

針対平板電極系放電場における静特性

284 渡辺 慶太

針対平板電極系放電場は、レーザプリンタのオゾンレス化に有効なブラシ帯電器など、いろいろな応用分野がある。しかし、ブラシ帯電器や磁気ブラシ帯電器などのように電極が極端に低剛性の場合には放電に伴う静電力によって、電極の変形や特異な振動を生じる恐れがある。このため本研究では一對の針対平板電極系放電場における低剛性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、まず放電場における静電力に関して、実験と解析の両面から検討を行った。

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、ステンレス製の針電極を、ステンレス鋼板製の片持ちはりを介して、平板電極に対して垂直に垂下した。この片持ちはり先端の変位をレーザ変位計で測定し、この変位にはりの剛性をかけて、静電力を算出した。本研究の結果、以下の知見が得られた。

- (1) 針電極の直径が小さく空隙長が小さいほど、コロナ開始電圧が低く、コロナ電流は大きい。針電極の直径と空隙長の影響はほとんど認められない。
- (2) コロナ開始電圧以下(放電のない静電場)では、静電界による、印加電圧の2乗に比例する、数 $10 \mu\text{N}$ オーダのごく微小な、吸引方向の静電力が作用する。静電力の大きさは、電極の極性によらない。空隙が小さいほど静電力は大きい。
- (3) コロナ放電が始まると、イオン風が発生することによりコロナ放電開始前に比べて比較的大きな数 $100 \mu\text{N}$ オーダの反発方向の静電力が生じる。

(指導教員 川本 広行)

針対平板電極系放電場における動力学

264 村田 典子

針対平板電極系放電場は工学的に重要な場であり、レーザプリンタのオゾンレスを実現するためのブラシ帯電器や磁気ブラシ帯電器などへの応用が注目されている。しかし、これらの帯電器では電極が極端に低剛性であり、放電に伴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。そのため、一對の針対平板電極系放電場における低剛性支持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、動力学特性に関する研究を行った。本研究によって以下のことが明らかになった。

暗流域の特性 放電の生じない暗流域では、静的な静電吸引力が生じるだけであり、電極振動は生じない。

コロナ放電時の振動 コロナ放電時には、コロナ電流の不安定性に起因してイオン風の反力である静電力が一定ではなく、またコロナ電流が一定であっても負コロナ特有の放電の不安定性により電極振動を生じることがある。いずれもイオン風の反力を外力とする強制振動であると考えられる。

火花放電時の振動 火花放電時には、火花放電と連成した針電極の上下方向の振動が生じる。この振動は、火花放電によって電圧が変化することにもなってイオン風の反力が変化することによる強制振動であると考えられる。そこで放電電極を単純な1自由度振動系とみなしたモデルを用いて、ルンゲ・クッタ法による数値計算を行った。この際、外力を火花放電時はゼロ、非火花放電時は静電力特性の値を用いて、計算した結果、振動応答は測定値とよく一致した。

(指導教員 川本 広行)

針対平板電極系放電場における静電モーゼ効果

090 小泉 竜太 , 128 白石 潤平

針対平板電極系放電場はレーザープリンタのブラシ帯電器などへの応用が考えられている工学的に重要な場であるが、ブラシ帯電器では針電極が極端に低剛性であるため放電に伴う静電力によって、電極の変形や特異な振動を生じる恐れがある。このため本研究では、放電に伴う静電力がイオン風によるものと考え、平板電極上にかかる圧力の測定を行いその特性を調査した。また、平板電極に液体を使用することで、実際にイオン風の圧力を水面の変化として観測できることを確認した。われわれは、この現象を「静電モーゼ効果」と命名し、その特性についても調べた。

圧力測定の実験は、針電極を平板電極に対して垂直に垂下し、平板電極上にあけた小径の穴から、微差圧計を用いてイオン風の圧力を測定した。また、静電モーゼ効果は、平板電極に水を用い、液面に生じた変位をレーザー変位計で測定した。本研究により以下の知見が得られた。

