

松 山 大 学 論 集
第 29 卷 第 5 号 抜 刷
2 0 1 7 年 12 月 発 行

生産現場でのインダストリー 4.0 推進のための
技術導入について

—— スマートファクトリー実現のための IoT ——

松 田 圭 司

生産現場でのインダストリー 4.0 推進のための 技術導入について

—— スマートファクトリー実現のための IoT ——

松 田 圭 司

1. 序 論

「インダストリー 4.0」とは直訳すると第 4 次産業革命のことである。しかしながら、本質的には、ドイツで産声をあげた国家レベルの産業政策のことである。^[1]

歴史を顧みるに、人類はこれまでに、3度の産業革命に直面している（図 1）。1 度目は 18 世紀の英国での、蒸気機関の発明による機械化である。これにより初めて大規模な産業が誕生した。2 度目は 20 世紀の初頭に電力の活用によりもたらされた、米国を中心とした自動車産業に見られた大量生産である。3 度目は 20 世紀中盤以降に工場などで導入されたシーケンズリレー PLC（Programmable Logic Controller）などを組み合わせた自動制御機械および 1970 年以降に導入されたロボットなどにみられるコンピュータによる生産の自動化である。さて、4 度目の産業革命は何によってもたらせるのであろうか？ これについては 2 つの要素が複雑に絡んでいる。1 つ目は 1990 年代に急速に普及したインターネットであろう。物理的に複数のコンピュータネットワークが接続して、大規模なネットワークが実現した。2 つ目はそのネットワークを有機的に結合させて、あたかもシームレスな情報交換や提供を可能としたインターネットプロバイダーの出現が大きな変革要素である。その巨大なインフラストラクチャーにより、人と人、人とモノおよび工場と消費者など万物がつなが

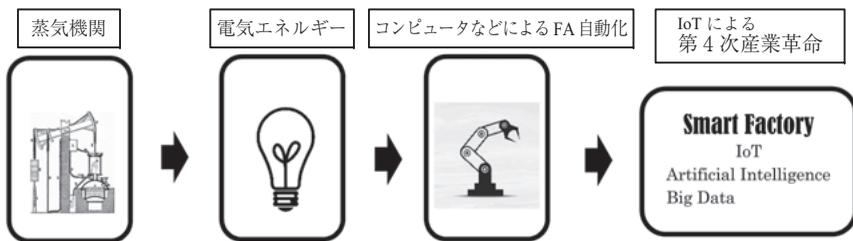


図1 第4次産業革命の位置づけ

りつつある。IoT (Internet of Things) すなわち、「モノのインターネット」の出現である。ここで、明確にすべきことは、インターネット黎明期のコンピュータなどの端末同士との物理的つながりオンラインと、IoTと大きく異なる点である。現代の生産現場では、各種製造装置や現場の気温や湿度などの状態量がセンサによる測定データ、原材料の投入状態、歩留率などが事細かに把握されている。次世代のスマートファクトリーにおいては、IoTを単なるデータ収集手段におわらせるべきではなく、工場や機械同士が、前述のセンシング情報に基づき、人の思考や判断を介さずに、「会話」を行い、自律的に、生産ラインの構築や生産計画などの戦略策定が可能となるようにすべきである。本論文では、ドイツの産業界、政府において提唱されたインダストリー4.0がどのようにIoT技術を既存の製造技術と親和性を保ちながら実現されていくべきかを論じる。

2. インダストリー4.0について

2.1 ドイツとインダストリー4.0

ドイツは国内製造業の競争力を維持、強化するために、この産業政策を優先的に掲げた。その手段の一つとして、生産効率の高い「スマートファクトリー」すなわち「考える工場」を実現しようとしているものである。我が国でも「インダストリー4.0」という言葉が聞かれるようになって数年が経過した。もと

もとドイツでの産業よりも、むしろハイテクの高度活用をめざした、「ハイテク戦略 2020」に出発点を見出すことができる。「インダストリー 4.0」という名称は、ドイツの SAP の元社長でアカテックの会長であるヘンニヒ・カガーマンが最初の提言者といわれている。

ドイツが発祥の地となった理由にはさまざまな背景がある。我が国同様に、スマート工場と呼ぶにふさわしい工場はいたるところに存在していた。しかしながら、ドイツの国家資格マイスターや「匠」の高い評価が伝統的に幅を利かせる風土の中で、各工場はユニークさを競い、総合的な意味での効率的な操業がなされていないケースが多くあった。たとえば、同じ系列、同じグループ会社に所属していても、工程が異なる等、工場間の連携が不十分なケースが多い。また、企業単位では合理化が進展していても、製造業界全体や工場サイドでは無駄が多い。特に、我が国の製造業が品質や付加サービスに重点を置きすぎたため、高コスト体質に陥り、海外製品との競争力の低下の要因となってきた。あわせて、消費者に製品を提供する観点からみて、製品仕様や供給プロセスに差異があるのは、市場の混乱を招く可能性がある。そこで、望まれるのが、マスカスタマイゼーションである。品質は安定し、数量も少量のロットで生産が可能、なおかつ大量生産と変わらない価格で入手できるという、理想的なシステムの実現が望まれる。

このようなシステムを実現するのが、インダストリー 4.0 である。大量生産にこだわらず、少量のロットで生産ができるということは従来の中小企業も十分な競争力を誇示できるということである。あわせて、大企業との有機的かつ対等な連携、中小企業間の強い連携を実現することが可能となる。

元来、ドイツ人は自国を「中小企業の国」と呼ぶ。そのドイツの中小企業は、大企業をしのぐペースで成長し、欧州の他国と比べても、圧倒的な付加価値の創造性と雇用者数で大きく発展してきている。これらは、このような中小企業の国家の経済への貢献の意味を込めて、「ミッテルシュタンド (Mittelstand)」と呼ばれている。海に囲まれた日本と異なり、隣国と地続きという地の利のあ

るドイツでは、これらの中小企業は、①国際的な展開力が強い。②とかく大都市に集中しがちな中小企業の工場が、全国に点在している。③家族経営もしくは同族経営が95%の高比率であること。当然のことながら、全輸出額に占める中小企業の比率も19%と高比率である。ちなみに日本の同比率はわずかに約3%である^[2]

このようにドイツの中小企業にはインダストリー4.0を推進するための強い素地がある。ドイツ工業アカデミーの実施した調査によると、ドイツの中小企業の上位100社のうち22社は機械・プラントメーカーである。機械・プラント分野はドイツの重要な輸出分野であるといわれており、貿易相手国と地続きであることも大きな要因であろう。海外に展開していたかつての植民地も歴史的土台として市場の展開に生かされている。

重工業分野は競争がし烈になっている分野であり、アジア諸国、特に中国の海外進出が活発になっており従来の海外展開力に依存が許されない状況である。

2.2 中小企業へのインダストリー4.0の推進について

先進的な技術、高度な情報基盤の導入となると、近年までは、コストの負担の大きいものといった潜在意識が働き、資金力の脆弱な中小企業には導入が難しいものと言われてきた。しかしながら、IoT分野での機器の低廉化および高度化は目を見張るものがあり、世代交代の進んだ中小企業経営者もIoT方面に積極的に関心を向けるようになった。中小企業においてもIoT推進に不可欠なセンサ・部品等を受注生産している会社も多く、製造業界の趨勢をいち早く感じとり、刺激を受けている経営者も多いと思われる。一方、インダストリー4.0についての認識を持っていない経営者も大多数である。そこで、発祥地のドイツでは公的機関が、それらの中小企業に対してインダストリー4.0の重要性を啓蒙することから開始している。中小企業は大企業と異なり、新改革を実現するための企画力・実現力に欠ける点がある。特定の受注先から守秘義務な

