

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：55201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25420304

研究課題名(和文) 沿面放電を利用した風力発電システムの落雷対策

研究課題名(英文) A Study of lightning protection of the wind-generated system using surface discharge characteristics

研究代表者

箕田 充志 (MINODA, ATSUSHI)

松江工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号：00311069

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：風力発電システムは、ブレード表面への落雷を受雷部からGNDに導くことで被害を低減している。しかしながら、ブレード表面における放電が受雷部に導かれない可能性が有る。特に強い落雷を受けるとブレードの破壊につながる。ブレードの修理が行われた場合、修理コストと長期間の発電コストがかかる為、落雷対策が重要である。

本研究では、ブレード表面の沿面放電特性に着目し、放電の進展特性の解明を行った。その結果、テープによる段差を設けることで、放電電圧が低下することが分かった。また、放電はテープの界面に沿って進展しやすくなることが観測された。ブレード表面の沿面放電特性をもちいて落雷対策を行える可能性を見出した。

研究成果の概要(英文)：Lightning damage in wind power generation systems is reduced by guiding the lightning to the surface of the wind turbine blade GND. However, a strong strike may destroy the blade. The wind turbine is then out of commission while repairs are made and the cost of repairs is also significant. Therefore the risk of lightning damage is a disincentive to promote the introduction of wind power generation in the future. Experiments were conducted on the progress of the discharge characteristics and impact of the discharge phenomenon. The metal tape lowered the the discharge voltage most and it was also found that the tape easily guided along the direction of progress of the discharge.

研究分野：高電圧工学

キーワード：落雷 放電

### 1. 研究開始当初の背景

自然エネルギーを用いた発電として大型風車の導入が各地で行われつつある。しかしながら、我が国における風力発電システムの利用拡大には、解決すべき幾つかの問題点がある。特に強い風量が期待できる日本海側においては、落雷による設備の破損が問題となっている。

落雷に対する様々な手法が検討されているが、未だ効果的な対策は施されていない。落雷時における最も深刻な被害の一つに風車ブレードの破損があげられる。ブレードが破損すると長期の運転停止とともに、交換作業のため大きな経費負担が必要となる。

### 2. 研究の目的

本研究では、落雷時に風車ブレード表面を進展する沿面放電の特性を検討し、ブレードに対する効果的な避雷対策を提案することで、既に設置されている大型風車の落雷被害の低減を図ることを目的とした。

落雷はブレード先端部分に生じやすいことから、先端部分には受雷部が設けられている。雷電流は受雷部よりブレード内部のダウンコンダクタを通してアースに導かれる。これによって風車の落雷事故を低減している。

一方、落雷が受雷部に導かれずブレードを破壊してしまう被害も発生している。落雷によりブレードが破壊された場合、風車の長期の運転停止、復旧コストの発生などにつながる。このことから、高い確率で雷電流を受雷部に導く必要がある。

### 3. 研究の方法

風力発電機ブレードの落雷時における放電特性を解明するために、高電圧実験室において、ブレード表面を模擬した試料に高電圧を印加し、放電特性を評価した。

図1に示す実験系にて、高速度ビデオカメラを用いて沿面放電の進展を観測した。

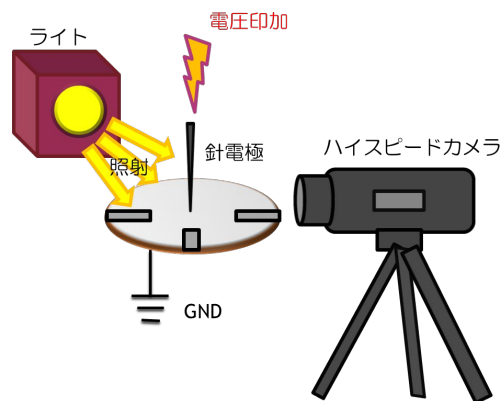


図1 実験システム

また、ブレード表面に付着した雨水や異物、表面の粗さが沿面放電特性に及ぼす影響について検討した。

加えて、主に実機レベルの試料による効果を検討した。

### 4. 研究成果

図2に示すように、水滴を配置すると放電電圧は低下した。

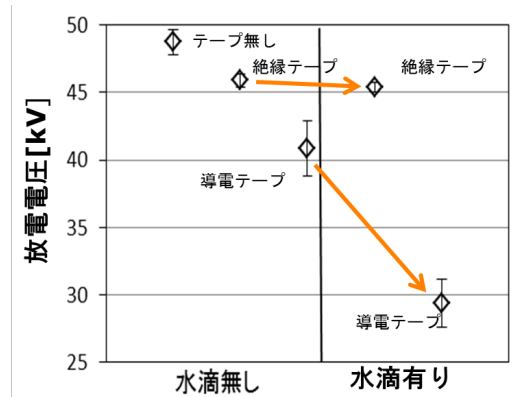


図2 放電特性

試料のスケールを小さくし、粗面処理の影響を評価した。その結果、粗面処理を行うと水滴を保持する能力が高まり放電電圧を低下させることがわかった(図3)。さらに、高速カメラの画像から、水滴などを介してテープの段差に沿って放電が進展し誘導されていることがわかった(図4)。これにより効果的に雷電流を導く可能性が示された。

