

[スマートファクトリーは工場の何を変えるのか?]

## ④ スマートファクトリーを支える ローカル 5G



—導入に向けた制度や技術，留意点の理解—

柿元宏晃 NTT コミュニケーションズ株式会社

### ローカル 5G を理解する

昨今，高信頼なプライベートワイヤレスネットワークの1つであるローカル 5G は，製造業の生産現場における多量なデータの収集や，自動搬送車（AGV：Automatic Guided Vehicle）をはじめとしたロボットの群制御等，スマートファクトリーを実現するためのテクノロジーとして，注目を集めている。2019 年度の制度施行から現在にかけて，ローカル 5G を用いた実証実験の事例が多数公表され，さまざまな企業や公共団体において実フィールドでの取り組みが盛んになってきた（図-1）。

一方，ローカル 5G の導入を検討していく際にはいくつかの障壁がある。技術面やコスト面はもとより，ローカル 5G はライセンスバンド（免許取得が必要な無線）であることから，制度面も複合的に

理解しておく必要がある。そういった現状において，少しでも多くの方にローカル 5G の技術的特徴や，その可能性について興味・関心・理解を深めていただくため，本稿では NTT コミュニケーションズ株式会社がこれまで検証や導入の提案等，実プロジェクトを通じて得た，ローカル 5G の免許制度やかかわる主要技術，ローカル 5G を現場に導入するにあたっての進め方，コストの考え方等，留意するべき事項を紹介したい。

ローカル 5G は，日本における呼称であり，5G 技術をプライベートネットワークとして使うための技術・制度のことを指す。海外では Private 5G と呼ばれることが多い。国によっては同様の制度がなく携帯キャリアの 5G のみが提供される場合や，使用できる周波数や免許が与えられる対象が日本と異なる場合がある。本稿で取り扱う内容は日本における制度にフォーカスする。

### 制度の理解

#### 免許制度

日本では，2019 年 12 月と 2020 年 12 月にローカル 5G にかかわる制度が段階的に施行された。ローカル 5G を使用するためには無線局免許が必要となり，無線局免許は，特定の場所と特定の用途において特定の機器から無線を出力する許可を得るためのものとなる。使用場所，目的，無線機の数量・



■ 図-1 ローカル 5G を用いた検証の様子

特集  
Special Feature

電波の出力等を明確にし、設計を行った上で初めて免許の申請を行うことができる。無線局免許は人や企業に対して包括的に与えられるものではないため、「今後どこかで使えるようにとりあえず免許を取っておく」ということはできない。

弊社が取得した無線局免許の1つを例に挙げる(図-2)。無線局(電波を出すもの)の単位で免許が与えられる。免許を取得すると、許可された場所(設置場所・移動範囲)と用途(目的)、機器(識別番号/出力等)が総務省によって公表される。情報は一部マスクされた状態で公開される。図-2の例では設置場所が「東京都港区」となっているが、免

免許人の氏名又は名称	エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社		
免許人の住所	*****		
無線局の種類	基地局	免許の番号	*****
免許の年月日	令3.4.1	免許の有効期間	令7.5.31まで
無線局の目的	一般業務用	運用許容時間	常時
通信事項	一般業務用通信に関する事項		
通信の相手方	免許人所属の陸上移動局		
識別信号	*****		
無線設備の設置場所又は移動範囲	東京都港区		
電波の型式、周波数及び空中線電力	99M3X7# 4649.98 MHz 1.2 W		

■図-2 総務省による無線局免許の公表例

許の申請書には地図上で詳細に位置や範囲を示し、電波伝搬のシミュレーションをした上で、提出する必要がある。

ミリ波とサブ6

ローカル 5G には、28GHz (ギガヘルツ) 帯から 28.2 ~ 29.1GHz (ミリ波と呼ばれる)、4.7GHz 帯から 4.6 ~ 4.9GHz (サブ6と呼ばれる) が割り当てられた(図-3)。帯域幅で比べると 28GHz 帯は 900MHz (メガヘルツ)、4.7GHz 帯は 300MHz と差がある。無線通信では使用できる帯域幅と通信スピードは比例し、周波数が高いほど帯域幅を確保しやすい。同じローカル 5G でも 28GHz 帯は帯域幅を大きく確保できているため、4.7GHz 帯に比べ通信速度を重視するような用途でメリットを出しやすい。2021 年 11 月現在では、28GHz 帯の 900MHz 幅のうち 400MHz、4.7GHz 帯の 300MHz 幅のうち 100MHz に対応したシステムを手に入れることができる。

