

ケーブル直結端末部の絶縁劣化診断法の研究

猪崎 一哉¹⁾・Adi Izhar²⁾・竹之内 修³⁾・本田 親久⁴⁾・大坪 昌久⁴⁾
壺岐 正利⁵⁾・吉満 和寛⁵⁾

Deterioration Diagnosis Criterion in a Cable Joint of Network

Kazuya IZAKI, Adi IZHAR, Osamu TAKENOUCI, Chikahisa HONDA,
Masahisa OTSUBO, Masatosi IKI, Kazuhiro YOSIMITU

Abstract

Recently, power failure caused by partial discharge (PD) occurred at the cable joint of 22kV network in a substation, because insulation deterioration diagnosis technology in electric power systems has not been established yet. A prediction of dielectric breakdown by detection of PD is one of the important problems to establish insulation deterioration diagnosis in electric power systems. Therefore we carried out experiments for the purpose of detection of PD in di-cumyl peroxide (DCP) rubber used as an insulation material in electric power systems. The DCP rubber used in this experiment is the same material for insulation of actual cable splicing of the 22kV network. In this research, relation between deterioration state of cable joint and partial discharge was investigated, and a deterioration forecast diagnosis equipment by detecting partial discharge using acoustic emission sensors was built. The equipment is simple and easy to operate for detecting the partial discharge using AE sensor. As for this equipment, it is possible to evaluate a deterioration position, but a deterioration judgment criterion of cable joint has not been established yet. In this paper, the evaluation technique and the deterioration criterion are discussed.

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

-
- 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

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 が発生するとトリート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、本研究では地中ケーブル系統に使用している中間開閉器の機器直結端末 (以下、ケーブル直結端末) の絶縁材料である EPR(Ethylene Propylene Rubber)に替わる絶縁材料として過酸化物架橋ゴム(DCP)が注目され且つ新しい絶縁材料として使用され始めているが、EPR 同等、材料中にボイド等の弱点部が存在すると経年劣化によって絶縁破壊を生ずることがある。これらの絶縁破壊は、ゴム絶縁体内部の微小なボイドからトリートに進行し、最終的に地絡電流が流れ、アーク発火によるゴム絶縁体の焼損にいたることなどが推定されている。これらの絶縁破壊にいたる現象は、絶縁破壊の前駆現象として部分放電を検出することによって未然に阻止することが可能だと考えられる。そこで、本研究では DCP(過酸化物架橋)ゴム が絶縁破壊に至るまでの劣化メカニズムと部分放電との関係を、非接触で安全な電磁波測定法である VHF アンテナと検知能力が高く、高周波ノイズの影響を受けにくい音響測定法である AE センサを用いた部分放電検出による絶縁劣化診断法の確立を目的としている。本論文では、AE センサを用いた絶縁劣化診断法の提案、および DCP ゴムを用いた部分放電試験を行い、AE 信号の基礎特性を調べた。また、実際に稼動しているケーブル端末に AE センサを設置して現場での測定を行ったので報告する。

2. 各種センサを用いた部分放電検出法

本研究は、機器端末における劣化診断を行う際に 2 つのセンサを用いるが、次にその使用方法を説明する。最初に使用するのは VHF アンテナである。VHF アンテナは大きさこそ大きく持ち運びには不便であるが、ある一定空間においてオシロスコープに接続するだけ

で電磁波の測定が可能であるという手軽さを持つ。オシロスコープに接続するだけで部分放電に伴う電磁波を測定できるため、これにより配電設備の劣化診断は時間、コストともに大幅に軽減することが可能である。しかし、VHF アンテナにも欠点がある。1 つ目はノイズの影響を受けやすいということ。現在ではラジオや携帯電話・無線 LAN などが普及し、至る所に電磁波が飛び交っている。これらの信号と部分放電に伴う電磁波を判別する必要がある。もう 1 つはある一定空間しか計測できないという点である。言い換えれば端末が密集している箇所ではどの端末から部分放電が発生しているかは判別不可能であるということである。このことから VHF アンテナのみを用いて部分放電を検出することはできない。ここで登場するのが AE センサである。

