

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：33910

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760274

研究課題名(和文) 風車内部や近傍に設置された電力・通信・制御機器の雷害対策

研究課題名(英文) Lightning Protections for Power, communication and control equipment in and in the vicinity of a wind turbine

研究代表者

山本 和男 (YAMAMOTO, Kazuo)

中部大学・工学部・准教授

研究者番号：50332052

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)： 風力発電システムの内部やその近傍に設置された電力・通信・制御機器の雷害対策に関する研究を行った。2011年には、実験現場で必要となる可搬式のインパルスジェネレータを製作した。また、この種の雷対策の解析を行う数値電磁界解析プログラムを用いて複数の解析モデルを完成させた。2012年には単機の風力発電システムで実験を行い、数値電磁界解析を用いてその過電圧発生様相を解明した。最終年度の2013年には2つの風力発電システムが接続された状態での過電圧発生様相を解明し、ウィンドファーム等大規模設備への適用可能性を示した。

研究成果の概要(英文)： Lightning Protections for Power, communication and control equipment in and in the vicinity of a wind turbine has been researched. In 2011, the removable impulse generator has been developed for lightning overvoltage measurements, and several simulation models of wind turbine grounding systems are verified. In 2012, the overvoltages caused by the lightning to a wind turbine have been researched. Finally, overvoltages occurred at the wind turbine whose grounding system is connected to that of another wind turbine in 2013.

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：風力発電システム 雷対策 数値電磁界解析

### 1. 研究開始当初の背景

風力発電システムへの落雷により生じる電力・通信・制御機器の故障が数多く発生し、風力発電の普及を妨げる要因となっている。しかしながら、風力発電システムを運営する団体はその他の発電設備（原子力や火力など）を運営する電力会社と異なり、自治体や小規模な運営・管理団体（会社）であることも少なくない。そのため検討・対策へ費やすことのできる人材や費用が不足しており、対策に苦慮するケースが見受けられるようになった。このような研究背景により、本研究を提案・実施するに至った。

### 2. 研究の目的

実機風力発電システムを用い、電力・通信・制御機器に発生する過電圧に密接に関係する接地特性を測定、数値電磁界解析を行い、過電圧の特性を解明する。

### 3. 研究の方法

実記風力発電システムにおいて実験をするため、現地に容易に搬入することの出来る可搬式インパルスジェネレータの開発を行った。その次に、そのインパルスジェネレータを用いて風力発電システム単機の接地特性と過電圧発生様相を明らかにする実験、数値電磁界解析を用いた現象の再現・検討を行い、最終的には複数の（2つの）風力発電システムが接続されている状況下での接地特性・過電圧発生様相を明らかにするための実験・解析を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 基礎構成

今回実験対象となった風力発電システム1号機の接地システムの詳細を図1に、2号機の詳細を図2に示す。1号機の基礎は地表面から2.6mの深さに埋設され、一辺10mの正方形である。メッシュ接地は基礎の底部と同じレベルで地表面から2.6mの深さに埋設され、さらに基礎内の鉄筋と電氣的に接続、雷電流を大地に効率よく放出するように設計されている。その大きさは一辺18.1mであり、一辺9.05mの正方形で構成されている。2号機の基礎も一辺10mの正方形で、地表面から2.6mの深さに埋設されている。メッシュ接地は地表面から2.6mの深さに埋設され、基礎内の鉄筋と電氣的に接続されている。その大きさは一辺12mであり、一辺6mの正方形で構成されている。

