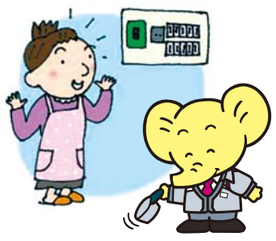
KDH
関東電気保安協会

〒171-8503 東京都豊島区池袋3-1-2
TEL.03-3988-2322
http://www.kdh.or.jp/

関東電気保安協会の業務を紹介します

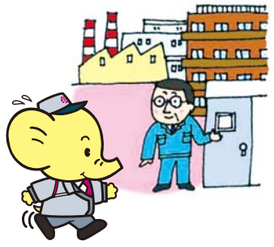
調査業務

電力会社から委託を受けて、ご家庭などの電気設備の点検を行っています。



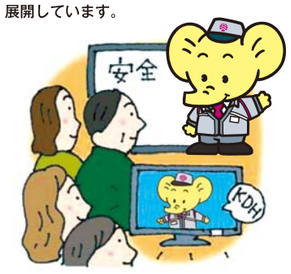
保安業務

ビル・工場などの所有者などから委託を受けて、当協会の専門技術者が電気設備の保安管理をお引き受けしています。



広報業務

電気安全と電気災害防止への関心を高めていただくために、さまざまなPR活動を展開しています。



本　　部 ☎03-3988-2322
多摩事業本部 ☎042-326-5111
茨城事業本部 ☎029-226-3221
神奈川事業本部 ☎045-253-1261
東京北事業本部 ☎03-3802-5791
栃木事業本部 ☎028-611-5090
埼玉事業本部 ☎048-856-3051
山梨事業本部 ☎055-228-3200
東京南事業本部 ☎03-5461-1601
群馬事業本部 ☎027-326-2628
千葉事業本部 ☎043-424-8211
沼津事業本部 ☎055-952-8101

関東電気保安協会の許可なく本資料の複製物を作成すること、本資料の内容を本来の目的以外に使用することを禁じます。
関東電気保安協会

13.11新規（シンクプレス）

雷現象と雷害対策

KDH 関東電気保安協会

はじめに

雷は、わが国では古来より怖いもののたとえとして、地震、雷、火事、親父と上から二番目に上げられています。落雷すると各種設備や交通機関に大きな被害を与えます。お客さまの電気設備にも被害をもたらします。

時代とともに、様々な観点から雷害対策が検討され、家電製品についてはメーカーによる機器対策、また、電力会社による供給設備側の対策も進んで、従来の設備については被害は減少傾向にあります。しかし、益々発展する高度情報化社会では、コンピュータシステムは特に雷サージに弱いことから、むしろ被害は拡大しており、ネットワークへのリスクは大きくなっています。

また、地球温暖化対策として風力発電所が拡大していますが、我が国では、ブレード（翼）などに重大な被害も多く出ており、風力発電所の今後の普及には雷害対策が必須です。

これらのことから、横山先生にお願いして、当協会の広報誌「電気と保安」に2010年7･8月号から4回にわたり雷現象と雷害対策について解説していただきました。

今回、掲載された記事に「高圧受電設備の雷害対策の注意事項」を追記して新たに冊子を作成いたしました。

工場や事務所などで電気を安全にお使いいただく上で、必ず役立って頂けるものと確信しております。

ご愛読･ご活用頂ければ幸いです。

目　次

1 ばらつきの大きい雷現象 2
バラツキが特徴の雷現象、雷パラメータと雷害原因、冬季雷の特徴など

2 高度情報社会での雷害実態 8
建築物の雷被害、高度情報社会での雷害、瞬時電圧低下問題など

3 電気設備の雷害対策の基本 14
電力線の雷害対策、瞬時電圧低下対策、被害の絶滅か、
リスクマネジメントか?など

4 雷の謎 20
実雷と実験で発生した放電との比較、雷の破壊ポテンシャル、人体安全など

»»»» 高圧受電設備の雷害対策の注意事項 29
高圧配電線用避雷器の機能、個別機器保護用耐雷機材、
絶縁化による雷サージ抑制など

著者紹介

国立大学法人
静岡大学
工学博士

横山　茂
よこやま　しげる

1947年宮城県仙台市生まれ。1969年東京大学工学部電子工学科卒業。同年（財）電力中央研究所入所。配電研究室長、電気物理部長、電気絶縁部長、首席研究員などを歴任。2009年同所を退職。主として、電力設備、建築物、風力発電設備などの雷防護に関する研究に従事。2001年電気学会副会長、現在静岡大学客員教授、IEEE（米国電気電子学会）フェロー。
主な著書「雷と高度情報社会」電気設備学会、「配電線の雷害対策」オーム社、「電気･電子機器の雷保護」電気設備学会、「写真で読み解く雷の科学」オーム社。

雷現象と雷害対策 1

ばらつきの大きい雷現象

雷害問題は古くて新しい問題である。電力設備の本格的な雷害対策の歴史は1世紀以上になろうとしている。それにもかかわらず、雷による送電線の地絡による瞬時の電圧低下が、半導体工場に大きな被害を与えたり、ダイヤル式の黒電話の時代には、あまり目立たなかった、電話の被害が急増したりなど、雷害様相は大きく変化しており、これらの被害には早急に対策手法の確立が求められている。ここでは、被害原因の解明と対策のため、はじめに、敵である雷自身をよく知ること、すなわち、雷被害に関係する雷パラメータが大きなばらつきのある現象であることを理解していただくため、最近の知見をいれながら雷現象を概説する。

図1 年間雷雨日数分布図
（1954～1963年、10年平均）

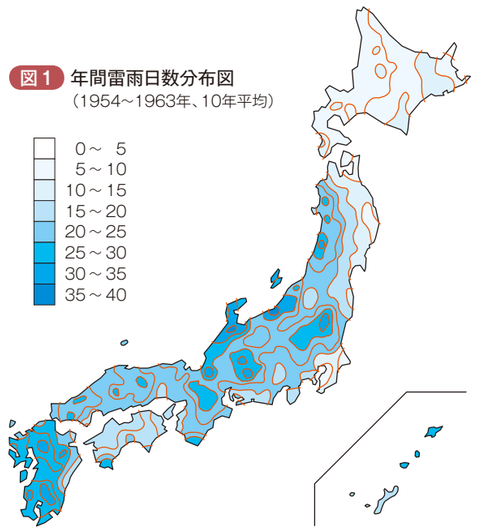
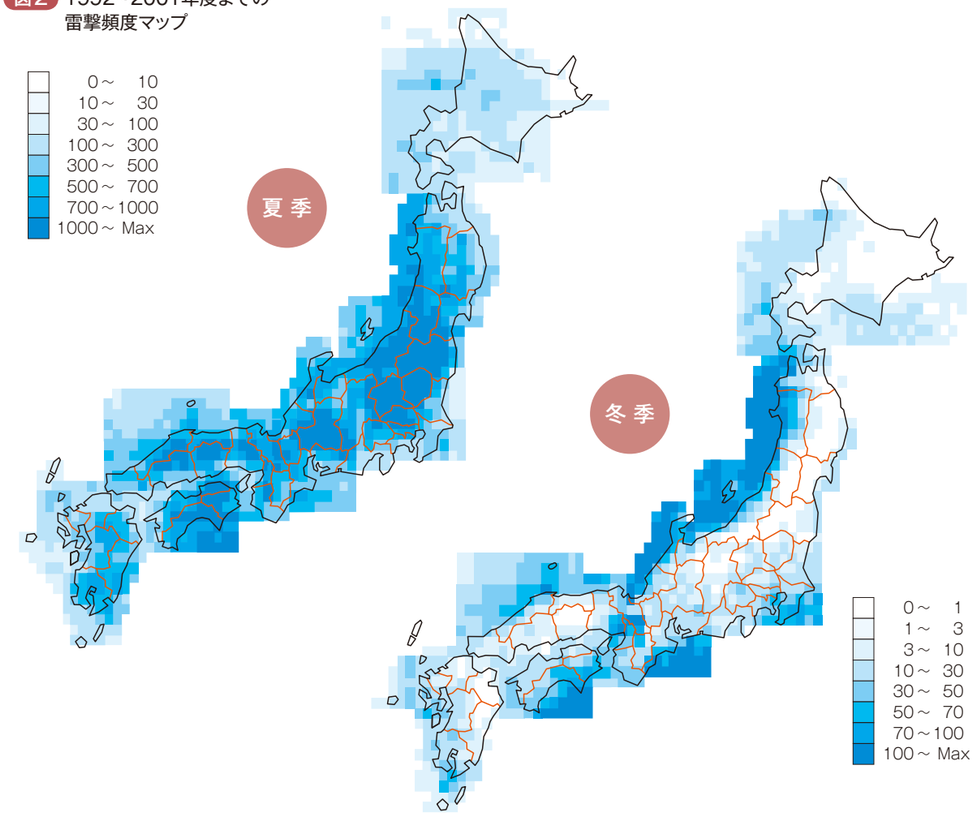


