

通信設備への 雷などによる影響を低減する



山口 大介
Daisuke Yamaguchi
信号技術研究部
信号システム研究室
副主任研究員



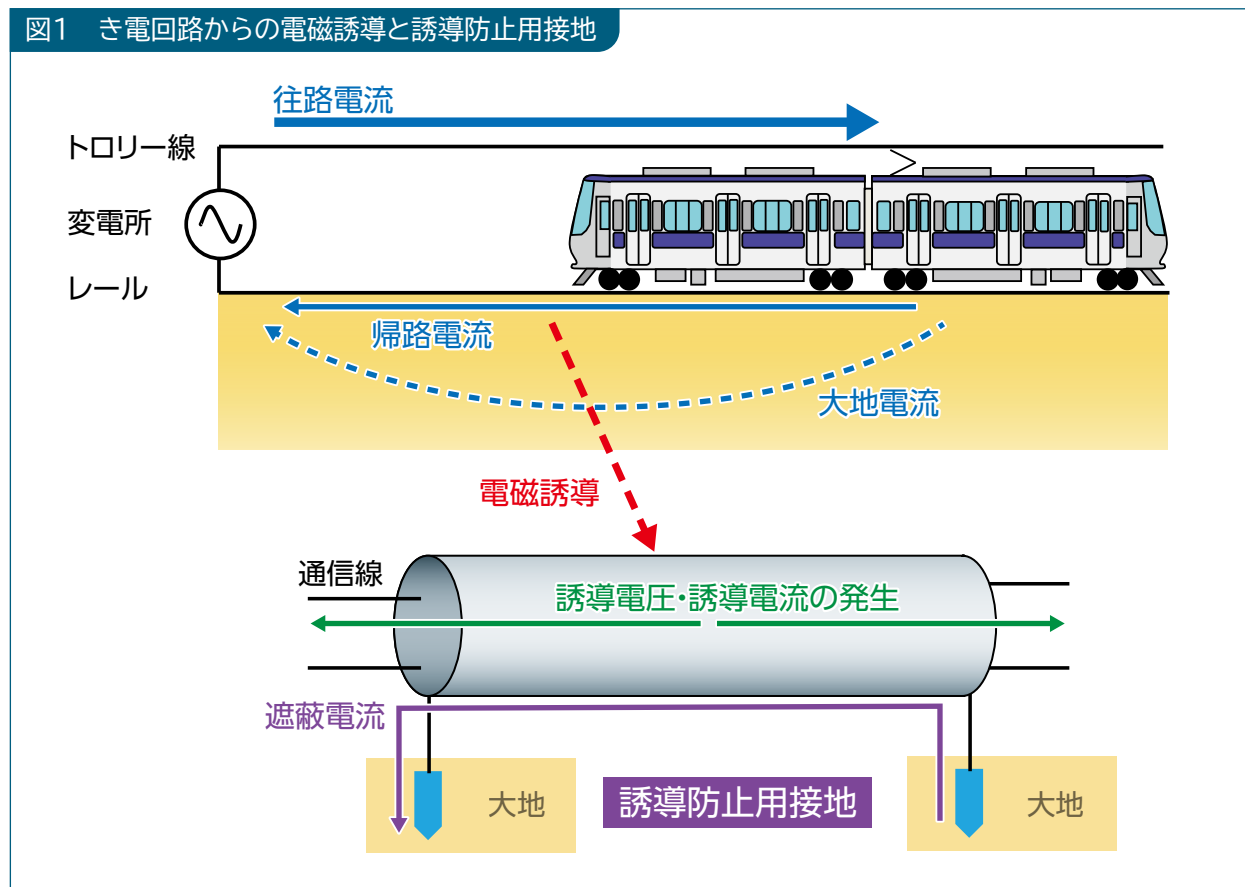
竹内 恵一
Keiichi Takeuchi
情報通信技術研究部
通信ネットワーク研究室
主任研究員

