受配電設備診断用部分放電検出装置

正員 渡部 剛士 (東芝)

正員 笠間 一郎 (東京ガス)

非会員 石井 秀和 (東京ガス)

非会員 高木 義之 (東京ガス)

Partial Discharge Detector for Substation Predictive Maintenance System

Takeshi Watanabe, Member (Toshiba)

Ichiro Kasama, Member (Tokyo Gas)

Hidekazu Ishii, Non-Member (Tokyo Gas)

Yoshiyuki Takagi, Non-Member (Tokyo Gas)

Demands on power supply equipment, especially reliability and serviceability have been increasing year by year as social conditions have become increasingly complex. With these demands, the approach to equipment maintenance has changed from the time-based(scheduled) maintenance of the past to the condition-based(predictive) maintenance of the day. The condition-based maintenance system monitors power supply equipment in substations using sensors, both online and real-time. In this system, insulation capability is monitored by partial discharge detectors using acoustic emission sensors. We developed micro computer based detector and tested these detectors to the basic switchgear models and to real field switchgears which past for more than ten years.

And we report the results of these tests.

(1) Test results of the basic model and switchgear are very similar.

(2) Magnetic base sensor is very useful to locate the abnormal insulation device in switchgear.

キーワード：受配電設備，開閉装置，スイッチギヤ，設備診断，部分放電，A E センサ

1. まえがき

近年のエレクトロニクス技術の急速な発展に伴い，電気エネルギーの利用が各方面で活発に進展し，工場の製造プラントや建物諸設備などは，電気エネルギー無しでは考えられないと言っても過言ではない。受配電設備は，この電気エネルギーを工場や建物内に適切に供給する役目を負っているため，諸設備の中においても重要な位置を占める設備であり，また，十数年以上の長期にわたって使用される設備でもある。

一般の高圧受電や特別高圧受電の需要家を対象とした受配電設備の劣化診断技術は，最近の予測保全の観点からも各方面で積極的に開発され始めている。我々は，特別高圧受電設備や高圧配電設備などのスイッチギヤを対象とし，絶縁劣化を判別するため超音波センサ（A E (Acoustic Emission) センサ）を用いた部分放電検出により，既設

備にも容易に適用可能な常時絶縁診断装置を開発したので，その概要を述べる。

A E センサを用いた部分放電検出技術は，超高圧系統などの大型油入変圧器や電力ケーブルなどで実用化されている。また，一部の開閉装置（スイッチギヤ）へも適用されている。⁽¹⁾ この分野の技術開発は，受電電源の停電を伴う定期的な点検保守作業の大幅な簡素化や適切な大規模修繕時期及びリプレース時期の事前判断材料などにかかせない技術と考えられるので，今後ますますの発展が期待される技術である。

2. 予測保全の必要性

工場や建物などの受配電設備は，諸設備の中においても重要な位置を占める設備であり，また長期にわたって使用される設備でもある。電気設備のエレクトロニクス化及び急速な高機能化に伴い，電源の信頼性向上・高品質化，省

表1 予測保全の背景 (2)
Table 1 Background to predictive maintenance

予測保全が要請される背景	必要な対応
●社会的背景	●事故の及ぼす社会的影響大 ●高度の供給信頼度の要求
●設備の技術的背景	●小形化、高密度集積化 ●密閉装置 *1 *2 (例えばGIS, GCB)
●経営上の背景	●設備量増大に応じた効率 経営を目指し保守点検及び 運転監視の省力化、効率化
	●事故・障害の未然防止 ●機器状態の定量的把握による 監視水準の向上
	●外部診断による異常兆候検出 ●機器を分解しないで点検要否、 点検時期を予測し異常と認め られる機器のみを点検
	●高信頼度・メンテナンス フリー指向機器の採用

