

ゴムシートを用いたトラッキング劣化試験における AE 特性

中村 友哉^{a)}・白浜 優吾^{a)}・平島 俊紀^{b)}・迫田 達也^{c)}

Characterization of Acoustic Emission Signal from a Rubber Sheet during a Tracking Deterioration Test

Tomoya NAKAMURA, Yugo SHIRAHAMA, Toshiki HIRASHIMA, Tatsuya SAKODA

Abstract

Measurement of partial discharges (PDs) at joint and terminal sections in cross-linked polyethylene (XLPE) cables is useful for stable power supply because defects at joint and terminal sections occupy 30% of electric failures in Japan. The purpose of our study is establishment of an insulation deterioration diagnostic technique based on detection of PDs using acoustic emission (AE) sensors. We here evaluated temporal variation in AE signal intensity, characteristics of frequency spectra and phase of the AE signal for tracking deterioration. The results showed that the distribution of electric field strongly influenced tracking deterioration characteristics in electrode shape.

Keywords: Creeping discharge, acoustic emission, tracking, Cross Linked Polyethylene Insulated Vinyl Sheath Cable

1. はじめに

現在、電力ケーブルの主流は架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル(CVケーブル: Cross Linked Polyethylene Insulated Vinyl Sheath Cable)であり、電力ケーブルの全出荷量の約90%を占めている。製造技術に進歩によりCVケーブルにおける事故は、年々減少しているが、現在でも依然としてCVケーブルでの事故が起こっているのが現状であり、特にCVケーブル中間接続部、終端接続部での事故が多く報告されている⁽¹⁾。CVケーブルの接続部、終端部での事故例としては主に、接続部界面から発生する沿面放電による絶縁破壊事故が挙げられる。界面でのトラッキング⁽²⁾は、ケーブル接続部での絶縁性能を低下させる現象の一つである。トラッキング劣化の初期段階は、部分放電により絶縁材料の抵抗が減少し、漏れ電流が流れ始める。その後、局所的な放電により材料表面が劣化し、炭化導電路が形成される。従って、トラッキングによる事故を減らすためには、初期の部分放電の検出が重要である。

ところで、圧電AE(Acoustic Emission)センサは絶縁物質内での部分放電によりもたらされる弾性波を容易に検出できる機器である⁽³⁾⁻⁽⁷⁾。AEセンサのノイズレベルは比較的低く、低ノイズを処理後、FFT解析を介したデジタルフィルタの活用で、AE信号の取得に関するS/N比を容易に向上できる。

本研究ではCVケーブルの接続材で発生する沿面放電を絶縁ゴム板上で模擬放電を起こして、実験を行った。放電による弾性波は、AEセンサで取得した。この測定をとおして、沿面放電によるトラッキング特性を検討した。

2. 実験方法

2.1 針対平板電極

図1に実験回路、図2に電極形状(針対平板)を示す。本実験板状の絶縁板(200×50mm, t=0.5mm)及び銅テープ(t: 0.1mm, 幅: 1cm, 先端部: 45°)を用いた。ここでは、絶縁ゴム板上に銅テープの針対平板電極が向かい合うように対向設置し、電極間で放電を発生させた。電極は絶縁ゴム板で挟み込み、さらに、その上下を絶縁ゴム(200×200, t=20mm)で挟み、上から約8.0kgの重量物で押さえつけた。課電用にはノーコロナ可変周波数耐圧試験電源(総研電気(株)製 DAC-WT-50)を使用した。実験条件として、COMSOLより算出した設定値(印加電圧: 3kVrms, 電極距離: 2.2mm)とした。なお、本実験では60Hzの約16.7倍である電源周波数1kHzを用いて、高周波劣化加速試験を行った。部分放電による弾性波の検出には、広帯域型AEセンサ(AE-900S-WB、エヌエフ回路設計ブロック)を使用し、放電源から約15mmの位置に配置した。取得したAE信号は90dB(プリアンプ: 40dB、ディスクリミネータ: 50dB)増幅し、A/D変換器を介して、100MS/sのサンプリングでPCで取得した。また、取得の際にディスクリミネータにて、バンドパスフィルタ(BPF)処理(HPF: 50kHz, LPF: 500kHz)を施している。また、接地電極に流れる放電電流はCT(Current transformer、総研電気(株)製 I-125-1 HF)を介

