



劣化診断技術

ビスカスの開発した水トリー劣化
診断技術について紹介します。



劣化診断技術の必要性

- 電力ケーブルは、電力輸送という社会インフラの一端を担っており、絶縁破壊事故による電力輸送の停止は大きな影響を及ぼします。
- 電力ケーブルが使用される環境は様々ですが、長期間、使用環境下において性能を満足する必要があります。
- 電力ケーブルに用いられる絶縁体(XLPE)は、使用環境にも異なりますが、経年により劣化し、絶縁性能が低下します。
- 絶縁性能の低下の程度を知ることにより、絶縁破壊事故の前に、適切な改修を行うことが可能となります。

CVケーブル中の水トリー

CVケーブルが使用条件下において外部から水分が浸入した場合、絶縁体中のボイド、異物、突起を起点として水トリーが発生し、時間と共に成長します。

水トリーはその内部に水分を含むことから、抵抗が低く、その形状から、絶縁性能の低下を引き起こします。この水トリー劣化は、ケーブル絶縁体の劣化の主要因の一つです。

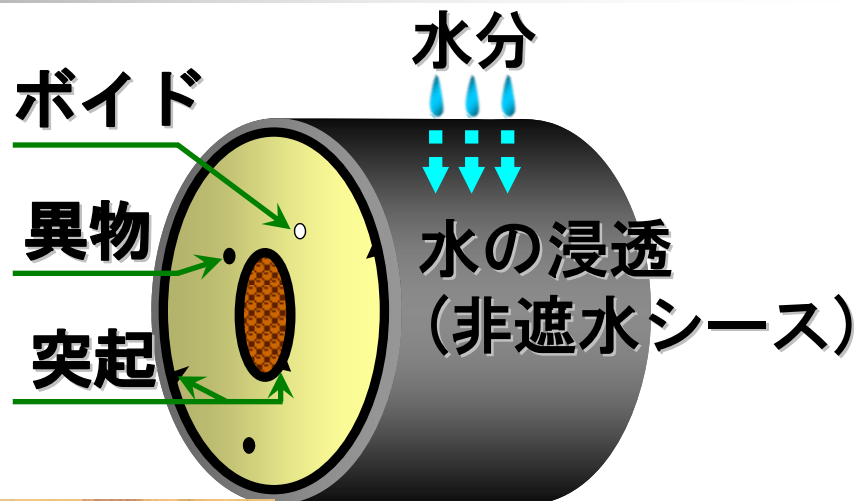


図1 水トリーの発生要因



図2 水トリーからの電気トリー



ビスクヤスの劣化診断技術

- ビスクヤスでは、特別高圧ケーブル(特に22～77kV級)の水トリー劣化診断法として、損失電流法と残留電荷法の開発を行い、これらを実線路の劣化診断技術として提供しています。主な特徴は以下の通りです。
- 損失電流法: 損失電流中に含まれる第3次高調波成分を用い、絶縁性能を評価します。
- 残留電荷法: 残留電荷が検出される際の電圧を用い、測定対象線路の残存破壊電圧を推定します。

損失電流法 (水トリー劣化に伴う変化)

