

## Dryer Selection and Introduction

Tomoyuki CHIBA<sup>1</sup>

**Background:** Drying is a fundamental process in powder technology, involving the removal of moisture from materials through the application of heat. Industrial dryers vary widely in design and operating principles, and no single dryer type is universally applicable to all materials or processes. The selection of an appropriate dryer depends heavily on the physical properties of the raw material and the desired drying performance.

**Classification of Dryers:** This study categorizes dryers into two main types based on heating method—**direct heating** and **indirect heating**—and two types based on operation mode—**continuous** and **batch**. Direct heating dryers utilize convective heat transfer by exposing materials to hot air, while indirect heating dryers rely on conductive heat transfer through heated surfaces such as walls or paddles. Each type has distinct advantages and limitations depending on the material's moisture content, stickiness, and sensitivity to temperature.

**Dryer Models Introduced:** Four representative dryers manufactured by Hosokawa Micron Corporation are introduced, each designed to address specific material properties and processing requirements through distinct heating mechanisms and operational modes:

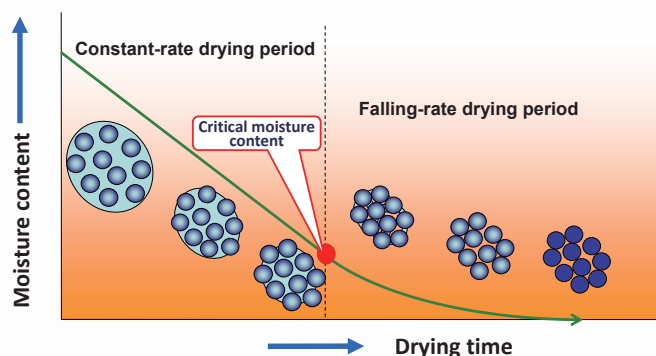
- **Drymeister® H-type (DMR-H):** A continuous direct heating dryer with strong dispersion capability, suitable for low-moisture powders and sticky materials.
- **Nauta Mixer®:** A batch-type indirect heating dryer with vacuum and freeze-drying capabilities, ideal for heat-sensitive and solvent-containing materials.
- **TorusDisc (TD):** A versatile indirect heating dryer with a large heat transfer area, capable of both continuous and batch operation, suitable for resin drying and thermal treatment.
- **Solidaire (SJ):** A continuous indirect heating dryer with high thermal efficiency and adjustable paddle configurations, effective for crystallization and drying of chemical and polymer materials.

**Conclusion:** By analyzing the structural features, drying mechanisms, and material compatibility of each dryer, this report provides practical guidance for selecting suitable drying equipment. The classification framework and case studies presented herein aim to support engineers and researchers in optimizing drying processes for diverse industrial applications. These insights facilitate cost-effective equipment selection and enhanced process efficiency in powder processing operations.

### Keywords:

Dryer  
Direct heating type dryer  
Indirect heating type dryer  
Continuous type dryer  
Batch type dryer

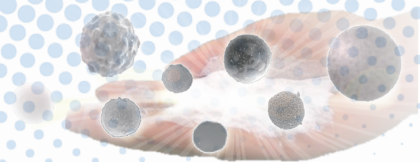
<sup>1</sup> Osaka Engineering Group, Powder Processing System Division, Hosokawa Micron Corporation, JAPAN



**Constant-rate drying period:** Removal of surface moisture (free water, capillary water)

**Falling-rate drying period:** Removal of internal moisture (bound water, crystallization water)

**Critical moisture content:** Moisture level where drying shifts from constant-rate to falling-rate



## 乾燥機の選定と紹介

千葉 智幸

ホソカワミクロン株式会社 粉体システム事業本部 大阪技術部

### 抄 録

乾燥とは、熱を加えて目的のものから湿分を除去する操作である。乾燥機はそれを行う機械であるが、乾燥方式は多種多様であり、万能な乾燥機は存在しない。本報では、乾燥機を直接加熱型と間接加熱型、連続式とバッチ式に分類し、どのような原料にどのような乾燥機が適しているかをまとめた。具体的な乾燥機例として、連続式直接加熱型乾燥機ドライマイスタ<sup>®</sup>H 型（DMR-H 型）、バッチ式間接加熱型乾燥機ナウタミキサ<sup>®</sup>、連続式（バッチ式にも対応可能）間接加熱型乾燥機トラスディスク、および連続式間接加熱型ソリッドエアー<sup>®</sup>を取り上げ、それぞれの構造、システムフロー、適合原料例とともに紹介する。

### 1 はじめに

乾燥とは、熱を加えて目的のものから湿分を除去する操作である。乾燥機はそれを行う機械であり、乾燥方式は多種多様である。その理由としては、原料の状態と特性が多種多様であることと、より低エネルギー、高効率な乾燥機、つまりは工業的に優れた乾燥機が開発されてきたためである。

本報では、多種多様な乾燥機から機種選定するために参考となりえる基礎知識を整理した上で代表的な乾燥機の構造や適用例について紹介する。

### 2 乾燥機の種類と特徴

現在においても、万能と呼べる乾燥機は存在せず、各装置の利点を伸ばすことや、欠点を克服することで進化し、多種多様なものが存在している。そのため、実際に乾燥したい原料がある場合、どの乾燥機を選定すべきかを判断することは容易ではない。

