

高分子電気絶縁材料の誘電特性計測を用いた劣化診断に関する研究

Deterioration Diagnosis of Polymer Insulating Materials by Dielectric Properties

報告者：片山 祐輔 (Yusuke Katayama)
指導教官：所 哲郎 (Tetsuro Tokoro)

Silicone rubber(SIR) especially has excellent hydrophobic property in addition to its excellent electrical, mechanical and chemical characteristics. The usage is expanding rapidly as an electric insulation material typically under the heavy contaminated environment. Therefore, it is very important to study its high field dielectric property as a deterioration diagnostic indicator.

In this study, the motion of water droplets on the SIR surface under AC high-field application and the observation of partial discharge in the treeing deterioration sample are evaluated from dielectric properties by using high-field dielectric property analyzing system. Deterioration diagnosis for under water absorption of polymer sample was performed by using a pair of inter-digital electrodes. The electrodes were set only on one side of sample surface.

1. はじめに

シリコーンゴムなどの高分子材料は優れた電気的・物理的特性を有しており、交流電界下における高分子電気絶縁材料として広く用いられている。従って、これら高分子電気絶縁材料の高電界誘電特性を把握し、その劣化診断技術を確立することは大変重要である。

一般に、電気絶縁材料の誘電特性は平行平板三端子電極系で試料を挟み込んで評価する。しかし、本研究で用いた高電界誘電特性測定システムでは一対のくし形電極を用いることにより、試料片側表面からの誘電特性の評価を可能としている。従って、実用機器の劣化現象を把握するのに有効な手法であるといえる。

本研究は、この高電界誘電特性測定システムを用いて、試料の誘電特性を劣化診断指標とし、高分子電気絶縁材料の劣化診断を行う上での基礎的研究を行ったものである。その一環として、くし形電極を用いた試料片側表面からの誘電特性の測定により、水浸劣化過程における試料の吸水劣化現象を評価可能であるかを検討した。さらに、この劣化診断手法に直流重畳電圧波形を用いること

により、直流重畳に伴う劣化試料の誘電特性の動的变化に着目して劣化診断を行った。また、くし形電極間に水滴を設置した状態で誘電特性を測定し、試料表面の撥水性の状態も考慮した劣化診断・評価を行った。以上の結果について報告する。

2. 測定に用いた試料及び電極系

シリコーンゴムは優れた諸特性の他に、撥水性も良好であるという利点を持つことから、初期劣化による試料表面の撥水性の低下を診断・評価することは重要である。そこで本研究では、厚さ6mmで大きさが50mm×60mmのシート状シリコーンゴムを測定試料に用いて誘電特性の測定を行った。

次に、本研究で試料の誘電特性を測定するために使用したステンレス製のくし形電極の構成を図1に示す。形状は電極幅4mm、厚さ3mm、内側3本の電極を高電圧電極、外側4本の電極を主電極としている。ここで、電極の先端部分を丸く加工したのは必要以上に電界が集中するのを防ぐためである。

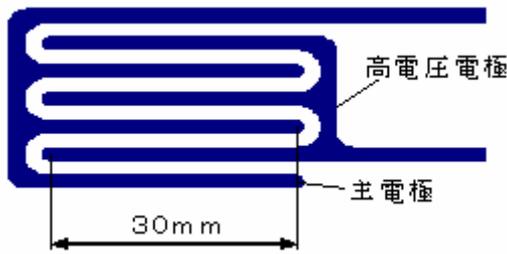


図1 くし形電極系

3. 実験方法

本研究では、電流比較形の高電圧 $\tan \delta \cdot$ キャパシタンスブリッジを用いた高電界誘電特性測定システムより試料の誘電特性を測定する。測定は、シールドされた恒温槽中に絶縁体を置き、その上に試料とくし形電極を設置して行う。くし形電極は主電極をキャパシタンスブリッジに、高電圧電極を高電圧増幅器 (TReK) にそれぞれ接続した。また、このくし形電極間に水滴を設置した状態でも誘電特性の測定を行なった。試料上に電極と水滴を設置した様子を図2に示す。図中に設置されたLEDは印加電圧の極性を見るためのもので、画像解析を行う時に使用した。図3は試料と電極の模式図で、試料の吸水や乾燥による試料表面及び内部の複素比誘電率 ϵ_r^* の変化や、くし形電極間の C_{air} の部分に付着した水滴の影響による誘電特性の変化を測定するものである。このくし形電極による測定では、電極間と電極間上部の空気部分の静電容量と電極下部のSIR試料の誘電特性を合わせて測定することになるが、電極間に水滴を設置すればその影響も検出することになる。そこで、電極間に水滴を設置した状態と設置しない状態の誘電特性を測定し、両者の結果から水浸劣化過程

