



測器になっている。

本報告は開発したこの雷現象測定系による 2021 年度夏期観測期間に得られた成果を報告すると共に測定上の問題点とその解決策、及び今後の指針についてまとめた。

## 2. 測定原理

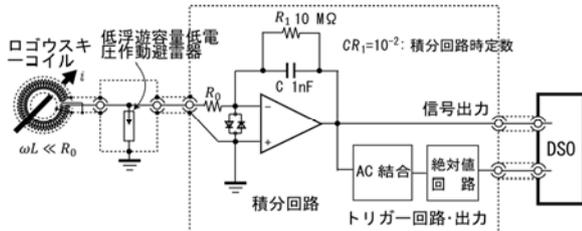


図3 高圧ケーブル内接地線電流測定用ログウスキーコイルの基本回路

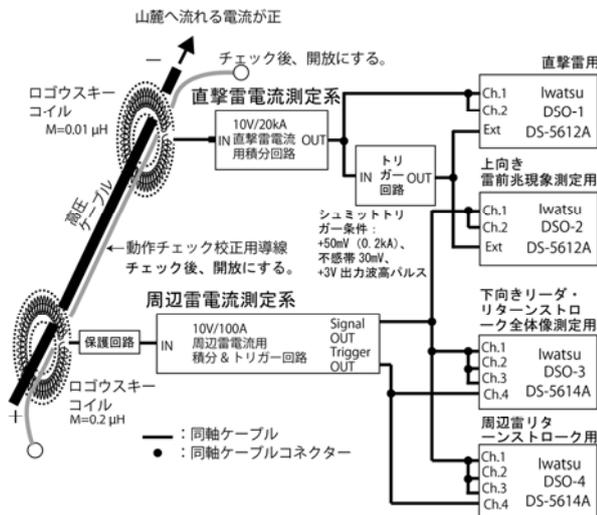


図4 2021 年度夏期測定に使用した測定系

雷現象によって山頂の富士山測候所と山麓の接地極を結ぶ接地線に電流が流れる。この電流の一部が高圧ケーブル内接地線に流れる。この電流をログウスキーコイルで検出する。基本回路は図3に示す構成になっている。

図4は富士山に生じる雷現象を反映測定できるようにした測定系である。DSO-1は直撃雷を測定する。DSO-2は直撃雷が上向き雷の場合に現れる約 1 s の長時間の前兆現象を測定可能にする。DSO-3 はステップトリダ前兆現象とリターンストローク全体像を測定する。DSO-4 は周辺雷リターンストローク用である。富士山周辺の雷現象により流れる接地線電流が捉えられるようにしている。

今までの測定結果を整理解析し、接地線に電流を流す雷現象として、図5に示す5点の現象が分かっている。(1) 直撃雷電流、(2)電磁誘導電流、(3)測候所電極捕集電流、(4)静電誘導電流、および(5)山麓からの逆流電

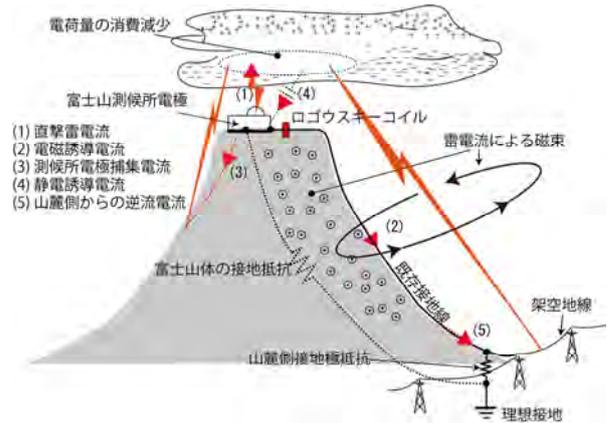


図5 富士山の山体と接地線による回路及び雷現象時の接地線電流負極性雷を仮定したときの電流(→)の流れ

流、になる。富士山体を検出器に利用した本測定系は、富士山周辺の雷現象のみならず接地線に電流を流すことになる自然界や生活圏の電磁環境にも強力な測定手段になると考えている。例えば高高度放電現象の電磁誘導電流や太陽フレアなどによる送電線架空地線の電位変化による逆流電流も、直流・低周波域の電流測定を可能にすることで、測定可能になるのではないかと推測している。ログウスキーコイルは磁束変化に感応するため、遅い変化に対して感度は小さくなる。これを補うため、接地線電流が作る磁束に変調を加えられるようにすることで変動が小さくとも直流域まで高感度な測定を可能にし、接地線に電流を流す現象の測定の幅を広げることが可能になる。

