

【特集】 食品製造における新しい技術の流れとトラブル対策

食品粉碎とトラブル対策
— セントリカッターの挑戦 —

関根 靖由*

1. はじめに

近年、素材に新たな特性を見いだすため、素材の微粒化が進められている。しかし、乾式粉碎では粉碎されることによって新生表面の活性化により、粒子と粒子が凝集しやすくなり、粉碎と凝集を繰り返してしまう。粉碎業界では「 $3\mu\text{m}$ の壁」と言われており、シングルミクロンまでの粉碎は難しいことが良く知られている。また、粒子径が細くなることによって、摩擦力や付着力が大きくなり、流動性を損ない、ケーシング壁面に付着するといったトラブルも発生しやすくなる。その結果、安定生産を行うことが難しくなる。このような現象が起きやすくなる粒子径としては、どのような素材でもだいたい数 $10\mu\text{m}$ 以下になると付着性は高くなることが報告されている¹⁾。さらに微粒化するためにはエネルギーを多く与える必要から粉碎温度が高くなり、油分の溶け出しや風味が減少する問題が発生する。このことから、食品粉碎に使われているピンミル、ロールミル、スタンプミルや気流式粉碎機などは油分溶け出しによる付着や風味の劣化が問題になることもある。特に油分の多い材料では付着が多く1時間に1回、粉碎部を開放して掃除が必要になることもある。これらの問題を解決するために、現状では液体窒素を利用した凍結粉碎が多く行われている。しかし、液体窒素のランニングコストが非常に高く、設備費も高価になるので自社で設備化を行わず、液体窒素を製造しているメーカーに委託加工を依頼して粉碎する場合が多い。

本稿ではこれらの問題を解決したダブル冷却機構搭載ディスク型粉碎機の“セントリカッター”の粉



図1 セントリカッター外観 (写真)

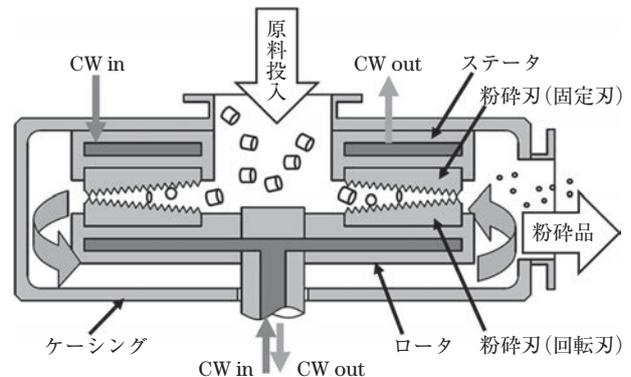


図2 ケーシング内の構造

砕例を紹介する。

2. ダブル冷却機構搭載 セントリカッター

セントリカッターは固定刃と回転刃に包丁のような刃を数百本目立てし、 $80\sim 100\text{m/s}$ の周速で高速回転させ粉碎を行うディスク型粉碎機である(図1)。このような粉碎機は昔から利用されているが、当社では世界で初めて回転刃と固定刃の両刃を冷却できるダブル冷却機構(特許申請中)を開発し(図2)、熱の影響を極力減らして粉碎することが可能になっ

*SEKINE Yasuyoshi : 日本コークス工業(株)化工機事業部
企画管理グループ マネージャー
〒135-6007 東京都江東区豊洲 3-3-3
TEL : 03-5560-2906 FAX : 03-5560-2913
E-mail : yasekine@n-coke.com

表1 粉碎刃の特徴

	内刃		外刃※
	標準ディスク(MS型)	特殊ディスク(USU型)	外周リング
刃の形状	放射状の粉碎刃	斜めに切った粉碎刃	放射状の粉碎刃
粉碎力	主に衝撃力	主に剪断力	主に衝撃力
発熱	大	小	大
生産性	大	小	粗粒粉碎用
粉碎品	数百 μm	MS型より細くなる	内刃のみより確実に細くなる
刃の数	並目, 細目の2種類	並目, 細目の2種類	並目, 細目, 極細目の3種類

