

5Gによる製造業へのインパクトと次のトレンドとしての「熟練工IoT」と「現場力のデジタル化」



小宮昌人



佐藤修大



角尾怜美

CONTENTS

- I 5Gによる製造業へのインパクト、製造業におけるユースケース
- II 有望ユースケースとしての熟練工IoTのニーズ
- III 先行事例と日本企業の取り組み状況
- IV 日本企業が仕掛けることができる「熟練工IoT」と「現場力のデジタル化」のポテンシャル

要約

- 1 5Gの本格展開により、製造業のデジタル化の進展が期待されている。5Gは大容量通信、低遅延、複数同時接続が特徴であるが、特に今後より期待されるのが大容量の画像・映像での分析が必要になる現場作業に関するIoTである。具体的にはデジタル技術を活用した現場作業者の技能伝承・標準化・生産性分析であり、野村総合研究所（NRI）はこれを「熟練工IoT」と呼ぶ。
- 2 エンジニアリングの上流からのデジタル化や設備のデジタル制御が進む中、現場の「人・熟練工」の動きはデジタル化が進んでおらず、いまだ属人的な部分も多い。今後の製造業のデジタル化、IoTの展開において、ユーザーサイド・ソリューションサイドの双方から「熟練工IoT」が今後の拡大・有望領域として期待されている。
- 3 日本企業では、現場や熟練工に属人・暗黙知的なノウハウが蓄積されてきた。これらをデジタル時代・ポストコロナ時代に合った次世代の強みに転換しなければならない。現場の暗黙知をデジタル化することにより、上流からのデジタルツイン化を図る欧米勢への対抗・協業軸として、現場起点によるデジタルツインの構築・ソリューション化が国内製造業にとって大きな方策になる。

I 5Gによる製造業へのインパクト、 製造業におけるユースケース

1 5Gの特徴と製造業での活用

2020年3月にNTTドコモ、KDDI、ソフトバンクが5G商用サービスの本格展開を開始し、生活・エンターテインメント領域での活用とともに、産業領域でもユースケースの開発が進んでいる。建設機械の遠隔操作や、自動車の自動運転、映像を活用した遠隔診療などが展開される中で、製造業においても5Gを活用した変革が期待されている。

製造業で注目されているのは、通信キャリアによって構築される5Gではなく、「ローカル5G」である。投資効率の関係から、通信キャリアの5G整備が都市部から進むと予想される一方で、製造業の工場は地方に立地していることが多い。そこで建物・敷地内に限定して周波数を割り当て、通信キャリアではなく企業・自治体が展開するローカル5Gの適用が期待されている。実際に、製造業がローカル5Gの免許を取得するケースが増えてきている。

5Gのメリットとしては下記が挙げられる。

- 高速大容量通信（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）／4G LTEとの比較で通信速度100倍（20Gビット秒）
- 多数同時接続（mMTC：massive Machine Type Communication）／4G LTEとの比較で100倍（100万台／km²）
- 超高信頼・低遅延（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）／4G LTEとの比較で1／10（1ミリ秒）

特に、製造業において要となる点が信頼性

である。生産設備のモーション制御や、ロボットの遠隔操作、人を保護するための安全制御などの用途では、伝送成功確率の要求仕様が99.9999%となっており、超高信頼・低遅延は重要なポイントとなる。これがクリアできると、ケーブルが不要となり、ライン設計やロボット動作のボトルネックとなるため、新たなケーブル敷設を避けたい製造業にとって有効な選択肢となる。

また、領域ごとの段階的な5G適用も重要となってくる。たとえばPLC（制御コントローラ）、DCS（分散型制御システム）などの制御機器や、HMI（ヒューマン・マシン・インターフェース）などの監視・制御システムは、安全面や現場に近く生産効率最大化の観点から、遅延時間や伝送成功確率の要求仕様が厳しい。一方で、より上位システムであるMES（製造実行システム）やERP（企業資源管理システム）では、要求仕様は比較的厳しくない。そこで用途・領域ごとに優先順位をつけ、5Gの導入範囲を徐々に拡大していくことが求められる。

2 広がる製造業での ユースケース開発

技術的にも5Gの製造業での活用が現実となりつつある中で、ユースケースの開発がグローバルで積極的に行われている。既存の産業ネットワークにおいても「通信面のみ」を取り上げるとボトルネックは限定的であり、現状でも製造オペレーションは成立している。

そのことから、通信スペックの向上のみを5Gの利点として訴求したとしても、製造業にとっては、「今のオペレーションでも十分

成り立っている中で大規模投資するインセンティブはない」、もしくは「信頼性・品質が求められる製造業でリスクを負ってまで新たな投資を行う必然性はない」ということになる。そのため、5Gの利活用により「どのようなビジネスモデル・ものづくり・オペレーションの変化を創出できるのか」といったユースケース開発と、そのシナリオの訴求が重要なのである。

世界最大のインダストリー4.0展示会であるハノーヴァー・メッセにおいても、2019年に5Gに特化した展示スペース「5G Arena」が新設され、5Gの導入によって製造業に起こる変化が提案された。また、産業界におけるユースケース開発のためにZVEI（ドイツ電気電子工業連盟）は、「5G ACIA（5G Alliance for Connected Industries and Automation）」の結成を発表し、産官学による5G

活用の拡大とユースケースの開発を図っている。5G ACIAの参画企業には、キヤノン、デンソー、NTTドコモ、三菱電機、パナソニック、ソニー、横河電機といった日本企業も名を連ねている。5G ACIAは米国の産業IoT推進組織である「Industrial Internet Consortium」とも連携し、製造業における5G活用の検討が世界中で本格化し始めている。

製造業のデジタル化・高度化において5Gの活用に注目が集まる中で、いくつかの方向性も見えてきている。表1は製造業における5G活用のユースケースを分類したものであるが、大きな方向性として、①リアルタイム制御・遠隔操作の実現、②自律制御・フレキシブルラインの実現、③画像の活用を通じた熟練工IoT（デジタル技術を活用した現場作業者の技能伝承・標準化・生産性分析）の実現に大きく分類される。

