

受変電設備の劣化診断技術

Degradation Diagnosis Technologies for Power Distribution Facilities

村山 聖子

田村 珠美

水出 隆

■ MURAYAMA Kiyoko

■ TAMURA Tamami

■ MIZUIDE Takashi

受変電設備の状態は、経過年数だけでなく、設備の設置環境や、使用状態、点検の実施状況などにより異なる。受変電設備を構成する機器の劣化状態を的確に把握できれば、設備の維持管理に対する取組みの改善や事故の未然防止が図れるため、最近では、定量的に劣化を診断できる技術への期待が高まっている。

東芝は、受変電設備の劣化診断技術として、絶縁材料の物性から絶縁抵抗を推定することで受変電設備の余寿命を診断する技術と、グリースの粘性抵抗を劣化指標とした開閉機器におけるグリースの劣化診断技術を開発した。これらの診断技術は、受変電設備の予防保全と事故の未然防止に有効である。

The degradation of power distribution facilities depends on various conditions including the installation environment, usage status, implementation of maintenance and inspection, and so on, in addition to the duration of operation. Quantitative degradation diagnosis technologies have recently become a focus of rising expectations because gaining a correct understanding of the condition of deterioration of each piece of equipment of a power distribution facility is essential for the planning and implementation of facility maintenance and preventive measures.

Toshiba has developed two new degradation diagnosis technologies for power distribution facilities: a remaining-life assessment technology that estimates insulation resistance from the physical properties of materials used in power distribution equipment, and a grease degradation diagnosis technology that monitors the degradation index of the viscous resistance of grease used in switching devices. These technologies are contributing to the planning and implementation of maintenance and preventive measures for power distribution facilities.

1 まえがき

受変電設備の状態は、経過年数だけではなく、設備の設置環境や、使用状態、点検の実施状況などにより異なる。設備の劣化状態を的確に把握できれば、維持管理に対する取組みの改善や事故の未然防止が図れるため、最近では、定量的に劣化を診断できる技術への期待が高まっている。

そこで東芝は、受変電設備の劣化診断技術として、絶縁材料の絶縁抵抗を劣化指標とした余寿命診断技術と、開閉機器における粘性抵抗を劣化指標としたグリースの劣化診断技術を開発した。ここでは、これらの技術について述べる⁽¹⁾。

2 受変電設備の余寿命診断技術

受変電設備の劣化によるトラブルを未然に防止するためには、寿命に至る前に機器や部品を交換する必要がある。交換時期の把握には、現地測定などで機器の劣化状態を推定し、そこから余寿命を算出する診断技術が必要であり、市場の要求も高まっている。

受変電設備の主要機器である遮断器や主回路導体の支持には絶縁材料が多く使われている(図1)が、これらの絶縁材料が劣化すると地絡や短絡などの故障が発生し、寿命末期を

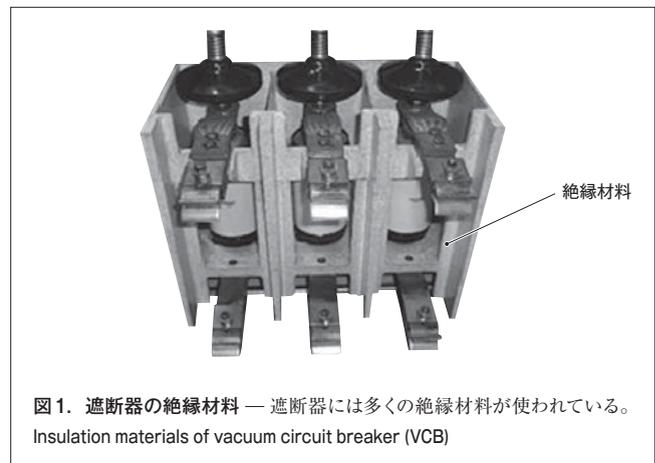


図1. 遮断器の絶縁材料 — 遮断器には多くの絶縁材料が使われている。
Insulation materials of vacuum circuit breaker (VCB)

迎えることになる。そこで、受変電機器に使われている絶縁材料の劣化に着目した余寿命診断技術を開発した。

絶縁材料が劣化すると表面の絶縁抵抗が低下することから、材料表面の絶縁抵抗を、機器の劣化を推定する指標とした。しかし、絶縁抵抗は測定時の温度と湿度に影響されやすいので、それらに影響されずに材料表面の絶縁抵抗を推定することが、余寿命診断技術を開発するうえでポイントとなった⁽²⁾。

