

粉碎操作の実際

媒体攪拌型乾式粉碎機の技術動向

関根 靖由*

1. はじめに

気体中で行う乾式粉碎は一般的に数 μm が限界であり、数百 nm 以下の微粒化を行うためには液体中で行う湿式粉碎の方が有利であることは古くから知られている¹⁾。しかし、

乾燥を要する場合、そのコストやエネルギーは大きな割合を占めてしまう。よって乾式粉碎で微粉が得られれば工程を減らすことができ、経済的、かつ省エネルギーで、地球環境にやさしい粉碎方法になる。乾式粉碎機の中でも媒体攪拌型乾式粉碎機は、媒体（以下、粉碎ボール）を強制的に攪拌することにより、強いエネルギーを砕料に与えられる。その結果、メカノケミカル反応やメカニカルアロイング処理も可能になる。本稿では当社機器を例にあげて媒体攪拌型乾式粉碎機の歴史と処理事例

について説明する。

2. 日本コークス工業の媒体攪拌型乾式粉碎機の歴史（図1）

媒体攪拌型粉碎機はアジテータによって粉碎ボールを強制的に攪拌する方式であり、1940年代に米国のUnion Process社で開発された湿式アトライタが始まりである。ボールミルでは利用が難しかった $\phi 3\sim 10\text{mm}$ の粉碎ボールでも効率的に粉碎が可能となり、ボールミルに比べ効率が非常に良いことから広く普及した²⁾。日本では三井三池製作所（現日本コークス工業）が1960年に技術導入を行っている。

1970年代に入りアトライタを乾式粉碎用に改良すると粉碎ばかりでなく、メカノケミカル反応やメカニカルアロイングによるアモルファス合金の形成などにも利用されるようになり³⁾、媒体攪拌型乾式粉碎機の

*Yasuyoshi SEKINE ;

日本コークス工業(株) 化工機事業部
栃木工場 粉体技術センター開発 Gr
〒328-8503 栃木市国府町1
TEL : 0282-28-1161
E-mail : yasekine@n-coke.com

用途が広がった。

その後、連続式粉碎の要望が高まり、1983年にダイナミックミルを開発した。当初はフェライトなどの電子部品機器材料の粉碎などに利用され、大量生産を求められていることから大型機（タンク容量：380L）が多く使用されていた。近年では食品、電池材料、高性能電子部品材料など、高付加価値で少量多品種のニーズの増加により、清掃性も重視されることから中型機（タンク容量：25~100L）が増えている。

2000年代になると高精度化の要求が進み、シャープな粒度分布、高純度、さらなる微粒化が求められるようになってきた。これに対応するため、分級機内蔵型のファインミル⁴⁾を2002年に開発した。分級機を内蔵することにより、微粒子を連続で生産することができるようになった。

2010年代になると二次電池金属負極材原料をメカニカルアロイングで生産できることが確認され、乾式アトライタで工業化された。しかし、生産性が悪く効率向上が求められた。そこで、粉碎ボールや比重の大きい碎料の挙動を検討し、改善したアルケミを2015年に開発した。その結果、アトライタと比較して大幅な時間短縮が可能となった。

3. 媒体攪拌型乾式粉碎機の処理例

媒体攪拌型乾式粉碎機は2項の通り回分式（アトライタ、アルケミ）、連続式（ダイナミックミル）、分級機内蔵式（ファインミル）があり、ユーザーの要求に応じて使い分けている。以下に処理事例を紹介する。

