

2-6 無線通信技術を活用したスマート工場実現に向けて

板谷聡子

これまで製造現場における通信は、制御信頼性の観点から有線通信が主流であったが、近年の製品開発サイクルの短期間化 [1] の影響から、機器の配置やラインの構築に柔軟性が求められるようになってきており、無線通信への期待が高まっている。国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) は、製造現場で IoT 化を推進し、無線通信を活用したスマート工場実現のため、Flexible Factory Project のメンバーである複数の民間企業と共に、製造現場における環境と用途に応じた適応的無線制御方式の実現に向け、稼働中の工場における多種類の無線通信性能評価実験を行ってきた [2]-[7]。プロジェクトは 2015 年 6 月にスタートし、現在も継続中である。本稿では、実証実験により顕在化した、製造現場における無線の課題と現状及び無線通信システムを利用した製造機器を安心して導入できるようにするための必須事項について述べる。

1 まえがき

製造現場での各製造システムの配置やラインの長さ及び製造に用いる機器などは、生産量の変化、製造工程の改善、製造する製品の変更などによって刻一刻と変化する。また、設備投資を最低限に抑えるため、部分的に新システムに置き換えられていく場合が多く、製造現場における無線化は局所的に進行する傾向がある。さらに、各製造システムを構築するメーカーが異なり、必要最低限の情報共有のみで個別にシステム開発を行うため、無線帯域の利用や無線化された各機器の同一空間内での共存などが考慮されずに設計される現状がある。加えて、無線通信機などを搭載したセンサーなどのデバイスの小型化、高性能化、低価格化に伴い、生産性や品質向上を目的にこれまで人手で取得していたデータや取得不可能だったデータの取得、移動体の制御や管理にも利用が検討され始めている。

一方で、ある製造システムに部分的に無線が導入され、その利便性が認識され導入に対する懸念事項が薄らぐと、徐々に製造現場全体の無線化が進む。しかし、無線化が進むとそれまで潜んでいた製造現場で無線通信を利用する際の課題が顕在化する [7]。例えば、Wi-Fi を用いた AGV (Automatic guided vehicle) の制御では、制御データの欠落・遅延は、AGV が運搬する製造品の次工程への到着遅れや AGV 同士の衝突などの問題を引き起こす場合がある。

生産性を維持するためには、これらの問題が発生した場合、発生原因を特定したうえで対処し、製造ラインをできるだけ短時間で復旧させることが必要となる。NICT では、2 年以上にわたり、稼働中の工場における多種類の無線通信性能評価実験を行っており (図 1)、



図 1 Flexible Factory Project 実験の様子

製造現場における環境と用途に応じた適応的無線制御方式の実現を目指している [2]-[7]。本活動は、Flexible Factory Project として、複数の企業と業界の垣根を越えて協力しながら実施している [8]。

本稿では、実証実験により顕在化した、製造現場における無線通信技術の課題と現状及び無線通信システムを利用した製造機器を安心して導入するための必須事項について述べる。

2 製造現場における無線通信技術の課題

これまでの実験等を通して、製造現場において無線通信技術を使いこなすためには、大きく 3 つの課題がある。

(1) ダイナミックな無線環境の変化

製造現場には金属体などの遮蔽物が多く、人やものなどが移動する。また、狭く閉じられた空間であるた

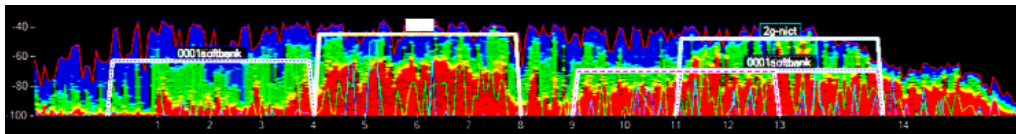


図2 (住宅地隣接型中小規模工場) 住宅地設置のWi-Fi APの影響

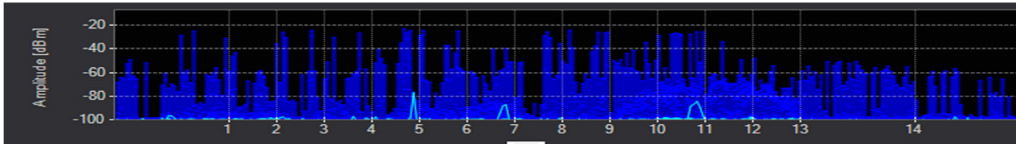


図3 (隔離型大規模工場) 機器ノイズの影響

めマルチパス環境となり、ミリ秒～秒のオーダーで不感地帯が出現・消滅したり、移動したりする。製造工程における段取り替えやシステム電源のON-OFFや数時間～数日のオーダーで、レイアウト変更や新規ラインの導入などで数カ月～数年オーダーで無線環境が変化するなど、あらかじめすべての場合を想定した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

