

～東海地域における周波数資源開発と新たな無線システムの普及促進へ～

- (2) 第1部・地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証
イ 令和2年度開発実証の実施状況
（ア）MR技術を活用した遠隔作業支援の実現

トヨタ自動車(株)

プラント・環境生技部

DX開発推進部

大前 秀樹

山田 晋

－会社概要

－プロジェクトの概要、実施体制

- －MRシステム概要、めざす姿、通信要件
- －実証場所
- －ローカル 5 G実験試験局

－技術実証結果

- －わかったこと、課題など
- －工場としての要件

－今後のスケジュール

会社概要

TOYOTA



本社



東京本社



名古屋オフィス

会社名 ● トヨタ自動車株式会社

代表取締役社長 ● 豊田章男

創立 ● 1937年（昭和12年）8月28日

資本金 ● 6,354億円

従業員数 ● 74,132人（連結 359,542人）

（2020年3月末現在）

営業状況：2020年3月期〈連結ベース※〉

● 売上高 29兆9,299億円

● 営業利益 2兆4,428億円

● 当期純利益 2兆761億円

※連結子会社528社 持分法適用会社72社

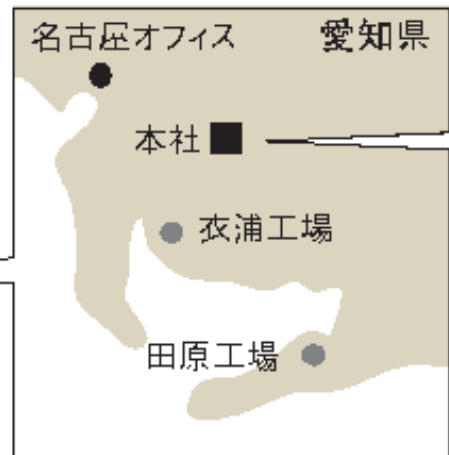
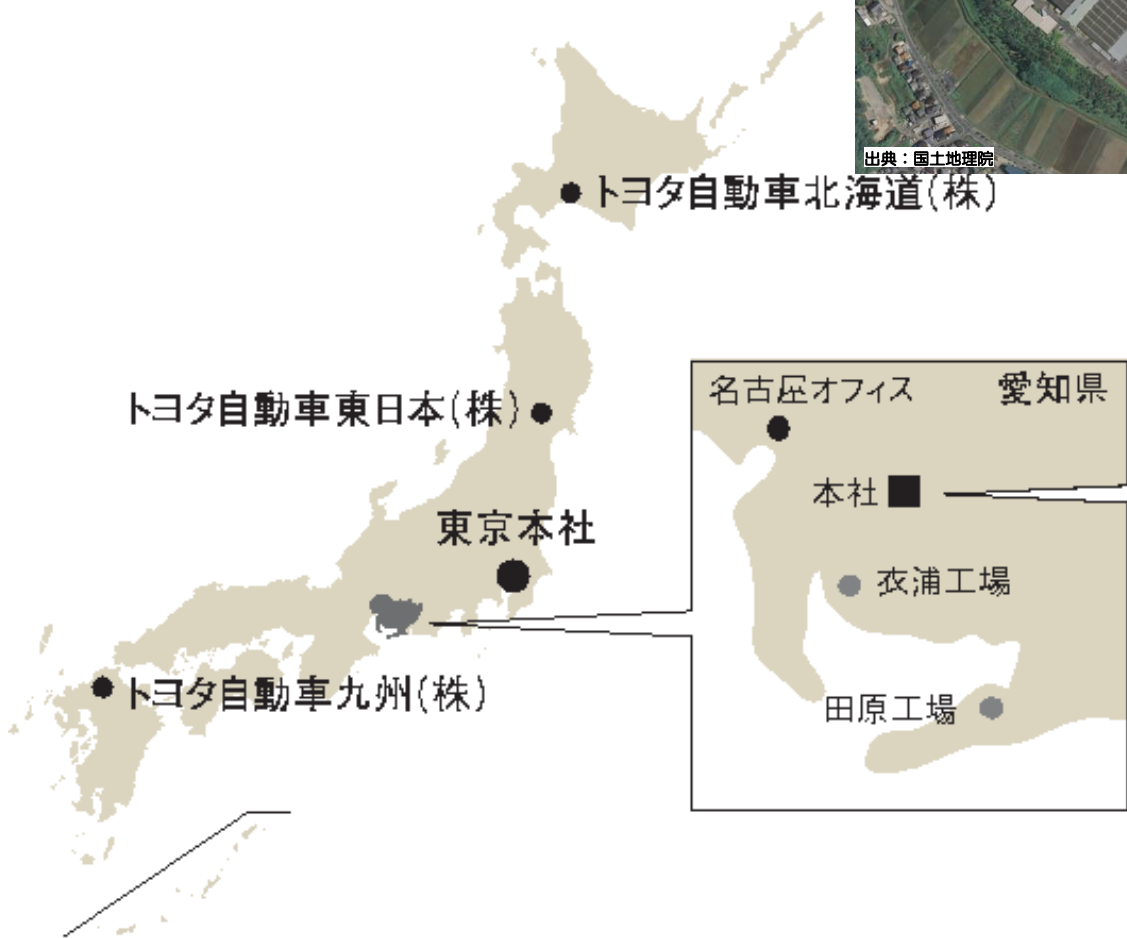
本社 ● 〒471-8571 愛知県豊田市トヨタ町1番地

東京本社 ● 〒112-8701 東京都文京区後楽1丁目4番18号

名古屋オフィス ● 〒450-8711 愛知県名古屋市中村区名駅4丁目7番1号

国内事業拠点

TOYOTA



MR技術を活用した遠隔作業支援

請負者	トヨタ自動車株式会社	分野	工場
実証地域	愛知県豊田市 (トヨタ自動車貞宝工場)	コンソーシアム	トヨタ自動車(株)、キヤノン(株)、(株)トヨタシステムズ、ネットワークシステムズ(株)、シャープ(株)、(株)エイビット、(株)日立国際電気、ノキアソリューション&ネットワークス合同会社
地域課題等	製造物に応じた生産設備の変更に伴う係る事前検証等の負荷、コストの増加への対応が急務		
実証概要	課題実証：製造現場の作業者が着用したヘッドマウントディスプレイ（HMD）及びMR（Mixed Reality（複合現実））技術を活用した、①生産設備の導入等に係る事前検証に関する実証、②熟練技術者等の支援者による現場作業への遠隔からの指導や支援に関する実証 技術実証：工場内におけるローカル5Gの性能評価、工場内の通信特性、ハンドオーバー動作の影響評価等を実施		
ローカル5G等 (周波数・特長)	周波数：4.7GHz帯、28GHz帯 構成：SA構成（4.7GHz帯）、NSA構成（28GHz帯） 利用環境：屋内（工場）		



- 現状、MRを使った生産設備の事前検証※を行う際は、有線での検証となっていることから、ケーブル長に限界があり、移動範囲や検証範囲に制限がある。また、安全確保の観点からケーブルの取回し、機材の移動に係る人員確保の課題がある。

※生産設備の事前検証：生産設備の入れ替えにあたっては、あらかじめ、導入する生産設備について、作業性の検証（設備の大きさや位置の確認、作業時の立ち位置等から実際の作業への支障の有無）や、作業員の安全性や姿勢負荷等に関する検証作業を実施。