しかしながら、いくら装置が改良されてきたとしても、乾燥方式により元々各方式が持っている特徴（長所、短所）があり、加熱方式（直接加熱型、間

接加熱型）と処理方法（連続式、バッチ式）の観点から分類することで、選定の指針を得ることができる。また、原料の性状に基づくアプローチも機器選定に有効である。本報では、これらの観点から乾燥機の分類と特徴を整理し、選定の参考となる情報を提供する。

#### 2.1 直接加熱型と間接加熱型<sup>[1]</sup>

乾燥機の分類は、大きく直接加熱型と間接加熱型に分けられる。直接加熱型は対流伝熱式とも呼ばれ、熱風を原料に直接接触させて熱を与える方式である。それに対し、間接加熱型は伝導伝熱式とも呼ばれ、原料に接触している隔壁や攪拌羽根を加熱することにより間接的に熱を与える方式である。他の方式として、赤外線などを原料に照射する輻射伝熱式や、高周波電流によって発生する磁界を利用して導電体を加熱する高周波伝熱方式などもある（図 1）。

直接加熱型乾燥機は、熱風と原料が直接的に熱交換するため、乾燥速度が速いという特徴がある。長所は、短時間での乾燥が可能であり、高い処理能力が求められる場合にも対応しやすいことが挙げられる。また、原料が熱風によって分散されながら乾燥

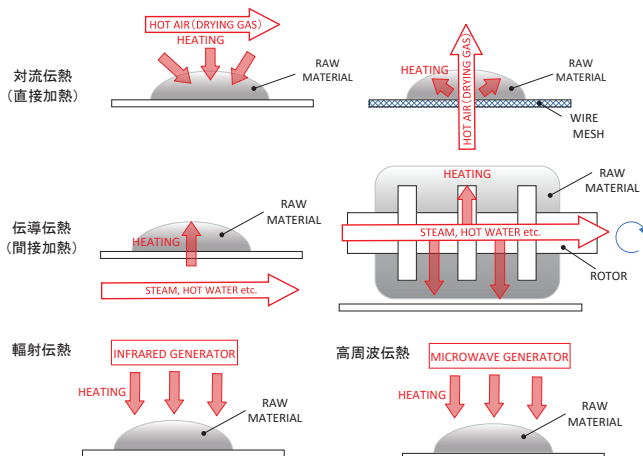
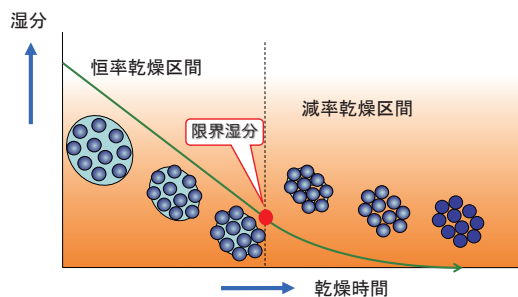


図1 伝熱方式の例

Fig. 1 Examples of heat transfer methods.



恒率乾燥区間：表面の水分（付着水・毛管水）を除去。  
減率乾燥区間：内部の水分（結合水・結晶水）を除去。  
限界湿分：恒率→減率への切り替わり点の湿分値

図2 原料の乾燥曲線

Fig. 2 Drying curve of raw material.

されるため、比較的ダマを含まない粉状の製品を得やすい傾向がある。短所としては、この熱交換方式は、多くの風量が必要になることが挙げられる。具体的には、ブロワと集塵機は処理能力に応じて大きなものが必要となり、それに伴って設置面積も広がる。このことは、コンデンサなどを用いた溶剤回収には不向きである。また、 $N_2$ などの不活性ガスを用いたフローにおいても、大量の不活性ガスが必要となるため不利である。

間接加熱型乾燥機の長所としては、隔壁や攪拌羽根を介して熱交換するため、必要な風量を最低限にすることができる。具体的には、ブロワと集塵機が小さくアレンジされ、コンデンサなどを用いた溶剤回収などや不活性ガスなどを用いたフローにも採用しやすい。熱効率（ここでは、（蒸発湿分の潜熱＋顕熱）／供給熱量と定義し、廃熱利用は考慮しない）の面でも、直接加熱型より有利である。

短所としては、乾燥速度が遅いため、要求処理能力が大きい場合にイニシャルコストが高くなることが挙げられる。乾燥速度が遅いため、代わりに乾燥時間は長く必要となるので、機内品を多く滞留させるような構造となる。さらにケーシングは、ジャケット構造になる為、乾燥機本体としては大型で重量の大きいものになる。ジャケットは、使用する熱媒の条件によっては压力容器規格を満たす必要があり、この点でも高コストの要因となる。

## 2.2 連続式とバッチ（回分）式

乾燥機に限らず、装置は一般的に連続式とバッチ

（回分）式の2つの方式に分類される。連続式とは、一定速度で原料を供給しながら、温度、風量、回転数などの運転条件を制御することで、連続的に製品を得る操作のことである。バッチ式とは、機器内に定量の原料を投入し、温度、風量、回転数などの運転条件を制御した後、一定時間経過後に全量排出し製品を得る操作のことである。一般的に、連続式は単一原料の大量処理に適しており、バッチ式は少量多品種向きである。乾燥機においては、バッチ式は滞留時間を長く取りやすいため、より低湿分の製品を得ることが可能となる。その中でもナウタミキサのように気密性が高い構造がとれる機種では、真空乾燥や凍結乾燥などの特殊な乾燥にも対応可能である。

