

食品分野における粉碎、分級、熱処理技術

小澤 和三*

1. はじめに

当社グループは製粉業を中心に、食品、健康食品、ペットフード、エンジニアリング、バイオ、スクリーンなど幅広い事業を手がけている。私は比較的エンジニアリングの業務に携わることが多く、表題にある食品分野に関わることはあまり多くない。そのため執筆の話をいただいた際には、受けるかどうか大変悩んだが、これまでの経験と社内の情報収集によって少しでもお話できればと思い、引き受けさせていただいた。多少、食品とは関係のないデータもあるがお許し願いたい。

2. 食品分野における最近のニーズ

2-1. 食の安心、安全

近年、産地偽装などをはじめとした食に関する不祥事が相次いで起こっている。そのたびにマスコミ、ユーザーからは今まで以上に厳しい目で注目されるようになっている。当社グループでは「健康で豊かな生活作りに貢献する」ことを企業理念として、ユーザーに「安心」「安全」「健康」を常にお届けすることを追究し続けている。

食品の安心、安全を脅かす要因として、残留農薬、遺伝子組み換え、アレルゲンなど原材料に起因するものと、異物混入や菌の増殖など食品加工中に起因するものがあげられる。その中で、粉体を扱う技術者はとくに異物混入に留意しなければならない。プラントを設計する際、①ほこりや虫などが建物外部から建物内部に侵入、混入しないための対策と②建物内部から製造工程内に混入しない対策、各製造工程内での混入対策を考えなければならない。①の対策として、工場の無窓化や陽圧化、排水路の汚れ防止などがあり、②の対策では、工場隅々まで清掃しやすい構造や人・物の動線とゾーニング（清潔

区・準清潔区・汚染区）を考慮したレイアウトが重要である¹⁾。また機器開発では、装置内に粉が堆積しにくく洗浄しやすい構造であること、装置の部品点数をなるべく減らしたり、細かな部品を極力なくすることが重要である。できれば接粉部がすべて目視できる構造やねじ部分のない構造が望ましい。また摩耗によるコンタミネーションにも留意し、接粉部の表面処理にも気をつける必要がある。

2-2. 高機能性

少し前までは食品の高機能性といえば、口に入れた際のザラツキ感の解消、口溶け感など食感向上に向けた取り組みが主であったと思う。しかし近年では、特性成分の抽出や栄養分の吸収性向上、食品副産物の再利用など目的もさまざまになってきた。私は粉碎や分級の仕事に携わっており、次に示すような食品素材の微粉碎のニーズが強くなっていると考える。

2-2-1. 酵母

酵母には、特定のミネラルを豊富に持っている種類や免疫調整機能を強化するものがあり、当社グループからもパン酵母由来のβ-グルカンを健康補助食品として販売している。特徴的な栄養素は細胞壁に囲まれた細胞質にあることが多く、細胞壁を破壊して細胞質を出すことによって栄養素の吸収性を向上することができるといわれている。細胞の破壊方法として、ホモジナイザーやビーズミルなどの機械的衝撃破壊や酵母を含んだスラリーを超高圧下で狭い溝を通すことによって、細胞に剪断、衝撃、キャビテーションの作用を働かせて粉碎する加圧液体剪断破壊、衝撃波を利用したスポーリング破壊などが報告されている²⁾。しかし細胞内部を保護する働きのある細胞壁は、粉碎することが難しく、より効率よく微粉碎できる手法が望まれている。

2-2-2. 高油脂素材

大豆はタンパク質を豊富に持ち、血中コレステロールの低下、血圧上昇抑制、抗酸化作用、肥満防止などの効果がある。最近では、女性ホルモンに似た

* Kazumi KOZAWA：(株)日清製粉グループ本社技術本部生産技術研究所粉体研究室 (Tel. 049-264-6211)

