

66～275 kVポリマー形送電用避雷装置のシリーズ化

Development and Commercialization of 66 kV to 275 kV Polymer Type Transmission Line Arresters

才田 敏之 小松 克朗 安食 富和

■ SAIDA Toshiyuki ■ KOMATSU Katsuaki ■ ANJIKI Tomikazu

情報化社会の発展に伴い、送電設備への落雷に起因する瞬時停電あるいは瞬時電圧低下の対策が重要となっている。この対策として架空送電線に避雷装置が導入され、雷撃に対する効果を上げている。

東芝は、配電用やGIS（ガス絶縁開閉装置）用避雷器で多数の実績がある高耐圧形の酸化亜鉛（ZnO）素子を適用し、小型・軽量化を図った66～275 kVポリマー形送電用避雷装置をシリーズ化した。

With the recent progress of the information society, transmission line arresters have come to play an important role in improving the reliability of power transmission systems by reducing not only lightning damage to transmission line equipment but also slight power interruptions or voltage drops caused by lightning.

Toshiba has developed and commercialized new compact and lightweight polymer type transmission line arresters for 66 kV to 275 kV systems. These line arresters employ high-voltage zinc oxide (ZnO) elements, which have been widely used for distribution arresters and gas-insulated metal-enclosed switchgear arresters.

1 まえがき

落雷などによって発生する過電圧から電力設備を保護する避雷器は、電力供給の安定化に大きく寄与してきた。近年では情報化社会の発展に伴い、送電線路への落雷に起因する瞬時停電あるいは瞬時電圧低下の対策が電力品質の観点から重要となっている。その対策として、架空送電線に避雷装置が設置され効果を上げている。導入当時は、発変電用避雷器と同様のギャップレス避雷装置であったが、現在では、万一避雷装置が過大な処理責務を受けて短絡状態になった後でも再送電が可能な、外部気中ギャップ付（直列ギャップ付）の送電用避雷装置が主流になっている。

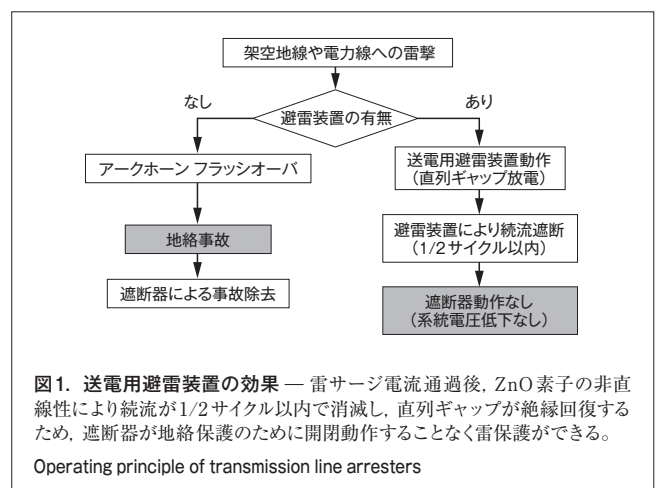
避雷装置はその導入から約20年が経過し、雷撃による供給障害低減に貢献してきたが、近年ではいっそうの軽量化が要求されている。これに対応するため、避雷装置本体の外皮にシリコンゴムを適用し、ZnO素子を直接モールドすることで大幅な軽量化を図った、ポリマー形送電用避雷装置が開発されている⁽¹⁾。ここでは、配電用の耐雷素子やGIS形避雷器で多数の実績を持つ高耐圧形のZnO素子⁽²⁾を適用し、小型・軽量化を図った66～275 kVポリマー形送電用避雷装置について述べる。

2 送電用避雷装置の動作原理

落雷による送電線アークホーン^(注1)部のフラッシュオーバー事故^(注2)の低減に向けては、鉄塔の接地抵抗の低減、架空地線

の多条化、不平衡絶縁、アークホーン間隔拡大などの対策が実施され効果を上げているが、いったんフラッシュオーバーが発生すると地絡事故となり、保護のために変電所の遮断器が開閉動作して瞬時停電又は瞬時電圧低下を引き起こす。