表1 製造業における5G活用のユースケース

	欧米中	日本
①リアルタイム制御・遠隔操作の実現	<ul style="list-style-type: none"> ・フォルクスワーゲン（リアルタイム制御・データ蓄積） ・アウトディ（5G低遅延無線制御） ・ロバート・ボッシュ（ロボットアームの安全非常停止制御） 	<ul style="list-style-type: none"> ・デンソー×KDDI×九州工業大学（ロボット制御の無線化） ・ファナック×日立製作所（NC装置やロボット、工作機械などの無線高速制御、遠隔保守） ・DMG森精機（工作機内切りくずのカメラ画像・自動除去） ・川崎重工業（ロボット遠隔操作ソリューション）
②自律制御・フレキシブルラインの実現	<ul style="list-style-type: none"> ・ハイアール（マスカスタマイゼーションプラットフォームCOSMOPlatにおける顧客ニーズに応じた自律制御・マスカスタマイゼーションの実現） ・Comau社（複数ロボット間自律制御） ・Bosch Rexroth社（5Gで制御されるロボットアーム搭載のAGVを使ったフレキシブル生産） 	<ul style="list-style-type: none"> ・三菱電機×NEC（需要変動に応じたフレキシブルラインの実現） ・DMG森精機（5G制御を通じたロボット搭載AGVの遠隔操作・フレキシブルライン実現） ・豊田自動織機（フォークリフトの自律制御）
③画像の活用を通じた熟練工IoTの実現	<ul style="list-style-type: none"> ・PTC社（ARを活用したデジタル遠隔指示、作業標準化） ・Phoenix Contact社（AR/VRを活用した作業標準化・遠隔指示） 	<ul style="list-style-type: none"> ・富士通（現場作業員骨格センシング） ・オムロン（リアルタイムコーチング） ・三菱電機（作業員骨格・姿勢分析） ・日立製作所（ろう付け工程熟練技能工程デジタル化・フィードバック）

(1) リアルタイム制御・遠隔操作の実現

5Gの超高信頼・低遅延により、無線通信でありながらも、より高速に制御ができるようになる。それによりリアルタイムでの情報蓄積・フィードバックのサイクルが回るようになる。

たとえばフォルクスワーゲンは、2020年にドイツの122工場において独自のローカル5Gネットワークを構築し、ディンゴルフィンク工場内では、自動運転の輸送システムや物流ロボット、モバイルデバイスの機器・システムがリアルタイムに相互通信を行う仕組みを構築している。同社はAWS（Amazon Web Services）を活用し、自社工場やサプライチェーンをつなぐ「Volkswagen Industrial Cloud」を展開しており、リアルタイムでのデータ収集とアルゴリズムを活用した各設備のパラメータ調整などに活かす計画である。

また、そこから派生した遠隔操作も重要な論点となる。既に建設領域では建機、医療では手術ロボットの遠隔操作が提案されているが、製造工場においてもこれらの遠隔操作と、それを支える5G技術が重要となる。た

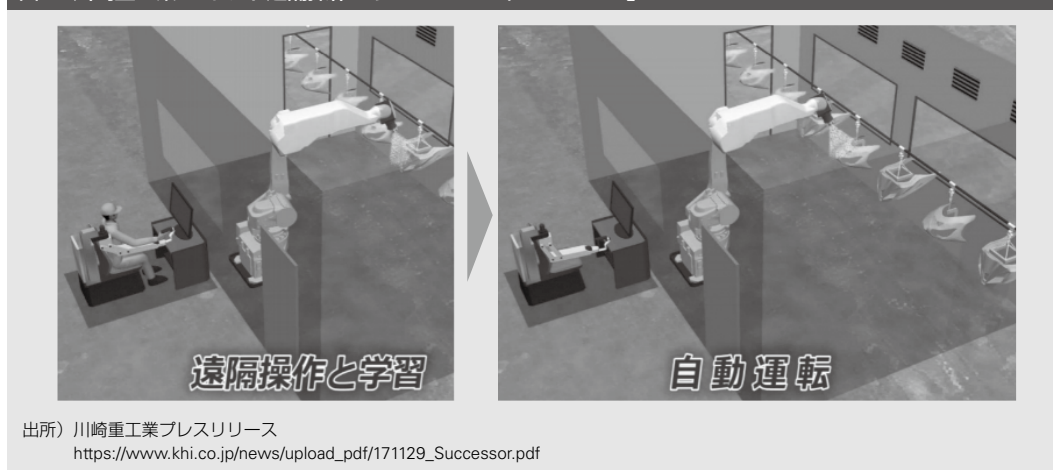
例えば川崎重工業は研削・バリ取り・表面仕上げなどのロボット遠隔操作ソリューション「Successor」シリーズを展開している（図1）。粉塵や火花が散る厳しい作業環境下であり、かつ完全自動化が難しい工程において、熟練者がロボットの遠隔操作を行い、その動きをロボットに学習させることなどによって熟練技能のロボットへの伝承・自動化を図るものである。現状では工場内の別室からの近距離での操作が想定されるが、今後の熟練工不足やデジタル化の波の中で遠隔地から操作したいというニーズも想定され、5Gとの組み合わせが有効となる。

(2) 自律制御・フレキシブルラインの実現

5Gによる無線通信が工場生産での信頼性や速度などの要件を満たすようになると、ロボットの有線ワイヤーが不要になるため、柔軟な製造レイアウトの設計やニーズ・状況に合わせた生産オペレーションが可能となる。

中国家電大手のハイアールは、自社の冷蔵庫や空調工場などで行っている顧客の要望に応じたマスカスタマイゼーションのノウハウ

図1 川崎重工業 ロボット遠隔操作ソリューション「Successor」



を活用し、マスカスタマイゼーションプラットフォーム「COSMOPlat」を外販している。顧客の要望に対応した柔軟な工程制御を実現するために5Gの活用を想定しており、顧客の要望・ニーズに合わせた生産工程・条件の迅速な変更が求められるマスカスタマイゼーションにおいて、5Gは必須の技術となる。

日本の製造業では、自動車部品企業をはじめ多品種少量生産を行っている、もしくは対応の必要性がある企業が多い。しかし、コンベアなどの搬送装置がフレキシブル生産のボトルネックになるケースや、搬送・投入などのマテリアルハンドリング（マテハン）業務を行う、いわゆる「みずすまし」への負荷がかかり、人手を要したり、ミスが発生したりするなどの課題が存在していた。これらが、5Gによる配線レス化や、工程と工程をつなぐAGV（無人搬送車）の活用による自律制

