

高電圧開閉装置の保全・更新検討と更新に向けた新型器開発

New Equipment for Maintenance and Replacement of Aged Switchgears

宮本 剛寿

加藤 紀光

■ MIYAMOTO Taketoshi

■ KATO Norimitsu

現在、フィールドには多くの高経年開閉装置が稼働しているが、適用技術が古い空気遮断器や初期型ガス絶縁開閉装置については、品質を確保するための保守用品の入手が困難あるいは不可能となっていること、また、長年の運用により主要部品に劣化の兆候が現れているといった信頼性上の理由により、計画的に更新を行うことがユーザーで検討されつつある。

一方、更新時に取替え用として適用する機器には、更新工事時の停止範囲や期間の短縮、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、及び既設機器との容易な接続など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新技術を取り込んだ機器開発を進めており、まず300 kVの新型ガス絶縁開閉装置を開発した。

A large number of aged switchgears are operating in the field now. For air-blast breakers (ABBs) with old technology and early gas-insulated switchgears (GIS), there is an increasing need for systematic replacement due to difficulties in obtaining maintenance parts for the equipment and signs of degradation of main components. On the other hand, the replacement equipment must fulfill certain requirements such as minimization of the stopping range, shortening of the replacement period, maximization of the applicable range of established facilities, and easy connection with existing equipment.

In response to these circumstances, Toshiba has newly developed a 300 kV GIS applying various new technologies.

1 まえがき

空気遮断器や初期型ガス絶縁開閉装置については、既に計画的な更新あるいは更新検討が進行している。更新時に適用する機器には、従来の新設物件中心の時代とは異なる配慮事項が求められる。

ここでは、現在進行しつつある機器更新の状況、更新に向けた従来にない配慮事項、及びユーザーニーズに応える機器の開発状況と適用技術について述べる。

2 高経年高電圧開閉装置の課題と更新計画の状況

現在、フィールドには多数の高経年高電圧開閉装置が稼働しているが、これらの経年機器では、交換用部品の製造及び入手や技術者の確保が困難又は不可能となっている物、主要部品の劣化による障害の発生が懸念される物も多く、信頼性確保の観点から、計画的な更新あるいは更新の検討が進行している。

前者の代表例として空気遮断器 (ABB: Air Blast Breaker)、後者の代表例として初期空気操作形のガス遮断器 (GCB: Gas Circuit Breaker) での事例について述べる。

2.1 ABBの事例

東芝は1950年代からABBを製造しており、現在でも多くのABBが運転を続けている。



図1. 東京電力(株)房総変電所のABM形ABB — 碍子で構成されたABBの外観である。下部のタンクに操作用の圧縮空気を封入している。

ABM-type ABB at Boso Substation of The Tokyo Electric Power Company, Inc. (TEPCO)

これらのABBの中で、当社形式でABM形と呼ばれる機種は納入台数が多く、500 kV系統、275 kV系統といった重要基幹系で使用されている(図1)。

このABM形ABBは、通常の点検のほかに12年ごとに遮断部の部分交換を実施しており、交換した遮断部は工場に持ち帰ってオーバーホールを行い、別の場所の遮断部の交換に使用するというように、部分交換とオーバーホールを繰り返すことにより、品質を確保している。

しかし、部分交換範囲外の主要部品のうち、遮断後の極間絶縁を維持する複数の補助遮断部間の電圧分担を均等にする

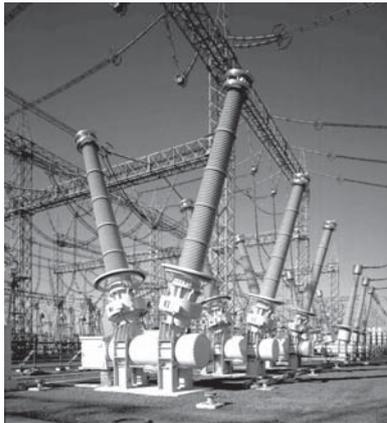


図2. 東京電力(株)新筑波変電所のBCT実装GCB — ブッシングの口出し部にBCTを実装したGCBの外観である。これにより遮断器だけでなく、CTの信頼性の確保も可能となっている。

