

ポリマー適用機器のシリーズ開発

齋藤弘樹*
木佐貫 治*

Series Development of Polymer Application Equipments

Hiroki Saito, Osamu Kisanuki

要 旨

送変電機器の気中絶縁支持物には従来重量物である磁器製のがいし・がい管が使用されてきたが、近年ではFRP（繊維強化プラスチック）と、外被材としてシリコンゴムなどの有機材料を組み合わせたポリマーがいし・がい管が国内外で適用されている。ポリマーは磁器に比べ軽量かつコンパクトなため、耐震性・施工性に優れていることや、外被ゴムが持つ撥水（はっすい）性によって優れた耐汚損性能を持っているなどの特長があり、海外では広く適用されている。一方、国内ではガス絶縁機器のブッシングや避雷器などの変電機器に限定的に適用されてきたが、2016年に電気協同研究第72巻第4号“ポリマーがい管の設計基準・試験法の標準化”が発行されたことを受け、今後ますますの適用拡大が見込まれる。

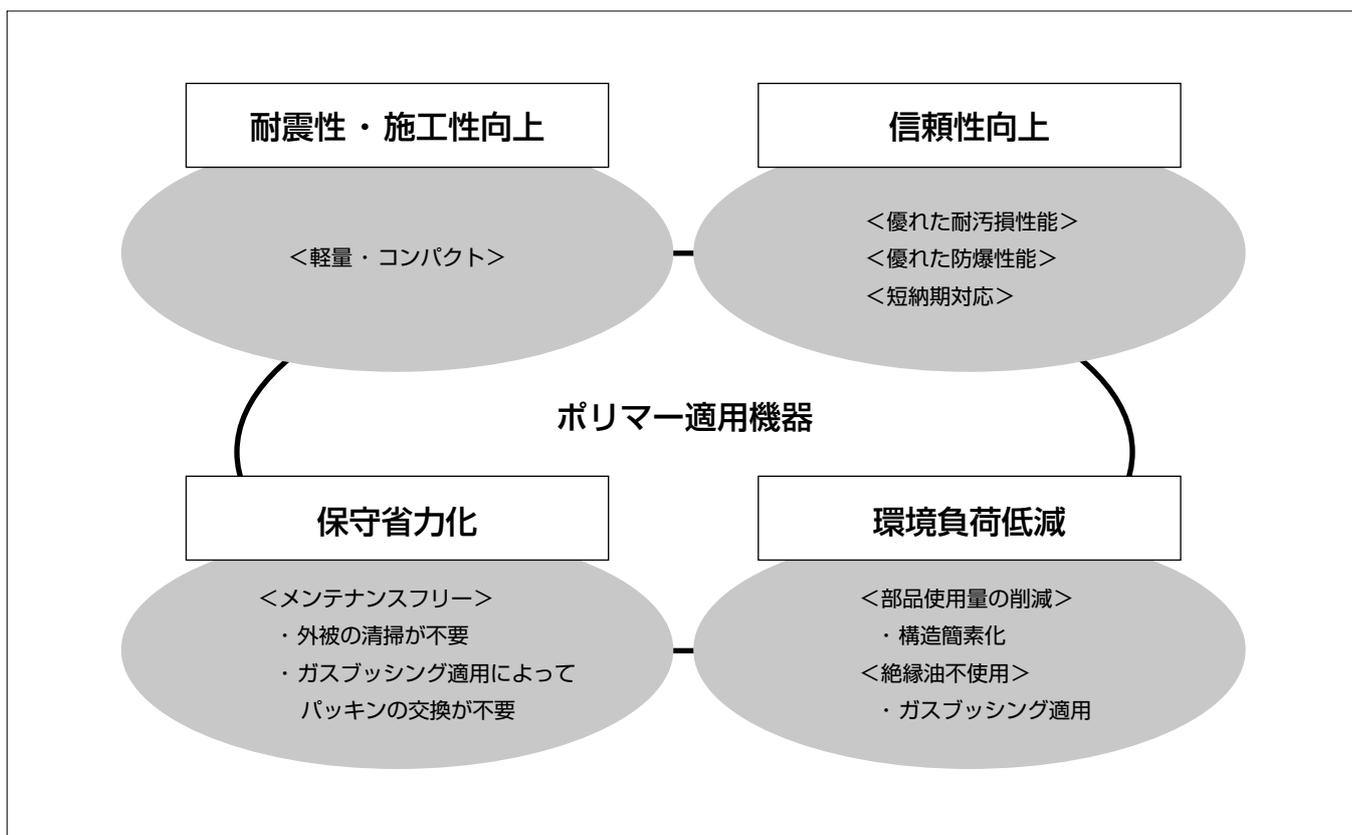
三菱電機ではポリマー適用に加えて最新の要素技術を取り入れることで、保守省力化や環境負荷低減にも寄与するポリマーブッシングとポリマー形避雷器のシリーズ開発を推進している。

