

校正用仮設避雷針の実現と雷対策

安本勝¹, 佐々木一哉², 鴨川仁³, 大胡田智寿⁴, 土器屋由紀子⁴

1.(株)ヤマザキ, 2.弘前大, 3.東京学芸大, 4.NPO 法人富士山測候所を活用する会

1. はじめに

富士山測候所の山麓に繋がる接地線の電流を測定して富士山周辺の雷現象を観測している。しかし、この接地線電流の測定は高圧ケーブル内接地線のみである。接地線が複数有り全体の電流を知るためには測候所避雷針に被雷した電流と同時測定を行うことで全体の接地線電流への校正が可能になる。そのため、測候所の一番高い観測塔にさらに高い仮設避雷針を設けることで仮設避雷針一ヶ所への被雷頻度を高め、被雷電流は、避雷導線に流すようにし、終端に設けたシャントで絶対測定することで知ることができる。同時に測候所から山麓に繋がる接地線流れる電流を測定することで、全接地線電流は被雷電流としてよいので、被雷電流と測定接地線電流との比を取ること全接地電流への換算補正計数を求めることができる。

本報告は、この校正実現のため、仮設避雷針の実現方法、被雷電流の測定方法を提案する。また、測候所の被雷対策方法を提案する。

2. 仮設避雷針の実現方法

2-1 観測塔での実現

測候所への被雷を一ヶ所にまとめられるようにするには測候所の最も高い個所にさらに高くできる仮設避雷針を設けて仮設避雷針への被雷頻度を高める必要がある。

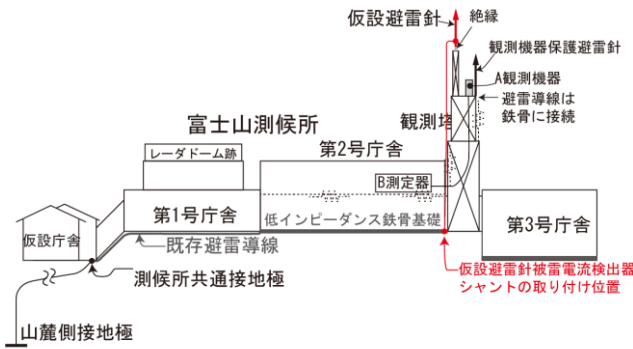


図 1 富士山測候所と仮設避雷針

観測塔は図1に示す測候所の第2号庁舎と第3号庁舎の間にあり、測候所で最も高いところになる。

現状の観測塔には気象観測機器が設置され、これらの観測機器の雷保護は回転球体法の保護下に置かれている。この雷保護下に置くための避雷針も設けられているが、突出した高さのものではなく、また避雷針は固定部の鉄骨に電気的に接続されているため校正用避雷針には使用できない。

回転球体法保護下に置く受雷部は被雷電流を安全に流

せるようになっていることが前提である。一方避雷針は周囲の落雷を防ぎ避雷針一ヶ所に落雷を集め避雷導線で安全

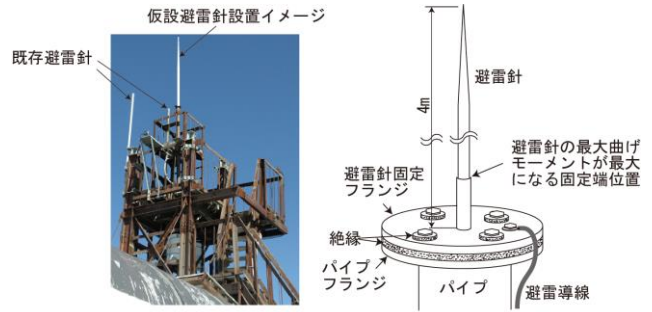


図 2 仮設避雷針を観測塔に設置した場合の設置イメージ

に接地に流すことができる。このメリットはどこに弱点があるか分からないとき全体を網羅し一括して保護できる点にある。富士山測候所の場合だけでなく一般的にも、掌握できていない個所については、両者を併用することが望ましい。

