

風力発電等導入支援事業／  
着床式洋上ウィンドファーム開発支援事業／  
着床式洋上ウィンドファーム開発支援事業  
(洋上風力発電設備にかかる落雷リスク)

山本 和男

【委託】

(株) 東洋設計

(学) 中部大学

【再委託】

(国) 東海国立大学機構 岐阜大学

(公) 公立小松大学

(株) 応用気象エンジニアリング

2023年2月3日

問い合わせ先

株式会社 東洋設計 西沢良史

E-mail:yoshifumi.nishizawa@toyosk.co.jp

TEL:03-6662-7511

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2020年10月  
終了（予定） : 2023年2月

## 2. 最終目標

洋上風力にかかる落雷リスクの明確化、リスクを最小限とする手法のとりまとめ

- ① 洋上落雷リスクマップの作成
- ② 洋上風力発電設備の有効な落雷対策法の提示
- ③ 洋上風力発電設備の状態遠隔監視手法の開発

## 3. 成果・進捗概要

- ① 落雷位置標定システムデータ（以下、LLSデータと言う）や既存の陸上風力への実雷データ等をもとに、洋上落雷リスクマップを作成した。また、LLSデータ等より、国内の洋上に風力発電を導入する場合の落雷の影響の程度を分析中。
- ② 既存文献や報告書から得た既存の雷被害関連データを集約して最新風車で留意すべき点について考察した。また、陸上風力を中心とした最新の雷保護対策を整理し、その特徴を分析し、洋上風力に導入する上での留意点について整理中。
- ③ カメラを用いた遠隔監視システムの実用化を目指し、課題の抽出・改善を実施中。その他、狭域での落雷検知・電荷量算出システムについても実観測を実施し、実用化に向けた基礎データを収集している。

# はじめに

## 事業の目的

洋上風力発電の事業化を加速するために必要な情報の収集や支援として、我が国の厳しい気象条件の一つである落雷に関して、洋上風力発電設備にかかるリスク等を明らかにすることを目的とし、リスクマップ及びリスクを最小限とするために必要な手法を取りまとめて提示する。

本事業では以下の項目を実施する。

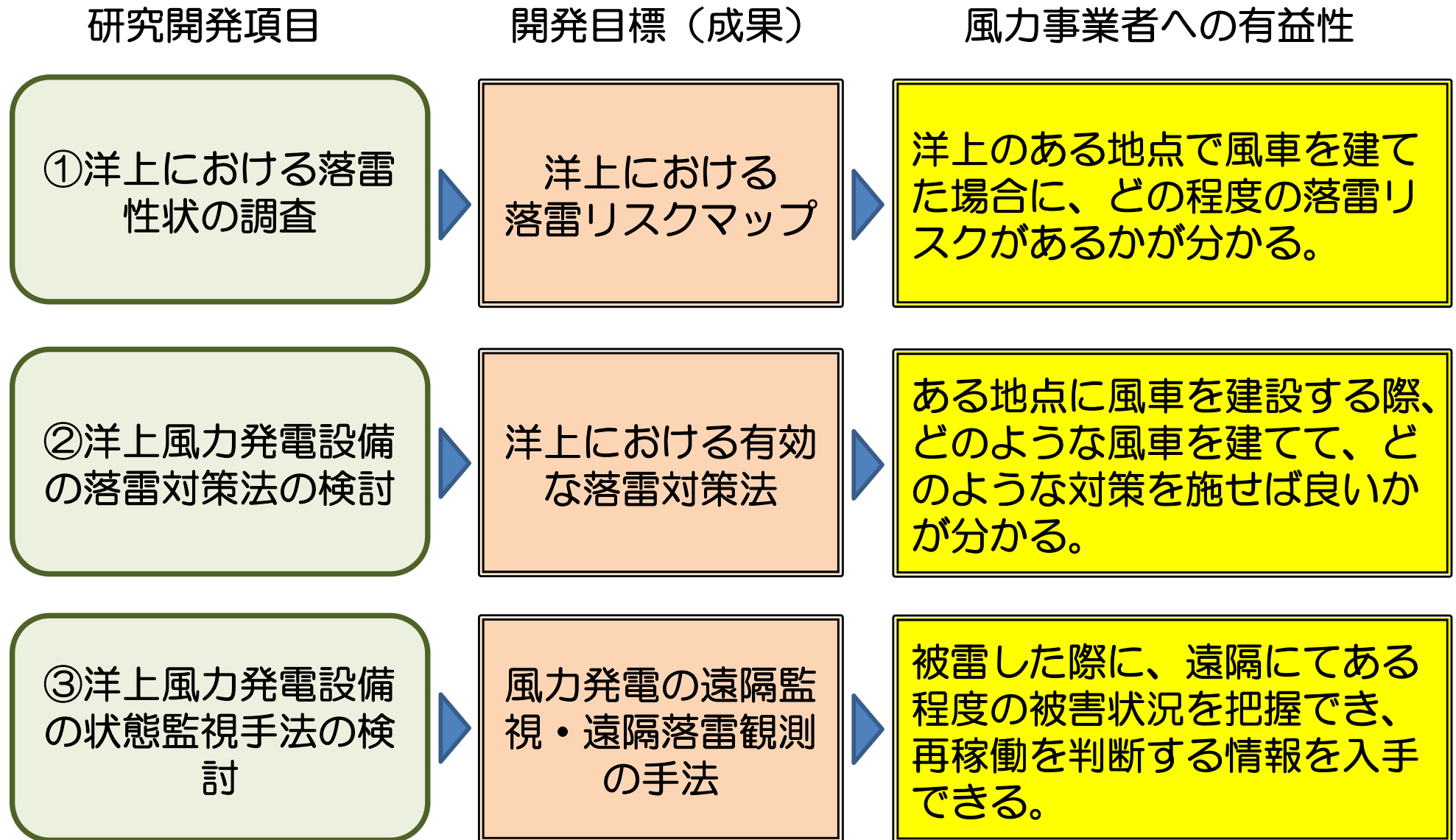
- ①洋上における落雷性状の調査（CU, TO, OU）
- ②洋上風力発電設備の落雷対策法の検討（TO, OU）
- ③洋上風力発電設備の状態監視手法の検討（CU, GI, KO）

