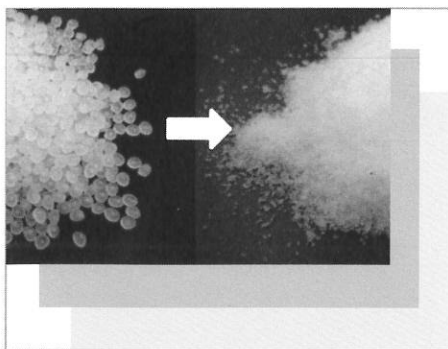




# ダブル冷却構造を搭載した 低融点樹脂用粉碎機の開発

関根 靖 由\*

## はじめに

樹脂は軽量で成形も簡単、大量生産にも最適であり安価なことから様々な分野で利用されているが、加工性や力学・熱特性などの新たな機能を持たせるため、マイクロサイズやナノサイズのフィラーを樹脂に添加することが多い。しかし、フィラーの量が多い場合、樹脂をペレットの状態で押出機などを使って分散すると、フィラーと樹脂の接触面積が少ないために分散不良が発生する場合がある。そのため樹脂をペレット状から数百ミクロンに粉碎してから、ミキサなどを利用して均一混合をした材料を押出機などで混練する必要がある。

低融点樹脂粉碎の場合、液体窒素（-196℃）で凍結させ、高速回転型衝撃粉碎機を用いて行う場合や、鋭利な粉碎刃で切断する遠心型ミルが利用されている。しかし、凍結粉碎は液体窒素を使用することからランニングコストが非常に高く、設備費用も高価なことから自社で設備化せずに液体窒素を製造しているメーカーに粉碎の受託加工を依頼していることも多い。

また、液体窒素を使用しているので粉碎刃に耐磨耗性の高い工具鋼を使用すると、低温脆性で強度が低下し破損

する可能性があるため、粉碎刃の材質はSUS304などのオーステナイト系ステンレスが使用されることが多い。しかし、SUS304は耐磨耗性が低く、摩耗によって粉碎刃の交換頻度は多くなる。また、粉碎する材料が硬い場合はコンタミが増えてしまうことも考えられる。それゆえに、粉碎に要する費用を抑えるためには、液体窒素を使用しないで粉碎を行うことが必要になってくる。

遠心型ミルで低融点樹脂（熱可塑性樹脂）を粉碎する場合、運転条件によっては発生する熱の影響で、綿あめ状に溶融した樹脂が粉碎刃やケーシング内に蓄積し、連続粉碎することが困難となる（図1）。また、粉碎品にヒゲと呼ばれる糸状の生成物が発生する場合もあり、振動篩などで粉碎品を選別する場合に篩上で絡まりトラブルを起こしたり、成形時の樹脂供給量が安定せずムラが生じたりする。そのため、

溶融やヒゲを防止するには供給量を減らし、熱の発生を削減することが必要になるため、機器の持っている本来の性能を十分に発揮できなくなる。よって、常温で粉碎する場合は樹脂にいか

に熱を与えないようにするかが重要である。当社では熱の影響を大幅に抑えたダブル冷却構造搭載のセントリカッターを開発した。ポリエチレン（PE）やポリプロピレン（PP）など、今まで常温では大量に粉碎できなかった樹脂を安定的に大量、かつより細かく粉碎できるようになったので紹介する。

## 1. ダブル冷却構造搭載 セントリカッター<sup>1)</sup>

セントリカッター（図2）は、固定されたステータと最高周速：125m/s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

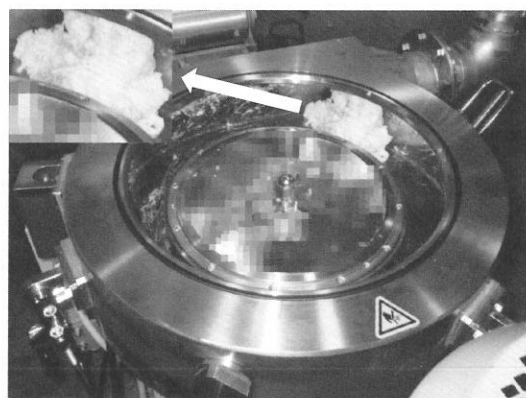


図1 ケーシング内に付着した溶融樹脂

\* Yasuyoshi Sekine  
日本コークス工業(株) 粉体技術センター 開発グループ  
Tel. 0282-28-1161  
Fax. 0282-28-1150

