

防災行政無線子局のための
雷害対策ガイドブック



公益社団法人 全国市有物件災害共済会

はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災は、未曾有の甚大な被害をもたらしたばかりでなく、これまでの防災対策に対して様々な課題を投げかけました。その中でも防災行政無線は、地震や津波のみならず、多様な緊急情報を地域住民に提供するための身近な通信手段として必要不可欠のものであり、改めて強い関心を集めることになりました。その整備率は全国の市町村の 92%以上に達しており、今日の危機管理対策における重要な役割を担っていることは言うまでもありません。

このように防災および危機管理行政の一翼を担う防災行政無線ですが、近年は落雷による被害が増加する傾向にあります。

雷は予測が困難な自然現象であり、無線設備に直接落雷する場合（直撃雷）だけでなく、離れた場所に落ちた雷の影響（誘導雷）により機器が損傷して機能しなくなる事象も数多く報告されております。また、落雷後、定期点検で、はじめて故障が判明するという事象もあります。防災行政無線は「いざ」という時に確実に機能しなければなりませんので、「壊れたら遅滞なく修理する」ことはもとより、「できる限り壊れないようにする」避雷対策が必要になってまいります。

このような状況を踏まえ、本会は防災・危機管理行政における雷害リスク対策に資するため、一般財団法人全国自治協会と共同で防災行政無線子局を対象とした雷害の実地調査を行い、実態に即した雷害防止対策を検討し、実証実験を行ってまいりました。その結果に基づき、防災行政無線子局の雷害対策について分かり易く解説し、自治体のみなさまの雷害リスク対策にお役立ていただくため、この小冊子を作成いたしました。

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。

本書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。

平成 25 年 4 月

公益社団法人 全国市有物件災害共済会

目次

1. 防災無線子局設備における雷害対策の必要性	1
2. 雷害のメカニズム	2
2.1. 雷の発生メカニズム	2
2.2. 落雷の種類と雷害	3
3. 防災行政無線子局における雷害の実例	6
3.1. 雷害事例	6
3.2. 被害事例における雷サージの侵入経路	9
4. 防災無線子局の雷害対策	10
4.1. 直撃雷対策	10
4.2. 雷サージ対策	14
4.3. 雷害対策工事における注意点	18
5. 雷害対策の実例と効果	21
5.1. 雷害防護装置によるフィールド実証の概要	21
6. 付録	24
6.1. 雷保護レベルの考え方	24
7. 参考文献	29



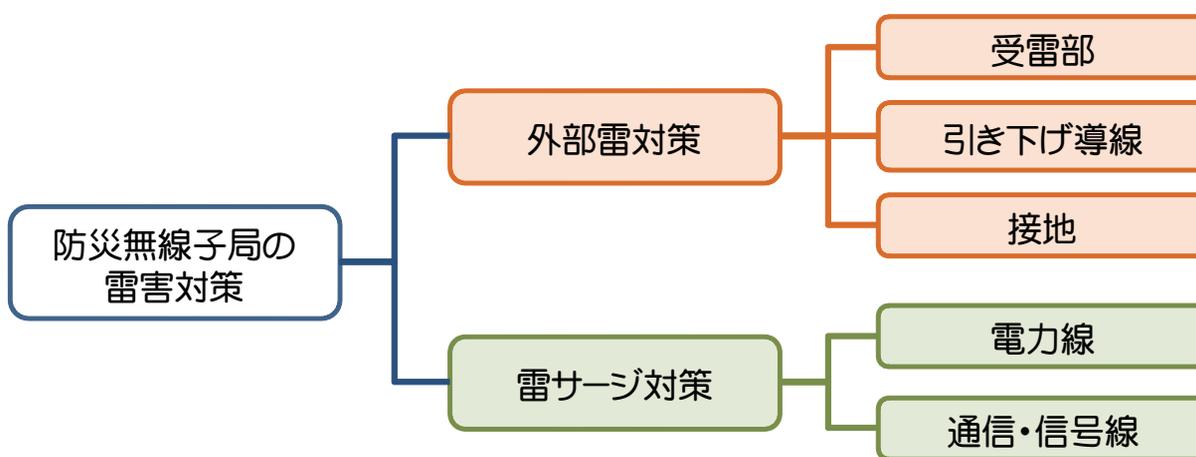
1. 防災無線子局設備における雷害対策の必要性

防災行政無線は、地域住民へ緊急情報を伝達する通信手段として、自治体の危機管理には欠くことのできない設備です。全国の市町村における整備率は92%以上に達しており、その重要性はあまねく認識されているといつてよいでしょう。

このように危機管理行政の一翼を担う防災行政無線ですが、近年は落雷による無線子局機器の動作不良、破損といった被害が増加する傾向にあります。言うまでもなく防災行政無線は「いざ」という時に確実に機能することが強く求められます。自然災害は設備が故障しているからといって待ってはくれませんから、「壊れたら修理する」という対応では、肝心の時に役割を果たせないという事態になりかねません。

雷による被害、すなわち雷害は、次章で述べるように設備への直接の落雷だけでなく、周囲の落雷によっても発生するため予想することは難しいのですが、被害の発生メカニズムを正しく理解した上で予防対策を施せば、かなりの被害を防ぐことができます。この雷害対策には、当然のことながら相応の費用がかかりますが、単に設備や機器を守るためだけでなく、地域住民の生命・安全を確保するための危機管理費用であるとの認識が必要でしょう。

この冊子では、雷害発生のメカニズム、防災行政無線子局における実際の被害事例を解説した上で、具体的な雷害対策の方法を解説しています。やや専門的な記述もありますが、雷害対策を担当される方が、機器の手配や施工において必要になるとと思われる情報を記載しました。地域の危機管理対策を向上させるためにご活用ください。¹



防災行政無線子局の雷害対策の構成

¹ 雷害対策は、機器・設備の仕様だけでなく、周囲の環境や気候などからも大きく影響を受けます。これらの諸要因を総合的に判断し適切な対策を行うために、実施にあたっては雷害対策の専門家にご相談されることをお薦めします。



2. 雷害のメカニズム

2.1. 雷の発生メカニズム

雷は雲の中で発生する電荷（電気のエネルギー）と大地の電荷による空気中の絶縁破壊により発生します。雷には次の2種類の雷があります。

2.1.1. 熱雷（夏季雷）

- 1) 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、下部は負電荷の分布となります。この時、大地には静電誘導によっての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。これが熱雷です。

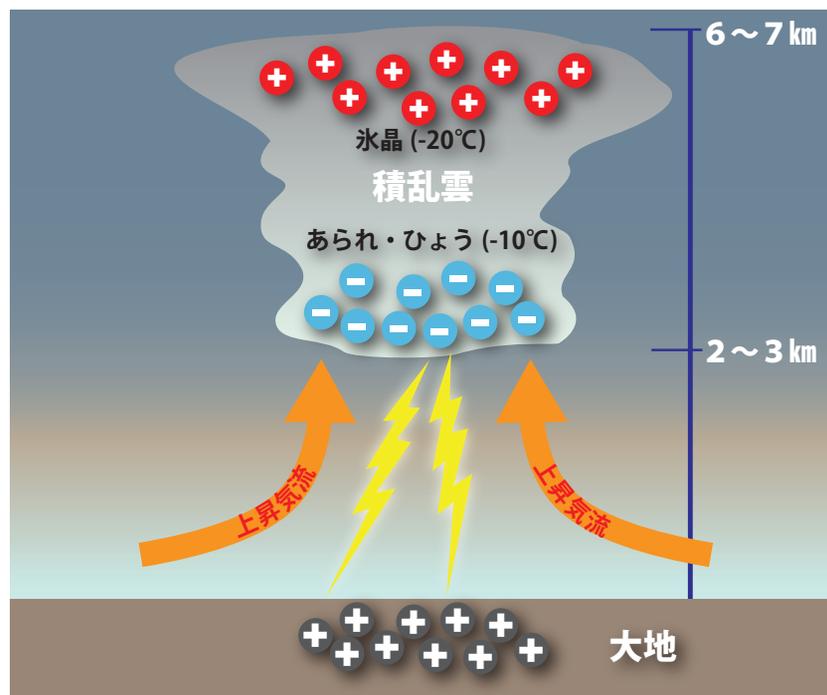


図 1. 夏季雷の仕組み



2.1.2. 界雷（冬季雷）

- 1) 冬の間、大陸からもたらされる冷たい季節風（シベリア気団）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。これを界雷（冬季雷）と呼びます。夏季雷よりもエネルギーが強いことが多いため、落雷した場合の被害も大きくなる傾向があります。
- 4) 東北、北陸、山陰地方の日本海側において冬の間が発生する界雷は、世界的に珍しい現象として知られています。

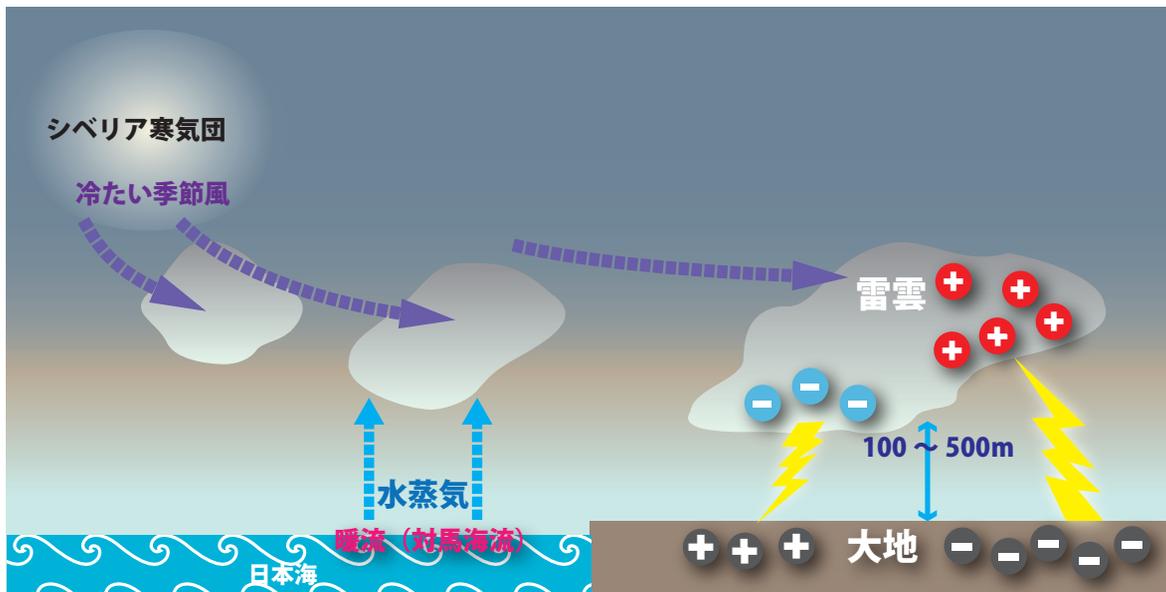


図 2. 冬季雷の仕組み

2.2. 落雷の種類と雷害

落雷には大きく分けて「直撃雷」「誘導雷」「逆流雷」の3種類があります。

- 1) 直撃雷：雷雲と大地との間で放電する落雷現象
- 2) 誘導雷：静電的結合や電磁的結合による異常電圧
- 3) 逆流雷：大地からの逆閃絡²（ぎゃくせんらく）現象

