スマートファクトリーの実現を支える無線ネットワーク

Wireless Networks for Realizing Smart Factories

● 蛭田　盛夫　● 松岡　誠司　● 齋藤　美寿　● 西川　卓朗

あらまし

昨今，スマートファクトリーをキーワードとして，生産現場におけるIoT技術の活用の高まりとともに，あらゆるものを接続するためのネットワーク環境の重要性が増している。つながる対象は，生産設備や各種センサー，カメラ，生産現場で働く人など多岐にわたり，それらの配置は必ずしも固定されてはいない。これらを効率的にネットワークに接続するために，無線ネットワークの利用が増大している。しかし，生産現場では製造する製品に応じてレイアウト変更が発生するため，電波環境が安定せず，都度ネットワーク環境の再設計が必要となる。また，接続対象となるセンサーや生産設備ごとに利用される無線技術も，Wi-FiやBluetooth，BLE（Bluetooth Low Energy）など様々であり，電波干渉も発生しやすい。富士通では，これらの問題を解決する技術により，お客様の工場ネットワークの無線化を支えている。

本稿では，そのための富士通のアプローチを紹介する。まず，複雑な生産現場においても安定した無線通信を実現する高信頼無線ソリューションについて述べる。更に，その設置や運用保守の核となる電波環境の可視化技術と，最適な無線機器配置を決定する無線設計技術について述べる。

Abstract

"Smart factory" is a recent buzzword that refers to the increased utilization of IoT technology at production sites. This trend increases the importance of network environments to connect everything. A diverse range of things must be connected to a production site network, from production equipment, various sensors, and cameras to people working on site, and their locations are not necessarily fixed. Increasingly, a wireless network is used to efficiently connect them to the network. However, production sites need to change line arrangements according to the products being manufactured, which disturbs the on-site radio environment, necessitating a redesign of the network configuration. Sensors, production equipment, and other connected devices vary widely, and wireless technologies employed at different sites range from Wi-Fi to Bluetooth and Bluetooth Low Energy (BLE). This situation is likely to cause signal interferences. Fujitsu offers technology to solve these challenges for customers and help them with the installation of wireless networks at their factories. This paper presents the approach Fujitsu takes in this regard. Firstly, it describes a wireless solution that ensures reliable wireless connections even at production sites with complex configurations. Secondly, it explains a technology for visualizing the radio environment—a vital element for the installation, operation, and maintenance of the network—and a technology for designing the optimal wireless device configuration.

ま え が き

スマートファクトリーというキーワードのもと，生産現場におけるIoT技術の活用が注目されて久しい。ドイツのIndustrie 4.0[(1)]やアメリカのIndustrial Internet Consortium,[(2)] 中国の中国製造2025など，各国で製造業における新たなビジネスモデルが提唱されている。日本もConnected Industriesというコンセプトを発表した。[(3)] 更に，2018年にはコネクテッド・インダストリーズ税制（IoT税制）を施行した。これは，製造業の企業間などでデータの連携や利活用をして，生産性の向上に必要なシステムやセンサー，ロボットの導入を支援するために創設されたものである。[(4)]

製造業においてIoT技術を活用する価値は，つながりが不十分であった生産現場内をつなぎ，生産現場とオフィスをつなぎ，更には企業と企業，企業とエンドユーザーをつなげ，生産現場での生産性の向上のみならず，新しいビジネスモデルを創造することである。つながる対象は，生産設備やセンサー，カメラといったモノや，生産現場で働く作業者や生産設備のメンテナンス業者といったヒトなど多岐にわたる。このモノやヒトが持つ情報（データ）と企業が持つ経営情報，ロジスティクス，市場におけるリアルタイムな需要状況などの情報（データ）を掛け合わせる。更には，これらのデータを企業間で共有することで新たな知見を獲得し，様々な課題を解決していくという機運が高まっている。

