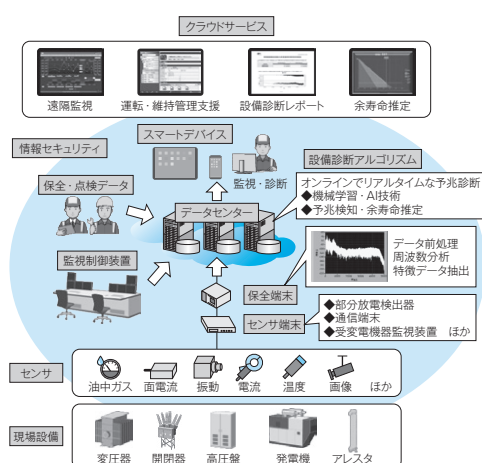


受変電設備の監視・診断システム

河野智之 Tomoyuki Kawano

キーワード IoT, CBM, 設備診断, 余寿命診断, 異常予兆, 部分放電検出

概要



クラウドサービス・設備診断システムの構成

当社では、油入変圧器や開閉装置などの受変電機器の保守の省力化・高度化のために、IoT（Internet of Things）を活用した受変電機器用のクラウド型リモート監視システム・設備診断システムの技術開発に取り組んできた。受変電機器に電流・振動・面電流などの各種センサや、機器の絶縁破壊の前兆現象である部分放電を検出する部分放電検出器などのセンサ端末を設置し、設備の状態を常時監視して故障の予兆を捉え、機器の異常を診断する。また、ここで取得した定量的なデータから点検・修繕・更新計画などの保守業務を支援し、維持管理を効率化できる。

1 まえがき

特高受変電設備や高圧受変電設備は、変圧器・遮断器・開閉装置などの機器で構成され、電力供給の安定性と信頼性を担っている。しかし近年、設備の更新よりも延命化が重視され、高経年機器が増加している。また、保守点検では省力化・合理化・不具合発生率の低減のために、一定の周期で定期的に保全を行う時間基準保全（TBM：Time Based Maintenance）から、劣化傾向を監視し故障に至る前に必要と判断された時のみ保全を行う状態基準保全（CBM：Condition Based Maintenance）へ移行しつつある。

このような状況の中、当社はCBMに着目し、IoT（Internet of Things）を活用した設備診断システムを開発してきた。本稿では、変圧器・開閉装置などの受変電機器に設置するセンサ端末やクラウドサー

ビスを紹介する。

2 設備診断システムの概要・導入メリット

設備診断システム（以下、本システム）は、変圧器・開閉装置などの受変電機器に設置した各種センサから現場の計測データを収集し、設備の運転状態を遠隔から常時監視する。加えてクラウドに蓄積された運転データを分析・解析することで、異常検知・故障の予兆を捉えられる。そのほかのクラウドサービスとして、運転・維持管理支援や診断レポート、余寿命診断などの機能を提供し、設備のライフサイクルコストを最適化する。本システムを導入することによるメリットは、以下のとおりである。

(1) 設備状態のリアルタイム監視 従来、定期点検で設備の劣化具合を把握するために、目視によっ

て動作回数や温度などを確認していた。しかし、オンライン化することで、クラウドを介して場所・時間を問わずリアルタイムに設備の運転状態を把握できる。

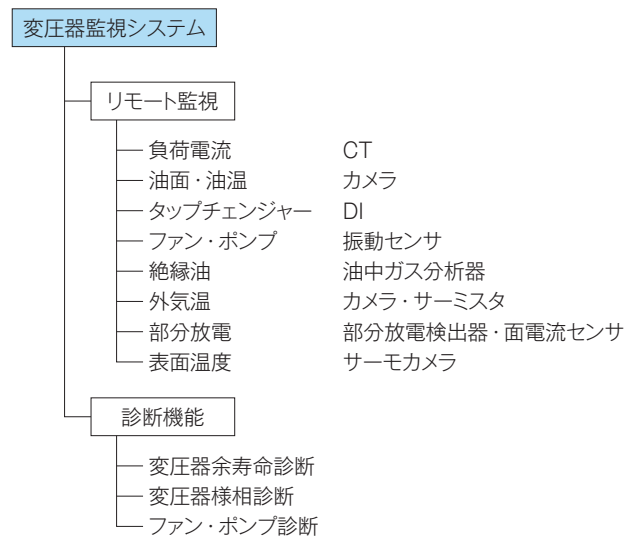
(2) 故障の未然防止 従来の月次・年次などの定期点検では、点検の谷間で故障の前兆現象が発生しても次の点検まで発見できなかった。しかし本システムの導入で、設備から得られる計測データの傾向を確認・分析することで前兆現象を早期に捉え、故障を未然に防止できる。

