



## 最新の粉体装置開発の動向

### The Latest Trend of Development of Powder Equipment

渡辺 晃

Akira WATANABE

ホソカワミクロン株式会社 粉体工学研究所 研究員

Asst. Section Manager, Powder Technology Research Institute, Hosokawa Micron Corporation, JAPAN

#### 抄 録

エネルギー分野や電子材料分野に代表される各種製品の高機能化や省エネルギー化、小型化などに伴い、我々が扱う「粉」の分野においてもより細かい粒子や均一な粒子径分布、あるいは粉体自体の高機能化に対する要求が年々増してきている。我々も、このような市場の要望に対応すべく、「粉碎」や「分級」などの各単位操作に対応した粉体装置の開発を日々行っている。ここでは、最近我々が開発した装置を単位操作別にその特徴や原理について紹介する。

#### ABSTRACT

The demands for finer powder and functional powder have been increasing year by year according to downsizing of each product or saving energy. In order to catch up with this situation, we also tackle developing new innovative machine like grinding machine or classifier and so on. In this paper, I introduce the machine developed recently and explain the principle of each machine.

#### 1 はじめに

粉体プロセスを単位操作ごとに分類すると、「粉碎」、「分級」、「混合」、「粒子設計」、「乾燥」、「造粒」、「供給」、「排出」、「集塵」、「測定」などに分類される。当社はこれらの単位操作全般を網羅した装置を幅広く開発し、販売している粉体装置メーカーである。当社の製品を産業分野別、装置別にまとめた「ホソカワ製品ハンドブック」なる本があるが、その本で取り上げられている装置の数は約 100 種類に上る。この本の最新版が 2013 年に発行されたことを考えると現時点で当社が扱っている装置の種類は優に 100 種類を超えることになる。国内は元より世界

を見てもこれほど多数の粉体装置を開発し、販売しているのはホソカワミクロングループのみだと考える。ここでは、近年開発された最新の装置の中からいくつかを単位操作ごとに紹介する。

#### 2 粉碎

「粉碎」は、粒子に衝撃・圧縮・せん断・摩砕といった力を加えることにより、粒子サイズを減少させる機械的単位操作であり、粒子の機能を高める上で、最も基本的な処理方法である。比表面積の増加、分散性・溶解性の向上、焼結品の均一性・成形性の改善などの目的に用いられるが、最近は最終製品の小

型化に伴い、微細で均一な微粒子への要求が高まっている。ここでは、方式の異なる2種類の粉砕装置について紹介する。

### 2.1 乾式媒体攪拌ミル“プルビス”<sup>1)</sup>

超微粉が要求されるような用途では、その原理から、ボールやビーズなどのメディア（媒体）により粉砕を行う媒体ミルが有効であるとされている。しかしながら、一般的な転動型媒体ミルでは、臨界回転速度があるため、より細かな微粉を得るには限界がある。これに対し、当社では、強制攪拌式でかつ滞留時間が長くとれる分級機を内蔵した乾式媒体攪拌ミル“プルビス”を開発した。図1にその構造を示す。

本装置は、媒体ボールを強制的に攪拌する粉砕部が装置下部に設けられ、上部より投入された原料が媒体ボールと共に攪拌される際に、強力な衝撃力・摩砕力を受けて微細化される。底部から流入する気流により、粉砕品は装置上部の高速回転型分級部に運ばれ、所望する微粉子だけが粉砕品として排出される。粉接部の材質は、セラミックス製の耐摩耗仕様が標準的に用いられる。

この装置の特長は、①耐摩耗仕様が容易なこと、②他の乾式粉砕機では得られない超微粉が得られることにある。図2にガラス粉を粉砕した場合の例を示す。乾式で微粉を得る際に一般的に良く使われる手法であるジェットミルを比較に用いた。プルビスはジェットミルと比較しても微粉が得られており、且つ粉砕消費エネルギーも大幅に少ないことが分かる。

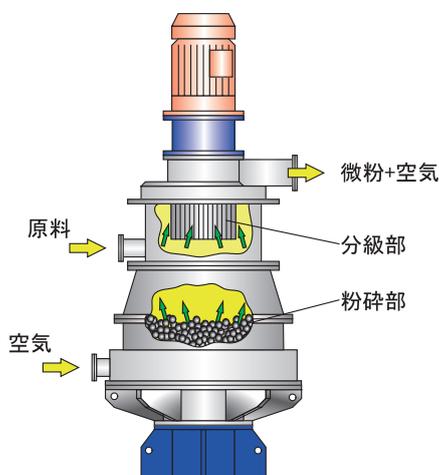


図1 プルビスの構造  
Fig.1 Structure of Pulvis.

