

電力安全小委員会 新エネルギー発電設備事故対応・構造強度WG 御中

遊佐日向川風力発電所 事故調査状況報告

- | | |
|---------------------------|-------|
| 1. 遊佐日向川風力発電所の概要 | P 1-2 |
| 2. 事故発生時の風力発電機運転状況と落雷調査結果 | P 3 |
| 3. 風力発電機の被害状況とブレード折損までの経緯 | P 4 |
| 4. 落雷規模の推定 | P 5 |
| 5. ブレード折損原因の推定 | P 6 |
| 6. 対策 | P 7 |

2014年2月7日

株式会社 庄内環境エネルギー
株式会社 日立パワーソリューションズ

1. 遊佐日向川風力発電所の概要

- ・遊佐日向川風力発電所の位置を図1-1に示します。
- ・本風力発電所は山形県飽海郡遊佐町比子字白木地区に出力1990kWの風力発電機1基を設置し、2012年2月7日に運転を開始しました。
- ・風力発電設備の基本諸元を以下に示します。

【基本諸元】

風力発電機：ドイツ ENERCON 社 E-82/E2
種類：プロペラ型 アップウィンド式
出力：1,990kW
回転数：6~18rpm(可変速型)
カットイン風速：2.5m/s
カットアウト風速：25m/s
ロータ：直径82m, ブレード3枚
調速機の種類：ブレードピッチ角制御(電動)
ロータ取付高さ：78m
支持物：鉄塔
近隣民家までの距離：約600m

