

低融点樹脂粉砕の現状と対策

～常温粉砕可能なセントリカッターの特徴と活用事例～

関根 靖由*

1. はじめに

樹脂を粉砕する目的としては、樹脂とフィラーを混練しやすくすることが理由の一つである。樹脂にフィラーを配合する役割として力学特性・熱特性の改善、加工性向上、導電性や磁性などの機能性付与、コスト低減などがあげられる。しかし、フィラーの配合比率や樹脂の融点が高い場合、ペレット状の樹脂から押出機で混練を行うとフィラーと樹脂との接触面積が少ないため、フィラーの分散不良が発生して求めている特性や機能が得られない可能性がある。

そのため、混練を均一に行うためには樹脂ペレットを数百ミクロンに粉砕してからフィラーと均一混合して押出機などで分散することが好ましい。しかし、低融点樹脂を常温粉砕する場合、粉砕時の熱の影響で溶融やヒゲなどの不良品が発生してしまい生産することが不可能になってしまうことがある。本稿では低融点樹脂を常温粉砕できる粉砕機と粉砕事例を説明し、コーヒーや香辛料などの食品粉砕への応用について簡単に紹介する。

2. 低融点樹脂の粉砕方法

低融点樹脂の粉砕方法は液体窒素を利用した凍結粉砕と鋭利な粉砕刃で切断する遠心型ミルの2種類が多く使われている。凍結粉砕は樹脂を液体窒素（-196℃）で凍結させ、ピンミルなどを使用して衝撃力で脆性破壊させて粉砕する方法である。しかし、液体窒素を使用する凍結粉砕は高価な液体窒素を使用することからランニングコストが高いため、粉砕工程を自社で設備化せず、液体窒素を製造しているメーカーなどに受託加工を依頼することも多い。

また、粉砕部は液体窒素を使用しているため、粉砕部に耐摩耗性の高い工具鋼を使用すると低温脆性で強度が低くなることから、破損や摩耗が促進されやすい。そのため、粉砕部の材質はオーステナイト系ステンレスが使用されることが多いが硬度が低いいため粉砕部の部品交換頻度は多い。

このことより低融点樹脂の粉砕を自社で設備化するには、液体窒素を使用しない粉砕方法で行うことが望ましい。しかし、常温粉砕で使用される遠心型ミルは低融点樹脂（熱可塑性樹脂）の粉砕では運転条件によって、粉砕時に発生した熱で溶融した樹脂が粉砕刃やケーシング内に蓄積し処理が困難である（写真1）。さらに運転できたとしてもヒゲと呼ばれる糸状の生成物が発生し、振動篩などで粉砕品を選別する場合に篩上で絡まり製品回収率が低くなったり、成形時の樹脂供給量がヒゲの影響で安定しなくムラを発生させてしまう場合がある。そのため、溶融やヒゲを防止するには処理量を減らして粉砕時の熱の発生を減らす必要があるため、生産能力を十分に発揮できなくなる。このことから常温粉砕する場合は樹脂に熱をできるだけ与えないようにして、粉砕することが必要である。当社では凍結粉砕せずに常温粉砕でも粉砕時に発生する熱の影響を大幅に抑えた高冷却型粉砕機のセントリカッターを開発し低融点樹脂を安定的に粉砕できるようになったので紹介する。

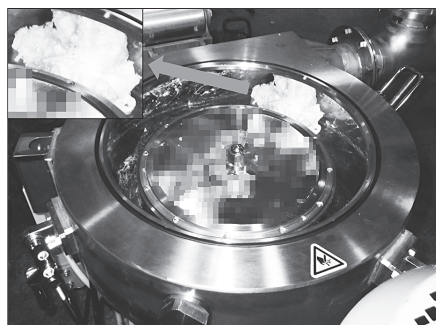


写真1 ケーシング内に付着したメルト品

*Yasuyoshi SEKINE；日本コークス工業(株) 栃木工場技術センター 開発グループリーダー
〒328-8503 栃木市国府町1番地
TEL：0282-28-1161 FAX：0282-28-1150
E-mail：yasekine@n-coke.com