図2 1992~2001年度までの雷撃頻度マップ

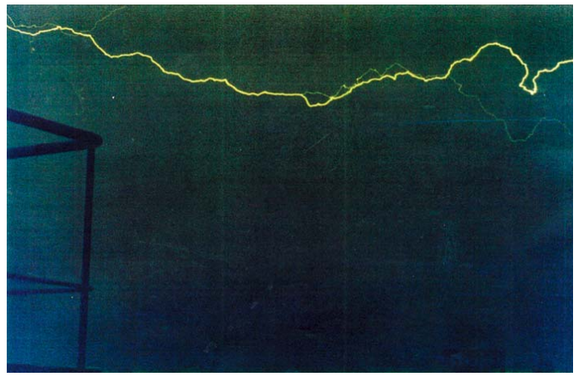


バラツキが特徴の雷現象

1 従来の雷雨日数分布と落雷位置標定システムのデータ

雷の多い地域と少ない地域に分けることは、合理的な雷害対策を策定するため、重要である。我が国では、1954年～1963年にわたり人間の耳目により観測した雷雨日数に基づいて作成した年間雷雨日数分布図を、雷の頻度の指標にしてきた。[図1]に年間雷雨日数分布図を示すが、栃木県や群馬県など北関東が雷雨日数のもっとも多い地域の一つである。1970年代に遠方の電磁界を観測して、一つ一つの落雷の位置と時刻を正確に記録する落雷位置標定システムが米国で開発された。日本でも、各電力会社に1980年代から1990代にかけ順次導入され、北海道、本州、四国、九州の4大島については、落雷位置標定システムのデータが得られるようになった。これらのシステムは9電力ごとに、運用されている。[図2]に落雷位置標定システムによる落雷回数のデータをしめすが、おおむね年間雷雨日数分布図とよく似た傾向をしめしている。2000年代になると、民間の気象会社が、沖縄を含めた日本全土を観測範囲にいれたシステムを統一して運用するようになった。

図3 水平方法に伸びる雷放電



2 雷は大気中の長い放電

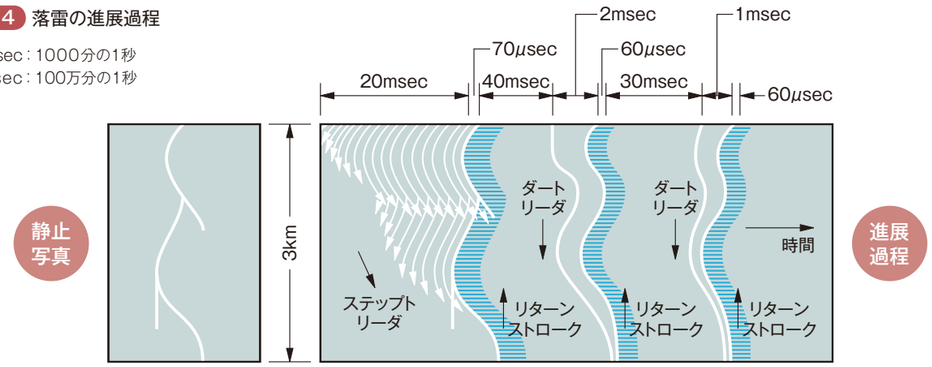
雷は、長い時には10km以上にもわたるもっとも長距離の大気中の放電現象である。一般に放電は、電圧を印加している箇所から接地などへ最短距離を進むのではなく、多少なりともジグザグに進む。雷も、大気中をジグザグに方向を変えて進展し、大気の状況によっては、[図3]にしめすように、大きく水平方向に延びることもある。

3 雷の進展様相と多重雷

人間の目には、一瞬に放電してしまう雷放電も、高速の観測装置で観察すると[図4]に示すように、雷雲から大地に向かい、放電が階段状に進展する。これを階段状先行放電（ステップト・リーダ）と呼ぶ。先行放電が大地に接近すると、接地側に逆極性の電荷が誘導され、その電荷により作られる高電界により接地側から迎えの放電が伸びだし、下向きのステップト・リーダと迎えの上向きの放電がつながると、大地に誘導された電荷が、雷雲に向かい放電路を通って雷雲に流れ込む。この過程をリターンストロークと呼ぶが、大きな音や光がでるのは、この過程である。雷放電は1回でおわることは少なく、しばらく経ってから（数10ミリ秒）最初の放電路を通って、もう一度放電が生じる。雷放電は1回で終わる場合もあるが、通常数回このような放電を繰り返すことが多く、これを多重雷と呼ぶ。

図4 落雷の進展過程

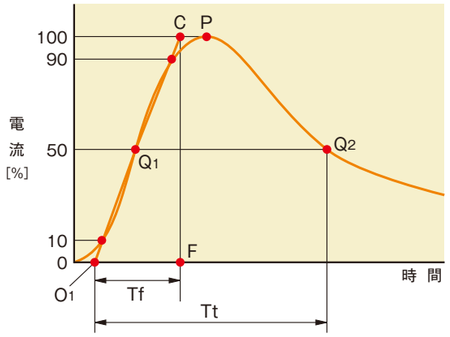
msec：1000分の1秒
μsec：100万の1秒



4 雷電流の特徴

雷の電流は[図5]に示すように、波高値、波頭長、波尾長で表す。波高値は電流の最大値で、小さいものでは、1000アンペアぐらいから、大きいものでは30万アンペアぐらいまであり、3万アンペア付近を中心に分布している。波頭長は、電流が流れ始めてから、波高値に至るまでの時間で、1マイクロ秒（100万分の1秒）から10マイクロ秒（10万分の1秒）程度である。波高値が大きいほど、波頭長が短いほど送電線や配電線に生じる過電圧の大きさは大きくなり、危険な雷電流である。一方、波尾長は雷のもつエネルギーに関係しており、波尾長の長いほど避雷器や避雷素子（SPD）を破損、焼損させる可能性が増える。

図5 インパルス電流の表示



Tf：規約波頭長　　P：波高点
Tt：規約波尾長　　Q1、Q2：半波高点
O1：規約原点　　CF：波高値

雷パラメータと雷害原因

電気は、碍子という絶縁物で、電線を地面から絶縁して送電している。送電線や配電線に雷が落ちると、電線と地面の間に高電圧が発生して碍子の位置で放電がおこる。これをスパークオーバ（閃絡）と呼ぶ。いったん碍子の絶縁が破れると、雷の高電圧が消滅した後も電力会社の送る電気が雷による放電の経路を通り流れ続ける。このときには、電力会社は変電所でいったん電気の供給を止め、碍子での放電を切り、再度送電を開始する。この雷による絶縁破壊から送電を止めるまでの間に、電力会社が送る電気が大地に流れるときに碍子や電線に大きな熱を発生させる。送電線や配電線における雷被害は、最終的には電力会社の送る電気のエネルギーで起こることが多い。雷は絶縁を破壊して、電力会社の電気を地面に流して被害をおこすきっかけを作る役割をする。

雷電流の波高値が大きい時に高い電圧が発生する。また、波頭長が短いほど高い電圧が発生する。逆に、避雷針をはずして建物の壁面を破壊する被害は、雷電流の波高値が小さい雷ほど、生じやすい。

さらに、避雷器が焼損する事故は、波頭長の長さにはあまり影響されず、雷電流の継続時間（電荷量）に大きく影響される。

このように、被害の種類により、雷のパラメータの影響の度合いが変わるので、雷害対策には様々な雷のデータが必要になる。

冬季雷の発生とその多発地域

日本海沿岸では晩秋から冬に雷が頻繁に発生する。これを冬季雷と呼ぶが、夏季の雷とは発生機構が異なる。相対的に暖かい対馬暖流が北上するところに、シベリアから冷たい北西風が吹き、上昇気流により雷雲が洋上で発生し、日本海沿岸に雷雲が上陸する。

一方、夏は、日射により地表面が急激に暖められ、激しい上昇気流が発生することでの雷雲が成長する。おおまかにいうと、夏の雷は内陸性で、冬の雷は海洋性である。雷の電荷の分離は−10度から−20度の層で起こる説が有力であるが、その説から、日本海沿岸の冬季には、夏に比べてかなり低い層で電荷の分離が起こる。すなわち冬季雷は夏に比べて低いところにできる。

冬季の雷の多発地域は、日本では、青森県から島根県あたりまでの日本海沿岸地域である。相対的に暖かい海や湖の上空を冷たい風が渡る条件のあるところでは、夏でなくとも雷は発生すると考えられる。

太平洋側では、冬季の雷が頻繁に発生する地域はないが、八丈島など伊豆の島や、紀伊半島の先端などでは、冬季にも雷が発生する。西からの風が山をこえて海に入り再び上陸すると、日本海沿岸と同様な状況になり、雷が発生する。

ノルウエーやスエーデンなどスカンジナビア半島や北米の五大湖東岸などでも冬季の雷のあることが知られているが、日本海沿岸のように、厳しい被害を伴うことは、あまり報告されない。冬季雷の発生地域で雷被害が目立つのは、人口密度が比較的高い日本海沿岸部だけかもしれない。

冬季雷の特徴

冬季の雷の性状は、以下のように夏季の雷とは大きく異なる。

(1) 昼夜の別なく1日中いつでも発生する。夏は大地面が十分暖まる昼過ぎから夕刻にかけて雷が発生するが、日射と直接関係ない冬季雷はいつでも発生する。

(2) 夏季の雷に比べて発生数は少ない。（一発雷）

(3) 夏季はふつう雷雲から大地方向に下向きに放電するが、冬季雷では放電が上向きになる。[図6]に、夏季雷と冬季雷の写真を示す。

(4) 1回の雷放電で流れ出す（中和される）電荷量が異常に大きいものがある。通常の夏季雷の30倍以上にもなることがある。

(5) 正極性の放電が多くなる。夏季の雷電流の極性（雷雲から大地方向に測る）は、90%が負極性であるが、冬季雷では、30%から50%が正極性になる。

冬季雷は電力設備などに、きわめて重大な被害を及ぼすことが多いが、関東地方でも、山岳地域で発生する雷には、冬季雷に似た性状をもつと考えられる雷が発生して、かなり厳しい被害を与えることがある。

図6 冬季雷と夏季雷の放電様相

冬季雷（上向き枝分かれ放電）

夏季雷（下向き枝分かれ放電）

建築物の雷被害　――雷撃はどこに飛びつくか――

コンクリートの建物に雷撃すると、簡単にコンクリートが破損する。これを防ぐために避雷針で雷を捕捉することが重要である。避雷針で雷撃を捕捉すれば、安全に雷電流を接地まで流すことができるし、一方、建物の壁面に雷撃すれば壁のコンクリートが破損、落下する。避雷針の設計は、従来、建物の頂部から見る角度で保護範囲を決めていたが、国際的な指針に従い、雷撃距離の考え方をもとにした回転球体法が用いられるようになってきている。

