

電波伝搬と生産ラインの シミュレーション連携

Integrated Simulation of Radio Wave Propagation and Production Lines

間宮拓朗*

Takuro Mamiya

中西孝行†

Takayuki Nakanishi

新納和樹‡

Kazuki Niino

西本研悟*

Kengo Nishimoto

*情報技術総合研究所(博士(工学))

†同研究所

‡同研究所(博士(情報学))

要 旨

生産ラインの自動化は多くの分野で急速に進んでいる。工場には多数の機器が導入され、その多くが有線通信によってデータのやり取りを行っている。筆者らは、将来の生産ラインが省人化・自動化の進展に伴って、多数の移動体と協働ロボットの高度な連携によって構築され、それを支えるのは無線通信であると考えている。そこで、工場内の無線通信を最適に設計・運用するための技術として電波デジタルツインを開発している。

1. ま え が き

近年、労働力不足などを背景に、様々な業界で生産ラインの省人化／自動化のニーズが高まって、AGV(無人搬送車)やAMR(自律移動ロボット)の導入が急速に進んでいる。これら移動体の制御や位置把握等には無線通信が必須である。また現状の工場内の有線通信についても配線コストが高いため、6G(第6世代移動通信システム)等の無線通信の進展に伴って無線化が進んで、電波の利用範囲が広がっていくと考えられる。しかし、工場内は多数の製品・部品、生産設備・機器、移動体が混在して複雑な電波環境であり、また多数の無線システムが導入されていくため、安定した無線通信の実現のための設計や干渉調査、電波障害発生時の原因究明と対策に多大な手間と時間を要している。

一方、実空間から集めたデータを基にデジタルな仮想空間を構築して様々なシミュレーションを行い実空間にフィードバックする、実空間とデジタル空間をシームレスに統合したデジタルツイン技術が近年進展している⁽¹⁾。製造現場にデジタルツインを適用することで、スピーディーなライン立ち上げ、予測保全による生産ラインのダウンタイム削減、生産工程の最適化などが可能になる。しかし、現行の製造デジタルツインは、電波環境を考慮した無線通信のシミュレーションを十分に行えないことが多い。そこで、実空間の電波環境を仮想空間上に再現する電波デジタルツインを実現し、製造デジタルツインと連携させることで、設計段階から運用段階まで無線通信品質を一貫して評価・最適化できる技術の開発を進めている。本稿では、工場内での電波伝搬シミュレーションの精度検証結果と無線設計へのフィードバック例と、動的状況下の電波環境をリアルタイムに把握・予測する電波デジタルツインの価値と将来構想について述べる。

2. 電波デジタルツイン

この章では、電波デジタルツインについて述べる。

2.1 無線通信を活用した工場での課題

工場では、電波に大きな影響を及ぼす大型の金属構造物が多く、製品、生産設備・機器、配線が混在しているため、複雑な電波環境になる。また、製品がコンベヤー等で移動する場合や部品を搭載したAGV／AMR等の移動体が多く存在する場合には、複雑な電波環境が動的に変化する。したがって、次に例を挙げる様々な無線通信のリスクが顕在化しやすい。

- (1) 一つのAP(アクセスポイント)に無線アクセスが集中し、無線接続台数がオーバーフローしてネットワークが輻輳(ふくそう)
- (2) 不適切なAPの配置によって、ある領域で電波強度が不足してAPと接続できず通信断が発生、又は複数のAPの電波が干渉して通信不良が発生
- (3) 生産設備・機器が発生するノイズによる通信不良が発生

これらのリスクを事前に洗い出して、電波・通信に起因するトラブルを未然に防止すること、また発生したトラブルの要因を素早く特定して対策を実行する機能を持たせることが、生産ラインを安定的に運用するための課題である。

