

印刷分野におけるビーズミルの活用

アシザワ・ファインテック(株)
微粒子技術研究所
石井 利博

1. はじめに

印刷とは、一般に、原稿に従って版を作り、これにインキを着け、圧力を加えて版の画線部を、多量に紙その他の面に移す技術¹⁾である。この目的で使用されるのが印刷インキである。

印刷インキは多種多様であるが、一般の印刷インキは色料(顔料および染料)、ビヒクル、添加剤の3つの成分から構成されている^{2), 3)}。色料とは、インキに色を与えるための材料のことで、一般に染料と顔料に分けられる。染料とは、水、油、アルコールなどに溶解する色料をいい、顔料とはそれらに不溶性のものをいう。インキ用の色料としては、特殊な場合を除いて、顔料が使用される。ビヒクルは展色料と呼ばれるワニス成分で、油、樹脂、溶剤、可塑剤などから構成されている。顔料とともにインキの主体を構成し、顔料に流動性を与えて印刷適性を発現させ、また印刷後、一般には乾燥、固化して顔料を印刷面に固着させる機能を備えている。添加剤は顔料およびビヒクルのそれぞれの機能を助ける目的で加えられる成分で、その添加量は少量である。

印刷インキの製造は、ビヒクルを作る工程とビヒクル中に顔料を微細に分散する工程、顔料分散体を調整して印刷インキに仕上げる工程の3つの主工程に分けて考えることができる。インキの製造においては、顔料の分散工程が重要である。

問い合わせ

ishii@ashizawa.com

通常、分散には、乾燥し凝集した状態の顔料が用いられ、これをビヒクル中で1次粒子まで解砕し、均一にする必要がある。ここで、解砕とは、凝集体に機械的エネルギーを投入して顔料の新生表面の生成を殆ど伴わずに凝集体の大きさを減少させる操作である⁴⁾。凝集している顔料を1次粒子まで解砕し分散状態を維持することで、顔料の持つ特性を発揮させることができる。顔料は、結晶型、粒子径、粒子径分布および粒子形状などの要因により性能が大きく変化する⁵⁾。顔料の粒子径は、透明性、光沢、着色力などに影響し、特に、光沢や透明性は微細化により向上する。

分散工程では、濡れ、微細化、安定化の要因を満足させる必要がある。まず、濡れでは、凝集体の中にある微細な隙間へビヒクルを浸透させ、顔料と空気の界面が顔料とビヒクルの界面に置き換わることが重要となる。これは、凝集体がビヒクルで濡れることで凝集力が減少するからである。そして、この濡れた凝集体に、分散機のせん断力が加わることで、より小さい凝集体になる。この凝集体は小さくなることで、表面積が増加するので、再凝集しないように安定化させる必要がある。この微細化された界面が不安定な場合には、再凝集が発生し、分散が進行しないという問題が発生する。分散を進行させるためには、界面の安定化が重要となる。

分散工程に用いられる分散機には、様々な種類、特徴があるため、目的に合っ

た装置を選定し、最適な条件で処理することが重要である。分散機には、ロールミルやボールミル、ビーズミルなどがあり、その利用には製品の要求品質や粘度、生産量などを考慮し選定する必要がある。分散機の選定は製品の品質や生産効率に影響する。最近のビーズミルは、低粘度から高粘度、高濃度の処理が可能となり、適用範囲が拡大している。

ここでは、分散工程における濡れと微細化に着目し、プレミキシングにおいて濡れが促進するプレミキサーと効率良く顔料の微細化が可能な分散機であるビーズミルについて説明する。

2. プレミキシング

分散工程には、プレミキシング(粗分散)の工程と練肉(分散)の工程がある。プレミキシングは、練肉の前工程または予備工程である。

プレミキシングでは、弱い凝集粒子の解砕や粗大粒子の解砕と濡れが同時に進行する。表面処理などを行った粒子は、ミキサーなどでの分散が可能であるが、乾燥し凝集した粒子は、粗粒子の解砕と濡れの状態により、分散の効率に影響を与える。

理想的な濡れとしては、凝集体中の空気がなく、1次粒子がビヒクルによりコーティングされ、1次粒子間の付着力が減少した状態である。そこに、ビーズミルのせん断作用が加わると、より小さい凝集体に効率良く分散できる。