3. 常温樹脂粉碎機「セントリカッター¹⁾」

セントリカッター（写真2）は、固定されたステータと高速で回転するディスクにカッターの刃のように目立てをした粉碎刃を取り付け、樹脂の粉碎を行う遠心型ミルである。粉碎刃の種類は目立ての方向と溝の深さを変えた4種類のバージョンがあり、樹脂の種類や粉碎後の粒子径によって使い分けを行う。粉碎刃の特徴について表1に示す。粉碎刃は粉碎時の熱の影響を極力減らすため、固定されたステータの粉碎刃を冷やすだけでなく、高速で回転する粉碎刃も冷却できる“ダブル冷却構造”になっている。また、冷却水が流れる粉碎刃のジャケットはショートパスが少ない特殊構造のため、効率良く粉碎刃を冷却ができる。しかも、ジャケットに流す冷却水は-10℃のブライン不凍液を採用しているため、冷却温度も低くできる（図1）。粉碎を行っている回転刃も冷却できることから、熱交換効率が良く冷却能力は固定刃だけを冷却する遠心型ミルに比べ、2～2.5倍になっている。その結果、樹脂を粉碎するときに発生する熱を効果的に冷却できることから、溶融やヒゲが発生しやすい低融点樹脂でも装置の性能を余すことなく運転することが可能である。この冷却能力によって樹脂だけでなく、熱の影響で風味が飛んでしまう香辛料、出汁、コーヒーなどの食品

表1 粉碎刃の特徴

	標準ディスク(MS型)	特殊ディスク(USU型)
刃の形状	放射状の粉碎刃	斜めに切った粉碎刃
粉碎力	主に衝撃力	主に剪断力
発熱	大	小
生産性	大	小
粉碎品	数百 μm	MS型より細くなる
刃の形状	並目、細目の2種類	並目、細目の2種類
刃のコスト	小	大(MS型の1.5～2倍)

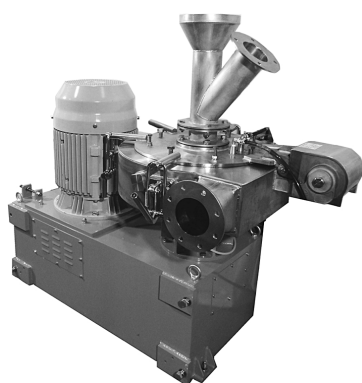
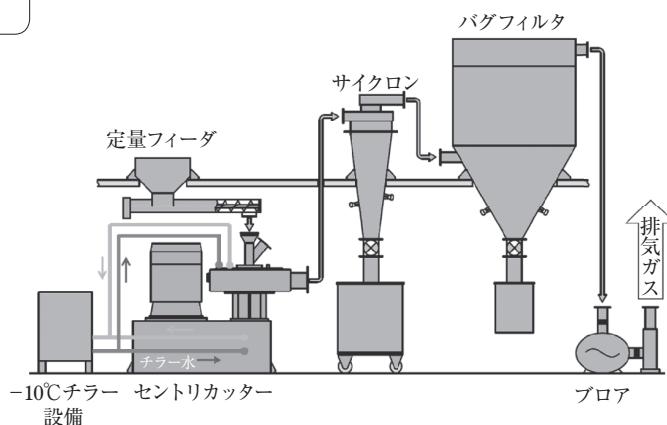


写真2 セントリカッター

図2 粉碎フロー



でも効果を発揮することができる。

4. 粉碎フロー

セントリカッターの粉碎フローを図2に示す。セントリカッターの粉碎刃には-10℃まで冷却できるチラーユニットを接続して所定の温度まで冷却を行い、粉碎刃を100 m/s以上で回転させる。そこに材料を定量フィーダなどで粉碎部に送る。粉碎部に投入された材料は冷却された粉碎刃で粉碎されブロワにてサイクロンで捕集する。サイクロンで捕集できない微粉はバグフィルタを設置することで回収されて系外には綺麗なガスとして排気される。このように粉碎システムは一般的な遠心型ミルと同様であるため、既設の粉碎機との置き換えも容易である。また、サイクロンで捕集された粉碎品を振動篩などで分別し、粗い粉碎品を再度、粉碎部に戻すリフィードシステムを取り付けることもでき、当社の粉体技術センターに性能確認用のテスト設備として設置している。

5. 粉碎刃の冷却効果について

セントリカッターの特徴である冷却効果を確認するため、ポリプロピレン樹脂（日本ポリプロ(株)製ノバテック PP MA3H 直径4 mm）をUCM300型で粉碎し処理粒径は平均粒子径で450 μm 前後を目

標とした。比較対象として同形状の遠心型ミル（冷却無し）を使用して粉碎刃の形状、隙間や運転条件を合わせて冷却水の有無で生産能力に変化があるか実験を行った。冷却水を入れたセントリカッターは 300 kg/hr で処理しても溶融やヒゲが発生しないで粉碎することができたが、冷却なしの遠心型ミルでは 120 kg/hr でも溶融してしまい、処理量は 85 kg/hr が限界でヒゲも若干発生した。この結果、冷却の効果で 3.5 倍以上の粉碎能力があるばかりか、ヒゲの発生も抑えられることが分かった（写真 3）。このようにセントリカッターは熱の影響で粉碎性能を出すことができなかった低融点樹脂に効果を発揮することができる。

