

令和元年6月17日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06216

研究課題名(和文) 電磁界観測に基づく高圧配電線雷害対策のための雷パラメータ評価手法の提案

研究課題名(英文) Proposal of estimation method of lightning current parameters for protection design of power distribution line based on measurement of EM-field

研究代表者

道下 幸志 (Michishita, Koji)

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：50239274

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)：ファーストアンテナにより得られた電界波形に基づいて雷電流波形パラメータを評価し、連続電流を含めた電荷量についてはスローアンテナを用いた測定結果に基づいて精度よく推定できることを明らかにした。高圧配電線に発生する雷事故率は、従来の手法では1桁以上の相違が計算結果と測定結果に認められたが、提案手法を用いた場合には計算結果と測定結果の相違は数倍まで減少した。スパークオーバ被害は精度よく予測できるものの、避雷器焼損については相違が大きくなることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

雷の電気的な性質を解明する手法を提案した。得られた成果を用いて配電線の事故率評価を行ったところ、現実の被害が従来法よりも精度よく予測できることが分かった。この手法を用いれば配電線の雷害対策の効果を比較的簡単に評価できる。

現在は非常に強固な雷害対策が施されているため停電は殆どなくなっているが、コスト削減のために雷害対策を低減する際にもこの手法を用いて検討する事で、事故率の大幅な増加を防ぐことができると考えている。

研究成果の概要(英文)：A estimation method of lightning current parameters for protection design of power distribution line based on measurement of EM-field is proposed. In the method lightning current parameters, namely current peak is estimated based on the measured E-field obtained by a fast antenna, and the charge transfer is estimated based on the measured E-field obtained by a slow antenna. The outage rate of a power distribution line estimated by using the estimated parameters is several times as high as the actual rate while the estimated result by the conventional method is an order higher than the actual rate.

研究分野：高電圧工学

キーワード：雷放電 配電線 雷害対策 雷パラメータ 避雷器 スパークオーバ

様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在、我が国では既存の電力システムの再構築とともに、再生可能エネルギー発電設備やスマートグリッドの普及が国家的に促進されている。しかし、風力発電設備では被雷した風力発電設備のみならず連系する電力線への雷被害がしばしば発生し、また、スマートグリッドでは、外部からの電磁干渉に対して極めて脆弱な情報通信機器が多用されることになるため、雷による設備・機器の被害やシステムへの甚大な影響が危惧されている。

2. 研究の目的

- ① 電磁界観測に基づく雷電流波形パラメータ評価手法の提案
- ② 電流の直接測定結果及び配電線雷被害率との比較による結果の妥当性の検証

3. 研究の方法

- ① ファーストアンテナを用いた電磁界観測(周波数帯域：1kHz～10MHz)
- ② スローアンテナを用いた電磁界測定 (0.01Hz～100Hz)
- ③ 電力設備での雷害対策に必要なパラメータの精度の検証

4. 研究成果

① 図1の電流波形を検討対象とした⁽¹⁾。同図では、雷道を下向きに向かう電流を正として示している。今回記録された波形には、多数の ICC パルスが重畳しており、トリガ時刻から 1.0ms 付近まで、約 60 μ s 間隔で、振幅 2～10kA のパルスが発生している。この雷放電に伴って風車から 18km 離れた霧島市で得られた電界波形を、図2に示す。文献(2)と同様の手法を用いて電界波形から電流波形を推定した。解析にあたっては、雷放電モデルとして DU モデルを仮定し、進展速度は 130m/ μ s、放電定数は 10 μ s としている。図3にはピーク電流パルスの推定結果と測定結果を示している。推定結果では、波頭部の緩やかな変化は再現できていないが、比較的急しゅんな波頭部と波尾部分は再現されている。この結果は、文献(2)と同様の結果となっており、上向き放電のパルス性の電流波形は DU モデルを用いて電界波形から精度よく推定できる可能性を示唆していると研究代表者は考えている。

