

THE DIELECTRIC BREAKDOWN TEST ON THE INSULATION CERAMICS FOR THE PULSED HIGH-VOLTAGE MONITOR APPLICATIONS

Y. Takasu^{*)}, T. Shintake^{A)} and H. Matsumoto^{A)}

Department of Physics, Graduate School of Science, University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033, JAPAN

A) High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801, JAPAN

Abstract

We have been developing a stable and accurate high-voltage monitor. Since it uses a ceramic material as the capacitive divider, the monitoring capacitance becomes quite stable against temperature change, or change in setup configuration, or mechanical stress applied to the monitor port through the input lead. In order to verify the safety margin for the maximum operating voltage, we will test on the high-voltage breakdown threshold of the ceramics disk of various materials. This paper reports design details of the high-voltage test equipment, and preparation of the ceramic samples.

パルス高電圧モニター用セラミック材料の絶縁耐圧試験

1. はじめに

昨年度よりクライストロンのカソードに印加するパルス高電圧モニター用にセラミックを用いた高性能な容量性分圧器の開発を行っている [2]。パルス高電圧モニター用分圧器として使用するセラミックの選定を行う上で、使用するセラミック材料の絶縁耐圧は重要な選択基準および設計パラメータの一つである。絶縁体材料のカタログスペックにある絶縁耐圧値は通常 JIS 規格 [3] に定められている方法で測定されるが、商用周波数に対する絶縁耐圧であることや測定法自体の持つ問題により正確な絶縁耐圧値が測られていない可能性があることなど、パルス高電圧モニターに使用するセラミックの選択基準や設計パラメータとしては不十分である。そこで、セラミックスを含む絶縁体の絶縁破壊電圧をより正確に測定するための標準となる絶縁耐圧試験装置を設計し、製作した試験装置によって測定し直した絶縁耐圧値からパルス高電圧モニターの設計を行うこととなった。本論文では独自に製作した絶縁耐圧試験装置の紹介を中心に記述する。

2. 絶縁耐圧試験法

2.1 JIS による試験法とその問題点

絶縁体の両端に印加する電圧を徐々に上げていくと、ある電圧値で放電により絶縁性が破られる。この現象を絶縁破壊といい、絶縁破壊が生じた時の電圧値を電極間距離で規格化した値が絶縁耐圧 (JIS では「絶縁耐力」) である。絶縁耐圧は材料によって異なるので、絶縁材料の性質を表す値の一つとなっている。JIS 規格にも絶縁耐力測定法が定められており、材料のカタログスペックなどにある絶縁耐圧値の多くは JIS の絶縁耐力測定法に従って測定されている。JIS の測定法は、定められた材質や形状の 2 電極間に被試験体を挟んだ状態で絶縁破壊が生じるまで商用周波数の交流電圧を徐々に印加する。こうして絶縁破壊が生じた時の電圧値を材料の厚さで割った値を絶縁耐力として定義している。しかし以下にあげるような問題点もある。(1) 被試験体の誘電率と周囲環境 (空気や絶縁油など) の誘電率の違いについて何も考慮されていないため、高誘電率の材料の絶縁耐圧を測定する場合は周囲環境の絶縁耐圧が影響されてしまう。(2) 様々な融通性を持たせ

^{*)} Y. Takasu, 0298-64-5294, yuko@c-band.kek.jp

ているために測定環境や被試験体の状態によっても測定値が変わり得る。(3) JISでは商用周波数の交流電圧による測定を定めているが、一般的に交流電圧による絶縁耐力は直流電圧やインパルス電圧による絶縁耐力よりも低くなることが知られている。これらの問題から JIS で定められた測定法に従って測定した絶縁耐力は材料の絶縁破壊電圧の目安にしかならず、パルス高電圧モニタ用のセラミック選定基準や設計のためのパラメータとして使用するのには不適切である。

