

■特集：風力発電のブレークスルーを目指して 風力発電の雷害対策の最新動向

関西大学 システム理工学部 准教授 安田 陽

1. はじめに

風力発電設備はそれ自体が高構造物であるため雷撃を受けやすく、従来の電力設備・建築物とは全く異なるユニークで新しい設備であると捉えることができる。それゆえ従来得られた知見だけでは十分ではない場合も考えられる。このように急速に導入される新しい設備に対して、知見が蓄積していないケースや情報共有の水平展開が必ずしもできていないケースがあることも十分予想される。本稿では、風力発電に対する雷害事例と雷対策、規格・規制の最新動向について概観する。

2. 風力発電の雷害事統計データ分析

風力発電の雷事故に関する統計情報は、世界各国で網羅的に収集されているものはほとんどないと言ってよく、我が国の経済産業省の「電気保安統計」および新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の風力発電故障・事故調査結果報告書が国際的に見ても貴重な例外であると言える。

2.1 経済産業省による統計データ

経済産業省の「電気保安統計」では毎年、電気事故の件数を公表されている。電気事故とは、電気事業者および自家用電気工作物設置者（50 kW以上の太陽光、20 kW以上の風力発電事業者に相当）が「電気関係報告規則」および「原子力発電工作物に係る電気関係報告規則」に基づき経済産業大臣もしくは所轄産業保安監督部長宛に報告する義務のある事故のことを指す。

例えば平成 25 年度は報告された電気事故は 13,886 件あり、うち風力発電所の電気事故は 52 件と報告されている⁽¹⁾。したがって風力発電所の電気事故は全体の 0.4%となり、この数値だけ見ると風力発電の事故は少ないように見えるが、発電電力量（kWh）あたりの事故率を算出すると、風力発電所の電気事故は百万 kWh あたり 24.2 件と火力発電所の 0.76 件に対して実に 30 倍以上の発生率となっており（平成 24 年度、図 1 参照）、他の発電設備に比較して風力発電の事故率は高いと言うこともできる。将来、デンマークやスペイン並みの大量導入（発電電

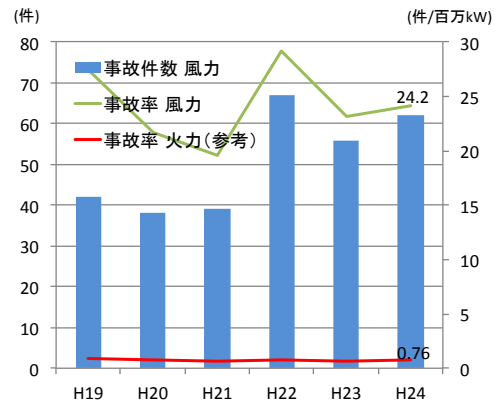


図 1 風力発電事故の推移
(文献(2)に基づき一部筆者修正)

力量ベースで 20%以上) を目指すとすれば、この事故率の数値は看過できず、早急に解決すべき重要な問題であると言える。

2.2 NEDO による統計データ

一方、NEDO の事故調査は、風力発電事業者（ケースによってはメーカ、代理店）に対して「風車の故障・事故速報」提出の依頼状等を送付するアンケートベースの調査を行い、平成 16 年度（2004 年度）から平成 25 年度（2013 年度）まで継続して風力発電施設の故障事故に係るデータを年度毎に収集・整理したものである（委託先はイー・アンド・イー ソリューションズ株式会社）(3)-(10)。アンケートの回答率（「協力する」と回答した率）は事業者数比で 58.0%、設備容量比で 39.9%（いずれも平成 24 年度）と必ずしも全ての故障・事故を網羅しているわけではないが、これだけ大規模で詳細な事故調査は海外でもあまり類を見ず、国際的にも貴重なデータとなっている。

文献(11)では上記の NEDO の年度ごとの事故データを 10 年間分まとめて再分析している。それによると、10 年間で重複分を除き 1,492 件の故障・事故事例が報告されており、1 年あたり約 150 件となる。これは先の電気保安統計の結果と大きく異なるが、これはアンケートベースの回答なため、「電気事故」とカウントされない（規制省庁に報告義務のない）軽微な故障も含まれているからと推測できる。

