

# 多様な保全・更新ニーズに応える技術

## Maintenance and Renewal Technologies Meeting Various Requirements of Existing Major Substation Equipment

才田 敏之      佐藤 純正      石原 祐二

■ SAIDA Toshiyuki      ■ SATO Yoshimasa      ■ ISHIHARA Yuji

電力系統の運用条件は変化していくため、稼働年数が非常に長い設備の保全と更新にあたっては、運用開始当初の仕様に比べて高い機能や付加価値を求められる傾向にある。また、基幹系統拡充計画がほぼ一段落したわが国の変電所設備では、膨大な既設設備に対する設備保全策の一つとして、経年機器の全体あるいは一部の更新や簡易な装置を追加設置することによって、設備全体の長期的な健全性の維持や延命化を図るといったニーズが今後いっそう高まってくると考えられる。

これらの保全・更新ニーズに応えるために、東芝は技術開発を絶え間なく行っている。

The operational condition of power systems is changing as utilities request additional functions and more value-added functions in aged equipment. The requirements of these aged facilities differ from those when they began operation. Since the establishment of the major power system in Japan has been completed, future requirements will focus on further technological development to preserve the long-term operation and extend the life of all substation facilities. This can be achieved by full or partial replacement of aged equipment or by the addition of simple smart devices that are designed to assist the operations of existing major substation equipment.

Toshiba has been developing technologies for existing major substation equipment to meet the various requirements of users.

### 1 まえがき

1990年代まで続いた、わが国の基幹系統を中心とした設備拡充計画に対して、東芝は常に最新技術を適用した新形製品を投入するために研究と開発を進めてきた。一方、電力系統の運用条件は常に変化しうるものであり、稼働年数が非常に長い経年設備の保全及び更新にあたっては、運用開始当初の仕様に比べて高い機能と付加価値を求められる傾向にある。また、基幹系統整備がおおむね一段落した今日では、膨大な既設設備の今後の保全に着目した技術への関心やニーズが高まってきている。

このような状況のなか、新技術導入により納入時よりも高い要求事項に配慮した更新事例や、簡易な装置を追加設置することにより高い付加価値を提供した事例も出てくるようになってきている。ここでは、以下の代表的な保全・更新例について述べる。

- (1) 系統の短絡電流増大に応える機器内部故障時のタンク防爆性能に優れたガス絶縁変圧器やガス絶縁リアクトルの適用
- (2) 保守省力化要求に応える次世代形デジタルリレーや油入変圧器用真空バルブ式負荷時タップ切換器(LTC: on-Load Tap Changer)の適用
- (3) 運転信頼性向上要求に応えるガス循環式のガス絶縁開閉装置(GIS: Gas Insulated Switchgear)の封じ切り化、ネットワーク端末、遮断器位相制御開閉、及びポリマー避雷器の適用

### 2 電力系統の短絡電流増大に応える取組み

都市部では用地確保の難しさや景観上の配慮から、大規模な地下式変電所が多く建設されている。一方、人口密集地域への電力安定供給を行うために設備拡充が行われた結果、地域によっては系統の短絡電流が増大する傾向にある。

ここでは、東京都心部の地下式変電所である東京電力(株)池上変電所で、既設の275 kV油入変圧器を系統の短絡電流増大に対応して、外部タンクの防爆性に優れたガス絶縁変圧器に更新した例を述べる。

油入機器では油面調整用に機器の最上部に必須となるコンサバータがガス絶縁機器では不要となるので、機器の上方空間には比較的余裕ができる。そのため、本体タンクの上に機器冷却用の水-ガス熱交換器を配置しつつ、保守性を考えて専用の点検フロアや照明を熱交換器の高さに設けるなど、運転保守性を高めることができる。

ガス絶縁変圧器と油入変圧器の内部短絡故障時の内部圧力上昇特性を模式的に図1に示す。ガス絶縁変圧器内部の主絶縁媒体である六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)ガスは常温で気体であることから圧縮性に富み、内部短絡故障が発生しても内部圧力はあまり上昇しないが、油入変圧器内部の主絶縁媒体である絶縁油は常温で液体であり圧縮性に乏しいため、内部故障時は圧力が上昇しやすい。これら絶縁媒体の特性の違いにより、ガス絶縁変圧器は油入変圧器に比べて内部短絡故障時のタンク防爆性能に優れている。

