

PS-11 各種物理量測定による風車ブレードの異常被雷検知システムの検討

構造基盤技術系 * 藤本 修平、櫻井 昭男、島田 道男
 (一財) 日本海事協会 再生可能エネルギー部 赤星 貞夫、山根 健次

1. はじめに

風力発電の適地は周囲に高い構造物のない開けた場所であるため、発電設備への落雷が生じやすい。特に、風車ブレードへの落雷により損傷が生じ、そのまま運転を続けた場合にはブレードの破損や部材の一部が脱落・落下する等の重大事故につながるおそれがある。そこで、本研究では風力発電事業の経済性向上にも配慮し、ブレードに落雷があった都度、雷電流等の計測により事故につながる異常な被雷が生じていないことを確認するシステムについて検討した。

2. 電流計測による異常被雷検知

まず、落雷時の電流を計測することにより異常被雷を検知する方式を検討した。一般的に、風車ブレードの先端近傍には「レセプタ」と呼ばれる受雷部が設置され、レセプタに接続された導体がブレード内部を通過して風車ハブに電氣的に接続された構造となっている。このブレード内部にあり被雷時に雷電流を通す導体を「ダウンコンダクタ」(Down Conductor, 以下 D.C. と表記する) と呼ぶ。ひとつの風車ブレードについて 1 本の D.C. が設置されることも多いが、本研究では 2 本の D.C. を設置し、被雷時に各 D.C. を流れる電流値の差から異常被雷を検知する方式を検討した。

図 1 に本方式のシステム構成図を示す。

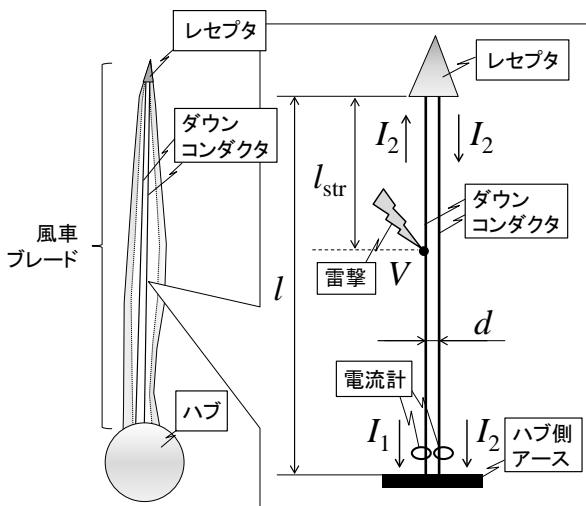


図 1 電流計測方式の構成図

図では、風車ブレードを構成する GFRP (ガラス繊維強化材料) を貫通し片方のダウンコンダクタに着雷した場合を想定している。このような場合には GFRP 層の破壊が生じ、風車ブレードの破壊につながるため、明確に検知する必要がある。

る。2本のD.C.の長さを l 、D.C.間の距離を d とし、レセプタから着雷地点までの距離を l_{str} とする。各 D.C. を流れる電流値 I_1, I_2 をブレード根部付近で高周波電流計等により計測する。レセプタを外れて左側の D.C. に着雷するため、各 D.C. で計測される電流 I_1, I_2 は、流れる経路の長さが異なる。この長さの差から抵抗、自己インダクタンス、相互インダクタンスの値に差が生じ、 I_1, I_2 の値に差が生じる。実際の被雷状況を想定して I_1, I_2 を算出した結果を図 2 に示す。

