

風力発電等技術研究開発/
風力発電高度実用化研究開発/
風車運用・維持管理技術高度化研究開発
(高年次陸上風車の寿命延長運転技術の開発)

イオスエンジニアリング&サービス(株)
(株)キグチテクニクス

委託先: (国研)海上技術安全研究所

2023年2月3日

事業概要

1. 期間

開始 : 2022年8月

終了(予定): 2023年3月

2. 最終目標

設計寿命である20年を迎えた既設風車を対象として、5～10年の継続運転を可能とする運転技術の検討を行う

①部品寿命推定により風車の残存寿命を評価する

→安全な延長運転に対する技術的な裏付け

→延長運転の経済性評価に活用

②中長期的に安全で経済的な延長運転を実施する技術を開発する

→大事故を発生させない運転・監視技術

→延長運転期間の最大化

→ランニングコストの低減

③新工法による簡易なブレード補修技術を開発する

→延長運転に伴う翼の補修コスト低減・補修期間短縮

事業概要

3.成果・進捗概要

各種検討のため、運転開始から20年経過した実風車の延長運転を開始(2022年12月)

<残存寿命の推定>

- ・20年使用した部品の採取を行い、部品検査による残存寿命推定を実施中(アンカーボルトやタワーボルトなど)
- ・空力弾性解析による残存寿命推定を実施中(タワー基部や翼根本など)