この診断技術における絶縁抵抗推定式と余寿命年数の算出方法の考え方について以下に述べる。

2.1 絶縁抵抗推定式

絶縁材料表面の絶縁抵抗の低下は、主に電気的又は熱的なストレスが原因となる材料自体の劣化と、設置環境の雰囲気ガスや塵埃（じんあい）の付着による表面汚損が原因で発生する。そのため、これらの原因を絶縁材料劣化の評価項目として、絶縁抵抗を推定する式に取り込むことにした（図2）。推定式には、材料自体の劣化を評価する項目（ X_a ）と、環境影響を評価する項目（ X_b ），更に同じ劣化状態でも温度と湿度により絶縁抵抗は異なるため温度と湿度（ X_c ）も加えることで、任意の温度と湿度における絶縁抵抗の推定を可能にした。

評価項目 X_a として表面特性、機械特性、及び絶縁特性などが、 X_b として汚損度やイオン付着量などが、また、 X_c として温度と湿度が挙げられる。これらの評価項目のうち、絶縁抵抗に与える影響が大きい評価項目を絞り込んでそれらの影響から推定式を導出するために、多変量解析のT法を用いた。

初めに、 X_a 、 X_b 、 X_c が絶縁抵抗に与える影響度を確認して、評価項目を絞り込んだ⁽³⁾（図3）。横軸の単位は評価項目により決まり、例えば温度は℃、湿度は% R.H. などであり、縦軸は絶縁抵抗で単位はΩである。直線の傾きが大きいほど評価項目が絶縁抵抗に与える影響度が大きいことを示す。

