



モノのインターネット，製造プロセスを改善するチャンス

The Internet-of-Things, Opportunities to Improve Manufacturing Processes

イアン クロスリー

Iain CROSLEY

ホソカワミクロン英国，マネージングダイレクター

Managing Director, Hosokawa Micron Ltd. (UK)

抄 録

第4次産業革命は、今まさに幕開けを迎えている。これまでの産業革命と同様に、業界は競争力を維持していくためには、納期と製品品質の観点で顧客の期待に応えられる新しい技術に適応していかなければならない。第4次産業革命は、インターネットの進歩と産業的な応用がクラウドで支援されるしっかりとしたプラットフォームの開発，ならびに接続されたシステムを使った社会的活動の増加によって実現されてきた。

これらの技術を表すために、モノのインターネット (IoT) やインダストリー 4.0, サイバーフィジカルシステムズなどのような多くの言葉が使われてきた。本講演では、これらのシステムの展開を可能にする基本設計概念，ならびに粉粒体産業で利用することができる応用事例，いくつかのデータマイニングや，遠隔計測，閉回路人工知能制御などの事例について述べる。これらはその理解，計測，制御戦略展開に繋がっている。

ABSTRACT

The fourth Industrial Revolution is now dawning, and like the previous Industrial Revolutions, Industry is going to have to adapt to the new technologies if it is to remain competitive and meet the expectations of its customers in terms of delivery and product quality. The fourth Industrial revolution has been enabled by the advancement of the Internet and the development of robust platforms that allow industrial applications to be “cloud” hosted as well as an increase in social activity using connected systems.

There are many terms used to describe these technologies including the Internet-of-things (IoT), Industry 4.0, and Cyber-Physical systems. This presentation looks at the architecture that enables these systems to be deployed, the applications that can be utilised in the powder and particle processing industries, and some real life examples of data-mining, remote monitoring and closed loop artificial intelligence control. Leading to the Understand, Monitor, Control strategy deployment.

1 はじめに

世界は劇的に変化し、我々の生活や働き方、コミュニ

ケーションの方法，そして，将来への期待に大きな影響を及ぼしている。これらは，機器や計算能力，データ処理，調査技術などの発展，さらにインター



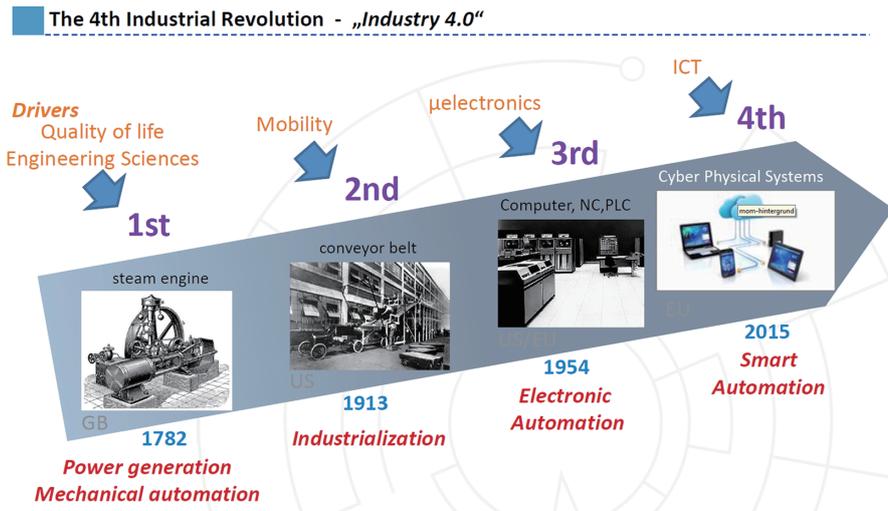


図1 産業革命
Fig.1 The Industrial Revolutions

ネットの活用によってもたらされたものである。

人類に影響を与えてきた歴史上の転換点を考察すると、その時期は、産業革命と名付けられた4つの転換期によって、分けることができる。(図1)。

- 1) 第一次産業革命は、機械産業の水蒸気動力によってもたらされ、1782年に第一号機の自動織機が発明された。
- 2) 第二次産業革命は、電力の導入と1913年に初の大量生産の製造ラインが稼働したことに特長づけられる。
- 3) 第三次産業革命は、PLC(プログラマブル・ロジック・コンピュータ)に代表される、生産をさらに自動化するためのエレクトロニクスとITの応用であった。
- 4) 第四次産業革命は、始まったばかりであり、サイバー・フィジカル・プロダクション・システム(CPPS)に基づいている。これは、インターネットの環境を利用し、現実と仮想世界の融合をもたらしている¹⁾。

第四次産業革命は、デジタル時代として定義される。モノのインターネットを媒介として、情報・人・サービスのネットワーク化によって生み出された²⁾。

この第四次産業革命は、産業の未来図を書き換える可能性がある。

新時代は、以下の4つを特徴とする。

1. 生産システムのネットワーク化と垂直統合
効率的な製造から物流管理、サービスならびに、個

- 別顧客に対応する生産システムのネットワーク化。
2. 水平方向の統合をベースとする価値創造ネットワークの構築

ビジネスパートナーや顧客ならびに国境や地域をも越えた協働体制を実現するネットワーク。

3. ライフサイクル全体を通じて終始一貫したエンジニアリング

製品の開発、生産準備・生産、アフターマーケットなどの製品のライフサイクル上の情報をデジタル化してリンクするエンジニアリングチェーン。

4. 劇的な技術変革をもたらすマーケットの拡大
今まではコスト的に成立しなかったテーラード、マスカスタマイゼーション(個別大量生産)生産の実現。

これによりプラントや機械の稼働率を高め、ジャストインタイムメンテナンスの実現、不良の低減、高い処理能力とフレキシビリティにより生産コストを削減できる。

さらに、顧客やサプライヤーとの緊密な連携など、新しい機会を活用してリスクを削減することができる。これにより、機械および製造プロセスのデータを分析して、より良い品質、よりエネルギー効率の高い生産、重要業績評価指標(KPI)のより良い定義および監視を保證することができる。