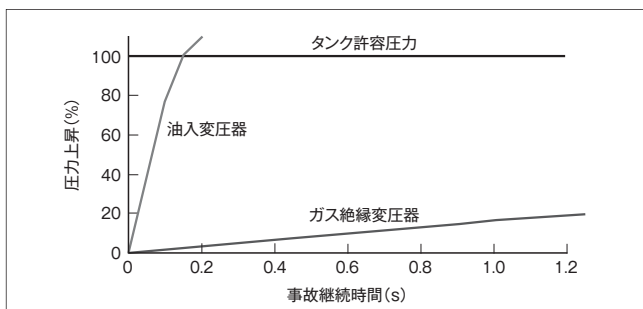


図1. 内部短絡故障時の圧力上昇特性 — ガス絶縁変圧器は油入変圧器に比べてタンクの圧力上昇が小さく、タンクの防爆性に優れている。

Typical pressure increase in transformer tank after internal short-circuit failure

またガス絶縁機器は、SF<sub>6</sub>ガスが不燃性の性質も併せ持つので、ほかの使用部材と合わせ変圧器を不燃化できることから、変電所の防災性の向上も同時に図ることができる。

池上変電所では系統の短絡電流が31.5 kAから50 kAに格上げされたことに伴い、短絡電流50 kAの機器内部故障が発生しても外部タンクがその内圧上昇に耐えるように、275 kV-300 MVA 変圧器3台と275 kV-150 MVA 分路リアクトル2台を更新する必要があった。現在までに変圧器2台と分路リアクトル1台の更新工事が完了し、既に商用運転を開始している。更新したガス絶縁変圧器の外形を図2に、定格を表1に示す。

そのほか、豪州クイーンズランド州の自然環境保護に特に厳しい地域で、絶縁油の外部環境への流出リスクを排除するために、既設の油入変圧器を当社製ガス絶縁変圧器に更新した

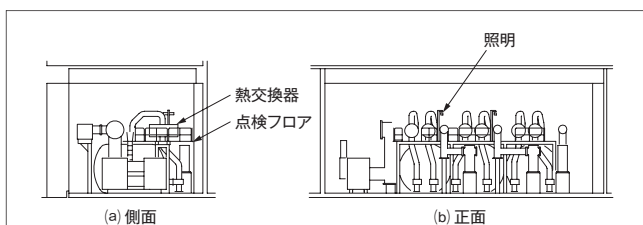


図2. ガス絶縁変圧器の外形 — 屋内地下式変電所へ適用したレイアウト例である。油入機器で必須のコンサベータがガス絶縁機器では不要となるため、機器の上方に熱交換器と点検フロア及び照明を設置した。

Outline and specifications of gas-insulated transformer (GIT)

表1. ガス絶縁変圧器の定格

Ratings of GIT

項目	仕様
電圧	275 kV±10 % /66 kV/21 kV
容量	300 MVA/300 MVA/90 MVA
インピーダンス	22 %
ガス圧力	0.4 MPa
騒音	85dB(A) (JEM規格)

JEM：日本電機工業会

例もある。

### 3 保守業務の省力化に応える取組み

#### 3.1 次世代デジタルリレーの適用による保守性向上

保護リレー装置に次世代デジタルリレー（以下、D4リレーと記す）を適用することにより、従来形デジタルリレーに対して演算処理能力の向上と回路集約を図るとともに機能単位の独立性を高め、信頼性と長期供給性を向上させた。また、ヒューマンインタフェース（HI）など運用保守支援機能を改良し、保守性の向上を図った（図3）<sup>(1)</sup>。

**3.1.1 システム構成** D4リレーは、アナログ入力部、演算処理部、及びデジタル入出力部の独立性を高め、各機能ブロックを伝送で結合する構成とし、保護リレー装置の信頼性と長期供給性及び保守性の向上を図っている。また、演算処理部は、MPU（Micro Processing Unit）の高速信号と周辺信号間の相互干渉を排除できるモジュール構成とし、信頼性を向上させた。