※外刃は取り付けない場合もあります。

た。しかも、軸受構造と隙間調整機構を最適化することによって、粉碎刃の最小隙間は高速回転タイプのディスク型粉碎機では難しかった0.15mmまで調整することが可能である。また、粉碎刃は内刃と外刃で構成され、内刃は目立ての方向と刃の深さを変えた4種類、外刃も刃の深さを変えた3種類がある(表1)。この内刃と外刃を原料の大きさや固さ、目標粒子径から刃の種類を選定し組合せることによって、15 μm から1mm程度までの粉碎することができ、粒度分布や粒子形状も刃の種類、隙間、および回転速度によってコントロールすることができる画期的な粉碎機である。ダブル冷却機構で使用する冷却水には-10℃のブライン不凍液が利用できることから、熱を大量に発生する回転刃も冷却でき、冷却性能が非常に高く固定刃だけを冷却する粉碎機に比べ、冷却能力が2.5~3倍である。

当初はダブル冷却機構の冷却効果が樹脂粉碎で注目された。低融点樹脂(熱可塑性樹脂)を粉碎する場合、粉碎時に発生する熱によって樹脂が溶けてしまい、綿飴状に溶融した樹脂が粉碎刃やケーシング内部に蓄積したり、ヒゲと呼ばれる糸状の生成物が発生する。そのため、通常のディスク型粉碎機では

粉碎できなかつたり、粉碎できたとしても、少量しか粉碎することができないことが多かった。そのため、ダブル冷却機構を開発し、ポリエチレン樹脂(PE)やポリプロピレン樹脂(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り、樹脂粉碎で利用されるようになった。

このダブル冷却機構を食品粉碎に生かすことで、素材の風味劣化や油分の溶け出し防止に効果を発揮することができるようになった²⁻⁴⁾。

一般的な粉碎機で油分が多い食品を粉碎すると、粉碎時に発生する熱や微粒化による比表面積の増加により油分が滲み出し、粉碎刃やケーシングの内面に付着し堆積してしまう。セントリカッターは粉碎刃を冷やすことで、粉碎時の熱による油分の溶け出しが減るため粉碎刃への付着は少なくて済む。しかし、粉碎刃から吹き出た粉碎品が遠心力でケーシング内面に強く打ちつけられることで、油分が滲みでて強い固着が発生してしまう現象が見られた。この固着した粉碎品の粒度分布を測定すると、どのような素材でも数10 μm の微粒子が多く含まれていたため、付着しやすいことがわかった。この油分が多い粒子が固着するとケーシング内に15~30分程度で付着が成長し堆積するため、連続運転が不可能になる。そのためケーシング内部の粒子の流れを最適化して固着を防止することに成功した(特許2017-052818)(図3)。これにより風味が重要な香辛料や珈琲豆などの高含油食材を安定に連続して粉碎することが可能になった^{5,6)}。

粉碎システムは図4のようにフィーダ、サイクロ

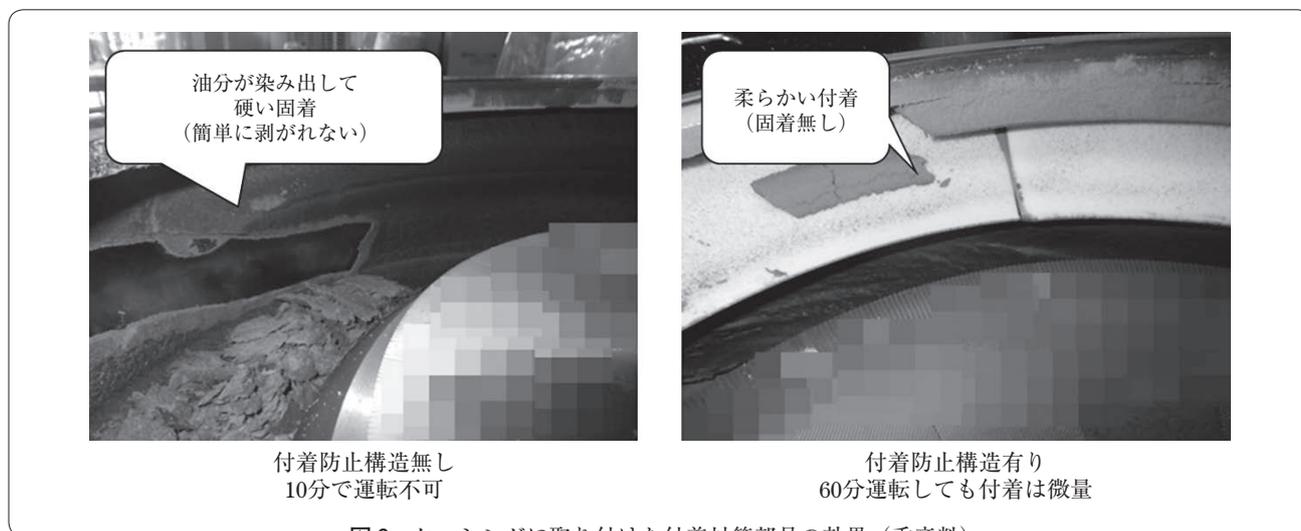


図3 ケーシングに取り付けた付着対策部品の効果(香辛料)

