

# 風力発電システムのリスク評価に関する研究

## —落雷の工学的リスクに基づいた考察—

日大生産工(院)

○潘 昊村

日大生産工(学部)

安福 紗英

日大生産工

三友 信夫

### 1. 緒言

近年、地球温暖化などの環境問題のため、再生可能エネルギー発電設備が急速に普及している。その中で、風力発電がコストや効率などの面で優れているため注目されている。風力発電の普及が進んでいるものの、一方では事故も報告されている。例えば、2018年2月、本荘港風力発電所で落雷が原因と考えられるブレード折損事故が発生した (Fig.1) <sup>(1)</sup>。他にも、事故の報告は様々なものがある <sup>(2)</sup>。



Fig. 1 本荘港風力発電所ブレード折損状況

風力発電が電力の供給源として確立するためには、発電インフラとして安定した電力供給が必須である。そのためには、様々な事故に対する事前・事後対応のみならず、これらに対応する適切かつ経済的な保全も重要である。保全については、予防保全と事後保全が知られているが、本研究では、予防保全の観点からリスク評価に基づいた検討を行う。

### 2. 解析方法

原子力や航空などの大規模システムで用いられている確率論的リスク評価 (Probabilistic Risk Assessment : PRA) による安全評価が行われている。

このPRAは、3段階で実施される。レベル1PRAでは原子炉の炉心損傷頻度、レベル2PRAでは炉心損傷により格納容器へ放出される放射性物質の挙動、レベル3PRAでは得られた炉心損傷頻度と放射性物質の挙動をもとに公衆の被曝量などの影響を評価するものである (Fig.2) <sup>(3)</sup>。

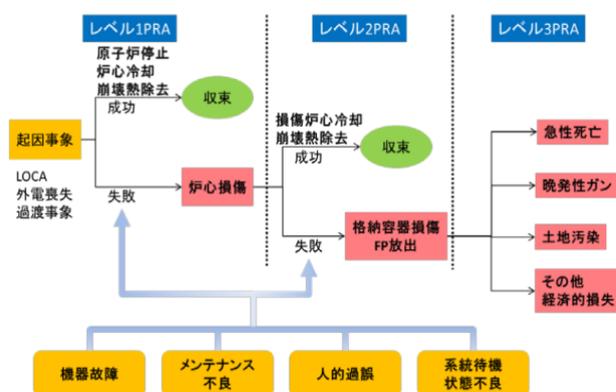


Fig. 2 レベル 1, 2, 3PRA の概要 <sup>(3)</sup>

本研究では、このPRAを風力発電へ適用することについて検討を行う。そのために、落雷事故を取り上げる。

まず、落雷事故の現状について調査し、さらに風車における雷電流経路及び雷電流を大地へ流す各部分を明確にする。得られた結果から、各部分・経路をもとにシナリオを設定した上で、ブレードに被雷する場合のイベントツリーを作成し、PRAの適用について検討を行う。