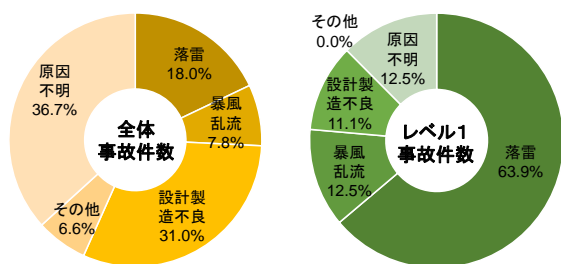


図2 風車事故の原因別分類⁽¹¹⁾

(左図: 全体 1,492 件、右図: レベル 1 事故 268 件)

また、そのうち雷に起因すると判断できる事故は 10 年で 268 件報告され、1 年あたり約 27 件となる (図 2 左図参照)。全体の事故に対する雷事故の割合は 18%であるが、ブレードの脱落など極めて深刻な事故である「レベル 1」(分類方法は後述)のみを抽出すると、10 年間でレベル 1 事故 268 件に対し 48 件と、全体の 6 割以上を占めることがわかる(図2右図参照)⁽¹¹⁾。

2.3 保険業界による統計データ

風車事故の統計データとしては、別の観点から収集・分析したものもある。例えば文献⁽¹²⁾では保険業界が独自にまとめた風車事故データについて紹介されているが、これによると保険金支払事故の原因トップは雷であり、支払件数の実に 4 分の 3 を占めている (図 3 参照)。このことは、前述の NEDO 事故調査でレベル 1 事故の傾向とある程度の相間があると考えられ、今後さらに詳細な分析が望まれる。

風車の雷事故は保険業界に取っても深刻な問題と捉えられており、文献⁽¹²⁾によると複数の保険会社で損害率(収入保険料に対する支払保険金)が 100~200%を越えているという情報もある。この原因としては、(1) 予防保全の位置づけとしてのメンテナンス(O&M)コストのカット、(2) 風況のよい時期に風車を停止して補修することへの抵抗感、など事業者側のモラルハザードの問題や、(3) ブレード 1 枚損傷であってもバランスを理由に 3 枚交換が要求されるケース、(4) 落雷などの蓄積損害をまとめ保険請求するため事故回数が不明確となり免責金額適用が不公正となるケースなど、情報の非対称性による保険業界側のアンダーライティング(危険選択)見誤りも原因として分析されている⁽¹²⁾。

風力発電は産業として若い分野であるため、

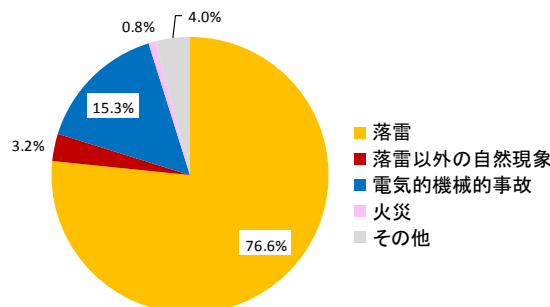


図3 風車保険の支払実態⁽¹²⁾

十分な情報が蓄積されておらず、確率論に基づく保険事故分析がまだ十分でないという側面も持つが、保険収支が健全でないということは産業の維持発展にとっての障害になる可能性もあり、今後、風力産業界を挙げてより一層の事故情報分析が必要となる。

3. 近年の風車雷害事例

2013 年から 2014 年にかけての冬季は雷が原因とされる風車事故が連続して発生し、ナセルの焼損・ブレード落下やレセプタの脱落が相次いで報告されている⁽¹³⁾。特にこの年はレセプタの脱落やナセルの焼損による崩落など、風車構成部品の脱落・落下・飛散の事故が連続し、地元住民の不安感・不信感を増大させる結果となった。

上記のような一連の事故を重く受け止め、経済産業省では産業構造審議会 保安分科会 電力安全小委員会の下に「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、事故 WG)を設置し、2014 年 2 月から審議をスタートさせている⁽¹³⁾。2014 年以降の風車事故情報に関しては、この事故 WG の資料に詳しい。

