

専門分野	機械工学	氏名	須甲 直人	指導 教員	川本 広行 印
研究指導	精密工学				
研究 題目	電磁界中における電磁粒子のダイナミクス				

## 1. まえがき

高速レーザプリンタなどに利用される二成分磁気ブラシ現象では、磁性粒子であるキャリア（粒子径 50  $\mu\text{m}$  程度）に、静電力によって非磁性絶縁性のトナー（粒子径 5 ~ 10  $\mu\text{m}$  程度）を一定の割合で付着させ、このキャリアをマグネットローラ（多極磁石、固定）が作る磁界によって、スリーブ（非磁性、回転）上に付着させてトナーの輸送を行う。キャリアは、それ自身が磁界中で磁化することにより相互に磁気的作用を及ぼし、チェーン状の粒子クラスタを形成する（図 1）。このチェーンの先端が感光体表面を掃くように接し、この際マグネットローラと感光体間に形成された電界中を帯電したトナーが移動することで画像が形成（現像）される。高画質化を図るためには、このチェーンの形状や剛性などの特性を最適に設計することが重要となる。また現像の際、キャリアも電界の影響を受け、場合によってはキャリアが感光体上に現像されてしまう BCO (bead-carry-out) と称せられる現象が発生する。そこで本研究では、電磁粒子チェーンの形状や剛性などの諸特性を明らかにすること、また、BCO の発生メカニズムを解明することを目的とする。とくに本研究では、これまで行ってきた二次元個別要素法の数値シミュレーションの定量的精度を改善するため、三次元個別要素法に基づく電磁粒子チェーンのシミュレーションアルゴリズムを構築し、その妥当性を検証した。そして、シミュレーションで再現したチェーン形成過程を実験での観測結果と比較した。さらに、シミュレーションで求めたチェーン長さを、二次元モデルによる計算値および実験値と比較した。一方、電磁界中でチェーンが静電力により分断する BCO 現象に関し、シミュレーションにより粒子の磁気的結合力を計算し、チェーンが分断される静電力の測定結果と比較した。



Fig. 1 Magnetic bead chains in magnetic field.

また、チェーン傾斜特性に対する粒径効果について理論検討を行い、実験的に得られる傾斜特性が定性的にエネルギー最小化の観点から説明可能であることを示した。

## 2. 磁性粒子チェーン形成過程

キャリア粒子のチェーン形成過程を高速度カメラにより撮影した結果と三次元個別要素法によりシミュレーションを行った結果を図 2 に示す。二次元シミュレーションでは、粒子を堆積させた状態から外部磁場を与えてもチェーンが形成されなかったが、三次元シミュレーションでは、実験と同じように粒子を堆積させた状態からチェーンが形成した。このことから、構築した三次元シミュレーションはより現象を定性的に再現でき、磁性粒子の挙動を再現するために有効であることがわかった。

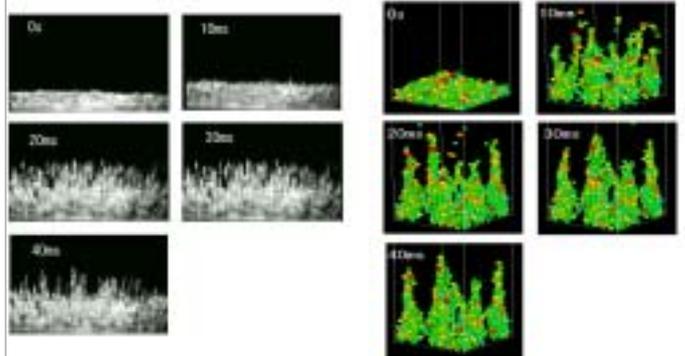


Fig. 2 Motion of particles in experiment and 3-D simulation.

## 3. 磁性粒子チェーン長さ

三次元シミュレーションで計算したチェーン長さを、実験結果および二次元シミュレーションでの計算結果と比較した（図 3）。三次元計算によるチェーン長さは、実験値より少し短くなってしまったが、二次元計算より実験値に近くっており、定量的精度が向上しているといえる。

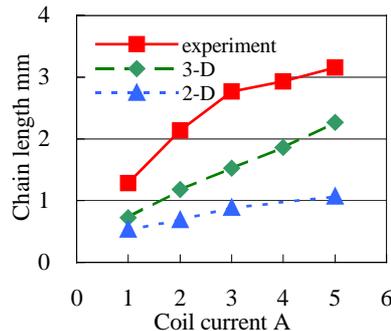


Fig. 3 Chain length

## 4. 磁性粒子チェーン傾斜実験の理論解析

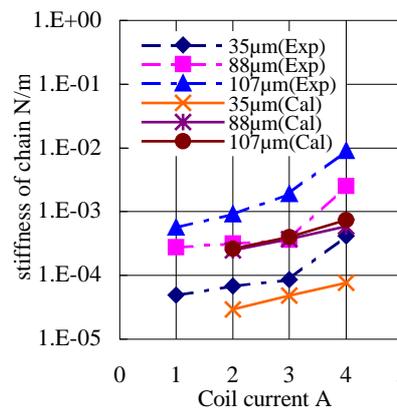


Fig. 4 Stiffness of chain

チェーンを傾斜させ重力に対する磁束密度の傾きとチェーンの傾きからチェーンのわたみを計測し、チェーンをはりとみなした剛性を算出した。この剛性に対する粒径効果についてエネルギー最小化の原理に基づき理論解析を行い、実験値と比較した（図 4）。

コイル通電電流の増加に伴い剛性が増加する傾向が定性的に一致することがわかった。また、粒径が大きいほど剛性が大きくなるという傾向も同様に一致しており、粒径効果についてもエネルギー最小化の観点から説明可能であることが確認できた。

## 発表論文

- 須甲・中山・山田・川本、電磁界中における磁性粒子のチェーン形成、第 40 回粉体に関する討論会 (2002)。