

事業継続の観点から企業の雷リスク対策を考える

建物内外の設備機器に影響を及ぼす雷サージは、電源線、信号・通信線などのあらゆる導電性ケーブルを通じて設備機器に侵入し、これらを破壊する。生産プロセスのネットワーク化により生産性が向上する一方で、雷の侵入経路もその利便性に比例して増加傾向にある。また、通信系統を中心に、設備機器に使用される半導体デバイスは、雷によりもたらされる過電流に対して非常に脆弱である点も被害を助長する要因となっている。今後、IoT 技術などが進展し、生産プロセスのネットワーク化が加速されることで、被害の対象が一層増えることが懸念される。雷被害の形態についても、生産設備の損傷・故障などの直接的かつ一次的なものだけではなく、例えば生産データ消失による仕掛品被害などの間接的なものや生産プロセス停止による機会損失などの二次的な被害を含むものに変容しており、企業の事業継続を妨げる一つの大きな要因となりつつある。

本稿では、例年落雷数が増える夏に先立ち、日本国内における雷リスクハザードとその対策、事業継続の観点からの雷リスクについてあらためて整理した。

1. 日本国内における雷リスクハザード

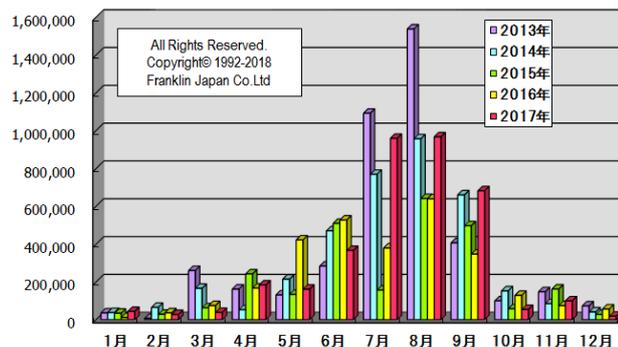
(1) 夏季雷

夏季雷は、夏季（主に7月から9月）に大気が不安定になることで山岳部周辺に発生する積乱雲によりもたらされ、日本で観測される落雷の多くを占めている。

図1の全国月別落雷数（2013-2017年）は、日本全国の落雷数を集計したものである。毎年5月から6月にかけて徐々に落雷数が増加し始め、7月から8月にかけて最も落雷数が多くなる傾向が確認できる。

また、同集計期間（2013-2017年）における全国落雷密度マップ²（図2）および地域別落雷数（図3）によると、特に夏季雷が多いとされている関東甲信地方北部や九州地方全域などで、実際に多数の落雷があることが確認できる。

■ 図1 全国月別落雷数（2013-2017年）

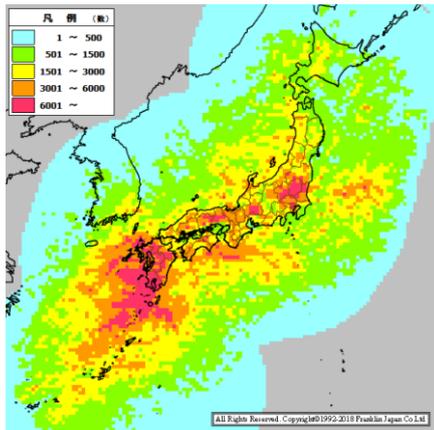


出典：株式会社フランクリン・ジャパン

¹ 電磁波としての雷によって発生する過渡的な過電圧および過電流。

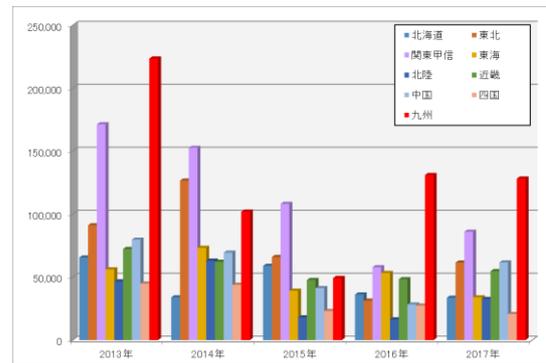
² 2013年～2017年（5年間）の20km×20kmメッシュにおける積算落雷数（落雷（対地放電）ストロークデータ）。