デジタル技術の採用は、労働者の働き方やワークライフバランスを変える可能性がある¹⁾。

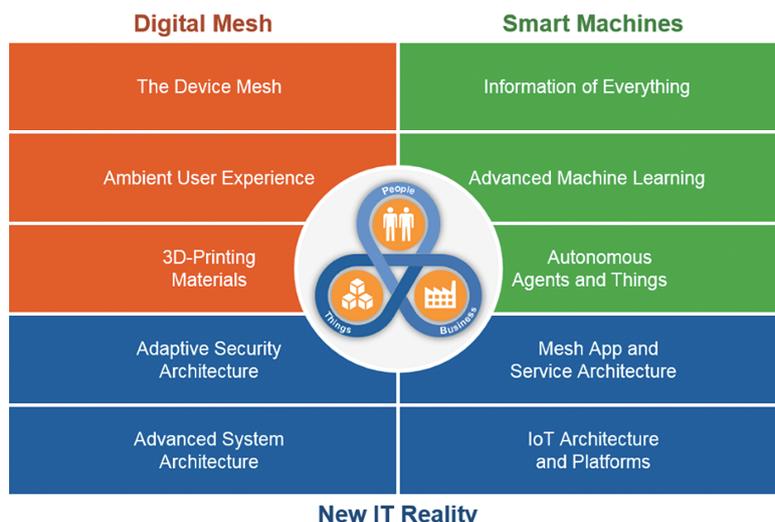


図2 新しいIT技術の実態
Fig.2 New IT reality

2 ビッグデータとデータマイニングの役割

現代の情報技術並びにコミュニケーション技術は、製造業の生産性を向上し、生産量とフレキシビリティの増大をもたらすとともに、マーケットにおける競争力を増大させることができる（図2）。

ビッグデータ環境においては、6つのCが重要である。

- 1) Connection（つながり）—センサーとネットワーク
- 2) Cloud（クラウド）—演算とオンデマンドに関連するデータ
- 3) Cyber（サイバー）—モデルとメモリ
- 4) Content/Context（コンテンツ）—意味と相関関係
- 5) Community（コミュニティ）—協力とシェアリング
- 6) Customisation（カスタム化）—個性化と価値

生産設備の運用、すなわち製造プロセスや工場に価値を吹き込んで、正しいコンテンツとデータを獲得することは、付加価値の高い情報を創造する最新の装置（最新の解析手法とアルゴリズム）によってなされる。

解析装置は、機械の損耗のような難しい問題も含めて、全体的な知識を高めるものでなければならない。正しい解析装置が配置されて、使用データが有効で、なおかつ解析に正しいインプットが行われることが必要である³⁾。

3 環境

“Internet of Things” や “Industry 4.0”, “Cyber Physical Systems” などいくつかの呼び方がされているが、これらは本質的に同様の概念で捉えることができ、以下のように表すことができる⁴⁾。

対象となる物理的なモノ+コントローラ（センサ、アクチュエータ）+インターネット=デジタルエイジ

個々のデバイスを接続するコンポーネントの発達は、小型化、低価格化、無線化によって急速に発展した。これは、システムのモジュール化、携帯電話、遠隔測定法、ICチップ、無線センサのネットワーク化、コンピュータのネットワーク化など、多くの水平的/垂直的な技術分野の進歩の結果である⁵⁾。

さらに、インターネットに接続するデバイスの利用が爆発的に拡大した。2003年には地球上の人口63億人、接続されたデバイス数が5億個であったのに対して、2020年には地球上の人口が76億人、インターネットに接続されたデバイスの数は500億個に膨らむ（図3）。

4 機会

Nest Smart Thermostat のシステムが既に市場に出回っていることは、よく知られている。このデバイ

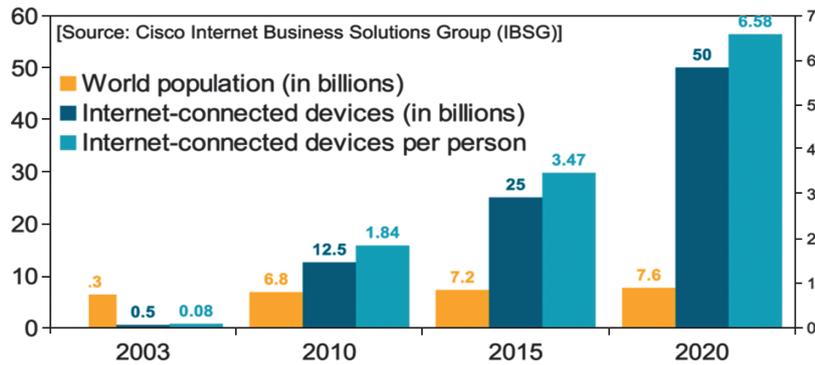


図3 デジタル技術の展開
Fig.3 Uptake of digital technology

スは、使用者のスケジュールを把握し、自らそれをプログラム化して、携帯電話やタブレットやPCから操作することができるようになってきている。これを利用することで、家庭エネルギー消費量を20%削減することが可能である⁶⁾。

開発の次の段階はスマートハウスで、このスマートハウスでは、家の主要機能をすべて同じ方法で制御できる。しかし、この技術を製造業やそのプロセスに応用するには、なお長い道のりが必要である。

工業プロセスは、既に導入されている技術によって、膨大なデータ量を生み出している。例えば、1分に2回測定可能な温度センサは、1日に2,880件の読み取りが可能である。それは、1年あたり737,280件のデータの読み取りが可能ということである。これは、装置の寿命を10年とすると、約700万件のデータに相当する。

平均的かつ単純な製造プロセスで、毎秒1件の計測を行うセンサが32個あるとすると、これらから発生するデータは膨大なものになる。このことは以下の疑問を提起する。

- 1) 何のために測定するか？
- 2) 何を測定するか？
- 3) そのデータはどのように変化するか？
- 4) そのデータは何を意味するか？
- 5) そのデータにどのような価値があるか？

5 アプリケーション

すべての産業分野で改善のチャレンジがなされている。これによって、エネルギー使用量・労働量の削減、生産性の向上、生産量の増加、リードタイム

の削減、生産効率の向上を導き出すことができる。世界がより密接に繋がることできれば、これらの挑戦はさらに増えるに違いない。

現時点で、世界トップの製造業であったとしても、最新の技術を学んで、これを取り入れる風土がなければ、2、3年のうちにその地位を失ってしまうであろう。システムから取り出された情報は貴重な財産であり、これを可能にするツールは確実に増えており、大きな利点をもたらすことができる⁷⁾。