(1) ポリマーブッシング

ポリマーがい管を用いたガス絶縁ブッシングの適用によって、大幅な軽量化と耐震性向上を図り、GIS(Gas Insulated Switchgear)／GCB(Gas Circuit Breaker)及び変圧器用への適用を進めている。

(2) ポリマー形避雷器

内部要素を直接ポリマー材料でモールドする構造の採用によって軽量・コンパクト化を図り、変電機器に限らず多用途への適用を進めている。



ポリマー適用機器のメリット

ポリマー適用に加えて最新の要素技術を取り入れることで、ポリマー適用機器のシリーズ開発を推進している。ポリマー適用機器のメリットは、①軽量・コンパクトによる“耐震性・施工性の向上”，②優れた耐汚損性能・防爆性能や短納期対応による“信頼性向上”，③メンテナンスフリーによる“保守省力化”，④部品点数削減や絶縁油不使用による“環境負荷低減”である。

1. ま え が き

送変電機器の気中絶縁支持物には、これまで重量物である磁器製のがいし・がい管が広く使用されており、当社でも磁器がい管を使用したブッシングや避雷器などを製造してきた。一方、近年では磁器製のものだけでなく、FRPと外被材にシリコーンゴムなどの有機材料を使用したポリマーがいし・がい管が国内外で適用されている。ポリマーは磁器に比べ軽量かつコンパクトなため、耐震性・施工性に優れていること、防爆性に優れていること、また、外被ゴムが持つ撥水性によって優れた耐汚損性能を持っているなどの特長があることから、海外では1980年代後半から適用されている。一方、国内では1990年代中頃からガス絶縁機器のブッシングや避雷器などの変電機器に一部適用されているが、ポリマーがい管には統一された設計基準や試験法が確立されていなかったことや、外被ゴムやポリマー機器の劣化評価方法や保守点検項目が設定されていなかったことから、その適用は限定的であった。そのため電気協同研究会で国内での適用拡大に向けた検討が行われ、2016年にポリマーがい管の設計基準・試験方法や保守点検項目などがまとめられた電気協同研究(以下“電協研”という。)第72巻第4号“ポリマーがい管の設計基準・試験法の標準化”が発行された。今後は、国内でもポリマー機器のますますの適用拡大が見込まれる。

このような状況から、当社ではポリマー適用に加え、最新の要素技術を取り入れることによって、保守省力化や環境負荷低減にも寄与するポリマーブッシングとポリマー形避雷器のシリーズ開発を推進している。

本稿では、各機器シリーズの開発状況や適用状況について述べる。

2. ポリマーブッシング

従来の変電機器用ブッシングには磁器がい管を用い、内部には絶縁油を封入した油入ブッシングが適用されていた。JEC(電気規格調査会)-124-1952で初めて規格化が行われ、その後JEC-183-1971で耐震性能が規定され、JEC-183-1984でがい管の汚損仕様(L, M, H号)が規定された。そしてJEC-5202-2007で、センタークランプブッシングの耐震構造、及びSF₆ガスを適用したガスブッシングが規格化された。

1960年代後半からGIS/GCBが運用されてきたが、この時期に納入した油入ブッシングは経年50年を迎え、パッキン劣化による油漏れやPCB(ポリ塩化ビフェニール)の問題があるため、今後計画的な更新が必要である。これらブッシングの更新には、軽量のポリマーガスブッシングが有効であり、また近年の耐震性向上のニーズから、電気協同研究会でポリマーブッシング適用に向けた検討が

行われた。現在、電協研第72巻第4号の発行を受け、ポリマーブッシングの規格化が検討されており、2019年にJEC-5202が改定される予定である。

2.1 GIS/GCB用ポリマーガスブッシング

定格550kVのブッシングの場合、ポリマーガスブッシングは、磁器ブッシングに対して質量比20%と大幅な軽量化が可能であり、これによって耐震性が向上し、GIS/GCBの架台・基礎の簡素化が図れる。海外では、防爆性・耐震性の目的から、1990年代初期から10,000本を超える適用実績があるが、国内での製品適用はわずかであった。そのため電気協同研究会で、国内での適用拡大に向けた検討が行われた。

この流れに対応して当社では設計・検証仕様面の検討を加えながら、GIS/GCB用として8,000Aまでのシリーズ化を完了し、2016年に新設550kV GISに適用した(図1)。これまでに定格500kV用で130本のポリマーガスブッシングを納入済みである。

