

令和2年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー） 報告書

2021年3月24日

 株式会社三菱総合研究所

セーフティ&インダストリー本部

目次

1. 本事業の概要	1
1.1 目的	1
1.2 事業の内容	1
2. 風力発電設備における定期安全管理審査制度の見直し調査	4
2.1 定期安全管理検査制度の運用状況調査	4
2.1.1 定期安全管理検査制度の運用状況調査の目的と調査方法.....	4
2.1.2 アンケート調査	5
2.1.3 ヒアリング調査	25
2.2 定期安全管理検査制度のあり方の検討	28
2.2.1 制度全般	29
2.2.2 定期事業者検査・安全管理審査の効果的な実践に向けて.....	30
2.2.3 インセンティブ制度のあり方	33
2.3 風力発電設備におけるブレードの点検等に関するガイドラインの作成	34
3. 風力発電設備における落雷マップのデータ整備及び落雷対策のあり方検討調査	35
3.1 陸上・洋上の落雷マップの更新・新規作成	35
3.1.1 冬季雷地域（A 地域）の落雷マップ案	35
3.1.2 夏季雷（B 地域）の落雷マップ案	37
3.2 落雷対策の実施状況及び効果のレビュー	38
3.2.1 文献調査・整理	38
3.2.2 アンケート調査	48
3.2.3 ヒアリング調査	75
3.3 落雷対策事例の整理.....	76
3.3.1 技術開発・適用事例	76
3.3.2 風車への被雷対応事例	77
3.4 落雷対策及び規制のあり方検討	79
3.4.1 アンケート回答事業所の基本情報を踏まえたあり方検討.....	79
3.4.2 落雷事故・トラブルの発生状況及び具体的な内容を踏まえたあり方検討	80
3.4.3 雷撃から風車を保護する措置の実施状況を踏まえたあり方検討.....	81
3.4.4 被雷等が予想される際の事前対応を踏まえたあり方検討.....	84
3.4.5 被雷後の対応を踏まえたあり方検討	85
3.5 落雷対策技術開発ロードマップ検討	87
4. 有識者委員会の運営	101
5. まとめ	103

目次

図 2-1	管轄の産業保安監督部毎の回答事業所数	6
図 2-2	保有風車基数米の回答事業所数	6
図 2-3	回答事業所における風力設備以外の運転経験	6
図 2-4	事業所で最も古い風力設備が運転開始の年の回答数推移	7
図 2-5	ISO9001 (JIS Q9001) の活用状況について	7
図 2-6	設置者責任の理解度	7
図 2-7	事業者の保安力に応じたインセンティブ付与の理解度	8
図 2-8	定期安全管理検査制度の対象範囲の適切性について	8
図 2-9	解消審査の経験について	9
図 2-10	定期事業者検査の検査項目について	9
図 2-11	定期事業者検査の検査方法について	10
図 2-12	定期事業者検査の検査頻度について	10
図 2-13	定期事業者検査の判定について	11
図 2-14	定期事業者検査の判定基準について	11
図 2-15	不適合管理及び特別採用の実績について	11
図 2-16	登録安全管理審査機関の選定について	12
図 2-17	登録安全管理審査機関の力量について	12
図 2-18	定期安全管理審査の受審周期について	12
図 2-19	定期安全管理審査の審査基準について	13
図 2-20	定期安全管理審査の審査手数料の適切性について	13
図 2-21	定期安全管理審査における事業者の審査負荷について	13
図 2-22	国による評定の活用可能性について	14
図 2-23	定期安全管理審査の有効性について	14
図 2-24	インセンティブ制度の有効性や魅力について	15
図 2-25	回答者属性 (企業 or 自治体) と最も古い風車が運転開始の年との関係性	17
図 2-26	回答者属性 (企業 or 自治体) と ISO9001 活用との関係性	18
図 2-27	ISO9001 活用と保有風車基数との関係性	18
図 2-28	回答者属性 (企業 or 自治体) と保有風車の機数との関係性	18
図 2-29	検査の方法の柔軟性について (保有風車の基数)	19
図 2-30	検査の方法の柔軟性について (ISO9001 の活用状況)	19
図 2-31	検査の方法の柔軟性について (回答者属性 (企業 or 自治体))	19
図 2-32	検査の方法の柔軟性について (回答事業所の最も古い風車が運転開始した年)	19
図 2-33	インセンティブの魅力について (保有風車の基数)	20
図 2-34	インセンティブの魅力について (ISO9001 の活用状況)	20
図 2-35	インセンティブの魅力について (回答者属性 (企業 or 自治体))	21
図 2-36	インセンティブの魅力について (回答事業所の最も古い風車が運転開始した年)	21
図 2-37	安全管理審査の受審周期について (保有風車の基数)	22
図 2-38	安全管理審査の受審周期について (ISO9001 の活用状況)	22

図 2-39	安全管理審査の受審周期について（回答者属性（企業 or 自治体））	22
図 2-40	安全管理審査の受審周期について（回答事業所の最も古い風車が運転開始した年）	22
図 2-41	風車メーカー・メンテナンス事業者へのヒアリング結果の概要	26
図 2-42	産業保安監督部・登録安全管理審査機関へのヒアリング結果の概要	27
図 2-43	今後の定期安全管理検査制度のあり方（全般）	29
図 2-44	今後の定期安全管理検査制度のあり方（定期事業者検査に関する事項）	31
図 2-45	今後の定期安全管理検査制度のあり方（インセンティブに関する事項）	33
図 3-1	冬季雷地域（A 地域）の更新案	35
図 3-2	夏季雷地域（B 地域）の更新案	37
図 3-3	風力発電設備事故率の推移（電気事業用電気工作物）	39
図 3-4	風力発電設備事故率の推移（自家用電気工作物）	40
図 3-5	都道府県別の回答事業所数	50
図 3-6	「発電用風力設備の技術基準の解釈」の別図における事業所の所在地域	50
図 3-7	主に運用している風車のメーカー（複数回答）	51
図 3-8	事業所における運用基数	51
図 3-9	事業所における調整出力	51
図 3-10	事業所における主な風車の運用年数	52
図 3-11	4 月～11 月（夏季）の事業所内の落雷頻度（風車 1 台換算）	53
図 3-12	11 月～3 月（冬季）の事業所内の落雷頻度（風車 1 台換算）	54
図 3-13	落雷数が最大だった年の、事業所内の年間の落雷数（風車 1 台換算）	55
図 3-14	電気主任技術者の選任状況別の、落雷対策の手法や動向等の電気主任技術者による把握状況	56
図 3-15	事業所の地域及び調整出力別の、風車設備の保険への加入状況	57
図 3-16	事業所の地域別の、2014 年 6 月以降での落雷に起因するトラブルの発生有無	58
図 3-17	2014 年 6 月以降での落雷に起因する事故や発電所運用上のトラブルの内容	58
図 3-18	事業所の地域別の、ブレードのレセプターの対応電荷量（ダウンコンダクターを含む耐雷性）	59
図 3-19	事業所の地域及び調整出力別の、レセプター及び引き下げ導体の対雷機能の健全性確認の実施状況	59
図 3-20	レセプター及び引き下げ導体の健全性確認にて異常を発見した事業所が対応までに要した期間	60
図 3-21	風車への雷撃検出装置の設置状況（複数回答）	61
図 3-22	主な風車の運用年数別の、中間報告書に記載の具体的な再発防止対策の実施・検討状況	62
図 3-23	事業所の地域別の、設備面での被雷対策の有効性についての認識	63
図 3-24	事業所の調整出力別の、雷雲接近時の運転停止の実施状況	64
図 3-25	事業所の調整出力別の、雷雲接近時の運転調整の実施状況	65
図 3-26	事業所の地域及び調整出力別の、風車への被雷検知等による運転停止等の実施状況	67

図 3-27	風車への被雷検知による運転停止の際の閾値.....	68
図 3-28	事業所の調整出力別の、風車への直撃雷（レセプターへの被雷、レセプター以外への直撃雷）発生時の点検の実施状況.....	69
図 3-29	風車への直撃雷（レセプターへの被雷、レセプター以外への直撃雷）発生時に実施する点検の内容.....	69
図 3-30	事業所の地域別の、被雷後の点検で補修不要と判断した場合の風車管理の状況.....	70
図 3-31	事業所の地域別の、被雷後の点検で補修不要と判断した場合のレセプターの導通試験頻度の状況.....	70
図 3-32	事業所の地域及び調整出力別の、風車設備近傍への落雷後の安全点検の実施状況.....	71
図 3-33	今後の落雷対策及び規制のあり方（小規模・運用年数が長い事業者への周知）.....	79
図 3-34	今後の落雷対策及び規制のあり方（複数回の落雷を前提とした落雷対策・規制のあり方検討）.....	80
図 3-35	今後の落雷対策及び規制のあり方（落雷対策強化の広域的な推進）.....	81
図 3-36	今後の落雷対策及び規制のあり方（レセプター・ダウンコンダクターの対応電荷量）.....	81
図 3-37	今後の落雷対策及び規制のあり方（レセプター・ダウンコンダクターの対雷機能）.....	82
図 3-38	今後の落雷対策及び規制のあり方（中間報告書に示される再発防止策への対応）.....	83
図 3-39	今後の落雷対策及び規制のあり方（風車への落雷検出装置の設置）.....	83
図 3-40	今後の落雷対策及び規制のあり方（風車を保護する措置の困難さ）.....	84
図 3-41	今後の落雷対策及び規制のあり方（雷雲接近等の把握による運転停止・運転調整）.....	85
図 3-42	今後の落雷対策及び規制のあり方（被雷検知等による運転停止の閾値）.....	86
図 3-43	今後の落雷対策及び規制のあり方（風車への被雷時の点検・管理）.....	87
図 3-44	落雷対策関連技術のロードマップ案.....	88
図 3-45	高度化技術開発 / これまでの技術開発動向.....	89
図 3-46	高度化技術開発 / 今後の技術開発ロードマップ案.....	89

表目次

表 2-1	定期安全管理検査制度の運用状況調査の全体像.....	4
表 2-2	アンケートの設問（概要）	5
表 2-3	ロータ/(1)ハブ-主軸間締結ボルト・ナットの検査方法・内容・周期.....	24
表 2-4	ナセルボルト・ナットー（1）高速軸カップリング取付ボルト・ナットの検査方法・内容・周期.....	25
表 3-1	落雷発生時の-10°C高度.....	36
表 3-2	近年の落雷事故事例	42
表 3-3	アンケートの設問（概要）	48
表 3-4	落雷対策及び規制のあり方の検討におけるヒアリングの実施先.....	75
表 3-5	近年の落雷対策技術開発・適用事例	76
表 3-6	風車への被雷対応事例の詳細	78
表 3-7	これまでの技術開発動向における課題と展望.....	90
表 3-8	今後の技術開発ロードマップにおける個別技術.....	94
表 4-1	令和2年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー）委員会 有識者.....	101
表 4-2	令和2年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー）委員会 第1回 開催概要.....	101
表 4-3	令和2年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー）委員会 第2回 開催概要.....	102
表 4-4	令和2年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー）委員会 第3回 開催概要.....	102

1. 本事業の概要

1.1 目的

2018年2月の本荘港風力発電所での落雷によるブレード折損事故の原因究明において、レセプター外への落雷後の再稼働の判断を誤った保安体制が事故の要因とされた（2019年1月の第15回 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（以下「新エネWG」という。））。その再発防止対策の水平展開について、各社・各風車メーカーでこの判断の対応が異なる可能性が高いこと、落雷検出装置のJIS規格化の動きが別途あること等から、課題と今後の方向を国が引き続き検討することとされ、2019年7月の第17回新エネWGにおいて、「落雷事故を踏まえた今後の再発防止対策等について（2014年6月）」の検証と今後の落雷対策のあり方を検討していくこととされた。そこで本事業は、風力発電設備の落雷対策の実態を調査し、専門家を集めた有識者委員会において今後のあり方を検討することを目的として実施した。また、「発電用風力設備の技術基準の解釈」に記載されている落雷マップの更新を目的として実施した。

また、2017年4月から制度が導入された定期安全管理審査制度が審査期限である3年3か月を2020年6月末（コロナウィルス対策で4か月延期）に迎えることを踏まえ、本事業では、これまでの定期安全管理審査制度の課題を整理し、専門家を集めた有識者委員会において今後のあり方を検討することを目的として実施した。さらに、2020年1月の東伯風力発電所でのブレード折損事故の原因究明において補修期限の遅れが要因とされ、業界主導でブレードの点検等に関するガイドラインを作成することになったこと（2020年6月第23回新エネWG）を受け、上記ガイドラインの補足・解説を作成することを目的に実施した。

1.2 事業の内容

(1) 風力発電設備における定期安全管理審査制度の見直し調査

1) 定期安全管理審査制度の運用状況調査

2017年4月1日より3年間実施されてきた、風力発電設備の定期安全管理検査制度の運用状況を踏まえて、制度全体のレビューを実施することを目的としてアンケート調査、ヒアリング調査を行った。

アンケート調査は全国の風力発電事業所を対象に行った。定期安全管理検査制度全体を俯瞰して「検査の実施（責任）主体より、安全管理検査制度の実運用を踏まえた具体的な課題意識を抽出する」ことができるようなアンケート設計を行い、233事業所から回答を得た。また、アンケート後に3事業者に対して追加調査を行った。

ヒアリング調査は定期事業者検査を支援する立場である風車メーカー、メンテナンス事業者と、審査・評定を行う立場である産業保安監督部、登録安全管理審査機関に対して合計9件行った。

2) 定期安全管理審査制度のあり方の検討

アンケート調査、ヒアリング調査の結果を踏まえて、定期安全管理検査制度のあり方の検討を行った。アンケートの回答でポジティブな意見が比較的少なかった定期事業者検査やインセンティブに関する事項を中心に、今後の改善に資するポイントを整理した。

3) 風力発電設備におけるブレードの点検等に関するガイドラインの作成

日本風力発電協会にて作成された「風力発電設備ブレード点検および補修ガイドライン (JWPA G0001)」が「発電用風力設備の技術基準の解釈」、「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈」及び「電気事業法施行規則第94条の3第1項第1号及び第2号に定める定期事業者検査の方法の解釈」に紐づくことを受けて、経済産業省（産業保安監督部含む）での内部文書（非公開）という位置付けで、当該ガイドラインの解説・補足文書を作成した。

(2) 風力発電設備における落雷マップのデータ整備及び落雷対策の在り方検討調査

1) 陸上・洋上の落雷マップの更新・新規作成

「発電用風力設備の技術基準の解釈」において参照される「別図1」、「別図2」の更新の検討を行った。具体的には、国際規格 IEC 62858 に準拠した落雷位置標定システム (LLS: Lightning Location System) データと、建設済みの発電用風力設備における落雷データ等を活用して、落雷マップの形で整理を実施した。

2) 落雷対策の実施状況及び効果のレビュー

新エネ WG による「落雷事故を踏まえた今後の再発防止対策等について（中間報告書）」¹等を踏まえて、風力発電事業者による落雷対策の実施状況やその効果を把握し今後の落雷対策及び規制のあり方を検討するための文献調査、アンケート調査、ヒアリング調査を行った。文献調査では、落雷事故の経年的な状況、産官学の取組みの状況を整理した。アンケート調査は風力発電事業者を対象に実施し、233事業所から回答を得た。また、風車メーカー、メンテナンス事業者に対するヒアリング調査を合計4件実施した。

3) 落雷対策事例の整理

アンケート調査にて得られた、風力発電事業者の被雷対応における設備上、及び運用上の工夫の具体事例を詳細に整理した。詳細整理においては、4事業者から情報を提供いただいた。また、落雷対策の技術開発、適用事例の整理も併せて行った。

¹ 経済産業省 平成26年6月産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会「落雷事故を踏まえた今後の再発防止対策等 について（中間報告書）」
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_zenen/newenergy_hatsuden_wg/pdf/report01_01.pdf

4) 落雷対策及び規制のあり方検討

アンケート調査結果や有識者委員会での議論内容を踏まえて、今後の落雷対策及び規制のあり方の検討を行った。検討は「回答事業所の基本情報」、「落雷事故・トラブルの発生状況及び具体的な内容」、「雷撃から風車を保護する措置の実施状況」、「被雷等が予想される際の事前対応」、「被雷後の対応」の観点でそれぞれ行った。

5) 落雷対策技術開発ロードマップ検討

アンケート調査結果や有識者委員会での議論内容、また文献調査を踏まえて、落雷対策技術開発ロードマップの検討を行った。ロードマップは、高度化技術開発野観点だけでなく、それに紐づく人材育成、制度設計、環境影響評価（落雷エリア検討）の観点も含めて整理・検討した。

(3) 有識者委員会の運営

「新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー）委員会」を運営した。7名の有識者に委員としてご出席いただき、主に定期安全管理検査制度のあり方、落雷マップの更新、落雷対策及び規制のあり方、落雷対策技術開発ロードマップについてご議論いただいた。

2. 風力発電設備における定期安全管理審査制度の見直し調査

2.1 定期安全管理検査制度の運用状況調査

2.1.1 定期安全管理検査制度の運用状況調査の目的と調査方法

本調査は、2017年4月1日より3年間実施されてきた、風力発電設備の定期安全管理検査制度の運用状況を踏まえて、制度全体のレビューを実施することを目的として実施した。本調査の全体像を表 2-1 に示す。

表 2-1 定期安全管理検査制度の運用状況調査の全体像

分類		調査先	調査方法	調査のポイント
検査実施主体	事業者	全国の風力発電事業所を対象	アンケート調査	<ul style="list-style-type: none"> 検査の実施主体として抱えている、制度に係る課題意識
定期事業者検査を支援	風車メーカー	A社	ヒアリング調査	<ul style="list-style-type: none"> 検査に係る実作業を通して感じる制度に係る課題意識 事業者の技術的な支援を通して感じる課題意識 海外組織との連携・調整等に当たっての課題意識
		B社		
	メンテナンス事業者	C社	ヒアリング調査	
		D社		
規制機関(審査・評価)	産業保安監督部	E 監督部	ヒアリング調査	<ul style="list-style-type: none"> 規制機関（評価を出す組織）として抱える制度に係る課題意識 審査機関（審査実務を担う組織）として抱える制度に係る課題意識
		F 監督部		
	登録安全管理審査機関	G社	ヒアリング調査	
		H社		
		I社		

制度全体のレビューにあたって、国内の風力発電事業所に対して電力安全課、産業保安監督部殿の協力の下でアンケート調査を行った。

アンケート調査では、定期安全管理検査制度全体を俯瞰して、「検査の実施（責任）主体より、安全管理検査制度の実運用を踏まえた具体的な課題意識を抽出」できるようなアンケート設計とした。具体的には、事業者における「本制度の基本コンセプトの理解度確認」に加え、実際の制度の枠組み（本制度の対象範囲、定期事業者検査、安全管理審査、評価、インセンティブ）毎の、事業者の運用実態（課題意識）が調査できるようにした。アンケートの設問（概要）を表 2-2 に示す。

また、アンケート調査の分析結果を踏まえ、必要に応じてヒアリングにより追加調査を実施した。

表 2-2 アンケートの設問（概要）

設問区分		設問（代表例を記載）
基本情報（回答者属性）		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 管轄の産業保安監督部 ✓ 風力設備の基数 ✓ 風力以外の発電設備の運転経験 ✓ 各事業所で最も古い風車が運転開始になった年
定期安全管理検査制度コンセプト		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 設置者責任 ✓ 事業者の保安力に応じたインセンティブ付与
定期安全管理検査	制度の範囲	✓ 500kW 以上は適切と感じるか
	定期事業者検査	✓ 検査対象・検査方法・頻度・判定（判定基準）に課題はあるか
	定期安全管理審査	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 審査機関の選定で重要視する点 ✓ 受審の時期・審査機関の力量・審査項目・審査基準・審査負担に課題はあるか
	国による評価	✓ 国による評価は事業運営上活用できるものか
制度の効果・インセンティブ		✓ インセンティブに魅力はあるか
制度前後の変化		✓ 制度前後でよかった点・悪くなった点

更に、風車メーカー・メンテナンス事業者、産業保安監督部・登録安全管理審査機関に対してヒアリング調査を行った。

アンケート調査では、検査実施主体から具体的な課題意識を抽出することとしたのに対し、ヒアリング調査では、定期事業者検査の実施を支援する風車メーカー・メンテナンス事業者からは、検査に係る実作業や事業者の技術的な支援を通して感じる課題意識等を、定期事業者検査の実施体制を審査する産業保安監督部・登録安全管理審査機関からは、審査実務や評価を出す組織として抱える課題意識を抽出することとした。

2.1.2 アンケート調査

本項では、アンケート調査の結果（概要）、その結果を踏まえた詳細な分析、定期事業者検査に係る追加調査の結果（具体的な課題意識）を示す。

(1) アンケート調査結果の概要

風力発電事業者へのアンケート調査結果の概要を以下に示す。

なお、アンケートにご回答いただいた風力発電事業者（事業所）は、233 事業所であった。

1) アンケート回答事業所の特徴

図 2-1 に管轄の産業保安監督部毎の回答事業所数を示す。関東東北産業保安監督部、九州産業保安監督部が所掌する回答事業所が全体の約 49%を占める。

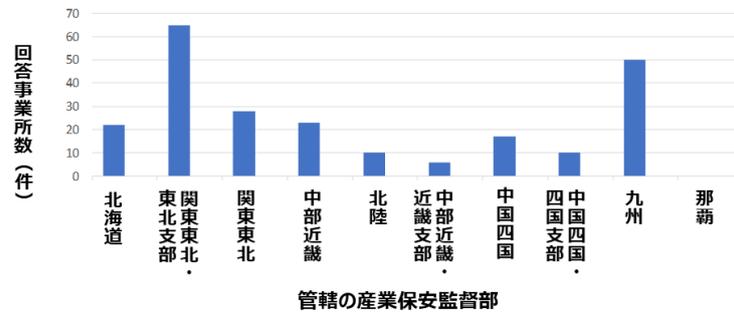


図 2-1 管轄の産業保安監督部毎の回答事業所数

図 2-2 に保有風車基数毎の回答事業所数を示す。保有する風力設備の基数が 5 基までの回答事業所が全体の約 57%を占める。

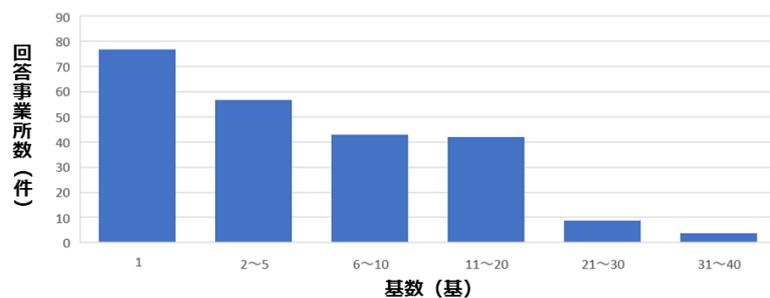


図 2-2 保有風車基数毎の回答事業所数

図 2-3 に回答事業所における風力設備以外の運転経験の回答数を示す。約 66%の回答事業所が、風力設備以外の運転経験はなく、約 30%の回答事業所が、太陽光発電設備の運転経験を有している。

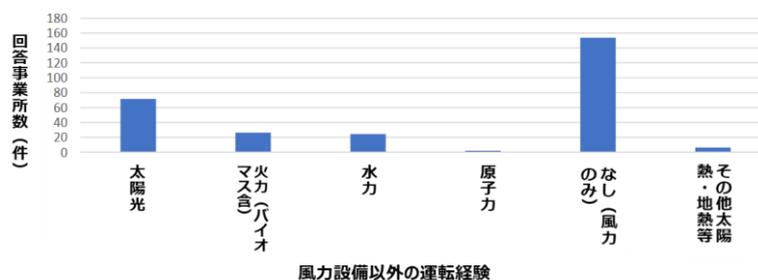


図 2-3 回答事業所における風力設備以外の運転経験

図 2-4 に事業所において最も古い風力設備が運転を開始した年についての回答数推移を示す。約 57%が、2000 年代 (2000 年~2009 年) に運転開始した事業所である。

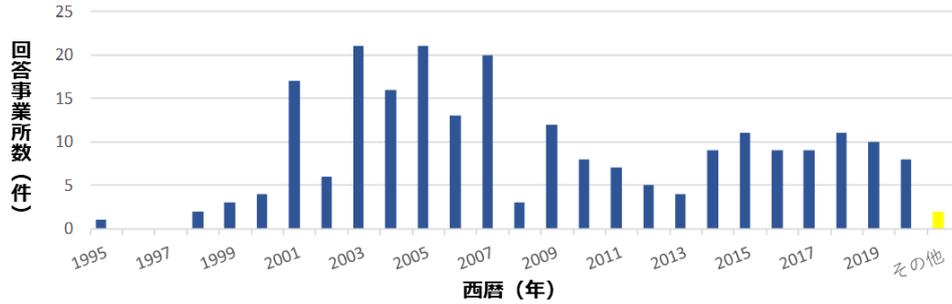


図 2-4 事業所で最も古い風力設備が運転開始の年の回答数推移

図 2-5 に回答事業所における ISO9001 (JIS Q9001) の活用状況を示す。回答事業所のうち約 12%が ISO9001 (JIS Q9001 含む) を活用しているが、現在 ISO9001 (JIS Q9001 含む) を活用していない事業所で、今後活用する予定の事業者は 1 つもない。

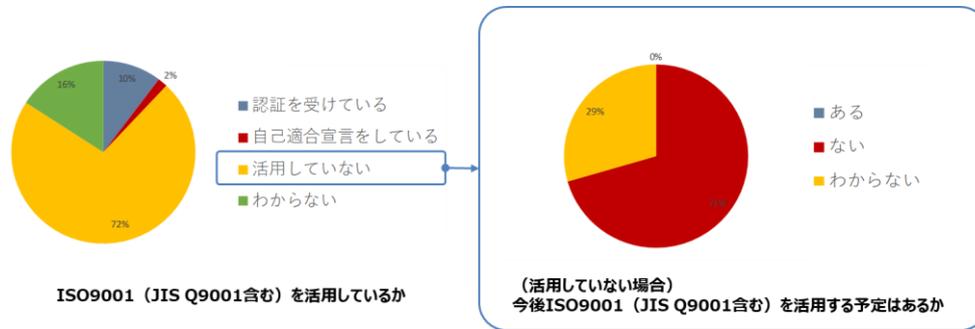


図 2-5 ISO9001 (JIS Q9001) の活用状況について

2) 制度コンセプトの理解

図 2-6 に、定期安全管理検査制度のコンセプトの 1 つである、設置者責任の理解度に係るアンケート結果を示す。約 99%の回答事業所が、設置者責任について「十分に理解・把握していた」「理解・把握していた」と回答していた。

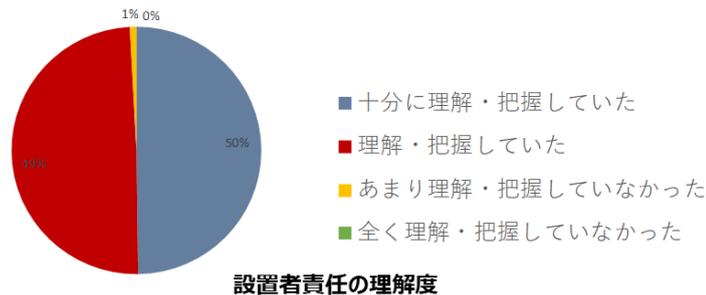
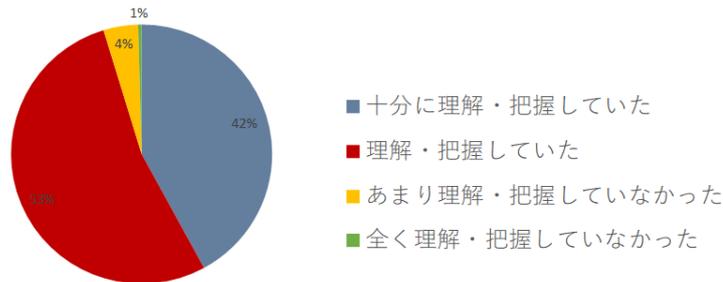


図 2-6 設置者責任の理解度

図 2-7 に、定期安全管理検査制度のコンセプトの 1 つである、事業者の保安力に応じたインセンティブ付与の理解度に係るアンケート結果を示す。約 95%の回答事業所が、設置者責任について「十分に理解・把握していた」「理解・把握していた」と回答していた。

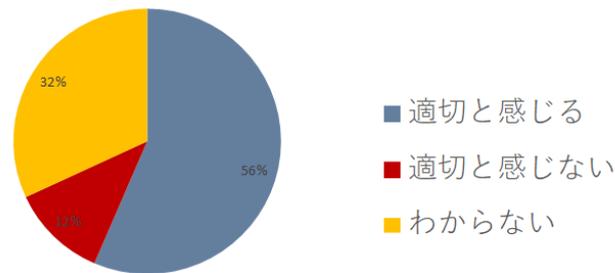


事業者の保安力に応じたインセンティブの付与の理解度

図 2-7 事業者の保安力に応じたインセンティブ付与の理解度

3) 制度の範囲

図 2-8 に定期安全管理検査制度の対象範囲の適切性に係るアンケート結果を示す。約 68% の回答事業所が、制度の対象範囲は「適切である」と回答していた。



制度の範囲（500kW以上の適切性）

図 2-8 定期安全管理検査制度の対象範囲の適切性について

また、本アンケートに係る自由記述において、以下のような意見があった。

【肯定的な意見】

- 制度の趣旨が風力発電設備の事故防止であるならば、対象設備を広げることも考えられるが、概ね適切であると感じている。

【否定的な意見】

- 風力に関して言えば小規模の風力発電設備の方が民家に近い場所に設置している場合が多いため、公衆災害の危険性が高いように感じる。実際にトラブルが起きている話も耳にするため、大型風車と同等とまではいかないが何かしらのチェックは必要に思う。

図 2-9 に解消審査の実施経験に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約 26% が、「解消審査を知らない」「わからない」と回答していた。

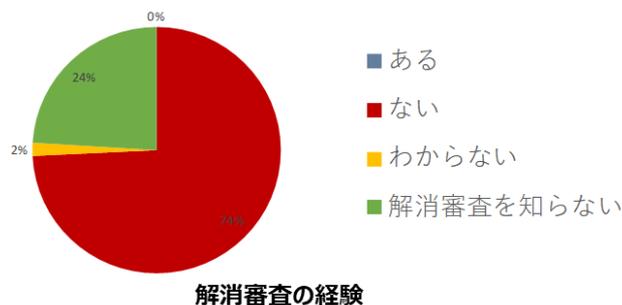


図 2-9 解消審査の経験について

また、本アンケートに係る自由記述において、以下のような意見があった。

【否定的なご意見】

- 解消審査における受審要否の線引きが不明瞭である。必要、不要な場合を例示していただきたい（再開発の場合など）。
- 解消審査を実施する目的・意義が分からない。
- 解消審査は複数の風車を運用している発電所で基数を減らす際にも行うと認識しているが、補助金を活用していない場合に行う意義が分からない（補助金活用の場合は返金を求められる。）。

4) 定期事業者検査

図 2-10 に定期事業者検査の検査項目に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約 82% が、42 項目+推奨 7 項目の検査を実施していると回答していた。ただし、推奨 7 項目をすべて実施しているわけではなく、設置されていない設備に関する項目は実施していないと回答している事業者も存在する。

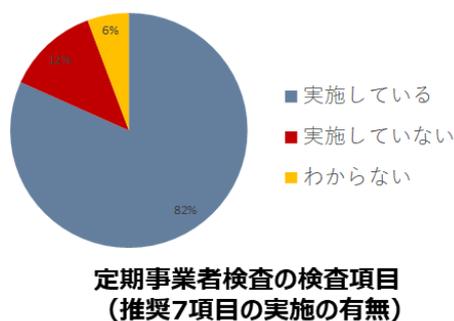
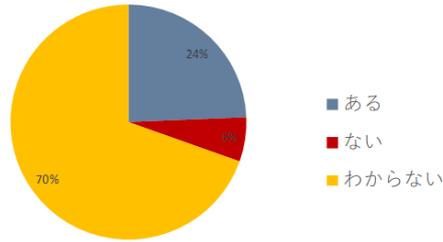


図 2-10 定期事業者検査の検査項目について

図 2-11 に定期事業者検査の検査方法に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約 24% が検査の方法に柔軟性が「ある」、約 8% が検査の方法に柔軟性が「ない」、約 70% が「わからない」と回答していた。



定期事業者検査の検査方法
(検査方法に柔軟性を感じるか)

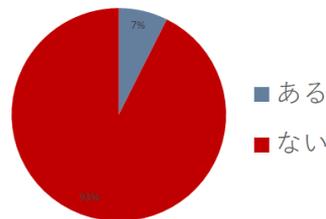
図 2-11 定期事業者検査の検査方法について

また、本アンケートに係る自由記述において、以下のような意見があった。

【検査方法の柔軟性に係る課題意識の例】

- 実際の検査作業等においては、狭所で油脂類の飛散などで汚く、重量のある道工具を用いたり、場合によっては油脂類除去清掃を行ってから点検をする必要がある。臨機応変な対応とヒトの五感に頼る良否判断等が必要であり、自動化等の手法が導入しにくい。
- 屋外ボルトは防蝕防錆処理を行っており、これらボルトにトルク掛け、ハンマリングを行うことは防蝕防錆処理を壊すものである。ボルトの緩み確認方法に防蝕防錆処理（塗装）を壊さない方法を取るべきである。

図 2-12 に定期事業者検査の検査頻度に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約 93% が、検査頻度についての課題意識は「ない」と回答していた。



定期事業者検査の検査頻度に課題意識はあるか

図 2-12 定期事業者検査の検査頻度について

また、本アンケートに係る自由記述において、以下のような意見があった。

【検査頻度に係る課題意識の例】

- ボルト増し締めなど過剰点検になっている項目がある。点検対象ボルトが少ないと毎年増し締めを行うことになり、逆にボルトによくないように思う。

図 2-13 に定期事業者検査の判定に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約 90% が、検査の判定において課題意識は「ない」と回答していた。

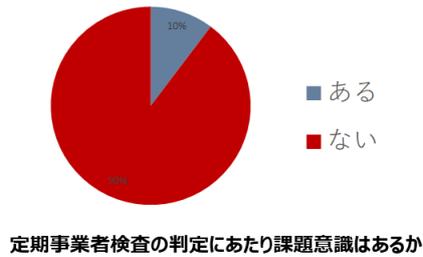


図 2-13 定期事業者検査の判定について

図 2-14 に定期事業者検査の判定基準に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約 72% が、検査の判定基準において課題意識は「ない」と回答していた。

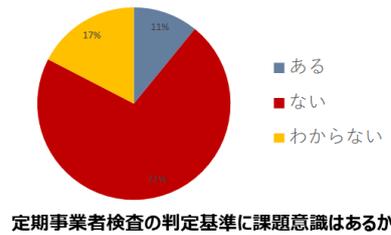


図 2-14 定期事業者検査の判定基準について

図 2-15 に不適合管理及び特別採用に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約 46% が、制度運用以降、特別採用をした経験が「ある」と回答していた。

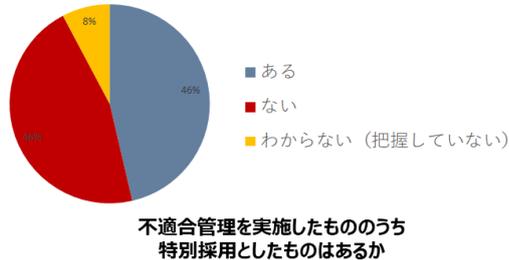


図 2-15 不適合管理及び特別採用の実績について

5) 定期安全管理審査

図 2-16 に登録安全管理審査機関の選定に係るアンケート結果を示す。登録安全管理審査機関の選定にあたっては、登録安全管理審査機関の力量（設備の理解度等）を最も重要視すると回答していた。

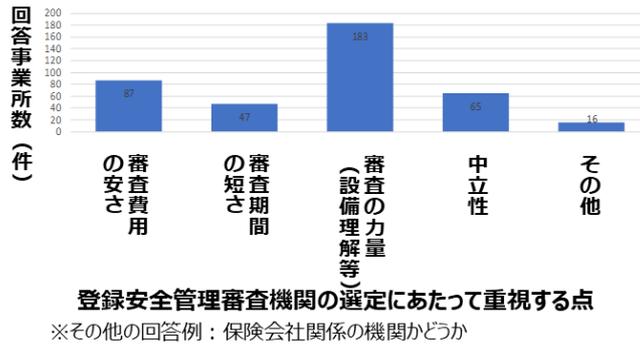


図 2-16 登録安全管理審査機関の選定について

図 2-17 に登録安全管理審査機関の力量に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約 99%が、登録審査機関は十分な審査能力を有していると「とても感じる」「感じる」と回答していた。

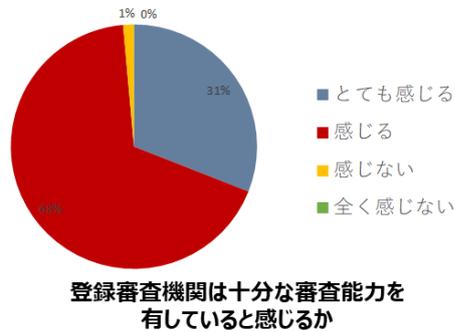


図 2-17 登録安全管理審査機関の力量について

図 2-18 に定期安全管理審査の受審周期に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約 85%が、定期安全管理審査の受審周期が適切である「とても感じる」「感じる」と回答していた。

