

絶縁試験方法の検討(2)

誘電測定と電極の影響

キーワード：比誘電率、電極間隔、電極補正

概要

絶縁材料の比誘電率と損失率で表される誘電性は、絶縁材料の平均的な性質を良く表し、抵抗率測定や絶縁破壊強さ試験に比べその測定再現性が優れているために、非破壊試験の特徴と合わせ、広く測定が行われています。さらに、この誘電性は、周波数特性、温度特性を測定することで絶縁材料の分極現象を確認することができるため、化学的な性質を確認する手段にも応用されています。

誘電性の測定は、図1に示す同心円配置の電極が広く用いられ、10MHz程度以上の高周波帯では、保護電極Gを用いない2電極法が用いられます。2電極法では、電極周辺に生じる浮遊容量の補正が不可欠となっています。これに対し図1のような3電極法では保護電極Gと主電極Mの隙間が狭い場合には、この隙間gを主電極外径に加える補正でよいとされ、それ以上の補正は用いられることは少ないのが現状です。当研究所で実施した誘電性測定例からも、電極間隔gが比誘電率の測定結果に影響することがありました。そこで保護電極内径と主電極外径の組み合わせを替えて、同じ材料を測定した場合の比誘電率の差を測定比較した結果、ASTM規格¹⁾等で記載されている補正式の有効性を確認することができたので紹介します。

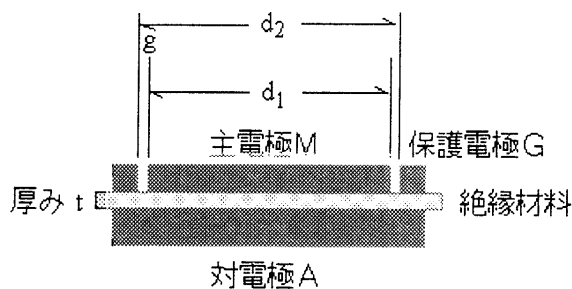


図1 同心円電極配置

比誘電率の算出

図1の同心円電極を用いて絶縁材料の比誘電率を求める場合は、主電極Mと対電極間Aとの間の静電容量Cxを測定し、電極間に絶縁材料が無い場合の幾何学的静電容量Co(次式参照)との比($C_x/C_o = \epsilon_r$)として比誘電率を求めます。

$$C_o = 0.0088542(A/t)[\text{pF}] \dots (1)$$

ここで、A:主電極面積(mm²)

t:電極間隔(試料厚み)(mm)

比誘電率の測定

(1)測定に用いる電極

測定用の電極は、安藤電気(株)のSE-1型電極を用い、主電極Mの外径と保護電極Gの内径のそれぞれについて次のように準備しました。

主電極：25, 38, 50mm

保護電極：35, 39, 51, 70mm

3種類の主電極に対し、電極間隔が極端に広くならないように次の表に示す組み合わせを選びました。

表 電極の組み合わせ

主電極外径	保護電極内径
25	35、39
38	39、51
50	51、70

(2)測定試料

測定試料は絶縁材料の比誘電率及び損失率から、四フッ化エチレン樹脂(PTFE)、ポリメチルメタクリレート樹脂(PMMA)、ポリエステル(SMC)樹脂(PET)及びフェニール樹脂(PF)の4種類を選択しました。

電極間隔の補正

図1の同心円配置の電極構成を用いた場合、主電極から保護電極側に広がる電界は、電極間隔と試料厚みとの関係によって決まり、主電極の大きさが試料厚みより十分に大きく、更に、電極間隔が試料厚みに比べ十分に小さい場合、ASTM規格に記載されている補正(2/g)は以下のようになります。

$$2/g = 4t/g \ln \cosh(g/4t) \dots(2)$$

$$B=1-2/g$$

$$\text{電極面積 } S = (d_1 + Bg)^2 / 4 \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 d_1 : 主電極外径(mm)

g : 電極間隔(mm)

B : 補正係数

測定方法

日本ヒューレット・パッカート社製LCRメータ4284Aと上記電極装置を用い、測定試料が変わる毎に測定器のOPEN、SHORT補正を実施し、測定周波数1kHz、測定電圧1Vの条件で静電容量と損失率の測定を行い、静電容量の測定値を基に試料の比誘電率を算出しました。

試料表面には、箔電極や導電性塗料などの電極を付けずに直接金属電極をバネで押さえつける方法で測定を行いました。

測定方法

静電容量測定結果から比誘電率を算出した結果の平均値と主電極直径との関係を図2に示します。この図は、PETの例ですが、PMMAとPTFEでもほぼ同様の傾向を示しました。

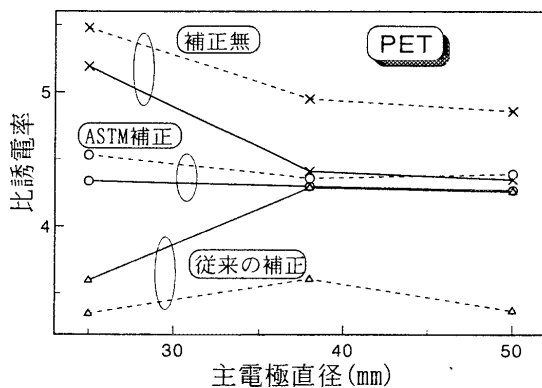


図2 ポリエステル樹脂測定結果

この図では、主電極と保護電極の間隔が狭い場合の測定値を実線で、電極の間隔が広い場合の例を点線で示しています。この結果からも明らかのように、前記(2)及び(3)式の電極間隔補正式を用いた場合、主電極の大きさに係わらず、比誘電率の値が一致しました。特に主電極直径の38mmと50mmの場合には、比誘電率の測定値の5%以内の一致が見られます。

主電極の大きさ

試料厚みが1mm程度に薄いフェノール樹脂(紙フェノール樹脂)の場合には、図3に示すように、主電極直径が25mmの場合に一致しない結果が出ましたが、補正の効果は現れています。その他の材料の測定結果を総合すると、主電極の直径を大きくした方が、電極の大きさに左右されない測定ができると考えられます。

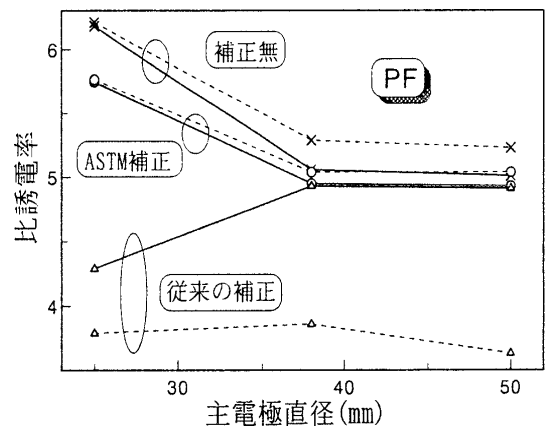


図3 フェノール樹脂測定結果

まとめ

比誘電率の測定に同心円電極を用いた場合に、主電極と保護電極との間の隙間が測定値に影響することが確認され、また、補正式の有効性も確認されました。このように、保護電極との隙間の補正の有効性から、同心円電極を用いた測定を行う絶縁材料の体積抵抗率の測定時にも同様に補正式が有効であると考えられます。この資料が、絶縁材料の開発、測定に携わっている方々の参考になれば幸いです。

参考文献

- 1) ASTM D-150-93