



# NTTドコモにおける 5G Evolution and 6Gに向けた取り組み

NTTドコモ  
6G-IOWN推進部

# 6Gで目指す無線技術への要求条件

## 超高速・大容量通信

- 通信速度の向上：最大100Gbps超へ
- 100倍以上の超大容量化 (bps/m<sup>2</sup>)
- 上りリンクの超大容量化

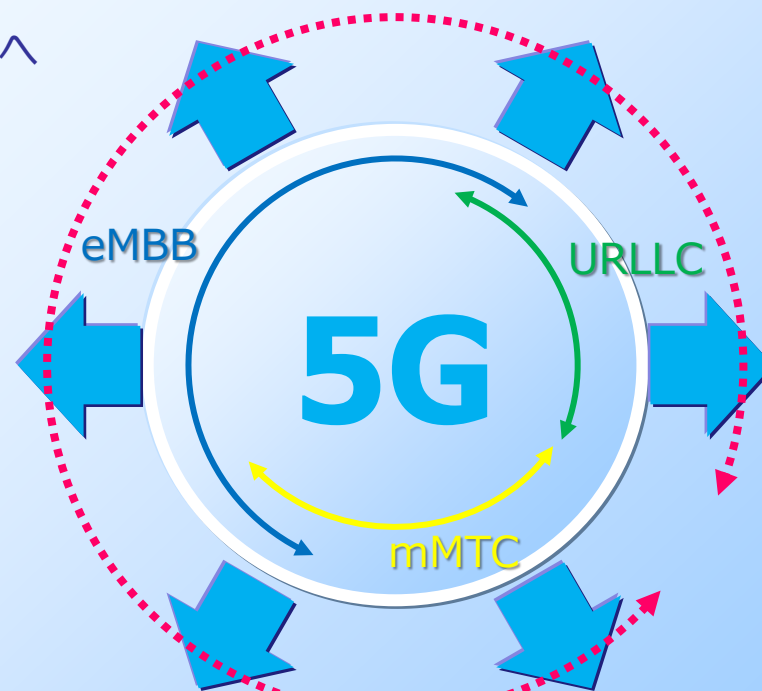
## 超カバレッジ拡張

- 陸上（面積）カバー率100%
- 空（高度1万m）・海（200海里）・宇宙へのチャレンジ

## 超低消費電力・低コスト化

- さらなるビット当たりのコスト低減
- 充電不要な超低消費電力デバイス

6G



新しいユースケースによる  
要求条件の組み合わせ

## 超低遅延

- E2Eで1ms以下程度の超低遅延
- 常時安定した低遅延性

## 超高信頼通信

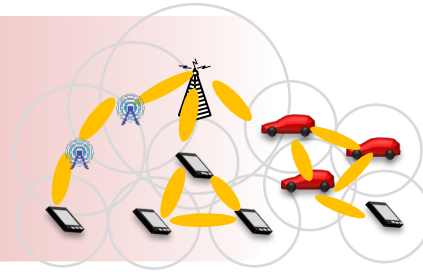
- 幅広いユースケースにおける品質保証 (Reliabilityは99.99999%まで向上)
- レベルの高いセキュリティと安全性

## 超多接続&センシング

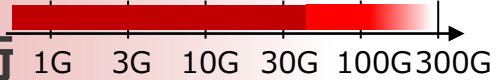
- 平方km当り1,000万デバイス
- 高精度な測位とセンシング (< 1cm)

# 5G Evolution & 6G: 技術発展と検討領域

空間領域の分散ネットワーク  
高度化技術  
(New Network Topology)



周波数領域のさらなる広帯域化  
および周波数利用の高度化技術



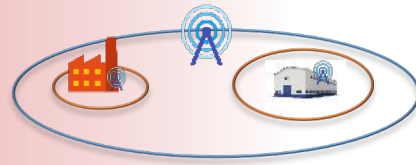
非陸上 (Non-Terrestrial  
Network) を含めた  
カバレッジ拡張技術



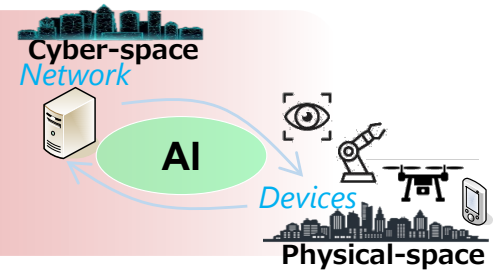
Massive MIMO技術および  
無線伝送技術のさらなる高度化



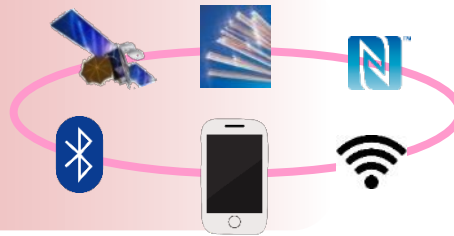
低遅延・高信頼通信 (URLLC)  
の拡張および産業向けネットワーク



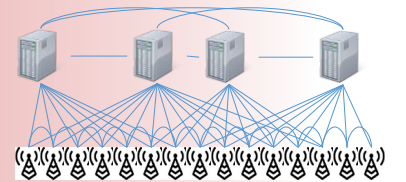
無線通信システムの多機能化  
および、あらゆる領域でのAI  
技術の活用



移動通信以外の通信技術の  
インテグレーション



ネットワーク・アーキテクチャの  
高度化

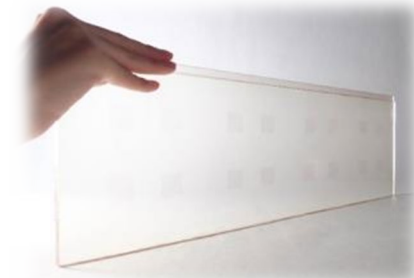


# カバレッジ改善

# ミリ波カバレッジ改善に向けた技術検討

## ■ 従来の基地局設置に加え、なるべく簡単にミリ波のカバレッジを広げる無線技術や、デバイス技術を適用

- 小さい、軽い
- 安い、低消費電力
- すぐ使える、ワイヤレス
- 目立たない

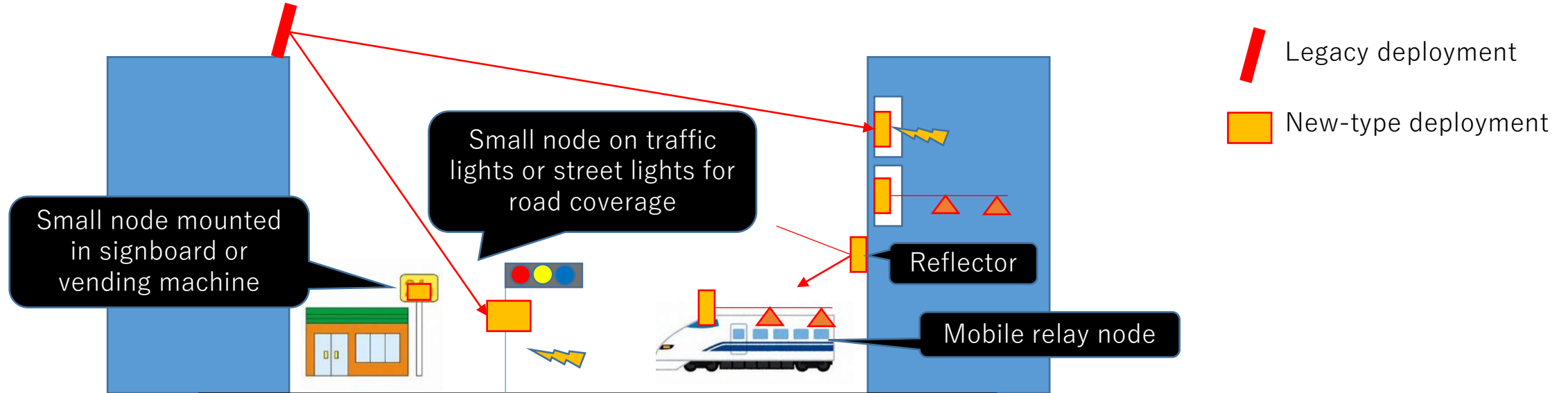


On-glass antenna



mmW reflector

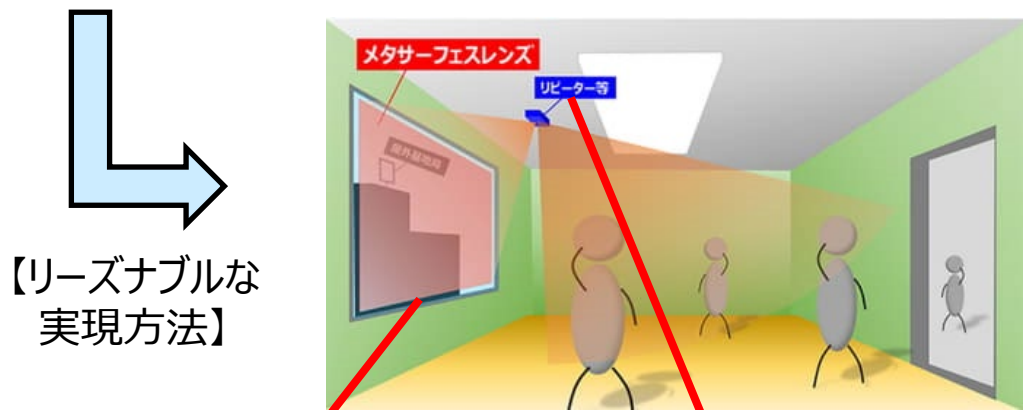
(Example deployment image)