どの制約の中での経営環境において、自社オリジナルの設備設計、製品設計などが難しい環境にある。このような現状の中で、いかに中小企業のインダストリー 4.0 推進を行うかを考える。まず、日本とドイツとの対比を行うと、日本には元請け、下請けのパートナーシップに起因する「系列」のような企業グループが存在する。この企業グループは具体的には親会社、関連企業、子会社、元請け企業、下請け協力工場があげられる。この系列が中小企業の水平方向の自由度を束縛してきた要因でもあることは前述のとおりであるが、「系列」のパートナーシップを変革への推進力に活用できるのではないかと。これは、独立性の高いドイツの中小企業に比べれば、我が国のインダストリー 4.0 推進の優位性、容易性が整っていると思われる^[2]

2.3 「モジュール化」によるインダストリー 4.0 の推進

後述の IoT でも触れるが、中小企業が独自にインダストリー 4.0 のモデルシステムを構築しなくても、製造設備やロジスティクスの標準化を「モジュール化」することによって、安価に、かつ最小限のリードタイムで導入が可能と思われる。同様に後述するが、「セル生産システム」もモジュール化の 1 手段としてとらえられる^[2]

モジュール化による生産工程の構築は、大規模な工場の新規建設などと比べれば、その生産能力が劣るところがあるかもしれない。しかしながら、導入コストには、汎用品を用いるのと同様に、圧倒的な優位性が期待できる。また、他社や他工場での導入事例を参考にしながら、初期導入によるリスクを避けることができる。換言すれば、自社での経験がなくても、モジュールの性能や取扱手順を確認できれば、既存の機器との親和性を維持しながら、スマートファクトリー化を着実に推進することができる。例えるならば、パーソナルコンピュータではすでに実現されているが、統一規格のインターフェースを用いた「プラグ・アンド・プレイ」方式である。このインターフェース仕様により、他の機器のメーカーや仕様に関わらずシステムの一部として互換性を維持しな

がら機能する。

企業間の機密事項や製品仕様の差異の問題を、一元的にモジュール化することは難しい。しかしながら、昨今の成功した製品の事例をみれば、汎用部品や共通プラットフォームを用いた事例のほうにコスト、品質ともに有利性がある。我が国としては、必要以上の細部仕様への冗長なこだわりを捨てて、シンプルかつカスタマイゼーションに対応可能な工程設計へと方向転換すべきではないだろうか。

2.4 我が国のインダストリー 4.0 への対応

2015年の3月の日独首脳会談において、我が国の経済産業省とドイツ経済エネルギー省との間でIoT/インダストリー 4.0 協力を推進していくことに合意がなされ、より具体的な施策を推進するために共同声明が発表された。この共同声明の骨子は、①産業サイバーセキュリティ、②国際標準化、③規制改革、④中小企業、⑤人材育成、⑥研究開発の6項目が織り込まれている。特にIoT/インダストリー 4.0 に関する研究は、①IoT 関連技術の共同開発ロードマップに関わる意見交換、②産業技術総合研究所とドイツ人工知能研究所との間で研究協力のLoI (Letter of Intent) を締結し、より一層の協力体制を推進する。

さらに、重要な産業基盤としてのプラットフォームについては、「ロボット革命イニシアティブ協議会」と「プラットフォームインダストリー 4.0」間で連携強化に関わる文書を2016年4月28日に締結した。また、2017年3月に開催されたドイツ情報見本市 (CeBIT) に、我が国はパートナー国として参加した。安倍晋三内閣総理大臣、世耕弘成経済産業大臣が出席する中、日本独自の産業の在り方である「Connected Industries」のコンセプトを発表した^[3] ①人と機械・システムが協調する新しいデジタル社会の実現、②協力や協働を通じた課題解決、③デジタル技術の進展に即した人材育成の積極推進を柱とする、以上3点を発信した。これにより、データがつながり、有効活用され、技術革新、生産性向上および技能伝承などを通じた課題解決を図るものである。今後、

我が国の「Made in Japan」, 「産業用ロボット」, 「カイゼン」に続く, 我が国の新たな強みとなることが期待される。

3. インダストリー 4.0 のための推進技術

スマートファクトリーあるいはインダストリー 4.0 を実現するためには, 近年のコンピュータの進化はもとより, 高性能化, 高機能化した各種センサやインターネットを基盤としたクラウド技術が大きな推進役となっている。本章ではインダストリー 4.0 の実現に重要な役割を担う技術について述べる。

3.1 スマートファクトリーの推進役「センサ」

センサとインターネットの連携拡大がスマートファクトリーの実現を力強く牽引している。人類は原始的な機械センサ, 例えばバイメタルのような温感センサから始まり, 各種のセンサを考案してきた。近年になり電子デバイスの進化により, スマートセンサ (smart sensor), あるいはインテリジェントセンサ (intelligent sensor) のような, 解析, 情報処理の能力が付加されたセンサも出現した。スマートセンサは測定対象に複数個のセンサをもって測定を行うことも可能となり, 一度に大量のデータを取得し, 異常な値や例外値を取り除き, データを処理しそれを蓄積する。これにより, 自動校正機能, 自動補償機能を実現する。また, その他の種類のセンサとセンサネットワークの通信機能を組み合わせられた統合されたデータ測定も可能となっている。

センサはモノとモノのつながりを飛び越えて, いまや, モノとインターネットをつなぐ時代になったといえる。技術革新はセンサの小型化や量産化, そして低価格化 (図 2) を急速に推進している。従来型の電気製品にセンサを実装して, インターネットに接続して, スマート化, および獲得できる膨大なデータ (ビッグデータ) を活用し, 人工知能で分析し, その結果を消費者に還元することにより, 付加価値を高めている。センサの総数は爆発的に増加しており, 世界のセンサ生産数は 2007 年には 1,000 万個だったものが, 2012 年度に

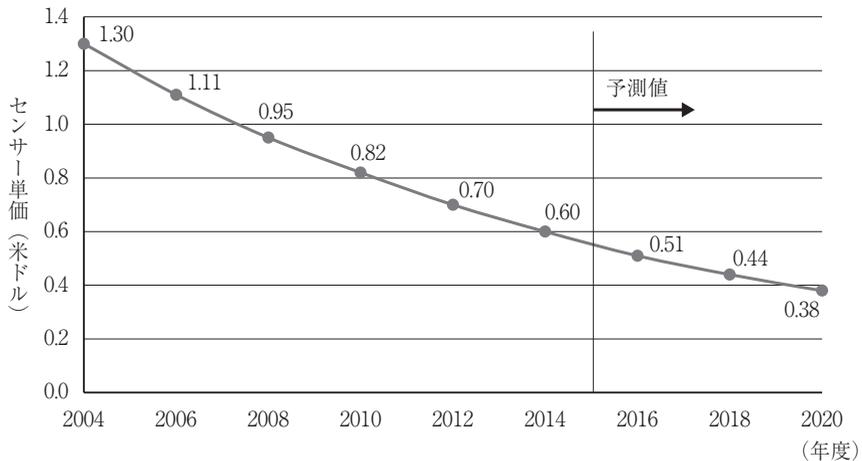


図2 センサ単価の推移

(出典) Business Intelligence THE INTERNET OF EVERYTHING : 2015

は35億個に急増している。2020年あたりには年間1兆個のセンサが生産される「トリリオン（1兆個）センサ」社会が予想されている^[4]

3.2 IoTがもたらすインダストリアル・ビッグデータ

第3次産業革命までは、生産活動に使う動力源や、コンピュータなど制御機器を用いた機器類による産業革命にすぎなかった。これらは、あくまで人が使うという道具的な用途に限られており、機能も限定的であった。しかしインダストリー4.0ではコンピュータネットワークを介してそれらの集積したビッグデータをやり取りすることに主眼が置かれている^[5]。ここではビッグデータについて解説する。前項においても述べた、無数のセンサがコンピュータネットワーク上に配置されることによって、量的にも質的にも膨大なデータが集約される。また、生産現場機器に配置された、センサのみならず、ソーシャルメディアから発信される情報、画像獲得を目的としたカメラにおいて収集されるマルチメディア画像もビッグデータである。これらのデータは、従来のサンプル

