

第 1 回 WG 資料にて、レセプタ脱落再発防止対策（①レセプタの脱落防止強化策 ②直撃雷検出装置設置と雷撃時の風車停止、点検 ③機械的な脱落防止策 ④雷接近時の風車事前停止）のうち、冬季雷地域であるあわらでは①～④、冬季雷地域ではないひびきでは①～②を実施することを説明したが、本資料ではその具体的な内容を説明する。

1. レセプタ脱落防止強化策（あわら、ひびき）

あわら、ひびきでは雷撃の着雷様相が異なるものの、落雷によるエッジの口開きと接着剤の剥離が、レセプタ脱落の主たる要因となった。あわらとひびきの風車のレセプタは、洋上風車で採用されている一体成形式のレセプタに全数交換する。このレセプタは、ブレード下面とレセプタが FRP で一体成形されており、この一体となったレセプタ＋ブレード下面に、ブレード上面が接着されたものである。洋上風車に採用されているレセプタはブレード下面に強固に固定されており、異常雷撃を受け、万一上面が全て剥離した状態でも、40kN の引っ張り力に対して 10 分間耐えることを、引っ張り試験にて確認している。（J100 の引っ張り試験方法については、現在検討中）

あわらは、洋上風車と同じ J82 を採用していることから、洋上風車と同じレセプタを用いる。ひびきの J100 風車についても、洋上風車を同様の考え方でレセプタを新たに設計することとしたい。新設計レセプタを用いることで、レセプタとダウンコンダクタの接続方法が、旧設計でアークを発生したネジ止め方式から接続端子を用いた方式に変更されるため、接触不良によるアークの発生防止を図ることができる。

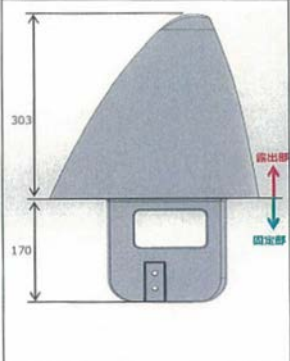
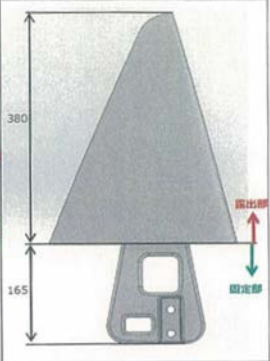
J40 新設計レセプタ	JB50 新設計レセプタ
J82-2.0 適用予定 (洋上風力発電設備)	J100-2.7 適用予定 (ジェイパワーひびき風力発電所)
	
表面積 127,000 mm ²	表面積 128,700 mm ²
重量 4.8kg	重量 4.4kg

図 1 改良レセプタ

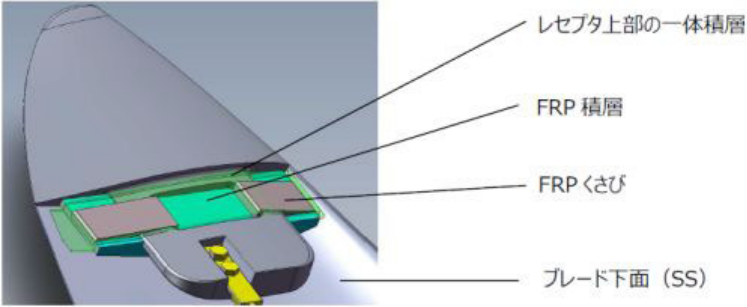


図 2 レセプタのブレード下面への固定方法

表 1 改良レセプタ設計荷重と引っ張り強度

	J82 あわら	J100 ひびき
遠心力（定格）	0.6kN	0.5kN
遠心力（最大）	1.5kN	0.9kN
引っ張り強度	40kN 以上	試験荷重検討中

2. 直撃雷検出装置設置と雷撃時の風車停止、点検（あわら、ひびき）

全風車に、直撃雷検出装置を設置する（図 3 参照）。直撃雷検出装置導入の利点は以下の通りであり、本装置の導入により冬季の雷害対策の向上が期待される。なお、落雷時の風車停止は危険性の高い冬季雷（11 月～3 月）に実施、それ以外の時期については落雷記録の管理と、通常巡視時における目視点検を実施する。