#### 2.1 被雷時各部分の役割

大電流の経路については、落雷に関する報告書を参考とした <sup>(4)</sup>。その一例をFig.3に示す。電流の経路における各部分の役割を以下に示す。

・レセプタ：ブレード上に落雷を受けるために設置され、雷電流をダウンコンダクタへ流す <sup>(5)</sup>。

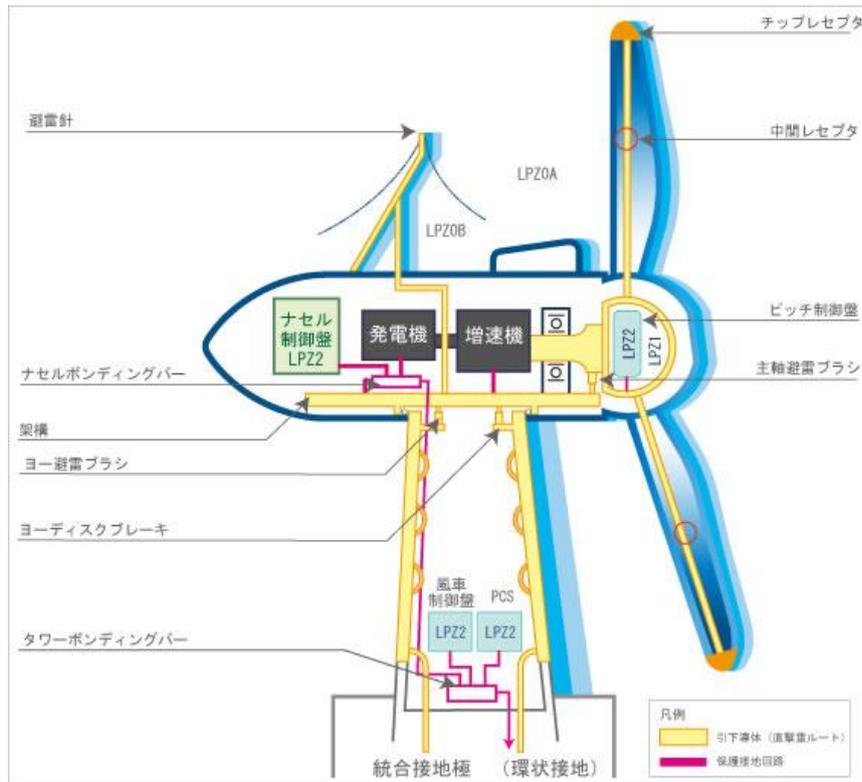


Fig. 3 ブレードレセプタへ着雷した場合の一般的雷電流経路<sup>(4)</sup>

・ダウンコンダクタ：レセプタからブレードの終端部へ雷電流を流す<sup>(6)</sup>。

・ブレード軸受バイパス：ブレード軸受に極力雷電流を流さないように設置され、主軸受へ雷電流を流す。

・主軸受バイパスブラシ：主軸受に極力雷電流を流さないように設置され、ヨー軸へ雷電流を流す<sup>(4)</sup>。

・ヨー軸受バイパスブラシ：ヨー軸受に極力雷電流を流さないように設置され、タワーへ雷電流を流す<sup>(4)</sup>。

・タワー：鋼製タワー（引下げ導線に必要な寸法を満足する）あるいは鉄筋コンクリートタワー（十分な断面積をもった鉄筋を用いる）は雷電流を下方へ流す<sup>(6)</sup>。

・基礎（接地極システム）：基礎は良好な接地物として働き、雷電流を大地に放出する<sup>(7)</sup>。

・直撃雷検出装置：風車へ落雷があった際には風車の運転を速やかに停止させ、ブレード・部品の脱落や飛散などの損害状況の拡大を防止する<sup>(8)</sup>。

## 2.2 解析条件

本研究における解析条件として、以下のように設定した。

まず、解析対象とした風車については、以下の基準等を満たすものとした。

・2000年代前半までに導入された風車は、日本の過酷な雷性状（特に冬季雷）を想定していないものが多かったため、この不十分な雷害対策によるブレード破壊事故が報告されている<sup>(9)</sup>。2010年12月の技術基準の改定により、風車にはレセプタ・ダウンコンダクタによる雷保護が義務付けられている<sup>(10)</sup>。

・2015年「発電用風力設備の技術基準の解釈」が改正され、冬季雷地域に建設されている風車には、風車へ落雷があった場合、風車を停止させるようにできる落雷検出装置の設置が義務付けられた。その中では、

- ①冬季雷地域に風車を建設する場合は少なくとも600Cの雷に耐えるよう設計すること、
- ②雷保護の効果が高く、かつ容易に脱落しないレセプタを設けること、
- ③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、非常停止装置等を施設すること（落雷検出装置の設置）が新たに規定された。