2.2 変圧器用ポリマーガスブッシング

変圧器用ブッシングには、これまで磁器がい管を使用したコンデンサタイプ、ダイレクトモールドタイプのブッシングが適用されてきた。ポリマーガスブッシングを変圧器に適用する場合、変圧器は油絶縁のため、変圧器内部に差し込まれる部分には油とSF₆ガスを区分する絶縁物が必要になる。

これにGIS/GCBで適用されているエポキシ注型絶縁物を適用することによって、ブッシングの軽量化及び絶縁性能の確保を図りつつ、従来ブッシングと同等の取合いが可能な構造を確保した、新しい構成の変圧器用ポリマーガスブッシングを開発した(図2)。

気中側の主回路と大地間の絶縁支持にはGIS/GCBと同じポリマーがい管、油中側の絶縁支持にはGIS/GCBや変圧器-GIS直結部に適用している油ガススペーサ⁽²⁾⁽³⁾と同様のエポキシ注型絶縁物を適用した。さらに耐震性向上の



図1. 550kV GISへのポリマーガスブッシングの適用例⁽¹⁾

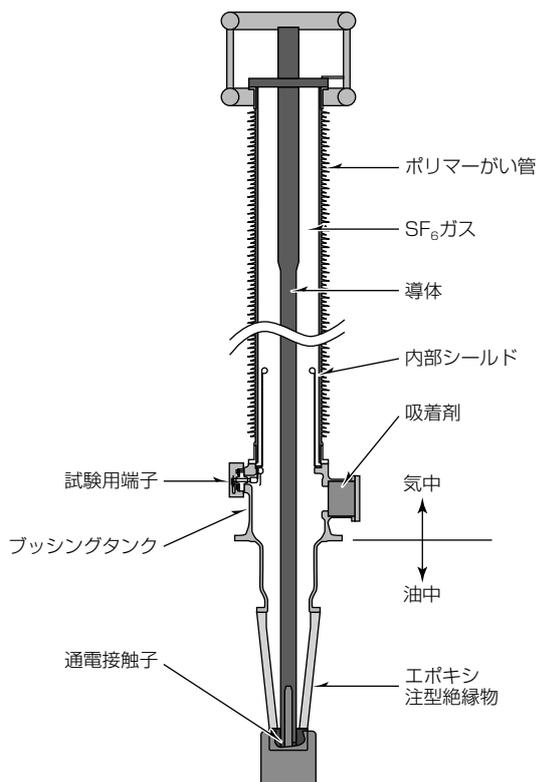


図2. 変圧器用ポリマーガスブッシングの構造

ため、内部をガス絶縁にして軽量化した。変圧器に取り付けられる油中部分の寸法構成は、JEC-5202-2007に記載の標準取合寸法に準拠しており、従来のコンデンサブッシングとの互換性を確保した。また、油とガスは区分されているため、将来ポリマーがい管の取替えなどが必要になった場合でも、変圧器の抜油を行うことなく、ブッシングのガス処理だけで組み替えることが可能である。図3に275kV変圧器への適用例を示す。

性能評価については、GIS/GCB用ポリマーガスブッシングと同様にJEC-5202に準拠した。また電協研第72巻第4号で形式試験項目に追加された試験についても実施し、性能を確認した。表1に形式試験項目を示す。なお追加された形式試験項目はJEC-5202の改定版にも反映される。

3. ポリマー形避雷器

ポリマー形避雷器は、1980年代から米国やヨーロッパなど海外で適用が始まった。ポリマー材料の進歩によって撥水性が持続するシリコンゴムが外被材として用いられると、磁器がい管を用いた磁器がいし形避雷器に比べ、小形・軽量で耐震性や防爆性、耐汚損性に優れることから、配電系統用から発電所用避雷器へと普及してきた。近年では送電用避雷装置や鉄道車両用など多用途へ適用が拡大している。次に各用途での技術動向や適用例を示す。

3.1 発電所用避雷器

ポリマー形避雷器の構造は、図4に示すポリマーがい管に放圧装置を備えるタイプ(デザインA)と、酸化亜鉛素子や支持絶縁物が直接シリコンゴム等のポリマー材料でモールドされて気相がないタイプ(デザインB)に大別される。国内では、2000年頃からデザインAが適用され、現在では、より小形・軽量化の効果が高くて配置自由度が向上するデザインBが主流となり、275kV系統用まで広く実フィールドに適用されている。2011年3月11日の東日本大震災では、多くの被害を受けた磁器がいし形避雷器と比較してポリマー形避雷器は単独での折損がなかったことが報告されている。