はじめに

鉄道通信設備は列車の安全・安定運行に必要なさまざまな情報をやりとりしています。通信機器同士を接続するための伝送路として複数の金属電線で構成したメタリック通信線は古くから用いられ、沿線や駅構内に敷設されてい

ます。メタリック通信線は情報を送受信するための経路になるだけでなく、雷サージをはじめとした異常電圧が屋外の沿線を伝わって遠く離れた機器室内に侵入する経路にもなります。一方で、通信線の末端に接続される通信機器には、近年の情報通信技術の発達で多くの半導体部品

図1 き電回路からの電磁誘導と誘導防止用接地



が使用されるようになり、異常電圧に対して脆弱ぜいじやくになる傾向にあるため、異常電圧を大地に逃がす**接地**^①などの対策が重要になってきています。

異常電圧対策のための接地

誘導防止用

電気鉄道では、電車に電力を供給するき電回路の電圧・電流による電磁界が発生し、沿線に敷設されたメタリック通信線などの金属導体に電圧・電流が誘起される現象である静電誘導・電磁誘導が発生します(図1)。

対策として、通信線を遮蔽層と呼ばれる金属体で覆い、遮蔽層を接地します。静電誘導の対策では、遮蔽層を片端で接地し、大地と同じ電位になるようにしています。通信線への電磁誘導の対策では、遮蔽層に生じた遮蔽電流によっ

て通信線に生じる誘導電圧を打ち消すため、遮蔽電流が流れるよう両端で接地する必要があり、さらに遮蔽電流が大きくなるよう接地抵抗を低くする必要があります¹⁾。

保安用

ここでいう保安とは、機器や機器を操作している人に直接大きな電圧がかからないよう保護することを指します。

鉄道沿線や機器室の近傍で落雷があった場合には、落雷で発生した電磁界による静電誘導・電磁誘導で**雷サージ電圧・雷サージ電流**^②がメタリック通信線に生じ、通信線を伝搬して機器室に侵入します。

対策として、機器室内への通信線の引込口あるいは通信線を集約した配線架において、異常電圧を逃がすための**保安器**^③を介して、通信線を接地します(図2)。

① 接地と接地電極

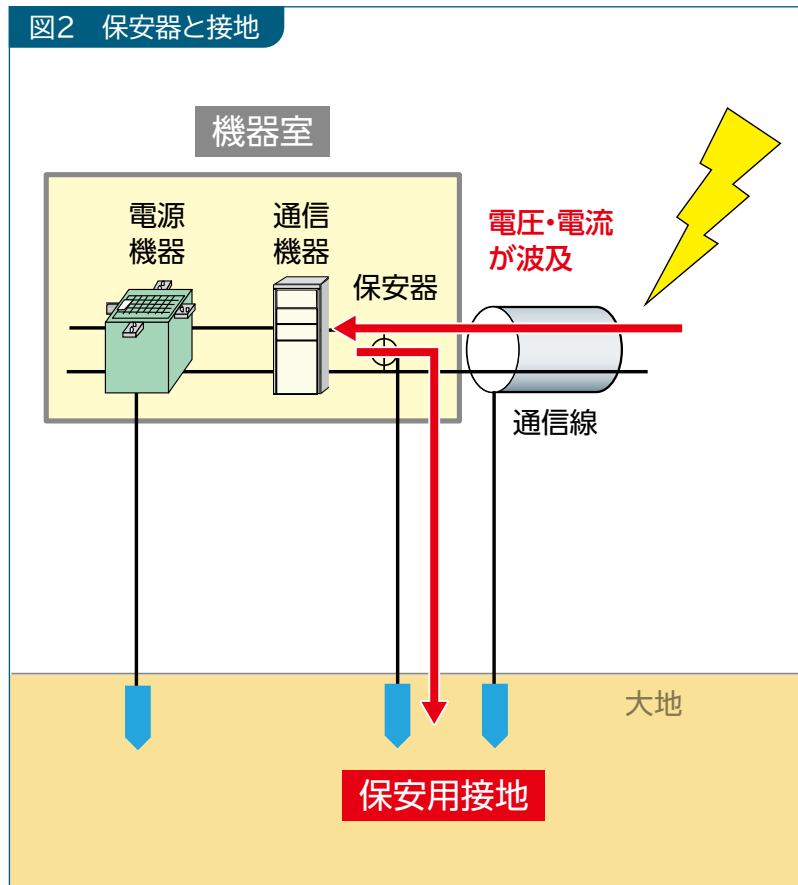
「アース」「グランド」とよばれることもあり、大地と電氣的に接続した構成を指します。大地と接触する金属体を接地電極とよびます。

