

第1節 電気絶縁性高分子の誘電性

早稲田大学 大木 義路

はじめに

電気絶縁性高分子を含む全ての液体と固体の絶縁材料は、誘電体、すなわち誘電分極を示し、比誘電率が1より大きい物質である。誘電体に外部から電界が印加されると、クーロン力により、たとえば、各原子の内部で、正の電荷を有する原子核と負の電荷を有する電子は互いに逆向きに動こうとするので、電気双極子が生じる。また、誘電体内部に有極性基があると、それらが電界の向きに並ぼうとするので、電気双極子の総和は増大する。誘電体において、このように電気双極子が誘起される現象を誘電分極という。誘電分極は、コンデンサなどにおける電荷の蓄積や、物質中での電磁波の振る舞いなど種々の現象と深く関わっている。

見本

1. 内部電界と外部電界

誘電体に外部から電界を印加したときに各原子や分子、双極子が感じる電界(=内部電界 E_i)は、印加電界(=外部電界 E_0)とは等しくない。その理由は、電界の作用で各原子や分子が誘電分極し、この誘電分極が作る電界と外部電界 E_0 の和が内部電界 E_i となるからである。

等方的な液体、非晶質固体、あるいは立方晶系の結晶などでは、 E_i は、

$$E_i = E_0 + \frac{P}{3\epsilon_0} = \frac{\epsilon_r + 2}{3} E_0 \quad (1)$$

と表されるローレンツ(Lorentz)の内部電界となる。このとき、1原子(あるいは1分子)あたりの分極率 α と比誘電率 ϵ_r の間に次の重要な関係式が成立する。

$$\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{N_A \alpha}{3\epsilon_0} \quad (2)$$

となる。ここで、 M は分子量、 N_A はアボガドロ数、 ρ は密度である。これをクラウジウス・モソッティ(Clausius-Mossotti)の式と呼ぶ。式(2)より、物質の密度 ρ が上昇すれば、比誘電率 ϵ_r は上昇する。

第1節 汎用合成高分子絶縁材料

[1] エポキシ樹脂

(株)東芝 清水 敏夫

エポキシ樹脂は、電気絶縁特性、機械的特性、耐湿性、耐薬品性、接着性に優れ、絶縁材料として広範囲に用いられている。この樹脂は、炭素原子2個と酸素原子1個からなる三員環(エポキシド)を1分子中に2個以上もつ。最も汎用で生産量の多いエポキシ樹脂であるビスフェノールA型エポキシ樹脂の構造を図1に示す。酸無水物やアミン等の適切な硬化剤を加えることで、エポキシドが開環・重合して高分子化し、強靱な硬化物を得ることができる。

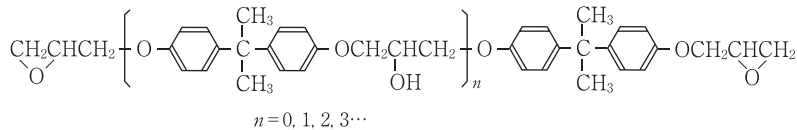


図1 ビスフェノールA型エポキシ樹脂の構造

1. 電気絶縁材料用エポキシ樹脂の種類と特徴¹⁾

絶縁材料として用いるエポキシ樹脂は何種類もあり、その構造の違いに由来する特徴がそれぞれあり、用途に合わせて使い分けている。ビスフェノールA型は、屋内用注型用に使われる樹脂であり、エポキシ当量(エポキシ基1個あたりのエポキシ樹脂の分子量)が約200以上となると常温で半固形になる。最近では、作業性の良いエポキシ当量180-190の液状エポキシ樹脂が多用されている。環状脂肪族エポキシ樹脂は、ベンゼン環を持たず、耐候性・耐トラッキング性に優れており、屋外用に使用されるが、耐クラック性がやや劣る。グリシジルエステル型エポキシ樹脂も、環状脂肪族の一種であり、耐候性・耐トラッキング性に優れ、耐クラック性も良好であるが、大型注型には不向きである。ノボラック型エポキシ樹脂は、エポキシ基を多く含み、耐熱性、耐薬品性に優れるが、粘度が高いため、通常他の樹脂と組み合わせ、耐熱性付与材として用いられる。このほか、ビスフェノールA型の一部を臭素化し、難燃性を付与した臭素化エポキシ樹脂がある。

2. 硬化剤と添加剤

エポキシ樹脂を架橋させ、固めるためには硬化剤が必要である。硬化剤の選定によってもエ

第1節 絶縁部材からみた実例とその絶縁技術

[1] 電気絶縁テープと粘着テープおよび電気絶縁フィルム

古河電気工業(株) 加納 義久

はじめに

電気・電子機器では、部品間の接着や保護、および絶縁性を確保するために、粘着テープが使用されている¹⁾。本稿では、電線用の電気絶縁テープ、および電気絶縁金属素材である樹脂コート条を紹介する。

