

「工業用無線の導入ガイド」

本資料は、JEMIMA 会員企業の社内利用限定の参考用資料です。このため、ダウンロードした電子ファイルを会員企業外に送付することは固くお断りいたします。また、本資料に含まれるいかなる情報も、会員企業外に開示することを固くお断りします。

2023年3月

一般社団法人 日本電気計測器工業会

内容

- 1 工業用無線の導入ガイドブック公開にあたって
- 2 工業用無線とは
 - 2.1 工業用無線の導入メリット
 - 2.1.1 現場の監視強化を低コストで実現
 - 2.1.2 テンポラリ設置による製造設備の予兆検知
 - 2.1.3 有線計装が難しい箇所への設置
 - 2.1.4 フィールド・メンテナンスの効率化
 - 2.2 工業用無線の特徴
 - 2.2.1 信頼性
 - 2.2.2 低遅延
 - 2.2.3 省電力
 - 2.2.4 長距離・広範囲の通信
 - 2.2.5 セキュリティ
- 3 工場内の無線ネットワークとユースケース
 - 3.1 工場内の無線ネットワーク
 - 3.1.1 サイト間無線ネットワーク
 - 3.1.2 プラントワイド無線ネットワーク
 - 3.1.3 センサ/アクチュエータ無線ネットワーク
 - 3.2 無線規格
 - 3.3 無線通信方式の比較
 - 3.4 ユースケース
- 4 工業用無線の導入
 - 4.1 無線システムの導入フロー
 - 4.2 アプリケーションの要件分析
 - 4.3 無線方式の選定
 - 4.4 現地環境評価（サイトウォーク）
 - 4.5 無線ネットワークの設計
 - 4.5.1 設置位置（通信距離）
 - 4.5.2 通信経路（障害物）
 - 4.5.3 通信周波数（干渉）
 - 4.5.4 通信性能の検証と調整
 - 4.6 設置と調整（コミッショニング）
 - 4.7 運転とライフサイクル管理

- 4.7.1 バッテリ交換
- 4.7.2 共存管理
- 5 無線ネットワークの設計手法と評価・調整パラメータ
 - 5.1 無線ネットワークの設計手法
 - 5.1.1 設置位置（通信距離）設計
 - 5.1.2 通信経路（障害物回避）設計
 - 5.1.3 通信周波数（干渉回避）設計
 - 5.2 工業用無線の高信頼性技術
 - 5.2.1 スペクトラム拡散技術
 - 5.2.2 周波数ホッピング技術
 - 5.2.3 メッシュネットワーク技術
 - 5.3 通信性能の評価指標
 - 5.3.1 パケットエラーレート（PER）
 - 5.3.2 受信信号強度（RSSI）
 - 5.3.3 遅延時間
 - 5.3.4 スループット
 - 5.4 周波数資源（スペクトラム）の調整パラメータ
 - 5.4.1 送信出力
 - 5.4.2 送信チャネル
 - 5.4.3 ブラックリスティング
 - 5.4.4 送信時間
 - 5.4.5 休止時間
 - 5.4.6 再送
 - 5.4.7 ネットワークトポロジー
 - 5.5 無線システム導入の留意点
- 6 無線の共存管理
 - 6.1 共存管理標準化の背景
 - 6.2 IEC 62657 シリーズの概要
 - 6.2.1 IEC 62657-1: Wireless communication requirements and spectrum consideration（無線通信要求仕様と周波数検討）
 - 6.2.2 IEC 62657-2: Coexistence management（無線共存管理）
 - 6.2.3 IEC 62657-3: Formal description of the automated coexistence management and application guidance（無線共存管理の自動化手順とアプリケーションガイダンス）