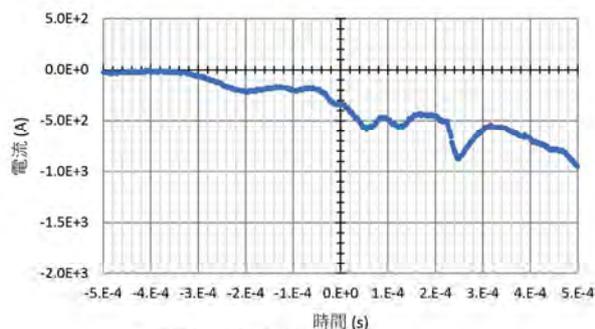
## 3. 測定結果および考察

昨年 2021 年 7、8 月の夏期観測では直撃雷が観測され、また多数の観測結果が得られた。

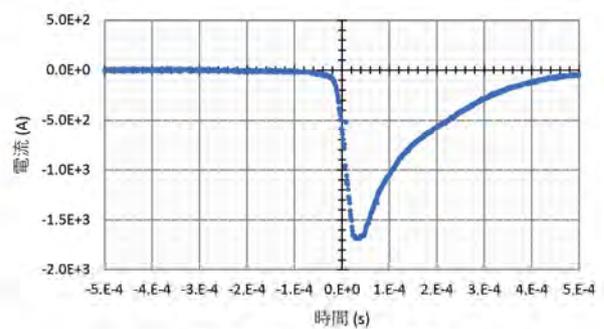
8 月 18 日に図6に示す二つの直撃雷が観測された。最初に(1) 測候所の第1雷撃があり、その 1 秒後に(2) 測候所の第2雷撃が観測された。(a)がそれぞれ測定した接地線電流で、(b)がそれを数値積分した電荷量になる。直撃雷電流は校正値を2として、第 1 雷撃が 2 kA 以上、第2雷撃が 3.4 kA と推測される。最初の直撃雷にはステップトリダと上向きリーダ共に観測されておらず、電流極性は負極性上向きリーダと同じ極性の電流が測定されている。他の測定でも大きな電流の前兆現象が見られていることから、この測定された第1雷撃が大電流の上向きリーダであった可能性が高いと考えている。今後の測定で再現され明確になるものと考えている。なお、時刻校正はしており、誤差は±2 s である。

LIDEN 等の落雷情報によると同時刻の測候所位置に 3 回の落雷を観測しており、本測定系の観測したものは三重雷の第 1 雷撃と第3雷撃と推測される。

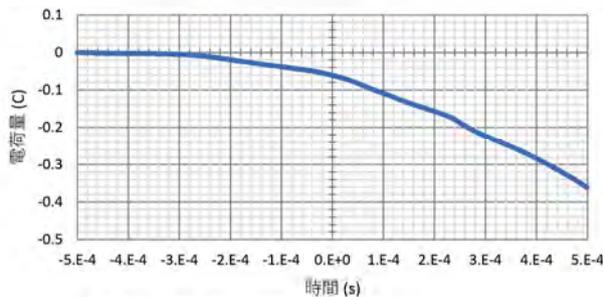
図7はデジタルストレージオシロ(以下、DSO)DSO-3 の



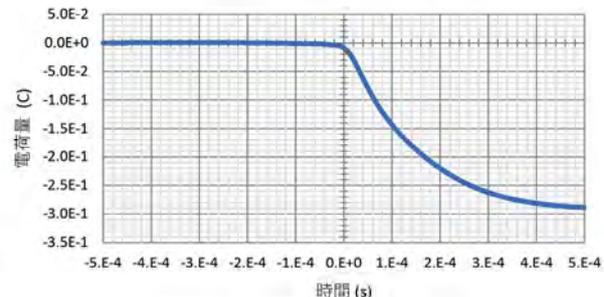
(a) 高圧ケーブル内接地線電流



(a) 高圧ケーブル内接地線電流



(b) 高圧ケーブル内接地線電流の数値積分



(b) 高圧ケーブル内接地線電流の数値積分

(1) 測候所の第1雷撃 (at 10:46:28 on August 18, 2021)

