

総合的な雷防護の現況について

(一財) 建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会

1 はじめに

最近の気象は、大気中の二酸化炭素などの温室効果ガスが増えることを要因として気温が上昇し、また、人工的な構造物や排熱（路面のアスファルト、エアコンの排熱など）を要因として都市部を中心とした限定的なゲリラ豪雨などが発生している。そして、時々、スマートフォンに「大雨注意、雷注意」などの通知がある。

本レポートでは、夏本番を迎え、建物に関する総合的な雷防護の現況を紹介する。

2 落雷に対する意識と現況

過去の雷被害について調べると、西暦930年（平安時代）の京都清涼殿への落雷による火災の記録がある。この火災は、多数の火災死傷者があり、3ヵ月後に醍醐天皇が崩御した。これらは、菅原道真が大宰府に左遷され、没後の落雷であることから、菅原道真の怨霊（雷神）とされ、その後、菅原道真が「天神様」として畏怖・祈願の対象となった。当時から落雷は怖いものの対象であった。

また、落雷の足跡として、閃電岩（フルグライト）があり、これは、落雷により高熱が発生し、一瞬のうちに岩石や土壌が融けて、ガラス化したものである。日本では1966年に発見され、岩見沢郷土科学館に保存されている。

さて、現在、情報通信において、IoT（Internet of Things）の進展や、ICT（Information and Communication Technology）社会、情報通信の多様化、高度化などにより、ICTシステムへの依存度が高くなっている。また、働き方改革により

テレワーク（tele+work）の導入が進められているが、新型コロナウイルスの影響を受け、更に加速する傾向である。このような環境の下、落雷が原因で生じるネットワーク網の停止、機器の破壊、システムダウン、データの消滅、装置故障（誤動作）などは企業活動に大きな損害を与えるだけでなく、企業間の信頼をも損なってしまう可能性がある。また、危機に備える事業継続計画BCP（Business Continuity Plan）では、第一に地震対策、第二に火災防止、第三がシステムダウンに繋がる雷被害対策が脅威に対するリスク対策として言われている。

3 雷とは

雷雲は、下層に十分な湿った大気があり、上空に強い寒気が入って、大気の状態が不安定になるなど地上の空気を上昇させる仕組みがあると発生する。

3.1 雷の発生原理

雷雲の発生から落雷までの仕組みは、次のとおりである（図1）。

- ①雲の中には、小さな氷の粒と大きな氷の粒があり、これらがぶつかり合い、「静電気」が起こる。
- ②小さな氷の粒（静電気／+に帯電）は雲の上部に集まり、大きな氷の粒（静電気／-に帯電）は雲の下部に集まる。
- ③雲の下部が-に帯電するとそれに対面する大地には+の電荷が集まる。
- ④雷雲と大地との間の電圧が高くなり、空気の絶縁が耐えられなくなった時に、地上の高い建物

などに向けて「放電」が起きる。これが落雷である。日常では、乾燥する季節にドアノブなどに触れた時に「パチッ！」とくる「静電気による放電」と同じ現象である。

3.2 雷の種類

一口に雷といっても、その発生条件により、①熱雷（夏季雷）、②冬季雷、③界雷、④渦雷、⑤火山雷などの種類に分けられている。

①熱雷（ネツライ）または夏季雷（カキライ）

夏季などに、地面が日射で局地的に強く熱せられ、湿気を含んだ下層の空気が上昇して入道雲とも呼ばれる雷雲（夏季雷）が発生する。特徴は、雷雲の高さは約3,000～5,000m、放電は負極性の「下向き」が90%以上を占める（図2及び図4）。

②冬季雷（トウキライ）

冬季に大陸からの冬の冷たい乾いた季節風と対馬暖流からの暖められた水蒸気により、日本海上で雷雲（冬季雷）が発生する。

特徴は、秋田県から福井県にかけての日本海沿岸の地域で、雷雲の高さは夏季雷と比べ約300～500mと低いため高層建築物から雷放電が発生しやすく、放電方向は「上向き」となることが多い。