➔ 新しいエリア展開法を考慮した技術検討が必要

## 高周波数帯の屋内エリア構築手法

エリア構築手法	経済性	実現性
屋内基地局設置	△	◎
屋外の電波を効率的に屋内に誘引	○	○
屋外の電波による自然体での屋内エリア化	◎	△

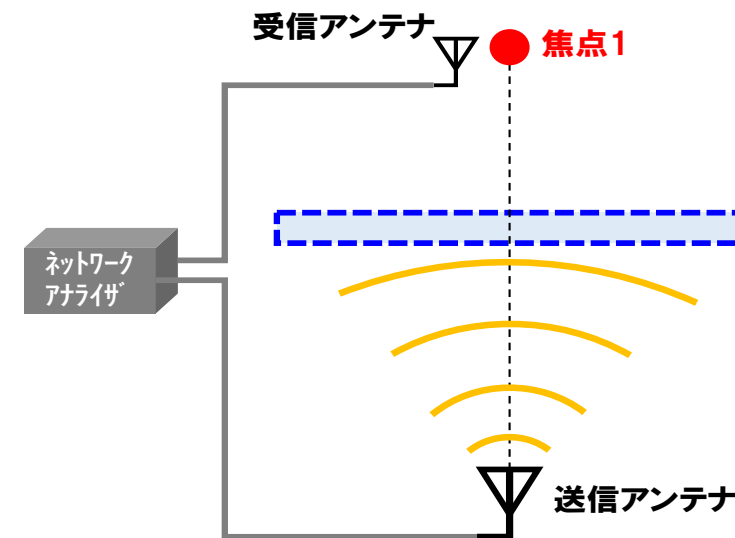
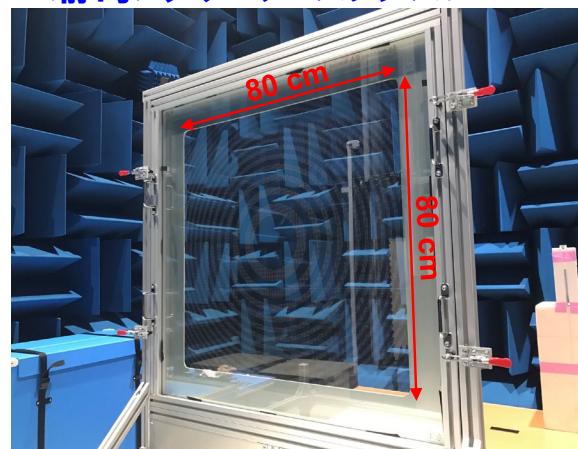


**【レンズ】**  
効果的な場所に電波を誘導

**【中継装置】**  
増幅し、面的な品質を確保

## 窓の電波レンズ化を実現するメタサーフェスレンズの開発

<静的メタサーフェスレンズ>



焦点1における受信電力測定結果

ガラス	+ メタサーフェスレンズ
0 dB	>24 dB



# ユーザー追従型メタサーフェス反射板実証実験



トピックス



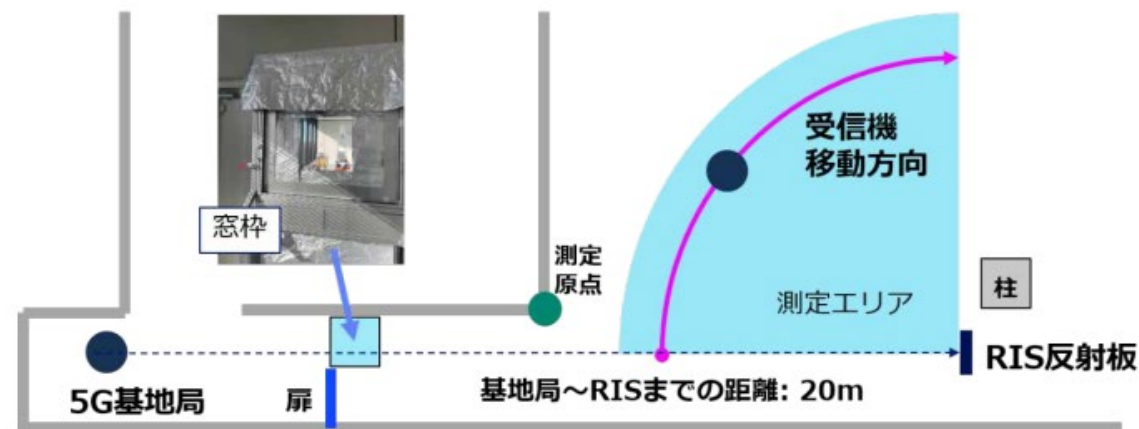
2021年11月12日  
日本電信電話株式会社  
株式会社 NTT ドコモ

## 世界初、6G時代の超カバレッジの実現に向けた ユーザー追従型メタサーフェス制御の実証に成功

～人や機材が遮蔽物になる屋内に、より快適なミリ波高速通信環境を提供～

日本電信電話株式会社(以下、NTT)と株式会社 NTTドコモ(以下、ドコモ)は、「電波反射方向を制御するメタサーフェス<sup>※1</sup>反射板(以下、RIS<sup>※2</sup>反射板)」と28GHz帯5G基地局(以下、基地局)を用いて、ユーザーの動きに合わせて基地局からの電波の反射方向を動的に変更させる実験に世界で初めて成功しました。<sup>※3</sup>

これにより、遮蔽(しゃへい)物により基地局のアンテナが見通せない場所でも、移動するユーザーに電波を届けることが可能となり、工場やオフィスなどの遮蔽物が多い場所での高周波数帯の電波の利用シーンが拡大します。今後は、6G時代を見据え、より高い周波数帯でも超高速無線通信を安定して提供するためのエリア化ツールとして実用化をめざし、検証を進めていきます。



