

# 耐雷トランスを用いた分電盤の検討

木島 均<sup>1</sup>・服部 知彦<sup>1</sup>・角谷 博昭<sup>2</sup>

1：東海学院大学 2：(株)マエショウ

## Abstract

When a direct lightning strikes a mobile phone base station, earth potential of the station becomes several 100kV depending on earth resistance value. Due to this earth potential rise, a lightning surge current flow through the Surge Protective Device (SPD). As a result, electric apparatus installed at nearby houses have been damaged by this lightning surge current. To prevent surge current flowing into the electric apparatus, we have been developing a power distribution board having 100kV withstanding voltage against lightning surge.

キーワード：earth potential rise, lightning surge current, Surge Protective Device (SPD), insulating transformer

## 1. はじめに

電力機器の雷害対策を大きく分類すると、SPD (Surge Protective Devices) を使用する方法と耐雷トランスを使用する方法に分けられる。SPD を使用する方法は、雷サージ電圧を機器の耐電圧以下に制限し、機器の破損を防止する。耐雷トランスを使用する方法は、対接地間電圧を耐雷トランスにて絶縁しているので、機器側にはほとんど電圧が加わらない。このため、山上の無線基地局などの直撃雷を受ける環境において使用されている。本論文では、SPD を使用する雷害対策方法と、耐雷トランスを使用する雷害対策方法について、まず比較検討を行っている。この結果、無線基地局等において雷防護に SPD を使用した場合、接地電位上昇によって雷サージが逆流し、近隣の家の電気製品に被害を与えるとの問題が発生する可能性があることが判明した。

この問題を解決するために、電力量計と耐雷トランスを同じボックスに内蔵し、雷サージに対し 100kV の耐圧を有する分電盤の開発を行ったので報告する。

## 2. SPD を使用する雷害対策の方法の検討

### 2.1 SPD を使用する雷害対策の方法の概要

図 1 に、SPD を使用する雷害対策の方法を示す。侵入した雷サージにより被保護機器が破壊される前に、SPD が動作して大地に雷サージ電流を放流して機器を保護する。この方式の主な特徴は、機器の耐圧に応じた SPD が準備されており、小型で比較的安価な SPD を使用した雷対策が実施できることである。この方式の SPD は一般的に、電源の分電盤に使用されている。

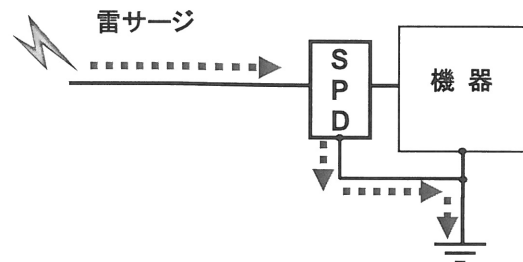


図 1 SPD を使用する機器の雷害対策

### 2.2 SPD の雷サージ特性の検討

図 2 に、筆者等の開発した SPD を示す。この実験に用いた SPD は、3 個の GDT ( Gas Discharge Tube) と 2 個のバリスタ (Varistor: variable resistor) によって構成されている [1]~[2]。この SPD を用いて、SPD の基本的特性である放電開始電圧の測定を行った。放電開始電圧の測定装置を図 3 に示す。GDT のように、放電タイプの雷防護素子を使用している場合、雷評価試験波形としては、6kV, 1.2/50 $\mu$ s を使用することが決められている [3]~[7]。

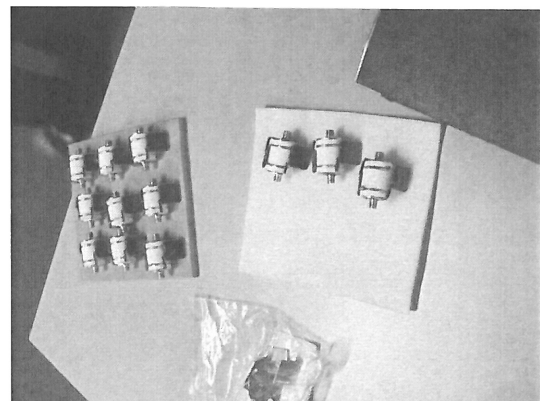


図 2 実験に用いた SPD の外観



図3 SPDの放電開始電圧測定装置 (6kV, 1.2/50 $\mu$ s)

