

# 高性能バッチ式 ビーズミルの新規開発

New Development of High Performance  
Beads-mill for Batch Process



生産技術部  
松本宏幸  
Hiroyuki  
Matsumoto



生産技術部  
庫本睦雄  
Mutsuo  
Kuramoto

## 1. まえがき

顧客の品質要求の高度化、多様化、コストダウン要求が急速に進むなか、塗料の製造に於いても市販の設備・機器のみでは対応しきれなくなっている。特に塗料製造の中心となる顔料分散工程に使用するビーズミルは、塗料メーカーが積極的に開発を行っていく必要があると考えており、当社では、生産技術部がこの業務を推進している。

ビーズミルは、顔料ペースト(顔料とビヒクルの混合物)を分散媒体であるガラス、セラミック等のビーズと共に、高速攪拌することによって、顔料ペースト中の顔料二次粒子を一次粒子まで微細に分散する装置であり、その性能は製品の品質、生産性、製造コストに大きく影響する。今回、CFD(Computational Fluid Dynamics)シミュレーションによってビーズミル内のメジアの挙動を解析し、多品種少量生産に適した高性能バッチ式ビーズミル「KEY MILL」を開発した。本稿では、その経緯について報告する。

## 2. 多品種少量生産に適した塗料製造システム

塗料の典型的な製造工程を図1に示す。前練り工程で

は、顔料、ワニス及び溶剤を高速ディスパーザーで攪拌・混合し、均一な顔料ペーストをつくる。分散工程では顔料ペーストをポンプによりビーズミルに送り込み、顔料粒子を微細に分散する。調合・調色工程では、顔料ペーストに所定のワニス、溶剤、添加剤を加え高速ディスパーザーを用いて攪拌・混合して仕上げ、さらに原色塗料を加えて色を合わせ製品化する。最後に、濾過しながら各種容器に充填する。

これらの工程のうち、分散工程が最も時間を要する。さらに、顔料粒子の分散の良否が塗膜の機能及び外観(光沢、鮮映性等)に大きく影響する。高度な分散度を得るためには、数回ビーズミルを通過させ分散する必要があり、次のような方法が採られる。

- (1) ビーズミルを直列に連結し、1パスで分散する。
- (2) 供給タンクと受けタンクを設け、配管系統の切り替え、あるいはタンクの移動により、交互に入れ替えることにより複数回ビーズミルを通過させ、分散する。
- (3) 攪拌機の付いた循環槽からポンプ、配管を通してビーズミルに送り込み、ビーズミルから出てきた顔料ペーストを再び循環槽に戻し、循環することによって分散する。

