工場向けワイヤレスIoT講習会

座学講習テキスト

更新履歴

バージョン	発行日
Ver 1.0	2018年12月7日
Ver 1.1	2019年10月25日
Ver 1.2	2022年5月20日

1. はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P4
2. 無線が解決する課題・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P10
3. 無線の基礎知識・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P20
4. 工場における無線の特徴・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P37
5. 工場における無線によるシステム構成例・・・・・・・ P45
6. 工場における無線の導入手順・・・・・・・・・・・・・・・ P60
7. 無線の管理・運用・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P69
8. 最新の動向・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P82
9. 無線のQ&A・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P86
10.無線の用語集・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P107

1.はじめに

本書は、総務省における「IoT機器等の適正利用のためのICT人材育成事業」の一環として開催した「工場向けIoTワイヤレス講習会」のテキストとなっております。

我が国においては、「未来投資戦略」や「経済財政運営と改革の基本方針(骨太の方針)」等の閣議決定にも組み込まれているとおり、IoTをはじめとしたICT技術の円滑な社会実装・普及を推進し、生産性の向上や非連続的なイノベーションの創出へと繋げることが急務となっている状況です。
こうした時代の要請に対応するためには、電波有効利用の観点からも、適切なIoT機器等の選定や利用に係るリテラシーの向上を図っていくことが不可欠である旨、情報通信審議会等でも報告されました。
このような背景を鑑み、総務省では受講者のニーズも踏まえ、特定分野向けの体験型講習メニューとして、2018年度から2020年度まで本講習会を実施しました。

本講習会は、工場等の製造現場における実務担当者・管理者等を対象とし、IoT機器等の電波利用に係る知識及び技術の実践的な習得を目指すものです。
講習テキストにおいては、時代に合わせてバージョンアップを重ね、そもそものワイヤレス化・IoT化の意義や、無線の基礎知識、導入・運用手順、活用事例、トラブル時の解決方法等、現在必要な情報が体系的・網羅的に整理されております。

最後に、本講習テキストが十分に活用され、電波の適正利用等への理解が促進されるとともに、工場におけるワイヤレス化・IoT化が加速し、我が国の生産性革命の実現へと繋がっていくことを期待しております。

総務省
Ministry of Internal Affairs and Communications

本教材の位置づけ

本教材の対象者

- 主に製造業の方で、工場向けワイヤレスIoTの導入を検討又は既に導入しており、その適正な運用方法についての知識・スキルを習得したい方。

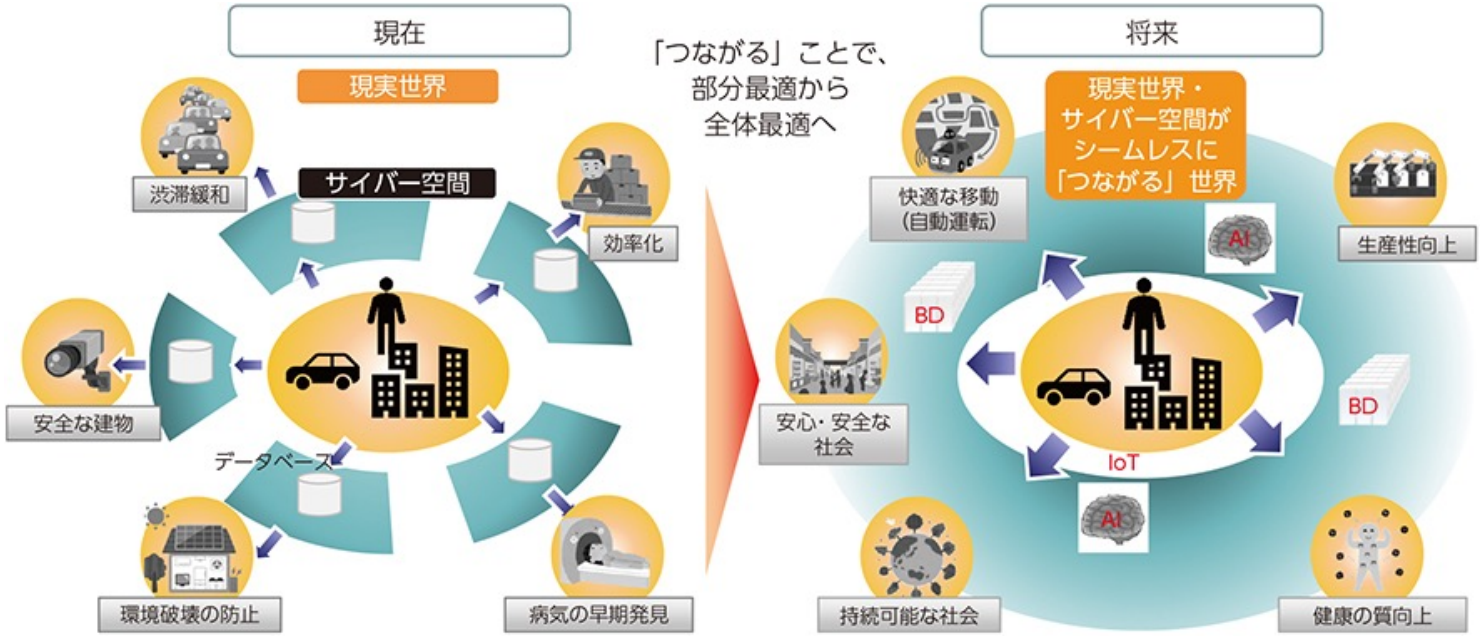
本教材の位置づけ

- 対象者が無線に関する知識を深め、工場への無線の導入を具体的にイメージできるようになるための教材です。

デジタルトランスフォーメーションとIoT

- 通信技術の発達に伴い、IoT(Internet of Things)の活用が進むことによって、モノ(Things)の世界のデータをネットワーク経由(Internet)で収集・蓄積することができるようになりました。これらのデータを分析・活用することにより、市場での優位性の基準が現実世界からデータへと移転する「デジタルトランスフォーメーション(DX)」が進みつつあります。
- 今後、DXの流れがさらに加速していくことで、特定の分野、組織内に閉じて部分的に最適化されていたシステムや制度等が、社会全体にとって最適なものへと変貌すると予想されています。

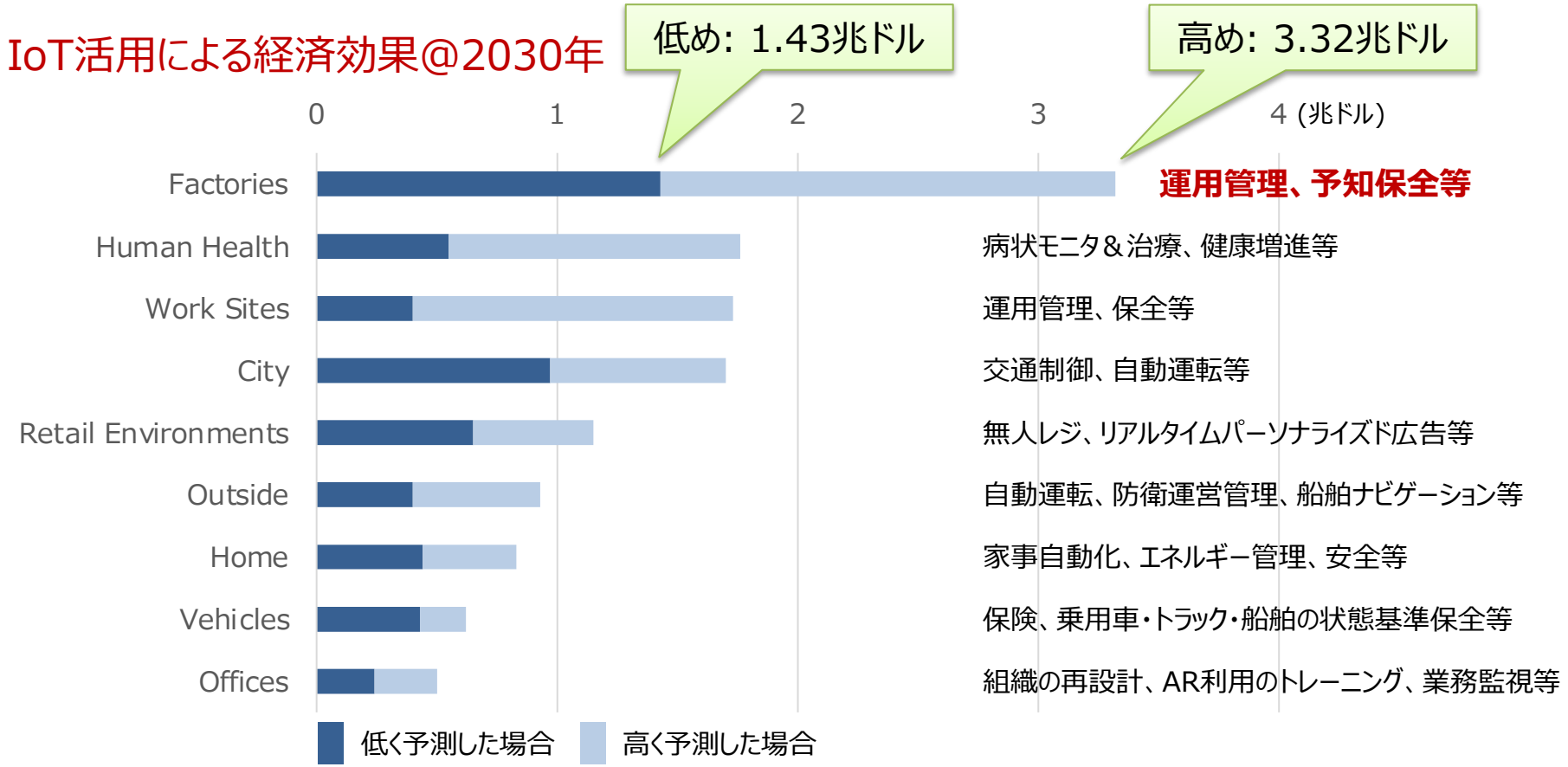
デジタルトランスフォーメーションのイメージ



出典「情報通信白書平成30年版」総務省
(https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd102200.html)

IoT活用の経済効果

- **製造業の分野が最も大きく、2030年には最大3.32兆ドルに達する予測です。**
- **労働人口や熟練工の不足、多品種少量生産の拡大、製造業のサービス化によるバリューチェーンの変化等に対応するため、IoTの導入が期待されています。**

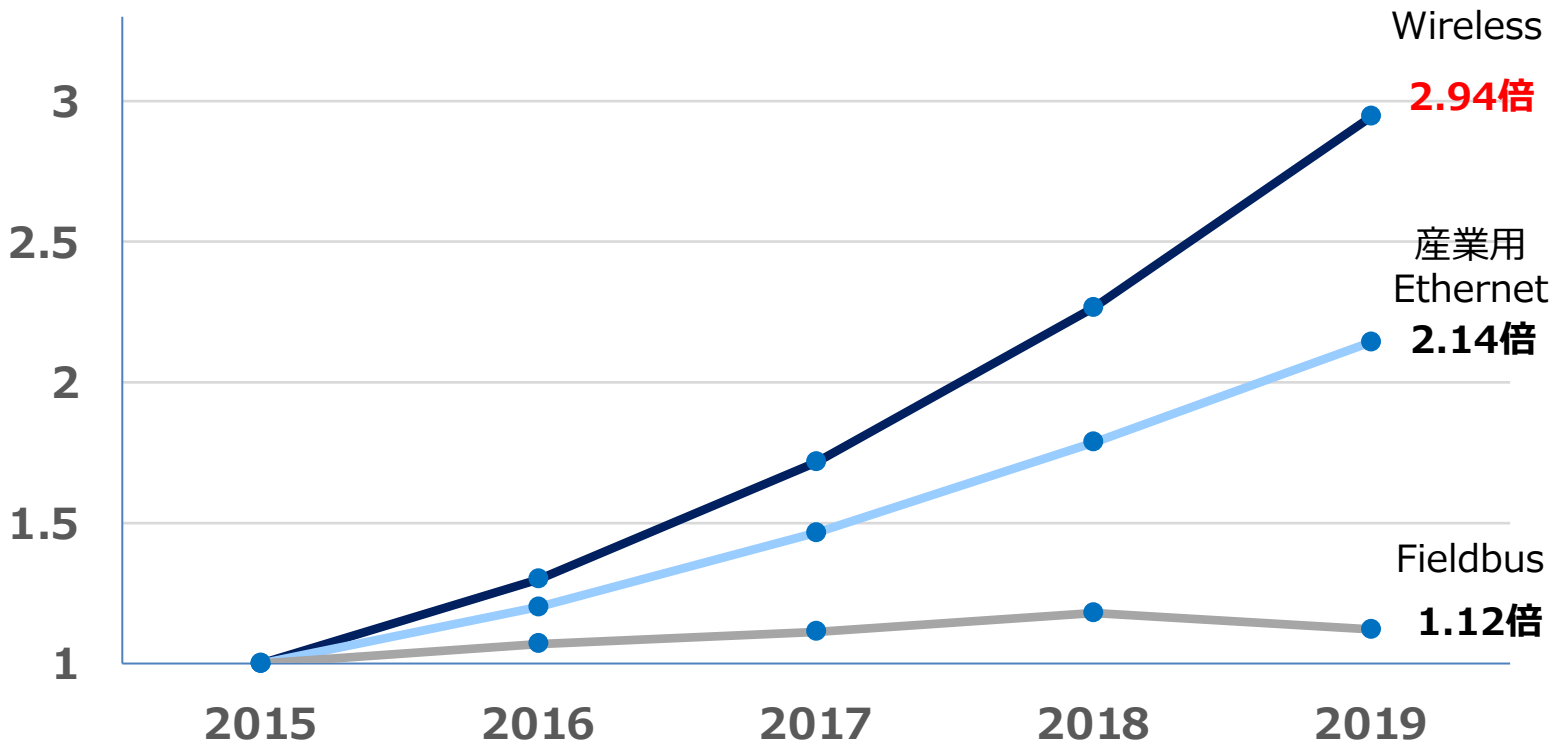


出典「The Internet of Things: Catching up to an accelerating opportunity」McKinsey & Company (https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/iot-value-set-to-accelerate-through-2030-where-and-how-to-capture-it)

工場における無線利用の拡大

- 工場における通信は、近年はデジタル系ネットワークが普及してきています。
  従来から利用されているFieldbus(工場等向け有線シリアルネットワーク)に代わり、
  産業用Ethernetと無線の利用が拡大しています。
- 特にIoT活用の拡大による無線の普及の伸びは大きく、2015年～2019年で3倍近くに拡大しています。

工場用通信種類別の市場成長 ＊2015年の規模を1としたときの値、予測値



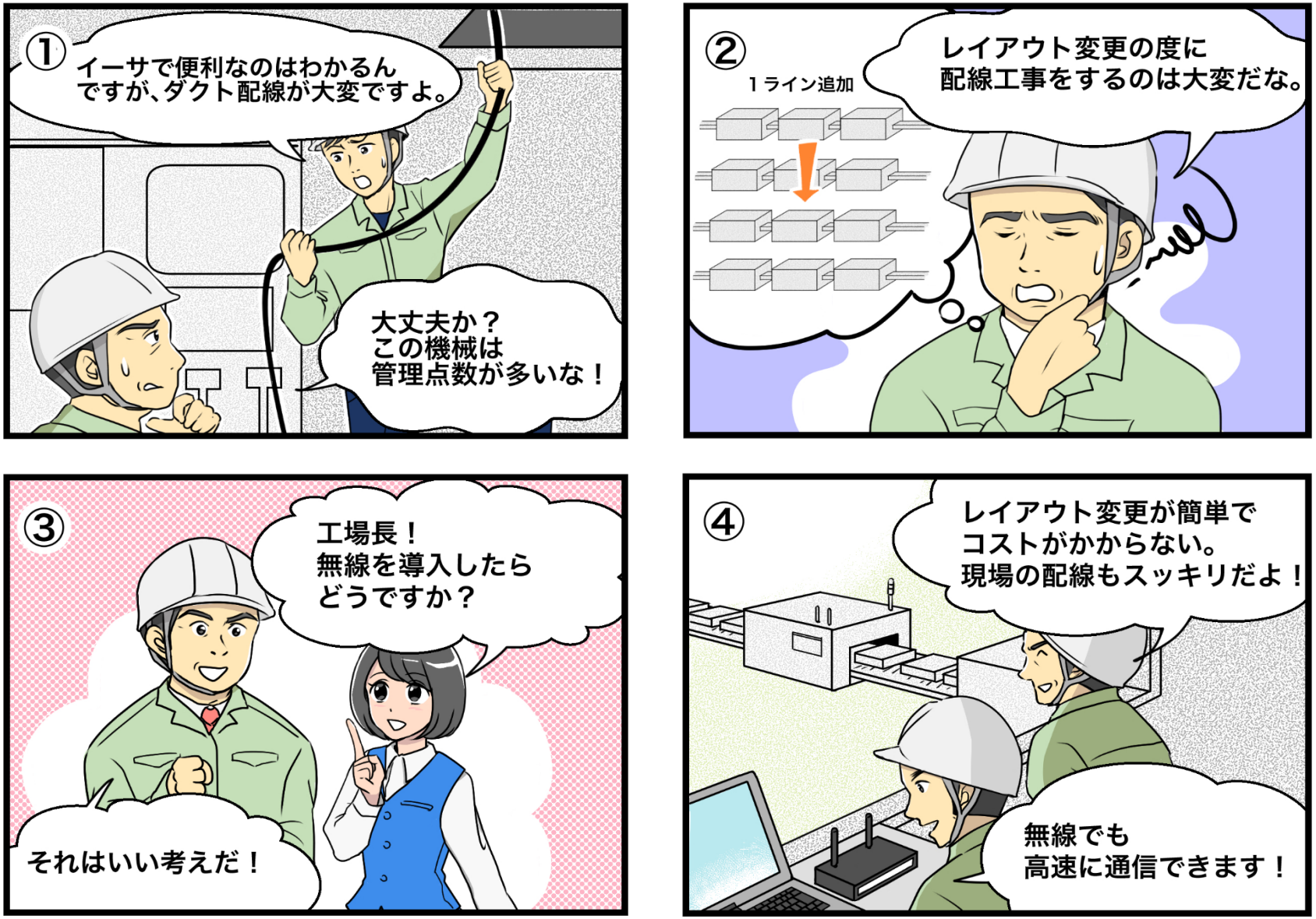
参考「ニュース」HMS Networks (https://www.hms-networks.com/ja/news-and-insights)

2.無線が解決する課題

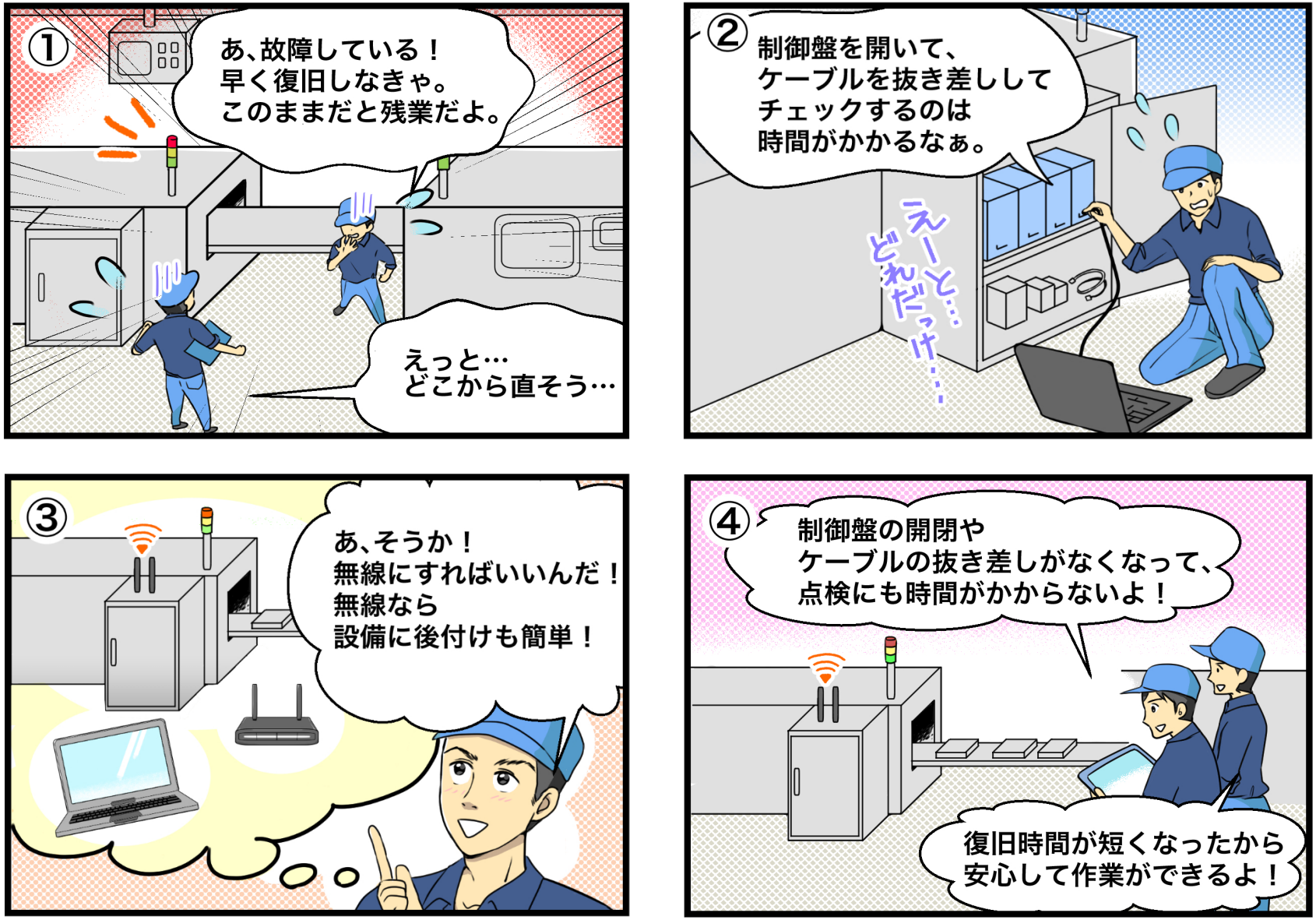
事例紹介

No.	事例
①	工場用Ethernetの無線化
②	PLCツールの無線化
③	ライン組替の煩雑さ解消
④	移動体の活用
⑤	道をはさんだ建物との通報
⑥	無線でのポンプ監視
⑦	TPMの改善活動に貢献
⑧	断線による故障の回避