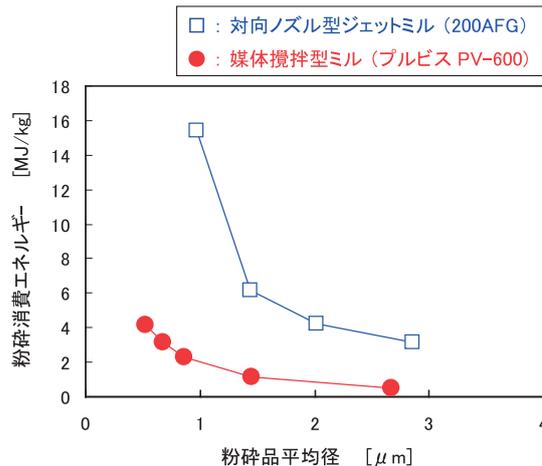


図2 ガラス粉の粉砕結果  
Fig.2 Grinding test result of glass powder.

### 2.2 高冷却型機械式微粉砕機“グラスシ”<sup>1)</sup>

トナーの粉砕は、粉砕熱による融着を防ぐことができるジェットミルが主流であったが、消費エネルギーの大きさや製品回収率の低さから、機械式粉砕機が見直され始めている。このようなニーズを受けて開発されたのが図3に示す高冷却型機械式微粉砕機“グラスシ”である。

粉砕部はロータとライナから構成されており、どちらも効率的に冷却できるように設計されている。冷却された搬送エアで運ばれた原料は、高速回転する多段式粉砕ロータ外輪のギア形状の刃とギア形状のライナ（固定刃）との極微小な間隙で粉砕される。粉砕された粒子は、投入口と反対側に設けられた出口から排出され、ブロウに接続されたサイクロンや集塵機によって回収される。

例として、トナーの粉砕結果を図4に示す。元来グラスシはトナーの粉砕用に開発されたが、その特徴を活かし、茶葉の粉砕にも利用されている。茶葉の粉砕結果を図5に示す。

## 3 分級

### 3.1 分解・メンテナンス容易型“CRS ロータ”<sup>2)</sup>

当社では粒度や目的に応じて、種類や原理の異なる分級機を有している。CR ロータはロータが回転することにより発生する強制渦による分級と、分級ロータ内部での半自由渦による分級を組み合わせることで、超微粉域での分級を可能としたロータであ

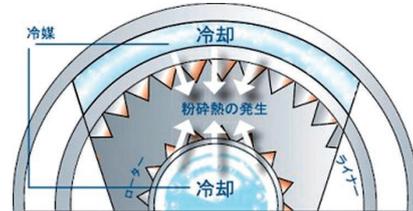


図3 グラシス外観図 (左), グラシスの構造 (右)  
Fig. 3 Glacis (left) and structure of Glacis (right).

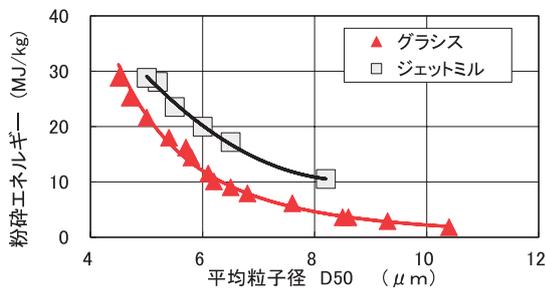


図4 トナーの粉碎結果  
Fig. 4 Grinding test result of toner.

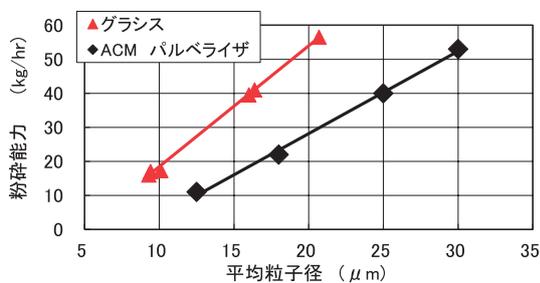


図5 茶葉の粉碎結果  
Fig. 5 Grinding test result of tea leaf.

