

最新の550 kVガス絶縁開閉装置技術 — 新形ガス絶縁母線及び超高耐圧避雷器

New Equipment for Replacement of Aged 550 kV Gas-Insulated Switchgears

細川 修 中野 修 深野 孝人
■ HOSOKAWA Osamu ■ NAKANO Osamu ■ FUKANO Takato

電力の送変電系統では、現在、設置後30年以上が経過した高経年開閉装置が多数稼働している。これらの多くは適用技術が古い空気遮断器や、初期型のガス絶縁開閉装置 (GIS)であり、(1)品質を確保するために必要な保守用品の入手が困難あるいは不可能になっている、(2)長年にわたる運用の結果主要部品に劣化の兆候が現れている、といった問題が発生している。このためユーザーでは、これらの機器を計画的に更新することが検討されている。一方、機器の更新には、更新工事の停止範囲の極小化と停止期間の短縮や、基礎コンクリートなど既設付帯設備の流用範囲の最大化、既設機器との容易な接続といった新たなニーズが出てきている。

東芝は、これらのニーズに応じて、各種の最新技術を取り込んだ機器開発を進めている。今回、現行機種に比べて小型・軽量化と構造の簡素化を実現した、新形550 kVガス絶縁母線 (GIB) 及び新形超高耐圧避雷器を開発した。

A large number of aged switchgears are now operating in the field. However, it is difficult to obtain maintenance parts for air-blast breakers (ABBs) with old technology and early gas-insulated switchgears (GIS), and the main components are manifesting signs of degradation due to their longtime operation. As a solution to this issue, systematic replacement of aged switchgears is being planned to maintain their reliability. One the other hand, the replacement equipment must fulfill certain requirements such as minimization of the outage area, shortening of the replacement period, maximization of the usage of existing facilities such as equipment foundations, and easy connection with existing equipment.

In response to these circumstances, Toshiba is promoting the development of replacement equipment applying various new technologies, and has now developed a 550 kV gas-insulated busbar (GIB) and an ultrahigh-withstandvoltage arrester for this purpose.

1 まえがき

わが国では多くの電力会社において、1970年代半ばの電力系統拡充期に送電電圧が500 kVに昇圧されており、この時期に納入した設備が30～40年の高経年期を迎つつある。一方で基幹系統の整備は一段落した状況にあり、大規模な新設・増設工事は非常に少なくなっていることから、今後は高経年機器の更新工事が重要性を増していくと予想される。

これらの更新工事では、停止範囲の極小化や、停止期間の短縮、基礎コンクリートなどの既設付帯設備の流用範囲の最大化、既設機器との接続の容易さといった新たなニーズが出てきている。特に500 kV変電所の既設空気遮断器を更新してGIS化する場合は、変電機器の設置スペースが大幅に低減できるのに対し、送電線の引込み口の位置は変更できないため、GISから送電線引込み口までを長尺のGIBなどで接続する必要がある。

東芝は、こうしたニーズに応えるため、経年機器の更新を目的として、新形550 kV GISの開発を進めている。ここでは、こうしたGISに対するユーザーニーズと、それに従ってGISの第1段階として開発した、新形550 kV GIB及び新形超高耐圧避雷器の特長と適用した技術について述べる。

2 GIS開発において配慮すべきユーザーニーズ

高経年機器の更新工事を中心になる時代では、かつての高電圧・大電流化という流れではなく、以下に示すようなユーザーニーズに応えられるGISが必要になると考えられる。

2.1 機器の一体化とコンパクト化

更新工事にあたっては既設の回線を停止する必要があるが、系統を安定して運用するためには、停止期間を極力短縮することが要求される。これらのニーズに応えるためには、機器をできる限り組み立てた状態で現地に搬入し据付け工期を短縮するとともに、既設機器に影響を与えずに空きスペースに据付けできるような機器のコンパクト化が求められる。

