

絶縁油モニタリングの信頼性に対する水分センサ取り付け位置の影響

停滞した絶縁油における水分拡散の研究

電力用変圧器は電力ネットワークの中で最も貴重で重要な資産であり、絶縁油内の水分は変圧器の動作性能に影響を及ぼす主要な要因の一つです。これまで絶縁油内の水分量は採取した絶縁油を実験室で分析して測定してきましたが、常時監視が次第に普及しつつあります。これにより、リアルタイムにデータを入力して早い段階で異常を検出することが可能となり、問題が大きくなる前にタイムリーな是正措置を講じることができるようになりました。

本研究では、水分センサの取り付け位置により応答時間がどの程度異なるかを推定するために、停滞したオイル内における水分の拡散について調べました。さらに、変圧器内の絶縁油の状態を計測するために最適な水分センサの取り付け位置についても検討しました。

方法

図1は、本研究で使用した試験装置を示しています。ヴァイサラMMT318変換器を2台設置し、異なる2地点のオイル内水分と温度を計測します。1台目(図2の左側にあるプローブ)は、オイルの流れがなく、水分が拡散によって移動している側管内に取り付けています。2台目(図2の右側)は計測ラインに取り付け、オイルの流れに直接接触するようにしています。1台目のプローブはオイルの流れの外側における水分拡散係数を決定するために使用し、2台目はオイルの流れがある場所での基準プローブとしての役

割を果たします。

試験のはじめに、試験装置(図2の概略図を参照)を窒素ガスを使用して乾燥させておき、側管には乾燥オイルを充填しておきます。次に、計測ラインへのオイルの流れを遮断し、変換器を迂回するバイパスラインにオイルが流れるようにします。これにより、計測ラインを通らずに装置を循環しているオイルには水分が含まれていき、計測ラインの中のオイルは乾燥した状態を保つこととなります。最後に、水分を含んだオイル流が計測ラインを通過するようにして、2台のMMT318変換器の油中水分飽和度と温度を、水分が安定し変化しなくなる(最終値に到達する)まで計測します。試験は3回実施し、変換器のセンサヘッドは計測ラインからそれぞれ、17.3cm、6.3cm、3.7cm離れた側管の中に設置しました。



図1. 試験装置

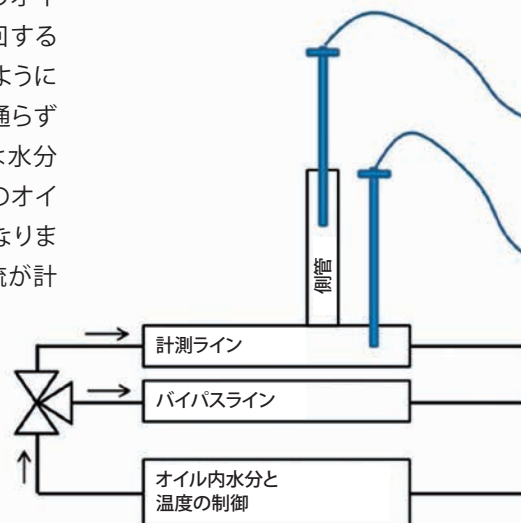


図2. 試験装置の概略図

研究結果

2台の変換器で計測した側管内の油中水分飽和度 (RS_{diff}) とオイル流内の油中水分飽和度 (RS_{ref})、さらに RS_{diff} の近似曲線 (RS_{fit}) について、上述した3回の試験での結果を図3~5に示します。図3はオイルの流れから17.3cm離れた位置に設置したセンサによる試験結果、図4および図5はそれぞれ6.3cmと3.7cm離れた位置の結果です。 RS_{ref} を調べると、計測値が最初は緩やかに上昇し、その後急激に上昇しているのが分かります。緩やかな上昇部分は、計測ラインへのオイルの流れが遮断されている状態で、水分が装置部分から計測ライン内のオイルに入ってしまうことによります。当試験においては、水分を含んだオイルの流れが計測ラインを通った時の応答性を確認しているため、この小さな変化は、本研究の結論には一切影響していません。 RS_{ref} の急激な変化は水分を含んだオイルの流れが計測ラインを直接通るときに始まります。近似曲線 RS_{fit} は次式で与えられます。

