

22kV 機器直結端末における部分放電検出による劣化診断法の開発

加藤 栄士¹⁾・猪崎 一哉¹⁾・秋本 雄樹²⁾・竹之内 修³⁾・本田 親久⁴⁾・大坪 昌久⁴⁾
馬場 誠一郎⁵⁾・波田 浩行⁵⁾

Development of Deterioration Diagnosis technique by detection of Partial Discharge in a Cable Joint of 22kV Distribution System

Eiji KATO, Kazuya IZAKI, Yuuki AKIMOTO, Osamu TAKENOUCI, Chikahisa HONDA,
Masahisa OTSUBO, Seiichirou BABA, Hiroyuki HADA

Abstract

Recently, power failure were caused by dielectric breakdown occurred at the cable joint of 22kV network in a substation, because insulation deterioration diagnosis technique in electric power systems is not enough established yet.

The EPR used in this experiment is the same material for insulation of actual cable splicing of the 22kV network. Partial discharge in EPR sheet was detected by two kind of sensors; AE (Acoustic Emission) sensor and VHF (Very High Frequency) antenna. The basic propagation characteristics of acoustic wave in the EPR and partial discharges in a simulated void of the EPR were measured. Next, partial discharge in cable joint was measured by AE sensor, and then discharge point could be found from the signals of three AE sensors. Last, a simple and compact AE measurement system was developed for detecting partial discharge in the actual cable of 22kV network.

Key Words :

Partial Discharge, AE sensor, Antenna, Deterioration Diagnosis Technique

1. はじめに

近年の生活環境および社会機能の高度化、複雑化から、電力の信頼性に対する要請が一層強まっている。このような状況のなかで、変圧器、発電機、ケーブル、ガス開閉装置(GIS)等の電力機器は、現代社会を支える重要なインフラとなっている。

また、発・変電所及び受変電設備の老朽化が進み、障害・事故の未然防止、機器の効率的運用の面から電力設備の絶縁劣化・異常診断のより一層の高度化が望まれている¹⁾。そのために機器の運転状態監視、保守、管理、劣化診断など技術業務の重要性が増している。しかし、未だに絶縁破壊が原因と思われる事故が発生するなど機器の延命運転技術や寿命判定技術は確立されていないのが現状であり、一刻も早い技術確立が望まれている。さらに環境問題への関心の高まり、経済性の追及など社会的動向の中で機器の効率的保守に対する技術確立が必要とされている。運転状態にある機器の監視、保守、診断、寿命判定などの技術は様々な

1) 宮崎大学 電気電子工学専攻大学院生

2) 宮崎大学 電気電子工学科学部生

3) 航空大学校 助教授

4) 宮崎大学 電気電子工学科教授

5) 九州電力株式会社宮崎支店

種類があるが、この技術を総合的に行うことのできる技術の一つに電力機器内部の絶縁性能に関連する部分放電検出法がある。部分放電 (PD: Partial Discharge) は絶縁性能低下の前駆現象として知られており、PD が発生するとトリの進展などにより最終的に絶縁破壊に至る可能性がある⁽²⁾⁽³⁾。そこで我々は電力機器の劣化の主要因であり、絶縁破壊の前駆現象でもある PD の検出を目的として研究を行っている。PD は空气中及び、絶縁体内部で絶縁破壊の前駆現象として発生するが、発生に伴って振動、音、光、熱、ガスの分解、電磁波の発生などを引き起こす。つまり部分放電検出法はこれらの現象を測定することで劣化の有無を判断する方法である。部分放電検出法にも電氣的測定法や音響測定法、電磁波測定法、光学的測定法などがあり、様々な用途で実際に使用されている。それぞれの方法にメリット、デメリットがあるが、今回は電力機器が稼動中でもオンライン診断が可能であり、ノイズの影響が少ない音響 (AE: Acoustic Emission) 法と非接触で測定が可能な電磁波測定法を用いて実験を行った。

本論文では VHF (Very High Frequency) アンテナと AE (Acoustic Emission) センサを用いて、EPR シート及び実機端末に欠陥 (模擬ボイド) を作成し、欠陥により発生する部分放電の検出実験を行った。また、簡易な劣化診断システムを開発した。

