配電線への雷撃様相の総合観測

正員 平井 崇夫* 正員 岡部 成光*

正員 滝波 力* 正員 玆道 拓治*

Observation of Lightning Phenomena on Distribution Lines using Composite Techniques

Takao Hirai*, Member, Shigemitsu Okabe*, Member,

Tsutomu Takinami*, Member, Takuji Chindo*, Member

For the rationalization of lightning protection design of distribution lines, it is important to clarify the behavior of distribution line when direct or nearby lightning occurs. Because of the lower insulation level than is for transmission line, in study on lightning protection design of distribution line, not only direct lightning strokes but also induced voltages caused by nearby strokes must be taken into account. So it is necessary to grasp the frequency of occurrence on lightning phenomena around distribution lines. For this aim, lightning phenomena on TEPCO's distribution lines in use had been continuously observed for 6 years (1996–2001). The observation was carried out in composite way, using still-cameras and sensors for acquisition of lightning surge waveform data. Through the observation, new interesting phenomena about lightning performance on distribution lines in fields became apparent. In some case, in spite of direct striking to the line, flashover did not occur. This fact means that distribution line has a certain level of lightning resistance. Moreover, it was confirmed that AC following current generated between both ends of insulator disappeared naturally. These results are the interesting discoveries that can be useful to estimate the fault ratio precisely.

キーワード：雷，配電線，サージ，過電圧，事故，直撃雷，誘導雷

Keywords: lightning, distribution line, surge, overvoltage, fault, direct stroke, induced voltage

1. まえがき

配電設備は，送変電設備に較べて機器の絶縁レベルが低いため，効果的な雷保護方式の検討や雷被害率の発生予測に際しては，直撃雷および配電線近傍への落雷により線路に生じる誘導雷の双方を考慮に入れる必要がある⁽¹⁾。近年では，デジタルシミュレーション技術の発達を背景として，電気幾何学モデル⁽²⁾における雷撃吸引距離の算定式を用いて，配電設備への直撃雷と配電線近傍落雷による誘導雷の発生頻度をそれぞれ算出することにより，配電線のフラッシュオーバー頻度を計算する検討もなされている⁽³⁾。しかしながら，計算による雷事故率の値と実際の配電線雷事故率の値との間には未だ隔たりがあり，雷フラッシュオーバー頻度の計算精度向上を図るためには，実フィールドにおける配電線への雷撃様相の実態を把握する必要性が指摘されている⁽¹⁾。

一般的に，配電線に雷事故が発生した場合，後日の現場調査結果からだけでは，その事故が直撃雷によるものか誘導

雷によるものかを見分けるのは困難である。これは，上に述べたように配電線の絶縁レベルでは誘導雷サージによっても絶縁破壊が発生する可能性があり，絶縁破壊した部分に交流続流が流れてしまうことによる設備被害の様相は直撃雷・誘導雷いずれの場合も同様であるためである。このため，実フィールドにおける直撃雷・誘導雷の発生比率を把握するためには，カメラ等の光学系の観測装置が有効とされており，一部の電力会社においては，自動撮影機能を有する静止カメラを用いた配電線への雷撃様相観測が行われている⁽⁴⁾。

筆者らは，効果的な雷害対策手法の確立に向け，静止型雷観測カメラ（以下「雷観測カメラ」）による雷撃様相観測および雷サージ波形観測装置⁽⁵⁾を用いた実配電線路への雷撃現象の総合観測を実施してきた⁽⁶⁾。これらの観測を通じて，実配電線路への雷撃発生様相や直撃雷・誘導雷発生時の発生過電圧レベル等，今後の配電線耐雷設計合理化に資するデータを得た。このように，営業用に供している実配電線路においてカメラ観測とサージ波形観測を同時に行った例は，筆者らの知る限り本観測が初めてである。本論文ではそれらの成果のうち，1996年～2000年の期間に得られた観測例について報告する。

