

統合接地システムの課題に関する研究（雷保護）

日大生産工(院) ○ 熊谷 悟 鈴木 秀也 近藤 弾
日大生産工 蔭田 鐵夫 移川 欣男

1. まえがき

接地には、機器接地、系統接地、避雷針（直撃雷）の接地、避雷器の接地、電気防食回路・直流送電系統・アンテナ用の動的な機能的接地、計測機器やコンピュータの基準電位用の静的な機能的接地、電磁シールド用接地等々があり、その目的と規模に応じた接地が施工される。従来は、屋内配電系統の接地方式として、上記の様な目的に応じて接地極を独立して設ける個別接地システムが採用されてきた。しかし、近年規格の国際整合化の動きから低圧配電系統における接地方式として IEC 60364 の翻訳が JIS C 0364 に規定された。その結果、新たな接地方式の概念として系統接地と機器接地をすべて一括する統合接地システムが導入された。

本研究では、個別接地システムに代わる新たな接地方式として今後の採用が予想される統合接地システムの特質を整理し、確実に効果的な統合接地システムの課題の内、雷害に関する検討を行ったのでその結果を報告する。

2. 接地システムと雷

2.1 雷撃電流の侵入経路

雷保護システムを構築する上で雷撃電流の侵入、伝播経路を確実に把握することが重要である。建築物への雷撃電流の侵入経路として以下の経路が考えられる。

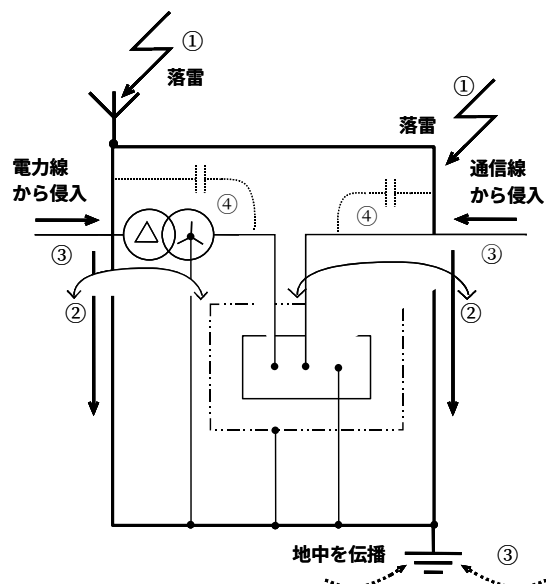


図1 雷撃電流の侵入経路

- ① 直接受雷する避雷設備の受雷部やアンテナ、建築物の側面などから侵入する経路。

- ② 雷撃電流が引き下げ導線を流れることにより電力用幹線、接地母線などに電磁誘導を引き起こし、起電力を発生させる磁気的な経路。
- ③ 建築物の外部から電源を供給する時の引き込み電線、電話などの通信線、あるいは地中を伝播して建築物内部に雷撃電流が侵入する経路。
- ④ 電線と電線、あるいは電線と負荷機器などの漂遊容量を介して侵入する経路。

2.2 被害の様相

本報告では建築物における雷害は引き下げ導線を雷撃電流が流れることによって生じる電磁誘導によるものを取り上げる。

雷撃電流が引き下げ導線などに流れると、瞬間的に導体周囲の電磁界が変化し、この磁界や電界の時間的な変化は電磁環境問題や建物内部の配電系統に対する電磁誘導の原因となる。電磁誘導によって系統内に局所的な電位上昇などが生じ、これにより電流が流れ、場合によっては漏電遮断器が誤動作する可能性がある。

