粉体測定の自動化と自動制御に関する取り組み

Approaches to automation and automatic control of powder measurement

佐藤　嘉高　Yoshitaka Sato（機器開発部/課長）
池田　諒平　Ryohei Ikeda（機器開発部/主任）

要旨

本稿では、スペクトリス㈱マルバーン・パナリティカル事業部（以下、マルバーン社と記す）製のプロセス用粒子径分布測定装置「INSITEC」を用いた自動測定及び粉砕ラインにおける自動制御技術ついて紹介する。現在、人手不足解消や品質向上の観点から多くの業界で自動化・省力化の検討が活発に行われており、粉体業界においても同様の検討事案が増えている。その中で、品質向上に寄与する粒子径分布測定の自動化は、人手不足の解消だけではなく、安定した粉体処理・生産の正確なモニタリングの観点などからも非常に重要な技術である。さらに、粒子径測定データを加工機械にフィードバックする自動制御システムは、今後ますますその需要が増えることが予想されている。そこで弊社では、長年培ってきた測定器とプラントエンジニアリングの技術を活かした自動化の専門部署を設け、自動化・省力化の手法確立に日々取り組んでいる。ここに紹介する記事が粉体測定の自動化・省力化を目指す皆様の一助になれば幸いである。

***Keywords**: 粉体測定、粒子径分布、代表径、自動化、自動制御、省力化*

1.　はじめに

現在、粉体加工における粒子径分布の管理は、加工ラインから定期的に製品をサンプリングし、卓上の粒子径分布測定装置で測定していることが多い。これは、製品中のごく一部に対しては測定が行えるので、品質を管理することが出来るが、全製品の品質を確実に保証するものにはならない。なぜなら、サンプリング間においては規格外品を製造する可能性があるからである。粉体加工は、基本的に同一の原料を同一の装置・条件で加工すれば、同一の粒子径分布の製品が得られる考えになるが、実際は、原料性状のばらつき、偏析・付着・圧着など粉体特有の挙動による影響、経年劣化に伴う装置性能の低下、ヒューマンエラーなど、製品規格を左右する難管理要素が多いことが測定データのバラツキの要因になっている場合が少なくない。製造工程の複雑化、製品規格の厳格化が要求される中で、現状のような粒子径分布の管理方法は、規格外品を見逃して後工程でトラブルになる恐れがあり、また厳密な品質管理を行おうと試みた際は多くの人手を要する。したがって、粉末材料の高性能化、低コスト化を図る上で、今後は加工ライン全体を注視したより連続かつ客観的な製品の品質管理とそれに伴う製造効率の向上が必要になる。

2.　プロセス用粒子径分布測定装置 INSITEC について

弊社では、マルバーン社製のプロセス用粒子径分布測定装「INSITEC(図 1)」を様々な粉体加工ラインに組み込んだリアルタイム自動測定システムを提供している。INSITEC は、乾式用、湿式用があるが、本稿では乾式用 INSITEC(以下、INSITEC と記す)ついてのみ述べる。

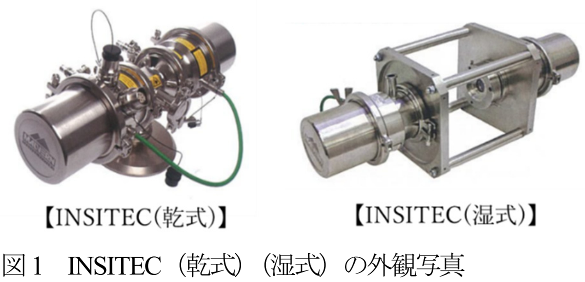

図 1　INSITEC（乾式）（湿式）の外観写真

INSITEC は、レーザー回折法を利用した粒子径分布測定装置である。この装置は、レーザー発信部と回折光の受光部が粉体の流れるフローセル部を挟み込む構造(図 2)となっており、フローセル内を流れる粉体を最短 0.25 秒/回の間隔で測定できる。また、使用するレンズにもよるが粒子径の測定範囲は 1μm 以下～2500μm までと広範囲である。

Copyright © 2021 Seishin Enterprise Co., Ltd. All rights reserved.

