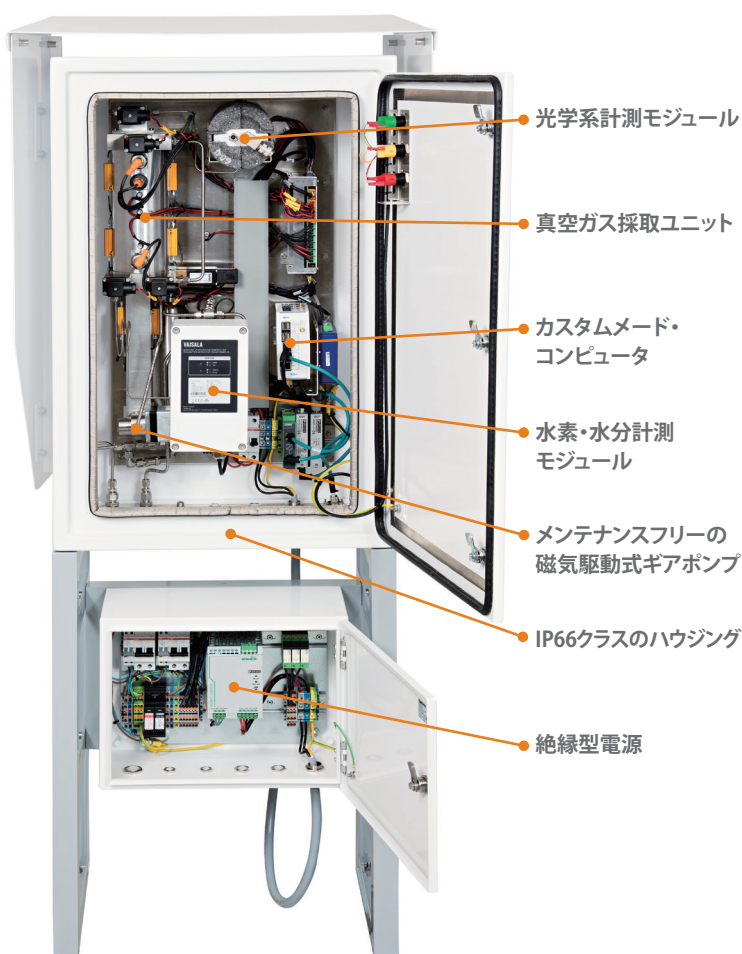


# VAISALA

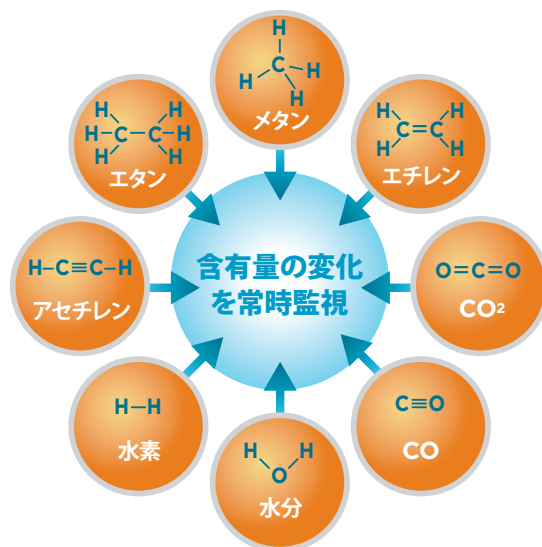
## 変圧器内のオンライン監視で 絶縁油中の溶解ガス発生・変化を すばやく検知！

NDIRセンサと真空ガス抽出法を用いた新技術で絶縁油内の溶解ガスの含有量の変化を把握し、変圧器の不具合・問題発生の原因特定に役立ちます。

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



**特長1:** 異常時に増加する代表的な  
7つの融解ガスと水分を計測



**特長2:** 独自の計測方法

### ガス抽出法

真空抽出法を採用。抽出後ガスは完全密閉されたライン内で絶縁油に戻されます。

### ガス分析法

ヴァイサラ独自のNDIR方式により、ガスの赤外線吸収波長域を広範囲にスキャンし絶縁油中異常ガスを正確に安定して計測します。

図1 - Optimus™ 絶縁油中ガス・水分オンライン監視装置  
OPT100の内部構造

# Power — 変圧器の課題をトレンドへ

電力用変圧器の異常の多くは適切なオンラインモニタリングによって検出することができると言われています。しかし、監視装置の誤警報や定期的なメンテナンスのためには多くの時間と費用が必要となります。OPT100はこのような課題を解決するために様々な新技術を用いています。

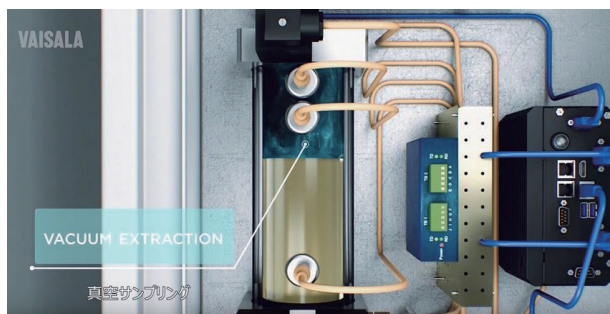


図2 - Optimus™の真空サンプリング

## 2. フルスキャン技術

ヴァイサラのコア計測技術に基づいた光学系IR（赤外線）センサを使用して全測定成分の波長についてフルスキャンを行います。これは、ガスによって吸収するIRの波長が異なるという特性を利用したIR吸収法に基づいたもので、広範囲のIR波長をスキャンし、IRの吸収と吸収時のピークの形状を分析することにより、検出されたさまざまなガスの濃度を個別に算出します。

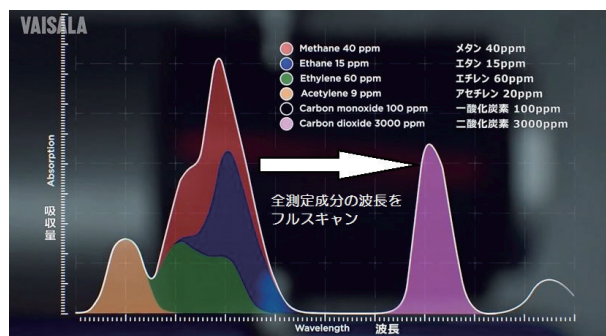


図3 - Optimus™のフルスキャン

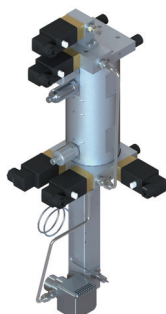


写真1 - アルミニウムとステンレス製のオイル処理装置

## 3. メンテナンスフリー構造

ハウジングはIP66クラスで、内部は温度制御されています。オイルやガスと接触するパーツやパイプにはステンレスまたはアルミニウムを採用しています。また、磁気駆動式ポンプおよびバルブにより優れた性能と耐久性を実現しているため、OPT100には修理や交換の必要な消耗品は基本的にありません。

## 4. 常時監視としての活用

ブラウザベースのインターフェースを使用できます。また、デジタル通信やリレーを介し既存の制御/監視システムと接続も可能です。データはOPT100内に保存されます。



ヴァイサラの電力業界向けの資料は、左のQRコードから一括でダウンロード可能です。是非ご活用ください。



図4 - ウェブユーザインターフェースのスクリーンショット

### ヴァイサラ株式会社

【東京オフィス】  
〒101-0051 東京都千代田区神田神保町1-105 神保町三井ビルディング16階  
TEL 03-5259-5960

【大阪セールスオフィス】  
〒550-0005 大阪府大阪市西区西本町1-4-1 オリックス本町ビル4階  
TEL 06-6543-8770

【福岡セールスオフィス】  
〒812-0012 福岡県福岡市博多区博多駅中央街8-1 JRJP博多ビル3階  
TEL 092-686-8798

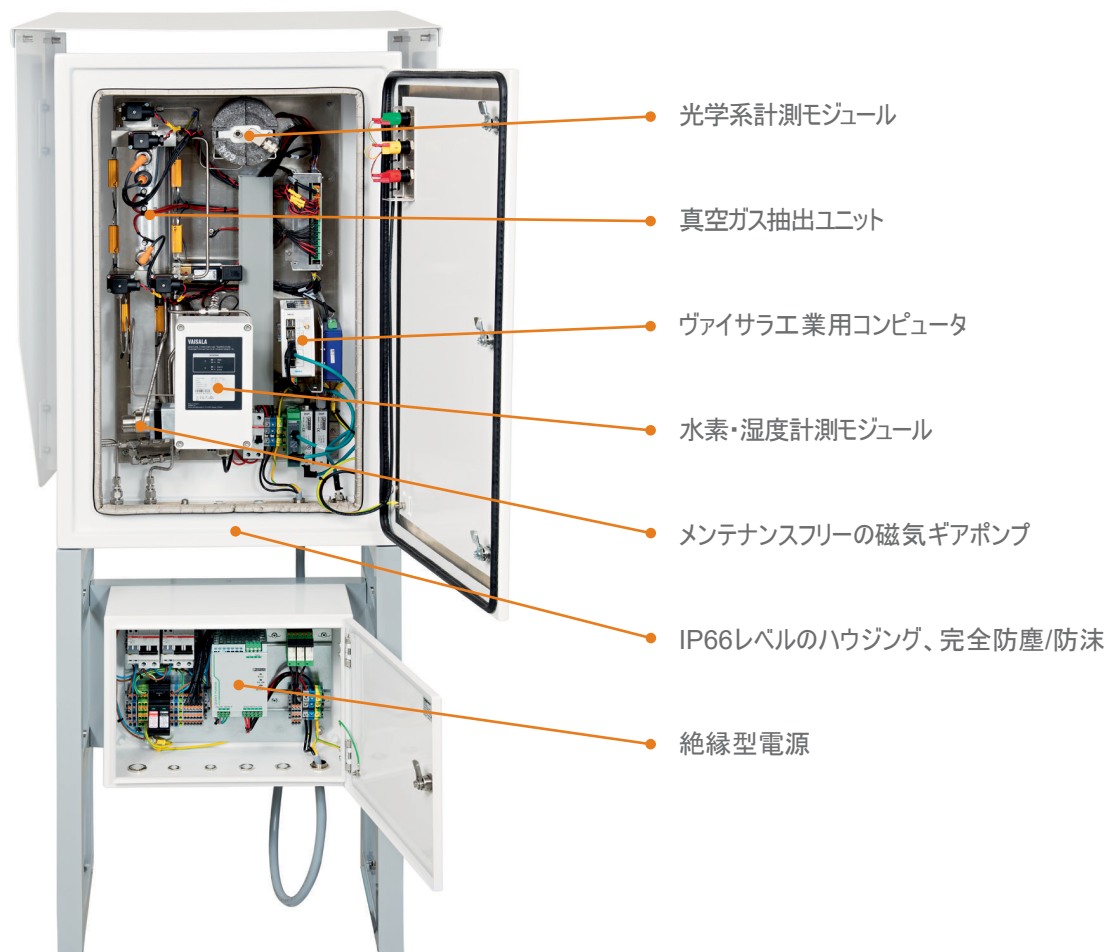
**VAISALA**

Ref. B211721JA-B ©Vaisala 2022



# Optimus™ 絶縁油中ガス・水分オンライン監視装置 OPT100

電力用変圧器向け



## ヴァイサラが特許を取得している計測技術

- ヴァイサラのクリーンルームで設計および製造された光学系IR（赤外線）センサ
- スペクトラルスキャンによる選択的ガス計測
- オイルの温度や圧力による影響を受けない真空ガス抽出法を採用
- 自動補正機能により長期ドリフトを除去 - 再校正不要
- トータルガス圧計測 - 空気の混入を検出する最も信頼できる方法

## 耐久性に優れた設計 - 長寿命

- 密封構造のため真空と圧力の変化に強い
- オイルと接触するパーツやパイプはステンレスまたはアルミニウムを採用
- 消耗品は不要 - 定期メンテナンスも不要
- 磁気駆動式ギアポンプおよび高品質なバルブによる耐久性の向上

## 簡単な設置と操作

- 設置から試運転までを2時間程度で実現
- 約1時間間隔の出力で連続動作 - データの平均化は不要
- わかりやすいブラウザベースのインターフェース - データの参照・共有、設定変更などが簡単
- 障害発生後の自動回復が可能な自己診断機能





### 変圧器の故障防止

収益の損失という意味においても、企業の評判やブランドイメージに対する計り知れない損害という意味においても、予期せぬ停電ほど影響があるものはありません。ただ、こうした影響はすべて回避可能です。電力用変圧器の重大な障害の50%以上は適切なオンラインモニタリング装置によって検出することができるので、深刻な故障は防止することができます。

ただ、監視装置は同じようには作られていません。この問題を解決するため、「ヴァイサラ OPT100 Optimus™ 絶縁油中ガス・水分オンライン監視装置」は開発されました。リアルタイムで確実にモニタリングすることができ、誤警報や保守、消耗品の心配もありません。

優れた安全性と信頼性を念頭に置いて設計されており、最も厳しい動作環境に対応しています。Optimus™は、数十年にわたる経験、広範な研究、そしてお客様の実際のニーズに耳を傾けてきたことの集大成です。

### 信頼できるデータ - 誤警報なし

IR（赤外線）センサは、ヴァイサラのコア計測技術に基づいており、当社のクリーンルームで製造されています。真空ガス抽出法は、オイルの温度や圧力によるデータの変動

がないことを意味し、密閉され、保護されている光学系はセンサの汚れを防止します。水分は、当社の高分子薄膜静電容量式 HUMICAP® センサを用いてオイル内で直接計測されます。このセンサは、20年以上にわたり変圧器の監視に使用されています。また、水素もヴァイサラ MHT410 オイル内水分水素温度変換器で使用されているものと同じソリッドステートセンサを用いて、オイル内で直接計測されます。

### トータルガス圧による 空気混入検出

空気混入は変圧器の経年劣化を早めます。ヴァイサラ Optimus™ 絶縁油中ガス・水分オンライン監視装置は、サンプリングされた絶縁油体積中のトータル溶解ガス圧を計測し、密閉型変圧器の空気混入を検出します。空気が変圧器タンクに混入した場合、溶解ガスの大部分は窒素と酸素であり、ガス圧値に占める異常ガスの割合は非常にわずかです。空気は窒素が大半を占めており、変圧器内の反応で生成または消費されないため、溶解ガスの圧力傾向は空気混入の信頼できる指標となります。

### Duval三角形を使用したDGA診断

一般的に使用されている DGA 分析法である Duval 三角形（IEC 60599、Annex B）が、オプション機能として利用可能です。ユーザーイン

ターフェースでは、Duval 三角形の 1、4、5 の三角形上に重ね合わされた前年からのデータポイントの推移が表示されます。データポイントは、信頼性とガス計測に優れた DGA 監視装置によって自動的に選択されます。

### 堅牢な構造

ステンレス鋼管、IP66 クラス、温度制御されたハウジング、そして磁気駆動式ギアポンプやバルブによって、極寒地から熱帯までどこにいても優れた性能と耐久性を実現することができました。修理や交換の必要な消耗品は何もありません。

### 滑らかで洗練されたデザイン

ウェブベースのユーザーインターフェースを備えているため、ソフトウェアを追加する必要が全くありません。監視装置は2時間足らずで設置でき、絶縁油、電源、データに接続するだけで設置は完了です。また、デジタル通信およびリレーを介して、既存の制御および監視システムと接続したり、スタンドアロンの監視装置として使用できます。停電などの障害が発生した場合には自己診断によって自動的に回復することができます。



# 技術情報

## 計測仕様

| 項目                                     | 範囲                                       | 精度 <sup>1) 2)</sup>                 | 繰り返し性 <sup>2)</sup>              |
|--|--|-------------------------------------|----------------------------------|
| メタン (CH <sub>4</sub> )                 | 0 ～<br>10,000ppm <sub>v</sub>            | ±4ppmまたは<br>計測値の±5%                 | 10ppmまたは<br>計測値の5%               |
| エタン (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )   | 0 ～<br>10,000ppm <sub>v</sub>            | ±10ppmまたは<br>計測値の±5%                | 10ppmまたは<br>計測値の5% <sup>3)</sup> |
| エチレン (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )  | 0 ～<br>10,000ppm <sub>v</sub>            | ±4ppmまたは<br>計測値の±5%                 | 10ppmまたは<br>計測値の 5%              |
| アセチレン (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) | 0 ～<br>5,000ppm <sub>v</sub>             | ±0.5ppmまたは<br>計測値の±5%               | 1ppmまたは<br>計測値の5%                |
| 一酸化炭素 (CO)                             | 0 ～<br>10,000ppm <sub>v</sub>            | ±4ppmまたは<br>計測値の±5%                 | 10ppmまたは<br>計測値の5%               |
| 二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> )               | 0 ～<br>10,000ppm <sub>v</sub>            | ±4ppmまたは<br>計測値の±5%                 | 10ppmまたは<br>計測値の5%               |
| 水素 (H <sub>2</sub> )                   | 0 ～<br>5,000ppm <sub>v</sub>             | ±15ppmまたは<br>計測値の±10%               | 15ppmまたは<br>計測値の10%              |
| 水分 <sup>4)</sup> (H <sub>2</sub> O)    | 0 ～<br>100ppm <sub>w</sub> <sup>5)</sup> | ±2ppm <sup>6)</sup> または<br>計測値の±10% | 精度に含まれて<br>います。                  |
| トータルガス<br>圧                            | 0～2,000hPa                               | ±10hPa または<br>計測値の10%               | 10hPa または<br>計測値の 5%             |

- 1) 精度は、ガス計測校正時のセンサ精度です。
- 2) いずれか大きい方です。
- 3) エタン計測の繰り返し性は5回の計測の平均値です。
- 4) 油中水分飽和度 (%RS) として計測されています。
- 5) 飽和の上限です。
- 6) 計測値は、鉱物油の平均溶解度に基づいています。