<実験環境>

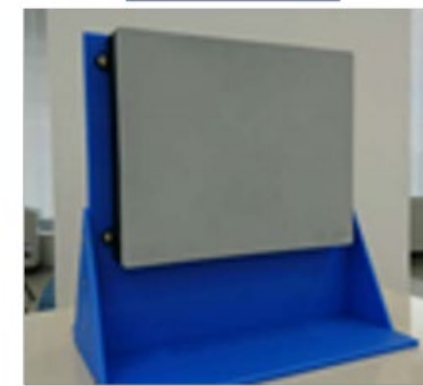
5G基地局



受信機



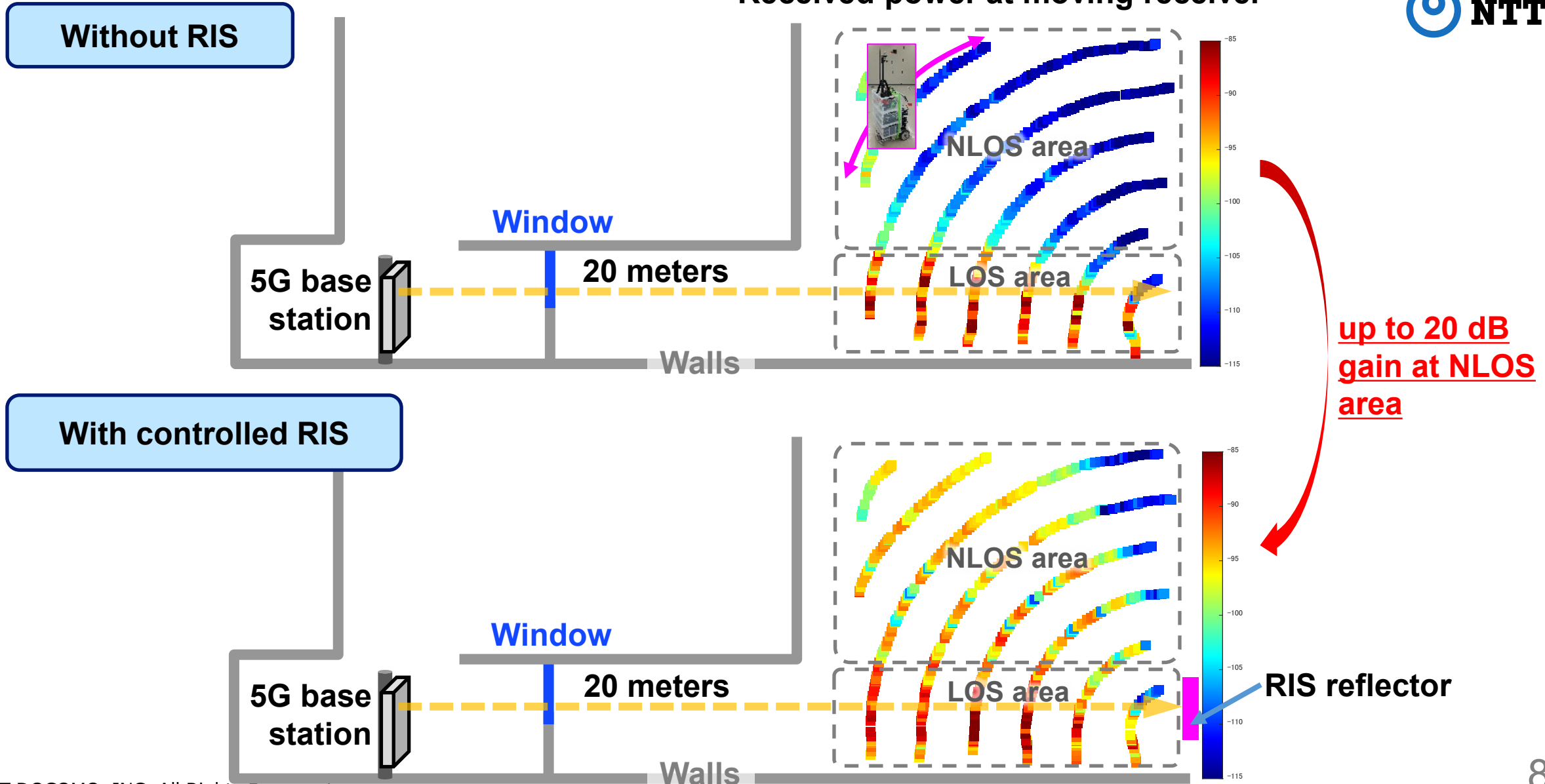
RIS反射板



<実験設備>

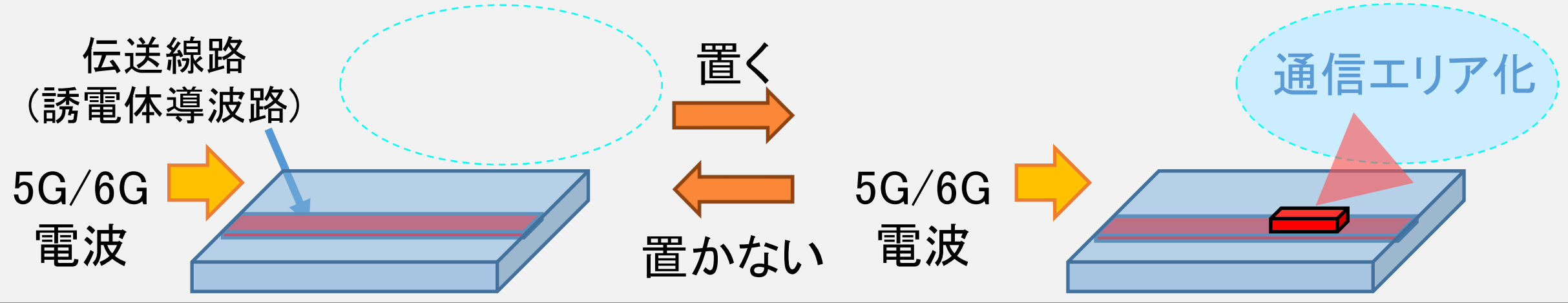
# ユーザー追従型メタサーフェス反射板実証実験結果

Received power at moving receiver





## 誘電体導波路上にアンテナを“置く”と電波を放射し周囲をエリア化する技術



### (構成)

- アンテナはプラスチック小片で構成
- 導波路片側から電波を強く放射でき、周囲をエリア化

### (ユースケース)

- 床、壁、平面に導波路を埋め込む
  - 建物、什器などとの一体形成可能な場所に適用

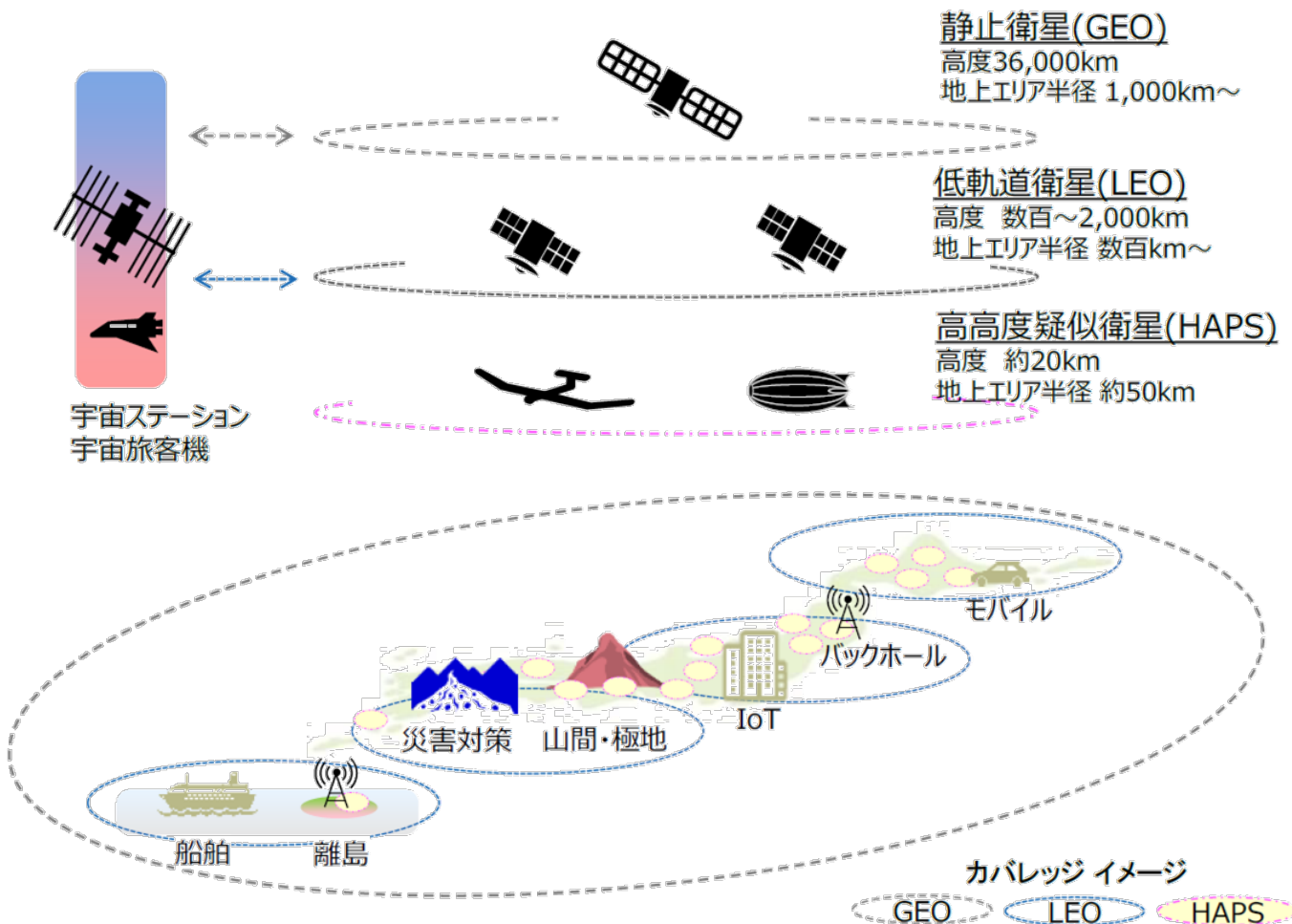


# 置くだけアンテナデモ



# カバレッジ拡大

- GEO/LEO/HAPSを用いる非地上ネットワーク (NTN) によって、面積カバレッジ100%の実現をめざす
- 地上の5G/6Gネットワークと連携したシームレスな接続によって、さらなる人・ものの活動環境の拡大と新規産業の創出をサポート



## 参画中の主なプロジェクト

電波資源拡大のための研究開発 (総務省より受託)  
「HAPSを利用した無線通信システムに係る周波数有効利用技術に関する研究開発」

Beyond 5G研究開発促進事業 (NICTより受託)  
「NTNノードのネットワーク化技術開発とカバレッジ拡張ユースケースのシステム開発・実証」

HAPS研究開発・商用化推進団体  
「HAPS Alliance」への加入

**HAPS Alliance**  
HIGH ALTITUDE PLATFORM STATION

GSMA HAPSホワイトペーパーの発表  
(海外オペレーターとの連名)