(2) 測候所の第2雷撃 (at 10:46:29 on August 18, 2021)

図6 2021年8月18日10時46分に観測された測候所直撃雷

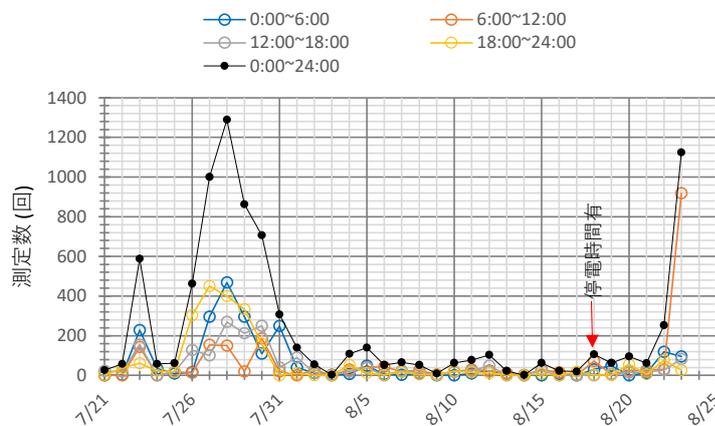


図7 接地線電流測定数(2021年). 8/18は停電で少ない.

各測定日の接地線電流の測定回数である。当然であるが、周囲の落雷状況との相関は高くなっている。測候所直撃雷を観測した8月18日は、停電で測定できない時間帯が生じており、観測数は少なくなっている。この図は、測定時間を100msにしたDSO-3によるもので全測定回数は7000回超え、測定時間を2msにしたDSO-4では11000回を超えている。いずれもマニュアル処理ができない測定回数であり、解析ターゲットを絞り込んでデータ処理をする必要がある。なお、前者のDSO-3は前兆現象のリーダと引き続き生じるリターンストロークの全体像

を測定可能にするため、測定時間を100msに拡大したものである。

多数の測定波形から落雷まで至らない小さな雲放電が盛んに生じており、多くが落雷まで発達せずに消滅していると考えられる。その他にも興味ある測定結果が多く得られている。観測結果はまだ解析中であるが、富士山は単独峰で、富士山測候所は山頂の剣が峰にあり、高所で雷雲が近いこと、レンズ状の電場形成、および気流変化などによる影響が接地線測定電流に現れている。今後の継続した測定により富士山特有の雷現象が解明できるのではないかと期待している。

#### 4. 問題点と今後の指針

今までの測定で明らかになった問題点とその対策と指針について以下にまとめた。

##### 4-1. 仮設避雷針の実現

測候所への直撃雷は、上向き雷の頻度が高い可能性がある。2015年に観測された負極性直撃雷は上向き雷の前兆現象が測定され、昨年測定された直撃雷も上向き雷が観測されたものと推測される。

当初、測候所が山頂にあることと接地線が山麓に繋がって

いることで測候所の落雷頻度は、高くなることを予想していたが、測候所への高い落雷頻度にはなっていないようである。これは、山頂の落雷は増えても、上向き雷、下向き雷の落雷の仕方によるものでないかと推測している。例えば上向き雷の場合、落雷位置は、上向きリーダの発生個所が落雷位置になる。もしそれが測候所であれば、落雷位置は測候所になる。しかし、下向き雷の場合、リーダの進展は周囲の電界の影響を受けて進むため、落雷位置は周辺に分散したものになり必ずしも測候所にならない。一方、測候所直撃雷頻度は、測候所からの上向き雷の発生条件を整えることで増加させることになるかと推測している。具体的には高電界を発生し易い位置に仮設避雷針を設けることで、仮設避雷針先端にさらに高電界が得られ上向き雷リーダを発生し易くでき、直撃雷の落雷位置を測候所とすることができると考えている。雷対策等の直撃雷を期待する研究にとっても、好ましい研究環境が得られ、研究の進展が期待できるようになると考えている。また本測定系の校正値は、測候所被雷電流と本測定系測定電流との比を取ることで求められる。仮設避雷針被雷電流の絶対測定を可能にすることで校正値が求められることになる。

仮設避雷針は、当初、一番高位置にある観測塔のみに設けることで測候所を代表する高電界が得られる場所になると考えていたが、昨年の被雷個所は、ビデオ撮影場所から光と音で推測された位置は、第3号庁舎の西側にある水槽付近と推測され雷雲の位置によっては富士山の測候所位置を反映して北端に高電界発生位置が生じることも推測される。この場合、北端にも仮設避雷針が必要になる。