ル的なデータ群に比べれば、多様性が高く、リアルタイム性が豊富である。ここでは、生産現場にてIoTにより収集される生産に関わるビッグデータすなわち、インダストリアル・ビッグデータについて主眼をおいて論じる。

企業の持続的な能力を向上させるには、当然のことながら、企業全体のパフォーマンスや生産能力を正確に把握することが必要になる。各企業の改善や取り組みにもかかわらず、企業のパフォーマンスに重要な役割を担う不確定要素や課題は可視化されずに放置されている。

可視化が比較的容易な顕在的なデータは、設備の故障、製品の不具合、生産ラインバランスのサイクルタイムの悪化、遅延、設備稼働率の低下などがあげられる。一方、設備の劣化、部品の摩耗などは潜在的なデータとして可視化が難しい。潜在的な現象には、設備の経年劣化や製造段階での作業不良などの要因により引き起こされるものや、投入された部品の品質に起因する不具合などが具体例としてあげられる。

前述の顕在的な要素の要因としては、①信頼度の低い製造工程、②原材料などの納期、数量、品質のばらつき、③需給バランス予測の不備、④設計上の不具合および製品用途の予測ミスがあげられる。これらの要因は生産現場のマネジメント等に大きな支障をもたらす。潜在する問題は各種計測機器や方法をつかっても把握しがたいものが多いだけでなく、顕在的な要素に比べて、生産活動や生産品質に重大な影響を及ぼすものである。このため、インダストリアル・ビッグデータの分析手法を考案し活用することにより、潜在的な課題を可視化する取り組みが行われている。

インダストリアル・ビッグデータを特徴づけるものとして、シンシナティ大学のジェイ・リーは「4つのV」を提言している^[6] ① Volume (量)：データ量の増加が速い大規模なスケールの飛行増加データ。② Velocity (速度)：バッチ処理や頻繁なデータ生成と収集ではなく、リアルタイムな分析。③ Variety (多様性)：データの多様性。④ Veracity (信憑性)：収集及び抽出の過程で発生するデータの「品質欠損」による誤認の可用性など、データの品質。これら

の特徴に加えてインダストリー 4.0 におけるビッグデータは、さらに「2つのV」が付加されている。⑤ Visibility (可視性) : ビッグデータ分析により、これまで見えなかった重要な要因・情報が可視化される。⑥ Value (値) : ビッグデータ分析により得られた情報は、値に変換される必要がある。最初の「4つのV」はビッグデータの基盤となるもので、コンピュータの処理の対象として当然兼ね備えなくてはならない要素として提案されたものである。後者の2つのVはインダストリー 4.0 におけるビッグデータの発展的活用を見据えたものである。

3.2.1 インダストリアル・ビッグデータの応用

インダストリアル・ビッグデータとそのアプリケーションは次の3つの段階を経て進化してきた。第1段階では、1990年から2000年にかけて、多くの企業が遠隔制御を行うために設備や製品に通信機や伝送機器を取り付けはじめた。これにより初期段階でのトラブルシューティングに対応可能となった。第2段階は2001年から2010年頃までである。この段階において、ようやく顧客サービスの一環としてビッグデータの活用が始まった。機器や設備の管理・監視に終わらず、製品を使用する顧客への使用方法や管理のためのソリューションに用いられた。第3段階は2010年から現在において進行中である。従来の会社から顧客への単なるデータ提供サービスを行うにとどまらず、顧客のコミュニティを構築し、会社が顧客のためのプラットフォームの役割を提供するようになった。これは、結局は顧客同士のつながりを実現し、顧客の要求にこたえるために従来のデータセンターが動的にカスタマイズされるようになったものの、規模が膨張して、固有のハード・ソフト面の能力に比べられなくなってしまった。これに対処する形で出現したものが、データ分析プラットフォームである。これにより、マシンデータの収集、検索、分析、可視化が一元的に行われるようになりつつある。

3.2.2 インダストリアル・ビッグデータの分析手法について

インダストリアル・データの分析手法は、産業分野から出現せずに、従来型

のソーシャル型メディア等からのソーシャル・ビッグデータ分析技術から派生したことに特徴がある。ソーシャル・ビッグデータ分析技術では、特定性、関連性、時系列性、解析性といったインダストリアル・ビッグデータ固有の分析を進めることはできなかった。前述のジェイ・リーは、インダストリアル・ビッグデータの分析技術について「3つのB」の提言を行った^[6]。

① **Below Surface**（隠匿性）：両者のビッグデータのもっとも異なる点は、抽出の際の着目点にある。インダストリアル・ビッグデータでは設備素材の物理的な原理などのロジックに着目する一方、ソーシャル・ビッグデータでは統計ツールに基づいて、採取されたデータの関係性に焦点を当てている。

② **Broken**（細分化）：インダストリアル・ビッグデータは、より「多様性」を重視しており、設備の操業時の際の様々な状態を広範囲に把握した大量なサンプルが必要である。両方のビッグデータ共通に言える問題点はデータの発生源が多様であり、関連性があっても、相互に必ずしも同期したものではない。よって、大量データを獲得しても、データの変化要素が省略、分散、断片化している場合は、データ分析には作業時間の90%以上を低品質のデータの浄化に費やされている。そこで、インダストリアル・ビッグデータはデータの細分化に対処する分析手法を採用し、浄化されたデータから特性抽出や他の有用な情報に変換することが求められる。

③ **Bad Quality**（低品質）：データの細分化が発生する要因はビッグデータの本来の特性である。特にインダストリアル・ビッグデータは、採取目的に合ったデータの採取率が少ない。一方ソーシャル・ビッグデータは採取されたビッグデータの関連づけが比較的容易であることが特徴である。両社の比較を表1に示す。

あわせて、筆者は、以上のジェイ・リーによる3Bにくわえて、分析に重要な要素として、「**Reproducibility**（再現可能性）」を提案する。多くのサンプルからいくつかの特筆すべき貴重な特性データを抽出できたとしても、再現性の頻度を見極めることが重要である。これにより、前述の細分化されたデータ群

表1 ソーシャル・ビッグデータとインダストリアル・ビッグデータの比較^[6]

	ソーシャル・ビッグデータ	インダストリアル・ビッグデータ
分析に必要なデータタイプ	意図する対象から採取される大量データ	自然現象から導き出される製造現場での広範囲の大量のデータ
採取データの質	データの分散範囲が限定的で、分析対象として有用性が高いデータである	物理現象によって発生するデータであるので、分散の多いデータが含まれる
データの属性	属性は単一で統計的なデータ	各種属性を有し、データ群に相互的な関連を持つことが多い
分析手段	統計解析で処理が可能	統計解析のみならず、複数以上の分野での統計分析が必要となる
必要とされるデータ精度	仮説から外れた例外的データを除外することが可能なので精度は低くても可能	すべてが物理的現象から分析結果を求めるので、高精度なデータが求められる

がサンプル数量に関わらず、重要なデータとして価値を付加することが可能となる。

このように、ソーシャル・ビッグデータは高精度の結果を要求されないのに対して、一方インダストリアル・ビッグデータは、高精度な結果を要求され、予測と分析結果の差異に対して、その有意性が求められる。生産現場においては、例外的にみなされた稀有な分析結果が重大事故や重大な欠陥製品をもたらすことがある。

3.2.3 インダストリアル・ビッグデータの価値

前述のジェイ・リーは、インダストリアル・ビッグデータの価値は、その問題解決力、および顧客へのサービスレベルによって決定されると論じている。^[6] 具体的には、①低コスト化に貢献できるか？ 顧客のカスタマイズ要求を実現できるか？ ②製造過程での各種情報の可視化を実現し、生産効率と品質の向上、コストとエネルギー消費の削減、さらに効率的な管理を実現する。③設備の寿命管理全般における、総括的な情報管理を提供し、高稼働率、省エネルギー、長寿命化を促進し、維持管理の低コスト化を実現する。④手作業の

