



## はじめに

工場では自動化・省人化や変種変量生産への対応のため、ロボットや自動搬送機などの制御や、リアルタイムに人や製造設備から情報を得て、AIやIoTを活用した検査、分析、作業支援などを行う機会が増えてきています。ニューノーマル時代を迎えたいま、常に人が現場に張り付くことなく、遠隔監視・遠隔作業が可能となる生産プロセスへ移行しつつあります。

こうしたなか、移動する自動搬送機や人に対する通信手段を提供するため、また情報化された設備の設置容易性を高めるために、無線通信はなくてはならないものになっています。さらに無線通信は、無線LANの進化や5G(第五世代移動体通信システム)への高い期待から、今後ますます利用拡大が進んでいくものと考えられます。

一方、無線通信の使い方や工場への導入に関する情報は十分とは言えず、フレキシブルファクトリパートナーアライアンス(FFPA)にも工場や機器ベンダーから質問が寄せられています。このポジションペーパーでは、主な3つの質問に対するFFPAの見解を紹介します。

- 工場での無線ユースケース
- 5G導入のシナリオ
- デジタル化で変わる将来の工場像

このポジションペーパーが、無線通信の進化がもたらす未来の工場を描いたものとして参考となれば幸いです。

# 1. 製造現場での無線通信への期待

## 1.1 製造現場を取り巻くマクロ環境の変化

製造現場では、長期に続くマクロ課題への対応が求められています(図1)。工場のオペレーションでは、先進国を中心に、労働者不足、熟練工の減少などにより、自動化や省人化に拍車がかかっています。一方、工場が生み出す製品に対しては、グローバル競争の激化や、顧客ニーズの多様化に適応する必要があります。そのため適切なタイミングで、求められる製品を必要な量だけ生産するオンデマンドマニュファクチャリングが推進されています。

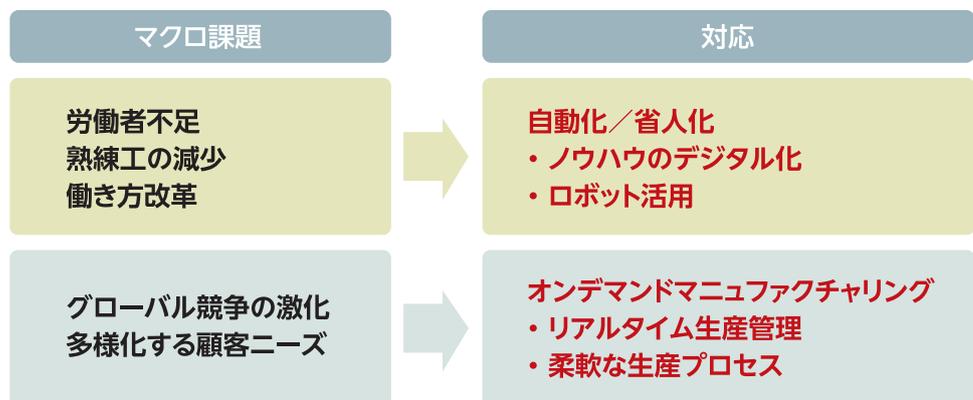


図1：製造領域のマクロ課題

こうしたマクロ課題に対応するためには、情報通信技術の活用により、従来のオペレーションやプロセスを変えていく必要があります。さらに新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の流行により、AIやIoTを活用した自動化・省人化や遠隔監視・遠隔作業の重要性がますます高まっています。

今後の製造現場では、ノウハウをデジタル化し、ロボットなどの機械制御を行い、またデジタル化された情報を簡単に収集し、オペレーションやプロセスを柔軟に変化させることのできる工場への進化が期待されています。

## 1.2 フレキシブルファクトリ(Flexible Factory)

フレキシブルファクトリは、柔軟性を持つ、変種変量、オンデマンドマニュファクチャリングのために進化した工場と定義されており、設備の移動性、設置容易性が高いことが特長となっています[1]。このような工場のネットワークでは、無線通信が必須になり、移動体となる人の持つ機器や搬送機との通信を担います。後付けのセンサや頻繁に再配置される機器からのネットワーク接続にも、無線通信は重要になります。

工場で使用される設備は、20年、場合によっては30年以上使われることもあります。工場全体で見ると、それぞれの設備更新や設備拡張の時期に、工程毎に新しい設備やそれを支える通信システムが段階的に導入されます。そのため使用する無線通信の規格や世代が混在し、通信システムの用途や、ベンダーも異なります。無線システムの場合には、システム間の調整が行われず、通信障害の問題が発生することがあります。また稼働した無線システムが、レイアウト変更や周囲の構造物の移動、他の無線システムからの干渉などの要因により、安定して通信ができなくなることもあります。

フレキシブルファクトリでは、障害のない安定した無線通信が必要とされますが、そのために無線通信技術に精通する専門家を工場に配することも困難です。そこで、無線通信の状況を可視化し、専門家でなくても統合的に管理できる仕組みが必要となります。FFPAでは、無線通信の可視化と統合管理を容易に実現するために、SRF無線プラットフォームの標準化活動を推進しています。このプラットフォーム上に構築された複数の無線システムは、互いの干渉を抑え、協調動作することが可能になります。



## 2. 工場で利用される無線通信

### 2.1 無線ユースケース

FFPAが2020年2月に開催したVoCワークショップにおいて、無線通信を積極的に利用する主なユースケースとして、①AGV(Automated Guided Vehicle)、AMR(Autonomous Mobile Robot)などの自動搬送機の制御、②ラインに沿って配置した多数のカメラからの映像を基に行う作業分析・支援、③生産ライン内で画像を用いて行う異物、バリ・カケ、傷・色・寸法等の製品検査などがあげられました。

5G-ACIAの描くユースケース[2]では、④安全を担保するため人の侵入を検知するライトカーテン、⑤高精度な部品の位置合わせなどが必要なモーション制御、⑥化学プラントなどでのセンサ情報を基に行う閉ループ制御、などが記載されています。

表1には、主な無線ユースケースをまとめています。この表では、工場で重要とされる「品質」、「管理」、「表示」、「制御」、「安全」、「その他」のカテゴリに分けられています。無線通信の要件の視点で、大容量通信が必要となる画像による作業支援、低遅延が要求されるモーション制御や緊急発報(侵入検知)、多数の情報を収集する各種の監視/管理などが含まれています。