6 実施

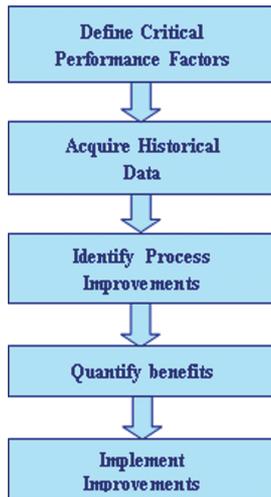
改善の機会を逃さず、これを持続的に行うためには、どこにその機会があるかを理解するための合理的な手法が必要である。

そのためには、すべての利害関係者が参画していることが重要である。なぜならば、その改善プロジェクトから最大の効果を得るためには、そのプロジェクト以外の多くの情報（全体的な知識）を確保する必要があるからである。

第1ステップはプロセスを改善するキーとなるパラメータを明確にすることである。これは、現在の製造ルートのベンチマークを含むさまざまな方法での評価が必要だからである。また、リバースエンジニアリングでは、製品の品質に必要な重要業績評価指標（KPI）を検討する必要がある（図4）。

第2ステージはこれまでに得られているデータを解析し、KPIに影響を与えるパラメータを理解し、これらが改善の実施のためにどのように使えるか考えることである。

第3ステージはプロセス改善がどのようにして実



Project Methodology

図4 プロジェクトの手法
Fig. 4 Project methodology

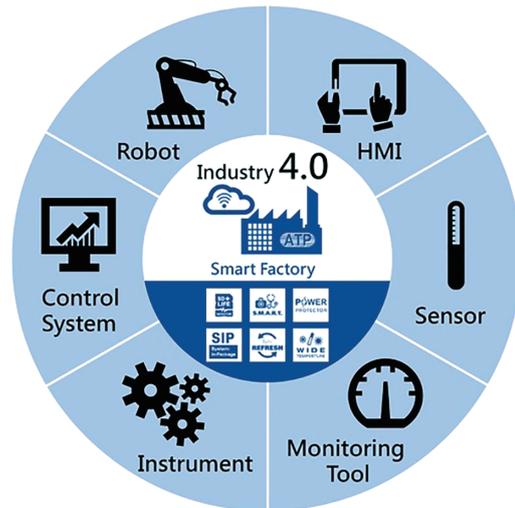


図5 インダストリー 4.0
Fig. 5 Industry 4.0

施され、その成果とそれを維持するために必要な工学的インプットをしっかりと確認することである。

第4ステージはこれらの改善をモニタし、効果を定量化することである。

第5ステージは、以前のデータに対して新しい操作手法から得られたデータを比較することによって認識可能な個々の改善点をさらに明らかにし、それらがプラントの操作方法に組み込まれていることを確認することである。

このようにして、実行オプションは、製造操作の連続モニタリング、オンライン助言システムの展開、あるいは閉回路プロセス制御となり、以下のようになる⁴⁾。

対象となる物理的なモノ+コントローラ (センサ, アクチュエータ) +分析+インターネット+人
=全てのモノのインターネット

これが今、工業分野でのモノのインターネットであり、インダストリー 4.0 である (図 5)。

7 商業化

工業プロセスにデータ解析を応用する我々の取り組みは、“成功のピラミッド”と呼ばれている。

最初のステップは、製造ラインに関して、機能性・

信頼性・品質性などの観点から行われる健全度のチェックである。これは、工場管理者、作業者と改善コンサルタントの間での共同作業として行われる。

その目的は、生産工程が健全で、KPIが要求する情報を提供することができることを確認することである。

モニタ機能はいくつかの方法で開発される。そのもっとも単純な形式は、プラントからのデータを、それを解析することができる地点 (現場または遠隔地) に単純に転送するものである。これに、通常のプロント操作警報が付加される。これらは例えば交通信号システムで、ある“事象 (event)” が起ころうとしていることを関係者に伝達するような個々のステージからできている。プラントでの問題に対するトラブルシュートのためのアドバイスを与えるような追加的な情報を加えることも可能である。機器または計装機器もモニタするデータに加えることができる。そして、すべてのパラメータのトレンドを現場または遠隔地で知ることができる。

製造記録や品質記録は、そのシステムで自動的に作成され、関係する従業員や顧客に自動的に電子メールで報告される。このシステムは異常の発生を知らせるように設定することができ、そのデータはサービス提供者と共有できる。同様の基本構成として、入力および出力を連続的に分析し、それらをデータモデルからの予測と比較する「閉ループ」制御システムとして実施することができる。予期しない事象

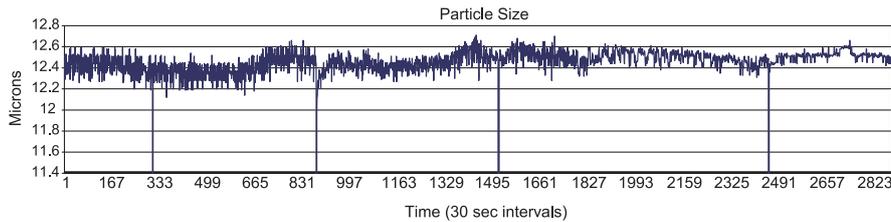


図6 粒子径の変化
Fig. 6 Variation in particle size

が発生した場合の外部入力も可能であり、これは現時点で入手可能な最も進んだシステムである。

8 利点

予知保全：今日の産業プロセスには各種ソフトウェアや解析ツールが組み込まれており、異常や誤作動を予知して、装置全体の利用度を向上させるリアルタイムの状態・性能データを得ることができる。

オペレーショナルインテリジェンス：大部分の企業は、付加価値を生む製造時のデータを企業経営における意思決定に活用できていない。データ分析は、パフォーマンスと収益性を大幅に向上させることができる。

サプライチェーン管理：製品包装に組み込まれたセンサのデータは、場所、条件、環境に関する情報を提供することができる。これによってたとえば温度や湿度レベルが維持できていなかったことによって廃棄される製品が判明し、不良品の製造を避けることに繋がる。

ダイナミック調達とスマートコントラクト：在庫のリアルタイムモニタリングと動的調達を組み合わせれば、在庫と受注のギャップを埋めることができる。共同プラットフォームを通じて形成される複数のサプライヤ契約は、コスト、停止時間、および在庫を削減することができる。

9 工業への応用

1) データマイニングのトナー製造への応用

ネクस्पレス ソリューションズ (Nexpress Solutions) はエクストルーダ、ロスインウェイト式のフィーダ、ジェットミル、空気分級機、パッキング装置などで構成された複数の同じ製造ラインからなる

