

専門分野	機械工学	氏名	榎本 高志	指導 教員	川本 広行 印
研究指導	精密工学				
研究 題目	電界中における帯電粒子の運動解析				

### 1. まえがき

近年、紙と電子ディスプレイ双方の特長を備えた表示媒体である電子ペーパー技術の研究開発が盛んに行われている。電子ペーパー技術の一つとして摩擦帯電型トナーディスプレイがある。構成を図1に示す。対向電極とリブによって仕切られた空間(以下セル)に粒径数 $\mu\text{m}$ の粒子を封入する。粒子は摩擦により相互に帯電し、電界の作用による静電力により運動し、画像を形成する。この表示システムにおいてセル内の粒子量は画質や応答速度に大きな影響を及ぼすため、製造工程において粒子を一定量封入する技術が極めて重要となる。そこで本研究では高速レーザープリンタなどに用いられる非磁性一成分技術を応用し、静電力を用いて粒子を高速かつ定量的に封入する技術について実験を行った。また、粒子の運動解析には数値シミュレーションが効果を発揮する。通常粉体の数値シミュレーションで適用されるSoft Sphere Modelは離散化時間の制限から、粒径数 $\mu\text{m}$ 程度の粒子の解析には向かない。そこでHard Sphere Modelによる三次元個別要素法を用いて粒子の運動を計算し、実験結果と比較検討した。

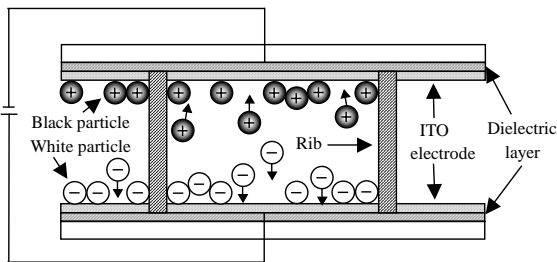


図1 摩擦帯電型トナーディスプレイ構成図

### 2. 粒子転写実験

実験装置概要を図2に示す。帯電粒子を現像ローラに供給し、所定のギャップを介して設置したITO電極と現像ローラ間に電界を発生させる。帯電粒子は静電力により現像ローラからITO電極上に転写される。粒子に作用する支配的な力は静電力であるため、電界強度と粒子転写量の関係について調査を行った。また製造工程を想定し、ITO電極はスライダに固定されており、スライダ移動速度と転写量の関係についても調査した。

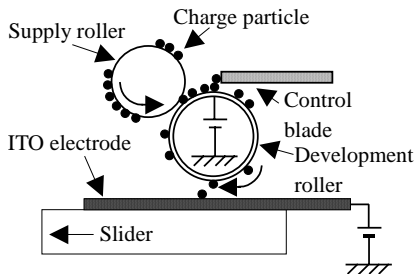


図2 実験装置概要

### 3. 数値計算

粒子の運動解析にはHard Sphere Modelによる三次元個別要素法を用いた。運動方程式の解法は2次Runge-Kutta法を用いた。運動方程式を式(1)(2)に示す。ここで $x=(x, y, z)$ 、 $\theta=(\theta_x, \theta_y, \theta_z)$ 、 $m$ : 粒子の質量、 $I$ : 回転慣性モーメント、 $\eta$ : 空気粘性係数、 $r$ : 粒子の半径、 $g$ : 重力加速度、 $q$ : 粒子の電荷、 $E$ : 電界強度、 $F_v$ : van der Waals力、 $F_f$ : 鏡像力、 $F_l$ : 液架橋力である。

$$m\ddot{x} + 6\pi\eta r\dot{x} = qE + F_v + F_f + F_l + mg \quad (1)$$

$$I\ddot{\theta} + 6\pi\eta r^2\dot{\theta} = 0 \quad (2)$$

粒子の衝突処理は式(3)(4)に示す衝撃方程式を解くことにより求めた。ここで、 $n$ : 衝突粒子間単位ベクトルである。衝突後の状態については\*を添えている。

$$\dot{x}^* = \dot{x} + J/m \quad (3)$$

$$\dot{\theta}^* = \dot{\theta} + r \times J/I \quad (4)$$

### 4. 実験結果

電界強度と粒子転写量の関係を図3に示す。粒子転写量は電界強度の増大とともに増加している。均一に転写できているものの、電界強度を大きくしていくと火花放電により発生したと思われるボイドが確認された。さらに、スライダと粒子転写量の関係について図4に示す。スライダ移動速度が増加すると粒子転写量が減少する傾向がわかる。スライダ速度を変化させることによって粒子転写量を制御することが可能であることがわかる。効率の良い粒子封入は、電界強度を大きく設定しスライダ速度を速くすることで実現可能であることがわかった。

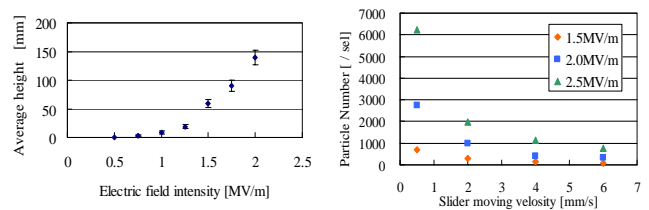


図3 電位差と転写量の関係 図4 スライダ速度と転写量の関係

### 5. 計算結果

現像ローラとITO電極を並行平板系で近似し、転写過程を計算した。電界強度と粒子転写量の関係を図5に示す。また転写過程を図6に示す。電界強度の増大にしたがって粒子転写量が増加している、これは実験の傾向と一致している。粒子には付着力が作用しているために、電界強度が大きくなってでも固定境界に残留する粒子が存在する。これも実験と同様の傾向を示しており、粒子密度が高い系においてHard Sphere Modelによる個別要素法が適用可能であることを示した。

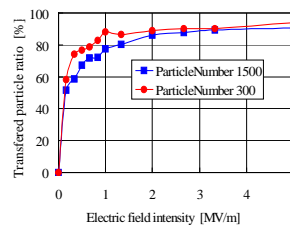


図5 電界強度と転写量の関係

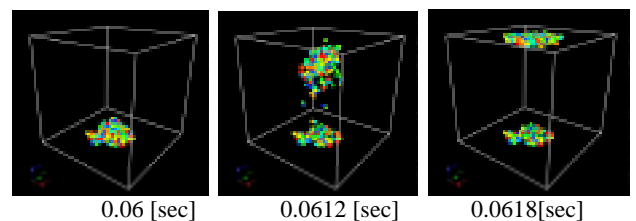


図6 粒子転写過程

### 発表論文

- 榎本、高橋、中山、川本、二成分磁気ブラシの力学特性と形状制御、JHC 2005 (2005) pp.115-118.
- 杉山、川本、梅津、川本、榎本、手島、摩擦帯電型電子ペーパー製造工程における粒子注入技術の開発、SEAD19 (2007) 発表予定.