<運転技術、状態監視>

- ・損傷リスクの高い部品に追設CMSを設置完了
- ・風車の延長運転開始前に、主要部品の状態確認や振動測定を実施

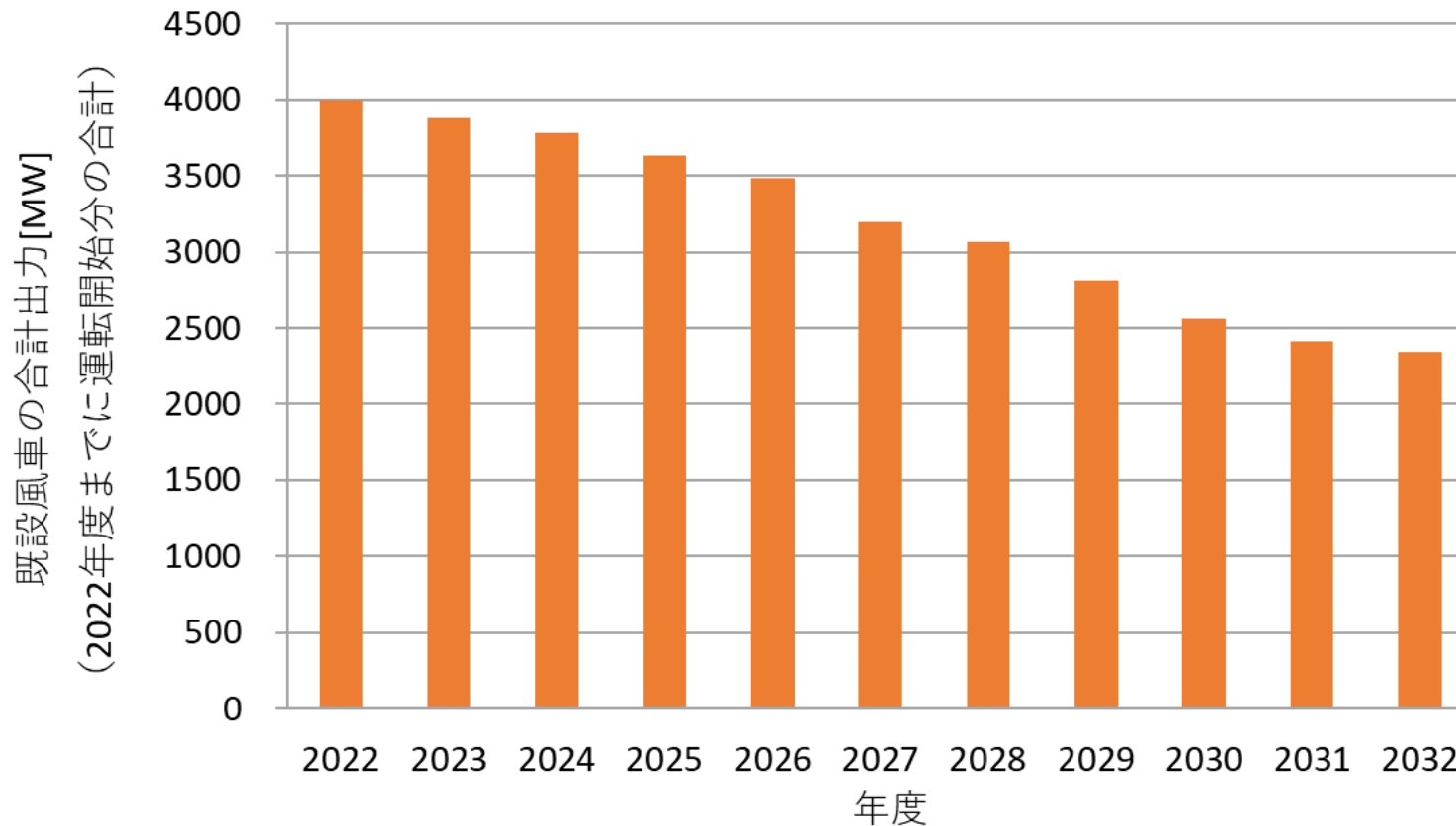
<新工法によるブレード補修>

- ・試験片レベルでの要素試験により、新樹脂の強度評価を実施中
- ・実ブレードへの施工試験完了、経過観察を実施中
- ・実用化に向けた施工方法の検討中

既設陸上風車の設備容量



既設風車の設備容量



出展: 弊社(イオスエンジニアリング&サービス)調査



イオスエンジニアリング&サービス

キグチテクニクス

運用技術（残存寿命推定・状態監視）

運転データ、保全履歴、設計仕様
調査・分析

残存寿命評価

実部品検査

CMS追設

ブレード補修

新樹脂化合物
の調査

要素試験
試験施工

20年運転した実風車の実運転検証（GE1.5s）

2022年12月
延長運転開始

寿命推定・状態監視
技術検討

実用化
ドローン実装 等

寿命延長運転技術の開発

ブレード簡易補修技術開発

2022年
8月

2023年
3月

2025
年度以降

風車寿命延長運転サービスの事業化



延長運転を目的とした残存寿命推定や状態監視

＜本事業における実施項目＞

主要部品	残存寿命評価	実部品検査	CMS追設
ブレード	空力弾性解析	超音波探傷	ひずみセンサー 振動センサー
タワー	空力弾性解析	—	—
アンカーボルト タワーボルト	—	成分分析 疲労試験	—
ベースフレーム	—	—	ひずみセンサー
メインベアリング	—	内視鏡	振動・温度センサー
ギアボックス	—	内視鏡	振動・温度センサー
発電機	—	—	振動・温度センサー
電氣的部品	—	—	サーモカメラ

- ・本事業により、**健全性評価が困難な部品の損傷リスク**が判明する可能性もある
→ **重大事故防止を目的とした状態監視・延命方法**に関する課題を整理したい

実風況履歴による残存寿命の評価

<設計風況>

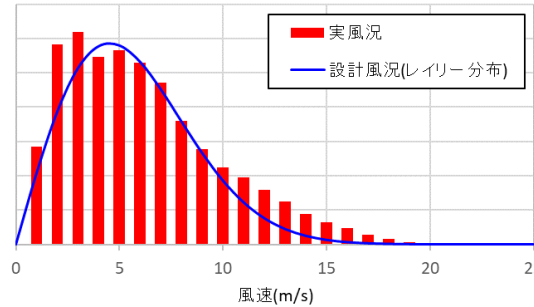
レイリー分布

IEC乱流強度

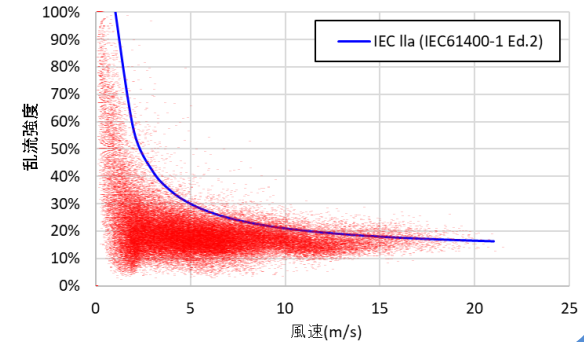
設計風況

<設計風況 vs 実績風況>

風速分布



乱流強度分布



最終的には...

