

修士学位論文要約（平成31年 3月）

CV ケーブル中の水トリー伸展を想定した 高粘度シリコン油中の水滴挙動の観察とモデル化に関する研究

齋藤 恵佑

指導教員：齋藤 浩海， 研究指導教員：八島 政史

Study on Water Droplet Behavior Observation in Silicone Oil with High Viscosity and Modeling Assuming Water Tree Propagation in XLPE Cable

Keisuke SAITO

Supervisor: Hiroumi SAITOH, Research Advisor: Masafumi YASHIMA

The XLPE cable is the main force facilities of the underground power transmission line. Water tree may produce the XLPE cable during the use for several years by interposition of the existing microalien substance and water in crosslinked polyethylene, and it is with a factor to reduce dielectric strength. As for water tree, it is impossible to observe directly from the outside to occur in the inside of the crosslinked polyethylene. Therefore a various diagnoses technology is studied, but improvement of the on-site water tree detection precision is demanded, and a technique to evaluate a deterioration degree and the life of XLPE cable managing is demanded by the elucidation of the water tree phenomenon. Therefore I investigated the change of the loss current waveform with the water tree deterioration by analysis of water tree simulation and the simulation software about the water tree deterioration of the XLPE cable in this study.

1. はじめに

架橋ポリエチレンを絶縁材料に使用する CV ケーブルは絶縁油を使用しないため、保守管理や防災面で有効で、地中送電線の主力設備である。CV ケーブルは、架橋ポリエチレン中に存在する微小異物や水分の介在により、数年～数 10 年にわたる運用中に水トリーが生成する可能性があり、絶縁耐力を低下させる要因となっている。水トリーは架橋ポリエチレンの内部に発生するため、外部から直接観察することは不可能である。そのため各種診断技術が研究されており、水トリー現象の解明によって運用中の CV ケーブルの劣化度や余寿命を評価する技術が求められている。そこで、本研究では CV ケーブルの水トリー劣化について、水トリー模擬実験やシミュレーションソフトの解析により、水トリー劣化に伴う損失電流波形の変化を調査した。

2. 試験方法

水トリーの可視化のために平行平板電極系（電極直径：15 mm，ギャップ長：4 mm）を動粘度 10 万，100 万 cSt の透明なシリコン油中に浸漬し，接地側電極内面上に水滴を形成し，その挙動をデジタルマイクロスコープで観察した。電極系を図 1 に示す。周波数の影響について知見を得るため，印加電圧は 50 Hz と 1000 Hz の交流電圧とした。10 万 cSt のシリコン油中において，2 セットの平行平板電極系と差動増幅器を用いて交流損失電流の測定を行った。

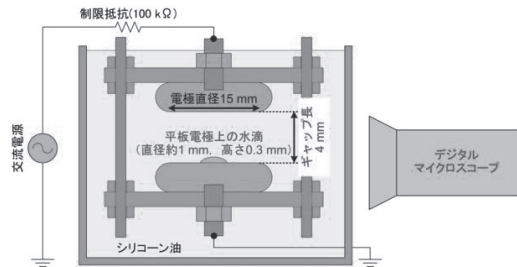


図 1 平行平板電極系

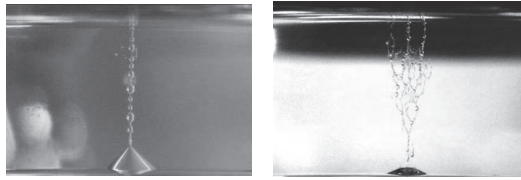
3. 水粒伸展時における損失電流波形

電圧を昇圧していくことで水滴の先端が細く尖り，先端から水粒が噴出し，上部電極側へ伸展していく様子が見られた。10 万 cSt では直上パターン（

図 2(a)），100 万 cSt では樹枝状パターン（図 2(b)）となり，粘度によって伸展の形状に違いが見られた。シリコン油動粘度と印加電圧周波数によって水粒の伸展が大きく変化することが分かった。粘度が高くなると水粒の伸展は樹枝状となり，周波数が高くなるほど水粒は伸展しやすくなったため，水トリーを模擬する水粒モデルとしては動粘度 100 万 cSt，周波数 1000Hz が適していることが分かった。

損失電流波形の測定においては，水粒の伸展に応じて損失電流波形が変化していく様子が確認された。図 3 は上から水粒伸展 26 分後と 34 分後の実測した損失電流波形である。損失電流波形の第 3 高調