2. EP ゴムの伝搬特性

我々は 22kV 配電機器の劣化診断を行うために部分放電検出に用いられる AE センサに注目した。実際の現場では様々な高周波ノイズがあるため部分放電の検出は困難であるが AE センサはこの高周波ノイズに影響されにくい⁽⁴⁾。また、伝搬速度を測定することで AE 信号の識別や部分放電による劣化箇所の位置評定も可能である。そこで絶縁材料である EP ゴム内部の超音波の伝搬速度を測定する必要がある。今回の実験ではセンサの配置を 3 種類に分けて実験を行い、それぞれにおける伝搬速度を比較検討した。今回使用した AE センサは全て Type900 (NF Electric Instruments AE-900S-WB, 周波数帯域 10kHz~1MHz) を用いた。

2.1 実験装置及び方法

図 1 にセンサ配置 1 における実験システムの概要を示す。この実験では図 1 のように板状の EP ゴム (EPR) の表面に、AE センサにパルス電圧を加える超音波発振子と信号検出用の AE センサを設置した。超音波発振子駆動用パルス発生器の波形と EP ゴムを介して超音波を測定し、その AE 信号をプリアンプ (NF Electric Instruments, 2kHz~1.2MHz, 40dB) で増幅した波形をオシロスコープに取り込み、2 つの波形の遅れ時間により伝搬速度を測定した。

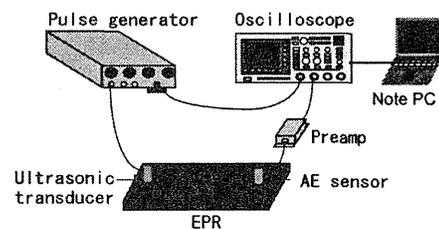


図 1 実験装置及びセンサ配置 1

次に、図 2 に示すように超音波発振子と AE センサを EP ゴムの表面と裏面に設置し、AE センサを動かし、配置 1 と同様に実験を行った。この場合の伝搬距離はゴムの厚さと AE センサの移動を考慮して超音波発振子と AE センサの直線距離から求めた距離である。

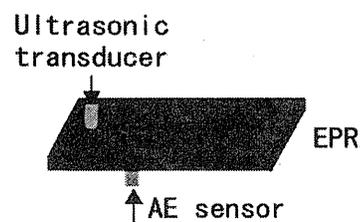


図 2 センサ配置 2

最後に、図 3 に示すように EP ゴムの 1 つの面とそれと平行な面を使い配置 1 と同様の実験を行った。

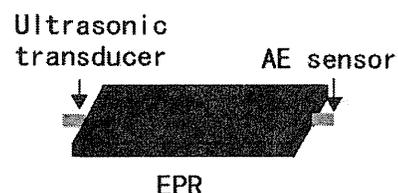


図 3 センサ配置 3

2.2 実験結果及び考察

2.1 で述べた各センサ配置において求めた信号から、横軸に遅れ時間、縦軸に伝播距離を取りプロットした結果を図4に示す。

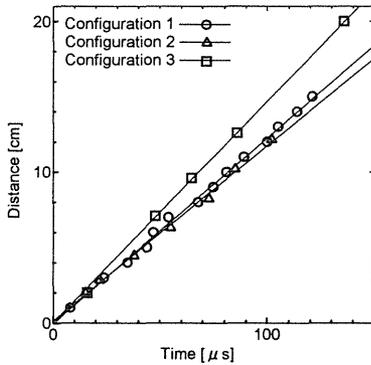


図4 各配置における伝搬速度分布

この結果からそれぞれにおける伝搬速度を計算すると配置1では約1148m/s、配置2では1210m/s、配置3では1428m/sとなった。このように同じ材料で伝搬速度が異なるのは、伝播経路やEPゴムの密度あるいは構造の違いなどが考えられる。

3. 模擬ボイドによる部分放電の検出

AEセンサによる劣化位置評定及び実機端末における部分放電検出のための基礎実験としてEPRシートに模擬ボイドを作成し、発生した部分放電を2種のAEセンサにより検出した。