モデル風車による
空力弾性解析

<残存寿命の評価>

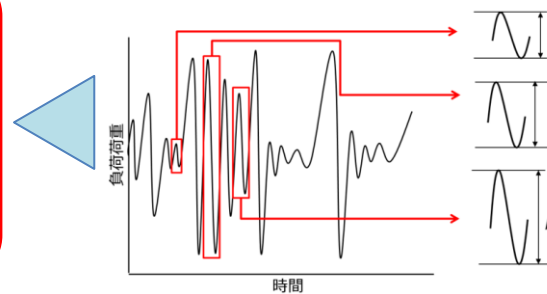
タワー、基礎、ブレードなど

設計風況における
寿命を20年と仮定

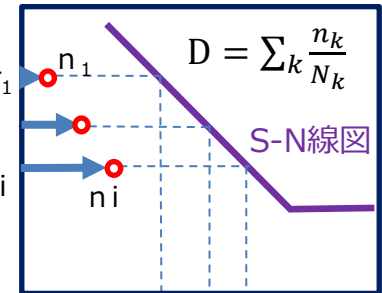
→

実風況による
残存寿命??年

<疲労損傷度計算>



応力振幅



$N_1 \dots N_i$
疲労寿命 (繰返し数)

本事業では、複数サイトの風車で寿命評価を実施



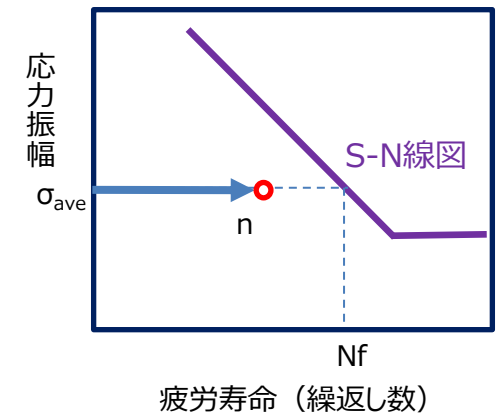
アンカーボルトとタワーボルトの状態確認、疲労試験

<20年使用した部品の状態確認>

- ・外観検査、成分分析、材料物性確認、PT、MT など

<疲労試験による残存寿命の推定>

- ①対象部品(新品)のSNカーブを取得
- ②20年使用した部品の疲労試験を実施
- ③SNカーブとの乖離から残存寿命を推定する



<延長運転中の状態確認方法検討>

- ・延長運転中に現地で損傷度を推測する手法を開発したい

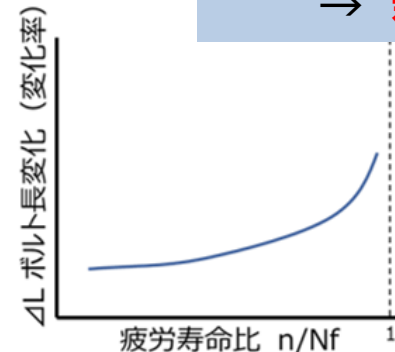
i) 疲労試験中に寸法変化データ取得

疲労試験中のサイクル間で長さ変化を確認
疲労寿命比と長さ変化の関係を整理

ii) 現地定期検査(超音波波形と変寸の確認)

