

太陽光発電設備の雷対策 — 初級編 —

一般社団法人日本PVプランナー協会様 2025年6月24日 16:00～17:30

ご説明内容

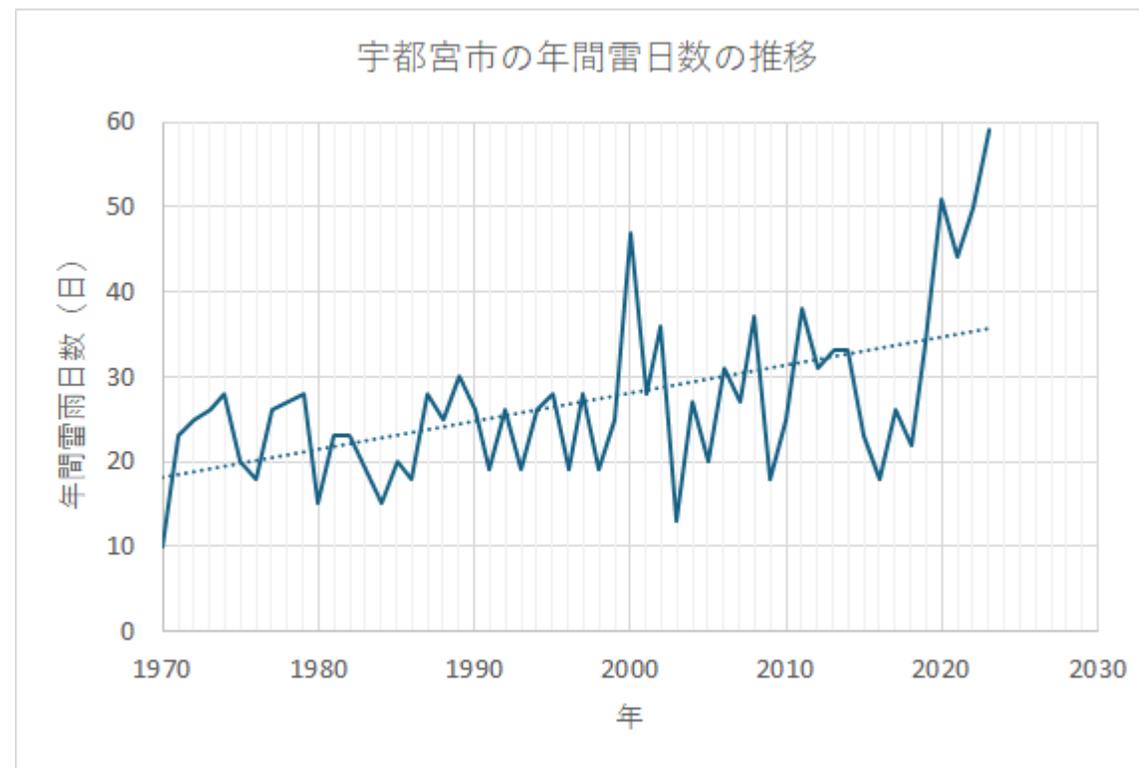
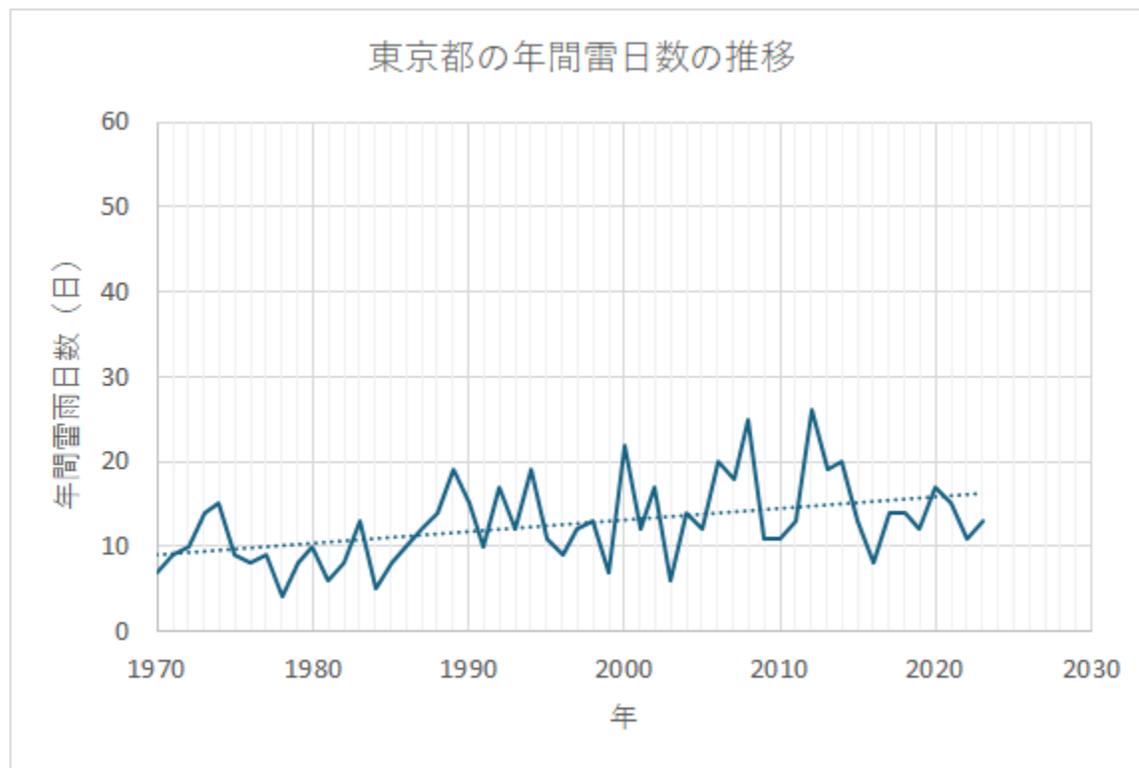
- 1 地球温暖化現象による雷の増加
- 2 雷現象と雷被害
- 3 SPDによる雷対策の基本
- 4 雷保護/対策に関する規格/規定
- 5 太陽光発電設備の雷被害と雷害リスクの計算
- 6 次回「太陽光発電設備の雷対策 - 実践編 -」予告

地球温暖化現象による雷の増加

地球温暖化現象による雷の増加

年間雷雨日数

年間雷雨日数（1年間で雷鳴を確認した日数，気象庁）は、この50年で約2倍に増えています。宇都宮市では近年、雷雨日数が急激に増えており、2023年に、59日も観測されました。東京でも雷雨日数は右肩上がりの傾向を示しています。



地球温暖化現象による雷の増加

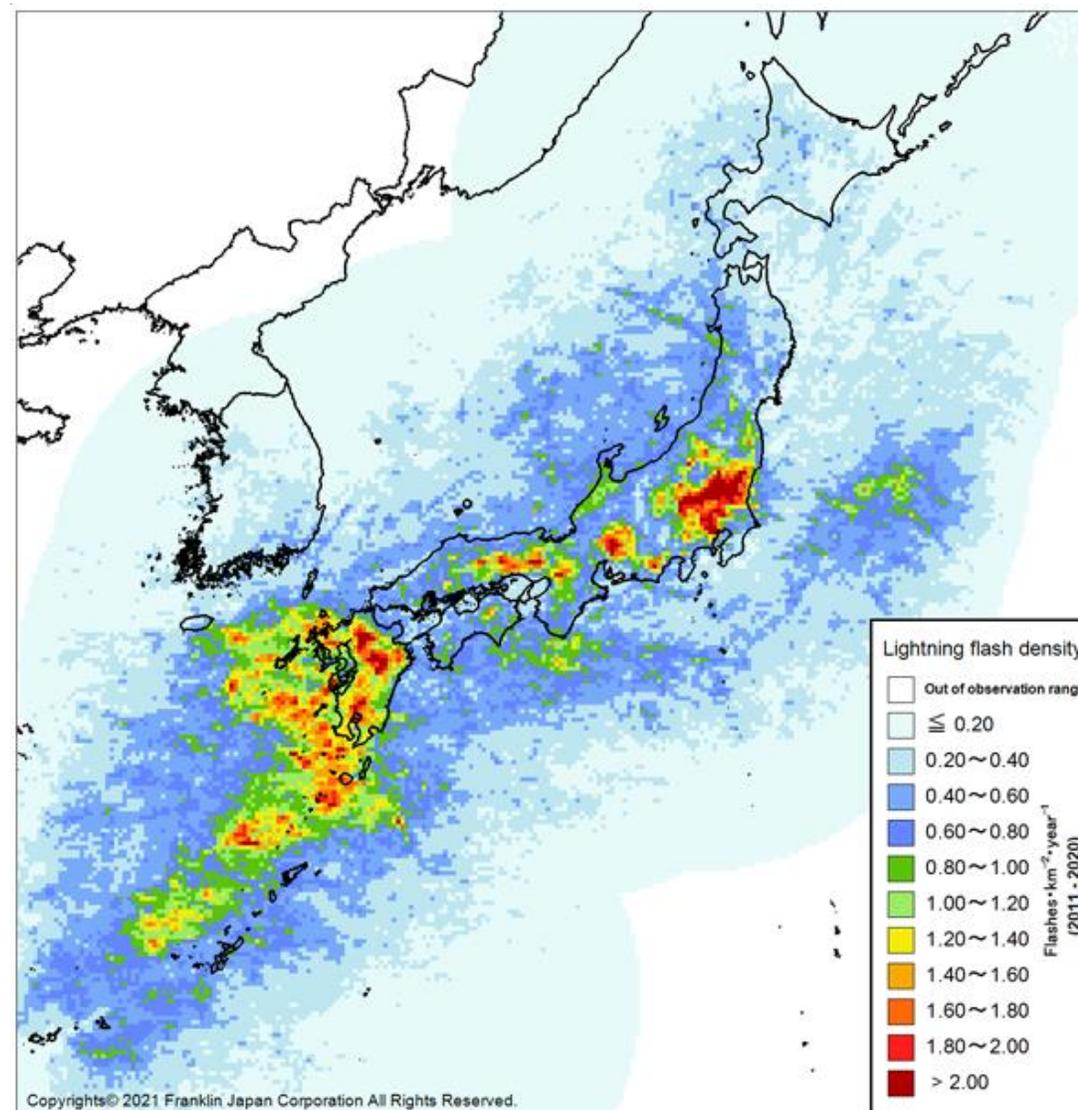
年間落雷数のマップ

(株)フランクリン・ジャパンのホームページより)

年間落雷密度 N_G

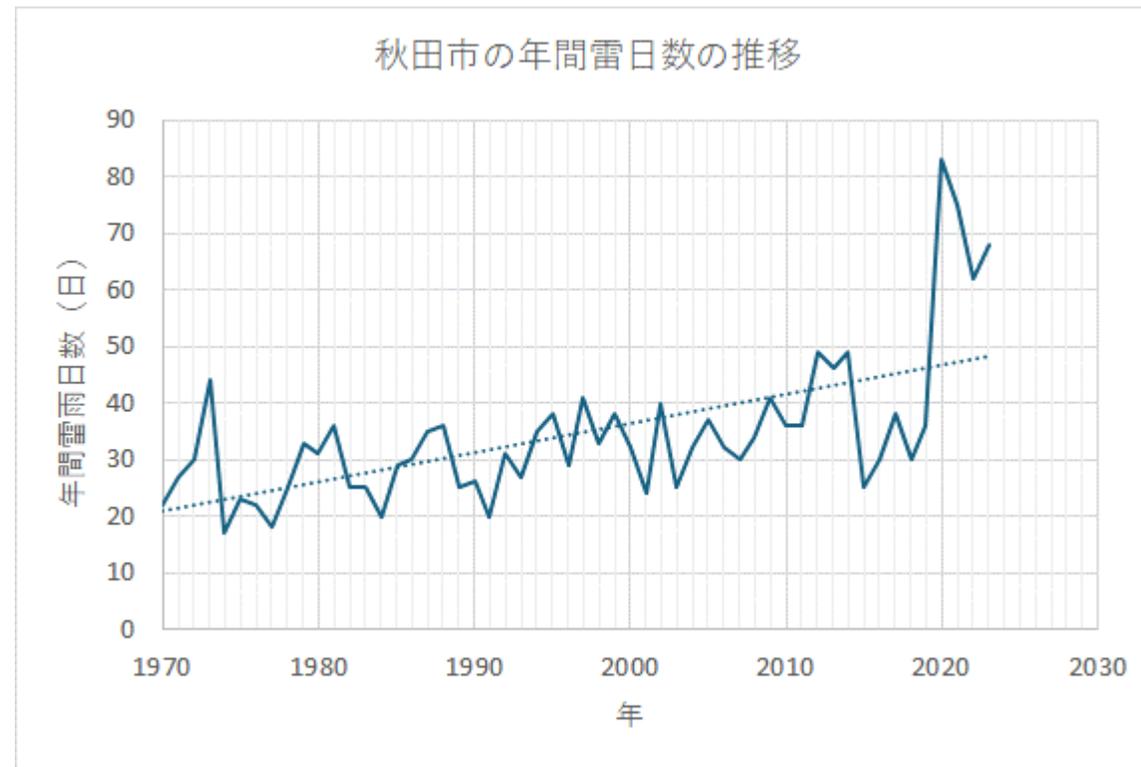
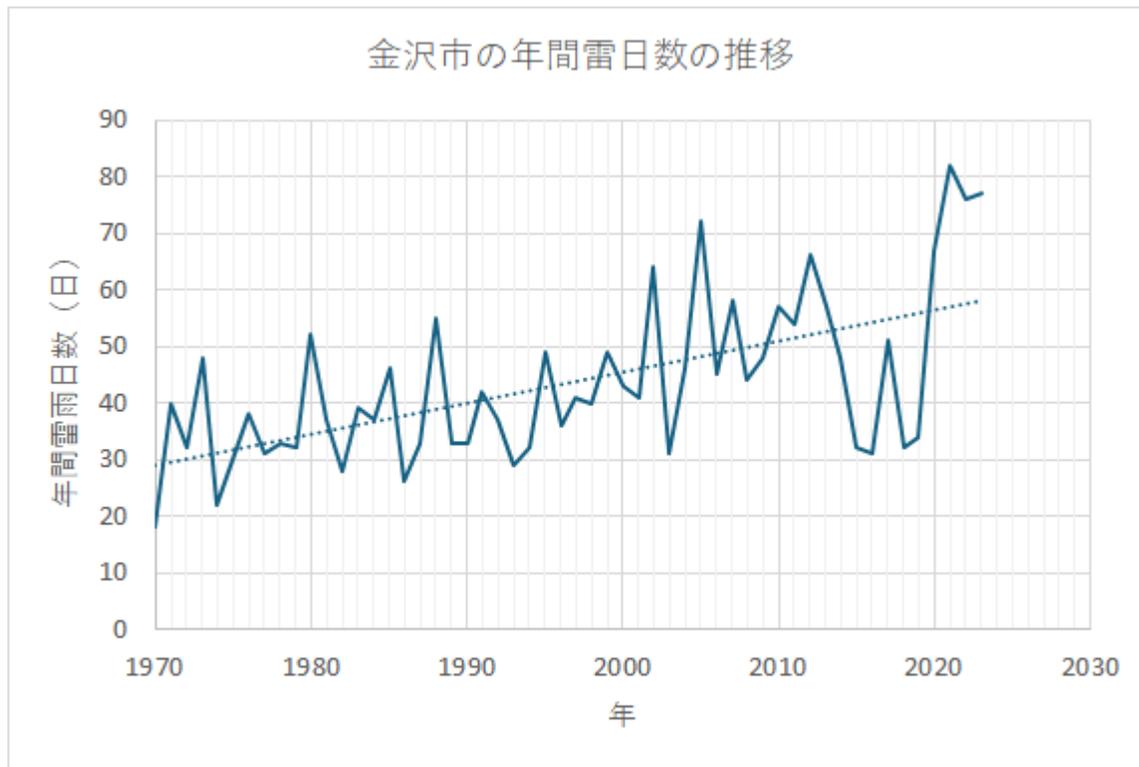
1km×1km の範囲に1年間で生じる
落雷数 単位〔回/km²〕

- 0.4~0.8
- 0.8 ~ 1
- 1.8 ~ 2
- 2以上



年間雷雨日数（日本海沿岸）

一方、日本海沿岸では、冬季にも多くの落雷が生じます。これは冬季雷と呼ばれ、継続時間が長く、電荷量（エネルギー）が非常に大きいという特徴があります。そのため、金沢市や秋田市では年間80回を超える雷雨日数を観測しています。