a)工学専攻エネルギー系コース大学院生

b)電気電子工学専攻大学院生

c)電気システム工学科教授

してオシロスコープで取得した。

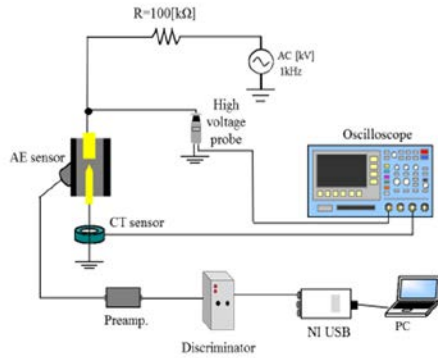


図1. 実験装置の概要.

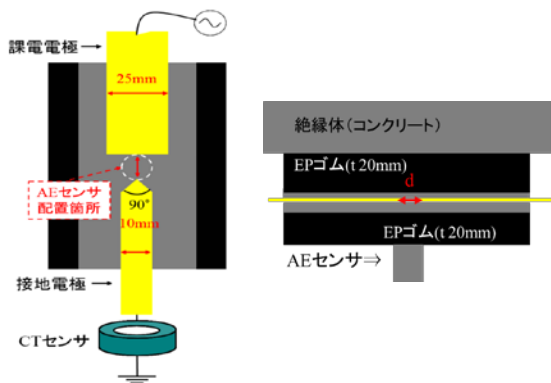


図2. 針対平板電極の概要.

2.2 針対針電極

2.1の実験から電極形状を針対針電極に変更して試験を行った。図3に電極形状(針対針)を示す。本実験では、絶縁ゴム板(200 mm×50 mm:t=0.5 mm)及び銅板(t:0.1 mm:電極幅:10 mm:先端角度:45°)を用いた。ここでは、絶縁ゴム板上に銅板を先端が向かい合うように対向配置し、電極間で放電を発生させた。実験条件として、COMSOLより算出した設定値(印加電圧:3.6 kVrms, 電極間距離:3 mm)を参考とした。

他の実験条件は2.1の実験と同様の為、省略する。

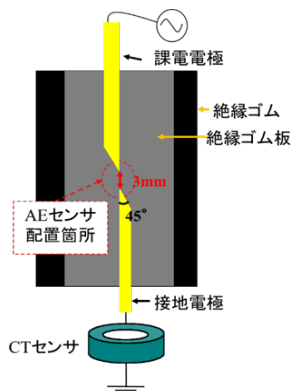


図3. 針対針電極の概要.

3. 実験結果及び検討

3.1 針対平板電極

図4に検出されたAE信号波形、図5に図4のAE信号波形を50kHzから200kHzまでのバンドパス処理した信号部(0.13ms~0.32ms)間のFFT解析結果を示す。図4の横軸の0.13msは放電が発生した時点である。図4より60kHz付近で最も大きな周波数スペクトルが検出されている。これまでの研究から、絶縁体内部における部分放電は60~90kHzで周波数スペクトルが検出されることが分かっている(8)。このことから、ゴム板内部での部分放電を検出出来ていることを確認した。

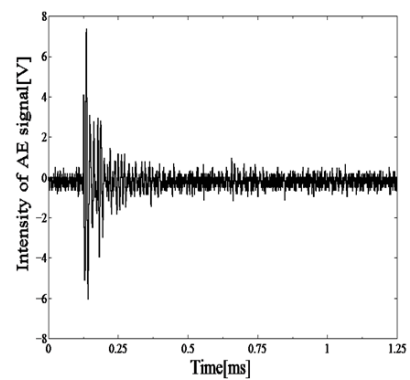


図4. 検出されたAE信号波形.

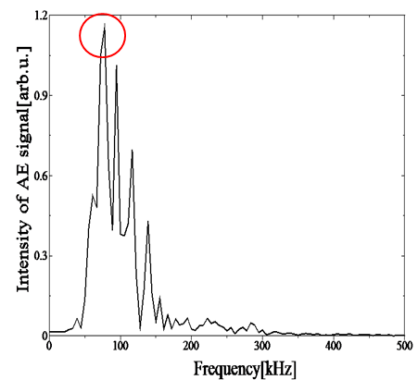


図5. 図4の周波数スペクトル.