現在，多くの企業が取り組んでいるのは，生産現場で稼働する生産設備や作業者の情報・状態を把握するためのデータを収集することである。生産現場の設備には，ラインの組み替えなどによって設置が固定されないものがある。また，部品などを運ぶ無人搬送車（AGV：Automatic Guided Vehicle）や作業者などは移動を繰り返している。そのため，ケーブルによる有線接続では効率性に欠く。例えば，ライン組み替えするためにケーブルを敷設し直す必要が出る。このように，無線ネットワークに対するニーズが高まっている。同時に，確実なデータ収集に向けた「つながりやすさ」も求められる。

富士通は，各種製造工程の効率化を目指し，無線技術を中軸に据えたIoTシステム技術を提案している。[(5)]

本稿では，生産現場におけるネットワーク環境への要求を整理し，Wi-FiやBluetoothに代表される短距離無線技術を用いる際の課題を述べる。次に，安定した通信環境を提供しうる高信頼無線ソリューションを概説し，その設置や運用保守の核となる電波環境の可視化技術と，最適な無線機器配置を決定する無線設計技術を概観する。

スマートファクトリー化への課題

工場内のネットワーク環境は，大きく以下の三つに分けることができる。

（1）情報系ネットワーク

グループウェアやメール，各種事務作業など，主にパソコンを利用したオフィス業務のためのネットワークである。

（2）コントローラー間ネットワーク

SCADA（Supervisory Control And Data Acquisition），DCS（Distributed Control System），HMI（Human Machine Interface）などの生産設備を制御・監視するシステムが接続されるネットワークである。また，MES（Manufacturing Execution System）などの工場の機械や労働者の作業を管理するシステムも接続される。

（3）フィールドネットワーク

PLC（Programmable Logic Controller）やCNC（Computer Numerical Control），ロボット制御装置などの制御装置と実際に生産現場で動作する機器とをつなげるネットワークである。

これまでの工場ネットワークは，これらの三つのネットワークは個々に構築されており，相互に接続されていなかった。しかし，スマートファクトリーでは，生産設備の稼働状況分析による生産性向上や生産工程の完全自動化の実現を目的として，全てをつなぐ方向で進んでいる。

一方で，生産現場では有線ネットワークの整備が難しい。それは，生産するものに応じて生産設備の配置変更がしばしば行われるためである。有線ネットワークの場合は，配置変更のたびにケーブルを敷設し直す必要があるが，オフィス環境とは異なるため，必ずしも床下に配線できるわけではない。この場合，天井に配線して該当機器の近

くからケーブルを降ろさなければならず，ケーブル敷設は容易ではない。

このような生産現場特有の事情から，無線ネットワーク利用のニーズが高まっている。しかし，以下のような解決しなければならない課題がある。

(1) つながりやすさの担保

生産現場には金属などの電波を遮蔽するものが多く，また反射やマルチパスが多く発生するため無線ネットワークにとって良い環境とは言えない場合が多い。加えて，無線アクセスポイント（AP）などを最適に設置しても，その後の生産設備の配置変更や新たな導入，AGVなどの移動物の影響により，電波環境が変化して無線通信がつながらなくなることが起こり得る。また，APは工場建屋の高所に設置されることも多い。そのため，電波環境の変化のたびにAPの配置場所を検討し直すことは，利便性に欠ける。設備の設置場所が移動するなどの物理的な環境変化があっても，APなどの設置場所を変更せず，自律的に最適経路を確立できる仕組みが必要となる。

(2) 電波状態の把握

無線ネットワークと言っても，様々な通信規格がある。センサーなどの比較的データ量の小さい情報収集には，Bluetoothあるいは920 MHz帯を用いる小電力無線技術が使われる。生産設備の稼働情報などのログデータ収集には，Wi-Fiのような広帯域の無線ネットワークが適している。Wi-Fiは，AGVの管理にも利用されることがある。

このように，生産現場では実施したい内容や収集したいデータ種別・特性に合わせて異なる無線方式が利用される。そのため，現場ごとに様々な電波が様々な組み合わせで飛び交っているのが現状である。更に，将来的にはデータを収集するためのセンサー類が増加することを想定すると，ますます電波が混在していくことが予想される。電波干渉による通信不能などの事象の発生を回避するためには，生産現場の電波状況を可視化するとともに，最適な無線機器の配置を検討する必要がある。

