

次世代風力発電技術研究開発事業（落雷保護対策）活動報告^{*1}

Research and Development of Next-generation Wind Power Generation Technology

夏野 大輔^{*2} 白石 浩之^{*3} 崎野 博之^{*3} 延命 正太郎^{*2}
古永 充^{*2} 本崎 晃弘^{*2} 出野 勝^{*2}

Daisuke NATSUNO, Hiroyuki SHIRAISHI, Hiroyuki SAKINO, Shotaro ENMEI,
Mitsuru FURUE, Akihiro MOTOZAKI, Masaru IDENO

1. はじめに

風力発電は再生可能エネルギーとして導入が推進されているが、日本では台風等の強風や落雷に関する問題が依然として残されているうえ、近年では低周波音と呼ばれる音の問題、景観に関する問題が取り沙汰されるようになり、風力発電を取り巻く環境は厳しい状況となっている。

このような現状を受け、NEDOを初めとする国の機関では様々な風車を取り巻く環境条件を整理して、問題を解決すべく複数の事業に取り組んでいるが、中でも以前から問題とされている雷害に関しては継続した取り組みを行っており、平成16年度～平成18年度に「風力発電設備への落雷対策に関する調査」、平成17年度～平成19年度に「日本型風力発電ガイドライン策定事業」を実施し、実落雷計測で国際基準レベルを超える雷を観測し、それに基づいた落雷保護指針や落雷マップの作成を成果としている^{[1][2][3]}。

一方、これらの事業ではさらなる実雷データの収集蓄積と、室内試験では再現不可能な実雷に対する現地での雷保護対策効果の検証の必要性について、課題として残されている。また、ガイドラインで作成された落雷マップはデータの蓄積によって、今後もより高精度に更新されるべき性質のものとなっている。

これらを受け、新たに平成20年度より「次世代風力発電技術研究開発事業（自然環境対応技術等（落雷保護対策））：以下本事業と記す」が実施中である。本事業は全国規模での落雷電流計測（ピーク電流、電荷量等の計測）、落雷様相観測による雷特性の把握、落雷特性・落雷保護対策と被害実態との相関把握、上記を踏まえた効果的な落雷保護対策の抽出と、高精度落雷リスクマップの作成とともに、風力発電設備に対するより効果的な落雷保護対策技術の確立を目的に、平成20年度より5ケ年を目処に実施しており、本年度はその3年目にあたる。

本発表では現時点での雷計測結果、及び被害調査結果など、事業の進捗状況について述べる。

2. 事業概要

全国規模での5ケ年にわたる落雷電流計測（ピーク電流、電荷量などの計測：全国25箇所）と、落雷様相観測による雷特性の把握、落雷特性・落雷保護対策と被害実態との相関把握を行い、上記を踏まえた効果的な落雷保護対策の抽出、実機規模での実雷による保護対策検証（2箇所程度）などを実施し、落雷電流、電荷量、比エネルギー量などの雷特性と、これまで観測されている一般に広く使用されている落雷位置標定システムデータ（以降「標定データ」とする）との相関の有無を把握し、これらの地域特性や被害状況との関連性について解析検証を行う。

その結果より、標定データならびに計測データを用いた風力発電設備向けの雷特性マップを作成する。

また、風力発電設備の雷害を調査し、雷特性マップに保護対策と補修に係るコストなどの要素を関連づけた高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備に対してより地域特性を考慮した効果的な落雷保護対策技術を確立することを目標とする。また、検討結果は風力発電設備導入時の落雷保護対策として取りまとめ、日本型風力発電ガイドラインに反映して高度化を図るものとする。

3. 調査研究方法

3-1 落雷電流計測

(1) 概要

落雷頻度が高いとされる地域に設置されている風力発電設備地点から25箇所の計測地点を選定し、ロゴスキーコイルを用いて落雷電流計測を実施し落雷特性を把握する。併せて、デジタルビデオカメラを用いて落雷様相観測（落雷頻度、落雷箇所、落雷経路など）を実施する。