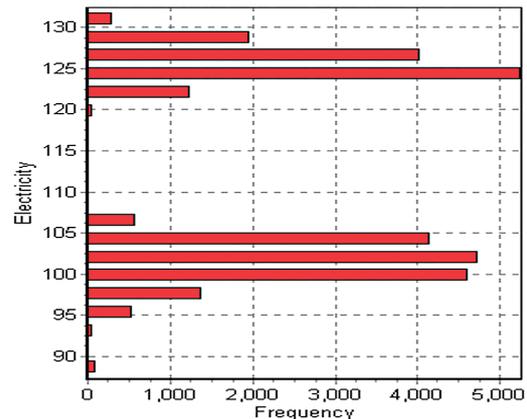


図7 電力使用量
Fig. 7 Electricity usage

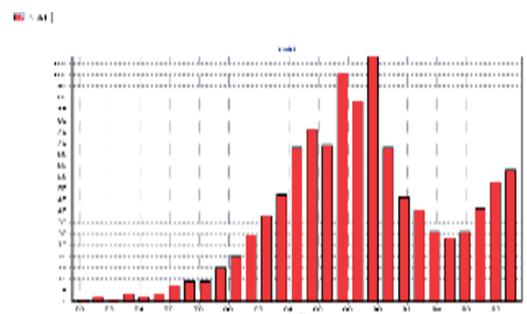


図8 収率
Fig. 8 Yield

最新の化学製造プラントをコントロールしている。

このシステムは、連結された連続プロセスで、製造ラインの様々なプロセスやステップが、相互に複雑に影響し合っている。管理者や技術者は、常にそれぞれの生産ラインの性能のバランスを取りながら、生産性を向上させ、収率を増加させ、処理量を増やし、エネルギーコストを削減し、製品品質を向上させることに努力している。キーポイントは

- ① 厳しい粒子径分布の要求に応えること (図6)
- ② 比消費エネルギーの最小化 (図7)
- ③ 収率の最大化 (図8)

④処理量の最大化

プロセスルートのパフォーマンスを最適化するために適用されるテクニックには、以下の新しい技術の使用が含まれる。

- i) インライン粒子径測定：堅牢で信頼性の高い多重散乱レーザー回折装置であり、リアルタイムのプロセス評価が可能。
- ii) データマイニング：これは、プロセス性能を向上するためのデータ解析手法として確立されたデータ解析技術である。データマイニングによって巨大なデータベースの中から「自動的に」パターンを見つけ出すことが可能である。これらのパターンは理解しやすい形式（ルール）で表現され、事象について洞察を加え、確認して定量化される可能性を提供する。

これらのテクノロジーを使用して Nexpress で行われた作業は、実現可能なメリットを示し、高度なコンピュータ技術をより包括的に適用する機会を示し、プロセス制御のための知識ベースの「専門システム」の導入につながっていく。同技術を用いることによって、原料の物理的な特性をよりよく把握できるようになり、エネルギー使用量は13%減少し、埋め立てゴミを減らすことにより環境負荷は20%減少し、収率は30%向上した。さらに強力なアドバイザーシステムを導入していくこともできる。これによって年間172,000ドルの節約ができる。

2) 分級機構内蔵型粉砕機 (ACM) の遠隔モニタリング

伝統的に産業機械および機器は、“止まるまで運転する”か、あるいは予期せざるブレイクダウンが起こる機会を最小限にするために、定期的に部品を交換するような予防手段をとるか、いずれかの方法で維持されてきた。装置の故障は、機械の大きなダメージ、あるいはこれに起因する生産の遅延など、多くの問題を引き起こす。あらかじめ決められたスケジュールによって部品を交換することは、交換作業のための停止期間が必要となるので、部品や労働力の余分なコストを払うことを意味する。

イントラネット、あるいはインターネットを利用したセンサや伝達手段が発達したので、機械の製造会社や供給元は、生産者に設置された装置を遠隔でモニタリングすることができるようになった。

多くの製造会社は、セキュリティ上のリスクをよく認識しているために、自動化や制御システムによる外部からの自身サイトへのアクセスによりこれらのシステムがハッキングされる事に対して非常に慎重である。それ故、これまで取られてきたアプローチは、装置に取り付けられたセンサとケーブルで繋がれたデータ記録モジュールを使うことによって、現存する制御システムから完全に分離した遠隔モニタリングシステムを維持することである。データ記録モジュールはリアルタイム計測値を一定間隔で GSM (Global System for Mobile Communications) 接続を通してクラウドサーバに転送する。クラウドサーバに取り込まれたデータは、専門知識と予知解析に基づくルールを結合し装置の問題点を示すようなパターンを探しながら連続してモニタリングを行う。現場の作業員または遠隔地のサポートチームは安全なウェブポータルまたは iOS や Android 搭載端末で動作する安全なモバイルアプリを介して、ライブ値、トレンド、条件ベースのアラートの組み合わせにアクセスできる。

装置の予期しない停止の原因としては、ベアリングや動力用ベルトなどの機械的な部品の破損から、フィルタの閉塞や目詰まりなどの操作的な問題などがある。粉砕機ロータ用ベアリング内で発生している問題を、ベアリングハウスの振動レベルの遠隔モニタリングによってどのように検知できるかの一例が図9に示されている。

この場合、振動レベルに予期しない増加がみられ、その9日後に、強い振動ならびに騒音により粉砕機は運転できない状況となった。粉砕機の内部を検査するとリンスエア風量が低下し激しいベアリング摩耗が確認された。機械的な欠陥の早期警報は生産スケジュールの遅れを最小限に留めてプラント操業の維持ができるようにし、不適当な機械操業による製品仕様の不良品が出ることを最小限に抑える。このような予期しない操業停止からくる経済的な損失は、粉砕機の大きさや、処理される原料の種類、空運転や原料のコストによって、大きくなる可能性がある。

設備の状態を点検するための現地訪問は、通常、定期的に予定されているか、または機械の動作上の問題を解決するために行われる。定期的なサービスでの問題は必ずしも実際の使用レベルを反映するも

