

変電所設備の保全・更新状況と今後の展開

Trends in Maintenance and Renewal of Substation Facilities

小坂田 昌幸

澄川 俊雄

■ KOSAKADA Masayuki

■ SUMIKAWA Toshio

電力系統拡充期に設置された多くの変電所設備が高経年化を迎えるなか、従来の新設や大規模増設中心の対応から、保全や更新に軸足を移した対応が求められてきている。将来にわたっての電力安定供給に向けた設備の保全あるいは更新は、それ自身大きな課題であるが、これらを進めていく際の配慮点や求められる技術も変化してきている。

こうした背景から昨今では、変電所設備の保全や更新において、技術の高度化や多様な検討が進められてきている。

A large amount of substation equipment installed during the period of electric power system expansion has been operating for a long time, and there is an increasing need for maintenance and renewal of this equipment rather than new construction or large-scale extension. Appropriate maintenance and renewal is important to ensure stable electric power supply. However, the points to be taken into consideration and technologies required for such maintenance and renewal have also been changing.

As a result of this trend, sophisticated technologies and various approaches are being implemented for the maintenance and renewal of substation equipment.

変電所設備の保全・更新

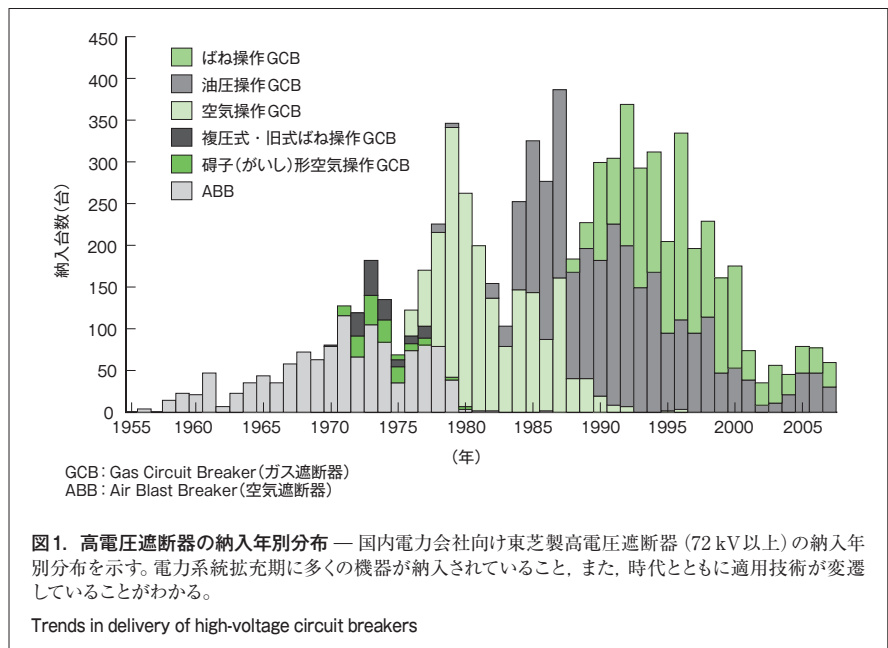
わが国のエネルギー安定供給を支える柱の一つとして、高度に発達した電力系統網があり、これを構成する重要な要素として変電所設備がある。多くの変電所設備は1970年代以降の電力系統拡充期に設置されており、現在これらの設備が30～40年の高経年期を迎えつつある。

こうした高経年設備の保全あるいは更新をどのように進めていくかは、将来にわたっての電力安定供給に向けた大きな課題といえる。また、実際に保全や更新を進めていくにあたって配慮すべき事項や求められる技術は、系統拡充期とは大きく異なってきている。ここでは、昨今の変電所設備についての保全や更新の状況と対応技術動向、及び東芝の取組み状況について述べる。

