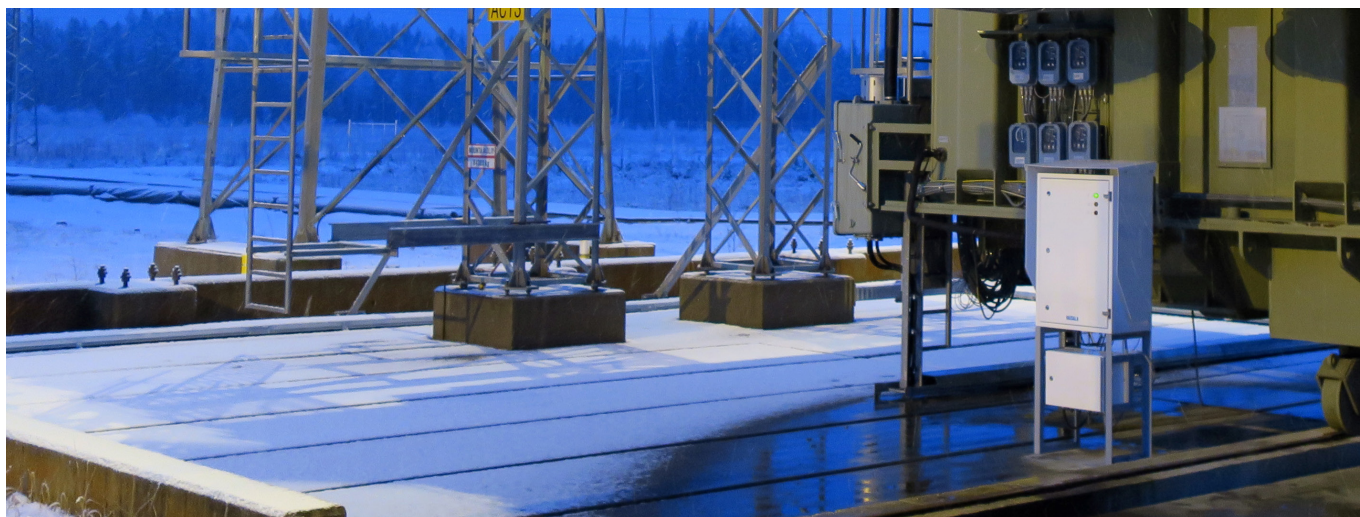


ヴァイサラ Optimus™ OPT100 絶縁油中ガス・水分オンライン監視装置



電力用変圧器は、変電所で使用される資産の中で最も高価なものの一つで、総投資額の60%を占めます。また、電力用変圧器は、発電から配電に至る電力ネットワーク全体における信頼性の高い電力供給を確かなものとする上でも、非常に重要な役割を果たしています。

これらの資産の長期運用のため、最新の状態基準保全戦略を実施する上で、常時監視と自動状態分析は電力会社にとって不可欠なものになりつつあります。そのため、変圧器の状態に関する正確なデータを提供する信頼性の高いDGA監視装置は欠かせないツールとなっています。しかし、DGA監視装置にはさまざまな種類があり、ユーザーが各社の製品の違いを区別することは難しい場合があります。

このテクニカルノートでは、DGA監視装置の最新技術と、旧世代の監視装置で使用されている計測技術の不確かさを最新のDGA監視装置で大幅に減らす方法について説明します。特に、絶縁油中からのガス抽出と赤外線技術を用いたガス検出における交差感度について詳しく説明しています。

絶縁油中からのガス抽出

ヴァイサラ Optimus™ OPT100 DGA 監視装置では、変圧器内の絶縁油中から部分真空でガスが抽出されるため、制御された温度で非常に低い絶対圧力下での抽出が可能です。真空抽出では、従来のヘッドスペース抽出法やメンブレン抽出法と比較して、より多くのガスを分離させることができます。そのため、絶縁油中のガス溶解度（オストワルト係数とも呼ばれる）への依存が大幅に下がり、さまざまな絶縁油で信頼性が向上します。

対照的に、従来のヘッドスペース抽出法を使用する場合、部分的にのみ抽出されたガスから油中ガス濃度を計算するためにオストワルト係数が必要です。この係数はガスによって異なり、温度、オイ