3-1. ダイナミックミルによる抹茶の連続製造⁵⁾

健康志向の高まりから、和菓子フレーバーなどに利用される抹茶の需要が増えてきているが茶臼での粉碎

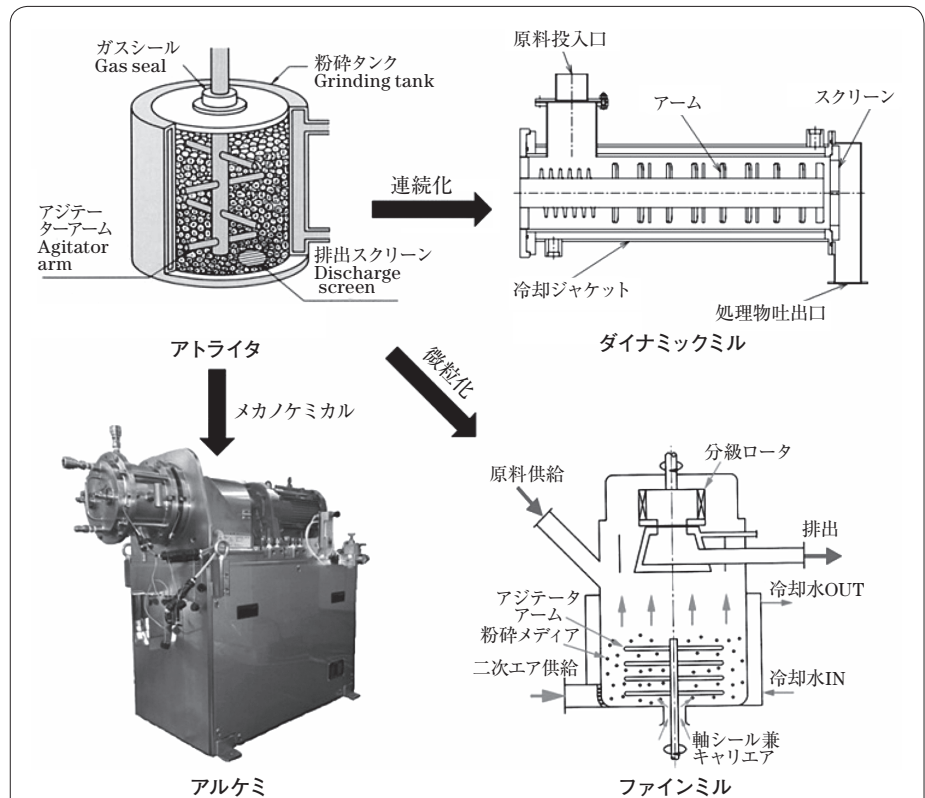


図1 日本コークス工業の媒体攪拌型乾式粉碎機

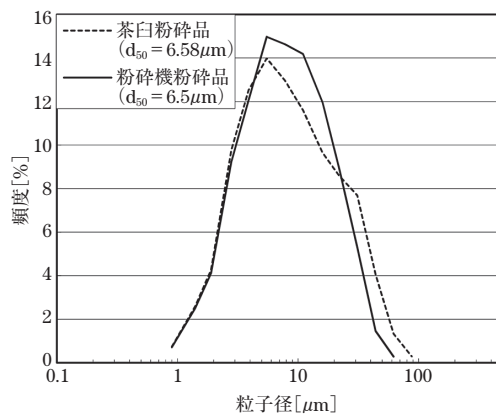
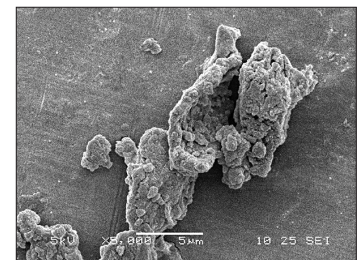
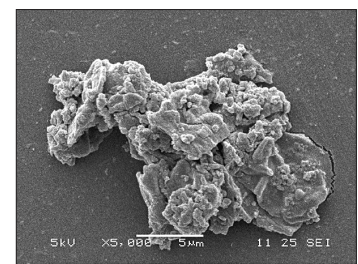


図2 茶臼粉砕品とダイナミックミル粉砕品の粒子径分布の比較



茶臼粉砕品



ダイナミックミル粉砕品

図3(右) SEM写真による粒子形状の比較

は効率が悪く、抹茶を大量生産できる粉碎機が求められていた。そこで、ダイナミックミルで抹茶に必要な処理を実現できるか確認した。

図2に示すように粒子径分布は茶臼の粉砕品とほぼ同等となった。また、粒子形状も図3のように茶臼に近い形が実現できている。さらに粉砕品の動摩擦係数を測定したところ、

茶臼粉砕品が0.450に対して、ダイナミックミル粉砕品は0.471であり、ほぼ同じ数値であった。この結果より茶臼粉砕品に近い質感が再現できていると考えられる。また、生産量は茶臼1台あたり40~50g/hr程度であるが、タンク容量が25Lのダイナミックミルでは10kg/hrになり、高品質な抹茶を低コストで大量生産

