

5Gの高度化と6Gに向けた最新の取り組み

須山 聡

株式会社NTTドコモ
6G-IOWN推進部

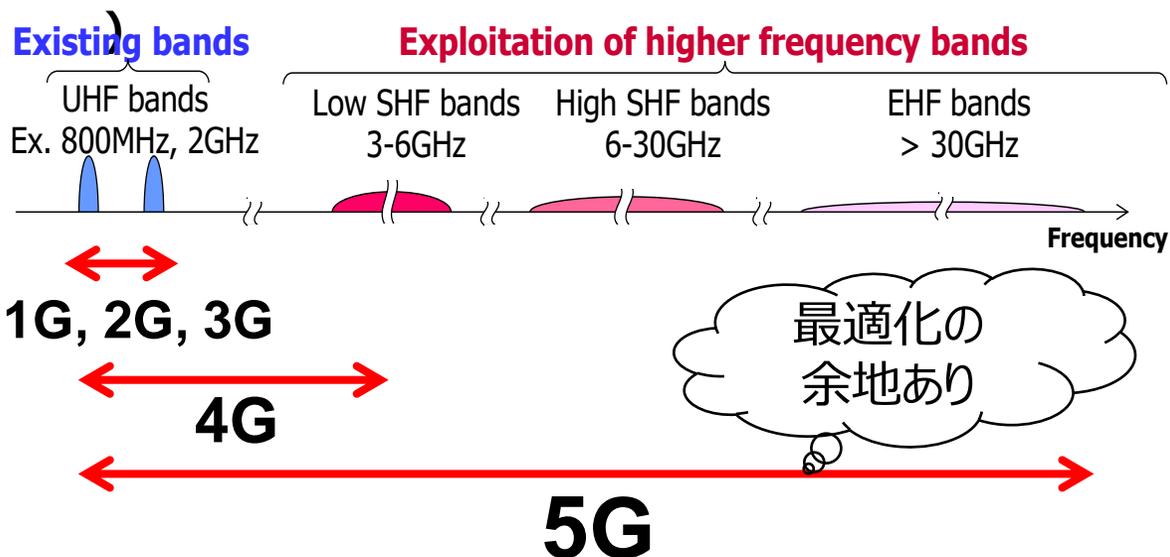


■ 5Gの高度化（5G Evolution） & 6G

- 展望と最新動向
- ユースケース開拓
- 要素技術
 - カバレッジ改善技術
 - サブテラヘルツ波の活用技術
 - 非陸上を含めたカバレッジ拡張技術
 - 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
- 実証実験の推進

5G Evolution & 6G ～展望と最新動向～

■ ミリ波は5Gが最初の世代 (@移動通信)



■ 産業界からの高い注目



非常に高い性能が必要



■ キーとなる技術課題

ミリ波カバレッジの改善

上りリンクの性能改善

産業向けユースケースへの高性能提供

Beyond 5G/6Gに向けた世界動向

世界的にBeyond 5G/6Gに関するプロジェクトが立ち上がり、多くのWhite Paperが公開されている



中国

- 2019年 工業情報化部、科技部、発展改革委員会が指導するIMT-2030推進組発足、6Gが全面的に検討されている
- 科技部が6Gの国プロに多額な資金を拠出
- 2020年3月以来、IMT-2030 推進組、CCID, FuTURE Forum, CCSA, CMCC, CU, Vivo, CATTが計21本のWhite Paperを発表。6Gのビジョン、標準化・商用のスケジュール、8大応用シナリオ、10大候補技術を含む



米国

- 2019年3月 FCCがテラヘルツ (THz) 帯の利用を研究用途のみに解禁
- 2019年3月 100GHz以上の商用化を目指した推進グループmmWave Coalitionが発足
- 2020年10月 ATIS内に、NEXT G Alliance発足。6 Working Groupにて検討開始。
- 2022年1月 6Gロードマップに関するNGAレポート公開予定

日本

- 2019年6月 NTTが6Gを見据えたネットワーク構想IOWNを発表
- 2020年1月 総務省がBeyond 5G推進戦略懇談会開催。12月にBeyond 5G推進コンソーシアム、Beyond 5G新経営戦略センター設立
- 2020年1月 NTTドコモWhite Paper発表
- 2021年 NICT, NEC, KDDIがWhite Paper発表
- **2022年3月 Beyond 5G推進コンソーシアム白書発表**

韓国

- 2019年 LGが、KAISTと6G研究開発センターの設立を発表
- 2019年 Samsungが6Gコア技術の開発拠点となる研究センターを設立
- 2020年7月 SamsungがWhite Paper発表
- 2020年8月 韓国政府が6Gに向けた未来移動通信R&D推進戦略発表
- 2021年6月 韓国政府が6G研究開発実施計画を策定