* 東京電力（株）技術開発研究所絶縁技術グループ
〒230-8510 横浜市鶴見区江ヶ崎町 4-1
Insulation Group, R&D Center, TEPCO
4-1, Egasaki-cho, Turumi-ku, Yokohama 230-8510

2. 観測概要

観測は、関東地方における雷の多発地帯である栃木県および群馬県内の4地域(5箇所)のエリアで実施した。観測実施エリアを図1に示す。各観測エリアの面積は $1.4\text{ km}^2 \sim 3.4\text{ km}^2$ 、IKL値は概ね28~36である。各エリアには雷観測カメラと雷サージ電圧・電流波形観測装置がそれぞれ20~

図1 雷観測実施エリア

Fig. 1. Observation areas.

(a) Still camera

(b) Surge sensors

(c) Configuration of surge observation equipment

図2 各種観測装置の取り付け状況

Fig. 2. Appearance of observation equipments.

30台ずつ配置され、5箇所のエリア合計で、雷観測カメラと波形観測装置をそれぞれ100台ずつ施設した。以下に各観測装置の説明を記す。また図2には、各観測装置の配電柱への取り付け状況を示す。

2.1 雷観測カメラ シャッター構成は、通常の機械式シャッターと、雷光を検知して自動的に動作する機構を有する液晶シャッターの二段構成となっている。機械式シャッターは、1回目の雷撃で動作すると以降開放状態となり、2回目の雷撃以降は液晶シャッターのみでの動作となる。液晶シャッターは、雷光検知後3msで完全解放となり、1回の開放時間は250msである。各エリア内に配備されたカメラは、エリア内への落雷を複数で撮影できるように配置されており、2台以上のカメラにより雷道が撮影された雷については、地図上で各カメラの撮影方向の交点を求めることにより落雷位置の標定が可能である。

2.2 雷サージ波形観測装置 雷サージ波形観測装置のセンサには、ロゴスキーコイルを用いた電流測定タイプ、および容量分圧器とボッケルス効果を用いた光変換素子からなる電圧測定タイプの2種類があり、電圧センサは高圧線の碍子間電圧を、電流センサは電柱各部の接地線電流を測定している。センサとデータ処理回路を含めた装置全体の周波数応答特性は250Hz~250kHzで、電圧タイプ・電流タイプとも $1\mu\text{s}$ の波頭長を持つインパルス波形に対して波高値計測誤差5%以内である。観測データは、センサの取り付けられている電柱にマウントされている観測装置端末にいったん保存された後、毎日定時刻に携帯電話回線を通じて東京電力技術開発研究所に設置されたパソコン内のデータベースへ転送されるようになっている。なお、雷観測カメラ、雷波形観測装置ともに時刻校正部にGPS時計を用いているため、LPATS(落雷位置標定装置)の標定データとの照合による総合的な雷撃様相の分析が可能となっている。

3. 観測結果

1996年~2000年までの期間内に観測された事例について、カメラ観測結果および同時に測定された雷サージ波形観測データをもとに考察した結果を以下に述べる。なお、以下において「閃絡」とは、特にことわりのない限り碍子部分での気中フラッシュオーバを意味する。

3.1 直撃雷観測事例① 落雷の様子をとらえた写真を図3に、観測現場の概況図を図4に示す。雷観測カメラおよび雷波形観測装置のGPS時計による雷撃時刻は、1999年8月24日17:01:20であった。なお、この雷撃と同時刻の変電所リレー動作はなかった。

(1) LPATS 標定データ カメラおよび雷波形観測装置のGPS時計による雷撃時刻と一致するLPATS標定データを以下に示す。なお以下において「多重度」とは、観測装置の測定データと、標定時刻が $\pm 2\text{s}$ 以内かつ標定位置が半径2km以内のLPATS落雷標定個数を意味する。

- 標定位置：雷撃柱の東南東約1.2km

図 3 直撃雷観測写真その 1

Fig. 3. Photograph of direct stroke #1.

図 4 観測現場付近図

Fig. 4. Illustration of conditions of observation point.

