

## 乾燥システムへの蒸気有効利用 Steam Utilization to Drying Process

小西 孝信  
Takanobu KONISHI

ホソカワミクロン（株）粉体システム事業本部 東京技術部  
Tokyo Engineering Group, Powder Processing System Division, Hosokawa Micron Corporation

### 1. はじめに

ホソカワミクロンは、各種直接乾燥機や間接機乾燥機をラインナップしている。

水蒸気は、比重が軽く（空気の0.62倍）、熱容量が大きく（空気の1.19倍）、熱伝導も高く材料の温度が調整しやすい特徴を持ち、エネルギー削減や工程簡略化に有効である。ここでは、水蒸気や過熱水蒸気を活かした乾燥プロセスや有効性について紹介する。

### 2. 直接加熱気流乾燥機への応用

#### 2-1 ドライマイスタ

ホソカワミクロンではドライマイスタを利用した過熱蒸気循環回路を、提案している。ドライマイスタは、図1に示すように粉碎・分級機を内蔵した高性能直接加熱気流乾燥機であり、微粉乾燥製品を効率よく瞬時に得ることができる機械である。供給された原料は粉碎部において粉碎・分散されるのと同時に熱風に直接触れ、瞬時に熱交換し乾燥が行われる。上部の分級部にてその回転速度で決定される粒径以下となる。乾燥された粒子は、気流とともに捕集機にて回収され製品となる。一方、粗い粒子、乾燥が充分ではない製品は再度粉碎部へ戻されて粉碎・乾燥が繰り返される。その結果、最大粒径が抑えられた粒径の揃った製品が得られる。乾燥・粉碎・分級が一体となったシステムを構築できるので、操作が簡単でスペースも削減できる。

このたび、粉碎の回転速度高速化により、瞬時乾燥

が促進され、附着が軽減できる DMR-H 型が新製品として開発された。熱風入口温度は600℃仕様の熱効率を向上させた省エネルギー乾燥機である。

#### 2-2 過熱蒸気ガス循環回路

図2にフローの一例を示した。原料中の発生蒸気を間接加熱の炉を利用し、過熱水蒸気として循環させるシステムであり、下記のような特質がある。

##### (a) ランニングコストの低減（エネルギー削減）

直接加熱気流乾燥は、排気ガスに伴って大きな熱損失となるが、過熱蒸気によるガス循環回路を構築すると、排気ガスを桁違いに軽減でき、間接加熱型乾燥機よりも少ない排気ガス量となり、廃熱が少ないシステムを構築できる。図3に示したように、特に出入口の熱風温度差が小さい場合の乾燥操作時にエネルギーの低減効果が大きい。

