

Granuleworksによる転動造粒シミュレーション

株式会社チップトンは、バレル研磨のパイオニアとして、世界初の遠心バレル研磨機の発明を手始めに、振動、渦流、回転などの様々な運動形態によるバレル研磨機や、ブラスト研磨、ブラシ研磨等、その領域を次々と拡大し、他に類を見ないバレル研磨の総合メーカーとして確固たる地位を築いてきました。現在では、バレル研磨の3アイテム(バレル研磨機、研磨石、コンパウンド)全ての製品開発から製造販売までを手がけており、国内トップシェアを誇っています。今回は、株式会社チップトン開発部 機械開発室 主査の河原達樹様を訪問し、Granuleworks⁽¹⁾を利用した粉粒体の転動造粒シミュレーションについてお話を伺いました。

御社の事業内容についてお聞かせ下さい。

当社は、砥石製造から出発した名古屋にある従業員200名程の中小企業です。現在はバレル研磨装置が事業の柱になっており、これに使用する研磨材の製造販売も行なっています。



株式会社チップトン
開発部 機械開発室 主査 河原達樹 様

バレル研磨は、主に工業製品の部品のバリ取りや艶出し、スマホやPC内部の電子部品、その他生活雑貨や宝飾品等の研磨などに使われています。私たちは粒子法流体解析ソフトウェアParticleworksのユーザーでもあります。シミュレーションを始めたきっかけはこのバレル研磨でした。基本的

的に密閉容器内で研磨するので、内部可視化が容易でなく、また可視化してもその運動に対する研磨効果が分からないので、研磨挙動を解析することを目的にシミュレーションのソフトウェアを導入しました。またバレル研磨以外に、ポンプ(図1)の解析でもParticleworksを活用しています。

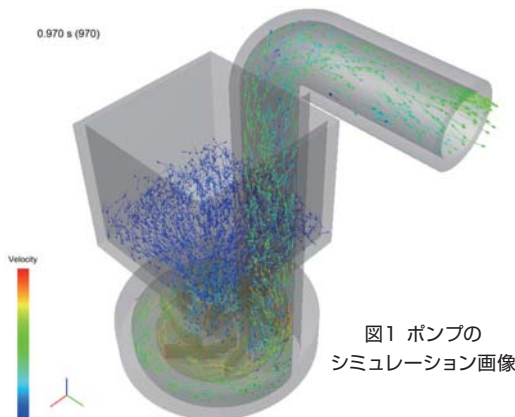


図1 ポンプのシミュレーション画像

これはポンプのインペラ形状を最適化して能力を増強しようという試みになりますが、ポンプ内の流れをParticleworksで評価



Coaterow NEXT
コータロー・ネクスト

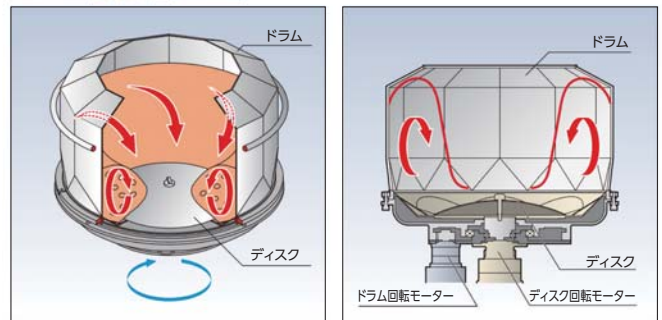


図2 食品コーティング装置Coaterow NEXT (名古屋工業技術グランプリ 名古屋市長賞受賞)とその渦流式コーティングの原理

しました。流れの観察から流路の摩耗予測を行い、さらに吐出圧や流量のデータから、性能が良いと予測された形状を3Dプリンタで出力して、実験検証も行いました。傾向は合っていたので、定性的な評価としては十分使えるという印象を持っています。

製品の一例を紹介しますと、図2のCoaterowは、バレル研磨機の技術を食品のコーティングに応用した製品です。食品コーティング装置は一般的に回転ドラムが用いられますが、容器内に粉体の停滞が生じやすく、また分散力が弱いという問題があり、以前はそれを職人技で防いでいました。それに対してこの装置は、上部に多面体の形状を用いたドラム、下部に同じく多面体の形状をしたディスクがあります。その独特な形状を持つドラムとディスクが独立回転することによりスパイラル流動が発生します。そのため、容器内に粉体が停滞することなく、装置の高い分散性能を実現しました。この装置を導入いただくことにより特別な技能が無くても、誰でもムラなくコーティングする事ができます。また、この方法は従来の方法に比べ半分以下の時間で処理することができます。その独創的な特長が認められ、Coaterowは名古屋工業技術グランプリで名古屋市長賞を受賞しました。

