

報告番号

*
之

第

3125号

主論文の要旨

題名 T S Cによる油—高分子複合絶縁
界面現象に関する研究

氏名 落合 鎮 康

主論文の要旨

報告番号	※ 甲 第 乙 号	氏名	落 合 鎮 康
<p>油-クラフト紙複合絶縁系が油浸複合絶縁の主体として長期間にわたり使用されてきた。しかしながら、近年の電力機器の高電圧化、高性能化、大容量化、小型軽量化の要求にともない、従来の油浸クラフト紙に代り、誘電損が小さく絶縁破壊強度の高い高分子フィルムを用いた油浸絶縁紙-ポリプロピレン (PP) フィルム、油浸PPフィルム複合絶縁が広く適用されつつある。</p> <p>油-高分子フィルム複合絶縁は缶形コンデンサとして実用化され、さらに大容量タンク形コンデンサへ適用されつつある。さらに電力用ケーブルの分野においても、合成紙や半合成紙の使用の検討が進められている。このような油浸絶縁系への高分子材料の適用は新たな問題を提起した。たとえば、油と高分子の組み合わせによる油-高分子相互作用 (膨潤、溶解、クレージングなど) のため、例えばケーブルにおいては膨潤による可とう性の減少や半径方向の油流抵抗の増大など、またコンデンサにおいては、膨潤による油通路の閉鎖、高分子から油中への不純物の溶出に伴う誘電損失の増大、さらには油-高分子界面における界面分極等 (界面現象) の電気的特性に及ぼす影響などの問題があげられる。これらの問題の解明、解決は実用の油浸高分子複合絶縁系の性能向上の観点から強く望まれる。</p> <p>油浸複合絶縁の電気的特性は従来主として交流ブリッジを用いた $\tan \delta$ 測定によって研究されてきた。しかしながら、ブリッジの性能限界などから界面分極のような超低周波領域の測定は非常に困難である。そこで、高分子材料の空間電荷分極の解析や、超低周波の緩和現象の解析に適用され威力を発揮しており、さらに油浸紙複合絶縁系の電気的特性解明の一手段として適用され始めている熱刺激電流 (以下 TSC と記す) 法を本研究の解析手段として使用する。</p> <p>本研究では、油-高分子複合絶縁系の界面現象を TSC を用いて検討し、界面分極の解析および伝導機構の解明を試みる。また高分子の膨潤や溶解などと TSC との詳細な対応関係を実験的に明らかにする。さらに TSC と膨潤の理論的解析などを基に油浸系の TSC に及ぼす油-高分子相互作用 (膨潤、溶解など) を検討するとともに油-高分子界面の界面分極に寄与するキャリアの起源、高分子表面の粗面化の界面分極への影響などについても検討を加える。</p> <p>第1章は序論であり、これまで国内外で行われてきた油浸複合絶縁に関する研究経過の概略、本研究の背景と目的、及び本研究の概要を記述している。</p> <p>第2章では、塩化ジフェニル代替油として注目されているシリコン油を、高分子フィルムとして高压コンデンサに適用されている二軸延伸PPフィルムを使用し、油-高分子フィルム複合絶縁における界面分極の性質を TSC 法を用いて検討する。油単独の TSC 測定には、電</p>			

主論文の要旨

報告番号	※第 号	氏名	落合 鎮 康
<p>極間隔0.5mmの平行平板電極間に油を満たした構成を使用する。PPフィルム単独のTSCはPPフィルムの両面にAl電極を蒸着したPPフィルムをN₂ガス中のステンレス鋼電極に挟んだ構成を使用する。油浸PPフィルムとしては片面にAl電極を蒸着したPPフィルムを油中にてステンレス鋼電極間に挟んだ構成（油浸片面蒸着PP）と、両面にAl電極を蒸着したPPフィルムを油中にてステンレス鋼電極間に挟んだ構成（油浸両面蒸着PP）を使用する。ここで油浸片面蒸着PPを使用する理由はPPの無蒸着面と電極の間に存在する薄い油膜（PPと電極の間に一定厚さの油膜を導入するため、第3章から無蒸着面側にメツシユを重ねる）の影響を検討するためである。</p> <p>片面および両面に蒸着したPPフィルムを油中に浸漬し、TSCを測定すると油中に浸漬していないPPフィルム単独に比し、TSCが増大する。特に、油浸片面蒸着PPではTSCの増大が顕著で、50℃および80℃に新たなピークを生じる。これらは油浸片面蒸着試料に存在する電極とPPフィルム間の薄い油層での界面分極による。また、TSCの解析から界面に存在するトラップの深さ（E=0.45eV）とトラップの量（2.2×10^{12}個/cm²）が評価される。</p> <p>第3章では、前章に引き続き、シリコン油-PP複合絶縁における充電・放電電流特性やTSC特性の両面から、シリコン油-PP界面の特性についてさらに詳細に調べる。また、TSCに及ぼす油-高分子相互作用、特に膨潤とTSCの関連についても検討を加える。</p> <p>シリコン油-PP複合系の充・放電特性には顕著な極性効果があり、正極性の場合には負極性（油浸片面蒸着PPの蒸着Al面側に正（負）の電圧印加を正（負）極性と呼ぶ）に比べ大きな充電電流が流れるが、放電電流は逆にかなり少ない。このことは、油中の負イオンはかなり容易にPP中に侵入し電流生成に寄与するが、正イオンは油-PP界面にトラップされて界面分極を形成することを示唆している。またTSCから求めた界面分極の大きさは放電電流より求めた放電電荷量と良い一致を示す。</p> <p>含浸温度の上昇に伴う油-PP相互作用（膨潤）の増大は、界面トラップの物理的性質に影響を及ぼし、TSCピークを変化させる。TSCピークの含浸・ポーリング温度依存性およびシリコン油粘度依存性は、高分子の膨潤を理論的に取扱う膨潤平衡式から得られる膨潤量と良い対応関係を示す。</p> <p>第4章では、高压コンデンサに使用されているジアルルエタン油を用いた油浸PPフィルムのTSCから、ジアルルエタン油-PP界面の性質が検討される。さらにシリコン油-PP</p>			

