◇特集　粉体技術が新素材産業を支援する

IoT，AI，Big Data 時代に対応する粉体生産プロセス

北村　智浩*1)，藤田　幸*2)，村田　憲司*3)

1. はじめに

デバイスを介して，あらゆるモノがインターネットに接続される IoT（Internet of Things）は近年，製造業に限らず様々な産業分野で導入が進んでいる。ドイツではこの IoT を積極的に活用し，スマートファクトリの実現を目標とする国家的戦略プロジェクトとして Industry 4.0 を提唱した。IoT の中でも産業分野に特化した IIoT（Industrial IoT）は，高度な自動生産化，属人化の解消および生産効率の向上などが達成できる手法として注目されている。

さまざまな産業分野で利用されている粉砕，混合，乾燥等の粉体プロセスに関しても，インテリジェントな生産設備による変革が求められている。

本報では，①最近の粉体処理プロセスの進歩，②当社が培った粉体処理技術，制御技術および情報技術を融合し，粉体プロセスの生産性向上に効果的に貢献するツールとして新たに開発した「HOSOKAWA GEN4™」の概要，そして③今後の粉体プロセスの展望を紹介する。

*1)Tomohiro KITAMURA：
*1~3)ホソカワミクロン(株)
粉体工学研究所　研究開発部　研究室
〒573-1132　大阪府枚方市招堤田近 1-9
TEL：072-855-2220
FAX：072-855-2710
*1)tkitamura@hmc.hosokawa.com