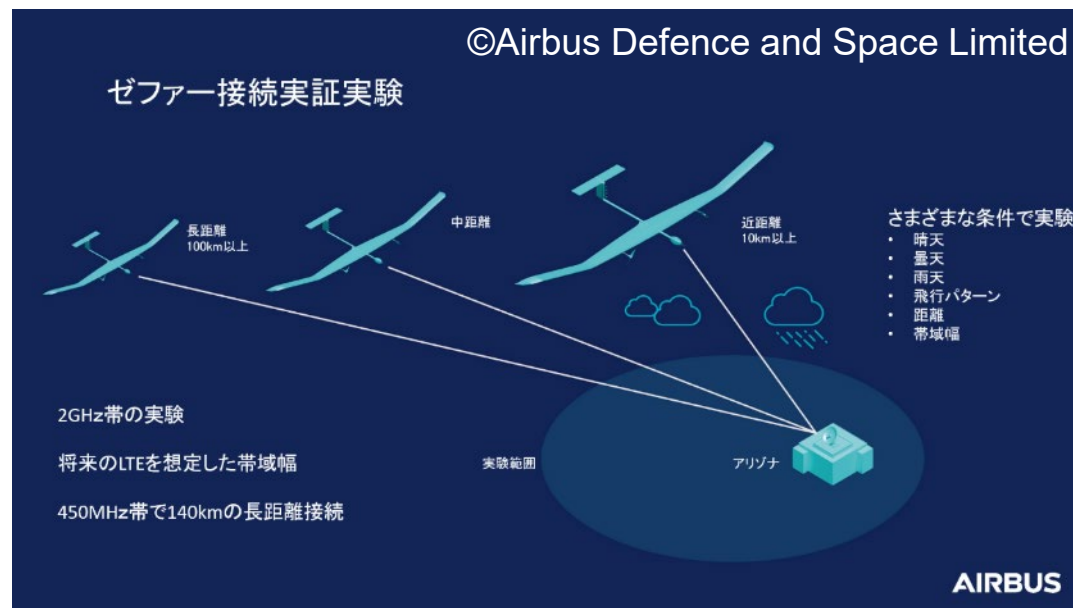


## ■ 試験概要

- 成層圏を飛行するHAPS“Zephyr S”から**UHF帯（2GHz, 450MHz）**の電波を地上に向け送信し、伝搬状況を測定
- **18日間**におよぶ成層圏フライトにより、**通信距離、気象条件、HAPSの飛行パターン**などの要因による影響を評価
- 地上のユーザがHAPSを介して利用できるスループットを複数想定し、**複数の帯域幅**で検証
- 450MHzでの試験では、**最大約140km**にわたり十分な通信品質を実現可能であることを確認
- **2021/11/15に報道発表**（題：ドコモとエアバス、18日間の飛行でHAPSから電波伝搬実験に成功）



“Zephyr S”離陸時の様子







## 概要

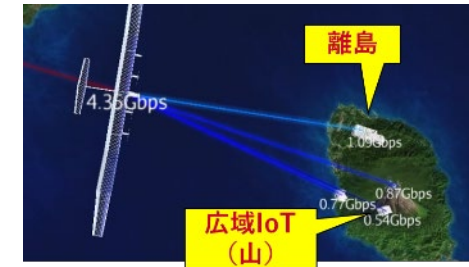
- HAPSによる空からのカバレッジ提供を模擬した「HAPSシミュレータ」を開発
- 今年度は上りリンク追加・CPE局 / UEダイレクトへの対応・干渉回避機能などを追加

## 1. HAPSシミュレータ構成

### 超カバレッジ性能評価のためのHAPSシミュレータを作成

- HAPSシステムの無線通信パラメータを設定すると、地上の様々な通信環境に応じてシステム容量を計算
- HAPSの様々なユースケースを実現するために必要な通信パラメータを計算  
シミュレータ諸元 (簡易版)

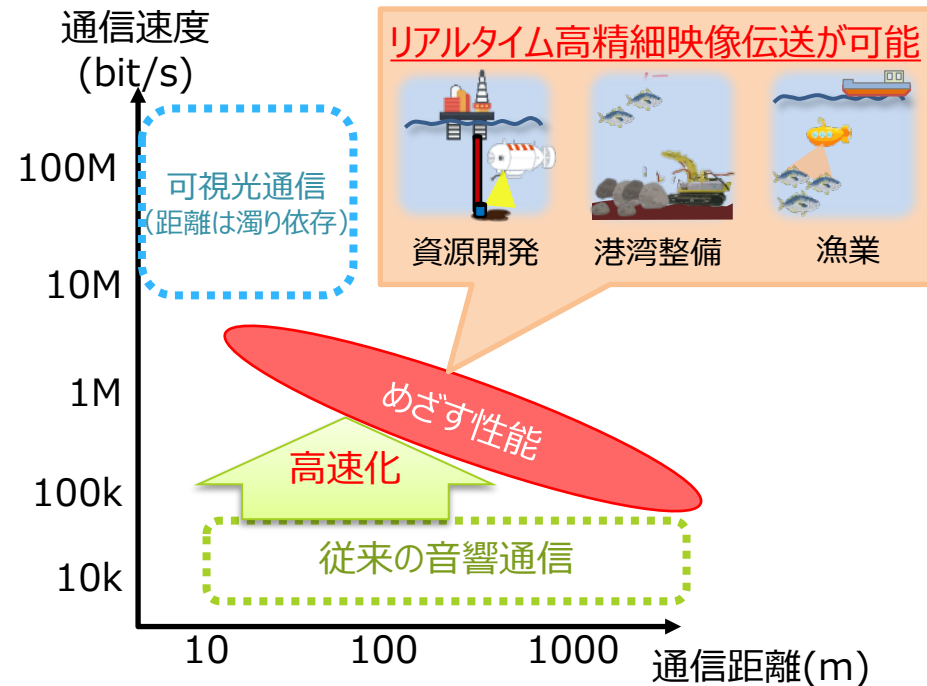
Parameter	Feeder link	Service link
Frequency	38 GHz	
Bandwidth	$\geq 100\text{MHz}$	
Transmission power	34 dBm	
Tx peak gain	50 dBi	30 dBi
Rx peak gain	30 dBi	
Pass loss model	Free space pass loss	
Rain attenuation	20 dB (when the clouds pass)	
Atmospheric absorption loss	1 dB	



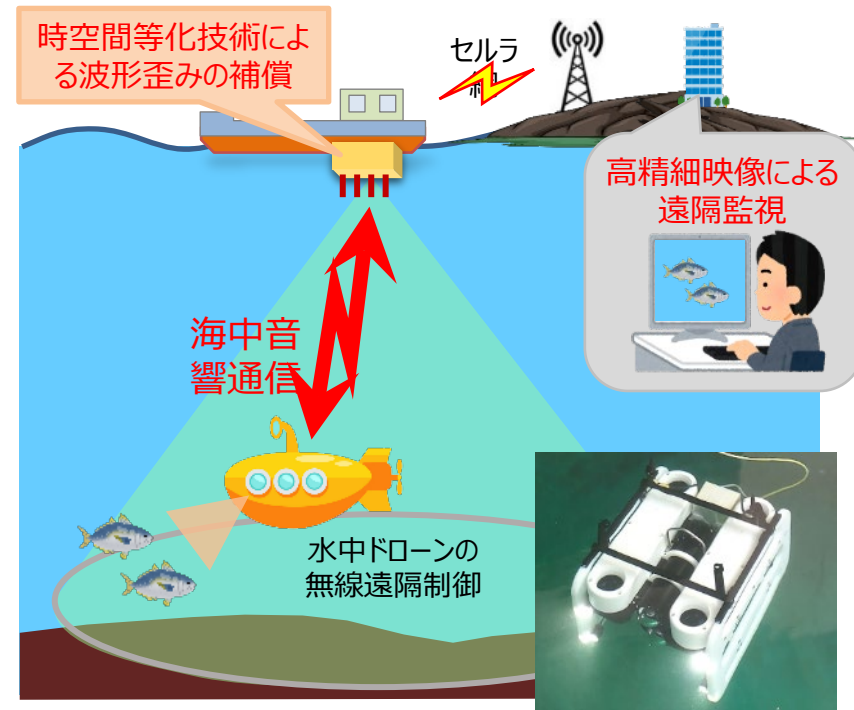
デモンストレーション：様々なHAPSユースケース

- 高速無線通信の未踏領域である海中エリアまでカバレッジを拡張
- 劣悪な波形歪みを補償する時空間等化技術により1Mbit/s超の海中音響通信を実現し、実海域で水中ドローンからの映像伝送にも成功
- 水中ドローンの無線遠隔制御の実現に向け、通信の双方向化・安定性向上、装置の小型・省電力化に取り組む中