ン、バグフィルタ、プロアからなり、食品粉碎で良く利用されているピンミルや気流式粉碎機などと同様である。そのため、粉碎機のみ置き換えることで初期投資を抑えることが可能である。また、セントリカッターには排風能力があるため、粉碎粒子径が数100 μm であれば、粉碎品排出口にタンクだけ取り付けて回収する方法も可能である（図5）。

3. コンタミネーション対策

異物混入防止、クロスコンタミネーション防止、およびアレルギー対策は消費者が安全で安心して食を楽しむために必要である。その対策としてセントリカッターの軸封部はラビリンス構造、およびエアシール構造の非接触シールを採用し、グランドパッキンなどで発生しやすい軸部に残った材料と品種替え後の材料が混ざるクロスコンタミネーションや菌の発生を防止している。さらに、クロスコンタミネーションが発生しやすい軸封部の洗浄を徹底的にできるように、簡単に分解できるケーシング構造もオプションで準備している（図6）。その他、接粉部の付着を少なくするため、フッ素系のコーティングやマイクロディンプル処理などの表面処理を行うことが可能である。

4. 微粒化，風味維持，大量粉碎

食品粉碎には微粒化，風味維持，大量粉碎が今後、下記の理由からますます重要になってくる。

- ・微粒化を行うことで粉碎品を直接フレーバー材料として使うことができる。
- ・風味を維持することで賞味期限の延長や風味材料の使用量削減が行える。
- ・大量粉碎することによる生産コストや設置スペース削減が行える。

これらの課題についてセントリカッターを利用することで解決できたので紹介する。

5. 珈琲豆

5-1. 微粒子化

近年、珈琲豆の微粒子をお菓子用のフレーバーとして利用したり、レギュラーコーヒーの味と香りに近づけるため、珈琲豆の微粒子を若干インスタント珈琲に混ぜるソリュブルコーヒーなど、珈琲豆を微