- 多重度 : 1
- LPATS 推定電流値 : -16.16 kA

(2) カメラ観測結果 観測写真において雷放電路が空中で終端しているが、これは配電線の上部に架線している架空地線に落雷したためである。観測写真より、雷放電路は上方より進展してきた後、配電線の近傍にて架空地線に吸引されたようにも見える。また、この観測写真においては、雷撃箇所付近のどこにも碍子や機器の絶縁破壊によるアーク放電の発光箇所が見られず、また先に述べたとおり、この雷撃と同時刻の変電所リレーの動作がなかったことより、この直撃雷では線路の絶縁破壊は発生しなかったものと推察できる。

(3) 雷サージ波形観測結果 図 4 に示す観測装置で落雷と同時に取得された雷サージ電圧波形の様相を図 5 に示す。なお、波形グラフにおいて OUT, MID, IN は、それぞれ三相水平配列の家側・中央・道路側を表す(以下の波形グラフにおいても同様)。この観測事例において取得されたサージ電圧波形の波高値は 20 kV 以下であり、配電線の絶縁レベル (LIWV60 ~ 100 kV) と比較すると小さい値であるが、これは雷撃点と観測点が 600 m 以上離れており、サージが伝搬する過程で波高値が減衰したためと思われる。

図 5 碍子間電圧波形

Fig. 5. Surge voltage waveform at the measuring point.

図 6 直撃雷観測写真その 2

Fig. 6. Photograph of direct stroke #2.

図 7 観測現場付近図

Fig. 7. Illustration of conditions of observation point.

なお、図 5 において、時刻 0 における三相交流の電圧和が 0 となっていないが、これはブレトリガ部に重畳している先駆放電によると思われるノイズの影響である。

3.2 直撃雷観測事例② 落雷の様子をとらえた写真を図 6 に、観測現場の概況図を図 7 に示す。雷観測カメラおよび雷波形観測装置の GPS 時計による雷撃時刻は、2000 年 7 月 18 日 22:35:13 であった。なお、この雷撃と同時刻の変電所リレー動作はなかった。

(1) LPATS 標定データ カメラおよび雷波形観測装置の GPS 時計による雷撃時刻と一致する LPATS 標定データを以下に示す。

- 標定位置：雷撃点の北方約 460 m
- 多重度：1
- 推定電流値：-41.5 kA

(2) カメラ観測結果 雷撃はカメラ設置柱の道路反対側配電線の家相(図6における水平配列の左相)導体への落雷で、落雷点近傍の電柱3基で家相碍子部分のフラッシュオーバーが確認できる。一方、この落雷と同時刻の変電所リレーの動作履歴がなかったことより以下のことが推察される。すなわち、6kV配電系統の変電所中性点が非接地であり、1相のみの地絡電流は数A程度と小さいため、地絡リレー動作前に続流アークが自然消弧したものである。

さらに、観測写真から確認できる本事例の特徴を以下に記す。

① 電線被覆沿面での放電 配電線の電力線には被覆絶縁電線が使用されているが、写真では落雷点から数m程度、放電路が電線被覆沿面を走った後、被覆の中に入っている様子が確認できる。後日の現場調査の結果、放電路が被覆に入った箇所にピンホールが確認された。

② 落雷点近傍設備からの上向きリーダー進展 雷撃のあった配電線路からは低圧線が分岐しているが、分岐第1柱の頂部から上向きのリーダーが進展している様子が確認できる。これより、ファイナル・ジャンプの過程においては、電力線からの上向きリーダーの方が、低圧柱からのリーダーよりも先に上空からのステップリーダーと結合したと考えられる。

(3) 雷サージ波形観測結果 図7に示す観測装置で落雷と同時に取得された碍子間電圧波形の様相を図8に示す。なお、各相電圧のファーストピーク最大値は、家相：-150kV(ただし観測レンジ振り切れ)、中相：-40kV、道相：-30kVであり、雷撃相の家相に、誘導相の中相・道相に比べて高い電圧が発生していることも観測写真と合致するデータである。また、先に述べたとおり本事例においては変電所リレーの動作履歴は無いが、観測波形データにおける低速サンプリング波形(20msまでのフルレンジ波形)においても商用周波の常規碍子間電圧(≒5.4kV)が維持されていることが確認できる。

