

MFPにおける現像剤搬送の個別要素法解析

付着力を考慮した個別要素法で、現像剤の挙動解析精度を向上

MFP (Multifunctional Peripherals) の現像器を小型化するにあたり、試作回数削減などのために現像器内の現像剤搬送の挙動を数値解析により解明することが求められています。しかし、粉体である現像剤の挙動を、従来のように連続体で近似する解析では捉えることが難しいという課題があります。

東芝は、粉体解析手法である個別要素法において、付着力を考慮することで現像剤の挙動を模擬できることを明らかにし、現像器内の現像剤搬送の挙動を解明するための最初の一步を踏み出しました。

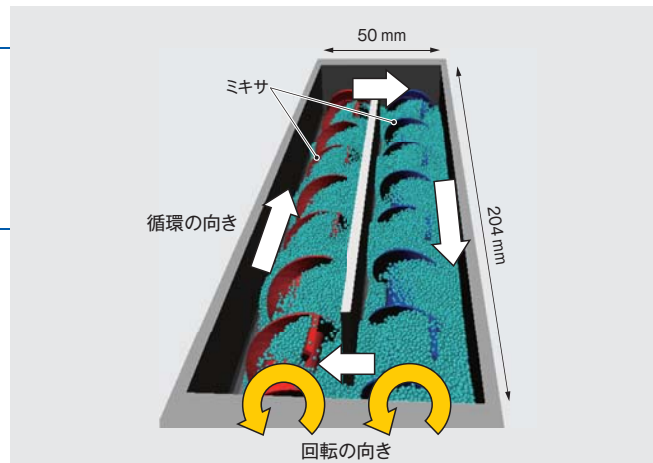


図1. 現像器の模式図 — 2本のミキサが回転することにより粉体が循環搬送されます。

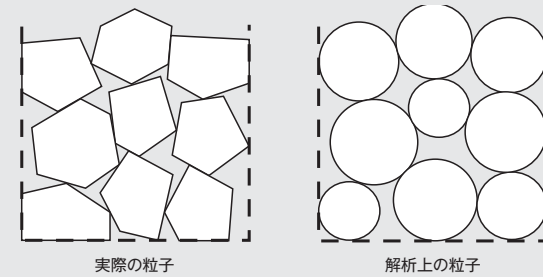


図2. 粒子の形状 — 実際の粒子は非球形ですが、解析上は完全な球形と仮定します。

表1. 使用粒子とその使用条件

	キャリア	ジルコニア
粒子径 (μm)	40	100, 800
密度 (kg/m ³)	4,700	6,090
質量 (g)	230	300
形状	凹凸あり	球形

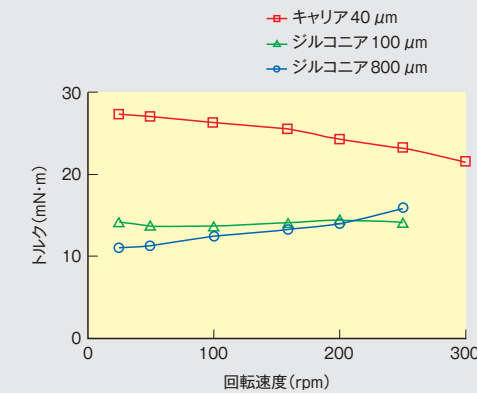


図3. トルク測定実験結果 — 粒子径が大きい場合は回転速度が大きいほどトルクが大きく、粒子径が小さい場合は回転速度が大きいほどトルクが小さくなりました。

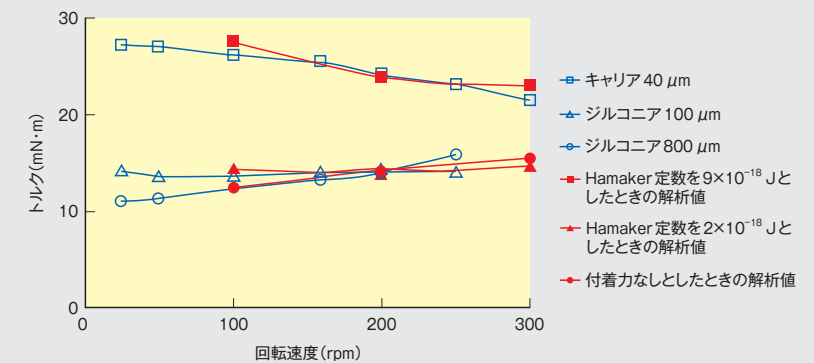


図4. 実験と解析のトルク比較 — 摩擦係数とHamaker定数を合わせ込むことにより実験結果を再現できました。

現像器の構造と粉体解析手法

MFPの現像器(図1)では、トナーを攪拌(かくはん)し搬送するために、キャリアと呼ばれる粉体を2本のミキサで循環搬送しています。ミキサを回転させることで現像剤(トナーとキャリアの混合物)を安定に循環させ、トナーを十分に攪拌して、安定に供給することが必要です。しかし粉体の挙動は非常に複雑なため、ミキサの回転速度やキャリアの量などの設計条件を実験で適正化するには、多大な労力が必要となります。そこで、数値解析により粉体の挙動の予測やメカニズムの解明を行うことが求められています。