高信頼無線ソリューション

富士通は，前章で述べた課題解決に向けて生産現場における無線のつながりやすさを追求した高信頼無線ソリューションを開発した。高信頼無線ソリューションは，Wi-Fi技術をベースとして，独自プロトコルによる通信制御を実装した無線ネットワークである。本章では，高信頼無線ソリューションを紹介する。

高信頼無線ソリューションは，生産現場の無線ネットワークに必要な以下の特長を備えている。

- 集中制御で全体最適された安定した通信
- 電波を中継するマルチホップ技術によるカバーエリア拡大
- 複数経路保持による運用の容易性

これらの特長により，高信頼無線ソリューションは生産システムなどと連動して生産現場の生産性向上を図ることが可能になる。

生産現場における高信頼無線ソリューションの構成例を**図-1**に示す。高信頼無線ソリューションのネットワークは，無線ゲートウェイであるGateway Router，中継器であるMultihop Router，端末の通信アダプターであるEdge Adapterの3種類の無線機器を組み合わせたFUJITSU Network 1FINITY Wシリーズから構成される。Gateway Routerのネットワーク上位側には，無線ネットワーク制御を行うソフトウェアFUJITSU Network Virtuora WLが搭載された制御用のサーバが位置する。Edge Adapterには，工場の製造設備や計測器，ネットワークカメラなどの端末が有線LANで接続される。工場生産データサーバとこれら現場の機器が，高信頼無線ソリューションの無線ネットワークを介してつながっている。

Virtuora WLは，配下の無線機器と通信し，ネットワーク全体の無線状態を常時モニタしている。そして，その無線状態に応じて，Virtuora WLは各無線機器の無線パラメーター（通信タイミング，チャネル，送信電力，通信経路）を調整する。このような集中制御を常時行うことにより，高信頼無線ソリューションにおいて無線ネットワーク全体を連動させて安定した通信を実現する。