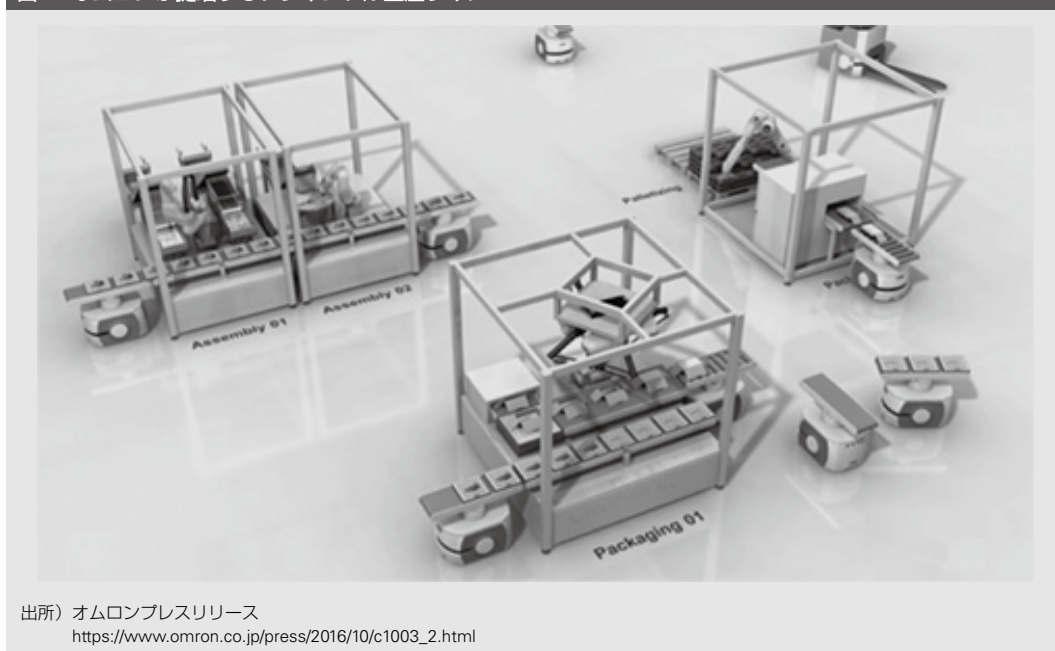
御などにより、多品種少量生産、ひいてはマスカスタマイゼーションの加速が期待される。たとえば図2のオムロンはNTTドコモやノキアグループと連携し、生産品目に応じて構成変更するフレキシブル生産ラインを提唱している。

(3) 画像の活用を通じた熟練工IoTの実現

熟練工IoTとは、デジタル技術を活用した現場作業者の技能伝承・標準化・生産性分析を指す。5Gによって大容量のデータ通信が可能になり、今まで十分に活用されてこなかった「画像」「映像」が分析対象になることで、より注目を集めているユースケースである。

熟練工の作業をセンサーなどでデジタル化・3D化して分析を行い、技能伝承や、作業の標準化、作業品質の安定化を図ることが目的である。たとえば、米国のソフトウェア

図2 オムロンが提唱するフレキシブル生産ライン



出所) オムロンプレスリリース
https://www.omron.co.jp/press/2016/10/c1003_2.html

企業PTC社は、ARを活用した熟練技能者による遠隔指示や3Dデジタルツインを活用した製造指示を展開している（図3）。また後述するが熟練工の動きを映像解析し、リアルタイムでフィードバックを行う「リアルタイムコーチング」のユースケースが多くの企業で提案されている。これらは世界中で熟練技能者不足が課題となる中で注目されている活用例である。

II 有望ユースケースとしての熟練IoTのニーズ

1 熟練IoTが求められる背景

ここまで、製造業における5G活用とそのインパクトの方向性について整理を行った。これらの活用の方向性の中で、特に期待されるのが「熟練IoT」の進展である。設備などは、振動・電流などのKPIをモニタリングすることで、生産性の分析や故障予知などのある程度の管理・分析が可能であった。しかし、熟練工作業のIoTについては、特定の数値に置き換えて分析することが難しく、大容量の画像・映像の分析が必要となるため、通信容量・通信技術がボトルネックとなり、取り組みが限定的となっていた。デジタル化中のホワイトスペースとなっていたのが「熟練IoT」なのである。

それが5Gや、通信ネットワークのTSN（Time Sensitive Network：時間の同期性を保証しリアルタイム性を確保できるようにする仕組み）の技術開発が進んだことで、技術面でのボトルネックが解消され、取り組みが大きく進展すると予想される。

現在、日本では少子高齢化が進行してい

図3 PTC社が提案するARを活用した熟練技能の伝承



出所) PTC社Webサイト
<https://www.ptc.com/en/products/augmented-reality/vuforia>

る。長期的には労働人口が相当減少し、これまで現場を支えてきた貴重なノウハウを有する熟練工の高齢化・退職が進み、現在のオペレーション体制を維持できなくなることが予想される。熟練工の暗黙知として属人化しているノウハウを継承し、現在急増している外国人労働者を含め「誰でも標準的にできる」、再現・横展開可能なオペレーションにしていくことが必要となる。

製造業のデジタル化を進めるソリューション側からも、製品設計や工程設計などの上流エンジニアリングのデジタル化や、設備のオペレーション管理・IoTの観点でのデジタル化が進む中で、現場の「人・熟練工」の動きのデジタル化は進んでおらず、現場にノウハウ・知見が蓄積されている日本企業に期待する声も多い。日本企業にとって、現場に蓄積されている熟練技能者のノウハウをデジタル化することができれば、自社での活用にとどまらずグローバルで外販・ソリューション展開を行うチャンスとなり得る。

2 緊急性が高まる 熟練工不足への対応

日本を中心に、世界各国の製造業では、生産現場における熟練工不足が進んでいる。特に、高齢化が進む先進国においては熟練工が続々と退職している。退職によって、単純に人手が減ってしまうことも問題だが、それに伴って形式知化されていない技術やノウハウが継承されずに消滅してしまうことが最大の課題である。

品質や製品競争力の低下はもちろんのこと、プロセス産業においては緊急事態対応のノウハウがうまく継承されなければ、最悪の場合、プラント爆発などの大きなインシデントにつながる。ドイツの製造業のデジタル化を目指すインダストリー4.0の展開においても、この課題が背景の一つとなっている。日本同様、ドイツでも熟練技能工であるマイスターの高齢化や退職が進んでおり、技能伝承・オペレーションの維持が喫緊のテーマなのだ。

また、昨今のトレンドとして、働き方改革の機運の高まりに伴い、生産現場でも労働環境の改善が求められるようになり、24時間稼働に伴う夜勤シフトや、高温・高圧な材料などを取り扱う、いわゆる3Kの職場における人材獲得は困難になってきている。危険を伴う作業では、できるだけ人間の介在を減らし、少しでも早く作業を完了させられるような熟練ノウハウの継承や、省人化・無人化につながるソリューションが求められている。

さらに直近では、新型コロナウイルスの感染防止の観点から、できる限り物理接触を最小化したオペレーションも求められる。日本企業の多くでは、製造部門に限らず現場のノ

ウハウが属人的であり、リモートや、フレキシブルな体制での業務実施に苦慮している。これらの状況からも、製造業にとっては現場の熟練ノウハウの継承と標準化が喫緊の課題であることが分かる。

