



**FLEXIBLE FACTORY
PARTNER ALLIANCE**

製造現場における 無線通信安定化のためのSRFの段階的導入



フレキシブルファクトリパートナーアライアンス (FFPA) では、混雑・変動する無線環境下でも無線システムが止まらない信頼性、多数かつ多様な無線システムを収容できるシステムキャパシティ、IT専門家が不在でも管理ができるシステムの保守性を特長とするSRF (Smart Resource Flow)無線プラットフォームの標準化を推進しています。

[illegible]

1. はじめに

フレキシブルファクトリパートナーアライアンス(FFPA)では、複数の無線システムが混在する環境下での安定した通信を実現するSRF無線プラットフォームについて、仕様策定と普及促進に取り組んでいる。これまでに“無線通信から始まる「産業革命」”と題したホワイトペーパー[1]の発行を起点として、フレキシブルファクトリセキュリティガイドライン[2]の発行や、製造現場でICTの利活用を促進したいユーザーを交えたVoC (Voice of Customer) Community[3]でのワークショップの開催等、様々な活動を進めてきた。SRF無線プラットフォームについては、技術仕様および試験仕様の策定や、認証プログラムの開始を経て、複数の機器が認証を取得し、実際の現場への導入が可能な段階に至っている。

SRF無線プラットフォームが提供する機能や、その活用により実現される価値には、複数のものが存在する。SRF無線プラットフォームを現場に導入する際には、図1に示すように、その構成要素の一部を導入して一部の機能を利用するところから開始し、その後、必要に応じて構成要素を追加することで新たな機能を利用する、といった、段階的な導入を行うことも可能になっている。

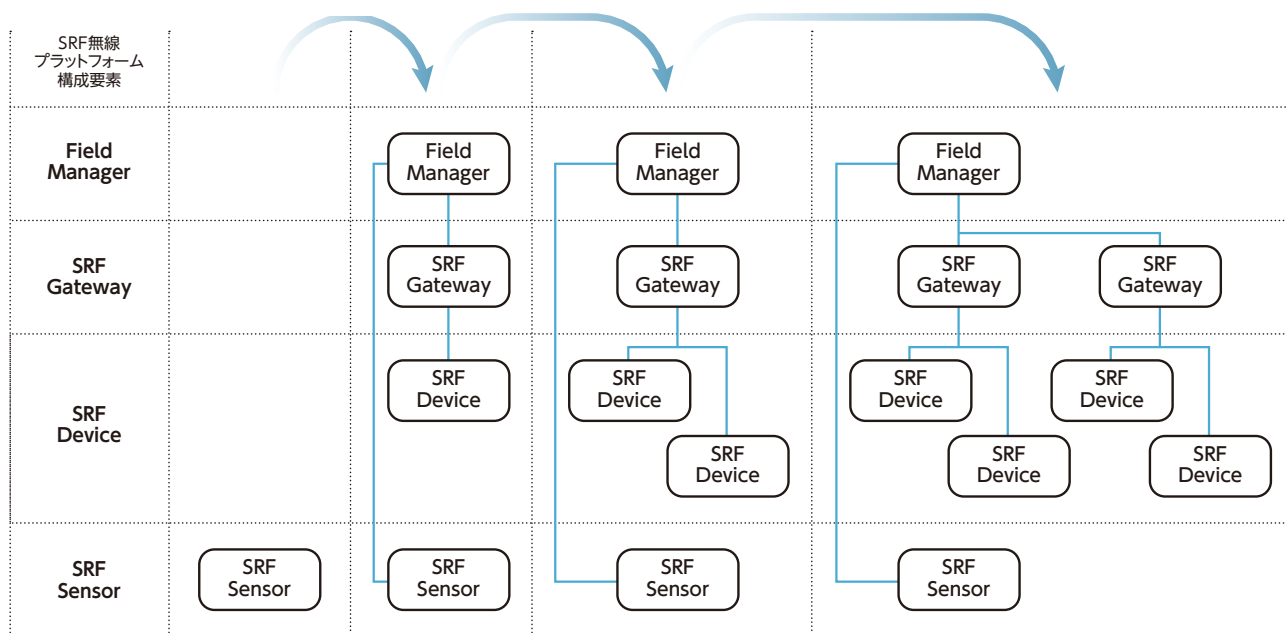


図1. SRF無線プラットフォームの構成要素と段階的導入

本書では、SRF無線プラットフォームの段階的導入について、一つの製造現場を設定した上で、その現場における導入事例をシナリオとして説明を行う。本書で挙げる製造現場や導入事例は、説明のために用意した架空の例ではあるが、実際の実験等を通じて得られた知見等に関連付けて設定したものとなっている。