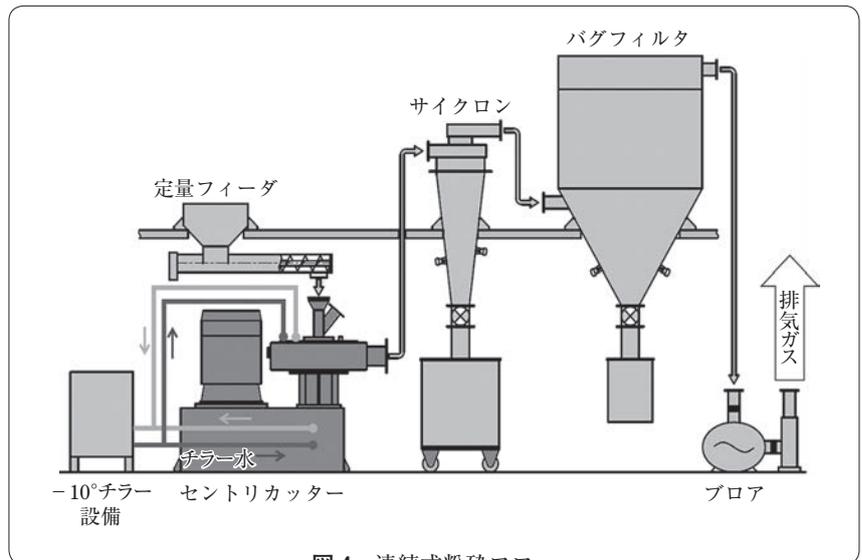


図4 連続式粉碎フロー

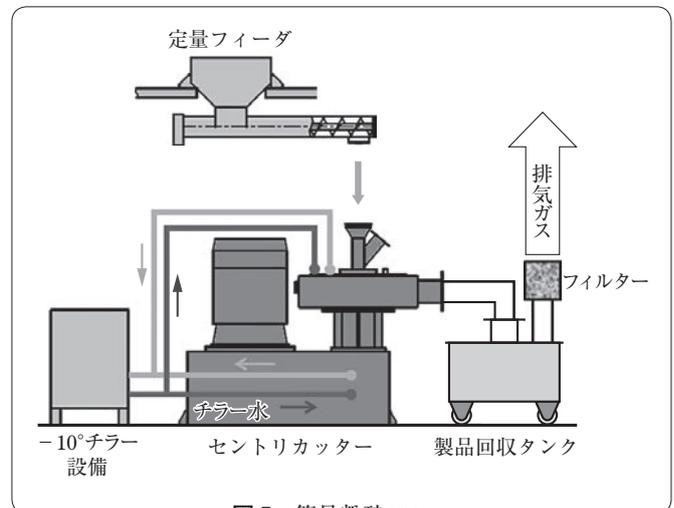


図5 簡易粉碎フロー

粒子にして利用することが増えてきている。使用される粒子径は口触りやザラツキをよくするため、抹茶程度の粒子径が求められており、8~15 μm 程度がターゲットになる。この粒子径までセントリカッターで珈琲豆の微粒化が可能か確認した。

珈琲豆は三本珈琲株式会社製のコロンビア産深煎り (L14.5) 焙煎豆を粉碎した。テストに使用した機

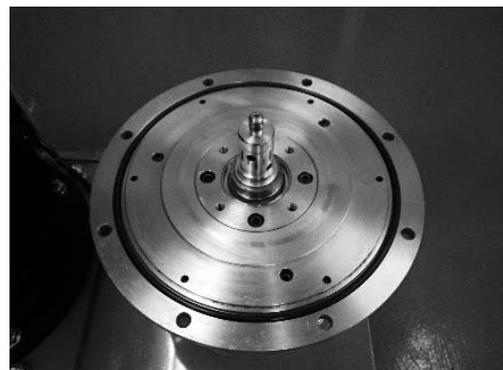


図6 ケーシングを外したセントリカッター

表2 フルフルリアルアルコールの測定結果

	ブラジルL値=20	ブラジルL値=16
ロールグラインダ	29325592	32409144
セントリカッター25kg/h	29739430	33450716
セントリカッター50kg/h	32018912	35408832

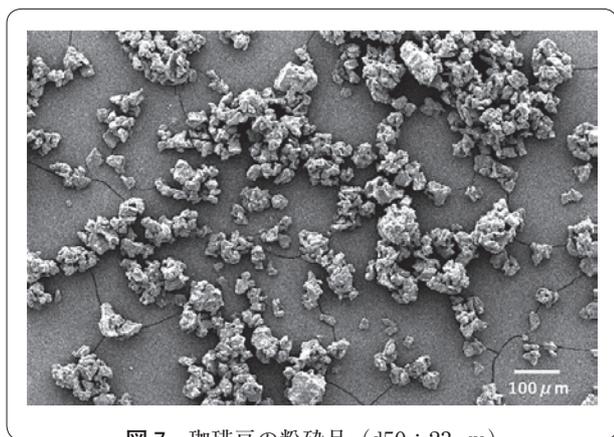


図7 珈琲豆の粉碎品 (d50: 23μm)

種はセントリカッターUCM150型 (UCM150型) で処理量は27kg/hrで運転した。粉碎刃は新しく開発した微粒化に特化した特殊な形状を取り付け、回転速度を10,000min⁻¹で運転したところ、平均粒子を23μmの微粒子に粉碎することができた。(図7) また、前述の付着対策を行うことによって、付着をかなり防ぐことが可能であった。珈琲豆の微粒化は付着が発生しやすく連続運転が難しいと聞いているが、セントリカッターを利用することで微粒化の連続運

転の可能性が見えてきた。

5-2. 大量粉碎

珈琲豆の大量粉碎にはロールグラインダーと呼ばれる、対向させた溝付きのロールを3~4段並べた粉碎機が使われている。このロールの溝本数やロール間の隙間を調整して、粉碎粒子径を決定する。また、処理量は2~4ton/hrが粉碎できる型式が多く使われていると聞いている。