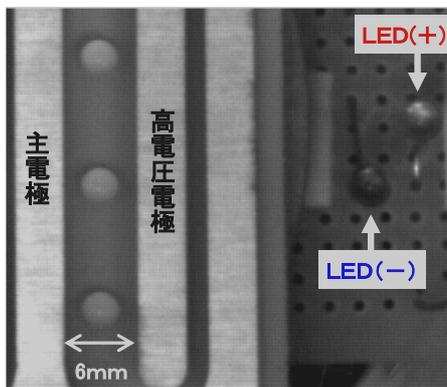


図2 試料面上のくし形電極と水滴の設置図

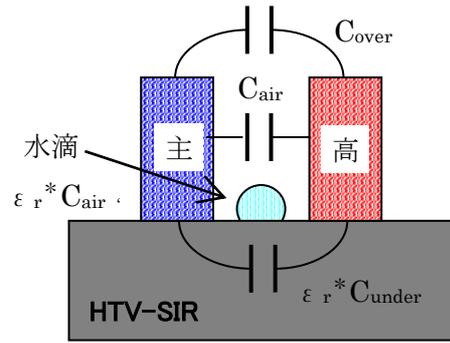


図3 試料とくし形電極の関係

における試料の劣化診断を試みた。

さらに本研究では、交流電圧を印加しながら、直流電圧分を印加できる直流重畳電圧波形を用いて誘電特性を測定し、水浸劣化過程における試料の劣化診断を試みた。図4は直流重畳電圧波形を模擬的に表したものである。この印加電圧は、始め交流電圧だけを0.9sec(30波形)印加する。そして交流電圧のピーク値を保持しながら、DCオフセット(0.6sec:20波形)を4回繰り返し、最後に交流電圧をピーク値から0Vまで0.9sec(30波形)で出力する。この結果、全測定時間は合計4.2secとなり、計140波形のデータを得ることになる。測定はFFT波形解析のプログラム上、周波数を33.333Hzに設定して行なった。実際に印加電圧

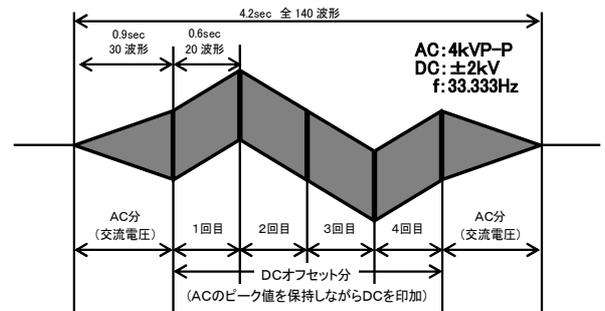


図4 直流重畳電圧波形

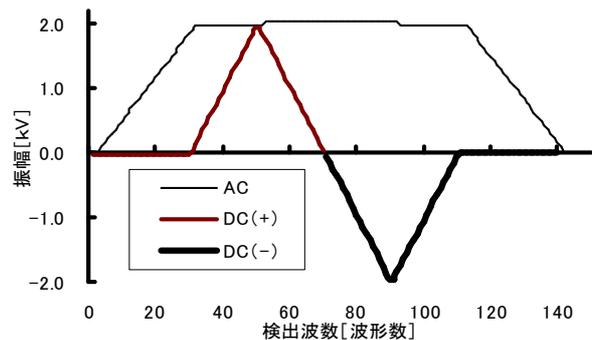


図5 直流重畳印加電圧波形の解析結果

波形を出力してFFT波形解析を行った結果を図5に示す。この結果からも、交流電圧分は $4\text{kV}_{\text{P-P}}$ でDCオフセット時はピーク値を保持している。直流電圧分は 2kV の振幅をしており、50波形と90波形で最大値と最小値を示している。

4. 実験結果及び検討

水浸劣化過程における試料の誘電特性の測定として、室温で試料の水浸を行った。図6はその水浸過程における試料の重量変化を表したものである。このグラフより、試料は室温で水浸させることにより吸水していることがわかる。また水浸後に試料を乾燥させた結果、重量は吸水した水分が乾燥し、水浸前とほぼ同じとなった。この試料に、周波数 $30\text{Hz} \cdot 4\text{kV}_{\text{P-P}}$ の交流ランプ波形を印加して試料の誘電特性を測定した。図7は水浸劣化過程における損失電流 I_{lr} の変化を表したものである。この結果より、水浸時間が増加すれば試料の I_{lr} も増加することがわかる。これは水浸することによって吸水し、試料自体が劣化したためであると考えられる。また乾燥させたことにより、吸水による水分が減少した結果、 I_{lr} は水浸前とほぼ同じ結果となった。