仮設避雷針は、4-4 に示す方法で被雷電流の絶対測定も可能なようにシャント一体型にする必要がある。シャントにより測定することで直接シャントの出力電圧をDSOで測定可能になる。簡略な測定系が可能になる。

#### 4-2. 観測上の障害の除去(雷対策)

本測定の見切りは、雷対策の調査で高圧ケーブルが接地線を内蔵し、山麓に繋がっていることが分かったことである。雷対策の問題点調査では接地系統の脆弱個所が分かり対策を実施している。

##### (1) 等電位性の強化

測候所の雷対策として各庁舎の基礎鉄骨の電氣的接続を強化しており、建物の等電位性を高めている。このことが2021年被雷してもノイズトラブル事例が無かった原因と考えられる。基礎鉄骨抵抗率は非常に小さく、高い等電位性が得られる。2012年以前に西から観測塔、第2号庁舎、第4号庁舎、および仮設庁舎それぞれの基礎鉄骨の電氣的接続は強化された。2013年には西端の水槽鉄骨、第3号庁舎、および第2号庁舎の基礎鉄骨の電氣的接続が強化された。以上の結果から測候所全体の等電位性は非常に高いものになっていると推測される。

##### (2) 接地電位差対策

しかし雷電流が流れることによる電圧降下により電位差は生じ、その電位差が共通接地極と観測機器設置場所との間に生じる。各所にある電源盤のB種接地電源線の接地電位は共通接地極電位になるため、観測場所での電源のB種接地極(共通接地極)電位と観測場所の接地電位との間には導電性建物構造体に流れる雷電流の電圧降下が加わることになる。観測機器設置場所でこれがサージとして侵入して誤動作の原因になる。これは、一般的にもサージ侵入事例として多く生じている。従って、第4号庁舎付近にある共通接地極から離れた位置にある庁舎、例えば第3号庁舎の電源は絶縁変圧器(できれば耐雷変圧器)を介して利用する必要がある。測定系共通の接地極を確保し一点接地とし、電源も絶縁変圧器を介することで電源と接地との間からのサージ電圧の侵入を防止できる。

##### (3) 第1号庁舎の雷対策

第1号庁舎の基礎は、接地系統の電氣的接続状態の調査当初鉄骨と考えていたが一部木造によるものになっている。第1号庁舎の接地線で火花が出たこと、また屋内で髪の毛が逆立つことがあったことを伝聞情報で聞いているが、これは庁舎の屋根・壁等外装材電気導体の電氣的接続が良好で無かったこと、この第1号庁舎の建物構造が木造であることが原因になっているものと考えられる。共通接地極に繋がる良好な接地系統を確保すること、電源と接地との間からのサージ電圧侵入を防ぐため、電源は絶縁変圧器を介して使用する必要がある。このとき過電流安全対策のため、変圧器の過電流保護器として適切な保護容量のブレーカやヒューズを用いて使用する必要がある。

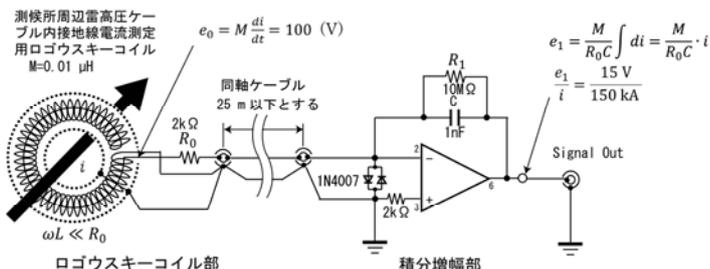
#### 4-3. できるだけ正確な時刻校正の実現

正確な時刻は他の現象と比較するため非常に重要である。今までの時間校正はDSOの内臓クロックを測定系設置測定前にJST時刻に合わせ、測定終了後に各DSOのJSTとの時間差から内挿校正値を求め補正していた。この誤差は $\pm 1 \sim 2$  s以内になると推測している。これをできるだけ小さくしたい。