## 計測動作

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| 計測サイクル長                | 1～1.5時間（通常）             |
| 応答時間（T63）              | 1回の計測サイクル <sup>1)</sup> |
| 初回計測可能までの<br>ウォームアップ時間 | 2回の計測サイクル               |
| フル精度までの時間              | 2日                      |
| データ保存                  | 最低10年                   |
| 製品期待寿命                 | 15年超                    |

- 1) エタンと水素の場合は、3サイクル。

## 現場性能

| 項目                                     | 試験所の DGA に対する分散の代表値 <sup>1)</sup> |
|--|-----------------------------------|
| アセチレン (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) | ±1ppmまたは計測値の±10%                  |
| 水素 (H <sub>2</sub> )                   | ±15ppmまたは計測値の±15%                 |
| その他の計測ガス                               | ±10ppmまたは計測値の±10%                 |
| 水分 (H <sub>2</sub> O)                  | ±2ppmまたは計測値の±10%                  |

- 1) 試験所の不確かさも考慮して、オイルサンプルに基づくガスクロマトグラフィー結果と比較。油中ガス計測の性能についても、オイルの性質やオイル内に溶解した他の化合物の影響を受ける可能性があります。

## 算出パラメータ

|                   |   |
|-------------------|---|
| 油中可燃性ガス総量 (TDCG)  | H <sub>2</sub> 、CO、CH <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> の合計   |
| 24時間平均            | 単一ガス、水分、TDCG、トータルガス圧について算出可能  |
| 変化率（ROC）          | 単一ガスおよびTDCGについて<br>24時間、7日間、30日間で算出可能   |
| ガス比 <sup>1)</sup> | 入手可能な比率： <ul style="list-style-type: none"><li>CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub></li><li>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></li><li>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub></li><li>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></li><li>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></li><li>CO<sub>2</sub>/CO</li></ul> |

- 1) 24時間の平均値より算出。IEC 60599規格を参照してください。

## 動作環境

|                         |   |
|-------------------------|---|
| オイルの種類                  | 鉱物油   |
| 絶縁油の最低燃焼点 <sup>1)</sup> | +125°C  |
| オイル注入口のオイル圧             | 連続最大2bar <sub>abs</sub><br>破裂圧力20bar <sub>abs</sub> |
| オイル注入口の<br>オイル温度        | 最大+100°C  |
| 周囲の湿度範囲                 | 0～100%RH（結露環境）                                      |
| 動作中の周囲の温度範囲             | -40～+55°C   |
| 保管温度範囲                  | -40～+60°C   |
| IP規格                    | IP66  |

- 1) 「絶縁油」の燃焼点は、通常引火点よりも約10°C高い。参照：Heathcote, Martin J. The J & P Transformer Book. 13th ed. Elsevier, 2007.

## 電源

|                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| 動作電圧                  | 100～240VAC、50～60Hz、±10% |
| 過電圧カテゴリ               | III                     |
| 最大消費電流                | 10A                     |
| 最大消費電力                | 500W                    |
| 標準消費電力<br>(+25°Cにおいて) | 100W                    |

## 出力

### RS-485 インターフェース

対応プロトコル Modbus RTU、DNP3  
(オプション機能)

ガルバニック絶縁 2kV RMS、1分

### イーサネットインターフェース

対応プロトコル Modbus TCP、HTTP、HTTPS、DNP3  
(オプション機能)、IEC 61850 (オプション機能)

ガルバニック絶縁 4kV AC (50Hz、1分)

### リレー出力

リレーの数 3 個、ユーザーはノーマルオープン (NO)、ノーマルクローズ (NC) を選択可能

トリガータイプ ユーザーによるガス警報値の設定が可能

最大スイッチング電流 6A (250VACにおいて)  
2A (24VDCにおいて)  
0.2A (250VDCにおいて)

### ユーザーインターフェース

インターフェースの種類 ウェブベースのユーザーインターフェース：Web ブラウザーを使用して操作できます。

## 適合規格

### EU指令

EMC指令 (2014/30/EU)  
低電圧指令 (2014/35/EU)

OPT100 は、RoHS 指令 (2011/65/EU) の範囲から除外されている別のタイプの機器の一部として設置されるように特別に設計されています。

### EMCイミュニティ

EN 61326-1、工業環境  
IEC 61000-6-5、クラス4

### EMCエミッション

FCC 47 CFR 15、セクション 15.107、クラスA  
ISED ICES-003、セクション5 (a) (i)、クラスA

### 安全性

IEC/EN/UL/CSA 61010-1

### 環境

ISO 6270-1:2017、耐湿性試験 (C5-Mクラス)  
ISO 9227:2017、塩霧 (C5-Mクラス)

### 基準適合マーク

CE, 中国版 RoHS, EAC, RCM

## 一般仕様

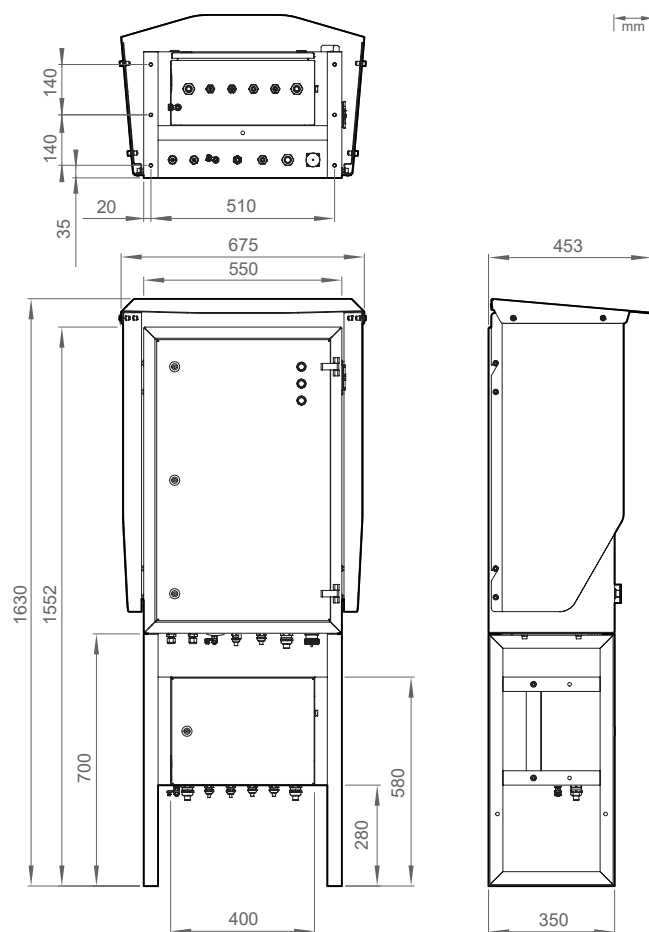
### オイルフィッティング

外径10mmチューブ用ステンレス製 Swagelok®継手。  
ヴァイサラから入手可能なアダプタの付属品のリストをご覧ください。

### オイルパイプから変圧器までの最大長 材質

内径7mmチューブの場合は最長10m  
内径4mmチューブの場合は最長5m

マリンアルミニウム (EN AW-5754)、  
ステンレス AISI 316



地上設置用セット付きの場合の寸法

### ヴァイサラへの信用

ヴァイサラは、これまで80年にわたり計測機器を製造してきました。当社の機器とシステムは、150カ国以上における、空港、医薬品、発電など、失敗の許されない業界で使用されています。また、極めて高い安全性と品質が求められる分野の10,000社以上の企業が、ヴァイサラの製品を採用しています。

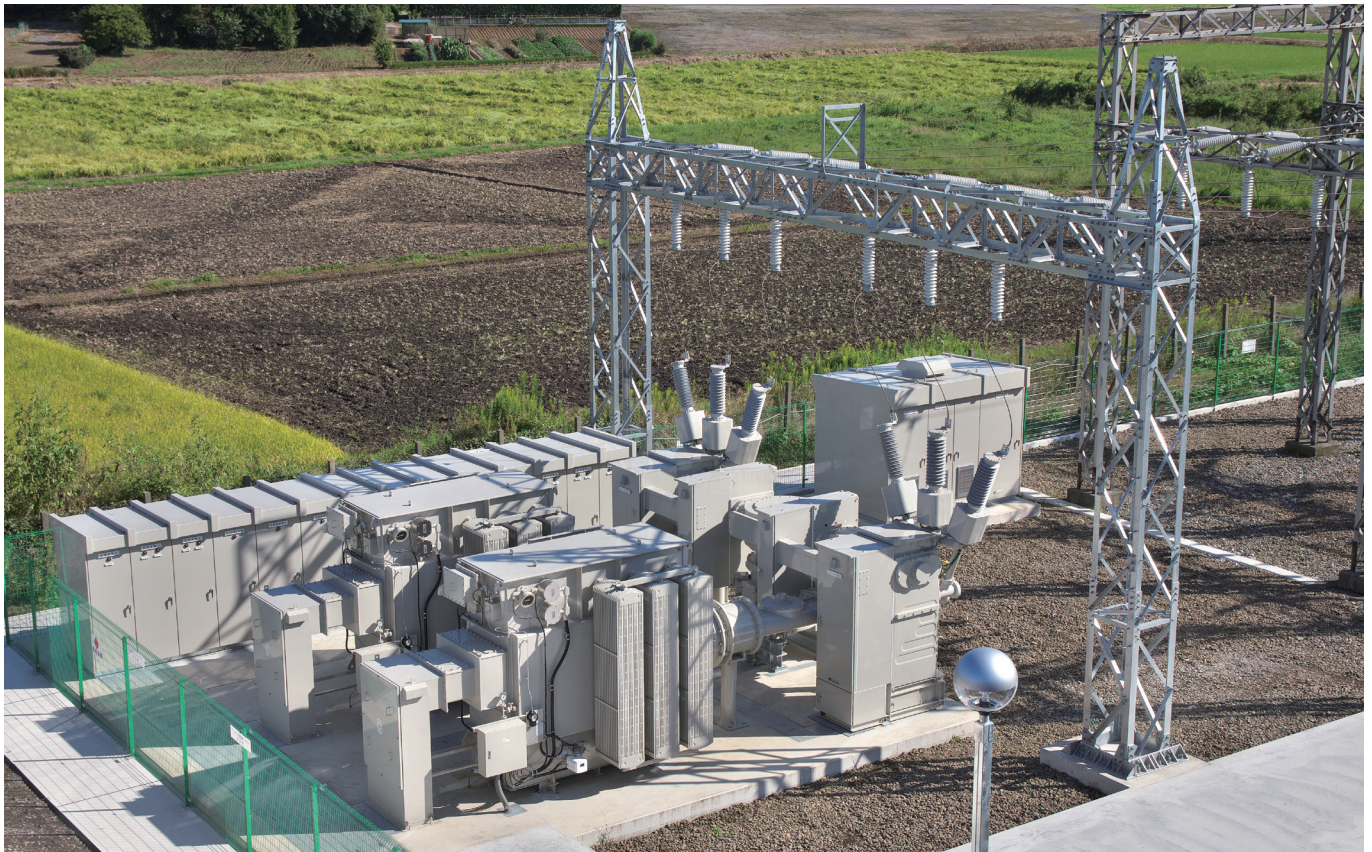
ヴァイサラのセンサは、極寒地、海洋、熱帯環境といった地球上で最も過酷な場所、さらには火星でも使用されています。

### 電力用変圧器の適切な監視

ヴァイサラ OPT100 Optimus™ 絶縁油中ガス・水分オンライン監視装置は、追加設定なしですぐに使える性能を提供し、誤警報をなくし、変圧器の診断で使用される主な油中ガスに関して長期的に安定した計測を実現します。



## 新しい「スマート保安」の時代の オンライン常時監視によるリアルタイム劣化診断



### 変圧器の経年劣化とメンテナンスの課題

現在、多くの先進国では、変圧器の高経年化に直面しており、国内では、稼働中の変圧器約1万6千台のうち40%以上が設置から30年以上が経過した高経年器です。変圧器は経年劣化と共に故障のリスクが増加するため、故障による深刻な事象の発生を未然に防ぐために、モニタリングやメンテナンスの需要が高まり、洗練された診断技術に期待が寄せられています。

しかし、従来のメンテナンス手法では、手作業で採取した絶縁油のサンプルを分析装置にかけて、劣化生成物（ガス）を確認して変圧器の状態を判断するため、サンプリングや分析のための負担が大きいことも課題となっています。またサンプル分析が実施されない期間に異常が発生している可能性もあります。

### 株式会社東光高岳での導入ケース

株式会社東光高岳さま（以下東光高岳）は、経年化した変圧器の安全で効率的なモニタリングによる課題解決を実施されている、電力エネルギーの安定的・効率的な流通を支え続けてきた電力インフラのリーディングカンパニーです。電力プラント事業として主に変圧器や開閉装置等の受変電・配電機器を製造されています。

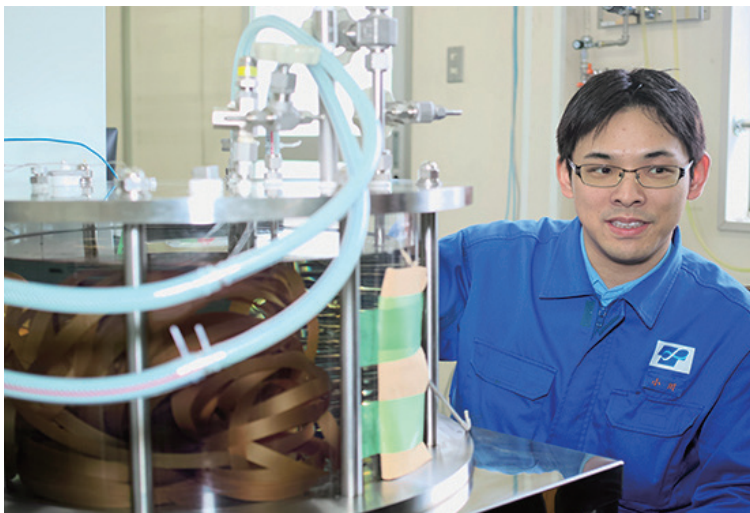
近年では、エネルギー市場を取巻く環境変化を好機ととらえ、保有する技術とデジタルトランスフォーメーション（DX）を同時に推進する取り組みを進めています。

自社の変圧器にヴァイサラ Optimus™ 絶縁油中ガス・水分オンライン監視装置 OPT100を取付け、複数のエンドユーザーの拠点で設置試験を実証中です。

## ユーザ価値の最大化にむけて

東光高岳さまでは変圧器ユーザーのメンテナンスの負担の低減化と、より安定した運用のために、サンプリングにかわる、変圧器劣化診断の方法として劣化時に起こる絶縁油中の水分の変化の自動監視に着目されました。

絶縁紙と油の水分割合を示す水分平衡関係は、絶縁紙の劣化度と油温に応じて変化するため、油温と油中水分量を連続的に精度よく計測することができれば、絶縁紙の劣化度を推定できるのではないかと考えました。その際に、この2つの変数を正確に計測できるヴァイサラのセンサがこの目的を達成するための技術として相応しいと判断されました。



「関連学会の技術報告などで情報を得ていたことや、他社の技術者からもヴァイサラの絶縁油中センサの性能が高く評価されていると聞いていました。実現したかった診断に必要なセンシング機能が盛り込まれている**MHT410 オイル内水分水素温度変換器**にまず着目しました。」

株式会社東光高岳 戦略技術研究所 技術開発センター 栗原さま

「この**MHT410**の水分センサは非常に優秀でした。微量の水分を検出し、水分変化にも非常によく追従しました。」

株式会社東光高岳 戦略技術研究所 技術開発センター 出井さま

## オンライン常時監視によるリアルタイムの劣化診断

ヴァイサラ Optimus™ 絶縁油中ガス・水分オンライン監視装置OPT100はオイル内水分、水素、温度を計測する製品です。オンラインモニタリングでは異常が発生した時点で検知が可能です。

**OPT100**の正確で継続的なモニタリングによるメリットが、従来のオフラインでの変圧器の劣化診断を置き換える決め手になりました。**OPT100**は、変圧器の絶縁油のラインにセンサを取り付ければすぐに常時計測が開始され、継続的な時間経過とともにデータを計測・分析することができます。リアルタイムで変圧器の状態変化が把握でき、深刻な劣化や異常の予兆をとらえることが可能になります。

「オンライン常時モニタリングをすることで、まず正常時の稼働時の状態を知ることができます。正常時の状態を把握することで状態変化時の微細な数値の変化も察知することができます。」

株式会社東光高岳 戦略技術研究所 技術開発センター 栗原さま

「従来の手法では数年に1回ほどしかメンテナンスを行っておらず、そのタイミングでしか状態診断ができません。異常値が発生した時点で、早期に変化に気づくことは、古い変圧器の寿命診断にもつながります。24時間計測するセンサによる状態監視が可能となれば、より適切な更新時期を提案できます。」

株式会社東光高岳 戦略技術研究所 技術開発センター 出井さま



## OPT100 に搭載された新技術

**OPT100**では、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。また、全種類の抽出ガスが高い真空ガス抽出方法を採用しているため、より正確で信頼性の高い結果が得られます。また、従来絶縁油分析器で使用している固定フィルタと比較し、**OPT100**では可変フィルタを使用することで赤外線スキャン範囲が拡大します。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ているため、より正確に溶解ガスの濃度を算出できます。

「**OPT100**の油中ガス計測方法は、従来の油中ガス分析結果との整合性が良く、油中ガス量の変化を正確にとらえるので、常時設置に適しています。特に微量のアセチレンが検出できるところが非常に優れています。アセチレンは内部放電異常時に生成する油中ガスですので、できるだけ微量の段階で検出したい項目です。常時監視装置でこのような高精度の検知ができることに大変驚きました。」