簡素化や手作業の機械化や自動化を図り、トータル工数の削減を実現する。

⑤自社のみならず関連もしくは連携する工場や企業との間で情報の共有を行い、大規模生産システムの最適化を図る。あわせて、短時間での動的な変化に対し即応体制を敷くことができる。

究極的には、インダストリー 4.0 の推進に向けて、個別的なカスタマイゼーション生産と普遍的な大量生産の有機的な組み合わせが実現可能となるであろう。

3.2.4 インダストリー 4.0 を支えるインダストリアル・ビッグデータビジネス

インダストリアル・ビッグデータは、生産機器に監視目的をもって設置されたセンサ群から採取された大量のデータである。それらのデータは単に監視目的以外にも、潜在的な貴重な現象を含むことが多い。インダストリアル・ビッグデータの重要性は、派生的にそれらを収集し、分析し、顧客へアドバイスを提供するビジネスを創成した。このようなビジネスは、データを収集し提供する企業がいて、それらのデータ群を収集してビッグデータとする企業が現れる。これらのデータは穀物や原油など先物取引の市場のごとく、価格がつけられて取引される。ビッグデータを獲得した企業は、それに対して必要に応じて、データを加工、編集、解析を加え、商品としての価値を高める。このデータ商品の加工販売を専門とする企業も出現している。

日本政府は 2017 年 2 月に、顧客データをビッグデータとして売買するための指針を発表した。内閣府の外局にあたる個人情報保護委員会が、ビッグデータの取り扱いに関する指針を発表した。同年 5 月 30 日に全面施行される改正情報保護法で、氏名や電話番号、住所などの個人情報を十分に加工すれば、本人の同意がなくてもデータを売買できるというものである。これは、ここで論じるインダストリアル・ビッグデータとは一線を画している。インダストリアル・ビッグデータの売買で問題となるのは、個人情報ではなくて企業機密が問題となる。製品の致命的な欠陥や不具合を容易に販売する企業が出現するとは思えないが、新規性のある工法や原材料の投入による実際ベースの獲得データ

は他企業にとっても魅力があり、ぜひとも入手したい検証結果だと思われる。当然、他企業に利するものがあれば、莫大な価格により取引されるものと思われる。系列企業内であれば、守秘義務を前提に、データを譲渡し、企業グループ全体の利益をもたらす画策も可能であろう。このようなビジネスで必要とされる人材は、「データサイエンティスト」である。このような高度な専門職の育成は時間もコストもかかる。稀少ではあるが出現し始めたこの「データサイエンティスト」のインダストリアル・ビッグデータ分野での活躍そしてインダストリー 4.0 へのさらなる貢献が待たれるところである。

このような、ビッグデータの収集・加工・編集・解析を得意とする企業はドイツや日本よりも米国に多く存在する。日本政府は、内閣の高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部の下に設置された地方創成 IT 利活用推進会議が取りまとめた「地方創成に資する IT 利活用促進プラン」のなかで「地域 IT スタートアップファンド」を創設することを盛り込んだ。これによりさらなる地方でのビッグデータビジネスの広がりを期待したい^[7]

4. IoT とインダストリー 4.0

IoT は直訳的に「モノのインターネット化」と訳されている。しかしながら、どのようにインターネットにつながるのか、IoT がビジネスや生活に何をもちたらずのは不明瞭な点が多い。前項のビッグデータにも記したように、「さまざまなモノや人から採取したビッグデータを処理し、実社会にフィードバックする。」という一連の活動により、新たな産業や、価値を生み出すことを期待するものである。家電や情報機器をはじめ、様々な電気機器のインターネット接続が進展しているが、医療や介護の世界でも、音声認識や、人工知能と医師との連携によって手術の自動化やロボット化にも寄与している。

このように、社会インフラとしての IoT を支えるのは通信業や通信機器製造業であることは間違いない。インターネットおよび IoT を基盤に、生産システムのデジタル化・ネットワーク化を産学官が一体となって取り組んでいこうと

するのが、各国で進められているインダストリー 4.0 である。

4.1 ユビキタス/M2M そして IoT

2000 年代前半に活発に議論された「いつでも、どこでも、何でも、だれでも」ネットワークにつながる「ユビキタスネットワーク社会」という定義不明な言葉（バズワード）があった^[8]。IoT が主流になっている現在ではほぼ死語に近いものであるが、現代の IoT の推進の礎となった。「ユビキタス」と「IoT」の違いについて論じる。両社は、「インターネット」というキーワードを仲介させているという点で非常に類似している。「ユビキタス」は、人間があらゆるところで、コンピュータの支援を受けることができる IT 社会のことをいう。たとえば、スマートフォンなどの携帯端末を通じて、容易に検索ができ、問題解決ができる状態などがあげられる。具体的には、コンピュータが付近に無くても、バーコード、RFID（Radio Frequency Identifier）や高速道路での ETC カードなど各種電子カード ID で、情報の検索、支払い等各種手続きが自動化されている状態である。また、M2M（Machine to Machine）と呼ばれる機械と機械のつながり方もある。これも「ユビキタス」と同様、個別に稼働している機器同士をネットワークでつなぎ、機器間で情報を収集したり機器を作動させたりするシステムを意味する。一方 IoT は、「ユビキタス」あるいは M2M が進展して、複数のモノとモノが多段階的に接続され、それらがあたかも「コンピュータネットワーク」の形状を形成している状態である。自動車、家電、ロボット、設備などあらゆるモノがインターネットにつながり、情報のやり取りをすることにより、モノのデータ化や自動化が進展する。前述の「ユビキタス」と大きく異なる点は、これらの集約されたデータが、ビッグデータとなり、高度な分析技術で得られた情報が、人工知能などによる学習成果として、高度な自動化やロボット化が進展する段階に到達していることである。技術面だけでなく、この IoT は製品の製造、販売にとどまらず、IoT の双方向性を利用して、さらなるサービスを提供し、モノのサービス化の進展にも寄与する。簡単な事

例を挙げると、市中でよく見掛ける、電子マネー Suica やスマートフォンで飲み物を購入できる機能を備えた自動販売機にも、IoT が活用されている。購入者の属性を読み取り、その人に合った商品をおすすめすることが可能となっている。この機能の搭載で売り上げが大幅に上がったという実績もある。

IoT 時代の到来は、インターネットにつながるモノの数の爆発的な増加により知ることができる。IHS Technology 社の推定によれば、2013 年時点でインターネットにつながっているモノ (IoT デバイス) の数は約 158 億個であり、2020 年までに約 530 億個まで増大すると予測している (図 3)。この増大の要因としては製造業などのスマートファクトリー化によるものと推定している。IoT で想定している今後接続されるモノは、パソコンやスマートフォンだけでなく、車や家電、産業用設備など従来通信機能を備えていなかった機器が挙げられる (図 4)。産業分野のみならず、「Home Energy Management System (ホームエネルギーマネジメントシステム)」と呼ばれる個人家屋でのエネルギー管理システムやスマートメータの推進なども民生部門での IoT 推進の事例といえよう。我が国政府は 2030 年までに全ての住まいにこの HEMS を設置するこ

