

改良型湿式ふるい分け装置 Vibレット® (VBL-F) について

Renewal of Wet Sieve Analyzer VIBLETTE® (model VBL-F)

松下 孝夫¹, 笹辺 修司²
Takao MATSUSHITA¹, Shuji SASABE²

¹ ホソカワミクロン株式会社 粉体工学研究所 測定分析センター
² 同 センター長

¹ Powder Technology Research Measurement Analysis Center, Hosokawa Micron Corporation, JAPAN

² Manager, Powder Technology Research Measurement Analysis Center, Hosokawa Micron Corporation, JAPAN

抄 録

湿式ふるい分け装置 Vibレット® (VBL) は世界で唯一の湿式ふるい分け専用の装置として開発された。粉体サンプルの特性評価技術は日々進歩し、現在の粒子径分布計測には、主にレーザ回折・散乱法を用いた評価が一般的となっている。しかし、品質保証面で確実性の高いふるい分け操作は、ふるいが破損しない限り、粒子径の製品保証が可能な唯一の手法として古くから根強い需要がある。本稿では、VBL-F の改良点と CE マーク対応について紹介する。

ABSTRACT

Wet sieve analyzer VIBLETTE® was developed as a dedicated wet sieve. The technology of particle size analysis is progressing daily, and laser diffraction-scattering method is most popular. However, sieving is still commonly used for quality control because unless the sieve breaks, historically, sieving has been the only way to guarantee the quality of products. We introduce improvement of VBL-F and acquisition of CE marking.

1 はじめに

湿式ふるい分け装置 Vibレット® (VBL) (図 1) は、約 40 年前に当社が開発した湿式ふるい分け装置ミクロンウオシーブ (WST) の後継機種である。

WST は、当社の粉砕・分級装置等を購入検討されるお客様が加工テスト用に持ち込まれた原料について、粉砕・分級などの加工テストを実施して作製された粉体サンプルの粒子径分布を評価する一手法として、手作業で行っていた湿式ふるい分け作業を自動化した装置である。ふるい分け評価を安定的かつ簡便に実施し、その際の個人差を解消することを

目的に開発した。

粉体サンプルの特性評価技術は日々進歩し、現在は粉体の粒子径計測は、主にレーザ回折・散乱法を用いた評価が一般的となった。しかし、当方法ではふるい分け法で実施されている粗大粒子の検出は困難とされている。

一方、ほとんどの工業製品には、粉体技術が関わっており、昨今の目覚ましい技術革新による高機能素材の開発には、高度な粉体技術が不可欠とされ、最終製品の性能向上を目的とした原料の超微粉化や、ごく僅かに存在する粗大粒子の除去などの技術は、益々需要が高まる傾向を強めている。



図1 湿式ふるい分け装置 Vibレット® (VBL-F) の外観

Fig. 1 Outline of VIBLETTE® (VBL-F).

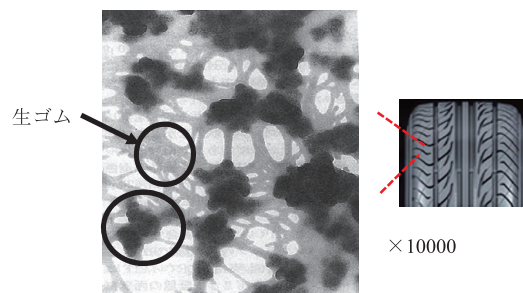
このような状況下において、品質保証面で確実性の高いふるい分け操作は、ふるいが破損しない限り、粒子径の製品保証が可能な唯一の手法として、古くから根強い需要がある^[1]。

当社のドイツおよび米国グループ会社が開発・販売する乾式のふるい分け装置は、年間 300 台以上の販売を継続しており、ふるい分け装置の市場が根強く存在することを実証している。

この実績が示す通り、乾式ふるい分け法は、確かに簡便な操作で粒子径分布や粗大粒子の混入率などを把握できる手法として認知されている。しかし、凝集性が強い、油分が多い、密度が低い、静電気を帯びやすいなどの性質を持つ被測定物には適さない。

これに対し、湿式ふるい分け法は、各産業界で古くから微量の粗大粒子の検出や混入率を把握するために規格化された評価方法として採用されてきた。粗大粒子の確認が必要な例として、図2に示すカーボンブラック (C.B) 製品の中に含まれる微量の粗大粒子 (グリット) の存在が挙げられる。グリットは、生ゴムと C.B とのゲル化を妨げ、タイヤの補強材としての役目を果たさない。このため、グリットを計測することで、C.B 製品のグレードを保證することができる^[5]。