高経年変電所設備の増加と課題

変電所設備の経年状況

変電所設備の経年状況の一例として、当社における高電圧遮断器の納入年別分布を図1に示す。



従来、変電所の主回路設備の設計期待寿命は、表1に示すとおり約30年と言われてきた。各機器の適用技術や稼働状態により状況は異なるが、昨今では開閉器で40年、比較的低い負荷率で運用された変圧器では50年近く運転を継続する場合も出てきており、設備の過半数が経年30年以上という状況も生まれ

てくると予想される。

しかしながら、過去に納入された大量の設備がその更新時期を迎えていることも事実であり、高経年設備が増加するなか、電力の安定供給を維持していくためには、適切なタイミングで部分的な取替えを含む更新を行うとともに、更新までの間は適切な保全による機能維持を

表1. メーカーの機器開発時の期待寿命⁽¹⁾

Life expectancy of equipment at time of development

機器名	メーカー期待寿命
油入変圧器 分路リアクトル	30年
LTC	電氣的20万回 機械的80万回
GCB GIS	25～30年又は 開閉2,000回

LTC:on-Load Tap Changer (負荷時タップ切替器)
GIS:Gas Insulated Switchgear (ガス絶縁開閉装置)

図ることが重要となってくる。

従来からギャップ付き避雷器や空気遮断器、複圧式ガス遮断器 (GCB: Gas Circuit Breaker, **囲み記事参照**) など古い設備については更新が進んでおり、当社の場合でも、**図2**に示すとおり、最近の業務量のうち1/3を改修業務が、また、1/3を更新が占めるようになって

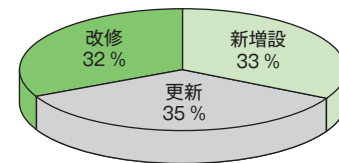


図2. 変電分野における業務量予測 — 2008年度の東芝変電分野における新增設と更新、改修の業務量比率を示す。1/3を改修業務が、また、1/3を更新が占めている。

Estimated ratios of repair, renewal, and new construction business in substation equipment field

SF₆ガス遮断器における技術変遷

1960年代までは、高電圧遮断器は空気遮断器あるいは油遮断器が主流であったが、東芝は、SF₆ガスの優れた絶縁性能と電流遮断性能に着目し、GIS及びGISの中心機器であるGCBの開発に取り組み、1969年に72 kV GISを製品化した。その後GIS及びGCBは急速に適用が拡大したが、当社は高電圧・大容量化を推進し、国内外の電力システムの強化に貢献してきた。

GCBについては、当初、絶縁を確保するため、SF₆ガスを圧力2.7 kg/cm²で封入したタンク中の接点部に、外部から別系統で取り込んだ圧力15.0 kg/cm²のSF₆ガスを吹き付けて電流を遮断する複圧式と呼ばれる方式であったが、この方式は、遮断性能には優れているものの、非常に複雑な構造のために、量産化への課題を抱えていた。

この問題を解決するために、シリンダとピストンで構成されるバッファ（ふいご）を接点部と直列に備えた、シンプルな構成の空気操作式の単圧式GCBを開発し、1976

年に、電流を遮断する消弧室の直列配置を2点に低減した、300 kV 2点切りGCBを製品化した。

その後は、バッファ方式を基本とした多くの技術革新により、大容量でありながらも小型・軽量で駆動エネルギーの小さなGCBを実現した。また、駆動エネルギーの低減に合わせて、操作方式を、外部設備が複雑で大掛かりな空気操作方式からコンパクトな油圧操作方式又はばね操作方式へと転換していった。電流消弧技術の大きなターニングポイントは、1990年代に、大電流遮断時に発生するアーク熱の有効利用に着目したハイブリッドバッファTM方式(図A(a))の開発である。ハイブリッドバッファTM方式では、従来は機械的な圧縮だけであったバッファ室内に、アークエネルギーにより高温になったガスを取り込み、熱膨張と機械圧縮の両方でバッファ室内の圧力を高めて、遮断性能向上と駆動エネルギー低減を実現したものである。1990年代半ばまでに、

