

Reprinted from
JOURNAL OF
the Japan Society of Colour Material

Vol. 84, No. 5, pp. 163~168
MAY 2011

色 材 別 刷

第 84 卷 第 5 号

163~168ページ

平成 23 年 5 月

ビーズミルにおける粉碎粒子の粒子径に及ぼす粉碎条件の影響

石井利博*・橋本和明**

*アシザワ・ファインテック(株)開発課
千葉県習志野市茜浜1-4-2 (〒275-8572)
**千葉工業大学工学部生命環境科学科
千葉県習志野市津田沼2-17-1 (〒275-0016)

ビーズミルにおける粉碎粒子の粒子径に及ぼす粉碎条件の影響

石井利博*†・橋本和明**

*アシザワ・ファインテック(株)開発課 千葉県習志野市茜浜1-4-2 (〒275-8572)

**千葉工業大学工学部生命環境科学科 千葉県習志野市津田沼2-17-1 (〒275-0016)

†Corresponding Author, E-mail: ishii@ashizawa.com

(2010年11月1日受付; 2011年3月25日受理)

要 旨

大流量循環型ビーズミルを用いて、粉碎された粒子の粒子径に及ぼす粉碎ファクターの影響を検討した。ビーズミルでの粉碎効率に影響を与えるファクターには、ビーズ径、ビーズ充填率、アジテータ周速、ビーズ材質、スラリーの粘度および密度、粉碎原料のフィード粒子径などが挙げられる。しかし、これらを投入動力量に換算した場合、ビーズ径の違いによる粉碎粒子への影響が最も大きいことがわかった。また、アジテータの周速、ビーズの充填率を変えた場合、その周速が速く、充填率が高いほうが微細化は速くなったが、同様に投入動力量で評価すると、ビーズ径が同一であれば、そのほかの運転条件が変化しても粉碎粒子のメディアン径 $X_{0.5}$ は投入動力量に依存することを明らかにした。スラリーの濃度の違いでは、固形分濃度を極端に高くした場合、スラリーの粘度上昇などから、粉碎効率は低下することがわかった。さらにビーズミルのスケールアップにおいては、投入動力量で評価することによって、ビーズ径およびスラリー性状をコントロールすることで、粉碎された粒子のメディアン径の予測が可能であることを明らかにした。

1. 緒 言

製品の小型化、高機能化、高性能化、省資源化などを研究・開発する分野では、原材料に微粒子の使用が増加している。このような微粒子の製造方法を大きく分けると、粉碎のブレイクダウン、気体や液体から化学反応などを利用するビルドアップの二つのアプローチがある。それぞれの方法で得られる粒子サイズは、ブレイクダウンではミクロンからサブミクロンメートルであり、ビルドアップではミクロンメートル以下となる^{1,2)}。このことからサブミクロン領域の微粒子の製造には、粉碎のブレイクダウンが有利と考えられる。また、粉碎には湿式法と乾式法とがあり、生産性を考慮すると湿式法のメリットが多い。このため、ブレイクダウンによる微粒子の製造には、湿式媒体攪拌ミルであるビーズミルが有効であると考えられる。

粉碎法で使用される湿式媒体型ミルは、ボールミルからアトライター、ビーズミルへと進化し^{2,3)}、さらにはアニュラー型や大流量循環型、マイクロビーズ対応型などへと発展してきた。これにより、粉碎の処理能力の飛躍的な向上とナノメートルサイズへの超微細化が実現し、湿式媒体型ミルの主流はビーズミルになりつつある⁴⁾。しかし、ビーズミルを使用し、微粒子を生成するためには多大な時間と動力が必要とされることから、粉碎工程におけるビーズミルの高能率化、高効率化は重要な課題である。

ビーズミルにおける粉碎効率に影響を与えるファクターには、ビーズ径、ビーズの密度(材質)、粉碎室へのビーズの見掛け充填率、アジテータの周速(回転数)などと、一方の粉碎物にも、一次粒子の硬さ、二次粒子の凝集性の程度、原料の粒子径、粉碎によって目標とする粒子径、スラリーの粘度および密度などがある^{2,5-10)}。

