

可搬形部分放電検出装置と絶縁診断サービス

Portable Partial Discharge Detector and Insulation Diagnosis Service

佐々木 恵一

SASAKI Keiichi

渡部 剛士

WATANABE Takeshi

伊藤 兼芳

ITOH Kaneyoshi

近年、ビルやプラントの高圧受配電設備では、稼働期間が20～30年に及び経年使用機器の数が増大し、更新か延命かの判断を下さなければならないケースが増えている。また、高電圧機器ユーザーのメンテナンス計画も、機器運用のトータルコスト低減を目的に、点検周期を重視した時間基準保全(TBM: Time Based Maintenance)から、設備の健康状態を把握して必要最小限の投資を行う状態基準保全(CBM: Condition Based Maintenance)を志向する流れにある。東芝では、このような顧客ニーズに対応し、設備を停止させることなく、現地で簡易かつ定量的に設備の絶縁異常を検出するための装置を開発し、診断サービスを開始している。

The number of aging facilities more than 20 years old in office buildings and industrial facilities has recently been increasing. Users are therefore giving considerable thought to the appropriate renewal time for facilities such as high-voltage power distribution equipment. Moreover, there is a tendency to shift from time-based maintenance (TBM) to condition-based maintenance (CBM) in order to reduce the total cost of plant operation. TBM places importance on periodic inspections, while CBM monitors the equipment's condition to minimize maintenance time and cost. To meet these needs, Toshiba has developed a new portable partial discharge detector that enables quantitative evaluation of insulation degradation. We have also launched an on-site insulation diagnosis service utilizing this detector.

1 まえがき

高電圧機器の絶縁異常の指標である部分放電は、高電圧部位の絶縁材料が経年劣化したり表面汚損することで発生する。この現象は、機器や放電の種類で信号形態(電流、電磁波、超音波など)が異なるため、機種に合ったセンサで信号をセンシングし、活線状態で診断(オンライン診断)することが技術課題とされている。また、スイッチギヤなどを対象として現地計測を行う際には、フィールドノイズ(励磁音や外来電気ノイズなど)が混在して部分放電信号の識別が難しいという問題があり、ノイズフィルタリングの技術が必要とされてきた。そこで東芝では、耐ノイズ性能を向上させ、現地で定量的なオンライン診断を実現する可搬形部分放電検出装置⁽¹⁾を開発し、磁気遮断器(MBB)や真空遮断器(VCB)などを対象とした絶縁診断サービスを実施してきた。

2 開発した可搬形部分放電検出装置の構成

この可搬形部分放電検出装置は、AE(Acoustic Emission)センサ、CT(Current Transformer)センサ、センサ用絶縁アンブ、A/D(Analog to Digital)変換カード、計測用パソコン(PC)、計測及び診断用ソフトウェアから構成される(図1)。アンブ部は、AEセンサ出力、CTセンサ出力、電源ラインの3信号を入力でき、フィルタ/増幅回路で所定の信号特性に処理す



図1. 可搬形部分放電検出装置 - 上が使用時の配線状態で、下が収納状態である。アタッシュケースの2段収納で持ち運びが容易である(全質量6kg)

Portable partial discharge detector

る。その後、アンブ出力をA/D変換カード経由でPCに取り込み、診断ソフトウェアで信号処理(ノイズ識別)を行うことで部分放電の有無判定、放電電荷量の推定をする。2センサの