仮設避雷針は最高部にパイプフランジがあり、このフランジに図2に示すように仮設避雷針を設置することを検討している。仮設避雷針は固定部パイプフランジから絶縁し、被雷電流は低インピーダンス避雷導線を通し、観測塔に電圧降下を生じさせない個所、具体的には2号庁舎基礎に接続し流すことを考えている。被雷電流の測定はこの避雷導線終端接続部にシャントを設け被雷電流の絶対測定を行うことになる。シャントは避雷導線と直列に電気的に接続されることになるため、シャント出力電圧の測定位置とシャント設置位置との接地系統の電圧降下が加わる。この侵入を小さくするため、シャントは避雷導線終端部に設けることが基本になる。

仮設避雷針は観測期間の都度、避雷導線やシャントも含め設置・撤去をすることは負担・費用を考えると実質的でない。通年、避雷針を固定する基礎部分、避雷導線、及びシャントは残し、観測期間のみ避雷針を基礎部分に固定する方法を採用することが望ましい。基礎部分、避雷導線、及びシャントは観測期間以外は設置したままにする方法である。残存させても機能向上はもたらしても悪化させるものではなく、景観上も問題は生じないと考えている。

2-2 観測塔以外への設置代替案

観測塔に仮設避雷針が設置できない場合、他の場所に設置することになるが、設置場所としては接地線で山麓に繋がる共通接地極に近い場所に観測塔以上の高さの鉄骨塔を作ることになるが、この実現は景観上許可を得ることは難しく、また規模・費用等で現実的に無理である。

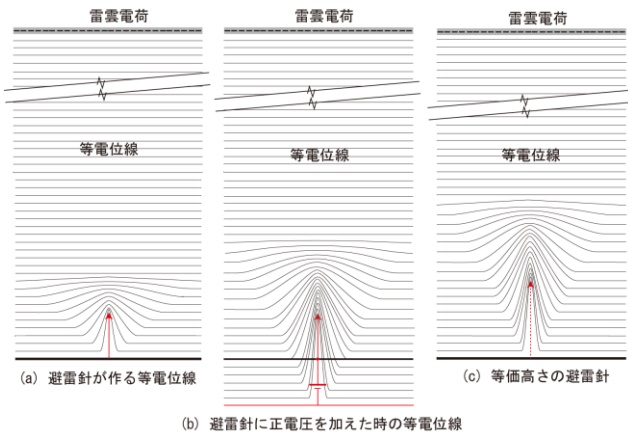


図3 避雷針に電圧を加えて等価的に避雷針を高くする方法
代わる方法として、設置避雷針はコンパクトにでき、等価的に避雷針を高くした効果が期待できる電圧印加避雷針(仮称)がある。負極性雷の場合は避雷針に正電圧を加え、正極性雷の場合は負電圧を加える方法がある。避雷針に電圧を加えることで避雷針に図3に示すような等電位面ができ、避雷針を高くしたと同様の電界強度を作ることかできる。この実用化は図4の基本構成を実現することで可能になると考えている。コンパクトにでき避雷針の高さも低くできるため暴風対策上も好ましい方法になる。基本構成は以下の点である。

- (1) 高電圧が印加できる。
- (2) リターンストローク電流流すことができるトリガー電極付大容量放電管がある。
- (3) 上向き雷のリーダ電流を流すことができる。
- (4) 雷雲の極性を検出でき、印加電圧は極性に合わせて切り換えができる。

高電圧印加避雷針部分は、露出させるため、安全確保が

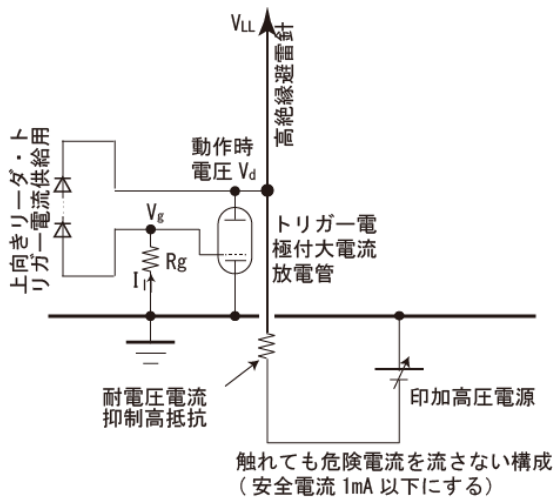


図4 電圧印加避雷針(負極性雷の場合)概念構成図
必要である。充電部に容易に触れることが無いようにし、万一触れた場合にも危険電流は流さないようにする対策が必要である。その方法は以下の3点になる。①人が触れる可能性のある範囲は絶縁させ充電部は触れさせないようにする。②柵を設け印加避雷針部には立ち入りできないようにする。