欧州

- 2018年4月 フィンランドアカデミーがOulu大提案の6GenesisをFlagship Programmeに決定
- 2019年2月 Oulu大等が6G Flagshipの立ち上げを発表し、9月にWhite Paper公開
- 2020年11月 Surrey大 6GIC設立
- 2020年 5G-PPP主導により欧州委員会が資金提供するBeyond 5G関連プロジェクトとして、Hexa-X, RISE-6Gなどが発足
- 2021年4月 ドイツ政府主導の6G推進活動発表
- 2021年6月 European Vision for the 6G Network Ecosystem
- 2021年6月 6G研究促進のための団体one6G設立
- 2021年11月 欧州委員会が2021~2027年までの期間に9億ユーロ規模のSNS JU 創設を発表。

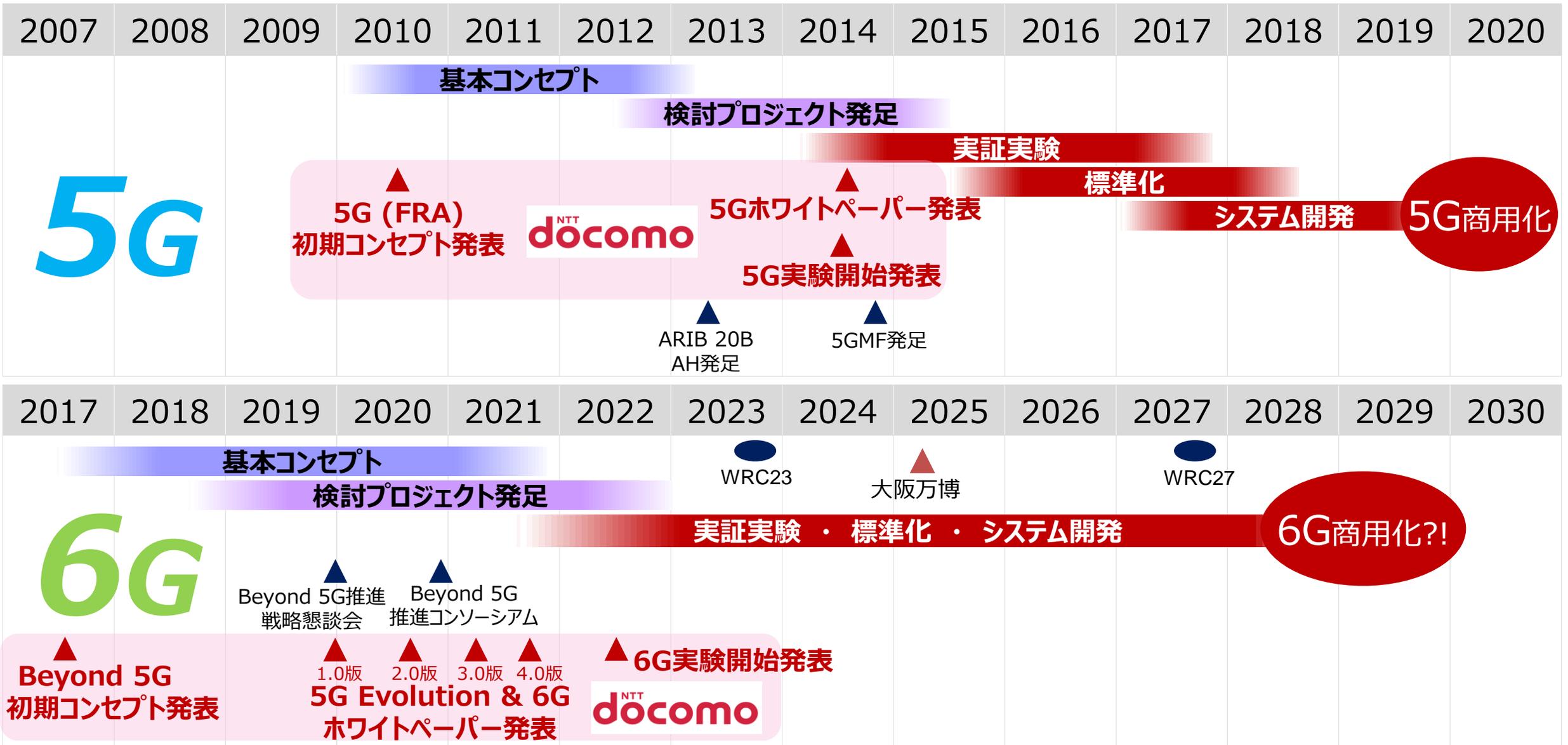


2019年5月 ITU-T Network 2030 White Paper発表
2020 ITU-R WP5D IMT.VISION 2030 AND BEYONDおよびIMT.FUTURE TECHNOLOGY TRENDS作業中
2022年6月 Workshop on IMT VISION for 2030 AND BEYOND 開催



