

# 特集

## [殺菌技術]

# 粉体殺菌における 超高温過熱水蒸気の優位性 ～品質保持と殺菌強度の 両立を目指したプロセスの確立～

電気興業株式会社 ソリューション事業推進室 環境ソリューション部

## 1 はじめに

粉末原料・粉末素材の殺菌は、食品の安全性確保と品質維持の両立が難しい工程である。粉体は表面積が大きく、付着・凝集・飛散といった挙動も起こりやすい。さらに、粉体中には芽胞形成菌や耐乾性微生物が残存しやすく、十分な殺菌を狙うほど風味や色調を損ないやすいというジレンマがある。現場では、放射線殺菌が確実とされる一方で日本では認められていないという制約もあり、代替手段の選択肢は広く見えて実務上は狭いのが実情である。

## 2 粉体殺菌の現状と課題

粉体に存在する代表的な微生物として、土壌由来の芽胞菌（Bacillus 属）や、ブドウ球菌・酵母・カビなどの耐乾性微生物が挙げられる。芽胞菌は熱抵抗性が高く、乾熱条件では長時間の高温保持や加圧加熱が必要とされる。

一方、従来の粉体殺菌手法にはそれぞれ弱点がある。高温乾熱処理は焦げや香気変化を招きやすく、湿熱処理は熱変性や再乾燥の負荷が避けにくい。紫外線は照射の死角が残り、放射線は国内規制の壁がある。結果として、香辛料など一部用

途で実用化が進んでいるものの、小ロットや限定条件に留まり、「品質を損なわずに汎用的に適用できる」方法が十分に確立されていない。

## 3 過熱水蒸気とは何か

過熱水蒸気とは、常圧で100℃を超える高温水蒸気である。特徴は、加熱初期に蒸気が凝縮して湿熱として熱を与え、その後、表面乾燥が進むと乾き蒸気として乾熱的に作用する「二段階加熱」を形成しやすい点にある。この二段階加熱は、成分保持や色調・食感の維持に寄与しつつ、瞬間的な殺菌効果を得やすいという利点をもたらす。近年は蒸気循環型の連続機が普及し、惣菜工場などで導入が加速している。

## 4 一般的な過熱水蒸気と「超高温」の違い

一般的な過熱水蒸気装置は、100～400℃程度の温度帯で、処理時間は数分～数十分が中心である。粉体に適用すると、吹き飛びや固着、退色、脱臭などの品質変化が課題として顕在化しやすい。これに対し、当社のD-Rapid®はボイラーから受ける蒸気を高周波誘導加熱により100～600℃の超高温域に一気に上げることで、処理時間を数秒オーダーまで短縮する設計思想

を採る。短時間で必要熱量を与えることで、熱履歴を最小化しつつ初発菌数を低減させるアプローチである。

## 5 電気興業と D-Rapid® の技術的背景

電気興業株式会社は、通信インフラ向けのアンテナ・鉄塔等の設計・製造・建設に加え、高周波誘導加熱技術を核とした装置開発を行ってきた企業である。

D-Rapid® は、この高周波誘導加熱を蒸気加熱へ転用し、ボイラー蒸気を短時間で急速昇温させて超高温過熱水蒸気を生成する装置である。誘導加熱の特性を活かし、温度は0.1℃単位で制御可能であり、処理条件の再現性と最適化の自由度を高める。さらに、立ち上げ時の昇温が速いため、暖機運転時間を短縮しやすいのも1つの特徴である。高周波誘導加熱のリーディングカンパニーとして培った急速昇温技術を最大限に活用し、無駄な昇温時間を省くことで、運用面の効率化にも寄与するのである。