- 冬季雷直撃時に風車を停止することで、ブレードに掛かる遠心力や風荷重を数秒以内に減じることができ、雷撃で被害を受けた場合においても、ブレードの被害拡大を防止することができる。
- 冬季雷直撃時に風車を停止し、外観点検をした上で運転再開をすることで、不健全な風車を運転するリスクを軽減できる。
- 風車への落雷履歴を管理することで、適切なメンテナンス計画を立案実施することができる。

今回取付ける雷検出装置は、風車タワーに 0.5kA 以上の雷電流が流れる際の磁界を検出して、雷直撃を判定するものである。図 4 は仁賀保における 2005～2010 年の雷電流観測結果（386 ケース）をまとめたものである。0.5kA 未満の雷は 10 ケース（2.6%）あったが、ほとんどの雷は本装置で検出可能であることを示している。ピーク電流が 0.5kA 未満の雷はエネルギーも小さく、風車に被害を与えることは少ないため、本装置は必要十分な検出感度を有しているものと考えられる。



図 3 直撃雷検出装置

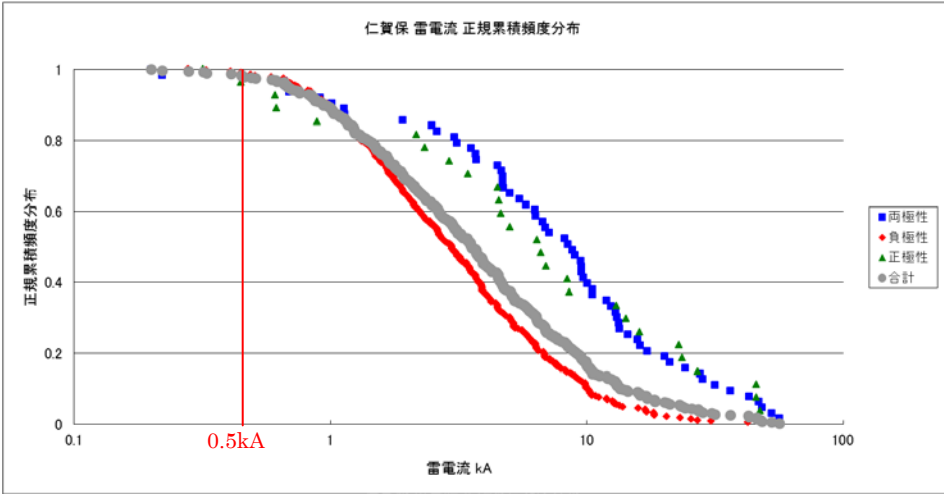


図 4 雷電流の頻度分布（仁賀保）

3. 機械的な脱落防止策（あわら）

レセプタの脱落防止策は「1. レセプタ脱落防止強化策」で実施可能であるが、あわらについては冬季雷の性状が明らかになっていないこともあり、機械的な脱落防止策を追加実施する。先端部に高強度ダウンコンダクタを用いることで、万が一 FRP の一体成形によるレセプタの保持力が失われた場合でも、レセプタの脱落を防止することができる。今回対策ではブレード先端部のダウンコンダクタを、架空送電用の強固な電線（硬銅より線）に交換し、併せて接続金具も硬銅より線用のものに交換する（図 5、図 6 参照）。