3.3 直撃雷観測事例③ 落雷の様子をとらえた写真を図9に、観測現場の概況図を図10に示す。雷観測カメラおよび雷波形観測装置のGPS時計による雷撃時刻は、1999年9月1日17:07:08であった。この雷撃により、配電線に短絡が生じ、変電所のOCR(過電流保護リレー)動作により一時的に遮断器が開放したが、遮断器の再投入が成功したため供給支障とはならなかった。

(1) LPATS 標定データ カメラおよび雷波形観測装置のGPS時計による雷撃時刻と一致するLPATS 標定データを以下に示す。

- 標定位置：雷撃柱の北方約 320 m
- 多重度：1
- 推定電流値：-13.5 kA

(2) カメラ観測結果 写真の雷撃はカメラ観測柱よ

(a) Waveform in short time range

(b) Waveform in full time range

図8 碍子間電圧波形

Fig. 8. Surge voltage waveform at the measuring point.

図9 直撃雷観測写真その3

Fig. 9. Photograph of direct stroke #3.

り2基先の電柱頂部への落雷である。東京電力における6kV配電線の電線支持がいし部には、雷撃時の絶縁破壊に続く交流アーク続流による断線を防止するための「放電クランプ[®]」と呼ばれる放電極が設けられており、観測写真において雷撃柱に見られる強い発光は、この放電クランプ部分での交流アーク放電光である。後日の現場調査では、雷撃柱の家相と道相(図9の電線配列における右相と左相)にアーク痕が確認された。なお、当該配電線には架空地線は施設されていない。

図 10 観測装置の設置状況

Fig. 10. Illustration of conditions of observation point.

(a) Waveform in short time range

(b) Waveform in full time range

図 11 碍子間電圧波形

Fig. 11. Surge voltage waveform at the measuring point.

(3) 雷サージ波形観測結果 図 10 に示す雷サージ波形観測装置で取得された碍子間電圧波形データを図 11 に示す。同図 (a) では高速サンプリング波形を $25\mu\text{s}$ まで示しており、電圧波高値は 69.9 (kV) (家相) であった。同図 (b) では、 20 ms までの低速サンプリング波形を示しており、波形データの後半部分で商用周波電圧が約 1 周期分確認できるようになっている。同図 (b) に示す商用周波領域までを含む波形においては、家相と道相の波形が常規碍子間電圧 ($\approx 5.4\text{ kV}$) にくらべてほぼ零近くまで低下して

図 12 直撃雷観測写真その 4

Fig. 12. Photograph of direct stroke #4.

図 13 観測現場付近図

Fig. 13. Illustration of conditions of observation point.

いるが、これは碍子閃絡に続く交流アークにより電力線 - 腕金間が短絡状態となっているためであり、このことは現場調査時に家相・道相にアーク痕が発見された事実にも合致する。一方、同図 (a) に示す電圧波形の波頭部においては、3 相とも同様の波形変化を示しながらほぼ零へと推移しており、これより、この時点においては 3 相とも閃絡が発生したと推察される。すなわち本事例は、電柱頂部への雷撃により 3 相とも逆閃絡が発生したが、中相においては、放電経路に続流アークが継続せずに自然消弧した可能性を示唆している。

3・4 直撃雷観測事例④ 落雷の様子をとらえた写真を図 12 に、観測現場の概況図を図 13 に示す。雷観測カメラおよび雷波形観測装置の GPS 時計による雷撃時刻は、1999 年 7 月 25 日 18:47:42 であった。この雷撃により、配電線に短絡が生じ、変電所の OCR (過電流保護リレー) 動作により一時的に遮断器が開放したが、遮断器の再投入が

表 1 多重雷の LPATS 標定データ

Table 1. Data of multi strokes by LPATS.

