

Optimus™ OPT100 DGA常時監視装置を使用した ホットスポットの特定

ヴァイサラの「Optimus™ 絶縁油中ガス・水分オンライン監視装置 OPT100」（以下 Optimus™ OPT100）は、50/50/100MVA変圧器において溶解ガスが発生する問題を調べ、負荷や絶縁油の最高温度などの変圧器の動作条件とガスレベルの間に相関関係があるかどうかを判断するために、さまざまな動作条件下で1年にわたって調査することを目的として、アルゼンチンとウルグアイの国境に位置し、CTM（合同技術委員会）が管理するサルト・グランデ水力発電所に設置されました。

問題の背景:

CTM サルト・グランデ水力発電所では、2002年に OFAF 100MVA 密閉型単相 GSU変圧器を設置しましたが、試運転時から過熱の疑いがあるという問題が起きていました。エタンと、それより少ない量のメタンが発生し、増加していました。この変圧器の絶縁油には、高温時に腐食性の硫黄を生成する可能性があるDBDS（ジベンジルスルフィド）が含まれているため、変圧器の熱の問題は特に懸念されます。水素は、絶縁油に金属不活性化剤 Irgamet39 を追加した後、Irgamet39 により発生した浮遊ガスが原因と考えられる急激な増加が見られた以外では、ほとんど検出されませんでした。また、酸素ではなく窒素が外気と同等レベルで存在していました。

プロジェクト概要:

2017年6月に、主要な溶解ガスをリアルタイムで計測するために、ヴァイサラ Optimus™ OPT100 マルチガス DGA 監視装置が設置されました（図1）。水力発電所の動作条件により変圧器を停止することが許されないため、変圧器の稼働中に取り付けが必要となりました。Optimus™ OPT100の独自の設計により、変圧器を止めずに、半日で問題なく設置が完了しました。Optimus™ OPT100から得られる情報は、組み込まれているブラウザベースのソフトウェアとセルラーモデムを使用して収集されました。

変圧器メンテナンスチームは、1年にわたりDGAのデータを分析し、変圧器の動作条件と比較することで、データと動作条件の間に相関関係があるかどうかを調べました。このプロセスの間、2〜3週間ごとに、CTM サルト・グランデ水力発電所はオイルサンプルを採取し、比較のために試験所で分析しました（図2）。

2017年10月に変圧器の脱気が行われました。このプロセスの間も、Optimus™ OPT100は計測を続けました。それと並行して、試験所用のオイルサンプルが2時間ごとに採取されていました。図3は、2つの結果の比較を示したものです。

調査結果: 負荷と溶解ガス

図4は、変圧器の負荷と絶縁油中のCO₂濃度に関する Optimus™ OPT100 常時監視装置での計測値および試験所での基準値を示しており、高負荷時にCO₂濃度が上昇していることが明確にわかります。負荷が低い場合または変動している場合、CO₂は安定し続けるか、減少することもあります。これは、高負荷状態が長期間続くと、変圧器内に高温域が生じるため、絶縁紙または絶縁油からCO₂が生成されることを示している可能性があります。



図1. 設置された Optimus™ OPT100 DGA常時監視装置。オイルインレットパイプおよびオイルアウトレットパイプは、下部にあるドレンバルブに接続されています。

負荷および温度が低い際のCO₂濃度の減少は、温度が変化する際の絶縁紙と絶縁油の間で発生するCO₂の移動による可能性があります。これは負荷データだけでは不明確ですが、推定ホットスポット $T_{Hot Spot} \approx T_{Top Oil} + H * gR * ipu^2$ を含めると、より明確になります。ここで、gRは、FAT中に工場で計測した巻線と絶縁油間の平均温度の差で、H=2は推定ホットスポット係数です (図5)。

推定ホットスポット温度を使用して、複数の数理モデルを試しました。これには、線形モデル以外に、+70°C程度で推定したCO₂濃度に作用するホットスポットのしきい値を含むモデルも含まれています。モデルを改良するには、さらに作業が必要です。ただし、わずか数日間のデータでは確認できない、長期にわたる大量なCO₂の移動が行われた可能性があるため、単純な相関関係ではないと考えられます (図6)。

CO₂が減少するもう一つの理由として、この変圧器は密閉型であるものの、周囲温度と絶縁油の間の局所的に高い圧力勾配によりタンクから溶解ガスが漏れていることが考えられます。脱気後に窒素レベルがやや急激に増加するという事実が、この変圧器の気密性が十分でないことを示しています。