河原様のお仕事についてご紹介下さい。

バレル研磨装置やコーティング装置の新製品の設計・開発を行っています。製品化に必要なアイデアを考えて、その効果や検証を行い、新製品の施設設計や量産試作の検証を経て、製品化するまでが仕事の領域となります。ParticleworksやGranuleworksは主に製品開発の上流段階で使用しています。例えば新しいアイデアが湧いたら、簡単な実験装置を作って検証するのですが、実験装置だけでは観察が困難なケースもあります。その場合には実験装置に対応したシミュレーションも実施して実験結果と比較します。このように多面的な観察によって現象の理解やアイデアの評価がしやすくなりました。最近では、お客様の性能に対する要求も年々高くなっており、良い結果(データ)だけでは納得しきれず、なぜ良くなったかを理解した上で、さらに良くする事ができないかを追求されます。そのため開発者は新製品の原理や起こりうる現象に対して深い理解が必要だと感じています。CAEによる可視化はその手助けになっていると思います。可視化することによって、その先ももっと考えようという気力や興味が湧いてきます。

Granuleworksを導入した経緯についてお聞かせ下さい。

当社が取り扱う粉粒体の流動現象は、様々な現象の組合せで成り立っています。従来の考え方では、理論的に予測するのは困難で、実験検証を積み重ねて経験的に現象を理解するしかなく、それでは開発期間・費用が掛かり、また技術伝承が困難という課題がありました。Particleworksでの実績もあった事から、粉粒体の流動現象をシミュレーションするためにプロメテックさんに相談し、粉体解析ソフトウェアGranuleworksのプロトタイプ版の試用を始めました。造粒現象のシミュレーションは難しく、実験の再現までは至りませんでした。Granuleworksは開発段階でもありましたので、技術的な議論を積み重ねプロメテックさんからアイデアを提示していただきながら、一緒に進めていくことになりました。難しい課題でしたが、プロメテックさんの開発者が実験の立ち合いまでしてくれた事や、議論をしてアイデアや提案を積み重ねた事で、課題解決までのスピードがとても速いと感じ、一歩踏み出す事ができました。やはり、難しい課題を進めるには、当事者の熱意とスピード感はとても重要だと思っています。Granuleworksを使い始めてから約1年になりますが、粒子同士の接触・反発、また粒子の形状効果の考慮によって粉体らしい動きを再現できるなどの基本的な機能がしっかりしていると評価しています。私たちが取り組んでいる造粒現象は、付着力等の付加的な要素が大きなウェイトを占めますが、基本的な部分がしっかりしていないと、付着力の議論・検討は思うように進みませんし、シミュレーションと実現象は一致しないでしょう。

Granuleworksを利用した事例をご紹介下さい。

まず遠心バレル研磨機の事例を紹介します。基本的な仕組みは、4つの六角形の容器が大きな一つの回転盤に連結されていて、4つの容器が大きな回転盤と連動して公転しながら、容器同士が連動した自転回転もします。容器の中には、研磨対象の工作物と研磨材が入っており、相互運動作用によって工作物が研磨されます。遠心力の作用によって、単に容器を自転回転させて

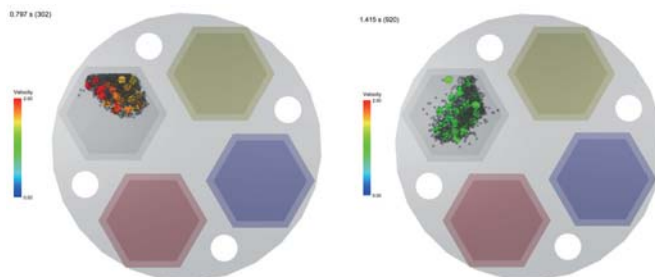


図3 遠心バレル研磨機の研磨材流動シミュレーション画像
(左:遠心力が十分大きい場合、右:ジャンプ現象)

研磨するのに比べ、20~50倍の非常に強い研磨力を生じさせることができます。実は、回転速度を落として遠心力と重力が釣り合う状況になると、内容物が容器内でジャンプする現象が実験結果で確認されていましたが、その工作物への影響を実験で観察する事が不可能でした。そこでGranuleworksを使い研磨材の流動を再現して、その工作物への影響を観察しました(図3)。シミュレーションの結果、ジャンプ現象が再現でき、ある遠心力範囲においてのみ本現象が発生する事を確認しました。このシミュレーション結果によって、ジャンプ現象が起きた際に製品にかかるダメージや、それを発生させないために最低限必要な遠心力を確認することができました。