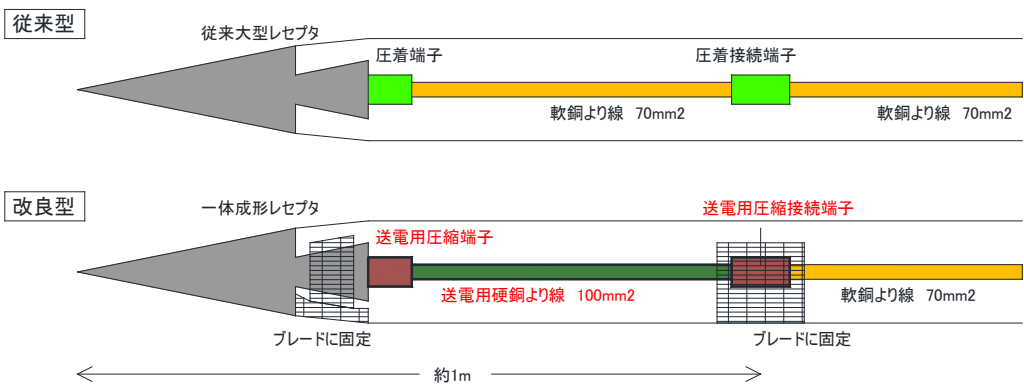


図 5
機械的な脱落防止策

ダウンコンダクタによるレセプタの支持力であるが、硬銅より線、圧縮端子およびブレード固定部の引っ張り強度は全て 10kN 以上であり、遠心力（0.9～1.5kN）に対して十分な裕度を持つ。機械的強度の健全性の確認については、当該部分は架空送電線で通常行われるような目視による点検は困難であるが、今回使用する送電用圧縮端子と硬銅より線は、外部環境で常時電流が流通し、架空送電線の張力が掛かった状態で 30～40 年の耐用年数を持つことが確認された製品である。本用途では、ブレード内部に設置され常時電流が流れないので腐食や電食の可能性が小さく、常時張力が掛かることもないため、機械的な強度の劣化の程度は小さい。そのため年 1 回実施するレセプタ導通確認で行う接地機能の確認によって、機械的強度の健全性も確認することとする。

	圧着接続	圧縮接続	備考
軟銅より線 (従来型ダウンコンダクタ)	○	△	JIS 規格により軟銅より線には圧着接続が推奨される。
硬銅より線	×	○	均一にケーブルを变形させる必要あり。
大張力がかかる場合	×	○	圧縮接続は張力に強い。 架空線など大張力がかかる場合、圧縮接続でなければならない。

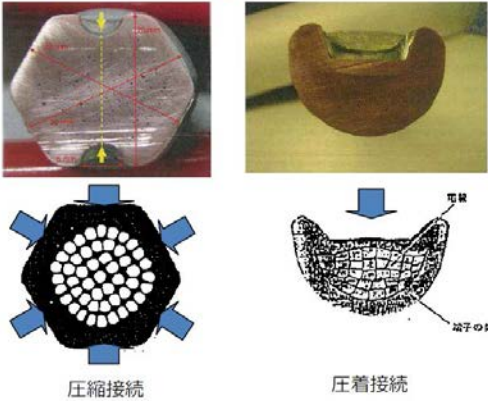


図 6
圧着接続（従来）と圧縮接続（改良後）の違い
（架空線など張力が掛かる場合は圧縮接続）

4. 雷接近時の風車事前停止（あわら）

雷接近時の風車事前停止に用いる冬季雷の事前検出は、精度の良い方策が確立していないが、複数の方式を調査した結果、気象庁が提供している雷ナウキャストによる予報は以下の特徴を有することが判った。

- 雷レーダーと雲の分析という複数の手法を組み合わせた解析手法を採用しており、精度が期待できる。
- 気象庁のサイトを見ることで、周辺住民も常時インターネットで雷発生状況の確認が可能。
- 気象に関する公的な機関の情報である。
- 季節毎の雷捕捉精度が公表されている（夏季約 70%、冬季約 40%）。

