

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05959

研究課題名(和文) 洋上大型風車ブレードの海水を用いた雷保護手法の検討

研究課題名(英文) Study on lightning protection method using seawater of offshore wind turbine blade.

研究代表者

箕輪 昌幸 (MINOWA, Masayuki)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：10609316

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、洋上風力発電設備の回転翼の雷保護対策において、海水を吹掛ける手法の有効性を見出すことを目的としています。本手法の有効性については、ブレードに多く使用されているGFRP製の板に塩水を吹きかけ、高電圧印加時の沿面放電の状況を調べました。塩水吹掛けは、沿面放電開始電圧を低下させました。最終的にブレードの雷保護において海水吹掛けの効果を示唆する可能性が示されました。また、落雷等の実態を把握するための調査も実施しました。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aim to find out the effectiveness of the method of spraying sea water in measures against lightning protection of offshore wind turbine blades. Regarding the effectiveness of this method, we investigated the creeping discharge condition at high voltage application by spraying salt water on GFRP plate which is often used for blade. Saltwater spraying on GFRP plates lowered the creeping discharge onset voltage on that plate. Finally, the possibility to suggest the effect of seawater spraying on the lightning protection of the blade was shown. We also conducted a survey to ascertain the actual conditions of lightning strikes and other things.

研究分野：工学

キーワード：風力発電 回転翼 雷保護 沿面放電 海水 汚損

1. 研究開始当初の背景

自然エネルギーの利用を拡大するために大型の風車を洋上に多数建設する洋上風力発電の研究開発やそのビジネスが積極的に推し進められています。この風車の大型化により落雷、特に回転翼への落雷の危険性は増しています。レセプタ(受雷部)を設置する雷対策が実施されていますが、風車回転翼の雷被害は収束していません。そして、洋上風車は陸上の風車に比べ落雷のリスクが高く、復旧時間復旧が難しいことが推察され、追加の雷保護手法が求められます。一方、洋上風力は周りが海であるため、導電性材料となる海水が安価で潤沢にあります。ゆえに海水を用いた対策手法の雷保護効果の可能性に着目しました。

2. 研究の目的

風車回転翼の落雷損傷は、レセプタ(受雷部)以外の部分に着雷した雷放電が表面に沿面放電してレセプタ(受雷部)へ到達する前に雷放電が回転翼を貫通したり、または回転翼材料に浸入すること起因する場合があります。そのため、海水(塩水)を回転翼に吹き付けることで沿面放電が促進され、海水(塩水)吹付けが回転翼の雷保護に役立つ可能性を明らかにすることを目的としています。

3. 研究の方法

洋上大型風車への落雷状況を推測するために海岸近くに設置された大型風車を対象に雷観測(電流観測および光学観測)を実施し、観測結果を検討します。

洋上風車の回転翼は海風等により塩分で汚損されると推測されます。この汚損状況を推定するために、海岸近くに設置された風車近辺に回転翼を模擬したプラスチック板を設置し、3ヶ月間~7ヶ月間の長期間曝露させ、その表面の汚損状態を調べます。汚損状況の測定、評価は、がいしの汚損試験で用いられる等価塩分付着密度(ECDD)の測定方法を用います。

回転翼のGFRP表面に塩分汚損させての沿面放電状況の実験では、GFRPを模擬したプリント基板に用いられるガラスエポキシ板と同質の板を用います。この板表面に棒電極を設置させ、衝撃電圧発生装置で雷インパルス電圧を印加し、昇降法を用いて50%FOVを求めます。そして各試験条件での50%FOVを用いて沿面放電開始電圧を評価します。汚損方法は、市販されている塩を精製水に溶かし、それを吹き掛けます。汚損状態は印加実験後の等価塩分付着密度(ECDD)の測定方法で測定評価します。