雷撃距離とは、雷が先行放電で雷雲から地面に近づくとき、[図4]に示すように、ステップ状に進んではとまり、さらに進むことを繰り返すが、対象物に最後に雷撃する直前の、先行放電の先端の位置と、雷撃した点の距離のことである。一般に雷電流の波高値の小さい雷ほど、雷撃距離が小さくなり、避雷針で捕捉することが難しくなる。送電線の架空地線も同様で、雷電流の波高値の小さい雷ほど捕捉できない場合が増える。

時代の移り変わりとともに、人々の電気供給の信頼性に対する要求が変化し、また、高度情報化の進展とともに、使用される電気製品や情報通信機器の回路も大きく変化している。この変化は雷害対策に大きく影響し、求められる要求も厳しくなる。落雷頻度や雷電流の性質を十分に理解して、必要とされる対策手段を適正な費用で実施することが重要である。雷は、いつどこで起きるかわからないことや、高電圧で大電流が流れるため、安全対策が厳しく要求されるなど、観測することは、従来はかなり難しいものであった。最近は、光ファイバ・ケーブルやデジタル・オシロスコープの発達により、比較的簡単に測定できるようになってきている。雷害対策の更なる効率化のためには、もう一度雷の性状を地域ごと、季節ごとに明らかにして、合理的な雷害対策指針を打ち出すことが重要である。

雷現象と雷害対策

2 雷害実態

高度情報社会での

雷被害の形式には、過電圧による絶縁破壊がある。また、雷過電圧の抑制のため使用する避雷器や避雷素子（SPD）が雷電流の継続時間が長いことによる焼損もあり、雷性状により被害の形態は一様ではない。雷被害は、対象物によっても異なり、建築物の被害、電源線の被害、通信線の被害など様々である。建築物の形状、設備の設置環境によっても被害の様相は変わる。ここでは、被害の実態を示すとともに、その原因である雷現象との関係と被害発生のメカニズムについて概説する。

建築物の雷被害

コンクリートの建物に雷撃すると、[図1]に示すように簡単にコンクリートが破損する。これを防ぐために避雷針で雷を捕捉することが重要である。避雷針の設計は、建物の頂部から見る角度で保護範囲を決めていたが、国際的な指針に従い、雷撃距離の考え方をもとにした回転球体法が用いられるようになってきている。

雷が先行放電段階で雷雲から地面に近づくとき、

ステップ状に進んでは止まり、さらに進むことを繰り返すが、雷撃距離とは、対象物に最後に雷撃する直前の、先行放電の先端の位置と、雷撃した点の距離のことである（[図2]参照）。一般に雷電流の波高値の小さい雷ほど、雷撃距離が小さくなり、避雷針で捕捉することが難しくなる。

高圧配電線の雷被害

配電線の雷害には、3種類の原因がある。

1 誘導雷

付近の樹木や、建物などに落雷した際に放射される電磁界の変化により、配電線に電圧が誘導されるもので、波高値3万アンペアの雷が配電線から100m離れた地点に落雷した場合で、10万ボルト程度の電圧が発生する。誘導雷に対しては、避雷器を200～300mおきに設置すれば、碍子の絶縁破壊はほとんど生じない。事実、最近の電力会社の配電線における、雷カメラによる、事故状況調査によると、我が国では、誘導雷による事故はほとんど発生しておらず、事故は直撃雷等、雷電流の全部または、一部が直接配電線に侵入することで生じる。

2 直撃雷

配電線構成物に直接雷撃するもので、発生する雷電圧は、波高値3万アンペアの雷で100万ボルトをこえる。避雷器を100mおきに配置しても、碍子の絶縁破壊を抑えることは難しく、架空地線と避雷器を双方設備することにより、効果を上げることができる。100%近い効果を上げるためには、全柱に避雷器を配置する必要がある。[図3]は、配電線に直撃した様相をカメラでとらえたもので、雷撃から離れた電柱で碍子の閃絡（スパークオーバ）が生じていることがわかる。

3 逆流雷

山頂の通信設備、放送設備などに供給する配電線では、山頂側の鉄塔などに落雷した場合、そこから、雷電流の一部が配電線側に流れ込む。その電流による、配電線側での事故を逆流雷による事故という。配電線に流入する雷電流が避雷器を通過する際に、冬季の雷電流のように継続時間の長い雷では、避雷器が焼損する被害が発生する。[図4]は、建設資材事務所の高さ40mほどの、無線通信用のアンテナに冬季雷が雷撃した際に避雷器が焼損している様相をとらえた写真である。関東地方では、山岳地で季節はずれのときなどに逆流雷による避雷器焼損被害が見られる。この対策としては、避雷器のエネルギー処理能力をあげるよりも、架空地線の架設が有効な対策になる。

図1 高層建造物コンクリート壁面の破損

図2 回転球体法の理論

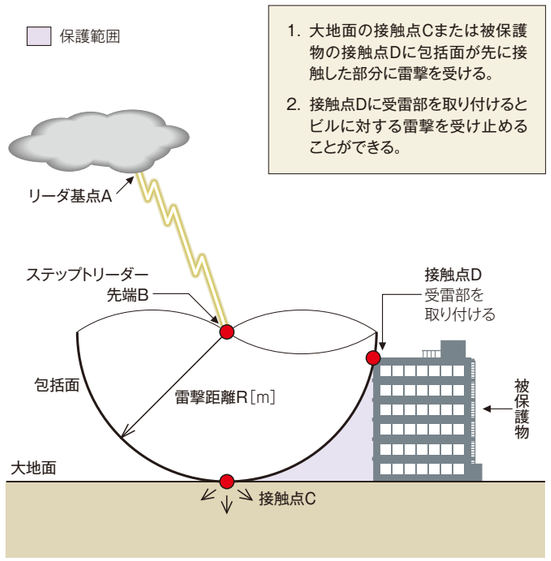


図3 絶縁電線へ雷撃した様相（東北電力株式会社殿撮影）
（サージが伝搬して、
離れた点で碍子フラッシオーバが生じている）

図4 逆電流による避雷器焼損（北陸電力株式会社殿撮影）
（丸い火の玉が配電用避雷器焼損を示している）

高度情報社会の雷害

19世紀後半に本格的な、電気の利用がはじまり、送電線により電気を輸送するようになってから、現在に至るまで、電力設備の雷害対策は最も重要な課題の一つであった。1960年代には、ダイヤル式黒電話からプッシュホンに替わるなど高度情報化社会の出現に伴い、雷害様相も大きく変わる。回路の電子化は、素子のサージ耐量を極端に小さくさせ、さらに、電源、通信、放送など回路がネットワークを構成するようになると、雷の侵入、通過経路は多様化して、設備が雷害に敏感なものとなった。

1 家電製品の雷害実態

23年前から5年前までの期間に、家電製品の雷被害の調査が、過去4回にわたり実施されており、高度情報化時代の移り変わりにより、被害様相が大きく変化している様子が確認された。[図5]に家電製品の雷被害の変遷の様相を示すが、以下のような特徴がある。

図5 家電製品の雷害実態（※被害率：1年間に被害をうける家庭の割合）

主要被害製品の変遷：テレビは減少、パソコンが急増　　**被害率は増加**：被害率、被害機種とも拡大

調査年度	1987~1991	1996~1997	2004~2005
被害ベスト5	① テレビ	① 電話·Fax	① 電話·Fax
	② 電話·Fax	② テレビ	② パソコン関連
	③ ビデオ	③ 給湯器	③ テレビ
	④ 給湯器	④ ビデオ	④ 給湯器、ビデオ、エアコン
	⑤ エアコン	⑤ パソコン	
調査	群馬、秋田、山形、石川	群馬	九州地区
被害率※	0.67%	0.57%	1.3%
モニター数	3,830	2,194	1,776
時代背景	マイコン搭載	IT化	IT社会
被害製品	14機種	12機種	20機種

(1) 20年以上前には、テレビ、ビデオの雷害が多かったが、15年前からは、電話機、ファックスなどの通信機器が最も多くなる。

(2) 15年前ごろから、パソコンの被害が発生するようになり、最近の調査では、電話機、ファクシミリに次いで2番目である。

(3) 20年前に比べて、最近雷被害がかなり増加している傾向にある。

以上の変化の分析により、テレビの被害がメーカーの努力により、減少したことが明らかにされている。また、電話が電子回路を含むようになるとともに、被害が増加したことや、パソコンが普及するにつれて、被害が増加するなどの、高度情報社会での雷被害の特徴があらわれている。

遠方監視装置等の雷被害

生産工場の製造ラインでは、集中監視装置や、リモートセンシング装置など多くの監視制御装置が導入されている。また、発電所、上水道、下水道など水処理関係、石油基地、運動場なども、多数の監視制御装置や、照明装置などが導入されている。たとえば、[図6]にしめす石油基地のように、広い構内に設備が配置され、それぞれが電気配線や信号線で接続されている場合には、周辺に落雷が生じたときに[図7]に示すように施設相互間に大地電位差が生じる。雷撃を受けた、A点の大地や構造体では、大きな電位上昇が起きる。一方、そこから離れた、B点やC点では、施設相互の距離関係等で異なる電位上昇になる。このため、B点の建物の端末装置から伸びている信号、制御線とC点の管理装置の間には、[図7]に示す電位差⊿Uが発生し、各部で絶縁破壊が生じる。