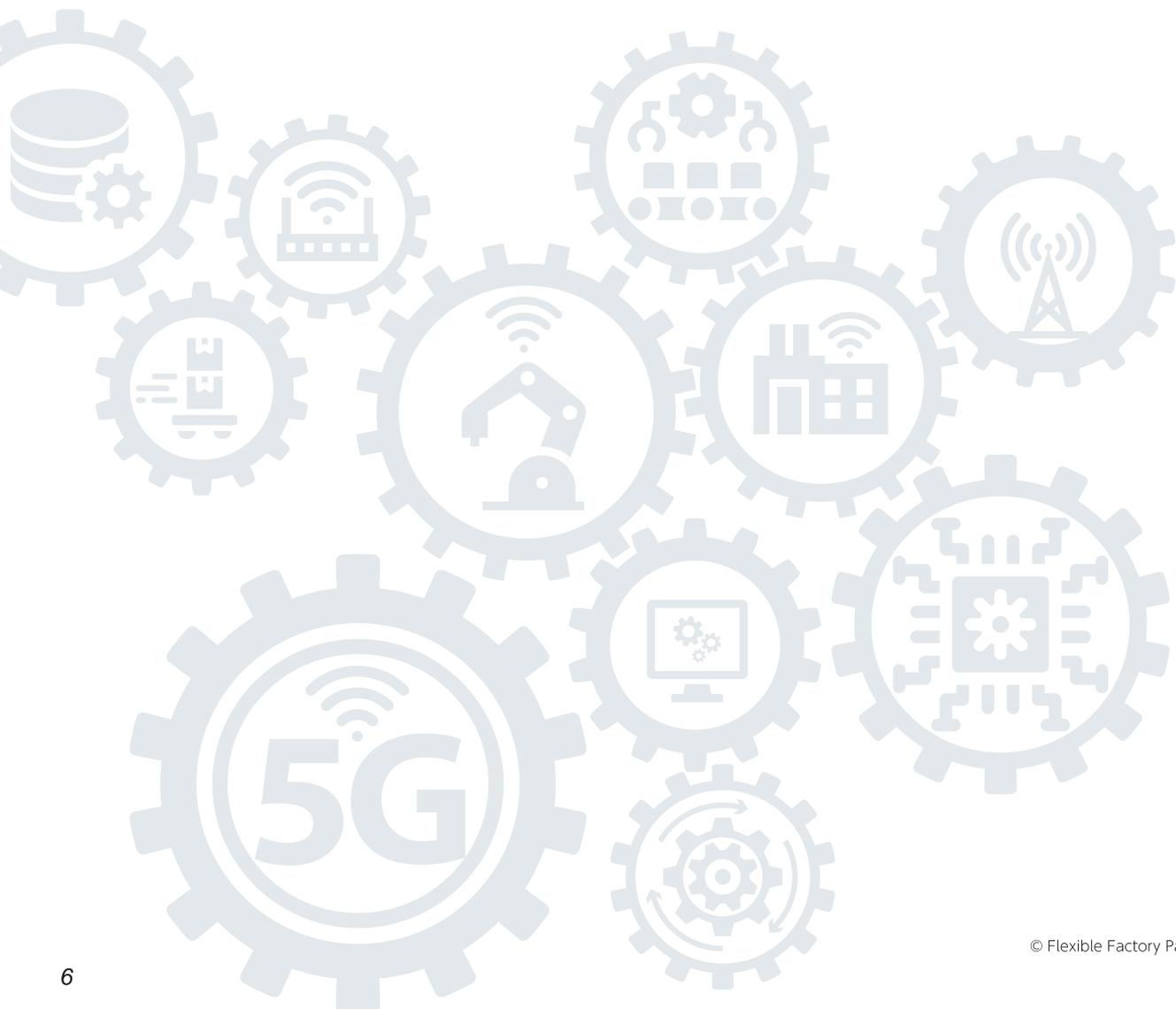
表1：主な無線ユースケース（文献 [3] をベースに記述を追記）

カテゴリ	カテゴリの説明	主なユースケースの例
品質	生産および生産時の設備の状態に関わる情報を収集する手段を提供	インライン検査、無線工具、設備・生産管理、検査ログ取得、センサ情報による閉ループ制御
管理	あるべき環境下で生産が行われ、生産性向上に寄与するために人やモノが適切に管理されているかどうかの情報を収集する手段を提供	予防保全(ツールの状態監視、設備の状態監視)、設備動作監視、動線管理、在庫管理、人・モノ測位、生産環境管理
表示	作業者が適切な支援を受ける手段、管理者が工程や生産状況を把握する手段を提供	作業指示/支援(ディスプレイ、携帯端末、ウェアラブル端末)、滞留表示、あんどん
制御	移動体、生産設備に対する指示を行う手段を提供	ロボット/機器のモーション制御、搬送機/回転機の制御、AGV/AMRの制御
安全	作業員の危険に関する情報を収集する手段を提供	緊急発報(侵入検知)、非常停止、危険行動監視、エリア監視、バイタル監視
その他	特定の目的がない通信インフラ、その他	プログラムのダウンロード

## 2.2 最適な無線通信方式

工場で利用される無線通信では、モーション制御のように低遅延で小さなデータを伝送するもの、画像や振動データなどデータ量が多いもの、環境モニタリングのようにデータ欠落を許容するもの、リモコンや表示機のように1対1の通信に限定されるものなど、様々な種類があります。

こうしたことから、工場では1種類の無線通信方式ではなく、用途や要件、導入／運用コストが考慮され、最適な無線通信方式が導入されていきます。その結果として、工場ではいろいろな無線システムが混在しています。次章では、工場での使用を想定した無線通信の技術を分析します。



### 3. テクノロジー分析

#### 3.1 製造現場における無線アプリケーションと無線通信方式

前章にて、ユースケースとそのカテゴリの分類を示しました。ここでは、ユースケースの中からより具体的な用途と、それに用いられる無線通信方式について述べます。

代表的な用途と、必要となる通信範囲及び応答速度の関係を図2に示します。製造機器の制御やインライン検査のように工程内で使われる通信では、その通信範囲は比較的狭くても構いませんが、小さなデータが高頻度でやりとりされる傾向にあり、ある程度の応答速度が求められます。一方、温湿度等の環境モニタリングでは、必要とされる通信頻度は低いのですが、データを収集するために広い通信範囲が求められます。このように、その用途によって通信に求められる特性が異なります。

