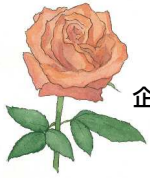


電力用酸化亜鉛形ギャップレス避雷器の技術開発



企業レポート

高田 雅之*, 戸田 成是**, 成田 俊一***, 手嶋 直人****

The technological development of Gapless Zinc Oxide Arrester

Key Words : gapless surge arrester, ZnO varistors,
polymer housed surge arrester, IEEE Milestone



* Masayuki TAKADA

1980年11月生
同志社大学 工学研究科卒 (2009年)
現在、株式会社 明電舎 ソレスター工場
主任 工学博士 電子材料
TEL : 055-929-4375
FAX : 055-929-4399
E-mail : takada-m@mb.meidensha.co.jp



** Nariyoshi TODA

1975年5月生
東京理科大学 基礎工学部 材料工学科
現在、株式会社 明電舎 ソレスター工場
主任 学士 避雷器全般
TEL : 055-929-4375
FAX : 055-929-4399
E-mail : toda-nr@mb.meidensha.co.jp



*** Shunichi NARITA

1959年3月生
新潟大学 工学部 機械工学科卒
(1981年)
現在、株式会社 明電舎 ソレスター工場
副工場長 学士 避雷器全般
TEL : 055-929-4380
FAX : 055-929-4399
E-mail : narita-s@mb.meidensha.jp



**** Naoto TESHIMA

1957年7月生
北九州工業高等専門学校 機械工学科
(1978年)
現在、株式会社 明電舎 執行役員
変電・配電製品主管
避雷器全般
TEL : 055-929-4321
FAX : 055-929-4399
E-mail : teshima-n@mb.meidensha.co.jp

1. まえがき

避雷器は落雷などで発生する過電圧から発電所や送電配電系統および変圧器、開閉器などの電力機器を護り、電力供給に支障をきたさないようにする重要な役割を担っている。

1930 年ごろから炭化ケイ素素子 (SiC 素子) と直列ギャップを組み合わせた避雷器が広く使用されていた。1967 年に、酸化亜鉛を主成分とする通信機器用のセラミックス半導体素子 (バリスタ) を松下電器産業株式会社 (現: パナソニック株式会社) が発明し、当社では、この低圧用酸化亜鉛バリスタを電力用ギャップレス避雷器に適用するための研究開発を世界に先駆けて実施した。全社をあげて取り組んだ結果、1975 年に世界初となる酸化亜鉛形ギャップレス避雷器の実用化に至った¹⁾。酸化亜鉛形避雷器は特性要素に酸化亜鉛素子 (ZnO 素子) を用いた避雷器であるが、それまで主流であった SiC 素子と直列ギャップを用いた避雷器に比べ、非常に優れた非直線な電圧-電流 (V-I) 特性を有しており画期的な技術革新となった。さらに直列ギャップを使用しないため、これまでの避雷器と比べ大幅に小形化することに成功した。

酸化亜鉛形避雷器の出現によって雷をはじめとする過電圧による停電事故が大幅に減少し、また、優れた非直線 V-I 特性により電力系統の絶縁設計レベルをより低く設定できるようになったため変電機器の小形化が可能となり、大きな経済的効果をもたらした。

このように避雷器の発展により、落雷事故の低減、電力システムの合理化が進められてきた。この日本発の技術は国際規格にも採用されており、現在、世界の電力用避雷器の主流になっている。また実用化から 40 年が経過しているが、これに替わる高性能な避雷器はいまだに出現していない。

その実績と信頼性は高く評価され、2009年に「でんきの礎」(電気学会)、2014年には25年以上に渡って地域社会や産業の発展に貢献してきた製品に授与される「IEEEマイルストーン」(米国電気電子学会)の認定を受けるに至った。