また、セラミックスの成型や流動性向上のために微粒子を顆粒にする装置として、図3に示すスプレードライヤが広く用いられている。このノズルの



天然ゴムと結合したカーボンブラック (C.B)

図2 タイヤ補強材 (ゲル形成した C.B)^[2]
Fig. 2 Tire reinforcement (gelled C.B).^[2]



図3 SD 乾燥機内噴霧状態^[3]
Fig. 3 Atomized state in spray dryer^[3].

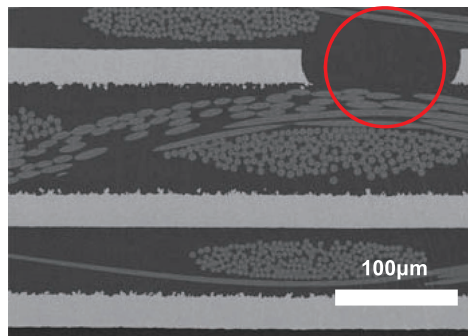


図4 電子回路の断線観察例^[4]
Fig. 4 Observation example of disconnection^[4].

ノズルが広く用いられている。このノズルの流路は狭く、スラリー中に粗大粒子が存在するとノズル詰まりの原因となり、生産がストップするという大きなトラブルに見舞われる。

ナノ粒子についても、粗大粒子は問題となる。導電性の高い銀ナノ粒子インクを用いて電子基板の回路を描くことが可能であるが、インク中の粗大粒子により、ディスペンサーの詰まり、或いは図4に示すような断線などの不具合が生じる。このため、グリットが存在しないこと、または定量による製品の

グレード分けが必要とされる。

このように重要な役割を持つ湿式ふるい分け法であるが、この方法は流水と刷毛を用いてふるい分けを行い、乾燥した後に質量を計測することによって評価を行うため、非常に手間が掛かるだけでなく、測定結果に個人差が生じやすい問題を有していた。

WSTはこれを解消するために、ふるい分け作業の機械化を目指した装置であったが、開発当時から比べると、品質管理に要求される内容は高くなっており力不足は否めない状況となった。

VBLは、各産業界で古くから用いられてきたふるい分け評価のニーズに対応し、弱点とされてきた測定の個人差の解消に重点をおいて、多くのWSTユーザーの声を参考に2013年に開発した。

ふるい上の被測定物にできる限り大きな解砕・分散力を加えることで、測定者差異の原因となる測定者の手作業による解砕・分散作業を排除して再現性を高めると共に、ふるい分け効果を向上することに成功した。この成果は、評価技術における匠の技の伝承課題であった刷毛工程を省略でき、後継者育成・技術伝承の課題解決を可能とした。

また、散水部と振動機構の改良によって従来装置

ではふるえなかった細かな粉体にも対応できるようになったことで、微細化傾向を強める高機能製品を扱う企業での品質管理において、さらに進化した一層高度なステージでの評価方法が誕生する可能性もある。それは現在の性能を凌駕する画期的な新製品の開発に道を拓く革新的な評価方法につながる可能性を拓くものでもある。

新製品はその評価方法なくして進化することは難しく、これらは常に両輪として共に進んでいくべきものとする。当装置を含む、当社の測定機の開発は、その進化の促進を意図して進めた開発である。

2 構造上の主な特徴

2.1 本体

今回リニューアルを行ったVBL-Fの構造は、前機種種のVBL-1、VBL-1Hの主な内部機構を踏襲している。主な変更点は4章に記す。VBLは、図5に示す通り、散水部と振動部で構成される。振動部にふるいとスペーサを重ねて置き、クランプを用いて固定し、飛散抑制カバーを閉めると散水部が所定の位置にセットされる構造である。

湿式ふるい分けの際、ふるいの目開きが細くなると、ふるい面に液膜が形成され、被測定物がふるいをスムーズに通過できない現象が生じる。この現象を改善するためVBLは、散水によってふるい面に形成される液膜を、上下振動で破壊し、被測定物がふるいをスムーズに通過できるよう旧型比10倍程度の強振動機能を装備した。一方、微粉化により被測定物の凝集性が一層強くなり、一次粒子への解砕とふるい分けが困難になっている。しかし、本装置では、被測定物に強い振動を与えることに加え、散水による液圧との相乗効果により、不可能とされてきた目開き16 μ mのふるいを用いたふるい分けを可能にした。