■ 図2 全国落雷密度マップ (2013-2017年)



出典：株式会社フランクリン・ジャパン

■ 図3 地域別落雷数 (2013-2017年)



出典：株式会社フランクリン・ジャパン HP
掲載データをもとに弊社作成

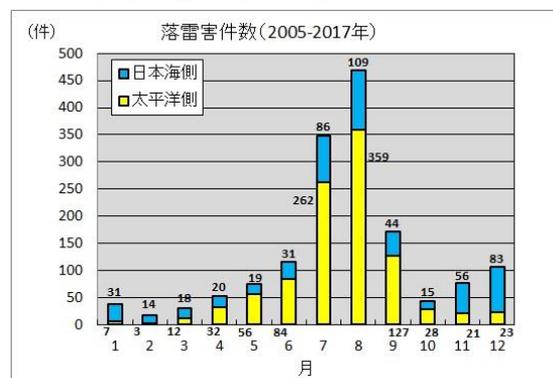
(2) 冬季雷

一方、冬季（主に11月から2月）に発生する冬季雷は、北陸地方を中心に日本海沿岸部（北海道西岸から北九州北岸まで）で寒冷前線に沿って、海岸線から近い地点（約20～35km程度）で多く発生する。夏季雷と比較して落雷数は少ないものの、雷雲が比較的低位に形成されるため、放電エネルギーが大きく³、一発の落雷による影響、被害が大きくなる傾向がある。冬季雷の雷雲は、大陸から流れ込む寒気が暖流（対馬海流）に暖められて水蒸気となり、これが季節風により上陸し、山間部で上空の寒気に冷やされることで発生する。なお、冬季雷は、日本海沿岸部のほかは、ノルウェーの大西洋沿岸や北米の五大湖から東海岸にかけての地域でしか発生しない、世界的にも珍しい気象現象である。

(3) 月別・地域別落雷害件数

図4は全国の月別・地域別落雷害⁴件数（2005-2017年）を太平洋側と日本海側別に集計した結果である。冬季（11月から2月）の日本海側の合計落雷害件数（184件）は、同時期の全国の合計落雷害件数（238件）の約77%を占めている。図2、図3で確認したとおり、日本海側は太平洋側と比較して落雷数自体は少ない傾向にあるが、冬季の落雷害件数は多いことが確認できる。これには放電エネルギーの大きさなどが影響しているものと考えられる。

■ 図4 月別・地域別落雷害件数 (2005-2017年)



出典：気象庁提供データをもとに弊社作成

³ 夏季雷の電荷量が約10C（クーロン）以下とされているのに対し、冬季雷の電荷量は300Cを超すものも数多く観測されている。

⁴ 落雷によって発生する直接的、間接的災害。主なものとしては落雷による人的被害、建物破損・火災、停電、交通障害（停電による運休や航空機への落雷など）、通信施設被害など。

2. 雷により設備機器が破壊されるメカニズム

設備機器には固有の耐電圧⁵があり、これを超える過電圧が加わると設備機器は破壊されてしまう。本項目では設備機器を破壊する雷サージの侵入経路と雷被害の種類について説明する。

(1) 建物・設備機器への侵入経路

建物や設備機器に影響を及ぼす雷サージは、メタルなどの導電性ケーブルを通じて建物と設備機器に侵入する。図5に主要な雷の侵入経路を示す。設備機器の動力源である電気を供給する電源線、制御・通信用途の信号・通信線、過電流を大地に放電するための接地線のほか、アンテナ・避雷針などが挙げられる。

