

DSPを用いた高電界誘電特性解析システムの開発

Development of High-field Dielectric Property Analyzing System by Using DSP

進藤 久典 (Hisanori Shindo)

指導教官： 所 哲郎 助教授 (Tetsuro Tokoro)

Generally, dielectric property of insulating material is evaluated by using three terminal parallel plane electrodes. Loss tangent and capacitance of thin samples are measured as bulk properties of the material. In this study, a pair of inter-digital electrodes is set on a sample surface, such as silicone and EPDM rubber insulators. Then the dielectric property is measured by using the leakage of the electric field lines from the inter-digital finger electrode edges to the sample.

Digital signal processor (DSP) is used for data processing. DSP measuring system of dielectric materials can simultaneously detect and calculate the change in dielectric properties of polymer surface during absorption and evaporation of the moisture of the sample for every one cycle of 50 Hz electric field application.

1. はじめに

シリコンゴムは、優れた電氣的・物理的特性を有する高分子材料である。そのため、屋外電力機器などの交流電界下における絶縁材料として広く用いられている。従って、その高電界誘電特性を把握することは大変重要な意味を持つ。

一般に電気絶縁材料の誘電特性は、平行平板3端子電極系を用いて試料をはさみ込むことにより、厚さ方向の \tan や静電容量として評価される。本研究では、一對のくし形電極系を試料の片側のみに接触させて、試料片側表面からの誘電特性の測定・評価を試みた。平行平板3端子電極系を用いて測定を行う場合には、電極端部の漏れ電気力線を少なくすることが重要であったが、くし形電極系での測定では、この漏れを有効に用いることになる。

DSP (Digital Signal Processor) を用いた高電界誘電特性解析システムは、任意の印加電圧波形を出力しつつ、検出信号のア

ペレージングを行い、リアルタイムに FFT 波形解析を行うことができる。くし形電極系と DSP 測定系を共に用いることで、ゴム試料の吸水・乾燥過程などの誘電特性の動的変化を、試料片側表面から検出することが可能となる。本研究ではその一例として、試料表面に蒸留水を噴霧した時の、くし形電極系間の誘電特性の時間的変化を観測した。

2. 測定に用いた試料および電極系

主に本研究で用いた試料は、実際にカナダで使用されていた HTV シリコンゴムのラインポストがいしを切り分けたものや、厚さ 6mm で大きさが 50mm × 60mm のシート状シリコンゴムで、測定前の試料は、室温大気中にて乾燥中のものである。

測定に用いたくし形電極系は、電極幅・電極間隔が共に 2mm のステンレス製で、厚さが 3mm のものである。その形状を図 1 に示す。このくし形電極において、内側

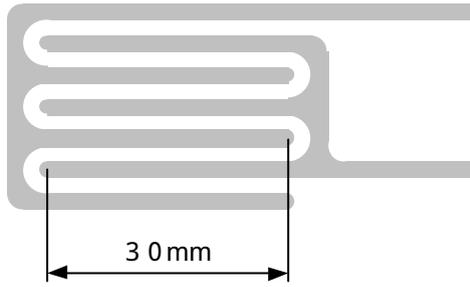


図1 くし形電極構成

3本の電極を高電圧電極、外側4本の電極を主電極とした。このくし形電極の先端は必要以上に電界が集中するのを防ぐために丸く加工してある。実際に、くし形電極の先端部分を丸く加工したものと、加工しないものの大気中での部分放電開始電圧を比較してみると、丸く加工した方の放電開始電圧が高くなることが確認できた。

3. 実験方法

測定は次のような手順で行った。まず、全測定系の伝達関数の周波数特性を評価してから、ゴム試料の誘電特性の測定を行う。ここで測定した伝達関数は交流損失電流波形の解析を行う際に利用する。その後、電極系や試料に一定の高電圧を印加し、キャパシタンスブリッジを調節して、同調をとる。これにより試料の静電容量と \tan を測定する。

