

# 避雷器の最近の技術

田上幸雄 Yukio Tagami  
戸田成是 Nariyoshi Toda

キーワード 避雷器, ギャップレス, 酸化亜鉛素子, 直流 (DC), ポリマー形

## 概要



ポリマー形避雷器

変電設備のサージ対策や絶縁設計に酸化亜鉛形ギャップレス避雷器（以下、避雷器）は必要不可欠な機器であり、当社は電力用として避雷器が本格採用されるようになってから、電鉄用として変電設備を保護する避雷器を多数納入している。

近年、国内各地で大規模な地震が発生し、変電設備における震災被害の低減化・早期復旧対策・移動用変電設備の導入など電力供給の各種事業継続計画（BCP）対策が検討されている。

当社は避雷器の中核要素である酸化亜鉛素子の高抵抗化・高性能化の開発に取り組むとともに、避雷器の小形軽量化・耐震性能の向上・納期短縮に大きく貢献するポリマー形避雷器の開発及び製品化を展開している。

ポリマー形避雷器を含む当社製避雷器が、電車の運行を支える電力設備の保護、BCP対策に重要な役割を果たしている。

## 1 まえがき

電力会社が運用する高電圧変電設備に対し、1975年に当社は世界で初めて酸化亜鉛素子を使用したギャップレス避雷器を納入した。避雷器は雷などによる異常電圧から変圧器・開閉装置を保護し、停電事故を激減させるとともに、それら機器の絶縁設計を緩和することで小形化・低コスト化に大きく寄与している。

当社の避雷器は製品化から約40年が経過し、アプリケーションの多様化に対応しながら小形化・低コスト化・保護性能の向上などの進化を重ね、2014年に米国電気電子学会（IEEE）から「マイルストーン」の認定を受けた。

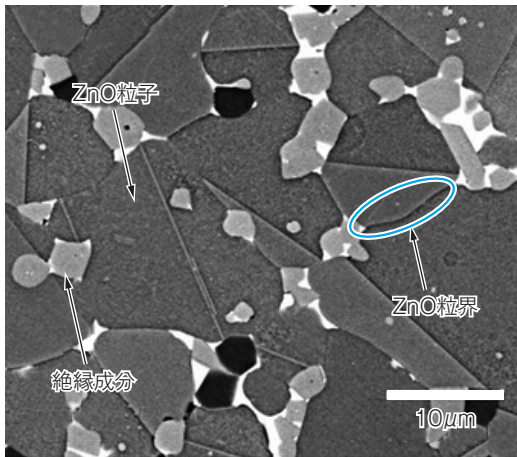
高電圧変電設備は電力会社だけでなく、電車を運行する鉄道会社も保有する。安全・安心な電車の

運行には安定した電力の供給が不可欠であり、ここでも当社の避雷器が大きな役割を担っている。

本稿では、電鉄用変電設備の中で使用される避雷器及び関連装置について、当社の有する技術の特長・製品の動向を紹介する。

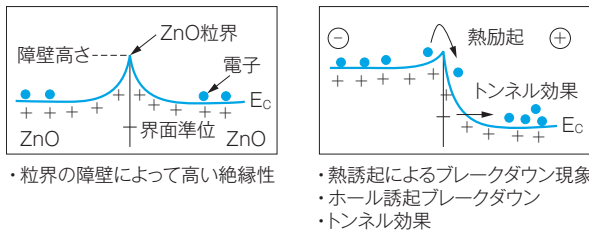
## 2 酸化亜鉛素子

避雷器の構成要素で中核部品となる酸化亜鉛素子は、優れた電圧-電流非直線抵抗特性を持ち、避雷器のギャップレス化を実現した。これは主成分である酸化亜鉛の導電性結晶を酸化ビスマス・酸化アンチモンなどの高抵抗成分が取り囲み、二重ショットキー障壁を形成する半導体特性を発現するためである。第1図に酸化亜鉛素子の微細構造を、第2図に二重ショットキー障壁モデルを示す。