i) で確認された、疲労損傷に伴う寸法変化を
現地で捉えることにより、余寿命を推測する

現地にて超音波軸力計
による長さ測定
→ 寿命推定



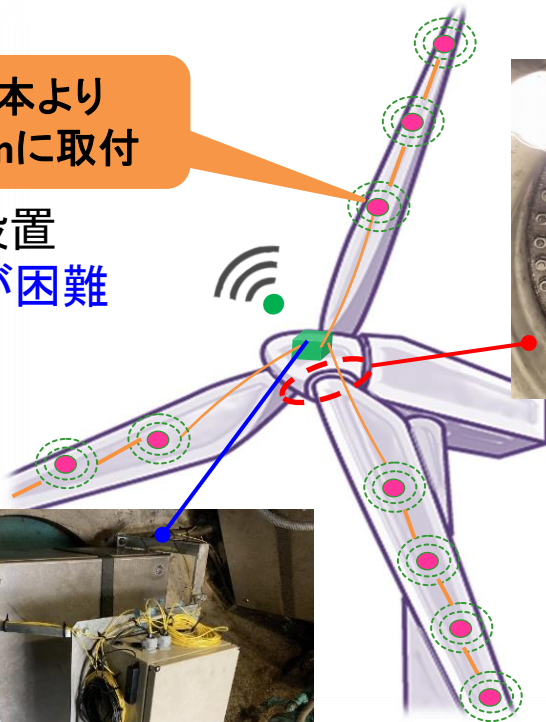
ブレードへのCMS追設

<光ファイバーひずみセンサー>

- ・損傷部や補修部などピンポイントで状態監視が可能

翼根本より
3~30mに取付

- ・PSに設置
- ・追設が困難



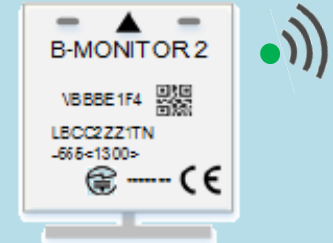
翼根本に取付

- ・PSとLEに設置
- ・追設が容易

<無線振動センサー>

- ・根本振動で翼の状態監視ができるか不明だが、試験的に設置

『振動センサーの一例』



西島製作所HP『振動IoTメンテナンス「TR-COM」』より抜粋
(<https://www.tr-com.cloud/>)

