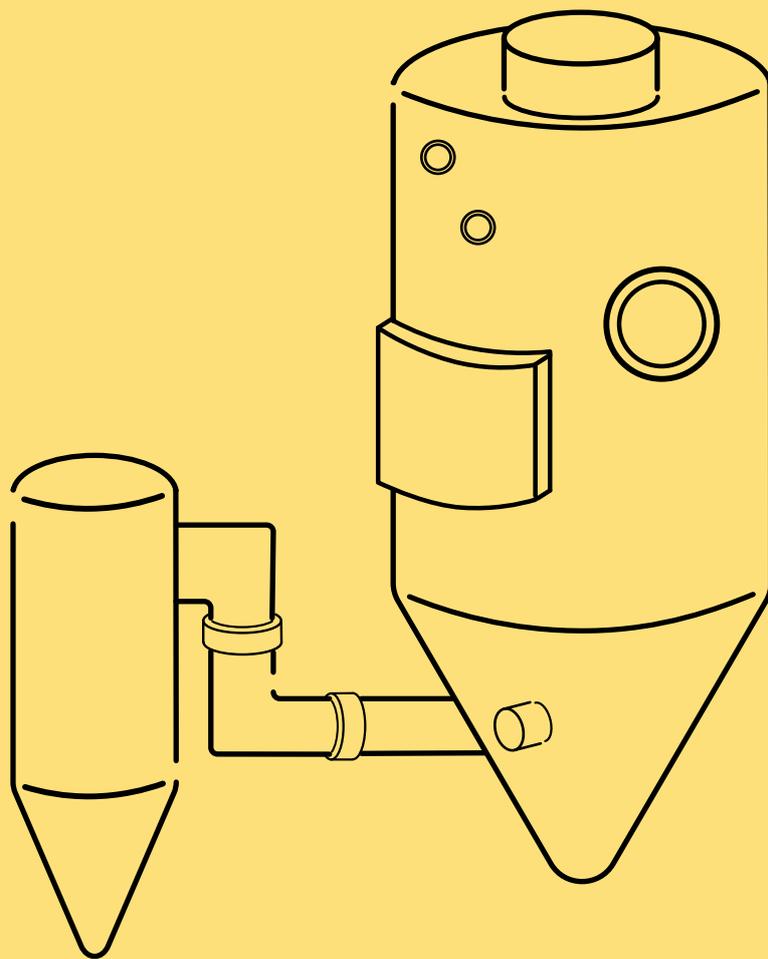


完全版

できることから運転ノウハウまでわかる **1** 冊



スプレードライヤーの教科書

1分でわかる設備紹介
研究開発用スプレードライヤー公開中



Contents

スプレードライヤーで“できること”を知りたいあなたへ

- 1 スプレードライとは？
 - 2 どんなことに使える？
 - 3 スプレードライヤーの選び方
-

スプレードライヤーを“動かす”あなたへ

- 4 スプレードライの能力
- 5 粉体の回収方法
- 6 粒子径コントロール
- 7 アトマイザーディスクの形状
- 8 球状粒子をつくるには？
- 9 生産現場のよくあるトラブルと改善事例

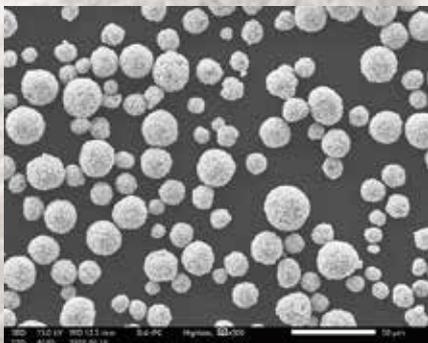
1

スプレードライとは？

What is spray drying?

01 スプレードライとは？

スプレードライ（噴霧乾燥）とは、液体原料（スラリー）を熱風中に噴霧して、瞬時に水分を蒸発させ、乾燥粉末（顆粒）を得る技術です。



02 スプレードライの特徴

スプレードライをすることで、スラリーから直接粉体を得ることができ、ろ過、脱水、乾燥、粉碎、分級の工程の短縮が可能です。また、粒子径を調整することで水溶性を高めたり、熱に敏感な物質でも一瞬で乾燥させることで変質を抑える等、粉体特性・機能性の向上が期待されます。

工程の短縮

スラリー化 → ろ過・脱水 → 乾燥 → 粉碎 → 分級 → 包装
スラリー化 → スプレードライヤー → 包装



粉体特性・機能性の向上

◆流動性、溶解性向上 ◆素材の熱変性を抑える



03 スプレードライヤーの用途

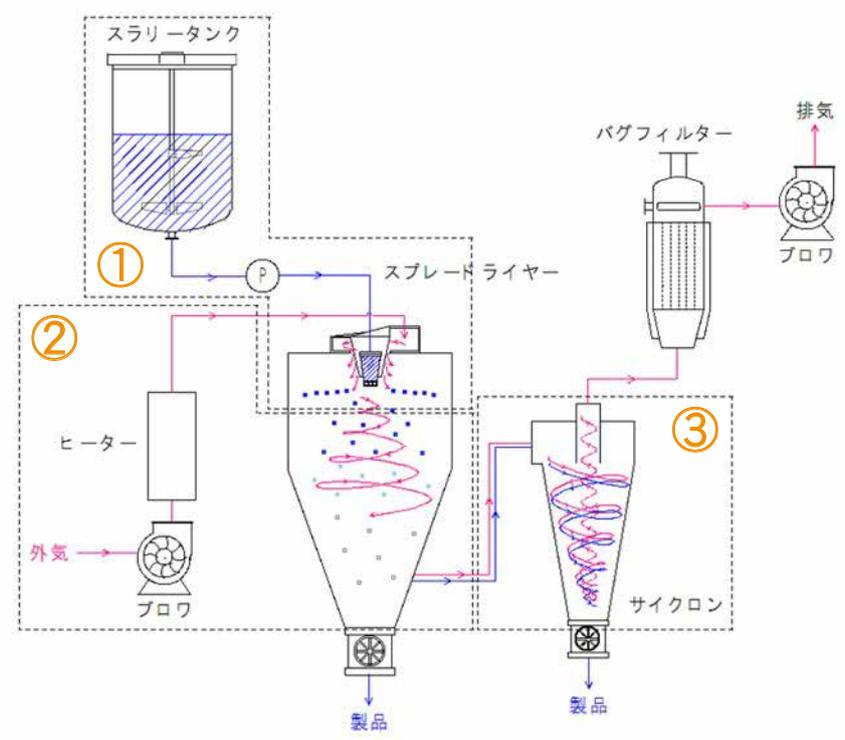
スプレードライ技術は、2050年カーボンニュートラルに向けた電気自動車への活用が期待される全固体電池や、環境や人体に対して高機能化が求められる化粧品原料などの微粉体製造で広く使われており、当社でも受託製造のご依頼が増えている分野です。