また、各機能ブロックの独立性を高めたシステム構成や演算処理部のモジュール化は、部品改廃や進展の早い技術革新を必要な部位に反映させる設計変更を容易にし、製品の長期供給性を向上できる。

**3.1.2 運用保守支援機能の向上** D4リレーでは保守性の向上を図るため、以下の機能を改良した。

##### (1) HI機能

(a) パソコン（PC）HI D4リレーに実装したWebサーバ機能とPC上の汎用ブラウザソフトを利用してHI機能を実現するもので、通信ネットワークを介して保護リレー装置に接続し、装置の状態把握などの運用保守業務を効率化できる。



図3. 送電線保護リレー装置 — 保守性に優れたD4リレーを採用した。Protection of equipment by applying D4 relay

また、キーボード入力や画面のスクロール表示などPCの一般的な操作機構を活用して、画面の閲覧と操作がしやすくなっている。更に、セキュリティ強化によるHI機能接続時のユーザー認証機能の標準実装や、運用状態画面でのリレー動作表示の応答性向上、整定画面での表示内容の充実、離散整定値のプルダウンメニューによる選択方式の採用など、操作性が向上している。

- (b) HIパネル 装置前面のHIパネルに、整定値、動作内容、異常内容などを表示する小形の液晶画面を実装し、装置状態の概要を容易に確認できる。PCを接続することなく巡視点検や障害発生時の一次診断を行える。
- (2) 系統事故解析機能 保護リレー装置が動作した場合に系統事故の現象と装置の応動を解析するデータアナライザとPCのHI機能とのリンク機構の強化により、系統事故を簡単に解析できる。図4に示すように、動作内容画面で起動ボタンを選択操作してデータアナライザを起動し、系統事故の発生前後における電圧、電流の波形と、リレー単体要素やシーケンスの動作情報などのデータを対比させて表示できる。
- (3) 障害部位特定機能 D4リレーでは、ハードウェア故障などにより保護リレー装置の機能に障害が発生した際、以下に示すように、サイト及び工場で迅速かつ正確に障害部位を特定できるようにした。これより、障害対応業務が効率化し、保護リレー装置の迅速な復旧が可能である。
  - (a) サイト PCのHI画面に“不良詳細情報”を表示し、展開接続図に記載されている符号と照合することで、容易に障害部位を特定できる。



- (b) 工場 PCのHI機能でダウンロードした、又は、サイトでUSB (Universal Serial Bus) メモリにダウンロードした不良詳細情報ファイルをメールなどで工場に送付することで、障害部位の詳細な解析ができる。

### 3.2 真空バルブ式LTCへの更新による保守性の向上

LTCは、変圧器運転中（負荷時）にタップを切り換える装置であり、一般に、運転するタップを選択するタップ選択器と、選ばれたタップに回路を切り換える切換開閉器で構成されている。切換開閉器は通電状態で回路を切り換えるため変圧器本体とは別の油容器に収められ、その容器内でアークを切りながら回路を切り換えている。このため、アークを切る接点の消耗は不可避で保守交換が必要であるだけでなく、油中アークにより発生するカーボンスラッジをろ過する必要があり、LTCの外部にろ過用の活線浄油機が必要である。