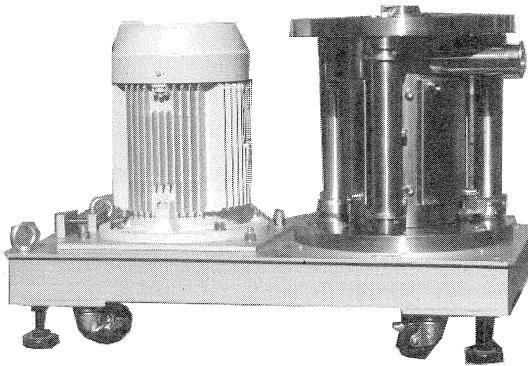


図1 ブレードミル外観

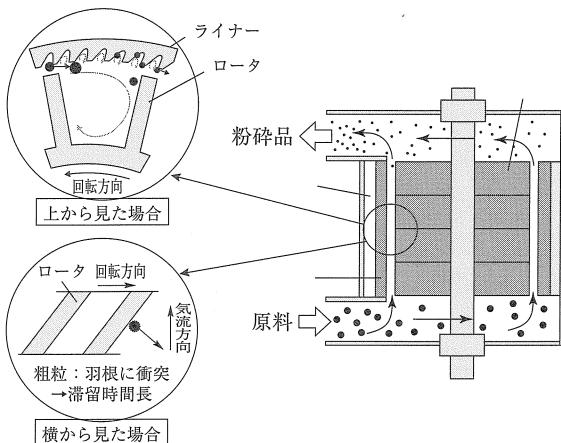


図2 ブレードミルの構造

働きをする大豆イソフラボンが注目されている。この栄養素の高い大豆を微粉碎する要望は高い。しかし大豆にはタンパク質に次いで脂質を多く含んでおり、粒子表面に現れた脂質が微粉碎機の羽根やケーシングに固く付着して、運転することができなくなるケースが多い。安定的に微粉碎処理できる装置が望まれている。

2-2-3. 食品副産物素材

食品加工中には、皮や種子、殻など大量の副産物が発生する。皮部などに多く含まれる食物繊維は、便秘防止やコレステロールの低下などに有効ではあるが、そのまま食したり利用したりすることが困難であるため、大部分が産業廃棄物として処分されている。しかし地球環境の観点からも、食品副産物の有効利用が望まれている。当社では、小麦の皮部であるふすまの用途開発のテーマに長年取り組んでいる。近年では、後述する微粉碎機「ブレードミル」など繊維質の粉碎に有効な装置や技術を開発した

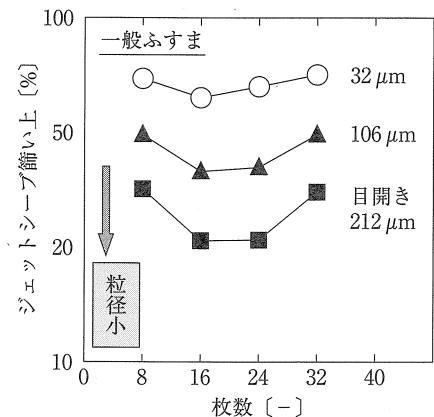


図3 ブレード枚数と粉碎粒度の関係

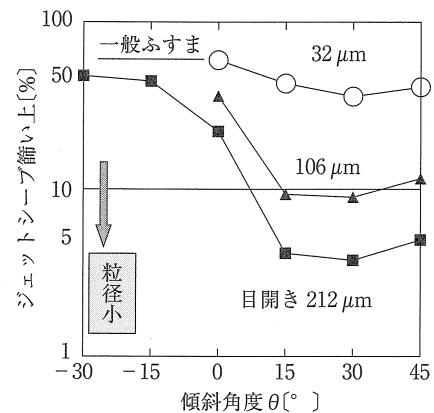


図4 ブレードの傾斜角度と粉碎粒度の関係

り³⁾、小麦を丸ごと挽碎する微粒子化技術を開発し従来にない微小な全粒粉を販売している。

3. 技術開発

ここでは当社グループが開発、販売している装置における食品分野での実績・応用可能な装置についていくつか紹介したい。

3-1 粉碎

3-1-1. ブレードミル

ブレードミルは高速回転式衝撃粉碎機である。装置外観を図1、構造を図2に示す。ブレードミルは、プロワで吸引された空気流によって被粉碎物を機内の隙間に吸い込み、高速で回転する鋭利な刃「ブレード」を有するロータと固定ライナーによって粉碎する。数値シミュレーションを利用して最適化した独自形状のブレードと固定ライナー間に発生する空気の渦で粉碎物同士を衝突させ、さらに細かくする。

