

修士論文概要書

2011年1月提出

専攻名 (専門分野)	機械科学	氏名	家坂 聡	指導	川本 広行 印
研究指導名	精密工学	学籍番号	5109C005-1	教員	
研究 題目	電子写真の二成分磁気ブラシ現像システムにおける粒子の挙動解析				

1. 研究目的

レーザープリンタや複写機に利用されている二成分磁気ブラシ現像システムは、磁性粒子のキャリアが形成する磁気ブラシを用いてトナーを静電潜像へ現像するため、電磁界中での粒子挙動の把握が重要となる。特にこのシステム特有の問題であるキャリア現像 (Bead Carry-Out) は、トナーだけでなくキャリアまで感光体上に付着・残存する現象であり画像欠陥の原因となる。この現象に対し、これまでの研究によりキャリア現像抑制条件が実験により明らかとなったが、詳細なメカニズムの解明には至っていない。そこで本研究では個別要素法による粒子挙動シミュレーションと非定常電磁界解析の連成により現像プロセスの再現を行い、粒子の挙動を解析した。さらに、膨大な計算時間を要する本シミュレーションの高速化を図った。

2. 研究手法

2.1 シミュレーション方法

現像領域を図1のようにモデル化した上でトナーとキャリアの挙動を三次元個別要素法 (DEM) によりシミュレーションした。本研究において、粒子に作用する外力として新たに静電力を追加した。静電力を得るには電界が必要なため、以下の式 (1) から式 (4) を支配方程式として差分法により電界を算出した。まず式 (1) の静電場のポアソン方程式を解き、電位 ϕ を求める。電位 ϕ から式 (2) により電界 \mathbf{E} を求め、電荷密度 ρ と電界 \mathbf{E} から単位体積当たりの静電力 $\rho\mathbf{E}$ が求まる。これを粒子内で積分し粒子に作用する静電力を算出した。

さらに本研究では粒子の導電性を考慮し、粒子内の電荷密度の時間変化も再現した。式 (3) のオームの法則を用い、導電率 σ と先に求めた電界 \mathbf{E} から電流密度 \mathbf{J} を算出し、式 (4) の電荷保存則を適用することで電荷密度の時間変化 $\partial\rho/\partial t$ が算出される。これを微小時間 Δt で積分し Δt 後の電荷密度 $\rho+\Delta\rho$ を得る。この電荷密度 $\rho+\Delta\rho$ を式 (1) の電荷密度 ρ へ代入・更新し、上記の工程を繰り返す。これにより各時刻での静電力を算出した。

$$-\nabla \cdot (\epsilon \nabla \phi) = \rho \quad (1)$$

$$\mathbf{E} = -\nabla \phi \quad (2)$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (3)$$

$$-\frac{\partial \rho}{\partial t} = \nabla \cdot \mathbf{J} \quad (4)$$

ここで ϵ : 誘電率である。

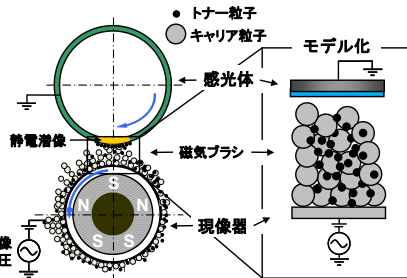


図1 現像領域のモデル化

2.2 計算の高速化

本シミュレーションにおいて計算負荷が大きい部分は粒子間の衝突判定と電界計算である。衝突判定はトナーとキャリアという粒径が大きく異なる粒子が混在する場合には衝突可能性の低い粒子まで含めて判定するため計算負荷が増大する。本研究ではこれまで種類であった衝突判定セルをトナー対トナー、キャリア対トナー、キャリア対キャリアの三種類まで増設することで衝突判定回数を必要最小限に抑えた。電界計算は静電場のポアソン方程式にSOR法を適用し、さらにRed-Black化した上でOpenMPにより並列化を行った。以上の高速化を検証した結果、Intel製CPU Core 2 Quad Q6600の環境下において、約3.4倍の高速化を達成した。