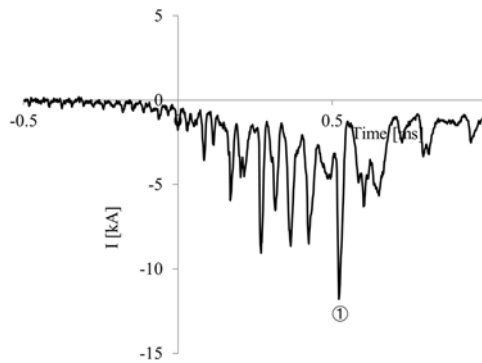


図1 観測された電流波形

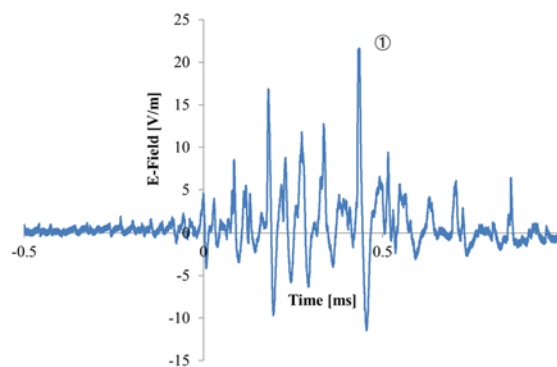


図2 国分で観測された電界波形

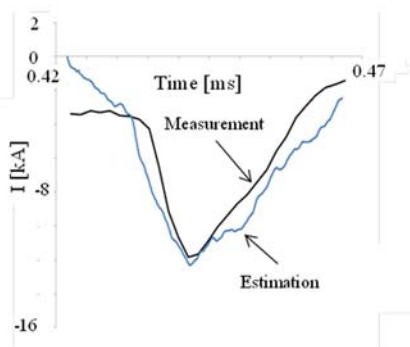


図3 観測された電流波形と計算された電界波形の比較 (図1, 2の①)

②図2の電界波形に対して低域補償（測定周波数の下限 1.6kHz が DC であった場合の波形を計算）して得られた波形を図4に示す。表1には、計算された電界値より電荷分布を仮定して求められた電荷量を示している。電流開始から 0.58ms では誤差 0%，電流開始後 0.906ms でも誤差 10%で推定できることが分かる。これよりも時間が経過すると低域補償した波形においても図4の電界強度が減少するため推定誤差は大きくなる。しかしながら、この時間帯においては連続電流分の波高値は 1kA 以下と小さな値になっている。

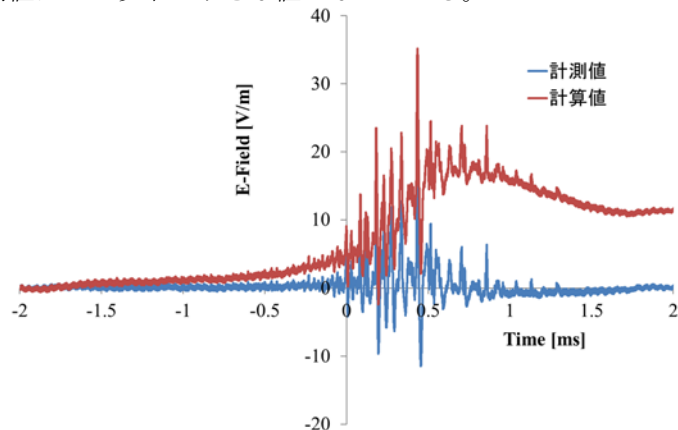


図4 国分で観測された電界波形と低域補償して計算された波形

表1 図4で計算された波形から求められた電荷量

電流開始後の時間	0.58 ms	0.906 ms
実測電荷量	0.46 C	1.75 C
推定電荷量	0.46 C	1.57 C

③ 図5に冬季雷地区で測定された電流波形を、図6には72km離れた地点で計測された電界波形を示している⁽³⁾。表2に示した電荷が地上高2kmにあると仮定して電界強度から計算された電荷量は、測定電荷量と誤差 10%以内で一致しており、ファーストアンテナとスローアンテナを用いて推定された電荷量は実測結果を精度よく再現できることが分かった。