例えば、工場の立地によっては外来波の影響を考慮しなければならない。図2は、住宅地に隣接する工場においてスペクトラムアナライザを用いて2.4 GHz帯の周波数利用状態を調査した際のスナップショットである。縦軸が受信信号レベル、横軸が利用チャンネル、色が赤いほど長時間電波が観測されていることを意味する。図2の両端に通信事業者が設置した無線LANホットスポットの識別名(ESSID)が確認でき、工場内で使われているRF-IDタグシステムより広い周波数にわたり、強い信号レベルを示していることがわかった。このことから、住宅地近接型の工場では、自社システムのみ把握しているだけでは無線通信環境を評価するには不十分であると言える。

また、製造システムが通信を阻害するようなノイズ

源になる場合もある。図3は住宅地から隔離された大規模工場内の大型加工機付近で実証実験中に高時間分解能を持つスペクトラムアナライザにより観測されたノイズをとらえたものである。

このように、製造現場は、業種、工場の規模、電波遮蔽物の有無、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って無線環境の状態が異なる。このことが製造現場における無線の利活用についての課題となっている。

(3) 混在する異種システム

さらに、製造現場では、すべてのシステムが同時に入れ替えられることはまれで、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のが一般的であり、システム全体の最適化が困難である。また、グローバルで使いやすい2.4 GHz帯から混雑する傾向がある。

3 製造現場における無線の現状

本章では、製造現場における無線の現状について紹介する。図4は住宅地から隔離された大規模工場の(a)2015年7月と(b)2015年12月の920 MHz帯のスペ

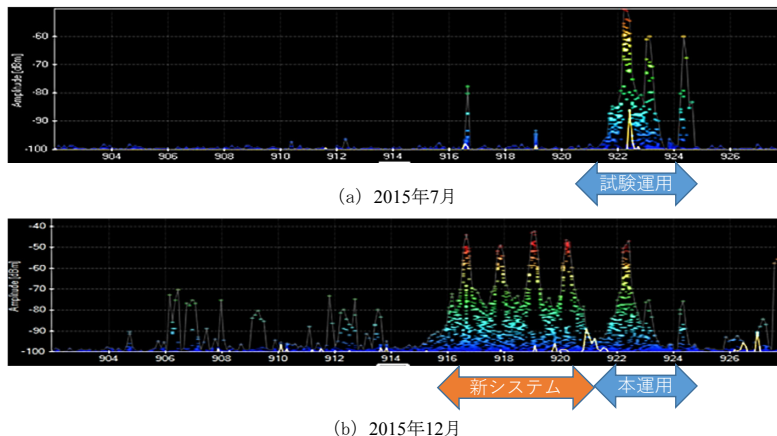


図4 920 MHz帯利用状態の時間変化

クトラムアナライザのスナップショットである。縦軸が観測された信号の強度を表している。

2015年7月よりも12月の方が、利用チャンネル数が増え、信号強度が高くなっていることから、920 MHz帯の利用が増加していることがわかる。同様に、2.4 GHz帯や5 GHz帯でも全体的に帯域利用の増加が見られた。ただし、いずれの場合も帯域自体にはまだゆとりがあり、パケット損失率等には大きな変化は見られなかった。このように、無線化の進行が進むにつれ、電波環境が変化していく。

無線化の進行は、都市の成長に伴うインフラの整備と類似の段階を踏むと考えられる。このため、都市の成長段階と同じ4つの段階に分類する。第1段階を初期段階(① Initial Stage)、第2段階を成長段階(② Growing Stage)、第3段階を成熟段階(③ Mature Stage)、第4段階を再構成段階(④ Reconfiguration/Total Management Stage)と呼ぶ。

① Initial Stageでは、データサイズが50 Byteより小さく、また定時性が厳しく求められないOK/NGなどの可視化、リモートコントローラ等のデータのやりとりのみが無線で行われている状態である。無線通信を用いる新しい製造機器は、通信可能な無線通信方式を使えば大きな工夫をしなくても安定動作が可能である。

② Growing Stageでは、センシングデータやRF-IDなどある程度の頻度でデータ送受信が行われる機器の無線化が見られる。許容遅延事件は数秒～数分である。