$$RS_{fit}(t) = (RS_{max} - RS_0)(1 - e^{-(t-t_0)/\tau}) + RS_0 \quad (1)$$

RS_0 と RS_{max} はそれぞれ最初と最後の油中水分飽和度、 t_0 は水分を含んだオイルが直接計測ラインを通過してから拡散した水が側管内で検知されるまでのタイムラグ、 τ は応答時定数です。表1には計測データによる式(1)の最適パラメータをまとめています。

拡散係数 D は定数と仮定し、次式で与えられます。

$$D = \frac{X^2}{6t_0} \quad (2)$$

X は拡散距離、 t_0 は拡散タイムラグです [1, 2]。式(2) および表1の距離とタイムラグのデータを用いると、定数の値が $D = (1.4 \pm 0.2) \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ と求まります。

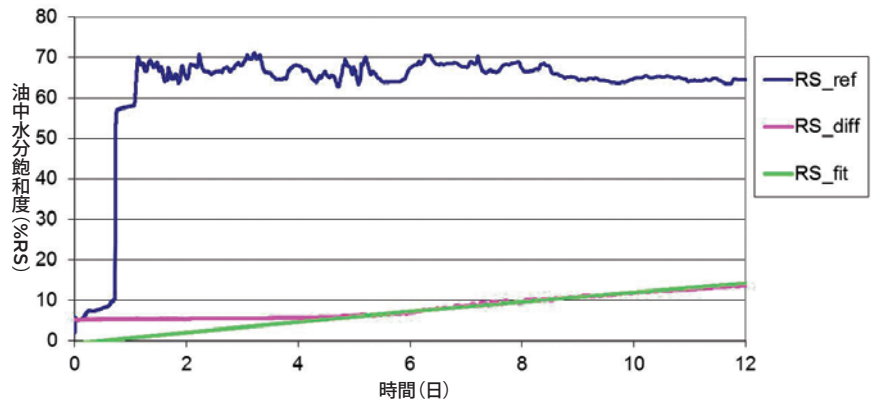


図3. 計測ライン内の油中水分飽和度 (RS_{ref}) と側管内の油中水分飽和度 (RS_{diff}) および RS_{diff} に対する式(1)の最適近似曲線 (RS_{fit})。センサヘッドのオイルの流れからの距離は17.3cm

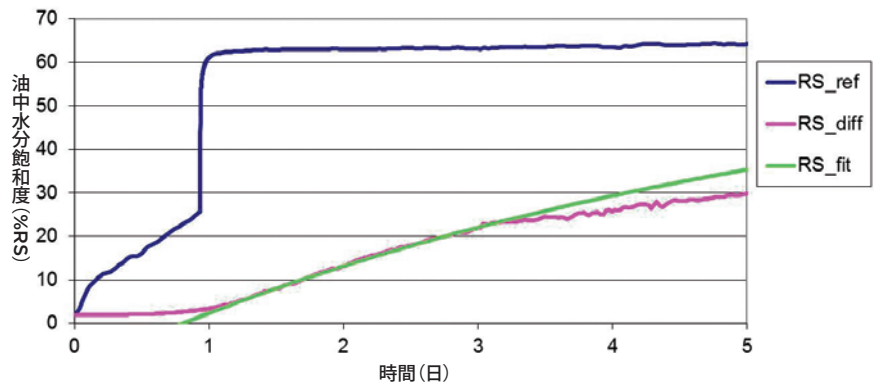


図4. 計測ライン内の油中水分飽和度 (RS_{ref}) と側管内の油中水分飽和度 (RS_{diff}) および RS_{diff} に対する式(1)最適近似曲線 (RS_{fit})。センサヘッドのオイルの流れからの距離は6.3cm