（CU：中部大学，TO：東洋設計，OU：応用気象エンジニアリング，  
GI：岐阜大学，KO：小松大学）

本事業は、2020年度～2022年度の3年間で計画されており、本報告は、2021年度の成果及び2022年度（途中）の主たる成果まとめたものである。

# はじめに

## 研究開発の目標



# ①洋上における落雷性状の調査

## 落雷リスクマップ

LLSデータと風車への落雷データの両方を用いて冬季雷地域を確定

冬季の落雷位置標定システム (LLS) のデータ

10kA以下の最大電流値の小さな冬季雷を見逃していることが多く風車への落雷の多くの逃している

日本全国の過去15年間のLLSデータ (5kmメッシュ) を分析

全国の風車への信頼できる落雷データ

- 1.信頼できる落雷検出装置が普及し始めて日が浅く、データ数が不足
- 2.風車が建っていない場所は検証できない

日本海沿岸の冬季雷地域を中心に79サイト、462基分の風車への落雷データ (7231回) を整理・分析

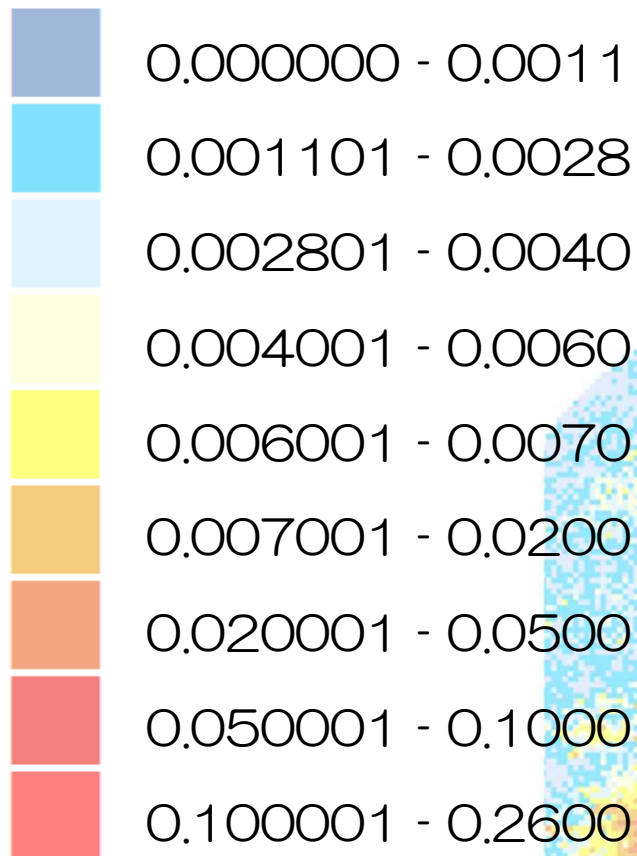
風車への落雷のデータを用いLLSデータの補正

十分なデータ数あり、風車が建っていない場所を補完

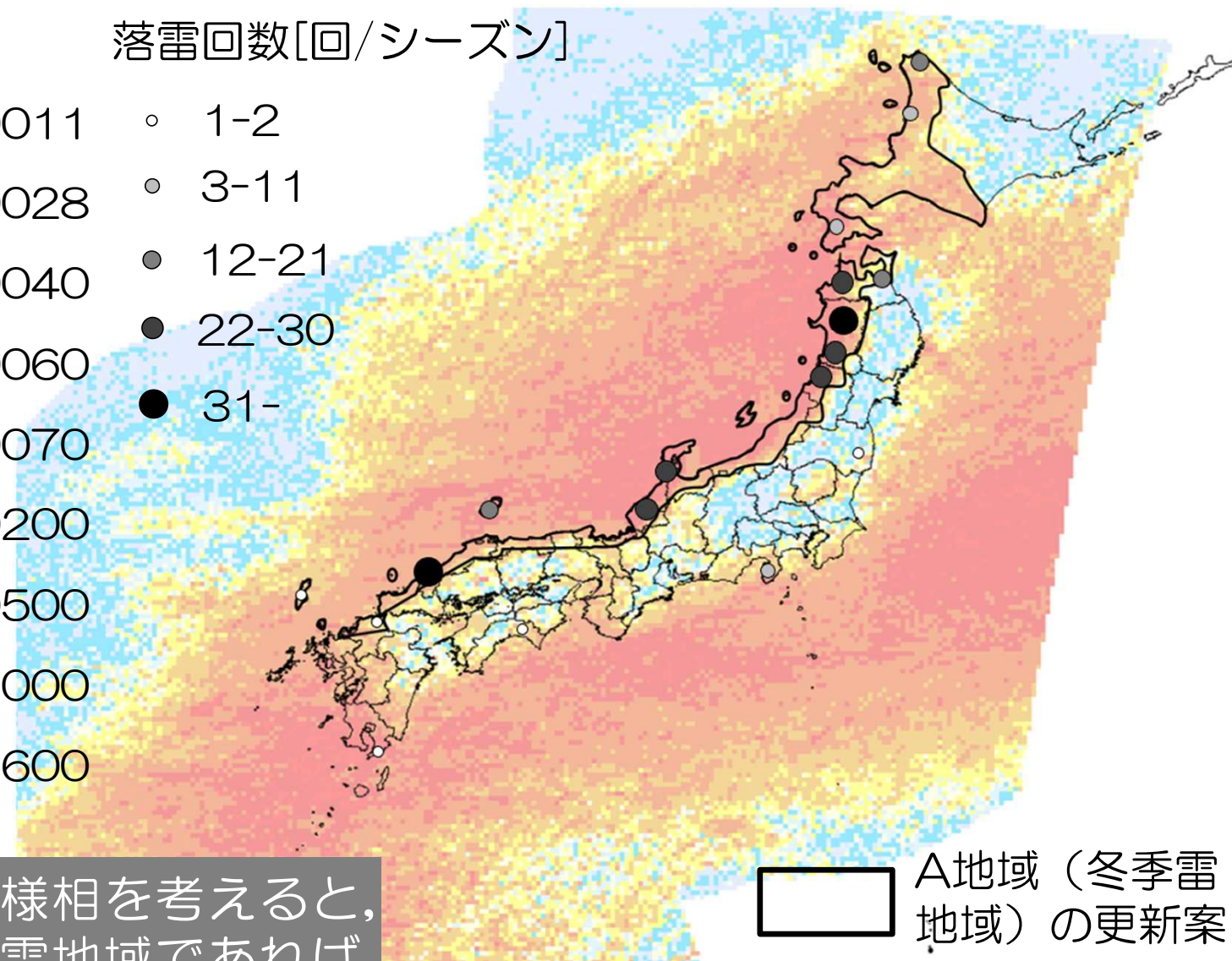
# ①洋上における落雷性状の調査

## 落雷リスクマップ：冬季雷地域（A地域）の更新案

雷撃密度[回/月/km<sup>2</sup>]



落雷回数[回/シーズン]