地球温暖化現象による雷の増加

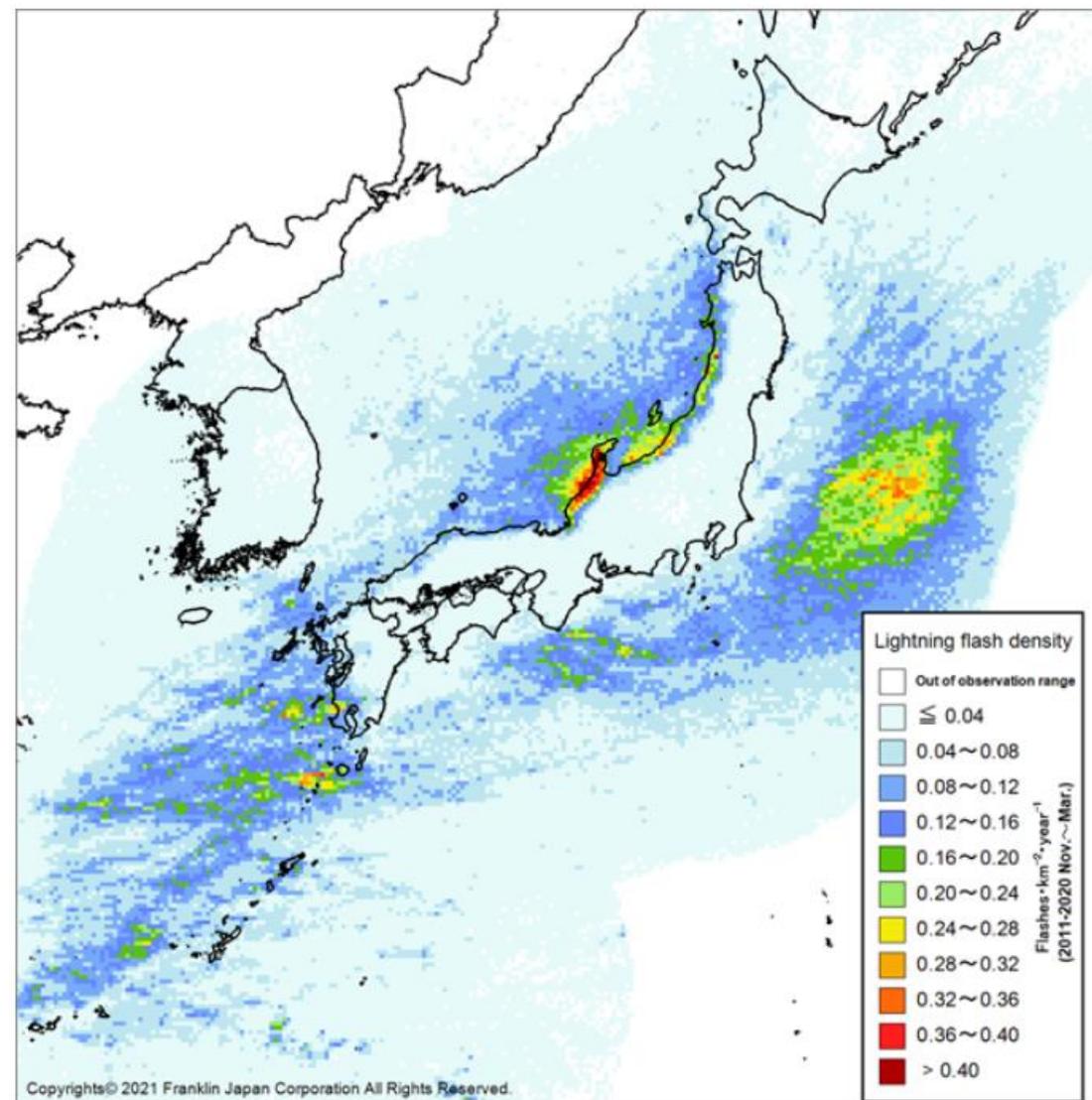
冬季の年間落雷数のマップ

(株)フランクリン・ジャパンのホームページより)

わが国の冬季の年間落雷密度 N_{gw}

冬季雷地域で、 $1\text{km} \times 1\text{km}$ の範囲に
冬季（1年間）で生じる落雷数
単位 [回/ km^2]

- 0.04~0.16
- 0.16 ~ 0.28
- 0.28 ~ 0.4
- 0.4以上

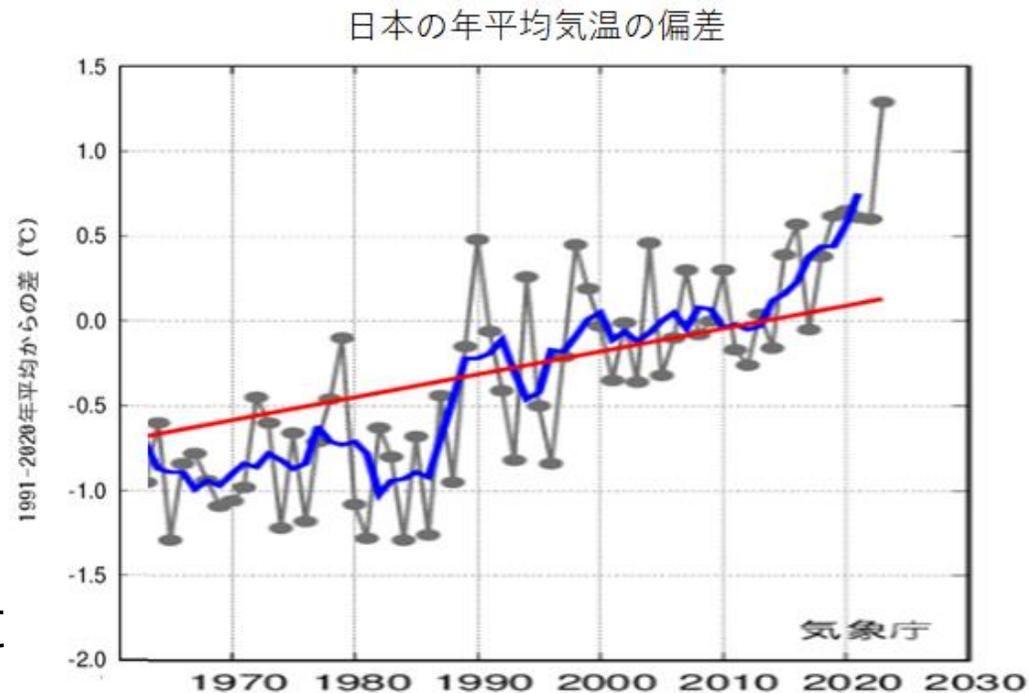
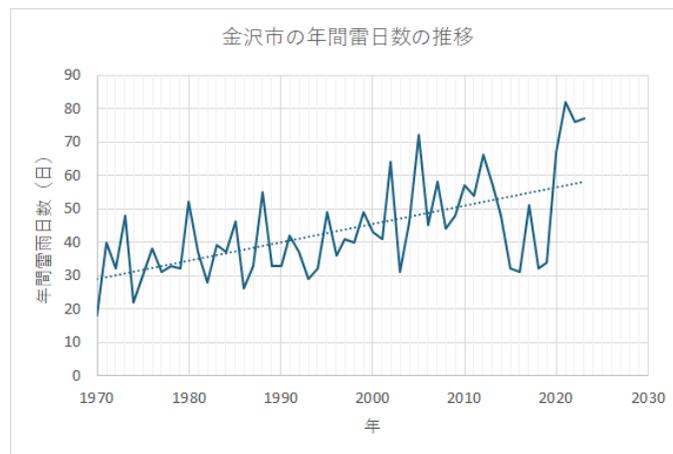
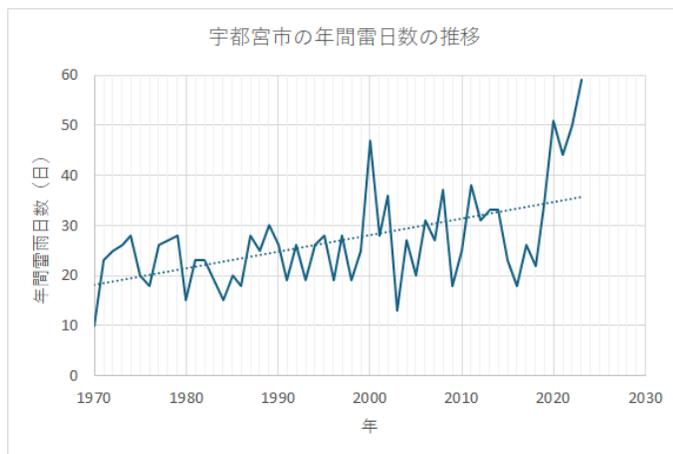


地球温暖化現象による雷の増加

年間雷雨日数（日本海沿岸）

右図は日本の年平均気温の傾向を示すグラフです。これは、下図に示す宇都宮市、金沢市の年間雷雨日数とよく似ています。気温上昇が、落雷日数の増加に大きく影響していることが分ります。

（米科学誌サイエンス掲載記事 出典：AFPBB News）
米カリフォルニア大学の研究チームのシュミレーションによると、世界の平均気温が1度上昇するごとに、落雷が約12%増加することが分かり、気温が今世紀末までに4度上昇すると、落雷は50%近く増加するという。



基準値は1991～2020年の30年平均値
黒線：各年の平均気温の基準値からの偏差、
青線：偏差の5年移動平均値
赤線：長期変化傾向

雷現象と雷被害

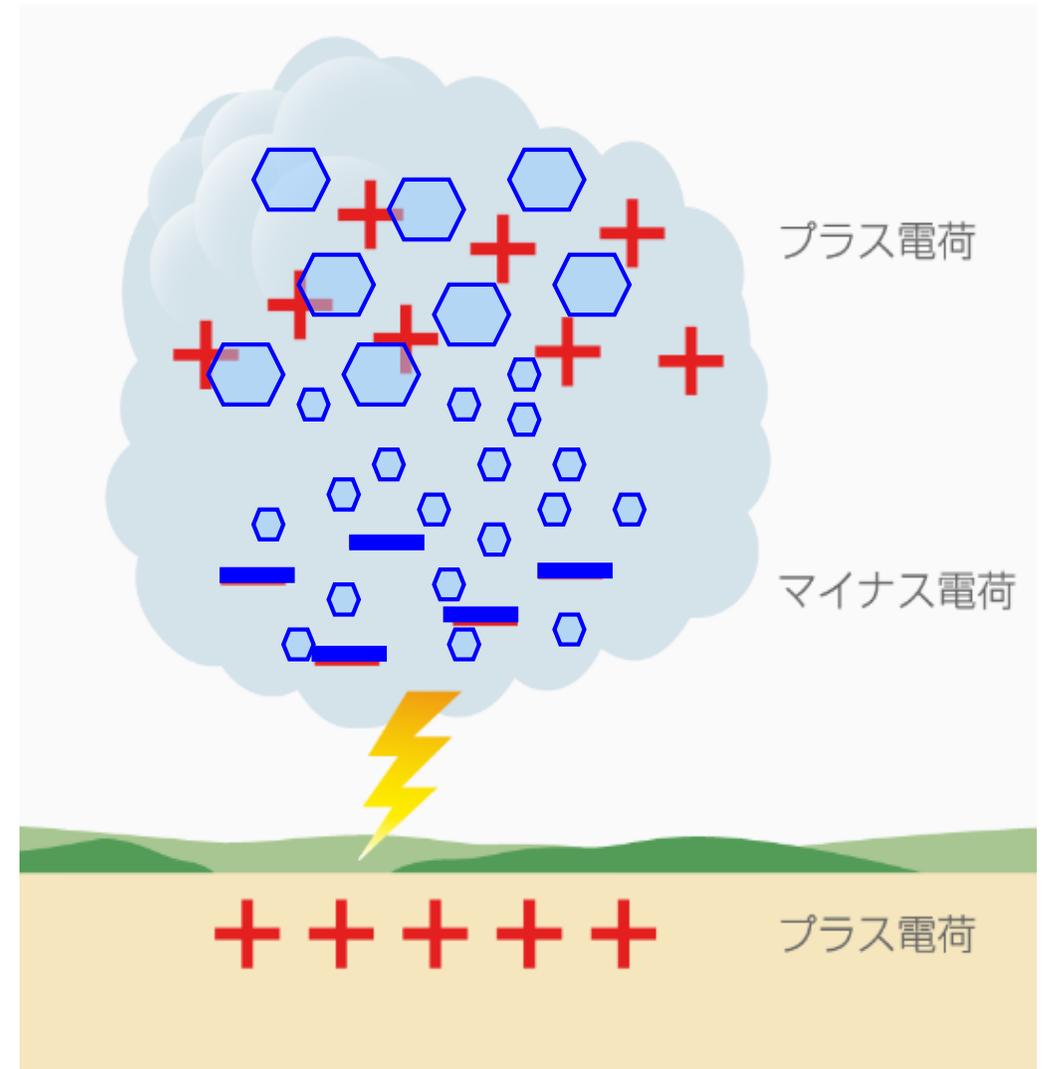
雷雲の発生（夏季雷）

熱射によって地上の水蒸気が上昇気流となり、上空の冷気で氷の粒（雲）になります。

氷粒の摩擦により雲のなかに電界が発生します。この時、雲の上方にプラス電荷、下方にマイナス電荷が帯電します。

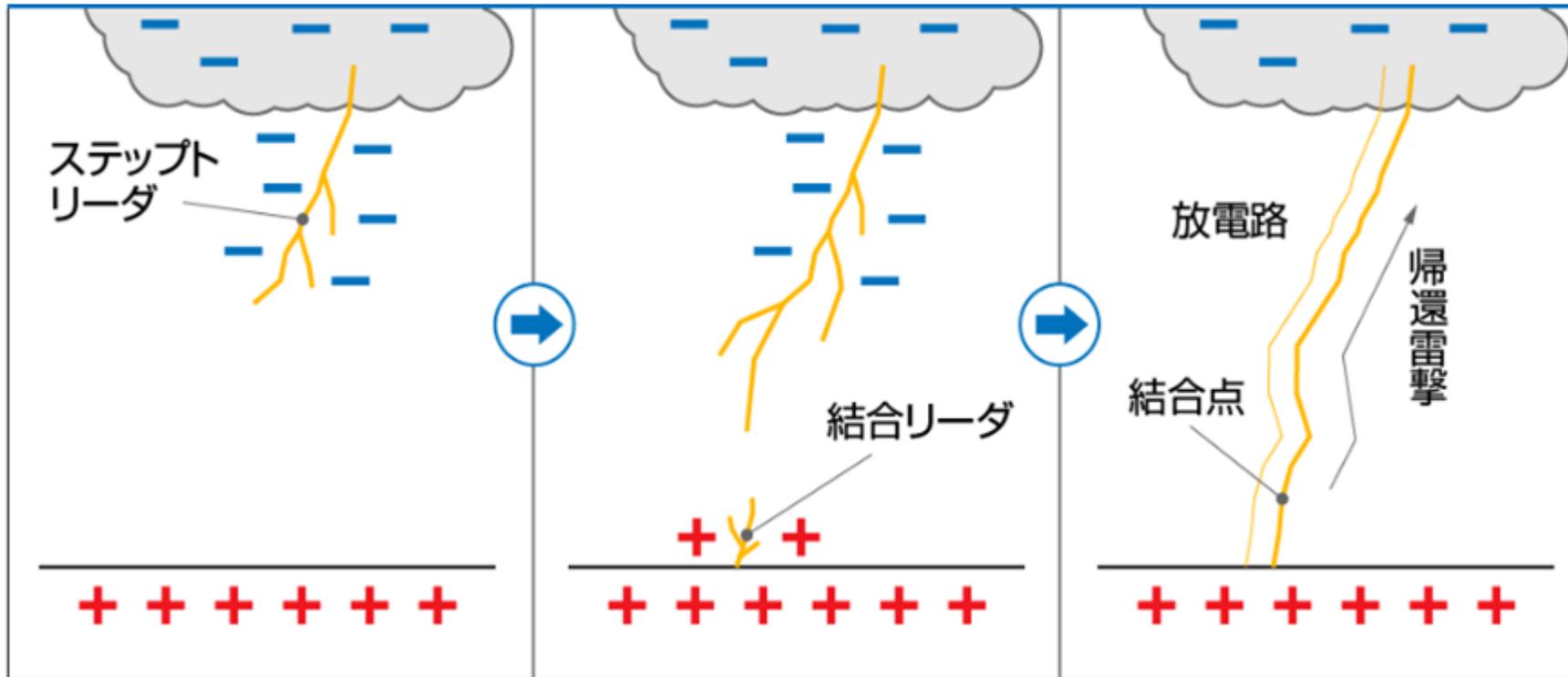
雲の下方に帯電したマイナス電荷によって、地表にプラス電荷が帯電します。

雲と大地との間の電位が空気の絶縁強度をこえると、この間に絶縁破壊が生じ、落雷が発生します。



雷雲の発生（夏季雷）

雲と大地との間でステップドリーダ（電子の移動）が発生します。
ステップドリーダが大地より発生する結合リーダと繋がると、電気的な回路（放電路）が構成され、落雷が生じます。



夏季雷 一般に夏に多く生じる雷です。約9割で、電荷（-）が雲から大地に移動する下向き（負極性）の雷です。

冬季雷 日本海沿岸で冬季に生じる非常に継続時間が長い（電荷量が非常に大きい）雷です。
・約5割で、電荷（-）が大地から雲に移動する上向き（正極性）の雷です。
・海岸近くの高い構造物に落雷が集中します。

夏季雷



冬季雷



東京スカイツリー(夏季雷)



