

新型機スターミル ナノ・ゲッターのご紹介

～ナノメートルサイズへの微粒子化と使いやすさを追求～

1. 高度化する粉砕・分散技術

材料を微粒子化する粉砕・分散は重要な工程であり、この良し悪しが製品の特性を決める。最近では材料粒子の大きさもナノメートルサイズまでの微細化が求められ、更に微量添加物の均一分散や材料への工程時の汚染排除など、要求が高度化している。また、新素材等は付加価値が高く少量生産が基本となるため、大量生産から少量多品種生産になり 1 台の機械で何種類もの製品を製造するため洗浄性が良く、取り扱いやすい機械が求められる。

2. ビーズミルの原理

ビーズミルの原理は、粉砕メディアであるビーズが充填されたベッセル内(粉砕室)に溶媒(水、溶剤など)と微細化を目的とする粒子を混合したスラリーをポンプで送液する。ベッセル内(粉砕室)でアジテーターを高速回転させることによって、ビーズを攪拌し、そのせん断作用でスラリー中の粒子を粉砕・分散する。ビーズミルの分散性能に影響を与える因子として、粉砕室やアジテーターの形状、運転条件等があるが、中でもビーズ径の影響は大きい。ビーズミルで用いられるビーズ径は 0.03mm～ 2.0mm であるが、原料をナノメートルサイズの粒子まで微細化することを目的とする場合には微小ビーズ(0.1mm 以下)を選択する必要がある。微小ビーズを用いることにより、単位体積当たりのビーズの個数が増えビーズ個数密度を高めることができ、また、ビーズ同士の接触点が多くなることで、スラリー中の粒子がビーズと接触する確率が高くなる。図1に1次粒子径が 15nm 酸化チタンの分散結果を示す。より小さなビーズを選択したほうが、到達粒子径も小さく、分散効率の良い結果が得ることが確認できる。

また、大きなビーズを用いると、ビーズの衝撃エネルギーが大きく粒子にダメージを与えてしまう過剰分散という問題も引き起こす。この対策にも微小ビーズは効果的である。図2に1次粒子径が 0.3 μm の誘電体を 0.1mm ビーズと 0.05mm ビーズを用いて分散した結果を示す。どちらのビーズを用いても1次粒子径の 0.3 μm に到達しているが、粘度を比較すると 0.05mm ビーズを使用したほうが 0.1mm ビーズに比べて粘度の上昇を抑えることが出来ている。次に、過剰分散について説明する。

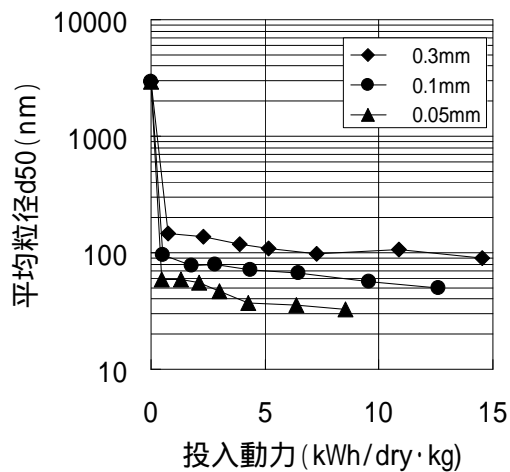


図1 酸化チタンの分散結果

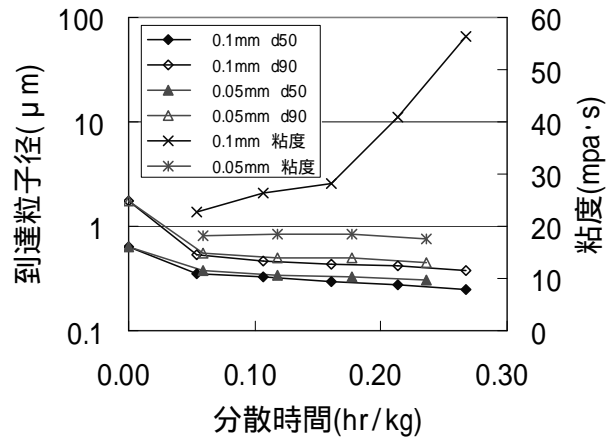


図2 誘電体の分散結果

3. 過剰分散させずに分散可能なピーズミル『スターミル・ナノゲッター』のご紹介

従来のピーズミルでは、いかに粒子に強い衝撃・衝突とせん断作用を与えるかに焦点が当てられており、粒子が線結合や点結合で緩やかに凝集している場合も1次粒子を破砕するほどの余分な力で運転を行っていた。一次粒子が破砕されると、破砕面に活性部位が生じて、再凝集が起こり、異常な粘度増加を誘発する過剰分散の問題があった。そこで、粒子が線結合や点結合で緩やかに凝集している場合はマイルド分散を提案している。マイルド分散とは、1次粒子にダメージを与えず、粒子の特性を保持できる分散方法である。粒子に与えるエネルギーが制御できるため、粒子の表面活性を抑え再凝集を防ぐことができ、分散剤の添加量も少なく出来る。