洋上は冬季雷の発生様相を考えると、最も近い陸上が冬季雷地域であれば、洋上も冬季雷地域と認定すべき

□ A地域（冬季雷地域）の更新案

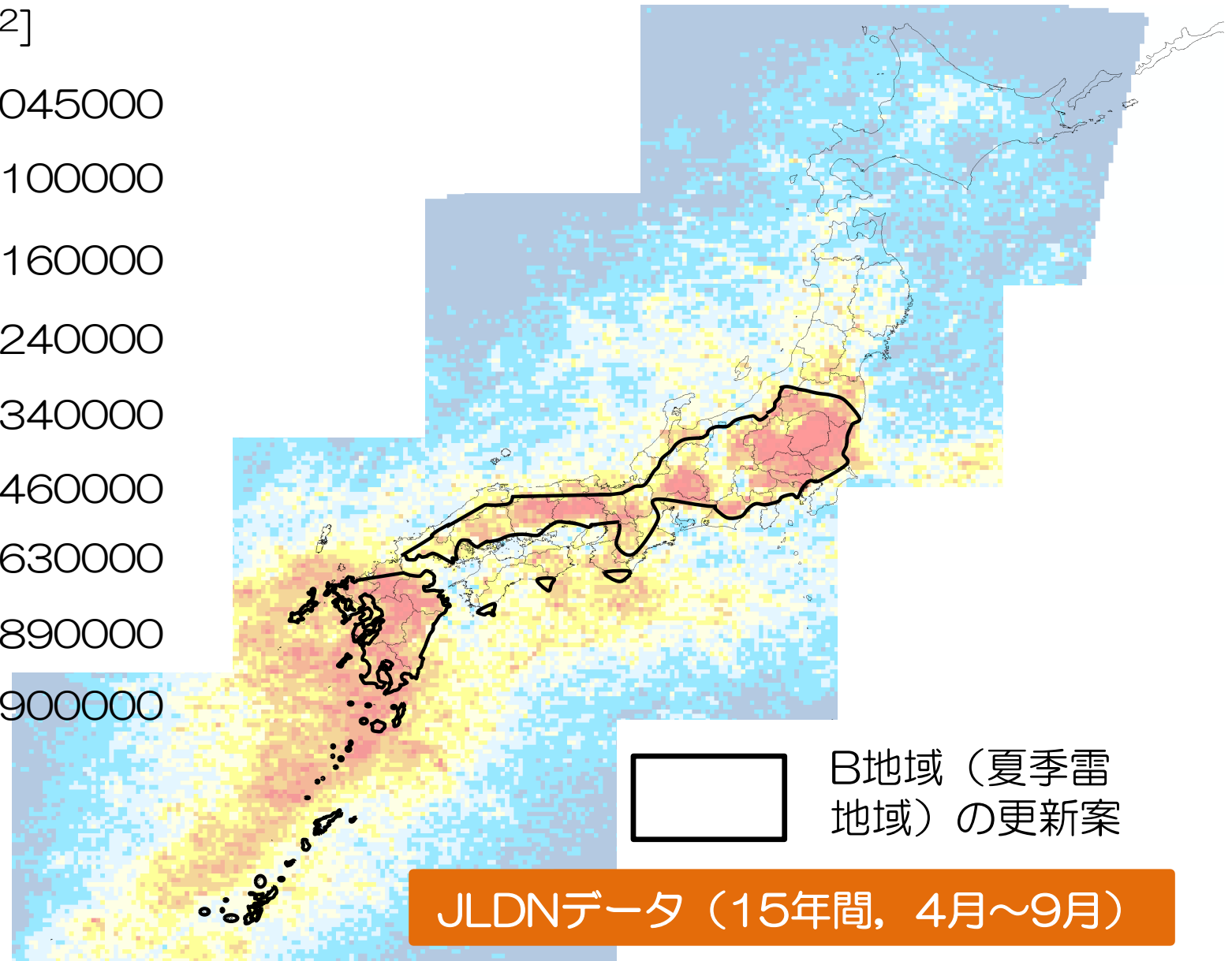
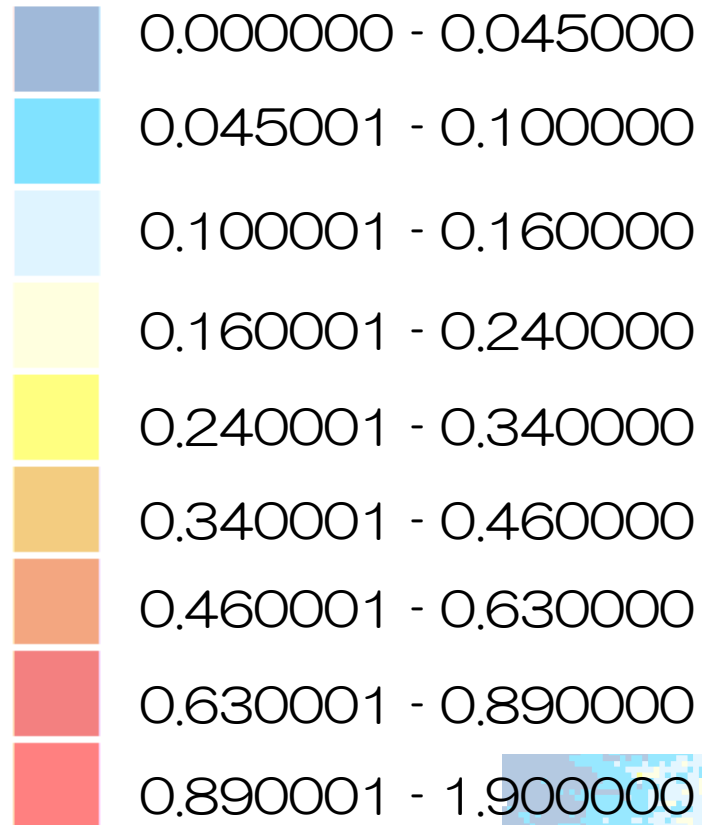
JLDNデータ（15年間、10月～3月）