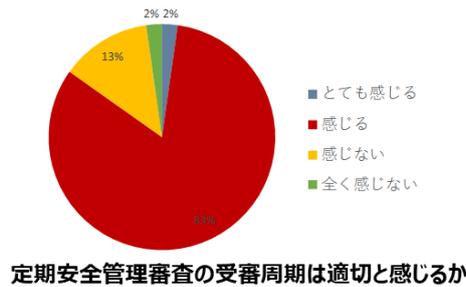


図 2-18 定期安全管理審査の受審周期について

また、本アンケートに係る自由記述において、以下のような意見があった。

- 事業者側に適度な緊張感を持たせる意味で 3 年が妥当である。逆にこれより短いと負担が大きい。
- 3 年周期の審査の方が、メリハリが有る。
- 人材育成・人事異動の観点から 3 年が適切。
- オンラインによる抜き打ち検査を希望。

- 記録保管・書類準備の観点から6年間は長すぎる。

図 2-19 に定期安全管理審査の審査基準に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約85%が、登録安全管理審査機関と見解が一致しない場合は「ない」と回答していた。

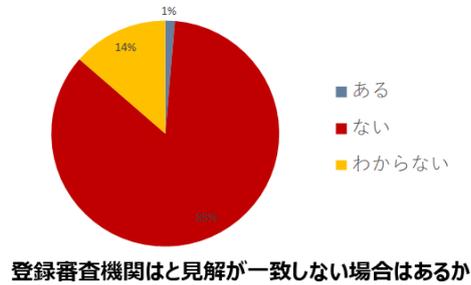


図 2-19 定期安全管理審査の審査基準について

図 2-20 に定期安全管理審査の審査手数料に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約87%が、登録手数料は適切であると「とても感じる」「感じる」と回答している。

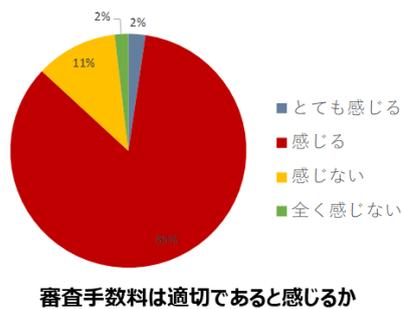


図 2-20 定期安全管理審査の審査手数料の適切性について

図 2-21 に定期安全管理審査における事業者の審査負担に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約93%が、安全確保の観点から、審査対応は適切な負担であると「とても感じる」「感じる」と回答している。

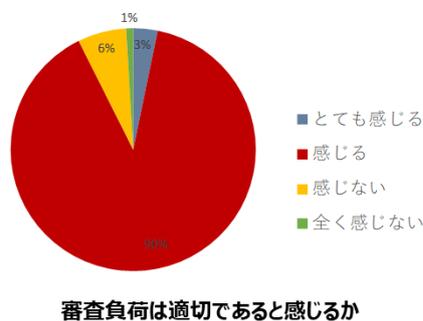
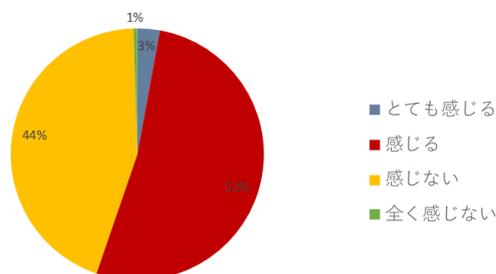


図 2-21 定期安全管理審査における事業者の審査負担について

6) 国による評定

図 2-22 に国による評定の活用可能性に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約 55% が、評定または審査結果が事業運営上活用できるものであると感じている一方、約 44% が、評定または審査結果が事業運営上活用できるものと感じていないと回答していた。

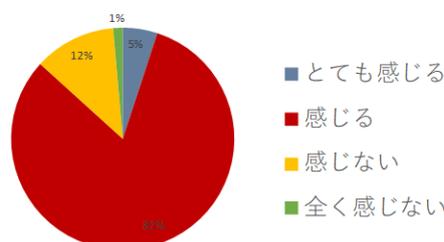


国による評定、審査結果は事業運営上活用できると感じるか

図 2-22 国による評定の活用可能性について

7) 制度の効果及びインセンティブ

図 2-23 に定期安全管理審査の有効性に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約 87% が、定期安全管理審査は風力発電設備の安全確保に実際の便益をもたらしていると感じていると回答していた。



安全管理審査は安全確保に便益をもたらしているか

図 2-23 定期安全管理審査の有効性について

また、本アンケートに係る自由記述において、以下のような意見があった。

【肯定的なご意見】

- 保安意識の向上・事故の未然防止に貢献している。
- 第三者レビューが有効（意識的な管理見直しが可能）。

【否定的なご意見】

- 体制の審査で安全につながるとは感じない。
- 制度運用以前と実施内容が変わらない（書類作成の手間が増えただけ）。

図 2-24 にインセンティブ制度の有効性や魅力に係るアンケート結果を示す。回答事業所の約 59% が、設定されているインセンティブは自主保安の高度化に寄与すると「とても感

じる」「感じる」と回答していた。また、設定されているインセンティブの魅力について、約41%が魅力を「とても感じる」「感じる」と回答し、約56%が魅力を「感じない」「全く感じない」と回答していた。

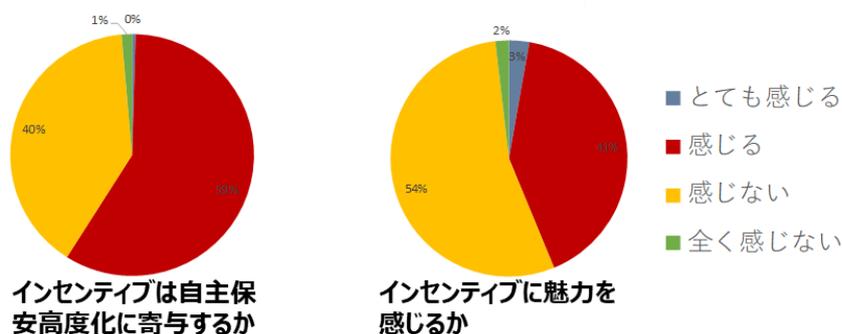


図 2-24 インセンティブ制度の有効性や魅力について

また、本アンケートに係る自由記述において、インセンティブに魅力を感じない理由として以下のような意見があった。

- 経済的メリットを感じない。
- 少人数で管理しているため期間の延伸により対応者の育成が案じられること、また1回あたりの審査物量が多くなり登録安全管理審査機関の業務量過多も懸念される。
- 投資費用が多くかかる内容であり、大手企業向けの制度であると認識している。
- 想定している事業期間から考えると、次の受審が6年後となることにメリットを感じない。

8) 制度前後の変化

制度前後の変化として、以下のような意見があった。

【肯定的なご意見】

- 保安意識の向上に寄与した。
 - 自社保安認識の変化、改善（多数）
 - 保安に対する意識や行動、世間の状況に対し意識がより働くようになった。
 - 公衆被害防止の観点から重要な点検検査が明確になり、それに対する意識が向上した。
- 第三者レビューは保安体制の確立に寄与した。
 - 第三者による審査を行うことで、書類等による履歴管理を正確に行うことができる。
 - 不適合発生時の措置（運転可否の判断や修補の計画）や検査結果の適正な記録等の体系的な保安業務の確立ができたと考えている。
- 確実な点検実施に寄与した
 - 従来費用が掛かり、実施のタイミングが曖昧であったブレード点検が確実に実施されるようになった。

【否定的なご意見】

- 手間が増えた（書類作成等に安全確保のためのリソースをとられるようになった）
 - 定期事業者検査や安全管理審査のための書類作成の手間が増えたが、その手間

に見合うだけの成果が見られない。

- 保安規程にて規定している各種点検を実行していくための余裕が少なくなり、より協力会社の応援に頼らざるを得なくなった。

9) その他要望等

その他、本制度に係る要望として、以下のような意見があった。

- 独自に定期事業者検査要領書を制定して運用しているが、例えば保安規程や使用前自主検査要領書の標準的なモデルが文献で示されており、定期事業者検査要領書のモデルをどなたか提示して欲しい。また、検査において協力した事業者がある場合の「事業者側の管理事項、方法」例をどなたか提示して欲しい。
- 地域活動に売電益を活用している弱小事業者、社団法人にとって、法政令の改正、技術動向など必要な情報を収集するのは容易ではなく、メンテナンス会社を通じて、その都度、WEB の情報から必要な情報を得ている。サイトなどで情報の共有化がなされ、情報に自由にアクセスできるようなシステムを作って欲しい。そのために、風車運営の事業場の基礎的な情報を WEB 上にアップできるデータベースをまず作って欲しい。それを活用すれば、定期安全管理検査も不要で、また、保険料の支払いの低減につながる等のインセンティブも受けられることを望む。
- 審査があるからしっかりやるという趣旨ではなく、当たり前のことを当たり前にやって公共の安全に資するのだから、現在の審査のやり方は、プラス余計な仕事が増え、重荷になる。
- アンケート結果のフィードバックをお願いしたい。
- 制度の趣旨は十分理解できるものである一方、過剰と思われる内容も含まれており、そのような点については規制緩和する見直しも必要ではないかと思われる。
- 2019 年度に中国産業保安監督部主催で事業者連絡会が開催され情報提供があった。今後も年 1 回程度開催していただき、事故情報や審査状況について情報提供をお願いしたい。
- 公共の安全への対策として、安全管理検査制度は有効と感じている。当事業所も最善を尽くし安全に努めて参りたい。今後ともご指導ご鞭撻のほどよろしくお願い申し上げる。
- 保守確認では、現場の検査員の作業が容易な方法とすれば検査の精度も向上するのではないかと思う。よって、新しい検査方法及び検査方法の改良方法は更に取り入れていただきたいと思う。
- 検査をする技術員のスキルを判断する技術員個人及び検査を実施する組織の認証スキームまたは免許システムの構築が急務である。
- ブレード点検・補修に関して、海外の O&M 社に委託しているが、現下のコロナ渦における要員手配が困難である。高価な人件費やコミュニケーションを考えると、国内の技術要員のレベルアップや信用度が向上すれば、費用面や人の融通性が改善され、点検頻度や点検精度が向上すると思う。

(2) アンケート調査結果の詳細な分析

「(1)アンケート調査結果の概要」に示すように、定期安全管理検査制度に対して肯定的な意見が多かったが、いくつか否定的な意見も見られた。

制度の継続的改善においては、否定的意見を踏まえた改善等が重要であるため、ポジティブ意見が少ない以下の項目について、「どういう属性」の事業者が「どう捉えている傾向があるのか」を把握するための詳細分析（クロス分析）を実施した。

- 【定期事業者検査】 定期事業者検査の方法（柔軟性について）
- 【制度全体】 インセンティブの魅力

また、定期安全管理審査の実施頻度について、「3年間隔がちょうどよい」といった自由記述があったことを踏まえ、以下の項目について、「どういう属性」の方が「3年間隔がちょうどよいと考えているのか」を把握するための詳細分析（クロス分析）も実施した。

- 【定期安全管理審査】 定期安全管理審査の頻度

なおクロス分析にあたっては、以下4つの分析軸を用いた。

- 保有風車の基数：事業規模の大小の影響を把握するための分析軸
- ISO9001の活用について：品質マネジメントシステムに基づく事業運営の影響を把握するための分析軸
- 回答者属性（企業 or 自治体）：自治体かそれ以外（企業）かでの影響を把握するための分析軸
- 回答事業所の最も古い風車が運転開始した年：事業期間の影響はあるか把握するための分析軸

1) アンケート回答者情報の分析

図 2-25 に回答者属性（企業 or 自治体）と最も古い風車が運転開始の年との関係性の分析結果を示す。回答者属性（企業 or 自治体）と最も古い風車が運転開始の年との間に、特徴的な関係は見られなかった。

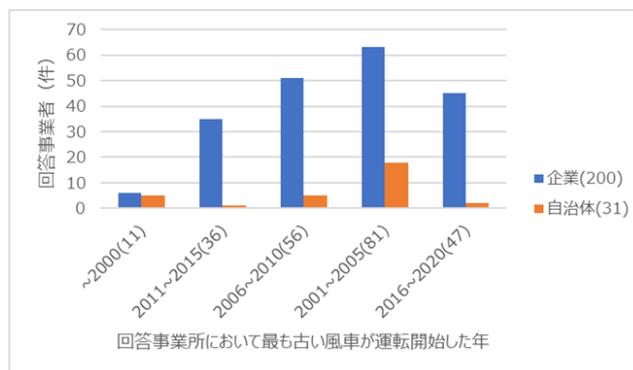


図 2-25 回答者属性（企業 or 自治体）と最も古い風車が運転開始の年との関係性

図 2-26 に回答者属性（企業 or 自治体）と ISO9001 活用との関係性の分析結果を示す。ISO9001 の認証を受けている、または自己適合宣言をしている事業所は、いずれも企業であった（自治体ではない）。

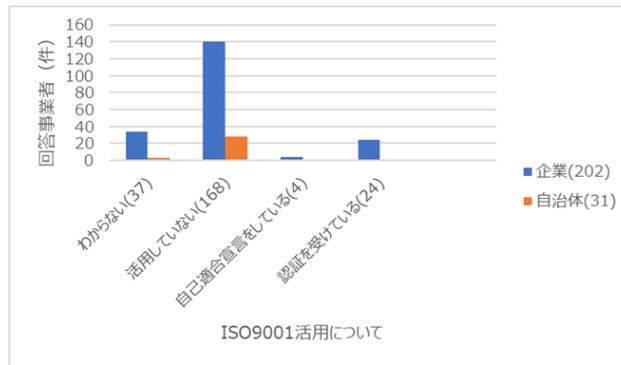


図 2-26 回答者属性（企業 or 自治体）と ISO9001 活用との関係性

図 2-27 に ISO9001 活用と保有風車基数との関係性の分析結果を示す。ISO9001 活用と保有風車基数との間に、特徴的な関係は見られなかった。

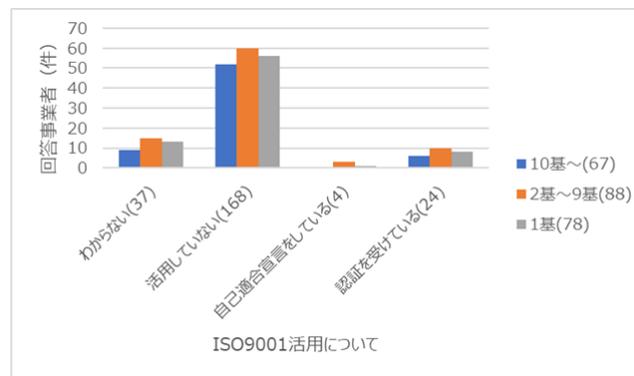


図 2-27 ISO9001 活用と保有風車基数との関係性

図 2-28 に回答者属性（企業 or 自治体）と保有風車基数との関係性の分析結果を示す。回答者属性（企業 or 自治体）と保有風車基数との間に、特徴的な関係は見られなかった。

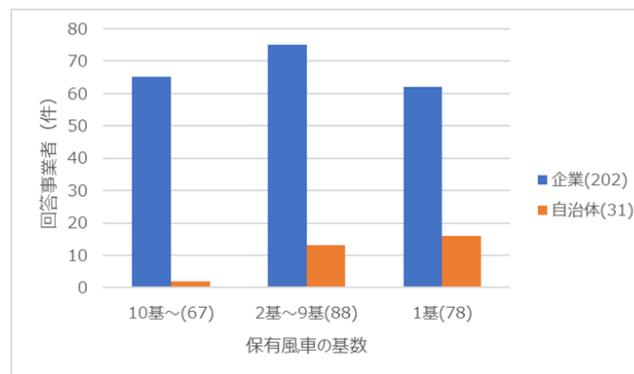


図 2-28 回答者属性（企業 or 自治体）と保有風車の機数との関係性

2) 定期事業者検査の方法（柔軟性について）の分析

図 2-29~図 2-32 に、「検査の方法に柔軟性（新技術の導入のしやすさ等）があると感じるか。」というアンケートに対して、「保有風車の基数」「ISO9001 の活用状況」「回答者属性（企業 or 自治体）」「回答事業所の最も古い風車が運転開始した年」の分析軸にてクロス分析を実施した結果を示す。

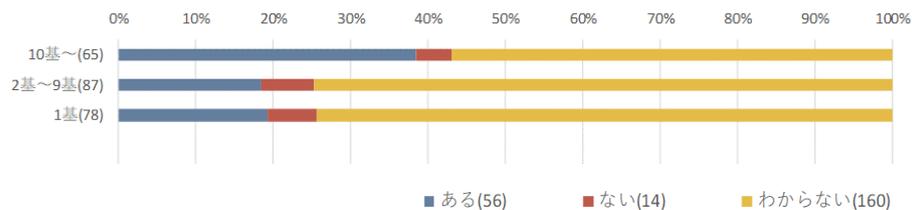


図 2-29 検査の方法の柔軟性について（保有風車の基数）

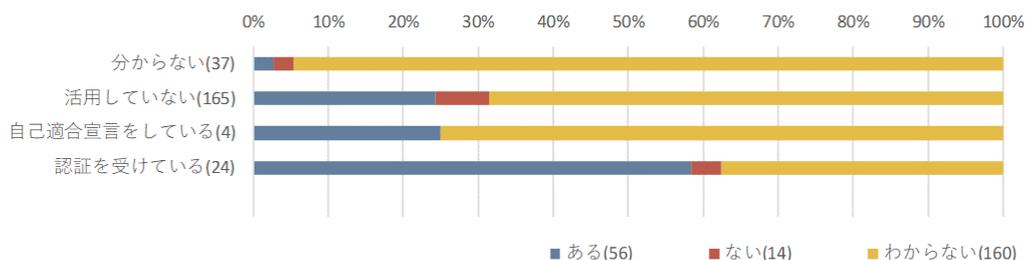


図 2-30 検査の方法の柔軟性について（ISO9001の活用状況）

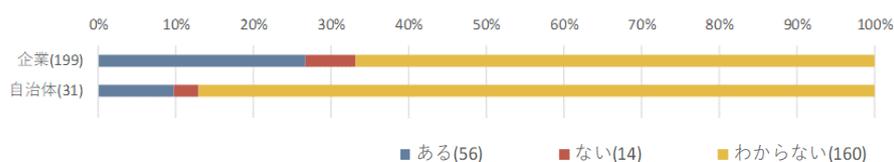


図 2-31 検査の方法の柔軟性について（回答者属性（企業 or 自治体））

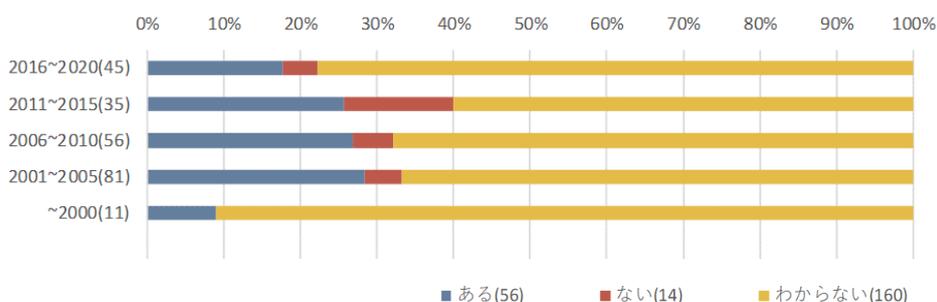


図 2-32 検査の方法の柔軟性について（回答事業所の最も古い風車が運転開始した年）

図 2-29 より、風車の保有台数が多い（特に 10 基以上）事業者は、検査の方法に柔軟性（新技術の導入のしやすさ等）があると感じているか割合が多い結果となった。また、保有風車のいずれの区分においても、「わからない」と回答した事業者が 50%以上であった。

図 2-30 より、ISO9001：品質マネジメントシステム（JISQ9001 品質マネジメントシステム：QMS）について「認証を受けている」と回答した事業者は、「わからない」と回答する

割合が最も少ない結果となった。即ち、ISO9001 の認証を受けている事業者は、より検査内容に対する理解度が高いといえる可能性がある。ただし、ISO9001 の認証を風力発電事業以外で取得している場合や、本社だけが取得しており発電所は取得していない場合も考えられるため、本分析結果の取り扱いには注意が必要である

また、「わからない」という回答者が多い結果は、「回答事業所の 99%が、設置者が検査義務（設置者責任）」という結果と矛盾するものである。これについては、回答者全般的にコンセプトの理解度は高い（頭では理解している）が、それを実現・実践する具体的方法（methodology）について、理解が追い付いていない可能性がある。

図 2-31 より、比較的自治体の方が、検査の方法の柔軟性について「わからない」という回答が多い結果となった。

図 2-32 より、「2011~2015 年」に最も古い風車が運転開始した事業所において、検査の方法に柔軟性がないと回答した割合が最も多い結果となった。また、検査の方法に柔軟性があると回答した事業所の割合は、運転年数が短くなるにつれて、徐々に減少傾向にある。更に、2000 年以前に最も古い風車が運転開始した事業所において、検査の方法の柔軟性について「わからない」という回答が最も多い結果となった。

3) インセンティブの魅力の分析

図 2-33~図 2-36 に、「設定されているインセンティブにメリットを感じるか」というアンケートに対して、「保有風車の基数」「ISO9001 の活用状況」「回答者属性（企業 or 自治体）」「回答事業所の最も古い風車が運転開始した年」の分析軸にてクロス分析を実施した結果を示す。

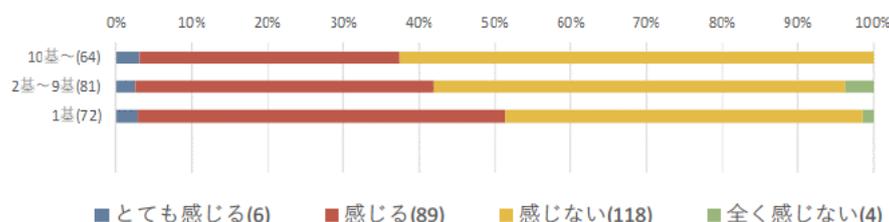


図 2-33 インセンティブの魅力について（保有風車の基数）

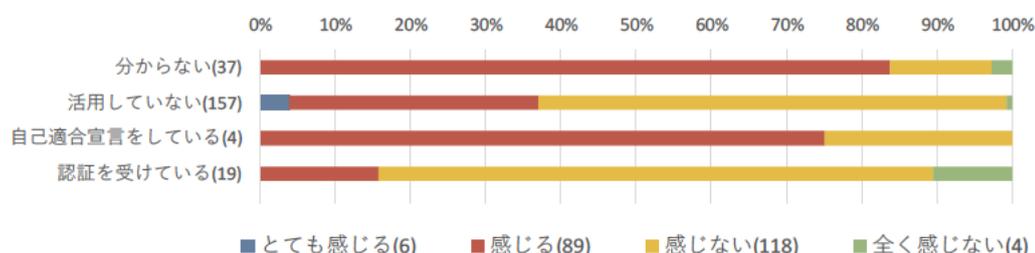


図 2-34 インセンティブの魅力について（ISO9001 の活用状況）

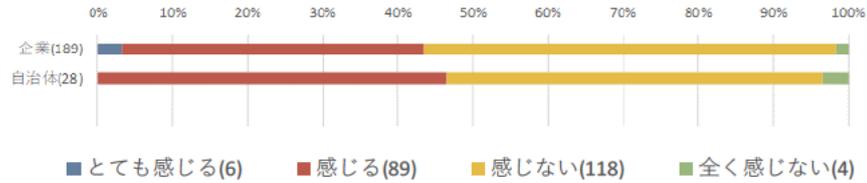


図 2-35 インセンティブの魅力について（回答者属性（企業 or 自治体））

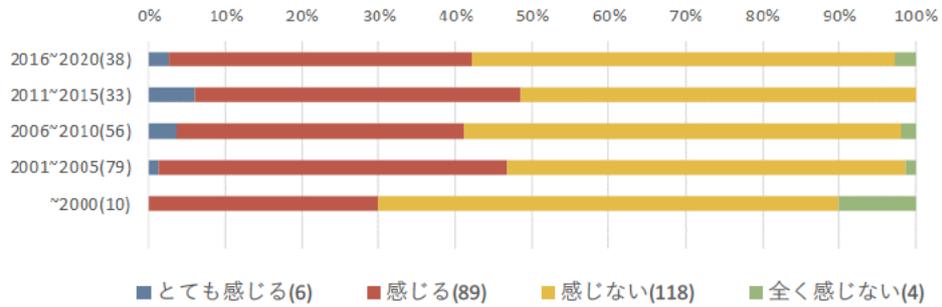


図 2-36 インセンティブの魅力について（回答事業所の最も古い風車が運転開始した年）

図 2-33 より、風車の保有台数が少ないほど、メリットを感じるという回答者が多い結果となった。これは、保有基数が少ない事業者ほど、審査対応に係る（財政・マンパワー的な）負荷が大きく、インセンティブ（審査負荷の軽減に資する受審周期延長）に魅力を感じている可能性がある。

図 2-34 より、ISO9001：品質マネジメントシステム（JISQ9001 品質マネジメントシステム）について、「認証を受けている」と回答した事業者は、「インセンティブに魅力を感じている」という回答の割合が最も少なく、また、「わからない」と回答した事業者は、「インセンティブに魅力を感じている」という回答の割合が最も多い結果となった。ただし、インセンティブに魅力があり、積極的に保安力を向上させていきたいというポジティブな意識に基づく回答というよりも、定期安全管理審査の受審頻度を減らしたいというネガティブな意識に基づく回答結果の可能性があるので、本分析結果の取り扱いには注意が必要である。

図 2-36 より、2000 年以前に最も古い風車が運転開始した事業所において、「インセンティブにメリットを感じない」という回答の割合が最も大きい結果となった。また、「2006~2010 年」、「2011~2015 年」では、「インセンティブにとてもメリットを感じる」と回答している事業所も一定程度存在している。

4) 定期安全管理審査の頻度の分析

図 2-37~図 2-40 に、「定期安全管理審査の受審周期は適切と感じるか」というアンケートに対して、「保有風車の基数」「ISO9001 の活用状況」「回答者属性（企業 or 自治体）」「回答事業所の最も古い風車が運転開始した年」の分析軸にてクロス分析を実施した結果

を示す。

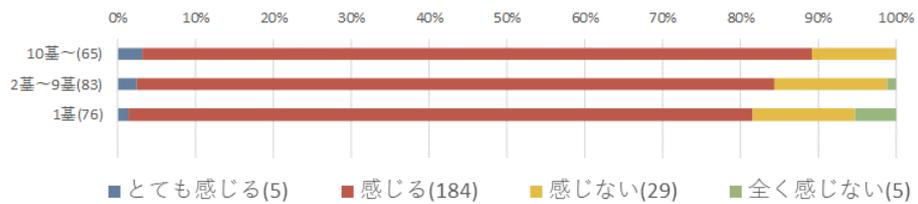


図 2-37 安全管理審査の受審周期について（保有風車の基数）

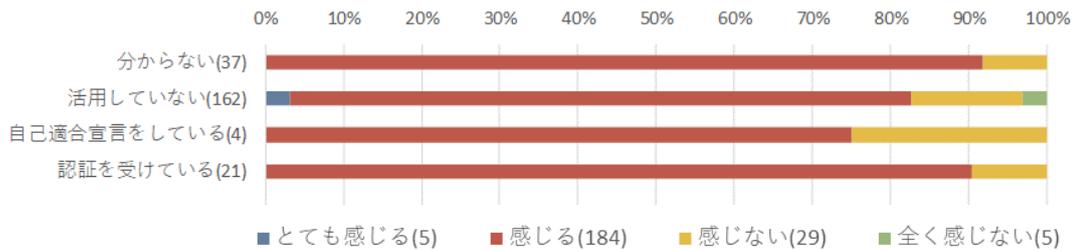


図 2-38 安全管理審査の受審周期について（ISO9001の活用状況）

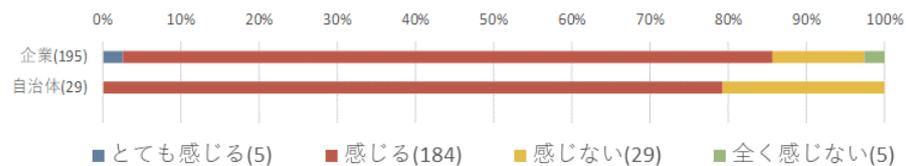


図 2-39 安全管理審査の受審周期について（回答者属性（企業 or 自治体））

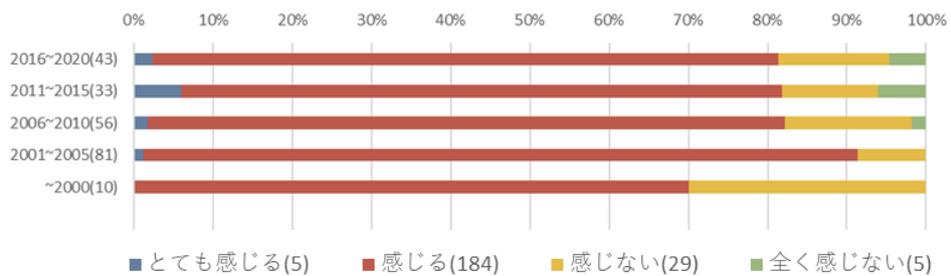


図 2-40 安全管理審査の受審周期について（回答事業所の最も古い風車が運転開始した年）

図 2-37 より、保有風車の基数が多いほど、受審周期は適切と感じている傾向が見られた。

図 2-38 より、ISO9001 を活用しているか「わからない」と回答した事業者が、受審周期が適切と「とても感じている」と「感じる」の割合が最も多い結果となった。

図 2-39 より、受審周期が適切であると「全く感じない」と回答した事業者は、全て“企業（非自治体）”であった。

図 2-40 より、受審周期が適切であると「全く感じない」と回答した事業者は、特に 2011 年以降に最も古い風車が運転開始した事業所において多い結果となった。

(3) 定期事業者検査の方法に係る具体的な課題意識の例

「(1)アンケート調査結果の概要」に示すように、アンケート自由記述では、特に定期事業者検査の実施方法等に係る具体的な課題意識が抽出された。

制度の継続的改善においては、それらの意見を具体的に把握することが重要であることから、以下の項目について追加調査を実施した。

- 屋外ボルト点検時の防蝕防錆処理破壊について
- ボルトの過剰点検になっている可能性について
- 本制度導入に伴い発生した追加的な業務の具体例について
- 本制度導入に伴い増加したコストの具体例について

1) 屋外ボルト点検時の防蝕防錆処理破壊について

アンケート自由記述では、「屋外ボルトは防蝕防錆処理を行っており、これらボルトにトルク掛け、ハンマリングを行うことは防蝕防錆処理を壊すものであり、確認を行った後に再度処理を行う必要がある」との意見があった。この意見について、屋外ボルトとは、具体的にどこのボルトを指すか、毎回どの程度の塗装を破壊しているのか（数量）、塗装破壊による手間はどの程度のものなのかといった、具体的な課題意識について、追加調査を行った。

追加調査にご協力いただいた事業者のご見解を以下に示す。

- 屋外ボルトとは「ロータ/(1)ハブ-主軸間締結ボルト・ナット」を指す。
- 本締結ボルトを毎年複数のボルトにトルク掛けを行い、数年で全数のボルトにトルク掛けを行って緩み確認を行っているが、締結ボルトは防錆のために塗装されており、トルク掛けを行う場合には防錆塗装を除去して締付工具を取付ける必要がある（高締付トルクのため）。また、塗装を除去した締結ボルトは再防錆塗装が必要であり、3日間の作業日数（塗装回数と養生乾燥のため）を必要とする。（表 2-3 参照）
- 近年の大型風車では締結ボルトをカバーで覆い屋内配置のように施工されているが、一般機械の屋内配置とは異なると思う。特に海上及び沿岸部に設置されている風車は塩害の被害があるために防錆（防蝕）対策を行う必要がある。よって、締結ボルトは防錆塗装のグレードは異なりますが屋内屋外を問わず締結ボルト防錆対策（塗装）が行われているものであり、トルク掛けを行う場合にはボルト頭の塗装を除去する必要があります。また、作業を終えたボルトは再度防錆塗装を行う必要があるものです。ハンマリングで緩み確認を行う場合も締結ボルト打撃を与えて防錆塗装を破壊するために再塗装が必要となる。
- なお、風車の締結ボルトはほとんどが疲労部にあり、ボルトの緩み（廻り）は許容できないもの。従って、風車の締結ボルトは締付軸力の低下を検知して対応する必要があると考える。外力がボルト締付軸力を上回った場合にはボルトに微小な動きが生じるものであり、この動きはボルト座面の（防錆）塗装割れが生じるものであり、この（防錆）塗装割れを確認することによりボルトの締付軸力低下（緩み）を早く目視にて確認でき

できる。また、この動きはボルトが適正な締付軸力で締付けられているかということについても確認ができる。

表 2-3 ロータ/(1)ハブ-主軸間締結ボルト・ナットの検査方法・内容・周期

設備	項目		検査方法	内容	備考	点検周期 (年)
ロータ	ハブ	ボルト・ナット (1) ハブ-主軸 間接合部ボルト	目視及び打 音または触手	合マークのスレや塗装割れ、ボルトの緩みがないか確認する。		1
			測定	測定機器で軸力又は締付トルク等を確認する。風車設置後、ボルトの緩みや破断が生じていない場合には、1年間で10%以上又は8方位以上のいずれが多い本数のボルトについて締め付け確認を行う。		1

出所) 電気事業法施行規則第94条の3第1項第1号及び第2号に定める定期事業者検査の方法の解釈をもとにMRI作成

2) ボルトの過剰点検になっている可能性について

アンケート自由記述では、「ボルト増し締めなど過剰点検になっている項目がある。点検対象ボルトが少ないと毎年増し締めを行うことになり、逆にボルトによくないように思う」との意見があった。この意見について、具体的にどのボルトが、どの程度過剰となっている現状があるのかといった、具体的な課題意識について、追加調査を行った。

追加調査にご協力いただいた事業者のご見解を以下に示す。

- 当サイトが保有する風車型の場合、「ナセルーボルト・ナットー（1）高速軸カップリング取付ボルト・ナット」については、ボルト本数（6本）であり、点検方法の定めによると、ボルトを8方向かまたはボルト全数の10%の多い方のどちらかの選択でボルト管理が求められるため、毎年増し締めをしており、過剰な点検となっている。このようなボルト本数の少ない箇所は2か所が存在し、毎年を渡り全数ボルトの増し締めをすることとなる。（表2-4参照）
- ボルト本数の多い部位では、上記の点検方法に基づいて実施しても一定のインターバル確保が可能となるため、過剰点検とはならない。
- また、高速軸カップリング取付ボルトはサイズM14と小さいため、ボルト増し締め回数が多いことにより、誤った過度の締付け等により破断等危惧される心配がある。

表 2-4 ナセルーボルト・ナットー（1）高速軸カップリング取付ボルト・ナットの検査方法・内容・周期

設備	項目	検査方法	内容	備考	点検周期 (年)
ナセル	ボルト・ナット	(1) 高速軸カップリング取付ボルト・ナット	目視及び打音または触手	合マークのスレや塗装割れ、ボルトの緩みがないか確認する。	1
		(2) 架構ボルト	測定	測定機器で軸力又は締付トルク等を確認する。風車設置後、ボルトの緩みや破断が生じていない場合には、1年間で10%以上又は8方位以上のいずれが多い本数のボルトについて締め付け確認を行う。	

出所) 電気事業法施行規則第94条の3第1項第1号及び第2号に定める定期事業者検査の方法の解釈をもとにMRI作成

3) 本制度導入に伴い発生した追加的な業務の具体例について

アンケート自由記述では、「審査のための書類作成や対応などの手間が増えた」との意見があった。この意見について、審査のための書類作成や対応などの手間は、具体的にどの程度の負荷となっているのかということについて、追加調査を行った。

追加調査にご協力いただいた事業者のご見解を以下に示す。

- 定期事業者検査項目と定期点検項目は一致しないため、毎年実施している定期点検及び半年点検の結果を記載した定期点検記録書から定期事業者検査に必要な検査項目の書き写しを行い、定期事業者検査記録書を新たに作成していることから時間を要し、二度手間となっている。
- 12基分の検査書類作成ボリュームと時間は以下の通り。
 - 書類ボリューム 合計 約300枚
 - 書類作成時間 約7日間

4) 本制度導入に伴い増加したコストの具体例について

アンケート自由記述では、「検査の実施にあたり、ランニングコスト上昇に伴う収支の悪化」との意見があった。この意見について、ランニングコストのうち、特に増えたコストはどのようなコストになるかということについて、追加調査を行った。

追加調査にご協力いただいた事業者のご見解を以下に示す。

- 風車の保守点検費用は変わらない（検査導入により点検対象は増えていない）。
- 定期安全管理検査対応業務及び安全管理審査の費用が追加のランニングコストとなった。なお、検査結果不適合対応や不適合対応に係る助成費用は別途必要となる。