ビーズミルでの循環運転では、スラリーの処理量が異なる場合には滞留時間を合わせることで対応しているが、ビーズの摩耗やアジテータが摩耗した場合には、滞留時間を合わせても再現性が得られないため、滞留時間を長くするなどの対策により、目標とする粒子径まで粉碎を行う必要がある。また、処理量が少ない場合には、ビーズミル外部からのスラリー冷却が不十分になり、スラリーの温度が高くなるため、許容温度が低いスラリーでは、アジテータの周速を遅くすることで対応する必要がある。その結果、目標とする粒子径まで粉碎を行うには、滞留時間を長くする必要がある。また、ビーズミルで粉碎処理を行ったスラリーの物性の再現性は重要で、再現性が得られないことで製品の性能等に影響を与える場合がある。この再現性が得られない要因には、ビーズミルの運転条件が異なる場合のほか、スラリーの組成や粉体の初期粒子径が異なる場合などが考えられる。さらには、製品の生産性のために、スラリーの濃度を高くする場合があるが、濃度を高くすることで目標とする粒子径まで粉碎するための滞留時間が長くなる可能性がある。これらの例のように運転条件やスラリーの組成を変化させて粉碎を行うと滞留時間を合わせても再現性は得られないことが多い^{11,12)}。

さらに小型テスト機から大型機の生産機へのスケールアップにおいては、小型テスト機で得られた運転条件が大型生産機では大型化による性能低下が発生し、小型テスト機の結果が再現できず、運転条件の再検討や製品の再現性を再度確認する必要がある¹³⁾。これは一般的に小型テスト機と大型生産機のアジテータ周速を同一に設定するため、アジテータの長さから小型テスト機は高回転で、大型生産機は低回転となり、遠心力に大きな差が生じることから、大型生産機の粉碎効率が悪くなると考えられる。ビーズミルをスケールアップする際の問題点には、生産能力の不足、目標粒子径の未到達、発熱などがある。その

ため、スケールアップを検討する場合、ビーズミルメーカーのノウハウと経験によるところが大きい。

これらの問題点を解決するための一つの考え方として、ビーズミルの粉碎効率を投入動力量（動力原単位）で評価する方法がある。ここで、投入動力量とは、目標とする粒子径まで粉碎するのに要した消費電力量とビーズとスラリーをベッセル内に入れられない状態で測定した無負荷消費電力量の差の値をスラリーの固形分質量で除した値で目標とする粒子径まで粉碎するのに要した単位固形分質量当たりの消費電力量を意味する。

そこで本報では、大流量循環型ビーズミルの運転条件の違いやスラリーの濃度の違い、スケールアップを行ったときの投入動力量と生成物粒子径との関係を実験より求め、粉碎に及ぼすファクターを解明し、それをを用いたサブミクロン領域への粉碎効率の向上について検討した。

2. 実験方法

2.1 本実験に用いた試料

評価用試料として、メディアン径 $X_{0.5}$ が $24.4 \mu\text{m}$ の重質炭酸カルシウム NN#200（日東粉化工業）を使用し、固形分濃度 30, 50 または 70 mass % に純水で調整してスラリー化した。初期粒子径を変えた実験では、メディアン径 $X_{0.5}$ が $3.6 \mu\text{m}$ の重質炭酸カルシウム NS#200（日東粉化工業）を用いた。なお、スラリーの粘度変化が評価に影響を与えないように分散剤であるアロン T-40（東亜合成）を用いて、実験中の粘度が一定となるようにした。このときの分散剤の添加量は、炭酸カルシウムに対して 5 mass % に設定した。実験に使用したスラリーの体積は、「スターミル LMZ2」では 4 dm^3 である。

2.2 本実験に用いたビーズミル

本実験に用いたビーズミルの構造を模式的にあらわした Fig. 1 に示す。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溶媒に分散した処理物をポンプで送液する。ベッセル内では攪拌部材であるアジテータを高速回転させ、その強力な力でビーズを攪拌し、このビーズが粒子を捕捉し、ビーズによる摩擦、衝突、せん断力などで粒子を微細化する装置である。処理物はベッセルの出口で、セパレータによってビーズと分離されて吐出する。実験装置としては、大流量循環型ビーズミルである湿式微粉碎・分散機「スターミル LMZ2」（粉碎室容量： 1.65 dm^3 ）、スケールアップの検証には、「スターミル LMZ06」（粉碎室容量： 0.60 dm^3 ）、「スターミル LMZ10」（粉碎室容量： 10.6 dm^3 ）を用い実験を行った。