2.2 耐压試験の条件

そこで電圧モニタに使用するセラミックの選定や電圧モニタの設計を行うために絶縁耐力を独自に測定することにした。そのために、まず JIS の絶縁耐力測定法の持つ欠点を改良した絶縁耐力試験装置を新たに設計・製作した。ただし製作した試験装置は、セラミックの絶縁耐力測定に特化せずできる限り標準的な測定が可能となるような、さらには改良した測定法以外に JIS で定められた方法によっても測定できるような融通性も持たせている。絶縁耐力の測定条件及び絶縁耐力試験装置の設計条件を以下に示す [4]。

- (1) 測定環境： 測定は常温の油中で行うものとし、被試験体をセットした後に十分脱気をし、大気開放して測定を開始する。これは、周囲環境の測定結果への寄与を軽減することを目的としていて、脱気することにより油中にとり込んでいる空気や湿気に由来する放電を防ぐ働きがある。絶縁油を充填して測定を行うため、試験装置は絶縁油を充填かつ脱気ができるような真空引き口のあるオイルタンクとなる。
- (2) 電極： 被試験体と電極の間隙をなくして十分な接触を得るため、絶縁材料に施したメタライズや金属めっきを電極とする。これにより電極と絶縁材料の不十分な接触に起因する放電を避けることができると考えられる。ただし JIS 試験法との照合性から、試験装置の電極形状及び大きさは $\phi 20$ の球もしくは $\phi 25$ の丸棒とした。また、電極間圧着力は 500g とし、場合によってはそれ以上の荷重がかけられるようにする。
- (3) 印加電圧： 特に DC 電圧に対する絶縁耐力

を測定するため、被試験体に印加する電圧は電源から与える電圧と接地との電位差とする。今回は (+/-) 150 kV まで印加できる電源と 150kV 耐压の電圧導入端子を使用した。

- (4) 絶縁破壊の見極め： 絶縁破壊の際のコロナ放電等による光を PMT (光電子増倍管) を用いて検出することにより絶縁破壊を見極める。また同時に電流値も監視する。

3. 絶縁耐力試験装置

これらの条件をもとに、絶縁耐力試験装置を設計・製作した。(図1参照)試験装置は、大きく分けると高圧側電極部(電圧導入端子を含む)、接地側電極部、オイルタンク、測定系の4つの部分から成る。電圧導入端子に直結している高圧側電極とオイルタンクの蓋に取り付けた接地側電極との間に被試験体を挟んで絶縁耐力の評価試験を行うよう設計した。以下にそれぞれの部分について説明する。

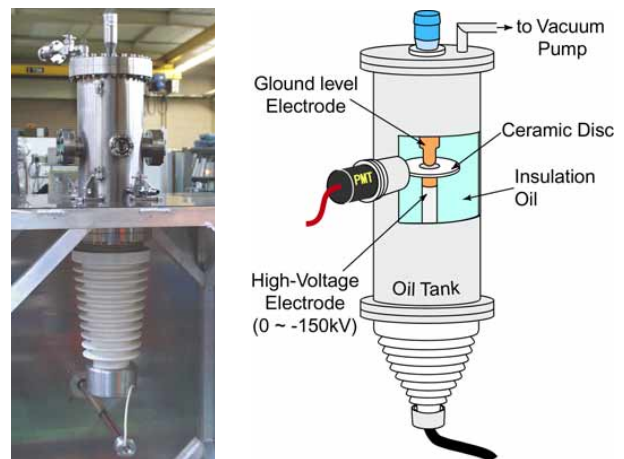


図1 絶縁耐力試験装置

3.1 高圧側電極部

電極はステンレス製とし、電圧導入端子に直結しているパイプに固定した。形状は $\phi 25$ (角は R2.5) の丸棒型で、被試験体との接触部分は交換可能な構造にした。