まず、第2章で、SRF無線プラットフォームについて説明する。次に、第3章で、SRF無線プラットフォームの段階的導入を行う架空の製造現場について、SRF無線プラットフォーム導入前の状況を説明する。そして、第4章で、SRF無線プラットフォームの導入を4つのステップに分けて実施する段階的導入について説明する。さらに、第5章で、SRF無線プラットフォームの将来像を示す。最後に、第6章で、本書に記載した内容をまとめる。

2. SRF無線プラットフォームとは

2.1. 製造現場におけるワイヤレス化の期待

製造現場では、人手不足、熟練工の減少という人材の問題や、顧客ニーズの多様化、グローバル競争の激化などの市場環境の急激な変化への対応のため、より多くの情報を用いたきめ細やかな運用管理により、生産性を向上させることが必要不可欠になってきている。



図2. 製造現場における問題と情報の活用による解決

無線ネットワークには、柔軟な製造ラインの実現、後付センサによる情報収集、移動体の制御・情報収集などにおいて多くのメリットがある[4]。例えば製造現場においては、図3に示すように設備にはしっかりとしたケーブルが多数、高所配線を含む形で配線されている。このため、工場内の通信を配線レス化すると製造ライン全体や工場全体のレイアウト変更が容易に行えるようになり、その時々状況に応じた最適な生産ラインの構築が可能となる。



図3. 製造現場におけるレイアウト変更を妨げるケーブル

また、各生産設備に設置されたセンサを通じて、従来は取得できなかった稼働状況などの情報を大量かつリアルタイムに取得できるため、製造された製品のトレーサビリティの確保や不良品の判断、生産設備の予知保全がより正確かつ迅速に行えるようになる。さ

らに、図4に示すような機器を活用し、遠隔監視、工場内での複数の無人搬送車 (AGV) やモバイルロボット (AMR) の活用、生産設備ごとに設置されてきた制御装置の一括制御、AR (拡張現実) や VR (仮想現実) を用いた作業員への作業指示といった活用が可能になると想定される。このような無線ネットワークのメリットにより、先進的な製造現場では、無線通信を用いたさまざまなアプリケーションが運用され始めている。

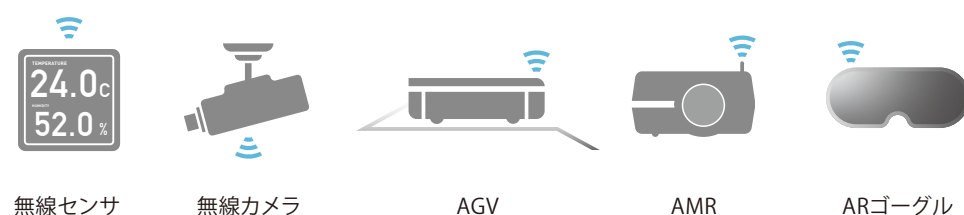


図4. 製造現場で活用される無線通信を利用した機器の例

2.2. 製造現場におけるワイヤレス化の課題

一方、製造現場において無線技術を最大限活用するためには、製造システム特有の通信要件への対応や、通信障害の克服等が大きな課題となる[5]。製造現場の無線環境の特徴として、ダイナミックな無線環境の変化、多様な無線環境、異種システムの混在があげられている(表1)。

表1. 製造現場の無線環境の特徴 [6]

ダイナミックな無線環境の変化	レイアウト変更や新規ラインの導入等で数カ月～数年オーダーで無線環境が変化するため、固定的な無線システムの運用に限界がある。
多様な無線環境	工場の業種、工場の規模、電波遮蔽物の有無、立地条件による外來波の到来、または 設備起因のノイズの有無により、無線環境の状態が異なる。
異種システムの混在	工場ではシステムごとに個別最適化された個々の設備や、個々の工程ごとに段階的に異種の無線システムが導入されることが一般的であり、システム全体の最適化が行われにくい。グローバルで使いやすい2.4GHz帯から混雑する傾向がある。