2.3 本実験におけるビーズミルの運転方法および粉碎条件

ビーズミルの運転方法は、攪拌機付ホールディングタンク内で攪拌、混合されたスラリーをポンプによりビーズの充填された LMZ の粉碎室に圧送して、粉碎し、再び攪拌機付ホールディングタンクに戻す循環方式とした。アジテータの周速は、アジテータの先端速度で 8, 10 または 12 m/s に設定した。ビーズの材質は、イットリア安定化ジルコニア YTZ（密度 $6.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ）（ニッカトール）、ジルコン ZR120（密度 $3.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ）（サンゴパン）またはガラス無アルカリガラス E タイプ（密度 $2.60 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ）（ブライト標識工業）を用いた。ビーズの径は、0.3, 0.5 または 1.0 mm である。ビーズの粉碎室への見掛け充填率は、

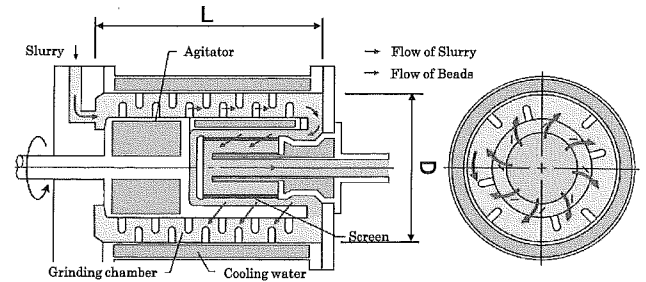


Fig. 1 Schematic diagram of experiment equipment.

Table 1 Experimental conditions.

Grinding chamber volume / dm^3	0.60 (LMZ06), 1.65 (LMZ2), 10.6 (LMZ10)
Slurry volume / dm^3	1.5 (LMZ06), 4.0 (LMZ2), 25.0 (LMZ10)
Circulating flow rate / dm^3/h	ca. 40 (LMZ06), 100 (LMZ2), 620 (LMZ10)
Bead diameter / mm	0.3, 0.5, 1.0
Filling rate of beads / vol%	80, 85, 90
Agitator peripheral speed / m/s	8, 10, 12
Density (materials) of bead / $\times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	6.00 (Zirconia), 3.85 (Zircon), 2.60 (Glass)
Solids concentration of slurry / mass%	30, 50, 70
Feeding particle size of raw materials / μm	24.4, 3.6

粉碎室容量に対して 80, 85 または 90 vol% とした。スラリーとビーズを分離するセパレータには遠心分離セパレータを用いた。遠心分離セパレータの中央部にはビーズを粉碎室より流出させないためのスクリーンを設置している。スクリーンの目開きは使用するビーズ径の 1/3 に設定した。ビーズミルへのスラリーの供給量は 1 パス当たりの滞留時間が 0.5 min となるように設定した。この場合、「スターミル LMZ2」では、約 $100 \text{ dm}^3/\text{h}$ となる。これらの全実験条件をまとめて Table 1 に示した。

2.4 本実験におけるビーズミルによる粉碎物の評価

サンプリングは滞留時間で 1, 3, 5, 7, 10, 15 または 20 min で行い、ミル出口よりサンプルを摂取し、粒子径分布の測定を行った。粒子径分布の測定には、マイクロトラック MT3000（日機装）を用いた。粒子径測定用のサンプルは、スラリー 1 g を 50 g の精製水に添加し、40 kHz, 20 W の超音波バスで 1 min 間超音波を照射しながら攪拌し作製した。また、サンプリングと同時に消費電力量を測定し、スラリーの温度、粘度も測定した。このときの粘度測定には、B 型粘度計 BM 型（東機産業）、ロータ No1 を使用し、ロータの回転数は 60 rpm とした。