- ・風力発電機の外形図を図1-2に、各部位の名称を図1-3に示します。

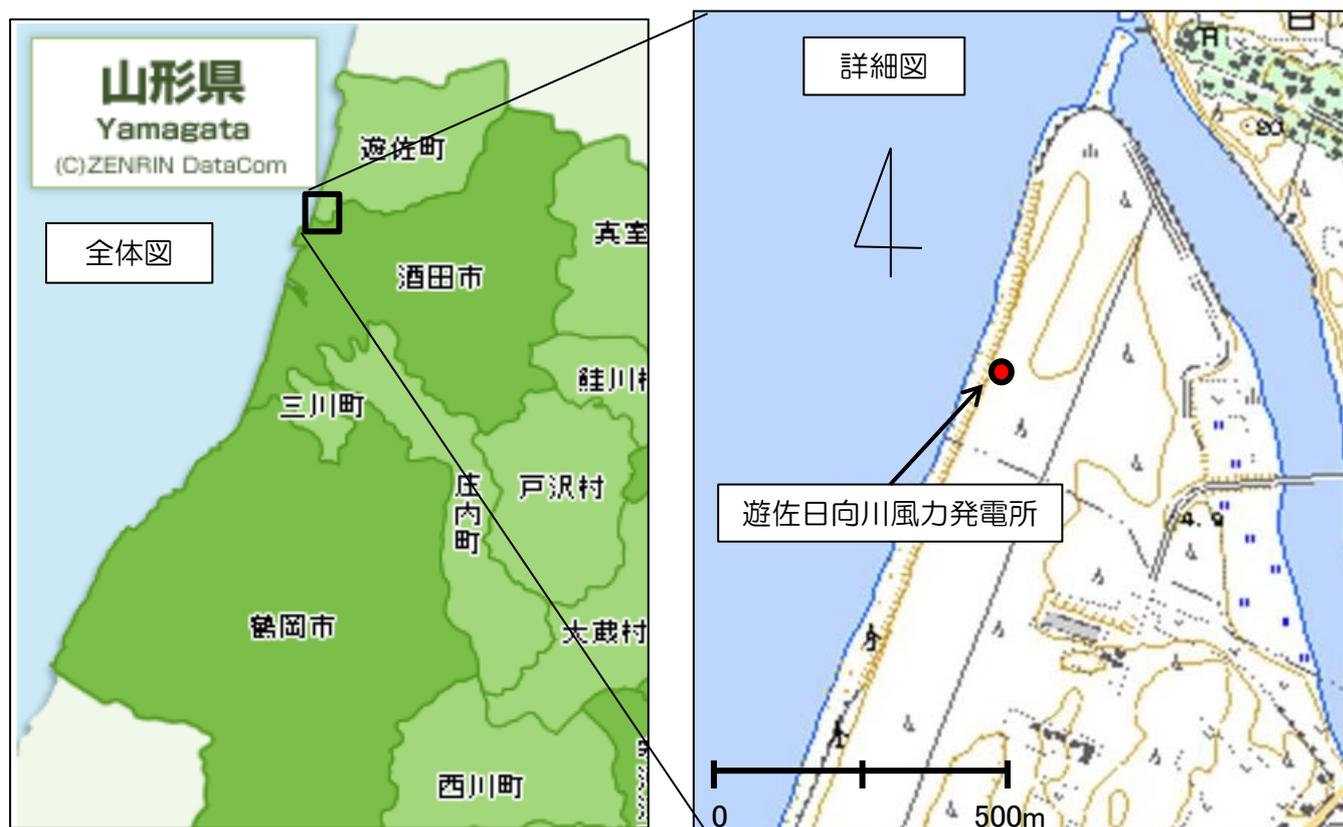


図1-1 遊佐日向川風力発電所 位置図

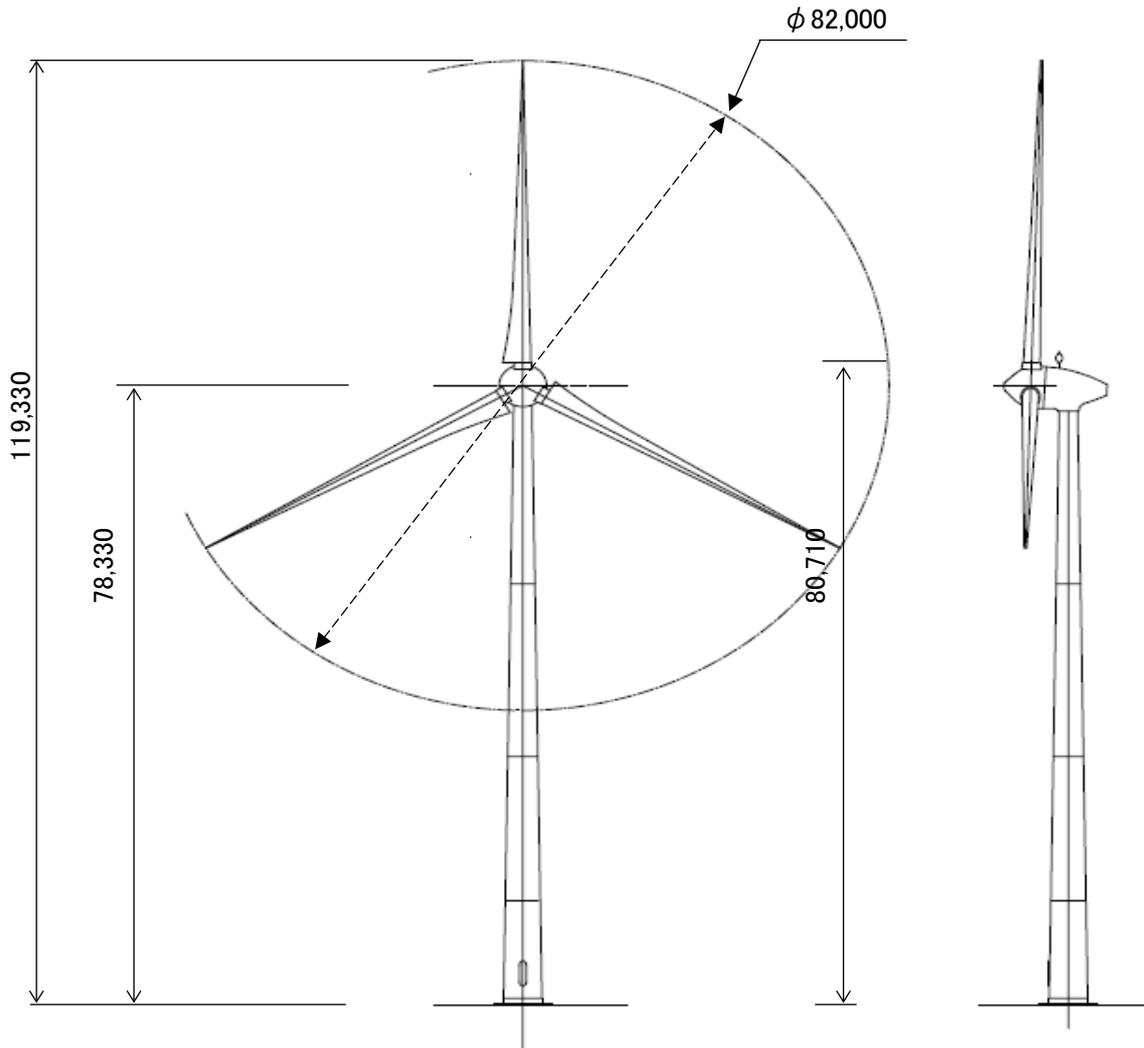


図1-2 風力発電機外形図

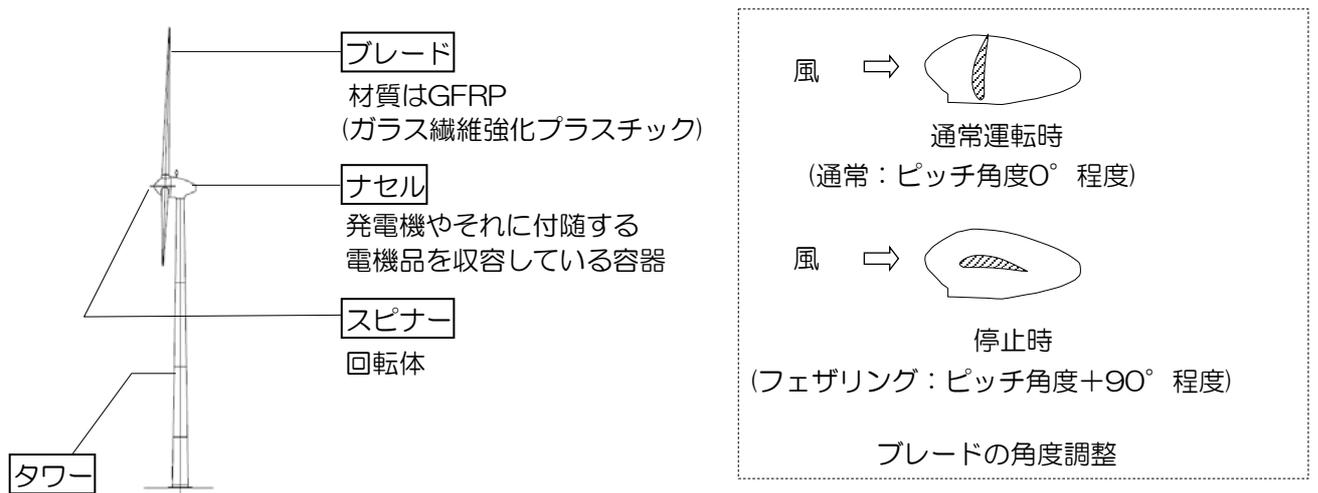


図1-3 風力発電機の各部位名称

2.事故発生時の風力発電機運転状況と落雷調査結果

- ・事故発生日の風力発電機運転データを図1に示します。
- ・当日は、当該風力発電所周辺地域にて落雷が発生しており、風力発電機スピナー内で雷音と思われる異音を検出しております。
- ・21時38分に風力発電機に被雷があり、その後約20分の運転後にブレードが折損し、ブレードピッチコントロール異常、風向風速計異常が発生し、22時00分に風力発電機が自動停止に至りました。

