

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月27日現在

機関番号：82641

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01342

研究課題名(和文) 次世代のライフラインの安定運用を目的とした雷パラメータの取得方法の確立

研究課題名(英文) Progress of the technique of estimation method of lightning parameters considering of progress of recent infrastructures.

研究代表者

齋藤 幹久 (SAITO, Mikihisa)

一般財団法人電力中央研究所・電力技術研究所・主任研究員

研究者番号：90599218

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：東京スカイツリーへの落雷に伴い観測された電界、高速度カメラで得られた光学データなどから数値電磁界解析を用いて、電流のパラメータと関連する他のパラメータの関係を明らかにする方法を確立した。一般的に夏に被害を起こす雷は、電流の直接観測が大変難しいが、東京スカイツリーでは多くの雷電流の直接観測が可能であるため、世界でも殆ど観測例の無い一般的な夏の雷について解析を行った。また、冬季に送電線故障を起こす、GCと呼ばれる大電流を伴う上向き雷に関しても同様の手法で、電流と電界波形の関係を明らかにした。これらの研究を通じて、電界観測から雷電流の特徴を推定する技術の確立・向上を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今後スマートグリッドが日本全国に展開し、ガス、情報通信網、水道など他のライフラインと電力の相互関係がより深まることによって、雷の被害が一過性の停電だけに留まらず、様々な機器に及び、他のライフラインへ影響する事が懸念される。冬季雷など設備に大きな被害を与える雷や、ゲリラ豪雨に伴う雷など従来とは異なる気象条件も考慮しつつ、次世代のライフラインを安定に運用し、機器への被害を無くすためには新しい雷害対策が必要となっている。これに必要な、次世代のライフラインを守るための雷パラメータの取得方法の確立を行った点で本研究成果は意義がある。

研究成果の概要(英文)：Lightning current data in summer are rarely observed, because no one can predict the time and location of lightning hits. However, direct observation of lightning currents is possible at Tokyo skytree in summer due to the characteristic structure height. Thus, the relationships between lightning current parameters hitting Tokyo skytree and other lightning parameters, which are obtained by using high-speed cameras and electromagnetic field observation systems, were analyzed.

In addition, the current and electromagnetic field waveforms of the upward high current winter lightning called GC strokes, which causes transmission line outages in winter, were also analyzed. Since the current parameters of such winter lightning are quite different from those of summer lightning, damages for electrical facilities are relatively larger than those in summer. Through such analysis, estimation method of summer and winter lightning current parameters has progressed.

研究分野：雷 送配電工学

キーワード：雷 雷電流 電磁界 風力発電設備 東京スカイツリー 数値電磁界解析 冬季雷

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現行のライフラインでは運用期間が長く、雷に対する知見が大分蓄積しているため、大半の雷害を防ぐ事ができ、迅速な復旧も可能となっている。しかし、今後発展するスマートグリッドを含む次世代のライフラインでは当然運用期間は無く、また運用期間が長くなる前に逐次システムが進歩する事が予見されるため、適切な雷害対策を行うためには、今まで以上に雷放電の特性を把握し、先手を打って雷害対策を行っていく必要がある。もちろん、過大な対策を施せば被害は防げるが、それでは無駄なコストが発生し、エコフレンドリーな社会に合致しない。もちろん、対策を施さなければ、今までより停電やそれに伴うライフラインの停止の可能性が高まり、今までのライフラインの運用経験がそのままでは活かせない事から復旧までも時間を要し、機器的損失だけでなく、停電が長引く事による、人命に関わる事態が現状より多くなる可能性も否定しきれない。

上記に加え、今後スマートグリッドが日本全国に展開し、ガス、情報通信網、水道など他のライフラインと電力の相互関係がより深まることによって、雷の被害が一過性の停電だけに留まらず、様々な機器に及び、他のライフラインへ影響する事が懸念される。このため、冬季雷など設備に大きな被害を与える雷や、ゲリラ豪雨に伴う雷など従来とは異なる気象条件も考慮しつつ、次世代のライフラインを安定的に運用し、機器への被害を無くするためには新しい雷害対策が必要となっている。

しかし、効果的な雷害対策を行うための雷パラメータ観測手法は確立していない。これらの問題・被害を最小限に抑えるという点が研究の動機となる。

2. 研究の目的

本研究では次世代のライフラインを守るための雷パラメータの取得方法の確立を主な目的とする。次世代のライフラインの安定な運用のため、電界観測結果を用いて数値電磁界解析を行った結果得られる、雷電流パラメータの推定手法の確立・技術の向上を目的の主軸としている。また、設備に被害を与える雷の発生する気象条件の調査や、被害を与える雷電流パラメータの絞込みも本研究では目的とする。