04 スプレードライヤーの構造

スプレードライ加工は、

- ①液体を噴霧 ②熱風で瞬時に乾燥 ③微粉を回収
- の3工程から構成され、スラリーから直接粉末を生産します。



スプレードライ加工は、乾燥条件（温度、噴霧方式等）、捕集方法や各設備条件を検討することで、製品に合わせた最適な工程にすることができます。

2

どんなことに使える？

Spray dryer's applications

スプレードライヤーは、「液体を一瞬で粉末化する」プロセスを通じて、電池材料、セラミックス、化粧品などの分野で課題解決に貢献しています。各分野でどのようなことができるか、ご紹介いたします。

PART 1 | 電池材料の微粒子化

リチウムイオン電池の正極・負極材などの電池材料では、粒子の大きさや形状が電池性能に直結します。スプレードライヤーを用いることで、溶液やスラリーから微粒子を一括製造でき、**粒子径の均一化・再現性の高い粉末製造**が可能になります。



PART 2 | セラミックスの顆粒化

セラミックス製造においては、焼結性を高めるために均一な顆粒が求められます。スプレードライは、スラリー状のセラミック原料を**球状で流動性の高い顆粒**に変換ことができ、プレス成形や押出成形など後工程での安定性を向上させます。

PART 3 | 化粧品原料のマイクロカプセル化

レチノールやビタミン C、メントールなどの化粧品・香料成分は、酸化や分解、揮発によって、安定性が低下しやすい課題があります。これらの有効成分を長期間安定化させる有効な手法のひとつが、マイクロカプセル化です。乳化によって、**成分をカプセル内側に包み込み、紫外線や熱、酸素から保護し、成分の劣化を防ぎ、製品の品質と持続性を向上させます。**



02 こんなところにも使えるスプレードライ技術

スプレードライヤーは、液体を乾かして粉にするだけの装置ではありません。「低い温度で粉末にする」「表面を包む」など、粉の性質や使いやすさをコントロールする加工にも使えます。その中でもよく使われる応用例として、「溶融造粒法」と「コーティング技術」をご紹介します。

溶融造粒法

溶融造粒とは、低い融点の原料を溶かし、冷風中に噴霧し、冷却固化により造粒する方法です。

噴霧乾燥造粒法
熱風中にスラリーを噴霧して、乾燥・造粒する。

溶融造粒法
冷風中にスラリーを噴霧して、冷却固化により造粒する。

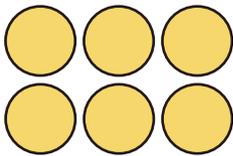
こんな
素材に

熱でやわらかくなり、冷えると固まるモノ
樹脂、脂肪酸、ワックスなど

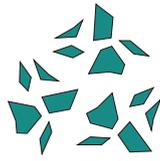


コーティング技術

スプレードライでできるコーティングとは、2つの成分を1つの粒子の中にまとめる・包む技術です。

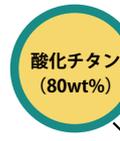


酸化チタン



セラミックス

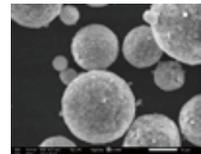
複合化



酸化チタン
(80wt%)

セラミックス
(20wt%)