*1 GIS: ガス絶縁開閉装置
*2 GCB: ガス遮断器

力化、小形化などの要求が従来にも増して高くなっている。一方、受配電設備は比較的長期(十数年)にわたって使用され、使用電力の大幅な増加がある場合や設備寿命の兆候が現れるときまで、増設・更新が行なわれないことが数多く見受けられる。しかしながら、受配電設備に一旦問題が発生すると、工場では製造設備の一部または全部が停止し、製造設備の完全な復旧までには長時間を要する重大な影響が発生する。また、建物などでは照明・動力電源の停電によるパニックなどの重大な二次的問題の発生が考えられる。このような重大な問題が発生しないよう受配電設備には、定期的な点検保守の実施が電気事業法などで義務づけられている。しかし、従来、このような通常1年に1回程度実施される定期点検修理は、あらかじめ定められた広範囲にわたる各種点検内容を実施するため、作業時に受電電源の長時間の停電が必要であり、この時間を確保するために多大な労力が必要とされていた。

受配電設備の性能を常時健全に維持し、設備の保守点検などの業務を大幅に効率化するためには、各種構成部品レベルまで常時設備の状態を把握し、必要な部品交換などのみに保守業務を簡素化することが必要である。この観点から最近特に常時診断などの予測保全技術の開発・実用化が強く望まれており、また電気設備のインテリジェント化の面からも必要であり、その開発が急がれている。

表1に予測保全の背景を示す。(2)

我々は、一般の工場や建物などで一番多い高圧受電又は特別高圧受電の主要受配電設備を対象とし、これらの定期点検保守作業の大幅な簡素化と適切なリプレース時期の判定などを主目的とし、スイッチギヤの絶縁劣化を判別するため、既設設備にも容易に適用可能な常時絶縁診断装置の実用化研究を数年前から開始した。絶縁診断用のセンサとしては、大型油入変圧器内部の部分放電検出用に実績が出始めているAEセンサを基礎とし、これをスイッチギヤ用に改良した。(3)

このスイッチギヤ用に開発したAEセンサを設備の使用年数が十数年を経過した実使用中のスイッチギヤ(気中絶縁スイッチギヤ)の各部に取付け、数年にわたりフィールド試験を実施し、実フィールドでの環境ノイズ対策、その検出方法の有効性、センサの最適取付位置の確認、センサ取付数の最少化及び部分放電箇所の標定手法などの貴重な知見が得られたので、以下にその概要を述べる。

3. システム構成

予測保全システムの構成例を図1に、また概念図を図2に示す。

図に示す予測保全システムは、キュービクル形ガス絶縁開閉装置(以下C-GISと称す)・ガス絶縁変圧器(ガSTR)・気中絶縁スイッチギヤ(SWGR)などの受配電設備の予測保全を対象とし、これらの診断対象機器へ取付けるセンサ及び増幅器(アンプ)、診断対象機器近くに設置する現場監視装置(ローカルモニタ)、変電所内に設置する中央監視装置(システムモニタ(子局))、遠隔地の中央監視室などに設置するシステムモニタ(親局)から構成されている。

(1) センサ 表2にセンサの仕様を示す。診断対象とする受配電設備の事故に至る要因を分析し、主要機能である絶縁機能・通電機能・開閉機能などの状態(物理量)をセンサにより検出し、所定の信号(電気量)に変換する。

(2) アンプ 各種センサの微小信号は、アンプにより雑音(ノイズ)除去後に増幅され、所定の直流信号(DC

図1 予測保全システム構成図
Fig.1 Predictive maintenance system configuration example

* 1 FD: フロッピーディスク

図2 予測保全システム概念図
Fig.2 Flow chart of Predictive maintenance

4~20mA)に変換されてローカルモニタへ入力される。診断システムでは、信号とノイズの弁別方法が重要な課題であり、特定の周波数成分に注目したり、一過性のノイズはソフトウェア処理により除去する必要がある。