2.2 電波デジタルツインによる通信環境のシミュレーション

2.1節で述べた課題を解決する電波デジタルツインは、電波伝搬シミュレーターをベースに電波環境の可視化や通信性能の評価、通信トラブルが発生した際の要因分析、少し先の通信環境予測などを行う技術である。製造デジタルツインと電波デジタルツインは、図1のように相互を補完する関係にある。電波デジタルツインは、製造デジタルツインのベースになる生産ラインシミュレーターから生産ラインのジオメトリ情報、AGV/AMR等の移動体の経路情報、機器動作情報などを受け取ることで、生産ラインを再現した3Dモデルを構築できて、その中でシミュレーションを実行する。その結果は、電波マップ・干渉状況・通信品質等の通信環境情報や通信トラブルの要因分析情報、通信最適化情報などとして製造デジタルツインにフィードバックされて、通信トラブルを未然に防ぐための無線管理/制御やAGV/AMRの経路制御の最適化などに活用される。電波デジタルツインの精度は、ベースになる電波伝搬シミュレーターの精度に大きく依存する。3章で、電波伝搬シミュレーションの精度検証結果を述べる。

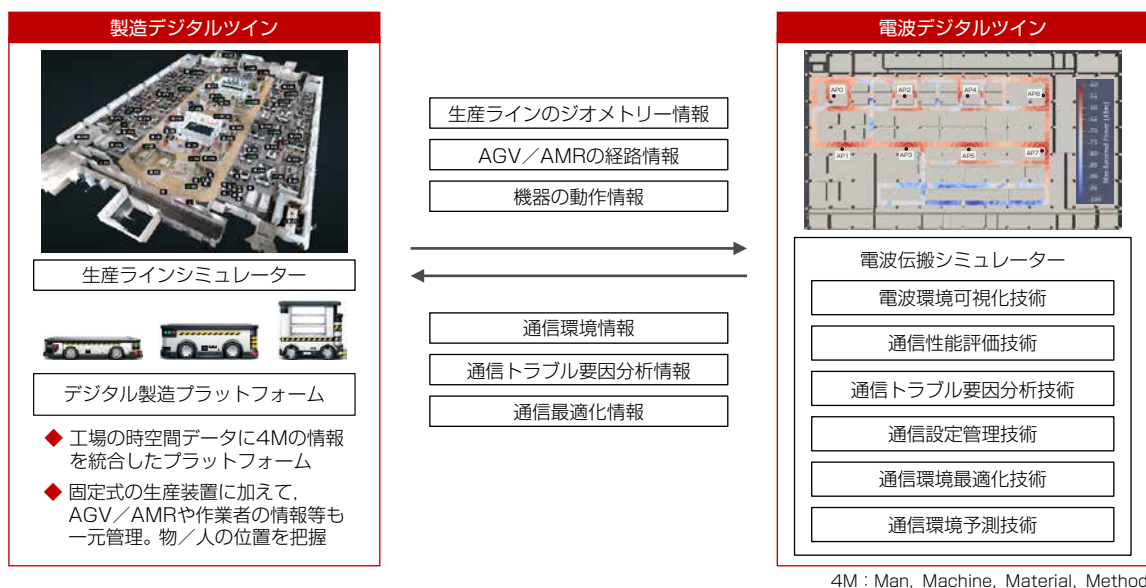


図1-製造デジタルツインと電波デジタルツイン

3. 工場環境での電波伝搬シミュレーションの精度検証

この章では、工場環境での電波伝搬シミュレーションの精度検証について述べる。

3.1 検証環境

電波デジタルツインのベースになる電波伝搬シミュレーション⁽²⁾の精度について、実際の工場環境内を走行するAGVの通信を対象に検証した結果を示す。図2に検証に使用した工場環境の3Dモデルを示す。白線がAGVの走行ルートを示している。実際にAGVが走行している様子を図3に示す。AGVは、位置番号：0から出発し、矢印の方向に沿って周囲コースを走行し、元の位置(最終位置番号：2550)に戻る。工場の天井には複数のAPが設置されており、図2にはAPの位置を、それぞれAP1～AP5で示している。AGVは、自己位置に合わせてAPを切り替えながら走行している。検証用データとして、AGVでのWi-Fi^(注1)のRSSI(Received Signal Strength Indicator：電波強度)を取得した。