3. 研究の方法

東京スカイツリーへの落雷に伴い観測された電界、高速度カメラで得られた光学データなどから電流のパラメータと他のパラメータの関係を明らかにしていく。一般的に夏に機器に被害を与える雷は、電流の直接観測が大変難しいが、東京スカイツリーでは多くの雷電流の直接観測が可能であるため、世界でも殆ど観測例の無い一般的な夏の雷について電流と電磁界の関係について分析を行っていく。具体的には、数値電磁界解析手法を用いることにより、観測された電界波形から電流波形を推定していく。(後述の研究成果(1)(2)に關係)

同様の解析は冬季に送電線故障を引き起こす大電流を伴う上向き雷(GCと呼ばれる)に関しても行い、電磁界波形から電流波形を推定する技術の向上を行う。また、冬季に風力発電用風車で観測された冬季の雷にともなう電流波形の詳細な電流パラメータ取得を行い、気象データと比較も行う。これらの解析を通じて、電界から電流を推定する技術の向上と、事故を引き起こす雷電流や気象データの条件の絞込みを行う。(後述の研究成果(3)に關係)

4. 研究成果

本研究で得られた主な結果は以下になる。

(1) 夏季下向き雷に伴う電界波形と電流波形に関する研究

ライフライン設備に被害を与える事が最も多い、夏季の負極性下向き第一雷撃という落雷に関して、数値電磁界解析手法を用いることで、観測された電流波形および電界波形を同時に再現することに成功し、研究年度内で両波形の再現技術の向上を行った。具体的には、東京スカイツリーに設置された観測装置で得られた雷電流波形の他、電界観測結果、光学観測結果による雷放電路の3次元的な形状のデータを用いて、相互の関係を明らかにする技術の向上を行った。この結果、電流波形を良好に再現することに成功し、更に大地伝導率、雷放電路形状、雷電流速度および雷道インピーダンスの影響と遠方で観測される電界波形との関係を明らかにした。これにより、電流そのものの直接観測が出来なくてもその他の観測データ結果から、耐雷設計上重要となる電流パラメータの推定する技術を確立したといえる。また下向き落雷の後続雷撃と呼ばれる落雷に関しても同様に電界波形と電流波形の特性の再現例を増やし、従来からある再現技術の向上を行った。この結果を用いて今後落雷の電界データから電流波形を推定し、気象データと比較していく事で、次世代のライフラインに用いられる各種機器の耐雷設計の効率化が望める。

(2) 夏季下向き雷に伴う上向きリーダに関する研究

高速度カメラで観測された雷放電路の伸展様相および電流観測結果から、下向き落雷に伴う

高構造物からの上向きリーダの伸展様相に関して、リーダ電流の時間変化と伸展速度および 3 次元的な伸展距離のパラメータ取得方法を確立した。これらのパラメータは構造物に落雷するとき、どの程度近くに雷が近づいたら落雷する危険性が高まるかの研究に必要な基礎データとなっており、世界的にも貴重なデータとなっている。このデータに関して今後も本研究で整備した観測機器を用いてデータを蓄積、気象データと比較していくことで、夏季の雷に対する次世代のライフライン設備の耐雷設計の効率化を行う。

(3) 冬季上向き雷に関する研究

冬季に日本海沿岸で送電線故障をおこす、GC と呼ばれる大電流を伴う上向き雷について数値電磁界解析を行い、観測された電流波形および電界波形を同時に再現することに成功した。この技術を用いて、観測された電界波形から電流波形を推定することにより、送電線故障対策の進歩が期待される。今後スマートグリッドが進行することにより、送電線の空き容量がより詳細に管理される可能性があり、送電線故障の一層の詳細な原因究明も次世代のライフラインでは重要となる。

冬季に観測される上向き雷の電流の特性と雷害様相関係を分類し、風車の雷害対策には個々の落雷の特性も重要だが、落雷頻度がパラメータとして大変重要であることを明らかにした。これより、従来の電磁界観測では捕捉率の低い、電流値の小さい落雷の数も雷パラメータとして知る必要があるという問題が明らかになった。なお、風車の耐雷設計の基本となる接地抵抗を下げる対策が十分に施してある場合、電流値の小さい落雷は大きな問題にならない筈であった。この点に関しては今後更に詳細な研究が必要となっている。