落雷映像
3種

2006年 雷被害額アンケート調査結果（気象庁）

アンケート総数780件

操業停止等の2次的被害
を含まない年間被害額
の合計 約630億円

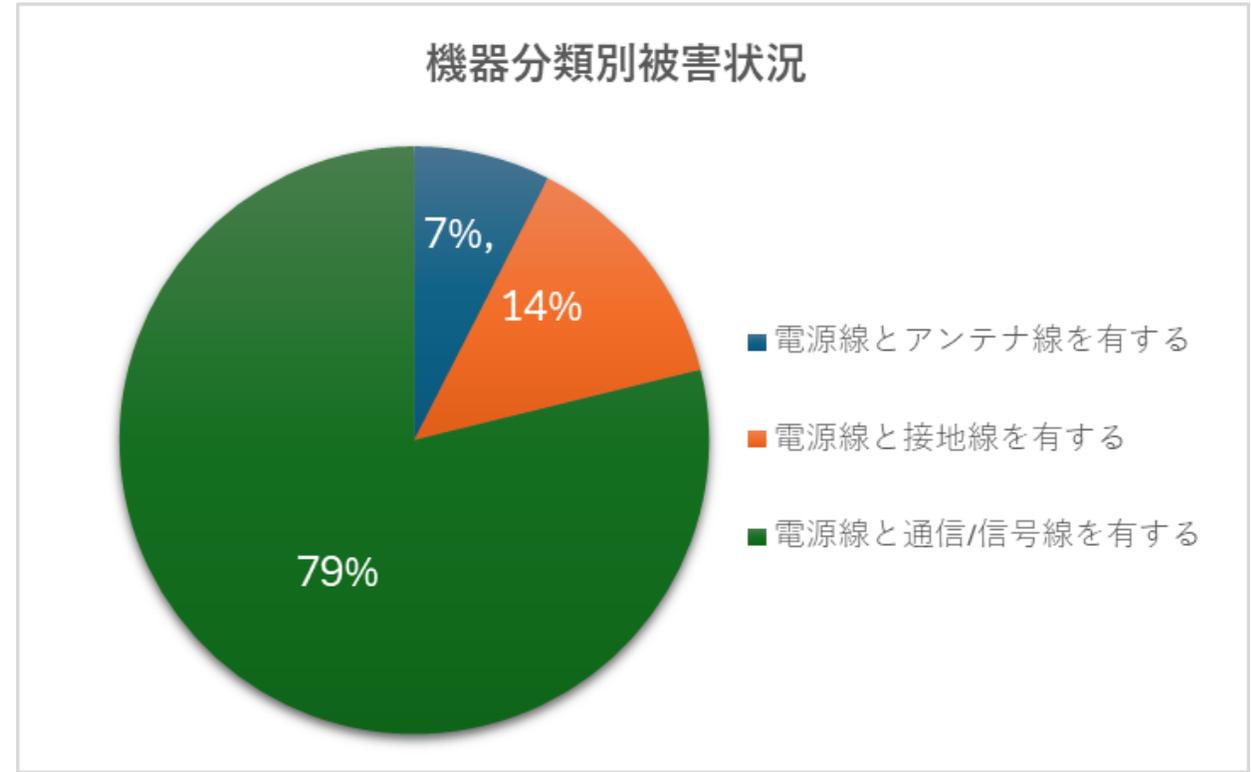
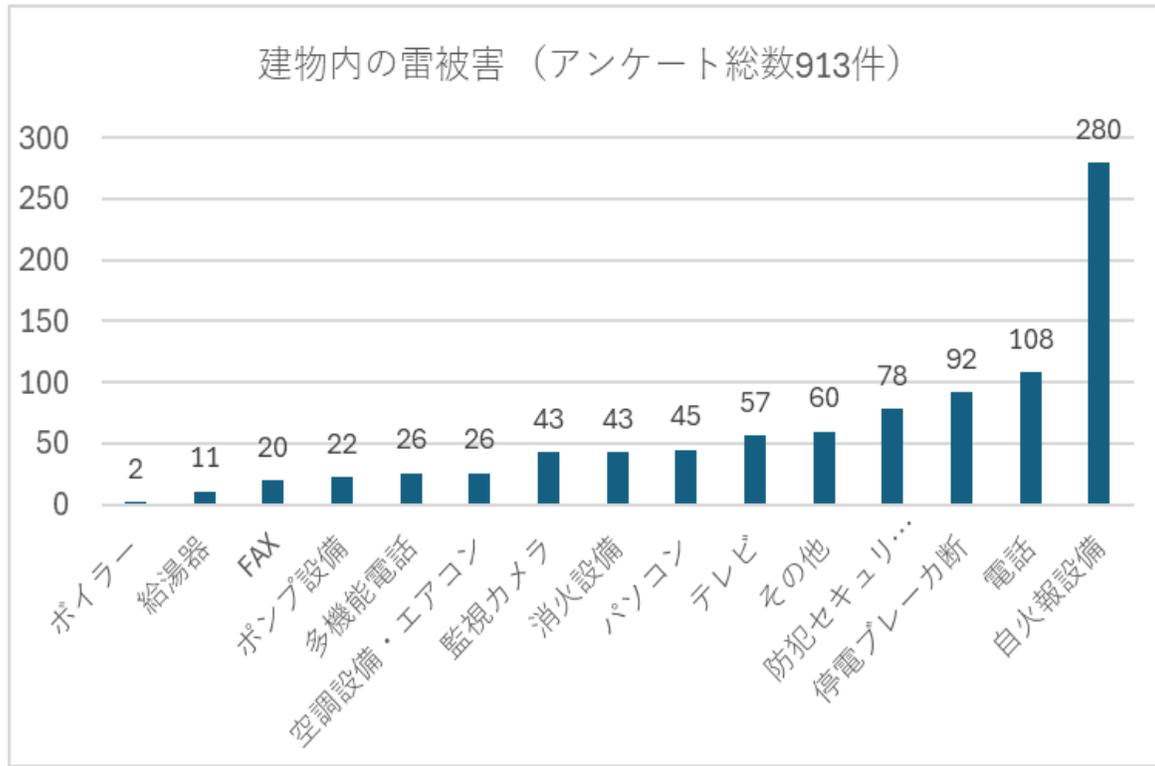
出典：
月刊誌“安全と管理”
2006年6月号より

表 2.4.1 年間の雷被害金額

単位：万円

業種	物的被害金額	補修金額	被害合計	被害額構成比
オフィス	295 786	12 740	308 526	4.9 %
工場	3 433 612	470 842	3 904 454	61.9 %
病院	55 699	9 443	65 142	1.0 %
学校	65 980	3 401	69 381	1.1 %
テレビ局	17 821	142	17 963	0.3 %
ラジオ局	999	181	1 180	0.0 %
CATV	29 123	15 941	45 064	0.7 %
道路・河川	17 267	352	17 619	0.3 %
警察	9 765	2 133	11 898	0.2 %
地方自治体	42 347	3 793	46 140	0.7 %
風力発電所	2 531	296	2 827	0.1 %
インターネット DC	6 591	1 976	11 567	0.2 %
私鉄	6 412	13 121	19 263	0.3 %
JR	4 573	59 504	64 077	1.0 %
通信事業者	127 149	12 603	139 752	2.2 %
電力会社	15 126	306 412	321 538	5.1 %
一般住宅	1 256 315		1 256 315	19.9 %
合計	5 389 826	912 880	6 302 706	100 %

2013年 重要文化財の雷被害の内訳に関するアンケート結果（電気設備学会）



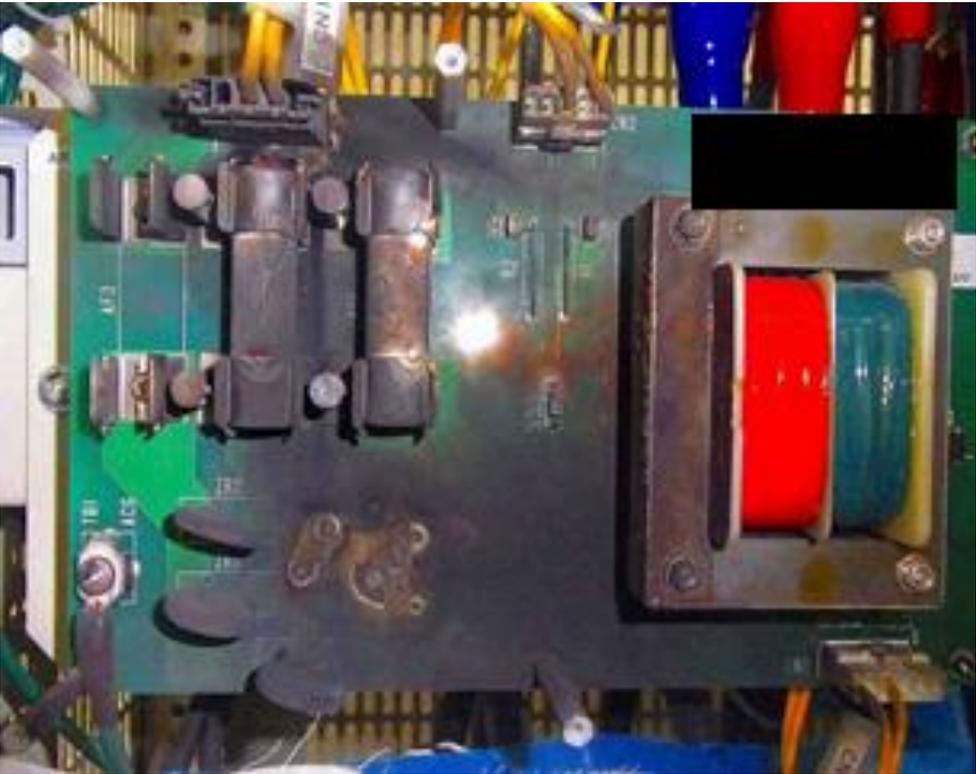
出典：2013年電気設備学会論文
「重要文化財建造物の雷保護に関するアンケート調査」
より

■：テレビ ■：ポンプ、エアコン、給湯器
■：自火報、パソコン、監視カメラ、多機能電話、FAX、防犯機器

電気設備の雷被害は、電源線とその他の線（通信線、接地線等）の両方がある機器の故障が大半

雷被害事例（機器）

電源装置

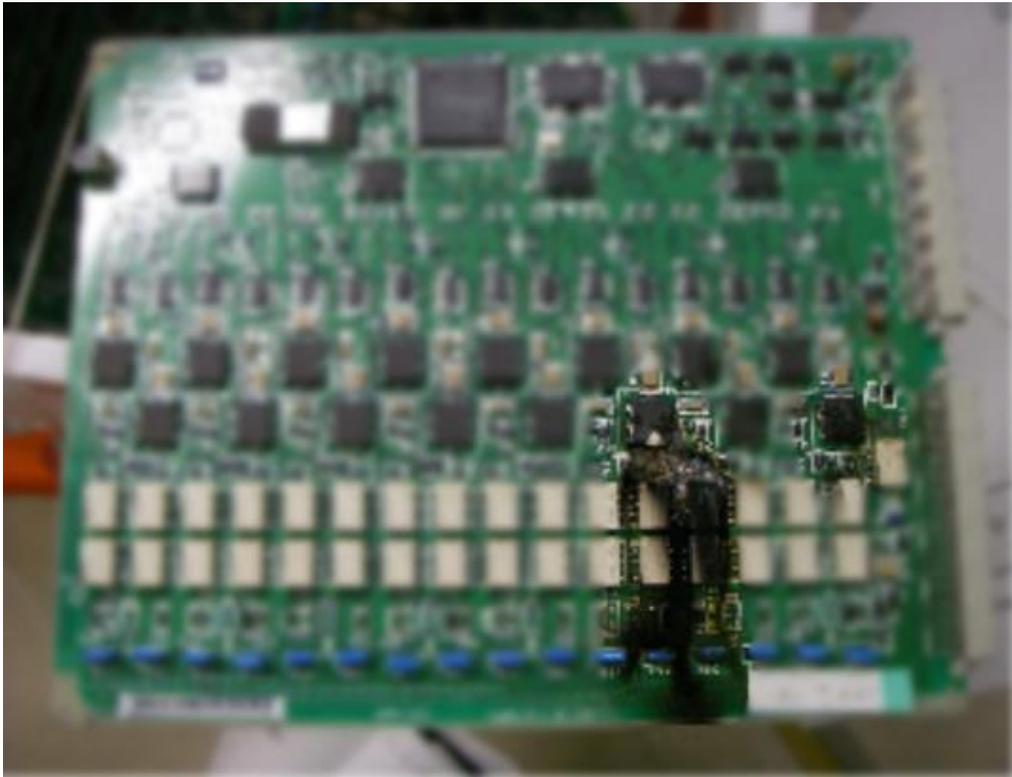


中継機器

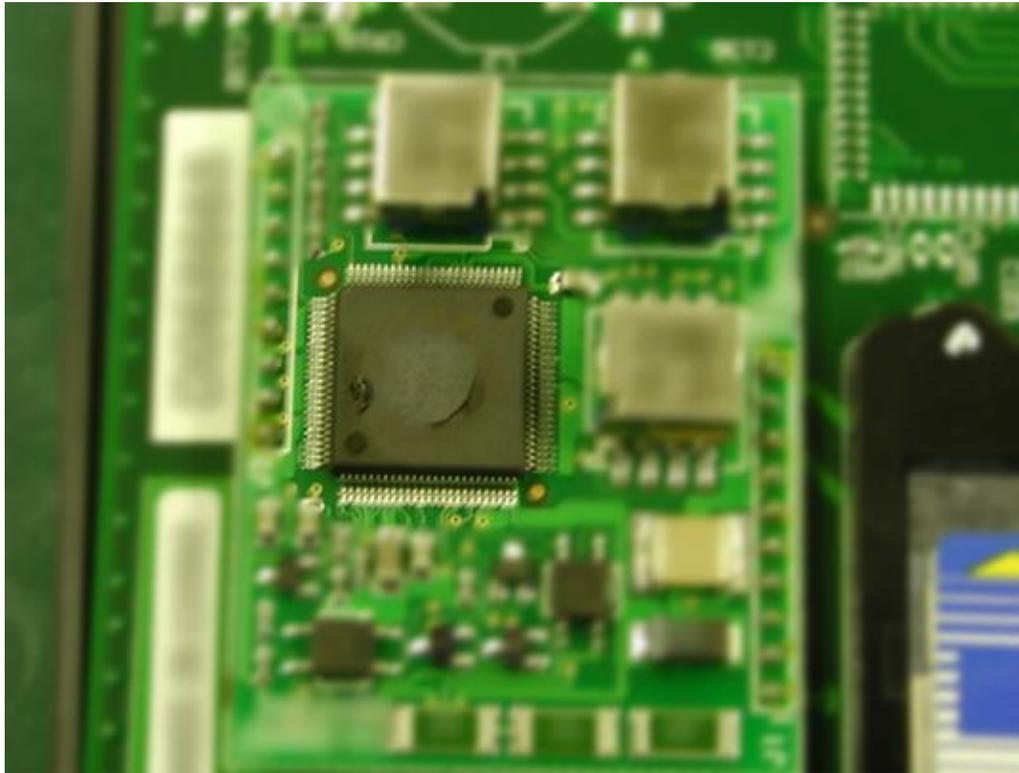


雷被害事例（電子部品）

電話交換機



報通信器



雷被害事例（アンテナ）

アマチュア無線のアンテナ



同軸ケーブル



雷被害事例（構造物）

電柱



電柱



ブロック塀

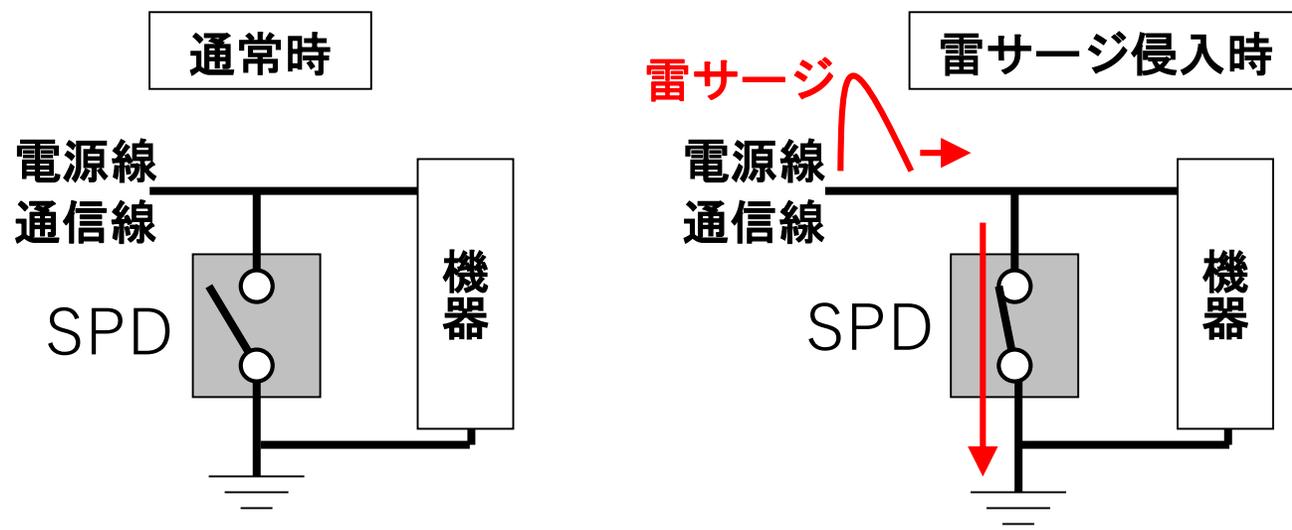


SPDによる雷対策の基本

SPDによる雷対策の基本

SPDとは

落雷の影響は、周囲数キロメートルの範囲にわたるといわれています。
 落雷によって電源線、通信線、接地線から侵入する「雷（らい）サージ」から機器を保護する手法として最も一般的な方法は、SPD（Surge Protective Device：サージ防護デバイス）の設置です。
 SPDは、通常時は、左の図のように、オフ状態ですが、雷サージの侵入時は、右の図のように、オン状態となり、雷サージ電圧を低減し、雷サージ電流を接地に逃がします。
 そして、オフ状態に戻ります。