株式会社東光高岳 戦略技術研究所 技術開発センター 出井さま

## 設置の容易性と耐久性

ヴァイサラ**OPT100**は既設変圧器のサンプリング用のバルブのフランジを利用して取付可能なため、接続のために既設変圧器にバイパスラインを設けるなどの追加加工は一切不要です。また、**OPT100**はメンテナンスフリーで、交換が必要な消耗品がなく、光学系は密閉され保護されています。ステンレス製のパイプ、IP66クラスのハウジングと磁気駆動式ポンプにより、優れた耐久性があります。また停電などの障害発生時には自己診断によって自動回復できます。

「設置に関しても**OPT100**は、油循環させるため、新設機器だけでなく、変圧器の油流のある部位に取り付けポートがない既設の経年機器にも適用できることも、大きなメリットです。」

株式会社東光高岳 戦略技術研究所 技術開発センター 栗原さま

「変圧器は非常に故障が少なく寿命の長い機器なので、センサにも過度な安定性が要求されがちです。**OPT100**のメンテナンスフリーは非常にありがたいです。従来、変圧器のメンテナンスや運用には多くの労力が必要でしたが、メンテナンスの品質を下げずに、効率化に大きく寄与することは重要なポイントです。また頻繁な運搬や付け替えなど実施しているにもかかわらず、正常に稼働し安定性が高いと判断しています。」

株式会社東光高岳 戦略技術研究所  
技術開発センター 出井さま

「フィールドでの検証では、安定的に稼働しトラブルは発生していません。また突発的な停電などの際にも、復電時には**OPT100**は自動復帰していました。」

株式会社東光高岳 戦略技術研究所  
技術開発センター 栗原さま



株式会社東光高岳 戦略技術研究所 技術開発センター 栗原さま(左)  
株式会社東光高岳 戦略技術研究所 技術開発センター 出井さま(右)



「一般企業では、工場の稼働をなかなか止められません。保守担当の方は常に設備運用停止のリスクへの不安をお持ちです。自社の変圧器に**OPT100**のような常時監視装置を取り付けたいというご要望も多いのです。」

株式会社東光高岳 戦略技術研究所 技術開発センター 栗原さま



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

## 新しい「スマート保安」の時代に

設置試験を開始して3年が経過し、東光高岳さまの**OPT100**運用データや知見も着実に蓄積されてきました。オンラインモニタリングはトレンドを見るために今後は重要な役割を果たすと認識をされています。将来的に計測データをクラウド管理できれば、遠隔監視や運用の実用化も現実味を帯びてきます。AIと連携した蓄積データの分析は、さらなる精度向上をもたらし、活用の領域をさらに押し広げます。メンテナンスの作業量や費用削減、適切な機器運用、クラウド上での遠隔確認やAI連携など多くのメリットが実現可能になります。最終的に受変電設備の運用の効率面だけでなく、長期安定性への貢献にもつながります。

「メンテナンスの向上と効率化は、お客様の機器運用における安定稼働、効率化、コスト低減に直結しています。またセンシングによる設備の状態基準診断（CBM:Condition Based Maintenance）、IoTによるコトづくりなどが大きくクローズアップされる中で、今後電力設備もこの動向が進むことを確信しています。」

株式会社東光高岳 戦略技術研究所 技術開発センター 栗原さま

# VAISALA

[vaisala.com](https://vaisala.com)

詳細は以下よりお問い合わせください。  
[vaisala.com/ja/contactus](https://vaisala.com/ja/contactus)

Ref. B212691JA-A ©Vaisala 2023

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）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、仕様は予告なく変更されることがあります。

## 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

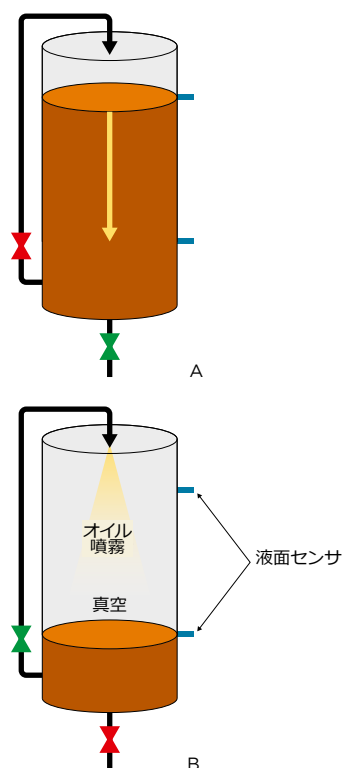


図1. シリンダー上部のバルブを閉じてポンプでオイルを汲み出し、油面より上に真空を作り出す（A）。真空部分を通してオイルを噴霧してガスを抽出する（B）

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。

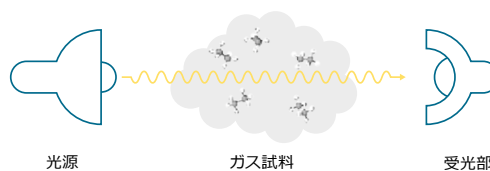


図2. 分子が励起状態に移行することによる赤外線光の吸収の概要図

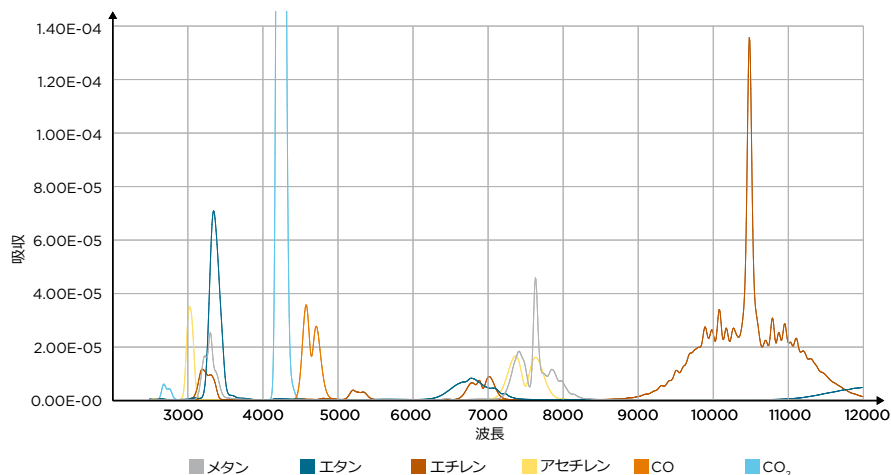


図3. CO<sub>2</sub>、CO、アセチレン、エチレン、エタン、メタンガスの赤外線光の吸収帯

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。

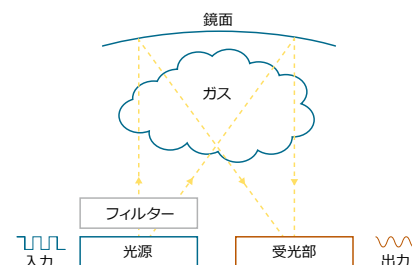


図4. Optimus™ OPT100 DGA監視装置の赤外線モジュールの概要図



## 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。

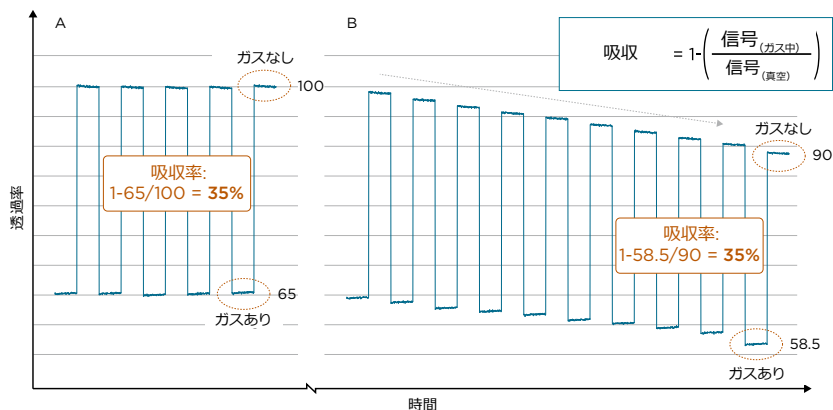


図5. 真空状態における光学表面の赤外線基準信号の計測方法。(A) 安定した状態での計測、(B) 光源に10%のドリフトが発生した状態での計測。

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。

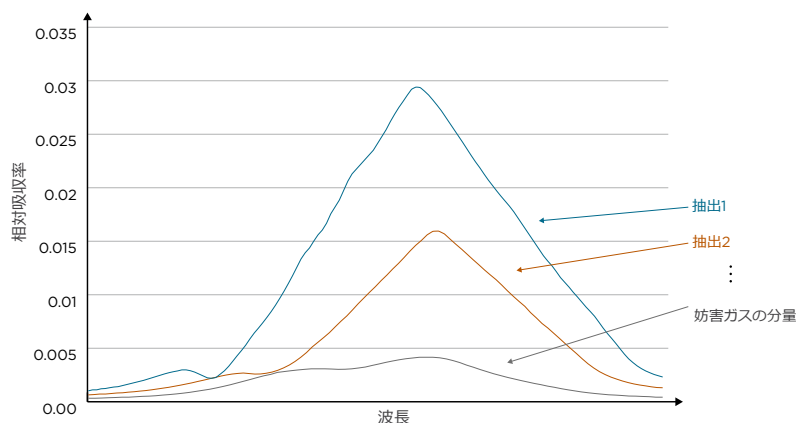


図6. 異なる条件下でのガス抽出により、吸収スキャンにおける妨害ガスの相対的な割合が減る

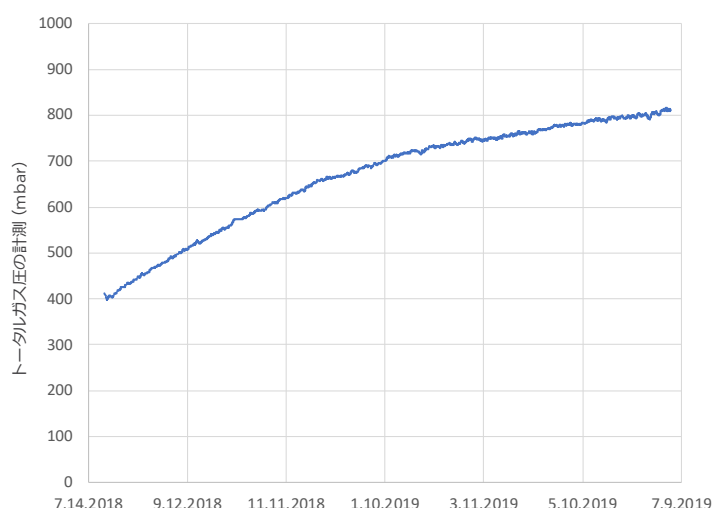


図7. ヴァイサラ OPT100により計測された、電力用変圧器の絶縁油中の溶解ガスのトータルガス圧

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**

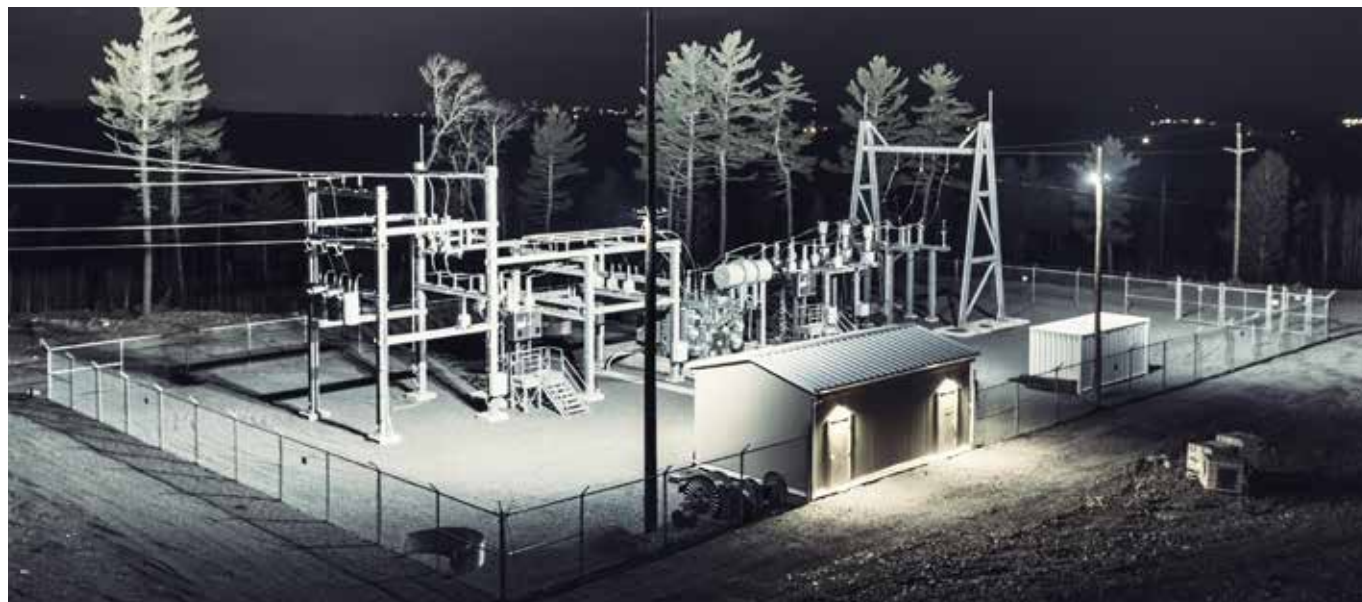
詳細は以下よりお問い合わせください。  
[www.vaisala.com/ja/contactus](http://www.vaisala.com/ja/contactus)

[www.vaisala.jp](http://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。

## 変圧器絶縁油中への空気混入を検出する新たな技術



変圧器の製品寿命は主に、固体絶縁物の状態によって左右されます。変圧器の絶縁油内に酸素が混入すると、最も重要な巻線に使用されている絶縁紙など、固体絶縁物の劣化が加速します。密閉型設計の変圧器の採用が増加したことにより、空気混入の問題の重要性が高まりました。

変圧器への空気混入は通常、ガスケットやゴム袋の脆化によって発生します。したがって、外気の侵入に対して適切に密閉されていることを監視し、確認することは、変圧器の運用寿命を最大化するうえで不可欠です。

### 従来の方法の欠点

従来、空気混入は標準の絶縁油中ガス・水分 (DGA) の採油において酸素と窒素を計測することで検出していました。しかし、現地での変圧器の採油の精度、および採油されたオイルの輸送やその取扱いの問題は、外気による汚染のリスクとなっています。DGAの窒素レベルの変動を観察することにより、このような汚染を特定することができますが、非常に長い時間を必要とします。(図1)。

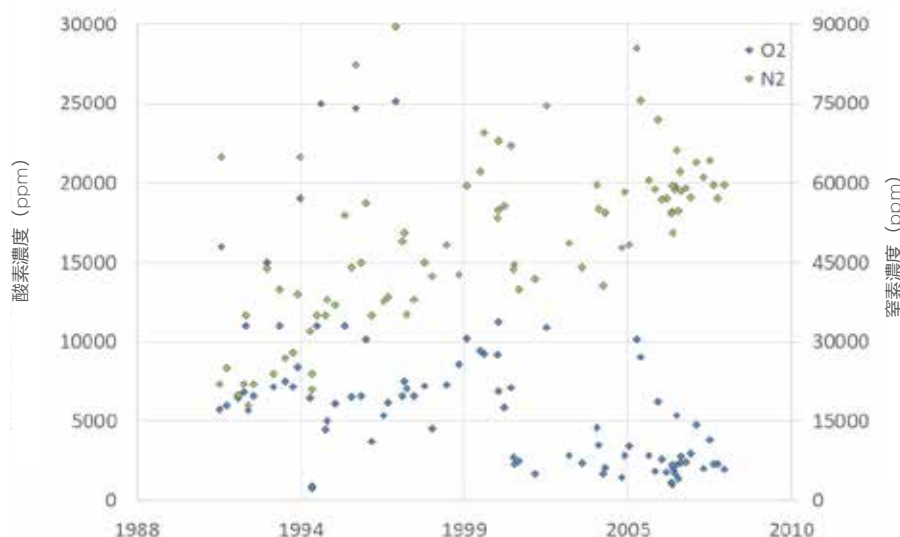


図 1. 密閉型変圧器のDGAオイルサンプルの窒素および酸素の実験室における計測 (1990年～2008年)



常時監視装置によっては、酸素の計測値と、それに基づいて計算された窒素レベルが統合されています。しかし、これらの計算は、絶縁油が酸素と窒素の比率が一定の外気に飽和していることを条件とします。このように計算された窒素値は自由呼吸（開放型）変圧器にのみ有効であり、密閉型変圧器には全く無効であることに留意することが重要です。

図2に、光音響（PAS）に基づくDGA監視装置のデータと試験所の基準値との比較を示します。データからは、試験所の計測値と比較して、常時監視装置の窒素の計算値には大きな偏りがあることがわかります。これは変圧器が密閉されており、外気にさらされていないことに起因します。さらに、18か月のデータ変動が大きいため、変圧器タンクへ空気が侵入した可能性を判断することは、非常に困難になっています。

図3の例に、ガスクロマトグラフ（GC）を基本としたDGA監視装置と試験所の計測基準値との比較を示します。表示値は基準値に近似していますが、適切に定義されたトレンドを判断することはできません。