主論文の要旨

報告番号	※第 乙	号	氏名	落合鎮康
<p>系のTSCと比較しながら油-高分子相互作用が検討される。</p>				
<p>ジアリルエタン油-PP複合系の油浸片面蒸着PPのTSCは5個のTSCピークD₁、D₂、D₃、D₄、D₅を生じる。各くピークの詳細は、以下のようである。</p>				
<p>D₁ : 固体ジアリルエタンのガラス転移に伴う脱分極ピーク。D₂ : ジアリルエタン油の流動に伴うピーク。D₃ : 油-PP界面の界面分極によるピーク (PP表面のアモルファス領域と関連)。D₄ : 油-PP界面の界面分極によるピーク (PP表面の結晶領域と関連)。D₅ : 油浸PPバルク内の界面分極によるピーク。</p>				
<p>ジアリルエタン油浸片面蒸着PPのTSCスペクトルは含浸温度によって著しく変化する。特にD₂~D₅ピークの変化は顕著である。この変化の生じる温度領域は、膨潤によって含浸PPフィルム of 厚さ変化が顕著になる温度領域と一致する。ジアリルエタン油浸PPのTSCに比べ、シリコン油浸PPのTSCは、含浸温度によってほとんど変化せず、PPがシリコン油中ではかなり安定であることを示す。</p>				
<p>第5章では、油浸絶縁系のTSCに及ぼす油-高分子相互作用の影響が二種の異なる高分子で比較・検討される。</p>				
<p>ジアリルエタン油-PP複合絶縁のTSCスペクトルは含浸温度によって著しく変化する。これは各TSCピークに対応する界面トラップが油-PP相互作用によって強く影響されていることを示唆している。一方、ジアリルエタン油-テトラフルオロエチレン-ヘキサフルオロプロピレン (以下FEPと記す) 系では油-FEP相互作用は小さく、TSCの含浸温度依存性はほとんど変化を示さない。またTSCピーク (F₂) の特性は界面を考慮しない単純なマクスウェル-ワグナー形界面分極の理論とよく一致する。</p>				
<p>第6章では、アルキルベンゼン油-PPとジアリルエタン油-PP複合絶縁のTSCの測定結果をもとに、油浸高分子複合絶縁の含浸油からみた油-高分子相互作用が検討される。さらに、アルキルベンゼン油-PP複合絶縁の油-PP界面の界面分極に寄与するキャリアのふるまいが検討される。</p>				
<p>アルキルベンゼン油-PPとジアリルエタン油-PPのTSCの結果と溶解度パラメータ値の比較から、ジアリルエタン油-PPに比しアルキルベンゼン油-PPの組み合わせの油-高分子相互作用は大きい。また正、負極性の高温側ピークには極性効果があり、PP表面にトラップされる正・負キャリアの性質を反映している。さらに負極性のTSCピークが飽和しやすいことや負極性の放電電流が長時間続くことから正キャリアはPP表面に比較的安定にトラップ</p>				

主論文の要旨

報告番号	※ 第 2 号	氏名	落合 鎮 康
<p>ブされるが、負キャリアのトラップは浅くデトラップしやすいものと考えられる。</p> <p>第7章では、これまでの油-PP系との比較のため、ポリエチレン（高密度ポリエチレン：HDPE）をとりあげ、油-HDPE界面の性質を検討する。これらの結果から、油-高分子界面の界面トラップの実体をさらに明らかにするとともに、油浸PEフィルムの電気的特性を明らかにする。油浸片面蒸着PEのTSCは油浸両面蒸着PEに比し、かなり大きく、-5℃および50℃付近に、顕著なピーク（C₁ ピークおよびC₂ ピーク）を生じる。これらのピークは未蒸着面側に存在する電極とHDPEとの間の薄い油層における界面分極に起因している。</p> <p>油浸片面蒸着試料のTSCは、蒸着Al電極に印加するポーリング電圧の極性によって異なる特性を生じる。この極性効果は、界面分極に寄与するキャリアが、正極性の場合には負イオン、負極性の場合には正イオンであることを考慮することにより定性的に説明される。</p> <p>第8章では、シリコン油中に各種酸化防止剤を添加した油とPPフィルムにより構成された油浸絶縁系のTSCおよび酸化防止剤を添加したシリコン油の電気伝導などが測定され、油-高分子界面の界面分極に寄与するキャリアの起源が検討される。正極性のTSCにみられるP₁'、P₂'ピークのキャリア源は含浸中に溶出するPPの酸化防止剤である。一方、負極性のTSCにみられるP₁、P₂ピークのキャリア源はシリコン油中にもともと存在する不純物によることを示唆する。</p> <p>第9章では、実用的に極めて重要なPPa（粗面化PP）フィルムを用い、界面特性に及ぼすPPの粗面化の影響が検討される。油-PPa複合絶縁のTSCは、PPaが含浸時に酸化防止剤を溶出しないことを示唆している。このことは、PP表面の粗面化がPP表面の結晶領域を増大させることを示唆している。一方、油-PPa複合絶縁の負極性のTSCは、PPの粗面化がPPの表面近傍のアモルファス領域の減少、いかえれば結晶領域の増大をもたらすことを示唆している。</p> <p>第10章はむすびであり、得られた主な知見をまとめて記すとともに今後に残された課題を述べている。</p>			