おそらくC₂H₆は別として、その他の溶解ガスと負荷との明確な相関関係は試用期間中には見られませんでした (図7)。脱気直後のガスレベルの増加は、絶縁紙に浸透した絶縁油や狭いスペースに留まっている絶縁油などに含まれる、脱気されなかった溶解ガスによる可能性が高いと考えられます。この絶縁油が処理済みの絶縁油に逆拡散した際に、ガスレベルが増加しました。

まとめ:

この調査の結果は、変圧器の負荷とCO₂濃度の間の明確な相関関係を示しました。

しかし、低負荷時のCO₂の減少が、絶縁油と絶縁紙へのCO₂の移動によるもの

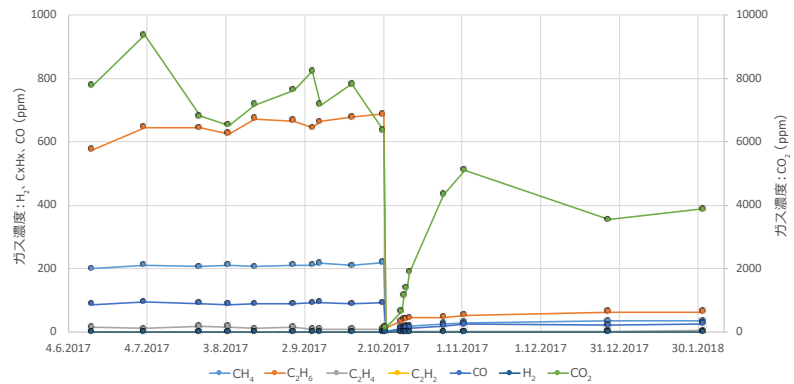


図2. DGAサンプルに関する試験所での結果。

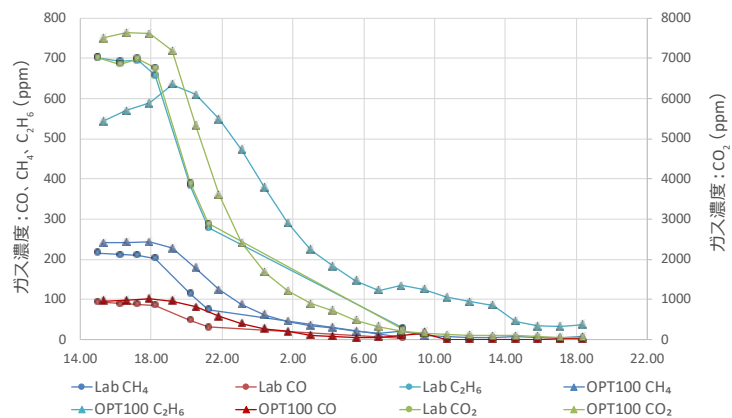


図3. 脱気段階のOptimus™ OPT100の応答と試験所でのサンプル分析の比較。

か、変圧器からのCO₂漏れによるものは現時点では明らかではありません。ホットスポットの位置を適切に特定するには、さらに分析が必要です。

CTM サルト・グランデ水力発電所では、Optimus™ OPT100を活用することで、変圧器の問題の原因とその解決に必要な是正措置の種類をよりの確に特定することができました。追加試験はすでに始まっており、Optimus™ OPT100を常時監視用に設置し、溶解ガスに加え、より深刻な故障の原因となるホットスポットのリスクの監視と制御が現在行われています。

補足:

CTMの資産管理マネージャーであるEduardo Brioso氏は、Optimus™ OPT100に関して、「設置して2年が経ちますが、この装置ではまったく問題が発生しておらず、人による操作の必要も消耗品もありませんでした」と述べています。

Optimus™ OPT100と 試験所での検査の比較

応答時間に加え、監視装置の計測値についても、全期間にわたって試験所のDGA結果と比較されました。わかりやすくするため、**図8**ではメタンのみを示しています。青色の線は監視装置の計測データで、灰色の領域は監視装置の精度仕様です。試験所の基準値は青色の点で示しています。

常時監視装置を試験所の基準値と比較して評価する場合、サンプルの品質と試験所の手順の不確かさを考慮する必要があります。さらに、試験所か常時監視装置かに関係なく、すべての分析方法にはそれぞれの不確かさがある点に注意することが重要です。結果を比較し、監視装置の性能について結論を出す際には、これらを考慮する必要があります。

この場合、試験所の不確かさは不明なため、IEC 60567 [3]に掲載されている平均的な試験所精度の例に基づいて、 $\pm 15\%$ を使用しました。そのため、試験所をDGA常時監視装置と比較するには、実際の計測値ではなくトレンドを比較するのが適切です。トレンドが類似していて、不確かさの範囲が重なっている場合、2つの異なる方法が概ね一致していると判断できます。

