

最新のビーズミルについて

日本コークス工業株式会社 石川 貴之
Takayuki ISHIKAWA

Key Words: ビーズミル、特殊冷却システム、高周速運転、樹脂製タンク

1. はじめに

近年、製品の小型化や高機能化に伴いその原料である粉体の微粒化技術が重要な要素であることは周知の通りである。特に電池・電子部品の分野は高出力・大容量や更なるサイズダウンが求められ、その原料粒子サイズもナノオーダーへとシフトしつつある。例えば、リチウムイオン電池負極材に従来の黒鉛電極よりも約10倍の理論容量を持つ金属 Si の利用が研究されているが、金属 Si はリチウムを吸収することで膨張し粒子にクラックが起きることによってサイクル寿命が低下するという課題がある。その対策として粒子径を100~200 nm 程度まで小さくする必要があるものの、化学反応を利用したビルドアップ法では少量しか生産できないうえ非常に高価であり、原料を大量に使用する電池材として工業化まで至っていない。そこで大きな粒子を粉砕し小さくしていくブレイクダウン法でナノ粒子化ができれば、リチウムイオン電池の更なる大容量化に寄与できる可能性がある。

ブレイクダウン法でのナノ粒子化の課題は、粉砕効率の悪さである。ビーズミルによる微粒化は非常に時間がかかり、生産量を確保するために粉砕機のサイズアップや台数を複数確保するなど設備コストがかかる。この課題に対し筆者らは当社独自の粉砕室構造を有するビーズミル「MSC ミル」を用いた「粉砕ローター周速25 m/s 以上の周速運転」と「樹脂製粉砕タンクの採用」、「ダブル循環冷却システムの併用」から粉砕効率向上および設備コストダウンを提案したい。

2. MSC ミル

MSC ミル（写真-1）は粉砕メディア（ビーズ）を充填した粉砕タンクにスラリー（処理物）を何度も通して粉砕していく大流量循環式の湿式粉砕機である。MSC ミルの大きな特徴の一つに、粉砕タンクの L/D が小さいことが挙げられる。L/D とは粉砕タンクの径（D）に対する粉砕タンクの長さ（L）の比であり、一般のビーズミルは L/D = 3 程度が多い。L/D が大（長いストローをイメージ）と L/D が小（短いストローをイメージ）を比べると、L/D が小さい方が通過抵抗は小さい（短いストローの方が弱い力でたくさん吸える）。MSC ミルは L/D = 約1/3 と極端に小さく設計することでスラリーの通過抵抗を減らし大流量で循環しても粉砕タンク内の粉砕メディアの偏りを抑えることができ、マイクロビーズを均一に攪拌し微粒化を効率よく行える構造となっている。

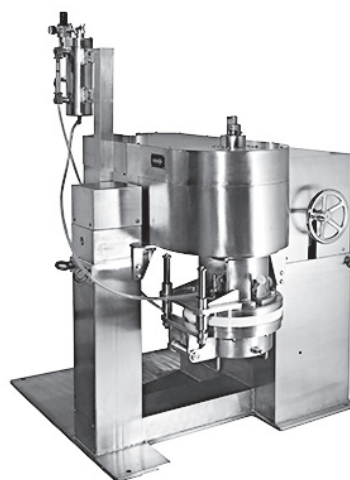


写真-1 MSC ミルの外観

MSC ミルは従来のギャップセパレーター方式では分離が困難であったマイクロビーズ（直径

0.1 mm 以下) も使用できるように、遠心分離方式を採用し、スラリーと粉砕メディアの分離を行っている。さらに、前述した L/D 小の設計により粉砕メディアの偏りを防ぐと共に、粉砕ローターに粉砕メディアの循環経路を設けることで遠心分離ローター付近へのビーズの密集を防ぎ、効率良く粉砕メディアを分級することから、最小で直径 15 μm の粉砕メディアの使用実績がある。

MSC ミルの粉砕タンク構造を図-1に示す。スラリーは循環ポンプにより粉砕タンクの上部より機内に押し込まれ、粉砕ローターにより攪拌された粉砕メディアの層を通過する際に粉砕される。スラリーは粉砕タンクの中心に向かって流れるが、粉砕ローターの内側に位置する分離ローターによる遠心力により粉砕メディアはローター外周へと弾かれスラリーのみが分離ローターの内側に到達できる。スラリーは分離ローターの内側からは中空のシャフト内を通り粉砕タンクの外に流れ、ホールディングタンクで受け再びポンプで粉砕タンクに送り込むことで循環させている (図-2)。