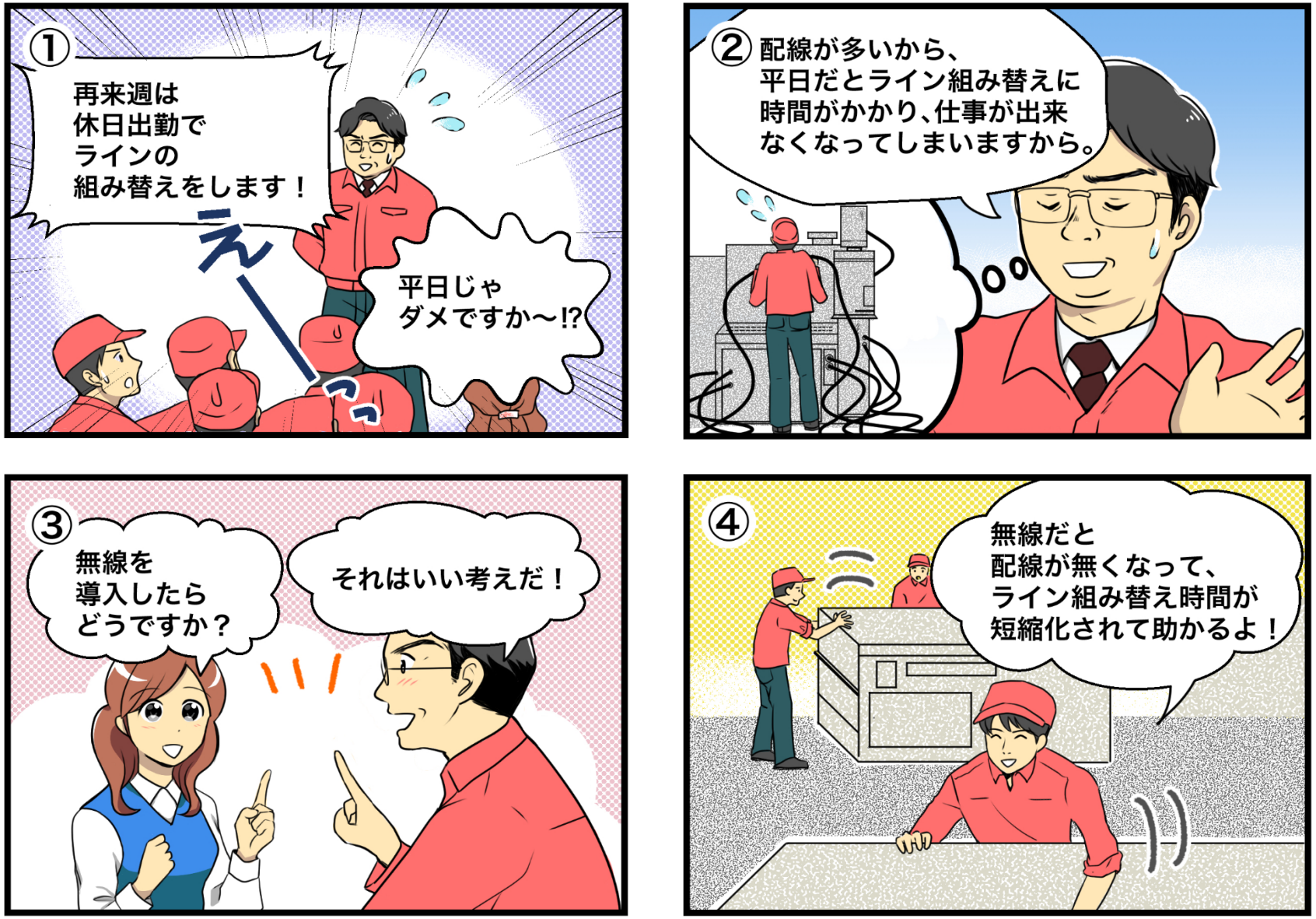
事例紹介 ①工場用Ethernetの無線化



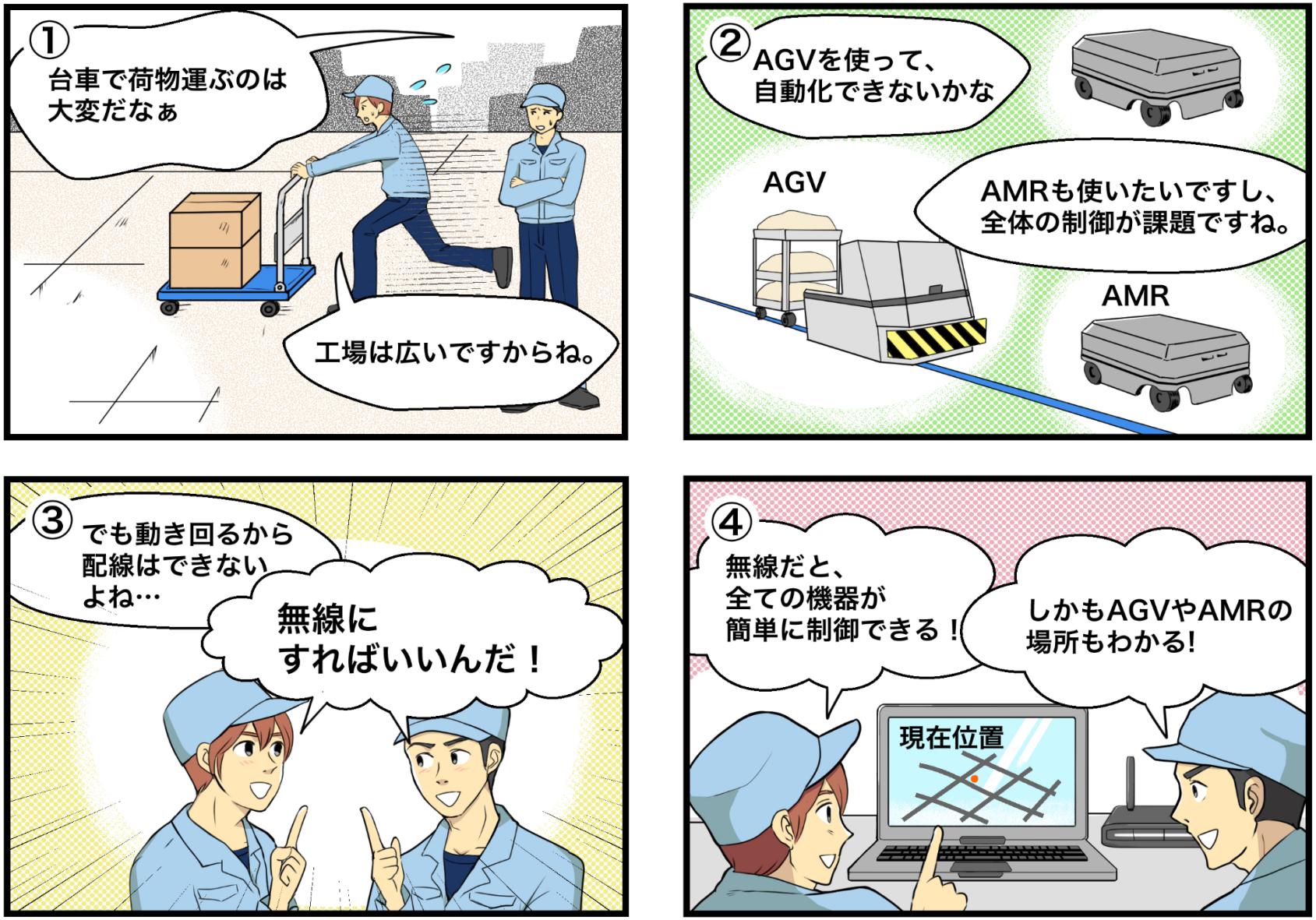
事例紹介 ②PLCツールの無線化



事例紹介 ③ライン組替の煩雑さ解消

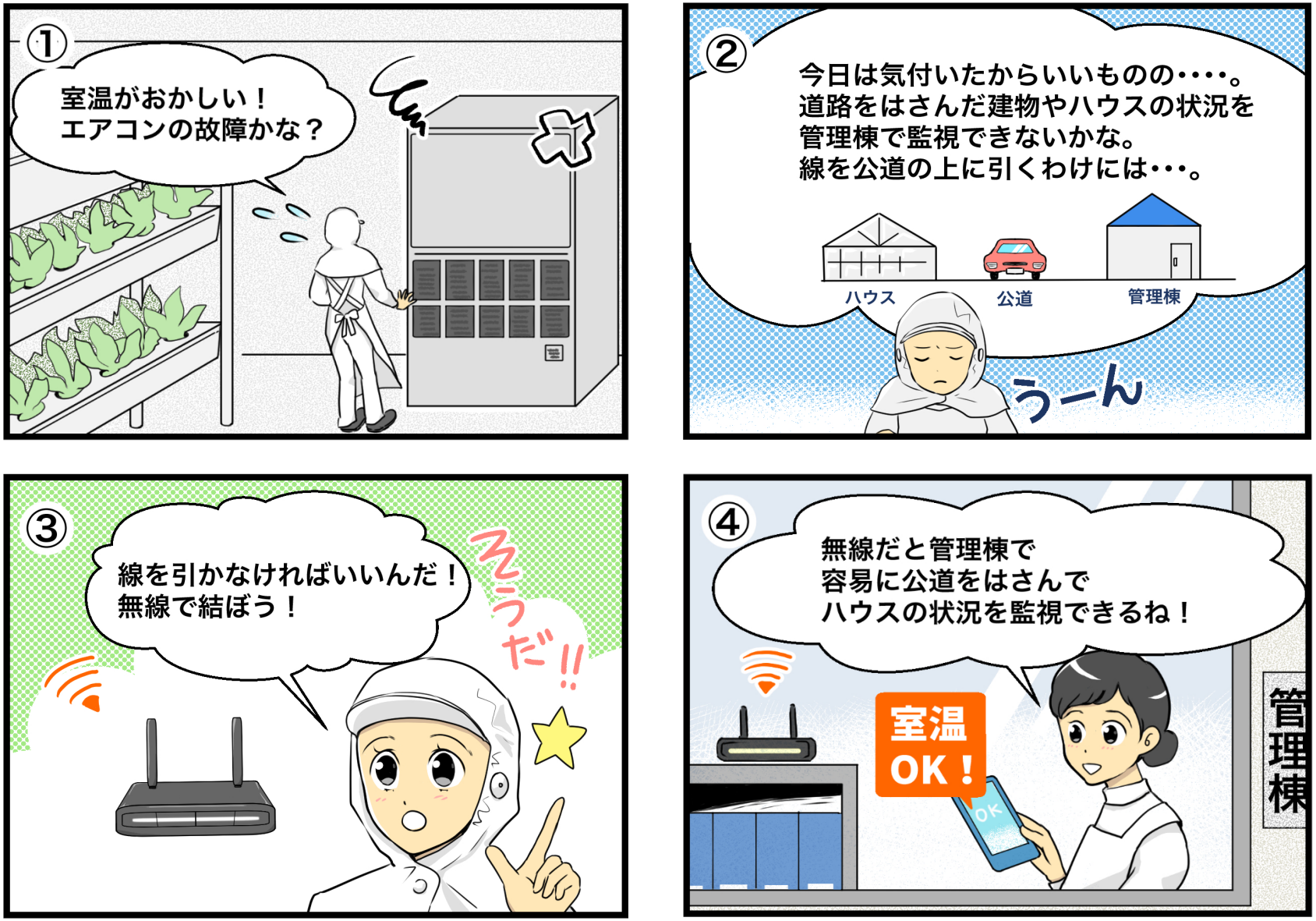


事例紹介 ④移動体の活用

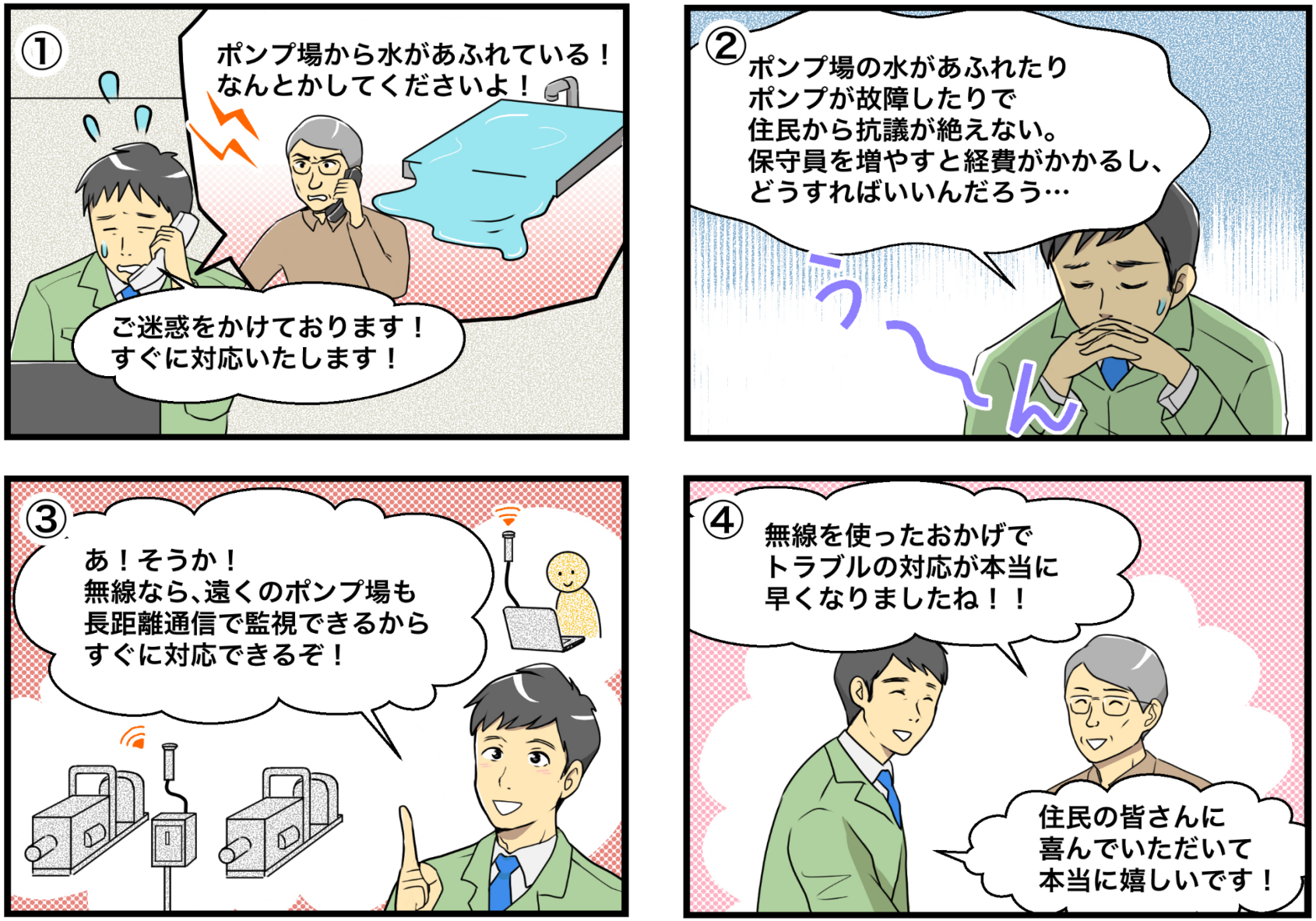


AGV: Automatic Guided Vehicle　AMR: Autonomous Mobile Robot

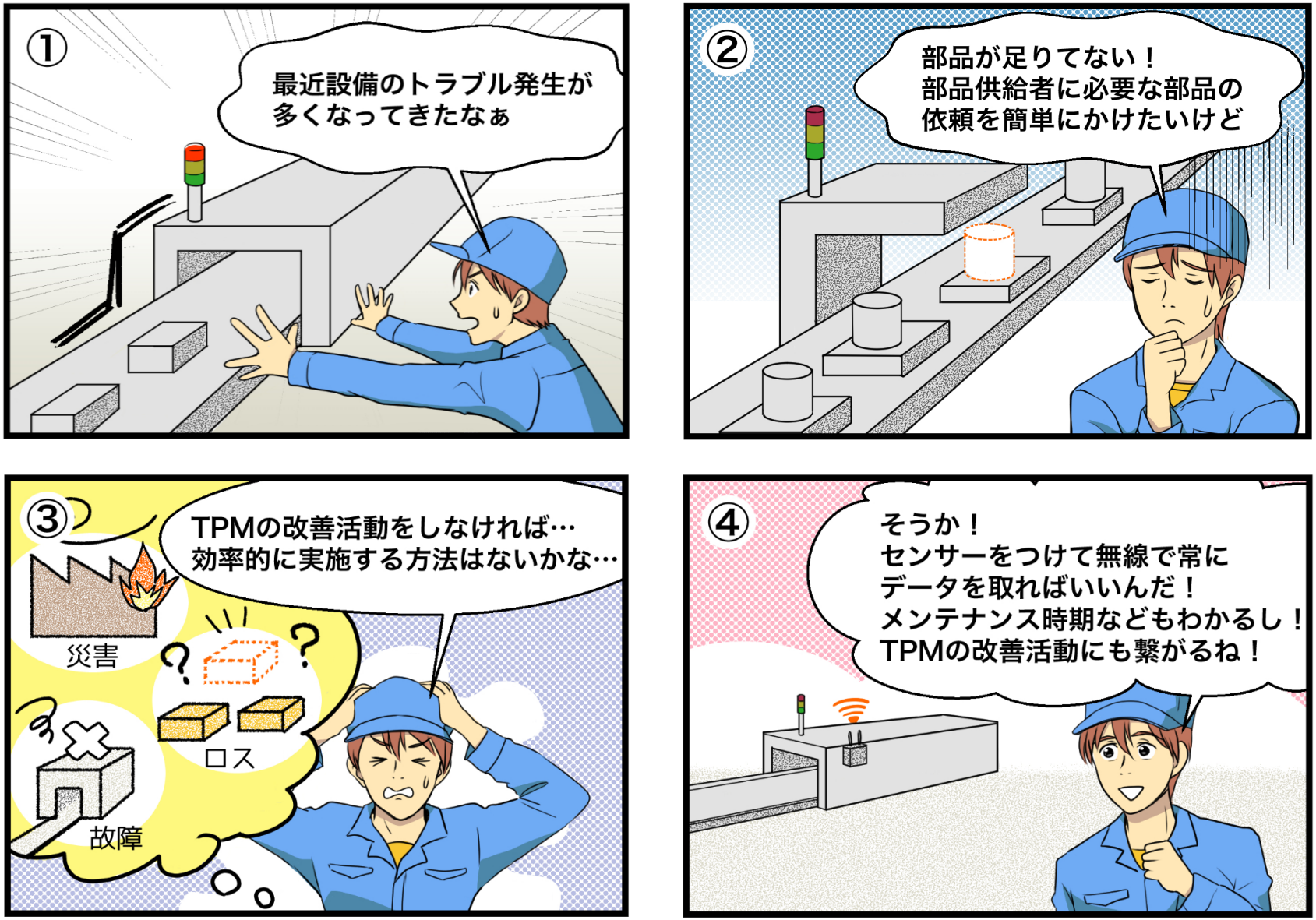
事例紹介 ⑤道をはさんだ建物との通報



事例紹介 ⑥無線でのポンプ監視

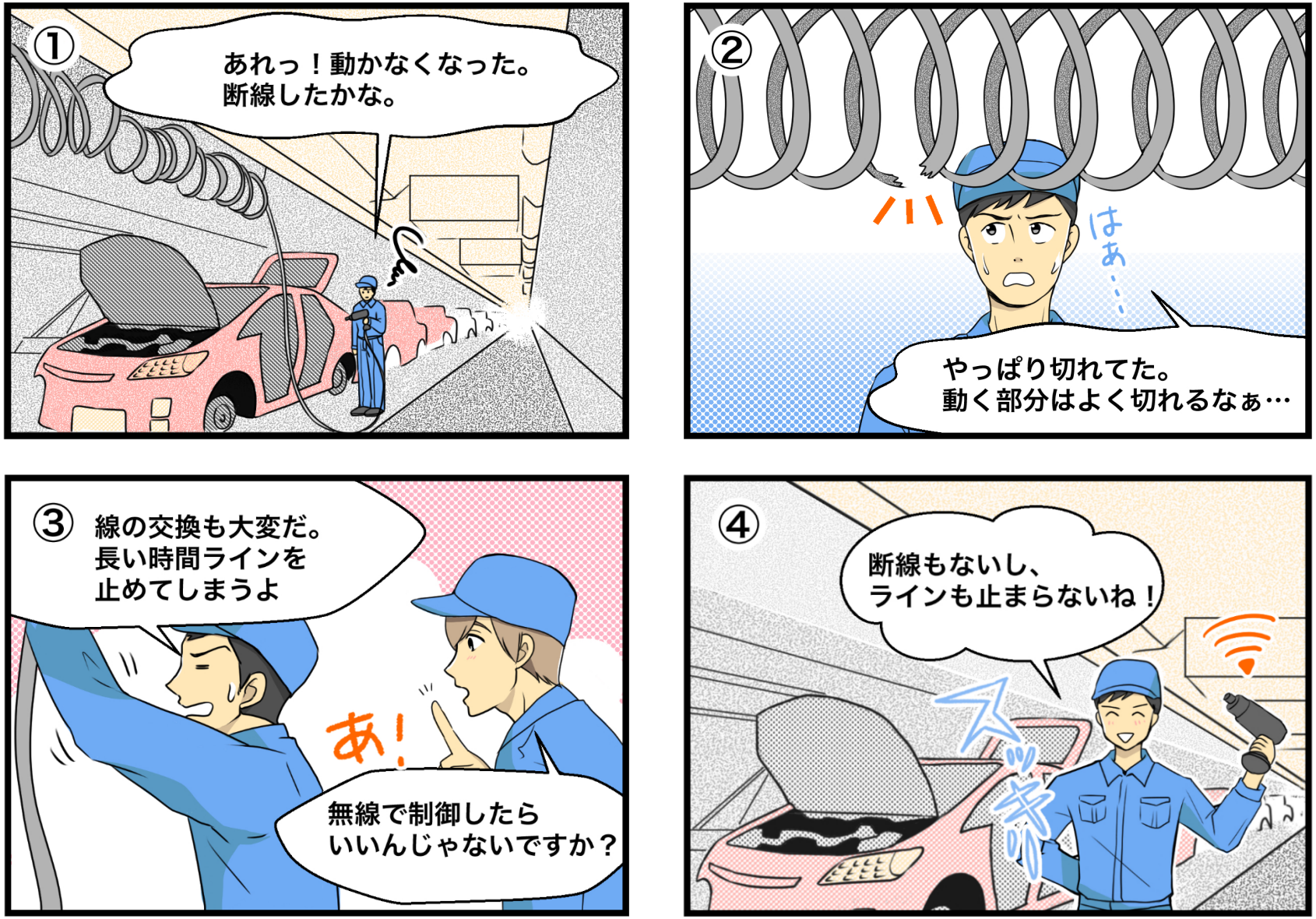


事例紹介 ⑦TPMの改善活動に貢献



TPM: Total Productive Maintenance

事例紹介 ⑧断線による故障の回避



3.無線の基礎知識

電波の有効利用

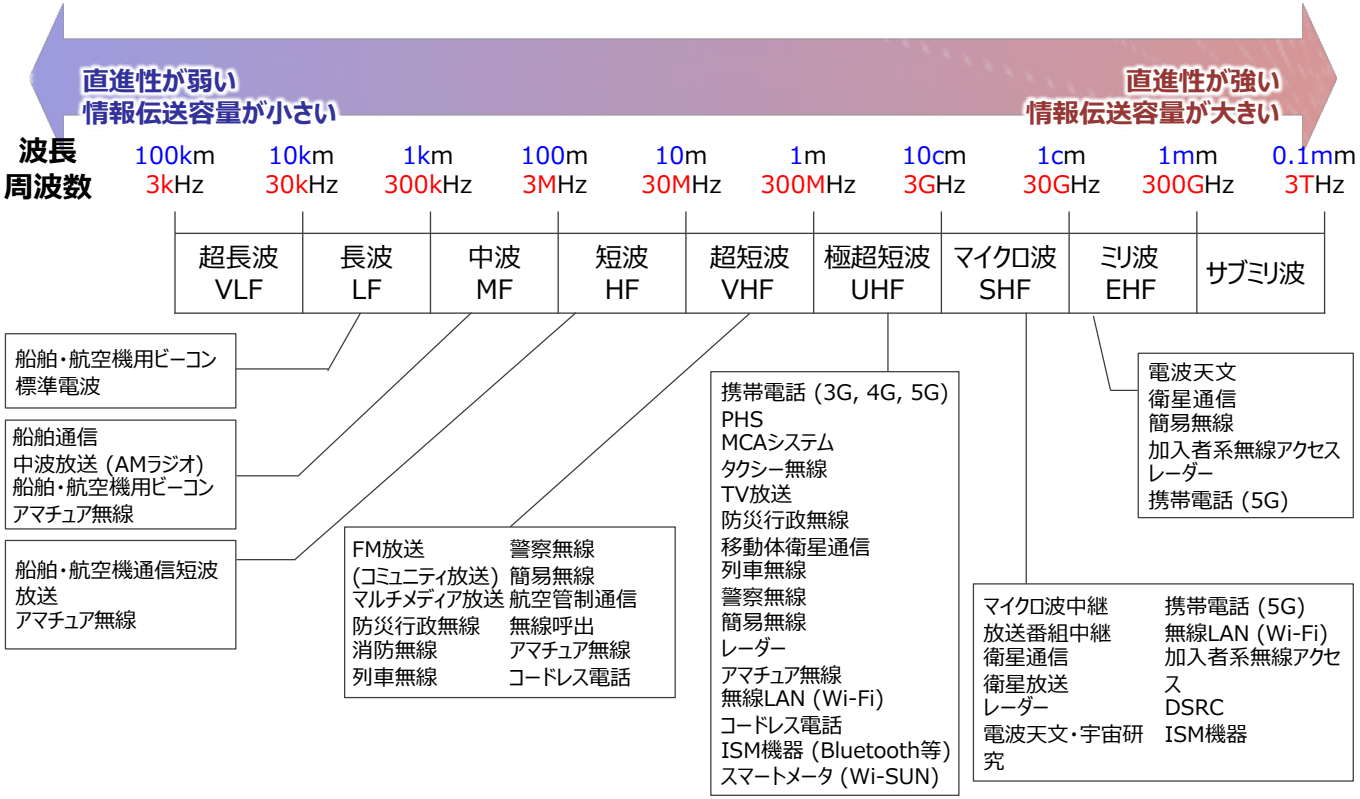
- **IoTが活用されると膨大な数の機器等が電波を利用することになります。**
- **そのため、電波の干渉等が発生しないよう、電波を有効利用することが不可欠です。**

背景	詳細
IoTによる 電波利用の増大	• 多種多様な分野・業種で、膨大な数のIoT機器が利用され始めています。 • IoT機器は、データを有線または無線で送信しますが、無線を利用する場合には電波を利用したものが、大多数となります。 • そのため、今後も膨大な数のIoT機器による電波の利用が増加していくことが見込まれます。
電波の有効利用の 必要性	• 利用できる周波数は用途によって電波関連法令で規定されています。 • これは、電波は有限希少な資源であり、電波利用の要求があるからといって、無計画に周波数を割り当てると、電波資源が枯渇してしまうからです。 • また、電波を利用する無線の通信では、同じ周波数の電波を複数の機器が同時に使用すると干渉してしまい、通信が不安定になったり、速度低下を招いたりすることがあります。

参考「講習会テキスト IoT機器等の電波利用システムの適正利用のためのICT人材育成事業」総務省

電波と周波数

- 「電波」とは周波数 3THz(テラヘルツ) 以下の電磁波と定義されています。
- 電波法では用途によって使用できる電波の周波数、強さ、目的等を規定しています。
- 通信や放送のほかに、レーダーのような測位・測定や、電子レンジのようなエネルギー伝達にも利用されています。



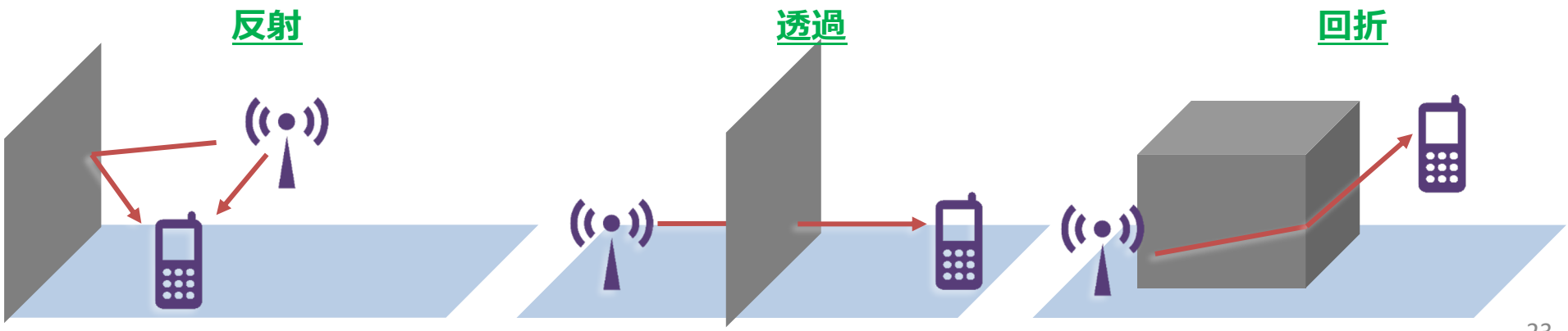
参考「周波数帯ごとの主な用途と電波の特徴」総務省
(https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/myuse/summary/)

電波の伝わり方

- **電波の多様な伝わり方を理解した上で、無線機器等を使用する必要があります。**

電波の伝わり方一覧

名称	補足
直進	電波は障害物の無い限り直進し、自ら方向を変えることはありません。
自由空間減衰	電波は空間を球状に広がり、距離が離れるほど電力が薄まり減衰していきます。
反射	光が鏡等で反射するのと同様に、電波は金属のような電気を通しやすい障害物があると反射します。
透過	光がガラスや水を透過するのと同様に、木やガラス窓、壁等の電気を通しにくい障害物(誘電体)であれば電波はある程度透過します。「誘電率が低い」または「周波数が低い」ほどよく透過します。
回折(かいせつ)	ビルの影や山の裏側等、障害物の後ろにも回り込んで伝わります。回折で回り込む度合いは、基本的に「周波数が低い」ほど大きくなります。
吸収	電波は反射や透過をする際にエネルギーの一部が障害物に吸収されます。したがって反射や透過を繰り返したり、厚みのある障害物を透過したりすると電力が減衰していきます。
その他	電波は凹凸の多い障害物や複雑な構造物、降雨等により散乱し減衰します。また電波が伝わる際には減衰するばかりではなく、複数の伝搬経路の合成により増幅されることもあります。

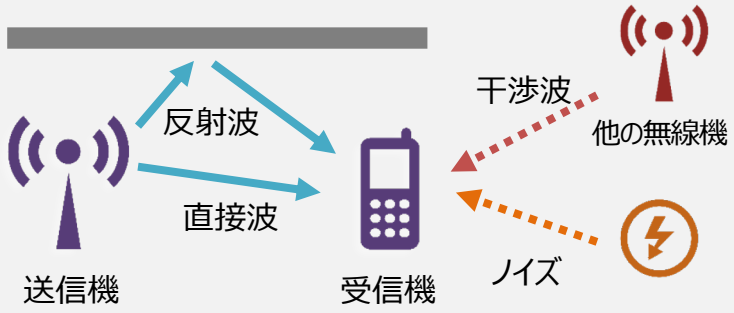


電波干渉・ノイズ・フェージング

- **無線通信品質に悪影響を与える代表的な要因として、「干渉」「ノイズ」「フェージング」があります。**

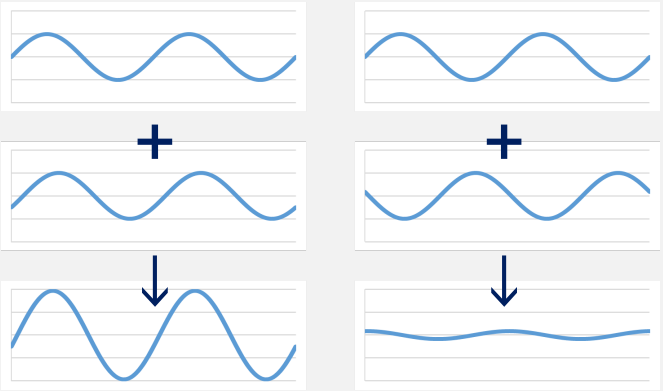
干渉	通信したい相手からの受信電波に、他の通信機からの電波が同じ周波数・同じタイミングで重なると干渉になります。強い干渉を受けると通信ができなくなることがあります。
ノイズ（雑音）	周辺にある機械や受信機自体から発生するノイズも、通信したい電波の受信を邪魔します。干渉と同じく、強いノイズが突発的に発生したり、定常的なノイズが複数重なると、通信ができなくなることがあります。
フェージング	受信機は同じ送信機から発射された反射波と直接波の合成波を受信します。 波の山と山が合成されれば強め合い、山と谷が合成されれば弱め合います。 そのため、送信機からの距離が同じでも受信状態が良い場所と悪い場所が存在することがあります。 また、送受信機や周りのものが動いていると受信状態が変動し、通信の品質が悪くなります。

到達する電波のイメージ



同じ電波でもいろいろな経路で受信機まで到達する。それらが合成されると場所により強めあったり弱めあったりする。

フェージングのイメージ



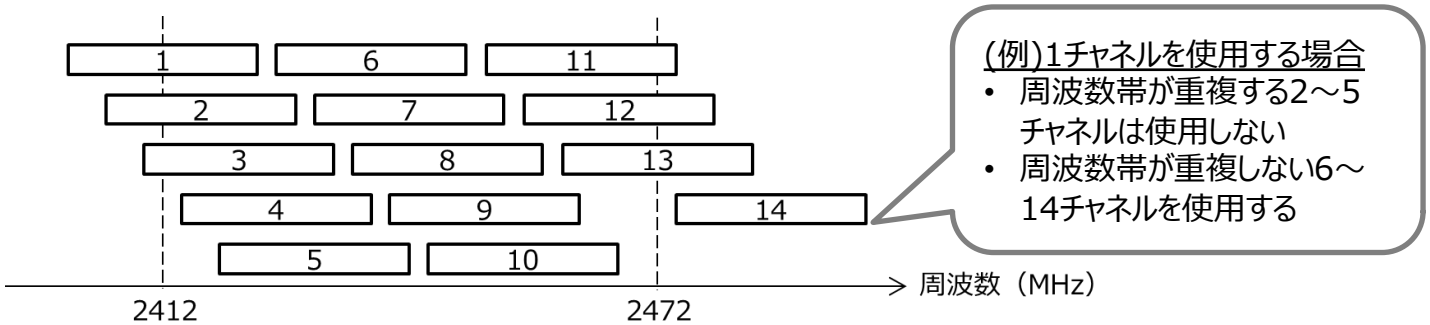
参考)電波干渉やノイズを避ける手法(例)

- **同じ周波数帯、同じ空間、同じ時間に発生した電波は相互に干渉するノイズになります。**
- **電波干渉やノイズを避けるためには、周波数帯、空間、時間をずらすことが効果的です。**

周波数帯

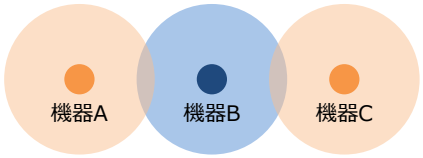
- 使用する周波数帯を指定するチャネル設定を適切に行いましょう。
- 各チャネルが使用する周波数帯が重複していないか確認しましょう。
  - 例)2.4GHz帯のWi-Fiで重複しないチャネルは5チャネル以上離れたチャネル

IEEE 802.11 仕様で定められたチャネルと使用する周波数帯



空間

- 電波の発生源となる機器から十分に距離をとりましょう。
- 同じ周波数帯を使用する機器でも十分に距離をとれば電波が減衰し干渉しません。
  - 例)



時間

- 電波を発生する時間を最小限に抑えましょう。

電波法(1/2)