対象地域についても、以下のように設定した。

・日本は世界有数の落雷地域であり、特に日本海側では冬季に多くの落雷が発生し、甚大な被害が多い<sup>(11)</sup>。一方、夏季においては甚大な被害はほとんど見られなく、軽微な被害が全国的に発生しており、また、地域の偏在性は見られないと報告されている<sup>(13)</sup>。

さらに、雷対策重点地域（冬季雷に対しての対策を優先的に考慮すべき地域）は北海道南部から山陰地方にかけての日本海側の地域に分布しているほか、25%以上の風車もこの地域に建設されている<sup>(12)</sup>。

本研究では、落雷の多い日本海側に建設された風車を対象とする。

以上のことから、本研究の解析対象は、2015年2月の技術基準の改定以降、日本海側における風車（レセプタ、ダウンコンダクタ及び落雷検出装置が設置された風車）とする。さらに、落雷は落雷検出装置でのみ検出するものとする。

### 3. 結果

#### 3.1 解析シナリオ

前述の解析条件のもと、以下の様なシナリオを作成した。

ブレードに被雷するシナリオ：

- ① レセプタに直接被雷するかしないか（直接被雷する場合は④へ）
- ② ブレードへの沿面放電あるいは貫通放電（沿面放電した場合、雷電流がブレード表面に沿ってレセプタへ流れる；または貫通放電した場合、雷電流がブレードを貫通して直接的にダウンコンダクタへ流れる<sup>(5)</sup>。）
- ③ ブレード表面損傷の有無
- ④ レセプタの損傷の有無（レセプタは、雷を受けると熱により溶融する可能性がある<sup>(4)</sup>。日本海側沿岸で冬季に発生するエネルギーの大

きな雷をレセプタが受けると、一度の雷でレセプタが大きく損傷してしまうことがある<sup>(5)</sup>。）

- ⑤ ダウンコンダクタの損傷の有無（雷電流によりダウンコンダクタが溶損する可能性がある<sup>(13)</sup>。）（約5%のブレードでダウンコンダクタが断線している<sup>(12)</sup>。）

- ⑥ ブレード軸受バイパス導体の成功・失敗
- ⑦ ハブの損傷の有無
- ⑧ 主軸受バイパスブラシの機能の成功・失敗
- ⑨ ヨー軸受バイパスブラシの機能の成功・失敗
- ⑩ タワーの導通の成功・失敗
- ⑪ 基礎（接地極システム）の導通の成功・失敗
- ⑫ 落雷検出装置（雷直撃後の運転継続により、ブレードが大きな被害を受ける可能性があり<sup>(14)</sup>、またブレードの脱落や飛散事故などの重大事故を招く危険性がある<sup>(8)</sup>。雷電流を大地へ流すことが失敗した場合、直撃雷検出装置が直撃雷を検出して風車を停止することで、風車が損傷するが、飛散事故などの事故拡大に至らない。直撃雷検出装置が検出できない、あるいは風車を停止することができないため、運転継続によりブレードの脱落や飛散事故などの重大事故に至る。）