ブリッジが平衡したら、交流ランプ波等を印加して交流損失電流応答の検出を行う。

測定後に、先に評価した測定系全体の伝達関数を用いて検出結果を解析することで、試料の誘電特性を評価することができる。

実験は全て、シールドされた恒温槽中に試料や電極系を入れて行った。恒温槽中に置かれた絶縁台の上にアクリル板を置き、その上に電極を置いて、さらにその上に試料を設置して測定を行う。この配置で行う測定には、ゴム試料の有無による検出電流の差分から評価する方法(1)と、ブリッジの容量成分不平衡時における評価方法(2)の2つの方法がある。前者は、電極に試料をのせた時とのせない時の両方でブリッジの同調をとり測定を行う方法であり、後者は、電極系のみでブリッジの同調をとり、ゴム試料を電極上にのせてから、もう一度同調を行わずに測定を行う方法である。

また、電極系と試料表面全体に蒸留水を噴霧した場合の、試料の誘電特性の変化について測定を行った。この場合には試料の上に電極を配置する。これは電極系に電界を印加中に試料面全体に蒸留水を噴霧した場合の変化を検出するためである。

図2にDSPを用いた高電界誘電特性測定回路の概略図を示す。DSP測定系では任意回数のアベレージングが可能であり、本研究では必要に応じて100回ずつアベレージング処理を行っている。