風車のブレードは金属ではなく複合材料で出来ており、エネルギーの大きい雷に弱い。そのため、冬季に風力発電用風車で観測された雷電流のデータを基に、風車ブレードにダメージを与える可能性の高い、エネルギーの大きい雷の発生する気象条件に関して特長の抽出を行った。その結果、エネルギーの大きい落雷の発生する気象条件の特徴の絞込みにある程度成功した。

これらの解析を通じて、電流波形（雷パラメータ）を推定する技術の確立・向上を行なった。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

M. Saito, M. Ishii, T. Miki, T. Shindo, T. Sonehara, “Reproduction of Electromagnetic Field Waveforms of Downward Lightning Strokes Hitting Tokyo Skytree”, IEEE Trans. EMC, DOI: 10.1109/TEMC.2019.2911691(IEEE Xplore Early Access) 査読有り

[学会発表] (計 13 件)

M. Saito, M. Ishii, “Characteristics of return strokes associated with upward lightning flashes observed in winter” Proc. 34rd International Conference on Lightning Protection, Rzeszow, Poland (2018-9)

M. Saito, T. Miki, T. Shindo, M. Ishii, T. Sonehara, “Characteristics of upward connecting leaders initiated from Tokyo Skytree” XVI International Conference on Atmospheric Electricity, Nara, Japan (2018-6)

M. Saito, M. Ishii, “Relationship between aerological stability and charge amount of upward lightning hitting wind turbines in winter”, 2018 International Lightning Detection Conference (ILDC) and International Lightning Meteorology Conference (ILMC), Fort Lauderdale, USA(2018-3)

齋藤幹久, 三木貴, 三木恵, 新藤孝敏:「落雷地点から数十 km 遠方での電界観測による電荷量の推定」, 平成 30 年電気学会全国大会, No.7-111 福岡 (2018-3)

T. Sonehara, M. Saito, T. Miki, T. Shindo, H. Motoyama, M. Ishii, “Optical observation of lightning strokes hitting Tokyo Skytree”, 2017 International Symposium on Lightning Protection (XIV SIPDA), Natal, Brazil(2017-10)

M. Saito, T. Miki, T. Shindo, H. Motoyama, M. Ishii, T. Sonehara, “Development of electromagnetic model for first stroke of downward lightning hitting Tokyo Skytree”, 2017 International Symposium on Lightning Protection (XIV SIPDA),

Natal, Brazil (2017-10)

S. Vogel, M. Saito, M. Ishii, “Correlations of current parameters with flash density from winter thunderstorms in Japan”, 2017 International Conference on Lightning and Static Electricity (ICOLSE), Nagoya, Japan (2017-9)

M. Saito, M. Ishii, “Relationship between aerological data and characteristics of upward lightning hitting wind turbines in winter” 2017 International Conference on Lightning and Static Electricity (ICOLSE), Nagoya, Japan (2017-9)

S. Vogel, M. Saito, M. Ishii, “Upward lightning attachment analysis on wind turbines and correlated current parameters”, 4th International Symposium on Winter Lightning (ISWL2017), Joetsu, Japan (2017-4)

M. Saito, M. Ishii, “Reproduction of Electric Field Waveforms Associated with GC strokes Hitting Wind turbines”, 4th International Symposium on Winter Lightning (ISWL2017), Joetsu, Japan (2017-4)

M. Saito, M. Ishii, “Application of LLS to detection of winter lightning flashes hitting wind turbines”, Proc. 33rd International Conference on Lightning Protection, Estoril, Portugal (2016-9)

齋藤幹久, 三木貫, 新藤孝敏, 本山英器, 石井勝:「東京スカイツリーで観測された大電流を伴う上向き雷の電界波形の再現」, 平成 28 年電気学会電力エネルギー部門大会, No.452, (2016-9)

M. Saito, M. Ishii, “Calculation of Attenuation Effect of Lossy Ground to Peak Electromagnetic Intensities by Using Method of Moments”, 24th International Lightning Detection Conference, San Diego, CA, USA (2016-4)

6 . 研究組織

研究協力者

研究協力者氏名 : 三木 恵 : 三木 貫 : 石井 勝 : 曾根原 健夫

ローマ字氏名 : (MIKI, Megumu : MIKI, Toru : ISHII, Masaru : SONEHARA, Takeo)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。