6. 粉碎刃の隙間の違いによる粉碎特性

セントリカッターの二つ目の特徴として粉碎刃の隙間は最小：0.15 mm まで狭くできることである。隙間を狭くすることで強力な剪断力を樹脂に与えられ、一般的な遠心型ミルに比べ、微粒化が可能である。そのため微粒化を行いたい場合にはできるだけ隙間を狭くできる遠心型ミルを使用することが必要である。ただし、隙間が狭いと粉碎にかかる負荷が高くなるため熱の発生が多く、樹脂が溶融しやすい。冷却と隙間の効果を確認するため、PPS 樹脂（東レ（株）製 トレリナ A900B1 直径 4 mm）を UCM300 型で粉碎して効果を確認したところ、隙間 0.2 mm の時は d_{50} ：288 μm であったが隙間を 0.15 mm にすることで d_{50} ：111 μm まで微粒化することができた（図 3）。また、冷却なしの遠心型ミルでは溶融してしまい粉碎することができなかった。しかし、隙間を狭くすると処理量も少なくなり、粉碎刃の摩耗も多くなることから粉碎品は安易に微粒化するのではなく後工程の処理で問題ない大きさにすることが好ましい。

7. 樹脂温度の違いによる粉碎特性

低融点樹脂の常温粉碎は季節によって処理能力が

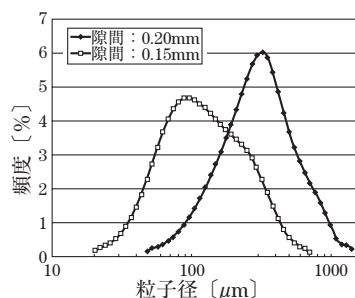


図 3 粉碎刃の隙間の影響（PPS 樹脂）

著しく変わる。特に夏の暑い時期には冬と同じ生産量で粉碎すると溶融してしまうため、処理量をかなり抑えて粉碎したり、樹脂を冷凍コンテナなどで冷やしてから粉碎するなど処理方法を変えて運転していることが多い。これは樹脂が夏場の気温で暖められて溶融温度までの温度差が小さくなっているためと思われる。そのため、材料温度の違いがどの程度、生産量に影響するか 3～4 mm 程度の PS 樹脂ペレットを使用して UCM150 型で調査した。樹脂ペレットは温調器に 24 hr 以上入れて、温度調整して平均粒子径を 600 μm 程度まで粉碎した。また、生産量はヒゲが発生し、粉碎品が絡み合って排出してきた処理量を限界値とした。図 4 に示すように品温が -3.5℃と 15.8℃では生産量にあまり差が出なかったが 15.8℃と 35.1℃では 1/2 以下の生産量になり、著しく生産量が落ちてしまった。このことから 1 年を通じて安定的に生産するためには樹脂の温度を管理する必要があることが判った。

8. 商品ラインナップと粉碎例

セントリカッターの標準仕様を表 2 に示す。商品ラインナップは 3 機種で、生産量によって機種を選

表 2 標準仕様

型式	UCM150	UCM300	UCM450
スケールアップ比	0.3	1	2
最高回転速度 [min^{-1}]	12,000	8,000	5,500
モータ [kW]	5.5	22	45
風量 [m^3/hr]	400	1200	2400

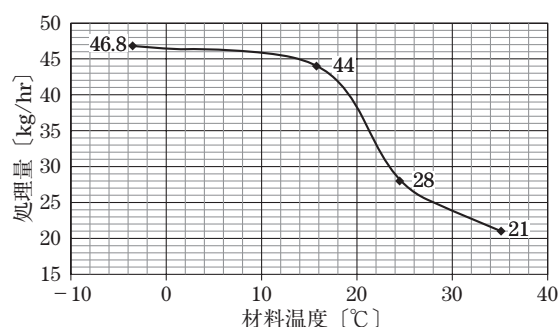


図 4 材料温度の違いによる生産量の変化

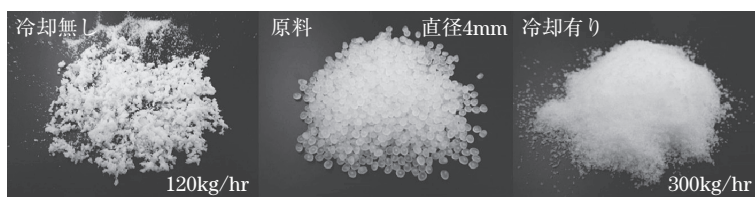


写真 3 ポリプロピレン樹脂の粉碎品

表3 粉碎例 (UCM300 型)