Gas circuit breaker (GCB) with bushing current transformer (BCT) at Shin-Tsukuba Substation of TEPCO

ための“コンデンサ”，空気操作機構のバルブの開閉を制御する“コントロールブロック”，遮断時の主遮断部の電圧分担を均等にするための“抵抗体”などは，現在では，一部の部品製造メーカーの撤退により新たに製造できない。このため，万一これらの部品に異常が生じた場合，工場内に保有している予備品で対応しているが，これらの予備品は年々減少しており，数年後には枯渇してしまうという問題を抱えている。また，多数のABBがフィールドに存在している状況で，一括して更新することはコスト面及び系統停止の制約面から困難であり，以下の方針で更新の検討を進めることにしている。

基本的には，ABM形ABBから，現行器であるGCBを適用したガス絶縁開閉装置（GIS：Gas Insulated Switchgear），若しくは単体GCBへのリプレースを順次進めるが，その際に撤去したABBから健全なコンデンサ，コントロールブロック，抵抗体を確保し，予備品化することにした。これにより，更新までの間，当面使用し続ける必要のある他の地点のABM形ABBの保守用部品が確保でき，更新前の遮断器についても信頼性の確保が可能となっている。

また，ABBの場合は碍子（がいし）形変流器（CT：Current Transformer）を別に設けているが，タンク形GCBの普及により，多くのメーカーで碍子形CTの製造が中止されており，その保全も課題となっている。

ABBをGCB化する際に併せて，碍子形CTもGCBと一体となったブッシングCT（BCT）化することにより，CT部分についても信頼性の確保が可能となっている（図2）。

2.2 初期空気操作形GCBの事例

初期の空気操作形GCB（当社形式GSL（K））は，前述のABM形ABBの後継器として1970年代から製造されているGCBであり，主に154 kV，275 kV，及び500 kV系統に使用さ

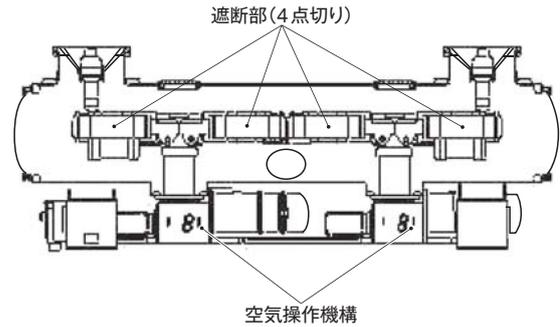


図3. 550 kV GSL形GCBの構造 — 4点の遮断部及びそれを操作する二つの空気操作機構部から構成されている。

Structure of 550 kV GSL-type GCB

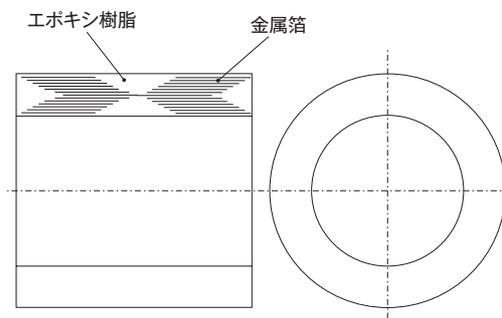


図4. コンデンサ絶縁筒の構造 — 絶縁筒形のコンデンサは，多層の金属箔と絶縁紙をエポキシで含浸モールドした構造となっている。

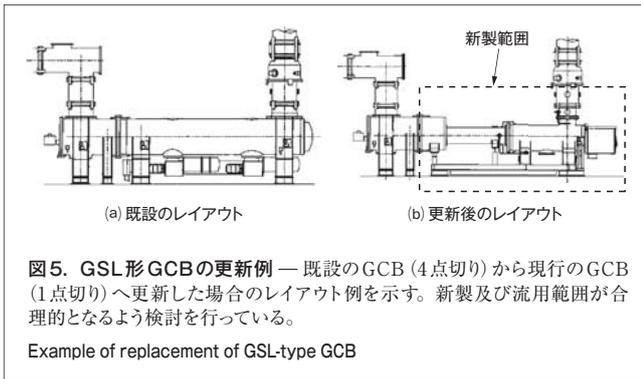
Structure of capacitive insulated cylinder