AE センサは部分放電に伴い発生した弾性波を超音波として測定する方法であるが、固体に直接 AE センサをとりつけないとこの超音波は検出できない。媒体が空気である場合つまり、ひとつの端末につけた場合、他の端末の部分放電は検出できないため、どの端末で部分放電が発生しているかを判別することが可能である。しかし、AE センサにも欠点があり、多くの端末がある場合、1 つ 1 つを検出しなければならず、多くの時間とコストがかかってしまう。そこで我々はこの二つのセンサの長所を活かして、図 1 のようなフローチャートにより劣化診断を行うことにした。

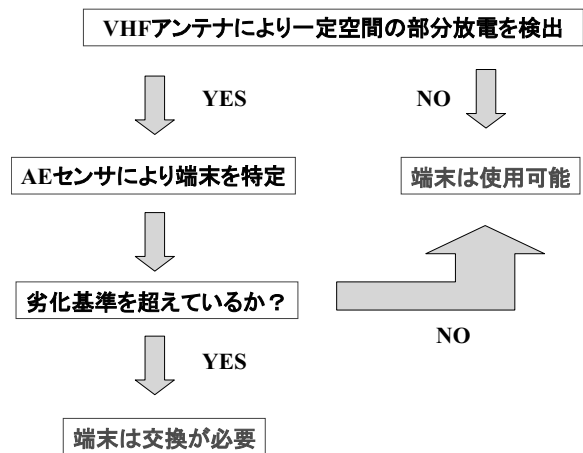


図 1 劣化診断フローチャート

3. 劣化基準の策定方法の提案

絶縁診断の基準値の策定方法について述べる。まず測定した AE 信号観測波形を FFT 解析し、信号帯域の強い場所を決める。次に決めた周波数帯域での AE 信号にバンドパス処理を行い、その帯域だけの AE 信号を抜き出す。この抜き出した AE 信号の振幅の最大値を劣化基準に用いる。劣化基準のモデルを図 2 に示す。横軸を経過時間とし縦軸にバンドパス処理した AE 信号の振幅最大値を取る。経過時間に比例して AE 信号強度も大きくなると予想される。これは経過時間と絶縁劣化に相関があるためである。ケーブル端末の絶縁材料であるゴムは劣化が進むとある時、絶縁破壊を起こすと考えられる。そのときの AE 信号強度を 100%としたとき、我々はその 80%の値を絶縁劣化基準値にしようと考えている。80%という数値は提案であって、実際には経過時間に対する AE 信号強度のトレンドを得なければ決めることはできない。現在、その実験を継続中である。

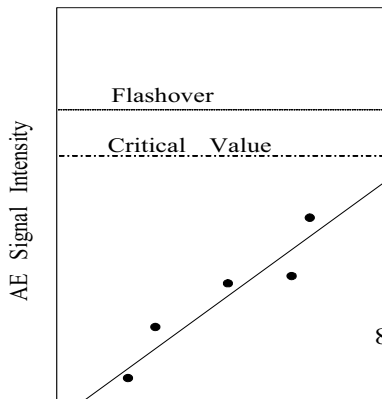


図 2 劣化診断モデル

4. 長期加速劣化試験

4.1 実験方法

先ほども述べたように、経過時間に対する AE 信号強度特性は得られていない。そこで実験室レベルで実機端末をモデル化した長期加速劣化試験を行った。図 3 に実験回路を、図 4 に AE センサ配置を示す。200×200×10 [mm]の板状の DCP ゴムの中央に直径 1mm の針電極を 5mm 埋め込み、ゴムの中に模擬ボイドを作製した。

印加電圧を実際の相対対地電圧の 13kV とし、部分放電を発生させた。その時の接地線電流および AE センサの信号を測定した。図 4 のように、2 個の AE センサを針電極からそれぞれ距離 60mm (AEsensor1)、90mm (AEsensor2) 離れたところに配置した。印加時間は 250 時間である。