(注1) Wi-Fiは、Wi-Fi Allianceの登録商標である。

3.2 電波伝搬シミュレーションの諸元

表1に電波伝搬シミュレーションの諸元を示す。レイトレーシング法を用いてAGVのRSSIを計算する。周波数、APの位置、送信電力、アンテナ高さ、AGVの位置などは実際と一致した条件を設定している。一方、アンテナ指向性やシステム損失は、詳細な値を得ることが難しいため、実測値を融合したデータ同化から推定している。

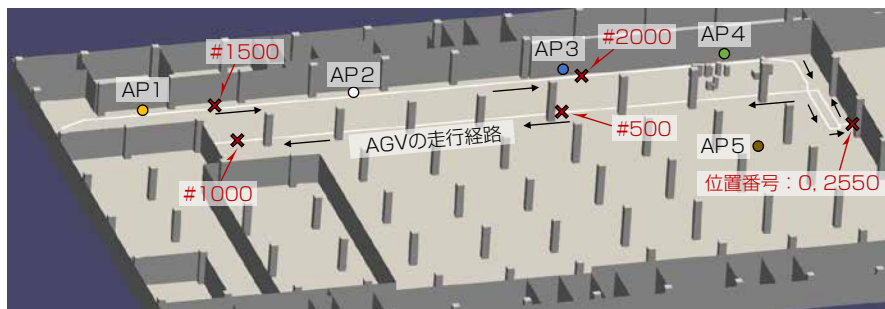


図2-工場環境の3DモデルとAGVの走行経路



図3-実際に走行しているAGV

表1-電波伝搬シミュレーションの諸元

項目	詳細
シミュレーション方法	レイトレーシング法
周波数	5.2GHz
AP-送信電力	15dBm
AP-アンテナ指向性	無指向性
AP-アンテナ高	4.5m又は5.5m
AGV-アンテナ指向性	前方-3dBi, 後方+6dBi
AGV-アンテナ高	0.2m
システム損失(推定値)	8dB

3.3 検証結果

図4に測定とシミュレーションを比較検証した結果を示す。グラフの横軸はAGVの位置番号，縦軸はAP3から電波のRSSIを示している。測定とシミュレーションのRSSIはよく一致しており，シミュレーションが精度良く実際の電波環境を再現できていることが分かる。AGVが移動する中で，RSSIはAPに近くなると上昇し，APから遠ざかると低下する傾向が確認できる。これは，この検証の環境が電波の遮蔽を発生させる生産ラインが少ない状態であり，APとAGVの見通しが確保しやすい条件であったためと考える。

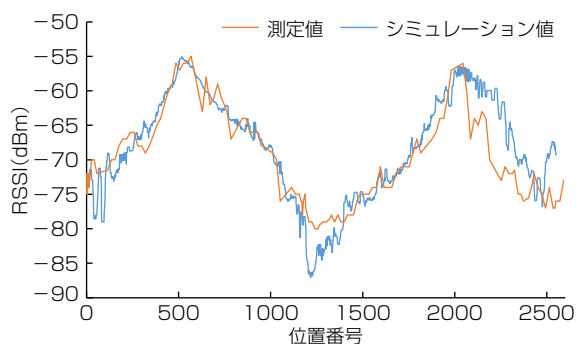


図4-AP3のRSSIの検証結果

3.4 APの設置位置最適化

電波伝搬シミュレーションを用いてAPの設置位置を最適化する例を示す。先ほどの工場環境で建屋内全体に生産ラインが構築され，APとAGVとの見通しが生産ラインによって遮蔽されやすい状況を仮定してシミュレーションを実施した。図5にAPの設置位置最適化の効果を表すAGVのRSSI特性を示す。図5(a)はAPの設置位置最適化前であり，実際に設置されているAPの位置である。シミュレーション結果からは，位置番号1700～2200(AGVが建物壁側を走行しているとき)でRSSIが低下している。これは，壁側にAGVが位置しているとき，生産ラインがAPとAGV間の見通しを遮蔽して電波が到達しにくくなっているためである。それ以外の範囲では，APのカバー範囲が密に重複しており，全体としてバランスが悪いことが分かる。このAPの設置位置では，AGVのRSSIの最低値が-75dBmであった。これに対して図5(b)