■ 図5 雷の侵入経路

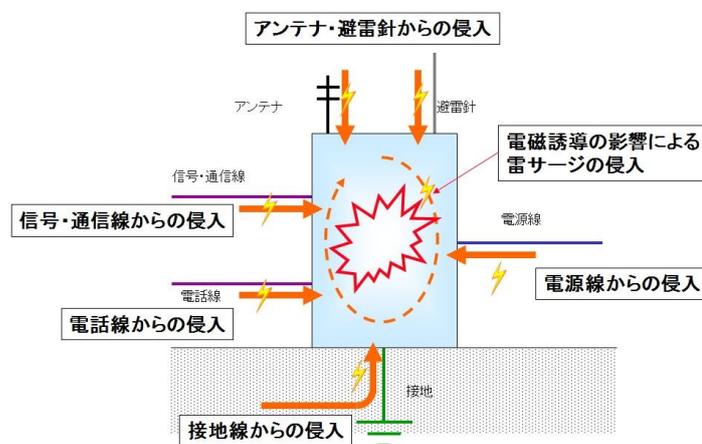


図5～12 イラスト等データ協力：株式会社サンコーシヤ

(2) 建物や設備機器に被害をもたらす雷被害の種類

建物や設備機器に被害をもたらす主要な3つのパターンを確認する。

a. 直撃雷による被害

直撃雷とは、雷雲から直接建物や人に落ちる雷のことである。建物に落ちた場合、後述する外部LPS⁶（避雷針、引下げ導線など）が設置されていれば、これを経由して大部分は大地に放電される。ただし、その分流成分やフロア間（垂直方向）に生じる電位差（電圧）による雷電流⁷が電源線や信号・通信線を通じて設備機器を損傷させるおそれがある。

b. 誘導雷

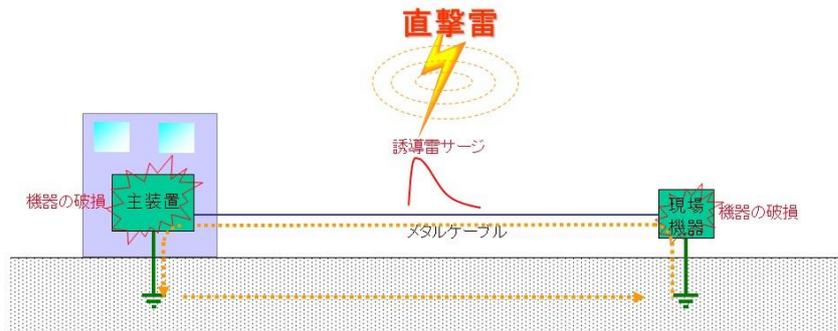
誘導雷とは、周辺に落ちた直撃雷がもたらす磁界の変化により、ケーブルに二次的に発生する雷電流のことである。発生した雷電流が電源線や信号・通信線を通じて建物内に侵入し、設備機器を損傷させるおそれがある。

⁵ 絶縁破壊が起きない範囲で設備機器に加えることのできる電圧の最大値。

⁶ 外部雷保護システム。LPSはLightning Protection Systemの略。3. 雷対策参照。

⁷ 一般的に上階の電位が高くなり、下階の電位が低くなる。電流は電位の高いところから低いところへ流れる性質がある。

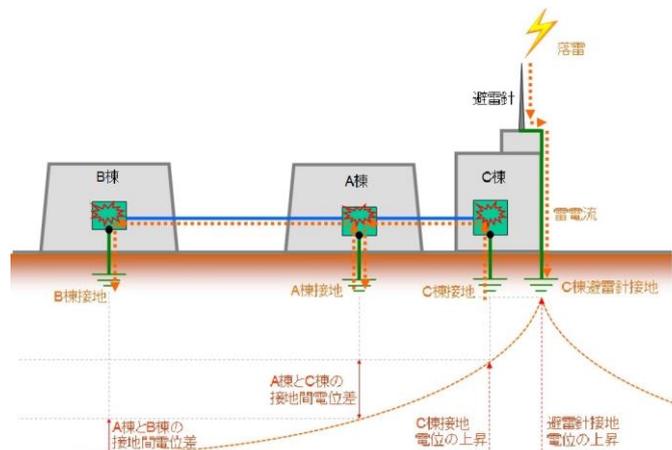
■ 図6 誘導雷がもたらす雷被害イメージ



c. 水平方向の電位差(接地線からの侵入)