直列ギャップ付送電用避雷装置の効果を図1に示す。この装置は、アークホーンよりも雷インパルス放電電圧が低くなるように設計しており、雷撃により鉄塔と送電線の間の電位差が拡大した際に避雷装置の直列ギャップで放電し、ZnO素子により過電圧を抑制するため、アークホーンのフラッシュオーバーを



(注1) がいし近傍で放電したとき、がいし表面や電線から直接放電するとかいしの破損や電線を切断するおそれがあるので、安全に放電させるために設けられた金具。

(注2) アークホーンがフラッシュオーバーした後に送電線が地絡に至る事故。

防ぐことができる。雷サージ電流通過後、ZnO素子の非直線性により続流が1/2サイクル以内で消滅し、直列ギャップが絶縁回復するため、遮断器が地絡保護のために開閉動作することなく雷保護ができる。

また、送電用避雷装置は雷撃の多い地域に鉄塔ごとに多数設置されるため、送電線を介して発変電所に侵入する雷サージ過電圧の抑制効果も期待できる。

275 kV送電用避雷装置⁽³⁾の絶縁協調試験状況を図2に示す。避雷装置の直列ギャップとアークホーンとの絶縁協調試験として、直列ギャップ長1,200 mm、アークホーン長2,140 mm、ジャンパ線を20 mとした耐張がよい装置を模擬した状態で行った。アークホーン側から峻度(しゅんど)1,500 kV/ μ s(マイクロ秒)の急峻雷インパルス電圧を正負5回印加し、直列ギャップが確実に放電することを確認した。



3 ポリマー形送電用避雷装置のシリーズ化

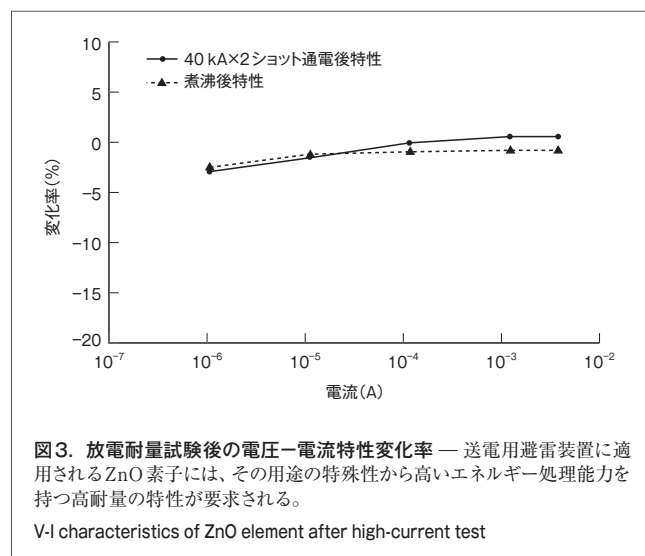
送電用避雷装置は、鉄塔上に多数設置される機器であり、高い信頼性と安定した製造能力、高度な製品技術力及び検証試験能力が要求される。東芝では、ZnO素子の開発及び製造、ポリマー避雷器の注形、外装組立、及び主要な開発検証(過渡現象解析、高電圧試験、大電流短絡試験、機械強度検証)を同一工場内で実施している。

3.1 高耐圧ZnO素子の適用

送電用避雷装置の適用素子としては、コンパクト化を指向し、配電用柱上変圧器や柱上開閉器に内蔵されている耐雷素子、及びGIS形避雷器で多数の適用実績を持つ高耐圧素子を適用することにより、安定した品質を確保している。

送電用避雷装置に適用されるZnO素子には、その用途の特殊性から高いエネルギー処理能力を持つ高耐量の特性が要求され、かつ鉄塔へ設置されることから長期の耐環境性が求められる。275 kV送電用避雷装置に適用されるZnO素子