3.1 AEセンサによる部分放電検出

(1) 実験方法及び回路

図5に実験回路を示す。模擬ボイド試験サンプルは大きさ100×200mm、厚さ5mmのEPゴムに模擬ボイドを作成し、そのEPゴムを大きさ100×200mm厚さ10mmのEPゴムで挟み込んでいる。また、図6に用いた電極と模擬ボイド試験サンプル及び設置したAEセンサの拡大図を示す。このように接地側の電極の中心から5cm、10cmのところそれぞれAEセンサを設置し、測定を行った。この実験の模擬ボイドは、1mmφ×5mmである。また、印加電圧は12.7kVである。

このとき得られたAE信号をwavelet解析し、超音波信号の周波数による違いを調べた。

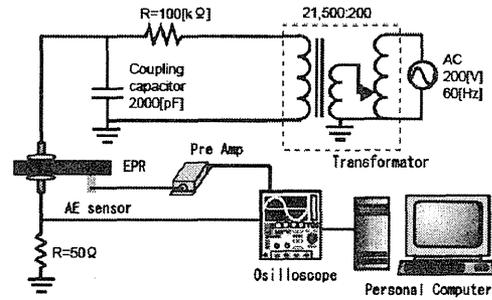


図5 AE検出回路

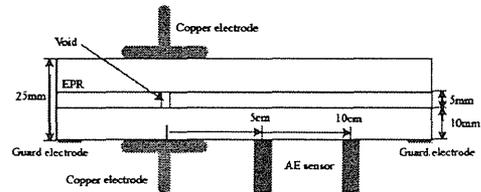


図6 電極と模擬ボイド試験サンプルの拡大図

(2) 実験結果

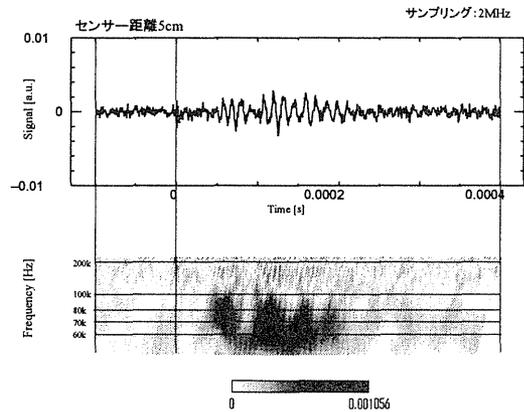


図7 wavelet解析

図7に、AE信号(上図)とwavelet解析(下図)の結果を示す。wavelet解析は横軸が時間、縦軸が周波数、信号は図中の濃度と比例し、濃くなるにつれ強度が大きくなることを示している。この結果からAE信号波形にはいくつかの波が検出されており、それぞれの波をwavelet解析すると周波数によって発生時間が異なることがわかる。最初の波、つまり直接波の中心周波数は約80kHz、次の波、つまり反射波の中心周波数は約70kHzとなっていることがわかる。

3.2 VHF アンテナによる部分放電検出

(1) 実験方法及び回路

図 8 に、実験回路を示す。電極は大きさ 100×100mm、厚さ 5mm の EP ゴムの中央に 1mmφの穴を開け、そのゴムの上下に同じ大きさのゴムを挟んでボイドを模擬した。VHF アンテナの位置は電極から 1m とした。印加電圧は 11kV~15kV までとし、そのときの接地線電流と電磁波強度の相関を調べた。