雷が外部 LPS (避雷針、引下げ導線など) を通じて大地に流れる際、一般にその接地極に近い部分の電位が高くなり、遠くなるほど電位が低くなる。雷電流は電位の高いところから低いところへ流れる性質があるため、各建物の接地線を通じて建物内に侵入し、その間にある設備機器を損傷させるおそれがある。

■ 図7 水平方向の電位差がもたらす雷被害イメージ



(3)近年の事故事例

近年の事故事例として、再生可能エネルギーとして普及している太陽光発電システムと風力発電設備、Google データセンターでの雷被害について紹介する。

a. 太陽光発電システム 太陽光発電システムは屋外に設置されているため、太陽電池アレイやパワーコンディショナなどの構成機器が直撃雷を受ける可能性があり、建物内に設置されている設備機器と比べて、雷リスクが高いと言われている。NEDO の調査⁸によると、被害件数が最も多い機器は、発電状況などを伝達する計測システムであり、全体の約 66%⁹を占めている。また、被害額合計が最も高い部位はパワーコンディショナで、全体の約 78%¹⁰を占めている。

b. 風力発電設備 太陽光発電システムと同様に、風力発電設備も屋外に設置されており、高さが

⁸ 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 平成 21 年度成果報告書「太陽光発電システム 雷害の状況・被害低減対策技術の分析・評価などに係る業務」

⁹ 対象機器が被害を受けた件数が、被害件数全体に占める割合。

¹⁰ 対象機器が被害を受けた事例での被害額の合計が、全事例の合計額に占める割合。

地表面から 100m を超える大型のものもあり、雷リスクが高いとされている。経済産業省が行った調査¹¹によると、落雷事故・トラブルが発生した発電所数 (195 発電所) は回答した発電所数全体 (349 発電所) の約 56%にも上る。なお、主な事故内容は、「ブレードやレセプタの破損 (292 件)」が報告された総事故件数 (948 件) の約 31%を、「その他 (電気回路の不具合など) (610 件)」が約 64%を占めている。

なお、昨今の風力発電設備に対する雷被害の増加により、経済産業省は 2015 年 2 月に風力発電設備に関する技術基準である「発電用風力設備の技術基準の解釈について」を一部改正している¹²。具体的には、冬季雷が発生する日本海側では風車への雷撃の電荷量 600C を、その他のエリア (関東甲信地方、中部地方、九州全域など) でも 300C を想定した雷対策を講じることを定めている。

(c)Google データセンター¹³ 2015 年 8 月 13 日、ベルギーのデータセンターへの電力系統網に 4 発の落雷があり、瞬停 (瞬時停電) が生じ、電源復旧までのごくわずかの間に一部の顧客データが消失した。