(3) 余寿命の自動算出 変圧器・開閉装置などの余寿命をシステムが1日に1回自動算出するため、従来の手計算による作業の手間を省ける。

(4) 技術者不足への対策 少子化による若手技術者の人員不足や設備状態を正確に把握できるノウハウを持つベテラン技術者の退職などで、技術継承が進まないことが危惧されている。本システムを導入して定量的なデータを分析し、解析結果から設備状態を見える化することで、技術継承をサポートできる。

3 変圧器の設備診断

第1図に変圧器の監視・計測項目を、第1表に油入変圧器の劣化事例を示す。過去の劣化事例の調査結果や当社がメンテナンス業務で培った豊富な



第1図 変圧器の監視・計測項目

変圧器設備診断の監視・計測項目を示す。

ノウハウから、変圧器の監視・計測項目として負荷電流、油面・油温、ファン・ポンプ振動、外気温、部分放電などを選定した。また診断機能には、変圧器余寿命診断、変圧器様相診断、ファン・ポンプ診断がある。第2図に変圧器の診断画面を示す。

3.1 変圧器の余寿命診断

第3図に変圧器の余寿命診断アルゴリズムを示す。以下に示す3つのデータを総合的に考慮して余寿命推定値を得る。

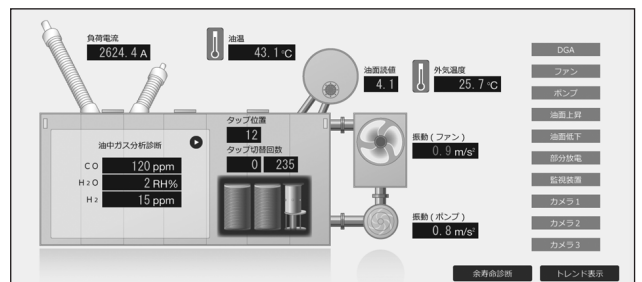
(1) 運転状態 稼働年数・日常の運転状態（負荷

第1表 油入変圧器の劣化事例

変圧器で発生した内部劣化に伴う事例の概要（劣化部位・劣化事象・不具合の概要）を示す。

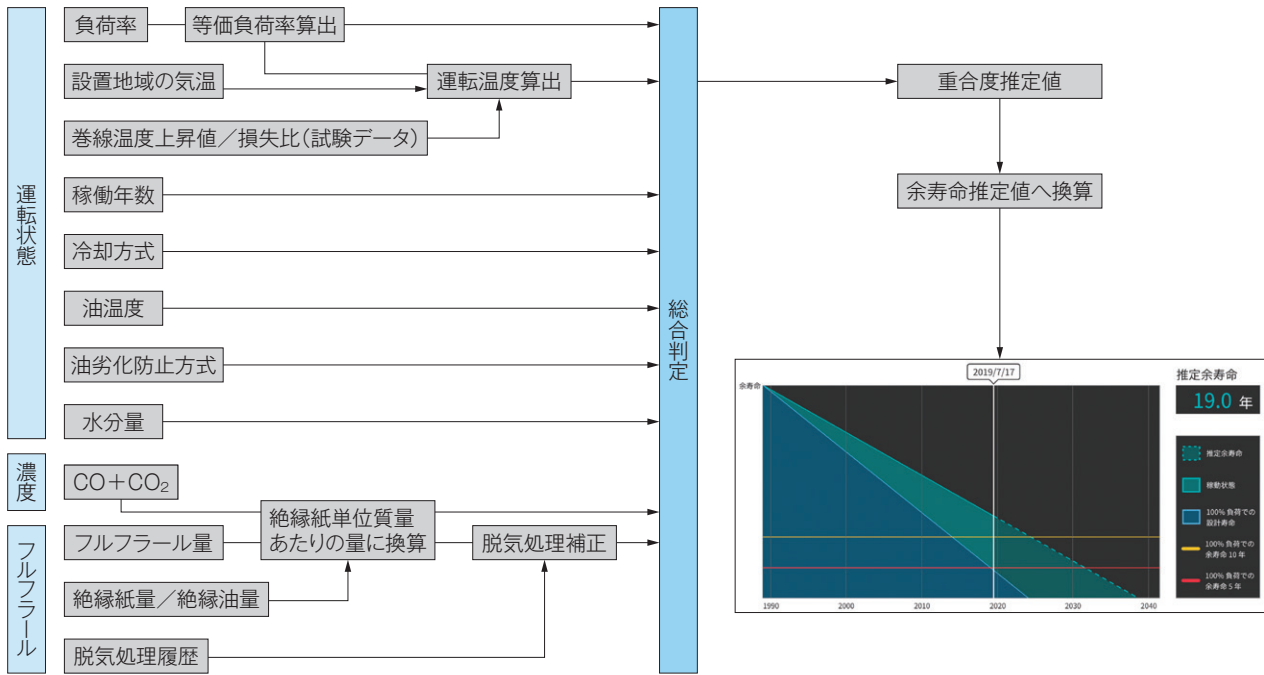
分類	部位	劣化事象	不具合の概要
亀裂	ブッシング	油中シールドクランクによる部分放電発生	長年の使用による振動などで油中シールド取り付け端子のリベット部に応力が集中したため、微小放電が発生してアセチレンが発生した。
変質・破損	コイル絶縁物	コイル温度上昇による絶縁紙損傷・絶縁破壊	巻線先端部口出し近傍で絶縁紙が経年劣化で損傷し、並列導体間で部分的導通が生じた。
変形	コイル絶縁物	繰り返しの機械力発生によるコイル絶縁物の変形・絶縁破壊	外部短絡の繰り返しのよってタップコイル絶縁物が座屈変形し、一部が隣接コイルとの間でこすれによって絶縁破壊に至った。
摩耗	送油ポンプ	送油ポンプベアリングの摩耗による異常音発生	送油ポンプの軸受け付近から異常音が発生した。
変質	送油ポンプ	送油ポンプモータ巻線絶縁被覆の熱劣化による絶縁破壊	送油ポンプモータ巻線の絶縁ワニスに、経年劣化で焼損した。

