

専門分野	機械工学	氏名	新井 健治	指導 教員	川本 広行 印
研究指導	精密工学				
研究 題目	気体放電に起因する特異な力学現象に関する研究				

1. まえがき

針対平板電極系放電場においては、様々な電気的・力学的な現象があり、静電インクジェット現象やコロナジェット現象もそれらの一つである。電圧を印加することにより液体を吐出する静電インクジェット現象をインクジェットプリンタの印字ヘッド等に応用することを目的とし、実験と解析の両面から検討を行った。コロナジェット現象は気体放電に伴う静電力やイオン風によってフラッタが生じ、旋回振動する現象で、低剛性の電極を持つレーザープリンタのブラシ帯電器においても同様の現象が発生する恐れがある。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. 静電インクジェット現象

本研究ではこの現象の基礎特性を明らかにするために、直流電圧を電極間に印加して吐出条件と液滴の大きさを調べた。また、パルス電圧を印加することにより液滴吐出の制御も試みた。

2.1 実験装置 図1に示すように、水タンクの先端に内径が20~100μmのチューブを取り付け水を注入したものを液体針電極として、平板電極に対して垂下した。水は水道水であり、イオン導電性がある。

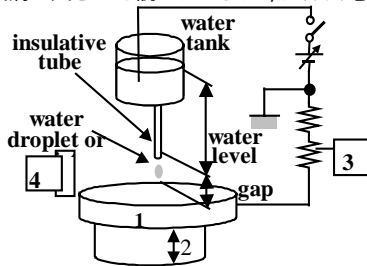


Fig. 1 Experimental set-up. (1: plate electrode, 2: mechanical stage, 3: oscilloscope, 4: camera)

2.2 放電特性 印加電圧 - 電流特性の測定結果を図2に示す。印加電圧が低い場合（暗流域）には、チューブ先端から液体が漏れだして徐々に大きくなり、ある大きさまで成長すると滴下する。さらに電圧を上げると、ある限界電圧以上でコロナ電流と呼ばれるμAオーダーの有意な電流が流れる。このコロナ放電の初期には液滴は霧状に噴霧される。しかしさらに電圧を上昇させると、周期的に液滴が滴下するようになる。

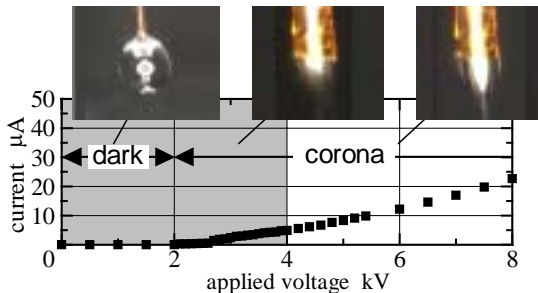


Fig. 2 V-I Curves in Pin-to-Plate Electrode System. (90 mm water level, 100 μm tube inner diameter, 3 mm air gap)

2.3 水滴に作用する静電力 暗流域において水滴が滴下する直前の臨界水滴半径を測定し、水滴に作用する力の釣り合い（図3）を考慮して水滴に働く静電力を求めた（図4）。水滴に作用する静電力は金属製針電極の場合とよく一致しており、暗流域における、水滴の形成条件は、静的な力のバランスで決定されると結論できる。

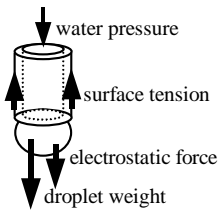


Fig. 3 Forces Applied to Water Droplet

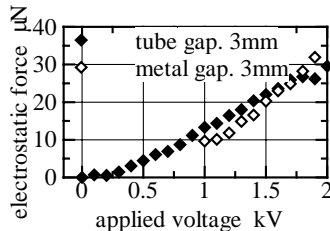


Fig. 4 Electrostatic Force

2.4 液滴滴下の制御 コロナ放電域において液滴滴下を制御する実験を行った。実験は、周波数を固定しパルス幅を変化させることで1周期に1滴の液滴が落ちる臨界のパルス幅を測定した（図5）。低周波数では短いパルス幅で液滴が滴下し、ある程度以上の周波数になるとパルス幅が安定する。この研究結果を応用して文字をプロットした。一例を図6に示す。

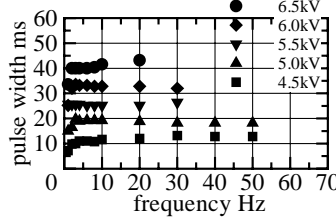


Fig. 5 Pulse Frequency vs. Pulse Width. (3 mm air gap, 90 mm water level)

平成15年干支 ひつじ



Fig. 6 Print Sample

3. コロナジェット現象

3.1 実験装置 図7に示すように、針電極にタングステンをを用い、線径・針長をパラメータとしてコロナジェットの生じる限界の電圧を測定した。

3.2 針電極の振動開始 振動開始の原因は針電極に初期たわみがあるからと考えられ、図8の様なモデルを仮定し、安定性解析を行った。

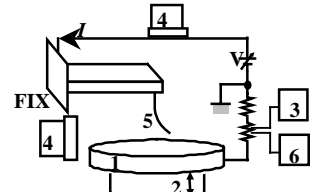


Fig. 7 Experimental set-up. (1: plate electrode, 2: mechanical stage, 3: oscilloscope, 4: camera, 5: pin electrode, 6: FFT Analyzer.)

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = P(y_L + e - y) - P\phi(L - x) \quad (1)$$

針電極のたわみ方程式(1)を解くと、自明な解以外は得られない。故に初期たわみがあり、上向きの力が働けば針電極は静的に不安定である。振動が始まる印加電圧と静電力が正になる印加電圧を比較すると図9の様におおむね一致する。

3.3 動的安定性 針電極の任意のたわみを $y(x,t)$ 、針電極の単位長さあたりの質量を m として針電極の微小振動の方程式(2)をたて動的安定性解析を行った。

$$EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + P \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = 0 \quad (2)$$

この式を解くと静電力と周波数の関係が得られる。計算値と実験結果を比較すると図10のようによく一致している。

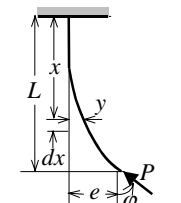


Fig. 8 Pin Electrode Model

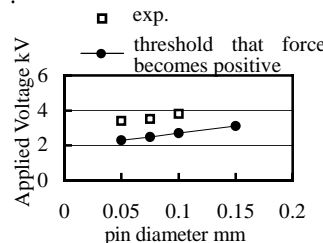


Fig. 9 Pin Diameter vs. Applied Voltage at the Start of Corona Jet.

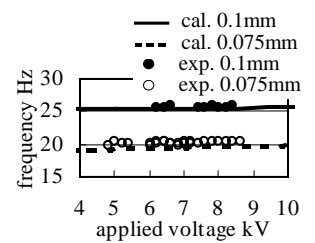


Fig. 10 Whirling Frequency of Corona Jet. (parameter: pin diameter)

発表論文

- 川本, 新井, 河辺, 針対平板電極系における静電インクジェット現象, 機械学科情報・知能・精密機器部門講演会 (2002).
- H. Kawamoto, K. Takasaki, H. Yasuda, S. Umezumi and K. Arai, Static and Dynamic Phenomena of Pin Electrode in Pin-to-Plate Discharge System, Proc. of the 3rd. IFToMM Int. Micromechanism Symp. (2001).