

風車ダウンコンダクタ導通確認手法の開発

Research on the methods for confirming the conductivity of wind turbine down conductors.
 風車点検のさらなる効率化、安全性向上を目指して

風車に落ちた雷を安全に逃がす目的で設置されたダウンコンダクタは、定期的に導通確認をする必要がある。現在、この点検は人がロープでブレードにぶら下がり実施しており、より効率的な手法が求められていた。今回、簡易に導通確認できる手法を考案し、ドローンを用いた実風車での検証によりその有効性が確認できたので報告する。

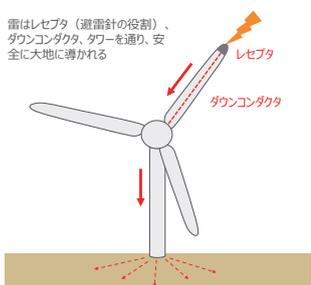


執筆者
 電力技術研究所
 機械グループ
 鹿島 直二

1 研究背景

風車の落雷対策として、ブレード（羽根）の先端に避雷針の役割をする金属製のレセプタが配置されており、これと風車のタワーを電氣的に接続するためにブレード内に設けられているのがダウンコンダクタ（引下導線）である。通常、レセプタに落雷した雷電流は、ダウンコンダクタ、風車タワー、接地極という経路で、安全に大地に放電される（図1）。

ブレード内に設置されたダウンコンダクタは、運転中のブレードの変位等により稀に断線する場合があります。定期的な導通確認を行うことが法令により求められている。現在、この導通を確認するために、人がロープワークによりブレード先端部にぶら下がり、点検を実施している（図2）が、より効率的、かつ、安全な導通確認手法が求められていた。



第1図 ダウンコンダクタの役割



第2図 ロープワークでの導通確認点検

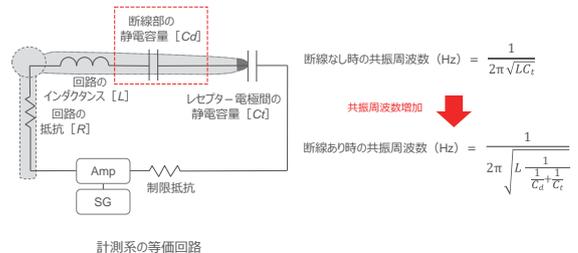
2 非接触導通確認手法の開発

現在の導通確認の方法は、風車メーカー推奨によるもので、数十アンペアの電流を通電した際の発生電圧を計測し、そこから抵抗値を算出するいわゆる2端子法により行われている。電流を流すためには、強固な接触状態が必要で、レセプタ表面を削る必要があるが、ロープで吊られた不安定な状態での作業となるため、時間も労力も必要で、改善が求められていた。

導通確認手法について、法令で求められている要件は、ダウンコンダクタの導通を確認できればよい。ここで、強固な接触状態を必要としない、非接触もしくは、軽微な接触で導通確認が出来れば、人が行かずともドローンを用いた導通確認が可能となる。この手法について、次の3つの手法を考案した。

(1) 高周波印加法

本法は、ダウンコンダクタが断線した際の静電容量の変化を高周波の共振点の変化として検出しようというものである。図3に原理図を示す。ダウンコンダクタを含む経路は本図のようにLRCの直列回路で表すことができ、断線が発生することにより直列に断線部の静電容量分が加わり、図中の式に示すように共振周波数が変化することを捉えようというものである。

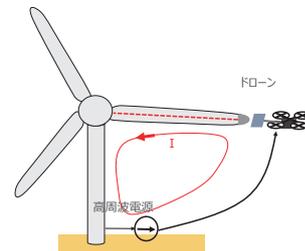


計測系の等価回路

$$\text{断線なし時の共振周波数 (Hz)} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$$

共振周波数増加 ↓

$$\text{断線あり時の共振周波数 (Hz)} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_d}\right)}}$$