建物内に設置されている端末機器等の雷被害は、「誘導雷」と「逆流雷」による被害が多いといわれています。また、高層建造物やアンテナ鉄塔等では「直撃雷」により設備の破壊等の被害が発生することがあります。

² 鉄塔（または建物）に落雷があると、そのエネルギーは鉄塔を通して大地に放電されます。この時鉄塔および鉄塔の接地抵抗値によって鉄塔の上部に電圧が発生し、その電圧が電線を支える碍子の絶縁力より大きくなると、鉄塔から電線にエネルギーが流れこみます。これを「逆閃絡」と呼びます。



2.2.1. 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90%がこれにあたりますが、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。(雷全体の10%)

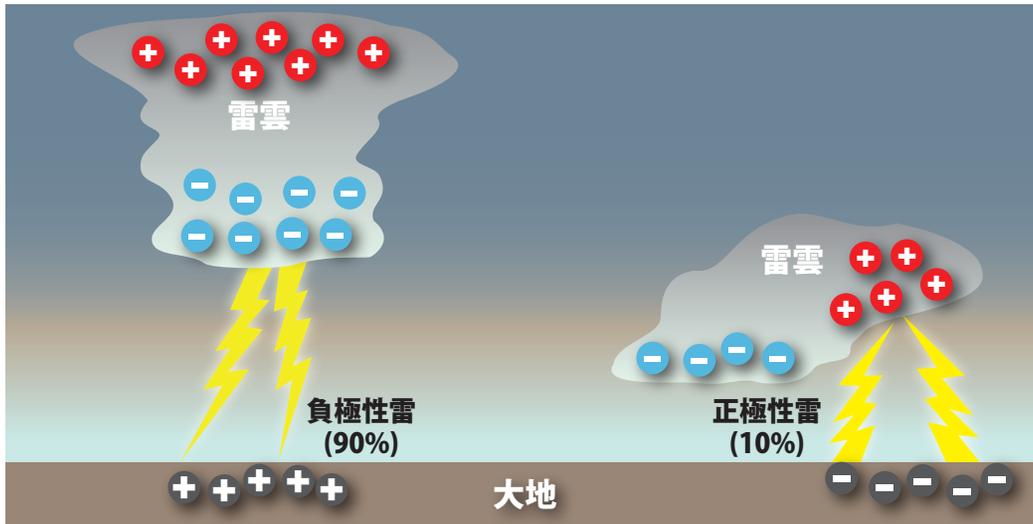


図3. 正極性雷と負極性雷

2.2.2. 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。

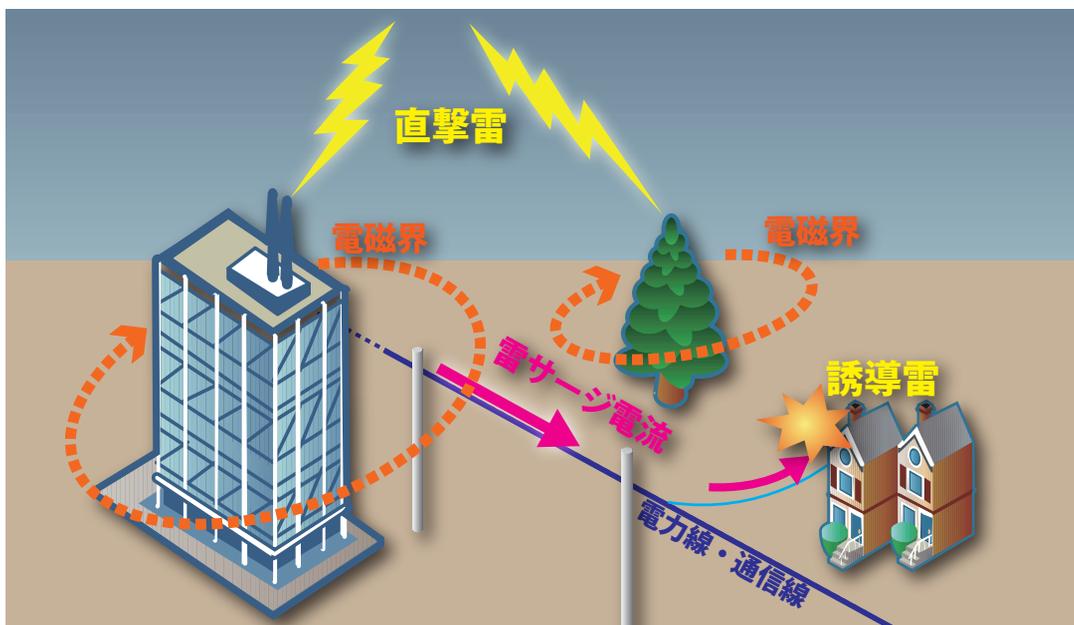


図4. 誘導雷の仕組み



2.2.3. 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、接地（アース）から逆流して通信線、電力線等に雷サージが侵入する現象です。