これらの特徴がいずれも、製造現場において安定な無線通信システムを実現することが難しい要因となっている。例えば、無線LAN等が使う免許不要帯においては、既に製造現場において複数のIoT機器が導入されつつあり、このような機器が発する電波が同じ周波数を利用する場合、無線システム間での電波干渉により、無線が切れてしまう、データ伝送が遅れるなどの無線通信の不安定性の要因により、生産ラインに不具合が生じるという問題が起こり始めている。さらに、製造現場には無線の専門家がいらない場合が多く、原因の特定とその対策に時間とコストを要するため、無線システムの運用コストが無視できなくなっている。

2.3. SRF無線プラットフォームの機能と期待効果

SRF無線プラットフォームは、上述の無線のトラブルを解決することができる無線システムのプラットフォームであり、Field Manager、SRF Gateway、SRF Device、SRF Sensorの連携動作により、複数の無線システムが混在している無線環境において安定した無線通信を実現する(図5)。

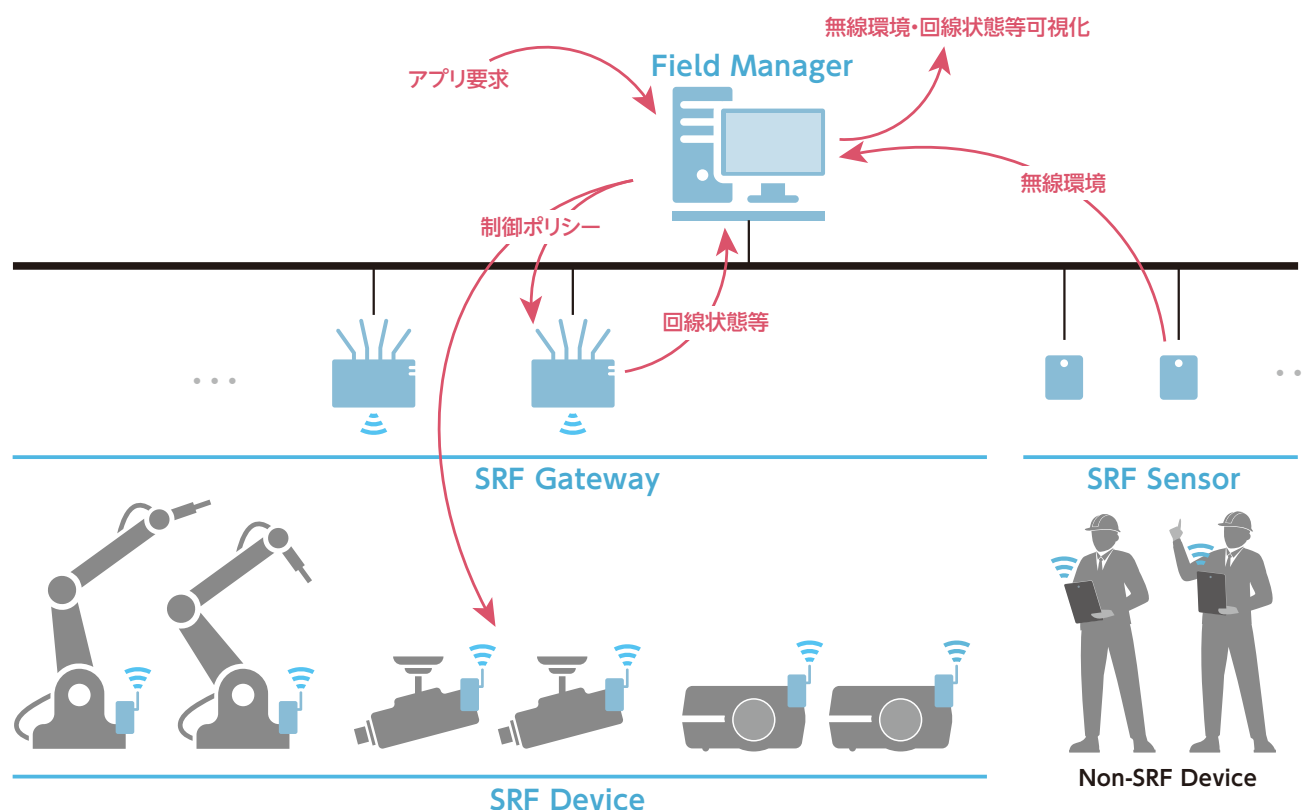


図5. SRF無線プラットフォームの構成

Field Managerは、複数の無線システムを統合管理するコントローラであり、アプリケーションの要求品質を満たし電波干渉を回避するよう無線リソースを協調し、制御ポリシーにより各無線システムに無線リソースを配分する。SRF Gateway / SRF Deviceは、Field Managerの管理下で無線通信を行う親機/子機であり、Field Managerからの制御ポリシーに従い無線リソースを制御し、無線回線状態等を測定しField Managerへ通知する。SRF Sensorは、Field Managerの管理下でない無線機器の検知のための無線環境センサであり、スペクトルモニタ機能、無線LAN等のプロトコルモニタ機能を有している。

SRF無線プラットフォームを適用することにより、製造現場に混在する複数の無線システムを安定して利用することができるため、無線通信起因の生産ラインのトラブルを大幅に削減することができる。また、無線システムのパラメータの自動調整、無線状態の測定・可視化機能によって、無線の専門家だけでなく運用・管理ができるようになる。

3. ある製造現場の状況: SRF導入以前

ある企業の工場Xでは、電子機器の製造を行っている。工場Xでは、製造する電子機器の組み立て等に関する指示を記載した指示書を印刷し、作業者に配布している。作業者は、組立作業場にて、指示書の内容に従って電子機器の組み立てを行う。そして、一定の数を組み立てた後、組み立て終えた電子機器を、まとめて組立作業場から梱包作業場へ、台車に乗せて運搬している。