プレミキサーには、ディゾルバーや

ニーダー、インラインミキサーなどが使用されている。

3. 循環型インラインミキサーの特徴

従来のプレミキシングの方式は、顔料を一括投入し強力な力で攪拌する方法が主に行われている。しかし、ビヒクル中に顔料を一括投入すると顔料の塊の表面だけをビヒクルが包み込み、「ままこ」を形成する場合がある。「ままこ」は顔料の凝集体の集合体で、内部は空気と乾燥したままの凝集体である。この方法では、「ままこ」や気泡の巻き込みなどの不具合が発生し、顔料の濡れも悪く、均一に分散できないなどの問題があった。そのため、必要以上の動力と長時間をかけプレミキシングを行っていた。

循環型インラインミキサーによるプレミキシングは、減圧されたスペースにおいて、凝集体を解砕し、顔料とビヒクルの接触面積を増やすためにビヒクルの表面積を大きく取り、そこに解砕された顔料をのせていくように投入する。その後、減圧状態から常圧に戻すことで、短時間にかつ低動力で、「ままこ」がなく、顔料

の濡れが良い、均一なスラリーの作製が可能となった。循環型インラインミキサーを図1に示す。

この循環型インラインミキサーは、密閉型でありガスや粉塵の排出がないことによる作業環境の改善や顔料とビヒクルの混合後にスラリーの循環運動を行うことで、顔料の濡れの促進とスラリー中の脱泡が可能である。

4. 循環型インラインミキサーの運転方法

循環型インラインミキサーは、循環タンクと組み合わせてスラリーの循環を行うインラインミキサーである。図2に循環型インラインミキサーのシステムのイメージ図を示す。

運転方法としては、攪拌羽根が設置された循環タンクにビヒクルを仕込み、それを循環ポンプにより、循環型インラインミキサーのミキシングヘッド(混合ゾーン)に送液する。ミキシングヘッド内には粉体攪拌ローターがあり、このローター形状がビヒクルをポンプのように押し出す効果を生む。この排出ポンプ機構によりミキシングヘッドからビヒク

ルは排出され、循環タンクに戻る。この循環されているビヒクルに上部の粉体ホッパーから顔料がロータリーバルブによって定量供給される。

このとき顔料の凝集体は、粉体攪拌ローターにより乾式解砕される。乾式解砕された顔料は、ミキシングヘッド内の排出ポンプ機構により負圧状態となる。この負圧ゾーンで薄膜状になったビヒクルと解砕された顔料が混ざるため、凝集体中の空気が抜け、濡れが促進する。混合されたスラリーは、排出ポンプ機構によってミキシングヘッドより排出され、循環タンクへ戻る。顔料の投入が終了するとロータリーバルブの下に設置されたスライドバルブを閉じて、スラリーの循環運動を行う。ここでもミキシングヘッド内が負圧状態になっているため脱泡効果があり、さらには、スラリーの均一化を可能にする。

