

最新型バッチ式乾燥機 コニカルパドルドライヤ CPD

Advanced Batch Dryer–Conical Paddle Dryer (CPD)

千葉 智幸¹, 細川 晃平²
Tomoyuki CHIBA¹, Kohei HOSOKAWA²

¹ ホソカワミクロン株式会社 粉体システム事業本部 技術2課
² 副社長執行役員 事業統括

¹Osaka Engineering Group, Engineering Dept., Powder Processing System Division, Hosokawa Micron Corporation, JAPAN

²Executive Vice President, Business Management, Hosokawa Micron Corporation, JAPAN

抄 録

コニカルパドルドライヤ（以降，CPD）は，弊社海外グループ会社のホソカワミクロン B.V.（オランダ）で開発された最新型のバッチ式乾燥機である。CPD は，同じくホソカワミクロン B.V.（オランダ）で開発された，最新型のバッチ式混合機のコニカルパドルミキサ（以降，CPM）の構造をベースとした乾燥機であり，高速分散，高精度な混合，短時間での均一な混合を目的とした基本構造を持つ。弊社を代表するバッチ式混合機であるナウタミキサ[®]もまた，ジャケットやヒータトレースを搭載することにより乾燥機として利用され，数多くの納入実績がある。CPD は，ナウタミキサ[®]の上位機種ではなく，高速分散と精密混合に準ずる高精度な混合性能を有したコンセプトの異なる機種であり，求められる性能に応じた機種選定が必要である。

ABSTRACT

The Conical Paddle Dryer (CPD) is the newest of batch dryer developed by Hosokawa Micron B.V. (the Netherlands), one of our overseas group companies. The CPD was developed based on a mixer called Conical Paddle Mixer (CPM) developed by Hosokawa Micron B.V. The CPD is an application of the CPM which has a basic structure for high-speed dispersion, high-precision mixing, and uniform mixing in a short time. Nauta Mixer[®], which is a batch-type mixer representing our company, is also used as a batch-type dryer by mounting a jacket and a heater trace, and has a large number of delivery records. The CPD is not a high-end model of Nauta Mixer[®], but is a model with a different concept with high-speed dispersion and high-precision mixing performance, and it is necessary to select the model according to the required performance.

1 はじめに

コニカルパドルドライヤ（以降，CPD）は，弊社海外グループ会社のホソカワミクロン B.V.（オランダ）^[1]で開発された最新型のバッチ式乾燥機である。

CPD は，同じくホソカワミクロン B.V.（オランダ）

で開発された，最新型のバッチ式混合機のコニカルパドルミキサ（以降，CPM）の構造をベースとした乾燥機であり，高速分散，高精度な混合，短時間での均一な混合を目的とした基本構造をもつ乾燥機である。

弊社を代表するバッチ式混合機であるナウタミキ

サ®もまた、ジャケットやヒータトレースを搭載することにより、バッチ式の乾燥機として利用され、数多くの納入実績がある。

本報では、CPD (CPM) とノウタミキサ®の比較を通して、CPDの特徴を説明する。

2 CPDの特徴

2.1 混合の概念

CPDは、混合機であるCPMをベースとした乾燥機であるため、その特徴は、混合機としての特性に代表される。そのため、最初に混合の概念を説明する。混合とは、2種類以上の粉体を掻き混ぜて均質な混合物を作る操作である。例えば、図1のように異なる粒子A、粒子Bを混合する場合、混合前は粒子Aと粒子Bは分かれているが、混合後はランダムな粒子配列となる。この操作が混合の定義である。