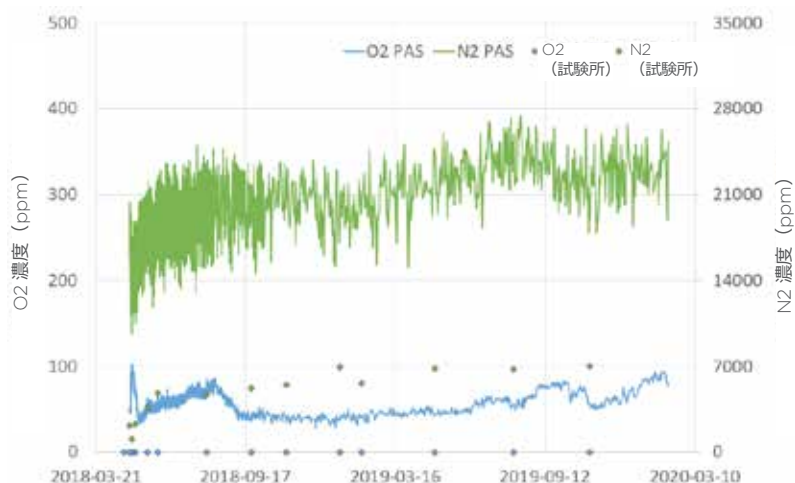


図 2. PASを基本とするDGA監視装置の窒素および酸素のデータと試験所（lab）の基準値との比較

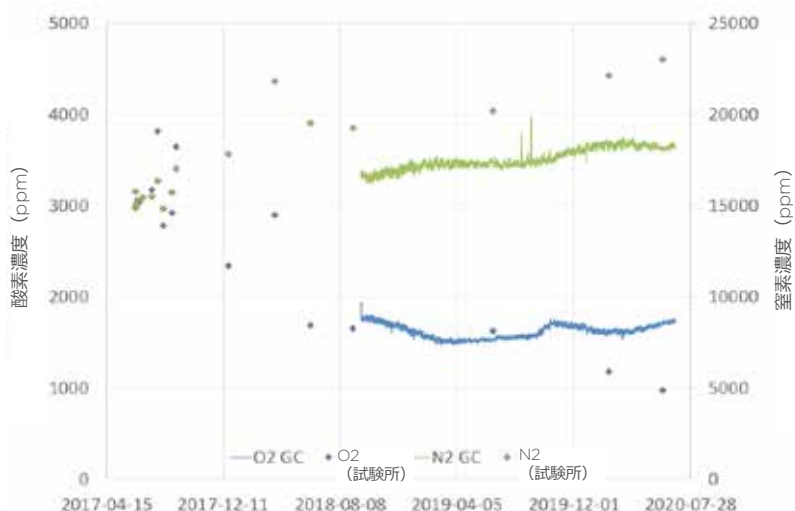


図 3. GCを基本とするDGA監視装置の窒素および酸素のデータと試験所（lab）の基準値との比較

## 新たな手法： トータルガス圧の計測

ヴァイサラ Optimus絶縁油中ガス・水分オンライン監視装置 OPT100（OPT100）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。また、圧力センサが装備されており、トータルガス圧（TGP）を計測することで空気の漏れを判断することができます。トータルガス圧は絶縁油中のすべての溶解ガスの分圧の合計です。空気が変圧器タンクに混入した場合、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。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4では、事前に空気混入が特定された密閉型変圧器にヴァイサラ OPT100 を使用した場合の圧力データを示しています。脱気前（2017年10月）、絶縁油は外気に飽和しています。溶解ガスの全圧は空気中の窒素の分圧と等しく、800mbarでした。システムに侵入するすべての酸素は同時に消費されています。グラフからわかるように、圧力値は試験所で計測された窒素濃度に酷似しています。該当の試験所は非常に再現性が高く、2つのパラメータの比較は容易で信頼性が高くなっています。脱気以降、再度空気混入が発生し、絶縁油中の外気窒素への飽和度は75%となっていました。

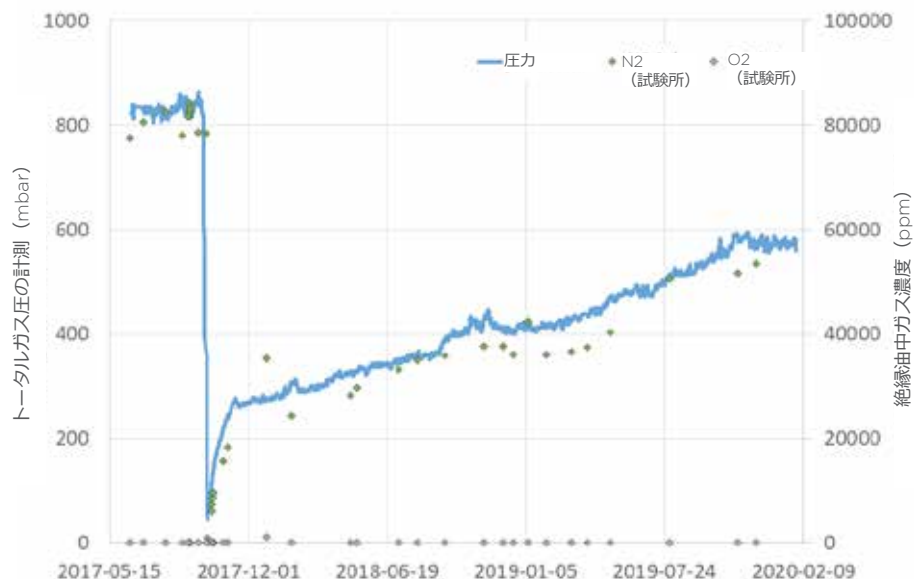


図4. ヴァイサラ OPT100により計測されたガスの全圧計測値と試験所 (lab) により定義された窒素および酸素

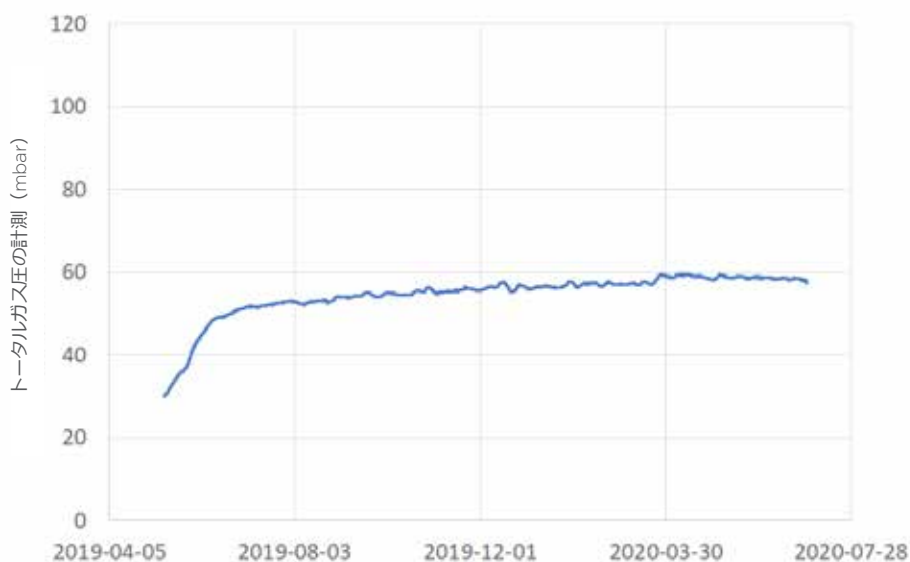


図5. ヴァイサラ OPT100により計測された、新品の変圧器の絶縁油中のガスの全圧

図5は新品の密閉型変圧器のトータルガス圧を示しています。溶解ガスの全圧により、実用的な品質管理対策を立てることができます。新品の変圧器の試運転を行う場合、そのタンクにはよく乾燥された絶縁油が充填され、真空中に脱気されます。これは、変圧器に通電する時点でのガス圧力が非常に低いこと（100mbar未満）を意味します。ガス圧力が高い場合、密閉または試運転プロセス自体に問題があるおそれがあります。いずれの場合でも、固体絶縁物内に捕捉されたガス、窒素、または乾燥空気が絶縁油中に溶解しているため、試運転後の最初の数週間は、ガス圧力がわずかに上昇することがあります。



適切に密閉された変圧器は、長期にわたり、つまり変圧器の寿命を通して、ガス圧力のレベルを低く維持することができます。図 6 では、ヴァイサラ OPT100 により29年前から使用されている100MVA変圧器から収集したデータを示しています。特に、この変圧器内の絶縁油は1989年の試運転以降、処理が行われていません。ガス全圧は低く、約250mbarに安定して維持されており、25%の大気圧を示しています。



図 6. ヴァイサラ OPT100により計測された、29年間使用された変圧器の絶縁油中のガスの全圧

## トータルガス圧 - 信頼の証明

標準的な変圧器の異常診断において、酸素と窒素が関連性のあるパラメータではないと仮定すると、絶縁油中の実際の濃度を常時監視する必要はなく、酸素がタンクに混入しているかどうかに関する情報のみを監視すればよいということになります。

IR技術により酸素を計測することはできません。電気化学セルなどのその他の技術は通常、長期計測し続けることは不可能です。これに対応して、ヴァイサラは圧力の計測を基本とした、信頼性が高く直感的に判断できる新たな空気混入検出技術を開発しました。

一部の試験所からは、周囲気圧に対する全分圧など、すべての溶解ガスを参照するパラメータについての報告があります。値が定義された条件の違いも考慮すると、これは新たなトータルガス圧パラメータに相当します。

最新のIEEE C57.104規格およびCIGRE TB771では、変圧器の異常ガスの典型値に対する酸素と窒素の比率が検討されています。この比率は自由呼吸（開放型）変圧器と密閉型変圧器を分別するためにのみ使用します。このアプローチは変圧器設計情報がほとんどない大型データベースを評価するために使用されていました。

このように、酸素および窒素の計測値には診断値がなく、常時監視において必要なパラメータではありません。より重要なのは、酸素は変圧器内で消費される場合があり、空気が新たに侵入し続けている場合でも低い値に維持される

ことがあるため、酸素と窒素の比率は混入空気を適切に示す値ではないということです。

サンプルの汚染といった要因が酸素と窒素の比率に影響を与える可能性があるため、規格のとおり、特定のサンプルのこの比率を見るだけで変圧器が密閉型または自由呼吸（開放）型であるかどうかを判断することは不可能です。

設計にトータルガス圧を取り入れることにより、直接的かつ直感的な判断ができます。圧力値が安定し、周囲気圧より明らかに低い場合、変圧器が密閉されていることがわかります。周囲レベルのTGPにより、変圧器が自由呼吸（開放型）変圧器であるのか、あるいは重大な空気混入があるのかわかります。窒素ガスブランケット変圧器では一般的にTGPの値が周囲より100 ~ 200mbar高くなります。

**VAISALA**

詳細は [www.vaisala.com/contactus](http://www.vaisala.com/contactus)  
よりお問い合わせください

[www.vaisala.com](http://www.vaisala.com)

Ref. B212164JA-A ©Vaisala 2020

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）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、すべての仕様は予告なく変更されることがあります。



## DGA の世界とその不確かさ

溶解ガス分析（DGA）は変圧器内部のさまざまな種類の異常を検出できる唯一の手法です。DGA は精密科学ではありませんが、変圧器の状態の評価には統計に基づいた評価と解釈が長年用いられてきました。

1990年代後半から DGA 常時監視が可能になり、現在ではさまざまな常時監視装置が市場で販売されるようになりました。それぞれに独自の技術仕様があるため、さまざまなオプションを比較して評価することが困難といえます。電力会社に関しては、試験所の DGA も関係してくることで、事態がさらに複雑になっています。このホワイトペーパーでは、監視装置の技術仕様の分析と性能評価、特に試験所の DGA 結果に対して評価を行う際に考慮すべきさまざまな要素について説明します。主な問題は、DGA に関するしっかりした国際基準が存在しないことです。それどころか、すべての手法に計算とオイル固有のパラメータがあります。さらに、DGA の観点から見ると鉱物油によっても違いがあります。

常時監視装置は、ガスのトレンド監視や異常時の急速なガスの変化を検出することにおいて、オイルサンプルより優れていることが実証されています。一方で、正確度も必要です。DGA 結果が不正確な場合、特にガスの比率が異常ゾーンの境界に近い場合に、異常診断を誤る可能性があります。また、濃度値が設定されている警報値に近い場合には、不正確な結果が、変圧器での誤った対処につながる可能性があります。

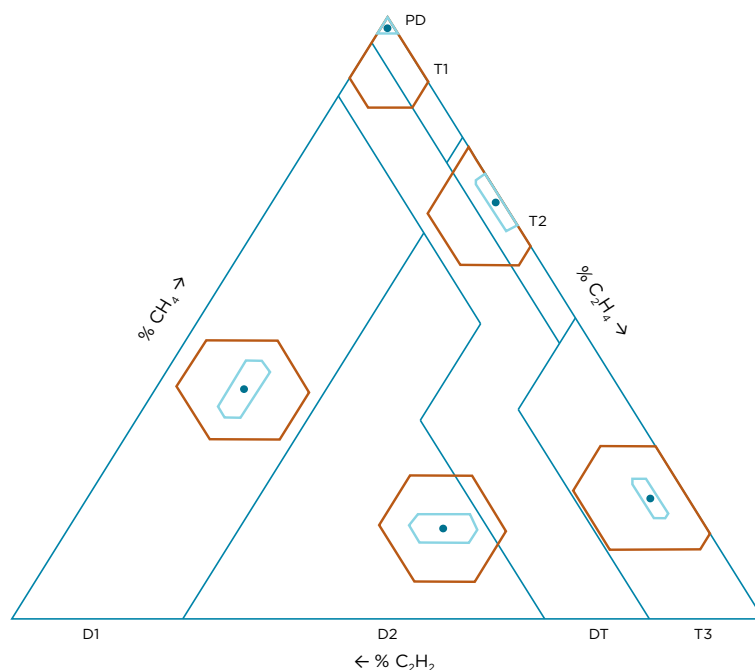


図 1 Duval トライアングルを使用した場合に精度が変圧器の異常診断の不確かさに与える影響<sup>[7]</sup>。青色が精度  $\pm 15\%$ 、赤色が精度  $\pm 30\%$ 。



## 計測の精度

計測機器の品質を評価する際、多くの場合に判断基準となるのが「計測は正確か」というシンプルな問いです。この問いは非常にシンプルですが、答えはそう単純ではありません。最適な計測機器を選択するためには、計測の不確かさにつながる要素を把握する必要があります。これにより初めてメーカーの仕様を理解できます。

計測性能は、計測範囲、応答時間、精度、安定性（経年劣化や過酷な環境に対する耐久性）といったダイナミクスによって定義されます。その中で、精度は品質にとって最も重要とされることが多く、何がよい精度かを理解することは最も難しい項目でもあります。

計測出力の変化と計測量の変化との関係を感度といいます。理想的には、この関係は線形になりますが、実際には、どの計測にも不完全な部分や不確かさがあります。計測値と真値の一致度を「精度」と呼ばれることが多いものの、それでもいくらか曖昧さが残る言葉です。DGA においての問題は、計測値も真値も正確にはわからないことであり、どちらの値にも特有の不確かさがあります。計測パラメータの真値は、通常は試験所の DGA によって決定されますが、不確かさが報告されることはめったになく、定義されることがすらありません。

規定される精度に再現性が含まれているかどうか分かりません。再現性とは、一定の条件下で計測を繰り返したときに計測機器が同様の結果をもたらす度合いを表します。計測機器の計測値には何らかのランダム変動が含まれることが多く、平均化を用いることでその影響を最小限に抑えることができます。多くの場合、再現性自体が計測の不確かさにつながる大き

な原因になることはありませんが、再現性の性能が低い場合、DGA に基づいた診断の意味が薄れることには注意しなければなりません。こうした診断ではガス発生のトレンドとパターンの識別度に依存しているためです。

精度の仕様にヒステリシス、温度依存性、非直線性、長期安定性が含まれることはほとんどありません。精度の仕様にその他不確かさが含まれていない場合は、実際の計測性能について誤った印象を与える可能性があります。

精度が、計測条件、校正後の経過時間、ガス濃度、オイルの種類など、特定の計測状況に常に関連しているということについては注意が必要です。精度については、対象の状況も明確にする必要があります。DGA 常時監視装置の精度仕様は、校正時点にのみ規定されたものです。しかし、実際の使用状況において性能や精度の情報を得られることはめったにありません。たとえば、+40°C で非常に古いオイルを使用して、校正から5年が経過している変圧器の設置環境でどうなるかという情報は無いのです。