図6 石油基地の遠隔計測装置の雷被害

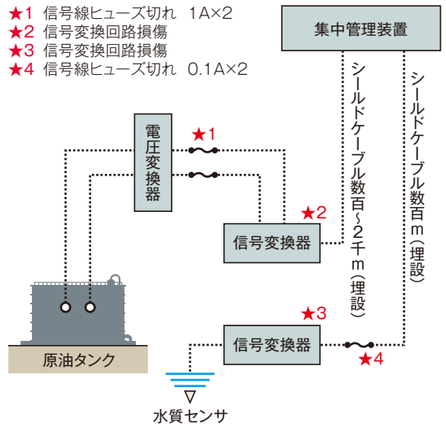
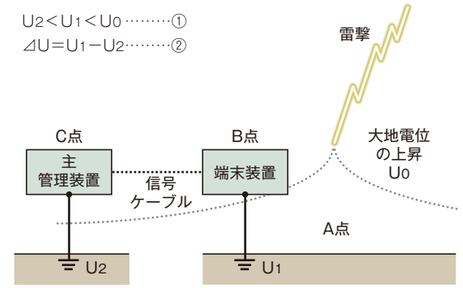


図7 雷撃電流による大地電位と雷位差



瞬時電圧低下問題

送電線に落雷して、碍子やアークホーンがスパークオーバ（放電）すると、続いて地絡状態になり、電力会社が送電している電気が接地に流れ出す。このため、その地点からの距離や、付近の電源の有無などで変わるが、系統につながる需要家では、何らかの電圧の低下が生じる。事故個所につながる変電所で遮断器を開放することにより電圧は回復するが、それまでの時間は需要家で電圧の低下があり、これを瞬時電圧低下、略して瞬低と呼ぶ。近年は、半導体製造装置等、瞬低に影響される設備が増加している。

1 最近の調査結果

最近の調査では、電圧低下幅が20%以上となる瞬低の発生頻度は日本では約10~20回／年で、米国での調査でも約20回／年である。

2 瞬低ハザードマッププログラム

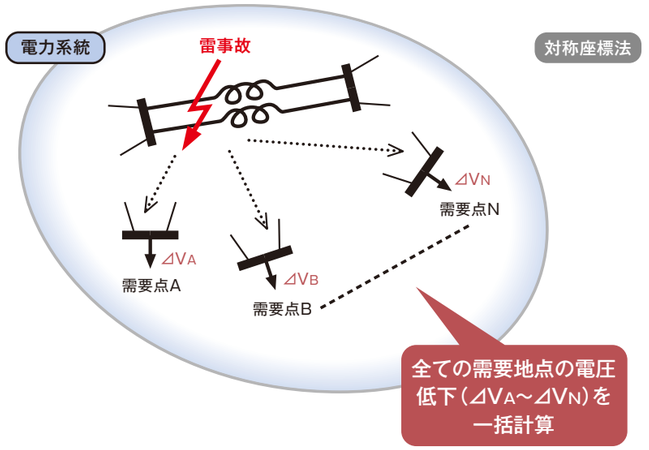
電力中央研究所では、電力会社の協力をえて、送電線雷事故による需要端電圧の低下度合いを解析する瞬低ハザードマッププログラムを開発している。その機能は以下の通りである。

機能1 指定された送電ルートで雷事故が発生したときの系統各需要地点の電圧低下度の計算[図8]

機能2 各々の送電ルートで雷事故が発生したときの指定された需要地点の電圧低下度の計算

機能3 各々の送電ルート事故発生確率（回/年）に基づく、各需要地点の電圧低下影響度合いの計算

図8 系統各需要地点の電圧低下度の計算



高度情報化の進展に伴う機器の低電圧化や、情報通信機器等を含めたネットワーク化により、雷被害は増加している。また、短い停電でも、快適な電化生活に慣れているわれわれには容認することがますます難しなってきていること、さらには、高度情報化社会と高度工業化社会では、1秒以下の短い電圧の低下すら問題になってきている。このような要求にこたえるためには、単に電力の供給者だけではなく、通信事業者や建築物の設計者や管理者、さらに、需要家など、多方面の共同、協力により害害の問題を解決しなければならないことが多くなっている。今後、関係の省庁が情報交換を密にして、建築物の雷サージ対策や、接地方法の改善を進めていくことが重要になる。

雷現象と雷害対策 3

電気設備の雷害対策の基本

前回までの雷現象と、被害の様相から、おわかりの方もおられると思うが、雷の発生頻度とその性状により被害の程度と様相が変わる。百数十年前までの雷害対策は、建築物が主対象であり、19世紀後半から現在に至るまでは、電力設備の被害が対策の中心であった。高度情報化社会では、電子回路や情報通信設備の雷害対策が無視できなくなる。雷害対策の基本について、主な対象ごとにその考え方について、最近の知見を取り入れて概説する。

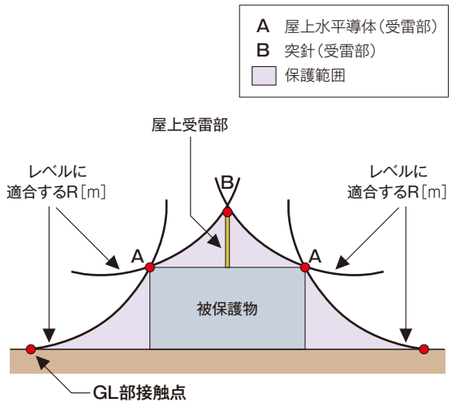
建築物の雷被害対策

コンクリートの建物に雷撃すると、簡単にコンクリートが破損する。これを防ぐために避雷針で雷を捕捉することが重要である。避雷針では、その頂部から見る角度を保護角という。従来、一般建築物は避雷針の保護角を60度に、火薬、可燃性液体、可燃性ガス等危険物の貯蔵庫等では避雷針の保護角を45度に定めていた。しかし、[図1]に示すように、落雷実績と最近の雷放電の研究の結果、この方法で

図1 水平方向に侵入する雷放電
音羽電機工業（株）第1回写真コンテスト
「電光石火」清水宗治氏（1999年7月21日撮影）

は、建築物への雷撃を保護することが、かなり不十分であることが、明らかになり、国際的な指針が変更されたことに伴い、雷撃距離の考え方をもとにした回転球体法が用いられるようになってきている。[図2]に回転球体法で保護される範囲の一例を示す。

図2 回転球体法による避雷針の保護範囲



回転球体法の考え方から明らかであるが、通常の避雷針では、建物の角部や側面部が保護されないことが多くなるので、そこには、水平導体の受雷部やメッシュ導体により保護する必要がある。

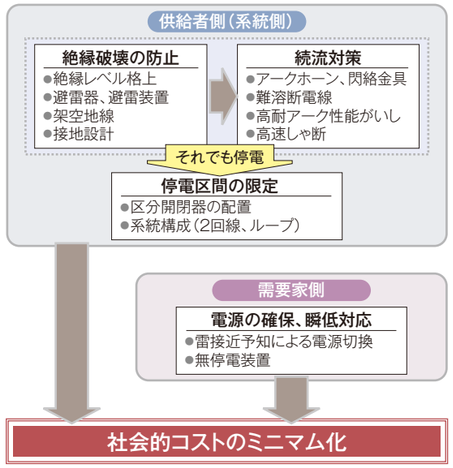
電力線の雷害対策

1 送電線・配電線の雷害対策の一般事項 [図3]

雷による影響を低減するための方策は、下記に示すとおり、いろいろな観点から、考えることができ、実際の適用にはこれらの手法を組み合わせる場合が多い。

(1) 絶縁破壊の防止
(2) 続流（事故電流）対策
(3) 停電区間の限定
(4) 需要家側の対策

図3 電力系統の雷害対策



2 高圧配電線の雷害対策

配電線の雷害には、前回の報告で説明した通り次の3種類の原因がある。

(1) 誘導雷

付近の樹木や、建物などに落雷した際に放射される電磁界の変化により、配電線に電圧が誘導されるもの。

(2) 直撃雷

配電線構成物に直接雷撃する[図4]もの。

(3) 逆流雷

山頂の通信設備、放送設備などの鉄塔に落雷した場合、そこから、雷電流の一部が電気を供給している配電線側に流れ込む。その電流による、配電線側での事故を逆流雷による事故という[図5]。

通常の配電線では、(1)の誘導雷と(2)の直撃雷を対象に、対策すればよいが、我が国の配電線では、300mより短い間隔に、避雷器（または避雷器と同じ作用をする、碍子や柱上機器）が設備されることが多いので、誘導雷で被害になることはほとんどなく、直撃雷の対策を考えれば十分である。また、直撃雷の対策は、誘導雷の対策としては十分すぎるので、特別な誘導雷対策はこの点からも必要ない。

逆流雷では、山頂の通信設備、放送設備などの鉄塔へ落雷した際に、そこから、配電線に流入する雷電流が避雷器を通過する際に、冬季の雷電流のように、継続時間の長い雷では、避雷器が焼損する被