次に、絞り込んだ評価項目から、T法を用いて推定絶縁抵抗（ Y ）を求める式(1)を作成した。

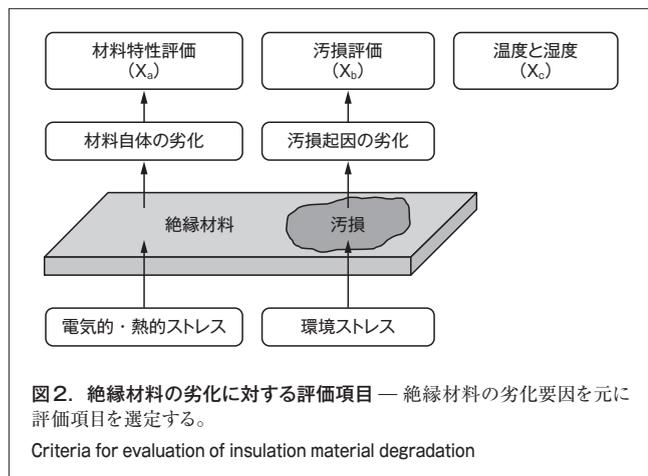


図2. 絶縁材料の劣化に対する評価項目 — 絶縁材料の劣化要因を元に評価項目を選定する。

Criteria for evaluation of insulation material degradation

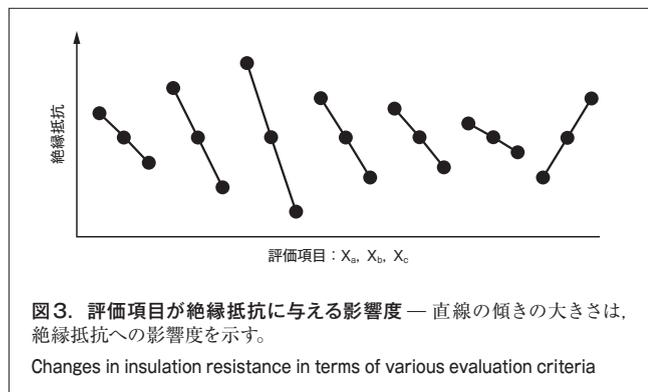


図3. 評価項目が絶縁抵抗に与える影響度 — 直線の傾きの大きさは、絶縁抵抗への影響度を示す。

Changes in insulation resistance in terms of various evaluation criteria

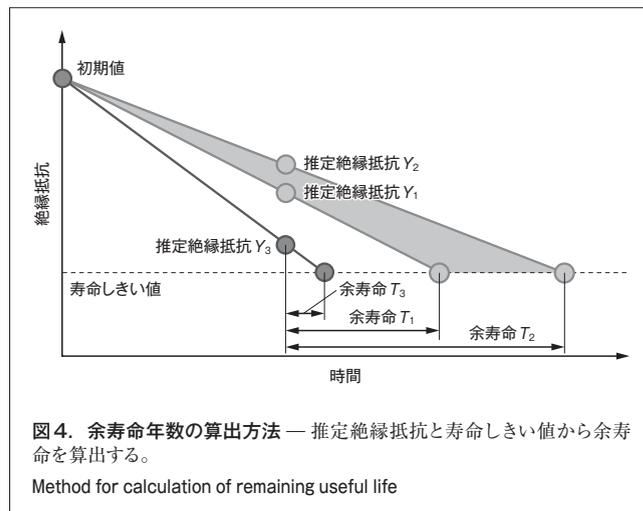


図4. 余寿命年数の算出方法 — 推定絶縁抵抗と寿命しきい値から余寿命を算出する。

Method for calculation of remaining useful life

$$Y = C + n_1 X_1 + n_2 X_2 + \dots + n_i X_i \quad (1)$$

Y ：推定絶縁抵抗

C ：定数

$n_1 \dots n_i$ ：重み付け係数

$X_1 \dots X_i$ ：各評価項目の測定値

劣化程度が異なる複数の材料に対して、式(1)で推定した絶縁抵抗は実測値と高い相関があることを確認した。

2.2 余寿命年数の算出方法

X_a と X_b を現地で測定する。測定値と任意の X_c を式(1)に入力して、絶縁抵抗を推定する。余寿命年数の算出方法を図4に示す。初期値（未使用の絶縁材料の絶縁抵抗）と式(1)から算出した Y を結んだ延長線が、寿命しきい値と交わる点から余寿命を算出する。

絶縁材料の劣化状態や汚損状態は設置部位により差があるため、複数の箇所を測定する。それにより、 Y は $Y_1 \sim Y_2$ まで幅ができ、このときの余寿命は最長で T_2 、最短で T_1 となる。

また、同じ劣化状態でも湿度が高い条件で推定した Y_3 は更に低くなり、余寿命も短くなる。通常は、湿度がもっとも高くなる梅雨時の湿度で推定した絶縁抵抗に基づいて余寿命を算出している。

この診断技術により、受変電設備の劣化診断だけでなく、余寿命を算出することで、設備の点検時期と更新計画の目安を定量化することが可能になった。

3 開閉機器のグリース劣化診断技術

受変電設備には遮断器や断路器などの開閉機器があり、それら機器の操作機構が持つしゅう動部及び接続部には、円滑に動作させるためにグリースを使用している。グリースの劣化診断技術とは、機器の動作に悪影響を与えるグリースの劣化度を定量化する技術である。

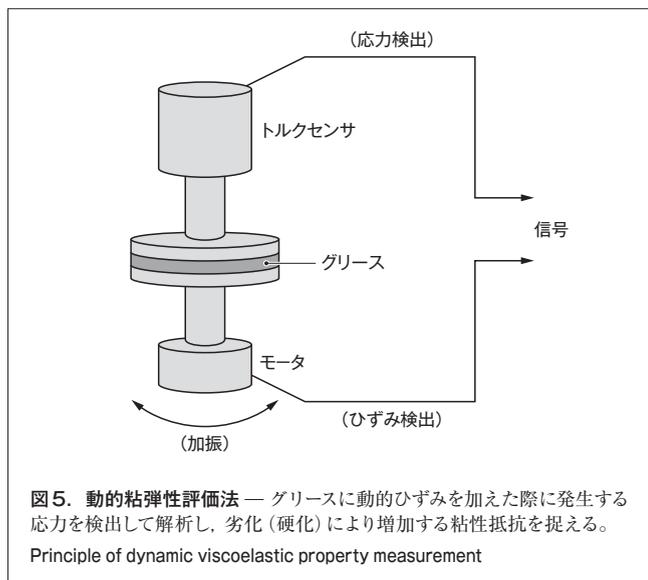
グリースの劣化の一つである硬化現象は、離油、酸化、塵埃の付着、及び異物の混入などが要因となり発生する。その結果、駆動力に対する抵抗や摩擦力を増大させ、遮断器や断路器の開閉動作に支障をきたす。実機においてグリースの硬化による動作不良事象が確認されており、このような事象に対する予防保全のために、グリースの劣化診断技術が必要であった。しかし、実機から採取できるグリースは微量であり、従来法では開閉動作に影響を与えるグリースの劣化を定量的に評価することは困難であった。当社は、今回、微量のグリースでも劣化を定量的に診断できる技術を開発したので、以下にその概要を述べる。