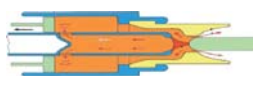
72～550 kVまでのシリーズ化を完了した。

更に、2000年代に入ってから、ハイブリッドバッファTM方式をより進化させ、熱バッファ室内に取り込んだアークエネルギーによる熱膨張だけでバッファ室内の圧力を高め、機械圧縮に伴う反力を抑制して駆動エネルギーを大幅に低減させることができる直列バッファ方式(図A(b))の開発に取り組み、既に、300 kV定格での製品化を完了している。

遮断方式ごとの遮断容量当たりの駆動エネルギーの比較を図Bに示す。直列バッファ方式の適用により、遮断容量当たりの駆動エネルギーが大幅に低減している。駆動エネルギーの低減は、GCBの小型・軽量化、低振動化、高信頼化、及び長寿命化にも有効であり、これを組み込むGISの小型化も可能となる。引き続き、新たなコンセプトである磁界応用消弧室などの技術革新により、いっそうの遮断性能向上に取り組んでいく。

■アーク熱を利用した消弧方式として、1990年代前半にシリーズ化完了

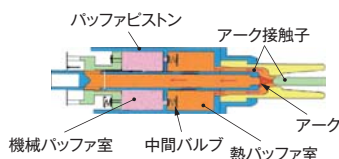
- 開極初期に、バッファ室内にアークエネルギーを取り込む
- バッファ室内の圧力を熱膨張と機械圧縮により高めて、アークに吹付け



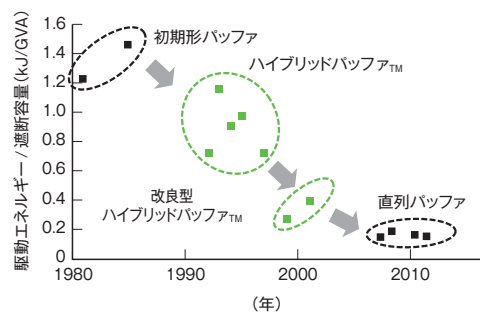
図A(a) ハイブリッドバッファTM方式

■ハイブリッドバッファTM方式の進化形として開発

- 開極初期に、熱バッファ室内にアークエネルギーを取り込む
- 熱バッファ室内圧力を熱膨張だけで高めて、アークに吹付け
- 機械圧縮に起因する反力が少なく、駆動エネルギーの低減が可能



図A(b) 直列バッファ方式



図B 遮断方式と駆動エネルギー

変電所設備の保守及び運用を取り巻く環境の変化と課題

変電所設備の保守及び運用を取り巻く環境も変化し、新たな課題も生まれてきている。以下に、設備形成面、系統運用面、人財面、及び工事環境面に分けて述べる(図3)。

●設備形成面

前述のとおり経年設備が増加するなか、電力系統全体として設備をどのように維持していくか、具体的には古い設備を継続して保守しながら延命化していくか、更新していくかについての判断を適切に行う必要がある。この件については次章で更に詳しく述べる。

●系統運用面

従来に比べ設備稼働率が上がってきていることと、電力の供給信頼性に対する要求の高まりから、設備の計画停止を極力少なくしたい、停止期間も可能な限り短くしたいという運用面からの要求が高まっている。また、短絡容量の増大、短絡電流における直流分時定数の増大、及び開閉器の多頻度開閉化など、機器に求められる責務自体も変化してき

ている。

●人財面

ベテラン世代が退職期を迎えていること、ここ10年程度続いた業務量低迷期に工事件数や保守点検機会が減少したことで、ユーザー、メーカーともに技術や技能の継承の問題に直面している。また、景気の動向で変化する新規採用者数の影響で技術者や技能者の年齢構成もいびつなものとなり、中核となる世代の不足も顕在化しつつある。