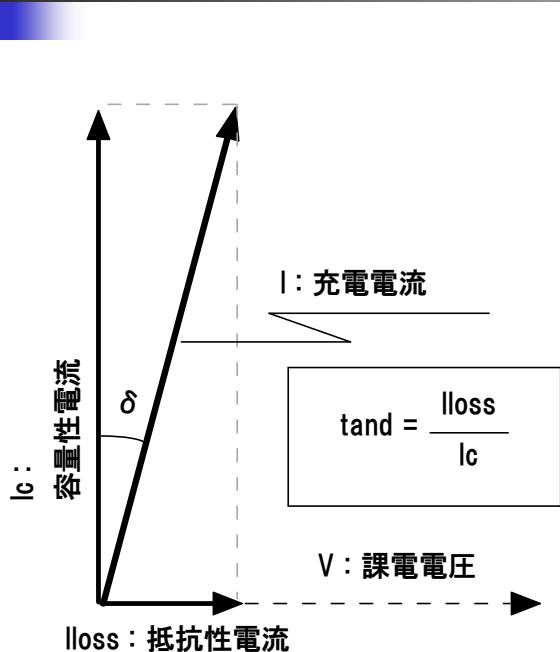


図3 損失電流

損失電流は、充電電流に含まれる抵抗性電流となります。

Growth of water tree

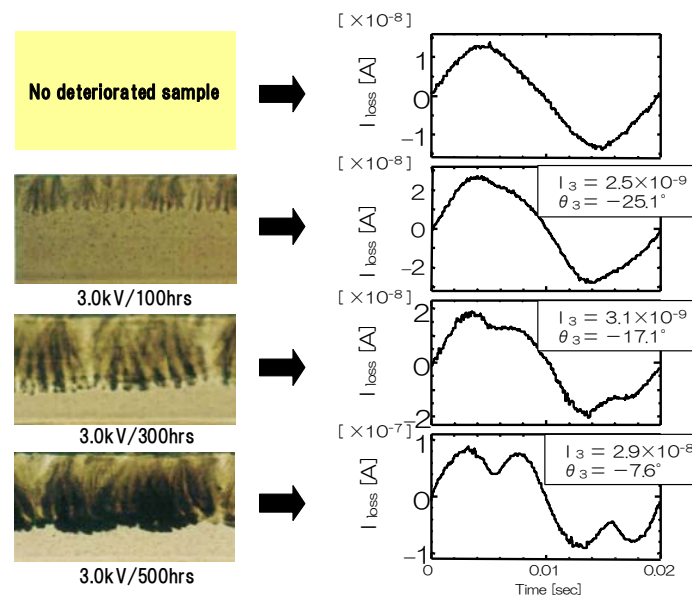


図4 水トリーの進展と損失電流波形

(電学論B Vol.119, No.4)

水トリーが進展すると、高調波成分の発生により損失電流波形が歪みます。このとき、水トリーの進展に伴い、第3次高調波電流の大きさは大きくなり、位相は 0° 方向にシフトします。

損失電流法 (第3次高調波成分)

水トリー劣化したCVケーブルにおける損失電流中の多くは、**基本波成分**と**第3次高調波成分**となります (図5)。

第3次高調波成分における電流の大きさ (I_3) は水トリーの発生数、位相 (θ_3) は水トリー長と良い相関を示します。

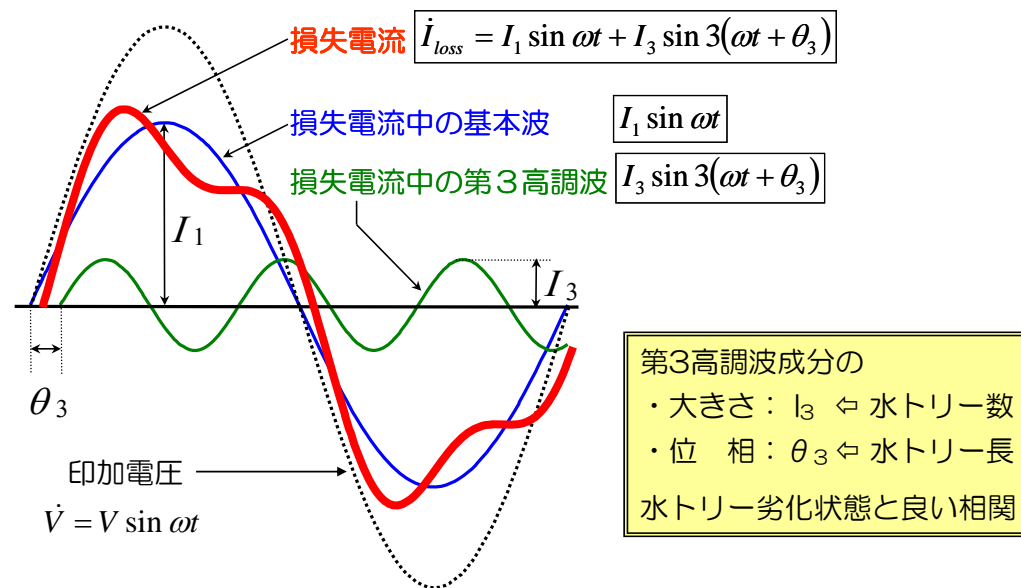


図5 損失電流波形の成分

損失電流法(劣化判定)