③ Mature Stageでは、インラインの検査機や工場内の移動体の制御など数百ミリ秒～数秒程度の遅延が求められるシステムの無線化が進んだ状態である。このMature Stageにおいては、アプリケーションの無線通信部分の最適化が2つの方向性に進むと考えられる。

さらに、無線化が進んだ④ Reconfiguration/Total Management Stageは、構内ネットワークの無線化、構内電話がIP電話化、遠隔監視向けの定期的なデータ送受信や画像データのリアルタイム送信など、先進的なアプリケーションなどが導入された状態である。

ここで述べた4段階の無線化段階(Unwire Stage)を定義する。

- ① Initial Stage
- ② Growing Stage
- ③ Mature Stage
 - ③-1 Communication Quality Specific Optimization Stage
 - ③-2 Application Specific Optimization Stage

④ Reconfiguration/Total Management Stage

4段階のStageは、図5に示すように、1システムあたりの無線帯域占有率と、通信における異常値発生度の2軸で分類するものとする。

製造機器の設計は、製造現場全体で行われるのではなく、局所的に行われる。そのため、各製造機器に無線通信が利用される場合も個別に選定、実装される。各無線通信方式の選定は2種類の視点で行われる。1つが、特定のデータパケットのみの損失に着目した通信品質特化型のシステムが存在するステージ(③-1 Quality Specific Optimization Stage)で、もう1つが先進的な付加価値を製造機器に与えるようなシステムが存在するステージ(③-2 Application Specific Optimization Stage)である。その具体例を紹介する。

③-1 Communication Quality Specific Optimization Stage

本ステージは、特定のデータパケットのみの損失にのみ着目した通信品質特化型のシステムが存在するステージであり、移動体の制御などに用いられる。その

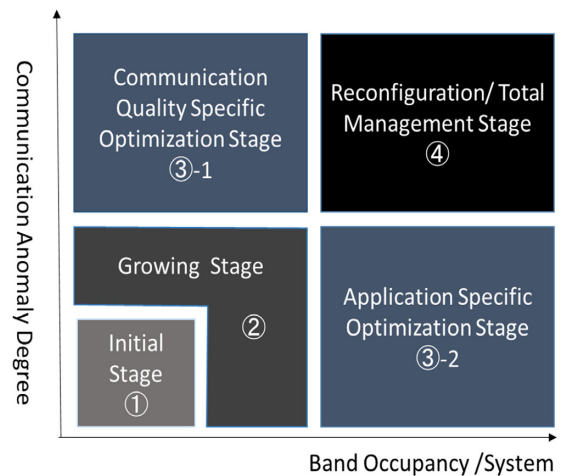


図5 4段階のUnwire Stage

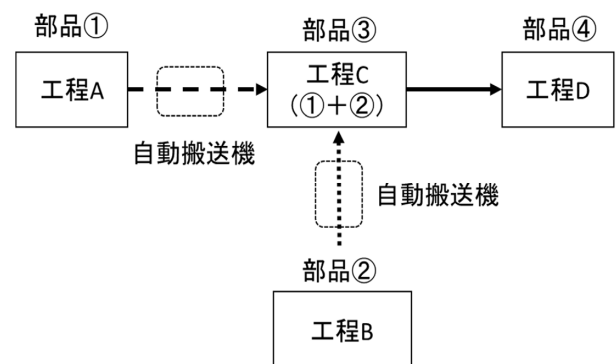


図6 製造ライン動作概略図

ため、システムのみでデータ欠損やデータ受信までの遅延時間が最適化されるよう設計され、同一パケットの大量生成や再送で通信品質をカバーしようとする。

以下、具体例を挙げて説明する。図6は実験を行った製造現場のラインの動作概略図である。

実験を行ったのは、大きな部品が1つ入り、製品が出来上がると製品が1つラインから出る“1個流しライン”である。これは1つの大きな部品の一部を構成する部品①と、それを取り付ける大きな前工程の部品②が、それぞれ別工程から自動搬送機により運ばれ、ラインの入り口で1つの大きな部品(部品③)に組み上げられ、ラインに投入される。さらに、他の部品と組み合わせられ、ライン終了時に部品④となって次の工程へ移る。

実験に使用する機材は、高さ150cmのラックに機材を配置し、送信側/受信側を1対とし、見通しのある場合(LOS環境)と見通しのない場合(NLOS環境)について、測定を実施した。LOS環境の送信側/受信側間の距離約15m、NLOS環境の距離は約25mである。無線LANはOpenWRT 4.1.1で動作する無線メッシュルータRMR9000[9]で、ath5kベースの無線LANドライバにより動作させた。