## ■ 本技術の位置づけ



## ■ 海中音響通信技術



映像伝送実験で利用した水中ドローン

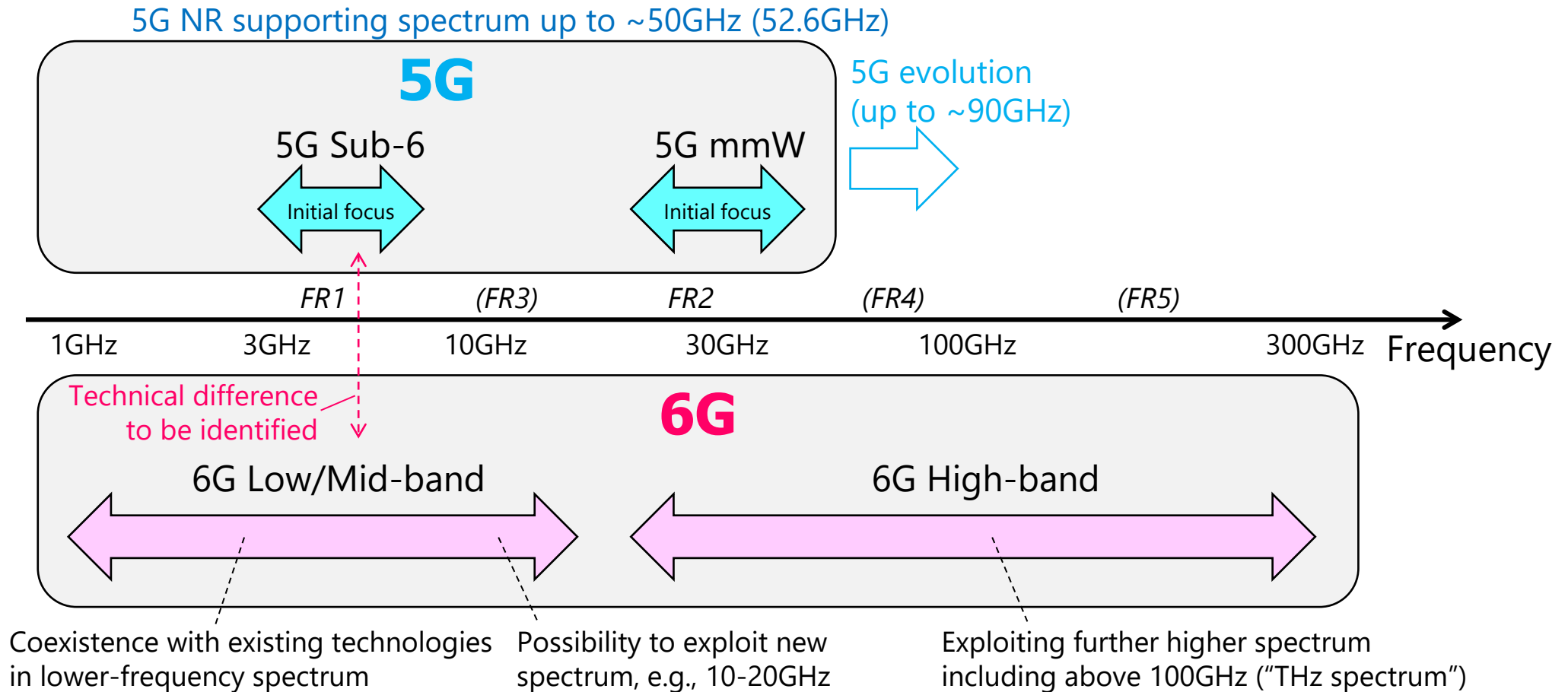


水中ドローンの吊下

テラヘルツ

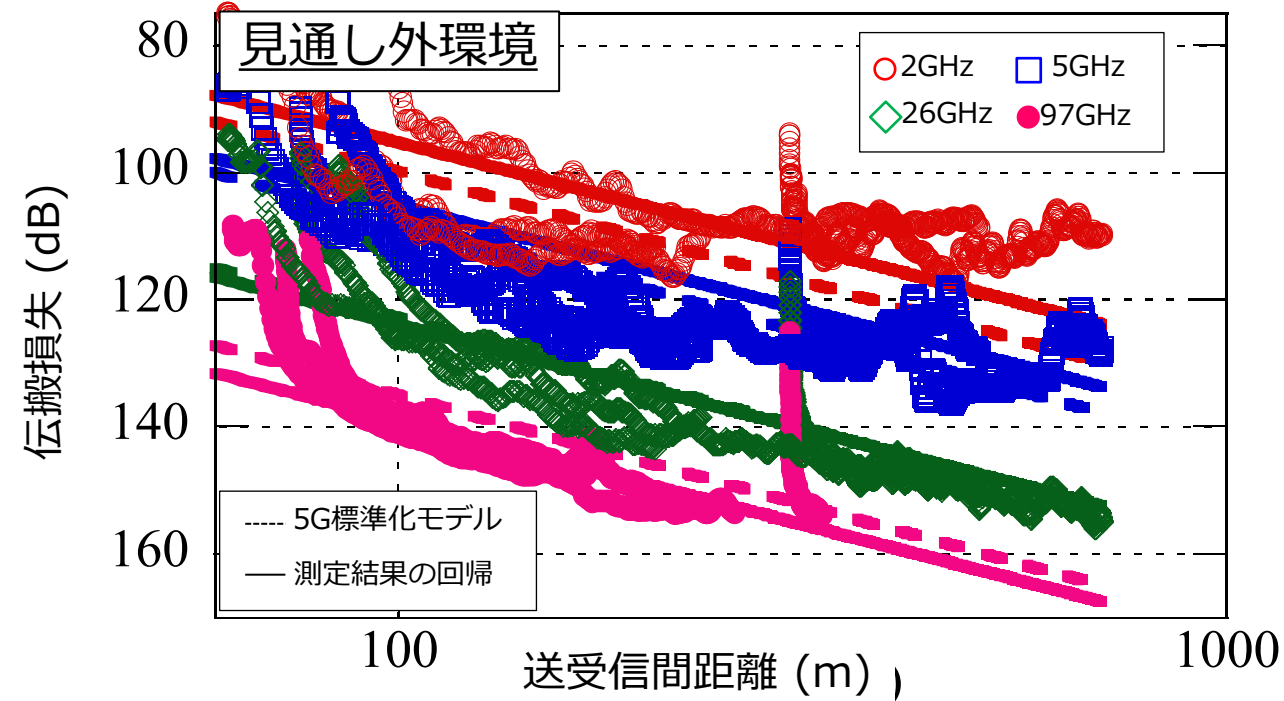
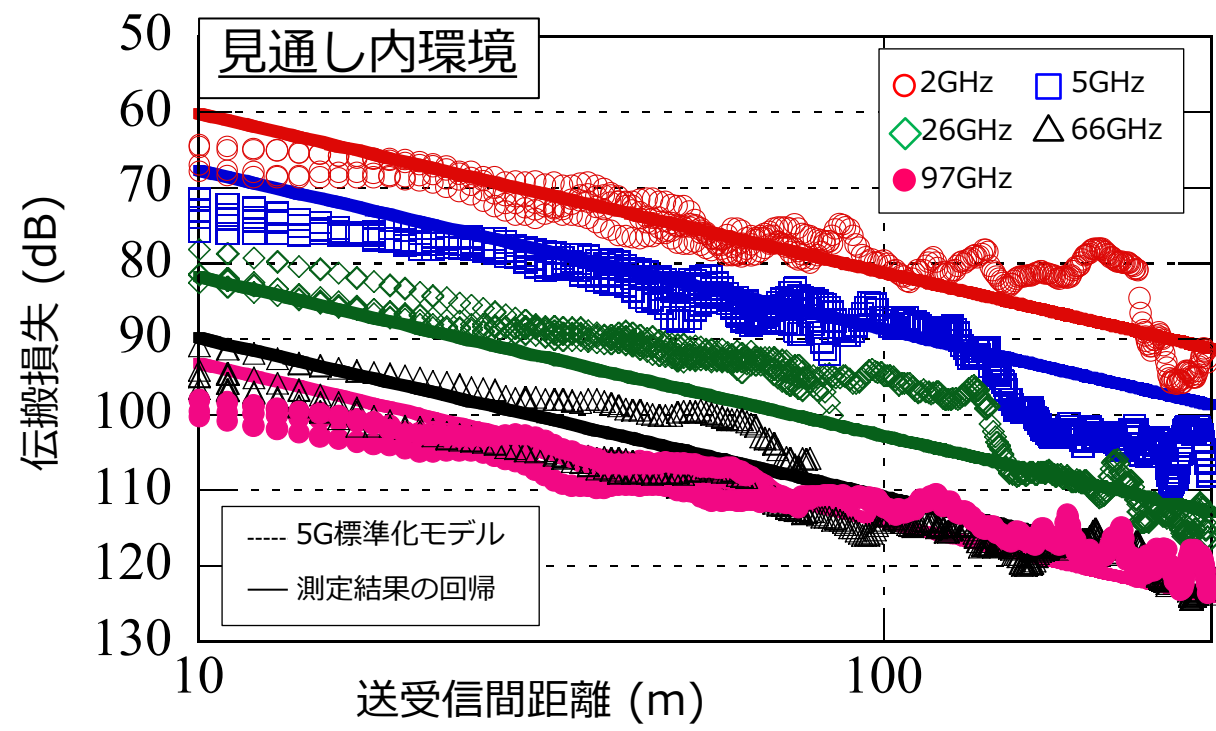
# 6Gに向けた高周波数帯の開拓

- 5G NRでは52.6GHzまでの周波数帯がサポートされ、将来に向けては90GHz程度までの拡張
- 6Gに向けては5Gよりさらに高い周波数帯の「ミリ波」, 「テラヘルツ波」(～300GHz帯)の利用を想定。飛躍的に広い帯域幅を利用して, 100Gbpsを超える「超高速・大容量」を実現



# 100GHz帯における市街地伝搬損失の測定

- 見通し内環境は、5G標準化モデルと同一
- 見通し外環境は、5G標準化モデルよりも周波数の減衰係数が大きい  
⇒ 100GHz帯と既存周波数帯の損失差は5G標準化モデル以上に大きくなる



