

# 公共施設のための 雷害対策ガイドブック



## はじめに

2014 年 11 月に発行された科学誌「サイエンス Vol. 346」に掲載された「地球温暖化によるアメリカ合衆国の落雷の増加予測」によると、地球温暖化にともない稲妻の発生回数が激増し、今世紀末には 50% 増になると予測されています。

日本においても近年は落雷による被害が増加する傾向にあり、本会と全国自治協会の雷被害の支払件数は、ここ 5 年間で約 1.5 倍に増えています。

これは落雷数の増加とあわせて設備の情報化（ネットワーク化）が進み、さらに電子機器の低電圧駆動や高密度実装化による電子機器の脆弱化したことで、雷サージの侵入経路が増えたことが被害を増加させている要因と考えられます。

本ガイドブックでも解説していますが、雷の被害はいわゆる「雷が落ちる」と呼ばれる『直撃雷』による被害よりも、建物近隣への落雷による電磁誘導によって建物内に雷サージが侵入する『誘導雷』や地電位上昇による『逆流雷』による被害の方が圧倒的に多いことが分かっています。

本会と全国自治協会では、近年の雷被害の増加を踏まえ、共同で平成 25 年 4 月に「防災行政無線子局のための雷害対策ガイドブック」を発行しました。

本ガイドブックはその続編にあたりますが、対象を防災行政無線のみならず、災害発生時の地域住民の避難拠点となる学校施設、人々のライフラインとなる浄水施設等に焦点をあて、「公共施設のための雷害対策ガイドブック」としてとりまとめました。

「防災行政無線子局のための雷害対策ガイドブック」がどちらかといえば雷害対策を行う技術者向けの内容であったのに対し、「公共施設のための雷害対策ガイドブック」は、雷害の基礎知識や雷害リスクの実態等を紹介しており、自治体の皆様がより読みやすい構成となっています。

本ガイドブックのご提案を各自治体の雷害対策の取組みにご活用いただくことで、地域住民の方々の安心・安全の向上のために少しでも貢献ができましたら幸いです。

最後に本調査にご協力をいただいた各自治体や本冊子の作成にあたって専門的な見地から技術的指導や助言をいただいた雷害リスク低減コンソーシアムの皆様には心から感謝申し上げます。

平成 27 年 1 月

公益社団法人 全国市有物件災害共済会

## 目 次

### I． 雷害の基礎知識・・・ 1

- 1． 雷の発生メカニズム・・・ 1
- 2． 雷害の種類・・・ 3
- 3． 雷の発生頻度・・・ 4
- 4． 雷のリスクとは・・・ 5

### II． 雷害リスクの実態・・・ 6

- 1． 雷被害の実態・・・ 6
- 2． 雷害の被害事例・・・ 10

### III． 雷害対策の基本・・・ 15

- 1． 雷害対策の必要性・・・ 15
- 2． 雷によって発生する被害・・・ 16
- 3． 雷害対策の基本的な考え方・・・ 18
- 4． 雷保護システムの概要・・・ 19

### IV． 雷害対策の実際・・・ 22

- 1． 雷害対策とは・・・ 22
- 2． 雷害事例と対策・・・ 24
- 3． SPD の設置例・・・ 33

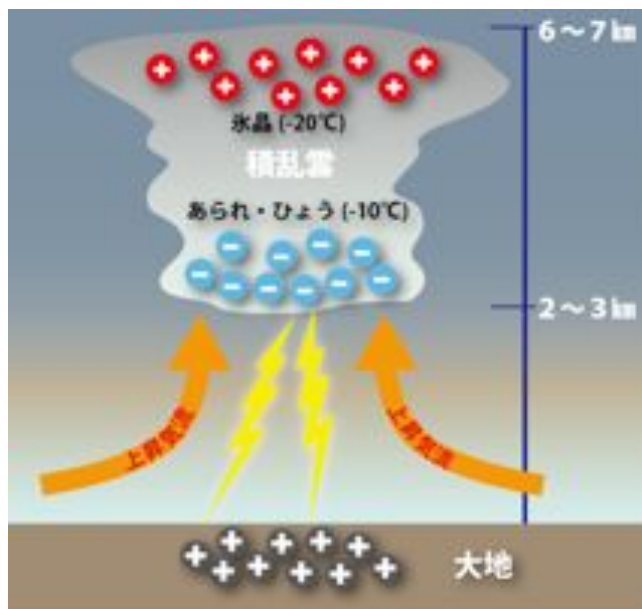
# I. 雷害の基礎知識

## 1. 雷の発生メカニズム

### 1) 夏季雷（熱雷）

- ① 夏の強い日射により地表付近の湿った空気が暖められ、上昇気流により積乱雲が発生します。
- ② 積乱雲内の暖かく湿った水蒸気が断熱膨張し、氷の粒（あられ、ひょう）、氷の結晶をつくります。
- ③ 温度差による電荷分解により、温度の高い氷の粒は負（マイナス）に、温度の低い氷の結晶は正（プラス）の電気を帯びます。
- ④ 氷の粒や結晶は上昇気流と重力によって分離され、雷雲の上部は正電荷、下部は負電荷という分布になります。この時、大地には静電誘導によって正電荷が貯まります。
- ⑤ 雲底の負電荷と大地の正電荷との間で絶縁破壊が起こり、ごく短時間に放電が発生します。

■1-1 夏季雷（熱雷）発生のおくみ



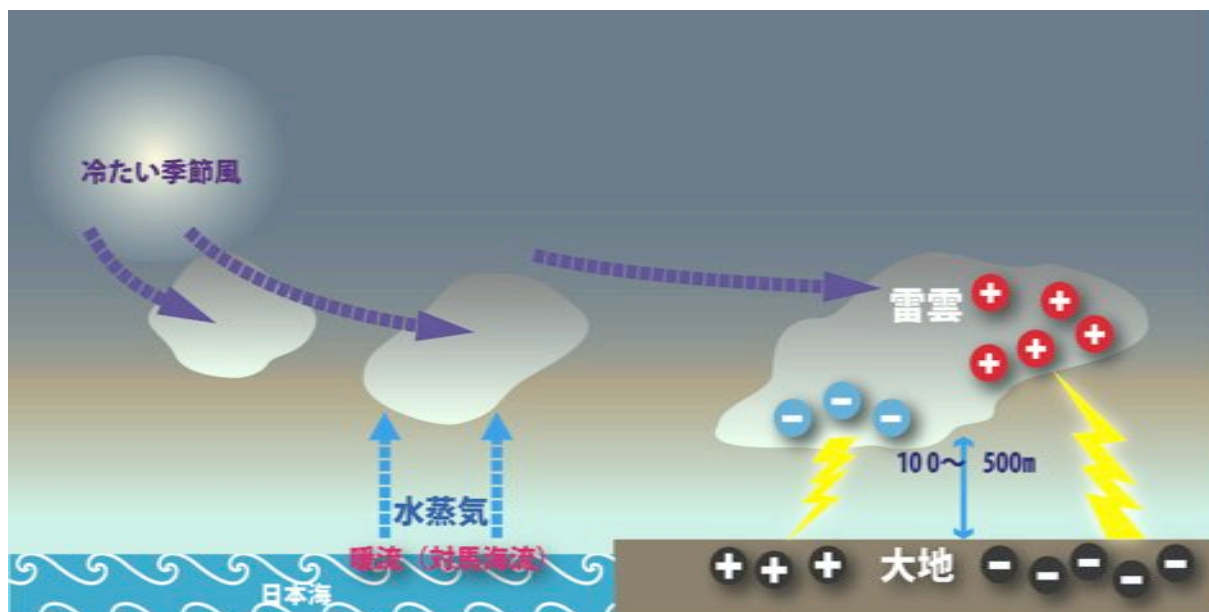
夏季雷（8月7日撮影、名古屋市） 音羽電機工業株式会社 提供



## 2) 冬季雷（界雷）

- ① 冬の間、大陸からもたらされる冷たい季節風によって、日本海上に雲が発生します。
- ② 発生した雲が日本海を横断するとき、本州沿岸を流れる暖流(対馬海流＝親潮)との温度差によって発生した水蒸気を含みます。その結果、100m～数 100m の低空に雷雲が形成されます。
- ③ 低い雷雲上部の正電荷と地面の負電荷の間で直接放電が起こり、強い雷が発生します。これを冬季雷（界雷）と呼びます。夏季雷よりもエネルギーが強い（夏のエネルギーの 100 倍以上に達することもある）ことが多いため、落雷した場合の被害も大きくなる傾向があります。

### ■1-2 冬季雷（界雷）発生のしくみ



冬季雷（1月7日撮影、福井市） 音羽電機工業株式会社 提供

## 2. 雷害の種類

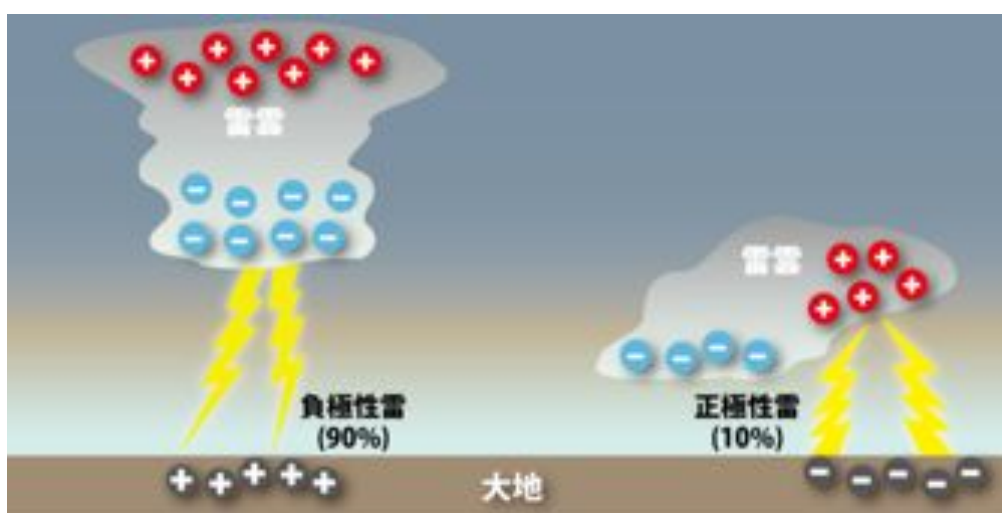
### 1) 直撃雷

雷雲と地面の間で大気の絶縁を破壊して放電が起こる際に、建物や樹木等がその放電経路にある場合を直撃雷と呼びます。一般に「雷が落ちる」と呼ばれている現象です。

負の電荷が地上へ落ちてくる場合を負極性の雷と呼び、雷全体の約 90%がこれにあたります。冬季雷のように雷雲の正電荷と地面の負電荷の間で直接放電が起こる場合は、正極性の雷と呼びます。

直撃雷のエネルギーは、電圧で 200 万～10 億 V、電流で 1kA～200kA、時には 500kA にも達します。また非常に短い時間に放電が起きるという特徴があります。

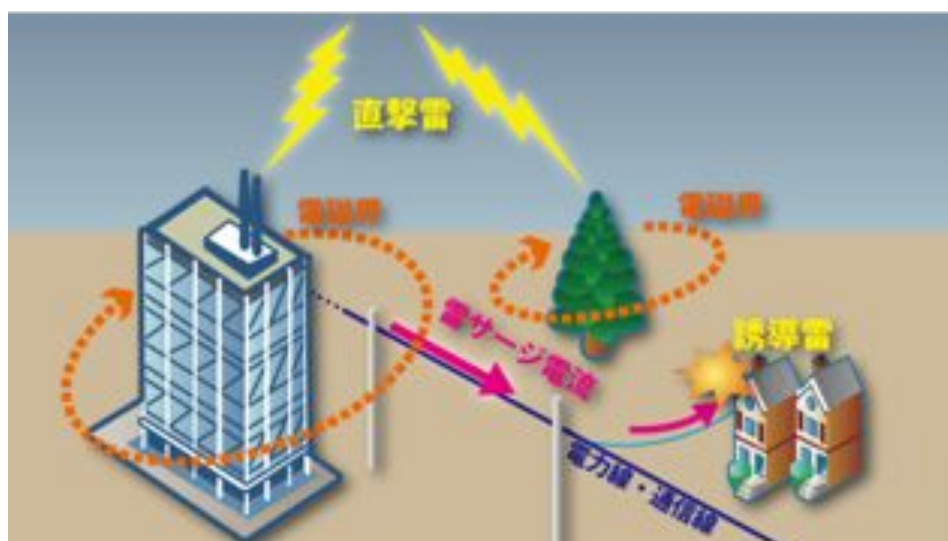
#### ■1-3 直撃雷のしくみ



### 2) 非直撃雷（誘導雷）

建物や木などへの直撃雷電流によって付近に強い電磁界が生じ、電磁誘導によって近くの通信線、電力線等に異常な電流（雷サージ）が発生し、通信線、電力線等を通じて建物内へ雷サージが侵入する現象です。

