

研究成果報告書

所属機関
名城大学

職名
准教授

氏名
村上 祐一

研究テーマ

低環境負荷および再生利用可能な電気絶縁ゲル材料の開発

研究報告

1. 研究の背景と目的

電気自動車やハイブリッド車などの電気モーターの制御にはインバータが搭載されており、これらの機器の電気絶縁にはシリコンゲルが広く使用されている。SDGs やカーボンニュートラルのような環境問題への対策が世界中で求められていることから、本研究では、低環境負荷および電気絶縁ゲル材料を開発することを目的とした。再生利用可能なゲル系電気絶縁材料の検討のため、絶縁劣化したシリコンゲル試料の自己回復性とその回復後の絶縁破壊特性あるいは絶縁回数との関係を調査した。また低環境負荷のゲル系電気絶縁材料の検討のため、自然由来の材料からゲル系材料の開発を行い、電気絶縁特性を取得した。

2. 研究成果および考察

2.1 高電圧印加装置および電気トリー観測システム

図1のような交流高電圧下でのシリコンゲル内の電気トリー観測システムにて実験を実施した。高電圧印加下におけるシリコンゲル内の電気トリーの観測は、光学顕微鏡を通して顕微鏡用カメラで動画を撮影し、その動画を1秒毎に画像化し、Python(OpenCV)の画像処理を用いて電気トリーの最大長さを観測した。なお、オシロスコープ(故障したため途中から購入し使用)および顕微鏡用カメラは本助成にて購入したものである。

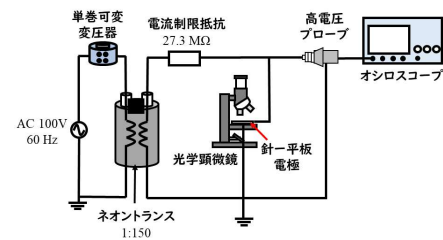


図1. 交流高電圧下でのシリコンゲル内の電気トリー観測システム

2.2 ゲル系電気絶縁材料の自己回復性の調査

自作した針-平板電極間にシリコンゲルを塗布した。このシリコンゲルに、交流ステップ電圧(周波数 60 Hz, 最大値8 kV)を混合比1:1から作製したシリコンゲルには10秒, 混合比2:3のものには20秒間印加した。電圧遮断後、電気トリーが発生したシリコンゲル試料を1~72時間静置(大気圧, 室温)したものを自己回復試料とした。

図2および図3に混合比1:1および2:3にて作製したシリコンゲルの自己回復過程を示す。図2でのシリコンゲル(混合比1:1)は柔らかいため、電圧印加を停止直後に電気トリーは小さくなった。また、静置時間(自己回復時間)が長くなるほど、電気トリーは小さくなるのがわかった。図3でのシリコンゲル(混合比2:3)は混合比1:1のものよりも硬いため、電圧印加停止後も電気トリーがシリコンゲル内に残った。また、静置時間すなわち自己回復時間が長くなるほど、電気トリーは若干小さくなっているようにみえた。

図4に混合比1:1および2:3のシリコンゲルの電気トリー長さの時間特性に及ぼす自己回復の影響を示す。図中のマーカーは電気トリーの長さを、黒色破線は印加電圧を示す。混合比1:1のシリコンゲルでは、1時間静置後試料の電気トリー進展は、未処理試料のものと同一ような傾向を示した。図2に示す通り、1時間静置後では若干電気トリーが残っているが、電気トリー進展には影響を与えないようにみえる。24時間静置後試料では、未処理および1時間静置後試料と比較して、電気トリー発生や進展が抑制されることが示された。混合比2:3のシリコンゲルでは、横軸が0秒(無印加)にて縦軸の最大トリー長さが0ではないのは、図3の通り、混合比2:3のシリコンゲルは目視で確認できるレベルのトリーがゲル内に存在しているからである。電気トリーは、回復時間による進展の相違があまり認められなかった。