アンプ一体化や、PC Card Standard(Type II)に準拠した A/D変換カードとノートPCの採用で小型化を実現した。

各構成要素は、図2のように配置され、現地診断に有効なツールとなるよう、以下に述べる工夫が施されている。

- (1) AE センサ 部分放電に伴う超音波領域の盤振動又は筐体(きょうたい)振動を検出する。放電パルスの振動応力を微小電圧に変換する圧電素子タイプのセンサを採用している。センサに振動が伝わりやすいようスイッチギヤのケースや遮断器の筐体にマグネットなどでしっかり固定する(図3)。放電の位置標定を主目的とする場合は、医師が聴診器を当てるようにAEセンサ位置を複数回移動させ、その際の出力振幅増減から放電位置を推定する。
- (2) CT センサ CTセンサは、クランプ式のものを一連の盤群に付設されている接地線に取り付け、漏れ電流信号を検出する。盤系列単位での部分放電検出に用いる。
- (3) 絶縁アンプ アンプ入力はAE、CT、電源ラインの3チャンネルである。部分放電発生位相と印加電源位相との位相ずれ情報を得るために、電源ラインを入力する。この際交流(AC)100Vを0-2Vの矩形(くけい)波に変換し出力する。AEセンサはローパスフィルタ、バンドパスフィルタ回路により20k~40kHz帯に感度が高くフラットな周波数特性を持つように設定している。100kHz以上の高周波領域でも部分放電成分は検出されるが、高周波領域の信号検出は計測系や信号処理系のパワーを必要とするため、低周波成分に着目する。CTセンサは周波数特性2k~30MHzのものを用い、アンプで

ピーク検波処理を行う。

- (4) A/D変換カード PCカードタイプのもので、サンプリングレート：最高20MHz、チャンネル数：2、メモリ長：各チャンネル4kワード、信号入力感度： $\pm 2V$ の仕様である。三つのアンプ出力に対して、A/D変換のチャンネル数制限(2入力)のため、①AEと電源、②AEとCT、③CTと電源というように、所定の2出力を組み合わせで計測する。
- (5) 計測用PC DynaBook_{TM}SS3380CTW(1.8kg)
- (6) ソフトウェア 信号処理及び診断用ソフトウェアとして自社開発した。三つのアンプ出力のうち、計測する2チャンネルの信号として①AEと電源、②AEとCT、③CTと電源の3モードを選択できる。AE-電源計測モードの場合のみ、電源正弦波1周期相当のデータを切り出してウェーブレット変換²⁾する機能を持ち、変換結果(三次元データ)を時間周波数平面上に表示させる等高線表示機能を備える。一方、AE-CT計測モード及びCT-電源計測モードを選択した場合は、トリガ機能や縦横軸の縮小拡大機能などを備えたPCオシロスコープとして使用可能である。計測データはすべてExcel形式で保存される。また、“AE実効値と部分放電電荷量の相関”や“ウェーブレットピーク強度と部分放電電荷量の相関”を定量的絶縁診断のためのデータベースとして備える。

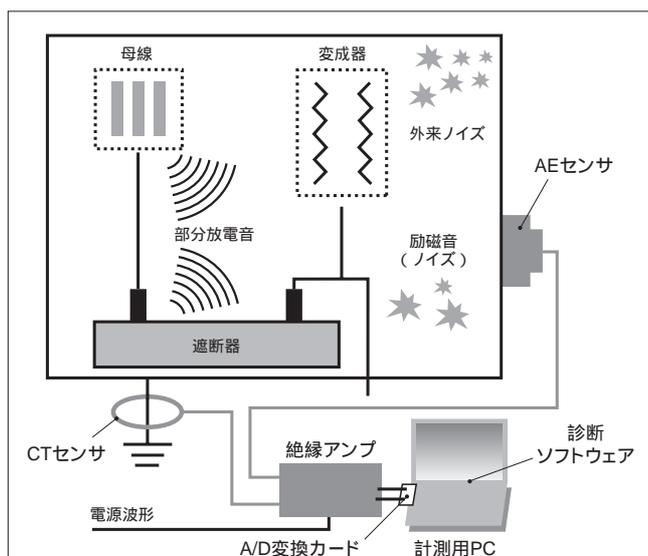


図2．診断の概要 - AEセンサを遮断器筐体、メタクラ盤壁面などに磁石で固定し、CTセンサを接地線にクランプしてPC計測を行う。
Outline of diagnostic method

