平等ギャップの火花放電時の電圧・電流測定

正 員 松本 隆宇 (静岡大学)

学生員 榊原 典尚 (静岡大学)

正 員 黒川 正明 (静岡大学)

Voltage and Current Measurement of Spark Discharge for Uniform Gap

Takaie Matsumoto, Member, Norihisa Sakakibara, Student Member

Masaaki Kurokawa, Member (Shizuoka University)

キーワード：火花放電，平等電界ギャップ，測定誤差，電界計算

1. はじめに

放電現象の研究にはしばしば分割電極が用いられ，放電電流や空間電荷電界の測定等が行われている。今回，平等ギャップの火花放電過程の研究を行うに当たって，それらを参考にして，高速の電圧・電流測定を行うために，接地平板電極を分割して電圧・電流の検出部を設けた広帯域測定システムを構築した。

本研究では平等電界における放電現象を対象としており，コロナが発生しないので放電によって発生する空間電荷は火花放電路にのみ存在すると考えてよい。従って，空間電荷による電界変歪が小さく，電界センサで電極電圧を測定することが可能であるが，火花放電路内の空間電荷によって生じる電界の影響が測定誤差となる。また，高電圧電極・電流検出部間の容量が不平等電界配置の場合より大きく，電流測定の誤差要因となる。このような原因による誤差は，測定の較正を行っても除去することができず，これまで詳細には検討されていない。そこで，本研究ではそれらの要因によって生じる誤差を電界計算を応用して定量的に検討したので報告する。

2. 測定系の概要

実験には球（直径1.5 cm）－平板の電極を用い，ギャップ長1～3 cm程度の範囲で測定を行う。球電極には直径1.5 cm，長さ31.3 cmの支持棒を取り付けた。平板電極にはギャップ軸から6.5 cm離れた点を中心に，ケーブルを含めてマッチングをとった広帯域電界センサ(1)（センサ表面の直径5 cm）と，軸上に直径1.5 cmの電流検出部を設けた。電流測定にはログウスキコイルを用い，電流閉路中のインダクタンスが最小となるように同軸構造とし，各種漂遊容量との共振を避けた（図1）。また，分割電極の周囲等からコロナが生じないように支持部構造を工夫し，その効果をイメージコンバータカメラで確認した。

図1 電界・電流検出部を持つ分割平板電極
Fig.1 Subdivided plane electrode for electric field and current sensing.

3. 測定誤差の検討

＜3.1＞電圧測定の誤差 先に述べた電圧測定の誤差を評価するには放電路を考慮した電界計算が必要となる。ここでは，ギャップを橋絡する放電路を，高さ方向に電圧が変化する細い円柱抵抗として取り扱い，電荷重畳法(2)による計算を行った。放電路の直径にはイメージコンバータカメラによる観測値（0.1～0.4 cm）を用い，放電路の長さ方向の電位分布が一様の時の平板電極表面の電界分布を計算した。さらに，電界の変歪が大きい直径0.4 cmについて，放電路内電位分布が極端に偏っている場合を想定し，放電路の下部20%の長さに電圧の90%が加わる場合（下部高電位傾度）と上部20%に電圧の90%が加わる場合（上部高電位傾度）について電界計算を行った。図2にギャップ長（d）が2 cmの結果を示す。いずれの場合も，電界センサ表面上の電界変歪はほとんど無いことが事がわかる。dが長くなると変歪の範囲が広くなり，d=3 cmでは電界センサの端で約2%の電界変歪が生じるが，センサ表面全体の平均電界の変化はその数分の1以下である。

急峻な放電電流が作る電磁界によるセンサ表面の垂直電界成分は，これらの値より桁が小さい。

図2 平板電極表面電界 ($d = 2$ cm)

Fig. 2 Electric field intensity on the plane ($d = 2$ cm).

図3 ギャップの等価回路と放電電流

Fig. 3 Discharge current and equivalent circuit of the gap.

図4 測定された電圧・電流波形

Fig. 4 Observed voltage and current wave forms.

＜3. 2＞電流測定の誤差 電流検出部はギャップ軸を中心に広がりを持っているため電極電圧の変化により変位電流成分が流れる。この関係を、図3に等価回路として示す。球電極の対地容量 (C_g)、電流検出部と球電極間の静電容量 (C_s) に変位電流が流れるが、 C_s を流れる成分は測定電流に含まれないので誤差となり、その最大値は C_s と C_g の比で決まる。

電極支持部を含めた C_g と C_s の計算値をギャップ長毎に表1に示す。表中の値から、 C_s による電流の測定誤差は、電圧測定とは逆に d が短い場合ほど大きくなるが、実験に

表1 球電極の容量と電流センサ部の容量

Table 1 Capacitances of the sphere electrode and current sensor.

	$d = 1$ cm	$d = 2$ cm	$d = 3$ cm
C_s/C_g [pF]	0.148/20.2	0.072/17.8	0.046/16.6

用いる範囲では0.8%以内であり、十分小さい事がわかる。

4. おわりに

測定電圧は並列標準球ギャップを用いて校正し、測定電流はログウスキコイルの感度校正で検出部全体の校正に代えた。また、応答試験を行なった結果、電圧、電流についてそれぞれ70MHz、200MHzの広帯域測定であることが確認できた。火花放電時のギャップ電圧・放電電流の測定例を図4に示すが、階段状に降下する特徴的な電圧変化波形とそれに同期したパルス電流が2度観測されている。同図の条件では C_s は C_g の0.8%以下なので、放電路を流れるパルス電流の99.2%以上が放電電流として測定されている。また、直列抵抗を通じて流れる電流は約3 A以下であった。

(平成8年9月30日受付,平成8年11月1日再受付)

文献

- (1) S. Yanabu, et al. : "ESTIMATION OF FAST TRANSIENT OVERVOLTAGE IN GAS-INSULATED SUBSTATION", IEEE Trans., on Pow. Delivery, Vol. 5, No. 4, 1875 - 1882, 1990
- (2) 河野, 宅間: 「数値電界計算法」, コロナ社, 1980

松本 隆宇

(正員) 1952年1月16日生。82年3月東京大学大学院博士課程修了。同年4月より茨城大学工学部助手。84年4月より静岡大学工学部助教授、現在に至る。工学博士。主として、高電圧計測とその応用、放電現象の研究に従事。

榊原 典尚

(学生員) 1972年12月26日生。95年3月静岡大学工学部電気・電子工学科卒業。同年4月、同学工学研究科電気工学専攻修士課程に入学、現在に至る。主として、放電現象の研究に従事。

黒川 正明

(正員) 1957年3月11日生。83年3月静岡大学工業短期大学部卒業。79年4月より静岡大学工学部文部技官、現在に至る。プラズマ、放電現象等の研究に従事。