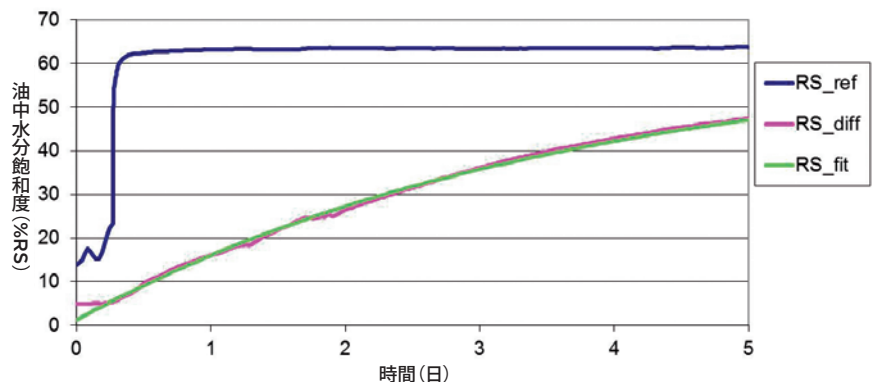


図5. 計測ライン内の油中水分飽和度 (RS_{ref}) と側管内の油中水分飽和度 (RS_{diff}) および RS_{diff} に対する式(1)の最適近似曲線 (RS_{fit})。センサヘッドのオイルの流れからの距離は3.7cm

本研究の試験により、オイルの流れから外れた側管内に設置された水分センサの応答時間はオイルの流れからのセンサの距離が大きくなるにつれ急激に遅くなっていくことが分かりました。表1および図6では、わずか数センチメートル（3～6cm）の距離が数日（3～5日）の応答時定数に対応していることを示しています。この日数は、水分計測の観点からは実用的ではありません。オイルの流れからセンサ距離が大きくなると拡散タイムラグも考慮しなければならず（図7参照）、水分計測の応答時間はさらに遅くなります。

本研究により、オイルの流れから外れた側管に設置した水分センサの応答時間は、オイルの流れからセンサ距離が大きくなるにつれて急激に遅くなることが分かりました。わずか数センチメートルの距離（3～6cm）が数日の応答時定数に対応しています。

オイルの流れからの距離 (cm)	拡散タイムラグ t_0 (日)	応答時定数 τ (日)	拡散定数 D (cm^2/s)
17.3	4.6	45	$1.3 \cdot 10^{-4}$
6.3	0.5	5.1	$1.5 \cdot 10^{-4}$
3.7	0.2	3.6	$1.3 \cdot 10^{-4}$