2.1.3 ヒアリング調査

本項では、風車メーカー・メンテナンス事業者、産業保安監督部・登録安全管理審査機関

へのヒアリング調査の結果を示す。

(1) 風車メーカー・メンテナンス事業者へのヒアリング結果の概要

風車メーカー・メンテナンス事業者へのヒアリング結果の概要について、図 2-41 及び 1)～5)に示す。

各ステークホルダー共通的な課題意識	
<ul style="list-style-type: none"> 風力分野は火力等に比べて歴史が浅いため、全体として保安意識は低かったと感じている。 設置者自身が検査に責任を持つべきであるが、その意識が少ないと感じている。特に自治体や小規模の風力発電事業者では制度への理解が浸透していない状況。 	
検査に係る実作業を通して感じる課題意識／事業者の技術的な支援を通して感じる課題意識	
<p>メーカー</p> <ul style="list-style-type: none"> 定期事業者検査のルールは一回決めると変わらず、最新知見を踏まえたメーカーによるメンテナンス動向を考慮できていないと感じる。例えばメーカーでは点検頻度を一年に一回に改善したものを、定事検は半年毎で実施している項目がある。 事故事例に基づいて点検項目ができていないが、最新型式風車では、事故原因の技術が使われていない場合がある。また、メーカー間で設計思想が異なる。一律で風車を規制するのは非効率であり、発電事業者にとってはコストもかかると感じる。 <p>メンテナンス事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> 小規模事業者にとっては検査資料作成の負担が大きいためと感じる。フォーマットの統一化を図るなど負担軽減策ができないか。また、点検・定期事業者検査がメーカー頼りになっている事業者もいる。 今後はCMSと組み合わせ、それらが付いていた場合にどのように定期事業者検査を軽減していくかを考えないと、IT化のモチベーションが上がらないと思う。 	<p style="text-align: center;">メーカーとの関わり（メンテナンス事業者視点）</p> <ul style="list-style-type: none"> ガイドラインに沿った検査を実施しようとしても、風車メーカーの稼働率保証期間中は風車内に立ち入ることができない場合がある。 技術データも要求通りに出てこない。また、メーカーの日本の出先機関を通じた交渉が困難である。
<p style="text-align: center;">海外との連携・調整等に係る課題意識（メーカー視点）</p> <ul style="list-style-type: none"> 海外メーカーであるために対応が遅くなることはない。意思の疎通という観点では、事業者の担当者とメーカー窓口の力量の差が大きく影響する（。 提携先の海外メーカーとのやりとりで特段問題は生じていない。 	

図 2-41 風車メーカー・メンテナンス事業者へのヒアリング結果の概要

1) 風車メーカー・メンテナンス事業者における共通的な課題意識

- 風力分野は火力等に比べて歴史が浅いため、全体として保安意識は低かったと感じている。
- 設置者自身が検査に責任を持つべきであるが、その意識が少ないと感じている。特に自治体や小規模の風力発電事業者では制度への理解が浸透していない状況。

2) 検査に係る実作業を通して感じる課題意識／事業者の技術的な支援を通して感じる課題意識（風車メーカー）

- 定期事業者検査のルールは一回決めると変わらず、最新知見を踏まえたメーカーによるメンテナンス動向を考慮できていないと感じる。例えばメーカーでは点検頻度を一年に一回に改善したものを、定期事業者検査は半年毎で実施している項目がある。
- 事故事例に基づいて点検項目ができていないが、最新型式風車では、事故原因の技術が使われていない場合がある。また、メーカー間で設計思想が異なる。一律で風車を規制するのは非効率であり、発電事業者にとってはコストもかかると感じる。

3) 検査に係る実作業を通して感じる課題意識／事業者の技術的な支援を通して感じる課題意識（メンテナンス事業者）

- 小規模事業者にとっては検査資料作成の負担が大きいと感じる。フォーマットの統一化を図るなど負担軽減策ができないか。また、点検・定期事業者検査がメーカー頼りになっている事業者もいる。
- 今後はCMSと組み合わせ、それらが付いていた場合にどのように定期事業者検査を軽減していくかを考えないと、IT化のモチベーションが上がらないと思う。

4) 海外との連携・調整等に係る課題意識（メーカー視点）

- 海外メーカーであるために対応が遅くなることはない。意思の疎通という観点では、事業者の担当者とメーカー窓口の力量の差が大きく影響する。
- 提携先の海外メーカーとのやりとりに特段問題は生じていない。

5) メーカーとの関わり（メンテナンス事業者視点）

- ガイドラインに沿った検査を実施しようとしても、風車メーカーの稼働率保証期間中は風車内に立ち入ることができない場合がある。
- 技術データも要求通りに出てこない。また、メーカーの日本の出先機関を通じた交渉が困難である。

(2) 産業保安監督部・登録安全管理審査機関へのヒアリング結果の概要

産業保安監督部・登録安全管理審査機関へのヒアリング結果の概要について、図 2-42 及び 1)～3)に示す。

各ステークホルダー共通的な課題意識
<ul style="list-style-type: none">● 大手風力事業者は技術力があるが、小規模や自治体の設置者の場合は知見が乏しいことが多い。● 現在の定期事業検査の基準は、実質的にメーカー基準となっているが、メーカーごとのばらつきがあり、判断が難しい。
審査機関（審査実務を担う組織）として抱える制度に係る課題意識
<ul style="list-style-type: none">● 不適合だと風車が運転できないと捉えられてしまうこともあるなど、審査制度が十分に浸透していない可能性がある。● 現在の安管審の基準で合格となっている事業者でも、もっと設備への理解を持って、主体的にメーカー等の点検結果をチェック出来る必要があると感じる（事業者に教育の余地がある）。● 設備の経年劣化等の傾向管理が重要と考えるが、審査では把握できない。● 電気主任技術者が風力発電に特化した知識を必ずしも持っているわけではない。また、電気主任技術者が所属会社で複数設備を兼務している場合、一貫した管理体制という点で保安体制に懸念がある。また、電気主任技術者が審査に出席しない場合があり、保安体制に懸念がある。● 電安課と安管審機関の対話機会が、火力の安管審制度においてかつて3ヵ月に1回程度あったが、現在は数年行われておらず、風力ではスタートから1回もないため、対話の機会があってもよいのではないか。● リモートでの審査は現地に行く必要がないので、手数料軽減や顧客獲得の可能性（全国各地に事務所を構えなくてもいい）といったメリットもあるが、現地の書類保管状況や事業者の本質的理解度などが見えにくく、現状ではやりにくさがある。● 審査機関が寡占状態になっている。
規制機関（評定を出す組織）として抱える制度に係る課題意識
<ul style="list-style-type: none">● 保安監督部のマンパワーに限界があり、風力分野では書類による処理が大半で現地を確認できていない。<ul style="list-style-type: none">➢ 書面確認しか機会がなく、監督部の人材育成に課題意識もある● 定期安全管理審査が事故減少に繋がっているという実感は今のところない。ステークホルダー間のナレッジシェアが必要。

図 2-42 産業保安監督部・登録安全管理審査機関へのヒアリング結果の概要

1) 産業保安監督部・登録安全管理審査機関における共通的な課題意識

- 大手風力事業者は技術力があるが、小規模や自治体の設置者の場合は知見が乏しいことが多い。
- 現在の定期事業者検査の基準は、実質的にメーカー基準となっているが、メーカー毎のばらつきがあり、判断が難しい。

2) 審査機関（審査実務を担う組織）として抱える制度に係る課題意識

- 不適合だと風車が運転できないと捉えられてしまうこともあるなど、審査制度が十分に浸透していない可能性がある。
- 現在の安全管理審査の基準で合格となっている事業者でも、もっと設備への理解を持って、主体的にメーカー等の点検結果をチェックできる必要があると感じる（事業者に教育の余地がある）。
- 設備の経年劣化等の傾向管理が重要と考えるが、審査では把握できない。
- 電気主任技術者が風力発電に特化した知識を必ずしも持っているわけではない。また、電気主任技術者が所属会社で複数設備を兼務している場合、一貫した管理体制という点で保安体制に懸念がある。また、電気主任技術者が審査に出席しない場合があり、保安体制に懸念がある。
- 電力安全課と安全管理審査機関の対話機会が、火力の安全管理審査においては、かつて3か月に1回程度あったが、現在は数年行われておらず、風力ではスタートから1回もないため、対話の機会があってもよいのではないかと。
- リモートでの審査は現地に行く必要がないので、手数料軽減や顧客獲得の可能性（全国各地に事務所を構えなくてもよい）といったメリットもあるが、現地の書類保管状況や事業者の本質的理解度などが見えにくく、現状ではやりにくさがある。
- 審査機関が寡占状態になっている。

3) 審査機関（評定を出す組織）として抱える制度に係る課題意識

- 保安監督部のマンパワーに限界があり、風力分野では書類による処理が大半で現地を確認できていない。
- 定期安全管理審査が事故減少につながっているという実感は今のところない。ステークホルダー間のナレッジシェアが必要。

2.2 定期安全管理検査制度のあり方の検討

本節では、2.1節における調査結果を踏まえ、ポジティブな意見が比較的少なかった定期事業者検査やインセンティブに関する事項を中心に、今後の改善に資するポイントを整理した。

なお、求められる公衆安全のレベルは、事業者意見で変わるものではなく、今回の調査結果（主として事業者アンケート）のみで、制度の見直しを実施していくべきではないことに留意する必要がある。

2.2.1 制度全般

図 2-43 に、本制度全般に係る現状把握及び今後の定期安全管理検査制度（全般）の改善の視点を整理した。

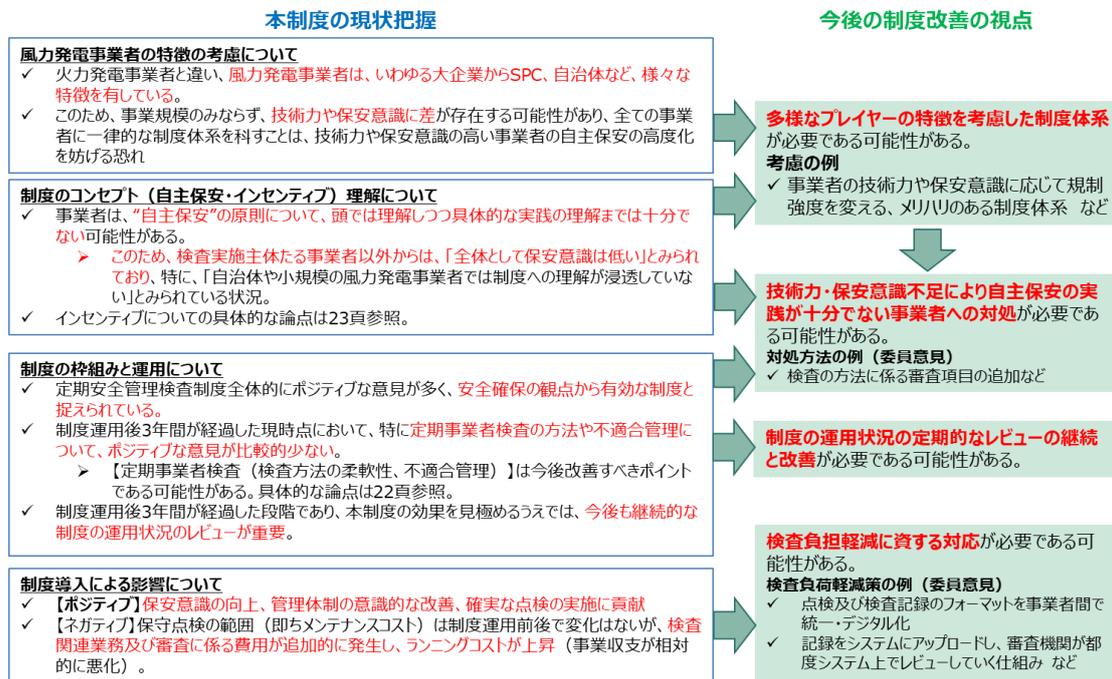


図 2-43 今後の定期安全管理検査制度のあり方（全般）

以降に今後の定期安全管理検査制度（全般）の改善の視点について、詳細に記載する。

(1) 多様なプレイヤーの特徴を考慮した制度体系

風力発電設備の安全管理検査制度は、発電用火力設備の安全管理検査制度を参考に制度設計されたものである。しかし、火力発電事業者と違い、風力発電事業者は、いわゆる大企業から SPC、または自治体など、様々な特徴を有している。このように風力発電事業には多様なプレイヤーが存在することから、事業規模のみならず、技術力や保安意識にも差が存在する可能性がある。

また事業者による技術力・保安意識の差の存在はあるものの、風力発電事業者全体を俯瞰すると、自主保安のコンセプトは頭では理解しつつも、具体的な実践の理解までは十分でない可能性がある。事実、検査実施主体たる事業者以外からは、「風力発電事業者全体として保安意識は低い」、特に「自治体や小規模の風力発電事業者では制度への理解が浸透していない」と見られている状況がある。

このような状況を踏まえると、全ての事業者に一律的な制度体系を科すことは、技術力や保安意識の高い事業者の自主保安の高度化を妨げる恐れが考えられる。このため、事業者の技術力や保安意識に応じて規制強度を変えるとといった、メリハリのある制度体系が求められると考えられる。

具体的には、技術力・保安意識の不足により自主保安の実践が十分でない事業者に対して

は、定期安全管理審査の項目に検査の実施方法に係る項目を追加する、技術力・保安意識があり自主保安の実践が十分である事業者には、第三者によるレビュー（登録安全管理審査機関による定期安全管理審査）ではなく、セルフレビューを原則とするといったインセンティブを付与する、などが考えられる。

(2) 制度の継続的なレビュー

制度運用後 3 年間の経過した現時点において、定期安全管理検査制度は全体的に肯定的な意見が多く、安全確保の観点から有効な制度と捉えられている傾向がある。ただし、特に定期事業者検査の方法や不適合管理について、肯定的な意見が比較的少なく、制度の継続的な改善の余地があると考えられる。

この度の調査は、制度運用後 3 年間の経過した（定期安全管理検査制度が一巡した）段階であり、本制度の効果を見極めるうえでは、今後も継続的な制度の運用状況のレビューが重要であるといえる。

(3) 事業者の検査負荷の低減

本制度の導入の影響として、「保安意識が向上した」、「管理体制の意識的な改善ができるようになった」、「確実な点検ができるようになった」等、肯定的な意見が多く見られた。しかし、保守点検の範囲（即ちメンテナンスコスト）は制度運用前後で変化はないが、検査関連業務及び審査に係る費用が追加的に発生し、ランニングコストが上昇（事業収支が相対的に悪化）したといった否定的意見も認められる。

安全確保を前提として事業運営がなされることが重要である。しかし、事業性が悪化することで、その結果安全確保が疎かになる可能性も否定できないことから、事業者の検査負荷の軽減に資する措置を検討することが重要であると考えられる。事業者の検査負荷に資する措置として、「点検及び検査記録のフォーマットを事業者間で統一・デジタル化」、「記録をシステムにアップロードし、審査機関が都度システム上でレビューしていく仕組み」等が考えられる。

2.2.2 定期事業者検査・安全管理審査の効果的な実践に向けて

図 2-44 に、定期事業者検査に係る現状把握及び今後の定期安全管理検査制度（定期事業者検査に関する事項）の改善の視点を整理した。

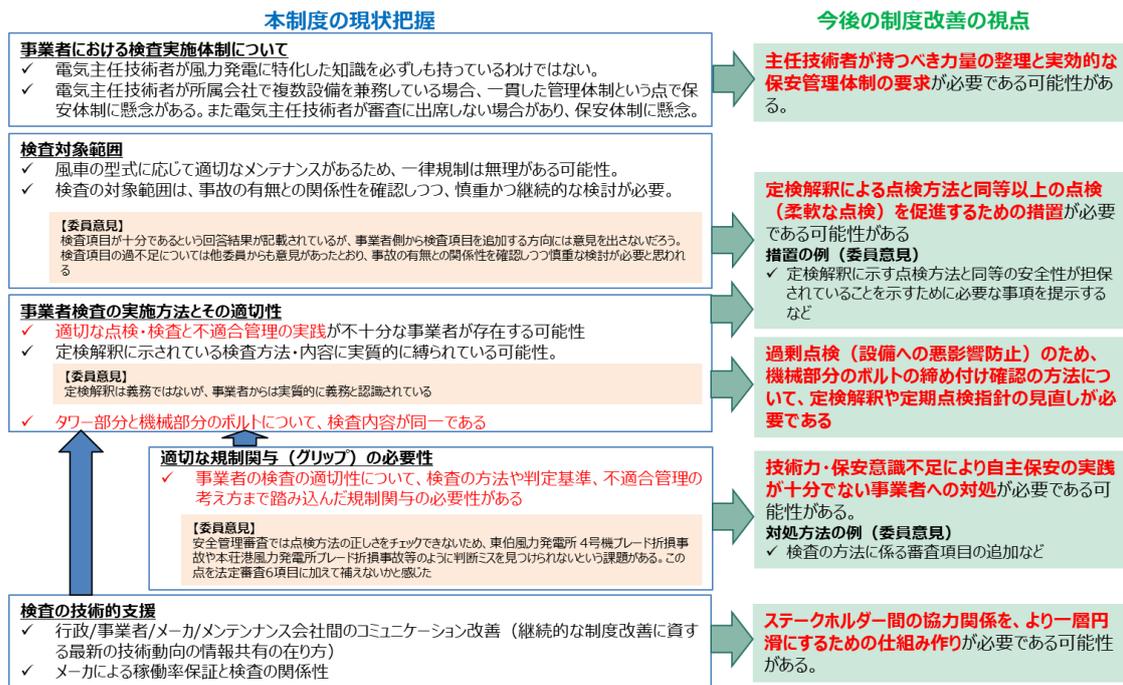


図 2-44 今後の定期安全管理検査制度のあり方（定期事業者検査に関する事項）

以降に今後の定期安全管理検査制度（定期事業者検査に関する事項）の改善の視点について、詳細に記載する。

(1) 実効的な保安管理体制の確立

現状、風力発電所毎に電気主任技術者を選任する必要があるが、電気主任技術者が発電用風力設備に特化した知識を必ずしも持っているわけではない。また、電気主任技術者が所属会社で複数設備を兼務している場合も存在し、このような場合、定期安全管理審査の場に電気主任技術者が出席しない場合もある。

このように、一貫した管理体制という点で保安体制に懸念がある場合もあることから、公衆の安全確保のために、主任技術者が持つべき力量や、事業者が具備すべき実効的な保安管理体制について、改めて検討することも必要である可能性がある。

(2) 新技術等を積極的に活用した点検（柔軟な点検）の実現・促進

風車には、設計年代（型式）に応じて適切なメンテナンスが存在し、一律的な定期事業者検査の検査範囲・方法・内容・頻度の設定は難しい。今後も事故の発生状況や検査対象と事故との関係性を確認しつつ、慎重かつ継続的な改善が必要である。

また、電気事業法施行規則第94条の3第1項第1号及び第2号に定める定期事業者検査の方法の解釈（以下「定検解釈」という。）の方法は例示であり必ずしも当該解釈の通りに実施する義務はないが、事業者からは実質的に義務と認識されている。本来的には定検解釈によらない検査方法なども認められるはずだが、実態としては、定検解釈に示されている検査方法などに縛られている可能性がある。

このため、新技術等を積極的に活用した点検（柔軟な点検）の実現・促進に向けては、例

例えば、定検解釈に示す点検方法と同等の安全性が担保されていることを示すために必要な事項を提示するといった措置が必要である。

(3) 定検解釈と定期点検指針の見直し

現状、定検解釈と日本電気技術規格委員会規格 JESC V0002（2017）「風力発電設備の定期点検指針」（以下「定期点検指針」という。）では、タワー部分と機械部分のボルトの締付け確認の検査内容は、同一の記載となっている。

ボルト全数の10%に対して検査を課している背景には、2013年3月12日に発生した太鼓山風力発電所の事故がある。この事故では、風車のタワーに用いられる高力ボルトの軸力が低下して疲労荷重になりボルトが損傷した。高力ボルトは回転せずとも軸力が低下することがあるため、緩みを目視で判断することができない。太鼓山の風車には60本のボルトがあり、10%では6本が該当し、最低限、東西南北のボルトを検査すれば四方向がカバーできるものと考え、現状の基準が提案された。

しかしそれは、タワーに用いられる、緩みを目視で判断できない高力ボルトを対象として提案されたものであり、ロータやハブといった、合マークで緩みの判断が可能な機械部分のボルトも対象として提案されたものではない。

ロータやハブといった機械部分のボルトの締付け確認に対してもタワーと同じ条件で検査が実施されていることは、過剰点検による設備への悪影響が懸念されることから、定検解釈や定期点検指針の見直しが必要である。

(4) 適切な規制関与

2.2.1 項においても言及した通り、風力発電事業には多様なプレイヤーが存在することから、事業規模のみならず、技術力や保安意識にも差が存在する可能性がある。

このような状況を踏まえると、全ての事業者に一律的な制度体系を科すことは、技術力や保安意識の高い事業者の自主保安の高度化を妨げる恐れが考えられる。このため、事業者の技術力や保安意識に応じて規制強度を変えるといった、メリハリのある制度体系が求められると考えられる。

具体的には、技術力・保安意識の不足により自主保安の実践が十分でない事業者に対しては、定期安全管理審査の項目に検査の実施方法に係る項目を追加する、技術力・保安意識があり自主保安の実践が十分である事業者には、第三者によるレビュー（登録安全管理審査機関による定期安全管理審査）ではなく、セルフレビューを原則とするといったインセンティブを付与する、などが考えられる。

(5) 公衆の安全確保のためのステークホルダー間における協力関係の構築

公衆の安全確保のために、最新知見・技術動向を的確に把握して、制度を継続的に改善する取組みも必要である。これを実現するうえでは、行政/事業者/メーカー/メンテナンス事業者といった風力発電事業に関係する各ステークホルダーが、公衆の安全確保という理念のもと協調・協力を行うことが不可欠である。

一部、検査の実施に必要な情報が開示されない等の理由により定期事業者検査の実施に課題意識がある等の意見が見られたことを踏まえ、ステークホルダー間の協力関係を、より

一層円滑にするための仕組み・ルール作り、例えば公衆の安全確保のための協調領域の整理等が必要である可能性がある。

2.2.3 インセンティブ制度のあり方

図 2-45 に、インセンティブに係る現状把握及び今後の定期安全管理検査制度（インセンティブに関する事項）の改善の視点を整理した。



図 2-45 今後の定期安全管理検査制度のあり方（インセンティブに関する事項）

以降に今後の定期安全管理検査制度（インセンティブに関する事項）の改善の視点について、詳細に記載する。

(1) インセンティブ制度自体のあり方

この度の調査では、人材育成の観点や、インセンティブ付与により検査項目を増やしたくない等の理由により、安全管理審査は今後も3年周期で受審したいという事業者意見が多数認められた。改めて現状の制度を確認すると、定期安全管理審査が3年に1回という頻度でよいという点、定期的に専門家による第三者レビューを受けられることができるという点から、事業者によっては、そもそもインセンティブが付与されている状態であると捉えることもできる。

インセンティブ制度導入の目的（制度導入により実現したいこと）や、制度の運用実態に合わせて、インセンティブ制度自体のあり方・必要性については、今後も継続的な議論と改善が必要であると考えられる。例えば、2.2.1 項、2.2.2 項にて言及した通り、インセンティブ制度をメリハリある制度体系（適切な規制関与）を実現する方法の一つと位置付け、インセンティブ、インセンティブ付与の要件を改善することが考えられる。

(2) 事業者の特徴を踏まえたインセンティブ（メリット）

現在設定されているインセンティブの魅力に関しては多様な意見が認められた。

既に社内監査機能があるような大手の風力発電事業者は、登録安全管理審査機関による定期安全管理審査（第三者レビュー）は社内監査の補足として機能しており、審査期間延長により若干だが審査費用が低減されるため、審査期間延長に経済的メリットを感じやすい可能性がある。一方、社内監査機能が乏しい、またはない事業者は、むしろ3年毎の登録安全管理審査機関による定期安全管理審査（第三者レビュー）を歓迎している可能性、即ち審査期間延長にメリットを感じにくい可能性がある。

また、審査期間の延長により書類保管コスト、審査用書類作成の負荷が増加するため、審査期間の延長自体はディスインセンティブと捉えている事業者も一定数存在する。

このように、現在設定されているインセンティブ（受審周期の延長）は、ある事業者によってはインセンティブであるが、ある事業者によってはディスインセンティブでもあるため、インセンティブ制度導入の目的や運用実態に合わせて、付与すべきインセンティブの継続的な改善が必要である可能性があると考えられる。

例えば、技術力・保安意識があり自主保安の実践が十分である事業者には、検査記録をシステムにアップロードすることのみを求める（事業者のセルフレビューを認めるインセンティブ：審査機関は国の要請に応じて必要に応じてレビューを実施）といったインセンティブ設定等が考えられる。

(3) インセンティブ付与の要件

現在設定されているインセンティブ付与の要件は、投資費用が多くかかる内容であり、大手企業向けの制度であると認識している事業者も存在する。このため、必ずしも多くの設備投資を要しないインセンティブ付与の要件の設定が必要である可能性がある。

また例えば、2.2.1 項、2.2.2 項にて言及した通り、インセンティブ制度をメリハリある制度体系（適切な規制関与）を実現する方法の一つと位置付け、技術力・保安意識が高いということを示すこと（例えば、高度な保安管理体制を構築する等）を要件とする等が考えられる。

2.3 風力発電設備におけるブレードの点検等に関するガイドラインの作成

2021年1月22日に開催された、産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 電気保安制度ワーキンググループ（第4回）において、構造上の安全がブレードの劣化などにより確認できない場合は「技術基準不適合」と判断することを「発電用風力設備の技術基準の解釈」に位置付けること、日本風力発電協会（JWPA）にて作成した「風力発電設備ブレード点検および補修ガイドライン」を「発電用風力設備に関する技術基準を定める省令及びその解釈に関する逐条解説」に記載すること及び「電気事業法施行規則第94条の3第1項第1号及び第2号に定める定期事業者検査の方法の解釈」に位置付けることが諮られ、了承された。

本業務では、経済産業省（産業保安監督部含む。）での内部文書（非公開）という位置付けで、「風力発電設備 ブレード点検および補修ガイドライン」の解説・補足文書を作成した。

3. 風力発電設備における落雷マップのデータ整備及び落雷対策のあり方検討調査

3.1 陸上・洋上の落雷マップの更新・新規作成

「発電用風力設備の技術基準の解釈」において参照される落雷マップである「別図 1」、「別図 2」の更新の検討を行った。具体的には、国際規格 IEC 62858 に準拠した落雷位置標定システム (LLS : Lightning Location System) データと、中部大学が所有する建設済みの風力発電設備における落雷データ等を活用して、落雷マップの形で整理を実施した。

なお、2020 年頃から風車に落雷検出装置を設置した事業者も多く、これらのデータを引き続き収集し落雷マップの検証を継続するべきと考えられる。

3.1.1 冬季雷地域 (A 地域) の落雷マップ案

12 年分の 10 km メッシュの LLS データ (10 月～3 月) 及び風力設備における落雷回数のデータ等を活用して、「発電用風力設備の技術基準の解釈」の別図 1 の A 線で示される冬季雷地域 (A 地域) の更新案を検討した。冬季雷地域 (A 地域) の更新案を図 3-1 に示す。

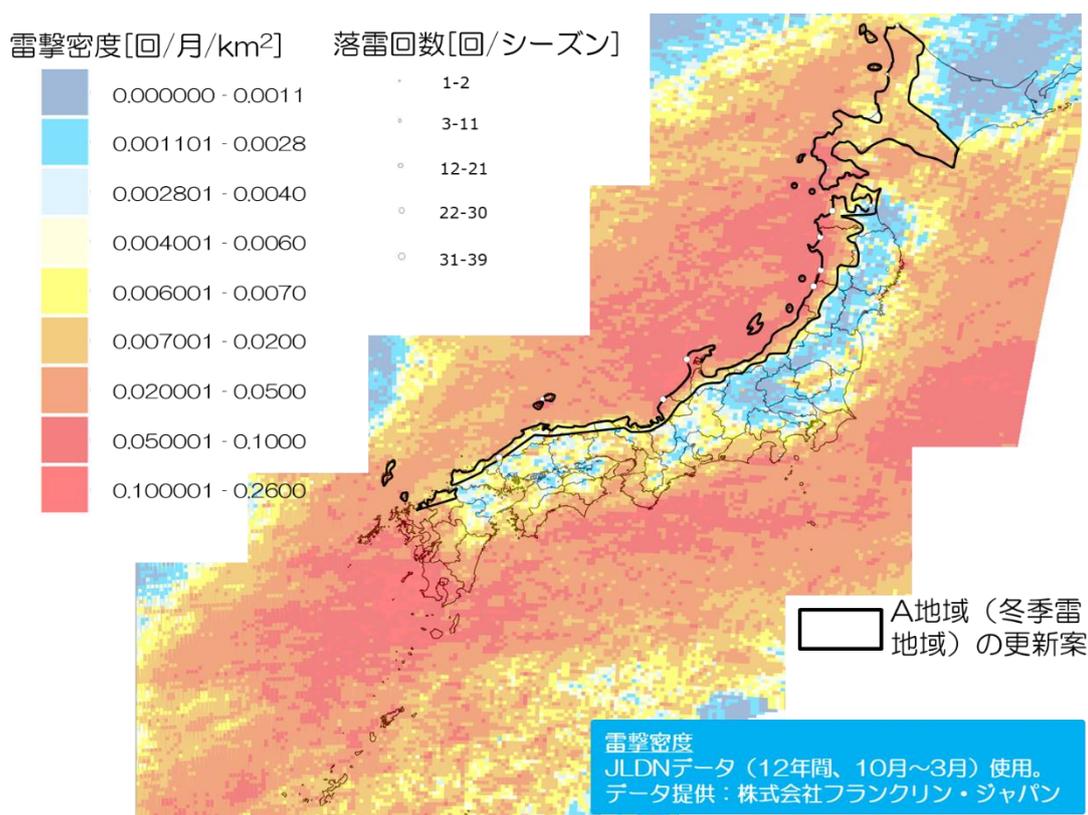


図 3-1 冬季雷地域 (A 地域) の更新案

冬季雷地域 (A 地域) の更新案は、雷撃密度と風力設備における落雷回数に基づいて作成した。現在の冬季雷地域 (A 地域) と比較すると、主に北海道地域の内陸部、山陰～九州北部地域を新たに冬季雷地域 (A 地域) に加えた。

北海道地域の内陸部は、冬季における北海道地域の LLS データから、道南のみならず道央や道北においても冬季の雷雲は入り込んでいることが確認されたため、それらの地域も冬季雷地域（A 地域）に認定すべきであると判断した。一方で、北海道西側、道央内陸部の風車への落雷調査を継続し、落雷マップの検証を継続するべきと考えられる。

冬季雷の特徴である高い建物からの上向雷や電荷量の大きい雷は、 -10°C となる高度が3000m 程度より低い場合に発生しやすいが、九州地域での落雷発生時の -10°C 高度を確認すると3000m より高い場合が多いことが確認された（表 3-1 参照）。そのため、九州地域は冬季の雷撃密度が他と比べて大きいものの、今回は冬季雷地域（A 地域）からは除外した。一方で、一冬で2回以上落雷を受けている北九州地域の風車も少ないことを踏まえ、山陰～九州北部地域は冬季雷地域（A 地域）と認定すべきであると判断した。

また、10月や3月など、秋や春に九州地域のみならず四国地域の西岸に活発な雷雲が入ってくることが多く、このような気象現象についても、冬季雷の特性を比較して、今後調査を進めるべきと考えられる。

表 3-1 落雷発生時の -10°C 高度

日付	福岡			鹿児島		
	9時	21時	平均	9時	21時	平均
2016/12/9	3599.1	4010.4	3804.7	4284.2	4762.9	4523.6
2017/12/10	3217.2	3689.7	3453.4	4562.6	4313.6	4438.1
2018/2/28	3799.8	4216.2	4008.0	4777.3	4233.2	4505.2
2018/3/4	5032.0		5032.0	5434.3	5656.8	5545.6
2018/3/5	5236.2	5110.4	5173.3	5628.1	5369.9	5499.0
2018/12/20	3734.6	4110.9	3922.7	3952.2	5201.8	4577.0
2019/3/11	3779.9	4134.4	3957.1	4167.3	4434.7	4301.0
2019/3/15	4718.9	4918.7	4818.8	4056.2	4466.0	4261.1
2019/11/11	4938.6	4856.0	4897.3	4819.3	4944.6	4882.0
2019/12/1	4540.4	4720.8	4630.6	4855.8	5205.6	5030.7
2020/1/27	5058.3	4295.0	4676.7	5015.1	4664.7	4839.9
2020/1/30	2468.6	2306.2	2387.4	2871.3	2745.6	2808.5
2020/11/19	5804.9	5686.9	5745.9	5841.1	5832.1	5836.6

3.1.2 夏季雷（B 地域）の落雷マップ案

12 年分の LLS データ（4 月～9 月）及び落雷データ等を活用して、「発電用風力設備の技術基準の解釈」の別図 2 の B 線で示される夏季雷地域（B 地域）の更新案を検討した。夏季雷地域（B 地域）の更新案を図 3-2 に示す。図に示すように、4 月～9 月に雷撃密度の高いエリアを夏季雷地域（B 地域）とした。

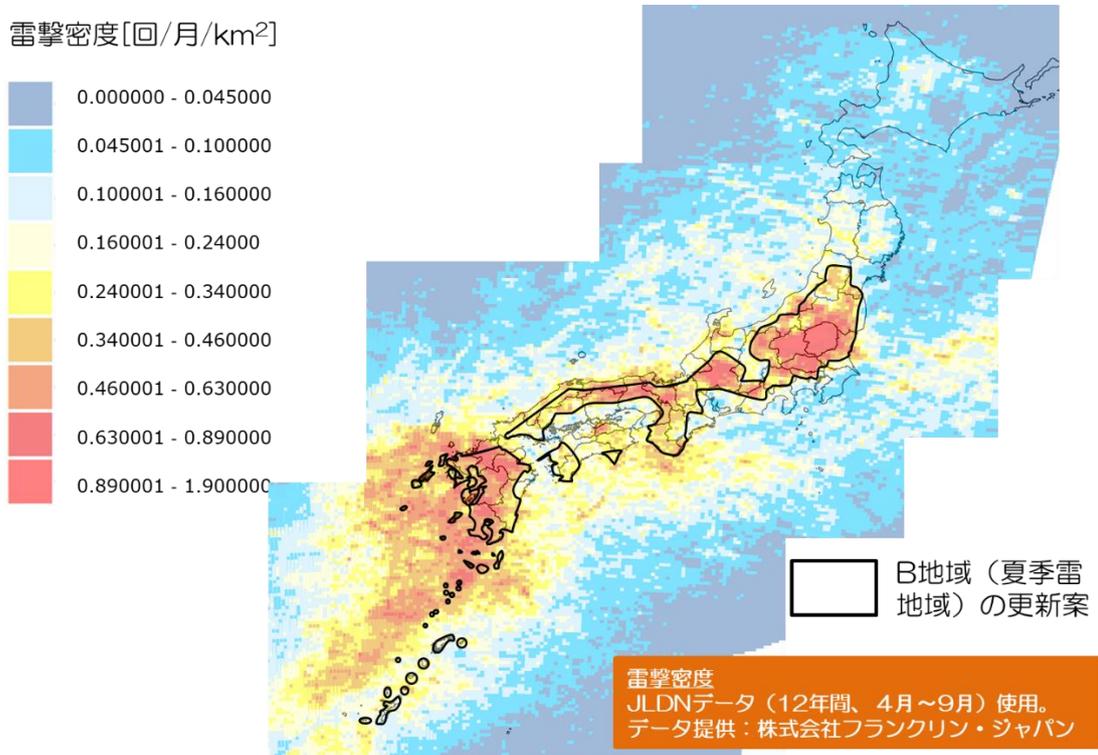


図 3-2 夏季雷地域（B 地域）の更新案

3.2 落雷対策の実施状況及び効果のレビュー

3.2.1 文献調査・整理

経済産業省の電気保安統計や新エネ WG の資料等から、近年の落雷事故の状況や産官学の取組みについて整理した。

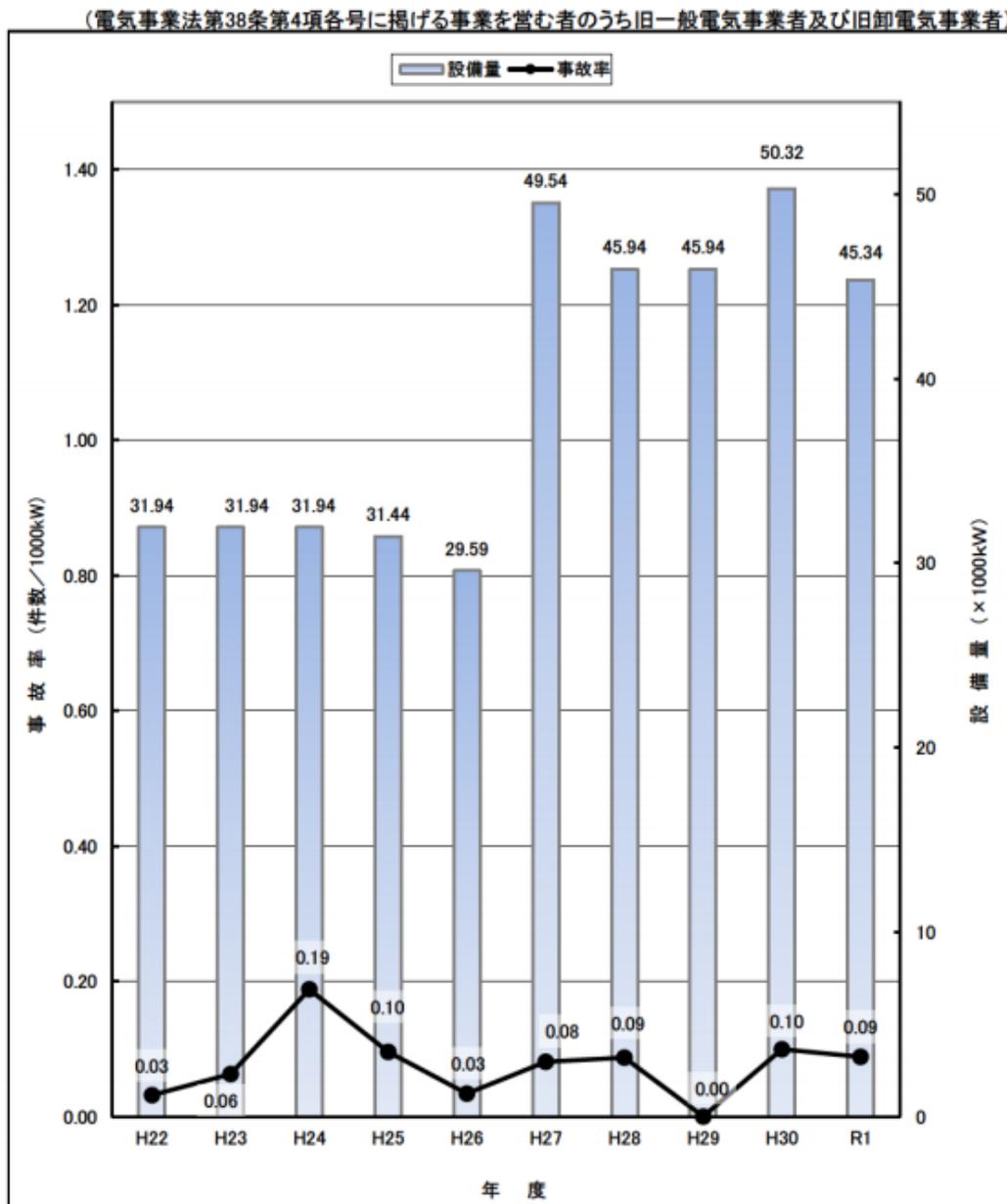
(1) 落雷事故の経年的な状況

1) 落雷事故件数の推移

令和元年度の電気保安統計における、風力発電設備（電気事業用電気工作物、その中の自家用電気工作物）の事故率・事故件数の推移は図 3-3、図 3-4 の通りである。事業用電気工作物では近年事故率の大きな変化は見られないが、自家用電気工作物については、H27 年度（2015 年）より事故率の低下が見られ、この時期は発電用風力設備の技術基準の解釈（風技解釈）の改正（3.2.1(2)2）と重なる。定期安全管理検査制度による事故率への影響については、制度が開始されてから 3 年であることから言及は難しい。