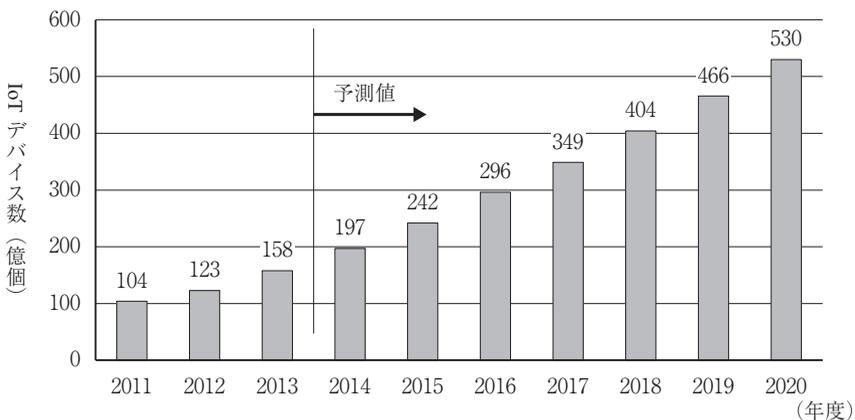


図 3 IoT デバイスの増加予測
(出典) IHS Technology 2013

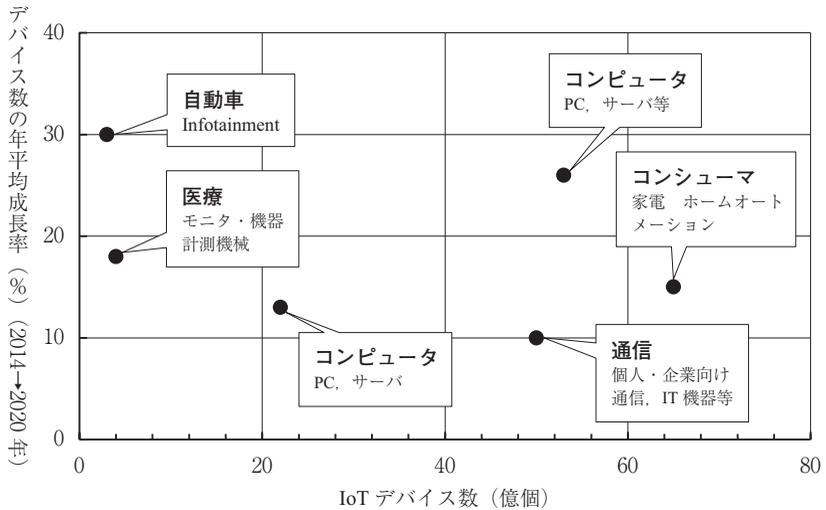


図4 IoT デバイスの用途別増加予測
(出典) IHS Technology 2014

とを目指し、補助金などの施策を行っている。一方、Cisco 社による調査によると、世界に存在する 1.5 兆個のモノのうちインターネットに接続しているものはわずか、0.6%としており、今後の IoT の急速かつ膨大な進展が予想される。

4.2 IoT が注目される背景

機器と機器の接続による情報のやり取りは、ユビキタスが出現した頃より注目されてきたが、通信方式の制約等から、大きな普及には至らなかった。最近になって加速度的に普及している要因は、社会的な時代の要請などのニーズ面と、デバイスの低廉化等のシーズ面の側面が挙げられる。ニーズ面は、自然災害対策、インフラの老朽化対策、そして人手不足、自動化の必要性および生産性の向上という社会的課題に対して、ICT（情報通信）による解決への期待が高まっているのが要因である。シーズ面の要因を挙げると、第一にはインター

ネットの急速な普及と、携帯やモバイルデバイスの普及に伴い、常に情報にアクセスできる環境が整ってきたこと。第二には、各種センサや通信モジュール等のデバイスの小型化、低廉化および高機能化が進展したこと、近距離ワイヤレス技術の高度化と利用環境の進化が挙げられる。また、プラットフォーム型やクラウド型サービスの普及による導入コストの低減、アプリケーションの多様化のいくつかの要因が考えられる。センサ等からデータを収集し、分析・データマイニングまでの機能、すなわちビッグデータ解析につなげるための統合・管理においてクラウドなどのプラットフォームが重要な役割を果たさねばならない。アドレス体系の IPv4 から IPv6 への移行によるアドレス空間やインターネット資源の拡張も IoT を推進させる要因となっている。

4.3 IoT による経済効果

IoT は情報の収集・蓄積、解析、繁栄・応用のあらゆる面において前述のビッグデータの活用を具現化するものである。これが、直接的にはインダストリー 4.0 を推進しているのであるが、それ以前に、幅広い領域への適用が期待されている。2015 年 1 月に IDC (International Data Corporation) は、2014 年に約 6,500 億ドルだった世界の IoT 市場規模が、2020 年に 1.7 兆ドル規模になると予想している。Cisco 社は次世代 IoT のコンセプトを継承するものとして、「IoE」(Internet of Everything) を提唱し、ヒト・モノ・データ・プロセスを結び付け、これまで以上に密接で価値のあるつながりを予言している。同社は、同社の提唱する IoE もしくは IoT が 2013 年から 2022 年にかけて全世界の企業において 14.4 兆ドルの経済価値を生み出すとして予測している。そのうちの 9.5 兆ドル (約 66%) は電力業界のスマートグリッドや工場などの製造現場のスマート化を図った「スマートファクトリー」などの業界に固有の IoT へのニーズから生み出されるとしている。

5. インダストリー IoT の出現

これらの IoT の目指すものは、リアルタイムで進行する事象に対してソフトウェアで自動制御する「インダストリー IoT」というものである。これは、従来の IoT システムと異なり、製造現場等で必要とされている自律性を持った制御システムを意味する。すなわち、インダストリー IoT システムは「リアルタイム性および広域性」を兼ね備えなければならない。すなわち、リアルタイムで進行する事象にたいしてクラウド環境上のソフトウェアにより、センサネットワークが収集した、インダストリアル・ビッグデータをリアルタイムで処理し、自動で監視・最適化を実行する機能が必要となる。また広域分散した設備やインフラに設置されたセンサやカメラなどから収集された様々なビッグデータを広域のネットワークを通じてクラウド上に集約する機能も必要である。

図5に示すように、インダストリー IoT を構成するものは、「ネットワーク」、 「センサネットワーク」等の「インフラストラクチャー」、クラウド上の「ソフ

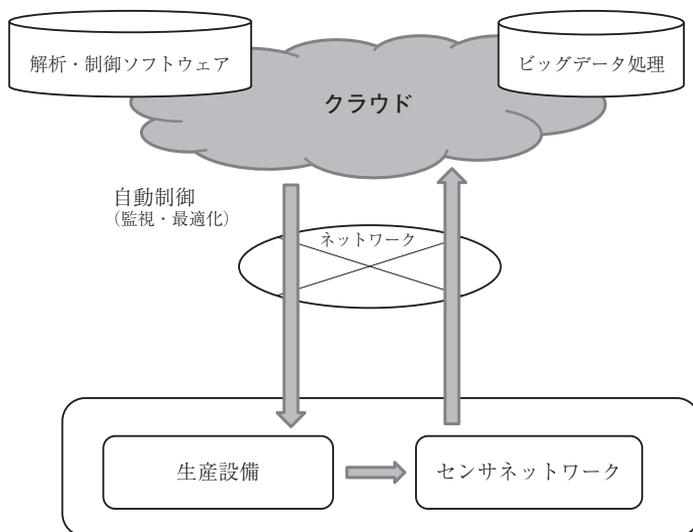


図5 インダストリー IoT システム構成

トウェア」, および「生産設備」となる。^[9]

インダストリー IoT の特徴は、製造業がサービス業に進化する可能性を大いに有する点である。単に「製品」を製造する製造会社が、IoTによって、「ソフトウェア制御によって最適化された製品保証サービスを創出する」という、サービス業へ変化することも可能となった。言い換えると、これまで、工業製品などの社会インフラを製造して、顧客へ納入することに専念してきた製造業は、自社の製品を「納品後もソフトウェア制御により顧客が利用のためのサービスとともに継続的に提供する」というビジネスモデルに変化する。

