

専門分野	機械工学	氏名	高崎 康介	指導 教員	川本 広行
研究指導	精密工学				
研究 題目	針対平板電極系放電場における力学				

1. ま え が き

針対平板電極系放電場の新しい応用として、レーザプリンタのオゾンレスを実現する、ブラシ帯電器や磁気ブラシ帯電器などが注目されている。これらはいずれも気体放電によって生じる電荷を利用して感光体を帯電するものであるが、とくにブラシ帯電や磁気ブラシ帯電では電極が極端に低剛性であり、放電にともなう静電力によって、電極の変形や特異な振動を生じる恐れがある。このような気体放電と力学が連成した現象の解明には、電気・プラズマ物理にとどまらず、力学の観点からの研究が不可欠である。そのため、一対の針対平板電極系放電場における低剛性支持の針電極の電磁力学特性を明らかにすることを目的として、実験と解析の両面から検討を行った。

2. 実 験 方 法

針対平板電極系に生じる静電力は微小であり、これを検出するために、図1に示すような実験装置を構成した。ステンレス製の針電極を、ステンレス鋼板製の片持ちばりを介して、平板電極に対して垂下した。この片持ちばりは先端の変位をレーザ変位計で測定し、この変位にはばりの剛性をかけて、静電力を算出した。

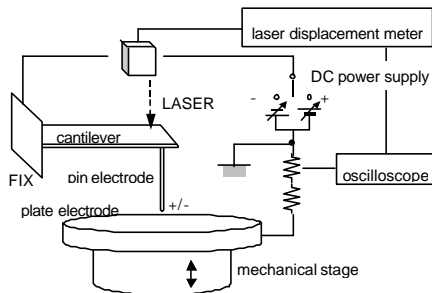


Figure 1 Experimental set-up.

3. 実験・解析の結果

3.1 静力学特性 (暗流域・コロナ放電域)

図2に暗流域とコロナ放電域における印加電圧 - 静電力の計算結果と測定結果を示す。針電極が平板電極に近づく方向、すなわち下向きの力を負としている。計算は、定常・単極性でイオンの拡散と対流を無視した軸対称2次元の放電場を有限要素法によって離散化して行った。

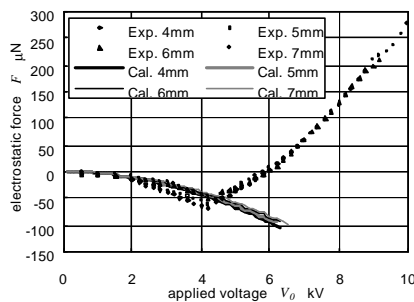


Figure 2 Electrostatic force applied to the pin electrode at dark and corona discharge. (positive, $\phi 0.5$ mm pin diameter, air gap: parameter)

まず、コロナ放電のない暗流域 (0 kV ~ 約 4 kV) では、(1) 電極が互いに吸引する方向の数 10 μ N オーダの静電力が作用する、(2) この静電力は印加電圧の2乗に比例することがわかる。さらに印加電圧を上げ、あるしきい電圧以上 (約 4 kV ~) になるとコロナ放電が生じる。コロナ放電時には、(1) 印加電圧を高くするにしたがってコロナ開始前とは反対の向き、すなわち針電極を平板電極から遠ざける向きに数 100 μ N オーダの力が作用する。これはコロナ放電時にイオン風が発生することにより針電極に反発方向の力が作用するためである、(2) ギャップの依存性はほとんどない、などがいえる。

3.2 動力学特性 (火花放電域)

コロナ放電域よりさらに電圧を上げていくと、ある電圧以上で放電音を生じるとともに火花放電を生じる。火花放電は非定常的な放電であり、断続的に生じる。このとき、図3のように、印加電圧は降下し、片持ちはり (剛性 2.38 N/m, 固有振動数 8.60 Hz) によって支持された針電極が上下に振動する現象が観測された。まず火花放電開始電圧付近では、火花放電の発生が安定しないが、一度放電が起こると、針電極は振動を始める。その結果ギャップが狭くなる際に火花放電が発生しやすくなり、火花放電と連成した振動になる。

