

風力発電システムの雷被害に関する研究*

A Study of Improvement in a performance of Wind Power Generation Systems and Lightning Damage

出野 勝** 牛山 泉*** 関 和市****

Masaru IDENO Izumi USHIYAMA Kazuichi SEKI

1. はじめに

わが国における風力発電システムの導入はその設置数の急激な増加で 2004 年には導入設備容量が約 93 万 kW に達している。これに伴ってわが国特有の風力発電設備に対する阻害要因が見られるようになってきており、それらが風力発電設備の稼働率や設備利用率低下をもたらし、風車性能の向上を妨げているといえる。阻害要因として最近注目されている地象に関するものには台風、風の乱れ、落雷があげられる。大型のウインドファームの増加に伴いこれらの阻害要因に対する適切な対応、導入に対する対策を講じることが急務と考えられる。日本型風力発電システムが備えるべき要件や対策についての指標を定める必要がある。ここでは従来個別に対応されてきていた風力発電設備への避雷対策に焦点をあて、過去のブレードの避雷に関する実験データをもとに雷害に対する考察を行い、風力発電設備の性能向上に資するものである。

2. 欧州における風車落雷被害実態

IEC における風車落雷被害統計ではデンマーク、ドイツとスウェーデンにおける風車の構成要素別故障状況が示されている。出力 450kW 以上（デンマークは除く）の風車による風車ブレードの故障状況はそれぞれ 10%、35%と 43%で落雷被害故障割合のうち多い要素となっている。構成要素別故障状況を表 1 に示す。

3. わが国における風車落雷被害実態

わが国における風車落雷被害実態としてのデータとしては平成 11 年の NEDO における導入実施地点における被害調査結果があり、ブレードの全被害損傷に占める割合は 17%となっている。

表 1 構成要素故障状況 (単位:%)

被害構成要素	デンマーク	ドイツ*1 450kW 以上	スウェーデン*2 450kW 以上
ブレード	10	35	43
電源システム	20	20	22
制御システム	51	36	18
機構部	7	4	4
その他	12	5	13

*1 ブレード:ハブ、回転ブレード 電源システム:電気システム、発電機 制御システム:センサー、制御システム 機構部:ギアボックス、駆動装置、構造部 その他:機械ブレーキ、油圧システム、揺動システム

*2 ブレード:ブレード 電源システム:電源システム、発電機 制御システム:制御システム 機構部:塔、ベアリング、風車全体 その他:油圧システム、ブレーキシステム、揺動システム、特定できない、その他

(IEC61400-24 4.2.3 より作成)

近年は風車の大型化、風力発電事業規模の増大傾向から大型風車のブレード被害が見られるようになってきている。ブレード以外の電気・制御機器に対する落雷被害も多く見られるが、修復は地上部やタワー内で行われる場合が多く、ブレードのように輸送や交換にあたって大幅な期間を要することはない。

平成 15 年における落雷による風車の運転停止状況を表 2 に示す。

この結果から見ても風車ブレードの損傷による停止期間の割合が 10%程度にもなっている。さらに積雪地における冬季間の被害であれば雪解けまでの作業休止期間が加わることとなり、停止期間はさらに長期間となる。あわせて積雪地域である日本海側において冬季雷が多いことはこの問題をさらに深刻なものにしている。

*平成 17 年 11 月 25 日第 27 回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

** 会員 東洋設計

*** 会員 足利工業大学

**** 会員 東海大学総合科学技術研究所

表2 落雷による運転停止時間

番号	発生箇所	内容	停止 (hr)	割合 (%)
例1	制御コンピュータ	落雷損傷	70	0.8
例2	シーケンサ	雷サージ損傷	129	1.4
例3	リレー	落雷故障	190	2.1
例4	制御回路	落雷不具合	360	4.1
例5	発電機	落雷損傷	536	6.1
例6	発電機	落雷損傷	191	2.1
例7	発電機	落雷損傷	434	5.0
例8	通信回線	異常電圧入	240	2.7
例9	風車ブレード	落雷損傷	840	9.6
例10	風車ブレード	落雷損傷	1048	12.0
例11	風車ブレード	落雷損傷	-	-
例12	通信機器(ブレード)	機器損傷	173	2.0
例13	通信装置	落雷故障	-	-
例14	プログラム	落雷異常	-	-

(H15年度風力発電の技術的課題に対するアクションプランの検討付属資料)

4. 風車ブレードへの被害

近年は海外メーカーの風車の大型化、国内風力事業規模の増大傾向もあって、風車の大型化が顕著となっている。最近の大型風車ではブレード先端部までの高さが100mを越えるものも多く見られ、風車設備の増加に伴い、落雷被害頻度も上がってきている。特に大型風車のブレード被害は修復コスト、交換に要する期間(輸送、据付け等)の長期化に伴い、風車停止時間の増加による風車設備の稼働率、設備利用率の低下をもたらしている。このことはブレード以外の電気・制御関係機器の落雷被害の多くが、修復にはタワー内や地上部での作業で可能となることに比べて、風車に与える影響がいかに大きいか明らかである。図1、2に落雷により破損したブレードを示す。