- **電波法は、電波の公平かつ能率的な利用を確保することにより、公共の福祉を増進することを目的としており、無線局の開設とその運用、無線設備を操作する無線従事者、無線設備の技術基準、周波数の割当等について規定しています。**
- **電波の利用には原則として、免許又は登録が必要ですが、条件を満たした場合には、免許や登録が不要となります。**

免許や登録が不要となる対象	免許や登録が不要となる条件
発射する電波が著しく微弱な無線局	• 発射する電波が著しく微弱な無線設備で、総務省令で定めるものをいいます。 • 例えば、模型類の無線遠隔操縦を行うラジコン用発振器やワイヤレスマイク等が該当します。
市民ラジオの無線局	• 26.9MHzから27.2MHzまでの周波数帯の電波の中で、総務省令で定める電波の型式及び周波数の電波を使用し、かつ、空中線電力が0.5W以下で、技術基準適合証明を受けた無線設備のみを使用する無線局が該当します。
小電力の特定の用途に使用する無線局	特定の用途及び目的の無線局であり、次の条件をすべて満たすものが該当します。 (1) 空中線電力が1W以下であること。 (2) 総務省令で定める電波の型式、周波数を使用すること。 (3) 呼出符号または呼出信号を自動的に送信しまたは受信する機能や混信防止機能を持ち、他の無線局の運用に妨害を与えないものであること。 (4) 技術基準適合証明を受けた無線設備だけを使用するものであること。

出典「免許及び登録を要しない無線局」総務省 (http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/proc/free/)

電波法(2/2)

- **技術基準適合証明は、無線設備が電波法に定める技術基準に適合していることを証明するものであり、同証明を受けた無線機器には、「技適マーク」が付されています。**
- **無線機器を利用する際には、この「技適マーク」の表示を必ず確認してください。**

概要	• 技術基準適合証明は、無線設備が電波法に定める技術基準に適合していることを証明するものであり、同証明を受けた無線機器には、「技適マーク」が付されています。
	• 無線機器を利用する際には、この「技適マーク」がついていることを必ず確認してください。
	  • 表示の方法には、次の3つがあります:
	  1. 特定無線設備に直接表示
	  2. 設備本体のディスプレイによる表示
	  3. 外部ディスプレイによる表示

注意点	• 外国から輸入された無線機器を利用しようとする場合には、「技適マーク」がない場合もあり、電波法違反となるおそれがあるため注意が必要です。

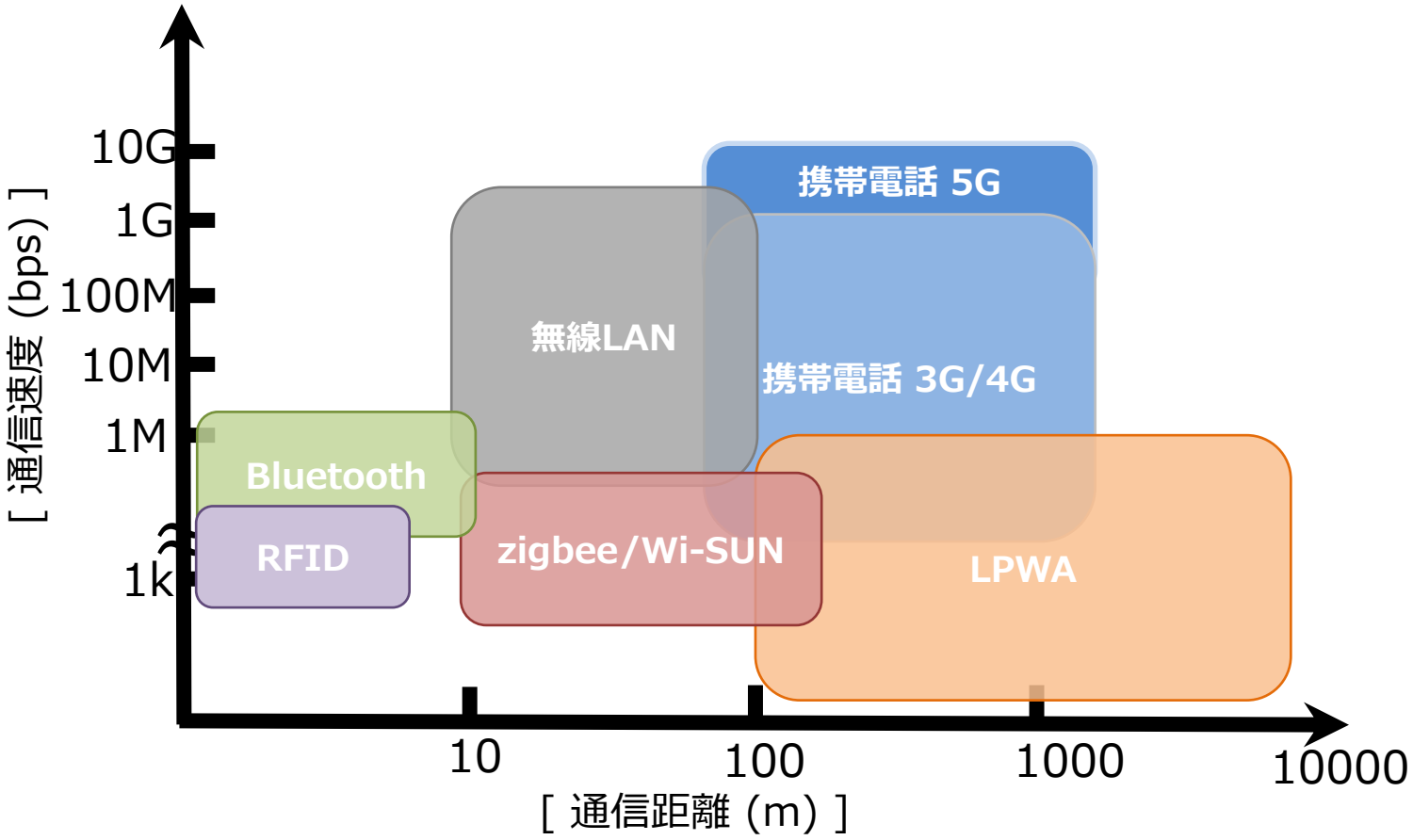
技適マーク

参考「技適マークの表示の方法」総務省 (https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/equ/tech/gitekimark/)

無線局・通信方式

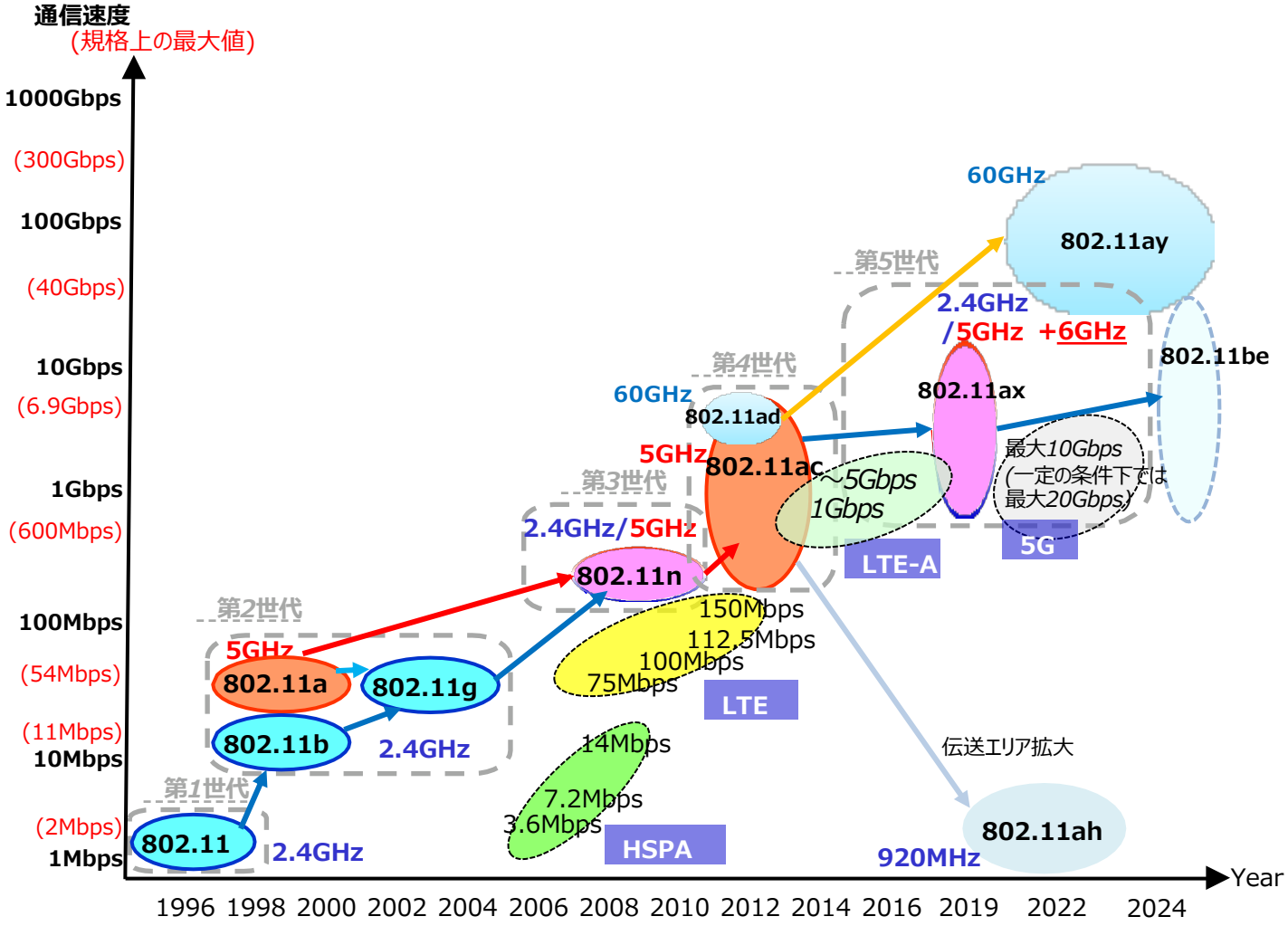
- 無線局の種類や通信方式により、通信距離や通信速度が異なるため、使用用途(ユースケース・アプリケーション)に合った通信方式を選定する必要があります。

代表的な無線局・通信方式の一覧



無線LAN

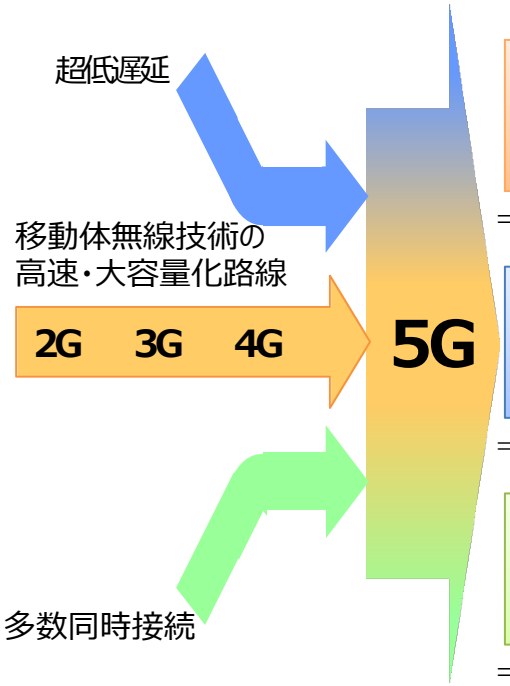
- **無線LANは高速化しており、工場でも活用が進んでいます。**
- **主要な無線LAN規格**



参考「無線インフラ・サービスの動向について」総務省 (http://www.soumu.go.jp/main_content/000397391.pdf)

第5世代移動通信システム(5G)

- **5Gとは、4Gを発展させた「超高速」だけでなく、「多数接続」、「超低遅延」といった新たな機能を持つ次世代の移動通信システムのことです。**
- **国内の携帯事業者4社は2020年に商用5Gサービスを順次開始しています。**
- **4社の計画をあわせると、2023年度末の5G基盤展開率は98.0%となり、日本全国の事業可能性のあるエリアほぼ全てに5G基盤が展開される見込みです。**



超高速
現在の移動通信システムより100倍速いブロードバンドサービスを提供

⇒2時間の映画を3秒でダウンロード

超低遅延
利用者が遅延(タイムラグ)を意識することなく、リアルタイムに遠隔地のロボット等を操作・制御

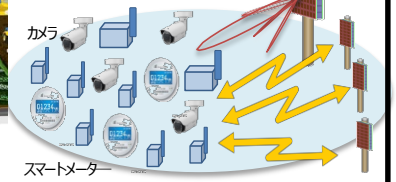
⇒ロボット等の精緻な操作をリアルタイム通信で実現

ロボットを遠隔制御

多数同時接続
スマホ、PCをはじめ、身の回りのあらゆる機器がネットワークに接続

⇒自宅部屋内の約100個の端末・センサーがネットワークに接続
(現行技術では、スマホ、PCなど数個)

膨大な数のセンサー・端末

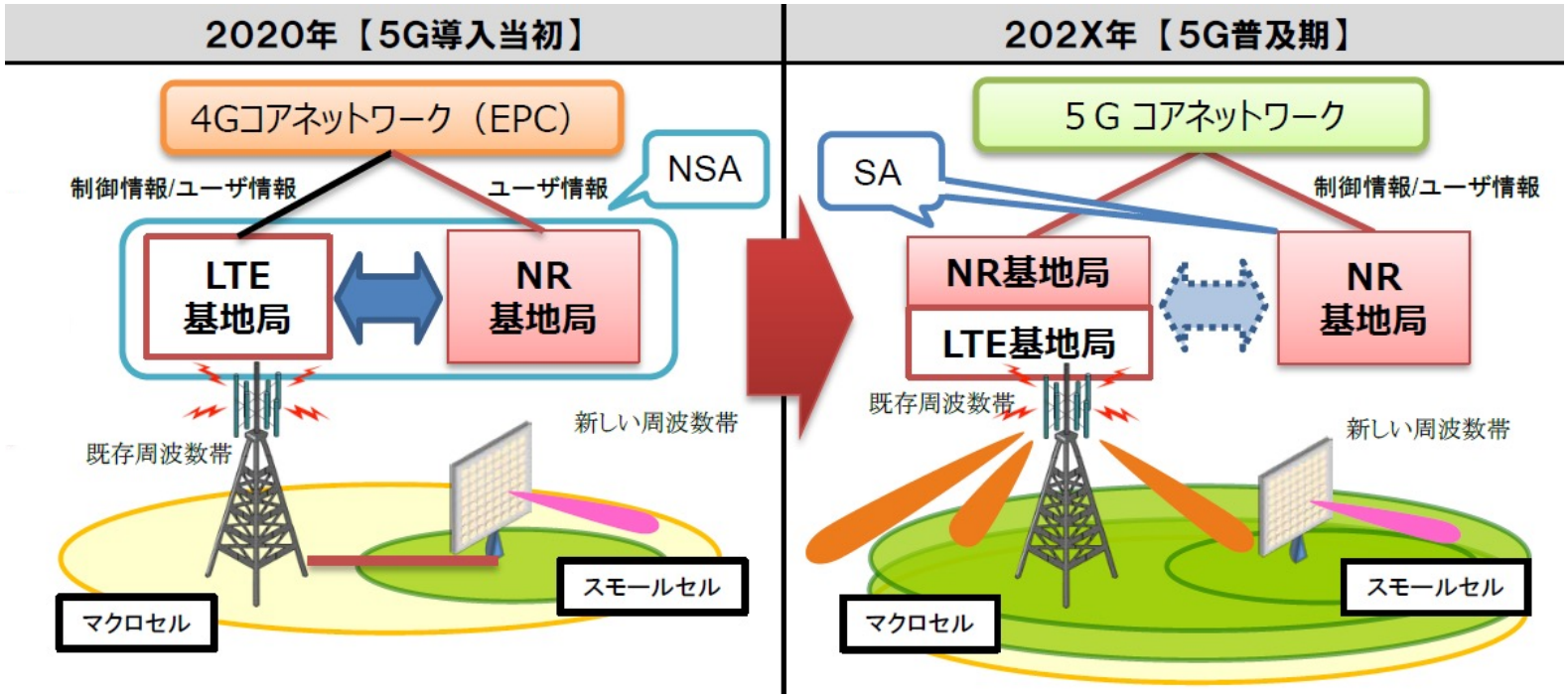


社会的なインパクト大

出典「平成29年 総務省情報通信審議会新世代モバイル通信システム委員会報告」総務省
(http://www.soumu.go.jp/main_content/000565878.pdf)、
「5Gの普及展開に向けた取組」総務省 (https://www.soumu.go.jp/main_content/000668256.pdf)

5Gネットワークの進化

- 5G導入当初は、コストを抑えつつ円滑な導入を実現するため、新たな無線技術(NR: New Radio)に対応した基地局とLTE基地局が連携する、NSA構成のシステムが導入されています。
- 2021年以降、国内の携帯事業者は5Gコアネットワークの導入と共にSA(Standalone)構成のNR基地局の運用を開始していく予定です。
- これにより、既存周波数帯域へのNR導入が進展し、超高速、多数同時接続、高信頼・低遅延などの全ての要求条件に対応した5Gサービスの提供が期待されます。



出典「新世代モバイル通信システム委員会における5G技術的条件に関する検討状況」総務省
(https://www.soumu.go.jp/main_content/000541989.pdf)

ローカル5G

- ローカル5Gは、地域の企業や自治体等の様々な主体が、限定されたエリアでスポット的に柔軟に構築できる5Gシステムのことです。
- 携帯事業者の5Gサービスと異なり、自らの敷地内など限定されたエリアにおいて安定して5G通信を利用できる、他の場所の通信障害や災害などの影響を受けにくい、といった特徴があります。
- Wi-Fiと比較して、無線局免許に基づく安定的な利用が可能です。

出典「令和3年度 総務省情報通信施策の概要」総務省 (https://www.soumu.go.jp/main_content/000720302.pdf)

無線LAN

- **無線LANは高速化しており、工場でも活用が進んでいます。**

- **主要な無線LAN規格**

無線LAN規格	周波数帯	最大通信速度
IEEE 802.11b	2.4GHz	11Mbps
IEEE 802.11a	5GHz	54Mbps
IEEE 802.11g	2.4GHz	54Mbps
IEEE 802.11n	2.4GHz/ 5GHz	600Mbps
IEEE 802.11ac	5GHz	6.93Gbps
IEEE 802.11ax	2.4GHz/ 5GHz	9.6Gbps
IEEE 802.11ad	60GHz	6.8Gbps

無線LAN規格	周波数帯	最大通信速度
IEEE 802.11ah	920MHz	3.3Mbps
IEEE 802.11ay	60GHz	176Gbps
IEEE 802.11be	2.4GHz/ 5GHz/ 6GHz	46Gbps

- **2.4GHz帯及び5GHz帯無線LANの比較**

	2.4GHz帯	5.2GHz帯 (W52)	5.3GHz帯 (W53)	5.6GHz帯 (W56)
隣接チャネル間干渉	干渉あり	干渉なし		
屋外利用	○	△ (条件付き)	×	○
電波特性	遮蔽物に強い	遮蔽物に弱い		
周波数の特徴	ISMバンド上に割り当てられており、無線LAN以外の製品においても利用されている。無線LAN以外の機器も干渉源となり得る。	無線LAN専用に提供されているため、通信は比較的安定。 但し、5.3GHz帯、5.6GHz帯はレーダーと共用のため、 DFSというレーダー検知/レーダー回避の機能が必要。		

無線LAN以外の無線規格

- **IoTでは無線LAN以外にも、ネットワーク設計が無くとも使用可能な携帯電話回線や、通信速度は遅いが低消費電力が特徴の無線規格も多数活用されています。**

- **IoTで活用されている無線LAN以外の無線規格**

	携帯電話 (3G, 4G)	Bluetooth	RFID	zigbee	Wi-SUN
関連する 団体や規格	3GPP	Bluetooth SIG IEEE802.15.1	ISO/IEC	CSA IEEE802.15.4	Wi-SUN Alliance IEEE802.15.4g IEEE802.15.4e
最大 通信速度 (理論値)	下り 1Gbps 上り 500Mbps	2Mbps	数kbyte	250kbps	300kbps
周波数帯 (日本国内)	800MHz帯 1.5GHz帯 2GHz帯 等	2.4GHz帯	13.56MHz帯 900MHz帯 2.4GHz帯	主に 2.4GHz帯	920MHz帯
特徴	MNO・MVNO各社がサービス提供。キャリア網とのVPN接続による閉域網の構築でセキュリティ確保が可能。	スマートフォン等に実装され、バイタルをはじめとした人周辺のセンサ等からのデータ収集等で多様されている。周波数ホッピングにより耐干渉が強い。マルチホップ通信に対応した仕様も存在。	非接触ICカードやNFCに用いられている技術。タグに電池を持たない電磁誘導方式と、電池を持つ電波方式がある。物品管理に活用。	通信経路を自動的に構築するマルチホップ通信に対応。センサネットワークに適している。	用途に応じた複数の仕様が存在。Wi-SUN FANはマルチホップ通信に対応。スマートメーターを中心に世界中で導入。

参考 3GPP (http://www.3gpp.org/)、Bluetooth SIG (https://www.bluetooth.com/)、CSA (https://csa-iot.org/)、Wi-SUN Alliance (https://www.wi-sun.org/)

無線LAN以外の無線規格: LPWA(Low Power Wide Area)

- **低消費電力(電池で最大10年)、長距離伝送(都市部: 数km)、低レート(<数十kbps)の通信で、広域のセンサーデータ収集を中心に活用が検討されています。**

活用のメリット

低消費電力により、電池交換等の機器メンテナンスの頻度が抑えられ保守を効率化できる

長距離伝送により、1台の基地局で広範囲のデバイスが収容でき運用コストが下げられる

無線局免許を必要としない周波数帯で運用できるため、独自ネットワークの構築が可能、通信コストも不要

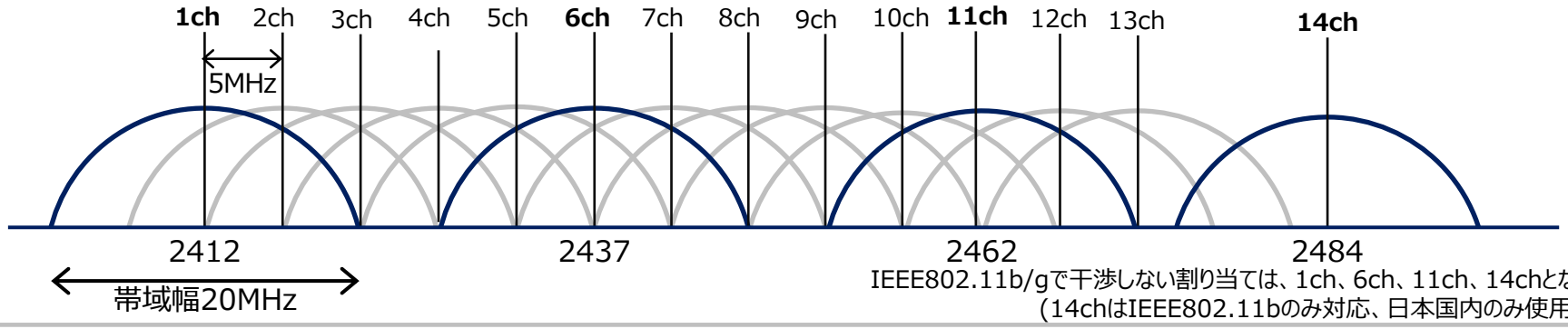
	Sigfox	LoRaWAN	Cat-M1	ELTRES	ZETA	UNISOnet	EnOcean
関連する団体や規格	Sigfox独自	LoRa Alliance	3GPP	Sony独自	ZETA Alliance	SONAS独自	EnOcean Alliance
最大通信速度(理論値)	上り 100bps 下り 600bps	50kbps	1Mbps	80bps	50kbps	250kbps	125kbps
周波数帯(日本国内)	920MHz帯	920MHz帯	LTEの一部のBand	920MHz帯	920MHz帯 429MHz帯	2.4GHz帯	920MHz帯
特徴	低速だが長距離が特徴の通信規格。数km～郊外では10数kmの通信が特徴。昨今様々な分野で活用が見込まれている通信規格。		携帯電話標準化仕様で規定されたIoT向け通信で通信キャリアが提供。標準的な携帯電話技術と比較して、バッテリー寿命の長期化と通信範囲の拡大が可能。	見通し100km以上の長距離通信や、時速100km以上の高速移動体に対応。	10km程度までの長距離通信。通信経路を自動的に構築するマルチホップ通信に対応。低遅延版と大容量版の仕様が存在。	利用できる経路を全て利用するフラッディング型マルチホップ通信に対応。マイクロ秒オーダーの時刻同期が可能。	発電技術と組み合わせ、電池レスでの利用を想定した省電力。数百m程度までの通信距離。

参考「LPWAに関する無線システムの動向について」総務省 (http://www.soumu.go.jp/main_content/000543715.pdf)、Sigfox (http://www.sigfox.com/)、LoRa Alliance (https://lora-alliance.org/)、3GPP (http://www.3gpp.org/)、ELTRES (https://eltres-iot.jp/)、ZETA Alliance (https://zeta-alliance.org/)、UNISONet (https://www.sonas.co.jp/technology/unisonet/)、EnOcean Alliance (https://www.enocean-alliance.org/)

無線の周波数(チャネル)の割り当て方法

- **無線の周波数(チャネル)を割り当てる際には、チャネル配置を確認し、使用する機器・システム間で干渉しない周波数(チャネル)を選択します。**

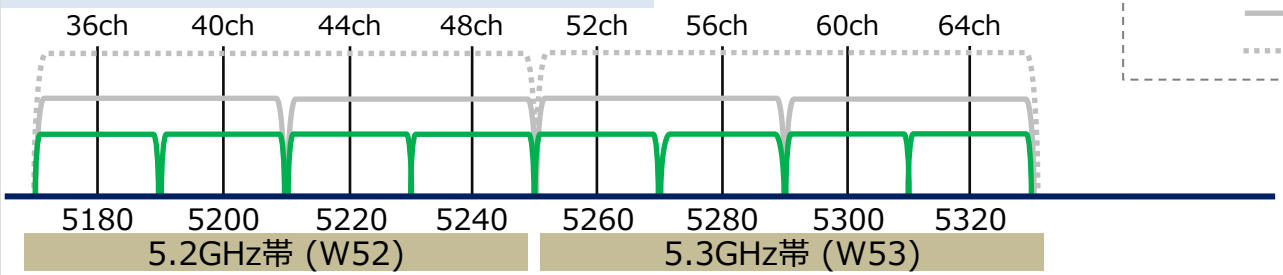
2.4GHz帯無線LANチャネル配置

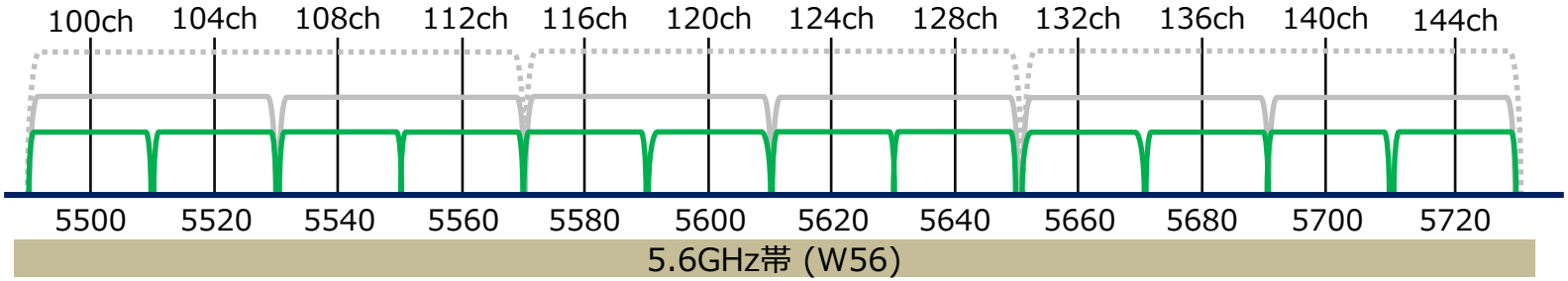


IEEE802.11b/gで干渉しない割り当ては、1ch、6ch、11ch、14chとなります
(14chはIEEE802.11bのみ対応、日本国内のみ使用可能)

5GHz帯無線LANチャネル配置

チャネルボンディング※1を用いた場合の帯域幅
：2チャネル分40MHz
：4チャネル分80MHz





※1 複数チャネルを束ねて用いることにより通信速度を高める技術。IEEE802.11n/ac/ax等の規格で利用可能。

4.工場における無線の特徴

工場における無線の特徴

- **工場において無線の利活用を進めていくためには、(1)ダイナミックな無線環境の変化、(2)多様な無線環境、(3)異種システムの混在を考慮する必要があります。**

	項目	詳細
工場における無線の特徴	(1) 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。
	(2) 多様な無線環境	• 工場は業種、工場の規模、建屋の壁・床の材質・設備等による電波の遮蔽・反射、立地条件による外来波の到来、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。
	(3) 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。 • また、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。

出典「情報通信機構研究報告(Vol 63 No.2 2017)」国立研究開発法人情報通信研究機構
(http://www.nict.go.jp/publication/shuppan/kihou-journal/houkoku63-2/book/html5.html#page=39)

工場で無線の使用状況を把握する方法(1/3)