●工事環境面

同時期に多くの設備を更新しようとする、メーカーや工事業者側の工事対応力や、ユーザー側での工事管理対応力の不足が発生し、工事対応量が制約を受ける可能性がある。一方、ユーザーにおいては、更新予算の平準化という経営的観点からの要求もあり、更新を計画的に進めていくことが検討されている。

■メーカーとしての課題

前述した設備形成面、系統運用面、人財面、及び工事環境面に対応するとともに、メーカーは以下の課題に取り組む

必要がある。

- (1) 高経年設備の増加を前提とした保全・更新技術の深耕
- (2) 現地工事期間の短縮, また, 系統責務の変化へ対応する製品技術開発
- (3) 技術や技能の維持, 継承の推進
- (4) 工事対応力の計画的な確保
当社としてはこれらに加え, 以下の2点にも配慮して取り組んでいくつもりである。
- (5) 保全あるいは更新時における技術革新, それによる新たな付加価値の提供
- (6) 製品における環境負荷の低減

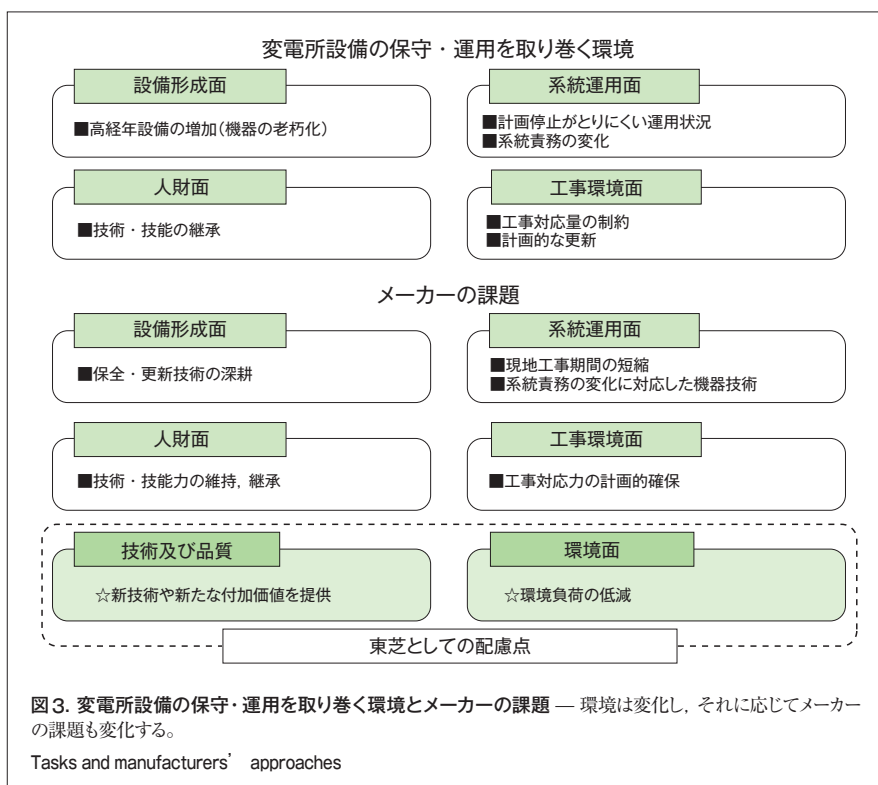
設備保全の新しい考え方

昨今の変電所設備の保守・運用を取り巻く環境の変化、及びこれに対応した各種課題から発現してきている、変電所設備保全における新たな考え方について以下に述べる。

■保守による延命化と更新の峻別(しゅんべつ)

従来は、定期的に保守点検を実施しながら一律の経年数で機器を取り替えたり、系統の拡充変更に合わせて更新を進める形で設備保全が実施されていた。最近では、系統拡充が一段落する一方で高経年設備が増加しており、古い設備の継続保守による延命化を進めるのか、あるいは更新なのかの判断を、機種や部品の特質や地点ごとの状況からきめ細かく区分けしていく傾向が強くなっている。