2.2 散水部

図6に示した散水部は、シャフト部とスプリングラ部から構成される。

シャフト部では、液体流路を内蔵し、かつ回転させる必要があることから、市販のロータリジョイントの採用を検討していたが、大きさと回転数の制約、回転負荷などから採用を断念した。そこで、ベアリングとシール構造ならびに浸水液を逃がす独自の構

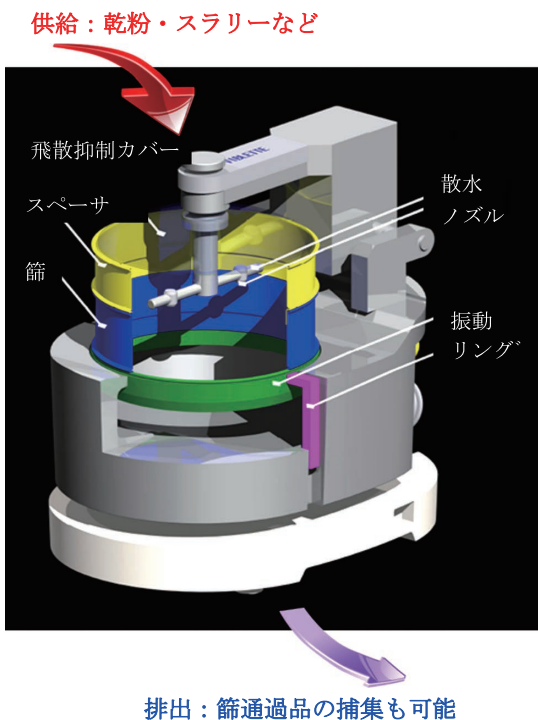


図5 ヴィブレット® (VBL) の構造
Fig. 5 Structure of VIBLETTE® (VBL).

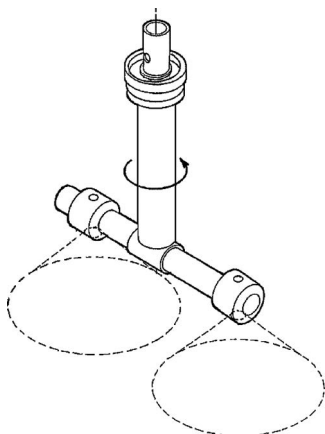


図6 散水部の構造
Fig. 6 Structure of sprinkler nozzle.

造を新たに考案した。

また、スプリンクラ部では、水量を抑制し且つ最大散水面積を可能とする中空円錐状の散水パターンとなる部材を採用したが、中空円錐内部が減圧され、円錐が小さく変形してしまうことから、中空円錐パターンの一部に切欠きを入れ、減圧状態を抑制し、図6に示したようにふるい枠からふるい全面をカバーする偏心中空円錐パターンの散水を実現した。

円錐状ノズルに中子を挿入し、その後、ワッシャーリング治具を使って、一定のクリアランスに調整することで、安定した散水パターンを形成している。また、図6には示していないが、上部の飛散抑制カバー内壁に向け、給水する構造も採用し、カバーからスパーサ内壁部を含むふるい分け空間全てを水洗することで、ふるい以外の場所へのサンプルの残存を解消し、それによる再現性の向上を可能にした。さらに、専用の流量制御ユニットが付属しており、付属のソフトウェアにて、各工程での散水量を任意に設定、自動運転をすることも可能である^[6]。

2.3 装置の振動抑制

1 mmの振動発生による反発により、振動発生源に反動振幅が発生してしまう。この振動を抑制するため、約12 kgのカウンタウエイトを振動発生用のトランス周辺に設置し、装置への振動伝達が生じないようにバネで浮かす構造とした。このカウンタウエイトと本体の鋳物の質量によって機外への振動抑制を図っている。

2.4 振動部への浸水抑制

ふるいを振動させる振動発生部から伸びる振動伝達シャフトは、本体内部からふるい分け部へ貫通していることから、ふるい分け時に水が侵入する可能性が極めて高い。

そこで、振動の伝播を妨げることなく浸水を抑制するため、シャフト繋ぎ目の本体にステンレス製のパイプを圧入し、振動シャフトと当ステンレスパイプ間にシリコンゴムを上下方向に3重に配置すると共に食品用グリスを塗布し、浸水抑制を図った。VBL販売開始依頼、現在まで浸水を原因とする故障は生じていない。