従来のミルは、回転数を下げるなど運転条件によりマイルド分散を行っていたが、新型機『スターミル ナノゲッター』(図3)はピーズの動きに着目しマイルドな運転状態をミル内で実現している。



図3 スターミル ナノゲッター

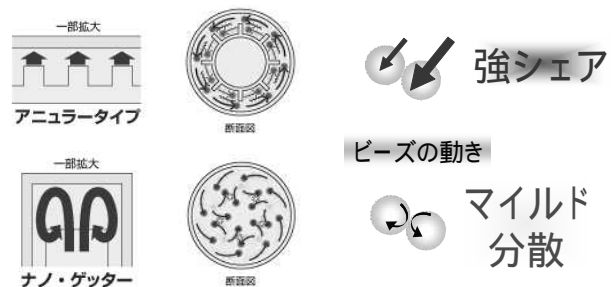


図4 ピーズの動きのイメージ図

5.1 開発コンセプト

ナノ・ゲッターの開発コンセプトは『超微細化への追求』そして、『使いやすさの追求』である。まず、『超微細化への追求』であるが、微小ビーズが利用できることが重要であると先ほども述べた。ナノ・ゲッターは微小ビーズが安定して利用できることに加えて、ビーズの動きにも着目し理想的なビーズの動きを目指した。また、粒子をただ細かくするだけではなく、いかに粉体の特性、機能を引き出すかと処理物の品質安定にもこだわり、過剰分散させずに運転することを可能とした。そして、『使いやすさの追求』では安定運転、容易なメンテナンス(特に洗浄)、幅広い利用分野など様々な面での使い易さを追求した。

5.2 特徴

ナノ・ゲッターの特徴について説明する。ナノ・ゲッターの特徴は粉碎室のベッセル長さ L と直径 D の比 L/D を小さくした構造である。このことにより、様々なメリットが生まれた。

理想的なビーズの動き

現在一般的となっているアニュラー型ミルはいかに粒子に強いせん断作用を与えて効率よく粉碎を行うかを目的としている。したがって、粉碎室の構造はエネルギー密度の高い部分を有効に利用した狭い構造をとっており、ビーズが密な状態で強力な粉碎・分散を行う。強いシアで処理をしてしまうと粒子にダメージを与えてしまい、特性が失われる過剰分散が起こる。そこで、ナノ・ゲッターのビーズの動きは周方向、半径方向、軸流方向の3次元の動きを目指して粉碎室とアジテータを設計した。さらに、ビーズの動きで重要となるのは粉碎室内でビーズの偏りが無く、均一性を保つことである。従来型は、スラリーがミル内に滞在する時間を重視しており、滞留時間が長く、ショートパスが無いようにベッセル長さ L と直径 D の比 L/D を大きくする工夫、努力が行われてきた。この場合、1パス運転のような簡単な処理であれば効果はあるが、何度もミル内を通す必要があるナノレベルの粉碎・分散には粒子へのダメージが大きく不向きである。また、 L/D が大きいと、ビーズの偏析が生じたり、無駄な動きが増加して、エネルギー効率の低下を招く。特に、ナノレベルの粉碎・分散に用いられる微小ビーズではビーズの偏析は顕著に起る。ビーズの偏析による無駄なエネルギーは過剰分散の原因となる。ナノゲッターは、 L/D を小さくすることによってメディアの動きの均一になり、無駄なエネルギーを抑えて、高いエネルギー効率で粉碎・分散ができ、微小ビーズも安定して運転できる。(図4)

コンタミネーションの削減

ビーズミルは、ビーズに運動エネルギーを付与し、ビーズに粒子を捕捉させて摩擦、せん断等のビーズが持つエネルギーで微細化するので、ビーズ、部材の摩耗によるコンタミネーションは避けられない。摩耗・コンタミネーション防止には周速を上げ過ぎずに処理できる効率の良いミルを選定する必要がある。ナノ・ゲッターは無駄なエネルギーを抑えて、高いエネルギー効率で粉碎・分散ができるので、コンタミネーションも少ない。

洗浄性の向上 分解・組立が容易

従来機は長い粉碎室に加えて、アジテーターのパーツも多く、メンテナンス時の操作に手間が多くかかっていた。ナノ・ゲッターは長手方向への操作が少なくなる分、取り扱いやすく洗浄しやす

い。また、アジテーターの部品点数も少なくメンテナンスが非常に容易である。

スクリーンレス

従来機はビーズとスラリーの分離にスクリーンを用いていた。しかし、ビーズの微小化が進むにつれてスラリーとビーズの分離機構にスクリーンを用いることが困難となってきた。微小ビーズ用の目開きの小さいスクリーンを用いると、運転初期の粗粒や継子による目詰まりの問題がある。スクリーンレスにすることで、従来粗粒や継子がある場合に行っていた大きいビーズでの前処理がなくなり、ビーズ替えの手間が省ける。洗浄においてもスクリーンは非常に洗浄性が悪いので、スクリーンレスにすることで格段に洗浄性が向上する。

4. 最後に

ナノ・ゲッターは上記の通り、多品種・少量生産の高付加価値の粒子に対応した高分散処理ができる。また、幅広い運転条件で様々な分野で活躍が期待できる。