② 雷サージ電圧と雷サージ電流

雷サージ電圧は、雷の影響により発生した瞬間的な高電圧のことをいいます。また、雷サージ電圧が発生した結果流れる電流のことを雷サージ電流といえます。

③ 保安器

「避雷器」「アレスター」とよばれることもあります。JIS規格上は、送電線などの高圧系統に使用されるものを高圧避雷器(surge arrester)、電源線などの低圧系統に使用されるものをSPD(Surge Protective Device)と区別しています。ここでは総称として「保安器」で統一します。一定電圧を超えると通電状態となる素子です。



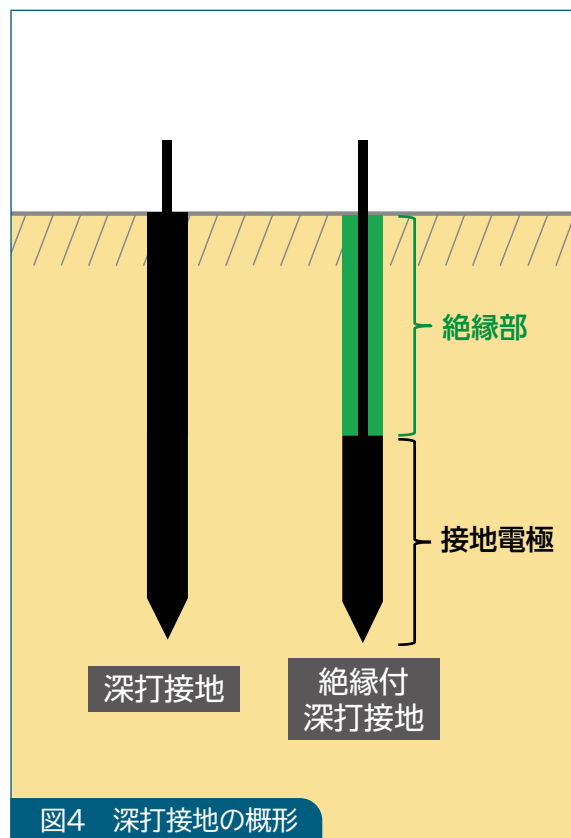
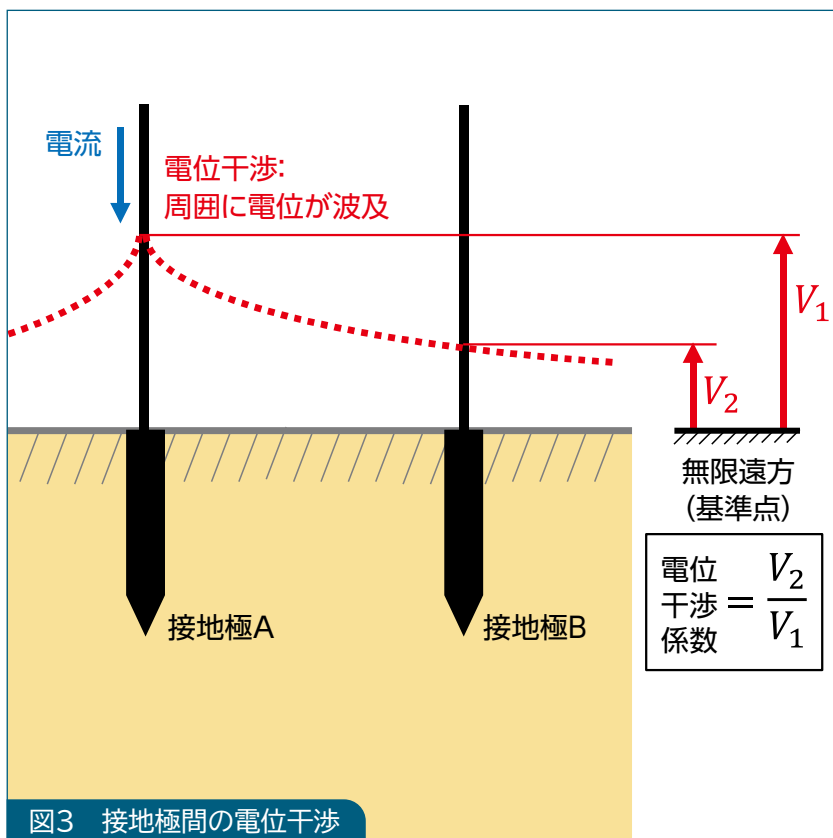