第3次高調波成分のパラメータ (I_3 、 θ_3) を用い、水トリー分布を考慮することにより、劣化判定を行う曲線を描く方法を考案し、この有効性を検証しました。

測定される損失電流信号は、(1)式で表現されますので、周波数解析をすることにより、第3次高調波成分を取り出すことができます。

その結果を図6の判定平面上に描き、良/要注意判定を行います。

$$\dot{I}_{loss} = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin n(\omega t + \theta_n) \quad (1)$$

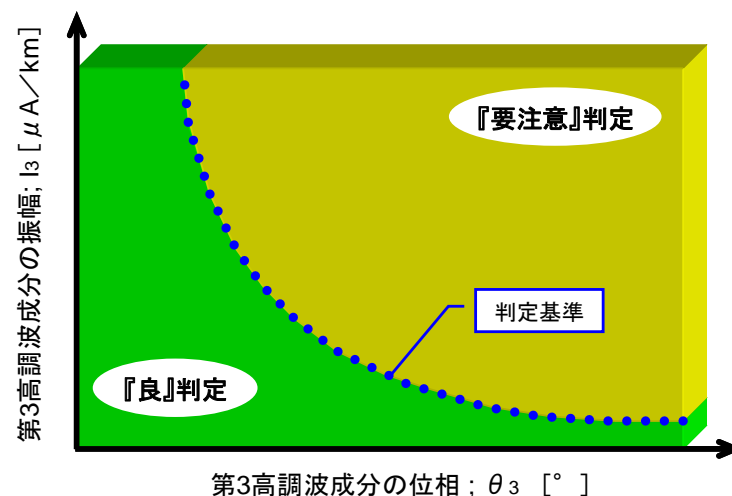


図6 損失電流法による劣化判定平面



損失電流法（関連技術）

- CVケーブル線路では、様々な終端接続部の形態があります。本劣化診断手法では、様々な終端形に対応できる研究開発を行い、実用化を果たしています。

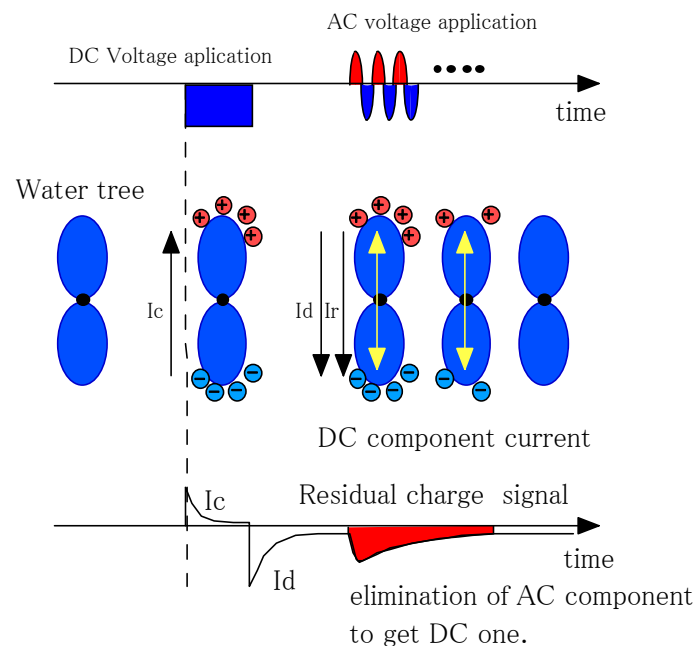
これらの技術開発およびデータベースの構築は、東京電力株式会社殿との共同研究にて行われました。

残留電荷法(原理)

残留電荷法？

水トリーが発生しているCVケーブルに直流電圧を加えた場合、水トリー周辺に電荷が蓄積し、長時間残留します。

これらの電荷は、交流電圧を加えることにより、急激に緩和されます。このときに流れる電流を検出する方法が残留電荷法です。



The mechanism of residual-charge signal generator.