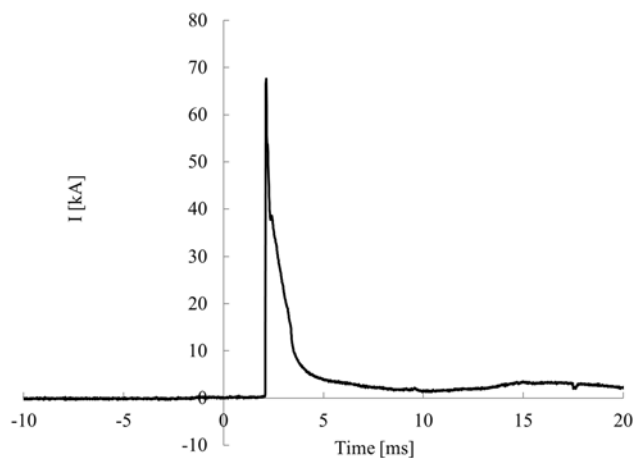


図5 冬季雷に伴って観測された電流波形

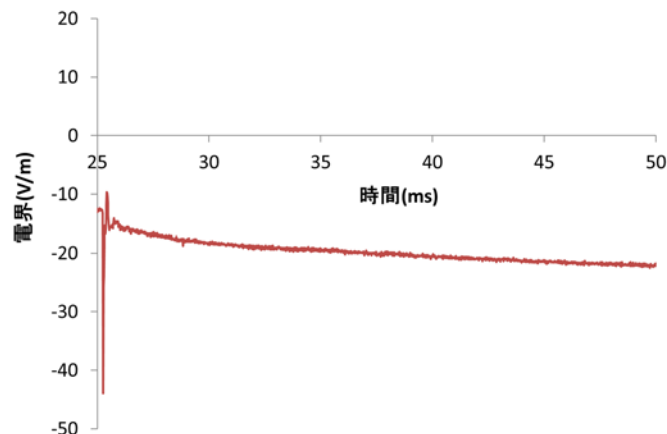


図6 図5の雷と同時計測された電界波形

表 2 測定された電荷量と推定された電荷量の誤差

時間 (ms)	誤差 (%)
1	-0.4
2	-8.0
3	-6.4
4	-1.5
5	1.2
10	1.7
22.4	-1.5

③ 図 7 に検討した配電線路の一例を示す。現実の被害率と比較するために、実際の線路構成を模擬し、構成比を考慮して被害率を求めた。また、高圧及び低圧配電線の碍子のスパークオーバ電圧は各々150kV及び90kVと仮定した。また、避雷器のエネルギー耐量は15kJとした。計算に用いた雷パラメータを表3に示す。モンテカルロシミュレーションにより雷撃点、雷電流波高値、立上り時間を求めた。また、第一及び後続雷撃の電荷量は(1)及び(2)式を各々用いて電流波高値 (I [kA]) より求めた⁽⁴⁾。雷電流波形は三角波と仮定し、立上り時間は Berger⁽⁵⁾及び三宅等⁽⁶⁾の計測結果を使用し、波尾長は電荷量を満たすように求めた。直撃雷の判断は電気幾何学モデルにより求めた。