電源用SPD



通信用SPD



接地間用SPD



SPDによる雷対策の基本

SPDの誤ったイメージ

「SPDは雷を吸収する」

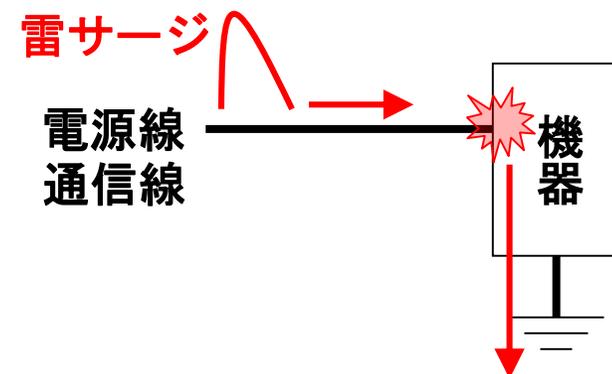
「接地に流れた雷サージは、地球に流れ、他方には流れない」

「SPDを取り付けて、接地線をつなぐだけで機器を保護できる」

SPDの正しいイメージ

雷サージは、必ず電位（電圧と同じ）が高い方から低い方に流れます。

その際に雷サージの流れるルートに機器がある場合、機器は故障します。

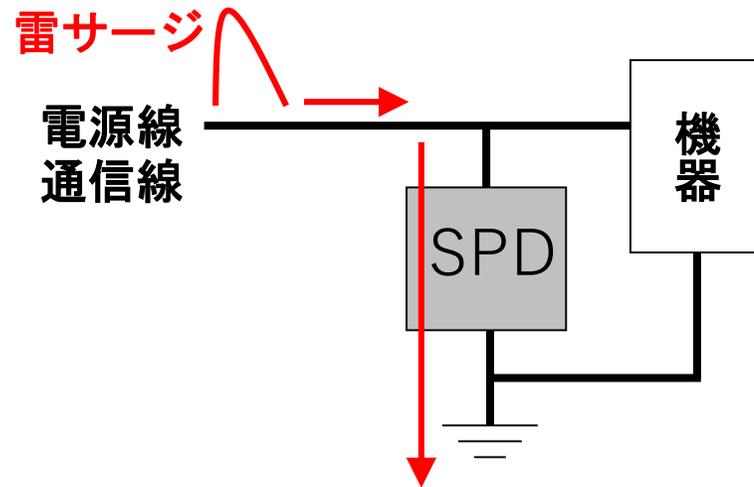


Point

雷サージは機器を破壊し、侵入とは異なる方向へ流出します

SPDの正しいイメージ

雷サージの流れるルートを変更して、機器ではなく、SPDへとルートを変更することで機器を保護します。



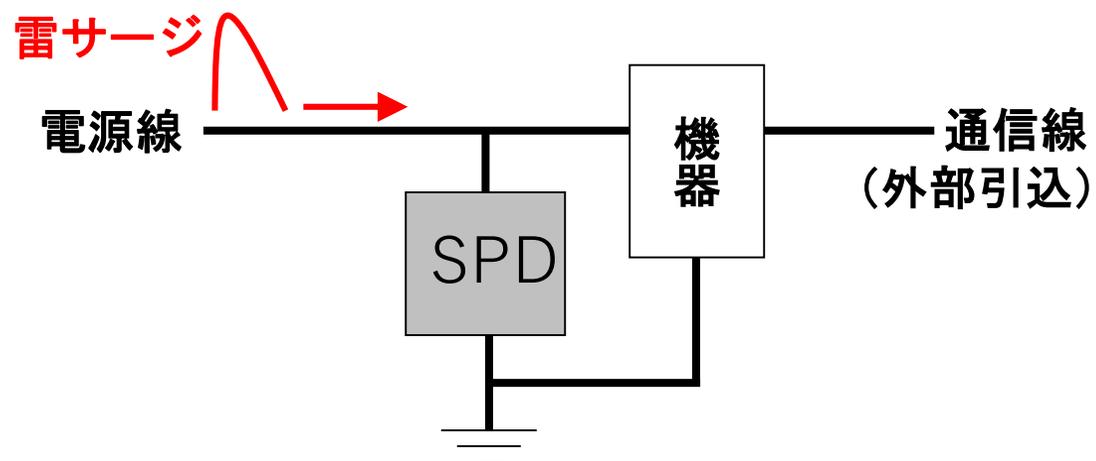
Point

SPD は雷サージの流れるルートを変更します

SPDによる雷対策の基本

ここで質問

電源線と外部より引込んだ通信線の両方を接続し、筐体を接地する機器があるとします。電源線から侵入する雷サージから機器を保護するために電源線だけにSPDを取り付けた場合、この機器の保護は可能でしょうか？



SPDによる雷対策の基本

答え

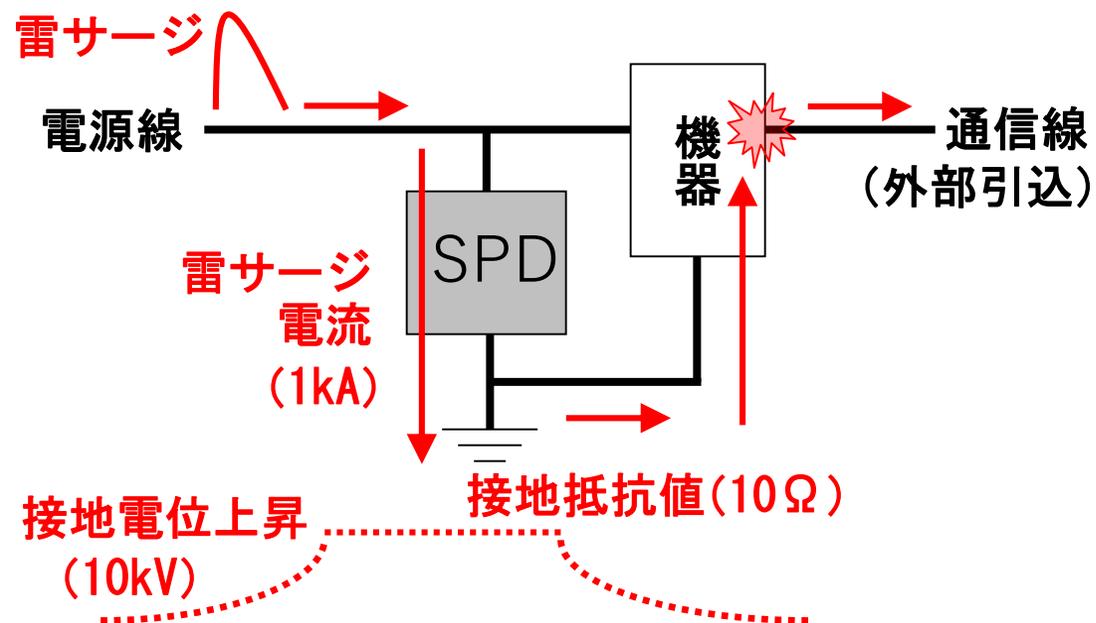
機器の保護はできません。

なぜなら、接地には接地抵抗があるため、雷サージの流入によって接地の電位が上昇するからです。この接地電位の上昇は、雷サージ電流が1kAであったときに接地抵抗が10Ωであれば、オームの法則より10kV となります。つまり容易に機器の接地と通信線との間の絶縁を破壊し、雷サージは外部より引込む通信線にも流出します。

オームの法則

$$\text{電圧 (V)} = \text{電流 (I)} \times \text{抵抗値 (R)}$$

$$\begin{aligned} \text{接地電位上昇} &= \text{雷サージ電流} \times \text{接地抵抗値} \\ &= 1\text{kA} \times 10\Omega \\ &= 10\text{kV} \end{aligned}$$



SPDによる雷対策の基本

正しい雷対策

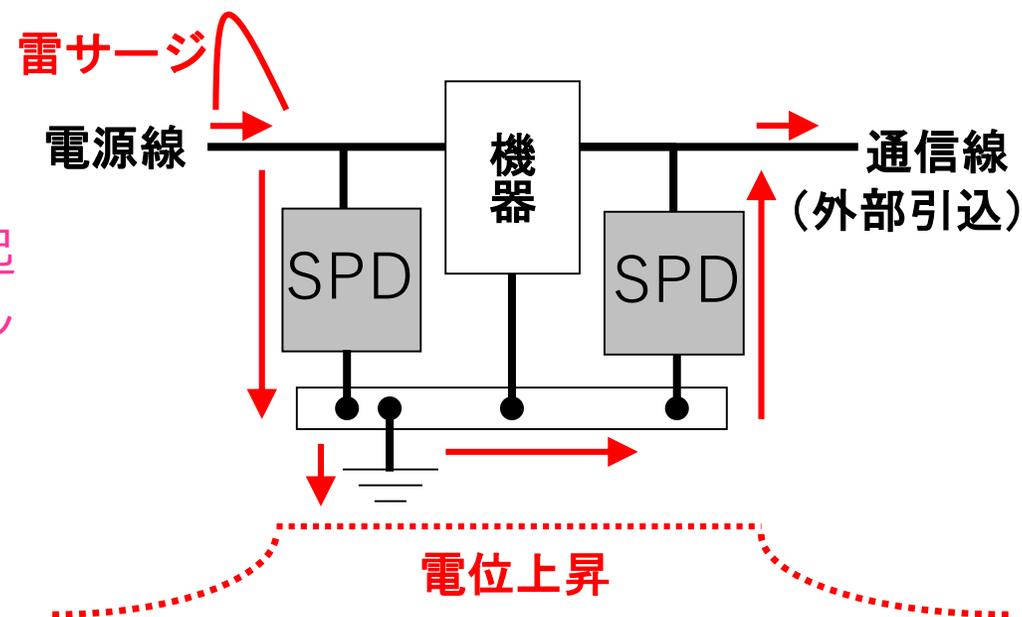
SPD は電源線と接地との間だけではなく、必ず外部より引込む通信線と接地との間にも必要です。

SPDの正しいイメージ

Point

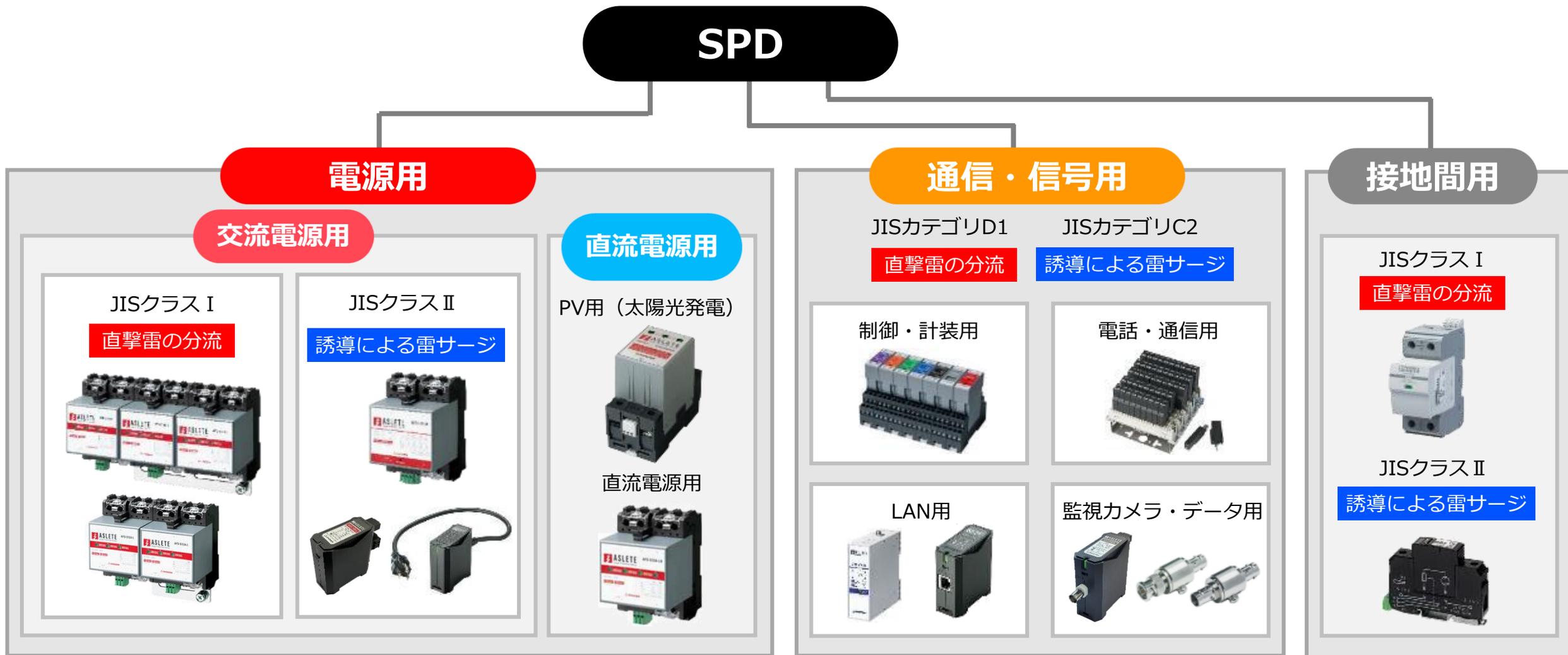
接地に流れた雷サージは、電位上昇を引き起こし、雷サージは電位のより低い方に流出します

このように、雷サージの流れるルートを明確にイメージすることは、SPD による雷対策において非常に重要です。



SPDによる雷対策の基本

SPDの種類



雷サージを模擬した波形（インパルス）と対応するSPD

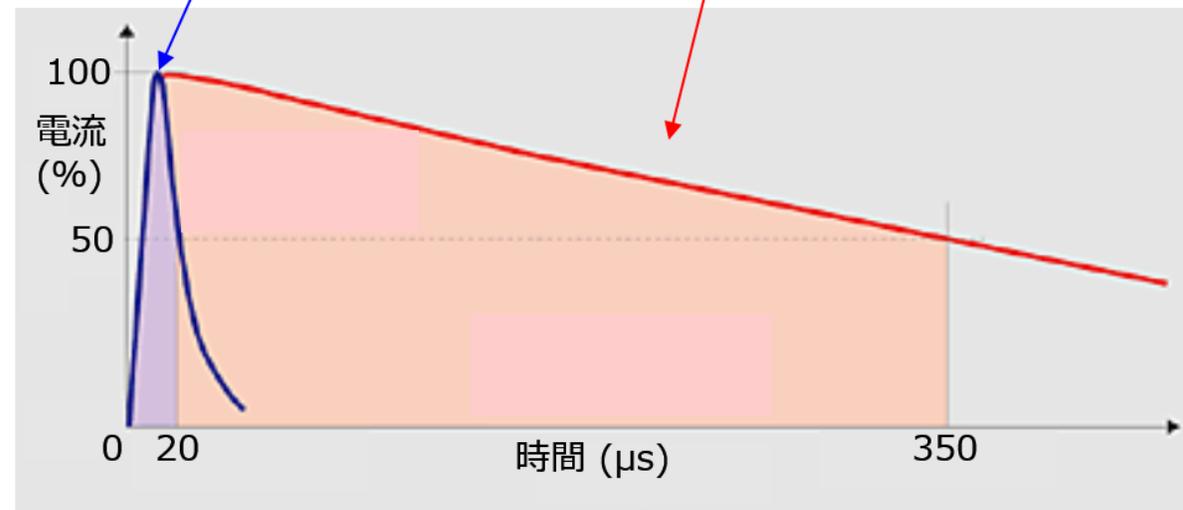
SPDの評価には、標準化した波形（インパルス）を用います。直撃雷（の分流）は、10/350電流インパルス、誘導による雷サージは、8/20電流インパルスと定めています。

このインパルスは、立ち上がり時間（記号T1、単位〔 μs 〕）と、50%まで減衰する時間（記号T2、単位〔 μs 〕）からT1 / T2と表します。

この二つの波形は、エネルギーが大きく異なるため、対応するSPDも異なります。

誘導による雷サージ 8/20電流インパルス
直撃雷 10/350

項目	直撃雷 (の分流) 10/350	誘導による 雷サージ 8/20
電源用SPD	クラス I	クラス II
接地間用SPD		
通信用SPD	カテゴリD1	カテゴリC2