全体的に、CTM サルト・グランデ水力発電所は計測値の相関関係に非常に満足し、変圧器の動作を監視するために、Optimus™ OPT100常時監視装置を保有している他の変圧器にも設置しています。フランや絶縁強度などの特定の側面については、サンプリングと試験所での検査を継続しますが、変電所管理マネージャーは、「DGAや水分の常時監視をすることにより、CTM サルト・グランデ水力発電所に予防保全プログラムを導入するための重要な要素が提供されました」と、評価しています。

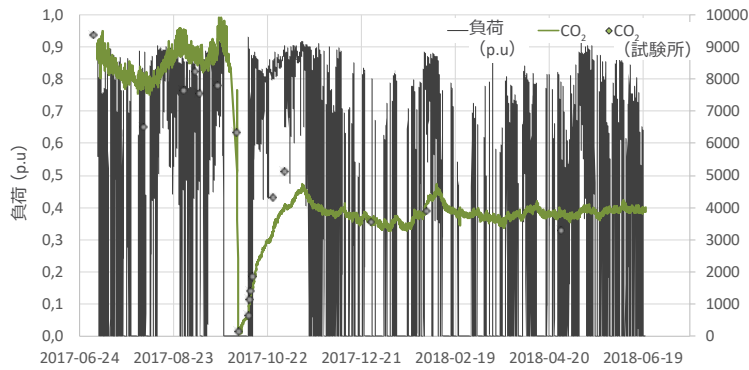


図4. 試用期間中のCO₂と負荷。

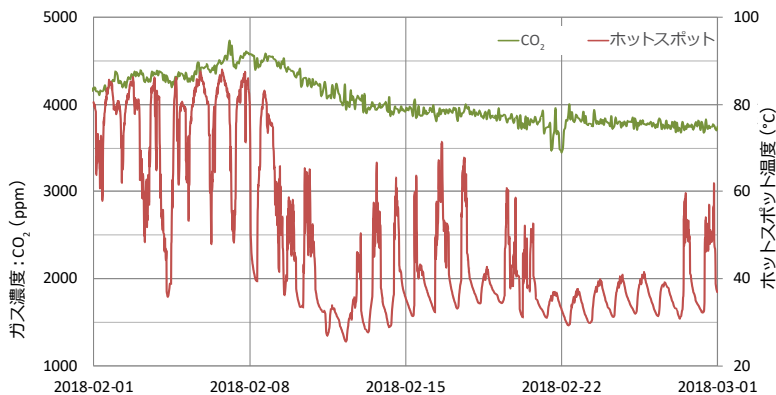


図5. 1か月にわたるホットスポット温度の計算値と絶縁油中CO₂濃度の変化。

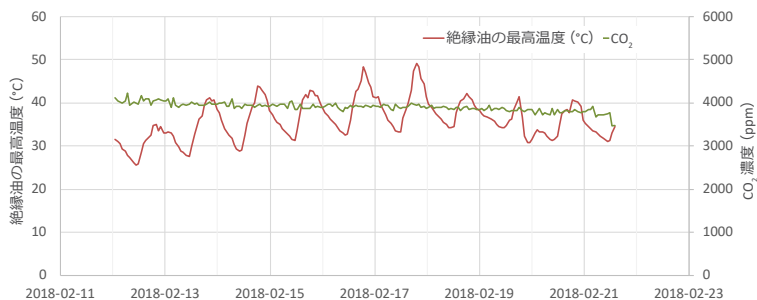


図6. 約1週間にわたる絶縁油の最高温度と絶縁油中CO₂濃度の変化。

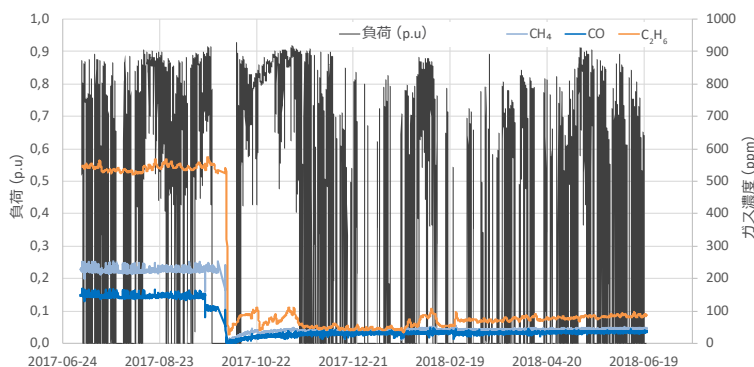


図7. 試用期間中の他の溶解ガスと負荷の比較。

オイル内水分

負荷、周囲温度、またはその両方によって温度が変動すると、変圧器の絶縁油中の水分量は変化します。この影響は、[図9](#)で示されているように、本調査で見られました。1年間の絶縁油の最高温度とオイル内水分 (ppm) を示しています。この図から、温度が上昇すると絶縁紙の表面から水分が絶縁油中に解放され、温度が下降すると、水分が絶縁紙に吸着されることがわかります。

