

■特集

日本型風力発電ガイドラインについて

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

新エネルギー技術開発部 主査 白石 浩之

1. はじめに

近年では、化石燃料の消費に伴う大量の二酸化炭素の排出が地球の気温を上昇させるという地球温暖化を引き起こしています。この地球の温暖化は、気候の変化や氷河融解による海水面の上昇など、人類の生活環境や動植物の生息環境に深刻な影響を生じさせます。このため、1997年12月「地球温暖化防止京都会議」（京都議定書）において、先進国の温室効果ガスの排出削減目標が決められました。

我が国においては、石油代替エネルギーへの転換と新エネルギーの開発を加速させ、エネルギー源の多様化による供給の安定化とエネルギー源起源の二酸化炭素の抑制が進められています。

新エネルギーとは、自然の力を利用したり、今まで使われずに捨てていたエネルギーを有効に使ったりするもので、石油への代替や二酸化炭素の排出量を減らすことができるなど、地球環境にやさしい再生可能エネルギーです。

風力発電は、地球上に無尽蔵にある風力エネルギーを利用して電気エネルギーに変換するもので、他の新エネルギー発電方式に比べて、その経済性、効率性および環境性に優れています。

2. 風力発電の導入の目標及び現状

我が国の新エネルギーについては、1997年に「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（新エネ法）」の施行により、政府による新エネルギー導入促進策の強化が図られるとともに、地方公共団体や民間企業・団体等により活発な取り組みが進められました。2001年6月、経済産業相の諮問機関である総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会によって、2010年度における新エネルギーに関する導入見通しが試算され、風力発電における導入目標としては300万kWが設定されました。

我が国における風力発電の導入は、1990年の電気事業法関連法令の改正、1992年から始まった電力会社による各種電力購入メニュー、1993

年の系統連系技術要件ガイドラインの整備、2003年の電気事業者に一定量以上の新エネルギー等による電気の利用を義務づける「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）」の施行など、風力発電に関わる制度や支援策により導入促進が図られてきました。

一方、NEDOにおいては、1993年度に全国風況マップを作成し、1995年度からの風力開発フィールドテスト事業、1998年度からの地方公共団体及びNPOなどの営利を目的としない民間団体等を対象として必要な経費に対して補助を行う「地域新エネルギー導入促進事業」と民間事業者を対象とした「新エネルギー事業者支援事業」（2002年度より国の直轄事業となる）を開始しました。さらに、加速的な推進を図るため、2005年度からはNPOなどの営利を目的としない民間団体等が行う普及啓発事業に対して補助を行う「新エネルギー・省エネルギー非営利活動促進事業」も開始させました。一方では、これらの事業と並行して、1996年度には「風力発電導入ガイドブック」の初版を発行し、現在改訂第9版に至るなど、風力発電の導入・普及を促進してきました。

このような背景の中、我が国の風力発電設備の導入量は、2007年度末に総設備容量167万kWを超え、総設置基数1,409基を達成しています（図2-1）。また、設備容量を設置基数で割る

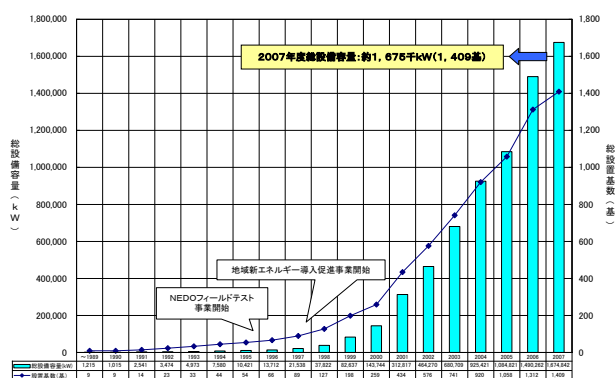
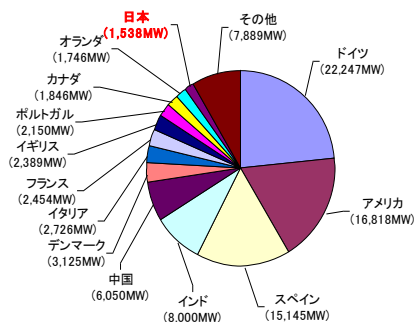


