

MT法による特別高圧の劣化診断・余寿命推定技術

岡澤 周* 松木寿夫*
三木伸介** 大塚康司*
梅村園子***

Remaining Service Life Diagnostic Technology of Insulators Using MT Method

Hiroshi Okazawa, Shinsuke Miki, Sonoko Umemura, Hisao Matsuki, Yasushi Otsuka

要 旨

受配電設備を構成する要素の一つとして、電路を支える絶縁物は重要な機能を持つが、時間とともに周囲環境(内部環境・外部環境)の影響を受け劣化し絶縁機能を低下させていく。その結果、設備全体の信頼性を損ない、地絡・漏電や短絡等の事故・故障につながる。

三菱電機では、測定時の周囲環境の影響を受け難い化学的計測による複数の情報を、品質工学の技術(MT法^(注1))で解析し高精度の劣化度評価を行うと同時に、絶縁物の表面抵抗の湿度依存性を考慮した劣化診断を行い、さらに、劣化によって絶縁物表面で放電が開始されるまでの寿命を推定する技術“MT法による絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術(MT法診断)”を確立し、2003年より市場展開している。

実機を用いた試験でも診断精度の高さが確認されているこのMT法診断技術は、ほかの機器や、トラブル発生時の障害の影響が大きいため、より高い電圧への適用を期待されており、2011年9月より絶縁劣化診断・余寿命推定の適用範囲を33kVから77kV^(注2)にまで拡大した。

受配電設備の信頼性を確保し今後予想される故障・事故といったトラブルに対して確実な保守・保全につながる劣化診断として、又は的確な設備更新の時期を計画し立案できる余寿命推定として、そして更に広い視点での保全ツールとして高い評価を受けている診断技術について述べる。

(注1) 「マハラビス・タグチシステム」と呼ばれる、品質工学の多変量解析/パターン認識手法

(注2) 77kVクラスは現在のところ、当社製のみ対象

特集 II

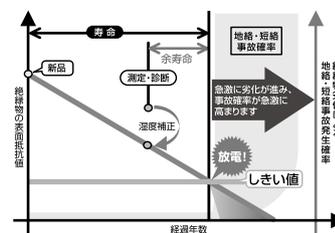
測定 絶縁物表面のイオン付着量と色彩を測定



イオン付着量測定



色彩測定



診断・推定概念図

診断 現地での測定データから、任意の湿度(使用最高湿度)での余寿命(放電開始時間)を推定

劣化診断・余寿命^(注3)推定 早見表 (2007年2月測定の場合の結果例 1985年製スイッチギヤ 経過年:22年)

測定箇所	湿度	表面抵抗値	余寿命	経過年																	
				2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
遮断器	モールドフレーム	1次側	100%	28.2MΩ/□	0.9年																
		2次側	100%	22.4MΩ/□	0.4年																
	絶縁ロッド	100%	16.2MΩ/□	-0.2年																	
筐体	導体支持端子	上段	100%	275.4MΩ/□	14.0年																
		中段	100%	169.8MΩ/□	11.8年																
		下段	100%	102.3MΩ/□	9.8年																
	母線支持板	右側	100%	46.8MΩ/□	8.0年																
	左側	100%	44.7MΩ/□	7.2年																	

2008年 日本電気協会 渋澤賞 受賞
2011年 日本電気工業会 電気工業技術功績者表彰 ものづくり部門優秀賞 受賞
2011年 日本電気学会 電気学術振興賞 進歩賞 受賞

(注3) 余寿命の値は絶対値ではなく推定値であり、保障するものではない。

最新保全技術：MT法による絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術

MT法診断は、絶縁物表面を直接計測するため、停電などの操作が必要となる。

劣化評価の対象は、配電盤で使用されている電圧235V~77kVがかかる有機絶縁物(エポキシ・フェノール・ポリエステル樹脂)であり、磁器端子(がいし)・トランス・回転機などの機器は対象外となる。