ブレードミルの特徴を、小麦ふすまを原料にした

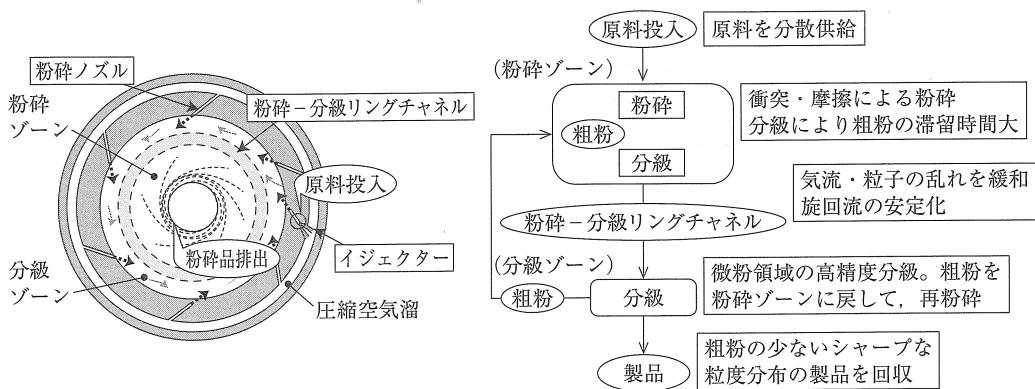


図5 スーパージェットミルの構造とメカニズム

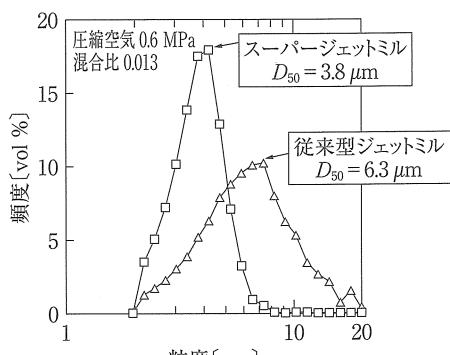


図6 シルク粉碎物の粒子径分布

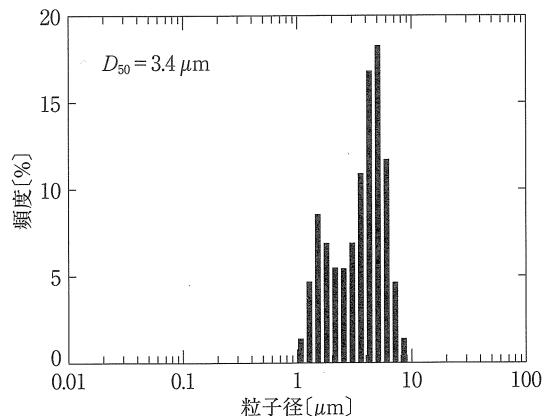


図7 脱脂小麦ふすまの粒子径分布

粉碎試験結果で示す。図3はブレードミルのロータ(直径 $\phi 150 \text{ mm}$, 高さ 40 mm)に設けているブレードの枚数と粉碎物の粒度の関係を示す。粉碎物の粒度はジェットシーブで測定し、縦軸に各目開きの篩い上の割合で評価した。ブレード枚数によって粉碎粒度は変化し、微粉化に最適な枚数があることを示している。また図4はブレードの傾斜角度と粉碎粒度の関係を示す。ブレードの傾斜の向きは、気流の流れに対して平行の場合をゼロ、粒子を原料入口側に押し戻す方向に傾けた場合をプラス、装置出口側にブレードを傾けた場合をマイナスで表している。ブレードをプラスの方向に傾けることで、粉碎物の大粒子の割合を大幅に減少させることができ、ブレード 30° 傾斜の場合がもっとも微粉碎していることが分かる。