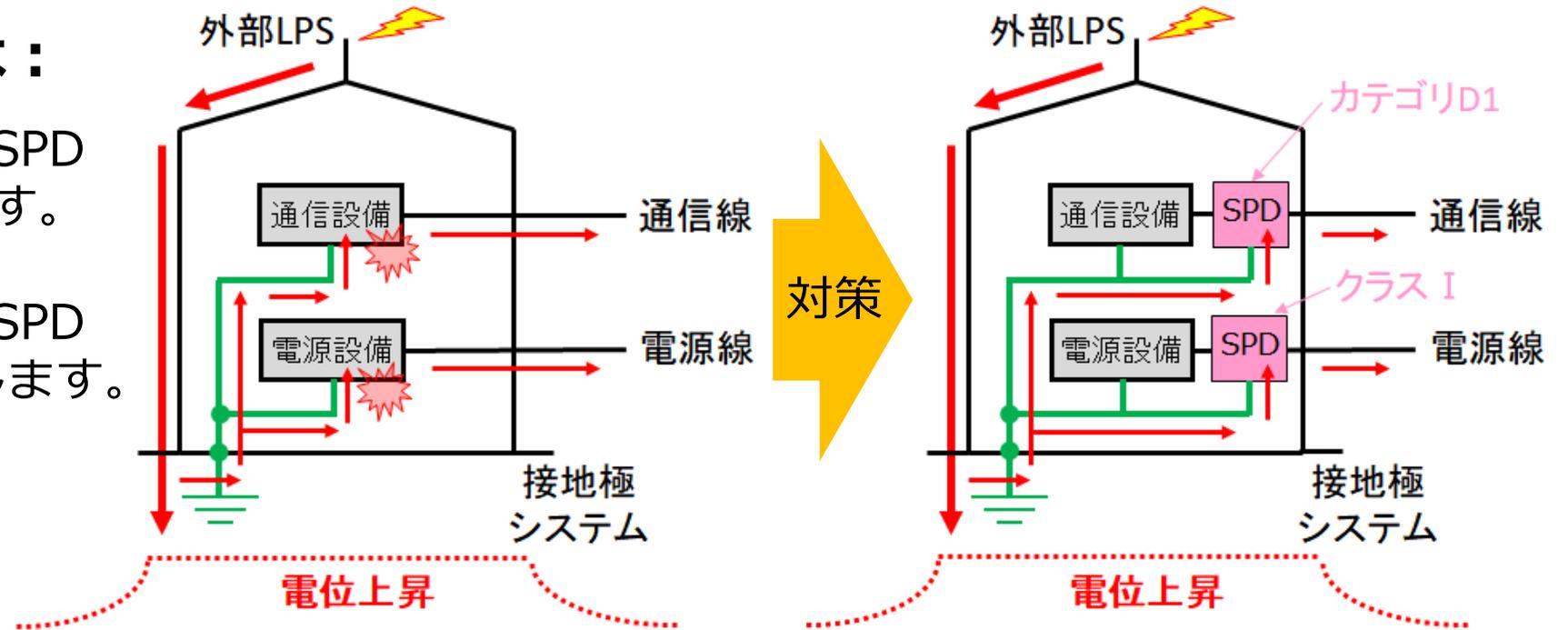
直撃雷の分流は機器を破壊し外部に流出する

建物の外部LPS（避雷針）に落雷した場合、建物接地が電位上昇するため、直撃雷の分流は、機器を破壊して、外部から引込む電源線や通信線に流出します。

機器を保護するためには：

外部から引込む電源線にSPD（クラスI）を設置します。

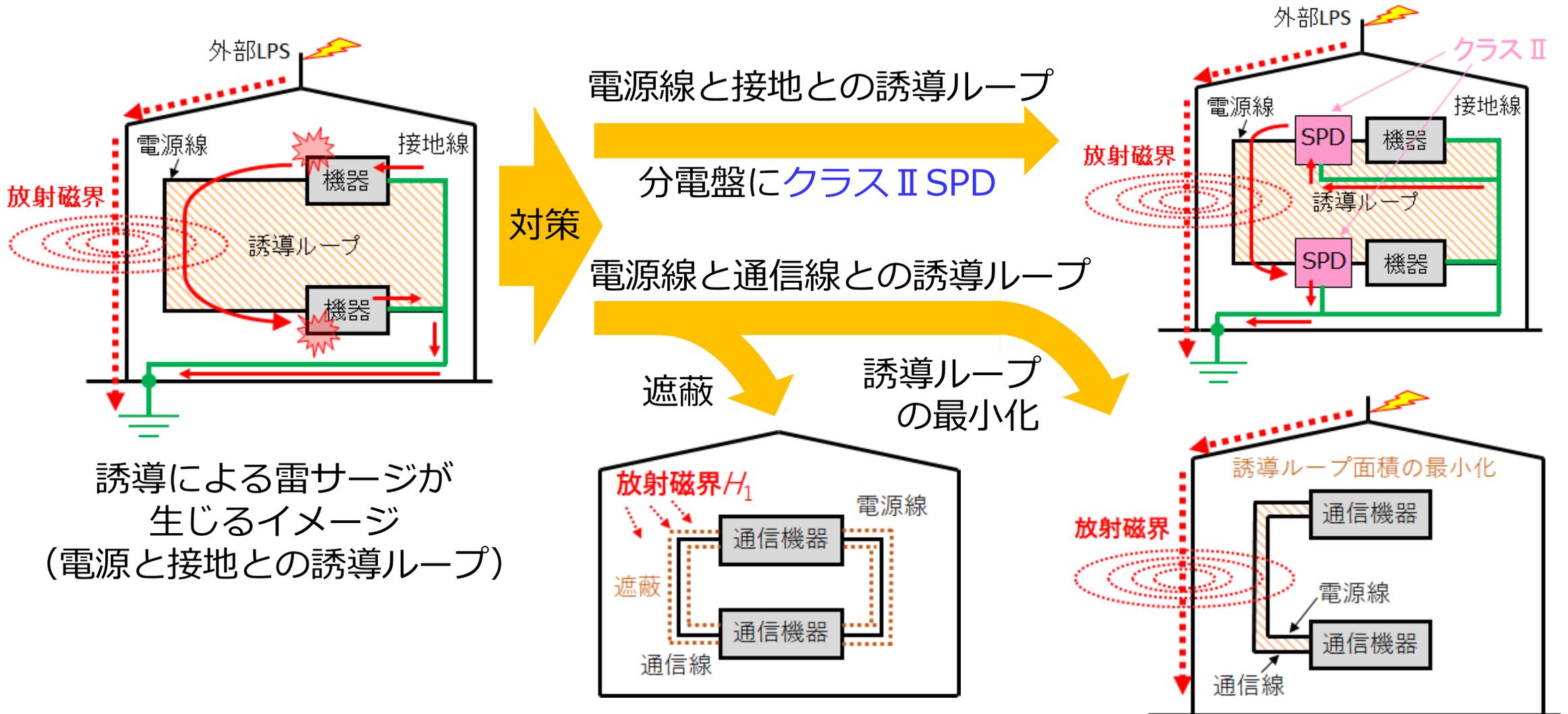
外部から引込む通信線にSPD（カテゴリD1）を設置します。



Point

建物への落雷時、建物の接地電位が上昇するため、直撃雷は建物の外部に向かって分流します

直撃雷の分流は内部配線に誘導による雷サージを生じさせる

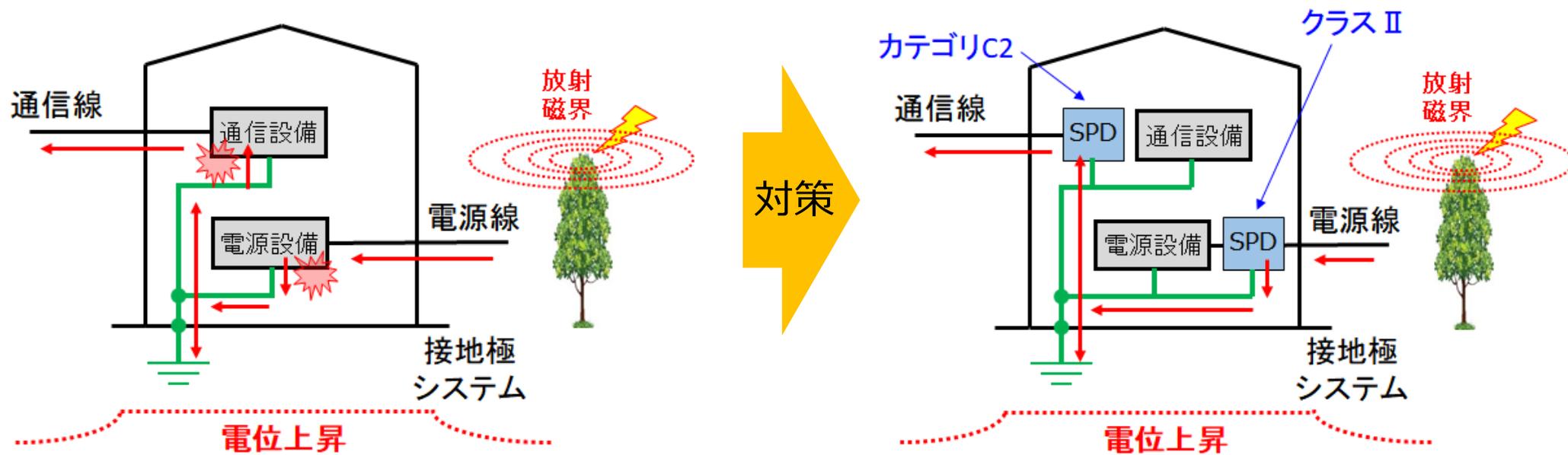


SPDによる雷対策の基本

近傍への落雷は、外部から引込むメタルケーブルに誘導による雷サージを生じさせる

建物の外部LPS（避雷針）が無い建物でも、近傍に落雷した場合、外部から引込む電源線や通信線から誘導による雷サージが侵入し機器を破壊します。

機器を保護するためには： 外部から引込む電源線にSPD（**クラスII**）を設置します。
外部から引込む通信線にSPD（**カテゴリC2**）を設置します。

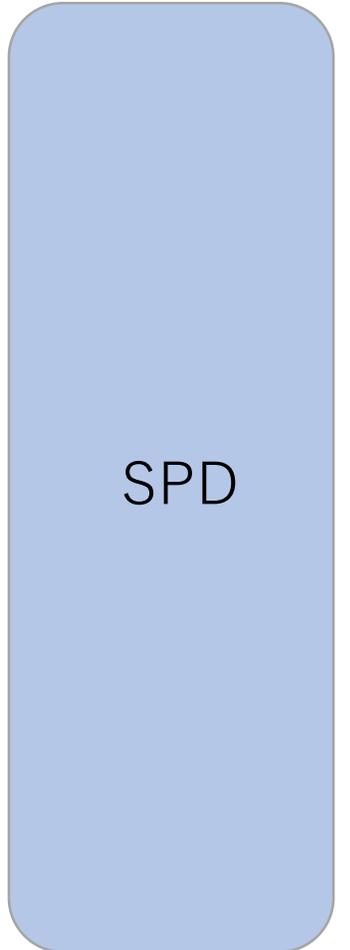


サージ防護部品とSPDの違い

サージ防護部品



- 
- ・ 保護対象の入力ポートに合わせた保護回路設計
 - ・ デバイス（製品）としての要求事項（JIS C 5381-xx）
 - 表示
 - 感電保護
 - 共通の試験方法
 - SPD故障時の安全性（SPD分離器を要求）
漏れ電流領域から短絡電流領域まで
 - 端子・接続への要求
 - 環境・材料への要求
 - ・ 製品の入力ポートの雷対策として素子（部品）を実装する場合、素子（部品）故障 = 製品故障となる



SPDによる雷対策の基本

SPDの施行方法

「SPD を設置したのに雷で機器が壊れた」という話を時々聞きますが、ほとんどの場合は、施工方法に問題があります。SPDの適切な施行方法を次に示します。

(1) SPD分離器

SPD 分離器は、寿命となった電源用SPD を電源から安全に分離するために必ず必要です。

また、交流用SPD の製品規格JIS C 5381-11 : 2014 において、SPD は、SPD 製造業者が指定するSPD 分離器と組み合わせて試験すると規定しています。

Point

SPD 分離器（過電流分離器）を内蔵するSPD を除き、SPD の外部には、必ずSPD 製造業者が指定するSPD分離器を接続しなければなりません。



従来のSPD

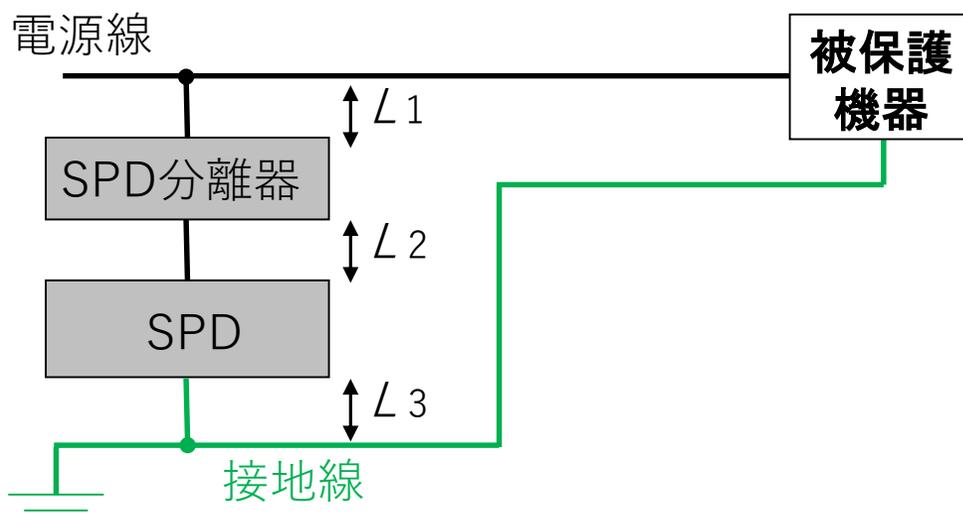


当社のSPD

SPDによる雷対策の基本

(2) 接続リード線長の影響

被保護機器の電源線と接地との間には、SPDの制限電圧に加え、SPDの接続リード線長 ($L1 + L2 + L3$) による電圧降下も加わります。



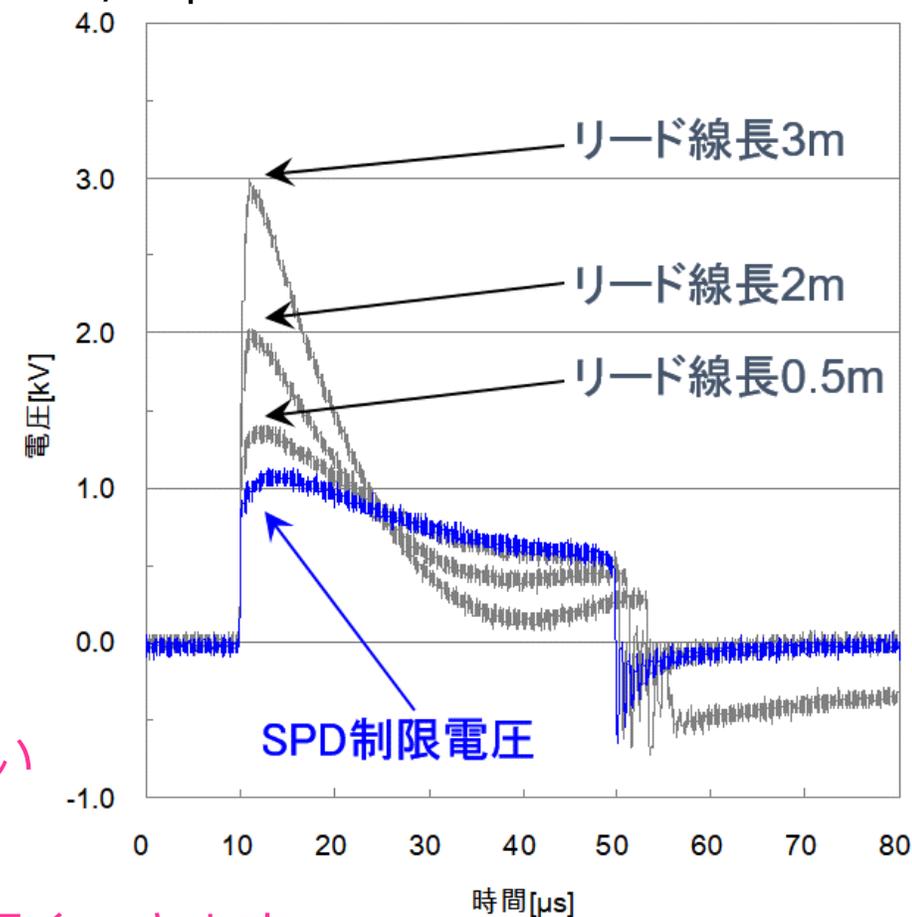
Point

SPDの接続リード線長の合計は0.5m以下が望ましい

Point

SPD分離器を内蔵したSPDは、接続リード線長を短くできます

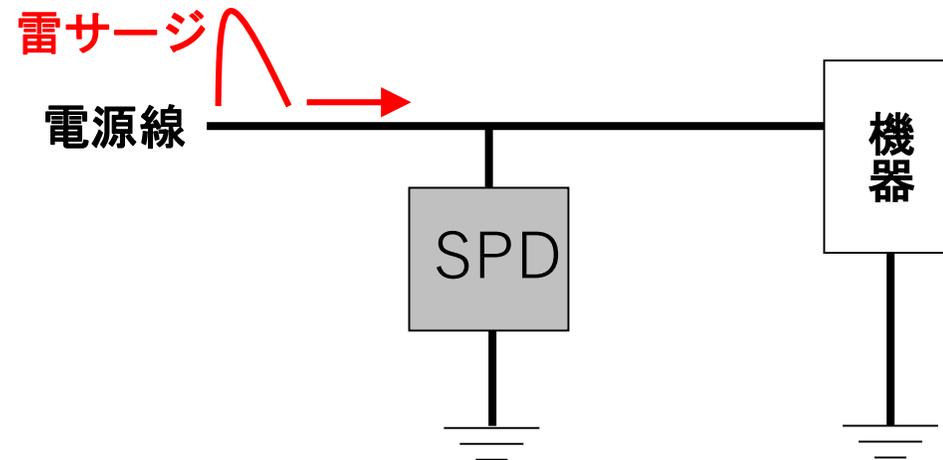
8/20 μ s 3kA通電時の機器に加わる電圧



(3) SPDと機器の接地

ここで質問

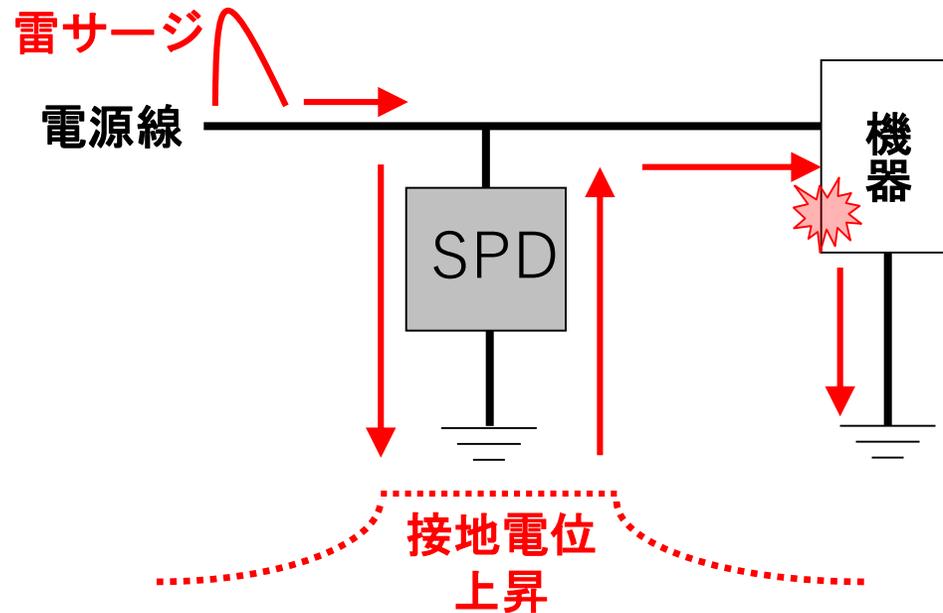
電源線だけを接続する機器があります。機器は接地しています。
電源線から侵入する雷サージから機器を保護するために電源線にSPDを取り付け、
単独接地した場合、この機器の保護は可能でしょうか？