③電圧源の電流容量は小さくし、1mA以下にする。

印加電圧避雷針が実現でき、効果が確認されれば他の応用など、広範囲に適用可能になると考えている。

3. 被雷電流の測定

被雷電流はシャントを用いて絶対測定することになる。シャントの構成は図5に示すようになっている。温度係数の小さな既知純抵抗のマンガニンの電圧降下を測定することになる。マンガニンに寄生インダクタンスが伴うがこのインダクタンスを無視できるようにするため、マンガニン部分の鎖交

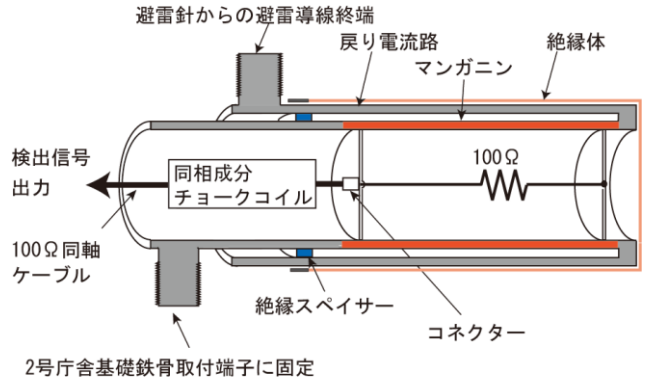


図5 シャントの基本構成

磁束を小さくする戻り電流路を作り、小さな寄生インダクタンスにしている。往還路を工夫することで、さらに寄生インダクタンスを小さくすることは可能であるが被測定電流の周波数特性から図5の構成でも問題無いと考えている。

シャントの出力電圧は図6の測定系で測定することになる。シャントのマンガニンの電圧降下は、図5に示すように100Ωの出力インピーダンス出力信号で現れる。シャント出力信号は遠方で測定することになるのが一般的であり、信号伝送路の反射等で歪むことが無いように伝送路入出力部で伝送路ケーブルの特性インピーダンスとインピーダンス整合を取ることが必要である。出力信号は伝送路に特性インピーダンス100Ωの同軸ケーブルを使用して100Ω入力イ



図6 仮設避雷針被雷電流のシャントによる測定方法
ンピーダンスにしたデジタルストレージオシロスコープ(以下、DSO)で測定する。インピーダンス整合を取ることでケーブルが長くなる場合に生じる反射を無くし正確な信号伝送が可能になる。測定結果の記録はDSOのデータロギング機能を用いることでUSBメモリーに記録可能になる。