3. 実験結果および考察

3.1 運転条件の違いと粉碎時間の関係

実験に用いたビーズミルは、大流量循環専用ビーズミル「スターミル LMZ」で、粒子の微細化および粒子径分布のコントロール、スラリーの温度制御、耐摩耗に対応したビーズミルである。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やす必要がある。従来の L （粉碎室長さ）/ D （粉碎室径）を大きくして

滞留時間を長くしてもショートパスが発生し、粒子径分布がブロードになってしまう。そこで、ビーズミルとホールディングタンクと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ミル内でビーズの偏りが発生し、偏摩耗や異常発熱などの問題が生じてしまう。そこで、「スターミルLMZ」は大流量循環運転に対応するためにビーズミルの構造に工夫を施した。第1にL/D比を小さく設定した。従来のビーズミルはL/Dは3~3.5と大きいですが、本装置ではL/D=1.5となっている。第2に遠心方向にスリットがあるアジテータの中心部にビーズの流出防止用スクリーンを配置した。このスクリーンの径は、スクリーン表面積を大きくし、スラリーの通過抵抗を下げるために大きくした。上記の構造から、ビーズミル内のビーズは、粉碎室からスラリーとともにアジテータの内側に流入するが、アジテータの回転により発生する遠心力でスリットより排出されて粉碎室に戻される。この結果、ビーズは循環しながら均等に粉碎室内に存在する。また、スクリーンにはビーズが接触しないので、ビーズによる摩耗、目詰りはなく、微小ビーズ、大流量（従来機の10倍以上の流量）でも安定した運転が可能になった。これらの構造から、大流量循環運転が可能となり、微細でシャープな粒子径分布が得られた^{14,15)}。

LMZ2の充填率85 vol%，アジテータ周速10 m/sとし、ジルコニア製ビーズを使用し、ビーズ径を0.3, 0.5または1.0 mmと変えた場合の粉碎時間に対する得られた粒子のメディアン径 $X_{0.5}$ （50%通過粒子径）との関係をFig. 2に示した。図から、粉碎初期にはビーズ径0.5 mmのほうが0.3 mmのほうに比べて得られた粒子の $X_{0.5}$ は小さくなったが、粉碎時間に対する $X_{0.5}$ はビーズ径が小さいほど粒子が微細化する速度が速いことがわかった。この初期において逆転する現象の原因としては、ビーズ径がフィード粒子の大きさと比較すると小さく、粉碎力が不足したためと考えられる。

ビーズ径0.3 mmのジルコニア製ビーズを使用し、充填率85 vol%とし、アジテータ周速を8, 10または12 m/sと変えた場合の粉碎時間に対する得られた粒子のメディアン径 $X_{0.5}$ との関係をFig. 3に示した。図から、アジテータの周速を速くするほど粉碎物の微細化される速度は速くなることがわかった。

ビーズ径0.3 mmのジルコニア製ビーズを使用し、アジテータ周速10 m/sとし、充填率を80, 85または90 vol%と変えた場合

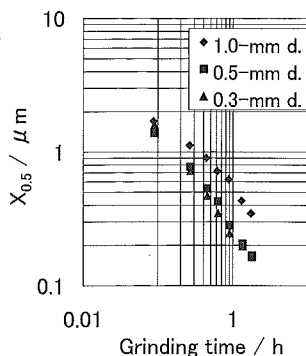


Fig. 2 Relationship between median diameter and grinding time with grinding beads of different size.

の粉碎時間に対する得られた粒子のメディアン径 $X_{0.5}$ との関係をFig. 4に示した。図から、充填率を高くするほど、粉碎物の微細化は速くなることがわかった。