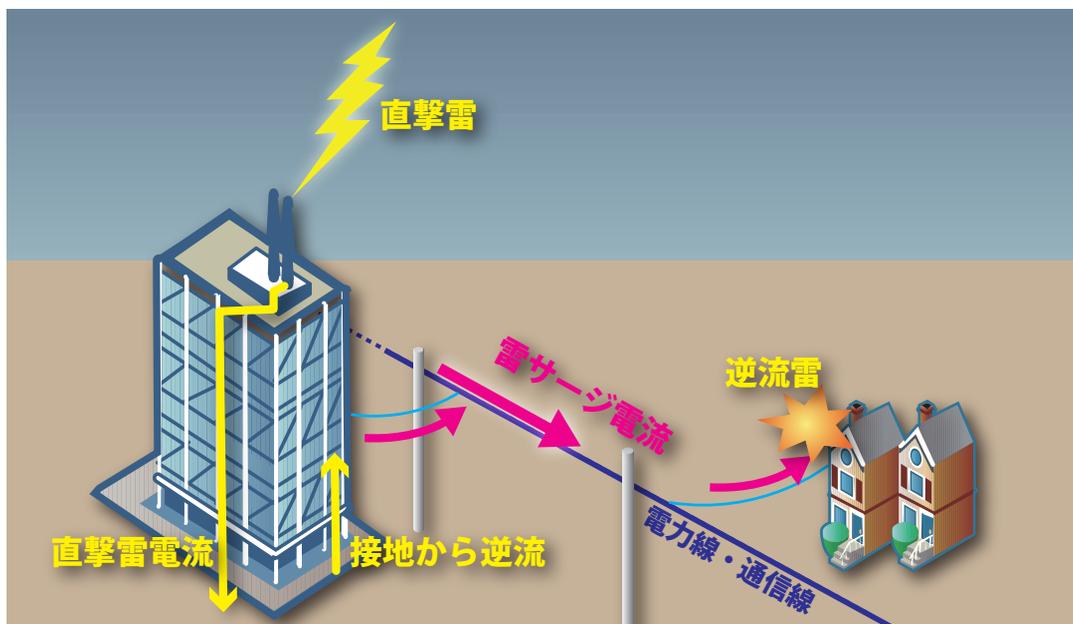


図 5. 逆流雷の仕組み



3. 防災行政無線子局における雷害の実例

次に、実際の雷害事例を示し、具体的な被害状況を説明します。

3.1. 雷害事例

○ 事例1（栃木県A市）

1) 被害状況

本件では、表1に示すような被害がありました。

表1. 無線機器の被災箇所

項目	内容
被災箇所	装置電源部（電源ブレーカを含む）焼損及び過電流による動作不良
修繕費用	約80万円

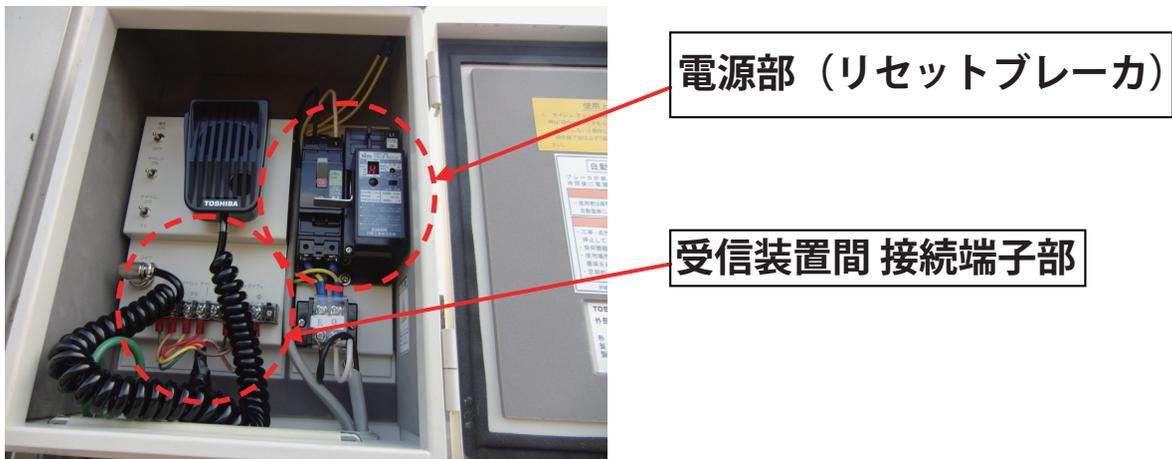


図6. 無線機器の被災箇所

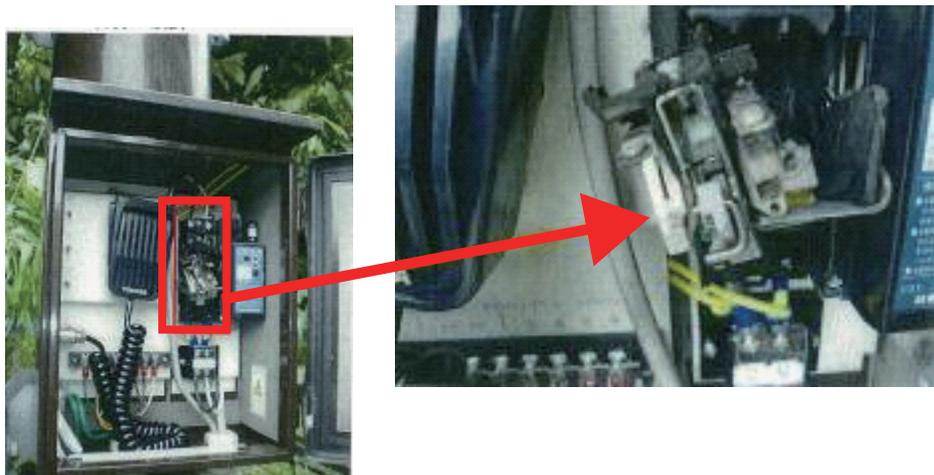


図7. 焼損部分



この事例では、破損箇所が電源入力部のオートリセットブレーカ（ARB）に集中していることから、電力線と接地の間に雷サージが侵入し機器が絶縁破壊したものと推察されます。雷サージの推定侵入経路を図8に示します。

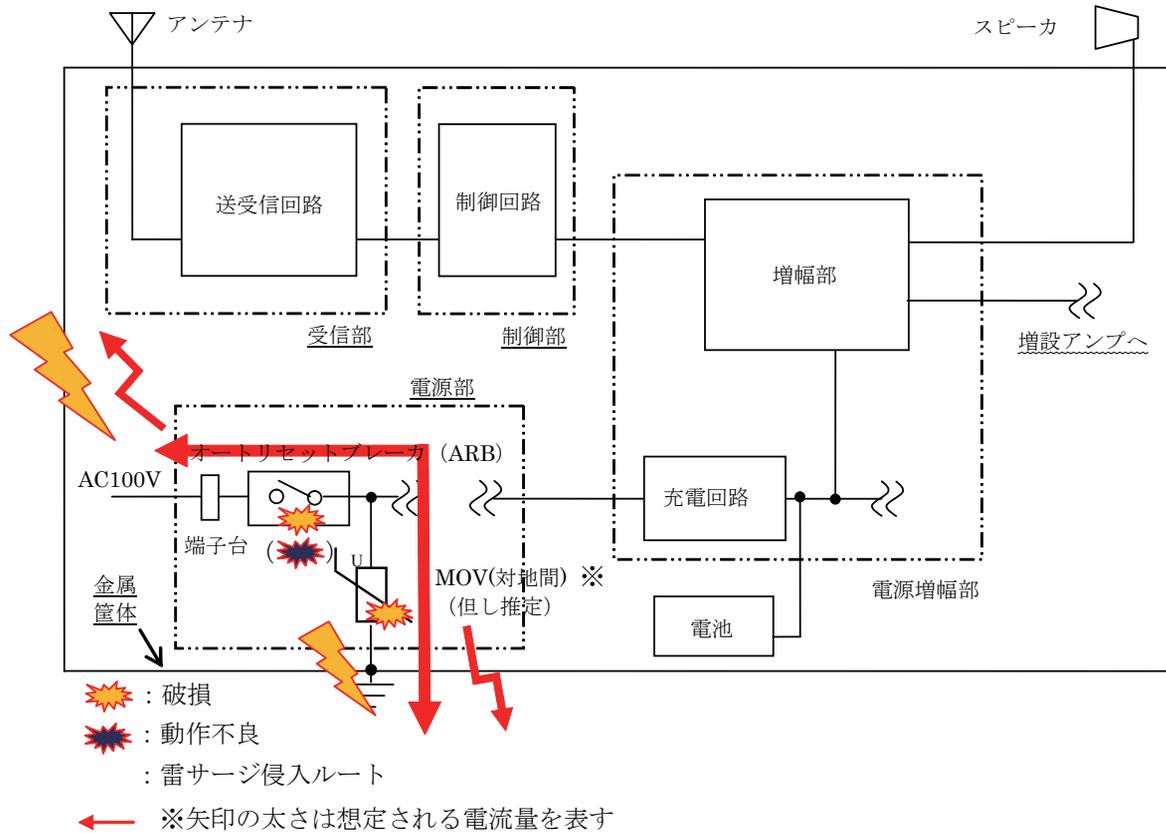


図8. 雷サージ侵入経路推定図



○ 事例 2 (千葉県 B 市)

1) 雷害状況

本件では、表 2 に示すような被害がありました。

表 2. 無線機器の被災箇所

項目	内容
被災箇所	<ul style="list-style-type: none"> ・制御部過電流による動作不良 ・増幅部内 IC 焼損及び周辺部品動作不良 ・電源部 (電源ブレーカ含む) 焼損及び過電流による動作不良
修繕費用	約 230 万円

2) 雷サージ侵入経路

この事例では、電源入力部の端子台周辺の焼損が見られることから、電力線と接地間で雷サージが侵入し、装置が破損したと推察されます。雷サージの侵入経路推定図を図 9 に示します。

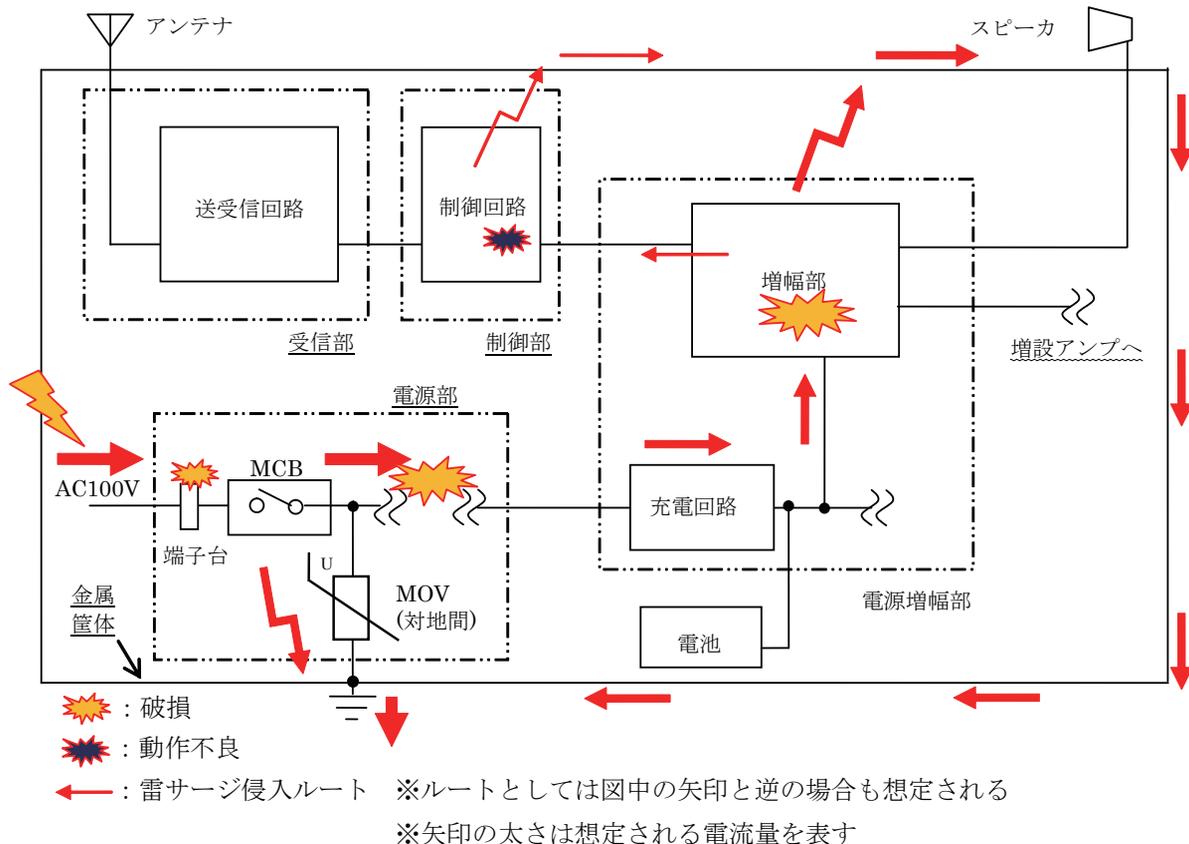


図 9. 雷サージ侵入経路推定図

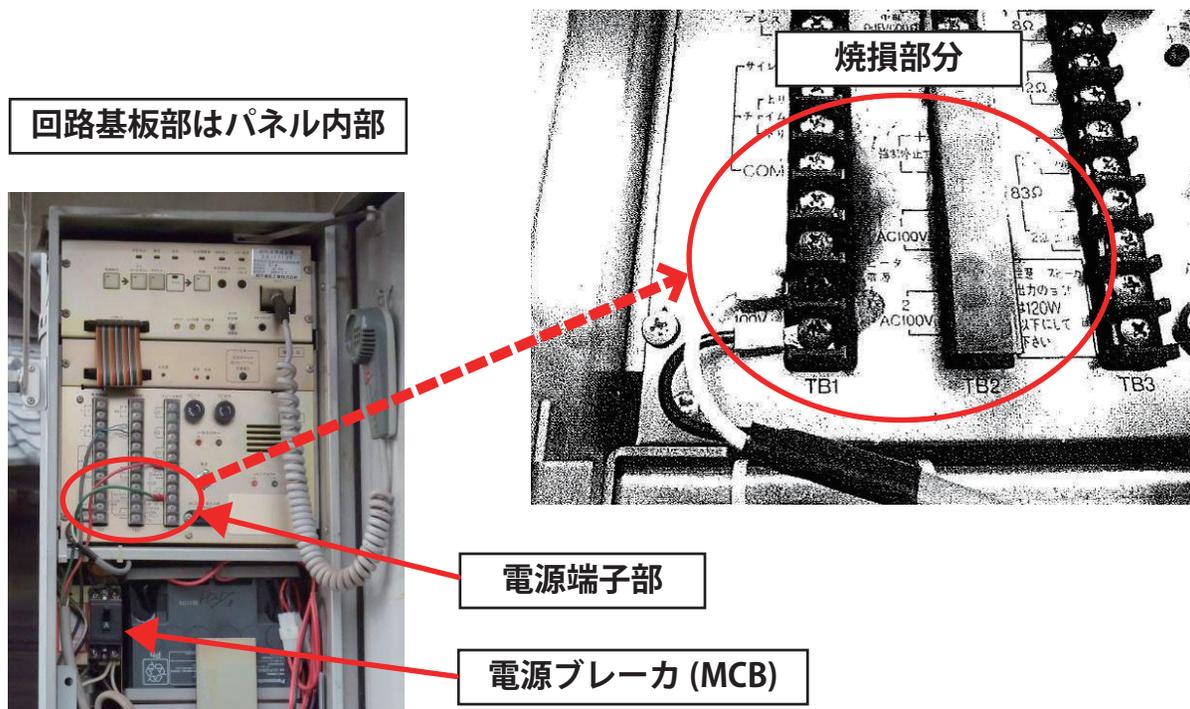


図 10. 雷サージ侵入経路推定図

3.2. 被害事例における雷サージの侵入経路

以上の事例は、いずれも直撃雷による被害ではなく、装置外部より雷サージが侵入したことにより発生した被害であると考えられます。雷サージが装置に侵入した原因を整理すると、次の二点に集約できます。