そのため 2014 年の冬季雷時期の雷予測は、気象庁の雷ナウキャストを用いることとし、あわらの風車周辺で活動度 2 を越えたら風車を事前停止し、活動度 2 未満となった時点で運転再開することとしたい。なお実際の運用には、気象庁雷ナウキャスト情報の伝送サービスを提供している、日本気象(株)の落雷監視サービスを利用することとする。ただし公表されている雷ナウキャストの冬季雷捕捉精度がそれほど高くないことから、2015 年度以降の雷予測による風車の事前停止の要否や事前予測の方法、雷ナウキャストを引き続き用いる場合であっても、停止に至る活動度の設定、1 回当りの停止時間、停止する風車選定などは、2014 年度の運用実績を見つつ、地元との協議の上見直すことも考慮する。

ひびきについては、風車設置場所が NEDO 日本型風力発電ガイドライン落雷リスクマップで規定される雷対策重点地域ではないこと、並びに風車周辺の立地事情等を考慮し、雷予測による事前停止は不要と考える。

5. スケジュール（案）

再発防止策の実施スケジュールを以下に示す。あわらは 4 月～6 月に掛けて順次運転再開、ひびきは 5 月に運転再開予定である。

(1) あわら

	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	備考
レセプタの脱落防止強化策	材料手配	試験評価		改造工事実施		改造終了次第運転再開
直撃雷検出装置設置と雷撃時の 風車停止、点検		落雷後の点検		落雷実績の管理		12 月据付済 停止は 11～3 月実施
機械的な脱落防止策	材料手配	試験評価	工事準備	改造工事実施		改造終了次第運転再開
雷接近時の風車事前停止	対策検討		雷監視サービス契約			事前停止は 11～3 月実施

(2) ひびき

	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	備考
レセプタの脱落防止強化策	材料手配	試験評価	工事準備 改造工事実施			5 月運転再開
直撃雷検出装置設置と雷撃時の 風車停止、点検			据付	落雷実績の管理		4 月据付 停止は 11～3 月実施

[参考] 冬季雷の事前予測方式の比較

(1) 雷レーダーを用いた雷検出方式

雷レーダーを用いた雷予測には、落雷時に発生するリターンストロークと呼ばれるパルス性の電磁波を検出して、雷位置を判定し、その移動傾向を捉えて予測するものが多い。一方図 7 に示すように、冬季雷では多くの雷でリターンストロークがなく、雷レーダーで検出できない雷も多い。ひびきの落雷は雷レーダーで検出されなかったが、これも冬季雷に似た性状によるものと推定される。冬季雷にも図 8 に示されるように、なだらかな電流波形のなかに、所々パルス成分を含むものがある。こうした波形であれば、雷レーダーで検出することが可能である。

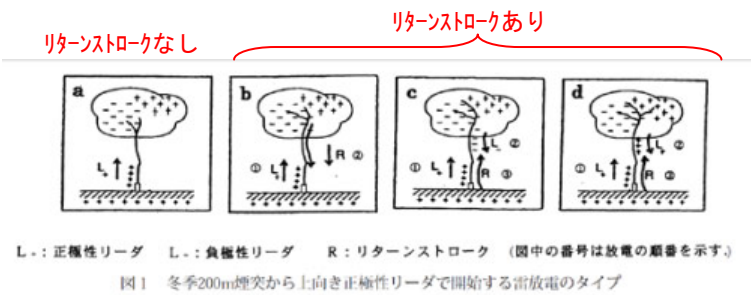


表1 上向き正極性リーダで開始する雷放電のタイプの割合と放電進展速度

雷放電のタイプ	観測例	割合	リーダ速度 (m/s)	リターンストローク速度 (m/s)
a	17	74 %	(L+) $\sim 10^4$	74%がリターンストロークなし
b	1	4 %	(L+) 2.3×10^4	1.6×10^4
c	3	13 %	(L-) 5.1×10^4	1.7×10^4
d	2	9 %	**	**

図 7 火力 200m 煙突における冬季雷の雷観測結果

出典：上向き放電で開始する冬季雷の放電形態

(電中研報告書)