LTCの保守管理軽減のニーズに応えるために開発した、真

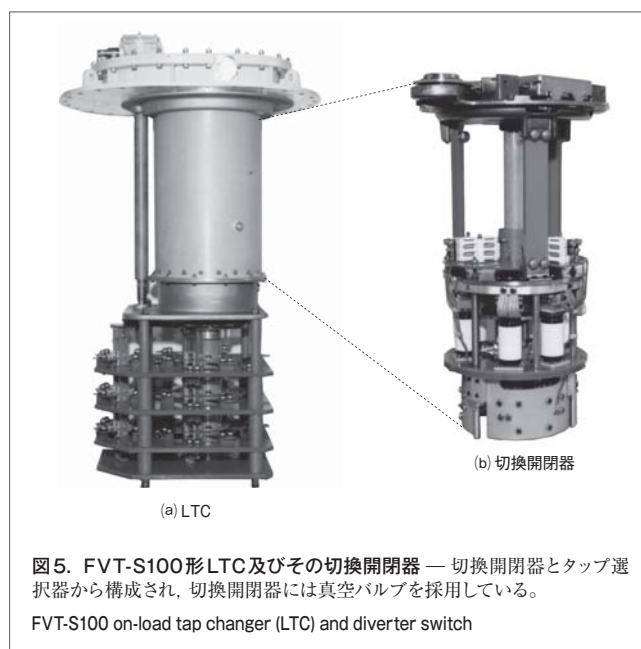


表2. 真空バルブ式と油中切換式の相違点

Differences between LTCs of vacuum interrupter type and arcing contact type

		真空バルブ式LTC	油中切換式LTC
定 格	電 圧 (V)	1,000	1,000
	電 流 (A)	350	205
切換回路方式		真空バルブ式	油中アーク式
変圧器タンク釣り下げ長 (mm)		1,582	1,860
LTC総質量 (kg)		410	420
絶縁油汚損		アーク汚損なし	アーク汚損あり
点検周期		10年若しくは10万回	5年若しくは10万回 (東芝従来器)
接点不均等消耗		消耗量少ない	変圧器負荷により不均等消耗
活線浄油機		不要	要



空バルブ式LTCは66又は77 kV-20又は30 MVA級変圧器に主として使用されており、密閉された真空バルブ内で電流開閉を行い、油中ではアークを切らない構成となっている。その内部構造を図5に示す。

従来用いられてきた油中切換式と真空バルブ式LTCの主な相違点を表2に示す。真空バルブ式LTCは油中切換式と比較して活線浄油機がなく、浄油機フィルタの定期交換が不要になることに加え、機器の小型・軽量化を実現している。当社は、真空バルブ式LTCを2000年6月から製造開始し納入している。

## 4 機器の運転信頼性向上に応える取組み

### 4.1 ガス循環式GISの封じ切り化による機器の延命化

機器の一部の効果的な更新により運転寿命の延長を図る検討も行っている。その一例としてガス循環式のGISの部分更新による、機器延命化の事例を以下に述べる。

**4.1.1 ガス循環式GISの問題点** GISの主回路は、電流を開閉する遮断器、電路を開閉する断路器、母線、主回路の電圧や電流を計測する変成器、及び外部から侵入する過電圧から機器を保護する避雷器などから構成される。初期のGISはSF<sub>6</sub>ガスを一定速度で循環させ、GIS外部に設けたフィルタを介して分解生成物を除去し、ガスを再びGIS内に導入する、いわゆるガス循環式が主流であった。

ガス循環式GISでは、ガスを循環させるために必要な補機類や特殊部品、すなわちガスコンプレッサやガスタンク、制御用電磁弁、特殊なりーク弁などが多く使われている。これら特殊部品のうち、一部部品は今後入手が困難になることがわかっており、保守用に一定量は既に購入しストックされているがその数は限られており、将来的に機器の保全活動が困難になる可能性がある。

これら特殊部品は、ガス循環式GISではシステム上不可欠であり、初期のGISを延命化するうえで一つの課題になっていた。

更にこうした初期のGISは、ガス配管やシール部品などの一般部品点数が現在の標準GISに比べて多いため、これまでに経験した不具合のほか潜在している不具合が残っている可能性があるが、機器の劣化評価に有用なデータが不十分のため、その抽出は容易ではない。

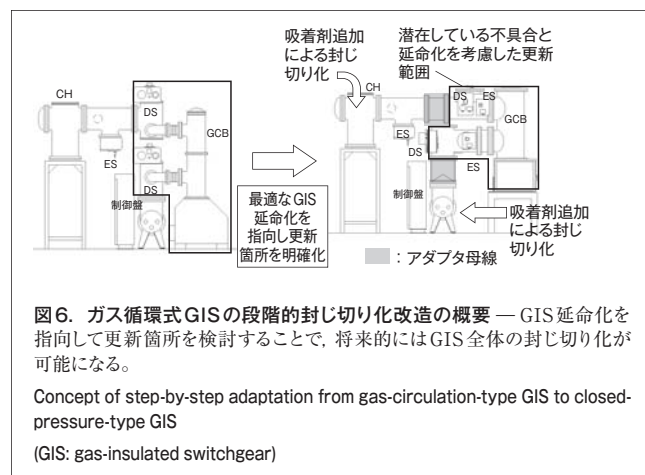
一方で、現在のGISはすべてガス封じ切り形であり、ガス循環式のような補機はなくGISの日常保守及び点検にかかる労力は著しく軽減されている。