## 2.3 原料性状

原料性状が乾燥機を選ぶと言われ、乾燥機の選定において原料の状態は極めて重要である。乾燥機のテストの失敗の多くは、原料の付着や固着といった性状に起因している。そのため、原料性状を十分に観察し、可能な限り実機テストを行なうことが重要である。

原料状態は、水分が多い順に、液状、スラリー（泥）状、ケーキ状（糊泥状）状となり、ここから、粉粒状、ブロック（塊）状、フレーク（薄片）状へと派生する。また、その粘着性の程度により、どろどろ、ベタベタ、ねちゃねちゃ、さらさらなど、感覚的に評価されることも少なくない。

図2に原料の乾燥曲線を示す<sup>[2]</sup>。原料に一定量の



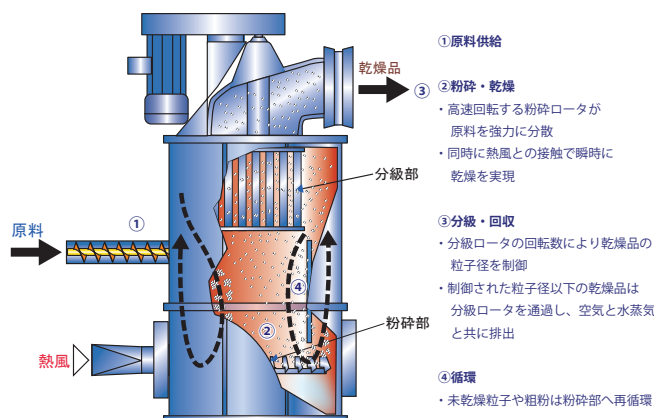


図3 ドライマイスタ®H型の構造

Fig. 3 Schematic structure of Drymeister® DMR-H.

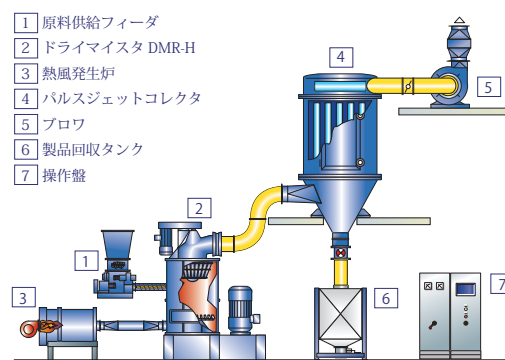


図4 ドライマイスタ®のシステムフロー

Fig. 4 System flow of Drymeister®.

熱量を加えながら水分を除去する場合、初期段階では粒子表面や粒子間の付着水が主である蒸発が行われ、与えた熱量に比例して水分値が下がる。なお、多孔質粒子の微小孔隙に表面張力で保持されている毛管水の場合も、粒子表面の水分が少なくなると、粒子表面に出てくる性質をもつため、付着水と同等な性質を示す。付着水（毛管水）がほとんど無くなると、乾燥は粒子内部の水分蒸発にシフトしていくが、その段階では、乾燥時間に対する水分値の傾き（乾燥速度）が時間経過とともに緩やかとなり、与えた熱量よりも時間経過に依存して湿分が下がる状態となる。ここでの粒子内部の湿分とは、結合水（水素結合より粒子内に拘束される水）や結晶水（結晶構造内に拘束される水）が挙げられる<sup>[3,4]</sup>。乾燥曲線上で、恒率乾燥区間から減率乾燥区間に遷移する点を限界湿分と定義する。

表面付着水や毛管水は、恒率乾燥区間の乾燥である。この区間では、伝熱熱量は水分蒸発に有効に使われるため、直接加熱型の連続式乾燥機が有利である。

それに対し、結合水や結晶水は減率乾燥区間での乾燥が必要である。この区間では、伝熱熱量は水分蒸発に有効に使われず、むしろ滞留時間が必要な乾燥であるため、間接加熱型のバッチ式乾燥機が有利となる。

### 3 乾燥機の紹介

ここからは、具体的な機種を挙げながら、構造や

特性（長所・短所）について解説する。

先に述べたように、乾燥機は多種多様な方式があるため、本報では弊社ホソカワミクロン製の代表的な機種に絞って紹介する。

#### 3.1 ドライマイスタ®H型（DMR-H型）

ドライマイスタH型は、ドライマイスタシリーズの現行機種であり、連続式直接加熱型乾燥機に分類される機種である。図3に内部構造、図4に代表的なシステムフローを示す<sup>[1]</sup>。

本機は恒率乾燥区間の乾燥を得意とするが、粉碎機並の強力な分散機構を持つため、一般的な直接加熱型乾燥機よりも低湿分の乾燥品を得ることが可能な機種である。これは、乾燥曲線における限界湿分が、分散されるほど値が低くなるという特性を利用したものである。

原料と熱風を直接接触させて熱交換する直接加熱型の特徴により、速やかに原料から乾燥品の状態となるため、機内付着が軽減される傾向がある。これは、原料が乾燥する過程で、粘り気がある状態を通過するような性状（べとべと、ねちゃねちゃで表現されるもの）のものであれば、特に有効に作用する。さらに DMR-H 型では、付着成長することが多いライナ（装置の固定壁部分）を常時加熱する構造とし、付着に強いという長所を更に強化するような工夫がされている。ライナで付着が成長する原因は、湿潤状態や半乾き状態で粘着性をもつという原料性状によるものであるが、乾燥されるとその粘着性は失われることが多い。ライナを常時加熱することで、付



表 1 ドライマイスタ® による乾燥適合例

Table 1 Examples of materials that can be dried using Drymeister®.