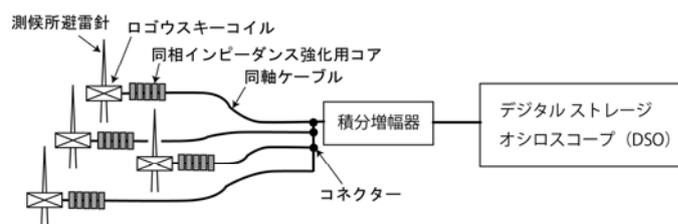
DSOのクロック基準は水晶振動子を採用している。この温度係数による温度変化で生じる誤差は観測上無視できない。DSOが使用中であればある程度の一定の温度を確保でき、水晶振動子のクロック変化を小さくできるが、最初に時刻合わせをしてから測定終了後に時間のずれを確認するまでの設置測定期間が短く、休止期間が長くなった場合、無視できない影響を受けることになる。こうしたことの影響が受けにくい校正方法にする必要がある。

このDSOの使用方法は、本測定系が求める正確度・精度に無視できない温度変化を与えている可能性がある。解決方法は正確なクロックを導入することであるが費用や測定系への導入手続きを考えると簡単ではない。

満足できる校正を可能にする方法として、DSOの時刻表示をGPS時刻補正カメラで、DSOの秒単位の時刻表示画面を

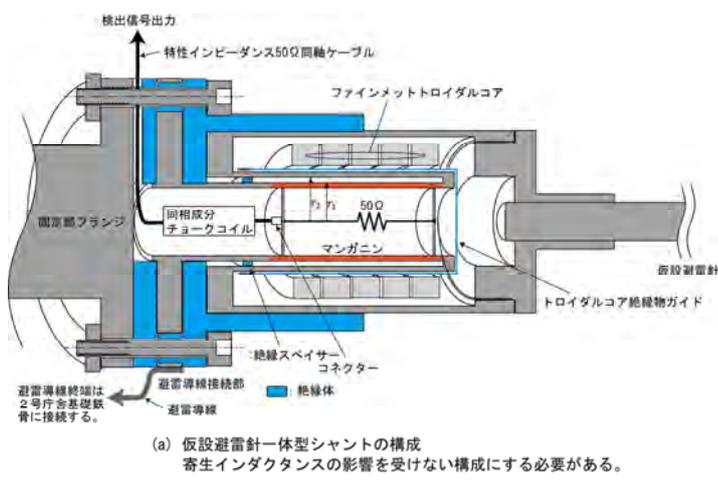


(a) 直撃雷電流測定用ロゴウスキーコイル電流計基本回路

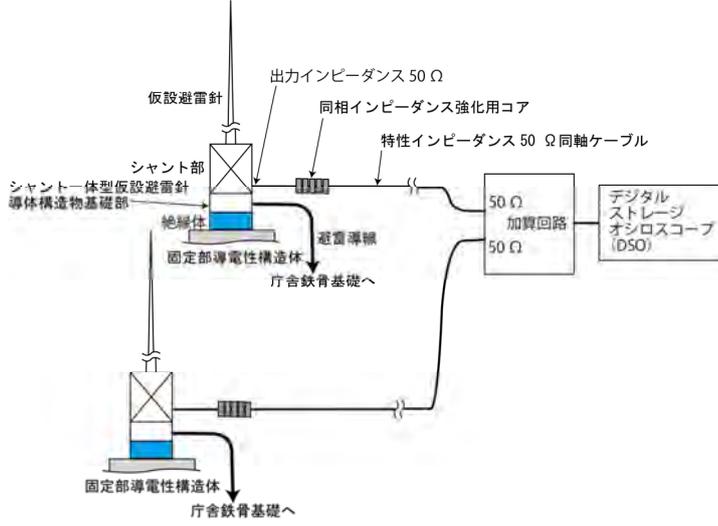


(b) 複数避雷針被雷電流の一括測定方法

図8 ロゴウスキーコイルによる避雷針電流一括測定方法



(a) 仮設避雷針一体型シャントの構成  
寄生インダクタンスの影響を受けない構成にする必要がある。



(b) シャント一体型仮設避雷針のシャント出力加算回路構成

図9 仮設避雷針一体型シャントの構成と加算回路の構成

撮影した時の時刻補正カメラの時刻がわかるようにして、できるだけ短い期間(1週間以下)で各 DSO 時刻表示画面をできるだけ多く撮影することで測定使用と休止を含めて使用方法に関係しない精度・正確度の高い時間補正が可能になる。秒単位まで時刻表示ができる GPS 時刻補正カメラは、O 社製カメラで可能である。GPS 信号を捉えることができる条件、即ち屋外で補正して使用する必要がある。こうすることで高正確度の補正が可能になる。

