

製造現場における安定した無線通信の実現に向けて—SRF無線プラットフォームVer.2の実証実験—

国立研究開発法人情報通信研究機構 ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センター ワイヤレスシステム研究室 研究マネージャー

いたや さとこ
板谷 聡子



1. はじめに

Wi-FiやBluetoothの普及に加え、5Gやローカル5G (L5G)などの新しい無線通信技術の導入により、製造現場をはじめ、医療や物流の分野において、無線通信への期待が高まっている。製造現場における無線通信を用いたアプリケーションの例としては、自動搬送車による部品搬送の自動化やトルクレンチ等の工具の情報の収集・管理などがあり、生産効率を向上するため無線通信を用いた製造向けアプリケーションの導入が年々進んでおり、今後も更に増加するものと予想される。

一方で、無線通信は干渉や遮蔽の影響により通信品質が不安定になり、遅延やスループットが悪化することがあり、通信性能が悪化すると自動搬送車が停止したり、工具の情報が取れず製造ラインが停止したりと、かえって生産効率の下がる場合がある。本稿では、2015年に国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）が主導しスタートした、様々な企業と現場が垣根を越えて連携し製造現場における無線通信の安定利用を目指すFlexible Factory Project (FFPJ)と、FFPJでの知見を生かして開発された異種無線協調制御技術であるSmart Resource Flow (SRF) 無線プラットフォームについて紹介する。また、日本電気株式会社（NEC）及び東北大学、トヨタ東日本株式会社と連携して実施したSRF無線プラットフォーム技術仕様書Ver.2に対応した無線通信システムを開発し、本システムの有効性を実際の製造現場で確認した実証実験について報告する。

2. FFPJとFlexible Factory Partner Alliance (FFPA)

NICTでは、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FFPJを立ち上げ、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）、複数の企業と業界の垣根を越えて協力しながら、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。

プロジェクトは2015年6月にスタートし、現在、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、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、株式会社モバイルテクノ、株式会社パナソニック システムネットワークス開発研究所、株式会社インターネットイニシアティブ、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、トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、PwCコンサルティング合同会社、エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社、株式会社 竹中工務店、京セラ株式会社、AK Radio Design株式会社、フクダ電子株式会社、マイクロウェーブ ファクトリー株式会社、アンリツ株式会社、積水化学工業株式会社、東日本電信電話株式会社の23社が参加、新たな無線プラットフォームの開発や、無線通信規格の仕様策定、製造現場の通信セキュリティを含む各種ホワイトペーパーの発行などに取り組んでいる。現在も継続中であるが、製造現場と同様の課題を持つ医療、物流、インフラ分野等にも活動を拡大するため、2020年より社会全体を無線通信で支えるための活動を行うFlexible Society Project (FSPJ) へと活動を拡大、FFPJに加えて、医療分野の課題に取り組むFlexible Care Project (FCPJ)、物流分野の課題に取り組むFlexible Logistics Project (FLPJ)、インフラとしての課題に取り組むFlexible Infrastructure Project (FIPJ)、分野ごとに異なる場所や環境において測定されたデータを利活用できるようにすることを目指すFlexible Data Trading Project (FDTPJ) に分かれて活動を継続している。FFPJスタート時から変わらず、これらの活動では現場の声を研究開発にフィードバックするための取組みを積極的に行っており、現場のニーズに合わせて無線通信に関する様々な調査や実験を実施している。



■図1. Flexible Factory Projectによる実験での様子

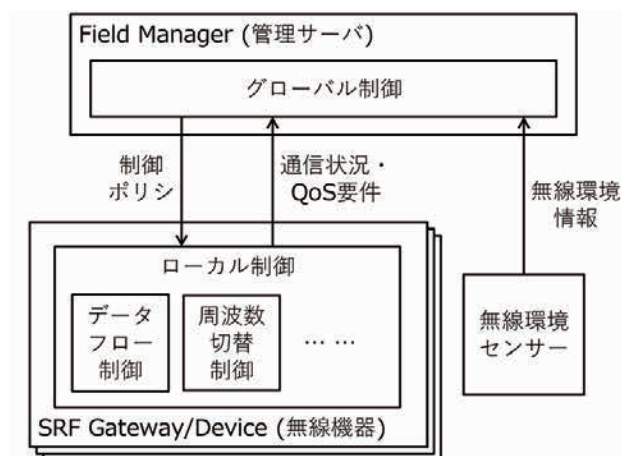


また、FFPJの有志が集まり、複数の無線システムが混在する環境下での安定した通信を実現する協調制御技術であるSRF無線プラットフォームの規格策定と標準化及び普及の促進を通じ、製造現場のIoT化を推進するために2017年7月に設立されたFFPAは非営利の任意団体であり、メンバー企業は、2025年3月現在、オムロン株式会社、株式会社国際電気通信基礎技術研究所、サンリツオートメーション株式会社、NICT、日本電気株式会社、富士通株式会社、村田機械株式会社、シーメンス株式会社、一般財団法人テレコムエンジニアリングセンター、会長は、アンドレアス・デンゲル氏（ドイツ人工知能研究センター）である。