UCM300型のセントリカッターを使用して、レギュラーコーヒーに使用されるサイズでの処理量を調査した。

珈琲豆は焙煎や産地が違うものが複数含まれるミックス品を使用し、処理量を300~2000kg/hrに変更して粉碎したところ、どの処理量でもレギュラーコーヒーのサイズに問題無く粉碎することができた。また、粒子径分布は図8のとおり、300kg/hrは690μmと若干小さく粉碎されたが500~2000kg/hrでは721~746μmで粉碎が可能であった。これは処理量を変えても粉碎品の再現性がよいことを示唆しており、1台で少ない量から大量の粉碎が可能で、生産量の変動があっても機種を変更しなくて対応が可能であることを意味している。また、テストではセントリカッターの粉碎能力に余裕はあったが、珈琲豆を供給するフィーダの能力が2000kg/hrまでが限界であった。そのためUCM300型でも2000kg/hr以上の粉碎が可能と思われる。

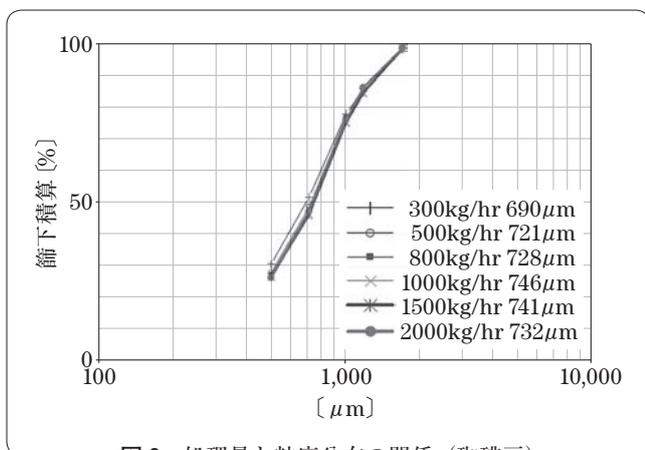


図8 処理量と粒度分布の関係 (珈琲豆)

5-3. ロールグラインダーとの比較

ロールグラインダーで粉碎した豆と比較して、インテリジェントセンサーテクノロジー社の味認識装置「TS-5000Z」で味の違いを、ヘッドスペース型-ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC/MS) で香気成分を確認した。粉碎する珈琲豆はブラジル産で焙煎をL値=20と16の2種類を平均粒子径を800μm前後に粉碎して比較した。粉碎し

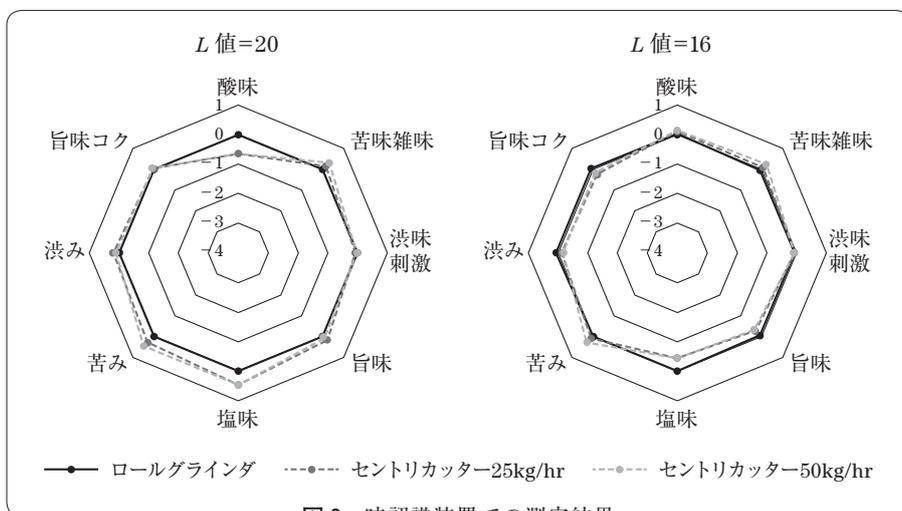


図9 味認識装置での測定結果

た豆を味覚認識装置で確認したところ、図9のようにロールグラインダーで粉碎したものと、同じ味が再現できていた（ロールグラインダーを基準として、1以上差が無ければ、同じ味とみることができる）。さらにGC/MSでコク感に作用する化合物の一つであるフルフリルアルコールを測定したところ、セントリカッターで粉碎したほうが、表2のように1割程度多く検出した。この結果からセントリカッターで粉碎した珈琲豆はロールグラインダーと同じ味でありながら、コク感に作用する香気成分が多く含まれることが分かった。セントリカッターの冷却が香気成分の維持を発揮できた結果と思われる。