世界的に冬季雷は、日本のほか、ノルウェー西岸、北米五大湖東岸などの限定された地域に発生する（図3～図5）。

③界雷（カイライ）

寒気団と暖気団がぶつかる寒冷前線付近で雷雲（界雷）が発生する。

特徴は地域差や季節によらず、広い範囲で発生し、前線の移動に付随して「落雷域」が移動する。

④渦雷（ウズライ／カライ）

発達した低気圧や台風中心近くでできる上昇気流により雷雲（渦雷）が発生する。

⑤火山雷（カザンライ）

火山が噴火した時、噴火口近くの噴煙で吹き上



図1 雷の発生

出典：(株)サンコーシヤのカタログより



下向き放電

上向き放電

図2 夏季雷（熱雷）

図3 冬季雷

出典：(株)サンコーシヤのカタログより

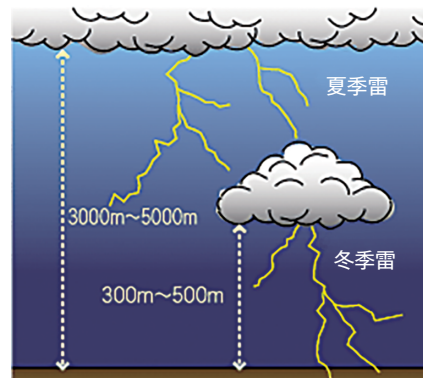


図4 夏季雷と冬季雷の雷雲の高さ

出典：(株)サンコーシヤのホームページより

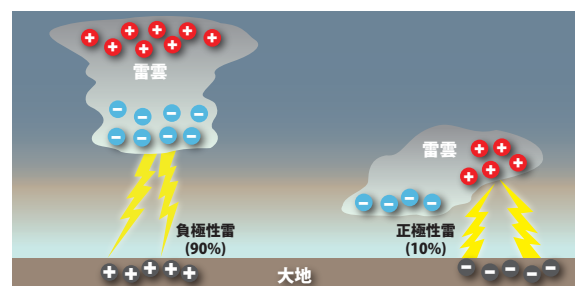


図5 冬季雷の負極性雷と正極性雷

出典：(公社) 全国市有物件災害共済会

『防災行政無線子局のための雷害対策ガイドブック』より

げられた火山灰、土石、水蒸気などがぶつかり合い、その摩擦（粒子の帯電）で雷（火山雷）が発生する。これらは桜島南岳などの噴火で見られる。

3.3 日本の雷情報

雷の情報は、気象庁の「雷ナウキャスト」、(株)フランクリン・ジャパンの「雷ぶらり」、電力会社などから公表されている。

「雷ぶらり」の雷統計データ及び気象庁ホームページの「雷の観測と統計」により、以下に紹介する。

3.3.1 地域別の落雷日数

落雷日数の多い地域は、①東北～北陸の日本海沿岸側、②山陰、③近畿南部、④四国太平洋側、⑤九州南部～トカラ列島となっている。なお、東北～中国地方の日本海沿岸では、冬型気圧配置時の「冬季雷」が多く発生している。

3.3.2 月別の落雷数

月別の落雷数は5月GW明けから増加し、9月頃までが落雷が多い時期となる。2018年（平成30年）の落雷数は春先や秋以降は多かったが、夏場は平均より少なかった（図6）。