図2-1 日本における累計導入量の推移

とわかるように、1基当たりの平均設備容量は、2004年度末から1,000kW/基を超えており、主要な風力発電先進国と同様に風車の大型化が進んでいます。

しかし、これは国が定めた2010年度の導入目標300万kWの約2分の1に過ぎません。また、世界全体の総導入量のわずかに約1.6%を占めるに過ぎず、第13位となっています(図2-2)。この目標は、官民によるコスト低減努力と導入促進のための最大限の取り組みが行われることを前提としており、今後も、目標達成に向けて更なる一層の努力と促進策が望まれるところです。



出典: GWEC, GLOBAL WIND 2007 REPORT
図 2-2 国別風力発電導入割合

3. 日本型風力発電ガイドライン策定事業

我が国特有の自然特性(地形、気象条件)に起因する影響が指摘され、風力発電設備に停止、損傷などの被害の増大が指摘されています。そのため、2005年度から3ヶ年の事業として「日本型風力発電ガイドライン策定事業」が進められました。この事業では、風力発電設備の故障・事故の主たる外的要因として挙げられている「台風(強風)」、「風の乱れ」、「落雷」について調査・検討を行い、風力発電設備を設置する事業者を主たる対象と見据え、風力発電設備設置予定地で予想される風況(強風、風の乱れ)の把握方法、条件に適応した風車の選定方法、推奨できる落雷保護対策等を取りまとめて「日本型風力発電ガイドライン」を策定しました。

まず、風況(台風・風の乱れ)に対しては、下記の項目について実施しました。

- ① 既存規格の調査・整理
- ② 強風発生地域、風の乱れの大きい地域を選定した風況の実観測
- ③ ②の実観測と同時に風車にかかる応力を計測
- ④ 地形の影響評価等を目的とした風況シミュレーションの実施

- ⑤ 風の乱れと設備の疲労との関係性を評価するための風洞実験の実施

以上の観測、計測、実験等の結果を解析・評価して、「日本型風力発電ガイドライン 台風・乱流対策編」としたガイドラインを策定しました。

まず、風力発電の事業者が、風車を設置するにあたり、「風車選定のための風条件の設定」(本文5.1節)で風車設置場所における風条件の評価手順(図3-1)を示し、さらに「風車の選定」(本文5.2節)でその評価に基づいて適合する風車を選定するための手順(図3-2)を提示しています。