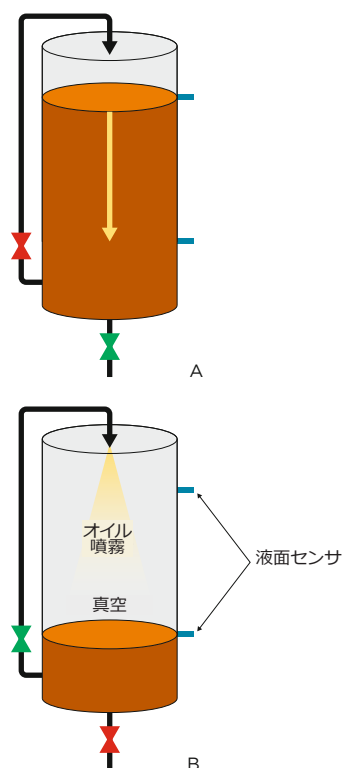


図1. シリンダー上部のバルブを閉じてポンプでオイルを汲み出し、油面より上に真空を作り出す（A）。真空部分を通してオイルを噴霧してガスを抽出する（B）

ル品質、ベースとなるガス種類（ナフテン系かパラフィン系か、など）に依存します。ヴァイサラ Optimus™ OPT100 DGA監視装置の部分真空抽出では、係数の違いに伴う計測の不確かさをヘッドスペース抽出法の1/3に減らすことができます。

真空を作り出すために、Optimus™ OPT100 DGA監視装置は真空ポンプを使用しません。その代わりに、オイルの容量をシリンダーのピストンとして利用する、特許取得済の方法を使用します。この方法ではまず、磁気駆動式ギアポンプでオイルを移動させ、油面より上に真空を作り出します。次に、真空部分を通してオイルサンプルを噴霧し、ガスを抽出します（図1）。

真空抽出法を使用することで、より完全にガスを分離させることができ、変圧器内の絶縁油中の溶解ガス全体の圧力が非常に低い状態においても計測の信頼性が向上します。このような状態は、たとえば密閉型の変圧器の場合や、変圧器の脱気後にガスの全圧が100mbarを大きく下回る場合に発生することがあります。

赤外線技術を用いたガス検出

抽出されたガス分子に非分散型赤外線（NDIR）を照射すると、分子はエネルギーを吸収して励起状態に移行します（図2）。吸収される波長はガスごとに固有で、ガス固有のパターンが生じます。これを利用して、抽出された混合ガスに含まれるガスの成分を特定できます（図3）。吸収される量はガス濃度に基づくため、存在するそれぞれのガスの量は光の量を計測することで確定できます。

赤外線（IR）計測の主な特長の1つは、時間が経過してもガス固有の吸収波長域と異常ガスの吸収特性が変化しない基本的なガス分析方法であることです。ドリフトを発生させる可能性のある要因が判明していて、それがDGA監視装置で補正されている場合、この方法は校正なしで長期間運用することができます。