れている。275 kV用では遮断点を2点直列，500 kV用では4点直列に配置して電流を遮断する構成となっており（図3），遮断を行う際に生じる電圧をこれら複数の遮断部に均等に分担させるとともに，極間支持の目的で絶縁筒形のコンデンサが設置されている。

このコンデンサは，多層の金属箔（はく）と絶縁紙をエポキシで含浸モールドした絶縁筒構造となっている（図4）。

近年になり，GSL（K）形GCBの劣化調査を目的として，長年運転してきた機器をフィールドから引き取り調査した結果，このコンデンサの耐電圧性能が大きく低下した事例が確認されたため，原因調査を行ってきた。

詳細な調査の結果，耐電圧性能が低下した主な要因としては，GIS用として使用される場合，断路器（DS：Disconnecting Switch）の開閉時に発生するサージは，六フッ化硫黄（SF₆）ガスの特性から波頭時間が数十 nsレベルの急峻（きゅうしゅん）な過電圧であり，それが影響してコンデンサ絶縁筒内部の金属箔の層間の電圧分担が不均一になり，金属箔間に内在する極微小ボイド（気泡）で部分放電が発生し，進展することによるためと想定された。また，DSの操作回数（DSサー



ジの印加回数は、操作回数に比例する)が多くなると絶縁性能低下の割合が大きくなることも確認した。通常の事故電流遮断後に極間に印加される電圧や雷サージの侵入も急峻な電圧波の印加となるが、その波頭時間は μs レベルであり金属箔間の電圧不均一さは少なく、更に、頻度もけた違いに少ないため、このような事象は発生しない。

このため、所期の絶縁性能を確保することができなくなる可能性があるDSの操作回数を評価し、その回数を超過したGCBを対象に、極間コンデンサレスタイプの現行GCBに更新する動きが始まっている。更新にあたっては、DS操作回数による優先順位付けを行うとともに、事前に数多くあるGISのレイアウトをパターン分類し、各パターンごとに合理的なGIS側機器の新製及び流用範囲を検討し、費用や更新工程の最適化も含めて協議を行い、方針を決定した(図5)。

2.3 遮断器以外の機器における課題

以上のように、特に遮断器については、今後の保守部品の供給に問題のある機器、経年や長期使用により劣化が懸念される機器の更新計画が策定されつつある。

一方、現状では、設備全体の重要性和信頼性確保の観点から遮断器を優先した更新計画となっており、その他の開閉設備(断路器、接地開閉器、計器用変成器、避雷器など)の更新は前述の碍子形CTなど一部を除けば、まだあまり進んでいない。

実際には遮断器と同様、他の開閉設備についても老朽化は進んでおり、信頼度の確保及び向上や今後の保守量の低減のためには、遮断器更新に合わせて他の開閉機器も含めてのGIS化、あるいは回線一括での更新を行う必要があると考えられる。しかし、各種の課題があり、これまで実現していなかった。

次章以降で、これらの更新を進めるにあたって想定されるニーズ又は課題を述べるとともに、このニーズに応えるための適用技術についても述べる。

3 機器更新において配慮すべきニーズ

国内では、経年機器の更新計画が策定されつつある一方、

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きており、今後は更新工事を中心になってくると予想される。

この更新工事を中心となる時代においては、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(課題)に応えられるGIS及びGCBが必要と考えられる。

3.1 機器一体化、コンパクト化

更新工事にあたっては既設回線の停止が必要となるが、系統の安定運用の観点からは極力停止期間を短縮することが要求される。これに応えるためには、できるかぎり機器を一体化した状態で現地に搬入して据付工期を短縮できるようにするとともに、既設機器に影響を与えないで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。