- ①生産設備事前検証等：
現場の生産設備と設計中の設備データ(CAD)をHMDで重ねて作業姿勢の検証を実施



- ②遠隔作業支援：
HMD映像を遠隔から確認・作業支援

<コンソーシアムの紹介> 実行体制図

TOYOTA



TOYOTA

ローカル5G
利用者

- ・本コンソーシアムの代表。本実証事業における実証場所の提供
- ・ローカル5GとMR技術を活用したシステムによる課題実証

メーカー

Canon

- ・ローカル5G対応版のMRシステムの開発・提供
- ・ローカル5GとMRシステムによる課題実証

インテグレータ

TOYOTA SYSTEMS

- ・本実証事業におけるネットワーク全般の取りまとめ
- ・電波伝搬の技術検証及び電波測定支援

ローカル5G×MR実証実験
コンソーシアム

インテグレータ

net one

- ・本実証事業におけるプロジェクト推進
- ・電波伝搬の技術実証及び電波測定、開発実証、報告書の取りまとめ

メーカー

SHARP

- ・通信デバイス（5G端末）
- ・MRデバイス開発の支援
- ・電波伝搬の技術検証及び電波測定支援

メーカー

ABIT
ABIT CORPORATION

- ・通信インフラ（4.7GHz帯）通信デバイス提供
- ・電波伝搬の技術検証及び電波測定支援

メーカー

日立国際電気

- ・通信インフラ（28GHz帯）構築
- ・電波伝搬の技術検証及び電波測定支援

メーカー

NOKIA

- ・通信インフラ（28GHz帯）
- ・電波伝搬の技術検証及び電波測定支援

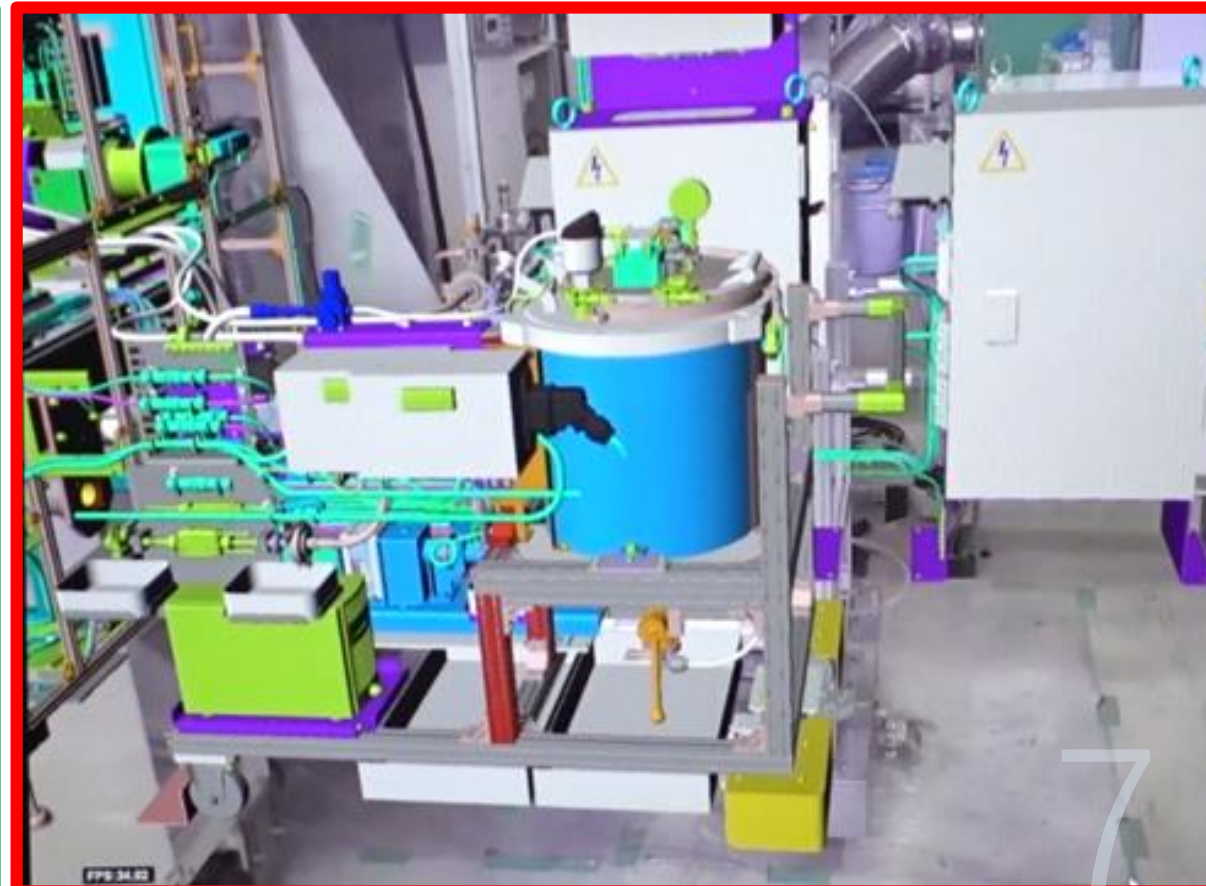
<実証内容（課題実証）>

TOYOTA

客観映像
(指示者目線)



主観映像
(作業者目線)



MR専用ルームでの利用



現場での利用

+ 実際の設備

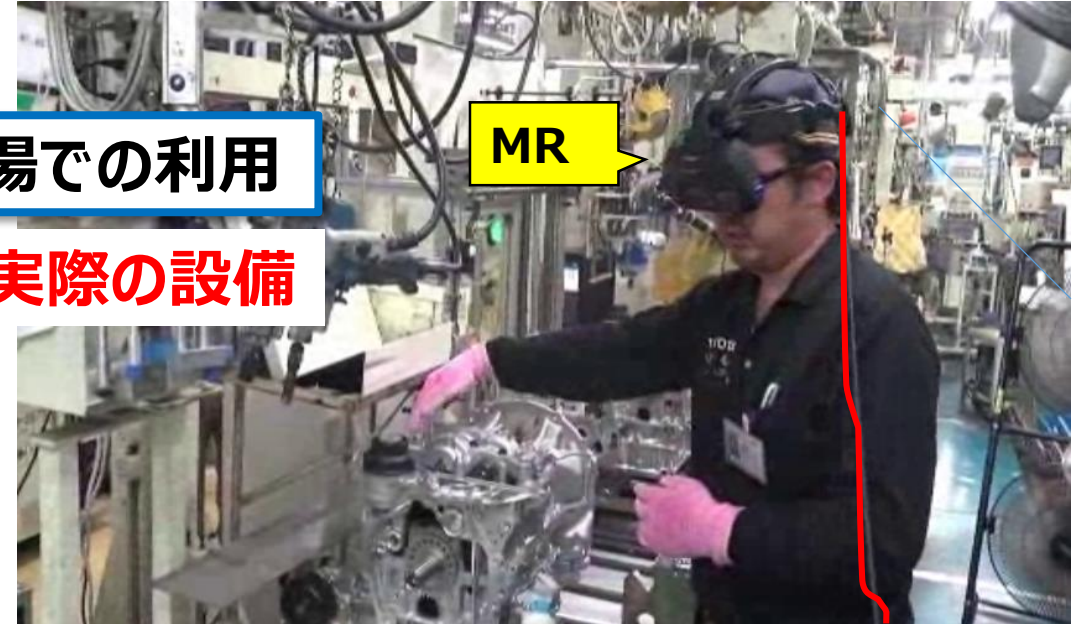
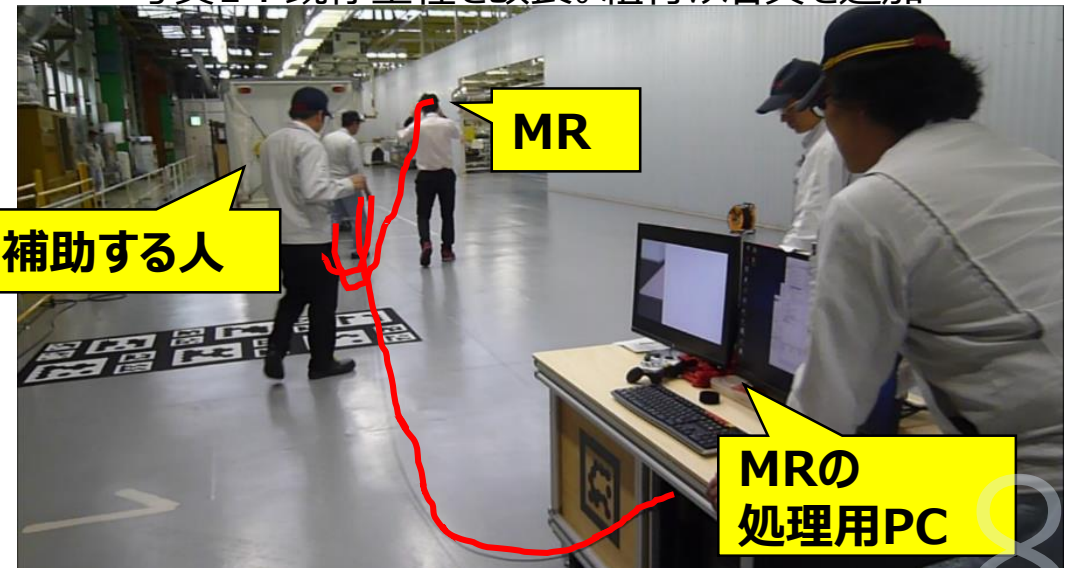


写真1：既存工程を改良。組付け治具を追加

■ 現在：スタンドアローンでの利用
光ケーブル・電源ケーブルが邪魔

補助する人



MRの
処理用PC

写真2：建屋計画

遠隔支援の様子



<実証内容（課題実証）>

上り、下りともに大容量

TOYOTA

MRシステムの概要

専用光ケーブル

Input

上り 約17Gbps
3.2K相当 + 制御信号

光変換
電源供給
制御装置

Output

下り 約11Gbps
2K相当 + 制御信号

Input

マーカー用カメラ
1280×1024

Input

左右撮像カメラ 各2560×2048
(兼 形状特徴ヘッドトラッキング)