図7 残留電荷法の概念図

残留電荷法(改良した手法)

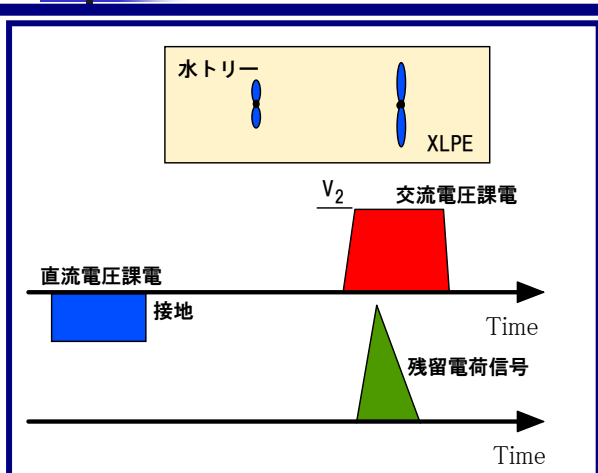


図8 従来の残留電荷法

従来、残留電荷を測定するための交流電圧は決められた一定の電圧だけでした。このため、様々な長さの分布を有する水トリーに蓄積した全ての電荷が検出されます。

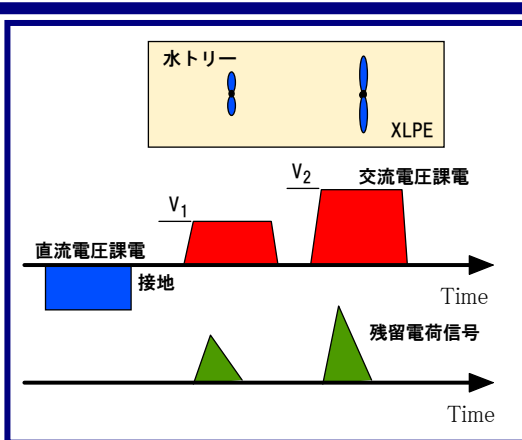


図9 改良した残留電荷法(1)

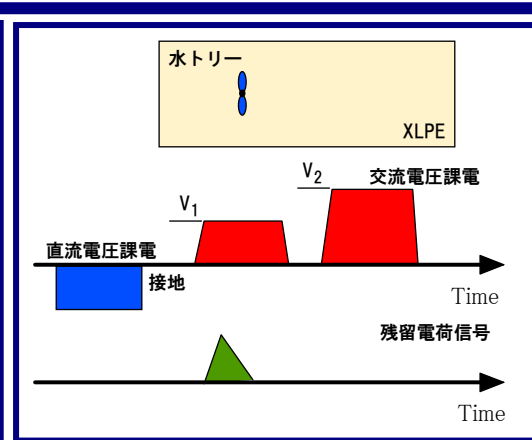


図10 改良した残留電荷法(2)

研究・開発を重ね、水トリーの長さにより、蓄積した電荷を緩和させるために必要な電圧が異なることを見出しました。

“長い水トリー=高い交流電圧”

この特徴を利用することにより、交流電圧を図9の様に分けることにより、対応した長さの水トリーが存在するかが評価できます。対応する水トリーがなければ、残留電荷信号は検出されません(図10)。

水トリー劣化では、絶縁性能はその長さに強く影響されるため、水トリーの長さに適切に対応した信号を検出できることは劣化診断に有効です。

ビスカス独自の技術開発

残留電荷法 (劣化判定)