図3 接地極間の電位干渉

図4 深打接地の概形

機器室内に電力を供給するための電源線も同様に異常電圧が侵入する経路になります。電源線では耐雷トランスを挿入し、電源と機器との間を絶縁することで異常電圧により生じる電流が流れないように対策をしています。

た、各接地が近接していると周囲の電位上昇がほかの接地まで波及する電位干渉が生じ、接地の効果を減少させてしまいます(図3)。電位干渉の度合いは、電位上昇の比を取って電位干渉係数で表されます。

深打接地

接地抵抗と電位干渉

機器室には、誘導防止用と保安用の接地だけでなく、機器室間で電気信号を送受信するための通信用の接地もあります。各接地は機器室周囲の敷地内に設けますが、^{きょうあい}狭隘な敷地内に複数の接地を設けるために施工規模の小さな接地棒を地面に打ち込むことが多いです。

そこで近年は、ボーリングによって施工した細かい孔に電線を挿入して深さ方向に長い構成とした深打接地も、機器室の接地として新たに用いられるようになってきました。接地間の電位干渉を少なくするため、地表面から一定深さまで絶縁部を設けた絶縁付深打接地が効果的であると考えられます(図4)。

各接地は所望の効果を得るために接地抵抗の目標値が定められ、例えば誘導防止用接地では5Ωと低い接地抵抗が求められます²⁾。接地抵抗を下げるためには接地棒を連結して延長しますが、何本も多重連結することは困難です。ま

深打接地の電気的特性のシミュレーション

接地を設計するためには、接地棒を打ち込む深さと、接地抵抗や電位干渉との関係を把握しておく必要があります。

連結した接地棒でも長さが数m程度であることから、これまでの接地の電気的特性の予測では、地表付近の浅い地層に限定して**大地抵抗**[®]