3 世界の熟練工IoTに対する ニーズ・ポテンシャル

熟練工IoTの今後のニーズや規模感、投資ポテンシャルを定量的に分析するにあたって、ディスプレイ産業やプロセス産業の生産現場における熟練工の退職に伴う人手不足の影響度と、熟練工の技能を代替し得るソリューションに対する投資ポテンシャルの試算を紹介する。

まず、熟練工の退職に伴う人手不足に関する試算を実施した。ここでは、国家として成熟しており、生産現場でも高齢化が進んでいると考えられる先進国（日本、米国、ドイツ）を対象に、2019年から3年刻みの22年、25年で試算した。具体的には、製造業の労働人口のうち、生産現場に従事していると考えられる職種（技能工、設備・機械の運転・組立工、単純作業従事者）について国別・年代別人口を試算し、このうち、対象年に60歳を迎えた者が定年退職するものとした。結果を示したものが図4である。

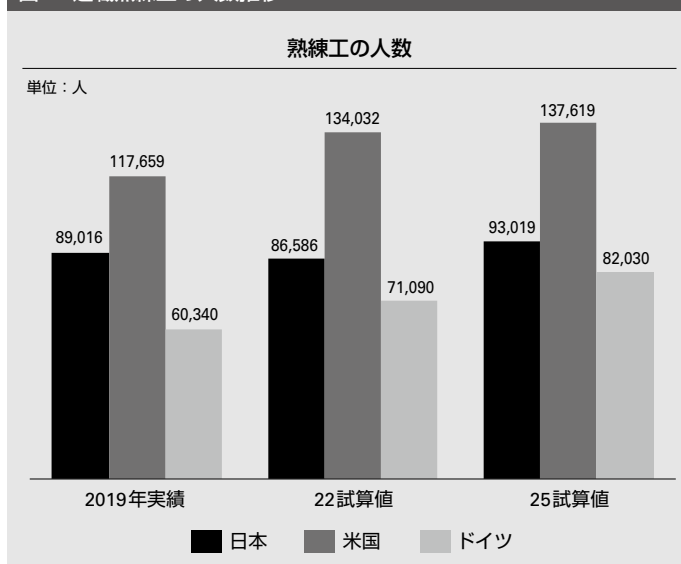
25年の試算結果を見ると、日本の退職熟練工の数は約10万人、米国は約14万人、ドイツは約8万人である。どの国も共通して退職者数は増加傾向にあり、既に顕在化し始めている人手不足の傾向は今後も加速することが示唆される。

次に、熟練工の退職による人手不足やノウハウ継承不足を解決可能なソリューションへ

の投資ポテンシャルについて試算した。試算の考え方は、これまで熟練工が生み出していた価値を代替可能なIoTソリューションに対して、熟練工に支払われていた人件費の一部が投資されると想定した。具体的には、年間人件費を退職熟練工の平均賃金より算出し、その25%が投資金額となる前提で試算した。その結果が図5である。

25年の投資ポテンシャルの試算結果を見ると、日本はディスクリート産業で約3.4億ドル、プロセス産業では約3.9億ドル、米国はディスクリート産業が約6.1億ドル、プロセス産業が約7.2億ドルと3カ国で最大となった。ドイツはディスクリート産業が約4.6億ドル、プロセス産業が約5.4億ドルである。つまり、この額の人件費分の熟練工の付加価値を置き換えなければ、製造業のオペレーションが維持できなくなるのだ。自動化などの設備投資に活用される部分と熟練工IoTに活用される部分が存在するものの、ソリューション検討における「原資」としての規模はか

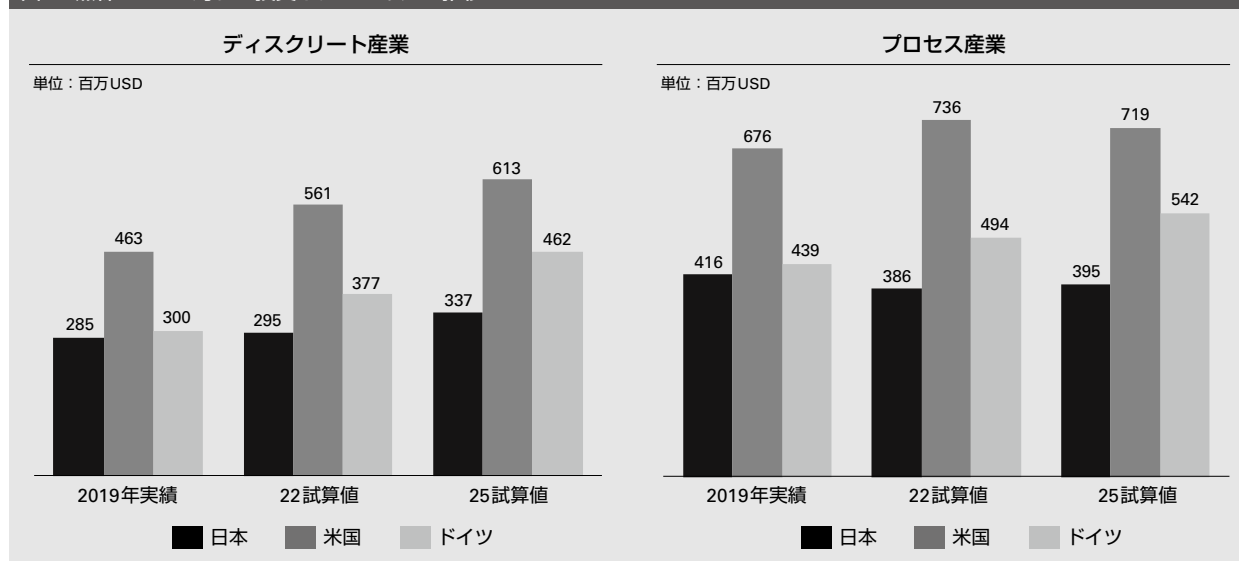
図4 退職熟練工の人数推移



りの大きさとなる。

また、これらの傾向は分析を実施した日本・米国・ドイツのような先進国のみで見られるわけではない。たとえばタイは、新興国でありながら既に高齢化が進み、人手不足や他国の人材受入れに伴うミスや品質問題が頻発している。現在の製造業オペレーションが

図5 熟練工IoTに対する投資ポテンシャルの推移



維持・成長できなくなる危機感から、「タイラント4.0政策」の中で、いかに製造業の人依りのノウハウ・技能をロボット化・デジタル化していくのが国家を挙げて検討されている。