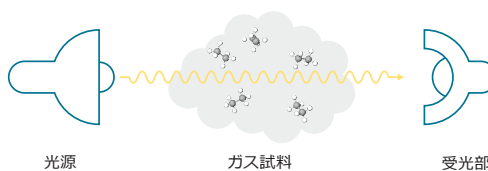


図2. 分子が励起状態に移行することによる赤外線光の吸収の概要図

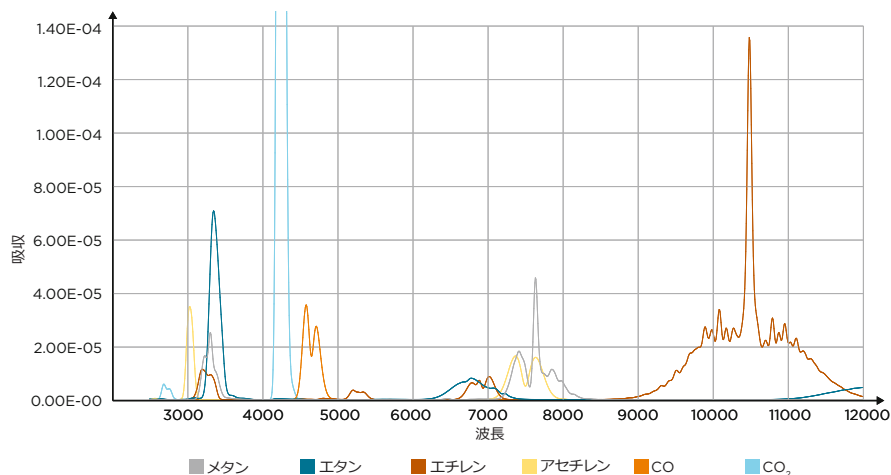


図3. CO₂、CO、アセチレン、エチレン、エタン、メタンガスの赤外線光の吸収帯

Optimus™ OPT100 DGA監視装置の温度制御された赤外線モジュールは、光源、バンドパスフィルタ、ガスキュベット、鏡面、受光部で構成されています（図4）。バンドパスフィルタとは特定の波長帯のみを通すフィルタで、これを利用して計測する波長を選択できます。このモジュールで重要な役割を担うのは可変フィルタです。可変フィルタを使用することで赤外線スキャンの範囲が拡大し、ピーク値以外に吸収域の形状もスキャンできます。このモジュールでは、吸収ピークの形状とともに赤外線吸収を分析するため、検出する各種ガスとその濃度の選択性に優れています。そのため、最終的なガス分析は、より広い波長範囲を使用して収集された波長に基づくものになります。

Microglow光源、フィルタ、受光部など、すべての赤外線センサ部品は、単結晶シリコンウエハー上に構成されたMEMS（微小電気駆動システム）です。各部品

はOptimus™ OPT100 DGA監視装置向けに設計および最適化されており、ヴァイサラのクリーンルームで製造されています。信頼性をさらに高めるために、光学系計測モジュールには可動部分がありません。

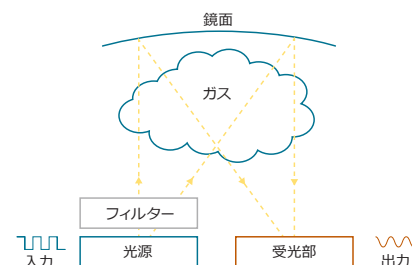


図4. Optimus™ OPT100 DGA監視装置の赤外線モジュールの概要図

ドリフトの排除

赤外線技術を用いた分析では、時間が経過しても異常ガスの吸収特性は変化しませんが、計測信号は他の要因に影響を受ける可能性があります。そのため、DGA監視装置では、このようなドリフトの影響を補正または排除する必要があります。

赤外線技術におけるドリフトが発生する一般的な要因として、光源や受光部などのセンサ構成部品の汚染や経時劣化があります。DGAシステムには、これらの要因を補正して、長期的に安定した計測を実現する方法が必要です。ガスのトレンドは変圧器の状態を明らかにするための最も重要な情報源の1つであるため、非常に重要です。

ヴァイサラは、ドリフトをなくし、再校正なしで安定した計測を実現するために、多くの方法を独自に開発し、特許を取得しています。汚染の原因となる絶縁油中の化合物が光学表面に集積して時間の経過とともにドリフトが発生することがないように、Optimus™ OPT100 DGA監視装置ではガス抽出やオイル処理メカニズムが設計され、ドリフトの発生を制御しています。また、外部からの汚染は完全密閉メカニズム構造によって排除されるため、外気中の化合物が光学表面に達して計測に影響を与えることはありません。

リファレンス計測の実施

Optimus™ OPT100 DGA監視装置は、各オイルサンプリングサイクルにおいて特許取得済みのシステムを使用し、内部校正用のリファレンス計測を作成します。まず抽出したガスが存在する状態で事前に設定した波長範囲のスキャンと計測が行われ、続いて光学系モジュールからガスを取り除いた後の真空状態でもスキャンと計測が行われます。真空状態での計測はリファレンス計測として使用されます。この2つのスキャン信号の比によって、実際の吸収率とガス濃度が決まります。