造粒ではどのようなシミュレーションに取り組みられていますか。

造粒製品というのは、砂糖や塩、ラムネ、錠剤等の食品・医薬品、または洗剤や消臭剤などの化学製品など、身近なところにたくさんあります。これらは、用途によって一定の大きさに整粒されています。粒の作り方は大きく分けると、粉を固めて大きくするか、大きな塊を小さく破砕するかの2種類で、その前者の造粒法として有名な方法には、転動造粒、流動層造粒、押し出し造粒、スプレッドライヤーがあります。今回はこの中から、金型を使って素材を押し出して作る押し出し造粒と、容器の回転によって粒子に相互運動を与えながら、原料をまぶして粒子を大きくしていく転動造粒への適用例を紹介します。

図4は、固着モデルを利用した押し出し造粒の事例です。押し出し造粒では、型であるダイに粘土状の素材を押しつけて、細長い

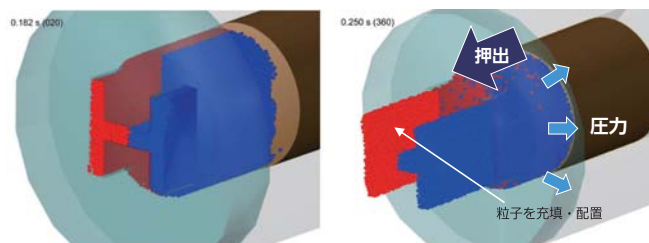


図4 シミュレーションの画像 押し出し造粒解析

造粒物を作ります。その後でカットし窯に入れて焼くと製品ができ上がります。これをシミュレーションすることで、曲りや、ソリ、前工程の混合等も含めた材料の偏析、密度分布等を調べることができ、ダイの形状や流路の検討がしやすくなります。押し出し造粒の素材は、ダイまでが加えられた圧力によって流体の様な振る舞いをし、ダイを通過した後は固体の様な振る舞いをし

ます。この相反する状態を物性値や状態を変化させることなくシミュレーションで再現できると、複雑な設定も不要になるため実用的と考えシミュレーションの課題としました。シミュレーションでは、物性値が同じ2種類の粒子を左右に分けて充填・配置し押し出します。装置内部では高い圧力が発生し、それに伴って穴の形状を保ったまま押し出されます(図4)。DEMでこれを実施するメリットは、離散的な扱いができるため、同装置で前工程の混合や、後工程のカットも含めて装置内の一連の現象を1回でシミュレーションすることができる点だと考えています。

次に転動造粒の事例についてご紹介します。転動造粒では、核となる粒子に原料をまぶして粒を大きくします。その際、バインダーという液体接着材を用いて原料を粒子に付着させますが、付着しただけでは造粒体としては弱いので、これを容器の回転運動等で圧密する事で強度を高め、その一連の動作を繰り返す事で粒を大きくしていきます。核粒子段階では粒度分布が相当広いのですが、この造粒作業を通じて粒の大きさが均一化し粒度分布が狭くなります。転動造粒では、装置設計やその設備を使用した生産体制の確立において、安定した品質を保つ事が重要ですが、付着力が強すぎると装置の壁面への固着や、凝集体である粒子同士の固着という問題が発生してしまいます(図5)。すると著しく品質を落とすこととなりますので、これを解決するためにシミュレーションで予測を行ないました。