左右ディスプレイ
各2560×1600

Output



Input

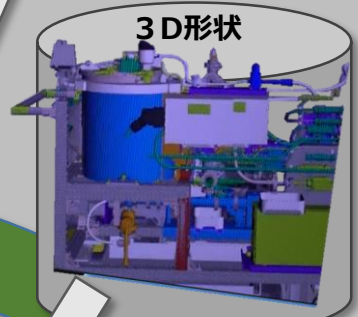


PC

フィルター抽出、3D化



3D形状



仮想空間上で合成



Output

10

<実証内容（課題実証）>

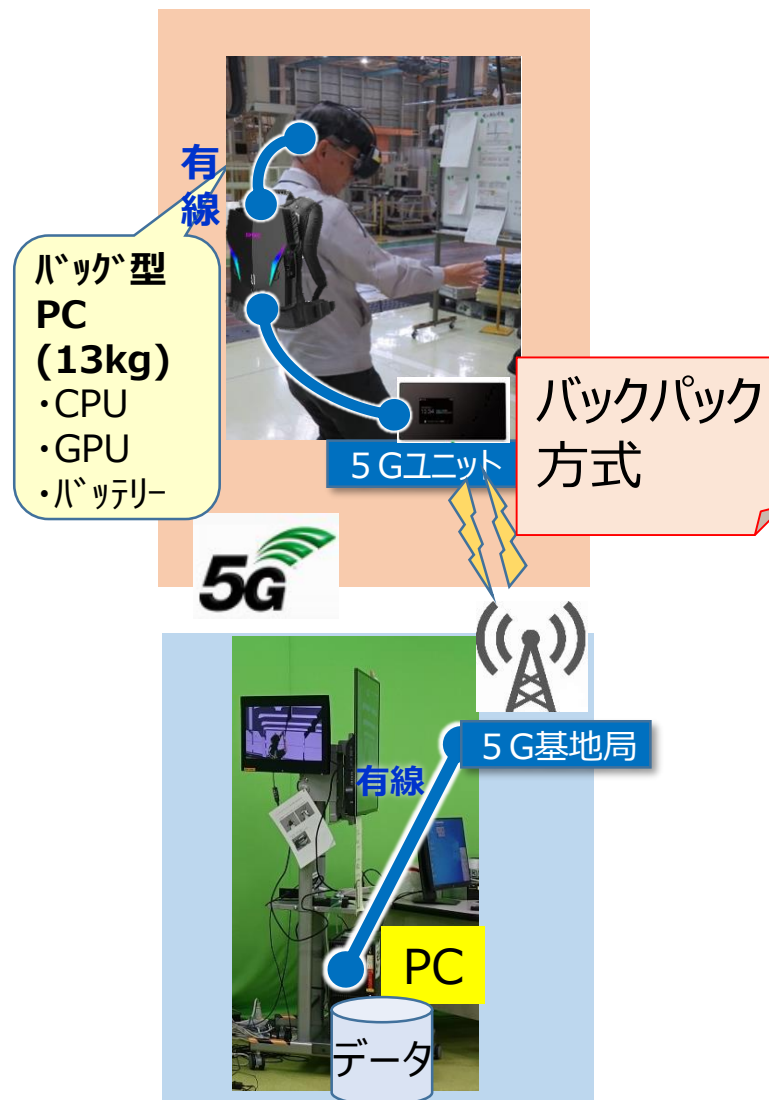
TOYOTA

MRの目指す姿と、本課題実証の機器構成

現在

①2020（今回）

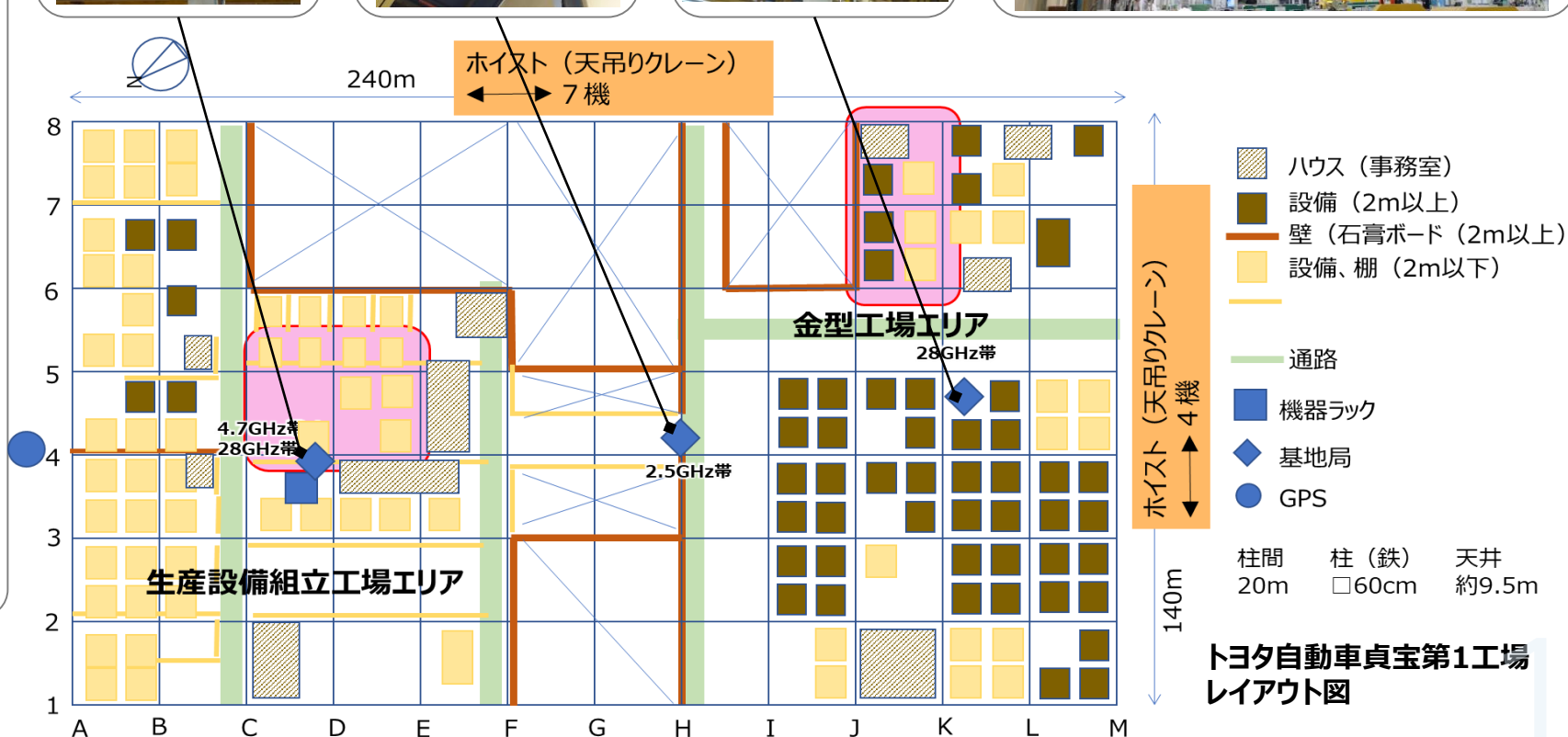
②202x（目指す姿）



<実証場所> 工場内レイアウト

TOYOTA

工場内二箇所のアンテナ支柱（高さ4m）に対し、
アンテナ支柱Aには4.7GHz帯基地局及び28GHz帯基地局、アンテナ支柱Bには28GHz帯基地局を設置した。

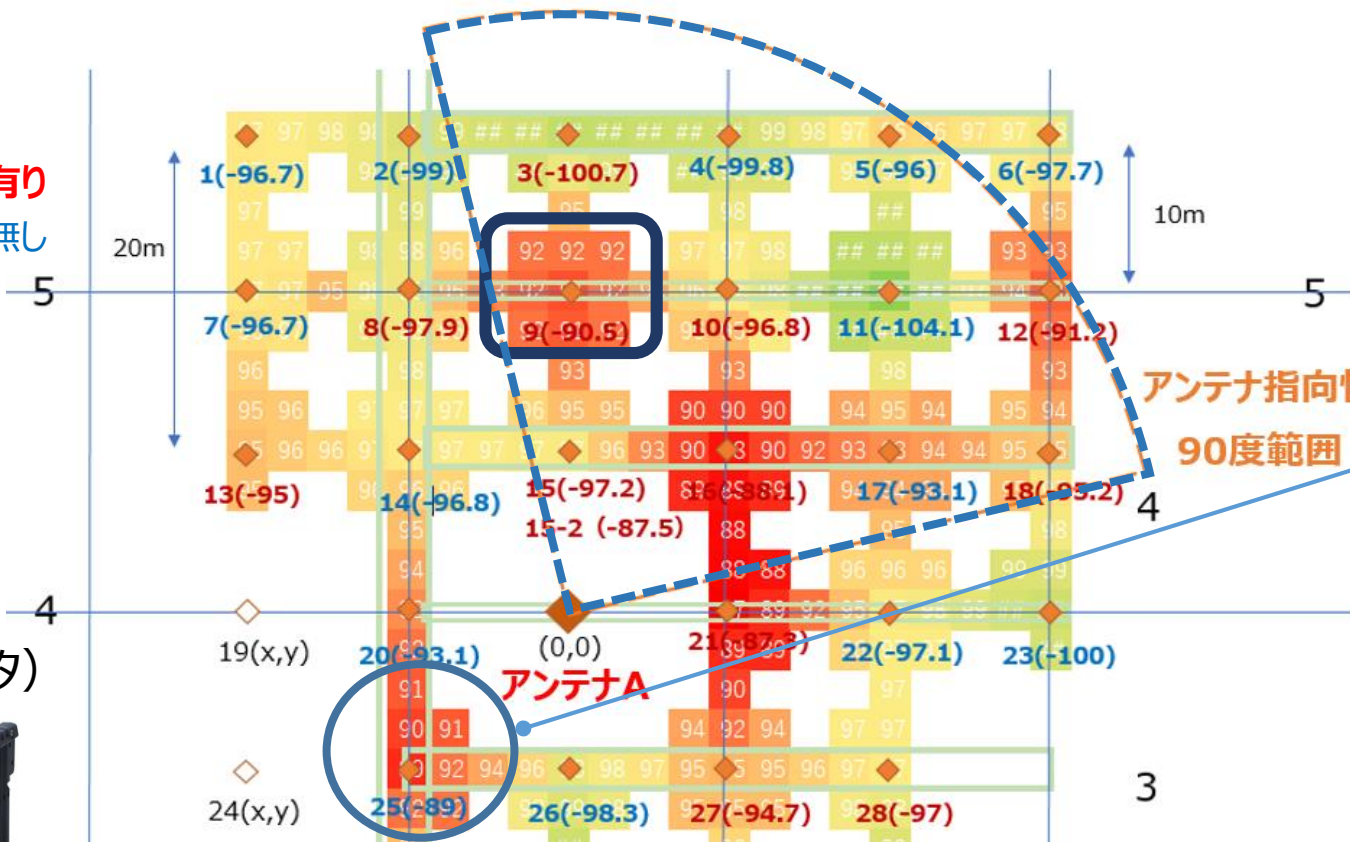


<実証内容（技術実証）>

28GHz帯 受信電力（ヒートマップ） 評価エリアA

- ・測定器（エリアテスト）により受信電力SS-RSRP(dBm)を測定
- ・iPerfによる伝送スループット測定、Pingによる伝送遅延測定

赤：見通し有り
青：見通し無し



- ・見通しが確保できる測定ポイントでは強い
- ・柱やダクトなどの構造物、生産設備の設置等により、見通しが確保できないポイントでは弱い
- ・アンテナ指向パターン範囲外（背面など）は、反射の影響にるものと考えられる

・iPerfによる伝送スループット測定

	最大値	最小値	中央値
UL	93.7 Mbps	18.2 Mbps	34.5 Mbps
DL	1.08 Gbps	233 Mbps	732 Mbps

工場環境にて、機器スペックに応じた通信性能を確認



<実証内容（ユースケースに基づく性能評価）>

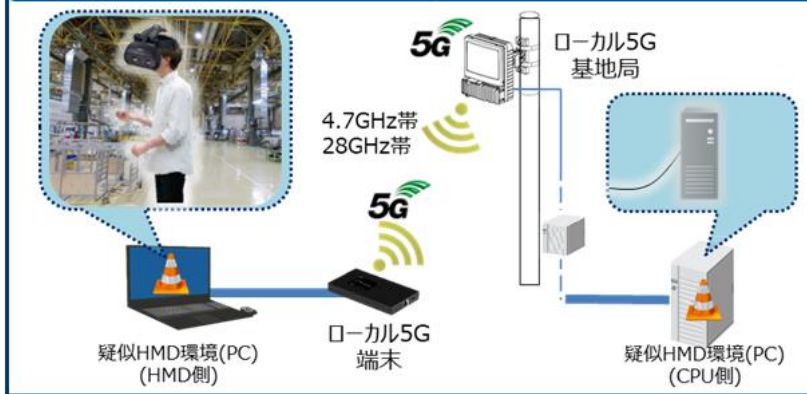
TOYOTA

①バックパック方式を用いた実務ユースケースに基づく実証