2.2 既設基礎コンクリートの流用

既設の基礎と同じ位置に更新を行う場合、基礎コンクリートを改造すると、回線を非常に長い期間停止しなければならない。このため、更新を行う機器には、コンパクト化とともに、既設の基礎コンクリートを流用できるように大幅な軽量化も要求される。

2.3 既設送電線への接続対応

既設の空気遮断器をGISに更新する場合、GISの設置スペースは大幅に低減できるものの、送電線の引込み口の位置

は変更できない。このため、GISから送電線引込み口までの接続が長尺化する。したがって、更新用のGISには、GISと送電線引込み口の間を容易に接続できる構造が求められる。

2.4 環境負荷の低減

現在の社会情勢から、環境負荷低減にも配慮する必要がある。

3 新形の550 kV GIB

3.1. 開発仕様の合理化

今回、新形550 kV GIBを開発するにあたり、以下に示す仕様の合理化を行った。

(1) 相間雷インパルス耐電圧試験仕様値の低減 当社はこれまでに、雷サージ電圧についての膨大なデータを蓄積し、また非標準雷インパルス電圧波形に対する評価方法を確立してきた。これらに基づいて、相間雷インパルス耐電圧試験の仕様値を見直した。現行の550 kV GIBでは、対地雷インパルス耐電圧試験値の1.5倍である2,138 kVと規定していたが、新形550 kV GIBでは1,950 kVに低減した。

(2) GIB各部の温度上昇限度仕様値の格上げ 部分モデルを使った基礎実験の結果、新形GIBの導体接触部及び絶縁物は現行器よりも高い温度上昇に耐えることが確認できた。このため、温度上昇限度の仕様値を現行の75 K(ケルビン)から85 Kに、タンクの温度上昇限度の仕様値を現行の40 Kから50 Kに、それぞれ格上げすることでGIBの構造をコンパクトにした。

3.2 特長

今回開発した新形550 kV GIBの仕様を表1に、現行GIBとの構造の比較を図1に示す。構造上の特長は、次に示すと

項目	仕様		
適用規格	JEC-2350-2005*		
定格電圧	550 kV		
定格周波数	50 Hz		
定格電流	2,000 A, 4,000 A, 6,000 A, 8,000 A		
定格短時間耐電流	63 kA (2 s)		
定格ガス圧	0.4 MPa		
雷インパルス耐電圧	対地	1,425 kV	
	相間	1,950 kV	
商用周波耐電圧	475 kV (30 min) -635 kV (1 min) -475 kV (30 min)		
温度上昇限度	接触部・導体接続部	85 K	
	絶縁物	85 K	
	機械的構造部分	手を触れるところ	10 K
		接近しうる外表面	50 K
	接近できない外表面	70 K	