一方、周波数が高いことで、遮蔽物に対する透過や回折は期待できず、到達距離も短いといった特性があるため、基地局のアンテナと受信端末の間に遮るものがない理想的な無線環境に近い見通し内



■図-3 ローカル 5G の周波数帯 (サブ6 とミリ波)

## 特集 Special Feature

(LOS : Line Of Sight) でのスポット的な使用が主な用途と見込まれる。4.7GHz 帯は、28GHz 帯よりも遠くまで電波を飛ばしやすく、遮蔽物に対してもある程度の透過や回折をするため、28GHz 帯での置局設計よりは工場の敷地内など一定のエリアをできるだけ少ない基地局でカバーすることができる。

通信スピードや伝搬以外に、2つの周波数帯には、免許制度上の制約の違いがある。28GHz 帯は衛星通信と、4.7GHz 帯は公共無線と隣接する周波数が含まれている。28GHz 帯のうち一部の周波数では衛星通信と干渉する可能性があり、4.7GHz 帯の一部周波数では、所要電力によって一部エリアでの設置が許可されないケースがある。前述の電波の特性に加えて、制度上の制約も考慮して使用する周波数を選択していく必要がある。詳細は総務省が公表する「ローカル 5G 導入に関するガイドライン」を参照されたい。

## 技術的特徴の理解

### 高信頼の無線通信技術

ローカル 5G の技術的特徴として、高速大容量 (eMBB : enhanced Mobile Broadband)、高信頼低遅延 (URLLC : Ultra-Reliable and Low Latency Communications)、多数同時接続 (mMTC : massive Machine Type Communication) が一般的に挙げられる。これら 3 点の特徴はシステムへの実装において発展途上にあり、実環境では他の通信規格にパフォーマンスが劣るケースも実際にある。ただ、そういった状況の中でも、ローカル 5G が必要となるケースがある。現時点で実導入を検討する際に特に重視すべきポイントとして、安定性・信頼性にかかわる特徴を追加で 3 点紹介したい。1 点目は免許制による安定性である。「制度の理解」で述べたように、免許なくしてローカル 5G の周波数帯を使用することはできないため、免許不要の Wi-Fi で起こるようなアクセスポイント乱立による干渉が発

生しづらい。2 点目は移動する物体への通信の安定性である。5G はモバイル機器向けに開発された通信規格であるため、通信対象がアンテナ間を移りゆくようなケースにおいても途切れず、通信を継続できる特徴を持つ。3 点目は強力な認証の機構である。ローカル 5G においては、公衆無線網と同様に SIM (Subscriber Identity Module : 利用者を特定する情報が格納されたモジュール) を用いて通信の認証を行うため、なりすましや不正アクセスに強い。これら、ローカル 5G の安定性・信頼性を支える 3 点の特徴が、「現在のローカル 5G」を選択する上での重要なポイントとなる。

高信頼かつ低遅延で通信ができることは、工場などを持つ企業にとって魅力的である。工場の生産ラインのネットワークは、遅延に対して非常にシビアで、高い信頼性が求められる。パケットの到達順まで指定されるケースもある。こうした条件を Wi-Fi で満たすことは難しいため、有線 LAN が用いられているが、有線の場合は生産ラインを柔軟にレイアウト変更できないため、無線化したいという声は多い。信頼性の高い無線通信が可能なローカル 5G は、特定の領域で Wi-Fi や有線 LAN の代替として期待されている。

また、ローカル 5G のメリットは、利用者の用途に合わせて柔軟にプライベートネットワークをカスタマイズできる点もある。たとえば、利用者が低遅延の無線通信を求めている場合、要件に合わせてローカル 5G 環境をチューニングすることができる。4K 映像や LiDAR (Light Detection and Ranging : 光を用いたセンシング技術) データ等、大容量データの収集を行うために利用するのであれば、アップリンクを優先して通信の帯域を制御する。時間帯やサービスごとにデータの行先をコントロールするといった仕組みも実現可能。プライベートなネットワーク環境であれば、その時々最新の機能を取り入れることができる。