このような部品落下事故は、たとえそれが構成部品の一部であったとしても、第三者の財産毀損や人身事故につながる恐れがあり、付近の住民に対する不安感など社会的に大きな影響を与えることとなる。近年連続した雷に起因する風車事故およびその後の社会的影響を考慮すると、この点は早急に改善する必要がある。

「風車が第三者の生命・財産に与える被害」を考慮することは、経済学的には負の外部コスト(外部負経済)を考慮することに相当する。外部コストを定量的に同定することは困難であるが、かといって定量的に同定できるようになるまで外部コストを考慮しないという姿勢は現代の社会では許容されず、特にエネルギー

問題ではより厳しい評価が社会から課せられている。万一、人身事故が発生した場合、不可逆的な取り返しのつかない事故となり、賠償問題が発生するだけでなく、本来地域社会と共存できる可能性をもつ風力発電の社会受容性が大きく損なわれ、その影響は極めて大きくなることが予想される。このような状況に鑑み、風力発電の雷事故対策は、社会的リスクの観点も含め十分検討しなければならない。

4. 風車雷害対策の最新動向

4.1 経済産業省による風車雷害防止対策

上記の経産省事故 WG では乱流・暴風によるタワー倒壊事故なども取り扱っているが、特に雷害対策に関しては、近年相次いだ構成部品落下事故を受けて、その防止対策として中間報告書を公表している⁽¹⁴⁾。表 1 にその概要を示す。

この中間報告書の骨子は主に 1) 設備対策と 2) 運用対策に分けられる。1) の設備対策では、特にイ) 雷撃検出装置の設置と雷撃時の運転停止及び速やかな点検実施が盛り込まれ、「直撃雷後直ちに運転停止することは、当該事故の発生予防に効果が高い対策」⁽¹⁴⁾と謳われているのが特徴である。

この点は技術的に見ると、これまで雷撃時刻や波高値・電荷量まで計測できる高価なロゴスキーコイルか、雷電流通過の有無しか確認でき

ない安価な雷検出カードなどしかなかった雷観測製品のイノベーションが必要になるものと考えられる。すなわち、できるだけコストを抑えながらかつ高精度に雷電流を計測し、風車の制御システムにも容易に組み込める監視システムの開発が急務となる。同時に、センサの過剰反応により風車の停止時間が無用に多くなならないようなしきい値設定など、より一層の統計データの収集分析が必要となる。

また、1) のウ) も重要であり、従来の基準や推奨から一步踏み込んだ内容となっている。特に我が国では、2008 年の「日本型風力発電ガイドライン 落雷対策編」⁽¹⁶⁾の公表以降、冬季雷対策として放電電荷 600 C まで雷に耐えることがデファクトスタンダードとなっていたが、それらはダウンコンダクタの直径のみで判断されることが多く、レセプターやブレード部材の電氣的・機械的接合部に関してはあまり関心が払われていなかったことが事故 WG の調査の結果、明らかになっている。

さらに 2) の運用対策では、イ) で雷接近時の運転停止が盛り込まれているが、「当該設備の立地状況（住宅、公道等の一般公衆の近接状況）等を踏まえた上で・・・公共の安全の確保の観点から、取り得る対策」⁽¹⁴⁾という位置づけになっている。