- **無線の使用状況を把握するためのツールには、スペクトラムアナライザやパケットキャプチャ等があります。**

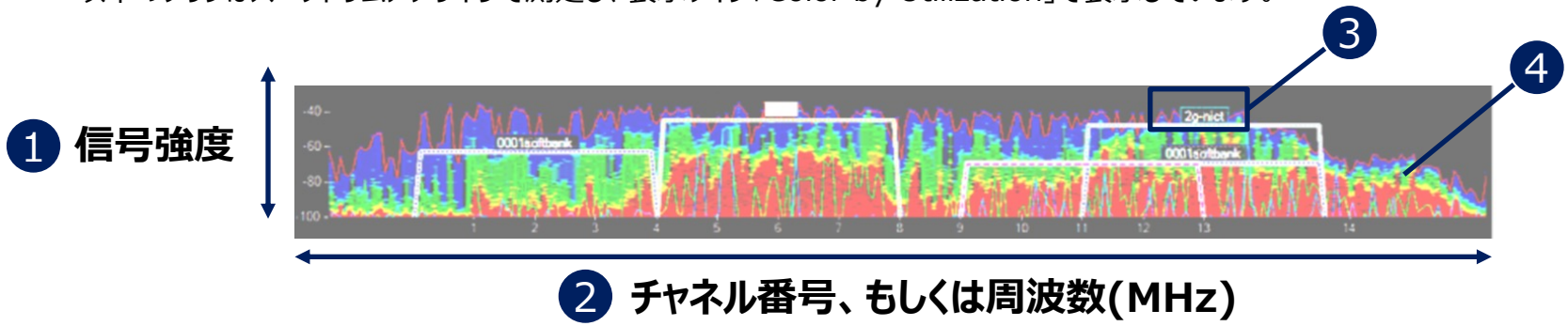
スペクトラムアナライザ	**【概要】** 電波の波形や強さを測定するツール。 **【主な利用シーン】** • 無線機器が使用している周波数の状況確認 • 受信強度の確認 • 通信可能エリアの確認
パケットキャプチャ	**【概要】** ネットワーク上のパケットを取得するソフトウェア。PC等にインストールした上で計測したいネットワークに接続して使用する。 **【主な利用シーン】** • 無線に関する障害が発生した際の原因特定 (例: 無線が繋がらない場合 等)

出典「通信やノイズの支援・調査」オムロンフィールドエンジニアリング株式会社
(https://www.omron-fe.co.jp/solution/fa/visit_noise.html)

工場で無線の使用状況を把握する方法(2/3)

- **測定した無線の使用状況に関するグラフの読み取り方は以下の通りです。**

以下のグラフはスペクトラムアナライザで測定し、表示タイプ「Color by Utilization」で表示しています。



3 無線LANのSSID名

4 表示色

弱/低/少 強/高/多

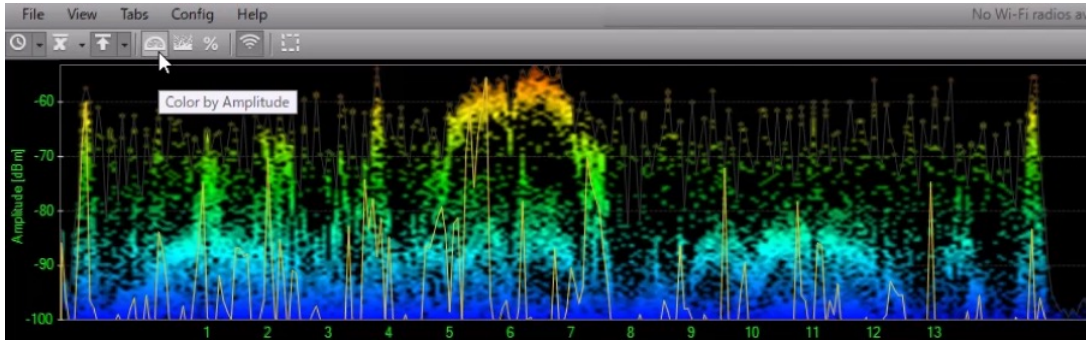
表示タイプによって電波の強度、電波の密度、電波の頻度を表示しています

表示タイプ	概要	測定方法	測定内容
Color by Amplitude[dBm]	受信した電波が強いほど赤くなる。使用頻度が高くても電波が弱ければ青くなる。	受信した電波の強さを測定	強度
Color by Density[%]	受信した電波が同じ周波数と同じ強度に存在するほど赤くなる。同じ周波数であっても強度が異なれば密度は薄まり青くなる。	受信した電波が同じ周波数、同じ強度で存在する割合を密度として測定	密度
Color by Utilization[%]	使用頻度が高い周波数ほど赤くなる。強い電波であっても瞬間的であれば青くなる。	単位時刻内毎に信号が存在した時間を頻度として測定	頻度

出典「製造現場における多種無線通信-製造現場における無線通信の課題-」板谷聡子 ほか
(https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=201702227329304987&rel=0)

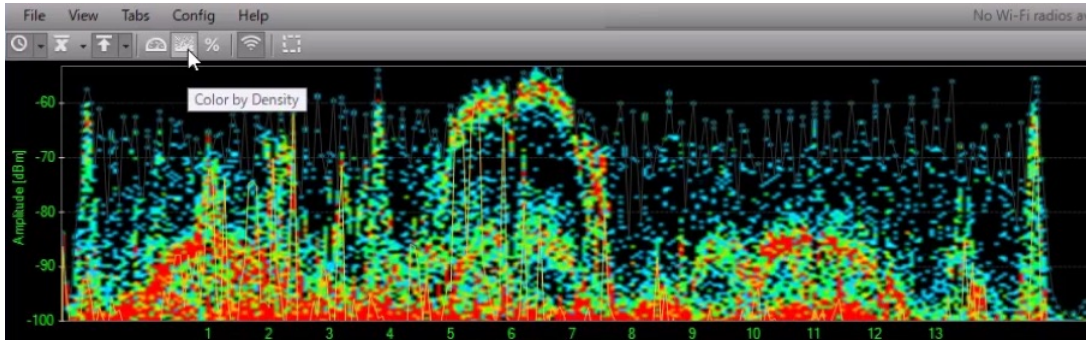
工場で無線の使用状況を把握する方法(3/3)

- 表示タイプによってグラフの見え方が変化する様子を以下に示します。



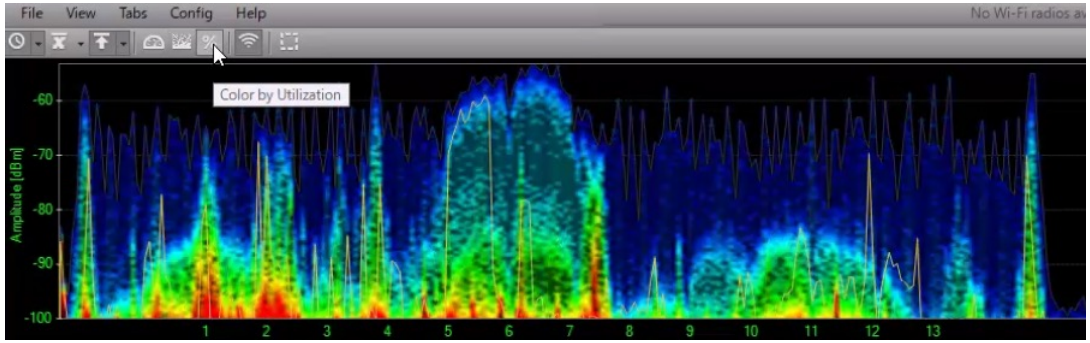
Color by Amplitude

電波の強い場所が赤くなります。



Color by Density

点の密度が高い場所が赤くなります。



Color by Utilization

使用頻度が高い場所が赤くなります。

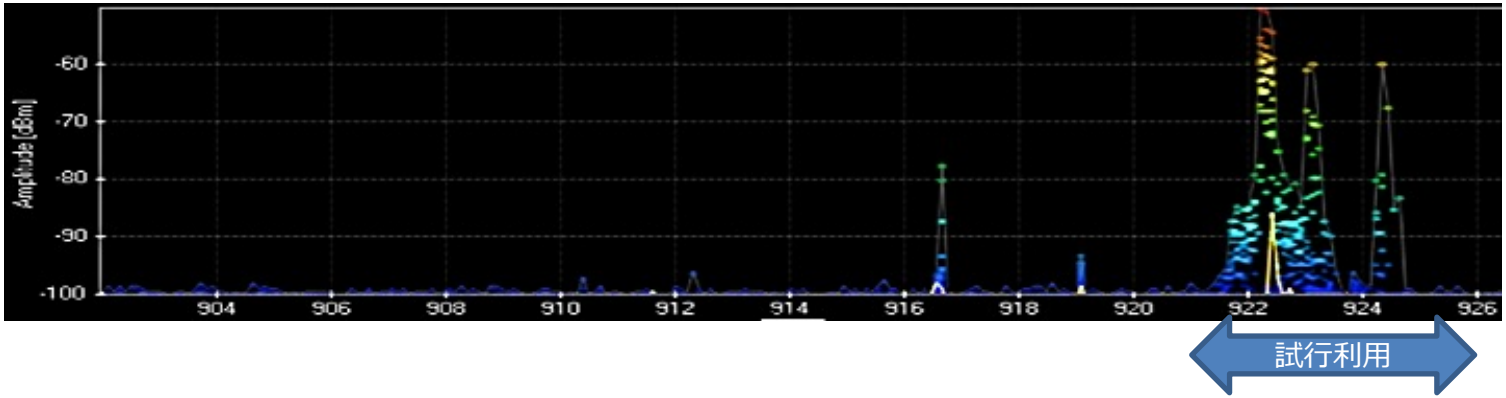
電波環境の変化(1/3)

- **電波環境は固定的でなく、ラインの動きや配置換え、無線の新規導入等により変化します。**

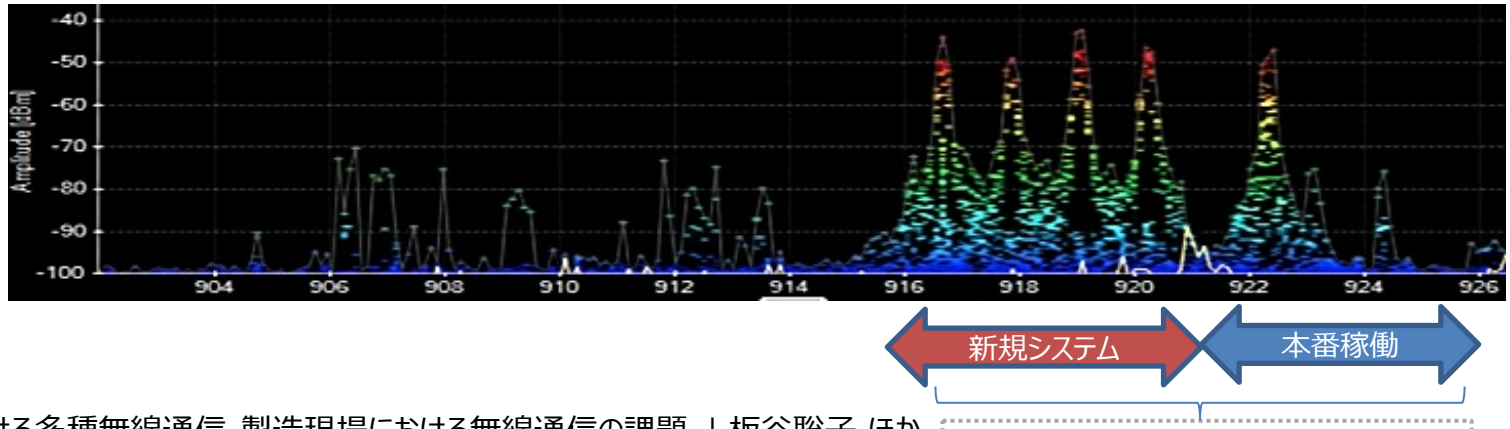
以下のグラフでは、2015年7月には測定されていなかった電波が、新規システムの導入により2015年12月には測定されたことを示しています。(表示タイプ「Color by Amplitude」で表示)

新規システムの導入による電波環境の変化(例)

2015年
7月



2015年
12月



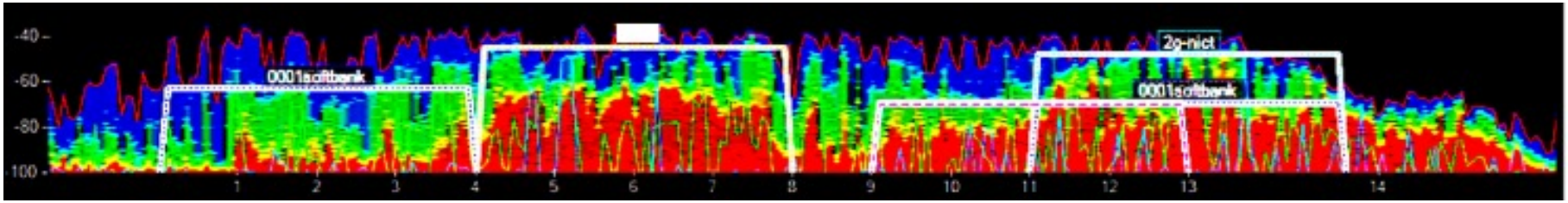
出典「製造現場における多種無線通信-製造現場における無線通信の課題-」板谷聡子 ほか
(https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=201702227329304987&rel=0)

電波環境の変化(2/3)

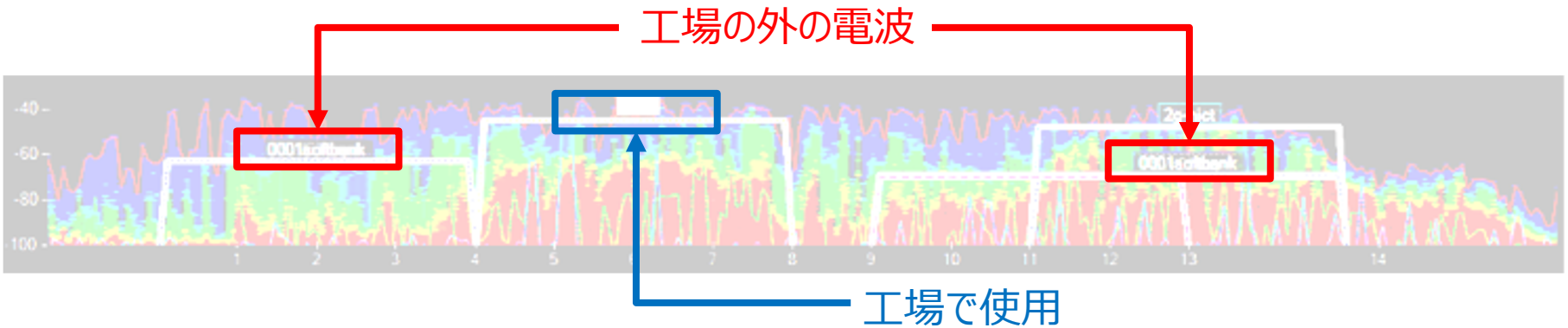
- 外部からの電波が工場の中の電波環境に影響を与える場合もあります。

外部からの電波による、工場の中の電波環境の変化(例)

居住区域に近い位置にある工場におけるスペクトラムアナライザのスナップショット(2.4GHz)



(表示タイプ「Color by Utilization」で表示)



出典「製造現場における多種無線通信-製造現場における無線通信の課題-」板谷聡子 ほか
(https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=201702227329304987&rel=0)

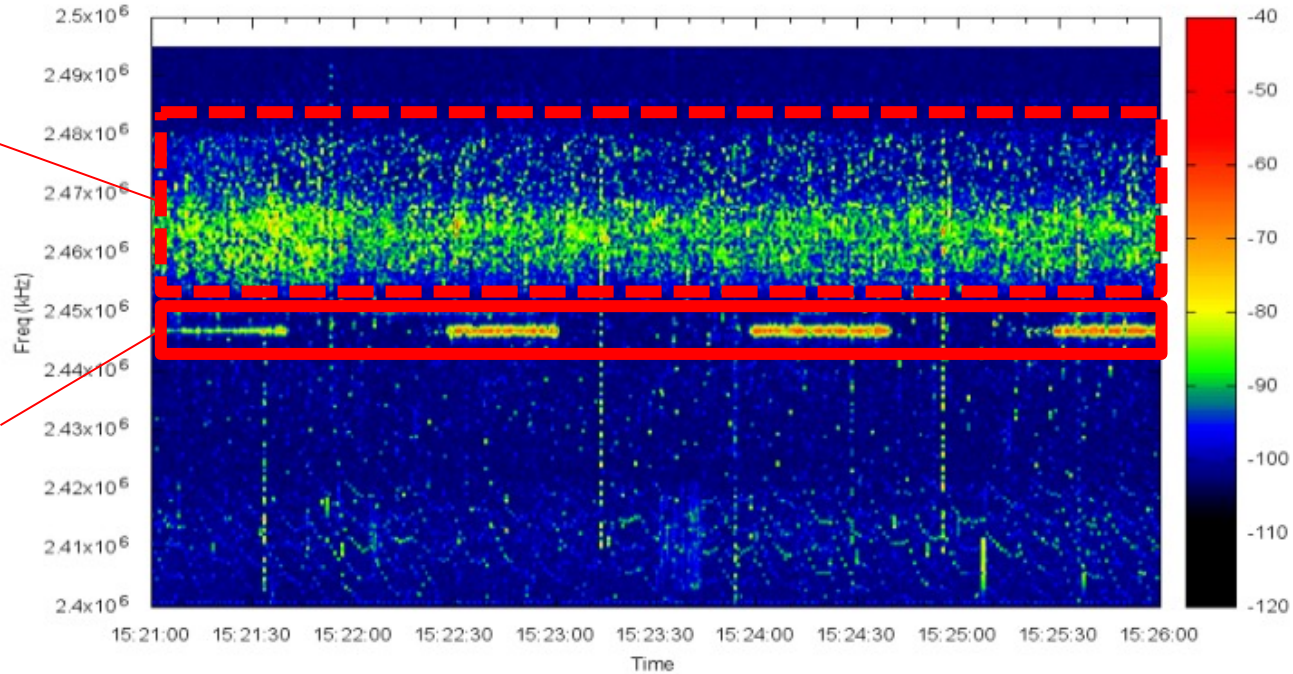
電波環境の変化(3/3)

- **既存の無線通信機と新規に導入する無線通信機が同じ周波数で混在する場合は、相互に悪影響を及ぼす場合があるので注意が必要です。**

Wi-Fiを用いたシステムとそれ以外の無線通信規格を用いたシステムが異なる周波数で共存する例
※ 同じ周波数で混在すると問題が発生する可能性があります

Wi-Fiを用いたシステム

Wi-Fi以外の無線通信規格を用いたシステム



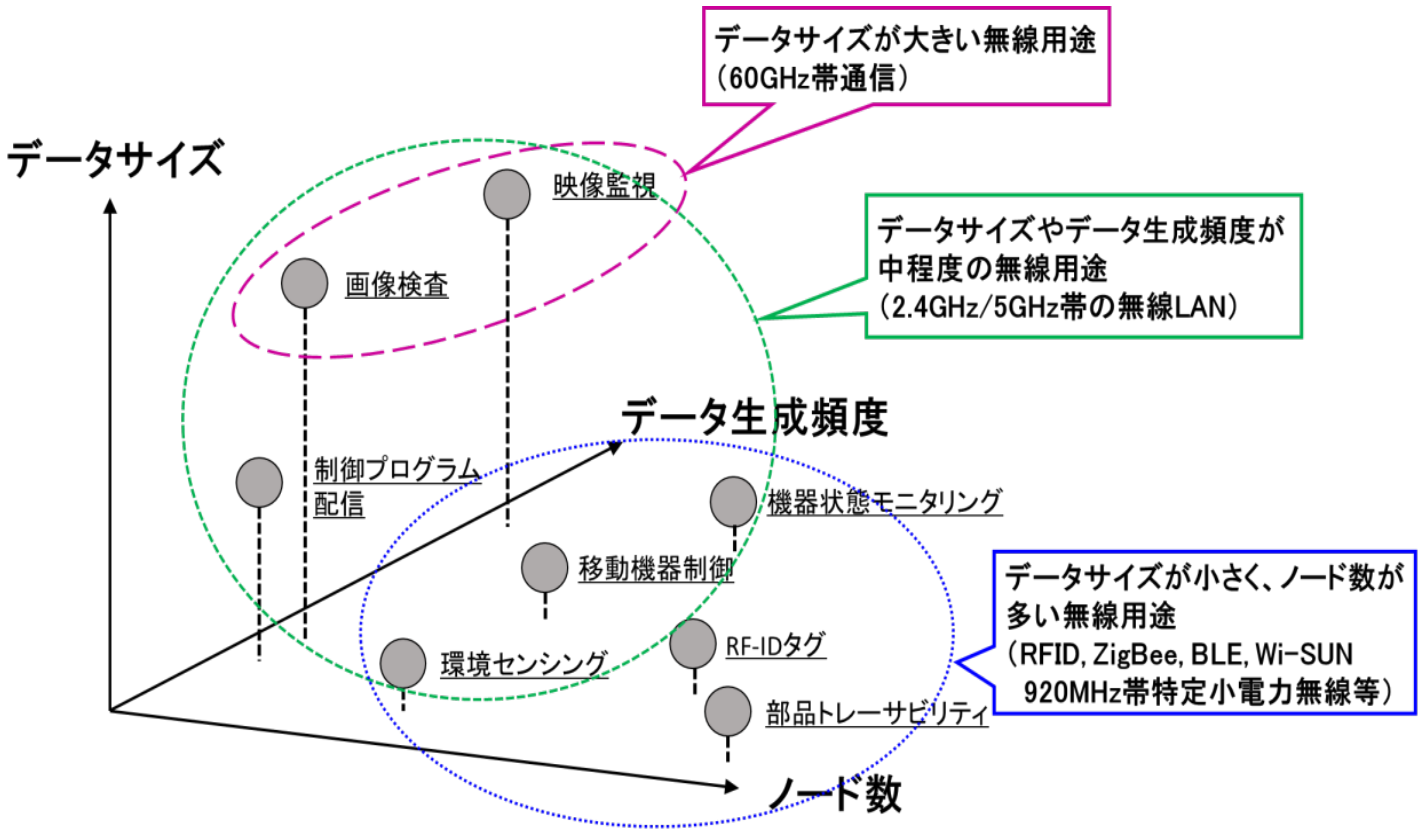
出典「Wired/Wireless Use Cases and Communication Requirements for Flexible Factories IoT Bridged Network」IEEE (https://mentor.ieee.org/802.1/dcn/17/1-18-0025-05-ICne.pdf)

5.工場における無線によるシステム構成例

無線ユースケース(特徴)

- **工場における無線の活用においては、データサイズやデータ生成頻度、通信する機器の数(ノード数)を考慮したうえで無線方式と機器を選定することが必要です。**

代表的な無線ユースケースと無線としての特徴

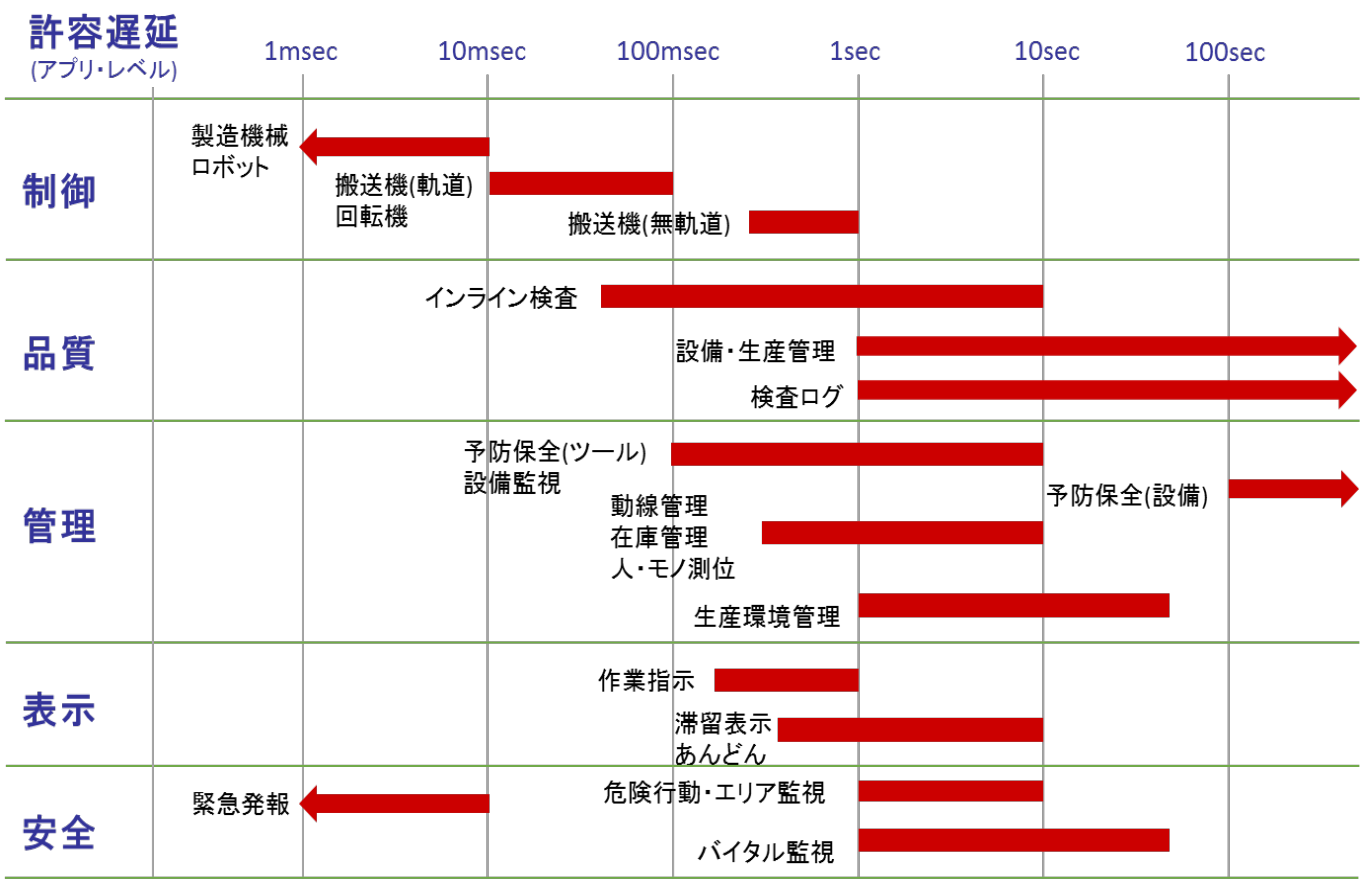


出典「製造現場における無線ユースケースと通信要件(要約版)第1.0版、2017年3月31日」国立研究開発法人情報通信研究機構

無線ユースケース(許容遅延)

- 工場におけるユースケースごとに、許容される遅延の程度は異なります。
- そのため、許容遅延を考慮したうえで、無線方式や機器を選定する必要があります。

代表的な無線ユースケースの許容遅延



出典「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、2017年3月31日」国立研究開発法人情報通信研究機構