3.1 微量グリースによる劣化診断技術

グリースの硬さは“ちょう度”で表され、JIS（日本工業規格）が規定する測定法（以下、JIS法と言う）がある。JIS法では試料の量が5g必要であるが、操作機構のしゅう動部に塗られている量（米粒の半分程度）の測定には適さない。そこで、微量のグリースで劣化を定量的に評価する方法として、動的粘弾性評価法によるグリースの劣化診断技術を開発した⁽⁴⁾。

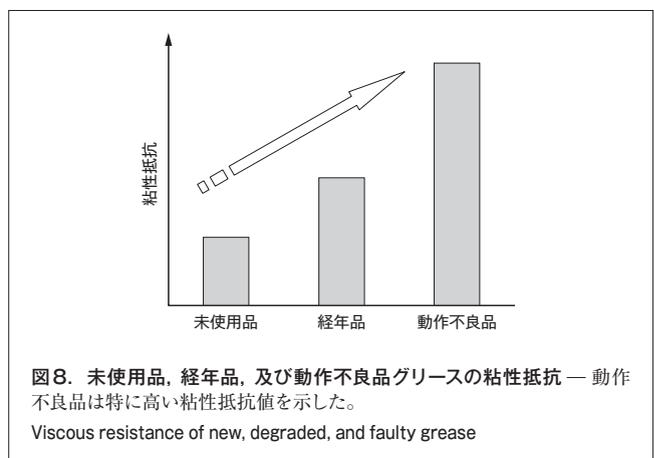
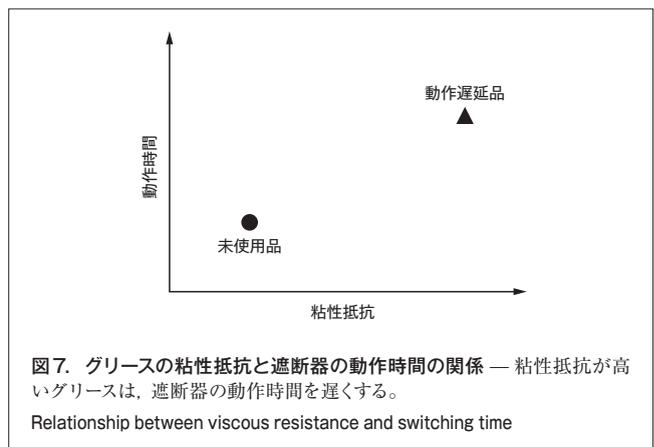
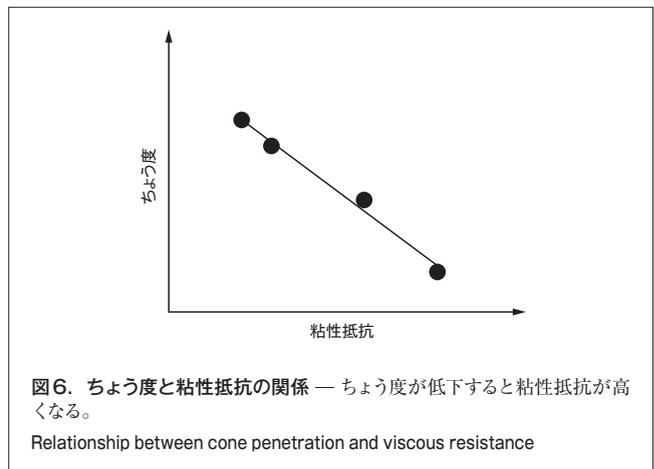
動的粘弾性評価とは、試料の力学的な性質を測定する方法で、2枚の円板に挟んだグリースに動的ひずみを加えた際に発生する応力を検出して解析し、劣化（硬化）により増加する粘性抵抗を捉える方法である（図5）。ちょう度が異なるグリースについて、ちょう度と粘性抵抗の関係を実験的に検証した結果、ちょう度が低くなる（硬化）につれて粘性抵抗が高くなる傾向が認められた（図6）。

次に、粘性抵抗と開閉動作の関係について調査するために、動作時間が規定に外れた遮断器から採取したグリース（以下、動作遅延品と言う）の粘性抵抗を測定した。グリースの粘性抵抗と動作時間の関係を図7に示す。動作遅延品は、未使用品に比べて粘性抵抗が高く、動作時間が長くなること



を確認した。

未使用品、経年品、及び動作不良品の粘性抵抗を図8に示す。経年品とは、市場で複数年使用し開閉動作の遅延やグリースの固着がなかった遮断器から採取したグリースで、動作不良品とは、グリースが固着して動作しなかった遮断器から採取したグリースである。経年品と動作不良品は未使用品より粘性抵抗が高く、動作不良品は特に高い値を示した。グ