原料名	入口温度 (°C)	出口温度 (°C)	原料水分値 (%WB)	製品水分値 (%WB)	製品粒子径 (μm)
パン用小麦粉	145	80	13	4	≤ 75
イースト菌 (パン生地)	125	85	23	5	≤ 175
イースト菌	300	80	80	5	≤ 300
おから	250	80	75	5	≤ 1000
アルギン酸	200	85	70	12	≤ 1000
アルギン酸 (Na 系)	150	80	67	15	≤ 600
甘味料	150	85	50	4	≤ 150
天然着色剤	150	60	75	15	≤ 70
香料	160	80	75	3	≤ 500
魚	200	80	80	6	D <sub>50</sub> = 100
食品添加物	180	120	60	0.7	≥ 300
色素	200	120	44	2.3	D <sub>50</sub> = 3
顔料	200	100	52	0.8	D <sub>50</sub> = 0.8
染料	300	120	55	1.1	≥ 100
合成洗剤	200	100	60	4.3	≥ 250
金属酸化物	250	110	30	0.1	≥ 8.5
水酸化マグネシウム	600	150	30	0.3	D <sub>50</sub> = 1

着が発生したとしても、ライナからの伝熱により付着物が乾燥され遊離し、ついには剥離し粉碎ロータで粉碎される。

乾燥品は、空気・水蒸気とともに分級部を通過する。この分級部は遠心力型分級機を採用し、分級ロータの回転速度と風量のバランスによって、通過できる粒子径や水分量を制御する。分級部を通過後の乾燥品、空気、水蒸気はパルスジェットコレクタ（集塵機）によって分離され、乾燥品は製品として捕集される<sup>[5]</sup>。

ドライマイスタ H 型の長所は、広い範囲の原料がこの乾燥機に適応することが挙げられる（表 1）<sup>[1]</sup>。また、連続式気流乾燥機であるため、大量処理向きであることが挙げられる。

短所は、気流乾燥機であるため、処理能力に対して多くの風量が必要である点が挙げられる。プロワと集塵機は大きなものが必要となり、それに応じて設置面積も広く、大きな動力なものが選定される。風量が多いため、コンデンサなどを用いた溶剤回収などの目的に対しても不利である。また、熱効率（ここでは、（蒸発湿分の潜熱＋顕熱）／供給熱量と定義し、廃熱利用は考慮しない）は、間接加熱型に比べ

ると低くなる。これは、乾燥品の湿分値を低く維持しようとした時、ドライマイスタの出口温度は 100°C 前後に設定される場合が多いため、80°C 程度の熱風が乾燥に寄与せず排気されるためである。この気流式乾燥機で熱効率を上げようとする場合、乾燥機の入口温度と出口温度の差を大きく取り、処理能力を上げた運転を行うことで改善することができる。出口温度は露点による制限がかかるため、あまり低く設定できないが、入口温度は（仕様によるが）最大 600°C（ただし出口温度 150°C までの制限あり）まで上げることが出来る。気を付けなければならないのは、乾燥品（機内品）の製品温度は乾燥機出口温度とほぼ同一の温度帯になるものの、ごく短時間ではあるが原料が高温の熱風にさらされることになるため、食品や有機物のような焦げやすい原料には不向きで入口温度を高く設定できない場合もある。

### 3.2 ナウタミキサ®

本来、ナウタミキサは低動力で大容量を混合するタイプの混合機であり、逆円錐形のケーシング構造を特徴とする（図 5）<sup>[1]</sup>。このケーシングをジャケッ

