

専門分野	機械工学	氏名	鈴木 穂高	指導 教員	川本 広行 印
研究指導	精密工学				
研究 題目	放電場を利用した静電インクジェット現象				

1. 研究目的

図1に示すような、液体を満たした絶縁性のキャピラリーチューブに電圧を印加することによってチューブの先端から液滴を吐出させる静電インクジェット現象の研究を行った。この静電インクジェット現象にはピエゾや熱を利用した方式にはない以下のような利点がある。

- (1) 印加する電圧の大きさによって、ノズルから吐出させるインクを液滴状や、霧状に変化させることが可能である。
- (2) 吐出される液滴が帯電しているため、電界を用いて液滴の滴下位置を制御することができる。

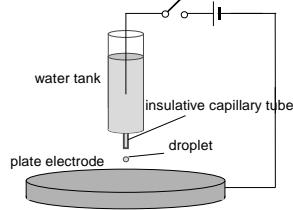


図1 静電インクジェット現象

この静電インクジェット現象を工学的に応用するために、液滴吐出の基礎特性の調査、液滴の帯電量測定、および液滴の吐出制御を行った。

2. 実験結果

本研究で得られた知見は以下の通りである。

(1) 液滴の吐出形状の変化と帯電量

高速度カメラで観測した結果、放電モードに依存して、液滴の吐出形状は図2に示したように mode1~mode3 に変化する。

mode 1 暗流域 (0~2 kV) では、チューブ先端に水滴が形成され、時間とともに徐々に大きくなり、ある臨界の大きさになると滴下する。液滴径はチューブ外径の数倍程度と大きく、滴下周波数は低い。この mode1 では、チューブ先端に作用する静電力、重力および水圧が表面張力を上回る時に液滴が吐出されることがわかっている。

mode 2 コロナ放電開始電圧付近 (2~4 kV) では、チューブの先端にテラーコーンと呼ばれる三角錐状の液滴柱が形成され、このテラーコーンの先端が分離して液滴が形成される。さらにテラーコーン先端からの液滴の吐出形状の違いによって、mode2-1, mode2-2, mode2-3 の領域にわかれる。

mode 3 電圧をさらに上げていくと、テラーコーンの先端が丸くなり、液滴がチューブの真下に向かって滴下するようになる。液滴径は、チューブ外径と同程度で、滴下周波数は数 10 ~ 数 100 Hz となる。

(2) 液滴の帯電量

mode1 の液滴吐出に関しては、その吐出メカニズムは、液滴に働く重力、静電力、水圧、および表面直力のバランスであることがわかっているが、mode2・mode3 の液滴吐出のメカニズムは解明されていない。

我々は吐出のメカニズムに液滴の帯電量が関係しているのではないかと考え、液滴の帯電量を測定した。帯電量の測定には平行平板電極を用いた。平行平板電極中に液滴を吐出させ、液滴に電界を作用させることにより液滴の着弾位置を変化させる。この変化量から液滴の帯電量を算出した。

液体が帯電することのできる限界量に関しては、レイリーが力学的平衡より、またボネットがエネルギーのバランスよりそれぞれ限界帯電量 Q を求めている。以下にレイリーの限界帯電量の式を示す。

$$Q = 8\pi\sqrt{\epsilon_0\gamma}R^3 \quad (1)$$

ただし、 ϵ_0 : 真空の誘電率、 γ : 液体の表面張力、 R : 液滴の半径である。一方ボネットの限界帯電量は上式の 1/2 である。

実験で測定した液滴の帯電量と、これらの限界帯電量を比較した結果を図3に示す。液滴の帯電量は、限界帯電量に近い値

となっていることがわかった。これより、mode2 および mode3 では、チューブ先端部分の液体が過剰に帯電し、電荷の反発によって液滴が吐出しているのではないかと考えられる。

(3) 液滴吐出の制御

電極間にパルス電圧を印加することにより、液滴の滴下を制御する実験を行った。mode2・mode3 とともに、パルス幅を調整することによって、パルス電圧を一回印加するごとに一滴の液滴を吐出させることができた。しかし、mode2 の液滴吐出では、液滴同士の電荷の反発により着弾位置に散らばりが生じてしまう。そこで、この着弾位置の散らばりを防ぐために制御電極を用いた実験を行った。この結果着弾位置の散らばりを半分程度に抑えることができた。これは制御電極に電圧を印加することによって、液体針電極の半径方向の電界が弱まり、帯電した液滴が半径方向に散らばりにくくなったためであると考えられる。これらの結果を用いて印字実験を行った結果を図4示す。これにより本現象が工学的に応用可能であることを実証した。

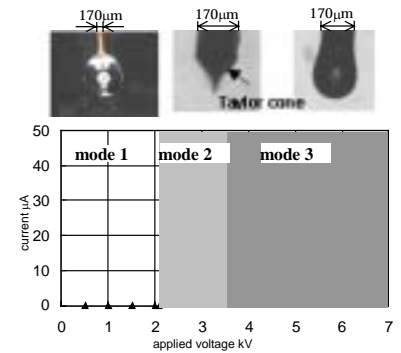


図2 放電特性と液滴の吐出形状

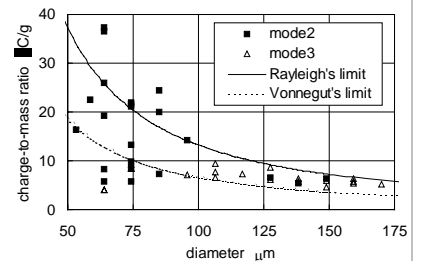


図3 液滴の帯電量

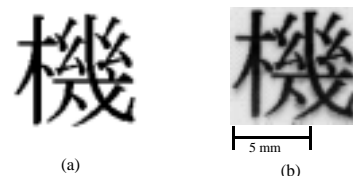


図4 印字結果

(a) 印字に用いた原型のビットマップ, 64×64 pixel

(b) チューブ内径 40 µm, ギャップ 0.15 mm, 印加電圧 1.45 kV における印字結果, 解像度 318 dpi

発表論文

1. 鈴木, 梅津, 小泉, 川本, 静電インクジェット現象における微小液滴吐出, 機械学会情報・知能・精密機器部門講演会 (2004).
2. 鈴木, 梅津, 川本, 静電インクジェット現象における液滴の帯電, 日本画像学会 Fall Meeting (2004).