GPS 時刻補正カメラは少なくとも秒単位まで記録可能なものにする必要がある。また使用時は、GPS による時刻補正がされたことを確認することも必要である。

#### 4-4. 被雷電流の測定方法

##### 4-4-1. 被雷個所を一個所にできない場合

測候所にある避雷針のどこに落雷するか分からない場合、図8のように各避雷針にロゴウスキーコイルを設け、各避雷針の和電流を測定できるようにして、どの避雷針に落雷しても被雷電流を測定できるようにする方法である。下向き雷のように分散し、被雷個所を一個所の避雷針にできない場合に有効である。測定系は簡略できるものの複雑であり維持保守上で難点がある。被雷電流が他の避雷針に分流することは無いため、個々の避雷針に測定系を設ける必要はなくなる。難点はどの避雷針に被雷したものか分からなくなることである。しかし、多数のロゴウスキーコイルに一つの積分回路で済むメリットは大きい。

##### 4-4-2. 富士山測候所への落雷が決まる場合

もし上向き雷の上向きリーダの発生個所が決められる場合、図9に示すシャント一体型の仮設避雷針とすることで正確な電流測定が、簡易な測定系、即ち DSO だけで実現可能になる。測候所の高電界位置にさらに高電界が得られる仮設避雷針を設けて上向き雷を発生し易くすることで実現可能になる。この高電界発生位置候補としては観測塔の頂点が考えられる。2021年8月18日の上向き雷と推測される直撃雷では、光と音の到達時間差から、北端の水槽位置との指摘もある。北側の縁位置にあり雷雲によっては高電界が生じる位置になっていると考えられ、この場所も候補として考えられる。

仮設避雷針一体型シャントは図9(a)に示す構成になる。シャントは温度係数の小さなマンガン(赤色部)の既知抵抗の電圧降下を測定できるようにしたもので、線路のインダクタンスは図9(a)のように構成することでマンガン部のインダクタンスを小さく無視できるようにしたものである。これは線路

の往路と復路で生じるインダクタンスが同じになるようにして相殺できるようにしたものである。理想的には既知抵抗電圧降下のみになるため、電流の絶対測定が可能になる。

被雷電流は、設置場所の構造体に接続するのではなく、避雷導線により低インピーダンスが得られる接地系統になる庁舎建物基礎鉄骨に直接接続することで避雷針設置場所の電圧降下は無いため周囲への影響は小さくできるようになる。

複数の仮設避雷針を設ける場合、図9(b)のように加算回路を入れることで1台のDSOで被雷電流を測定できる。

#### 4-5. データ処理方法

DSO-1とDSO-2の測定数は少なく、興味あるデータになるのでそれぞれマニュアルのデータ処理が適切である。

DSO-3とDSO-4の取得データは多量になるため、マニュアル的なデータ処理でなく自動的なデータ処理の導入が必要である。しかし、中には興味ある測定結果が見られる場合、詳細な分析ができるマニュアル処理が必要になる。

以下は自動的データ処理に必要な手順となる。

- (1) 全データのDSOから得たWFMデータのCSVデータへの変換
- (2) 全データの時刻校正
- (3) データ処理対象データ:DSO-3, DSO-4
- (4) 測定レンジの選択:①飽和していないで最大振幅が収まる。②最大振幅が小さく収まり、一方飽和しているが大半の振幅が収まり分解能を高めることができるとき二つのレンジを使用する。
- (5) 電流への換算:設計条件からログウスキーコイルの出力電圧に換算係数(電流/電圧)との積から接地線電流を求める。
- (6) オフセットの除去:測定時間幅の最初の4/10,あるいは2/10の区間平均値を全体から差し引く。
- (7) ノイズ除去:①簡易に行う1方法として、電源からの零相電流ノイズは、20msの電源周期から、この最初の20msの測定値を反転した信号を他の周期にも加えて相殺させる方法がある。
- (8) 有意な信号か:振幅の大きさは一定値以上か。
- (9) 電流の数値積分:移動電荷量
- (10) 必要データの収集・整理:測定数, 電流最大値, 先行極性, LLS情報との照合, 放電時間幅, 等
- (11) グラフの作成:接地線電流変化, 移動電荷量変化