け、樹脂の粉碎を行う遠心型ミルである。粉碎刃は目立ての方向と溝の深さを変えた4種類から選択が可能で樹脂の種類、粉碎後の粒子径や粒子形状によって使い分ける。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、固定刃を冷やすだけでなく、回転刃も冷却できるダブル冷却構造（特許出願中）になっている。また、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冷却できる。しかも、冷媒には-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3）。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、冷却能力が2～2.5倍になっている。その結果、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大量に粉碎することが可能である。また、この冷却能力によって樹脂以外に、熱の影響で風味が落ちてしまう香辛料やコーヒー豆などの食品粉碎でも適用可能となった。

## 2. 粉碎フロー

セントリカッターの粉碎フローを図4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う。供給量や粒子径によって変わるが、一般的に粉碎刃は周速：80～125m/sで回転させる。粉碎システムはフィーダ、サイクロン、バグフィルタ、プロアからなり、一般的な遠心型ミルと同様であるため、既設の粉碎機を置き換えることでセントリカッター

を使用することが可能になる。そのため初期投資を最低限に抑えることも可能である。また、セントリカッターに排風能力があるため、図5のように粉碎品排出口にタンクを取り付けて少量ならバッチ式で回収する方法も可能で

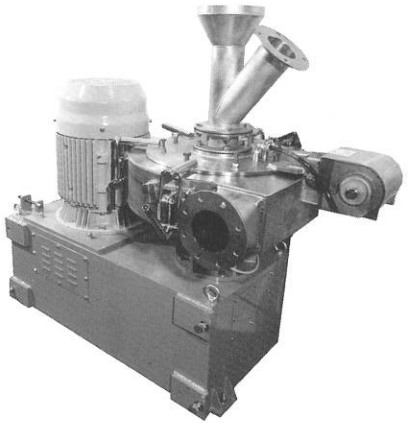


図2 セントリカッター

|       | 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       | 主にせん断力        |
| 発熱    | 大           | 小             |
| 生産性   | 大           | 小             |
| 粉碎品   | 数百μm        | 200～100μm     |
| 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） |