- 1) 装置に接続されている電力線付近で発生した落雷により、電力線に雷サージが誘導され（誘導性結合）、電力線を通じて雷サージが侵入した。
- 2) 近隣で落雷が発生し、無線子局付近の地電位が上昇することで、装置の接地線（極）から雷サージが侵入（抵抗性結合）した。

この二事例を含む被害調査結果を総合すると、防災行政無線子局の雷害の原因は、ほとんどが上記の二点であることが明らかになりました。

3 公益社団法人全国市有物件災害共済会 (2012) 「防災無線システムの雷被害状況調査報告書及び対策の提案」



4. 防災無線子局の雷害対策

4.1. 直撃雷対策

一般的に、直接的な雷撃から建物や設備を保護するための外部雷保護システムは、次の要素により構成されます。

- 1) 受雷部システム：雷撃を受けるための部分。突針（いわゆる避雷針）、メッシュ導体⁴、水平導体方式⁵を単独または組合せて構成する。構造体を用いてもよい。
- 2) 引下げ導線システム：雷電流を受雷部システムから接地システムへ流す部分。導体のほか、構造体を用いてもよい。
- 3) 接地システム：雷電流を大地に拡散するための部分。A型（垂直、板状、放射状のもの）、B型（環状、基礎利用、網状のもの）の接地極がある。構造体を用いてもよい。

防災無線子局の外部雷保護システムの概要を図 11、外部雷保護システムで使用する部材を表 3 に示します。

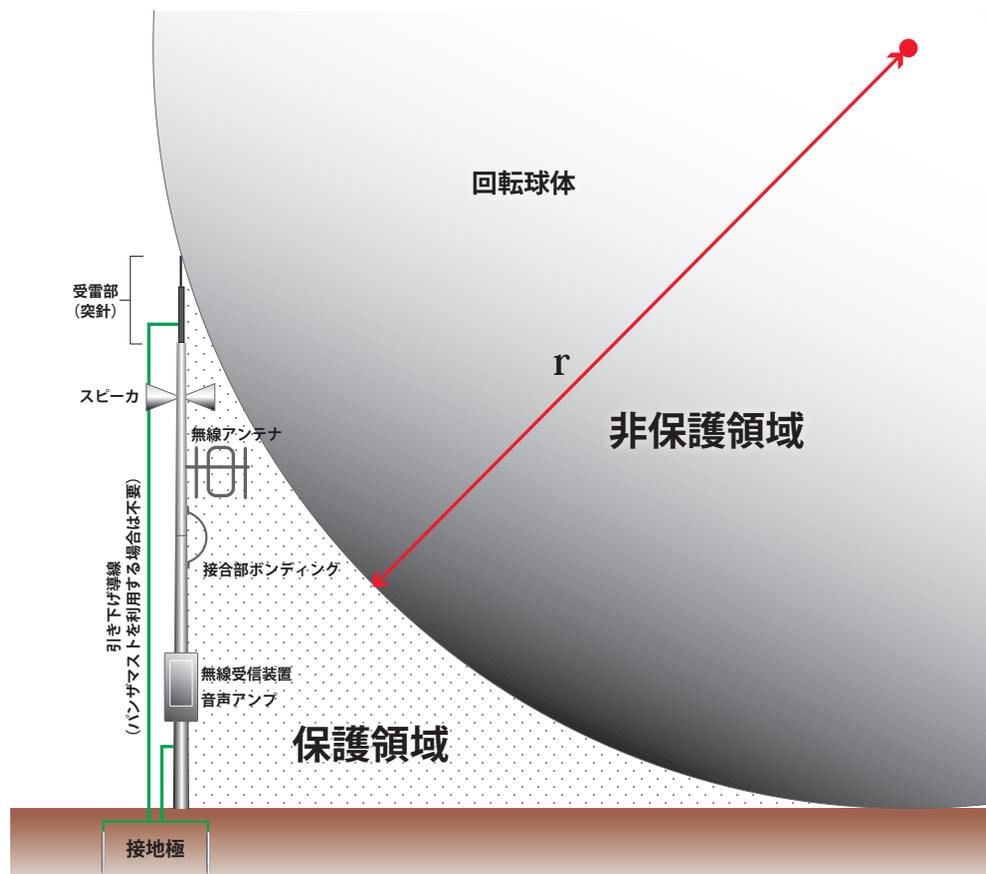


図 11. 外部雷保護システムの概要

- 4 網目状の導線を屋根などに敷設したもの。
- 5 導線を屋根等に敷設したもの。



4.1.1. 受雷部システム

防災無線子局は、ほぼポール状の形体であるため、施工性・経済性を考慮し、突針方式を採用します。突針は1本で十分であり、パンザマストの頂部に設置します。突針の設置例を図12に示します。突針による保護領域は「回転球体法」⁷により求めます。保護領域は、図11に示すように、球体半径 r (単位 m) の球体を、大地から対象の建物・設備全体に転がした際、球体が触れる部分 (球体内部を含む) は雷撃を受ける可能性がある部分、すなわち非保護領域で、球体が触れない部分が保護領域になります。したがって、スピーカやアンテナ等がこの保護領域内に入るように (球体に触れないように) 突針を配置しなければなりません。球体半径は表4に示す保護レベルによって決定されます。(保護レベルの求め方については付録に解説を掲載しました。)

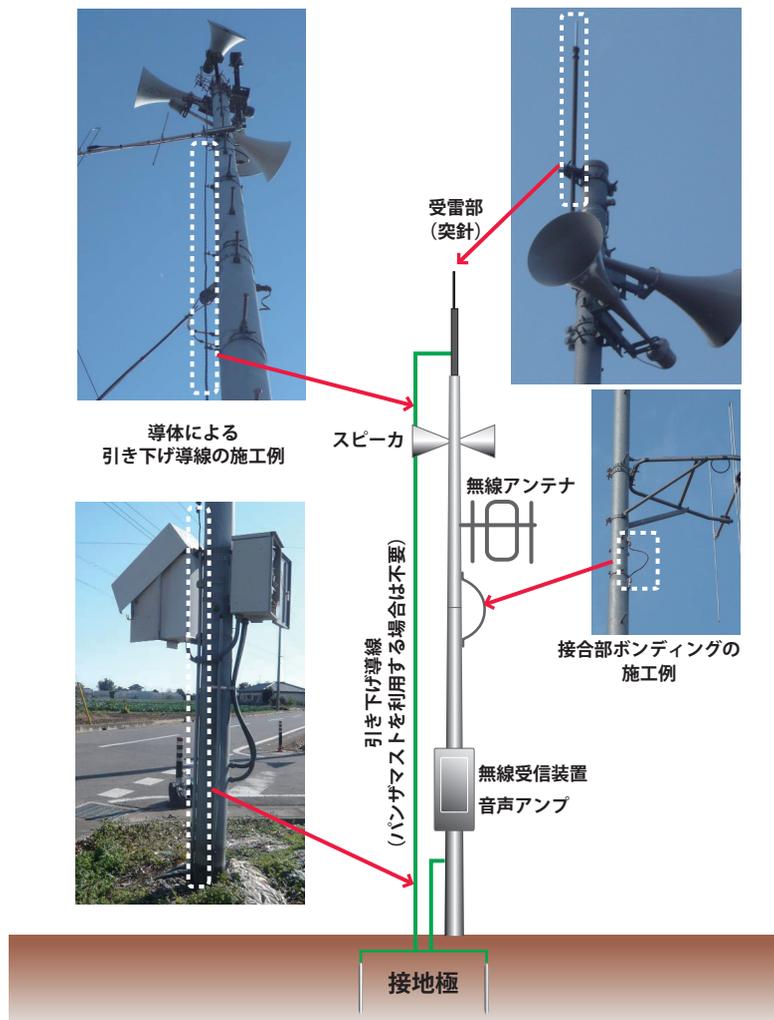


図 12. 外部雷保護システムの施工例

- 6 数本の鉄製の円筒をつなぎ合わせて柱にしたもので、防災行政無線用の鉄塔として普及している。
- 7 回転球体法は、リーダ (先行放電) 先端から建物などにおける雷撃点との距離 r [m] が、雷撃電流 I [kA] の大きさに対応し、

$$r = 10 \times I^{0.65} \text{ [m]}$$
 の関係であることを基本としたもので、従来手法である、突針から 60 度の内側を保護領域とする「保護角法」に比べ、論理的に保護領域を求めることができる。



表 3. 外部雷保護システムで使用する部材の最小寸法

材料	受雷部			引下げ導線 (mm ²)	接地値 (mm ²)
	導線など (mm ²)	板・管			
		t(mm)	t(mm)		
銅	35	5	0.5	16	50
アルミニウム	70	7	1.0	25	-
鉄	50	4	0.5	50	80