* 電気学会 電気規格調査会標準規格 2350-2005

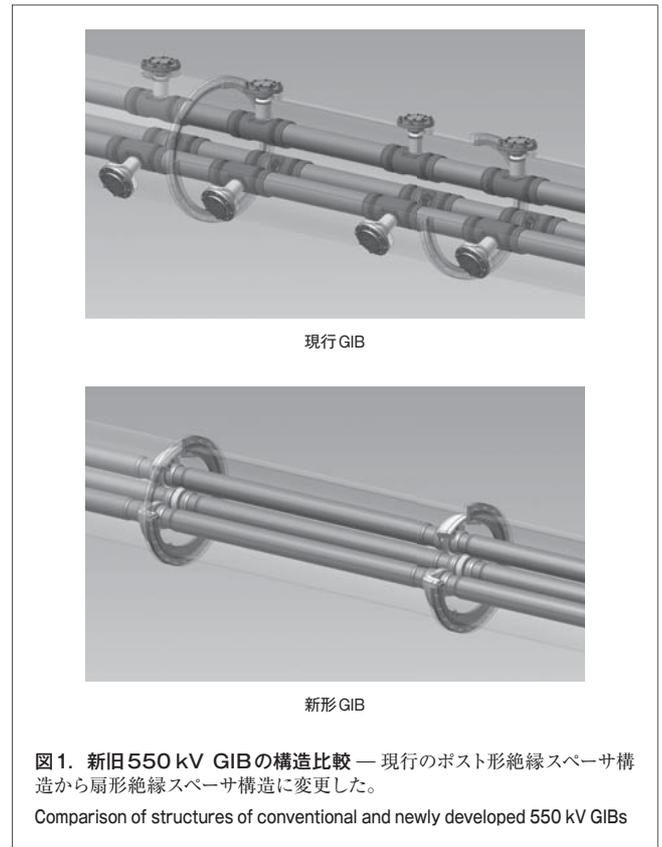


図1. 新旧550 kV GIBの構造比較 — 現行のポスト形絶縁スペーサ構造から扇形絶縁スペーサ構造に変更した。

Comparison of structures of conventional and newly developed 550 kV GIBs

おりである。

(1) GIB構造の縮小 新形550 kV GIBは、三相母線内部の各相の導体間距離及びタンク径を縮小化した構造が最大の特長である。GIBの導体は、上方に向かっては凸型の正三角形に配置しており、導体間の距離は、相間インパルス耐電圧試験値が支配的になる。また、タンク径は、雷インパルス耐電圧試験値から決まる絶縁距離、及び定格電流通電時の温度上昇値が支配的になる。このため、相間雷インパルス耐電圧試験値の低減及び各部の温度上昇限度仕様値の格上げによって、構造の縮小化を達成した。

(2) 導体支持構造の簡素化 3次元電界解析や応力解析など各種の解析技術が進歩して、従来よりも複雑な形状の絶縁スペーサを設計評価できるようになった。こうした解析を使い、現行のポスト形絶縁スペーサを用いた支持構造から、今回、扇形絶縁スペーサを用いた支持構造へ変更した(図2, 図3)。扇形絶縁スペーサ構造を適用した結果、タンクフランジ部へ絶縁スペーサを取り付けられるようになり、タンク側面の絶縁スペーサ取り付け座を不要にして絶縁スペーサ支持構造を簡素化できた。これによってGIBの加工工数を大幅に低減できた。

(3) 銅(Cu)被覆アルミニウム(Al)導体の適用 Al導体の外表面だけをCu材で被覆することで、Cuの使用量を極力少なくし、大幅に軽量化して組立作業性を改善するととも