2021年4月 White Paper focusing on the 6G Drivers and Vision発表
2022年2月 6Gユースケース発表予定

5G開発経緯と6Gスケジュール展望

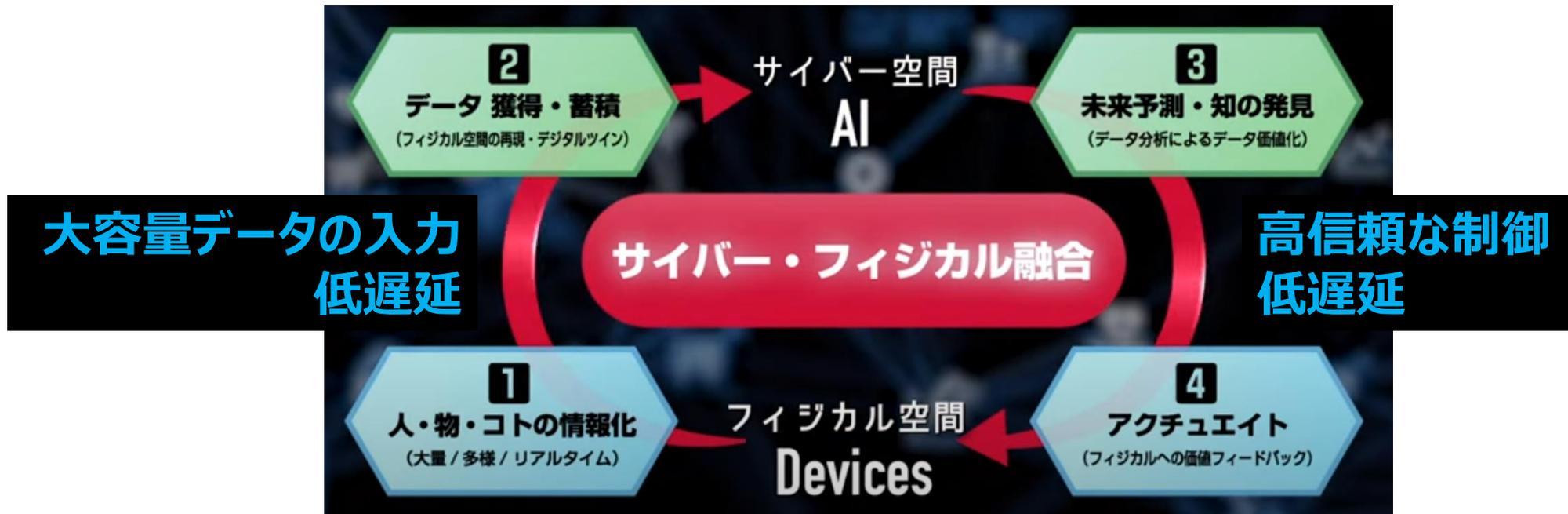


5G Evolution & 6G コンセプト映像

by NTT DOCOMO

<https://www.youtube.com/watch?v=NjIeYrBdydA>

- 2030年代における高度なサイバー・フィジカル融合では、AIが実世界をサイバー空間上に再現し（デジタルツイン）、実世界の制約を超えてエミュレートすることで「未来予測」や「新たな知」を発見することが可能
- これを実世界へのサービスへ活用することで、社会問題の解決等、様々な価値やソリューションの提供を実現
- 6Gの役割としては、実世界の映像やセンシング情報等の大容量かつ低遅延な伝送、高信頼かつ低遅延な制御信号伝送による実世界へのフィードバック（アクチュエイト）が想定され、高度なサイバー・フィジカル融合を実現する上では超高性能な無線通信が必要不可欠



ホワイトペーパー「5Gの高度化と6G」の更新

ホワイトペーパー「5Gの高度化と6G」を2021年11月8日に4.0版として更新



目次	
1. はじめに	3
2. 進化の方向性「5G evolution and 6G」	4
2.1. 5G evolution への進化の方向性	4
2.1.1. 5G evolution への考察	4
2.1.2. 3GPP Release 17 および Release 18 標準化動向	6
2.2. 6G への考察	7
2.3. IOWN との融合による更なる高度化の方向性	10
3. 要求条件とユースケース	11
3.1. 超高速・大容量通信	11
3.2. 超カバレッジ拡張	12
3.3. 超低消費電力・低コスト化	12
3.4. 超低遅延	13
3.5. 超信頼通信	14
3.6. 超多接続&センシング	14
4. 6G時代の新たな提供価値	15
4.1. 移動通信システムの世代と提供価値の遷移 ～Smart から Well-being へ～	15
4.2. 6G時代に注目すべき技術	16
4.2.1. 人間拡張	16
4.2.2. プレインテック	17
4.2.3. 感覚の共有	17
4.2.4. 感覚情報の多層化	17
4.3. 6Gネットワークを用いた Well-being の実現	17
4.4. 6G時代のユースケースの可能性	19
4.4.1. ユースケース例	19
4.4.2. システム構成	19
5. 技術発展と検討領域	20
5.1. 空間領域の分散ネットワーク高度化 (New Radio Network Topology)	21
5.1.1. “線”による分散アンテナ展開	22
5.1.2. RIS による無線伝搬路制御	23
5.1.3. 端末間協調送受信技術	24
5.1.4. センシングや省エネ通信と Win-Win な分散アンテナ展開	24
5.2. 非地上 (Non-Terrestrial Network) を含めたカバレッジ拡張技術	25
5.3. 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	28
5.4. Massive MIMO 技術および無線伝送技術のさらなる高度化	30
5.5. 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	32
5.6. 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	33
5.6.1. セルラーネットワークにおける無線センシング	34
5.6.2. AI アバターがエンドポイントとなる通信	35
5.7. 移動通信以外の無線通信技術のインテグレーション	36