2. 最近の粉体処理プロセスの進歩

世の中の粉体処理関連の製品のトレンドは，大きく分けて，省エネへの対応，機能性材料の処理，温度管理や温度変化を利用した粉体処理，PAT

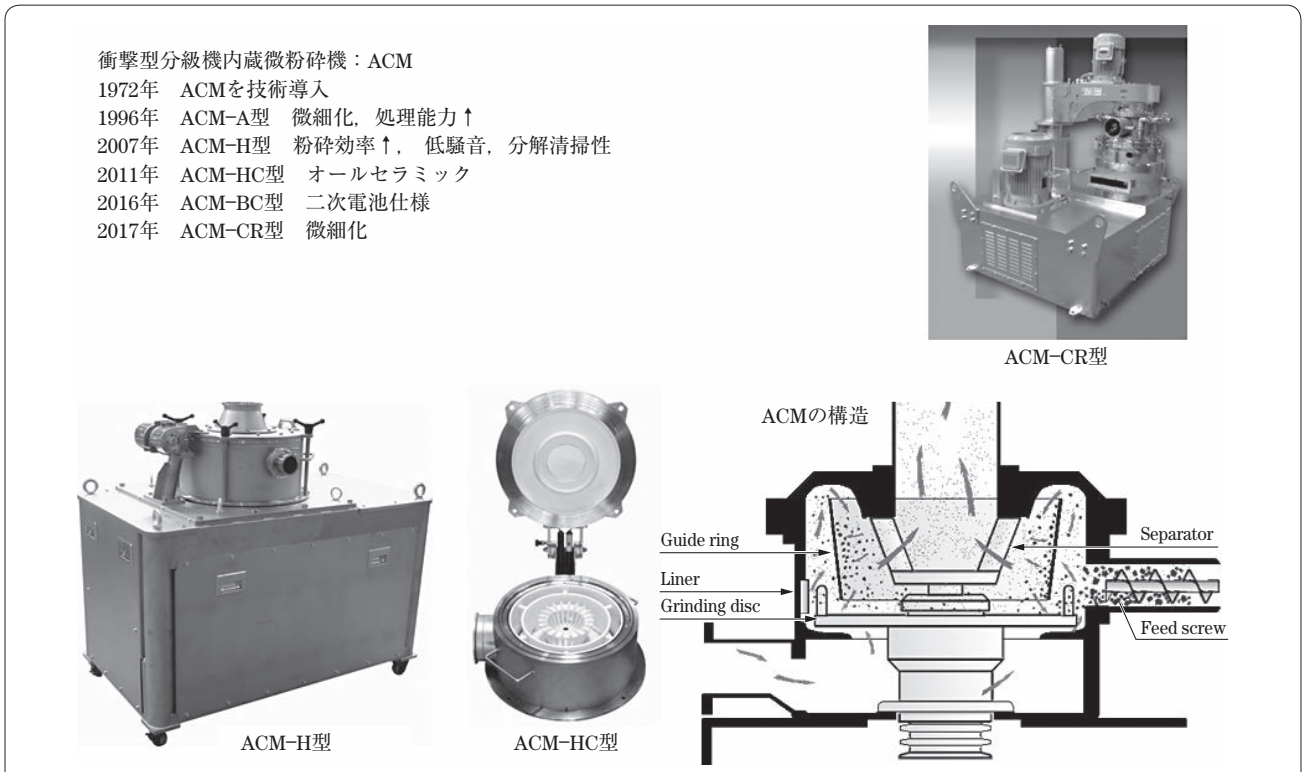

図1　衝撃型分級機内蔵微粉砕機 ACM の進化

図 2　新製品 ACM–F 型

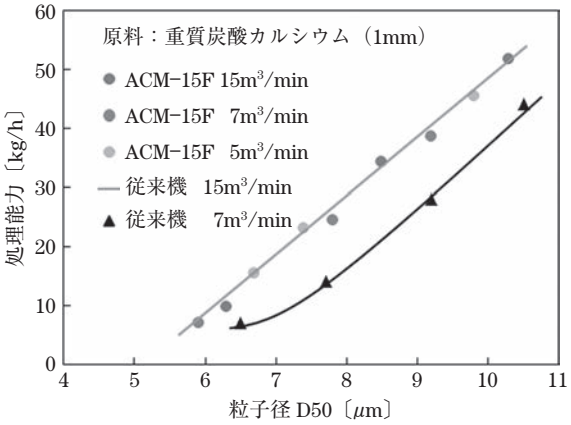

図 3　従来機と ACM–15F の処理風量と処理能力

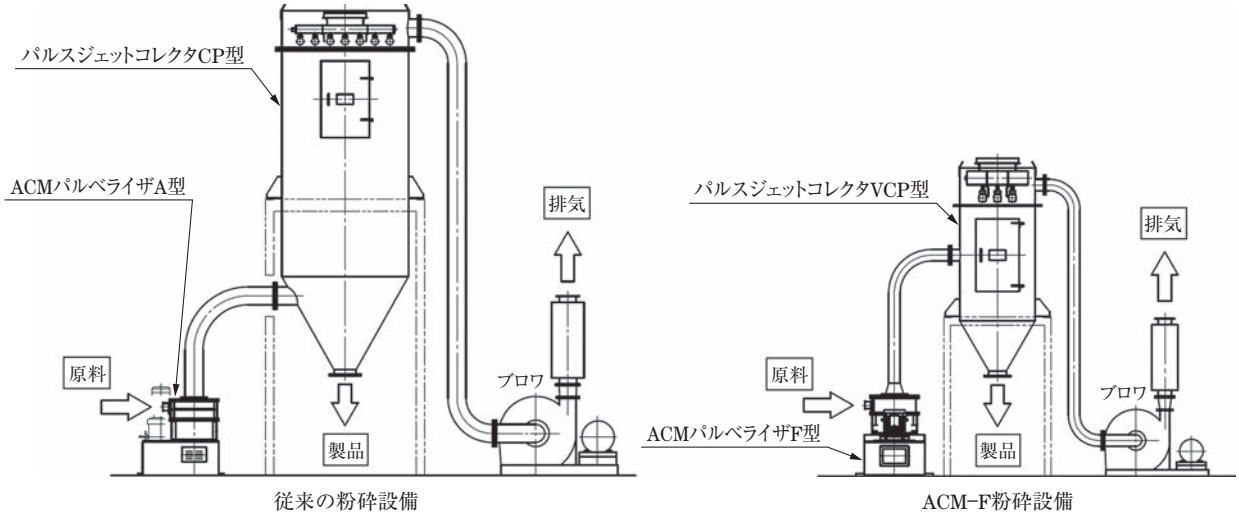

図 4　従来機と ACM–F 型の設置面積

（Process Analytical Technology）を利用した連続生産とリアルタイム分析による品質管理，そして AI を利用した全く新しい粉体処理プロセスの制御と管理，である。これらは，従来に比較してより幅広い分野の技術を用いた粉体処理技術が求められているといえる。当社も業界からの多様かつ動的なニーズに対応するため，今まで多くの製品をユーザーへ提供してきた。今回はその例として，省エネに対応した分級機を内蔵した乾式の衝撃型粉砕機「ACM」の新商品を紹介する。