次に，高信頼無線ソリューションにおいて高信頼な無線通信を実現する仕組みの一部を説明する。

● 干渉波の回避機能

無線通信では，送信側と受信側で動作のタイミングを合わせる必要がある。高信頼無線ソリューションの無線ネットワークは，Gateway Router

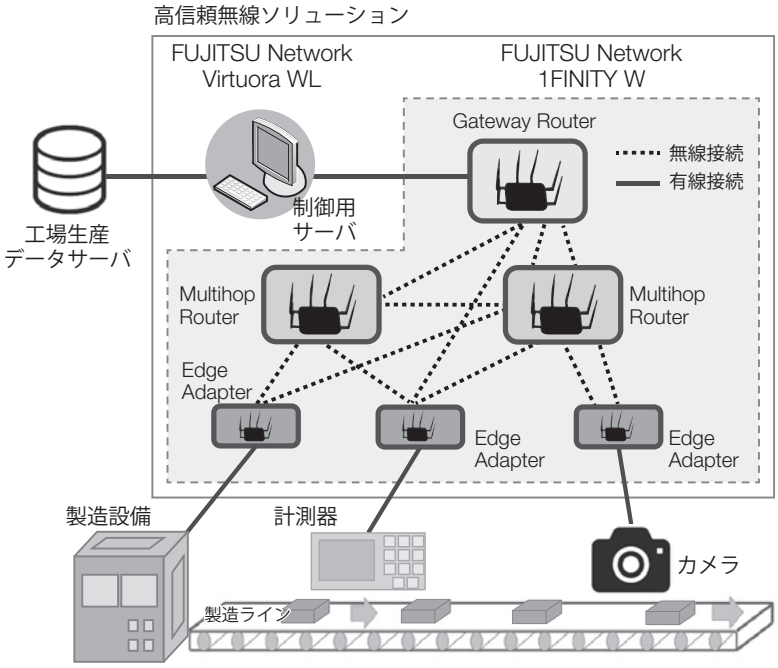

図-1　高信頼無線ソリューションの構成例

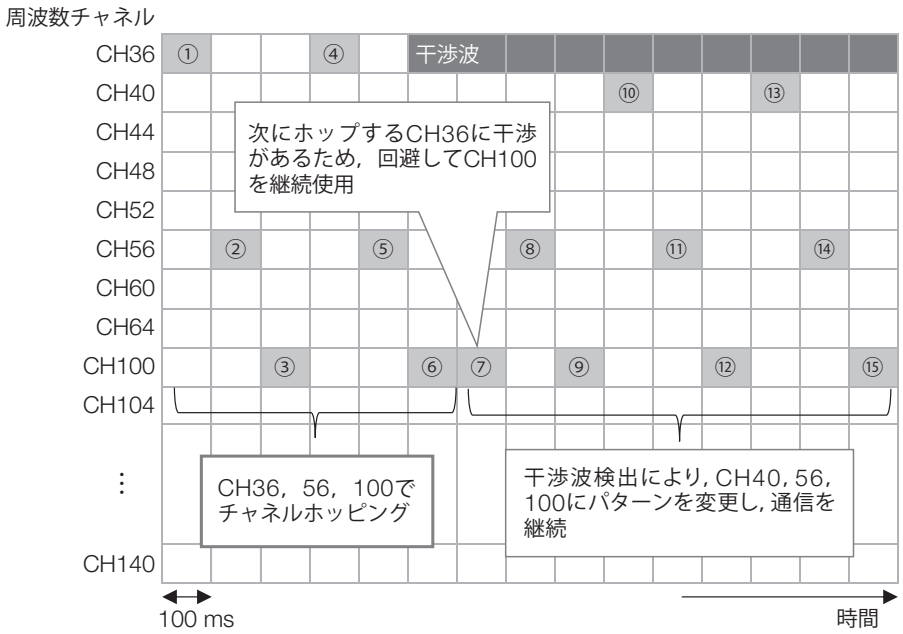

図-2　干渉波回避のイメージ

のタイミングにその配下の無線機器が同期するタイミング同期の機能を有している。これに加えて，高信頼無線ソリューションはその使用する無線通信チャネルを100 msごとに切り替えるチャネルホップを行う。この機能により，無線通信中のチャネルに干渉波が混信した場合に，その干渉波を回避しつつ，別のチャネルで通信を継続できる。

干渉波回避のイメージを**図-2**に示す。各無線機器から収集した無線状態から干渉波の存在を検出すると，Virtuora WLは各無線機器にチャネルホッピングパターンの変更を指示し，ネットワーク全体が連動して干渉波を回避する。

干渉波を検出した場合，既存のWi-Fi機器ではチャネルを切り替えて通信を再開するまでに約30秒間を要するため，その間は通信ができない。一方，高信頼無線ソリューションの切り替え時間は，ごく僅かな停止時間で通信を継続できる。

● **障害物・移動に対する耐性**

工場では，クレーンやAGVなどの移動，工作機械の配置変更などにより，無線の通信経路が遮断されて通信に影響を及ぼすことが起こり得る。このような無線環境であっても，既存のWi-Fi端末では同時に通信できるAPが一つのみであった。通信経路が遮断されてから，端末はほかのアクセスポイントを探して接続処理を行うため，通信断の時間が発生する。

一方で，高信頼無線ソリューションは，一つのEdge Adapterから，Router（Multihop/Gateway Router）に対して，通信経路を同時に二つ以上保持する機能を有する。Virtuora WLは，Edge Adapterで収集される各複数経路の受信電力をモニタしており，最適な通信経路を適宜決定する。これによって，一つの通信経路が障害物などで遮断された場合でも，別の通信経路が有効であればその経路で通信を継続できる。

また，この複数経路保持機能は，Edge Adapterが移動する場合にも適用される。Edge Adapterが移動したときの各通信経路の受信レベルに応じて，Router間で通信経路をハンドオフして通信を継続する。

実測によるWi-Fiとの比較評価では，無線通信経路に障害物が入った場合，Wi-FiのAP－端末間の通信では，通信経路が遮断されてから代替経路との再接続を図るため，約30秒間通信が不通となった。一方，高信頼無線ソリューションは通信経路が遮断した時点で，即座に通信経路を切り替えるため，パケットロスすることなく通信が継続しているという結果が得られた。