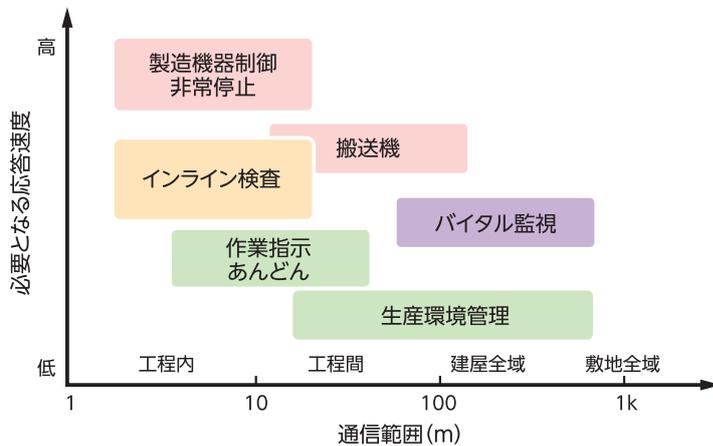


図2：工場での無線通信用途ごとの通信範囲と応答速度

現在用いられている代表的な無線通信方式における、通信距離と通信速度の関係を図3に示します。製造現場では、用途によって無線通信に求められる機能や性能の要件が異なるため、それぞれの用途に合う無線通信方式が選ばれます。このため、製造現場では様々な無線通信方式が混在する形で運用されています。

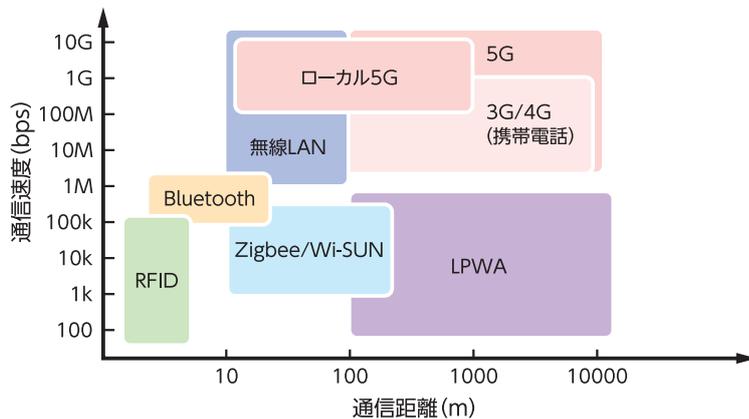


図3：代表的な無線通信方式における通信距離と通信速度

ここでは、代表的な通信方式とその使われ方を示します。

#### • 無線LAN(2.4GHz/5GHz帯)

無線LANは通信速度が非常に速く、ブリッジで有線LANと容易に接続できることもあり、無線工具からAGVの制御まで、製造現場では広く汎用的に使われています。画像や振動データ、トルク波形といった比較的大きなデータを短時間で送ることが出来ます。スマートフォンやタブレット等のデバイスを工場のバックボーンに接続するためにも用いられます。消費電力はやや大きく、常時電源が供給されているか、容量の大きなバッテリーを搭載した機器に主に用いられます。主に、数十m程度の通信距離で用いられます。

#### • Bluetooth/BLE (2.4GHz帯)

Bluetoothは、バーコードリーダーのようなハンディターミナルを、作業員が所持するスマートフォンやタブレットとペアリングして使う用途によく用いられます。特にBLE (Bluetooth Low Energy)は低消費電力であるため、バッテリー駆動されるIoTデバイスにも多く用いられています。また、BLEはビーコンにも使われており、人やモノの位置を把握する用途に用いられます。主に、数m程度の通信距離で用いられます。

#### • Zigbee(2.4GHz/920MHz帯)、Wi-SUN(920MHz帯)

通信速度が低速ですが、低い周波数(920MHz帯)を用いることで電波の回り込みの特性も良く、Bluetoothや無線LANと比較して長い通信距離を確保できます。さらに、マルチホップをさせることで広いエリアをカバーすることが可能です。このため、工場内に点在する温湿度等の環境モニタリングや電力計のテレメータリングに用いられます。消費電力が低いことも特徴で、バッテリー(一次電池)で数年間稼働させるような用途にも用いられます。

#### • LTE/4G(700MHz~3.5GHz)

IoTデバイスからゲートウェイまでは920MHz帯、無線LAN、Bluetooth等様々な無線通信が使われますが、ゲートウェイからサーバーやクラウドにデータをアップロードする際、有線LANが使えない環境や敷地が広く無線LANが使いにくい環境では移動体通信システムLTE/4Gが多く用いられます。

ここにあげた通信方式に加え、導入が始まった第5世代の移動体通信システム(5G)によりユーザーの選択が広がります。5Gは、工場の無線通信利用を拡大し、生産設備の運用を大きく変える可能性があります。

### 3.2 製造現場における5Gの活用

5Gでは、新しいビジネスや多くのアプリケーションのために新しい周波数が利用できます。5Gは免許が必要な周波数帯(ライセンスバンド)を利用しますが、国内では、新たに3.7GHz帯、4.5GHz帯、および、28GHz帯の周波数帯域が割り当てられており、クリーンで干渉が少ない広い帯域を存分に利用することができます。企業や自治体が限られた範囲で利用するために構築する自営のネットワークで利用可能な「ローカル5G」のための周波数が用意されています。5Gは、様々なサービス要求に応えるために、高速大容量、低遅延、多数接続といった高い通信性能を提供すると共に、無線資源を集中管理して不要な干渉を抑制し、端末の認証によって高いセキュリティを実現しています。屋内外問わず、製造現場を無線化する手段として、優れた特長を有しています(図4)。