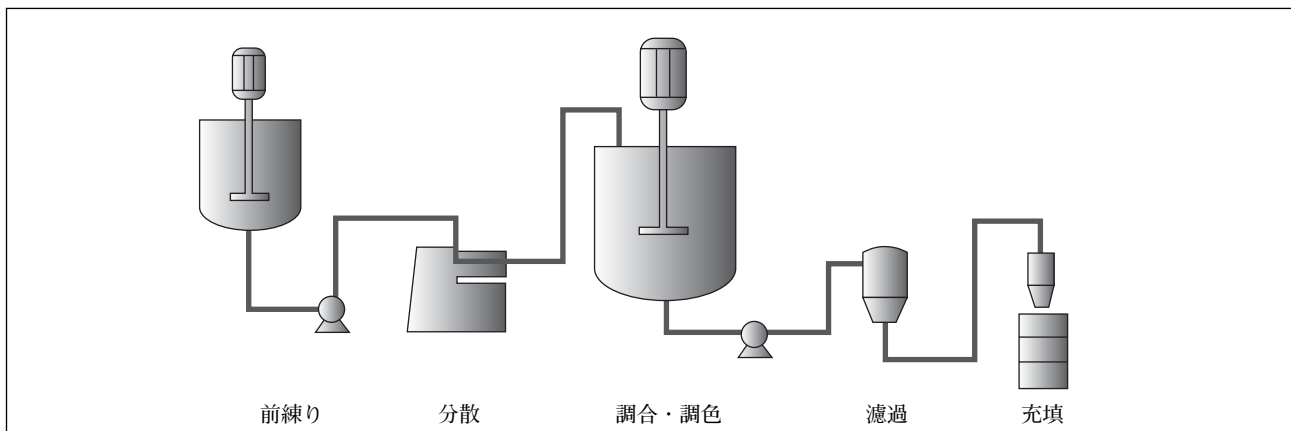


図1 塗料の製造工程

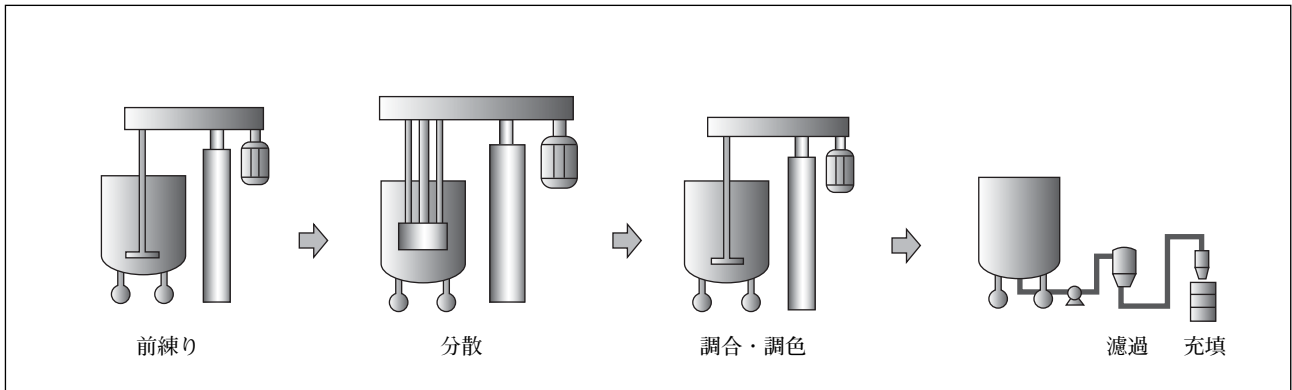


図2 モノタンク方式

塗料は多品種で色数も多いため、洗浄の頻度が多く、かつ洗浄工数が多い。いかに洗浄工程の効率化を図るかが、塗料工業の大きな課題である。「小口製品の生産性を高めるためには、上記の塗料製造工程を単純化し、洗浄工数を削減する必要がある。」特に、分散工程を配管、ポンプを使用しないバッチ式ビーズミルに置き換えることは有効である。図2はモノタンク製造方式と呼ばれる小口製品の効率的な製造方式を示したものである。この製造方式の特徴は、1つのタンクで全工程を行い、濾過・充填工程以外はポンプ、配管を使用しないことである。

分散工程に使用するバッチ式ビーズミルとしてはバスケットミル、リングミル、ADミル等が市販されている。バスケットミルは、ウェッジワイヤースクリーンのベセル（バスケット）にメジアを入れ、ベセルごと顔料ペーストの入ったタンクに漬け、ベセル内をピンディスクで攪拌するビーズミルである。また、ミルの洗浄は洗浄溶剤のタンクに漬け、分散時と同様に運転すれば比較的簡単にほぼ完全に洗浄することができる。バッチ式ビーズミルはモノタンク製造方式に不可欠な設備であるが、市販のものでは高度な分散が不可能であった。そこで、このモノタンク製造方式を高度な分散を必要とする塗料の製造へ適用するため、高性能なバッチ式ビーズミルの開発を行った。

### 3. 高性能バッチ式ビーズミルの開発コンセプト

バッチ式ビーズミルは多品種少量生産に適したビーズミルであるが、高比重・小径メジアが使用できないため高度な分散を要求される場合には適用できない。バスケットミルでは、顔料粒子のスクリーンでの目詰まりおよび摩耗を防ぐため、φ1.5mm以上のガラスビーズ（比重 2.5）を使用しなければならない。

開発の目標としては、φ0.5mmジルコニアビーズ（比重 6.0）が使用可能なこと、及び高速循環分散用ビーズミル以上の流量が確保できることを挙げた。

上記の目標を達成するため、バッチ式ビーズミルにスパイク状の突起を付けた特殊なアニューラー型ローターを採用した（図3）。このローターは顔料ペーストの流動によるメジアの偏在を防ぐとともに、メジアの運動を強めることを狙いとして、横浜国立大学の上和野教授により開発されたものであり、「スパイクミル」として井上製作所（株）より市販されている。このスパイク型ローターの効果に注目し、循環孔のあるアニューラー型ローターと組み合わせることにより、モノタンク製造方式に適した高性能ビーズミルを開発した。