1. ま え が き

電気設備は建物・工場等の基幹部分であり、不測の事態による支障の影響が非常に大きい。ことに、受変電設備のトラブルによる障害は建物・工場等の構内にとどまらない場合もある。この受変電設備も使用年数(経過時間)とともに筐体(きょうたい)や内部機器が老朽化(劣化)し、安全性を低下させていくと同時にトラブルが発生する危険性をゆっくりと上昇させる。このような“老朽化”による受変電設備の事故・故障は要因の中で32.7%を占めている⁽¹⁾(図1)。

しかし、このような老朽化の兆候を事前に知ることは難しく、設備の危険性に気付かないまま運用を続け、社会に大きな影響を与える事故・故障に至ることも珍しくはない。

また最近では保守・保全の省力化や費用低減、保全周期や設備寿命の長期化等が望まれることも少なくないが、適切な保守・保全を損なった場合には、電力の安定供給や設備の安全確保が厳しくなってしまう。このような保全不備・不全による事故・故障は要因のうち22.5%を占めており、今後、受変電設備の老朽化や保全不備・不全による事故・故障が増加することが予想される。このような情勢の中で設備管理者は保守・保全管理手法の高度化を志向しており、今後予想される設備のトラブルに対して確実な保守・保全につながる劣化診断や、的確な設備更新の時期を判断する余寿命推定技術が強く求められている。

2. 絶縁劣化と従来の絶縁診断

老朽化による事故・故障は地絡・漏電、破損・焼損、短絡といったものが多く、絶縁性能の低下が何らから関係していることが多いと考えられる。特に有機絶縁物は内部環境(発熱・振動等)や外部環境(湿度・塩害等)の影響で劣化し、時間とともに絶縁性能を低下させる。しかし、絶縁の劣化兆候はほかの機器と比べても五感(目視・異音・異臭等)で知ることが大変に難しく、受変電設備の有機絶縁物に対する有効な診断手法があまりないのが実情である。

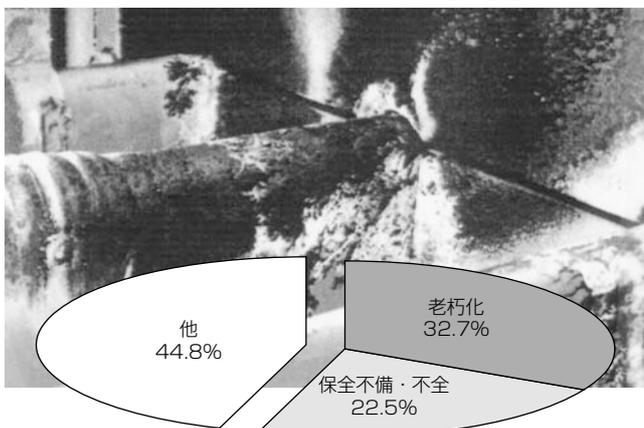


図1. 受変電設備の事故・故障の要因

受変電設備の絶縁診断手法の代表的なものとしてメガー測定や部分放電測定等電氣的測定がある。しかし、これらの手法は湿度の影響(表面抵抗の湿度変化)を受けやすく、測定時(瞬時)の周囲環境に結果が大きく左右される。

その他の診断手法も含め瞬時的又は事後的な異常診断レベルのものが多く、設備の劣化(危険性)の兆候に気付かないまま事故・故障に至ることも少なくない(図2)。

これらの問題に対処するため、当社では受変電設備で使用されており電圧235V~33kVがかかる有機絶縁物の表面劣化を評価し、微小放電が始まるまでの余寿命を推定する技術“MT法による絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾(以下“MT法診断”という。)”を開発した(図3)。

従来の放電測定では図4の③可視放電又は④炭化路の危険領域~末期での判断であった。MT法診断では①未放電又は②初期(微小)放電の劣化診断・余寿命推定であり、“〇〇年”と明確な数値で示すため、事故・故障といったトラブルが発生する前に保全計画を行い対処することが可能である。

実機を用いた試験でも診断の精度の高さが確認されているMT法診断技術は、ほかの要素機器や、より高い電圧への応用が期待されており、2011年9月より適用範囲を77kVまで拡大した。