3.2 既設基礎コンクリートの流用

既設機器と同一位置に更新を行う場合、基礎コンクリートの改造を要する際は、非常に長い期間回線を停止する必要がある。このため、更新を行う機器にはコンパクト化とともに大幅な軽量化も要求される。

3.3 現地工事の作業性向上

新設工事と異なり、更新工事においては既設機器に囲まれた限られたスペースで作業を行う必要がある。また同時に、工期の短縮も強く要求されることから、制御ケーブルなどは工場内で配線したものをそのまま現地に持ち込むなど、作業性を向上させる必要がある。

3.4 既設GISとのGCBの接続互換性の確保

GCBの更新を行うにあたっては、例えばタンク口出し寸法が既設と異なる場合には、接続母線や変換母線などを介してドッキングする必要が生じる。今後のGCBの交換や更新を考慮した場合には、既設のGCBと同一寸法で取り合うことが可能な機器が求められる。

3.5 既設GIS主母線への接続対応

GISの回線更新を行う場合には、既設回線のあった位置で更新機器と入れ替える場合だけでなく、既設回線は主母線を残して撤去し、主母線端部に更新回線を増設するケースも考えられ、更に、1~2回線の増設工事が行われることも予想される。

したがって、更新用GISに対しては、特殊な変換母線などを使用しなくても、既設主母線と容易に取り合える構造が求められる。

3.6 環境負荷の低減

以上のように、更新工事を中心となる時代において要求される各種のニーズに加え、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。

- (1) コンパクト化による使用材料量の低減
- (2) 機器駆動エネルギーの低減

今後のGISについては、これらのニーズを十分反映した機器を開発し提供していく必要がある。

4 更新に適合した新型機器の開発

ここでは、最近開発した新型300 kV GISについて、その開発内容を述べる。

4.1 新型GISの開発仕様

3章で述べた機器更新において配慮すべき各種ニーズに対応した、新たなGIS及びGCBの開発を進めている。新型GISについては、以下の点をその開発仕様に反映した。

- (1) コンパクト化、軽量化により回線一括輸送を実現する。
これにより工事期間の短縮及び既設基礎コンクリートの流用範囲の最大化を図る。
- (2) 既設で納入数の多い三相一括主母線タイプのGISとの接続対応を考慮し、三相一括主母線を採用する。
- (3) 既設GISと新型GCB接続における互換性確保とともに、ABBのリプレース用単体GCBとの共用化が可能となるよう、GCBは相分離形を採用する。