以上の結果から、粉碎時間 T_h と粉碎粒子のメディアン径 $X_{0.5}$ とは、ビーズ径、アジテータ周速、充填率が影響することがわかった。また、Fig. 2から、ジルコニア製ビーズのビーズ径が1.0 mmの場合は式(1)、0.5 mmの場合には式(2)、0.3 mmの場合には式(3)を得ることができた。

$$X_{0.5} = 0.53T^{-0.53} \dots\dots\dots (1)$$

$$X_{0.5} = 0.27T^{-0.73} \dots\dots\dots (2)$$

$$X_{0.5} = 0.25T^{-0.78} \dots\dots\dots (3)$$

Fig. 3から、周速8 m/s以外では式(4)を得た。

$$X_{0.5} = C_s \cdot T^{-0.78} \dots\dots\dots (4)$$

Fig. 4から、充填率を変えた場合には式(5)を得ることができた。

$$X_{0.5} = C_F \cdot T^{-0.78} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 C_s は周速の違いによる定数、 C_F は見掛け充填率の違いによる定数である。ビーズ径が異なる場合、粉碎時間と $X_{0.5}$ との傾きはビーズ径によって異なり、ビーズ径が小さいほど微細化が速くなり、その傾きは大きくなった。また、同一ビーズ径では、十分な粉碎力が得られた場合には、周速、充填率が異なっても粉碎時間と $X_{0.5}$ との傾きは同じになることがわかった。

3.2 投入動力量と運転条件との関係

充填率85 vol%とし、アジテータ周速10 m/sと一定にして、ビーズ径を0.3, 0.5または1.0 mmとした場合の投入動力量と粉

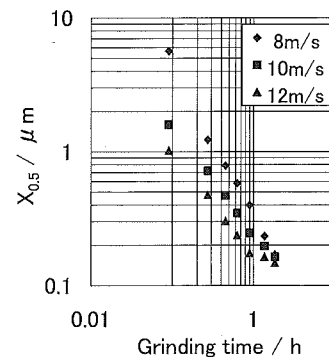


Fig. 3 Relationship between median diameter and grinding time with different peripheral speed.

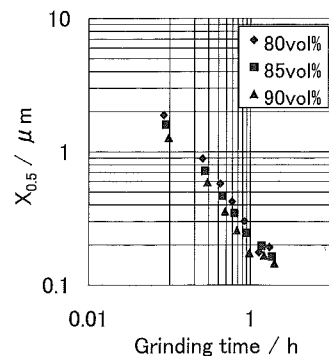


Fig. 4 Relationship between median diameter and grinding time with different filling rate of beads.

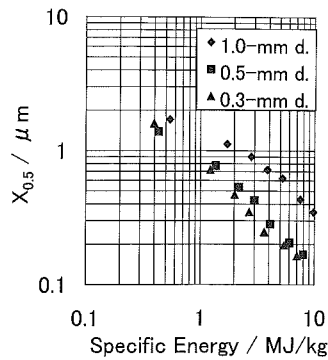


Fig. 5 Relationship between median diameter and specific energy with grinding media of different size.

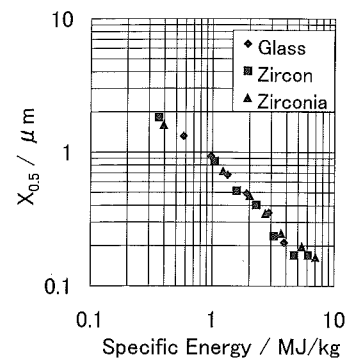


Fig. 8 Relationship between median diameter and specific energy with different material of beads.

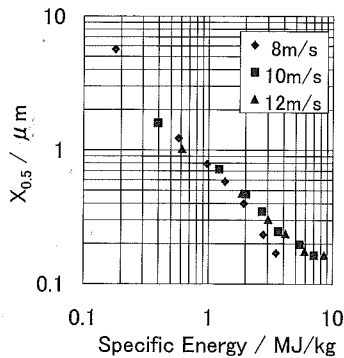


Fig. 6 Relationship between median diameter and specific energy with different peripheral speed.

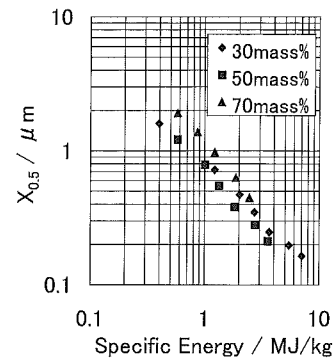


Fig. 9 Relationship between median diameter and specific energy with different solid mass.