酸化チタン・セラミックス複合粒子



こんな
素材に

触媒：高価な原料の使用料を削減
化粧品顔料：混合する粉末を均一に



3

スプレードライヤーの選び方

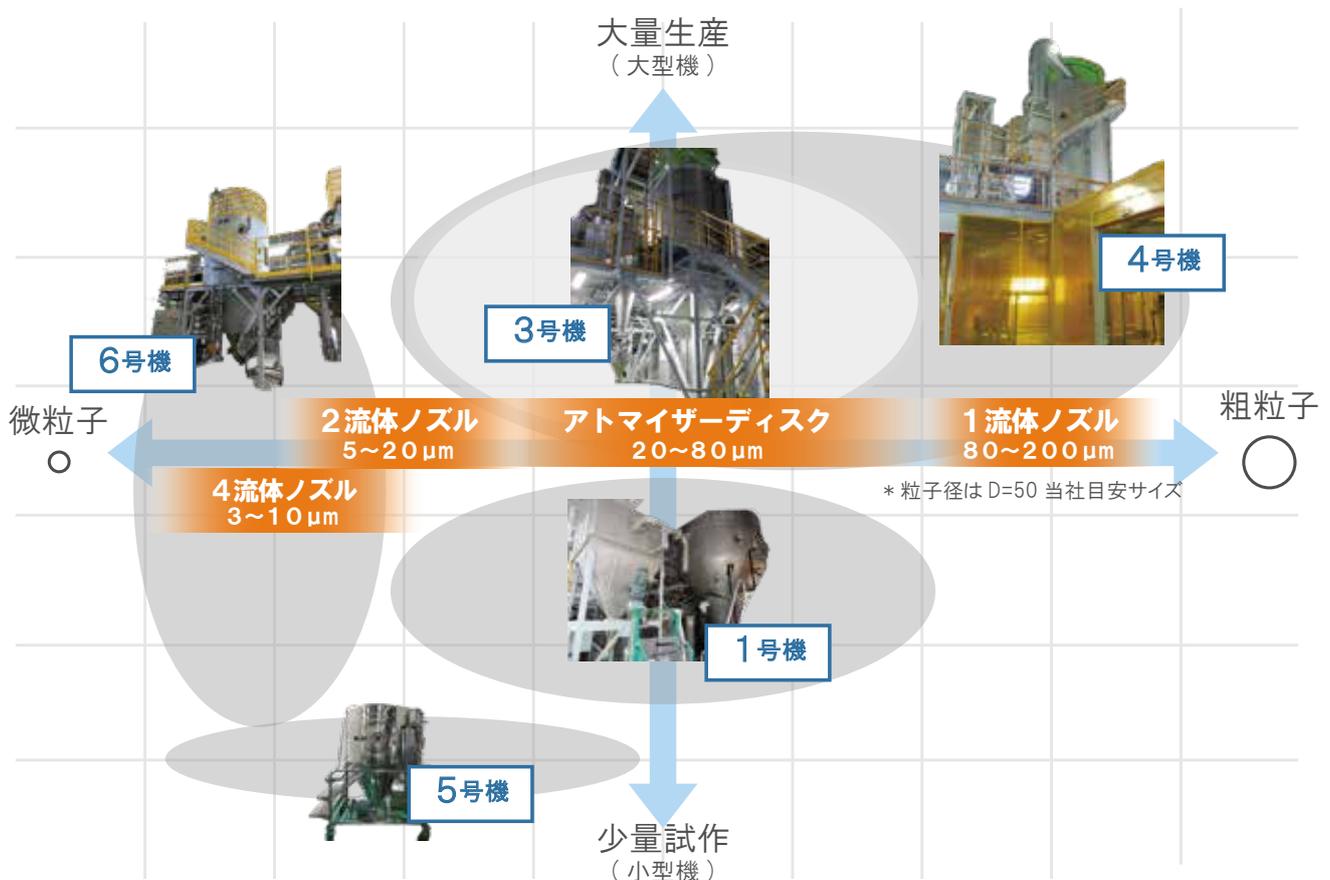
How to Choose a Spray Dryer

01 スプレードライヤーの選び方

乾燥時間、粉体の粒径、処理量、設置スペースなど、スプレードライヤーの導入時に検討すべき要素はたくさんあります。

スプレードライヤー選定の第一歩は、「目標粒径に対応した噴霧方式」を見極めることです。液体をどのような方法でミスト状にするかによって、粒子の大きさや形状、乾燥効率は大きく変わります。

目標粒径と4つの噴霧方式



電池材料の微粒化なら
4流体ノズル方式で
シングルミクロンへ



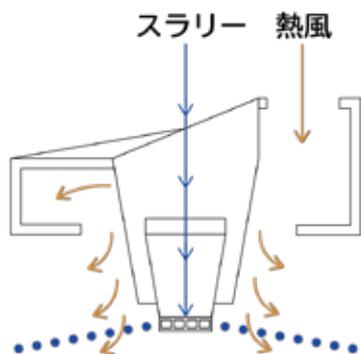
化粧品原料のマイクロカプセル化なら
アトマイザーディスク方式で
20 ~ 80 μm へ



セラミックスの顆粒化なら
アトマイザーディスク方式で
80 μm 以上へ

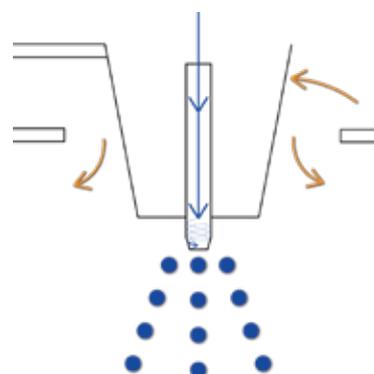
4つの噴霧方式

アトマイザーディスク方式



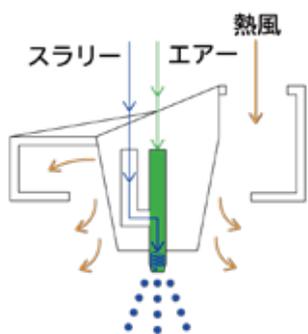
対象粒度：約 20 ~ 80 μm ※当社目安
スラリーをディスク内に充填し、ディスクが高速回転することで、スラリーを噴霧します。処理速度が高く、幅広い粒度域に対応でき、粒子サイズも均一で、シャープな粒度分布になります。

1 流体ノズル方式



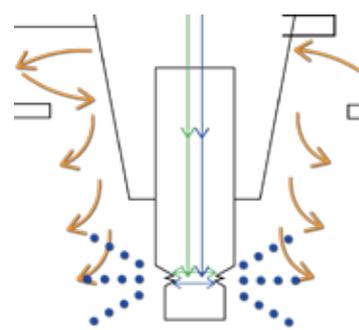
対象粒度：約 80 ~ 200 μm ※当社目安
圧力をかけながら、スラリーをノズル出口付近の溝に通過させることで、旋回流を与えて噴霧します。アトマイザーディスク方式より大きい粒子を得ることができます。

2 流体ノズル方式



対象粒度：約 5 ~ 20 μm ※当社目安
1 流体ノズル方式にさらにエア圧力を加え、高圧下でスラリーを噴霧することで、アトマイザーディスク方式や 1 流体ノズル方式より、細かいサイズの粒子を得ることができます。

4 流体ノズル方式



対象粒度：約 3 ~ 10 μm ※当社目安
2 流体ノズル方式で噴霧された高速気体流を衝突させることで、2 流体ノズル方式よりも細かいサイズの粒子を得ることができます。さらに、2 流体ノズル方式よりも、高い生産能力（高濃度・高流量）で微粒子を生産できます。

4

スプレードライの能力

Spray drying capabilities

01 スプレードライヤーの乾燥能力とは？

スプレードライヤーの乾燥能力（生産能力）は水分蒸発量で表します。
水分蒸発量 (kg/h) とは、乾燥前のスラリーから水分をどれだけ蒸発させることができるか、すなわち、**時間あたりどれだけの水分を飛ばすことができるか**、を表すことができます。