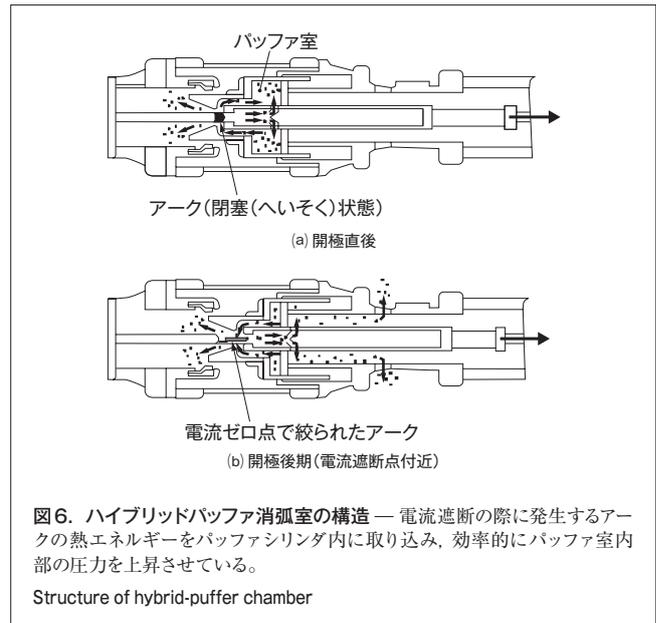
なお、GCBの仕様として以下を採用した(表1)。

定格遮断電流は、今後系統の拡充に伴って増加が見込まれる63 kAとした。定格電流については、国内の超高圧系統の多くをカバーできる6,000 Aとし、8,000 A化についても検討を行うことにした。消弧方式としては、遮断時に極間に発生するアークの熱エネルギーを有効活用することで、小さな操作エネルギーで大電流遮断が可能な直列パuffァ方式を採用した。また、操作機構に要求される操作エネルギーが大幅に低減されることから、コンパクトな電動ばね操作機構を採用した。

4.2 新型GCBの適用技術

今回の新型GCBに適用した新技術の代表的な例として、直列パuffァ方式の消弧室の開発について以下に述べる。

当社の現行GCBに適用しているハイブリッドパuffァ方式の消弧室を図6に示す。この方式の場合、電流遮断の際にアーク接点間に発生した熱ガスは、外部の操作機構により機械的に圧縮されるパuffァシリンダ内に取り込まれ、パuffァ室内部の圧力が上昇する。それによりパuffァ室から吹き付けるSF₆ガス流を増加させることで、電流遮断性能を高めている。しかし、パuffァ室は外部からの操作力によって圧縮を



行っており、大電流を遮断するにはより大きな駆動エネルギーが必要となるため、操作エネルギーを現行器から大幅に低減することは困難であった。

新たに開発した直列パuffァ方式の消弧室を図7に示す。この消弧方式は、従来形でも備えていた機械式のパuffァ室に、熱パuffァ室を直列に接続した構成となっている。大電流を遮断する場合には、アーク接点間で発生した熱ガスを熱パuffァ室に取り込んで内部の圧力を上昇させ、その圧力によって得られたガス流をアークに吹き付けることで電流を遮断する。熱パuffァ室と機械パuffァ室の間にある弁は、熱パuffァ室の圧力により自動で閉じた状態になる。

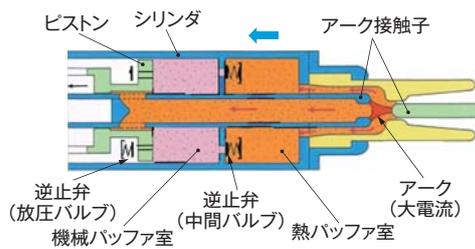
一方、定格遮断電流の約1/3以下の中小電流を遮断するには、アークからのエネルギーを熱パuffァ室に取り込むだけでは十分な圧力上昇が得られない。そのため、機械パuffァ室で圧縮されたSF₆ガスを熱パuffァ室を介してアークに吹き付けることで電流を遮断する。定格遮断電流より小さな電流を遮断できればよいため、機械パuffァ室の圧縮面積は小さく済み、操作エネルギーを抑制することが可能である。

直列パuffァ方式を開発するにあたっては、熱パuffァ室の構造や接点及びノズル形状と、機械パuffァ室からのガスの送り込み量を最適化する必要がある。そこで、直列パuffァ消弧室の電流遮断時の熱ガス流解析を大電流及び中小電流の両方の場合について実施し、最適構造を求めた。大電流遮断時の熱ガス流解析(ガス密度分布)の例を図8に示す。電流ゼロ点で、温度が低く密度の高いガス(青色で表示)が熱パuffァ室から吹き出して、アークを冷却している状況が確認できる。

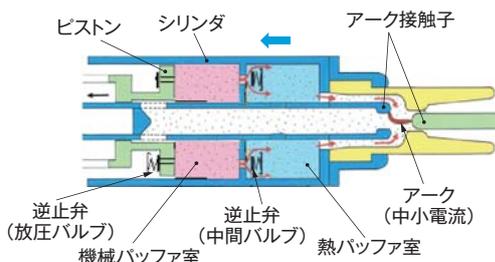
このように、熱ガス解析により決定した消弧室形状を用いて実際に電流遮断試験を行い、大電流から中小電流まですべての領域にわたって必要な遮断性能を満足していることを確認した。