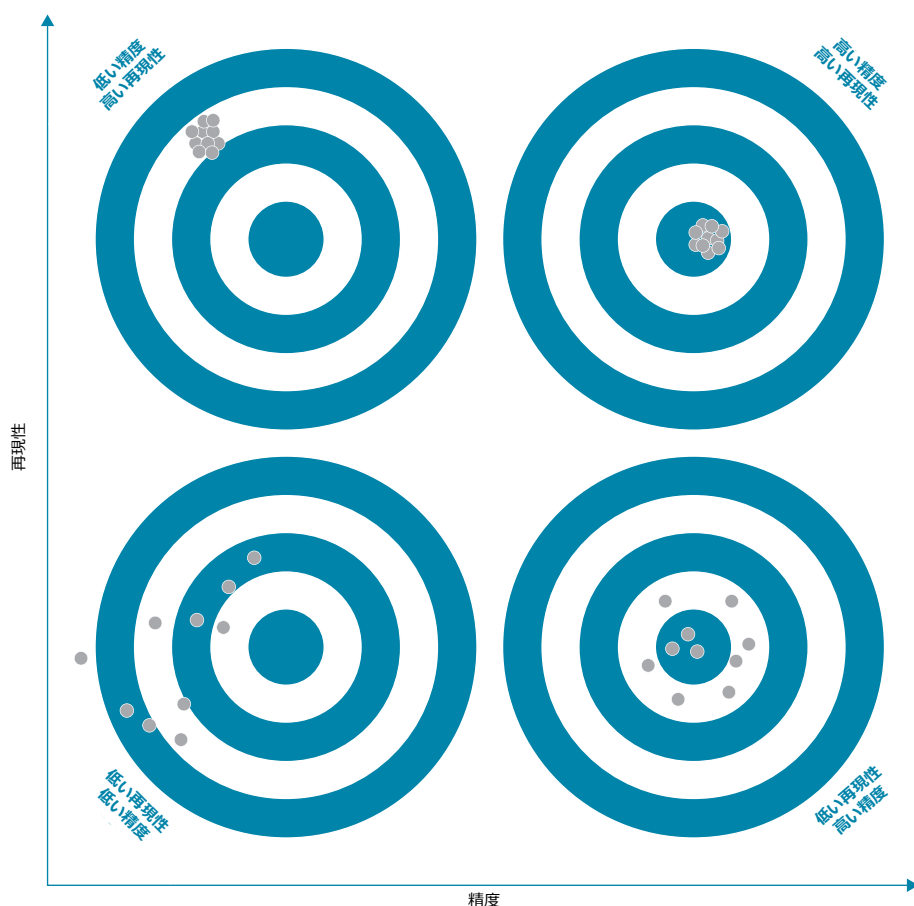


図 2 精度と再現性のマトリクス図

計測性能に関するもう1つのパラメータは、検出下限 (LDL) です。これは計測機器がゼロと確実に区別できる濃度の下限値です。「確実に」というのもやはり曖昧な言葉ですが、たとえば信頼度を95%とするなどして規定できます。計測の再現性と LDL の間には関連性があります。平均化することで計測のランダム変動が抑えられ、再現性が向上し、LDL が低下します。実際には、LDL の仕様は、たとえば0ppm のガスレベルにおける計測値の標準偏差の2倍になります。計測デバイスがこの数値よりも高い値を示している場合は、真値が0ppmである確率は約2.5%になります。ガス濃度が非常に低い基準サンプル (たとえば1ppm未満のサンプルなど) を作成するのは非常に困難であり、LDL を実際に計測することはほとんど不可能です。そのため、LDL は再現性に基づいて理論的に定義する必要があります。

## 試験所の DGA

異なる手法の分析結果を比較する場合、それら両方の手法に関係する不確かさを認識する必要があります。不確かさにつながる最も一般的な要因としては、たとえば、オイルサンプリングの手法と品質、ガス抽出手法、使用されている分配係数、使用されている規格の差異などがあります。また、校正時に適用された基準以上の精度では計測できないことも理解しておく必要があります。

### 試験所の DGA とそれに関連する不確かさ

試験所の DGA は、オイルサンプルの品質や機器、分析に使用された規格、試験所の手動作業における担当者ごとの差異など、さまざまな要素の影響を受けます。

試験所の分析で起こる不確かさの要因には、次のようなものがあります。

- サンプルの準備と GC 信号の再現性
- 校正と校正サンプルの準備の不確かさ
- 分配係数の不確かさ (K)
- バイアルの容積の不確かさ
- サンプルの質量の不確かさ
- オイル密度の不確かさ

### オイルサンプリング

不確かさの最大の要因は、たいていはサンプルの品質に関連するものです。サンプルの収集方法、サンプルの収集に使用した機器の状態、サンプルの保管方法、サンプルの輸送方法がすべて品質に影響します。H<sub>2</sub> や CO などのガスのかなりの量がオイルから抜けたり、湿気や酸素などの大気ガスがサンプルに混入する可能性があるため、試験所での分析が不正確になる可能性があります。そのため、サンプル収集中のどの時点においてもオイルが空気に触れないようにし、サンプル容器に適切な手順でオイルが完全に充填されるようにする必要があります。これを実現するための最も実用的な解決策は、高品質のシリンジとアルミボトルを使用することです。これらは空輸の際の気圧の変動に耐えることができます。

### 試験所での分析作業

DGA の結果を表示する際や、常時監視装置からのデータと結果を比較する際には、試験所での作業の不確かさも考慮する必要があります。試験所での最初のステップは、サンプリング容器から少量のオイルをガスクロマトグラフィー (GC) バイアルに移すことです。多くの試験所ではこの作業を全部、あるいは少なくとも一部を手作業で行っているため、人的

要因が関係してきます。オイルサンプルへの空気などの混入を起こす人的ミスは、結果にも必ず現れます。試験所の再現性 (同一のサンプルを使用して何日も DGA を繰り返したときに、オペレータに関係なく結果を再現できる度合い) は、試験所のプロセスの品質を判断するのに非常によいパラメータです。

IEC 60567 では、すべての試験所に自身の正確度を割り出すように推奨しています<sup>[2]</sup>。これが実際には不確かさを意味します。この情報は、試験所のサービスユーザーに公開する必要があります。認定を受けた試験所は、認定要件として公開するように定められています。不確かさに関する公式な数字が公表されていない場合、その試験所が国際的な試験所間比較テスト (ラウンドロビンテストと呼ばれる) に参加しているかどうか、その結果が公開されているかどうかを尋ねてください。そうすると、想定される不確かさのレベルを表す大まかな指標となります。

IEC 60567 規格では、全体試験手順を用いた場合に得られる正確度の例を示しています。これらの値は世界中にある44か所の試験所が参加した、2つの油中ガス規格についてのIECとCIGREによる試験所間テストに基づいて定義されたものです。試験所のDGAの不確かさは、使用されているガス抽出手法、ガスの種類、ガス濃度レベルによって変わります。ヘッドスペース (HS) 法は、真空法やストリッピング法より高い不確かさがあります。他の不確かさのデータが公開されていない場合は、試験所のDGA結果を評価する際やその結果を常時監視装置と比較する際に、±15%の平均値を使うことができます。特定の試験所の数字は特に大きいかもしれませんが、高品質な分析の場合はいくぶん低くなります。

## 使用している標準手法による変動

世界中の試験所の DGA で最も一般的に使用されている規格は、IEC 60567 と ASTM D3612 です。いずれにも、ガス抽出手法（真空、ストリップング、HS）に関するサブセクションがあります。IEC、CIGRE、ASTM およびオランダの Institute for Inter-Laboratory Studies は、標準抽出手法の異なる分析間の変動を評価する RRT を多数実施しています。表3では、試験所で使用されている手法の差異を示しています。この結果から、HS 法では正確な結果を得ることが難しいことが明らかに見えて来ます。

表の「平均精度」とは、計測されたオイルサンプル内の各ガスに対する精度の平均です。「不正確な試験所の数」とは、RRT に参加していて IEC の精度要件 (100 ppm超で±15%) を満たせなかった試験所の割合です。

ASTM と IEC はそれぞれ異なる温度（それぞれ0°Cと20°C）でのガス体積を計算していることに留意してください<sup>[2, 3]</sup>。それだけで、理想的なサンプルに対して定義されている濃度において8%の差異になります。監視装置と試験所からの DGA 結果を比較する際には、このことを考慮する必要があります。計測された ppm 値はすべて、まず先に同じ条件、20°C (IEC) または0°C (ASTM) のいずれか希望する方に変換する必要があります。

表 1 IEC 60567 第4版 (2011 年) <sup>[2]</sup>から引用した、さまざまな抽出手法の精度レベルの例

| 抽出手順        | 精度（定格値に対する割合）   |                 |
|-------------|-----------------|-----------------|
|             | 中濃度             | 低濃度             |
| デブラー        | 13              | 35              |
| 部分脱気        | 13              | 30              |
| ストリップング     | 18              | 23              |
| ヘッドスペース     | 18              | 37              |
| デブラー（水銀不使用） | 15 <sup>1</sup> | 14 <sup>1</sup> |
| 部分脱気（水銀不使用） | 11 <sup>1</sup> |                 |
| シェイクテスト     | 15              | 44              |

限られた回数の分析に基づく。

表 2 HS 法を使用している ISO 17025 認定の試験所と IEC 60567:2011 とのさまざまなガス濃度レベルにおける比較

|                               | 低濃度での精度 (%) | 中濃度での精度 (%) | 高濃度での精度 (%) |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| H <sub>2</sub>                | 15.6        | 9.5         | 5.9         |
| CH <sub>4</sub>               | 13.9        | 8.3         | 6.7         |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 26.7        | 10.6        | 3.8         |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | 26.2        | 22.3        | 6.3         |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 33.6        | 18.8        | 8.3         |
| CO                            | 26.5        | 14.1        | 8.9         |
| CO <sub>2</sub>               | 10.7        | 11.3        | 11          |
| 試験所の平均                        | 21.9        |             | 10.4        |
| HS に対する IEC 60567:2011        | 37          |             | 18          |

表 3 ガス抽出手法 A（部分脱気）、B（ストリップング）、C（HS）を使用している試験所の精度。IEC 仕様を最下行に記載<sup>[7]</sup>

| 手法     | 試験所の平均精度 (%) |         | 不正確な試験所の数<br>(参加者に対する割合) |         |
|--------|--------------|---------|--------------------------|---------|
|        | 100ppm 超     | 8ppm 未満 | 100ppm 超                 | 8ppm 未満 |
| A      | 12           | 18      | 17                       | 0       |
| B      | 19           | 65      | 60                       | 63      |
| C      | 28           | 51      | 75                       | 42      |
| IEC 仕様 | 15           | 30      |                          |         |

## 分配係数とガス抽出

試験所であるか常時監視であるかによらず、溶解ガス分析では、オイルからガスを抽出して計測する必要があります。抽出を完璧にすれば、濃度の計算に関係する不確かさが少なくなります。抽出効率は使用する手法によって異なります。たとえば、テブラー法ではほぼ100%の効率ですが、最も効率の悪い HS では30%の効率です。

HS 法では、抽出されたガスの比率は次と等しくなります。

$$\frac{1}{1+K \frac{V_{\text{OIL}}}{V_{\text{GAS}}}}$$

ここで、 $V_{\text{OIL}}$  はオイルの体積、 $V_{\text{GAS}}$  は GC バイアル内の気相の体積、 $K$  はガス固有の分配係数です。

標準的な HS 法では、GC バイアル内の体積比は一般に10:12になります。

オイルと気相の濃度 ( $C$ ) の関係は、抽出容器内のガスとオイルの体積比 ( $V_{\text{GAS}}/V_{\text{OIL}}$ ) に依存します。

$$C_{\text{OIL}} = C_{\text{GAS}} \left( K + \frac{V_{\text{GAS}}}{V_{\text{OIL}}} \right)$$

ここで、 $V_{\text{OIL}}$  はオイルの体積、 $V_{\text{GAS}}$  は GC バイアル内の気相の体積、 $K$  はガス固有の分配係数です。

ガスによって、オイルに溶解した状態が保たれやすい傾向は異なります。溶解した状態が保たれるガスもあれば、条件が合えばすぐに「抜ける」ガスもあります。この傾向は、オイルへのガスの溶解度と呼ばれ、いわゆる分配係数 ( $K$ ) によって定義されます。これは、ガス、オイルの種類、オイルの品質、温度などによって変わります。鉱物油の種類が変わると  $K$  の変動がとても大きくなる可能性があります。オイルから抽出して計測できるのはガスの一部だけであるため、オイル内

の当初のガス濃度を計算するために、これらの係数が必要です。HS を使用した場合のように、抽出されたガスが少なければ、結果は計算、つまり係数への依存度が高くなります。

分析試験所と DGA 常時監視装置の大半では、HS 法か、HS 法から派生したメンブレンまたはチューブを使用する手法を使用しています。こうした手法は複雑でなく、費用対効果が高いためです。しかし、異なるところから取得したオイルの分配係数の違いを考慮しているケースはほとんどありません。その違いがエラーの重大な要因となる可能性があります。

## ガスクロマトグラフィー

GC (ガスクロマトグラフィー) は、ガスを特定し、混合ガス中に含まれるガスの量を計測する従来の手法です。ガスサンプルは、サンプルバイアルから薄い GC カラムに注入され、ヘリウム (He) キャリアガスによって押し出されます。ガスの成分の分子サイズに応じて、カラム内でガスが分離されます。保持時間は各成分に固有であるため、小さい分子が先に通過し、

大きな分子が後に通過します。カラムを通ると、ガスは検出器に向かいます。ガスの同定は、カラムを通過する保持時間に基づいて行われます。各ガスの量は、検出器の信号の強さで時間の関数 (ピーク面積) として定義されます。

GC は、保持時間または信号強度が汎用である基礎的な分析手法ではなく、機器に特化した校正が必要です。GC 校正用に一般的によく使用されている手法は、トレーサブルな混合標準ガス調製法と、油中標準ガス調製法 (ガス濃度調製法とも呼ばれる) の2つです。校正によって、各ガス成分の固有の保持時間が定義され、検出器信号からのピーク面積が校正基準のガス濃度に比例します。

油中標準ガス調製法の場合の問題は特定のオイルを使用することであり、HS 抽出法が使用されている場合は特に、そのオイルがさまざまな変圧器からのオイルサンプルのガス溶解度値 (分配係数) をどのくらい表しているのかという疑問が残ります。校正における基準ガスにも、分析結果が各ガスの分配係数に依存するという同じ問題があります。

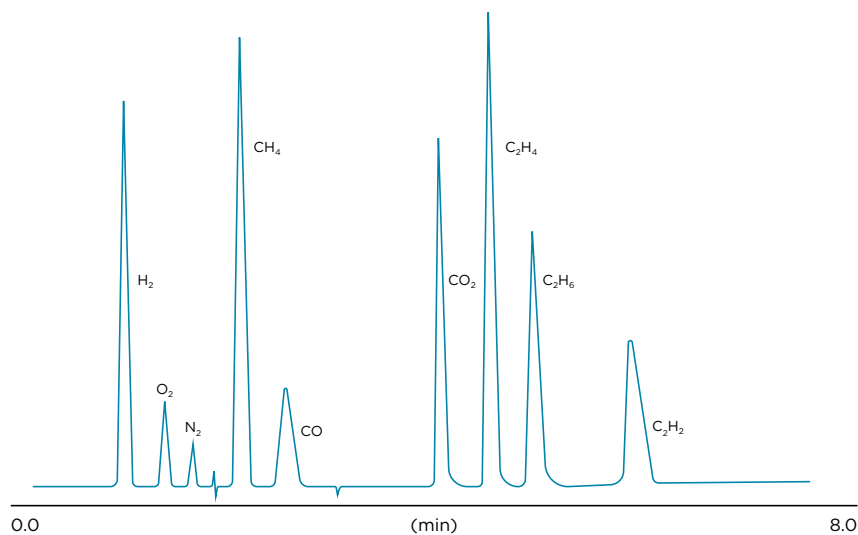


図 3 GC クロマトグラムの例

(分)



右の図は、オイル固有の分配係数を考慮せずに定義もしなかった場合に、GC 校正に油中標準ガス調製法を使用したときの影響を示す例です。異なる分配係数が使用されているとすると、メタンの DGA 結果はどうなるでしょうか。2つの異なる DGA 結果のうち、どちらか一方が正しいのでしょうか。それとも両方とも不正確なのでしょうか。これは異なる分析の計測値がどのように変わるかを示すほんの一例です。この例で使用されている分配係数は、IEC60567 第3版 (2005 年) [4] からのものです。

試験所の GC を高い信頼性で実行するには、オペレータが適度な校正を維持して、機器の全体的な性能を高く保つことができるように、高度な専門知識が必要です。また、カラムの内面は、サイズの大きな炭化水素による汚染などによって、経年的に変化します。カラムの状態は、小さい分子を分離する能力を確認することでモニタリングできます。ピークに過剰なテールが発生し始めた場合は、濃度を判定する際の解釈が不安定になっている可能性があります。また、経時的に検出器がドリフトする場合があります。大量のサンプルを直後に次々と実行した場合は、短期間でもそうなります。これは、実際の分析シリーズの中に基準サンプルを入れることで検出できます。

## DGA 常時監視装置

世界中で DGA 常時監視の使用実績が増加している背景には、DGA 常時監視を使用することで、通常のオイルサンプリング間隔の間に見過ごされてしまう可能性がある、変圧器内部のあらゆるタイプの異常を初期段階で特定できることがあるといえます。

変圧器の状態評価を行うために役立つ入力を得るためには、数年おきなどのサンプリングについて考え直す必要があります。常時監視装置は試験所に比べて柔軟性が高く、平均化とオフセット補正を使用することで診断用の信頼性の高いデータを確保することもできます。また、急速に進展する異常を診断するために、データを平均化せずに保持して応答時間を短縮することもできます。試験所

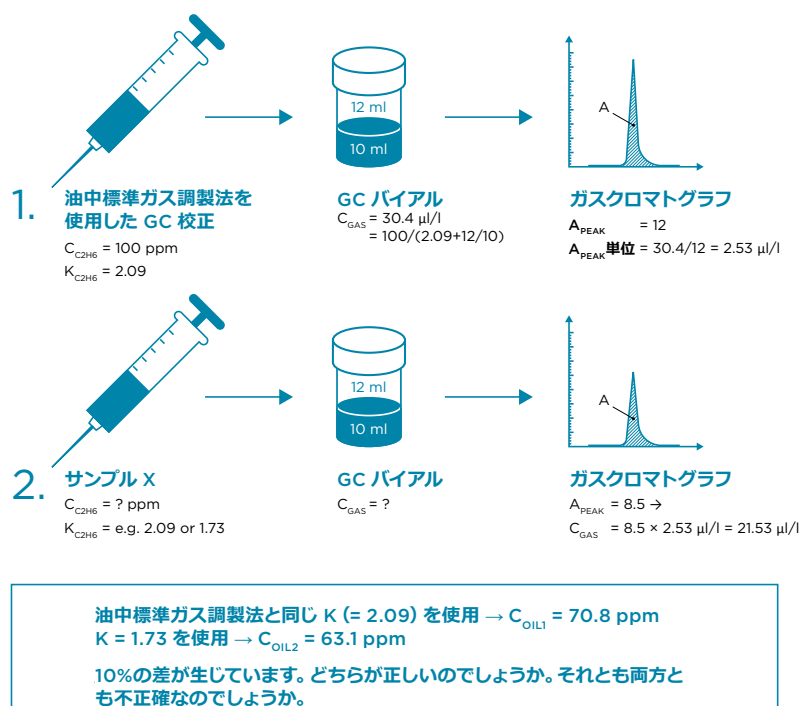


図 4 校正に油中標準ガス調製法を使用した場合の例 (1) サンプル分析に対する分配係数の影響 (2)