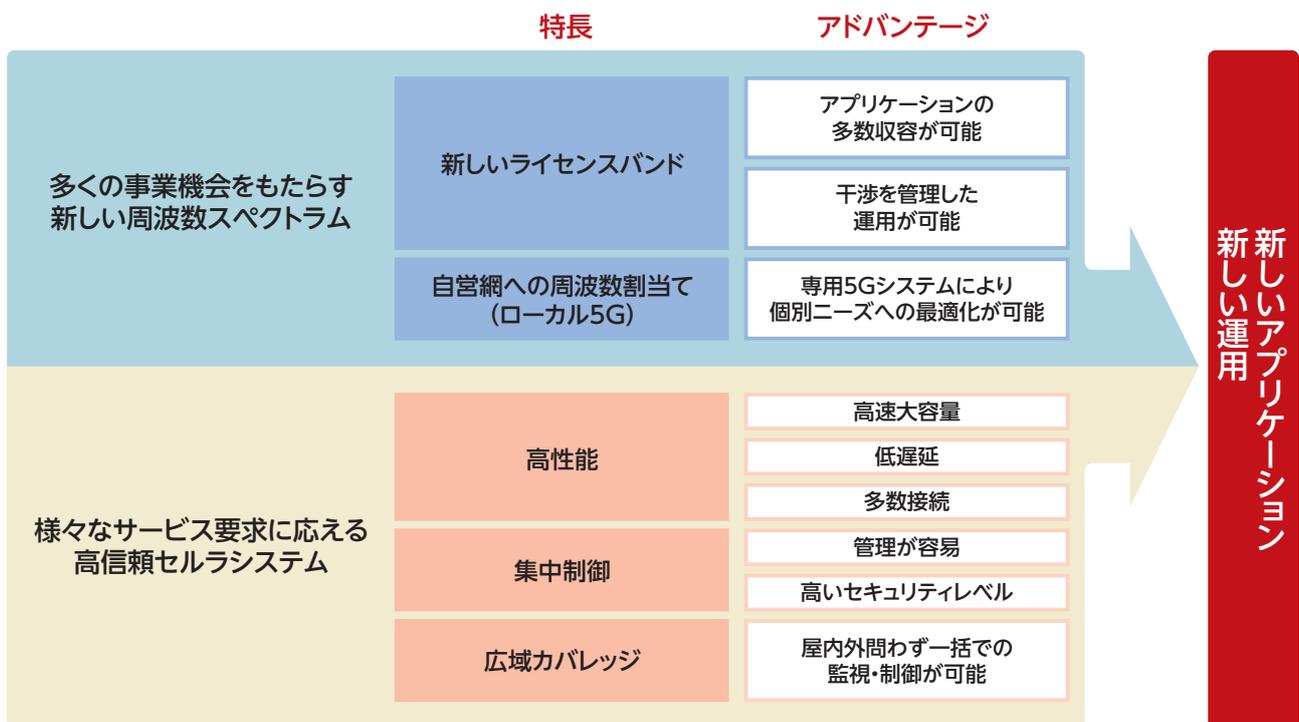


図4：5Gのアドバンテージ

こうした5Gの特長を生かすことで工場改革につながるとの期待から、多くの企業が製造現場における5G実証に取り組んでいます(表2)。

表2：製造現場を対象とした主な 5G 実証の取り組み

企業名	実施場所	概要
docomo, Nokia, OMRON	オムロン・草津工場	5G電波測定と伝送実験、5Gを活用した人と機械の協調による生産性向上に向けたレイアウトフリー化／自動型搬送ロボットの制御、リアルタイムコーチングの実証実験。 (実施時期:2019年度～)
docomo, ファナック, 日立	ファナック・本社工場 日立・大みか工場	電波の伝搬測定や伝送実験、生産設備の無線制御の検証、遠隔保守作業支援、完全無線化の検証。 (実施時期:2019年～2021年)
KDDI, デンソー, 九州工業大学, ATR	九州工業大学 デンソー九州	産業用ロボット制御の完全無線化の可能性検証、生産設備のレイアウト変更の検証。 (実施時期:2019年1～2月)
KDDI, DMG森精機	DMG森精機 伊賀事業所 東京グローバルヘッドクォータ	工作機械内のカメラ画像から切りくずの堆積場所と堆積量をAIで推測し、洗浄経路を自動生成して最適に除去。 (実施時期:2019年秋～2020年度)
SBM, 住友電工	住友電工の工場	カメラやセンサーのデータをリアルタイムに収集しAIで分析。設備の稼働や人の行動などの変化や異常を自動で検知。 (実施時期:2020年3月～)
NTT com., ブリヂストン	ブリヂストン技術センター 製造工場	電波伝搬試験、通信性能試験、ローカル5Gを利用した各種アプリケーション試験。 (実施時期:2020年6月～)
NTT com., DMG森精機	DMG森精機 伊賀事業所	自律走行型ロボット(AGV)の遠隔操作、自動走行の精度向上や安全性向上など。 (実施時期:2020年5月21日～2021年4月)
富士通、富士通テレコムネット ワークス	富士通新川崎テクノロジースクエア、 富士通小山工場	多地点カメラの高精細映像のデータ伝送、セキュリティシステムの実現。ヒューマンセントリックなスマートものづくり。 (実施時期:2020年3月27日～)
FNETS、富士通、ケーブルメディア ワイワイ	ケーブルメディアワイワイにコア設備、 実証実験先にエッジコア設備	スマート工場の実現および地域課題解決の実証実験。 (実施時期:2020年10月～)
住友商事、住友商事マシネックス、 日本ケーブルテレビ連盟、NICT等	長野県北安曇郡の工場、住友商事 竹橋ビル、ジェイコム東京	ミリ波帯の電波特性検証、超高精細映像(4K/8K)の無線通信伝送、工場向けを想定した高精細映像リモート監視、テレワークでのVR会議。 (実施時期:2019年6月～同8月)
住友商事、住友商事グローバル メタルズ、住友商事マシネックス、 グレープ・ワン	サミットスチールの大阪工場	AI解析を用いた目視検査の自動化および高精細映像伝送による遠隔からの品質確認(総務省請負事業)。 (実施時期:2021年1月～)

例えば、ATR、KDDI、デンソー、九州工業大学は共同で、ピック・アンド・プレースを行う産業用ロボットを5Gで無線化し、実際の工場場で柔軟なレイアウト変更が可能であることを実証しました[4,5]。システム構成を図5に示します。工場内に28GHz帯の基地局を建設し、産業用ロボットのコントローラ、3Dスキャナ、制御装置の間を接続する信号ケーブルを5Gに置き換えました。ロボットを含む、ピッキング作業の空間全体を3Dスキャナで計測し、その情報を5G経由で制御装置に送信します。制御装置は部品とロボットの位置関係を計算し、ロボットが部品を正確に把持してベルトコンベヤー上に置きます。ロボットの動作は九州工業大学のモーシヨンプランニング技術によって制御し、ロボットの配置が変更されても、人間によるティーチングなしに、ピック・アンド・プレースが可能であることを確認しました(図6)。