3. SRF無線プラットフォーム

SRFは、NICTが提唱するマルチレイヤシステム分析を用い、製造に関わる資源（人、設備、機器、材料、エネルギー、通信など）がスムーズに流れるよう管理するシステム工学戦略である。このシステム工学戦略を実施するための無線制御プラットフォームがSRF無線プラットフォームであり、多種多様な無線機器や設備をつなぎ、安定に動作させるための仕組みである。例えば、SRF無線プラットフォームを用いて同一空間内に共存する他のアプリケーションの通信状況を監視して通信に使用するチャネルや通信速度を適応的に制御することで、無線区間での干渉を回避して通信遅延を抑制することができる。SRF無線プラットフォームの技術仕様はFFPAにより策定され、Ver.1が2021年10月に、Ver.2が2023年1月に公開されている。

SRF無線プラットフォームでは、Field Manager（管理サーバ）が複数の無線システム間のリソースの調整を行うグローバル制御を行い、SRF Gateway/Device（無線機器）が単

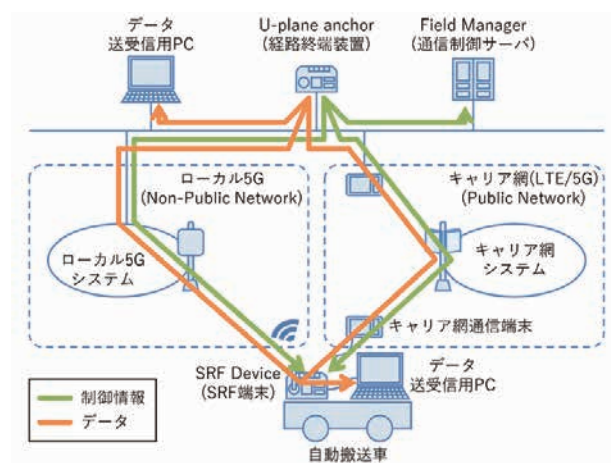


■図2. SRF無線プラットフォームの機能構成図

一の無線システム内の通信を最適化するローカル制御を行う（図2参照）。本プラットフォームは、無線環境センサーからの情報を基に、グローバル制御とローカル制御が協調連携して、他のアプリケーションの通信状況に応じて通信に使用するチャネルや通信速度を適応的に制御することで、無線区間での干渉を回避して通信遅延の抑制を実現する。

今回システム開発に用いられたSRF無線プラットフォーム技術仕様書Ver.2は、これまでのVer.1が対象としていた無線LANに加えて、LTEや5G回線も用いたハイブリッドネットワークの利用が可能となっている。これにより、広いエリアに無線通信を提供できるLTEやキャリア5Gと、工場の建屋のように金属で囲われて外部からの電波が届きにくいところに局所的に無線通信を提供できるローカル5Gを組み合わせることで、無線通信品質をより安定化させることができる。NICTとNECは、このSRF無線プラットフォーム技術仕様書Ver.2に対応した無線通信システムを開発した。

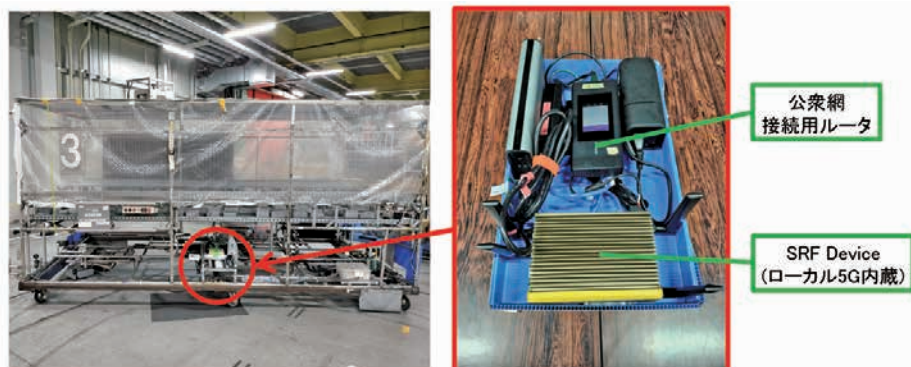
また、本システムの有効性を実際の製造現場で確認すべく、トヨタ自動車東日本の宮城大衡工場にて、図3のような環境で、東北地区で初めてキャリア網（LTE/5G）とローカル5Gの切替えによる移動体との無線通信品質の安定化を検証するための実験を行った。