翼根本に取付

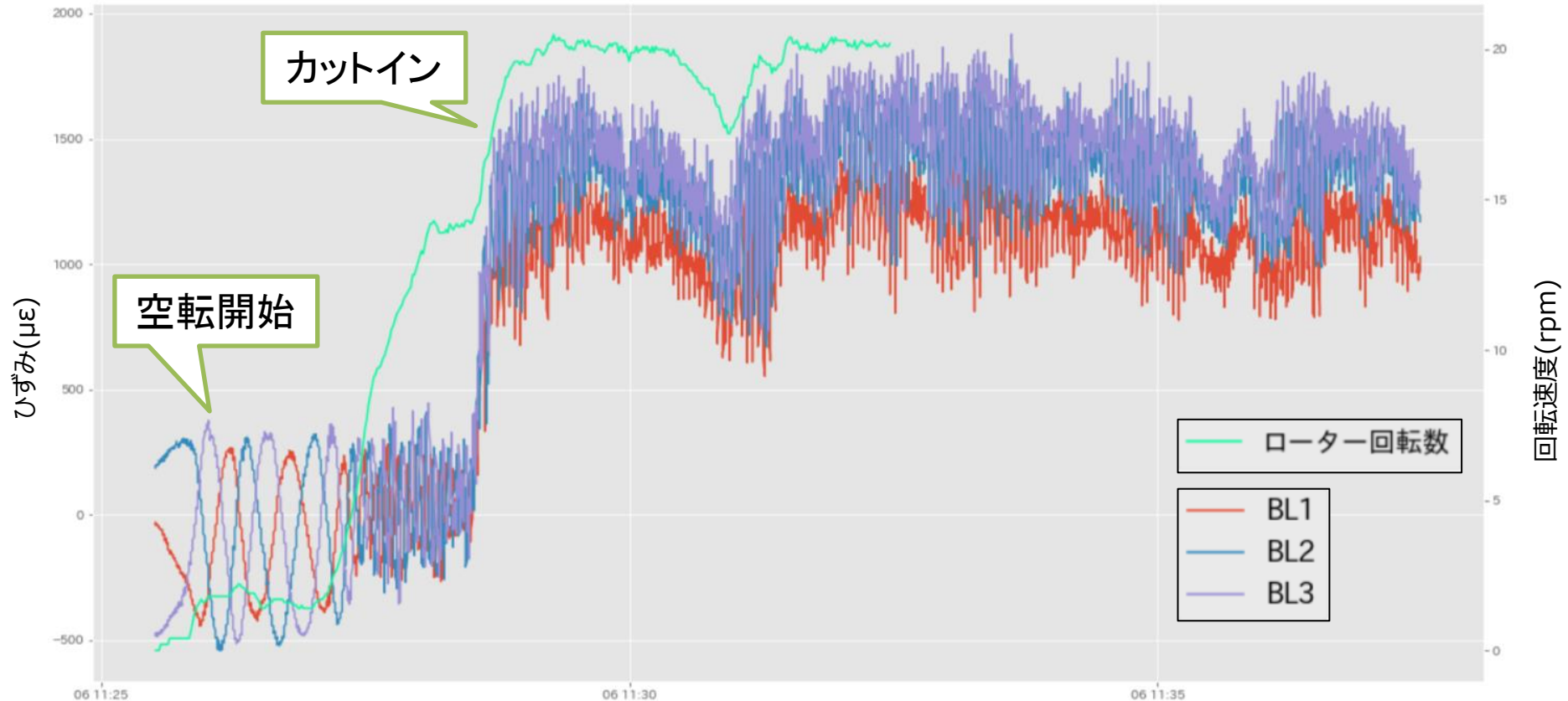
- ・PSとLEに設置
- ・追設が容易

各取得データを分析し、**精度が良く、経済的**な翼の状態監視方法を検討中



ブレードへのCMS追設

<ひずみセンサーの測定データ例 (BL1,2,3 PSの根本から10位置) >



カットイン ~ 運転 ~ カットアウト時のひずみを分析 → 異状検知手法を検討
ひずみが大きくなる運転条件を分析 → 損傷リスクを抑えた運転手法を検討

キグチテクニクスのご紹介

材料評価を通じて安心・安全を支えるのが我々の使命です。

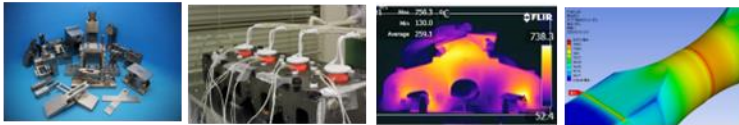
- 熱処理
- 試験片採取・試験片加工
- 低応力研削加工
- 微小試験片加工
- ミクロ・マクロ組織評価
- 強度試験
- 衝撃試験
- クリーブ試験
- HCF、LCF、TMF、U-HCF
- 実機耐久試験
- 振動試験

金属材料



試験装置・治具販売、解析

- 試験装置、治具販売、特殊治具設計・販売
- CAE解析 **CYBERNET**
- Granta MI データサービス **CYBERNET**



複合材料 (CFRP)

- 成形 (試験パネル製造)
- 接着
- 試験片加工
- 試験片コンディショニング
- 接着強度試験
- 強度試験
- 疲労試験
- インパクト試験
- 非破壊検査



インフラ健全性調査

- 高性能ドローンによる測量
- 橋梁点検
- トネル点検
- 道路構造物点検
- 港湾構造物点検
- 棧地下構造物点検
- 地下ピット等の劣化診断
- 上下水道構造物点検
- ダム構造物点検
- 鋼構造物の診断点検