(3) ローカルモニタ 表3にローカルモニタの仕様を示す。ローカルモニタは、各種センサからの入力信号を監視し、あらかじめ設定された異常値との比較(上下限異常判定)を行い、異常時には警報接点出力を行うなどの一次診断機能を持っている。アナログ入力及び伝送機能を持つ制御装置(プログラマブルコントローラ)でシステムを構成することもできるが、ローカルモニタは、現場での状態表示機能や傾向(トレンド)表示機能を持つ現場監視専用機器である。

(4) システムモニタ(子局) 表4にシステムモニタの仕様を示す。システムモニタは、予測保全システムの全系を監視することができる。また、監視機能のほかに設備診断機能として、異常検出時にエキスパートシステムを起動して、専門家による設備診断と同等の診断結果(原因)及び対策などを表示することができる。

(5) システムモニタ(親局) 遠隔地に分散した変電所に設置したシステムモニタ(子局)を、モデムと公衆回線を使用して、中央(一箇所)に設置したシステムモニタ(親局)と通信回線で接続することにより、設備の異常を遠隔監視することができる。子局側は無人の変電所を想定しており、異常時には、システムモニタの子局から親局へ、

表2 監視項目とセンサ
Table 2 Diagnostic items and sensors

機 器	監視項目	現 象	セ ン サ	検出用素子又は物理量
C-GIS	絶縁機能	部分放電の発生	部分放電センサ(AE)	圧電素子
		ガス圧力異常	圧力センサ	半導体歪ゲージ
	通電機能	局部過熱の発生	温度センサ	白金測温抵抗体
		動作時間の増加	T/Iコンバータ*	白金測温抵抗体
ガス絶縁変圧器	絶縁機能	部分放電の発生	部分放電センサ(7n計)	電磁波
		ガス圧力異常	圧力センサ	半導体歪ゲージ
	通電機能	局部過熱の発生	温度センサ	白金測温抵抗体
		動作時間の増加	T/Iコンバータ*	白金測温抵抗体
6.6/3.3kV スイッチギヤ	絶縁機能	部分放電の発生	部分放電センサ(AE)	圧電素子
		結 露	湿度センサ	白金測温抵抗体
	通電機能	局部過熱の発生	温度センサ	白金測温抵抗体
		動作時間の増加	T/Iコンバータ*	白金測温抵抗体

* T/Iコンバータ 動作時間/電流変換器

自動的に異常内容を発報する。また、親局から任意の時刻に要求した子局の情報を、収集することができる。

4. 絶縁機能の監視

予測保全システムでは主に絶縁・通電・開閉機能について監視していることは前述したが、ここでは特に絶縁機能の監視について述べる。受配電設備には高圧充電部があり、これを支持したり、機器を小形化する目的で絶縁物が使用されている。この絶縁物の劣化要因は、温度・電氣的・環境的・機械的(T. E. A. M)と言われている。これらの要因により絶縁物が劣化すると部分放電が発生し、劣化の進展とともに部分放電電荷量は徐々に増大する。その後、一定時間の安定期を経過後に再び増大し、絶縁破壊に至ることが知られている。⁽⁴⁾

従って、劣化の軽微な段階で部分放電を検出できれば、絶縁破壊を防止できる。また部分放電の発生に伴い、部分放電パルス電流・電磁波・部分放電光・部分放電音(音響パルス)・分解ガス(オゾンなど)が発生するので、これらの現象を検出し、間接的に部分放電の発生を検出することができる。表5に受配電設備に適用可能と思われる部分放電センサを示す。

表3 ローカルモニタ仕様
Table 3 Local monitor specifications

機 能	内 容	備 考
アナログ計測	4~20mAADC×12点の表示(瞬時値)	
傾向表示 (デジタル表示)	1日トレンド(2時間毎のデータ×12) 36日トレンド(1日毎のデータ×36)	
警報設定	上限値, 下限値またはいずれか一方	
警報出力	警報出力接点×12 自己異常出力接点×1	
最大値, 最小値 の記憶保持	最大値×12 最小値×12	日時データ付
データ保持期間	停電から1週間	
データの保存	メモリーカードへのデータ書き込み	

