

伊東啓太* 近野智規*
北山匡史**
宮田秀樹*

高経年変電機器のライフマネジメント

Life Management of Aged Substation Equipment

Keita Ito, Masashi Kitayama, Hideki Miyata, Tomonori Chikano

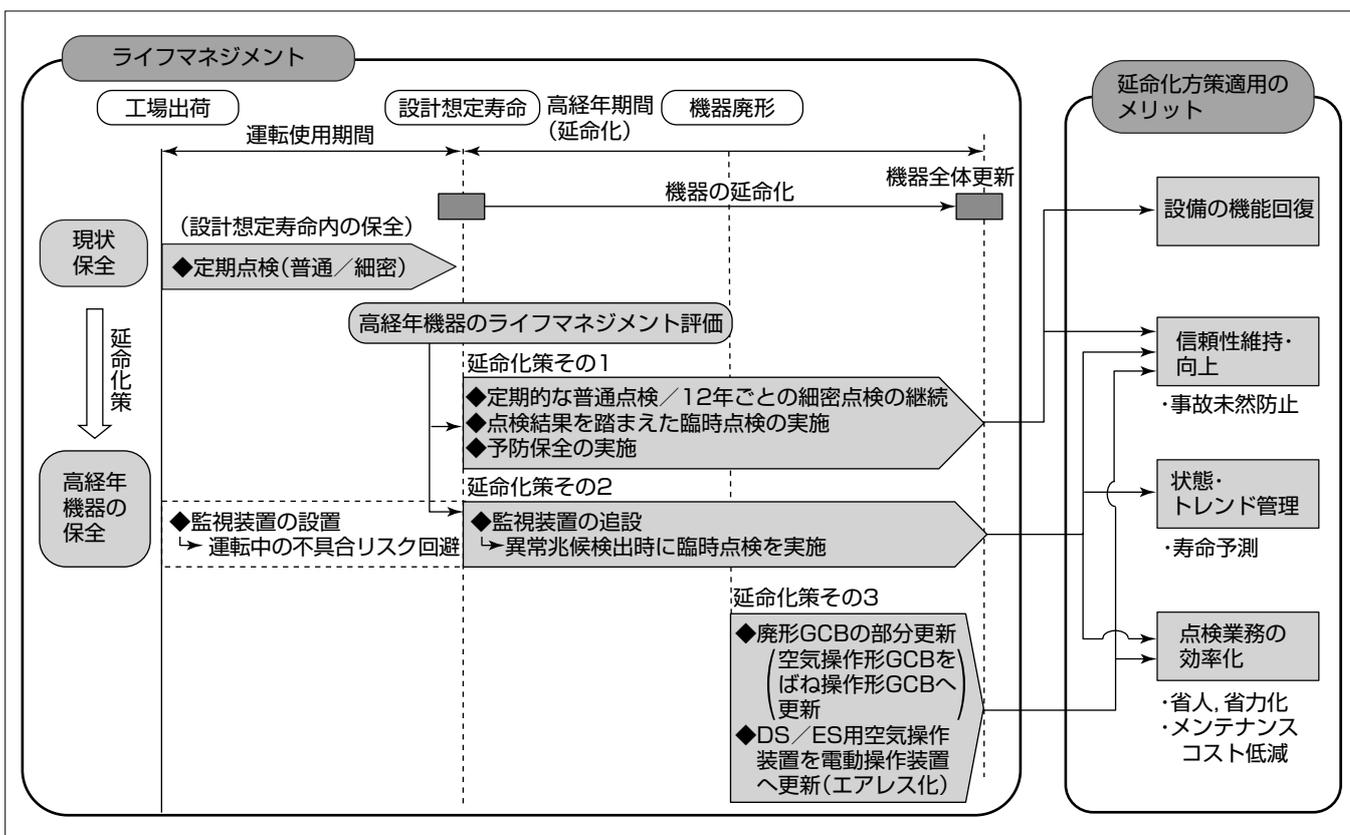
要旨

送配電事業への運用コスト低減の圧力の高まりを背景に、変電機器の高経年運用が常態化し、機器を極力長く使いたいが事故による供給障害は避けたい、また高経年化に伴う劣化進展による点検頻度の増加を避けたいというユーザーのニーズが高まっている。