表 1 経済産業省の風車雷害再発防止対策（概要）⁽¹⁵⁾

考え方	<ul style="list-style-type: none"> ・人体に危害を及ぼし、又は物件に損傷を与えないよう、可能な限り事故発生リスクを低減 ・落雷による事故発生リスクの重大性を組合せにより評価した上で、設備設置後も含め、サイト毎に最適な対策を講じていくこと 	
1) 設備対策	ア) 耐雷設計の見直しと適切な補強対策	・サイト毎に当該設備の立地状況等を踏まえた上で、耐雷設計の見直しを検討するとともに、適切な補強対策に取り組むこと
	イ) 雷撃検出装置の設置並びに落雷時の運転停止及び速やかな点検実施	・サイト毎に当該設備の立地状況等を踏まえた上で、原則として、雷撃検出装置を各発電用風力設備に設置するとともに、直撃雷検出時に運転を直ちに停止し、落雷による異常の発生状況及び健全性の確認を行う等、速やかに安全点検を実施すること
	ウ) 雷撃から風車を保護するような措置（技術基準の解釈の見直し）	・落雷の発生状況等の地域特性を踏まえ、雷撃から風車を保護する効果が高く、かつ、容易に脱落しないレセプター（雷からの保護装置）の施設、雷撃検出装置の施設等を行うこと
2) 運用対策	ア) 耐雷機能の定期的な点検の確実な実施	・耐雷機能の健全性の維持状況を確認するための定期的な安全点検の確実な実施
	イ) 雷接近時の運転停止又は運転調整	・サイト毎に当該設備の立地状況等を踏まえた上で、雷接近時に風車を事前に運転停止することや、脱落・飛散した場合に想定される飛距離を踏まえた運転調整
	ウ) 取扱者以外の者に対する注意喚起の強化	・厳しい気象状況が見込まれる場合には、こうした事故が発生する危険性について、可能な範囲で、当該設備の施設場所だけでなく、その周囲の適切な場所への表示（標識設置等）や周知等の取組を講じること
3) その他の対策	ア) 事故情報の共有による自主保安の促進	
	イ) 落雷対策に係る調査研究の促進	

4.2 風技解釈および電気事業法の改正

上記の事故 WG の中間報告書を受けて、2015年2月6日に、「発電用風力設備の技術基準の解釈について」（いわゆる風技解釈）が一部改正された⁽¹⁷⁾。改正の主な点は、省令（「発電用風力設備の技術基準を定める省令」、いわゆる風技）の第5条3項に規定する「雷撃から風車を保護するような装置」を満たす要件として、「次に掲げる地域の区分に応じ」と雷保護を重点的に行わなければならない地域を明示的に示したことである。

また、そのような地域では、

- (イ) 風車への雷撃の電荷量を600クーロン以上と想定して設計すること。
- (ロ) 雷撃から風車を保護する効果が高く、かつ、容易に脱落しない適切なレセプタを風車へ取付けること。
- (ハ) 雷撃によって生ずる電流を風車に損傷を与えることなく安全に地中に流すことができる引下げ導体等を施設すること。
- (ニ) 風車への雷撃があった場合に直ちに風車を停止することができるように、非常停止装置等を施設すること。

という要件が付け加えられている。特に(ロ)項と(ニ)項は前節で述べた事故 WG の中間報告を受けて新設された事故対策要件となる。

また、2015年6月17日に国会成立した改正電気事業法（第3弾）では、発送電分離に関して注目を集めたが、風車の事故防止対策に関する条項の改正も行われている⁽¹⁸⁾。

電気事業法第55条では、今回新たに「電気工作物のうち、屋外に設置される機会、器具その他の設備であって主務省庁で定めるもの」という項が追加され、厳しい自然環境下で運転している中で設備の著しい劣化が生じ、公衆の安全に支障を来す恐れのある電気設備を定期事業者検査制度の追加することが予定される。これは、従来行われていた火力発電の定期安全管理検査と同様の検査を風力発電にも広げる動きであると解釈できる。改正電気事業法第3弾は公布より2年6ヶ月以内に施行することとなっているため、施行までの予想されるスケジュールとしては、年度内を目処に委託調査等の調査結果を踏まえ、WGを開催し要目を決定することが経産省より提案されている⁽¹⁸⁾。またこれを受けて、日本風力発電協会(JWPA)でも風車定期安全検査制度の施行など自主検討スキームを立

ち上げている⁽¹⁹⁾。

4.3 電気学会の取り組み

電気学会では、これまで研究者有志で風車ブレードの雷害について事故様相の分類を試みしており、これまでいくつかのマイナーな改訂を繰り返しながら、表1のような分類法を提案している。この分類法は、現在までに電気学会技術報告書⁽²⁰⁾やCIGRE（国際大電力会議）の報告書⁽²¹⁾などにも記載され、現在国内外の多くの研究者・実務者の合意形成を図りながら、議論を進めているところである。

また、筆者らは表2のブレード雷害に対する事故様相分類法を更に拡張して、表3のような形で風車全体の構成部品を対象として全ての事故に対する事故様相分類法も提案している⁽¹¹⁾。この分類法はまだ多くの議論が必要とされると見込まれるが、航空機事故や医療事故、原子力発電事故など国際的に合意が取れた合理的・客観的な風車事故レベルの確立が今後早急に望まれよう。