## 6 粉体殺菌に特化した Rapid SPIRAL (サイクロン式) の要点

粉体殺菌用途では、D-Rapid® シリーズのうち Rapid SPIRAL (サイクロン式) を中核とする。粉体を超高温過熱水蒸気中で反応させた後、粉体と蒸気を分離回収する技術により、加工後の回収率90%以上を確立している(特許第7063948号)。粉体が「気まぐれに舞う」現象を、サイクロンの流体設計と分離回収で抑え込み、連続処理と品質再現性の両立を狙う構成である。

また、蒸気雰囲気は低酸素になりやすく、酸化や褐変を抑制しやすい。蒸気温度・蒸気量の制御により、乾燥寄り・殺菌寄りといった目的に応じたプロファイルを設計できることも特徴である。

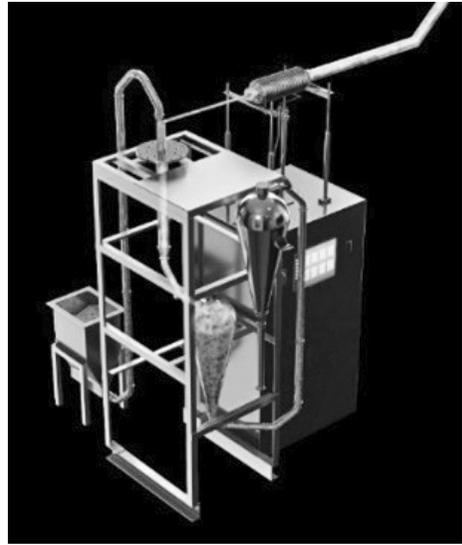
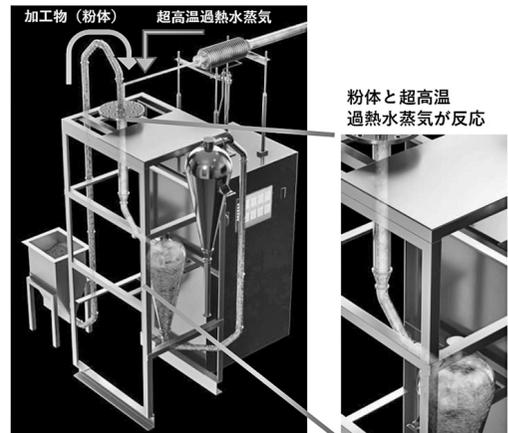


図1 サイクロン式の過熱蒸気反応装置 (Rapid SPIRAL) 特許第7063948号

## 7 評価例：ハウレン草粉末・小麦粉末

D-Rapid SPIRAL (サイクロン式)



特徴1：特許技術(特許：7063948号)

加工物(粉体)と過熱水蒸気との分離回収技術により、加工後の回収率90%以上を確立。

図2

### ●ハウレン草粉末

この技術による殺菌効果について、酪農学園大学と共同研究を行い、Rapid SPIRALを用いた粉体殺菌の有効性を評価している。

ホウレン草粉末では、400℃・38kg/h条件で、一般生菌数が $1.2 \times 10^5$  cfu/g から  $2.3 \times 10^1$  cfu/g へ大きく低減した。色調（ハンター比色法のLab値）も大きな変化は見られない結果であった。

香氣についてもGC-MSによる分析により、青臭さや甘い香りの一部が減少する一方で、焦げ臭の生成は認められない傾向が

示されている。短時間処理で熱劣化を抑えられることを示唆する結果である。

●小麦粉末

小麦粉末では、600℃・40kg/h条件で、一般生菌数が未検出まで低減した事例を得ている。色調も処理前後で大きくは変わらず、粉体殺菌における「殺菌強度と品質保持の両立」に一定の見通しを与える結果である。