5. ビーズミルの特徴

ビーズミルは、メディアであるビーズが充填されたベッセルと呼ばれる円筒容器内にスラリーをポンプで送液する。ベッセル内で攪拌部材であるアジテータ

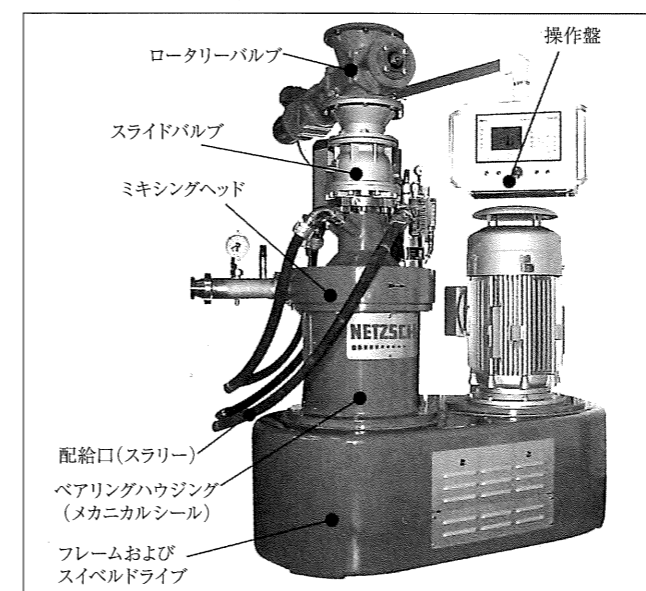


図1 循環型インラインミキサー

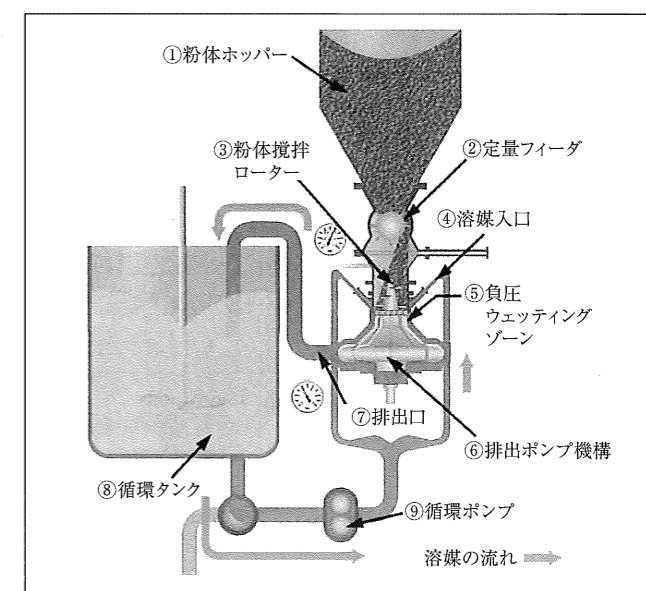


図2 循環型インラインミキサーのシステムのイメージ

を高速回転させ、ビーズを攪拌し、せん断力や衝撃力で顔料を分散する。スラリーはベッセルの出口で、セパレータによりビーズと分離され吐出される。ビーズミルの原理のイメージ図を図3に示す。

ビーズミルの運転方法としては、スラリーを連続的にベッセルに送液し、目的の粒子径にするためにパスを繰り返すパス方式とホールディングタンクを設けて、ポンプとベッセル、ホールディングタンクで循環システムを形成させる循環方式がある。

パス方式は、ビーズミルに連続的にスラリーを供給する方法であり、大量生産向けである。パス方式のイメージ図を図4に示す。スラリーにおいては、1回通すだけ(1パス処理)で、目標とする粒子径に到達するものがあり、易分散性のスラリーで用いられている。しかし、1パスあたりの処理時間(滞留時間)を供給量を小さくすることで長くしても到達粒子径には限界があるので、1パスで目標粒子径に到達しないスラリーには、パス回数を重ねる多重パス処理を行う。

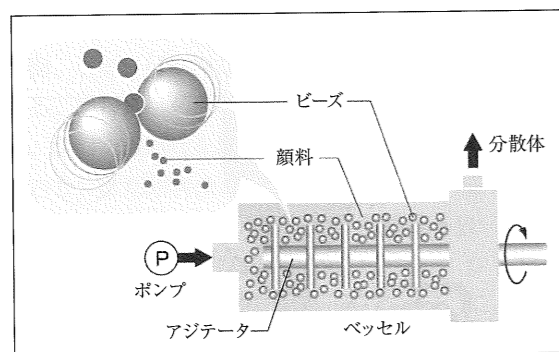


図3 ビーズミルの原理のイメージ

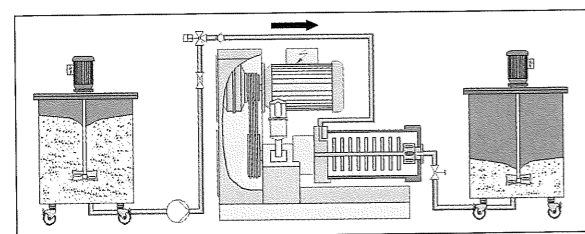


図4 パス方式のイメージ

多重パス処理は、1パスごとにスラリーを受けるタンクとスラリーをビーズミルに供給するタンクを交換し、目標の粒子径までパスを行う。この多重パス処理では、1パスごとにタンクを切り替えるので、作業性などに影響を与える。また、ビーズミルを複数台直列に設置し、パスを行う多連パスもある。この方式は、2台程度までは、連続処理が可能となり、また、使用するビーズ径をミルごとに換えることで分散の効率化が可能となり、メリットもあるが、パス回数が増えるとミルの数も増えるので、設備投資の増大などが問題となる。

