

コネクティングワールドに対する粉体プロセスの課題

Tasks of Powder Process for Connecting World

井上 義之

ホソカワミクロン株式会社 経営管理本部 課長

Yoshiyuki INOUE

Section Manager, Corporate Management Division, Hosokawa Micron Corporation, JAPAN

抄 録

IoT は他の装置に使用されている IoT とつながることで、さらに新しい価値を生む SoS の性質を持っており「つながる世界」、コネクティングワールドをもたらす。コネクティングワールドにおける粉体を取り扱う工場では、製品が出荷基準を満たすか否かを確認するための品質検査、あるいは製品や原料の生産時の消費エネルギーの最小化と最大処理能力の両立には、粉体や機器の状態をオンライン・インラインでモニタリングすること、それらのビッグデータを解析するシステムが必須である。しかし現状では測定機のオンライン化には多くの問題が立ちはだかっている。本文では粉体工学へのシーズを提供するためにも、それらの課題を取り上げるとともに、粉体プロセスの IoT 統合フレームワーク HOSOKAWA GEN4 の一部である遠隔監視システムについても紹介する。

ABSTRACT

The IoT has a SoS nature that creates additional new value by connecting with the IoT used in other equipment, resulting in a 'connected world'. In factories handling powders in the connected world, online and in-line monitoring of the condition of powders and equipment, as well as their condition, is essential for quality inspections to check whether products meet shipping standards, or for both minimizing energy consumption and maximizing throughput during the production of products and raw materials, and for systems to analyze big data are essential. However, there are currently a number of problems that stand in the way of bringing measuring equipment online. This paper addresses these issues in order to provide seeds for powder engineering, and also introduces the remote monitoring system that is part of the IoT integration framework HOSOKAWA GEN4 for powder processes.

1 はじめに

IoT は、他の装置に使用されている IoT とつながることで、さらに新しい価値を生む System of Systems (SoS) の性質を持っている。この SoS が世界を覆うのが「つながる世界」、コネクティングワールドで

ある。例えば、Connected (つながる)、Autonomous (自動運転)、Shared & Services (共有)、Electric (電動) の頭文字をとって CASE と呼ばれるキーワードは、自動車業界から提唱された概念であり、その最初の単語が“つながる”である。近年では気候変動への対策にもなるとして経済産業省でも取り上げ

られている。

さてコネクティングワールドにおける IIoT の工場への適用例として、以下の項目が想定される。

- (1) 市場のデータを反映したサプライチェーンの最適化
- (2) それと連動した最適生産計画（時期、量、人員配置など）の立案
- (3) 製品が出荷基準を満たすか否かを確認するための品質検査
- (4) 消費エネルギー最小化と処理能力最大化の両立

上記の項目 (1) (2) は、プラットフォーム構築が必要となり、デジタルツイン（白瀬, 2021）といった技術と関連して発展していくことになる。項目 (3) については従来、品質検査は生産中の適切なタイミングで、あるいは生産が終了してからオフラインで処理されることが多かった。例えばバグフィルタから排出された粉体からサンプルを取り出し、粒子径分布や、かさ密度、水分、安息角などをそれぞれの測定機で測定するといった手法である。しかしこの方法には大きな問題がある。サンプリングした粉が代表的なサンプルであったとしても、結果が出るまでにどんなに短くとも 10 分程度、水分値などに至っては 30 分以上の時間が必要になるケースが多い。つまり結果が出たときには、時すでに遅く、多くの製品ができあがってしまっているという問題が生じる。またサンプリング間隔が長く、結果に問題があっても対応できない、という問題がある。この問題は特に国外の工場での生産管理にとって大きな問題になる場合がある。しかし近年、より短時間に、より多くの製品を作り出す重要性が高まっている。これは原価低減につながり、かつ消費エネルギーを抑えることになるため、ESG の観点からも必要とされている。さらにプラント周りの環境、例えば湿度の影響や装置内付着の進行による粒子径分布の変化、原料状態の微妙な変化による工程への影響などにより製品品質が変化する場合、従来はオペレータの経験と勘で運転条件を操作することによって対応されてきたが、高齢化や人手不足、工場の海外進出などによって人に依存しない運転制御が望まれている。