そのため三菱電機ではGIS(Gas Insulated Switchgear)／GCB(Gas Circuit Breaker)のライフマネジメントに資する取組みを行っており、高経年GISの信頼性を向上するための方策の一つとしてGIS用の空気操作形GCBやDS(Disconnector)／ES(Earthing Switch)操作装置の部分的な更新について検討している。また、変圧器の油中ガスセンサ及びLTC(Load Tap Changer)動作特性監視センサなど

を適用したオンライン監視装置による機器状態の診断は高経年機器の不具合リスク回避に有効であり、保守点検の省力化を可能としている。

一方、やがて寿命を迎える変電機器の更新は投資金額の制約を満足させつつ物量を平準化する必要があるが、その判断で、更新を先送りにする機器の故障リスクを十分に考えて一定の判断指標に基づいて更新優先順位を決定する必要がある。今後構築されていくアセットマネジメントシステムで必要となる更新優先順位付けを支援する技術として、平準化を行う際の機器更新繰延べによる故障発生確率の増加に伴う延命リスクと機器更新コストの最適化が重要となる。



GIS/GCBを例とした高経年変電機器のライフマネジメント

設計想定寿命までの期間は定期点検、臨時点検を実施し必要な部品交換を行うことで機器の劣化による機能低下を回復させながら運用する。その後は経年による信頼度低下に加え、取替部品の生産中止や熟練技術者の枯渇などの廃形機器の問題によって保守点検作業の維持が困難な状況となる場合があるため、監視装置設置による機器の状態診断や廃形機器の部分的な更新を行って機能・信頼度回復を図る必要がある。

1. ま え が き

高経年運用される変電機器がますます増加しており、潜在的に経年劣化による故障リスク、部品供給や熟練技術者不在によるメンテナンス困難などの課題を抱えながら運転しているものもあると考えられる。これらに添えていくため、機器のライフマネジメントの全体像を描き、経年劣化やメーカーの部品供給・メンテナンス対応可能者の枯渇などの環境変化に応じるための保守技術や取組みを立案することによって、機器本体を延命化させるとともに信頼性向上によって電力の安定供給に貢献する取組みが必要となる。

2. 高経年変電機器の延命化に対する取組み

高経年変電機器(以下“高経年機器”という。)の延命化を図るとともに安定供給への責務を果たすため、経年劣化や廃形などの環境変化に対する保守の在り方や各種の保守技術について整理して機器のライフマネジメントに取り組んでいる。その一例を次に述べる。

2.1 高経年機器のライフマネジメント

図1はGIS/GCBを例とした高経年機器のライフマネジメントの概念を示す。設計想定寿命までの期間は普通点検や細密点検を実施し、必要な部品交換を行うことで機器の劣化による機能低下を回復させながら運用するが、設計想定寿命を超えた機器は、各種点検に加えて臨時点検や予防保全を行うとともに、運転中の不具合リスクを回避するために監視装置を追設して機器の状態診断を行うことが有効

と考えられる。さらに経年による信頼度低下に加え、取替部品の生産中止や熟練技術者の枯渇などの廃形機器の問題によって保守点検作業の維持が困難となる場合がある。このような状況に対応するため、図1では廃形への対応の代表例として初期形GISでの空気操作形GCBを挙げ、これを部分更新することによるGISの延命化策を示した。空気操作形GCBをばね操作形GCBに更新することで、煩雑な保守作業が要求される空気操作装置を排除できると同時にDS/ESに適用されている空気操作装置を電動操作装置に更新すれば、変電所全体のエアレス化を図ることによって保守作業の軽減を図ることが可能である。これについて2.2節で述べる。

