

# 配電盤スマートメンテナンス化へ向けた 盤内絶縁物の絶縁性低下評価と 劣化診断技術

■ 折戸 由貴  
Yuki Orito

■ 栗原 二三夫  
Fumio Kurihara

配電盤内に収納する機器には、絶縁物として樹脂材料が多く用いられている。これらには高い絶縁特性が求められる一方、高湿度状態や表面の汚損堆積によっては絶縁性能が低下すると知られている。このようなリスクを軽減するには絶縁物表面の清掃が不可欠であるが、清掃は停電作業となるため需要家側の負担が大きいという課題がある。東光高岳では、より効率的な配電盤絶縁物の保全技術確立とメンテナンスサービスの事業化を目指し、樹脂絶縁物表面汚損時の絶縁性能低下評価と劣化診断技術に関する検討を実施している。

今回の検証結果より、高湿度条件において絶縁物表面の汚損付着量と表面抵抗は相関性を持ち、汚損付着量の増加に伴って表面抵抗は低下することが確認された。また、汚損に含まれるイオン種によって表面抵抗低下に及ぼす影響は異なり、特に、硝酸イオンの付着は表面抵抗低下に対する影響が大きいとわかった。

以上の知見より、絶縁物表面の汚損度を定量することで、汚損付着量から間接的に絶縁物の沿面絶縁破壊リスクを評価できる可能性があると考えた。今後は、本検証の結果を基に配電盤絶縁物に対するオンライン診断モデルを構築し、汚損検知センサによる監視によって、より個々の設置環境に即したメンテナンス内容を提案可能とすべく、研究開発を進める予定である。

## 1 はじめに

電力システムを取り巻く環境は、2016年の電力市場自由化から2020年の発送電分離といった大きな構造変革の中で、IoTやAIなどの技術を活用した新たな価値を提供しうる電力ネットワークへの変革に向け、技術開発が各所で進められている。このような新しい潮流に対する動きがある一方で、受変電設備においては電力の安定供給のため、機器メンテナンスの重要性や監視・予測保全の高度化へのニーズがますます高まっている。その中で、配電盤は電力を安定的に供給する上で不可欠な設備として、効率的なメンテナンスへのニーズが高い。

配電盤内に収納する機器には、絶縁物としてポリエステルやエポキシなど樹脂材料が多く用いられている。これらの絶縁物には高い絶縁特性が求められる一方、高湿度状態や表面の汚損堆積によって絶縁性能が低下することが知られている。遮断器に用いられている絶縁支持物に関しても、絶縁不良を引き起こす要因として絶縁物表面の汚損・吸湿からの絶縁耐力低下が挙げられており、実際に事故に至ったとの報告もある<sup>(1)</sup>。

配電盤の保守の要点として塵埃や湿潤対策が挙げられている<sup>(2)</sup>が、配電盤は半密閉筐体であるため、定期点検時の清掃を除くと内部の絶縁物に堆積した汚損が除去されにくい環境にあり、塩害地域や工業地帯に設置された配電盤内機器については、汚損リスクが大きくなる傾向にある<sup>(3)</sup>。そのため絶縁物表面の清掃が不可欠であるが、清掃は停電作業となるため需要家側の負担が大きくなってしまいう課題がある。

併せて、近年では機器の保全に関して、これまでの

ような定周期で実施する時間基準保全 (Time Based Maintenance, TBM) の考え方から状態基準保全<sup>(注1)</sup> (Condition Based Maintenance, CBM) へのシフトが進んでおり、機器の状態に合わせたより効率的なメンテナンス手法が求められている。よって、配電盤に対しても既存の定周期的な保守点検に加え、設置環境に則したより効率の良いメンテナンス手法の確立が必要である。

近年、状態基準保全への応用が期待されている技術として、前述したIoTやAI技術、センサ活用技術などがあり、東光高岳でもこれらを活用した油中ガスセンサによる変圧器状態診断技術<sup>(4)</sup>の開発に取り組んでいる。しかし、センサによって得た機器の状態データを保守へ活用するには、前提として対象機器の劣化メカニズムの把握が必須となる。