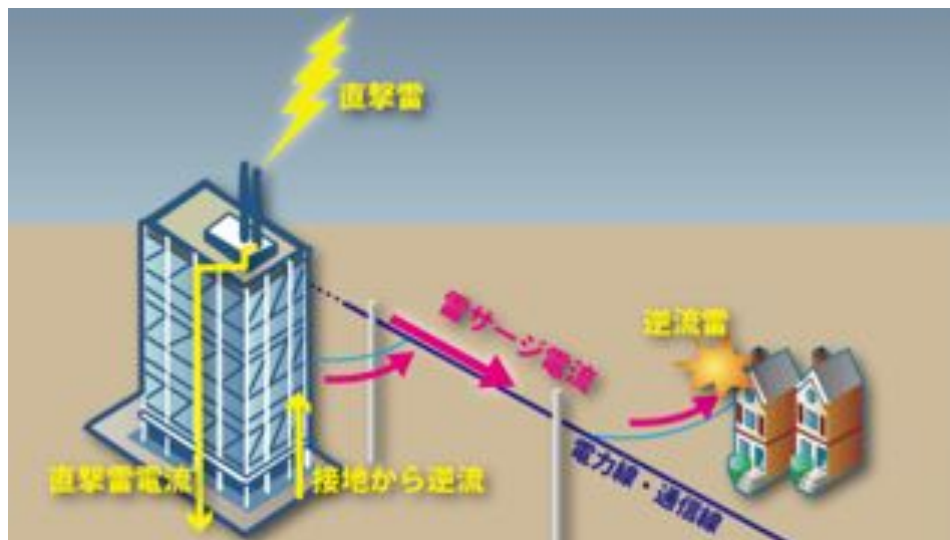
#### ■1-4 誘導雷のしくみ



### 3) 非直撃雷（逆流雷）

建物や大地などへの直撃雷により付近の地電位上昇が起こり、雷サージが接地（アース）から逆流して通信線、電力線等に侵入する現象です。大地からの逆閃絡（ぎゃくせんらく）現象とも言います。

#### ■1-5 逆流雷のしくみ

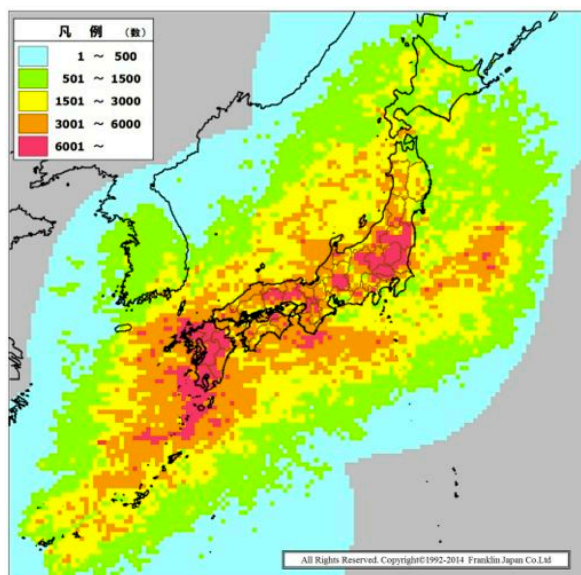


## 3. 雷の発生頻度

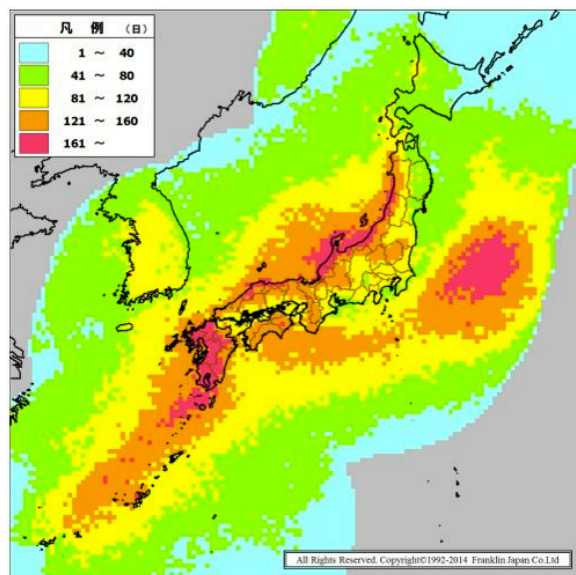
落雷密度（日本全国の20kmメッシュあたりの落雷数の5年間の積算）については、南東北や関東地方の内陸部、中部・近畿・中国の内陸部、九州から薩南諸島において多雷域が見られる傾向にあります。

また落雷日数（日本全国の20kmメッシュあたりの落雷日数の5年間の積算）については、東北から北陸にかけての日本海側、山陰地域、九州～薩南諸島において落雷日数が多い傾向が見られます。

■1-6 落雷密度（2009～2013年の積算）



■1-7 落雷日数（2009～2013年の積算）



出典：(株) フランクリンジャパンの統計データ

## 4. 雷のリスクとは

### 1) さまざまな雷害リスク

雷には夏の強い日射しにより発生する積乱雲がもとになって発生する夏季雷の他にも、冬の季節風により発生し強いエネルギーを持つ冬季雷があります。冬季雷が落雷した場合の被害は夏季雷よりも甚大です。

また落雷密度や落雷日数については、地域性はあるものの北海道を除き全国どこにおいても発生するリスクがあることを紹介しました。

雷害の種類については、一般的に建物等「雷が落ちる」と呼ばれている現象の「直撃雷」の他に、建物の周辺に落ちた雷によって強い電磁界が生じ、通信線や電力線等を通じて建物内の機器に被害を与える「誘導雷」や雷サージ電流がアースから逆流して機器に被害を与える「逆流雷」について解説しました。

近年の建物や機器は情報化（ネットワーク化）に伴う電子機器の低電圧駆動や高密度実装化によって電子機器が脆弱化しています。さらに家電機器等のネットワーク化により、雷サージの侵入経路があらゆるところに形成されている状況にあることから、「直撃雷」を受ける高層の建築物以外にオフィスや一般家庭においても「誘導雷」や「逆流雷」による雷被害が増加傾向にあります。

### 2) 公共施設の雷害リスク

雷は予測が困難で極めて短時間に被災する自然災害です。公共施設には地域住民の生活を守るためのライフライン等のインフラ設備も多く、また災害発生時には防災無線等を通じて確実に情報を発信したり、公共施設等が災害対策拠点や避難所となって機能するため、「壊れたら遅滞なく修理する」よりも、予測困難な災害に対し「できる限り壊れないようにすること」により常に「機能を維持できること」が重要になります。

次章以降では、公共施設に焦点をあてながら、雷害リスクの実態や雷害対策の基本と実際の導入例等について解説します。

## Ⅱ. 雷害リスクの実態

### 1. 雷被害の実態

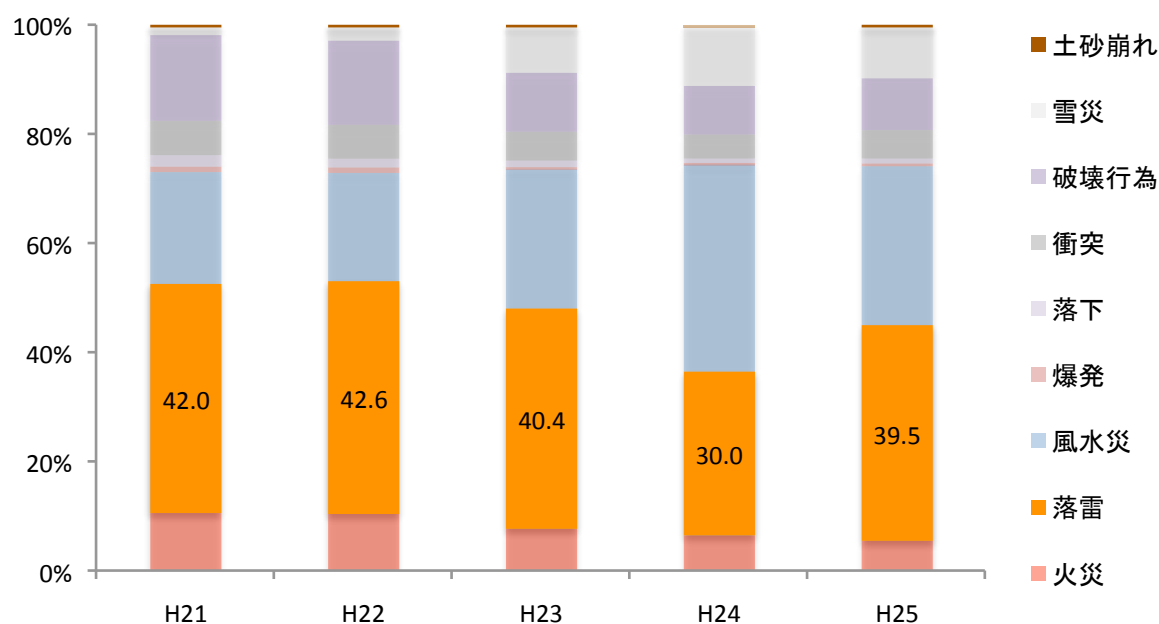
本章では、全国市有物件災害共済会及び全国自治協会における過去の共済金支払状況から、雷被害の発生状況や推移について解説します。

#### 1) 共済金支払原因に占める雷被害の割合

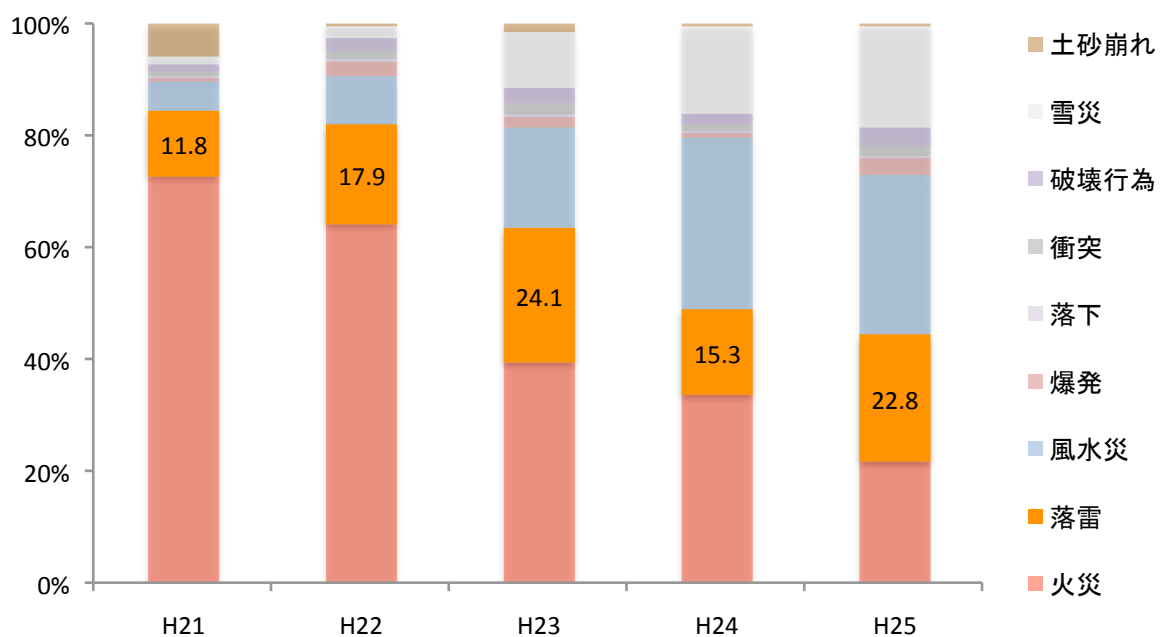
全国市有物件災害共済会における共済金支払件数及び支払金額の原因別割合を■2-1、■2-2 に示します。平成 21 年度から平成 25 年度において、支払件数は雷によるものが全体の約 30～40%と最も多く、支払金額は約 10～25%で 2 位～3 位となっています。

全国自治協会においては、■2-3 に示すように、共済金の支払件数比率は約 25～35%であり、全国市有物件災害共済会より若干小さい値でしたが、共済金の支払金額比率では、約 25～50%と高い値となっています。