リースの粘性抵抗は遮断器の開閉動作の良否を捉えていることがわかる。これらの結果から、開閉機器から採取した微量のリースの粘性抵抗を測定することで、劣化診断が可能であることがわかった。

3.2 グリースの総合劣化診断技術

ここではリースの総合劣化診断技術として、3.1節で述べた動的粘弾性評価法と従来法を組み合わせた診断技術について述べる。

従来法によるリースの劣化診断では、目的に応じて色調、広がり径、及び酸化度の3項目を評価していた(表1)。これらの評価項目は、遮断器の開閉動作との関係を把握するには不十分であったが、酸化の有無などリース自体の劣化を把握できるという利点がある。

そこで、従来法の利点と今回開発した動的粘弾性評価法を組み合わせ、より多面的にリースの劣化度を診断する技術を開発した。この技術の開発には多変量解析のマハラノビス・タグチ法(MT法)を用い、従来法による3項目に動的粘弾性評価法による粘性抵抗を加えた計4項目の測定値を、リースの劣化度として一つの値(マハラノビス距離： D^2)で定量化した。これにより、個別に評価していた項目を一つの指標で総合的に評価できる診断法を構築した。

市場で使用されている遮断器から採取したリースの色調、広がり径、酸化度、及び粘性抵抗を測定し、MT法で D^2 を算出した結果を図9に示す。正常品は D^2 が小さい領域に分布し、動作不良品は大きい領域に分布した。このデータベースを元に算出したリースの D^2 が正常品領域に分布するか、又は動作不良品領域に分布するかで、リースの良否判定が可能であることがわかる。

微量の試料で機器の動作遅延を捉え、複数の評価項目を総合的に評価できるリースの総合劣化診断法を確立した。

4 あとがき

受変電設備に使用されている絶縁材料の絶縁抵抗を劣化指標とし、余寿命を算出することが可能な余寿命診断技術、及び開閉機器に使用されているリースを微量採取して劣化診断を行う技術を開発した。

今後、従来の劣化診断技術に今回新たに開発した技術を加え、受変電設備の予防保全と事故の未然防止に役だてていく。

文献

- (1) 中島 渉. 電気設備の劣化診断技術の現状. 電気設備学会誌. 32, 12, 2012, p.893-896.
- (2) 村山聖子 他. “多変量解析による受変電機器の余寿命診断”. 電気学会基礎・材料・共通部門大会. 東京, 2011-09, 電気学会. 2011, p.418.
- (3) 武部 智 他. “T法の適用に関する新たな試み-MTSの検討3-”. 第18回品質工学研究発表大会. 東京, 2010-06, 品質工学会. 2010, p.302-305.
- (4) 田村珠美 他. “動的粘弾性によるリースの劣化診断技術”. 電子情報通信学会信頼性研究発表大会, 東京, 2011-06, 電子情報通信学会. 2011, p.13-16.

表1. グリースの劣化診断における評価項目と目的

Diagnostic items and assessment objectives

項目		目的
従来法	色調	異物や摩耗粉の混入, 酸化の有無
	広がり径	硬さ, 異物や摩耗粉の混入, 給油
	酸化度	酸化の有無, 異種油の混入
動的粘弾性評価法	粘性抵抗	動作の遅延

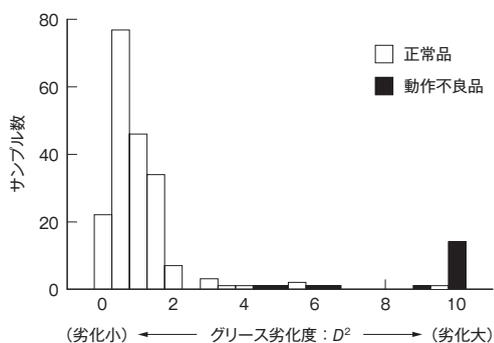


図9. MT法によるリース劣化度 D^2 の定量化 — D^2 の分布状態により、リースの良否判定が可能である。

Method of life assessment of grease using Mahalanobis-Taguchi (MT) method



村山 聖子 MURAYAMA Kiyoko

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 高機能・絶縁材料開発部。絶縁材料に関する研究・開発に従事。電気学会, 品質工学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



田村 珠美 TAMURA Tamami

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 高機能・絶縁材料開発部主務。絶縁材料に関する研究・開発に従事。日本トライボロジー学会, 電気設備学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



水出 隆 MIZUIDE Takashi

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 配電システムソリューション技術部主務。配電システムのエンジニアリング業務に従事。電気設備学会会員。

Transmission & Distribution Systems Div.