一方、データを解析し、消費エネルギーを最小化しつつ、最大処理能力を実現するためには AI、機

械学習の利用が必須である。しかし、そもそも必要なデータを取れなければ、項目 (4) は実現できない。機械の通常の運転条件、例えば粉砕部や分級部、供給機や排出機の回転数、風量、温度、振動などのデータは市販製品を利用することによって容易に測定できる。しかし粉体のデータを得ることは極めて困難である。その主な原因は粉体が粒子径に分布を持つこと、付着・凝集性を持つことにある。前者は特に搬送・輸送中のサンプリングに問題を引き起こす。粒子径の違いは粒子の持つ慣性力に違いを生じさせるため、粒子径によって装置・配管内を飛行、移動する経路が変わってしまう。したがってどの場所でも粉体をサンプリングすれば良いのかわからない、といった問題が生じる。配管を流れる全粒子をサンプリングできるのであれば問題はなくなるが、ラボ機以外ではほぼ不可能である。これは測定が、限られた体積のサンプルを対象とするためであり、全量を測定するにはとてつもなく時間がかかってしまい現実的ではないためである。また粉体の付着・凝集性はサンプリング装置や測定機内での閉塞を引き起こす事が多い。

上記の項目 (3) (4) とともに最低限必要となること、すなわち粉体業界がコネクティングワールドに適応していくために不可欠となるものは、装置あるいは製品・加工中の原料、すなわち粉体の状態を知ることであり、それらをできる限りリアルタイムに入手することである。そのためにはオンラインまたはインライン処理が必要になる。インラインは配管中・装置内で、オンラインは配管や装置に組み込まれたサンプラにより被測定物を取り出す。そこで粉体や粉体機器に特化したさまざまなセンサとしての測定機が必要になると考える。しかし、そもそもどのようなデータが必要なのか、測定自体が可能であるのかといった問題が横たわっている。また項目 (4) についてはセンサとしての測定機から得られた大量のデータを解釈し、機器を制御する必要がある。すなわち機械学習、AI の活用が必須となる。

そこで本文では粉体工学に対して産業界が抱える新たなシーズを提供するために、特に粉体工業にとって重要性が高いと思われるものを記述し、それらの開発に横たわる問題について紹介する。また当社のコネクティングワールドに向けた取り組みとして、統合フレームワーク HOSOKAWA GEN4 を取り

上げ、その機能の一つであるリモートモニタリングシステムについて紹介する。

2 センサとしての測定機の課題

2.1 粉体の測定

市販されているオンライン・インライン測定機が測ることができる粉体特性として、粒子径およびその分布、粒子形状、水分値、かさ密度、流量、混合度などが挙げられる。そこでメジャーなもの、および、いまだ装置は存在しないが必要性の高い測定について、その現状と問題点を以下に列記する。

2.1.1 粒子径とその分布

オンラインまたはインライン測定が可能な粒子径分布測定装置が市場に投入されてから数十年の歳月が経過している。測定機自身の改良は今も続けられているものの、通常の用途ではほとんど完成形に近い装置の一つであろう。当社でも英国製のオプティサイザ (図 1) を販売している。しかし今も昔もオンライン・インライン測定には、2.3 章で示すようにサンプリングの問題があり、オフライン測定に比べて、多くの業界で標準採用されているという状況には至っていない。この解決には 2.3 で示すように、サンプリング手法の確立が必要不可欠である。

2.1.2 流動性

粒子径と同じく、多くの産業分野で必要とされている粉体特性である。この特性は単位時間あたりの粉体の流れる量を測定する方法により、ある程度は表現できる。当社には金属粉体を対象とした流動性試験機 (図 2) がパウダテストのオプションとして存在するものの、オフライン式であり、現状のままではオンライン・インライン化に対応できない。新

たな測定原理に基づいた測定方法の考案と実証が望まれる。

2.1.3 複合化

究極の混合と捉えることができる粒子複合化 (図 3) の程度、例えば被覆率などについてはオフラインでサンプリングしたサンプルを SEM によって形状観察して判断するか、それに加えて SEM とセットで使用する元素分析装置、特に EDS (エネルギー分散型 X 線分析装置) を用いたマッピング (特定元素が存在する空間分布を可視化) の利用、有機物などの軽元素の分析における飛行時間型二次イオン質量分析法 (TOF-SIMS) による有機物低分子の電子顕微鏡下でのマッピング、処理前後の比表面積の変化を求める、といった手法が知られているが、比表面積を除いては、いずれも人間による観察・判断をベースとしているため定量化が困難であり、かつ測定の前処理と測定自体および評価を合わせると一試料あたり 30 分以上は必要になる。さらに一度に得られるデータが粒子数個程度であるために、統計



図 1 オンライン粒子径分布測定装置

Fig. 1 Online particle sizer.



図 2 流動性測定装置

Fig. 2 Flowability measuring device.