- (1) コロナ放電発生前の暗流域では、電極間に静電場による数 $10 \mu\text{N}$ オーダの吸引力が働くが、コロナ放電域では、イオン風により逆に反発方向に数 $100 \mu\text{N}$ の力がかかる。
- (2) 液面のへこみはイオン風によるものであることを確認した。
- (3) 平板電極が液面、金属いずれの場合もほぼ同じ特性を示し、放電時の液面のへこみに表面張力と静電的静電力を考慮した圧力換算値は、イオン風の圧力測定値とほぼ同じになる。
- (4) 印加電圧が大きいほど、電極間ギャップが小さいほど発生するイオン風の圧力は大きくなる。
- (5) 針電極を2本用いた場合、針電極同士の距離が小さいほどイオン風の圧力や電流は小さくなる。

(指導教員 川本 広行)

針対平板電極系放電場におけるコロナジェット現象

116 笹本 文将

針対平板電極系放電場は、レーザープリンタのオゾンレス化に有効なブラシ帯電器や磁気ブラシ帯電器など様々な応用が検討されている。しかし、これらの帯電器は電極が極端に低剛性であり、放電にともなって作用する静電力によって、電極の変形や特異な振動を生じる恐れがある。特に針電極そのものの曲げ剛性が極端に小さい場合、コロナ放電時に電極の旋回振動が生じることがある。そのため、コロナ放電による低剛性針電極の自励振動(コロナジェット現象と命名した)について検討を行った。

実験は、高剛性の片持ちはりに低剛性の針電極を接続し、針電極の旋回自励振動周波数をFFTによって測定した。また、旋回振動開始時に針電極に作用する静電力は、低剛性片持ちはりのばね剛性を利用して静的に求めた。本研究の結果、次のような知見が得られた。

- (1) 針電極の旋回自励振動周波数は、針電極の固有周波数にほぼ一致する。ただし、印加電圧の上昇にともなって、旋回自励振動周波数が 1 Hz 程度高くなるという現象が観測された。
- (2) 針電極の振動が開始する要因の一つとして座屈現象を考え、針電極の座屈限界荷重と、針電極が自励的な振動を開始する際に作用する静電力とを比較したが、座屈限界荷重は自励振動開始静電力よりもけた違いに大きかった。したがって、針電極が振動を始める原因が、座屈によるものとは考えづらく、イオン風によるフラッタなど別の要因を検討する必要がある。

(指導教員 川本 広行)

針対平板電極系放電場におけるインクジェット現象

078 河辺 陽太

チューブ内の液体と平板間に電圧を印加すると、チューブの先端から微量な液滴が吐出される現象が知られており、インクジェットプリンタや静電塗装、質量検量器などへの応用を目指した研究・開発が行なわれている。本研究ではこのような液体針電極対平板電極系放電場における電磁力的特性を明らかにすることを目的として実験を行った。実験では電極間に流れる電流とチューブから平板に落下する水滴の落下形態を計測し、落下する水滴径から静電力を算出した。また得られた静電力と電流について、金属針電極を用いた場合との比較を行なった。本研究で得られた知見は以下の通りである。

- (1) 気体放電の生じない暗流域では、チューブ先端に水滴が形成され、その大きさは直径 mm オーダであり、電界の強さに依存する。水滴重量法から推定した力は金属電極を用いて静的に測定した静電力に一致した。
- (2) コロナ放電開始時には水滴が霧状になり、 μA オーダの電流が流れる。コロナ放電時に電極間に流れる電流によって発生するジュール熱は水滴を蒸発させるに十分な熱量であり、水滴が霧状になる原因と考えられる。
- (3) さらに印加電圧を上げると、微細な水滴が周期的に滴下する。水滴直径は μm オーダであり、周波数は1～数10 Hzのオーダである。印加電圧が高いほど、周波数は低くなる。水滴が平板電極に落下した際にスパイク状の電流が計測されることから、この水滴は電荷を含んでいると考えられる。

(指導教員 川本 広行)

電界による粒子の搬送

139 関 京悟

電界によって粒子を搬送するという手法は、レーザプリンタのトナー供給装置や薬品の搬送など、幅広い分野への応用が期待できる。そこでわれわれは、本年度より、実験とシミュレーションによりその詳細な特性を把握することを目的とした研究を開始した。

試作したシステムは、絶縁体平板上に電極幅約1 mm(ピッチ2 mm)の縞状電極に、印加電圧と周波数をパラメータにした位相差 $\pi/4$ の4相の方形波を印加するものである。電極にはガラス板にアルミニウムを真空蒸着したものと、ベークライト板に導電テープを貼付したものの2種類を用いた。実験に使用した粒子の平均直径は約50～100 μm である。実験の結果以下のことが判明した。