2.2 GISエアレス化への取組み

1970~1980年代に納入されたGISのGCB、DS/ESの操作装置は大半が空気操作形であるが、多数納入されたこれらの高経年機器の多くは現在も運用されている。GCB、DS/ESの可動部の駆動装置としての圧縮空気発生装置は、空気圧縮機、空気圧タンク、圧力スイッチなどが収納される制御盤から構成されている。空気系統の保守部品は約150点あり、ゴム系パッキンが多数使用されているため、経年劣化による空気漏れが多発しており、ユーザーの保守労力と費用の増大を招いている。このGCBをばね操作形GCBに更新するとともに、DS/ES用空気操作装置を電動化することで変電所全体でエアレス化が可能になり、これらの保守作業が不要になるため、メンテナンス性と信頼性を向上できる。図2は海外向けの初期形145kV GISでの空気操作形GCBとDS/ES用空気操作装置を示す。

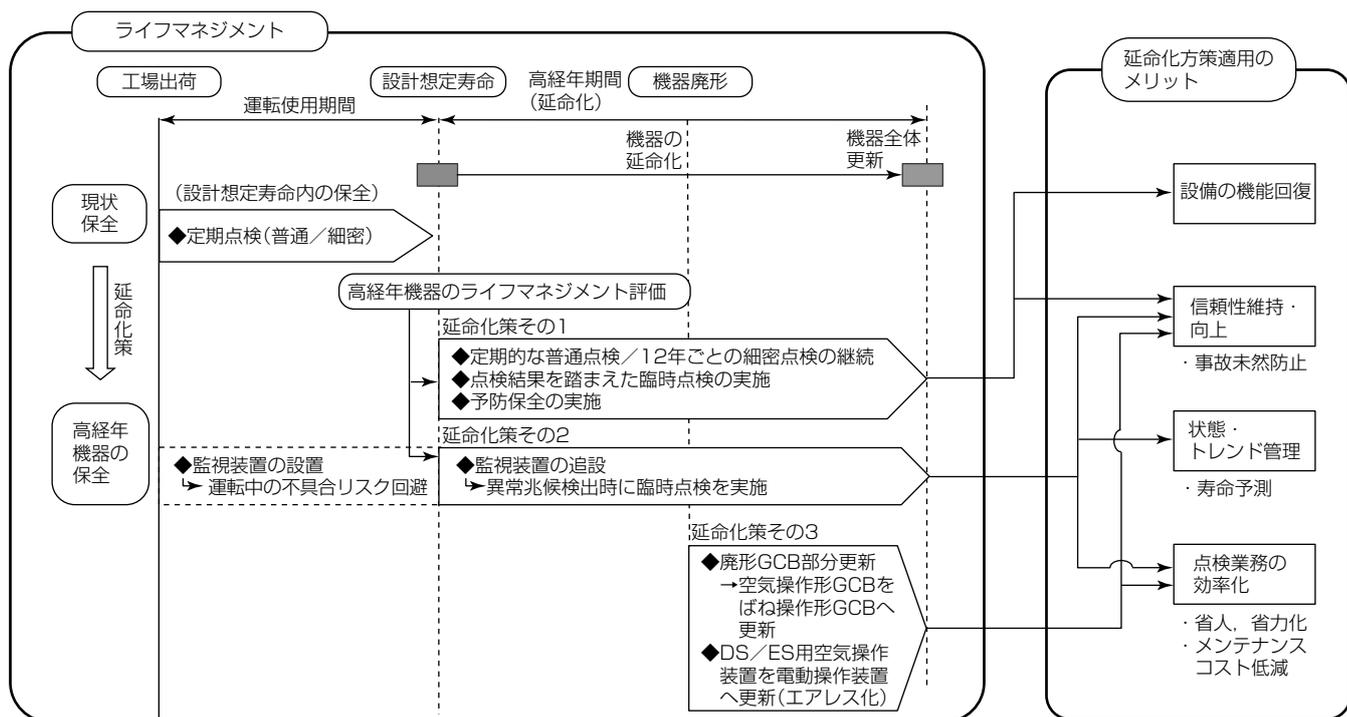


図1. GIS/GCBを例とした高経年機器のライフマネジメント

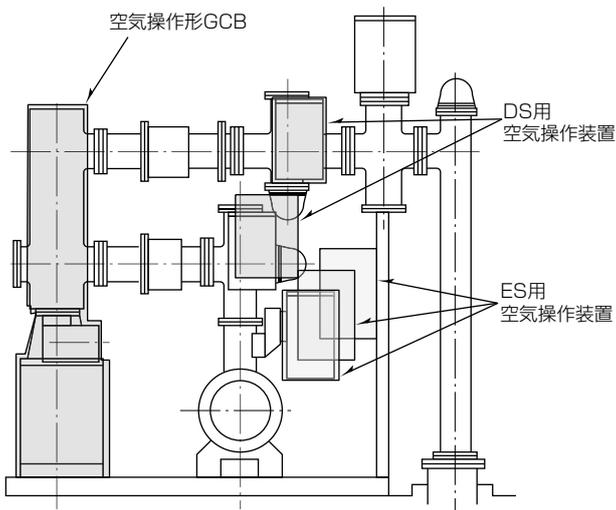


図2. 初期形145kV GISの空気操作形GCBとDS/ES用空気操作装置

表1. 変圧器監視用センサ

監視項目	適用センサ	機能
油中ガス (6成分)	熱線形半導体センサ	絶縁油に溶解しているガスを抽出し、6種類のガス成分を微量の段階で測定することによって、機器内部で発生している異常を検出し、異常の種類を推定する。
油面	磁気式ポテンシオメータ	油面を監視することで、変圧器の油漏れを検出する。
油温	測温抵抗体 (Pt100Ω)	油温上昇を監視することで、変圧器内部の異常や冷却器の異常を検出する。
LTC動作特性	駆動軸トルクセンサ モータ電流センサ 切換信号、タップ位置信号	負荷時タップ切換器の本体機構部、操作機構部の異常の前駆現象を駆動軸トルクセンサ・モータ電流波形から検出し、異常の検出と部位を標定する。