で実施した放電耐量試験の結果を図3に示す。雷インパルス電流40 kA(波形2/20 μ s)を5分間隔で2回通電した後、更に、長期信頼性検証として5時間の純水煮沸を実施した。雷インパルス電流に破壊することなく耐えることを確認するとともに、試験前後の低電流領域の電圧-電流特性の変化率が5%以下であり、良好な放電耐量性能及び耐環境性能を持っていることを確認した。



3.2 ポリマー避雷器の製造システム

送電用避雷装置の外皮には、軽量化を図るために優れた撥水(はっすい)性を持つシリコンゴムを適用し、ZnO素子を直接モールドしている。当社は今般、ポリマー避雷器の品質の維持と向上、量産化対応、及び短納期対応を目的として、ポリマー避雷器の製造ラインを一新した。ポリマー避雷器の製造ラインを図4に示す。同じフロア内に内部要素組立ライン、ポリマー注形ライン、電気特性試験ラインを配置したことにより、集中管理、品質の維持と向上、運搬ロス低減などができた。

また、製品1ユニットごとに電気特性試験(漏れ電流試験、



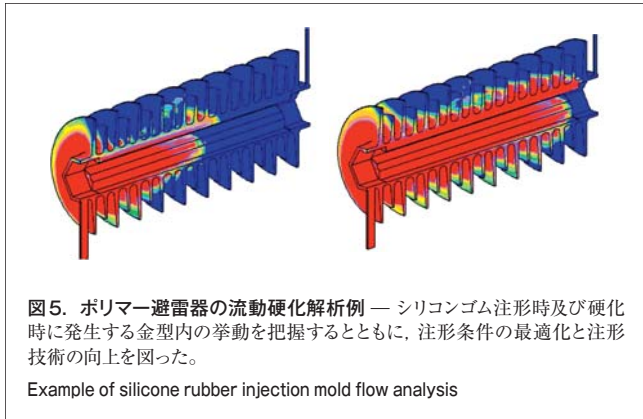


図5. ポリマー避雷器の流動硬化解析例 — シリコンゴム注形時及び硬化時に発生する金型内の挙動を把握するとともに、注形条件の最適化と注形技術の向上を図った。

Example of silicone rubber injection mold flow analysis

動作開始電圧試験，部分放電試験，絶縁抵抗試験）を全数実施することで，高品質な製品を提供できる。

ポリマー避雷器の注形に際しては，シリコンゴムの流動硬化解析（図5）を実施することで，シリコンゴム注形時及び硬化時に発生する金型内の挙動を把握するとともに，注形条件の最適化と注形技術の向上を図っている。

3.3 各種開発検証試験

3.3.1 装柱状態での放電試験 直列ギャップ付送電用避雷装置は，雷サージだけで放電し，商用周波電圧や開閉サージでは規定の電圧まで放電しないように設計されている。そのため，直列ギャップの長さや形状及び避雷装置の設置形態を，装柱模擬状態での放電試験により検証した。

275 kV 送電用避雷装置で実施した開閉サージ放電電圧試験状況を図6に示す。避雷装置を実規模の模擬装柱状態にし，避雷装置本体が健全である場合（避雷装置正常時）と，過責務によって故障した場合（避雷装置故障時）の両者を想定し，開閉サージ50%放電電圧（V50）を測定した。故障の模擬は，本体部を外部で短絡し，電気的に直列ギャップだけの状態とした。標準偏差（ σ ）を考慮した放電電圧（ $V50-2\sigma$ ）は，避雷装置正常時で系統の開閉サージ過電圧倍数2.8 pu