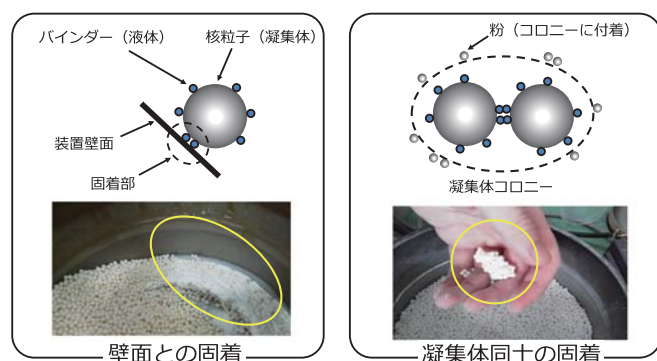


図5 造粒品質に大きな影響を及ぼす要因

造粒のシミュレーションは、基礎技術である接触力、形状効果の他に、様々な物理モデルが必要です。造粒中の壁面との固着、凝集体同士の固着に対象を定めて、プロメテックさんと議論を重ねて、新しい物理モデルである固着モデルを開発して頂きました。このシミュレーションでは、粒子径がmmオーダーの比較的大きな粒子を使用する事を前提にしています。また、粒子間に作用させる結合力は、より少ないパラメータで安定的に且つ、広範囲の付着現象を取り扱えるようにしました。ポテンシャル力とは違い、化学反応や高粘度液体によって全ての粒子間には常に結合力が作用するわけではないので、結合、解除する条件が必要で、これらはユーザーが独自に設定できるようになっています。実験検証には、比較的小スケールでも安定して実験作業ができる遠心転動造粒法を採用しました。遠心転動造粒法で用いられる実験装置は、固定した筒と回転皿で構成されます。この回転皿を回転させる事で、粒子群全体に相互運動を与えて、さらに遠心力によって強い圧縮力を与えて圧密します。まず固着モデルの付着・結合・破断に関するパラメーターを同定する為の指標

として、バインダーを粒子全体に均一に含ませた状態で回転皿を停止させて、その崩落状態を評価指標にしました。回転皿を回転させた状態で一定量のバインダーを滴下し放置するというプロセスを繰り返し、付着力を変化させた場合の崩落形状を採用しました(図6)。この時、滴下9回が造粒に最適な状態だったので、これをシミュレーションで再現しました。

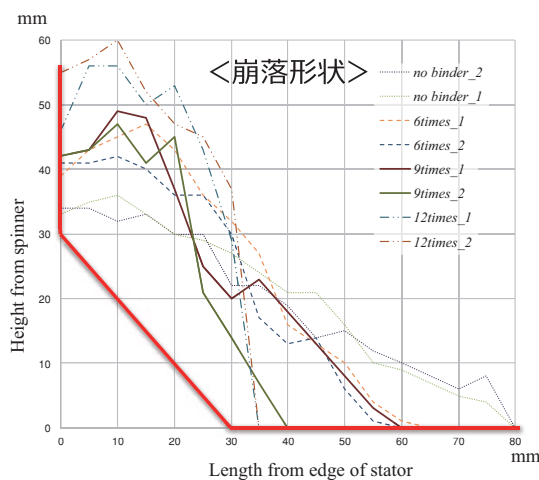


図6 バインダー滴下回数と崩落形状

シミュレーションでのケーススタディを80条件程度試しましたが全体的な評価として、実験では崩落が局部的に発生しているのに対し、シミュレーションでは全体的に発生するという差異がありました。粒子間の付着力の発生において大きな要素ではないため、最も形状が近似していたパラメータを採用して、運動中の固着状態で定性的な評価をすることにしました。最適パラメータを用いたシミュレーション結果と実験結果の比較を図7に示します。プロメテックさんに相談してシミュレーションでは粒子同士の固着と粒子と壁面の固着状態を別々に可視化できるようにしました。先のバインダー滴下9回での造粒現象を見てみると、粒子同士が付着力によってまとわりつく様な動きをしています。また回転皿の傾斜部には粒子が固着しています。装置を停止して壁面付着状態を比較すると、付着発生箇所が合っていたので、この評価方法は使えそうだ、という結論になりました。

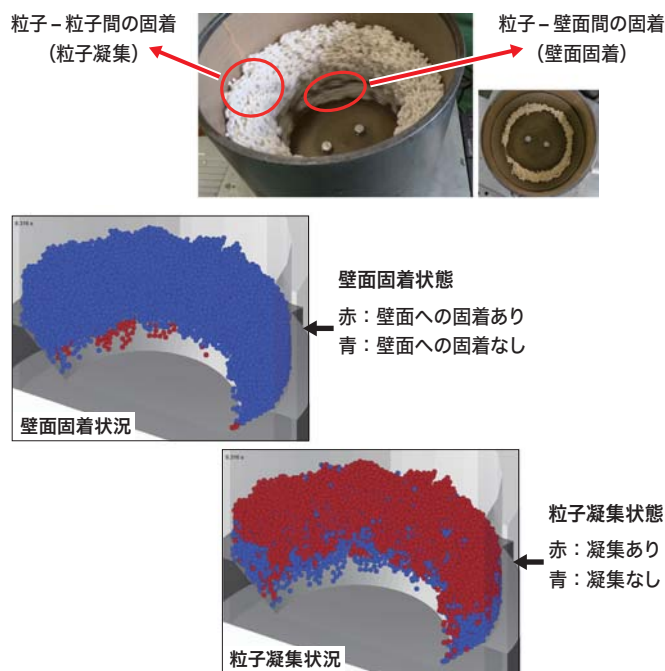


図7 造粒中における固着状態の実験とシミュレーションの比較

導入後の効果はいかがでしょうか。

課題だった造粒中の付着現象については、課題解決に着実に近づいています。Granuleworksの導入により、検討、考察の深さが増しました。シミュレーションは、ミクロな視点で物理現象に基づき予測してマクロな視点で結果を観る、という方法を取りますが、粉粒体の挙動は、ミクロな視点では単純な物理現象の組み合わせで成り立っていますので、複雑な現象を単純化して考える