のサンプルを使用するよりも、常時監視によってガスの変化率を把握する方が信頼性が高くなります[5]。

### 監視装置の仕様データシート

ほとんどの監視装置には、校正の時点でトレーサブルな基準ガスに照らして規定された精度があります。あるいは、一部の監視装置では基準として油中標準ガス調製法を使用しています。DGA 監視装置には常に、その監視装置を使用して計測された結果と基準値とのずれが望ましい範囲内に入っていることを示す校正証明書がある必要があります。また、校正証明書には、使用している基準方法と、校正が国際基準に対してトレーサブルかどうか明確に示されている必要があります。

校正の種類にかかわらず、高純度標準ガス調製法と油中標準ガス調製法のどちらの手法も、分配係数を通してオイルの種類と使用期間に依存します。これは、チューブやメンブレンの有無にかかわらず HS 法を使用してガス抽出を行う場合に特に顕著になります。つまり、報告されている精度の仕様は、運用中の実際の変圧器に対して適切でないということにな

ります。変圧器内のオイルとその分配係数は、監視装置の校正に使用されていたオイルとその分配係数とは同一でない可能性が非常に高いためです。

DGA 常時監視装置の購入仕様書を作製する際は、こうしたことをすべて念頭に置いておくことが重要です。公益事業者の実際の要件とニーズを特定するために時間をかけるだけの価値があります。書類上で数値が一番小さいからといって、変圧器の監視に最適で最も有用な選択肢であるとは限りません。特に、多数の変圧器に使用する常時監視装置を購入する場合は、検討中のデバイスを実際の条件でテストすることを検討する必要があります。運用における監視装置の性能の実態を知る一番の方法は、稼働中の変圧器に対して長期間、たとえば6か月間テストすることです。そうすると、計測の安定性について初期の兆候を把握できます。同時に少なくとも3つから5つオイルサンプルを取り、可能であればそのオイルサンプルを、自己のプロセスの不確かさの値を提供できる独立した試験所2か所に分析してもらいます。サンプルは、テスト期間全体を通して、たとえば月に一度などの頻度で取得する必要があります。

## 計測範囲

市販されている常時監視装置は、計測範囲の仕様が異なります。最も広い計測範囲が必要かどうかについては、たとえば起こり得るガスの濃度と可燃性ガスの爆発限界を検討することで評価できます。また、爆発する危険性のあるガスが非常に高濃度な場合に、監視装置で本当にテストできるのかどうかという安全性の問題もあります。たとえば、オイル内の  $H_2$

濃度20,000ppmをテストする場合は、爆発下限界（LEL 4%）を大幅に上回る水素36%でガスシリンダーを使用することになります。爆発の危険性がありかつ非常に高濃度のガスをテストする必要がある場合は、この条件がさらに厳しくなります。この場合、油中ガスの準備をする際に ATEX 認証を受けた機器を使用するなど、テストを実施する施設では追加の安全対策を講じる必要があります。

さまざまなソースから90パーセンタイル値を求めた場合、規定された計測範囲より比較的低い値を示します。しかし、一部のまれなケースでは、オイル内の  $T_3$  異常の場合にメタン、エタン、エチレンで非常に高い濃度が報告されています<sup>[6]</sup>。通常、こうした状況は、変圧器のオイルが少なくなっている場合に起こります。

表 4 正常に稼動している変圧器で見つかった90パーセンタイル代表値<sup>[6, 7, 8]</sup>

| ソース           | DGA 数     | $H_2$  | $CH_4$ | $C_2H_6$ | $C_2H_4$ | $C_2H_2$ | CO      | $CO_2$       |
|---------------|-----------|--------|--------|----------|----------|----------|---------|--------------|
| CIGRE TB771   | 300,000 超 | 118    | 85     | 111      | 56       | 5        | 700     | 6,300        |
| IEEE C57.104* | 800,000 超 | 40-100 | 20-110 | 15-150   | 25-90    | 2        | 500-900 | 3,500-9,000  |
| IEC 60599     | 該当なし      | 50-150 | 30-130 | 20-90    | 60-280   | 2-20     | 400-600 | 3,800-14,000 |

\*変圧器の使用期間と  $O_2/N_2$  の比率でデータを除算

表 5 オイル内のガス濃度と、油中標準ガス調製法を準備するために気相に必要な濃度の例。ガスの爆発下限界も記載。

| ガス    | 油中ガス濃度 (PPM) | ガス中ガス濃度 (PPM)<br>(+70°C での K、IEC 60567) | LEL PPM (空气中) |
|-------|--------------|---|---------------|
| メタン   | 20,000       | 45,455                                  | 50,000        |
| エタン   | 20,000       | 9,569                                   | 30,000        |
| エチレン  | 20,000       | 13,605                                  | 27,000        |
| アセチレン | 20,000       | 21,505                                  | 25,000        |
| 一酸化炭素 | 20,000       | 166,667                                 | 125,000       |
| 水素    | 20,000       | 270,270                                 | 40,000        |

## 常時監視装置と試験所のDGAの比較

試験所の基準値と比較して常時監視装置を評価する場合、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、試験所が常時監視装置に関係なく、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。

結論として、溶解ガス分析に関係するさまざまな不確かさによって、常時監視がそうでないかにかかわらず、サンプルとサンプリング手法が理想的であったとしても、結果には何らかのずれが生じます<sup>[1]</sup>。また、手法が別の規格に従ってい

る場合は、偏差が大きくなる可能性があります。不確かさに影響する要因には次のものがあります。

- 校正方法
- ガス抽出手法
- ガスの分配係数
- オイルサンプルの品質
- 人的要因
- 使用されている規格

残念ながら、現場で常時監視装置の性能をテスト、評価する際に役立つ規格はありません。しかし、最近の CIGRE ワーキンググループ D1/A2.47 で、そのようなテストを実施できる手順が公開されました。技術資料 783『DGA monitoring systems』の付録 F、「Procedure for evaluating the accuracy of gas

monitors and laboratory results」<sup>[1]</sup>という資料です。この手順には、試験所の性能の評価も含まれています。理想的なテストの記述ではないかもしれませんが、独立した組織が発行した、常時監視装置に関する最も包括的な現場評価の基準であることには間違いありません。

装置の評価するには、ほかの方法もあります。データのモニタリングは、1つのポイントだけの計測値を見るのではなく、長期間にわたって評価されます。たとえば、次のケースでは、ガスとメタンそれぞれ1種類のみを例にとっています。ヴァイサラ OPT100 DGA 監視装置のデータは、2年半にわたって $\pm 10\%$ の精度仕様で設定されています。この場合、試験所の不確かさは未知のため、IEC 60567<sup>[2]</sup>に掲載されている平均的な試験所正確度の例に基づいて、 $\pm 15\%$ としています。試験所と 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。また、その2つ間で考えられる偏りも考慮します。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。

### 参考資料：

- 1 CIGRE 技術資料 783
- 2 IEC 60567 第4版 (2011年)
- 3 ASTM D3612
- 4 IEC 60567 第3版 (2005年)
- 5 CIGRE 技術資料 409
- 6 CIGRE 技術資料 771
- 7 IEEE C57.104
- 8 IEC 60599 第3版 (2015年)

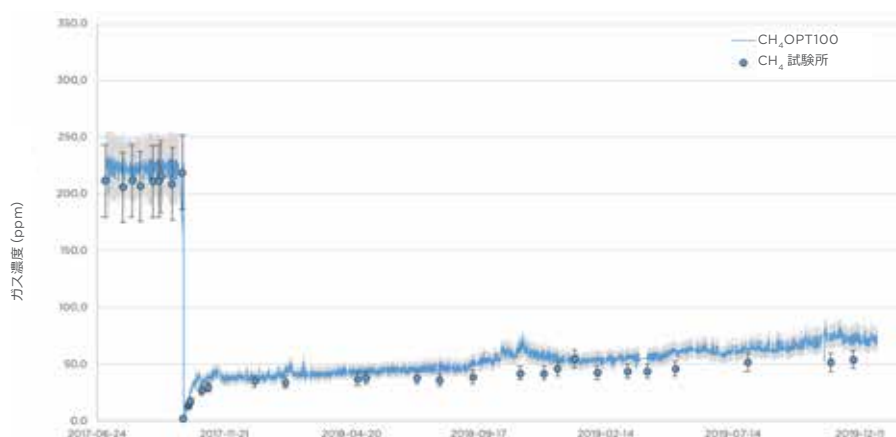


図 5 ヴァイサラ OPT100 監視装置と試験所の基準から、2年半以上にわたって取得したメタン ( $\text{CH}_4$ ) のデータ。グレーでプロットされている監視装置の仕様は10%で、試験所の不確かさは15% (平均<sup>[2]</sup>)。

# VAISALA

www.vaisala.com

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

Ref. B212007JA-A ©Vaisala 2021

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）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。





## MHT410 オイル内水分水素温度変換器

電力用変圧器内絶縁油のオンラインモニタリング用



### 特長

- 絶縁油代表点の水分・水素を直接計測
- 鉱物油、天然エステル油、合成エステル油、シリコン油に対応
- 容易な取り付け
- 潜在的な変圧器の不良について早期に警告
- 独自のプローブ設計により、油中の直接計測が可能
- 5年間の標準保証
- 耐久性に優れた設計：動作の信頼性が高く、誤警報のリスクなし
- メンテナンスフリーの運用
- 他のガスに対する交差感度なし
- Indigo520 変換器に対応、計測データに簡単にアクセス可能

ヴァイサラ MHT410 オイル内水分水素温度変換器は、電力用変圧器内の絶縁油をオンラインモニタリングします。

### リアルタイム計測

MHT410 オイル内水分水素温度変換器では、オイル内で計測された主要パラメータの信頼性の高い計測結果が得られるため、変圧器の状態に関する正確な常時監視ができます。MHT410独自のプローブ設計によって、変圧器の絶縁油の状態に対する正確な計測値とトレンドデータをリアルタイムに得ることが可能です。

### 常時監視によって変圧器内の変化を迅速に把握

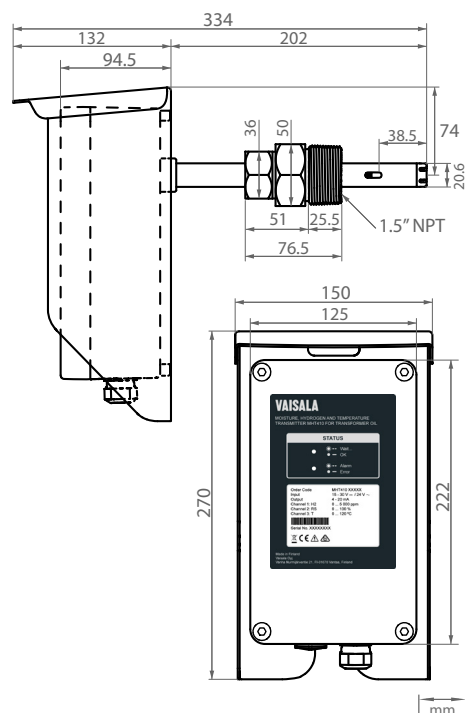
計測されるパラメータはすべてデジタル出力とアナログ出力の両方で出力できます。変圧器の不良に関する情報をいち早く把握することができ、迅速なメンテナンスの意思決定をサポートします。大きな損失となるサービス供給停止や停電の発生を最小限に抑えることに役立ちます。

MHT410 は、ヴァイサラの Indigo500 シリーズ変換器にも対応しています。ローカルグラフ表示を利用できる Indigo520 は、MHT410 に最適です。現場でデータの傾向特定に役立つほか、単線で MHT410 に電力を供給できます。

### 優れた耐久性とメンテナンスフリーの運用

MHT410 は過酷な環境でも使いやすいよう設計されています。さまざまな試験を経て、大きな温度変化、振動、厳しい屋外環境にも耐えることが実証されました。変換器には、破損のおそれがある消耗品や可動部品は使用していません。筐体は IP66 金属ハウジングでウェザーシールドを備えています。

個々の製品は 10bar 以上の圧力と真空環境での耐性試験が実施され、すべての電氣的接続に絶縁処理が施されるなど、EMC 耐性についても特別な考慮がなされています。また、短時間の停電に対する保護も備えています。



# 技術情報

## 計測性能

|                     |  |
|---------------------|--|
| 水素                  |  |
| 計測範囲（オイル内）          | 0～5,000ppm <sub>v</sub>  |
| 精度 <sup>1) 2)</sup> | 読み値の±10%または±15ppm <sub>v</sub> （いずれか大きい方）  |
| 繰り返し性               | 読み値の±10%または±15ppm <sub>v</sub> （いずれか大きい方）  |
| 最小検出限界              | 15ppm <sub>v</sub>   |
| 長期安定性（典型値）          | 読み値の3%/年   |
| 他のガスに対する交差感度        | <2%（CO <sub>2</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、CO） |
| 応答時間                | 63%：2時間（センサが自動補正期間でない場合）   |
| ウォームアップ時間           | 2時間、フル精度まで12時間   |
| センサ                 | 触媒パラジウム・ニッケル合金膜ソリッドステートセンサ   |

|                           |                               |
|---------------------------|-------------------------------|
| オイル内水分                    |                               |
| 計測範囲（オイル内）                | 0～100%RS/a <sub>w</sub> 0～1   |
| 応答時間（90%、静止オイル内、10分+20℃時） |                               |
| センサ                       | HUMICAP® 180L2                |
| 精度（非直線性、ヒステリシス、繰り返し性を含む）： |                               |
| 0～90%RS                   | ±2%RS（a <sub>w</sub> ±0.02）   |
| 90～100%RS                 | ±3%RS（a <sub>w</sub> ±0.03）   |
| 温度                        |                               |
| 計測範囲                      | -40～+120℃                     |
| 精度（+20℃において）              | ±0.2℃                         |
| センサ                       | Pt1000 RTD クラス F0.1 IEC 60751 |

1) 指定された精度は、油中ガスに対する校正時の精度です。異なる鉱物油間の水素溶解度（分配係数）の変動などにより、現場での性能が影響を受ける可能性があります。

2) 指定された精度は、指定された油温（-20～+75℃）において適用されます。

## 入出力

|                          |  |
|--------------------------|--|
| 動作電圧                     | 15～30VDC（供給電源はガルバニック絶縁） <sup>1)</sup>  |
| 消費電力                     | 典型値 4W、最大 12W  |
| アナログ出力（電流） <sup>1)</sup> |  |
| チャンネル                    | 4～20mA（絶縁）3ch、ループ電流出力  |
| 外部負荷                     | 最大 500Ω  |
| 機器故障時にエラーステータスの表示        | 初期設定 3.5mA、チャンネルごとにユーザー設定可能  |
| +20℃でのmA 出力精度            | フルスケールの±0.125%   |
| アナログ出力の温度依存性             | フルスケールの±0.006%/℃   |
| デジタル出力 <sup>1)</sup>     |  |
| インターフェース                 | 絶縁RS-485半二重<br>RS-485（サービスポート、非絶縁）   |
| プロトコル                    | Modbus®RTU、DNP3、シリアルASCII  |
| ネジ端子                     | 線の太さAWG 22～14<br>単線（ソリッド）1.5mm <sup>2</sup><br>撚線（フレキシブル）1.0mm <sup>2</sup><br>推奨ワイヤトルク0.4Nm |

1) 最大分離電圧1.5kVDC。

## 一般仕様

|  |   |
|--|---|
| 変換器の機械的接続  | 1.5" NPT（オス）                            |
| ケーブルグランド（オプション、M20×1.5、ケーブル径 5～9mm Indigo520で使用） |   |
| ケーブルグランド（オプション）                                  | M20×1.5、ケーブル径 8～11mm                    |
| ケーブルグランド（オプション）                                  | M20×1.5、ケーブル径 11～14.5mm                 |
| コンジットフィッティング（オプション）                              | 1/2" NPT                                |
| インターフェースケーブル（オプション、組み立て済み）                       | 長さ 5m、外径 9.2mm                          |
| インターフェースケーブル（オプション）                              | 長さ 10m、外径 9.2mm                         |
| インターフェースケーブル（オプション、Indigo520で使用）                 | 長さ 10m、外径 6.2mm                         |
| ハウジング材質  | AlSi 10 Mg                              |
| ケーブルを除いた変換器重量                                    | 4.1kg                                   |
| 自己診断情報   | ステータスLED、アナログ出力、Modbus                  |
| 一体型データ収録容量                                       | 不揮発性メモリ、デフォルト収録で最大44年分保存                |
| 個々の機能試験レポート                                      | 水分、水素、温度の校正試験レポート、プローブ漏れ試験レポート（公称5bara） |
| 製造元保証  | 5年                                      |

## 動作環境

|                 |                           |
|-----------------|---------------------------|
| オイルの種類          | 鉱物油/天然エステル油/合成エステル油/シリコン油 |
| オイル温度           | -20～+75°C                 |
| 動作温度範囲（電子回路）    | -40～+60°C                 |
| 保管温度範囲          | -40～+60°C                 |
| 動作湿度範囲          | 0～100%RH（結露環境）            |
| 圧力耐性（プローブ、短期間）  | 最大 10bara                 |
| 圧力耐性（プローブ、連続）   | 最大 4bara                  |
| 温度耐性（センサヘッド）    | -40～+120°C                |
| 短時間の停電に対する一体型保護 | >3 秒                      |
| IP規格            | IP66                      |