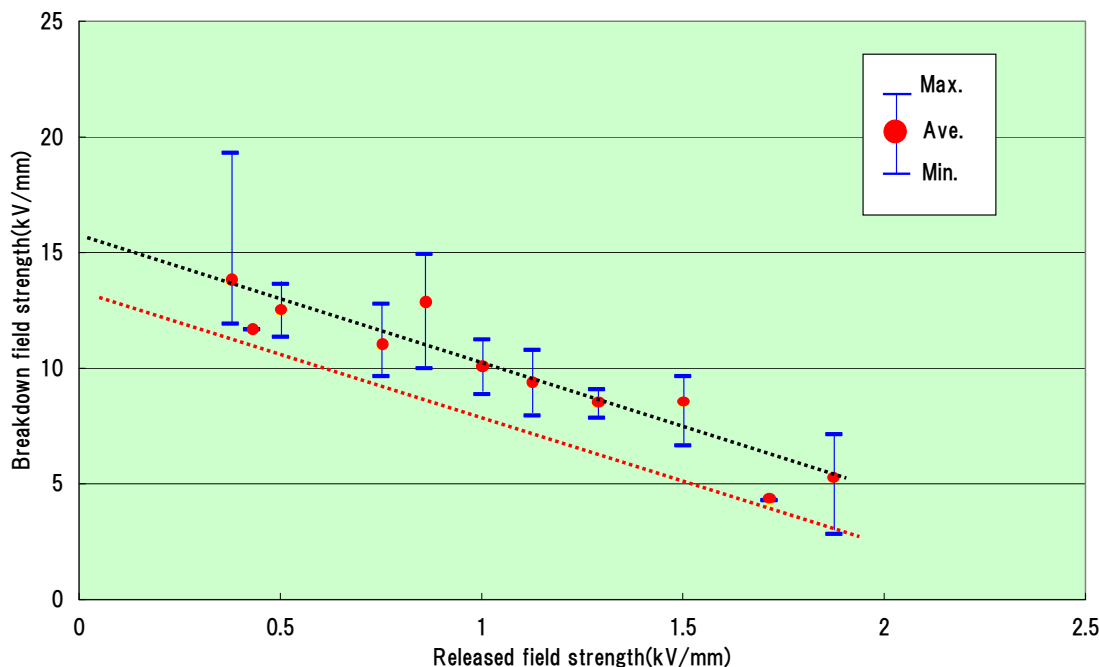


図11 改良した残留電荷法の劣化判定 (Proc. of JICABLE'03)

多くの撤去ケーブルを用いて評価した結果、残留電荷が検出された最高の交流電圧（横軸）と破壊電圧（縦軸）との間には、強い相関があることが検証されました。これらには、様々な長さの試料が含まれており、超尺となる実線路においても、このデータベースを用いて残存性能を評価することも検証されました。これらの技術は中部電力株式会社殿との共同研究にて開発されました。

残留電荷法(最新技術)

従来、残留電荷法では、水トリーに電荷を蓄積させる方法として、直流電圧課電が使用されてきました。しかしながら、実線路においては直流電圧課電のためには数十分の時間を要しており、測定時間の1/2~2/3を占めていました。また、実線路における端末形態によっては、直流電圧課電が敬遠される場合もあります。

このため、測定時間の短縮を含めた課題点を克服するために、直流電圧の代わりに、交流遮断波形を用いる手法を開発しました。これにより、測定時間は1/3~1/2へ短縮され、かつ他の課題も解決されました。

この手法は既に、多くの実線路で適用され、成果を出しています。

この技術を用いたデータベース構築は、東京電力株式会社殿との共同研究により行われました。

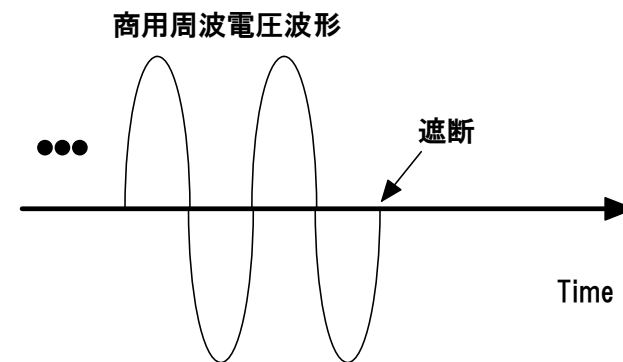


図12 直流電圧の代替としての遮断波形

劣化診断技術(まとめ)

- 損失電流法、残留電荷法は現在、22-77kV級のCVケーブルの劣化診断法として適用されており、多くの実績を積んでいます。また、実績などが認められ、各種の賞を受賞しています。
 - 損失電流法：電気科学技術奨励賞(H15)、澁澤賞(H17)、電気学会論文賞(H19)、電気学会進歩賞(H19)
 - 残留電荷法：電気科学技術奨励賞(H14)、電気学会進歩賞(H15)、澁澤賞(H19)
 - 損失電流法＋残留電荷法：CIGRE優秀論文賞(H16)
- これらの技術は、CVケーブル線路の保守を行う上で有用な情報を提供することが可能です。
- これらの技術については、更なる精度向上などについて検討しています。