表4 システムモニタ仕様
Table 4 Specification of system monitor

機能	内容	備考
メニュー画面	各画面への移動と終了処理	
監視画面	システム全体の異常監視	
状態表示画面	センサの状態量(瞬時値)の表示 (ローカルモニタ単位)	
診断画面	オンラインデータに基づく設備診断	エキスパートシステムを起動
傾向表示画面	各種センサ単位のトレンドグラフの表示	
日報・月報画面	日報・月報の表示 (ローカルモニタ単位)	
運転履歴画面	運転履歴の記入および表示	
データ保存画面	各種データをFD*へ保存	
FD内容表示画面	FDへ保存した各種データを表示	

*FD:フロッピーディスク

今回紹介する装置は、このうちの部分放電音を検出する方式である。

〈4.1〉検出原理

A E法の検出原理を簡単に説明すると、圧電素子の持つ圧電効果を利用している。センサ内部の圧電素子に、部分放電に伴う音響パルスによる力(振動)が加わることで、圧電素子表面に電荷が誘起され微小な電圧が発生する。この電圧を、アンプにより所定の電流に変換して監視している。図3に、センサの説明図を示す。

センサヘッド内部の圧電素子は、外部から電氣的雑音が侵入しないように金属のケースでシールドされている。また、接地線(アース)からの電氣的雑音の侵入を防止する目的で、振動を受ける受波面は絶縁板(アルミナ)により、電氣的に絶縁されている。また、圧電素子の出力信号を10から20m離れたメインアンプに接続するために、プリアンプを内蔵して微小信号を増幅している。

〈4.2〉アンプのシステム構成

アンプのシステム構成図を、図4に示す。部分放電検出装置は、A Eセンサとメインアンプから構成されている。従来の装置は、A Eセンサ1個に対してアンプ1個で対応していたが、今回はA Eセンサ10個に対してアンプ1個で対応している。また、従来の装置はメインアンプ回路をすべてアナログ素子で構成していたが、今回はCPUを搭載することにより、機能を向上することができた。(5)

表5 部分放電センサ

Table 5 Partial discharge sensors

監視項目	検出事象	検出方法	適用センサ
部分放電	音 (超音波)	部分放電音 機器隔壁表面に 取付	A Eセンサ
	電磁波	放射電磁波 機器近傍 (機器内部)	電磁波センサ (アンテナ)
	電流	接地線電流 機器接地線に 取付	接地線電流センサ

図3 A E センサ

Fig.3 Acoustic Emission sensor

本装置の特徴を下記に、また一般仕様を表6に示す。

(1) 平均値処理機能

一過性の外来ノイズを除去する目的で、移動平均処理を実行している。また、種々のフィールドへ対応できるように、平均値処理の時間間隔を可変としている。

(2) 自己診断機能

センサの断線やアナログ・デジタル変換器(A/Dコンバータ)の異常や中央処理装置(CPU)の異常を常時監視している。

(3) データ表示機能

試験及び現地調整用に、内部データや外部出力電流値の表示ができる。

DA : D/Aコンバータ FLT:フィルタ
VI : 定電流回路 LOG:対数アンプ
CH : チャンネル ADC: A/Dコンバータ

図4 アンプのシステム構成図

Fig.4 Block diagram of amplifier

表 6. 一般仕様

Table 6 General Specification

ア ン プ 部	コネクタ	BNC
	使用温度	-5~40℃
	湿度	10~85% RH
	外形	450W×400H×150D
	重量	14kg
	電源	DC100/110V
	出力	DC4~20mA×10
	負担	500Ω以下

5. 基礎試験

部分放電（電荷量）とAEセンサ出力間の相関性を確認するために基礎検証用のモデルを作成し、基礎試験を実施した。図5に基礎検証モデルを示す。基礎試験の内容は、空气中及びSF₆ガス中（ガス圧力0.03MPa）で、ギャップ放電（図8記号□）及び沿面放電（図8記号○）を発生させ、このときの放電電荷量とAEセンサの出力を計測器（CD-5）及びオシロスコープで測定した。AEセンサの測定回路を、図6に示す。図中のディスクリミネータとは信号とノイズを弁別する装置であり、基礎試験では、オシロスコープとの接続用に使用した。