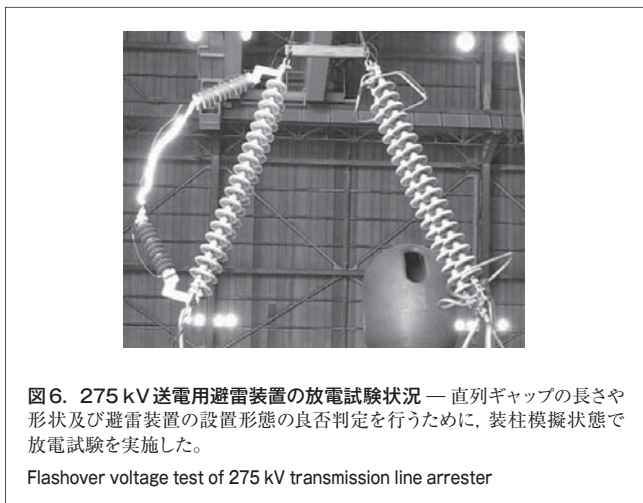


図6. 275 kV 送電用避雷装置の放電試験状況 — 直列ギャップの長さや形状及び避雷装置の設置形態の良否判定を行うために，装柱模擬状態での放電試験を実施した。

Flashover voltage test of 275 kV transmission line arrester

以上であり，避雷装置故障時においても2.5 pu以上あることを確認した。以上の結果から，仕様の開閉サージ電圧に対し十分な耐電圧性能を備えていることを確認した。

3.3.2 放圧試験 送電用避雷装置は鉄塔上に設置されるため，過責務による損傷状況に対しては発変電所用避雷器より厳しい判定基準が要求される。放圧試験は，避雷装置本体のZnO素子が過責務によって損傷した場合を想定した試験であり，損傷した本体部に系統短絡電流が流れても爆発的に飛散しないことを確認する試験である。一般には，素子沿面にヒューズ線を張り，素子間を短絡した状態で，シリコンゴムでモールドした供試器で実施する。

275 kV 供試器ユニットで実施した放圧試験前後の状況を図7に示す。試験は短絡電流（対称分電流）63 kA，継続時間0.2秒の条件で実施した。供試器は，放圧動作によって外被が裂けるが，ZnO素子などの内部部品の爆発や飛散などはなく，また，シリコンゴムの燃焼もなく，良好な放圧性能を備えていることを確認した。

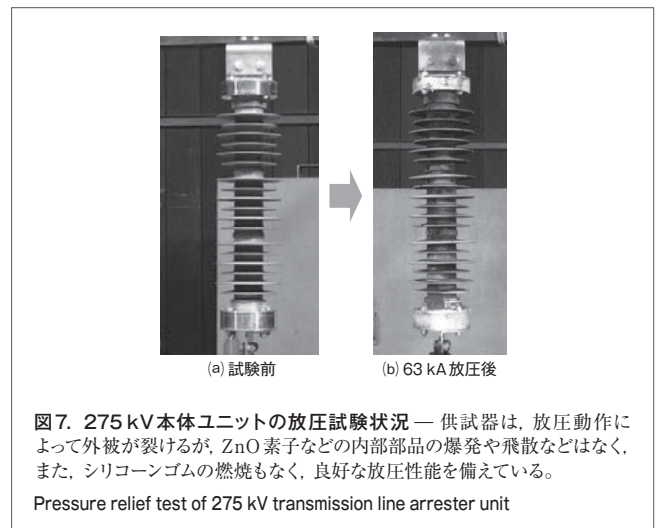


図7. 275 kV 本体ユニットの放圧試験状況 — 供試器は，放圧動作によって外被が裂けるが，ZnO素子などの内部部品の爆発や飛散などはなく，また，シリコンゴムの燃焼もなく，良好な放圧性能を備えている。

Pressure relief test of 275 kV transmission line arrester unit

3.3.3 機械強度試験 送電用避雷装置として，設置時の作業時荷重や，風による振動などの機械強度を検証する必要がある。

275 kV 本体ユニットの試験では，曲げ強度試験として，避雷装置本体の片端を固定し，頂部に1,960 N（200 kgf）の荷重を1分間印加した。また振動試験として，避雷装置と端部の金具を加振台に設置し，加速度1 m/s²，200万回の振動を印加した。両者共，試験の前後で外観と電気的特性に変化は認められず，十分な強度があることを確認した。

