高経年GCB・GISの劣化評価技術と更新技術

望月哲夫*
皆川忠郎*
笹森健次*

Deteriorating Portions Detection and Replacement Technologies for Aged GCBs and GISs

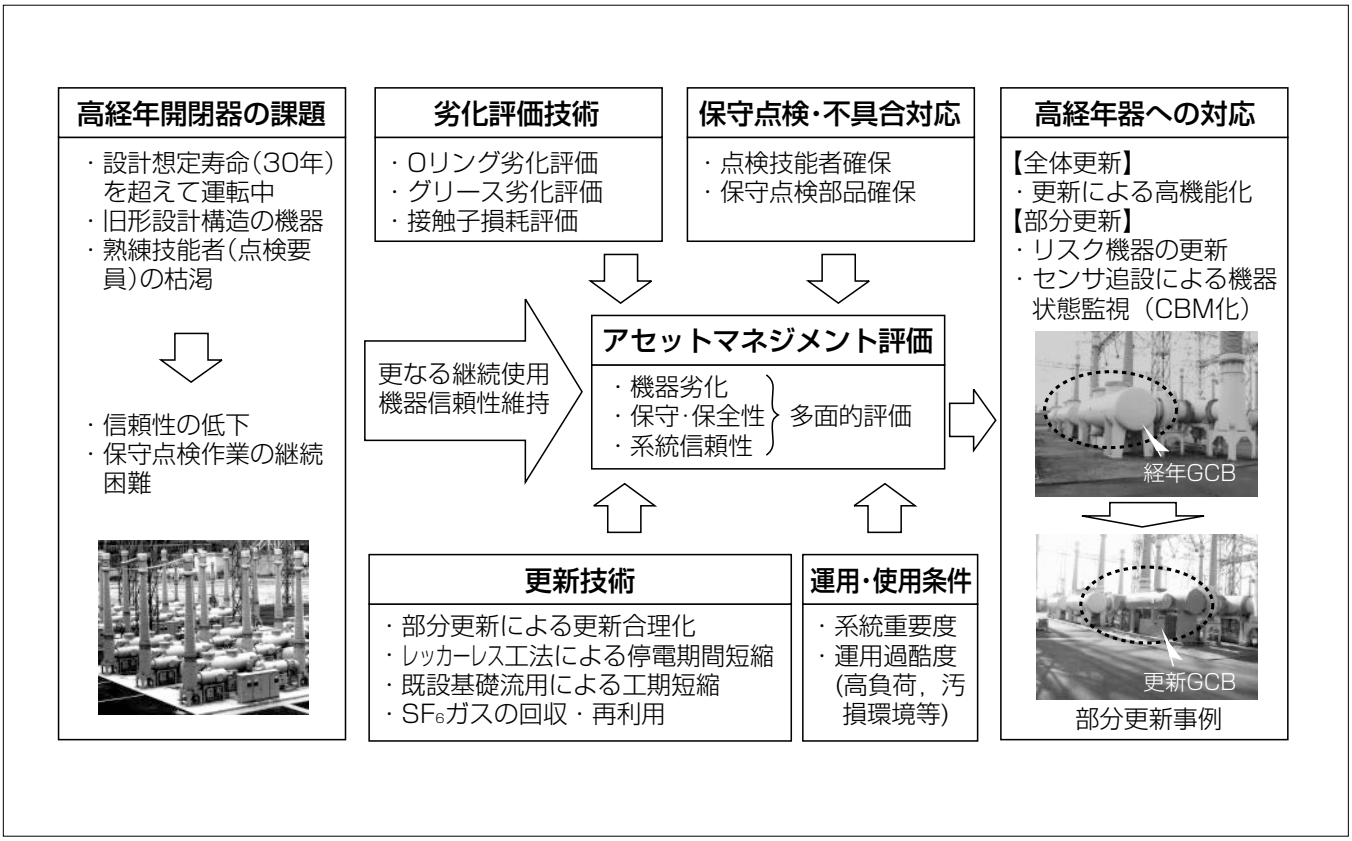
Tetsuo Mochizuki, Tadao Minagawa, Kenji Sasamori

要　旨

1970年代に本格導入された多数のGCB(Gas Circuit Breaker)・GIS(Gas Insulated Switchgear)は，すでに設計想定寿命(30年)を超過しており，最近では経年劣化による信頼性低下，旧形設計構造機器に対応できる熟練技能者の枯渇による保守点検作業の維持困難などの課題が顕在化している。