通信実験については、送信側から受信側へブロードキャスト通信を一定時間行った。遅延時間を計測するために、受信側で受信したデータを有線LAN経由で送信側へ送信し、送受信同じ端末の時刻を用いて測定した。有線LANを用いた場合の最大のRTT(Round Trip Time)は、数百μsecであるため、無視できると考えられる。自動搬送機の制御データはIEEE 802.11 aを用いてやり取りされているが、制御用に使われているチャンネルの占有率は数%程度である。

図7は、自動搬送機の制御用データがやり取りされるのと同じチャンネルで、54 Byteのデータを10 msec間隔で20分にわたって6 Mbpsで送信した際の遅延

時間である。

実験データが平均的に5 msec以下で送信できているが、周期的に平均的な遅延時間に比べて長い遅延がまとまって発生しているのがわかる。データ分析の結果、この長い遅延は2つの自動搬送機の発信制御信号の送信と同期していることがわかった。自動搬送機の停止はライン自体の停止になることから、発進制御パケットを複数送信することでシステムのロバスト性を高める手法を採用しているために起こる現象である。現状、問題なく動作しているが、周辺に同一周波数帯を使う他のシステムや新たな自動搬送機の増加した場合に、平均的に見れば帯域が十分空いているにも関わらず、通信不能になる場合があると想定される。

③-2 Application Specific Optimization Stage

これまで人手で収集していたデータや、取得できていなかった情報を自動収集することにより取得した新しい知見を活用し、工程や運用の改善や予防保全を行うことの用途で無線システムが導入されたステージである。長期観測や大規模なデータ及び分析等の技術が必要となる。Wi-SUN[10]をはじめとする920 MHz帯の利活用への注目、各種センサーデバイスの小型化や低コスト化に伴い製造現場において期待が高まっており、付加価値提供のための導入が検討され始めている。このタイプのアプリケーションが無線帯域を他のシステムと共用していることを意識せずに設計・導入されると、既に導入されている同一周波数帯を用いている製造システムや、今後導入される他のシステムの安定運用を妨げる可能性があるとともに、自身のシステムが他のシステムからの影響を受けることで、本来の機能が発揮できない危険性がある。

4 無線通信システムを製造現場で安心して使うために

製造現場で新しい無線通信システム導入がされる際、ユーザー側は次の4つの点を重要視する。まず第1に、仕組みが分からないものや全自動はあまり好まれない傾向にある。これは、ユーザー側も技術者であることに起因するといわれるが、システムの仕組みを現場が理解できること、また、不具合発生時に問題箇所が特定できる、もしくは特定しやすいシステム構造になっている必要がある。次に、製造現場において設備投資は製品価格に影響を与えることから、総入れ替えではなく、部分入れ替えが可能であることが重要である。製造現場におけるシステム全体を入れ替えなければ効果が得られない技術の導入は、なかなか進まない。さらに、製造現場稼働中に何が起きているのか、何が起