# ①洋上における落雷性状の調査

## 落雷リスクマップ：夏季雷地域（B地域）の更新案

雷撃密度[回/月/km<sup>2</sup>]



# ②洋上風力発電設備の落雷対策法の検討

## 落雷被害事例の分析

陸上風力を対象とした、落雷被害・事故データの収集・傾向についての分析

### 既存の報告資料例

事故報告委員会、報告資料等	資料範囲
電力安全小委員会 新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ	H25～R2
経済産業省 電気保安統計 各産業保安監督部 電気事故情報	H12～H30
北海道における風力発電の現状と課題 北海道産業保安監督部	H17～R1
JWPA 風車事故報告	H13～R2
NEDO 風力発電故障・事故調査委員会報告書	H18～H22
NEDO 落雷保護対策	H20～H24

風車メーカー	風車型式	定格出力	被害件数	導入基数	被害率
			3	11	27.3%
			2	26	7.7%
			6	55	10.9%
			4	93	4.3%
			4	34	11.8%
			1	7	14.3%
			3	78	3.8%
			6	23	26.1%
			3	35	8.6%
			2	35	5.7%
			1	28	3.6%
			7	18	38.9%
			5	42	11.9%
			3	9	33.3%
			7	224	3.1%
			6	64	9.4%
			17	102	16.7%
			13	125	10.4%
			1	13	7.7%
			3	51	5.9%
			7	267	2.6%
			1	63	1.6%
			3	54	5.6%
			1	22	4.5%
			1	35	2.9%
			2	196	1.0%
			7	28	25.0%

風車型式別に被害件数・被害率を検討

(特定の風車の課題を指摘するものではなく、耐雷仕様上の課題を抽出)

### 落雷被害（既存事例）の傾向：

- ・近年においても落雷による被害は少なくない
- ・最新風車では落雷による被害は減少傾向にある  
ただしブレードの被害は最新風車でも少なくない  
→直近の課題：ブレードの対策技術の向上が重要



## ②洋上風力発電設備の落雷対策法の検討

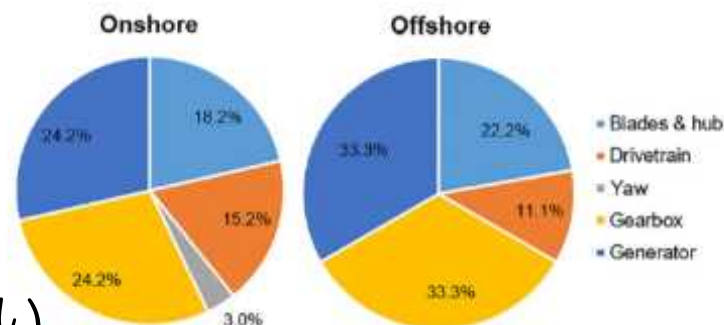
### 落雷被害事例の分析

洋上と陸上の差異について、海外文献・ヒアリングをもとにした調査

#### <海外文献調査>

主に洋上の事故様相について調査したが、統計化されたデータは少ないのが現状

- 落雷要因の事故は事故全体の1 / 4程度  
国内の陸上風力での事故割合と大きく変わらない
- ブレードの事故は、洋上の方がダウンタイムが長い傾向がある



#### <海外ヒアリング調査>

海外事業者等を対象として、洋上風力と陸上風力の事故様相の差異や、洋上風力における落雷の影響について聞き取り調査を行った。

- 海外（主にヨーロッパ）では、陸上洋上問わず雷被害が発生している
- ブレードの被害が多い（先端部）、ハブ・ナセルにはあまりダメージは無い
- 精度の高い落雷検出装置を有していない風車が多く、落雷があったことを正確に把握できない