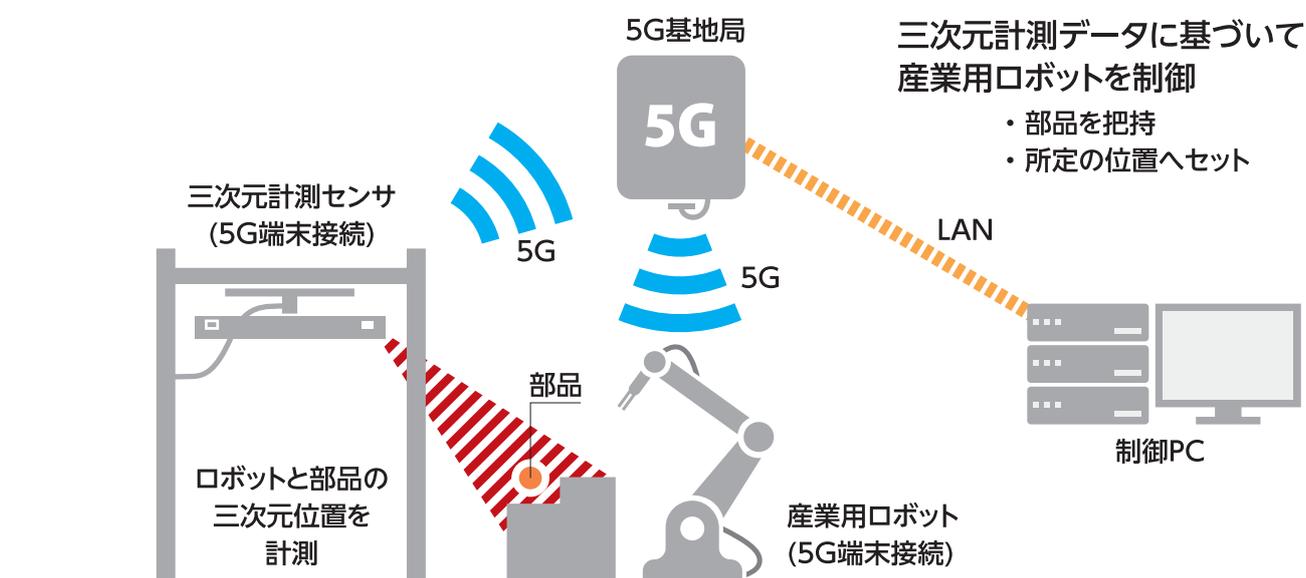


図5：実証試験のシステム構成

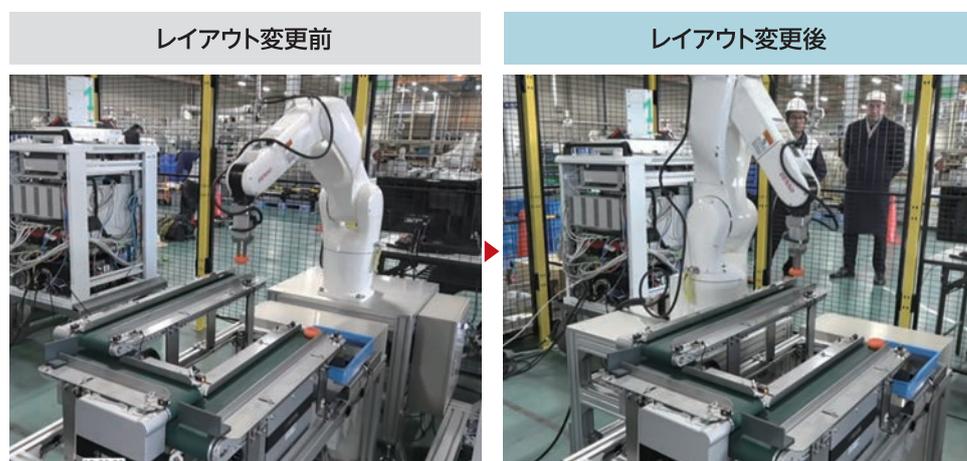


図6：産業用ロボットの配置換えと動作の実証試験

ローカル5Gを用いた実証試験も始まっています。住友商事は、2019年6月にローカル5Gの実験試験局免許を取得し、国内で初めてローカル5Gの実証実験を開始しています。さらに2021年1月から、サミットスチール社の大阪工場(図7)において実証を開始します[6](総務省請負事業における取り組み)。この実証では「AI解析を用いた目視検査の自動化」および「高精細映像伝送による遠隔からの品質確認」の有効性を検証すると共に、ローカル5Gの性能評価などを実施し、今後の普及へ向けて課題の抽出や解決策の検討を行う予定です。



図7：サミットスチール社の大阪工場（提供：住友商事株式会社）

### 3.3 5G導入シナリオ

製造現場ではさまざまな目的で無線が使用され始めており、その目的に応じて要求される通信品質が異なります。要求通信品質の一例を図8に示します。5Gの超低遅延の性能を必要とするユースケースが存在する一方、必ずしも5Gの高性能を必要としないものも多数あります。また、製造現場の設備は、通常10年、20年というオーダーで運用されるため、さらに5G導入に対する投資対効果も考慮すると、製造設備に付随する無線システムの5Gへの一括置き換えは難しいと想定されます。そのため、5Gと、無線LANやBluetooth等の免許不要周波数帯の無線技術は、互いに補いながら使い分けが行われていくと想定しています。使い分けの観点としては、確保すべき通信速度(実効速度)、通信に許容できる遅延、利用端末数、利用エリアの広さ、屋内/屋外、利用エリアの電波環境、導入コスト・運用コストなどが考えられます。