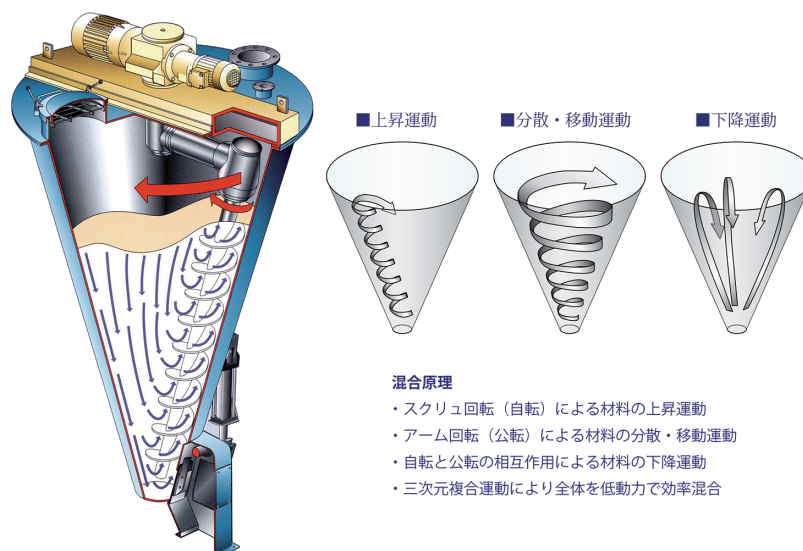
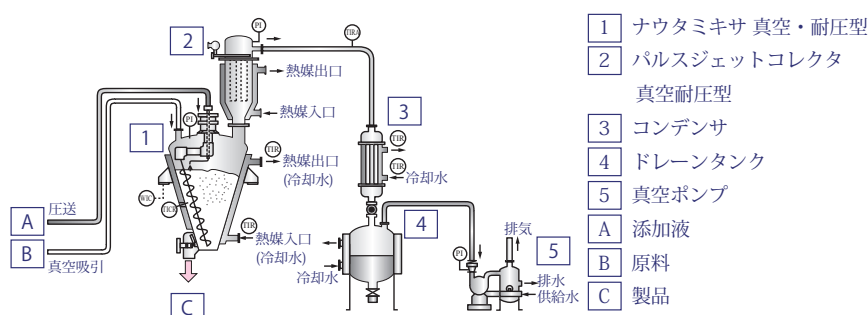


図5 ナウタミキサ®の構造と混合原理

Fig. 5 Structure and mixing principle of Nauta Mixer®.



A 原料空気輸送 → B 液添加混合 → 真空乾燥 → C 排出

図6 ナウタミキサ®を用いた真空乾燥のシステムフロー

Fig. 6 System flow of vacuum drying by Nauta Mixer®.

ト構造とすることで、間接加熱型の乾燥機として応用される。また、真空乾燥機（NXV, DBX-RWV）や凍結真空乾燥機（AFD）<sup>[6]</sup>としても応用され、図6にその代表的なフローを示す<sup>[1]</sup>。

バッチ式間接加熱型乾燥機は、限界湿分値以下を目標とすることが多いため、乾燥時間の長い乾燥（数時間かかる場合も多い）が求められることが多く、粒子にダメージを与えにくいマイルドな混合と相性が良い。また、逆円錐型のケーシング形状は物理的に底に近づくほど内容積が少ないため、排出時の粉の残留が少なくなるという利点がある。間接加熱型の乾燥機として使用する場合、必要な風量（キャリアガス）が少なく済むため、溶剤乾燥に

おける爆発防止や酸化防止を目的とした不活性ガス雰囲気での運転が求められる場合に使用される事が多い。

真空乾燥では、減圧下では沸点が大気圧下と比べ下がる効果（沸点降下）を利用した乾燥であり、低熱量、低品温で乾燥を行なえることが長所である。これを利用した真空乾燥対応のナウタミキサは、脆熱性原料（医薬品、食品）や溶剤（アルコール系）を含む原料の乾燥に適している。また、系内を真空まで脱気した後不活性ガスを吹き込むことで、連続的に不活性ガスで系内を置換する場合に比べ、効率的にガス置換することが出来る。乾燥品粒度に関しては、長時間攪拌されながらの乾燥されるため、

表2 ナウタミキサ®による乾燥適合例

Table 2 Examples of materials that can be dried using Nauta Mixer®.

分類	型式	原料名	用途
食品	NXV-20	食品	脱気, 混合
	NXV-20	果汁粉末	乾燥
	NXV-40	でん粉	加圧
	NXV-6	チョコレート	殺菌, 乾燥
医薬	NXV-60	医薬品	乾燥
	NXV-35	医薬品	混合
	NXV-20	有機薬品	乾燥, 結晶化, 冷却
	NXV-10	医薬品	乾燥
	NXV-3	動物用薬品	N <sub>2</sub> 加圧, 混合
	NXV-20	練菌磨	脱気, 混合
無機物	NXV-15	フェライト	乾燥
	NXV-10	フェライト	混合, 脱気
	NXV-10	無機物	乾燥, 反応, 冷却
染料・顔料	NXV-20	染料中間体	結晶, 反応
	NXV-20	染料中間体	乾燥
	NXV-20	顔料	乾燥
	NXV-15	染料	乾燥
樹脂	NXV-60	熱可塑性樹脂	乾燥
	NXV-6	ナイロンチップ	乾燥
	NXV-2	ポリマー	乾燥
農薬	NXV-20	農薬原体	乾燥
	NXV-20	農薬	乾燥
その他	NXV-30	放射性物質	混合