現像器内のキャリアの挙動は連続体としてモデル化されることがありますが、摩擦などの力の働き方が根本的に

異なるため現像剤の挙動を正しく捉えられませんが、粉体を正しく解析するためには、個別要素法(DEM: Discrete Element Method)¹⁾を用いる必要があります。個別要素法は連続体近似を行わず、実際の粒子一つひとつを追跡する手法です。図2に示すように実際の粒子の形状は様々ですが、解析上は完全な球形と仮定します。

実際の現像剤は粒子径約6μmのトナーと粒子径40μmのキャリアの混合物ですので、現像器内の粒子数は数十億を超え、全ての粒子の挙動を追跡することはコンピュータの性能上現実的ではありません。現実的な時間で個別要素法で解析を行うために、実際よりも大きな粒子を用いてキャリアの挙動を模擬することが不可欠です²⁾。しかし、解析上の粒子を大きくすると実際の微

細粒子に働く付着力の影響が無視されてしまうと考えられ、その結果どの程度の誤差が生じるのか評価できていないのが現状です。

粒子径とトルクの関係の実験評価

そこで東芝は、粒子径が粉体挙動に及ぼす影響を実験的に調べました。この実験では、キャリアに加え粒子径800μm及び100μmのジルコニア粒子を用いて(表1)、粉体搬送時のトルク測定を行いました(図3)。

粒子径800μmのジルコニアでは回転速度が大きいほどトルクが大きくなりましたが、粒子径40μmのキャリアでは逆に回転速度が大きいほどトルクが小さくなりました。粒子径100μmのジルコニアではトルクが回転速度によらずほぼ一定となり、両者の中間的な

性質を示しました。粒子径が小さいほど回転速度の上昇に伴いトルクが低下する傾向にあると言えます。

また、粒子径800μm及び100μmのジルコニアに対して、キャリアのトルクは2倍程度大きくなりました。これは摩擦力や付着力の強さが異なるためであると考えられます。

個別要素法により実験結果の再現性を検証

解析粒子の直径を800μmとして、前述の実験を模擬した数値解析を行いました。粒子径800μmのジルコニアは球形で付着力を無視できる大きさなので、個別要素法でそのまま模擬することができます。摩擦係数を0.40とすることで実験結果をほぼ再現することができました。

粒子径が100μm以下の粒子の場合、摩擦係数を変えても回転速度の増加に伴いトルクが上昇し、図3のような微細粒子の挙動を再現することができませんでした。この原因は微細粒子における付着力の影響を考慮していないためと考えられます。

付着力を考慮するための手法として、実際よりも大きな解析粒子を用いて、実際の微細粒子のファンデルワールス力(付着力の一部)を模擬する手法が提案されています³⁾。ファンデルワールス力の強さはHamaker定数という物性値を用いて表されますが、Hamaker定数自体厳密には得られていないという問題があります。また微細粒子に働く付着力は、ファンデルワールス力以外にも静電気力など、様々な要因があります。そこで当社は、Hamaker定数を解析

上のパラメータとして捉えることにより、様々な要因である付着力を模擬することを検討しました。

図4に示すように、Hamaker定数をパラメータとして付着力を考慮することで、40μmの実験結果と同様に回転速度の上昇に伴いトルクが低下する現象や、100μmの実験結果と同様にトルクが回転速度によらずほぼ一定になる現象を再現することができました。

今後の展望

摩擦力や付着力を考慮することで、個別要素法を用いてトルク測定実験結果を再現できましたが、キャリアの摩擦係数とHamaker定数の解析パラメータを一意に決定できていないという課題が残されています。

今後、これらのパラメータの設定方法を確立することにより、更に精度よく現像器内の現像剤挙動を把握できるように技術を高度化します。その技術を用いて現像器の小型化を図り、より省スペースで低電力のMFPを開発していきます。

文献

- 1) Cundall, P. A. et al. A discrete numerical model for granular assemblies. *Geotechnique*. 29, 1, 1979, p.47 - 64.
- 2) 三尾 浩 他. 並列化DEMによる電子写真システム内粒子攪拌挙動に及ぼすパドル回転速度の影響. *粉体工学会誌*. 46, 3, 2009, p.169 - 179.
- 3) 酒井幹夫 他. 付着力を考慮したDEM粗視化モデルによる流動層の数値解析. *粉体工学会誌*. 47, 8, 2010, p.522 - 530.

田中 正幸

生産技術センター
部品技術研究センター