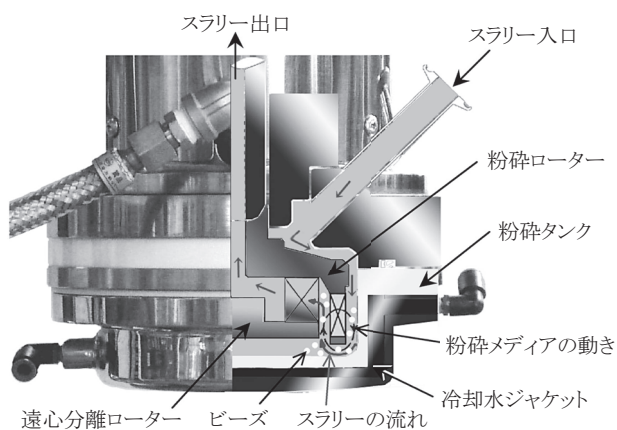


図-1 MSC ミルの粉砕タンク構造

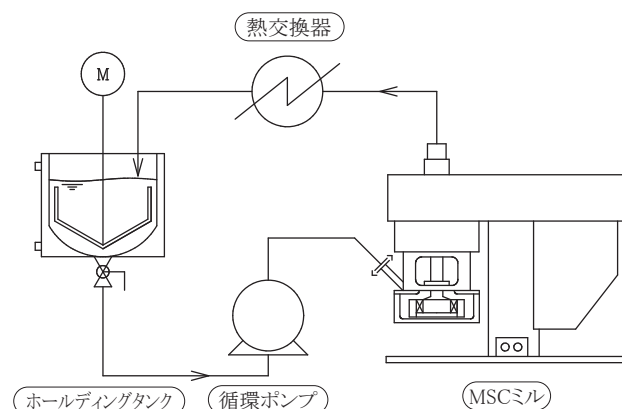


図-2 MSC ミルの標準フロー図

3. MSC ミルでの高周速運転

ビーズミルは粉砕メディアを攪拌するローターの周速を上げ投入エネルギーを増やすことにより短時間で処理ができることは既知の通りだが、高周速での運転はスラリー温度が上昇し、通常の循環フローでは冷却に限界がある。MSC ミルは、その構造の特徴と後述する特殊冷却システムにより、周速 25 m/s 以上でもスラリー温度の昇温を抑制しつつ、高効率な粉砕が可能となった。

粉砕メディア径 0.1 mm 使用時における粉砕ローターの周速が重質炭酸カルシウムの微粒化に及ぼす影響を図-3に示す。

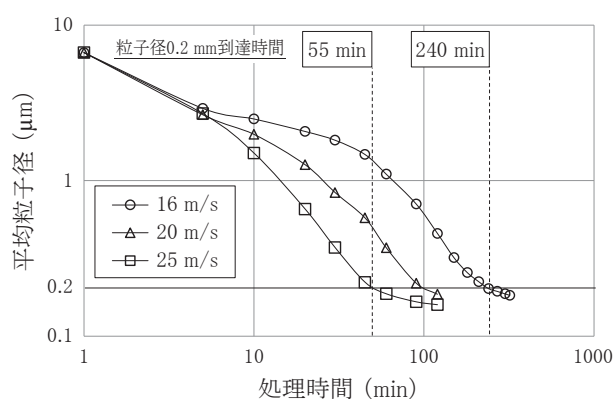


図-3 粒子径の経時変化

ローター周速を上げるにつれ微粒化までの時間が短くなることがわかり、平均粒子径 0.2 μm に到達するまでの時間を比較すると、ローター周速 25 m/s と 16 m/s とでは 4.3 倍以上の差がある。一般的なビーズミルの周速は速くても 16 m/s 前後であり、仮に 4 台のビーズミルが必要な設備の場合、MSC ミルの高周速運転により 1 台で処理が可能となる。

また、動力原単位とローター周速の関係を図-4に示す。動力原単位は単位処理量当たりの消費エネルギーを指し、動力原単位がより小さい方が少ないエネルギーで微粒化できることを指す。ここ