6kVは雷サージ電圧の最大値を示している。1.2 $\mu$ s及び50 $\mu$ sは、それぞれ雷サージ電圧の立ち上がり時間及び半値幅を示している。

表1に、SPDの放電開始電圧測定結果を示す。3個のSPDサンプルに対して、正極性と負極性の雷サージ電圧をそれぞれ5回印加し、放電開始電圧を測定する。正極性の雷サージに対する放電開始電圧の測定値は、760~960Vであった。一方負極性の雷サージに対する放電開始電圧の測定値は、780~980Vであった。放電開始電圧の一般的な要求値は、1500V以下であるので、要求条件を満足していることが明らかになった。

次に、雷サージ電流に対する耐量試験を行った。直撃雷を模擬可能な最大値100kAの雷サージ電流発生器を図4に示す。直撃雷を模擬する雷サージ電流試験波形としては、10/350 $\mu$ sを使用することが決められている[3]~[7]。

100kAは雷サージ電流の最大値を示している。10 $\mu$ s及び350 $\mu$ sは、それぞれ雷サージ電流の立ち上がり時間及び半値幅を示している。雷サージ電流耐量試験の結果、3個のSPDサンプルの実力値は50kAであることが明らかになった。

電力機器に使用するSPDとして、この実力値50kAは、世界最高レベルである。

表1 SPDの放電開始電圧測定結果

No	volt	volt	volt	volt	volt	Good
1	900	920	900	960	880	○
1	-880	-980	-940	-960	-960	○
2	760	900	820	840	840	○
2	-920	-960	-960	-960	-860	○
3	900	920	780	880	880	○
3	-780	-840	-960	-900	-920	○

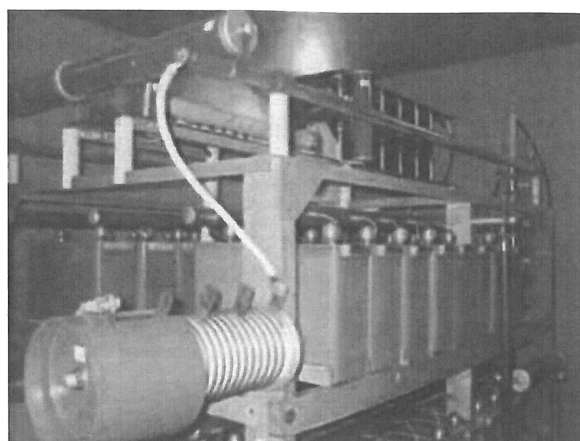


図4 SPDの雷サージ電流耐量測定装置 (100kA, 10/350 $\mu$ s)

### 3. 耐雷トランスを使用する雷害対策の検討

#### 3.1 耐雷トランスを使用する雷害対策の概要

落雷時の雷電流が、接地抵抗が高くて十分に大地に放流されない場合には、接地電位が非常に高くなり、配電線の方への逆閃絡によって雷電流の一部が侵入することがある。このように配電線側に雷電流の一部が分流するものを逆流雷と称する。

これは、岩盤上に立地するような山上の無線基地局などでは、直撃雷を受ける頻度も高く、接地抵抗を低くすることが困難な場合が多いので、逆流雷の発生に対して十分な配慮が必要である。逆流雷は、直撃雷電流の一部の電流ではあるが、誘導雷サージに比べると非常に大きなエネルギーを有している。