循環方式は、スラリーをホールディングタンクとビーズミルの間で循環させる方式で、作業性が良く、処理時間の長い難分散性のスラリーに適する。循環方式のイメージ図を図5に示す。ビーズミルにおいて、粒子をより細かく、粒子径分布をシャープにするためには、同じ滞留時間であれば1パスよりパス回数を増した方が良い。

従来のL(ベッセル長さ)/D(ベッセル径)を大きくして滞留時間を長くしてもショートパスは発生し、粒子径分布がブロードになる。そこで、ビーズミルとホールディングタンクの間を大流量で数十パス行う大流量循環運転が考えられるが、従来のビーズミルで大流量循環運転を行うとビーズの偏りが発生し、セパレータ部の偏

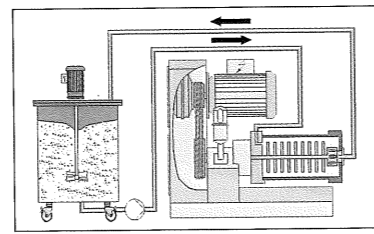


図5 循環方式のイメージ

摩耗やビーズの異常摩耗が起こる。さらには、異常発熱などの問題が生じる。そのため、ベッセル形状やアジテータ形状、セパレータの改良や開発を行い、大流量循環運転に対応している。さらに、循環方式では分散は時間と共に進行するため、粒子径コントロールや自動化運転を可能にし、運転中に分散の進行状況の確認や添加剤などの添加も可能となる。

また、ビーズミルの高能率化に伴い、発熱量が大きくなっている。顔料分散において、高温になると顔料や樹脂にダメージを与える場合も発生するため、冷却能力は重要な因子となる。ビーズミルは、ベッセルの冷却やアジテータ内の冷却により冷却面積を多くとるための構造や接液部材質の検討により、冷却効率が向上している。さらに、大流量循環運転においては、1パスあたりの滞留時間が短いため、ビーズミル内でのスラリーの温度上昇が少ない。さらに、ホールディングタンクなどの外部冷却でスラリーを冷却することで温度の制御ができ、スラリーの低温処理が可能となる。

6. ビーズミルの分散効率に影響を与える因子

ビーズミルの分散効率に影響を与える因子として、ベッセルやアジテータの形状、運転条件、スラリーの固形分濃度や粘度などがある。ここでは、ベッセルやアジテータの形状を同一とし、スラリーの固形分濃度や粘度を一定にした場合、ビーズミルの運転条件を変化させたときの分散効率について説明する。

ビーズミルの運転条件の因子には、ビーズ径やビーズ充填率、アジテータ周速などがあるが、分散効率に影響を与える運転条件の因子としては、ビーズ径の影響が大きい。

ビーズの因子には、ビー

ズ径、ビーズの比重および材質などがあり、原料粒子径、分散体粒子径、凝集体の硬さ、スラリー粘度、比重などにより使用するビーズを選択しなくてはならない。

ビーズミルで用いられるビーズ径は0.03~2.0 mmである。原料粒子径の大きさや凝集体の凝集状態にもよるが、使用するビーズ径は小さい方が分散体粒子径は小さくなり、エネルギー効率も向上する。これは、単位体積あたりのビーズの個数はビーズ径の3乗に反比例するため、微小ビーズを使用することでビーズの個数が増え、ビーズ同士の接触点が多くなるので、スラリー中の粒子がビーズと接触する確率が高くなるからである。

ビーズ径の選択の目安としては、原料最大粒子径の10~20倍のビーズ径を使う必要がある。また、ビーズ径の約1/1000が分散体のメディアン径の目安となる。原料粒子径や凝集状態により、ビーズ径の選定は必要であるが、基本的に微細化を目的とする場合は微小ビーズを選択することで分散効率が向上する。