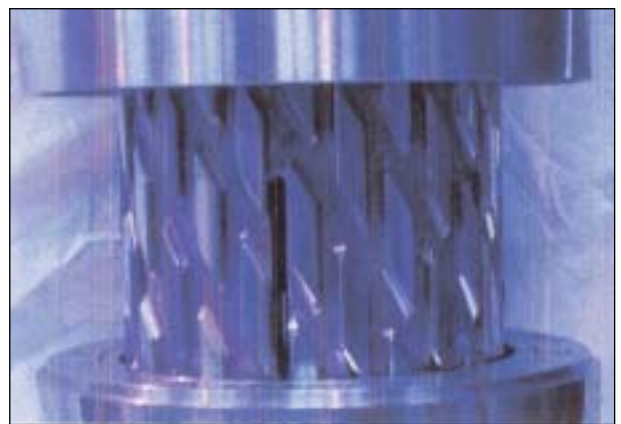


図3 高性能バッチ式ビーズミルのローター形状

このビーズミルの構造及び顔料ペーストとメジアの流れを図4に示す。ベセル、ローター、スクリーンおよびパドル翼、タービン翼で構成される。回転軸とベセル天板の間隙から入った顔料ペーストは、ローター肩部とベセル天板の間隙を通過して、ローター外周とベセル壁の間隙に入る。ローター外周のスパイクによるスクリーニング効果により、顔料ペーストはメジアとともに下降する。その間に強力に攪拌され、顔料凝集粒子が分散される。メジアと顔料ペーストの混合物は、ローター下部を通過してローター内側とスクリーンの間隙に送入され、そこで遠心力によりメジアとペーストは分離される。メジアはローターに設けられたスリット状の循環孔より、ローター外周部とベセル壁の間隙に戻される。

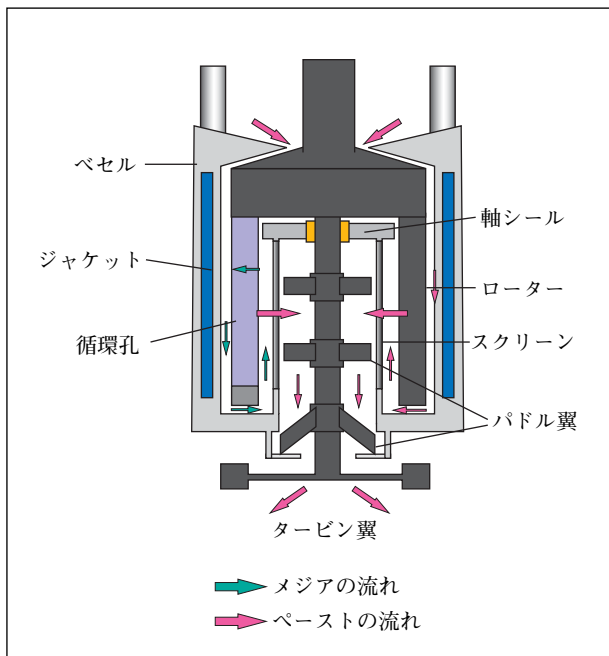


図4 高性能バッチ式ビーズミル

#### 4. 高性能バッチ式ビーズミルの性能

##### 4.1 CFDシミュレーションによる解析

ビーズミル内の顔料ペースト、ビーズの挙動についてCFDシミュレーションを行った。メジアの流れを図5に示す。スパイクによりメジアが下方方向に加速され、また循環孔を通してローター内側より外側に戻されているのが解る。図6はスパイク型ローターと円筒ローターの顔料ペーストの流線を示しており、スパイクの効果により、下向きの流れが加速されていることが解る。