2.5 連続供給

図7に示すように、上部カバーへ貫通孔を設け、スラリーの連続供給を可能にしている。当然、供給スラリーが散水ノズルへ当たらぬよう、スパーサ壁面方向へ向かう流路を付加することで、供給システム化を図った。被測定物のボリウムを多くすることで、微量の粗大粒子の検出精度は向上する。C.Bなどは $1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-2}$ wt%のスラリーを100 L程度供給し、粗大粒子の検出を行う。この仕様は、ミネラル業界の品質管理に多くご採用頂いている。ポンプなどによって、大量のスラリーを連続的に供給することも可能であり、セラミックス関連メーカーの生産ライン、製造工程管理用途として設置・

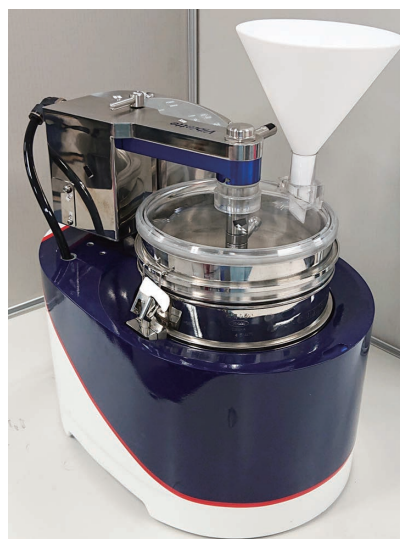


図7 連続供給仕様のVBL-Fの外観
Fig. 7 Outline of VBL-F of continuous feeding specifications.

表1 VBLによる生産性の向上事例と導入効果

Table 1 Example of productivity improvement and introduction effects by VBL.

原料種	効果
粘土系材料	3日間で100g程度であった処理時間が、30分程度になり、1/48に短縮された。また、長年課題であった自動化に目途。
無機材料	乾式ふるい分けで3時間を要する処理時間が、30分程度になり、1/6に短縮された。
電池材料	VBLはふるい分け効果が高いため、45μmパス品が増加し、製造条件を見直し、生産量増加の可能性を見出した。後継者問題も解決。
自動車関連用原料	手ふるい分けで2時間を要していた処理時間が、15分程度になり、1/12に短縮された。今後、関連会社の品質管理用途で採用を推奨される。

活用頂いている^[4]。

3 経済性と省資源

表1の事例に示す通り、VBLを使用する場合、流水と刷毛を用いた手作業によるふるい分けよりも概ね5倍以上速いふるい分けが可能である。作業時間の削減による人件費の抑制の他、自動化によって測定中に別業務を並行して実施できるため、業務効率面からの経済性向上にも効果を発揮する。さらに、目に見えるコストだけではなく、廃液処理や上水利用量削減に貢献し、地球環境にやさしい装置と云える。

4 新モデルの改良ポイント

今回の改良は、重要市場としてきた日本市場の成果を持って、海外への水平展開を強く意識した改良となっている。日系企業の海外生産拠点、高付加価値粉体を取扱う、または開発を進める企業からのニーズにお応えするために、以下の2項目を主題において開発した。

4.1 測定精度の向上

VBL-Fの前機種であるVBL-1Hでは、飛散抑制カバーとスパーサの隙間から、ふるい面に衝突し跳ね返った水滴が勢いよく漏れてくる可能性があるため、装置外部をステンレス製カバーで覆っていた。

今回の改良では、飛散抑制カバーに「コの字型」のカエリを追加し、スパーサ上部端からの勢いよく漏れる水滴を抑えたため、カバーを省くことができ、結果として装置の軽量化に繋がった。また、この改造により、本来、ふるい分けされるサンプルを外部

に逃さないことになり、微量ではあるものの測定精度に影響を与える箇所の対策を講じた。

4.2 海外市場への対応

海外市場に向け、CEマーク対応とした。適用規格は以下の3点とし、20数種類の試験を行い、安全性を確保した。

- 1) EC LOW Voltage Directive, 2014/35/EU
- 2) EC EMC Directive, 2014/30/EU
- 3) EC RoHS Directive, 2011/65/EU