日本国内の落雷性状の状況が異なるため、一概には言えないが、特に洋上と陸上で差異がある根拠は無く、近傍の陸上風力と同様の配慮が必要

## ②洋上風力発電設備の落雷対策法の検討

### 最新の落雷保護対策の整理

#### 最新の保護対策の導入・留意点についての調査

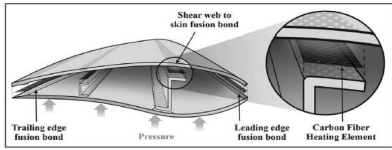

比較的最新の保護対策について、導入実績・利点・注意点・洋上展開する上での留意点をヒアリング等で調査し整理した。一例を以下に示す。

技術名	開発状況
ブレード先端部の受雷部以外の部分の絶縁強化	<ul style="list-style-type: none"><li>○製品名：LIBI(Lightning Interception Blade Implant) ダウンコンダクタ絶縁強化・サイドレセプタ</li><li>○国内導入実績<ul style="list-style-type: none"><li>・導入実績58基程度、後加工1基（問い合わせた事業者の回答）</li><li>・取付作業期間：3～5day</li><li>・重量増：約20kg</li></ul></li><li>○利点<ul style="list-style-type: none"><li>・元来大手メーカーは新設風車の標準装備（レトロフィット事例もあり）。</li><li>・後付けでも空力性能に影響はないと考えられる。</li><li>・補修は一般的な工具・技術者で対応可能。</li></ul></li><li>○注意点等<ul style="list-style-type: none"><li>・メーカーがLIBIの設計を変える可能性がある。生産中止のリスクもある。</li><li>・100%の耐性が確立されたものではない。検知・損傷度合の判定は必要。</li><li>・風車メーカーも最新のブレード内に同様の対策を施している可能性あり</li></ul></li></ul>

# ②洋上風力発電設備の落雷対策法の検討

## 最新の落雷保護対策の整理

### 研究開発事例の調査(例)

技術名	概要など
<p><b>ブレード製造時の抵抗溶接による雷保護</b></p>	<p>接着材に導電性の物質を用いるもの</p>  <p><small>Figure 1. Resistance welding schematic for a wind turbine blade, highlighting the shear web to spar cap bond which is joined by heating the carbon fiber and pressing the mating surfaces together under pressure.</small></p> <p>※<a href="https://www.nrel.gov/news/program/2021/lightning-protection-wind-turbine-blades.htm">https://www.nrel.gov/news/program/2021/lightning-protection-wind-turbine-blades.htm</a></p>
<p><b>Smart LPS※</b></p> <p>※Polytech社特許出願中</p>	<p>ブレード内部に複数の雷観測装置・温度等の監視センサを組み込み、状態監視及び雷撃箇所の特定を行うシステム</p> 
<p><b>航空機への対策をベースにした技術</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LSP（金属製メッシュ）：CFRP構造の航空機へは、LPSと呼ばれる金属製メッシュを構造表面に適用する対策が有効とされる</li> <li>• 雷電流解析手法：複雑な電流経路を有する複合材構造に適した電磁界解析手法・電気的特性の測定手法</li> </ul>