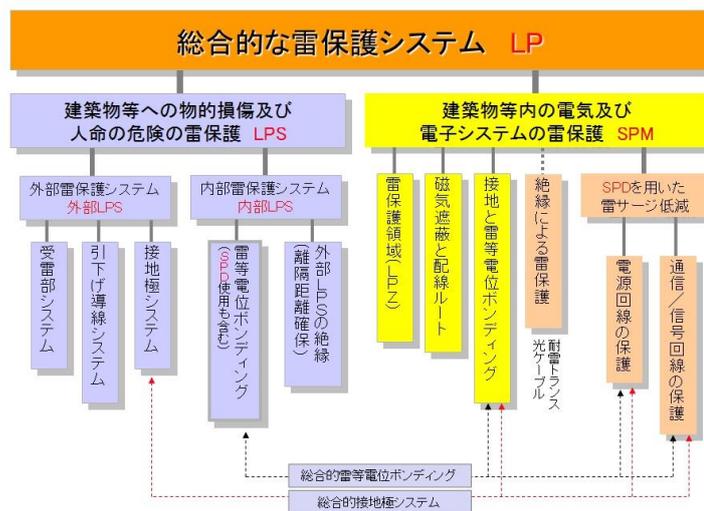
3. 雷対策

本項目では、雷被害を低減するための対策をハード面、ソフト面に分けて確認する。

(1)ハード対策

雷による直接的な被害を避けるためのハード対策は、JIS で定められた方法¹⁴が広く普及しており、建物や人命保護のための LPS (Lightning Protection System) と設備機器保護のための SPM (LEMP Protection Measures) に大別される。図 8 に総合的な雷保護システムを示す。

■ 図 8 総合的な雷保護システム



¹¹ 産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会「落雷事故を踏まえた今後の再発防止対策等について (中間報告書)」

¹² 「発電用風力設備の技術基準の解釈について」の一部改正について

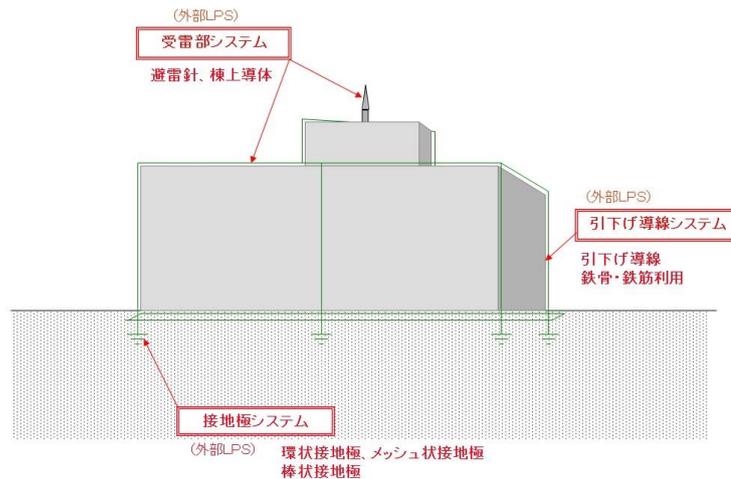
http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2015/01/270206-1.html

¹³ Google Cloud Platform <https://status.cloud.google.com/incident/compute/15056#5719570367119360>

¹⁴ JIS A 4201 : 2003 「建築物の雷保護」、JIS Z9290-1 : 2014 「雷保護—第 1 部 : 一般原則」、JIS Z9290-3 : 2014 「雷保護—第 3 部 : 建築物等への物的損傷及び人命の危険」、JIS Z9290-4 : 2016 「雷保護—第 4 部 : 建築物内の電気及び電子システム」など。

総合的な雷保護システムのうち、避雷針などの直撃雷から建物を保護するシステムが、外部 LPS (外部雷保護システム) に含まれる。図 9 に外部 LPS の概要を示す。受雷部で雷を受け、引下げ導線、接地極を経由して大地に放電する仕組みとなっている。ただし、外部 LPS は直接的に建物内の設備機器を保護するためのものではなく、SPM と複合的に用いることではじめて、事業継続の観点から十分な雷対策としての効果を期待できる。

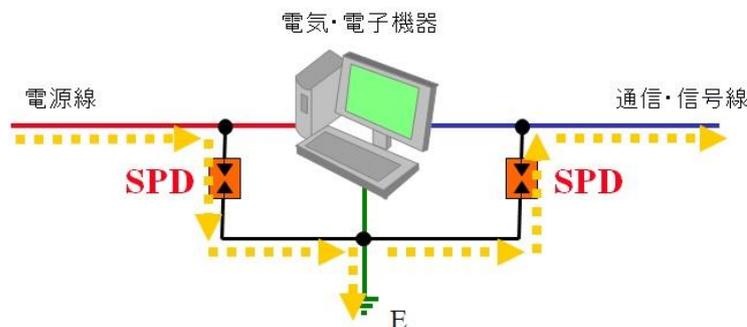
■ 図 9 外部 LPS の概要



SPM を構成する主な雷対策として、SPD (Surge Protective Device) や耐雷トランスの設置、等電位ボンディングが挙げられる。その概要を以下に示す。