令和元年度の事故の内訳としては、電気事業用電気工作物では 4 件の事故のうち 3 件が制御回路によるものであったのに対し、自家用電気工作物では風車本体に対する被害も見られ、中でもブレードの被害が 8 件と最も多かった。また、8 件のブレード被害のうち、落雷によるものは 1 件であり、保守不完全によるものが 3 件、風雨によるものが 3 件であった。

第2-4図 電力設備別事故率の推移(風力発電所)

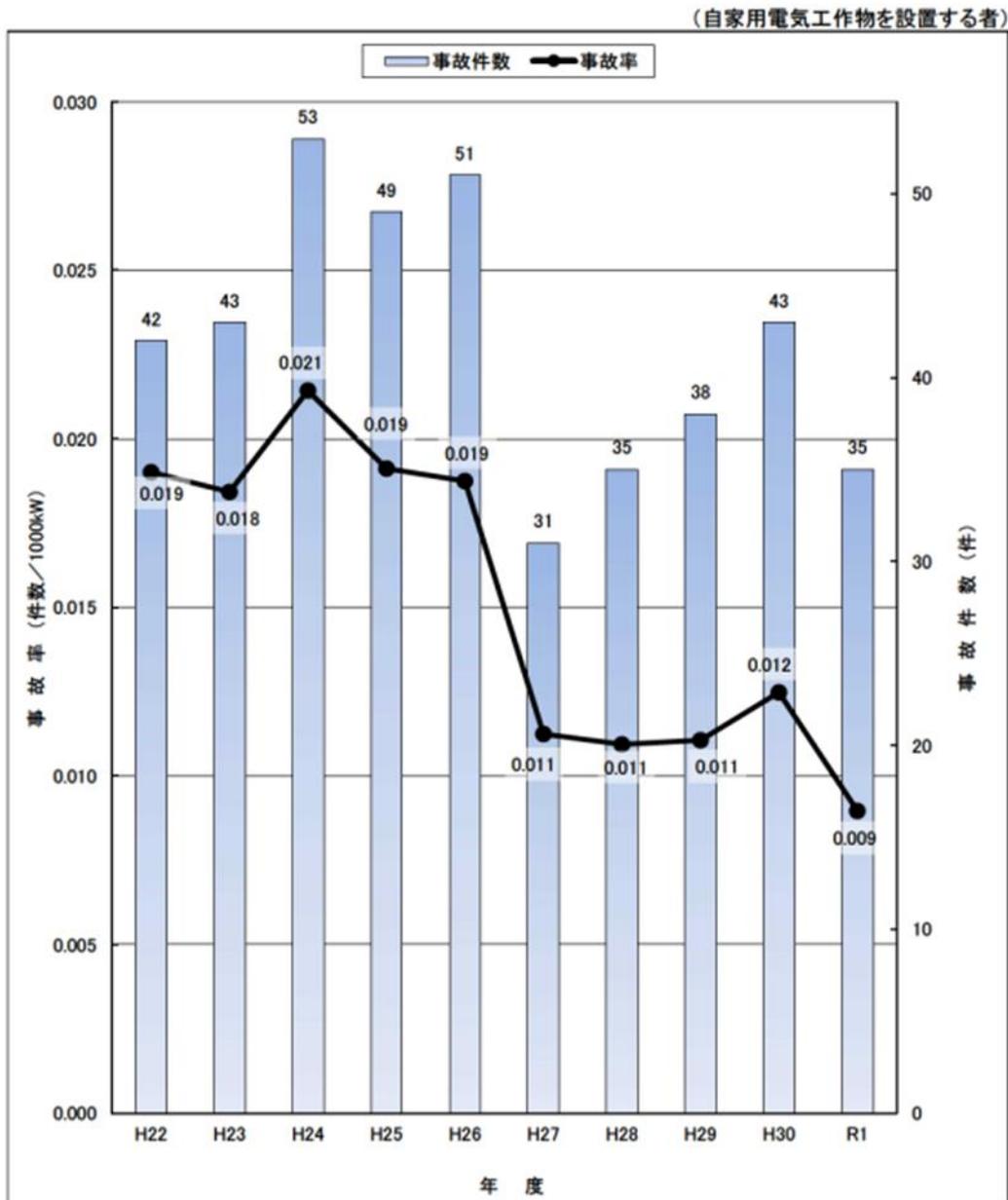


(備考) 事故率は、出力1,000kW当たりの事故件数である。

図 3-3 風力発電設備事故率の推移 (電気事業用電気工作物)

引用) 経済産業省商務情報政策局産業保安グループ電力安全課・独立行政法人製品評価技術基盤機構 (NITE), 「令和元年度電気保安統計」, p.31 第 2-4 図 電力設備別事故率の推移 (風力発電所), 2021 年 3 月, https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/electric/files/r1hoan-tokei.pdf, 2021 年 3 月 23 日閲覧

第2図 風力発電所事故件数の推移



(備考) 事故率は、出力1,000kW当たりの事故件数である。

図 3-4 風力発電設備事故率の推移 (自家用電気工作物)

引用) 経済産業省商務情報政策局産業保安グループ電力安全課・独立行政法人製品評価技術基盤機構 (NITE), 「令和元年度電気保安統計」、p.80 第2図 風力発電所事故件数の推移、2021年3月, https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/sangyo/electric/files/r1hoan-tokei.pdf, 2021年3月23日閲覧

2) 近年の落雷事故事例

風力発電設備に対する近年の落雷事故事例の整理として、2013 年より経済産業省で進められている「新エネ WG」にて扱われた風車の事故の中から、落雷が一因となった事例（全 11 事例）をまとめたものを表 3-2 に示す。

これらの事例から、近年の風力発電設備に対する主な落雷事故の要因、再発防止策は以下のように整理される。

落雷事故の要因

- 冬季の非常に規模の大きな落雷
- ブレード等の損傷後の運転継続による損傷拡大
- 劣化や繰り返しの雷撃によるレセプター・ダウンコンダクターの健全性不良
- レセプター外への雷撃
- 不明確、不十分な点検・補修
- 落雷時の気象（台風等）による点検の遅れ

再発防止策

- 規模の大きな冬季雷を想定したブレードの耐雷性強化
- 雷雲接近時や雷撃検知時における風車の自動停止
- 適切な点検・補修の実施
- 台風等が生じる事前の落雷対策実施

表 3-2 近年の落雷事故事例

事故事例	日時	事故概要	推定原因	再発防止策	WG
遊佐日向川 風力発電所	運転開始日 2012/2/7 事故発生日 2013/11/20	<ul style="list-style-type: none"> ● 3枚中一枚のブレードが根本から1/3付近で折損 ● ナセル及びロータカバーにブレードが衝突 ● ブレードがナセルに衝突したことでレセプターが分離し、風力発電機直下に落下 	<ul style="list-style-type: none"> ● 電荷量約1,400C、ピーク電流値が約45kAという非常に規模の大きな落雷 ● 雷電流の一部がGFRPの内表面を流れたことによる、内圧上昇・接着面の温度上昇 ● 20分間の継続運転による損傷の拡大 	<ul style="list-style-type: none"> ● 冬季において一定規模以上の落雷を検知して風車を自動停止するシステムの設置 ● 日本海側の巨大冬季雷に耐え得る構造的対策に関するブレード内部導体系の改良 ● ブレード及び導体に対する1年に4回の目視点検の継続 	第1回 第3回 第4回
国見岳 風力発電所	運転開始日 2002/12 事故発生日 2013/12/1	<ul style="list-style-type: none"> ● ブレード3枚が焼損・落下 ● チップブレーキの分離 ● ハブ・ナセルの焼損・落下 	<ul style="list-style-type: none"> ● チップブレーキ内のダウンコンダクターの接続不良 ● ダウンコンダクターの接続不良による、落雷時のアーク発生・内部圧力上昇 ● 油圧シリンダーのシリンダーヘッド・ロッド間が落雷時のアーク(放電)によりシール部が損傷し、 	<ul style="list-style-type: none"> ● 国見岳風力発電所は、1号機・2号機とも、経年劣化や冬季雷によるトラブルが増加しており、設備の維持が困難であることから廃止された。 	第1回 第3回 第4回

			操作油が噴出・漏油して着火		
オロロン 風力発電所	運転開始日 1998/11 事故発生日 2013/12/5	<ul style="list-style-type: none"> ● ブレード1本が根本から飛散・落下 ● ブレードチップとブレード片が周辺に飛散 ● ハブカバーが脱落 	<ul style="list-style-type: none"> ● 事故時におけるライティングケーブル(ハブ側)の断線 ● IEC規格を超える規模の落雷を受けたことによる避雷導線の断線 ● ブレード内部にアーク放電が発生したことによる急激な内圧上昇 	<ul style="list-style-type: none"> ● 被雷システム及びブレード点検マニュアルの整備 ● ライティングケーブルの二重化 ● ブレード飛散防止対策及び被雷後の安全性確認作業の実施 	第1回 第2回 第4回
追分ソーラ 風力発電所	運転開始日 1998/4 事故発生日 2014/1/31	<ul style="list-style-type: none"> ● ブレードチップの表面部材が欠損し、飛散 	<ul style="list-style-type: none"> ● 不十分な補修作業 ● 検査方法の未確立 ● 経過観察の未実施 	<ul style="list-style-type: none"> ● 補修作業のメーカーへの委託(不十分な補修作業の防止) ● ブレード補修に関する社内体制の見直し(不十分な補修作業の防止) ● 補修後の定期的な経過観察 ● ブレード点検の強化(点検方法の明確化) 	第1回 第2回 第4回
あわら北潟 風力発電所	運転開始日 2011/2 事故発生日 2013/12/14	<ul style="list-style-type: none"> ● ブレードに4か所の落雷痕 ● レセプターの脱落・飛散 	<ul style="list-style-type: none"> ● 雷撃がダウンコンダクターに直撃したことによる、レセプターの外皮の保持力喪失 	<ul style="list-style-type: none"> ● レセプターの脱落防止強化策(レセプターを風下側のブレード外皮と一体成形) ● 直撃雷検出装置と雷撃時の風車 	第1回 第2回

			<ul style="list-style-type: none"> ● レセプターにかかる継続的な遠心力 	<p>停止・点検</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ワイヤーなどを用いた機械的なレセプター脱落防止策 ● 雷接近時の風車事前停止 	
ジェイパワーひびき風力発電所	<p>運転開始日 2013/9</p> <p>事故発生日 2013/12/21</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● ブレードに3か所の落雷痕、一つはブレードを貫通 ● メーカー作業員が風車から約120m離れた地点で脱落したレセプターを発見 	<ul style="list-style-type: none"> ● 雷撃がダウンコンダクターに直撃したことによる、レセプターの外皮の保持力喪失 ● ダウンコンダクターの接触不良から生じたアークジェットにより取り付け部が軟化 ● レセプターにかかる継続的な遠心力 	<ul style="list-style-type: none"> ● レセプターの脱落防止強化策(レセプターを風下側のブレード外皮と一体成形) ● 直撃雷検出装置と雷撃時の風車停止・点検 	<p>第1回</p> <p>第2回</p>
輪島コミュニティウインドファーム	<p>運転開始日 2010/12/1</p> <p>事故発生日 2014/1/8</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● ブレード先端部(先端から3m)が剥離 ● ブレード内ダウンコンダクターが溶断 ● ローター～ナセル間、スリップリング接触部が脱落 ● 航空障害灯制御板が損傷 	<ul style="list-style-type: none"> ● レセプター外への雷撃によりブレードが損傷 ● ダウンコンダクターのまがり部分に対する過大な落雷電流による溶断 	<ul style="list-style-type: none"> ● 雷注意報発令時の風車停止 ● 雷注意報解除後の運転前点検 ● 定期点検時のブレード内点検 	<p>第1回</p> <p>第2回</p> <p>第3回</p>

細谷 風力発電所	運転開始日 2007/1 事故発生日 2014/2/15	<ul style="list-style-type: none"> ● 3本のブレードのうち、1本が破損 	<ul style="list-style-type: none"> ● 落雷時に発生したブレード先端部のクラックに起因 ● ブレード接合部の製造品質不適合がクラックの進展を加速 	<ul style="list-style-type: none"> ● 風車メーカーがブレード出荷前の検査として UT 検査を実施 ● ブレード受け入れ時に事業者が UT 検査を実施 ● 定期点検時のブレード内点検 ● ライトニングカードの一年毎の取替 ● 避雷導線の接触不良の定期的な確認 	第2回 第3回 第6回 第7回 第8回
輪島 風力発電所	運転開始日 2002/4 事故発生日 2014/3/14	<ul style="list-style-type: none"> ● チップブレーキの破損 ● レセプター及びレセプターブロックの脱落 	<ul style="list-style-type: none"> ● 繰り返しの落雷によるロッドとレセプターブロックの接続不良 ● 落雷時にアーク発生・内部圧力上昇のためブレードが破損し、レセプターブロックが飛散 	<ul style="list-style-type: none"> ● 発雷・落雷時の運転停止、安全点検の実施 ● 定期的なブレード、レセプター、ダウンコンダクターの点検補修の継続 	第3回 第4回
本荘港 風力発電所	運転開始日 2013/12 事故発生日 2018/2/17	<ul style="list-style-type: none"> ● 3本のブレードのうち、1本が全長の 1/5 (約 8.6m) を残して折損 	<ul style="list-style-type: none"> ● ブレード内導体部間で雷電流によって生じたアークによってブレード内積層部剥離や亀裂が発生 ● ブレード表面のアーク痕損傷を発見できず運転が再開され、リーディング 	<ul style="list-style-type: none"> ● 落雷時に風車が自動停止した際に、地上からの望遠レンズを使用した目視外観点検及びファイバースコープを使用したブレード内の精密点検を実施 	第13回 第15回

			エッジ部への繰り返し荷重により損傷が拡大		
番屋 風力発電所	運転開始日 2004/3/1 事故発生日 2020/9/5	<ul style="list-style-type: none"> ● ブレードの折損 ● シェル表面の剥離・飛散 	<ul style="list-style-type: none"> ● レセプターに受雷せず、FRP シェル面に落雷 ● 落雷によるブレード破損後、台風により補修を実施できないまま強風に曝露 ● ブレード損傷部が強風により残り 2 枚のブレードに衝突 	<ul style="list-style-type: none"> ● レセプター外への落雷に対する設備対策(ダイバータストリップの取り付け) ● 台風シーズンに先駆けた設備対策 	第 24 回 第 25 回

出所) 経済産業省商務情報政策局産業保安グループ電力安全課, 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,
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/newenergy_hatsuden_wg/index.html, 2021 年 3 月 23 日閲覧

(2) 産官学の実践の状況

1) 産・学の実践状況

業界全体の落雷対策改善に向けては以下のような実践が挙げられる。

風力発電設備の定期点検指針発刊（2017年4月）

定期安全管理検査制度の導入と合わせて、JWPA より「電気事業法施行規則第94条の3第1項第1号及び第2号に定める定期事業者検査の方法の解釈」に基づく定期事業者検査に係る点検の方法（風力発電設備の定期点検指針）が具体的に示された。本指針では近年の落雷事故要因となっていたダウンコンダクターの断線に対する点検も求められている。

落雷検出装置の性能評価方法確立（2018年3月）²

風技解釈によって冬季雷地域には落雷検出装置に基づく風車の非常停止装置が求められているが、落雷の誤検知、非検知が多いため性能向上が課題であった。NEDO スマートメンテナンス技術研究開発（雷検出装置等の性能・評価技術の開発）によって落雷検出装置の性能評価方法が確立され、市場に検出精度の高い落雷検出装置が普及した。

また、個別の落雷対策技術開発が多数行われている。落雷対策技術の一例は3.3.1に示す。

2) 官の実践状況

落雷事故に対する近年の官の実践状況としては以下が挙げられる。

発電用風力設備の技術基準の解釈（風技解釈）の改正（2015年2月）³

雷撃による風車ブレードの被害を受けて、発電用風力設備の技術基準の解釈（風技解釈）が改正された。改正後の風技解釈では、雷リスクに応じて冬季雷地域（A地域）、夏季雷地域（B地域）が指定され、雷撃から風車を保護する措置が求められた。特に冬季雷地域では「600クーロン以上の電荷量を想定した設計」、「適切なレセプター・引き下げ導体の施設」、「雷撃時に風車を停止できる非常停止装置の施設」が要件として示された。

風力発電設備の定期安全管理検査制度の導入（2017年4月）⁴

定期的に事業者が設備の健全性の検査を行い、その実施に係る体制について、国や登録審査機関が審査を行う制度として、定期安全管理検査制度が導入された。同制度では、事業者の主体的な自主保安水準の向上のため、事業者の保安力に応じて安全管理審査受審時期を

² 出所) 経済産業省商務情報政策局産業保安グループ電力安全課、第15回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 資料1-2, https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/newenergy_hatsuden_wg/pdf/015_01_02.pdf, 2021年3月23日閲覧

³ 出所) 経済産業省、発電用風力設備の技術基準の解釈について（20140328商局第1号）の一部を改正する規程,, https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2015/01/270206-2.pdf, 2021年3月17日閲覧

⁴ 出所) 経済産業省、第14回電力安全小委員会 資料2, https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohs/denryoku_anzen/pdf/014_02_00.pdf, 2021年3月23日閲覧

延伸または短縮するインセンティブ措置が講じられている。

3.2.2 アンケート調査

(1) アンケート調査の目的と調査概要

新エネ WG による「落雷事故を踏まえた今後の再発防止対策等について（中間報告書）」⁵等を踏まえて、風力発電事業者による落雷対策の実施状況やその効果を把握し今後の落雷対策及び規制のあり方を検討するため、アンケート調査を実施した。

アンケートの質問項目は、「落雷事故を踏まえた今後の再発防止対策等について（中間報告書）」にて報告されている平成 25 年 12 月に実施されたアンケートでの調査項目と、中間報告書の「Ⅲ. 今後の再発防止対策等について /2.今後の具体的な再発防止対策等」にて述べられている内容をもとに設計した。また、中間報告書が示された以降に開催された「産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 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」にて議論された落雷事事故事例にて示されている対策も参考とした。加えて、本事業で実施した有識者委員会の委員からの助言も参考とした。アンケートの設問（概要）を表 3-3 に示す。アンケートは、「①回答事業所の基本情報」、「②落雷事故・トラブルの発生状況及び具体的な内容」、「③雷撃から風車を保護する措置の実施状況」、「④被雷等が予想される際の事前対応」、「⑤被雷後の対応」、「⑥風車への被雷対応の具体事例」の 6 つの質問区分で構成した。「⑥風車への被雷対応の具体事例」の質問では、風車の被雷に対して円滑な対応ができた具体的な事例、また対応に時間を要した具体的な事例を伺った。

表 3-3 アンケートの設問（概要）

質問区分	主な質問項目
① 基本情報	事業所属性、地域（都道府県）
	運用している風車のメーカー
	運用台数、サイトの調整出力
	運転経験、主な風車の運用年数
	風技省令解釈上の落雷対策地域区分
	落雷数の把握状況、落雷頻度、落雷が最大だった年とその数
	主任技術者による落雷対策・対応動向の把握・共有状況
① 基本情報 （周辺環境）	民家・住宅、住宅以外の建築物、人が利用する工作物等（駐車場等）、公道（国道、都道府県道等）との距離
① 基本情報 （保証関係）	落雷に関する風車設備の保険、メーカーによる稼働率保証、O&M 事業者による稼働率保証、その他の利益保険の有無
② 落雷事故・トラブルの発生状況及び	落雷事故・トラブルの発生（2014 年 6 月以降）、発生時期、発生件数、具体的な内容

⁵ 経済産業省、平成 26 年 6 月産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会「落雷事故を踏まえた今後の再発防止対策等 について（中間報告書）」、https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/newenergy_hatsuden_wg/pdf/report01_01.pdf, 2021 年 3 月 23 日閲覧

び具体的な内容	
③ 雷撃から風車を保護する措置の実施状況	IEC61400-24 又は IEC62305-1 における保護レベルへの対応
	ブレードのレセプターの有無
	レセプター・ダウンコンダクターの対応電荷量
	レセプター・ダウンコンダクターの対雷機能の健全性確認の実施
	風車への雷撃検出装置の有無
	ナセルへの避雷針の設置状況、サイトにおける避雷鉄塔の設置状況
	落雷事故を踏まえた今後の再発防止対策等について（中間報告書）の「2.今後の具体的な再発防止対策等」にて示される設備面での対策の実施状況
	設備面での被雷対策の有効性
	雷撃から風車を保護する措置の検討での難しさ
④ 被雷等が予想される際の事前対応	雷接近時における第三者接近防止措置の実施状況（風車の事故が発生する危険性の周知）
	雷雲接近等の把握による運転停止の実施
	雷雲接近等の把握による運転調整の実施
	雷雲接近の把握手法
	被雷等が予想される際の事前対応の検討での難しさ
⑤ 被雷後の対応	被雷検知等による運転停止等の実施
	風車への被雷時の点検の実施
	風車設備近傍への落雷後での安全点検の実施
	被雷後の対応検討での難しさ
⑥ 風車への被雷対応の具体事例	円滑な対応に寄与したと考えられる設備上、及び運用上の工夫、対応に時間を要した原因と考えられる設備上、及び運用上の課題点

(2) アンケート調査結果

風力発電事業者へのアンケート調査結果の概要を以下に示す。なお、アンケートにご回答いただいた風力発電事業者（事業所）は、233 事業所であった。

1) アンケート回答事業所の基本情報

図 3-5 に都道府県別の回答事業所数を示す。本アンケート調査では、北海道、東北地方、九州地方より多くの回答をいただいた。

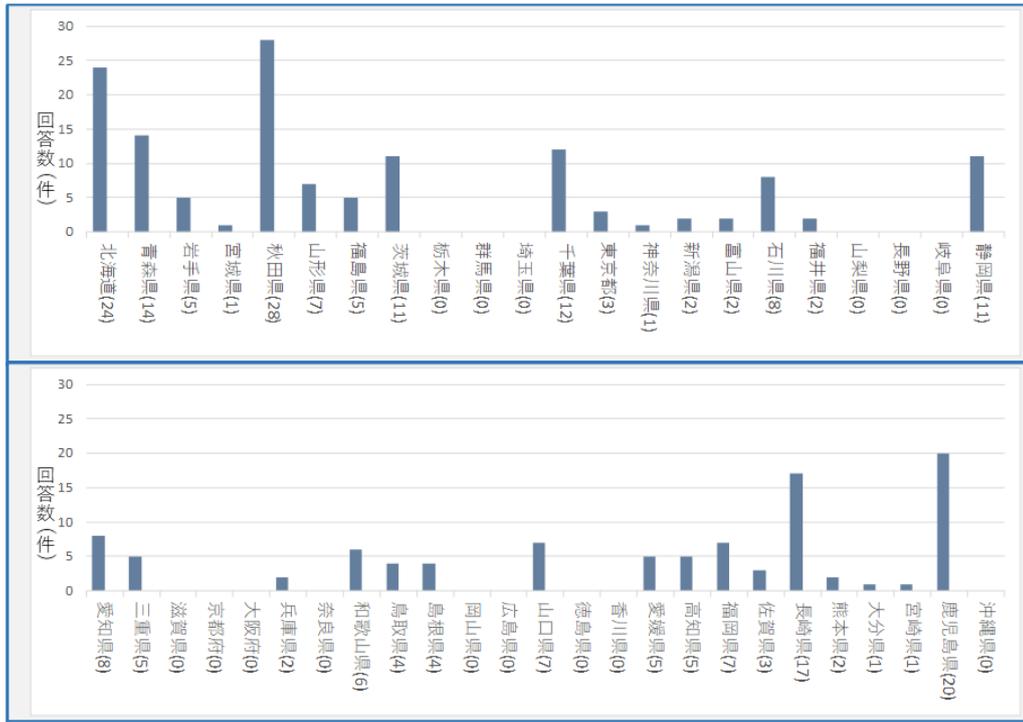


図 3-5 都道府県別の回答事業所数

図 3-6 に、「発電用風力設備の技術基準の解釈」の別図における事業所の所在地域を示す。本アンケートに回答いただいた事業所のうち、別図 1 の A 線で囲まれた冬季雷地域の事業所が約 29%、別図 2 の B 線で囲まれた夏季雷地域の事業所が約 27%だった。

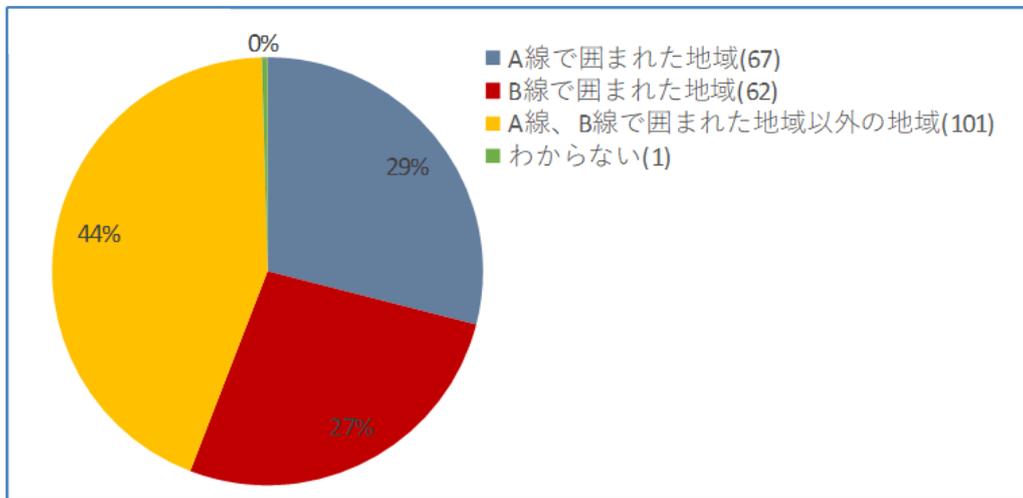


図 3-6 「発電用風力設備の技術基準の解釈」の別図における事業所の所在地域

図 3-7 に、主に運用している風車のメーカーの回答数を示す。エネルコン、GE、ヴェスタスの順で回答数が多かった。また、新規製造していない国内の日立製作所、三菱重工業、日本製鋼所の回答の合計が全回答数の約 25%だった。但し、事業者には運用している主なメーカーを回答いただいております、複数のメーカーを回答いただいている事業者もいるため、風力事業者全体における運用数の比率ではない。

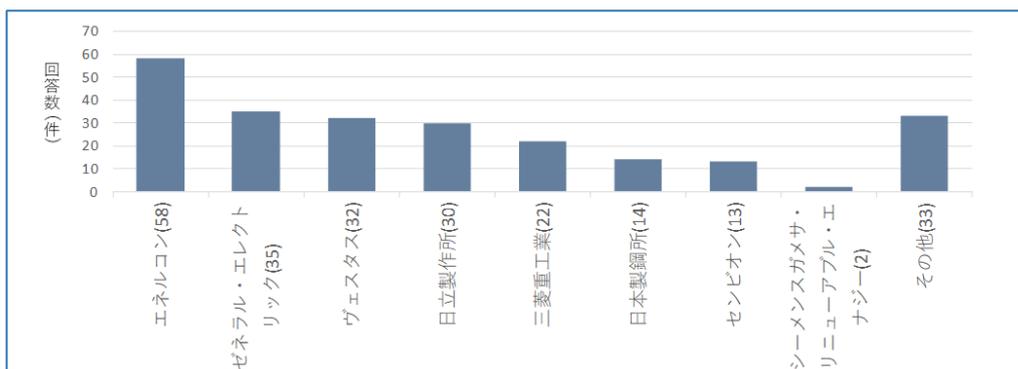


図 3-7 主に運用している風車のメーカー（複数回答）

図 3-8 に事業所における運用基数の回答結果を、図 3-9 に事業所における調整出力の回答結果をそれぞれ示す。1 基のみを運用している事業所が約 32%、5 基以下を運用している事業所が約 59%だった。また、調整出力が外部委託可能な 2 MW 以下の事業所が約 40%だった。

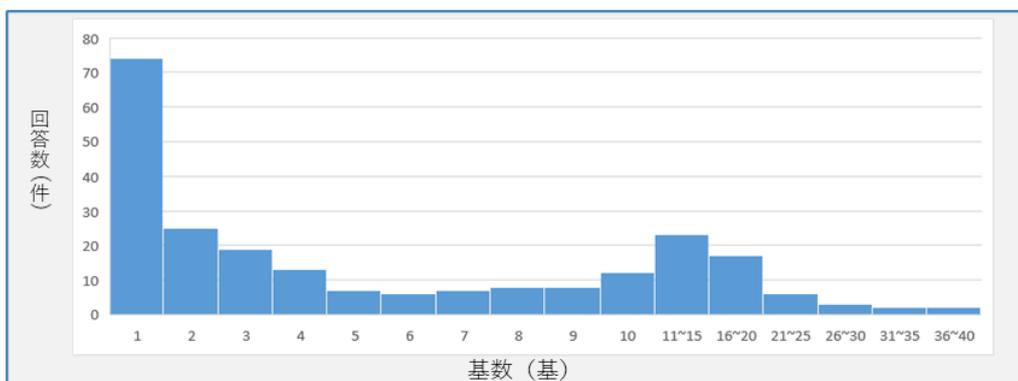


図 3-8 事業所における運用基数

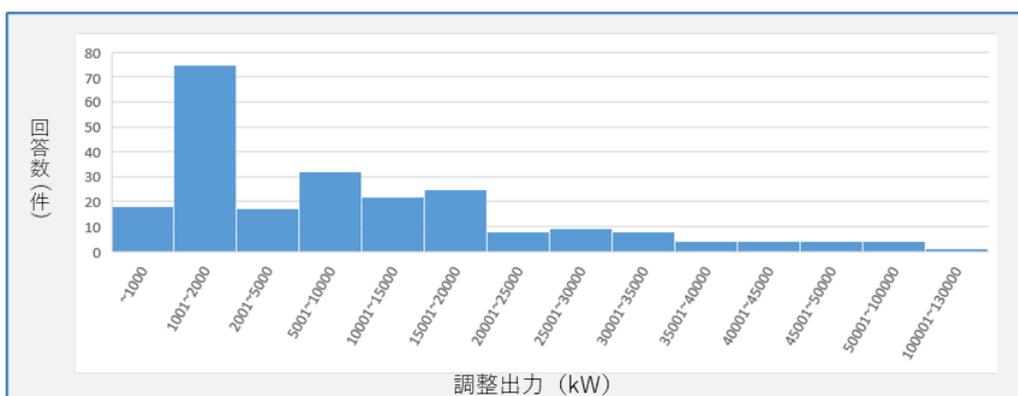


図 3-9 事業所における調整出力

図 3-10 に、事業所における主な風車の運用年数の回答結果を示す。主な風車の運用年数が 11 年以上との回答が約 60%だった。また、回答の中での運用年数及び運転経験の最大は 22 年だった。

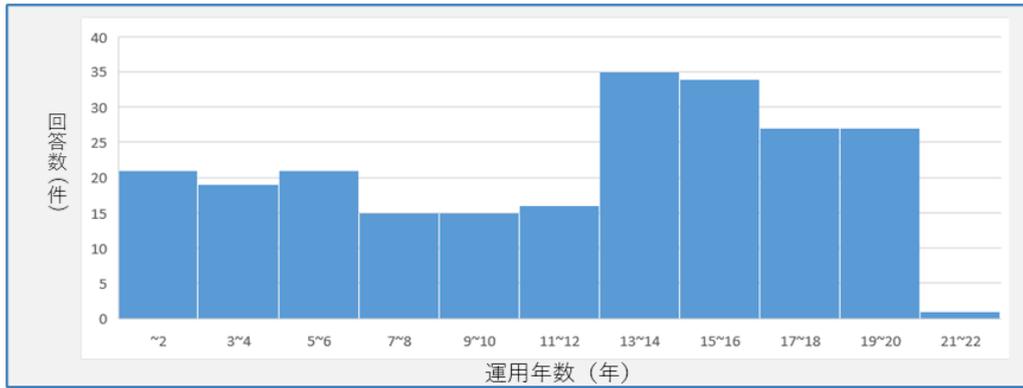


図 3-10 事業所における主な風車の運用年数

図 3-11 に 4 月～11 月（夏季）の事業所内の落雷頻度を、図 3-12 に 11 月～3 月（冬季）の事業所内の落雷頻度を示す。なお、アンケートではサイト単位での落雷頻度とサイトでの運用風車数を別々に回答いただいております。サイト単位での落雷頻度を運用風車数で割算することで風車 1 台あたりの値として算出した。夏季（4～10 月）においては、風車 1 台あたりの落雷頻度が 1 回以下となる回答が約 83%であり、「発電用風力設備の技術基準の解釈」の別図 1 の A 線で囲まれる冬季雷地域に限定した場合も 1 回以下となる回答が全体では約 74%であった。一方で、冬季（11～3 月）においては、風車 1 台あたりの落雷頻度が 1 回以下となる回答が全体では約 50%であったが、冬季雷地域に限定した場合は 1 回以下となる回答が約 9%であり、6 回以上となる回答が約 41%だった。