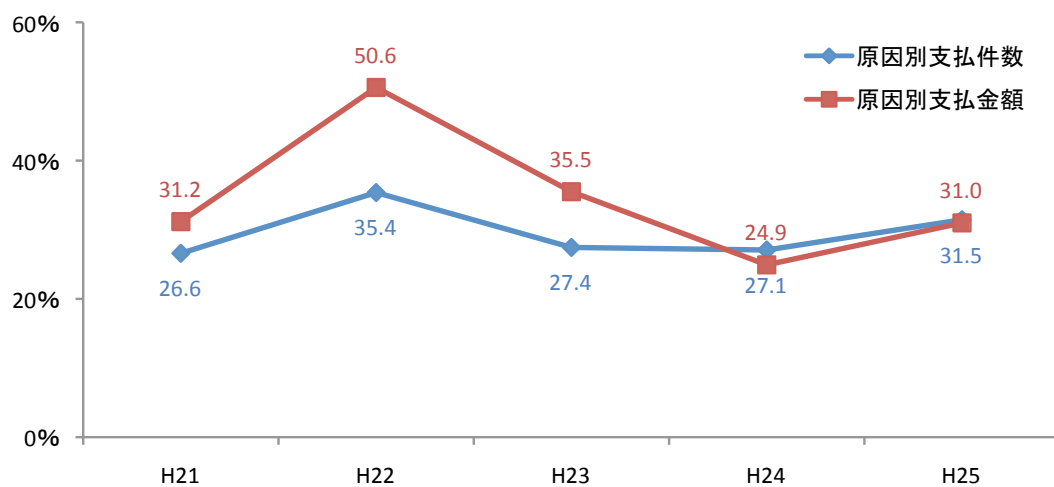
■2-1 原因別支払件数（全国市有物件災害共済会）



■2-2 原因別支払金額（全国市有物件災害共済会）



■2-3 雷による支払件数, 金額比率（全国自治協会）



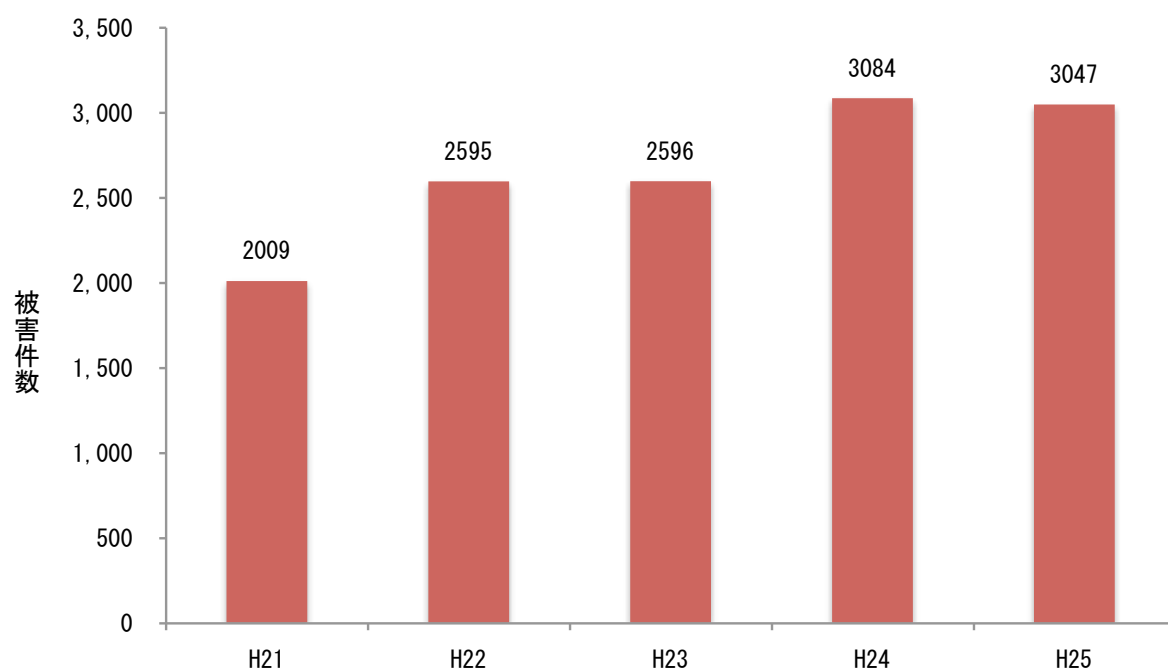


## 2) 雷被害による共済金の支払件数及び金額の推移

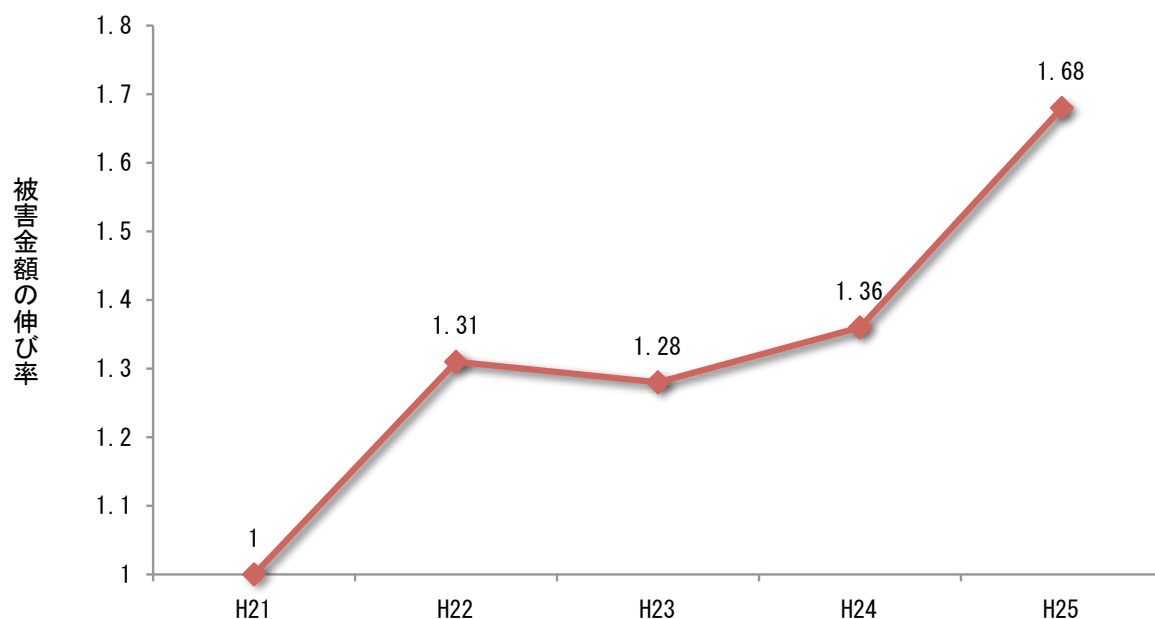
支払件数の推移を■2-4に、平成21年度を1とした場合の復旧費の推移を■2-5に示します。支払件数、復旧費ともに全国市有物件災害共済会と全国自治協会との合算値です。

傾向としては雷の被害件数及び被害金額は年々増加傾向にあります。平成21年度は2,009件の被害ですが、昨年度は3,047件と約1.5倍に増加しています。雷害金額についても、平成21年度を1とすると、昨年度は約1.7倍と大幅に増加しています。

■2-4 雷被害件数の推移



■2-5 雷被害金額の推移（H21年度を1とした場合の比率）



### 3) 設備別の共済金支払の内訳

全国自治協会における平成 24 年度の設備別の共済金支払件数の内訳を■2-6 に示します。

防災設備や自動火災報知器などのビルの安全性を維持するための設備や電話設備・電力設備・給排水設備といったインフラ設備などの被害が多く、全体の約 50%を占めています。

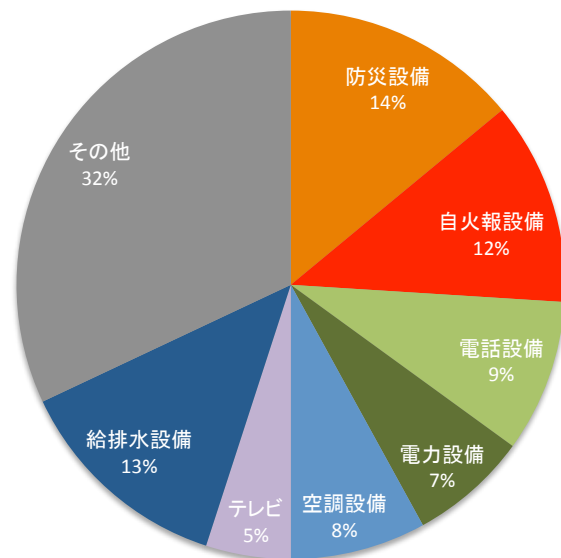
### 4) その他の特徴

■2-7 より、雷被害のほとんど（全体の 99%）は、直接的な落雷によるものではなく、誘導雷や逆流雷といった非直撃雷によるものであることから、適切な接地システムの構築や、サージ防護デバイス（SPD）の設置などの対策によって、ほとんどの雷被害をなくすことができると考えられます。雷サージの侵入経路については、■2-8 より、ほとんどが不明であり、また原因が判明したものについても電源線・通信線・接地線と全ての配線から侵入していることから、雷対策については、部分的な対策ではなく、建物やシステム全体の包括的な対策の実施が必要であることが分かります。

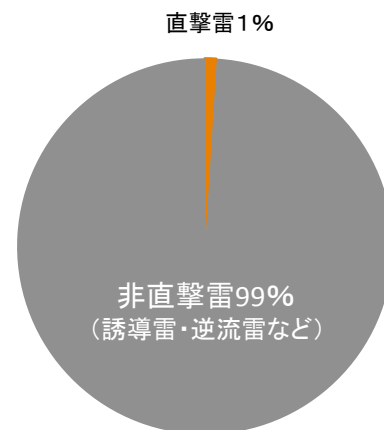
以上のように、共済金の支払い原因の多くを雷被害が占めていることが分かりました。今後さらに気候変動による雷発生数の増加や機器のネットワーク化による雷サージ侵入経路の増加、機器の低電圧駆動・高密度実装化による雷に対する脆弱化がこのまま進んでいくと、雷被害はますます多くなると想定されます。

一方で、雷被害のほとんどは非直撃雷によるものであることから、Ⅲ章、Ⅳ章で示すような適切な雷保護を実施することで、これまでのような雷被害はほとんど防ぐことができますので、これまで以上に事前の対策により雷リスクを低減しておくことが重要となります。

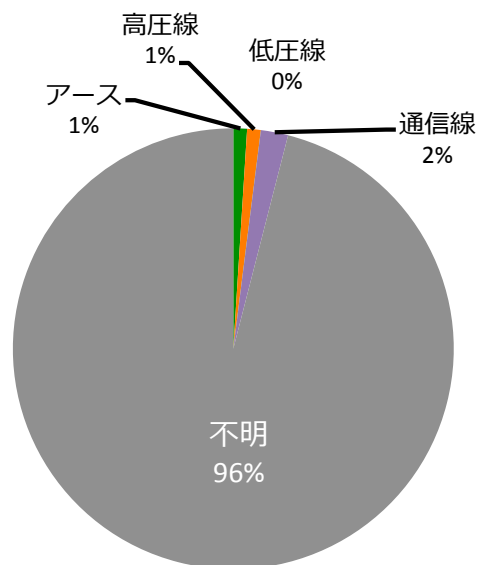
■2-6 設備別支払件数比率（全国自治協会）



■2-7 雷被害における落雷の種類（全国自治協会）



■2-8 雷サージの侵入ルート（全国自治協会）



## 2．雷害の被害事例

前述のように、近年、公有物件の雷害による被害は、件数・金額とも増加する傾向を示しており、繰り返し被害を受ける物件も少なくありません。特に学校や体育館などの公共施設は、災害時に指定避難所となることが多く、このような施設が雷被害を受けると、機器の損害といった経済的な損失だけではなく、避難拠点としての機能を失うリスクも伴います。実際に前項3)より、雷被害を受ける建物設備のうち、防災設備や電気・通信などの公共インフラ設備の被害が多くを占めており、落雷によってこれらの機能を失った場合の社会的な影響はきわめて大きいと言えます。したがって、このような公共施設には、より一層の危機管理対策が望まれます。次ページに、公共施設の雷被害事例について示します。

## 1) 学校、体育館の被害事例

|      |                                                                                                                                                                  |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 被害機器 | <p>自動火災報知設備、非常放送設備、電気錠設備、照明設備、空調制御設備、警備用モニター及びカメラ設備、フラッグポール、車庫など</p> <div data-bbox="391 347 1412 1467"> <p>自動火災報知機（受信機）</p> <p>非常放送設備</p> <p>フラッグポール</p> </div> |
| 被害金額 | <p>敷地内のフラッグポールに落雷があったと推定される。フラッグポールを中心として大地に大きな電位勾配が発生し、センサ等の端末機器が敷地全体に配線されている自動火災報知機や非常放送設備など、大地電位の影響を受けやすい設備の多くが被害を受けた。本事例の被害金額は約 1800 万円であった。</p>             |

## 2) 消防署

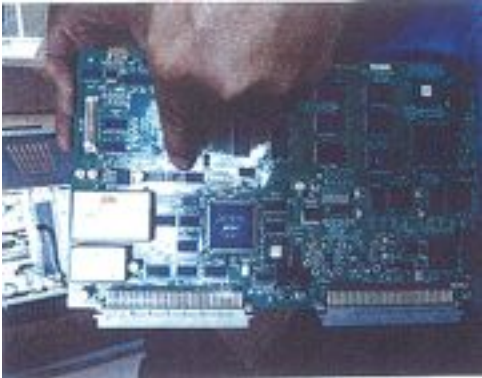
|      |                                                                                             |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 被害機器 | <p>防災管理監視設備（通信指令端末、遠方監視装置など）、消防無線基地局設備、自動火災報知器、空調設備など</p>                                   |
| 被害金額 | <p>建物近傍への落雷により、重要設備である防災管理監視設備や消防無線の他、自動火災報知器など建物設備についても多く被害を受けた。本事例の被害金額は約 750 万円であった。</p> |

3) 浄水場

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 被害機器 | <p>柱上開閉器(VCT、SOG 制御装置)、受電設備、非常用発電設備、電源装置(インバータ)、水処理設備(シーケンサ盤、コントロール盤、現場作業盤)、薬注設備(シーケンサ盤、コントロール盤、現場作業盤)、計装設備(計装盤、コントローラ盤、CRT デスク盤)、テレメータ設備(テレメータ盤、非常警報装置)、監視カメラ、電源用 SPD など</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>柱上開閉器</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>緊急遮断弁</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>受電盤電源</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>水処理シーケンサ盤補助継電器</p> </div> </div> |
| 被害金額 | <p>電源の引込み点である柱上開閉器や敷地外の架空電源設備が激しく損傷していたことから、架空電源線に落雷があったと推定される。そのため、各浄水装置の電源系が被災しているほか、電源系から侵入した雷サージは、機器内の絶縁を破壊して通信線に流れ出し、他の機器の通信系に損害を与えており、施設全体に被害が生じた。本施設では、2度の被害が発生しており、それぞれの被害金額は約1億3300万円、約7840万円であった。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |



## 4) 防災無線親局

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 被害機器 | <p>非常用発電機、同報系デジタル無線設備、電源用 SPD など</p> <div data-bbox="416 336 908 712">  <p>無線装置延焼</p> </div> <div data-bbox="932 336 1415 712">  <p>基盤損傷</p> </div> <div data-bbox="405 813 908 1189">  <p>耐雷トランスの SPD 損傷</p> </div> <div data-bbox="932 813 1426 1189">  <p>アラーム点灯</p> </div> |
| 被害金額 | <p>無線設備及び非常用発電機などほぼ全ての装置が大きな損傷を受けていることから、無線アンテナへの落雷または、電源引込線への落雷が想定される。本事例の被害金額は約 2400 万円であった。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |



5) 防災無線子局

|      |                                                                                                                                                         |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 被害機器 | <p>電源部(ブレーカ、基板)、通信部(基板)、スピーカなど</p> <div data-bbox="406 353 1382 824"> </div> <p>電源部ブレーカ損傷</p> <div data-bbox="371 902 1436 1263"> </div> <p>通信部基板損傷</p> |
| 被害金額 | <p>電源引込み点のブレーカが著しく破損しており、スピーカ、アンテナの被害がなかったことから、引込み電源線からの雷サージが原因であると推定される。電源線からの雷サージは電源部の基板だけでなく通信部基板にも至っており、本事例の被害金額は約 290 万円であった。</p>                  |

## Ⅲ．雷害対策の基本

### 1．雷害対策の必要性

公共施設は建物の高さが 20m に満たないものが多く、その場合は建築基準法上では避雷設備の設置義務がありません。しかし、このことは雷害リスクがないということを意味しているわけではありません。雷害は直撃雷によってのみ発生するわけではなく、誘導雷や逆流雷による雷サージによっても発生します。一般的には、建物や設備の 2km 以内に落雷があると雷サージによって、何らかの影響を受ける可能性があると言われています。

パソコンなどの情報機器や構内交換機（PBX）はもちろんのこと、近年は自動火災報知器や非常放送設備などの防災機器もデジタル化が進むことによって、機器の耐圧が低くなり、雷サージの被害を受けやすくなってきています。このような状況にあって、公共施設における雷サージ対策の必要性は年々高まってきています。

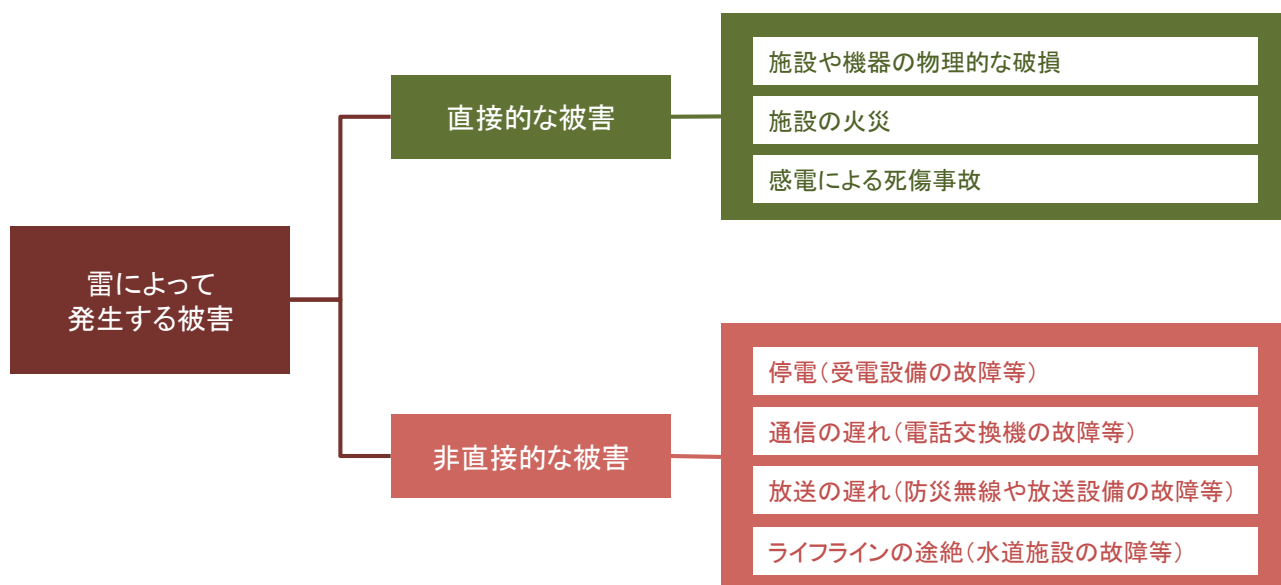
しかしながら、単価が安い電気・電子機器の破損・損傷については、「壊れたら交換すればよい」という安易な考え方に陥りやすく、雷害対策が講じられていないケースが少なくありません。たとえ利用頻度が少ない機器であっても、その機器を「使用しなければならない時に使用できない」という機会損失は、物理的な破損による経済損失よりも重大なリスクです。台風や地震発生などの非常事態において、雷害により防災行政無線設備、情報通信機器、給水設備などが使用できなくなれば、住民の安全・安心に対する深刻な脅威になり得ます。特に、指定避難所になっている学校やコミュニティセンターなどの公共施設においては、このようなリスク（専門的には可用性の低下・喪失リスクという）を十分に考慮して、事前に雷害対策を講じることが求められます。

本章ではまず、雷害対策の基本的な考え方と手法について説明します。

## 2. 雷によって発生する被害

雷によって発生する被害には、主に施設や人に直接落雷することによる施設の物理的破損、火災、感電による死傷事故などの直接的な被害と、施設や施設近傍への落雷によって発生した雷サージによる電気設備の絶縁破壊や故障の非直接的な被害があります。

### ■3-1 雷害の種類



### 1) 直接的な被害

直接的な被害は、施設のコンクリート外壁の破損や、危険物や可燃性ガスへの引火、雷の大電流によって発生する火災事故（森林火災）などがあります。また、感電による死傷事故などもあるため、被害が非常に甚大なケースが多いといえます。



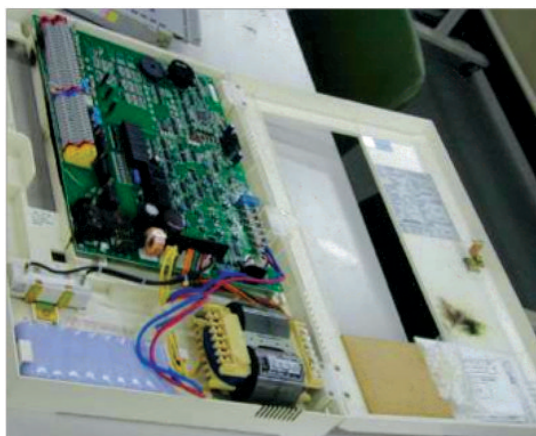
コンクリート外壁破損



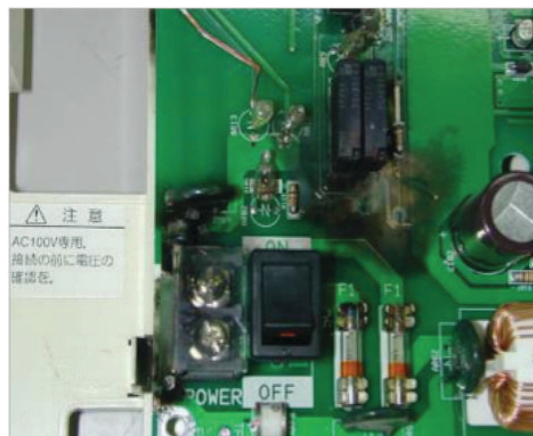
樹木への落雷

## 2) 非直接的な被害

非直接的な被害は、施設や施設近傍に落雷することで、周囲の磁界が変動し、その周囲に配線されている電源線及び通信／信号線に雷サージ（雷によって生じた過電圧）が侵入する誘導雷と建物や大地などへの直击雷により付近の地電位上昇が起これ、雷サージが接地（アース）から逆流して電源線及び通信／信号線に侵入する逆流雷が要因となります。この雷サージによって、施設内の電気・電子通信機器の絶縁破壊や故障が発生します。



自火報設備の破損



基板の破損

### 3．雷害対策の基本的な考え方

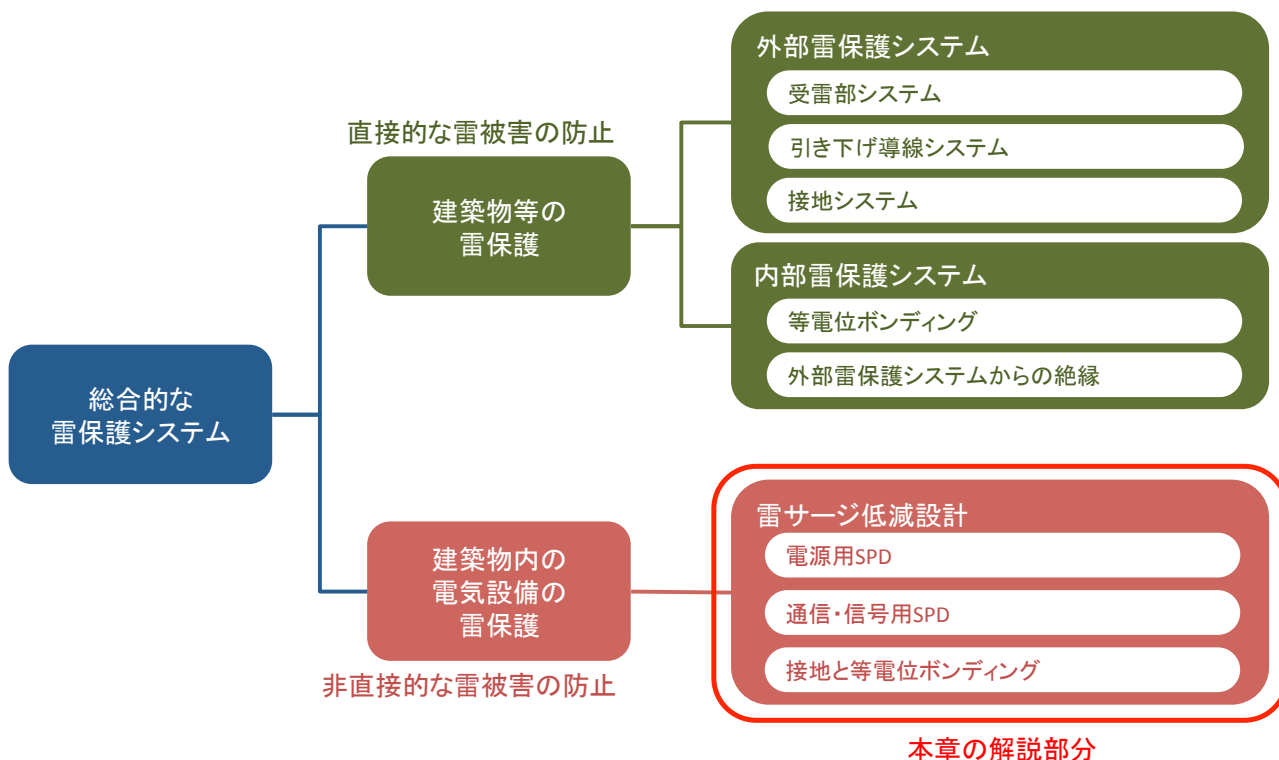
直接的／非直接的な雷による被害に対して、「雷保護システム」という基本的な考え方に基づいて対策を検討・実施することが、国際的な主流になっています。公共施設の雷害対策を検討するためには、まず雷保護システムの基本を理解することが大切です。

#### 1) 総合的な雷保護システム

効果的な雷害対策のためには、「総合的な雷保護システム」を構築する必要があります。総合的な雷保護システムとは、雷の直撃雷から建築物等への直接的な被害から保護する「建築物等の雷保護」と、非直接的な被害から保護する「建築物内の電気設備の雷保護」で構成されます。

施設に合った「建築物等の雷保護」と「建築物内の電気設備の雷保護」を構築することで、雷により発生する被害は低減されます。本章では、「Ⅱ．雷害リスクの実態」で述べたように『雷被害のほとんど（全体の99%）は、直接的な落雷によるものではなく、誘導雷や逆流雷といった非直撃雷によるものである』との実態を踏まえ、建築物内の電気設備の雷保護にスポットを当てて解説します。

#### ■3-2 総合的な雷保護システムの体系





## 4. 雷保護システムの概要

公共施設の雷害対策を行う上で、「総合的な雷保護システム」に則って対策を実施することが望ましいのは言うまでもありません。しかしながら、対策が講じられていない既存の施設や、対策費用が限られている場合には、そのすべてを実施することが困難であることも多いと思います。

前述の通り、雷による被害は非直接的な被害（例：自火報、放送設備、電話交換機など）が主に報告されています。ここでは、その非直接的な雷被害の発生メカニズムとその対策について、概要を説明します。