	Time of lightning striking [s] (indicated sixth decimal place)	Difference of striking time	Current value estimated by LPATS
1st Stroke	.272619		-35.35kA
2nd	.312111	39.492ms	-13.76kA
3rd	.384256	72.145ms	-27.83kA
4th	.481673	97.417ms	-12.26kA

成功したため供給支障とはならなかった。

(1) LPATS 標定データ カメラおよび雷波形観測装置の GPS 時計による雷撃時刻と一致する LPATS 標定データを以下に示す。

- 標定位置：雷撃柱の北西約 180 m (下記 4 データの中心点と雷撃柱の距離)
- 多重度：4
- 推定電流値：1st: -35.35 kA, 2nd: -13.76 kA, 3rd: -27.83 kA, 4th: -12.26 kA,

なお、各雷撃の詳細な時刻データを表 1 に示す。

(2) カメラ観測結果 写真の雷撃はカメラ設置柱より 3 基先の電柱への落雷である。写真から観測できる雷放電路は 3 本であるが、写真と同時刻の LPATS 標定位置データは上記の 4 つ (雷撃地点から最近点 = 約 140 m, 最遠点 = 約 200 m) であり、かつ 4 つの位置標定データが半径約 50 m の円内に収まることから、同一箇所 (柱頂部) への雷撃であったと判断し、多重度を 4 とした。

また同写真の雷撃柱の家相と中相の碍子部分に続流アークの発光点が 2 つ確認できる。後日の現場調査では、雷撃柱の家相と中相にアーク痕が確認されており、この現場調査結果は観測データを裏付けるものである

(3) 雷サージ波形観測結果 図 13 に示す観測装置で落雷と同時に取得された碍子間電圧波形の様相を図 14 に示す。測定された電圧波高値は 67 kV であった。図 14 では、図 11 と同様に、(a) に 25 μ s までの高速サンプリング波形を、(b) にフルレンジである 20 ms までの低速サンプリング波形を連続して示しているため、波形データ後半部分の商用周波電圧が約 1 周期分確認できる。

図 14 に示す波形データのトリガ時刻の秒以下は、「.272621」であり、表 1 の落雷時刻を比較すると、波形データは第一雷撃のものであったと想定される。(a) の高速サンプリング波形においては、時刻 6 μ s 付近において直撃雷観測例③の波形と同様、三相が同時に負極性に触れているためこの時点で逆閃絡が発生したと推察される。一方、(b) に示す波形データ後半の低速サンプリング波形より、商用周波の常規碍子間電圧 (≈ 5.4 kV) が維持されており先の直撃雷観測事例③の波形に見られたような電圧ドロップは発生していないことが確認できるので、このデータ採取時間内では続流アークによる短絡は継続せず消弧したと判断される。すなわち、観測写真および現場調査で確認された家

(a) Waveform in short time range

(b) Waveform in full time range

図 14 碍子間電圧波形

Fig. 14. Surge voltage waveform at the measuring point.

図 15 誘導雷 (配電線近傍落雷) 観測写真

Fig. 15. Photograph of nearby stroke.

相・中相の続流アークは、第 1 雷撃ではなく後続の第 2 雷撃以降で発生したと考えることが妥当である。

3.5 誘導雷観測事例 落雷の様子をとらえた写真を図 15 に、観測現場の概況図を図 16 に示す。雷観測カメラおよび雷波形観測装置の GPS 時計による雷撃時刻は、1998 年 7 月 29 日 23:31:48 であった。なお、この雷撃と同時刻の変電所リレー動作はなかった。

(1) LPATS 標定データ カメラおよび雷波形観測装

図 16 観測装置の設置状況

Fig. 16. Illustration of conditions of observation point.

図 17 碍子間電圧波形

Fig. 17. Surge voltage waveform at the measuring point.