表 4. 保護レベルと球体半径

保護レベル	I	II	III	IV
球体半径 r(m)	20	30	45	60

4.1.2. 引下げ導線システム

引下げ導線システムは、導体により受雷部システムと接地システムを接続するか、導体の代わりに鋼管製のパンザマストを用いることもできます。その場合、表 3 を満たす材料であることを確認する必要があります。また、パンザマストの電気的連続性が疑わしい場合、導体によりパンザマストの接合箇所をボンディングする必要があります。パンザマストのボンディングの例は前掲の図 12 を参照してください。

4.1.3. 接地システム

防災無線子局は小規模工作物であり、経済性を考慮して A 型接地極を標準とします。高い雷保護性能を必要とする場合は、B 型接地極にすることもできます。接地抵抗値は 10 Ω 以下であることが望ましいですが、10 Ω を超える場合は図 13 に示すいずれかの配置方法を用い、図 14 に示す接地極の最短長に準拠して 2 本以上の導体を適当に配置することが推奨されています。後述のように、ほとんどの防災無線子局において保護レベル = IV になると思われることから、大地抵抗値によらず l (接地極間の距離) = 5[m] とすべきです。

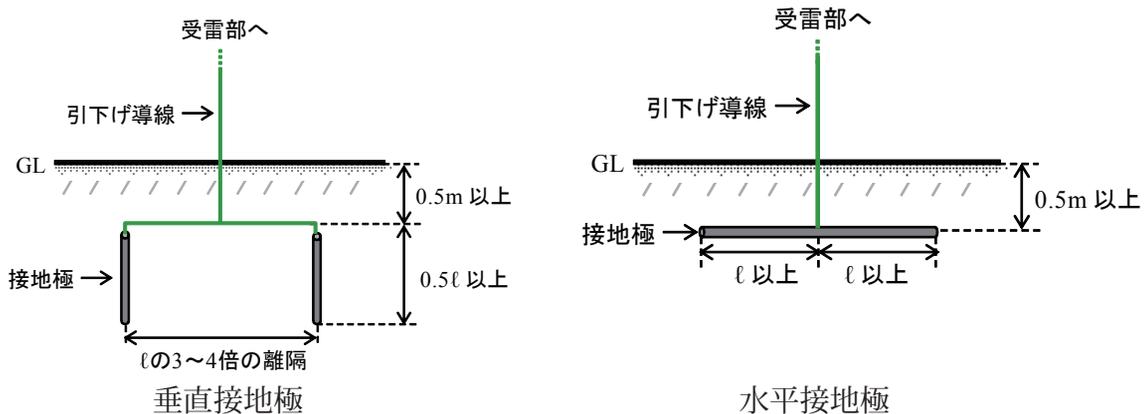


図 13. A 型接地極の配置方法

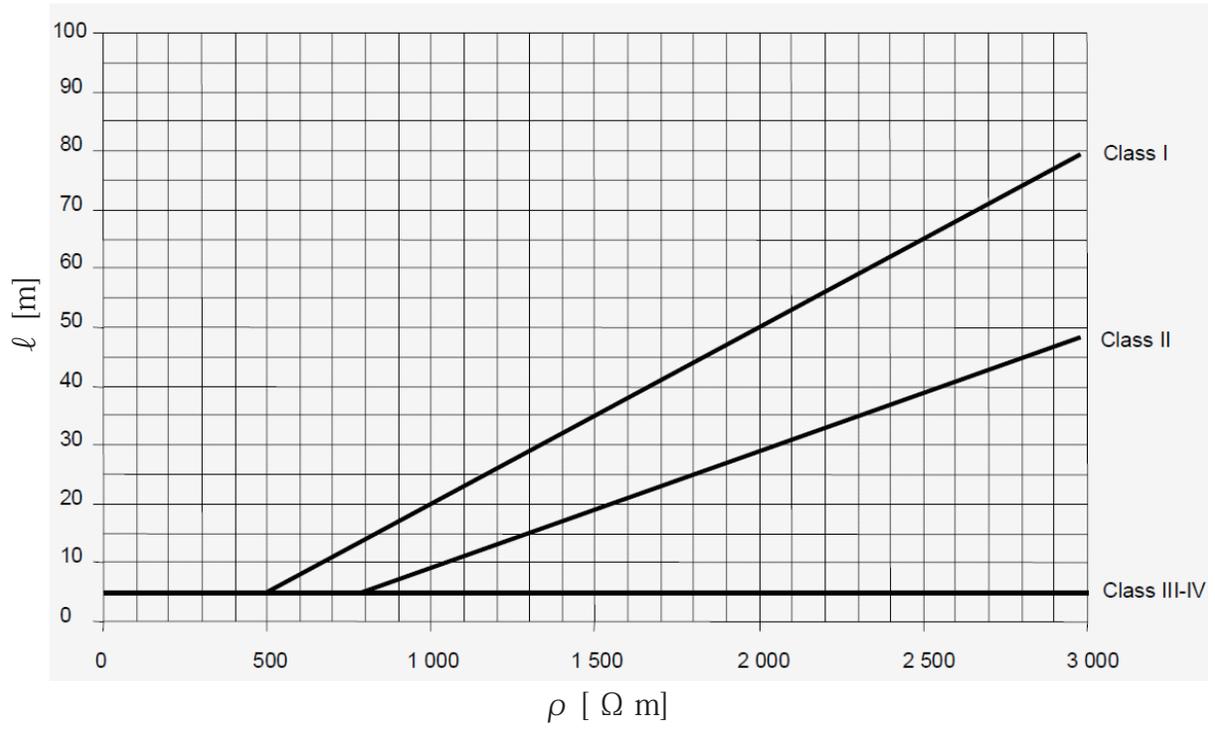


図 14. 接地極の長さ



4.2. 雷サージ対策

前項で示したように、設備への直接的な雷撃以外でも、抵抗性 / 誘導性の結合で生じた雷サージにより被害が発生する場合があります。1回の雷害によるダメージは直撃雷の方が大きいですが、雷害の発生頻度では雷サージによる被害の方がはるかに高いのです。一般的に建物や設備の2km以内に落雷があると何らかの影響を受ける可能性があると言われています。したがって、防災無線設備のように公共性が高い設備については、雷サージ対策を標準的に講じることが望ましいとされています。

雷サージの対策は、システム全体を等電位化し、雷サージが侵入してもシステム内に電位差を生じさせないことで被害の低減を図ります。つまり、導電性部分は全て相互にボンディングする必要があります。ただし、電源線や通信線などは直接ボンディングできないため、SPD（サージ防護デバイス）を介してボンディングします。以下に、SPDによる雷保護を主とした雷サージ対策方法を示します。

4.2.1. SPDによる雷サージ対策の概要

保護対象機器に接続される電源線、通信線、接地線（もしくは筐体）との間に生じたサージ電圧を抑制するために、各配線の対地間にSPDを設置します。SPDによる雷保護の概要を図15に示します。

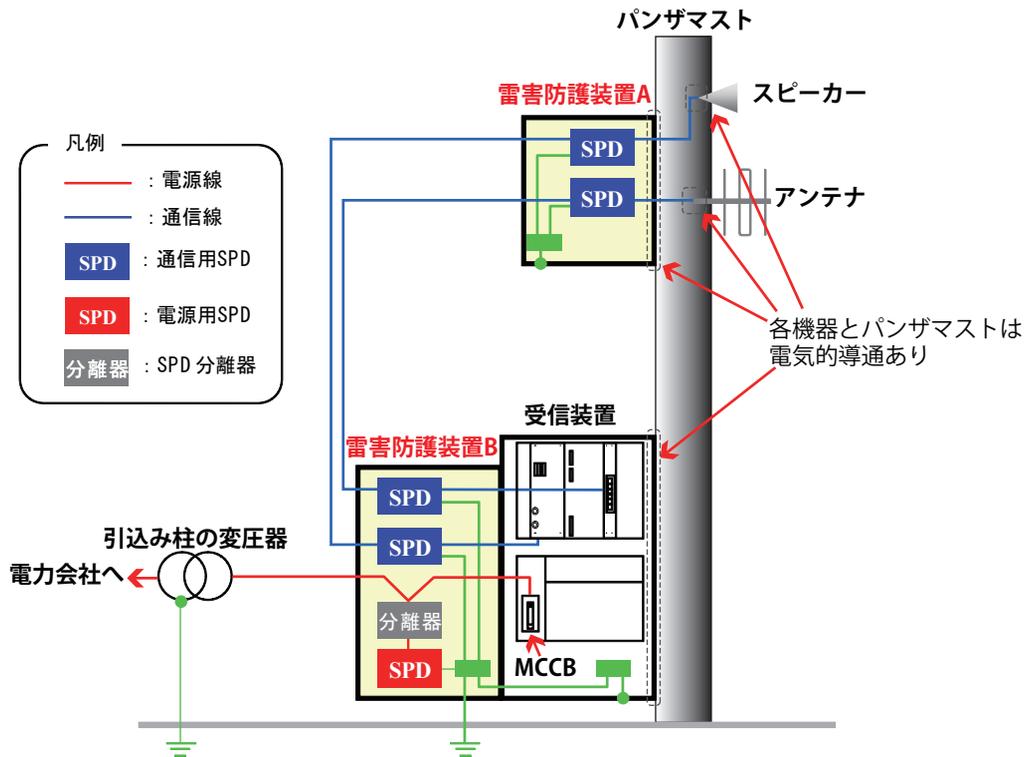


図 15. SPDによる雷害防護対策



1) SPD の設置箇所

図 15 に示すように各機器の配線に SPD を設置することが推奨されます。各配線の SPD は同一筐体に収容します。スピーカー及びアンテナ保護用 SPD については、①高所作業のため施工が困難、②雷害防護装置を設置するスペースがない、③被害事例が少ない、などの理由から必須とはせず、子局装置本体（無線受信機、アンプ）を保護するための SPD の設置を標準とします。

2) SPD の選定基準

(1) クラス / カテゴリ選定

直撃雷保護を必要とする場合は、直撃雷に対応した SPD として、電源用にはクラス I SPD、通信用にはカテゴリ D を選定します。また、直撃雷を考慮しない場合は、電源用にはクラス II SPD、通信用にはカテゴリ C を選定します。直撃雷を考慮する必要がない、あるいは費用面の制約がある場合は、電源用にクラス II、通信用にはカテゴリ C を選定します。（通信用 SPD では、クラス C と D を兼用している場合が多い）