例えば油入変圧器の場合、変圧器本体は経年により劣化が進行するが、その度合いはその変圧器の稼働率や外部短絡電流の大きさなど系統条件によっても異なってくるため、経年による一律の対応ではなく、劣化状況を個々に把握し対応を決定していく必要がある。一方、変圧器の構成要素である負荷時タップ切替器(LTC:on-Load Tap Changer)に



については、動作回数により劣化が進行するため、従来から定期点検やカセット交換などの対応が採られてきている。また、ブッシングや冷却器などについては部品単位、ユニット単位での交換という対応も可能である。変圧器全体の保全は、個々の変圧器に対し、これら全体の状況を総合的に勘案して判断する必要がある。

変圧器に限らず、機器個々の劣化状況に応じた保全方針を検討するためには機器の劣化診断が重要となってくるが、現時点の診断技術では、特に余寿命の予測診断を高精度で行うことはいずれの機器についても困難な状況である。今後も継続的に診断技術の高度化を進めて行くとともに、当面は、事後診断に用いる、あるいは後述の信頼性重視の保全検討の一助とすることが有効な活用方法と考えられる。

開閉器の場合、比較的新しい技術を適用している設備については、適切な保守点検を行うことである程度の機能維持が期待できる。しかしながら、今後各機器の経年数がメーカーの機器開発時の期待寿命を超えていくなかで、開発時には想定していなかった劣化モードや早期の劣化が発生する部位についての保守対応が必要となってくる。

そのほか、保守延命化と更新の区分検討にあたっては、使用部品の枯渇、適用技術の変化、技術継承、及び工事期間や輸送ルートの制約なども十分考慮した検討を進める必要がある。

約10年前から保守点検業務においては、期間ごとの保守対応であるTBM (Time Based Maintenance) から機器の状態に応じた保守であるCBM (Condition Based Maintenance) への移行が顕著となっているが、この考え方は、保全対応全般にも当てはまると考えられる。また、今後は更に進んで、信頼性重視の保守であるRCM (Reliability Centered Maintenance) へ移行するものと考えられる。すなわち、同等の劣化状況であっても、障害発生時の影響度

や復旧までの対応時間、代替設備の有無など、様々な外部条件から決まる設備全体の信頼性を維持するという観点から、設備取替の優先度と手順を検討することが求められていくと考える。

■ 予備品や予備器の持ち方

保守延命化を進める際には延命期間中の故障あるいは障害発生リスクも高まることから、従来にも増して予備品や予備器の持ち方が重要となってくる。予備品や予備器は以下の三つのカテゴリーに分類できる。

● 通常の保守点検で使用する部品

このカテゴリーに分類されるものとしては、ガスケット、グリースなどの消耗品や六フッ化硫黄 (SF₆) ガス、電装品などがあるが、一部の例外を除けば、メーカーあるいは点検業者で準備することが可能であり、大きな問題はない。

● 延命化対応の保守部品

廃型などによる枯渇部品で、機器延命期間中の保守対応に必要となる部品を意味し、特殊な配管バルブなどメーカーで一部ストックしている廃型品や、既に新規製作が困難となった空気遮断器の遮断部、各種電子回路基板などを撤去設備から取り出し、延命化対応の予備部品としてメーカーやユーザーで保有しているものが、このカテゴリーに分類される。従来はあまり認識されていなかったカテゴリーの予備品であり、各機器や設備の構成及び劣化・障害モードを調査したうえで、保有について検討していく必要がある。

● 緊急対応の予備品・予備器

万一の事故時の緊急復旧対応時に必要となる機器又はコンポーネントとして、従来から移動用変圧器やLTCのダミーインサートなどが一部で保有されている。これらに加えて今後のリスク対応として、高電圧変圧器の予備器 (予備相) や予備遮断器、あるいは予備用の避雷器や高電圧の移動用変電所の配備について、その必要性を評価する必要があると考えられる。