測定結果の一例を、図7に示す。測定結果から明かなように、部分放電パルス電流が発生すると、それに伴い音響パルスが発生し、気体中及び固体中を伝搬し、ある一定の時間遅れをもってAEセンサの出力信号となる。

モデルにおける部分放電特性を、図8に示す。放電が安定していないため、AEセンサの出力に、かなりのバラツキがあるが、空气中・SF₆ガス中とも、ほぼ同様の相関性があることを確認した。また、1000pC程度の部分放電を検出できることを確認した。

6. 実機試験

フィールドでの試験を実施する前に、代表的なスイッチギヤ（C-GIS及び気中絶縁スイッチギヤ）の実機を用いて模擬電極により部分放電を発生させ、部分放電検出装置の特性を確認した。

〈6.1〉 C-GIS

66/77kV及び22/33kV C-GISのガス室隔壁（外部側）に、AEセンサを取付し、ガス室内部で部分放電を発生させて検出特性を測定した。C-GISにおける部分放電特性を、図9に示す。

〈6.2〉 気中絶縁スイッチギヤ

7.2/3.6kV 気中絶縁スイッチギヤの内部仕切板（外部側）にAEセンサを取付し、スイッチギヤ内部で部分放電を発生させて検出特性を測定した。気中絶縁スイッチギヤにおける部分放電特性を、図10に示す。

図5 基礎検証モデル
Fig.5 Basic test model

図6 測定回路
Fig.6 Test circuit

出力波形 上: AE センサ出力 1mV/div, 1ms/div
波形 下: 部分放電パルス波形 100 pC/div

図7 部分放電パルスとAE波形

Fig.7 Wave form of AE sensor output and partial discharge pulse

図8 モデルにおける部分放電特性 (Vp-Q)

Fig.8 Partial discharge characteristics for Air and SF₆ (Vp-Q) in the basic test model

図9 C-GISにおける部分放電特性 (Vp-Q)

Fig.9 Partial discharge characteristics of C-GIS

7. 気中絶縁スイッチギヤによる実フィールド試験

AEセンサの検出感度を調整してから、実使用中のスイッチギヤに取付けフィールド試験を実施した。

(1) AEセンサの検出感度調整

7. 2/3. 6kVクラスの一般的なスイッチギヤ (気中絶縁スイッチギヤ) 内の部分放電をAEセンサで検出することを目的とし、まずAEセンサによる部分放電検出感度の調整を実施した。

フィールド試験で使用する実機を模擬した試験用の気中絶縁スイッチギヤを使用し、AEセンサを内部仕切板 (外部側) に取付け、近傍のスイッチギヤ内部で部分放電 (ギャップ及び沿面放電) を発生させて測定した。実機では、沿面による部分放電がほとんどと考えられるので、アンプ及び帯域フィルタ (バンドパスフィルタ) の特性を調整して、センサ近傍での沿面部分放電の電荷量が10~10,000 pCでAEセンサのアンプ出力がDC 4~20 mAに対応するようにセンサの検出特性を調整した。(図11参照)

(2) フィールド試験の内容

既設スイッチギヤに適用することも考慮し、フィールド試験の確認項目として、

- 望ましいセンサ取付位置の選定
- 列盤構成の実設備に対するセンサ取付個数の最少化
- 盤内部の部分放電箇所の標定方式の可能性検討

を主目的に、使用後、十数年経過した実使用中の気中絶縁スイッチギヤ (盤内の遮断器: 磁気遮断器, 配電電圧: 6.9 kV, 列盤構成: 10面程度) を対象に各種フィールド試験を実施した。