スラリー 30kg



スプレードライ
1時間乾燥

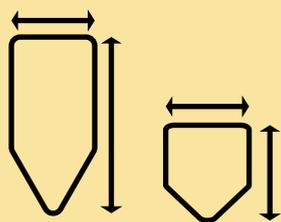


乾燥粉末 20kg

この場合の水分蒸発量は、 $(30\text{kg}-20\text{kg}) / 1 \text{時間} = 10\text{kg/h}$

02 水分蒸発量の影響因子

管体の大きさ



熱風風量



熱風温度



* 生産能力（時間あたりに得られる乾燥粉末の重量）は、水分蒸発量だけでなく、スラリー固形分濃度によっても変化します。

* 水分蒸発量は、スプレードライヤーに吹き込む熱風の入口温度と出口温度の差に比例します。

03 実践！ 1時間あたり生産できる粉体量は？

使用するスプレードライヤーの水分蒸発量、スラリー重量・固形分が分かれば、スプレードライヤーで生産できる粉体量を計算することができます。

前提
条件

スプレードライヤーの水分蒸発量：140kg/h
スラリー重量・固形分：200kg・20% の場合



①スラリー中の水分量を求める。

$$\text{水分率} = (100 - \text{固形分 } 20\%) = 80\%$$

$$\text{水分量} = 200\text{kg} \times 80\% = 160\text{kg}$$

固形分 20% 40kg	水分 80% 160kg
-----------------	-----------------

②水分量 160kg を乾燥させるのにかかる生産時間を求める。

$$160\text{kg} \div \text{水分蒸発量 } 140\text{kg/h} \doteq 1.14\text{h}$$

③1時間あたり生産できる粉体量を求める。

$$\text{固形量 } 40\text{kg} \div \text{生産時間 } 1.14\text{h} \doteq 35.09\text{kg/h}$$

04 実践！ 熱風温度が変わると、水分蒸発量はどうなる？

スプレードライヤーを運転すると、上記の計算より、粉体が少ない…。
実際の運転条件に合わせた水分蒸発量を計算してみましょう。

前提
条件

設備仕様書上の規格値
「～～熱風温度差 $\Delta 200^{\circ}\text{C}$ の場合、
水分蒸発量は 140kg/h とする～～」
実際の運転記録を確認すると
入口温度 230°C 、出口温度 110°C であった。



実際の運転条件下の、水分蒸発量は

$$140\text{kg/h} \times (\text{入口温度 } 230^{\circ}\text{C} - \text{出口温度 } 110^{\circ}\text{C})$$

$$\div \text{仕様書上の温度差 } 200^{\circ}\text{C} = 84\text{kg/h}$$

5

粉体の回収方法

Powder recovery method

01 回収（捕集）部位の構造

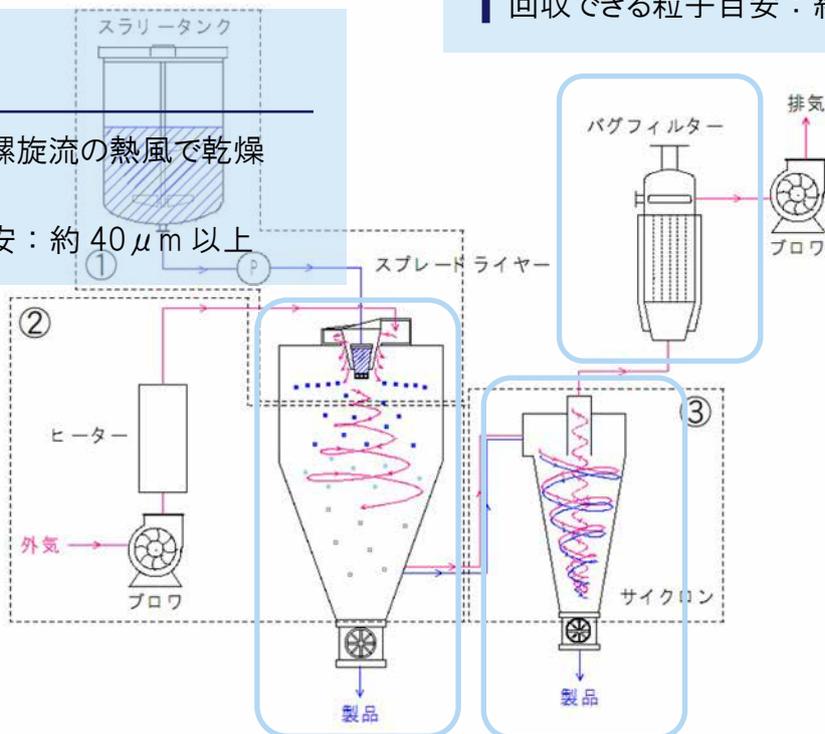
スプレードライヤーで噴霧されたスラリーは、乾燥室＝チャンバー内の熱風にさらされることで乾燥粉末となります。チャンバーでは、粗粉がそのまま下へ排出・回収できますが、軽い粉末・微粒子は、さらに熱風とともにサイクロンやバグフィルターで回収することができます。