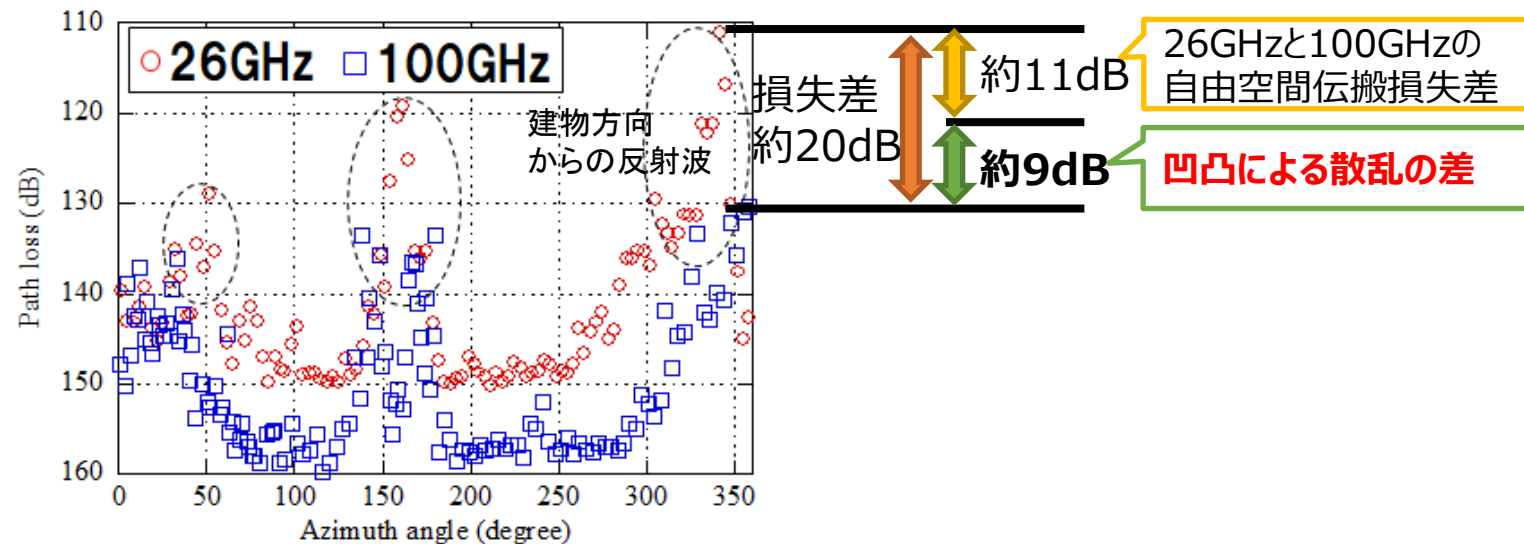
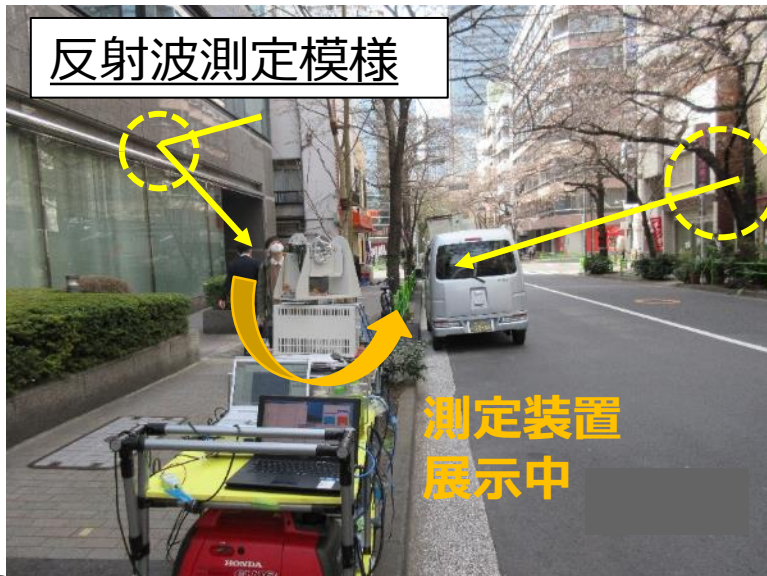
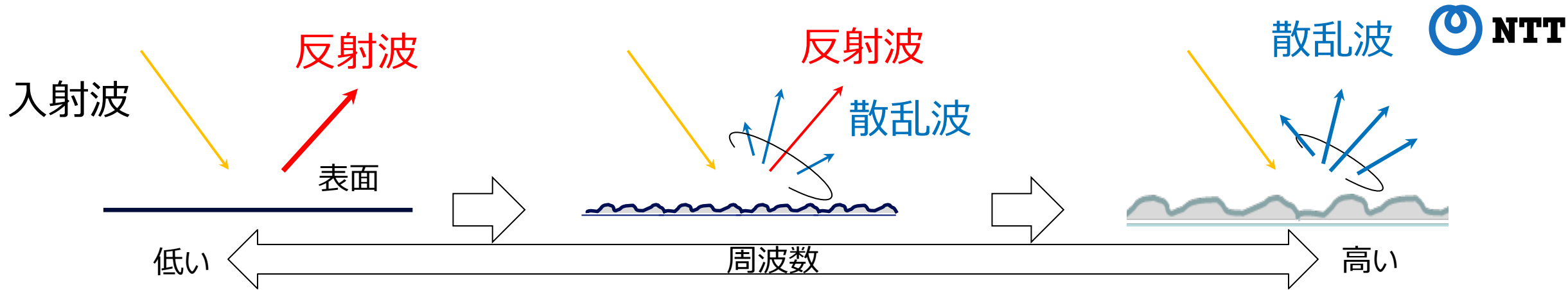
	距離の減衰係数	固定損失 (dB)
測定結果	2.1	$32.4 + 20\log_{10} f_{GHz}$
5G標準化モデル	2.1	$32.4 + 20\log_{10} f_{GHz}$

	距離の減衰係数	固定損失 (dB)	周波数の減衰係数
測定結果	3.36	19.0	<b>2.65</b>
5G標準化モデル	3.53	22.0	<b>2.13</b>



# 市街地において周波数特性に影響を与える要因

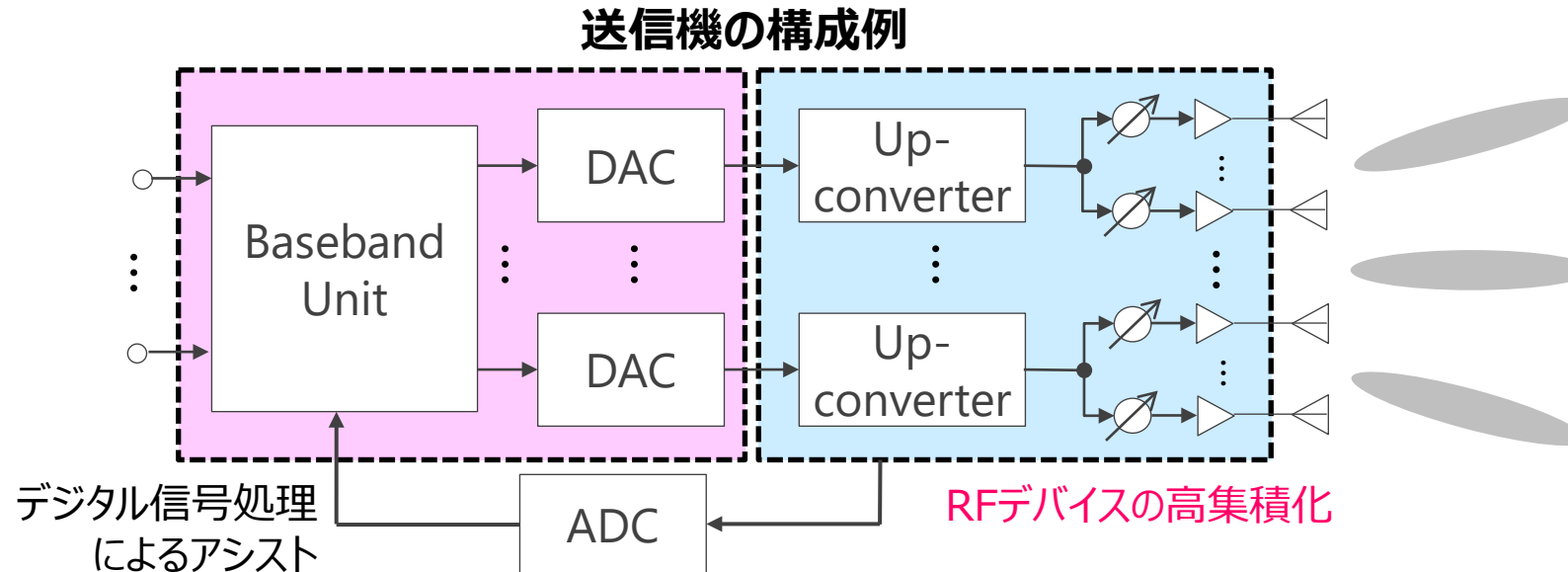
- 周波数が高くなるほど波長は短くなるため構造物の凹凸により、電波が散乱し、反射波の電力が減少。
- 市街地の反射波測定では、100GHzは26GHzと比べて凹凸による散乱損失が約9dB大きい結果を確認。



角度プロフィール測定結果



- さらなる広帯域化に対応できるデジタル信号処理回路，DAC，ADCを低コストかつ低消費電力で実現
- 高周波数帯RFデバイスをMassive MIMO（超多素子アンテナ）に対応できるように開発し，高性能化・高集積化に加えて，実サービスで使用できるレベルの精度とコストで製造
- 配線損失も大きいので，チップ・回路の構成，アンテナとの接続などの実装方法も大きな課題
- アナログデバイス自体の性能追求と，デジタル信号処理によるデバイス性能向上は最適化が必要．化合物系とシリコン系のどちらの半導体を採用するかは継続した課題
- 端末への活用を考慮し，小型化や低消費電力化，高い放熱性も重要