※電気協同研究 第61巻 第3号「密閉型変電設備の劣化保全技術高度化」から一部抜粋



第2図 変圧器診断画面

変圧器内で監視している計測値や状態の現在値を詳細に表示する。



第3図 変圧器の余寿命診断アルゴリズム

運転状態・ガス濃度・フルフラールなどの各種データを総合的に判断し、劣化状態を推定・余寿命診断する。

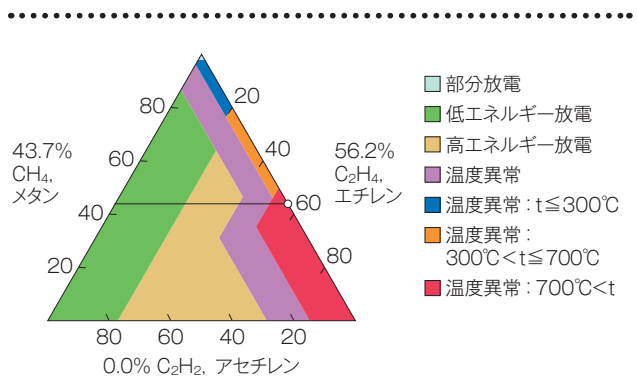
率)・絶縁油の温度・設置地域の環境などの各種計測データと冷却方式・油劣化防止方式などの初期設定値

(2) 濃度 油中ガス分析器から取得するCO (一酸化炭素), CO₂ (二酸化炭素) の測定値

(3) フルフラール分析結果 フルフラールとは、絶縁紙のセルロース分子の劣化分解によって絶縁油に溶け出される物質のことで、年次点検などで油抜き取りによる成分分析の結果を入力

3.2 変圧器様相判定

変圧器内部の様相は、年次点検などで実施している油抜き取りによる成分分析やオーバーホールなどで解体した時にのみ確認できるが、年に一度の点検時にしか劣化状況を確認できない。そこで、油中ガス分析をオンライン化して内部の様相を推定できるようにした。様相判定に有効なパラメータはCH₄ (メタン)・C₂H₂ (アセチレン)・C₂H₄ (エチレン)で、各要素の含有量割合から変圧器内部で起きた事象 (部分放電や熱的障害 (700℃以上) など) を予測・検知できる。その様相判定には、第4図に示す変圧器様相判定 (Duval Triangle) を採用している。