性能評価項目	技術実証結果	性能評価
伝送帯域 UL 数十Mbps DL 数十Mbps	■ 28GHz帯 ノキア・シャープ UL 100MHz幅, DL 100MHz幅 x 4、適応変調 UL 約20~90Mbps / DL 約300Mbps~1Gbps	○
	■ 4.7GHz帯 Abit機 UL/DL 100MHz幅, MCS25固定 UL 約40~70Mbps / DL 約50~62Mbps	○
伝送遅延 数十msec程度	■ 28GHz帯 ノキア・シャープ 10msec~50msecのRTT（平均 31.59msec）※DRX値設定	○
	■ 4.7GHz帯 Abit機 10msec程度のRTT（平均 6.09msec）	○

②目指す姿（ローカル5Gを用いた完全無線化）の実現に向けた疑似HMD方式による事前技術実証



性能評価項目	技術実証結果	性能評価
伝送帯域 (データ圧縮目標) UL 約550Mbps DL 約350Mbps	■ 28GHz帯 ノキア・シャープ UL 100MHz幅, DL 100MHz幅 x 4、適応変調 UL 約20~80Mbps / DL 約300Mbps~1Gbps	UL × DL ○
	■ 4.7GHz帯 Abit UL/DL 100MHz幅, MCS25固定 UL 約40~70Mbps / DL 約50~62Mbps	UL × DL ×
伝送遅延 十数msec程度	■ 28GHz帯 ノキア・シャープ 10msec~50msecのRTT（平均 31.59msec）※DRX値設定	○
	■ 4.7GHz帯 Abit機 10msec程度のRTT（平均 6.09msec）	○

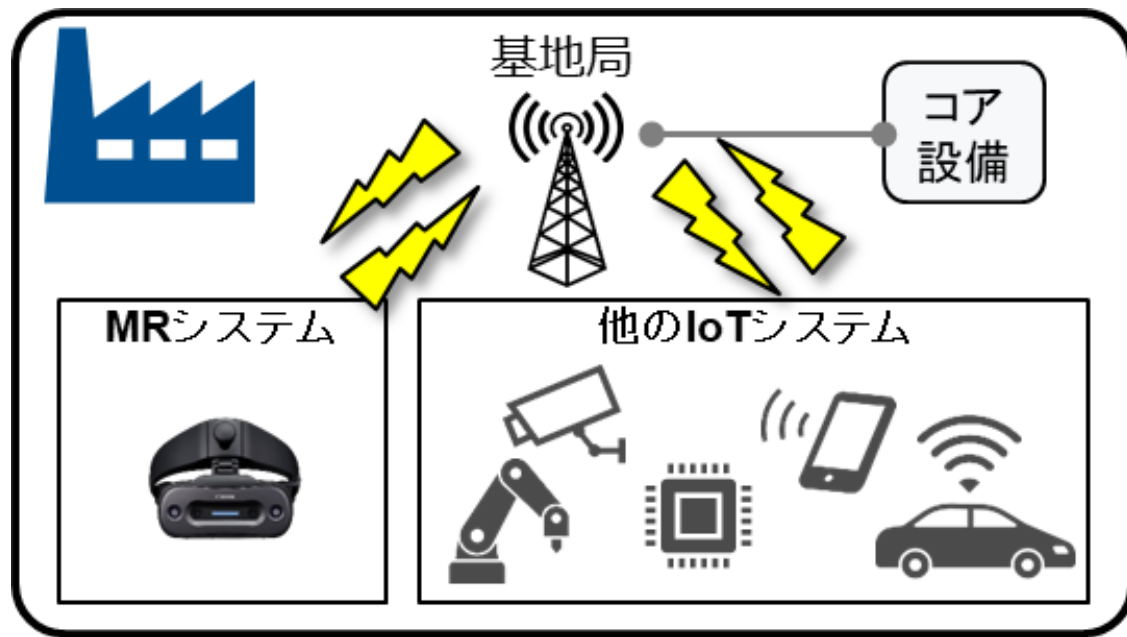
ローカル5Gの課題：

上り（UL）の性能向上が必須。バックパック方式であれば無線化は可（安定した通信の提供）

MRの課題：

さらなる性能向上、小型化、軽量化、消費電力の削減。また、映像圧縮伸長技術の進化に期待

ローカル 5 G機能評価イメージ (多接続機能)