なお、高圧側電極が電圧導入端子に直結しているため、電源の極性を変えることによって容易に印加電圧の極性を変えることができる。

3.2 接地側電極部

電極はステンレス製、 $\phi 20$ の球もしくは $\phi 25$ の

丸棒型とした。また、オイルタンクの蓋の中央に直線導入器を取り付け、そのスラスト軸の先端に電極を取り付けることで電極の上下移動を可能とした。これにより高圧側電極との間に被試験体を挟むことができる。また、油中における電極の自重を500gに調整し、直線導入器から特に荷重を加えなければ電極間圧着力が約500gfとなるように設計した。

3.3 オイルタンク

オイルタンクは絶縁油の耐圧、電圧導入端子のフランジ径からICF253フランジ使用の真空容器とした。また電極の高さ4箇所、ICF70、ICF114（対面2箇所）、ICF152の3種類の大きさのガラス窓付き真空ポートを付けた。これらは放電観察用のPMTを取り付けたり被試験体をセットしたりするため、電極や被試験体の状態の黙視確認もできる。その他、絶縁油の注入口とオイルゲージを取り付けてある。

3.4 測定系

オイルタンクに取り付けたガラス窓付き真空ポートのうちICF70のポートにPMTを取り付けた。PMTからの信号はADCを通してコンピュータへ送られる。また、PMTによる観測と同時に高圧電源の電圧値と電流値も監視する。

4. 被試験体としてのセラミック材料

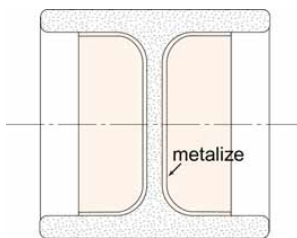


図2 理想的な被試験体の形状の例
(断面図)

被試験体の理想的な形状は沿面放電を避けるため図2のような形のものに電極用のメタライズを施すことが望ましい [2]。しかし、セラミックの場合は焼結時もしくはメタライズ時に割れが生じる恐れがあり、図2のような形状に焼結するのは難しい。そこで今回測定するセラミックの被試験体はφ80円盤の両面に同心φ30のメタライズを施

した。(図3参照)メタライズ面の径は試験装置の電極がφ25であるため、電極からの直接放電の起こり難い大きさとして選択している。また、セラミック円盤の大きさはメタライズ面よりセラミック表面に沿った沿面放電が起こりにくい最小の大きさとして決定した。また、製作した試験装置の最高印加電圧が150kVであることより、予想される絶縁破壊電圧が150kVを超えないような厚さを選択する。今回は厚さによる絶縁耐圧の違いを見るため、2mmと5mmのものを製作した。また、さらにメタライズの有無を比較するため、同じ条件でメタライズ加工をしていないサンプルも用意している。なお用意したサンプルの種類は、現在パルス高電圧モニタとして使用する候補となっている2種類のアルミナセラミックスである。

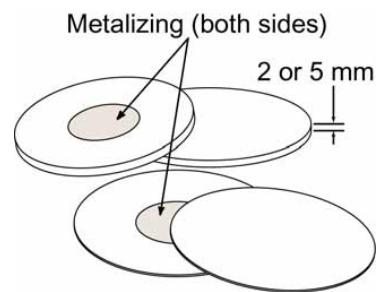


図3 セラミック・サンプル

以上はセラミックについてのみ記したが、試験装置はセラミックス以外の絶縁材料についても測定可能であり、被試験体の基本的な条件はここで述べるセラミック・サンプルとほぼ同じである。

5. 測定

このようにして設計・製作した絶縁耐圧試験装置を用いてセラミックのテストサンプルの絶縁耐圧試験を行う。試験結果についてはポスターセッションにて報告する予定である。

参考文献

- [1] <http://c-band.kek.jp>
- [2] 高須ゆう子 他、「高性能パルス高電圧モニタ用分圧器の開発」(第24回リニアック技術研究会プロシーディングス)
- [3] 「JISハンドブック セラミックス」、日本規格協会
- [4] 「セラミックスの評価法」、日本セラミックス協会