ここで引き下げ導線に雷撃電流が流入した場合、引き下げ導線周囲の磁界が変化することにより他の閉ループ（窓枠などを想定）に発生する誘導起電力の計算例を示す。

想定した引き下げ導線とループの配置や素材などの条件は図2に示す通りである。

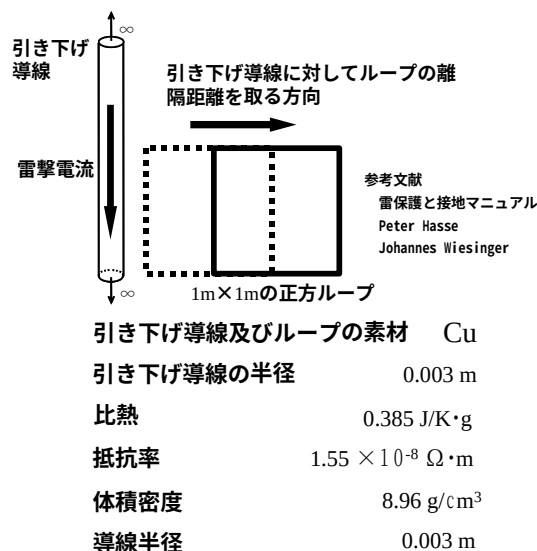


図2 引き下げ導線とループの配置及び想定条件

引き下げ導線に流入する雷撃電流は、図 3 に示すように JIS C 0367 より波高値 200 kA、波頭長 10 μ s、波尾長

300 μ s で定義される第 1 雷撃電流を仮定した。

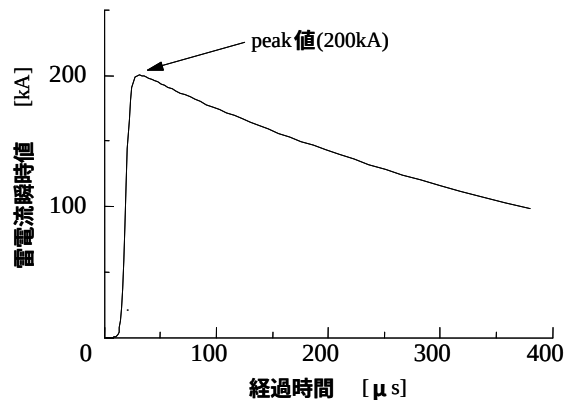
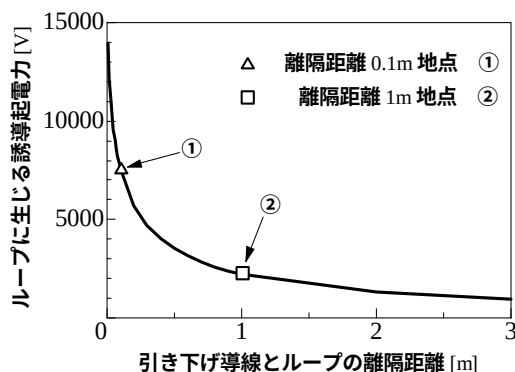


図3 雷撃電流

引き下げ導体から閉ループまでの離隔距離の変化に対する誘導起電力の計算結果を図4に示す。



	離隔距離 [m]	誘導起電力 [V]
①	0.1	7590
②	1	2210
	10	305

図4 ループに生じる誘導起電力の一例

図示の通り、離隔距離が大きくなればループに発生する誘導起電力は図中の①から②のように小さくなる。

建築物で引き下げ導線とループの離隔距離を確保することは電磁誘導の影響を抑制する上で有効な手段である。従ってループを流れる誘導電流が小さくなり、ループの温度上昇が小さくなるが、瞬間的な温度上昇は避けられない。また、引き下げ導線自体も温度上昇を起こすため配慮が必要である。さらに、誘導起電力の発生は系統内部が等電位であるという統合接地システムの利点を失うばかりでなく、機器の誤動作や故障の原因となる可能性もある。

送電系統では、雷過電圧によるフラッシュオーバーを引き金とするアーク放電により商用周波電圧による電流（統流）が流れ、この時発生する大きな熱エネルギーが原因となる配電線や機器の焼損、あるいは変圧器における高圧混触事故などが発生している。

配電系統の末端需要家では、開閉サージにより生じるノイズの回り込みによる機器の誤動作が発生している。

このように建築物や送配電系統では雷や開閉サージが

主要因となって発生した被害事例が多数あり、雷保護対策を講じる必要があることは明白である。

3. 雷保護対策と接地システム

雷保護対策を講じる目的は、雷撃電流に起因して生じる可能性のある火災、破損、及び人や動物、機器に対する障害を防止することである。

半導体技術や回路技術などの進歩により電子回路の高密度化、高機能化が進んだが、機器のイミュニティ(特に絶縁や発熱に対する耐力)が低下している。このため電子機器に対する雷保護対策を講じることも重要になっている。

建築物の雷保護対策は、引き下げ導線に雷撃電流が流れたとき発生する電磁誘導から系統内部の各種幹線や建築物内部を保護すること、外部から侵入する雷撃電流を確実に大地へ放流するという概念に基づき施工され、建築物ごとに様々な仕様がある。この対策で注意を要する点は、系統内の等電位化、絶縁の維持、雷撃電流の侵入経路を把握することである。日本では JIS A 4201 により避雷設備の設計に関する規定がなされており、建築物の構造に差異はあるが、概念的な接地システムが示されている。

