

専門分野	機械工学	氏名	笹岡 修	指導 教員	川本 広行 印
研究指導	精密工学				
研究 題目	進行波電界を用いたトナー搬送とそのシミュレーション				

1. まえがき

次世代型粒子コンベアとして、静電気を用いた粒子搬送システムが注目を浴びている。このシステムは、機器に振動が発生しない、粒子に大きな熱や力が加わらない、可動部がないため潤滑油などの不純物が混入しないなどの利点がある。昨年度までに、レーザープリンタで使用されているキャリア粒子を搬送対象とし、静電コンベアの解析を行ってきた。本研究では、様々な精密技術への応用を視野に入れ、キャリア粒子よりも微細なトナー粒子を搬送対象とし、搬送原理解明と数値シミュレーションの構築を目指した。

2. 実験装置

図1に粒子搬送機構の構造を示す。電極は長手方向に縞状に並べた構造で、電極間ピッチは電極幅の2倍になるようにしている。粒子-電極間の絶縁および電極間の放電防止のために、電極上を絶縁フィルムで被覆した。進行波電界は、5台の発振器から位相を順に $\pi/2$ ずつずらした4相の交流電圧信号を出力し、高圧アンプによってそれぞれ100倍に増幅して印加した。進行波の伝播する方向(順方向)はCH1 CH2 CH3 CH4(図1において右 左の方向)である。

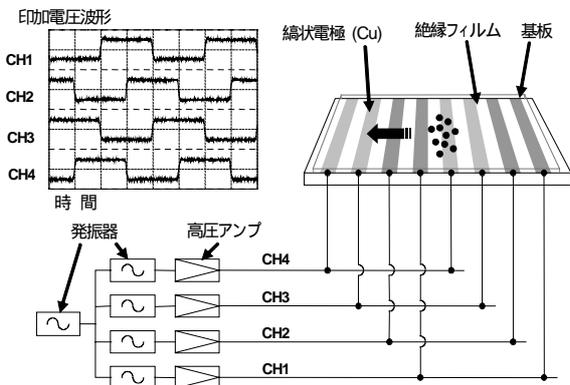


図1 搬送機構概略図

3. 付着力特性

微粒子の搬送において、非静電的な付着力は大きな影響を及ぼす。そこで、遠心分離機を模擬した装置を作成し、基板を覆うアセテートフィルムと粒子の付着力の関係を考察した。図2に各回転数における飛散した粒子の粒径を示す。これを見ると、粒径の小さい粒子のほうが付着力の影響をより強く受けていることがわかる。以上より、微粒子の静電搬送において付着力の影響は無視できず、付着力の小さい絶縁フィルムを選択しなければならないことが分かった。

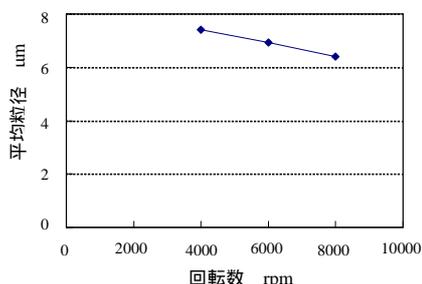


図2 各回転数における飛散粒子の平均粒径

4. 帯電量特性

粒子の帯電について検討するため、搬送時の各状態において粒子帯電量を測定した。図3に初期設置時の粒子、搬送が行われた粒子、電圧を印加しても動かなかった粒子、そして搬送中に基板に付着した粒子の帯電量を示す。まず、初期設置と搬送後の粒子を比べると帯電量が大きくなっていることから、搬送中に摩擦帯電されているものと考えられる。そして、搬送不可の粒子と付着した粒子は搬送された粒子より帯電量が大きいことから、帯電量が大きすぎると静電的付着力の影響により搬送がうまく行われなかったことが分かった。

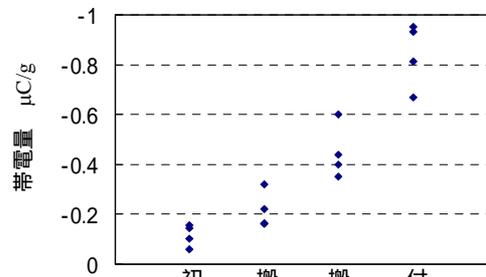


図3 各状態における粒子の帯電量

5. 数値計算

数値計算は、電界計算と粒子挙動追跡計算の二つから成る。電界分布は2次四角形要素による2次有限要素法でラプラス方程式を解き、挙動追跡計算は剛体球モデルを用い、ルンゲクッタ法で行った。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, η : 空気の粘性係数, R : 粒子の半径, g : 重力加速度, q : 粒子の電荷, E : 電界強度, F_{dipole} : 分極力, F_{image} : 鏡像力, $F_{adhesion} = \alpha R$: 基板方向付着力である。電荷 q は初期設置時に帯電分布を持たせ、搬送中は摩擦帯電を再現させるために実験値と同じ割合で増加させた。 $F_{adhesion}$ の係数 α は付着力特性実験で求めた値を用いた。 E は、基板で形成された進行波電界 E_{conv} と帯電粒子の作る電界 E_q の和である。粒径は実測値から粒度分布を持たせた。

$$m_i \ddot{x}_i + 6\pi\eta R \dot{x}_i = q_i E + F_{dipole} + F_{image} + F_{adhesion} + m_i g \quad (1)$$

$$I_i \ddot{\theta}_i = 0 \quad (2)$$

数値計算の結果と実際の搬送の様子を図4に示す。数値計算が実験をよく再現している様子が分かる。



図4 実際の搬送とシミュレーションの様子

発表論文

1. 笹岡, 辻, 川本, 進行波電界を用いたトナー搬送とそのシミュレーション, ICJ 2006 Fall Meeting (2006) pp.57-60.