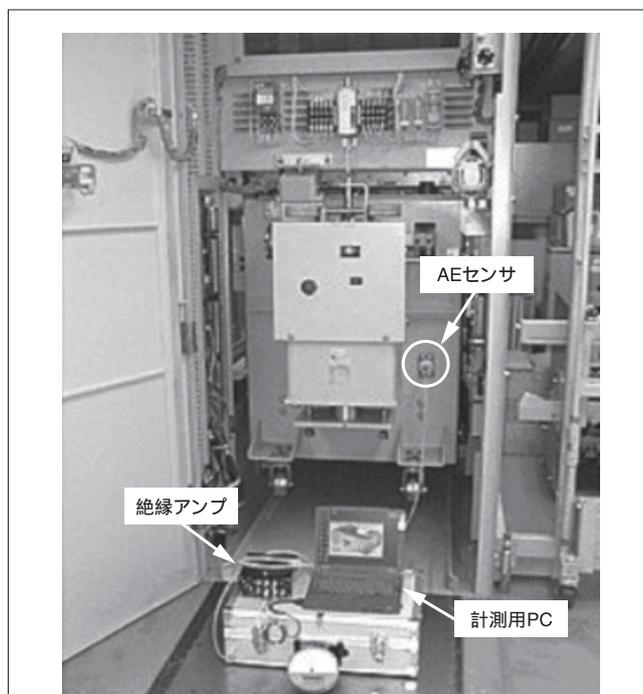
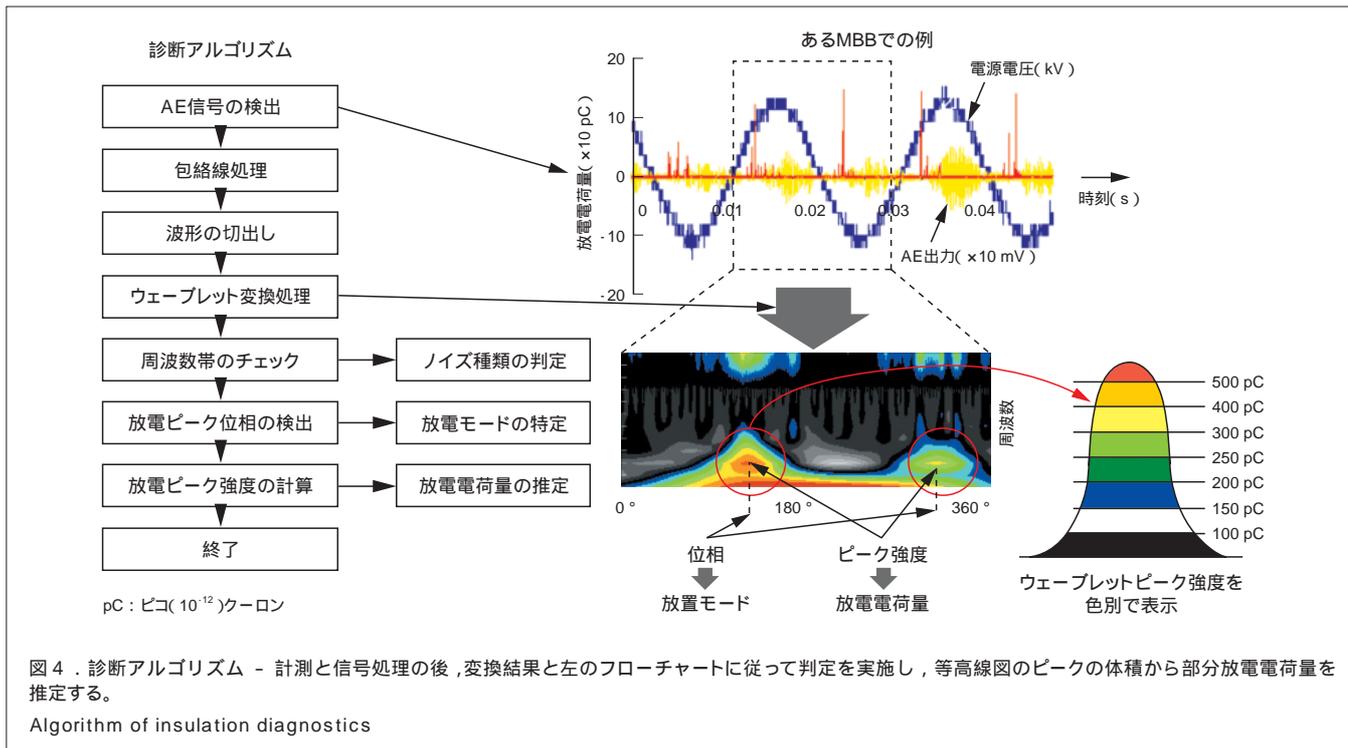