また、混合後の状態を微小な視点で見た場合、図2のように微粒子が凝集体を形成している単純混合

と微粒子の凝集体の形成していない精密混合と大別することができる。単純混合は、衝撃力とせん断力を与えるほど、凝集体は分散され、精密混合の状態に近づく。

一般的に単純混合を求める場合、ノウタミキサ®のような、低速回転で低エネルギー（1バッチ量あたりの動力が低い）の混合機が選定され、精密混合に準ずる高精度な混合は、より強い分散力が求められるので、より高速回転で高エネルギー（1バッチ量あたりの動力の大きい）の混合機が選定される。標準的な仕様での比較では、CPMの周速はノウタミキサ®の周速の3倍、CPMの1バッチ量あたりの動力はノウタミキサ®の約7倍を有しており、精密混合に準ずる高精度な混合が可能である。

2.2 バッチ式乾燥機の特徴

CPDは、バッチ式の乾燥機に分類される。ここでは、連続式の気流乾燥機（例えば、弊社気流式乾燥

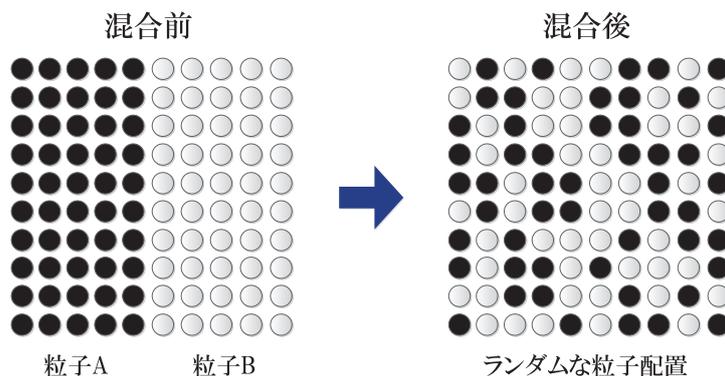


図1 混合の定義
Fig. 1 Definition of mixing.

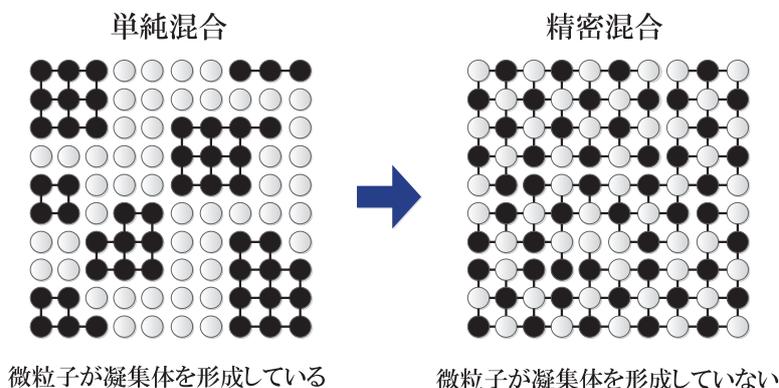


図2 微小な視点で見た場合の混合状態モデル
Fig. 2 Model of mixed state when viewed from minute viewpoint.

テクニカルノート

機ドライマイスタ[®]等)と比較した場合の乾燥機としての特徴を比較する。原料の乾燥曲線を図3に示す。

一般的に乾燥時間と湿分量の関係は、乾燥時間に従い、湿分値が比例して減少する恒率乾燥区間と、時間経過に対して、湿分値が減少しにくくなる減率乾燥区間に分けられ、恒率乾燥区間から減率乾燥区間へ変わる点を限界湿分と定義される。

恒率乾燥区間では、伝導熱量は水分蒸発に有効に使われ、付着水のような、粒子表面湿分の乾燥が主である。この区間での乾燥品を得ようとする場合、連続式の気流乾燥機によって、効率的な生産が可能範囲である。

減率乾燥区間では、粒子表面の湿分は失われており、伝導熱量は水分蒸発に有効に使うことができない。この区間では、伝導熱量より滞留時間が必要で、結晶水や凝集体内部に含有する水分の乾燥が主である。この区間の乾燥品を得ようとする場合、バッチ式の乾燥機が適合する。