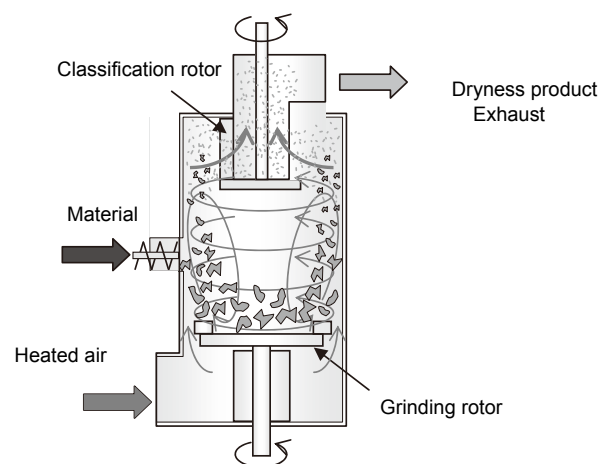


図1 ドライマイスターの構造

(b) 臭気・有害物質封じ込め

排気ガス量が少ないので、臭気や有害物質の問題がある場合などには、排ガス処理費を低減することにつながる。

(c) 粉塵爆発防止

蒸気を循環させることにより、系内の酸素濃度が下がり、粉塵爆発下限酸素濃度10-12Vol%を下回る事ができ安全なシステムとなる。

(d) ビタミンや栄養素が壊れにくい。

特に食品原料など乾燥させる際、原料中のビタミンなど栄養素が破壊されることが問題にされている。ドライマイスタでは滞留時間が数秒から数十秒であるた

め、栄養素の破壊が少なく、残存ビタミンCが多い結果も得ている。健康食品や野菜・絞り粕・お茶などに適用できる。

(d) 殺菌効果

蒸気は熱浸透性が高いので殺菌効果が高い。一般生菌やカビ酵母等は検出されないレベル（数百 CFU/mL）になる殺菌操作と乾燥操作が同時進行できる。

(e) 特有の乾燥製品が得られる

酸化防止になり、熱浸透性が高いため、触感が柔らかい製品になりやすい。

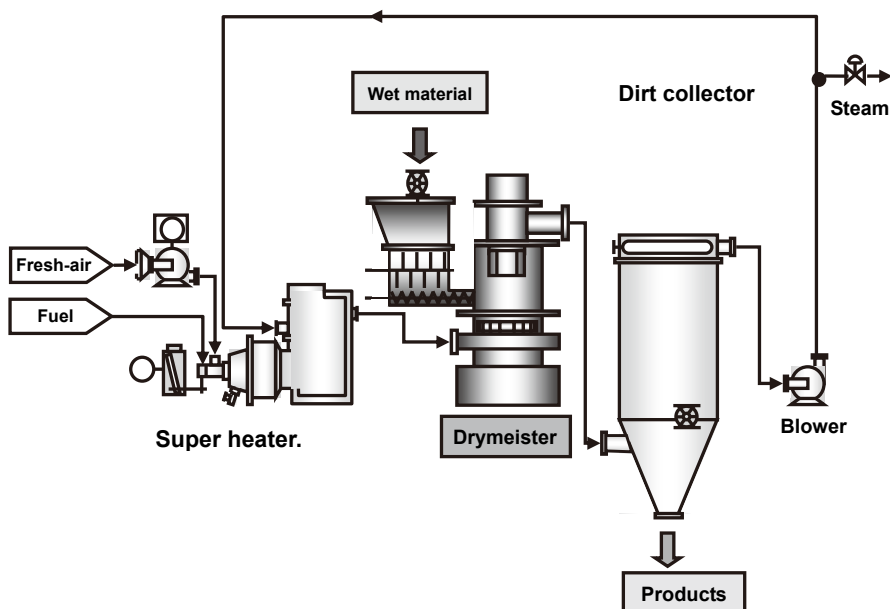


図2 過熱蒸気乾燥システム

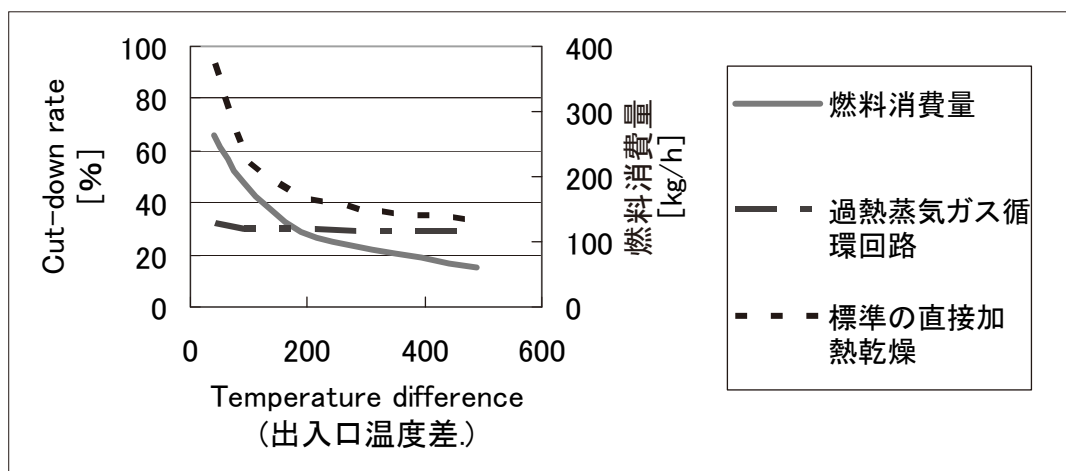


図3 エネルギー削減の例  
(出口温度：110°C，蒸発水分量：1800kg/h)