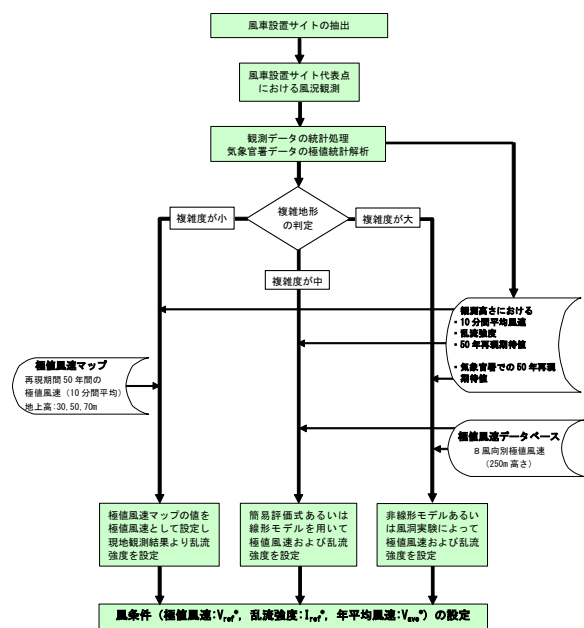


図 3-1 風条件の評価手順

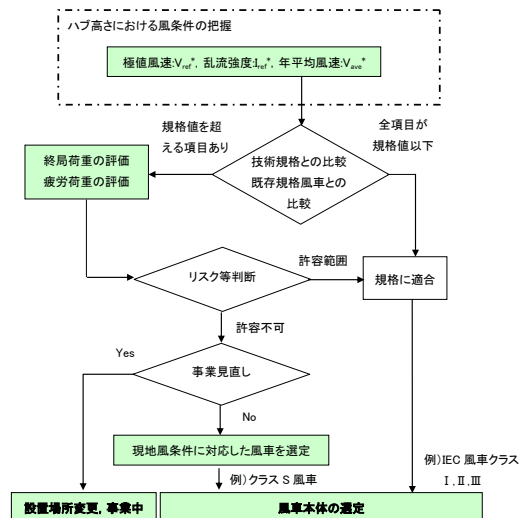


図 3-2 風車設置場所の風条件を考慮した風車本体の選定手順

具体的には風条件として、極値風速、乱流強度および年平均風速を設定する必要があります。このための評価方法を「風条件の評価方法」(本文 6 章)において詳細に記載しています。本ガイドラインでは、極値風速および乱流強度の評価法を地形の複雑度の大きさ別に選択する方法を提示しており、ここ(本章)では「地形の複雑度の判定」とともに、「極値風速マップ及び極値風速データベース」、「乱流強度の設定方法」等について取りまとめています。特に、極値風速の評価においては、風車観測場所で十分な期間の観測データがない場合、もしくは近傍気象官署データとの相関が高くない場合、短期間の風況観測のみから再現期間 50 年という長期間の極値を統計的に推定すると誤差が大きくなってしまう場合があります。そこで、それを補間するため、本ガイドラインでは、建築学会「建築物荷重指針・同解説」(2004)におけるデータをもとに、数 km 以上のスケールでの大規模地形の影響を考慮して「極値風速マップ」(図 3-3) および「極値風速データベース」を支援資料として提供しています。

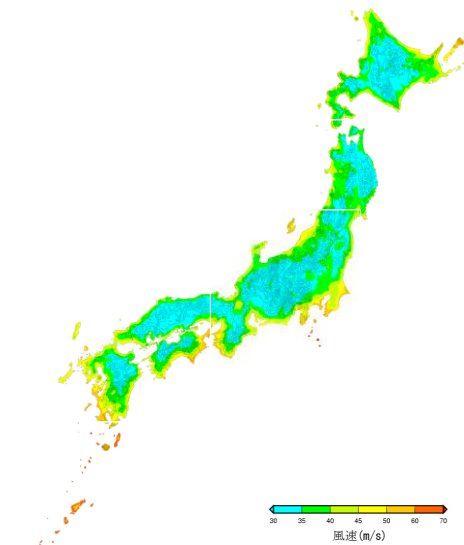


図 3-3 極値風速マップ (地上高 70m)

例として、本事業において風況観測および風車の荷重計測を行った 7 つの地点(図 3-4)に対して、策定した本ガイドラインを適用して風条件の評価を行いました。それらの結果は表 3-1 に示すとおりであり、各地点の風況を IEC Class I A と比較すると、いずれかのパラメータが IEC 規格を超過しています。観測地点は、台風通過地域および複雑地形のいずれかを含むように選択されていることもあり、表 3-2 に示す風が

観測されています。

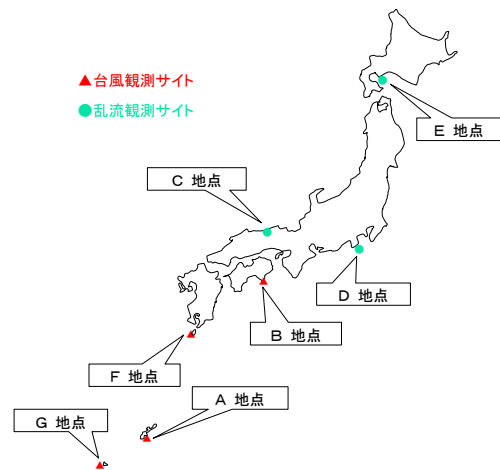


図 3-4 観測地点

表 3-1 現地での風特性と規格における標準仕様との比較

No.	項目	A	B	C	D	E	F	G	IEC (I A)
1	基準風速	△	△	○	△	◎	△	(△)	50m/s
2	年平均風速	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	10m/s
3	乱流強度	○	○	○	○	○	△	△	0.16
4	吹き上げ角	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	8°
5	鉛直分布	△	◎	◎	○	◎	◎	◎	0.2

表 3-2 各サイトにおいて観測された風

サイト	最大瞬間風速	最大風速	突風率	対象
A	73m/s	52m/s	1.4	台風4号
B	47m/s	26m/s	1.8	寒冷前線
C	48m/s	25m/s	1.9	台風13号
D	58m/s	40m/s	1.4	台風20号
E	34m/s	21m/s	1.6	台風9号
F	48m/s	28m/s	1.7	台風4号
G	46m/s	32m/s	1.4	台風12号