第1図 酸化亜鉛素子の微細構造

導電性の酸化亜鉛粒子を絶縁成分が取り囲み粒界を形成し、二重ショットキー障壁が形成されている。



(a) 通常時：絶縁体 (b) 一定以上の電圧印加時：導電体

第2図 二重ショットキー障壁モデル

通常時は粒界の障壁で高い絶縁性を示すが、一定以上の電圧が印加されると障壁の幅が狭くなり、トンネル効果などで電子が移動して導電性となる。

## 2.1 酸化亜鉛素子の製造フロー

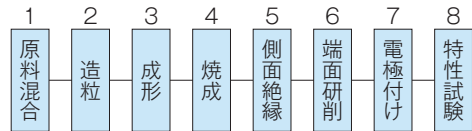
第3図に酸化亜鉛素子の製造フローを示す。酸化亜鉛素子は酸化亜鉛を主成分として酸化ビスマス・酸化アンチモンなどの複数の添加物を混合し焼結して制作する。特に原料混合・焼成・側面絶縁の製造条件で素子の電気特性が決定されるため、各製造過程における工程品質管理が重要となる。

## 2.2 酸化亜鉛素子の電気特性

酸化亜鉛素子には、主として以下3項目の電気特性が要求される。

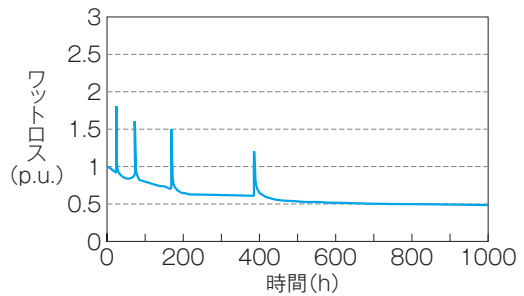
- (1) 電圧－電流非直線抵抗性能
- (2) エネルギー吸収性能（インパルス放電耐量）
- (3) 適用雰囲気での課電寿命性能

各種検証から、いずれの要求性能に対してもバランスのよい最適化された製造工程・条件を見いだし



第3図 酸化亜鉛素子の製造フロー

原料混合・焼成・側面絶縁の製造条件で酸化亜鉛素子の電気特性が決定される。



第4図 IEC 60099-9で新たに規定された酸化亜鉛素子の直流課電寿命評価結果

漏れ電流は極性反転時に一旦増加するが、時間の経過とともに緩やかに減少している。

た。電鉄用避雷器に使用される素子としては、エネルギー吸収性能と直流課電寿命性能の向上が重要な課題となる。当社では、エネルギー吸収性能を向上するため、素子の焼成条件を制御して焼結状態を均一化し、側面の閃絡破壊を低減するため絶縁層の構造を最適化した。

課電寿命性能に関しては、各種雰囲気（Dry Air・N<sub>2</sub>・SF<sub>6</sub>・Oil）における適応が要求される。都市圏における在来線・地下鉄の直流給電システム保護用途としては直流課電寿命性能が要求される。当社素子の直流課電寿命性能は110℃で15,000時間の長期課電試験を実施し、漏れ電流が減少する安定した結果を得ている。この試験結果から、酸化亜鉛形避雷器規格で採用されている寿命加速係数（10℃，2.5倍則）を適用すると、平均気温40℃で1000年に相当する寿命を検証したことになる。またIEC 60099-9規格『Metal-oxide surge arresters without gaps for HVDC converter stations』では、規定の課電時間・回数で極性を反転して評価することが要求されている。当社直流用素子は電圧を分担する高抵抗粒界層の形成物質を原料混合・焼成条件で制御し、理想的な状態を形成している。第4図にIEC規格

で新たに規定された酸化亜鉛素子の直流課電寿命評価結果を示す。酸化亜鉛素子を流れる漏れ電流は極性反転時に一旦増加するが、時間の経過とともに緩やかに減少する課電試験結果が得られた。

### 3 電鉄用避雷器

当社では、新幹線・在来線・地下鉄及び新交通システムの変電設備を保護する避雷器をラインアップしている。第1表に国内向け電鉄用避雷器の用途・種類を示す。

#### 3.1 交流用避雷器

高圧受電設備・き電設備の保護用として、磁器がいし形避雷器に対しポリマー形避雷器の設置が有効である。全定格電圧で小形・軽量化を図り22kV系統き電回路用では全長40%、質量70%を低減した避雷器を製品化した。第5図に22kV系統用き電用避雷器の比較を示す。また耐震性能も強化し、275kV系統受電用に適用する避雷器でも3m/s<sup>2</sup>共振正弦3波の加振に対して3.1の安全率を有し、巨大地震にも耐える設計となっている。