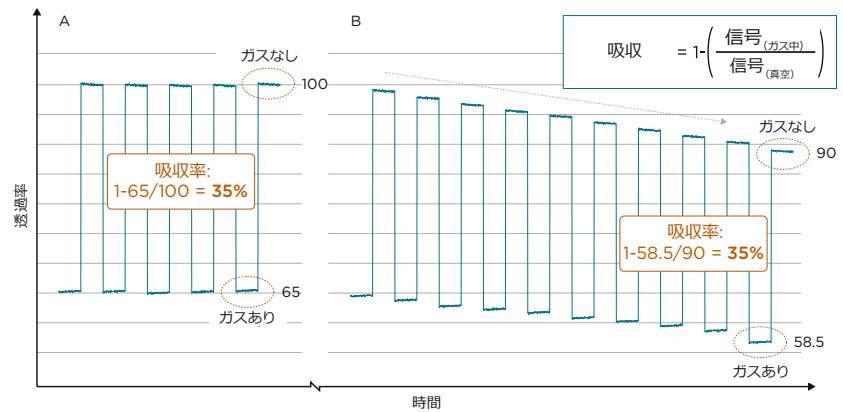


図5. 真空状態における光学表面の赤外線基準信号の計測方法。(A) 安定した状態での計測、(B) 光源に10%のドリフトが発生した状態での計測。

これにより、汚染や経時劣化によるものは関係なく、光学部品によるドリフトの可能性がシステムによって補正されます。図5は、安定した状態での計測と、光源で10%のドリフトが発生した状態での計測の2つの条件下において、ガスが存在する状態と真空状態（ガスがない状態）の赤外線透過信号値の例を示しています。

オイル内自動補正 - 長期的なパフォーマンス維持とドリフトの排除

変圧器の診断に使用される主な異常ガスや比較的重質な炭化水素ガス、その他の揮発性有機化合物 (VOC) など、稼働時の変圧器油は化学組成が非常に複雑です。炭化水素ガスと妨害ガスとなるVOCの赤外線吸収帯が異常ガスと重なり、吸収波長とガス分析を妨げる場合があります。識別して補正を行わなければなりません。

ただし、これらの化合物は主な異常ガスとは異なる物理特性を持っています。Optimus™ OPT100 DGA監視装置では、VOCと主な異常ガスの物理特性の違いを利用してVOCを補正します。異なる条件下でガスが抽出された場合、比較的重質な炭化水素ガスの抽出量は大幅に減ります。妨害ガスの減少は赤外線

吸収計測の抽出手順ごとに検出されます（図6）。この方法で、妨害ガスの相対的な割合を計算し、実際の計測信号から差し引くことができます。

この機能はオイル内自動補正と呼ばれます。設置後の最初の計測時に、Optimus™ OPT100 DGA監視装置はオイル内に存在する炭化水素ガスとVOCの混合ガスを識別し、それらについて「学習」することができます。通常操作の場合、オイル内自動補正機能はほぼ毎月のスケジュールで定期的に行われます。この機能によって計算が再実行されることで、オイル組成の変化を効果的に補正し、長期的なパフォーマンスを確保できます。

トータルガス圧

Optimus™ OPT100 オンラインDGA監視装置は部分真空を使用し、変圧器の絶縁油から溶解ガスを抽出します。統合された圧力センサを利用してすべての溶解ガスのトータルガス圧を計測できます。トータルガス圧 (TGP) は絶縁油中のすべての溶解ガスの分圧の合計です。

圧力の上昇は、密閉型変圧器タンクへの空気の混入に関する早期指標となります。空気が変圧器タンクに混入した場合、

計測されたガスの大部分が窒素と酸素であると考えられます。酸素と窒素は溶解度が低いため、絶縁油から完全に抽出することができます。さらに、全圧値に占める異常ガスの割合は非常にわずかです。

すべての酸素が消費されたとしても、圧力値により漏れを確実に示すことができます。窒素は変圧器内で生成または消費されないため、窒素の値は時間の経過によって増加し、大半を占めるようになります。このようにして、空気の混入を特定することができます。