バッチ式乾燥機でも、特にCPDやナウタミキサ[®]は、ジャケット構造(間接加熱構造)であるため、下記のような特徴を有する。

- ・原料と熱媒体が接触しない。
- ・真空乾燥が可能。

沸点を下げることで、比較的低い温度(40~60℃程度)での乾燥が可能

- ・排ガス量が少ない。

気流乾燥機と比較して、排ガス量が少なく、N₂雰囲気等の低酸素雰囲気での乾燥や、コンデンサによるドレン回収が可能。

他、CPDとナウタミキサ[®]の特有の特徴として、下記が挙げられる。

- ・製品の排出が容易で、残留が少ない。

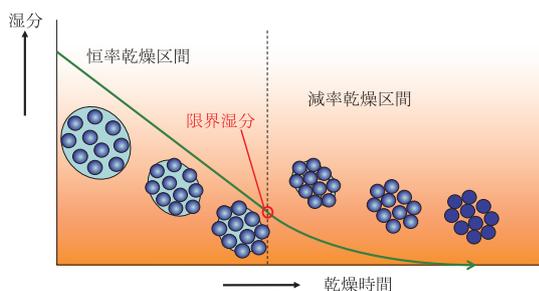


図3 原料の乾燥曲線
Fig. 3 Drying curve of raw material.

逆円錐型のケーシング且つ、底部に排出口を持つ構造のため、製品の排出が容易で残留が少ない。

- ・清掃が容易。

機内には、回転体が1本あるだけのシンプルな構造により機内の清掃が簡単である。そのため、品種替えが容易。

- ・工程の簡略化が可能。

混合、乾燥、反応、冷却等の工程を、1台で可能。

2.3 CPDのメカニズム^[2]

CPD (CPM) の構造を図4に示す。下部は逆円錐型で、上部が直胴型のケーシングからなり、直胴型の天板部にモータ、ギヤボックスを配し、そこから動力を伝達して、機械中央を軸として回転するロータで構成される。ロータは、ケーシング側面に沿って固定されたパドルからなり、ロータが回転することで、パドル近傍の粉体は、上昇運動し、パドルの周速の違いにより、せん断力が加わり分散される。また、パドルによる粉体の上昇運動は、ケーシングの中心付近では、重力による下降運動を引き起こすため、容器内の粉体全体を大きく移動させる。せん断力をかけながら、容器全体を攪拌するため、全体的に混合速度が早く、短時間で高精度な混合を行うことができる。

図5は、CPDの外観写真である。CPMの構造がベースであるが、加熱用ジャケットを搭載し、耐熱性を高めた構造にアレンジしている。



図4 CPD (CPM) の構造^[2]
Fig. 4 Structure of CPD (CPM) ^[2].

2.4 ナウタミキサ[®]のメカニズム

ナウタミキサ[®]の構造を図6に示す。

逆円錐型ケーシングの天板部にモータ、ギヤボックスを配し、そこから動力を伝達して、機器中央を軸として回転するスイングアームとその先端部に回転軸を持ち内壁面に沿って周回運動をしながら回転するスクリュで構成される。スクリュは、自転することで、スクリュ近傍の粉体は上昇運動し、スクリュから離れた部分では重力により下降運動する。同時にスイングアームが回転してスクリュが容器内壁面に沿ってゆっくりと公転することにより容器内の粉体全体を大きく移動させる。粉体の動きそのものは穏やかであるが、偏析現象がほとんど発生せず、無



図5 CPDの外観写真^[2]
Fig. 5 Appearance photo of CPD^[2].

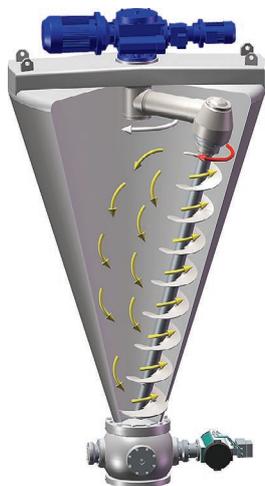


図6 ナウタミキサ[®]の構造^[2]
Fig. 6 Structure of Nauta Mixer[®]^[2].