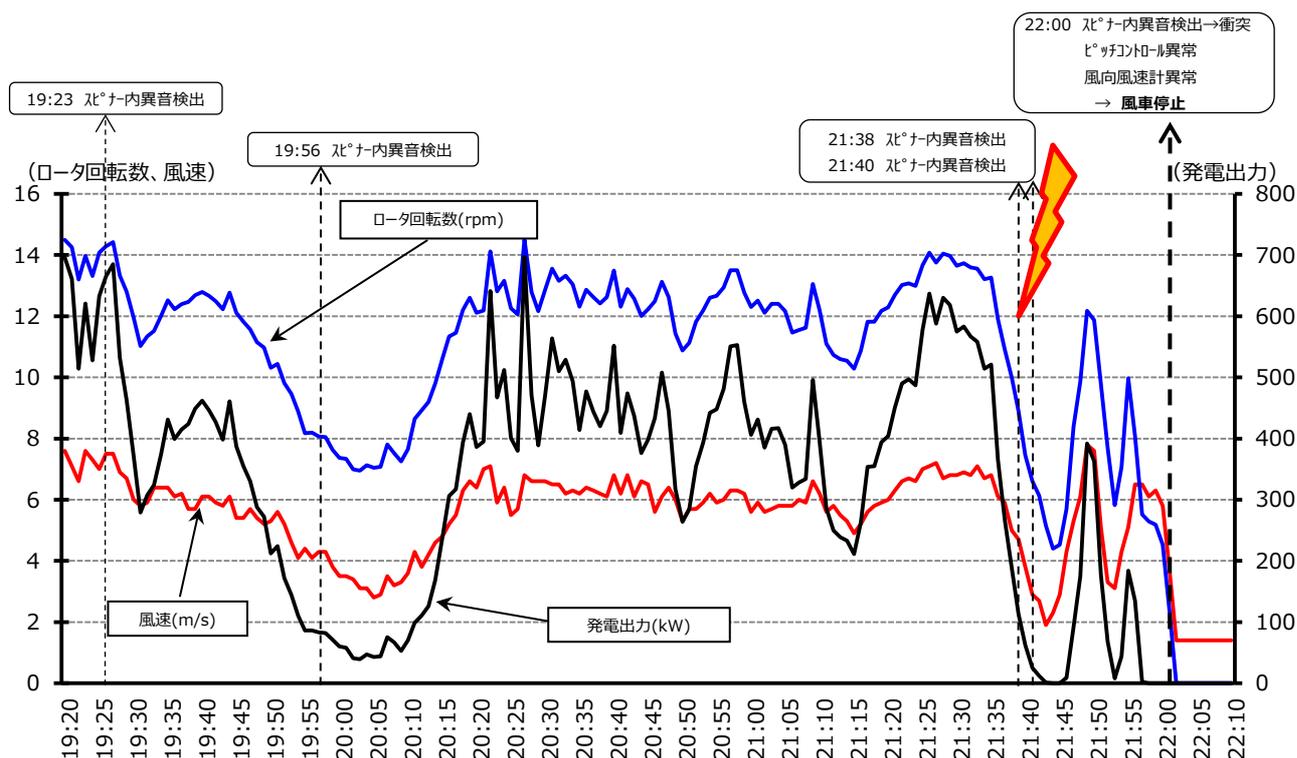


図1 2013年11月20日 遊佐日向川風力発電機運転データ（遠方監視装置記録データ）

表1 フランクリン・ジャパンによる落雷観測データ

中心位置：山形県飽海郡遊佐町比子字白木地区付近付近

(北緯 38° 59' 10" /東経 139° 50' 29")

表示範囲：上記地点を中心とした 10km × 10km

表示期間：2013年11月20日 19:20 ~ 2013年11月20日 22:20

落雷データ

番号	年	月	日	時	分	秒	緯度(°)	経度(°)	電流値(KA)	中心からの距離(km)
1	2013	11	20	19	25	51	38.975	139.785	-10	5.1
2	2013	11	20	19	33	3	38.970	139.821	-13	2.5
3	2013	11	20	19	33	4	38.971	139.834	-10	1.8
4	2013	11	20	19	38	12	38.994	139.841	-8	0.9
5	2013	11	20	21	4	34	38.970	139.892	-28	4.8
6	2013	11	20	21	38	31	38.991	139.838	45	0.6
7	2013	11	20	21	41	41	39.012	139.829	21	3.1



3. 風力発電機の被害状況とブレード折損までの経緯

1) 風力発電機の被害状況



写真1. ブレード折損状況

- ・写真1に示す様にブレード3枚中1枚が全長の根元から1/3付近で折損しました。
- ・ナセルおよびローターカバーにはブレードが衝突したと思われる凹みがありました。

2) ブレード折損までの経緯

- ・21時38分に当風力発電機に落雷がありました。
(ライブカメラの映像記録およびフランクリン・ジャパン計測データで確認)
- ・落雷当初は継続運転可能な状態でありましたが、落雷時にブレードの一部で損傷が発生し、その後約20分間の継続運転で徐々に損傷が拡大し、最終的にブレードの折損に至ったものと推定します。
- ・ブレード先端レセプターについては、①風力発電機直下に落下していること、②ナセルおよびローターのアルミカバーに打痕が確認されていることから、折損した際にブレード先端がナセルに衝突し分離・落下したものと推定します。

4. 落雷規模の推定

1) ピーク電流値

・ライブカメラ映像録画時刻と同時刻のフランクリンジャパンの計測データ（第2項、表1参照）から、落雷ピーク電流値は45kAと判明しました。



2) 風力発電機内落雷痕跡から落雷放電時間の推定

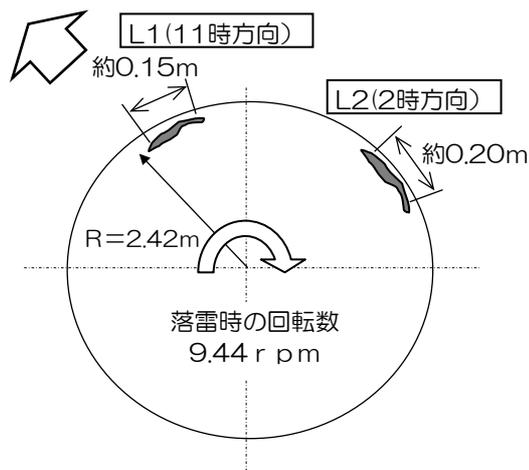
・当風力発電機は落雷電流を大地へ誘導する放電ロッドが設置されています。ローター（回転側）と発電機（固定側）間には、落雷時のアーク痕跡が残るので、その痕跡の長さから放電時間が推定できます。