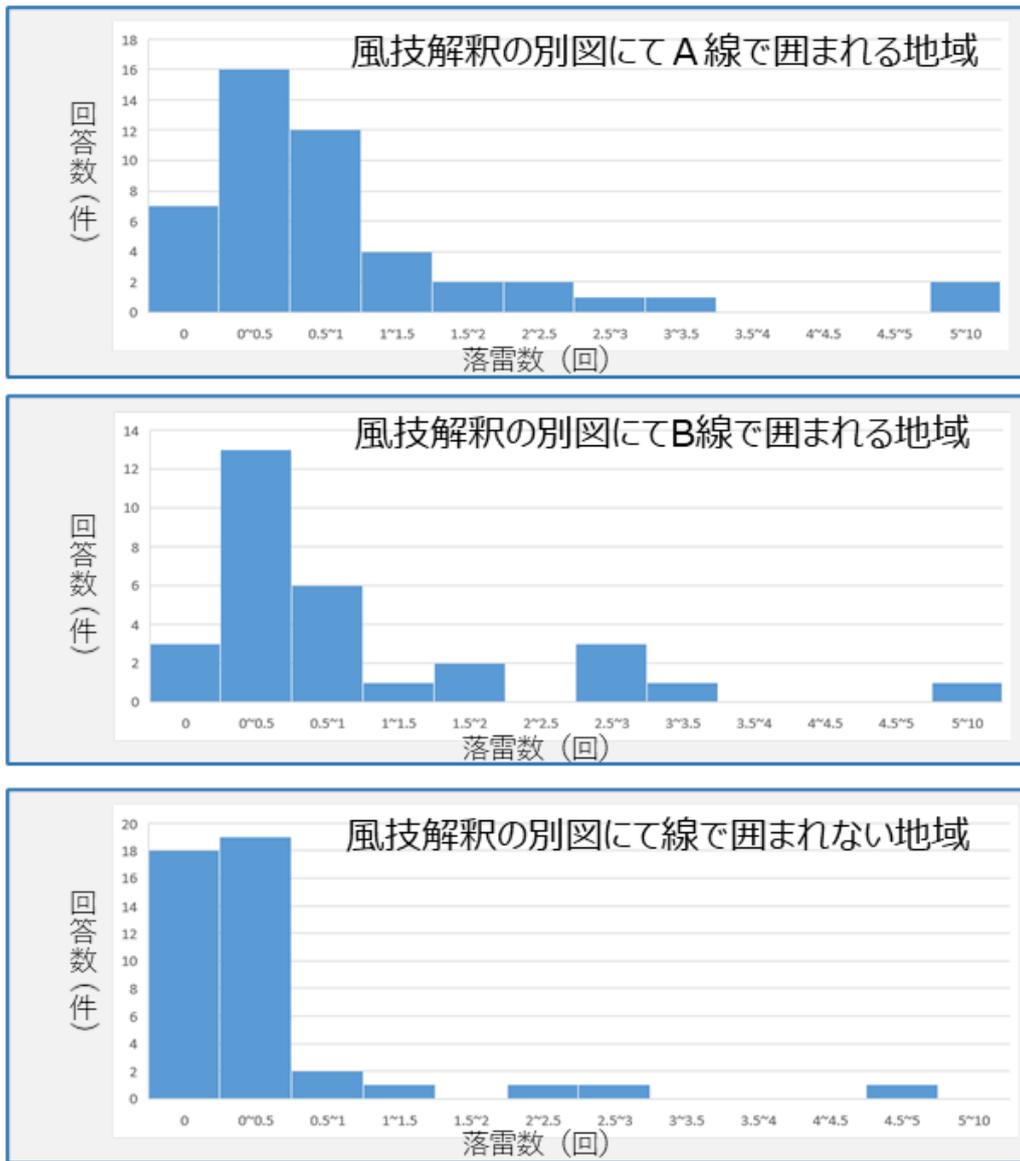


図 3-11 4月～11月（夏季）の事業所内の落雷頻度（風車1台換算）

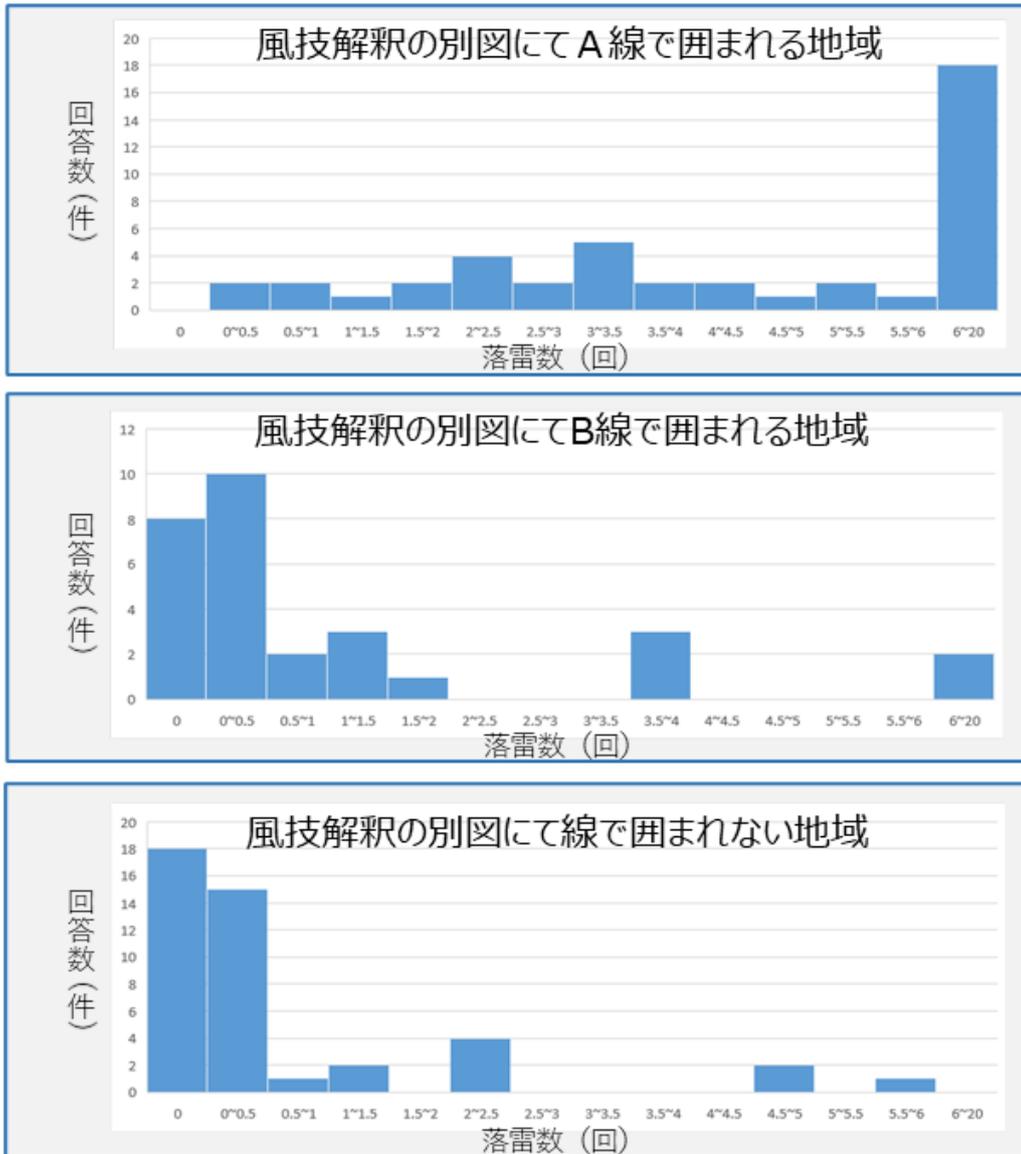


図 3-12 11月～3月（冬季）の事業所内の落雷頻度（風車1台換算）

図 3-13 に、落雷数が最大だった年の、事業所内の年間の落雷数を示す。なお、アンケートではサイト単位での落雷頻度とサイトでの運用風車数を別々に回答いただいております。サイト単位での落雷頻度を運用風車数で割算することで風車1台あたりの値として算出した。冬季雷地域では、年間で10回を超えた回答が約39%あったが、それ以外の地域では約8%だった。全体の傾向として、冬季雷地域での年間落雷数は他の地域よりも多かった。

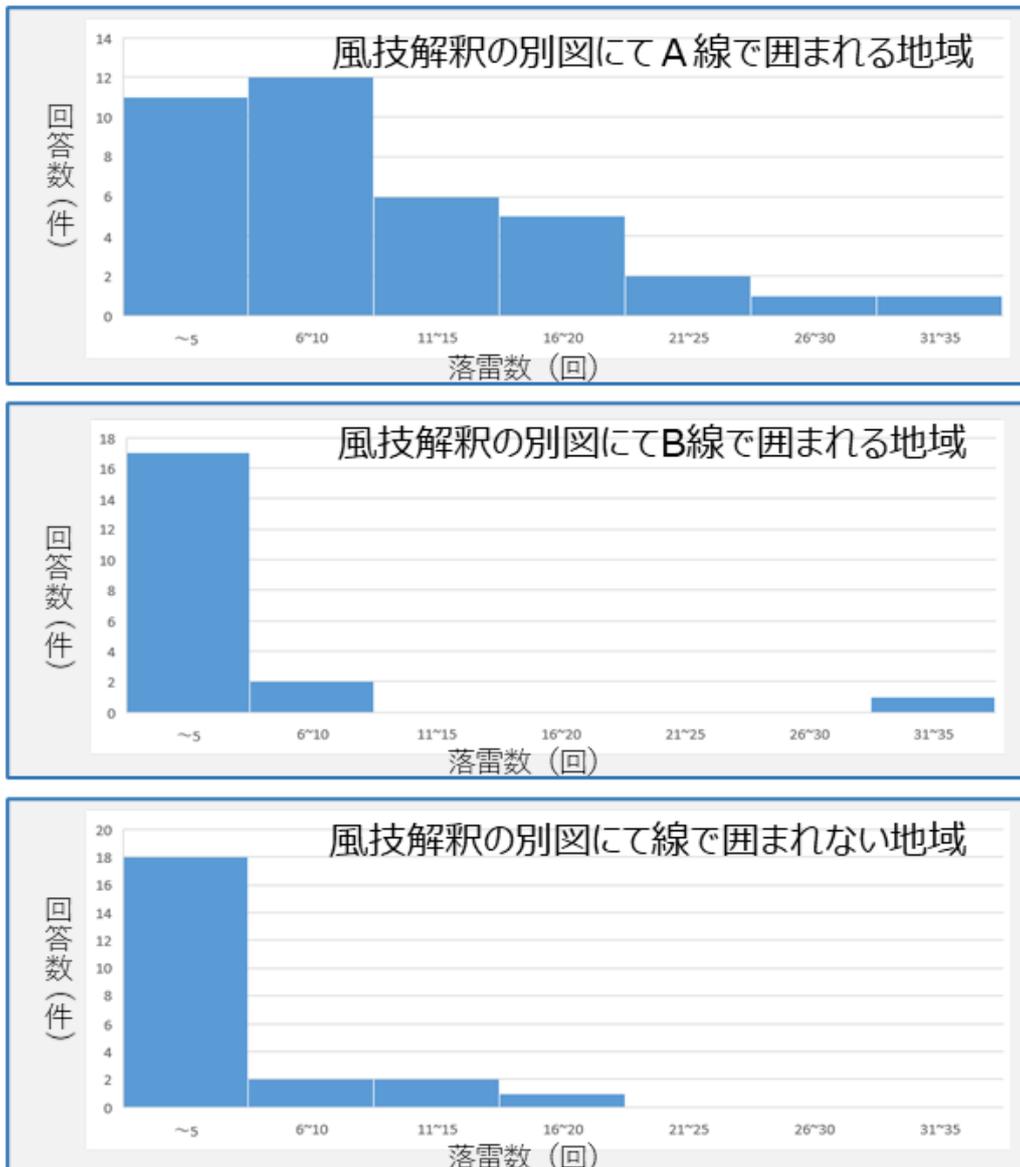


図 3-13 落雷数が最大だった年の、事業所内の年間の落雷数（風車 1 台換算）

図 3-14 に、落雷における事前、事後対策の手法や動向等の電気主任技術者による把握状況の回答結果を示す。ここでは、電気主任技術者の選任状況別の集計結果を示している。全回答件数（227 事業所）に対して、電気主任技術者によって落雷対策手法・動向を把握できているという回答（176 事業所）、おおよそ把握できているという回答（36 事業所）を合わせた結果は約 93% だった。外部委託している事業所の回答では、あまり把握できていない、または把握できていないとの回答が自社選任や、外部選任している事業所よりも多く、約 20% あった。

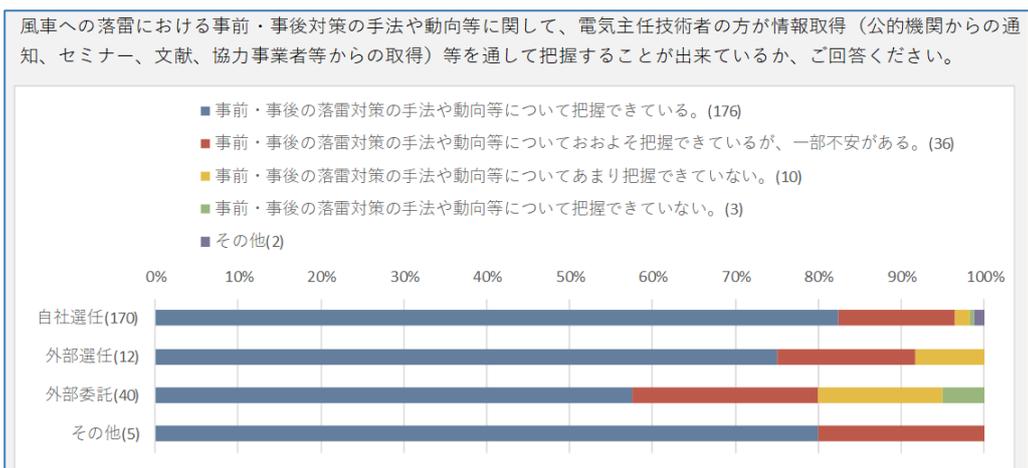


図 3-14 電気主任技術者の選任状況別の、落雷対策の手法や動向等の電気主任技術者による把握状況

図 3-15 に、事業所の地域及び調整出力別の、風車設備の保険への加入状況を示す。全回答件数（229 事業所）に対して、被雷による損傷なども保証される保険に加入しているという回答（167 事業所）、被雷による損傷なども一部保証される保険に加入しているという回答（34 事業所）を合わせた結果は、約 88% だった。また、出力規模が大きい事業所での加入率が多い傾向だった。

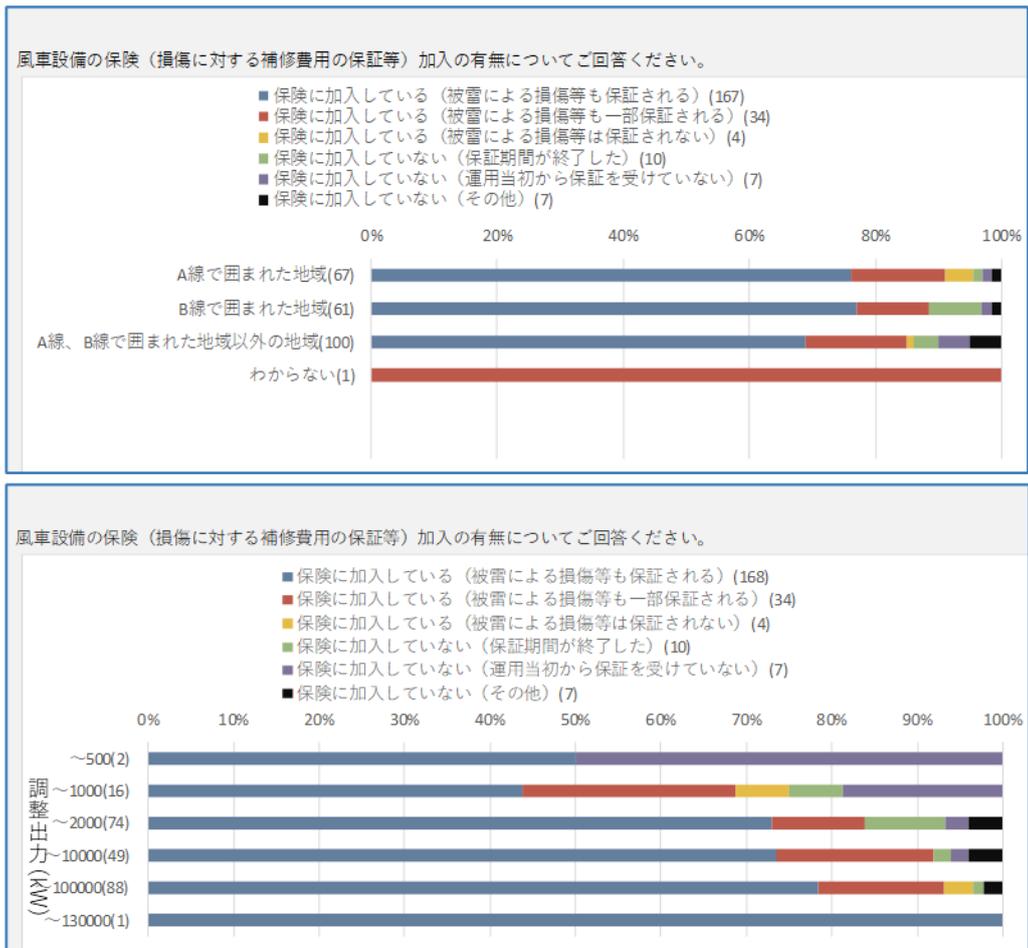


図 3-15 事業所の地域及び調整出力別の、風車設備の保険への加入状況

2) 落雷事故・トラブルの発生状況及び具体的な内容

図 3-16 に、「落雷事故を踏まえた今後の再発防止対策等について（中間報告書）」に示された 2014 年 6 月以降での落雷に起因するトラブルの発生有無を、図 3-17 に 2014 年 6 月以降での落雷に起因する事故や発電所運用上のトラブルの内容を示す。全回答件数（228 事業所）に対して、2014 年 6 月以降に落雷起因のトラブルが発生したという回答（83 事業所）は約 36%であり、「発電用風力設備の技術基準の解釈」の別図 1 の A 線で囲まれる冬季雷地域よりも別図 2 の B 線で囲まれる夏季雷地域の方が多かった。トラブルの内容は、「ブレード裂傷」だけでなく「電力設備（発電機、変圧器、電力変換装置、電力ケーブルなど）の故障」や「低圧・電子制御機器の故障」の割合が多かった。

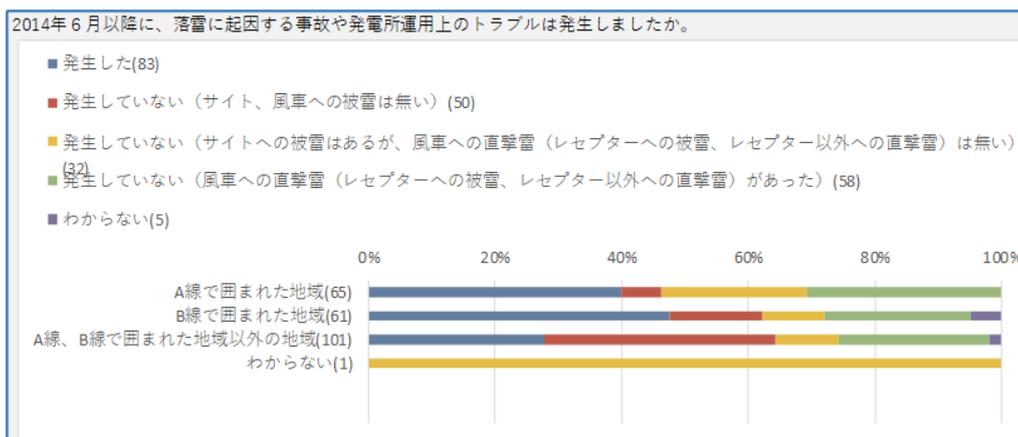


図 3-16 事業所の地域別の、2014年6月以降での落雷に起因するトラブルの発生有無

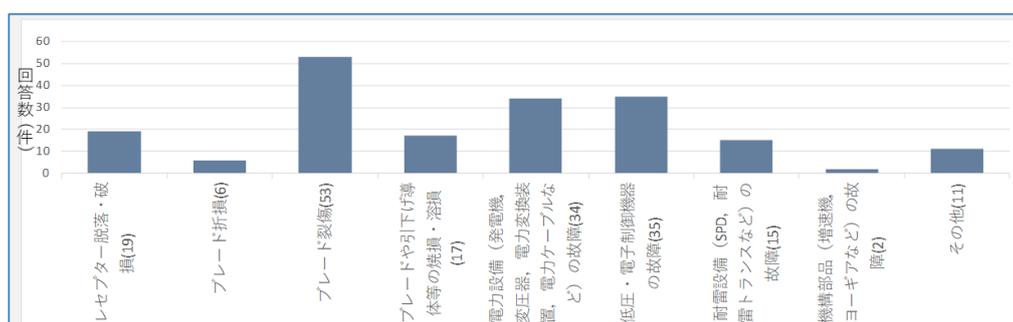


図 3-17 2014年6月以降での落雷に起因する事故や発電所運用上のトラブルの内容

3) 雷撃から風車を保護する措置の実施状況

図 3-18 に、事業所の地域別の、ブレードのレセプターの対応電荷量 (ダウンコンダクターを含む耐雷性) を示す。「わからない」の回答を除いて、回答は全て「150 クーロン以上」だった。「発電用風力設備の技術基準の解釈」において、別図 1 の A 線で囲まれる冬季雷地域では 600 クーロン以上であることが求められているが、A 線で囲まれる冬季雷地域では、全回答件数 (64 事業所) に対して 600 クーロン以上との回答 (21 事業所) は約 33% だった。冬季雷地域において 600 クーロン未満と回答した事業所者に出力規模や風車経年数での特徴的な点はなく、図 3-14 にて示した「落雷における事前、事後対策の手法や動向等の電気主任技術者による把握状況」への質問には、電気主任技術者によって落雷対策手法・動向を把握、またはおおよそ把握できている、という回答をされていた。

別図 2 の B 線で囲まれる夏季雷地域では 300 クーロン以上であることが求められているが、B 線で囲まれる夏季雷地域では、全回答数 (60 事業所) において 300 クーロン以上との回答 (300 クーロン～600 クーロン未満との回答 (16 事業所) と、600 クーロン以上との回答 (23 事業所) の合計) は約 65% だった。

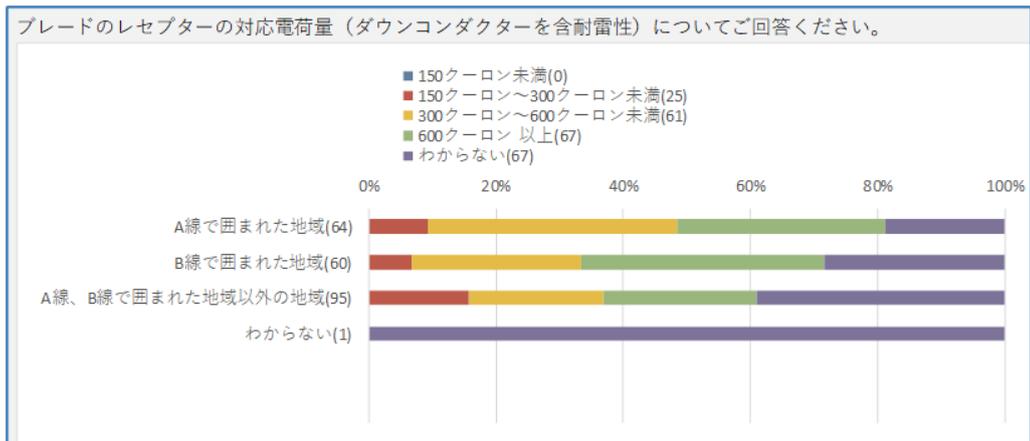


図 3-18 事業所の地域別の、ブレードのレセプターの対応電荷量（ダウンコンダクターを含む耐雷性）

図 3-19 に、事業所の地域及び調整出力別の、レセプター及びダウンコンダクター（引き下げ導体）の対雷機能の健全性確認の実施状況を示す。全回答件数（224 事業所）に対して、レセプター及びダウンコンダクターの導通試験などを定期的実施しているという回答（181 事業所）、不定期に実施しているという回答（10 事業所）を合わせた結果は約 85% であり、行っていない、分からないとの回答は約 15% だった。また、図 3-20 に健全性確認にて異常を発見した事業所が対応までに要した期間を示す。健全性確認を行っている事業所のうち約 45% が異常を発見しており、不具合対応に 1 か月以上を要した事業所が約 38% だった。

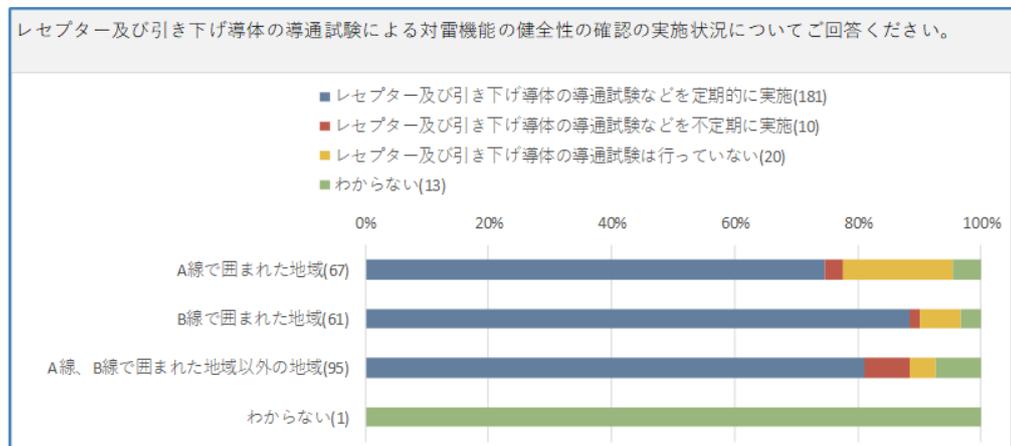


図 3-19 事業所の地域及び調整出力別の、レセプター及び引き下げ導体の対雷機能の健全性確認の実施状況

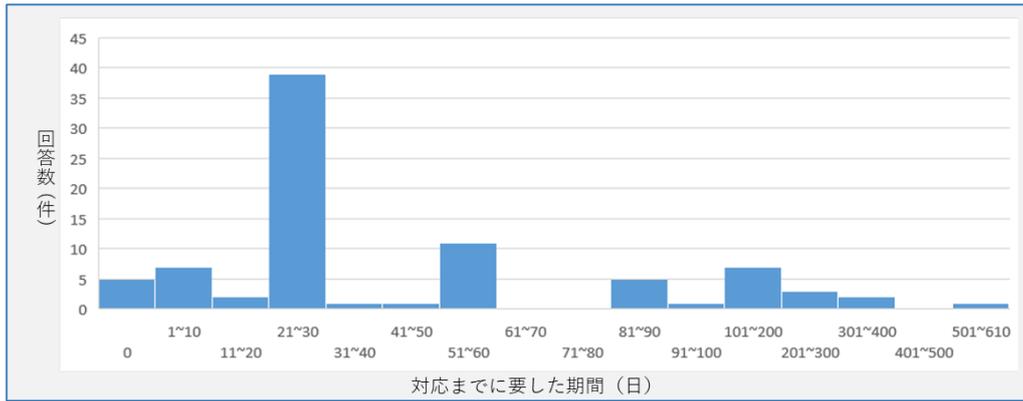


図 3-20 レセプター及び引き下げ導体の健全性確認にて異常を発見した事業所が対応までに要した期間

図 3-21 の上図に、風車への雷撃検出装置の設置状況を示す。図 3-21 の下図は、上図の回答のうち、「発電用風力設備の技術基準の解釈」において別図 1 の A 線で囲まれる冬季雷地域の事業所からの回答に限定した結果である。アンケートにおいて、雷撃検出装置の選択肢としては、以下の 4 つを設定した。

- ・ 大口径ロゴスキー・タワー型 (大口径のロゴスキーコイルをセンサーとしてタワーに巻き付けるタイプ)
- ・ ソレノイド・タワー型 (ソレノイドコイルをセンサーとしてタワー側面に設置するタイプ)
- ・ 小口径ロゴスキー・ブレードダウンコンダクター型 (小口径のロゴスキーコイルをセンサーとしてブレードダウンコンダクターに取り付けるタイプ)
- ・ CT・接地線型 (CT や小口径ロゴスキーコイルなどの電流センサーを接地線に取り付けるタイプ)

アンケートに回答いただいた事業所のうち約 34%は「風車への雷撃検出装置を設置していない」という回答だった。一方で、「発電用風力設備の技術基準の解釈」において風車への雷撃を検出する装置の設置を求められている冬季雷地域に限定すると、設置していないとの回答は約 10%だった。



図 3-21 風車への雷撃検出装置の設置状況（複数回答）

「落雷事故を踏まえた今後の再発防止対策等について（中間報告書）」では、「Ⅲ. 今後の再発防止対策等について /2.今後の具体的な再発防止対策等」において、対策の具体例として「レセプターの脱落防止対策の強化」、「チップブレーキ制御用ワイヤーと耐雷用引き下げ導体の分離」、「各設備との接続部等の必要な耐雷補強対策」、「圧油装置等の可燃物の雷通過ルートからの離隔や絶縁化等の実施」を示している。図 3-22 に、主な風車の運用年数別の対策実施・検討状況を示す。「特に検討・対応をしていない」との回答が、各対策に対して約 17%～19%だった。特に運用年数の長い風車を有する事業所で「特に検討・対応をしていない」との回答が多かった。

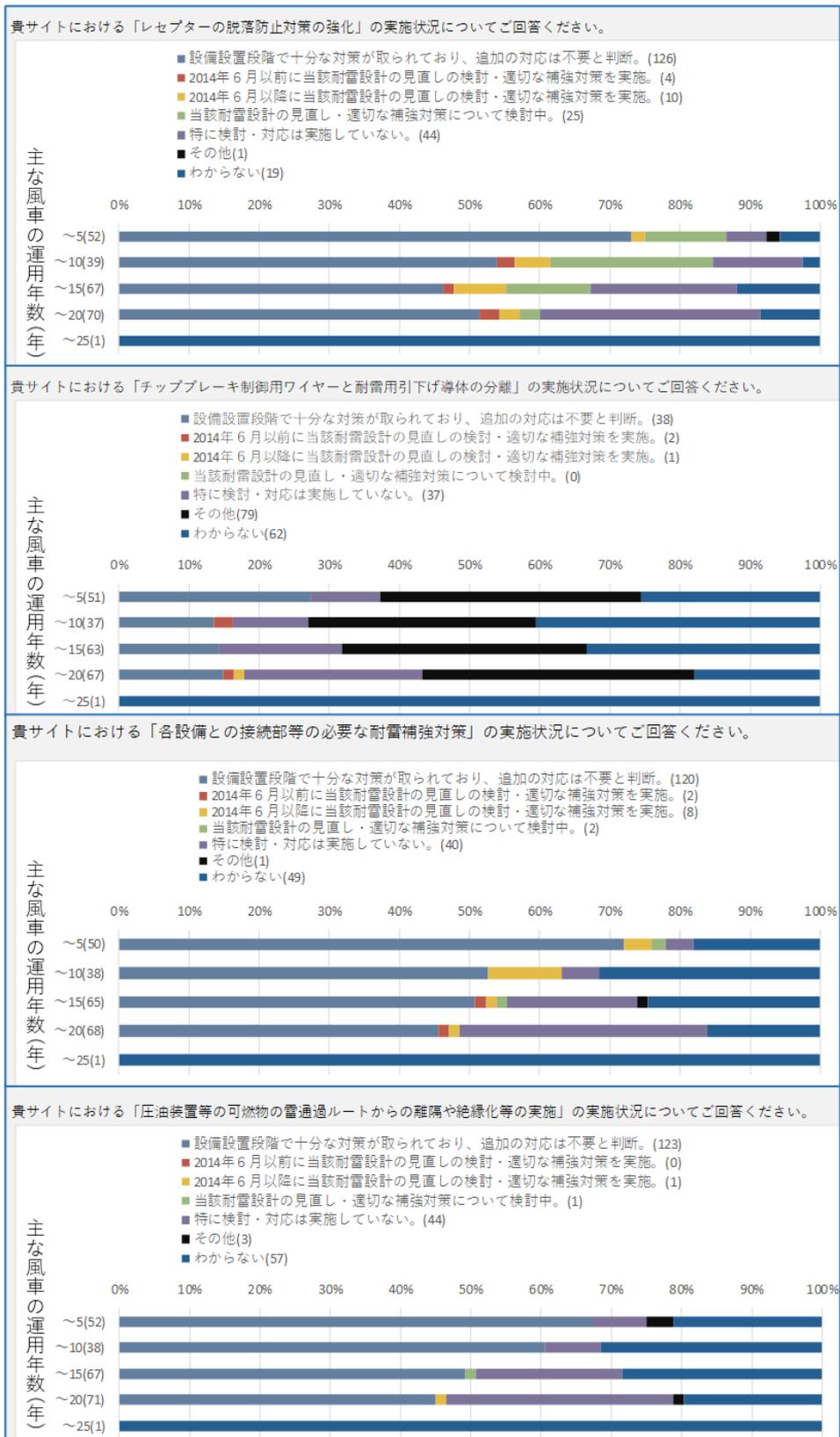


図 3-22 主な風車の運用年数別の、中間報告書に記載の具体的な再発防止対策の実施・検討状況

図 3-23 に、事業所の地域別の、設備面での被雷対策の有効性についての認識を示す。全回答件数 (228 事業所) に対して、現状の措置は一部有効だが不十分との回答 (23 事業所)、現状の措置の効果は低いとの回答 (2 事業所) を合わせた結果は約 11% であり、多くの事業所では現状の設備面での被雷対策が有効であると認識していた。

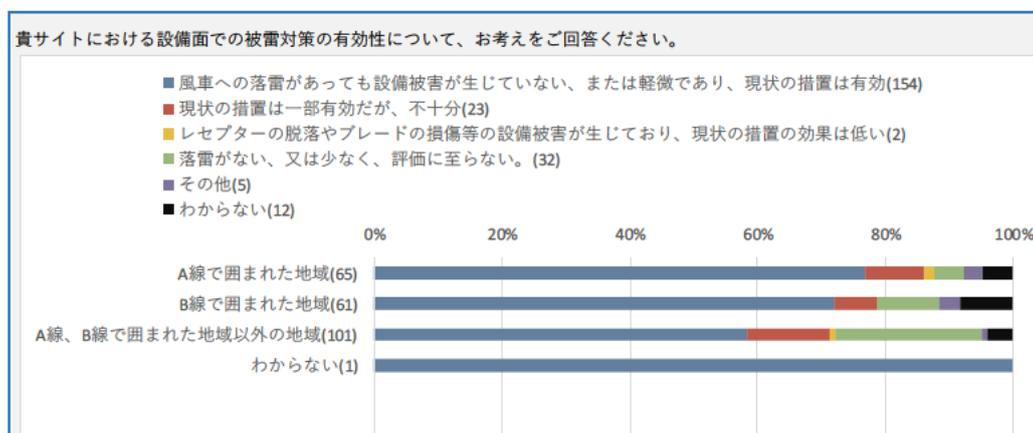


図 3-23 事業所の地域別の、設備面での被雷対策の有効性についての認識

以下に、雷撃から風車を保護する措置を検討する上での難しさについて事業所から寄せられた意見を示す。「レセプター以外への落雷」、「制御系等への落雷被害（電荷の周り込み）」、「高コスト・費用対効果の不明瞭さ」といった観点で難しさを感じるという意見があった。

『雷撃から風車を保護する措置を検討する上での難しさ』

レセプター以外への落雷

- ・ 風車への落雷は、必ずブレードレセプターに落ちるとは限らず、ブレード側面に受雷することもある。
- ・ レセプター以外への落雷を防ぐことは難しいと考える。落雷検出したら風車を速やかに停止することが重要と考えている。
- ・ 保護装置を設置しても、なかなか有効に働かない可能性がある（誘導雷がチップレセプターに落ちてくれない等）。

制御系等への落雷被害（電荷の周り込み）

- ・ ダウンコンダクターを完備しても制御系への電荷の回り込みがあり、制御機器が損傷することがある。

高コスト・費用対効果の不明瞭さ

- ・ ブレードの耐雷強度向上改造のコスト高、実施した場合の評価が難しい。
- ・ 費用対効果が不明であり、検討しても追加措置には至らない。
- ・ 設備も古く導入コストが見合わない。
- ・ 保護装置を取り付けたとしても、風車の自動停止を行うのみで、直撃雷が避けられるわけではなく、導入コストにメリットが感じられない。
- ・ コストパフォーマンスに優れた雷撃検出装置を選択するのが難しい。
- ・ 本体の雷保護は風車メーカーの設計に委ねるしかない。それ以外だと大がかりな避雷設備を検討するしかないため費用がかかる。

耐雷性能基準の設定

- ・ 求められる耐雷性能の基準が曖昧であり判断が難しい。
- ・ 自然現象に対して、有効な対策、必ず大丈夫という策がない。
- ・ 耐雷性能の基準が色々あり、判断が難しい。
- ・ 雷の被害は電荷量の大きさに限定するものではなく、受雷の状態（受雷場所、雷電流の流れなど）によって異なるものであり、耐雷能力を持っていればよいと言うものでもない。従って、雷電流を効率的に地上に流す方法を検討する必要がある。
- ・ 求められる耐雷性能の基準が曖昧であり判断が難しい。