回収（捕集）部位の構造

チャンバー

噴霧された液滴を螺旋流の熱風で乾燥させる乾燥室。

回収できる粒子目安：約 $40\mu\text{m}$ 以上



バグフィルター

フィルター表面に付着した粒子をパルスジェットで落として回収する。

回収できる粒子目安：約 $10\mu\text{m}$ 以下

回収（捕集）部位を組み合わせることで、スプレードライ後の分級や混合工程を短縮することも可能です。

サイクロン

チャンバーから流れた粉体が壁面を沿って螺旋降下し、回収する。

回収できる粒子目安：約 $10 \sim 30\mu\text{m}$

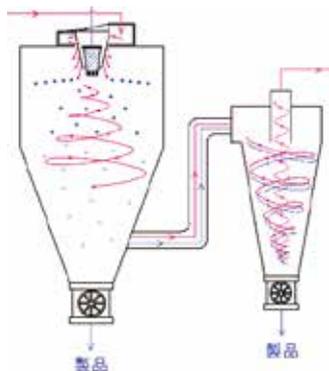


02 3つの回収（捕集）方法と特徴

チャンバー、サイクロン、バグフィルターの3つを組み合わせた回収方法をご紹介します。

1

チャンバー・サイクロン
2点捕集



2箇所で粉体を回収する方法。チャンバー下では、球形に造粒させた流動性の良い粒子が得られ、サイクロン側では微粒子のみが得られるため、分級効果があります。

メリット

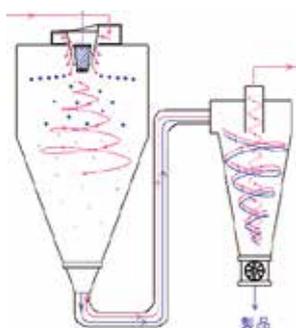
粗粉と微粉を分級して、回収できる。

デメリット

後工程で混合が必要な場合がある。

2

サイクロン1点捕集



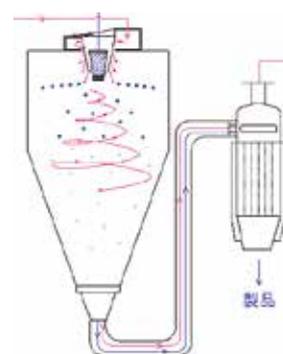
比較的軽い粒子や微粒子を回収できます。サイクロン1箇所で回収するため、後工程に混合は不要です。

1箇所で回収できる。後工程の混合不要。

遠心力で、粒子破壊が起こる場合がある。

3

バグフィルター1点捕集



サイクロンでは捕集できないような、 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ 微粒子を捕集することができます。粉体にかかる力は、サイクロンよりも軽減されているため、粒子破壊が少ない傾向があります。

粒子破壊の少ない微粉を回収できる。

長期間の運転では、バグフィルターの負荷が大きくなる。噴霧量がバグフィルターによって律速になる可能性がある。

1

2

3

4

5 共通
粉体の回収方法

6

7

8

9

6

粒子径コントロール

Particle size control

01 アトマイザーディスク方式の粒子径コントロール

アトマイザーディスク方式のスプレードライ運転では、粒子径をコントロールする場合、主にディスク回転数を上下させることで制御します。
回転数で液滴径を制御できるため、微細な粒径コントロールが可能です。

	ディスク回転数	スラリー流量	スラリー固形分濃度	スラリー粘度
粒子径	小	UP	DOWN	DOWN
	大	DOWN	UP	UP

02 ノズル方式の粒子径コントロール

ノズル方式のスプレードライ運転では、粒子径をコントロールする場合、主に噴霧圧力とスラリー物性で制御します。
特に、2流体・4流体ノズル方式の場合、気液比（エア流量 ÷ スラリー流量）で粒径コントロールを行います。

	噴霧圧力	エア圧力・流量	スラリー流量 <small>噴霧圧力一定の場合</small>	スラリー固形分濃度	スラリー粘度
粒子径	小	UP	UP	DOWN	DOWN
	大	DOWN	DOWN	UP	UP

7

アトマイザーディスクの形状

Atomizer disc shape

01 アトマイザーディスクの選び方

アトマイザーディスク方式のスプレードライヤーでは、ディスクの形状も粒径を左右する重要な要素のひとつです。当社にある3種類のアトマイザーディスクを使った粒径比較テストから「どのディスク形状が自社の目標粒径に適しているか」、ディスク選定のヒントを探っていきます。

粒径比較テスト

「思った通り」の粒径を実現するには？



テスト条件

使用設備：スプレードライヤー 1号機

原料：コロイダルシリカスラリー

(固形分濃度 31.9%、粘度 9mPa・s)

捕集方式：チャンバー・サイクロン 2点捕集

スラリー流量：0.68L/min

ディスク回転数 10,000、20,000、30,000rpm の3パターンで噴霧した粉体の粒径を比較する。



ベーン型
(φ100mm)



ノズル型
(φ100mm)



ピン型
(φ100mm)

試作～少量生産向け中型噴霧乾燥機

スプレードライヤー

(1号機)





テスト結果

どの回転数でも、乾燥粉体の粒径は
ピン型 < **ベーン型** < **ノズル型** の順に大きくなった。



ピン型



ベーン型



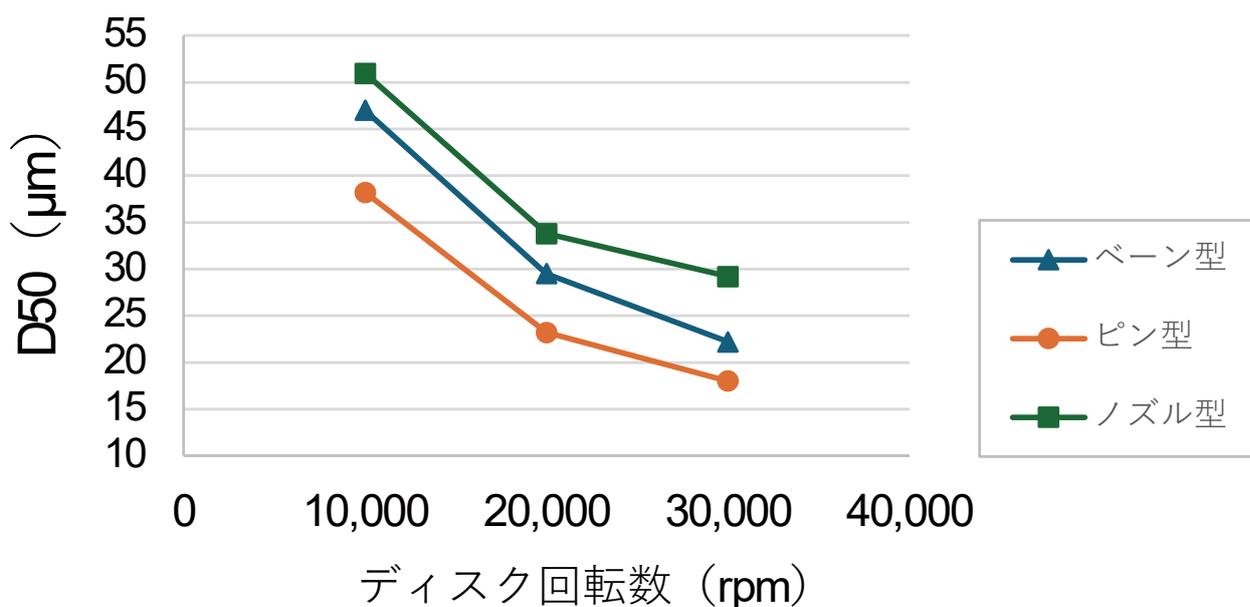
ノズル型

D50(μm)/ 液滴径計算値(μm)