延命化対応の保守部品、あるいは緊急対応の予備品や予備器として分類されるものについては、その保有の是非や保有する場合の保管・管理方法も含めて、検討を深めていく必要があると考えられる。すなわち、予備品や予備器の量や種類が増えるにしたがって、ユーザー間やユーザーとメーカー間で連携して保有管理負担を低減しつつ利用率を最大化する方法について、議論が活発化していくと予想される。

更新あるいは部分更新事例とその傾向

これまで述べた背景の下、現在様々な形で保全や更新が進められている⁽¹⁾。対応状況ごとに分類した主要な保全・更新事例を表2に示す。

碍子 (がいし) 形機器など適用技術が古く、規格の変遷も進み、保守部品や技術者が枯渇している機器や設備については、既に多くが撤去あるいは更新されている。現状は、適用されてから30～40年が経過した空気操作式GCBや初期型ガス絶縁開閉装置 (GIS: Gas Insulated Switchgear)、初期型ギャップレス避雷器、製作年代が古いか稼働率が高い油入変圧器、旧式の制御回路などにおいて、保守点検を実施しながら代替機器への取替えが進みつつある。これらは、前述の技術や規格の変遷、部品の枯渇状況に加え、個々の設備の劣化状況、ライフサイクルコスト評価など総合的な評価により対応が決定されている。

計画的長期停止の取りやすさにより対応方針が決定される場合も少なくなく、例えば、大形変圧器の取替えにあたっては、全面更新とコイル巻替え+オーバーホールという二つの対応策が考えられる。設備コストは低廉でも停止期間の長い後者に対し、新設備の設置スペースが確保できる場合は前者のほうが設備停止期間を大幅に短縮できることから、前者に総合的なメリットを見い

表2. 変電所設備の保全・更新状況

Substation equipment maintenance and renewal classification table

分類	設備・機器・部品名	一般的な対応状況	説明
取替えが進行している設備・機器	<ul style="list-style-type: none"> リアクトル式 LTC 空気遮断器 油遮断器 複圧式 GCB ギャップ付き避雷器 ガス循環式 GIS メカ型リレー、静止型リレー 	<ul style="list-style-type: none"> 代替機器に取替え (一部は保守点検を実施したり予備品・予備器を確保したうえで、当面は延命化運用) 	<ul style="list-style-type: none"> 適用技術や規格の変遷、保守部品や技術者枯渇などの理由により、基本的に撤去・更新
取替えが今後進行していくと想定される設備・機器	<ul style="list-style-type: none"> 空気操作式 GCB 初期型ギャップレス避雷器 初期型 GIS 製作年代の古い、又は稼働率の高い油入変圧器 磚子形変成器 初期型デジタルリレー 電力パワーエレクトロニクス用 16ビット制御装置 	<ul style="list-style-type: none"> 保守点検を実施しながら代替機器への取替えが進行 	<ul style="list-style-type: none"> 適用技術や規格の変遷、保守部品や技術者枯渇状況から個々の設備の劣化状況、ライフサイクルコスト評価まで含めた総合的な評価により対応は変化
経年劣化、運転劣化に対応し想定していた部分取替え又は手入れを実施している設備・機器	<ul style="list-style-type: none"> LTC 電力パワーエレクトロニクス用サイリスタ 	<ul style="list-style-type: none"> カセット交換による保全 コンポーネント交換 	<ul style="list-style-type: none"> あらかじめ想定していた劣化事象に対する保守又は部分取替えを実施
	<ul style="list-style-type: none"> 変圧器、分路リアクトルなどの各種付属品、冷却用ユニットクーラ、油ポンプなど 	<ul style="list-style-type: none"> 部品、付属品の交換やオーバーホール 	<ul style="list-style-type: none"> 個々の設備の劣化状況、ライフサイクルコスト評価などにより対応は変化
	<ul style="list-style-type: none"> 各制御回路部品や電子回路 	<ul style="list-style-type: none"> 定期的な部品交換 	
開発時には想定していなかった劣化モードへの対応により取替え又は手入れを実施している設備・機器	<ul style="list-style-type: none"> 遮断器の極間コンデンサ絶縁筒劣化 	<ul style="list-style-type: none"> 遮断器取替え (又は部品取替え) 	<ul style="list-style-type: none"> メーカー期待寿命以上の運用を想定し部分取替えを実施するケースや、ライフサイクルコスト評価結果などにより対応は変化
	<ul style="list-style-type: none"> GISのフランジ、ペローズ類腐食 	<ul style="list-style-type: none"> 部分取替え (又は機器全体の取替え) 	
	<ul style="list-style-type: none"> 磁器碍管などの吸湿劣化 	<ul style="list-style-type: none"> ブッシング取替え 	
系統面又は運用面からの要求責務変更への対応により取替え又は改造を実施している設備・機器	<ul style="list-style-type: none"> 各直列機器の短絡電流増大対応 開閉器類の多頻度開閉対応 信頼性向上のための設備構成変更 電力品質向上のための対応 	<ul style="list-style-type: none"> 遮断器取替え、ガス絶縁変圧器化、変圧器巻線取替え 位相制御開閉技術の適用、ポリマー碍管・避雷器の適用など 	<ul style="list-style-type: none"> 目的、状況により多様な対応を実施