利用者の中で通信が完結できる点もローカル 5G の大きなメリットの 1 つである。各種機器のコン

## 特集 Special Feature

トロールを行う場面において、通信速度・遅延時間の改善やセキュリティ対策として、外部のネットワークを経由させずに、ローカルネットワーク内に閉じて通信を行いたいという声が、工場を持つ企業から多くあがる。

### MEC とスライシング

企業ネットワーク全体から見れば、ローカル 5G での通信は一区間にすぎない。ローカル 5G の特性を活かすためにはエンド・ツー・エンドでネットワークの構成・品質を考える必要がある。ここでは、MEC (Multi-Access Edge Computing) とネットワークスライシングという 2 つのアプローチを紹介する。MEC はクラウドよりも手前にあるネットワーク上でデータの処理を行うエッジコンピューティング技術のことである。ローカル 5G を用いて収集したデータの処理を行う際、データ処理にかかる時間やセキュリティに関してシビアな性能が要求されるケースがある。データを処理する MEC を工場内等、オンプレミス（施設の構内）に配置して、データの収集から処理までのネットワーク上の距離を近くすることで、通信にかかる遅延時間や、リスクにさらされる区間を短くできる。さらに、高度な構成として、MEC をオンプレミスだけでなく、ネットワークエッジにも配置して、クラウドと合わせて、多段にコンピューティングリソースを配置して使い分ける方法もある。MEC を上手く活用すれば、低遅延を実現しながらクラウドへ送信するデータ量を削減できるほか、災害などによってクラウドやインターネットにトラブルが発生しても処理を継続し可用性を高めることができる。

ネットワークスライシングは、仮想的にネットワークを分割する技術のことである。物理的には 1 つしかないネットワークシステムを分割し、複数の仮想的な領域として、多様なユースケースに応じた通信を実現させることができる。たとえば、高速大容量を優先するネットワークと、超低遅延を優先

するネットワークを使い分けるといったことが可能になる。製造現場では製造にかかわる制御信号や、従業員のコミュニケーション、監視カメラの映像等、ネットワークに求められる要件はさまざまな通信が混在する。これらを適切に選り分けることで、限られた無線リソースを効率的に使用することができる。

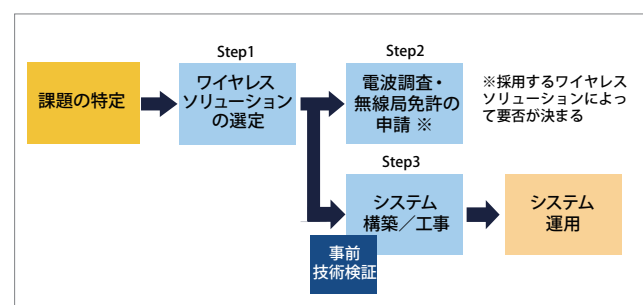
ただし、ここで一点留意が必要である。上記の現時点のローカル 5G にかかる製品では上記の特徴すべてが実装されているわけではない。5G 技術の最新技術の標準仕様については、3GPP（移動通信システムの仕様標準化プロジェクト）にて策定されているが、製品への反映と改善は、日進月歩で進行中であり、5G の技術標準動向と、メーカーの製品対応状況については留意する必要がある。5G 電波を出力する基地局システムと、ユースケースへの適用に直接的に影響する各種デバイス（ローカル 5G 受信端末等）はメーカーが異なる場合もあるため、両面での確認が必要となる。

### 導入の進め方

#### 導入プロセス

本章では導入にあたってのプロセスについて紹介する。ワイヤレスネットワークには、ローカル 5G のほかにも Wi-Fi やプライベート LTE 等、多くの選択肢がある。それぞれ特徴が異なるため、ユースケースに合わせて、適切なワイヤレスネットワークシステムの選定が必要となる（図-4）。