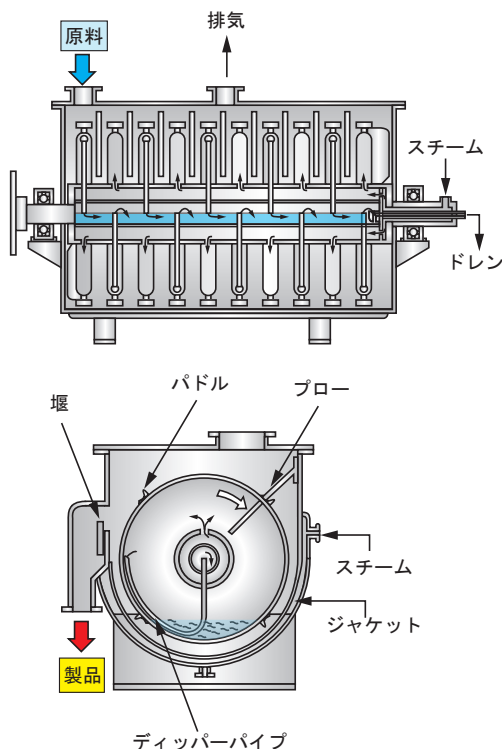
やや造粒された製品が得られる場合もある。

短所は、分散力が小さいため、適合する原料体やや狭いことである。基本的には、湿粉状やフレーク状の比較的さらさらした原料が適しており、液状、スラリー状、ケーキ状、ブロック状といった原料や、湿粉やフレーク状でも乾燥時に粘性が上がるような原料（例：ベタベタ、ねちゃねちゃと表現される性状）は、乾燥時に付着や固着が伝熱面やスクリュで成長することが多く不向きである。また前述のように、間接加熱型は処理能力のわりに大型でケーシングにジャケットを有した構造となるため、イニシャルコストが高くなる傾向がある。

適合原料例としては、食品、医薬、無機物、顔料、樹脂など多岐にわたる用途に対応可能である（表2）<sup>[1]</sup>。

### 3.3 トーラスディスク (TD)

トーラスディスク (TD) は、U字型のジャケット付ケーシングを有し、内部に配置されたトーラス型（ドーナツ状）のディスクロータを回転させながら熱交換を行う間接加熱型乾燥機である（図7）<sup>[1]</sup>。本機は、連続運転とバッチ運転の両方に対応できる。



#### ①原料供給

#### ②乾燥・攪拌

- ・ディスクとジャケットによる熱交換
- ・ディスクに取付されたパドルの角度調整による攪拌力と推進力の制御
- ・供給された原料は一定時間滞留しながら乾燥

#### ③供回り防止・連続輸送

- ・各ディスク間に配置されたブロー（くし状部品）による、機内品の供回り防止
- ・ブローにより機内品は順番にディスク間を移動することで連続輸送

#### ④製品排出

- ・連続式：堰高さの調整による、オーバーフローによる製品排出
- ・バッチ式：バッチ式：堰を閉鎖した状態で、一定時間（一定量）堰高さを下げて製品排出

図7 トーラスディスクの構造

Fig. 7 Schematic structure of TorusDisc.



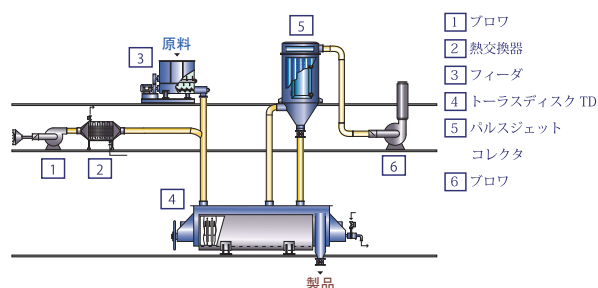


図 8 トラスディスクのシステムフロー

Fig. 8 System flow of TorusDisc.

ディスクロータは乾燥機全体の伝熱面積の約 80% を占め、乾燥機の大きさのわりに大きな伝熱面積を有しているのが特徴である。これにより、乾燥時間を長く確保することができ、恒率乾燥区間から減率乾燥区間の両区間にわたる乾燥を 1 台で行うことができる。

連続運転が可能であるため、バッチ処理と比較して処理能力が高い点も特徴のひとつである。特に、樹脂の乾燥および熱処理を行う固層重合装置の昇温機としてもよく採用されている<sup>[7]</sup>。代表的なシステムフローを図 8 に示す<sup>[1]</sup>。本機は比較的高温での乾燥にも対応しており、200℃ 以上の品温まで昇温することが可能である。また、間接加熱式であるため、結露防止程度の最低限の風量（キャリアガス）で運転可能であることも大きな利点である。また、ジャケットに冷却水（チラー水）を利用し、昇温された原料を冷却するための冷却機としても使用される。

短所は、分散力が小さいため適合する原料の範囲が限定的である。基本的には、湿粉状かフレーク状の比較的さらさらした原料が適合し、液状、スラリー状、ケーキ状、ブロック状の原料には対応できない。また湿粉やフレーク状であっても、乾燥中に粘性が増す原料（例：ベタベタ、ねちゃねちゃと表現される性状）は、乾燥時に伝熱面やプロウで固着成長しがちであり不向きである。また、本機は気密性のある構造ではないため、真空乾燥には対応していない。また、バッチ式として使用する場合には、横型乾燥機であるためナウタミキサのような逆円錐型のケーシング構造の場合と比べ排出時の粉の残留が多くなる。

トラスディスクの適合原料を表 3 に示す<sup>[1]</sup>。

表 3 トラスディスクの乾燥適合例

Table 3 Examples of materials that can be dried using TorusDisc.