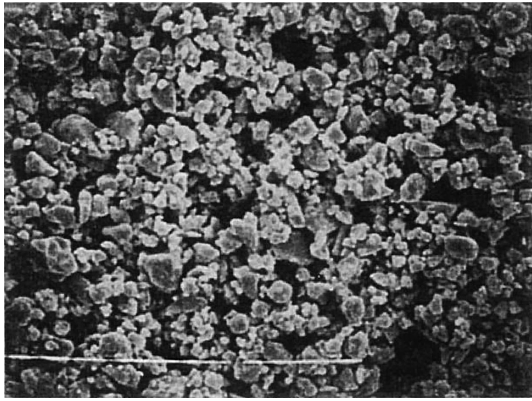


図4 鉛ガラスの粉砕品

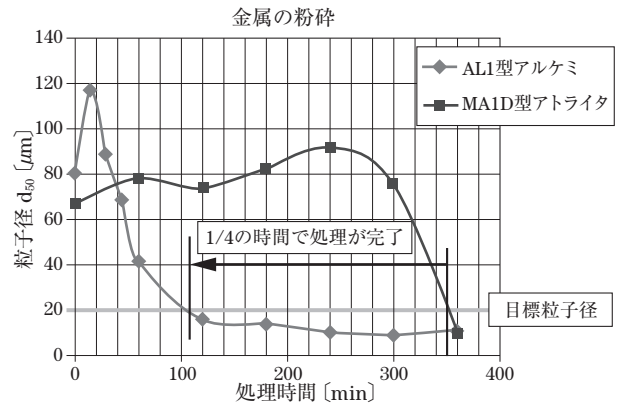


図5 アトライタとアルケミの比較

できるようになった。

3-2. ファインミルによる高機能原料の粉砕

粉砕効率向上やコンタミネーションの削減を考えると、目標粒子径に達した微粉をいかに素早く粉砕タンク内から排出できるかが重要になる。ファインミルでは下部の粉砕タンクに粉砕ボールを入れ、アジテータによって砕料と粉砕ボールを攪拌して粉砕を行う。粉砕タンク下部よりキャリアエアを入れることで、微粉は上昇し分級部に運ばれる。分級部では目標粒子径に達した粒子のみが系外に排出され、それより大きな粒子は再度、粉砕部に戻されて再粉砕される。

例として、ファインミルで粉砕した鉛ガラス(図4)を確認すると、粒子径が揃った綺麗な粉砕品となっており、平均粒子径は1.56μmとなった。

ファインミルはプラズマディスプレイのパネルに誘電体として使用されているガラス粉の微粉砕用として多く採用された。透明なパネル用で、かつ数十μmの誘電体層を形成させる必要があるため、高純度で粒度分布がシャープな粉体が求められた。現在でもファインミルは同様な要求の電子部品用途に採用されている。

3-3. アルケミによる金属粉砕、

およびメカニカルアロイング

アトライタによるメカニカルアロイングは、比重差や融点差が大きい原料による高機能特殊合金を製造す

ることができる。しかし、処理時間が長くコストがかかりすぎることによって工業化が難しい。その要因の一つとして比重の大きい金属は粉砕室の底部に偏り易く、金属粒子に効率的にエネルギーを与えることが難しい。また、粉砕ボールにかかるエネルギーが上下方向で不均一であることも効率悪化の要因である。そのため処理時間を短縮するには、粉砕ボールと金属粒子の動きを改善することが重要になる。そこで、縦型のアトライタに対して、横型にすることによって、粉砕ボールと金属粒子の動きを改善できると考え、アルケミを開発した。

運転条件(タンク容量、回転速度、ボール充填率、投入原料量)を同じとして運転を行ったところ、図5に示すようにアルケミは初期の早い段階で扁平化が進み粉砕が進行したが、アトライタは扁平化までの速度が遅く粉砕に移行するまでに多くの時間を要した。この結果よりアルケミはアトライタより4倍の粉砕能力があり、粉砕ボールと金属粒子の動きが改善されてエネルギーがアトライタに比べ有効に利用できていることが判明した。メカニカルアロイングでも同等の結果が得られており、幅広い分野での工業化の可能性が示されている。

4. 終わりに

乾式粉砕は湿式粉砕に比べて微粒化が非常に難しく、ハンドリングや温度コントロールの点でも課題は多い。そのため、乾式粉砕を行うには

機械自身の性能だけでなく、処理するときのノウハウも必要になってくる。また、それらを実験データだけで蓄積していくのも難しい面がある。将来はシミュレーションを活用した処理技術ソフトの開発といったテーマにも取り組む必要があると考えている。

乾燥工程を省くことでのコスト削減、省エネルギー、また、メカノケミカル反応やメカニカルアロイングによる高機能性材料の開発などにも貢献できる媒体攪拌型乾式粉砕機は、重要な技術として今後も幅広い分野での活躍が期待できる。今回、誌面の関係上、機器の構造や用途などを詳しく紹介することができなかった。本稿で乾式粉砕に関心を持たれたら当社ホームページ(<http://www.nc-kakouki.co.jp/>)に詳しく掲載しているので参照していただけたらと思う。

〈参考文献〉

- 1) 長谷川裕裕, 粉砕助剤, 先端粉砕技術と応用, p.43-53 (2005)
- 2) 関根靖由, 粉砕・分散・混合が行われる実験機の開発, 粉体工学会誌, Vol.53, No.2, p.85-89 (2016)
- 3) 橋本等, 粉砕とメカニカルアロイング, 先端粉砕技術と応用, p.102-109 (2005)
- 4) 郡司進, 最新のピーズミルについて, 顔料, Vol.51, No.2, p.13-20 (2007)
- 5) 岩本玄徳, 杉本剛, 抹茶の今を支える新製法, 化学工学, 第80巻第11号, p.737-740 (2016)