答え

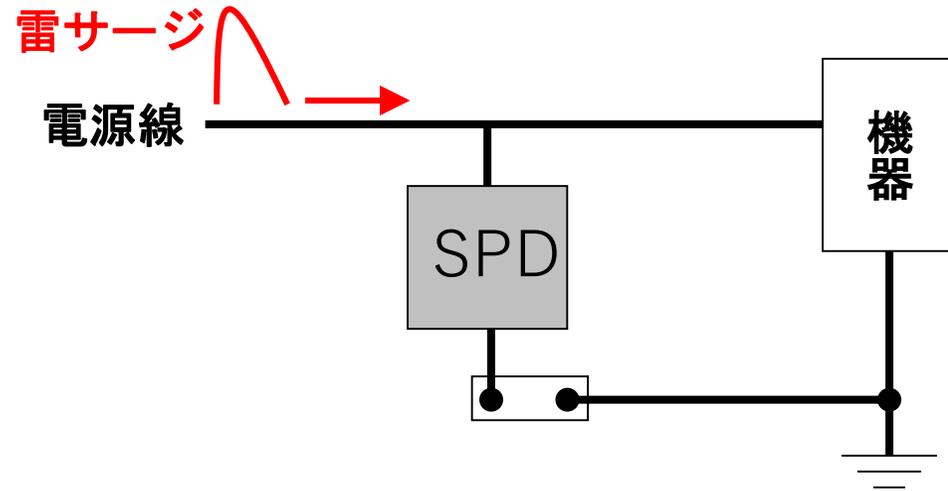
機器の保護はできません。

なぜなら、接地には接地抵抗があるため、雷サージの流入によってSPDの接地の電位が上昇するからです。結果として、雷サージは、SPDの接地と比べ、電位が低い機器の接地に向けて流れ、途中の経路にある機器を破壊します。



ここで質問

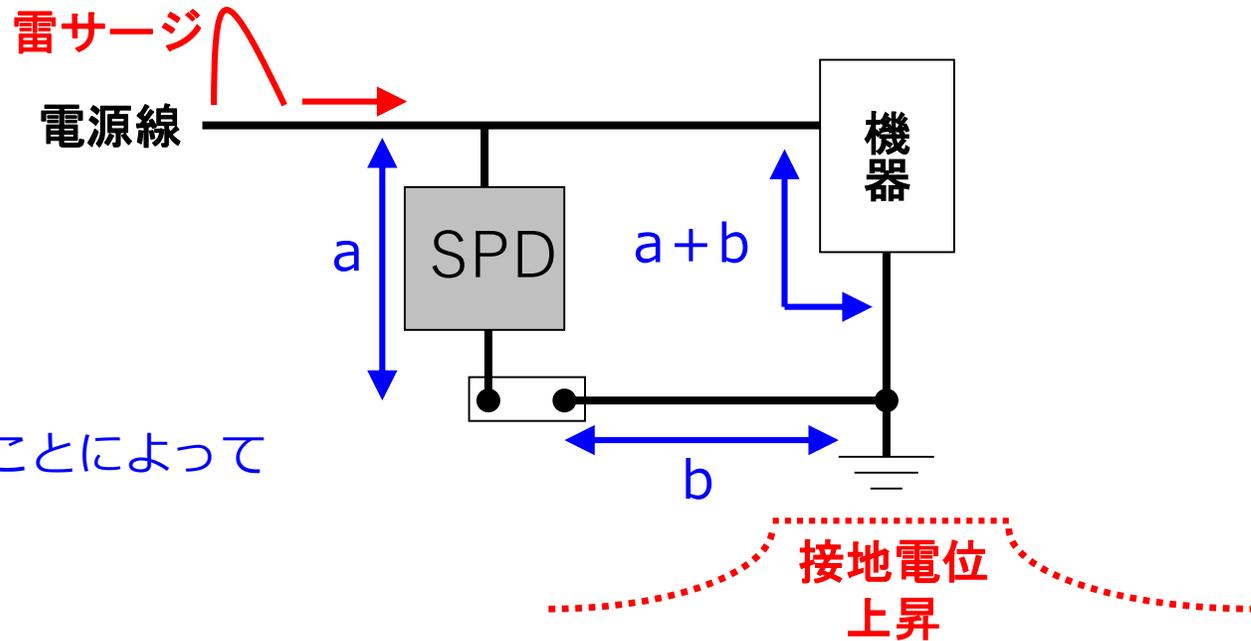
対策として、SPDの接地を機器の接地に接続しました。
この機器の保護は可能でしょうか？



答え

機器の保護はできません。

なぜなら、SPDと機器の接地とを接続する接続線に雷サージ電流が流れ、電圧降下 b が生じるためです。結果として、機器には、SPDの制限電圧 a だけでなく、接続線の電圧降下 b も加わり、この合計の電圧が機器の耐電圧を超えると機器を保護できません。



a : SPDの制限電圧

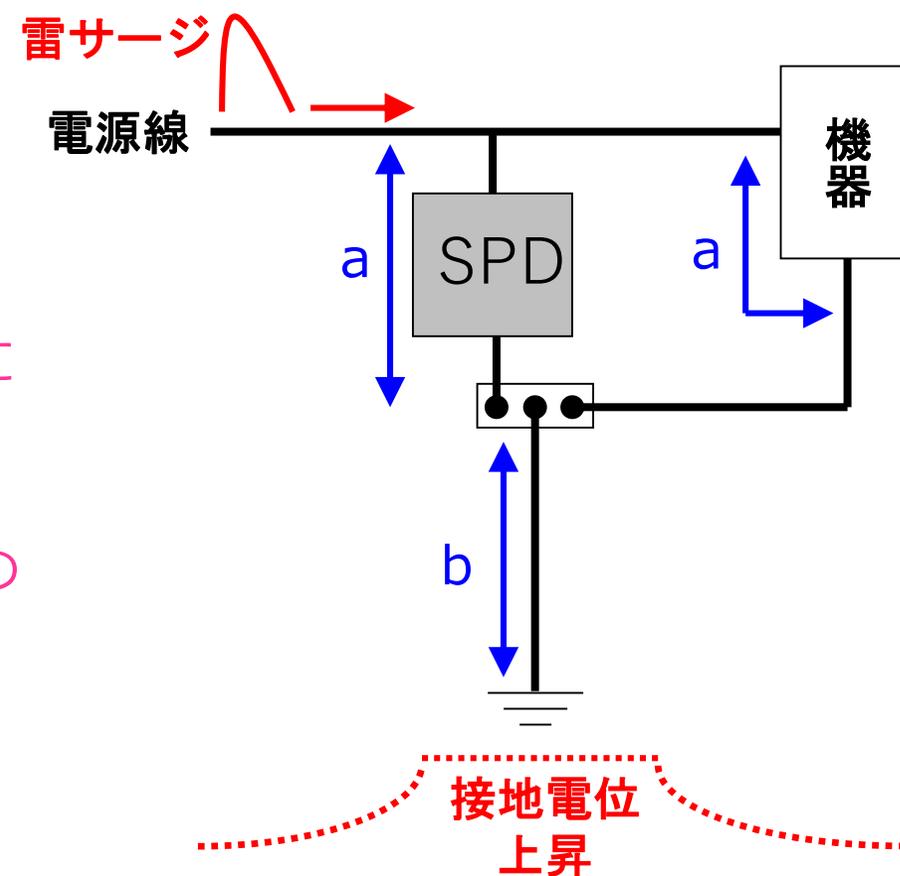
b : 接続線に雷サージ電流が流れることによって生じる電圧降下

SPDによる雷対策の基本

正しい「SPDと機器の接地」

最初に、SPDを接地します。次に、機器の接地は、SPDの接地に最短で取りにいきます。こうすると、接続線に雷サージ電流が流れることにより生じる電圧降下 b は、機器には加わりません。

結果、SPDから接地までの電線長は長くても構いません。



Point

SPDを接地し、機器の接地は最短でSPDの接地に接続します。

Point

SPDの接地と、機器の接地が異なる場合、機器の保護はできません。

SPDによる雷対策の基本

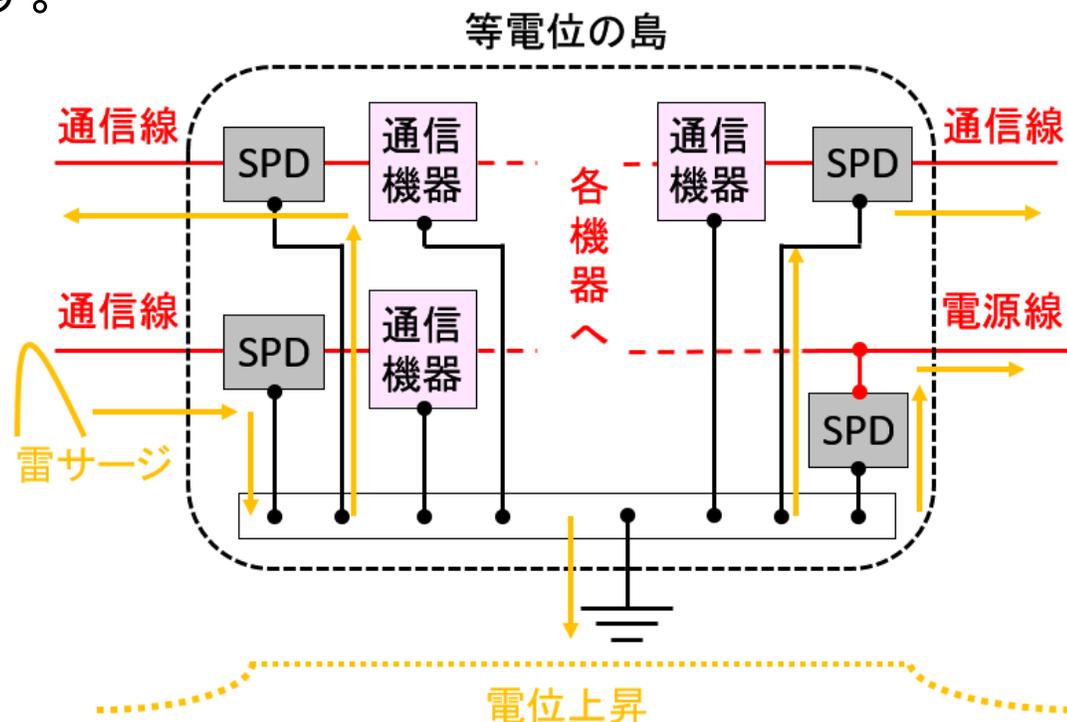
(4) 等電位の島のイメージ

各種通信線、電源線を引込む設備の雷対策では、「等電位の島」のイメージが重要です。

- ① 同じ接地の上（等電位ボンディング上）に設置している機器群を「等電位の島」とします
- ② 「等電位の島」から外部に引出す（引込む）通信線および電源線にSPDを設置します。
このSPDは、機器にできるだけ近接して設置します。

- ③ SPDの接地と通信設備の接地は共通とします。

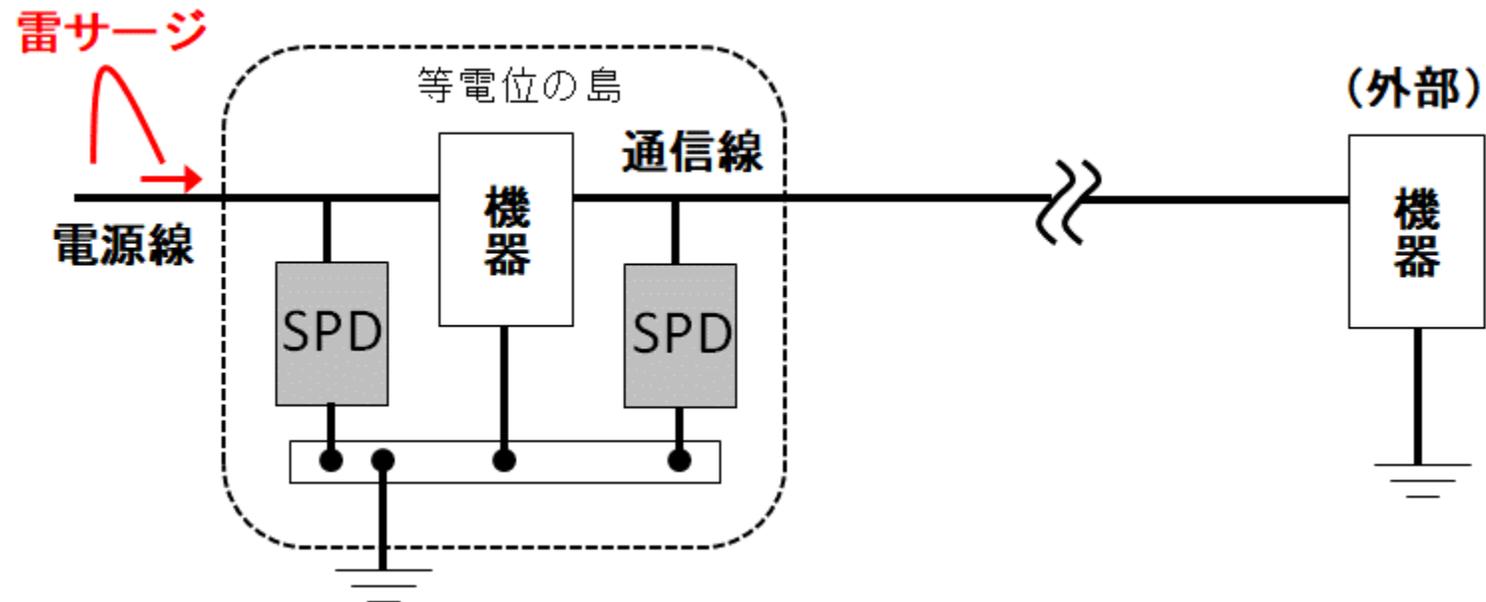
「等電位の島」では、侵入する雷サージをSPDや接地を介して外部に逃がすことで、「等電位の島」の中の機器群を保護します。



(5) 対向機器の保護

ここで質問

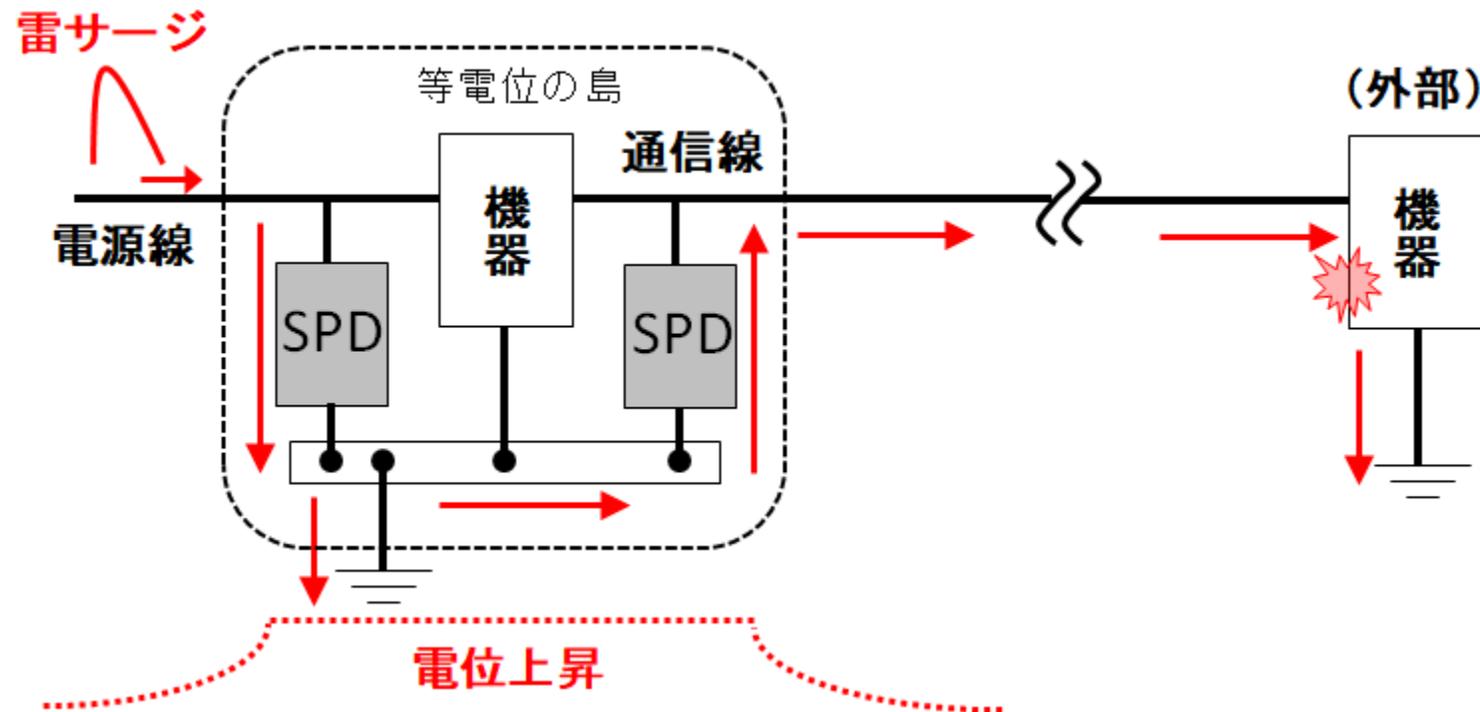
等電位の島から通信線で外部の機器を接続しています。
等電位の島に電源線から雷サージが侵入しました。
外部の機器はどうなりますか？