原料名	型式	原料湿分 (%WB)	製品湿分 (%WB)	処理能力 (kg/h)
PET / 昇温装置	TDS-72-20	—	—	4200
酢酸ビニル系樹脂	TDS-12-3	11	0.3	50
ナイロン 66	TDS-26-10	4.5	600 ppm	500
ナイロン 6	TDS-48-15	12	2	1500
塩化カリウム	TDS-26-7	5	0.05 以下	450
石灰	TD-48-5.5	25	5	900
硫酸ソーダ	TDS-48-15	15	0.1	3500
澱粉	TDS-48-11	25	≒ 0	3600

### 3.4 ソリッドエアー® SJ

ソリッドエアー® (SJ) は、ジャケットによる加熱と高速で回転するパドルによる攪拌によって熱を伝達し、原料を短時間で効率よく乾燥する連続式間接加熱型乾燥機である。図 9 に内部構造、図 10 にシステムフローを示す<sup>[1]</sup>。

本機は間接加熱型乾燥機に分類されるが、キャリアガスとロータの回転の相互作用により原料が流動化すると同時に熱交換も行われるため、直接加熱型寄りの性質も持ち合わせており、熱効率が非常に高く、総括熱伝熱係数はナウタミキサやトラスディスクの約 3 倍に達する。

分散力が高いため、フレーク状の原料だけではなくケーキ状の原料も乾燥可能である。また、必要なキャリアガス量が少なめであるため、不活性ガスを用いた溶剤回収フローにも対応可能である。

ロータに取り付けられたパドルは、3つの異なる角度（送り、水平、戻り）で固定でき、これらの配列によって推進力、攪拌力とバックミキシング力を調整可能である。また、ロータ回転速度もインバータなどで制御できるため、パドル配列とロータ回転速度の組合せにより、攪拌力と乾燥時間を原料特性に応じて最適化することができる。

また、ジャケットに冷却水（チラー水）を利用し、昇温された原料の冷却装置としても使用可能であり、トラスディスクと同様によく採用される。

短所としては、あまり滞留時間が長くとれる構造ではないため（通常は数分程度）、そのため減率乾燥区間の乾燥には不得意である。また、液やスラリー

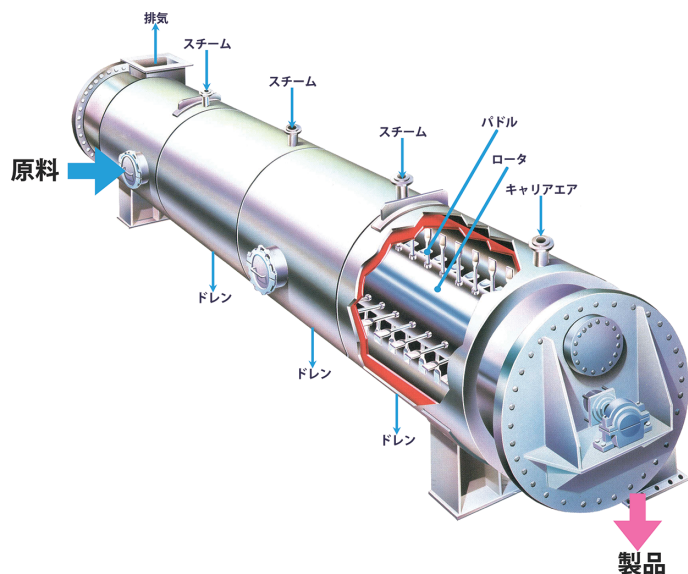


図9 ソリッドエアー®の構造

Fig. 9 Schematic structure of Solidaire.

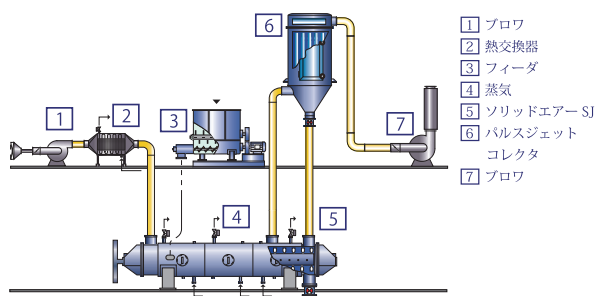


図10 ソリッドエアー®のシステムフロー

Fig. 10 System flow of Solidaire.

状の原料では、パドルとジャケット壁面の隙間で乾燥した付着物や固着物をパドルで削りながら運転することになり、運転が不安定になる可能性がある。また、高速回転するパドルを有するものの、強い分散機構を持つドライマイスタのような気流乾燥機に比べると、分散力が弱いので、乾燥品の粒度は粗めになりがちである。ただし、微粉の発生を避けたい場合や粉碎を望まない用途においては、ドライマイスタよりも適している場合がある。

適合原料としては、樹脂をはじめとするケミカル、ミネラル、食品、医薬品、顔料・染料などが挙げられる。特に、ポリエチレンテレフタート（PET）樹脂の結晶化装置として優れており、融着を起こすことなく、高結晶化された均一な製品を短時間で得ることができる（表4）<sup>[1]</sup>。

## ①原料供給

## ②乾燥・流動・輸送

- ・ジャケットによる熱交換
- ・多数のパドルを有したロータの回転による分散と流動
- ・パドル配列と回転数の変更による推進力と攪拌力の制御、および滞留時間調整

## ③キャリアエア

- ・蒸発した湿分と微粉を系外へ排気
- ・キャリアエアは熱風（空気）の他、不活性ガスも選択可能

## ④製品排出

- ・一定時間（一定量）滞留し連続排出排出

表4 ソリッドエアー®の乾燥適合例

Table 4 Examples of materials that can be dried using Solidaire.