図2. 扇形絶縁スペーサー — GIBタンクのフランジ部に絶縁スペーサを取り付けて、共締めできる構造にしている。

Sectorial insulating spacer

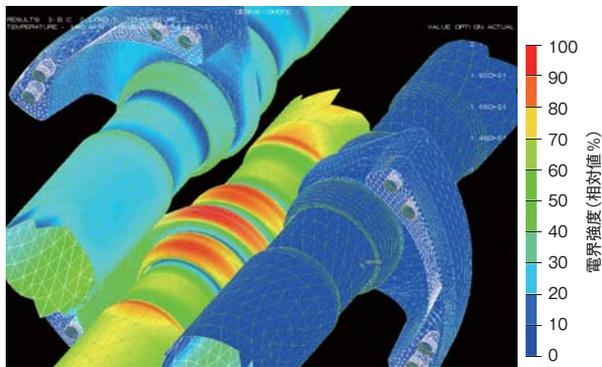


図3. 扇形絶縁スペーサ部の3次元電界解析 — 3次元解析によって扇形絶縁スペーサ部の電界及び応力を評価した。

Three-dimensional analysis of electric field of sectorial insulating spacer



図4. Cu被覆Al導体 — Al導体の外表面をCu材で被覆することで、表皮効果による大容量通電を実現した。

Copper-coated aluminum conductor

に、表皮効果による大容量通電ができるようにした(図4)。

4 新形超高耐圧避雷器

今回開発した新形超高耐圧避雷器の仕様を表2に、現行避

表2. 新旧避雷器の仕様比較

Comparison of specifications of conventional and newly developed arresters

項目	仕様	
	現行器	新形器
適用規格	JEC-2372-1995	
定格電圧(実効値)	420 kV	
連続使用電圧(実効値)	550/√3 kV	
公称放電電流(波高値)	10 kA	
開閉サージ放電耐量クラス	A	
定格ガス圧	0.4 MPa	
雷インパルス耐電圧(波高値)	1,300 kV	
商用周波耐電圧(実効値)	475 kV-635 kV-475 kV (30 min) - (1 min) - (30 min)	
動作開始電圧 (波高値: 漏れ電流3 mAのとき)	565 kV	599 kV
急峻(きゆうしゆん)雷インパルス 制限電圧(波高値: 10 kAのとき)	940 kV	918 kV
雷インパルス制限電圧 (波高値: 10 kAのとき)	870 kV	835 kV
開閉インパルス制限電圧 (波高値: 3 kAのとき)	800 kV	768 kV
タンク内径	100 %	75 %
全高寸法	100 %	50 %

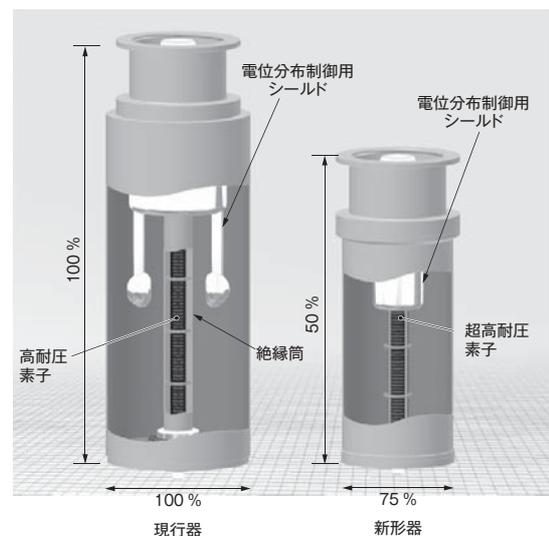


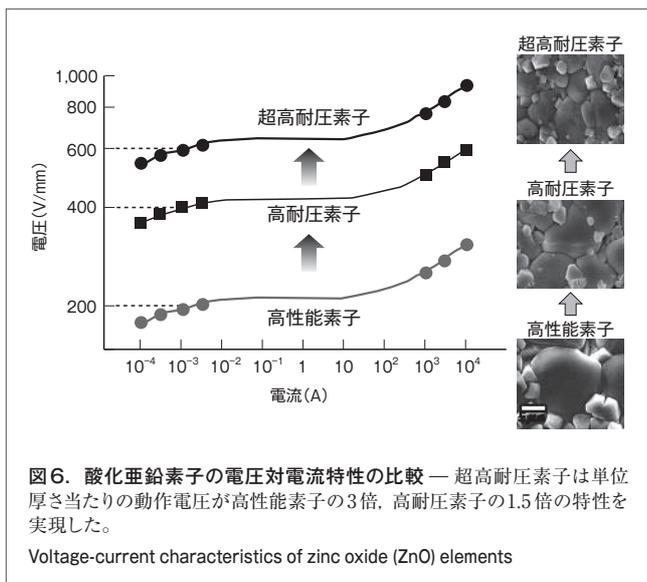
図5. 550 kV GIS用避雷器の構造の比較 — 新形器は、現行器と比べ全高寸法50%、タンク径75%と大幅に縮小した。

Comparison of structures of conventional and newly developed arresters

雷器との構造比較を図5に示す。新形超高耐圧避雷器の特長は、次に示すとおりである。

4.1 超高耐圧素子の適用

素子の細粒化によって、単位厚さ当たりの動作電圧が高性能素子比で3倍、高耐圧素子比で1.5倍の特性を実現した超高耐圧素子を開発し、適用した(図6)。超高耐圧素子の優れた非直線性のため、現行の高性能素子を適用した避雷器と比