ただし、水の脱着は吸着よりも急速なプロセスであり、水分 (ppm) を絶縁油の最高温度に対してプロットした場合、明確なヒステリシスが表れます ([図10](#))。これは、負荷が変動する変圧器は平衡状態にならないことを意味します。

この現象により、試験所での水分分析用のオイルサンプルを採取する適切な時間を定義することが困難になります。サンプリング時に変圧器の温度が上昇しているか下降しているかに関係なく、ヒステリシスの効果により、同じ温度でもオイル内水分が大きく変動する可能性があります。

これは、負荷が変動し、温度が変化する変圧器において、固体絶縁内の水分を決定するためのオイルサンプルを採取する際に検討する必要がある非常に重要な要素です。これはまた、絶縁油や絶縁紙の長期的な水分トレンドを決定するために常時水分計測が非常に効果的である主な理由にもなります。一方で、変圧器内の水分について何らかの結論を出すために絶縁油をサンプリングする場合、絶縁油の温度を毎回記録することが非常に重要であることも示しています。

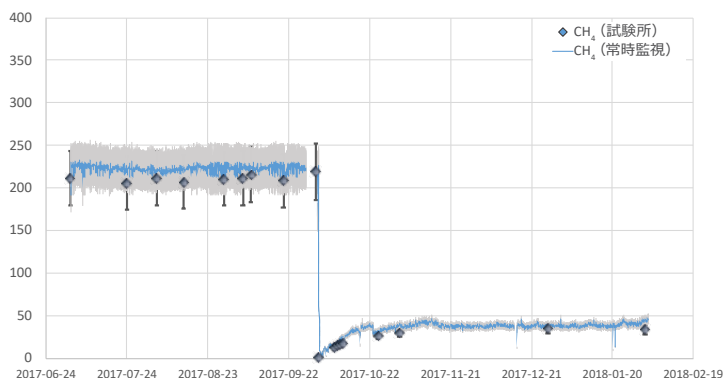


図8. ±15%のエラーバー付きの試験所の基準値でプロットされた±10%の精度 (灰色の範囲) の Optimus™ OPT100 DGA監視装置のメタン計測値。

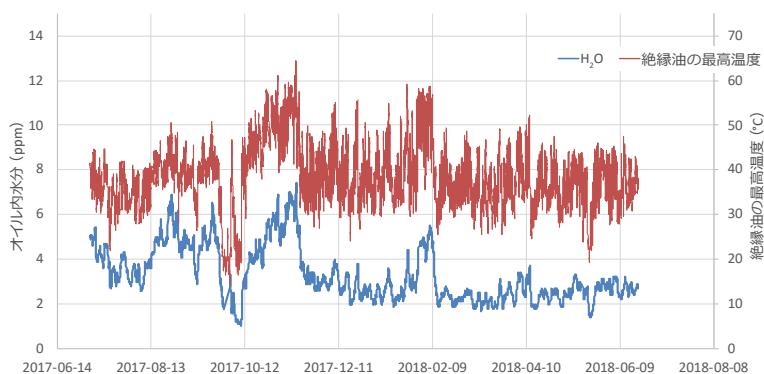


図9. オイル内水分 (ppm) と絶縁油の最高温度の経時変化。

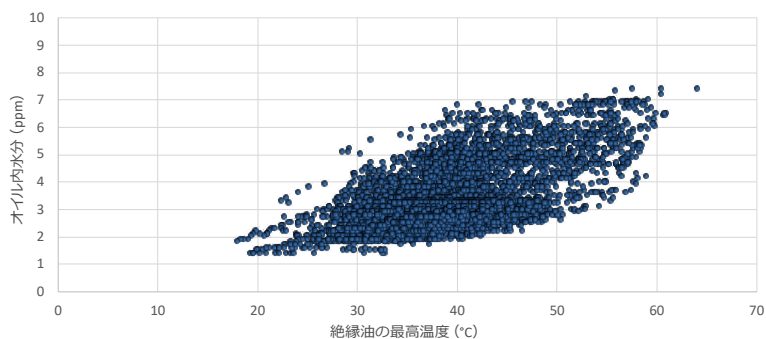


図10. オイル内水分と絶縁油の最高温度の比較。

VAISALA

www.vaisala.com

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

Ref. B211814JA-A ©Vaisala 2019

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。無断転用禁止。本カタログに掲載されている全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。私的用途を他の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。技術的仕様を含め、全ての仕様は予告なく変更されることがあります。