本稿では酸化亜鉛形避雷器の誕生から現在当社が取り組んでいる避雷器の開発状況について紹介する。

2. ZnO素子のV-I特性と微細構造

ZnO素子は定常時は絶縁性を示すが、ある一定以上の電圧が印加されると急激に抵抗値が低下し導電体となる非直線なV-I特性を有する半導体セラミックスである。図1にZnO素子のV-I特性を示す。ZnO素子は酸化亜鉛を主成分とし酸化ビスマス、酸化アンチモンなどの複数の添加物を混合し1200℃程度で焼結することで製造される。ZnO素子の微細構造は図2に示すように約10 μ mの酸化亜鉛粒子に酸化ビスマス粒界相とスピネル粒子と呼ばれる絶縁成分から構成されている。ZnO素子の非直線性の発現機構として、ZnO粒界に形成される二重ショットキ障壁モデルが提案されている²⁾。定常時は粒界の障壁により高い絶縁性を示すが、ある一定以上の電圧が印加されると、トンネル効果あるいはホール誘起により障壁が消滅するため導電体へと変化するモデルで説明されている。

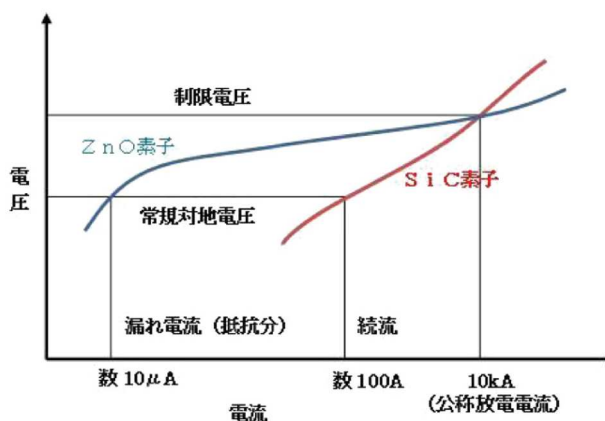
3. 電力用ZnO素子の研究開発

1970年代からの低圧用バリスタを電力用ギャップレス避雷器へ適用するための研究開発には以下のような課題があり改善を図った。

- ① 非直線V-I特性の改善のための組成の確立
- ② ZnO素子の側面絶縁強化のため、ZnO素子内部から側面へ徐々に絶縁層へと変化する界面のない側面絶縁層の形成技術の確立
- ③ 大形のZnO素子を均一な焼結反応をさせるための焼成条件の最適化
- ④ 酸化亜鉛形避雷器には直列ギャップがなく素子に常時系統電圧が印加されるため課電寿命の評価が大きな課題であった。様々な温度での加速劣化試験を実施し、30年以上の寿命をアレニウス則により推定

以上の研究開発を進めた結果、1973年に発変電用 ϕ 56mm素子を完成させ、電気学会全国大会に

世界初の酸化亜鉛形避雷器の論文を松下電器との連名で発表した¹⁾。そして、1975年には世界で初めて66kV系統用酸化亜鉛形ギャップレス避雷器を九州電力隼人変電所に納入した。



第1図 ZnO素子とSiC素子の非直線V-I特性

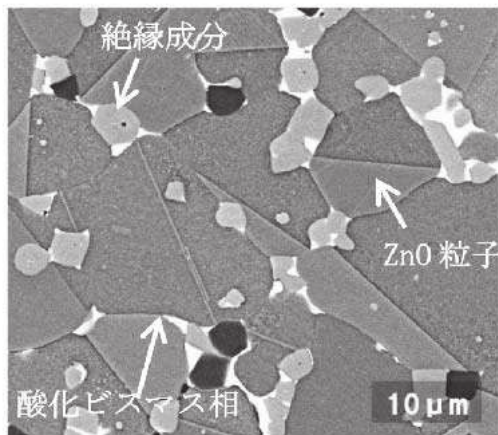
4. 避雷器の小形・軽量化開発

当社では1975年の世界に先駆けて実現した酸化亜鉛形避雷器の開発から、今日まで継続して避雷器の小形・軽量化開発に取り組んでいる。避雷器の小形・軽量化のためにZnO素子の高性能化・高抵抗化などの材料技術開発を推し進めてきた。また、避雷器容器の大幅な小形・軽量化が期待できるポリマー材料を使用したポリマー形避雷器の開発にも積極的に取り組んでいる。以下にZnO素子の技術開発ならびにポリマー形避雷器開発について紹介する。