原料名	原料粒径	粉碎粒径: d50 [μm]	処理能力 [kg/hr]	刃の 形状
PP	3 mm ペレット	470	300	MS
PE	3 mm ペレット	200	80	MS
PS	3~4 mm ペレット	350	80	MS
		246	60	USU
ABS	3 mm ペレット	300	13	MS
PPS	3 mm ペレット	111	20	MS
PA12	3 mm ペレット	400	200	MS
TPU	3~5 mm ペレット	250	50	MS
AS	3~5 mm ペレット	600~700	1100	MS
香辛料	3~4 mm	150	200	USU
コーヒ豆	5~8 mm	326~429 (UCM150 型)	120	MS

定する。当社では UCM150 型と UCM300 型がテスト機として設置しており、さまざまな材料でお客様の持ち込みテストを行っている。表3の粉碎例に今まで実施したテスト結果の一部を示す。同形状の遠心型ミルに比べ、微粒化や生産量が上げられるようになっている。また、凍結粉碎で行っていたポリスチレン樹脂も熔融することなく粉碎が行え、セントリカッターの冷却の効果が判った。

9. 食品分野への展望

セントリカッターがコーヒー豆の粉碎でも利用できるか、UCM150 型を使用して調査を行った。コーヒー豆は焙煎済みのレギュラーコーヒー（(株)セイコー珈琲製 ゴールデンプレンド）を使用し、家庭用小型電動カッターミルで 20 秒間運転した粉碎品と比較した。セントリカッターは生産量を 120 kg/hr で運転して粉碎刃の隙間を 0.3 mm, 0.6 mm, 1.2 mm と変えて粒子径を調整したところ、極細挽き、細挽き、中挽きに粉碎することが可能であった。また、カッターミルで 20 秒間粉碎したコーヒー豆は中挽きとなった。セントリカッターとカッターミルの中挽き品の粒度分布を比較したところ、カッターミルに比べ、セントリカッターで粉碎した方が微粉を少なくすることができた（図5）。この結果よりセントリカッターの方が粒子径分布をシャープにできると考える。

セントリカッターは香辛料の粉碎で一般的な粉碎機に比べ、風味が良いと評価を受けている。現在、コーヒーや香辛料など風味が重要な食品の粉碎に対応するため、機器の改造を実施している。特に油分の多い食品粉碎は粉碎後に油分が染み出すことでケーシング内へ付着してしまい連続運転が難しい。そ

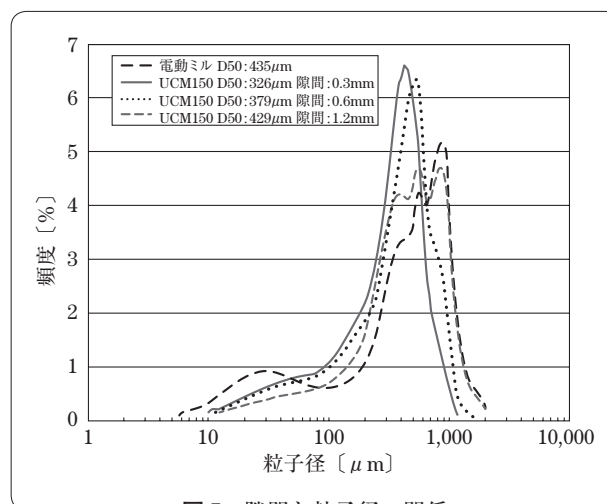


図5 隙間と粒子径の関係

のため、付着をできるだけ防止することが重要であるが当社では付着対策方法を開発し、特許を出願中である。この付着対策方法で粉碎を行えば油分の多い食品も風味を落とさず、安定的に運転ができるため、今後、食品分野でもセントリカッターが利用できる可能性が見えてきた。

10. おわりに

セントリカッターを販売してから2年が過ぎ、さまざまな樹脂や食品を粉碎してきたが、凍結粉碎に頼ってきた材料のほとんどを熔融することなく、粉碎することが可能であった。しかし、凍結粉碎は平均粒子径で 50 μm 前後に粉碎できるのに対して、セントリカッターは平均粒子径で 150 μm 前後が限界である。ただし、凍結粉碎で行っている 50 μm 前後の粒子径が後工程の混練などに本当に必要かどうかは検証する必要があると考える。なぜなら、粒子径が小さくなればなるほど、取り扱いが難しくなりトラブルが起りやすくなるため、後工程の混練などに影響がない粒子径まで大きくすることが重要と考える。そうすることで、凍結粉碎から常温粉碎に粉碎方法を変えることができれば、ランニングコストや電力使用量の削減ができ、コストメリットだけでなく地球環境に優しい粉碎方法に変更することが可能になる。それを可能にするのが“ダブル冷却機構”を持ったセントリカッターであり、低融点樹脂の粉碎だけでなく、風味や味が重要な食品の粉碎でも効果を発揮できると考える。

〈参考文献〉

- 1) 関根靖由, 低融点樹脂に対する粉碎機の特徴と活用事例, プラスチックス, 第 67 巻, 第 3 号, p.57-61 (2016)。