シャントの接地箇所と測定器 DSO の接地箇所の電位は異なり、その電位差が測定系に侵入しないように伝送ケー

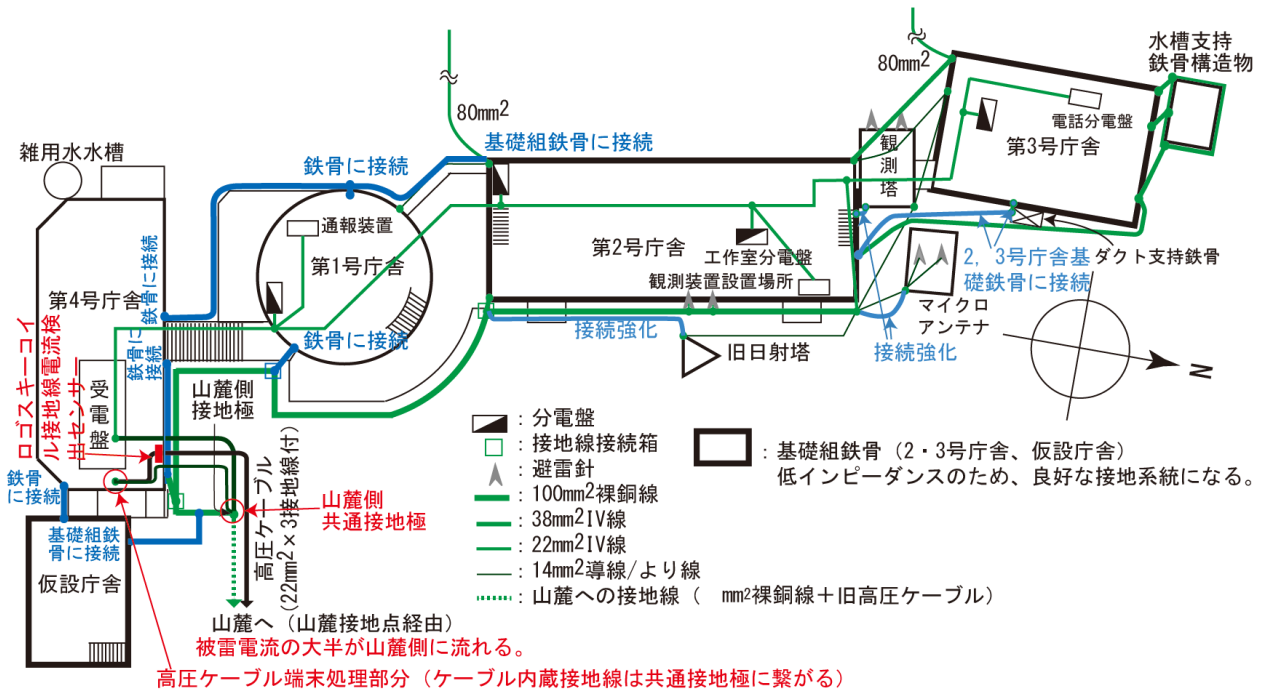


図7 富士山測候所の等電位化を強化すべき箇所（青色部分）

ブルには十分な相殺機能を有する同相チョーク，あるいは雷対策ケーブルを導入する必要がある。電源は，絶縁せずに導入すると電源の接地電位を導入することになるのでノイズカットトランス（以下，NCT）を介して導入する必要がある。

4. 雷対策

富士山測候所は3776 mにあり，落雷頻度が高い場所にある。立地を活用した様々な共同研究場所であり，できるだけ雷対策を意識せずに利用できるようにする必要がある。そのため，測候所が被雷してもトラブルが生じ難い環境を提供できるようにする雷対策が求められることになる。

満足させる対策方法として，①測候所全体の等電位化を高める，②電源電位の影響を受けないようにする，③一点接地の適用が容易にできる，及び④外部観測機器の保護を提供できる，等がある。

4-1 測候所電位と等電位化

測候所接地系統は，4号庁舎東側にある共通接地極を通して山麓側接地極に繋がっている。測候所の接地抵抗は大きく（各接地極とも 300 Ω以上）山麓側接地極に繋がる接地線があり，山麓側接地極の接地抵抗は小さく10 Ω以下である。そのため，通常の測候所電位は山麓側接地線電位で決まることになる。

測候所の被雷対策はファラデーケージが基本になっており，各庁舎は金属製外表面に覆われている。理想的なファラデーケージは0 Ω導体の部材で，接続抵抗も0 Ωで構成されていることから等電位性も確保できることになる。しかし，実際は，部材と接続の抵抗は0 Ωに近いというだけで，満足している訳ではない。さらに部材間，また庁舎鉄骨間の

電氣的接続及び場所は，雷電流の大きさを考慮すると不十分な箇所が存在する。

現在の建物鉄骨間の接続状態は，図7の緑線のようにになっており，被雷時電流を考えるとまだ不十分であり，電氣的接続の強化が必要と考えられる箇所を青線で示している。図のように電氣的接続を強化することで，等電位性が高まり，