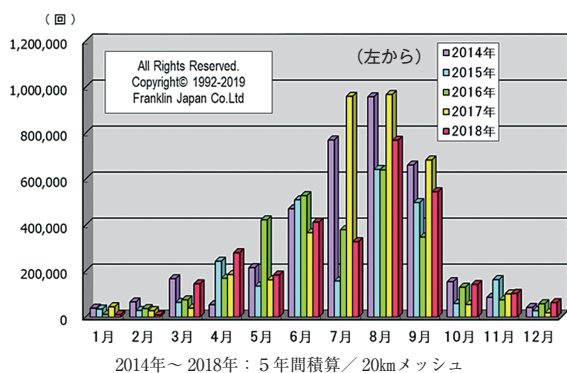


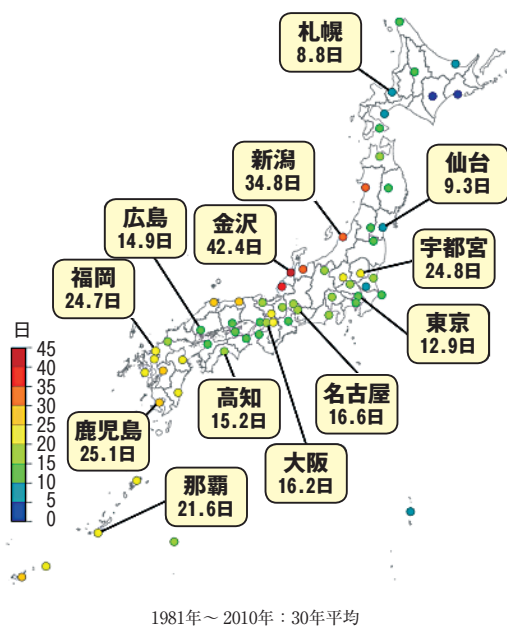
図6 全国の月別落雷数
出典：(株)フランクリン・ジャパンのホームページより

3.3.3 年間の落雷数

気象庁ホームページ、「雷の観測と統計」の年間の落雷日数では、東北～北陸の日本海沿岸側が多く、最多日数の金沢では42.4日となっている

(図7)。また、夏だけでなく冬の「冬季雷」が多発している。

その他、2014年から2018年の年間落雷数の推移は、2014年に73万回と多く、その後は45万回から50万回で推移している（図6）。



1981年～2010年：30年平均
図7 年間の落雷日数
出典：気象庁のホームページ「雷の観測と統計」より

4 落雷による損害

4.1 雷被害の実態

「自然の脅威 雷被害」（(一社)日本雷保護システム工業会）より雷被害の実態、及び重要文化財に関する建造物の雷保護調査報告書（『電気設備学会誌』2014年2月号）より建造物内部の雷被害を抜粋して述べる。

4.1.1 年間の雷被害推定金額

全国、2005年3月現在まで、総数780サンプルの調査によると、年間の雷被害推定金額は約630億円とされている。ただし、物的被害と補修費用のみの金額で、操業停止等の2次的被害額は含まれていない（図8）。



図8 年間の雷被害推定金額

出典：「自然の脅威 雷被害」(一社)日本雷保護システム工業会より筆者作成

4.1.2 建造物内部の雷被害

「重要文化財に関する建造物の雷保護調査報告書」の2013年集計では、設備被害は自動火災報知設備が31%、電話が12%、停電ブレーカの遮断が10%、防犯警報装置9%で多くを占めているが、事業継続の観点からは、電子機器の被害である、パソコン、監視カメラの被害も軽視できない(図9)。

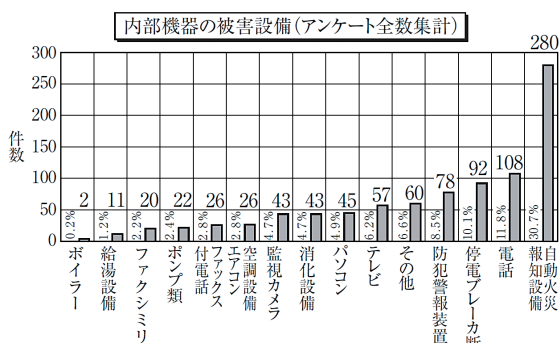


図9 建造物内部の内部機器の雷被害

出典：「重要文化財に関する建造物の雷保護調査報告書」『電気設備学会誌』2014年2月号より

5 落雷の防止対策

雷害の防止対策には、建築基準法及び消防法で定められた雷保護、更に加え落雷時の想定リスクなどを考慮した雷保護がある。

5.1 建築基準法と消防法

5.1.1 建築基準法

建築基準法第33条(避雷設備)によると、「高さ20メートルをこえる建築物には、有効に避雷設備を設けなければならない。ただし、周囲の状況によつて安全上支障がない場合においては、この限りでない。」と定められている。

これを受け、建築基準法施行令では避雷設備が以下のように定められている。

設置については、第129条の14(設置)に「法第33条の規定による避雷設備は、建物の高さ20メートルをこえる部分を雷撃から保護するように設けなければならない。」とされている。