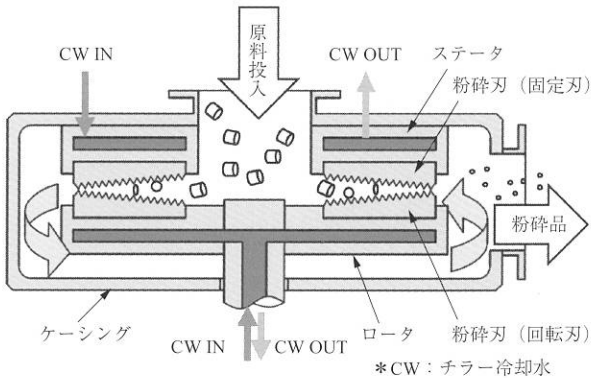


図3 構造

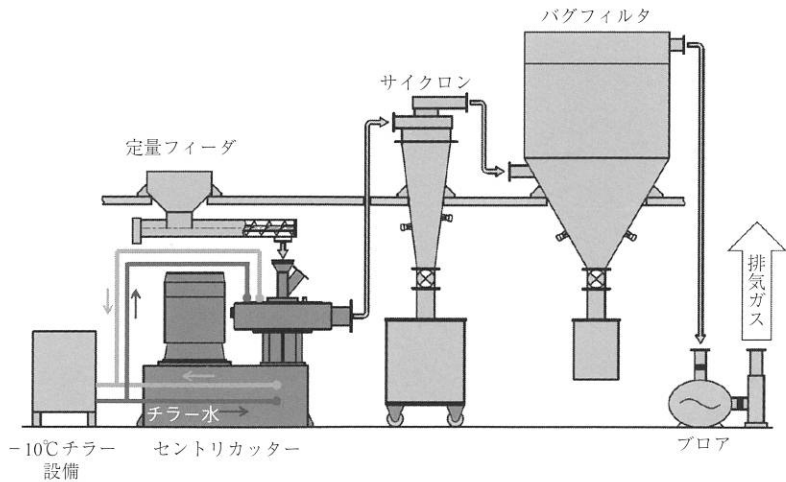


図4 連続式粉碎フロー

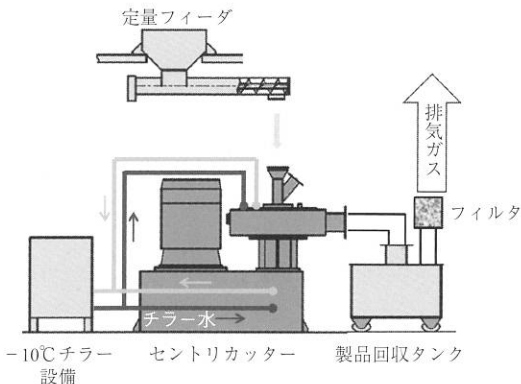


図5 少量バッチ式粉碎フロー

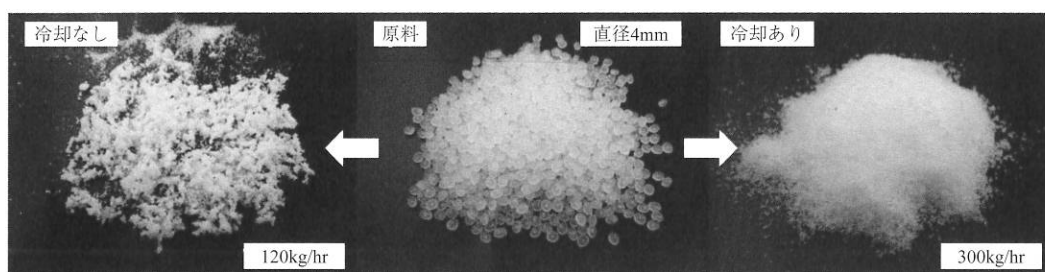


図6 ポリプロピレンの粉碎品

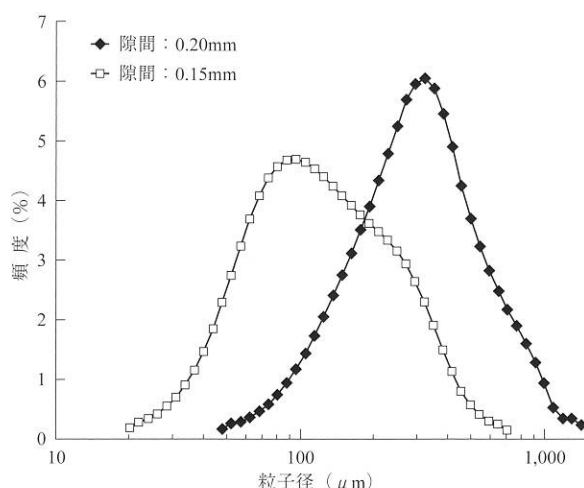


図7 粉碎刃の隙間影響 (PPS)

ある。

### 3. ダブル冷却構造の効果について

ダブル冷却構造の効果を確認するため、ポリプロピレン（日本ポリプロ製ノバテックPP MA3H 直径4mm）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（冷却なし）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。ダブル冷却構造のセントリカッターは300kg/hrで、供給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120kg/hrでも溶融してしまい、85kg/hr

が限界でヒゲも若干発生した。この結果、ダブル冷却構造の効果により粉碎能力が3.5倍以上に上がり、ヒゲの発生も抑えられることが分かった（図6）。このようにセントリカッターは、粉碎時に発生する熱の影響で性能を十分に引き出すことができなかった溶融しやすい樹脂に格段の効果を発揮することができる。

### 4. 粉碎刃の隙間とダブル冷却構造の効果

セントリカッターのもう一つの特徴として、粉碎刃の隙間を非常に狭くすることができる。一般的な遠心ミルの粉碎刃の最小隙間が0.3～0.25mmに対して、セントリカッターの粉碎刃の隙間は構造設計を最適化することで、

最小：0.15mmまで狭くすることができる。その結果、一般的な遠心型ミルに比べ、より微細な粉碎が可能となる。しかし、隙間を狭くすると粉碎にかかる負荷が高くなるため、熱の発生が多くなり溶融しやすい。そこで、ダブル冷却構造がその効果を発揮する。

隙間とダブル冷却構造の効果を確認するため、PPS（東レ製トレリナA900B1 直径4mm）をUCM300型で粉碎テストを実施した。隙間0.2mmの時はd50:288 μmであったが、隙間を0.15mmにすることでd50:111 μmまで微粒化することができた（図7）。また、冷却なしの遠心型ミルでは0.25mmの隙間でも溶融してしまい、粉碎することができなかった。この結果から、刃の隙間を狭くして、熱の影響を減らすダブル冷却構造と組み合わせることで樹脂の微粒化も可能となったことが明らかとなった。