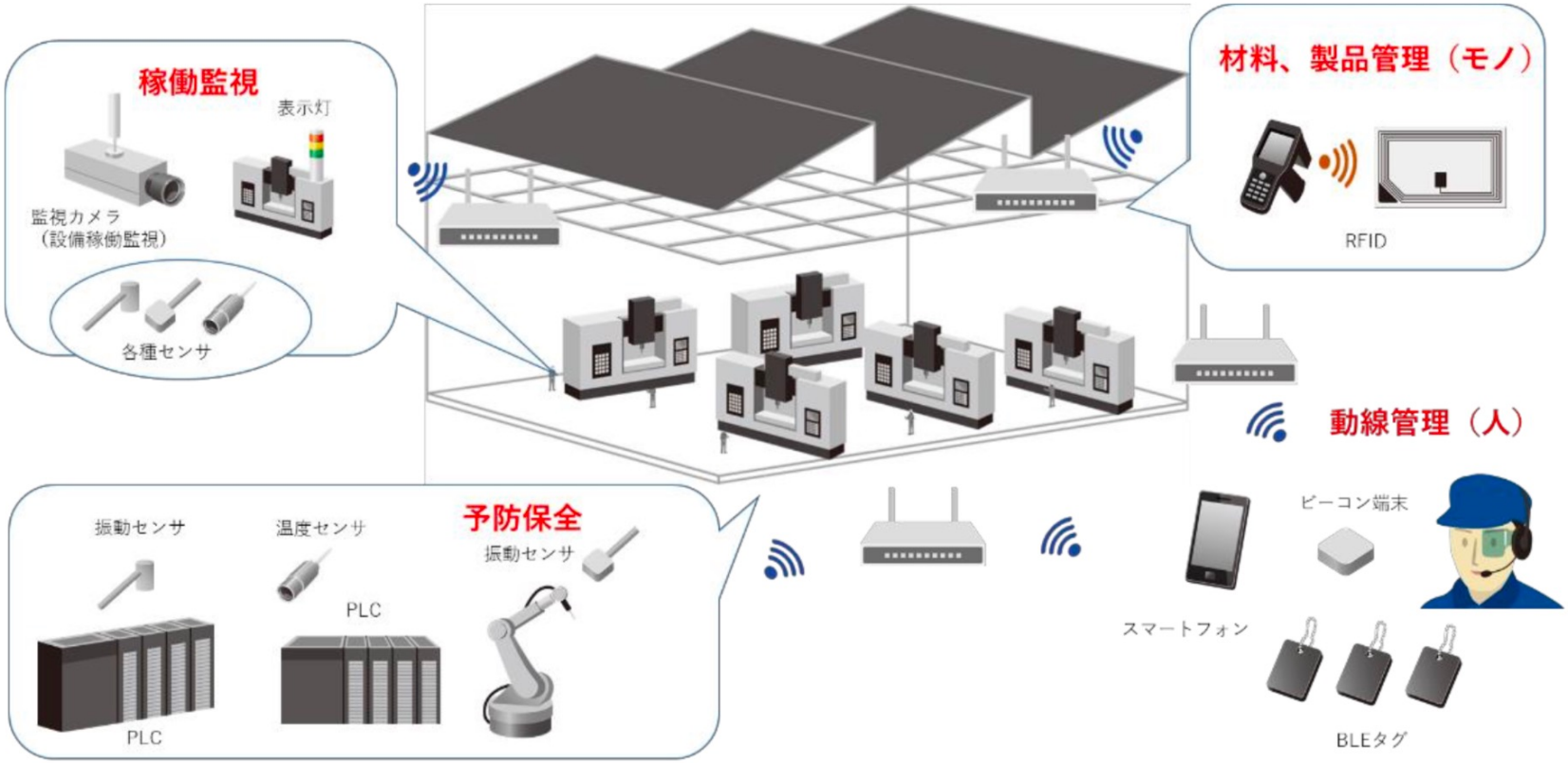
工場における主な無線規格一覧

無線規格	周波数帯	速度(規格上)	実効距離(目安)
IEEE 802.11b/g/n (Wi-Fi)	2.4 GHz	1～600 Mbps	40 m
IEEE 802.11a/n (Wi-Fi)	5 GHz	6～600 Mbps	30 m
IEEE 802.11ac (Wi-Fi 4)	5 GHz	6.93 Gbps	30 m
IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6)	2.4 GHz 5 GHz	9.6 Gbps	30～40 m
Bluetooth 2.1	2.4 GHz	3 Mbps	5 m
Bluetooth 4.0 (Bluetooth Low Energy)	2.4 GHz	1 Mbps	5 m
Bluetooth 5.0 (Bluetooth Low Energy)	2.4 GHz	125･500 kbps 1･2 Mbps	10 m
IEEE 802.15.4 (zigbee)	2.4 GHz	250 kbps	50 m
IEEE 802.15.4g/e (Wi-SUN)	920 MHz	50～400 kbps	500 m

工場タイプ別事例 ①金属加工現場での無線利用シーン

- 移動監視や予防保全では既存の工作機械に無線センサを後付けします。
- モノや人の管理では無線により位置情報を把握します。

金属加工現場での無線利用イメージ(例)

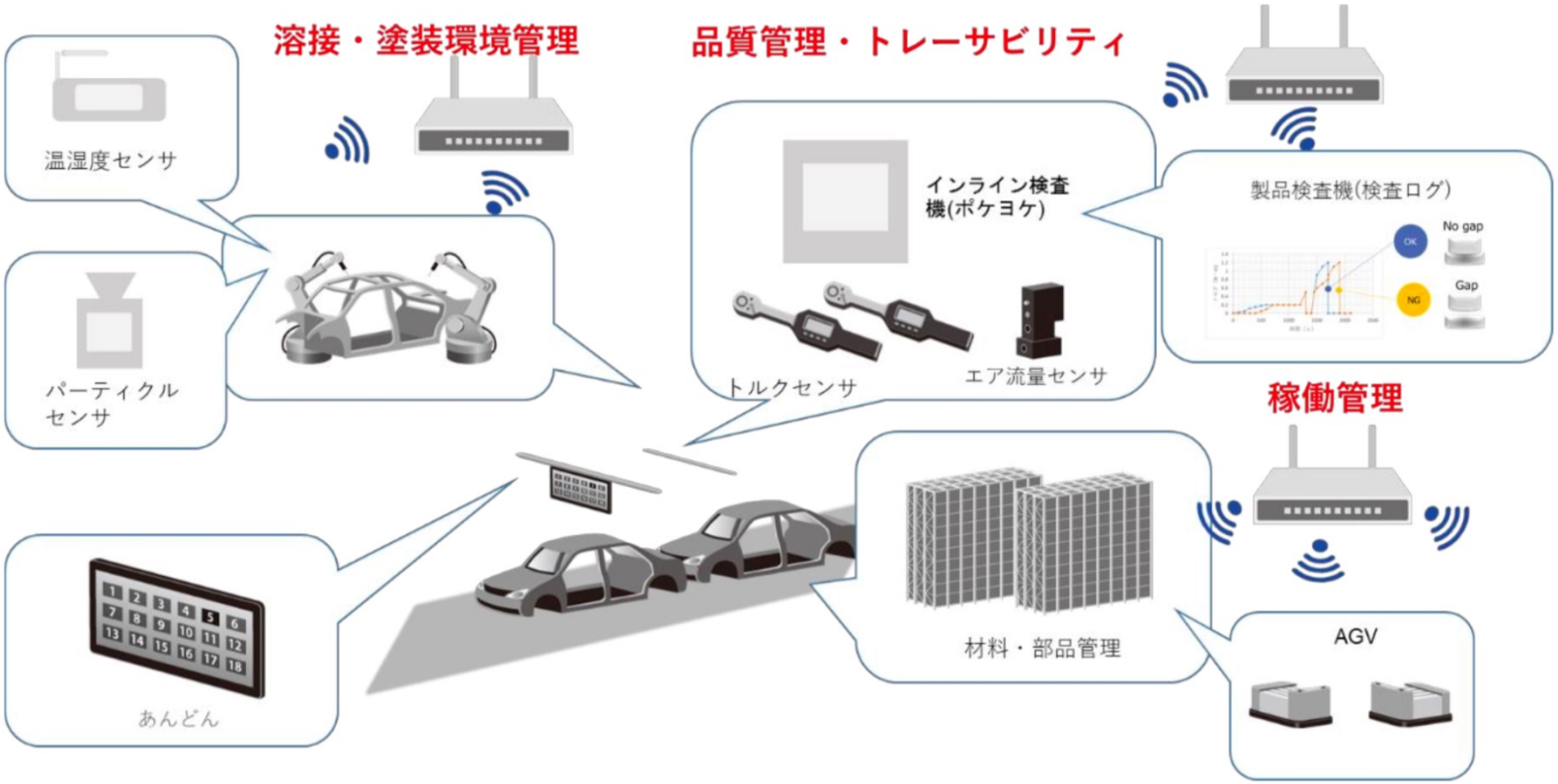


出典「製造現場における無線ユースケースと通信要件(要約版)第1.0版、2017年3月31日」国立研究開発法人情報通信研究機構

工場タイプ別事例 ②機械組立工場での無線利用シーン

- 溶接、塗装ラインでは無線センサにより環境を管理します。
- 組立ラインでは、工具やセンサから無線でデータを収集します。
- AGV稼働の管理にも無線を活用します。

機械組立工場での無線利用イメージ(例)

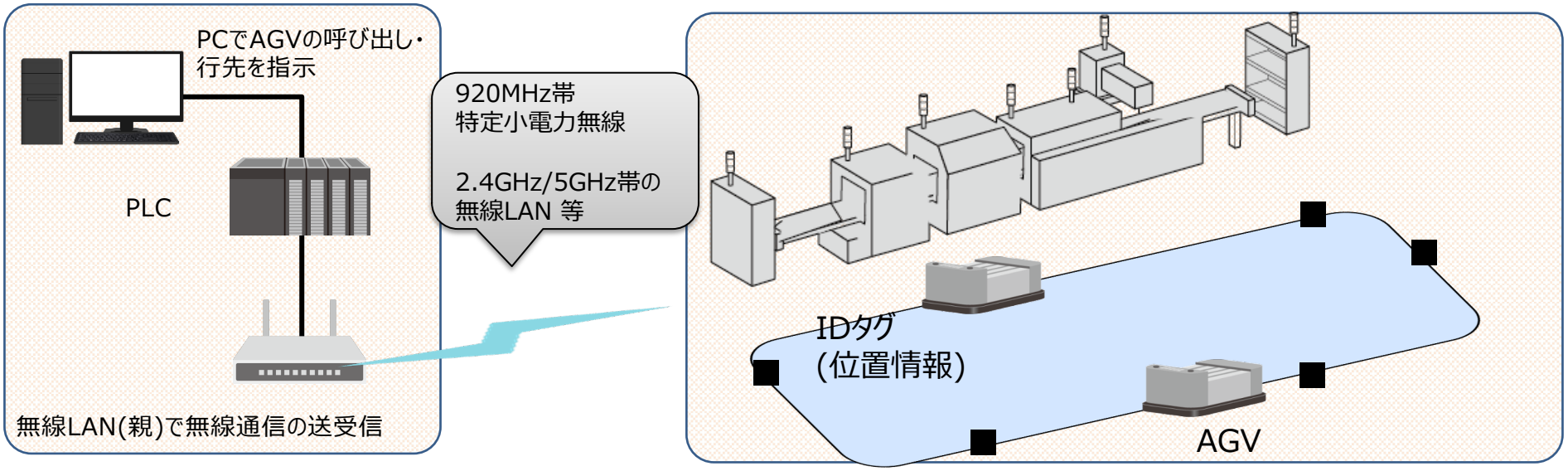


出典「製造現場における無線ユースケースと通信要件(要約版)第1.0版、2017年3月31日」国立研究開発法人情報通信研究機構

個別システム例 ①AGVの呼び出し・行先指示システム

- **無線を導入することで、PCを用いたAGVの呼び出し・行先指示が可能となります。**

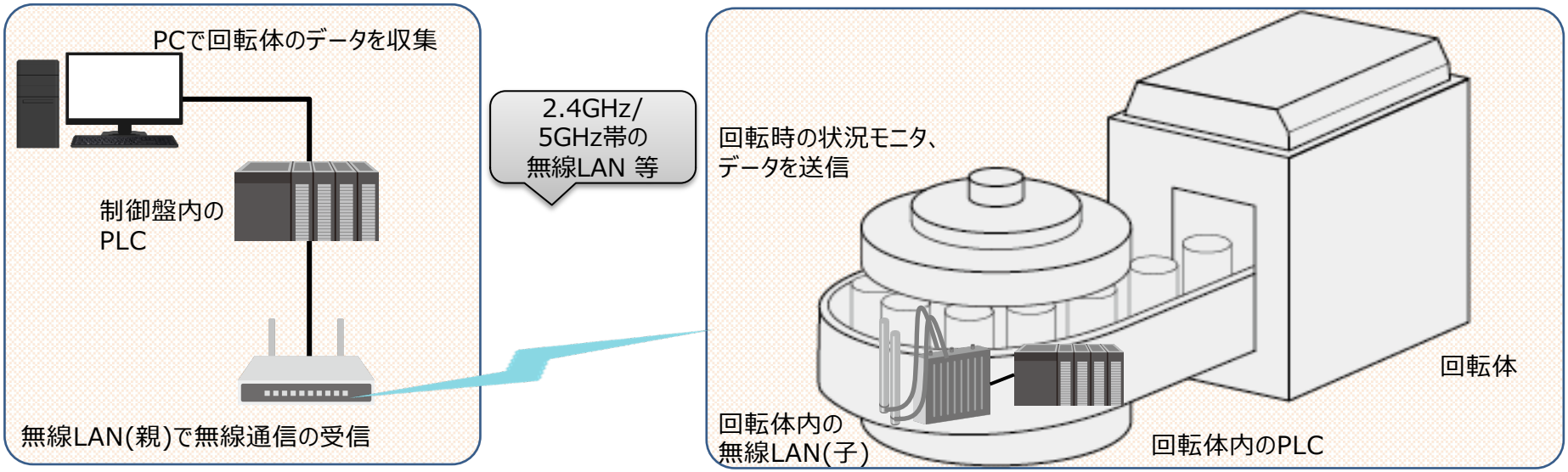
現場の課題	• AGVとのデータ通信を行いたいが、移動体のため配線が不可能。 • 光通信も検討したが、ホコリの影響や光軸ズレが心配。
解決方法(例)	• 地上局、移動体、分岐・合流切り替え盤を無線で制御。
無線導入のメリット	• 配線工数・配線費用の低減が可能。 • 工場のレイアウトフリーの実現。



個別システム例 ②回転体のスリップリングレス化

- **無線を導入することで、回転体のモニタリングやデータ収集が可能となります。**

現場の課題	• 充填機等の回転体に対して、回転時の状況モニタやデータ収集をしたいが、配線するにはスリップリング等が必要。 • スリップリングは大容量データの収集には適さず、消耗品の定期交換も必要。
解決方法(例)	• 回転時の状況モニタやデータ収集等、大容量データを無線で取得。
無線導入のメリット	• 回転体のあらゆるデータを収集可能。 • 配線工数・配線費用の低減が可能。 • 消耗品の定期交換も不要。

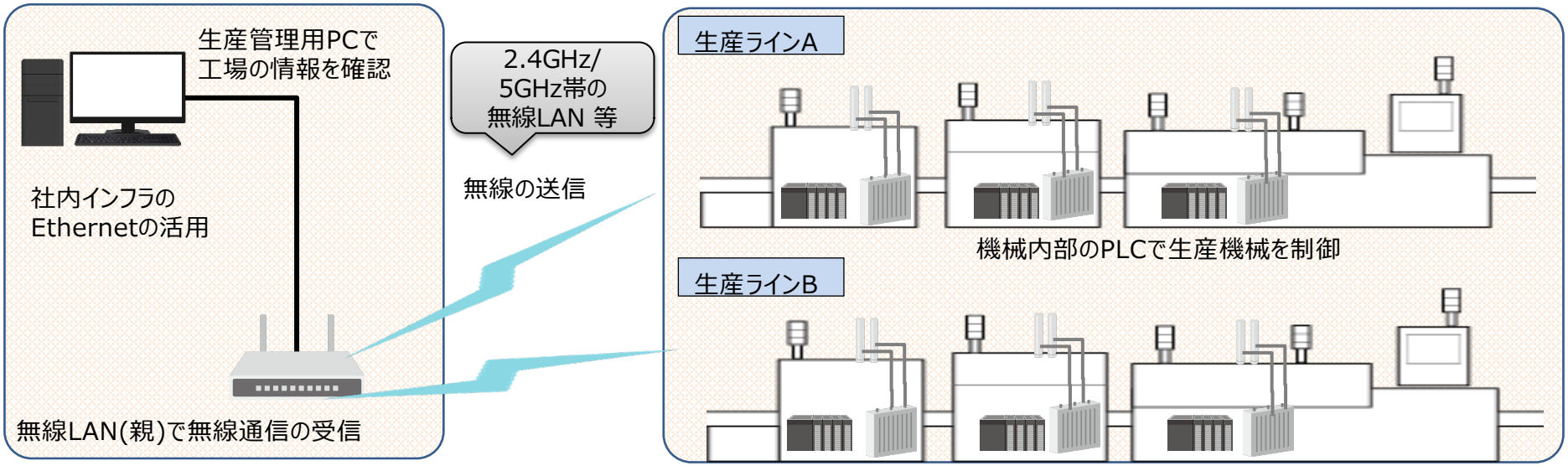


事務所・管理室　　**工場**

個別システム例 ③工場内の無線LAN化

- **無線を導入することで、工場の情報を事務所等でも確認可能となります。**

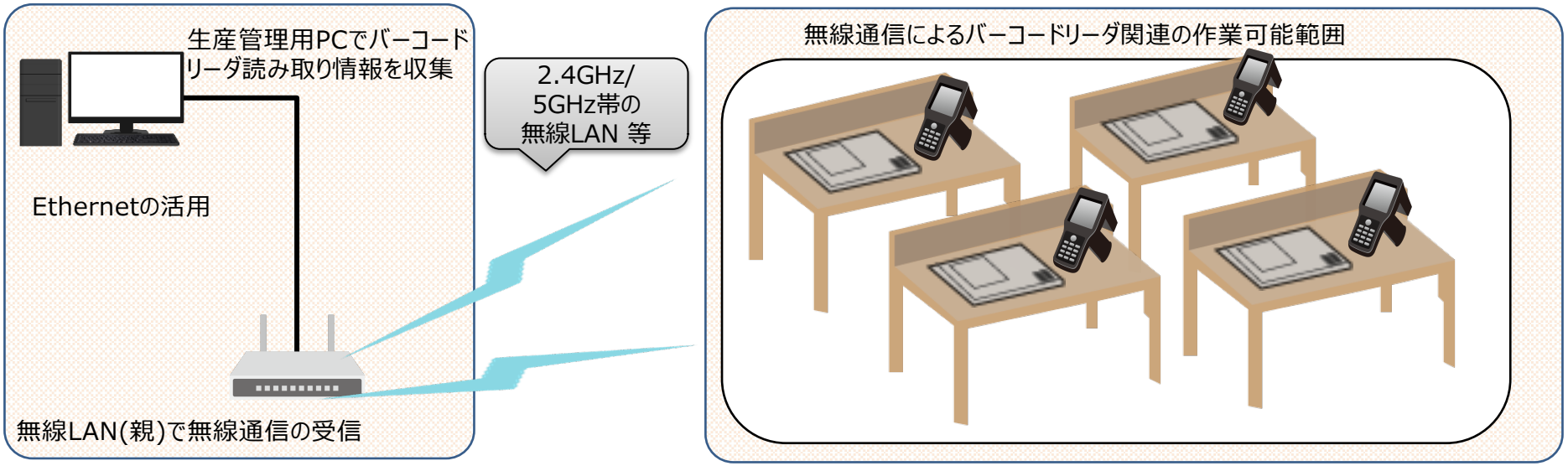
現場の課題	• 工場の情報を事務所で共有したい。 • ネットワーク化をしたいが配線工事に費用がかかる。
解決方法(例)	• 無線機なら社内インフラのEthernetをそのまま接続可能。
無線導入のメリット	• 事務所等で工場の情報を確認できる環境を構築可能。 • 配線工数、配線費用の低減が可能。 • 工場のレイアウトフリーを実現。



個別システム例 ④無線バーコードリーダーシステム

- **無線を導入することで、バーコードリーダの使用可能数を増やすことが可能です。**
- **また、バーコードリーダ読み取りに関連する作業範囲の拡大が可能です。**

現場の課題	• 有線のバーコードリーダを使用しているが作業範囲が限定される。 • 台数増加時に容易にバーコードリーダシステムを構築したい。
解決方法(例)	• 無線機アクセスポイント(親機)を使用した無線バーコードリーダ(子機)との接続。
無線導入のメリット	• バーコードリーダを用いた読み取りに関連する作業効率の向上。 • 工場のレイアウトフリーを実現。

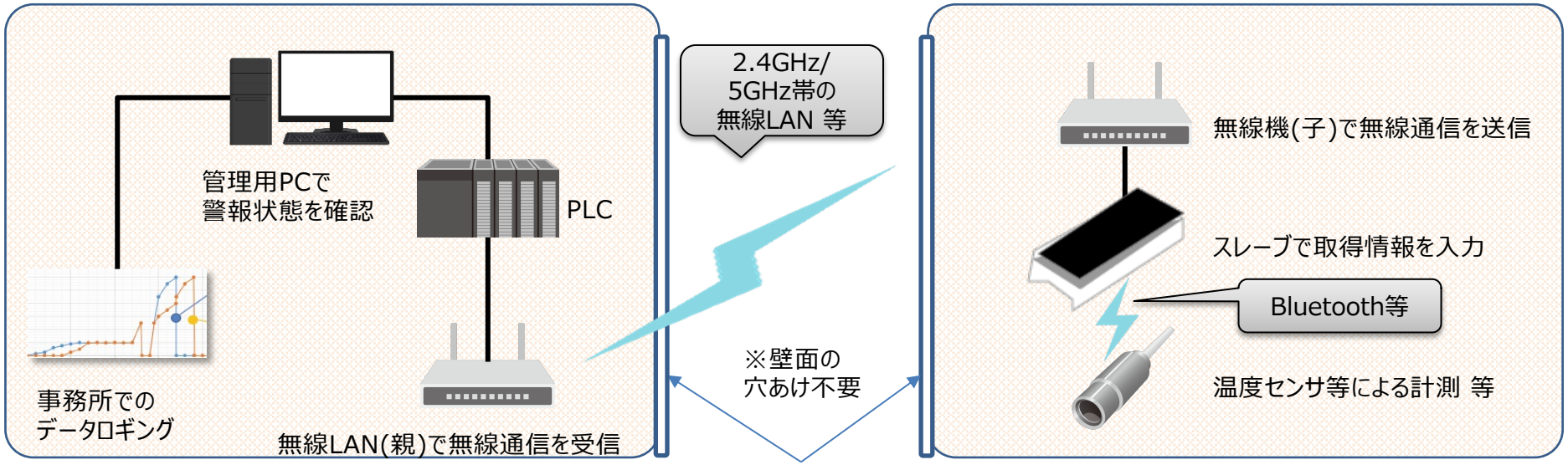


事務所・管理室　　**工場**

個別システム例 ⑤クリーンルームのフルリモート監視

- **無線を導入することで、クリーンルームの定期計測、異常対応作業の効率化が可能となります。**

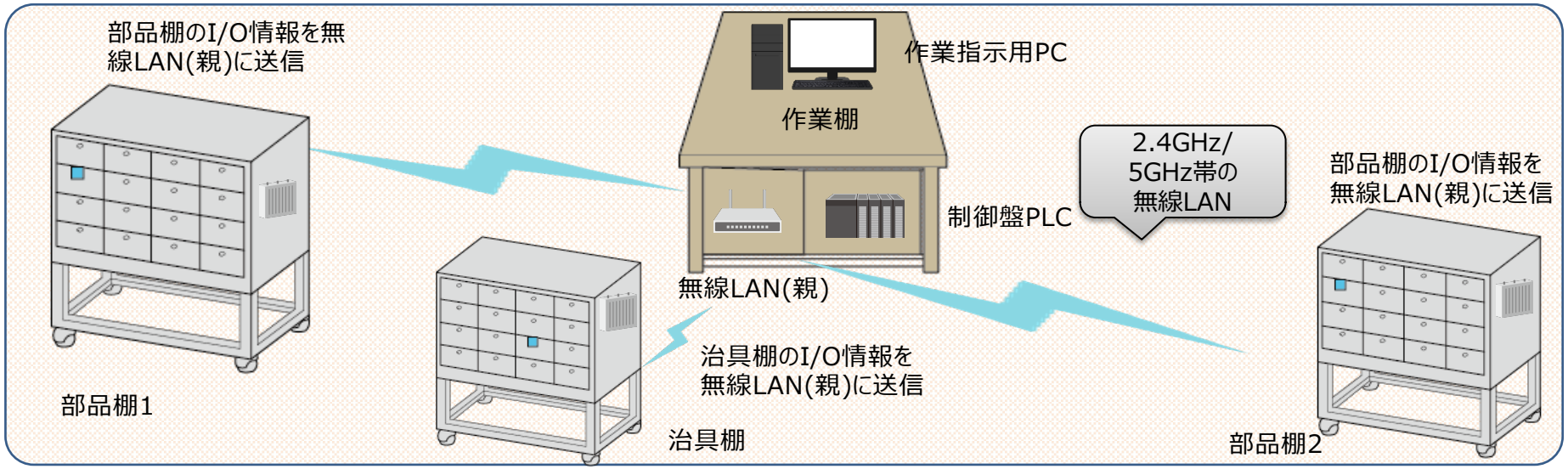
現場の課題	• クリーンルームでの定期計測、異常対応による事務所とクリーンルームの往復が増加。 • 出入りのたびに専用作業着の着脱、エアシャワーを浴びるのが手間。
解決方法(例)	• 無線機によるクリーンルームのフルリモート監視。
無線導入のメリット	• 事務所でのデータロギング、警報状態確認が可能。 • ガラスは電波を透過するため、壁面の穴あけが不要。



個別システム例 ⑥セル生産方式の省配線システム

- **無線を導入することで、セル生産方式における配線ミス、コネクタジョイントミスの撲滅が可能となります。**

現場の課題	• セル生産では多品種少量生産が主流であり、段取り替えに時間がかかる。 • 配線の引き回しにも注意が必要。
解決方法(例)	• 部品、治具棚のI/O情報を無線機に集約する。
無線導入のメリット	• 電源再投入でのスピーディな立ち上がりが可能。 • 配線ミス、コネクタジョイントミスの撲滅が可能。 • 工場のレイアウトフリーを実現。

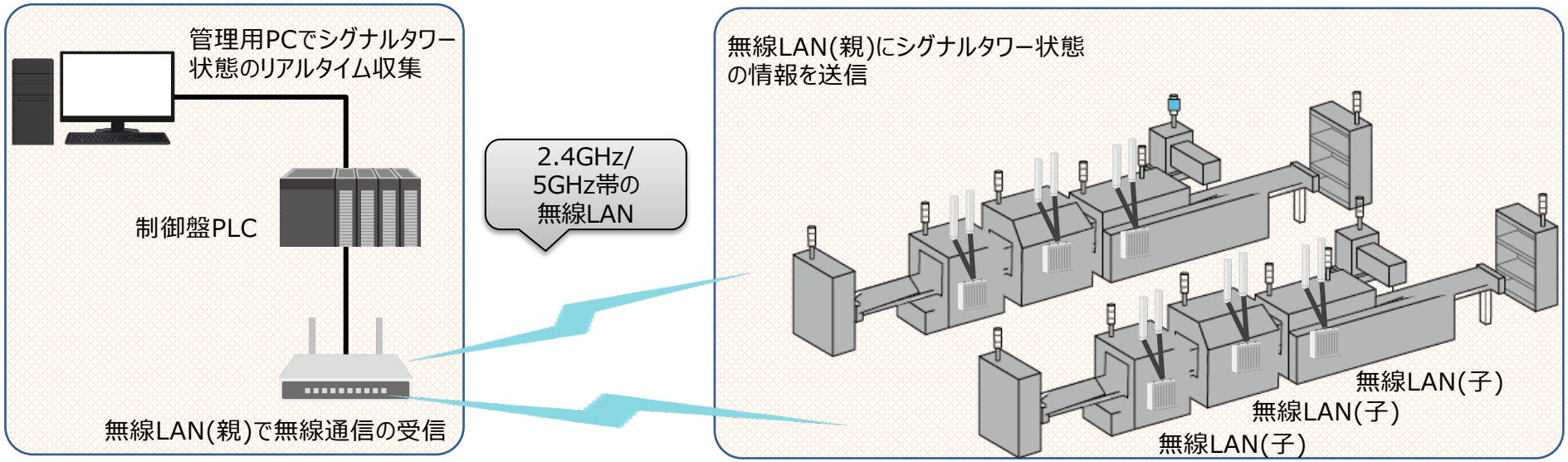


工場

個別システム例 ⑦TPM活動現場情報収集システム

- **無線を導入することで、TPM活動の効率化が可能となります。**

現場の課題	• TPM活動のために工場に様々な仕掛けが必要となり、煩雑な配線となっている。 • レイアウト変更があると配線の引き直し工数が膨大になる。
解決方法(例)	• 無線機によるシグナルタワー状態のリアルタイム収集。
無線導入のメリット	• 配線工数・配線費用の低減が可能。 • 保全員への迅速な呼び出しが可能。 • 工場のレイアウトフリーを実現。

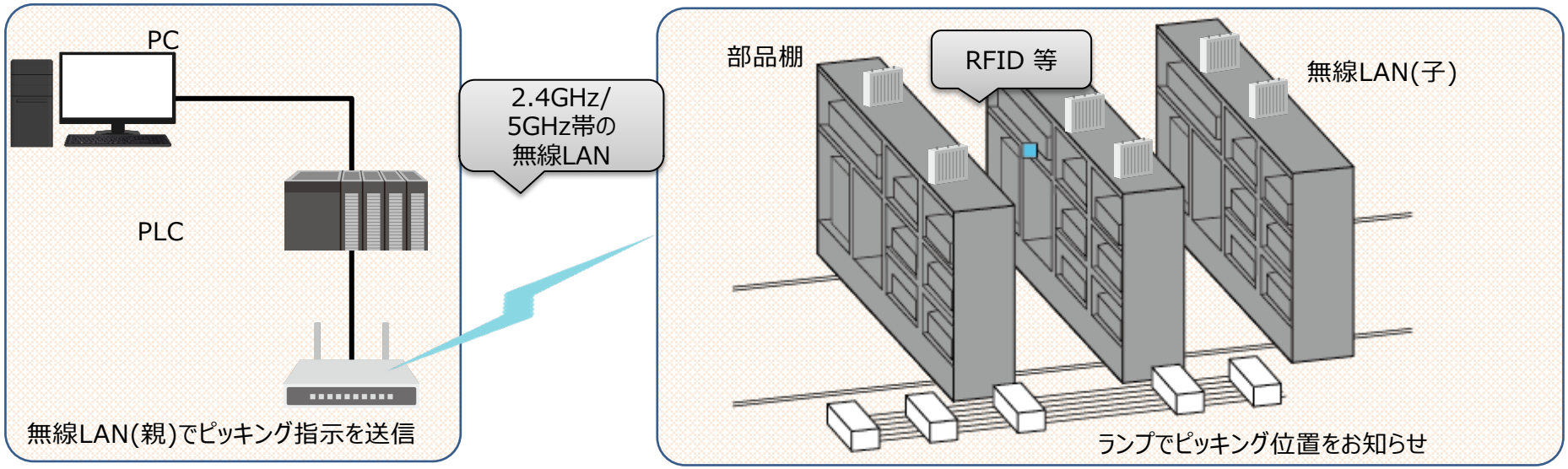


事務所・管理室　　**工場**

個別システム例 ⑧部品ピッキング指示の表示

- **無線を導入することで、部品ピッキング作業における作業効率の向上、作業ミスの撲滅が可能となります。**

現場の課題	• 部品ピッキングは作業者の品番暗記であり、作業のムラが発生し、ミスの危険性もある。 • 有線のピッキング確認システムでは、棚内での部品の置き場所が変わるたびに配線の引き直しが必要となり、都度工数と費用がかかる。
解決方法(例)	• 無線機で部品ピッキング指示の送信。
無線導入のメリット	• 配線工数・配線費用の低減が可能。 • 作業者の作業効率の向上、作業ミスの撲滅が可能。 • 工場のレイアウトフリーを実現。