また、電極間距離 6mm の間に $20\mu\text{l}$ の水滴を3個設置した状態で試料の誘電特性を測定した。その結果を図8に示す。図7の測定結果と同様に、水浸時間が増加するほど I_{lr} も増加することがわかる。これは、水浸過程により試料表面の撥水性が低下し、設置された水滴面積が増加する。その結果、劣化前に比べて電極と水滴の距離が短くなり、試料表面で I_{lr} が流れやすくなったためであると考えられる。また乾燥過程を行うことによって I_{lr} が水浸前とほぼ同じ結果となったことから、乾燥させることによって試料表面の撥水性が回復したことがわかる。また電極間に水滴を設置して測定したほうが、誘電特性の変化を明確に検出することが可能であることが示唆される。

これらの結果から、くし形電極を用いることにより、試料片側表面からも水浸劣化過程における試料の吸水劣化現象を評価可能であることが確認される。

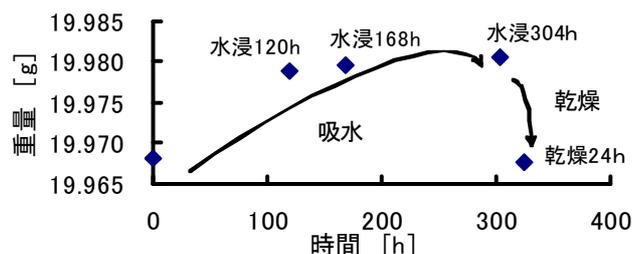


図6 水浸過程と乾燥過程の重量変化

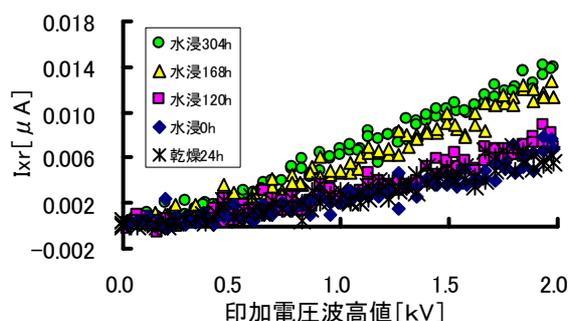


図7 水浸劣化過程と I_{lr} の関係[水滴無し]

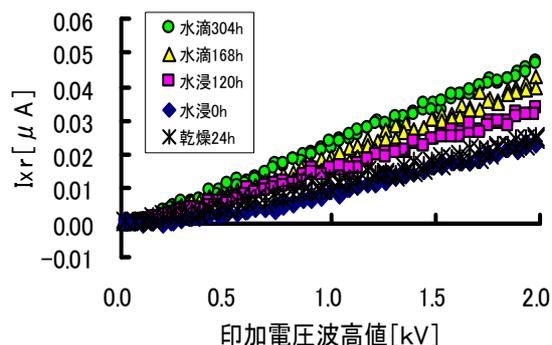


図8 水浸劣化過程と I_{lr} の関係[水滴3個設置]

次に、直流重畳電圧波形を用いた劣化診断・評価について説明する。測定は図5に示す印加電圧波形を用いた。そして、劣化していない撥水性の良い試料Aと、室温で長時間(約55日間)水浸劣化させた試料Bを用いて行った。

図9は電極間に水滴を設置した状態と設置しない状態の試料Aの損失電流 I_{lr} の結果を表したものである。設置した水滴は $10\mu\text{l}$ で3個設置した。この結果より、水滴を設置しても若干値が大きくなるだけで、ほとんど水滴を設置しない状態と同じ測定結果となった。また直流電圧重畳の影響も受けていない。従って、撥水性の良い試料は、水滴を設置しても I_{lr} の変化はほぼ無いといえる。

図 10 は試料 A と水浸劣化させた試料 B の、水滴を設置していない状態の I_{xr} を表したものである。この結果、試料 B は I_{xr} が大きく増加していることから、水浸劣化させることによって試料自体が劣化することを測定結果から確認することができる。そこで、この試料 B に水滴を設置して誘電特性の測定を行った。その結果を図 11 に示す。