今回、工場Xでは、生産性の向上を目指し、図6に示すように、次の2つの情報通信技術（ICT）の利活用を試行することにした：

(1) 指示書の電子化

作業者に対し、タブレット端末を配布し、指示書をデータで配布する。指示書には動画を用いた説明を含め、わかりやすくする。タブレット端末は作業場に設置されたアクセスポイント（AP）を通じ、無線LANによりネットワークに接続される。作業者は、無線LANを通じ、任意のタイミングで動画を含む指示書をダウンロードすることができる。

(2) 運搬作業へのモバイルロボットの導入

組立作業場から梱包作業場への運搬を、モバイルロボットにより実現する。モバイルロボットには、周辺の状況を撮影するため、カメラが搭載されている。モバイルロボットは組立作業場に設置されたAP、または、梱包作業場に設置されたAPを通じ、無線LANによりネットワークに接続される。モバイルロボットは、無線LANを通じ、移動の指示を受けたり、カメラで撮影した動画を送信したりすることができる。



図6. 工場XにおけるICT利活用による変化

実際に試行を開始してみると、次のような無線通信に関連すると思われるトラブルが発生した：

【トラブル1】 指示書のダウンロードが遅かったり失敗したりする

組立作業場は、全体が 100m × 50m 程度のスペースで、パーティション等により、複数の区画に分割されている。また、組み立てに用いる部品等を格納した移動可能な棚等が複数存在する。作業者が組立作業場で指示書のダウンロードを試みると、複数の特定の区画では、ダウンロードに時間を要したり、一定の時間内にダウンロードが完了せず失敗したりする場合があった。ただし、特定の区画では必ず問題が発生する、というわけではなく、どのようなタイミングで問題が発生しているのかは、よくわからなかった。

【トラブル2】 モバイルロボットからの動画が途切れたり画質が落ちたりする

組立作業場や梱包作業場からは離れたオフィスにいる管理者が、モバイルロボットに搭載されたカメラからの動画をリアルタイムで確認する際、動画が途切れたり、画質が落ちたりすることがあった。動画が途切れる現象は、モバイルロボットが組立作業場と梱包作業場との間を往来している際に発生していた。一方、画質が落ちる現象は、動画が途切れる現象の前後や、モバイルロボットが組立作業場の中を移動している際に発生していた。ただし、特定の区画では必ず問題が発生する、というわけではなく、どのようなタイミングで問題が発生しているのかは、よくわからなかった。