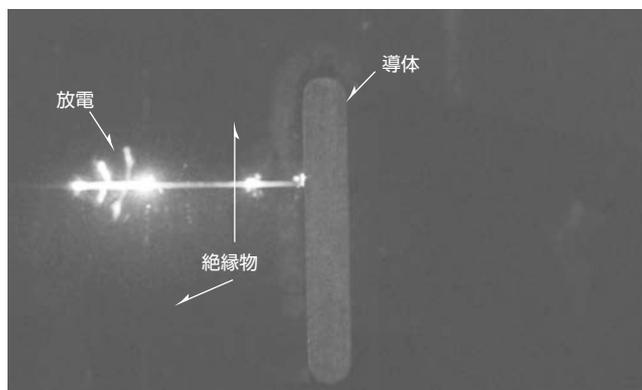


図2. 受変電設備の絶縁トラブル

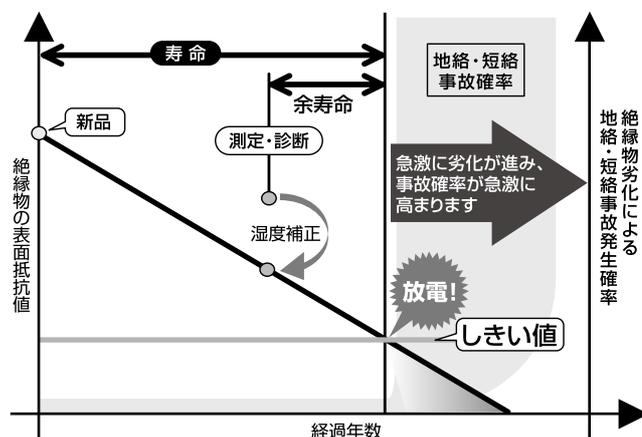


図3. MT法診断の概念図

3. 77kV特別高圧のMT法診断技術

MT法診断による評価技術は、従来の電氣的計測による絶縁劣化評価⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾と異なり、測定時の周囲環境の影響を受け難い化学的計測による情報を基に評価を行う。計測し取得された複数の情報は品質工学の1手法であるMT法⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾で解析し、絶縁劣化を評価するにあたり各情報の有効性を明確にする。同時に、有効な情報のみをまとめて一つの指標をMD(マハラノビスの距離)として表す。このMDと表面抵抗率実測値(一定湿度環境下の破壊試験)は相関性をマスターカーブとする。これにより、現地での化学的計測情報を解析することで破壊試験相当の絶縁表面の劣化評価を可能とした。さらに、湿度と絶縁表面抵抗率の関係について湿度依存曲線を数式化し、任意の湿度における表面抵抗率を求めること(劣化診断)を可能としている。

また、絶縁物の材質・形状・使用電圧等から求められる、微小放電が開始する表面抵抗率を放電閾値(しきいち)とした。これによって、絶縁トラブルが発生する確率が急激に高まり始める点(放電が開始する点:寿命)を明確にし、余寿命推定までを可能としている。

今回、適用範囲を拡大したのはトラブルによる障害がより大きい特別高圧(10~77kV)で使用されているコンデンサブッシング(図5)である。この適用に際し、①表面抵抗

率とMDの相関性確認(図6)、②湿度依存性(図7)、③放電閾値(しきいち)の検討及び確認(図8)を実施した。

マスターカーブ及び湿度依存性の式は、既存のMT法診断技術の延長で劣化診断が可能であった。しかしながら、放電閾値については77kVでは既存のMT法診断技術の延長による閾値と理論検討値との誤差が大きく、閾値の見直しが必要となった。

4. 特別高圧閾値と確認試験

図5にあるようなブッシングのような構造では、絶縁物の静電容量(C)、表面抵抗(R)のほかには背後電極との静電容量(Cb)も影響した表面電位分布となる。このような構造の場合は導体(E)端部に電界が集中するため、実効沿面距離は高い電圧になるほど短くなり、汚損吸湿時のドライバンド形成はこの端部から生じる可能性が高くなる。