5. 雷と風車ブレード

冬季雷の特徴としては沿岸部での発生が多く、風上側の高構造物に被雷するとともに、上向き雷として高構造物に被雷する事が多い。また、冬季雷は一般に雷撃電流の継続時間が長く、いわゆる長波尾雷が多く見られる。冬季雷の雷継続時間は夏季雷の100倍以上となる場合もある。夏季雷はほとんどが負極性雷であるが、冬季雷は正極性雷が多く、上向き雷も多い。冬季雷が風車ブレードに与える影響は十分に把握されてい



図1 落雷により破損したブレード

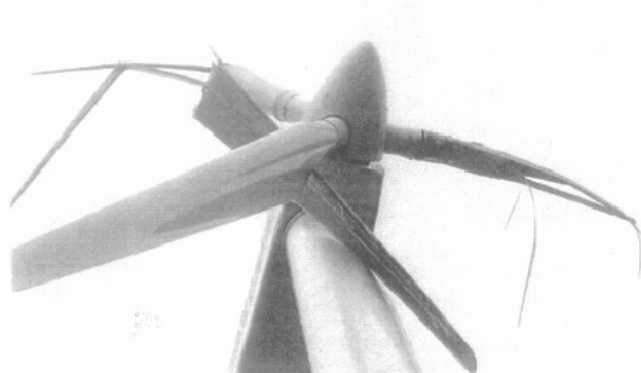


図2 落雷により破損したブレード

ないが、これらの冬季雷の特性が冬季の風車ブレードへの雷被害の頻度を増加させていると考えられる。IECの記載ではブレードにおける落雷被害の典型は、表面複合材料の層間はく離や燃焼及び落雷点の金属構成要素(受雷器、導電体)の加熱または溶断とされている。ブレードの被害は雷電流またはその一部が複合材料の中または層間を導電し、そのときに発生する衝撃波がブレードのエッジに沿ったり内部からブレード表面を引き裂いたり破裂させる。また、雷がブレードの中にアークを形成したときに風車ブレードが最も激しい被害を受けるとされている。ブレードの被害程度は表面のひび割れからブレードの完全破壊まで変化しているのが見られる。複合材料の破壊形態としては衝撃、疲労によるものが最も研究されている。しかし材料の破壊挙動が複雑でメカニズムの追求が難しいといわれる。ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)や炭素繊維強化プラスチック(CFRP)は単一材料では望み得ない数々の優れた特徴を有するため、初期の木材等に代わるものとして風車のブレード材料として用いられてきたことは周知の事実である。複合材料の特徴としては以下のものがあげられる。

耐衝撃性

破壊直前まで歪みエネルギーとして衝突に対する衝撃を吸収でき、この点では金属より優れている。

力学的強さ

比強度が強く、積雪、風圧等の外圧に耐える。

一体成型性

複雑な曲面のものを一体成型でき、デザインに自由度を与えられる。

電気絶縁性、電波透過性

電氣的に絶縁性のある構造・機構の部材として使え、電波透過を必要とする構造体として使える。

耐食性、耐薬品性

樹脂と補強材の組み合わせにより対応できる。

表面状態がよい

型へのなじみが良く、平滑な面が得られ、自由に着色できる。

これらの軽量、高剛性、高強度、耐腐食性に優れる反面、複合材料の欠点としては以下のものがあげられる。

断層品の断間せん断強さが劣る

異方性が強く、積層構造のため内面に比べて層間の物性が低い。

材料強度増に難がある

材料強度は繊維の配交角を変えることで改善できるが、層間は繊維で補強できない。

表面が傷つきやすい

金属等の材料に比べ、表面硬化度が劣る。

耐燃性が不足

難燃性までは可能であるが、不燃性にはできない。

F R P積層板の破損の多くが層間破壊に起因することとなっており、層間破壊に影響を与える因子としては荷重、負荷速度、残留応力、温度・水分、樹脂の種類、成形法、積層構成、板厚等が挙げられるが、実際は複数の破壊様式が関連しあって層間破壊進行をもたらしていると考えられ、複合破壊様式として理解すべきと考えられる。これらの因子となる外力が落雷によってもたらされていると考えることができる。

現在設置されている風力発電設備で被雷時の雷電流計測を行っているものは数えるほどしかなく、被雷結果から落雷の状況を想定するのが実状である。

風車やブレード模型を用いた雷撃実験も行われているが、室内実験と実機が落雷を受ける条件にはかなり

の開きがあると考えられる。実験値と計算値、実際の被雷状況には差異が見られるようであり、現象の把握はできているが、性状の把握が不十分な段階であると考えられる。静止状態のブレード模型に対する雷撃実験と、実機ブレードに対する被雷状況の関連を十分に把握する必要があると考えられる。