信の状況を監視することにした。1台のSRF Sensorが監視できる範囲は、当該SRF Sensorに電波が届く範囲に限定される。そこで、組立作業場から梱包作業場までの全領域を監視するため、計8台のSRF Sensorを常設することにした。

まず、[トラブル1]に関しては、ステップ1で問題を解決した区画以外で問題が発生する際の現象として、帯域の占有率が著しく大きくなっていることが判明した。これは、複数の無線通信が同時に発生している可能性を示唆している。そこで、問題が発生したタイミングでの通信の状況を確認したところ、多数の作業者が同時に指示書のダウンロードを試みていたことと、同じタイミングで管理者がモバイルロボットに搭載されたカメラからの動画の確認を行っていたことが判明した。そこで、多数の作業者が同時に指示書をダウンロードすることがなくなるよう、ダウンロードのタイミング等に関する運用を定めた結果、問題は発生しなくなった。この対応により、[トラブル2]のうち、モバイルロボットが組立作業場の中を移動している際に発生していた問題も解消された。

次に、[トラブル2]に関して、組立作業場では梱包作業場に設置されたAPからの電波を、逆に梱包作業場では組立作業場に設置されたAPからの電波を、それぞれ僅かに受信できる状態にあることを確認できた。モバイルロボットが組立作業場と梱包作業場との間を往来している際に発生する問題の原因について、僅かな電波しか届かないAPを経由して接続を試みるために発生しているため、という仮説が得られた。具体的には、例えば、モバイルロボットが組立作業場から梱包作業場へと移動する際、早い段階で梱包作業場に設置されたAP経由での通信へと切り替えを行うべきところを、組立作業場に設置されたAP経由での通信を継続してしまい、接続に問題が発生している、という可能性がある。

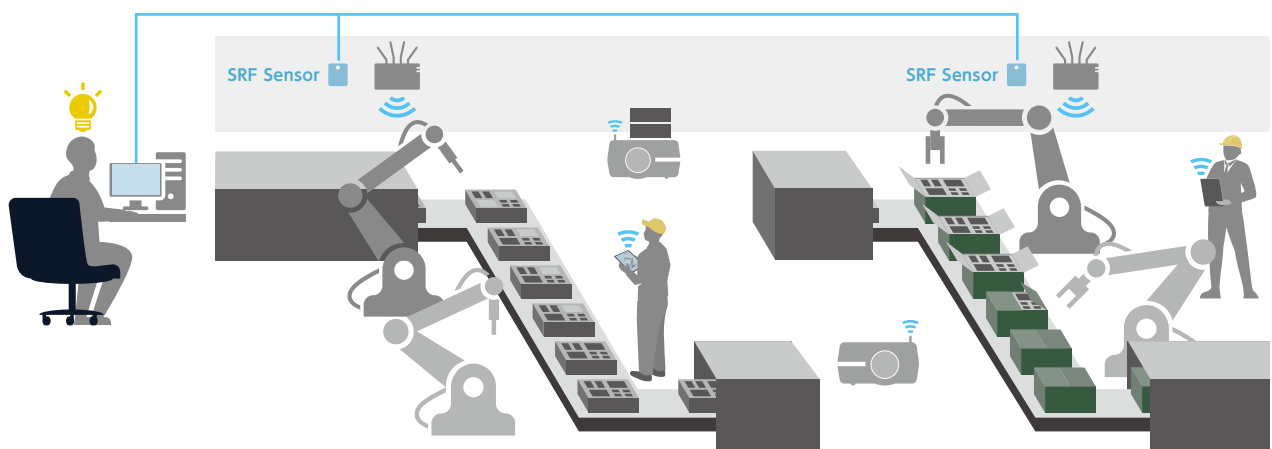


図8. ステップ2: 無線通信に関する状況の常時記録

4.3. ステップ3: 無線通信の安定化

ステップ2では、[トラブル2]のうち、組立作業場での問題については解決することができたが、モバイルロボットが組立作業場と梱包作業場との間を往来している際に発生する問題については、原因の仮説を得るまでに止まっており、解決には至っていない。