以上より、シリコーンゲル試料は柔らかいほど、自己回復の効果を受け、自己回復後では電気絶縁性が向上する可能性も示された。

次に、自己回復がシリコーンゲルの交流絶縁破壊電圧に及ぼす影響を検討した。試料は混合比1:1のシリコーンゲルを使用し、真空乾燥器を用いて、50℃で1時間静置することでシリコーンゲルを硬化させた。この試料に交流高電圧を印加し、全路破壊が生じた電圧を測定した。全路破壊した試料は減圧下(1.3Pa)に30分間静置することで絶縁性能を回復させた。図5に混合比1:1のシリコーンゲルの交流絶縁破壊電圧と自己回復回数の関係を示す。図5から、室温静置の交流絶縁破壊電圧は未破壊のものよりも低いことがわかる。これは、一度全路破壊が生じた試料では回復が生じないためだと考えられる。この全路破壊後のゲル試料の絶縁性を回復させるため、シリコーンゲルの回復は減圧下で行った。その場合、図5にも示す通り、減圧下にて回復したシリコーンゲルの交流絶縁破壊電圧は、破壊前のものと同程度になることが示された。図6には混合比1:1のシリコーンゲルの全路破壊痕と回復(減圧下静置)の関係を示す。図6から、回復後のシリコーンゲルに対して再度電圧を印加すると、前回の破壊痕とは別の箇所から全路破壊が進んでいることが示された。通常、絶縁体では低抵抗部分である弱点部から破壊が進んでいく。図6では、破壊痕は残ったままであるが、その部分は絶縁性が向上し、別の箇所から放電が進展している様子が観測された。