研究途上で将来の技術ではあるが、今後の有望な対策として整理・提示

# ③洋上風力発電設備の状態監視手法の検討

## カメラを用いた監視システムの構築

### ＜カメラシステム概要＞

落雷位置や故障状態を遠隔で判別可能なカメラ（超高感度グローバルシャッターカメラ）を用いて、監視システムを構築する。

#### ①グローバルシャッター

- 一眼レフカメラのバルブ撮影と等価な動画撮影が可能  
→閃光を逃すことなく撮影

#### ②超高感度

- 炎天下～暗黒までダイナミックレンジが非常に広い（60dB以上）  
→夜間でも照明光不要、自然光下で閃光に加え風車や周辺状況も撮影

#### ③近赤外線撮影モード

- 霽などで可視光では見えない状況下でも鮮明に撮影

#### ④撮影パラメータ外部制御可

- 絞り、感度ゲイン、ガンマ等々、全ての撮影パラメータを最適な組み合わせで撮影

陸上の風力発電設備にて実証

システムの製品化



# ③洋上風力発電設備の状態監視手法の検討

## カメラを用いた監視システムの構築

### ＜機器設置の例＞

2台のカメラを用いて一つのシステムを構成

カメラA：風車への落雷の閃光を鮮明に撮影できるように各種パラメータを調整

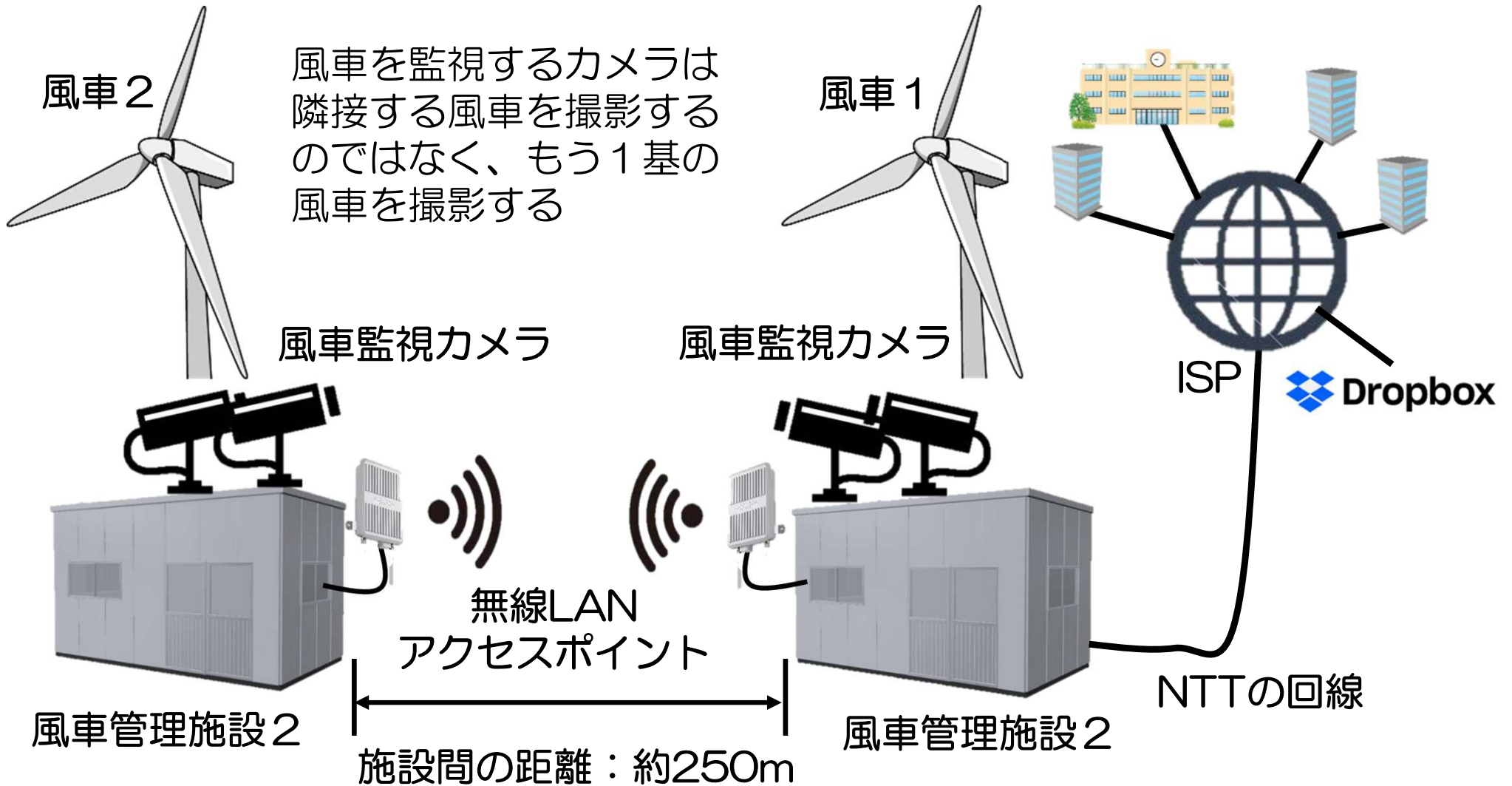
カメラB：昼夜問わず、風車の姿を鮮明に撮影できるように各種パラメータを調整