Step1 では、ローカル 5G や Wi-Fi 等、ワイヤ



■図-4 ワイヤレスネットワークシステムの導入プロセス

レスソリューションの中で、ユースケースを実現する上で、最適なテクノロジーを選択する。ローカル5Gにおいては前述の技術面・制度面を理解した上で、ユースケースの実現において真にローカル5Gが必要となるか見極める。Step2では、無線局免許の取得に向けて、事前に現場周辺の電波状況の確認や、必要書類などを準備し、申請手続きを行うこととなる。最後にStep3で、現場へのローカル5Gシステムの構築・工事を行い、無線システムとデバイスやアプリケーションを含めたシステム接続試験を行うことで、ユースケースを実現し、システム運用を開始する。

なお、現在のローカル5Gの導入事例においては、本格導入の前に事前実証を実施するケースが多く、まずは小さく早く実証を始めることで、現場のユースケースへの事前技術検証や効果測定を行うのが一般的である。

以降、順に各Stepについて解説する。

## ワイヤレスソリューションの選定

まず、現場導入を行うにあたっては、解決したい課題やユースケースに合った技術の選定が重要である。5Gのような最新技術も万能ではなく、ユースケースに適合していなければ現場で採用されることはない。表-1に、製造現場で活用されるワイヤレ

スネットワークの例とローカル5Gの比較について紹介する。通信速度に加えて、信頼性や、通信先（移動体かどうか）が選択のポイントとなる。

ローカル5Gの特徴である高信頼性を活かしたユースケースとして、製造現場における生産ラインの制御機器、生産を支えるロボット（自動搬送車等）の無線制御が挙げられる。また、高速大容量の特徴を生かした映像伝送もローカル5Gのユースケースとして期待が高い領域の1つである。実際に、これまで行われてきたローカル5Gの実証事例や導入事例として、ロボット等移動体から映像伝送等の大容量データの送信を行うユースケースが多い。

ワイヤレスソリューションを選定するにあたっては、最終的にユースケース全体を通して、ワイヤレスネットワークで収集した生産現場データを、活用用途やセキュリティの観点から、生産現場やクラウド環境等のどこに蓄積・配置するのかを並行して全体設計することも肝要である。

## 電波調査・無線局免許の申請

ローカル5Gの導入を決定した後は、無線局免許取得の手続きを始める(図-5)。ローカル5Gシステムの機器選定から免許の申請や構築までの期間の中で、大きなウェイトを占めているのは免許にかか

■表-1 製造現場で活用されるワイヤレスネットワークとローカル5Gの比較

	Wireless HART	ISA100.11a	Wi-Fi	ローカル5G
標準化規格	IEEE802.15.4	IEEE802.15.4	IEEE802.11	3GPP
使用周波数	2.4GHz(ISM)帯	2.4GHz(ISM)帯	2.4(ISM)/5GHz帯	4.7/28GHz帯
免許	免許不要(共用)	免許不要(共用)	免許不要(共用)	免許要(占有)
トポロジ	メッシュ	スター/メッシュ/ハイブリッド	スター	スター
通信速度	250Kbps	250Kbps	~9.6Gbps ※Wi-Fi6	~10Gbps*1
概要	HART*2を無線化した工業用無線通信規格。膨大な対応デバイスが特徴であるが、TCP/IPとの互換性がない。	工業用無線通信規格。国際計測制御学会(ISA)が主導、規格化。ISA100 WCIが相互接続性を確保。	無線LANのこと、一般的な無線通信規格として普及。Wi-Fi認証により相互接続性を確保。	第5世代移動通信システム「5G」を自営無線として構築・運用。移動通信を実現し、周波数を占有して運用可能。