6. 風車の耐雷性能

風力発電設備の導入が増えるにしたがって日本の気象条件による問題が発生している。日本海側の冬季雷による風力発電所への落雷被害もそのひとつといえる。日本海側で見られる冬季雷は、西北海道から山陰地方までの日本海沿岸の一带で発生し、年間の雷発生日数が30～40日に及んでいる。この地域には現在およそ46箇所の風力発電設備サイトがあり、そのうちの23箇所が落雷被害を受けている。被雷鉄塔設備を備えた風力発電所はこのうち8箇所ある。避雷針の効果は100%ではないが、十分に検討された被雷鉄塔については効果が見られるものがある。

雷電流によっては電路の温度上昇やアークによる溶損などの熱的影響の他に機械力による機械的影響も見られる。例えば放電路の急激な過熱により膨張、圧縮を生じ、超音速の圧力波が周囲に伝播し衝撃圧力が発生することが計算から推定されている。

冬季雷は夏季雷と異なり瞬間的な電流でなく、大電流がある程度の持続時間をもって流れる非常にエネルギー量の大きな雷である。したがって電氣的な被害と同時に、落雷エネルギーがブレードの水蒸気と反応して起こる爆発が原因とみられる墳破や破損をもたらすといわれている。

I E C 61400-24における雷被害対策は従来の欧米の風力発電設備（ブレード長20m以内の風車）の被害実績をもとに受雷部断面積や導電体の断面積を設定したもので、大型風力発電設備や雷エネルギーの大きな落雷（冬季雷等）に対しては、今後のデータの蓄積と実績評価が必要とされている。

被雷については好風況地の多い日本海沿岸の地域における風力発電の導入促進とリスク回避の意味からも落雷による全国規模の風車被害調査を行い、冬季雷の計測を実施して冬季雷の特性データを収集し、それらを総合的に検討した落雷マップを作成することや落雷保護対策としてのガイドラインを作成することが必要と考えられ、現在「風力発電設備への落雷対策に関する調査」が昨年、「日本型風量発電ガイドライン策定」が今年からNEDO事業として実施されている。

平成7年12月石川県松任市(図3、4)や平成14年1月青森県六ヶ所村で発生した風力発電設備の火災事故等落雷が原因となってブレードから風車設備の焼損に至るケースが見られる。先の複合材料の欠点にも結びつくものである。



図3 焼損したブレード部



図4 焼損したブレード部

7. 風車の雷害に関する実験的研究

最近ではブレード模型や翼実物を用いた雷害状況試験が行われ、貴重な結果が得られるようになった。過去のいくつかの実験結果から以下のことが明らかとなった。

初期の実験では導体翼(CFRP)は落雷を受けやすく、非導体翼(GFRP)は落雷を受けにくいとされていたが、絶縁ブレードにても雷撃の可能性があることが明らかとなった。

ブレードの外表面には受雷部を設けると効果がある。受雷部の位置はブレード先端が望ましく、受雷部、内部導体は雷電流に十分な表面積、断面積を有する金属が望ましい。

ブレード表面に絶縁性塗料を塗布した場合繰り

返しの被雷を受けると塗装がはがれ、効果が失われる。

アルミニウムコーティングを行った導体翼(CFRP)、非導体翼(GFRP)では無処理のものに比べて被害軽減効果がみられる。

ブレードが非導体翼(GFRP)で、ブレード内が空洞の場合被雷による内部の金属導体の温度上昇による急激な空気膨張でブレード破損を生じることがある。

非導体翼(GFRP)ブレードでも降雨や塩分付着、長期にわたる汚損によって導電性が増すことがある。

ブレード先端部を金属体(アルミニウム)としたり、受雷部を増やすことで避雷効果がある。

併設する避雷鉄塔に有意性が見られる。

8. まとめ

風力発電風車ブレードの雷被害対策として、風車ブレードの物性に関する今後の課題として考えられるものとしては、以下のものが挙げられる。

- 1) ブレード焼損メカニズムの解明
- 2) 内部空気の膨張と圧力の影響
- 3) 内部空気の混入メカニズム(品質管理、表面劣化等)
- 4) 絶縁材料、汚損状況、ブレード表面処理と沿面放電現象の観察

以上の項目について雷被害との関連を見いだすことができれば、ブレードの物性が耐久性のみでなく、落雷被害軽減にも影響を与えることとなり、風車の性能に影響する要因として、風車性能の向上に寄与する事が考えられるものである。

参考文献

- (1) 出野,「風力発電システムの性能向上と雷害に関する考察」電気学会 電力・エネルギー部門大会論文,(2004)
- (2) 出野,「風力発電システムの性能向上と雷害に関する考察」太陽/風力エネルギー講演論文集,(2004)
- (3) 横山 茂・Nilesh Vasa,「風車ブレード雷害の問題点と対策の方向性」電気学会放電・高電圧合同研資, ED-02-56, HV-02-40,(2002)
- (4) IEC-61400-24, 他