### 3. 間接加熱乾燥機への応用

#### 3-1 ナウタミキサ

ナウタミキサ (VN, NX, DBX) は逆円錐型のケーシングに自公転するスクリュを持つバッチ式混合機である。所要動力が小さく、排出が容易で、残留が少ない対流型混合機の代表機種であり、2万台の販売実績がある (図4参照)。

ジャケットを設けて、その優れた混合性能を活かして加熱、乾燥、反応、冷却機として活用もできる。気密性が高いので、真空乾燥操作にも利用される。

他のホソカワミクロンのバッチ式混合機には、周速

を早めて液添加の分散性を高め、清掃性を追求したバイトミックス VX や、さらにせん断性を上げ、粒子設計できるサイクロミックス CLX などがある。

#### 3-2 蒸気の有効利用

バッチ式の混合機は、伝熱面積や総括伝熱係数が小さいことから、品温上昇に時間が掛かる問題がある。これを解決する手段としての蒸気活用法の一例を紹介する。蒸気の熱容量 (潜熱+顕熱) の大きさを有効利用し、直接的に品温を早期に上昇させる方法で、殺菌や熱変性にも効果的である。系内圧力や温度の関係を図5にイメージを示した。

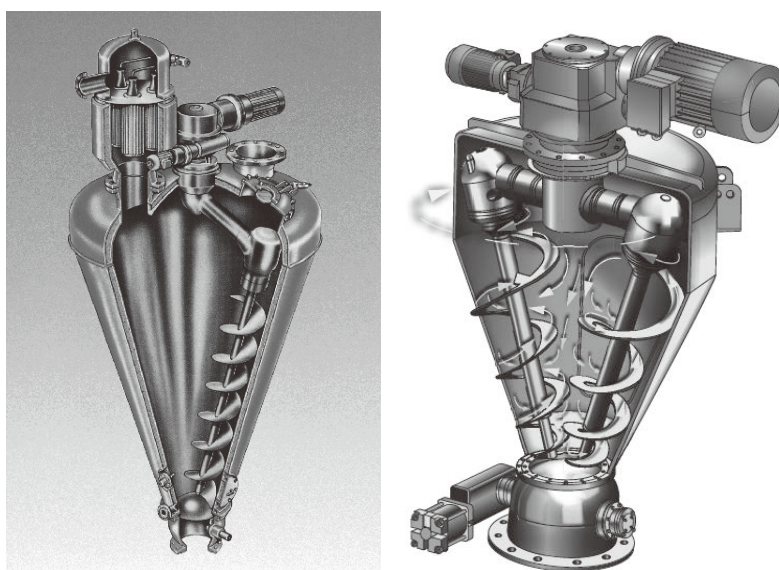


図4 ナウタミキサ (左) とバイトミックス (右)