**4.1.2 ガス循環式GISの延命化検討例** 系統には、運転開始後30年以上が経過してなお運転中の66 kV級ガス循環式GISがいくつか存在する。その中から遮断器を複数台サンプルとして引き取って分解調査し、機器に潜在する不具合や劣化のようすを詳細に調査し評価することを、東京電力

(株)との研究で検討中である。GISは今後も運用するため、引き取った遮断器の代わりに最新のガス封じ切り遮断器を据え付ける。したがってGISは全体としてガス循環式の部分とガス封じ切り化された遮断器が混在し、ガス循環設備は依然として必要である。このGIS全体の今後の保全活動は、これら混在系となるシステム全体について配慮する必要がある。

GIS全体の延命化を考えると、ガス循環式の部分全体を更新してガス封じ切り式に改造することが考えられるが、停止期間が長くなるなど課題も多い。そこで将来のGIS全体のガス封じ切り化を見越して段階的に改造する施策を検討した。すなわち、第一段階で遮断器とともに周囲の機器の一部を併せて最新機器に更新してガス封じ切り化し、その後は残りのGISの部分改造で段階的にガス封じ切り範囲を広げるといった方策である。

これらの段階的改造の概要を図6に示す。第一段階で遮断器とともに主母線断路器及び線路断路器までを更新してガス封じ切り化すれば、第二段階として接地開閉器とケーブルヘッドは、配管改造と吸着剤追加により比較的短期間の停止で封じ切り化が可能である。また、第三段階として主母線部は配管部への吸着剤の取付けや、部分的な母線交換などで、封じ切り化可能となる。



### 4.2 ネットワーク端末の適用による運転保守の信頼性向上

インターネット技術を適用した電力システム用のネットワーク情報端末であるNCT (Network Computing Terminal)<sup>(2)</sup>を備えた変電機器監視システムを適用して、運転保守の信頼性を向上させることができる。

機器監視用NCT-Mを適用した変電機器監視システムの構成例を図7に示す。このシステムは、GISや変圧器などの機器に取り付けられたセンサからの信号をNCT-Mで処理して、GIS部分放電監視や、遮断器開閉特性監視、変圧器のLTC接点消耗監視などの各種機器監視処理を行う。NCT-Mと機器監視サーバ間の伝送には、汎用通信プロトコルであるTCP/

IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) を適用し、機器監視サーバにはWebサーバ機能を搭載することで、接続性に優れたオープンなシステムを構築している。イントラネットを介して、電力所からもデータを閲覧できる。

このシステムは、図8に示すようなオンライン監視システムへの拡張も可能であり、電力会社内のイントラネット接続にとどまらず、機器メーカーや保守点検会社との連携及び情報共有が可能になる。更に、このシステムにエージェント機能を追加することにより、エージェントプログラムが人に代わって複数の変電所データを回収し、比較診断することもできる。