①

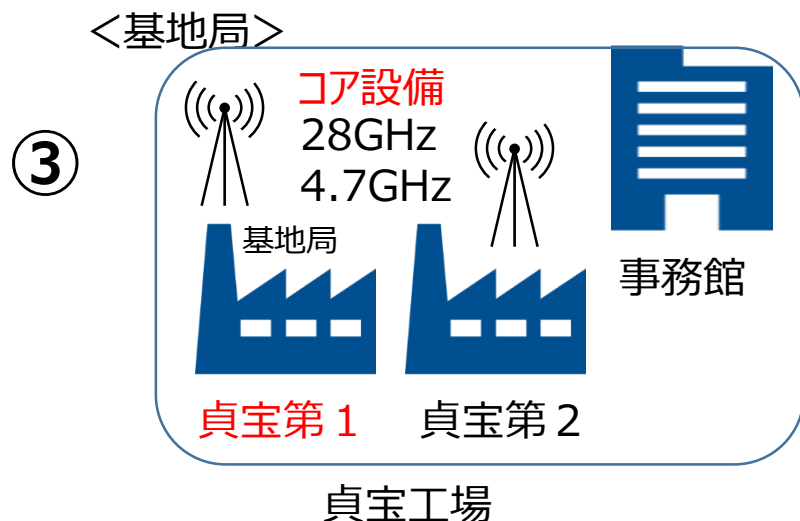
②

①MRの完全無線化に向けた技術開発

- －ローカル 5 G対応
- －映像の圧縮・解凍技術
- －システムとしてのスループット

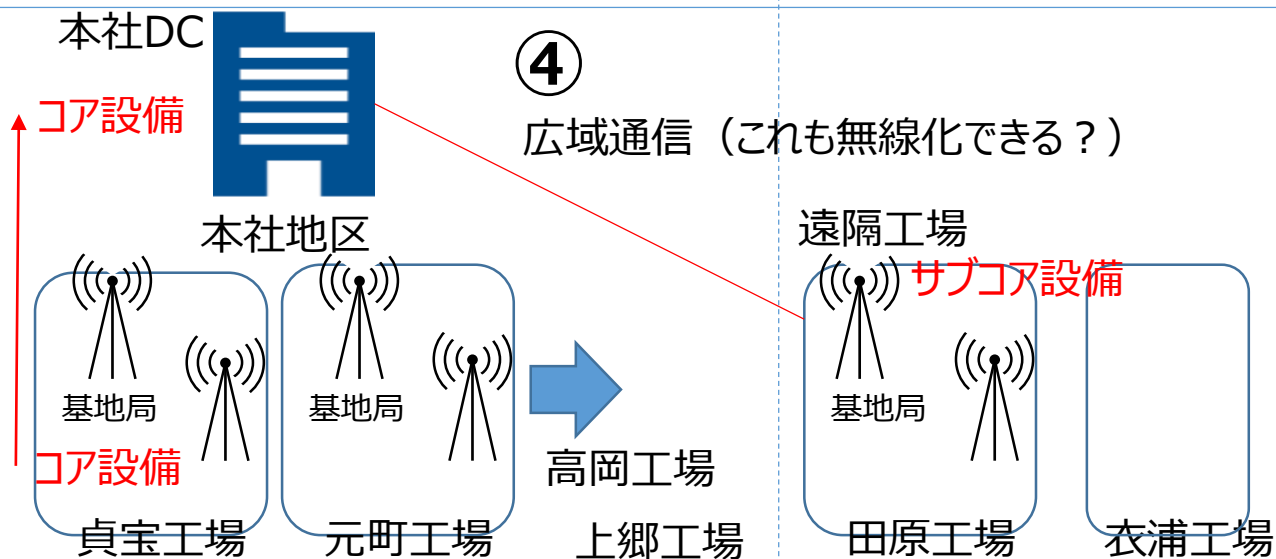
②工場内で、無線LANに接続するデバイスは、MRだけではなく、設備（ロボット）、工具、AGV、監視カメラ、などさまざまなものがあり、それらも無線化していくための検証・対応が必要

貞宝工場展開

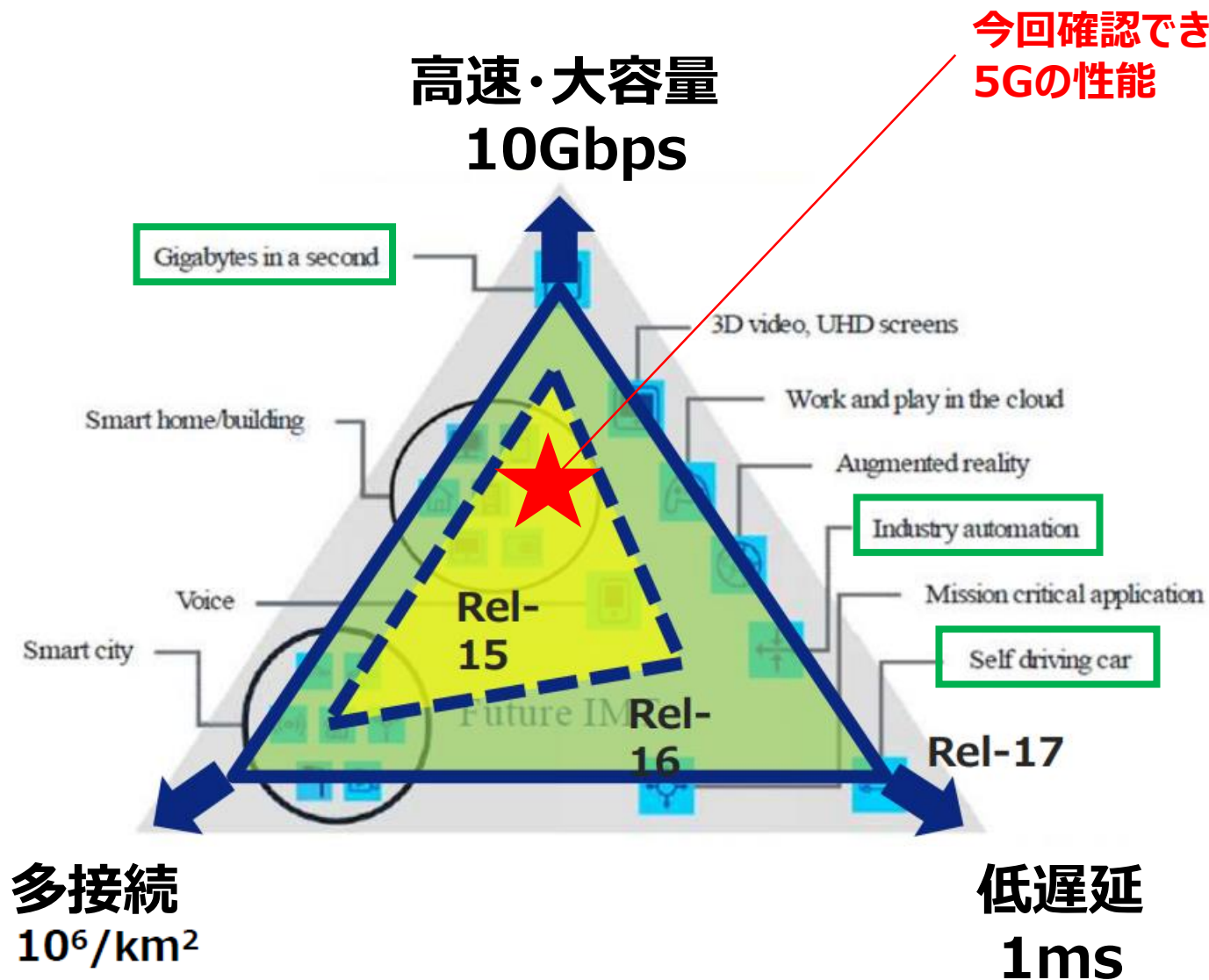


③工場の中にも複数の建屋があり
効率的に基地局を配置し制御する
必要があります。

他工場へ展開開始（大企業型）=> 地域への横展（共同利用）



④さらに、大企業型の構成では、敷地をまたいで、本社と遠隔にある工場間も束ね、コア設備と基地局アンテナの効率の良い配置の検討・導入が必要。
このようなモデルが設計できると、工業団地のようなエリアへの導入も可能となる。



28GHz(上り:40Mbps、下り:1Gbps)
4.7GHz(上り:70Mbps、下り:60Mbps)

- Rel-15
 - ・ 大容量・高速化と低遅延に対応
 - ・ 多接続はLPWAでカバー
- Rel-16
 - ・ 高信頼・低遅延に対応しITU-RのIMT-2020要求条件をカバー
- Rel-17
 - ・ 各シナリオに基づく更なる高度化
 - ・ 新たなユースケース、ユースケース拡大への対応

2021/3/29
総務省に報告

- **課題解決システム（ローカル5GによるMRシステムの無線化）を導入**することで、MRシステムのケーブル取り回しの制約解消、ケーブル捌き等の工数削減（1ケースあたり100分）、ケーブルでのつまずき解消等、**作業現場における効率化と安全性の向上**を確認できた。また、MRシステムによる**遠隔からの支援**を行うことで、熟練技術者が現地の工場まで移動するための時間・費用を削減するとともに、作業現場での検討の効率化・検討漏れの削減による品質の向上を確認できた。
- **工場内の電波伝搬特性**として、**柱やダクトといった構造物による反射の影響**が明らかになり、カバーエリアよりも離れていても電波が届くことが確認できた。また、ハンドオーバー機能が正しく動作することが確認できた。一方、ハンドオーバー前後でスループットの落ち込みやアプリケーションへの影響も判明し、**ハンドオーバーを前提とする場合のエリア設計に対する知見**が得られた。
- 多数の機器・設備・カメラ等から大容量の情報を同時に収集、収集データを複数ユーザにストレスなく伝達するためには、ローカル5Gの**UL/DLの比率最適化**、機器・アプリケーションの多数同時接続等の機能追加が必要となるため、**多接続、低遅延等の早期製品化**を期待。また、各種コスト低減の検討も必要。**費用対効果**を考えると複数の端末・アプリケーションによるローカル5Gの利用が必要。

1. 無線局諸元(工事設計)