一方で，既設設備有効活用の観点から，高経年化する機器の更なる継続使用と機器信頼性維持が求められる中で，最適な更新時期の把握と保全対策の合理化の要求が高まってきている。そのため，機器の耐用年数の把握と機器の更新・保全の方策を決定するアセットマネジメントによる評価が急務である。

近年，これら高経年機器の耐用年数把握のため，フィールド器の工場持ち帰り調査を行い各種部品の劣化進展状況を定量的に分析・評価し，劣化診断・寿命評価技術の向上を図ってきた。まずは，劣化進展が懸念されるOリング及び接触子の損耗も含めたグリースの劣化評価について，新しい知見を述べる。次に，高経年GISを例にとり，機器全体の更新又はリスクが高い機器の部分更新，又は未更新部の機器状態監視(CBM(Condition Based Maintenance)化)による機器継続使用等，更新・保全に対する考え方と対応方法について述べる。さらに，550kV GISの主要部であるGCB部の部分更新工事の実施事例を紹介し，停電期間の極少化，現地工期短縮，既設設備有効利用等を考慮した更新技術の現状と更新時の配慮事項について述べる。最後に更新機器の開発事例についても述べる。



高経年開閉器の課題と劣化評価，更新技術による高経年器への対応

高経年化するGCB・GISの長期使用時の信頼性維持には，機器の劣化評価技術による耐用年数評価と運用・設備条件，保守・保全性を考慮した保全方策が重要である。保全対策には機器更新とCBM化による継続使用の考え方があり，更新時には停電時間ミニマム，工期短縮等の更新技術が適用される。

*系統変電システム製作所

1. まえがき

1970 年代から本格導入されたGCB・GISは，昨今では設計想定寿命(30年)を超過するものが増加しており，経年による信頼性低下，熟練技能者の枯渇による保守点検作業の継続困難などの問題が顕在化している。一方，既設設備有効活用の観点から耐用年数の把握による更新必要時期の設定が検討されるとともに，合理的な保全策を施すことによる，更なる長期使用も期待されている。

耐用年数を合理的に設定するためには，経年による各種部品の劣化進展状況を定量的に分析・評価する技術が必要となる。三菱電機では，GCB・GISの劣化を定量的に評価する技術の開発のため，フィールド器の工場持ち帰り劣化調査の実施によって，高経年機器の劣化診断・余寿命推定技術の向上に努めてきた。

本稿では，最新の劣化評価技術と，それによる評価事例を述べるとともに，今後増大が懸念される高経年GISの合理的な更新・保全の考え方・対応方法を提示し，更新事例をもとに機器更新時の配慮事項について述べる。

2. 劣化評価技術

機器の基本性能に影響を及ぼすガスシール用Oリング劣化，及び接点・摺動(しゅうどう)面のグリース劣化に対し最近新しい知見が得られており，それらについて次に述べる。

2.1 Oリングの劣化特性

ガスシール用Oリングは，ゴムの酸化・熱劣化が進展して弾力の低下が大きくなり，圧縮永久歪(ひずみ)率が一定値(80%)以上になると，ガスリークの発生が懸念される。

図1に，フィールドで得られたOリングの圧縮永久歪率のデータを示す[1]。圧縮永久歪率80%をシール性能限界としデータを統計解析すると，**図2**に示すとおり経年20年を超えるとリーク発生確率は上昇傾向となり，経年30年を迎えるものは数%の確率でガスのスローリーク発生が懸念される。

なお，これらのデータはOリング使用部位温度，フランジ面の錆(さび)発生，又は**図3**に示すとおり，補助シール剤の有無・使用雰囲気(酸素供給の有無)等によって変化するため，**表1**に示すとおり，使用状況に応じたリスク評価が必要となる。

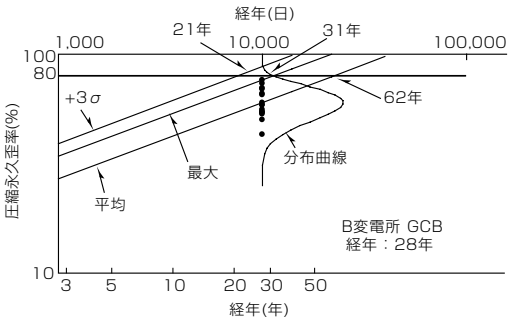


図1．Oリング劣化の統計解析結果

2.2 グリースの劣化特性

経年によるグリースの潤滑性能低下は知られているが，中でもGCB等の摺動接点部グリースは塗り替えが困難であり，グリース劣化による摩耗促進・通電信頼性低下が懸念される。