以上より、東光高岳では2018年度からセンサを用いた配電盤絶縁物の保全技術確立を目指し、基礎検証を開始した。本報告では配電盤内絶縁物に関する劣化メカニズム把握の一環として実施した、樹脂表面の汚損と表面抵抗の相関性についての報告と、センサを用いた配電盤絶縁物の劣化診断モデルについて述べる。

## 2 実験方法

### 2.1 汚損サンプルの作製

#### (1) 使用樹脂材料の概要

サンプルとして、直径100 mm、厚さ2 mmの不飽和ポリエステル製FRP (繊維強化プラスチック) 板を用意した。

不飽和ポリエステルは配電盤内に収納する遮断器の絶

縁材や母線支持材として使用されており、絶縁不良の際のリスクが致命的なものになりやすい。よって、今回の検証材料として選定した。

## (2) 模擬汚損液の概要および汚損サンプルの作製

模擬汚損液として、塩化物イオン ( $\text{Cl}^-$ )、硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ )、硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ ) を含む化合物を用いた水溶液を用意した。これらのイオンは、主に塩害地域や工業地帯で検出される汚損成分であることが知られている<sup>(3)</sup>。

この汚損液を、樹脂板表面のイオン付着量がおおよそ  $0.01 \text{ mg/cm}^2$  から  $1.5 \text{ mg/cm}^2$  となるよう均一に吹き付けた。また、比較のため溶液吹付無し of ブランク (健全品) を用意した。併せて、イオン種の違いが表面抵抗におよぼす影響を把握するため、上記の模擬汚損液をイオン種ごとに分けて調製し、樹脂板に吹き付けることで単一成分による汚損サンプルを作製した。

## 2.2 絶縁物表面の絶縁特性の測定

2.1 節にて作製した汚損サンプルに対し、表面抵抗の測定を実施した。測定方法は JISC 2139-3-2「直流電流印加による抵抗特性の測定」に準拠し、同心円電極および超絶縁計を用いて測定した。印加電圧は  $100 \text{ V}$ 、測定環境は室温とし、低湿度条件 ( $20\sim 30\% \text{ RH}$ ) と高湿度条件 ( $80\% \text{ RH}$ ) の2条件とした。このうち、イオン付着量  $0.3 \text{ mg/cm}^2$  以上のサンプルのみ、印加電圧  $500 \text{ V}$  での測定も実施した。なお、表面抵抗測定は各条件下にサンプルを1時間静置した後に行った。測定後のサンプルは外観観察のち表面汚損成分を回収し、イオンクロマトグラフ<sup>注2)</sup>にて各イオンの付着量を測定した。

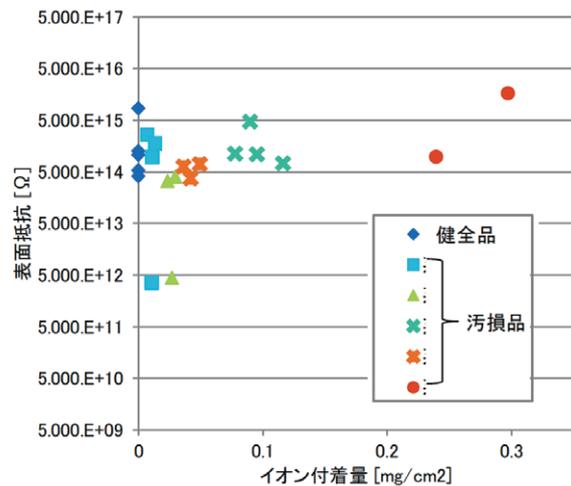
さらに、汚損サンプル表面に、先端角を鋭角としたアルミ薄膜製の電極を対向して貼りつけ、連続昇圧による AC 沿面絶縁破壊試験を実施した。電極間のギャップは  $6 \text{ mm}$  とし、測定環境は室温、低湿度条件 ( $30\% \text{ RH}$  程度) で行った。