## 適合規格

|         |   |
|---------|---|
| EU指令    | EMC,RoHS  |
| EMC規格   | EN 61326-1、工業環境<br>CISPR 32/EN 55032、クラス B<br>（直流電源供給時）         |
| 環境      | ISO 6270-1:2017、耐湿性試験<br>（C5-Mクラス）<br>ISO 9227:2017、塩霧（C5-Mクラス） |
| 基準適合マーク | CE, EAC, RCM  |



## 配電分野におけるデータを活用した 予知保全



変圧器の状態を常時監視することは、配電の中断を低減することに役立ちます。電力会社のNivos社は、変圧器からの計測データを活用し潜在的な問題に対する予見的な対応を行うことができています。

Nivos社は10の市町村を対象とした地域の配電を担っています。ネットワーク管理者が問題を予知できれば、家庭や職場の停電は最小限に抑えられます。

近年、同社は配電ネットワークに投資しており、中でも自動化とインテリジェンスの向上に資金を投じてきました。実際、自動化によって既に配電ネットワークサービスの信頼性は大きく向上しています。

### 計測に基づく意思決定

Nivos社はヴァイサラのMHT410 オイル内水分水素温度変換器を使用して、変圧器に関する情報を収集しています。

「起こりうる危機的な状況に対して事前に対応し、データに基づいた適切な判断を下すには、情報が必要でした。」と、Nivos社のオペレーションマネージャーであるJarno Virtanen氏は述べています。

変圧器内で異常が発生すると変圧器内の温度が上昇し、変圧器内の絶縁油中にガスが発生します。発生したガスの種類と量から、どのような問題が差し迫っているのが判断できます。これにより、変圧器が故障する前に対応することや、少なくとも長期間の調査をする必要なく適切な措置を講じることができます。

### 常時監視を初めて実施

MHT410変換器は、南フィンランドのメントサラのカプリ変電所にあるNivos社の新しい主変圧器に設置されました。変圧器の状態をモニタリングしたデータは、同社の制御室に送信されます。

「気温が-20°Cのときに変圧器のウォームアップにどのくらいの時間がかかるのかを初めて把握することができました。変圧器内の絶縁油中の水素含有量が認識されたのもこれが初めてです。こうした情報により、運用を最適化することができます。」

カプリ変電所ではヴァイサラのMHT410を導入してから変圧器の状態を常時監視できるようになりましたが、以前の状態監視は手動で採油したオイルサンプルのみに依存していました。カプリ変電所以外の変圧器の状態監視には、今もなおオイルサンプルに基づいて行われています。しかし、変圧器の状態に関する自動常時監視の利点は既に認められています。



「時々サンプルを採油するのと、常に状態を確認できるのでは大きな違いがあります。というのも、配電ネットワークには非常に例外的な状況が突発的に起こりうるからです。変圧器は瞬間的に非常に高い負荷がかかることがあります、このような事態を除けばあまり負荷はかかりません。」

## 変圧器の長寿命化

Nivos社は、一般家庭から大規模な国際企業まで幅広い顧客層に対応しています。特にカプリ工業地域には、データセンターのように大量の電力を使用する顧客がいます。また同社では、同様に大量の電力を消費する温室など、新しい顧客の獲得にも動き出しています。



Nivos社は地理的にも広範囲にわたってサービスを提供しています。14,500世帯向けに7つの主変圧器を設置しており、各変圧器は何千もの顧客に電力を供給しています。電力供給が遮断した場合は別の方法で送電できますが、配電ネットワークには余分な負荷がかかります。これが、変圧器のメンテナンスにおいて先見性が重要である理由です。

「主変圧器の寿命は45年です。常時監視により、予定寿命まで変圧器が確実に稼働し続けることを目指しています。私たちの仕事はアセットマネジメントとリスクマネジメントを中心に展開しています。」

また、計測機器は事業の変化に備えることも可能にします。データの活用はますます増えており、運用の効率化を目的としてさまざまなデータベースが統合されています。

「将来的には、変圧器データと気象データを組み合わせ、業務をさらに改善できる方法が見つかるかもしれません」と、Virtanen氏は展望を語ります。

## Nivos株式会社

フィンランドのウーシマー県およびパイヤット・ハメ県で事業を展開するNivos社は、電力ネットワーク、エネルギーおよび暖房ソリューション、インターネットから水供給まで、幅広いサービスを提供する多角的エネルギー会社です。2018年、グループの売上高は3,300万ユーロでした。同社は80人の従業員を抱え、うち60人がエネルギー部門で働いています。

## ヴァイサラ MHT410 オイル内水分水素温度変換器

ヴァイサラのMHT410は、変圧器内の絶縁油中の水分、水素、温度を直接計測し、正確な水素のトレンドデータとリアルタイムのオイル内の水分含有量の変動に関する計測データを提供します。計測値は起こり得る変圧器の不具合に関する情報をリアルタイムで提供するため、生じた問題に対して迅速な対応ができるばかりか、発生前の段階での対応も可能となります。予知保全を行うことで、変圧器の寿命は延び、予期しないダウンタイムが減少します。

変換器の水分と水素のセンサは絶縁油と直接接触しているため、水分レベルの変化を迅速かつ確実に検出できます。独自のプローブはボールバルブを使用して簡単に取り付け可能です。

# VAISALA

[www.vaisala.com](http://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](http://www.vaisala.com/ja/contactus)

Ref. B211783JA-A ©Vaisala 2019

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。





# かんでんエンジニアリング ヴァイサラ 絶縁油計測器の 導入を開始

かんでんエンジニアリング  
石油事業部さまは  
高性能、使いやすさ、  
価格面で優れた  
ヴァイサラHUMICAP®  
オイル内水分変換器  
MMT330を  
採用されました



## かんでんエンジニアリング 石油事業部

関西電力のグループ企業の一つであるかんでんエンジニアリングさまは、電気を供給するための設備建設、保全を中心に、広範な事業を展開されています。この事業活動のひとつが石油事業部で高圧線から配電機器までをカバーする電力機器用絶縁油を製造、販売されています。国内外の変圧器メーカー、または電力会社などのエンドユーザーが主な取引先となります。

電気絶縁油事業開始以来70年を超える実績があり、その中心となる大阪の福岡工場は、電気絶縁油精製、貯蔵、充填出荷の一貫生産工場で、電気絶縁油の専門工場としては日本一の生産量を誇り、国内シェアのトップの企業です。

## 電力業界における 絶縁油の重要性

絶縁油は変圧器など主に高電圧機器において使用されています。これらの高電圧機器は電気の安定供給に不可欠な設備であるため、故障を未然に防ぐ予防保全策が重要です。このため、絶縁油には厳しい絶縁性能が求められており、こと水分に関しては絶縁破壊電圧を低下させる重大要因となり、絶縁油の劣化を促進し、変圧器内の構成材料（銅、金属、紙、樹脂など）の腐食または加水分解などの不都合な要因となるため、絶縁油中の水分は避けて通れない非常に重要な管理項目として認識されています。

## 使いやすい油中水分の 精密測定ニーズ

かんでんエンジニアリングさまの水分測定においては、最近まで精密測定と

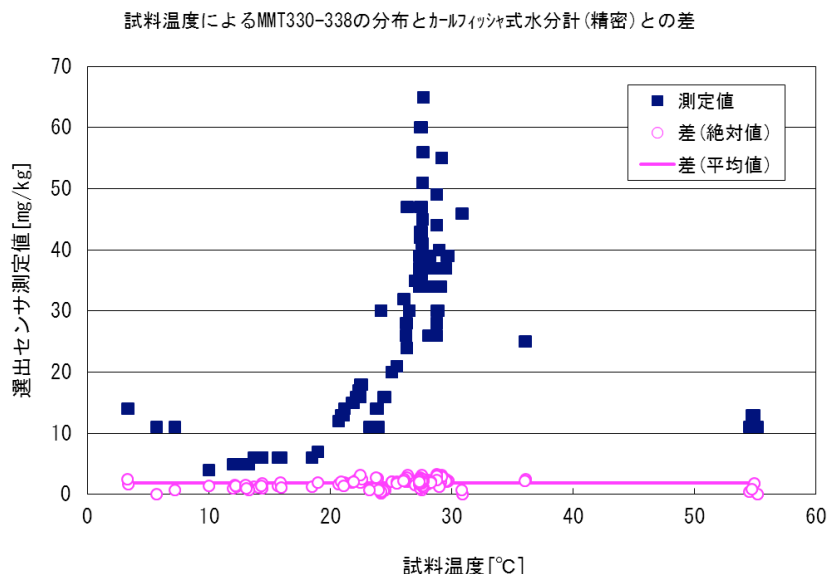


図1 試料温度によるMMT330 (338) の分布とカールフィッシャー式水分計（精密）との差  
(株式会社かんでんエンジニアリング ヴァイサラ水分センサ検討資料より)

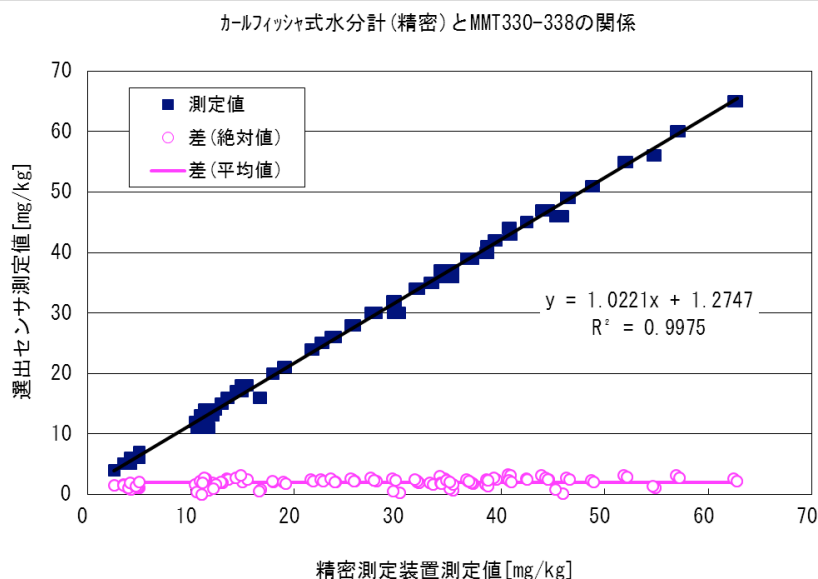


図2 カールフィッシャー式水分計（精密）とMMT330 (338) の関係  
(株式会社かんでんエンジニアリング ヴァイサラ水分センサ検討資料より)

して知られるカールフィッシャー方式の測定装置が使用されていました。

しかし、試薬に絶縁油試料を導入し、ヨウ素と水の反応をみるカールフィッシャー方式は、微量まで計測可能というメリットが大きい反面、精度のよい計測を行うためには予備知識が必要

であり、定期的に測定後の絶縁油試料を除去したり、シリカゲルや溶液を頻繁に交換する必要がありました。また、この溶液は強い臭気があるため、管理スタッフは常にメンテナンスにおいて大きな負担を強いられていました。

このため、スタッフの間では絶縁油の



株式会社かんでんエンジニアリング  
技術・開発グループリーダー 西川さま

### ＜ご担当者さまの一言＞

“以前、部署内に出荷試験装置がなかった時には、他部署に試験を依頼する必要があったため、試験結果が出るまで1時間程度考慮することが必要だった上、水分測定のコストは年間数百万円もかかっていました。計測装置の導入で、コストも大幅削減でき、出荷前の最終確認データを20分以内で入手できるようになりました。さらにMMT338では、以前の機種をはるかにしのぐ高精度計測が可能で、メンテナンスや計測自体がさらに容易になったことから、そのメリットの大きさを実感しています。”

水分測定は手間がかかり面倒である上、詳細に理解するためには高度な知識が必要であることから、絶縁油の精製や製品の容器充填にかかる水分管理には、カールフィッシャー方式並みに高精度で取り扱いが容易な水分センサのニーズが高まっていました。

また、将来的なトレンドを視野に入れた場合、鉱物油系絶縁油に代わる製品として、かんでんエンジニアリングさまが研究開発に注力されている研究テーマの一つにエステル系絶縁油があります。特に天然エステル（植物油）は、引火点が非常に高く機器の寿命を延ばすなど高機能でかつ、環境にやさしいというメリットが多い反面、エステル系絶縁油は通常の鉱物油系絶縁油と比較して何十倍も飽和水分量が高く、親水性の高い分子構造であるため、水分を含みやすいという特性があります。そのため、従来の鉱物油より水分管理にはさらに注意が必要となり、高精度で迅速かつ簡単な水分監視システムが今後一層求められると予想されます。

### 水分センサの実施試験と選定プロセス

以前使用していた水分センサの購入から10年経過したことで、新たな水分センサの購入が検討されていました。以前の水分センサは、高精度の計測には不十分であることから、幾つかの新たな候補の選定がなされました。その中から、4社の4機種が最終候補に残りました。

水分センサの検証実験では、自社の4種の絶縁油製品を用いて、油種別、温度別、さらに水分濃度別の測定結果を解析し、それまで使用していた水分センサとカールフィッシャー式水分測

定装置との測定値を相互に比較、検証されました。

温度別の検証では、ヴァイサラオイル内水分変換器MMT338とカールフィッシャー式水分測定装置との誤差は温度にかかわらずほぼ同水準に収まっており、MMT338は温度の影響を受けず、精度よく測定できることが実証されました。（図1）

さらに、MMT338とカールフィッシャー式水分測定装置との測定結果の測定器差は濃度別に見ても非常に小さく、極めて高い相関があることが認められました。（図2）

### 高性能、使いやすさ、価格で選ばれたヴァイサラMMT338

一連の実施試験ではMMT338が温度や油種、水分濃度の影響を受けず、MMT338とカールフィッシャー式水分測定装置との測定結果の測定差は極めて小さいことが実証されました。

また、取り扱いが大変容易だったこと、値を素早く計測できること、水分値がモニター表示されるなどの理由から、問い合わせしてからMMT338が候補として選択されるデータ取得までに要した期間は、たった2-3週間でした。一般的に製品採用までに長期間を要する日本企業の中では異例ともいえるでしょう。

管理スタッフの方からも、取り扱いやメンテナンスが驚くほど楽になったと高い評価を得ています。また校正も年に1回で済むため、保全業務も軽減されました。

MMT338は配管に流れている絶縁油を自動測定でき、モニターにより、水分活性値(AW) ppm値が表示されるため、プローブをシステムの配管に設置するだけで、絶縁油の水分濃度

(ppm)、水分活性値(AW)の正確な連続測定を容易に測定できる製品です。

また、もともとこの機種選定はコスト優先ではなく、性能が最優先でしたが、MMT338は最終候補4機種および現行センサと比較して最も低価格で、現行センサと比較すると、実に50%以上のコスト低減が可能であったことも採用決定の期間を大幅に短縮する理由となりました。

またMMT338は変換器本体にディスプレイ表示を持ち、計測値をそのまま現場で確認することが可能なため、高度な常時状態観察を、容易に実施す

ることが可能になりました。

絶縁油モードがついていたこと、コストパフォーマンスに優れていたこと、問い合わせした際にヴァイサラスタッフの対応が大変迅速で丁寧であったことが決め手になりました。

“予備器を購入し、校正期間を考慮してメンテナンスをすれば、装置を停止することのない無休のオペレーションがほぼ確実に遂行できます。リーズナブルな価格だったので複数台の購入も容易でした。”と、かんでんエンジニアリング 技術・開発グループリーダーの西川さまはおっしゃっています。

## ラインでの設置に向けて

現在、かんでんエンジニアリングさまは、MMT338を出荷試験に採用し、更に精製工程における品質検査にも導入を検討されています。

絶縁油精製直後の水分値はかなり低くなっていますが、製品貯蔵タンクからドラム缶、タンクローリー車に移送される過程で微量に水分が混入してしまう可能性があります。よって、出荷直前の出荷試験が製品品質の最終確認となるため、正確な測定が求められています。また絶縁油出荷直前の試験でJISの管理基準を遵守することは、エンドユーザーにとっても大変有益となります。

### 課題

- かんでんエンジニアリングさまでは、絶縁油中の水分測定において、計測やメンテナンスの際の管理スタッフの負担の軽減と専門的な解析の知識を要することなく計測が可能な水分センサを求められていました。
- 出荷直前の迅速で正確な水分測定の実施が必要でした。
- JISの管理基準を満たすことは必須で、納入先への自社製品の品質保証に直接的に関わることでした。

### ソリューション

- MMT338は配管に流れている絶縁油をオンラインで連続測定し、水分活性値(飽和値)やppm値をモニター表示します。
- 絶縁油の種類や温度に関わらず、精度の高い安定した計測が可能です。
- ボールバルブの使用で、システムを稼働したままプローブを設備に直接挿入することができます。

### メリット

- 管理スタッフがメンテナンスや準備にかかる時間が大幅に削減されました。
- 従来の精密測定装置と比較し、MMT338ではモニタリング画面に計測数値がそのまま表示されるため、計測結果を容易に取得できるようになりました。
- 信頼性の高い安定した水分計測が出荷直前の製品に対して実施されることで、より高い品質保証がお客様へ担保できるようになりました。
- 部署外へ水分測定を依頼する場合と比較し、年間数百万円単位の費用の削減が可能になりました。
- 以前の水分センサと比較し、50%以上の費用削減が実現しました。







### 特長

- オイル内水分と温度をオンラインで連続計測
- 温度計測範囲：-40～+180°C
- 計測精度：最大  $\pm 0.01a_w$  ( $\pm 1\%RS$ )
- オイル内水分計測で20年以上の実績を持つ、ヴァイサラ HUMICAP® センサを内蔵
- Modbus® RTU (RS-485)
- トレサブルな英文校正証明書：湿度は6点、温度は1点
- Indigo製品シリーズ変換器および Insightソフトウェアと互換性あり