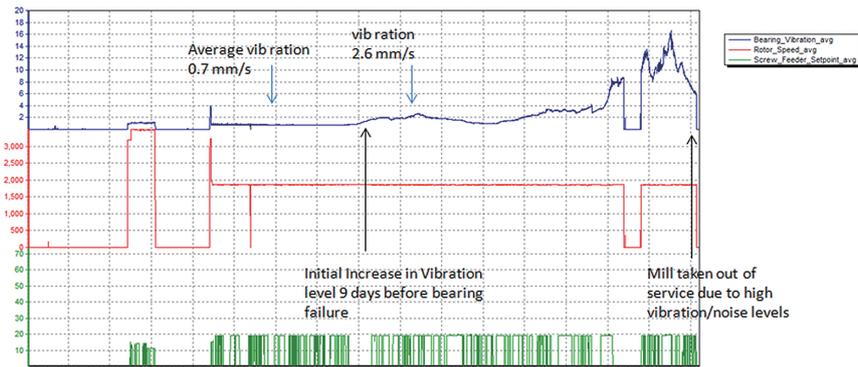


図9 状態変化のモニタリング
Fig. 9 Condition monitoring trend

のではない。機械は異なった時間、異なった原料や負荷で使用されている可能性がある。遠隔モニタリングはこれらの因子を、異なった材料を処理するために使われたモータ動力や時間等の主要な装置の稼働時間を記録しながら連続的にモニタリングするものである。

装置内で発生しつつある問題に対して早期に警告を出すことに加えて、遠隔モニタリングは、エネルギー消費量を最小にしたり、処理量を増加させたりして性能向上を図る条件を明確にすることも可能である。たとえば、処理プラントで粒子径分布を測定することにより粉砕機内で顕著な過粉砕が起きているような場合に注意勧告を行うことができる。同様にして、生産性を最大にするという目的に対して、もしロータ負荷能力に余裕があったり、風量を増加すべきような場合、助言的な情報をエンドユーザに発信することができる。原料品質の変化や機械操作特性の変化によってプラント性能を向上させるチャンスがあるような場合、現場の製造スタッフによって見過ごされることがあるが、クラウドをベースとしたシステムの連続的なモニタリング論理によって見つけることが可能である。

遠隔装置のモニタを設置することの利点は、工場オペレーションの生産性を可視化して、より分かりやすくしたことであり、これらは工場内、あるいは工場外にいる両方のスタッフで見ることができる。

オペレーティング情報は、かつてはマニュアル操作での記録ができるのみであった。現在では、既述したように、測定値、傾向、警告のディスプレイと同様に、電子メールですべての現場管理者に前日の生産に関する重要指標をまとめたレポートが自動的

に送られてくるようになる。このレポートは、24時間体制で、稼働時間、診断結果、平均値などを記録している。生産性を示す日報には、毎日の生産量、装置のパフォーマンス、バッチ名、シフト名、日付などが記録されており、シフト/日/週で、比較することが可能である。

3) 粉砕プロセスの閉回路コントロール

「閉ループ制御戦略」を用いることによって、2つのアプローチが可能である。第一のアプローチは、履歴情報を解析することである。そして、第二のアプローチは、遠隔モニタリングによって得られた情報を解析することである。

構築されたシステムが強健であるためには、重要な性能指標が厳密に定義されるとともに、結果を左右する異なるパラメータを理解して、パラメータ間の相互作用を把握するために、結果の周辺にあるデータを解析する必要がある。このことは、1つのパラメータを制御すれば、その他のパラメータがこれらによって変化するために大変重要である。

例えば、空気分級機構付の粉砕機では、分級装置の回転速度を調整すると風量に変化し、投入量を調整する必要がある。その結果、粉砕ロータのスピードを変更する必要性が生じるかもしれない。このことは、多変数プロセス制御を行う必要性があることを意味している。確かな制御ソリューションを提供することにおいて次に課題となるのは、通常、検討すべきKPIが2つ以上あるということである。

結果が一致する場合、これらのKPIセットの各々の数値を出力として、目標とする値が得られるような“決定木 (decision tree)”を用いて、そのデータ

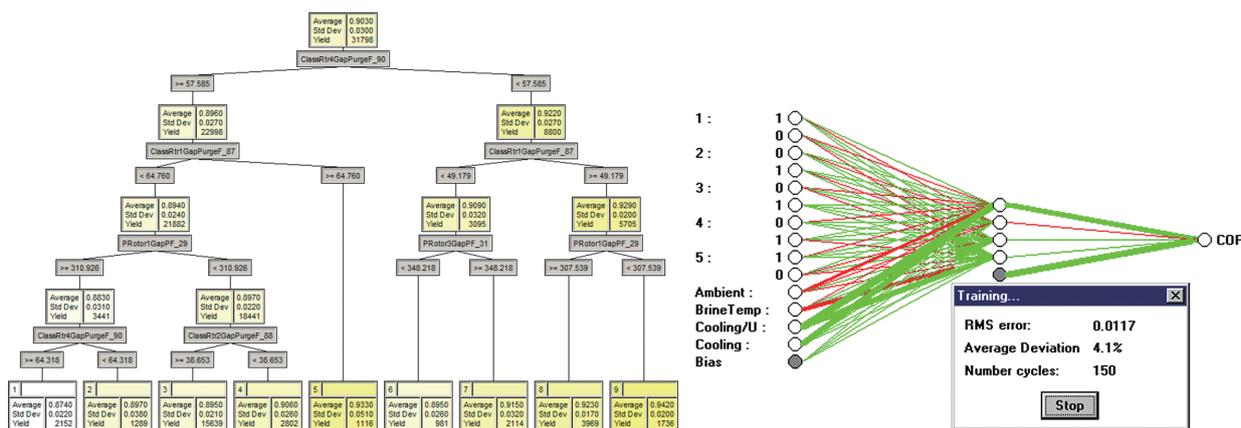


図 10 決定ツリーとニューラルネットワーク
Fig. 10 Decision tree vs neural network

Knowledge Discovery

Data from plant can be augmented by simulated data

Automatic Knowledge Discovery is used to generate decision tree models

Decision tree models are generated for each of the defined fineness objectives

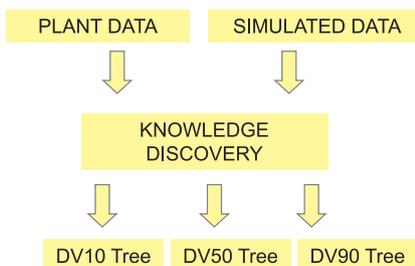


図 11 解決の構造

Fig. 11 Structure of solution

分析を行われなければならない。

通常、最低4つのツリーが必要である。それぞれのツリーモデルは、それぞれオペレーティングゾーンに分割されるが、現在使っているフォーマットでは、これらのツリーは、フィードバック制御のための勾配をつけることはできない。