電気学会からは、風車雷害に関して現在までに3報の技術報告書が発刊されている^{(20), (22)-(23)}。また現在は「風力発電システムの雷リスクマネジメント調査専門委員会」（委員長：安田陽）が2014年4月～2017年3月の予定で設置され、主にリスクマネジメントの観点から、風車雷事故の原因究明と合理的な対策法の確立について調査と情報交換を進めている。

表2 ブレード雷害分類法⁽²⁰⁾

ブレード事故の分類および細分類	
(1) 極めて深刻な事故 (人身事故を引き起こす可能性のある事故)	
(1a)	ブレードの爆裂、落下
(1b)	ブレード・ナセルの焼損、部品落下
(1c)	ブレーキ制御ワイヤの溶断、スパーク
(1d)	レセプタ等のブレード構成部品の落下 ^{*1}
(2) 深刻な事故（直ちに修理が必要な事故）	
(2a)	ブレード接合部の剥離
(2b)	ブレード先端部の亀裂
(3) 中程度の事象（できるだけ早期に修理すべき事象）	
(3a)	ブレード表面の損傷
(3b)	レセプタの一部欠損
(4) 軽度の事象（早急な修理は必要ない事象）	
(4a)	レセプタの溶損
(4b)	ブレード表面の黒こげ
(4c)	その他の軽度な被害