3-1-2. スーパージェットミル

装置内での粉の付着・堆積を減らし、粒子の大きさの揃った粉碎物を得ることができるよう開発した装置がスーパージェットミルである。図5にスーパージェットミルの構造と粉碎メカニズムを示す。

装置の外周部分に複数の粉碎ノズルを配置し、この粉碎ノズルから噴射された高圧の空気による衝撃力、剪断力で粒子を粉碎する(図5中の粉碎ゾーン)。また粉碎ゾーンの内側には、旋回流によって粒子に遠心力を働く大粒子を外側に戻す分級ゾーンがあり、粉碎-分級リングチャネルによって粉碎ゾーンと分級ゾーンの2つの領域に分けている。この構造によって粉の付着・堆積を減らすとともに粉碎ゾーンの粉碎効率と分級ゾーンの分級精度を向上させている⁴⁾。

粉碎例としてシルクと小麦ふすまの微粉碎結果を紹介する。近年、シルクは生体適合性や機能性が見出され、織物として衣類に利用するだけでなく、食品、化粧品、医療品などに応用されるようになった。これらの製品はシルクをアルカリ処理などで絹糸の強度を低下させた後、粉碎機によって物理的に粉状にしている。図6にアルカリ処理したシルクを粉碎した粉碎物の粒度分布を示すが、従来のジェットミルに比べ、微小でかつ最大粒子径 8 μm とシャープ