最後の「リスク評価」(本文 7 章)では、実際の観測、計測、実験等の結果を解析・評価を踏まえて、風車に作用する風荷重について検討しています。

一般の構造物では、風荷重は風速の二乗に比例して大きくなり、設計上考慮すべき最大風速時に風荷重も最大となります。このとき、風力係数は、構造物の形状により定まる定数であり、風向のみに依存します。

一方、風車においては、風向が一定でも風に対する姿勢(ヨー角やピッチ角)及び運転状態(ロータ回転数)が変化し、これに応じて風力

係数そのものも変化します。したがって、風荷重が最大となるのは最大風速時に限らないこととなります。さらに、ヨー角の変化により、風向によらず風力係数が最大となる可能性が常に存在することとなります。

そこで、風車の風に対する基本的な応答特性を調査するため、実風車の30分の1の模型風車(図3-5)を用いた風洞試験を実施し、作用する空力荷重に関する実験データを取得しました。



図 3-5 模型風車による風洞実験

さらに、実計測では、たとえば、図3-6は本事業において計測を実施したA地点～D地点の4種類の風車タワー基部における(合成)曲げモーメント荷重の時間平均値及び最大値を、定格風速でのタワー基部モーメントで正規化した値を風速に対してプロットした例です。本図からわかるように、それらの風車規模はそれぞれ異なり、定格出力が最大3倍近くも異なりますが、ほぼ類似したプロットとなります。一方、最大値のバラツキは、各地の乱流強度や風車の動特性の相違が原因と考えられます。万が一、何らかの故障でピッチ角、ロータ回転数が正常に制御できない場合には、作用する荷重は大幅に増大することとなります。

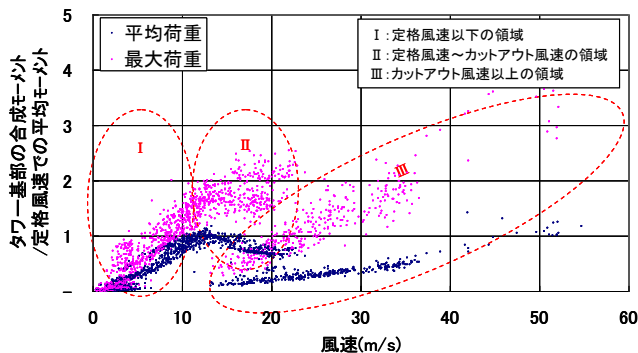


図 3-6 風車タワー基部における荷重の実測結果例(風車A～D)

また、図3-7では、D地点においてカットア

ウト風速付近で、発電を停止するためにピッチ角をファイン状態からフェザリング状態に変化させた状態を含んでおり、その前後におけるナセル上の加速度方向の変化を示しています。すなわち、発電時では風方向の加速度(青色)が卓越していますが、風速(緑色)が上昇してカットアウト状態に推移するためピッチ角をフェザリングにした場合に、風直角方向の加速度(ピンク色)が卓越することが判ります。