駄のない動きにより速やかに混合される。粉体全体を同時に攪拌する方式ではないため、消費動力は小さく抑えることが出来る^[3]。図7は、真空用ナウタミキサ[®]の加熱ジャケット付の外観写真である。

2.5 CPDの特徴

ここでは、CPDの特徴について、ナウタミキサ[®]と比較しながら説明する。

CPDとナウタミキサ[®]は、先に述べた混合のメカニズムの違いによりCPDのほうが、混合強度が高い構造を有している。具体的には、CPDの最大周速はナウタミキサ[®]の周速の約3倍であるため、粉に与える衝撃力が高い。CPDの1バッチ量あたりの動力は、ナウタミキサ[®]の約7倍を有しているため、せん断力が高い。また、容量に対する粉の流動容積は、粉の性状によって大きく影響を受けるが、一般的な粉体の場合、ナウタミキサ[®]の場合は20%であるのに対し、CPDの場合はほぼ100%である。この高い混合効果により、CPDの乾燥速度はナウタミキサ[®]よりも高い値を示す。言い換えれば、総括伝熱係数 U [$\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$] で比較した場合、CPDの U 値がナウタミキサ[®]よりも高い数値となる。これは、図3の原料の乾燥曲線で示した限界湿分が、分散作用が強い乾燥ほど凝集体が解砕されることで、恒率乾燥区間の乾燥時間に対する湿分の勾配が急になり、より短時間で恒率乾燥区間を終了するため、乾



図7 真空ナウタミキサ[®]加熱ジャケット付外観写真^[2]
Fig. 7 Appearance photo of Nauta Mixer[®] vacuum type with heating jacket^[2].

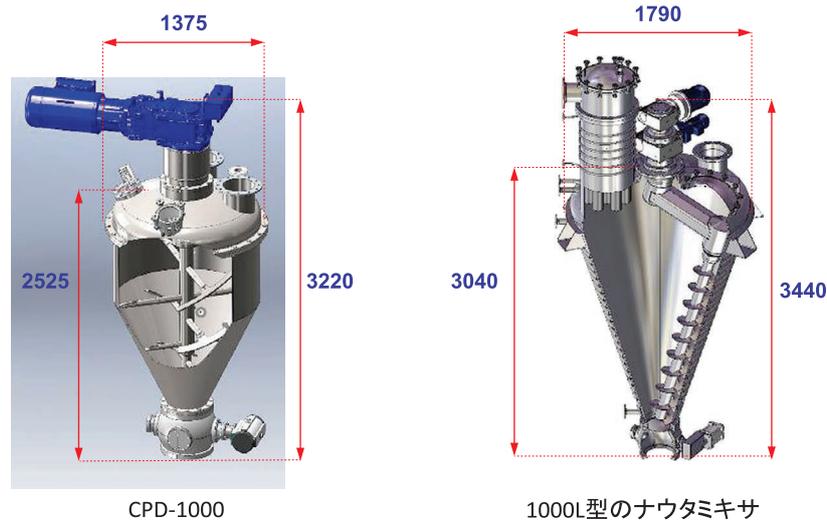


図8 1000L 型の CPD とナウタミキサ[®] 寸法比較 (参考)
Fig.8 Dimensions comparison of CPD and Nauta Mixer[®] (reference).