4. 研究成果

洋上風車への落雷状況を推測するための雷観測は、日本海沿岸の3ヶ所の風力発電所で実施しました。研究期間中に3ヶ所の風力

発電所で合計115回の落雷を検出しました。電流観測結果においては、50%電流値が6kA、50%電気量が29Cでした。また、最大の電流値は51kA、最大の電気量は353Cで、300Cを超えるケースが2回ありました。光学観測においては、風力発電運転中の落雷時、回転翼先端へ落雷し放電が引き伸ばされている例が確認されました。また、複数の風車に回転翼先端部に着雷による放電痕跡が認められました。

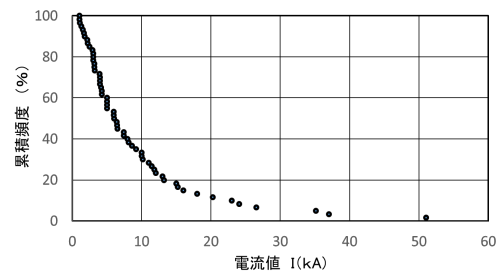


図1 電流値累積頻度分布

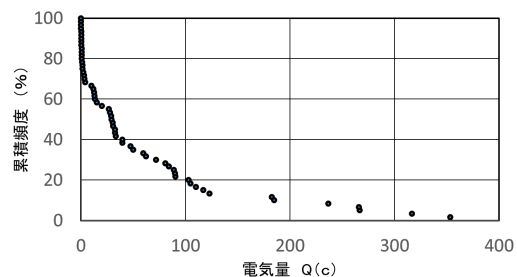


図2 電気量累積頻度分布



図3 回転翼への落雷の光学観測例 (風力発電運転中)

風車回転翼の汚損状況の調査では、2風力発電所の3地点に回転翼を模擬して設置したプラスチック板表面の汚損状況を調べ、等価塩分付着密度(ECDD)は0.0009 mg/cm²~0.0057 mg/cm²の範囲でした。そして平均ECDDは0.0027 mg/cm²でした。

回転翼材を模擬したガラスエポキシ板の表面を塩分汚損させて沿面放電状況を見る実験では、床に敷設した平板電極上に、縦2m、横1m、厚さ3mmのガラスエポキシ板を用いて、これを垂直に立て、それに45度

の角度を持つ電極棒を平板電極から 60cm の高さでガラスエポキシ板の表面に接触させ、雷インパルス電圧を印加する実験の結果では、以下に示すようになりました。

汚損なしの 50%FOV は、+293 kV、-440 kV、表面汚損が 0.005 mg/cm² のときの 50%FOV は、+159kV、-242kV、表面汚損が 0.033mg/cm² のときの 50%FOV は、+147kV、-198kV となりました。ガラスエポキシ板の表面を塩水で汚損した場合、沿面放電の 50%FOV が低下する傾向が確認できる。また、汚損が 0.033mg/cm² の場合の 50%FOV は、汚損なしのそれに比べ、約半分に低下しています。

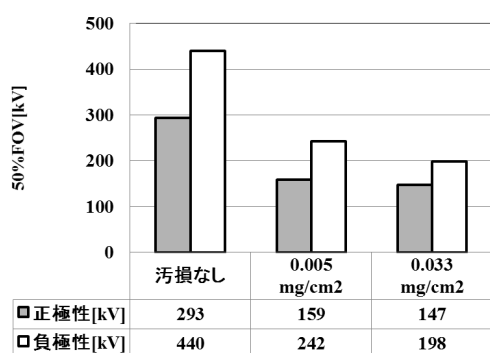


図3 塩分汚損の影響

考察

日本海沿岸の風力発電所での雷観測結果より、かなりの頻度で風車に落雷していることが確認できました。そのため、風況が良好なこの地域で洋上風力発電を行う場合、風車への落雷リスクはさらに増えると推察されます。そのためレセプタを含めての雷保護を強化する必要性を確認しました。

光学観測より、回転翼先端などの受雷部以外に着雷した雷放電は短い距離ながら沿面放電の生じていることが判明しましたが、表面の汚損は 0.006 mg/cm² くらいまでであるため、塩水（海水）を吹き掛ければ表面の汚損がより濃くなり、沿面放電が促進されると考えられる。これらより風車回転翼に海水を吹きかけることは雷保護の観点より効果が期待できるといえる。