図8 回転球体法適用受雷個所等で等電位強化必要箇所と考えられるダクト支持鉄骨

特に庁舎を跨る観測系統の場合，観測系統へのサージ電圧の侵入は抑制できることになる。

例えば，3号庁舎側壁にある図8に示すダクト支持鉄骨は，外観上被雷時被雷電流を流す積極的な流路は確保されていない。2，3号庁舎基礎に避雷導線を接続することで，被雷してもダクト支持鉄骨の電位上昇を抑えることができる。

被雷電流は，被雷点から測候所の第4号庁舎東側前に埋設されている共通電極を通り，山麓側に流れる。流路に沿って電圧降下を生じるため，流路のインピーダンスはできるだけ小さくすることが必要である。

庁舎の基礎鉄骨は，インピーダンスが小さく雷電流が流れたときの電位傾度を小さくするため，有効に活用すべきで，2，3号庁舎の基礎鉄骨は有効に活用されている。未利用の仮設庁舎の基礎鉄骨は，38 mm²以上の銅線で共通接地極

に接続し等電位強化に活用することが望ましい。

4-2 電源の対接地電位

富士山測候所の電源は山麓から引き込んだ 6600 V 高圧電源を変圧器で降圧し、必要な電圧(100 V)の電源を得ている。低圧側電源は、高圧との混触時の電位上昇が安全範囲内に抑えるため、低圧側電源の1線に B 種接地が設けられ、共通接地極に接続されている。従って、測候所内 100 V 電源の対地電位(以下、電源電位)は共通接地極の電位になる。

電源使用観測機器使用場所の接地電位は、接地系統に電流が流れていることで共通接地極電位にその電圧降下を加えた電位になっている。測候所被雷電流が接地系統を流れた場合、電圧降下は大きくなり、電源と観測機器の設置場所との電位差は大きなものになる。

こうした接地系統電位の影響を避けるため、100 V 電源は、NCT を介して絶縁させ用いることが基本になる。

受電室の高圧から低圧に変換する降圧変圧器を混触防止板付にすることで非接地電源にできる。しかし、電源にはそれぞれの接地電位場所で使用する多数の測定器が接続される。もし一つでも電源に絶縁不良があると電源全体の電位はその不良個所で決まることになる。こうした場合でも影響を受けないように各観測システムは基本的に NCT を使用することを標準にすべきである。また、混触防止板付変圧器の2次側出力にはサージ電圧が混入する可能性がある。その際、過大電圧が変圧器に加わらないように電源線と接地の間には電圧抑制用避雷器を設けることが必要である。

4-3 一点接地の確保

個々独立の測定系は、それぞれ一点接地を基本としなければならない。複数接地だと、接地間の電位差からノイズ電流が流れ、逆に接地間電位差からノイズが侵入する。そのため、基本的に一点接地を可能にする回路構成が求められる。

一方接地系統には電流が流れることで電位は同一でなく、場所場所で接地電位が異なる。そのため、観測機器の接地が複数になると観測機器に複数の電位を取り込むことになる。雷電流が流れた場合、大きなサージ電圧になって侵入し、観測結果に影響を与える場合がある。

接地系統に電流が流れなければ測候所電位の等電位性は確保できるが現実的ではない。一点接地が確保できない場合が生じて、電流が流れてできる電位差を小さくすることで侵入を抑制できるため、できるだけ接地系統のインピーダンスを小さくすることは必要である。

一般的に接地線に電流を流す原因は、接地間の電位差である。電源使用電気機器の接地が複数あり、その接地間にノイズ電圧があると接地系統のインピーダンスが小さく拡がりがあるために広範囲に循環電流を流すことになる。富士山測候所は、被雷頻度が大きく、被雷電流が大きくなるため、