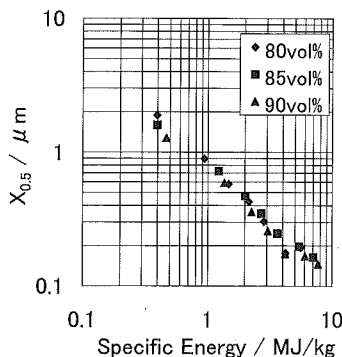


Fig. 7 Relationship between median diameter and specific energy with different filling rate of beads.

砕物のメディアン径 $X_{0.5}$ との関係を図 5 に示した。Fig. 2 に示した結果と同様に、運転初期において、ビーズ径 0.5 mm の場合が 0.3 mm の場合より $X_{0.5}$ が小さくなり、ビーズ径が小さいほど少ない投入動力量で $X_{0.5}$ が小さくなることがわかった。

ビーズ径 0.3 mm のジルコニア製ビーズを使用し、充填率 85 vol% とし、アジテータ周速を 8, 10 または 12 m/s の場合の投入動力量と砕物のメディアン径 $X_{0.5}$ との関係を図 6 に示した。Fig. 3 に示した結果とは異なり、 $X_{0.5}$ は周速に依存しないで投入動力量に依存することがわかった。

ビーズ径 0.3 mm のジルコニア製ビーズを使用し、アジテータ周速 10 m/s とし、充填率を 80, 85 または 90 vol% とした場合の投入動力量とメディアン径 $X_{0.5}$ との関係を図 7 に示した。前

述した周速変化の結果と同様に、 $X_{0.5}$ は充填率に依存しないで投入動力量に依存することがわかった。

充填率 85 vol%、アジテータ周速 10 m/s とし、ビーズ径 0.3 mm で材質をジルコニア、ジルコン、ガラスとした場合の投入動力量と砕物のメディアン径 $X_{0.5}$ との関係を図 8 に示した。ここでは示していないが、粉碎時間での比較では、密度が高いビーズほど微細化が速く進行したが、投入動力量で比較すると、ビーズの材質（密度）が異なっても $X_{0.5}$ は投入動力量に依存することがわかった。そこで、投入動力量と運転条件の違いとの関係を調べたが、ビーズ径が一定の場合、運転条件（充填率、アジテータ周速）を変えた場合でも $X_{0.5}$ は投入動力量に依存することがわかった。

3.3 スラリー濃度およびフィード粒子径の違いと投入動力量の関係

ビーズ径 0.3 mm のジルコニア製ビーズを使用し、充填率 85 vol% とし、アジテータ周速 10 m/s の場合に、スラリーの固形分濃度を 30, 50 または 70 mass% とした場合の投入動力量とメディアン径 $X_{0.5}$ との関係を図 9 に示した。運転初期のスラリー粘度は、固形分濃度 30 mass% の場合には 5.1 mPa·s、50 mass% では 10.9 mPa·s、70 mass% では 79.4 mPa·s であり、スラリーの密度は、30 mass% では 1.23×10^3 kg/m³、50 mass% では 1.46×10^3 kg/m³、70 mass% では 1.79×10^3 kg/m³ であった。図から、固形分濃度 70 mass% の場合に粉碎効率はずかんに低下するが、30 mass%、および 50 mass% では投入動力量と $X_{0.5}$ との関係は同一線上になることがわかる。固形分濃度 30 mass% 以下では、

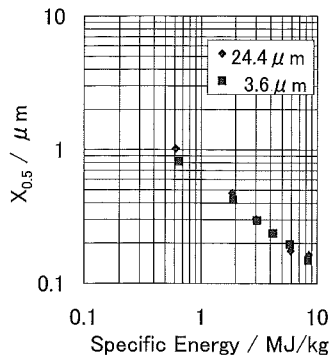


Fig. 10 Relationship between median diameter and specific energy with different feeding particle size.

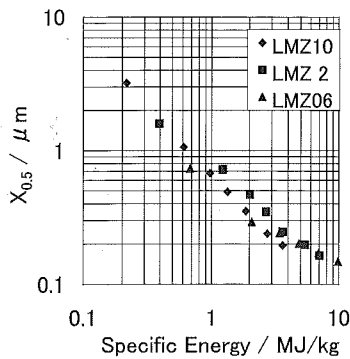


Fig. 11 Relationship between median diameter and specific energy with different beads mill size.