・アーク痕跡の略図を下図に示します。アーク痕跡は11時方向と2時方向の2カ所にあり、その長さはそれぞれ約0.15mと約0.20mです。落雷時の映像におけるブレードの位置と放電ロッドの位置関係から、11時方向の痕跡が今回の落雷によるものと推定されます。

・落雷時のロータ回転数：Nは、風力発電機運転記録から9.44rpmと確認できています。以上から、落雷放電時間：Tを下式で算出しました。

$$T = \frac{L}{2\pi R * N / 60} \text{ (sec)}$$

$$= 0.15 / (2\pi * 2.42 * 9.44 / 60) = 0.063 \text{ sec} = 63 \text{ msec}$$



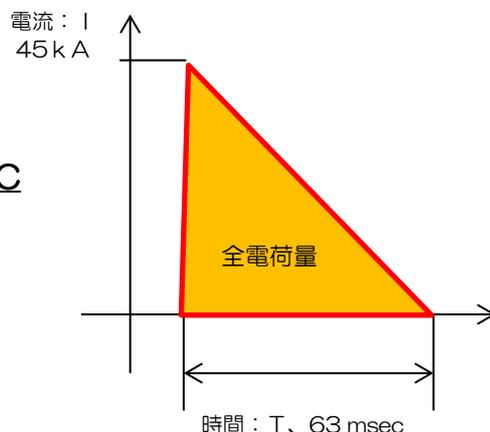
3) 全電荷量の推定

・落雷の電流パターンを右図のような三角波形とすると全電荷量：Cは、

$$C = 0.5 * I * T = 0.5 * 45\text{kA} * 63\text{msec} = 1,418 \text{ C}$$

と推定され、規格外に巨大な落雷であったと考えられます。

・事故後に行った発電所近隣の住民への聞き取りでは、ここ数十年で聞いたことが無いほど大きな雷であったとの発言が複数ありました。



5. ブレード折損原因の推定



1) 耐雷保護構造と落雷電流の流れ

耐雷保護構造を左図に示します。雷サージ電流はブレード先端レセプター(アルミ鋳物)から接続導体(銅より線)-内部導体(アルミ平板)-接続導体(銅より線)-外部導体(アルミ平板)~放電ロッド~発電機固定子カバーに流れ、最終的に大地に到達します。

2) 放電経路の調査

- ・破損ブレードを収集し、ブレード先端レセプターから根元までの放電経路を調査しました。
- ・先端レセプター(アルミ鋳物)、導体(銅より線、アルミ平板)ともに溶断等は見られず、放電機能に問題はなかったと考えられます。(写真-1、2 参照)
- ・一方、ブレード内部の導体(アルミ平板)とGFRP部材の接着部に黒色化が見られ、大きな電流が流れたことが想像されます。(写真-3 参照)



写真-1



写真-2



写真-3

3) 折損原因の推定

- ・約1,400C(推定値、第4項参照)の落雷が主原因と考えます。
- ・ブレードはNEDO推奨値の600Cに耐えられる構造になっています。しかしながら、約1,400Cの雷電流の一部が金属導体以外にもGFRPの内表面等流れ(一部のGFRP部材に焦げ跡を確認)、内圧上昇・接着面の温度上昇を招きブレードの一部に損傷(亀裂等)を生じさせたと考えます。
- ・その後の20分間の継続運転で損傷が徐々に拡大し、折損に至ったものと推定します。

6. 対策

今回ほどの規模の雷は極めて稀であり、通常想定される600C以下の落雷に対しては従来の風力発電機構造および運用で問題無いと考えられるものの、再び巨大落雷を受ける可能性もゼロではないため、以下の応急対策および恒久対策を実施致します。

1) 応急対策

・雷接近検出器により風力発電機停止措置を行います。今回の事故では、落雷直後にブレードが折損したのではなく、その後の継続運転により折損に至ったものであるため、雷接近時には運転を停止し問題が無ければ再開する措置により、損傷の拡大を防止できると考えます。これにより運用上の安全性の向上を図ります。

(本方法は、岩手県企業局(稲庭高原風力)で実績があります。)

・風力発電機から半径約250m付近に侵入禁止柵と注意看板を設置しました。(写真-4参照)

写真-4



2) 恒久対策

・風力発電機の構造的対策として、日本海側の巨大冬季雷に耐えうるような耐雷性の向上をメーカーに申し入れております。今後、ブレード内部導体系の改良(サージインピーダンスの低減)を進める方針です。