がAP設置位置最適化後である。壁側の電波強度の低下を解消するためにAP 1, AP 3は壁側へオフセットさせた。その結果、壁側でのAPとAGV間の見通しが確保されて電波強度が低い領域が解消された。全体としてもAPのカバー範囲がバランス良く重複しており、RSSIの最低値は -68.3dBm まで改善できることが分かる。

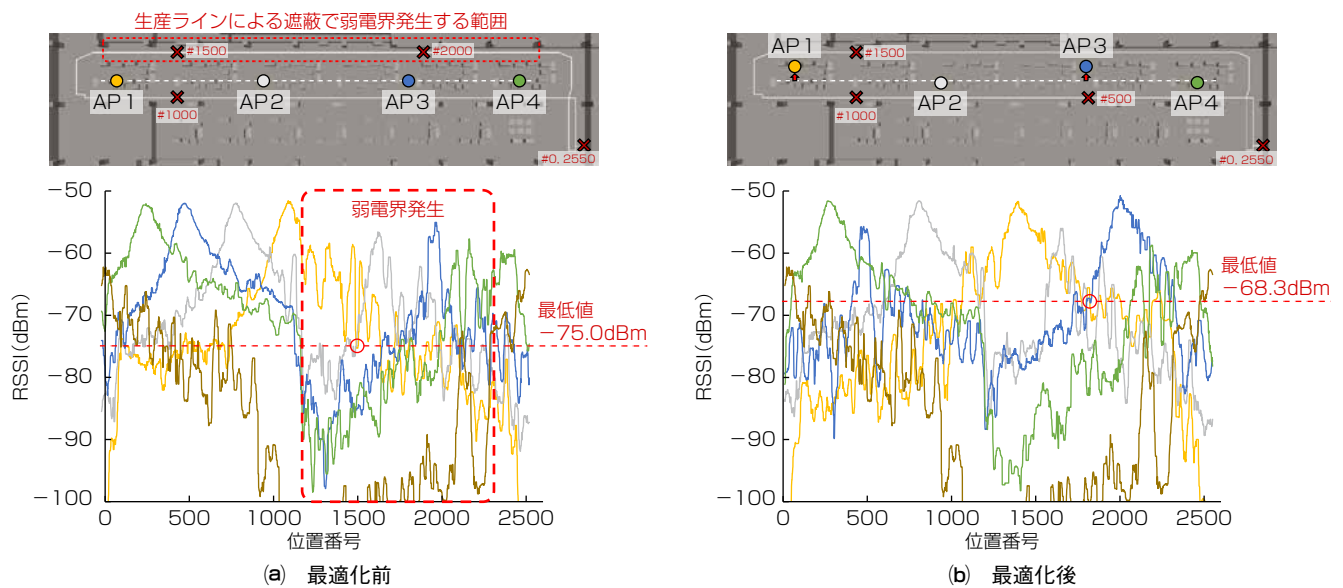


図5-APの設置位置最適化

4. 電波デジタルツインの将来構想

将来の生産方式は、多様化する顧客ニーズに対応するために多品種少量生産が主流になっていくであろう。我々は、市場動向の調査と各種製造業への独自のヒアリングに基づいて、生産効率の高い従来のコンベヤー式の生産ラインと移動体を活用したフレキシブルな生産ラインを併用する工場が今後増えると予想している。また省人化・自動化の進展に伴って多数の移動体と協働ロボットの高度な連携が求められて、それを支える無線環境の安定性の要求は一層高まると考えられる。