図4，**表2**に経年約30年の3変電所，4台のフィールド器の摺動接点グリースの分析データを示す[2]。油分蒸発量は経年に依存し，経年30年に近づくとグリースが潤滑機能を維持できる限界と一般的に考えられている油分率50%を下回る(摩耗量増大域)傾向にあることがわかった。

さらにピンオンディスク摩耗試験によって，これらグリース劣化の摩耗への影響を評価した結果を**図5**に示す[3]。図から，新品グリース(油分率65%)に対し，油分率50%に劣化すると摩耗量が急増することが確認できた。

また，これまでの摩耗試験及びフィールド器の調査結果から，油分率減少以外に，開閉動作による摩耗粉混入及び電流遮断によるSF_6(六フッ化硫黄)分解生成物の混入によ

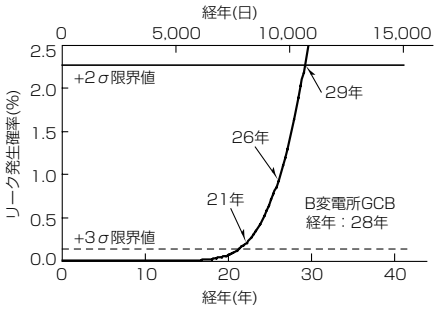


図2．Oリングのリーク発生確率推移

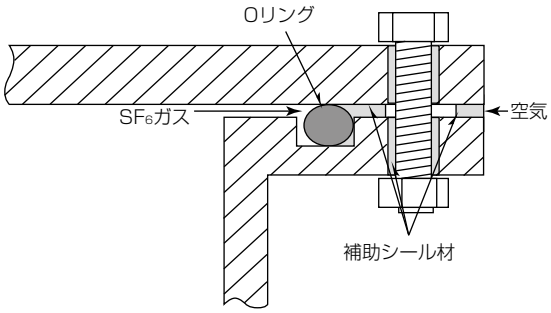


図3．フランジ部のシール構造

表1．各種因子の劣化促進性

劣化因子	劣化促進度 小 ⇔ 大	
使用雰囲気	ガス (低酸素)	⇔ 空気
補助シール剤	健全	⇔ 劣化
フランジ幅	長	⇔ 短
雨水の浸入	なし	⇔ あり
錆の発生	なし	⇔ あり
温度	低	⇔ 高

って摩耗が促進されるとの知見を得ており[4]，今後更なるデータ蓄積によって，フィールド器の状態予測や点検及び更新要否等の評価を行うことが期待できる。

3. 更新・保全の考え方と更新技術

高経年機器は，**2章**で述べた劣化に伴う性能・信頼度の低下のみならず，人的資源又は部品入手性の点から定期点検・修理・不具合時の対応等が困難となるなどの課題がある。

特に，高経年機器を熟知した熟練技能者（点検要員）の引退が今後ますます進むと考えるが，それによって，定期点検又は万一の不具合発生時の対応が困難又は不可能となる等の問題が発生する。

これらの状況を踏まえて，今後高経年機器が増加するGISを例にとり，その更新・保全の考え方について述べるとともに，実施した更新事例を紹介し，更新時に配慮すべき事項について述べる。

3.1 GISの更新・保全の考え方

GISは単体機器と異なり，複数の機器の集合体であるため，各機器の更新・保全要否を総合的に勘案して対応を図ることが必要となる。初期の遮断器，避雷器，変成器等は基本構造も現行と異なる旧式のものであり，性能・保守点検維持の観点からリスクが高いと想定される。このため，これらを部分的に更新（部分更新）する，又は，GIS全体を一括して更新（全体更新）することが必要となる。特に前者に関しては，未更新部（断路器，母線など）の健全性を確認するためのセンサ等を追設し，CBM（状態監視）を行うことで，GIS全体の信頼度維持を図ることが望ましい。GIS構成機器ごとの更新・保全の考え方を**表3**に，今後の対応方策の概要を**図6**に示す[5]。

3.2 更新方法の選択

部分更新又は全体更新の選択に当たっては，**表4**に示すとおり，更新必要部位，更新後（次期更新まで）の延命期待期間，更新のためのコスト・工事期間・停電期間などを総合的に検討することが必要である。