新樹脂化合物によるブレード高度補修技術



ペンタゴン壁面 5mmの新樹脂化合物



新樹脂化合物のブレード補修適用にむけた取り組み

試験片での要素試験

補修基礎特性の試験

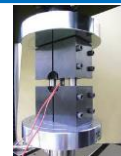
- 引張、圧縮、衝撃付与後の強度試験（CAI試験）、耐雷試験

耐エロージョン性能の評価

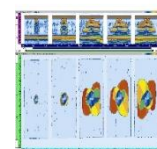
- エロージョン試験



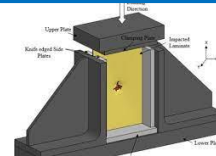
引張



圧縮



超音波探傷



CAI



レインエロージョン試験



実風車・ブレードを用いる試験

リーディングエッジプロテクション効果の確認

- 既存保護材料との比較試験

大損傷補修の可能性検証

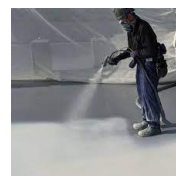
- 補修方法の検討、強度、疲労試験



試験片、実ブレードを用いる試験

実運用方法の検討

- ホース延長、ロープワーク による施工
- ドローンを用いた遠隔施工



加熱ホース



小型リアクター


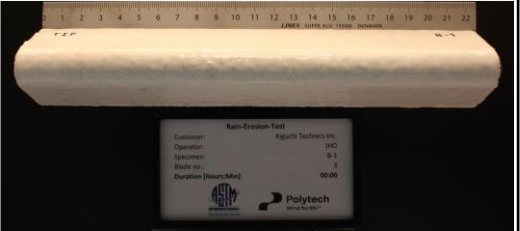








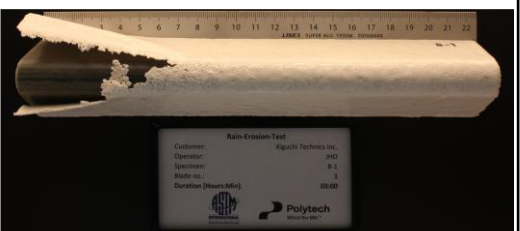



ドローン



レインエロージョン試験結果



経過時間	新樹脂①	新樹脂②	既存材
0			
1時間			
2時間			
3時間			



実ブレードへの新樹脂化合物適用試験

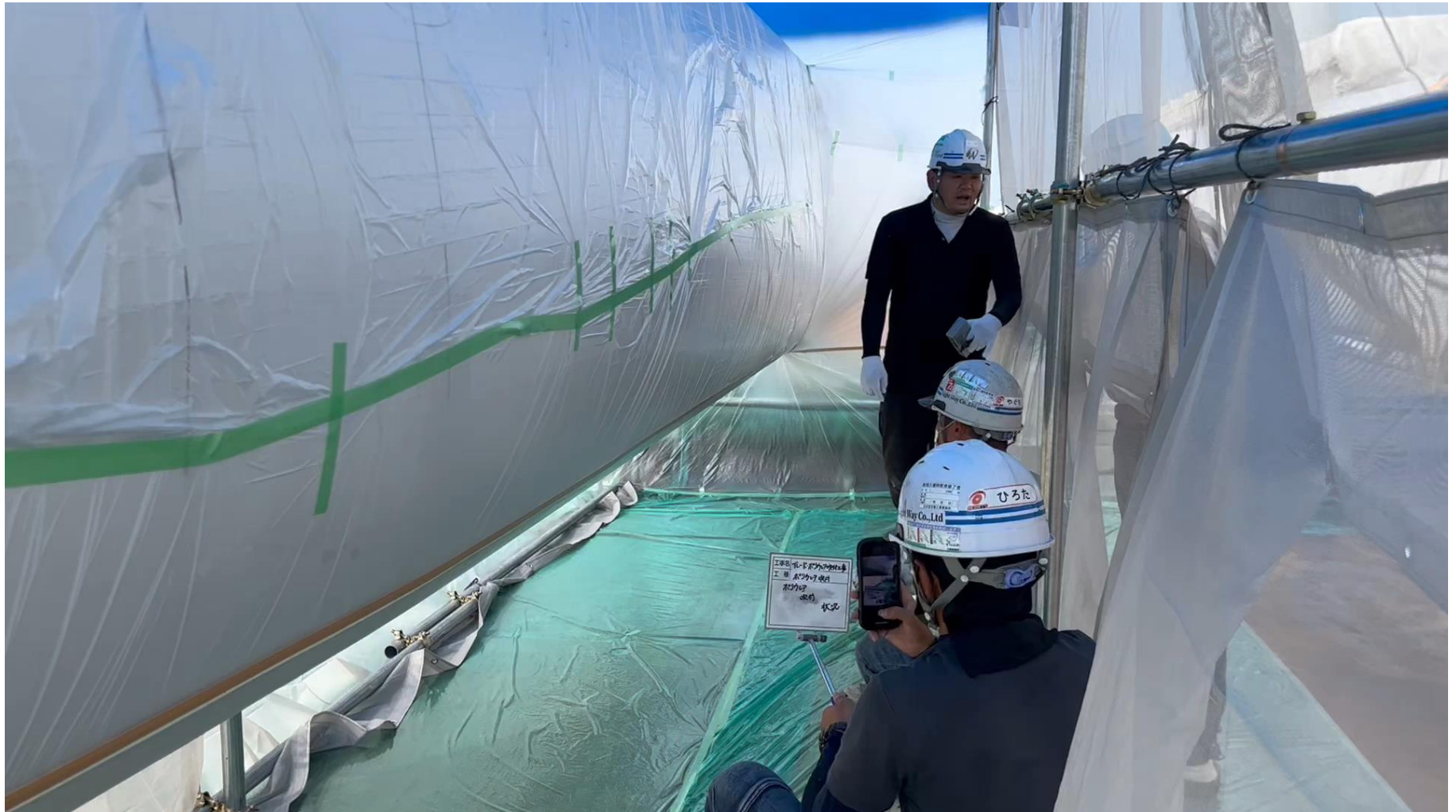


補修材	翼No.2	翼No.3	翼No.1
新樹脂①	・リーディングエッジ ・ダメージレベル1～3	—	—
新樹脂②	・ダメージレベル1～3	・リーディングエッジ ・ダメージレベル1～3	・ダメージレベル1～3
既存材	—	—	・リーディングエッジ

レベル	ブレード損傷状況
5	非常に深刻なダメージ。運転の前に修理の必要。風車の運転は不可。
4	設計強度に影響を与えるダメージであり、3か月以内の修理が必要。風車の運転は可能。1か月ごとのダメージ経過観察が推奨される。
3	設計強度に影響を与えるようなダメージではないが、6か月以内の修理が必要。風車の運転は可能。3か月ごとのダメージ経過観察が推奨される。
2	表面、表層のダメージだが修理が望ましい。他のダメージの修理を計画するときに同時に修理することが推奨される。マイナーダメージ。風車の運転は可能。
1	表面、表層の軽微なダメージ。修理の必要なし。風車の運転は可能。