以上のことから、全路破壊したシリコーンゲルに対して減圧下静置することは、ゲルの絶縁性を回復させる有効な手段であることが示された。

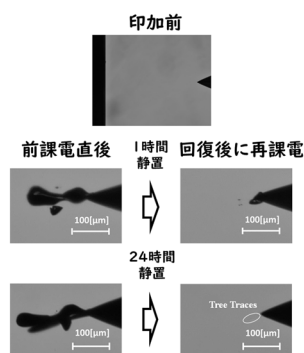


図2 混合比1:1のシリコーンゲルの自己回復過程

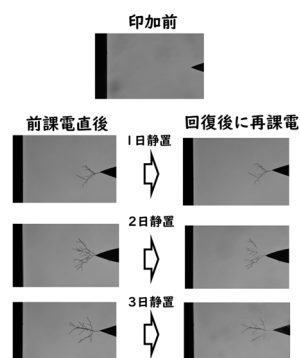


図3 混合比2:3のシリコーンゲルの自己回復過程

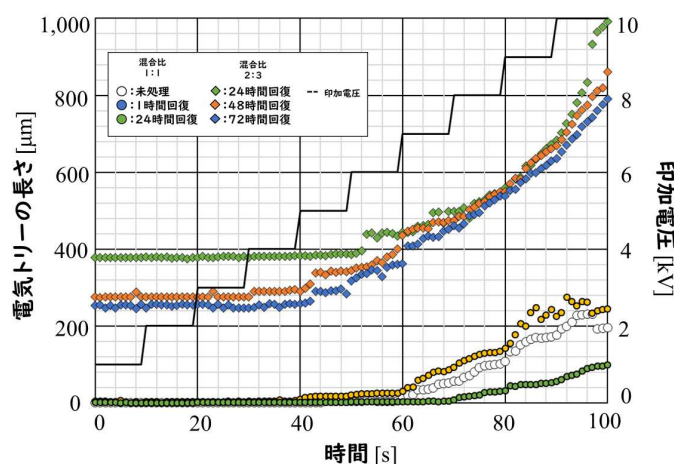


図4 混合比1:1および2:3のシリコーンゲルの電気トリー長さの時間特性に及ぼす自己回復の影響

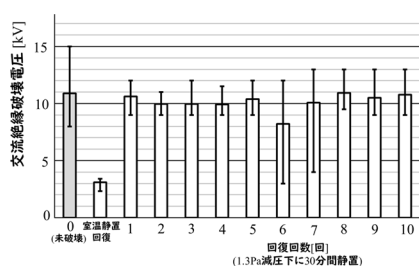


図5 混合比1:1のシリコーンゲルの交流絶縁破壊電圧と自己回復回数の関係

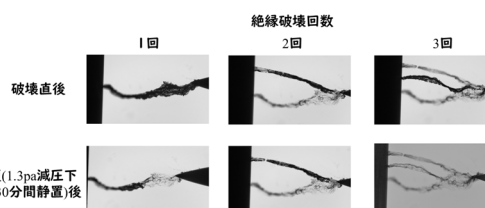


図6 混合比1:1のシリコーンゲルの全路破壊痕と回復(減圧下静置)の関係

2.3 低環境負荷ゲル系電気絶縁材料の開発

低環境負荷ゲル系電気絶縁材料の開発として、油脂凝固剤により食用米油を凝固させた。まず、10[0°C]に加熱した米油50[mL]に対して凝固剤1.4[g]を混合し攪拌し、試料を作製した。図7は凝固米油の交流絶縁破壊電圧を示しており、液体米油(凝固前)、凝固直後の凝固米油、1日静置した凝固米油およびシリコンゲルの交流絶縁破壊電圧を示す。図7より、1日静置した凝固米油の交流絶縁破壊電圧は、液体米油(凝固前)やシリコンゲルのものよりも高いことが示された。図8に凝固米油の交流絶縁破壊電圧に及ぼす凝固剤量の影響を示す。凝固剤の量は、図7の量を基準として3倍および5倍の範囲では、凝固米油の交流絶縁破壊電圧に影響しないことが示された。

また、上記の植物油由来の材料の他にもカルボキシメチルセルロースナトリウムとクエン酸にてゲル材料を作製した。作製したゲル材料は電気絶縁性が低いことが示された。

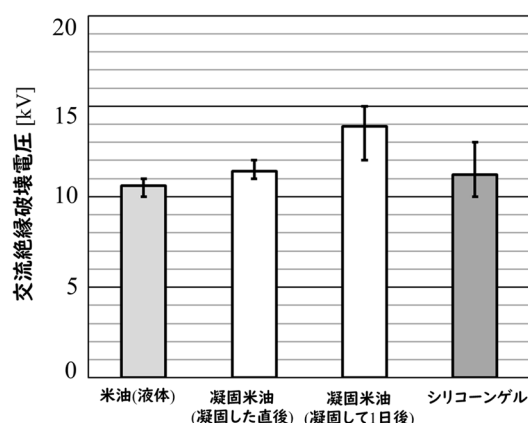


図7 凝固米油の交流絶縁破壊電圧

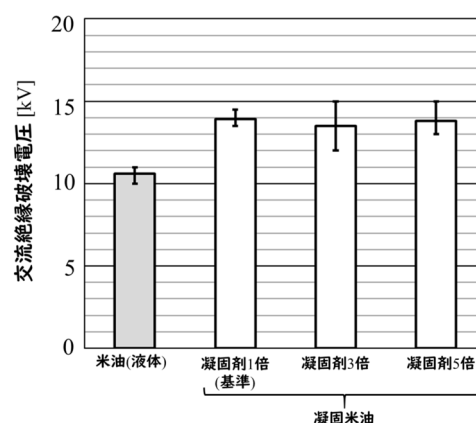


図8 凝固米油の交流絶縁破壊電圧に及ぼす凝固剤量の影響

3. 将来展望

本研究では、低環境負荷および再生利用可能の観点から、ゲル系の電気絶縁材料の研究に取り組んだ。本研究の展望として、材料の自己回復性に関しては、さまざまな実使用環境にて研究を行う必要がある。今後の実用化に向けて、自己回復機構の解明や自己回復後の各種特性の信頼性が重要になってくると思われる。環境低負荷のゲル材料開発に関しては、電気絶縁特性だけでなく、その他のパラメータ測定を行い、実用化に向けてアピールする予定である。

4. 研究発表

1. Yutaka Kato, Yuichi Murakami & Yuji Muramoto, “Effect of Residual Traces on Electrical Tree Progress in Silicone Gel”, 2023 IEEE Annual Report-Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, (CEIDP'23), B3, pp.38-41 (2023)
2. 加藤豊, 村上祐一, 村本裕二:「着色剤添加シリコンゲルの電気トリーの観測」, 令和5年度電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会, B4-1 (2023)
3. 加藤豊, 村上祐一, 村本裕二:「シリコンゲルの硬さが自己回復後の電気トリー進展に及ぼす影響」, 第47回静電気学会全国大会, 12pD-2, pp.195-196 (2023)
4. 加藤豊, 村上祐一, 村本裕二:「シリコンゲルの自己回復時間が及ぼす電気絶縁特性への影響」, 電気学会 電気学会 誘電・絶縁材料/電線・ケーブル合同研究会, DEI-23-075, EWC-23-024, pp.49-52 (2023)

※今回実施させて頂いた「ゲル系電気絶縁材料の自己回復性の調査(2.2)」および「低環境負荷ゲル系電気絶縁材料の開発(2.3)」に関しては、今後も研究を遂行して論文投稿する予定である。