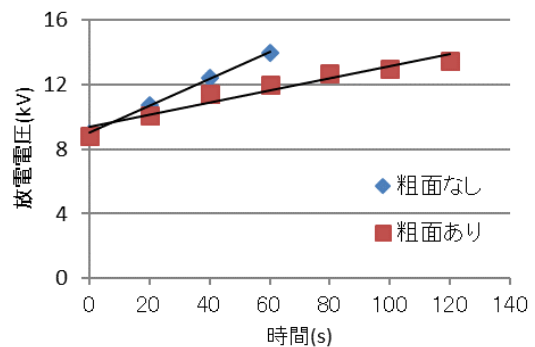


図3 テープありの時間-放電電圧特性 (傾斜 20 度)



図4 水滴とテープに沿って放電が進展

ブレード表面に貼るテープの厚さおよび表面の汚損状態が沿面放電特性に及ぼす影響について検討した。

図5のように、自然環境における異物として、黄砂の主成分である二酸化ケイ素と塩水を付着させた場合の検討を行った。

電圧の立上りが早い、インパルス電圧においては顕著な差は現れなかったが、波尾長の長い冬季雷を模擬した電圧（AC）を印加した場合、放電電圧に差が現れた。

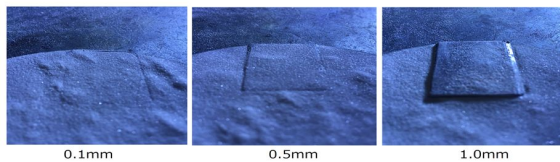


図5 汚損量とテープの様子

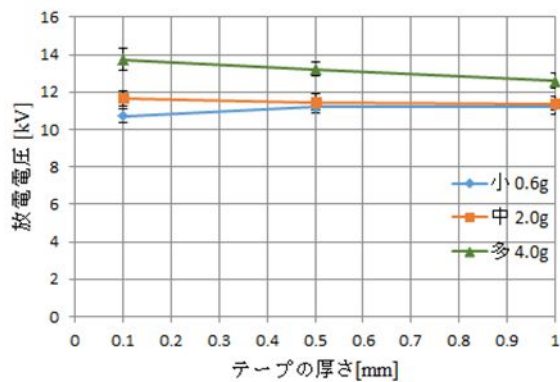


図6 放電特性

図6に示す通り、ブレード表面の段差によって沿面放電の進展が促進されるが、段差を埋める異物が付着すると進展を妨げる要因となることがわかった。特に、黄砂の主成分である二酸化ケイ素が風車ブレード表面に付着すると段差を埋めるため、雷の進展を阻害する可能性が示唆された。

一方、塩水が付着すると段差を通じて流れるため、雷を導きやすくする結果が得られた。また、テープの厚さが厚いほど汚損に対して有利であることが分かった。次に、テープによる放電の誘導では、受風や落雷によって剥がれてしまうため対策が必要である。そこで図7に示すように、FRP板で段差をつくり放電特性について検討した。