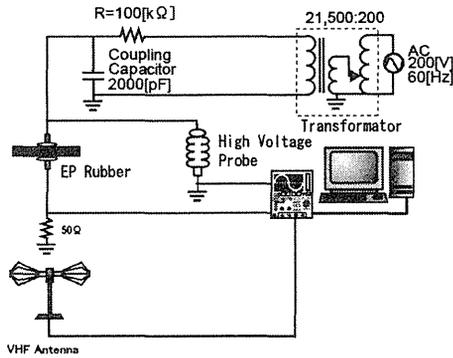


図 8 VHF アンテナを用いた部分放電検出回路

(2) 実験結果

図 9 に部分放電電流と電磁波波形のピーク値をプロットした波形を示す。この図から電流値の増加に伴い、電磁波の信号強度も比例的に増加していることが分かる。

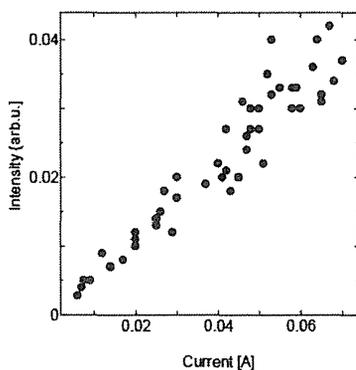


図 9 各実験における伝搬速度分布

4. ケーブル末端を用いた部分放電検出

実験室内で行える実験において実際のケーブル末端(以下、末端)を用いた予備実験はフィールド試験を行う上で重要な手段である。そこで実際に使われてい

るものと同じ末端を入手し、部分放電検出を行った。

4.1 VHF アンテナと AE センサによる部分放電検出

(1) 実験方法及び回路

図 10 に末端を用いた VHF アンテナ及び、AE センサによる部分放電検出実験回路を示す。今回は信号を検出するために過電圧を印加し、AE センサ及び VHF アンテナを用いて実験を行った。部分放電発生位置から AE センサまでは約 9cm、アンテナは 1m の位置に設置した。印加電圧は 18kV (定格 12,7kV の約 40%過電圧) である。

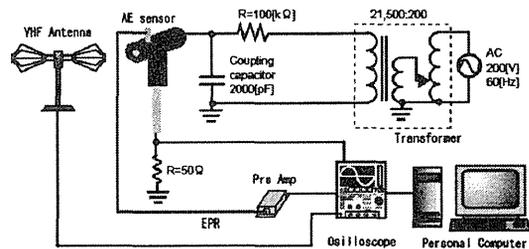


図 10 末端を用いた部分放電検出回路

(2) 実験結果

図 11 に末端における VHF アンテナ及び、AE センサを用いた部分放電検出実験の実験結果を示す。この結果から AE センサ及び VHF アンテナ共に信号を検出していることがわかる。また、これらの信号が部分放電によるものかを検討した場合、VHF アンテナの検出信号は電流波形と同期していることから部分放電によるものであると考えられる。また、AE センサの場合においても AE 信号の遅れ時間は約 60μs であり、EP ゴム内の伝播速度 1300~1400m/s から計算すると、ほぼ予測した部分放電発生位置と一致する。

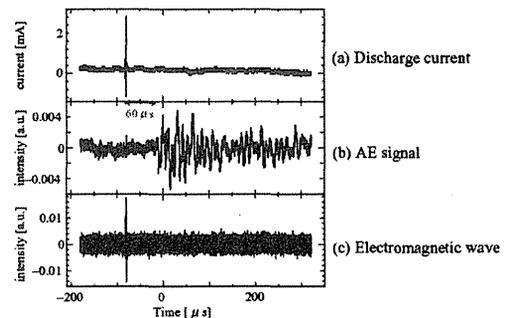


図 11 VHF アンテナ、AE センサによる測定結果

4.2 AE センサによる劣化位置評定

(1) 実験方法及び回路

図 12 に端末を用いた部分放電検出のための実験回路、図 13 に端末における AE センサ取り付け配置を示す。AE センサを 3 個用いて同時測定を行い、部分放電発生位置測定を行った。端末の端部に AE センサを取り付けるバンドを設置し、そのバンドに 3 つの AE センサを配置した。

AE センサは補修した場所に最も近い位置に配置したものをセンサ 1、その位置から反時計回りに 120 度ずらしたものをセンサ 2、そして、さらに反時計回りに 120 度回転させたものをセンサ 3 としている。印加電圧は 20kV である。