(2) 電圧防護レベルの選定

SPD の電圧防護レベル（UP）は、受信装置などの被保護機器のインパルス耐圧（UW）以下となるように選定します。ただし、4.2.3 項に述べるように、SPD 分離器及び SPD のリード線にも電圧が生じるため、十分な余裕をみる必要があります。UW が不明の場合は、1.5kV 以下とするのが一般的です。（単相給電における過電圧カテゴリ II 相当）

(3) SPD 分離器の選定

電源用 SPD については、SPD が故障した場合に、電路から SPD を切離すための分離器を設置しなければなりません。SPD 分離器は、SPD のサージ電流耐量では動作せず、SPD 故障時に速やかに動作することが要求されます。

4.2.2. 雷害防護装置の概要

電源用、通信用（スピーカ、アンテナ）の各 SPD を収容した雷害防護装置の要求性能の推奨値を表 5 に示します。なお、雷害防護装置内の配置・配線は 4.2.3 項に従います。

4.2.3. SPD の設置方法

SPD を適切に配置・配線しなければ、期待した効果が得られません。配置・配線が不適切な場合は、雷害を防げないことがあります。以下に SPD の設置方法を示します。



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 - P E	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 (I m a x)	40kA (8/20 μ s)		
	接続電線サイズ	5.5 mm 2 ~ 35 mm 2		
備 考	故障表示機能：有り			
電源用 SPD 分離器	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		
		(カップリングナットのスパナがけ構造)		
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		
劣化表示機能：有り				
消費電力		0W		



1) SPD リード線の接続方法

SPD が動作し、サージ電流 I を大地へ放流する際、図 16 に示すように、各部に電圧が生じます。

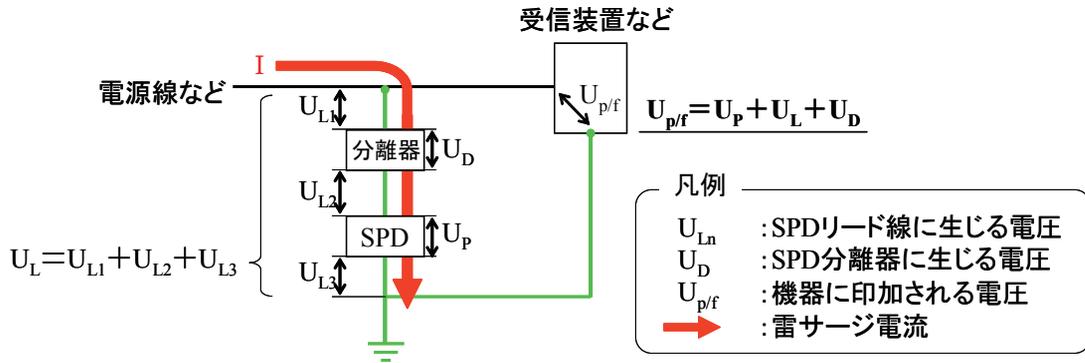


図 16. SPD リード線の近接

- (1) SPD : SPD で抑圧した電圧 (電圧防護レベル: U_P)
- (2) SPD 分離器 : 分離器で生じる電圧降下 (U_D)
- (3) SPD リード線 : リード線で生じる電圧降下 (U_L)

したがって、被保護機器には U_P 、 U_L 、 U_D の総和電圧 $U_{p/f}$ [V] が印加されることになります。 U_P と U_D はそれぞれ、SPD 及び SPD 分離器の特性で決定されます。 U_L については、リード線のインダクタンスと電流の時間変化率の積で求められますが、リード線のインダクタンスはケーブル長に比例するため、リード線をできるだけ短くすることで U_L の値を小さくすることができます。したがって、リード線は以下の原則に則って配線します。

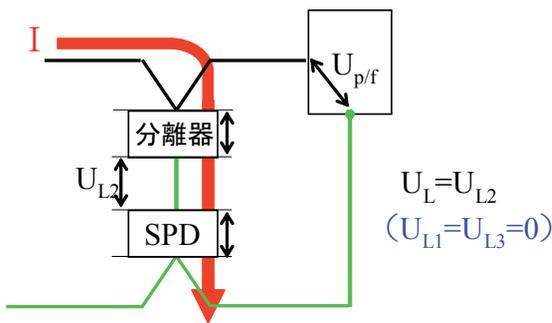


図 17. SPD リード線の V 字結線

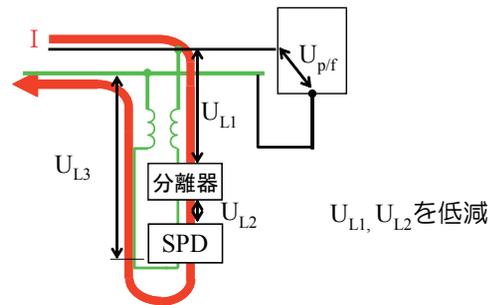


図 18. SPD リード線の近接

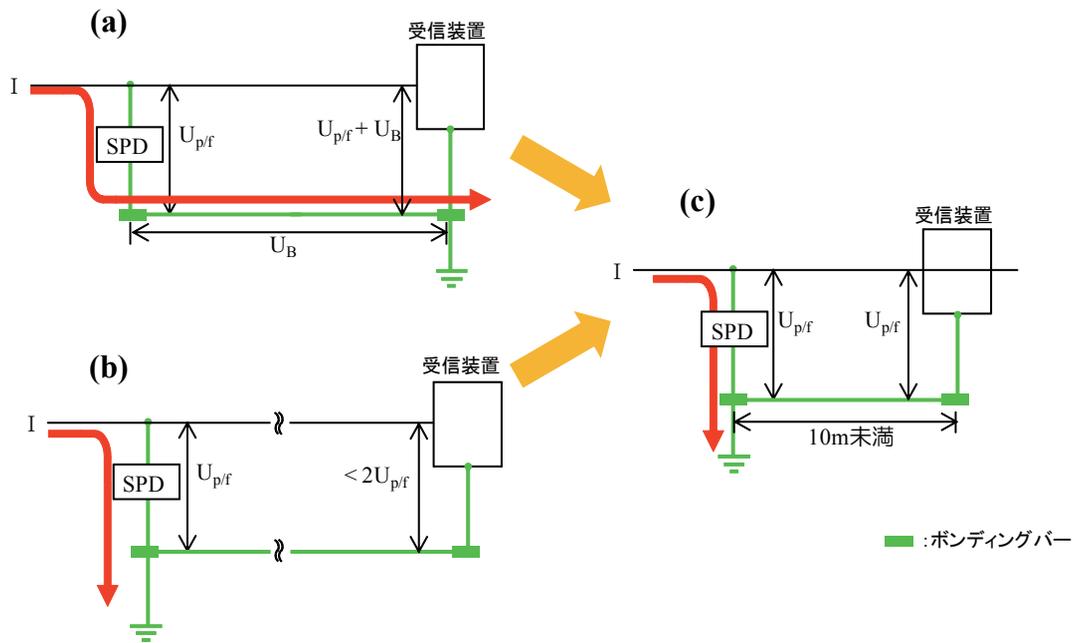


図 19. SPD リード線の V 字結線

- リード線を極力短くし、リード線全体の総延長を 50cm 以下にする。
- リード線を V 字結線にすることで、電源線～分離器、SPD～接地までの配線長を 0(ゼロ) にすることができる。(図 17)
- 配線～SPD, SPD～ボンディングバーまでのリード線をそれぞれ近接させ、磁束をキャンセルする。(図 18)

2) SPD の設置位置

サージ防護デバイスと機器が離れて設置されている場合、前述したサージ防護デバイスの制限電圧とリード線で発生する電圧 $U_{p/f}$ に加え、ボンディングバー間に発生する電圧 U_B が機器の配線と機器筐体間に印加されます (図 19a)。

さらに、電気的な振動現象によって、配線と機器筐体間には、最大で $U_{p/f}$ の 2 倍の電圧が印加される場合があります (図 19b)。

したがって、被保護機器の保護導体は、SPD 側から配線し、かつ、SPD はできるだけ機器に近い位置に設置することで、機器に印加される電圧を低減することができます (図 19c)。総配線長の目安は 10 m 未満です。

4.3. 雷害対策工事における注意点

4.3.1. 雷害防護装置の設置場所

防災無線子局の雷害を調査した結果、受信装置に電源用 SPD が設置されていたにもかかわらず、図 20 に示すように主幹 MCCB (配線保護用遮断機、リセットブレーカを含み



ます) の被害が多く見受けられました。したがって、電源用 SPD は、図 21 のように主幹 MCCB の一次側に設置し、受信装置内部に雷サージ電流が流れ込むのを防止する必要があります。

この場合、主幹 MCCB の一次側に装置が設置されることになるため、その旨を電力会社に申請し、承認を得る必要があります。申請は、雷害防護装置の仕様書と全体の配線概要が分かる図を提出します。