\*1: 5G通信規格としての通信速度であり、現行ローカル5Gの通信速度はDL:数百Mbps/UL:数十Mbps程度。

\*2: Highway Addressable Remote Transducerの略。プラント制御大手のmerson Electric(米)が開発。

## 特集 Special Feature

わる工程であり、期間短縮に向けては、必要な手続きをあらかじめ理解しておくことが重要である。

免許申請に向けてまずは、電波利用目的を固め、目的に合わせた免許種別（実験試験局免許・実用局免許）の選択、具体的なシステム運用場所・機器構成の決定、周辺事業者との干渉調整を行っていく。検証等の一時的な利用となる場合、免許種別としては実験試験局免許での対応となる。商用利用の場合は実用局免許を選択する。導入場所や機器構成等が決まったタイミングで、総務省の地方支分部局である各地方の総合通信局に事前の相談を行う。相談の際に、導入予定場所において、同一周波数や、隣接する周波数帯において無線干渉が起こる可能性のある事業者を通知され、免許申請前に、各事業者と、予定している構成・出力で、干渉等の影響がないか、調整を行う。電波干渉を与えるような場合には干渉調整等を設計において考慮しなければならない。

免許の申請手続きや、事前に行う事業者との調整に必要なシステム構成の検討や電波設計においては、特別な技能を必要とすることから、システムインテグレータ等が提供する支援サービスの利用等を検討するのもよい。

### システム構築・工事の実施

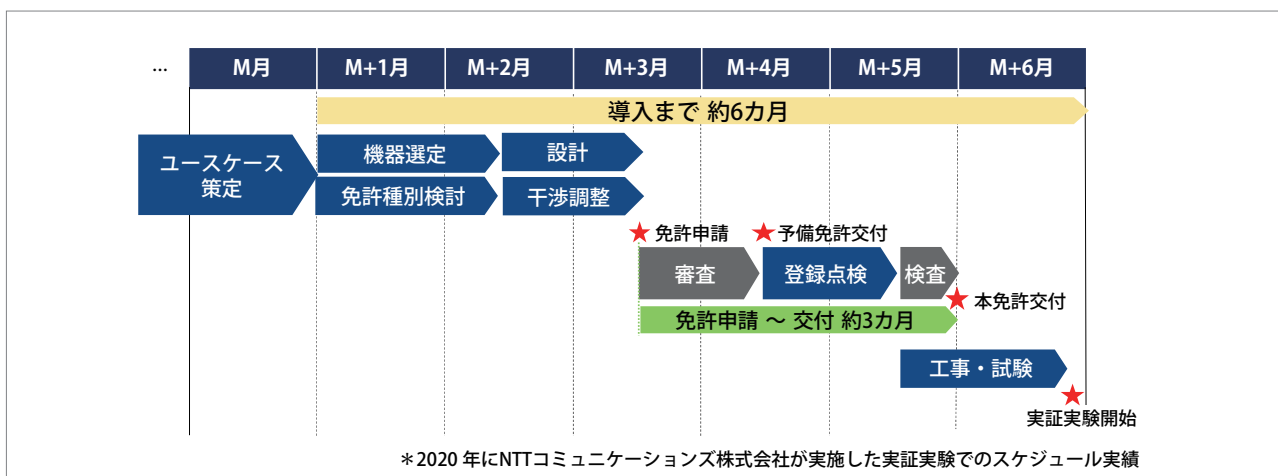
電波調査・無線局免許の申請のパートでも触れた

が、システム構成や電波設計の検討については免許申請の段階までに実施しておく。免許取得のタイミングを考慮し、実際の無線通信テスト等を行う必要はあるが、システム構築については、通常のネットワーク構築工事と基本的には同様である。ただし、機器メーカーをはじめ、ローカル 5G の各種機器の取り扱いについては、現時点では導入実績が少ない状況でもあるので、サポート等の体制については、事前に十分に確認をしておいた方がよい。

### コスト面の課題

ここまで、ローカル 5G の導入における技術的特徴や免許制度の観点で話を進めてきたが、現時点で導入にあたっての最大の課題となっているのが導入コストである。ローカル 5G の導入に必要となるコストとは、主に、初期費としてローカル 5G の機器（基地局装置、受信デバイス）にかかる費用、免許申請にかかる費用（代行委託含む）、構築・試験にかかる費用があり、システム稼働後のランニング費として、システム保守・運用、電波利用料にかかる費用が挙げられる。また、ユースケースによって、エッジコンピュータやクラウド等のシステム基盤費用や、クラウドサービス利用にかかる費用も考慮する必要がある。