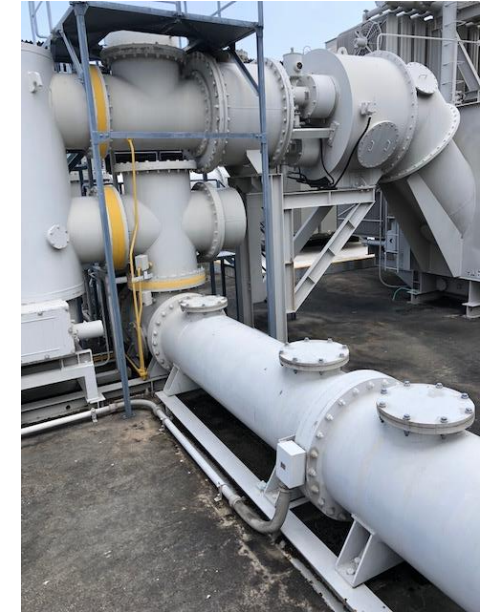
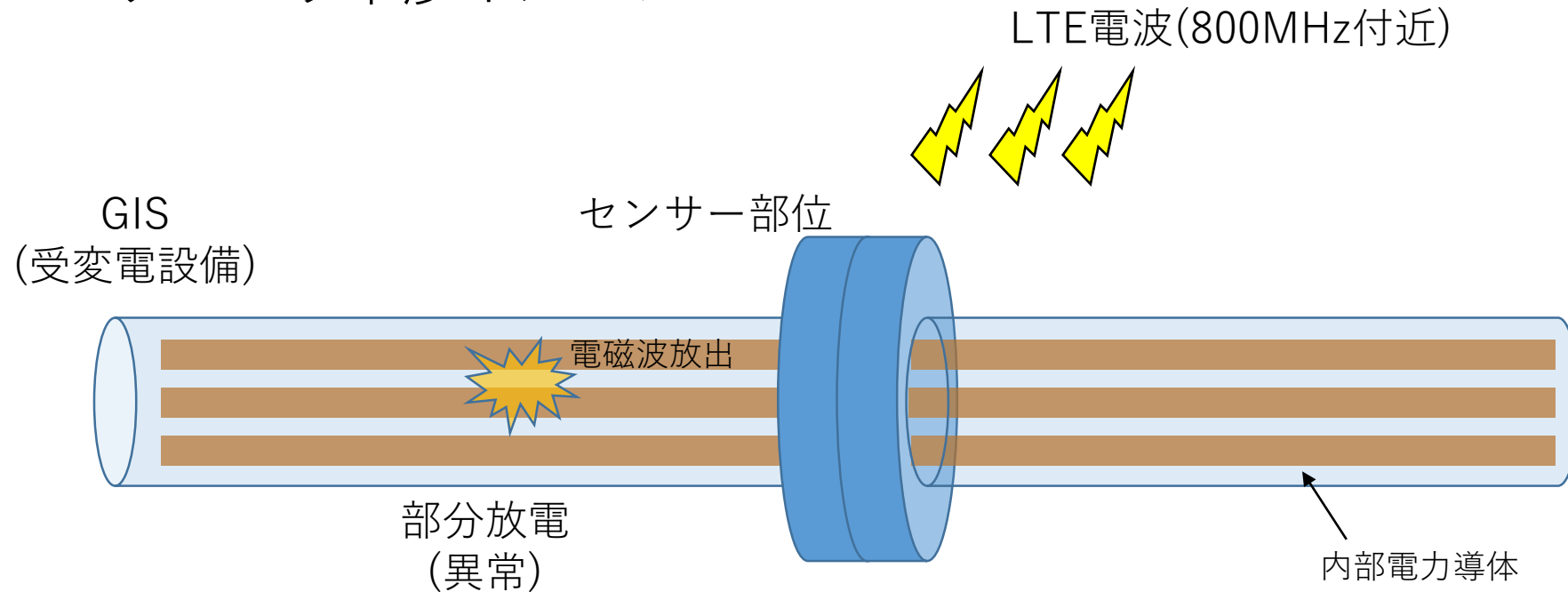
- ① 無線機メーカー名、機種、型式、製造番号、構成図
- ② 局数(基地局、移動局)
- ③ 周波数(中心周波数、周波数帯域幅)、電波の型式、変調方式
- ④ 送信機出力、空中線電力
- ⑤ スプリアス実力値
- ⑥ アンテナ構成
 - ・ 本数
 - ・ 利得
 - ・ アンテナパターン
 - ・ 指向性、指向方向
 - ・ 取付高さ、チルト

2. 運用方法(同期、準同期、非同期の別)及び同期対応可否、同期条件
3. 使用場所(住所及び無線局常置場所の緯度、経度)及び移動範囲
4. 通信のカバーエリア及び干渉調整対象区域
5. 無線通信の実施時期(実験試験局運用)
6. 干渉が発生した場合の対応方法

実運用局での課題 ※電波干渉調整における確認事項

TOYOTA

コロナセンサ干渉イメージ



設備の異常兆候(部分放電)を検知するため、電磁波センサーにて機器内部の電磁波を監視する。

一. 登録点検時に技術的に苦労したこと

- ① GPS信号など無線機の運転に関する事項
- ② 28GHz帯の電波測定に関する事項
- ③ 電波暗室(OTA)に関する事項
- ④ その他、測定時の制約について

二. 測定結果の判定について

- ① 測定精度、許容差

実験試験局運用に際しての導入手続き

TOYOTA

※実運用局における課題

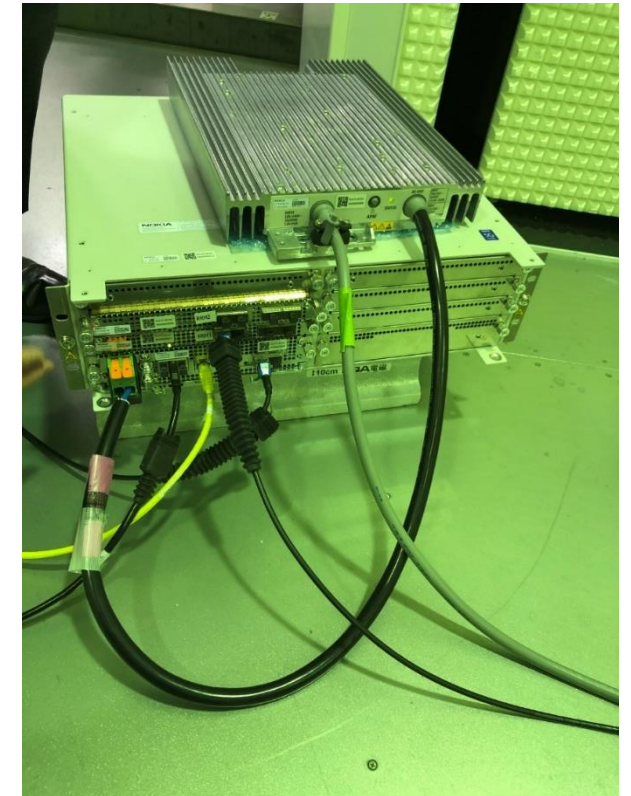
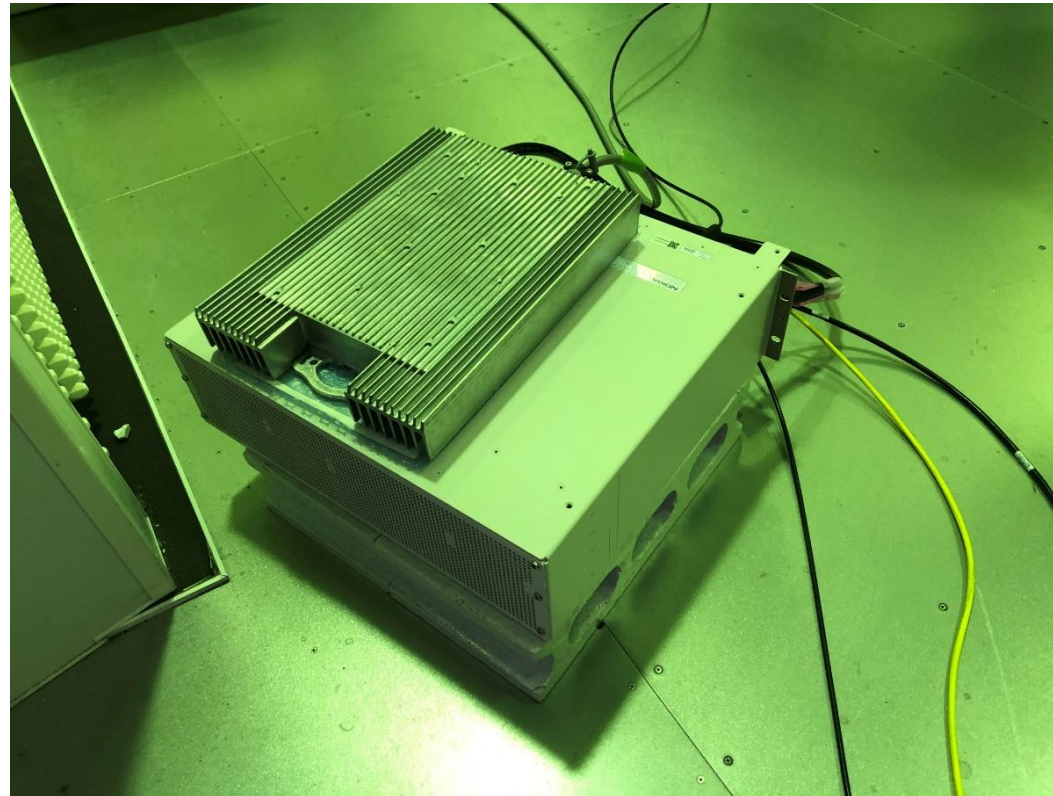
基地局とアンテナの試験(基地局、コアユニット)