### 1) 非直接的な雷被害の発生メカニズム

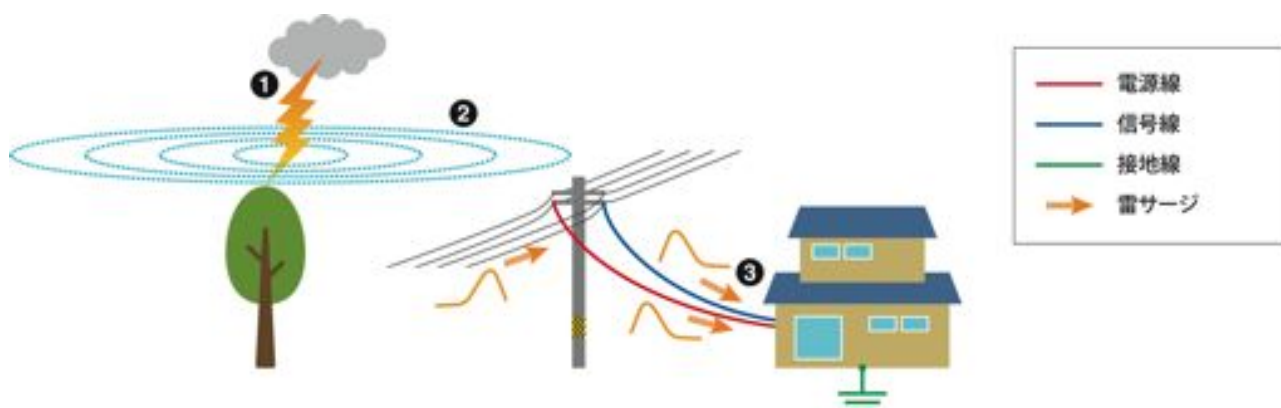
雷による非直接的な被害によって、自火報設備、放送設備、インターホン設備、TV等の多種多様な電気／電子機器が被害を受けています。非直接的な雷被害の発生メカニズムには、a)誘導雷による発生メカニズム と b)逆流雷による発生メカニズムの2通りがあり、各々にて対策を講じる必要があります。

まず、a)誘導雷による雷被害の発生メカニズムについて記述します。

被害発生の主な原因として、施設や施設近傍に落雷することで、周囲の磁界が変動し、変動した磁界の周囲に、電源線及び通信/信号線などがあると、その配線に雷サージが侵入します。

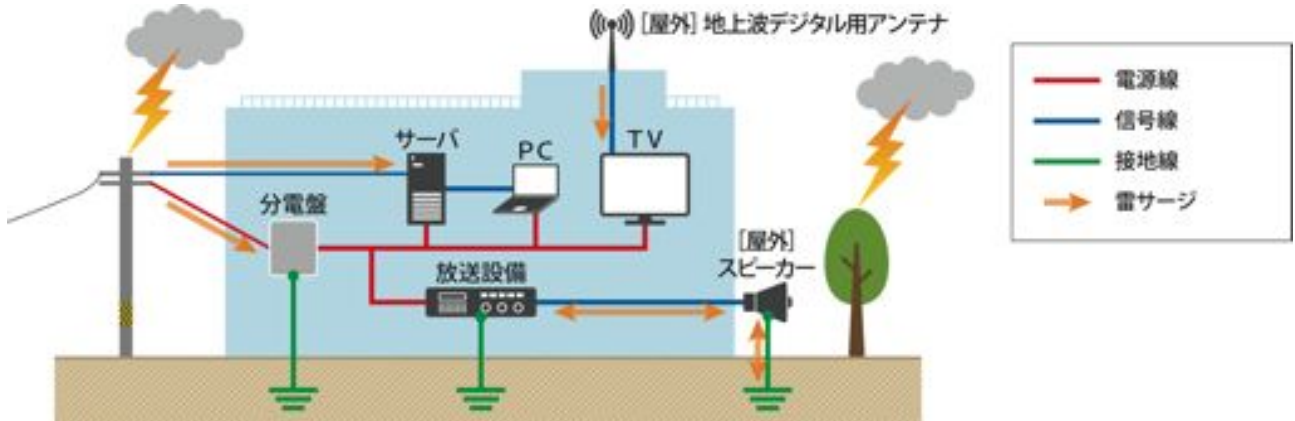
- ①建築物の近傍（樹木）に落雷する
- ②落雷することで周辺の磁界が変動する
- ③変動した磁界の周囲にある電源線及び通信信号線に雷サージが侵入する

#### ■3-3 雷被害の発生メカニズム（1）



建築物内へ配線されている電源線や通信/信号線配線を通じて、雷サージは建物内へ侵入します。侵入した雷サージによって、電気・電子通信機器（自火報設備、電話交換機、放送設備）は、絶縁破壊や故障を引き起こします。これらの電気・電子通信機器の故障は、深刻な問題であり、対策を講じる必要があります。

#### ■3-4 雷被害の発生メカニズム（2）

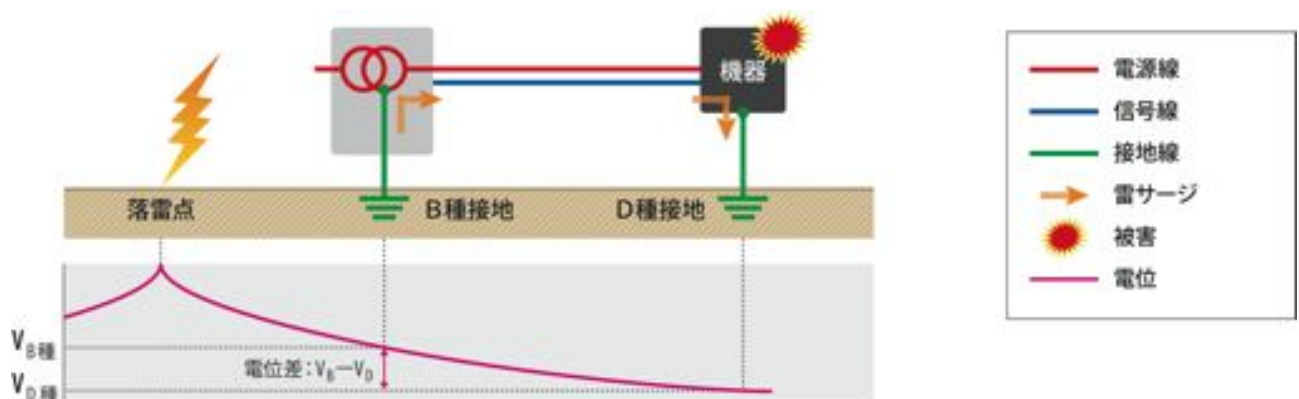


次に、b) 逆流雷による発生メカニズムについて記述します。

建築物には、各種様々な接地極が存在しており、これらは単独で異なった接地極を有する物件が多いのですが、雷保護の観点からは、一点接地が望まれます。■3-5 の様に、B 種接地極と D 種接地極が個別で設置されている場合があると、接地線から雷サージが侵入します。

- ① 周辺（樹木）に落雷し、雷のエネルギーは大地に放流されます。
- ② 大地に放流された雷のエネルギーは、落雷地点を中心に大地電位に傾きが生じます。
- ③ B 種接地極と D 種接地極が別々に設置されている場合、各接地間に生じた電位差によって生じた電流が接地（アース）から逆流して、電源線、通信/信号線に侵入し、機器が破損します。

#### ■3-5 接地極の接続による等電位化がされていない場合の機器の被害



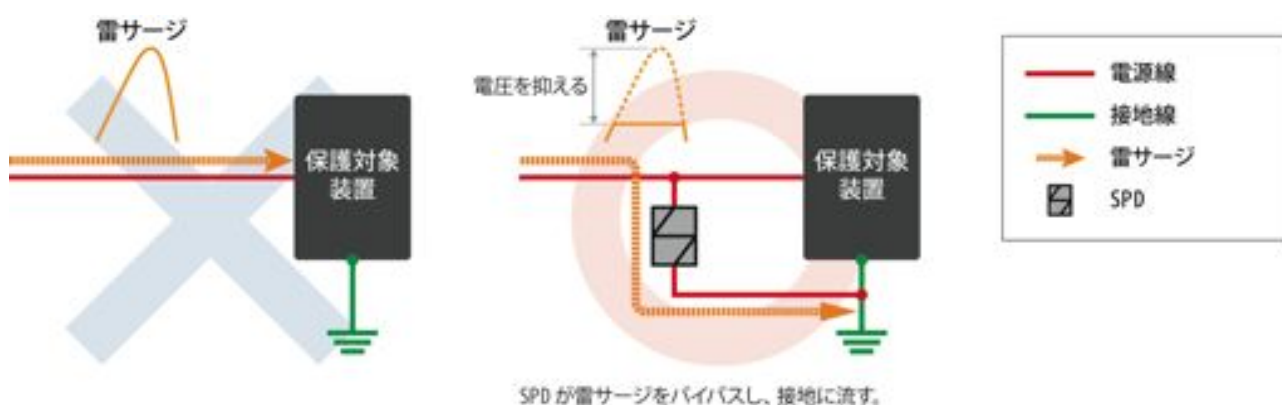
## 2) 非直接的な雷被害の保護対策手法

a) 誘導雷による雷被害の発生メカニズムの事象に対しては、一般的に雷サージから電気/電子機器などを保護するためには、SPD\*を使用することが効果的です。SPD を雷サージの侵入経路として想定される電源線や通信/信号線に設置することで、電気/電子機器を保護できます。

■3-6 の左図の場合、電源線から侵入した雷のエネルギーによって、機器が破損/故障します。

一方、右図の様に機器に対して SPD を分岐する様に設置します。SPD を設置することで、電源線に侵入した雷のエネルギーは SPD を介して接地に流れ、機器を保護することができます。

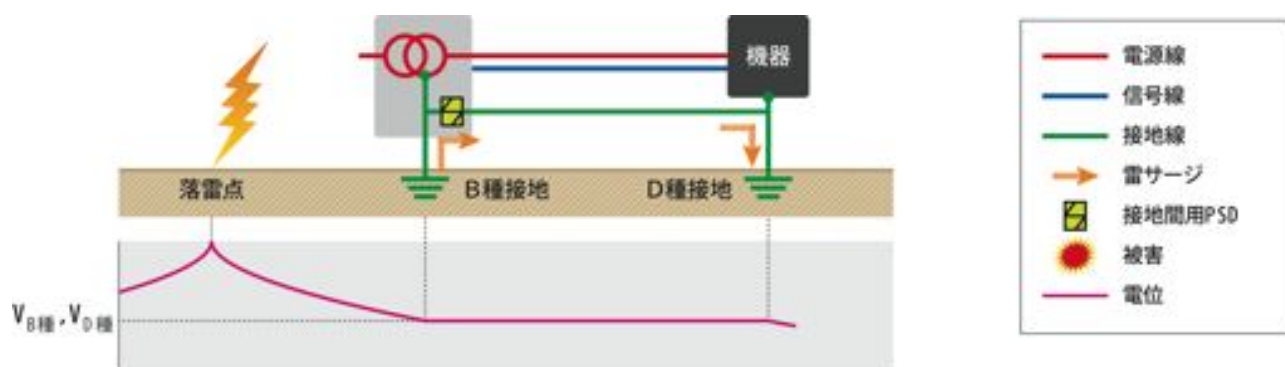
### ■3-6 SPD を設置していない場合と設置している場合の比較イメージ



b) 逆流雷による雷被害の発生メカニズムの事象に対しては、前述で述べた SPD 設置の対策と接地極を接続して、電位差を等電位にする等電位ボンディングが有効であります。しかし、接地極間を直接ボンディングができない場合が多くあります。その場合は、接地極間に対して SPD を介して接続することで、等電位ボンディングが可能です。

SPD を介して接続することで、平常時は接地極間は切り離された状態になるため、個別接地極の機能を害することがなく、接地極間で電位差が生じた際にのみ SPD が動作し、接地極間が接続状態となります。

### ■3-7 接地極の接続による等電位化の対策例



\* SPD : サージ防護デバイス、別名 保安器、避雷器、サージプロテクター等とも言う

## IV. 雷害対策の実際

### 1. 雷害対策とは

#### 1) 雷被害の実態

雷被害の実態については、Ⅲ章でも述べましたが、ここではより詳細に雷による被害とその要因について解説します。

##### ①避雷針や建物・配電線などへの直撃雷による被害

→避雷針や建物に直接的な被害を及ぼすなど雷サージのエネルギーが大きく、装置等の被害においても外観的に見てわかるような損傷が発生するケースが多くなっています。ただし、施設への直撃雷や近傍への落雷による被害は雷害全体としてはあまり多くありません。

##### ②電柱に張り巡らされている通信ケーブルや電源ケーブルなどの近くに落雷し、そのケーブルに雷サージが誘導される（誘導雷）ことで、ケーブルを伝わって雷サージが装置等に侵入して故障する被害

→直撃雷等と比べ雷サージのエネルギーはそれほど大きくないため、被害としても外観的に見てわかるような被害は少なくなっています。被害箇所としては装置内部に搭載されている部品や基板の損傷が発生するケースが多く、結果として装置機能を損なう故障となっています。

##### ③大地への直接的な落雷や建物等に落雷したときに大地へ雷サージが流れることで、落雷地点付近の地電位が上昇する。そのため落雷地点に近い接地線から雷サージが侵入（逆流雷）し通信ケーブルや電源ケーブルに流れ込み、各ケーブルを伝わって装置等に侵入して故障する被害

→②と同様に直撃雷等と比べ雷サージのエネルギーはそれほど大きくないため、被害としても外観的に見てわかるような被害は少なくなっています。被害箇所としては、装置内部に搭載されている部品や基板の損傷が発生するケースが多く、結果として装置機能を損なう故障となっています。

②誘導雷や③逆流雷のような対象設備や配線近傍への落雷により生じる雷サージの影響は、①直撃雷による被害に比べ損害自体は小さいものの、発生頻度ははるかに高く、一般に落雷点から 2km 以内において電気設備に何らかの影響を生じる可能性があると言われています。