図4 配電線への雷の直撃

図5 高構造物落雷時の雷電流の高圧配電線への逆流

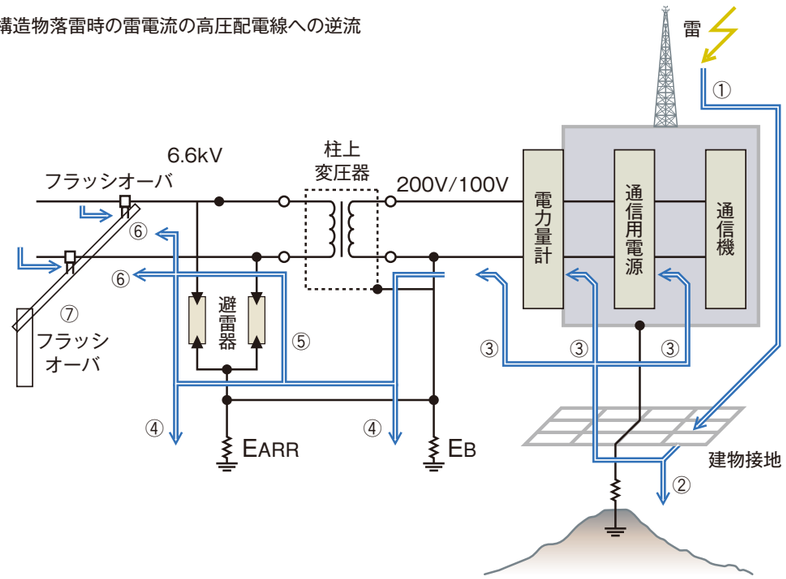
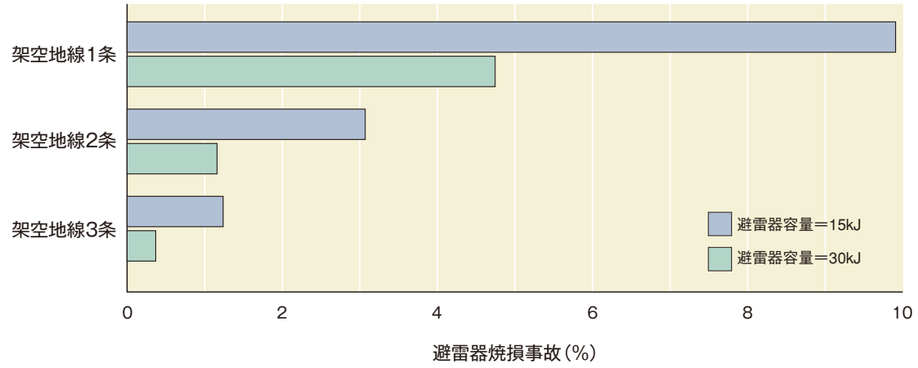


図6 架空地線の条数と焼損率の関係
（避雷器施設間隔4径間、非末端柱避雷器）



架空地線を1条から2条にすることにより、避雷器焼損率を約1/3に低減できる。

害が発生する。この対策としては、避雷器のエネルギー処理能力をあげるよりも、架空地線の架設が有効な対策になる。1条で十分な効果が得られない場合には、2条、3条と複数条架設することが有効な対策である。[図6]に避雷器焼損事故に対する架空地線の効果の一例を示す。

近年は、平地でも、携帯電話に基地局などの鉄塔が建設される場合も多いので、今後は、逆流雷の被害対策が重要になる。逆流雷は、鉄塔の接地が低いほど、配電線に逆流する電流の成分が少なくなるため、避雷器の負担が減少するので、有利であるが、接地を下げる費用が大きくなる。

接地に費用をかけるか、架空地線や避雷器の容量増加に費用をかけるかは、詳細なサージ解析が必要になるが、接地抵抗を下げやすいところと、そうでないところでは、自ずから対策手法の選択は変わる。

瞬時電圧低下対策

送電線に落雷して、地絡事故が生じ、遮断器を開放することにより電圧が回復する間の需要家での瞬時電圧低下は、半導体工場などに大きな被害を与える。

瞬時電圧低下対策としては、雷活動の接近に伴い、重要負荷を自家用発電設備に切り替える方法がある。この方法は先に示した、落雷位置標定システムなど、何らかの雷接近の検知を行うシステムが必要になる。近年は、パワエレを用いた直列補償方式や並列補償方式がある。直列補償方式や並列補償方式は、いずれも瞬低の発生時に急速に重要負荷から商用電源を切り離し、蓄電装置からの電源に切り替える方式である。高速にスイッチすることにより、瞬低の影響をほとんど被らずに、商用電源の復帰を待つことができる。この方式では、どの程度の蓄電設備を持つ必要があるかを決めることが重要になる。

高度情報化社会の雷害問題

1 対策の必要性

家電製品の雷被害の調査が、20数年前から5年前まで、過去3回にわたり実施されており、高度情報化時代の移り変わりにより、被害様相が大きく変化している様子が確認された。15年前ごろから、電話機、ファックスなどの通信機器が最も多くなる。またパソコンの被害が発生するようになり、最近の調査では、電話機、ファクシミリに次いで2番目である。

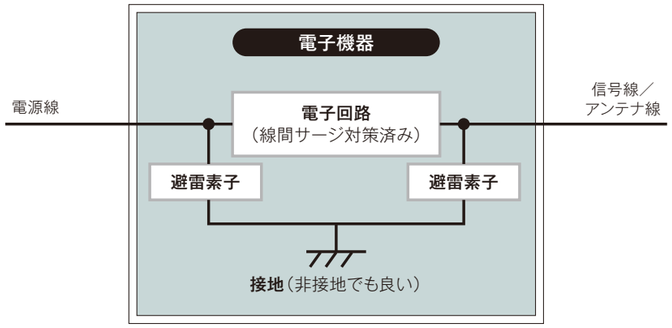
2 情報通信機器の雷サージ対策

一般住宅でも、高度情報社会の進展に伴い、回路の電子化は、機器の雷サージ耐量を極端に小さくし、さらに、電源、通信、アンテナなど回路がネットワークを構成するようになると、雷の侵入、通過経路は多様化して、雷被害を増加させた。

現在のプッシュホンやファクシミリでは、電話線（通信線）と電源線の2本がひきこまれており、いわば、簡単なネットワークを構成している。雷サージは、電話線から侵入して、電源線に抜ける、また電源線から侵入して電話線に抜ける過程で、電話機を破壊してしまう。機器が低電圧で動作する電子化が雷に弱くなった原因の一つであるが、このネットワーク化も、雷被害の増加に大きな影響を与えている。

電話機、ファクシミリなどの通信機器を雷サージから守るために、通信線を光ファイバ化するなど絶縁化の方法の他に、電話線（通信線）と電源線の双方に避雷器（SPD）をとりつける方法がとられる。この際に、これらの避雷器を別々に接地すると、接地の電位上昇により、サージが容易に通信機器を通り、電源線へ抜けてしまう（またその逆も同じことが起こる）。これを防ぐために、[図7]にしめすようにバイパスアレスタと称して、避雷器の接地を共通にすることにより、機器内部を通過させずに、雷サージを流す方法が取られる。

図7 電子機器の等電位化（バイパスアレスタ方式）



被害の絶滅か、リスクマネジメントか?

雷害対策を立案する場合には、被害を低減する手法を考えるだけではなく、最も効率のよい方法を考える必要がある。落雷による被害額を1年間に換算した額が、対策の1年分の対策費用より小さい場合には、対策をなにも取らないほうが、経済的には得になる。

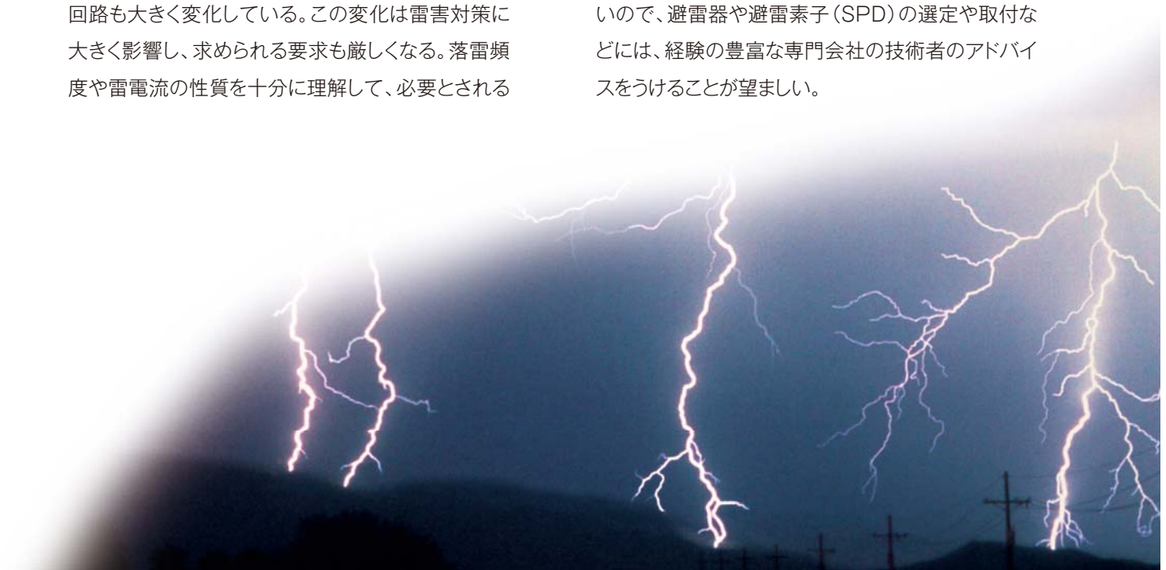
最近、風力発電設備の雷害が我が国では、大きな問題になっている[図8]が、風車の雷被害では、風車の羽根(ブレード)の爆裂、落下が問題になるが、この場合には、経済的な損失のみでなく、人体への危険を重視しなければならない。風車自体の被害が同じでも、ほとんど人が住んでいない地域と、人口の多い地域では、とるべき対策は異なる。また、人体に影響があるのは、多くの場合は風車ブレードの爆裂、落下であるので、この場合は、一般的な、電子回路の被害は、あまり問題にならない。

雷被害の発生確率は、その地域の大地落雷密度が大きく影響するが、冬季雷の場合では、夏季雷に比べて、単純な大地落雷密度の割合よりも多きな比率で雷被害が発生するので、我が国の雷リスクの評価では、この点に十分注意して、対策を考える必要がある。

図8 雷撃によるブレードの折損、落下

以上に示す通り、日本中どこでも同じ雷害対策をとることについては、経済性を考えるとき合理的ではない。IECTC81(雷保護)などでも示されているリスク·マネジメントの考え方を取り入れて、より経済的に合理的な対策手法を考えていく必要がある。