● **通信エリアの拡張性**

高信頼無線ソリューションは，マルチホップ通信を行うことで通信エリアを広げる機能を有している。テンポラリの作業エリアで通信したい場合に，通常作業エリアとの間にMultihop Routerを配置する。これにより，最大4ホップの通信中継を行い，離れた場所に容易に通信エリアを形成できる。このケースにおいても，Virtuora WLが各無線機器の集中制御を行い，安定した通信を実現する。

フィールドエリアネットワーク向け無線設計技術

富士通は，前述の高信頼無線ソリューションを含めWi-Fi，BLE（Bluetooth Low Energy），920 MHz帯無線など，生産現場で用いられる様々な無線ネットワーク（＝フィールドエリアネットワーク）を少ない工程で設計構築するための電波シミュレーション技術を開発した。更に，見えない電波を可視化することで「無線ネットワークで発生する」「なぜかつながらない」「切れる」といった課題を解決するための電波可視化技術を開発した。[6]

● **電波シミュレーション技術**

3次元の電波シミュレーションによって，電波の届き具合を精度良く計算する技術である。レーザースキャンや簡易レイアウトエディタによって，複雑な現場環境を簡単に入力できるため，電波の知識がなくとも，無線機器を適切に配置できる。電波シミュレーションの流れの一例を**図-3**に示す。

- レーザースキャンを用いた3Dデジタイザによって，無線ネットワークを設置する空間を3Dデジタル化（3D点群データ）。
- 電波シミュレーションの計算規模を小さくするために，3D点群データを面で構成される空間にモデリング化。
- 電波シミュレーションを実施。
- 電波シミュレーション結果を解析し，無線機器の最適設置場所を決定。

実際の現場では，人やモノの移動によって，電波強度が約100倍の幅で大きく揺らぐ。今回，この揺らぎの影響を短時間でシミュレーションする技術も開発した。今回開発した技術では，人の密度の時系列情報を画像認識によって取得して統計処理をする。更に，人の密度に応じてシミュレーション結果を重みづけ処理する。本無線ネットワーク設計技術により，例えば1,000 m^2 程度の広さであれば，従来は約3日かかった無線機器の最適配置の算出を10分程度で完了できるようになった。