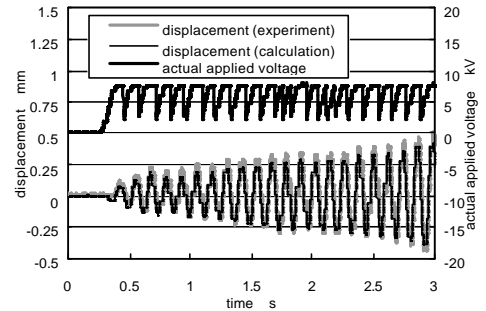


Figure 3 Vertical vibration of pin electrode and discharge current. (7.5 kV, positive, $\phi 0.5$ mm pin diameter, 4 mm air gap)

現象が観測された。まず火花放電開始電圧付近では、火花放電の発生が安定しないが、一度放電が起こると、針電極は振動を始める。その結果ギャップが狭くなる際に火花放電が発生しやすくなり、火花放電と連成した振動になる。

火花放電時に針電極に作用する静電力は、暗流域、コロナ放電域における静的な力とは異なり動的である。そこで、火花放電時の静電力を定量するため、以下のような解析的な手法を用いた。まず放電電極を単純な1自由度の振動系に置きかえる。

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = F_z(t)$$

F_z は針電極に作用する静電力であるが、火花放電時に力が発生するメカニズムが不明なため、以下のような仮定を用いた。

- 仮定 火花放電時には、ある一定の値 (ゼロとした) をとる。
- 仮定 非火花放電時には、事前に測定した印加電圧と静電力の関係から、印加電圧の実測値に対応した静電力をとる。

図3に付記してある振動の計算値は、上記の仮定を用いて計算した結果である。変位の計算値が測定値をよく再現している。

発 表 論 文

1. 川本, 高崎, 熊谷, 安田, "針対平板電極系放電場における力学", 電気学会放電研究会資料, ED-00-171, 19 (2000).
2. 川本, 安田, 高崎, 熊谷, "針対電極板放電場における動力学特性", 機械学会東海支部 第50期総会 講演会 講演論文集 (2001).
3. 川本, 高崎, 熊谷, 安田, "針対平板電極系負コロナ放電場における針電極の静力学特性", 機械学会 機械力学 計測制御講演論文アブストラクト集, 198 (2000).
4. H. Kawamoto, K. Takasaki, H. Yasuda and N. Kumagai, "Statics of Pin Corona Charger in Electrophotography," *Int. Conf. on Digital Printing Technologies*, Vancouver, 827 (2000).
5. 川本, 高崎, 安田, 村田, "針対平板電極系放電場における針電極の動力学", 電気学会放電研究会資料, ED-01-275, 65 (2001).
6. 川本, 高崎, 安田, "針対平板電極放電場における特異な力学現象", 第13回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 475 (2001).
7. H. Kawamoto, K. Takasaki, H. Yasuda, S. Umezue and K. Arai, "Static and Dynamic Phenomena of Pin Electrode in Pin-to-Plate Discharge System," *The 3rd. IFTOMM Int. Micromechanism Symp.*, 69 (2001).
8. H. Kawamoto, K. Takasaki and H. Yasuda, "Dynamics of Pin Electrode in Pin-to-Plate Discharge System," Focal Paper, *Int. Conf. on Digital Printing Technologies*, Florida, 682 (2001).
9. H. Kawamoto, K. Takasaki, H. Yasuda and N. Kumagai, "Dynamics of Pin Electrode in Pin-to-Plate Gas Discharge System Used for Ozone-less Charger in Laser Printer," *10th The Int. Conf. on Precision Engineering*, Yokohama, 694 (2001).