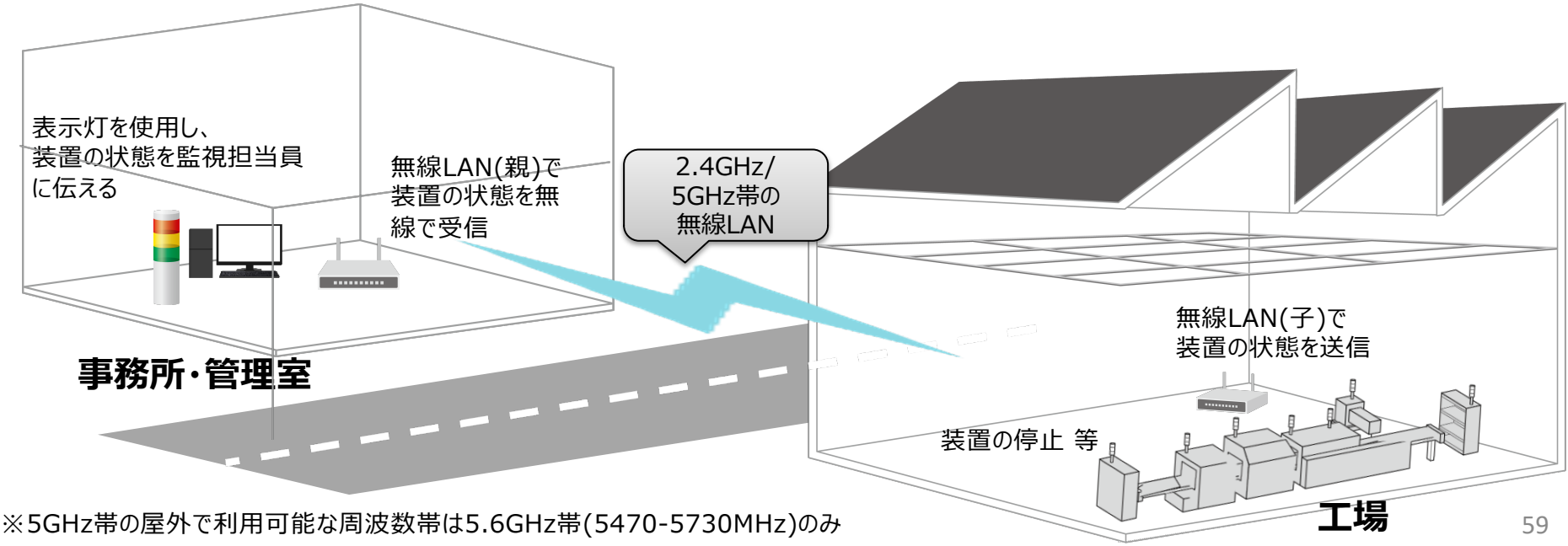


事務所・管理室　　**工場**

個別システム例 ⑨工場内建物間の信号伝送

- **無線を導入することで、工場内建物間の装置監視を効率的に実施できるようになります。**

現場の課題	• 工場内の建物をまたぐ装置監視を人間が行っており、定期的な見回り、監視が必要。 • そのため、装置の稼働率低下や監視担当員の業務効率の低下が発生。
解決方法(例)	• 無線機により、装置の状態(正常・異常)を無線通信で把握。
無線導入のメリット	• 配線工数、配線費用の低減。 • 装置の稼働率、監視担当員の業務効率の向上。



※5GHz帯の屋外で利用可能な周波数帯は5.6GHz帯(5470-5730MHz)のみ

6.工場における無線の導入手順

無線の導入の概要

- **現場に無線を導入する際には3つの手順があります。**
- **特に、事前調査と導入時のテストが重要となります。**
- **無線は環境の変化による影響を受けるため、ある程度の期間にわたる事前調査とテストの実施を推奨します。**

現場に無線を導入する際の3つの手順

事前調査 → 導入作業 → **導入時のテスト**

事前調査

① 現場での位置関係の確認

- 無線機の設置場所
- 無線機での通信経路

② 現場での無線環境確認

- 工場に導入済みの無線
- 工場周辺で利用されている無線

③ 模擬的な無線実験

導入時のテスト

現場での通信品質の確認

- 受信信号強度(RSSI)
- パケットエラー率(PER)

事前調査 ①現場での位置関係の確認

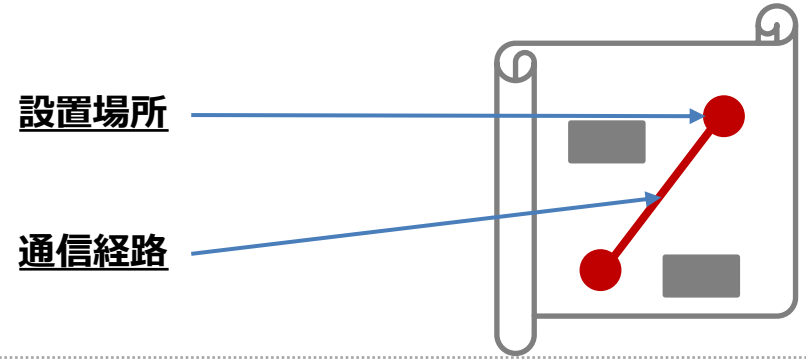
事前調査 → 導入作業 → 導入時のテスト

- **事前調査における位置関係の確認では、無線の設置場所と通信経路を検討します。**

現場に向かう前の事前準備

- フロアマップ上で無線機の設置場所と無線での通信経路を検討

設置場所	□ 周囲に電波に影響を与える障害物が無い □ アンテナを立てられる □ アンテナは高い位置に設置できる □ 電源を確保できる
通信経路	□ 経路上に障害物が無い ※金属の塊や網は経路を遮断 □ 経路上に人の往来が無い □ 経路は高い位置にある



現場での実施事項

- フロアマップ上での検討通りの設置場所、通信経路を確保できるか確認
- 現場での実際の状況を考慮し、最終的な位置関係を決定

事前調査 ②現場での無線環境の確認

事前調査 → 導入作業 → 導入時のテスト

- **事前調査における無線環境の確認では、工場に導入済みの無線システムや、無線環境を調査した上で、使用する周波数(チャネル)を決定します。**

現場に向かう前の事前準備

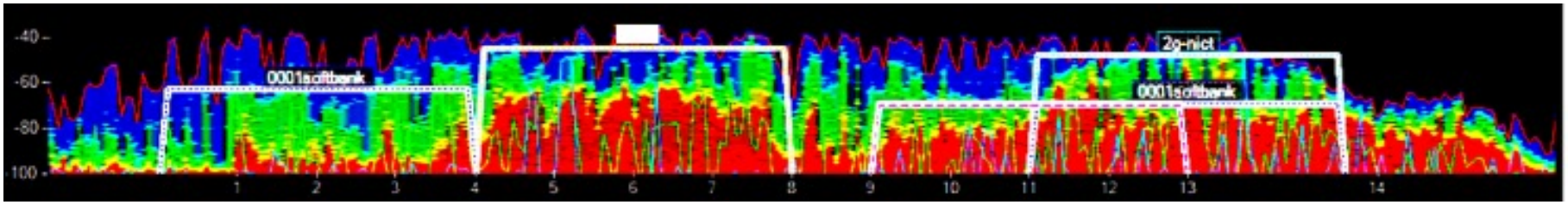
- 工場に導入済みの無線システムを確認
  (既存の※管理記録等を参照)
  ※管理記録については、次ページ

現場での実施事項

- スペクトラムアナライザで無線機の設置予定場所での無線環境を確認
- 現場での実際の状況を確認し、使用する周波数(チャネル)を決定

(参考)スペクトラムアナライザを用いた無線環境の確認

工場に導入済みの無線 ← 管理記録通りの周波数で動いているか



周辺で利用されている無線

周辺で利用されている無線

事前調査 ②現場での無線環境の確認

事前調査 → 導入作業 → 導入時のテスト

- **管理記録には、機器名、台数、無線関連情報、通信関連情報、設置場所、管理部門、管理者名等を記録します。**

管理記録(例)

管理No	機器名	台数	無線関連情報				通信関連情報		設置場所	管理部門	管理者
			無線仕様	周波数帯[Hz]	チャネル[ch]	周波数[MHz]	頻度	データ量			
1	監視カメラ	3	IEEE802.11g	2.4G	1	2412	常時	2MB/sec (1台ごと)	第3工場 第2組み立てライン	生産管理部	田中M
2	環境センサー	50	独自	920M	60	927.9	1回/時	0.1kB/h (1台ごと)	第2工場 全フロア	総務部	佐藤M
3	プレス機	1	ノイズ	2.4G	–	–	プレス加工時	–	第1工場 北側	プレス加工部	鈴木M
‥	…	…	…	…	…	…			…	…	…

事前調査 ③模擬的な通信実験

事前調査 → 導入作業 → 導入時のテスト

- **事前調査における模擬的な通信実験では、現場での無線の通信品質を考慮したうえで、変動を含めて許容可能なら無線を導入します。**

現場に向かう前の事前準備

通信方法、無線機の性能の机上検討

- 送受信したいデータ量、無線機の通信速度を確認し、比較と選定

導入予定の無線機、または同等の通信を行う無線機の準備

- 使用する周波数で、送受信したいデータを実際に送受信できる無線機が理想

現場での実施事項

実験機を導入予定位置に設置して送受信を試行し、通信品質を確認

- 現場での実際の状況にあわせて使用する周波数(チャネル)を再確認
- 現場での実際の通信品質を確認し、変動を含め許容可能なら導入

通信実験における確認事項

理想	後述の「導入時のテスト」と同様の評価を、ある程度の期間実施 • 評価項目: RSSIおよびPER (詳細後述) • 期間: 環境の周期的な変化が一巡する期間以上
最低限	許容範囲のエラー率で送受信ができることを確認

導入作業

事前調査 → 導入作業 → 導入時のテスト

- **予め、無線機の設定を完了した上で、導入想定位置に無線機を設置します。**
- **疎通が確認できない場合は、疎通可能な位置を探ります。**

現場に向かう前の事前準備

- 電波が確実に届く範囲で無線機の設定を完了し、疎通を確認
- 設定ミスが無いことを予め確認することで、現場での負担を軽減

(例) インフラストラクチャモードの
Wi-Fi 無線機を利用する場合の事前準備

- 親機(アクセスポイント)と子機(クライアント)に同じチャネルとSSIDを設定
- クライアントからアクセスポイントにpingコマンドでデータ送信し受信を確認

現場での実施事項

- 疎通確認済みの無線機を想定位置に設置し、疎通を確認

現場で疎通しない場合の対応

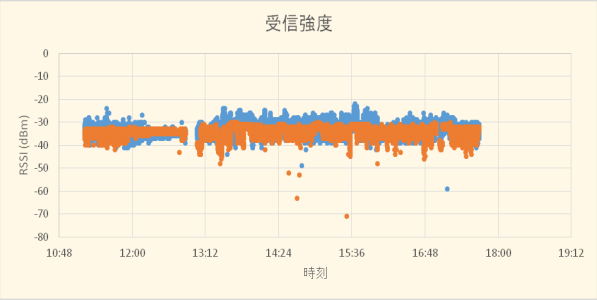
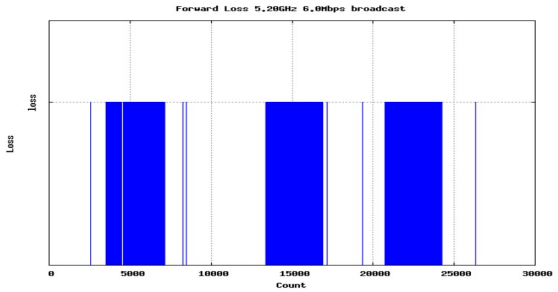
- 事前調査で送受信ができており、設定ミスが無いことが確認できている場合、事前調査から導入までに環境が変化し、電波が届いていない可能性あり
- 無線機の設置位置を近付ける等の調整を行い、疎通可能な位置を探る

導入時のテスト

事前調査 → 導入作業 → 導入時のテスト

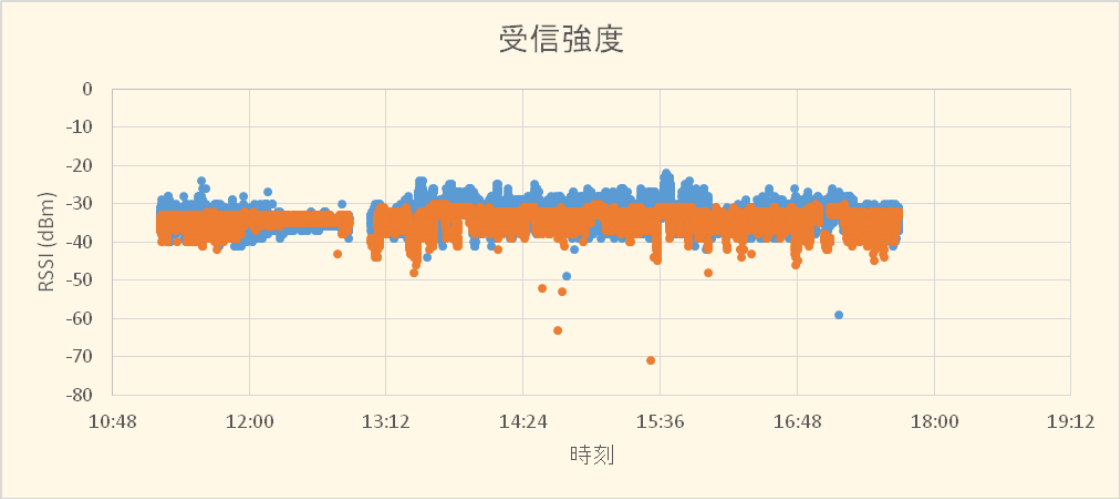
- **無線環境の周期的な変動が一巡する間、実際のデータを送受信し、RSSIとPERの値の変動が許容範囲であれば合格とみなします。**

(製品付属のツール等を用いて実行します※具体的な手順等は製品マニュアル等を参照)

確認対象	定義	確認ポイント	グラフ例
RSSI	**受信信号強度** 受信機が受け取った電波の強さ	• 無線環境の周期的な変動が一巡する期間、RSSIの値が無線機の仕様で定められている最低受信感度に対して余裕があること	
PER	**パケットエラー率** 送信データが受信されない割合	• 無線環境の周期的な変動が一巡する期間、PERの値が無線機の利用目的に対し許容範囲内であること	

導入時のテスト(参考)

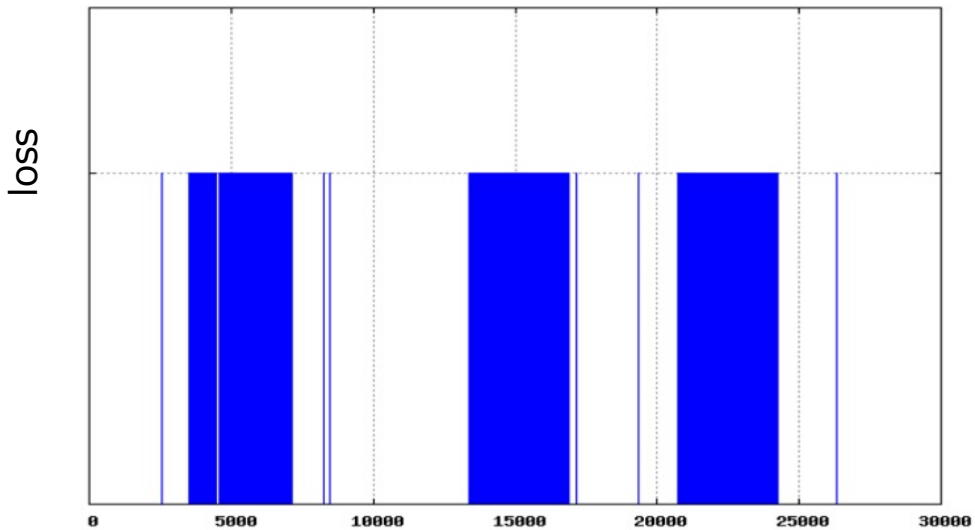
RSSIのグラフ(例)



RSSIのグラフ(例)の解説

- 青: 固定局、オレンジ: 移動局
- 周囲で人の動きあり。
- -40dBm～-30dBmと、RSSI的には十分な強さがあり、変動も少ない。

PERのグラフ(例)



PERのグラフ(例)の解説

- 横軸はパケット番号を示している。
- パケットロスが発生する度に、縦線が引かれる。
- 線の密度が高い程、高頻度にパケットロスが生じている。

7.無線の管理・運用

無線管理の概要

- 工場において適切に無線を管理するためには、予め理解しておくべきことと、決めておくべきことがあります。

項目	実施事項
予め理解しておくべきこと	管理目的
	管理方針
決めておくべきこと	管理対象
	管理実施者
	管理方法

無線の管理目的

- **無線管理の目的は、工場で使用する無線通信において、用途に適した通信品質を保ち、通信品質劣化に起因したトラブルを避けることです。**

無線を管理することで、以下が可能となります。

使用中の無線周波数とその使用機器が把握できます

無線の使用状況を把握し、周波数を割り当てることで干渉を避けます

干渉を避けることで、用途に適した速度や品質での通信が可能となります

通信品質劣化に起因したトラブルを避けることが可能となります

無線の管理方針

- **無線の管理方針として、無線の周波数とその使用機器を工場全体で管理する必要があります。**

無線の管理方針のポイント

無線の周波数と
その使用機器を
工場全体で管理

- 電波を放出する機器を、すべて管理する。
- 敷地内で使用する機器を、すべて管理する。
- 管理部門により、一元的に管理する。

(参考)部門・ライン単位で無線を管理している場合(※工場全体で管理していない場合)

部門・ライン単位で無線を管理する → 他部門・他ラインで使用している無線を把握できない → 近接した場所・機器で、同じ無線周波数を使用することで電波干渉が発生 → 通信品質が低下する可能性あり

無線の管理実施者と管理方法

- **無線の管理は工場の通信・制御ネットワーク全体を管理する部門が担当し、管理する際には機器の使用状況を文書に残す必要があります。**

無線の管理実施者と管理方法

管理実施者	工場の通信・制御ネットワーク全体を管理する部門が担当	
管理方法	機器の使用状況を文書に残し、定期的に更新	使用機器と周波数等を帳票で管理 イベント発生時や定期的に帳票を更新

文書管理のポイント

管理表を作成し、以下の内容を記入。
- 無線通信機器の使用周波数
- 電波を発する製造機器と出す周波数
- 新たに導入する無線通信機・製造機器
- 機器の個数
- 設置場所
- 管理者 等

更新のポイント

- イベントとは、無線通信機器・製造機器の新規追加や、無線通信機器や製造機器の移動、工場のレイアウト変更等を指す。
- 定期的な棚卸は、1年に1、2回実施。

(参考)無線機器の使用状況の管理方法

- 文書(＝帳票)は、工場全体で使用します。
- 文書には機器名、台数、無線関連情報、通信関連情報、設置場所、管理部門、管理者名等を記録します。

機器の使用状況の管理文書の例(例) ※再掲

管理No	機器名	台数	無線関連情報				通信関連情報		設置場所	管理部門	管理者
			無線仕様	周波数帯[Hz]	チャネル[ch]	周波数[MHz]	頻度	データ量			
1	監視カメラ	3	IEEE802.11g	2.4G	1	2412	常時	2MB/sec(1台ごと)	第3工場第2組み立てライン	生産管理部	田中M
2	環境センサー	50	独自	920M	60	927.9	1回/時	0.1kB/h(1台ごと)	第2工場全フロア	総務部	佐藤M
3	プレス機	1	ノイズ	2.4G	–	–	プレス加工時	–	第1工場北側	プレス加工部	鈴木M
‥	…	…	…	…	…	…			…	…	…

無線のトラブル①

- **問題発生状況から、問題の原因・対処方法を考えてみましょう。**

新たな無線通信機器の導入

状況

- Aラインでは、作業に無線LAN(IEEE802.11a)を使用したタブレットを導入していました。

問題発生

- あるとき、サーバーとの通信速度が遅くなり、作業に時間がかかるとの苦情がでました。

この状況における、問題の原因・対処方法を考えてみましょう

無線のトラブル①

- **本ケースにおいては、以下のような対処方法が考えられます。**

	概要	詳細
問題の原因	新たに追加した無線通信機器による無線通信の混雑が原因でした。	• BラインにAラインと同じ無線LANのチャネルを使用した無線通信機器が導入され、その無線通信機器は監視カメラデータを常時送信しており、帯域が圧迫されていました。 • また、工場全体で無線を管理しておらず、無線機器導入時に限られた期間のみの観察に基づいて、一見使用していないように見える無線LANチャネルを設定していました。

対処方法

1
- Bラインに導入した無線通信機器が使用する無線LANのチャネルを変更しました。

2
- 使用する無線LANチャネルを一覧表で管理し、無線通信機器導入時には一覧表を確認の上、使用量が少ないチャネルを選択するように、運用方法を変更しました。

無線のトラブル②

- **問題発生状況から、問題の原因・対処方法を考えてみましょう。**

無線機器の設置変更

状況

- 生産効率を上げるためにDラインを、Cラインと同じ建屋内(となり)に移動しました。

問題発生

- 移動後、Cラインから無線LAN(IEEE802.11a)を使用した内線電話が切れるようになったとの苦情が出ました。

この状況における、問題の原因・対処方法を考えてみましょう

無線のトラブル②

- **本ケースにおいては、以下のような対処方法が考えられます。**

	概要	詳細・補足
問題の原因	無線LANアクセスポイントを近距離に設置し、さらにチャネルも隣接していたことが原因でした。	• 無線LAN機器によっては、近距離で使用すると隣接チャネルの通信と干渉する場合があります。
対処方法	**1** • Dラインの無線LAN(IEEE802.11a)アクセスポイントのチャネルを、Cラインのチャネルと2チャネル以上離れたチャネルに設定しなおしました。	
	2 • 無線LAN(IEEE802.11a)アクセスポイント間の距離を離しました。	

無線のトラブル③

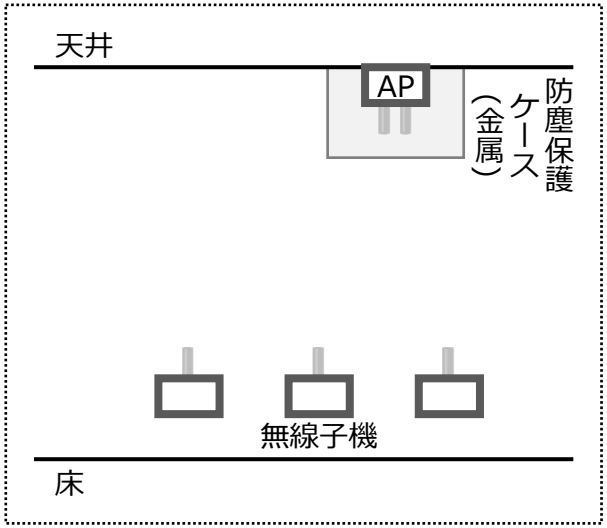
- **問題発生状況から、問題の原因・対処方法を考えてみましょう。**

新たなアンテナの設置

状況

- 粉塵から守るため、無線LANのアクセスポイントを金属のケースに収納しました。
- また、アクセスポイントは、天井の高い位置に、アンテナの先端を下に向けて設置しました。(右図参照)

〈アンテナ配置のイメージ図〉



問題発生

- 無線LANの途切れや通信ができない現象が発生し、定期的に届くはずのデータが一部欠落するなどの苦情が出ました。

この状況における、問題の原因・対処方法を考えてみましょう

無線のトラブル③

- **本ケースにおいては、以下のような対処方法が考えられます。**

	概要	詳細・補足
問題の原因	• 金属でできた防塵保護ケースにより電波が遮蔽されている事が原因でした。 • また、アンテナが真下に向いていたことにより、真下にある機器へ電波が届きにくくなっていたことが原因でした。	• 一部のアンテナでは、先端が向いている方向の電波が弱くなります。

対処方法

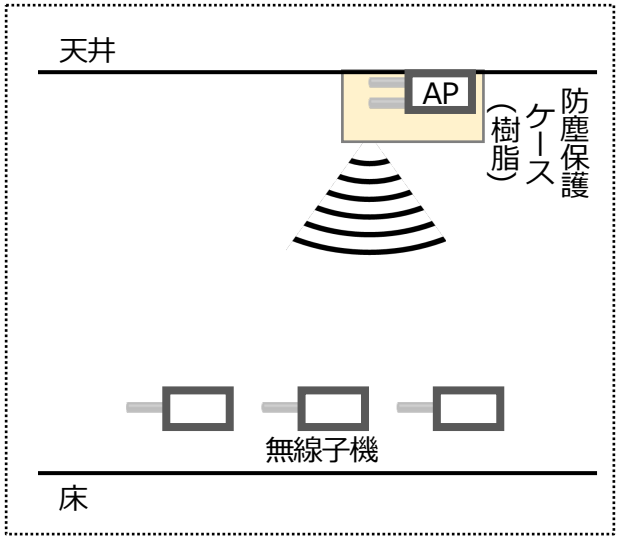
1

- 防塵保護ケースを、電波を通しやすい樹脂素材に変更しました。

2

- アンテナの向きを、子機の方向に電波が届きやすいよう変更しました。

〈アンテナ配置のイメージ図(変更後)〉



製造現場における無線通信トラブル対策事例集

- 製造現場への無線通信の導入の参考となるよう、無線通信に関するトラブルの事例と、その対策をまとめた文書を、2019年10月に情報通信研究機構(NICT)が発行し公開しています。

事例

1. 他機器からの干渉 2
1.1 新たな無線通信機器の導入に伴う干渉の発生 2
1.2 無線通信機器のレイアウト変更に伴う干渉の発生 4
1.3 近接した無線通信機器からの干渉 6
1.4 無線 LAN から Bluetooth への干渉 8
1.5 異種無線通信規格から無線 LAN への干渉 10
1.6 電子レンジから発生するノイズによる干渉 11
1.7 大型製造機器から観測されるノイズの周波数帯 13
2. 遮蔽物等の影響 14
2.1 温度・湿度の影響 14
2.2 防塵保護ケース・アンテナの向きの影響 16
2.3 鉄筋入りコンクリート床の影響 18
2.4 目の粗い金網の影響 21
2.5 周囲の建築物の影響 23
3. その他のよくある事例 25
3.1 試験では現場の問題が再現できなかった事例 25
3.2 想定と異なるローミングが行われていた事例 27
3.3 データレートを高くしすぎた事例 29
3.4 無線で通信を行うにはタイムアウト時間が短すぎた事例 31
3.5 マルチホップ通信の回数が多すぎた事例 33

- ダウンロードURL https://www2.nict.go.jp/wireless/ffpj-case.html

8.最新の動向

(参考)FFPA (Flexible Factory Partner Alliance)

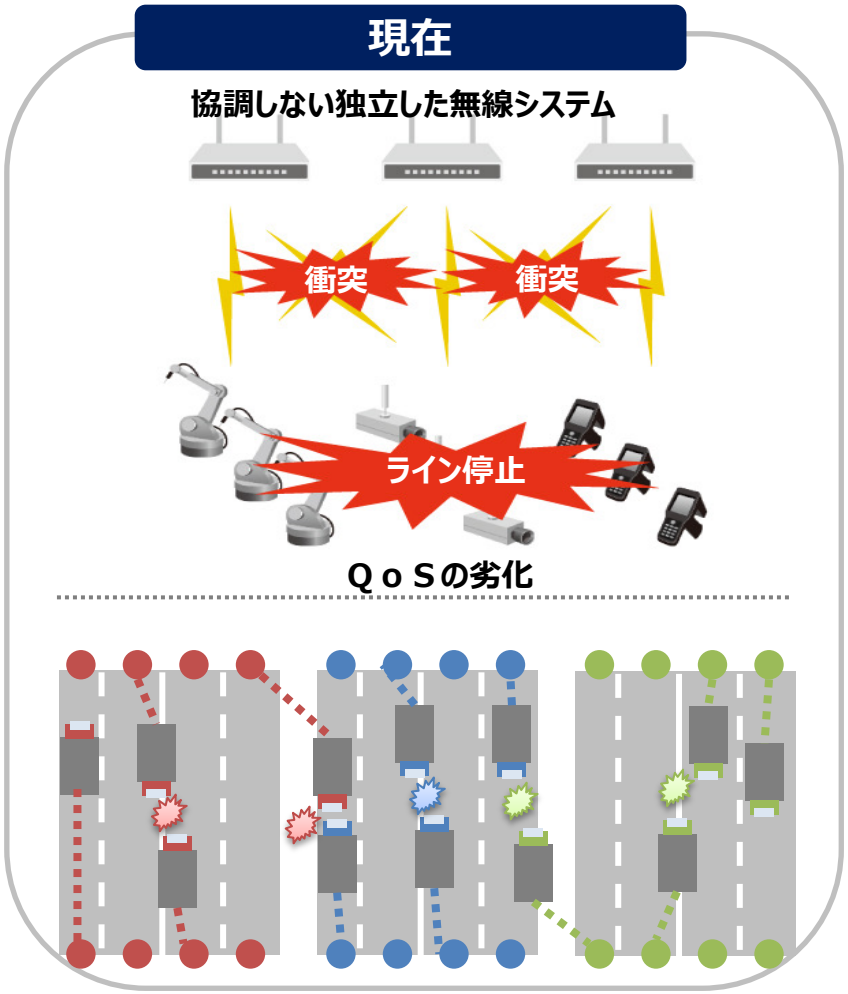
- **複数の無線システムが混在する環境下での安定した通信を実現する協調制御技術の規格策定と標準化、および普及の促進を通じ、製造現場のIoT化を推進するために2017年7月に設立された非営利の任意団体です。**