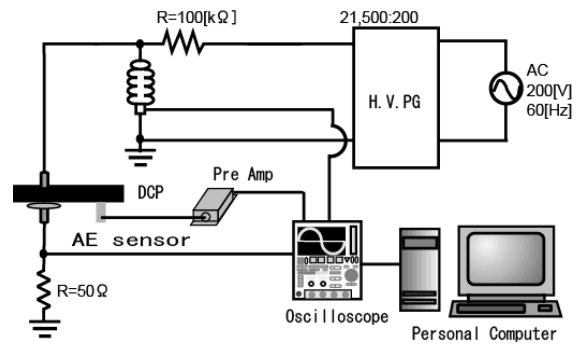


図 3 実験回路

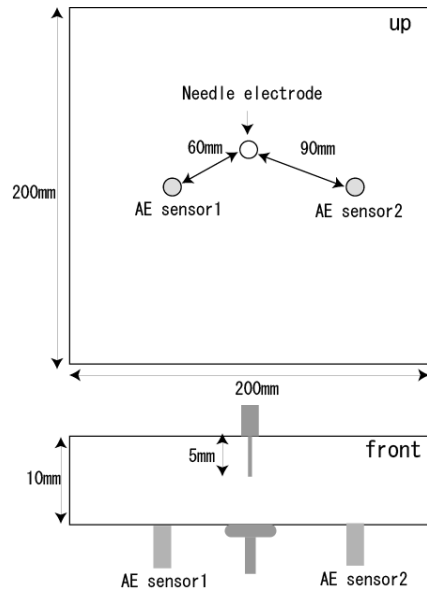


図 4 AE センサ配置

4.2 実験結果

図 5 に、80 時間および 240 時間経過の AE 信号観測波形を示す。観測波形から FFT 解析を行い、強い周波数帯域信号をバンドパス処理 (60~110 kHz) し、80~90kHz 付近の周波数帯域に部分放電による AE 信号と思われる波形が観測された。これは従来の結果と同じである。図 6 に、バンドパス処理を行った AE 信号を示す。また、バンドパス処理の結果、AE センサ 1 の信号

より AE センサ 2 の信号の方が遅れていることが分かる。AE センサ 1, 2 の信号の遅れ時間はそれぞれ (AE センサ 1) $50 \mu s$ 、(AE センサ 2) $75 \mu s$ になっており、DCP ゴムの伝播速度 ($1300m/s$) を用いて逆算をすると放電場所は針電極から (AE センサ 1) $65mm$ と (AE センサ 2) $97.5 m$ 離れた位置にあることが評価できる。実際には $60mm$ と $90mm$ 離れた位置に設置しているので誤差は 8% 程度である。次に接地線電流、バンドパス処理した AE 信号の最大値を経過時間毎にグラフ化した。図 7 に示す。

図 7 より接地電流値の増加と共に AE センサ 1, 2 の信号強度も強くなることが分かる。最初の 160 時間経過までは接地線電流値が減少しているが 160 時間経過すると徐々に上昇している。これは DCP ゴムが部分放電によって劣化したためと推定できる。また途中で信号がかなり変動しているが、電圧を印加直後に発生する信号である。電圧を停止後絶縁ゴムが大気中の水分を吸収し、放電が発生しやすい状態になっているためと考えられる。測定を行った接地線電流値と AE 信号強度特性を図 8 に示す。AE センサ 1、AE センサ 2 どちらも接地線電流値が増加するにつれ、AE センサ強度も大きくなっていることがわかる。部分放電に伴う電子の運動が弾性エネルギーとなるが、放電が激しくなると弾性エネルギーもそれに比例して上昇するためである。また AE センサ 2 に比べ AE センサ 1 の強度が大なることもわかる。弾性エネルギーがゴム内を伝播する間に減衰するためである。今回、長期加速劣化試験として電圧を約 250 時間印加した。しかし絶縁ゴムの絶縁破壊は生じなかったが、図 8 よりある程度の予測を立てることが出来る。絶縁破壊前には大幅に接地線電流値が大きくなることは今までの研究でほぼ分かってきた。本実験ではまだデータとして取得はできていないが、 $60mA$ 程度の接地線電流が流れることは確認することができた。図 8 より接地線電流が $60mA$ 流れるときの AE 信号強度を推定することが可能であると考えられる。