#### 4-6. 測定系の一体化とその他の対策

測定系は観測期間に持ち込み設置し、終了するとばらして撤去することになる。そのため設置と撤去に手間がかからず安定した測定が得られるように、できるだけ一体化し、構成部品を少なくすることが望ましい。

その他の対策として以下のものがある。

##### (1) オフセット対策

2021年夏期測定では高感度増幅器のオフセットが大きくなり、信号振幅を加えると測定レンジによってはデジタルオシロ

スコープの電圧測定範囲を超えてしまう状態になっていた。電圧測定範囲に収まるAC結合の高感度レンジの信号のみが全体信号を測定可能にしていた。このため、当然、±全振幅の測定範囲は小さくなるため、測定可能な信号電圧は小さくなっていた。

増幅器のオフセットは、測候所に持ち込む前に富士山環境研究センターでゼロに調整している。オフセットの変動は、測候所への搬入時の振動により生じたものと推測される。この振動対策は新しい回路で組み直すあるいは半田付けで組み直すことで接続抵抗変化によるオフセット変化が生じ難くすることである。静電誘導電流変化は、雷雲電荷変化の影響を受け、ドリフト変化を測定することになる高感度測定レンジは影響を受けやすい。

よくわかっている人が対応することを仮定して、十分なアニーリング後(電源を入れて1時間以上置いて)増幅器ケース外部から容易に調整可能にする方法を採用してもよい。

##### (2) DSOの最大記録数対策

DSOの最大記録数は10000回を超えると最初に戻り書きされるようになっていく。DSO-4の2021年の測定数は、上限の10000回を超えていた。この対策としてはトリガーレベルを高くして測定数を少なくする。あるいは、10000回を超えない期間で記録USBメモリーを交換する必要がある。

##### (3) デッドタイム対策

測定器各DSOは測定結果をUSBメモリーに記録する。この記録時間中は測定できず、デッドタイムになる。この記録時間中は別のDSOが測定可能にすることでデッドタイムを無くすることができる。

##### (4) 測定系停電対策

本測定系は、雷襲来時等の高圧電源遮断時は自家発電電源を使用するようになっていく。本測定系の電源部にUPSが使用されており、この切替中停電しないようにしている。UPSのバッテリー容量が十分でないためか、この切替操作時に測定系の停電が発生している。この防止のため、UPSは十分バッテリー容量の大きなものにする必要がある。

#### 4-7. 今後の指針

接地線電流測定を実施する上での今後の指針として以下のことを実現していくことが求められる。

##### (1) 接地線電流の校正値を求める

仮設避雷針と雷電流絶対測定用シヤントを実現し、仮設避雷針に落雷させることで可能になる。

##### (2) 山麓側接地線電流の測定を可能にする

逆流電流の定量的評価ができる。山麓側の現象によるものか評価ができる。

##### (3) 山麓側接地抵抗を求める

山麓側接地抵抗が評価可能になるとそこを流れる電流によって接地線電位が求まり、接地線電流から測候所の接地抵抗が求まる。

#### (4) 測候所の接地抵抗

測候所の接地電位は山麓側接地極電位と同じになるため、その電位を接地線電流を校正し求めた正確な接地線電流で除すことで測候所の接地抵抗を求めることができる。

#### (5) ノイズの少ない状態での測定の実現

高圧電源遮断時は零相電流の影響は現れない。従って、もし、太陽光発電や自家発電等の山麓からの高圧電源に頼らない電源が確保できると零相電流の影響を受けない質の高い測定が可能になる。もし将来的に測候所と山麓を繋ぐ接地線1本のみでできると接地線電流校正の必要は無くなり、さらに質の高い測定が可能になる。

#### (6) 直流域までの測定を可能にする工夫

直流に対し高感度な磁場計を使用する方法もあるが、雷電流が流れた時の大きな磁場により測定器破損の可能性がある。大電流に耐えられ、高感度測定が可能な測定器が必要である。その候補として磁場変調型ログウスキーコイルが相応しいと考えられ、開発を進めるべきである。

接地線電流測定は、直流域まで測定可能にすることで雷現象を含めた自然現象による直流域までの接地線電流測定が可能になる。また電流測定から測候所電界の変化を測定可能になり、フィールドミル電界測定器と併用することで直流から使用高周波域までの電界測定が可能になる。