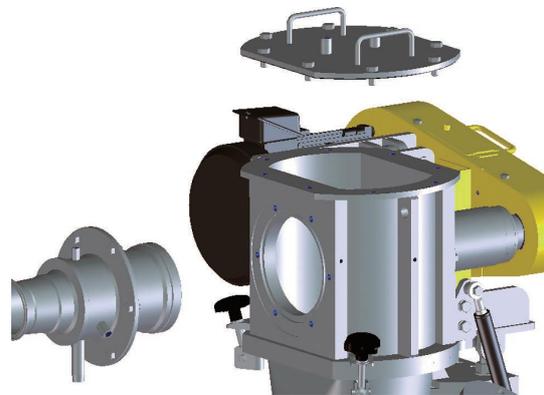


図6 CRS 分級部の分解構造  
Fig. 6 Disassembled image of CRS classifier parts.

る。今回、さらに分解・メンテナンス性を向上した CRS ロータを開発した。CRS ロータでは微粉出口側に分級駆動部が無い構造を採用しており、微粉出口配管を容易に取り外し、配管や分級ロータを洗浄することが可能である。また分級ロータシール構造の変更により、メンテナンス性が向上し、組立時の回転部のクリアランス調整も格段に容易になっている (図6)。

分級性能を比較するために、ジェットミル (AFG) に各種分級ロータを載せて粉碎テストを行った結果を図7に示す。原料には平均粒子径 20 μm のタルク

を用いた。AFG-CRS は今回の新型ロータとジェットミル (AFG) の組み合わせを示し、AFG-CR および AFG は従来機を示す。

粉碎効率は AFG-CRS, AFG-CR, AFG とともに同等であるが、微粉の最小到達平均粒子径は、AFG が 1.8 μm であるのに対し、AFG-CRS および AFG-CR は 0.9 μm であった。

このことから、AFG-CRS では、分解・洗浄性を向上させながら、従来と同等の分級性能を達成していることが分かる。

## 4 粒子設計

### 4.1 乾式粒子複合化装置 “ノビルタ ベルコム (NOB-VC)”<sup>3)</sup>

「粒子設計」は「機能性付与および操作性改良を目的とした粉体改質に関する技術とその応用」<sup>4)</sup> というような意味で用いられる。

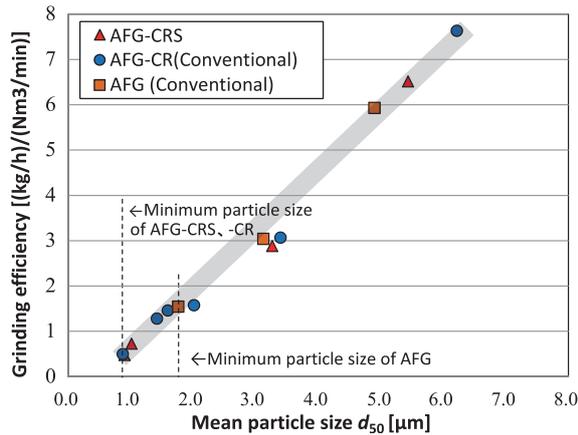


図7 ジェットミルに各種分級ロータを搭載した場合の粉砕結果

Fig. 7 Comparison test result with different classifier rotors.

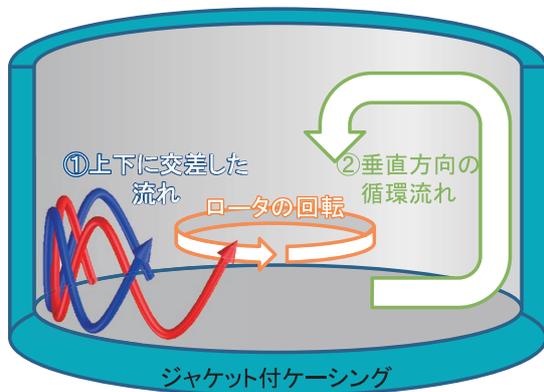


図8 NOB-VC 機内での粉の動き  
Fig. 8 Image of powder movement in NOB-VC.

