめ、タワー錆について管理してしていくことを考えています。 内面については、現在定期において点検360°カメラによるデータ取りを実施しており、溶接線部に問題となる錆はみつかっておりませんが、現在得られたデータにて同様のガイドラインを作成しました。

タワー錆のガイドライン

※フレンジ部除く

◆錆の評価区分を以下の3段階とする。

ランク	ステータス
A	⚠ 危険
B	⚠ 要注意
C	👁 観察継続

※すべての錆の箇所は下記の情報とともに必ず画像を残す

- ・タワー番号 → 複数基所有している場合
例) #1、6-2、南1-1 等
- ・発生部位 → 例) 3部 溶接線、FU
- ・方角 → 例) 北、南東、北北西

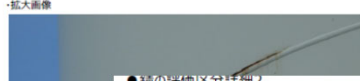
↓

※どのような錆でも内側の同箇所を確認する

※方角は撮影ポイントとなるので、正確に記載してください

Aランク：要精密調査

◆画像



◆特徴

- ・溶接上部に線状の濃錆 → 下からだと見えにくく、一見、他の錆(フレンジ部)と見間違え

◆対応

- ・直ちに同箇所内側を確認
- ・貫通なし → ランクB
- ・貫通あり → 直ちに通報

●錆の評価区分詳細2

Bランク：要詳細調査

◆画像



◆特徴

- ・溶接部or溶接下部の錆 ※ → 下からだと見え、広範囲 → 線状になっている場合、Aランクと見間違え

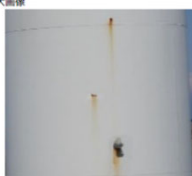
◆対応

- ・外部の錆と同箇所の内側を確認
- ・次固定点検時までロープフック等(必要に応じて)観察

●錆の評価区分詳細3

Cランク：写真管理

◆画像



◆特徴

- ・溶接部or溶接下部の小さな錆、縦割れ、壁面の錆
- ・塗装不良のために発生した錆 → 塗装部が不自然に盛り上がり、作業時に金属が剥離し、そこから錆 → その上下に伸びたような錆がある

◆対応

- ・半年点検時に写真撮影をし、前回写真と比較する。 → 錆の進行が認められる場合 → ランクの見直しをする。 → 補修を検討する
- ・錆の進行が認められない場合 → 経過観察

●錆の評価区分詳細1

Aランク：要精密調査

◆画像



◆特徴

- ・溶接上部に線状
- ・外部と同じ箇所
- ・水の跡がみられ

◆対応

- ※先に外部を確認
- ①貫通あり →
- ②貫通なし →
- ※外部を確認して
- ・直ちに同箇所内側を確認

●錆の評価区分詳細2

Cランク：要詳細調査(経過観察)

◆画像



◆特徴

- ・Aランクにつながるような錆(縦割れ) → 溶接上部に線状の連続した錆(ラウラー表面に出ている) → A・Bランクと判別が困難、個人で判断せずに通報

◆対応

- ※先に外部を確認している場合
- ①外部に錆あり → 本部に報告して指示を受ける
- ②外部に錆なし → 経過観察・詳細検査(UT検査等)
- ※外部を確認していない場合
- ・直ちに同箇所外部を確認
- 同箇所内側の錆が確認されたら ①の対応
- 同箇所内側の錆が確認されない場合 ②の対応