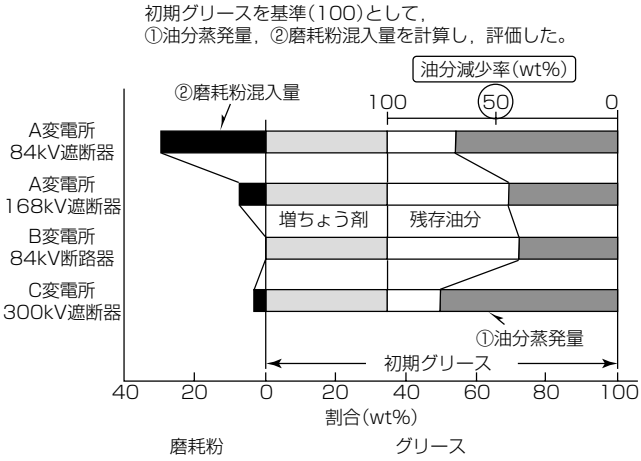


図4．グリースの劣化特性データ

表2．フィールド機器データ

変電所	A		B	C
機種	84kV 遮断器	168kV 遮断器	84kV 断路器	300kV 遮断器
用途	シャント設備用	送電線用		
経年（年）	27	28	29	30
動作回数（回）	8,564	573	255	1,059
負荷遮断回数（回）	1,630	30	—	不明
定格電流（A）	1,200	2,000	2,000	4,000
負荷遮断電流（A）	225	676	—	不明
【グリース中】 油分率（wt．%）	23	45	52	28
油分減少率（wt．%）	70	47	43	77
異物混入量（wt．%）	36	10	データなし	6

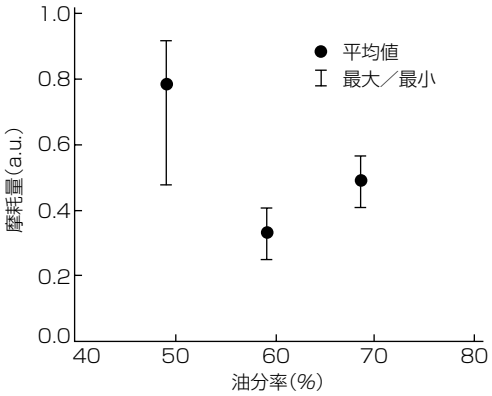
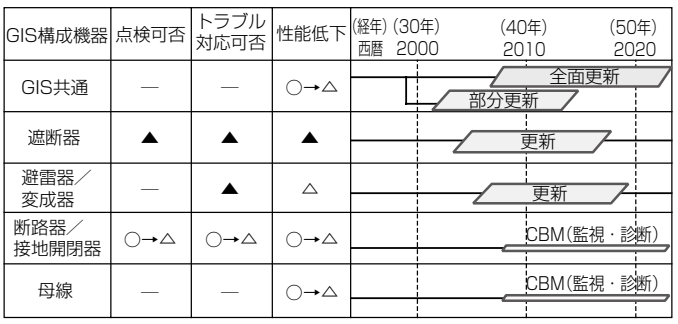


図5．グリース油分率と摩耗量の関係

表3．GIS更新機器の更新・保全の考え方

構成機器	更新・保全の考え方
遮断器（GCB）	GCBは技術進歩に伴う機種の世代交代が顕著であり，初期のものは現状に比べ，旧式の遮断部・操作機構部を持つため，性能面，保守点検面及び不具合時の対応等，高経年化に伴い至近に継続使用が困難となることが想定される。 このため，GCB部を更新し，GIS全体の継続使用を図る取り組みがすでになされている。
避雷器（LA）・変成器（VT）	初期のものは現行の酸化亜鉛形LA，ガス絶縁VTとは異なる旧式のもの（ギャップ付きLAや油入りPDなど）が納入されており，万一の不具合発生時の修復が困難であることや特性・性能低下の可能性が考えられる。このため，GCBと同様に機器の更新が進められている。
断路器（DS）・接地開閉器（ES）・母線（BUS）	断路器，母線などは，性能低下面，保守点検対応など至近での対応優先度はGCBに比べて低いが，経年が進むにつれて課題が顕在化してくると考える。このため，今後継続使用を図るに当ってはセンサ等による状態監視を行い，健全性確認を行うのが望ましい。

PD：Potential Device



凡例：○：現状対応可能，▲：至近で対応不可と予想，△：近い将来問題，－：該当なし

図6．高経年GISの更新・保全対応方策

表4．更新方法の選択

更新時の検討項目	全面更新	部分更新
更新必要部位	多数	限定
更新後の延命期間	長期	短～中期
更新コスト	大	小
工事期間・スペース	大	小
停電範囲・期間	中～大	小～大