当社は、2004年にノビルタ（以下NOB）の販売を開始し、これまでに100社を超えるユーザーに納入されている。実験室用の小型機から、生産機までのラインナップがあるが、有効容量が100Lまでが最大であった。NOB-VCは、NOBの構造を見直すことにより、有効容量は最大500L（NOBの約5倍）まで対応でき、また容積あたりの投入量を2倍にすることによって機械をコンパクトにした。さらに垂直駆動軸を採用したシンプルな構造により、コストを低減し、清掃性も向上した。NOB-VC内の動きを模式化したものを図8に示す。NOB-VCはNOBの優れた複合化能力を受け継ぎ、大容量化を実現している。

NOB-VCとNOBを用いて、ケイ砂（平均粒子径：21 μm）とシリカ（平均粒子径：7 nm）を質量比で10：1の割合で処理した。投入エネルギーに対する比表面積値の変化を図9に示す。また高速攪拌機に

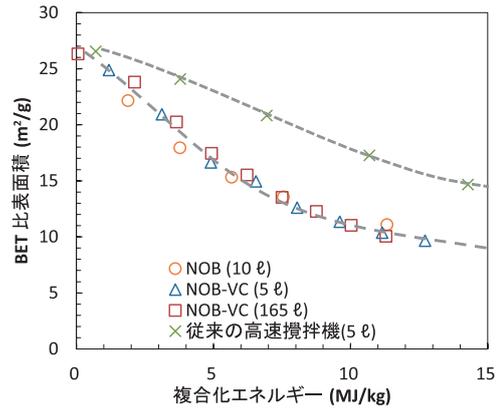


図9 ケイ砂 - シリカ複合化性能の比較  
Fig. 9 Composition test result of Silica sand and silica.

おける結果を併せて示す。図中の（ ）は各機器の有効容量を示している。

いずれの場合でも、複合化の進行に伴って処理品の比表面積が低下する。NOBとNOB-VCは同じ複合化エネルギーで、同じ比表面積に到達しており、さらに従来の高速攪拌機に比べて、低いエネルギーで複合化していることがわかる。またスケールの異なるNOB-VC（有効容量：5Lおよび165L）でも同じように比表面積が減少しており、大型機でも同じエネルギー効率で複合化処理できることを実証した。

## 5 乾燥

### 5.1 攪拌型凍結乾燥機 “アクティブフリーズドライヤ AFD”<sup>5)</sup>

工業的に言う乾燥とは、水などの液体を気化させ固形分を得る操作である。乾燥には熱の移動が必須であり、かつ周囲のガスが飽和状態でない事が重要である。そのため、乾燥機の選定には熱移動方法の検証と周囲ガスの移動・放散を促すシステムが必要となる。ここで紹介する装置は、攪拌運動を行いながら、真空凍結乾燥を行う装置である。

真空乾燥では機内を4~5kPa程度で乾燥させるが、更に真空度を高め約600Pa以下にすると水分は凍結し、氷から液体を経ずに気化する「昇華」が起こる。これが「真空凍結乾燥」である。凍結状態で乾燥する為、熱による変質・損傷は最小限であるが、乾燥前に凍結させる必要があり、乾燥時間は非常に長くなる。一般的に、真空凍結乾燥機は棚式であり、攪拌機構を持たない。AFDはナウタミキサ

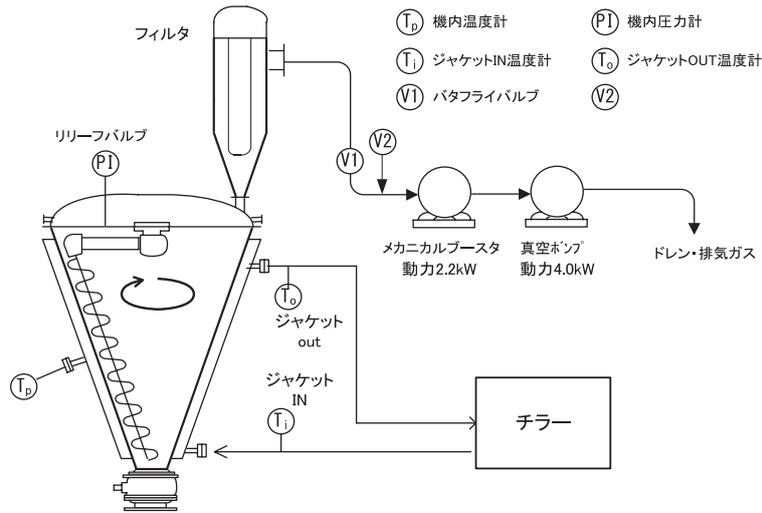


図 10 AFD のフロー図  
Fig. 10 Flowsheet of AFD.