べて雷インパルス制限電圧や開閉インパルス制限電圧といった保護特性が4%向上している。

4.2 避雷器内部構造の簡素化

単位厚さ当たりの動作電圧が向上した超高耐圧素子を適用したことで、避雷器全高の低減ができ、電位分布制御用シールド形状の最適化、及び酸化亜鉛素子セクションを収納して支持するための絶縁筒の省略による構造の簡素化ができた。これによって、タンク径の細径化、及び全高寸法の低減ができ、60%の容積低減、40%の質量削減という、小型・軽量化を実現した。

5 検証試験

今回開発した新形GIB及び新形超高耐圧避雷器は、電気学会 電気規格調査会 (JEC) 標準規格及びユーザー規格に規定された形式試験及び性能検証試験を行い、開発仕様を満足することを確認した。主な性能検証試験項目を以下に示す。

5.1 550 kV GIBの検証試験

- (1) 温度上昇試験 温度上昇値の測定に合わせて、磁界や、騒音、振動などを測定し、総合的に性能確認試験を実施した。
- (2) 短時間耐電流試験 3相及び2相短絡の条件において性能確認試験を実施した。
- (3) 耐電圧試験 規格試験に加えて、閃絡(せんらく)試験や、直流耐電圧試験(図7)、異物付着試験など、ユーザーニーズに合わせて実運用状態を考慮した裕度確認試験を実施した。

5.2 避雷器の検証試験

今回開発した避雷器は絶縁筒を省略しているため、構造的な強度を確認するために以下の検証を実施した。

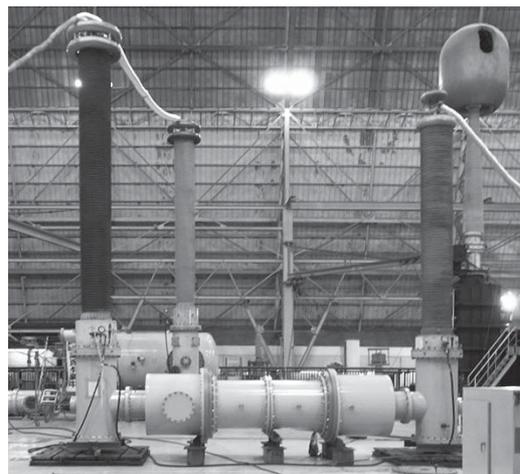


図7. 550 kV GIB直流耐電圧試験 — 実運用状態を考慮した裕度確認試験として直流耐電圧試験を実施した。

Withstand DC voltage test of 550 kV GIB

- (1) 輸送試験 輸送試験の前後で避雷器の静特性に実質的変化がないこと、また、素子を含む内部構造物に異常がないことを確認した。
- (2) 衝撃落下試験 避雷器に落下衝撃(最大65.7 m/s² (6.7 G))を与え、素子を含む内部構造物に異常がなく、かつ各部に発生する応力が許容値以下であることを確認した。

6 あとがき

今回、新形550 kV GISの第1段階として、新形550 kV GIB及び新形超高耐圧避雷器の開発を完了した。

当社は、これらの機器を用いて、更新工事に対するユーザーニーズに応える新型550kV GISの開発を進めている。



細川 修 HOSOKAWA Osamu

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 電力変電技術部グループ長。変電機器のエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。
Transmission & Distribution Systems Div.



中野 修 NAKANO Osamu

社会インフラシステム社 浜川崎工場 開閉装置部主務。ガス絶縁開閉装置の設計に従事。電気学会会員。
Hamakawasaki Operations



深野 孝人 FUKANO Takato

社会インフラシステム社 浜川崎工場 避雷器部主務。避雷器の設計に従事。電気学会会員。
Hamakawasaki Operations