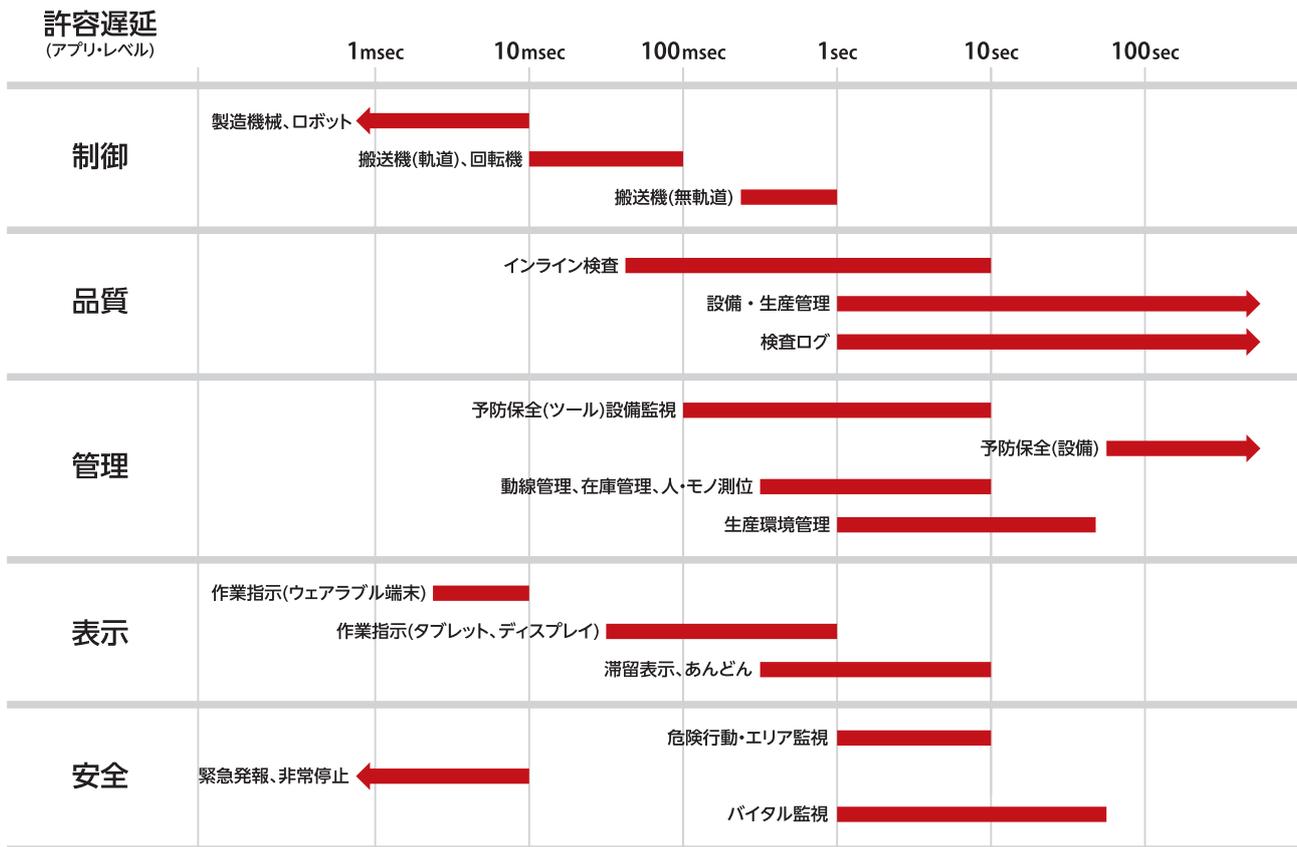


図 8：要求通信品質の一例（許容遅延） [1], [3]

図9にFFPAが考える製造現場における無線化の発展イメージを示します。製造現場の無線化が進展していく中で、5Gの性能が必要なユースケースや、5Gの性能を前提として出現する新たなユースケースへの5Gの適用が進展します。一方、無線LANやBluetooth等の免許不要周波数帯(アンライセンスバンド)の無線技術で実現できるユースケースも多数あり、FFPAではこれらも同時に発展していくシナリオを描いています。

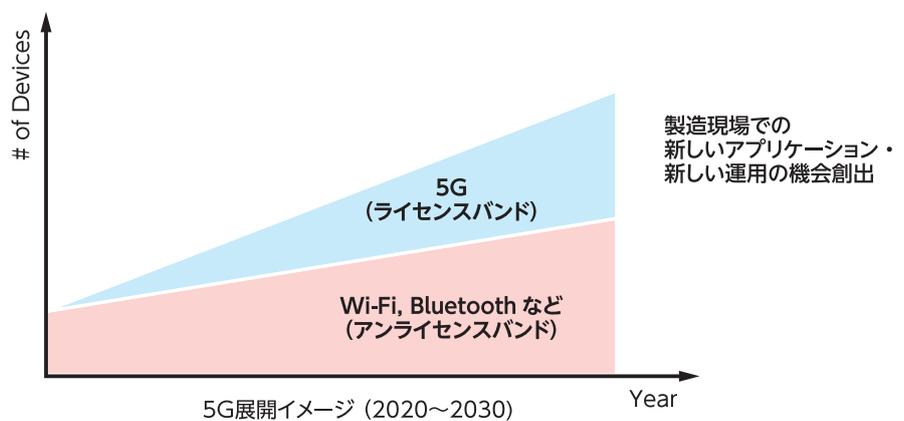


図 9：製造現場における無線化の発展イメージ

製造現場では、5Gの持つ高速大容量、低遅延、多数接続という高性能が必要となるユースケースが想定されています。その例として、ロボット制御や4K/8K画像検査の無線化、ARメガネによる作業支援などが想定されます(図10)。

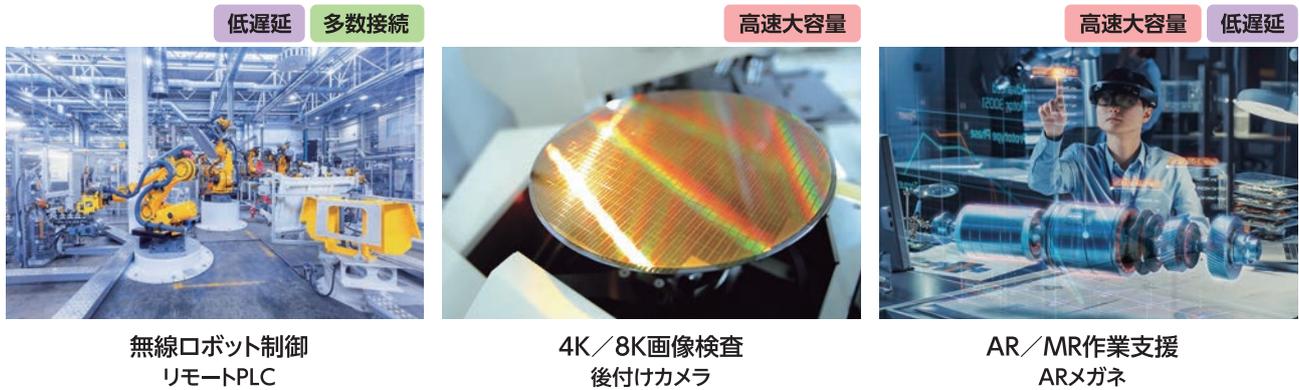


図 10：製造現場で 5G を活用するユースケース

5G対応の無線デバイスの小型化、低価格化の進展、さらにこれらに伴う、5Gと無線LAN・Bluetooth等の免許不要周波数帯の無線技術の複数をサポートする無線デバイス(タブレットPC、無線カメラ、ARメガネなど)の進化(図11)により、製造現場の無線化はさらに進展すると予想します。FFPAは、5Gと免許不要周波数帯の無線技術の協調により、限られた無線周波数資源の更なる有効利用と無線の更なる高信頼化を実現する無線プラットフォームの標準化を進めています。