参考までに、既設設備の雷保護改修工事において電力会社に提出した雷害防護装置の配線概要図の例を図 22 に示します。

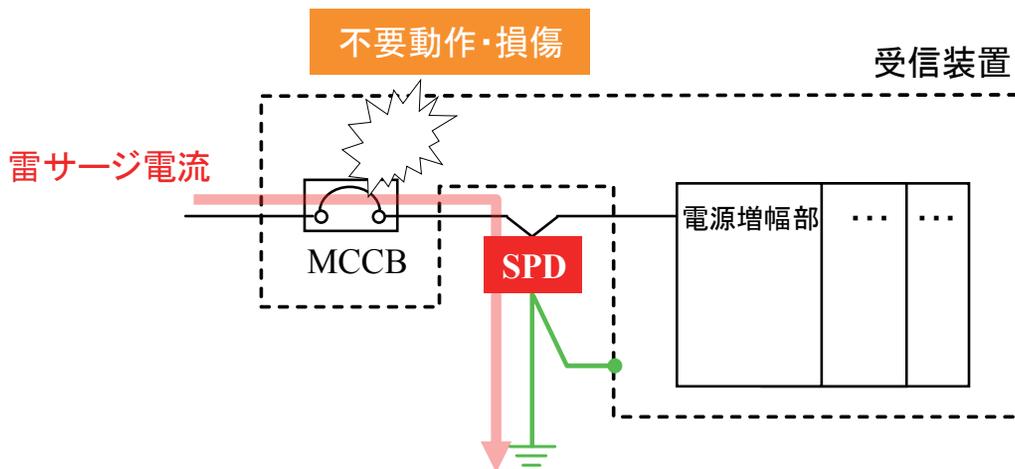


図 20. SPD を MCCB の二次側に設置した場合

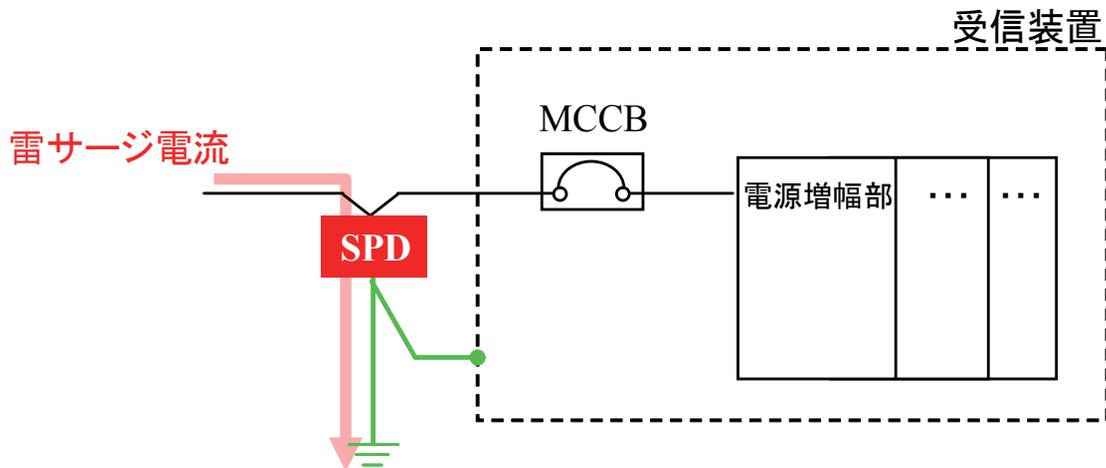


図 21. SPD を MCCB の一次側に設置した場合

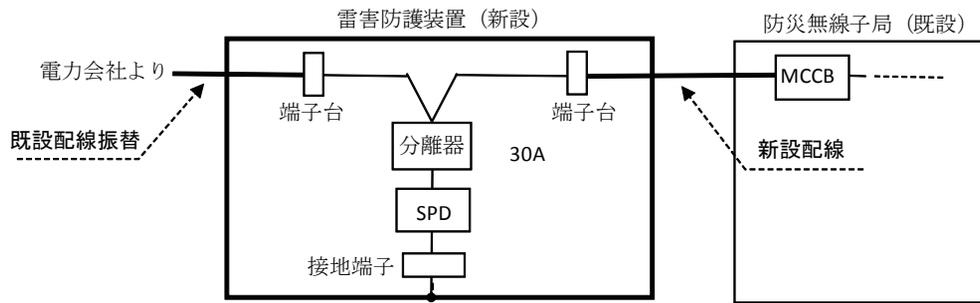


図 22. 電力会社に提出する配線概要図の例

※この図はあくまでも一例です。電力会社の認可を保証するものではありません。

実際の申請にあたっては、必ず工事施工業者および電力会社と事前に協議を行ってください。

4.3.2. 電気料金の契約形態

防災無線設備の電源は、一般的には電力会社との定額契約になっています。このため、たとえわずかでも雷害防護装置で電力を使用する場合には（例えば SPD の故障表示用 LED など）、電気料金契約の変更手続きが必要となりますので、注意してください。電気料金契約を変更したくない場合は、電力を消費しない機器を使用することが望ましいでしょう。（表 5 に示した推奨仕様は消費電力がゼロになっています。）



5. 雷害対策の実例と効果

5.1. 雷害防護装置によるフィールド実証の概要

対象設備や配線近傍への落雷（近傍雷）により生じる誘導雷（電磁誘導や接地からの回込み）サージの影響（逆流雷）は、直撃雷による被害に比べ損害自体は小さいものの、発生頻度は遥に高く、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ています。影響度合いは、雷電流の大きさや落雷点からの距離により異なるが、仮に子局周囲 2km に落雷が発生し機器が被害を受けると想定すると、近傍落雷による被害の発生頻度は、直撃雷に対して約 2,000 倍になります。

そこで、誘導雷（非直撃雷）対策を基本とする雷害対策装置を実際に防災行政無線子局施設に設置し、その防護効果を検証することを目的とするフィールド実証を実施しました。以下にその概要を示します。

5.1.1. 雷害対策の実証方法

検証した雷害対策は、雷サージ侵入が想定される箇所に適切な SPD（表 5 参照）を使用した雷害防護装置（図 15 参照）を設置する方法によるものです。図 23 に装置の概要を示します。

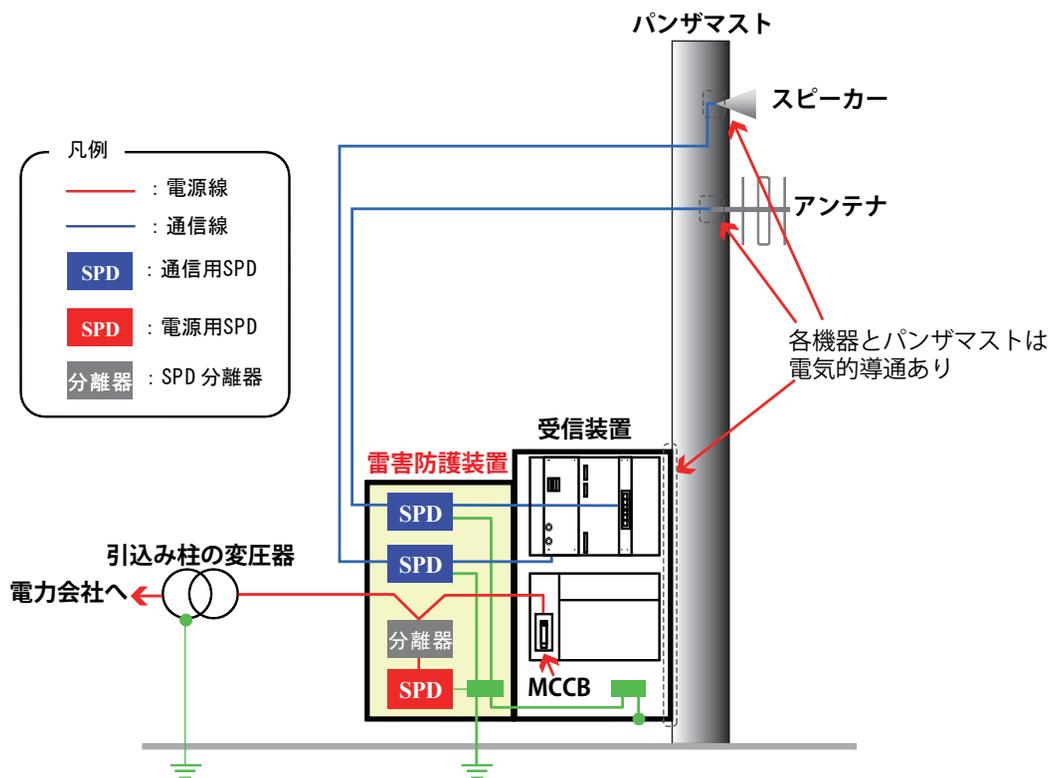


図 23. 雷害対策の実例



5.1.2. 設置例

フィールド実証用雷害防護装置（型式 NHO-1000）を設置した事例です。



図 24. 筐体正面



図 25. 子局に取り付けた状態



図 26. 設置例



5.1.3. フィールド実証結果

表 5 の仕様に基づく雷害防護装置を、計 15 箇所の防災行政無線子局に設置し、その有効性を検証しました (図 23 に概要図を、図 24 ~ 26 に設置例を示しました)。

雷サージ侵入の有無は、サージ検出装置 (サージカウンタ) を装置内に設置し、観測しました。その結果を表 6 に示します。

表 6. 実証結果

実証地域	実証期間	雷サージ観測の方法	観測結果
秋田県 A 市	7/4 ~ 12/31	サージチェック	1 回反応あり
		サージカウンタ	1 回反応あり
埼玉県 B 市	6/27 ~ 12/31	サージチェック	反応なし
		サージカウンタ	反応なし
群馬県 C 町	8/15 ~ 12/31	サージカウンタ	2 回反応あり

「サージチェック」は動作保持のため、雷サージの有無のみ確認

「サージカウンタ」は雷サージの発生回数を記録

上記の観測結果から、防災無線子局装置へ雷サージが侵入したことが確認されました。雷サージ侵入系統は、電源線又は接地線からであると考えられ、その電流値は観測装置の感度電流値から推察すると 50A ~ 100A 以上であったと推定されます。

そこで実際に、雷サージを検出した子局周辺の落雷数を調査した結果が表 7 です。落雷点から 2km の範囲内ではその影響を受ける可能性があると言われていたことから、子局を中心とした 2km 以内の落雷数を確認しました。この表が示すとおり、雷サージを検出した時期には落雷が発生しており、確かに落雷の影響を受けたと推測されます。いずれのケースにおいても防災行政無線子局には異常は見られず、雷害防護装置が有効に機能したものと考えられます。

この際の雷サージの強さを特定することはできませんが、少なくとも落雷事故が多発する地域においては、このような頻度で雷サージが発生しており、施設に障害が発生するリスクが高いといえるでしょう。

表 7. 落雷数調査結果

	日付	落雷発生数	中心からの距離 (誤差 500m 以下)
A 市	9 月 6 日	2	0.6km
	9 月 11 日	16	1.1km ~ 1.9km
	11 月 20 日	1	1.1km
	12 月 8 日	1	2.0km
C 町	9 月 6 日	2	0.9km
	9 月 11 日	6	1.1km ~ 1.9km

(株) フランクリン・ジャパン提供の解析データに基づく集計



6. 付録

6.1. 雷保護レベルの考え方

6.1.1. 保護レベルの選定

雷保護設計で用いる雷電流パラメータは、保護レベル（LPL）により4つのレベル（I～IV）で規定されている。すなわち、保護レベルを選定することは、雷保護システムの雷保護性能を決定するものである。保護レベルの選定については様々な手法が提案されているが、ここでは、1つの例として、年間の想定落雷数 N_D [回/年]、年間の許容落雷数 N_C [回/年]、雷保護システムによるリスク低減率 P より保護レベルを求める簡易な手法について紹介する。