5 評価測定事例

5.1 超微粒子の評価

図8に示す酸化チタン(テイカ(株)製MT-150W:メーカー公称値:平均一次粒子径15nm)を用いて、VBL-F, 乾式ふるい分けe200LS(ホソカワアルピネ社製), 湿式手ふるいの三種類の比較を行った。

サンプル50.00gを電子天秤で秤量し、VBL-Fおよび湿式手ふるい分けではφ200mm JISのふるいを、e200LSでは専用ふるいを使用してふるい分け

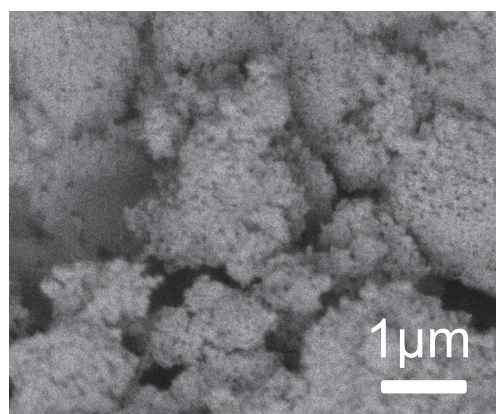


図8 酸化チタンのSEM画像
Fig. 8 SEM image of titanium oxide.

テクニカルノート

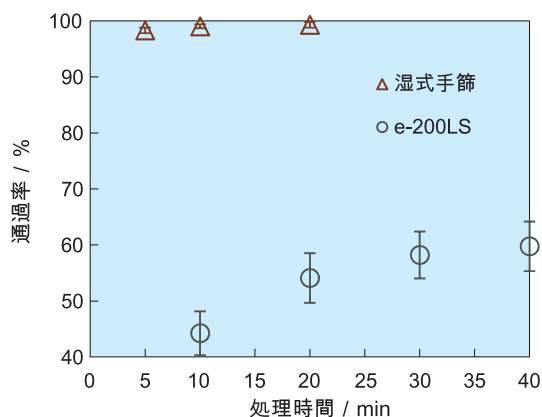


図9 手ふるいと e200LS の比較
Fig. 9 Comparison of hand sieving and e200LS.

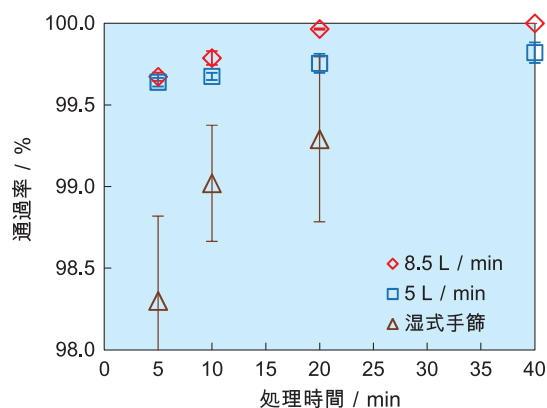


図10 湿式手ふるいと VBL-F の比較
Fig. 10 Comparison of hand sieving and VBL-F.

を行った。いずれも目開き 20 μm のふるいを用いた。

VBL-F の散水量は 5.0 L/min とした。運転後、流水とエタノールを用いてふるい面から残分をシャーレに回収し、80°C 恒温槽で 5 時間乾燥し、デシケータで常温冷却した後、電子天秤で秤量した。この計測値から、あらかじめ 110°C 恒温槽で 5 時間乾燥し、デシケータで常温冷却したシャーレの風袋を減算し、投入量とふるい上残分から通過率を求めた。

一方、e200LS の測定でも、あらかじめふるいの風袋を記録し、各処理時間のふるい面のふるい上残分を電子天秤で質量計測した。図 9 に示す通り、e200LS によるふるい通過率は、60% 程度であり、標準偏差が 2.6~7.7 とバラツキも大きい結果であった。

一方、図 10 に示す通り、VBL-F を用いた場合、散水量 5 L/min、運転時間 5 min の処理で 99.6% の通過率に達した。さらに 40 min まで処理を行ったが、ふるい面上に粒が残っていた。このふるい面上に残っていた粒を指で軽く擦るとほぐれたため、凝集体であると判断した。そこで、市販のポンプを繋ぎ、散水量を 8.5 L/min まで上げて運転を行い、凝集体の解砕を試みた。その結果、40 min でほぼ全通することが確認された。