結語

海水を吹きかけての風車回転翼の雷保護の有効性は見出せたが、今回はガラスエポキシ板単体に雷インパルス電圧を印加する実験で評価を行っている。実際の回転翼は、バルサ材を GFRP で挟んだ複合材なども使用されている。そのため、このよう GFRP の複合材でも同様な有効性があるかを調べるのが今後の課題と考えられます。また、海水を回転翼に吹きかけたとき、この海水の吹きかけが風力発電設備の電気電子装置、部品等に及ぼす影響を調査検討することも今後の課題です。

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）

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 24 件)

國松 俊孝, 箕輪 昌幸, 依田 正之, 櫻野 仁志, 渡辺 崇, 窪内 祥之: 『平成 25 年度内灘風力発電所における雷電流観測の結果』, 平成 27 年電気学会電力・エネルギー部門大会 346, 2015.8.25, 名城大学(愛知県)

國松 俊孝, 吉田 光貴, 箕輪 昌幸, 依田 正之, 櫻野 仁志, 渡辺 崇, 窪内 祥之: 『2013 年夏季に内灘風力発電所で観測された特異な雷放電』, 2015 年(第 33 回)電気設備学会全国大会 C-11, 2015.9.2, 北海道大学(北海道)

吉田 光貴, 國松 俊孝, 箕輪 昌幸, 依田 正之, 櫻野 仁志, 渡辺 崇, 窪内 祥之: 『2013 年度内灘風力発電所における雷観測』, 2015 年(第 33 回) 電気設備学会全国大会 C-10 2015.9.2, 北海道大学(北海道)

國松 俊孝, 箕輪 昌幸, 依田 正之: 『上越風力発電施設 3 号機を対象とした平成 26 年度の雷観測』平成 27 年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 J3-7, 2015.9.29, 名古屋工業大学(愛知県)

吉田 光貴, 國松 俊孝, 箕輪 昌幸, 依田 正之: 『上越風力発電施設 1 号機を対象とした平成 25 年度の冬季雷観測』平成 27 年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 J3-6, 2015.9.29, 名古屋工業大学(愛知県)

安藤 晴信, 國松 俊孝, 吉田 光貴, 箕輪 昌幸, 依田 正之, 櫻野 仁志, 渡辺 崇: 『2013 年度内灘風力発電所における雷放電の写真解析』平成 27 年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 J3-8, 2015.9.29, 名古屋工業大学(愛知県)

吉田 光貴, 國松 俊孝, 箕輪 昌幸, 依田 正之: 『上越風力発電施設 1 号機における 2014 年度の雷観測』, 平成 28 年 電気学会全国大会 7-129, 2016.3.16, 東北大学(宮城県)

Koki Yoshida, Harunobu Ando, Masayuki Minowa, Masayuki Yoda, Hitoshi Sakurano, Takashi Watanabe, Yoshiyuki Kubouchi: 『Observation of Lightning Discharge at Uchinada Wind Power Station in 2013』, The International Conference on Electrical Engineering 2016, ID 90052, 2016.7.16, Okinawa Jichikaikan (Okinawa-ken)

吉田 光貴, 箕輪 昌幸, 依田 正之: 『上越風力発電施設 1 号機における 4 年間の雷電流観測結果』, 2016 年(第 34 回) 電気設備学会全国大会 B-3, 2016.9.6, 岡山大学(岡山県)

安藤 晴信, 吉田 光貴, 國松 俊孝, 箕輪 昌幸, 依田 正之: 『上越風力発電施設 2号機・3号機における 2015 年度の雷観測』, 2016 年(第 34 回)電気設備学会全国大会 B-4, 2016.9.6, 岡山大学(岡山県)

吉田 光貴, 安藤 晴信, 國松 俊孝, 箕輪 昌幸, 依田 正之: 『上越地方にある 2 地点の風力発電施設における雷観測結果の比較検討』, 平成 28 年電気学会電力・エネルギー部門大会 453, 2016.9.9, 九州工業大学(福岡県)