6. 黒胡椒

黒胡椒は料理をするときに欠かせない香辛料の一つであり、牛肉や青魚、乳製品など、匂いの強い食材や、味の濃いものによく合い、さわやかで辛さが混じった刺激的な木のような香りと刺激的な辛みが料理のおいしさを引き立てる香辛料である。セントリカッターで粉碎することで、香気成分が多く保たれ、しかも劣化速度も抑えることができたので報告する。比較した粉碎機は香辛料の粉碎で良く使用されるピンミルで、結果を図10に示す。ピンミル粉碎品は包装保管することで14日経過後、若干の香気しか残存していない。一方、セントリカッター粉碎品は、包装保管することで14日後も比較的強い香気が残存している。今回の結果から、セントリカッターで粉碎した黒胡椒は香気成分を強く維持することが可能であることが分かったので、少ない量の添加でも料理に風味をつけられる可能性が見いだせた。

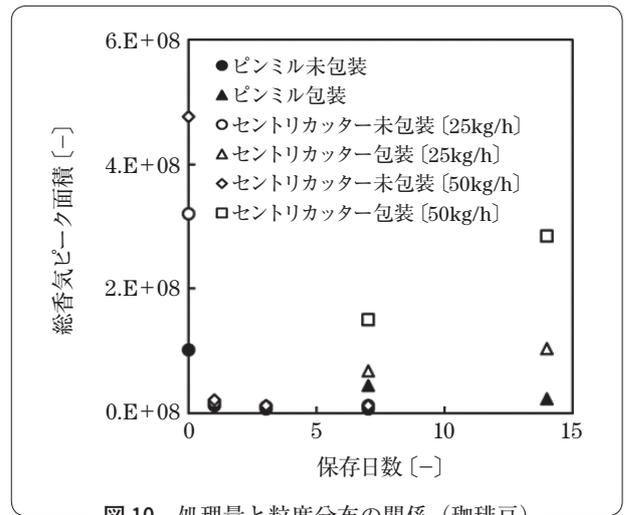


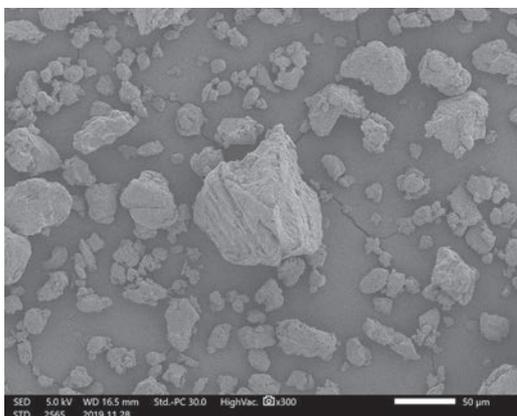
図10 処理量と粒度分布の関係（珈琲豆）

7. うるち米

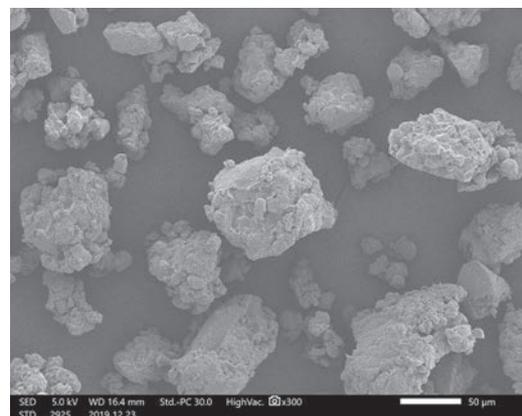
小麦粉などに含まれるグルテンによって、アレルギーが引き起こされる人の体質改善目的でグルテンフリー食材として米が注目されており、小麦粉の代わりにパンやパスタなどにも米粉を利用することが進められている。しかし、小麦粉に比べ、製粉コストが1~3倍となっており、米粉を普及させるには製粉コストを削減することが必要である。小麦粉に比べコストが高い理由として、米を脆くするため湿潤させてから粉碎する湿潤工程と、粉碎後16%以下に水分量を調整する乾燥工程が必要になることが考えられる。製粉コストを下げる方法として、湿潤