a. SPD SPD (避雷器、保安器、アレスタなど) は、雷サージによる過渡過電圧を接地線にバイパスし、設備機器の耐電圧以下に制限して設備機器を保護するための安全装置である。SPD は、平時は高抵抗だが、高い電圧が加わると瞬時に抵抗を下げ、電流を通すバリスタなどで構成されている。想定される最大雷電流 (100kA~200kA) に応じて、保護レベルはレベル I ~レベル IV に分類される。図 10 に SPD の効果イメージを示す。

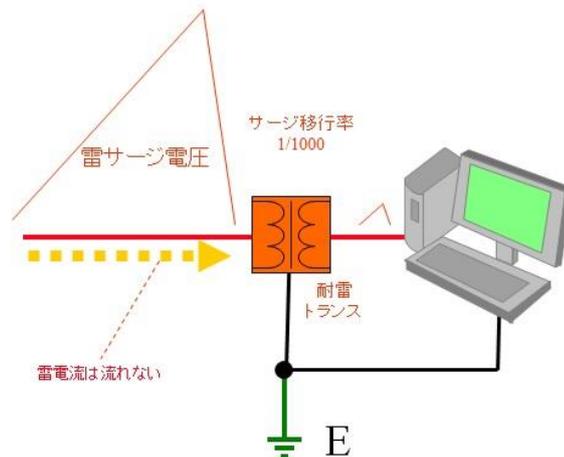
■ 図 10 SPD の効果イメージ



b. 耐雷トランス SPD が雷サージを設備機器の耐電圧以下に制限して大地に放電するのに対して、耐雷トランスは、設備機器側に繋がるケーブルを電氣的に絶縁することでこれを保護する安全装置である。基本的に耐雷トランス二次側 (設備機器側) に雷サージが流れることはないため、保護性能は

高いと考えられる。ただし、大型かつ高価なため、費用対効果により SPD との併用を検討する必要がある。図 11 に耐雷トランスの効果イメージを示す。

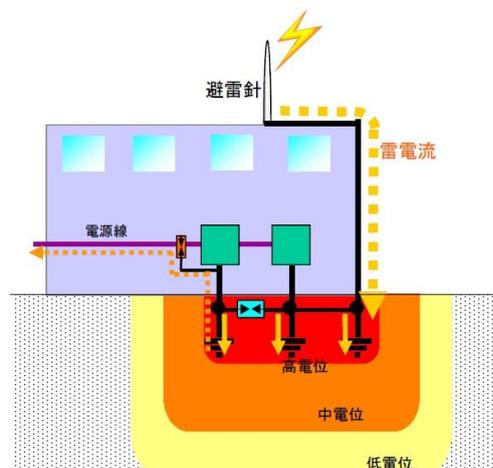
■ 図 11 耐雷トランスの効果イメージ



c. 等電位ボンディング 等電位ボンディングとは、建物内部の金属製構造物を電氣的に接続することである。雷サージによりもたらされる、建物内部の火花放電や電位差解消のために用いられる手法である。建物に引き込まれている金属配管、電源線、通信・信号線および接地線を電氣的に接続することで、電位差により生じる雷サージの侵入の防止、あるいは侵入した雷サージの減衰を期待できる。

接地を例に考えると、前述のとおり、放電先の接地極周辺の大地電位は上昇するが、各種接地線が接続されていれば接地線間に電位差は生じず、雷サージの侵入を防ぐ可能性が高まる。ノイズなどの問題により接地極を接続できない場合は、接地線間に SPD (アースバランサ) を設置する。平時においては各種接地線間が絶縁されている状態を保ちつつ、雷電流が発生した場合のみ SPD が動作し、接地線間を短絡させて電位差を解消できる。図 12 に等電位ボンディングの効果イメージを示す。