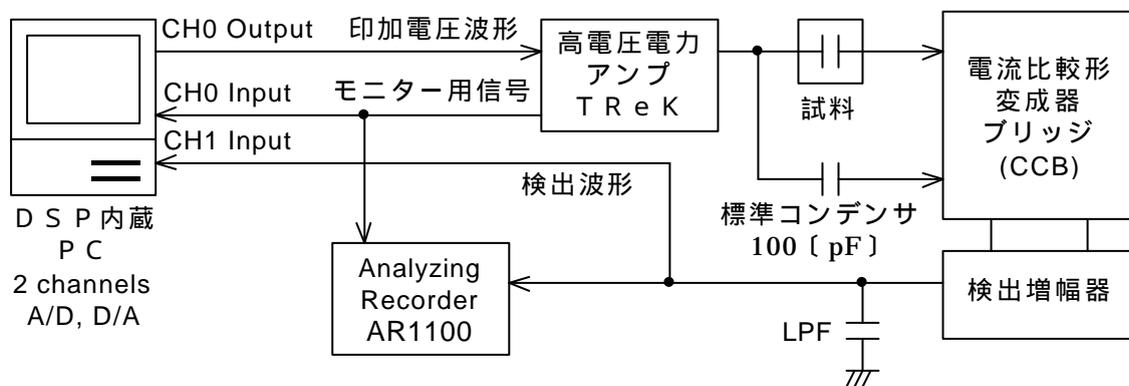


図2 DSPを用いたゴム試料の高電界誘電特性測定回路

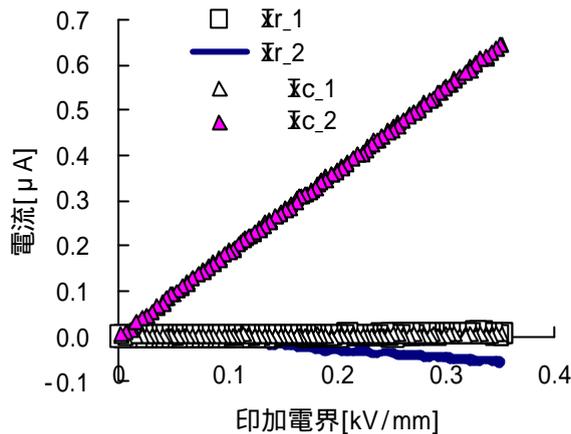


図3 測定方法の違いによる結果の比較

4. 実験結果および検討

まず、HTV シリコンゴムを試料とした場合の測定方法(1)と(2)の違いによる結果の比較について図3に示す。これらの損失電流 I_{xr} の結果は同じになると予測して測定を行ったが、図を見ると違う結果となっている。容量電流の不均衡分 I_{xc} については、 I_{xc_1} は同調しているため0であり、 I_{xc_2} はブリッジの同調で得られた容量の差から計算すると印加電界最大の時に $0.63[\mu A]$ となり、図3に一致する。損失電流 I_{xr_2} が負となった原因は、用いた伝達関数の位相が6度ずれていたためであった。(1)の方法では、容量電流成分をブリッジで打ち消して測定しているため、伝達関数がだけずれると I_{xr} は $I_{xc}\cos$ となる。これに対して、(2)の方法では容量電流成分を打ち消さずに測定しているため、損失電流の評価に $-I_{xc}\sin$ が加わる。場合によっては、見かけ上、損失電流の値がマイナスの値になるため、注意が必要である。(2)の方法で測定を行う場合には、伝達関数の正確性が特に要求される。

次に、試料とくし形電極系に蒸留水を噴霧した場合の測定結果について示す[1]。一定電界を試料に印加している途中で、蒸留水を噴霧した場合の結果について図4と図5に示す。図4はDSPのA/Dコンバ

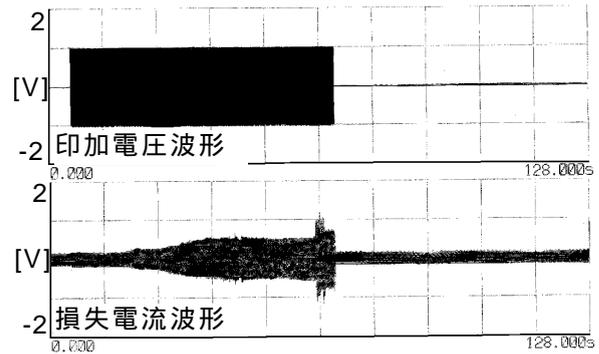


図4 一定電圧印加時の各取り込み波形

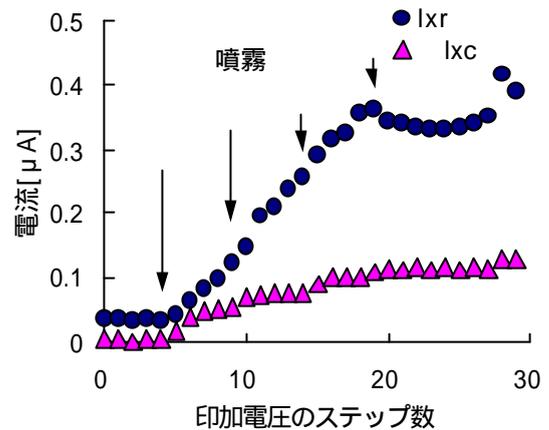


図5 一定電圧印加時の解析結果

ータに取り込んだ波形で、図5はその解析結果である。この測定では2[kVp-p]の一定電圧を30ステップ印加している。ここで、1ステップとは50[Hz]の正弦波を100回印加し、アベレージングすることとしている。蒸留水は図5中の矢印に示したところで、計4回噴霧した。この結果を見ると、蒸留水を噴霧することで、損失電流が徐々に増加し、特に3回目の噴霧までは、噴霧する度に変化が大きくなるのがわかる。容量電流の不均衡分については、噴霧することで増加はするものの、損失電流ほど増加しないのがわかる。

次に交流ランプ波電圧印加時に蒸留水を噴霧した場合の結果について、図6, 7, 8に示す。図6は交流ランプ波電圧を2回連続して印加し、1回目と2回目の印加の間に噴霧した場合の印加電圧波形と損失電流波形を示し、図7はその解析結果である。