出展：第23回新エネルギー発電設備事故対応・構造強度WG 資料1-1

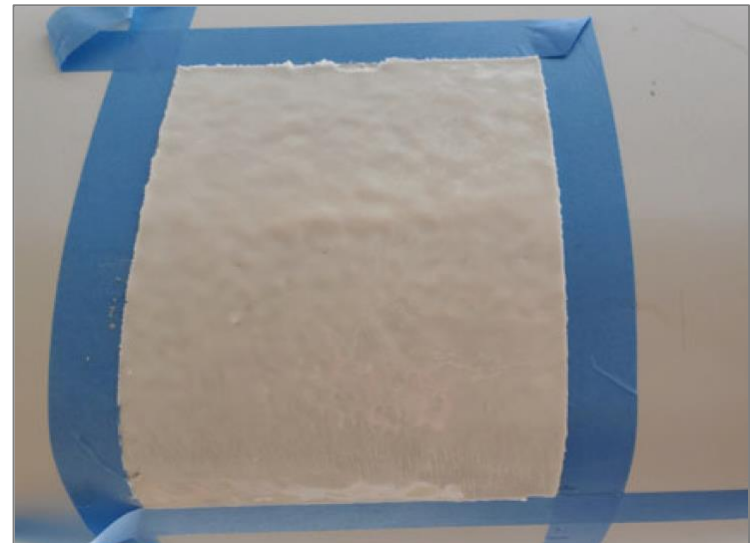
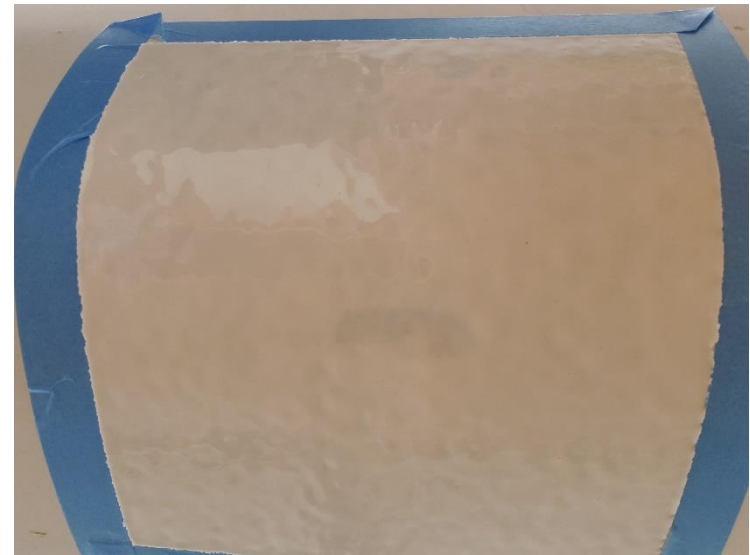
実ブレードへの新樹脂適用試験（リーディングエッジへの施工状況）