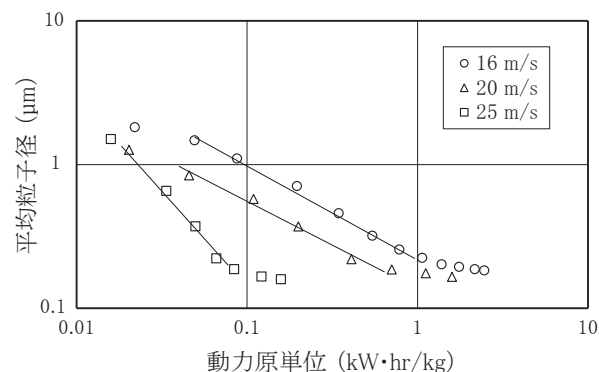


図-4 動力原単位の推移

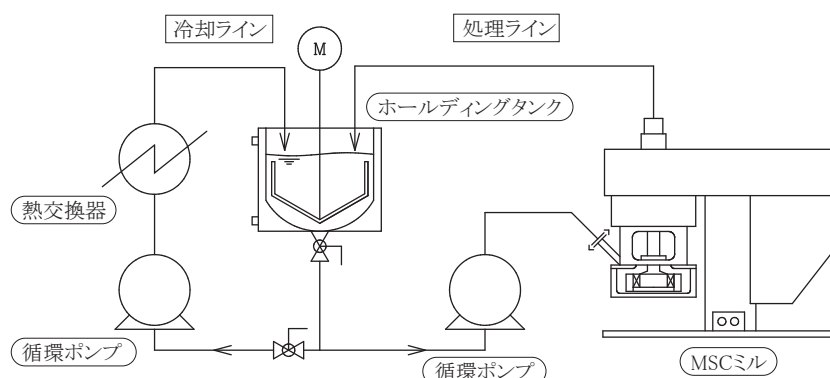


図-5 ダブル循環冷却システムのフロー図

で、周速が速い方がより小さい動力原単位で微粒化できていることから、高周速運転は省エネルギー化にも寄与するといえる。

4. 樹脂製粉碎タンクの採用

粉碎タンクは内部で碎料および粉碎メディアが高速攪拌されることから、部材の摩耗を抑えるため耐摩耗性に優れたセラミック製部品で構成されることが多い。当社機器もセラミック製部品を多数採用しているが、セラミック製部品は非常に高価で、かつ、落下による衝撃で割れやすいなどのリスクがあるほか、少なからず摩耗することから定期的な交換が必要となる。そこで、代替となる部材の調査、検証を重ね、より安価な樹脂製タンクに変更することで設備コストの大幅な削減が可能となった（※特許申請中）。耐摩耗性はセラミックスに劣るものの、マイクロビーズ使用時は摩耗の進行が遅いことも確認しており、既に多数の運用実績がある。

5. スラリーの外部循環方式による冷却

前述の高周速運転は高いエネルギーを投入することから必然的に発熱量も大きくなる。また、樹脂製タンクは伝熱係数が小さく粉碎タンク外周に冷却水を流しても熱をほぼ除去できないことから、発生した熱の除去方法の検討が必要となった。通常、スラリー冷却は図-2の通り MSC ミルの出口側に接続した熱交換器の伝熱面積を大きくすることで対応する。しかし、熱交換器が大きくなると熱交換器内を通過するスラリーの流速が低下してしまうため、粗粒の沈降や内部で澱みが発生し、その結果、熱交換器内の有効な伝熱面積が減少するなどのリスクが発生する。熱交換器内の流速を確

保するためには循環ポンプの流量を増やす必要があるが、2項で説明したとおり MSC ミルは遠心分離機構を採用する他社製のビーズミルと比べ比較的循環流量を多くできるものの、ビーズ流出防止の観点から原理的に限界がある。そこで、スラリーの冷却ラインとビーズミルの循環ラインとを分割することで、それぞれの循環流量を調節できるダブル循環冷却システム（※特許取得：特許第6689657号）を採用することで解決を図った。

ダブル循環冷却システムの運転フローを図-5に示す。

ここで処理ラインはミルにスラリーを流し微粒化する循環ラインであり、冷却ラインはスラリーを熱交換器に通し冷却を行う循環ラインである。このダブル循環冷却システムの採用により、熱交換器を大きくしても熱交換器内を通過するスラリーの流速が低下せず、粗粒の沈降や内部で澱みを回避することができるため、熱交換器内の有効な伝熱面積を確保することができる。

また、熱交換器内の流速は一定ではなく材料特性や熱交換器の形状に大きく変化する。そこで、シミュレーションを活用し、熱交換器内の流速変化を数値化することで必要流速を推測、スケールアップ時のプロセス設計にフィードバックしている。

6. おわりに

最新のビーズミルについて、当社 MSC ミルをベースに新たな運用方法を紹介した。高周速運転や樹脂製タンクの採用は処理能力の向上や設備のコストダウンに寄与することができ、また、ダブル循環冷却システムの構築によりその併用ができるようになった。今後の湿式粉碎における微粒化方法のアプローチの一つとして検討いただければ幸いである。

参考文献

- 1) 関根靖由：“ビーズミルを用いた高効率な粉碎・分散処理”、粉体工学会誌、**46**、p.422-426 (2011)
- 2) 郡司進：“最新のビーズミルとインライン測定”、工業塗装、**212**、p.35-39 (2008)
- 3) 郡司進：“マイクロビーズミル MSC ミルの特徴と応用”、プラスチックエージ、**53**、p.64-68 (2007)

いしかわ たかゆき

石川 貴之

日本コークス工業(株)

化工機事業部 栃木工場 粉体技術センター

プロセス開発グループ 主任技師

〒328-8503 栃木県栃木市国府町1

TEL：0282-28-1161 FAX：0282-28-1150

E-mail：takayuki-ishikawa@n-coke.com