● **電波可視化技術**

電波を規格ごとに自動識別して，チャネルや場所ごとの混雑状況を可視化する技術である。工場やオフィスなどでよく利用されている2.4 GHz帯では，

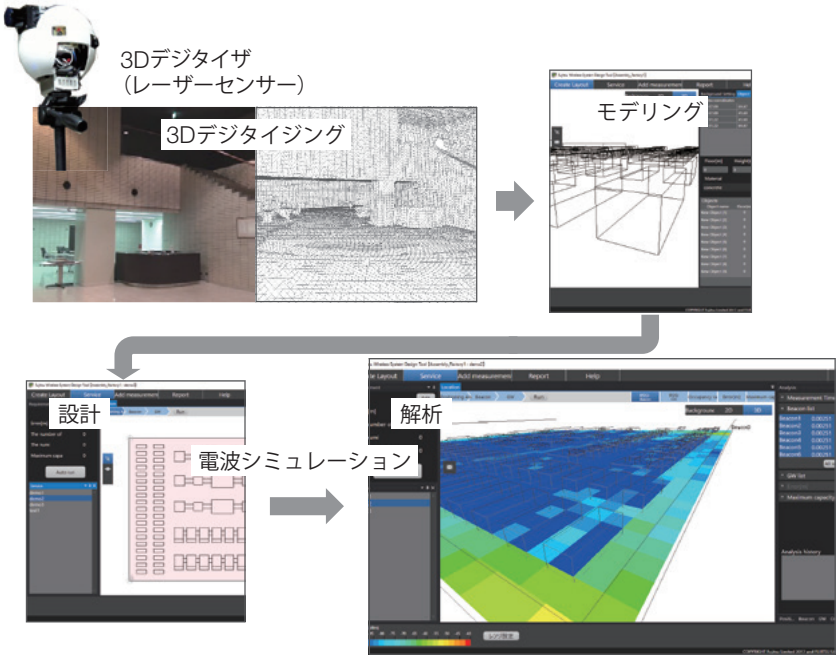

図-3　電波シミュレーションの流れ

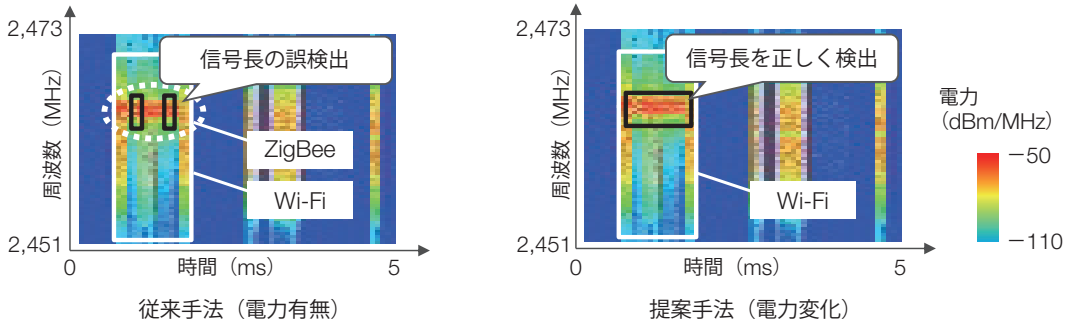

図-4　重畳電波の分離の例

Wi-Fi，Bluetooth，BLE，ZigBee，5 GHz帯では，Wi-Fiの自動識別が可能である。また，今後利用増加が見込まれている920 MHz帯では，LoRa，SigfoxなどのLPWA（Low Power Wide Area）通信や，スマートメーターで利用されているWi-SUN（Wireless Smart Utility Network），工場で個体管理などに利用されているRFID（Radio Frequency IDentifier）に対応している。

電波可視化技術を用いて電波の利用状況を把握することで，通信を阻害しているノイズの有無の確認や，空いている無線チャネルへの誘導など，適切な無線チャネルの選択などを可能にする。本技術は，以下の2段階の処理で構成されている。

（1）スペクトル形状判定技術（前段処理）

スペクトルの形状から信号領域を判定する場合，一定しきい値以上の受信電力がある領域を検出し，帯域幅や中心周波数を解析する手法が一般的に使用される。[7] しかし，混雑した電波環境下では各信号が互いに干渉するため，これらの信号の分離が課題になる。

そこで，スペクトルの時間方向の電力変化量に着目して信号を分離する技術を開発し，帯域占有率の推定精度が向上することを実験的に確認した。[8] Wi-FiにZigBeeが干渉した場合の，ZigBee信号の分離の例を**図-4**に示す。従来手法がZigBee信号を一部しか識別できないのに対して，提案手法では識別できていることが分かる。

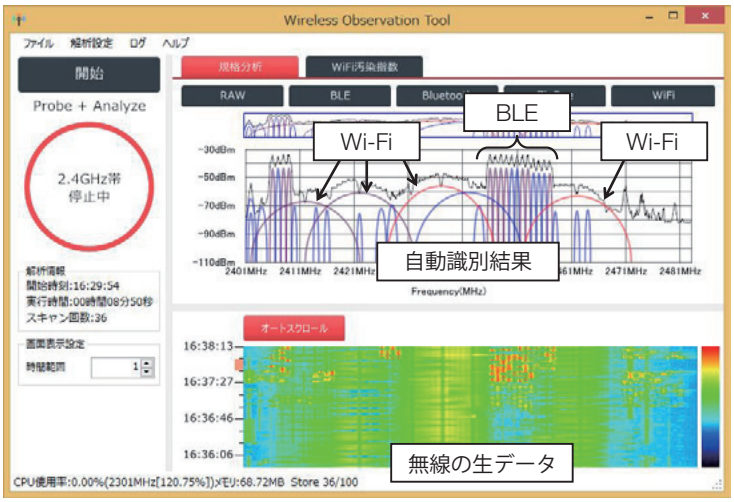

図-5　電波干渉可視化技術によるサーベイ結果

（2）高精度規格識別技術（後段処理）

規格ごとに，既知の参照信号と到来信号の相互相関を演算する手法をベースとしている。更に，周波数偏差を利用して，雑音や干渉が多い環境下でも識別を可能にする技術[9]や，プリアンブル信号が短く十分な相関長が取れないBluetooth，BLEのパラメーターを高精度に導出する技術[10]を開発し，規格識別の受信感度が向上することを実験的に確認している。