このように、若干専門性が高いものとなっています。

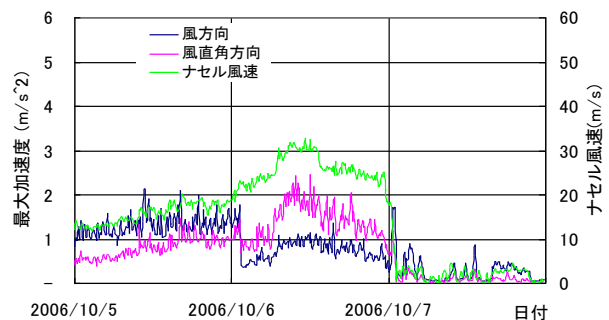


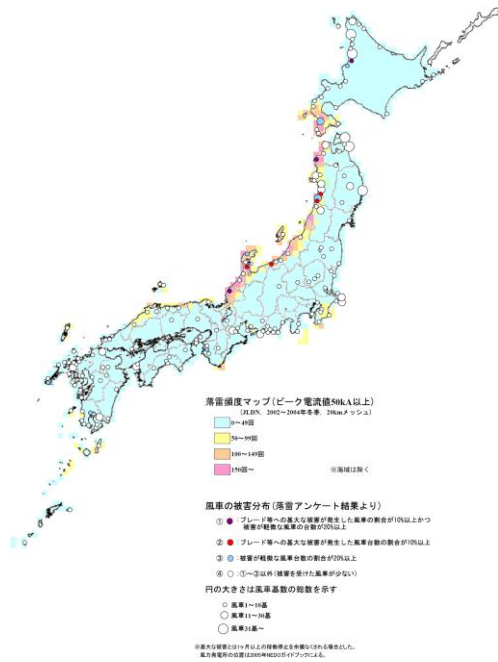
図 3-7 風速に応じた加速度の方向性の変化

一方、落雷に対しては、下記の項目について実施しました。

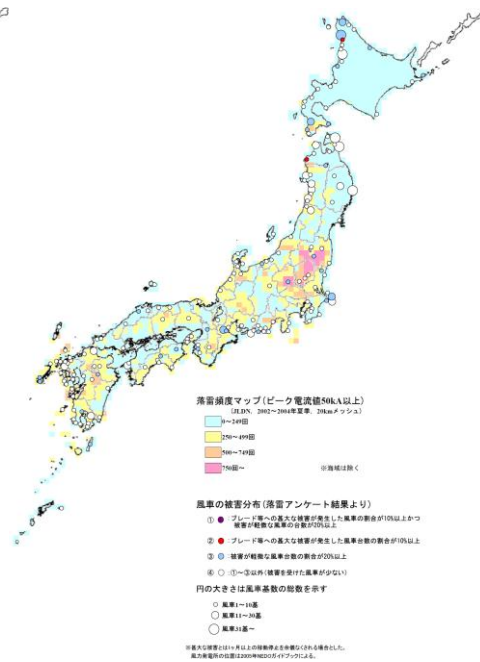
- ①我が国の雷の特徴を把握するための既存の雷データの調査・整理
- ②我が国の落雷に対する風力発電設備の被害調査の実施
- ③落雷による設備への影響・損傷メカニズム評価及び保護対策評価を目的とした落雷模擬試験の実施

以上の調査、実験等の結果を解析・評価して、「日本型風力発電ガイドライン 落雷対策編」としたガイドラインを策定しました。

まず、「日本の雷と雷被害実態」(本文5章)において、日本の雷の特徴と、近年頻発している風力発電設備の雷被害の実態について調査結果を示しています。それによると、日本の雷の特徴として、夏季(4～10月)と、冬季(11～3月)で発生する雷の様相が大きく異なっており、冬季と夏季での被害数を比較すると、冬季の被害数が多く、一方、冬季と夏季の落雷数は夏季の方が多い傾向にあります。このため、冬季と夏季の落雷数と被害数との関係を比較しますと、冬季では落雷数と比較して風力発電設備の被害数が多いことが言えます。このため、冬季と夏季とを分けて落雷頻度・被害マップ(図3-8)を作成しています。



(a) 冬季の落雷頻度・被害マップ



(b) 夏季の落雷頻度・被害マップ

図 3-8 落雷頻度・被害マップ

冬季の落雷頻度・被害マップ（図 3-8(a)）から、落雷の頻度が多い地域とブレードに甚大な被害が発生した風力発電設備の場所は、ほぼ重なっていることがわかります。また、冬季雷の計測において、北陸地域では 400～500 クーロンの電荷量を持つ落雷も計測されています。このことから、冬季雷が風車に落雷すると、甚大な被害につながる可能性が高いことが推測されます。

一方、夏季の落雷頻度・被害マップ（図 3-8(b)）からは、落雷頻度が多い地域は、北関東・東北・九州地域などですが、風車の雷被害発生場所は落雷頻度が多い地域に限定されず、全国的に広がっています。また、甚大なブレード被害はほとんど発生しておらず、制御機器等の軽微な被害が大部分です。

これらの結果を総合的に判断して、冬季雷に対する対策を優先的に考慮すべき地域を『雷対策重点地域』として指定した「落雷リスクマップ」（図 3-9）を作成しました。この落雷マップは、風力発電設備の導入にあたって被害予想の一助となると考えます。

次に、「雷保護」（本文 7 章）においては、IEC などの既存の雷保護資料などを調査し、風力発電設備の各部位における雷保護対策を整理するとともに、本事業で実施した落雷模擬試験（図 3-10）、雷性状のデータ、及び雷被害状況資料等をもとに風力発電設備の雷保護対策を取りまとめています。