本実験では、課電開始から6.6時間で絶縁破壊に至った。60 Hz換算では、約110時間で絶縁破壊に至ると予想される。図6に最大AE信号強度の時間変化、図7に放電電荷量の時間変化を示す。放電電荷量は時間が経過するにつれ、大きくなっていることが分かる。それに伴い、最大AE信号強度も大きくなっていることを確認した。

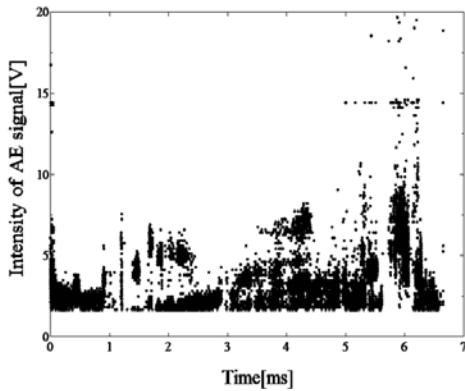


図 6 最大 AE 信号強度の時間変化.

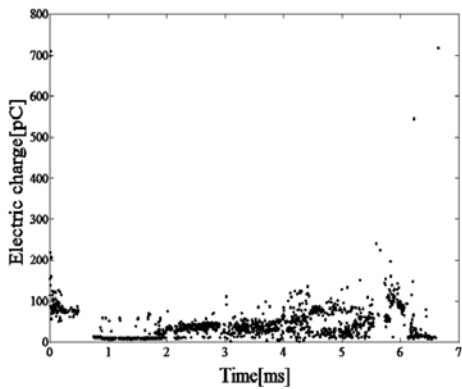


図 7 放電電荷量の時間変化.

次に、図 8 に 1 時間毎の AE 信号検出回数を示す。課電開始から 4 時間までは増減を繰り返しながら、減少傾向にあるが、4 時間以降では増加傾向にある。(図 3 の 6~7 時間における検出回数は、0.6 時間分の検出回数を 1 時間換算の 1.66 倍で表している)また、図 6 で示されているように、AE 信号検出回数が増加する時間帯(4~7 h)においては、15V 以上の AE 信号が複数回観測されている。この放電により、電極間の表面抵抗が急激に低下し、絶縁破壊前に AE 発生回数が上昇すると考えられる。

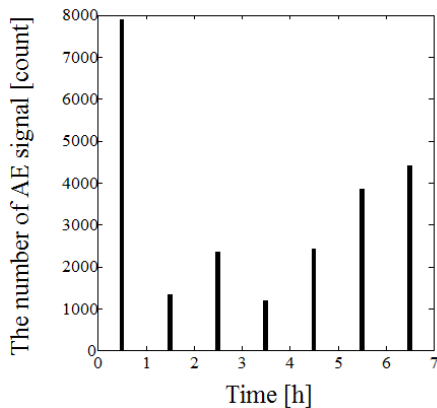


図 8 1 時間毎の AE 信号検出回数.

図 9 に AE 信号の累積回数を示す。それぞれの信号の発生レートの変化を、第 1 段階(課電開始 ~ 1h)、第 2 段階(1h~5h)、第 3 段階(5h~破壊時)に分ける。信号の発生レートについて、第 1 段階は 132 count/min、第 2 段階は 30.5 count/min、第 3 段階は 59.4 count/min となっており、破壊前の第 3 段階目は、第 2 段階目の約 2 倍であったことが分かった。

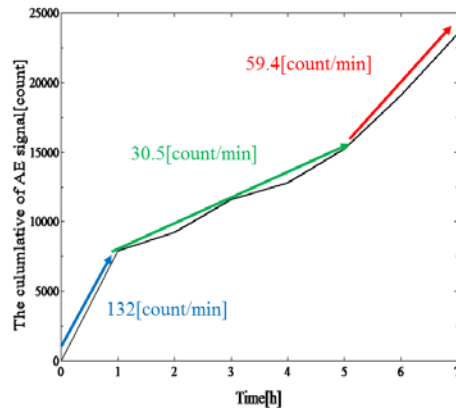


図 9 AE 信号の累積回数.