*1: 明らかに周囲に住民や通行者がいないと考えられる環境では、(3b)と同等に扱ってもよ

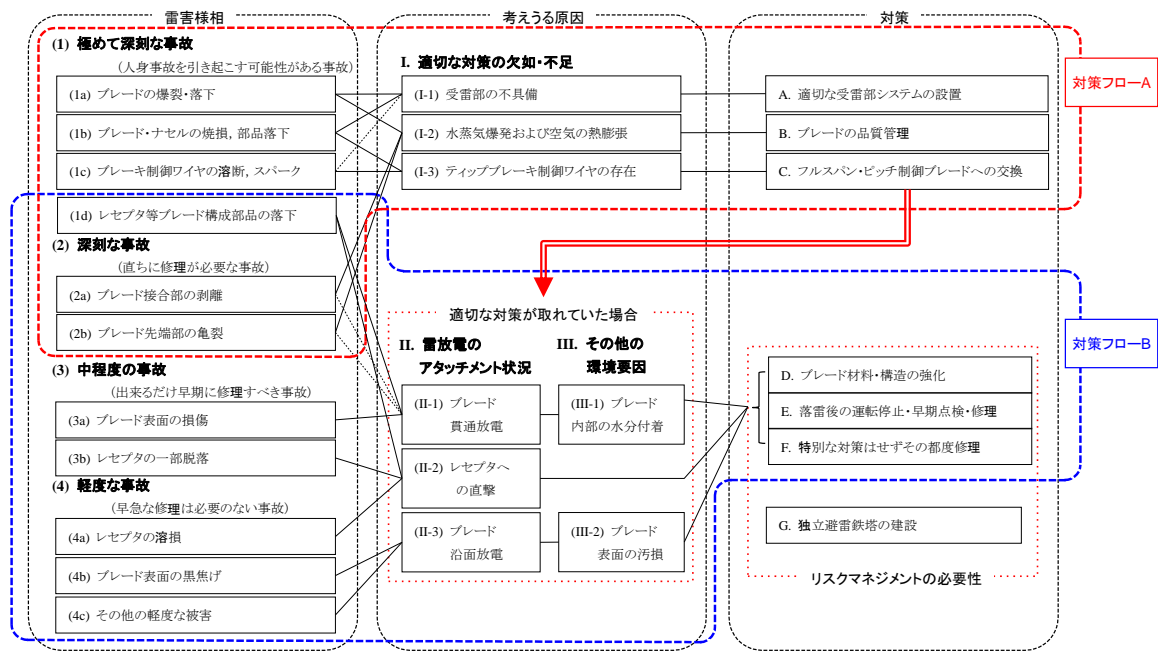


図 4 風車ブレード雷事故の対策フロー⁽²⁰⁾

表 3 風車事故レベル分類法⁽¹¹⁾

レベル	名称	説明	事例
1	極めて深刻な事故	倒壊および構成部品の落下・飛散など人身事故を引き起こす可能性のあるもの	タワー倒壊, ナセル火災, ブレード脱落, 構成部品の落下・飛散, オイル飛散, 外部漏れなど
2	深刻な事故	直ちに修理が必要な事故, 放置しておくとも極めて深刻な事故につながるもの	異常振動, ブレード亀裂・破損, ドライブトレイン故障, ベアリング損傷, 発電機短絡故障, ヨー装置故障, ブレーキ故障, ギアボックス故障, オイル漏れ(内部)など
3	中程度の事象	できるだけ早期に修理すべき事象	ブレードの一部欠損・損傷, ピッチ制御機構の故障, 油圧装置故障, 電気装置故障, 風向風速計故障など
4	軽度の事象	早急な修理は必要ない事象, 簡単な部品交換のみで済む事象	ブレードの一部摩耗, 制御装置・センサの故障, 低圧制御機器の絶縁破壊など

4.4 JIS および IEC の動向

一方、規格の面でも進展がみられ、2014年8月に JIS C 1400-24:2014「風車 -第 24 部: 雷保護」が発行された⁽²⁴⁾。この国内規格は、国際規格 IEC 61400-24:2010⁽²⁵⁾の MOD (修正) 版である。特に元の IEC との大きな相違点は、新たに加えられた 1 ページからなる附属書 JA の部分である。ただしこの附属書は「規定」となっており、附属書ではあるが義務的遵守事項として規定されている。

国際規格 IEC 61400-24 では、最も高い雷保護レベル(LPL) I では、放電電荷を 300 C、比エネルギーを 10 MJ/Ωと規定しているが、今回制定された国内規格 JIS C 1400-24 では、附属書 JA において、「我が国におけるこれまでの風車の雷電流観測結果を基に、冬季雷を考慮した LPL (雷保護レベル) I を上回る雷電流パラメータ」として、放電電荷を 600 C、比エネルギー

を 20 MJ/Ωと規定している。

これにより、従来 NEDO のガイドラインなどで推奨されてきた放電電荷 600 C という「基準値」が正式に規格で義務化されたこととなり、2015年2月の風技解釈の改正と共に、規格・規制の両面から、より厳しい国内要件の整備が徹底されたことになる。

また、IEC でも現在動きがあり、2010年に発行された第 1 版を改訂する作業が現在、TC88/MT24 (第 88 技術委員会、第 24 作業部会) で 2014年3月から始まっている。この作業部会には筆者をはじめ数人の日本人研究者がエキスパート委員として参加し、日本側から提案している放電電荷 600 C やブレード雷害様相の分類法などを国際規格に盛り込むべく、現在協議を行っているところである。

上記の JIS 素案作成および IEC 対応の国内委員会としては、経済産業省委託「新エネルギー

等国際標準開発 風力発電システムの設計要件に関する国際標準化」事業の風力発電システム標準化委員会（事務局・日本電機工業会（JEMA））の傘下に設置された雷保護分科会（主査・安田陽）で現在、協議が進行中である。

5. おわりに

本報告では特に風力発電の雷害対策の動向と現状を俯瞰した。本報告は電気学会平成 27 年全国大会シンポジウムに寄稿した原稿⁽²⁶⁾に対して、その後の最新情報を追加する形で大幅に加筆修正したものである。

風力発電の雷事故は、先人の努力により対策方法がかなり蓄積されつつも、必ずしも全ての事業者に水平展開できておらず、残念ながら確実に事故が減っているとは言えない状況である。技術的対策や規格・法体系も速いスピードで変わりつつあり、さらなる合理的対策案の提案だけでなく、産官学挙げての情報共有や教育啓発などの「しくみづくり」がますます重要となるものと考えられる。