#### 3.2 直流用避雷器

直流750V・1500V系統の制御盤、電気機器を保護する避雷器の開発・改良を進めている。鉄道建設本部仕様書(JRCS)では、非常に高い開閉サージ動

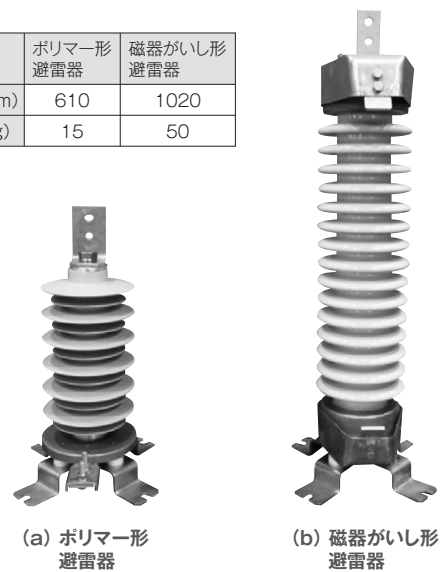
第1表 国内向け電鉄用避雷器の用途・種類

電鉄用として使用されている避雷器には、交流用避雷器と直流用避雷器がある。

用途		電力系統	種類
交流	受電回路用	22～275kV	磁器がいし形
			ポリマー形
	GIS用タンク形		
き電回路用	22～33kV	磁器がいし形	
			ポリマー形
直流	制御盤用	750～1500V	磁器がいし形
	き電回路用		磁器がいし形
	車載用		機器内蔵形
	高速度遮断器 サージ消弧装置		機器内蔵形

作責務が要求され、大口径の酸化亜鉛素子が必要となる。実際には酸化亜鉛素子を並列に接続して所定のエネルギー吸収性能を設計するが、酸化亜鉛素子のエネルギー耐量を向上させることで、小口径化・並列数の削減を進めている。また、直流電鉄用避雷器はポリマー化が推進され、特に海外では当社のグループ会社である Tridelta Meidensha GmbH 製の避雷器が適用範囲を拡大している。第6図に Tridelta Meidensha GmbH 製の直流電鉄用避雷器を示す。

	ポリマー形 避雷器	磁器がいし形 避雷器
全長(mm)	610	1020
質量(kg)	15	50



第5図 22kV系統用き電用避雷器の比較

ポリマー形避雷器は、磁器がいし形避雷器に比べ全長40%、質量70%を低減している。



第6図 Tridelta Meidensha GmbH製直流電鉄用避雷器

定格電圧は1.2～4.8kVをラインアップし、海外で適用範囲を拡大している。



第7図 高速度遮断器用サージ消弧装置

サージ消弧装置は単柱構造で並列接続され、大きなエネルギーを吸収できる。

更に多数の素子を並列使用する酸化亜鉛素子を用いた機器として、高速度遮断器に使用するサージ消弧装置がある。回路電圧は750V及び1500V用で、素子の並列数は吸収するエネルギーの仕様にもよるが30～90並列に及ぶ。第7図に高速度遮断器用サージ消弧装置を示す。前述の素子の高性能化によって、この消弧装置も全長及び外径の小形・軽量化が図れることから、今後開発を進める予定である。

## 4 むすび

電鉄用変電設備を保護する避雷器及び中核要素である酸化亜鉛素子の特長を紹介した。特にポリマー形避雷器は多くのメリットがあり、今後の適用拡大が期待される。電車の安定した運行を支えるため、変電設備と送配電システムを保護する避雷器の高性能化、高い信頼性の維持・向上に引き続き取り組んでいく。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

### 《執筆者紹介》



田上 幸雄  
Yukio Tagami  
変電機器工場  
避雷器の開発に従事



戸田 成是  
Nariyoshi Toda  
変電機器工場  
避雷器の開発に従事