冬季雷地域境界サイトでの対応判断

- ・ 境界の狭間で判断が困難であったが強雷地域の対策を実施。

4) 被雷等が予想される際の事前対応

図 3-24 に、事業所の調整出力別の、雷雲接近等を把握した際の運転停止の実施状況を示す。また図 3-25 に、雷雲接近等を把握した際の、設備の脱落・飛散を想定した運転調整の実施状況を示す。規模の小さい事業所において、運転停止、運転調整を決まった手順（自動、手動）または主任技術者等による判断によって実施している割合が大きかった。また、分析の結果、雷雲接近等による運転停止、運転調整のいずれか片方でも実施している事業所は約44%だった。

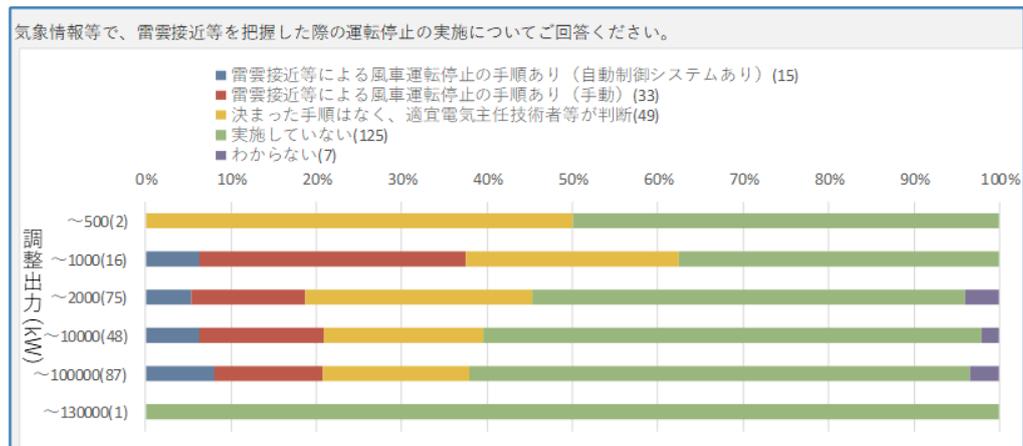


図 3-24 事業所の調整出力別の、雷雲接近時の運転停止の実施状況

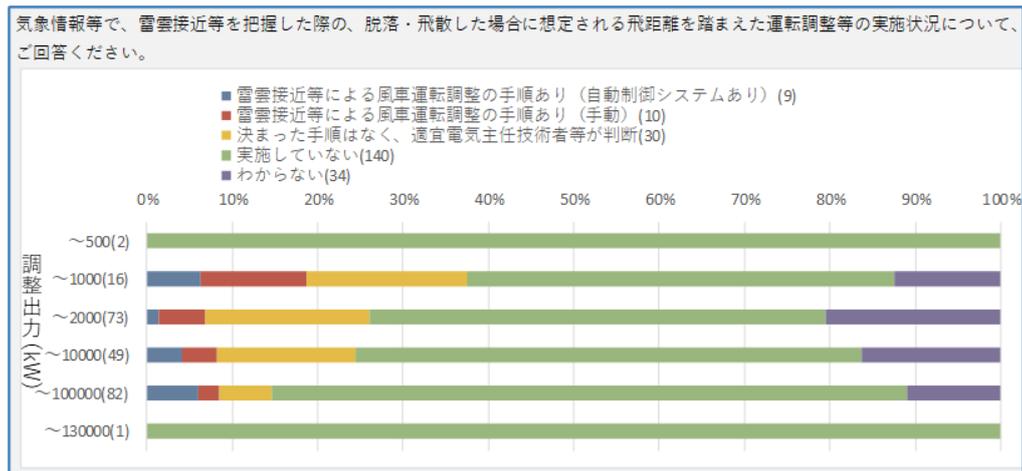


図 3-25 事業所の調整出力別の、雷雲接近時の運転調整の実施状況

以下に、被雷等が予想される際の事前対応を検討する上での難しさについて事業所から寄せられた意見を示す。「事前予測・把握の困難さ」、「事前対応判断の基準設定」といった観点で難しさを感じるという意見があった。

『被雷等が予想される際の事前対応を検討する上での難しさ』

事前予測・把握の困難さ

- 電力会社の雷情報等で予測できない急な発雷があり、あらかじめ対応することには限界があると感じている。落雷検出器が動作した場合に、速やかに風車を停止することが重要と考えている。
- サイトと管理事務所が車で 15 分程度と離れており、サイトの状況は監視カメラでの映像による確認となっており、状況把握が多少困難な状態。
- 雷雲と落雷位置（距離／雷雲の移動方向）の相互関係を規定することが難しい。
- 冬季雷は気象庁レーダー・電力会社発雷情報を用いても予想が難しい。
- 海に囲まれた山岳にあるため風車サイト上空で雷雲が発生することがあるため予想は難しい。
- 落雷監視のためだけに人員を配置できないので、落雷の可能性がある場合は作業の合間に予報等を確認するが、作業中に急速に雷雲が発達して慌てて風車から降りたこともあった。事前に予測するのも限界があるので、作業の可否を判断するのは、落雷の高レベルの予測精度と相当の熟練が必要。
- 雨雲から急速に雷雲へと発達することがあるため、気が抜けない（風車の運転や現場作業員への注意喚起）。
- 雷が接近していたとしても、雷の規模の把握が難しく、停止した方がいいのか運転継続の方がいいのか判断しづらい。
- 陸地から数十 km 先に設置された風車であり、陸上監視所からは、雷雲の状態を掴むことが困難である。
- 気象情報で雷雲が観測されない場合でも落雷する場合があります、予測の難しさを感じる。

事前対応判断の基準設定

- ・ 雷雲接近と判断する際の具体的な基準（特に落雷クーロン値と発電所と落雷地点の距離）を決めることが難しく試行中。
- ・ 落雷接近と判断する基準が難しいと感じた。
- ・ 雷雲接近を通知するサービスの注意報・警報は高精度だが、なまじ性能がよい分、頻繁に検知するためアラームや通知メールが非常に多くなる。
- ・ 気象情報提供会社からの情報の正確性や、運転再開時の判断について難しいと感じる。
- ・ 落雷監視装置の落雷箇所には誤差があり、落雷そのものも少ないため、どの程度で「雷雲接近」と判断するか決められない。
- ・ 雷雲接近により保安停止するうえで、接近範囲の設定及び、運転再開の判断決定が難しいため、サイト周辺の落雷特性を調査し、接近範囲、運転再開目安を決定した。
- ・ 雷が接近していたとしても、雷の規模の把握が難しく、停止した方がいいのか運転継続の方がいいのか判断しづらい。
- ・ 襲来警報装置により雷雲が接近すると風車を一時停止し、遠ざかると自動で再起動するが、その検知感度にばらつきがあり、特に強風時の雷雲で不要に風車の発停を繰り返すことはブレードが繰り返シストレスを受けるので好ましくない。
- ・ 半径何 km 以内での発雷予測を根拠とすればよいか判断に迷う。
- ・ 風車近辺で雷が発生した場合の停止基準を策定することは難しい。

発電機会の逸失

- ・ 必ずしも直撃を受ける訳でもなく、稼働率が低下する。
- ・ 事前対応にて停止するが、結局落雷がなく停止による収入減が大きかったことが多い。

5) 被雷後の対応

図 3-26 に、事業所の地域及び調整出力別の、風車への被雷検知等による運転停止等の実施状況を示す。また、図 3-27 に風車への被雷検知による運転停止の際の閾値を示す。全回答件数（224 事業所）に対して、被雷検知等により自動停止するという回答（111 事業所）、手動停止するという回答（10 事業所）を合わせた結果は約 54%だった。傾向として、冬季雷地域の事業所、出力規模の大きい事業所で実施している割合が多かった。被雷検知による運転の自動停止の閾値は回答にばらつきがあったが、「300 クーロン」、「500 アンペア」との回答が多く見られた。



図 3-26 事業所の地域及び調整出力別の、風車への被雷検知等による運転停止等の実施状況

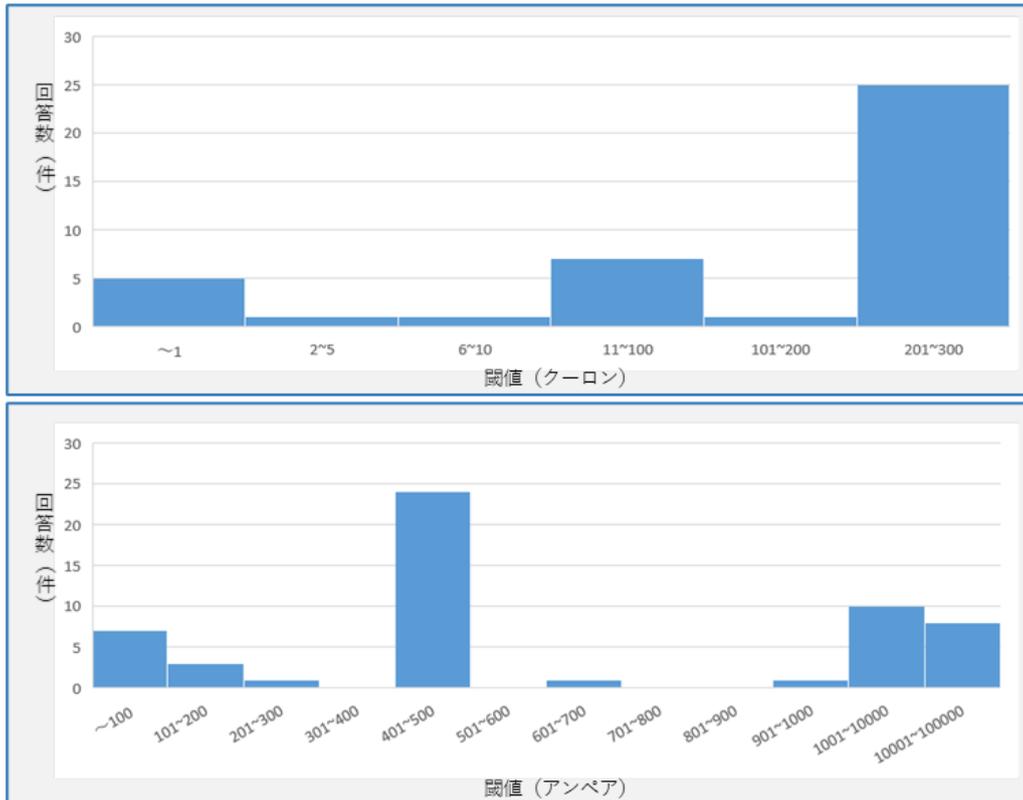


図 3-27 風車への被雷検知による運転停止の際の閾値

図 3-28 に、事業所の調整出力別の、風車への直撃雷（レセプターへの被雷、レセプター以外への直撃雷）発生時の点検の実施状況を示す。また、図 3-29 に実施する点検の内容を示す。全回答件数（219 事業所）に対して、風車への被雷が発生した場合に運転を停止し点検を行っている・行う予定であるとの回答（188 事業所）、点検を行う仕組みを構築中との回答（5 事業所）を合わせた結果は約 88% だった。傾向として、規模の大きな事業所で運転を停止し点検を行う・行う予定であるとの回答が多かった。具体的な点検内容として、風車への直撃雷での点検を実施する、または実施する予定のほぼ全ての事業所から「目視によるブレードの外観点検」との回答があった。

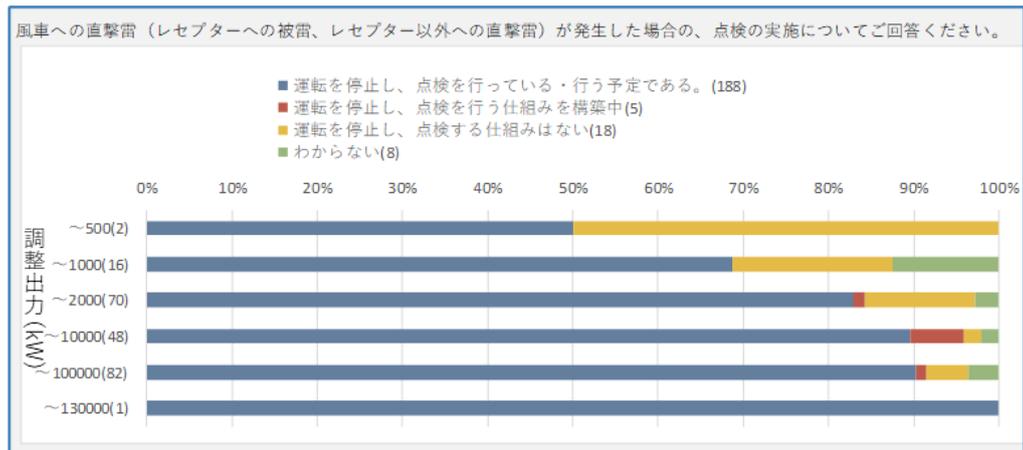


図 3-28 事業所の調整出力別の、風車への直撃雷（レセプターへの被雷、レセプター以外への直撃雷）発生時の点検の実施状況

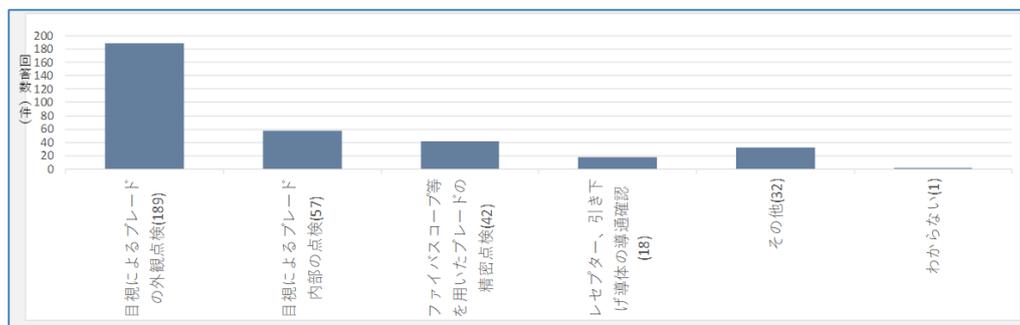


図 3-29 風車への直撃雷（レセプターへの被雷、レセプター以外への直撃雷）発生時に実施する点検の内容

図 3-30 に、事業所の地域別の、被雷後の点検で補修不要と判断した場合の風車管理の状況を、図 3-31 に被雷後の点検で補修不要と判断した場合のレセプターの導通試験頻度の状況を示す。全回答件数（198 事業所）に対して、風車への被雷後の点検で補修不要と判断した場合の風車管理として風車・ブレードへの落雷数を管理しているとの回答（風車の号機別、かつブレード No.別に管理しているとの回答（46 事業所）、ブレード No.別には管理していないとの回答（34 事業所）の合計（80 事業所））は約 40%だった。傾向として、冬季雷地域の事業所で落雷数を管理している割合が多かった。また、全回答件数（192 事業所）に対して、風車への被雷後の点検で補修不要と判断した場合の風車管理としてレセプター点検・導通試験の頻度を増やしているとの回答（38 事業所）は約 20%だった。

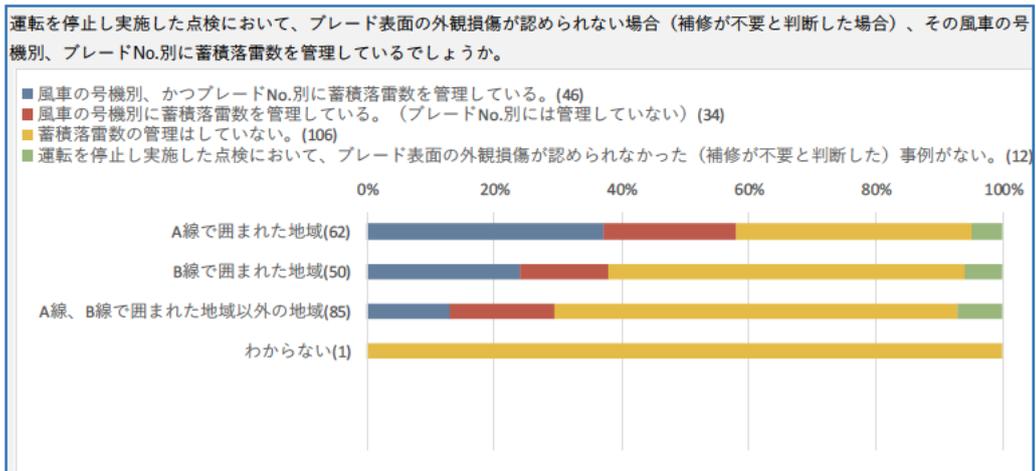


図 3-30 事業所の地域別の、被雷後の点検で補修不要と判断した場合の風車管理の状況

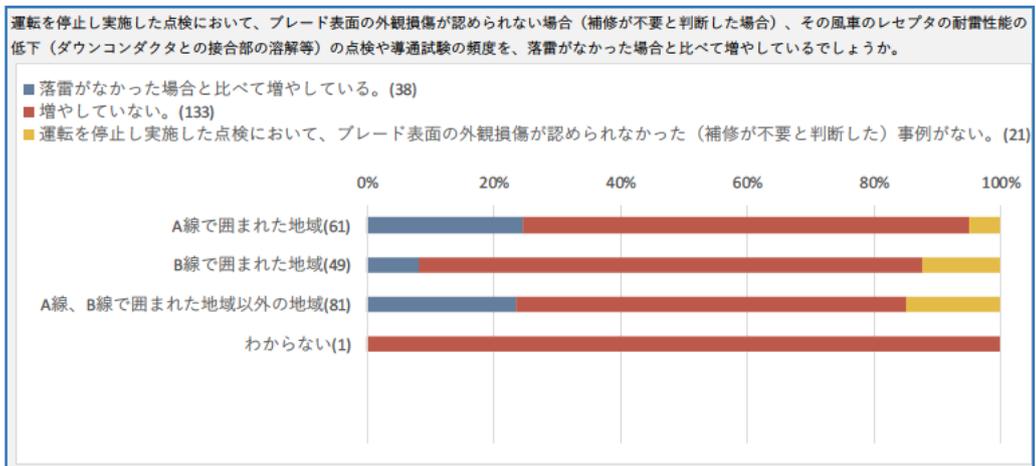


図 3-31 事業所の地域別の、被雷後の点検で補修不要と判断した場合のレセプターの導通試験頻度の状況

図 3-32 に、事業所の地域及び調整出力別の、風車設備近傍（発電所・ウインドファーム敷地内）への落雷後の安全点検の実施状況を示す。全回答件数（219 事業所）に対して、風車設備近傍への落雷後の安全点検を何らかの形で実施しているとの回答（ルールに基づき臨時的な現場点検を行うとの回答（48 事業所）、ルールはないが必要に応じて現場点検を行うとの回答（63 事業所）、遠隔での点検・確認を行うとの回答（5 事業所）、日常点検の範囲・タイミングで現場点検を行うとの回答（43 事業所）を合わせた結果（159 事業所）は約 73%だった。事業所の地域及び規模による実施状況の違いは無かった。事業所からは自由記述にて、風車設備近傍への落雷後での安全点検は被害や異常の有無確認の観点で有効であるとの意見を多数いただいた。

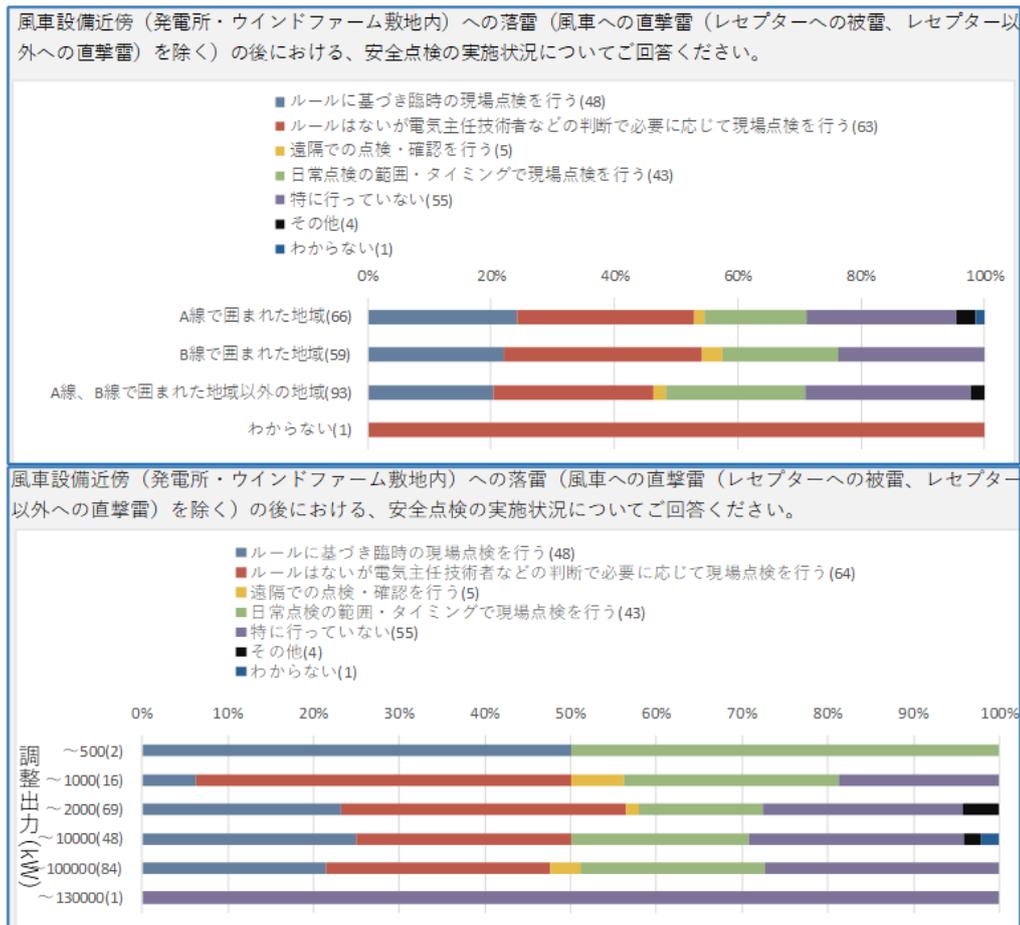


図 3-32 事業所の地域及び調整出力別の、風車設備近傍への落雷後の安全点検の実施状況

以下に、被雷後の対応を検討する上での難しさについて事業所から寄せられた意見を示す。「外観点検での損傷把握・判断の困難さ」、「落雷検出装置の閾値設定」といった観点で難しさを感じるという意見があった。

『雷後の対応検討での難しさ』

外観点検での損傷把握・判断の困難さ

- ・ 軽微な落雷痕であっても、内部の構造部材の損傷（炭化）の可能性があり、外観点検で判断するには困難である。
- ・ 落雷痕か汚れは判断が難しい時がある。
- ・ 確実なダメージがあれば別だが被雷後ダメージを把握することが困難だと感じる。
- ・ 雷後に運転開始する判断をすること。外観点検のみで運転再開してもよいか考えるため。風車メーカーに判断を仰ぎ運転再開について決定している。
- ・ 外観点検だけではダメージの程度がわからない。
- ・ 雷検出後のブレード点検では、地上から目視点検と写真撮影、試運転によるブレード異音確認を行っているが、健全性の判断が難しい。

落雷検出装置の閾値設定

- ・ 被雷検出が CT・接地線型のため、検出閾値の設定が難しい。
- ・ 自動停止、警報（停止せず通告のみ）の閾値決定が困難で現実には経験による。
- ・ 直撃雷検出装置（サージモニタ）を設置しているが、その動作閾値を決定することが難しい。
- ・ 風車を自動停止させている場合の検出電流の閾値を決定することが難しい。
- ・ 検出電流の閾値を上げたいが、許容値が不明であるため、メーカーと相談をしている。
- ・ 風車を自動停止させている場合の検出電流の閾値を決定することが難しく専門家の意見を伺った。
- ・ ソレノイド式の直撃雷検出装置を設置しているが、付近の落雷による誤検出の懸念がある。

天候によるブレード点検開始の遅れ

- ・ 機器の点検は落雷域を抜ければできるが、ブレードの点検は天候の回復を待って、ドローンにより実施するため、ブレードの綿密な点検は後日となっている。
- ・ 被雷後に目視点検を実施しているが、特に冬季は積雪や暴風雪ですぐに点検できない場合は、例えば運転上問題ない状況であっても長時間停止させることになってしまう。

ブレード以外の機器への対処

- ・ 低圧機器の故障や、機械部品の損傷（ベアリング電蝕など）が発生した場合、それらの原因が直撃雷あるいは誘導雷であることを特定することは困難であり、またその発生頻度が多くないことから費用をかけた原因究明や再発防止対策につながる機会が少ない。風車を自動停止させている場合の検出電流の閾値を決定することが難しい。
- ・ 被雷による風車構成電気部品へのストレス蓄積は、確実に電気機械的な劣化現象を伴う。ついては、それに対応する実効的な点検手法の構築が難しい。

高コスト・費用対効果の不明瞭さ

- ・ そもそも設備が古く被雷を検出する仕組みがない。新たに導入する場合のコスト負担が大きい。

6) 風車への被雷対応の具体事例

以下に、「風車への被雷後の円滑な対応に寄与したと考えられる設備上及び運用上の工夫」について回答いただいた事例を示す。

<p>『風車への事前措置』</p> <p>風車設備の対策強化</p> <ul style="list-style-type: none">・ 以前の落雷にて、対策を強化していた。・ ブレードの事前の落雷対策が強固で、損傷が起きなかった。・ 被雷の早期把握のための措置・ ログスキーコイル、異常発報システムの設置。・ 風車が受雷を検出したら自動的に発報を行う。・ SCADA アラームで異常を検知できた。
<p>『被雷後対応のための事前準備・環境整備』</p> <p>機材・部品確保</p> <ul style="list-style-type: none">・ 予備品の保有。・ メーカー系 O&M 業者が近隣に常駐しており、小型部品のストックがある。 <p>点検・補修要否の判断に係る事前準備</p> <ul style="list-style-type: none">・ サージカウンター動作後の点検マニュアルを策定して点検を実施。・ 被雷痕の判断に資する過去事例の写真等を整備していた。・ ブレードの判定マニュアルを整備した。・ メーカーによるトラブルシューティングの作成。過去履歴ファイルの作成。 <p>対応者とサイトとの物理的距離・対応者の手配</p> <ul style="list-style-type: none">・ メーカー技術者が近くにいる・ 協力事業者が近隣に常駐している。協力会社の現地対応が迅速。発電所エリア内に協力業者が常駐している。・ メンテナンス事業者が近隣に常駐している。・ 技術員が常駐しているため、迅速に確認対応が可能である。・ 電気主任技術者が近隣に常駐。・ 専属のブレード補修専門業者の手配ができた。
<p>『運転中の対応』</p> <ul style="list-style-type: none">・ 雷接近時の運転停止・ 雷近接による自動停止、暴風警報による自動停止、被雷による自動停止の制御を行っている。・ 暴風警報の際の運転停止。雷雲近接による停止を採用している点。・ 雷情報により雷雲接近時は、風車を遠隔停止させる。
<p>『被雷後の対応』</p> <ul style="list-style-type: none">・ メーカーからの支援・ 避雷による亀裂長さの数値をブレードメーカーより取得して判断。・ 風車メーカーの見解が迅速であった。・ カメラ・ドローン等の活用・ 高解像度の望遠カメラで迅速に確認できた。

- ・ ドローンや高解像度の望遠カメラで近づかないと分かりにくい状態も迅速に確認できた。

また、以下に「対応に時間を要した原因と考えられる設備上及び運用上の課題点」について回答いただいた事例を示す。

『風車への事前措置』

風車設備の対策不足

- ・ 当時は雷検出装置を設置しておらず、メンテナンス事業者による定期点検まで被害の確認ができなかった。
- ・ 避雷対策（雷撃センサー未設置）が不十分だった。
- ・ 構造的に避雷対策が不十分で抜本的な対策が必要だった。

『被雷後対応のための事前準備・環境整備』

機材・部品確保の制約

- ・ 高所作業車の手配準備に時間を要した。
- ・ 補修作業用の重機等の準備に時間を要した。
- ・ 予備機器の保有が無かった。 / 交換部品の調達に時間を要した。
- ・ 焼損部品の納期（受注生産品のためメーカーも在庫していない）。
- ・ 交換用の代替ブレードの準備や、翼の輸送や交換工事のための準備に時間を要した。

補修要否の判断に係る制約

- ・ 風車メーカーのブレード調査・画像解析に時間を要した。

メーカー・専門業者への依頼による時間的制約（確認・判断）

- ・ 修復の要否の判断をメーカーに依頼したため、時間がかかった。
- ・ 発電機の電機子、絶縁部が損傷していたが損傷箇所の特定にメーカー技術が必要であった。

メーカー・専門業者への依頼による時間的制約（補修）

- ・ メーカー技術員の来所の日程調整に時間が掛かった。
- ・ メーカー直営作業員による修理となったため、人員手配に時間を要した。
- ・ ブレード補修専門業者確保に時間を要した。

発電事業者内部での対応プロセスの制約

- ・ 補修方法の策定と準備のため、社内並びにメーカーとの調整に時間を要した。
- ・ ブレードの損傷が激しくまた修復方法も決定していたが、最終決定に至るまでに時間が掛かった。
- ・ 予算措置を行ったうえでの修繕対応となったことから、年度を跨いでの対応となり時間を要した。

『被雷後の対応』

天候の影響

- ・ 悪天候により補修が遅れた。
- ・ 積雪により保守業者の到着が遅れた。
- ・ 豪雪・積雪により風車に近づくことができなかった。
- ・ ブレード外観目視点検が濃霧に阻まれ翌朝までできなかった。

周辺環境の影響

- ・ 夜間のため、外観点検ができなかった。
- ・ 大型クレーンを使うための、アクセス道路の拡幅整備に時間を要した。
- ・ 搬入路の許認可取得。

「風車への被雷後の円滑な対応に寄与したと考えられる設備上及び運用上の工夫」にて挙げられている項目のうち、特に「風車設備の対策強化」、「機材・部品確保」、「点検・補修要否の判断に係る事前準備」、「対応者とサイトとの物理的距離・対応者の手配」は、「対応に時間を要した原因と考えられる設備上、及び運用上の課題点」にて挙げられている「風車設備の対策不足」、「補修要否の判断に係る制約」、「機材・部品確保の制約」、「メーカー・専門業者への依頼による時間的制約」に対応したものになっている。そのため、これらの課題点に対する解決策として参考にすることができると思われる。

3.2.3 ヒアリング調査

今後の落雷対策及び規制のあり方の検討のために、ヒアリング調査を実施した。アンケート調査は発電事業者を対象としたため、ヒアリング調査は風車メーカー、メンテナンス事業者を対象に行った。表 3-4 に、ヒアリングの実施先を示す。

表 3-4 落雷対策及び規制のあり方の検討におけるヒアリングの実施先

風車メーカー	1	A 社
	2	B 社
メンテナンス事業者	3	C 社
	4	D 社

以下に、ヒアリングにていただいた主な意見を示す。

設備面での落雷対策について

- ・ メーカーが異なれば設計思想が異なるため、一律の規制は難しい。
- ・ 技術的にはレセプターの性能向上、ブレード構造、アースの開発が中心である。
- ・ 雷データの計測の蓄積が進めば、今後の対策の検討に利用できるかもしれない。
- ・ 損傷を拡げないことが重要である。適切な風車の停止・点検といった運用でカバーできる部分も多いと考える。
- ・ SCADA、落雷検出装置での常時監視は効果的である。
- ・ ドローンや新しいセンシング技術の導入の可能性がある。
- ・ ブレード損傷確認に AI を適用することは、現状難しいと考える。

設備導入・運用面での落雷対策について

- ・ SCADA、落雷検出装置の常時監視といった良い装置があるものの、導入されていない場合がある。
- ・ 雷警報による風車の事前停止の判断は、メーカーと検討することがある。
- ・ 被雷後の現地確認を実施する検査員の技術の平準化が必要と考える。
- ・ 欧州の洋上風力では、Sea Roc 社の Sea Planner というシステムにおいて波高、風、落雷、気圧を一元的に管理し、北海で運用されている加盟事業者に情報を提供してい

る。これの日本版ができるとういのではないか。

- ・ メーカーとして、点検要領の作成支援によって事業者に対して何をすべきかを伝える必要があると考えている。

3.3 落雷対策事例の整理

3.3.1 技術開発・適用事例

落雷対策の技術開発、適用事例を表 3-5 に示す。

表 3-5 近年の落雷対策技術開発・適用事例

ブレードの健全性保持
保安対象： ブレード
機能： ブレードの保護
保安上の意義： ブレードの健全性保持→損傷防止(早期発見)→発電支障発生機会減少→利用可能率向上(Availability)
概要： <ul style="list-style-type: none"> ・高速で回転することによるブレードの摩耗や着氷は耐雷性の低下やレセプタ等の落雷対策機器の健全性を招く可能性がある。 ・高速で回転している風力発電機用ブレードを飛来物や砂、雹などから守るシートの開発や、ブレードへの着氷物をヒータによって解凍する技術等が検討されている。
出所) 藤倉ゴム工業(株), WIND EXPO 2017 ~第5回 [国際] 風力発電展~ 三菱重工(株), 「着氷防止装置」, 特開 2011-122533(P2011-122533A), 2011年6月23日
落雷検出装置
保安対象： タワー・発電所全体の各機器
機能： 電荷量、電流値および落雷時刻の記録と落雷の規模の計測
保安上の意義： 落雷検出・記録→異常早期発見→損傷防止(早期発見)→発電支障発生機会減少→利用可能率向上(Availability)
概要： <ul style="list-style-type: none"> ・風車に対する雷撃の情報を取得することは、異常の早期発見による被害の拡大防止・稼働率向上に資するのみでなく、今後の落雷対策検討の基礎情報としても重要である。 ・タワーや各機器に取り付けられた装置によって落雷の電荷量、電流値、落雷時刻等の記録を行う取り組みが行われている。 ・計測されたデータは外部ネットワークとの連携も想定されている。
出所) (株)サンコーシャ Web カタログ, 「雷撃検出・襲雷警報関連製品」

センサーによる故障・異常検知
保安対象： ブレード
機能： 状態把握・損傷検知
保安上の意義： 先進センサー技術→異常早期発見→損傷防止(早期発見)→発電支障発生の機会減少→利用可能率向上(Availability)
概要： <ul style="list-style-type: none"> ・ブレードの状態把握や損傷検知にセンサーを用いることで、遠隔監視や常時監視が可能となる。 ・誘電率や歪み、表面温度等をセンシング機器によって取得し、状態把握や損傷検知に生かす取り組みが行われている。 ・センサーによるデータを集約、分析することによる機能の高度化も検討されている。
出所) A. Schäfer、中村 哲、「ウィンドウズ オブ Wind(風の窓) 風力発電に於けるセンサーと計測技術-風力発電施設のトレンドと新たな計測技術の挑戦-」, JWPA, 2012, http://jwpa.jp/2012_pdf/90-38mado.pdf , 2021年3月23日閲覧 FineSensing(株), 「C-CheckIR」, Automation Technology, https://www.finesensing.com/IrNdt/doc/C-CheckIR_jp_rev1.pdf , 2021年3月23日閲覧
ブレードの遠隔点検技術
保安対象： ブレード
機能： ブレード点検作業の効率化
保安上の意義： 遠隔点検技術活用→点検作業の効率化→ダウンタイムの短縮→利用可能率向上(Availability)
概要： ドローンやロボットによる遠隔点検技術の開発が進んでいる。遠隔点検技術の活用により、従来の目視点検と比べ、以下の点について効率化が見込まれる。 <ul style="list-style-type: none"> ・点検精度を向上できる(強風下でなければドローンによる近接カメラ点検が可能である) ・緊急事態直後に迅速に点検することができる(雷撃等の事故後、近接カメラ撮影により迅速に損傷状況を確認できる、天候に左右されずに検査可能な技術もある) ・点検時間を短縮できる(目視点検の場合はロープワークによる高所作業が必要になる) ・点検データをデジタル化できる(データを記録し、設備の維持管理に利用することができる。修理作業の効率化にも貢献できる)
出所) エアロセンス株式会社・古河産業株式会社, 「エアロセンス、ドローンによる風力発電所のブレード点検を開始 ~古河電工グループの商社である古河産業と新たな市場を開拓~」, 2016年8月31日, https://www.furusan.co.jp/release/160831.htm , 2021年3月23日閲覧 SJN News 再生可能エネルギー最新情報, 「GE、風力発電機の検査用に遠隔操縦ロボット開発」, 2012年6月17日, http://sustainablejapan.net/?p=1777 , 2021年3月23日閲覧

3.3.2 風車への被雷対応事例

3.2.2 のアンケート調査で風車への被雷対応の具体事例について調査を行って整理した。ここでは、具体事例の詳細について4事業者に別途質問票を作成し追加の調査を行った。その結果を以下に示す。

事例の詳細では、自社内の発電所で発生した事故の経験や他での事故の発生を踏まえ、風車への事前措置として雷検知装置等の設置や望遠カメラの導入が進んでいる事例や、自社で設置した検知器とSCADAの連携について、SCADA連携をメーカーに依頼することにより装置の設置が円滑に進んでいる事例があった。メーカーとの連携に関しては、被雷後の速