波成分の振幅 I_3 が増大し、位相 θ_3 は -90° から 0° 方向へ移動してゆき、実際の水トリーの測定で得られる第 3 高調波成分の変化の傾向とかなり近いことが分かった。



(a)直上パターン (b)樹枝状パターン

図 2 伸展している水粒の様子

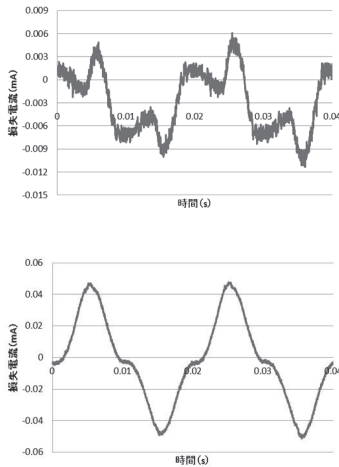


図 3 損失電流波形

4. ElecNet によるシミュレーション

ElecNet による水トリー模擬実験と同様の条件でのシミュレーションを行った。条件として水トリー長 2mm, 3.8mm, 高電圧電極に接触, 橋絡, 完全に橋絡の 5 パターンとした。シミュレーションにより得られた損失電流波形を図4に示す。水トリー伸展に応じた損失電流波形の変化が見られたが、第 3 高調波の振幅のみが変化し位相は変化しなかったため、実際の水トリーを十分に再現できなかつたと考えられる。ElecNet によるシート状試料におけるシミュレーションでは、損失電流波形の振幅の増大や位相の変化は見られず、こちらも十分に再現できなかつたと考えられる。

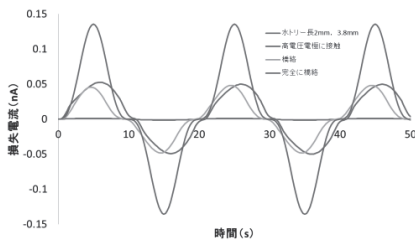


図 4 損失電流波形

5. LTspice によるシミュレーション

LTspice によるシート状試料における回路モデルシミュレーションを行った。0.5mm 厚架橋ポリエチレンシートに直径 1mm の水トリーが 50, 70, 90%伸展の 3 パターンの条件とした。図 5 に上から順に 50, 70, 90%伸展の損失電流波形を示す。水トリー伸展に応じた損失電流波形の変化が見られ、第 3 高調波成分の振幅の増大と位相の -45° 付近から 0° 方向への変化が見られたため、十分に水トリーの再現が出来たと考えられる。

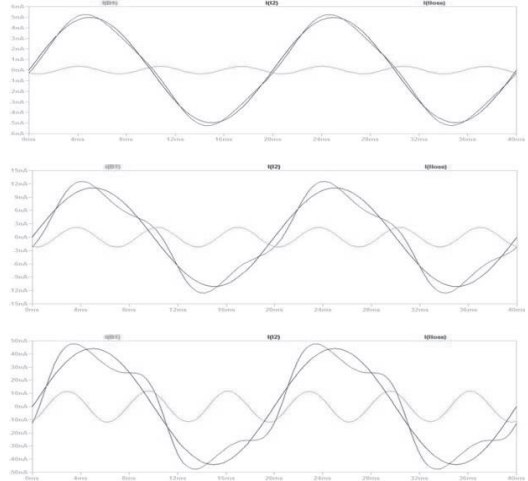


図 5 損失電流波形

6. まとめ

水トリー伸展に伴う損失電流波形の変化を模擬実験とシミュレーションの 2 つで測定した結果、模擬実験では物性の違いから第 3 高調波成分の位相のずれはあったものの十分に水トリー模擬ができ、損失電流波の特性を確認することができた。また LTspice による回路モデルシミュレーションでは第 3 高調波成分の特性が十分に再現されており、ElecNet と合わせてシミュレーションを行うことで余寿命診断技術に寄与することができると考えられる。

文献

- 1) 東北電力:「設備投資関連費用」, 2014 年 4 月 http://www.tohoku-epco.co.jp/ryokin/reason/pdf/material_m27_02.pdf
- 2) 「電力用 CV ケーブルにおける水トリー人工劣化手法の提案」, 電力中央研究所 研究報告, H10013, 2011
- 3) 「等価回路モデルを用いた水トリー劣化ポリエチレンの損失電流解析」, 電学論 A, Vol.125, No.4, 2005