計測・観測で得られるデータを基に、各計測・観測地域における雷特性を推定する。併せて、計測データと標定データとの相関などの検討を行い、雷の地域特性を把握する。

上述の結果を高精度落雷リスクマップの作成及び落雷保護対策技術の確立に向けた基礎データとしていくため

^{*1}平成22年11月25日第32回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

^{*2}(株)東洋電計

^{*3}独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

には、落雷特性と風車被害、保護対策の3つの要素の相関を導き出して行くことが重要である。このため、落雷電流計測、落雷様相観測は以下の内容を主眼として実施する。

我が国の落雷特性と国際基準値(IEC)^[4]との相違の定量化

雷特性の地域特性の詳細把握

雷特性、保護対策と風車被害との相関把握

(2) 計測地点選定

計測にあたっては、落雷特性と風車被害、保護対策の相関解析に十分なデータを得るため、計測するサイトについては様々な地理条件、及び風車仕様に分散させる事が重要である。そこで以下の点について留意して、地点選定を行った。

落雷頻度の高い地域に設置されている風力発電設備を選定する。

地域特性を把握できるよう可能な限り全国に分散させる。

ブレードの保護対策と落雷特性の相関が把握できるよう種々のブレードタイプを網羅する。

落雷計測装置が既に設置されている地点のデータを有効活用する。

選定した地点を、図1に示す。

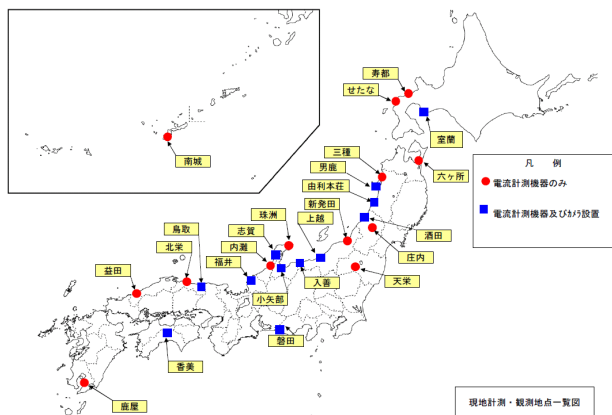


図1. 現地計測、観測地点位置図

(3) 装置仕様

風力発電の落雷被害のメカニズム解明には、ピーク電流値だけでなく、電荷量などの把握も必要であると示唆されていることから、ピーク電流値、電荷量、比エネルギー量等の雷パラメータを把握可能な、電流波形を記録することが重要である。また、被害が発生した場合には、

原因となった雷の特定を行い、被害状況の確認をして、雷特性と被害状況の関係を把握することが重要である。

風車に対する落雷電流測定にはシャント抵抗やCT (Current Transformer:変流器) が用いられてきたが、本事業では上記の点を踏まえてNEDO事業「風力発電設備への落雷対策に関する調査」の計測器仕様に準じた、大型のロゴスキーコイルを使用している。

このシステムにより、塔体全体を流れる電流がカバーされ、必ずしも接地線を通らない落雷であってもその全体が計測でき、冬季雷のような波尾長の長い落雷電流についても雷パラメータを正確に評価することが可能となった。

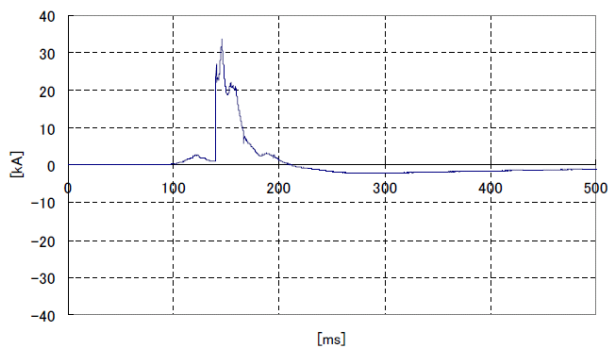
計測装置仕様を表1に示す。

項目	持続性雷地域仕様	パルス性雷地域仕様
計測センサ	ロゴスキーコイル	ロゴスキーコイル
最大電流値	300kA	300kA
トリガーレベル	5kA	5kA
最小トリガータイム	2.33sec	2.33sec
計測記録	波形	計測
	ピーク電流	計測
	トリガータイム	計測
A/D変換	分解能	12bit
	サンプル値	10MSPS
	記録時間(トリガー)	480msec
記録時間(トリガー)	20msec	20msec
時刻計測	GPS 時計	GPS 時計
データ回収法	メモリカードなどの併用	メモリカードなどの併用
通信方法	携帯電話回線	携帯電話回線
電源	独立型電源	独立型電源