この問題の解決策は、マッチングの正確性を増して、ニューラルネットワークソリューションを發展させ、プロセスの可視化を促進するために、“決定木のファジー化”を実現することであった(図10)。

遺伝的アルゴリズムは、KPIシステムを維持するために必要な制御指示を行うために、決定木のファジー化を利用している。このツリーの信頼性は、その結果の信頼性を保証するために作製されたモデルについて追加のプロセスデータを用いてテストする

必要がある。

公知あるいは非公知の知見を統合して制御できる範囲を広げるためには、データマイニングや新しい知見から導かれた情報に加えて、実地に基づく知識(オペレーターの経験等)やシミュレーションデータを統合することが必要である(図11)。問題解決のための最終的なキーポイントは、エラーあるいはエラーを修正するためのアルゴリズムに関して、インプットとアウトプットのデータを継続的に分析することである。このことは、改善が持続的に進められることを意味している(図12)。上記の例は、既に使用され、理解、監視、制御の戦略を使って商業的に利用可能となっている性能向上戦略を示している。

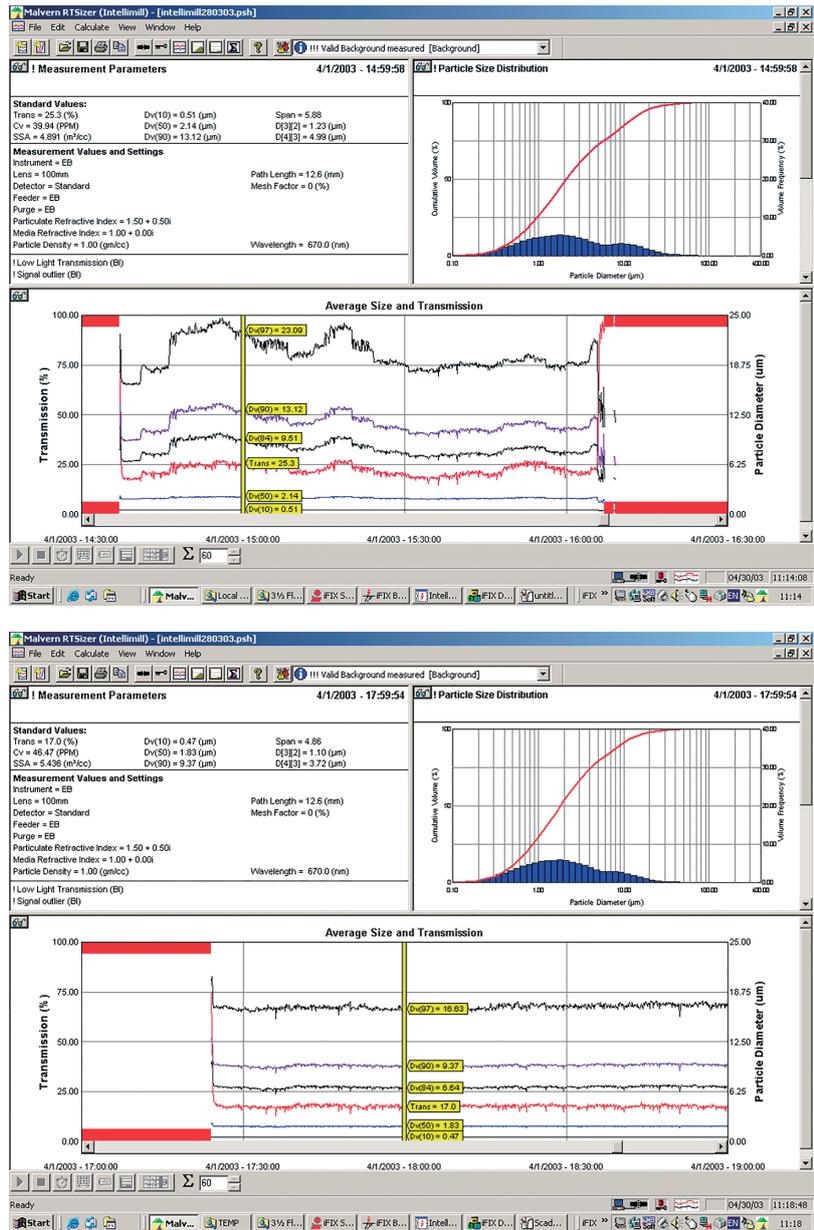


図 12 手動操作と閉回路ループ制御の比較
 Fig. 12 Manual start-up vs closed loop control

10 未来の製造

第4次産業革命の始まりと展開は、その実施戦略や現有技術を検討するほとんどの大手企業において、急速に進められている。

しかしながら現実には、これらの実施戦略の多くはあまりに複雑で、サプライヤーとメーカーと顧客の協働に大きく依存している。この協働関係は、“マーケット・オブ・ワン（個客市場）”，あるいは“サービスの製品化（PAAS: Products As A Service）”とい

た考え方の変化によって、現在ではむしろ障壁となっている。

これは、製造に使用されるプロセスの事例であって、データをどのように使って、ビッグデータの利用が企業の競争力を生み出し、製造に柔軟性を与えるものであるかということを示している。

まず最初に、我々は経済活動、競争相手、顧客の期待と将来展望から受けるプレッシャーがあることを理解しなければならない。次に示す疑問に答えながら、考え方の切り替えが必要である（図 13）。