第3図 高周波印加法

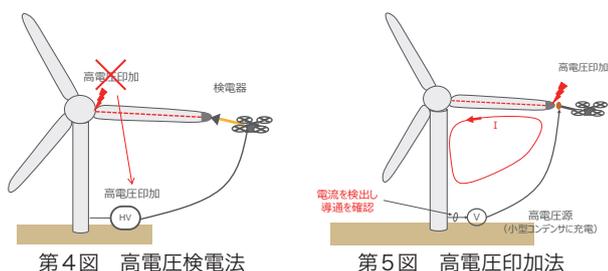
(2) 高電圧検電法

本法はダウンコンダクタの根元であるナセル側から高電圧を印加し、検電器を搭載したドローンにより先端のレセプタまで電気が来ているかどうか確認する手法である。ダウンコンダクタの途中で断線があれば、先端のレセプタは無電圧のため、断線の有無が分かるという仕組みである。しかし、この場合、ナセル内でダウンコンダクタを一旦切り離し、そこから高電圧を印加する必要があり、相応の手間が掛かると考えられた。そこで、高電圧印加点を地上に移設できないか検討を行った。検電器は、基準となるべき電位が必要で、地上で検電する時は、地面との静電容量によって電位差が生まれ検電器が動作するが、ドローンに積んだ場合、上空ではその基準点がなくなるため、検電器は動作しない。このため、ドローンに積んだ検電器には、基準電位を固定するための接地線を接続することとなるが、この場合、高電圧発生器→ダウンコンダクタ→レセプタ→ドローンに積んだ検電器→接地線の直列のループ回路となることがわかる。直列回路であれば、回路中のどこに高電

圧発生器においても良いのでは？という発想の元、高電圧発生器の接地側を風車のタワーに繋げ、高電圧側を接地線を通じて、ドローンに積んだ検電器の胴体部分（把持部分）に接続することとした。図4にその原理図を示す。

(3) 高電圧印加法

本法は高電圧を印加する電線をドローンを用いてレセプタ部に近づけ放電させ、ダウンコンダクタの導通を確認するものである。導通があればループ回路が形成されることから放電に伴い電流が流れる。これを地上でオシロスコープ等で確認することにより導通が確認できる。図5に原理図を示す。なお、この高電圧源は1kV程度の電圧が一時的に印加できればよく、小型のコンデンサを用いメガー（絶縁抵抗計）で充電するような簡易なものでも十分である。



第4図 高電圧検電法

第5図 高電圧印加法

3 検証結果

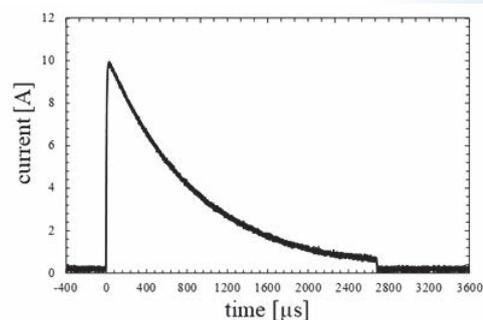
考案した前述の3つの手法について、屋内での模擬実験を実施し問題なく計測できることを確認した後、静岡県御前崎市にある実際の風車を用いて3つの方法の実用性検証を行った。図6に風車ブレードのレセプタにアプローチするための電極を搭載した特殊仕様のドローンの写真を示す。高周波印加法の電極は表面に絶縁ゴムを付けた平板電極を、高電圧検電法および高電圧印加法では、写真に示すような金属たわしのような形状の電極を用いた。どの方法も原理的には非接触での計測となるが、ドローンを用いる場合、触れるか触れないかの状態で電極を静止させることはできないため、導通確認時には電極がレセプタに軽く触れることとなる。

高周波印加法について、屋内試験では断線有り無しで明確な共振周波数の差がみられたが、実際の風車を用いた試験では、明確な共振点の差は見出せなかった。この理由として、考案時には、等価回路として、直列の静電容量だけを考慮したが、実際には、風車タワーや地面に並列に入る浮遊静電容量が存在するためと考えられた。



第6図 電極棒を搭載した特殊仕様のドローン

高電圧検電法および高電圧印加法については、実際の風車でも問題なく導通確認が出来ることを確認した。なお、この2つの手法の使い分けについては、第1にはより簡易な高電圧印加法で行うこととし、レセプタ部の塗膜が厚い場合には高電圧検電法を用いるのが良いと考えられる。図7に高電圧印加法で導通確認をした際にオシロスコープにより計測された電流波形を、図8に実風車での検証試験の様子を示す。



第7図 高電圧印加法による通電電流波形の例



第8図 ドローンを用いた導通確認の様子

4 本開発の効果

本手法を用いれば、従来1基当たり6時間掛かっていた点検時間が1時間ほどに短縮され約80%の削減が見込まれる。また、点検人工についても、従来1基当たり3人必要だったものが2人で可能となり、約30%の削減が見込まれる。

5 まとめ

短時間の軽微な接触でダウンコンダクタの導通確認できる技術を考案し、ドローンを用いることで点検の大幅な効率化が図れることを実証した。本手法は2024年度より実際の風車点検で採用される予定である。なお、本研究は、中部大学工学部電気電子システム工学科の山本研究室と共同で実施した。