原子間力顕微鏡による部分放電劣化したエポキシ樹脂表面の調査

学生員 菅井 貴志 (千葉工大)
正員 関井 康雄 (千葉工大)

Investigation of Partial Discharge Degraded Surface of Epoxy Resin using Atomic Force Microscope
Takashi Sugai, Student-member, Yasuo Sekii, Member (Chiba Institute of Technology)

キーワード： 部分放電, 原子間力顕微鏡 (AFM), エポキシ樹脂

1. まえがき

高分子絶縁材料は電氣的、機械的に優れており、種々の用途に用いられている。しかしながら、材料の内部や導体との境界面にボイドが存在すると高電圧課電下で部分放電を生じ、劣化することが知られおり、これまでも劣化現象解明のための様々な研究が行われている。⁽¹⁾⁽²⁾筆者らは今回高電圧機器の絶縁体として広く用いられ、実用的価値の高いエポキシ樹脂を取り上げ、部分放電劣化による材料の表面状態の変化を原子間力顕微鏡により観察し、放電特性と劣化の関連について検討したのでその結果について報告する。

2. 試料および実験方法

部分放電実験にはCIGRE Method-II電極を用いた。⁽³⁾図1に使用した電極の構成を示す。試料には厚さ2.0mmのエポキシ樹脂板を用いた。この供試料はビスフェノール系エポキシ樹脂を酸無水物系硬化剤を用いて硬化させたものである。図1に示すように試料板は球電極に密着させ、接地電極との間に厚さ0.1mmのスペーサを挿入し、密閉形の円筒形ボイドを構成した。この試料系に部分放電開始電圧(7.3kVrms)の110%値に相当する交流電圧8kVrmsを印加して部分放電を発生させた。課電中の部分放電特性は部分放電測定器(MS/SPAC310)により測定した。電圧印加時間50, 100, 150, 200時間で課電をとめ、試料を電極から取り外し、放電劣化面を原子間力顕微鏡(SPI3700:AFM)で観察した。実験は全て室温で行った。

3. 実験結果および検討

<3・1> 部分放電特性 図2に放電電荷量の位相角分布($\phi-q$ 分布)の経時変化を、また、図3に放電発生頻度の位相角分布($\phi-n$ 分布)の経時変化を示す。これらの図より課電150時間を経過した辺りから放電電荷量 q が急激に減少していることが、また、放電発生頻度 n は課電中殆んど変化していないことがわかる。

図1 CIGRE Method-II電極構成

Fig.1. Configuration of The CIGRE Method-II type Electrode system

図2 放電電荷量一位相角ー経過時間特性
Fig.2. Phase-resolved Distribution of Partial Discharge Pulses

図3 放電発生頻度一位相角ー経過時間特性
Fig.3. Phase-resolved Distribution of The Number of Discharge Pulses

〈3・2〉 原子間力顕微鏡による観察 図4、図5が原子間力顕微鏡によるエポキシ樹脂劣化面の観察結果で、図4は実験前、図5は150時間課電後の観察結果である。観察個所はいずれも球電極中心部の真下である。図4、図5の比較から明らかなように150時間課電後には劣化面に明瞭な凹凸が現れている。因みに、実験前の試料面の凹凸は最大60nmでほぼ平滑であったが、課電150時間後には試料面の凹凸が最大780nmにまで増加したことが確かめられる。図6

図4 実験前の材料表面の原子間力顕微鏡写真
Fig. 4. AFM photomicrograph of PD degraded epoxy resin specimen(Original)

図5 150時間課電後の劣化面の原子間力顕微鏡写真
Fig. 5. AFM photomicrograph of PD degraded epoxy resin specimen(150hr later)

図6 部分放電による劣化面の最大凹凸量の経時変化
Fig6. Change of PD Degradation of epoxy resin

は劣化面の最大凹凸量の経時変化を示したものである。⁽⁴⁾ この図より材料表面の凹凸量は課電150時間までは時間経過とともに比例的に増大するが、その後は凹凸の増加が減少し、0～150時間の凹凸の増加量（単位時間あたり）と比較すると約1/3に減少していることが確認できる。この結果（図6）と部分放電特性の経時変化の比較から放電電荷量と劣化とが密接に関連していることが確かめられる。

4. むすび

部分放電に晒されたエポキシ樹脂面の経時変化を原子間力顕微鏡で観察し劣化の進行状況を調査した。部分放電に晒されたエポキシ樹脂表面の最大凹凸量は放電電荷量と密接な関連があり、経過時間とともに増大することが確認できた。今後は劣化条件を変化させるなどして、部分放電特性と劣化の関連を更に詳しく調べたいと考えている。

最後に、この実験を行うにあたり電極を提供して頂いた（株）日立製作所の東村豊氏と試料を提供して頂いた日立電線F M（株）の柴田誠氏にお礼申し上げる。

（平成 8年11月25日受付）

文 献

- (1) 江原,小泉,浦野,堺,伊藤:「ボイド内部放電劣化に対する水分の影響」電学論A, 116巻4号, (平8)
- (2) 石田,長野,水野,小崎:「内部部分放電試料の群小部分電特性とその発生要因」電学論A, 113巻1号, (平5)
- (3) 加子,渡辺,東村:「絶縁材料の内部部分放電性試験法」電学論A, 111巻8号, (平3)
- (4) 菅井,関井:「原子間力顕微鏡による部分放電劣化したポリエチレン表面の経時変化」平成8年電気関係学会北陸支部連合大会, A-84

菅井 貴志（学生員） 1972年12月28日生まれ。1995年3月千葉工業大学工学部電気工学科卒業。同年4月同大学大学院工学研究科修士課程電気工学専攻入学、現在に至る。

関井 康雄（正員） 1936年9月8日生まれ。1965年3月東京大学大学院修士課程修了。同年日立電線（株）入社。同社パワーシステム研究所第1部長、主管研究長。茨城大学共同研究開発センター客員教授歴任。この間絶縁材料の劣化の研究、高電圧CVケーブルおよび接続部の開発研究に従事。1996年4月より千葉工業大学教授、現在に至る。工学博士、技術士（電気電子部門）。静電気学会、電子情報通信学会、IEEE、CIGRE会員。