置の GPS 時計による雷撃時刻と一致する LPATS 標定データを以下に示す。

- 標定位置：落雷点の北北西約 400 m
- 多重度：1
- 推定電流値：-18.15 kA

(2) カメラ観測結果 観測写真と、昼間の現場付近の写真との比較より、落雷は配電線路から約 130 m 離れた水田への落雷であったことが判明した。この観測写真においては、先の直撃雷観測事例①と同様に閃絡を示唆する発光箇所は見られず、また、この雷撃と同時刻の変電所リレーの動作がなかったことより、この誘導雷では線路の絶縁破壊は発生しなかったものと推察できる。

(3) 雷サージ波形観測結果 図 16 に示す観測装置で落雷と同時に取得された雷サージ電圧波形の様相を図 17 に示す。観測実施箇所付近の配電線路は、電力線を上・中・下に垂直配列した装柱 (図 16 参照) となっているが、観

測された誘導雷過電圧の波高値は、上相が他相に比較して若干高いものの、三相で大きく異なっていない。大地を完全導体と仮定して、雷放電に伴う大地に垂直な電界成分に基づき誘導雷電圧を計算する手法⁽⁹⁾においては、配電線路程度の地上高で発生する誘導雷サージの電氣的誘導成分 e_s および磁氣的誘導成分 e_m は、ともに地表面における垂直電界成分に線路地上高 h を乗じて近似的に計算されるため、定性的には地上高の高い線路の方が、誘導過電圧も大きくなるはずであるが、実測誘導雷サージの波高値が三相でそれほど変わらないのは、①大地が有限の導電率を有すること、②実線路には機器や避雷器が多数接続されていること、③分岐や末端からの反射が複雑に重畳すること、等の影響が波形に表れることが考えられる。

4. 観測結果の考察

上記 5 例の雷撃様相総合観測結果より得られた、今後の配電線の耐雷設計合理化に資すると思われる新たな知見について以下に詳述し、概要を表 2 にとりまとめる。

4.1 直撃雷に対する配電線の耐雷性能 従来、配電線の絶縁レベルでは直撃雷保護はほぼ不可能と考えられていたが、実配電線における観測では、直撃雷観測事例①のように、直撃雷発生時にも閃絡が確認されない事例があった。このことは、耐雷機材を適切に組み合わせることで、配電線の直撃雷保護もある程度可能とする最近の実験結果⁽¹⁰⁾とも合致する。一方、直撃雷観測事例③、④のように雷撃により碍子部分での閃絡が発生し、閃絡箇所に交流続流が継続した場合であっても、断線防止機材 (放電クランプ) の動作により、線路絶縁の自復性が保たれたため、再送電は全て成功し電力の供給支障とはならなかった。また、直撃雷観測事例②のケースでは、電力線に直接落雷したため、雷撃点直近柱に施設された柱上変圧器には他の観測例の場合よりも大きな雷サージが侵入したと推察されるが、変圧器に内蔵された耐雷素子により機器内部の絶縁破壊が防止され、配電線事故は発生しなかった。

このように、耐雷機材の普及した現在の配電線は、誘導雷のみならず直撃雷に対してもある程度の耐雷性を有していると考えられる。

4.2 配電線雷事故発生メカニズム 雷撃から事故発生 (変電所リレーの動作) に至るまでの配電線の挙動を把握することは、事故率の予測をする上で極めて重要である。以下に、本観測から得られた配電線事故発生メカニズムに関わる知見を述べる

(1) 1 相閃絡 (地絡) 直撃雷観測事例② (被覆絶縁電線への雷撃) においては、雷撃相にのみ碍子閃絡が確認された。このケースでは 1 相のみ地絡となるが、一般的な中性点非接地配電線では放電経路に交流続流が継続しないため、変電所リレーは動作しなかった。このことは、従来非接地系固有の事象として取り上げられ、配電線雷事故率計算手法に反映されていたが⁽³⁾、本観測により実配電線において同現象が起きていることが初めて確認された。

表 2 観測事例の考察結果一覧

Table 2. Summery of the investigations of observation data.