だせる場合も少なくない。

また同様に、遮断器の極間コンデンサ絶縁筒の劣化対応の場合では、保守性などの様々な要素の総合評価の結果として、遮断器取替えが選択される場合が多くなっている。

メーカー側の技術開発においても、取替えあるいは部分更新に適した設備構成に配慮したり、単なる取替えではなく、更新時に小型・軽量化や損失低減により環境負荷の低減、電力品質の向上、及び短絡電流増大への対応など新たな付加価値を提供する点を当社では重視するようにしている。

計画的な更新計画の立案においては、国内各ユーザーで経年設備の状況を見て将来の更新想定物量を検討する動きが出てきている。将来の業務量を正確に把握することで、メーカーにおける技術開発だけでなく、人員や設備の計画にも適切な反映が可能となる。こうしたユーザーとメーカーが一体となった

取組みは既に始まっている⁽²⁾。

保全・更新技術の高度化に向けて

変電所設備の保全・更新に関する最近の傾向と、現在から近未来に続く取組みについて述べた。

従来にも増して保全関連技術の高度化を進めるとともに、計画的な保全をどう進めていくかの協議検討をより深めていくことが、いっそう重要となってくる。当社もユーザーニーズに配慮した多彩なメニューできめ細かく対応していく方針であり、電力の安定供給を支えていくために、今後も多彩な保全と新技術の提案や、中長期的展望に立った協議検討を進めていきたい。

文 献

(1) 密閉形変電設備劣化保全技術高度化専門委員会. 密閉形変電設備の劣化保全技術高度化. 電気協同研究. 61. 3. 2006. 287p.

(2) 平成19年研究討論会. 高経年期を迎える電力流通設備の円滑な取替えに備えて～高度成長期に建設された設備のマネジメントと更新～. 電気協同研究. 63. 5. 2008.



小坂田 昌幸
KOSAKADA Masayuki

電力流通・産業システム社 電力流通システム事業部 電力変電技術部長。変電機器、変電所システムなどの技術開発及びエンジニアリング業務に従事。電気学会、IEEE、CIGRE 会員。
Transmission & Distribution Systems Div.



澄川 俊雄
SUMIKAWA Toshio

電力流通・産業システム社 浜川崎工場長付。送変電機器の技術開発、品質管理業務に従事。電気学会会員。
Hamakawasaki Operations