時代の移り変わりとともに、人々の電気供給の信頼性に対する要求が変化し、また、高度情報化の進展とともに、使用される電気機器や情報通信機器の回路も大きく変化している。この変化は雷害対策に大きく影響し、求められる要求も厳しくなる。落雷頻度や雷電流の性質を十分に理解して、必要とされる対策手段を適正な費用で実施することが重要である。雷害対策は、かなりの部分を経験がものをいうことが多く、また、現場での対策の条件は一様ではないので、避雷器や避雷素子(SPD)の選定や取付などには、経験の豊富な専門会社の技術者のアドバイスをうけることが望ましい。



雷現象と雷害対策

4 雷の謎

日本は、赤道に近い国などに比べ雷活動がそれほど活発な地域ではないが、日本海の沿岸部は、晩秋から冬に雷が多発する世界でも限られた地域である。冬季雷に関しては、気象学的には35年ほど前から、また、電力設備の雷害対策面からはここ30年ほど極めて活発な研究が行われてきた。縁あって雷の研究にかかわるようになった私は、電力中央研究所で雷害対策の研究を続けてきたものとして、日本で生まれ育った幸運さをいまさらのように感じている。

雷現象のバラツキと電気·電子回路など被害対象物の変化と多様さを考えに入れれば、私が40年間にわたって実施した雷害対策の研究は、多くの課題のほんのわずかな部分をカバーしただけである。日々の実験や観測の中では、すぐには解決のできない課題も数多くあった。4回シリーズの最後の話では、いまだに明らかにされていない現象や、常識とは少し違う考え方などを含めて、雷現象の多様性と完全な雷害対策の困難さを理解していただくような話をしたい。

雷の発生

1 なぜ雷雲中で電荷が正極と負極に分離して大地に落雷するのか?

電荷の分離については昔から多くの研究と論争があり、日本でもハワイ大学の高橋先生の優れた業績があり、かなり解明はされつつある。

ただ、電荷が分離しただけで、大気中で10kmにも及ぶ雷放電が生じるかを十分説明をしてはいない。電気が同じ量の正電荷と負電荷に分離することは、摩擦の実験でも簡単にわかる。それでは、なぜ、大気中で分離した、正電荷と負電荷が、雲のなかで放電してしまわないで10kmにも及ぶ大地放電まで我慢できるのだろうか。

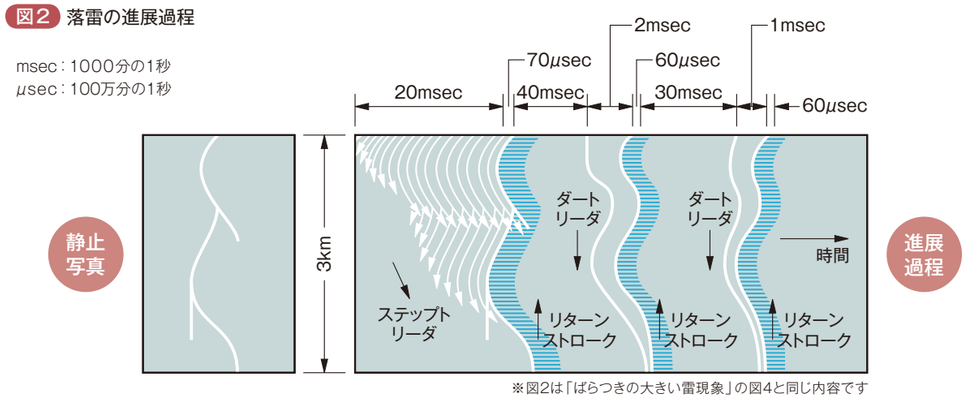
2 火山雷の存在

［図1］は火山雷の写真である。高橋先生などの理論は、電荷分離がマイナス10度の上層で起きると説明している。火山雷が生じているところは、地面からあまり高くなさそうに思えるが、それでもマイナス10度に達しているのだろうか。そうでないとすると、雷放電を生じさせる電荷の分離についても、火山雷独自の機構で説明する必要があるように、思える。

図1 音羽電機（株）第3回写真コンテスト
グランプリ作品「火山雷」（2004年11月鹿児島市桜島）

実雷と実験で発生した放電との比較

図2 落雷の進展過程

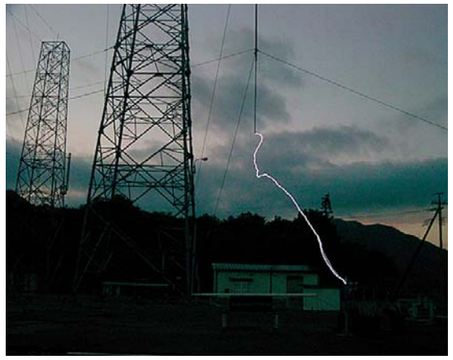


※図2は「ばらつきの大きい雷現象」の図4と同じ内容です

［図2］に雷が雷雲から地面にむかって進む先行放電（リーダ）の様相の一例を示す。スムーズに進むのではなく、階段状に進むので、ステップトリーダと呼んでいる。ステップトリーダは50m程度進展すると、30~90マイクロ秒（マイクロ秒:100万分の1秒）程度休止するという階段的進行を繰り返しながら大地に近づく。

［図3］に電力中央研究所　塩原実験場で人工的に発生させた長ギャップ放電の様子を示す。放電が高電圧を印加している電極と地面との最短距離を直線的に進むのではなく、曲がって進むことがわかる。

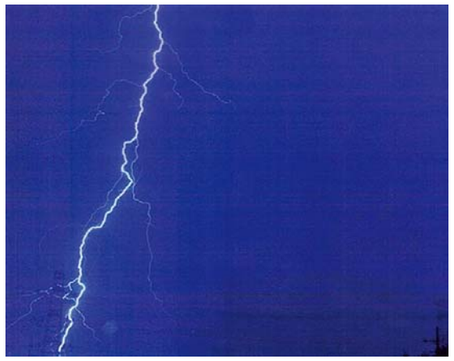
図3 人工的に発生させた長ギャップ放電



これは、［図4］に示す自然の雷の様子とも似ている。実際の落雷の1ステップは長さ50m程度、塩原実験場で発生した長ギャップ放電の1ステップは長さ1m程度とかなり違っている。一方、ステップ間の間隔は実際の落雷で30~90マイクロ秒、塩原実験場で発生した長ギャップ放電では50マイクロ秒程度のものもある。こちらは、ほんものの雷の放電とそれほど変わらない。

実際の雷放電を人工的に模擬することはほとんど不可能で、これが、雷放電の謎を解くことができない大きな原因の一つになっている。

図4 夏季雷（下向きの雷放電）



球雷は本当にあるの?

Ball lightning と名付けられた現象があるという報告がなされており、“Ball lightning”の本も出版されている。日本語では球雷である。残念ながら、わたくしは、そのような現象は見たことがない。自分がみたことがないから、ないというのでは、どんな理論でも覆せてしまうので、これは、ないという証拠にはならない。しかし、あるという方の証拠もまた根拠が薄い。［図5］は、“Lightning”（ R.H.Golde 編、Academic Press、1977） Chapter12 “Ball Lightning”（S.Singer）にしめされている図であるが、皆さんどのように思われるだろうか。

静止しているものであれば、人間の眼の能力は素晴らしいものである。しかし、雷放電のように、1000分の1秒程度で発生消滅する現象では、十分その能力を発揮することができない。また、至近で雷をみるといわゆるハレーションの現象と似たことが眼でも

図5 Schneidermann's ball lightning photograph（Norinder,1939）

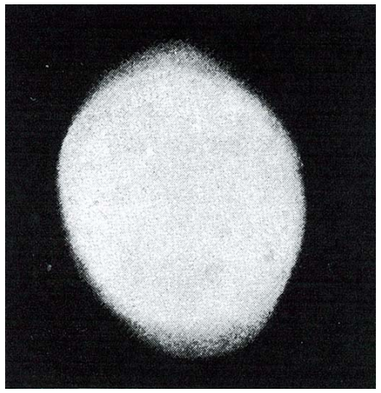


図6 音羽電機（株）第3回写真コンテスト
佳作作品「暴れる夜空」（2001年9月北広島市）

図7 電光形状（中谷宇吉郎著「雷」岩波新書1939年）

図8 さまよっているような雷放電

おこることと、大きな音や、落雷と同時に発生する周囲の絶縁破壊現象などがかさなることもあり、正しい放電の把握はかなり難しいように思う。

落雷の直後に丸い火の玉が、家の中に入ってきて、中を散歩して出て行ったとか、火の玉が電線沿いに比較的ゆっくり走って行ったなどと、自分の体験を話される方が結構いるが、その実在を示す確たる証拠のない場合がほとんどである。[図6]は、雷放電が、雷雲を照らしている写真である。観察する方向によっては、放電路が見えずに光っている雷雲のみを観察する場合も多いが、Ball lightningと勘違いすることはないのだろうか。

雷放電には、[図7]に示すような彷徨電光、数珠状電光など名前をつけられたものもかなりある。[図8]では、雷放電がさまよっているような写真が示されているが、彷徨放電の仲間である。水平方向に曲がりながら進んでくる雷放電を一方向からカメラでとらえるとこのようになる。雷放電が3次元なので、カメラの方角に放電が伸びていると、周りより明るく見える。これが強調されれば、数珠状電光と判断されるのではないだろうか。

なぜ冬季雷は上向き枝別れ放電?