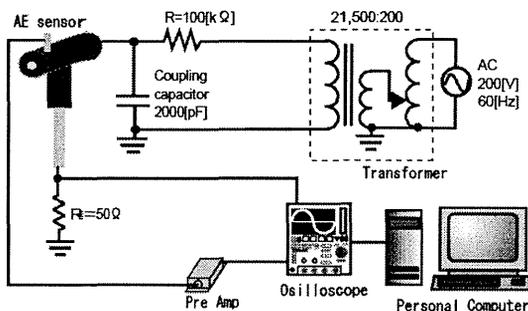


図 12 端末を用いた部分放電検出回路

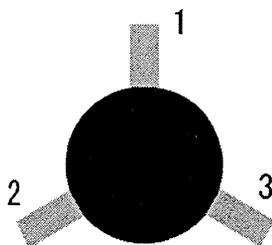


図 13 AE センサ配置

(2) 実験結果

図 14 に、端末を用いた部分放電検出のための実験結果を示す。上からセンサ 1(1ch)、センサ 2(2ch)、センサ 3(3ch)である。この結果より、センサ 1 が最も早い約 60 μ s、センサ 2 とセンサ 3 は約 80 μ s となった。この結果を元に遅れ時間と EP ゴム内の伝播速度 1400m/s から計算した結果から導き出した劣化位置までの距離と、端末を展開したときの AE センサと補修した箇所との

直線距離を比較した結果を表 1 に示す。

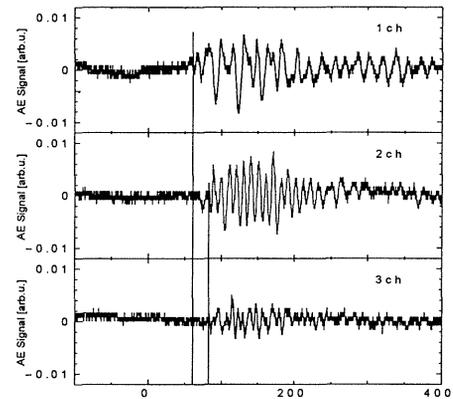


図 14 各 AE センサにおける信号波形

表 1 各 AE センサにおける劣化位置評定

	1	2	3
遅れ時間 (μ s)	62.3	81.7	82.1
推定位置 (cm)	8.722	11.438	11.494
計算結果 (cm)	9	12.45	12.45

この結果から推定距離と計算距離の間に若干の誤差は出たが、ほぼ同じ結果になったといえる。これにより、AE センサを複数設置して測定することにより、劣化位置の判定は可能であると考えられる。

5. 劣化診断システムの開発

図 15 に、開発した劣化診断システムの外観図を示す。このシステムでは、AE 信号の計測波形を取り込み、リアルタイムで FFT 解析、バンドパスフィルター解析を行えるようになっている。



図 15 劣化診断システム

この装置により、計測時において AE 波形の検出及び劣化診断が可能であると考えている。ここでいう、劣化診断とは、フィールド試験により回収したデータを統計的に処理した結果から、導き出された判定基準を超えるとその末端は不良と見なすことである。

6. まとめ

本研究では、配電機器における運転中絶縁診断法の確立を目指し、VHF アンテナ及び AE センサを用いて部分放電を検出することを目標に実験及び検討を行った。

AE 信号波形を周波数に分けて、解析した実験では AE 信号が EP ゴム内部で反射を繰り返すことで高周波成分が減少し、ピーク値が低周波成分にシフトすることがわかった。

VHF アンテナを用いて部分放電を検出した実験では電磁波の強度と接地線電流の間には良い相関があり、電磁波を測定することで PD を検出することが可能であると考えられる。

末端を用いた実験においては、模擬ボイドの時と同様に両方のセンサで部分放電を検出できることが確認

できた。また、AE センサを複数用いて、劣化位置評定を行った結果、それぞれのセンサに到達する AE 信号の遅れ時間から劣化位置を特定することができた。これにより、AE センサによる劣化箇所の位置評定は可能ということがわかった。

最後に、簡易な劣化診断システムを開発し実験を行った結果、AE 信号を検出することは可能であることがわかった。今後、フィールド試験などから劣化評価の基準を検討する必要がある。

参考文献

- (1) S. Yanabu, Y. Murayama and S. Matsumoto: "Insulation and Its Application to HV Equipment", IEEE Trans. Elect. Insul., Vol.26, No.3, pp.358-366 (1991)
- (2) D. A. Natrass : "Partial Discharge Measurement and Interpretation", IEEE Elect. Insul. Magazine, Vol.4, No.3, pp.10-23 (1988)
- (3) D. Koenig, Y. N. Rao: "Partial Discharges in Electrical Power Apparatus", VDE-Verlag, Berlin Offenbach, pp.225-227 (1993)
- (4) 石川他:「電気学会静止器研究会資料」、SA-83-55 (1983)