答え

外部の機器は保護できません。

等電位の島の電源用SPDの動作により、雷サージ電流が等電位の島の接地に流れ、電位上昇を引き起こします。結果、雷サージは、等電位の島の通信用SPDを通り、外部の通信線へ流出します。このサージは外部の対向機器を破壊して、機器の接地に流れます。



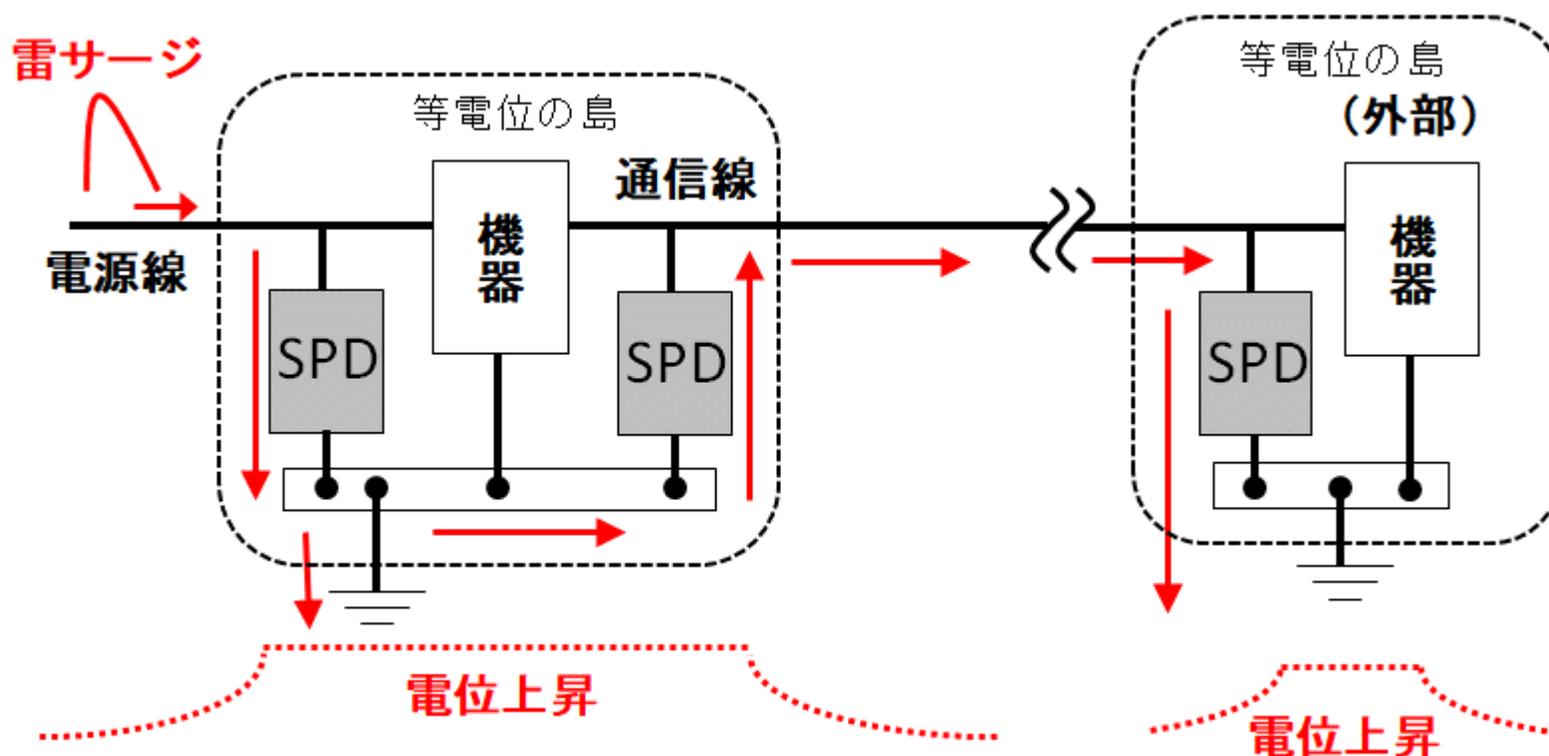
SPDによる雷対策の基本

正しい「対向機器の保護」

SPDは、外部にある対向機器の直近にも取り付けます。

Point

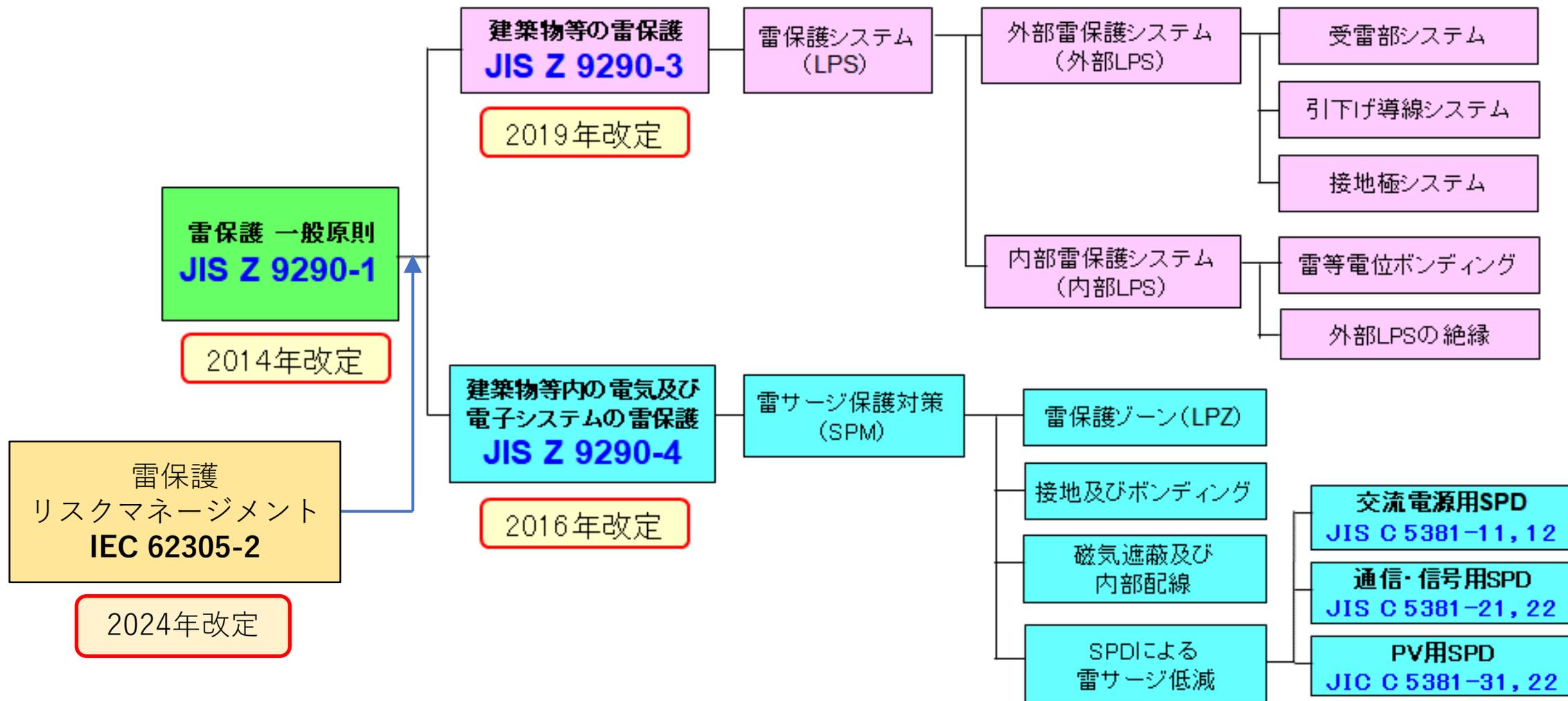
雷サージは対向の機器にも流れるため、対向の機器にもSPDは必要です。



雷保護/対策に関する規格/規定

雷保護/対策に関する規格/規定

雷保護の手法はJISで定められ、雷対策は「必要な場合に実施する」から「実施する」へと変わってきています。これは雷保護（JIS Z 9290規格群）とSPD（JIS C 5381規格群）の体系図です。



雷保護/対策に関する規格/規定と雷保護設計

公共建築工事標準仕様書（電気設備工事編）令和7年版

第2編 電力設備工事 第1章 機材 第7節 分電盤 1.7.6 器具類（14）

公共工事に使用する機材の標準的な仕様を取りまとめた規準です。

(14) 低圧用 SPD は、次によるほか、JIS C 5381-11「低圧サージ防護デバイス—第 11 部：低圧配電システムに接続する低圧サージ防護デバイスの要求性能及び試験方法」による。

なお、低圧用 SPD は、特性に適合した SPD 分離器と組合せて設けるものとする。

(ア) 回路の過渡的な過電圧を制限し、サージ電流を分流するものとする。

(イ) 表面には、正常な状態か故障しているか判別できる表示を行うものとする。

(ウ) 低圧用 SPD クラス II（JIS C 5381-11「低圧サージ防護デバイス—第 11 部：低圧配電システムに接続する低圧サージ防護デバイスの要求性能及び試験方法」に規定するクラス II 試験によるもの）の性能は、特記がなければ、表 1.7.12 による。

表 1.7.12 低圧用 SPD クラス II の性能

項目 \ 電源系統	単相 100V、200V 三相 200V	三相 400V
最大連続使用電圧	AC220V 以上	AC440V 以上
公称放電電流*1	5kA 以上	
電圧防護レベル	1,500V 以下	2,500V 以下*2

備考 1 線当たりとし、対地間の値を示す。

注 *1 印加電流波形は、8/20 μ s の場合を示す。

*2 対地電圧が、300V 以下の場合とする。

(エ) 低圧用 SPD クラス I（JIS C 5381-11「低圧サージ防護デバイス—第 11 部：低圧配電システムに接続する低圧サージ防護デバイスの要求性能及び試験方法」に規定するクラス I 試験によるもの）の性能は、特記による。

(オ) SPD 分離器は、設置箇所における短絡電流を遮断できるものとする。

なお、SPD 分離器は、SPD 本体に内蔵することができる。

公共建築工事標準仕様書（電気設備工事編）令和7年版

第5編 発電設備工事 第1章 機材 第7節 太陽光発電装置 1.7.3 接続箱

(1) 接続箱は、次によるほか、JEM 1493「太陽光発電システム用接続箱及び集電箱直流 750V 以下対応」による。

(ア) 直流入力回路（ストリング）ごとに、逆流を防止できる機能を設ける。

(イ) PV 直流用 SPD は、特記により設けるものとし、内蔵又は附属する場合は、次によるほか、JIS C 5381-31「低圧サージ防護デバイス-第 31 部：太陽電池設備の直流側に接続するサージ防護デバイスの要求性能及び試験方法」による。

なお、PV 直流用 SPD は、特性に適合した SPD 分離器と組合せて設けるものとする。

(a) 回路の過渡的な過電圧を制限し、サージ電流を接地側に分流するものとする。

(b) 表面には、正常な状態か故障しているか判別できる表示を行うものとする。

(c) PV 直流用 SPD クラス II（JIS C 5381-31「低圧サージ防護デバイス-第 31 部：太陽電池設備の直流側に接続するサージ防護デバイスの要求性能及び試験方法」に規定するクラス II 試験によるもの）の性能は、特記がなければ、表 1.7.2 による。

(d) PV 直流用 SPD クラス I（JIS C 5381-31「低圧サージ防護デバイス-第 31 部：太陽電池設備の直流側に接続するサージ防護デバイスの要求性能及び試験方法」に規定するクラス I 試験によるもの）の性能は、特記による。

(e) SPD 分離器は、設置箇所における短絡電流を遮断できるものとする。

なお、SPD 分離器は、SPD 本体に内蔵することができる。

(ウ) 充電部が露出する部分は、感電防止の処置を施す。

表 1.7.2 PV 直流用 SPD クラス II の性能

項目	電源系統 直流 600V
最大連続使用電圧	DC600V 以上
公称放電電流*	5kA 以上
電圧防護レベル	2,500V 以下

備考 1線当たりとし、対地間の値を示す。

注 * 印加電流波形は、8/20 μ s の場合を示す。

公共建築工事標準仕様書（電気設備工事編）令和7年版

第5編 発電設備工事 第1章 機材 第7節 太陽光発電装置 1.7.4 パワーコンディショナ及び 系統連系保護装置

(ケ) PV 直流用 SPD は、特記により設けるものとし、内蔵又は附属する場合は、次によるほか、JIS C 5381-31「低圧サージ防護デバイス-第31部：太陽電池設備の直流側に接続するサージ防護デバイスの要求性能及び試験方法」による。

なお、PV 直流用 SPD は、特性に適合した SPD 分離器と組合せて設けるものとする。

- (a) 回路の過渡的な過電圧を制限し、サージ電流を接地側に分流するものとする。
- (b) 表面には、正常な状態か故障しているか判別できる表示を行うものとする。
- (c) PV 直流用 SPD クラス II（JIS C 5381-31「低圧サージ防護デバイス-第31部：太陽電池設備の直流側に接続するサージ防護デバイスの要求性能及び試験方法」に規定するクラス II 試験によるもの）の性能は、特記がなければ、表 1.7.2 による。
- (d) PV 直流用 SPD クラス I（JIS C 5381-31「低圧サージ防護デバイス-第31部：太陽電池設備の直流側に接続するサージ防護デバイスの要求性能及び試験方法」に規定するクラス I 試験によるもの）の性能は、特記による。
- (e) SPD 分離器は、設置箇所における短絡電流を遮断できるものとする。
なお、SPD 分離器は、SPD 本体に内蔵することができる。

公共建築工事標準仕様書（電気設備工事編）令和7年版

第6 編通信・情報設備工事 第1 章 機材 第4節 端子盤・機器収納ラック等 1.4.5 通信用SPD

1.4.5 通信用 SPD

- (1) 通信用 SPD は、JIS C 5381-21「低圧サージ防護デバイス—第 21 部：通信及び信号回線に接続するサージ防護デバイス (SPD) の要求性能及び試験方法」により分類されているカテゴリ C2 又は D1 の性能を持つものとし、表 1.4.4 による。

なお、カテゴリは、特記による。

表 1.4.4 カテゴリ C2、D1 の性能

カテゴリ	開回路電圧	短絡回路電流	最小印加回数	設置箇所目的
C2	2kV~10kV 1.2/50 μ s	1kA~5kA 8/20 μ s	10 回	建物内の機器付近に設置し、建物内部に発生する雷サージから機器を保護する
D1	1kV 以上	0.5kA~2.5kA 10/350 μ s	2 回	建物引込口等に設置し、直撃雷による雷電流に対応

- (ア) 通信用 SPD は、取替えの際、通信及び伝送信号に障害を生じさせないものとし、プラグイン形又はモジュール形端子板用の差込み形とする。ただし、LAN 及び同軸ケーブル用 SPD 等で本体が伝送路となる専用のコネクタ方式の SPD についてはこの限りではない。
- (イ) 通信用 SPD の用途別性能は、表 1.4.5 による。

公共建築工事標準仕様書（電気設備工事編）令和7年版

第6 編通信・情報設備工事 第1 章 機材 第4節 端子盤・機器収納ラック等 1.4.5 通信用SPD

表 1.4.5 通信用 SPD の用途別性能

用途	詳細事項	定格電流	使用周波数帯域	挿入損失	電圧防護レベル U_p	
構内情報通信網設備用	EM-UTP ケーブル	100BASE-TX、 1000BASE-T	100mA 以上	100MHz 以下	3dB 以下	600V 以下
	PoE (Cat5 以上)	600mA 以上	600V 以下			
構内交換設備用*1	電話回線	一般電話回線、専用線	85mA 以上	3.4kHz 以下	1.5dB 以下	500V 以下
		デジタル専用線	85mA 以上	2MHz 以下		500V 以下
拡声設備用*2	スピーカ信号線	100V、200V 回路	100mA 以上	10kHz 以下	1.5dB 以下	1,500V 以下
テレビ共同受信設備用	EM-同軸ケーブル	BS・110度CSアンテナ、 TVチューナー	270mA 以上	3,224MHz 以下	1.5dB 以下	1,000V 以下
		CATV アンプ・保安器	100mA 以上	770MHz 以下		1,000V 以下
監視カメラ設備用	EM-同軸ケーブル	同軸伝送方式 (電源重畳)	200mA 以上	3GHz 以下	1.5dB 以下	1,000V 以下
		同軸伝送方式 (電源重畳なし)	100mA 以上			1,000V 以下
中央監視制御設備用	無電圧信号 有電圧回路 アナログ信号 パルス信号等	DC12V 回路、DC24V 回路、 DC48V 回路	100mA 以上	10kHz 以下	1.5dB 以下	600V 以下
		DC110V 回路				800V 以下
	シリアル通信	RS485 (5V)、RS422、 RS485 (12V)、 RS485 (24V)	100mA 以上	1MHz 以下		500V 以下
中央監視制御設備用	電流信号	4-20mA (24V)、 4-20mA (48V)	100mA 以上	10kHz 以下	1.5dB 以下	500V 以下
		4-20mA (48V)		10kHz 以下		500V 以下
火災報知設備用*3	P型、R型	100mA 以上	10kHz 以下	1.5dB 以下	500V 以下	