(4) 計測結果

本事業でのこれまでの計測結果として、2010年3月21日に計測された最大電荷量1146クーロンという計測値がある。これまでも各地で計測されてきたピーク電荷量の中には、IEC保護レベルの300クーロンという電荷量を上回るものが見られてきたが、今回の計測データでは約4倍となる数値が実際の風力発電設備で計測されたことになる(図2)。ただし、この波形についてはロゴスキーコイルの周波数帯域の影響で電荷量が多めに検出されている可能性があり、結果に若干不確かさを含むことに留意されたい^[5]。

まだ広範囲に十分なデータが得られていない現状の元ではピーク電流値と電荷量、ピーク電流値と比エネルギー量など雷パラメータの間に相関は見られていない。一方でブレード、電気設備、制御・通信設備への被害は電荷量の大きな雷に集中していることや正極雷の電荷量、比エネルギー量が大きく、被害も発生している傾向がみられる。



[波形]

計測記録(参考値)		
2010.3.21 2:47:06		
電荷量	比エネルギー	ピーク電流
C	$10^3 A^2 s$	kA
1146.62	11749.28	33.68

図2 . 計測記録参考

3-2 落雷様相観測

(1)概要

落雷箇所、落雷経路を特定するため、本事業では、雷光に反応するデジタルビデオカメラ装置を導入し、落雷様相の観測を行い、風車被害の様相と落雷様相の把握を行っている。

(2)観測地点

観測には、落雷強度と雷様相との関係を検討するため、落雷電流計測と同時にすることが望ましく、前述図1の落雷電流計測地点から12箇所を選定して、雷光に反応するデジタルビデオカメラを用いた観測を行っている。

導入にあたっては、以下を考慮した。

冬季の環境を考慮し、積雪・凍結に対する対策を十分に施すこと。

電流計測装置との連携をとるため、時刻の精度を保つこと。

図3は様相観測装置の設置写真である。ブレードを中心とした風車をカメラ内に収めるため、風車からは100m程度離れた位置に設置する。

(3)様相観測結果

図4に観測された様相結果写真を示す。

様相観測は電流計測と連動しており落雷による風車の被害が発生した場合はそれらに関連づけた検討が可能となる。しかしながら図に示されるような被雷であってもブレードに被害が及ばない事例もみられ、今後もレセプタ等、風車の保護状態と合わせた検討が必要である。



図3 . 様相観測装置



図4 . 放電観測例(動画の一コマ)

3-3 実態調査

落雷特性・落雷保護対策と被害実態との相関関係を把握することを目的として、風力発電事業者などを対象としたアンケート調査、現地ヒアリング調査をベースとした落雷被害詳細調査を実施している。

調査に当たっては、落雷の特徴、風力発電設備の構造、施されている落雷保護対策(レセプタの有無、その形状、避雷針設備の有無など)と落雷被害との関連を重点的に調査し、調査結果の分析を行う。併せて、上記調査結果などを踏まえて効果的な落雷保護対策を抽出し、より良い対策を検討する。

また、高精度落雷リスクマップ作成のために、落雷対策と落雷被害にかかるコストを把握し、落雷による風車のリスクとコストの関係を検証する。

実態調査は、以下に示す3項目について実施している。

事業者被害アンケート

全国の風力発電事業者に対してアンケートを実施した。

アンケート調査では、被害の有無、風力発電設備の構造、施されている落雷保護対策（レセプタの有無、その形状、避雷針設備の有無など）等をアンケート項目とし、落雷被害との関連を重点的に調査した。