表3 米粉の澱粉損傷率

米粉試料	澱粉損傷率	d50 [μm]
セントリカッター乾燥米粉砕	14.9	97
セントリカッター湿潤米粉砕	5.8	62



乾燥米



湿潤米

図11 粉碎品のSEM写真（米粉）

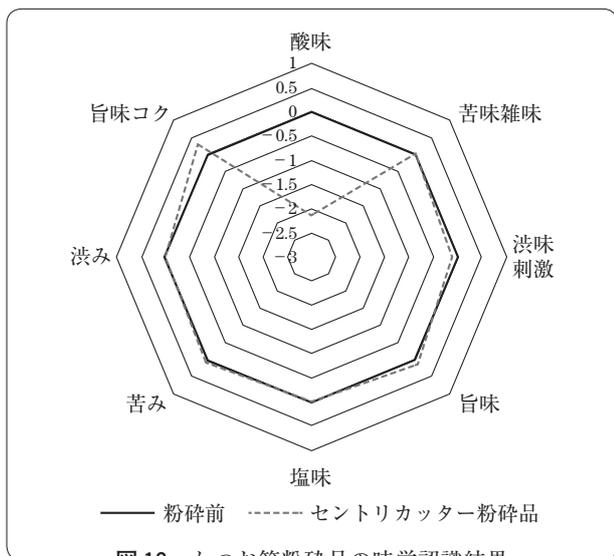


図 12 かつお節粉碎品の味覚認識結果

せずに粉碎する乾式粉碎の可能性を調査するため、セトリカッターで乾燥米と湿潤米を粉碎したときの澱粉損傷度と粒子径の比較調査を行った。

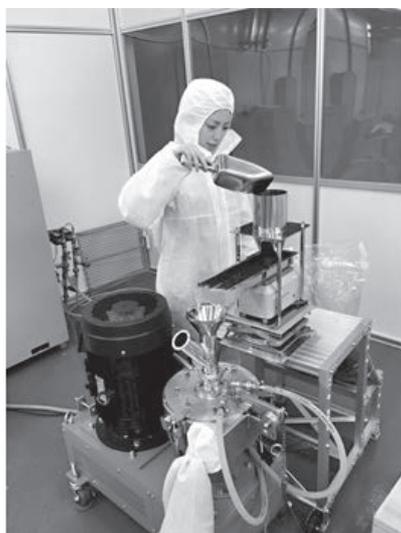
米は群馬県産あさひの夢を使用し、セトリカッターで粉碎したところ、表 3 のような結果となった。乾燥米は湿潤米に比べ、大きく澱粉損傷していることが分かった。また、粉碎品を SEM で確認したところ、乾燥米の表面は湿潤米に見られた表面のうろこ状の形状が少なかった (図 11)。現在、この湿潤

表 4 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



UCM300 型



UCM150 型

図 13 テスト設備

表 5 粉碎例

原料名	粉碎粒子径: d50 [μm]
香辛料	150
黒胡椒	160~620
白胡椒	165
唐辛子	338
ハーブ	40
珈琲豆	23~1,000
米	30~120
鰹節	60~200
ザラメ	50
干し椎茸	95
生大豆	195
パスタくず	215
碾茶	26
米ぬか	120~140

米と乾燥米を使って、製パン状態を確認しているが、セトリカッターで粉碎した乾燥米の米粉は高い澱粉損傷率であるが湿潤米に比べ膨らみが良い結果がでていいる。乾式粉碎であれば澱粉損傷率が高くて問題が無い可能性もあり、引き続き調査を進めていく。

8. かつお節

かつお節は出汁を取ったり、お浸しなどの風味付けとして削り節が使用されることが多いが、微粒化された粉も出汁の素の風味原料として含まれていたり、お湯に溶かす出汁や混ぜ込み調味料としても販売されている。セトリカッターで風味を維持してかつお節を粉碎できるか調査を行った。原料には

3mm 程度の粗粉碎品を使用し、処理量を 25kg/hr で運転した結果、平均粒子径を 85μm に粉碎することが可能であった。この粉碎したかつお節を味認識装置で測定した結果を 図 12 に示す。粉碎品は酸味が弱くなったが、それ以外の味は粉碎前から変化させずに粉碎することができた。このときの粉碎温度は原料温度 20℃ に対して 1℃ 上昇の 21℃ であり、