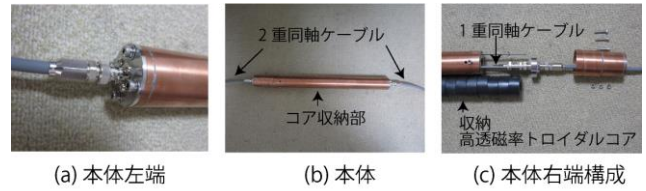


図9 雷対策ケーブルアダプター

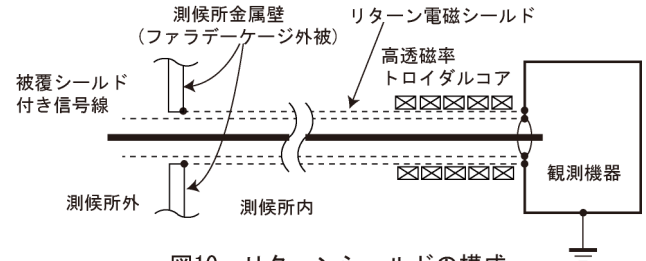


図10 リターンシールドの構成
接地間に大きな電位差を作り、これがサージ電圧になって電気機器回路に侵入する。

また伝送ケーブルが長くなるなど、一点接地を確保できない場所の信号授受の対策には電位差の影響を抑制できる雷対策ケーブルを使用する必要がある。また外部からケーブルを引き込む場合、リターン電磁シールド構成を適用することで外部からのサージ侵入電流を抑制できる。

図9の雷対策ケーブルアダプターは、市販の二重同軸ケーブルを使用することで、雷対策ケーブルと同等の機能が得られるようにしている。図10はリターンシールドの構成を示している。いずれも仮設避雷針の被雷電流検出器の伝送ケーブルに適用することを予定している。

一点接地確保のため、接地電源は NCT を介して使用し非接地電源にする。電気機器の電源は一般的に接地と循環路を構成し、循環電流が流れている場合が多く、それを抑制する意味でも NCT の導入は必要である。

4-4 外部観測機器の雷保護

(1) 測候所に隣接する観測機器

① 庁舎と回転球体法保護下位置の観測機器 測候所の設置場所は富士山頂 3776 m にあるため、上方からだけでなく側方からの落雷もあり、回転球体法保護が基本になってい