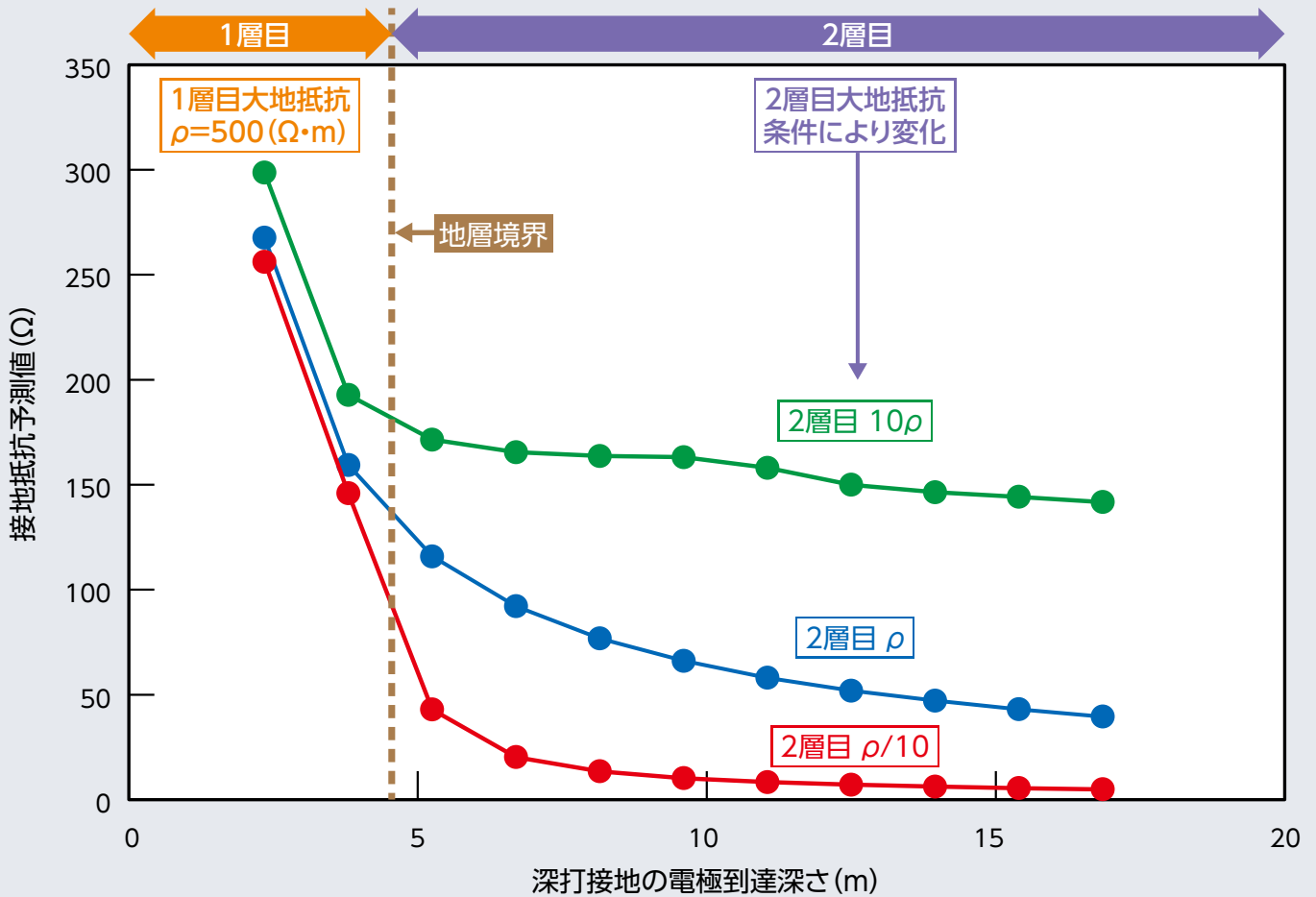


図5 深い地層の大地抵抗と接地抵抗

を一定と見なす均一大地として計算をしていました。深打接地は地中深くまで達するため、複数の地層の大地抵抗を考慮して予測を行うツールを開発しました³⁾。

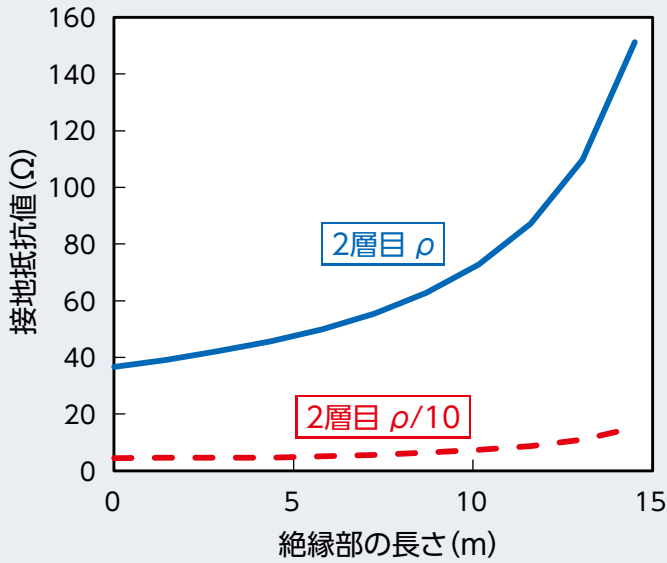
深度4.5m（接地棒底部よりも深い位置）を境界として、1層目と2層目の大地抵抗が異なる条件での接地抵抗の予測例を図5に示します。深打接地では、深い地層の大地抵抗が地表と同程度もしくは小さい場合は、長さを延ばすことで抵抗が低減できます。深い地層の大地抵抗が大きい場合は、長さを延ばしても抵抗が変わら