比表面積の増加²⁾や粒子径の減少⁷⁾は投入動力量で決まることが報告されているが、固形分濃度 50 mass% までは $X_{0.5}$ は投入動力量で決まっている。これより、固形分濃度が高く、高密度で、スラリー粘度が高い場合、固形分濃度が低い場合と比較し、粉碎効率が低下することがわかった。

また、炭酸カルシウムの初期メディアン径 $X_{0.5}$ が $24.4 \mu\text{m}$ (NN#200) と $3.6 \mu\text{m}$ (NS#200) のときの投入動力量と粉碎物のメディアン径 $X_{0.5}$ との関係を図 10 に示した。運転初期では原料のメディアン径の違いにより同一線上にならないが、 $0.3 \mu\text{m}$ 以下まで粉碎されると、これらは同一線上になることがわかった。同じ対象物でも、初期粒子径が異なる場合には、ある程度のメディアン径までは投入動力量を合わせても $X_{0.5}$ は異なることがわかった。

3.4 スケールアップと投入動力量の関係

ジルコニア製ビーズ 0.3-mm d を使用して充填率 85 vol% とし、アジテータ周速 10 m/s のときの粉碎室容量が異なる場合における投入動力量とメディアン径 $X_{0.5}$ との関係を図 11 に示した。粉碎室容量が異なる場合も、これらはほぼ同一線上になることから、 $X_{0.5}$ は投入動力量に依存することがわかった。

Fig. 5 ~ Fig. 11 の結果から、投入動力量と粉碎物のメディアン径 $X_{0.5}$ との関係を示す式 (6) を得た。

$$X_{0.5} = 0.79E_s^{-0.82} \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 E_s は投入動力量である。この投入動力量は、ビーズミルの動力と運転時間とに依存し、動力は、運転条件によって異なる。すなわち、投入動力が異なる場合、投入動力量を合わせる

ためには運転時間を長くする必要がある。ビーズが粒子に与える力の大きさと粒子の強度、硬さの影響もあるが、ビーズミルによって粒子に力を加えた際の応力が粉体内部に蓄積されて限界値に達したとき、その固体の最も弱い部分から破壊が始まる¹⁶⁾。さらに粒子が微細化して体積が小さくなるとクラックなどが少なくなることから、粒子の強度は大きくなるので、微粒子化が進行すると粉碎が進まなくなる。よって、さらなる微細化のためには、より多くの投入動力量が必要となると考えられる。式 (6) は、大流量循環型ビーズミルで炭酸カルシウムを粉碎した場合に適応でき、粉体の種類や炭酸カルシウムの成分などにより変化すると考えられる。

以上のことより、ビーズミルの粉碎効率を投入動力量で評価すると、ビーズ径、スラリー濃度、原料のフィード粒子径が一定の場合、アジテータ周速や充填率が変化しても、投入動力量を合わせることで同じ $X_{0.5}$ が得られることがわかった。すなわち、ビーズミルの運転条件で再現性を得るためには、投入動力量とビーズ径の管理が重要であることを明らかにした。また、ビーズミルの粉碎効率の評価に投入動力量を用いる場合、ビーズ径が最も重要なファクターであることも明らかにした。

4. 結 言

大流量循環型ビーズミルの粉碎効率を投入動力量で評価し、運転条件の違いや粉碎室容量の違いによる投入動力量と得られた粉碎された粒子のメディアン径 $X_{0.5}$ との関係性を調べた。一般に、ビーズミルの粉碎効率は機械的条件（運転条件、形状条件）で変化することは知られていたが、本研究により、投入動力量を用いることでビーズ径が粉碎効率に与える影響が大きいことを明らかにした。すなわち、粉碎室の構造とビーズ径が同一で、スラリー濃度（組成）やフィード粒子径が同じであれば、ビーズミルの粉碎室容量、アジテータの周速、充填率が変化しても、粉碎された粒子のメディアン径は投入動力量で決定することができることを明らかにした。