図3. 275kV変圧器へのポリマーガスブッシングの適用例

表1. ポリマーブッシングの形式試験項目

試験項目	準拠規格
外観検査, 寸法検査, 絶縁抵抗試験, 密封試験	JEC-5202-2007 (ブッシング)
商用周波耐電圧試験	
雷インパルス耐電圧試験	
開閉インパルス耐電圧試験	
部分放電試験	
温度上昇試験	電協研第72巻第4号
加熱試験	
可視コロナ試験	
人工汚損試験	
内部圧力試験, 曲げ試験	
耐震試験	

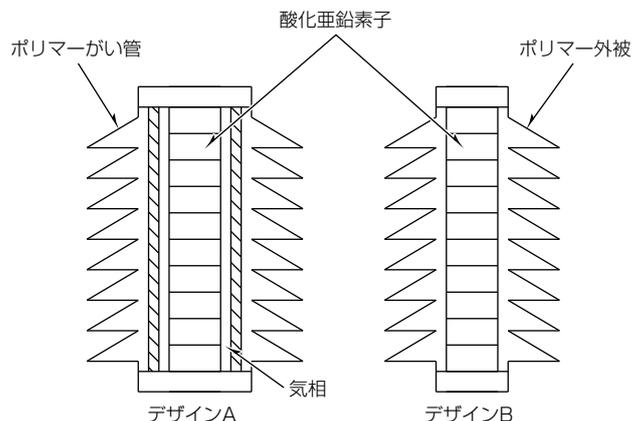


図4. ポリマー形避雷器の種類



(a) 154kV系統用



(b) 275kV系統用

図5. 変電所用ポリマー形避雷器

発電機用避雷器のIEC(International Electrotechnical Commission)規格(IEC 60099-4)では、2004年にポリマー形避雷器の試験法が規定された。この規格を参考にして国内でも2008年にJEC-TR-23002(ポリマー形避雷器)が発行され、活用されてきた。現在は、電協研第72巻第4号での検討結果や最新のIEC規格を基にポリマー形避雷器の規格化が進められており、2019年にJEC-2374(酸化亜鉛形避雷器)が改定される予定である。

当社では現在、3.3~500kV系統変電所用(図5)と、3.3~33kV発電機保護用をシリーズ化し⁽⁴⁾⁽⁵⁾、主に電力会社向けに多数納入している。

3.2 送電用避雷装置・直流き電回路用避雷器

送電線事故の約40%が雷に起因しており、これを抑制するための効果的な施策として、送電用避雷装置(Line Surge Arresters : LSA)が適用されている。LSAは、表2に示すように、気中ギャップと避雷要素部(素子を内蔵)からなるギャップ付送電用避雷装置(Externally Gapped Line Arresters : EGLA)とギャップなし送電用避雷装置(Non Gapped Line Arresters : NGLA)に大別される。

表2. 送電用避雷装置の種類と特長

	ギャップ付(EGLA)	ギャップなし(NGLA)
構成		
保護性能	がいし装置の耐電圧と、気中ギャップの放電特性/続流遮断性能の協調が必要。開閉サージでは動作しない。	変電所避雷器と同等性能で、開閉サージも抑制する。
サイズ	気中ギャップがあるため、避雷器要素部に系統電圧、開閉サージ、短時間過電圧がかからず、小形軽量化できる。	変電所避雷器と同等仕様になるため、大幅な小形化は難しい。
故障時の性能	気中ギャップがあるため再送電可能。	速やかな再送電のためには、切離し装置の設置が必要。

国内ではEGLAが一般的で、がいし装置に過電圧が加わると、最初に気中ギャップが放電し、がいし装置を保護する。気中ギャップと避雷要素部には、雷による放電電流が流れた後、系統電圧による電流(続流)が流れるが、酸化亜鉛素子の特性によって続流は非常に小さく(mAオーダー)絞られて半サイクル以内に気中ギャップで消弧されるため、変電所の遮断器動作はなく、系統の絶縁が回復する。常時は気中ギャップによって切り離されており、開閉サージや短時間過電圧に対して動作しないように設定されているため、避雷要素部を小形・軽量化でき、万一の避雷要素部の故障時も送電線の運転が継続できる特長がある。