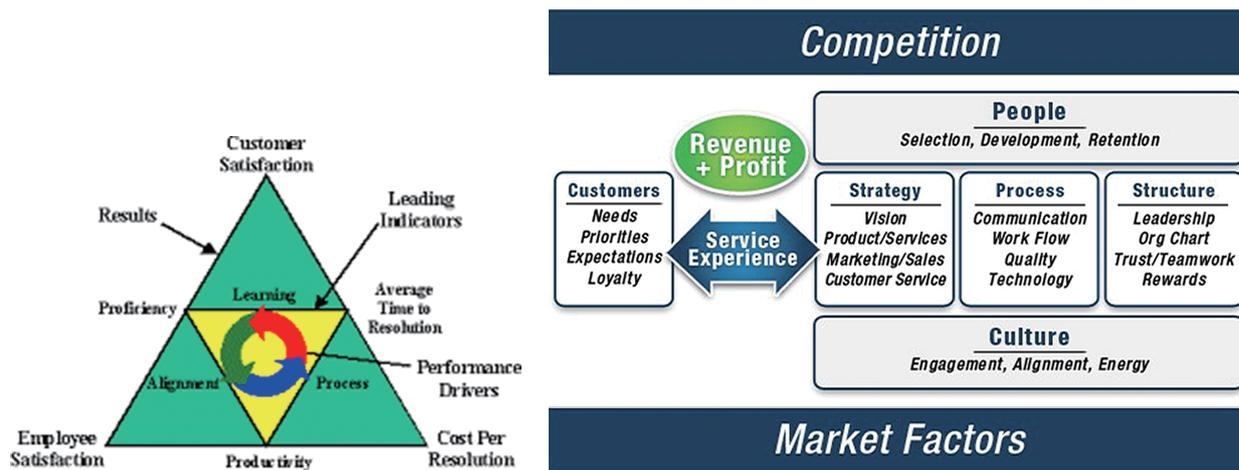


図 13 プロセスへの要求
Fig. 13 Process demands

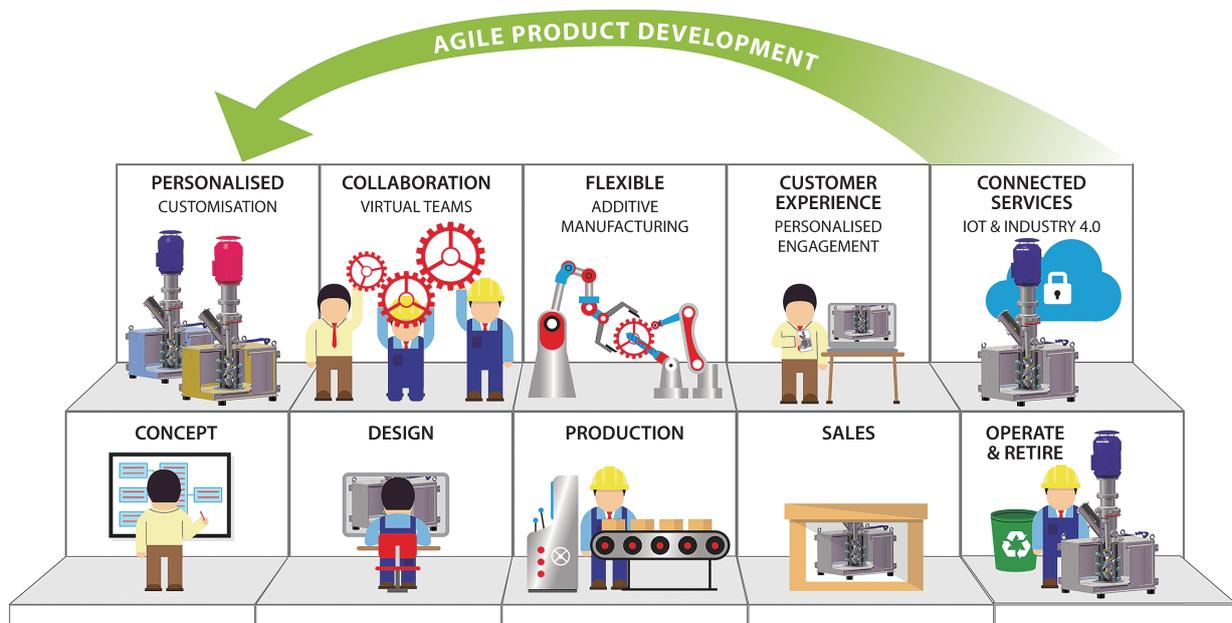


図 14 製品アーキテクチャ
Fig. 14 Product architecture

“今世界のトップ企業であるとしても、2、3年後にトップであり続けられるだろうか？”

製造の未来を理解し、未来の工場とそのインフラがどのように見えるかは、我々は、製品のアーキテクチャが、量産を専門とする統一アーキテクチャから、一人ひとりの個別化を目の当たりにするオープンアーキテクチャへと変化していることを考慮する必要がある。(図 14)。

これを実現するために必要なことは、工場で使用されているプロセスや操作方法におけるパラダイム

変化である。それとともに、サプライチェーンの立地からメリットのあるような製造拠点の場所、顧客のニーズ、環境目標の達成、さらに、ビジネスを前進して成功させるために要求される目標や評価基準などが必要となる。製造の革新は突然起こるものではない。すべての改善と同じように、出発点は現在の製造ラインをしっかりと把握し、小さな目標のクリアを積み重ねて、そこから最終ゴールを達成するために必要な変革を、計画的に実施していくことである。

これは通常以下のステップからなる段階状のプロセスとして予測されている。

- 1) 効率化としなやかな回復力 2013-2025
- 2) 新システムを使った実験的検証 2025-2050
- 3) 材料ごとの展開 2050 以降

もっとも重要なポイントは、流行の言葉や偽物の技術にとらわれないうで、改善実施のために分かりやすい戦略を構築することである。

11 未来の工場

デジタル革命の最大のインパクトは、未来工場の機能性を具現していることである。工場が今日利用できる技術をどのように使っているかという現在の産業環境を考察すれば、既に高度に未来工場につながっているといえる (図 15)。コンピュータを利用することで、従業員は、より良いワークライフバランスを手に入れることができる。また、専門家のアド