一般的に、ベッセルへのビーズ充填率は70~90 vol%、アジテータ周速は6~15 m/sに設定される。ビーズ充填率やアジテータ周速は、ベッセルやアジテータの形状、運転方法に適した値があるが、ビーズ充填率が高く、アジテータ周速が速い方が、分散速度は速くなる。これは、ビーズ充填率が高くなることで、ビーズの個数が増え、ビーズ同士の接触頻度が高くなることとアジテータ周速を速くすることで、ビーズに伝達される運動エネ

表1 ビーズミルの分散速度と運転条件の関係

分散速度	遅い	速い
ビーズ径	大	小
ビーズ比重	小	大
ビーズ充填率	低	高
アジテータ周速	低	高

ルギーが大きくなり、さらには、アジテータの回転数が多くなることから、ビーズ同士の接触頻度が増えるためである。ビーズミルの分散速度と運転条件の関係を表1に示す。

しかし、ビーズ充填率を高くし、アジテータ周速を速くすることで、スラリーの発熱やビーズやミル内部の部材の摩耗が大きくなることが予想されるため、発熱や摩耗を考慮した運転条件を決定する必要がある^{6), 7)}。さらには、アジテータ周速を速くすることで、逆に分散結果が悪くなる場合がある。これは、アジテータ周速が速いことで、ビーズが1次粒子に過度のエネルギーを与え、粒子の表面が活性になることで発生する再凝集や、1次粒子まで粉碎する過分散が原因と考えられている。そのため、過分散を防止し、分散により粒子の特性を向上させるためには、対象物に適した運転条件を設定することが重要となる。

7. おわりに

プレミキシングの効率化が可能な循環型インラインミキサーと分散の効率化が可能なビーズミルを説明した。

循環型インラインミキサーは、凝集体中の空気を排除しながらスラリー化が可能なプレミキサーである。顔料の濡れ性が向上し、短時間で「ままこ」のない均一なスラリー化が可能となることから、次工程のビーズミルの負担軽減になる装置である。

また、ビーズミルの分散効率は機械的条件(運転条件、形状条件)で変化し、特に微小ビーズを使用することで分散効率は飛躍的に向上する。しかし、分散効率は原料粒子径の大きさや凝集体の凝集状態によっても強く影響されるので、運転条件の設定には注意が必要である。最適な分散処理を行うためには、製造プロセスや対象物の特性に合わせた装置の選定が重要になるが、分散処理にビーズミ

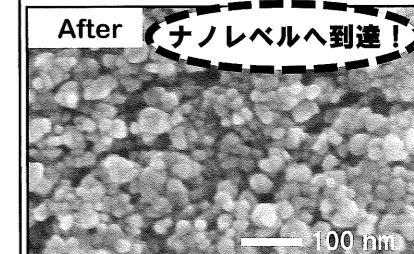
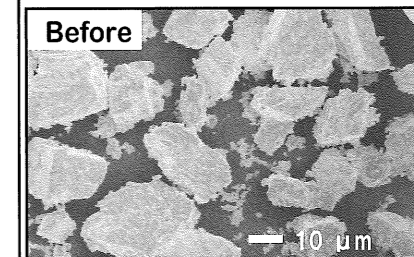
ルを使用することで、効率良くインキを製造することができる。

<引用文献>

- 1) 日本印刷学会編：新版印刷事典、大蔵省印刷局、p26 (1974)
- 2) 相原次郎：印刷インキ入門、印刷学会出版部、p.13 (1984)
- 3) 相原次郎、一見敏男、根本雄平：印刷インキ技術、シーエムシー、p24 (1982)
- 4) 日本粉体工業技術協会：微粒子工学-分散の基礎と応用、朝倉書店、p.139 (1994)
- 5) 緒方晃洋：第18回顔料分散講座、色材協会、p.1 (2009)
- 6) 石井利博、橋本和明：J. Jpn. Soc. Colour Mater., 85(4), p.144 (2012)
- 7) 石井利博、橋本和明：J. Jpn. Soc. Colour Mater., 85(9), p.357 (2012)

湿式も、乾式も。 微粉碎・分散なら、 アシザワ・ファインテック

粉碎例：炭酸カルシウム



微粒子技術で「新しい可能性の共創」
アシザワ・ファインテック株式会社
本社・実験室
〒274-8572 千葉県習志野市茜浜1-4-2
TEL 047-453-8111
http://www.ashizawa.com