乾燥時間が短く成ることを示している。また、乾燥速度に影響を与える因子として、伝熱面積が挙げられるが、同容量の CPD とナウタミキサ[®] は、ほぼ等しい伝熱面積になるように設計されている。

設置スペースは、CPD の方がナウタミキサ[®] よりも省スペースである。図 8 は、CPD とナウタミキサ[®] の 1000L 型の寸法比較である。

CPD の逆円錐型と直胴型を組み合わせた容器形状は、ナウタミキサ[®] の逆円錐型に比べ、直胴部を有している分、内容積を多くとるのに有利であり、機器全体の省スペース化に寄与している。ただし、全高に関しては、CPD のモータとギヤボックスが大きくなるため、あまりナウタミキサ[®] と変わらない寸法となっている。

構造の複雑さは、単純であればあるほど、メンテナンスがしやすく、特殊な仕様に対応しやすく、清掃もしやすくなるので、重要な要素である。この点については、CPD は一軸構造の 1 モータであり、ナウタミキサ[®] は自転、公転を有する二軸構造の 2 モータであるため、CPD の方が単純な構造である。また、CPD の軸シール交換は、乾燥容器外からおこなうことが出来るため (ナウタミキサ[®] の場合は、容器内での作業が必要)、比較的メンテナンスは容易であるが、ナウタミキサ[®] のように、機内でスクリュウや公転アームを分解して、天板のマンホールから機外へ取り出せる構造では無いため、ロータの交換が必要な場合は、天板と一緒にロータを吊上げるための

スペースとクレーンが必要である。このことは、設備導入段階での設置検討で十分考慮しなければならない。

真空乾燥については、CPD、ナウタミキサ[®] 共にオプション仕様で対応可能であり、耐圧に優れたドーム型天板 (図 9) 構造を採用する。また軸封構造も真空対応構造となり、空気の漏れ量を最小限に抑えることが可能である。またコンデンサを用いたドレン回収も可能である。

ナウタミキサ[®] は、1963 年に混合機として弊社に導入された機種であり、これまで 10,000 台以上の販売実績がある^[4]。弊社 (国内) に残っている記録では、すでに 1980 年には、真空乾燥型のナウタミキサ[®] NXV-2 型 (200L) の販売実績があり、1980 年



図9 ドームカバー (ナウタミキサ[®] 用) の外観^[3]
Fig. 9 Appearance of dome cover for Nauta Mixer[®] ^[3].

表1 CPDとナウタミキサ®(加熱型)の比較
Table 1 Comparison of CPD and Nauta Mixer® (Heating Type).

機種	CPD	ナウタミキサ
混合強度	○	△
所要動力	△	◎
乾燥速度	◎	○
伝熱面積	○	○
設置スペース	○	△
構造の複雑さ	○	△
真空乾燥	○	○
納入実績	△	◎

◎…とても優れている。
○…優れている。可能。
△…やや劣る。

以降の国内販売台数に限定しても、300台以上の販売実績がある。

表1として、CPDとナウタミキサ®の比較について、簡単にまとめた。

3 システムフロー

3.1 代表的なシステムフロー

図10は、真空乾燥システムの代表的なフローである。CPDもナウタミキサ®も基本的には、同じシステムフローで構成される。

本システムフローの場合、ナウタミキサ®への原料(粉体)投入工程は、真空ポンプを用いた吸引による空気輸送にて行われる。原料投入工程完了後は、

液添混合工程へ移行し、液体原料と粉体原料の混合が行われる。混合工程完了後は、真空乾燥へ移行し、真空乾燥完了後に製品として排出される。蒸発した湿分は、コンデンサによって凝縮され下部のドレンタンクに回収される。このように、1つの容器内で、混合と乾燥を行なうことができる。

3.2 ユーティリティ

CPDシステムに必要なユーティリティは、基本的にナウタミキサ®と同様であり、電気、圧縮空気、熱媒油(もしくはスチーム)、冷却水(もしくはチラー水)が必要である。その必要量は、小型機によるテスト結果から計算される。