これらの技術により，ほかの電波の影響で検出できなかった信号を従来法の約2倍の感度で検出可能となった。本技術を適用した電波可視化の例を**図-5**に示す。本例では，2.4 GHz帯を可視化している。上段は現在の電波状況で横軸が周波数，縦軸が電波強度である。Wi-FiやBLEが分離検出されていることが分かる。下段は時間変化である。縦軸は経過時間，横軸は周波数であり，色が赤いほど電波が強く，青いほど電波が弱いことを示している。これにより，今後生産現場でますます利用が進む様々な無線の利用状況や，機器が発生する電波を精度良く可視化できるようになった。

本技術は，展示会などの電波が混雑する環境でも混雑状況を可視化でき，東京国際フォーラムで開催される富士通フォーラムにおいて，無線品質の確保にも利用されている。

む　す　び

本稿では，安定した無線通信を実現する高信頼無線ソリューションと，電波環境の可視化技術，およびアクセスポイント配置シミュレーションによる最適な無線設計技術について述べた。

富士通は，より現場環境に即したネットワークの実装を検討しており，本稿で述べた設計技術とソリューションを活用することで，多くの企業における生産現場のネットワーク化を推進していく。

参考文献

（1）Industries 4.0.
https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/Home/home.html
（2）industrial internet consortium.
https://www.iiconsortium.org/
（3）経済産業省：Connected Industries-東京イニシアティブ2017.
http://www.meti.go.jp/press/2017/10/20171002012/20171002012-1.pdf
（4）経済産業省：Connected Industriesの推進について.
https://www.jipdec.or.jp/library/report/20180215-1.html
（5）藤野尚司ほか：IoT時代を支える無線ネットワーク技術．FUJITSU，Vol.67，No.2，p.67-76（2016）.
http://www.fujitsu.com/jp/documents/about/resources/publications/magazine/backnumber/vol67-2/paper10.pdf
（6）富士通研究所：IoTサービスの迅速な提供を実現するフィールドエンジニアリング技術を開発．2016年

5月.
http://pr.fujitsu.com/jp/news/2016/05/25.html
(7) GL. Sugar et al. : System and method for real-time spectrum analysis in a radio device. US 7254191 B2.
(8) 和田章宏ほか：電波環境可視化のための重畳信号の分離手法. 信学技報, Vol.116, No.249, SRW2016-48, p.25-30, 2016.
(9) 菊月達也ほか：BPSK信号の検知感度向上. 信学技報, Vol.116, No.88, SRW2016-28, p.15-20, 2016.
(10) T. Kikuzuki et al. : Automatic Standard Classification Method for the 2.4 GHz ISM Band. Proc. IEEE 85th Vehicular Technology Conference, Sydney, p.1-5, Australia, Nov. 2017. DOI: 10.1109/VTCSpring.2017.8108218.

著者紹介

蛭田　盛夫（ひるた　もりお）
富士通（株）
ネットワークサービス事業本部
スマートファクトリー化に向けたネットワーク構築に従事。

松岡　誠司（まつおか　せいじ）
富士通（株）
ネットワークサービス事業本部
スマートファクトリー化に向けたネットワーク構築に従事。

齋藤　美寿（さいとう　みよし）
（株）富士通研究所
IoTシステム研究所
フィールドエリアネットワークを中心にIoTシステムの研究開発に従事。

西川　卓朗（にしかわ　たくろう）
富士通（株）
ネットワークプロダクト事業本部
無線ネットワークソリューションの開発に従事。

©2018 富士通株式会社