3.1 雷保護対策の概念

雷保護対策の概念に関する考え方を以下に示す。

- (1) 雷保護対象物の内部における接触電圧や歩幅電圧などに対する人体や家畜の安全を確保する。
- (2) 接地線、接地極として利用する構造体と接地線、接地極の電氣的接続の確実な確保。
- (3) 保護区域(LPZ: Lightning Protect Zone)や過電圧耐量の明確化による被保護対象の焼損や誤動作の防止。

ここで統合接地システムを採用した場合の建築物における雷保護に関する概念図を図5に示す。

これらの考え方を満足し、雷から建築物を保護するためには建築物全体と周辺大地の等電位化を図ることが望ましい。これは等電位ボンディングの概念によるものである。

建築物内部では接地線、接地極として利用する構造体と系統を構成する接地線や露出導電性部分の電氣的接続を確実に確保して等電位化を図る。電氣的接続を確実に確保することにより建築物への落雷あるいは外部から侵入してくる雷撃電流を引き下げ導線あるいは構造体から大地へ放流することができる。接地極に代用する構造体の地下の基礎部分で電流が局部的に集中して流出する場合には鉄筋の電食が進む可能性がある。そこで地下基礎において鉄骨や鉄筋の電氣的接続を確実に確保し、電流の流出面積を広げることにより急激な電食の進行を抑制する。

鉄筋や鉄骨の電食はその周囲の環境が大きく影響する。鉄筋や鉄骨と接続用の金具や溶接用の材料が異種金属である場合には金属のイオン化傾向の違いから接続箇所において電池が形成され、電食が起こる可能性がある。また土壌に鉄筋や鉄骨が直接接触している場合にも電食が進行する可能性がある。鉄筋や鉄骨の接続部分や地下基礎の

電食や腐食は構造体の劣化を早め、構造体の抵抗の増加や電氣的接続を損なう可能性があるのみならず強度低下の要因にもなる。電食や腐食の発生を防ぐことは困難であるため、鉄筋や鉄骨の材質と周囲の環境(特に土壌の含有物)を考慮した上で電気防食の対策を施し、その進行速度を緩やかにするなどの工夫が必要である。

建築物外部では落雷時あるいは地絡故障時には建築物周囲の敷地に電位傾度の急峻な箇所ができる可能性があるため、接地極周辺に環状地線を敷設して電位傾度の緩和を図り、人体や家畜の安全を確保するという観点から地表面上はアスファルトや砂利などの絶縁物を敷き詰めて絶縁を確保する必要がある。

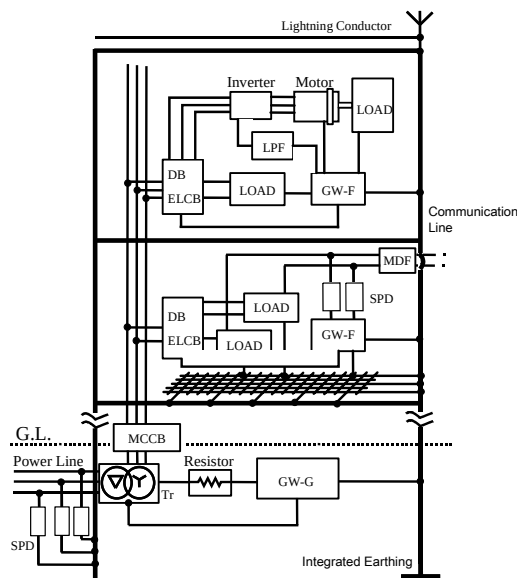


図5 雷保護の概念図

高圧受電設備を有する建築物では、変圧器の一次側二次側ともにSPD（SPD：Surge Protection Device）により建築物内部に侵入した雷撃電流を適切なレベルに応じて設置したSPDにより分岐させて段階的に大地へ放流し、雷撃電流を低減する対策が取られる。SPDはシステム外部から引き込む通信線（電話線）等から侵入する雷撃電流に対しても適用する。SPDを接続する接地極は構造体となるが、この場合、雷撃電流は建築物内部へ流入することなくSPDから接地線と構造体を介して大地へ放流される。SPDを構造体に接続する線はインダクタンスが増大しないように可能な限り距離を短く、心線の太い電線を使用する。