LTC切換開閉器接触子消耗量	負荷電流センサ LTC切換信号	負荷電流やLTCの切換信号を測定し、切換開閉器内接触子の累積消耗量を推定することによって、接触子残量管理限界や主接点・抵抗接点のアンバランス消耗量管理限界に対する裕度を予測し、適正な内部点検を支援する。

3. 監視装置による状態診断と保守点検省力化⁽¹⁾

監視装置によって機器のモニタリングを行うことは、不具合リスクの回避もさることながら、アセットマネジメントで導入が進みつつある各機器状態のヘルスインデックス^(注1)算出に役立つことに加え、従来の点検員による作業を自動化し、省力化するメリットがある。この章では変圧器を例に、監視装置による状態診断について述べる。

(注1) 機器の所有者がその機器の更新計画を行うために用いる、機器状態を表す簡単な指標であることがCIGREのTechnical Brochureに記されている⁽²⁾。

3.1 変圧器の監視診断

高経年機器の増加や設備投資抑制によって、従来の運転時間や動作回数をもとに点検するTBM(Time Based Maintenance)から、各種センサを用いて機器状態を把握し、保守を実施するCBM(Condition Based Maintenance)へ移行し、保守コストの削減が検討されつつある。これまでは人による巡回点検で機器の状態を確認していたが、遠隔地から変圧器の状態をオンラインで監視・診断することで機器の信頼性向上と保守コスト削減を図る変圧器保守支援システムが導入されている。また、常時監視によって機器の異常兆候の迅速な検出や事故の未然防止が可能である。これらの保守支援システムは、高経年変圧器への導入や新設の変圧器にこれらの機能を組み込むことで、保守管理に係るランニングコストの低減に貢献できる。

代表的なオンライン変圧器監視用センサを表1に示す。そのうちのCBMを指向したオンラインの油中ガスセンサ及びLTC動作特性監視センサ、LTC切換開閉器接触子消耗量監視センサについて次に述べる。