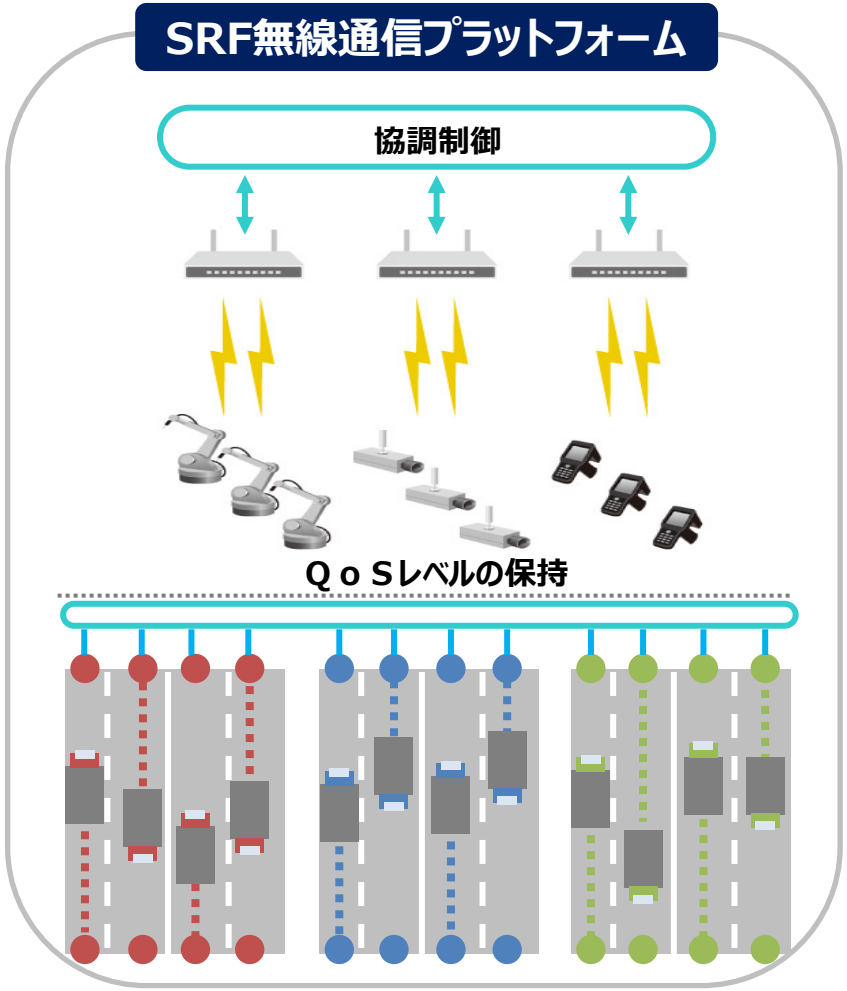
概要	名称	フレキシブルファクトリパートナーアライアンス(FFPA)
	会長	アンドレアス・デンゲル(ドイツ人工知能研究センター)
	会員	国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT) オムロン株式会社 株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR) 日本電気株式会社(NEC) 富士通株式会社 サンリツオートメイション株式会社 村田機械株式会社 シーメンス株式会社 一般財団法人テレコムエンジニアリングセンター(TELEC)
	活動	製造現場での情報通信技術の利活用に関する情報交換を行うユーザーグループ(VoC Community)を運営しています。 参加希望の方は、ホームページをご覧ください(“FFPA”で検索)。
	web	**http://www.ffp-a.org/**
	Email	**info@ffp-a.org**

FLEXIBLE FACTORY PARTNER ALLIANCE

SRF無線通信プラットフォーム

- 無線リソース(周波数、時間、空間)を制御し、アプリケーションの要求通信品質に従って複数のシステムを協調させることにより、異種システムの収容を可能とします。(FFPAで規格策定済、NICTが中心となり実工場にて効果を実証)





SRF無線プラットフォームの技術仕様(Ver.1.1)は、FFPAのウェブサイト(https://www.ffp-a.org/contact-spec/)からダウンロードすることができます。

IEEE802.11(新しい無線LAN規格)

- **現在策定中または最近策定された無線LAN規格としては、IEEE 802.11be、IEEE 802.11ay等があります。**

無線LAN規格	周波数帯	詳細
IEEE 802.11be (策定中)	2.4GHz /5GHz /6GHz	• IEEE 802.11axが使用する2.4GHz/5GHz帯に加え、新たに6GHz帯に対応する見込み。 ※ただし、6GHz帯の使用可否は各国の規制状況等による。 • 最大スループットは少なくとも30Gbpsを目指している。 • 2019年から標準化作業を開始。現時点で詳細要件は検討中であるが、2024年に標準化作業完了予定。
IEEE 802.11ay (2021年3月策定完)	60GHz	• IEEE 802.11adの更なる高速化を目的として定められた規格であり、標準化が進められている。 • 5GHz帯/2.4GHz帯のWi-Fiに既にある機能として、チャネルボンディングとMIMO機能を付与。 • スループット20～40Gbpsを目指している。

出典「Wi-Fiのすべて 無線LAN白書2018」小林忠男監修 無線LANビジネス推進連絡会 編、「IEEE 802.11be - Extremely High Throughput: The Next Generation of Wi-Fi Technology Beyond 802.11ax」David Lopez-Perez 他、「P802.11be - Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment: Enhancements for Extremely High Throughput (EHT)」IEEE、Standard Association (https://standards.ieee.org/project/802_11be.html)

9.無線のQ&A

Question	ページ
電波とは何ですか？アンテナからは何が出るのですか？	P88,
ノイズとは何ですか？ノイズとはどんなものから出るのですか？	P88,
電波が送信されてから相手に届くまで何秒くらいかかりますか？	P89,
電波はアンテナからどのように出ていますか？	P89,
電波が出て行かない/通らないようにする方法はありますか？	P90,
障害物による電波の減衰はどれくらいありますか？	P90,
使い方によって法的に罰せられることがありますか？	P91,
無線機器の通信距離はどれくらいですか？	P91,
アンテナの設置高さによって通信距離は変化しますか？	P92,
アンテナの設置方向によって通信距離は変化しますか？	P92,
通信距離を伸ばすことはできますか？	P93,
無線機器の一般的な耐用年数を教えてください。	P93,
防水対応の無線機はありますか？	P94,
無線機器は屋外でも使用できますか？	P94,
無線機同士の通信状態を確認できますか?	P95,
家庭やオフィスで利用される無線機器を工場においても利用できますか？産業用の無線機器とはなにが違うのですか？	P95,
無線機器はノイズに弱いのですか？	P96,
無線機器は工場環境の外来ノイズの影響を受けますか？	P97,

Question	ページ
無線機からアンテナを別のものに付け替えて使用できますか？	P98,
アンテナの周辺に金属があると通信に影響がありますか？	P98,
無線機器がデータ化けして誤ったデータを出力することは無いですか？	P99,
無線にはセキュリティの問題はないのですか？	P99,
無線機器が混信する場合の対策にはどのような手段がありますか？	P100,
無線機器を制御用にも使用できますか？	P100,
データ通信中に、無線が途切れることはありませんか？	P101,
切れない、遅れない無線は実現できますか？	P101,
無線が他のシステムの電波に影響を与えたり受けたりすることはありますか？	P102,
無線の利用による他の機器への影響はありますか？	P102,
無線は天候による影響を受けますか？	P103,
無線機器導入後にどのようなメンテナンスが必要ですか？	P103,
現場の電波環境を確認できますか？	P104,
無線機器を動かせる台数に上限はありますか？	P104,
他社の無線機器と通信できますか？	P105,
無線機器はそのまま海外で使えますか？	P105,
小エリア簡易無線の免許申請方法を教えてください。	P106,
無線電波は人体への影響がありますか？	P106,

電波とは何ですか？アンテナからは何が出るのですか？

- 「電波」とは周波数 3THz(テラヘルツ) 以下の電磁波のことです。
- アンテナからは電磁波が放射されています。
- アンテナ上で時間変動する電流により、磁界の変化が発生し、その磁界の変化により電界の変化が発生します。
- 更に、電界の変化が磁界の変化を発生させ、以降、磁界と電界の変化が交互に発生することで空間を伝搬していきます。

ノイズとは何ですか？ノイズとはどんなものから出るのですか？

- 雑音や不要な漏洩電磁波のことです。
- この資料では、特に無線通信を妨害する可能性のある電磁ノイズのことを指しています。
- 工場等の製造現場では、動力を伴う機器、電源、溶接機等から無線に影響を与えるノイズが発生するケースがあります。

電波が送信されてから相手に届くまで何秒くらいかかりますか？

- 電波は光の速さと同じなので瞬時に相手に届きます。
- しかし、受信機の内部での処理時間があるため、データとして出力されるまでには時間がかかります。

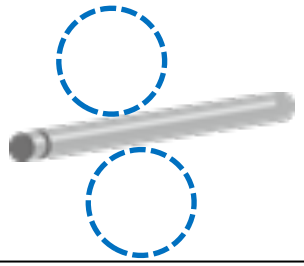
電波はアンテナからどのように出ていますか？

- アンテナの種類や形状によって異なります。
- アンテナの放射パターンは指向性と無指向性に大別されます。
- アンテナを設置するときは放射パターンを考慮する必要が有ります。

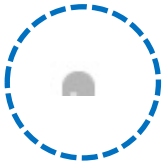
【半波長ダイポールアンテナの場合】
無指向性と8の字のパターンが見えます。

【指向性アンテナの場合】
特定方向へ絞られたビームが放射されるため、その方向への利得(感度)が上昇し通信距離が長くなります。また、不必要な方向からのノイズを拾わないため、ノイズ耐性も上がります。

8の字



無指向性



電波が出て行かない/通らないようにする方法はありますか？

- 金属の壁によって、ある程度は電波を遮蔽できます。
- 但し、電波は天井や隙間を反射・回折しながら通ることがあり、完全に遮蔽することは困難です。

障害物による電波の減衰はどれくらいありますか？

- 障害物の材質により異なります。
- 一般的に、金属はほとんど透過しません。
- コンクリートは電波の減衰が大きいです。
- ガラスについては、ワイヤ入りガラスでは電波の減衰が大きいですが、透明ガラスでは電波の減衰は比較的小さくなります。

材料による電波損失の計算例(dB)

	2.4GHz	5GHz
ガラス(厚さ10mm)	1.3～3.6	1.3～1.6
コンクリート(厚さ7.5cm)	5.9	11.5
モルタル(厚さ7.5cm)	6.3	12.1
天井材(厚さ9mm)	0.14	0.33

出典「電波伝搬の実際」電子情報通信学会(NTTアドバンステクノロジ株式会社)

電波は使い方によって法的に罰せられることがありますか？

- 法的に罰せられることがあります。
- 有限の資源である電波の利用に関しては、各国が法律や規則を定めており、それらに違反した場合、罰せられることがあります。
- 日本では電波法令で定めている技術基準に適合している無線機であることを証明する技適マークを無線機に付与していますが、技適マークを付与された無線機であっても、改造を施した場合、技適マークの効力は失われ、違法になり罰せられることがあります。

無線機器の通信距離はどれくらいですか？

- 無線局の種類や通信方式、設置環境(設置位置、見通し、障害物等)により異なります。
- 電波は障害物の材質により影響を受け、ガラス、プラスチック等は透過、コンクリート壁、石膏ボード、モルタル等は減衰、金属体には反射します。

無線局の種類と通信距離

無線局の種類	微弱無線	無線LAN	スペクトラム拡散無線	特定小電力無線	小エリア無線
通信距離 （目安）	10m	屋内: 40m以上	屋内: 60m以上 屋外: 300m以上	屋内: 100m以上 屋外: 300m以上	郊外: 1km以上 屋外: 3km以上

※いずれの距離も見通し有り、中継器無しの場合

アンテナの設置高さによって通信距離は変化しますか？

- 変化します。
- 低い位置に設置すると通信距離は短くなり、高い位置に設置すると通信距離は長くなる傾向があります。
- 使用する無線通信の周波数と、通信距離から、フレネルゾーン(※)を算出することで設置すべき高さを決めることができます。

アンテナの設置方向によって通信距離は変化しますか？

- 変化します。
- 良好な通信を行うためには、送信アンテナの偏波と受信アンテナの偏波を合わせる必要が有ります。
- 送受信アンテナが同じ場合、同じ方向を向けて設置します。偏波が90度違うと通信距離が短くなります。

※ フレネルゾーン: 用語集参照

通信距離を伸ばすことはできますか？

- アンテナを指向性があるものに変えることで、通信距離を伸ばすことができます。
- 通信機器メーカーが提供するアンテナの中から、利得の高いアンテナや、指向性アンテナを使用することで通信距離伸ばすことができます。
- 但し、技術適合を取得したアンテナ以外を購入し、接続することは電波法上違法となります。

無線機器の一般的な耐用年数を教えてください。

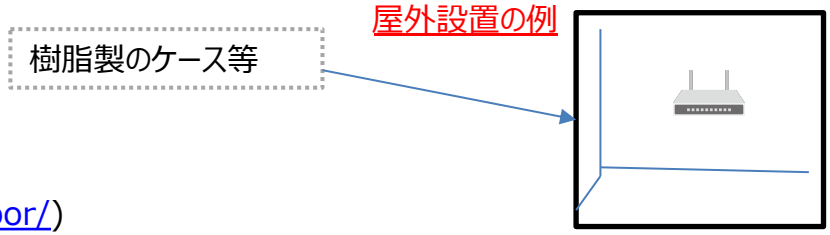
- 使用環境や初期不良の有無に依存しますが、製造現場向けの機器では10年を目安とした事例が存在します。

防水対応の無線機はありますか？

- 防水対応の無線機はあります。
- 屋外での使用等を想定した無線機も市場には存在しています。
- アンテナのみ防水に対応した製品や、無線機本体を含む全体を防水ケースに格納した製品等、様々な製品が存在します。

無線機器は屋外でも使用できますか？

- 使用できます。ただし、制限されている場合もあります。
- 無線LANの場合、以下のチャネルは屋外で使用できません。
  5GHzのW52帯域(36～48チャネル) ※条件付きで使用可能。詳しくは下記リンク参照
  5GHzのW53帯域(52～64チャネル)
- 雨がかからないように樹脂製のBOXに入れてください。
- 樹脂製ケースの場合、電波を透過するので減衰しません。ただし、樹脂製ケースに銀色塗装はしないでください。塗装にアルミ粉が含まれているため、電波が透過しにくくなります。
- 防水仕様のアンテナ、ケーブルを使用可能(技適取得済み)であれば、アンテナを外に設置することが可能です。



参考「無線LANの屋外利用について」総務省
(https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/wlan_outdoor/)

無線機同士の通信状態を確認できますか?

- ツール等を用いて確認できます。
- 送達確認を行うためのPingコマンドを使って到達状況を確認することができます。

家庭やオフィスで利用される無線機器を工場においても利用できますか？産業用の無線機器とはなにが違うのですか？

- 家庭やオフィスで利用される無線機器でも利用は可能です。
- 産業用の無線機器については、無線通信の機能は変わりませんが、高温多湿の場所だったり、粉塵が多い場所等過酷な環境におかれることを想定して、高温対策や粉塵対策が取られています。

無線機器はノイズに弱いのですか？

- 電源に由来するノイズの影響に関しては、有線機器と無線機器とで大きな差はありません。
- データ信号の入出力に由来するノイズに関しては、有線機器と無線機器とで異なる特徴があります。
- 有線機器の場合、ケーブルを引き回すため、ケーブルに誘導ノイズが乗りやすく、一般に入出力信号線にはフィルタを取り付けないため、幅広い周波数のノイズの影響を受けることになります。
- 無線機器の場合、データの送受信に使用する周波数帯にノイズが存在する場合、当該ノイズの影響を受けることになります。
- 但し、使用する周波数帯の幅は狭い範囲に限定されるため、当該範囲に乗るノイズは限定的になります。

無線機器は工場環境の外来ノイズの影響を受けますか？

- 製品、使用環境により、機器が受けるノイズ等の影響度合いが変わりますので、実際の環境でテストを行ってから使用してください。
- 特定小電力無線局、微弱無線局の場合
  - ✓ モータ、ディスプレイからノイズがでることがありますが、1m程度離せば、影響が減ります。

無線機器が影響を受けるノイズの範囲

機器	影響を受ける範囲
飲料用自動販売機	影響なし
コピー機	
エアコン室外機	
CB無線機(27MHz)	
エンジン式草刈機	
ディーゼルエンジン	
PHS	
タイマ・カウンタ	
掃除機	

機器	影響を受ける範囲
ガソリンエンジン	影響なし
家庭用コードレス電話	
携帯電話(800MHz)	10cm以内
インバータ蛍光灯	20cm以内
通常の蛍光灯	20cm以内
電気ドリル	30cm以内
ノートパソコン	50cm以内
感電式虫取り灯	50cm以内
電子レンジ	80cm以内

- 注: 個々の機器の形式により影響が異なります。

- SS無線局の場合
  - ✓ 同じ周波数帯を利用する無線LANの影響が一番大きいと考えられます。使用する周波数が重ならないように周波数チャネルを設定してください。

出典「無線導入の手引き」オムロン株式会社

無線機からアンテナを別のものに付け替えて使用できますか？

- 電波関連の法令に違反する可能性があります。
- 技適はアンテナやケーブルを含めて承認されたものです。指定のもの以外を使用すると違法になる可能性があります。機器ごとに指定されているアンテナを使用して下さい。

アンテナの周辺に金属があると通信に影響がありますか？

- 影響があります。
- 金属は電波を反射するため、アンテナの周辺に金属体があると特定の方向に電波が弱くなります。

無線機器がデータ化けして誤ったデータを出力することは無いですか？

- ありません。
- 通信パケットごとにエラーチェックコードが付加されており、誤りの検出と再送が行われています。
- ノイズ等の影響でデータ化けが起きたとしても、エラーチェックによってそのデータは破棄されます。

無線にはセキュリティの問題はないのですか？

- 正しくセキュリティ対策をしておくことが必要です。
- セキュリティの設定が無効になっていたり、脆弱性が見つかっているセキュリティ機能を使い続けると、セキュリティ上の問題が生じます。

無線機器が混信する場合の対策にはどのような手段がありますか？

- 使用周波数に他の機器の電波があると通信が止まります。
- 空きチャネルを設定して混信を回避してください。

無線機器を制御用にも使用できますか？

- 条件や実装方法によってはできます。
- 無線通信では単発の通信で100%のデータ到達を保証することができません。
- 制御信号の遅延がある程度許容されるのであれば、再送等により冗長性を向上することで制御に利用できます。

データ通信中に、無線が途切れることはありませんか？

- 無線が途切れることはあります。
- ものや人の移動により遮蔽されて途切れることや、反射体となっていたものの移動により途切れることがあります。

切れない、遅れない無線は実現できますか？

- 絶対に切れない、遅れない無線を実現するのは困難です。
- しかし、用途に応じて適切な機器の選定、配置や設定をすることで切断や遅延の発生を限りなく抑えることは可能です。

無線が他のシステムの電波に影響を与えたり受けたりすることはありますか？

- あります。
- 同一または隣接の周波数を利用しているシステムについては、お互いの通信が衝突し通信できなくなる場合があります。

無線の利用による他の機器への影響はありますか？

- 無線機器を含めた電気機器から放出された電磁波は、エミッションレベルが電波法(EMC適合)で定められた限度値以内であれば、他の機器を誤動作させることは基本的にありません。
- 人命や財産に大きな影響が予測される等、特に安全性が要求される用途でご使用の場合、事前に無線機器製造ベンダーへの確認が必要です。

無線通信は天候による影響を受けますか？

- 一般的には、微弱無線局、特定小電力無線局、SS無線局、無線LANの通信が雷以外の天候による影響を受けることはありません。
- 電波が天候により影響をうけるのは、酸素(O2)と水蒸気(H2O)による吸収です。雨についていえば、豪雨の状態で数GHz以上の周波数、普通の雨の状態で10GHz以上(BS放送等)の周波数が影響を受けるといわれます。
- 天候の影響で壁や地面等の水分量に変動があり、電波の反射環境に影響が出る可能性はあります。

無線機器導入後にどのようなメンテナンスが必要ですか？

- 製品によりますが、適切な設置・設定をしてあれば無線機器自体には定期的なメンテナンスを必要とするものは少ないです。
- 本編の「無線の管理・運用」にもあるように、電波環境に影響する周辺の構造物の配置変更や、同じ周波数帯や近い周波数チャネルを使用する他の無線機器の導入、対象無線機器自体の設置場所変更や増設がある場合には、導入時に行ったのと同様のチャネルやアンテナ設定の変更が必要になることがあります。

現場の電波環境を確認できますか？

- 確認できます。
- 無線通信機器に電波環境測定ツール(アプリケーション)が付属している場合、ツールにより電波環境を確認できます。
- または、別途用意した簡易スペクトラムアナライザ等を使用することで、現場での電波環境を確認できます。

無線機器を動かせる台数に上限はありますか？

- 無線機器が通信する(電波を発信する)時間や回数により、動かせる台数は変わります。
- 無線も有限な資源であるため、周波数を効果的に使用できる台数に上限があります。台数の上限は、環境や通信の状況により変動します。
- 無線LAN アクセスポイントによっては、メーカにより接続できる最大クライアント数が決められている製品もあります。

他社の無線機器と通信できますか？

- 無線規格によって他社の無線機器と相互通信できるものとできないものがあります。
- 無線LAN(IEEE802.11)やBluetooth(IEEE802.15.1)の様な認証団体が存在する無線規格は、他社の無線機器と相互接続運用(interoperability)が可能です。
- 一方、920MHz帯の通信(IEEE802.15.4)は、ベンダー独自のプロトコルを用いて他社の機器と接続が出来ないものも多数存在します。
- 不明な場合は、製造ベンダーへのお問合せをお勧めします。

無線機器はそのまま海外で使えますか？

- 海外で無線機器を使用する場合、使用周波数や送信出力といった各国の電波法令で定めている技術基準に適合している必要があります。
- 日本で使用する場合は基本的には技術基準適合証明(通称“技適”と呼ばれる)が取得された無線機が使用できます。

小エリア簡易無線の免許申請方法を教えてください。

- 簡易無線局は申請者の簡易な事務又は個人的用務を行うためにのみ使用できます。
- 初めてデジタル簡易無線免許局、簡易業務用無線機、小エリア(新簡易)無線機をご使用の際には"新設"の免許申請手続きが必要です。
- 申請書類を全国陸上無線協会に提出、総務省総合通信局より免許状を受け取ります。

無線電波は人体への影響がありますか？

- 電波法の技術適合を得ている無線通信機器が送信する電波は、人体に対する影響がないとされています。
- 詳細は総務省HPを参照ください。http://www.soumu.go.jp/soutsu/tokai/denpa/jintai/

10.無線の用語集

用語	ページ	用語	ページ	用語	ページ	用語	ページ
Bluetooth	P109,	UWB	P119,	相互変調	P129,	ビット誤り率(BER: Bit error rate)	P140,
BSSID	P109,	Wi-Fi	P120,	ダイバーシティ	P130,	フレネルゾーン	P140,
DFS	P110,	WirelessHART	P120,	単向方式	P130,	プロトコル	P141,
DSSS	P110,	Wi-SUN	P121,	単信方式(半二重)	P131,	変調・復調	P141,
IEEE	P111,	zigbee	P121,	通信速度	P131,	マルチパスフェージング	P142,
IPアドレス	P111,	誤り制御	P122,	通信方式	P132,	無線通信	P142,
ISA100.11a	P112,	誤り訂正符号	P122,	電波	P132,	無線LAN	P143,
ISMバンド	P112,	暗号化方式	P123,	電波干渉	P133,	ローミング	P143,
ITU	P113,	アンテナ	P123,	電波法	P133,	5G(第5世代通信方式)	P144,
LPWA	P113,	技術基準適合証明	P124,	透過	P134,	SA、NSA構成(方式)	P144,
LTE	P114,	空中線電力	P124,	同報通信方式	P134,	CU,DU,RU,5GC	P145,
MACアドレス	P115,	サブネットマスク	P125,	特定小電力無線局	P135,	Sub6,mmWave	P145,
MNO	P115,	シャドウイング	P125,	トランスペアレントモード	P135,	MEC	P146,
MU-MIMO	P116,	周波数チャネル	P126,	ノイズ(雑音)	P136,	SSB	P147,
MVNO	P116,	周波数ホッピング	P126,	バイナリデータ	P136,	RSRP	P147,
NFC	P117,	受信レベル	P127,	パケット	P137,	RSSI	P148,
OFDM	P117,	小エリア簡易無線	P127,	パケットロス	P137,	RSRQ	P148,
RTS/CTS	P118,	ステルスモード	P128,	反射	P138,	SNR	P149,
SSID	P118,	スペクトル拡散方式	P128,	ハンドオーバー	P138,	SINR	P149,
TCP/IP	P119,	スマートローミング	P129,	微弱無線	P139,		

Bluetooth

- Bluetoothは2.4GHz帯の免許不要なISMバンドを使用した無線通信方式の1つ。
- 国際的な業界団体であるBluetooth SIGが仕様の策定と普及の促進に取り組んでおり、各種市場における接続用件を満たす製品を開発できるよう、ワイヤレスオーディオ等のデータストリーミングを行うアプリケーションに最適化したBluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR)と、低消費電力でのデータ転送に最適化したBluetooth Low Energy (LE)の、2つの方式に対応しています。
- 既に全世界のスマートフォンやタブレット等で幅広く普及しており、製造現場においても活用が期待されています。

BSSID

- Basic Service Set-IDentifierの略。
- 無線LANをMAC層で識別するためのIDです。
- 無線ユニットのAP間通信機能で使用しています。

DFS (Dynamic Frequency Selection)

- 5GHz帯には、気象レーダーのように、Wi-Fi以外の用途で使われている周波数があり、レーダー等の電波を検知したら通信チャネルを切り替えなければなりません。
- この切り替えを行うのがDFSです。
- 5GHz帯の無線のうち、以下のチャネルが該当します。(日本の場合。国によって異なります。)
  - W53：ch 52 - 64
  - W56：ch 100 – 140
- 切り替えの際、一時的に通信が途絶えるので、これらのチャネルを使う場合には気をつける必要があります。

DSSS

- Direct Sequence Spread Spectrumの略。
- DSSSは無線通信でデータを送信する際に行われるスペクトラム拡散という変調方式の1つです。

IEEE

- Institute of Electrical and Electronics Engineers の略。
- 米国に本部を持つ電気・電子技術に関する学会です。
- 電気通信関連の仕様の標準化にかかわる団体で、例えば無線LANの IEEE 802.11 等様々な規格を策定しています。

IPアドレス

- IPでネットワーク上の機器を識別するために指定するネットワーク層における識別用の番号です。
- 論理アドレスとも呼ばれます。
- IPアドレスは、IPv4では32bit、IPv6では128bitの数値で表現されます。
- インターネットに接続できるグローバルアドレスと、接続できないローカルアドレスに分かれていて、グローバルアドレスは所定の機関から割り当てをしてもらう必要があります。

ISA100.11a

- ISA100.11aはISA100委員会で標準化された工業用無線規格です。
- ISA100.11aはIEEE 802.15.4-2006規格をベースとしており、2.4GHz帯で動作し、250kbpsの通信速度を実現しています。

出典「工業用無線規格ISA100.11aとその実用」ISA日本支部 年次総会記念講演会

ISMバンド

- 産業・科学・医学用の機器に用いられている周波数帯ということから、これらの頭文字をとって「ISM バンド」(Industrial, Scientific and Medical band)と呼ばれています。

ITU

- International Telecommunication Union(国際電気通信連合)の略。
- 電気通信に関する国際標準の策定を目的とした、国際連合の組織です。

LPWA

- Low Power Wide Areaの略。
- 転送速度は低速ですが、少ない消費電力で数km～数十kmもの広域距離の転送を可能とする通信方式です。

LTE

- Long Term Evolutionの略。携帯電話の通信規格の1つで、世代の長期的進化・発展を目指して国際的な標準化団体である3GPPで標準化が進められたものです。
- 近年では、以下のような、LTEと互換性のある無線システムや、LTE方式を応用した無線システムも登場しています。