一方、湿式手ふるいは時間を要するだけでなく、標準偏差が 0.3~0.5 と測定者間で誤差が生じるのに対し、VBL-F は標準偏差が 0.03~0.1 であり、再現性の高い結果となった。

酸化チタンのように、凝集性が強い粉体のふるい分けの場合、湿式手ふるいや乾式ふるいでは時間が掛かるだけでなく、正確な測定は困難である。

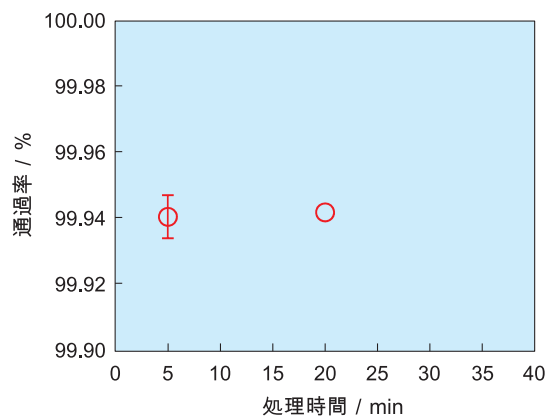


図11 超音波ユニット付 VBL のふるい通過率測定結果
Fig. 11 Sieve passing rate result of VBL with ultrasonic unit.

5.2 超音波付加によるシングル μm ふるいの利用

一般的に、シングル μm 目開きのふるい分けは困難とされている。そこで、VBL に超音波ユニットを取り付けるよう改良を施し、球状シリカ（市販品）のふるい分けを行った。

ふるいは φ75 mm 公称目開き 5 μm（メーカー特注品）のふるいを用いた。散水量は 2.0 L/min 設定とした。乾燥手順は、酸化チタンと同様に行った。図 11 にふるい分け処理時間と通過率の関係を示す。また、図 12 に 20 min 処理時のふるい上、ふるい通過回収品の SEM 画像を示す。5 μm ふるい通過回収品はふるい目以上の粒子の混入は確認できず、ふるい分けが正常に行われていると考える。

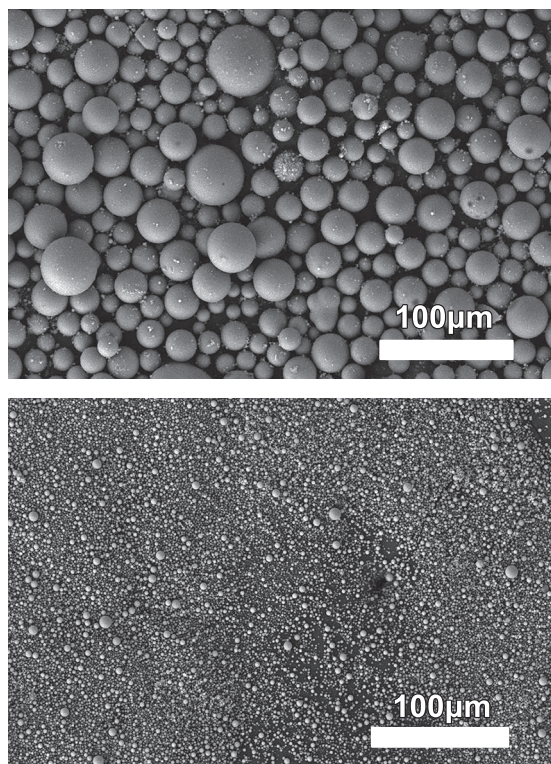


図 12 5 µm ふるい上品 (上) とふるい下回収品 (下) の SEM 画像

Fig. 12 SEM images of product of sieve on (Top) and sieve under (Bottom).