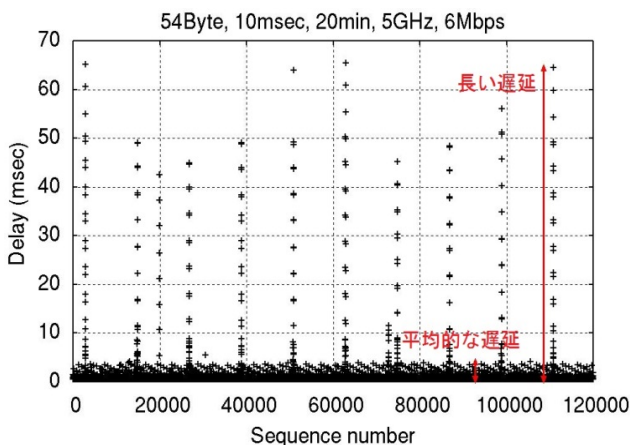


図7 自動搬送機制御チャンネルにおける実験データの遅延時間

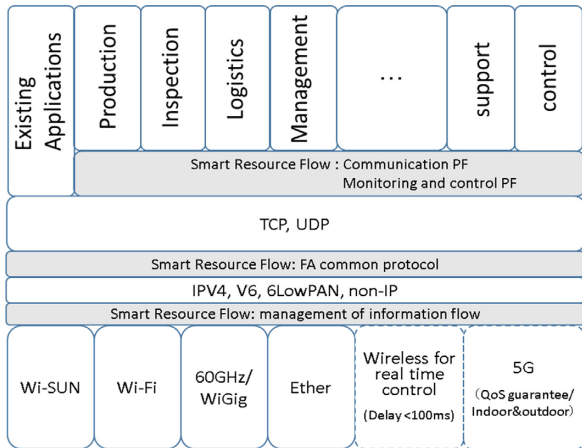


図8 Smart Resource Flow 無線プラットフォームプロトコルスタック

かがわかり、製造ラインが停止した場合にも、速やかに復旧することができる事業継続性の維持が重要なポイントとなる。

これらのことから、ユーザーが自分で機能を選択して組み合わせて使うことができ、既存システムへの追加や一部実装で効果が得られるようなプラットフォームの整備と、現場で起こっていることを把握し、事業継続性を維持するために現場の人々の意思決定を支援する情報提示が必要である。NICTでは材料、電力、製造機器、電波、人的リソースなど製造現場におけるすべての資源の流れを円滑に行うためのフレームワークとしてSmart Resource Flow (SRF)を提案しており、特に、電波資源をうまく活用する「SRF無線プラットフォーム」の研究開発を行っている。SRF無線プラットフォームのプロトコルスタックの概略図を図8に示す。

SRF無線通信プラットフォームでは、既存のアプリケーションとの互換性維持のためTCP/IPの上下に機能を分割して実装する。また、システムとして安定動作可能であることや、相互接続性に関する認証・保障も、導入意志決定の際の重要な判断材料になるといわれている。

5 無線通信を利用したスマート工場実現に向けて

本稿では、製造現場における無線通信技術利活用における課題について報告した。特に、無線化したい機器の置かれる環境と、無線化したい機器が実現しなければならない機能に合わせて、通信方式の選定や通信制御を行う必要性を製造現場における通信性能評価実験の結果を基に示した。また、製造現場が置かれている環境のカテゴリと属性及び4段階の無線化ステージを定義した。今後はこれらを用い、無線通信の非専門

家が無線を用いた製造機器の設計を行えるよう、SRF無線プラットフォームと意思決定支援技術の研究開発を行っていく予定である。

謝辞

本実験の実施にご協力いただいたオムロン株式会社様、株式会社国際電気通信基礎技術研究所様、日本電気株式会社様、日本電気通信システム株式会社様、富士通関西中部ネットテック株式会社様、サンリツオートメーション株式会社様及び実験場所を提供していただいた工場の皆様に感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1 製造業をめぐる現状と課題”, http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/seizou/pdf/001_02_02.pdf
- 2 板谷, 長谷川, 雨海, 尾関, 江連, 伊藤, 竹内, 小林, 林, 長谷川, 丸橋, 児島, “製造現場における多種無線通信実験－Flexible Factory実現に向けて－”, 信学技報, RCS2015-156, pp.1-6.
- 3 長谷川, 板谷, 雨海, 尾関, 江連, 伊藤, 竹内, 小林, 林, 長谷川, 丸橋, 児島, “製造現場における多種無線通信実験－920 MHz帯における通信品質検証－”, 信学技報, RCS2015-157, pp.7-12.
- 4 雨海, 板谷, 長谷川, 尾関, 江連, 伊藤, 小林, 林, 長谷川, 丸橋, 児島, “製造現場における多種無線通信実験－ジッターとパーストロスの発生傾向－”, 信学技報, ANS2015-85, pp.33-38.
- 5 板谷, 長谷川, 雨海, 尾関, 江連, 伊藤, 竹内, 小林, 林, 長谷川, 丸橋, 児島, “製造現場における多種無線通信実験－環境と通信品質に関する考察－”, 信学技報, RCS2015-86, pp.1-6.
- 6 長谷川, 板谷, 雨海, 尾関, 江連, 伊藤, 小林, 林, 長谷川, 丸橋, 児島, “製造現場における多種無線通信実験－温湿度が通信環境に与える影響－”, 信学技報, RCC2015-87, pp.7-12.
- 7 板谷, 丸橋, 長谷川, 長谷川, 雨海, 尾関, 江連, 伊藤, 小林, 林, 児島, “製造現場における多種無線通信－システムとしての製造現場－”, 信学技報, CCS2015-75, pp.45-50.
- 8 Flexible Factory Project, <http://www.nict.go.jp/press/2017/01/17-1.html>
- 9 Thinktube 社製無線メッシュルータ RMR9000, <http://www.thinktube.com/products/rmr9000>
- 10 Wi-SUN アライアンス, <http://www.wi-sun.org/>

板谷聡子 (いたや さとこ)

ワイヤレスネットワーク総合研究センター
ワイヤレスシステム研究室
主任研究員
博士(理学)
製造無線通信、アドホック・センサーネットワーク