ず、抵抗を低減させる効果が小さいことがわかります。同じ地層で、絶縁付深打接地の深さを16.85mと固定し、絶縁部の長さを変化させた場合の接地抵抗値と、離隔3mの位置にある長さ3mの接地棒に対する電位干渉係数を予測した結果を図6に示します。絶縁部を長くするほど、大地との接触面積が減って接地抵抗は増加しますが、近接した接地棒への電位干渉は減少します。

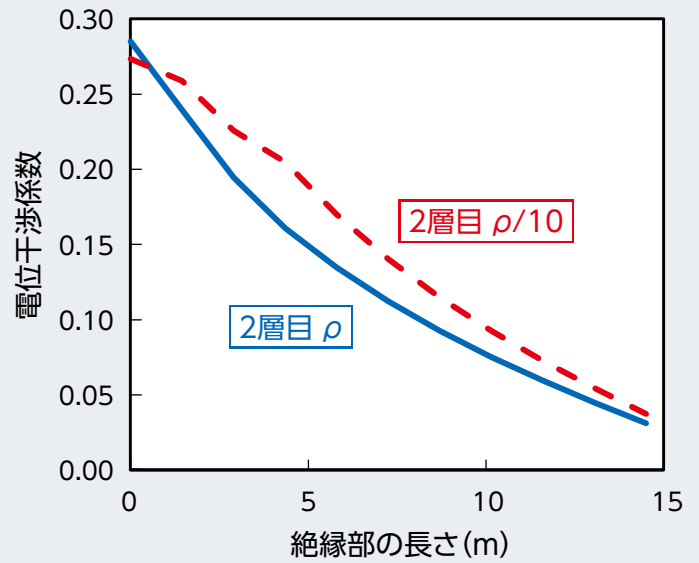
絶縁付深打接地では、絶縁部を設けることで、あたかも離隔を確保しているのと同じ状況となり電位干渉が低減でき、絶縁部を設けることで増加した接地抵抗は電極部の長さを延ばせば低減できることとなります。近接するほかの接地極などへの電位干渉低減に必要な絶縁部の長さを決定し、続いて接地抵抗低減のために必要な

大地抵抗

接地から電流が流出する大地の固有抵抗で、接地抵抗に大きく影響します。同じ接地電極の形状の場合、大地抵抗が高いと接地抵抗は高くなり、大地抵抗が低いと接地抵抗は低くなります。