4 具体的な熟練工IoTの課題・ニーズ

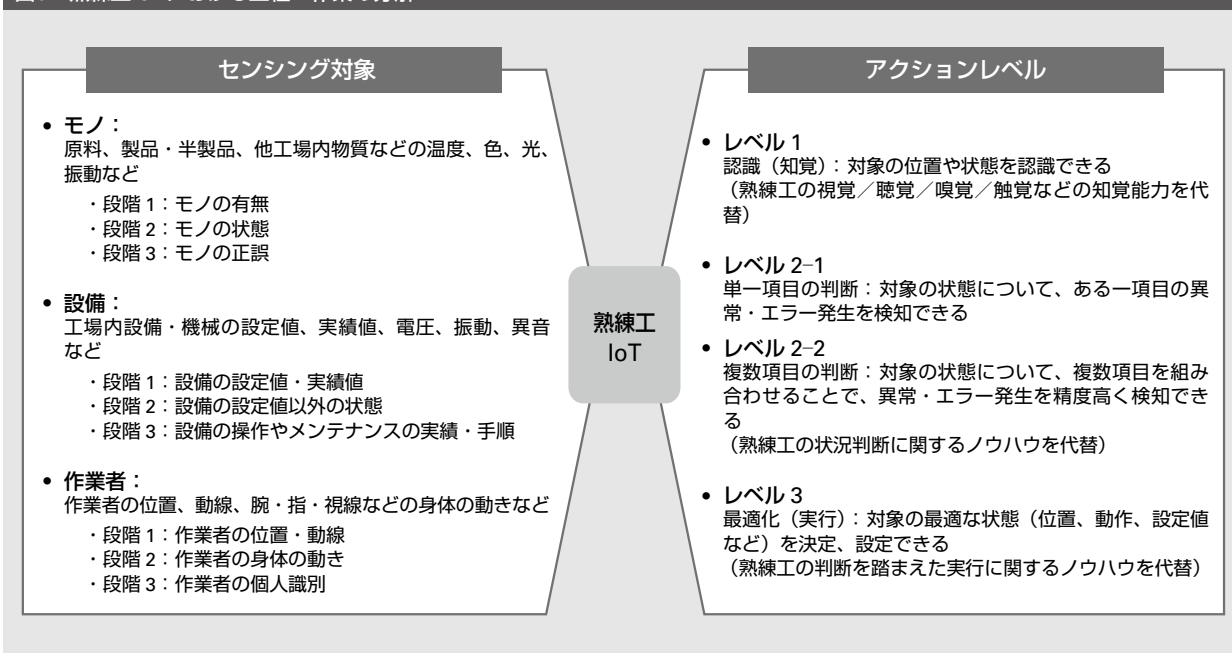
この分析を通じて、定量的にも、熟練工IoTはグローバルで大きなニーズや投資規模が見込まれることが分かった。これを踏まえて、各業界の生産現場への熟練工IoT実装に向けた検討を始める前に、生産現場における熟練工の作業や動作のレベルを整理する。熟練工の技能・ノウハウをIoTの活用により伝承したり標準化したりするためには、伝承・標準化されるべき技能を分解し、形式知化する必要があるからだ。

分解の粒度はセンシング対象とアクション

レベルのかけ合わせとなる。まず工程における熟練工の作業は、作業にかかわるモノ・設備・(自分以外を含む)作業者の位置や状態を知覚・把握し、それぞれがどのような状態にあるかを判断する。その上で、状況を踏まえた適切な動作は何であるかを判断し、実行する(もしくは、異常が発生していればリカバリーする)という流れで行われる。熟練工の代替対象となる作業(熟練工IoTで置き換えられる動作)ごとに、求められるセンシングの範囲や内容は異なる(図6)。

次にアクションレベルは、熟練工の動作の段階(知覚・判断・実行)のうち、どこまでをIoTによって代替するかを指す。レベル2-1「単一項目判断」と、レベル2-2「複数項目の組み合わせによる判断」では、難易度が大きく変わる。また、レベル1の「認識(知覚)」のみが求められる場面は存在せず、その先の「判断・最適化(実行)」まで含めた

図6 熟練工IoTにおける工程・作業の分解



ソリューションを実現しなければ、省人化にはつながらないと考えられる。

一方、センシング対象については、対象がモノ・設備・作業者の単体か組み合わせなのか、対象物についての一部を詳細にセンシングできたほうがいいのか、全体を大まかにセンシングできれば十分なのか、という違いがある。このように、熟練工IoTはアクションレベルと対象範囲の組み合わせによって検討されるが、実際のソリューション開発にあたっては、現場の業務を観察することで、各工程で省人化のために必要なセンシング対象とアクションレベルを明らかにする必要がある。

実際に、プロセス産業の中でも業界によって生産現場の特性や工程の自動化度合いは異なる。たとえば製鉄や化学・石油化学などの業界では、作業者の安全確保を目的として、歴史的に自動化や無人化の取り組みが進められてきた。既に多くの工程で自動化が進んでおり、現場に作業者を配置する必要がないことも多い。このような業界では、緊急時や事故発生時など、通常のフローでは対応できないような場面において熟練工のリカバリーノウハウが求められることがあり、作業手順そのものよりも、熟練工の非常時対応ノウハウの形式知化が求められる。

一方、食品や薬品などの多品種少量生産の場では、原料の投入や温度の調整など、機械よりも人手で行った方が効率のよい作業も多く、自動化されていない工程が多数残っている。どちらにも共通するのは、熟練工が長年の経験と勘で行う微妙な判断の形式知化と技能伝承については答えが出ておらず、模索段階だということである。

ディスクリート・組立産業（自動車・電機

など）は、DCSなどでプロセスが統合管理され、人手があまりかからない工程になっているプロセス産業（オイルガス・化学・製鉄など）と比較して、各工程や運搬・投入材料管理などのマテハンがそれぞれ細分化しており、ロボット化・自動化は進んでいるものの、作業者が関与する工程は依然として多い。

特にマテハン工程は、生産技術関連の人材リソースや自動化を目的とした予算が充たされてきた加工工程と比較すると、予算が限られ、自動化を検討する専門チームも存在しないことが多い。また、いわゆるトヨタ生産方式における「みずすまし」が複数工程を循環し、運搬・投入業務を行う仕組みとなっており、工程単位での自動化による省人効果は限定的である。そのこともあり、今までマテハン工程については投資があまり進んでこなかったが、単純ミスの防止、作業者の高齢化や退職などの問題や新型コロナウイルスの感染対策としての人依存業務の見直しの観点から、人間を支援する熟練工IoTの投資余地が大きい。