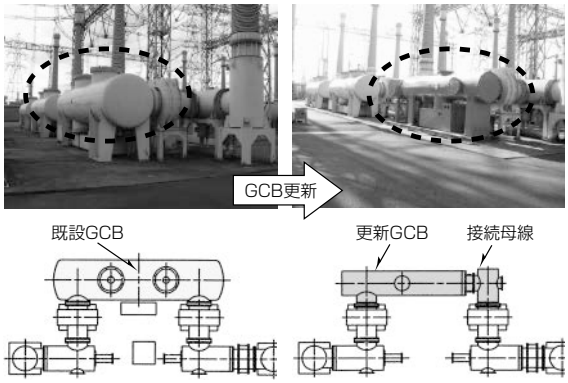


図7．550kV 二圧式GCB更新事例

3.3　550kV GISのGCB部更新技術

高経年機器の更新に当たっては，系統運用，更新費用，工事期間などを勘案し，停電期間・範囲の極小化，既設品（健全部位，基礎，SF_6ガスなど）の流用範囲の拡大，更新時の現地工事期間の短縮を図ることが必要となる。

近年実施している高経年550kV GISのGCB部の部分更新事例を**図7**に示す[6]。更新に当たっては，次の更新技術適用によって合理的，経済的な更新を実施した。

①重機を要しないレッカーレス工法による気中母線無停電でのGCB取替え（**図8**）

②既設GCBの基礎流用による現地工期の短縮

③既設GISとの取り合い部の流用（接続母線設置）

④SF_6ガスの回収・再利用

3.4　更新メリットを実現する機器開発

既存機器更新時，更新器の一層の軽量化，高機能化などを図ることによって，信頼性・保守点検性の向上，既設設備の有効利用などの更新メリットを創出することが重要となる。

今後の機器開発に当たっては，軽量化・所要操作力低減による基礎荷重の軽減（既設基礎の流用），機器寿命延長又は保守性向上を目的とした新技術開発などの取り組みが必要である。

当社で開発・製品化した新形84／72kV GCB[7]は，これらの更新メリットを追求した機種であり，次の特長を備えている（**図9**）。

①軽量化（転倒モーメント軽減）による既設基礎の流用・更新工事期間の短縮

②新材料ノズル適用によるタンク内点周期の延伸（従来2,000回→5,000回），操作装置のグリスアップ省略による保守点検性向上

図8．550kV GIS用GCBの更新工事状況

図9．新形84／72kV GCB外観

4. む　す　び

今後増加が見込まれる高経年開閉機器の最近の劣化評価技術と更新技術について述べた。

劣化評価技術に関しては，ここ数年でフィールドデータの分析・蓄積によって，劣化要因・メカニズム，劣化事象が機器性能へ及ぼす影響などが明らかになるとともに，耐用年数を定量的に評価できるレベルとなっている。

更新技術に関しては，GISを例にとり，性能面に加え，点検要員・点検部品などに起因する保守点検継続性等の面から，更新・保全に対する考え方を述べた。また，最近の550kV GISの部分更新工事に適用された最新の更新技術を述べるとともに，新形84／72kV GCBの更新メリットを追求した配慮事項について述べた。

当社はGIS・GCBのパイオニアメーカーとして，今後も高経年機器の信頼度維持と更新・保全技術の向上に向けて不断の努力を行う所存である。

参 考 文 献

(1) 皆川忠郎，ほか：高経年GISにおけるOリングの劣化特性，電気学会論文誌B，**125**，No.3，322～330（2005）

(2) 浦山雅彦，ほか：GCB用グリースの劣化評価（その7），平成20年電気学会B部門大会，No.353（2008）

(3) 鈴木淳史，ほか：GCB用グリースの劣化評価（その5），平成17年電気学会B部門大会，No.410（2005）

(4) 鈴木淳史，ほか：GCB用グリースの劣化評価（その6），平成18年電気学会全国大会，6-218（2006）

(5) 笹森健次：GISの発展経緯と最近の技術動向，エコトピア科学シンポジウム（2008）

(6) Okuyama，H.，et al.：Example for partial replacement of aged GIS／MTS in Japan，CIGRE SC A2A3B3 Colloquium（2009）

(7) 森　智仁，ほか：新形84／72kV ばね操作GCBの開発，平成21年電気学会全国大会，6-209（2009）