➡ 前回画像と比べて錆の進行が認められればBランクへ

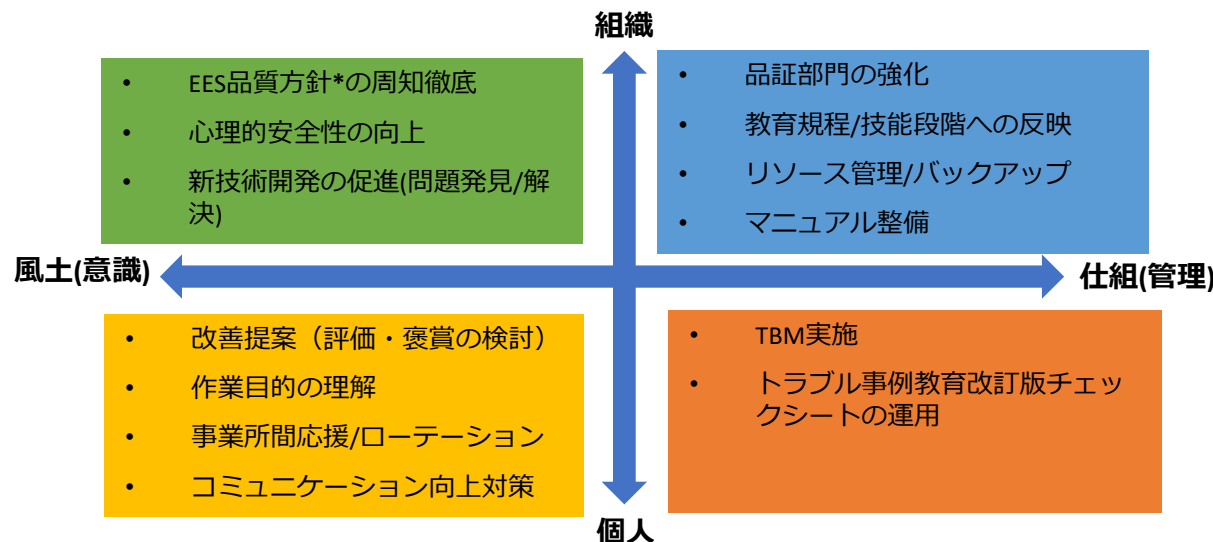
図 補-7 タワー錆のガイドライン

(7) なぜなぜ分析

[質問] 保全についてまだ十分にまとめられていない。知見がなかったとあるが、なぜそう思ったのかなぜなぜ分析をしっかりとやっていただきたい。点検員のリスク意識がなかったからでは？**今回の件についてはこの対策で対応できるが、別の事象では対応できないと考える。**チェックを実施した人員が、何も思わなかったのか、不安に思いつつも上申しなかったただけなのか。心理的安全性。不安に思った時に誰かに相談する雰囲気を作れているか。なぜなぜ分析の結果を追跡して、他の事象につながる解決策を作り出してほしい。

[回答] タワー発錆の見落としについて、5月15日～7月27日の期間にて、管理者延べ36人(7回)・実務者延べ36人(7回)・技術員延べ人(7回)のなぜなぜ分析を実施しました。その結果を類似事故（これまで発生していない事故）の再発防止も想定し、風土・意識、仕組・管理の観点で区分し、組織レベルから担当レベルまで、改善を図る対策を検討し、一部を実施し、今後も継続します(詳細は参考資料(3)参照)。

なぜなぜ分析の結果、多くの項目の根底にあった心理的安全性欠如(組織・個人)については、外部講師による研修を9月26日に実施しました。初回の受講は管理職を主体としたメンバーとし、以後は社内「教育センター」と、外部講師の助力により教育計画に組み込んで恒常的に実施していきます。



組織レベルから担当レベルまで、風土も仕組も改善を図る

図 補-8. 改善策の分類



図 補-9. 心理的安全性教育受講風景

補足: #18WGでの質問事項 (8) 海風と錆の関係

40

[質問] 海の近くにあるが、潮風の影響について触れられていないが、何か分析されているか。

[回答] 今回、「タワー錆のガイドライン」を取りまとめる中で、設置場所、方向等について検討しておりますが、タワーについては、「海の近く、潮風の影響」より、塗装品質の影響が大きい可能性があることがわかってきました(六ヶ所WFより海岸よりにある風車WFでも発錆が少ないところが多い)。現在、塗装仕様・塗装時期等との関係の調査も進めています。

タワー錆のガイドライン

※フランジ部除く

◆錆の評価区分を以下の3段階とする。

ランク	ステータス
A	⚠ 危険
B	⚠ 要注意
C	🔍 観察継続

※すべての錆の箇所は下記の情報とともに必ず画像を残す

- ・タワー番号 → 複数基所有している場合
: 例) #1、6-2、南1-1 等
- ・発生部位 → 例) 3部 溶接線、FU
- ・方角 → 例) 北、南東、北北西

↓

※どのような錆でも内側の同箇所の錆を確認する

※方角は重要ポイントとなるので、正確に記録してください

Aランク: 要精密調査

◆画像



◆特徴

- ・溶接上部に錆の連続し → 下からだと見えにくく、真 → 一見、他の錆(フランジ)