(a) 接地抵抗



(b) 電位干渉

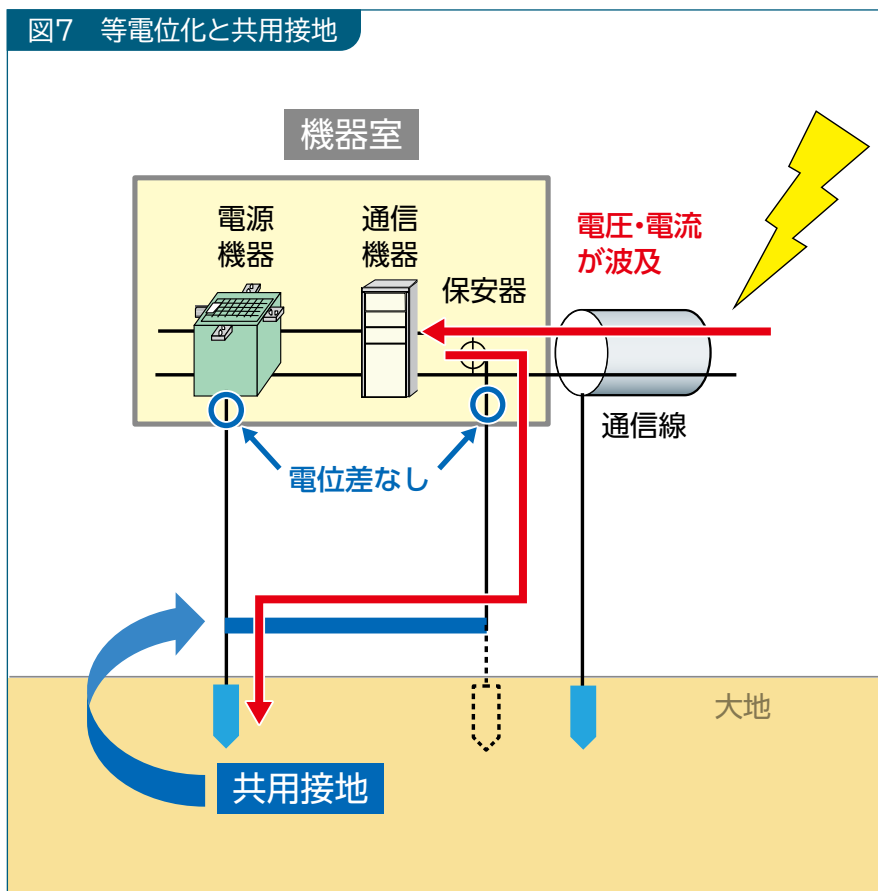
図6 接地抵抗と電位干渉

電極部の長さを決定する、という手順で接地抵抗低減と電位干渉低減を両立することで、狭隘な敷地でもより効果的な接地の設計が可能になります。

共用接地の導入と課題

保安用の接地で、通信線の異常電圧により生じた電流を大地に逃がしきれなかった場合、機器室内で相互に接続された通信機器にも電流が

図7 等電位化と共用接地



☞ 等電位化

互いを電線で接続することで電位差を低減する構成で、「等電位ボンディング」「仮想接地」ともよばれます。さらに、互いを結ぶ電線を接地した構成は「共用接地」となります。