■ 図 12 等電位ボンディングの効果イメージ



なお、雷による間接的な被害として、商用電力の供給が瞬間的に止まる瞬停（瞬時停電）や供給電力が低下する瞬低（瞬時電圧低下）が考えられる。一般的な対策として、無停電電源装置(UPS Uninterruptible Power Supply)、非常用発電機、瞬停補償装置の設置などがある。

(2)ソフト対策

ソフト対策の第一歩となる「落雷情報の入手方法」を確認する。

雷センサを用いた日本全国を網羅した観測網として、気象庁のLIDEN¹⁵(Lightning DEtection Network system)と株式会社フランクリン・ジャパンのJLDN¹⁶(Japan Lightning Detetion Network)が挙げられる。前者は全国 30 箇所に、後者は全国 31 箇所に配備したセンサにより、落雷地点と時間を特定している。前者による落雷情報は「雷ナウキャスト」¹⁷にて、1km メッシュの落雷データ (10 分毎更新) として閲覧できる。後者による落雷情報は、捕捉率 90%以上平均誤差 500m 以下の精度を有しており、こちらはリアルタイムでの情報を有料で閲覧できる。

4. 事業継続の観点からの雷リスクの洗い出し

ここまで、地域単位のマクロな視点による雷リスクハザードや基本的な雷対策について確認してきた。

本項目では、企業経営に直結する事業継続の観点から貴施設の雷リスクについて確認する。以下に、立地・環境、生産における重要設備の有無・冗長性（他の設備での代替性、予備機の有無）、重要設備の設置状況（受電系、通信・制御系、接地系）などに着目して、雷リスクの高低を判断する簡易的な手法を整理した。着眼点の該当項目数に応じて、雷リスクが高くなると考えられる。

(1)立地・環境

前述のとおり、マクロな視点では、夏季雷は関東甲信地方北部や九州地方全域などで、冬季雷は日本海沿岸部で多く発生する傾向がある。本項目では、敷地内の建物高さや敷地周辺の環境など、ミクロな視点での雷リスクハザードを確認する。

- ①高さ 20m以上の建物がある。
- ②施設周辺の半径 100m以内に高さ 20m以上の建物がある。
- ③避雷針・棟上導体、引下げ導線などの外部 LPS を導入していない¹⁸。
- ④過去 5 年以内に雷による被害を受けたことがある。

(2)生産における重要設備の洗い出し

雷により被災した場合、生産活動に大きな影響を及ぼす重要設備をリストアップする。

a. 再調達期間 構内の生産設備で再調達期間が 6 ヶ月以上の設備またはその構成部品がある。なお、複数ある場合には、再調達期間が長い設備（構成設備）上位 3 つをリストアップする。

b. 冗長性の確認 上記設備で冗長性がないものを確認する。すなわち、生産工程上ボトルネックとなり得る設備¹⁹を確認する。

¹⁵ 気象庁 雷監視システム <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/toppuu/thunder1-2.html>

¹⁶ 株式会社フランクリン・ジャパン JLDN について <https://www.franklinjapan.jp/contents/observation/jldn/>

¹⁷ <http://www.jma.go.jp/jp/radnowc/index.html?areaCode=000&contentType=1>

¹⁸ 避雷設備がない場合、直撃雷の通過経路が予測し難く、対策を講じにくい。なお、法規による避雷設備の設置基準は以下のとおり。

- ・高さ 20 メートルを超える建築物（建築基準法第 33 条）
- ・指定数量の倍数が 10 以上の製造所、屋内貯蔵所、屋外タンク貯蔵所（危険物の規制に関する政令第 9-11 条）

¹⁹ 当該設備が故障すると生産工程全体がストップする設備。

(3)重要設備の設置状況(電源系)