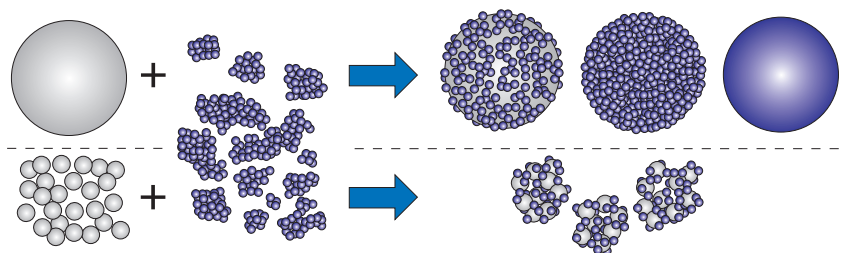


図3 粒子複合化のイメージ

Fig. 3 Schematic figure of particle composing.

的に有意なデータを得るためにはとてつもなく時間がかかってしまう問題がある。また比表面積の測定による複合化度の評価には、小粒子と母粒子の比表面積に大きな差異がない場合、単純混合の比表面積と、複合化後の比表面積があまり変わらず、測定誤差範囲にとどまってしまう問題があり、ナノ粒子とマイクロ粒子の組み合わせのような場合以外は利用が困難である。したがって新たな原理・方法による評価が望まれる。

2.2 機器の状態

粉体機器には使用できていないものの、重要性が高いと考える装置には、付着による閉塞の確認、摩耗による性能や安全性の低下を防ぐための摩耗量の検出といったものが挙げられる。ともに粉体機器以外の分野では実用化されている。前者については、非破壊検査の一種として配管内の付着を超音波や放射線を用いて調査する方法（スケールの状況など）があり、ボイラ配管のスケールの測定などに対して、機器販売や測定サービスが提供されている。後者については一部の用途（潤滑油中の摩耗金属粉の検出によるベアリングや歯車の初期摩耗の検出）には多くの製品が販売されているが、乾式で、また配管や、どの場所が摩耗しているか、といったことを測る装置は存在しない。一方、アメリカのベンチャ（Tyrata社）と丸紅が最近、タイヤの摩耗量を直接、リアルタイムに測定する手法について業務提携した。従来は摩耗によりタイヤ自身がゆがむことによる変異を計測する、空気圧で推定するという手法が国内では主流であったが、いずれもタイヤ以外への展開が困難である。しかしこの手法はタイヤのゴムを通過する電場が、その厚みによって変化することを利用しているため、電界強度の変化を捉えられるようなも

のであれば他の材料系、例えば金属摩耗による製品へのコンタミを防止するため、配管内部に施されるセラミック溶射層の厚さ検出も不可能ではない可能性がある。このように別用途での発明を粉体機器に適用する可能性を検討することが、今後は重要になると考える。

2.3 粉体のサンプリング

粉体プロセスで多用される測定では、プロセスから粉体を取り出す必要があるが、粉体のサンプリングは流体のそれよりも難しい。すなわち、

- ・配管のどこから代表的なサンプルを取ることができするのか？
- ・どうやって取るのか（コップで受ける、エジェクタによる吸い出し、スクリュによる切り出しなど）？
- ・サンプリング駆動部と配管などとの間のシールはどうするか（粉をかみ込まないようにする）？

などの問題がある。特に配管内を流れる粒子の位置は粉砕機の状態によって時々刻々と変化し、代表サンプルを取ることができる位置は常に変化する。このためセンサとしての測定機の利用が進みにくい。このように気流中からの粉体サンプリングは実現が難しいため、当社ではバグフィルタ排出口から粉体をスクリュで切り出し、オンライン粒子径分布測定装置に供給し、測定部を通過した粉体を再びバグフィルタに戻すフローを採用しているが（村田ら、2021）、粉砕機を通過してからバグフィルタを通過するまでに、ある程度のタイムラグが発生してしまうといった問題があり、現状では一部のお客様のみ採用いただいている。おそらくあらゆる粉体に使える万能の手法や装置は存在せず、粉体によって使い