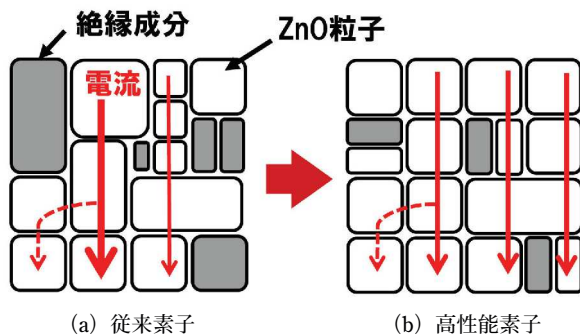
4. 1 ZnO素子の技術開発

避雷器を小形化するには、同性能でより小さなZnO素子を実現することが効果的である。ZnO素子の小形化には直径を小さくする方法と、厚みを薄くする方法があるが、それぞれ必要となる技術は異なっている。素子径を小さくするには非直線V-I特性を向上させる高性能化開発が必要であり、厚みを薄くするには素子の動作開始電圧を高める高抵抗化開発が必要となる。いずれの開発にもサージ吸収能力の向上させることが必須である。これまでにZnO素子を改良し小形化することで、避雷器の小形・軽量化を実現してきた。

これまで取り組んできた高性能化開発について以下に紹介する。



第2図 ZnO 素子の微細構造



第3図 従来素子と高性能素子の微細構造の模式図

ZnO 素子内部は第2図に示すように ZnO 粒子と絶縁成分から構成されており、吸収したサージ電流は第3図に示すように導電性のある ZnO 粒子を選択的に流れる。そのため高性能化開発ではサージ吸収時の素子抵抗を極力低く抑えることがポイントとなる。以下の内容を実現するため添加物の配合や原材料の性状および焼成条件を改良・工夫することで高性能化を実現した。

- ① 添加物の濃度を制御することで ZnO 粒子の導電性の向上
- ② 絶縁成分の低減および絶縁成分の反応制御により、素子を流れるサージ電流経路を増加
- ③ 電流集中が起これないように電流経路を均一化させるためのセラミックス微細構造の均一化技術の確立

上記の高性能化開発の結果、素子体積で約 40% 低減しているにも係らず従来と同等の保護性能・サージ吸収能力が得られた。

4.2 ポリマー形避雷器の開発状況

(1) ポリマー形避雷器の特長

ポリマー形避雷器は、容器にポリマー材料が使われるため、磁器がいし形避雷器に比べて非常に軽量である。一般的にポリマー材料として使用されるシリコンゴムは撥水性を有しており、一旦撥水性が失われても回復する特長をもつため耐汚損性能に優れている。また、磁器がい管のように破壊時に破片が飛び散ることがないため、放圧時の安全性が高いことも特長である³⁾。

第1表に当社の定格電圧 98kV の磁器がいし形避雷器とポリマー形避雷器の比較を示す。ポリマー形避雷器の質量は磁器がいし形避雷器の 1/3 であり非常に軽量である。このため鉄塔上や断路器の既設架台などの質量制限がある場所へ設置でき、また内部部品をシリコンゴムで直接モールドしているため水平設置や角度をつけての設置もできる。このように設置の自由度が大幅に向上することも特長の一つである。ポリマー形避雷器の設置例を第4図に示す。

(2) ポリマー形避雷器の耐震性能

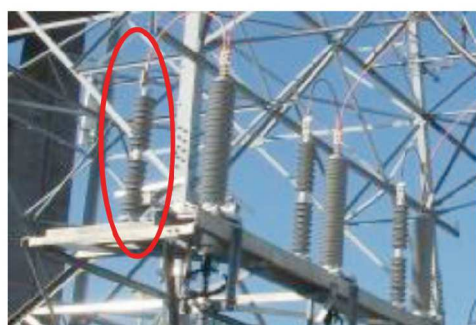
当社は 2007 年にダイレクトモールドタイプのポリマー形避雷器 (ZS-F シリーズ) を開発・製品化し、2000 相以上納入している。ZS-F シリーズは 3m/s² 共振正弦 3 波の加振に対し 2.0 以上の安全率を有している。2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、ポリマー形避雷器の折損被害は無かった。この実績によりポリマー形避雷器の耐震性能が裏付けられたため、今後ポリマー形避雷器の本格適用の契機になると考えられる。