図 2　INSITEC の主要構造部である受光部、フローセル、レーザー発信部の写真

受光部で得られた回折光の情報は、マルバーン社が提供する測定用ソフトウェア(RT-SIZER)で計算処理され、PC 上に解析結果が表示される。解析結果の例として図 3 には、粒子径の体積基準（Dv10, Dv50, Dv90）の経時変化を表示した。これにより、生産現場において常に粒度のモニタリングが出来ることから、粒度異常品の即時発見につながる。

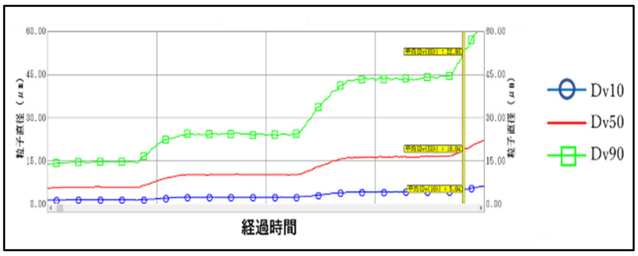

図 3　INSITEC による代表径の経時変化結果例

また、マルバーン社製の伝送用ソフトウェア(Malvern Link II)を用いれば、測定データを PC から外部機器に転送して出力することも可能である。また、INSITEC の粉体加工ラインへの設置に際し、①ラインから粉体試料をサンプリングして INSTEC で計測するオンライン・サンプリング方式と、②ライン配管に INSITEC を直接接続して粉体を全量測定するインライン測定方式の 2 つがあり、導入箇所のライン寸法、加工条件、顧客の要望などに応じて、最適な INSITEC 測定設置条件を提供することが可能である。

INSITEC を粉体加工ラインへ導入したリアルタイム自動粒子径測定システムは、24 時間連続で製品粒子径を監視・記録および外部機器への伝送を可能にする。そのため、規格外品の抑止、設備トラブルの即時対応、トラブル防止のための事前準備、現場作業者の負担軽減などが期待できる。

3. ジェットミル粉砕ラインにおける自動粒子径測定・制御システム

弊社では INSITEC を用いて自動粒子径分布測定システムにライン制御の要素を加えた自動粒子径測定・制御システムを用意している。以下には、このジェットミル粉砕ラインにおける自動粒子径測定・制御システムについて紹介する。

本システムは、INSITEC による粉体の粒子径分布を常時監視する中で、原料性状や設備的・人為的要因などにより粒子径分布が目標値から外れた場合、自動的に粉砕条件を変更し、製品の粒子径分布を目標値に自動調整するものである。この「INSITEC－ジェットミル粉砕ライン」の写真を図 4 に示す。ジェットミル粉砕ラインを構成する主要機器は、①供給機（テーブルフィーダー）、②ジェットミル（弊社製 STJ-200 型）、③粉体捕集用の濾布である。ジェットミルの粉砕品排出口直後に INSITEC が設置されており、粉砕品の体積平均径（Dv50）が自動で計測できるようになっている。

図 4　INSITEC-ジェットミル粉砕ライン

実施例として、粉砕原料にはラクトースを使用し、INSITEC にて 3 秒/回の間隔で粉砕品の測定を行った。粉砕条件として、ジェットミルの原料供給用ノズル(以下 P ノズル)と粉砕用ノズル(以下、G ノズル)の風量および圧力、供給機の原料供給速度があるが、今回、制御する粉砕条件は原料供給速度とし、P と G の 2 つのノズルの合計風量を 2.2m^3/min、各ノズル圧力を 0.6MPa 一定とした。ミルへの原料供給速度を上げるとジェットミル内滞留時間が短くなる為、粗い粉砕品が生成される。逆に、原料供給速度を下げると、粉砕時間が長くなる為、より細かい粉砕品が得られる。図 5 には自動制御システムの概略を示す。