図6に多数の移動体と生産設備が連携した将来の工場でのデジタルツインの概念図を示す。図6では前工程と生産ライン

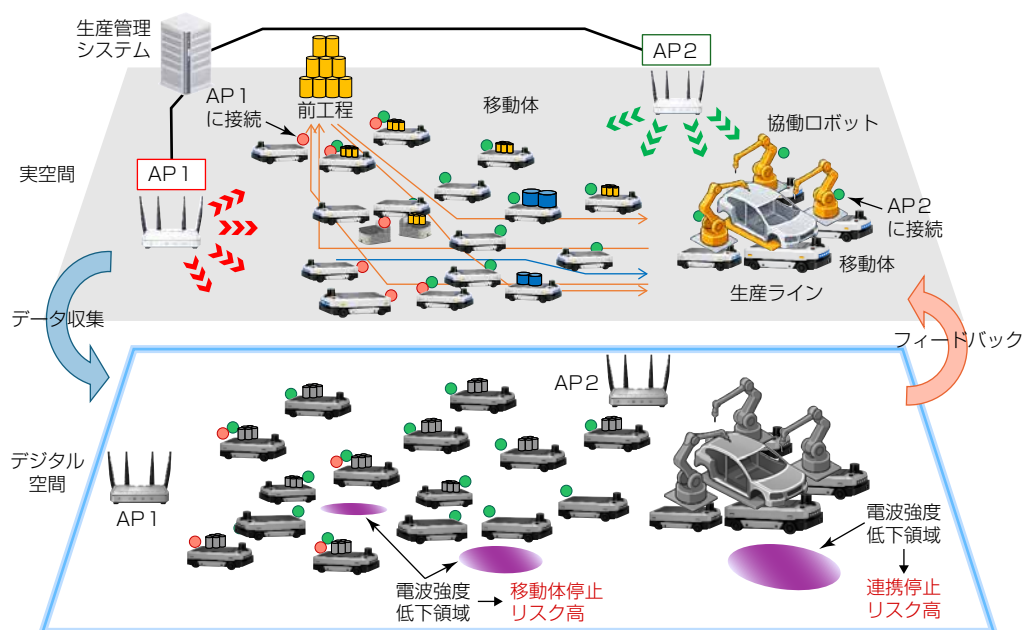


図6-多数の移動体と生産設備が連携した将来の工場でのデジタルツインの概念図

ン間を移動体が走行して部品を搬送し、生産ラインでは移動体と協働ロボットが連携して作業している。このような移動体と協働ロボットの高度な協調制御を実現するためには、低遅延のリアルタイムな無線通信が必要になる。フレキシブルな生産ラインでは電波環境は動的かつ複雑に変化するため、2.1節で述べたリスクが更に顕在化し、移動体やロボットの停止に伴う生産工程全体の遅延と効率低下が懸念される。そこで電波デジタルツインによって時々刻々と変化する工場内の電波環境をリアルタイムかつ高精度に把握・予測し、予測結果に基づいて周波数やアンテナ指向性などを変える通信の最適化や、電波強度が低下する領域を回避するための移動体の経路変更などを実空間にフィードバックする。電波デジタルツインと製造デジタルツインを連携させて将来工場の生産性を向上させるため、複数のAGVやロボット等が動き続ける動的状況下の電波環境をリアルタイムに計算する電波伝搬シミュレーション技術と、実空間で収集した電波データをシミュレーションに取り込んで高精度な電波環境推定を実現するデータ同化技術を開発していく。

5. む す び

工場内の無線通信を支える技術として、電波デジタルツインの価値と将来構想、そしてベース技術である電波伝搬シミュレーションの精度検証結果について述べた。実際に工場内に導入されているAGVを対象にした電波伝搬シミュレーションでは良好な精度が得られることを確認し、APの設置位置最適化についての例も示した。

今後は、電波伝搬シミュレーションの先にある通信性能評価及びその関連技術の開発を進める。それに加えて、リアルタイム性を持たせるための高速化や製造デジタルツインとの連携技術の深化によって、電波デジタルツインの実用化に向けた取組みを進めて、将来の生産ラインの自動化と生産性向上を達成する無線通信技術の実現に貢献する。

参 考 文 献

- (1) Fuller, A., et al. : Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research, IEEE Access, **8**, 108952~108971 (2020)
- (2) 橋本貴博, ほか : 非一様な光線発射分布を用いたレイトレーシングの高速化, 電子情報通信学会技術研究報告, **120**, No.97, 33~38 (2020)