# ③洋上風力発電設備の状態監視手法の検討

## カメラを用いた監視システムの構築

＜機器構成の例＞

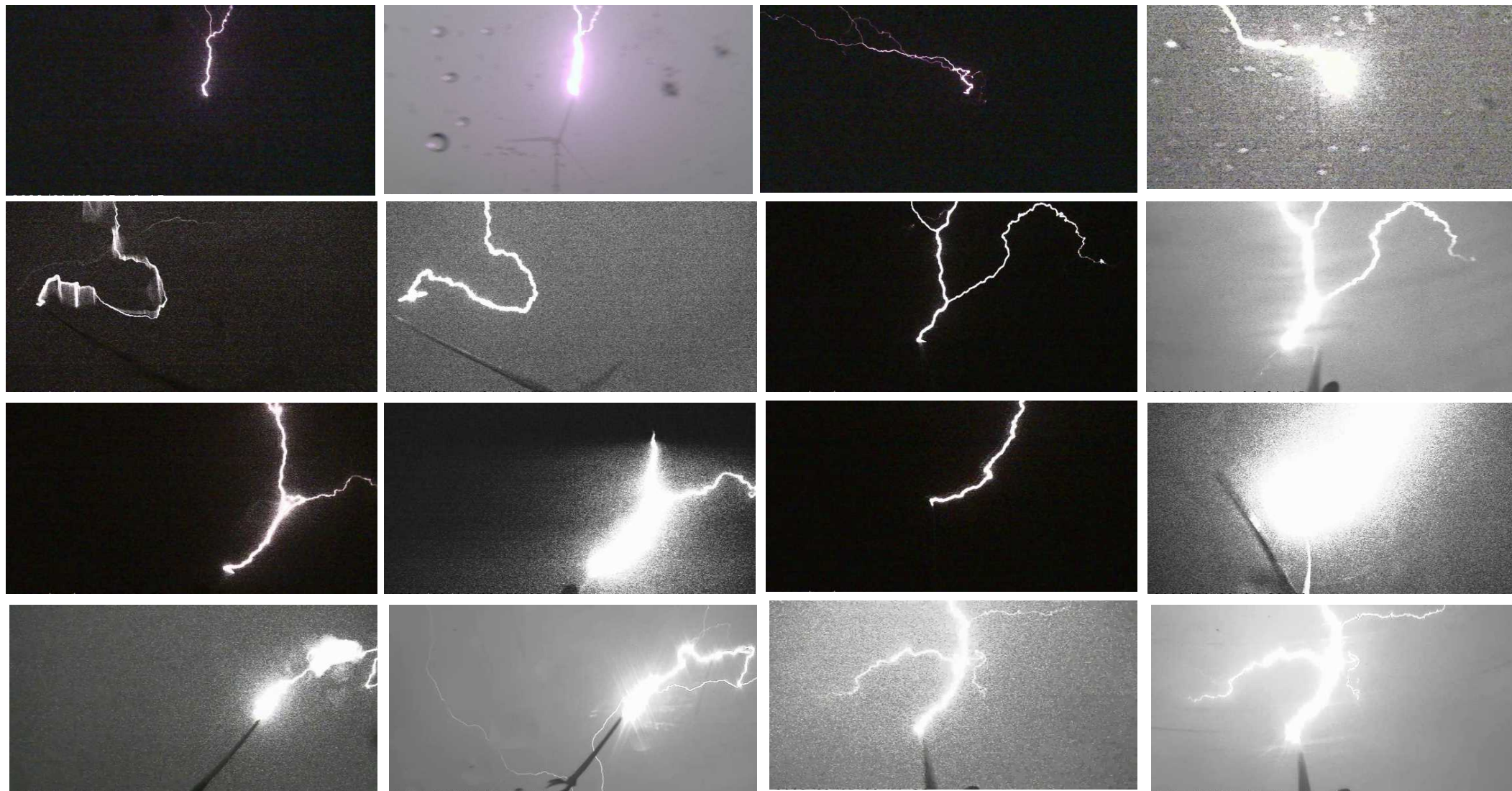




# ③洋上風力発電設備の状態監視手法の検討

## カメラを用いた監視システムの構築

<撮影画像の例>



# ③洋上風力発電設備の状態監視手法の検討

## カメラを用いた監視システムの構築

### <付加機能（予定）>

#### 落雷検知機能

取得した動画映像をリアルタイムで画像分析し，風車への落雷を自動検出できる機能

#### 落雷位置分析機能

雷撮影用のカメラにより捉えた雷道と風車撮影用のカメラにより撮影された風車の映像を合成し，風車のどの位置に落雷があったかを特定する機能

#### 風車異常分析機能

撮影画像をリアルタイム分析することで，落雷により，ブレード等に物理的な破損（主に風車をすぐに停止させ，補修しなければならないレベルの破損）が発生したかどうかを把握できる機能

#### レポート出力機能

上述の総合的に分析した結果をレポートとして出力する機能

# まとめ

## 洋上落雷リスクマップの作成

風車への落雷データとLLSデータをベースとした「洋上を含めた落雷リスクマップ」を完成させることができた。