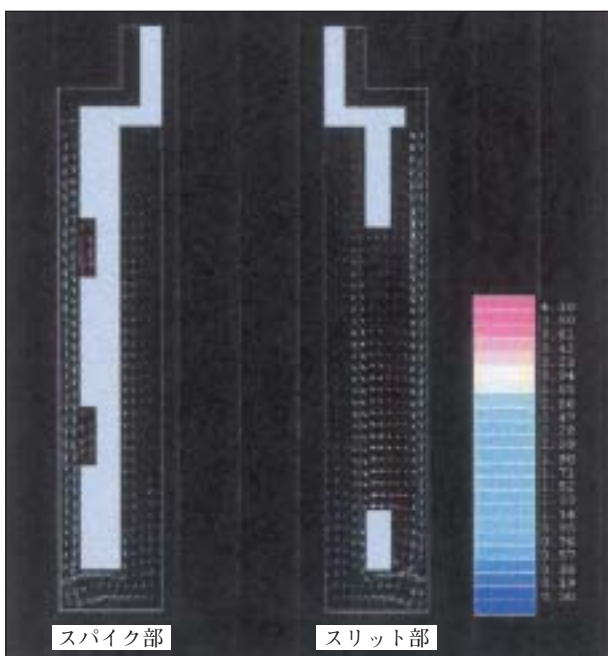


図5 メジアの流れ

CFDシミュレーションに於いて、ローター外周部に取り付けられたスパイクのスクリー効果及びローターの回転による遠心力により、メジアが循環を繰り返すことが確認できた。このローターの回転により生ずる強力なメジアの循環がペーストの流れを促進しており、従来のバスケットミルのようにメジアが顔料ペーストの流動の抵抗になることはない。従って、小径メジアを使用してもミルを通過する強力な顔料ペーストの循環流が形成される。



(a) スパイク型ローター (b) 円筒型ローター

図6 顔料ペーストの流線

##### 4.2 可視化実験による解析

可視化実験によってビーズミル内のメジアの運動を直接計測した。可視化システムはビーズミル、高速度ビデオカメラ(MEMRECAMci-4(株)ナック)、モニター、コンピュータで構成される。ビーズミルには、透明なアクリル製ベッセル、スパイク型ローターを用いた。メジアにはガラスビーズ、ニュートン流体としてグリセリンを使用した。トレーサー粒子を高速度ビデオカメラ(2000コマ/s)で撮影後、画像処理ソフトによってメジアの運動を追跡し移動速度を計算した。

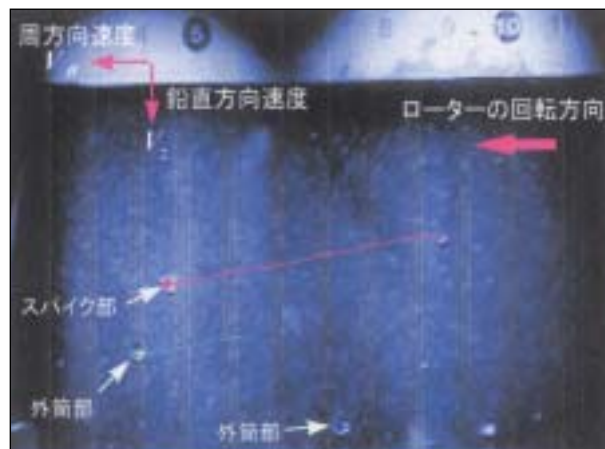


図7 メジアの流動状態

可視化システムによる解析図を図7に示す。図はローター部付近(スパイク部)と壁近傍(外筒部)のメジアの軌跡を示す。スパイク型ローター部でのメジアの速度はローターによって周方向に回転しながらスパイクの効果によって下方向に流れる。2つのメジアの速度差が大きいことから、ローター外周部とベセル壁の間隙において大きな剪断力が働いていることが解る。

#### 4.3 顔料ペーストの循環流量

モノタンク製造方式の場合、タンク壁に微量の未分散顔料が付着していると顔料ペーストの性能低下になるため、タンク内で均一な混合が要求される。そのためビーズミルからの吐出流によって、タンク内に強力な循環流を形成させる必要がある。

ミル分散容量0.7L、タンク容量50Lの高性能バッチ式ビーズミルについてミル内を通過する循環流の流量を測定した(図8)。バッチ式ビーズミルの顔料ペースト入口部にタンク内の液と仕切するための円筒を立て、ミルに入る液はポンプによりタンク底部より抜き出した液を供給する。この装置において、タンク液面と円筒内部液面が同じレベルになるようにポンプ流量を調整する。