(2) 電界検出方式

雷雲が接近してきたときの電界の変化を検出して雷警報を発信する、一般に「雷センサー」等と呼ばれる機器がある。多くの製品がゴルフ場などを夏季雷から守るような用途で開発されたものであり、夏季雷に対しては精度が確認されている。一方冬季雷の検出精度に関して、性能が確認されている製品は見つからなかった。



図 9 音羽電機雷センサー (TA3S-G)

出典：音羽電機カタログ

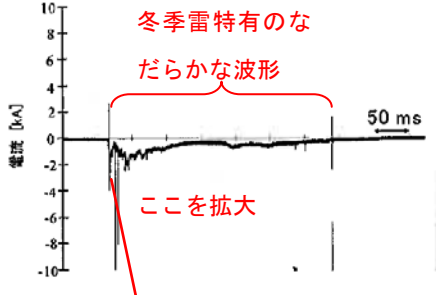


図 18 典型的な負極性の冬季雷電流波形

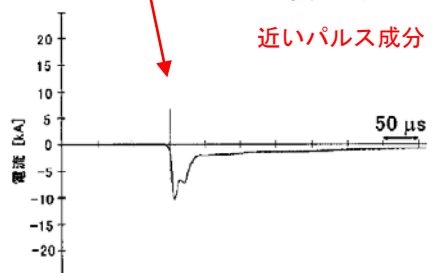


図 19 下向き雷の電流波形

図 8 典型的な冬季雷電流波形

出典：日本海沿岸地域の風力発電設備における冬季雷放電特性（電中研報告書）

(3) 気象庁雷ナウキャスト

気象庁が提供している雷予測システムが雷ナウキャストであり、2010 年度に提供が開始され、現在は気象庁の Web サイトで公開されている。http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/toppuu/thunder2-1.html

この方式は(1)の雷レーダーと同様のシステムで雷放電を検知する他、雷放電を検知していない場合でも、雨雲の特徴から雷雲を解析しており、(1)の雷レーダー方式よりも、冬季雷の捕捉率は高いことが期待される。日本気象学会機関誌では、雷ナウキャストの捕捉率は夏季約 70%、冬季約 40%と報告されている。

雷ナウキャストでは、最新の落雷の状況と雨雲の分布によって、活動度を以下のように区分している。活動度 1 は、「雷可能性あり」で、1 時間以内に落雷の可能性のあることを意味している。活動度 2 は、「雷あり」で、電光が見えたり雷鳴が聞こえる。または、現在は、発雷していないが、間もなく落雷する可能性が高くなっていることを意味している。活動度 3 は、「やや激しい雷」で、落雷があることを意味している。活動度 4 は、「激しい雷」で、落雷が多数発生していることを意味している。

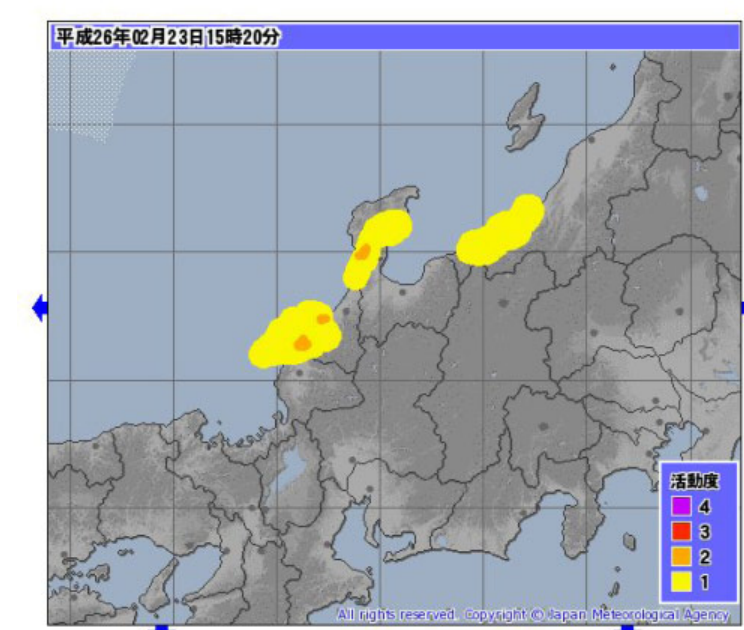
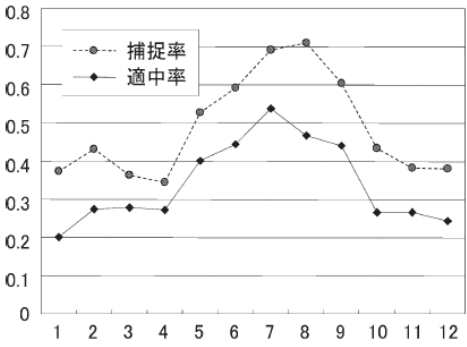