## 洋上風力発電設備の有効な落雷対策法の提示

既存の国内陸上風車において近年発生した雷被害の調査，海外文献調査，海外事業者へのヒアリングの結果，洋上風力においても近くの陸上風車と同等の対策（特にブレードの対策）が必要であることが明らかとなった。また，最新の陸上風車の雷対策状況をまとめ，洋上でも効果を発揮するであろう技術を取りまとめた。

## 洋上風力発電設備の状態遠隔監視手法の開発

遠隔監視の実現が近々の課題となっている洋上風力において，遠方から風車落雷の有無，落雷位置の特定，落雷後の風車の状態を把握可能なカメラシステムの開発が順調に進んでいる。

# 今後の課題

## 洋上落雷リスクマップの作成

一部の地域（新潟県の日本海側，北海道，北九州など）では風車への落雷データの数は十分とは言えず，今後も引き続き，それら地域の落雷データの収集を進め，今回提案した「洋上を含めた落雷リスクマップ」の検証を定期的実施する必要がある。

## 洋上風力発電設備の有効な落雷対策法の提示

港湾を含め，日本でも洋上風力の普及は著しく，洋上風車における雷被害データ，雷対策の実施状況を把握し，その効果を検証していく必要がある。

## 洋上風力発電設備の状態遠隔監視手法の開発

カメラシステムのみならず，風車のSCADAシステム，CMS，落雷検出装置，日々の補修データ等を総合的に分析し，風車の状態監視をより正確に行える仕組みを確立していく必要がある。