ドコモ ホワイトペーパー 「5Gの高度化と6G」

1.0版 (2020年1月22日公開)

2.0版 (2020年7月17日公開)

3.0版 (2021年2月2日公開)

4.0版 (2021年11月8日公開)

https://www.docomo.ne.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/

上記サイトにおいて、5G Evolution & 6Gの**コンセプト映像**も公開中

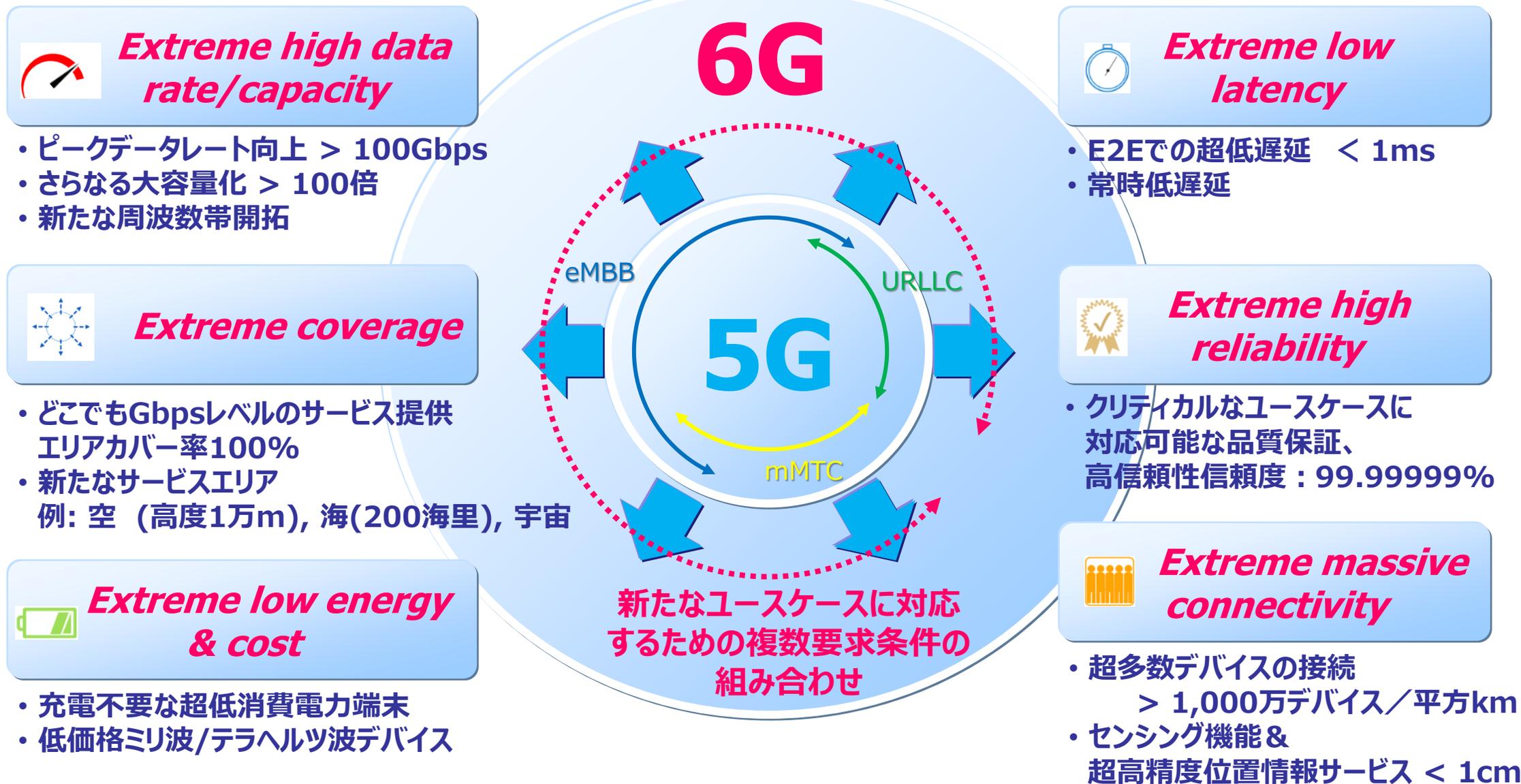
NTTドコモ, “ホワイトペーパー : 5Gの高度化と6G (4.0版),”2021年11月.

https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/DOCOMO_6G_White_PaperJP_20211108.pdf

5G Evolution & 6G powered by IOWN

IOWNの超大容量・超低遅延・超低消費電力を特徴とする光を中心とした革新的なNW・情報処理技術を有機的に融合し、5G Evolution & 6Gはエンド-エンドで多様な価値を提供する次世代情報通信インフラへ進化