(3) 新ポリマー形避雷器の製品化

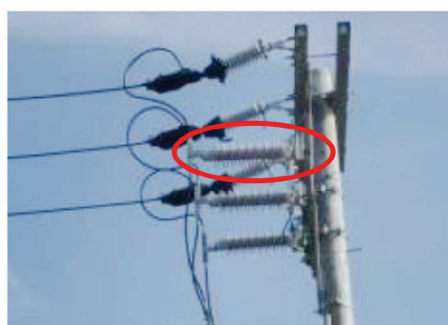
当社は 2014 年、耐震性能などを更に向上させた新ポリマー形避雷器 (ZS-G シリーズ) を開発した。ZS-G シリーズでは支持構造の改良やポリマー材の軽量化を行い、ZS-F シリーズに比べ小形・軽量化を図り、曲げ強度も 20% 向上した。また、笠形状の最適設計を行うことにより有効接地系でも超重汚損地区に対応できる避雷器もラインナップした。第2表に ZS-G シリーズの主要定格を示す。

第1表 磁器がいし形避雷器とポリマー形避雷器の比較 (定格 98kV)

項目	磁器がいし形避雷器	ポリマー形避雷器 (ダイレクトモールド形)
がいし材質	磁器	シリコンゴム
質量	75 kg	25 kg
高さ	1.6m	1.1 m
撥水性	—	持続性が有り
内部構造	空間有り	空間無し



(a) 66kV 系統



(b) 22kV 系統

第4図 ポリマー形避雷器の設置例

第2表 ZS-G シリーズの主要定格

形式	標準形 : ZS-G1PH 耐汚損形 : ZS-G1PHX	標準形 : ZS-G1PK 耐汚損形 : ZS-G1PKX	標準形 : ZS-G2PK 耐汚損形 : ZS-G2PKX	
避雷器の種類	標準特性	高性能	高性能	高性能
定格電圧 (kV)	28~42	70~196	84~196	182~280
公称放電電流 (kA)	10			
開閉サージ放電耐量クラス	D	C	BB	B
定格放圧電流 (kA)	65			
放電耐量 (雷インパルス)	65kA 2回 (4/10 μ s 波)			
耐汚損区分	標準形 : 0.01	標準形 : 0.01	標準形 : 0.01	標準形 : 0.01
(等価塩分付着密度 mg/cm ²)	耐汚損形 : 0.35	耐汚損形 : 0.35	耐汚損形 : 0.35	耐汚損形 : 0.25

(4) 発電電用以外のポリマー形避雷器

当社は発電電用以外にも、22kV/33kV 系統用の配電用ポリマー形避雷器や 66kV ~ 154kV 系統用のコンパクト形送電用避雷装置等のポリマー製品を製作している。今後、車載用やキュービクル用の製品でも、ポリマー形のメリットを生かせる製品の開発に取り組んで行く。

5. むすび

当社は、1975 年酸化亜鉛形避雷器の実用化以降、これまで世界 70 カ国以上のお客様に、500 万相以上の避雷器と 2000 万個以上の酸化亜鉛素子 (ZnO 素子) を納入してきた。その間、避雷器は性能が改良され

長寿命化や小形・軽量化が図られてきた。この 40 年間の実績と信頼を基に、更に社会貢献できる製品開発に努めていく所存である。

参考文献

- 1) 錦織亨・増山勇・松岡道雄・日永田春一・小林三佐夫・水野充, 昭和 48 年電学全大 No.777, pp1010-1011 (1973)
- 2) F. Greuter, G. Blatter, M. Rossinelli and F. Stucki, Ceram. Trans., 3, 31-53 (1989).
- 3) S. Narita et al. MEIDEN REVIEW 2007 No.6, pp38-43 (2007)