■図3. 開発したSRF無線プラットフォームVer.2を用いた実験システム

4. 稼働中の製造現場における実証実験

本無線通信システムの有効性を稼働中の製造現場で確認するために、トヨタ自動車東日本の宮城大衡工場にて、図3のような環境で、公衆網とローカル5Gの切替えによる移動体との間の無線通信品質を評価する実験を実施した。実験では、図4のように製造現場で稼働している移動体（自動搬送車）にSRF Deviceを搭載し、約163m離れた工場A、



■図4. SRF Deviceを搭載した移動体（自動搬送車）

Bの間を往復させた。ローカル5Gの周波数帯は4.8GHz～4.9GHzの電波を使用した。

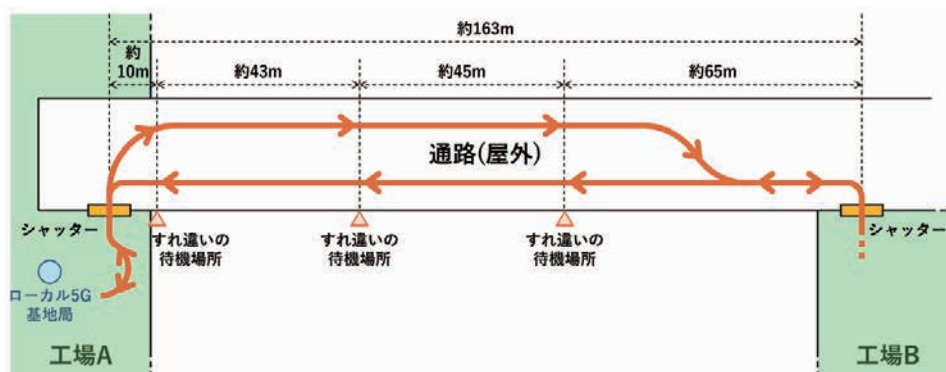
今回、図5のような環境で実験を行った。工場Aの中にローカル5Gの基地局を設置し、SRF Deviceを搭載した自動搬送車は工場Aと工場Bの間を往復している。工場Aと工場Bのシャッター（自動搬送車の出入口）は約163m離れており、その間は屋外の通路となっている。自動搬送車は図5の矢印の方向に移動し、渋滞しないように通路の途中3か所にすれ違いの待機場所が存在している。すれ違いの待機場所では、双方向の自動搬送車がそろそろまで、先に到着した自動搬送車は待機する。

自動搬送車は、図3の青線のようにローカル5Gでデータを送信しながら、ローカル5Gの基地局が設置してある工場Aからスタートして工場Bに向かう。工場Aから離れるにつれてローカル5Gの通信品質が悪化していくが、SRF無線プラットフォームでは図3の青点線のように公衆網側にもバックアップ経路を用意しておき、SRF Deviceが無線の品質情報（受信信号強度など）を基にローカル5Gよりも公衆網の方が送信に適していると判断した場合に、図3の緑線のようにデータ送信経路を公衆網側に切り替えることで、通

信品質を維持する。本実験では、このSRF無線プラットフォームにより、ローカル5Gと公衆網をシームレスに切り替えて安定して通信を継続することができるかを検証した。

実験結果を図6に示す。図6 (a) のようにSRF無線プラットフォームを使用していない場合、工場Bに入った直後回りでローカル5Gの圏外になり通信が遮断し、アプリケーションの通信が途絶した。その後、通信可能な経路をサーチして公衆網に切り替えて通信を再開したが、約9.75秒の間、通信が遮断した。また、ローカル5Gの通信遮断の直前には往復遅延も大幅に悪化し、最大で約1.01秒になった（拡大図は図6 (c) 左参照）。

これに対し、図6 (b) のようにSRF無線プラットフォームを使用した場合、工場Bに入る少し前からデータ送信経路を公衆網に切り替えることで、経路切替時の通信遮断時間を約0.14秒に短縮し、アプリケーションの通信が途絶することなく安定して通信を継続できることを確認した（拡大図は図6 (c) 右参照）。また、自動搬送車が工場Bを出て工場Aに近付き、ローカル5Gの受信信号強度が良くなってくると、SRF Deviceは再びローカル5Gに切り替えて通信を継続できることが確認でき、サービスエリアの広さ等の特



