

高温ジェットミル

Hot Gas Jet Mill

渡辺 晃

Akira WATANABE

ホソカワミクロン株式会社 粉体工学研究所 技術開発部 部長

Manager, Powder Technology Research Institute, Hosokawa Micron Corporation, JAPAN

抄 録

乾式操作における微粉碎を考えた場合、ジェットミルはその有力候補の1つに挙げられる。中でも流動層型カウンタジェット®ミルは、機械的粉碎部を持たないため、コンタミネーション量が少なく、摩耗性の高い原料に適している。ジェットミルは、微粒子を得るのに適しているものの、その圧縮ガス源にコンプレッサを使うのが一般的であり、そのエネルギーコストが高いという問題を抱えている。この問題を解決する方法の1つとして高温ガスを用いる方法について解説し、なぜ高温ジェットミルを用いると粉碎効率が向上するのかを説明する。また実際の実験データについても紹介する。

ABSTRACT

Jet mill is very well-known particle size reduction method in dry process. Mechanism of jet mill is very simple and does not use any mechanical grinding. Therefore, this method is suitable for the applications that require lower contamination rate. So far various types of jet mill have been developed. However, one of the bottlenecks of this technology is mainly energy cost. Jet mill usually uses the compressor air and it is expensive to produce the compressed air. In this paper, hot gas jet mill is introduced in order to increase the grinding efficiency, i.e. to reduce the energy cost per product.

1 はじめに

乾式操作における微粉碎を考えた場合、その有力候補に挙げられるのは、攪拌型メディアミルとジェットミルである。攪拌型メディアミルの粉碎効率は一般的にジェットミルに比べて良いものの、その粉碎原理にメディア（ビーズ）を使うため、メディアからのコンタミネーションの量が多く、異物混入に対する品質基準が厳格な用途にはあまり適していない。一方、ジェットミルの歴史も古く、これ

までにターゲット型、スパイラル型、流動層型など様々な粉碎原理を用いたジェットミルが開発されている^[1]。中でも流動層型カウンタジェットミルは、ジェットノズルから噴出するガス同士を対向させる構造であるため、粉碎装置からのコンタミネーション量が少なく、摩耗性の高い原料に適している^[2]。ジェットミルは、微粒子を得るのに適した装置であるが、その圧縮ガス源にコンプレッサを使うのが一般的であり、そのエネルギーコストが高いことが技術的課題の1つに挙げられる。本稿では、ジェット

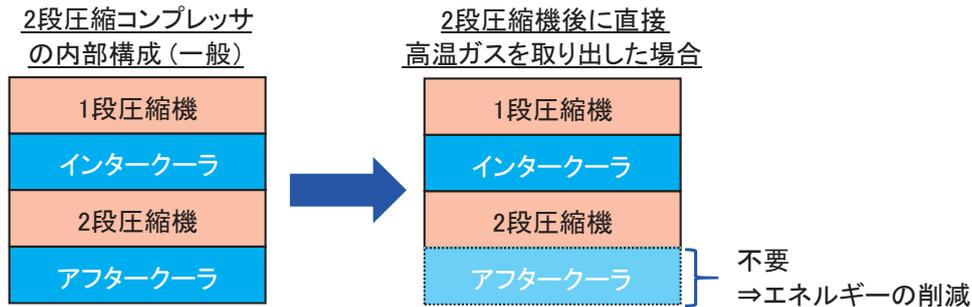


図1 コンプレッサからのホットエアの取り出し方法
Fig. 1 The method to produce hot air directly from air compressor.

ミルの粉砕効率を上げる方法として、高温圧縮ガスを使う方法について説明する。コンプレッサから直接高温圧縮ガスを取り出す方法、その高温圧縮ガスをを用いた粉砕結果についても紹介する。

2 高温圧縮ガスを得る方法

ジェットミルで使用する圧縮ガスには2段圧縮コンプレッサが使われることが非常に多い。2段圧縮コンプレッサでは、吸引した大気を2段（2台）の圧縮機で圧縮することにより、高圧のガスを得ている。

2段圧縮コンプレッサの内部構成を図1に示す。

圧縮機でガスを圧縮するのに要した動力は熱に変化するため、圧縮された気体は高温となる。1段圧縮機後の高温ガスを2段圧縮機にそのまま供給することは機械的に困難であるため、インタークーラと呼ばれる冷却器で常温程度まで冷やされた後、2段圧縮機に供給されることになる。