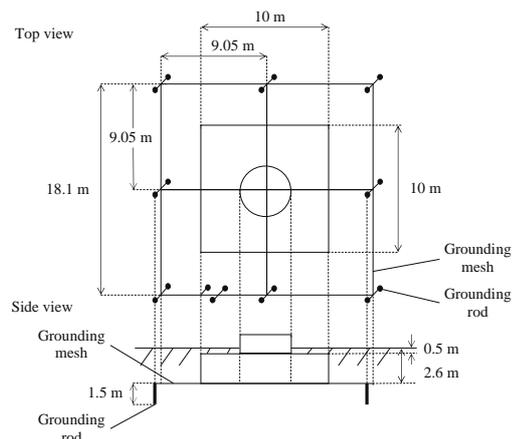


図1 風車1号機の基礎構成

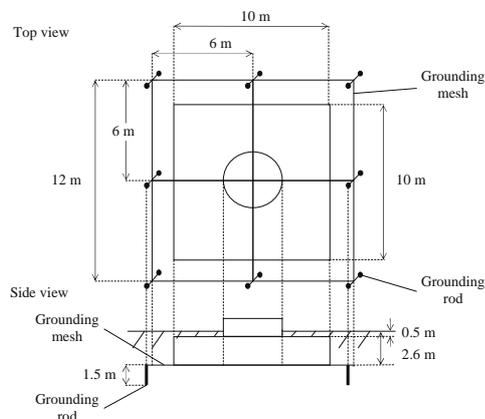


図2 風車2号機の基礎構成

#### (2) ウェンナーの4電極法による大地抵抗率の測定

ウェンナーの4電極法は、大地に人工的に電流を流して電位差を測定し、これを解析することにより大地中の電氣的な構造把握する手法である。この手法は深層部までの大地抵抗率を比較的簡単に把握することができるため、小規模から大規模までの広範囲の接地設計に利用されている。本研究ではこの手法を用い、実験場所周囲の大地抵抗率の測定を行った。

大地抵抗率は地層構造により大きく変化するため、複数個所で測定を行い、実験場における地層構造の変動を調査した。各地点での測定結果から予測される大地構造を2層に近似した一例を図3に示す。また、電位効果法により測定した風車の定常設置抵抗値を表1に示す。

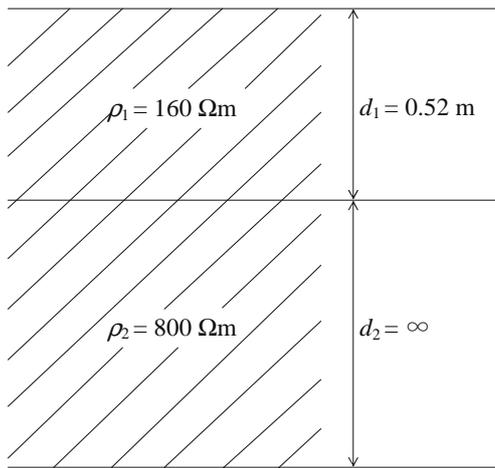


図3 実験場の大地構造例

表1 基礎の接地抵抗値

	接地抵抗 [Ω]
2号機単独	18.6
1号機単独	6.7
1号機, 2号機接続	4.5

### (3) 測定方法と実験ケース

まず、1号機のみで電流を注入し基礎の電位上昇を測定した (Case 1)。同様に、2号機単独で行った (Case 2)。また、1号機と2号機を絶縁被覆線により接続し、1号機に電流を注入、1号機の電位上昇を測定した (Case 3)。最後に、2つの風力発電接地システムを接続し、2号機に電流を注入、2号機の電位上昇を測定した (Case 4)。

1号機に電流を注入した実験では、I.G. (インパルスジェネレータ) から長さ約 95 m、断面積 5.5 mm<sup>2</sup> の IV 線を地表から 1 m の高さで導き、500 Ω の抵抗を介して波頭長約 0.3 μs の急峻な立ち上がりの電流を基礎に注入している。また、長さ約 95 m の電圧基準線 (IV 線) を、1 m の高さで電位測定点まで導いて電位上昇の測定を行った。

2号機に電流を注入した実験では、I.G. から長さ約 98 m、断面積 5.5 mm<sup>2</sup> の IV 線を地表から 1 m の高さで導き、500 Ω の抵抗を介して波頭長約 0.3 μs の急峻な立ち上がりの電流を基礎に注入している。電圧基準線は長さ約 64 m の IV 線で、1 m の高さで電位測定点まで導いている。

2機の風車を接続した実験では、長さ約 134 m の IV 線を用いて2基の風力発電システムの接地を接続している。

### (4) 測定結果

図4に1号機単独時 (Case 1) の場合の注入電流波形を示す。波頭長約 0.3 μs、波高値約 14 A の比較的急峻なステップ状電流となっている。他の実験ケースでも電流波形については大きな違いは見られなかった。よって、

ここではその他のケースにおける注入電流波形を省略する。図5にその時の基礎の電位上昇波形を示す。図6は  $V/I$  の時間変化である。同様に、図7に2号機単独時 (Case 2) の場合の電位上昇波形、図8に  $V/I$  の時間変化を示す。図9に2基の風車を接続させて1号機に電流を注入した場合 (Case 3) の電位上昇波形を、図10にその時の  $V/I$  の時間変化を示す。図11に2基の風車を接続させて2号機に電流を注入した場合 (Case 4) の電位上昇波形を示す。図12にその時の  $V/I$  の時間変化を示す。単独時と接続時の特性を比較した結果、電位上昇波形、 $V/I$  の時間変化波形ともに波頭部では大きな差異は現れなかった。ただし、波尾部では接続したほうが大きく特性が改善されており、接続の効果は波尾部で大きく現れることが明らかとなった。