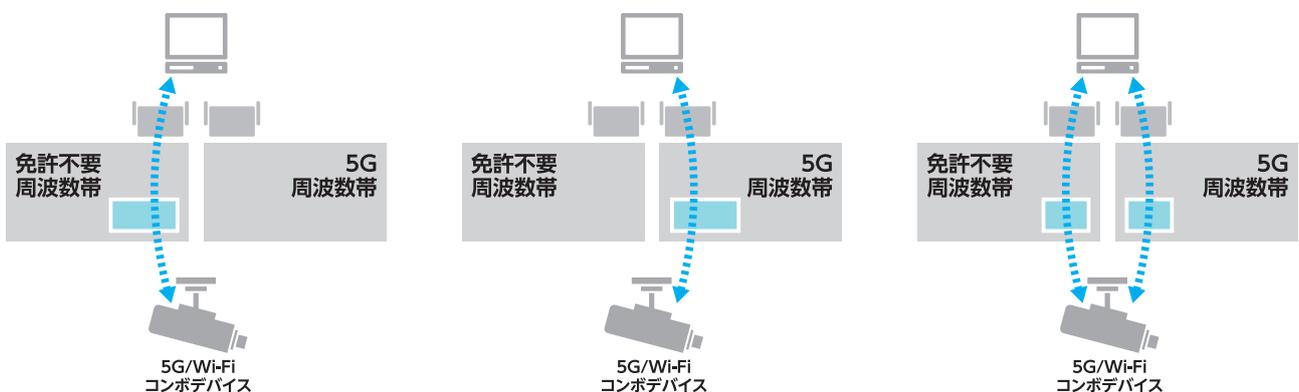


図 11：5G と免許不要周波数帯無線技術の協調の一例

## 4. 無線通信を利活用した工場の将来像

### 4.1 製造現場のデジタル化

製造業では技能継承の問題が深刻化しており、製造・生産現場の技能のデジタル化に取り組んでいる、あるいは取り組む意向がある企業が86%にのぼり、技能の見える化、共有化が技能のデジタル化に取り組む理由のトップ(71%)になっています[7]。これは匠の技といった技能をデジタル化し、誰もが匠になるための仕組みを構築するか、あるいは技能者による作業を自動化する必要に迫られている実態を示しています。

オムロンでは、AI、IoTを活用したリアルタイムコーチングを行うシステムを開発しています(図12)。多品種少量生産で人の作業が多い工場においては、担当作業者の習熟度によって細かな動作が異なります。そこで、作業者の動作解析を行い適切な動作を行っているかを感知し、必要があれば修正指示を行います。このシステムを活用することにより、ミスしやすい作業をサポートし、作業者が自身の習熟度を効率的に向上させることが可能になります。

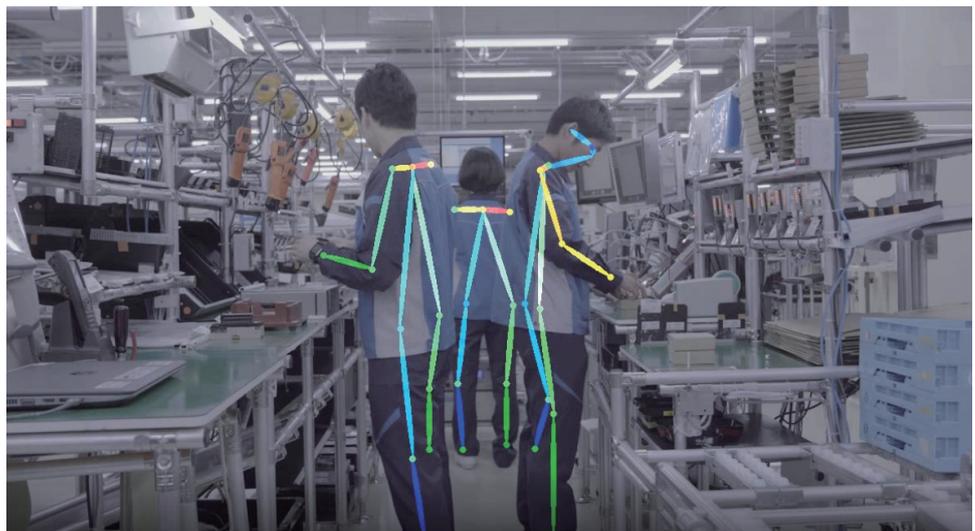


図 12：作業者の動作解析イメージ（作業分析：オムロン株式会社提供）

またシーメンス(ドイツ)のAmberg工場では、1000種類ものオートメーションシステム関連の電子部品・製品を、毎月数百万個規模で製造しています。これを実現するために、5千万個ある製造工程のデータを収集し、産業用クラウド(MindSphere)を活用した高度な分析を行い、その結果が製造工程に反映されています。工場における自動化率は75%に達し、作業者による製造の場合では500-600dpm(defect per million)程度であった不良品率が12dpmにまで低減しました。生産の自動化率を向上させることで、生産の効率性だけでなく、製品の品質確保も実現している事例になっています。

## 4.2 完全自動化／人・ロボット協調

製造現場は多様であり生産する製品や生産の形態により大きく異なります。そのためFFPAでは、上記の課題の取り組みの方向性は、完全自動化に向かう工場だけではなく、人・ロボット協調を推進する工場に分かれるものとみています。実際に、人と同じ空間で動作させる協調ロボットの導入も急速に拡大しており[8]、これを裏付けている根拠といえるでしょう。

また、ドイツ人工知能研究センターに設置されたテストベッドであるSmartFactory<sup>KL</sup>では、複数の会社で作る生産モジュールを組み合わせることで生産ラインを構築することを検証しています。各生産モジュール間では製品を、固定されたベルトコンベアではなく、AGV、AMRといった搬送用ロボットが運ぶことで、柔軟な生産ラインを実現することを狙っています。

## 4.3 デジタルツイン

ニーズの多様化やグローバル競争力強化のため、研究開発、商品企画、製品設計、工程設計からなるエンジニアリングチェーンと、受発注、生産管理からなるサプライチェーンを結び付け、全体を俯瞰して生産、流通・販売、保守・アフターサービスを柔軟かつ効率的に行う必要性が生じます。このためには、物理空間にある現実の機器や設備の稼働状況、環境情報等をリアルタイムで収集し、仮想空間上に機器や設備を構築して可視化やシミュレーションを行うデジタルツインが発展していくものと期待されています(図13)。



図 13：デジタルツインのイメージ（ドイツ Amberg 工場：シーメンス株式会社提供）

デジタルツインにより、製造現場における機器や設備の情報だけでなく、作業者の動作・振る舞いもデジタル化し、仮想空間上で習熟度の可視化や適切な作業支援等が可能となり、効率的、かつ効果的に技能の伝承が進められるようになることが期待されています。製造現場の進化の方向性が、完全自動化、もしくは人・ロボット協調の推進のいずれの場合においても、物理空間にある機器や作業者の情報を、仮想空間で解析・評価し、物理空間にフィードバックする必要があるため、将来の工場においてデジタルツインは必要不可欠になると考えられます。

このデジタルツインでは、物理空間と仮想空間の間で多種多様で大量のデータ、情報が送受信されることになり、多様な要件を同時に満たすための通信が必要になります。また、フレキシブルファクトリで必須となる柔軟性を向上させるためには、無線通信を活用することが期待されています。

#### 4.4. FFPAのロードマップ

FFPAでは、製造現場に混在する多様な無線通信を安定化するための基盤としてSRF無線プラットフォームの規格を策定しています。FFPAの長期ロードマップを図14に示します。SRF無線プラットフォームの利用を広げていくことにより、安定した無線通信を活用する応用ユースケースを普及させていきます。さらに製造現場の完全自動化や人・ロボット協調を実現するために必要となるデジタルツインの導入を加速させ、製造現場のデジタル化が実現されていく将来像を描いています。