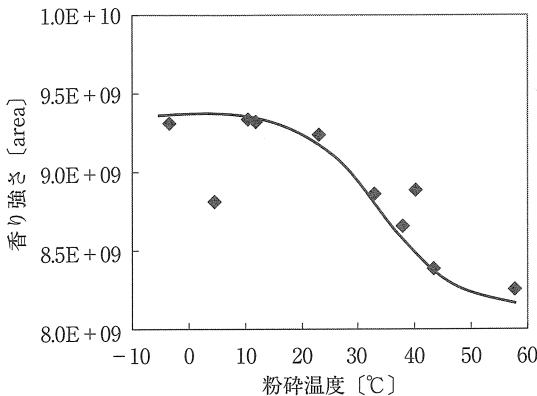


図8 粉碎温度と緑茶葉の香り強さの関係

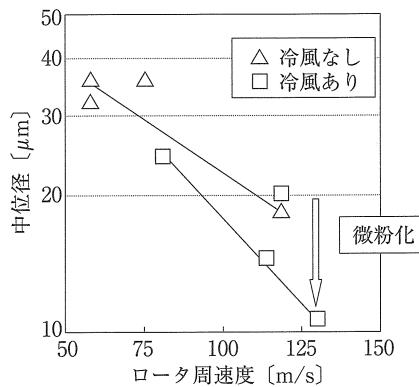


図9 ブドウ種皮の粉碎（冷風有無）

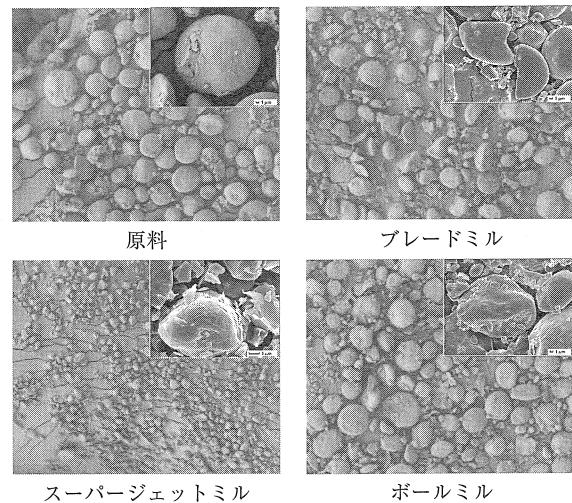


図10 各粉碎機で処理した小麦デンプンのSEM観察

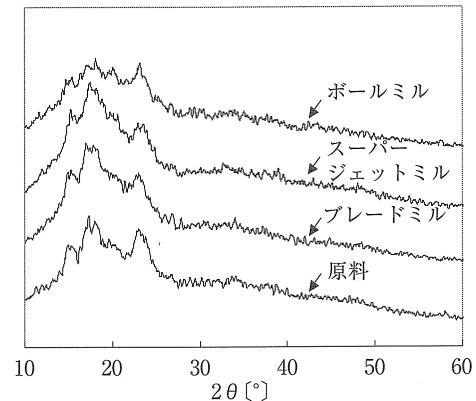


図11 小麦デンプンのXRDデータ

な粒度分布の粉碎物を得ることができる。また食品として使用するために脱脂加工した小麦ふすまをシングルミクロンまで微粉碎することができる（図7），今後さまざまな食品に応用できることを期待している。

3-1-3. 粉碎による粉体の物性変化

食品素材を粉碎する場合，粉碎処理の条件によって加工製品の物性が変化することがある。図8に緑茶葉をブレードミルで粉碎したときの粉碎雰囲気温度と香り強さの関係を示す。横軸に粉碎時の機内温度，縦軸に茶葉粉碎物の香りの強さを表す。粉碎時の機内温度は装置に供給する空気温度を変えて調節し，香りの強さはGC-MSクロマトグラムで香り成分を分析し，その成分のピーク面積から算出している。データにバラツキはあるものの，香りの強さは粉碎温度によって大きく影響され，粉碎温度を小さくするほど香りが強くなっていることが分かる。また冷風の効果は高油脂素材の粉碎時にも有効な場合

がある。ブドウの種皮をブレードミルで粉碎するときに冷風の有無で比較した結果，冷風を用いて低温下で粉碎した方が機内の付着が少なく安定的に運転ができる，図9に示すように，常温よりさらに微粉碎することができる。

次に小麦デンプンを異なる粉碎機で粉碎し，各装置で得られた粉碎物の物性を比較した結果を紹介する⁵⁾。ブレードミル，スーパージェットミル，ボールミルで粉碎したときのSEM観察を図10に示す。粒子の形状と表面状態は粉碎機によって異なり，ブレードミルでは角張った形状の粒子が見られるようになり，スーパージェットミルでは粒子表面の平滑さはなくなり，ボールミルでは大きさは変わらないものの大粒子の形は変形し，その表面上には小粒子が付着していることが分かる。原料とそれぞれの粉

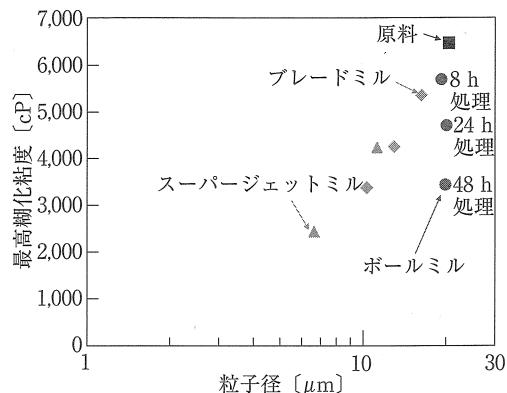


図 12 小麦デンプンの粉碎粒子径と最高糊化粘度の関係

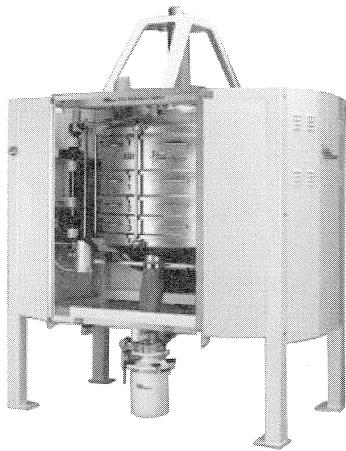


図 13 インライン・トゥルーバランス・シフター

碎機による粉碎物の X 線回折 (XRD) パターンを図 11 に示す。ブレードミルおよびスーパージェットミルで処理した粉の結晶状態は原料と比べあまり変化していないのに対し、ボールミル処理粉の XRD パターンはブロードになっており、非晶質化が進んでいる。