また、構造については、第129条の15(構造)に、前条の避雷設備は国土交通大臣が指定する日本産業規格(JIS)に定める構造としなければならないとされている。

5.1.2 消防法

消防法に基づく「危険物の規制に関する政令」では、危険物を取り扱う製造所(第9条第1項第19号)、屋内貯蔵所(第10条第1項第14号)、屋外タンク貯蔵所(第11条第1項第14号)により、「指定数量の10倍以上の危険物の……には、総務省令で定める避雷設備を設けること。ただし、周囲の状況によって安全上支障がない場合においては、この限りでない。」と定められている。

また、避雷設備は同規則の第13条2の2によりJIS A4201(建築物等の雷保護)に適合したものとされている。

5.2 落雷時の想定リスクと雷保護

3.3項で述べたとおり、落雷の発生頻度が地域、時期によって著しく異なっており、建築基準法及び消防法に従っても、落雷による物的損傷、機能停止は回避できるものではない。国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課監修『建築設備計画基準（平成30年版）』の「計画資料」では、第3編第1章第6節雷保護設備に、雷保護レベルの選定は、建築物の構造・用途、建築物内外の重要度、落雷密度、環境条件等を考慮の上、保護レベルを選定するものとされている。詳細は同書を参照していただきたい。

6 雷保護の仕組み

6.1 雷被害の要因

雷被害の要因には、①直撃雷による被害、②誘導雷による被害、③接地間電位差による被害などの種類があり、これらの影響で火災、建物損壊のほか業務機能の停止が生じることもある（図10）。

①直撃雷による被害

直撃雷は、電柱、建造物、人体などの対象物へ直接落雷することで被害が生じる。

②誘導雷による被害

誘導雷は、落雷した時に通信線・電源線などに誘導される雷サージにより、電子機器の破損などの被害が生じる。

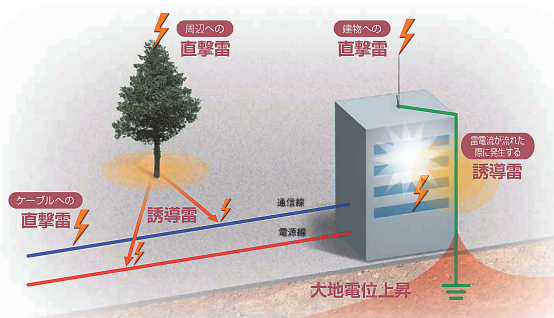


図10 直撃雷と誘導雷（雷サージ）の概念図
出典：(株)サンコーシャの総合カタログより

③接地間電位差による被害

建物や大地などの落雷による各接地の電位差により生じる被害である。各接地がそれぞれ個別に接地された場合に生じる。

6.2 雷保護に対する規格改正（新JISと旧JIS）

2003年7月、建築物等の雷保護システムを構築するためのJIS A 4201改正が行われた。改正内容は、寸法などの詳細が規定された「仕様規定」から建物の周囲の状況などを考慮して保護レベルを選定し雷保護システムを構築していく「性能規定」になった。ただし、国土交通省告示第650号（平成17年8月1日施行）により、「雷撃によって生ずる電流を建築物に被害を及ぼすことなく安全に地中に流すことができる避雷設備の構造方法を定める件」が発出され、旧JIS（JIS A 4201：1992）による避雷設備も新JIS（JIS A 4201：2003）の外部雷保護システムに適合するものとみなされた。また、JIS Z 9290-3：2019は、JIS A 4201：2003の代替規格として2014年12月に制定されているが、JIS A 4201：2003の廃止の通達はされていないのが、現状である。

7 雷保護対策の具体化

雷保護対策はJIS（日本産業規格）によると、①JIS Z 9290-3 建築物等への物的損傷及び人命の危険（LPS：Lightning Protection System）と②JIS Z 9290-4 建築物等内の電気及び電子システム（SPM：Surge Protection Measures）で大きく構成される。