実ブレードへの新樹脂適用試験（リーディングエッジ）

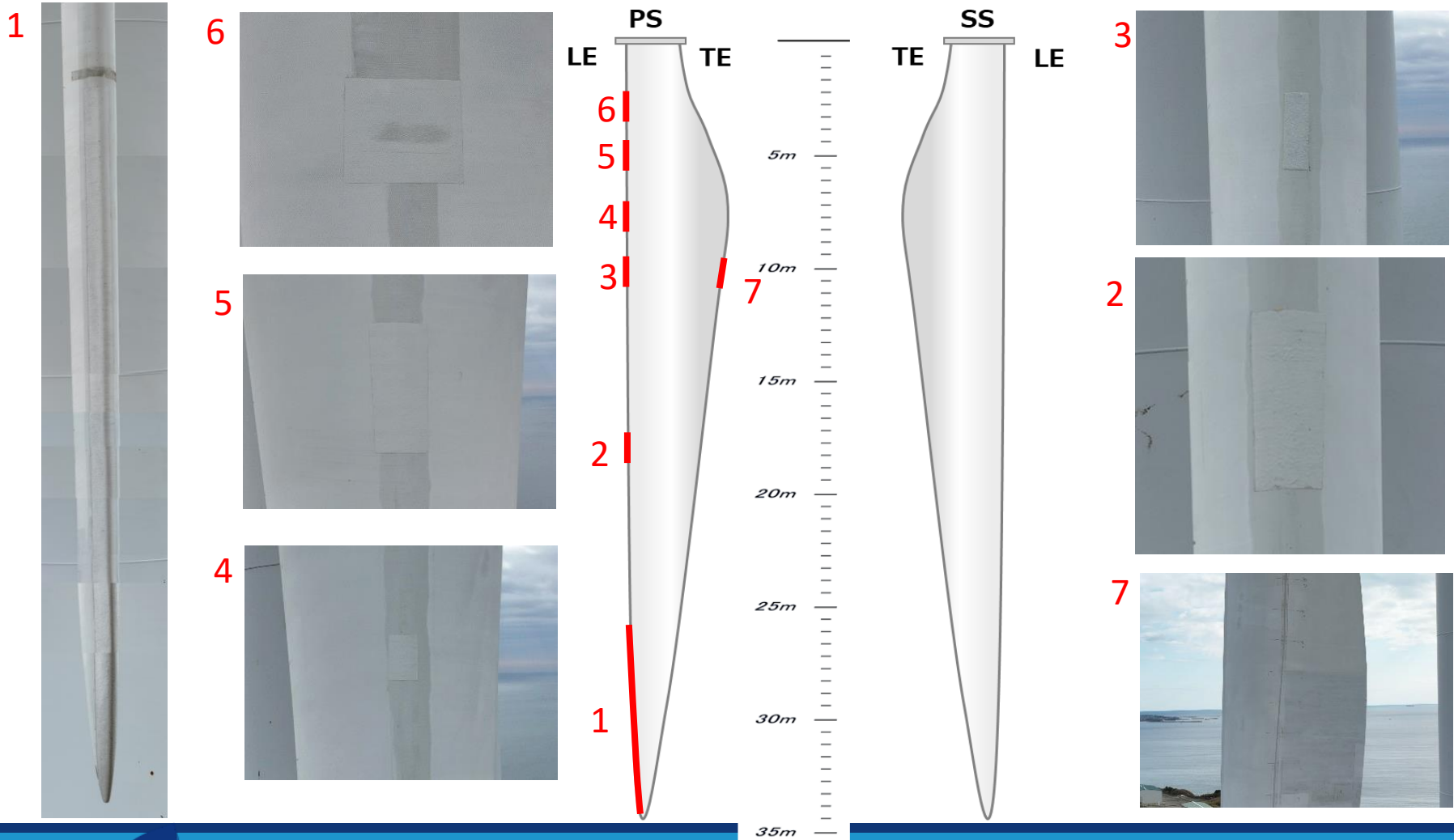


実ブレードへの新樹脂適用試験（ダメージレベル1～3）



ドローンによる経過観察

補修後、約1か月の試運転後の観察結果（2番翼）
→エロージョン、剥がれなどは発生していなかった。



新樹脂化合物を使用した補修のまとめ

- 既存補修に用いる熱硬化樹脂に比べて、硬化時間が飛躍的に短く、強度・耐候性などのバランスが良い
- スプレーで吹付けるだけで施工が可能であり、ガラス繊維の積層や加熱硬化処理が不要

＜ダメージレベル3程度を想定した比較＞

比較項目	既存の補修法	新樹脂
気温条件	18℃以上	-5℃以上
湿度条件	80%以下	90%以下
工期	程度にもよるが1週間～	1～2日(本事業実績)
翼補修費用	程度にもよるが500万円～ 補修箇所が多いと1000万円以上	約250万円(本事業実績) ※3翼20カ所程度を補修

- ・従来の補修方法を100点とすれば、新樹脂化合物を用いた補修は80点
- ・延長運転に関しては、経済性の観点から、80点でも簡易な補修が適していると考えられる

洋上風力への適用も効果的

(出港困難な冬季直前に傷が発見された場合の一次補修など)





NEDO事業期間終了となる2023年3月までに下記課題に取り組む予定。

<残存寿命の推定>

- ・空力弾性解析と部品検査により、延長運転を実施する風車の残存寿命推定を行う。
- ・複数WFの実績風況データを整理し、残存寿命を推定する。

<運転技術、状態監視>

- ・追設CMS測定データ、SCADAデータを評価し、中長期的に安全で経済的な延長運転技術を検討する。
 - 損傷リスクの高い部品の異常検知手法の立案
 - 損傷リスクを抑えた運転手法を立案

<新工法によるブレード補修>

- ・要素試験を実施し、新樹脂の基礎強度評価を実施する。
- ・ドローンを用いて実風車に施工した新樹脂の経過観察を実施し、耐久性評価を行う。