次に粉碎物の糊化特性の結果を示す。デンプンの懸濁液を昇温、冷却しながら攪拌し、攪拌羽根のトルクから粘度を測定することで、デンプンの加工・調理特性を調べることができる。図 12 に粉碎粒子径と最高糊化粘度を示すが、ブレードミルとスーパージェットミルについては粒子径が小さくなるにつれて最高糊化粘度が低下し、ボールミルは処理時間が大きいほど粘度が低下する。このように粉碎機によって粒子径だけではなく、粒子形状や結晶性、糊化特性が変化する場合があり、目的に応じた処理や装置を選択する必要がある。

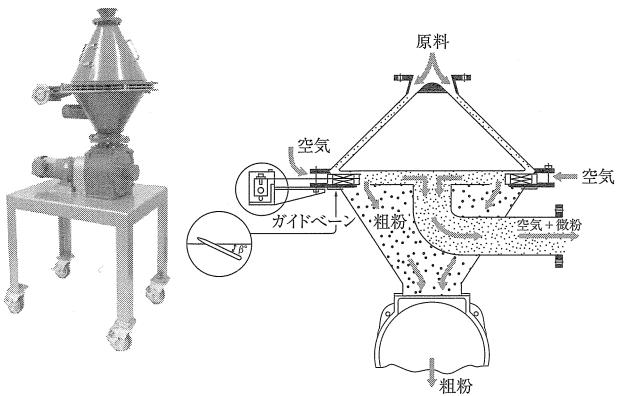


図 14 エディクラシファイア

3-2. 空気分級・篩い

3-2-1. インライン・トゥルーバランス・シフター

本装置は、吸引または圧送式空気輸送ラインに直接配置することで製品に混入したオーバーサイズの不純物を除去し、製品の品質保証を確かなものにするための装置である（図 13）。インライン・トゥルーバランス・シフターはローリー車からの受入ラインや空気輸送ライン中に配置することによって、標準的な重力式の篩い装置を使用した場合に必要となるサイクロン、エアロック、受入ホッパや追加の送風機を省くことができる。また機械式搔き取り装置や羽根などによって粉体を強制的にスクリーンを通過させるのではなく、緩やかな旋動によって篩い処理しているため、異物の破損による製品側への混入がないことも本装置の特徴である。最大 35 t/hr の処理が可能である。

3-2-2. エディクラシファイア

エディクラシファイアは鉱物や化成品、樹脂など比較的粗い粒体の分級を目的に開発された小型分級機である（図 14）。この装置は、従来の遠心分級機では精度を保ちにくい粗い分級点（100 μm 付近）で優れた精度を発揮する。また篩いでは処理が難しい付着性粉体もエディクラシファイアでは分級が可能である。図 15 にガラスピーブーズの分級結果を示すが、高精度に分級点を制御できていることが分かる⁶⁾。この分級領域を篩いで達成しようとするとスクリーンの目詰まりを起こしたり、処理能力が極端に低下したりすることが多い。本装置の構造はシンプルであり洗浄もしやすいため、今後も食品分野への応用を図っていきたい。