3. 研究成果

図2にシミュレーションの結果を示す。図2において上方が感光体、下方が現像スリーブである。本シミュレーションでは、上下平板間距離を変化させることで現像プロセスを模擬している。また、図3(a), (b)にそれぞれ実測したトナー現像量、付着キャリア粒子数と現像電圧の関係を示す。図2より現像電圧によりトナーは感光体上に現像され、現像電圧が高い程トナー現像量が増加している。これは図3(a)に示した実測の傾向と一致しており、現象を忠実に再現できていることがわかる。また、現像プロセス終盤に注目すると、感光体上にキャリアが引き付けられており、キャリア現像が生じていることがわかる。感光体上へのキャリアの付着数は現像電圧が高い程多く、この傾向も図3(b)の実測結果と合致した。

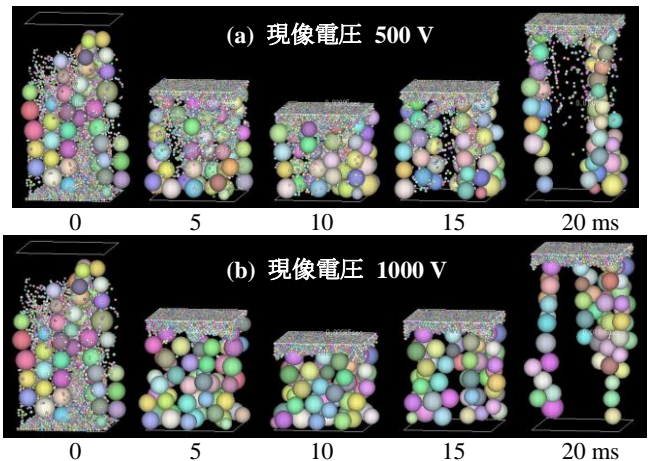


図2 現像電圧による粒子挙動の変化

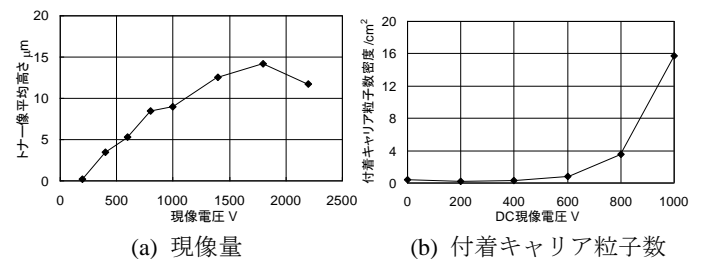


図3 現像量・付着キャリア粒子数の現像電圧特性 (実測)

発表論文

- 家坂, 川本, 足立, 村上, 電子写真の二成分磁気ブラシ現像系におけるキャリア現像, ICJ2008 Fall Meeting (2008) pp.25-27.
- T. Murakami, S. Iesaka, T. Adachi and H. Kawamoto, Bead Carry-out in Two-Component Brush System of Electrophotography, MIPE2009 (2009) pp.405-406.
- H. Kawamoto and S. Iesaka, Dynamics of Toner and Carrier Particles in Two-Component Development System used in Electrophotography, NIP25, Louisville (2009) pp.237-240.
- 家坂, 渡辺, 酒村, 村上, 川本, 電子写真の二成分磁気ブラシ現像におけるキャリア現像へのAC重畳電圧の影響, IIP2010 (2010) pp.154-158.
- 渡辺, 室賀, 家坂, 川本, 電子写真の二成分磁気ブラシ現像システムにおけるEdgeEffect現象, ICJ 2010 Fall Meeting (2010) pp.21-24.
- 家坂, 川本, 電子写真の二成分磁気ブラシ現像システムのシミュレーション, IIP2011 (2011).