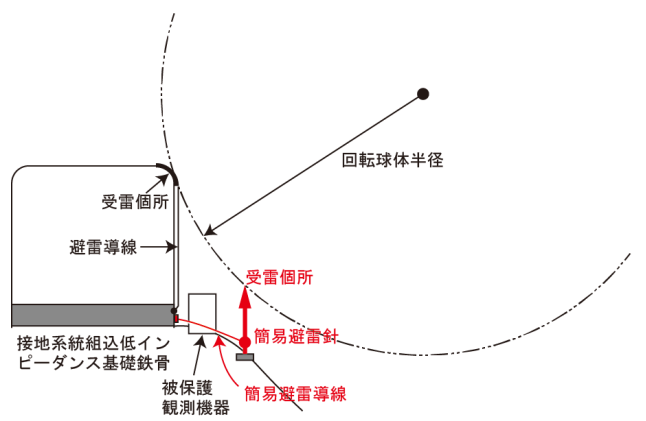


図11 外部観測機器を回転球体法保護下に置く簡易方法

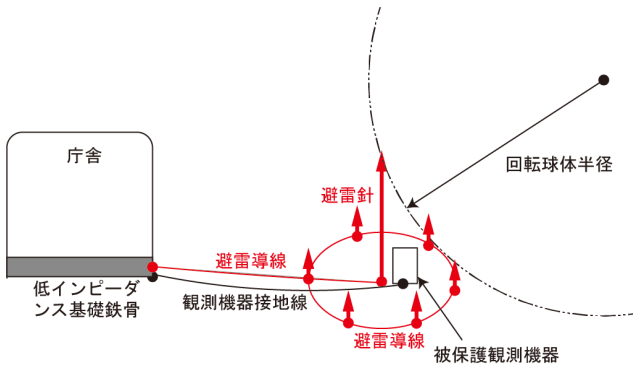


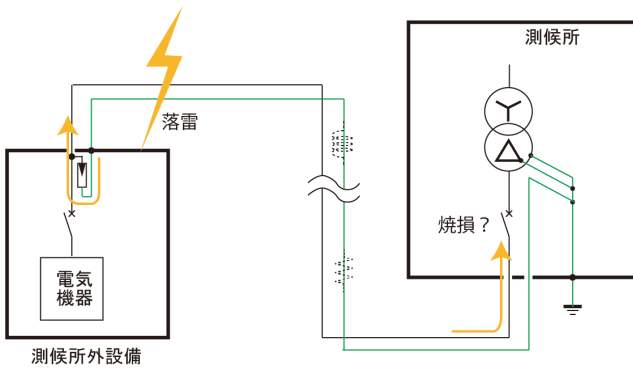
図12 避雷針による回転球体法保護下に置く方法

る。保護に置くための回転球体と接点になる箇所は、被雷に耐え、被雷電流を流すことができるようにしなければならない。例えば、倉舎脇の観測機器は図11に示すように簡易避雷針を設けて回転球体法保護下に置く必要がある。

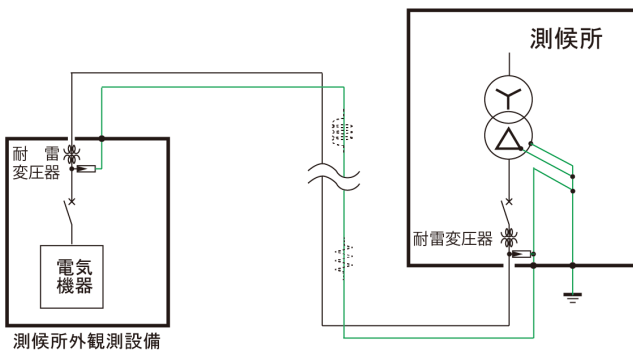
②倉舎と回転球体法保護ができない位置の観測機器 図12のように中央の高い避雷針で上方からの被雷を保護し、さらに周囲に低避雷針を配置し側方からの被雷を保護する。被雷電流は十分な電流容量の避雷導線で測候所避雷導線に接続し共通接地極を通し山麓側に流すことになる。

(2) 測候所外遠方観測施設等への供給電源

図13(a)のように測候所外遠方の観測設備に測候所から電源を供給する場合、遠方観測設備の電源電位は測候所の変圧器B種接地極、即ち共通接地極電位になる。また対になる接地線電位も共通接地極電位になる。遠方観測設備が被雷した場合、接地線に被雷電流が流れ共通接地極を



(a) 保護が適切でない場合に予測される落雷被害メカニズム
被雷時、過電流によりブレーカは焼損する可能性が大きい。



(b) 雷保護を考えた測候所引出部と観測設備引込口

図13 測候所外遠方観測設備の落雷対策方法

通して山麓に流れる。設備の電位は接地線のインピーダンス電圧降下で大きく上昇する。電源電位(共通接地極電位)に対し大きな電圧が加わる状態になる。耐電圧が弱い場所がある場合、あるいは避雷器が遠方観測設備電源入力に避雷器を用いている場合電源と導通状態になり電源線にも被雷電流が流れ測候所引き出し部のブレーカを焼損させることになる。

この対策は図13(b)の構成により可能である。観測設備と測候所間で信号の授受がある場合、電気信号伝送系は雷対策ケーブルを使用する必要がある。

5. おわりに

- (1) 山麓に繋がる接地線電流の校正方法について提案した。
- (2) 観測塔への仮設避雷針設置方法を提案した。
- (3) 同上の設置が困難な場合の代替案、電圧印加避雷針の基本構成を示し提案をした。
- (4) シャントを用いた絶対測定系を明らかにした。
- (5) 測候所で実施されている雷対策を示し、導入しやすい対策として、①接地系統の等電位化、②絶縁電源の導入、③一点接地による等電位化、及び④外部観測機器の雷保護、を提案した。

仮設避雷針の実現は、接地線電流測定系校正のため、必要である。観測塔に実現できない場合も考え、電圧印加避雷針の開発も進める必要がある。

雷対策は、多くの方が利用する共同研究場所であり、意識せず利用できる環境を提供できるようにする必要がある。

6. 謝辞

考察に関してアドバイスを頂いた横山茂・静岡大学客員教授、資料や情報提供等で調査にご協力頂いた東京管区気象台の方々、雷観測にご協力頂いた NPO 法人富士山測候所を活用する会の岩崎洋、生越正文両山頂班長はじめ山頂班員の方々、同 NPO 事務局員各位のご厚意に感謝する。