原料名	型式	原料湿分 (%WB)	製品湿分 (%WB)	処理能力 (kg/h)
PET / 結晶化	SJS-54-30	0.4	0.2	6000
PPS	SJS-54-34	50	0.3	1500
PE	SJS-42-22	30	1~2	2580
PP	SJS-48-26	40	0.1	2950
PVC	SJS-42-16	12	4	3100
ABS	SJS-42-16	35	0.6	3500
POM	SJS-48-24	25	≥ 1	1000
PS	SJS-10-6	32	1	100
TPA	SJS-54-34	20.4	0.05	5400
IPA	SJS-24-14	23	0.02	2230
セルロースアセテート	SJS-30-20	35	10	330
酸化マグネシウム	SJS-42-24	75	≥ 2	1400
除草剤	SJS-36-16	35	≥ 0.5	795

## 4 おわりに

本報では、多種多様な乾燥機の中から適切な機種を選定するために有用な分類方法と、それぞれに適した原料性状について解説した。また、具体例としてホソカワミクロンの代表的な乾燥機を取り上げ、それぞれの構造的特徴と適合原料について紹介し

た。本稿が、乾燥機選定における技術的判断の一助となり、今後の乾燥機選定やプロセス設計に役立てていただければ幸いである。

### References

- [1] ホソカワミクロン(株)編:ホソカワ製品ハンドブック, “ドライマイスタ®”, p. 320–323; “ナウタミキサ® シリーズ”, p. 280–281; “ナウタミキサ® 真空・耐圧型”, p. 336–339; “トーラスディスク”, p. 330–333; “ソリッドエアー®”, p. 326–329, 凸版印刷(株), 大阪(2013).
- [2] 千葉 智幸, 細川 晃平, “最新型パッチ式乾燥機 コニカルパドルドライヤ CPD”, 粉砕, 63 (2020) 76–83.  
<https://doi.org/10.24611/micromeritics.20200014>
- [3] 中村 正秋, 杉山 幸男, “多孔質固体の乾燥速度に関する一考察”, 化学工学, 35 (1971) 1122–1125.  
<https://doi.org/10.1252/kakoronbunshu1953.35.1122>
- [4] 相良 泰行, “食品乾燥の基礎知識(その1) ~標準的乾燥特性曲線~, 冷凍, 79 (2004) 17–23. <[https://www.iai.ga.a.u-tokyo.ac.jp/sagara/lecture/018\\_ov-d-920-437.pdf](https://www.iai.ga.a.u-tokyo.ac.jp/sagara/lecture/018_ov-d-920-437.pdf)> accessed 2025-08-04.
- [5] 川島 岳朗, “直接加熱型気流乾燥機「ドライマイスタ®」DMR-H型”, 化学装置, 5 (2020) 23–27. <[https://www.hosokawamicon.co.jp/jp/files/items/2579/File/202005\\_kgs.pdf](https://www.hosokawamicon.co.jp/jp/files/items/2579/File/202005_kgs.pdf)> accessed 2025-08-04.
- [6] 落合 敬之, “弱熱性原料を効率よく乾燥可能な新型乾燥機”, 粉砕, 59 (2016) 33–38.  
<https://doi.org/10.24611/micromeritics.2016008>
- [7] 渡邊 慶幸, “耐熱樹脂の重合・乾燥技術”, 粉砕, 59 (2016) 105–107. <https://doi.org/10.24611/micromeritics.2016017>

### 著者紹介



千葉 智幸 Tomoyuki CHIBA

〔経歴〕 1999 年秋田大学鉱山学部物質工学科卒業。同年ホソカワミクロン株式会社入社。大阪テストセンター, 東京技術部, 開発室, 粉体工学研究所を経て, 2015 年より大阪技術部。

〔専門〕 粉体工学。

〔連絡先〕 [tchiba@hmc.hosokawa.com](mailto:tchiba@hmc.hosokawa.com)

### Tech News



## リチウムイオン電池メーカーに幅広い提案

Broad Solutions for Lithium-Ion Battery Production



The Hosokawa Micron Group is increasing its focus on solutions for the manufacture and recycling of lithium-ion batteries. For this purpose, we have founded an international, group-wide competence team and created the brand “On™”. The new brand identifies a new product line for systems for the production of energy-performance materials and enables interested parties from the battery industry to get started quickly and access the group’s extensive range of solutions.

ホソカワミクロン・グループは、リチウムイオン電池の製造とリサイクルに注力し、新ブランド「On™」を立ち上げました。このブランドは、エネルギー材料製造のための新製品群を示し、電池業界に迅速な導入と広範なソリューションへのアクセスを提供します。乾燥、微粉砕、精密混合、表面処理、黒鉛の球状化や表面改質など、最新技術を活用し、電池材料の高性能化に貢献します。詳細は <<https://www.on-hosokawa.com>> をご覧ください。