表1. 新型GCBの仕様
Specifications of new GCB

項目	開発仕様
定格電圧	300 kV
定格遮断電流	63 kA
定格電流	6,000 A / (8,000 A)
定格遮断時間	2サイクル
操作方式	電動ばね操作
消弧方式	直列パuffァ
形状	GIS用及び単体GCB用



(a) 大電流遮断時



(b) 中小電流遮断時

図7. 直列パッファ消弧室の構造 — 機械式のパッファ室と熱パッファ室を直列に配置し、大電流遮断時には熱パッファ室、中小電流遮断時には機械式パッファ室の圧力上昇を主に活用し、電流遮断を行う。

Structure of series-puffer chamber

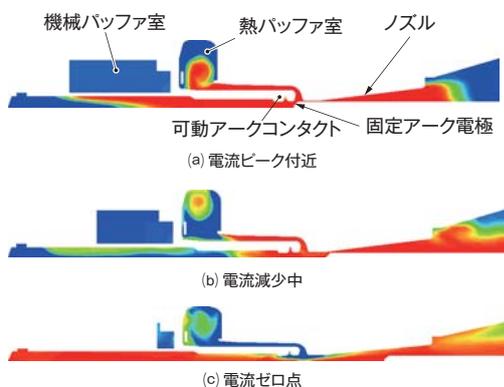


図8. 大電流遮断時の熱ガス分布解析結果 — 電流ゼロ点で、温度が低く密度の高いガス (青色で表示) が熱パッファ室から吹き出してアークを冷却している。

Results of simulation of hot gas distribution after large current interruption

5 新型GISの適用効果

4章で述べた技術を適用したGCB及び、これに組み合わせられる新型300 kV GISは、各種技術施策により、図9に示すように非常にコンパクトなレイアウトを実現した。これにより、気中変電所機器からの更新を計画する際にもわずかな空きスペースに配置可能であり、ガス絶縁母線 (GIB: Gas Insulated Bus) で気中側と接続後、回線を順次切り替えることにより、



- ・容積比 (現行→新型) : 100%→35%
- ・質量比 (現行→新型) : 100%→50%

図9. 新旧GISのレイアウト比較 — 現行GISと新型GISの1回線分のレイアウトの比較を示す。現行GISは数ユニットに分割して輸送する必要があるが、新型はこの形態での一括輸送が可能である。

Comparison of layouts of new and previous GIS

既設設備の停止期間の極小化が可能である。

また、現地制御盤まで含めて回線一括輸送を行えることから、本体の現地据付工期が短縮されるだけでなく、GISと制御盤間の制御配線の接続作業も不要となるため、現地据付期間 (試験工程を含まず) を1回線当たり従来の3~4日から0.5日と大幅に短縮することが可能である。

以上述べた経年機器の更新に配慮した新型300 kV GISは、2008年9月に形式試験を終了し、GCBについては、2008年10月に既設GCBの更新用として東京電力(株)に納入した。2009年にはGIS初号器を出荷する予定である。

6 あとがき

高経年高電圧開閉装置に関し、既に計画的な更新あるいは更新の検討が進行しているABBや初期型GISについての更新検討状況及び、更新取替え用として高電圧GISに求められる新たなニーズを述べるとともに、それらのニーズを反映した新型300 kV GISの適用技術と適用効果について述べた。

今後も各電圧クラスで老朽機器の更新工事を中心になると予測されることから、他の電圧クラスの機器についても、同様の考え方を取り入れて開発を進めていく。



宮本 剛寿 MIYAMOTO Taketoshi

電力流通・産業システム社 電力流通システム事業部 電力変電技術部グループ長。電力用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.



加藤 紀光 KATO Norimitsu

電力流通・産業システム社 浜川崎工場 開閉装置部主幹。高電圧遮断器の設計・開発業務に従事。電気学会会員。

Hamakawasaki Operations