ACM シリーズは世界中で数多く販売されており，国内でも 2500 台以上の実績がある当社の主要な装置である。ACM は高速回転するハンマにより原料を粉砕し，内部の高速回転する分級機により粉体を粒子径で分級する機構を有している。分級機を通過できない粗い粉は再度粉砕ゾーンに戻り，目標の粒子径になるまで閉回路循環を繰り返す。1972 年に ACM の技術を導入してから，処理能力向上，粉砕効率および分解清掃性を上げた機種「ACM–H 型」，二次電池に特化したタイプ「ACM–BC 型」など，業界のニーズに合わせて改良を繰り返してきた（**図 1**）。

今回リニューアルした「ACM–F 型」は，省エネ・省スペース化を目的に従来機より小風量での運転を実現した装置である（**図 2**）。従来の ACM から機器内部を改良し，小風量で運転が可能になった。これにより，付帯設備も含めて粉砕に必要な総エネルギーが少なくなり，また設置スペースが減少した。

基本的な粉砕性能は販売実績の多い従来の機種と同等であるが，従来機は風量が低い状態であると粉砕能力が低下するのに対し，ACM–F 型は風量を 3 分の 1 に低下させても高風量時と同等の処理能力を保つことができる（**図 3**）。このように運転風量が抑えられることで，ブロア，集塵機等の付帯設備を小さくでき，それらのイニシャルコストおよびランニン

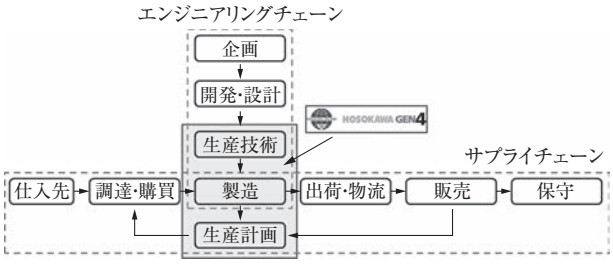

図 5　HOSOKAWA GEN4™ の貢献範囲

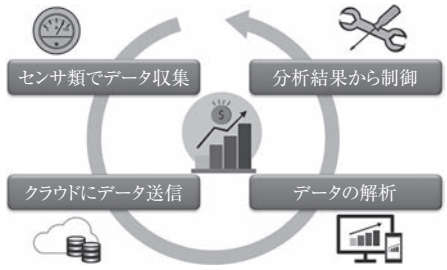

図 6　IIoT の概念図

グコスト，さらには設置スペースを低減することが可能になった（**図 4**）。このように，消費エネルギーやスペース的にも，より効率の高い粉体処理プロセスが現在求められている。

3. 粉体処理・制御・情報技術の融合 HOSOKAWA GEN4™

(1) 粉体処理プロセスへの AI，IIoT，Big Data 利活用

次に，当社のトータル IIoT サービス HOSOKAWA GEN4™ を通して，新しい粉体処理プロセスの制御と管理の概念について紹介する。

冒頭で述べたように，現在，社会では AI や Big Data 利活用技術の発展により，情報集約型の社会構造へと変化している。例えば，ネット販売業界は膨大な顧客情報から Big Data の解析により顧客一人一人の購買傾向に合わせた商品の提案を自動で行っている。これらの AI や Big Data 利活用の波は製造業にも押し寄せている。しかし，粉体処理の分野では「粉は魔物」といわれてきたように，粉体は固体の集合体であるがゆえに粒子径などの物性に分布が生じ，それが粉体処理プロセスの制御を困難にさせてきた。そのため，今までの粉体処理は，現場のオペレータの経験と勘に頼るところが多かった。

ところが，近年，人手不足や技術継承の問題に直面し，さらには多品種少量生産への対応など，より生産現場に求められる要求が高度になり，AI や Big Data の利活用の必要性が高まってきた。そこで当社では，この多くの課題や障壁ある粉体処理の分野での AI，IoT および Big Data の利用が必要不可欠になる時代を想定し，それらの技術を粉体処理プロセスに組み込む試みを始めた。これらの機能を含んだサービスを総括して，HOSOKAWA GEN4™ と呼んでいる。