6.2.4 Coexistence management with central coordination of wireless applications（無線アプリケーションを中央調整する共存管理）

6.3 IEC 62657-2 の共存管理コンセプトモデルの解説

6.4 IEC 62657-2 共存管理の手順解説

6.4.1 調査フェーズ

6.4.2 計画フェーズ

6.4.3 実装フェーズ

6.4.4 運用フェーズ

6.5 共存管理システムの維持

6.6 管理パラメータの例

産業計測機器・システム委員会 工業用無線技術調査・研究 WG について

2020 年度 委員

1 工業用無線の導入ガイドブック公開にあたって

モノのインターネット（IoT）の潮流に乗り、国内の産業オートメーション分野においても様々な無線ネットワーク技術が製造現場で利用されている。その目的は、工場の生産性や稼働率向上、現場作業支援、自主保安力強化のための製造設備の監視強化や予防保全、安全管理、環境保全など多岐にわたる。このような多様な目的で無線ネットワークを利用した IoT 応用の成功事例が新聞紙面等でも広く報告されている。

一方で、重要な社会インフラを担う工場やプラントでは、従来の有線計装と比較した場合の信頼性への懸念から、無線計装の導入に躊躇しているユーザ様も一定数存在するものと推察する。その背景には、無線は有線と異なり見えない電波を通信媒体として利用していることから、電波干渉に伴う通信障害やセキュリティへの懸念などが挙げられる。さらに工場は、多様な製造設備で構成されているが、それぞれの状態監視に合致した無線技術の選定指針や応用事例、導入時の留意事項などを体系的に解説した文献が少なく、工業用無線の導入に関する基礎的な知識習得の機会が提供されていなかったことも要因として考えられる。

（一社）日本電気計測器工業会（以下、JEMIMA と呼ぶ）産業計測機器・システム委員会の工業用無線技術調査・研究 WG は、このような状況を鑑み、工業用無線技術の普及推薦を目的に工場やプラントのユーザ様、エンジニアリング会社様、工業用の無線機器を提供するベンダ様に向けて、工業用無線をご理解いただく簡易な解説書として、本「工業用無線導入ガイドブック」を発刊するに至った。主な掲載内容には、工業用無線の応用事例、導入手順、電波伝搬の基礎、無線ネットワークの維持管理のための無線共存管理に関する事項が含まれる。

本ガイドブックが、工業用無線技術の理解と現場への導入促進の一助になれば幸いである。

一般社団法人 日本電気計測器工業会
JEMIMA 産業計測機器・システム委員会
工業用無線技術調査・研究 WG

2 工業用無線の背景と特徴

工業用無線は、工場やプラントなどの製造現場で利用される無線通信技術の全てが含まれる。本書では、特に製油所や化学工場などの産業オートメーション分野において、免許不要で使用可能な無線技術を対象にその導入に際して参考となる情報を提供するものである。

工業用無線には、その導入に際して二つの重要なポイントがある。一つ目は、製造現場の多様なアプリケーションの要件を満足するために最適な無線技術を選定することである。二つ目は、導入した複数の無線システムが同じ製造現場に混在する場合に相互に電波が干渉しないように効率的に周波数資源を配分する共存管理の仕組みの構築と運用である。

IoT（Internet of Things）の潮流の中、製造現場においても安全性、信頼性、経済性、作業性のさらなる向上を目的に多種多様な無線技術が導入されている。一方、工場では、製造運転、設備保全、安全管理など操業を支える様々な機能があり、それぞれのアプリケーションに要求される通信速度や通信距離などの仕様が異なることから、適材適所の無線方式を採用することになる。図 2.1 に無線通信方式と工場におけるユースケースを示す。