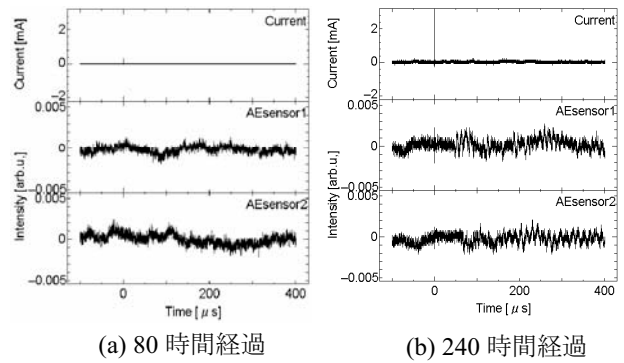


図 5 観測波形

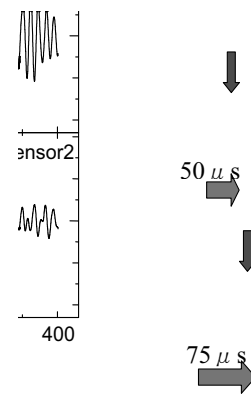


図 6 バンドパス処理

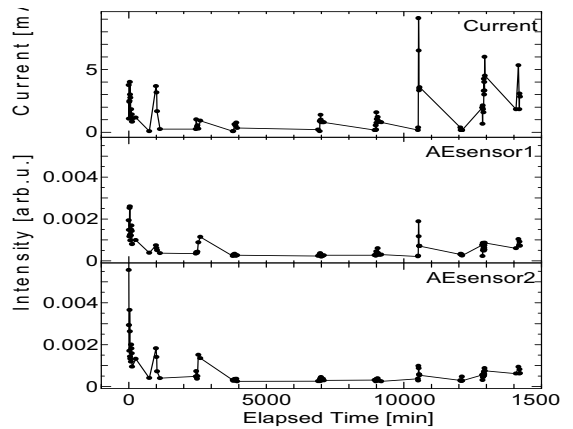


図 7 接地線電流と AE 信号強度の経過時間特性

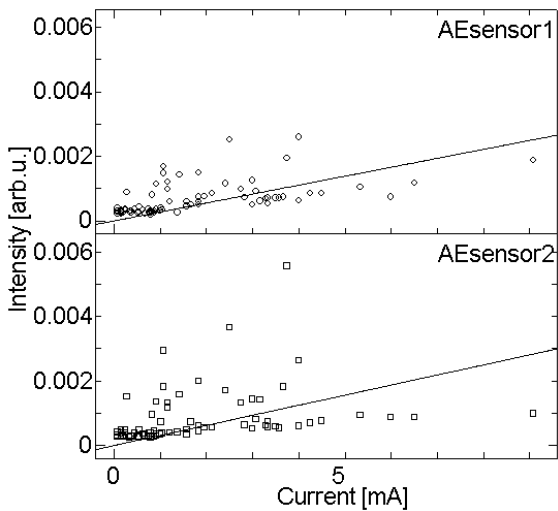


図8 接地線電流対 AE 信号強度

5. ケーブルの実機端末の部分放電試験

九州電力㈱と協力し鹿児島市の天文館 SS に設置されている 22kV Y 分岐端末の絶縁劣化診断試験を行った。試験を始める前に、各 Y 分岐端末の写真を取り、各端末に番号を付け端末場所の名称をつけた。Y 分岐端末の一例を図 9 に示す。また端末の布設状態および AE センサ取り付け位置を図 10 に示す。

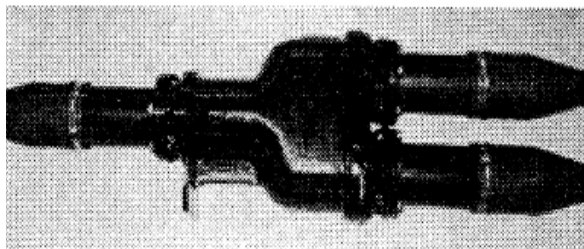


図 9 Y 分岐端末

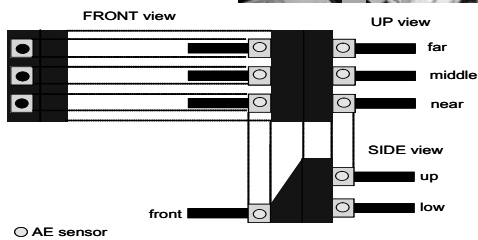
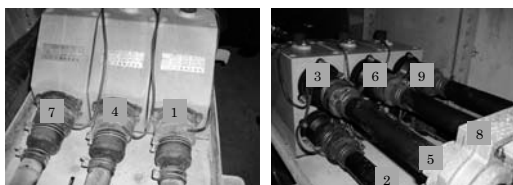