[図9]は、通常の夏季の雷の放電様相である。雷雲から下向きに枝わかれしている。[図10]は、冬季の雷の放電様相である。夏季でも東京タワーのように200mを超える高建造物では、冬季のように上向き枝別れ放電が見られる。

このことから、冬季雷が上向き放電になるのは、雷雲と構造物の電極様相により変化することが影響していると考えられる。すなわち冬季の雷雲の底が地上に近いため、夏に比べると、地上の高構造物先端の電界が雷雲より高くなり、高構造物側から、放電が開始する説である。

図9 夏季雷

図10 冬季雷

しかし、[図11]に示すようにかなり低い構造物でも冬季の雷は上向き放電になる。もし、冬季雷雲の高さと構造物のとがりの相対的なものであるならば、冬季といえども、上向き放電になるためには、ある程度の高さは必要な気がするが。

なぜ、上向きになるかは別として、上向き放電になることは、周囲のなかで、高い建物を日本海沿岸部にたてると、落雷が集中することになる。福井県にある火力発電所の高さ200mの高煙突には、10年間で冬季に300回ほど落雷しているが、その期間の夏季の落雷は、たった1回である。落雷位置標定システムのデータなどから、周辺一帯に落ちる雷は夏季の方が多いことが分かっている。ということは、周囲に落ちる可能性のある雷のほとんどを200mの高煙突がひきつけていることになる。

図11 低い構造物からの冬季雷

雷の破壊ポテンシャル

1 木への落雷、コンクリートへの落雷

[図12]は、雷により樹木が裂けた様相である。雷の電流により樹木表面の水分が蒸発することにより、樹木が裂ける。

しかし、表面の傷がそれほど大きくないときでも、数ヶ月後に落雷を受けた木が枯れだすことが見られる。はじめは、私も樹木の地表部の水分の通り道に対する雷の影響と思っていたのだが、木の根の水分の通り道に対する影響が大きいようである。これは、高電圧の実験をしていたときに、直接木の地上部に電流を流さないのに、木が枯れだすことがあったわ

図12 雷によって裂けた樹木

たくしの経験による。

木が裂けるかどうかに関する雷のエネルギーの大きさの影響であるが、塩原実験場の高電圧発生装置でも、木が枯れたり、裂けたりするので、エネルギーの小さい雷でもこのようなことは起こるようである。

2 雷のエネルギー

雷の講演時に、「雷が近づいた時電気器具のコンセントをはずした方がよいでしょうか?」とともに、最も多い質問は、「雷の電気を貯めて、利用することはできないでしょうか?」というものである。

雷はどこに落ちるかわからないし、また急激に大きな電流を流し、短い間に終わるという、電気を貯めるには、きわめて不都合な形をしているので、これだけでも、前向きな答えができずに、質問者の期待に反することを覚悟して、「近い将来では、利用は無理でしょう。」などと言葉を濁している。仮に、ためることがなんとかできたとしたら、どの程度の電力量があるのだろうか。雷放電1回分の電力量がどのぐらいかを、計算する決まった方法はない。また、雷放電は、大きなもの(30万アンペア)と小さなもの(1000アンペア)で100倍以上差があります。小さいものでは、その電力量は本当にわずかなものである。平均的な電流3万アンペアでどの程度の電力量になるかをある方法で試算すると(電流波高値:3万アンペア、継続時間:100マイクロ秒、負荷抵抗:1000オームと仮定する。)、その結果は6kWhと小さなもので、家庭の電気消費量の1日分にもならない。冬季の雷を考えて電流の継続時間を100倍にしても、家庭の電気の2カ月分程度である。他の計算方法では、これとは違う見積もりが出るが、いずれにしても、大きな電力量ではない。

人体安全

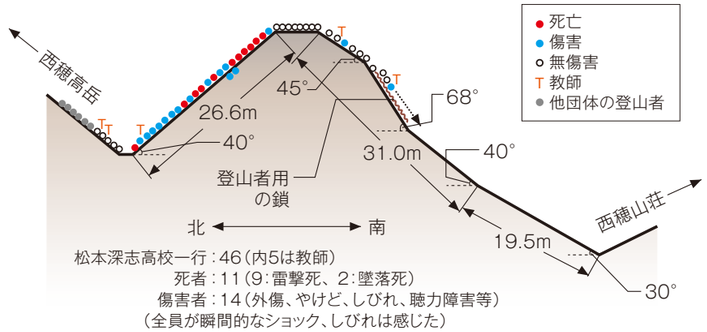
1 木のそばは危険 [図13]

日本で雷撃により、亡くなられる方は、登山、ゴルフ、釣り、サーフィン、海水浴などのスポーツや農作業などいずれも屋外での活動時である。家の中や、車の中に入れば、ほとんど安全といえる。近くに、入れる家や車のないときでも、できれば道路の配電線の下や、送電線の近くに避難するのがよい。普通の道路は、配電線がある場合が多いので、安全といえる。高い建物の集中している繁華街もほとんど安全である。

木の下に、避難することはやめなければならない。木の下で避難する場合には2m以上はなれることなど条件をつける場合があるが、この値は、離れれば危険の程度が減るだけで、安全という根拠はない。特に、孤立した木では、危険の度合いが増すので、絶対に近づかないでほしい。なお、日本や外国の雷による死亡者のうち、木からの側撃でなくなった方は、25%程度というデータがある。

図13 木からの側撃

図14 独標の鉛直断面(南北方向)と登山者の位置



松本深志高校一行:46(内5は教師)
死者:11(9:雷撃死、2:墜落死)
傷害者:14(外傷、やけど、しびれ、聴力障害等)
(全員が瞬間的なショック、しびれは感じた)

2 登山の危険度

雷から身を守るために、重要なことは、雷活動時に自分がどのような場所にいるかである。たとえば、火事による2次被害を除けば、室内にいるときに、落雷でなくなることは、日本ではこの30年ほどは皆無である。ほとんどが、農作業をふくめた野外での活動時に雷被害にあっている。特にこのなかで、登山中に雷被害にあうことが、きわめて多いことに注意してほしい。統計でも、雷による死亡者の1~2割は登山中である。外国でもこのような傾向を示している。45年前におきた、松本深志高校の学生が西穂高の山頂に到達するときにおきた雷被害では11名の死者を出す大惨事となった[図14]。これは、近年、先進諸国で起きた最も大きな雷災害である。

3 小さな金属物

雷が近づいたときには、できるだけ早く、家の中や、車の中、それらがなければ、道路の配電線や送電線のそばに避難することが重要である。ネックレスや時計、めがねなど小さな身につけるものを神経質にはずす必要はない。小さな金属では、雷をひきつける能力は弱いからである。[図15]は航空機への落雷の写真である。この場合には、雷雲の電界により、航空機の表面で正と負の電荷の分離が生じ、放電を開始させると考えられるので、航空機の存在が、雷撃に影響しているといえるが、これは、あくまでも大きい物体の場合である。

血液が流れている人体は、もともと雷による電界に対しては、導電物と考えられるため、身に着ける小さな物体は、雷撃時の電界の全体的な様相には大きな影響は与えないと考えられる。小さな物体は、着けていても、いなくとも、人体に雷撃するときにはするし、しないときはしないということである。関連するが、雷撃時には、長靴をはいていても、その絶縁の効果は小さいため、雷撃を受けない可能性はわずかであり、これも、はいていても、いなくとも関係ないといえる。

図15 航空機への落雷
音羽電機(株)第5回雷写真コンテスト学術特別賞
作品「被雷・避雷」(2007年4月4日撮影於千葉県成田市)

風車への雷撃様相

1 風で回転する風車への落雷様相

［図16］は、日本海沿岸にある風車に冬季雷が落ちた時の写真である。この放電は20回程度のストローク（分放電）からなる多重雷である。このように、風車では、風の速度、多重雷の回数、羽の回転速度、撮影方向などによって、さまざまに変化して放電様相の写真が撮れる。

2 ブレード（翼）のなかに入り込む放電

［図17］は、電力中央研究所の塩原実験場の実験装置を使用して、実際に用いられる風車のブレードの先端部分3mを供試物として放電実験を行った時の放電様相の写真である。上方の棒電極から放電してきて、放電はFRPでできているブレードの表面に飛びつき、内部に放電がもぐりこんでいる。FRPは、機械的に丈夫な材料なので、風車のブレードに用いられる。2枚のFRPの板を張り合わせてブレードを構成しており、内部は空洞になっている。FRPの絶縁の性能は、それほどよくはないのだが、それでも一応絶縁物である。なぜもぐりこんでしまうかは、とても不思議である。表面を通って、ブレードの下部に抜けてくれればよさそうなものである。

放電のもぐりこみは現象が面白いだけではなく、風車の被害に大きな影響を与える。放電が内部に入り込むことは、雷電流のアークがブレードの内部の空洞部にできることになる。アークの温度は1万度以上に達するので、内部の空気が膨張したり、水分が蒸発してブレードの内部で急激な圧力の上昇が起こる。これが風車のブレードの一瞬の爆裂、落下につながると考えられる。この場合も、冬季雷の大きな電荷量をもつ雷が厳しくなる。

図16 風車に落ちた冬季雷

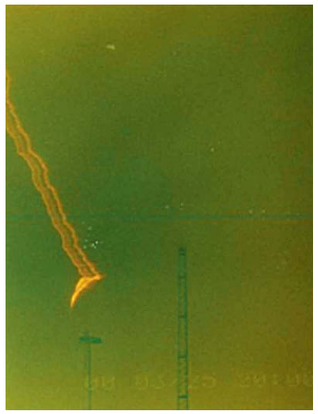


図17 風車のブレードへの放電実験

雷活動の接近時 …あなたは、コンセントからプラグをはずしますか。…

いろいろなメーカーが、電源回路にいれる低圧回路用の避雷器（アレスタ）入りのアダプタを売り出している。これは、取り付けも簡単であるし、効果はあるので、雷被害を受けたり、周囲で受けたところがあるときには、是非取り付けたほうがよいと思う。