①については、更にJIS A 4201で外部雷保護システムと内部雷保護システムに区分される。

また、②についても、更にSPDを用いた雷サージ低減などに区分される。

雷保護の構成の一部を述べたが、雷保護対策では総合的な雷保護が検討される（図11）。

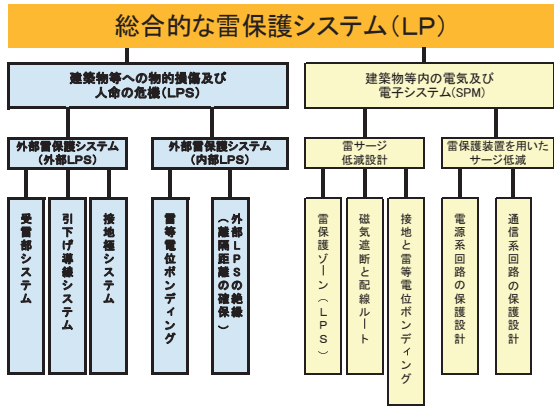


図11 雷保護の総合的な対策の構成
出典：(株)サンコーシャ資料より

7.1 雷保護システム (外部雷、内部雷)

外部雷保護システムは、避雷突針などを用いて、落雷から建築物を保護し、雷電流を安全に地中に流すことができるように構築される。

これらのシステムは、受雷部システム、引下げ導線システム及び接地極システムの三つの要素により構成される。これらのうち、受雷部は、JISによる建物高さ及び保護レベルに応じた設計とする(図12)。

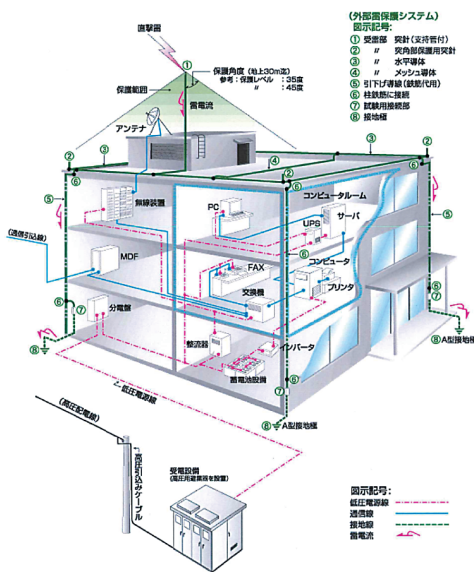


図12 外部雷保護の設置概念図
出典：日本雷保護システム工業会ホームページより

内部雷保護システムは、落雷により発生する導電経路間の電位差を低減できるように、「雷等電位ボンディング」及び「外部雷保護システムの絶縁」により構築される(図13)。

7.2 雷による電磁パルスに対する機器の保護

雷による電磁パルスに対する機器保護は、雷電磁インパルスによる建築物内の電気及び電子システムの故障発生を低減できるように構築される。

これらのうち、雷保護領域とSPDについて述べる。

7.2.1 雷保護領域 (LPZ)

雷保護領域 (Lightning Protection Zone) は、雷の電磁気的環境を定義したゾーンである。

建造物内部にある機器・設備を雷等によって発生するサージから保護することを目的として、保護すべき設備機器が設置されている空間を雷による電磁気的な強度に応じてゾーンを分割し設定する。これらの雷保護領域にはLPZ 0_A、LPZ 0_B、LPZ 1、LPZ 2などがある。

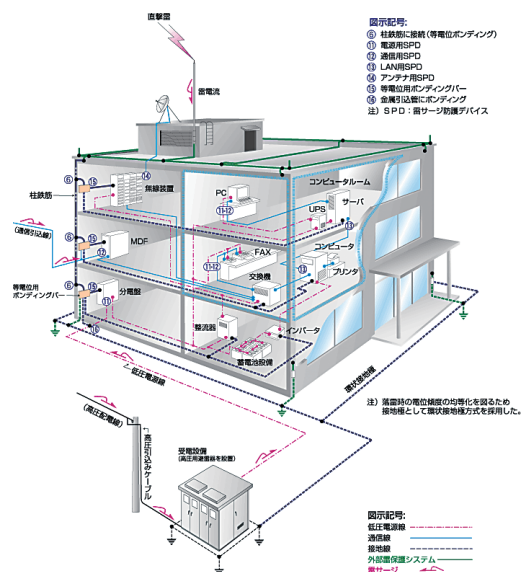


図13 内部雷保護の設置概念図
出典：日本雷保護システム工業会ホームページより

7.2.2 SPDを用いた雷サージ低減

①SPDの役割

SPDはJISに定める「サージ防護デバイス (Surge Protective Device)」であり、雷や遮断器などの開閉によって発生した瞬間的な過渡的過電圧 (サージ) を制限して、機器や設備を保護するものである。なお、避雷器などと呼ばれる。