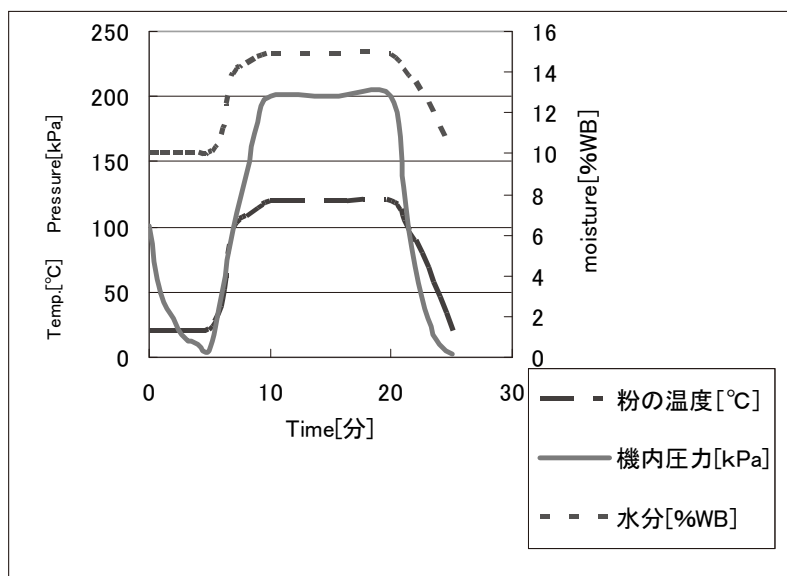


図5 蒸気吹き込み操作における混合機内部の温度、圧力変化

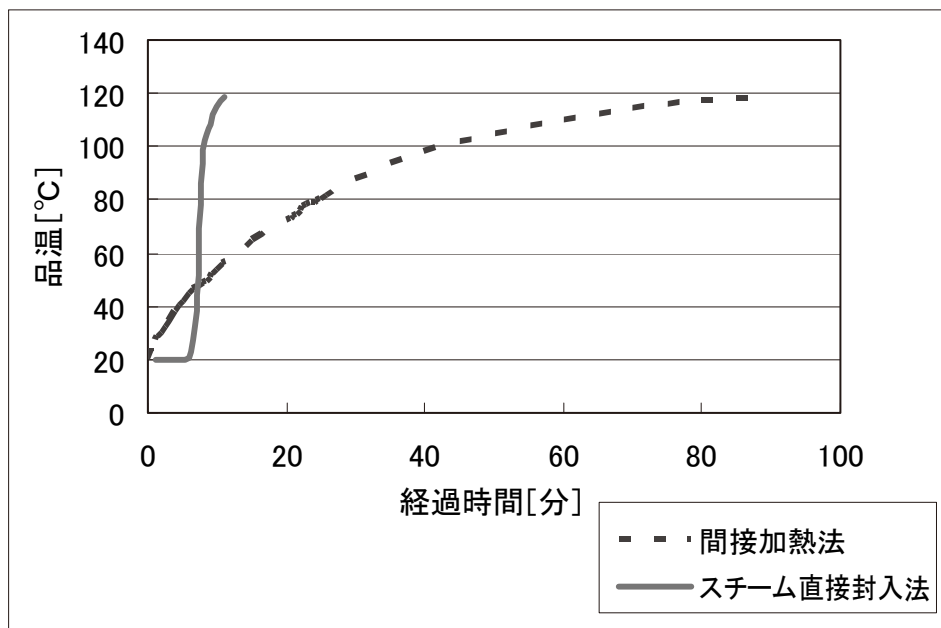


図6 昇温時間比較 the warm-up process

第1段階 粉体を投入し、機内を真空にすることで、機内の空気を抜き真空状態にする。

第2段階 飽和蒸気を直接機内に吹き込み、機内圧を上げる。機内は蒸気で満たされるため、飽和蒸気曲線に従い、機内圧に相当する温度に粉体の品温が急激に上昇する。粉中に蒸気が凝縮し、潜熱で粉の芯まで温度が上昇する。直接的な加熱となり、蒸気吹き込み能力によるが、品温の上昇は間接加熱に比べて非常に早い。水分は上昇する。

第3段階 製品の目的（殺菌、熱変性、反応など）により、一定時間、機内圧力制御（温度制御）し滞留させる。

第4段階 蒸気制御を停止し、真空引きする。粉に貯蓄された熱量で、湿分が蒸発し機内圧に見合った温度にまで、冷却する。

図6のように、数時間かかる昇温操作が、大幅に短縮でき、蒸気を持つ特性により直接的に粉体内部までの温度上昇などの操作となり、殺菌や熱変性、反応が効率的に行える。

機内を飽和蒸気化することにより、機内の圧力により温度管理できる操作である。

#### 4. まとめ

スチームは熱伝導性が高く、無酸素であり、安全で効率的な乾燥プロセスを構築できる。紹介した過熱蒸気循環システムは、排ガス減少効果による臭気対策、燃料削減によるエネルギー（燃料）の低減、粉塵爆発抑制に应用できる乾燥システムである。また、混合機においては、蒸気吹き込みと真空操作を兼ね合わせることで、熱変性などの時間を短縮できるシステムである。これらの特長はあらゆる分野に適用・応用できるので、弊社に相談・ご一報いただければ幸いです。

#### Captions

Fig. 1 Construction of Drymeister

Fig. 2 Super-heated steam drying system

Fig. 3 Energy reduction

Fig. 4 Nauta-mixer and Vitomix

Fig. 5 Comparison of the warm-up process

Fig. 6 Change of pressure and temperature in the mixer