(2) HOSOKAWA GEN4™ が提供するサービス

HOSOKAWA GEN4™ の最終的な目標は，粉体処理機器を使用する企業の仕入・調達・製造・流通・販売・保守の流れのサプライチェーンと企画・開発設計・製造・生産計画のエンジニアリングチェーンの最適化である（**図 5**）。そのため，当社は顧客のサプライチェーンの製造の最適化および前後工程である調達と物流との連携（PLM：Product Lifecycle Management）を視野に入れ HOSOKAWA GEN4™ の開発を進めている。

この製造部分での AI や IoT を利用した生産の最適化には，大きく分けて 4 つのフェーズがあると考えている。

フェーズ 1：センサによるデータ収集およびモニタリング（リモートモニタリング）
フェーズ 2：正常・異常の判断（異常検知）
フェーズ 3：予測と自動運転（故障予知と運転の最適化）
フェーズ 4：サプライチェーンやエンジニアリングチェーンとの連携（PLM との統合）

さらに，フェーズ 1 のモニタリングにも 2 種類の側面があると考えられる。それは製品の品質管理と機械の状態管理である。品質管理とは，粒子径などの製品粉体の品質の管理であり，機械の状態管理は機械の温度監視などによる機械の状態の管理である。HOSOKAWA GEN4™ はこれら両方のモニタリングが可能である。

HOSOKAWA GEN4™ は利便性や拡張性を考慮し，産業用クラウドを利用して前記 4 つのフェーズのうち，IIoT の概念図（**図 6**）のようにフェーズ 1 からフェーズ 3 までを実現する。まず，生産設備に取り付けたセンサから収集されるデータをインターネット経由でクラウドなどのネットワークに集める。収集したデータをクラウド上の AI エンジンによって解析し，解析結果情報を生産設備へレポートする。

これらの IIoT 技術が実現できるようになった背景には，センサの種類の増加と価格の低下により多くのセンサを取り付けられるようになったこと，ネットワークの発達により大量のデータがリアルタイムで収集できるようになったこと，コンピュータの

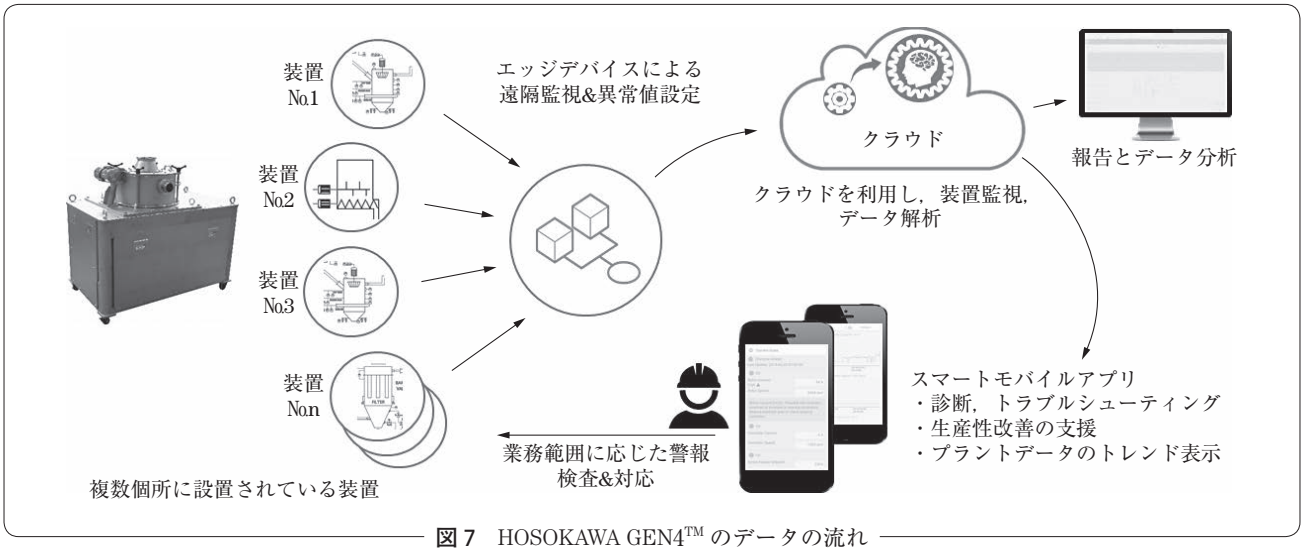

図 7　HOSOKAWA GEN4™ のデータの流れ

発達，そしてクラウドの普及により集まる大量のデータの処理・解析が可能になったことが挙げられる。

このように，HOSOKAWA GEN4™ は，粉体処理プロセスのスマート化およびデジタル化を実現して効率的な生産を行うための IIoT サービスを目指している。このサービスには，粉体処理に特化したプラットフォームと機能を盛り込んでいるため，ユーザーは IIoT プラットフォームの独自開発やチューニングを行わずに利用が可能である。