Case	Type of lightning	Lightning striking point	Substation's relay operation	Flash over generation	REMARKS
No.1	Direct stroke	Shielding wire	(no operation)	(no F.O)	- Shielding wire probably prevented the flashover generation.
No.2	Direct stroke	Power conductor	(no operation)	in one phase	- This example confirms that the one phase flashover does not cause the fault.
No.3	Direct stroke	Top pf pole	OCR	in three phase	- Lightning protective equipments in fields prevent serious damages of distribution lines even if flashover occurs. - This example suggests that AC current following flashover is spontaneously extinguished.
No.4	Direct stroke	Top of pole	OCR	in three phase	- This example suggests that distribution line's faults may be caused by following stroke of multi lightning stroke.
No.5	Nearby syroke	Ground(130m from the line)	(no operation)	(no F.O)	

(2) 多相閃絡(短絡) 配電線の碍子部分で多相閃絡が発生すると、腕金を介して異相地絡の経路が繋がるため短絡に移行する。直撃雷観測事例③、④においては、配電柱への雷撃により3相逆閃絡が発生し碍子間電圧が一旦ほぼ零に低下したが、閃絡が発生した後の商用周波の波形においては、③のケースで1相(中相)、④のケースでは3相全てで常規対地電圧が復帰していることが確認された。このことは、配電線において雷による多相閃絡が発生し、短絡状態に移行した後に、放電経路の交流続流アークが継続せずに自然消弧する可能性を示唆している。従来の事故率計算手法では、多相閃絡後の交流続流は消弧しない、すなわち必ず変電所リレー動作に至るものとして計算することが一般的であるので、事故率計算精度を向上する上で、続流の消弧はその影響を考慮すべき現象であると考えられる。

4・3 多重雷撃時の配電線の挙動 直撃雷観測事例④においては、波形データの取得時刻とLPATS 標定時刻との比較より、変電所リレーの動作に至った雷撃は第2雷撃以降であると推察した。第一雷撃により発生した閃絡経路のアーク続流が自然消弧したのに対して、第二雷撃以降で発生した閃絡経路にアーク続流が継続した理由は不明であるが、多重雷における第二雷撃以降の後続雷撃の電気特性は、第一雷撃とは異なっていることが知られているため⁽¹¹⁾、本観測結果は、フィールドの雷事故発生率を精度良く把握するためには、後続雷撃の性状を考慮した多重雷の影響も確認する必要があることを示唆している。

5. ま と め

実配電線にて実施した雷撃様相の総合観測により、1996年から2000年の間に得られた特徴的な観測事例について、その概要と得られたデータの考察結果について述べた。

本論文の要約について以下に記す。

(1) 従来、配電線の絶縁レベルでは直撃雷保護はほぼ不可能と考えられていたが、耐雷機材が普及した現在の配電線は誘導雷のみならず直撃雷に対してもある程度の耐雷性を有する。

(2) 雷撃による碍子閃絡後、2相以上で続流が継続し

た場合に配電線事故(変電所リレー動作)となる。この際、雷撃発生時に多相閃絡が発生しても、続流アークが消弧して、変電所リレー動作に至らない場合もありうる。

(3) 多重雷撃の場合、第1雷撃で事故に至らなくても第2雷撃以降の閃絡により、配電線事故に至る場合がある。

今後は、本検討結果に基づいて、フィールドにおける直撃雷/誘導雷の発生頻度や、雷撃時の発生過電圧・接地線電流の分布等の雷統計データについて分析を進め、配電線耐雷設計のより一層の合理化に取り組む予定である。

(平成15年9月25日受付、平成16年1月21日再受付)