しかし、隙間を狭くすると生産量は低下し、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、必要最低限に留めるべきである。過剰な微粒化はハンドリングの悪化など後工程で問題が生じる可能性もある。

### 5. 樹脂温度の違いによる粉碎特性<sup>2)</sup>

樹脂の常温粉碎は、季節によって処理能力が著しく変わる。特に夏の暑い時期には、冬と同じ生産量で粉碎する

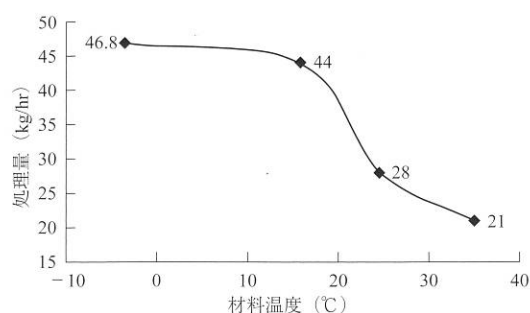


図8 材料温度の違いによる生産量変化

と溶融してしまうため、生産量をかなり抑えて粉碎することが多い。これは樹脂が夏場の気温により暖められていることが大きく影響している。対策として、樹脂を冷凍コンテナなどで冷やしてから粉碎するケースもあるが、手間やコストは大幅に増加する。

この課題を定量的に把握するために次の調査を行った。樹脂の温度を変化させて、どの程度生産量に影響するかPSを使用してUCM150型でテストした結果を示す。PSは温調器に24hr以上入れ温度調整してから、室内温度を樹脂温度が $-3.5^{\circ}\text{C}$ のとき以外は樹脂温度とほぼ同じにして運転し、平均粒子径を $600\mu\text{m}$ 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供給量を限界値とした。図8に示すように、品温が $-3.5^{\circ}\text{C}$ と $15.8^{\circ}\text{C}$ では生産量にあまり差が出なかったが、 $15.8^{\circ}\text{C}$ と $35.1^{\circ}\text{C}$ では1/2以下の生産量になり、著しく低下してしまった。このことから1年を通じて安定的に生産するためには、樹脂の温度や環境温度を管理することが重要である。セントリカッターは夏場でも生産量の低下を抑えることが可能であり、好評価を得ている。

## 6. 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定する。当社

表2 セントリカッターの標準仕様

| 型式                            | UCM150 | UCM300 | UCM450 |
|-------------------------------|--------|--------|--------|
| スケールアップ比                      | 0.3    | 1      | 2      |
| 最高回転速度 ( $\text{min}^{-1}$ )  | 12,000 | 8,000  | 5,500  |
| モータ (kW)                      | 5.5    | 22     | 45     |
| 風量 ( $\text{m}^3/\text{hr}$ ) | 400    | 1,200  | 2,400  |

表3 粉碎例 (UCM300型)

| 原料名  | 原料粒径         | 粉碎粒径: d50 ( $\mu\text{m}$ ) | 処理能力 (kg/hr)  | 刃の形状 |
|------|--------------|-----------------------------|---------------|------|
| PP   | 3mm ペレット     | 470                         | 300           | MS   |
| PE   | 3mm ペレット     | 200                         | 80            | MS   |
| PS   | 3 ~ 4mm ペレット | 350                         | 80            | MS   |
|      |              | 246                         | 60            | USU  |
| ABS  | 3mm ペレット     | 300                         | 13            | MS   |
| PPS  | 3mm ペレット     | 111                         | 20            | MS   |
| PA12 | 3mm ペレット     | 400                         | 200           | MS   |
| TPU  | 3 ~ 5mm ペレット | 250                         | 50            | MS   |
| AS   | 3 ~ 5mm ペレット | 600 ~ 700                   | 1,100         | MS   |
| 香辛料  | 3 ~ 4mm      | 150                         | 200           | USU  |
| コーヒ豆 | 5 ~ 8mm      | 326 ~ 429                   | 120 (UCM150型) | MS   |