回転数 (rpm)	ピン型	ベーン型	ノズル型
10,000	38/146	47/158	51/167
20,000	23/96	30/104	34/110
30,000	18/76	22/82	29/86

* 液滴径：Friedman の式

$D_{sv} / r = 0.4 (\Gamma \div \rho \cdot N \cdot r^2)^{0.6} (\mu \div \Gamma)^{0.2} (\sigma \cdot \rho \cdot L \div \Gamma^2)^{0.1}$ により計算



02 アトマイザーディスクの特徴

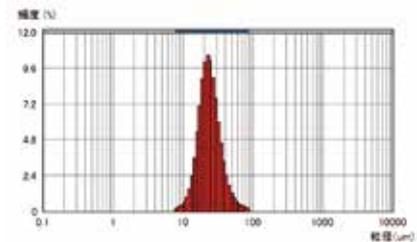
左のテスト結果と併せて、ディスク形状ごとの濡れ長さを比較することで、「思い通り」の粒径へ近づくことができます。当社にあるピン型、ベーン型、ノズル型の3つのディスク形状の特徴をまとめました。

PART 1 | ピン型

濡れ長さが大きく、微粒子化しやすい。

◆濡れ長さ（翼数 × 翼高さ）：208mm（16 × 13mm）

※当社所有のアトマイザーディスクの場合
粒度分布は、シャープになる傾向がある。

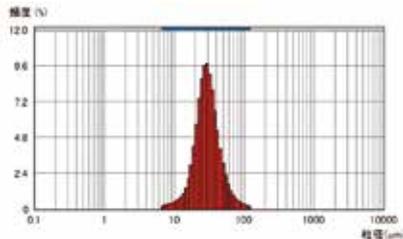


PART 2 | ベーン型

内部の流路が多翼型で液膜が均一になりやすい。

◆濡れ長さ：96mm（24 × 4mm）

※当社所有のアトマイザーディスクの場合
粒度分布は、シャープになる傾向がある。

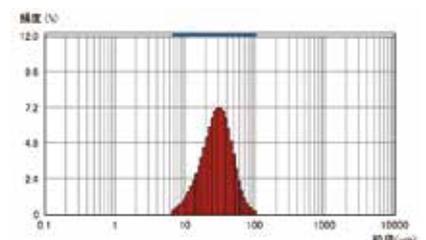


PART 3 | ノズル型

濡れ長さが短く、粒子径が大きくなりやすい。

◆濡れ長さ：16mm（4 × 4mm）

※当社所有のアトマイザーディスクの場合
粒度分布は、ブロードになる傾向がある。



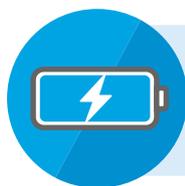
8

球状粒子をつくるには？

How to make spherical particles?

01 ．なぜ、球状粒子が必要なのか？

球状粒子が求められるのは、製品の性能や製造効率を大きく左右するからです。球状粒子の特徴としては、流動性・充填性が高い、混合・分散性の向上、外観・感触の向上などが挙げられます。このような特徴は、電池材料、セラミックス、化粧品など、様々な業界で活用されています。



Li-ion

性能を向上させるために
均一な粒子が必要

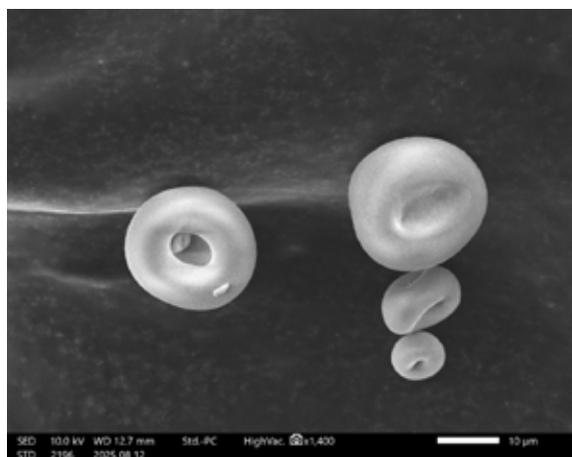
後工程の成形不良を起こさないために
流動性の高い粒子が必要



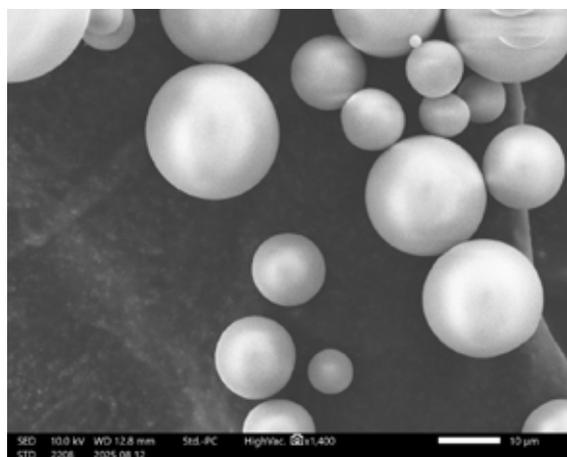
ファンデーションやスキンケア用粉末は
滑らかな感触、均一な塗布性が必要

02 ．スプレードライしたら、すべて球状にならないの？

スプレードライ顆粒の形状は、すべてが丸い中実球ではなく、真ん中が凹んだ非中実球となる場合もあります。中実球を得るためには、スラリー条件、熱風温度など、様々なパラメータを調節する必要があります。