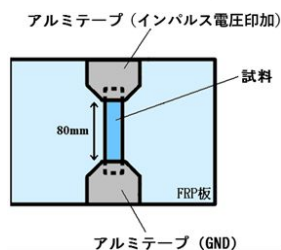


図7 FRPを用いた電極系

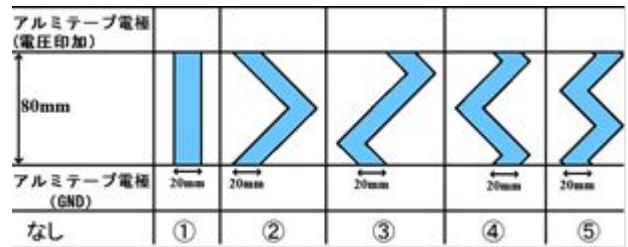


図8 FRP板の形状変化

図9に示すよう、FRP板を電極間に挿入すると、板が無い場合に比べ放電電圧は低下した。

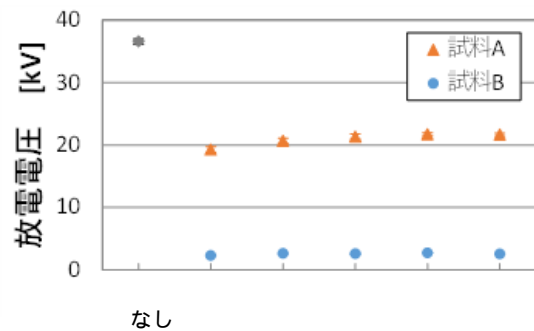


図9 沿面放電特性

ここで、板の形状による放電電圧の差が若干表れた。形状が複雑になると、FRP板の沿面を一部放電した後、沿面を飛び越えたことが原因と考えられる。



図10 電極に対し垂直なFRP板における沿面放電の例



図11 複雑な形状のFRP板における沿面放電の例

総合的な評価として、実際の風車ブレードのスケールにおいても、同様の現象が観測された。このことから大型風車においても沿面放電を受電部まで導ける可能性が示された。これにより実際の風車ブレードにおける雷被害対策の一つに本研究の成果が役立てられると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 28 件)

高橋のどか, 箕田充志, 風車ブレード表面の沿面放電特性に与える段差の影響, 平成 29 年度(第 68 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会(2017) 岡山理科大学

高橋のどか, 箕田充志, 風車ブレードの沿面放電特性における段差形状の影響, 電気学会中国支部第 9 回高専研究発表会, (2017/3/10), 中国電力本社

山根智哉, 手島朋祐, 箕田充志, 風車ブレードの沿面放電における黄砂の影響, 第 18 回 I E E E 広島支部学生シンポジウム, (2016/11/19~20), 山口大学

高橋のどか, 箕田充志, 風車ブレードの沿面放電特性における FRP 板形状の影響, 第 18 回 I E E E 広島支部学生シンポジウム, (2016/11/19~20), 山口大学

野津瑞季, 山崎悠希, 箕田充志, 落雷による風力発電ブレードの破損メカニズム, 第 18 回 I E E E 広島支部学生シンポジウム, (2016/11/19~20), 山口大学

石橋卓巳, 箕田充志, 風力発電システムに関する落雷被害調査, 平成 28 年度(第 67 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会(2016/10/22), 広島大学

山崎悠希, 箕田充志, 落雷による風力発電ブレードの破損メカニズムの解明, 平成 28 年度(第 67 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, (2016/10/22), 広島大学

手島朋祐, 箕田充志, 風車ブレードの沿面放電特性における黄砂の影響, 平成 28 年度(第 67 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, (2016/10/22), 広島大学

手島朋祐, 箕田充志, テープ厚さが風車ブレードの沿面放電特性に及ぼす影響,

平成 27 年電気学会 電気学会 基礎・材料・共通部門大会, (2015/9/17~18), 金沢大学

山崎悠希, 箕田充志, 風車ブレードの落雷による破損特性, 平成 27 年電気学会 電気学会 基礎・材料・共通部門大会, (2015/9/17~18), 金沢大学

箕田充志, 山崎悠希, 落雷における風車ブレード破損メカニズムの検討, 平成 27 年電気学会全国大会, (2015/3/26), 首都大学東京

手島朋祐, 月坂太, 箕田充志, 風力発電システムへの落雷被害に関する研究, 電気学会高電圧研究会, (2015/2/18~19), くにびきメッセ

目次由祐, 箕田充志, 沿面放電特性に及ぼすブレード表面状態の影響, 電気学会高電圧研究会, (2015/2/18~19), くにびきメッセ

山崎悠希, 箕田充志, 風車ブレード表面粗さが沿面放電特性に及ぼす影響, 電気学会高電圧研究会, (2015/2/18~19), くにびきメッセ

月坂太, 手島朋祐, 箕田充志, 風力発電システムの落雷被害に関する研究, I E E E 広島支部学生シンポジウム, (2014/11/15~16), 広島市立大学

箕田充志, 渡邊翔, 長尾雅行, 風車ブレード表面における落雷時の沿面放電特性, 平成 26 年電気学会全国大会(2014/3/18~2014 3/20), 愛媛大学

足立隆弘, 箕田充志, 風車ブレードの沿面放電特性に及ぼす日射と雨の影響, 第 15 回 I E E E 広島支部学生シンポジウム, (2013/11/16~17) 鳥取大学

箕田充志, 風車ブレードの沿面放電に及ぼす段差の影響, 第 64 回電気情報関連学会中国支部連合大会, (2013/10/19) 岡山大学

(他 10 件学会発表)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

箕田 充志 (MINODA ATSUSHI)

松江工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号: 00311069