やかな連携のため、風車メーカーと月例ミーティングを開催している例もある。

また、ブレード点検に係るマニュアルを整備する際、ブレード知見者及び海外ブレード補修専門業者から意見を取り入れている例、被雷後の運転・停止判断について自社判断の精度向上のため海外のメンテナンス企業のブレード補修研修に参加している例もあった。

表 3-6 風車への被雷対応事例の詳細

風車への被雷対応事例の詳細		
風車への事前措置	雷検知装置等の設置	<ul style="list-style-type: none"> 過去に事故を経験し社内基準を制定して、雷撃検出装置や雷数把握のための落雷カウンターを導入した。 本システムを運用しながらカットアンドトライで雷センサーの基準を設定した。運転中の直撃雷を避けつつ稼働基準が高くなるよう設定している。
	メーカーとの連携	<ul style="list-style-type: none"> SCADA による異常検知について、自社で検知器を追加して SCADA と連携させた。 連携についてはメーカーに依頼することで困難なく調整することができた。
事前準備	ブレード点検に係るマニュアル整備	<ul style="list-style-type: none"> ブレード損傷事故を契機に整備していた判定マニュアルを1か月程度かけて見直した。 ブレード知見者及び海外ブレード補修専門業者から意見を取り入れた。
	自社判断基準の精度向上	<ul style="list-style-type: none"> 被雷後に運転継続可否の損傷事例と比較し自社で判断している。 判断精度向上のため、海外のメンテナンス企業のブレード補修研修に弊社の担当者が過去に参加している。
	過去事例の整理	<ul style="list-style-type: none"> ブレード破損事故を契機に社内基準を制定し、被雷痕の判断に資する過去事例の写真等を整備した。
運転中の対応	雷雲接近による運転事前停止	<p>【雷雲接近時に風車運転の手動停止】</p> <ul style="list-style-type: none"> 事故を経験し、社内基準を設け、気象情報提供会社からの情報を得て、雷雲接近時に風車運転停止を手動にて行っている。 風車から一定の圏内に落雷があった場合に停止し、一定の時間・圏内に雷がない場合に運転再開している。 過去数年の落雷実績から社内で適正な基準を制定した。 <p>【雷雲接近時に風車運転の自動停止】</p> <ul style="list-style-type: none"> 被雷によるブレード損傷被害が発生していたため、雷センサーを導入した。雷雲接近時に風車運転停止を自動にて行っている。 システムを運用しながらカットアンドトライで雷センサーの基準を設定した。 運転中の直撃雷を避け、稼働基準が高くなるよう設定している。
被雷後の対応	望遠カメラの活用	<ul style="list-style-type: none"> 系列他発電所で事故が発生したこともあり、系列他発電所長の勧めで導入した。 ブレード損傷被害が発生していたため、高解像度の望遠カメラによる確認を行っている。 必ず最新の点検写真と比較しながら点検を実施している。自社でのテストや経験則から撮影方法を確立した。 望遠カメラで拡大写真データを取り、更に PC による拡大、

		風車メーカーとのデータ確認を行い、最終的に事業者で修理要否の判断を行っている。
	メーカーとの連携	<ul style="list-style-type: none"> 被雷後のメーカーとの速やかな連携のため、風車メーカーとは月例ミーティングを開催しているほか、必要に応じて都度連絡を取り合っている。

3.4 落雷対策及び規制のあり方検討

3.2.2(2) に示したアンケート調査の結果と、「4 有識者委員会の運営」に示す「新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー）委員会」での議論内容を踏まえて、今後の落雷対策及び規制のあり方を検討した。検討は、アンケートの質問区分である「①回答事業所の基本情報」、「②落雷事故・トラブルの発生状況及び具体的な内容」、「③雷撃から風車を保護する措置の実施状況」、「④被雷等が予想される際の事前対応」、「⑤被雷後の対応」に分けて行った。

3.4.1 アンケート回答事業所の基本情報を踏まえたあり方検討

(1) 小規模・運用年数が長い事業者への周知

図 3-33 に、小規模・運用年数が長い事業者への周知の観点での、落雷対策及び規制のあり方を示す。アンケート調査より、新規製造していない国内メーカーを運用中の事業所が一定数存在し、また主な風車の運用年数が 11 年以上の事業所が約 60%であった。また、風車の運用基数が 1 基のみの事業所が約 32%、5 基以下の事業所が約 59%であった。これらの状況を踏まえて、国や業界団体等による、小規模事業者、運用年数が長い事業者への落雷対策及び規制等の周知が今後も重要であると考えられる。



図 3-33 今後の落雷対策及び規制のあり方（小規模・運用年数が長い事業者への周知）

(2) 複数回の落雷を前提とした落雷対策・規制のあり方検討

図 3-34 に、複数回の被雷を前提とした落雷対策及び規制のあり方検討が必要であることを示す。アンケート調査より、「発電用風力設備の技術基準の解釈」において別図 1 の A 線で囲まれる冬季雷地域では、1 年間で風車及びその近傍に複数回落雷する可能性があること

が確認された。また、冬季雷地域以外でも運用期間中に複数回落雷する可能性があることが確認された。そのため、風車が複数回落雷することを前提とした落雷対策・規制のあり方の検討が必要と考えられる。



図 3-34 今後の落雷対策及び規制のあり方（複数回の落雷を前提とした落雷対策・規制のあり方検討）

3.4.2 落雷事故・トラブルの発生状況及び具体的な内容を踏まえたあり方検討

(1) 落雷対策強化の広域的な推進

図 3-35 に、落雷対策強化の広域的な推進の観点での、落雷対策及び規制のあり方を示す。アンケート調査より、落雷に起因するトラブルは「発電用風力設備の技術基準の解釈」において別図 1 の A 線で囲まれる冬季雷地域であるかに関わらず発生していることが確認された。そのため、公衆安全を担保し安定的な電力供給を維持するために、落雷対策の強化を可能な範囲で広く推奨することも今後検討していく必要があると考えられる。また、トラブルの内容は「ブレード裂傷」だけでなく、「電力設備（発電機、変圧器、電力変換装置、電力ケーブルなど）の故障」や「低圧・電子制御機器の故障」の割合も多く、有識者委員からは、電力設備の故障、低圧・電子制御機器の故障において対策機器の設置が適切でないケースもあるとの意見があった。そのため、電力設備・制御機器等の被雷対策の強化や適切な設置を推進することが有効と考えられる。この際には、併せて技術開発も進める必要があると考えられる。

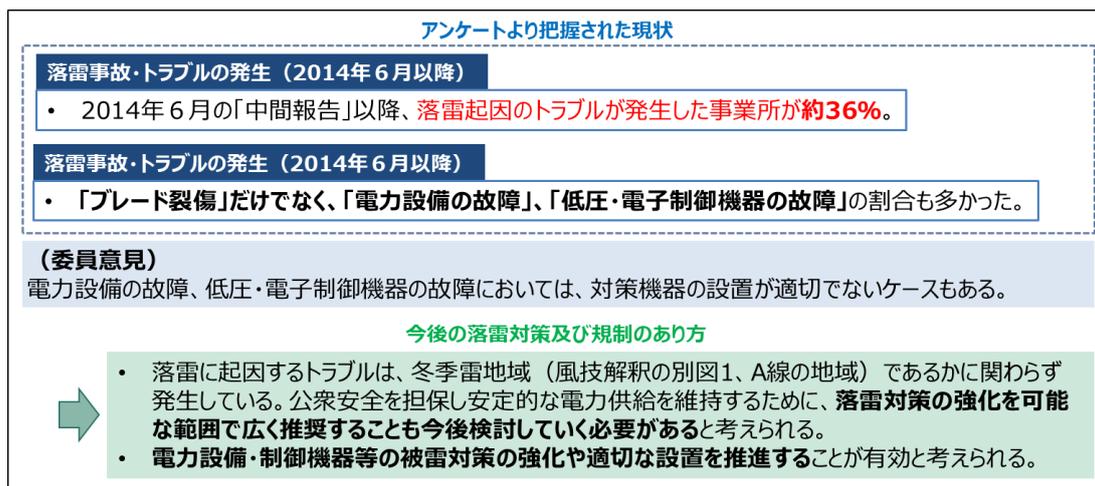


図 3-35 今後の落雷対策及び規制のあり方（落雷対策強化の広域的な推進）

3.4.3 雷撃から風車を保護する措置の実施状況を踏まえたあり方検討

(1) レセプター・ダウンコンダクターの対応電荷量

図 3-36 に、レセプター・ダウンコンダクターの対応電荷量の観点での、落雷対策及び規制のあり方を示す。レセプター・ダウンコンダクターの対応電荷量は、「発電用風力設備の技術基準の解釈」において別図1のA線で囲まれる冬季雷地域では600クーロン以上、別図2のB線で囲まれる夏季雷地域では300クーロン以上であることが求められているが、アンケート調査より、これらを満たすことができていない事業所があることが確認された。そのため、基準に合致した改修検討・設備導入を事業者に求めていく必要があると考えられる。一方で、改修等への対応が困難な事業者に対しては、雷雲接近時の運転停止の推奨、被雷後のレセプター・ダウンコンダクターの導通確認といった運用面での対応を求めていく必要もあると考えられる。

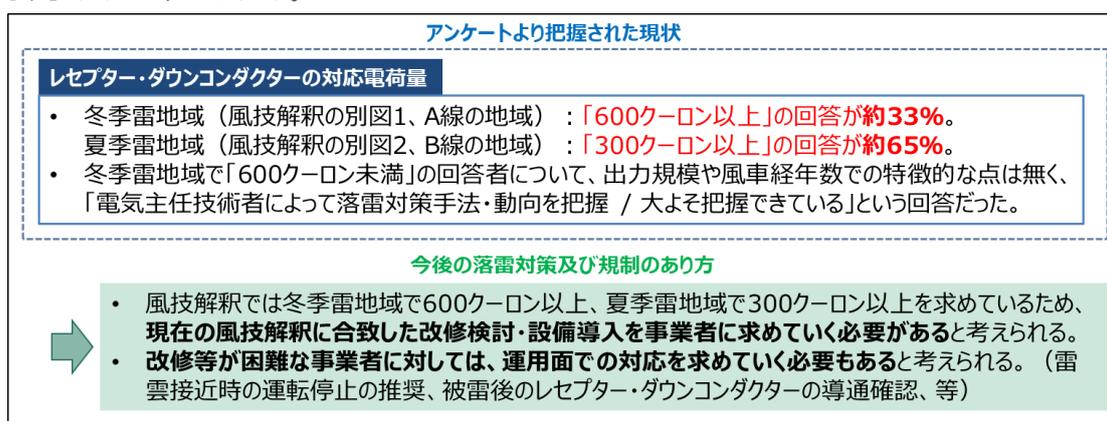


図 3-36 今後の落雷対策及び規制のあり方（レセプター・ダウンコンダクターの対応電荷量）

(2) レセプター・ダウンコンダクターの対雷機能

図 3-37 に、レセプター・ダウンコンダクターの対雷機能の観点での、落雷対策及び規制のあり方を示す。アンケート調査より、多くの事業所で耐雷機能の健全性確認を実施していた。また、健全性確認を行っている事業所のうち、約 45%が異常発見を経験していた。レセプターへの被雷とは限らないものの風車の運用中に複数回の被雷が想定され、また異常発見の事例も多いことから、引き続きレセプター・ダウンコンダクターの対雷機能の健全性確認を求めていくことが重要と考えられる。

アンケート調査では、レセプター・ダウンコンダクターの異常を発見した事業所のうち、不具合対応に 1 か月以上を要したとの回答が約 38%あった。電力の安定供給の観点から、異常による対応の更なる削減のため、今後は長期間の耐雷性を持つレセプター・ダウンコンダクターの開発、実装が求められる。有識者委員会においては、開発のための知見蓄積として、風車のリプレースにおける廃棄ブレードの損傷調査をすることが提案された。

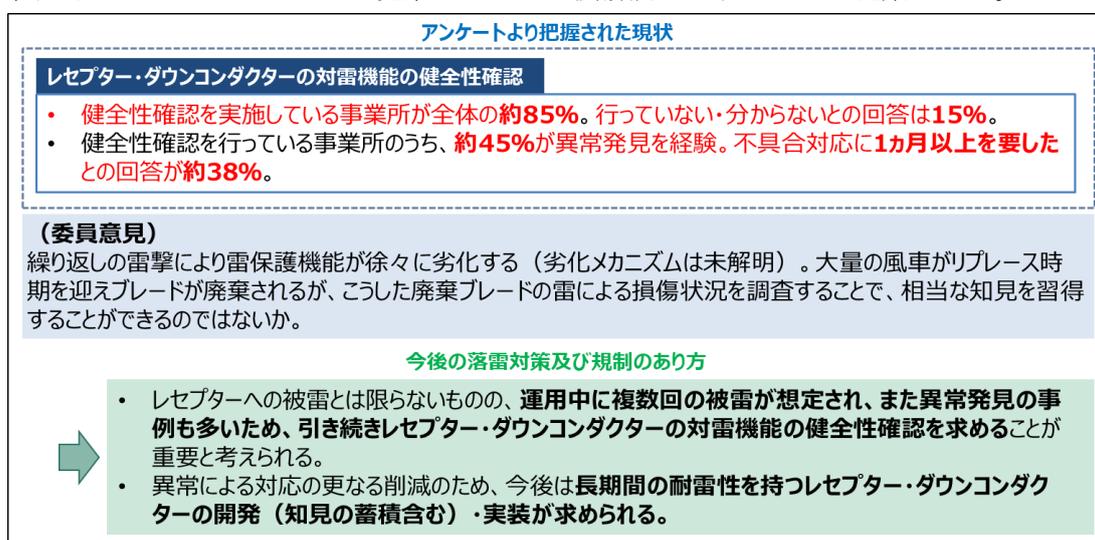


図 3-37 今後の落雷対策及び規制のあり方（レセプター・ダウンコンダクターの対雷機能）

(3) 中間報告書に示される再発防止策への対応

図 3-38 に、中間報告書に示される再発防止策への対応の観点での、落雷対策及び規制のあり方を示す。アンケート調査では、「レセプターの脱落防止対策の強化」、「チップブレーキ制御用ワイヤーと耐雷用引き下げ導体の分離」、「各設備との接続部等の必要な耐雷補強対策」、「圧油装置等の可燃物の雷通過ルートからの離隔や絶縁化等の実施」について、運用年数の長い風車を有する事業所で「特に検討・対応をしていない」との回答が多かった。運用年数の長い風車を有する事業所においては、設備面での対応が困難な場合が想定されるため、中間報告書を踏まえた事故防止の検討を運用面での対応することを前提に実施いただくことが考えられる。

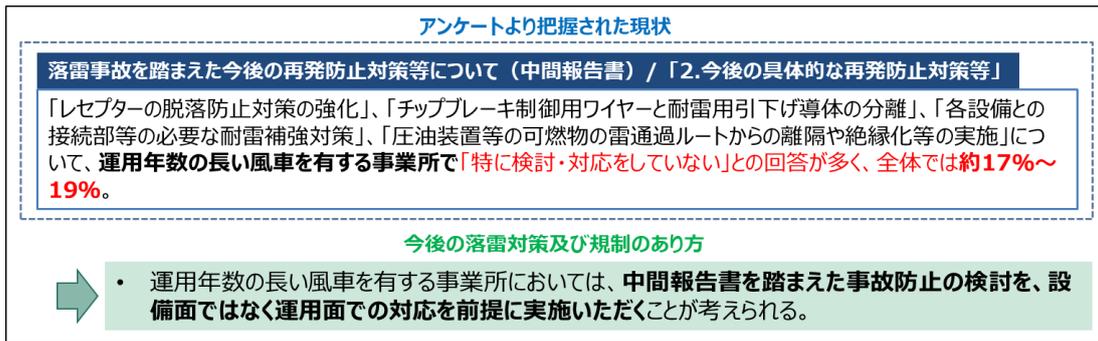


図 3-38 今後の落雷対策及び規制のあり方（中間報告書に示される再発防止策への対応）

(4) 風車への落雷検出装置の設置

図 3-39 に、風車への落雷検出装置の設置の観点での、落雷対策及び規制のあり方を示す。アンケート調査より、「発電用風力設備の技術基準の解釈」において別図 1 の A 線で囲まれる冬季雷地域ではほとんどの事業所で風車に雷撃検知装置を設置していた。一方で、回答いただいた事業所全体では、約 34%が雷撃検知装置を設置していなかった。これに対して、有識者委員からは、損傷が生じたか否かに関わらず被雷データを今後蓄積していくことで地域による被雷特性、損傷特性、レセプターの補足率が明らかになり、雷被害の再発防止にも重要であるという意見があった。現在は冬季雷地域に対して雷撃検出装置の設置が求められているが、冬季雷地域に限らず雷撃検出装置の設置をより広く普及させていくことが有効と考えられる。また、アンケート調査において「コストパフォーマンスに優れた雷撃検出装置を選択するのが難しい」との意見があった。そのため、雷撃検出装置の更なる普及のためには、コストパフォーマンスに優れた雷撃検出装置の開発も求められる。

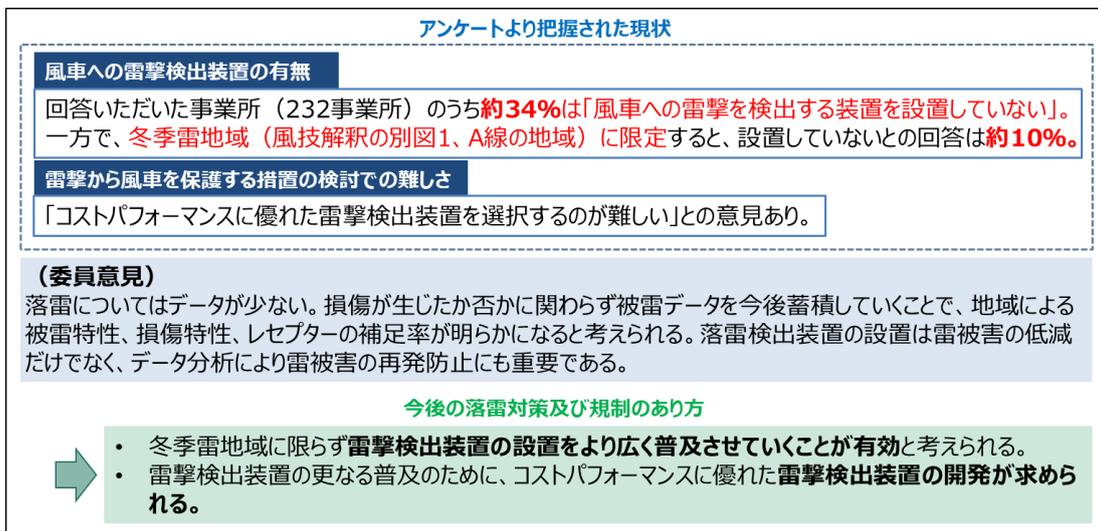


図 3-39 今後の落雷対策及び規制のあり方（風車への落雷検出装置の設置）

(5) 風車を保護する措置の困難さ

図 3-40 に、風車を保護する措置の困難さの観点での、落雷対策及び規制のあり方を示す。アンケート調査では、「レセプター以外への落雷」、「制御系等への落雷被害（電荷の周り込み）」、「高コスト・費用対効果の不明瞭さ」の観点で難しさがあるとの意見があった。「レセプター以外への落雷」に対しては、設備面の高度化（キャップ型のレセプター等）が有効と考えられる。「制御系等への落雷被害（電荷の周り込み）」に対しては、電力設備・制御機器等の被雷対策の強化や適切な設置を推進することが有効と考えられる。「高コスト・費用対効果の不明瞭さ」に対しては、被雷後のレセプター・ダウンコンダクターの導通確認、風車別の落雷数管理、点検頻度の増加といった、被雷後の運用・管理においてカバーする方向性も考えられる。

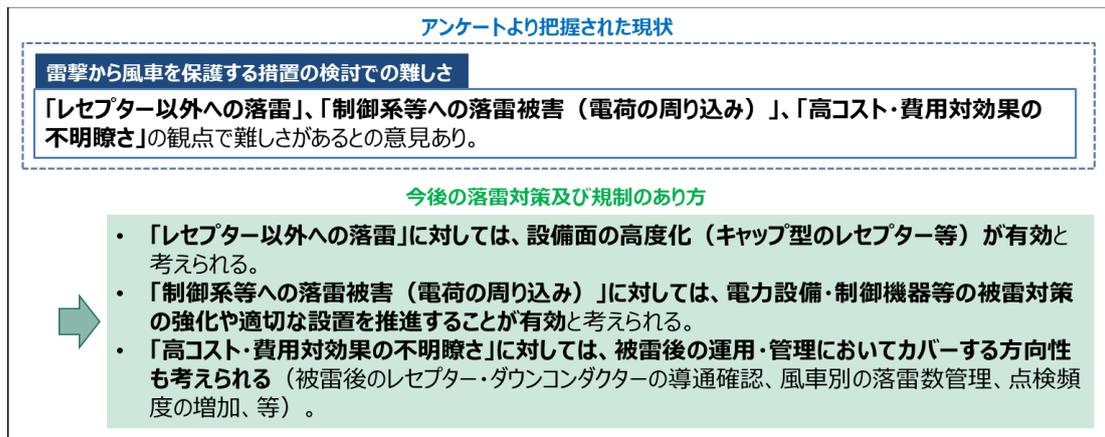


図 3-40 今後の落雷対策及び規制のあり方（風車を保護する措置の困難さ）

3.4.4 被雷等が予想される際の事前対応を踏まえたあり方検討

(1) 雷雲接近等の把握による運転停止・運転調整

図 3-41 に、雷雲接近等の把握による運転停止・運転調整の観点での、落雷対策及び規制のあり方を示す。アンケート調査より、雷雲接近等による運転停止・運転調整を何らかの形で実施している事業所は約 44% だった。一方で、有識者委員からは、雷雲が近づく時は風が良く吹き発電面で条件がよい時でもあるため今後適切なメンテナンスや耐雷性能を高める技術の進歩によって運転調整・停止措置の実施がより最適化されることが望まれる、という意見があった。運転調整・停止措置の最適化のため、今後より一層の設備上の耐雷性能の向上が求められるとともに、運転停止・運転調整を推奨するケース、必ずしも求めない条件（民家や公道からの距離、設備上の被雷対策、点検頻度等）を検討・提示していくことも有効と考えられる。また、アンケート調査において「事前予測・把握の困難さ」、「事前対応判断の基準設定の難しさ」を回答する事業所があった。このため、事前停止・調整運転判断における具体事例（雷雲の状況）を整理し、風力事業者間で共有していくことも有効と考えられる。

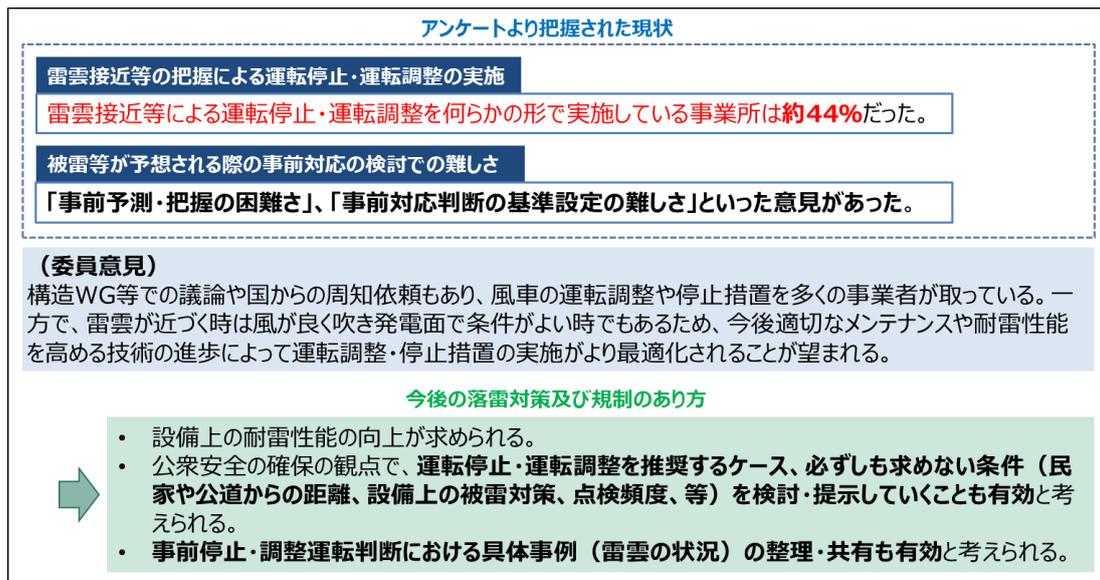


図 3-41 今後の落雷対策及び規制のあり方（雷雲接近等の把握による運転停止・運転調整）

3.4.5 被雷後の対応を踏まえたあり方検討

(1) 被雷検知等による運転停止の閾値

図 3-42 に、被雷検知等による運転停止の閾値の観点での、落雷対策及び規制のあり方を示す。アンケート調査より、運転の自動停止の閾値として「300 クーロン」という回答が多く見られた。一方で、有識者委員から、事故は 10 クーロン程度でも発生することがありこの認識は適切ではないとの指摘があった。特に、「電気主任技術者によって落雷対策手法・動向を把握・又は大よそ把握できている」と回答した事業者においても「300 クーロン」との回答が多く、有識者委員からは、講習会などで風車に落雷が与える影響と適切な落雷検出装置の運用方法、メンテナンス方法を周知する必要があるとの意見があった。アンケート調査では、雷撃検出装置の閾値設定が難しいという事業者意見もあったため、「風車に落雷が与える影響」、「適切な落雷検出装置の運用方法」、「メンテナンス方法」等を継続的・積極的に周知することや、そのための環境整備を今後行うことが必要と考えられる。

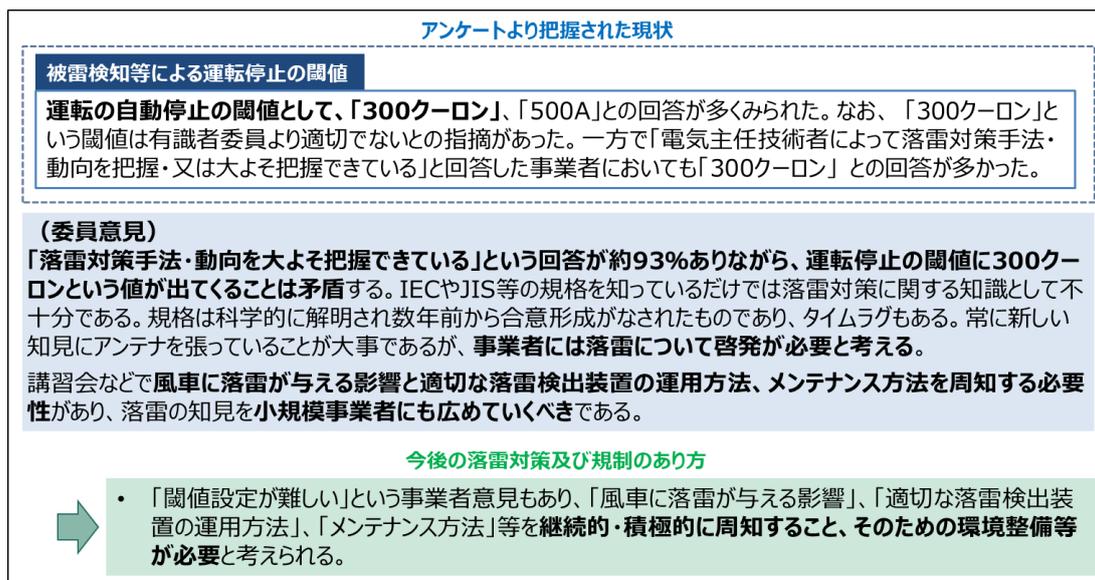


図 3-42 今後の落雷対策及び規制のあり方（被雷検知等による運転停止の閾値）

(2) 風車への被雷時の点検・管理

図 3-43 に、風車への被雷時の点検・管理の観点での、落雷対策及び規制のあり方を示す。アンケート調査より、運転を停止し点検を行う・行う予定のほぼ全ての事業所が「目視によるブレードの外観点検」と回答しており、中間報告書や国からの周知依頼等に基づいて、事業者による被雷後の構造的な健全性確認が行われていることが確認された。今後は、専門作業員（ロープワーク等）によらず簡易かつ高精度にブレードの外観やレセプター・ダウンコンダクターの健全性を確認可能な技術（ドローン・ロボット等）の開発、普及が有効であると考えられる。

風車への被雷による点検で補修不要と判断した場合の風車管理として、風車・ブレードへの落雷数管理を行っているとの回答は約 40%だった。また、傾向として「発電用風力設備の技術基準の解釈」において別図 1 の A 線で囲まれる冬季雷地域の事業所で落雷数の管理をしている割合が多かった。また、風車への被雷による点検で補修不要と判断した場合の風車管理として、レセプターの点検や導通試験の頻度を増やしているとの回答は約 20%だった。運用中に複数回の被雷が想定されること、繰り返しの雷撃により雷保護機能が徐々に劣化することを踏まえた場合、「風車・ブレード単位での落雷数管理」、「点検・試験頻度増加の検討」をより推奨していくことが有効と考えられる。

アンケート調査では、被雷後の対応において「外観点検での損傷把握・判断の困難さ」を挙げる事業者があった。これに対して、日本風力発電協会にて「風力発電設備ブレード点検および補修ガイドライン」⁶が策定されており、今後ガイドラインの普及によって、事業者における外観点検での損傷把握・判断の困難さが緩和されるものと考えられる。

⁶ 一般社団法人 日本風力発電協会「風力発電設備 ブレード点検および補修ガイドライン（JWPA G0001（2020））」http://jwpa.jp/pdf/JWPAguideline_blade_inspection_repair.pdf, 2021年3月23日閲覧

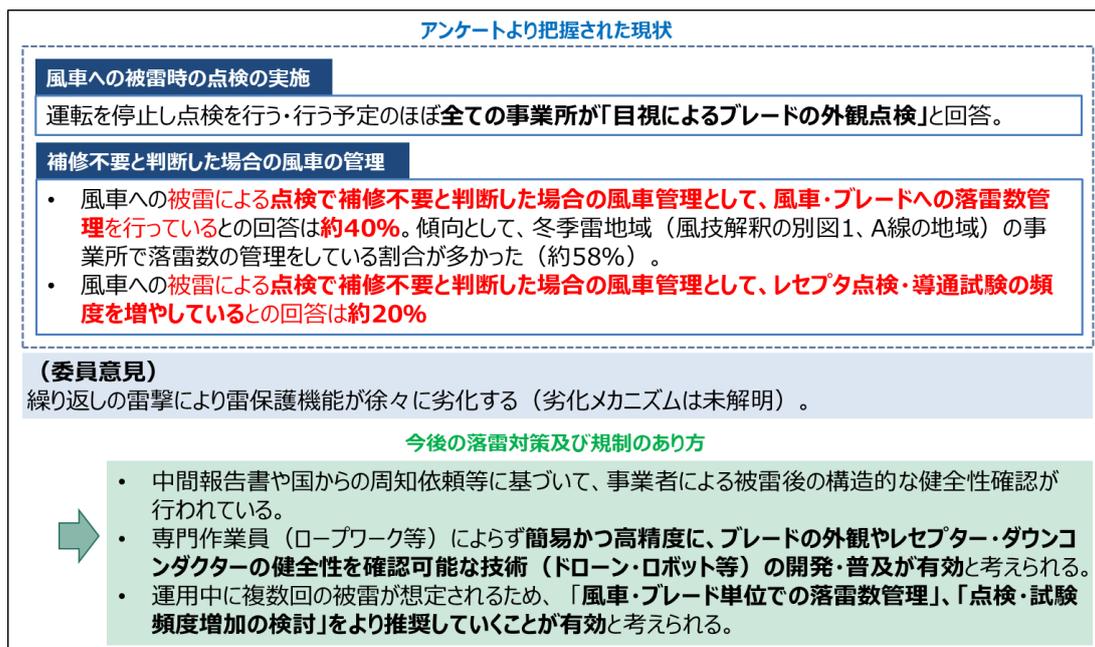


図 3-43 今後の落雷対策及び規制のあり方（風車への被雷時の点検・管理）

3.5 落雷対策技術開発ロードマップ検討

アンケート調査や委員会での議論等を踏まえ、今後の落雷対策のうち国・産業界・学会等が長期にわたって取り組むべき落雷対策関連技術のロードマップ案（5 ヶ年）を、①高度化技術開発、②人材育成、③制度設計、④環境影響評価（落雷エリア検討）の観点で整理した。ロードマップ案を図 3-44 に示す。ロードマップの項目間を結ぶ矢印は、ある項目が他項目の必要条件となる関係性や、ある項目の進展が他項目の進展にも寄与する関係性を示している。ロードマップ内の「アンケート・議論より」と記載される項目は、本事業でのアンケート調査、委員会での議論から抽出されたものである。

①高度化技術開発については、最近でも雷により風力発電設備の事故が生じている背景から、設備の耐雷機能の強化・低コスト化や、風車の損傷を速やかに把握できるような健全性確認技術の高度化が検討されている。開発されている個別技術については本節にて後述する。②人材育成については、現状風車の点検手法や技術には事業者間のばらつきがある状況であり、過去に落雷によるブレードの損傷を点検で見逃したことによって被害が拡大した事例もあることから、被雷後の健全性確認・補修判断に必要な知識・技能の整理が求められる。また、アンケートでは事業者の落雷対策に関する知識と最新の知見にギャップが見られる結果となったことから、委員会においてセミナー等による最新知見周知の必要性についても議論された。③制度設計については、現在、落雷被害低減や落雷対策のためのデータ・知見の蓄積が求められており、例えば耐雷機能の耐久性に関する知見蓄積や運用時の事例共有が有効と考えられる。また、データ・知見の蓄積によって、事前停止や健全性確認等の更なる最適化に資する風車の運用に関する方針が提示されることが期待される。高度化技術の導入促進においては、将来的に雷対策技術の認証スキームが構築されることも効果的と考えられる。また、安全性の担保を第一としつつも、事業者による高度化技術導入を阻害

しないようなインセンティブ設計も有効と考えられる。④環境影響評価については、安全を確保しつつ稼働率を下げない風車の最適な運用には雷被害リスクの評価が不可欠であるため、落雷対策エリアの見直し、高度化を今後も継続して進めていく必要があると考えられる。制度設計の1つとして記載したデータ・知見の蓄積は、環境影響評価の高度化につながることも期待される。

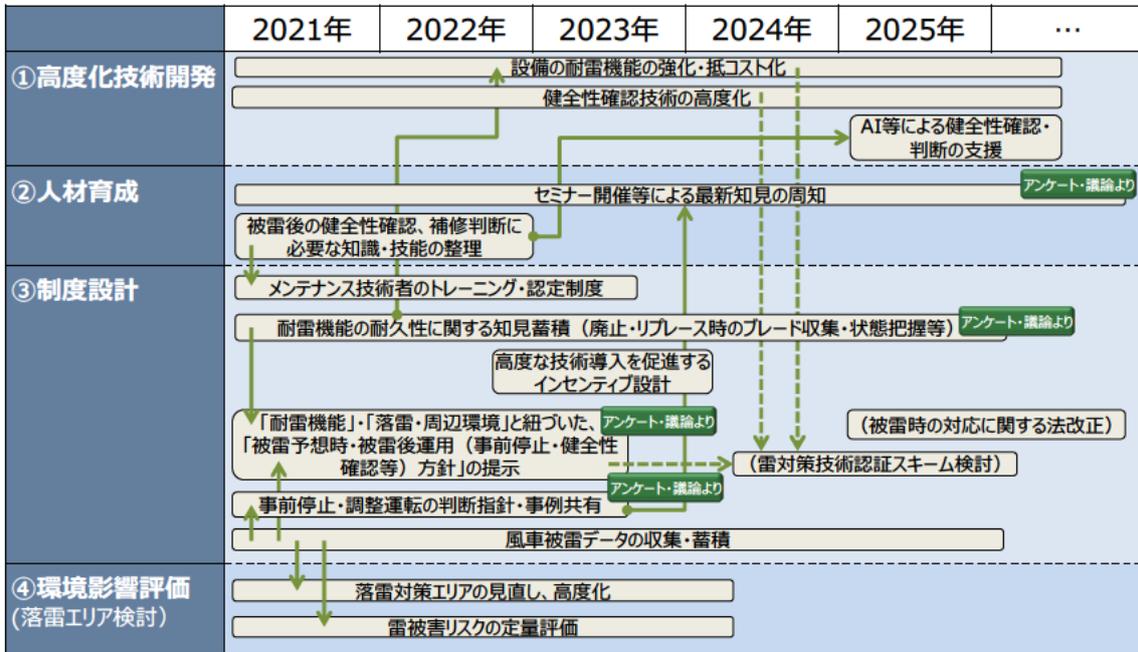


図 3-44 落雷対策関連技術のロードマップ案

①高度化技術開発について、これまでの技術開発動向と、今後の技術開発ロードマップ案を図 3-45、図 3-46 に示す。これまでの技術開発動向は、主に電気学会技術報告にて報告されている落雷対策技術について、各風車の部品に対する落雷対策や雷撃検知、被雷後の健全性確認に関する技術の観点から整理した。各個別技術は開発段階によって色分けをしており、技術開発ロードマップにおいても同様である。図 3-45 の各表側に対して、代表的な技術や現状の課題、最新の取組みを整理したものが表 3-7 である。表 3-7 では古くから用いられている技術から最新の技術までを対象とし、落雷対策技術に対する現状の課題や今後の技術開発によって解決が望まれる事項を記述した。例えば、ブレード本体に対する落雷対策技術では、雷被害を受けやすい部品であるブレードに対して、運用時の摩耗や汚損を防ぐ技術や健全性が損なわれたことにいち早く気づくことができるモニタリング技術が今後求められている。