参考文献

- (1) 経済産業省 商務流通保安グループ 電力安全課：平成 25 年度電気保安統計（2014, 12）
- (2) 経済産業省 産業構造審議会 保安分科会 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（第 5 回）配布資料 5-1「風力発電設備に係る保安規制のあり方について」（2014, 10）
- (3) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）：平成 17 年度風力発電利用率向上調査委員会および故障・事故等調査委員会報告書（2006, 3）
- (4) NEDO：平成 18 年度風力発電利用率向上調査委員会および故障・事故等調査委員会報告書（2007, 3）
- (5) NEDO：平成 19 年度風力発電施設の故障・事故情報収集・解析業務（風力発電故障・事故調査委員会）報告書（2008, 3）
- (6) NEDO：次世代風力発電技術研究開発事業（自然環境対応技術等（故障・事故対策調査））平成 20 年度風力発電故障・事故調査委員会報告書（2009, 3）
- (7) NEDO：次世代風力発電技術研究開発（自然環境対応技術等（故障・事故対策））平成 21 年度風力発電故障・事故調査委員会報告書（2010, 3）
- (8) NEDO：次世代風力発電技術研究開発（自然環境対応技術等（故障・事故対策））平成 22 年度風力発電故障・事故調査委員会報告書（2011, 3）
- (9) NEDO：次世代風力発電技術研究開発（自然環境対応技術等（故障・事故対策））平成 23 年度風力発電故障・事故調査結果報告書（2012, 5）
- (10) NEDO：次世代風力発電技術研究開発（自然環境対応技術等（故障・事故対策））平成 24 年度風力発電故障・事故調査結果報告書（2013, 6）
- (11) 末永大周・安田陽：事故レベルおよび停止時間に着目した風車雷事故統計分析，電気学会高電圧/新エネ

- ルギー・環境合同研究会，HV-15-068, FTE-15-033（2015, 5）
- (12) 足立慎一：風力発電保険の実態と課題～保険が担う健全性担保の可能性～，第 36 回風力エネルギー利用シンポジウム特別講演資料（2014, 11）
- (13) 経済産業省 産業構造審議会 保安分科会 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
http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denryoku_anzen/newenergy_hatsuden_wg/001_giji.html
- (14) 経済産業省 産業構造審議会 保安分科会 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「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」（2014, 6）
http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denryoku_anzen/newenergy_hatsuden_wg/pdf/report01_01.pdf
- (15) 経済産業省 産業構造審議会 保安分科会 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（第 4 回）配布資料 2-1-2「落雷事故を踏まえた今後の再発防止対策等について（概要）（案）」（2014, 6）
http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/denryoku_anzen/newenergy_hatsuden_wg/pdf/004_02_01_02.pdf
- (16) NEDO：日本型風力発電ガイドライン 落雷対策編（2008, 3）
- (17) 経済産業省：「発電用風力設備の技術基準の解釈について」の一部改正について（2015, 2）
http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2015/01/270206-1.html
- (18) 経済産業省 産業構造審議会 保安分科会 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（第 6 回）配布資料 9「風力発電設備の定期安全管理検査制度について」（2015, 7）
- (19) 経済産業省 産業構造審議会 保安分科会 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（第 6 回）配布資料 10-1「風力発電設備の定期安全管理検査制度の試行について」（2015, 7）
- (20) 電気学会 雷性状を考慮した風力発電設備耐雷技術調査専門委員会：雷性状を考慮した風力発電設備の耐雷技術，電気学会技術報告，第 1335 号（2015, 2）
- (21) CIGRE WG C4.409: Lightning Protection of Wind Turbine Blades, Brochure No.578（2014）
- (22) 電気学会 風力発電設備の雷害様相調査専門委員会：風力発電設備の雷害様相ならびに対策の現状，電気学会技術報告，第 1126 号（2008, 8）
- (23) 電気学会 雷害対策のための風力発電設備接地技術調査専門委員会：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，第 1270 号（2012, 12）
- (24) 日本工業規格：風車 - 第 24 部：雷保護，JIS C 1400-24:2014（2014, 8）
- (25) International Electrotechnical Committee (IEC): Wind turbine - Part 24: Lightning Protection, IEC 61400-24:1010（2010）
- (26) 安田陽：再生可能エネルギーにおける雷害対策，平成 27 年電気学会全国大会シンポジウム，S9-11（2015, 3）