一方、NGLAは、動作原理は変電所の避雷器と同じであり、開閉サージに対しても動作して抑制する。万一の故障時にも速やかに再送電ができるように、切離し装置を設けるのが一般的である。日本では、1980年代前半にNGLAの研究が行われたが、1980年代中頃から、万一の故障時の運転継続性と小形軽量化の点で優れているEGLAが主流となって急速に適用拡大しており、2009年時点で既に24万相以上が設置されている。2000年代初頭からは、架空地線の遮蔽効果から放電電流仕様が再検討されて酸化亜鉛素子の細径化が図られたことに加え、ポリマー外被や高抵抗素子の適用によって大幅に小形・軽量化した、コンパクト形EGLA(図6)が主流になっている。

当社では現在、66~187kV系統用のコンパクト形EGLAをシリーズ化し⁽⁶⁾、主に国内電力会社向けに多数納入している。

また、近年では変電所き電線引き出し口等に設置する地上設備用や電鉄車両用などのポリマー形を含めた直流き電回路用避雷器がIEC規格化(IEC 62848-1)されるなど、多用途への適用が拡大している。当社でも、600~1,500V直流き電回路用(図7)をシリーズ化し⁽⁷⁾、主に鉄道事業者向けに多数納入している。

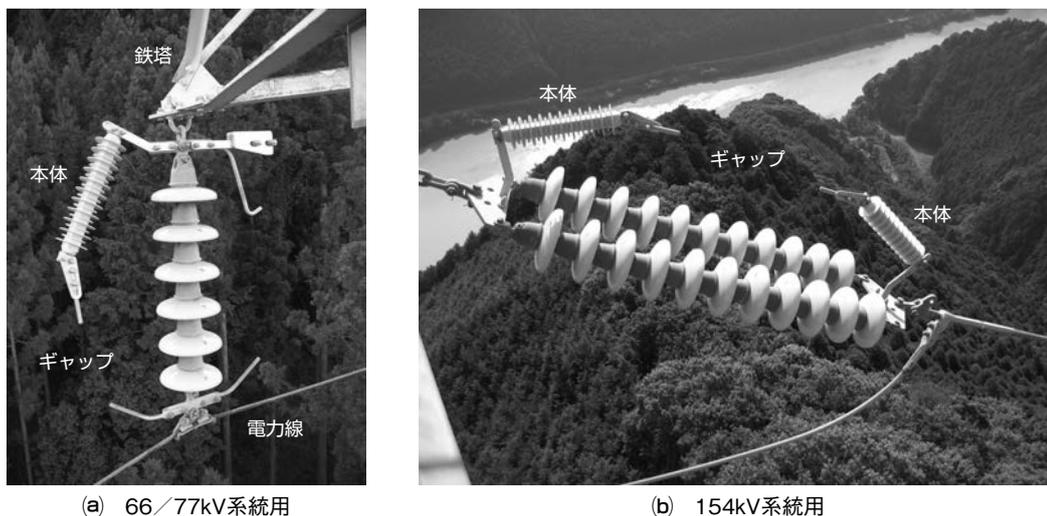


図6. コンパクト形EGLA



図7. 直流き電回路用ポリマー形避雷器

4. む す び

ポリマーは磁器に比べて軽量かつコンパクトなため、耐震性・施工性が向上すること、防爆性に優れていること、また、外被ゴムが持つ撥水性によって優れた耐汚損性能を持っているため信頼性が向上するなどの適用メリットによって、国内外で適用が拡大している。当社ではポリマー適用に加え、最新の要素技術を取り入れることによって、保守省力化や環境負荷低減にも寄与するポリマーブッシングとポリマー形避雷器のシリーズ開発を推進しており、ポ

リマー機器の適用を拡大していくことによって、電力系統の信頼性向上に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 中内慎一郎, ほか: 大容量550kV縮小形GISの開発, 平成27年電気学会電力・エネルギー部門大会, 291 (2015)
- (2) 木佐貫 治, ほか: 500kV及び275(220)kV油-ガススペーサの開発, 平成25年電気学会電力・エネルギー部門高電圧研究会, HV-13-072, 13~18 (2013)
- (3) 木佐貫 治, ほか: 変圧器用ポリマーガスブッシングの開発, 平成28年電気学会電力・エネルギー部門大会, 330 (2016)
- (4) 楫野宏樹, ほか: 酸化亜鉛形避雷器の技術動向, 平成29年電気学会電力・エネルギー部門高電圧研究会, HV-17-046, 143~148 (2017)
- (5) 500kV系統用ポリマー形避雷器, 三菱電機技報, 91, No.1, 11 (2017)
- (6) Yamaguchi, M., et al.: Design Features and Performance of Transmission Line Arresters with Series Gap, ICEE (2008)
- (7) 齋藤弘樹, ほか: 鉄道車両用ポリマー形直流避雷器の開発, 平成23年電気学会電力・エネルギー部門大会, 309 (2011)