また、各工程においても、多品種小ロット生産における段取り替え（生産ラインに流す製品に合わせて、加工機や治具・装置の設定を変更する段取り作業）や、ロボット化しづらい工程での溶接オペレーションなど、現場のノウハウに依存し、現場人材の暗黙知となっている「気の利いた」気づきや行動、チーム内において背中では伝承されている項目によって成り立っているケースも多い。これらの業界特性や、工程特性に応じて伝承・標準化のための熟練工IoTのあり方を検討していくことが重要となる。

Ⅲ 先行事例と日本企業の 取り組み状況

では、現場作業員・熟練工のIoT化、つまり現場力のデジタル化において、現在どのようなソリューション・取り組みが生まれてきているのだろうか。今後の日本企業の取り組みのヒントとすべく分析を行いたい。

1 ロバート・ボッシュ

(熟練工IoTをコンサル商材化)

ドイツに本社を置く世界最大規模の自動車部品メーカーであるRobert Boschは、その生産技術を活かして製造業の自動化（ファクトリーオートメーション/FA）や、IoTプラットフォームの「NEXEED」をはじめとした製造IoTソリューションを展開するインダストリー4.0の中心企業である。機器のIoT化・デジタル制御はもちろんのこと、先行して熟練作業のモニタリング・分析のソリューションを展開している。

自社・サプライチェーンの膨大な工場や製造プラットフォーム、FA顧客の設備外付けセンサーや作業者が装着しているウェアラブルセンサー、天井からラインを撮影する360度カメラなどによる作業の記録・分析を通じて、業界・工程単位のベンチマーク基準やKPIの設定・分析を行っている。蓄積したベンチマークデータを活用し、顧客企業内の工程の映像・画像分析を通じて、どの程度効率化の余地が存在しているかを分析し、コンサルティングを行うのだ。今後、5Gによる画像や映像の活用が広がる中で、熟練工IoTソリューションの拡大を図ろうとしている。

2 フェニックス・コンタクト (作業業務の標準化・ トレーニング効率化)

フェニックス・コンタクトは、ドイツに本社を有する自動化機器企業である。既に工場です5Gを導入しており、デジタルツインや、AR/VRなど画像・映像を含めた3Dデータの活用を通じ、ものづくりの高度化を図っている。たとえば、機器のメンテナンスを実施する際に現場の作業員がARグラスを着用し、本社など遠隔にいる熟練技能者の指示およびデジタル空間上に再現されたメンテナンス対象設備の修理箇所を確認しながら、修理に取り組める仕組みを構築している。

今後、製造拠点やインフラ関連を中心にAR/VR、デジタルツイン、熟練エンジニアの知見をつなぎ、一括管理が可能な仕組みを開発し、提供を加速する方針である。画像・映像や3Dデータを活用した業務の標準化・横展開を効果的に実施しているケースである。

3 ダイキン工業・日立製作所 (ろう付け作業のデジタル可視化・ トレーニング)

空調メーカーのダイキン工業は、生産技術者の育成とその効率化に向けて日立製作所と連携し、熟練技能者支援IoTの仕組みを構築している。作業効率、品質に大きな影響を与える作業工程から優先的に先端技術を活用した効率化に着手しており、①ろう付け作業工程や、②フッ素化学品製造工程を対象に、熟練工IoTに取り組んでいる。

①ろう付け作業とは、部材を接合する手法の一つで、接合する部材よりも融点の低い合金を溶かして部材の隙間に流し込む接合であ

り、バーナーの取り扱いと炎の温度調整に熟練技術を要する。熟練工の動きを各種カメラ、慣性センサーなどのセンシング機器を用いて測定、定量評価を行い、日立「Lumada」（顧客データを基にしたデジタル技術ソリューション・サービス）の画像解析技術を用いて標準動作モデルを構築している。従来は定性的な指導要領であったが、熟練工の動きがデジタルデータとして可視化できるようになったことで、訓練指標が明確になり、より効率的な訓練を実施できるようになる（図7）。

②フッ素化学品製造工程（反応プロセス）における品質管理ノウハウのデジタル化に向けた取り組みでは、センサーやカメラを用いて4M（Man、Machine、Material、Method）の観点から装置の動作状態（温度・回転数など）、化学品の反応状態（液色、発泡）に関する数値・画像データを収集し、目視確認では判断できない品質影響要素の判断

モデルを確立し、製造現場に適用している。

今後、これらの熟練工IoTの仕組みをグローバルに横展開するとともに、工程の拡大を予定している。

4 オムロン、富士通、三菱電機 （骨格などの分析を通じた リアルタイムコーチング）

オムロンはNTTドコモ、ノキアグループと共同で作業者の作業動線や動きを撮影した映像データなどを収集し、AIで解析することで、熟練者との違いを作業者へリアルタイムにフィードバックする「リアルタイムコーチング」を実施している。無数のセンサーを同時にネットワークに接続しつつ、低遅延でAIの処理結果をフィードバックすることから、5Gの特徴である高速大容量通信との親和性が高い。