GPS (起動タイミング)



キャリブレーション時
同時に3衛星見えること

基地局 (CU + DU) ユニット



実験試験局運用に際しての導入手続き

※実運用局における課題

TOYOTA

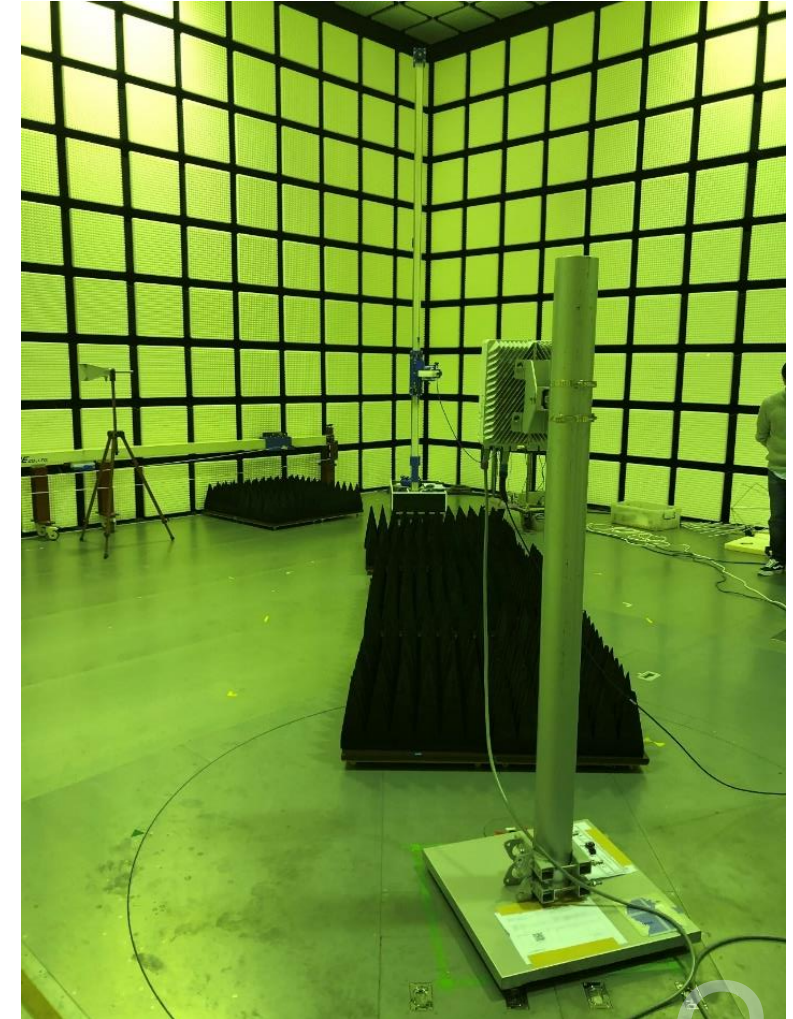
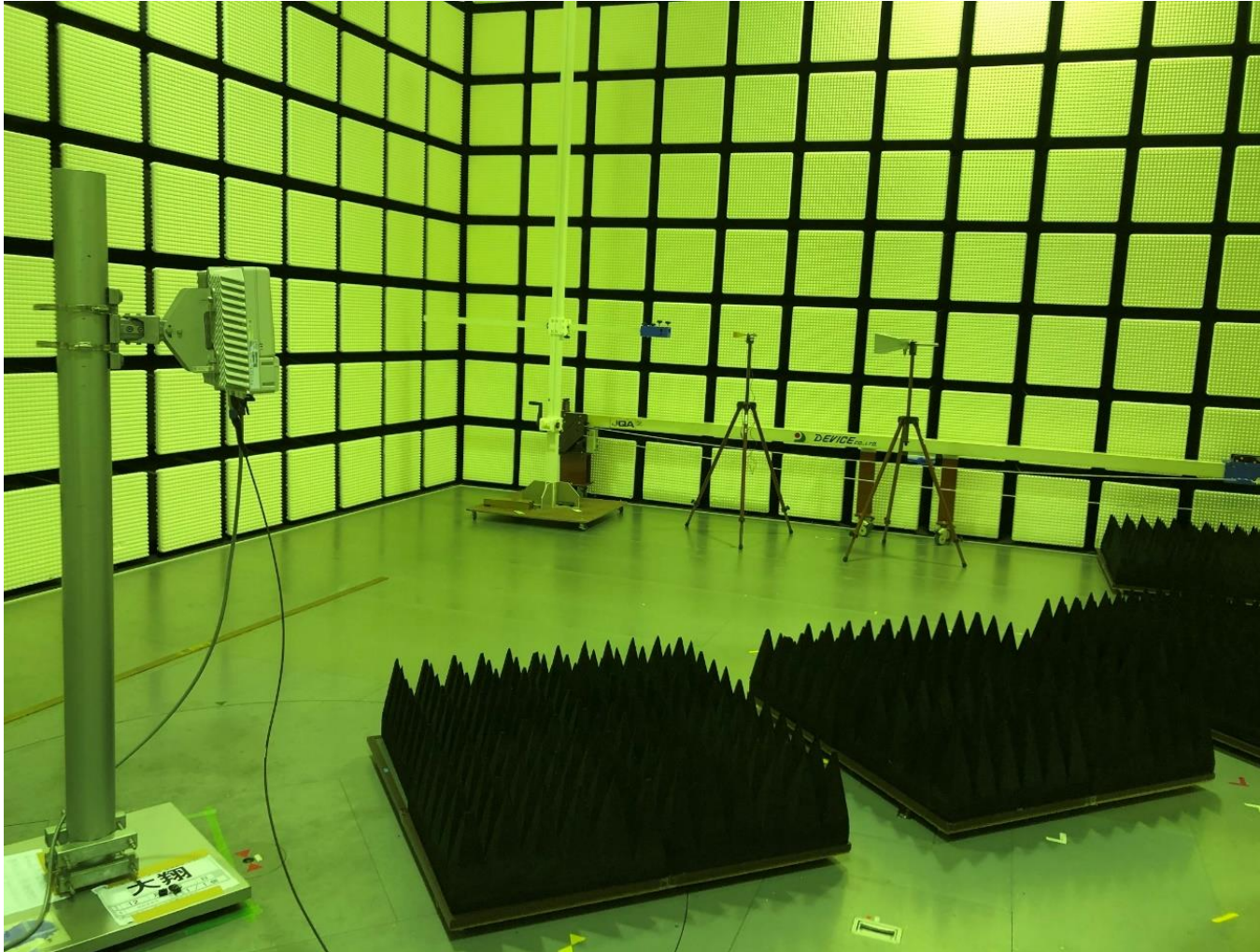


実験試験局運用に際しての導入手続き

TOYOTA

※実運用局における課題

電波暗室でのフェーズドアレイアンテナの測定(OTA)