もちろん、今後数年の技術普及により、機器、役



■図-5 ローカル 5G 現場導入のスケジュール例

## 特集 Special Feature

務を含めたコスト低廉化には期待するが、従来のWi-Fiと比較すると、現時点ではまだコストとして高額であり、単純にWi-Fi代替のネットワークとして考えると費用対効果の面でも導入には高い障壁となっているのが実情である。ただ、ローカル5Gの技術的特性はスマートファクトリーを実現する上で、非常な強力な武器となる。将来性に着目し、その特性を使いきるような形で、現場で複数のユースケースを適用できるような使い方を検討し、取り組み実績を積み重ねていくことが肝要だと考える。また、プライベートネットワークを構築した方がよいのか、公衆網（いわゆるパブリック5G）で対応するのかといった点も留意が必要であり、携帯電話事業者の5G設備の展開状況や、サービス内容も注視した上での判断が必要となる。

### 導入に向けた取り組み

現在、ローカル5Gについては初期費の低廉化を目的に、一部、基地局システムを共同利用するような形態でのローカル5Gサービスも提供が進んでいる。現場導入にあたっては、こういったサービス活用の検討も一考の価値があると思われる。また事前検証等においては、実現場での実証をシミュレーションできるように、機器メーカーやシステムインテグレータによっては検証環境も準備されている（[図-6](#)）。

そういった環境を上手く活用し、ローカル5Gの電波特性や、デバイス機器類に触れてみるとよい。

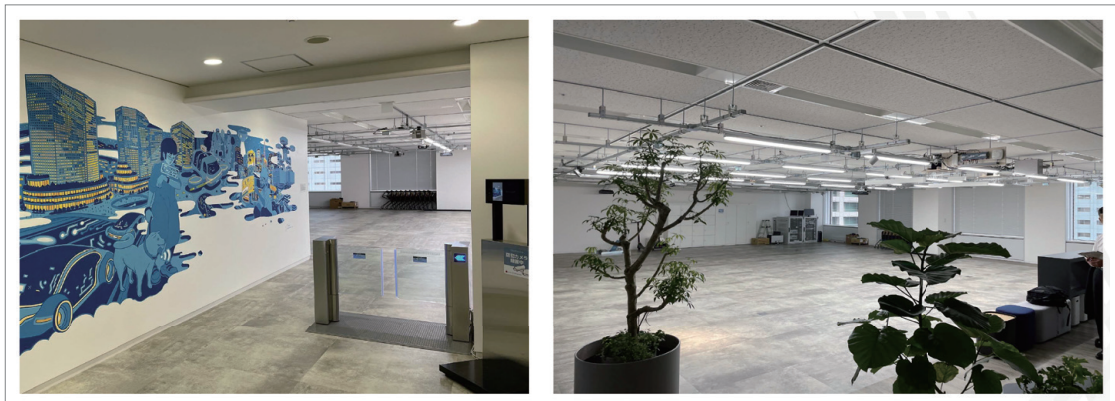
まずは、機器メーカーや、ソリューション提供会社などのパートナー会社と共創を行うような協力関係を構築し、技術やコストの見極めを行い、ローカル5Gのみならず、他の無線ソリューションの技術動向や、製品・サービス動向に着目し、課題の解決に向けた仮説を立て、実際の技術に触れる事前検証等を通じ、現場の未来に繋がるユースケース作りのチャレンジを一緒に進めていくことが重要である。

本稿では、ローカル5Gの導入に向けて必要な知識として、技術・制度・導入プロセスや留意事項について解説してきた。現在、ローカル5Gを活用した新しい業務形態の実現に取り組んでいる企業が多く、特に製造業は、先進テクノロジーの活用を先導する業界として、他の業界からも注目を集めている。ローカル5Gという新たな技術が、生産現場の変革の一助となることに大きく期待したい。

(2021年11月22日受付)

#### ■ 柿元宏晃

2010年NTTコミュニケーションズ（株）に入社。2019年の制度化前からローカル5Gのソリューション企画や実証実験に従事。現在は、企業へのローカル5Gの導入支援や、ローカル5Gの特徴を活かす組合せソリューションの開発を進めている。



■ 図-6 ローカル5Gが利用できるラボ環境の例