従来の滞留時間を合わせて、ビーズミルの再現性を得る方法では、スラリー濃度（組成）、およびフィード粒子径はもちろん、ビーズの種類、径、充填率、アジテータ周速などを合わせる必要があり、さらに、スケールアップでは、大型化による性能低下が発生するため、滞留時間の再検討が必要であった。しかし、スケールアップを行った場合やコンタミネーションの対策でビーズの材質を変えた場合でも、ビーズミルの運転を投入動力量で管理し、スラリー濃度（組成）、フィード粒子径、ビーズ径を合わせることで、粉碎物のメディアン径の再現性の確認が容易になり、さらには投入動力量から粉碎物のメディアン径の算出や目的の粒子径に到達するために必要な投入動力量の算出が可能となり、スラリーの生産計画が検討できるようになる。

文 献

- 1) 神保元二, 小沢英一, 向坂保雄, 小宮山 宏, 定方正毅, 吉沢昭宣: “微粒子ハンドブック”, p.226, 朝倉書店 (1991).
- 2) 神保元二: 化学工業, **41** (11), 879 (1990).
- 3) 楠 真澄: 塗装工学, **24** (11), 477 (1989).
- 4) 石井利博: J. Jpn. Soc. Colour Mater., **81**, 169 (2008).
- 5) F. Stenger, S. Mende, J. Schwedes, W. Peukert: Chem. Eng. Sci.,

- 60, 4557 (2005).
- 6) S. Mende, J. Schwedes: *Powder Handl. Process.*, **18**, 366 (2006).
- 7) 豊田成紀: 化学装置, **34** (6), 94 (1992).
- 8) 楠 真澄: 色材研究発表会講演要旨集, 1993, p.142 (1993).
- 9) 竹内信治, 飯岡正勝, 楠 真澄: 粉体工学会研究発表会講演論文集, 1993 秋期, p.181 (1993).
- 10) 竹内信治, 飯岡正勝, 楠 真澄: 化学工学会秋季大会研究発表会講演要旨集, 27th, Part2, p.173 (1994).
- 11) 石井利博, 針谷 香, 飯岡正勝: 粉体工学会夏期シンポジウム講演論文集, 40th, p.15 (2004).
- 12) 石井利博, 針谷 香, 飯岡正勝: 色材研究発表会講演論文集, 2004, p.120 (2004).
- 13) 石井利博, 針谷 香, 飯岡正勝: 粉体工学会研究発表会講演論文集, 2004 秋期, p.49 (2004).
- 14) 楠 真澄: 工業塗装, **128**, 75 (1994).
- 15) 楠 真澄: 工業塗装, **129**, 51 (1994).
- 16) 中山 勉: “超微粒子・ナノ粒子をつくるビーズミル”, p.36, 工業調査会 (2010).

The Effect of Grinding Conditions on Particle Size of the Ground Particle Obtained by Using a Beads Mill

Toshihiro ISHII*[†] and Kazuaki HASHIMOTO**

**Research and Development, Ashizawa Finetech Ltd.
1-4-2 Akanehama, Narashino, Chiba 275-8572, Japan*

***Department of Life and Environmental Sciences, Faculty of Engineering, Chiba Institute of Technology
2-17-1 Tsudanuma, Narashino, Chiba 275-0016, Japan*

† Corresponding Author, E-mail: ishii@ashizawa.com

(Received November 1, 2010; Accepted March 25, 2011)

Abstract

The effects of grinding factors of a high-flow circulation-type beads mill on the diameter of ground calcium carbonate powder were investigated. The operation mode of the beads mill was circulation grinding. The dependences of median diameter of ground powder on grinding time and specific energy with various experimental variables were investigated, such as bead diameter, filling rate of beads, agitator peripheral speed, bead materials, solids concentration of slurry, and particle size of a feeding raw material. As a result, (especially from the viewpoint of the specific energy,) the grinding efficiency of the beads mill was found to be greatly influenced by bead diameter and solids concentration of slurry.

Key-words: Grinding, High flow circulation type beads mill, Grinding conditions, Particle size