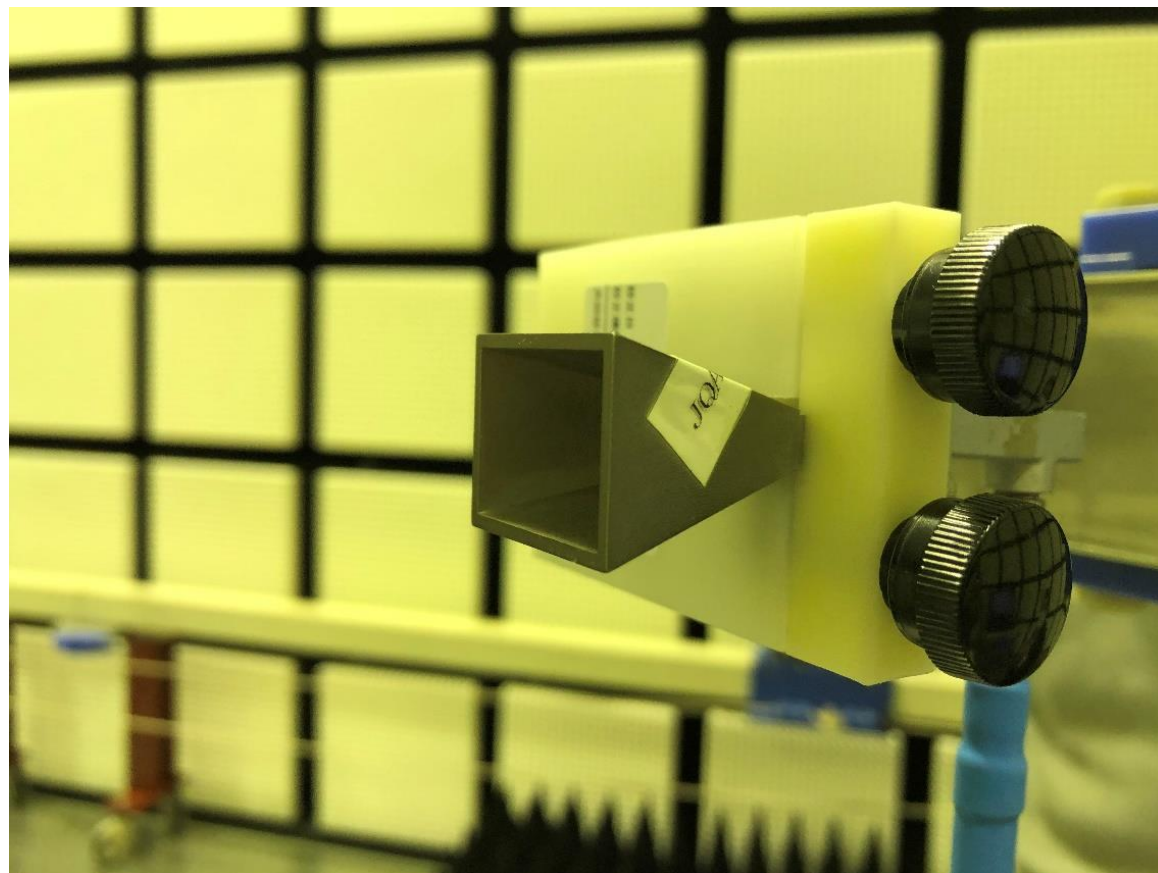
距離が 5 m 程度確保できる比較的大きな電波暗室が必要

実験試験局運用に際しての導入手続き

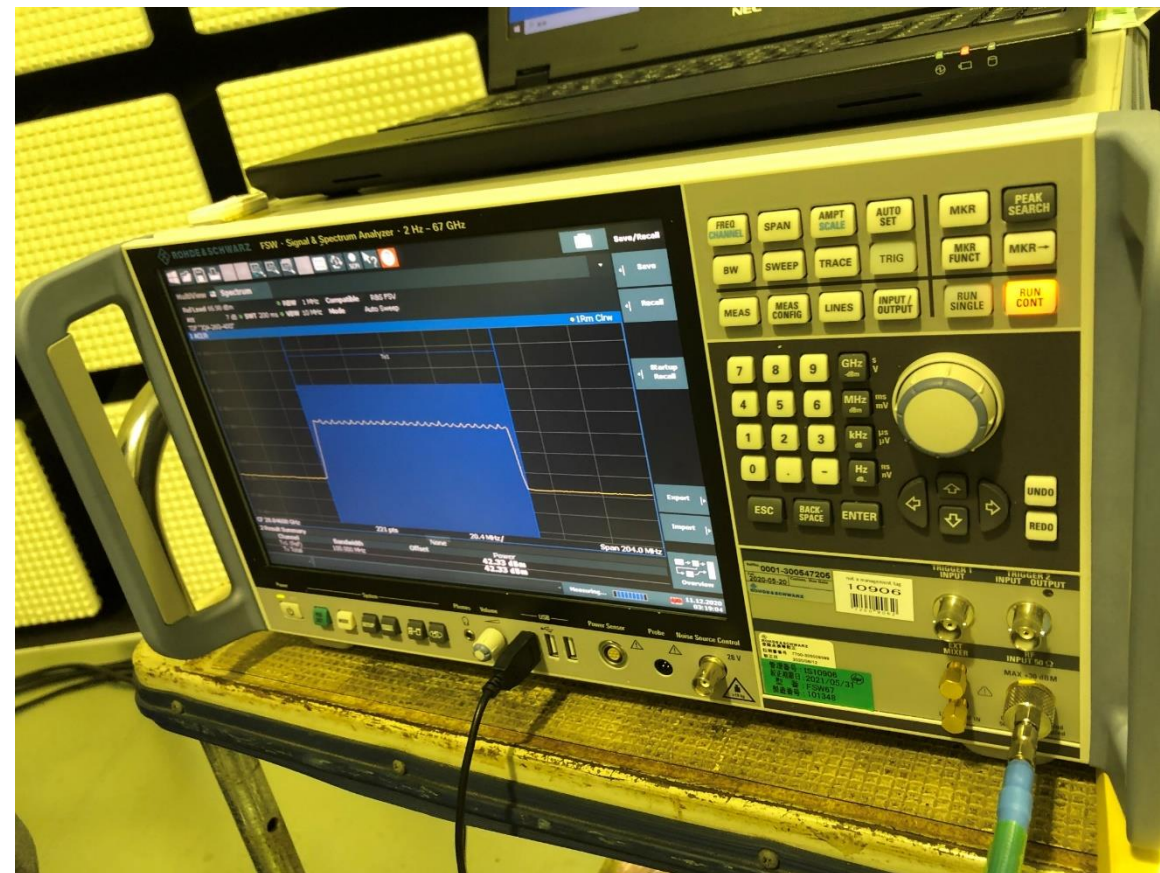
※実運用局における課題

TOYOTA

ホーンアンテナ

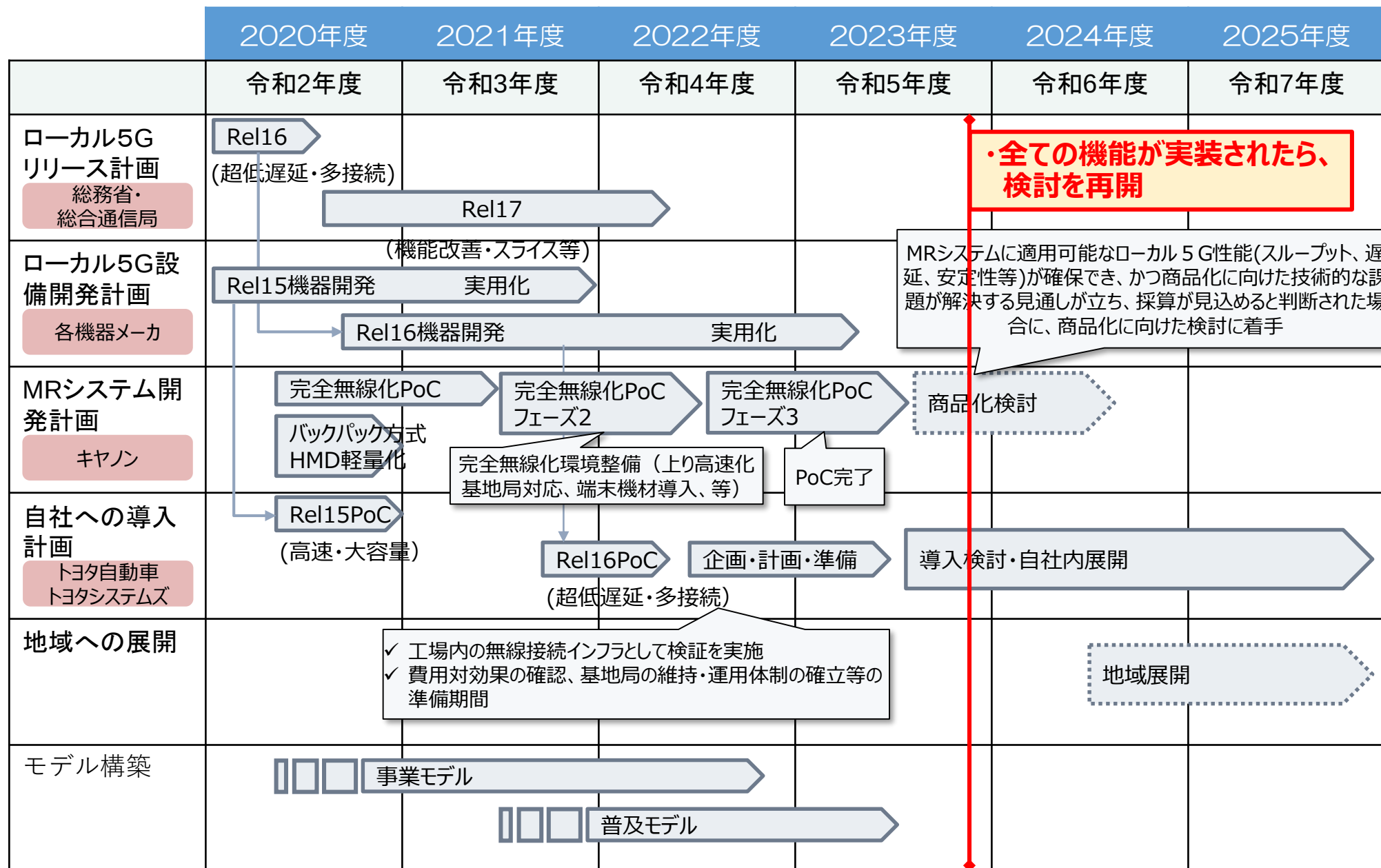


スペクトラム・アナライザ



CW発信（無変調搬送波）ができず変調波で占有周波数帯幅の確認実施

現状から想定されるL5Gの導入・展開スケジュール





ご意見、ご質問など、よろしくお願いいたします。



END