ステップ2で特定した仮説の妥当性の検証と、問題の解決に向け、Field Manager、SRF Gateway、SRF Deviceを導入した。Field Managerは、新たに設置した。SRF Gatewayは、組立作業場と梱包作業場それぞれに設置したAPを、いずれもSRF Gatewayの機能を備えたAPに置き換えた。SRF Deviceは、モバイルロボットに搭載された無線LAN機器を、SRF Deviceとして認証された無線LAN機器に置き換えた。以上の構成に置き換えた後、まずはSRF無線プラットフォームの安定化機能を有効にせず、モバイルロボットを動作させ、モバイルロボットがどのAP経由で通信を行なっているかを観察したところ、仮説の通り、僅かな電波しか届いていないAP経由での通信を試みていることが確認できた。

そこで、SRF無線プラットフォームの機能を有効化したところ、問題が解決した。

Field Managerは、SRF Deviceに対し、接続するSRF Gatewayを選択する際の基準を与える。その結果、SRF Deviceは、電波が弱い側のSRF Gatewayに接続し続けるのではなく、電波が強い側のSRF Gatewayに接続を切り替えるようになり、問題は発生しなくなった。

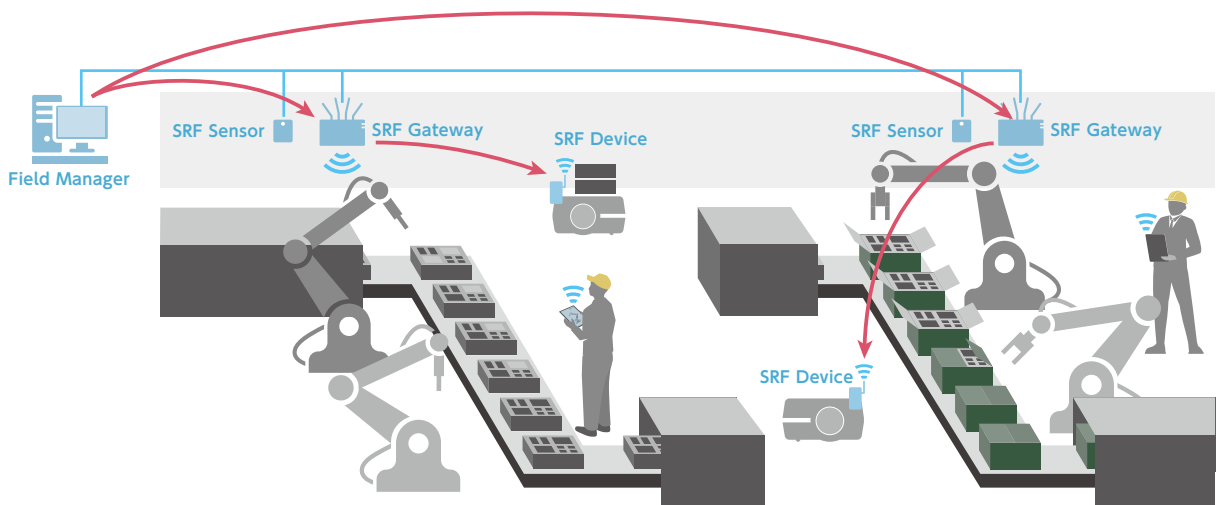


図9. ステップ3: モバイルロボットでの無線通信の安定化

4.4. ステップ4: 無線通信の共存化

ステップ3では、SRF無線プラットフォームを構成する4種類の機器を一通り導入し、モバイルロボットの通信を安定化することができた。タブレットについては、ステップ2までの段階で、適切な運用を定めることで、安定した利用を実現できている。ただし、例えば、作業者が定められたタイミング以外で指示書のダウンロードを行ってしまった場合等、運用を誤った場合には、問題が再現する可能性がある。そこで、タブレットについても、SRF Device化を行った。具体的には、SRF Device機能を備えた無線子機をタブレットに接続することで、タブレットがSRF Deviceとして機能するようにした。これにより、モバイルロボットとタブレットは、Field Managerからの指示に基づき、優先度を考慮した通信を行うことが可能になった。例えば、多数の作業者が同時に指示書のダウンロードを試みたとしても、モバイルロボットに搭載されたカメラからの動画の伝送を優先することにより、動画が途切れてしまう問題は発生しなくなった。