しかし、低圧回路用の避雷器を設置すれば、雷被害がすべて防げるというわけではない。どのくらい防げるかは、雷の侵入場所や、雷の強さ、建物内のアースの状況（ない場合も含めて）にもよるが、低圧回路用避雷器がどの程度雷被害を防ぐかは、具体的には研究はなされていない。感覚的には、50%以上は防ぐことができるが、被害を5%や10%程度に抑えることは、かなり難しいのではないかというところではないか。

となると、低圧回路用の避雷器を設置した場合に「雷の近づいた時に、コンセントからプラグをはずすか。」の答えはかなり難しくなる。あなたが、テレビを見れなくなる、いちいちパソコンなどのプラグをはずす、一定時間のパソコンの使用は控えるなどの不自由さを我慢できるのであれば、そうすればよいだろうし、低圧回路用の避雷器で被害の可能性を下げたので、もういいやという選択もあると思う。得られる利益（雷被害の低減）と、不便さを秤にかけるリスク・マネジメントになる。

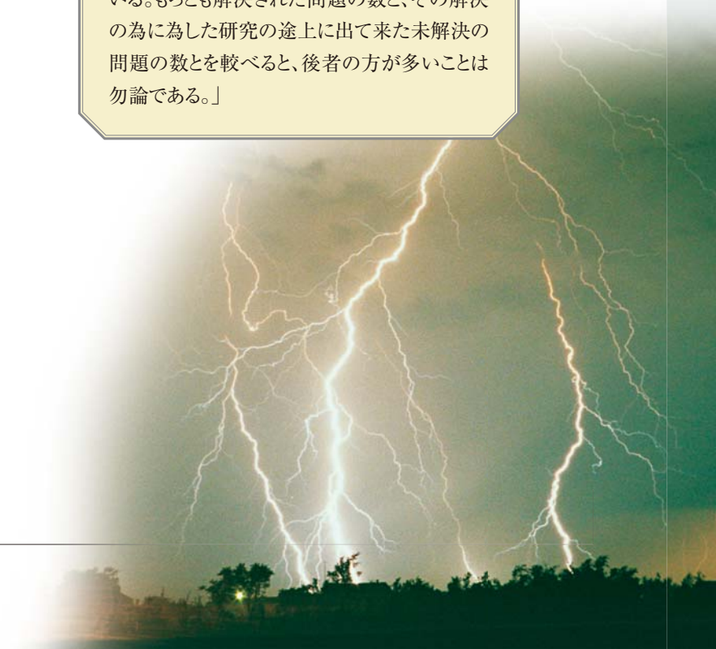
小生が、常日頃疑問に思っていて解決できないことと、わずかばかりであるが、研究の結果から明らかにされた、特徴のある雷の性状や被害について説明した。皆様がさらに雷への興味を深めていただくことができれば、望外の喜びである。

◆ ◆ ◆

最後になるが、雪や氷の研究で有名な、中谷　宇吉郎先生は雷の研究もおこなっており、昭和14年に発行した名著「雷」のなかで、雷の写真の分析に関連して、次のように述べている。雷の謎に関連する先生の名言は、現在の私たち雷現象と雷対策の研究者、技術者にも全くあてはまると思う。

中谷宇吉郎著「雷」より

「ところで以上の廣い範囲に亙る色々な研究の結果を通観してみるに、電光の性質は、調べれば調べるほど益々複雑な現象であることが分って来る。そして研究が進むにつれて、益々不思議なことが沢山出て来るやうである。然し一方考えれば、分らぬことが多くなると同時に、勿論解決されて行った問題の数も増えて来ている。もっとも解決された問題の数と、その解決の為に為した研究の途上に出て来た未解決の問題の数とを較べると、後者の方が多いことは勿論である。」



雷害対策機器

建物への直撃雷による高圧機器の雷被害対策

1. 外部LPS

建物に直接落雷すると、建物の一部が損壊したり、木造建築物では火災の発生が懸念されるため、JISでも外部LPS（Lightning Protection System：雷保護システム）を構築して、建物への雷の直撃を防ぎ、雷電流を安全に接地に流し込んでいる。

LPSの構成は以下から成る。

●受雷部　●引下げ導線　●接地

2. 内部LPS

外部LPSで捕捉した雷電流を、接地極から確実に大地に放流しても、雷電流通過時に、建築物内部の金属部に放電して、火災や危険物の爆発などに至る可能性があるため内部LPSの対策をとる。一般には、等電位ボンディングと安全離隔距離の確保などが実施される。

（1）等電位ボンディング

建物内のすべての金属部分間を導体により接続して、電位差を低減する。電力線や、通信線などは、直接導体で接続できないので、後述するサージ防護デバイス（SPD:Surge Protective Device）を介して接続する。

（2）安全離隔距離の確保

危険な火花放電が発生しないように、引下げ導線などの雷電流通過箇所と建物内部の機器との安全な離隔距離を確保する。

架空配電線路の絶縁レベルの設定と避雷器

架空配電線路は、各電力会社とも本線部分は、90kV程度の絶縁を実施している。また柱上変圧器は6kV用60kVであるが、柱上に避雷器を取り付けている。最近では、限流素子付カットアウトや限流素子付リード線支持碍子、避雷器内蔵変圧器などを適用することが多い。

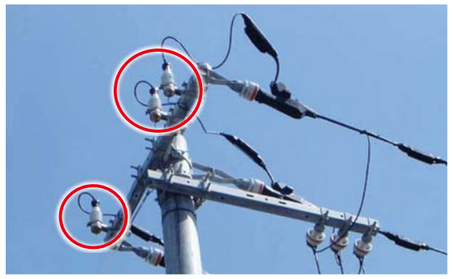
一方自家用設備では、6kV用60kV絶縁のままのことが多く、1号柱上に避雷器の設置が推進されているが、未設置の設備も多い。

架空地線

雷の多い地域では、直撃雷や逆流雷に対して保護効果を得るため、架空配電線に架空地線を敷設して線路用避雷器と併用している。この架空地線を自家用1号柱まで延長することは、雷サージの低減や、避雷器の焼損防止に大きな効果がある。

高圧配電線用避雷器の機能

配電設備の雷害対策としては、主に配電用避雷器が用いられる。避雷器は以下の機能を持っている。



（1）大きな雷過電圧が印加された場合に放電して、過電圧を回路の絶縁レベルより小さい値に抑える。

（2）雷過電圧がなくなった時に、雷サージに続いて流れる系統の続流を避雷器自ら遮断して、配電線を元の絶縁状態に復する。これを自復性能と呼ぶ。

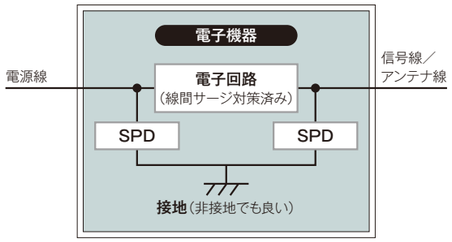
（3）避雷器を流れる放電電流を問題なく処理できる耐量を持つ。

個別機器保護用耐雷機材

配電機器単位の雷保護を目的として、保護すべき機器に酸化亜鉛素子を用いた避雷装置を外付けするか、もしくは機器に内蔵する場合がある。避雷器では、通常接地の確保が義務づけられるが、この場合には、機器に組み込まれているということで、接地の確保は義務づけられていない。

SPD（サージ防護デバイス）

■電子機器のSPDによる保護



PAS（高圧交流気中開閉器）の低圧制御装置など低い電圧で動作する装置に生じる雷過電圧は基本的にSPDと称する装置により抑制することが多い。

回路に設置したSPDは、高圧配電線用避雷器と同様に、通常状態では絶縁物として作用するが、雷過電圧が侵入したときには短絡状態になり、サージ電流を接地に流すことにより、過電圧による機器の絶縁破壊を防ぐものである。SPDは内部に使用している素子の特性により、大きく次の2種類のタイプがある。

（1）電圧スイッチング形SPD

ガス入り放電管（GDT）などを使用しており、一定電圧を超えると一気に低い電圧に下がる。

（2）電圧制限形SPD

酸化亜鉛形バリスタ（MOV）などを使用して、侵入過電圧をほぼ一定電圧に抑え込む。

SPDを回路に適用する際には、過電圧応答特性、電流耐量等を考慮する。通信用に用いるSPDは常時の信号の減衰の小さい、すなわち静電容量の小さいタイプ、たとえばガス入り放電管（GDT）などを使用する。

絶縁化による雷サージ抑制

侵入する雷サージを抑制するためには、過電圧を安全に接地に流す方法のみではなく、以下のように絶縁をするタイプもある。

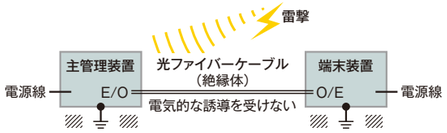
（1）電源側の耐雷トランス（絶縁トランス）

入力してくる雷過電圧を耐雷トランスで絶縁して、低圧の回路に侵入させない方法である。侵入過電圧が、予想以上に過大になると、耐雷トランスの絶縁が破れ、雷サージを回路に侵入させることになり、適正な変圧器の絶縁の設定が必要である。

（2）光ファイバケーブルによる信号伝送

光ファイバケーブルを通信線、信号伝送回路に用いると、雷過電圧は通信線などから侵入しなくなる。ただし、光ファイバケーブルのメッセンジャーも絶縁タイプにしないと効果が失われることがある。

■伝送路の光化による雷サージ防止例



SPDにより過電圧を抑えて放電する場合の注意

（1）侵入した雷過電圧は、SPDにより、接地に流れ込む電流に変換されるが、この場合、SPDの放電耐量が問題になることがある。

（2）放電電流の通過ルートによっては、電子回路にノイズを発生させる可能性が出てくる。（EMC問題）