2段圧縮機でもガスはさらに圧縮されるので、再度高温ガスとなる。この高温ガスはアフタークーラで冷やされ、常温の圧縮ガスとして取り出すのが通常のコンプレッサである。

このコンプレッサから高温圧縮ガスを直接取り出す方法は極めて簡単であり、2段圧縮機後の圧縮ガスをアフタークーラに入る手前で直接取り出せばよいだけである。

3 高温圧縮ガスの粉砕効率が良い理由

では、なぜ高温圧縮ガスをを用いると粉砕効率が良いのかを説明する。理想気体におけるノズルからの

噴射速度は一般に次式で与えられる^[3,4]。

$$v_1 = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} RT_0 \left(1 - \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right)}$$

ここで、 v は噴射速度、 κ は断熱指数、 T は絶対温度、 P は圧力である。この式から求めた各温度における粉砕圧力と速度の関係を図2に示す。

噴射速度は温度と圧力に比例していることが分かる。つまり、温度が高いほど噴射速度が速くなり、また圧力が高いほど噴射速度が速くなる。

ジェットミルは圧縮ガスが持つ運動エネルギーを粉砕エネルギーとして使う方法であり、その運動エネルギーは $1/2 mv^2$ で表せるため、ジェットノズルでの噴射速度が速くなるほど、粉砕エネルギーが大きくなる。これが高温ガスをを用いた方が粉砕効率が良くなるとされている理由の1つである。また今回説明したように、高温圧縮ガスは、電気ヒータなどの加熱機器、つまり新たな動力を必要とすることな

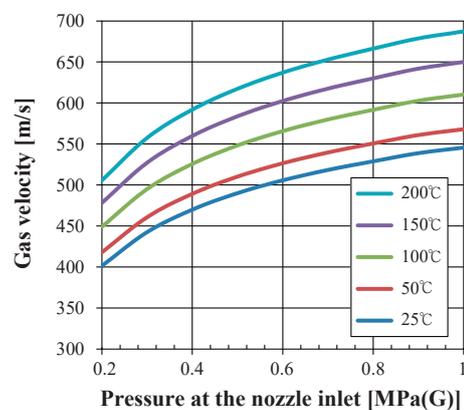


図2 ジェットノズルでの速度
Fig. 2 Jet velocity at different temperature.

テクニカルノート

く、コンプレッサから直接取り出すことができる。これも大きなメリットの1つであると考えられる。

4 実験結果

実際に、常温圧縮ガスと高温圧縮ガスで粉砕した場合の実験結果について紹介する。実験には、流動層型カウンタジェットミル 400AFG を用いた。400AFG の外観を **図 3** に示す。

実験にはタルク（富士タルク工業(株), RL-217, $D_{50}=20\ \mu\text{m}$ ）とシリカ（(株)龍森 RD-8, $D_{50}=23\ \mu\text{m}$ ）の2種類を用いた。粉砕ガスの圧力は 0.7 MPa (abs) 一定とした。常温圧縮ガスの実験ではコンプレッサで圧縮された圧縮空気をそのまま使用し、高温圧縮ガスの実験ではコンプレッサの2段圧縮機から直接取り出した高温圧縮空気を用いた。この高温圧縮空気のジェットミル入口での温度はいずれの実験においても約 130℃ であった。タルク原料の粉砕結果を **図 4** に、シリカ原料の粉砕結果を **図 5** に示す。ジェットミルにおける粉砕効率は単位風量当たりの処理能力と考えることができるため、縦軸には処理能力 (kg/h) を粉砕ガス量 (m^3/min) で除した値を用いた。**図 4**、**図 5** のいずれの結果からも高温圧縮空気を用いた方が、粉砕効率が良いことが分かる。粒子径が小さくなると、粉砕効率の差は小さくなるが、粒子径が大きい範囲では、高温圧縮空気の方が、粉砕効

率が極めて良い結果となっている。ジェットミルは圧縮ガスが持つ運動エネルギーを粉砕エネルギーとして使う。つまりジェットノズルから噴出された高速ガスが粉体原料に直接当たること、またはその高速ガスにより粒子同士が衝突しあうことで粉砕が起こる。粒子サイズが小さい場合は、慣性力が小さくなるため、粒子同士、粒子とガス間での衝突が起こりにくくなるが、粒子サイズが大きい場合は慣性力により他の粒子、高速ガスと衝突しやすいため粉砕が進み易い。**図 4** および **図 5** は高温圧縮空気を用いた場合でも、粒子サイズによるその傾向が変わらないことを示している。

ここでは例を示さないが、高温ガスを用いても常温ガスと粉砕効率があまり変わらないケースもあるが、粉砕効率が悪くなることはほとんどない。よって、熱の問題がない原料の場合は、高温ガスを用いたジェットミルを検討することを推奨する。



図 3 流動層型カウンタジェットミル 400AFG
Fig. 3 Fluidized bed opposed jet mill 400AFG.