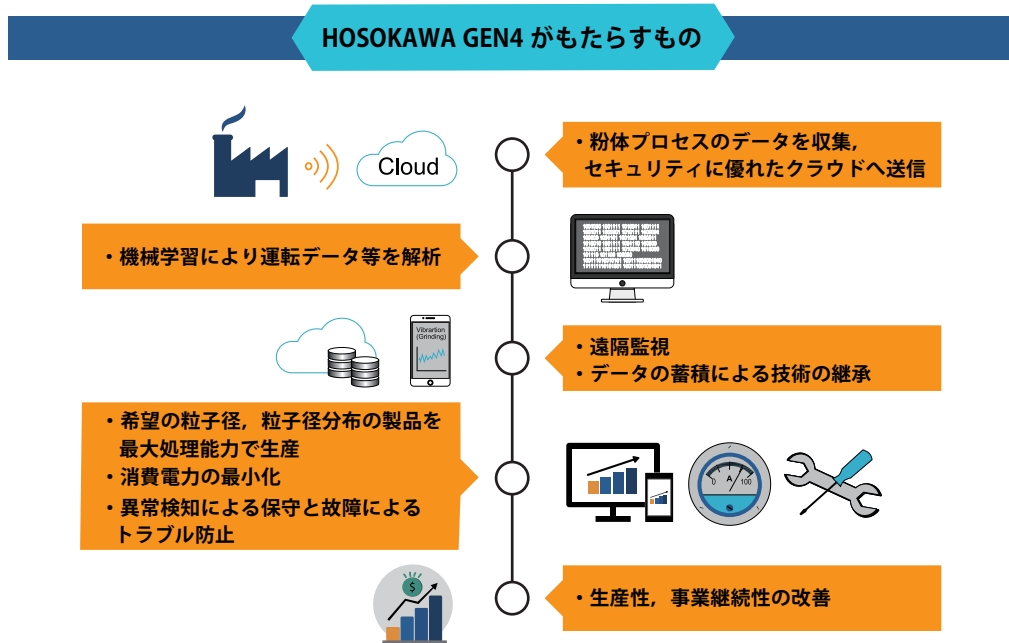


図 4 HOSOKAWA GEN4

Fig. 4 HOSOKAWA GEN4.



図 5 GEN4 のダッシュボード

Fig. 5 Dashboard of GEN4.

分ける必要があると考える。

3 統合プラットフォーム HOSOKAWA GEN4

オンライン・インライン測定機には前述のようにいくつかの問題はあるものの、リアルタイムに近い状態でデータを入手可能である。これを利用して粉

体プロセスを制御するためには、膨大なデータの処理が必要であり、運転支援、最適化条件探索、自動運転を実現するためには AI や機械学習が必須となる。そこで当社はハードとソフトを統合したシステム、HOSOKAWA GEN4 (図 4, 5) を提唱している。本システムについては既報 (藤田ら, 2020) に詳しく述べられている。また当社ウェブサイト

(<https://www.hosokawamicro.co.jp/jp/iiot>) においても動画を交えて紹介しているので参照されたい。ここでは本システムの一部である遠隔監視、リモートモニタリングサービスについて紹介する。一部の大規模メーカを除いて、粉体プラントはアナログかつオフラインのセンサのみで監視されていることが多く、データの蓄積が困難である。またその場にいなければ運転状況を確認できないため、作業者が現場に貼り付く必要がある。さらにプラントを制御するためには、センサや品質管理測定によって得られた数値を読み解く必要があり経験に頼らざるを得ない状況である。HOSOKAWA GEN4 RM はこれらの問題を解決すべく、オンライン粒子径測定機を中心としたデジタルセンサ網を作成し、それらのデータをクラウドに保存する機能を提供する。すなわち、現場にいなくとも運転状態を容易に監視できる。もちろん異常値が発生した場合のメールによる警告機能も標準で用意している。そして生産データを蓄積することにより、今後当社が提供を予定している、機械学習システムによる省エネ化、最適化運転のための学習データとして利用できる。

4 終わりに

一つのプラントだけではなく、工場全体あるいは会社全体の管理システム、さらには受発注先とのシステム連携によるコネクティングワールドが実現されようとしている。しかし粉体製造においては今回紹介したような問題を解決する必要がある。ソフトウェア的にはデータが蓄積されれば解析できる仕組みは整いつつあり、正しいデータを入手するためのセンサとしての測定機とサンプリング技術の開発は急務であると考えている。その実現には企業だけでも、大学などの研究機関だけでも難しく、両者が今こそ協力して研究開発していく必要があると考えている。本文がそのきっかけになれば幸いである。

References

- 白瀬 敬一, “デジタルツインの捉え方—シミュレーションからデジタルツインへ—” (〈特集〉デジタルツインでかわるものづくりのこれから), 日本機械学会誌, 124(1231) (2021) 6–9.
https://doi.org/10.1299/jsmemag.124.1231_6
- 藤田 幸, 北村 智浩, 村田 憲司, “IoT, AIを用いた粉体プロセスの革新”, 粉砕, 63 (2020) 90–96.
<https://doi.org/10.24611/micromeritics.2020016>
- 村田 憲司, 北村 智浩, 河原 正佳, “粒子径分布測定機と粉体処理プロセスについて”, 粉砕, 64 (2021) 56–61.
<https://doi.org/10.24611/micromeritics.2021013>

著者紹介



井上 義之 Yoshiyuki INOUE

〔経歴〕 1992 年 信州大学大学院 繊維学研究科 繊維化学工学専攻修了, 同年ホソカワミクロン入社。1994 年 大阪大学大学院博士後期課程 工学研究科 産業機械工学専攻入学 (国内留学), 2000 年 博士 (工学) 取得。2014 年から現職。

〔専門〕 粉体数値シミュレーション。

〔連絡先〕 yinoue@hmc.hosokawa.com