設置した水滴は 1 個で、グラフ中には印加電圧波形を模倣的に示した。この結果より、試料 B に水滴を設置した状態では I_{xr} がより大きく増加しており、 I_{xr} の変化があまりなかった試料 A の測定結果とは異なる。よって、水浸劣化させることによって試料 B の撥水性が低下したことが I_{xr} の増加として検出されている。また、水滴を設置した状態での I_{xr} は直流重畳による直流電圧分に依存した形で増加し、直流電圧分が最大振幅となる波形数 50・90 波形付近で大きく増加することが確認された。そこで、さらに水滴を 3 個設置して測定を行った。その結果を図 12 に示す。水滴 3 個の測定結果が 90 波形付近で終わっているのは、水滴が電極間を短絡したためである。この結果より、水滴を 3 個設置した方が、 I_{xr} がより大きく増加することがわかる。また水滴を 3 個設置したことで、 I_{xr} の増加は直流重畳による直流電圧分の影響をより顕著に受けることが確認された。

これらの結果から、水浸劣化過程における試料の吸水劣化現象を、直流重畳電圧波形を用いて誘電特性を測定することにより、試料の劣化診断を行うことが可能である。また、電極間に水滴を設置することにより、直流重畳に依存した誘電特性の検出から、より明確な劣化診断が可能になることが示唆される。

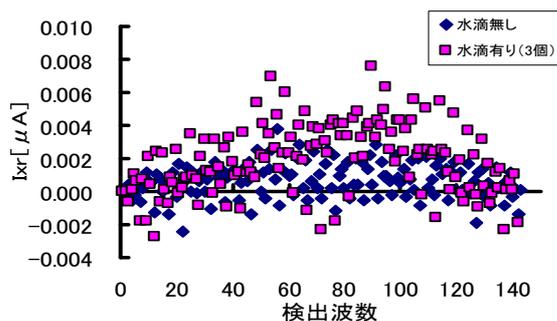


図 9 損失電流 I_{xr} の測定結果[試料 A]

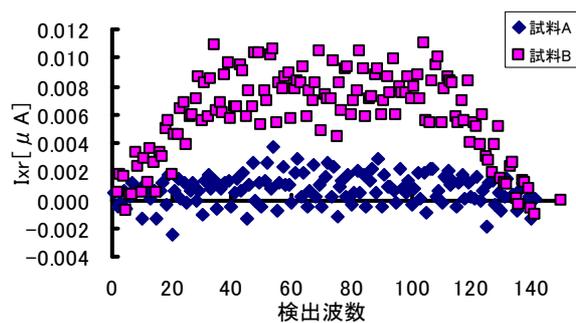


図 10 試料 A と試料 B の I_{xr} の比較

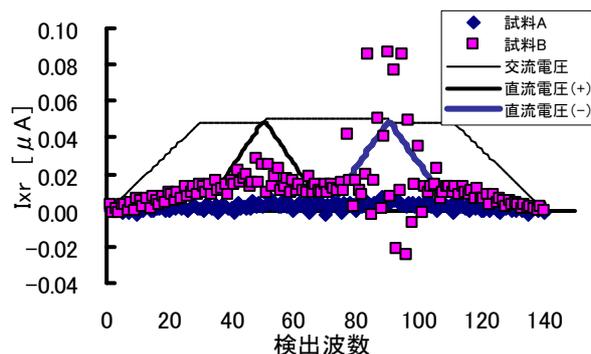


図 11 試料 B の I_{xr} の測定結果[水滴 1 個]

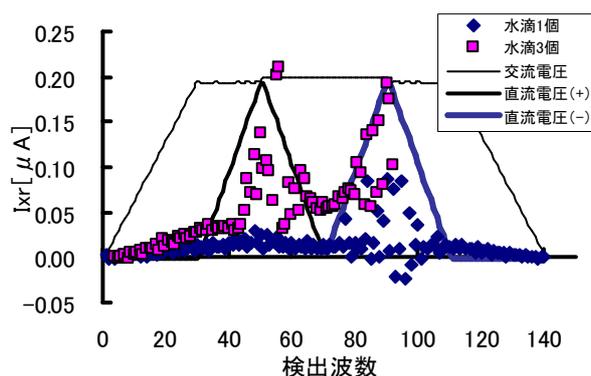


図 12 試料 B の I_{xr} の測定結果[水滴 3 個]

5.まとめ

くし形電極を用いて試料片側表面から誘電特性を測定することにより、水浸劣化過程における試料の吸水を評価することが可能となった。さらに本研究では、直流重畳電圧波形を用いることにより、直流重畳に依存した誘電特性の検出から、より明確に劣化を評価可能であることが示唆された。

今後は、水浸劣化試料に水滴を設置した状態の誘電特性と水滴の画像解析結果を対応させ、より明確な劣化診断技術の向上が望まれる。

参考文献

所 他：「高分子がはいし表面の水滴挙動の誘電特性による評価」、第 34 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム、pp. 53-56, 2002.