方式	周波数帯	免許	運用者	用途
sXGP	1.9GHz	不要	一般ユーザ	汎用。主に構内電話。
PS-LTE (900MHz帯自営用移動通信システムの高度化)	900MHz	必要	公共機関(消防等)	公共安全無線
地域BWAシステム (高度化システム)	2.5GHz	必要	地域行政	地域公共サービス
MulteFire	5GHz (2.4GHz、他)	不要	一般ユーザ	汎用。主にオフィスビルや事業所の構内ネットワーク。MulteFire 1.1ではIoT向け機能(小電力・広帯域)が追加。

MACアドレス

- 個々のEthernet機器や無線LANカードに設定されている物理アドレスです。
- このアドレスは、各ノードを識別するために世界中で重複しない独自の番号が割り当てられています。
- Ethernet機器や無線LANカードでは、このアドレスを元にしてフレームの送受信をしています。

MNO

- Mobile Network Operatorの略。
- 移動通信サービスを提供する電気通信事業を営む者であって、当該移動通信サービスに係る無線局を自ら開設・運用している者のことです。

出典「電気通信紛争処理用語集」総務省
(https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/hunso/case/houkoku/pdf/y_20_12.pdf)

MU-MIMO

- マルチユーザーMIMO(Multi User MIMO)の略。
- 同一基地局配下の複数端末が同時刻に同周波数を共用することで、周波数利用効率を上げる空間多重技術です。

出典「広帯域移動無線アクセスシステムの高度化のための特定基地局の開設計画の認定に係る審査結果 ～2,625MHzを超え2,650MHz以下の周波数を使用する特定基地局～」総合通信基盤局
(http://www.soumu.go.jp/main_content/000240663.pdf)

MVNO

- Mobile Virtual Network Operatorの略。
- MNOの提供する電気通信役務としての移動通信サービスを利用して、又はMNOと接続して、移動通信サービスを提供する電気通信事業者であって、当該移動通信サービスに係る無線局を自ら開設(開設された無線局に係る免許人等の地位の承継を含む。)・運用していない者のこと。

出典「電気通信紛争処理用語集」総務省
(https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/hunso/case/houkoku/pdf/y_20_12.pdf)

NFC

- Near Field Communicationの略。
- 近距離無線通信のことです。
- 非接触型IC(アイシー)カード技術方式とも呼ばれています。

出典「情報通信用語集」総務省 (http://www.soumu.go.jp/hakusho-kids/word/)

OFDM(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)

- 直交周波数分割多重方式とも呼ばれるデジタル変調方式です。
- 多数の搬送波に分割して変調するデジタル変調方式です。
- 搬送波1本当たりの変調速度が遅いために、反射妨害に強い特徴があります。
- 搬送波の変調方式はQPSK、16QAM、64QAM 等を使用します。

出典「有線テレビジョン放送事業用固定局における地上デジタル放送の伝送に関する調査検討-参考資料」四国総合通信局
(http://www.soumu.go.jp/soutsu/shikoku/chosa/chideji_densou/pdf/chap01_1.pdf)

RTS/CTS

- 無線LANにおいて通信衝突を回避するための通信制御方式です。
- データを送信したい端末はRTSフレームをアクセスポイントへ送信します。
- 受信したアクセスポイントは、データ通信が行われることをCTSフレームを使って配下の端末に通知します。
- CTSフレームを受信した端末は、通知された期間データ送信を停止し、通信衝突を回避します。

SSID

- Service Set-IDentifierの略。
- 無線LANで、複数のネットワークグループを通信可能なエリア内に形成するときの識別用の名前です。

TCP/IP

- Windows等、主要なOSでサポートする、現在最も普及したインターネットの基本プロトコルです。
- SMTP、FTP等はこのプロトコルを利用しています。

UWB

- Ultra Wide Bandの略。
- 500MHzから数GHzの広い周波数の帯域を使用した無線通信方式の1つです。

Wi-Fi

- 無線LANに関する登録商標であり、Wi-Fi Alliance(アメリカ合衆国に本拠を置く業界団体)によって、国際標準規格であるIEEE 802.11規格を使用したデバイス間の相互接続が認められたことを示す名称です。

Wireless HART

- HART(有線規格)を無線通信に拡張した規格です。
- このため、HARTで使用していたソフトウェアをそのまま使用することが可能です。
- 無線周波数は2.4GHz帯を使用します。
- ネットワークは複数経路を持つため、通信経路上に障害が発生した場合でも、通信が可能です。

Wi-SUN

- Wireless Smart Ubiquitous Networkの略。
- Sub-GHz帯の免許不要なISMバンドを使用した無線通信方式の1つです。
- 国際的な業界団体であるWi-SUN Allianceが仕様の策定と普及の促進に取り組んでいます。
- 日本では920MHz帯を利用したWi-SUN HAN (Home Area Network)が全ての電力会社のスマートメーターで採用されており、既に全国に普及しています。
- 標準化された技術をベースとしたマルチホップメッシュネットワークを実現するWi-SUN FAN (Field Area Network)の仕様策定が進められており、製造現場での活用が期待されています。

zigbee

- センサーネットワークに適した無線通信規格の1つです。
- 転送可能距離が短く、転送速度も低速ですが、一方で消費電力が少なく、低コストという特徴があります。
- zigbeeの名称はzigzag+beeで、ミツバチがジグザグに飛び回り情報を伝達する様にちなんで名づけられました。

誤り制御

- 伝送路で生じる誤りを、誤り訂正符号や誤り検出符号等を用いて低減し、回線の信頼性を高める手法です。
- 誤り制御技術として、ARQやFEC等があります。
  - ARQ(Automatic Repeat request)
    - 誤り部分を再送して訂正する自動再送要求方式
  - FEC(Forward Error Correction)
    - 送信側から符号化による冗長データを付加し、受信側で誤りを訂正する前方誤り訂正

出典「次世代GISの実用化に向けた情報通信技術の研究開発 成果報告書」三菱電機株式会社、株式会社NTTドコモ、株式会社パスコ (http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictR-D/pdf/060315_1.pdf)

誤り訂正符号

- データの誤り検出だけではなく、誤りの訂正まで可能な符号です。
- ノイズ等でデータの一部が化けても、誤り訂正符号によって修復が可能になります。
- 但し、誤り訂正符号の訂正能力を超える量のデータ化けが発生すると、修復できなくなります。

暗号化方式

- 無線LANアクセスポイントと子機間の無線通信区間を、送受信されるデータを暗号化する際に使用する方式です。
- 暗号化方式には、WEP/WPA/WPA2/WPA3等があります。

アンテナ

- 日本語では空中線とも呼ばれ、空間に電波として電力を放射し、又は空間を伝搬している電波を吸収して電力を得る装置のこと。
- 電波の周波数や用途により、様々な形状や大きさがあります。
- 小型化の技術進歩により、現在では無線局に内蔵されている場合も多いです。

出典「電気通信紛争処理用語集」総務省
(https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/hunso/case/houkoku/pdf/y_20_12.pdf)

技術基準適合証明

- 無線設備が電波法に定める技術基準に適合していることを事前に確認し、証明する制度です。
- この証明を受けた無線設備のみ使用して免許申請を行う場合には、予備免許や落成検査が省略される等の簡易な免許手続きの適用が可能となるほか、設備によっては免許不要の措置がとられる等のメリットがあります。
- 詳細は総務省HPを参照ください。(http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/equ/tech/)

出典「制度の概要」総務省 (http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/equ/tech/)

空中線電力

- 無線の送信機からアンテナに供給される電波の電力のこと。
- 実際に空間に出る電波の強さ(実効輻射電力 effective radiation power: ERP)は、給電線損失やアンテナ利得によって変わります。

サブネットマスク

- 1つのアドレスをネットワークアドレスとホストアドレスに区別するために使用します。
- 例えば、IPアドレス: 192.168.0.1、サブネットマスク: 255.255.255.0 であったとします。2進数で表現すると次のようになります。

11111111.11111111.11111111.00000000 (255.255.255.0)
11000000.10101000.00000000.00000001 (192.168.0.1)

ネットワークアドレス　　ホストアドレス

- IPアドレスのうち、サブネットマスクのビットが1になっている部分をネットワークアドレス、0になっている部分をホストアドレスとして扱います。
- ネットワークアドレスが同じ端末同士は、直接通信することが出来ます。
- ネットワークアドレスが異なる場合は、ルーターで中継する必要があります。

シャドウイング

- 送信機と受信機の間に吸収、反射、散乱、回折といった信号電力を減衰させる障害物が入り、この影響で電波が遮られる事象のこと。

出典「ワイヤレス通信工学」熊澤 弘之、小園 茂、大友 功

周波数チャネル

- 通信方式で定義されたデータ通信に使う周波数幅、もしくは通信方式で利用が規定されている周波数帯においてデータ通信に使う周波数幅の1単位を表します。

周波数ホッピング

- スペクトル拡散方式の1つ。
- 情報信号を変調した電波の周波数を高速で変化させて広く拡散する方式です。

受信レベル

- 無線機器の受信機における受信した電波の強さのこと。
- 電波の強さを示す値の1つとして、RSSI: Received Signal Strength Indication(Indicator)が用いられており、数値が高いほど受信レベルが良好となります。
- 但し、無線には干渉の影響があるため、受信レベルが良い環境のすべての無線通信品質が良好となるとは限りませんので注意が必要です。

小エリア簡易無線

- 無線従事者を必要としない簡易無線のうち、350MHz帯で空中線電力1W以下の無線のこと。
- イベント会場や工事現場等、半径2～3km程度のエリアにおいて通信を行うことのできる無線であり、最大20波の周波数を使用できることから複数のグループに分かれた通信が可能です。
- 音声通信の他、データ伝送も可能です。
- 使用に際しては、免許申請が必要です。

ステルスモード

- 無線LANにおいて、ブロードキャストされるビーコンにSSIDを含まない、あるいはSSIDを空にしたプローブ要求フレーム(ANY接続)に対してSSIDを応答しない機能のこと。
- セキュリティ対策の1つとして、アクセスポイントが自動的に検出されないようにするために使用されます。

スペクトル拡散方式

- 電波に情報信号を乗せることを変調といい、電波は変調されると、ある程度の周波数の幅をもつようになりますが、一般のラジオ等に使われる変調方式では、この幅は情報信号の周波数幅と同じ程度です。
- 一方、スペクトル拡散方式では情報信号の周波数幅に比べて非常に広く(数十倍～数千倍)なっています。
- 周波数(スペクトル)を広く拡散するのでスペクトル拡散(Spread Spectrum=SS)と呼ばれます。
- このように広く拡散することで、①耐ノイズ性の向上、②データの秘匿性の向上、といった効果があります。
- 拡散する方式は大きく分けて2つあります。
- 1つは情報信号を変調した後さらに拡散変調と呼ばれる広く拡散するための変調をかける方式で、直接拡散方式(DS)と呼ばれます。
- 2つめは情報信号を変調した電波の周波数を高速で変化させて広く拡散する方式で、周波数ホッピング方式(FH)と呼ばれます。

スマートローミング

- 現在通信中のアクセスポイントとの通信を維持したまま、より電波状況が良いアクセスポイントをスキャンし、接続先を切り替えること。
- 短い時間で接続の切り替えを行うことが可能です。

相互変調

- 希望波信号を受信しているときにおいて、2以上の強力な妨害波が到来し、それが、受信機の非直線性により、受信機内部に希望波信号周波数又は受信機の中間周波数と等しい周波数を発生させ、希望波信号の受信を妨害する現象のこと。

出典「地域振興用周波数の有効利用のための技術的条件に関する調査検討会」東北総合通信局 無線通信部企画調整課
(http://www.soumu.go.jp/main_content/000406326.pdf)

ダイバーシティ

- 無線機器の2本のアンテナのうち、受信状態の良好な方を使って受信することが可能です。
- このような受信方法をダイバーシティ受信と呼びます。
- マルチパスフェージング対策として有効で、無線通信の安定性が向上します。

単向方式

- 送信機から受信機への一方向のみの通信方式のこと。
- 受信確認/リトライは不可能です。

単向方式のイメージ図

単信方式(半二重)

- 同一の周波数を使用して、送受信を切り替えて通信する方式のこと。
- 送信しながら受信する、もしくは、受信しながら送信することはできません。
- 身近な例ではトランシーバが挙げられます。

通信速度

- 1秒間にどれだけデータを送信できるかを示す指標のこと。
- 単位はbps (bit per second)で表されます。
- 約1,000bps=1k(キロ)bps、約1,000,000bps=1M(メガ)bps、約1,000,000,000bps=1G(ギガ)bpsというように単位表記されることが多いです。
- 5GHz帯のWi-Fi規格であるIEEE 802.11acでは最大6.93Gbpsをサポートしています。
- 但し、この数値は理論値であり、データに対して宛先等のヘッダー情報が必要であったり、通信の衝突回避を避けるための待ち合わせ時間があるため、実際の通信速度は理論値よりも低下します。

出典「「通信速度」ってなに？どのくらいの速度が必要なの？」エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社
(https://www.ntt.com/personal/services/mobile/one/hajimete/startguide/05.html)

通信方式

- 端末間においてデータを送受信する場合のやり取りの仕方を定義したものです。

電波

- 周波数が3THz以下の電磁波のこと。
- 詳細は本資料の「無線の基礎知識」をご覧ください。

電波干渉

- 2つ以上の電波が同じ地点に到達して重なり、お互いに強めあったり弱めあったりする現象のこと。
- 特に他の無線局からの妨害等通信系に混入する妨害現象を指します。
- 例えば、2.4GHz帯の無線は、同一周波数帯を使用する電子レンジの電磁波から干渉の影響をうけます。
- 更に無線LANでは、送信前に他の無線機が電波を発している場合、通信衝突を避けるため、送信タイミングを遅らせる仕組みがあり、同一エリア/システムに多数の通信機器を設置した場合、伝送待ち時間(遅延)が拡大する事による通信速度低下も干渉の1つといわれます。

電波法

- 電波の公平かつ能率的な利用を確保することによって、公共の福祉を増進することを目的とする日本の法律です。
- 電波の利用に関して基本的な事柄について定めた法律であり、無線局の免許、無線設備の条件、無線設備を操作するもの(無線従事者)の条件等について定めたもので、この規則に基づいて、利用できる電波の周波数、強さ、目的等が規定されています。

透過

- 電波が物体を通り抜けること。光がガラス等で透過するのと同様に電波も透過します。
- 金属製のものは電波を透過しません。
- 紙やガラス等は、「誘電率が低い」または「周波数が低い」ほど良く透過します。例として、5GHz帯(Wi-Fiなど)の電波は紙やガラスを透過します。一方、28GHz帯(一部の5G通信システム)の電波は紙を透過しますが、ガラスに対しては反射が多く一部透過もします。

同報通信方式

- 特定の2つ以上の受信機に対して同時に、同一内容の通報を行う方式のこと。
- 受信確認は不可能です。
- IPネットワークにおける、ブロードキャスト送信、マルチキャスト送信等が代表的な例です。

特定小電力無線局

- 以下の条件を満たす無線設備のことを特定小電力無線局と呼びます。
  - 空中線電力が0.01W以下である無線局のうち総務省令で定めるもの
  - 電波法第4条の2第1項の規定により指定された呼出符号又は呼出名称信号を自動的に送受し、又は受信する機能その他総務省令で定める機能を有するもの
  - 電波法第4条第2号に規定する適合表示無線設備のみを使用するもの
  - 総務大臣が別に告示する用途、電波の形式及び周波数並びに空中線電力に適合するもの

出典「特定小電力無線局」近畿総合通信局
(http://www.soumu.go.jp/soutsu/kinki/dempa/radio/bijaku/tokusyou.html)

トランスペアレントモード

- 既存の有線接続のシステム(アプリケーション)をそのまま無線化でき、無線機の独自コマンドを使用せずに行う通信手順のこと。

ノイズ(雑音)

- 不必要な電波や電気雑音のこと。

出典「電磁障害」東海総合通信局 (https://www.soumu.go.jp/soutsu/tokai/denpa/denzi_syougai/index.html)

バイナリデータ

- テキスト形式(文字データ)以外のデータ形式全般のこと。
- バイナリ形式のデータをバイナリデータと呼びます。

パケット

- 「小包」という意味。
- ネットワーク上を流れるひとかたまりのデータのこと。
- プロトコルヘッダ、送受信アドレス、データ本体、エラー検出コード等が含まれています。

パケットロス

- 無線通信の過程でパケットが失われ、期待される受信先に届かないこと。

反射

- 光が鏡等で反射するのと同様に電波も反射します。
- 金属製のものは電波を良く反射します。
- 紙やガラス等は、「誘電率が高い」または「周波数が高い」ほどよく反射します。例として、5GHz帯(Wi-Fiなど)の電波は紙やガラスを透過します。一方、28GHz帯(一部の5G通信システム)の電波は紙を透過しますが、ガラスに対しては反射が多く一部透過もします。

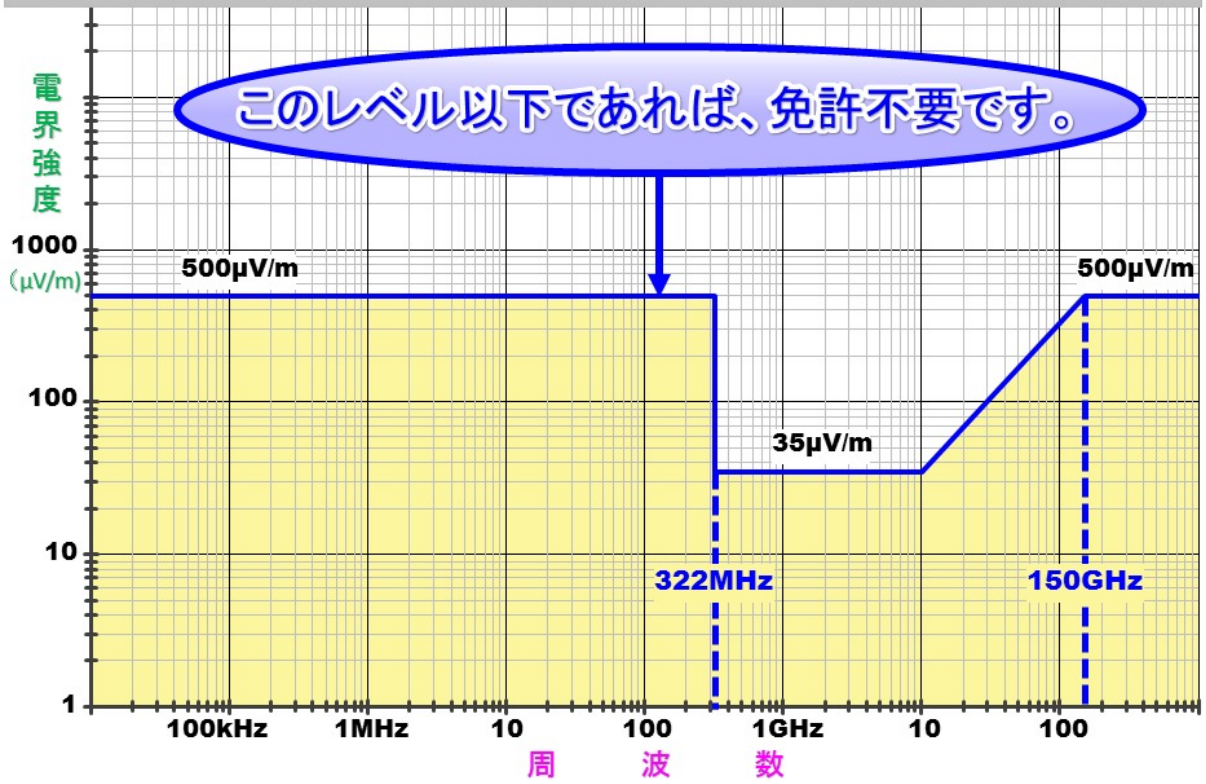
ハンドオーバー

- 携帯電話等の移動局が通信する基地局を移動中に切り替えること。

微弱無線

- 著しく微弱な電波しか発しない無線装置は免許の申請や届出が必要ありません。
- おもちゃのトランシーバ等では微弱無線が使用されていますが、電波が弱いために遠距離の通信は行えません。

【図：微弱無線の3mの距離における電界強度の許容値】



出典「微弱無線局の規定」総務省 (http://www.tele.soumu.go.jp/j/ref/material/rule/)、
「技適？ 微弱無線？ 今さら聞けない電波法規の基礎知識」岡田 信孝 (https://thinkit.co.jp/article/9947)

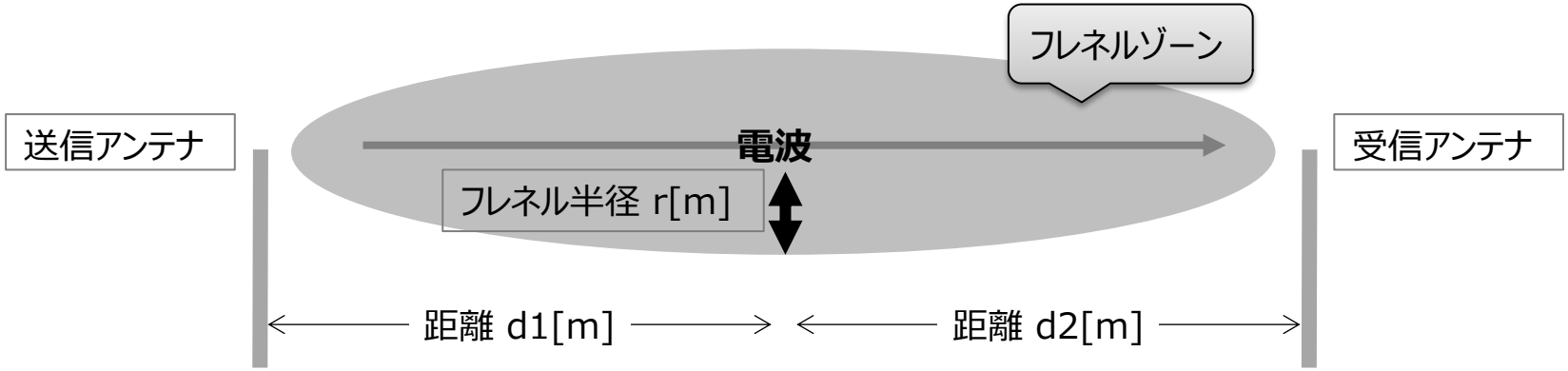
ビット誤り率 (BER: Bit error rate)

- 復調したデジタル信号の誤りビット数をカウントし、全ビット数に占める誤りビット数の割合を表した指標。

出典「地デジ用語集」東海総合通信局 (http://www.soumu.go.jp/soutsu/tokai/housou/digital/yougo/yougo.html)

フレネルゾーン

- 電波はアンテナ間を結んだ線に対し、回転楕円体の形状で空間を広がり伝搬します。
- この空間をフレネルゾーンと呼びます。
- この回転楕円体の短軸(フレネル半径)の60%以内に地面や障害物があると、電波は減衰します。



フレネルゾーン: 電波伝搬経路の束が占める空間
波長λと距離d1d2から求められる

$$\text{フレネル半径: } r\,[m] = \sqrt{\lambda\,[m]\,\frac{d1 \times d2}{d1 + d2}}$$

フレネル半径計算例
920MHz帯 : 2.9m (d1: 50m、d2: 50m)
2.4GHz帯 : 1.8m (d1: 50m、d2: 50m)
5GHz帯 : 1.2m (d1: 50m、d2: 50m)

プロトコル

- 通信規約のこと。
- 具体的には、コンピュータ、通信端末、通信網等の機械と機械とが相互に通信するために、情報の表現手段、情報の意味内容、通信手段等を定めた種々の約束ごとをプロトコルと呼びます。

変調・復調

- 通信において情報を電波等の通信媒体にのせて送ることができるように変換することを変調と呼びます。
- 逆に、受信した電波等の通信媒体から情報を取り出すことを復調と呼びます。
- 電波で情報を送る場合、搬送波(キャリア)と呼ばれる一定の周波数の電波を様々に変化させることが変調にあたります。
- 周波数変調(FM: Frequency Modulation)、振幅変調(AM: Amplitude Modulation)、位相変調(PM: Phase Modulation)等の方法があります。

マルチパスフェージング

- 無線通信で届く電波の強度が、複数の経路を経て到達することにより変動すること。
- 無線局の移動や時間経過により、障害物や大気中の電離層による反射等が変化し、時間差をもって到達した電波の干渉に変化が発生することで起きます。

出典「用語集(地域振興用周波数の有効利用のための技術的条件に関する調査検討会報告書)」総務省
(http://www.soumu.go.jp/main_content/000406326.pdf)

無線通信

- 物理的な配線無しで、2地点間をデータ通信すること。

無線LAN

- 無線を使って構築されるLAN (Local Area Network)のこと。
- 通信方式は、2.4GHz帯を用いるIEEE 802.11b(最大伝送速度11Mbps)や、5.2GHz帯を用いるIEEE 802.11a(最大伝送速度54Mbps)等があります。
- IEEE 802.11諸規格に準拠した機器で構成されるネットワークのことを指す場合が多くなっています。

出典「ICT用語集」東海総合通信局 (https://www.soumu.go.jp/soutsu/tokai/tool/yougo/yougo.html#kana_mu)、「平成28年度情報通信白書 用語解説」総務省 (http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/html/nd300000.html)

ローミング

- 無線子機が現在接続している無線親機から他の無線親機へ接続先を変更する機能のこと。
- ローミングにより移動しながら、無線通信を継続することが可能です。

出典「802.11高速無線LAN教科書」守倉 正博 (監修)、久保田 周治 (監修)

5G(第5世代通信方式)

- 新たに規格化・実用化が進行している次世代の無線通信システム・方式のこと。
- 携帯電話の世代の進行が第1世代から第4世代まであり、その次の無線通信システムであることから5G(5th Generation)と呼ばれています。
- その中で、各地域や個々のアプリケーションに合わせて利用者が主体的に構築が利用可能な「ローカル5G」が注目されています。

SA、NSA構成(方式)

- 5Gネットワークのシステム構成(方式)のこと。
- 現在、「SA(スタンドアロン)」と「NSA(ノンスタンドアロン)」の2種類があり、現在、NSAが先行しています。
- NSAは、5G基地局と、その他4G等の基地局を使ったコアネットワークで構築したもので、SAは、5G基地局のみでコアネットワークを構築したものになります。今後、SA方式も本格的に普及する見込みです。

CU,DU,RU,5GC

- 5G基地局のコアネットワークを構成する機器の名称のこと。
  - CU: Central Unit
  - DU: Distributed Unit
  - RU: Radio Unit
  - 5GC: 5G Core

※利用する基地局によっては統合や仮想化されているものがあります。

Sub6,mmWave

- 5G向けに割り当てられている無線帯域の略称です。
- 日本国内では、5Gに3.7GHz帯や4.5GHz帯の「Sub6」と、28GHz帯の「ミリ波(mmWave)」と呼ばれる2種の周波数帯域が割り当てられています。

MEC

- マルチアクセスエッジコンピューティングの略で、5G基地局やユーザ装置側に配置する装置(サーバ)です。
- 個々のアプリケーションで取り扱われるデータの保存や分析する等の前処理を行うことで、クラウドやサーバ等への負担や通信量を抑制すると共に多台数や低遅延の実現に寄与します。

出典「802.11高速無線LAN教科書」守倉 正博 (監修)、久保田 周治 (監修)

SSB

- Synchronization Signal Blockの略で、5G基地局からの同期信号のことです。

RSRP

- Reference Signal Received Powerの略で、特定の5G基地局からの信号強度のことです。

RSSI

- Received Signal Strength Indicatorの略で、使用帯域全体の信号強度を示します。

RSRQ

- Reference Signal Received Qualityの略で、受信信号の品質を示します。

SNR

- Signal-Noise Ratioの略で、受信した信号とノイズの比を示したものです。

SINR

- Signal to Interference and Noise Ratioの略で、SNRに干渉要素(Interference)を加えた値です。

本教材(Ver.1.2)の作成について

- **本教材(Ver.1.2)の協力にあたっては、Flexible Factory Projectの協力企業がこれまでの知見と文献調査などを基に編纂に協力しました。**

【本教材の編纂協力】

国立研究開発法人情報通信研究機構
株式会社国際電気通信基礎技術研究所
オムロン株式会社
日本電気株式会社
富士通株式会社
サンリツオートメイション株式会社
村田機械株式会社
株式会社構造計画研究所
サイレックス・テクノロジー株式会社
株式会社NTTドコモ
PwCコンサルティング合同会社

本教材の取り扱いについて

1. 本テキストは、総務省「IoT機器等の電波利用システムの適正利用のためのICT人材育成事業 工場向けワイヤレスIoT講習会」におけるテキストとして作成したものをベースに編纂されています。
2. 企業・団体等における各種教育・研修等において活用頂く際には、以下の点にご留意頂けますようお願いします。
   - 本テキストを引用する場合には、出典を明示すること。
   - 本テキストを編集・加工して利用する場合には、その旨、明示すること。その際、あたかも総務省が作成したかのような態様で公表・利用しないこと。
   - 本テキストを用いて各種教育・研修等を行う場合には、非営利又は適正な対価での実施とし、不当な対価は得ないこと。
   - その他、公序良俗に反する使用はしないこと。
3. 本テキストを営利目的で第三者に提供・販売することは禁じます。
4. 本テキストをウェブサイト等へ無断で転載することは禁じます。
5. 本テキストの内容やその変更、提供の中断、終了等に関して生じたいかなるトラブル・損害等についても総務省はその責を負いません。