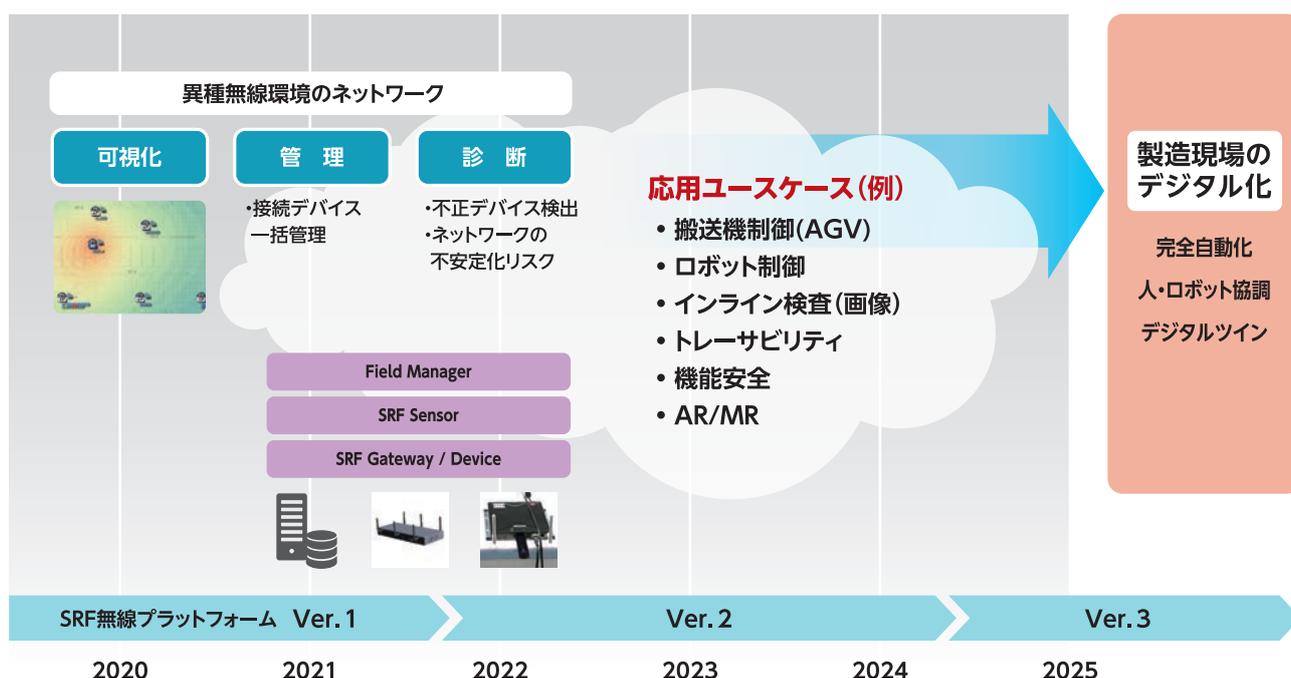


図 14 : FFPA の長期ロードマップ

## 5. まとめ

製造業を取り巻く環境は、労働者不足、熟練工の減少、働き方改革、グローバル競争の激化や、顧客ニーズの多様化など様々な課題に加え、COVID-19の流行への対応によって大きく変化しています。これまでとは違うAI、IoTを活用した生産プロセスへの移行が迫られており、設備の移動性、設置容易性が高いフレキシブルファクトリの実現が必要とされています。このフレキシブルファクトリにおいては、無線通信が不可欠です。

### FFPAはこう考えます。

- 1.無線通信を利用する有望なユースケースとして、自動搬送機の制御、画像を利用した検査や作業分析・支援、安全を確保するための緊急停止、エリア監視などがあります。それぞれの用途に対して、要件に合う最適な通信方式があり、工場では様々な無線通信システムが混在しています。
- 2.新しい無線通信方式として期待されている5Gは、免許が必要な反面、干渉の問題がありません。ローカル5Gを使えば、利用者が周波数を占有でき、高い性能や信頼性を維持できます。また高速大容量、低遅延、多数接続などの特長と、管理やセキュリティの面で優れています。5Gは工場において、そのメリットを活かしながらWi-FiやBluetoothと共存しつつ、新しいアプリケーションや運用を生み出す原動力になります。
- 3.FFPAが描く工場の将来像は、技能や作業のデジタル化が進み、完全自動化や人とロボットの協調が浸透し、デジタルと実際の工場を結び付けて生産プロセスを高度化するデジタルツインが活用される製造現場として表現されます。この未来の工場では、情報収集、機器制御や人への支援に無線通信は不可欠となります。

FFPAは、5Gを含む様々な無線通信の可視化と統合管理を可能とするSRF無線プラットフォームの普及を通して、工場の将来像の体現に貢献していきます。





#### 引用文献

- [1] Flexible Factory IoT: Use Cases and Communication Requirements for Wired and Wireless Bridged Networks, IEEE Industry Connections Report, April, 2020.
- [2] Key 5G Use Cases and Requirements, 5G-ACIA, May, 2020.  
<https://www.5g-acia.org/publications/key-5g-use-cases-and-requirements/>
- [3] 製造現場における無線ユースケースと通信要件(要約版)第1.0版、国立研究開発法人情報通信研究機構、2017年3月
- [4] ATR、KDDI、デンソー、九州工業大学、共同プレスリリース、「5Gによる産業用ロボット制御の実証試験を開始」、2019年1月29日  
[https://www.atr.jp/topics/press\\_190129.html](https://www.atr.jp/topics/press_190129.html)
- [5] 横田 篤紀、本田 空、山福 佳、西田 健、池永 全志、森 直樹、松永 彰、丸山 翔、吉田 享広、長田 真太郎、「産業用ロボット制御への第5世代移動通信システムの適用」電気学会論文誌D, Vol. 140, No. 4, pp.314-326, 2020.
- [6] 住友商事株式会社プレスリリース、「ローカル5Gを活用した製造現場における実証実験の開始について」、2020年09月28日  
<https://www.sumitomocorp.com/ja/jp/news/release/2020/group/13880>
- [7] 2019年版ものづくり白書(第2章第3節)、経済産業省  
[https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2019/honbun\\_pdf/index.html](https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2019/honbun_pdf/index.html) (2019年6月11日)
- [8] Collaborative Robot (Cobot) Market by Payload, Component (End Effectors, Controllers), Application (Handling, Assembling & Disassembling, Dispensing, Processing), Industry (Electronics, Furniture & Equipment), and Geography – Global Forecast to 2026.  
<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/collaborative-robot-market-194541294.html>