5G Evolution & 6G ～ユースケース開拓～

6G時代の新たなユースケース



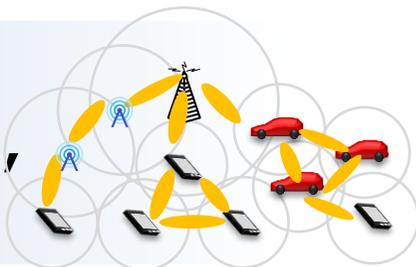


参考資料 : https://www.docomo.ne.jp/special_contents/brand/society/04/

5G Evolution & 6G ～要素技術～

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（カバレッジ改善技術,
New Radio NW 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
（サブテラヘルツ波の活用技術）



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



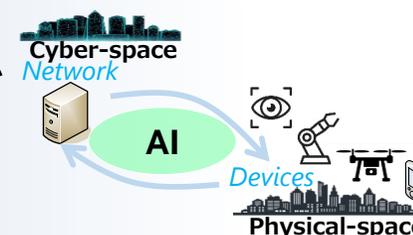
Massive MIMO技術および
無線伝送技術のさらなる高度化



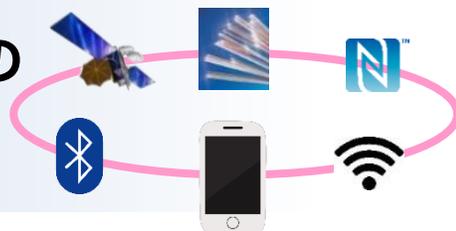
低遅延・高信頼通信（URLLC）
の拡張および産業向けネットワーク



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



移動通信以外の無線通信技術の
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

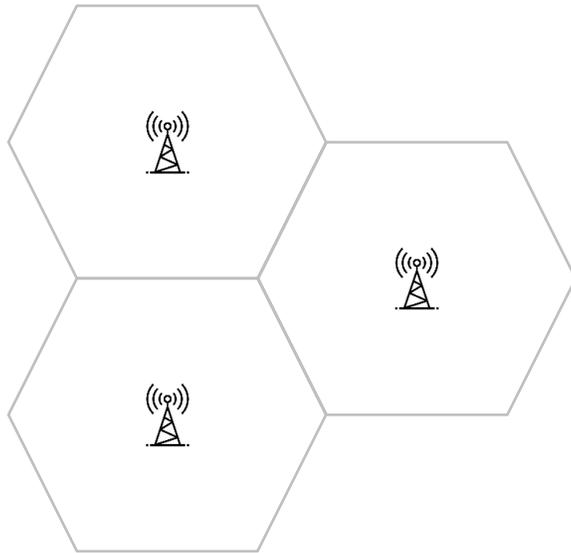


カバレッジ改善技術
～New Radio Network Topology～

■ 超高速大容量化（特に上りリンク） や無線通信の信頼性向上を追求

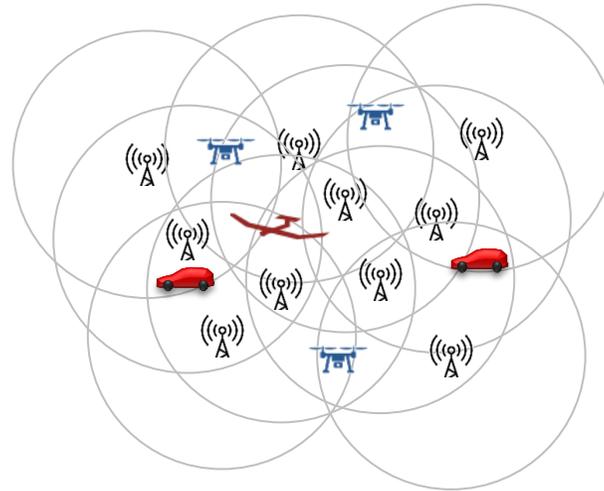
- できるだけ近い距離や見通し環境（ロスの少ないパス）で通信
- できるだけ多数の通信路をつくり，パス選択の余地を多くする（冗長性を増やす）

空間領域で分散した無線ネットワークトポロジー

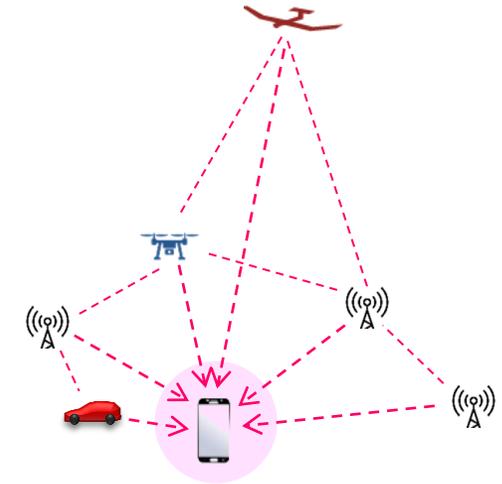


“Coordinated”

クラシカルなセル構成



“Overlapping/moving”