5.1 インダストリー IoT の構成要素

インダストリー IoT がどのように発展し、いかなる要素によって構成されているかを論じる。①インダストリアル・ビッグデータの発信源：これは、構成要素の中で、最も基本となる基盤となるレイヤである。前項にて述べた通り、インダストリアル・ビッグデータは、多岐にわたるセンサを内蔵した部品・製品およびそれらを製造する設備からリアルタイムに発信される。それら発信源は従来のセンサに通信機能および遠隔地でも長期間動作するようにローカル分散電源を有しており、採取データは明るさ・場所・傾き・加速度など様々な物理データを発信し続ける。これらのセンサの設置個所は指数関数的に増加している。これらのセンサを有する設備、部品、製品すなわちモノは、ビッグデータを発信するに終わらない。これらのビッグデータは、クラウドで分析され、予測されたうえで、「結果がモノに戻され、最適化制御」される。②「コネクティビティ」通信網：多種多様なモノから発せられたビッグデータは、ネットワークを介してクラウドに集約される。このネットワークは産業方面に活用されるので「インダストリアル・インターネット」と呼ばれる。産業方面以外でもデータ量は爆発的に増加しており、実際、ネット回線は渋滞状態を引き起こしている。回線の高速化の技術革新もさることながら、回線の有効利用も並行的に検討する必要がある。③クラウドによるビッグデータの格納：回線を経由

して収集されたビッグデータは、仮想化されたデータストレージ、すなわち「クラウド」に集約される。このクラウドは、記憶容量の拡張性のもとより、ソフト的に分散配置技術を応用した高度なシステムとなる。④ビッグデータの分析処理基盤「IoT プラットフォーム」：リアルタイムで収集された大量のデータは処理分析もリアルタイムで実施されねばならない。3.2.4 の節で紹介したように、すでにインダストリアル・ビッグデータを扱う IT ベンダーや IoT サービス提供者が「IoT プラットフォーム」としてサービスの提供を開始しつつある。

⑤人工知能 AI：前述の「IoT プラットフォーム」の中核となるのが、近年発展が目覚ましく、注目されている人工知能であろう。大量なビッグデータを、人間が分析プロセスを策定し、プログラム化していたのでは限界が生じる。そこで、自律的に学習を重ねて、最適解を提供することのできる技術は人工知能に帰着する。人工知能には 60 年の長い歴史があり、それに伴い人工知能の定義も変わってきた。近年では、「機械学習」とその発展としての深層学習（ディープラーニング）を用いたシステムを意味することが多い。

この人工知能により、リアルタイムで投入されたデータを次々に学習し、状況の変化を判断して、モノを最適化制御するために最適解を設備やヒトにフィードバックする。この人工知能の構成技術は「画像認識」、「音声認識」、「音声処理」、「パターン解析」などに分かれて発達してきた。⑥産業分野に基づくソフトウェア：産業分野が異なれば、優れた IoT プラットフォームも機能しなくなる。産業を共通部分と個別部分と分別し、それらの差異を明確に分析する必要がある。産業分野毎のソフトウェア業界も当然熾烈な競争が生じ、高度かつ低コストのソフトウェアが開発されると思われる。また、産業全体の共通部分も IT、通信業界を中心とした競争の結果、かなりの寡占状態が発生して、高レベル、低コストのサービスが期待できる。

5.2 IoT プラットフォームの重要性

IoT プラットフォームの在り方は、あくまでユーザーが定義するものである。IoT プラットフォームを導入する際には、以下の項目に留意する必要がある。

① Fog Computing センシング機能の負荷分散：センサが収集したデータをクラウドへ送り込もうとすると、必ず伝送上の遅延が発生する。対策として、分散処理システムが考えられる。そこで、「クラウドよりもセンサに近い領域に」小規模なサーバを配置して分散処理する技術が必要となる。これは、シスコ社が Fog Computing という中間的サーバを配置し、遅延を低減させる手法を提案している^[10]。このような概念は、センシング機能部分とクラウドで集中処理すべき内容との整合性が取れていない場合にきわめて有効であり、プラットフォームの1機能として優先的に導入されねばならない。シスコ社の提唱する Fog Computing は、すべてのデータストレージがクラウド化に向かう時流の中、今後クラウド化が直面する問題に先見的に対処しようとするものであり、システムの世界では最も注目されているクラウド・ソリューションである。これは IoT アーキテクチャーにおける Smart Endpoint（インテリジェントなセンサ）と Dumb Endpoint（単純なセンサ）の議論に酷似している。Fog Computing は従来のコンピュータ記憶装置（ストレージ）における階層型構造モデルと自律分散モデルの中間的形態と考えることができる（図6）。

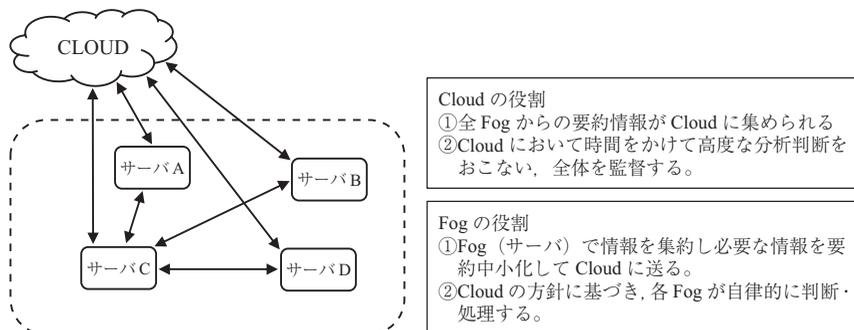


図6 Fog Computing モデル^[10]

②IoT プラットフォームの送受信機能：外部ネットワークからのデータを受信する際には、受信データのセキュリティチェックを実施して、リアルタイムでデータ変換し、クラウドへ格納する。クラウドでの解析結果に基づき、リアルタイムに設備系統へ制御データとして送信する。

③インダストリー・ビッグデータの分散処理技術：汎用コンピュータの時代からコンピュータは分散処理の方向へと進化してきた。ビッグデータもデータ本位で考えると従来の汎用コンピュータと酷似している。当然、処理の高速化とコンピュータ資源の有効活用は追求されねばならない。この解決策として、採算面、拡張性を求めるのであれば、複数分散された高性能の小型コンピュータを活用する必要がある。ビッグデータを対象とした分散処理の特徴は、大規模なデータを複数のサーバに分散処理させることになる。

④ミドルウェア：IoT プラットフォームは前述の各種各分野の技術要素から構成される。このような機能を一元的に動作させるために高度なミドルウェアソフトが必要となる。

⑤人工知能と「機械学習」：近年の人工知能において「機械学習」は従来のパターン認識などに加えて重要な分野である。これは人間が行っている学習能力をロボットや計算機において実現するための技術、手法、研究分野である。大まかに分けて、教師あり学習、強化学習および教師なし学習がある。とくに機械学習にもさまざまな応用手法があり、ビジネスで多用される各種のアルゴリズムがある。これには、遺伝的アルゴリズム、群知能アルゴリズム、アンサンブル学習、サポートベクターマシン、決定木、異常検知、ニューラルネットワークなどが挙げられる。これらの機械学習アルゴリズムをユーザー側で構築するのは困難である。ユーザーでのニーズをしっかりと把握し、これらのアルゴリズムを活用したうえで機械学習が活用できるようなパッケージが求められる。

6. セル生産システムによるインダストリー 4.0

このIoTを生かして、その分析結果を生産設備へ伝達して工場のインテリジェント化、スマート化を推進するかについては、産業が多数の分野にわたるため、一義的に解決策を提唱する試みはなされていない。筆者は、数年来、「群知能ロボットシステム」を用いたセル方式を採用した生産ラインでの自律的工程編成の研究を進めてきた。我が国の産業界は、直面している「製造業の空洞化」についての解決策として、「セル生産」を多く採用している。これにより、近年の市場の要望に基づく、多品種少量生産に対応し、工程ごとにセルと呼ばれる作業ユニットを配置した小規模工程が採用されている。ロボットなど自動化機器を実装したセル生産システムのインダストリー 4.0 推進の可能性を検討した。

6.1 セル生産システムとは

セル生産は1990年代半ば、コンベア生産方式に代わるものとして注目を集め普及が進んだ。従来のベルトコンベアによるライン生産方式は、バブル経済崩壊後、少品種大量生産には適合しなくなった。そこで導入されたのが「セル生産方式」である。これは、初期の形態としては、少人数の多能工が製品を組み立てるといふものである。形状もライン生産方式と異なり、コンベアの直線型とは異なるU字形などが試みられており、屋台方式のセルが一般的である。実際、セル生産方式を導入することにより、生産量や数量に応じた柔軟性のある工程設計が可能となり、生産性や品質が向上したという事例が数多く紹介された^[1]