図 2.1 無線通信方式と工場でのユースケース

例えば、現場作業支援用のタブレット端末や監視カメラなどの大量データを伝送する場合は、Wi-Fi、設備管理用の RF タグやヘッドセットには、近距離通信用の Bluetooth などが候補となる。プロセス制御・監視や設備監視用のセンサのデータ伝送の用途においては、信頼性と時間確定型の通信性能と電池駆動で数年間利用を可能にした ISA100 Wireless（ISA100.11a）や WirelessHART に代表される工業用無線ネットワーク技術（無線計装と呼ばれる場合もある）が広く利用されている。近頃は、広域の IoT データ収集用として、LPWA（Low Power Wide Area）に分類される、LoRaWAN、Sigfox、NB-IoT、LTE-M などの低伝送速度で伝送容量が小さいが、低消費電力で長距離伝送が可能な無線技術も工場での導入が始まっている。さらに、音声通話やリモート監視の用途では、公衆無線ネットワーク基盤としての移動体通信技術の 4G/LTE が利用されている。最近では 5G の実証試験が各所で実施され、製造現場への実導

3 工場内の無線ネットワークとユースケース

本項では、工場に導入される各種工業用無線技術を階層化された生産システムに対応した、無線ネットワークに細分化し、適用されている無線技術を整理する。次に、工業用無線に関連する無線規格を整理し、そのユースケースを紹介する。

3.1 工場内の無線ネットワーク

工業用無線は個々のユースケースで無線システムに対する要件が大きく異なる。通信速度、リアルタイム性、およびネットワーク接続台数の要件は、実装アプリケーションに密接に関連している。そこで、工業用無線を代表的なアプリケーションに分類し、それぞれの無線システムの特徴と要件、そして具体的な無線方式を解説する。

3.1.1 サイト間無線ネットワーク

主に、工場間をつなぐ長距離の無線ネットワークである。工場内の固定設置された機器やシステムだけでなく、車両やモバイルオペレータによるリモートアクセスも可能となる。

通信装置の接続台数は比較的少なく、地理的なカバレッジが広い。数通信速度は、高いビットレートを達成することもできるが、信頼性の観点では一般的にベストエフォート型の通信となる。遠隔監視のアプリケーション（測定値の散発的な転送など）やリモートメンテナンスに適用される場合が多い。低遅延、時間確定型の通信、即時応答が要求されるリアルタイム性の高いアプリケーションには向かない。

具体的な無線技術としては、LTE、Wi-MAX などが挙げられる。これらの無線システムは、基本的にプラント事業者が自営で無線システムを設置するものではなく、キャリアベンダが提供する課金サービスを利用する場合が多い。

一方、5G の工場への導入が普及することで、通信容量増大、高速化、同時接続、低遅延の実現により、適用アプリケーションが拡大することが期待されている。

4 工業用無線の導入

工業用無線を導入して通信の信頼性を確保するためには、電波の特性を理解して通信経路を設計することが大切である。その理由として、無線通信では使用環境による通信経路の状態変化が生じ、屋外のプラントや工場建屋内の環境下ではその影響を受けやすいことが挙げられる。図 4.1 に無線通信の伝送路すなわち、電波伝搬に関わる通信エラーの外的要因をまとめた。高い通信性能を引き出すためには、適切な導入手順を習得しておくことが大切である。