この逆流雷を防ぐ対策方法のひとつが、耐雷トランスである。耐雷トランスは、機器収容タイプ及びキャビネットタイプがあるが、配電線に適用する場合の回路構成は図5に示すとおりである。使用電圧種別によって単相の100V用、200V用、三相の200V用の必要電流容量を満たす耐雷トランスを選択して設置する。配電線に耐雷トランスを使用して回線を全て絶縁しているため、耐雷トランスの耐電圧以下の雷サージは全く機器に印加されない。

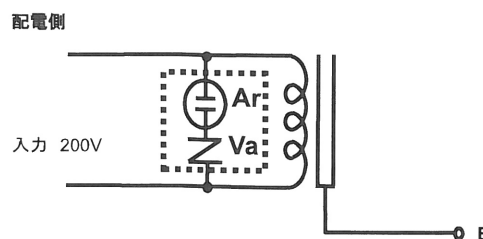
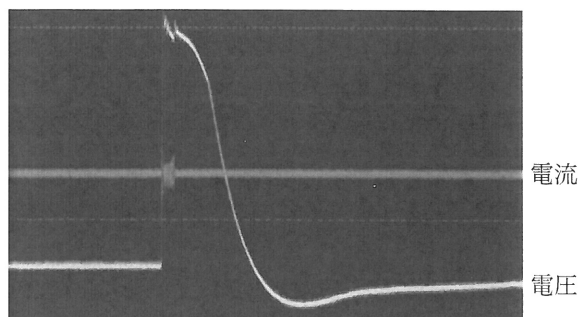


図5 耐雷トランスを使用する機器の雷害対策

### 3.2 耐雷トランスの雷サージ特性の検討

通常市販されている耐雷トランス（A社製）を用いて耐圧試験を行った。試験には雷発生装置を用い、30～100kV（1.2/50 $\mu$ s）のサージ電圧を1kVステップで印加した。

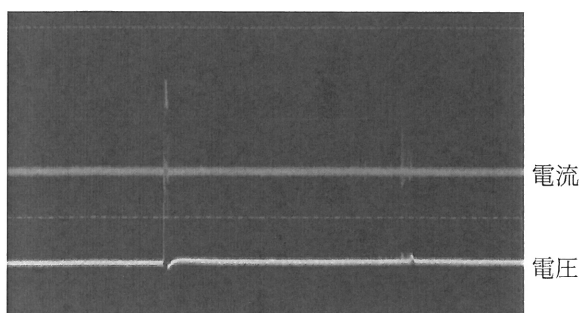
図6は42kVを印加した場合の、電圧波形と電流波形である。CH1が電圧波形でCH2が電流波形を示している。CH1の電圧波形から、42kV、1.2/50 $\mu$ sの記録を読み取ることが出来る。またCH2の電流波形から、電流は流れていないことが分かる。この結果から、耐雷トランスは絶縁破壊していないことがわかる。



Ch1：電圧波形 10kV/div, 50 $\mu$ s/div  
Ch2：電流波形 200A/div, 50 $\mu$ s/div

図6 42kV印加時の電圧・電流波形

図7は、43kVを印加したときの電圧波形と電流波形である。CH1が電圧波形でCH2が電流波形を示している。このCH1の電圧波形から、電圧は瞬時あがるもののその後0Vになっていることがわかる。また電流も一瞬上がっており、これは一時側と二次側にアークが発生し、短絡状態になったことを示している。この電圧波形と電流波形の測定結果から、耐雷トランスは絶縁破壊したものと判断できる。図6と図7の測定結果から、この耐雷トランスの耐圧は42kVであることが確認できた。A社製の耐雷トランスのように一般に市販されている耐雷トランスの仕様では、後述するように山上の無線基地局などのために必要となる100kVの耐圧を有していないことが明らかになった。