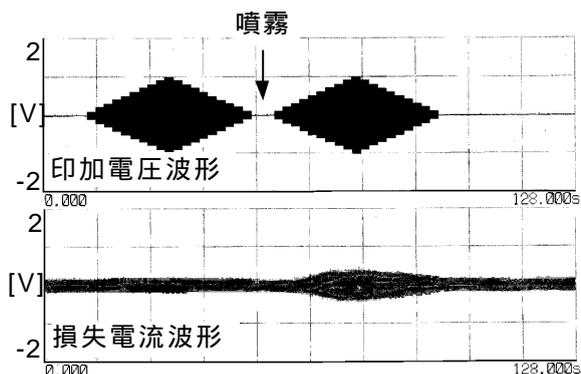


図6 交流ランプ波電圧印加時の取り込み波形

また、図8は交流ランプ波電圧を5回連続して印加し、1回目と2回目の間と、3回目と4回目の電圧印加の間に蒸留水を噴霧した場合の解析結果である。これらの交流ランプ波電圧は最大電圧が2[kVp-p]で、2回印加した場合は、1ステップ毎に0.2[kVp-p]、5回印加した場合は0.4[kVp-p]ずつ増加するように設定した。また、これらの1ステップ中に50[Hz]の正弦波を100回印加し、アベレージングしている。これらの結果を見ると、一定電圧印加時と同様に、損失電流は大きく増加し、容量電流の不均衡分も増加することがわかる。また、図8の2回目と3回目の交流ランプ波印加時の結果から、3回目は蒸留水を噴霧していないのにも関わらず、2回目より電流が増加していることがわかる。これは試料面上の水滴形状の変化を示唆している。

5. まとめ

本研究により次のことが明らかとなった。

試料を電極上にのせて測定を行う場合の2種類の方法では、測定方法により伝達関数の正確性が問われるため、注意が必要である。試料表面とくし形電極系に蒸留水を噴霧して誘電特性の測定を行った場合には、損失電流は大幅に増加し、容量電流の不均衡分も増加する結果となった。この電流の

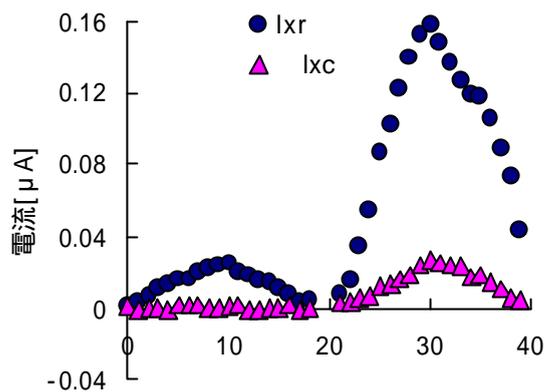


図7 2連ランプ波印加時の解析結果

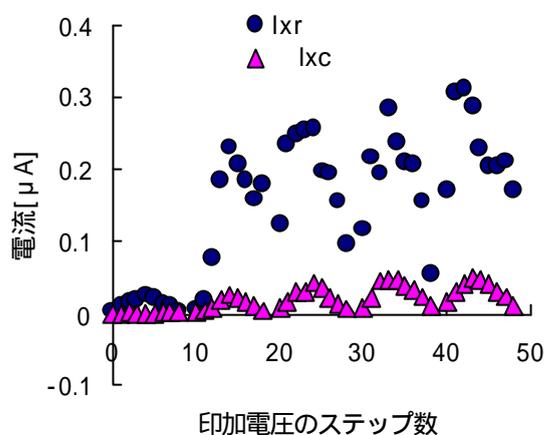


図8 5連ランプ波印加時の解析結果

増加は電界依存性にヒステリシスや時間依存性を有すること、この増加はある程度時間が経過しても減少せず、さらに蒸留水を噴霧することでその値が増加することなどが確かめられた。

今後、蒸留水を噴霧した場合の、試料上の水滴の形状変化と、この誘電特性の対応について検討されることが望まれる。

参考文献

[1] H. Shindou, T. Tokoro and M. Kosaki, "DSP Measurement of Dielectric Property of Polymeric Materials Using Interdigital Electrodes", IEEE CEIDP, pp. 600-603, 2000.