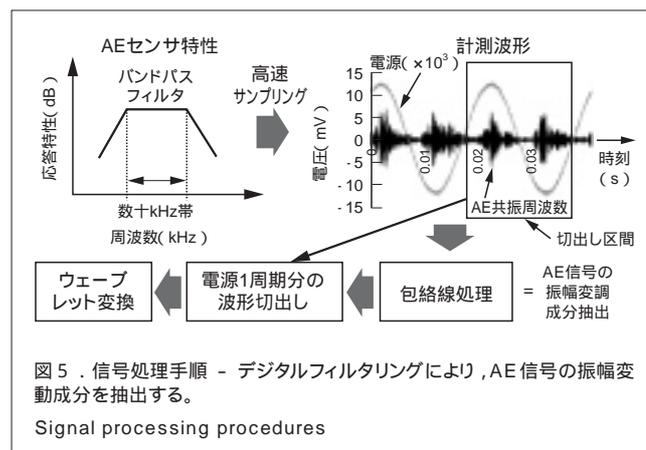
図3．現地診断例 - 接地線なしのケースで、遮断器筐体にAEセンサを取り付けている。
Example of on-site measurement



3 部分放電計測と診断アルゴリズム

可搬形部分放電検出装置を用いた現地診断の流れは、図4に示すフローに従い、以下のように行われる。

- (1) 計測 センサ出力をローノイズケーブルを介して絶縁アンプに取り込み、アンプでフィルタ及び増幅処理を施した信号を、A/D変換カードを搭載した計測用PCに入力する。この際、データの収集は、後段の解析に必要な周波数帯域でエリアシング(折返し雑音)が起きないような十分高いサンプリング周期で実施し、収集データを信号処理系にて処理する。
- (2) 信号処理 前述の診断用ソフトウェアにより、図5に示す手順で実施する。初めに、計測原波形に包絡線処理(デジタルフィルタリングなど)を施し、AE信号の振幅変動成分を検出する。次に、印加電圧と部分放電発生位相の関係を見るために、電源正弦波1周期相当のAE信号データを切り出す。その後、切り出したデータについてウェーブレット変換を行い、変換結果(三次元データ)を時間周波数平面上に等高線表示する。
その後、絶縁異常(劣化)の判定はウェーブレット変換の結果に基づいて行う。
- (3) 判定1: 周波数成分による部分放電とノイズの識別
部分放電は、印加電圧波形の正負のピーク近傍で発生する傾向があり、AE信号も印加電圧の半周期ごとに振幅変動すると予想される。また、ノイズの種類により特徴的な時間周波数成分があるので、放電とノイズが位



相及び周波数的にまったく同期することがなければ、ウェーブレット変換結果から放電とノイズを識別することができる。実際にノイズをウェーブレット変換した例を図6に示す。これはある種のVT(Voltage Transformer)励磁音によるAE信号で、その振幅変動成分が、200 Hz帯のピークとして等高線グラフ上に出現する。一方、部分放電では、AE信号の振幅変動成分のピークが電源の2倍周期で現れる。これは部分放電が印加電圧の90°と270°の正負のピーク近辺で発生するためである。

- (4) 判定2: 放電位相による部分放電モード(形態)の特定
沿面放電、ギャップ放電、ポイド放電など個々の部分放電モードごとに、特有の信号強度や放電位相がある。そこで、ウェーブレット変換結果の等高線表示における放

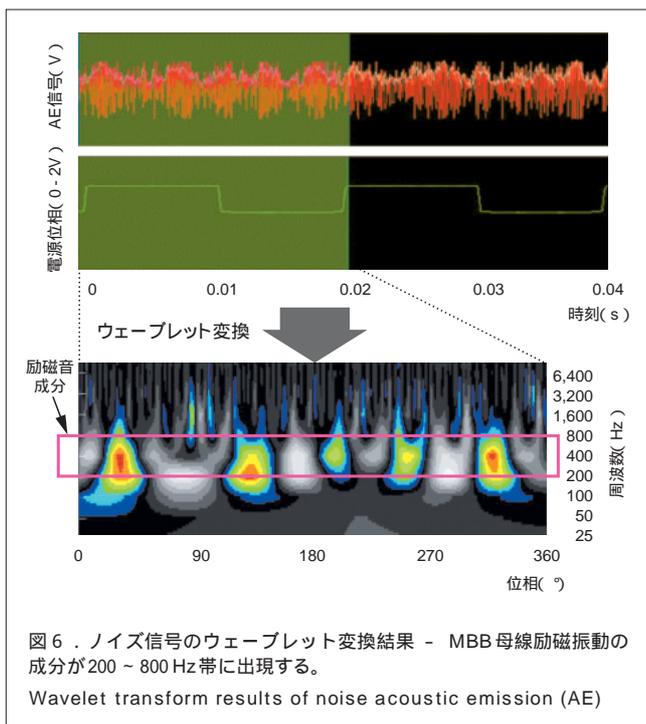


図6．ノイズ信号のウェーブレット変換結果 - MBB母線励磁振動の成分が200～800Hz帯に出現する。

Wavelet transform results of noise acoustic emission (AE)