フィールド試験では、第1ステップとして、盤内部の構成及び仕切板配置の異なる3面に合計10個のAEセンサを取付け (取付け用金属ベースを盤の各部にあらかじめ強固に溶接), 上記a及びcの知見を得ることを目的に実施した。この際選択した盤は、実設備でよく使用される代表的な盤内構成を持つ3種類であり、受電・母線連絡盤、負荷・配電線 (フィード) 盤、主に計器用変成器を収納した

図10 気中絶縁スイッチギヤにおける部分放電特性 (Vp-Q)

Fig.10 Partial discharge characteristics of switchgear

補助盤である。第1ステップでは、各タイプの既設盤に対して取付工事が容易な盤上部の天井板中央部にAEセンサを取付けることで、内部収納機器の部分放電の有無が判別できることを確認した。

第2ステップとして、上記bの知見を得ることを目的に、1又は2面に1個の割合で盤上部の天井板中央部にAEセンサを取付け、フィールド試験を実施した。第2ステップでは、2面に1個の割合で盤天井部にAEセンサを取付けることで、当該盤及び両隣接盤のセンサ近傍における部分

図11 気中絶縁スイッチギヤ用部分放電検出装置の概要

Fig.11 Tuning of Partial Discharge Detector of Air-insulated switchgear

表7 AEセンサ検出結果の概要
Table 7. Summary-Result of AE Sensor field test

試験対象盤	センサ個数	検出結果	各盤の種類
B-04母連盤	4	各センサの検出出力は小さく、顕著な差異無し	受電・母連盤
B-sub2群補助盤	2	各センサの検出出力は小さく、顕著な差異無し	補助盤
B-4C盤 (負荷名称: B-4号ターボ)	4	B-4号ターボ及び隣接するB-1号レシプロ運転時に検出力大 (特に盤上部のセンサが運転との相関が大きい)	負荷・ターボ盤

放電の有無が判別できることを確認した。

(3) フィールド試験結果

盤内構成の異なる3種類(3面)の各部(天井部、前面部、背面部など)に合計10個のAEセンサを取付けて測定したフィールド試験結果を、表7に示す。

負荷・フィールド盤であるB-4C盤(盤名称)の天井部センサの出力と当該盤の負荷であるB4号ターボコンプレッサ(B4号ターボ)の運転状況及び盤配置で隣接するB1号レシプロコンプレッサ(B1号レシプロ)の運転状況を図12に示す。さらに、B-4C盤各部に取付けたセンサの出力結果を、図13に示す。

図12から負荷の運転時にセンサの出力が急増しており、遮断器(CB)の2次側の計器用変成器(CT, PTなど)から部分放電が発生していると推定した。また、図13の各センサの検出レベルを相対比較することによって、部分放電箇所はセンサ3の近傍(約300mm)にあるPTと推定し、用品交換後工場にて精密試験を実施する予定である。

8. 絶縁劣化箇所の標定

〈8・1〉磁石取付板を使用したセンサ (マグネットベースセンサ)

(1) マグネットベースセンサの検出感度

図12及び図13のデータからAEセンサで、列盤構成の気中絶縁スイッチギヤの部分放電発生盤と発生箇所をある程度標定することが可能との知見を得た。しかし、絶縁劣化による部分放電発生箇所を標定するためには、微弱な超音波を検出するAEセンサの取付け用金属ベースを盤の各部にあらかじめ強固に溶接しておく必要があった。新設設備の場合には比較的容易に対応できるが、既設設備の場合には仕切板などに部品や制御配線が固定されている場合が多いので、溶接作業は困難である。

既設設備への対応策として、後述する構造のマグネットベースを試作し、B-4C盤の天井部センサ(溶接ベース)と近接した位置(約50mm)に仮設して、各々の出力を測定した。両センサの出力例を図14に示す。マグネットベースセンサの出力は溶接ベースセンサよりわずかに低いが、実用上十分な検出性能を保有していることを確認できた。