(2)で洗い出した重要設備について、雷サージの侵入経路となる電源系(ケーブル)の敷設状況を確認する。

a. 受電形式²⁰ 以下の順に雷リスクが高くなると考えられる。

低圧受電>特高 or 高圧受電>(敷地内への受電形式に関わらず)重要設備は常時商用回線から切り離され自家用発電設備から給電

b. 低圧受電の場合 低圧回路に低圧用 SPD または耐雷トランスを使用していない。

c. 特高または高圧受電の場合 特高用または高圧用 SPD を設置していない。

(4)重要設備の設置状況(通信制御系)

(2)で洗い出した重要設備について、雷サージの侵入経路となる通信系(ケーブル)の敷設状況を確認する。通信ケーブルが必要な主な設備として、電話、インターネット、火災報知設備、監視カメラなどが挙げられるが、本項目では、上記の重要設備の制御に関する通信ケーブルを中心に確認する。

a. ケーブルの材質²¹ 以下の順に雷リスクが高くなると考えられる。

敷地内の通信ケーブルは全てメタルケーブル>一部光ケーブル>全て光ケーブル

b. 敷設状況²² 遠隔監視や制御などを目的とした通信ケーブルがあり、建屋をまたぐ通信ケーブルがある。または、上下階で通信ケーブルが繋がっている。

c. 対策の実施状況 重要設備の通信ケーブルに SPD を設置していない。

(5)重要設備の設置状況(接地系)

(2)で洗い出した重要設備について、雷サージの侵入経路となる接地線の状況を確認する。

a. 対策の実施状況 重要設備のある建物の接地線を接続していない²³。

5. まとめ

今後、IoT 技術などが進展し、生産プロセスのネットワーク化が加速されることによる雷サージの侵入経路の増加と、通信系統などの半導体デバイスの過電流に対する脆弱性が複合的に作用し、雷被害の発生件数が一層増えることが予想される。

生産設備の損傷・故障などの一次的な被害のみであれば、影響は軽微で済む可能性も考えられる。しかし、生産プロセス停止などの二次的な被害が発生した場合、その機会損失による被害額自体が大きくなるばかりでなく、製品の供給能力を問われ、企業としての信用低下に繋がり、その後の事業活動にも大きな影響をもたらす可能性は否定できない。

²⁰ 特高または高圧受電の場合、電気保安用接地線への雷対策などが可能なため、低圧受電よりリスクを低減する余地がある。常時自家用発電機使用の場合、侵入経路となり得る電気ケーブルが限定される(敷地内ケーブルのみ)ため、被災する可能性がより低減される。

²¹ 光ケーブルの素材(プラスチックやガラス)は電気を通さないため、基本的に雷サージが侵入しない。ただし、テンションメンバやシースが金属製の場合、被害を受けるおそれがある。

²² 侵入経路が増えるため、建屋間をまたぐ場合、雷リスクが増大すると考えられる。また、階層間の電位差により、雷サージが生じ、設備機器に被害を及ぼすおそれがある。

²³ 接地線を接続(等電位化)していれば、接地極間で電位差が生じにくいいため、接地線を経由しての雷サージを防ぎ、それに伴う機器の破損を防ぐ可能性が高まる。

事業継続の観点から雷リスクが高いと判断される場合は、雷対策の専門業者と相談のうえ、費用対効果を考慮しつつ、適切な雷対策を講じることが望まれる²⁴。

本稿が、貴施設における雷リスクマネジメントへの意識を高める一助となれば幸いである。

イラスト等データ協力：株式会社サンコーシャ <http://www.sankosha.co.jp/>

[2018年6月29日発行]

²⁴ 弊社は株式会社サンコーシャとの技術提携契約を結んでおり、連携してコンサルティングを実施している。



東京海上日動リスクコンサルティング株式会社

To Be a *Good Company*

企業財産本部 主任研究員 富田 学（専門分野：プロパティリスクマネジメント）
企業財産本部 主任研究員 福井 仁之（専門分野：プロパティリスクマネジメント）
〒100-0004 東京都千代田区大手町 1-5-1 大手町ファーストスクエア ウェストタワー23階
Tel. 03-5288-6712 Fax. 03-5288-6625 <http://www.tokiorisk.co.jp/>