3-2-3. エアロファインクラシファイア

エアロファインクラシファイアは、昨年の粉体工

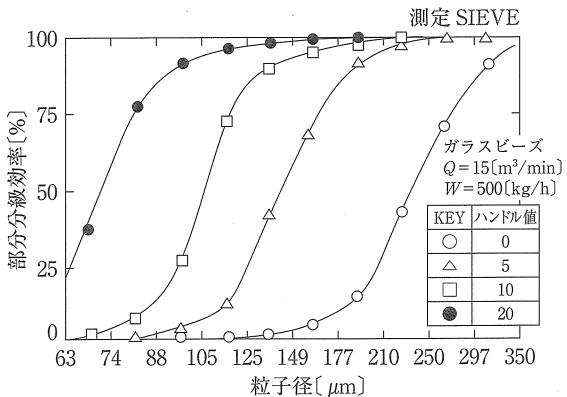


図 15 ガラスビーズの部分分級効率曲線

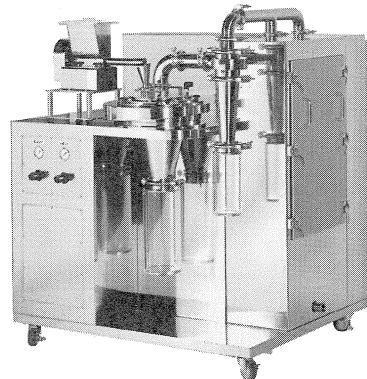


図 16 エアロファインクラシファイア

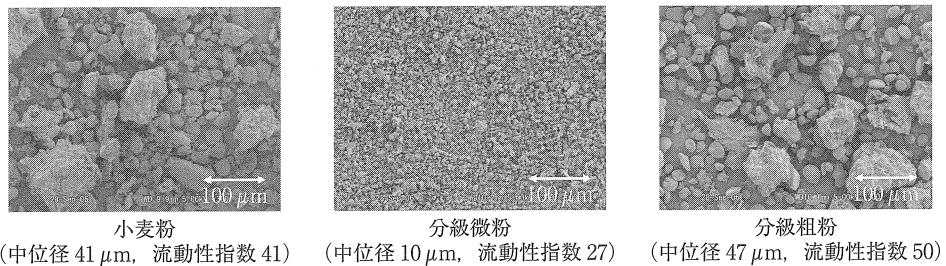


図 17 小麦粉の SEM 観察

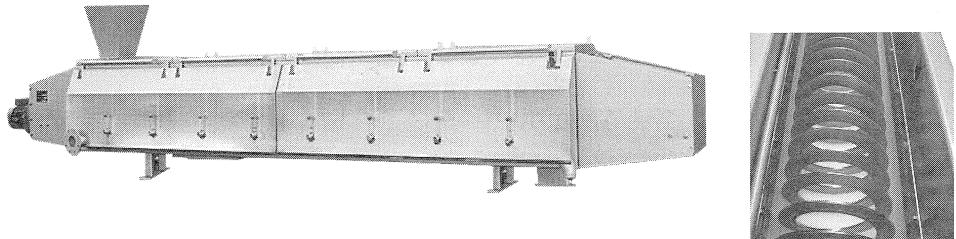


図 18 スpiral classifier

業展で出品した新しい遠心分級機である。これまで当社のターボクラシファイアが比較的不得意だった低密度粒子のシングルミクロン領域において高精度に分級できる装置である。装置の写真を図 16 に示す。装置内部には高速で回転するロータがなく、装置外周部に設けたガイドペーンと複数のノズルから噴射する高速空気によって旋回流を発生させている。その旋回流場に粒子を投入することで、粒子に遠心力を働かせて分級する装置である⁷⁾。図 17 に小麦粉の原料、分級微粉、粗粉の電子顕微鏡写真を示す。分級によって粒度や粉体の流動性を変化するだけではなく、小麦粉中に含まれる特定成分を区別したりすることができる。このエアロファインクラシファ

イアは回転駆動部がないので装置内での発熱がなく、また高速で回転する羽根と粒子が衝突するがないので粒子に与えるダメージも少ないなどのメリットがある。食品分野において、シングルミクロンの微小領域での分級ニーズはまだまだ少ないが、機能性食品への活用が期待できると考える。

3-3. 热処理

食品の熱処理加工の目的として、焙煎、昇温、乾燥、殺菌、酵素失活などがある。市場にはさまざまな熱処理装置があり、目的や対象粉体にあった装置選定が必要となる。ここでは日清エンジニアリング製のスパイラルジャーナルとハイブリッドキルンについて紹介する。