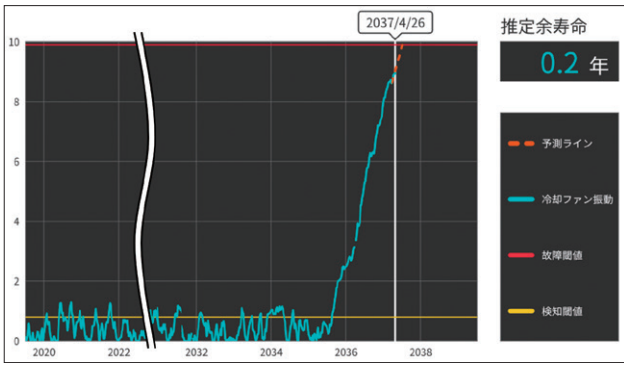
第4図 変圧器様相判定 (Duval Triangle)

油中ガス成分の構成比による変圧器様相判定を示す。

3.3 ファン・ポンプの余寿命診断

冷却ファン及び送油ポンプは、変圧器の発熱を取り除く冷却機構で変圧器の補機にあたる。これらが故障した場合、熱によってコイルや絶縁体が劣化し発火するおそれがあるため、変圧器を停止せざるを得ない。

ファン・ポンプの診断は、振動センサを新たに設置し振動の振幅が判定値を超えた場合、過去のデータから移動平均関数を用いて変化率を算出し、故障までの期間 (余寿命) を推定する。第5図にファン・ポンプの寿命診断画面を示す。



第 5 図 ファン・ポンプ余寿命診断画面

ファン・ポンプの推定余寿命を示す。

冷却ファンは多重化しているため、1台のファンが故障しても緊急停止には至らず、事後交換できる運用としている。しかしながら、未然に故障が検知できるようになれば、ファン自体の数を削減でき、変圧器を小形化できる。

4 開閉装置の設備診断

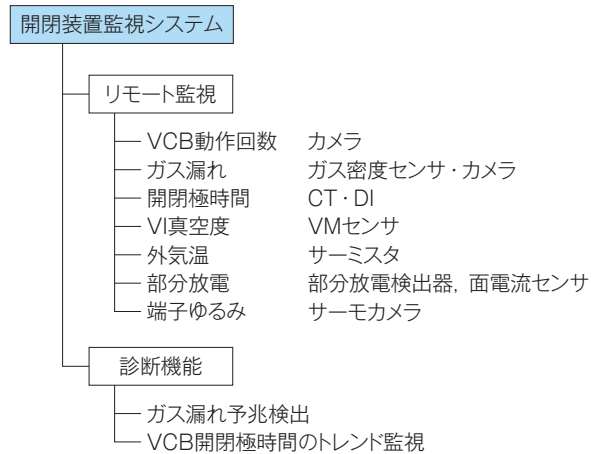
開閉装置を保全する判断基準は、遮断器の動作回数であるため、定期点検の際にカウンタ値を記録している。本システムでは、遮断器が動作した際の開閉極時間を計測し、動作時間のトレンドから劣化状態を判定する。開閉極動作時間は、モータの起動電流から接点が変わるまでの時間を0.1ms単位の時間で計測できる。第 6 図に開閉装置の監視・計測項目を示す。リモート監視は、遮断器の動作回数・部分放電・ガス漏れ・真空インタラプタ (VI) 真空度などを選定し、診断機能は、ガス漏れ予兆検出・真空遮断器 (VCB) 開閉極時間のトレンド監視がある。