電ピークの重心位相に着目して、放電モードを判定する。

(5) 判定3：異常レベルの推定 放電ピーク強度(等高線表示における放電ピークの体積)は、発生した部分放電の電荷量(放電エネルギー)と対応する(図4の右下)。したがって、放電ピーク強度と部分放電電荷量の相関データベースをあらかじめ準備しておき、AE信号から部分放電電荷量を定量的に推定する。

4 現地診断サービスへの適用事例

可搬形部分放電検出装置をフィールドに適用した実例の一部を表1に示す。

これまで、概して、部分的な更新やリニューアルが行われずに20年以上継続使用されている現場の小規模の気中絶縁スイッチギヤを対象としており、AEないしCTセンサで一部に部分放電が検出されるケースが多い。また、十数年と比較的使用年数が短い場合やブッシング交換などを途中で実施しているような場合には、部分放電が検出されないケースもある。そのほか、単体では部分放電の検出が難しい場合でも、盤系列全体の接地線で漏れ電流が測定できるケースや、AEが断続的に発生しているケースなど、対象ごとに興味深い結果が得られる。当社では、対象機種、運転時間、業種、温湿度条件などで信号レベルを分類することで、各分類ごとの絶縁劣化の傾向解析を行い、サービスの充実に図る計画である。

表1．現地診断サービスへの適用事例
Example of on-site diagnosis results

適用先	診断結果
A社	30年使用のMBBで、電源半周期合計400～600pCレベルの部分放電を検出
B社	ブッシング交換後の正常動作(放電なし)を確認
C社	屋外雨中測定で高レベルのVCB部分放電を検出
D社	26年使用MBBで、電源半周期合計500～700pCの部分放電を検出
E社	18年使用のVCBで部分放電がないことを確認

5 あとがき

この装置は東芝電機サービス(株)から提供するスイッチギヤの絶縁診断サービスに適用中であり、その適用事例は、現在まで、延べ40社計200台に及ぶ。

サービスの特長としては、①部分放電をAEで検出するため、充電部に触れることなく安全に診断できること、②設備が稼働状態でも診断が可能であること、③ポータブルで計測時間が短いので、一日に多数の受配電盤の診断を行うことができること、が挙げられる。今後は、更に通信機能の充実やデータベースの増強など利便性の向上を図り、お客さまの受配電機器の更新判断基準となる定量データを示すための絶縁異常診断ツールとして、この装置を提供できるようになれば幸いである。

なお、この可搬形部分放電検出装置は、2002年11月に開催された第54回神奈川県発明考案展覧会において、日本弁理士会会長奨励賞を受賞した。

文献

- 佐々木恵一,ほか. AEセンサとウェーブレット変換を用いた絶縁診断技術. 計測と制御. 39, 11, 2000, p.714 - 717.
- 佐々木恵一,ほか. “可搬形部分放電検出装置”. 電気学会一般産業研究会資料 GID-01-23. 電気学会, 2001, p.15 - 20.



佐々木 恵一 SASAKI Keiichi

電力・社会システム社 電力・産業システム技術開発センター 金属・セラミックス材料開発部。電気・電子機器の劣化診断及び材料応用の研究・開発に従事。電気学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



渡部 剛士 WATANABE Takeshi

電力・社会システム社 府中電力・社会システム工場 スイッチギヤ部主査。スイッチギヤの開発設計に従事。電気学会会員。

Fuchu Operations - Industrial and Power Systems & Services Systems



伊藤 兼芳 ITOH Kaneyoshi

東芝電機サービス(株) 府中事業所 スイッチギヤサービス部。スイッチギヤサービス技術に従事。

Toshiba Electric Service Corp.