☞ 電食

直流電流が流出する接地電極では化学反応による腐食が発生します。これを「電食」とよびます。

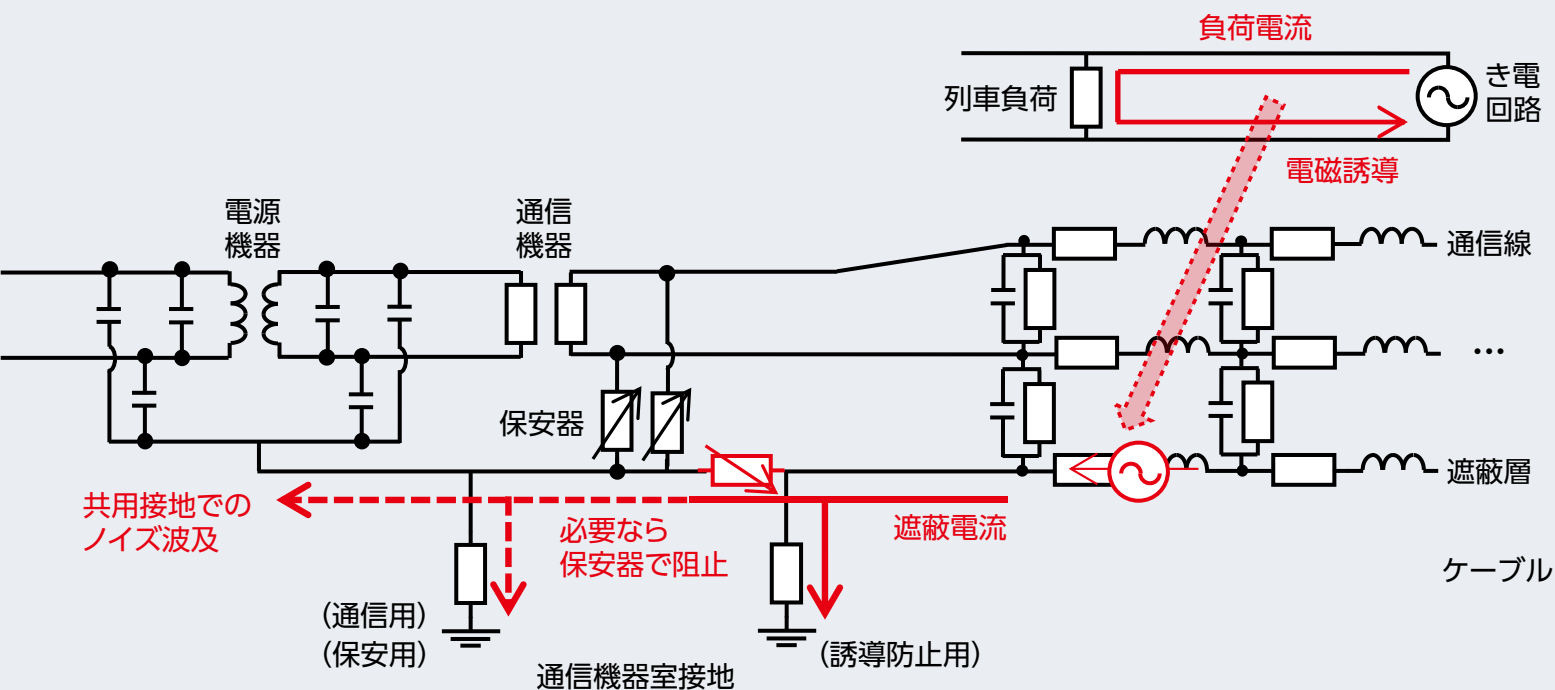


図8 共用接地のシミュレーションモデル概要

流れて多くの機器を損傷してしまう可能性があります。これを防ぐためには、通信機器筐体とすべての接地を接続し、異常電圧が生じても互いの電位差を小さくすることで電流が流れないようにする等電位化[®]が効果的であると考えられています(図7)。従来は個別に分けていた各接地同士を等電位化のために結んだ構成は共用接地ともよばれます。

共用接地を構成する場合、直流電源に接続される通信用接地を含むことになり、通電による電食[®]を防ぐため、接続された接地線を一箇所だけで接地する一点接地構成が望ましいとされています。しかし、共用接地を構成すると、接地間で相互にノイズの流出入が懸念されるため、ノイズの影響評価を行う必要があります。とくに、誘導防止用接地には列車走行にともなう電磁誘導を低減するため、平常時から数Aの遮蔽

電流が流れていることは、鉄道環境の特徴でもあります。現在、共用接地の構成でのノイズの影響評価を行うため、シミュレーションモデルの検討を行っています(図8)。

おわりに

ここでは、通信機器に悪影響を及ぼす雷サージなどによる異常電圧への効果的な対策に向けて実施している、機器室の接地特性のシミュレーションについて紹介しました。異常電圧に対して弱い半導体部品を多く使用する電子機器は今後も導入が続けられますので、効果的な異常電圧への対策の改善が信頼性向上につながると考えています。引き続き、深打接地や共用接地の導入に向け、接地特性と対策効果の定量的評価、導入に向けた課題解決に取り組んでいく予定です。RRR

文献

- 1) 竹内恵一, 山口大介: 鉄道沿線の電磁誘導現象を探る, RRR, Vol.73, No.8, pp.8-11, 2016
- 2) 日本鉄道電気技術協会通信技術委員会現場必携編集分科会: 通信屋の現場必携, 日本鉄道電気技術協会, 2021
- 3) 山口大介, 竹内恵一, 藤田浩由: 通信設備における接地方式の評価手法, 鉄道総研報告, Vol.35, No.10, pp.41-46, 2021