建築物の高層化に伴い雷撃電流の侵入経路として建築物の側面に落雷したという事例があり、避雷針や棟上導体に加えて建築物の側面に沿って受雷用の電線を敷設あるいは突針を取り付けるなど、受雷部の適正配置により雷撃を確実に捕捉して受雷部から構造体を介して大地へ放流する。このため、受雷部の設計と引き下げ導線の配置、接地極とする地下基礎部分の電氣的な接続を確保する必要がある。この時、建築物内部ではファラデーケージの概念により大きな電位差は発生しない。

地絡が短絡になることを防ぐための挿入抵抗^{*2}が雷撃電流によって焼損した場合、中性線が非接地となり系統の基準電位や系統保護装置の動作が不安定となる可能性がある。このため、引き下げ導線や接地線などに使用する電線などは発熱による溶断を防ぎ、さらに絶縁を維持するため許容電流への配慮が必要となる。

4. 雷保護システムの課題と対策

第3節に示したような雷保護対策の概念に従い雷保護システムを構築すれば雷撃電流による建築物への直接的な被害を抑制することができる。しかし以下に示すような課題がある。

(1) 電磁誘導

第一の課題として雷撃電流が引き下げ導線を通過するとき引き下げ導線周囲の磁界が瞬時的に変化するため、その周囲に存在する電力線や通信線などに対して電磁誘導を引き起こす要因となることが挙げられる。

例えば第2節の例で示したように引き下げ導線として使用する鉄筋や鉄骨あるいは電線と平行配置になりうる窓枠やサッシなどの金属で構成されたループに対して及ぶ可能性がある。特に引き下げ導線とループの離隔距離が短いほどループに対して瞬時的に莫大な誘導起電力（図4参照）が発生して誘導電流が流れ、ループの有する抵抗とこの誘導電流に比例したジュール熱が発生する。引き下げ導線として電線を選択した場合には雷撃電流が電線を集中して流れるため電線自身の温度上昇も大きくなる。

落雷時には雷撃電流が瞬時的に引き下げ導線を集中して流れる。特に引き下げ導線が系統内の電力線や接地母線などが配線されているEPS内に一括して配線された場合には、電力線や接地母線に対して電磁誘導を引き起こす可能性があるためEPSやケーブルラックの配置を考慮した上で可能な限り引き下げ導線とその他の電線の離隔距離を稼ぐ必要がある。離隔距離の確保が困難な場合には引き下げ導線とその他の電線の間に遮蔽板（磁気シールド）を施工することが有効な対策である。ただし遮蔽板は磁界の変化が生じたときには渦電流が流れてジュール熱を発生するため、放熱を目的として構造体との接続を確保しておくことが望ましい。

以上より、電磁誘導の影響を避けるため、引き下げ導線とその他の電線を異なるEPSに配線する事を推奨する。

引き下げ導線が建築物の外壁に沿って通る場合には、引き下げ導線から近傍の平行配置に近い鉄筋に対して誘導起電力を発生し、このとき建築物内の電位が一定にならない。引き下げ導線とその他の電線は可能な限り平行配置になることを避けるように施工することが望ましい。

引き下げ導線に構造体を利用すれば雷撃電流は鉄筋や鉄骨を通過して地下の基礎から大地へ放流されるため、受雷部と接地極の間に引き下げ導線を配線する必要がなくなる。さらに雷撃電流は張り巡らされた鉄筋や鉄骨に均等

に分散するため peak 値が抑制されて建築物内部で発生する電磁界の変化も小さくなる。そして、平行に配置された鉄筋や鉄骨に対して同一方向の雷撃電流が流れたときには発生する磁界が相互に打ち消し合う。そのため建築物内部に対する電磁誘導の影響はかなり抑制されるものと推察される。ただし鉄筋の近傍に敷設される接地線や電力線については、鉄筋や鉄骨と平行配置に近いほど電磁誘導の影響を受ける可能性が高くなるため電線が鉄筋や鉄骨と平行配置になることを可能な限り避ける。

(2) 電線の長さやインダクタンス

第二の課題として被接地対象と接地極間のインダクタンスの影響が挙げられる。

接地を取る場合には被接地対象から各フロアの接地盤 (GW-F) まで接地線を敷設し、GW-F から接地極までは構造体を利用することにより電氣的接続が確保されている。接地系統を構成する場合、接地線、引き下げ導線、鉄筋や鉄骨あるいは接地が必要となる負荷機器や ELCB、SPD などから GW-F までの接地線や GW-F から接地極までの構造体には必ずインダクタンスが存在する。