## 3 結果および考察

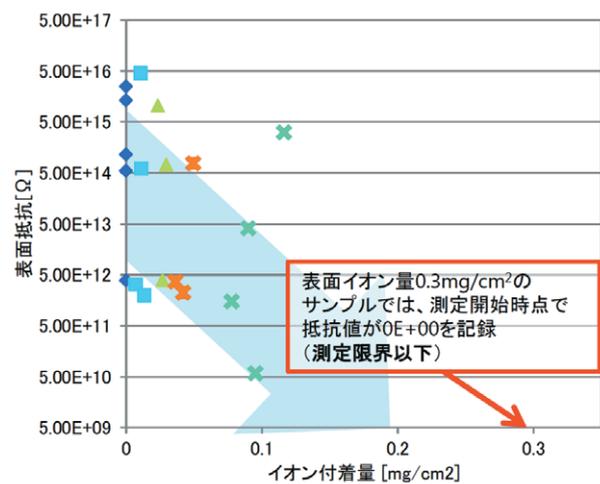
### 3.1 表面抵抗測定結果

表面抵抗測定の結果を図1に示す。図1より、低湿度条件では、表面イオン付着量の多いサンプルでも高い表面抵抗を示すことが確認された。一方で、高湿度条件では、イオン付着量の増加にしたがって表面抵抗が低下する結果となったほか、イオン付着量が  $0.3 \text{ mg/cm}^2$  以上のサンプルでは、表面抵抗が測定限界値以下となった。双方に共通する点として、健全品と比較すると、汚損サンプルは表面抵抗値のばらつきがより大きくなる傾向にあることが示された。

測定後のサンプルの表面観察では、汚損付着量が増加



(a) 低湿度条件 ( $20\sim 30\% \text{ RH}$ )



(b) 高湿度条件 ( $80\% \text{ RH}$ )

図1 不飽和ポリエステルサンプルにおける汚損時の表面抵抗



図2 測定後のサンプル表面

するにしたがって表面に付着した水滴量が多くなっているのが視認できた。加えて、表面汚損付着量がおおよそ  $0.3 \text{ mg/cm}^2$  のサンプル (印加電圧  $500 \text{ V}$  にて測定したもの) では、図2に示すように、表面に部分放電起因とみられる変色が確認された。

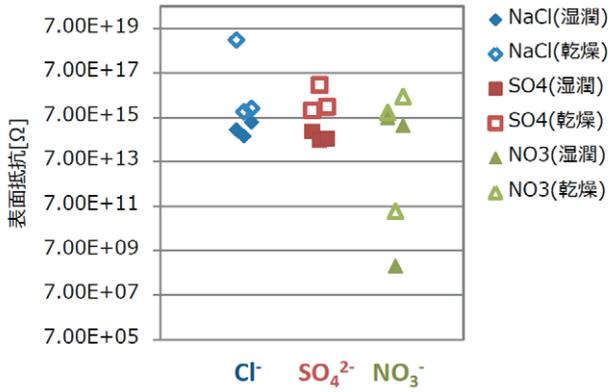


図3 不飽和ポリエステルサンプルにおける汚損成分ごとの表面抵抗

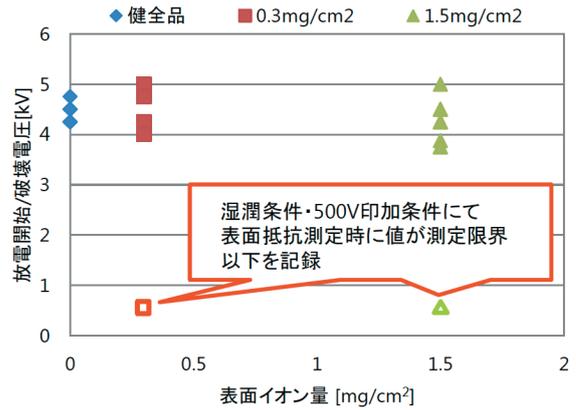


図4 不飽和ポリエステルサンプルにおける沿面破壊電圧 (低湿度条件)

### 3.2 汚損成分中のイオン種の影響

今回の検証に使用した汚損成分の中で特に表面抵抗低下に影響をおよぼすイオン種について調査すべく、汚損成分ごとの表面抵抗を測定した結果を図3に示す。

結果より、表面抵抗低下への影響が大きいイオン種は硝酸イオン (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) である可能性が高いと判断した。