吉田 光貴, 安藤 晴信, 箕輪 昌幸, 鈴置 保雄, 依田 正之: 『稲葉山風力発電所 1 号機への落雷の光学観測結果』平成 28 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 M3-3, 2016.9.13, 豊田高専(愛知県)

安藤 晴信, 吉田 光貴, 箕輪 昌幸, 鈴置 保雄, 依田 正之: 『稲葉山風力発電所 1 号機における雷電流の観測結果』平成 28 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 M3-4, 2016.9.13, 豊田高専(愛知県)

安藤 晴信, 箕輪 昌幸, 鈴置 保雄, 依田 正之: 『北陸地方の風車における 3 年間の落雷発生状況』, 平成 29 年電気学会全国大会 7-137, 2017.3.17, 富山大学(富山県)

Harunobu Ando, Masayuki Minowa, Yasuo Suzuoki, Masayuki Yoda, Noriyuki Iwasawa: 『Result of Lightning Observation at Windmills in the Joetsu Area』, 4th International Symposium on Winter Lightning, S6-1, 2017.4.13, Musse Yukikomachi (Niigata-ken)

飯田 知季, 安藤 晴信, 長縄 巧, 箕輪 昌幸, 依田 正之, 鈴置 保雄: 『雷放電画像上における放電径の時間変化と電流波形との比較』, 2017 年(第 35 回)電気設備学会全国大会 G-4, 2017.8.31, 愛媛大学(愛媛県)

長縄 巧, 安藤 晴信, 飯田 知季, 箕輪 昌幸, 依田 正之, 鈴置 保雄: 『学校施設における雷被害事例の調査(その 1)』, 2017 年(第 35 回)電気設備学会全国大会 G-5, 2017.8.31, 愛媛大学(愛媛県)

安藤 晴信, 長縄 巧, 飯田 知季, 箕輪 昌幸, 鈴置 保雄, 依田 正之: 『学校施設における雷被害事例の調査(その 2)』, 2017 年(第 35 回)電気設備学会全国大会 G-6, 2017.8.31, 愛媛大学(愛媛県)

安藤 晴信, 飯田 知季, 長縄 巧, 箕輪 昌幸, 鈴置 保雄, 依田 正之: 『上越市風力発電施設 1 号機および 3 号機における月別にみた冬季雷の発生時間推移と電気量特性』, 平成 29 年電気学会電力・エネルギー部門大会 312, 2017.9.6, 明治大学(東京都)

安藤 晴信, 箕輪 昌幸, 鈴置 保雄, 依田 正之: 『稲葉山風力発電所 1 号機における雷観測結果』平成 29 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 15-1, 2017.9.8, 名古屋大学(愛知県)

②1 飯田 知季, 箕輪 昌幸, 依田 正之, 鈴置

保雄: 『雷放電画像による放電径と電流値との相関性』, 平成 29 年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 14-5, 2017.9.8, 名古屋大学(愛知県)

②2 長縄 巧, 箕輪昌幸, 依田正之, 鈴置保雄, 渡辺 崇: 『平成 27 年度の内灘風力発電所における雷電流観測』, 平成 29 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 15-2, 2017.9.8, 名古屋大学(愛知県)

②3 長縄 巧, 飯田 知季, 箕輪昌幸, 依田正之, 鈴置保雄: 『学校施設における雷被害事例の調査(その 3)』, 平成 30 年電気学会全国大会 7-107, 2018.3.14, 九州大学(福岡県)

②4 飯田 知季, 長縄 巧, 箕輪昌幸, 依田正之, 鈴置保雄: 『雷放電画像上の放電径からの電流性状の推定』, 平成 30 年 電気学会全国大会 7-110, 2018.3.14, 九州大学(福岡県)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

箕輪 昌幸(MINOWA, Masayuki)
愛知工業大学・工学部・教授
研究者番号: 10609316

(2) 研究分担者

依田 正之(YODA, Masayuki)
愛知工業大学・工学部・教授
研究者番号: 80103240

(3) 連携研究者

なし()
研究者番号:

(4) 研究協力者

なし()