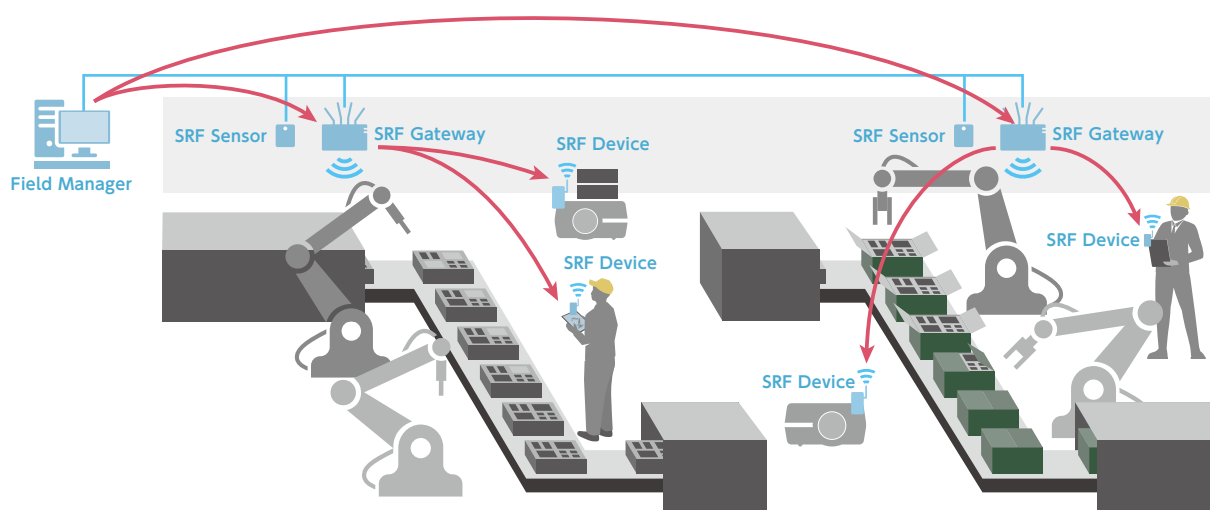


図10. ステップ4: モバイルロボットおよびタブレットでの無線通信の共存化

4.5. 導入の段階と実現される価値のまとめ

4.1章から4.4章までで説明したSRF無線プラットフォームの段階的導入について、各段階で導入したSRF無線プラットフォームの構成要素と、導入されたSRF無線プラットフォームにより実現される価値を、表2にまとめる。

表2. SRF無線プラットフォームの導入段階における構成要素と実現される価値

SRF無線プラットフォーム 構成要素		段階的導入			
		ステップ1	ステップ2	ステップ3	ステップ4
Field Manager				●	●
SRF Gateway				●	●
SRF Device	モバイルロボット用			●	●
	タブレット用				●
SRF Sensor	常設		●	●	●
	一時利用	●			
SRF無線プラットフォームが実現する価値		現場における無線通信に関する現状の可視化	現場における無線通信に関する状況の記録と可視化	モバイルロボットの無線通信の安定化	モバイルロボットとタブレットの無線通信の共存

5. SRF無線プラットフォームの将来像

SRF無線プラットフォームの普及により、製造現場での無線のトラブルが解決し無線通信の活用が促進し、図11に示すような、製造現場のデジタル化が進展することが期待される。

データを介した様々な繋がりによって新たな付加価値の創出や社会課題の解決をもたらすConnected Industriesが提唱されている[7]。工場の付加価値の源泉となる現場のデータを大量かつリアルタイムに取得することを可能とする無線通信の活用を促進することにより、Connected Industriesの実現が進展する。また、状況に応じて柔軟・迅速に組み換えられる生産ラインは、平時のみならず、有事の際に新たに必要となる代替生産や増産への柔軟な対応に期待されている[4]。無線通信の活用が促進することにより製造現場の通信の配線レス化が実現し、急激な環境変化に対応するダイナミック・ケイパビリティの強化が進展する。