第 7 図に真空遮断器の診断確認画面を示す。遮断器が動作するごとに開閉極の動作時間を数値表示している。また、蓄積したデータからトレンドグラフも表示できる。

5 センサ端末

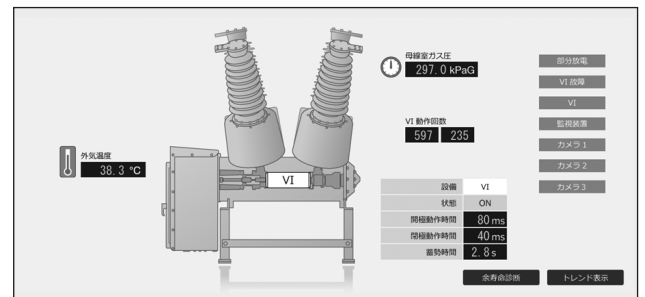
5.1 受変電機器監視装置

第 8 図に受変電機器監視装置の外観を示す。本



第 6 図 開閉装置の監視・計測項目

開閉装置設備診断の監視・計測項目を示す。



第 7 図 真空遮断器診断確認画面

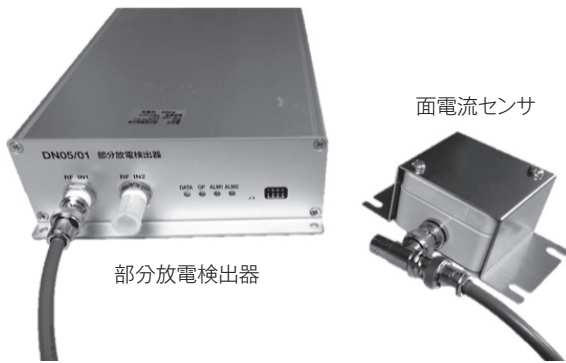
真空遮断器内で監視している計測値や状態の現在値を詳細に表示する。



第 8 図 受変電機器監視装置

変圧器・開閉装置などを対象とした各種センサデータを監視・収集する装置を示す。

装置は、変圧器・開閉装置・高圧盤を対象とした各種センサデータを監視・収集する。装置から入力さ



第9図 部分放電検出器（面電流センサ）

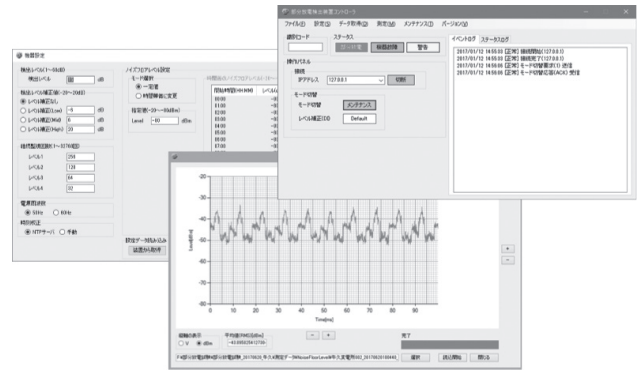
絶縁破壊の前駆現象である部分放電を検出する装置を示す。

れた信号を処理し、EDS/ES（駆動用モータ a 接点や88リレー a 接点など）のON時間やVCB投入制御電流／遮断制御電流から接点動作完了までの動作時間並びに接点のON・OFF状態などのデータをクラウドで管理し、設備劣化の余寿命診断に使用する。主な監視・収集するデータは、変圧器では部分放電、油温、ファン・ポンプ振動、タップ切り替え・位置、開閉装置では部分放電・開閉極時間・開閉極動作時間・蓄勢時間・ガス圧などがあり、設定によって監視対象装置（変圧器・開閉装置）を切り替えることができる。寸法はW80×H220×D132mmで、後付けできる。

5.2 部分放電検出器

電力機器の絶縁劣化診断は、絶縁破壊の前兆現象である部分放電（PD：Partial Discharge）の検出が有効である。部分放電はC₂H₂ガスの監視で検出できるが、精度が良くないため面電流センサを使用した専用の部分放電検出器を開発した。第9図に部分放電検出器（面電流センサ）を示す。本検出器は、機器表面に流れる高周波電流に対し、ノイズ除去・周期性判定をして部分放電を検出する装置で、変圧器・開閉装置・高圧盤などの静止形の変電機器に有効である。特長は、以下のとおりである。

- (1) 面電流センサを採用
- (2) バックグラウンドノイズ測定機能付き
- (3) 部分放電検出レベルをお客様で設定可能
- (4) 部分放電検出周期性をソフトウェアで判定可能



第10図 部分放電検出器コントローラ画面

バックグラウンドノイズ測定や部分放電検出レベル設定、波形取得などを操作する。

- （周期の連続性をお客様で設定可能）
- (5) 波形取得機能／FFT（Fast Fourier Transform）解析機能付き
- (6) 受変電機器製造メーカーを問わず後付け設置が可能（寸法：W150×H52.5×D226mm）

第10図に部分放電検出器のコントローラ画面を示す。

6 むすび

油入変圧器・開閉装置の設備診断の取り組みを紹介した。本診断技術で受変電機器の保守メンテナンス業務の省力化・高度化を実現し、設備更新計画などの維持管理業務をサポートする。

今後は、新しいセンサの開発や監視で蓄積したデータをAI（人工知能）で解析し、余寿命診断の更なる精度向上を図っていくと同時に、対象機器をモールド変圧器・電力変換設備など他の電力設備に拡大し、設備診断技術を確立していく。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



河野 智之
Tomoyuki Kawano
コンピュータシステム工場
遠方監視制御装置の開発に従事