5.3 振幅によるふるい分け効果

タルク (JIS 試験用粉体 1 の 4 種) を用いて, VBL-F の振幅のふるい分けへの影響を確認した。φ200 mm JIS 目開き 16 µm のふるいをを用いた。散水量は 6.0 L/min とした。乾燥手順は, 酸化チタンと同様に行った。図 13 のように, 上下の振幅を変えて運転を行い, 設定の振幅では, 通過率への影響は軽微であることが確認できた。

6 仕様

表 2 に VBL-F の標準仕様を示す。

7 おわりに

リニューアルを行った湿式ふるい分け装置 VBL-F は, 飛散抑制カバーを改良したことで, ステンレス製カバーを廃止し, 本体の軽量化を図った。また, 本体各部の安全性を向上させ, 海外市場で販売するために必要な安全規格である CE マーク対応とした。

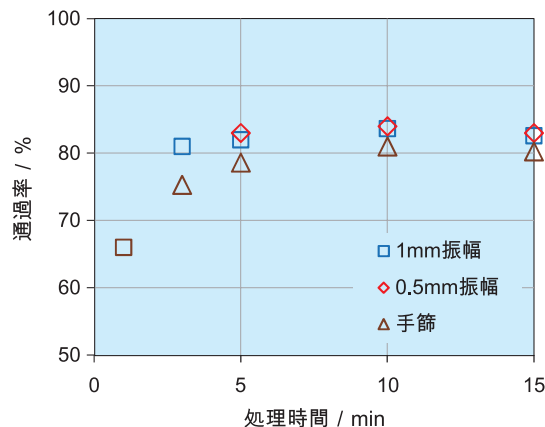


図 13 振幅と通過率の関係

Fig. 13 Relationship between amplitude and sieve passing rate.

表 2 VBL-F の標準仕様

Table 2 Specifications of VBL-F.

型 式	VBL-F
本体外寸寸法 W×D×H	305 mm×410 mm×400 mm
本体重量	49 kg
適用ふるいサイズ (直径)	約 200 mm または 75 mm
電源	100, 110, 220-240 V, 50 Hz/60 Hz
最大散水量	φ200 mm : 3 L/min~8 L/min φ75 mm : 2.5 L/min~5 L/min

VBL-F は世界で唯一の湿式ふるい分け専用機であり, 本稿で述べたように非常に高精度な測定を可能とする。そのため, 多くの企業の品質管理の現場でご使用頂いている。例えば, ふるいの通過率を 90.5% などと少数第一位まで測定し, それを「しきい値」に合格品と不合格品を決めておられる企業や, ふるい上残量の質量測定が難しいほど微量な対象においても, ふるい上に残った粗大粒子の個数を, 顕微鏡を使い数えておられる企業など, 様々な用途でご活用頂いている。

今回, リニューアルを行った VBL-F は, 品質管理測定者間で誤差が出やすい湿式ふるい分けの精度向上と時間短縮を可能とし, 業務効率化に繋がるものと考えている。

References

- [1] 笹辺 修司, 辻 圭師, 猪ノ木 雅裕, 最新の粉体評価装置の紹介, 第26回日本セラミックス協会 秋季シンポジウム, Sept. 4-6 (2013).
- [2] ゴム工業便覧<第四版> 日本ゴム協会編 社団法人日本ゴム協会 (1994), p. 1257.
- [3] Dion LTD HP, Spray Drying <<http://www.dion.bg/Spray-Drying-en>> accessed 02.10.2018.
- [4] パナソニック株式会社 HP, プロダクト解析センター, 美しい断面写真が撮れます!!~BIB加工法のご紹介~<<http://www2.panasonic.co.jp/aec/blog/?page=7>> accessed 02.10.2018.
- [5] 笹辺 修司, 粉体特性評価装置とその適用例, 化学装置, 55 (No. 5) (2013) 25-30.
- [6] 笹辺 修司, 辻 圭師, 電池材料評価に期待される粉体測定機器の紹介, 粉砕, 57 (2014) 22-26.

〈著者紹介〉



松下 孝夫 Takao MATSUSHITA

〔経歴〕2015年兵庫県立大学大学院物質系工学専攻修士課程修了。同年、ホソカワミクロン(株)入社。大阪技術部を経て、2018年から現職。

〔専門〕粉体工学。最近は、主に測定機の開発に取り組んでいる。

〔連絡先〕 tmatsushita@hmc.hosokawa.com



笹辺 修司 Shuji SASABE

〔経歴〕1991年日本工業大学大学院工学研究科修士課程修了。同年、ホソカワミクロン(株)入社。粉体工学研究所, 技術本部, 新規事業開発プロジェクトリーダー, ナノパーティクルテクノロジーセンター長, 研究室室長などを経て、2017年から現職。

〔専門〕粉体工学と静電気。最近は、IoT関連技術の開発に取り組んでいる。

〔連絡先〕 ssasabe@hmc.hosokawa.com