3.2 針対針電極

図10に検出されたAE信号波形、図11に図10のAE信号波形を50kHzから150kHzまでのバンドパス処理した信号部(0.1ms~0.3ms)間のFFT解析結果を示す。図2.3の横軸の0.12 msは放電が発生した点を示す。図2.5より、フィルタ処理を行ったことで、信号強度は減少しているが、信号が顕著に見られる。また、図2.6より 60 kHz付近で最も大きな周波数スペクトルが検出された。このことから、針対針電極においても部分放電を検出出来ていることを確認した。

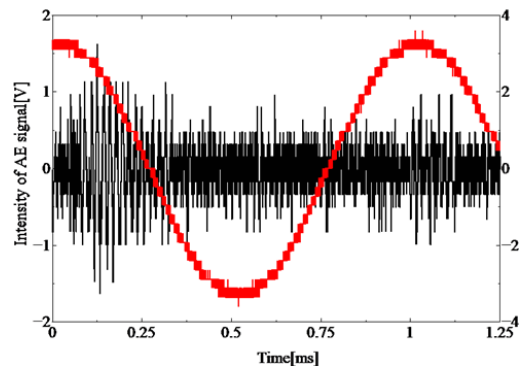


図10 AE信号波形.

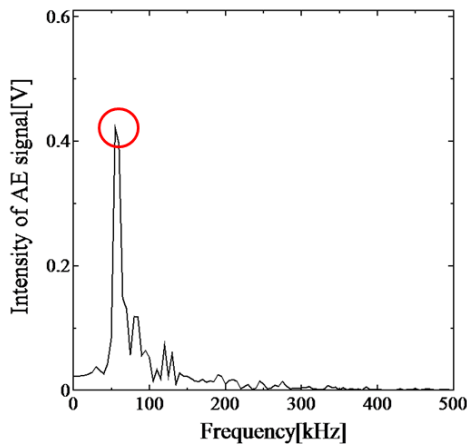


図11 図10の周波数スペクトル.

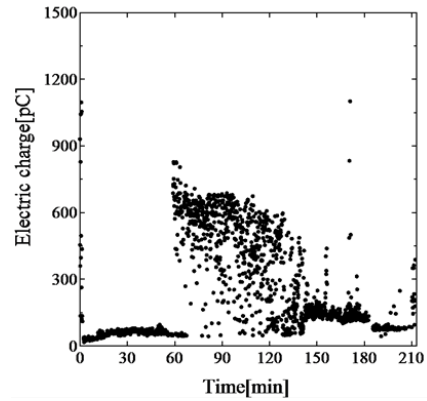


図13 放電電荷量の時間変化.

次に、図12に最大AE信号強度の時間変化を、図13に放電電荷量の時間変化を示す。周波数1 kHzで加速劣化させた結果、課電開始から約213分で絶縁破壊に至った。図4.18において、課電開始時は約5Vの信号を検出しているが、以降60分までは1.5 V程度の低強度の信号しか検出されていない。しかし、課電開始から約60分後にAE信号強度の増加が見られ、さらに破壊に近づくにつれ再び信号強度の増加を確認した。また、図13においても同様であり、課電開始時は10 pC ~ 1000 pCまでの電荷量が検出されているが、以降60分までは100 pC未満の電荷量しか検出されていない。しかし、課電開始から約60分後に約800 pCの電荷量が検出され、以降で比較的大きな放電が発生しており、AE信号強度と同様にトラッキング破壊に至る直前の課電開始約180分後から破壊に近づくにつれ放電電荷量が増加している。

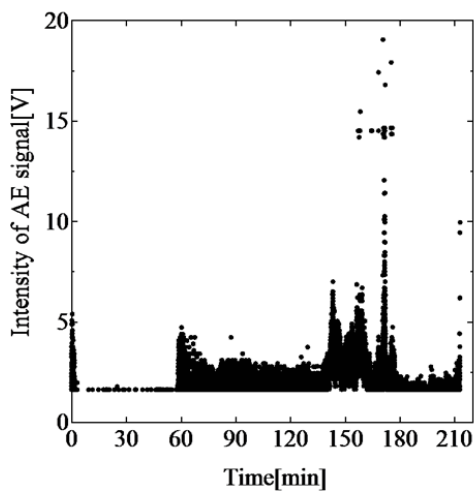


図12 最大AE信号強度の時間変化.