このような課題を踏まえた今後の技術開発ロードマップが図 3-46 である。図 3-46 で触れられている各技術項目は、文献調査や委員との議論、ヒアリング等から整理している。特に、「アンケート・議論より」と記載される項目は、本事業でのアンケート調査、委員会での議論から抽出されたものである。技術や機能の詳細は表 3-8 に示している。各技術項目は、レセプターの高度化や SCADA の活用等、これまでの技術開発動向から継続した発展が期待されるものもあれば、ダウンコンダクターのブレード外への設置や最新のセンシング技術の活用等、まだ検討段階である新規テーマも含まれている。

開発段階	実用化されている		実用化されているが、更に改良が必要		実用化までは至っていない		
	2008年	2012年	2015年	2018年	2020年		
風車本体、関連機器の対策	ブレード	ブレード構造	絶縁体		カーボン材		
		レセプター	レセプターの物理的な増強				
		レセプター	レセプターの改良				
	ダウンコンダクター	接地位置の工夫		断線検出手法			
風向・風速計	ナセル上の避雷針		レーザー観測				
電力機器・制御機器 通信線・配電線	環状接地	通信線の光ファイバー化		超音波観測			
雷撃検知	電流センサ（落雷検出装置）		雷電流観測装置				
	電流センサ（落雷検出装置）		電界強度計測による事前予測		音響情報の活用		
	電流センサ（落雷検出装置）		雷ナウキャストを用いた事前予測		弾性振動の活用		
	電流センサ（落雷検出装置）		LLSの活用		SCADA・CMSの活用		
被雷後の健全性確認	光学観測				モニタリング画像の活用・高度化		
風車への落雷数低減	独立避雷塔の雷遮蔽効果評価手法			架空地線方式の避雷設備			
					ドローン点検		

図 3-45 高度化技術開発 / これまでの技術開発動向

開発段階	実用化されている		実用化されているが、更に改良が必要		実用化までは至っていない	
	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	
風車本体、関連機器の対策	ブレード	ブレード構造	リーディングエッジエロージョン対策技術		動的荷重負荷試験	
		ブレード構造	水抜き穴の詰まり防止・センシング		アンケート・議論より	
		レセプター	レセプターの物理的な増強・レセプターの改良		アンケート・議論より	
	レセプター	被雷による蓄積疲労・断線等への対応技術		アンケート・議論より		
ダウンコンダクター	ダウンコンダクターのブレード外部への設置					
風向・風速計	風況の高精度把握（ナセル上ライダー等）					
電力機器・制御機器 通信線・配電線	機器毎への適切な避雷器設置		アンケート・議論より			
雷撃検知	通信経路の冗長性確保（衛星・5G利用、円滑な切替、等）		電流センサ（落雷検出装置）			
	電流センサ（落雷検出装置）		アンケート・議論より			
	SCADAの活用		狭域落雷標定システム（遠隔）			
	モニタリング画像の活用・高度化		AI等による健全性確認・判断の支援			
被雷後の健全性確認	SCADAの活用		CMSの活用			
	モニタリング画像の活用・高度化		ブレードの応力モニタリング			
	ドローン・ブレード点検ロボットによる耐雷機能確認、軽微な補修		アンケート・議論より			
	ドローン・ブレード点検ロボットによる耐雷機能確認、軽微な補修		応力発光技術の風車翼への応用			

図 3-46 高度化技術開発 / 今後の技術開発ロードマップ案

表 3-7 これまでの技術開発動向における課題と展望

風車本体、関連機器の対策（ブレード構造）	
保安上の意義	ブレード本体の導電性は落雷を受ける頻度に影響し、導電性が低いほど雷撃を受ける可能性が低い。効率的な風力発電のためにブレードは軽量かつ剛性が高い材質が求められるため、導電性の低さとの両立が求められる。
代表的な技術	風車のブレードにはガラス繊維をプラスチックで固めたGFRP（Glass Fiber Reinforced Plastics）や、GFRPより軽量かつ構造的な強度に優れる炭素繊維をプラスチックで固めたCFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）が用いられている。
現状の課題	<ul style="list-style-type: none"> 炭素繊維の通電性に伴う、炭素繊維周辺のプラスチックや接着剤の損傷の危険性 ブレード表面における塩などの汚損 高速回転するブレード先端部の摩耗
最新の取組 今後の展望	<ul style="list-style-type: none"> ブレードに対するカーボン材を接地しない対策やブレード表面にテープ状の金属片を取り付け、落雷が直接ブレード内のカーボン材に飛びつかないように対策 ブレードの健全性を保つ技術や、健全性が損なわれたことにいち早く気づくことができる技術が今後求められる。

出所) 風力発電設備の耐雷健全性維持技術と法規制・規格調査専門委員会, 「風力発電設備の耐雷健全性維持と稼働率向上のための最新技術の動向」, 電気学会技術報告, 2020
 経済産業省, 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, https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/newenergy_hatsuden_wg/pdf/023_01_01.pdf, 2021 年 3 月 23 日閲覧

風車本体、関連機器の対策（レセプター・ダウンコンダクター）	
保安上の意義	ブレードにレセプター・ダウンコンダクターを取り付けることにより、レセプターで受けた雷電流をブレード内のダウンコンダクターを通じて大地へ流し、ブレードの破損を抑制することができる。
代表的な技術	現状、多く用いられているレセプターは、ブレードの面に設置されるディスクレセプター、翼端を金属で形成するチップ（キャップ）レセプター、翼端にて水抜き用ドレンを兼ねて設置されるロッドレセプターなどが挙げられる。
現状の課題	<ul style="list-style-type: none"> 高エネルギーの落雷によるレセプター・ダウンコンダクターの溶損リスク 繰り返しの落雷等が原因でブレードが損傷・変形することによるレセプターの脱落 レセプター外への着雷（異常着雷）への対策 落雷時に接続部に発生するアークへの対策 ダウンコンダクターの断線有無の確認にコストがかかり、風車内部のどこで断線が発生しているかを検出することが困難
最新の取組 今後の展望	<ul style="list-style-type: none"> 溶損に対しては、銅モリブデン等、対溶損性に優れた素材の開発が進められている。ダウンコンダクターに絶縁電線を活用することで溶損を防ぐ取り組みもある。 雷リスクの高い地域では、ブレードの変化に対して頑強な固定方法が求められる。 異常着雷に対しては、レセプターに落雷を導く工夫としてダイバーストリップ等、レセプターの設置数、設置場所の工夫が行われている。 内部アークに対しては冬季雷のような高エネルギーの落雷に対してもアークを発生させない技術が望まれる。 ダウンコンダクターの断線検出手法は進行波や静電容量、X線を用いた手法が提案されている。

出所) 風力発電設備の耐雷健全性維持技術と法規制・規格調査専門委員会, 「風力発電設備の耐雷健全性維持と稼働率向上のための最新技術の動向」, 電気学会技術報告, 2020
 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 洋上風力発電等技術研究開発委員会, 「洋上風力発電システム実証研究（北九州市沖）のレセプター脱落防止対策に係る検討結果報告書」, 2014, https://www.nedo.go.jp/fuusha/doc/kitakyushu20140310_jikotaisakuWG.pdf, 2021 年 3 月 23 日閲覧

風車本体、関連機器の対策（風向・風速計）	
技術区分	物理的防護、情報収集
保安上の意義	風況の把握は発電量の増加や設備への負荷軽減等、安全かつ効率的な風車の運用にとって重要であり、風向・風速計は風車外部に設置されることから雷保護が必要となる。
代表的な技術	風向・風速計に対する雷保護としては、ナセル上に避雷針を設置することが一般的である。また、ナセル上の避雷針はブレードへの落雷を軽減する効果も見込まれる。
現状の課題	<ul style="list-style-type: none"> 風況把握の精度（アップウインド型の風車において、ナセル後方の風向・風速計では既にブレードを通過した風向・風速を感知する状況となり、ブレード上流の風向・風速を正確に把握できない。）
最新の取組 今後の展望	<ul style="list-style-type: none"> ライダーシステムや超音波技術を活用した設備をナセル上やハブに取り付けることにより、ブレード上流の風向・風速を検知する取組が行われている。ブレード上流の風況を把握できることにより、ヨーイングやピッチングを事前に行うことが可能となる。

出所) 風力発電設備の耐雷健全性維持技術と法規制・規格調査専門委員会, 「風力発電設備の耐雷健全性維持と稼働率向上のための最新技術の動向」, 電気学会技術報告, 2020
 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 「日本型風力発電ガイドライン 落雷対策編」, 2008
 ROMO WIND, <https://www.romowind.com/>, 2021年3月22日閲覧

風車本体、関連機器の対策（電力機器・制御機器・通信線・配電線）	
保安上の意義	風力発電システムへの落雷によって逆流雷が生じ、通信・制御機器に被害が発生することがある。落雷時でも安全に風車と通信し、制御を行うことが求められる。
代表的な技術	風力発電設備は、設備への雷撃電流を速やかに大地に分散させて人間及び装置に危険な過電圧を制限するために適切な接地システムが必要とされる。また、逆流雷を抑制するために各機器にSPD(避雷器)が備えられている。信号線に光ファイバーを用いることでサージ電流の侵入を防止することも可能である。
現状の課題	<ul style="list-style-type: none"> 接地設計に対する、雷電流のような過渡的な電流が風車接地システムに流入した際の過渡接地インピーダンス特性の考慮 定常接地抵抗地の予測設計手法の高度化（現状は近似的な手法に依拠している。） 機器毎の適切な避雷器選定手法の開発
最新の取組 今後の展望	<ul style="list-style-type: none"> 最近では、定常・過渡を含めた接地特性を数値電磁界解析手法を用いて予測する技術が確立され、基礎の周辺に様々な接地極が埋設されるような風車の接地設計にも適用され始めている。 このような技術による接地設計の効率化は建設コストの削減にもつながることが見込まれる。

出所) 風力発電設備の耐雷健全性維持技術と法規制・規格調査専門委員会, 「風力発電設備の耐雷健全性維持と稼働率向上のための最新技術の動向」, 電気学会技術報告, 2020
 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 「日本型風力発電ガイドライン 落雷対策編」, 2008
 島根県, 「江津高野風力発電所の雷害対策について」, https://www.pref.shimane.lg.jp/infra/energy/energy/denki_jigyoku/fuuryoku/talisman.html, 2021年3月22日閲覧

雷撃検知	
保安上の意義	風車への雷撃を検知することにより迅速な停止判断や点検を可能とし、被害の低減や稼働率向上につながる
代表的な技術	電流センサによって直接雷撃電流を検出する装置としては、ログスキーコイルが普及している。また、カメラ等によって光学的に雷撃を捉える手法や、離れた位置の電磁界センサによって雷撃を補足する落雷位置標定システム（LLS）も存在する。
現状の課題	<ul style="list-style-type: none"> カメラ等を用いる手法における、風車のダメージに関係する雷電流特性（電流最大値、電荷量、比エネルギーなど）を正確に計測できる技術の確立 LLSにおける雷撃の特定精度向上（wind farmのような風車が密集する場所にて落雷した風車の特定が困難であり、冬季雷のような波尾の長い電流の電荷量を正確に推測できる技術が確立していない。） ログスキーコイルのような落雷検出装置における、周辺落雷による誘導電流に起因する誤検知の対策
最新の取組 今後の展望	<ul style="list-style-type: none"> 雷撃発生時の閃光、雷鳴、振動情報を基に雷撃を検知する技術の研究が進められている。これらの技術は高精度化に課題を残すが、AI技術や監視制御システム（SCADA）の活用によって検知制度の向上や、既存の設備での雷撃検知を可能とする取組も行われている。 今後は、雷撃の情報をより詳細かつ正確に取得可能な技術が望まれる。

出所) 風力発電設備の耐雷健全性維持技術と法規制・規格調査専門委員会, 「風力発電設備の耐雷健全性維持と稼働率向上のための最新技術の動向」, 電気学会技術報告, 2020

被雷後の健全性確認	
保安上の意義	落雷によって風車の健全性が損なわれた状態で運転を継続して状況を悪化させる、事故を生じさせることを防ぐために、被雷後の健全性確認が重要である。
代表的な技術	風車の点検・補修は現状主に専門性を持った作業員、技術員によって行われており、ブレード等の点検・補修では高所作業が必要とされる。
現状の課題	<ul style="list-style-type: none"> 点検・補修作業を人力に頼る部分が大きいため、被雷時に迅速な対応・判断をすることが困難 人員の手配やメーカー・専門業者への相談・点検依頼によるダウンタイムの長期化 被雷後の悪天候（台風、積雪、濃霧等）による確認の遅延
最新の取組 今後の展望	<ul style="list-style-type: none"> ブレード点検に要する時間を短縮し、風車のダウンタイムを低減するためにドローンや点検ロボットの活用が検討されている。 モニタリング画像の空間・時間解像度が向上すれば、適切な画像処理によって健全性確認の遠隔化を可能にすることが期待され、画像処理にはAIの活用も検討されている。

出所) 風力発電設備の耐雷健全性維持技術と法規制・規格調査専門委員会, 「風力発電設備の耐雷健全性維持と稼働率向上のための最新技術の動向」, 電気学会技術報告, 2020

株式会社北拓, <http://www.hokutaku-co.jp/ropework.html>, 2021年3月22日閲覧

日本風力エネルギー学会誌, 「風力エネルギー」, 132, pp.605-608, 2020年2月

風車への落雷数低減	
保安上の意義	雷雲が襲来する方向に対して独立避雷塔を設けることにより、風車への落雷数低減が見込まれる。
代表的な技術	独立避雷塔の雷遮蔽効果の評価手法として、回転球体法や電気幾何学モデルが提案されている。風車直上に架空地線が建設される場合もある。
現状の課題	<ul style="list-style-type: none"> 独立避雷塔の建設コスト 風車本体への雷撃数低減効果を発揮するには、雷雲の襲来方向がある程度特定できる必要があるため、採用可能な場所が限られる。 雷遮蔽効果の評価手法の精度向上（検証データの不足）
最新の取組 今後の展望	<ul style="list-style-type: none"> 近年は洋上ウインドファームに対する独立避雷塔の効果が研究されている。実現に向けて、より正確な評価手法の確立や独立避雷塔建設に伴う費用と事故率低減の費用便益分析などの経済性の評価が求められる。

出所) 風力発電設備の耐雷健全性維持技術と法規制・規格調査専門委員会, 「風力発電設備の耐雷健全性維持と稼働率向上のための最新技術の動向」, 電気学会技術報告, 2020
風力発電設備の耐雷健全性維持技術と法規制・規格調査専門委員会, 「雷害対策のための風力発電接地システム」, 電気学会技術報告, 2012
島根県, 「隠岐大峯山風力発電所雷害対策(避雷塔設置)工事について」, https://www.pref.shimane.lg.jp/infra/energy/energy/denki_jigyo/fuuryoku/raigai.html, 2021年3月22日閲覧

表 3-8 今後の技術開発ロードマップにおける個別技術

リーディングエッジエロージョン対策技術	
技術区分：	構造健全化
保安対象：	ブレード
保安上の意義：	雨滴や砂塵等によってブレードリーディングエッジが損傷するエロージョンの対策を行うことでブレードの構造健全性を維持し、落雷時の破裂や破断等のリスクを回避する。
概要：	リーディングエッジの健全性を保つ技術は、レトロフィットの対策デバイス、地上加速試験装置、エロージョン時期の予測技術、発電量への影響予測技術、ダウンタイム低減と品質維持のための施工技術、SCADAやセンサによる検知技術、雨観測技術、エロージョンを回避する風車制御技術、ブレード自体の構造強化技術等多岐にわたる。先行している欧米の技術は日本の雨環境での使用可能性が自明でなく、国内サプライチェーン構築の意義が高い。地上試験装置や風洞実験等の地上試験結果と、実機損傷の整合が取れることが今後の重要課題である。
出所) Cortes, et al., materials 2017, 10, 1146 藤倉コンポジット株式会社, http://www.fujikuradenzai.com/ , 2021/3/22 閲覧 R&D, https://www.rd-as.com/ , 2021年3月22日閲覧	
動的荷重負荷試験 (ブレード)	
技術区分：	構造健全化
保安対象：	ブレード
保安上の意義：	国内に製造拠点を持つブレードメーカーと連携し、製造欠陥や外的要因を人為的に加えたブレードの負荷試験を行い、健全性への影響を理解することで、風車選定時の仕様決定や、メンテナンスマニュアルの構築に活用する。
概要：	動的荷重負荷試験装置はブレードのルート側を固定し、スパン方向に分散荷重を与えることができる設備であり、負荷試験中のブレードの状態を計測する各種計測器を備える。製造時のプロセスコントロールや、落雷・乱流・エロージョン等の外的要因によるブレード健全性への影響や、事故時の損傷モード等を実際の負荷試験で把握することが可能である。
出所) DTU, https://www.vindenergi.dtu.dk/english/news/2018/12/dtu-creates-a-new-way-of-testing-wind-turbine-blades?id=3792ada4-cb1e-46e4-9812-916df9438f12 , 2021年3月22日閲覧 Windpower Engineering & Development, https://www.windpowerengineering.com/a-path-to-a-more-realistic-testing-center-for-wind-turbine-blades/ , 2021年3月22日閲覧	
水抜き穴の詰まり防止・センシング	
技術区分：	構造健全化
保安対象：	ブレード
保安上の意義：	水抜き穴の詰まりをいち早く検知することで、落雷被害の低減につながる
概要：	ブレードには内部に水が溜まらないように水抜き穴があるが、穴が小さいため詰まりやすい構造になっている。詰まった状態だと水抜きがされず、ブレード内部の水分量が増加し、この状態で落雷があると水分が水蒸気になり、内圧が上がることでブレードが耐え切れず損傷してしまう可能性がある。水抜き穴が詰まらない仕様でのブレード開発や、詰まった際にセンサーなどで詰まったことが確認できたり、内部の水分量が高いなど分かるような技術開発が必要である。

レセプターの物理的な増強・レセプターの改良（カッパーストリップ・ダイバーストリップ）	
技術区分：	物理的防護
保安対象：	ブレード
保安上の意義：	異常着雷を防ぐことにより落雷によるブレード破損を防止する。
概要：	導体を含むデバイスをレセプター近傍のブレード表面に装着し、レセプター外に着雷した雷電流をレセプターに導くことにより、雷放電のブレード貫通を抑制する。カッパーストリップ、ダイバーストリップ共に導体である金属の対溶損性に課題があり、現在は対溶損性の高い銅モリブデン材の知見から高耐久のデバイス開発が進められている。
出所) 風力発電設備の耐雷健全性維持技術と法規制・規格調査専門委員会, 「風力発電設備の耐雷健全性維持と稼働率向上のための最新技術の動向」, 電気学会技術報告, 2020	
被雷による蓄積疲労・断線等への対応技術（ダウンコンダクター損傷対策技術）	
技術区分：	ダウンコンダクターの健全性確認と性能向上
保安対象：	ダウンコンダクター
保安上の意義：	複数回の落雷でも損傷が生じにくいダウンコンダクターの開発や、センシング等で損傷部位の確認が可能になれば落雷時の被害低減につながる
概要：	導通試験によりダウンコンダクターの断線は確認できるが、どこの箇所かで断線しているかまでは確認できないのが現状であるため、センサー等によって断線している箇所が正確に把握できる技術が求められる。また、ダウンコンダクターの素材は銅線が一般的だが、落雷によって断線しにくい素材の開発も重要になる。レセプターとダウンコンダクターの繋ぎ目部分が特に断線しやすい傾向にあり、改良の必要性がある。
ダウンコンダクターのブレード外部への設置	
技術区分：	健全性確認・メンテナンス
保安対象：	ダウンコンダクター
保安上の意義：	通常、ダウンコンダクターはブレード内部に設置されるため健全性の確認が困難であるが、外部に設置することで容易に点検を行うことが可能となる。
概要：	歪みにより導体に応力がかからないよう間隔を空けてダウンコンダクターをブレード表面に設置する技術であり、実現には風車メーカーの協力が必要である。ブレード表面にダウンコンダクターが設置されることにより、落雷が生じた場合、ブレード表面には焦げが生じるものの、ブレード内部に放電が発生しないため補修がブレード表面のみで済むことが利点である。また、ダウンコンダクターがブレード外部に設置されているため状態確認が容易となる。

風況の高精度把握（ライダーシステムによる風向・風速分析技術）	
技術区分：	負荷の軽減
保安対象：	YAW・主要機器
保安上の意義：	レーザー照射に対する散乱光を測定し、先方の風向・風速を分析することで主要機器等への負荷を軽減する。
概要：	アップウインド型の風車ではナセル後方に風向風速計が取り付けされており、既にブレードを通過した風を感知している状況である。ナセルライダーを用いることで先方の風向・風速を分析することができ、事前にヨーイングやピッチングを実施することができる。これにより、発電量の増加、主要機器のストレス減少、ピッチシステムの最適化、負荷の減少、風車前方の精密な風データの取得、ライフタイムの延長、ダウンタイム短縮などの効果が見込まれる。

風況の高精度把握（超音波測定技術による風向・風速分析技術）	
技術区分：	負荷の軽減
保安対象：	YAW・主要機器
保安上の意義：	ハブ部分に取り付けた複数のセンサーにより風向・風速を分析することで主要機器等への負荷を軽減する。
概要：	アップウインド型の風車ではナセル後方に風向風速計が取り付けされており、既にブレードを通過した風を感知している状況である。ハブに超音波測定技術を応用した複数のセンサーを取り付けることにより、従来の観測器より正確な情報を取得でき、風向・風速の分析からヨーミスアライメントの検知も可能である。

出所) ROMO WIND, <https://www.romowind.com/>, 2021年3月22日閲覧

機器毎への適切な避雷器設置（避雷器の機能向上）	
技術区分：	回路の落雷保護
保安対象：	制御盤
保安上の意義：	電気・電子機器を雷サージから保護する
概要：	落雷により発生する、過電圧、過電流の雷サージが機器に侵入することを防ぐ装置であるSPDは、雷サージなどの過渡的な過電圧を制限しサージ電流を分流させる目的で、非線形素子を内蔵している。非線形素子を複数内蔵することで安全性を高めた装置が開発されており、また、部品の交換時期を可視化する機能を備えたSPDも見られる。このように、安全性の向上やメンテナンスのコスト低減に資する装置が開発されている。

出所) ABB 株式会社, <https://www.gec-tokyo.co.jp/components/abb/ovr-spd-series-surge-protective-devices>, 2021年3月22日閲覧

通信経路の冗長性確保（衛星・5G利用、円滑な切替、等）	
技術区分：	通信の冗長化
保安対象：	風車本体
保安上の意義：	SCADAの通信断を防止する。
概要：	落雷により発生する、過電圧、過電流の雷サージが機器に侵入することを防ぐ技術 風車の通信は有線回線を使用している場合が大半であり、有線回線は通信切断やデータ欠損が起りにくいいため信頼性は高いものの、陸上では落雷時のサージ電流による機器故障や断線、洋上では船舶による海底ケーブル損傷による通信断が懸念される。SCADAの通信断が生じると、モニタリング・センシング・遠隔操作等の機能が失われ、風車の安全運用及び連続稼働の阻害要因となる。そのため、無線通信のバックアップ回線を用意することで、メインの回線が切断された際、自動で予備の回線に切り替わり、安定的な通信が可能となる。現状、モバイル回線や衛星回線を用いた検証が行われており、今後は5Gによる高速な通信速度と、容量の大きいデータの送信が期待される。

電流センサ（雷撃検知装置）	
技術区分：	情報収集・判断
保安対象：	設備全体
保安上の意義：	雷撃検知装置と風車を連携させることで、落雷検知時に風車の運転を自動停止させることが可能であり、落雷によってブレードが損傷した際の飛散事故を防止する。
概要：	風車のタワー脚部を周回する大口径のロゴスキーコイルにより風車直撃雷の落雷電流を検出し、タワー内部に設置した計測装置本体において正負の電流波高値および電荷量を算出して記録することができる。検知された落雷の規模によっては風車と連携することで風車の運転を自動停止させることも可能である。

出所) 株式会社東光高岳, https://www.ttk.co.jp/research/report/pdf/2019/giho2019_10.pdf, 2021年3月22日閲覧
 株式会社東光高岳, https://www.ttk.co.jp/research/report/pdf/2017/giho2017_17.pdf, 2021年3月22日閲覧

SCADAの活用（雷撃検知）	
技術区分：	情報収集・判断
保安対象：	ブレード
保安上の意義：	遠隔で雷撃検知を行うことで、事故対応の高度化、稼働率向上が見込まれる。
概要：	SCADAは発電機能の監視制御を行うシステムであり、システムにおける各種センサの測定目的と感度は雷撃検知のためのものではないが、雷現象と相関するデータがあると考えられている。これらのデータに対してAI技術等の分析技術を活用することにより、新しい設備を導入することなく遠隔での雷撃検知を可能とすることが期待されている。

出所) 風力発電設備の耐雷健全性維持技術と法規制・規格調査専門委員会, 「風力発電設備の耐雷健全性維持と稼働率向上のための最新技術の動向」, 電気学会技術報告, 2020

狭域落雷標定システム（遠隔）	
技術区分：	情報収集・判断
保安対象：	設備全体
保安上の意義：	センサーを活用した落雷標定の精度向上により遠隔での雷撃検知を可能とし風車運用への導入の幅が広がる。
概要：	現状は誤差が平均500mほどと大きいLLSのセンサー間を縮めることにより、適用範囲が狭まるが精度を向上させることができる。落雷位置の誤差が平均10mほどとなれば、ウインドファームや風車単位での落雷数を把握することが可能となる。また、遠隔での雷撃検知が可能となるため、陸上と同様の雷撃検出装置を導入しづらい洋上風力発電設備においても活用が見込まれる。

出所) 電力中央研究所, 「新型落雷位置標定システム（新型 LLS）の開発(1) - 新型 LLS 実証機の開発と初期観測結果 -」, <https://criepi.denken.or.jp/kenkikaku/report/detail/H19005.html>, 2021年3月22日閲覧

モニタリング画像の活用・高度化	
技術区分：	情報収集・判断
保安対象：	設備全体
保安上の意義：	風車のモニタリング画像を基に雷撃検知や設備の健全性確認を行うことで、停止判断の高度化やダウンタイムの軽減が期待される。
概要：	落雷を対象としたモニタリング画像については、技術開発によりモニタリング装置が十分な時間・空間分解能及び夜間撮影時の露光設定等をクリアすることで風車への落雷有無、さらにはブレード上の落雷位置の特定が可能となる。また、風車設備自体のモニタリング画像については、適切な画像処理により設備の健全性を速やかに把握することが期待される。

出所) 風力発電設備の耐雷健全性維持技術と法規制・規格調査専門委員会, 「風力発電設備の耐雷健全性維持と稼働率向上のための最新技術の動向」, 電気学会技術報告, 2020

SCADAの活用（被雷後の健全性確認・ブレードのセンシング）	
技術区分：	情報収集・判断
保安対象：	ブレード
保安上の意義：	遠隔で健全性確認を行うことで、事故対応の高度化、稼働率向上が見込まれる。
概要：	落雷を検知した際に、データ分析結果からブレードの状態を判断できるようになれば、現地での目視確認が不要になり、運転再開までの時間短縮と機械による正確な判断が可能になる。特に洋上風力での落雷時対応においては、陸上と違いアクセス困難なケースが多いと予想され、現地での目視確認まで時間を要する可能性があるため、停止から運転再開まで遠隔で出来る環境整備が今後必要となる。技術開発には風車メーカーとの協力が必須であるが、サードパーティーのSCADAシステムも普及しつつある。

出所) 株式会社東光高岳, <https://www.ttk.co.jp/product/system/security-wlc/>, 2021年3月22日閲覧
株式会社東光高岳, <https://www.ttk.co.jp/product/392f584eff431fe1045138db25e1b157ae98a988.pdf>, 2021年3月22日閲覧

AI等による健全性確認・判断の支援	
技術区分：	情報収集・判断
保安対象：	設備全体
保安上の意義：	人工知能（AI）による解析技術を活用した損傷判定を行う事で、作業や判断の迅速化・効率化・安定化が可能。
概要：	健全な状態や、過去の点検時のデータを機械学習することで、状態変化をAIが判断し、蓄積されたデータから異常内容を分析し判断する技術が検討されている。具体的には、ドローンの画像解析技術やCMSの振動解析技術にAIが活用され始めている。AIの導入により、人の判断よりも正確な状態の判断や異常の早期検知が見込まれる。今後の開発においては、解析に用いられるデータの蓄積が重要となる。

CMSの活用	
技術区分：	情報収集・判断
保安対象：	設備全体
保安上の意義：	重故障に繋がる異常を兆候段階から把握することで未然の対策が可能となる。
概要：	振動センサー、変位センサー、温度センサーなどの各種測定センサを対象物に取り付けてデータ収集を遠隔で行い、取得されたデータを基に部品の異常を早期検出する状態監視システムが開発されている。 風車では主要機器に振動加速度計を設置した活用が検討されている。通常の定期点検では不可能であったデータを取得し、異常を兆候段階から察知することで手遅れになる前に最善の対策を行うことが見込まれる。

応力発光技術の風車翼への応用	
技術区分：	落雷による風車ブレード異常検知
保安対象：	ブレード
保安上の意義：	落雷によって生じるブレード内部の異常をいち早く検知することで、ブレード構造の破壊に至る重大な事故を防止することができる。
概要：	風車への雷撃時には、落雷によって表面の微細なクラックのみならず複合材内部に亀裂が生じて応力集中が発生することで、ブレード構造が破壊に至り重大な事故につながるケースが考えられる。そのため、応力発光塗料をブレード表面に塗布し、発光状態から応力分布を可視化することで、表面の微細なクラックのみならず、このようなブレード内部の異常をいち早く検知することができる。

出所) 日本風力エネルギー学会誌「風力エネルギー」, 135, pp.359-362, 2020年11月
(国研) 産業技術総合研究所

ブレードの応力センシング	
技術区分：	情報収集・判断
保安対象：	ブレード
保安上の意義：	センシングすることでブレード内部の異常をいち早く検知でき、ブレード構造の破壊に至る重大な事故を防止することができる。
概要：	目視によるブレードの状態確認では異常部位の確認漏れが生じる可能性があり、応力センサを用いることで事前かつ正確にブレード内部の異常を検知することが可能になる。現状では開発されていない技術だが、健全性の確認をする上で効果的な技術として今後の開発が期待される。
ドローン・ブレード点検ロボットによる耐雷機能確認、軽微な補修	
技術区分：	落雷による風車ブレード異常検知
保安対象：	ブレード
保安上の意義：	落雷後のブレード表面点検をドローンを用いて効率的に行うことにより、点検に伴う風車のダウンタイムを低減する。
概要：	ドローンやロボットの点検への活用は、ブレード点検に要する時間を短縮することにより、点検に伴う風車のダウンタイム低減を目的とする。ドローンを利用し従来の望遠鏡等による外観検査よりも効率的な点検が期待できる。また、風車ブレードの姿勢やそれに応じたドローン飛行経路の最適化を行えば、より短い時間で点検を完了することも期待される。
出所) 日本風力エネルギー学会誌「風力エネルギー」, 132, pp.605-608, 2020年2月	

4. 有識者委員会の運営

風力発電設備における定期安全管理審査制度のあり方検討、ブレード点検等ガイドラインの解説・補足文書の作成、落雷マップの更新、落雷対策のあり方検討のために「新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー）委員会」を開催した。有識者を表 4-1 に、開催概要を表 4-2～表 4-4 に記す。

表 4-1 令和2年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー）委員会 有識者

氏名(敬称略)	所属
前田 太佳夫 (委員長)	三重大学工学研究科機械工学専攻 教授
足立 慎一	一般社団法人日本風力発電協会 管理統括部長
飯田 誠	東京大学先端科学技術研究センター 特任准教授
石原 孟	東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 教授
本庄 暢之	株式会社ジェイウインドサービス 代表取締役社長
安田 陽	京都大学大学院経済学研究科 特任教授
山本 和男	中部大学 工学部 電気電子システム工学科 教授

表 4-2 令和2年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー）委員会 第1回 開催概要

開催日時	令和2年12月10日(木) 13:00~15:00
開催場所	フルリモート
開催方法	オンライン(Microsoft Teams)
議事次第	(1)開会 (2)経済産業省よりご挨拶 (3)委員紹介 (4)事業概要・計画 (5)ブレードの点検等に関するガイドライン (6)定期安全管理検査制度の運用状況調査 (7)落雷対策に関する調査 (8)落雷マップの更新方針 (9)次回以降の委員会スケジュール・その他

表 4-3 令和2年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー）委員会 第2回 開催概要

開催日時	令和3年2月9日(火) 13:00~15:00
開催場所	フルリモート
開催方法	オンライン(Microsoft Teams)
議事次第	(1)開会 (2)定期安全管理検査制度の運用状況調査 (3)落雷対策に関する調査 (4)落雷マップの更新 (5)ブレードの点検等に関するガイドライン (6)次回以降の委員会スケジュール・その他

表 4-4 令和2年度新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー）委員会 第3回 開催概要

開催日時	令和3年3月5日(金) 10:00~12:00
開催場所	フルリモート
開催方法	オンライン(Microsoft Teams)
議事次第	(1)開会 (2)定期安全管理検査制度の運用状況調査 (3)落雷対策に関する調査 (4)落雷マップの更新 (5)ブレードの点検等に関するガイドライン (6)その他

5. まとめ

本事業では、風力発電設備における定期安全管理検査制度の見直し調査、落雷マップのデータ整備及び落雷対策のあり方検討調査を行った。また、「風力発電設備ブレード点検および補修ガイドライン」の解説・補足文書を作成した。

風力発電設備における定期安全管理検査制度の見直し調査では、アンケート調査、ヒアリング調査を踏まえて、定期安全管理検査制度のあり方の検討を行った。有識者委員による議論も踏まえて、制度全般の観点では、多様なプレイヤーの特徴を考慮した制度体系を検討していくこと、制度を継続的にレビューしていくこと、事業者の検査負荷の低減を進めていくことを、制度改善の視点として整理した。定期事業者検査・安全管理審査の効果的な実践の観点では、実効的な保安管理体制を確立すること、新技術等を積極的に活用した点検（柔軟な点検）を実現し促進していくこと、定検解釈と定期点検指針を適切に見直すこと、適切な規制関与を検討すること、公衆の安全確保のためのステークホルダー間における協力関係を構築することを、制度改善の視点として整理した。インセンティブ制度のあり方の観点では、インセンティブ制度自体のあり方を検討すること、事業者の特徴を踏まえたインセンティブを検討すること、インセンティブ付与の要件を検討することを、制度改善の視点として整理した。今回の制度改善の視点の整理は主として風力発電事業者を対象としたアンケート結果を踏まえたものとなっており本検討のみで制度の見直しを実施していくべきではないものの、今回の整理を踏まえた今後の更なる検討によって、定期安全管理検査制度が今以上に風力発電事業者の保安力向上に資するものになることが期待される。

落雷マップのデータ整備では、「発電用風力設備の技術基準の解釈」において参照される「別図1」、「別図2」の更新案を作成した(3.1)。別図1のA線で示される冬季雷地域(A地域)の更新案の検討においては、北海道西側、道央内陸部の風車への落雷調査を継続し、落雷マップの検証を継続する必要があるとの結論に至った。また、10月や3月など、秋や春に九州地域のみならず四国地域の西岸に活発な雷雲が入ってくることが多く、このような気象現象についても、冬季雷の特性を比較して、今後調査を進めるべきとの結論に至った。今後、LLSデータや気象データのみならず、風力発電事業者の風車設備において取得される落雷データの蓄積、共有によって、より詳細な落雷マップの作成が行われることが期待される。

落雷対策のあり方検討調査では、文献調査、アンケート調査、ヒアリング調査を踏まえて、落雷対策及び規制のあり方検討と、落雷対策技術開発ロードマップ案の検討を行った。落雷対策及び規制のあり方検討では、有識者委員による議論も踏まえて、今後推進することが保安面において有効と思われる落雷対策事項の整理を行った。また、運転の自動停止の閾値に対する事業者の現状認識が適切でないことから、適切な落雷検出装置の運用方法等を継続的・積極的に発電事業者に周知することが必要であることが確認された。また、落雷対策技術開発ロードマップ案の検討では、高度化技術開発野観点だけでなく、それに紐づく人材育成、制度設計、環境影響評価(落雷エリア検討)の観点も含めて整理した。今回の整理を踏まえた今後の更なる検討によって、今以上に風力発電事業者の落雷対策が推進されることが期待される。

令和2年度 新エネルギー等の保安規制高度化事業（落雷対策・定期安全管理審査制度のレビュー） 報告書

2021年3月

株式会社三菱総合研究所
セーフティ&インダストリー本部
TEL (03) 6858-2581