具体的には，粉体プロセスからのデータをエッジデバイスに集約する（**図 7**）。選定されたデータはクラウドへ送られ，AI による状態監視とデータ解析が行われる。そして，各オペレータはモバイルデバイス上のアプリを通じ，運転状況の監視や生産性改善の支援に向けた情報を離れていても受け取ることができる。これらを実施することにより，生産性や事業継続性の改善を行うことが可能になる。

HOSOKAWA GEN4™ の導入により，現場の課題である①技術の継承，②属人化の解消，③生産効率の向上，④適切なメンテナンスの実施，⑤環境負荷の低減，を行うことができる。

(3)　従来のオンプレミス型の制御方法との違い

従来のオンプレミスな運用と異なり，本サービスはセキュリティ性に優れたクラウドを用いるため，生産現場のオペレータや管理者だけでなく，メンテナンス担当を含めた生産に関わるすべての人が生産プロセスの運転状況等の情報を，いつでも，どこででもアクセスできる高い共有性を有している。セキュリティの技術についても，HOSOKAWA GEN4™ の通信は世界標準のセキュリティ規格を利用しており，工場内では OPC-UA，工場外部では通信の暗号化や ISO27001/IEC62443 に準拠したベンダと提携して安全性を確保している。

しかし，生産設備のデータは情報管理の観点から社外に出し辛いことも事実であり，クラウドへ送信するデータの選択は，ユーザーが直面している課題を踏まえたうえで，どのような方法と内容を送信するか適切に選択して仕様を決定する。一方，データの取り扱いに関する現在の流れとして，事業活動に大手情報通信会社のクラウドやクラウドと連携した業務用ソフトウェアなどを利用する場面が増えており，近い将来，セキュアかつ意識的に抵抗なく生産設備のデータをクラウドへ送信する時期がくることが予想される。

HOSOKAWA GEN4™ は，データの管理や解析をクラウド上で処理するシステムである。クラウドは必要に応じてアップデートでき，外部サービスと API（Application Programming Interface）によって連携することも可能であるなど，十分な拡張性を有していることがメリットである。さらに，クラウド上で利用するため，オンプレミス用の自社サーバーの設置や保守などに掛かるコストが必要なく，自社でのネットワーク開発やプログラム開発が最小限になることもメリットである。

(4)　HOSOKAWA GEN4™ への接続例 [1)]

本サービスの最大の特徴は，クラウドに蓄積した設備の運転データおよび得られた製品データを機械学習により解析し，指定した特性の製品を製造するために最適な運転条件を提案できることである。従来の制御では困難であった複数の要因や条件の最適な組み合わせを選定することが，機械学習の利用により可能である。これにより例えば，粉砕システムでは指定する粒子径分布を持った製品を，最も少ない消費電力で製造する条件を導き出すことができる。