インダクタンスは回路の形状や亘長により定まる。接地線の長さが長くなるにつれて、あるいは GW-F から接地極までの距離が大きくなるにつれて被接地対象と接地極の間のインダクタンスが増加することになる。

インダクタンスの増加は接地線の高インピーダンス化の原因となる。さらにインダクタンスは系統内に存在する漂遊容量とともに局所的な電位差あるいは電流の回り込みを発生する要因となりえ、系統内における局所的な電位差の発生は、系統内が等電位であるという統合接地システムの利点を損なうことになる。

系統内に存在するインダクタンス (特に接地線として建築物の鉄筋や鉄骨を利用している部分) を完全に消去することは困難であるが、可能な限りインダクタンスの影響を小さくするため、接地線として使用する電線は可能な限り心線が太いものを選択し、長さが短くなるように敷設する必要がある。

(3) 高周波ノイズ対策

第三の課題として近年、情報通信設備や電子機器は素子や装置の高密度化にともない扱う信号が増加し、より高度で複雑な機能が要求されている。そして安全で確実な機器の保護や機器の基準電位を確保して誤動作を防止するために高周波ノイズ (電磁環境問題) への対策が必要となっている。高周波ノイズの伝播経路には電線を伝播する伝導ノイズと空間を伝播する放射ノイズがある。

地絡電流の高周波成分や落雷あるいはインバータによる電力制御などにより発生した高周波ノイズは、各フロアに存在する接地線や構造体からの電磁波の放射あるいは電力線や通信線への電磁誘導を引き起こす。高周波ノイズの波長が線路長の特定倍数であれば定在波が発生して電

線のアンテナ化、あるいは局所的な電位差を生じる。そのため定在波が立つ可能性のあるフロアや接地線は構造体と複数箇所電氣的接続を確保 (多点接地) することにより定在波の振幅と局所的な電位差の発生を抑制するように施工することが有効である。

高周波ノイズが伝播する場合には表皮効果が現れるため、採用する電線には可能な限り心線の太いものを選択する。接地線としてケーブルを採用した場合には、ケーブル自身が有するインダクタンスと静電容量による共振現象を利用して特定周波数帯域の高周波ノイズを大地へ放出させる対策もある。一方、高周波ノイズを減衰させるために、抵抗とインダクタンスの並列回路により構成される高域減衰器を接地線に対して直列に接続するという対策^{*3}もある。インダクタンスは高周波ノイズに対して高インピーダンスとなるため抵抗側を流れ、ジュール熱として減衰される。しかし、直流分や低周波成分はインダクタンス側を通過して中性線や他のフロアに回り込む。中性線に対する電流の回り込みは系統内の基準電位が乱れる要因となるため、高域減衰器は可能な限り高周波ノイズの発生源に近い所に適用し、高周波ノイズを発生源付近で減衰させるべきである。

ここで問題となるのは高域減衰器に高周波ノイズが流入することによって電位差を生じてしまうことである。高域減衰器の採用により高周波ノイズを減衰させるという目的は達成されるが局所的な電位差の発生により系統内が等電位であるという統合接地システムの利点を損なう。そのため高域減衰器の利用は特定の高周波ノイズが発生しやすい機器や装置などに対して必要最低限の適用に止めるべきである。

5. まとめ

- (1) 雷保護対策において考慮すべき点は建築物内及び周囲の等電位化と雷撃電流侵入経路の把握である。
- (2) 電磁誘導への対策では引き下げ導線とその他の電線の離隔距離や配置には注意を要する。
- (3) 線路長が長くなると系統内の高インピーダンス化や漂遊容量の影響により電位差を生じる可能性が高まる。
- (4) 接地幹線や空間を伝播する高周波ノイズへの対策も必要となっている。
- (5) 系統の保護対策として採用する方法には一長一短があり、その採用目的や特徴を把握する必要がある。

「参考文献」

- 1) Peter Hasse, Johannes Wiesinger, 「雷保護と接地マニュアル」, 東京電機大学出版局, (2003), P.245~248
- 2) 屋間和夫, 「統合接地システムにおける B 種接地挿入抵抗の効果」, 電気設備学会全国大会, (2002), P.245~248
- 3) 岡本健一, 恒岡まさき, 村野佳大, 大川慶直, 「高周波ノイズ低減用接地線の基礎実験」, 電気設備学会誌 (2003), P.149,150