1) 年間想定落雷数： N_D

直撃雷保護システムの必要性を検討するために必要な、防災無線システムへの落雷頻度の算出方法について示す。IEC（国際電気標準会議）では、建物等の大きさ、地域性、周囲環境を考慮して、年間の想定落雷数 [1/年] の算出方法が示されており、次の式で求めることができる。

$$N_D = A_D \times N_C \times C_D \times 10^{-6} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 A_D ： 収集面積 (m^2)
 N_C ： 雷撃密度 ($1/km^2/年$)
 C_D ： 環境係数

(i) 収集面積： A_D

収集面積 A_D は、建物の大きさ・形状によって決定される。基本的な考え方として、建物高さを H [m] とすると、建物から $3H$ [m] より内側の領域への落雷は、全てその建物に落雷するとしている。単純な直方体モデルの例を以下に示す。

$$A_e = L \times H + 6 \times H \times (L+W) + 9 \pi \times H^2 \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 H ： 建物の高さ (m)
 W ： 建物の幅 (m)
 L ： 建物の幅 (m)

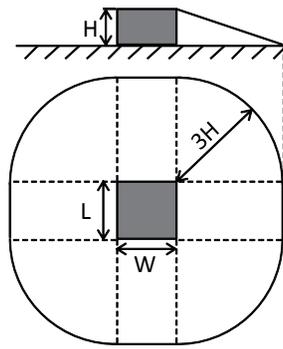


図 27. 収集面積の考え方

(ii) 落雷密度： N_G

落雷密度 N_G は、 1km^2 当たりの年間落雷数であり、地域ごとの落雷の発生しやすさを表したものである。実測データの例として雷撃マップを図 28 に示す。これは全国を 20km^2 メッシュで示したものであるが、市町村単位で入手することが望ましい。また、 N_G の実測データが得られない場合は、年間雷雨日数 (T_D) を用いて、以下により算出してもよい。

$$N_G \doteq 0.1 \times T_D \quad \dots\dots\dots(4)$$

各都市における T_D の値を表 4-3 に示す。

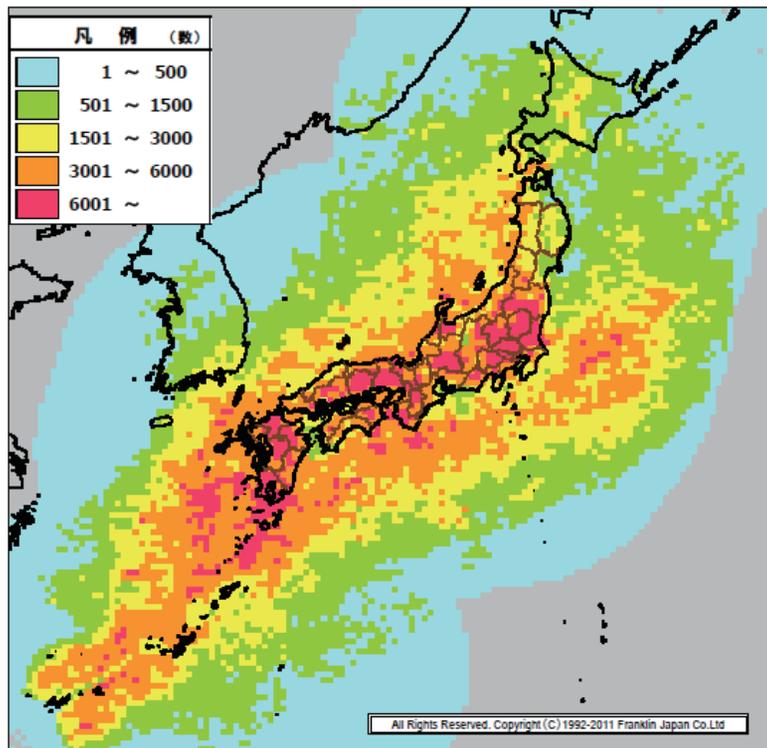


図 28. 国内の落雷数 (提供：(株) フランクリン・ジャパン)



表 8. 年間雷雨日数

地点	雷日数	地点	雷日数	地点	雷日数
札幌	8.8	東京	12.9	鳥取	26.4
函館	12.2	横浜	12.6	松江	25.4
旭川	12.0	新潟	34.8	岡山	11.9
釧路	4.9	富山	32.2	広島	14.9
帯広	4.9	金沢	42.4	下関	18.7
網走	6.8	福井	35.0	徳島	14.6
稚内	11.2	甲府	15.4	高松	12.3
青森	15.5	長野	18.6	松山	13.2
盛岡	13.7	岐阜	19.9	高知	15.2
仙台	9.3	静岡	17.0	福岡	24.7
秋田	31.4	名古屋	16.6	佐賀	22.6
山形	14.7	津	13.6	長崎	21.1
福島	13.3	彦根	18.1	熊本	26.6
水戸	16.7	京都	20.3	大分	20.0
宇都宮	24.8	大阪	16.2	宮崎	24.1
前橋	20.4	神戸	13.5	鹿児島	25.1
熊谷	19.7	奈良	22.2	名瀬	21.9
銚子	13.8	和歌山	11.8	那覇	21.6

(iii) 環境係数： C_D

建物の周囲に別の建物や樹木がある場合、当該建物への落雷の確率は低減される。逆に、丘陵地や山頂の建物には雷が落ちやすい。このように、建物の周囲環境による雷の落ちやすさを示したものが環境係数 C_D であり、表 9 のように規定されている。

表 9. 環境係数

環 境	C_D
より高い建物や樹木に囲まれている	0.25
同じ高さかそれ以下の建物や樹木に囲まれている	0.5
近くに他の建物がない	1
丘陵地など	2

(iv) 防災無線システムの想定落雷数

(i) ~ (iii) より、防災無線システムの想定落雷数を求める

収集領域 A_D について、防災無線子局の場合、パンザマストの高さ H に比べ、



幅 W 、奥行き D は十分に小さいため、収集面積は半径 $3H$ の円の面積と考えてよい。したがって、パンザマストの高さを $H = 15[m]$ とすると、

$$A_D = \pi \times (3 \times H)^2 \doteq 6358 \text{ (m}^2\text{)} \dots\dots\dots (5)$$

となる。

落雷密度 N_C について、国内における年間雷雨日数がおおよそ $5 \sim 40$ [日/年] であることから、式 (4) より、 $0.5 \sim 4$ [1/km²・年] とした。

環境係数 C_D について、防災無線子局は、田畑等の比較的開けた場所に設置される場合 = 1 と、公民館等の近傍に設置される場合 = 0.5 とした。

以上の条件における年間想定落雷数を表 10 に示す。また、年間想定落雷数の逆数で表される落雷発生期間の平均値も合わせて記載する。

表 10. 年間想定落雷数の代表値数

(環境係数 $C_D = 1$ の場合)

落雷密度	: N_C	[1/km ² ・年]	0.5	1	2	3	4
想定落雷数	: N_D	[1/年]	0.003	0.006	0.013	0.019	0.025
落雷発生期間	: T	[年]	314.5	157.3	78.6	52.4	39.3

(環境係数 $C_D = 0.5$ の場合)

落雷密度	: N_C	[1/km ² ・年]	0.5	1	2	3	4
想定落雷数	: N_D	[1/年]	0.002	0.003	0.006	0.010	0.013
落雷発生期間	: T	[年]	629.1	314.5	157.3	104.8	78.6

2) 年間許容落雷数 : N_C

年間の許容落雷数の設定方法については特に規定がないため、建築物の設計において、雪や風、地震など雷以外の自然災害に対する設計指針（荷重計算）の例を参考にすると、 $N_C=0.01$ [1/年] ($T=100$ [年]) を基本値として考えられている。

3) 雷保護システムによるリスク低減率 : P

雷保護システムを設置した場合のリスク低減率は、雷撃電流値ごとの発生頻度に関する観測データに基づいて規定されている。各保護レベルにおけるリスク低減率を表 11 に示す。



表 11. 保護レベルとリスク低減率

保護レベル	リスク低減率 P
I	1/50
II	1/20
III	1/10
IV	1/5

4) 保護レベルの選定

保護レベルは、(1) から (3) で求めた、年間の想定落雷数 N_D [回/年]、年間の許容落雷数 N_C [回/年]、雷保護システムによるリスク低減率 P より、以下を満足するように選定する。

$$N_D \times P \leq N_C \quad \dots\dots\dots (6)$$

したがって、年間許容落雷数を $N_C=0.01$ [1/年] とすると、表 10 より、パンザマストの高さが 15m、 $C_D = 1$ の場合、 $N_C = 0.5$ または 1 の地域では外部雷保護システムは「不要」、 $N_C = 2,3,4$ の地域では「保護レベルIV」の外部雷保護システムが必要となる。同様に、 $C_D = 0.5$ の環境では $N_C = 4$ の地域では「保護レベルIV」の外部雷保護システムが必要となり、それ以外では外部雷保護システムは「不要」となる。本手法は一例である。

例えば、年間許容落雷数を $N_C=0.01$ [1/年] とすると、100 台の防災無線子局を管理する場合、毎年 1 台が直撃雷を受けることになる。これを許容できない場合は、 N_C の値を小さく設定する。あるいは、遠隔地や豪雪地など保守・修理が困難な場所に設置されている場合は N_C の値を小さく設定するなど、実施条件を考慮して検討することが必要である。



7. 参考文献

- (1) JIS A 4201 (2003) 建築物等の雷保護
- (2) IEC 62305-1 (2010) Protection against lightning - Part 1: General principles
- (3) IEC 62305-2 (2010) Protection against lightning - Part 2: Risk management
- (4) 平成 24 年 理科年表 丸善出版
- (5) 建築物荷重指針・同解説 (2004) (社) 日本建築学会
- (6) Peter Hasse : Overvoltage protection of low voltage systems 2nd Edition, The Institution of Electrical engineers, 2000
- (7) JIS C 5381-1 (2004) 低圧配電システムに接続するサージ防護デバイスの所要性能及び試験方法
- (8) JIS C 5381-21 (2004) 通信及び信号回線に接続するサージ防護デバイスの所要性能及び試験方法
- (9) IEC 60364-4-44 (2007) Low-voltage electrical installations - Part 4-44: Protection for safety - Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances
- (10) JIS Z 9290-4 (2009) 雷保護一第 4 部：建築物内の電気及び電子システム

防災行政無線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
〒102-0093 東京都千代田区平河町 2 丁目 4 番 1 号
日本都市センター会館 10 階

発 行 年 月 平成 25 年 4 月

技 術 協 力 雷害リスク低減コンソーシアム