以上の解析シナリオに基づき、作成したイベントツリーの一部をFig. 4に示す。

#### 4. まとめ

本研究では、風力発電の安定した電力供給のために、リスク評価の導入の検討を行った。

今回は、イベントツリーによるリスク評価の

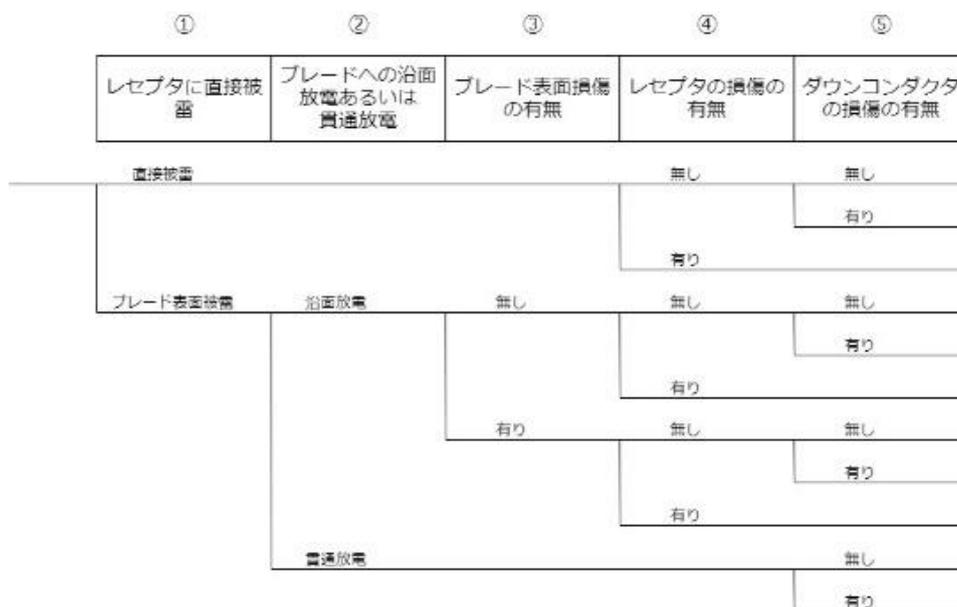


Fig.4 ブレードに被雷する場合のイベントツリー

検討を行った。今後は、各分岐確率の設定のために、システムの故障率等の検討を行う必要がある。これらの設定が可能となれば、定量的評価が可能となり、重要度評価等の導入も可能となる。

#### 参考文献

- 1) 羽後風力発電株式会社：「本荘港風力発電所ブレード折損事故に関する報告」，平成 30 年 8 月． p.18.
- 2) 新エネルギー・産業技術開発機構，平成 20~24 年度成果報告書.
- 3) 日本原子力学会，リスク評価の理解のために， AESJ-SC-TR011:2015（2016） pp.14-15, p.15.
- 4) 電気学会 風力発電システムの雷リスクマネジメント技術調査専門委員会：「風力発電システムの雷リスクマネジメントの現状と今後のあるべき姿」，電気学会技術報告, No.1422 (2018) pp.15-16, pp.34-35.
- 5) 山本 和男，本庄 暢之：「風力発電設備の耐雷健全性維持技術の最新動向」，電気学会論文誌， Vol.138, No.4（2018） pp.251-252.
- 6) 日本産業標準調査会，風車一第 24 部：雷保護， JIS C1400-24 (2014) p.20, p.23.
- 7) 山本 和男ら，風力発電システム基礎の接地特性，電気学会研究会資料， HV-14-23, (2014) pp.31-32.
- 8) 廣岡 征紀，風力発電設備における落雷検出について，電気学会研究会資料， HV-15-70, (2015) p.18.
- 9) 本庄 暢之，風力発電システムの雷害状況，電気学会誌， Vol.139, No.8, (2019) pp.522-525.
- 10) 新エネルギー・産業技術開発機構，平成 28 年度～平成 29 年度成果報告書 風力発電等技術研究開発風力発電高度実用化研究開発スマートメンテナンス技術研究開発，(2018) p.11.
- 11) 手島 朋祐ら：「風力発電システムへの落雷被害に関する研究」，電気学会研究会資料， HV-15-47, (2015) p.21.
- 12) 山本 和男，風車耐雷性能向上に向けた試みと今後のシナリオ，(2019) [https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan\\_shohi/denryoku\\_anzen/newenergy\\_hat](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/newenergy_hat)

suden\_wg/pdf/015\_01\_02.pdf ，（参照 2019-9-18）

- 13) 新エネルギー・産業技術開発機構，日本型風力発電ガイドライン 落雷対策編，(2008) <https://www.nedo.go.jp/content/100107252.pdf>，(参照 2019-9-30)
- 14) 本庄 暢之，冬季雷による風力発電設備と電力設備の雷被害の詳細調査，電気学会研究会資料， HV-14-20, (2014) p.15.