②SPDの設置方法

雷害保護対策として重要なことは、第一に雷等電位ボンディング (接地の共通化) をすること、第二に保護したい機器にSPDを設置することである。

③SPDの性能

SPDの性能は、低圧用SPDにおいては、クラス I とクラス II に分かれ、通信用SPD II においてはカテゴリ D 1 とカテゴリ C 2 に分かれている。内容に応じて適用する (図14)。

| SPDの性能表記について(クラス、カテゴリについて) | | |
|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| | SPDの性能表記例 | |
| | 直撃雷対応 | 誘導雷対応 |
| | 10/350(μs)の雷電流対応 LPZ 0/1の境界に設置 | 8/20(μs)の雷電流対応 LPZ 1/2の境界に設置 |
| 低圧電源用 | クラス I | クラス II |
| 通信・信号回路用 | カテゴリ D1 | カテゴリ C2 |

クラスI、IIとは低圧電源用SPDの試験グレードです。
カテゴリD1、C2は通信・信号用の試験グレードです (他にA、B等がある)。

図14 SPDの性能表記について

出典：(株)サンコーシャ総合カタログより

④SPD関連部品

電源用SPD、通信用SPD、火災報知機用SPD、クローネ端子用SPD、LAN用SPD、ADSL-TEL用SPDなど、各種用途がある。

SPD関連部品の外観を図15に示す。



図15 SPD関連部品 (ビル対策用)

出典：(株)サンコーシャ総合カタログより

8 SPD の材料価格 (参考)

SPDの材料価格の聞き取り調査を行い、協力いただいた製造者の材料価格 (令和2年4月現在) を表1及び表2にまとめた。なお、取付けに関する費用は含まれていない。

仕様条件により材料価格は異なるので「目安値」である。

表1 SPDの材料価格 (1) (参考)

| SPDの区分 | 参考価格 [千円] | 単位 | 規格 | | 備考 |
|--------|-----------|------|--------|--------|---------------------|
| | | | 相・線 | 公称放電電流 | |
| 低圧電源用 | 101 | 1系統 | 1φ2W | 5kA以上 | 1φ100V (200V) |
| | クラス I | | 1φ3W | | 1φ100 / 200V、3φ200V |
| | | | 3φ3W | | 3φ400V |
| | | | 3φ3W | | |
| | 33 | | 1φ2W | | 1φ100V (200V) |
| | クラス II | | 41 | | 1φ3W |
| | | 3φ3W | | | |
| 63 | | 3φ3W | 3φ400V | | |

- (注) 1. 参考価格は製造者から聞き取り調査によるSPD資材の希望販売価格である。
2. 参考価格は聞き取り価格を四捨五入して千円単位とした。
3. 公共建築工事標準仕様書《電気設備工事編》(平成31年版)を参考に区分した。

表2 SPDの材料価格 (2) (参考)

| SPDの区分 | 参考価格 [千円] | 単位 | 規格 | | 備考 |
|-----------------------------|-----------|-----|--------|----------|----|
| | | | 1回線あたり | インパルス耐久性 | |
| LAN、ネットワーク、カメラ (EM-UTPケーブル) | 13 | 1回線 | 4P | 100A以上 | |
| 電話回線専用線用 (電話回線) | 18 | | 2芯 | 2kA以上 | |
| 放送スピーカ (信号線) | 18 | | 2芯 | 2kA以上 | |
| テレビ共同受信用 (同軸ケーブル) | 28 | | 1本 | 2kA以上 | |
| 監視カメラ用 (同軸ケーブル) | 18 | | 1本 | 2kA以上 | |
| 設備用制御信号 (各種信号等) | 18 | | 2芯 | 2kA以上 | |
| 計測監視設備、データ送信 (シリアル通信) | 18 | | 2芯 | 2kA以上 | |
| 火災報知設備用 (P型、R型) | 18 | | 2芯 | 2kA以上 | |

- (注) 1. 参考価格は製造者から聞き取り調査によるSPD資材の希望販売価格である。
2. 参考価格は聞き取り価格を四捨五入して千円単位とした。
3. 通信用SPDはカテゴリ D 1 及び C 2 に対応している。
4. 公共建築工事標準仕様書《電気設備工事編》(平成31年版)表1.4.5を参考に区分した。