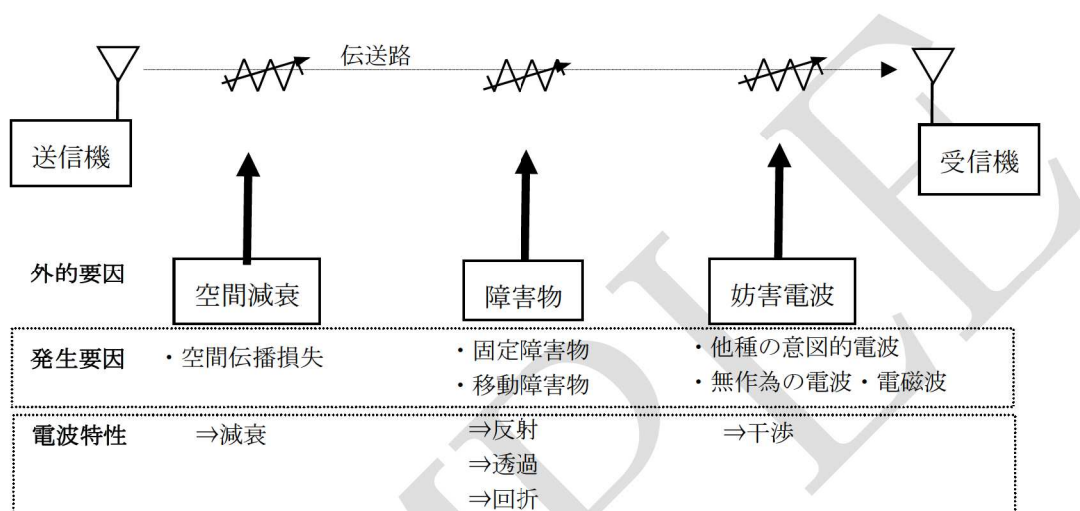


図 4.1 無線通信の伝送路における通信エラーの外的要因

5 無線ネットワークの設計手法と評価・調整パラメータ

ここでは、無線ネットワーク設計の具体的な手法とネットワークのネットワーク特性の評価・調整パラメータについて述べる。

5.1 無線ネットワークの設計手法

安定した通信を実現するための、設置位置（通信距離）設計、通信経路（障害物回避）設計、通信周波数（障害物回避）の具体的な設計手法例と高信頼化技術について簡単に説明する。

5.1.1 設置位置（通信距離）設計

無線機や中継器の配置など無線ネットワークの設計にあたっては大まかな通信距離を把握する必要がある。

電波は通信距離により減衰するため、送信出力、送信・受信アンテナゲイン、受信感度限界のパラメータと通信距離を概算できる。図 5.1 に空間減衰と通信エラーの関係と、式 5.1 に自由空間における電波の距離減衰の推定式を示す。机上計算を行い計算した受信信号強度が、無線通信機の受信感度限界と一致する距離が通信距離の限界と考えることができるため、通信経路の回線変動のマージン（リンクマージン）を考慮して通信距離を概算する。

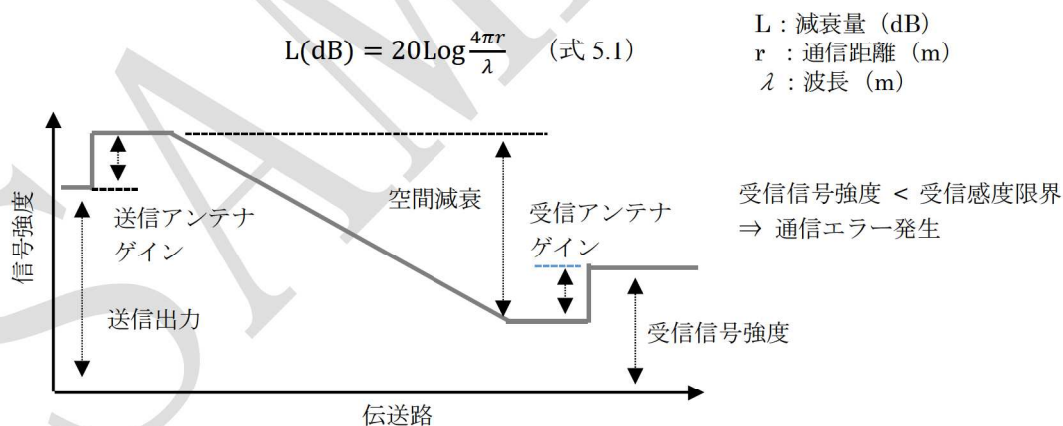


図 5.1 空間減衰と通信エラーの関係

6 無線の共存管理

ここでは工業用無線の共存管理に関する基礎知識として、国際規格の IEC 62657 シリーズの概要を説明する。

6.1 共存管理標準化の背景

工場・プラントに工業用無線の導入が進む中、複数の無線通信を用いるアプリケーション（以下無線アプリケーション）が共存する状況では、無線通信の共存管理が必要となる。共存管理を適切に行わなければ、他の無線アプリケーションからの電波干渉等により通信の安定性が欠如し、各アプリケーションの必要条件を満足できなくなる。