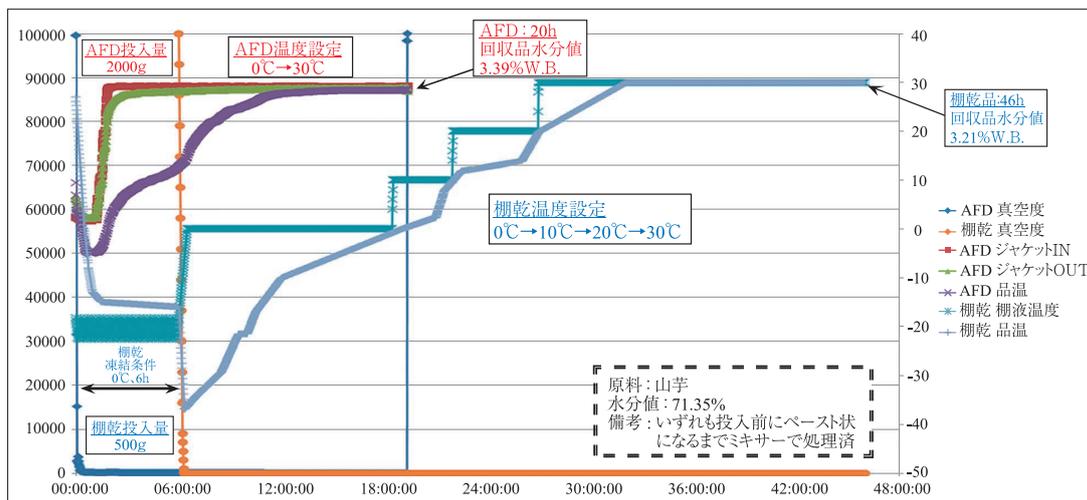


図 11 山芋の乾燥結果  
Fig. 11 Drying test result of yam.

の軸封部を強化する事でフルバキュームまで対応可能とし、攪拌しながら高真空によって乾燥原料を凍結・昇華させるシステムである。AFDでは、上部の投入口から直接乾燥原料を投入し、下部のバルブから排出できる。そのため、棚式の真空凍結乾燥機に比べてハンドリングは格段に良くなる。図 10 に AFD の簡易フローを示す。また山芋の乾燥結果を図 11 に示す。ここでは、比較のために棚式真空凍結乾燥機の結果も示す。使用した原料はそれぞれ AFD が 2000 g、真空凍結乾燥機は 500 g である。

乾燥品の水分値は共に約 3% W.B. であった。AFD では約 20 時間で乾燥が終了しているのに対し、真

空凍結乾燥機では運転開始より 6 時間が予備凍結、18 時間までが一次乾燥、40 時間までが二次乾燥と合計 40 時間もの時間を要している。このように AFD を用いることで従来方法よりも大幅に乾燥時間が短縮されている事がわかる。

## 6 測定

### 6.1 湿式篩い分け機 “ヴィヴレット (VBL)”<sup>6)</sup>

「篩 (ふるい)」は粒子をサイズごとにわける手法として古くから利用されており、現代でも様々な分野で利用されている。篩い分けは乾式と湿式に大き

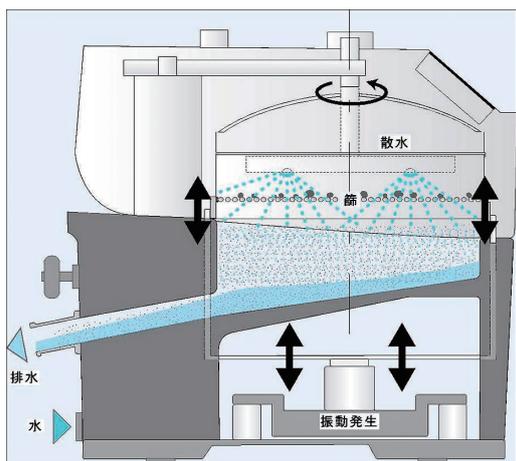


図 12 VBL の構造図  
Fig. 12 Structure of VBL.

く分けられるが、現在利用されている多くは、乾式によるものである。当社にも世界中で販売されているエアジェット効果を用いた特長のある乾式篩い機エアジェットシーブ e200LS があるが、ここでは、湿式篩い分け機ヴィヴレット（以下 VBL）を紹介する。

湿式篩は乾式篩やレーザ回折による測定が困難な粉体に幅広く用いられているが、既存の湿式篩は人の手でサンプルを分散したり、スラリー状にする際に個人差が生じたりと測定精度に欠け、また篩目の上に生じる液膜のため正確な篩分けや、短時間での測定は困難だという問題があった。これらを解決するために開発されたのが VBL である。VBL の構造を図 12 に示す。