FFPAは、無線プラットフォームを普及させることにより、上述のような製造現場のデジタル化に貢献していく。

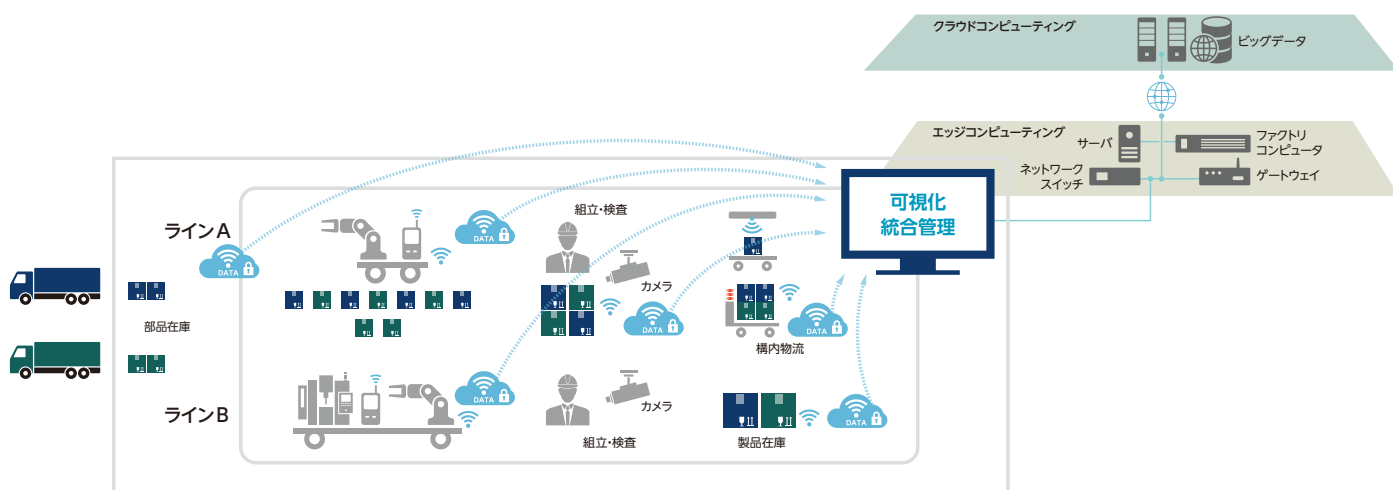


図11. 製造現場のデジタル化

6. おわりに

本書では、SRF無線プラットフォームについて、ある製造現場を設定した上で、その製造現場における複数の問題の解決に向け、段階的に導入する事例を紹介した。

紹介した事例では、まず、1つのSRF Sensorを現場に持ち込み、現場での無線の状況を確認し、一部の問題の解決に有用な情報を取得した。次に、複数のSRF Sensorを現場に常設することで、現場の無線の状況を常時記録できるようになり、さらなる問題解決に有用な情報を得た。そして、Field Manager・SRF Gateway・SRF Deviceを導入することで、モバイルロボットの無線通信を安定化した。最後に、SRF Deviceを追加することで、モバイルロボットとタブレット、それぞれの無線通信が混在した状況でも安定する、共存化を実現した。

本書の内容が、実際の現場へのSRF無線プラットフォームの導入を検討するにあたり、役立てられることを望む。

参考文献

- [1] フレキシブルファクトリパートナーアライアンス (FFPA), 無線通信から始まる「産業革命」,
https://www.ffp-a.org/document/files/FFPA-WP_J.pdf
- [2] フレキシブルファクトリパートナーアライアンス (FFPA), フレキシブルファクトリセキュリティガイドライン,
https://www.ffp-a.org/document/files/191014_FFSG_j.pdf
- [3] フレキシブルファクトリパートナーアライアンス (FFPA), VoC Communityのご案内,
https://www.ffp-a.org/images/news/VoC_introduction.pdf
- [4] 経済産業省, 2021年版ものづくり白書,
<https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2021/index.html>
- [5] 経済産業省, 2020年版ものづくり白書,
<https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2020/index.html>
- [6] 総務省, 製造現場におけるローカル5G等の導入ガイドライン,
https://www.soumu.go.jp/main_content/000760634.pdf
- [7] 経済産業省, Connected Industries,
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/connected_industries/index.html



**FLEXIBLE FACTORY
PARTNER ALLIANCE**

Contact:

<https://www.ffp-a.org/>
info@ffp-a.org