Ch1：電圧波形 10kV/div, 50 $\mu$ s/div  
Ch2：電流波形 200A/div, 50 $\mu$ s/div

図7 43kV印加時の電圧・電流波形

### 4. SPDを使用する雷害対策と耐雷トランスを使用する雷害対策の方法の比較検討

無線鉄塔に落雷があった場合、接地抵抗が1 $\Omega$ 、雷電流が100kAの場合、接地電位は遠方接地に比べ100kVとなることが予想される。このときのSPDを使用した場合の雷サージの流れは図8のようになる。先に行ったSPDの実力値は50kAである。この50kAは、雷が配電線側から侵入し、接地側に放流する場合には、世界最高レベルの避雷性能となる。しかし一方、無線基地局において使用する場合には、鉄塔に落ちた雷は遠方の接地に流れ込むため（前述の逆流雷）、電圧が上がると同じ柱上トランスから配電されている他の建物内の電気製品に被害を与えるという問題が生じる。この問題は、SPDの雷サージ電流の実力値が50kAと増大したことによる2次的な課題である。

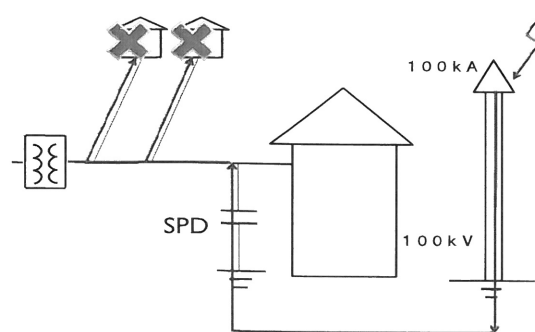


図8 SPDによる放流方式

一方、図9に示す耐雷トランスを使用した方法は、配電線に耐雷トランスを使用して回線を全て絶縁しているため、耐雷トランスの耐電圧以下の雷サージは全く機器に印加されない。つまり、同じ柱上トランスを使って電気を供給している他の建物内の電気製品に被害を与えるという問題を生じない。

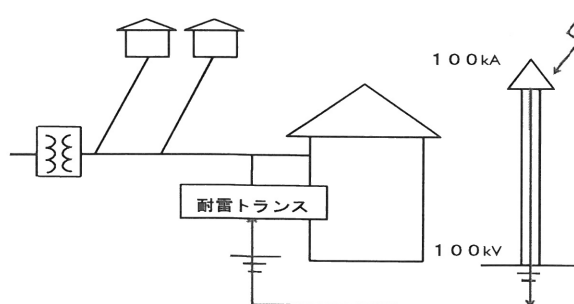


図9 耐雷トランス方式

無線基地局においては、通信回線は光ファイバーと無線のみであるので、通信回線からの雷サージの侵入はない。このため、配電線からの雷サージの侵入のみの検討が必要となる。

耐雷トランスはSPDにくらべ大型で高価であるが、トランスの一次側、二次側の耐電圧によって絶縁し、機器への雷サージの侵入を防止する方法であり、雷サージ電流を遮断し、コモンモードの雷サージ電圧の移行率も1/100以下程度に抑えられるため、耐電圧の範囲においては、保護性能はSPDより高性能である。

市販の耐雷トランスは、先に行った耐压試験の結果から、耐压は40kV程度であることが明らかになった。耐雷トランスに接続される電線や機器の耐压と協調が取れていない場合、電線や機器での絶縁破壊によって、耐雷トランス本来の性能が発揮されない。このため、耐雷トランス、配電線、電力メーターをすべて配線した状態で、これらの全ての耐压が100kVを有する分電盤を開発することとした。なおこのように、これらの設備を全て一体にし、100kVの耐压を有する分電盤はこれまでにない[8]~[9]。

### 5. 耐雷トランスを使用した分電盤の設計・製作

耐雷トランスと配電線、電力メーターなどを全て配線した状態で、これらの全ての部分の耐压が100kVを有する分電盤とするために、全てをボックス内に収納し、各部を絶縁した。