VBL は①散水用スプリンクラー、②篩設置部、③振動発生部、④操作パネル（ハイスベック型）で構成されている。サンプル分散用の液体は篩上に設置した散水用スプリンクラーからサンプル全体に万遍なく噴霧されるため、場所によるばらつきが無く篩分けできる。粉体通過を効果的に補助する電磁振動の強化と適正振幅値の設定により、短時間で簡便に篩い分けを行うことができる。湿式篩い分け機では極めて細かい 5 μm 篩での篩分けを可能にしている。

## 7 集塵

### 7.1 プリーツフィルタ型バグフィルタ (VCP, VSP)<sup>7)</sup>

バグフィルタは粉体製品の捕集機として幅広い分野で利用されているが、従来からフェルトタイプの



図 13 VCP のイメージ図  
Fig. 13 Image of VCP.

表面が平らなろ材がフィルタとして利用されてきた。

集塵機の大きさは、風量 (m<sup>3</sup>/min) に対するろ過面積 (m<sup>2</sup>) を基に決定されるのが一般だが、表面が平らなフィルタではろ過面積 (m<sup>2</sup>) を大きくとることができない。そこで最近では、プリーツ状(ひだ状)のフィルタを粉体の製品捕集に用いる試みが当社のみならず、他の集塵機メーカーで検討されている。

単に従来・既存の集塵機のフィルタのみを表面が平らなタイプからプリーツタイプに変更することは可能だが、その場合、粉体を払い落とすのに必要な空気量や払い落とし圧力、集塵効率、経時的なろ布での圧力損失の検討などが為されていないことになる。

当社では、プリーツフィルタを製品捕集用の集塵機として使用した場合の最適なデザインを検討、実験し、VCP, VSP を完成させている (図 13)。当社のプリーツフィルタでは通常のフィルタの約 5 倍のろ過面積を持つフィルタを使用することにより、同風量で比べた場合 (ここでは 15 m<sup>3</sup>/min)、約 25%～40% 装置サイズが小さい集塵機が提案できる。

## 8 まとめ

「粉砕」、「分級」、「粒子設計」、「乾燥」、「測定」、「集塵」の単位操作を例に、当社が最近開発した装置を紹介した。紙面の都合上、紹介内容が表層のみとなっている点をご容赦いただきたい。

「粉体」と一言で言ってもその単位操作は多岐にわたり、それに関連する粉体装置も当然多岐にわたることになる。

当社のコーポレートビジョン（理念）には、「ホソカワミクロングループは、“粉体技術連峰”の形成により、常にグローバル・リーディングカンパニーであり続けます。（一部抜粋）」という一文がある。こ

こで言う“粉体技術連峰”とはまさに単位操作ごとの山々が連なる様子を示している。今回ご紹介できなかった「混合」や「造粒」においても当然我々は技術開発を進めており、これらすべての単位操作の山々を少しずつだが着実に高くしていくことで粉体技術全体の底上げに貢献していきたいと考えている。

## References

- 1) 猪ノ木 雅裕, 微粒子の高機能化に対応した最新の粉体技術, 粉砕, No.57 (2014) 66-73.
- 2) 清水 健司, 河原 正佳, 超微粉分級機搭載 カウンタジェットミル AFG-CRS, 粉砕, No.61 (2018) 73-76.
- 3) 羽木 孝輔, 乾式粒子複合化装置 ノビルタ ベルコム, 粉砕, 60 (2017) 72-75.
- 4) 船越 嘉郎, 粒子設計という言葉, 粉体工学会誌, 20 (1983) 716.
- 5) 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.
- 6) ホソカワミクロン (株) 発行, ラボ用湿式篩い分け機 ホソカワ/ミクロン ヴィブレット VBL, 粉砕, 57 (2014) 100-102.
- 7) 上村 富彦, 新ブリーツ型パルスジェットコレクタ VCP, VSP, 粉砕, 61 (2018) 62-66.

### 〈著者紹介〉



### 渡辺 晃 Akira WATANABE

〔経歴〕 2002年同志社大学大学院工学研究科修士課程を修了。同年ホソカワミクロン株式会社に入社、粉体工学研究所に配属。2008年に大阪大学大学院工学研究科博士課程を修了。その後、技術部、ドイツホソカワアルピネ社での勤務を経て、2015年より現職である粉体工学研究所にて勤務。

〔専門〕 粉体工学。最近は主に粉砕機、分級機の開発に取り組んでいる。

〔連絡先〕 awatanabe@hmc.hosokawa.com