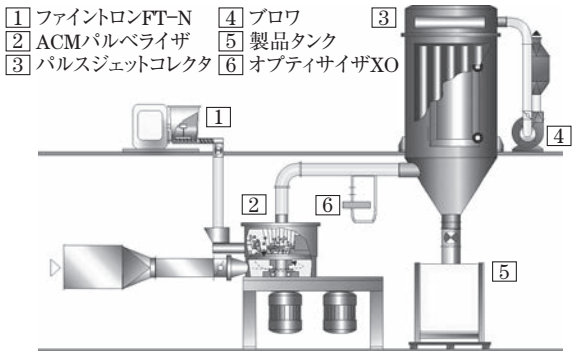

図 8　ACM を用いた粉体処理プロセスフロー

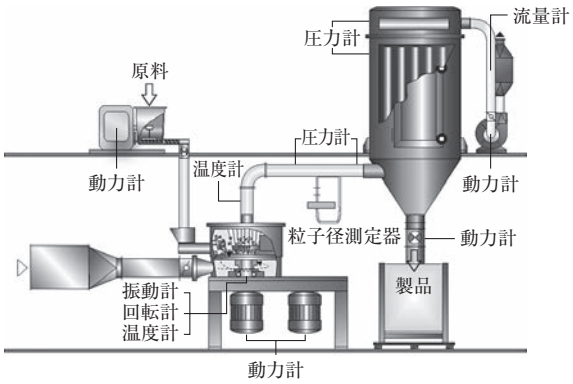

図 9　HOSOKAWA GEN4™ の構成例

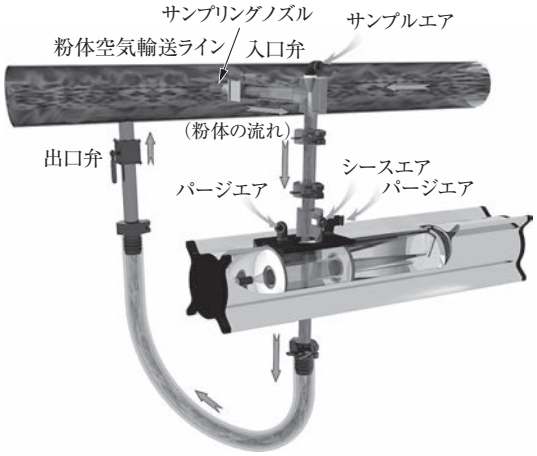

図 10　オンライン粒子径分布測定機　オプティサイザ

粉体プロセスの一例を**図 8** に示す。これは先に紹介した衝撃型分級機内蔵微粉砕機 ACM を用いた場合の一般的な粉体プロセスの処理フローである。供給機から投入された原料が ACM 内で粉砕され，所定の粒子径の製品を，集塵機を介して回収するというシステムである。

HOSOKAWA GEN4™ を導入するに当たり重要なことは，信頼性の高いデータ収集である。図 8 のシステムに HOSOKAWA GEN4™ を導入するためには，**図 9** に示すセンサなどにより運転状態を監視する必要がある。ACM の運転状態は，それらによりいつでもどこでも見ることができる。また故障予知を行うための情報を得ることもできる。

(5)　オンラインでの粒子径測定

図 9 のシステムでは粒子径分布をオンラインで測定するため，**図 10** に示す「オプティサイザ®」を使用する。リアルタイムでの粒子径分布測定は，粉体の品質管理を行ううえで最も重要な項目である。

従来の品質管理では，得られた製品粉体をその都度サンプリングし，測定室に運び，粒子径を確認するといった流れが一般的であり，測定に多くの労力が必要で，また測定結果を得るまでに時間を要した。一方，本測定機は，プロセスライン中の粉体の粒子径分布をオンラインで連続的に測定し，リアルタイムでのモニタリングが可能である。

オプティサイザは，空輸配管中や製品捕集後にサンプリングを行うことができる。測定部に粉が付着しにくい構造になっており，清掃も簡便で，比較的安価な測定機である。オンラインでモニタリングを行うことにより，運転状態の常時監視が可能になり，以下のメリットがある。

① 素早い異常検知と制御

② 人手を介さない閉回路測定による工数の削減，ヒューマンエラーの可能性排除

③ 工程管理や品質管理が容易

オンラインでの粒子径分布測定には多くの因子が影響し，信頼性のあるデータを得ることは難しい。当社には多くの経験があり，粉体処理プロセスの構成，製品の粉体物性，プロセスの制御方法により適切なサンプリング方法を選定して提案している。

(6)　機械学習を用いた運転の最適化

次にクラウド上での AI 解析について紹介する。図 9 の ACM を用いたシステムで，機械学習（AI の一部）により目標の粒子径分布を満たす運転条件を求める場合，単一の粒子径の指標（D50）だけではなく，複数の粒子径の指標（D50，D90）とともに粉砕システム全体の消費電力を予測することが可能である。また，目標の製品粒子径を達成しつつ，消費電力が最も低くなる運転も探索することができる。

現在のクラウド上の AI エンジンには，「人の経験」の親和性を高めるためのモデルを主に使用している。この背景には，3（1）で述べたように，現場の生産現場の技術継承の課題も本システムを通じて行うことを想定しているためである。現場のオペレータには長年の経験で得たさまざまな Know-How