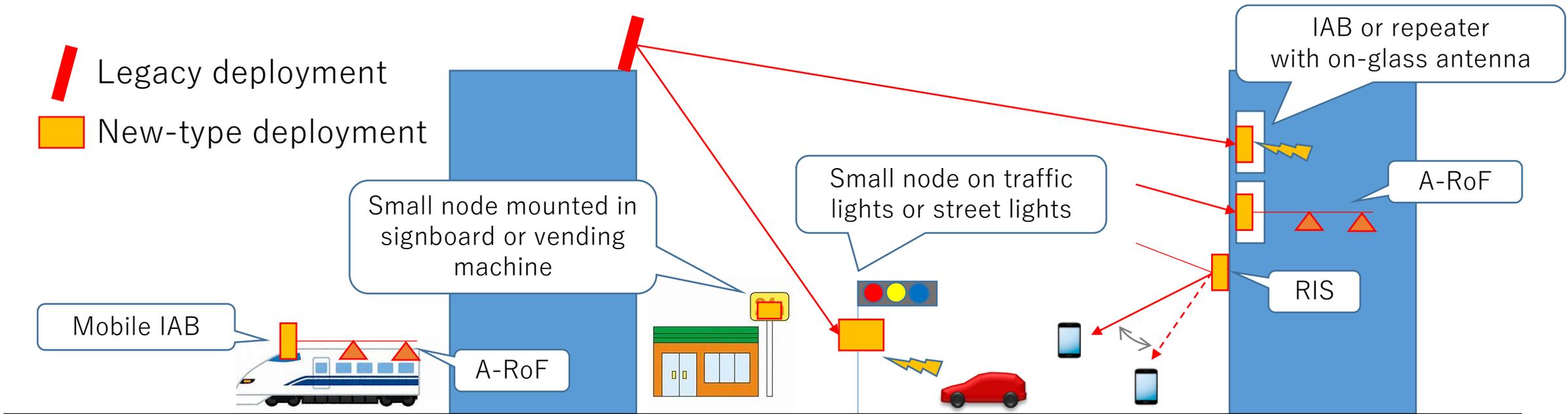
“Multiple connection paths”

- ✓ 高周波数帯の利用と分散MIMO
- ✓ 高精度なセンシング（測位，物体検知）
- ✓ 近距離から低電力で省エネ送信
- ✓ 近距離から無線給電

低コストな実現方法が課題

■ 基本は従来型の基地局（BS）アンテナを用いないソリューション

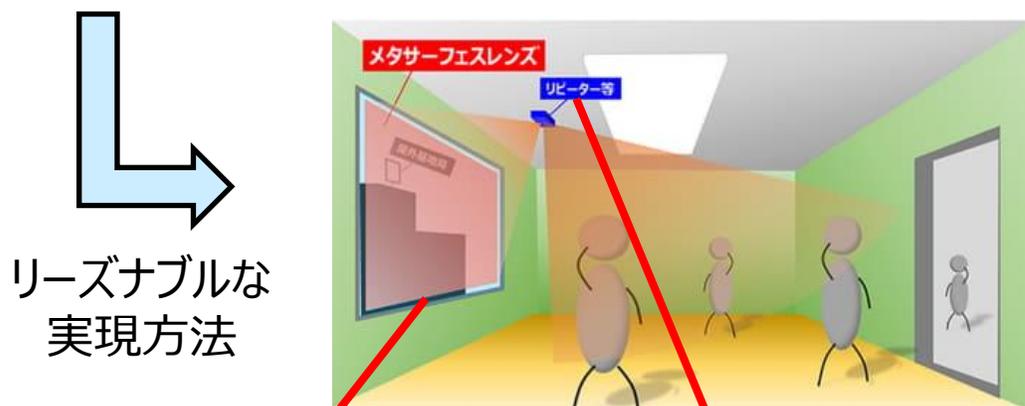
- 街灯，照明，看板，自販機，窓ガラスなど既存オブジェクトの通信のアンテナへの利用
- センサと通信アンテナの統合
- IAB（Integrated Access and Backhaul）やリピータなどの無線中継技術の高度化
- 反射板技術（RIS: Reconfigurable Intelligent Surface）
- A-RoF（Analogue-Radio on Fiber）
- 曲がるアンテナ，つまむアンテナ，置くだけアンテナ（誘電体導波路の活用）
- 端末間連携，端末のような基地局
- 上りリンク受信専用ノード