図 10 雷ナウキャスト画面 (イメージ)



第 9 図 適中率・捕捉率。雷ナウキャストの30分

予報の活動度 2 以上の月毎の適中率・捕捉率。雷ナウキャストの解析値（活動度 2 以上）を検証の真値とした。適中率は、30分予報で活動度 2 以上となる格子に対して、その格子から半径 5 km 以内に真値の格子がある割合。捕捉率は、活動度 2 以上を解析した格子に対して、その格子から半径 5 km 以内に、30分過去の時刻を初期値とした予報で活動度 2 以上を予測した格子の存在する割合。

図 11 雷ナウキャストの予測精度
(出典 日本気象学会機関誌“天気” Vol.57.11)

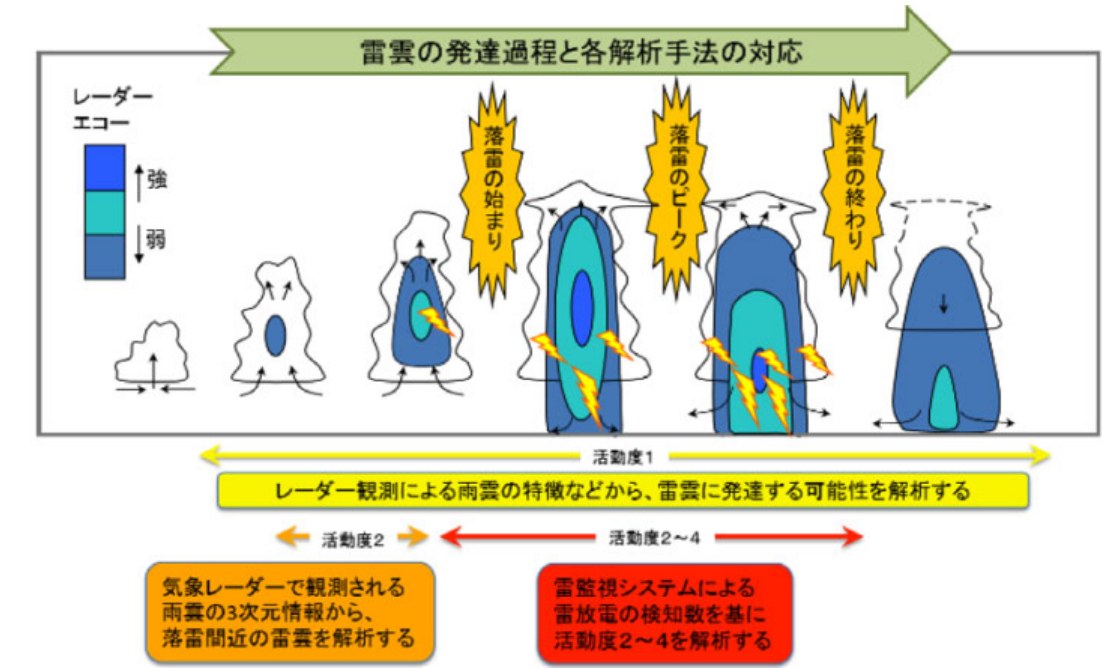


図 12
雷ナウキャストの
解析手法