4 適用状況

今回シリーズ化した66～275 kVポリマー形送電用避雷装置の主な仕様を表1に示す。一般責務形は，最大放電電流仕

表1. ポリマー形送電用避雷装置の主な仕様

Main specifications of polymer type transmission line arresters

項目	一般責務形 (高性能素子適用)		ホーン形 (高耐圧素子適用)				
	66	77	66	77	110	154	275
系統電圧 (kV)	66	77	66	77	110	154	275
定格電圧 (kV)	69	80.5	69	80.5	115	161	216
定格放電電流 (kA (2/20 μs))	15		10				
最大放電電流 (kA (2/20 μs))	45		25				
制限電圧(最大放電電流時) (kV)	270	315	210	240	360	480	605
放圧性能 (kA×0.2 s)	50		50				
曲げ強度 (N)	1,470		980				
本体質量 (kg)	15		3.5	3.2×2	3.5×2	20×2	

様値が高く、高耐量な避雷装置が求められるために、大径の素子を適用していた。その反面、素子枚数が多く避雷装置本体の小型・軽量化には限度があり、一般には鉄塔アーム部に取り付けられる。一方、現在の主流は最大放電電流仕様値が一般責務形に比べて低減されたホーン形であり、一般責務形より小径な素子を適用できる。更に、ホーン形に高耐圧素子を適用することで素子の直列枚数を低減できるため、本体部のいっそうの小形・軽量化（一般責務形に比べ質量が約1/4）を実現できた。その結果、ホーン形送電用避雷装置を既設がいし連のアーカホーンと置換でき、鉄塔への追加工が不要なことから、設置作業が大幅に簡素化できる。当社は、2008年度までに一般責務形とホーン形を合わせて国内外に16,000相以上を製造及び出荷しており、良好な運転実績を上げている。

154 kV 送電線の懸垂がいし連に設置されたホーン形送電用避雷装置の適用例を図8に示す。既設のアーカホーンの片側を交換して避雷装置を取り付けている。110～275 kV 系統用では本体部分を架線側及び鉄塔側に2分割し、個々のユニットで軽量化を図っている。避雷装置は送電線の全鉄塔へ取り付けを基本としており、山間部などの鉄塔では人力で運搬する場合がある。したがって、個々のユニットを軽量化



図8. 154 kV送電用避雷装置の据付け状況 — 154 kV 送電線の懸垂がいし連に設置されたホーン形送電用避雷装置の適用例である。

Installation of 154 kV transmission line arrester

することは、現地への輸送及び鉄塔上への運搬に昇降装置が不要になるなどの利点生まれ、設置コストが低減できる。

5 あとがき

当社は、66～275 kV ポリマー形送電用避雷装置をシリーズ化した。送電用避雷装置は、送電設備への落雷に起因する瞬時停電あるいは瞬時電圧低下の対策として有効であり、電力供給の安定化に大きく寄与している。

今後も電力品質の維持と向上のため、高性能の送電用避雷装置を提供していく。

文献

- 鈴木洋典, ほか. “コンパクト形送電線避雷器の開発”. H14 電気学会全国大会. 東京, 2002-03, 電気学会, 2002, p.324-325.
- 安藤秀泰, ほか. ZnO 素子の動作電圧向上による避雷器の小型化. 東芝レビュー. 61, 10, 2006, p.66-69.
- 安食富和, ほか. “275 kV 送電用避雷装置の開発”. H21 電気学会全国大会. 札幌, 2009-03, 電気学会, 2009, p.416-417.



才田 敏之 SAIDA Toshiyuki

電力流通・産業システム社 電力流通システム事業部 電力変電技術部主務。変電システム・機器の開発に従事。電気学会, CIGRE 会員。

Transmission & Distribution Systems Div.



小松 克朗 KOMATSU Katsuki

電力流通・産業システム社 浜川崎工場 避雷器部主務。避雷器の設計・開発に従事。電気学会会員。

Hamakawasaki Operations



安食 富和 ANJIKI Tomikazu

電力流通・産業システム社 浜川崎工場 避雷器部。避雷器の設計・開発に従事。電気学会会員。

Hamakawasaki Operations