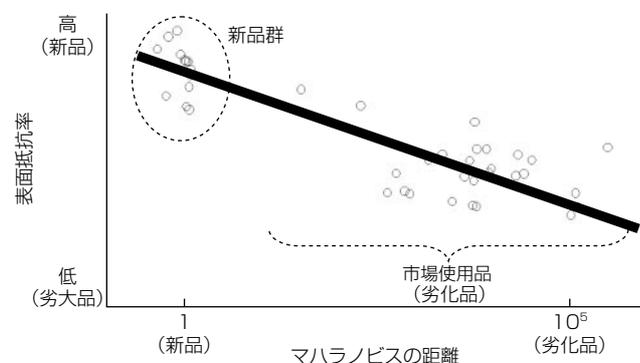


図6. 特別高圧のマスターカーブ

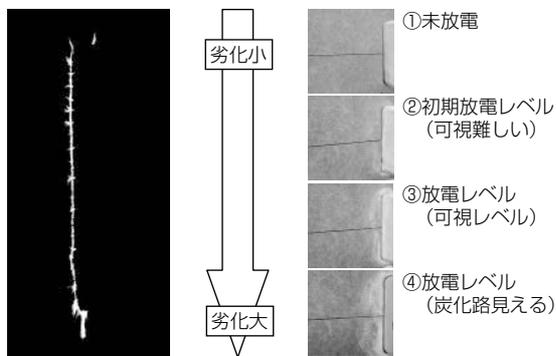


図4. 劣化と放電痕

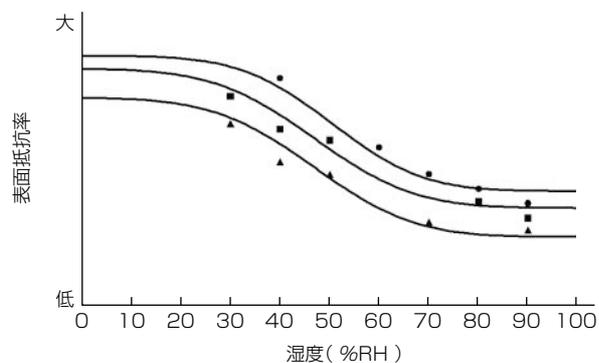


図7. コンデンサブッシングの湿度依存性

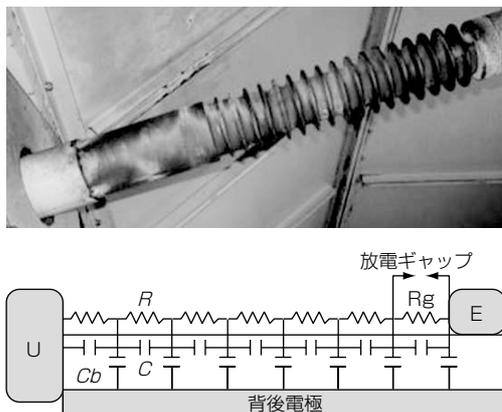


図5. コンデンサブッシング

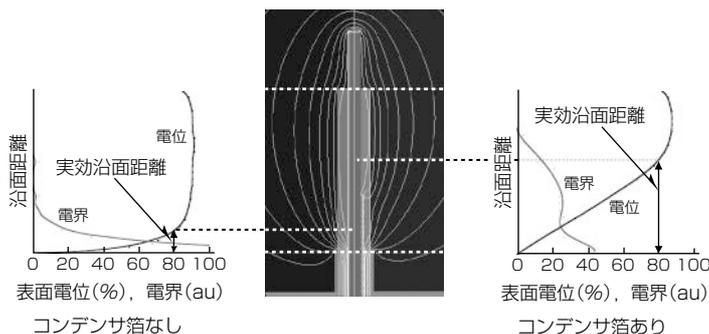


図8. 77kVコンデンサブッシングの電界分布



図9. 77kVコンデンサブッシング

77kVではこの実効沿面距離と漏洩(ろうえい)距離が顕著な差となったことが、既存のMT法診断技術の延長での閾値と理論検討値の誤差が大きくなった要因の一つである。

もう一つは、コンデンサブッシングはその電界の集中を緩和するために、絶縁物の内部に薄箔(はく)の電極を配置し、C分担することによって表面電位を均一化している。この効果として、コンデンサ箔なしに比べると実効沿面距離が長くなる(しかしながら漏洩距離よりは当然短く、構造によっては実効沿面距離は漏洩距離の半分程度にまでなる)。