文 献

- (1) Subcommittee for Power Distribution Systems, Lightning Protection Design Committee: "Guide of Lightning Protection Design for Power Distribution Systems", Technical Report of CRIEPI, No.T69 (2002) (in Japanese)
耐雷設計委員会配電分科会:「配電線耐雷設計ガイド」, 電中研総合報告, No.T69 (2002)
- (2) IEEE WG: "A simplified method for estimating lightning performance of transmission lines", IEEE84, SM698-7 (1984)
- (3) A. Asakawa, S. Yokoyama, and Y. Hashimoto: "Development of the Analytical Method for the Outage Ratio Due to Lightning on Power Distribution Lines (Part 1)", Technical Report in CRIEPI, No.T92087 (1993) (in Japanese)
浅川 聡・横山 茂・橋本洋助:「配電線雷事故率計算手法の開発(その1)」, 電中研研究報告, No.T92087 (1993)
- (4) H. Taniguti, H. Sugimoto, and S. Yokoyama: "Observation of Lightning Performance on Power Distribution Line by Still Cameras", *T. IEE Japan*, Vol.116-B, No.9, pp.1138-1143 (1996-9) (in Japanese)
谷口弘光・杉本仁志・横山 茂:「配電線雷撃応答様相のカメラ観測」, 電学論 B, **116**, 9, pp.1138-1143 (1996-9)
- (5) T. Takinami, T. Hirai, T. Chindo, T. Yamada, Y. Shiraishi, S. Amemiya, and K. Mizumoto: "Development of Optical Voltage Sensor for Lightning Surge Monitoring Equipment", 1999 National Convention Record IEE Japan, No.1717 (1999) (in Japanese)
滝波 力・平井崇夫・珍道拓治・山田剛史・白石康寛・雨宮慎治・水本州彦:「配電線雷波形観測装置用光電圧センサの開発」, 平成11年電気学会全国大会, No.1717 (1999)
- (6) T. Hirai, T. Takinami, and S. Okabe: "Observation of Lightning Phenomena on Real Distribution Lines", 電気学会放電・開閉保護・高電圧合同研資, HV-01-94 (2001)
- (7) T. Shioda, T. Narita, E. Zaima, and M. Ishii: "Performance Evaluation of LPATS-T at TEPCO", 25th International Conference on Lightning Protection, No.2.1 (2000)
- (8) H. Yamamoto, T. Minejima, I. Sumitani, S. Kojima, T. Fukano, and T. Tada: "Prospective Method of Lightning Protection Schemes in Distribution System", *T. IEE Japan*, Vol.117-B, No.10, pp.1345-1352 (1997-10) (in Japanese)
山本秀幸・峰島俊哉・炭谷一朗・小島宗次・深野孝人・多田孝光:

「高圧配電線における今後の耐雷方策の一手法」, 電学論 B, 117, 10, pp.1345-1352 (1997-10)

- (9) S. Rusch: "Induced lightning over-voltage on power transmission lines with special reference to the overvoltage protection of low-voltage networks", *Trans. Royal Institute of Technology*, No.120 (1958)
- (10) S. Yokoyama and A. Asakawa: "Experimental Study of Direct Lightning Hits on Power Distribution Lines", Technical Report in CRIEPI, No.T87086 (1988) (in Japanese)
横山 茂・浅川 聡:「配電線の直撃雷応答特性の実験的検討」, 電中研研究報告, No.T87086 (1988)
- (11) K. Berger, R.B. Anderson, and H. Kroninger: "Parameter of lightning flashes", *CIGRE Electra*, No.41, pp.23-27 (1975)

平井 崇夫 (正員) 1991 年 3 月早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。同年 4 月, 東京電力(株)入社。現在, 電力技術研究所所属。主として配電システムの雷観測・サージ解析に関する研究に従事。

岡部 成光 (正員) 1986 年 3 月東京大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同 4 月, 東京電力(株)入社。1992 年ミュンヘン工科大学客員研究員。現在, 技術開発研究所絶縁技術グループ。工学博士。IEEE 会員。

滝波 力 (正員) 1993 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻博士前期課程修了。同年 4 月東京電力(株)入社。現在, 銀座支店配電部配電建設グループに勤務。技術開発研究所(旧電力技術研究所)在籍時に配電線雷観測研究に従事。

玆道 拓治 (正員) 1989 年 3 月早稲田大学理工学部電気工学科卒業。同年 4 月, 東京電力(株)入社。現在, 東京電力配電部配電機材技術センター品質管理グループに勤務。技術開発研究所(旧電力技術研究所)在籍時に配電線雷観測研究に従事。