影響の度合いは、雷サージ電流の大きさや落雷点からの距離により異なりますが、仮に周囲 2km に落雷が発生し機器が被害を受けると想定すると、②誘導雷、③逆流雷の雷サージによる被害の発生頻度は、①直撃雷に対して約 2,000 倍になります。

そこで、機器の保護を考えた場合、誘導雷、逆流雷（非直撃雷）への対策としてSPDを設置することが重要な作業になります。

直撃雷対策については、設備や建物の重要度に応じて、対策の有無や対策方法を検討する必要があります。

## 2) 雷害対策のポイント

### ①雷サージはどこから侵入するのか

雷サージは装置に接続されているメタルケーブル（電源線、通信線、アース線等）から侵入します。

また装置が金属管体である場合は、装置の固定部が何らかの形（金属製の金具やネジで建物の鉄筋部分に固定されている等）で接地されている場合は、その接地部分からも雷サージが侵入することがあります。

効果的な雷害対策を行うには、装置にどのような配線が接続されているのか、装置がどのように固定されているのか等を確認し、雷サージが侵入する可能性があるすべての部分に SPD を設置することが重要なポイントとなります。

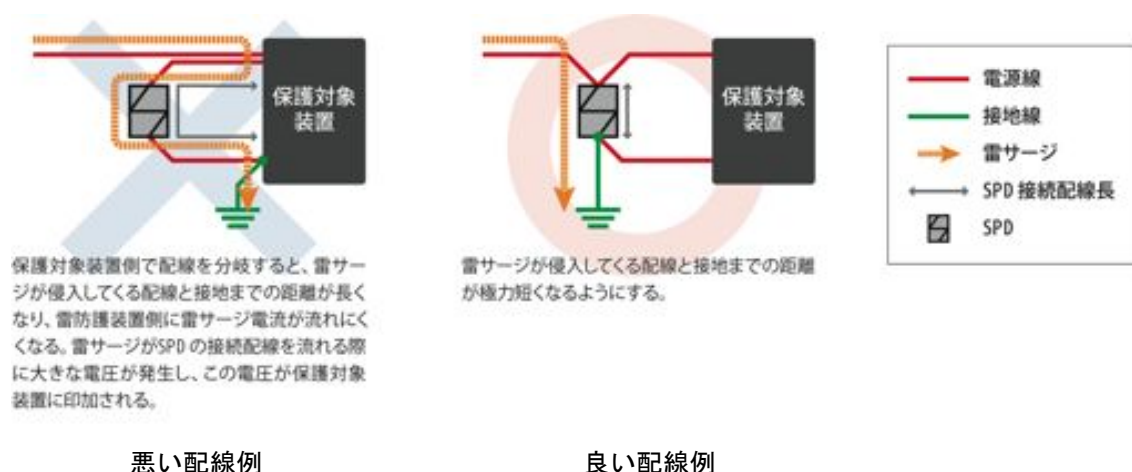
### ②SPD の配線方法について

SPD は保護対象装置に対して雷サージをバイパスさせるルートを作成します。設置するにあたり効果的に保護性能を活かすため以下の点に注意する必要があります。

#### ポイント 1

屋外から引き込まれる配線と接地線が最短になるように SPD を接続することで配線の抵抗成分による影響を減少させることができ、SPD 側に雷サージが流れやすくなる。

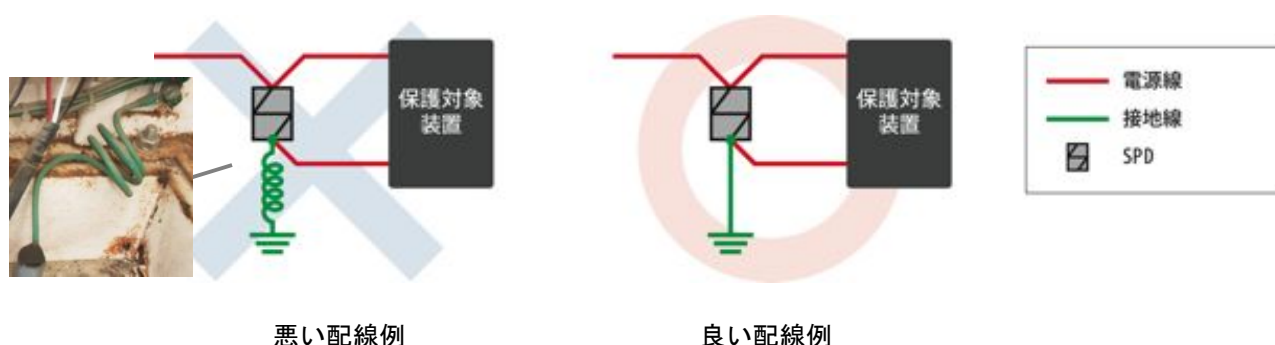
#### ■4-1-1 SPD の配線方法の比較（その 1）



#### ポイント 2

SPD から接地までの配線は極力短くする。アース線はコイルのように巻かないこと。コイルのようにアース線を巻いてしまうと、雷サージに対して配線の抵抗成分が大きくなり雷サージ電流が接地側に流れにくくなってしまう。

#### ■4-1-2 SPD の配線方法の比較（その 2）





## 2. 雷害実例と対策

### 1) 学校施設の雷害対策

学校施設における雷害対策は、以下の二つに分けることができます。対策の選択にあたっては、当該地域の雷害リスクを考慮して十分に検討することが重要になります。

#### ①直撃雷対策(外部雷保護システム)

通常は建築基準法に定められた避雷設備を設置しますが、法令では避雷設備の設置が求められない場合でも必要に応じて外部雷保護システムの設置を検討することが望まれます。

#### ②雷害対策（雷サージ保護システム）

##### a. SPDによる対策

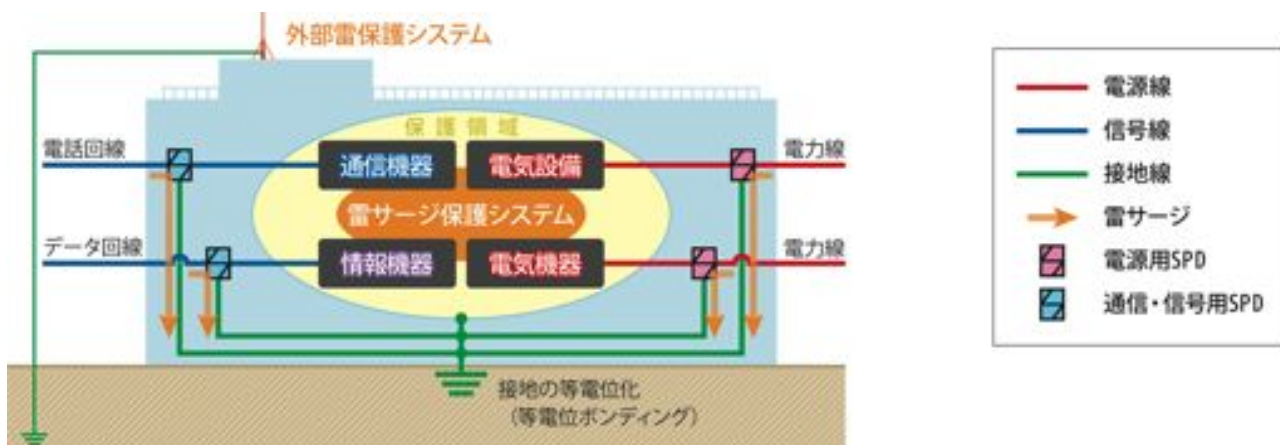
誘導雷等による雷サージから、電気設備・電気機器・電子機器等を保護するためには、サージ防護デバイスを使用することが効果的です。

学校施設は様々な装置が使用されていることから、どのようなサージ防護デバイスをどこに設置するかについては保護すべき機器の重要度・資産価値・緊急性、および当該地域の落雷頻度（雷撃密度）などを考慮した雷害リスク評価を行った上で判断することが望まれます。

##### b. 接地の等電位化（等電位ボンディング）

サージ防護デバイスに十分な効果を発揮させるためには、建物の接地が等電位化されていることが望まれます。直撃雷対策を行わない場合でも、等電位ボンディングだけを行うことは雷サージ対策の観点から大きな意味があります。

#### ■4-2 雷害対策モデル概念図



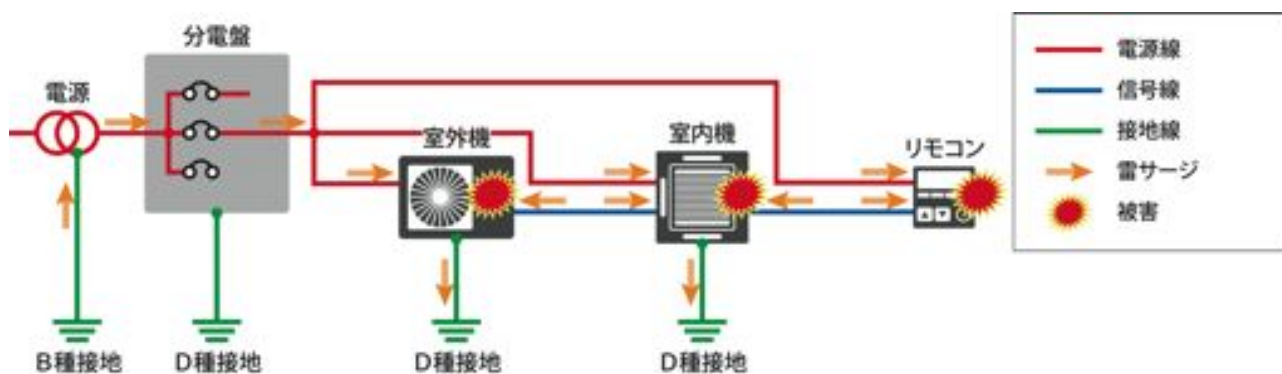
### ③学校施設での雷害対策例

#### a. 空調設備

##### ●被害要因

- ・ 空調設備は、室外機や室内機が広範囲に設置されているため、落雷による誘導や大地電位差の影響を受けやすいシステム構成となっています。
- ・ 電源線の系統接地（B種）と保安用接地（D種）が別々に接地されているケースがあり、このケースでは電源線と接地間で電位差が生じやすくなります。
- ・ 電源線・信号線・接地線のいずれからも雷サージが侵入する可能性がありますが、被害事例ではノイズフィルターやインバータ基板の被災が多くみられることから電源系から雷サージが侵入するケースが多いと推定されます。

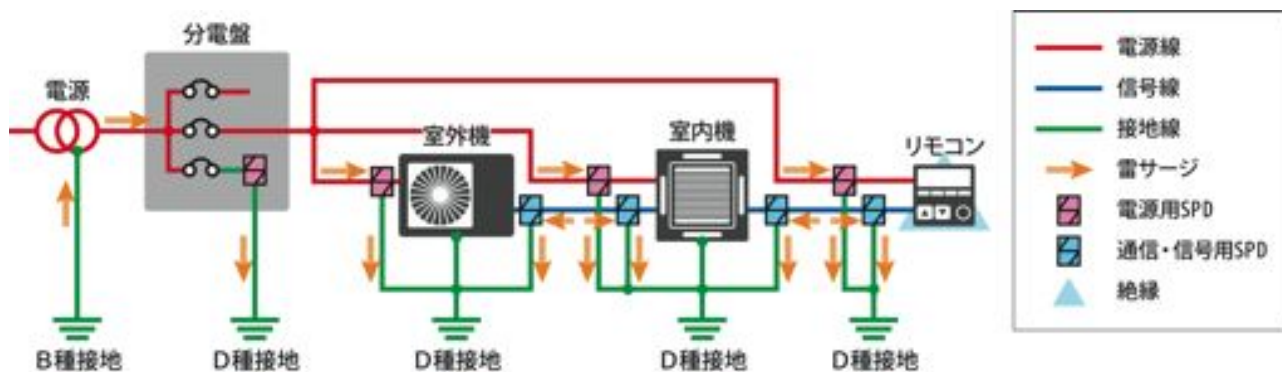
##### ■4-3-1 被害要因の推定



##### ●雷害対策例

- ・ 被害要因より、対策としては電源線と信号線にそれぞれ SPD を設置し、各配線から侵入する雷サージを防止することが必要です。

##### ■4-3-2 空調設備の対策例

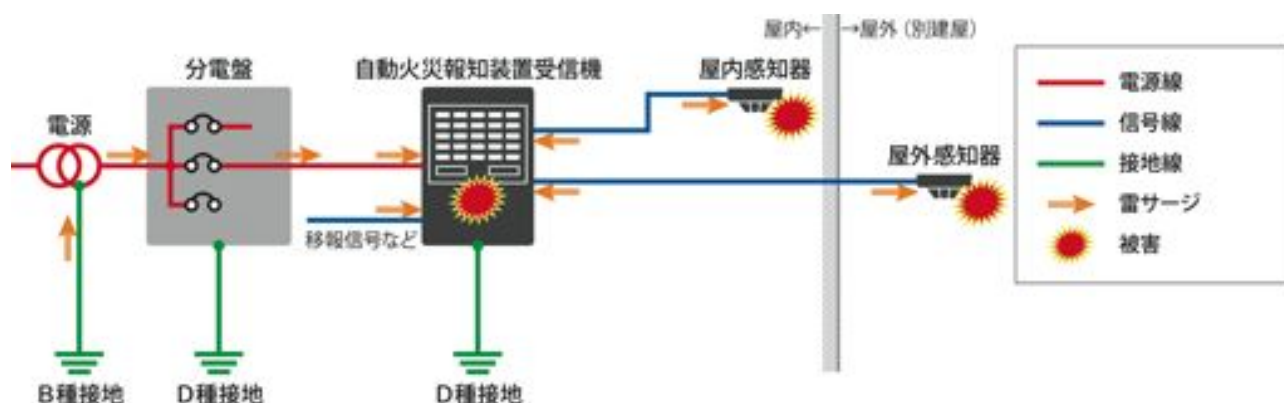


## b. 自動火災報知機設備

## ●被害要因

- ・ 自火報設備は、主装置である受信機から敷地内の広範囲にわたって感知器等が設置されているため、受信機から信号線や電源線など色々な配線が多数接続されていることから、落雷による誘導や大地電位差の影響を受けやすいシステム構成となっています。
- ・ 電源線の系統接地（B種）と保安用接地（D種）が別々に接地されているケースがあり、このケースでは電源線と接地間で電位差が生じやすくなります。
- ・ 被災部位の事例としては、受信機の基板内部まで及んでいるケースが多いこと、また多数の配線が接続されていることから、雷サージの侵入経路を特定することは困難です。