コンデンサブッシングの場合での放電について理論閾値を検討し、また市場で適用する前に実際にプラントで使用されていた実機コンデンサブッシング(図9)で放電確認試験を行い、理論での閾値が正しいことを確認した。

5. む す び

MT法診断は235V~33kVの範囲で2003年4月から適用が開始され、2011年3月時点で既に175企業(291事業所)、1,134配列での診断を実施している。設備の劣化の状態を的確に把握できるため、大きな事故・故障等トラブルを未然に防ぎ、保全活動や更新計画等を支援する劣化評価手法の一つとして活用され高い評価を受けている。

また、今回の報告にある77kVについては既に3件のMT法診断を実施し、さらに稼働時に放電測定を実施したところ、特別高圧のMT法診断の結果通りの放電が発生していたことが確認できている。

今後、特別高圧のMT法診断を加え広く市場に展開していくとともに、実機での試験を継続的に実施し診断精度の確認・精度向上を図っていく。また、受変電設備のほか要素機器の劣化診断・余寿命推定についても検討を進めていく。

参 考 文 献

- (1) 日本電機工業会：「産業事故における電気設備の影響に関する調査研究」からのお知らせ (2006)
- (2) Miki, S., et al.: Remaining Service Life Diagnostic Technology of Phenol Insulators for Circuit Breakers, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., **15**, No.2, 476~483 (2008)
- (3) 三木伸介, ほか: 受変電機器絶縁物の劣化診断・余寿

命推定技術, 技術総合雑誌OHM, 12月号, 40~45 (2007)

- (4) Miki, S., et al.: Remaining Service Life Diagnostic Technology of Phenol Insulators for Power Distribution Equipment, IEEE Conference on Electrical and Dielectric Phenomena (CEIDP), 41~44 (2007)
- (5) Miki, S., et al.: Deterioration diagnosis of insulators for breakers using chemical evaluation and Mahalanobis-Taguchi(MT) method, IEEE Conference on Electrical and Dielectric Phenomena (CEIDP), 473~476 (2006)
- (6) Miki, S., et al.: Evaluation of the Deterioration Degree of Insulators for Breakers Using Chemical Analysis and the Mahalanobis-Taguchi (MT) Method, IEEJ Trans. PE, **127**, No.9, 1033~1040 (2007)
- 三木伸介, ほか: 化学的分析とマハラノビス・タグチ(MT)法の適用による遮断器用絶縁物の劣化評価, 電気学会論文誌B, **127**, No. 9, 1033~1040 (2007)
- (7) Miki, S., et al.: Remaining service life diagnosis technology of insulators for power distribution equipment, IEEJ Trans. PE, **127**, No.7, 863~869 (2007)
- 三木伸介, ほか: 受変電設備絶縁物の余寿命診断技術, 電気学会論文誌B, **127**, No.7, 863~869 (2007)
- (8) 岡澤 周, ほか: MT法によるスイッチギア絶縁物の劣化診断・余寿命推定技術, 電気学会公共施設研究資料, PPE-06-11, 19~24 (2006)
- (9) 三木伸介, ほか: MT法による受変電機器絶縁物の劣化診断, 電学放電・開閉保護・高電圧合同研究資料, ED-05-121, 49~54 (2005)
- (10) 河村達雄, ほか: 電気設備の診断技術, 電気学会編, オーム社 (2003)
- (11) 設備診断更新技術調査専門委員会編: 工場電気設備の診断・更新技術, 電気学会技術報告, No.831 (2001)
- (12) 田口玄一: コンピュータによる情報の技術開発-シミュレーションとMTシステム-, 品質工学応用講座, 日本規格協会 (2004)
- (13) 鴨下隆志, ほか: おはなしMTシステム, 日本規格協会 (2004)
- (14) 長谷川良子: マハラノビス・タグチ(MT)システムのはなし, 日科技連出版社 (2004)
- (15) 田口玄一, ほか: MTシステムにおける技術開発, 品質工学応用講座, 日本規格協会 (2002)
- (16) Jugulum, R., ほか: マハラノビス・タグチ・システムとニューラルネットワークとの比較, 品質工学, 10, No.1, 74~83 (2002)