現在、工場で多用されているセル生産方式の基本分類は、主として図7の4形態である。これらの、セル生産形態は、①一人生産か複数人生産か？ ②作業者が1カ所で作業するか移動して作業するか？ ③直線型かU字型などの非直線型か？ に分類できる。また、部分的なコンベアの有無、ロボットなど

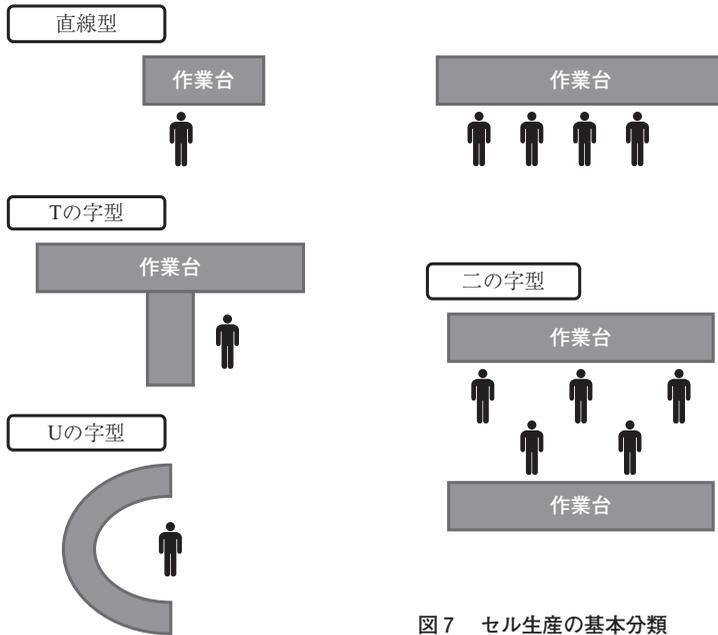


図7 セル生産の基本分類

の自動化機械の有無によって形態を拡張することが可能である。製品、必要数量および資金力に応じて、必要性に応じてフレキシブルな生産形態を選択することが重要である。

6.2 セル生産の長所および短所

セル生産システムの長所は、一般的に簡単なシステムを採用し、作業者の能力に依存する比重が大きいため、工程編成に柔軟性、迅速性があるということである。変種変量生産時代の今日においては、需要変動など、状況変化への対応が容易である。一方、大がかりなライン生産では、治工具や設備の段替えなどのために時間のロスが発生する。さらに、作業者の能力の活用依存度が高いため、作業員に対してモラルの向上が期待できる。1人生産方式を採用した場合、ライン生産方式では問題となりがちなラインバランスの調整が不要とな

る。また、セル生産方式は、1個流しが基本となるので、仕掛りおよび在庫を最小限に低減できる。

同システムの短所は、作業者の作業範囲が広まって、多能工作業者を育成する時間が必要となる。また、作業員の欠勤や退職などにより、工程は大きな影響を受ける。

6.3 スマートファクトリー実現のためのセル生産

現状では、セル生産システムは「多能工」といわれる複数の工程作業を担当する作業員による手作業に依存するものである。しかしながら同システムを推進していくためには、無人化、自動化が必要となってくる。^[12] 前述の多能工の育成のための時間や、人事労務管理の問題と切り離すことはできない。セル生産は、長期間採用されてきたライン生産方式の簡素化によって生まれた工程設計方法である。最小限のマンパワー、設備のスリム化、レイアウトのダウンサイジングが完了したのち、さらなる省力化、自動化が必要となる。作業員も自動化が実現されれば、次は工程レイアウトの自動化も目指すところとなる。製品切り替えや生産量の変動に合わせて、工程が管理者の判断を待たずとも、前述のインダストリー IoT により、自律的に、生産量の変動に対応できるのがスマートファクトリーである。あらゆる工場は究極的には無人化を目指さねばならない。まさに、セル生産方式の自動化・無人化がスマートファクトリーの実現、そしてインダストリー 4.0 を実現するといえる。

6.4 セル生産方式の自動化・ロボット化^[13]

前項で、スマートファクトリー化の推進にはラインの自動化・省力化の必要性を論じたが、ここで、典型的なセル生産方式のパターンを用いてセル生産システムのスマートファクトリー化への有効性検証を行った。ベルトコンベアを用いたライン生産方式にみられるような、仕掛品が移動している間にも作業を行う「移動作業型」や仕掛品が静止している時だけ作業を行い、次の作業者に

受け渡すときにライン上を搬送する「静止作業型」方式などいくつかのライン形態が存在する。これらに共通点な点は、そこでの生産に必要なすべての作業をそれぞれの作業者もしくはロボットの作業時間が均一になるように、効果的なライン再編成（以下ラインバランシングとよぶ）を行うことが重要である。ラインバランシング問題は工場等の生産現場で長年にわたり議論されてきた課題である。

図8はライン構成と、各作業者もしくはロボット（以下エージェントと呼称する。）が担当する作業エレメント（作業者もしくはロボットの作業として分割可能な最小作業単位、以下 WE と呼称する。）の割り当てを図示したものである。この製造工程では18個のWEを有しており、5つのワークステーション（以下WSと呼称する。）により構成されている。このように編成されたラインでは最も長いWSの所要時間によって、製品の払い出しに要するインターバルが決定される。このとき基準となる最長の作業時間を「サイクルタイム」もしくは「ピッチタイム」という。このサイクルタイムに着目して、このラインがどの程度効率よく編成されているかを評価する指標として、式(1)にて示さ

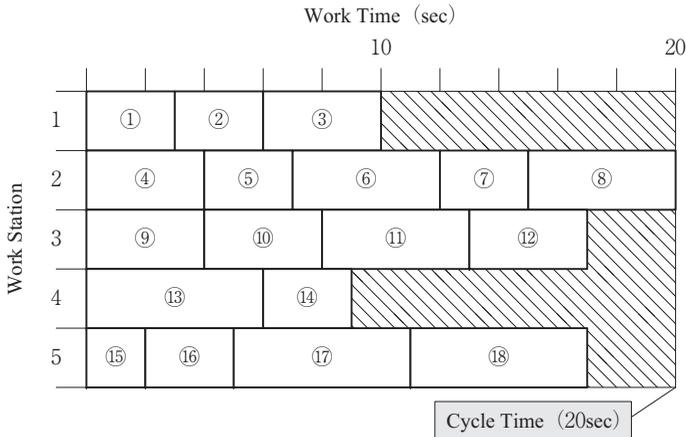


図8 生産ラインでのラインバランシングの一例

れるライン編成効率 (Line Balancing Factor) が用いられている。

$$LBF(\%) = \left(\sum_{k=1}^n T_k / nc \right) \times 100 \quad (1)$$

ここで、 T_k は作業所要時間、 c はサイクルタイム、 n はライン中の WS 数を表す。すなわち、投入された労働時間に対し、実際に作業している時間がどの程度あるか示すものである。なお、図8のライン編成は式(1)によると、72%となり、一般的な理想レベルといわれる90%と比較すれば改善の余地がある。この編成効率を低減させるために、総工数もしくはサイクルタイムを低減させる必要がある。具体的には、以下の3つの手順で低減プロセスを実施する。①サイクルタイムを一定とし、WS数 n が最小の作業編成を求める。②与えられたWS数を一定とし、単位作業の組み換えにより、サイクルタイムが最小の作業編成を求める。③サイクルタイムとWS数を操作可能とし、編成効率が最大の作業編成を求める。近年は、多品種少量生産に対応するべく、工程ごとにWSを配備したセル方式が多用されるようになった。セル方式の場合、ラインバランスの低下により、WS間の作業負荷の偏差が発生し全体の効率が低下することが問題となる。そのような効率の向上対策としてエージェントの自律移動による工程編成の最適化を行うことを提案する。