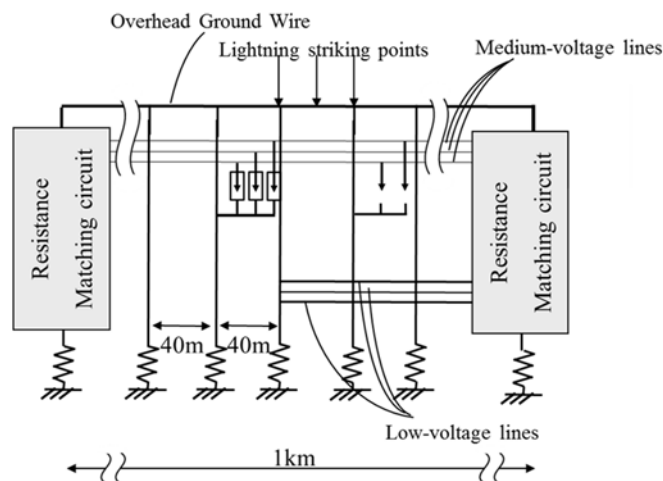


図 7 線路構成の一例

第一及び後続雷撃の電荷量計算式

$$Q = 0.18I^{0.94} \dots (1)$$

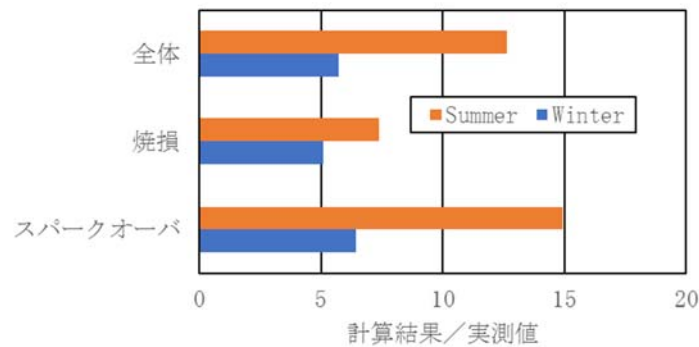
$$Q = 0.17I^{0.915} \dots (2)$$

表 3 計算に用いた雷パラメータ

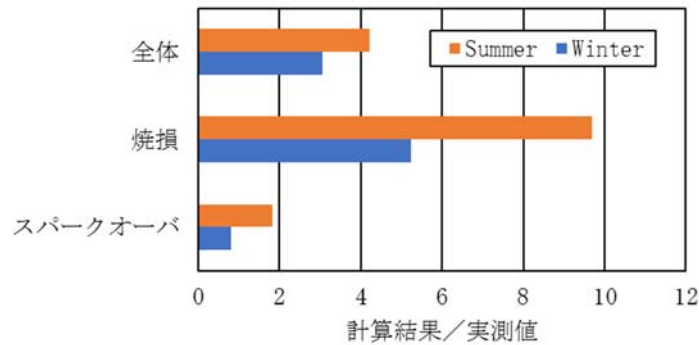
			波高値[kA]		
			95%値	50%値	5%値
夏季	負極性	第一雷撃	4	15	48
		後続雷撃	4	11	32
	正極性	第一雷撃	3	6	33
		第一雷撃	4	13	81
冬季	負極性	第一雷撃	4	13	81
	正極性	第一雷撃	4	15	98
		後続雷撃	3	9	28

図 8 に計算された被害率と実測された被害率の比較を示す。変電所リレー動作を考慮した場合にはスパークオーバ及び焼損共に実際よりも大きく評価されているが、リレー動作によりスパークオーバ被害の90%は事故に至らないという現実を考慮した場合には、スパークオーバ被害は現実に近い値になるのに対して、避雷器被害の計算結果は現実の5-10倍になっている。この結果、従来は1桁以上の相違がみられた計算結果と実測結果の相違が、本研究の手法を用いる事により、数倍の相違に減少したことが明らかになった。

電荷量自体の推定手法の精度については検証されているので、避雷器の焼損被害の計算結果と実測結果の比較的大きな相違は、電流波形の近似に三角波を用いたことが相違の原因であると考えている。また、近年は避雷器の耐量が増加傾向にあり、定格を上回る耐量を有する避雷器が増加していることも、被害率が大きく評価される原因であると考えている。



(a) 変電所リレー動作を考慮しない場合



(b) 変電所リレー動作を考慮した場合

図8 雷被害率の計算結果と実測値との比較

<引用文献>

- (1) 高野浩二, 栗原聡史, 道下幸志:「上向き放電に伴う雷電流観測結果と電界観測結果の一検討」, 平成28年電気学会電力・エネルギー部門大会, 448 (2016.9.9), 九州工業大学
- (2) 栗原聡史, 中田英宏, 橋本洋助, 道下幸志:「電界波形に基づく雷電流波形と電荷量変化の推定精度の実証」, 電気学会論文誌B, 135, 2, 118-124 (2015,2) DOI:10.1541/ieejpes135.118
- (3) 関良助・道下幸志・中村 剛・真壁 勝久:「冬季雷の電荷量推定に関する一検討」, 平成27年電気学会全国大会, 7-097 (2015.3.26) 東京都市大学
- (4) 道下幸志, 佐藤浩明, 横山 茂, 古河征二:「負極性第一帰還雷撃電流波高値とインパルス電荷量変化」, 電気学会論文誌B, 133, 11, 918-923 (2013,11) DOI:10.1541/ieejpes133.918
- (5) K. Berger, R. B. Anderson, and H. Kroeninger, "parameters of lightning flashes", ELECTRA, No. 41, pp. 23-37, 1975.
- (6) 三宅, 岸嶋, 鈴木, 三谷, 高島:「日本海沿岸における冬季雷撃電流特性」, 電学論B, Vol. 110, No011, pp. 994-951(1990)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① K. Michishita, S. Yokoyama and N. Honjo, "Measurement of Lightning Current at Wind Turbine near Coast of Sea of Japan in Winter", IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, 査読有, 61, 807-814 (2019) DOI:10.1109/TEMC.2019.2913195
- ② M. Matsui, K. Michishita and S. Yokoyama, "Characteristics of Negative Flashes With Multiple Ground Strike Points Located by the Japanese Lightning Detection Network", IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, 査読有, 61, 751-758 (2019) DOI: 10.1109/TEMC.2019.2913661
- ③ 古川稔, 道下幸志, 横山茂, 本庄暢之, 松井倫弘:「気象条件と仁賀保高原風車で冬季に観測された電荷量の関係」, 電気学会論文誌B, 査読有, 138, 6, 507-513 (2018) DOI:10.1541/ieejpes138.507
- ④ 松井 倫弘, 道下 幸志, 横山茂, 佐藤智之:「東北地方の日本海沿岸における雷電荷高度と低構造物への冬季雷被害」, 電気学会論文誌B, 査読有, 138, 10, 829-836 (2018) DOI:10.1541/ieejpes138.829
- ⑤ 松井 倫弘, 道下 幸志:「負極性下向きステップトリーダの継続時間と第一帰還雷撃の電流波高値との相関」, 電気学会論文誌, 査読有, 137, 8, 489-496 (2017) DOI:10.1541/ieejfms137.489
- ⑥ Yusreni Warmi and Koji Michishita, "Lightning Trip-Out of 150 kV Transmission Line:a Case Study", International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.), 査読有, Vol. 12, No. 3, pp260-266 (2017) doi.org/10.15866/iree.v12i3.12233