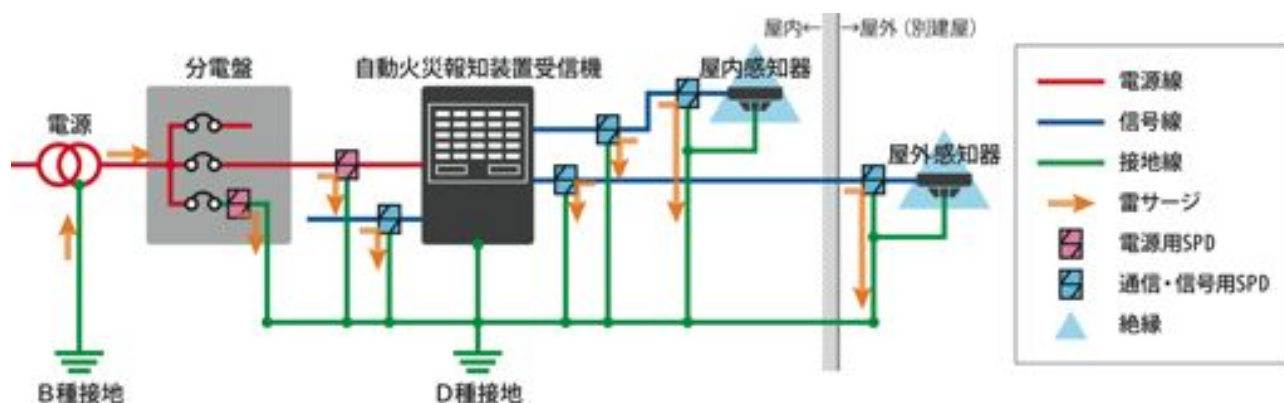
## ■4-4-1 被害要因の推定



## ●雷害対策例

- ・ 被害要因より、対策としては電源線と信号線にそれぞれ SPD を設置し、各配線から侵入する雷サージを防止することが必要となります。

## ■4-4-2 自動火災報知機設備の対策例

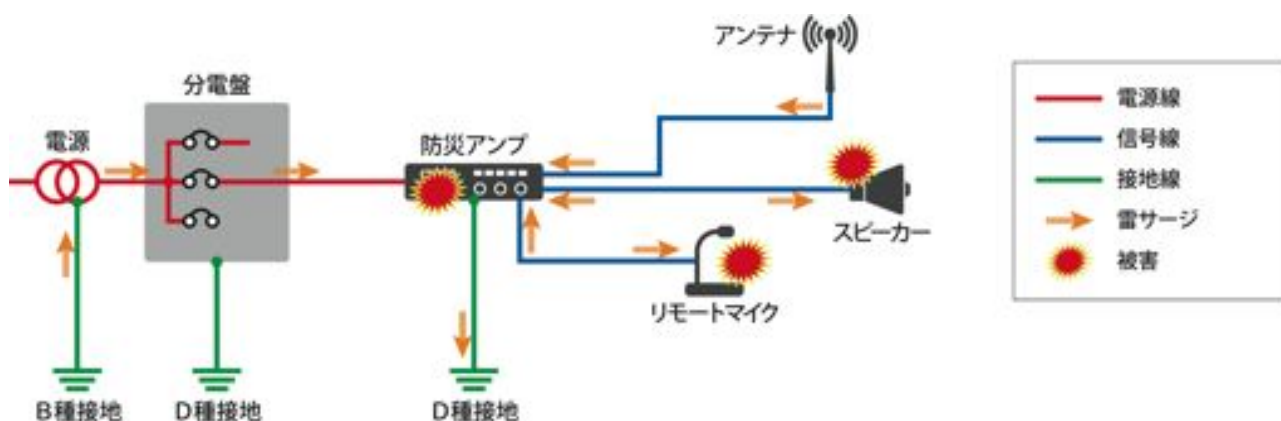


## c. 非常放送設備

## ●被害要因

- ・非常放送設備は、主装置である防災アンプから敷地内の広範囲にわたりスピーカ、アンテナ、リモートマイク等の通信・信号線が配線されていることから、落雷による電磁誘導や大地電位差の影響を受けやすいシステム構成となっています。
- ・電源線の系統接地（B種）と保安用接地（D種）が別々に接地されているケースがあり、このケースでは電源線と接地間で電位差が生じやすくなります。
- ・電源線・信号線・接地線のいずれからも雷サージが侵入する可能性がありますが、被害事例では信号系の被災が多くみられることから信号系から雷サージが侵入するケースが多いと推定されます。

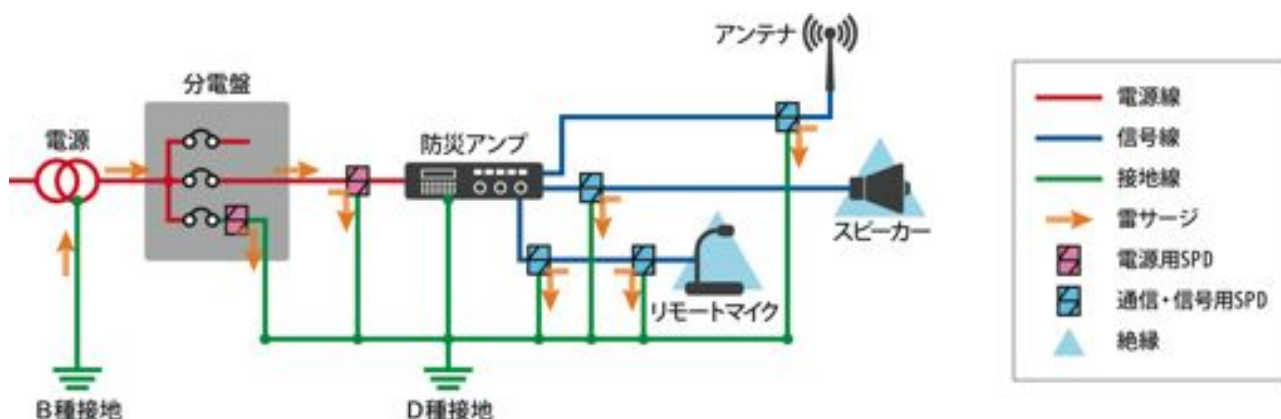
## ■4-5-1 被害要因の推定



## ●雷害対策例

- ・被害要因より、対策としては電源線と信号線にそれぞれ SPD を設置し、各配線から侵入する雷サージを防止することが必要です。

## ■4-5-2 非常放送設備の対策例



## 2) 防災無線子局の雷害実例と対策

### ①被害状況

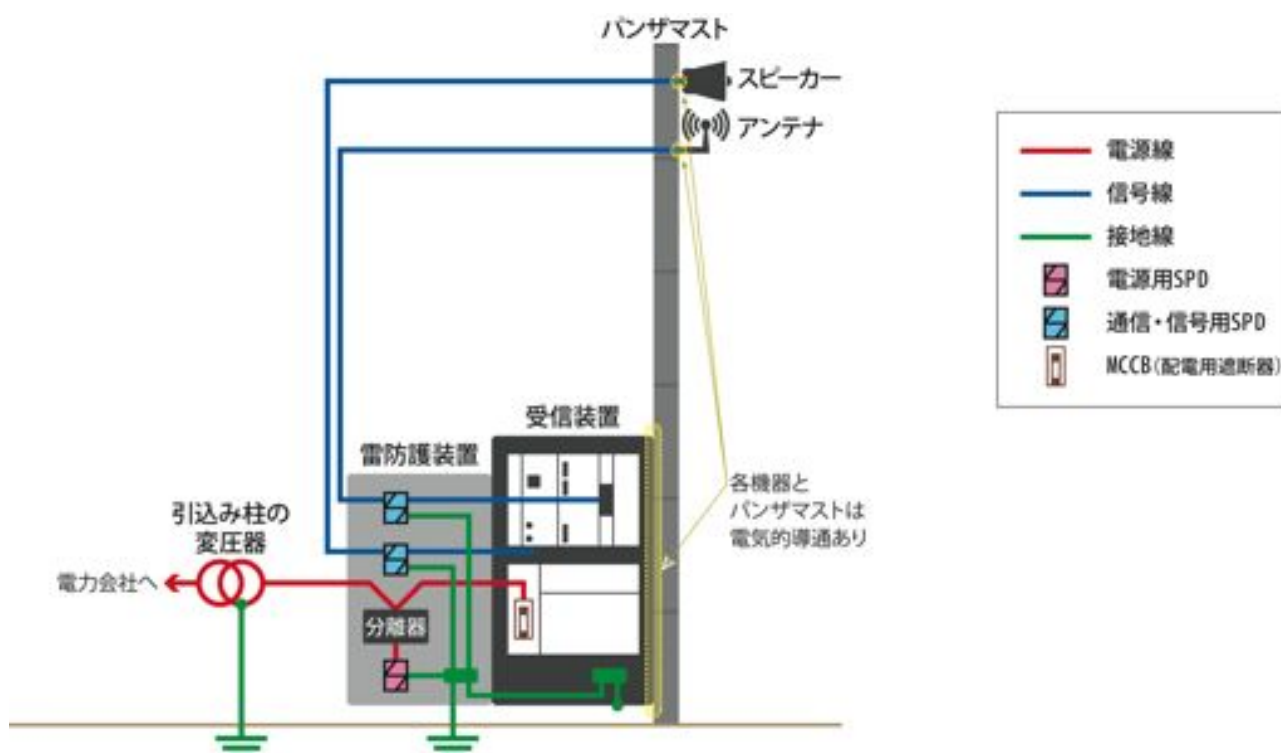
近隣で落雷が発生した際に、装置に接続されているメタル配線（電源線、アンテナ線、スピーカ配線、接地線）や筐体の固定部分から雷サージが侵入したため、防災無線子局に搭載されている基板やブレーカが破損し、無線放送ができなくなった例が見られます。

### ②雷害対策事例

対策としては、雷サージ侵入が想定される各メタル配線部分に適切なSPDを設置します。

また、筐体の固定部分からの雷サージ侵入に対しては、SPDの接地部分と筐体を接続することでサージ防護デバイスによる保護が可能な状態になります。以下に対策方法の概要を示します。

#### ■4-6 防災無線子局 雷対策例



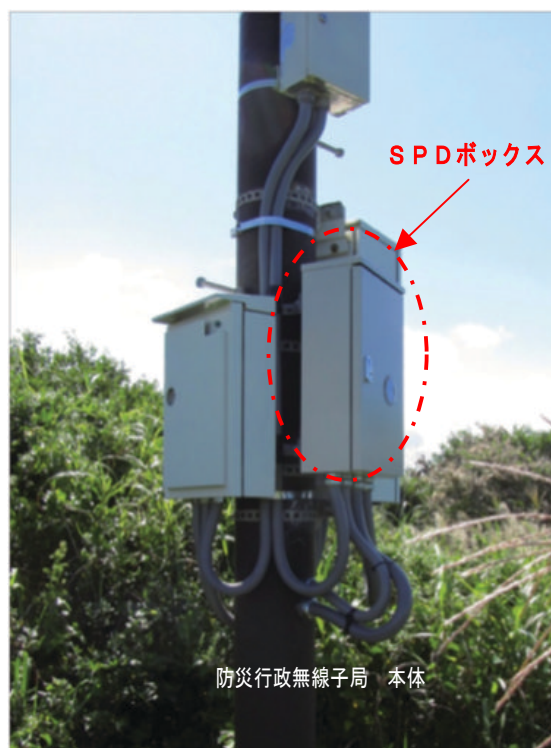


### ③サージ防護デバイスの設置状態

防災無線子局に対するサージ防護デバイスの設置例を示します。



防災行政無線子局用 SPD ボックス外観



防災行政無線子局への設置状態



防災行政無線子局への設置例（設備全体）

## ④防災行政無線子局の雷保護への取組

防災行政無線子局に対する雷被害の実態及び効果的な対策については、全国市有物件災害共済会から雷害対策ガイドブックが発行されており、実地検証により雷保護効果が確認された対策方法及び SPD の仕様等について記載されています。