ヴァイサラ HUMICAP® MMP8 オイル内水分プローブは迅速で信頼性の高いオイル内水分計測を可能にします。このプローブでは、実績のあるヴァイサラ HUMICAP® センサを使用しています。このセンサは、絶縁油、作動油、または潤滑油等の厳しい条件でのオイル内水分計測用に開発されたものです。

### 信頼のヴァイサラ HUMICAP 技術

MMP8は、現場における20年以上の実績に基づいた最新世代のヴァイサラ HUMICAP® 180L2 センサを搭載しています。このセンサは、絶縁油、また潤滑油等の厳しい条件でのオイル内水分計測用に開発されたものです。

耐薬品性に優れたセンサは、広範な計測範囲にわたり正確で信頼性の高い計測を実現します。HUMICAP® 180L2 センサは、変圧器の絶縁油水分計測に通常必要となる低湿において、優れた感度を発揮します。

### 水分飽和までの値を計測

MMP8では、オイル内の水分活性 ( $a_w$ )、油中水分飽和度 (%RS)、および温度 (T) をセンサによって計測します。水分活性値または油中

水分飽和度の値によって、フリーウォーターが発生するリスクの有無を示されます。水分活性値や相対飽和度のデータは、潤滑油のように水の侵入の検知とフリーウォーター形成の防止が極めて重要な用途に関連性の高いデータです。水分活性値計測は、オイルの種類や使用期間を問いません。

また、MMP8はオイル内の平均水分質量濃度である ppm も出力できます。この換算機能は、鉱物性トランス油などの特定の油に対してすぐに使用できます。この機能により、電力変圧器の状態モニタリングにおいて、ppm 濃度の連続計測が可能になります。

その他の油については、油の水溶性が分かり、その水溶性が一定に保たれている場合は、ppm への変換係数を計算することができます。

### 容易な取り付け

ボールバルブキットの利用により MMP8は、プロセス稼働中のプローブの脱着が可能になります。プローブの挿入長は調整可能です。圧力フィッティングは ISO 1/2" と NPT 1/2" から選択できます。MMP8には、プローブをプロセス圧力に向かって押し込める手動プレスハンドルが付属しています。



DNV GLタイプ認定番号: TAA00002YT

# 技術情報

## 計測性能

### 水分活性値

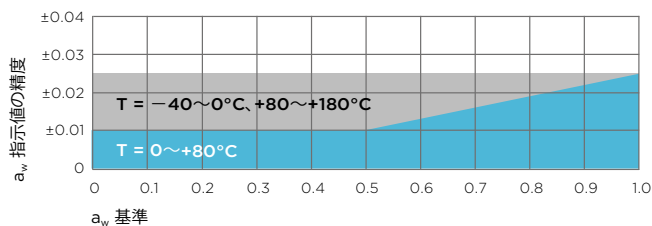
|                                    |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 計測範囲                               | 0~1a <sub>w</sub>           |
| T <sub>90</sub> 応答時間 <sup>1)</sup> | 10分                         |
| センサ                                | HUMICAP® 180L2              |
| 精度 <sup>2)</sup>                   | ±0.01a <sub>w</sub> (±1%RS) |

### 温度

|                |            |
|----------------|------------|
| 計測範囲           | -40~+180°C |
| 精度 (+20°Cにおいて) | ±0.2°C     |

1) +20°C時、静止オイル内。

2) 0~0.5a<sub>w</sub>の範囲内、非直線性、ヒステリシス、繰り返し性を含む。下図参照



MMP8 a<sub>w</sub>計測精度

## 動作環境

|                |            |
|----------------|------------|
| プローブヘッドの動作温度範囲 | -40~+180°C |
| プローブ本体の動作温度範囲  | -40~+80°C  |
| 保管温度範囲         | -40~+80°C  |
| 圧力範囲           | 0~40bar    |
| 設置圧力           | 最大 10bar   |
| プローブ本体のIP規格    | IP66       |
| ボールバルブ         |            |
| 動作温度範囲         | 最大+120°C   |
| 動作圧力           | 最大 40bar   |

## 入出力

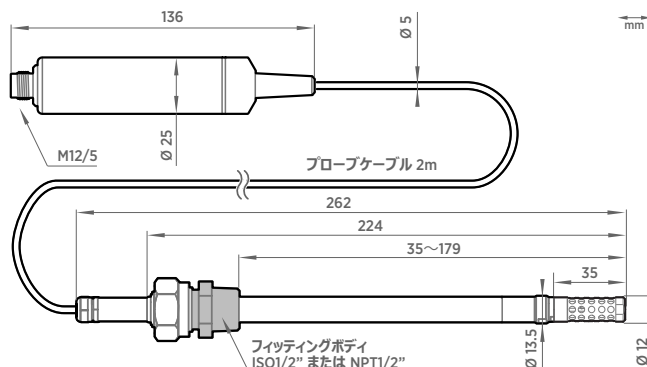
|        |  |
|--------|--|
| 動作電圧範囲 | 15~30VDC   |
| 消費電流   | 10mA (標準)  |
| デジタル出力 | RS-485、非絶縁   |
| プロトコル  | Modbus RTU   |
| 計測項目   | 相対飽和度 (%RS)<br>温度 (°C)<br>水分活性値<br>質量水分率 (ppm <sub>w</sub> ) |

## 適合規格

|         |   |
|---------|---|
| EU指令    | EMC指令 (2014/30/EU)<br>RoHS指令 (2011/65/EU) |
| EMC規格   | EN 61326-1、工業環境                           |
| 型式認定    | DNV GL 認証番号 TAA00002YT                    |
| 基準適合マーク | CE, 中国版 RoHS, RCM, WEEE                   |

## 一般仕様

|                  |  |
|------------------|--|
| コネクタ             | M12 5ピン Aコード (オス)                              |
| 質量               | 510g   |
| フィルタオプション        | ステンレス製グリッド標準フィルタ<br>高流量率用ステンレスグリッドフィルタ (>1m/秒) |
| プローブケーブル長        | 2m   |
| プローブの挿入長は調整可能です。 | 35~179mm                                       |
| 材質               |  |
| プローブ             | AISI 316L                                      |
| プローブ本体           | AISI 316L                                      |
| ケーブル被覆           | FEP  |



MMP8の寸法

## アクセサリ

|  |      |
|--|------|
| ボールバルブ ISO 1/2 インチ BALLVALVE-1<br>ジョイント付   |      |
| ボールバルブ ISO 1/2 インチ~<br>ISO 3/4 インチネジジョイント付 |      |
| PC接続用 USBケーブル <sup>1)</sup>                | USB2 |

1) Windows用ヴァイサラInsightソフトウェアは、[www.vaisala.com/ja/insight](http://www.vaisala.com/ja/insight)で入手可能。



## DPT145 マルチパラメータ変換器

SF<sub>6</sub> ガス用



DILO DN20コネクタを装着したDPT145 マルチパラメータ変換器

### 特長

- 1台でSF<sub>6</sub>について7項目のオンライン計測が可能な初めての変換器
- 計測項目：露点、圧力、温度
- 演算項目：SF<sub>6</sub>濃度、換算圧力、大気圧露点、ppm
- オンライン計測によってSF<sub>6</sub>の絶縁状況をより的確に評価
- デジタル出力：Modbus® (RS-485)
- 数年間の長い校正間隔

ヴァイサラ DPT145 SF<sub>6</sub>ガス用マルチパラメータ変換器は、露点、圧力、温度のオンライン計測を可能にした革新的な独自開発製品です。SF<sub>6</sub>濃度など4項目の値も演算します。特に、OEMシステムへの組み込みに最適です。

### オンライン信頼性

オンラインの露点計測は圧力計測と組み合わせることで、SF<sub>6</sub>の絶縁状態を的確に評価します。換算圧力を直接計測することにより、突然の漏れやわずかな漏れであっても直ちに検出します。またオンラインの露点計測によって湿度の異常を検出し、SF<sub>6</sub>の絶縁性が低下し、急激な品質劣化につながることをユーザーに警告します。DPT145を用いると、さまざまなパラメータを活用した豊富なソリューションを容易に構築できます。

### 全般にわたる節約

複数の計測器を取り付ける必要がなく1台のみの設置であるため、投資から取り付け、運転、メンテナンスまで全般にわたって時間とコストの節約になります。組み立てが低コストで済み、ケーブルとコネク

タの数が少なく、現場巡回と現地作業は必要最小限に抑えられるため、すべてが節約に寄与します。校正間隔が長い点も、さらなる節減につながります。

### リスクフリーで環境にやさしいソリューション

オンライン計測によって、データ収集システムによるトレンドの追跡が可能となり、高速、リスクフリーでかつ高精度にモニタリングを行えるようになります。7種の計測項目を1台の機器でモニタリングするために機械的接合部が少なく、漏れのリスク低減にもつながります。サンプリング調査の必要がなく、SF<sub>6</sub>ガスが環境に漏れ出ることがないため、環境に配慮したモニタリングでもあります。



対候性シールドを装着したDPT145

### 経験の成果

ヴァイサラには80年以上にわたる豊富な計測実績と知識があります。DPT145は実績のあるDRYCAP®露点センサ技術とBAROCAP®気圧センサ技術を一つのパッケージにまとめたもので、SF<sub>6</sub>ガスモニタリングについてイノベーションを駆使した便利なソリューションを提供しています。



# 技術情報

## 計測パラメータ

|     |           |
|-----|-----------|
| 露点  | -60～+30°C |
| 絶対圧 | 1～12bar   |
| 温度  | -40～+80°C |

## 算出パラメータ

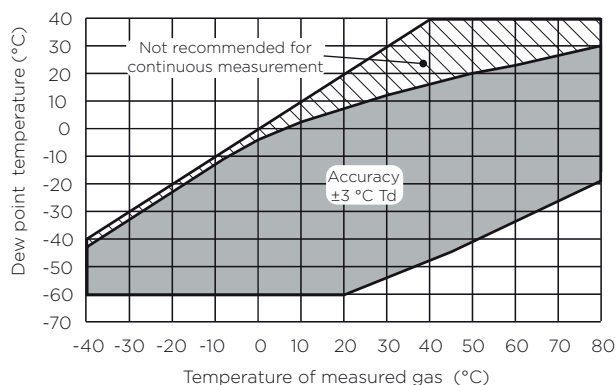
|  |                        |
|--|------------------------|
| +20°Cで正規化された圧力   | 1～12bar                |
| SF <sub>6</sub> または SF <sub>6</sub> /N <sub>2</sub> 混合密度 | 0～100kg/m <sup>3</sup> |
| 体積分率水分濃度 ppm   | 40～40,000ppm           |
| 大気圧換算の露点   | -65～+30°C              |

## 計測性能

|                                  |                                    |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 露点精度                             | ±3°C、下記グラフ参照                       |
| 露点安定性                            | ドリフト（典型値）< 2°C/5年                  |
| 圧力精度（+23°Cにおいて）                  | ±0.4%FS                            |
| 圧力の温度依存性                         | ±0.01bar/10°C                      |
| 圧力安定性                            | ドリフト（典型値）< 1%FS/5年                 |
| 温度精度                             | 0～+40°C：±0.5°C<br>-40～80°C：±1°C    |
| 濃度精度（純 SF <sub>6</sub> 、1～12bar） | 0～+40°C：±1%FS<br>-40～+60°C：±2.2%FS |
| 標準的なppm精度<br>（5～1,000ppm、7bar）   | ±（7ppm + 指示値の15%）                  |
| センサ                              | ヴァイサラ MPS1 マルチパラメータセンサ             |

### センサ応答時間

|                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| 圧力応答時間                 | < 1 秒                      |
| 露点応答時間 <sup>1)</sup>   | -50 → -10°C Tdf：5秒 [10秒]   |
| 63% [90%]（20°Cおよび1bar） | -10 → -50°C Tdf：10秒 [2.5分] |



### DPT145の露点計測精度

- 1) システム平衡にかかる時間は通常応答時間よりも長くなります。

## 入出力

|             |  |
|-------------|--|
| デジタル出力      | RS-485、非絶縁、<br>ヴァイサラプロトコル<br>Modbus RTUプロトコル |
| コネクタ        | M8 4 ピン（オス）                                  |
| 供給電源        | 15～28VDC<br>低温（-40～-20°C）において<br>20～28VDC    |
| 消費電流（通常計測時） | 20mA   |
| 消費電流（自己診断時） | 最大 300mA（パルス）                                |

## 動作環境

|            |   |
|------------|---|
| 電子回路部の動作温度 | -40～+60°C   |
| 動作圧力       | 1～12bar   |
| 機械的耐圧      | 0～50bar   |
| 相対湿度       | 0～100%  |
| 計測ガス       | SF <sub>6</sub> 、SF <sub>6</sub> /N <sub>2</sub> 混合 |
| 保管温度、変換器のみ | -40～+80°C   |
| 保管温度、出荷梱包  | -20～+80°C   |

## 一般仕様

|                |  |
|----------------|--|
| ハウジング材質        | AISI316L   |
| 取り付けネジ         | DILO DN20、DILO DN8、<br>ABB Malmquist または<br>Alstom G1/2 インチ 互換性コネクタ<br>出荷前にすべての接合部でヘリウム漏れ試験を実施 |
| 質量（DILOアダプタ付き） | 765g   |
| IP規格           | IP66 <sup>1)</sup>   |

- 1) 屋外に継続的に取り付ける場合は耐候性シールドを使用

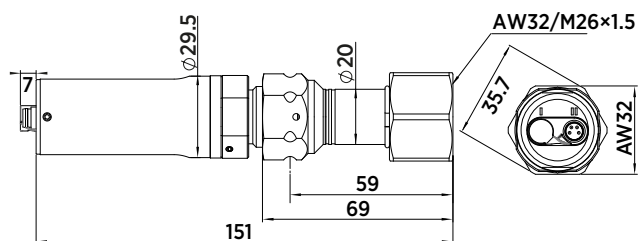
## 適合規格

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| EMC規格               | EN 61326-1,<br>基本電磁環境      |
| 基準適合マーク             | CE, RCM, WEEE              |
| 機械的振動               |                            |
| IEC 60068-2-6 正弦波振動 | ±6g、5～500Hz 走査<br>60分/軸、3軸 |

## スペアパーツとアクセサリ

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| MI70 インジケータ/DM70 計測器用の接続ケーブル | 219980      |
| USB ケーブル                     | 219690      |
| コネクタ用保護プラグ                   | 218675SP    |
| 90°コネクタ付き 1.5mシールド PURケーブル   | 231519SP    |
| 90°コネクタ付き 1.5mシールド PURケーブル   | 231520SP    |
| 90°コネクタ付き 1.5mシールド PURケーブル   | 231521SP    |
| 90°コネクタ付き 1.5mシールド PURケーブル   | 231522SP    |
| ストレートコネクタ付き 3mシールド FEPケーブル   | 226902SP    |
| 対候性シールド                      | ASM210326SP |

# 技術情報



DILO DN8コネクタを装着したDPT145

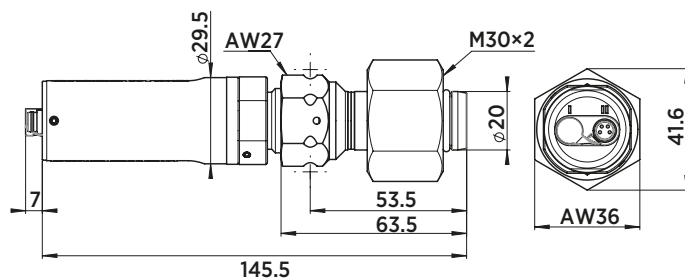
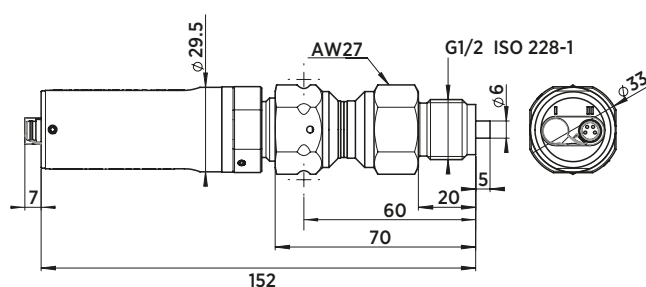
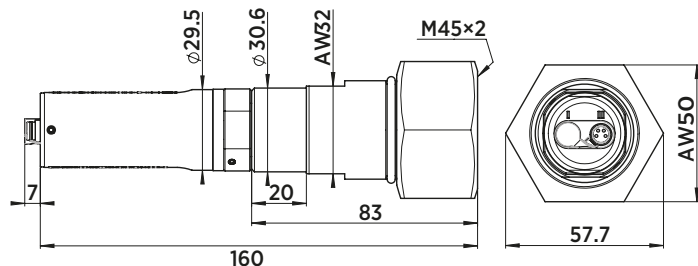


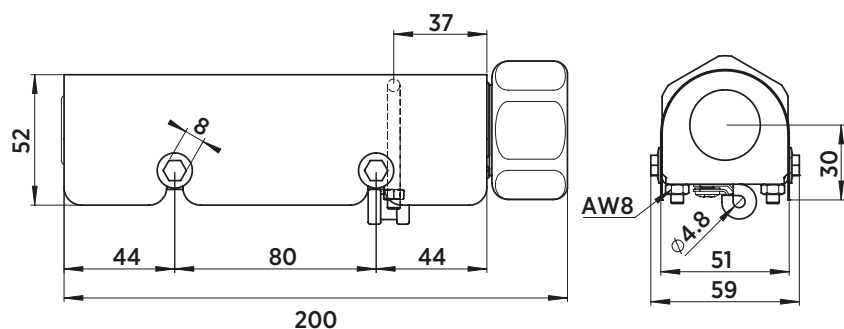
ABB Malmquistコネクタを装着したDPT145



Alstomコネクタを装着したDPT145



DILO DN20コネクタを装着したDPT145



ウェザーシールドを装着したDPT145

mm