構内情報通信網設備用
 構内交換設備用
 拡声設備用
 テレビ共同受信設備用
 監視カメラ設備用
 中央監視制御設備用
 火災報知設備用

このように 公共設備では、「SPDは設置するもの」となっています。

注 *1 電流制限機能を有するものとする。
 *2 100V ハイインピーダンス系スピーカラインに適用する場合を示す。
 *3 回路電圧 DC24V の場合を示す。

太陽光発電設備の雷被害と 雷害リスクの計算

太陽光発電設備の雷害

太陽光発電設備は、建物の屋上や開けた土地に設置するため、落雷による直接的な被害を受けやすい設備です。

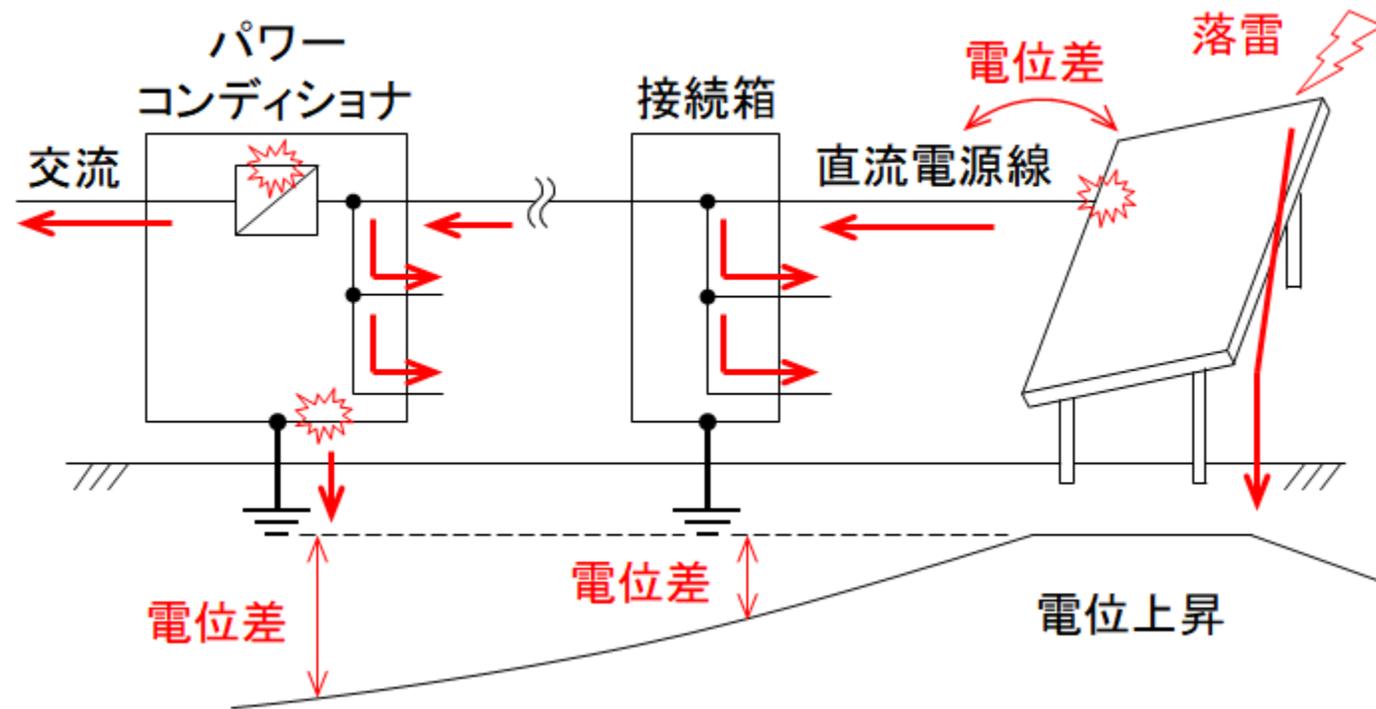
さらに、屋外設備では近傍への落雷で生じる放射磁界の影響を大きく受けるため、直流電源線、通信線には誘導による雷サージが容易に生じます。

そのため、太陽光発電設備では雷害が多く、次のような障害が発生しています。

太陽電池アレイへの落雷による障害

太陽電池アレイまたは架台に落雷があると、落雷箇所の損傷だけではなく、図のように架台接地の電位上昇によって、太陽電池アレイと直流電源線との間の絶縁が破壊され、直撃雷の大きな分流が直流電源線に流入します。

これは太陽光発電設備全体に直撃雷が分流することを意味し、より広範囲な雷害となります。



太陽光発電設備の雷被害と雷害リスクの計算

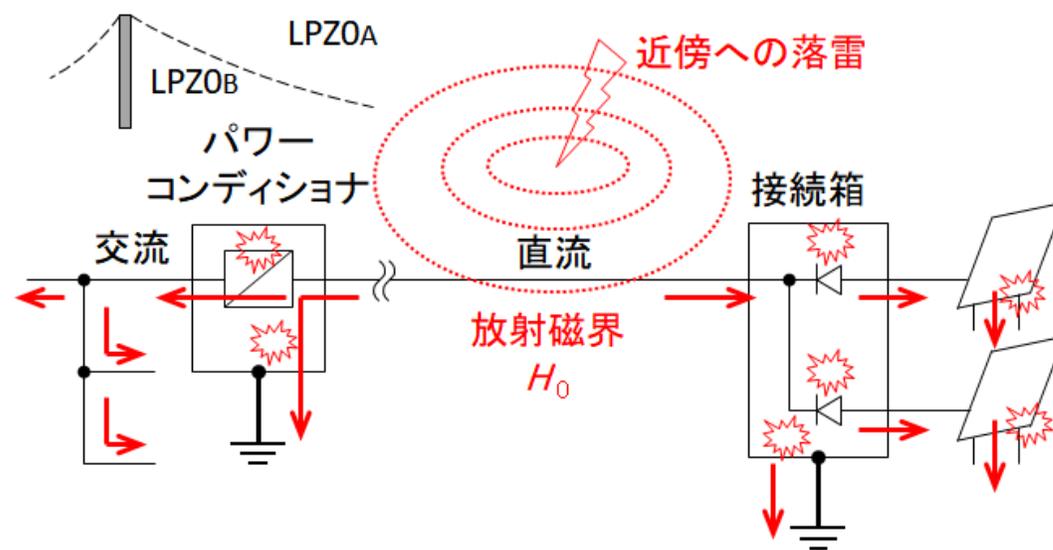
直流電源線に生じる雷サージによる障害

屋外に設置される太陽電池アレイの直流電源線は、一般に建物による空間遮へい（放射磁界の低減）がありません。そのため、近傍で落雷があると、大きな放射磁界 H_0 が生じ、直流電源線には、誘導による雷サージが発生します。

この雷サージは、各部で絶縁破壊を生じさせます。直流回路では、交流のように電圧ゼロ点（ゼロクロス点）がないため、生じたアーク放電は、周囲の導体を蒸発させ、消弧に必要な距離となるまで継続します。これが焼損の原因となります。

また、雷サージは、接続箱の逆流防止ダイオードを短絡故障させる場合もあります。この状態は発見が難しく、長期間、逆流防止機能の喪失状態が続くこともあります。

さらに、パワーコンディショナの直流側と交流側との間の絶縁が破壊されると、雷サージが交流側に流入し交流側の機器にも影響が及びます。



通信線に生じる雷サージによる障害

太陽光発電設備は、日射や発電量の計測などのために、各種センサや測定機器を用います。また、パワーコンディショナを分散させて設置する場合、多数のパワーコンディショナ間をRS485 ケーブルなどで接続します。

これらの通信線には、直流電源線と同様、誘導による雷サージが生じます。

この雷サージは、センサ、機器、パワーコンディショナを故障させます。

さらに、機器の通信線と交流側との間の絶縁が破壊されると、雷サージが交流側に流入し、交流側の機器にも影響が及びます。

太陽光発電設備への直撃雷の雷害リスク計算

国際規格IEC 62305-2では、年間落雷密度 N_G 、係数 k 、捕集面積 A_D 、位置係数 C_D から、次の計算式で建築物への年間平均落雷数 N_D を求めると規定しています。

$$\begin{aligned} N_D &= k \times N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \\ &= 2 \times N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad \text{〔回 / 年〕} \end{aligned}$$

建築物への年間平均落雷数 N_D : 建築物に1年間で生じる直撃雷数〔回 / 年〕

年間落雷密度 N_G : 1km × 1km の範囲に1年間で生じる落雷数〔回 / 年〕
(スライド5参照)

係数 k : 年間落雷密度 N_G マップがある場合は 2

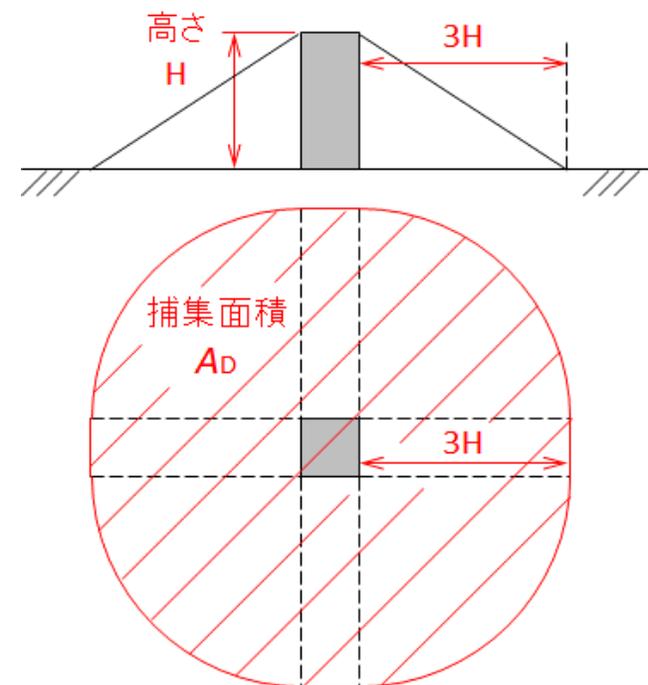
捕集面積 A_D : 次のスライドによる〔m²〕

位置係数 C_D : 次のスライドによる

運用期間中に設備に直撃雷が生じる回数 = $N_D \times$ 運用期間〔年〕

捕集面積 A_D

高い建物では、落雷する確率が高くなるため、国際規格 IEC 62305-2 の附属書 A では、右図のように敷地面積に加え、建物の高さの3倍の半径と等しい面積を、捕集面積 A_D [m^2] と定めています。



位置係数 C_D

国際規格 IEC 62305-2 の附属書 A では、位置係数 C_D を、右表のように定めています。

建物の位置	C_D
より高い建物に囲まれている	0.25
同じまたは低い建物に囲まれている	0.5
単独で建つ建物	1
丘や小山の上に単独で建つ建物	2

太陽光発電設備への誘導による雷サージの雷害リスク計算

国際規格IEC 62305-2では、年間落雷密度 N_G 、係数 k 、建築物などの近傍への落雷によって影響を受ける面積 A_M から、次の計算式で建築物の近傍への年間平均落雷数 N_M を求めると規定しています。

$$\begin{aligned} N_M &= (1 / k) \times 2 \times N_G \times A_M \times 10^{-6} \text{ [回/年]} \\ &= N_G \times A_M \times 10^{-6} \text{ [回/年]} \end{aligned}$$

建築物の近傍への年間平均落雷数 N_M : 建築物の引込線に1年間で生じる誘導雷数 [回 / 年]

年間落雷密度 N_G : 1km × 1km の範囲に1年間で生じる落雷数 [回 / 年]
(スライド5参照)

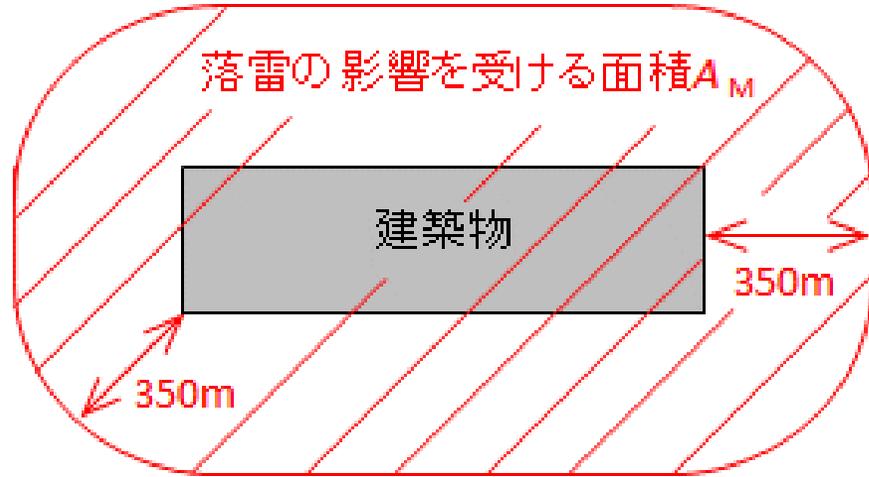
係数 k : 年間落雷密度 N_G マップがある場合は 2

建築物などの近傍への落雷によって影響を受ける面積 A_M : 次のスライドによる [m²]

運用期間中に設備に誘導による雷サージが生じる回数 = $N_M \times$ 運用期間 [年]

建築物などの近傍への落雷によって影響を受ける面積 A_M

最も弱い機器の定格インパルス電圧を 1 kV とする場合、建築物などの周囲350mまでの面積となります。



当社成田工場の太陽光発電設備の雷害リスク計算例

千葉県香取市
年間発電量
:約10万kWh
敷地面積
:約1900m²



当社成田工場の太陽光発電設備の雷害リスク計算例

- 太陽光発電設備への年間平均落雷数 N_D を求める

年間落雷密度 $N_G = 0.6$ [回 / km²]

捕集面積 $A_D = 1,900$ [m²] (平面に立地することから高さ0mで計算)

位置係数 $C_D = 1$ (単独立地)

式: $N_D = 2 \times N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$ [回/年]

計算結果 $N_D = 0.00228$ [回/年]

ここで運用期間を20年とすると、運用期間中に直撃雷が生じる確率 = $N_D \times 20$ 年 = 0.05 回

- 太陽光発電設備の近傍への年間平均落雷数 N_M を求める

年間落雷密度 $N_G = 0.6$ [回 / km²]

近傍への落雷によって影響を受ける面積 $A_M = 420,000$ [m²]

式: $N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}$ [回/年]

計算結果 $N_M = 0.252$ [回/年]

ここで運用期間を20年とすると、運用期間中に誘導による雷サージが生じる確率
= $N_M \times 20$ 年 = 5.04 回

メガソーラの雷害リスク計算例

- 太陽光発電設備への年間平均落雷数 N_D を求める

年間落雷密度 $N_G = 2.0$ [回 / km²] (北関東の平地)

捕集面積 $A_D = 20,000$ [m²] (敷地面積200m×100m 高さ0m で計算)

位置係数 $C_D = 1$ (単独立地)

式: $N_D = 2 \times N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$ [回/年]

計算結果 $N_D = 0.08$ [回/年]

ここで運用期間を20年とすると、運用期間中に直撃雷が生じる回数 = $N_D \times 20年 = 1.6$ 回

- 太陽光発電設備の近傍への年間平均落雷数 N_M を求める

年間落雷密度 $N_G = 2.0$ [回 / km²]

近傍への落雷によって影響を受ける面積 $A_M = 614,650$ [m²]

式: $N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}$ [回/年]

計算結果 $N_M = 約1.23$ [回/年]

ここで運用期間を20年とすると、運用期間中に誘導による雷サージが生じる回数
= $N_M \times 20年 = 24.6$ 回

太陽光発電設備の雷被害と雷害リスクの計算

単独で建つ建物（高さ15m）の屋上に太陽電池アレイを設置する例

- 太陽光発電設備への年間平均落雷数 N_D を求める

年間落雷密度 $N_G = 1.0$ [回 / km²] (関東の郊外)

捕集面積 $A_D = \text{約}13,685$ [m²] (平面面積50m×20m 高さ15m)

位置係数 $C_D = 1$ (単独立地)

式: $N_D = 2 \times N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$ [回/年]

計算結果 $N_D = \text{約}0.014$ [回/年]

ここで運用期間を20年とすると、運用期間中に直撃雷が生じる回数 = $N_D \times 20\text{年} = 0.28\text{回}$

- 太陽光発電設備の近傍への年間平均落雷数 N_M を求める

年間落雷密度 $N_G = 1.0$ [回 / km²]

近傍への落雷によって影響を受ける面積 $A_M = 434,650$ [m²]

式: $N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}$ [回/年]

計算結果 $N_M = \text{約}0.43$ [回/年]

ここで運用期間を20年とすると、運用期間中に誘導による雷サージが生じる回数
= $N_M \times 20\text{年} = 8.6\text{回}$

次回「太陽光発電設備の雷対策 ー実践編ー」
予告

太陽光発電設備の雷対策 – 実践編 –

2025年7月3日（木） 16:00～17:30

- 計算した雷害リスクから、雷対策の必要性を評価する手法について
 - 太陽光発電設備の直撃雷対策の必要性評価
 - 太陽光発電設備の誘導により生じる雷サージ対策の必要性評価
- 太陽光発電設備の直撃雷対策
 - 直撃雷対策（外部雷保護システム＝受雷部，引下げ導線，接地）の構築
 - 誘導により生じる雷サージ対策の手法
 - 大容量のPCS、分散型PCS、蓄電池やEV併用、監視カメラなどの通信システムなど
- 雷サージ対策製品（SPD）
 - 電源用SPD、通信用SPD、サージカウンタのご紹介
 - 施工時の注意点
 - 保守・点検