このシステムの導入により、現場設備の状態情報を定期的に収集して分析し、設備の適正な保全実施時期が判断できる。設備の状態に応じて点検タイミングを最適化することで、

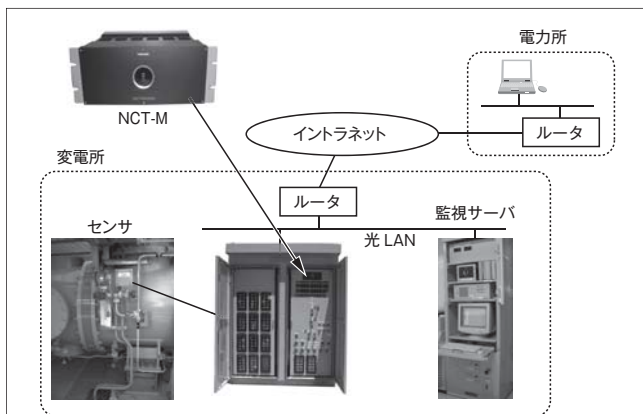


図7. 機器監視用のNCT-Mを適用した変電機器監視システムの構成例 — NCT-Mと機器監視サーバ間の伝送には、汎用通信プロトコルであるTCP/IPを適用し、機器監視サーバにはWebサーバ機能を搭載することで、接続性に優れたオープンなシステムを構築している。イントラネットを介して、電力所からもデータを閲覧できる。

NCT-M on-line monitoring system in substation

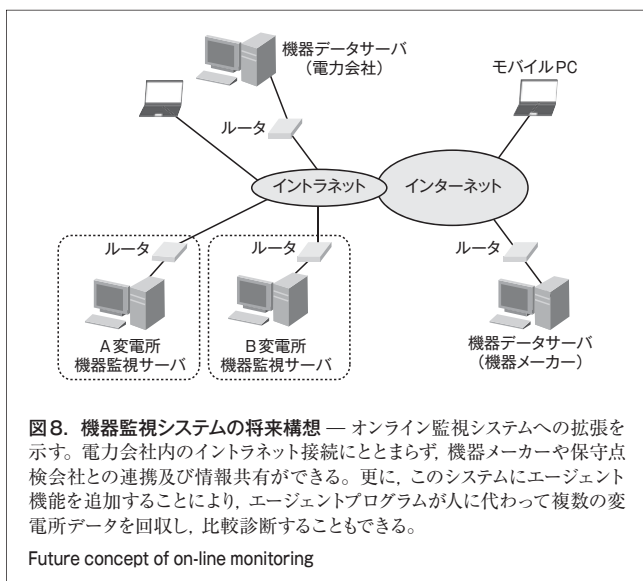


図8. 機器監視システムの将来構想 — オンライン監視システムへの拡張を示す。電力会社内のイントラネット接続にとどまらず、機器メーカーや保守点検会社との連携及び情報共有ができる。更に、このシステムにエージェント機能を追加することにより、エージェントプログラムが人に代わって複数の変電所データを回収し、比較診断することもできる。

Future concept of on-line monitoring

変電機器の運転保守の信頼性向上と、運転及び保守業務の高度化や効率化を図ることができる。

#### 4.3 位相制御開閉による電力品質の向上

遮断器を交流電圧の1サイクル中の適切な位相タイミングで投入又は開放する位相制御開閉技術は、遮断器開閉動作時に発生する過電圧や過電流による電力流通設備の絶縁や寿命、系統の安定運用に対する悪影響を低減するとともに、電力品質の確保、運用自由度の拡大などの利点をもたらす技術である。当社は、位相制御開閉技術を1980年代後半に、リアクトル遮断時の再発弧防止を目的として実用化したが、最新のデジタル制御技術とネットワーク技術を適用し、多用途に適用可能な新型の位相制御開閉装置（図9）の適用を開始<sup>3)</sup>した。近年では架空送電線の投入サージ抑制や無負荷変圧器の励磁突入電流抑制など、より広い用途に対して適用している。