電気は、各機器のモータの駆動用及び、計装品(電磁弁及び、各所センサー)への電源供給に必要である。

圧縮空気は、集塵機の逆洗に使われるほかに、エアロッカーの動作用や、排出バルブ等のエアシリンダ用に使用される。

CPDと集塵機の加熱には、熱媒油もしくはスチームが用いられ、別途ボイラ設備(熱媒ボイラ、蒸気ボイラ)より温度コントロールされ、安定供給される必要がある。

冷却水は、コンデンサによる回収蒸気の凝縮用に必要で、回収蒸気が有機溶剤の場合には、沸点の関係でチラー水となることもある。冷却水(チラー水)の供給についても、冷却水設備(クーリングタワー設備やチラー設備)が別途必要となる。

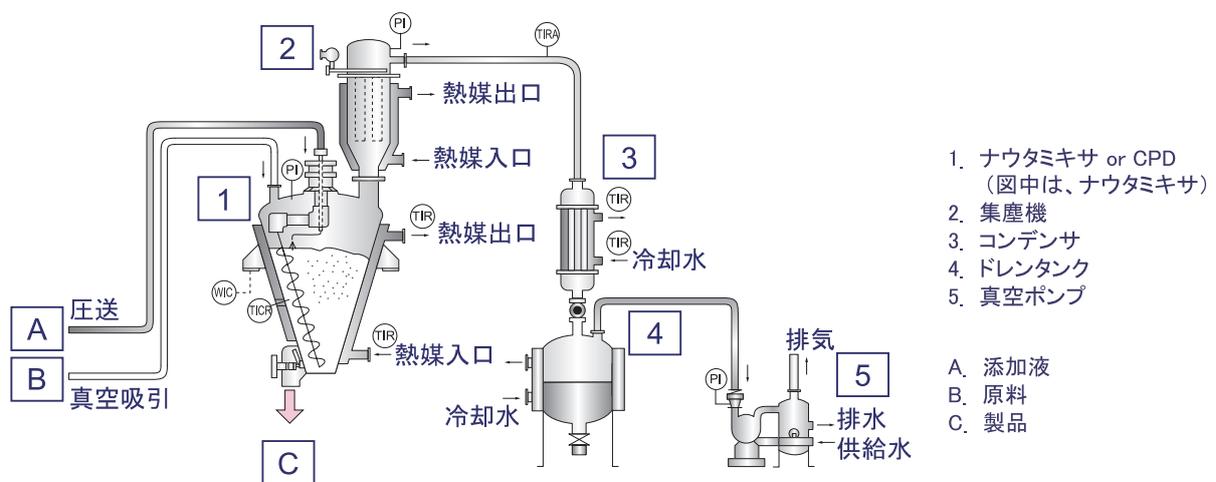


図10 真空乾燥システムフローの一例^[3]

原料空気輸送→液添混合→真空乾燥→排出

Fig. 10 Example of vacuum drying system flow^[3].

Raw material air transportation → Liquid mixing → Vacuum drying → Discharge

テクニカルノート

4 アクセサリ

ここでは、CPD で使われるアクセサリについて、いくつか紹介する。

4.1 サンプラー^[4]

図 11 は、サンプラー付属のナウタミキサ[®]の外観とサンプラーの外観写真である。サンプラーは、ホソカワミクロン B.V. のオリジナル商品であり、運転中の容器内の粉体をサンプリングする製品である。加圧雰囲気（最大 0.5 MPaG）、真空雰囲気、高温下（MAX 200℃）で使用できる。プロセス容器内に粉のデットスペースを生じることなく取めることができ、信頼できるサンプリングが可能である。

4.2 イゼムバルブ

製品排出部用のタンク底ボールバルブは、国内では、調達の上易さから、専門メーカーのものを選定するケースが多いが、ホソカワミクロン B.V. オリジナル製品のイゼムバルブ（図 12）も選定可能である。

イゼムバルブは、開時に流れ抵抗が少ないフルボア通路、粉のデットスペースを最小限にしたハウジング、そして独自のシール設計により、真空や加圧を伴う、溶剤や毒性のあるプロセス設備で多く採用され、海外ではイゼムバルブ単体として、他の機械メーカーの混合機、乾燥機、反応器に採用されることもある。ラインナップは、外径 75～800 mm の 8



図 12 イゼムバルブの外観^[2]
Fig. 12 Appearances of ISEM VALVES^[2].