集計結果より、落雷特性・落雷保護対策と被害実態との相関関係を把握し、落雷による風車のリスクとコストの関係を把握するものである。また、より詳細調査が必要と判断される事例については、後述する現地ヒアリング調査を行っている。

MW 級風車に対する結果では落雷被害のほぼ 1/3 がブレード被害となっている。これはアンケート回答の全風車でも同様の傾向である。このブレード被害のうち冬季に発生したものは 51% となり、これまでの NEDO による調査結果やガイドラインと同様の傾向が見られている。冬季のブレード被害中、35% が被害程度が大・中に相当している。ブレード以外の被害で冬季に発生したのは 56% となり、このうちの 9% が被害程度が大・中に相当している。

ブレード以外の被害は主として電気設備、制御機器、通信設備であり損傷機器の交換で対応可能なことから被害程度が小になる割合が多いと考えられる。

現地ヒアリング調査

アンケート調査で把握できない詳細な被害状況及び機種別の保護対策状況を中心に調査を行う。調査内容は、落雷時の詳細な状況、被害の状況など主としてアンケート記載以外の生の情報について把握出来るようにする。

調査対象は、アンケート結果から、特に被害が甚大であった地点、被害が連続して発生している地点等をピックアップしている。ヒアリングでは風力発電設備ではなく通信系からの誘雷被害が頻発したり、接地を含めた風力発電設備全体の雷保護を考えることの必要性などの調査結果が見られている。このような結果を踏まえた上で効果的な落雷計測や雷保護対策検討を行う予定である。

風車メーカー調査

海外も含めた、国内に設置されている全ての風車メーカーを対象に、風車の仕様、耐雷対策等を確認するためメーカーアンケートを実施した。全てのメーカーから回答を得られてはいないが、メーカーによる耐雷仕様には差異が見られている。ブレードのレセプタについては国内メーカーではレセプタの大型化や複数化を図っているが、海外メーカーではレセプタの複数化を図っているメーカーも見られるが、多くは従来通りのシングルレセプタ方式を用いている。

4. まとめ

3-1～3-3 について、風力発電及び雷に関する知見を有する外部有識者で構成される委員会を設置し、実施内容・調査結果などに関して審議・検討を行いつつ業務を進めている。以下に今後の本事業での目標を示す。

4-1 高精度落雷リスクマップの作成

標定データと実測データの解析や、実測データと被害状況の解析を行い、それぞれの相関関係、地域特性を導き出して、風力発電に必要な雷強度マップを作成する。その上で、建設段階で導入可能な保護対策とそのコストと被害発生時のコスト（在庫確保、修理コスト、発電量損失、保険料）をフィルターとして雷強度マップに重ね合わせ、高精度落雷リスクマップを作成する。

4-2 効果的な落雷保護対策の確立

これまでに行われた調査結果や文献調査に加え、本事業での計測結果や試験結果から、効果的な落雷保護対策技術の確立を目指す。落雷電流計測、落雷様相観測、落雷被害詳細調査などの調査研究結果を整理することにより、それぞれの相関関係を明らかにすることから、風力発電設備に必要な落雷保護対策を整理する。

5. 最後に

当事業は一昨年度より実施中であり、現時点で 3 年目における途中段階での報告である。残りの期間でさらにデータを収集し、検討を施してより良い成果が得られることを期待する。

謝辞

本報告に関する調査研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託事業「次世代風力発電技術研究開発事業（落雷保護対策）」の一環として実施したものです。関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1 電気設備学会 “雷と高度情報化社会”, (1999).
- 2 NEDO, 風力発電設備への落雷対策に関する調査, (2007)
- 3 NEDO, 日本型風力発電ガイドライン, (2008)
- 4 “Wind turbine generator systems - Part 24: Lightning protection”, IEC TR 61400-24, (2002)
- 5 富樫、石井、荏原、夏野, “広帯域ロゴスキーコイルで測定される雷電流パラメータの不確かさ”, 平成 22 年電気学会全国大会, (2010)