位相制御開閉による電力品質の向上の例として、変圧器を



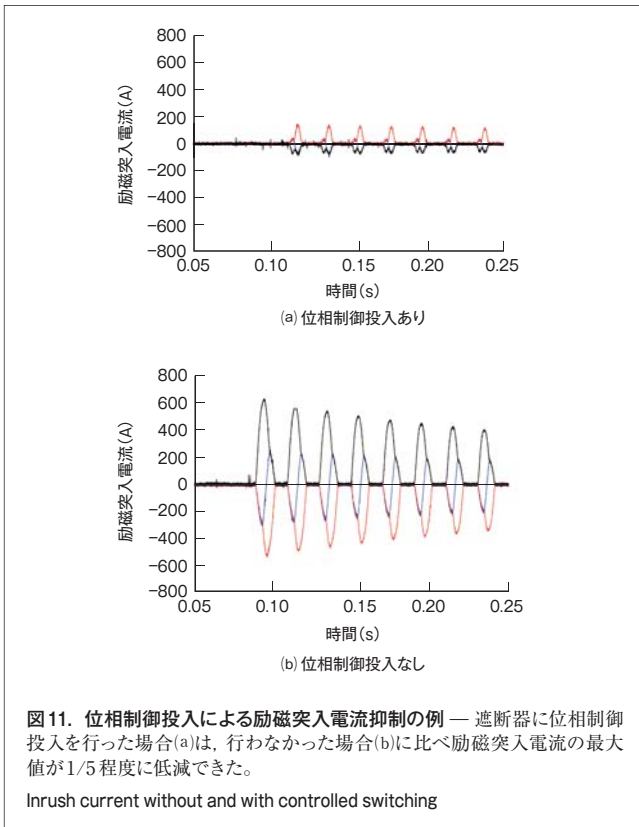
図9. 新型の位相制御開閉ユニット — 再新のデジタル制御技術とネットワーク技術を適用し、多用途に適用可能である。

Latest model of controlled switching system unit



図10. 三相一括操作形遮断器と三相変圧器 — 66 kV配電用変電所で励磁突入電流抑制装置の検証試験を実施した。

Circuit breaker with ganged 3-phase operation and 3-phase transformer for field test of controlled switching system



系統に投入する際の励磁突入電流抑制効果について以下に述べる。

当社は、66 kV系統で通常使用されている三相一括操作型遮断器にも適用可能な励磁突入電流抑制装置の開発を完了し、その適用効果を北海道電力(株)と共同で検証した。図10は、検証試験で適用した66 kV配電用変電所の72 kV三相一括操作型遮断器と三相変圧器である。図11は位相制御投入による励磁突入電流抑制の例であり、遮断器の位相制御投入を行った場合の励磁突入電流の最大値は、位相制御投入を行わない場合の1/5程度に低減できた。

このように末端系統などで発生している電圧変動の影響を極小化し、電力供給の品質向上に寄与することができる。また、電圧変動が大きいため、これまで制約を受けていた系統操作の自由度を大幅に拡大することができる。

#### 4.4 変電機器におけるポリマー形避雷器の適用

ポリマー形避雷器は、従来の磁器碍子(がいし)形避雷器に比べ軽量であるという特長から、高経年変電機器の更新にあたっては、既存の基礎の流用や据付工事の負荷低減などの利点がある。また、耐震性能や放圧性能に優れるため、避雷器素子技術の向上と併せて各種性能の向上を実現できる。

ここでは、絶縁容器に有機絶縁材料を用いたポリマー形避雷器の特長について述べる。ポリマー形避雷器には、絶縁筒にシリコンゴムを用いて笠形状を形成した複合碍管形と酸化亜鉛素子を直接シリコンゴムで注型したモールド形があ

り、それぞれの適用例を図12、図13に示す。いずれも、磁器碍管を用いた避雷器に比べて質量が1/2～1/5と軽量化でき、既存の架台を流用することはもちろん、図13に示すように簡単なアームに取り付けることもでき、工事の負荷低減とレイアウト自由度の向上に貢献できる。また、ポリマー材料のシリコンゴムの良好な防水性とその回復性能により、優れた耐

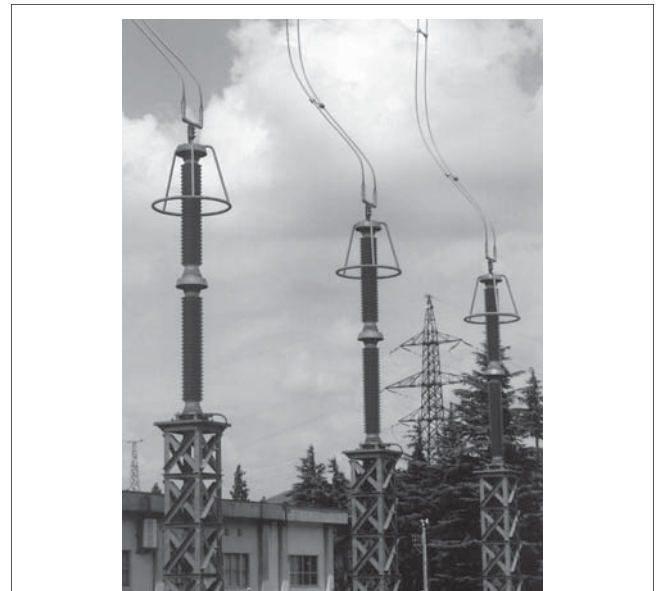


図12. 275 kV用ポリマー形避雷器(複合碍管形) — 複合碍管ポリマー形避雷器は磁気碍管を用いた避雷器より軽量であるため、更新に際して既設架台の流用ができる。