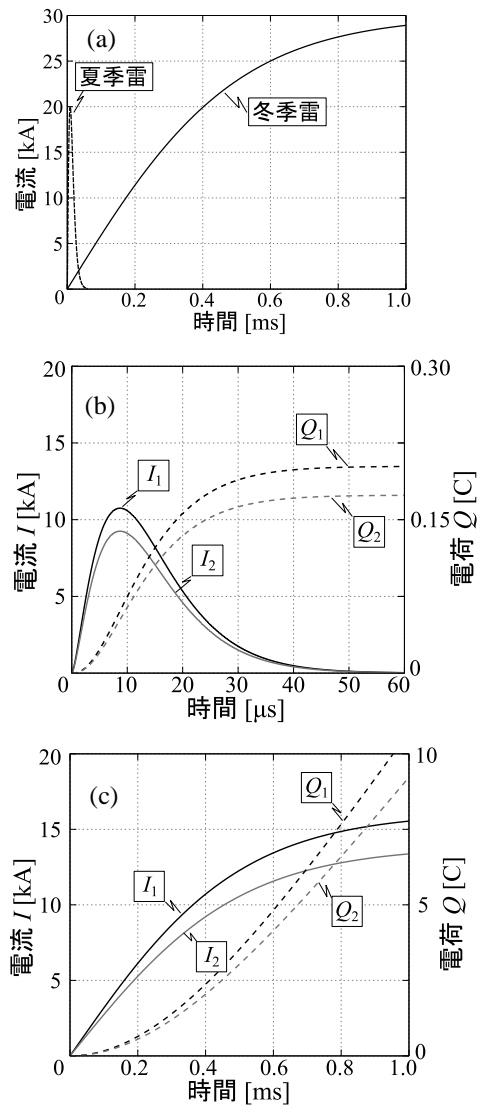


図 2 (a) 雷電流のモデル, (b) 夏季雷の結果, (c) 冬季雷の結果

入力電流として、図 2 (a) に示す夏季雷 (電流持続時間が短い、夏季に観測される雷)、冬季雷 (持続時間が長い、冬季

の雷)の2通りを考えた。また、 $l=40\text{ m}$ 、 $d=0.01\text{ m}$ 、 $l_{sr}=3\text{ m}$ とした。着雷点での電圧 V と等価の電圧降下の式を各 D.C. について考え、図 2 (a)の電流変化を入力として 4 次の Runge-Kutta 法を用いた数値積分により I_1 、 I_2 の時間変化を算出した。図 2 (b)は夏季雷についての算出結果である。図に示す通り、 I_1 、 I_2 の値に明確な差が現れている。本方式の実現可能性が示された。なお、図中には I_1 、 I_2 の時間積分量である電荷 Q_1 、 Q_2 も示した。実際の雷電流を計測した場合にはノイズが生じることが想定されるため、瞬時値である I_1 、 I_2 の差分のみにより判定をおこなうと誤判定となるおそれがある。そこで、 Q_1 、 Q_2 を考慮することで精度よく判定を行える。図 2 (b)は冬季雷についての結果である。夏季雷と同様に、 I_1 、 I_2 等に明確な差が生じているため異常被雷検知が可能である。

以上の GFRP 層を貫通する異常被雷の場合以外に、D.C.の一部が断線した場合についても検討を行った。また、D.C.の先端・根元の 2ヶ所で電流計測を行うことにより、より簡便なアルゴリズムで異常被雷を検知できる方式についても検討を行った。これらについては、ポスターに詳細を記載する。