(2) マグネットベースセンサの構造

マグネットベースの試作設計に際しては、AEセンサの取付け用金属ベースを希土類などの強力な永久磁石に変える案も検討したが、取付面に微小な鉄粉などが付着し、盤の仕切板(鉄板)に強固に固定できないと思われたので、微弱な超音波の著しい減衰の可能性などが考えられた。

また、磁気的な悪影響を防止するために、安価なマグネットチャッキ(学生実験などで使用するレバーをひねることで定盤に固定するもの)を2個使用して、図15に示すような構造とした。また、センサベース押付けバネを使用することにより、十分な押付け力を得ている。

図12 B-4C盤上部設置のセンサ出力

Fig.12 Output-data of upper part Sensor at B-4C Switchgear

図13 B-4C盤の各センサ検出レベル相関例

Fig.13 Correlation Output-data of B-4C Switchgear's Sensors

図14 溶接ベースとマグネットベースの検出データ比較

Fig.14 Comparison Detected data;Welding base and Magnet base

〈8・2〉絶縁劣化箇所の標定技術

(1) 盤内の絶縁劣化箇所の標定手法

図13に示すように、B-4C盤の各部に設置した各センサN0.1, 2, 3の検出値から、音源はN0.3センサの近傍であると予想された。ここで超音波の伝搬経路を推定すると、空中伝搬によるものと、仕切板などを媒体とする

固体伝搬にわけられる。また、超音波の周波数によっても減衰率が異なり厳密に解析することは困難である。

ただ音源は、センサN0.1とN0.2からは等価的な減衰距離にあり、またセンサN0.3の近傍であることは、推測できる。センサN0.1, 2, 3はマグネットベースで取り付けられているので、取付位置を変更して再度、センサの出力を比較した。この手法を適用することにより、盤内の絶縁劣化箇所の標定がある程度可能である。

さらに、盤内の仕切板などの配置構造は、盤の種類によりある程度定まるから、あらかじめパソコンなどに各盤の種類ごとの減衰率データを入力しておけば、マグネットベースセンサなどで容易に盤内絶縁劣化箇所の標定ができる可能性がある。

(2) 気中絶縁スイッチギヤの常時診断技術の展望

気中絶縁スイッチギヤは、盤内構造が複雑であり、大型変圧器などで実用化段階にあるAEセンサを使用した常時診断技術の応用は、当初かなり困難と考えていた。しかし、今回報告したフィールド試験の知見から、盤の天井部にAEセンサを設置することで、常時の絶縁劣化診断が可能であることがわかる。

さらに、常設したAEセンサで異常な部分放電音を検出した場合、当該盤及び隣接盤(2~3面)の各部にマグネットベースセンサを仮設し、盤内部の部分放電箇所のある程度標定できるので、事前の交換部品などの調達がきわめて容易にでき、一般の特別高圧受電や高圧受電の需要家の受配電設備及び大型発電所の所内補機盤のインテリジェント化に大きく貢献すると考えられる。

9. 今後の課題

AEセンサを応用した部分放電検出装置の一例を紹介したが、現状の装置では絶縁機能の異常のみを確実に検出するためには、さらに次のような課題を解決してゆく必要がある。

(1) 検出確実度の向上

電気的雑音の除去には、保護継電器に使用している技術を応用している。⁽⁶⁾ また、音響的ノイズに関しては、特定の周波数成分(40kHz)に注目して、バンドパスフィルタなどのフィルタ技術により、それ以外の周波数成分(ノイズ)を除去している。さらに、一過性のノイズに関しては、平均値処理などのソフトウェア処理によりノイズの影響を低減している。このように、部分放電音のみを検出するように種々の対策を施しているが、AEセンサの周辺に定常的で部分放電音と同一周波数帯域の音響的ノイズが存在する場合には、これを検出してしまいう可能性がある。