また、富士通も作業者の骨格の動きを可視

図7 ダイキン工業・日立製作所によるろう付け技能訓練支援システム

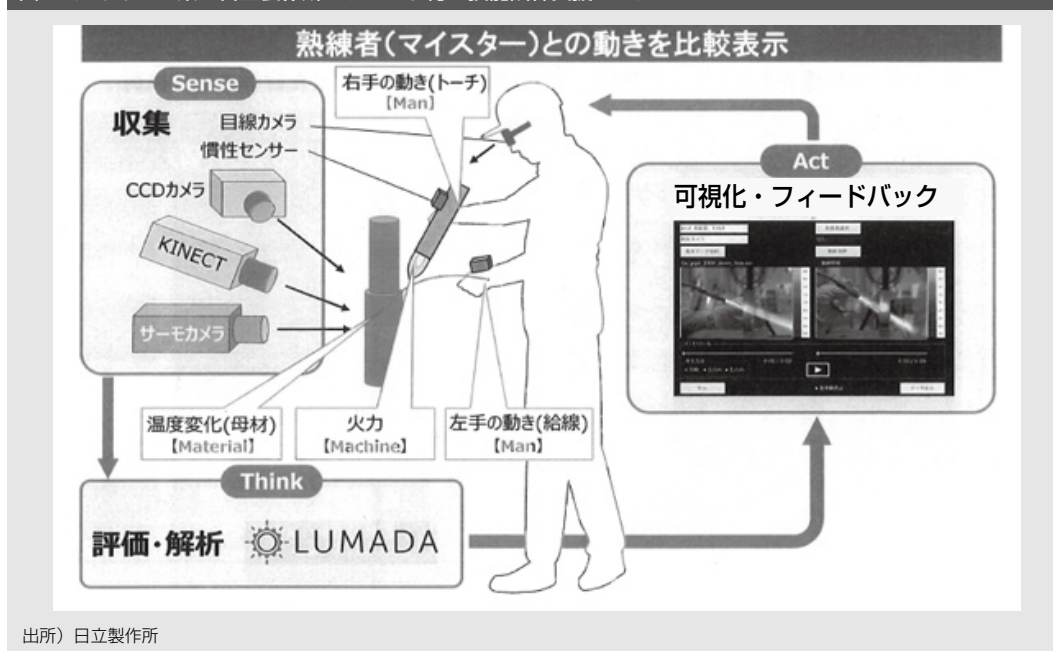


図8 オムロン・富士通・三菱電機による熟練作業分析IoTの取り組み



オムロン「リアルタイムコーチング」

<https://www.omron.co.jp/press/2019/09/c0910.html>



富士通「骨格分析」

<https://businessnetwork.jp/Detail/tabid/65/artid/7230/Default.aspx>



三菱電機「Maisart：作業姿勢分析(骨紋)」

https://www.nikkei.com/news/image-article/?R_FLG=0&ad=DSXMZO5083559010102019000001&ng=DGXMZO50835630Q9A011C1000000&z=20191010

出所) オムロン、富士通、三菱電機ニュースリリース

化する独自技術と、ウェブカメラで撮影した映像に対して、AIを活用した画像診断を適用し、作業者が通常と異なる動きをしたり、本来行うべき作業が抜けたりしている場合、即座にアラートを出す仕組みを構築している。目視では分からないミリ単位での精緻な動作分析を実施するために、4K/8Kの高精細カメラの活用を想定しており、画像診断の精度・速度向上が可能な5Gの拡大に伴いソリューションの拡販を図っていく計画である。

三菱電機は独自に開発したAI技術「Maisart」を用いて、カメラ映像から人の骨格情報を抽出・分析し、特定の動作を自動検出する作業分析ソリューションを開発している。機械学習によって、事前に作業者の骨格や姿勢の動きを学習することで、作業時間の自動計測、手順抜け・間違いなどの作業ミス、無駄を自動的に検出できる。従来は、抽出する課題や改善検討結果が監督者の経験や熟練度の違いによって異なるため、標準的な改善指導ができなかったが、骨格情報を分析することで属人性を排除した標準的な施策の検討が可能となる(図8)。

IV 日本企業が仕掛けることができる「熟練工IoT」と「現場力のデジタル化」のポテンシャル

1 求められる「脱・省人効果至上主義」と「脱・『うちの工程は特殊だから』」

今までの日本企業のものづくりにおける投資は、人の作業の代替という観点で省人効果、つまり、その投資によってどれだけ人件費を削減できるのかを中心に判断されるケースが多かった。その結果、現在、多くの日本企業では無駄が削ぎ落とされ、人がギリギリまで少ない状況でオペレーションがなされている。人が残っている工程は、ロボットなどを活用した作業の標準化が難しい、①マテハンのように人間が行った方が早い・安い工程や、②多品種少量生産における段取り替えや個別工程の溶接、プラントの異常時対応など、熟練技能・ノウハウに依拠している工程である。このため、製造業からは「もう省人効果が見込める余地はない」「うちの工程は特殊なので標準化や伝承は難しい。背中で覚えてもらうしかない」という声がしばしば聞

こえてくる。

しかし、前述の取り組みのように、前提となっている熟練工のオペレーション品質やノウハウの持続可能性が危ぶまれているとともに、今までデータ化や分析が難しかった「作業」や「考え方」に関しても、5Gの進展によりデジタル化したり、分析したりすることが可能となりつつある。今後、熟練工のノウハウの伝承や標準化に取り組むにあたっては、今までの現場力・オペレーション品質の前提にとらわれずに、現在の熟練工が退職した後の環境や若手・外国人が中心となった環境を想定する必要がある。現場オペレーションについては、以下のような、高度な技術や経験、背中を見て汲み取れる「気の利き方」に依存しない状態に落とし込むことが重要となる。

- ① 言語や文脈に依存せず、さらに「背中」ではなく、誰でも分かる形で視覚的に指示されること
- ② ミスを起こしやすい点や注意すべき点が特定・分解され、事前に繰り返してトレーニングできること（事前ミスの防止）
- ③ ミスをした場合にアラートが鳴り、早期発見がなされること

2 現場力の継承・標準化や強みを活かした「熟練工IoT」「デジタル現場」展開に向けて

このように、標準化を進めるのは容易ではないため、一歩ずつ取り組んでいく必要がある。前述したように、熟練工作業の標準化やベンチマークデータを活用したソリューションの外販までを行っているロバート・ボッシュも、これらのステップを丁寧に一歩ずつ行った結果、今の姿がある。たとえば、熟練工

業務の標準化・継承化に向けたステップは図9の通りである。「③比較」以降は骨格分析や個別センサーなどの投資が必要となるほか、データ分析のためのリソースも必要となってくる。しかし、「①記録」「②共有」については5Gの敷設以前に、既存の工場で実施可能であり、直近で行うべきである。

秘匿性が高い領域や、自社の競争力の源泉になっている工程については「⑦外販」化は適さないが、今後の工程やものづくりの持続可能性を考えると「⑤トレーニング組み込み」まで、今後のグローバル展開や各工場における標準展開・品質の安定化を図るとなる。「⑥ライン組み込み」まで取り組むことが望ましい。また、マテハンや、自社の工程において秘匿情報や競争力の源泉ではない項目については積極的に外販し、ノウハウを活かしたサービス展開が期待される。

日本企業においては、ものづくりのプロセスすべてを自社の競争力の源泉と捉え、コンフィデンシャルとする傾向にあるが、自社工程において競合を含む外部企業へ標準ソリューションとして外販する、もしくは既存の標準的なソリューションを活用する非コア領域と、自社の競争力の源泉・秘匿ノウハウとしてこだわり抜くコア領域の振り分けが重要となる。

日本の製造業は現場や熟練工のノウハウが成長を支えてきた。しかし、今後、グローバルでさらなるデジタル化が進む中で、これらを次の時代の競争力へと転換していくことが求められる。製品設計・工場ラインエンジニアリングなどの上流からデジタルソリューション構築やサービス化展開を図る欧米中勢への対抗・協業軸として、現場の暗黙知のデジタル化を通じた現場起点のデジタルソリュー