高周波数帯の屋内エリア構築手法

窓の電波レンズ化を実現するメタサーフェスレンズ

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	◎	△

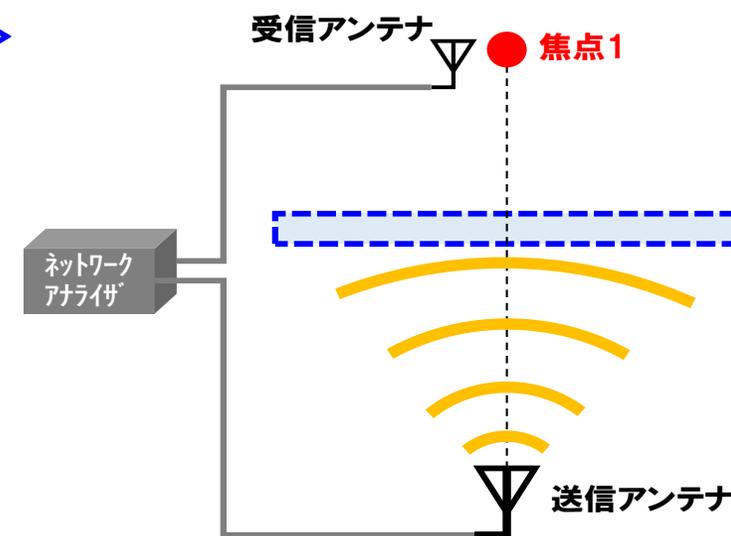
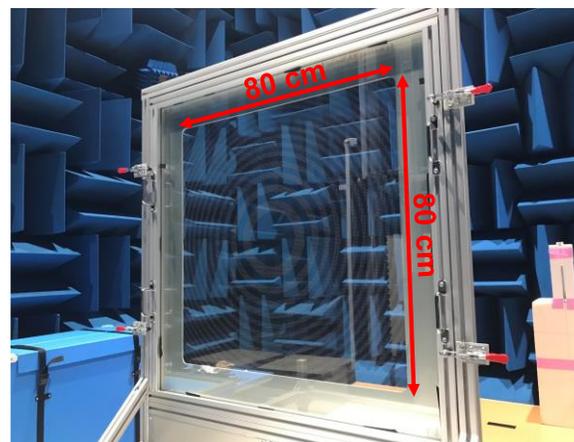


リーズナブルな
実現方法

【レンズ】
効果的な場所に
電波を誘導

【中継装置】
増幅して面的な
エリアを展開

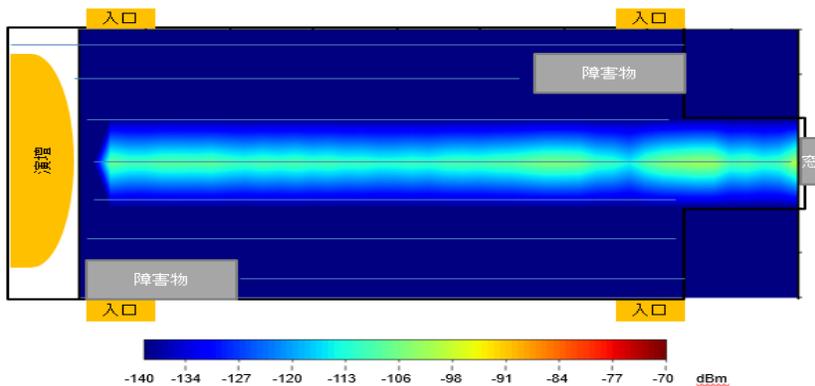
<静的メタサーフェスレンズ>



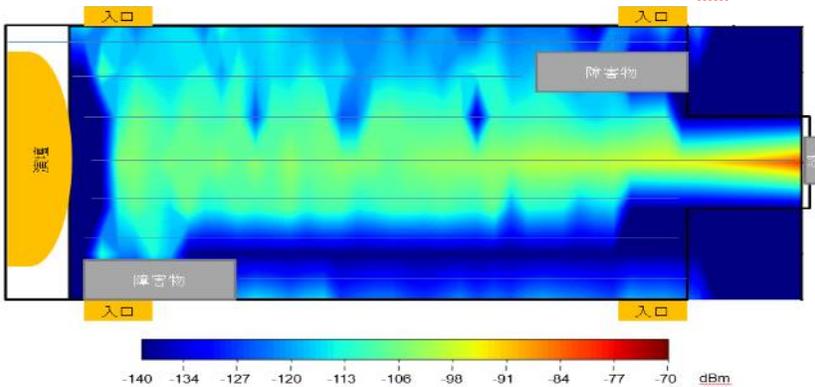
焦点1における受信電力測定結果	
ガラス	+ メタサーフェスレンズ
0 dB	> 24 dB