- ⑦ Yusreni Warmi and Koji Michishita, “Investigation of lightning tripouts on 150-kV Transmission Lines in West Sumatra in Indonesia”, IEEJ Transaction on Electrical and Electronic Engineering, 査読有, 11, 671-673 (2016) DOI:10.1002/tee.22286

[学会発表] (計 55 件)

- ① Hayashi Shohei, Akiyama Kazuki, Michishita Koji, Yokoyama Shigeru, Honjyo Nobuyuki, Matsui Michihiro, “Measured results of lightning current at Nikaho in winter from 2017 to 2018”, 11th International Workshop on High Voltage Engineering (IWHV 2018), ED-18-113, SP-18-065, HV-18-147, Sendai, Japan (2018)
- ② Michihiro Matsui, Koji Michishita, Shigeru Yokoyama, “Discussion on pulses detected by LLS superimposed on lightning continuous current in winter”, 11th International Workshop on High Voltage Engineering (IWHV 2018), ED-18-112, SP-18-064, HV-18-146, Sendai, Japan (2018)
- ③ Gaku Morita, Japan; Shin-ichi Hirai, Koji Michishita, “Lightning Protection of Control Board Equipped with Electronic Equipment”, 34th International conference on lightning protection, Rzeszow, Poland (2018)
- ④ Michihiro Matsui, Koji Michishita, Shigeru Yokoyama, “Lightning Ground Flash Density and Evaluation of Lightning Risk for Wind Turbines in Coastal Areas of the Sea of Japan”, 34th International conference on lightning protection, Rzeszow, Poland (2018)
- ⑤ Koji Michishita, Yuto Ishizaka, Shigeru Yokoyama, Koji Takano, Michihiro Matsui, “Lightning Flash with New Channel Stroke on Summer at South Kyushu in Japan”, 34th International conference on lightning protection, Rzeszow, Poland (2018)
- ⑥ Koji Michishita, Akifumi Hirao, Shigeru Yokoyama, “Fault Rate of Power Distribution Line Connected to Wind Turbine by Winter Lightning”, 34th International conference on lightning protection, Rzeszow, Poland (2018)
- ⑦ Shinya Yagi, Koji Michishita, Shigeru Yokoyama, “Influence of electrode geometry and ground parameters on transient grounding impedance for small lightning current”, 34th International conference on lightning protection, Rzeszow, Poland (2018)
- ⑧ Kazuki Akiyama, Koji Michishita, Shigeru Yokoyama, Nobuyuki Honjo, “Relationship Between Lightning Charge Transfer and Atmospheric Conditions in winter in Tohoku”, 16th International Conference on Atmospheric Electricity, P-05-08, Nara, Japan (2018)

他 4 7 件。

[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

<https://wvp.shizuoka.ac.jp/lightning/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：横山 茂

ローマ字氏名：Shigeru Yokoyama

※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。