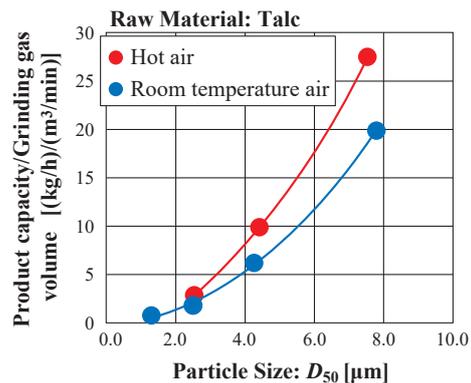


図 4 タルクの粉砕結果（平均粒子径と粉砕効率の関係）
Fig. 4 Grinding result of Talc, D_{50} and its grinding efficiency.

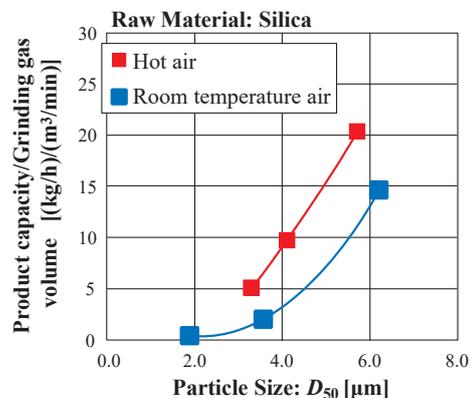


図 5 シリカの粉砕結果（平均粒子径と粉砕効率の関係）
Fig. 5 Grinding result of GCC, D_{50} and its grinding efficiency.

5 おわりに

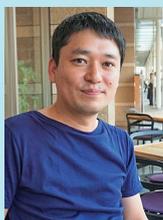
ジェットミルは古くから微粉碎機として利用されてきたものの、その圧縮ガス源にコンプレッサを用いておりエネルギーコストが高いという問題を常に抱えている。本稿では、粉碎効率を向上させる1つの方法としてコンプレッサから直接取り出した高温ガスをジェットミルの粉碎ガスに用いる方法を説明

した。高温ガスを用いるため弱熱性原料への適用は難しいが、熱に強いミネラルを中心とした原料はたくさん存在する。これらの原料に対しては、非常に有効な方法であると考え、この技術が世の中に浸透していくことを望む。当社ではこれらの実証を行うテスト設備を有しているため、対象となるような原料粉体があれば当社にお声掛けいただければ幸いである。

References

- [1] Chamayou A., Dodds J.A., Chapter 8 Air Jet Milling, in: Salman A.D., Ghadiri M., Hounslow M.J. (Eds.), Handbook of Powder Technology, Elsevier Science B.V., 2007, pp. 421–435, ISBN: 0167-3785.
[https://doi.org/10.1016/S0167-3785\(07\)12011-X](https://doi.org/10.1016/S0167-3785(07)12011-X)
- [2] ホソカワミクロン(株)編：ホソカワ製品ハンドブック，“カウンタジェットミル AFG, AFG-R, TFG, TTG 238: 流動層式対向型ジェットミル”，pp. 238–243, 凸版印刷(株), 大阪 (2013).
- [3] 齋藤 孝基, 濱口 和洋, 平田 宏一 (著)：はじめて学ぶ熱力学，“熱エネルギーの運動エネルギーへの変換”，pp. 109–120, オーム社 (2002), ISBN: 978-4-274-08725-7.
- [4] Liu G., ‘How to select and start up a fluidized-bed jet mill system’, <https://www.powderbulk.com/wp-content/uploads/pdf/pbe_20160601_0022.pdf> accessed 14.07.2020.

〈著者紹介〉



渡辺 晃 Akira WATANABE

〔経歴〕 2002年 同志社大学大学院工学研究科工業化学専攻博士前期課程修了。同年ホソカワミクロン株式会社入社。2008年 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻後期博士課程修了。2013年 Hosokawa Alpine (ドイツ)への駐在を経て2015年から現職。
〔専門〕 粉体装置の開発
〔連絡先〕 awatanabe@hmc.hosokawa.com