9 最近の落雷観測装置の概要

電力会社で運用されている、落雷の位置や雷電流の大きさを高精度でリアルタイムに観測できる

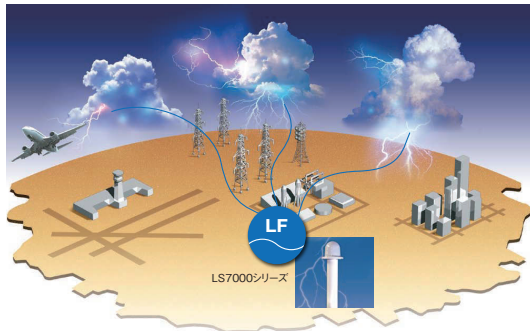


図16 ネットワークの概念図
出典：(株)サンコーシヤ総合カタログより

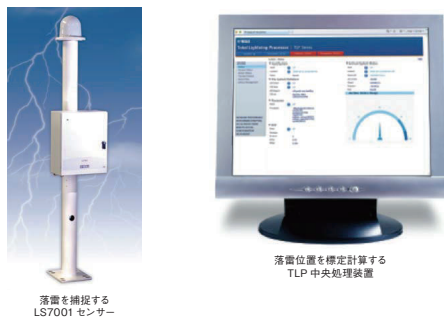


図17 落雷観測センサーと中央処理装置
出典：(株)サンコーシヤ総合カタログより

落雷観測システム（LLS：Lightning Location System）について紹介する（図16及び図17）。

本システムは、複数の落雷観測センサーと1台の中央処理装置から構成され、落雷時に発生する長波LF帯（Low Frequency）の電磁波をセンサーが捕捉し、中央装置に伝送される。

最新のLLSでは、標定精度（算出された落雷地点と実際の落雷地点の誤差）は250m～500m、捕捉率は90%以上、GPSを搭載したネットワークの同期精度は±100ns、と極めて高性能であることから、電力会社の送電線への落雷監視や保守巡視など、実際のフィールドでも幅広く活用されている。

落雷だけでなく雲放電（雷雲中の放電現象）を捕捉する機能（超短波VHF（Very High Frequency）帯捕捉センサー）を付加したシステムも開発され、落雷に至るメカニズムがより広範

囲に観測可能となっている。雲放電捕捉機能を備えたLLSは、日本海に特有の冬季雷の観測において特に優位性を発揮している。

これらを用いて、各電力会社がホームページに落雷の発生情報を提供している。

10 おわりに

落雷に対する保護について述べてきたが、現在、IoTの進展に加え、新型コロナウイルス対応でテレワークが増え、自宅と会社間の情報伝達がインターネットを通じて行われているところである。この状況を踏まえ、今後、通信線、電力線などの雷保護は企業内設備に留まらず住宅内設備までリスク回避の関心が広がると思われる。

また、自然現象の一つである雷現象は、未だ不明な点が多々あり、総合的な雷保護対策を設置しなくてもなくすことはできないであろう。雷被害の影響を考えると、雷保護設備は法的な設置に加え、事業継続のリスク対策として、雷被害を「最小限度に抑えるための備え」が重要である。

本レポートが読者の雷保護システムに対する理解に役立てば幸いである。

最後に、「総合的な雷防護の現況について」をまとめるにあたり、(株)サンコーシヤ様に多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

（参考文献）

- 1) 国土交通省大臣官房官庁営繕部「設備・環境課監修の建築設備計画基準（平成30年版）」pp.65-69
- 2) (株)サンコーシヤ『学研まんがでよくわかるシリーズ 165 雷のひみつ』学研プラス、2019
- 3) JLPAR雷被害実態調査分科編『自然の脅威 雷被害』（一社）日本雷保護システム工業会、2011、p38
- 4) (株)サンコーシヤ 総合カタログ、2019.9
- 5) 「重要文化財に関する建造物の雷保護調査報告書」『電気設備学会誌』2014年2月号、（一社）電気設備学会、2014
- 6) 『防災行政無線子局のための雷害ガイドブック』（公社）全国市有物件災害共済会、2013、p4