この時、ミルが吸入する流量とポンプが供給する流量がバランスしており、ポンプ流量を測定することによりミルを通過する循環流量が測定される。粘度0.7Pa・sの液を用いて測定した。その結果、図9に示すようにローター周速12m/sで1100L/hの循環流量がえられた。

この流量は、従来のバスケットミルは言うまでもなく、連続式である高速循環分散用分散機と比較しても、圧倒的に優れている。このミルが持つ独特のメジア循環機構の性能が実証された。

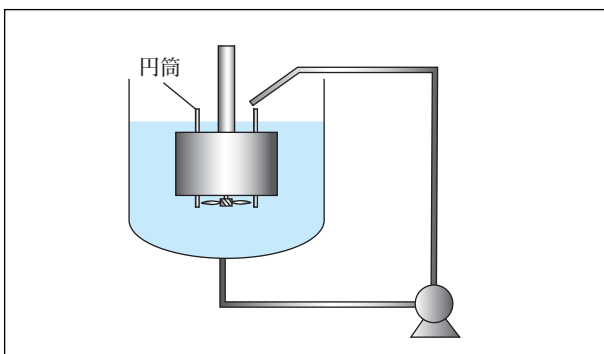


図8 バッチ式ビーズミルの循環流量測定法

### 5. 分散性能

「KEY MILL」の分散性能を高速循環分散用ビーズミルと比較した。メジアはどちらもφ0.5mmジルコニアメジアを使用し、試料としてはペリレン系赤顔料/アクリルワニス

ペーストを用い、透明性で分散性を比較した(図10)。いずれのミルもローター外周部とベセル壁の間隙である分散領域における滞留時間による透明性で分散性能を比較している。「KEY MILL」のほうが短い滞留時間で透明性が高くなっており、分散性能が優れていることがわかる。

また、洗浄溶剤を入れたタンクで数分間運転することにより、完全に洗浄できることが確認できた。強力な循環流により極めて優れた洗浄性を有している。

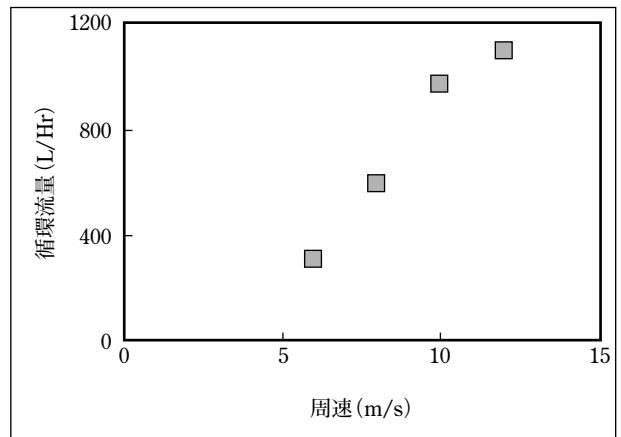


図9 循環流量の測定

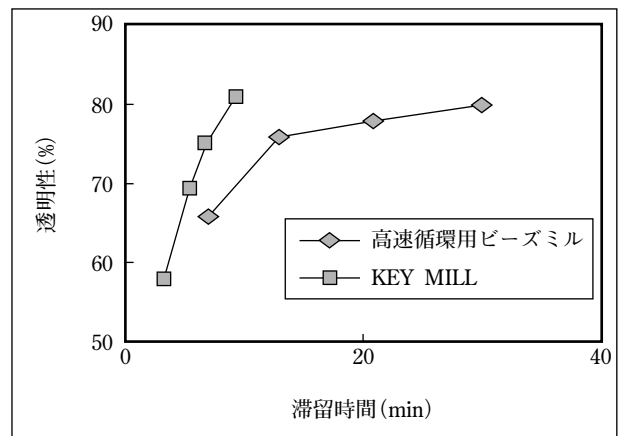


図10 分散性能の比較

### 6. まとめ

ローター外周面にスパイク状の突起を付けたアニュラー型ローターで、メジアの循環を発生させることにより、ミル入口から出口であるスクリーン面に至る顔料ペーストの流動を促進することができる。

この機構により、高性能バッチ式ビーズミル(「KEY MILL」)が開発できた。

### 参考文献

特開2001-38184