ことが向いています。現実とシミュレーションの結果がたとえ合わなくても、その差異が重要な場合もあります。また可視化の効果も重要です。粉粒体の流れの計測は現実の世界では非常に困難ですが、シミュレーションでは全体の物理量分布まで表示可能なので、現象の理解に役立っています。また、Granuleworksの結果表示は直感的で判りやすいのですが、造粒現象の詳細を議論するために、例えば、粒子間の相互作用力や粉粒体独自の物理量表示などにも対応していただけると嬉しいです。

Granuleworksやプロメテックへのご要望と今後のご期待をお聞かせ下さい。

Granuleworksには世界初の造粒シミュレーターになってほしいと考えています。そのためには、スプレー吹付けや液転写・分配、液浸透・分散、乾燥といった新しい物理モデルが必要です。これらが実現できれば粉が集まって粒になる、という本当の意味での造粒シミュレーションができると考えています。プロメテックさんの強みはユーザーと開発者の距離感がとても近く、スピード感があることだと感じていて、一緒に仕事をしていると熱意が湧いてきます。DEMソフトウェアは沢山ありますが、産業界で使えるソフトウェアは殆ど皆無だと聞いています。ユーザーとの対話に今後も注力して、高い専門性をもってGranuleworksを世界初の産業界でも十分に使えるソフトウェアに育てて欲しいと思います。

本日は、業務ご多忙の中インタビューにご協力下さり、また貴重なご意見もいただきまして、誠にありがとうございました。この場をお借りし御礼申し上げます。引き続きより良い製品開発をご提供できるよう、プロメテック一同ご支援させていただきます。

参考資料

Granuleworks Special Seminar in Nagoya (2016/12/22) 講演資料

注：(1) Granuleworksは、本記事取材の2016年12月時点のものであり、正式リリース前のプロトタイプ版となります。機能の詳細については、お問い合わせ下さい。

取材日 2016年12月22日



株式会社チップトン

本社所在地：愛知県名古屋市中区栄一丁目3番3号
設立：1939年7月8日

事業内容：バレル研磨機、研磨石・コンパウンド、石油精製・石油化学の充填材、食品コーティング、研削砥石などの製造
ホームページ：<http://www.tipton.co.jp>



Particleworks®
Particle-based simulation software for CAE

Particleworksは粒子法の一つとして開発されたMPS法 (Moving Particle Simulation) の理論に基づく流体解析ソフトウェアです。格子生成が不要な新しい計算手法で、流体を粒子の集まりとして表現し、飛沫などの自由表面をとまらぬ液体の挙動を高精度に安定して解析できます。



Granuleworks®
Advanced Simulator for Granular Materials

Granuleworksは、粉体シミュレーションの手法としてもっとも代表的な離散要素法 (DEM) の理論に基づく粉体解析ソフトウェアです。食品、医薬品、化学品、輸送機器、電子材料など、粉体を使った様々な製造プロセスや粉体加工、粉体装置の設計・改良に活用することができ、混合、搬送、充填、圧粉など粉体現象を容易に解析することができます。

開発元・国内、海外総販売店

PROMETECH.

プロメテック・ソフトウェア株式会社

本社 〒113-0033 東京都文京区本郷三丁目34番3号 本郷第一ビル8階
TEL: 03-5842-4082 FAX: 03-5842-4123

西日本支社 〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄一丁目3番3号 朝日会館7階
TEL: 052-211-3900 FAX: 052-211-3901

URL: www.prometech.co.jp

E-mail: sales@prometech.co.jp

プロメテック・ソフトウェア株式会社に事前の承諾を得ることなく、本記事の全部または一部を使用 (複製・改ざん・頒布・送信・上映) することを禁止します。また、ダウンロード、プリントアウトされた複製物を、不特定または多数の人へ送信・配布することはできません。

本記事の内容は、取材時2016年12月の情報です。製品の機能および構成などは取材時より変更されている可能性がありますので、予めご了承下さい。最新の情報については、プロメテック・ソフトウェア (sales@prometech.co.jp) までお問合せください。