なお、この研究の一部は一般財団法人新技術振興渡辺記念会の受託事業「富士山噴火予知のための SO₂ 通年観測システム構築に関する研究」として実施し、また、トヨタ自動車株式会社のトヨタ環境活動助成プログラム「富士山測候所の被雷対策による温室効果ガス常時監視の実現」を受けた。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 中村安良, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2012). 富士山測候所雷対策適用上の調査と対策方法. 第5回(平成23年度)富士山測候

- 所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 26-35.
- 2) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 中村安良, 大胡田智寿, 土器屋由紀子, 鴨川仁(2013). 富士山測候所の山麓からのケーブルに流れる雷観測電流, 第 6 回(平成 24 年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 14-27.
 - 3) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2014). 富士山環境下での測候所雷対策と山麓への接地線電流測定への準備, 第7回(平成25年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 4-11.
 - 4) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 高橋浩之, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2015). 富士山測候所の山麓への接地線電流観測と雷対策, 第 8 回(平成 26 年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 19-27.
 - 5) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 高橋浩之, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2016). 富士山測候所導入高圧ケーブル内接地線電流観測結果と今後の観測方法・雷対策, 第9回(平成27年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 16-25.
 - 6) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 高橋浩之, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2017). 今後に求められる測候所接地線の落雷電流観測と雷対策, 第 10 回(平成 28 年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 11-20.
 - 7) 電気・電子機器の雷保護検討委員会(委員長横山茂)(2011-8). 電気・電子機器の雷保護, 電気設備学会.
 - 8) 北川信一郎, 河崎善一郎, 三浦和彦, 道本光一郎 (1996). 大気電気学, 東海大学出版会.
 - 9) 北川信一郎 (2001 年). 雷と雷雲の科学, 森北出版.
 - 10) 高橋健彦:「接地・等電位ボンディング設計の実務知識」, オーム社(2003)
 - 11) 日高邦彦 (2009 年 1 月 10 日). 高電圧工学, 新電気システム工学 TKE-13, 数理工学社.
 - 12) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 土器屋由紀子, 野村渉平, 向井人史 (2013). 富士山測候所観測システムへの雷対策案, 第 31 回電気設備学会全国大会講演論文, 405-408.
 - 13) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 鴨川仁, 土器屋由紀子, 野村渉平, 向井人史 (2014). 超低特性インピーダンスケーブルの接地適用の検討, 第 32 回電気設備学会全国大会講演論文, 111-114.
 - 14) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 高橋浩之, 土器屋由紀子 (2015). ケーブルへの侵入サージ電圧抑制効果評価方法, 第 33 回電気設備学会全国大会講演論文, 343-346.
 - 15) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 大島燦, 高橋浩之, 土器屋由紀子:「富士山測候所導入高圧ケーブル内接地線電流の測定」,第 34 回電気設備学会全国大会講演論文,83-88(2016).
 - 16) 安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 横山茂, 高橋浩之, 土器屋由紀子:「雷現象による富士山測候所と山麓を繋ぐ接地線電流解析」,第 35 回電気設備学会全国大会講演論文,403-408(2017).
 - 17) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 中村安良, 大胡田智寿, 土器屋由紀子 (2012). 富士山測候所のための落雷対策, 電気学会 A 部門, Vol.132, No.11, 984-992.
 - 18) 安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 土器屋由紀子 (2014 年). 超低特性インピーダンスケーブルの検討, 電気学会全国大会講演論文, 電磁環境 ESD, 1-154.
 - 19) 土器屋由紀子, 佐々木一哉 (2012-6). よみがえる富士山測候所, 成山堂書店.
 - 20) 志崎大策 (2002-9). 富士山測候所物語, 成山堂書店.
 - 21) 土器屋由紀子, 梶山沙織, 鈴木雅史 (2016 年 10 月). 日本一の高所・富士山頂は室の山, 公益財団法人静岡県文化財団.