ガイドラインの策定にあたっては、実際のブレードがどのように破損に至るのか、また、各種落雷保護方式がどの程度の雷のエネルギーに耐えるか、定量的に掴む必要があります。そのためには落雷を模擬した試験を行う必要がありますが、実際には非常に高電圧かつ大電流の雷が存在するため、試験設備によって再現するのは困難です。

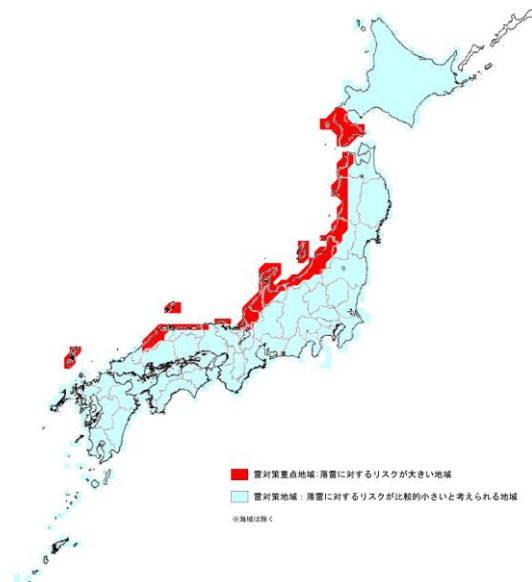


図 3-9 落雷リスクマップ

そこで、雷の様相を高電圧と大電流に分け、以下に示す「高電圧放電試験」と「大電流エネルギー試験」を実施しました。これらの試験を

もとにして、ブレードがどのような経緯で破損に至るかを解明し、ブレードに対して有効な落雷保護対策を検討しています。

高電圧放電試験は、レセプタやブレードの表面状態によって、ブレードへの雷撃の飛びつき様相がどう変化するかを調べることを目的とし、図 3-10(a)に示すような試験です。

また、大電流エネルギー試験は、ブレード内部にアークを発生させる試験を実施し、ブレード損傷のメカニズムを解明するとともに、レセプタやダウンコンダクタ等の落雷保護設備の雷電流耐量の確認することを目的とし、図 3-10(b)に示すような試験です。

最後に「雷被害のリスク及びリスク低減対策」(本文 8 章)において、風力発電設備が被る様々な雷リスクを評価することで、風力発電設備を設置する際に施すべき対策の指針を示しています。

4. おわりに

本ガイドラインの台風・乱流対策編では、我が国特有の風による風車被害の軽減と、風車の安全な運転に寄与することを目的として、計画地点において発生が予想される最大風速や風の乱れに対処するため、主に風車を設置する事業者が、計画地点で予想される風況を把握する手法と、風車の選定手順、参考となる技術情報を示したものです。

また、同ガイドラインの落雷対策編では、落雷リスクマップで雷対策重点地域を示したことにより、事業者に対して落雷保護の必要性を示しました。

なお、本ガイドラインの作成にあたっては、現時点で得られた知見を最大限に活用していますが、得られるデータの質・量および解析手法には限界があり、今後さらなるデータの蓄積を行い、ガイドラインとして充実していく必要があります。

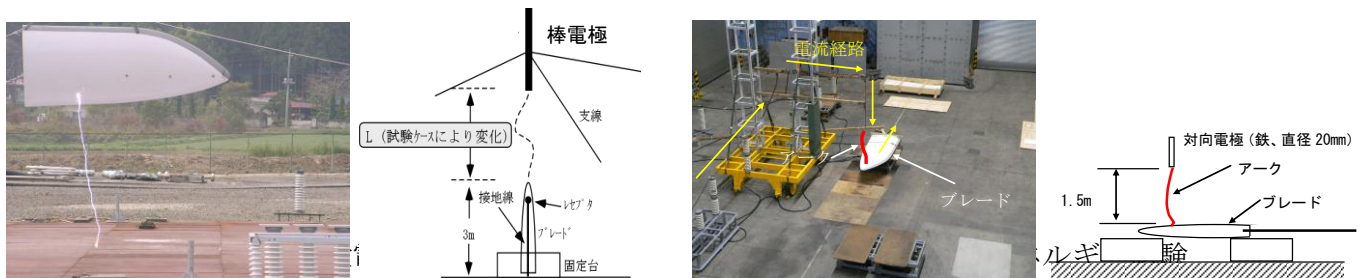


図 3-10 落雷模擬試験