図14に30分間当たりのAE信号の検出回数を、図15にAE信号の累積回数を示す。図14より、課電開始から60分までは、10分当たり約260個程度のAE信号を取得している。しかし、10分~60分と60分~90分間においてAE信号の検出回数に急激な変化が見られ、約15倍の変化が見られた。また、図4.21より、それぞれの信号の発生レートの変化を、初期段階(課電開始~60分)、最終段階(60分~破壊時)に分ける。信号の発生レートについて、初期段階は8.41 count/mm、最終段階は135.97 count/mm となっており、全体の信号発生レートは89.35 count/mm であった。

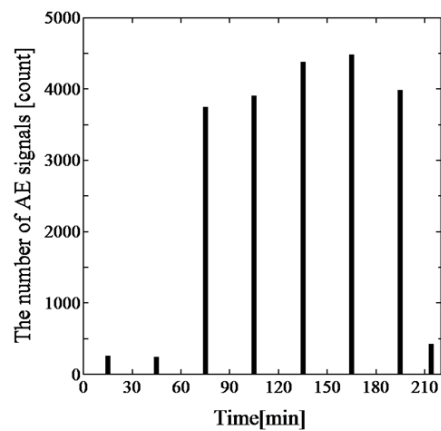


図2.9 AE信号の検出回数.

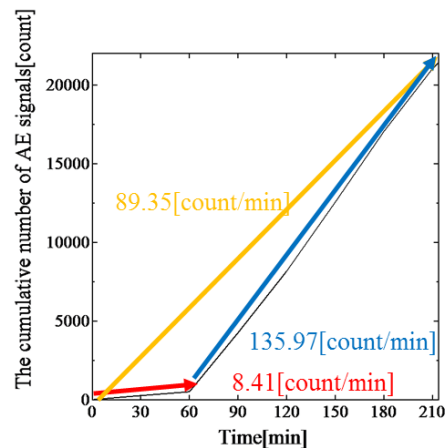


図2.11 AE信号の累積回数.

4. 結論

接続部材界面で発生するトラッキング現象に着目し、絶縁ゴム表面の2つの模擬放電(針対平板電極を用いたT分岐接続材及び針対針電極を用いたプラグインエルボ)によるAE信号及び放電電荷量の観測をとおしてトラッキング劣化過程を調べた。

針対平板電極の場合、約110時間で放電電荷量は時間が経過するにつれ、大きくなっていることが分かった。それに伴い、最大AE信号強度も大きくなっていることを確認した。また、AE信号の単位時間当たりの発生回数は絶縁破壊前に検出回数が上昇して、絶縁破壊に至り、針対平板電極におけるトラッキング劣化においては、3段階の進展モードがあることが示唆された。

針対針電極の場合、課電開始から約60 min後に信号が増減を繰り返しながら次第に大きくなることが分かった。これに伴い電荷量の大きい放電が検出された。また、針対針電極におけるトラッキング劣化においては、2段階の進展モードがあることが示唆された。

参考文献

- 1) 電気学会: 送電・配電 改訂版, オーム社, 2000.
- 2) 電気学会: 電気設備の診断技術, オーム社, 2003.
- 3) 植月, 他: 高電圧工学, コロナ社, 2007.
- 4) 大津: アコースティック・エミッションの特性と理論 第2版, 森北出版, 2005.
- 5) 特別高圧 CV ケーブル絶縁劣化形態と絶縁診断技術の動向, 電気学会技法部, No.266, 1998.
- 6) 高電圧試験ハンドブック, オーム社, 1983.
- 7) 杉浦匡紀, 中村祐太, 田村彰教, 三宅琢磨, 迫田達也, 蔦川陽一, 川越英文, 西昌美, 中川智之, 阿部進一郎: “EP ゴムシートを用いた周波数加速劣化試験で得られる AE 信号の特性“, 電気関係学会九州支部連合大会, 2012年9月