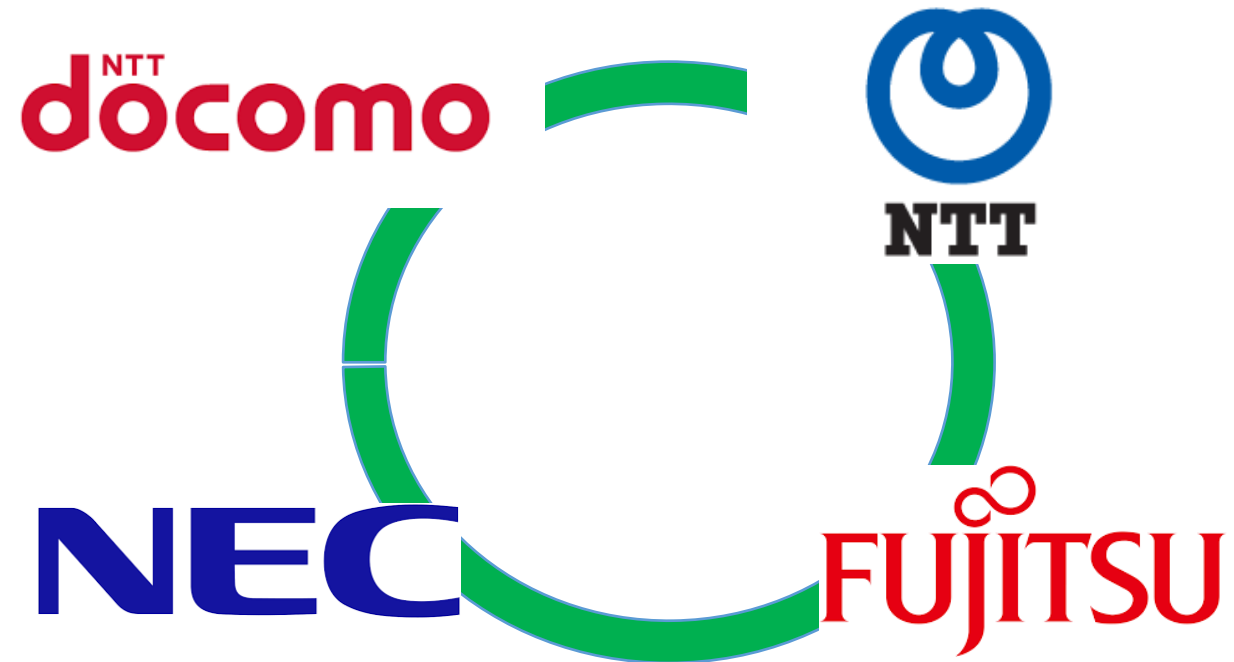


総務省「電波資源拡大のための研究開発」の  
「100GHz以上の高周波数帯通信デバイスに関する研究開発」を  
日本電気株式会社、日本電信電話株式会社、富士通株式会社とともに受託

見通し内通信において

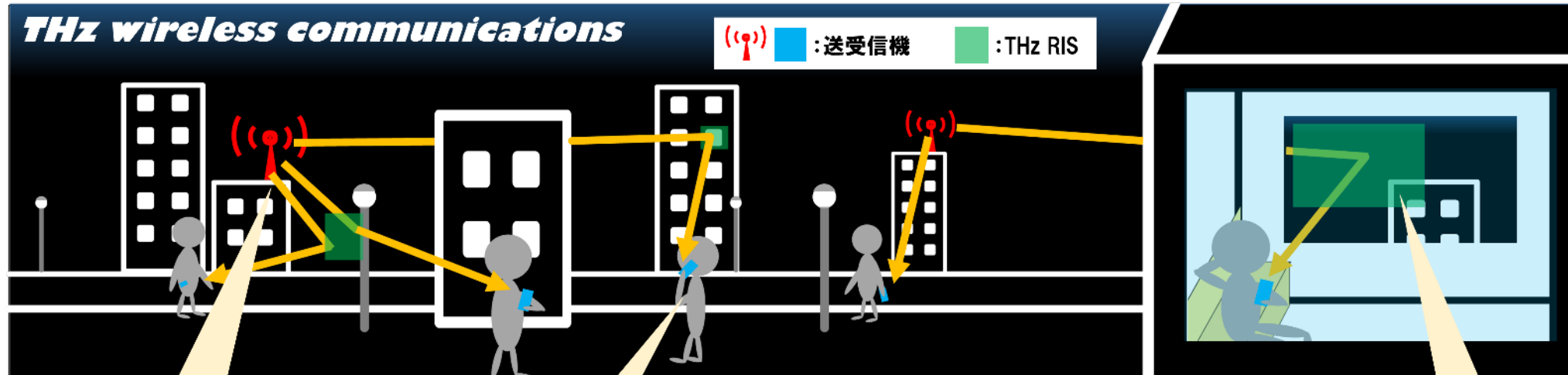
**100GHz以上、**  
**伝送距離100m以上、**  
**スループット100Gbps**  
を実現する技術の確立

- 100素子以上からなるAPAAにて、100GHz超帯でEIRPが50dBm以上の出力を実現
- 100GHz超帯において出力10W以上かつ効率20%以上、300GHz帯において出力100mW以上かつ効率5%以上の高出力増幅器の開発

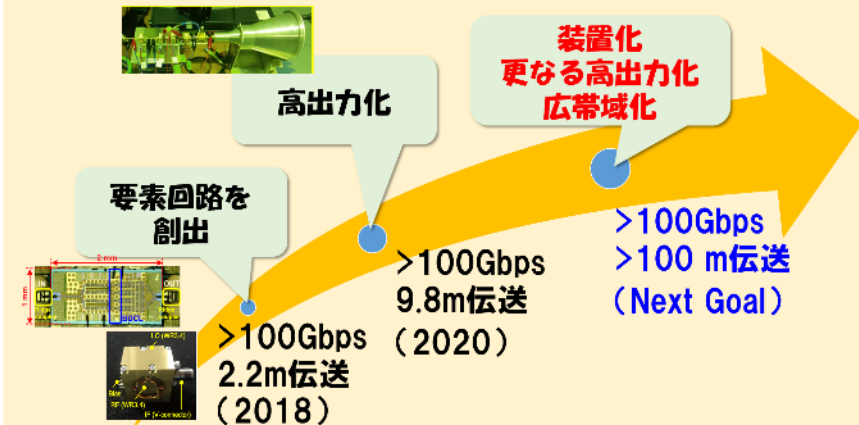


# テラヘルツ無線通信を実現する高速アナログ技術

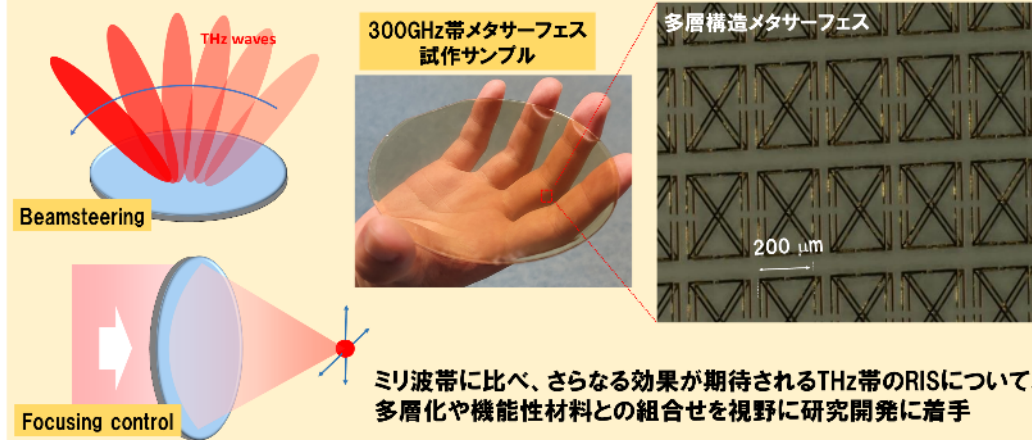
- 100Gbpsを超える超高速無線データ伝送を可能とするテラヘルツ帯高速アナログIC/モジュール技術
- 遮蔽物の影響を受けやすいテラヘルツ波の伝搬制御を可能とするTHz RIS(Reconfigurable Intelligent Surface) デバイス