図9 熟練工ノウハウの標準化・継承化に向けたステップ

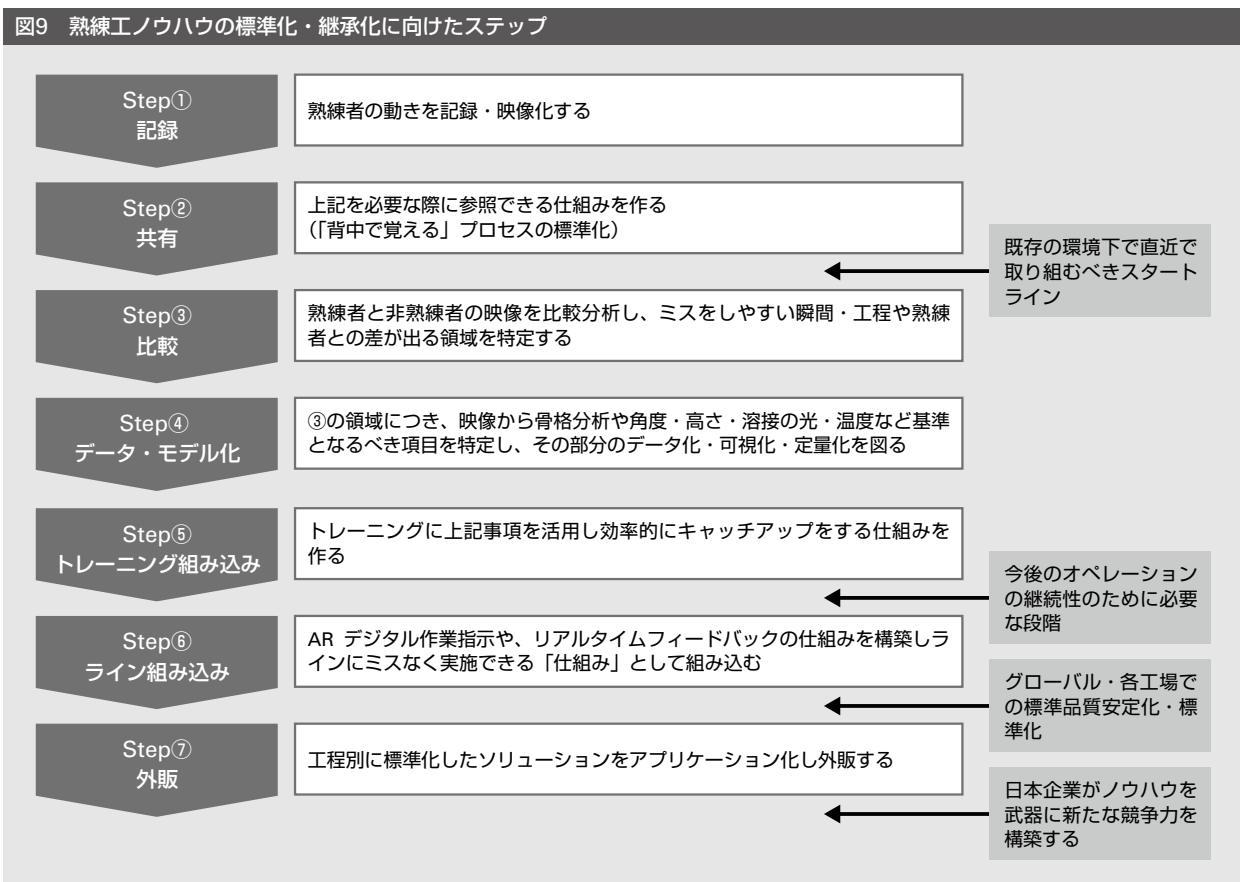
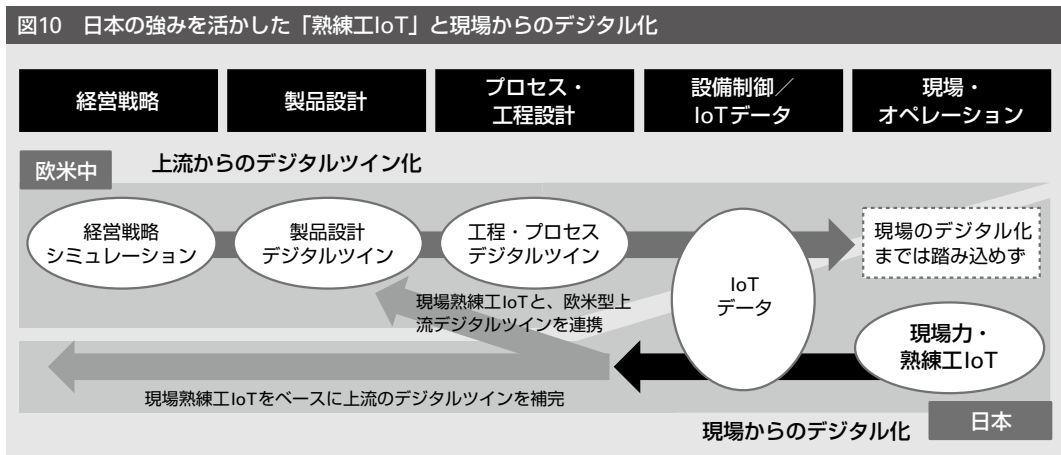


図10 日本の強みを活かした「熟練工IoT」と現場からのデジタル化



シヨンの展開は国内製造業の大きな方策となり得る。

標準パッケージとして展開可能な工程の見極めを行い、その工程の特性やデータに基づ

く現場作業者の作業分析・フィードバックを行うソリューションの創出が重要となる。製造デジタル・IoTソリューションを展開するグローバル企業も、今後の5Gの進展による

「現場ノウハウ」のデジタル化に注目しており、日本企業と連携したいというニーズも大きい（図10）。5Gを契機として、現場力や熟練工の技能・ノウハウのデジタル化が進み、今後の日本企業のものづくりの高度化や、新たな競争力の源泉となるソリューションの創出が期待される。

著者

小宮昌人（こみやまさひと）

野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部主任コンサルタント

専門はプラットフォーム戦略、IoT・FA・インダストリー4.0対応、イノベーション創出支援など

近著に『日本型プラットフォームビジネス』

佐藤修大（さとうのぶひろ）

野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部副主任コンサルタント

専門は海外市場調査（技術、政策、市況、企業動向、消費者ニーズ）、事業性評価、中長期事業戦略作成

角尾怜美（つのおさとみ）

野村総合研究所（NRI）DXコンサルティング部副主任コンサルタント

専門は市場環境調査、事業戦略策定、新規事業検討支援