上記のように複数の無線アプリケーションが同一環境に設置される場合、各アプリケーションの通信要件を満足できなくなるリスクがある。工場の無線アプリケーションの安定した通信や、通信周波数の効率的な利活用のためには共存管理を行なうことが望ましい。

複数ベンダによる異なる無線アプリケーションが工場内の同一環境下に配置される場合には、無線共存管理のための周波数資源の管理手法の標準化が重要となる。つまり、共存管理を実行するために必要となる無線アプリケーションの共通的な用語、手順、管理パラメータなどを定義することが求められる。こうした背景から、工場・プラントで利用される無線通信を対象とした共存管理の標準化の活動が 2009 年より IEC/SC65C/WG17（工業用ネットワーク/無線共存）で開始された。

無線共存管理の国際標準規格は、IEC 62657 シリーズとして発行されている。IEC 62657-2 は、無線アプリケーションの周波数資源に関わる各種パラメータの定義と手動による管理手順を規定。IEC 62657-4 は、無線共存管理の自動化機能の実装例として中央協調制御機能を規定している。共存管理システムの導入にあたっては、無線通信ネットワーク規模や共存管理システムの導入コスト、共存管理の対象となる無線アプリケーションの重要度等から総合的に判断し、手動方式か自動化方式を判断することになる。

産業計測機器・システム委員会 工業用無線技術調査・研究 WG について

産業計測機器・システム委員会 工業用無線技術調査・研究 WG のミッションは以下の通りである。

日本における国際競争力の維持・発展の観点から、工業用無線技術の国際動向の把握や無線周辺技術を含めた調査・研究を行い、会員各企業への情報提供を行うとともに、国内での無線技術の活用のために、使用周波数帯や電力規制などについて、工業会として行政組織に連携をとるための提案を行う。

<https://www.jemima.or.jp/activities/strategic-project/industrial-process.html>

2021 年度 委員

長谷川 敏	横河電機株式会社	主査
加藤 泰輔	富士電機株式会社	副主査
中川 隆広	アズビル株式会社	
岩山 哲治	三菱電機株式会社	
瀬和居 裕志	島津システムソリューションズ株式会社	
名村 将由	理化工業株式会社	
宋 欣光	新川電機株式会社	
加藤 憲一	新川センサテクノロジー株式会社	
柴田 浩司	東芝インフラシステムズ株式会社	
渡辺 友馬	東芝インフラシステムズ株式会社	

2022 年度 委員

長谷川 敏	横河電機株式会社	主査
加藤 泰輔	富士電機株式会社	副主査
中川 隆広	アズビル株式会社	
山本 健造	三菱電機株式会社	
瀬和居 裕志	島津システムソリューションズ株式会社	
名村 将由	理化工業株式会社	
宋 欣光	新川電機株式会社	
加藤 憲一	新川センサテクノロジー株式会社	
柴田 浩司	東芝インフラシステムズ株式会社	
渡辺 友馬	東芝インフラシステムズ株式会社	

※：本資料で使用されている会社名、商品名等は、各社の登録商標または商標です。

本資料は、JEMIMA 会員企業の社内利用限定の参考用資料です。このため、ダウンロードした電子ファイルを会員企業外に送付することは固くお断りいたします。また、本資料に含まれるいかなる情報も、会員企業外に開示することを固くお断りします。

-----禁無断転載-----

「工業用無線の導入ガイド」

本件についてのお問合せ先

〒103-0014 東京都中央区日本橋蛸殻町 2-15-12

一般社団法人 日本電気計測器工業会

TEL : 03-3662-8183

政策課題グループ

<https://www.jemima.or.jp/form/contact/index.html>