電解質の異なる溶液の電気伝導性を比べる場合、イオンによって固有の値である、モル伝導率<sup>注3)</sup>による比較が用いられる<sup>(5)</sup>。今回使用した化合物中では、モル伝導率の値が大きい順から、硝酸イオン溶液>硫酸イオン溶液>塩化物イオン溶液となった。これは図3に示す結果と近いことから、付着する汚損成分によっても表面抵抗率への影響は大きく変化するものと考えられる。

また、長期的に汚損成分が付着する場合、充填剤にカルシウム系の材料を用いている樹脂表面に硝酸イオンが硝酸の形で付着すると、化学反応により高い潮解性を持つ硝酸カルシウムになる可能性がある<sup>(6)</sup>と報告されている。一方で、硫酸イオンはイオン単体では硝酸イオン、塩化物イオンよりも高いモル伝導率 (およそ2倍) を示すが、かりに硫酸カルシウム (石膏の主成分) を生成した場合は、同物質は潮解性を示さず、水に対して難溶性である。そのため、硫酸カルシウムが表面抵抗の低下に及ぼす影響は小さいと考えられる。

以上のことから、硝酸イオンの付着は、表面抵抗低下に対する影響が大きいと考えられる。

### 3.3 表面汚損時の沿面絶縁破壊電圧

沿面絶縁破壊電圧試験の結果を図4に示す。

傾向として、表面抵抗と同様に、汚損付着量が増加するにつれて表面抵抗値のばらつきが大きくなるようすがみられた。

湿度30%前後の低湿度環境であっても、表面に多量の汚損が存在する場合は、沿面破壊電圧低下のリスクが増加すると考えられる。また、湿潤環境では表面抵抗測

定時に電圧を印加した程度 (500 V) で破壊したものもあり、絶縁破壊に関しては汚損だけでなく湿度の影響も顕著であると確認された。

### 3.4 絶縁物表面の絶縁特性低下の要因

以上の結果より、絶縁物表面の汚損付着量と絶縁特性に関しては、以下のことがわかった。

- ・絶縁物表面の汚損付着量と表面抵抗は、特に高湿度条件において相関性があり、汚損付着量の増加に伴い表面抵抗は低下する。
- ・汚損に含まれるイオン種によって、表面抵抗低下に及ぼす影響は異なる。特に、硝酸イオンの付着は表面抵抗低下に対する影響が大きい。
- ・汚損付着量が高い場合には沿面破壊電圧のばらつきが大きくなり、沿面破壊電圧低下のリスクが増加する。特に、湿潤状態ではこの傾向が顕著になる。

以上から、絶縁物表面の絶縁特性低下の主な要因は、絶縁物表面の汚損度とその汚損成分であり、これに湿度が加わると顕著な影響が現れ、絶縁物表面の絶縁特性が低下すると言える。

## 4 絶縁物の劣化診断への応用

3章にて得た知見より、絶縁物表面の汚損度を定量することで、汚損付着量から間接的に絶縁物の表面抵抗を推察し、沿面絶縁破壊のリスクを評価できる可能性があると考えた。これを基に、汚損検知センサを適用した配電盤内絶縁物に対するオンライン診断モデルについて図5に示す。

上記のモデルでは、まず事前に対象機器の初期状態の把握として、オフラインでの絶縁物表面の抵抗測定による絶縁性能評価、および汚損の採取・成分分析を実施する。配電盤の設置環境は、汚損の比較的小さい内陸地域から汚損の多い沿岸部まで多岐に渡るため、汚損の化学