非中実球（バルーン状、陥没球）



中実球（球状）

03 顆粒形成のメカニズム

スプレードライ工程において、液滴形成から、乾燥粒子が得られるまで、溶融や変性がない限り、ほとんどの材料で下記のプロセスを経て、顆粒が形成されます。

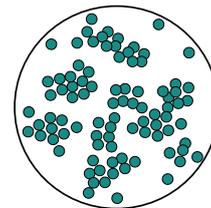
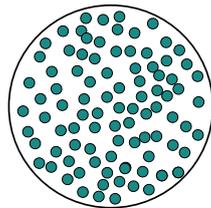
原料スラリーが、**分散系**であれば、溶媒の蒸発とともに構成粒子が液滴表面に移動し、**スラリー密度が偏在するため非中実球**になりやすく、**凝集系**であれば、同じように粒子移動が起こるが、凝集体単位で移動するため、**スラリー密度の偏りが小さく、中実球**になりやすい傾向がある。

顆粒形成のメカニズム

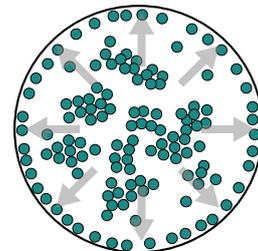
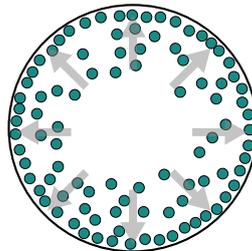
分散系スラリー

凝集系スラリー

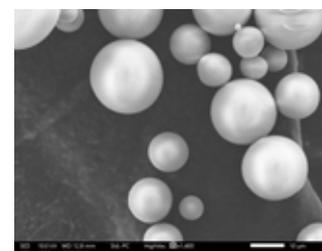
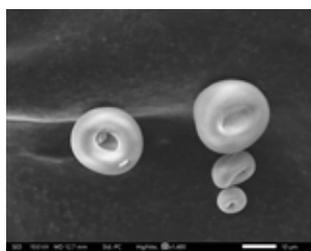
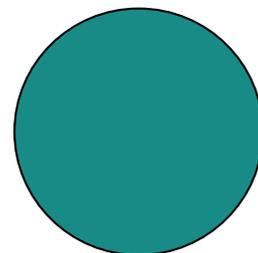
液滴形成
(スプレー噴霧)



外殻形成
(液滴表面の乾燥)



顆粒形成
(液滴内部の乾燥)

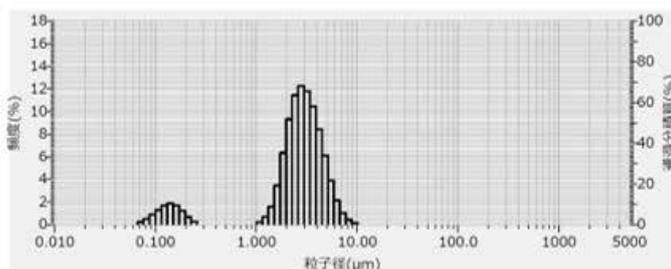


2種類のセラミックススラリーを同じ噴霧条件で顆粒化した。

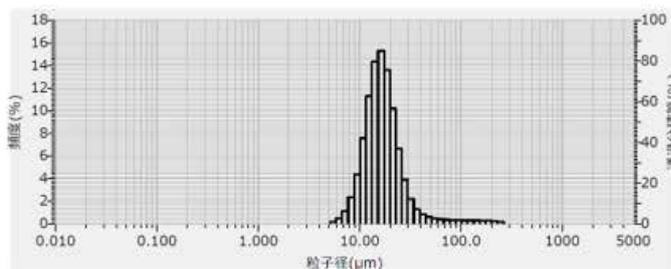
分散系スラリー：一次平均粒子径 $0.08\ \mu\text{m}$ 、二次平均粒子径 $2.8\ \mu\text{m}$

凝集系スラリー：分散系スラリーに水系バインダーを添加し、
二次平均粒子径 $16.3\ \mu\text{m}$ へ凝集させた。

噴霧前スラリー粒子径

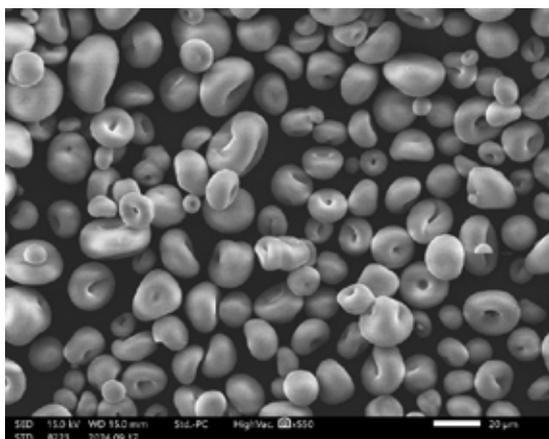


分散系スラリー粒度分布

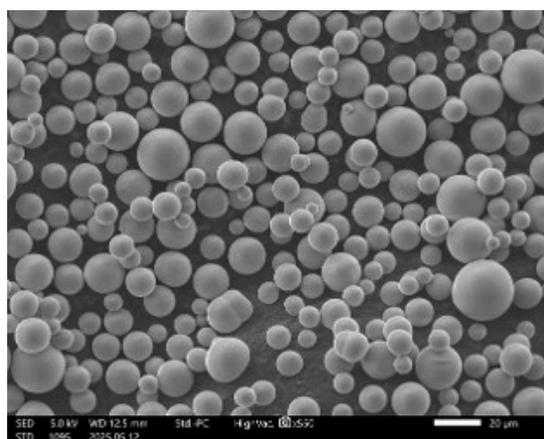


凝集系スラリー粒度分布

スプレードライ顆粒



分散系スラリー乾燥粉末 SEM 画像



凝集系スラリー乾燥粉末 SEM 画像

「中実球」をつくる運転ポイント

- ディスク回転数、噴霧圧力を上げ、液滴径を小さくすることで顆粒内間隙を減らす
- スラリーへ凝集剤やバインダーを添加し、凝集系スラリーにする
- スラリーのpHを変化＝ゼータ電位を変化させることで凝集系スラリーにする