3.1.1 油中ガスセンサ

油中ガスによる異常診断は、変圧器内部異常の様相や進展度合いを検出・特定できることから有効な手段として採用されている。特にオンライン装置は変圧器本体と油配管

で接続され、油中ガスを周期的に自動測定し、定期的なオフライン分析では困難である異常兆候の早期検出が可能である。変圧器の停電が不要で容易に据付け可能であることも特長の一つである。

3.1.2 LTC動作特性監視センサ

従来LTCは、巡視及び動作回数・経年による保守作業が行われてきた。監視装置としては、トルクセンサと電流センサによって切換中の駆動軸トルクとモータ電流波形を測定し、異常の前駆現象を検出するものである。

測定されたトルク波形から抽出されたトルクや動作時間によって異常判定を行うとともに、前回測定波形又は形式ごとの基準波形との重ね合わせによる異常の兆候、異常部位の診断を可能にしている。トルクセンサは開放点検する機会の少ないタップ選択器や転換器の診断に有効である。

3.1.3 LTC切換開閉器接触子消耗量監視センサ

LTC切換開閉器の開放点検は、従来動作回数や経年による周期管理によって実施されている。この開放点検は、主に接触子の消耗量、締め付け部の緩みを点検するもので、接触子消耗量監視による内部点検周期の延伸が保守コスト削減の観点から検討されている。負荷率と切換方向などから算出される累積消耗量を推定することで、各接触子の残量や主接点、抵抗接点の不均等消耗限界に達する裕度を把握し、消耗進行度に応じた点検周期の調整が可能になる。

3.2 変圧器監視システム

変圧器監視システムの構成例を図3に示す。各種センサ信号は冷却器制御盤内に内蔵したセンサ信号処理ユニットでセンサ信号の変換・異常診断を実施し、測定データ、診断結果を変電所内のネットワークを介してサーバに保存する。そのデータは遠隔の保守拠点で一元管理することによって機器の異常兆候の検出や保守管理計画の立案が容易に可能になり、保守管理に係るランニングコストの低減に貢献できる。