◆対応

- ・直ちに同箇所内部を確認
- ・貫通なし → ランクB
- ・貫通あり → 直ちに通報等

●錆の評価区分詳細2

Bランク: 要詳細調査

◆画像



◆特徴

- ・溶接部or溶接下部の錆 ※上B → 下からよく見える。広範囲に広 → 線上になっている場合、Aランクと判断せずに相談

◆対応

- ・外部の錆と同箇所の内部を確認し、次回定期点検時までロープワーク
- ・補修対象(必要に応じてオーナーに)

●錆の評価区分詳細3

Cランク: 写真管理

◆画像



◆特徴

- ・溶接部or溶接下部の小さな錆、縦溶接部、壁面の錆
- ・塗装不良のために発生した錆 → 塗装部が不自然に盛り上がり、作業時に金属が露出しそこからの錆 → その上下に伸びたような錆がある

◆対応

- ・半年点検時に写真撮影し、前回写真と比較する。 → 錆の進行が認められる場合 → ランクの昇進しをする。 → 補修の検討をする
- 錆の進行が認められない場合 → 経過観察

●錆の評価区分詳細1

Aランク: 要精密調査

◆画像



◆特徴

- ・溶接上部に錆
- ・外部と同じ箇所
- ・水の跡がみられ

◆対応

- ※先に外部を確認
- ①貫通あり →
- ②貫通なし →
- ※外部を確認して
- ・直ちに同箇所内 →

●錆の評価区分詳細2

Cランク: 要詳細調査(経過観察)

◆画像



◆特徴

- ・Aランクに近づきそうな錆(疑わしい錆) → 溶接上部に錆の連続した錆 ※ラック表面に出ている → A-ランクと判断が困難、個人で判断せずに相談

◆対応

- ※先に外部を確認している場合
- ①外部に錆あり → 本部に報告して指示を受ける
- ②外部に錆なし → 経過観察・詳細検査(UT検査等)
- ※外部を確認していない場合
- ・直ちに同箇所外部を確認 → 同箇所に錆の錆が確認されたら ①の対応
- 同箇所に錆が確認されない場合 ②の対応

➡ 前回画像と比べて錆の進行が認められらBランクへ

図 補-10 タワー錆のガイドライン

(9) タワーの製造設計・品質の要因

[質問] (現在では)型式認証を実際に受けた風車でないと日本で設置できないことになっていますので、工場の品質管理といったことは全て型式認証の中で管理されています。一方、今回のJSWのタワーを造った後に受入検査はどうなっているのか。要するに品質が保証されていることをどこで、誰が、どう検証されるかというのがもし分かるのでしたら教えていただきたい。もし誰も面倒を見ていないことになると、これは品質保証されていないこととなり、要するに既存の風車、特に審査を変える前の風車というのは、製造の不備の可能性があることがここで見えてきたかなと心配しています。

[回答] (JSW)

当時弊社はGE社図面、仕様書に基づき製造設計を行っており、製造後には製造検査を行い、工場出荷前には元請（関電工殿）の立会検査を受けていましたが、余盛形状と食違い段差についてはこれらの検査対象に含まれていませんでした。今般の事故原因調査に於いて、食違い段差が仕様を満たしていなかったことについては、当時は、溶接前に検査管理をするに止まり溶接後の検査対象外であったことから、溶接中に何らかの異常を来しても仕様を逸脱したことを把握しないまま出荷してしまったことが原因と推測しています。

当時の出荷前タワー製造検査項目は下記。

1. 鋼板検査証明書の確認
2. フランジ締結用六角ボルト・ナット、座金検査証明書の確認
3. 非破壊検査
 - ・タワーフランジ素材 (UT)
 - ・タワーフランジ分割溶接部 (UT、PT)
 - ・タワーセグメント溶接部 (UT、MT)
4. タワー製缶組立精度及び寸法検査
5. 塗装膜厚検査 (タワー内外面膜厚測定)
6. 溶射膜厚測定検査

出荷時の組み立て精度及び寸法検査成績の項目は下記。

1. タワーセグメント毎の中心線に対するフランジ平面度および円周振れ精度
2. タワーセグメント毎のフランジボルト穴の位置度公差

3. タワー全体高さ
4. タワー全体およびセグメント毎の直角度
5. タワーセグメント毎の真円度
6. タワーの周長

・製缶時・溶接時のプロセス管理は下記。 (記録は見つかっていない)

1. 余盛高さのゲージ管理
2. 目違い管理1mm
3. 止端部のオーバーラップ部のグラインダー手入れ
4. 予熱温度等の溶接条件