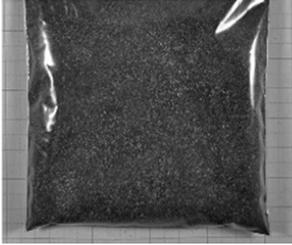
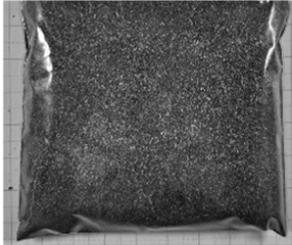
ホウレン草粉末		
	処理前	処理後
外観		
一般生菌数	$1.2 \times 10^5$ (cfu/g)	$2.3 \times 10^1$ (cfu/g)
色調	処理前後でわずかに緑色と黄色、明度が減少したものの、変化は微少で、焦げによる退色は見られなかった。	
香り	GC-MSによる分析の結果、焦げ臭の生成は見られず、人間の嗅覚でも香りの変化を感じなかった。	

図3

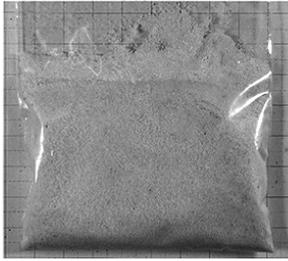
小麦粉末A		
	処理前	処理後
外観		
一般生菌数	$2.3 \times 10^5$ ~ $1.4 \times 10^1$ (cfu/g)	$3.0 \times 10^1$ ~ 0 (cfu/g)
色調	処理前後でほぼ変化は無く、焦げによる退色は見られなかった。	
香り	GC-MSによる分析の結果、焦げ臭の生成は見られず、人間の嗅覚でも香りの変化を感じなかった。	

図4

8

## 粉体殺菌における 「可能性」と適用領域

本技術の狙いは、粉末原料・素材段階で初発菌数を低減し、添加物に依存しない日持ち向上やフードロス低減、新規素材の活用範囲拡大に貢献する点にある。食品産業では「添加物ではできるだけ使いたくない」「賞味期限を延ばしたい」「菌数が多くて新素材を使えない」といったニーズが存在し、原料段階での菌数低減は有効な打ち手となり得る。

適用領域としては、野菜・穀物由来パウダー、小麦粉などの基礎粉体、米ぬか等の副産物粉体、飼料・肥料原料、さらには魚粉のような高臭気・高リスク原料が想定される。実際に魚粉では菌数が1桁程度低減した試験例もあり、粉体特性に応じた条件設計が鍵となる。

さらに、本装置は乾燥・殺菌の両面で応用が可能であり、再利用が可能な水分率に調整することで、廃棄物を有価物として有効活用することも視野に入る。例えば、植物性の食品残渣などは家畜の飼料にアップサイクルし得る。また、水分を含んだ汚泥や草木繊維などの産業廃棄物についても、乾燥処理後に樹脂と混合することで、別用途の材料・製品として再資源化する可能性がある。

9

## 実装に向けた論点と今後

超高温過熱水蒸気は万能の魔法ではない。粉体の粒度分布、含水率、油脂含量、熱感受性、付着性、初発菌数と目標菌数などにより、最適条件は変動する。したがって、対象粉体ごとに蒸気温度・蒸気量・滞留時間・供給量をパラメータとして、品質（色・香り・機能成分）と微生物低減の両面から設計検証する必要がある。粉体の特性によって処理条件の検討が必要であるという点は、現場導入時に最も重要な注意点である。当社は、酪農学園大学との共同研究を基盤として、殺菌可能な粉末の種類拡大に向けた研究開発を継続する方針である。粉末食品の安全確保とフードロス対策の双方に寄与する技術として、実証と適用領域の拡張を進める。

10 おわりに

粉体殺菌は、食品加工の中でも「品質を守りながら安全を上げる」ことが最も難しい領域の1つである。超高温過熱水蒸気とサイクロン式反応・回収を組み合わせたD-Rapid<sup>®</sup>ならびにRapid SPIRALは、短時間処理・低酸素雰囲気・高回収率という設計要素により、この難題に対する現実的な解を提示する技術である。今後、粉体ごとの最適条件の蓄積とスケールアップ検証を重ねることで、粉末素材の新しい標準工程としての定着が期待されている。