図10は、分電盤の内部構造を正面から見た図であり、分電盤の大きさは縦1100mm、横600mmのボックスである。

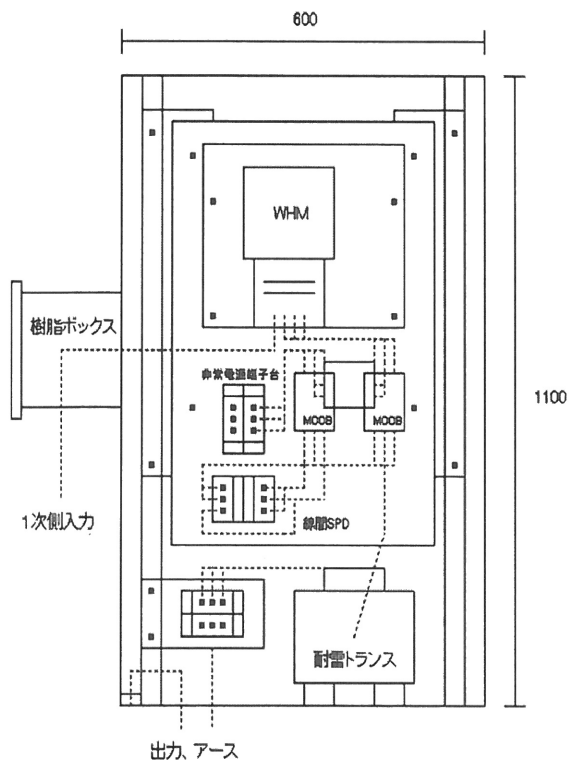


図10 分電盤の内部(正面図)

図11は分電盤の内部構造を側面から見た図である。分電盤は、線間SPD(配電線の線間防護用)、耐雷トランス、電力メーター(WHM)、ブレーカ(MCCB)、筐体、搭載部、がいし、セパレータ部、パイプによって構成されている。筐体は、ブレーカ、線間SPD、耐雷トランス、搭載部、がいし、セパレータ部、パイプを収納している。搭載部は、絶縁体のみで形成されており、ブレーカと線間SPDを搭載している。がいしは、絶縁体のみで形成され、搭載部を筐体の内部に固定されている。セパレータ部は、絶縁体のみで形成されており、ブレーカと筐体との間、および線間SPDと筐体との間に配置されている。パイプは、絶縁体のみで形成され、筐体と搭載部の間の屋外側のケーブルを覆っている。

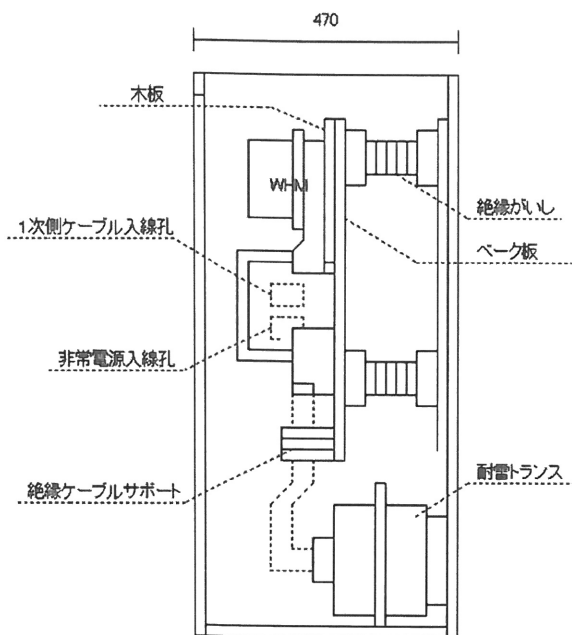


図11 分電盤の内部(側面図)

耐雷トランスは、(株)ユニオン電機に100kVの耐压を有する仕様で特注を行った。図12は作成した分電盤の写真である。



図12 耐雷トランスを使用した分電盤

## 6. 耐雷トランスを使用した分電盤の評価試験

雷電圧耐圧試験の方法を図 13 に示す。屋外側の入力線と筐体間に雷サージを印加した。雷サージは 60kV～100kV (1.2/50 $\mu$ s) の範囲において、5kV ステップで印加し、絶縁破壊が起こるかどうかを評価した。