#### (7) 通年観測を可能にする

測候所にも太陽光発電や燃料電池等の電源を確保できれば、高圧電源を使用せずノイズの小さな測定が可能になる。測定系も長時間測定が可能でシステムに全面的に改良変更することが必要になる。落雷現象以外の測定が可能になると考えられる。

### 5. おわりに

2021年はコロナ禍であったが、約40日の測定ができた。この間、多重雷の直撃雷が観測できた。また多数の雷現象が測定できた。

第1雷撃に前兆現象は見られず、第1雷撃が大きな上向きリーダの可能性が高い。大きな前兆現象は観測されており、特に富士山のように雷雲が近くなることによる特有の現象の可能性もある。今後の観測で明確になる。

観測された多数の雷現象は、富士山特有の雷現象を明らかにすると推測される。また、今後の観測で富士山特有の雷現象が解明されるようになって考えている。本測定系は、まだ洗練させる必要があるが、雷現象観測に強力な測定手段になっていることが示された。

今までの測定によりわかった問題点と将来実現させるべき課題は以下ようになる。測定系は、今後、対策を反映させ問題が無い状態に改良していく必要がある。

①仮設避雷針の実現、②観測上の雷障害の除去、③正確な時刻校正の実現、④測候所避雷電流の測定方法、⑤データ

の処理方法、⑥オフセット対策、⑦測定記録時に生じるデッドタイム対策、⑧零相電流ノイズ対策、⑨直流・低周波電流を測定可能にする工夫、⑩停電時電源補給対策

以上の問題点は、今後、継続して測定を進めていく上の改良すべき指針としてまとめた。

将来的に接地線電流は、直流域まで測定可能にすることで、雷現象も含んだ広範囲の自然現象により流れる接地線電流の測定が可能になる。また、電流測定が可能な接地線のみを残し電源は太陽光発電や風力発電、燃料電池発電にすることでノイズの小さな接地線電流測定が可能になる。またできれば通年測定にすることで、雷現象以外の自然現象も捉えることが可能になる。新たな現象の発見にもつながる可能性がある。

### 7. 謝辞

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各氏、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、大胡田智寿、山頂班および事務局員の方々、さらにDSO使用でご支援いただいた岩通計測、および落雷情報を提供して頂いた中電CTIのご厚意に感謝する。

なおこの研究は新技術振興渡辺記念会の受託研究費、および(財)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助成「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」、JSPS 科研費 20H02419、およびWNI 気象文化創造センター「富士山体を活用した新しい手法の雷観測」の助成を受けた。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) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子 (2018). 富士山測候所の山麓に繋がる既存接地線を用いた雷現象検出器, 第 11 回(平成 29 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, 22-30.
  - 8) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子 (2019). 富士山体の既存接地線を用いた高感度雷現象検出器の開発, 第 12 回(平成 30 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, 20-29.
  - 9) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子 (2020). 富士山体表面上接地線電流測定による雷現象観測装置の開発状況, 第 13 回富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 15-23.
  - 10) 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.
  - 11) 石井勝 (2013-9). 上向き雷放電, 第 31 回レーザーセンシングシンポジウム特別講演.
  - 12) 超高構造物における雷撃特性調査研究委員会(委員長石井勝) (2020 年 3 月). 東京スカイツリーで観測された落雷の特性, 電気設備学会誌, Vol.40, No.3, pp 198-202.
  - 13) 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.
  - 14) 北川信一郎 (2001 年). 雷と雷雲の科学, 森北出版.
  - 15) 高橋劭 (2009 年), 雷の科学, 東京大学出版会
  - 16) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子 (2021). 富士山雷観測によるリーダの進展モデル, 第 14 回富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集, 26-30.
  - 17) 安本勝, 鴨川仁, 佐々木一哉, 土器屋由紀子 (2022). 富士山体上接地線電流による雷観測系, 電気学会 A 部門, Vol.142, No.3, 1-13 (印刷中)
  - 18) 安本 勝・佐々木一哉・鴨川 仁・大胡田智寿・土器屋由紀子(2020), 2019 年富士山測候所停電時接地線電流, 電気設備学会全国大会, F-11, pp.262-265
  - 19) 安本 勝・鴨川 仁・佐々木一哉・土器屋由紀子 (2020), 雷現象により富士山体表面上の接地線に流れる電流, 電気学会全国大会, 1-042, pp.53-54