4. 更新優先順位決定のための支援技術

前章までに述べたような機器・装置の部分更新や監視装

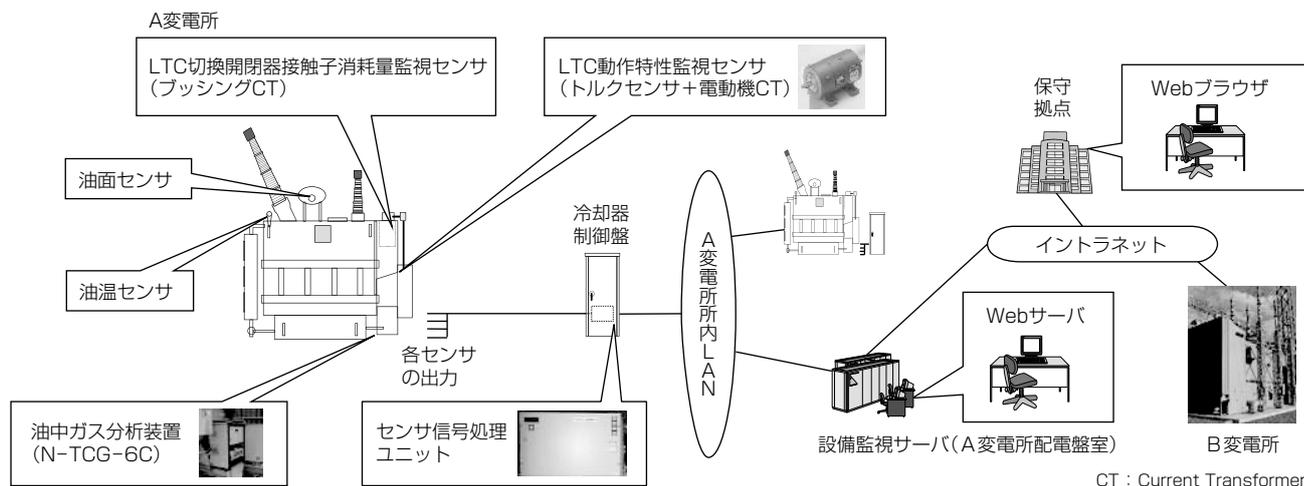


図3. 変圧器監視システム

置の設置などの様々な保守技術を用いたライフマネジメントを行うことによって変電機器をできるだけ長く運用する取組みを行う一方で、工業製品である変電機器はやがて寿命を迎える。個々の変電機器は、機器単体での診断によって劣化状態を判定した後、更新平準化のための繰延べを含めた更新時期調整に伴う機器リスクを定量化し、適切な保守・点検を行い、適切な時期に更新することが望ましい。機器更新には多くの費用・作業員を要するため経営面での制約が大きく、この制約の中で更新工事を実施する必要がある。特に、ある一定の管轄に所属する機器全体を対象とすると、多数の更新工事を特定の年度に集中することは避けて複数年度に分散して工事を行う、いわゆる平準化をすることが望ましい。

更新平準化のために更新工事を後ろ倒しすると機器を延命化することになり、劣化に伴って故障が発生する確率やそれに伴う保全コストが増加することになり、延命リスクが発生する。更新年の後ろ倒しに当たって増加する延命リスクをなるべく抑制することが望ましい。

年間更新費用をなるべく平準化することと、延命リスクの最大値をなるべく小さくすることを目的関数にした最適化問題として定式化することによって、最も望ましい更新繰延べ計画を策定することができる。更新コストのばらつきと延命リスクのばらつきは相反する要求であり、二つを同時に改善することはできない、いわゆるトレードオフの関係にあり、更新工事の計画策定者が望ましいものを選択することになる。更新計画策定は各機器の更新年を決定する組合せ最適化問題として定式化できる。

入力データは、個別機器の型式、経年や動作回数などの稼働実績、診断によって得られた故障率、機器重要度や影響度などである。制約条件としては、更新年を繰延べする場合の繰延べ上限値、同一バンクなどの複数機器を同一年に更新する一括更新などを考慮する必要がある。更新計画

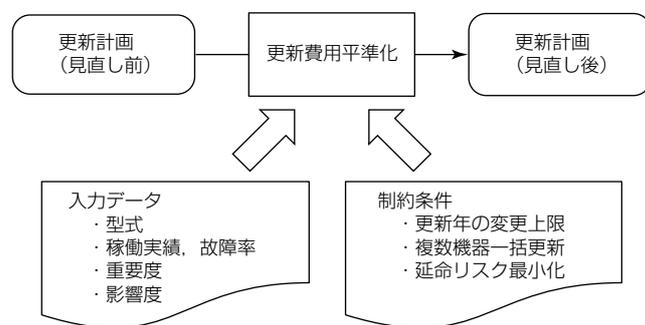


図4. 更新計画最適化の考え方

策定は制約条件を加味して、年度ごとの更新費用のばらつきが小さくなるように、個別機器の更新繰延べ年を決定することによって、個別機器の延命リスクが元の更新計画より大きくならないように平準化する更新計画に見直すことができる(図4)。

5. むすび

増加の一途をたどる高経年変電機器のライフマネジメントの必要性について述べるとともに、具体的な例として、GIS用の空気操作形GCB、DS/ES用空気操作装置の部分的な更新によるGIS延命化へ取組み例や、変圧器用のオンライン監視装置による機器状態診断と保守省力化の例について述べた。また今後構築されるアセットマネジメントシステムで必要となる更新優先順位付けを支援する技術として、機器更新コストと、相反する延命リスクの最適化の考え方について述べた。

参考文献

- (1) 篠原秀雄, ほか: IT化対応変圧器保守支援システム, 三菱電機技報, 75, No.8, 561~564 (2001)
- (2) CIGRE TB 422 C1.16, Transmission Asset Risk Management (2010)