表1. 試験結果のまとめ

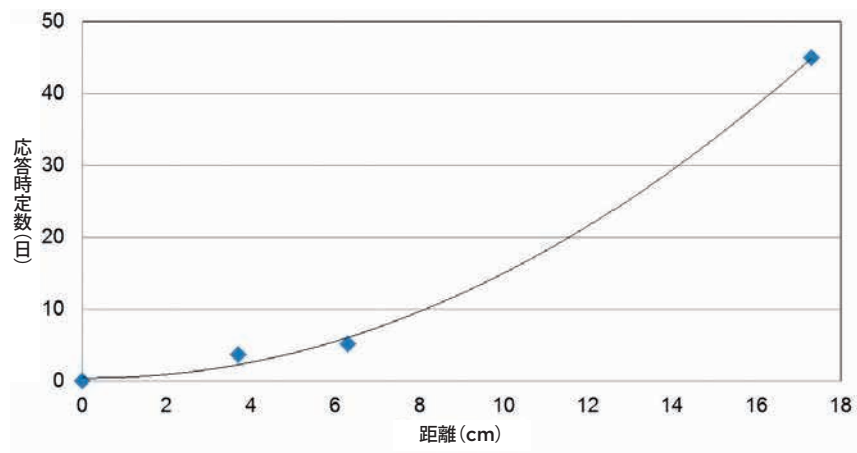


図6. 応答時定数 τ とオイルの流れから水分センサ距離の関係

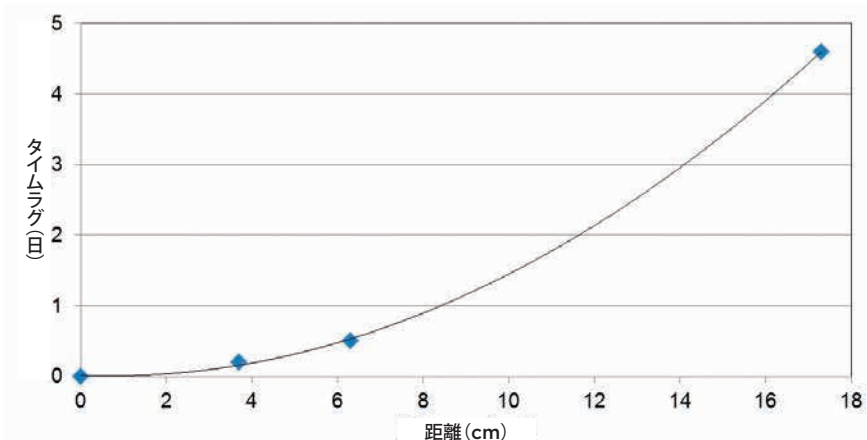


図7. 拡散タイムラグ t_0 とオイルの流れから水分センサ距離の関係

まとめ: 正確な計測にはセンサ位置が重要

本研究の結果から、停滞したオイルでは応答時間が非常に長くなることがわかりました。また、センサ設置箇所の油中水分飽和度が、流れているオイルの油中水分飽和度に達するかどうかは不確かです。したがって、水分センサはオイルの流れの中に直接設置するべきであることが明らかになりました。これによって直接オイルと接触でき、変圧器内のオイルの状態を正しく把握できるようになります。

変圧器のオイル冷却循環ラインは、オイルが流動している状態で、迅速な応答時間が保たれる場所です。すなわち、計測値が代表的な値を示し、かつ、その計測値をリアルタイムに入手できるようになります。最適な位置に取り付けられない場合は、センサとオイルの流れの距離をできるだけ小さくします。変圧器タンクの底部は、オイル交換が行われていることが明らかでない限り、センサを設置するべきではありません。タンクの底部ではオイルが流れていないため、そこに設置されたセンサは静止したスラッジを計測し、絶縁油の実際の状態を計測していないこととなります。



図8. 水分センサの推奨取り付け位置。オイル冷却循環ライン(左)は強制循環と自由循環のどちらの冷却を実施する場合にも理想的な計測場所です。また、変圧器タンク(右)の外壁からの取り付けも適切な計測場所です。



図9. 水分センサの推奨されない取り付け位置。変圧器タンク底部近くにあるオイル試料コネクタ(左)、拡張タンク(右)

参考文献

- 1) Frisch, H. L., 「The time lag in diffusion」, J. Phys. Chem., 1957年, 61巻, 93~95ページ。
- 2) Crank, J., 「Diffusion in Polymers」における「Methods of measurement」J. CrankおよびG. S. Park編、Academic Press、ニューヨーク、1968年、1~39ページ。

VAISALA

www.vaisala.co.jp

詳細は以下よりお問い合わせください。
www.vaisala.co.jp/contact

Ref. B211462JA-A ©Vaisala 2016

本カタログに掲載される情報は、ヴァイサラと協力会社の著作権法、各種条約及びその他の法律で保護されています。私的使用その他法律によって明示的に認められる範囲を超えて、これらの情報を使用(複製、送信、頒布、保管等を含む)をすることは、事前に当社の文書による許諾がない限り、禁止します。仕様は予告なく変更されることがあります。本カタログは英文カタログの翻訳版です。翻訳言語に不明瞭な記述が発生する場合は、原文である英文カタログの内容が優先されます。

CE