- (1) 粒子は時間に対してほぼ線形に輸送され、搬送速度は電圧に対して線形であるが、粒子と平板間の付着力などによって、電圧にしきい値が存在する。
- (2) 入力方形波の周波数が低い場合(80 Hz以下)には粒子は一方向に搬送されるが、80 Hz以上では両方向に分離して搬送される。高周波域では、電極上の方形波の移動速度に対して粒子の搬送速度が遅れることがその原因であると考えられる。

以上の実験結果を数値解析によってシミュレーションすることを試みた。粒子は電界によって静電分極し、それと外部電界による作用力によって搬送されるものとした。電界解析には四角形二次要素の有限要素法を用い、電極長手方向には周期境界条件を用いた。また粒子の運動追跡には、個別要素法(運動方程式は差分近似)を利用した。その結果、質量搬送速度と電圧との関係や、方形波の速度と粒子搬送速度の関係など、実験結果を再現することができた。

(指導教員 川本 広行)

電磁界中における電磁粒子の静力学

114 笹川 亜希子

本研究は、高速の白黒レーザープリンタやカラーレーザープリンタに用いられている2成分磁気ブラシ現象系における磁性粒子キャリアのチェーン形成現象の静力学特性を明らかにし、プリンタの高画質化に資することを目的とする。実験では磁界発生源にソレノイドコイルを用い、形成されたチェーンの形状(長さ、傾き)を測定し、磁束密度、キャリア粒子径、および粒子重量の影響を調査した。また、チェーンをキャリア粒子が単列に連なったものと仮定し、ポテンシャルエネルギー最小化原理に基づいたチェーン長さの解析を行い、実験結果と比較した。さらに、チェーン傾きよりチェーンの剛性を導出した。本研究より以下の知見が得られた。

- (3) チェーン長さは磁束密度とキャリア粒子重量の増加にともない長くなるが、キャリア粒子径にはほとんど影響されない。
- (4) チェーンは重力の影響により磁束密度よりも鉛直方向から大きく傾くが、磁束密度が強いほど傾く程度は小さい。また、キャリア粒子径の影響は受けない。
- (5) キャリア粒子が多量にある状況では、チェーン長さはチェーンの全ポテンシャルエネルギーが最小になるように定まる。
- (6) チェーンの傾きから導出したチェーンの剛性は、磁束密度とキャリア粒子径が増加するほど大きくなり、今回の測定範囲では $10^{-5} \sim 10^{-3}$ N/m のオーダーである。

(指導教員 川本 広行)

電磁界中における電磁粒子の動力学

275 山田 怜

本研究は、高速の白黒レーザープリンタやカラーレーザープリンタに用いられている2成分磁気現象系における磁性キャリア粒子のチェーン形成現象の動力学特性を明らかにし、プリンタの高画質化に資することを目的とする。実験では、まず磁界発生源として用いたソレノイドコイルの上に磁性粒子(粒子径 $18 \sim 107 \mu\text{m}$)をのせ、チェーンを軸方向正弦波加振、半径方向正弦波加振、および衝撃実験の3つの方法によって加振し、観測される固有振動数からチェーンの等価剛性を求めた。また電磁理論とポテンシャルエネルギー最小化モデルによってチェーンの等価剛性を算出し、実験結果と比較した。本研究により以下の知見が得られた。

- (7) チェーンの固有振動数はおよそ数 10 Hz 程度であり、磁界強度、粒子径、粒子重量にほとんど依存しない。
- (8) 上記の固有振動数とチェーン形状から求めた質量の実験値から算出した等価剛性はおよそ $10^{-3} \sim 10^{-1}$ N/m のオーダーであり、磁束密度の増加にともなって増加する。
- (9) チェーンの固有振動数が磁界強度によって変化しないのは、磁界強度が大きくなると、チェーンの質量と剛性がともに大きくなるためであると考えられる。
- (10) 以上の実験結果は、等価剛性が磁気エネルギーと位置のエネルギーからなる粒子1個あたりのポテンシャルエネルギーに比例するというモデルによって大域的に説明ができることが確認された。

(指導教員 川本 広行)