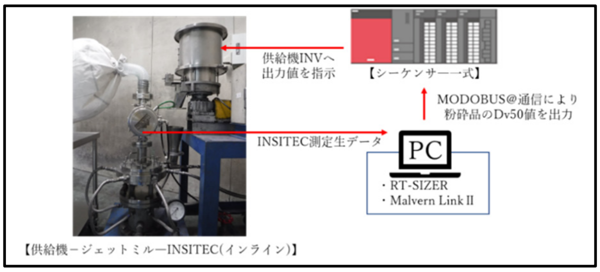

図 5　自動制御システム

図に示すように、INSITEC および解析用 PC で得た粉砕品の Dv50 値を、PC から制御盤内のシーケンサー（三菱電機㈱製 Q シリーズ）へ 3 秒/回　毎に RS-232C ケーブルを介して伝送した。INSITEC、PC、シーケンサ間のデータリンクシステムは、前述の通りマルバーン社製各ソフトウェアで行った。その概略は、シーケンサへ予め設定した粒子径の目標値と伝送した粉砕品の代表粒子径（Dv50）の差を基に、シーケンサ内のプログラムにより比例制御を行い、粉砕品の Dv50 が目標値へ自動で近づくよう、供給機の原料供給速度を自動で調整されるようになっている。具体的には、供給機モーターのインバータに対してアナログ制御を行うことで、供給機の原料供給速度を自動調整した。アナログ制御の出力値は、粉砕品の Dv50 と設定した粒子径の目標値の差からシーケンサ内のプログラムで演算処理されるようになっている。

図 6 には、ジェットミル粉砕時の自動制御による粉砕品 Dv50（μm）の経時変化を示す。縦軸が粉砕品の Dv50、横軸が時間である。実験では、まず、目標値を 10μm に設定し、粉砕品の Dv50 が一定になったことを確認したところで、目標値を 15μm→5μm→8μm→12μm と随時変更した。

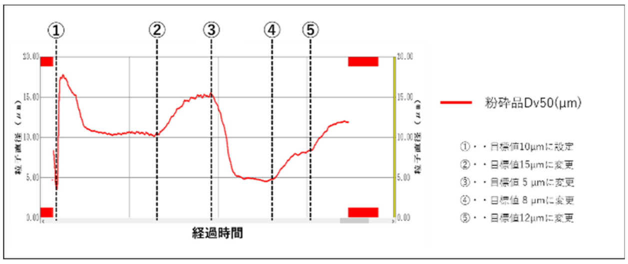

図 6　ジェットミル粉砕時の自動制御による粉砕品 Dv50 の経時変化

粒子径を制御した際の粉砕品の Dv50 の安定性を評価すると、目標値に対して±0.5μm の範囲に収まることがわかる。また、粉砕品の Dv50 が目標値に到達するまでの時間は 2〜3 分程度であった。ちなみに、この粉砕設備において、手動で目標値になるように粉砕条件を調整した場合、作業者の熟練度にもよるが、適切な粉砕条件を得るには経験上、最短でも 30 分〜1 時間を要する。これは、粉砕条件を変更した後、定常状態になるまでジェットミルを運転・確認する必要があり、得られた粉砕品を卓上の粒子径分布測定装置でバッチ測定する必要があるからである。上記した自動計測・制御と手動での処理の差は、ラクトースに限らず様々な粉砕原料に対しても同様である。

以上、ジェットミル粉砕ラインにおける自動粒子径測定・制御システムを用いることで、24 時間リアルタイムで製品の粒子径分布が監視・記録できると同時に、製品規格から外れないように加工条件を自動制御できる。さらに、粉砕条件を手動で調整する場合と比較して、目標の粒子径になる粉砕品を得るまでに必要とする時間を大幅に短縮できる。

なお、ここで用いた弊社の技術の「自動粒子径測定・制御システム上」は、粉砕ラインばかりでなく分級など他の加工ラインにも適用できる。また、今回、粉砕品の Dv50 を基に自動制御を行ったが、本システムは INSITEC が取得できる測定データであれば Dv50 以外の値にも対応可能であることを付記する。

4.　むすび

本稿では、弊社の粉体測定自動化技術開発の取り組みとして、INSITEC の紹介、その装置とジェットミルを用いた粒子径を制御因子にした自動制御の実験例を紹介した。弊社では、粉体の製造プロセスの総合メーカーとして、ジェットミルのような粉砕機の他、分級機、乾燥機、混合機など多くの機器とそのラインナップを準備し、様々な業界でのご要望に応えられるようにしている。今後は、粒子径管理がシビアになる分級プロセスにおいての自動化、自動制御についても検討してゆく予定である。

粉体材料は、すべての産業で使用されていると言っても過言ではない。粉体材料を自動化技術で的確に管理することは、最終製品の品質向上にも大いに寄与・貢献できることが期待される。弊社は、今後も多くの自動化装置の開発を進め、少しでも関連産業分野の発展に貢献できるよう努めていきたい。引き続きご愛顧とご支援のほどをお願いさせていただき、本稿の結びとさせていただく。

弊社の自動化測定機器に関する詳細については、下記 URL をご参照願います。
https://www.betterseishin.co.jp/product/inline_online/

内容の一部あるいは全部をいかなる方法によっても無断で複写・複製することをご遠慮ください。