このようなフィールドについては、表5に紹介したような異なった検出原理のセンサを併用して、部分放電の検出確実度を向上する必要がある。

(2) 故障位置の標定

気中絶縁スイッチギヤの場合、AEセンサの取付個数は

図15 マグネットベースのセンサの詳細

Fig.15 Detail of Magnet base Sensor

代表的なスイッチギヤ1面につき1個を標準にしている。これは、センサのコストと列盤による部分放電音の減衰を考慮しているためである。同一盤内における故障位置標定のためには、複数個のセンサが必要のため、仮設のマグネットベースセンサによるデータを収集し、その有効性を確認した。しかし、スイッチギヤは各種毎に収納器具や内部仕切板の位置や取付方法が異なるため基礎的なデータを収集し十分に検証する必要がある。

(3) 等価試験方法の確立

実機による部分放電の検出特性試験は特定の試験設備が使用できる場所などに限られるため、試験自体が大がかりなものになる。これを簡素化するためには種々の放電形態による部分放電電荷量と部分放電音との相関関係を明かにし、模擬的に部分放電音を発生する装置を作成し、等価的な試験方法を確立する必要がある。

(4) 寿命の予測

現状の技術水準で絶縁物の劣化による異常検出が可能なことをのべた。しかし、微視的な劣化の機構(メカニズム)や劣化の進展速度及び残存寿命に関しては研究中の段階にある。今後とも基礎的な研究を継続し、これらの課題を解明することにより寿命の予測が可能になるものと思われる。

10. あとがき

電気設備に対する要求は、社会情勢や生活環境の変化により年々高度なものに変わってきている。ビル・施設・産業向けの受配電設備についても例外ではなく、事故の未然

防止と保守業務の省力化を主目的として予測保全システムが導入されつつある。著者らは、このうちの絶縁機能を監視するAEセンサを用いた部分放電検出装置の基礎試験結果や実フィールド（十数年を経過した既設スイッチギヤ）試験結果を中心に報告した。

異常の検出に関しては、専用の検出装置のみで検出することは可能であるが、異常原因の同定（推定）や対策の表示などの、より高度な設備診断に関しては、人工知能を応用した上位系のコンピュータが必要である。このシステムについては、また別の機会に報告したい。

（平成7年1月25日受付、同年7月13日再受付）

文 献

- (1) 渡部剛士・白石正純・吉田哲雄・金田周三・後藤勝美：「受配電設備異常診断システム」，平5電気学会全国大会 No1442
- (2) 「遮断器の信頼性及び診断技術」，電気学会技術報告（Ⅱ）部 290号
- (3) 陣内功・白石正純：「スイッチギヤ」，建築保全，No79，1992-9，P27-P32
- (4) 北村洋一・平林庄司：「エポキシ樹脂における内部部分放電の経時変化」，電学論A，昭58-9，58-A62
- (5) 渡部剛士・金田周三・吉田哲雄：「受配電設備用部分放電検出装置」，平7電気学会全国大会 No. 888
- (6) 「第二世代デジタルリレー」，電気協同研究 第50巻 第1号

渡部 剛士

（正員）1954年12月22日生まれ。80年3月北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年4月（株）東芝に入社。現在、東芝府中工場に勤務。主としてスイッチギヤの診断装置の研究開発に従事。

笠間 一郎

（正員）1955年2月15日生まれ。77年3月東京工業大学電子物理工学科卒業。79年3月同大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年東京ガス（株）入社。主として都市ガス製造工場の電気関係の設計・新技術開発に従事。元工場電気設備近代化技術調査専門委員会委員長。現在、同社生産技術部生産技術センター課長。

高木 義之

（非会員）1959年7月3日生まれ。82年3月早稲田大学理工学部電気工学科卒業。84年3月同大学院理工学研究科修士課程修了。同年東京ガス（株）入社。主として、都市ガス製造工場の電気関係の設計・管理に従事。現在同社生産技術部扇島プロジェクトグループ副課長。

石井 秀和

（非会員）1952年8月28日生まれ。71年3月神奈川県立横須賀工業高校電気科卒業。同年東京ガス（株）入社。主として、都市ガス製造工場の電気関係の設計・保全業務に従事。現在、同社袖ヶ浦工場施設部電気グループ副課長。