図 10 Y 分岐端末構造および AE センサ取り付け位置

5.1 実験方法

測定を行った天文館 SS には Y 分岐端末が 3 セットあった。測定条件 1 では測定箇所を far、middle、near として三箇所に AE センサを取り付け、それぞれ up、front、low について、計 9 回を 1 セットとして 2 回測定を行った。測定条件 2 では up、front、low の三箇所に AE センサを取り付け、near、middle、far について、計 9 回を 1 セットとして測定した。測定条件 1 と同じく測定は 2 回ずつ行っている。

5.2 実験結果

測定した AE 信号を FFT 解析した結果 90kHz 付近に信号を観測できた。今までの実験室レベルでの研究において、部分放電信号の周波数帯域は約 60~120kHz 付近に観測されることが分かっているため 90~100 kHz の周波数帯域でバンドパス処理を行い、求めた AE 信号強度を、図 11 に示す。Cable Position 1、2 で相対的に強い AE 信号が認められ、弱い部分放電発生位置と考えられる。

絶縁劣化診断基準値と比較してみると今回測定を行った信号強度は小さいので、Y 分岐端末はほとんど劣化していないと考えられる。

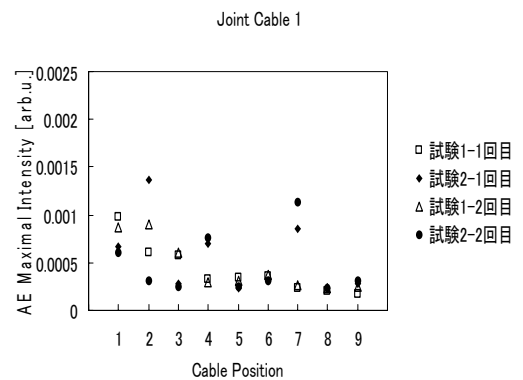


図 11 Y 分岐端末の AE 最大値特性

6. まとめ

本研究では、配電機器、特にケーブルの直結端末における稼働中絶縁劣化診断法の確立を目指し、絶縁劣化診断法の提案および音響測定法である AE センサを用いて、絶縁破壊の前駆現象である部分放電の特性を

得るために実験及び検討を行った。次にそのまとめを示す。

絶縁劣化診断の基準となる AE 信号強度を策定するため、絶縁破壊時の AE 信号強度取得を目的とした長期加速劣化試験を行い、以下のことを明らかにした。

1. 接地線電流からの AE 信号遅れ時間をゴム内の弾性波伝播速度を使ってボイド位置を評定できることが分かった。
2. 部分放電による AE 信号周波数帯域は 90kHz 付近であることが分かった。
3. 接地線電流と AE 信号強度に相関関係を認めることが出来た。長期加速劣化試験の目的である、絶縁破壊時の AE 信号強度を測定することはできなかったが、この相関を使うことで絶縁破壊前の AE 信号強度を予想することができた。

実験室内で部分放電による AE 信号特性を今まで測定してきた。実際に稼働中の実機端末においても同様の試験ができ、且つ絶縁劣化診断が行えるか測定を行い、以下のことを明らかにした。

1. 実機端末において、AE 信号を観測でき、それを FFT 解析すると実験室の部分放電の場合と一致する 90kHz 付近に明白な信号を観測できることがわかった。
2. 測定した AE 信号強度と絶縁破壊前の強度と思われる大きさと比較してみると稼働中の端末の AE 信号強度は小さいので、Y 分岐端末はほとんど劣化していないと考えられる。

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. Nattrass : "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)