1. 電線用絶縁テープ

電線は、導電性の芯体を絶縁材料で被覆した構造である。黎明期には、絶縁材料として、綿や絹、紙などにアスファルトやパラフィンを含浸して使用されていたが、ゴムの優れた絶縁性が発見され、19世紀後半から加硫ゴムで被覆した電線が主要になった。その時代、極まれに欠陥部が発生し、その部位に未加硫のゴムテープを巻き、さらにゴム引布テープを巻き付けて加硫し、補修していた。これが電気絶縁用テープ、いわゆる‘ブラックテープ’である。電気絶縁用テープ(ブラックテープ)は、明治時代に日本にも輸入され、広まった。ブラックテープが真っ黒な理由として、①品質を安定させるため、粘着剤として天然ゴムに再生ゴムを混合していた、②紫外線による劣化を防止するため、と考えられる。

電線用絶縁テープの重要な基幹技術は自己融着性である。テープに残る残留応力により、合成ゴム粘着層がコールドフローし、ラップ部の空隙が数時間のうちに消え、自己融着するというメカニズムである。自己融着テープは、厳選された合成ゴムや粘着付与剤等を極めて精密に混練りすることにより創製されたコンパウンドを、圧延貼



図1 各種電気用テープの製品群

第1節 高分子絶縁材料における熱的特性の計測・試験方法

元(財)電気安全環境研究所 [JET] 金子 剛

1. 熱と高分子絶縁材料

絶縁材料は、電圧の異なる導体間を絶縁する目的の他に、電気回路を固定・保持したり、電気特性を利用した電気・電子部品を構成して電気回路そのものにも組み込まれる。

電気装置や電気機器では、導電部の電気抵抗をはじめとして各種の電力損失の要因を含むため、稼働時には発熱を伴い、装置や機器の温度上昇を引き起こす。このような温度変化は、絶縁材料の特性を変化させて、機器性能に大きく影響してくる。有機絶縁材料は、機器構成の作業性に優れていることから広い範囲で使用されているが、その特性は一般に無機材料に比べて温度の影響を受けやすい。

温度上昇と機器の運転寿命の関係は、各種回転機器の出現から間もない19世紀末には重要問題とされ、1898年にはAIEE(現IEEE, 米国電気電子学会)でこの問題が検討された模様である¹⁾。以来、材料の熱的特性の試験²⁾や材料³⁾の指針が、機器設計へ果たした貢献は、電気分野においても非常に大きい。

見本

2. 熱的特性の分類

電気機器との関係において、高分子絶縁材料の熱的特性を電気機器の発熱の面から考えると、放熱・冷却性能に直接関わるものとして熱伝導度や比熱容量が重要視される。また、室温から運転での発熱と冷却のバランスで到達する機器運転温度の間の温度変化により、材料の相転移(熔融・結晶融解・ガラス転移など)や絶縁物としての電気特性・構造材としての機械特性・寸法安定性等に関係する物理特性などの変化を生じて、機器に影響を与える。更に温度上昇は、熱エネルギーを高分子材料の分子構造の化学変化量として集積し、長期にわたる各種特性の変化(熱劣化)の原因となる。これらの内、転移温度やそれに伴う吸発熱は各材料に固有のものであり、熱伝導度や比熱容量については、相転移の前後や極端な高低温以外の実用温度域では、その変化は実用上大きな影響を与えるものではない。

このような観点から熱的特性を分類すると、表1のようになる。

第1節 絶縁システムの劣化診断

愛知工業大学 穂積 直裕

一般に機器の診断と呼ばれるものには、劣化診断と異常診断がある。異常診断は、機器が正常に働いていることを担保するためのもので、通常「異常がある」か「ない」かを判定する。一方劣化診断は、運転中の機器の劣化状態を推定し、現在の性能と要求性能を比較した余裕、あるいは要求性能を下回るまでの時間的余裕、即ち余寿命を判定する。従って劣化診断は異常診断に比べてより定量的であり、通常はより高度の知見を要する。

高分子絶縁はさまざまな電気機器に使用されており、多くの場合信頼性を決定する要素となっていることから、絶縁劣化診断の必要性は古くから指摘されている。しかし通常絶縁物は筐体の奥にあって見えず、高電圧が印加されているので手を出せないことが多い。解体して絶縁物を調べることは希に行われるがコストがかかり、状況によっては解体のために却って欠陥が導入されることも考えられる。絶縁劣化診断は非破壊的に、できれば停電させずに実施したいところである。

直流電圧を印加して漏洩電流を測定する診断は古典的なものであり、絶縁体の酸化や分解、イオン性不純物の増加などにより絶縁抵抗が低下することを原理としている。同様に交流電圧を印加して誘電正接を測定することもあり、これも基本的には直流抵抗成分を測定している。しかし最近の技術で作られた絶縁システムは、絶縁抵抗が極端に大きいものが多く、古典的な計測方法では信号を抽出できないものが増えていることから、さまざまな工夫が採り入れられている。

以下、絶縁劣化診断の方法を(1)電気的な応答を測定する方法、(2)化学的な測定による方法、(3)光・音響などの波動による方法の3つに分け、その実例を紹介する。

1. 電気的な応答を測定する方法

1.1 部分放電

絶縁物の内部はできるだけ均一であることが望ましい。しかし製造過程や使用過程で空隙ができること、ここで微小な放電が発生することがある。これを部分放電という。部分放電は直ちに系の性能に影響するものではないが、長時間に亘って部分放電が発生し続けると、電気トリイと言われる局所的な劣化痕が成長し、ついには系の破壊に至る。よってできるだけ早い時期にこれを検出することが必要である。部分放電を測定するためには、一旦機器の使用を停止