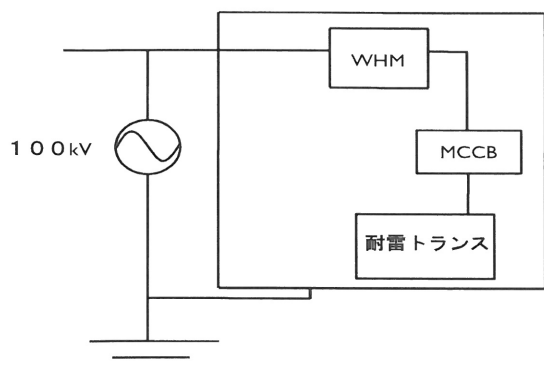
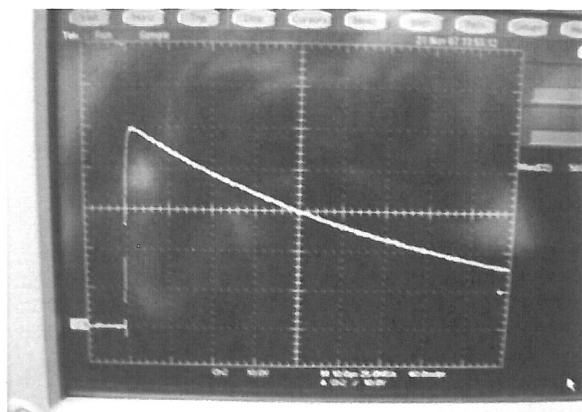


図 13 分電盤の雷電圧耐圧試験方法

100kV (1.2/50 $\mu$ s) 印加時の、雷電圧耐圧試験波形を図 14 に示す。



20kV/div, 10 $\mu$ s/div

図 14 100kV (1.2/50 $\mu$ s) 印加時の波形

雷電圧耐圧試験の結果、65kV までの電圧印加に対しては、絶縁破壊が生じなかった。その後 70kV に電圧を上昇させたところ、各部において絶縁破壊が生じた。絶縁破壊の一例を図 15 に示す。図 15 は、電線の被覆が損傷しており、電線が絶縁破壊していることを示している。

70kV に電圧を上昇させたところ、この電線の絶縁破壊以外に、絶縁破壊が生じた箇所は以下のとおりであった。

- (1) 支持がいしの金属補助部
- (2) 電線の線間
- (3) 1次側ケーブルの引き込み口
- (4) 筐体と線間 SPD の間
- (5) 筐体と電線間

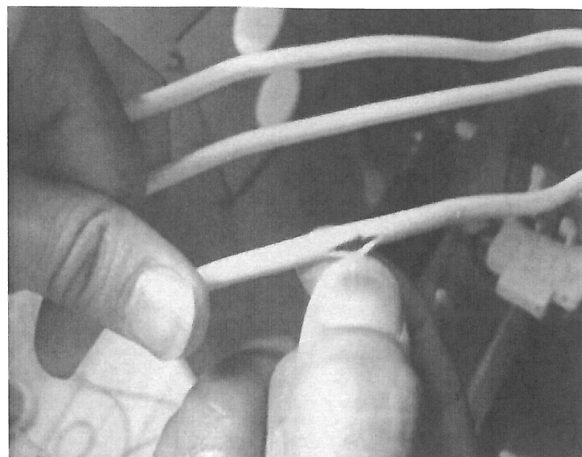


図 15 電線被覆の絶縁破壊状況

これら絶縁破壊部の耐圧を上げるために、以下の対策を行った。

- (1) 電線に絶縁パイプを付加した。
- (2) ボックスの絶縁に樹脂パイプを使用した (図 16)。
- (3) 入力配管は樹脂性とし、ボックスから離すと共に、塩化ビニールのセパレータを使用した。
- (4) 入力配管の固定には樹脂ビスを使用した。
- (5) 絶縁がいしをプラスチック製にした。
- (6) 絶縁材料として、木板、ベーク板、ビニール板の三種類を絶縁耐圧に応じて使い分けた。