■図5. 今回実験を行った工場環境

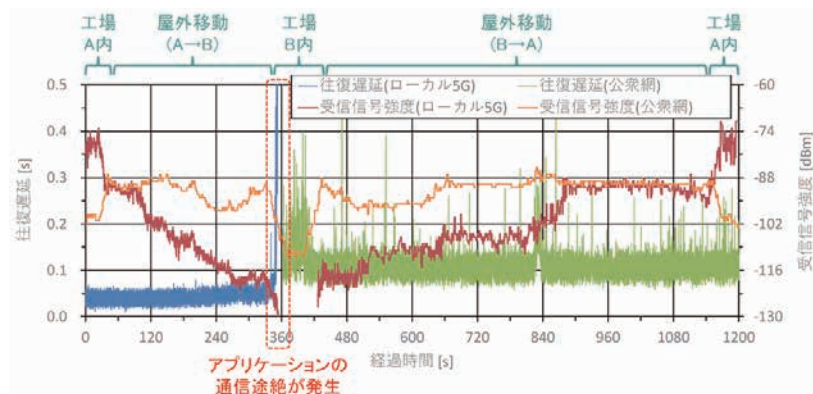


図6 (a). SRF無線プラットフォームを使用していない場合

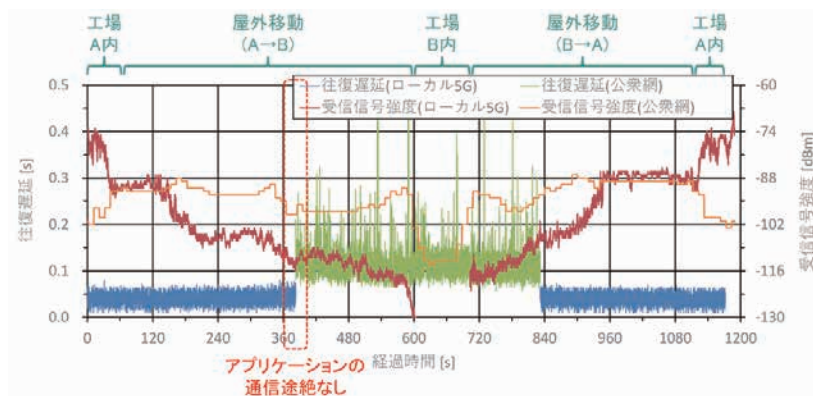


図6 (b). SRF無線プラットフォームを使用した場合

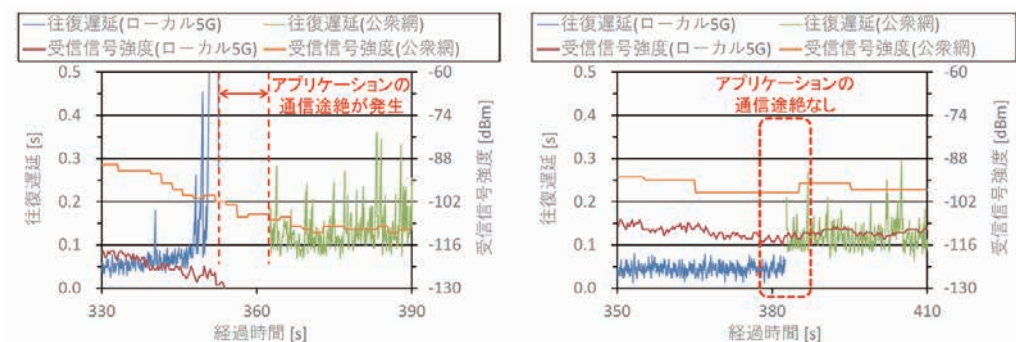


図6 (c). 切替付近の拡大図 (左: SRFを使用していない場合、右: SRFを使用した場合)

青線: ローカル5G経由の往復遅延、緑線: 公衆網経由の往復遅延

赤線: ローカル5G経由の受信信号強度、オレンジ線: 公衆網経由の受信信号強度

■ 図6. 実験結果

性が異なる公衆網とローカル5Gによるハイブリッドなネットワークを活用し、通信が途切れることのない安定化を実現できるSRF無線プラットフォームの効果を実証することに世界で初めて成功した。

5. おわりに

今後、本実証実験の結果を生かし、SRF無線プラット

フォームを工場における安定した無線通信を利活用できるプラットフォームとして実用化を目指す。最後になるが、日本電気株式会社の大須田徹氏、トヨタ東日本株式会社及び東北大学の関係者の方々をはじめ、ご助力いただいた皆様にご心よりお礼を申し上げます。また、本研究開発の一部は総務省SCOPE（国際標準獲得型）JPJ000595の委託を受けたものである。