9

生産現場の よくあるトラブルと改善事例

Problems and Improvements



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

生産現場では、ノズルの詰まりや、乾燥不良、塔内で粉体がブリッジなど、スプレードライヤー特有のトラブルが多く発生します。

当社では受託加工を通じて、多種多様な粉体のスプレードライを手掛けてきました。原料の性状や製造条件による違いを実際に経験し、トラブルの傾向や効率的な運転に関する豊富な知見が蓄積されています。

本章では、現場で発生したトラブルと改善事例を解説します。

生産現場のよくあるトラブル

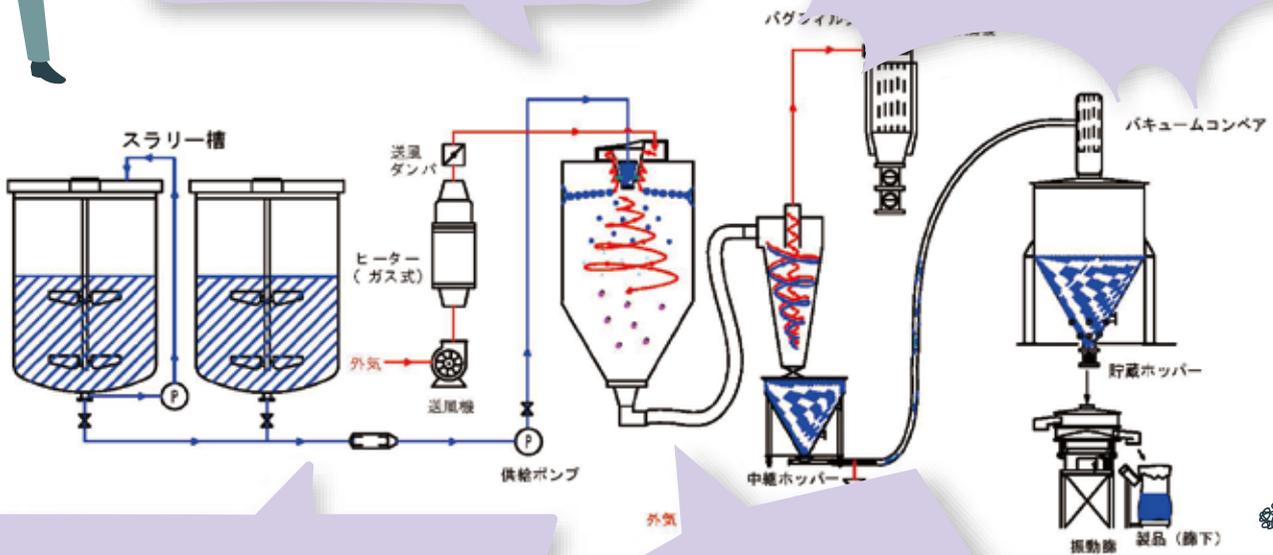


トラブル 1

接液部分が摩耗して、製品へ異物混入する

トラブル 4

ホッパー内の粉体がブリッジして出てこない



トラブル 2

塔内に粉体が付着して収率が悪い

トラブル 3

設備と配管のレイアウトが上手くいかない



改善事例

トラブル 1

接液部分が摩耗して、
製品へ異物混入する



スラリーとの接液部分には、**ダイヤモンドコーティング**や**高密度ポリエチレン**など、スラリー原料に併せて**耐摩耗性**の部品を使うことで、摩耗を防ぎます。



セラミックス



高密度
ポリエチレン



通常品

ダイヤモンド
コーティング



トラブル 2

塔内に未乾燥の粉体が
付着して収率が悪い



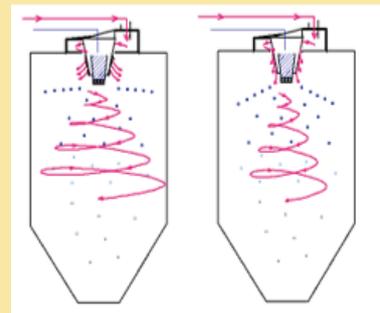
エアディスペーサの角度変更やアトマイザーディスクの形状変更をすることで、液滴の噴射角度を下げて、塔壁までの距離を伸ばし、乾燥時間を稼ぐことで塔内の粉体付着を低減します。



エアディスペーサ
(整風盤)



アトマイザーディスク
(コアンダ型)



トラブル 3

設備と配管のレイアウトが上手くいかない

ステンレス配管からウレタン耐熱性ホースへ変更することで、作業性を落とさず配管設置が可能です。さらに、ステンレス配管より軽く、清掃しやすいメリットもあります。



トラブル 4

ホッパー内の粉体がブリッジして出てこない



貯蔵ホッパーやサイクロン内にブリッジブレイカー（ブローディスク）を設置することで、エア噴射とゴムディスクの振動で粉体を流れを改善します。

トラブル対応に疲れたあなたへ

毎回のトラブル対応で時間と手間がかかり、もう限界…
 そんな悩み、受託加工で一気に解消しませんか？
 豊富な経験とノウハウで、安定した品質とスムーズな生産をお約束。
 あなたの「困った」をまるごとサポートします。

加工ラインナップ



粒子径 (μm) 0.01 0.1 1.0 10 100 1,000

粉砕 0.01~15t/月 (粉体ベース)	湿式粉砕 ※有機溶剤対応	乾式粉砕
造粒 4 流体 0.01~10t/月 その他 0.01~30t/月	スプレードライ	圧密造粒
乾燥・焼成 0.1~10t/月	乾燥 / 焼成 40~140°C/200 ~ 1250°C	
反応・ろ過 0.1~4t/月 (粉体ベース)	精製ろ過 ※有機溶剤対応	フィルタープレス 遠心脱水

課題解決に役立つ
技術情報・事例を掲載！

オウンドメディア
「日カラココカラ」
(にっからここから)



<https://www.nc-ind.com/media/>

受託製造のお問い合わせ



072-245-2202

「事業開発部 営業担当」
までお問い合わせください



<https://www.nc-ind.com/contact/>
※弊社ホームページ内のお問い合わせフォームよりお願いいたします。