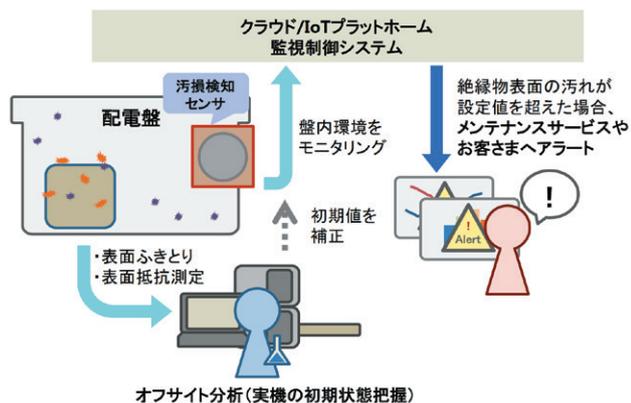


図5 配電盤内絶縁物のオンライン簡易診断モデル

組成は設置場所に大きく影響される。そのため、オフライン分析による設置場所の汚損成分の把握は、より確度の高い状態診断において非常に重要となる。

続いて、オフライン分析後は汚損検知センサによって汚損堆積状況を監視する。分析で得た初期データを基に、絶縁物表面の汚損堆積状況をクラウドを通じてオンライン監視し、並行して絶縁物の絶縁性能低下に関する解析を実施する。

これにより、設定した閾値を超過した際にはアラートを配信し、お客さまへ適切な点検や清掃をご提案できる。

センサの適用によりリアルタイムで汚損量が可視化できるため、このモデルによって個々の設置環境にあったメンテナンス頻度・内容の見直しが可能である。配電盤の定期点検は停電を伴うため、お客さま側の負担が大きくなるものであるが、このようなオンラインサービスでは無停電かつ無人での診断が可能であるため、お客さまの負担を低減できる。また、海岸からの距離が同程度の地域であっても、地形や台風被害の有無によって、汚損の総堆積量や堆積速度には大きく差が出る事が考えられる。そのため、センサ情報を活用することで、これまで一律であったメンテナンス内容を、より現状に即した形へ最適化できるメリットがある。

## 5 まとめ

配電盤内絶縁物の劣化メカニズム把握の一環として、樹脂表面汚損時の絶縁性能について検討した。

その結果、高湿度条件において絶縁物表面の汚損付着量と表面抵抗は相関性を持ち、汚損付着量の増加に伴って表面抵抗は低下することが確認された。また、汚損に含まれるイオン種によって表面抵抗低下に及ぼす影響は異なり、硝酸イオンの付着は表面抵抗低下に対する影響が特に大きいとわかった。

今後は、以上の結果を基に配電盤絶縁物に対するオンライン診断モデルを構築し、汚損検知センサによるリア

ルタイム監視によってより個々の設置環境に即したメンテナンス内容を提案可能とすべく、研究開発を進める予定である。

### ■参考文献

- (1) 電気共同研究会編：「電気共同研究 第50巻2号 変電設備保全の高度化・効率化」、電気共同研究会、p.142 (1994)
- (2) 電気共同研究会編：「電気共同研究 第47巻5号 特別高圧需要家受電設備」、電気共同研究会、p.140 (1992)
- (3) 電気共同研究会編：「電気共同研究 第69巻3号 配電機材に対する劣化環境の定量評価」、電気共同研究会、p.56 (2013)
- (4) 栗原二三夫ら：「油中ガスセンサを用いた変圧器状態診断技術に関する検討」東光高岳技報、Vol.5、p.6 (2018)
- (5) 米山宏著：「新化学ライブラリー/電気化学」、大日本図書、pp.31-35 (1990)
- (6) 三木伸介ら：「科学的分析とMT法の適用による遮断器用絶縁物の劣化評価」、電学論B、Vol.127、No.9 (2007)

### ■語句説明

注1) 状態基準保全：保全対象の状態に応じて必要な保守点検を実施する方法。時間基準保全と比較して、無駄を抑えられる利点がある。

注2) イオンクロマトグラフ：イオン交換体などを用いた分離カラムにより試料中のイオン種成分を展開・溶離させ、電気伝導度検出器で測定する分析装置 (JIS K 0127-1992)。

注3) モル伝導率：溶液の比伝導率をモル濃度で割った値を指す。溶液を無限希釈し、「多数の水分子の中に陽イオンと陰イオンが1組のみ存在する」と仮定したものを極限モル伝導率といい、イオンの特性を示す値となる<sup>(5)</sup>。

### 折戸 由貴

技術開発本部 技術研究所  
材料技術グループ 所属  
材料技術の開発に従事

### 栗原 二三夫

技術開発本部 技術研究所  
材料技術グループ 所属  
材料技術の開発に従事