かつお節に熱を与えずに粉碎できたため、味があまり変わらなかったと思われる。現在、GC/MS で既存の生産機とセントリカッターの香気成分の経時変化を調査している。米粉の製パン結果と合わせて後日、報告したいと思う。

9. 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4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。当社ではUCM150型とUCM300型をテスト機として栃木工場に設置しており、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(図13)。また、クリーンルームにUCM150型を設置してテストすることも可能である。表5の粉碎例に今まで実施したテスト結果の一部を示す。このように油分が多い食品から風味が重要な食品と幅広く粉碎することが可能である。

10. 最後に

セントリカッターの主な特徴を3つ挙げると、

- (1) 回転刃と固定刃の両方を冷却するダブル冷却機構
- (2) 数百 μm ~数十 μm まで粉碎を可能にする多種多様な粉碎刃のラインナップ
- (3) 0.15mmの隙間を保ちながら、100m/sで高速回転できる安定性の高い軸受

であり、これらの特徴のおかげで、既存の粉碎機で見られなかった微粒子の粉碎で香気成分の劣化防止など新しい特徴が見えてきた。今後も改良・改善を

つづけ、米粉の乾式粉碎などの省エネルギーで地球環境にやさしい粉碎方法の提案や香気成分の劣化防止を生かした賞味期限の延長による年間数百万トンの食品ロスの削減を目指していきたいと考える。セントリカッターを利用した食品粉碎が地球環境問題や食料需給問題の解決に少しでも役立てればと思う。

【謝辞】

珈琲豆、鰹節、うるち米の提供および味認識装置の測定をして頂いた三本珈琲株式会社山口執行役員、植木検査ユニットチーフ、内田主任、マルトモ株式会社土井取締役、福本担当次長、群馬製粉株式会社大久保相談役、中澤製造部部長、戸塚品質管理課長、GC/MSでの香気測定を行って頂いた工学院大学山田教授に深謝する。

〈参考文献〉

- 1) 山田昌治, 粉粒体技術からみた小麦製粉, 食品と開発, Vol.52 (6), p4-6 (2017)
- 2) 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), p57-61 (2016)
- 3) 関根靖由, 低融点樹脂粉碎の現状と対策, 化学装置, 59 (5), p52-55 (2017)
- 4) 関根靖由, ダブル冷却構造を搭載した低融点樹脂用粉碎機の開発, プラスチックスエージ, Vol.64 (1), p68-72, (2018)
- 5) 関根靖由, ダブル冷却構造で素材の風味そのままに粉碎, 食品と開発, Vol.53 (6), p38-39 (2018)
- 6) 関根靖由, 低コストで素材の風味を維持して微粉碎, 食品機械装置, Vol.55 (10), p64-70

P&P Info.

ランクセス、ヴィーガンゴム用加工助剤でタイヤ製造のCO₂排出削減

ドイツの特殊化学品メーカーランクセス (LANXESS) はこのほどゴム用加工助剤「アクチプラスト®PP」製品群に新たに植物由来の原料を使用した新製品を追加したと発表した。同製品群はゴムコンパウンドに配合する加工助剤。タイヤやさまざまなテクニカルラバー製品の製造において使用されている。

発表された「アクチプラスト®PP-veg」は、従来製品とは異なり、植物油から製造されている。再生可能原料比率が約90%を占めているため、カーボンフットプリントは大幅に削減される。基礎原料はアブラヤシか

ら作られており、アブラヤシは農地1ヘクタール当たりの油の収穫量が非常に高いことから、ココヤシ、菜の花、ひまわりに比べ生態学的に持続可能性が高い。特性として、天然ゴムをベースにしたゴムコンパウンドに適している。また、変性ポリマーと併用する場合も、ゴムコンパウンドの粘度を低下し、射出・押出成型性の大幅向上が見込める。コンパウンドの組成によっては、「アクチプラスト®PP-veg」はスコッチ挙動を向上し、加硫を促進するだけでなく、金型を汚染することなく離型が容易となる。

「アクチプラスト®PP-veg」は、再生可能原料をベースにしており、特にアジアの顧客の要望に応じて開発された。また、欧州のグローバルタイヤメーカーも興味を示している。



「アクチプラスト®PP-veg」