があり，それらをモデル化して情報を残し，次の世代のオペレータへ継承することが大切であるとの考えからである。

(7) その他の機能

AIを使ったデータ解析やモニタリング以外にも，HOSOKAWA GEN4™のアプリケーションを使用することで，クラウド上での運転のデータ管理，報告書の作成，警報通知設定などが可能である。また，AIエンジンによる故障予知や，遠隔地からのメンテナンス支援などのリモートメンテナンスサービスの実現も検討している。

(8) HOSOKAWA GEN4™の導入

HOSOKAWA GEN4™は，これから新設する設備だけでなく既存の設備にも追加が可能である。既存の設備への追加には，データ取得のための追加のセンサ，それらのデータをクラウドへ送信する専用デバイス，そして有線もしくは無線でのインターネット環境を整えれば運用が可能になる。クラウドへデータが繋がれば，PCや手元のモバイルデバイスから，その設備の状態を監視できるなど様々なサービスの利用が可能になる。

当社には100年を超える粉体処理プロセスの経験がある。HOSOKAWA GEN4™は，100年にわたって積み上げた機械と制御のKnow–Howに，ソフトウェアを付加した機械，制御，測定，アフターサービスの一貫した総合的なサービスを提供していく予定である。IIoT化に新たに関心を寄せるユーザーに対しては，3（2）で述べたフェーズ1（センサによるデータ蓄積とモニタリング：リモートモニタリング）に向けて導入することをお奨めしている。そこからスタートすることで，利便性と機能をさらに拡張した総合的な管理システムへと発展させるユーザーが増えるものと期待している。

4. 今後の粉体プロセスの展望

現在のAIを導入するにあたっての課題としては，主に以下が挙げられている[2)]。

・AIについての理解が不足している
・導入効果が得られるか不安である
・手軽に導入できるAIのサービスや製品がない
・導入費用が高い
・AIのエンジニア人材が不足している

AIの活用を進めるには，まずAIに対する知識・理解を深めていく必要がある。現在，各省庁がIoT関連などのガイドラインを発表するなど，徐々にAI，IoT，Big Dataを身近に利用可能な環境が整ってきている。また，導入費用の面についても，今後もセンサ技術の向上により，より精度が良くまた低価格なセンサが市場にでてくると予想される。

クラウドを使用したIoTやAIの活用は，従来のオンプレミスに比べて導入障壁が比較的低く，これらの技術を使用した生産性の向上を中小企業も積極的に行える環境になってきている。そう遠くない未来にAIやIoT技術を使って，企業間でボーダーレスに必要な情報の交換や利用が可能になる社会へと移行することが推測される。

本報では，粉体生産プロセスの生産性向上のために開発されたトータルIIoTサービスHOSOKAWA GEN4™の概要とその構成例を紹介した。図9のACM，オプティサイザおよびHOSOKAWA GEN4™を組み合わせたシステムは当社の大阪テストセンターに設置しており，各種粉体原料の実証テストを行うことができる。

また，既に当社イギリスのグループ会社にもこれらのシステムを導入しており，HOSOKAWA GEN4™は国境を越えてのモニタリングが可能である。今後さらに粉体生産プロセスの生産性向上に寄与できるオンデマンドサービスおよびフィールドサービスとして発展させていく予定である。

さらにはHOSOKAWA GEN4™では，機械制御だけでなく，3（2）で記載した製造の前後工程への接続によるサプライチェーンやエンジニアリングチェーンの効率化も展望している。具体的には，VR技術を使用したデジタルツイン（生産現場のシミュレーションや新規設備導入時のARの利用によるサイズ感の確認）などである。これらの技術によって，生産管理など定常業務は自動化および最適化され，それらに従事していた従業員は，素材開発や生産した素材をどのように利用するかなど新たな付加価値を生むクリエイティブな仕事へと転換をすることが可能になるのではと期待している。

HOSOKAWA GEN4™はこれからも継続的に進化していくサービスである。今までの当社の製品群は100年に渡るユーザーとのコミュニケーションによって，開発・成長してきた。今後もユーザーの課題解決と新たな挑戦に少しでも力になれるよう，多様なニーズに対応可能な研究・技術開発と展開に努めていく。

〈参考文献〉

1）産業機械，藤田幸，2019年5月号（掲載予定）
2）AI白書2019，独立行政法人情報処理推進機構AI白書編集委員会