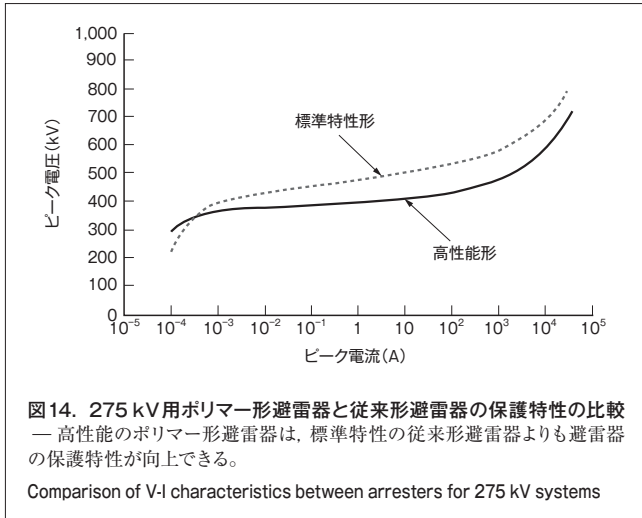
275 kV polymeric-housed surge arrester



図13. 66 kV用ポリマー形避雷器(モールド形、汚損地区用) — 軽量のモールド形ポリマー形避雷器は簡単なアームに取り付けができ、レイアウトの自由度が高まる。

66 kV polymeric-housed surge arrester





汚損性能を実現することができる。シリコンゴムのはっ水性は、繰り返し回復可能であり、外被表面に汚損皮膜が形成されるのを長期にわたり防ぐことができるため、清掃などの負担低減など、保守性の向上が期待できる。また、近年適用が進められている高性能形の酸化亜鉛素子を用いており、避雷器の保護性能を向上させることができる。275 kV用避雷器の保護性能の新旧比較を図14に示す。

ポリマー形避雷器は、これまで述べたように従来の磁器碍子形避雷器に比べ優れた特長が多く、今後の適用の拡大が期待される。また、碍管については避雷器だけではなく、ポリマーブッシングへの適用拡大も期待される。

## 5 あとがき

基幹システムの拡充計画がほぼ一段落したわが国の変電設備においては、今後、膨大な既設設備に対して更新も含めた保全技術へのニーズが、より一層高まってくるものと考えられる。この新しいニーズは、電力システムの運用状況や設備の使用環境などに応じて多種多様なものがあり、ここで述べた事例はその一部に過ぎない。今後も変電機器の運用実態を踏まえ、課題を抽出し、これを解決する技術を具現化していきたい。

## 文献

- (1) 石原祐二, ほか. 運用者の負担を軽減する次世代デジタルリレー D4. 東芝レビュー. 63, 2, 2008, p.50-53.
- (2) 武井義則, ほか. “ネットワーク情報端末の電力・電気設備への適用実績”. 保護リレーシステム研究会, PPR-07-31. 東京, 2007-09, 電気学会. p.11-16.
- (3) 齋藤 実, ほか. デジタル制御技術とネットワーク技術を適用した遮断器 同期開閉制御装置. 東芝レビュー. 62, 8, 2007, p.39-44.



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。電気学会会員。

Transmission & Distribution Systems Div.



佐藤 純正 SATO Yoshimasa

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

Transmission & Distribution Systems Div.



石原 祐二 ISHIHARA Yuji

電力流通・産業システム社 電力流通システム事業部 電力系統技術部主務。系統保護制御システムの開発に従事。電気学会会員。

Transmission & Distribution Systems Div.