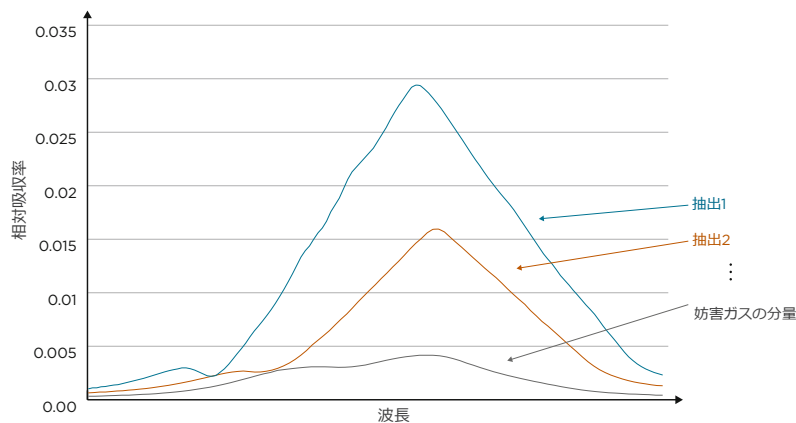


図6. 異なる条件下でのガス抽出により、吸収スキャンにおける妨害ガスの相対的な割合が減る

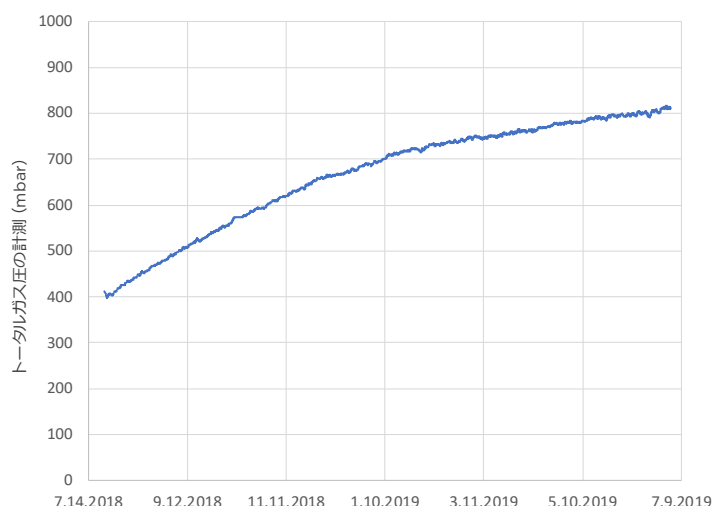


図7. ヴァイサラ OPT100により計測された、電力用変圧器の絶縁油中の溶解ガスのトータルガス圧

市場をリードするヴァイサラ独自のOptimus™ OPT100 DGA監視装置は、磁気駆動式オイルポンプと磁気式バルブのみを使用した非常にシンプルな方法で、真空状態を作り上げることができます。これにより、計測精度と安定性という2つの点で大きな利点があります。

- ヘッドスペース抽出法やメンブレン抽出法に基づいた一般的な監視装置よりも、ガスの抽出効率ははるかに優れています。また、強力な真空リファレンス計測法を使用して、赤外線計測技術で見られる主要なドリフト要因をすべて補正できます。
- オイルとガスの処理メカニズムは完全密閉式であるため、オイル漏れのリスクはほとんどなく、周囲の水分や酸素によるオイルの汚染を防ぐことができます。

これらの利点とOptimus™ OPT100 DGA監視装置のオイル内自動補正機能を組み合わせることで、何年にもわたり正確かつ信頼性の高い、メンテナンスフリーの運用が可能になります。

VAISALA

詳細は以下よりお問い合わせください。
www.vaisala.com/ja/contactus

www.vaisala.jp

Ref. B211813JA-B ©Vaisala 2022

本文書は著作権保護の対象となっており、すべての著作権はヴァイサラと関連会社によって保有されています。無断複写・転載を禁じます。本文書に掲載されているすべてのロゴおよび製品名は、ヴァイサラまたは関連会社の商標です。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）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。技術的仕様を含め、すべての仕様は予告なく変更されることがあります。