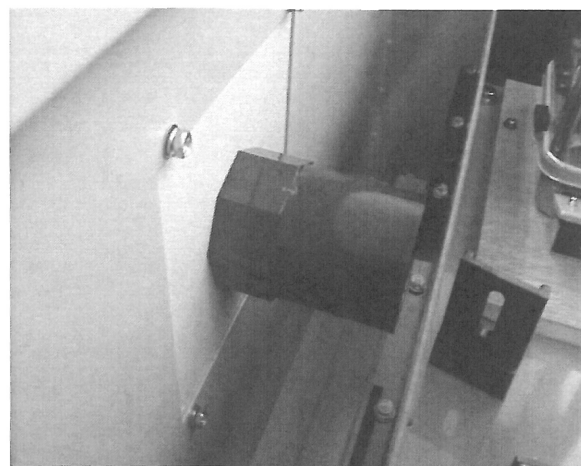


図 16 絶縁対策のための樹脂パイプの使用

これらの対策を行った結果、100kV の雷サージを印加しても絶縁破壊がなくなった。

## 7. まとめ

本論文では、SPD を使用する雷害対策方法と、耐雷トランスを使用する雷害対策方法について、比較検討を行った。

(1) SPD の実力値である 50kA は、雷が配電線側から侵入し、接地側に放流する場合には、世界最高レベルの避雷性能となる。しかし無線基地局において SPD を使用した場合、接地電位上昇によって雷サージが逆流し、近隣の家の電気製品に被害を与えるとの問題が発生する可能性がある。

(2) この逆流雷対策として耐雷トランスの使用が考えられる。しかし、耐雷トランスに接続される電線や機器との耐圧と協調が取れていない場合、電線や機器での絶縁破壊によって、耐雷トランス本来の性能が発揮されない。

(3) これらの問題を解決するために、電力量計と耐雷トランスを同じボックスに内蔵し、雷サージに対し高い耐圧を有する分電盤の開発を行った。

(4) 雷サージに対する分電盤の耐圧試験において、当初は 70kV において、各部に絶縁破壊が生じた。

(5) 分電盤各部の絶縁対策を行い、雷サージに対し 100kV の耐圧を有する分電盤の開発に成功した。

## 参考文献

- (1) H.Kijima, K.Murakawa, Lightning surge response improvement of SPD, 2<sup>nd</sup> conference on intelligent control, pp.129-138, 2014
- (2) 木島, 服部, 金子, 西澤, 雷防護素子の TOV に関する検討, 東海学院大学紀要, 第 8 号 (通号 34 号), pp.45-50, 2015
- (3) 木島均, 接地と雷防護, 電子情報通信学会編, コロナ社刊 5 刷, ISBN4-88552-147-5, 2008
- (4) H.Kijima, Earthing and Lightning Protection, Donjil Publishing Inc, ISBN 89-381-0266-1-93560, 2008
- (5) 黒沢, 木島, JIS シリーズ 雷サージ防護システム設計, 日本規格協会刊, ISBN4-542-30397-7 C3054, 2006
- (6) JIS C 5381-11, 低圧配電システムに接続する低圧サージ防護デバイスの要求性能・試験方法, 日本規格協会, 2014
- (7) JIS C 5381-12, 低圧配電システムに接続する低圧サージ防護デバイスの選定及び適用基準, 日本規格協会, 2014
- (8) 木島, 八代, 雷保護機能付分電盤, 特許第 5215702 号, 2013
- (9) 木島, 角谷, 受電装置, 特許 3141491 号, 2009

— 2015.6.29 受稿、2015.9.27 受理 —