3. 加速度計測による異常被雷検知

電流計測以外の方式として、加速度計測による異常被雷検知を検討した。図 3 に本方式の概要図を示す。

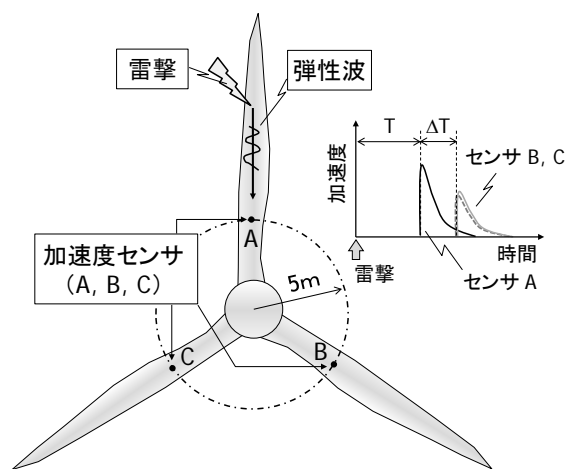


図 3 加速度計測による異常被雷検知

各ブレードの根元から 5 m 程度の位置に加速度センサを設置し、ブレードが雷撃を受けた際に発生すると推測される弾性波を各センサで捉えることにより異常な被雷を検知する方法である(雷撃により GFRP 層が破壊された場合には、レセプタに受雷した場合と比べて桁違いに大きい弾性波強度が計測される)。前提として、雷撃を受けた時刻を別途雷撃検出装置等で記録しておく。各加速度センサでは、雷撃の時刻よりいくぶん遅れて加速度が計測される。各センサで計測された加速度波形を分析し、雷撃の時刻と波形の立ち上がりの時刻との時間差を算出する。雷撃を受けたブレードに設置されたセンサ A は、落雷箇所からの距離が最も短いため、波動が最も早く時間差 T で到達する。対して、センサ B および

C はセンサ A よりも遅れて時間差 $T+\Delta T$ で波動を観測する。各センサで波動を検知した時刻を比較し、最も早く計測したセンサが設置されたブレードに落雷があったと判定する。また、ブレードを伝わる弾性波の速度 c が既知であるとする、 cT を計算することでセンサと落雷箇所との間の距離が算出でき、その位置が推定できる。本方式は前記の電流計測方式と異なり、ブレードの構造は従来のものから変更する必要がなく、加速度計を後付けで設置すれば実現が可能であるため、既存風車へも適用ができる。本方式の原理検証のため、高電圧装置を用いた模擬雷撃による実験を実施した。図 4 に実験の概要を示す。長さ 4 m 程度の GFRP 製ブレード模型を製作し、高電圧装置による模擬雷撃を加え、異なる位置に設置したセンサ A、B で加速度を計測した。各センサで波動の立ち上がりが明確に捉えられており、本方式での異常被雷検知の可能性が示された。また、センサ間の距離と波動検知時刻の差(時間差)から弾性波の速度を概算すると約 2800 m/s と、GFRP 中の弾性波の伝播時刻の文献値とおおよそ一致する結果が得られた。

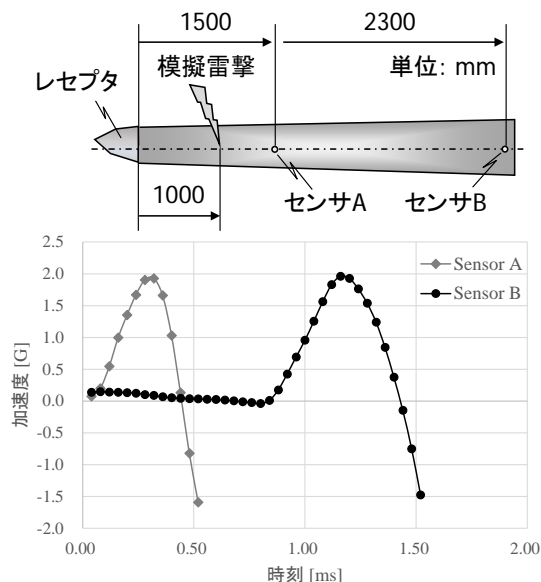


図 4 加速度検知方式の検証実験

4. まとめ

風車ブレードへの異常被雷を簡便に検知するための手法として、被雷時の電流や加速度を計測する方式を検討した。いずれの方式も実現可能性が示され、今後は実風車での適用可能性を検証する予定である。

謝辞

本研究は、一般財団法人日本海事協会からの請負研究として実施しました。関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 藤田ら、日本風力エネルギー学会論文集、Vol.39, No.2, 2015, pp.31-36.