機種で ANSI と DIN 規格に対応でき、設計耐圧は 0.6 MPaG、設計温度は、-20～200℃である。

4.3 メカニカルシール

CPD は、ナウタミキサ[®]と比較して、軸構造が複雑ではないため多様な軸構造への対応が可能である。例えば、メカニカルシールは、オイルシールやグランドシール構造に比べ、気密性が高く（漏れ量が少ない）、摺動部の摩耗も少ないため、メンテナンス間隔が長く取れるという利点がある。ナウタミキサ[®]では、温度等の設計条件が合えば、特殊設計にて、ドライタイプのメカニカルシールは対応可能であるが、構造上、自転スクリュのシール部分が容器内にあるため、交換作業の難易度が非常に高く、メンテナンス性に難があった。CPD は、オイル循環型のメカニカルシールでの設計・納入実績があり、



サンプラー付属のナウタミキサ外観



サンプラーの外観

図 11 サンプラー付属のナウタミキサ[®]とサンプラーの外観^[2]
Fig. 11 Appearances of Nauta mixer with samplers and sampler^[2].

比較的高い温度条件や、真空雰囲気や加圧雰囲気でも使用可能である。また、容器外からシール交換作業ができる構造となっており、メンテナンス性も高い。

4.4 圧力容器規格対応容器

第一種圧力容器、第二種圧力容器、共に製作可能である。CPDは、ホソカワミクロンB.V.（オランダ）のオリジナル製品で基本設計と大部分の部品は製作されるが、国内向けの案件の場合は、容器の設計・製作・機器組立は、弊社大阪工場で行っている。

5 おわりに

CPDは、ナウタミキサ®の上位機種ではなく、高速分散と精密混合に準ずる高精度な混合性能を有したコンセプトの異なる機種であり、求められる性能に応じた機種選定が必要である。期待されるアプリケーション例を挙げると、①アルカリ化や固体-気体反応といった化学反応 ②結晶化用途 ③造粒と顆粒化 ④滅菌などが挙げられる。

ホソカワミクロンB.V.は、CPDのテスト機を用意しており、オランダ（ドイツンケム）でのテストを行うことが可能である。

References

- [1] ピータ G. J. ファンデアベール, ホソカワミクロン BV における粉体技術の研究開発, 粉砕, 59 (2016) 79–85. <https://doi.org/10.24611/micromeritics.2016013>
- [2] HOSOKAWA MICRON B.V. Homepage, <<https://www.hosokawa-micron-bv.com/>>accessed 27.06.2019
- [3] ホソカワミクロン(株) 編：ホソカワ製品ハンドブック, “3.3 混合”, pp. 278–297, 336–339, 凸版印刷(株), 大阪 (2013).
- [4] 宮武 繁, ビッグドアを採用したナウタ型ミキサーの点検性, 洗浄性, 粉砕, 62 (2019) 59–63. <https://doi.org/10.24611/micromeritics.2019012>

〈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。粉体システム事業本部、粉体工学研究所を経て、2015年から現職。

〔専門〕 粉体工学。

〔連絡先〕 tchiba@hmc.hosokawa.com



細川 晃平 Kohei HOSOKAWA

〔経歴〕 2009年 京都大学大学院工学研究科材料工学専攻前期博士課程修了。同年、ホソカワミクロン株式会社入社。2014年 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻後期博士課程修了。同年グループ会社となる Hosokawa Alpine Aktiengesellschaft (ドイツ) 及び Hosokawa Micron Powder Systems (アメリカ) への駐在を経て2019年10月より現職。

〔専門〕 粉体工学, 材料工学。

〔連絡先〕 khosokawa@hmc.hosokawa.com