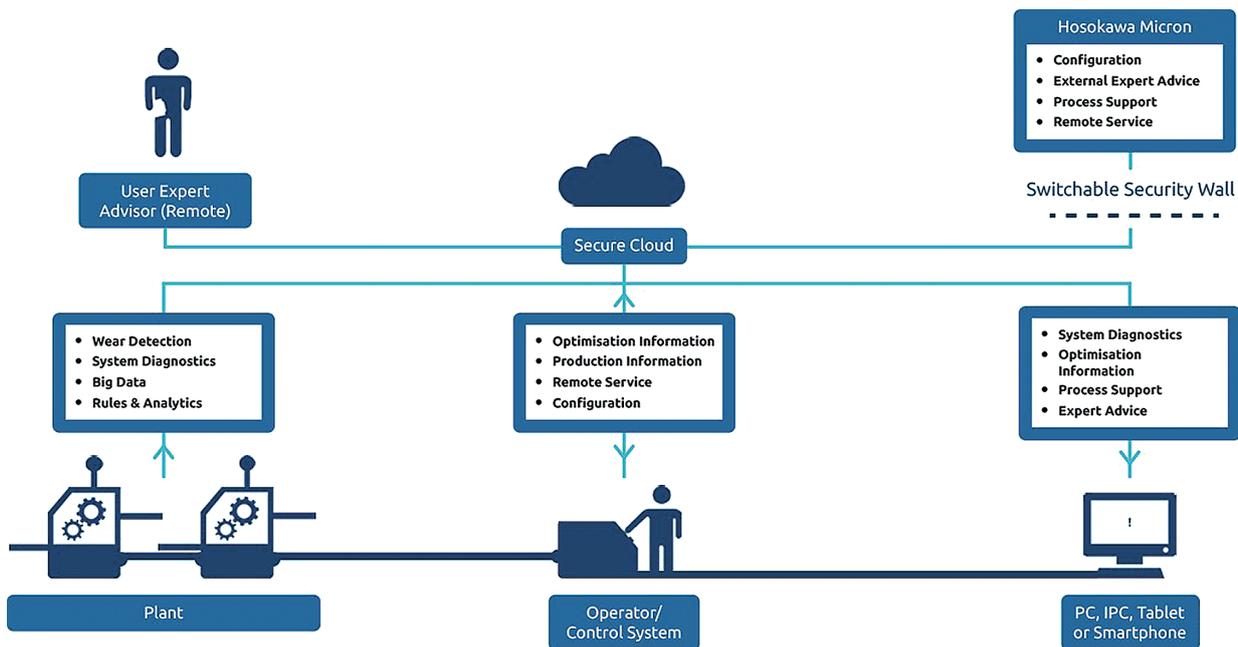


図 15 ネットワーク化された工場 2016
Fig. 15 The connected factory 2016

FACTORY OF THE FUTURE 4.0

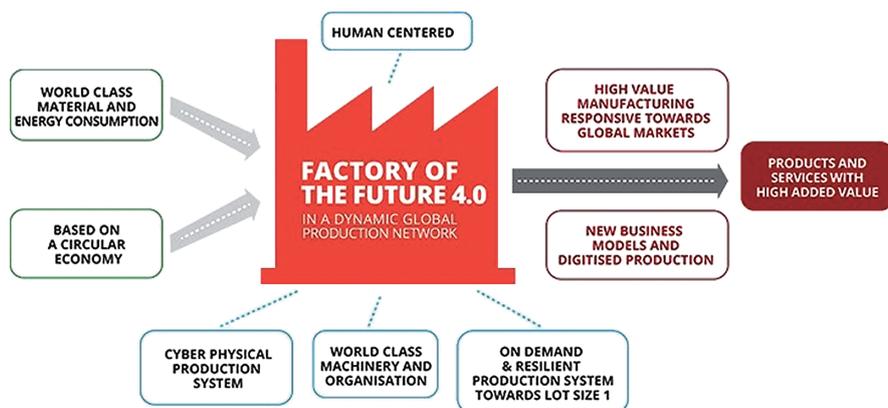


図 16 未来の工場 4.0
Fig. 16 Factory of the Future 4.0

特集

バイスを常時得ながら、製品収率を向上して、クレームを減少し、エネルギーを節約することができる。

さらに、サプライヤと顧客のコミュニケーションをよりよくして、フィードバックを増やす効果がある。“ゆりかごから墓場まで”の格言通り、製品寿命を完全に全うさせることにつながる⁸⁾。

2050年までに起こるであろう変化は、正に革新的なものであり、そこで予期されることを今検討し、対応策を計画していくことが必要である。

インターネットは、3D 画像や、コンピュータシミュレーション、視覚上の仮想現実、モデリング、コンピュータによる自動設計、自動化され効率化さ

れた生産システム、オンデマンドの発注システム、在庫コントロール、高次元レベルのカスタマイゼーションを取り込んでいくであろう。我々のビジネス哲学や使用するプロセス、あるいは顧客の期待は、急激に変化していくであろう。そして、我々の関係者の期待に添えて、それを実現できる技術を開発するべく、計画を実行していくことが重要である¹⁾。この革命の第一段階は既に現実のものとなっており、これを早く採用する者が市場性や競争力での優位性を獲得することになる。

「世界は常に変化している！」

References

- 1) Schlaepfer R.C, Koch M., Industry 4.0 Challenges and Solutions for the digital transformation and use of exponential technologies, Deloitte, (2015), <www2.deloitte.com/ch/en/pages/manufacturing/articles/manufacturing-study-industry-4.html> accessed 24.10.2016.
- 2) Naumann H., IOT/M2M Cookbook (How to develop a device based on wireless wide area network modules), (2014), <www.gsm-modem.de/M2M/m2m_iot_cookbook/> accessed 24.10.2016.
- 3) Cearley D.W., Walker M.J., Burke B., Top 10 Technology Trends for 2016, Gartner, (2015), <www.gartner.com/smarterwithgartner/top-ten-technology-trends-signal-the-digital-mesh/> accessed 24.10.2016.
- 4) Fell M., Melin H., The Emerging Internet of Things, Carre & Strauss, (2014), <sweden.nlembassy.org/binaries/content/assets/postenweb/z/zweden/netherlands-embassy-in-stockholm/iot_roadmap_final_draft_0309145.pdf> accessed 24.10.2016.
- 5) Wikipedia definitions of M2M, Internet of things, Industry 4.0, Cyber-physical system, <en.wikipedia.org/>
- 6) Fell M., Melin H., Smarter Intervention in Complex Systems, Carre & Strauss, (2013), <ja.scribd.com/document/144105736/Smarter-Intervention-in-Complex-Systems> accessed 24.10.2016.
- 7) Kagermann H., Wahlster W., Helbig J., Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0, Forschungsunion, Acatech, Federal Ministry of Education and Research, (2013), <www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf> accessed 24.10.2016.
- 8) Fleisch E., What is the Internet of Things? An economic perspective, Auto-ID Labs, (2010), <cocoa.ethz.ch/downloads/2014/06/None_AUTOIDLABS-WP-BIZAPP-53.pdf> accessed 24.10.2016.

〈著者紹介〉



イアン クロスリー Iain CROSLY

〔経歴〕 1980年シェフィールド・ハラム大学卒業。1984年ホソカワミクロングループに入社。1999年ホソカワミクロン英国のテクニカル・ダイレクターを経て、2006年よりマネージング・ダイレクター（現職）。

〔専門〕 粉体工学、プロセス制御等。最近は、新製造プロセスが環境・安全/衛生に与える影響の評価、および新製造プロセスの高度化と実用化に取り組んでいる。

〔連絡先〕 icrosley@hmluk.hosokawa.com