表1 スパイラルジュールを用いた熱処理例

目的	目的	処理前	処理後
ごま	焙煎	水分 4.8%	水分 0.7%
木粉	乾燥	水分 4.3%	水分 0.4%
ブラックペッパー	殺菌	菌数 3.5×10^7 CFU/g	菌数 1.0×10^3 CFU/g
おから	殺菌	菌数 1.7×10^4 CFU/g	菌数 7.0×10^2 CFU/g
小麦粉	殺菌	菌数 9.0×10^3 CFU/g	菌数 $<1.0 \times 10^2$ CFU/g

3-3-1. スパイラルジュール（図18）

スパイラルジュールは、ステンレス鋼を流れる電流により発生するジュール熱を熱源とする粉粒体連続熱処理装置である。製品温度を最高180°C、処理時間20分～1時間と比較的長い時間かけて熱処理することができる⁸⁾。表1にスパイラルジュールの実施例を示しておく。

3-3-2. ハイブリッドキルン（図19）

過熱水蒸気(SHS)と高周波誘導(IH)の2つの加熱方式を採用することによって、精度の高い温度制御と素材の種類や目的に応じてヒートパターンを多様に変化できることを特徴とした装置である⁹⁾。本装置の加熱温度は最高500°C、処理時間5～30分とスパイラルジュールに比べ高温・短時間処理の装置となっている。実績例では、そば、ごま、米の殺菌、コーヒー豆やごま、アーモンドナッツ、茶葉の焙煎などの実績がある。製品の焼き色・熱浸透度が均一なことのほか、吸湿反応によってふっくらと膨化できることも本装置の特徴となっている。

4. おわりに

今回、食品分野での利用が期待できる粉碎、分級、熱処理を中心に紹介した。しかしこれらはほんの一

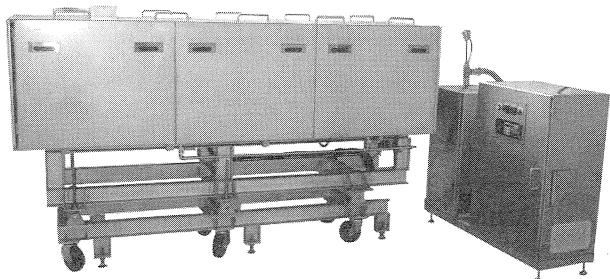


図19 ハイブリッドキルン

例であり、そのほかにコーティング、造粒、添加、混合、排出、包装、輸送や粉塵爆発の防止対策などさまざまな技術がある。私自身まだまだ知らないことが多く、これからもさまざまな粉にまみれながら粉体技術・知識を習得できるよう励んでいきたい。

引用文献

- 江間秋彦：“粉粒体処理における異物混入防止方法”，粉体と工業，40，7，p.41-51（2008）
- 松本幹治：“微生物細胞の破壊および破碎”，粉体工学会誌，25，5，p.303-309（1988）
- 秋山聰、飯田英男：“難粉碎原料（繊維質・弾性質）用微粉碎機ブレードミルの紹介”，粉体と工業，34，2，p.60-63（2002）
- 小澤和三：“ジェットミルにおける微粉碎—粒子径制御と粉碎効率向上に向けた取り組みー”，粉体と工業，40，9，p.60-66（2008）
- 小澤和三、吉田結城、秋山聰：“異なる粉碎機構で粉碎したデンプンの特性”，粉体工学会春期研究発表会講演論文集，p.139-140（2008）
- 土井眞、安口正之：“粗粉分級機エディクラシファイアー”，粉体と工業，19，11，p.51-57（1987）
- 小澤和三、安藤康輔、吉田結城、秋山聰：“旋回気流式分級機の高性能化”，粉体工学会秋期研究発表会講演論文集，p.57-58（2008）
- 濱田美明、大友栄一、本多肇：“ジュール熱を利用した粉粒体のスクリュー式加熱処理装置スパイラルジュールの紹介”，日本食品工学会第3回年次大会要旨集，p.150（2002）
- 片倉正行：“加熱水蒸気と高周波誘導加熱を利用した食品加工における熱処理技術”，化学装置，50，6，p.74-79（2008）