図9および図10に、今回の検証の対象とするエージェントを用いたセル方式の工程を示す。従来、人間の作業者がWSに固定されていたライン形態が、エージェントにより作業の肩代わりを実施し、サイクルタイムを最小化するプロセスの概念を示す。

図9では、半円状の4つのWSを想定している。4つのWSには複数のWEが配置されており、原則として1個のエージェントが作業を担当する。このラインの特徴としては、エージェントが作業状況により他WSへ移動することによりWEを肩代わりすることが可能である。また、移動距離も一度半円の中心に後退するため、移動距離を均等としている。

図10では、各Agentが他WSのWEを肩代わりする状況を示したものであ

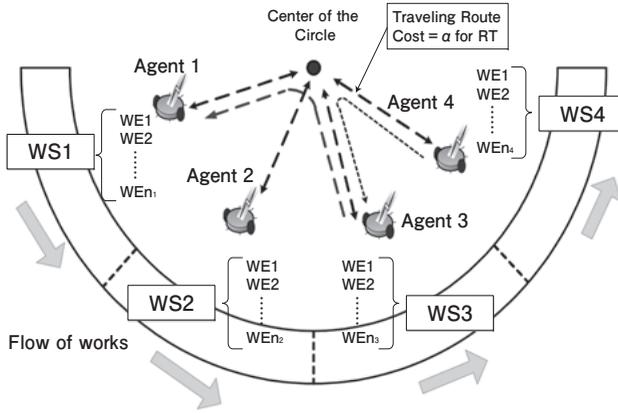


図9 セル生産方式検証モデル

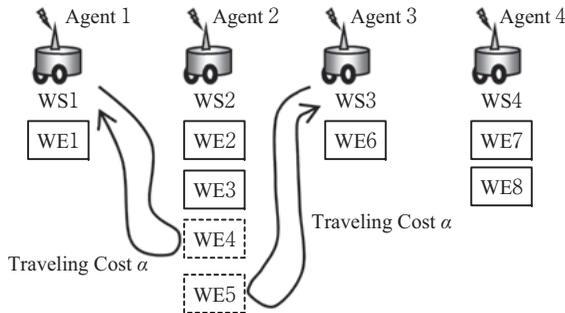


図10 ロボットによる自律的工工程編成パターン

る。この場合、Agent2が属するWSに割り当てられているWEが他エージェントに比べ過多と判断され、Agent1、Agent3がWS2へ移動し、WEの肩代わりを実施し、サイクルタイムを削減する。

上記のシミュレーション検証により、各WSで担当される工数を平準化し、かつ動的な工程編成が実施され、サイクルタイムの短縮による生産性の向上が実現されることが確認された。このシミュレーションでは、WSが固定された

状態で、エージェントが移動することにより仮想的な工程レイアウトが変更される方式を採用したが、将来的な検証方法として自律移動型 WS およびエージェントの採用による自律工程編成の検証を行う。

7. 人工知能によるインダストリー 4.1 の実現へ

製造業の自動化は人工知能の発展により、今後、急速に進展すると思われる。スマートファクトリーは、IoT と人工知能が融合することによって、なおかつ、外部とインターネット経由で接続することにより、顧客の製品へのこと細かい注文データを生産現場へ反映することが可能となってきた。また、スマートファクトリーで人間とともに働く次世代ロボットにも、最新鋭の機械学習技術が取り入れられている。現在工場採用されている多くの産業用ロボットは PLC などにより、人間がプログラムした通りに溶接や塗装などの単調作業を繰り返す一種の工具に過ぎない。一見、人工知能がロボットにすでに採用されているように見受けられるが、両者の融合は進行中であり、実用域にはまだ程遠い。ドイツでは、マイスターの動きを機械学習の機能を実装した次世代ロボットが匠の技を短時間で継承して、今後の人材不足への対応を画策している。ロボットと人間が親和性を持ち、協調しながら人工知能の強みを発揮していくことが、今後インダストリー 4.0 が次レベルの 4.1 へと高度化していくための重点課題と思われる。

8. ま と め

2017年3月に、筆者はドイツでのインダストリー 4.0 の中心的な推進会社である、シーメンス株式会社を訪問した。その際に、ドイツと日本の国民性・文化の違いから始まり、世界の製造業が IoT を基盤として、分散した工場がスマートファクトリー化されて、互いに連携することの必要性について、学ぶことができた。同社のドイツ南部のアンベルク工場では、1989年から近未来のインダストリー 4.0 を見据えて、機械や生産ラインに組み込む専用のコンピュー

ータの設計、製造に取り組んできた。21 世紀に入って、IoT 技術を基盤にロボットや 3D プリンタなど、特注品を作るには不可欠な、製造技術と連携し、大量生産と大差ないコストで、マスカスタマイゼーションの実現に向けて邁進している。この動きはドイツ国内全体に波及していることは事実である。しかしインダストリー 4.0 実現に向けて、企業や政府が取り組まねばならない問題は多い。例えば、スマートファクトリーが普及した場合の、雇用市場への影響である。スマートファクトリーがセンサ、人工知能およびロボットなど知的生産技術を活用することにより、機械や部品の「判断能力」を大幅に高めてしまう。このため、雇用市場への影響は、第 3 次産業革命におけるロボットや自動制御による生産技術の導入時よりも影響は大きいと思われる。一方、資金力の劣る、中小の企業が、IoT 導入に踏み切るには、段階的な設備の増強が必要である。また、工場の管理者や作業員へ教育も必要となる。

今後、警戒をすべきことはインターネットを基軸とする IoT 設備へのサイバー攻撃である。すでに、通信機能を持った PLC などに対する、サイバー攻撃の事例なども伝えられている。2017 年 6 月にはホンダの内外の工場に対しランサムウェア（ワナクライ）によるサイバー攻撃が確認され、一時的に自動車の製造が停止され、出荷が遅れた事実が報告された。サイバーセキュリティは国際社会全体が取り組むべき課題となっているが、IoT の進展する製造業界も同様に対策を講じる必要がある。

謝 辞

本研究は 2016 年度「松山大学特別研究助成」から補助を受けて実施したものの一部である。

参 考 文 献

- [1] 佐藤浩実：“まるわかりインダストリー 4.0”，pp. 8-9，日経 BP 社，2015
- [2] 岩本晃一：“Industrie4.0—ドイツ第 4 次産業革命が与えるインパクト”，pp. 129-133，日刊工業新聞社，2015

- [3] 経済産業省製造産業局：“Connected Industries 東京イニシアティブ 2017”，経済産業省，pp. 4-5，2017
- [4] 尾木蔵人：“決定版 Industrie4.0－第4次産業革命の全貌”，pp. 15-17，東洋経済新報社，2015
- [5] 真木和俊：“インダストリー 4.0 の衝撃現実化する「全自動工場」”，日経情報ストラテジー No. 279，pp. 96-98，日経 BP 社，2015
- [6] ジェイ・リー：“インダストリアル・ビッグデータ－第4次産業革命に向けた製造業の挑戦”，pp. 52-62，日刊工業新聞社，2016
- [7] <https://orenocloud.tokyo/cloudinfo/useful/bigdata-government.html>
- [8] 総務省：“情報通信白書第2部第5章”，pp. 292-293，総務省，2015
- [9] 大野治：“IoT で激変する日本型製造業ビジネスモデル”，pp. 24-25，日刊工業新聞社，2016
- [10] シスコシステムズ合同会社，IoT インキュベーションラボ：“Internet of Everything の衝撃”，pp. 71-81，インプレス R&D，2013
- [11] 武内登：“図解でわかる生産の実務セル生産”，pp. 40-51，日本能率協会マネジメントセンター，2006
- [12] 坂巻久：“キャノン方式のセル生産で意識が変わる会社が変わる”，pp. 26-29，日本能率協会マネジメントセンター，2006
- [13] 松田圭司：“知識ベース群知能ロボットシステムの研究”，日本機械学会論文集 73 巻 730 号 C 編，2007