公益社団法人 全国市有物件災害共済会

雷害対策ガイドブック

| 防災無線子局の雷害対策     |                |                                 |
|-----------------|----------------|---------------------------------|
| 表 5. 雷害防護装置の推奨値 |                |                                 |
| 項 目             | 仕 様            |                                 |
| 電源用 SPD         | クラス            | II                              |
|                 | 最大連続使用電圧 (Uc)  | 1 φ 2W 275V AC                  |
|                 | 電圧防護レベル (UP)   | L-N 1.5kV 以下                    |
|                 |                | N-PE 1.2 k V 以下                 |
|                 | 公称放電電流 (In)    | 20kA (8/20 μ s) × 15 回以上        |
|                 | 最大放電電流 (Imax)  | 40kA (8/20 μ s)                 |
|                 | 接続電線サイズ        | 5.5 mm 2 ~ 35 mm 2              |
| 電源用 SPD 分離器     | 備 考            | 故障表示機能：有り                       |
|                 | 定格電流           | 30A 以下                          |
|                 | サージ電流耐量        | 20kA (8/20 μ s) × 15 回以上        |
|                 | 遮断容量           | 10kA 以上                         |
| 無線アンテナ用 SPD     | カテゴリ           | C2 及び D1                        |
|                 | 電圧防護レベル (UP)   | 1.2kV 以下                        |
|                 | インパルス電流 (Iimp) | 2.5kA (10/350 μ s) × 2 回以上      |
|                 | 公称放電電流 (In)    | 20kA (8/20 μ s) × 10 回以上        |
|                 | 使用周波数帯域        | DC ~ 3GHz                       |
|                 | V.S.W.R        | 1.5 以下                          |
|                 | 挿入損失           | 0.5dB 以下                        |
|                 | 最大許容電力         | 100W                            |
|                 | 備 考            | コネクタ：N 型<br>(カップリングナットのスパナがけ構造) |
|                 | 消費電力           | 0W                              |
| スピーカ用 SPD       | カテゴリ           | C2 及び D1                        |
|                 | 電圧防護レベル (UP)   | 1.0kV 以下                        |
|                 | インパルス電流 (Iimp) | 1kA (10/350 μ s) × 2 回以上        |
|                 | 公称放電電流 (In)    | 10kA (8/20 μ s) × 10 回以上        |
|                 | 最大連続使用電圧 (Uc)  | 110V AC                         |
|                 | 備 考            | 配線方式：ラインに対し並列接続<br>劣化表示機能：有り    |

### 3) 浄水施設の雷害事例と対策

#### ①被害状況

浄水場において、数回にわたり浄水場の機能停止につながるような雷害を受けています。

雷被害状況は以下のとおりです。

- ・ 電源引込部分の開閉器・接続器等の破損→電源供給が遮断された。
- ・ 制御電源システムの故障→発電機の自動始動機能が作動せず瞬時に発電機が動作しなかった。

そのため手動による起動で発電機を始動させることとなった。

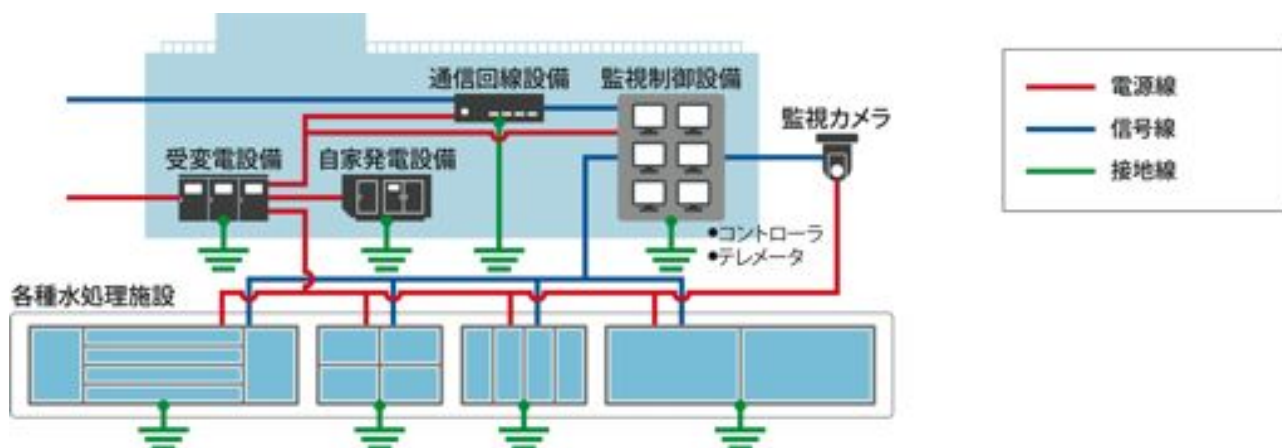
- ・ 施設内の各装置のコントローラ等の故障→故障により装置が使用不能状態となった。

上記の雷被害は近隣で落雷が確認されており、落雷直後に施設内でも被害が発生したものです。近隣での落雷により施設内へ雷サージが侵入したことが原因で被害が発生したものと推測されます。また被害状況より電源引込部分の被害が大きいことから電源線を通じて雷サージが侵入しているものと推定されます。

浄水場施設においては■4-7に示す通り、各種水処理設備（ろ過装置、ポンプ、その他設備）の状況を監視・コントロールしていることから、施設内には電源線や通信線が各設備に張り巡らされることになります。

そのため雷サージが電源線や通信回線の引込側または接地側から施設内に侵入した場合、施設内の設備を壊しながら様々な配線に雷サージが侵入してしまい落雷による被害が拡大するケースが多くなっています。

■4-7 浄水場に設置される装置等の概略配線図



## ②雷害対策方法

対策としては、雷サージ侵入が想定される各メタル配線部分に適切なSPDを設置します。

特に本施設では電源引込部分において、被災当時もSPDが設置されていましたが、雷サージにより破損していたことから、設置されていたものより雷サージ耐量が大いSPDを設置することが必要となります。

このようにSPDが設置されていたとしても、性能を大きく超える雷サージの侵入があるとサージ防護デバイスも破損します。雷対策を実施する上では該当施設の地域性（多雷地域であるか等）を考慮してSPDを選定する必要があります。

また、本施設においては施設内の各装置も被災していることから、装置に接続されている通信・信号線等についてもSPDを設置する必要があります。以下は本施設での雷害対策として推奨される例を示します。

### ■4-8 当該施設に対する雷害対策例

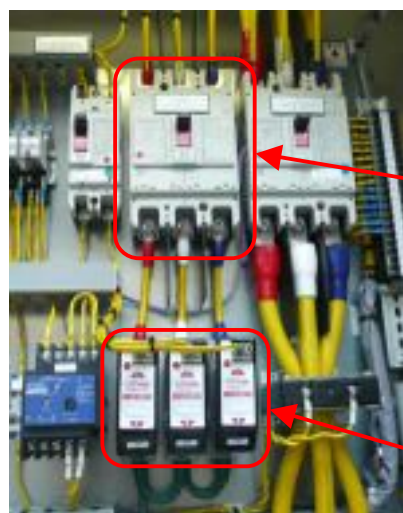
| 設備名           | 被災当時                                       | 推奨される雷害対策例                                            |
|---------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 電源引込部         | ・サージ耐量が低い SPD が設置されており破損した                 | ・既存設置の SPD より高耐量の SPD を設置する                           |
| 受電設備          | ・受電設備に SPD の設置なし                           | ・受電設備にキュービクル用 SPD を設置する                               |
| MDF<br>(主配電盤) | ・SPD 等の設置なし<br>・MDF 内の接地と接地端子盤が等電位化されていない。 | ・MDF に通信・信号用 SPD を設置<br>・MDF 内の接地と接地端子盤を直接接続して等電位化する。 |
| 接地システム        | ・接地端子盤内で各種接地が等電位化されていない。                   | ・接地端子盤内で各種接地間を接地間用 SPD にて接続し等電位化する。                   |
| 各装置           | ・各装置に対して配線されているメタル線に対する SPD の設置なし          | ・各装置の配線に適切な SPD を設置する                                 |

### 3. SPD の設置例

#### 1) 電源設備への設置例

分電盤内に SPD を設置する場合は、一般的には盤内にある主ブレーカの後段に SPD 及び SPD 回路を保護するための分離器（ブレーカまたはヒューズ等）を設置します。

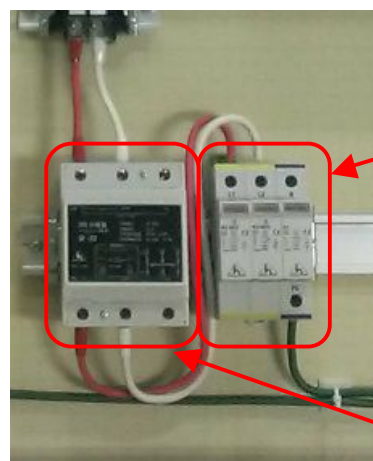
##### ■4-9 分電盤内への電源用 SPD 設置例



設置例 1

市販のブレーカ  
※SPD 回路の  
保護用に設置  
している

電源用 SPD



設置例 2

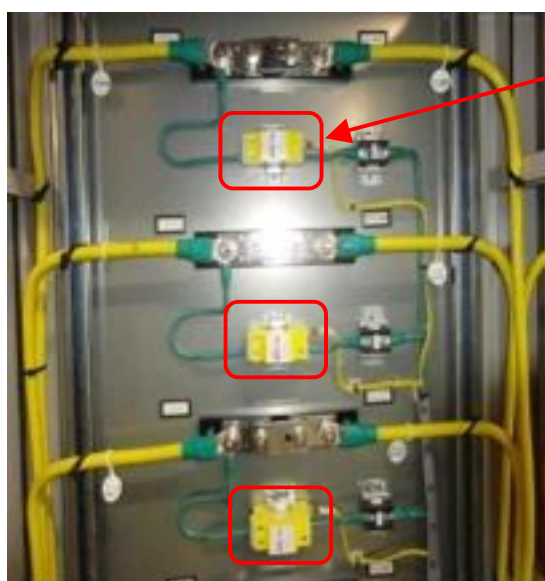
電源用 SPD

SPD 用分離器  
※SPD 回路の  
保護専用製品  
SPD のサージ耐量  
を考慮したヒューズ  
が内蔵されている

#### 2) 異種接地間への設置例

異種接地間を等電位化する場合は、接地盤内にある各種接地を接地間用 SPD で連結します。

##### ■4-10 異種接地間への接地間用 SPD 設置例



接地間用 SPD



### 3) 通信設備への設置例

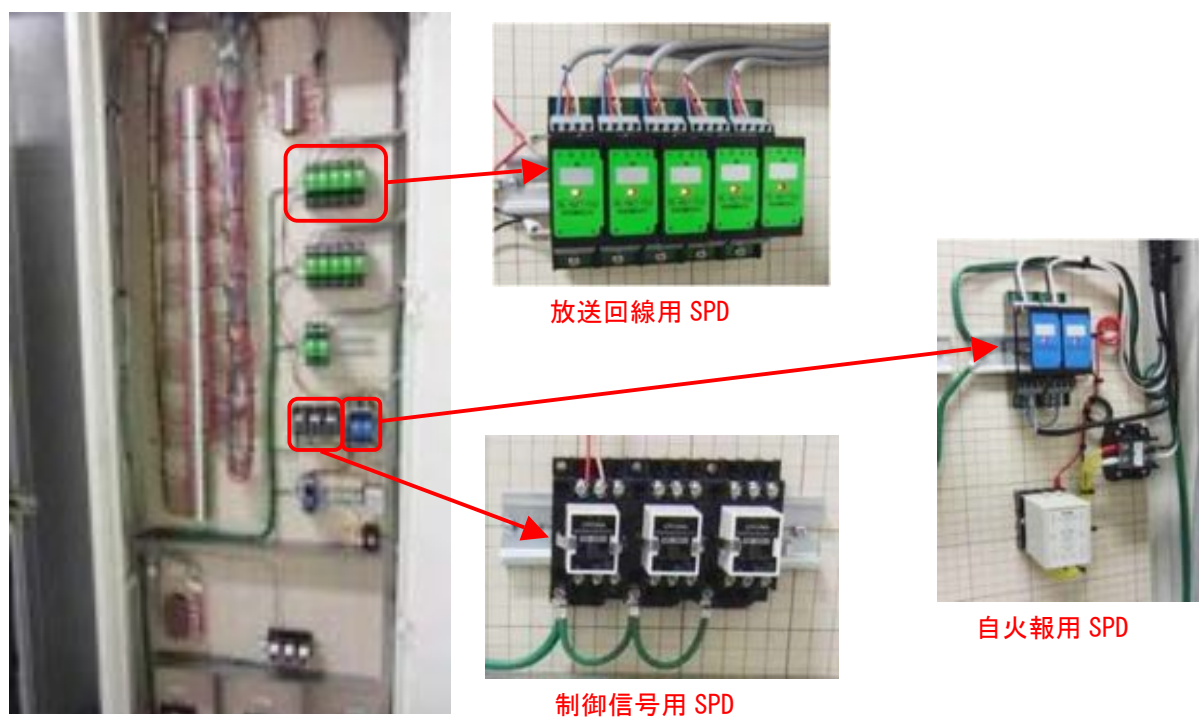
MDF（主配電盤）内に SPD を設置することで、通信線の外線/内線からの雷サージ侵入を抑制する効果があります。

■4-11 MDF 盤への通信・信号用 SPD 設置例



EPS 盤（弱電用端子盤）内にある各種通信／信号線（放送回線、制御信号、自火報装置等）に対して SPD を設置することで、各装置への雷サージ侵入を抑制する効果があります。

■4-12 EPS 盤への通信・信号用 SPD 設置例





## 公共施設のための雷害対策ガイドブック

発 行 公益社団法人 全国市有物件災害共済会  
発行年月 平成 27 年 1 月  
技術協力 雷害リスク低減コンソーシアム