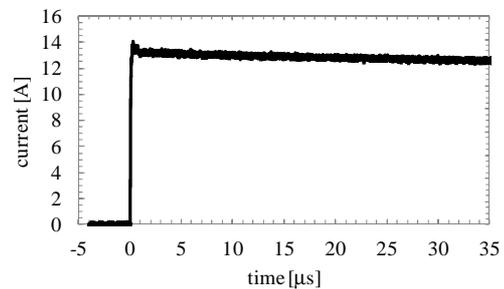


図4 Case 1 の注入電流波形

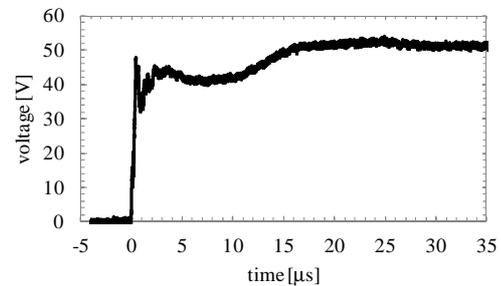


図5 Case 1 の電位上昇波形

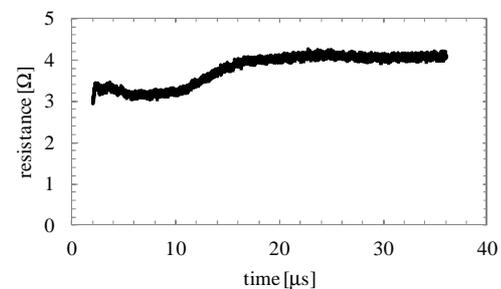


図6 Case 1 の  $V/I$  の時間変化

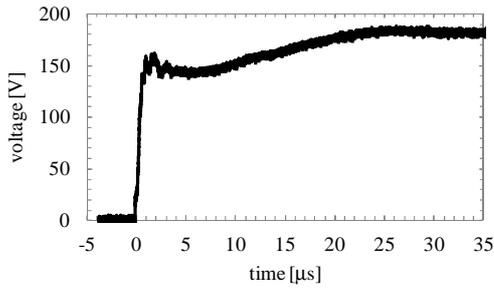


図 7 Case 2 の電位上昇波形

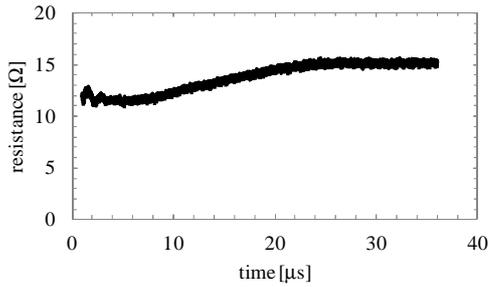


図 8 Case 2 の  $V/I$  の時間変化

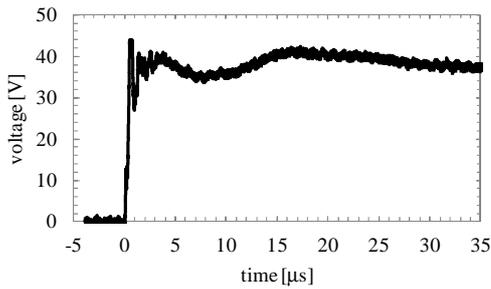


図 9 Case 3 の電位上昇波形

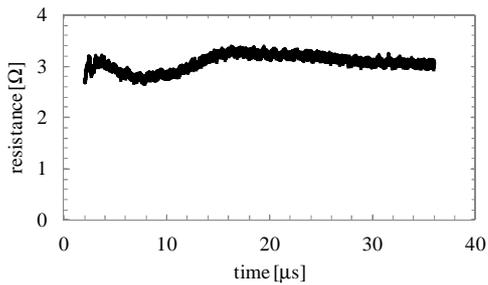


図 10 Case 3 の  $V/I$  の時間変化

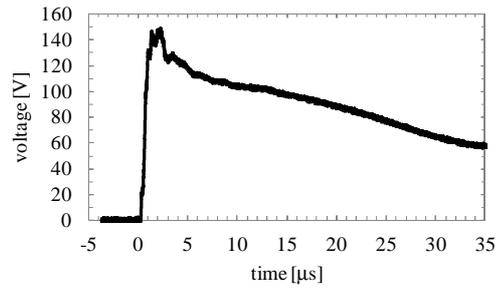


図 11 Case 4 の電位上昇波形

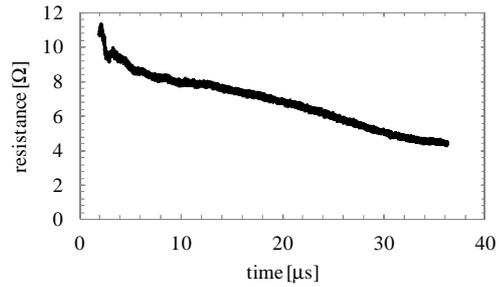


図 12 Case 4 の  $V/I$  の時間変化

表 2 定常・過渡接地抵抗地

		電位 [V]	
		最大値 (波頭部での値)	$t=2$ ms時の値 (波尾での値)
1号機側での測定	単独 (Case1)	52.2	8
	接続 (Case3)	47.6	6.6
2号機側での測定	単独 (Case2)	186.1	33.1
	接続 (Case4)	140.1	5.7

表 2 はこれらの実験結果から得られた定常・過渡接地抵抗地をまとめた。図 13 から 16 には数値電磁界解析手法によりモデル化した解析結果と実験結果を比較した結果 (Case 1) を示す。この比較結果では電位上昇波形の波頭部分で差異が現れた。これは大地の抵抗率、誘電率の周波数特性が影響したためと考えられる。ただし、このような結果は解析値が実験値よりも大きく現れており、本解析手法を風車接地設計に用いる場合、安全側の値が現れていることとなり大きな問題ではないと考える。その他の比較結果についても同様の解析結果を得ることができた。