ではUCM150型とUCM300型をテスト機として設置しており、様々な材料でユーザーの持ち込みテストを行っている。また、UCM450型も生産設備としての運転実績ができ、スケールアップが問題なく行えている。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、最近では香辛料などの食品粉碎でも、ダブル冷却構造の効果で風味を維持した粉碎が行えるとの評価をユーザーからいただいている。更に、高含油食品粉碎で問題になる油分による付着問題も、特許出願中の付着対策部品で防止することが可能となった。樹脂の粉碎だけでなく食品の粉碎でも今後、セントリカッターの適用分野が拡大していくと考えている。

## おわりに

セントリカッターのダブル冷却構造の有用性が認められてきたのか、国内外でダブル冷却構造を模倣した機器が販売されていると聞くようになってきた。当社では3年前にダブル冷却構造を世界で初めて製品化に成功したが、現状に満足せず実績に伴った細かい改良・改善に努め、粉碎性能や機器の取扱い改善などを日々実施した。その結果、凍結粉碎に頼ってきた樹脂や食品の多くを粉碎できるようになった。

しかし、最小粉碎粒子径は凍結粉碎では低温脆性を利用しているため、粒子径が小さく粉碎される傾向があり、平均粒子径で $100\mu\text{m}$ 前後に粉碎できるのに対して、セントリカッターは $200\mu\text{m}$ 程度である。この粉碎粒子径を凍結粉碎並みとする要望により、現

在も改良・改善を行っている。凍結粉碎に匹敵する微粒化が可能になったら報告したいと思う。しかし、現状行われている凍結粉碎品の100  $\mu$ m前後の粒子径が後工程に必要なかどうかは検証する必要があると考える。なぜなら、凍結粉碎に使用されるエネルギーは膨大であり、また、粒子が小さくなるほど取扱いが難しくトラブルも起こりやすくなる。そのため、凍結粉碎から常

温粉碎に変更可能となれば、自社での設備化やランニングコスト（電力使用量など）の削減など効果が大きい。

栃木県にある粉体技術センターには、UCM300型を使用した実証設備で生産を踏まえたテストを行うことが可能である。また、UCM150型をクリーンルームに設置し食品粉碎、材料温度や環境を整えたテストを行うこともできる。一度、セントリカッターのダブ

ル冷却構造の効果を試していただければ幸いである。

## 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, **67** (3), 57-61 (2016).
- 2) 関根靖由, “低融点樹脂粉碎の現状と対策,” 化学装置, **59** (5), 52-55 (2017).

# PET ボトルリサイクル年次報告書

2017 年度版

PET ボトルリサイクル推進協議会は、「PET ボトルリサイクル年次報告書（2017年度版）」を発行した。

同推進協議会はリデュースの推進において、第3次自主行動計画におけるPETボトルの軽量化目標を20%から25%に上方修正した。近年、基準年度（2004年度）に存在しなかった新規容量のボトルが市場に増加したため、基準年度との比較において定義づけを厳密化し、修正した算出方法では年度毎に2～5ポイント程度上方修正する結果になった。

新たな目標である軽量化率25%に向け進展しており、2016年度の指定PETボトル全体の軽量化率は23.0%、削減効果量は17万4,600tonであった。

またリサイクルにおいては、目標としているリサイクル率85%以上の維持に届かず、83.9%（前年度比3.0ポイント減少）にとどまった。

指定PETボトル販売量（総重量）は59万6,000ton（前年比5.9%増加）、国内の生産本数は前年度比9.5%の大幅

増、容量は対前年度比7.7%増。リサイクル量は27万9,000tonと増加し、海外資源化量は22万1,000tonに減少した。

2016年度の米国リサイクル率20.1%や2015年度の欧州リサイクル率41.2%と比較すると、日本のリサイクル率は引き続き世界最高水準を維持している。また、PETくずの輸出量は40万ton前後で推移しており、その大半は中国向けとなっている。市町村の指定法人引き渡し量は19万5,000tonで、前年度より3,000tonの増加。独自処理量は9万1,000tonで、独自処理比率は32%と変わらず、高い比率になっている。

リサイクルのなかでもボトルtoボトル（BtoB）は5万7,500tonで、対前年比2万300tonの増加であった。BtoB向けメカニカルリサイクル設備の稼働増が報告されており、循環型リサイクルであるBtoBは今後も伸長が見込まれる。

LCA手法によるリサイクル効果の評価、2015年度のデータでは環境負荷がほぼ半減と評価したと発表した。