## “300GHz帯高速アナログIC/モジュール”の取り組み



## “THz帯 RIS”の取り組み

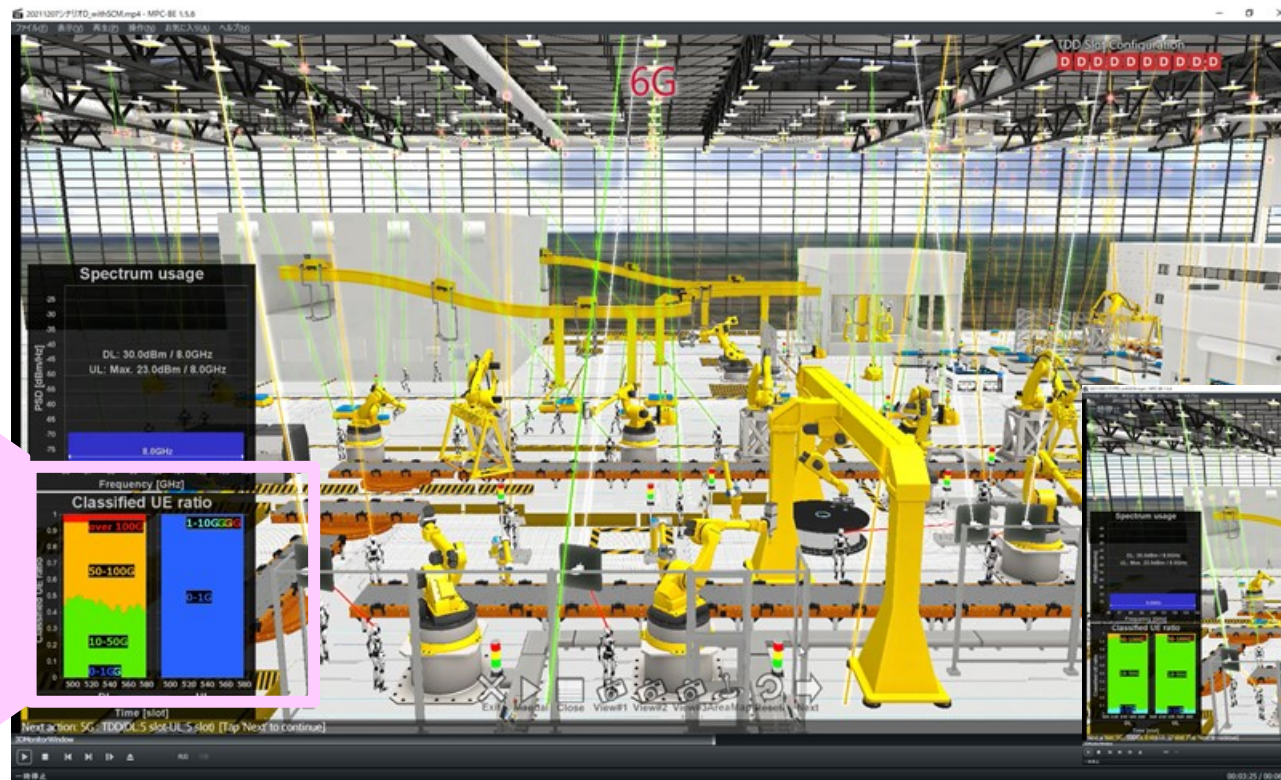
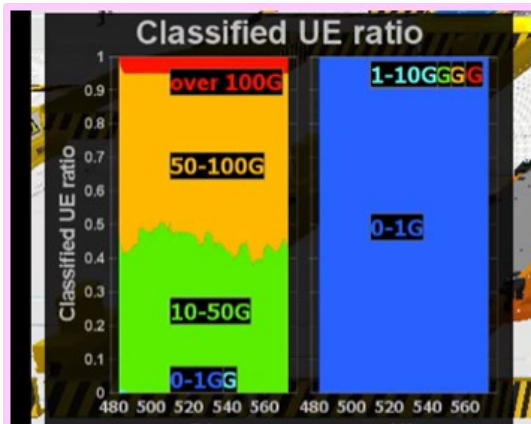




- 6Gの100 Gbps超高速通信評価のためのリアルタイムシステムシミュレータ
- 6GではSub-6やミリ波に加え、100 GHz以上のテラヘルツ波の利用を検討
- 本シミュレータでは、工場を模擬したシナリオにおいて、6Gで100 GHzを利用し、100 Gbps超のユーザスループット達成を確認

中心周波数	100GHz
帯域幅	8000MHz
基地局素子数	4608
基地局送信電力	17 dBm
移動局送信電力	10 dBm
TDD比率	可変

ユーザスループット割合 (DL, UL)



DL:UL = 10:0



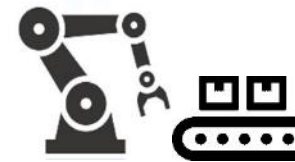
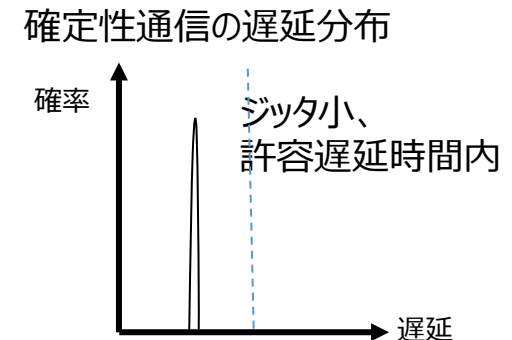
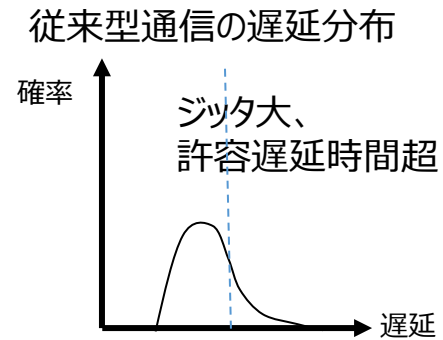
DL:UL = 5:5



# 産業利用

## ■ 確定性通信の特徴

- ネットワーク各ノードとデバイス間で時刻同期し、許容遅延時間内のデータ到達と低ジッタ性を保証する時間確定的 (Deterministic) 通信
- 工場オートメーションなど、一定時間内到達データを即時処理する (遅延分を待たない) アプリケーションで利用



工場内の精密作業ロボット制御などで利用

## ■ オープンエリアへの適用

- 距離が長くなる分、時刻同期に対応するノード数と処理数が増加
- 閉空間と異なりアンテナ設置場所の自由度が少なく、反射波も期待できない環境
- クリアすべき課題はあるが、オープンエリアで確定性通信が必要とされるサービスが存在

– サービス例 :



屋外の作業車、搬送ロボット



鉄道運行



証券取引

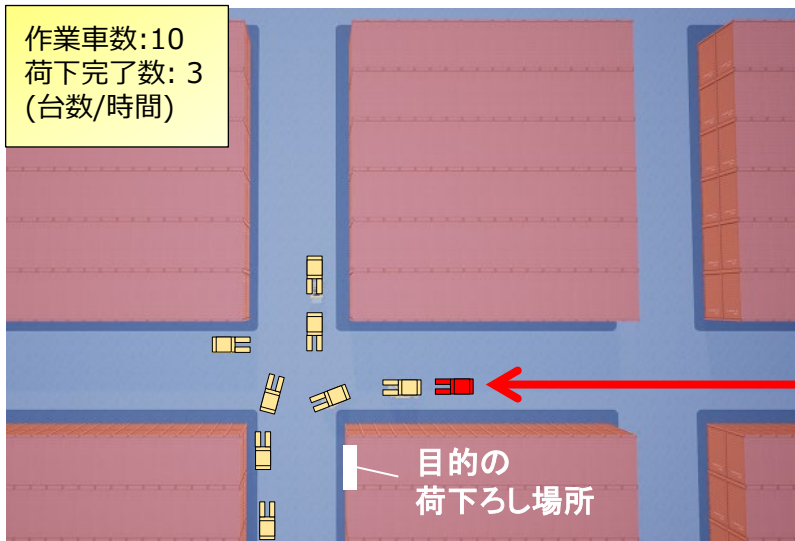


## ■適用シーン

- フォークリフト群によるトラックからの荷下ろし
- エッジクラウド上のAIでフォークリフト群を遠隔制御
  - AI-フォークリフト群間の遠隔制御に確定性通信を適用、低ジッタにより作業車群が通信ロスなく稼働
  - 適用なしの場合に比べ単位時間当たりで多くの荷下ろし実現

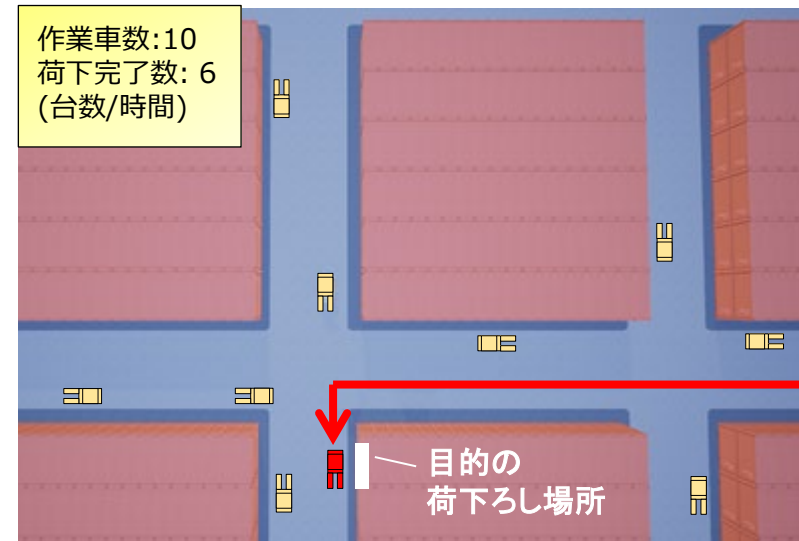


確定性通信適用無しの場合



AI-作業車間通信のジッタが積重なると作業や移動が遅滞しやすく、移動時間が長くなる

確定性通信を適用した場合



ジッタによるロスがなく移動時間が短くなり、全体的な作業効率が向上

あなたと世界を変えていく。

<sup>NTT</sup>  
docomo