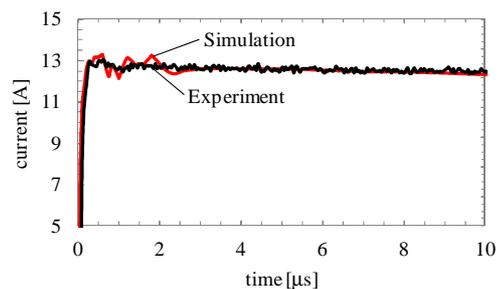


図 13 Case 1 の注入電流波形の比較 (波頭部)

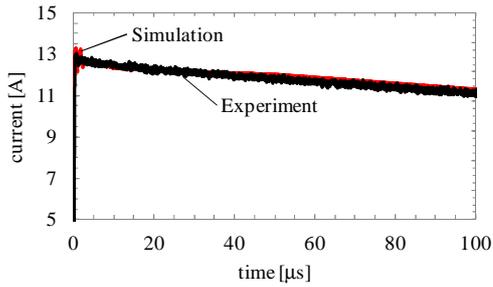


図 14 Case 1 の注入電流波形の比較 (全体)

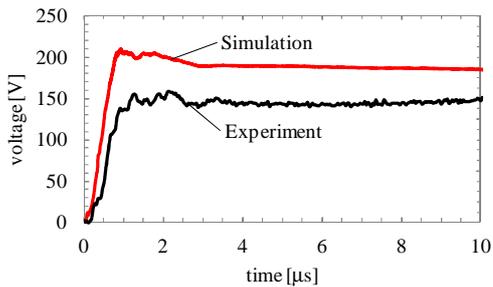


図 15 Case 1 の電位上昇波形の比較 (波頭部)

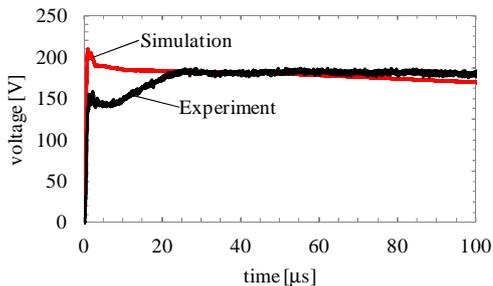


図 16 Case 1 の電位上昇波形の比較 (全体)

以上のように、風車単体の場合、2つの風車を接続した場合における、電位上昇波形（風車内外に設置される機器に加わる過電圧値と相関関係が強い）と接地特性を解析においても精度よく再現することができ、今後の接地設計に有用なモデルを構築することができた。

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2 件)

- ① 山本和男:「甬喜ヶ峰風力発電設備の接地システムと電食の可能性」, 関西・中部電食防止合同研究発表会, pp. 7-15 (2013/11/22) (今池ガスビル)
- ② 山本和男・安藤和馬, 高井健太郎・角紳一・内藤悠太・柳川俊一・関岡昇三: 「棒電極の過渡接地特性実験結果」, 電気設備学会全国大会, No.G-9, pp.351-352 (2013/9/3) (大阪府立大学)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本 和男 (YAMAMOTO, Kazuo)

中部大学・工学部・准教授

研究者番号: 50332052