高周波数帯O2Iカバレッジ構築技術【実験結果】

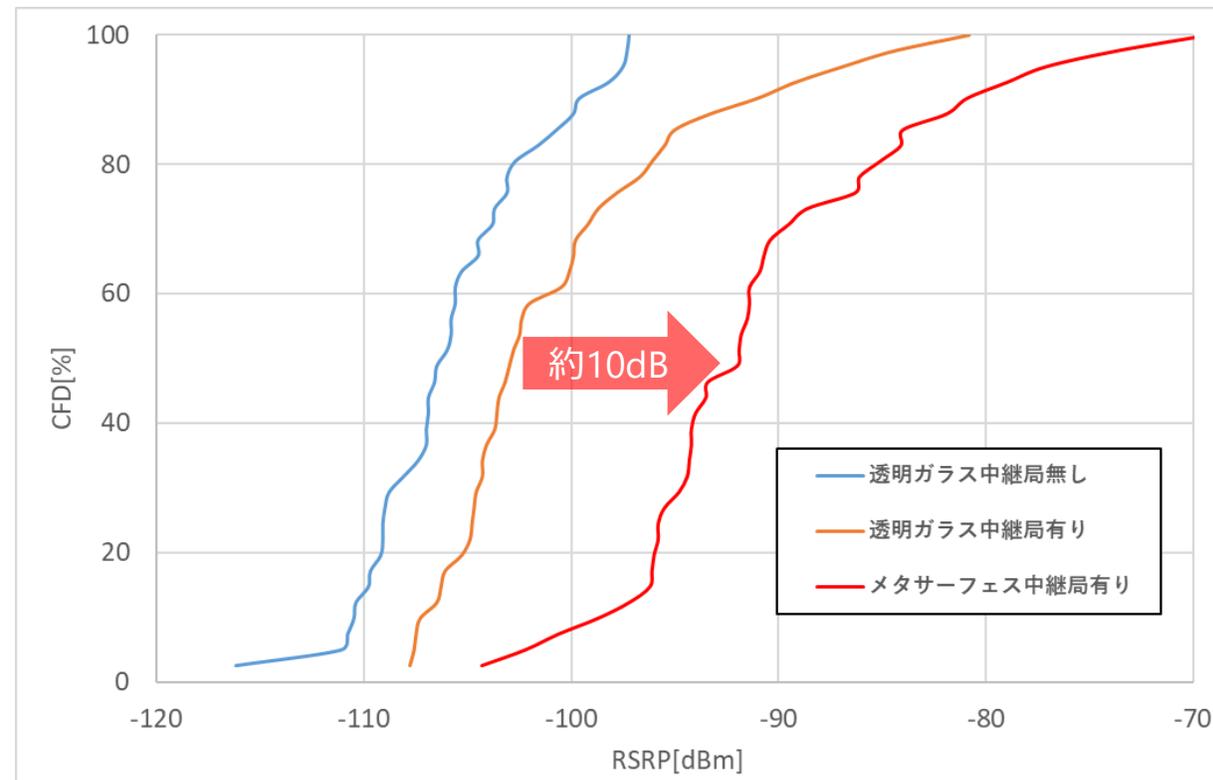
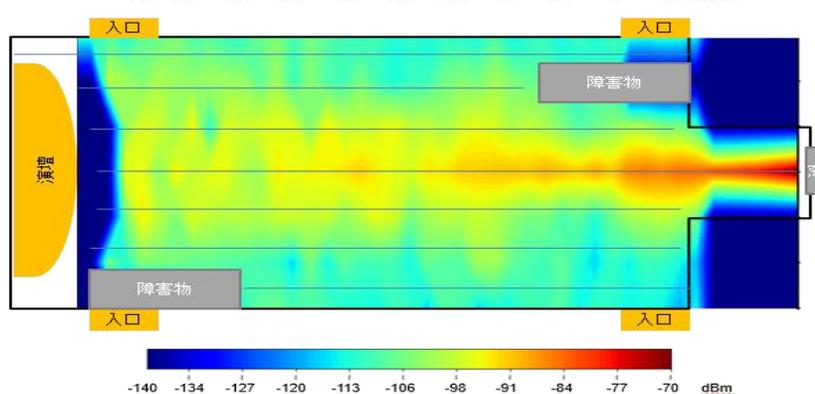
素ガラス
中継局なし



素ガラス
中継局あり



メタサーフェス
中継局あり



⇒ レンズの効果により、さらにエリア改善を実現

ユーザ追従型メタサーフェス反射板実証実験



トピックス



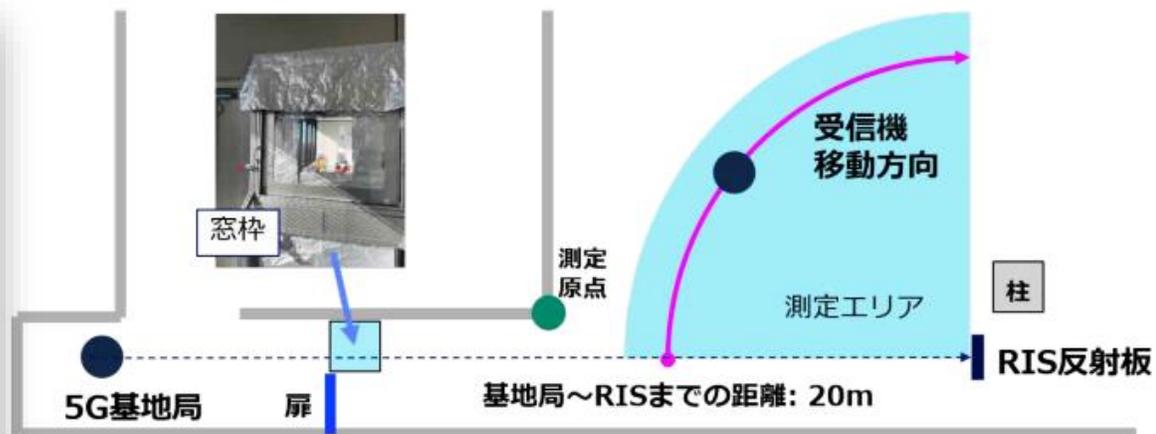
2021年11月12日
日本電信電話株式会社
株式会社 NTT ドコモ

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^{※1}反射板(以下、RIS^{※2}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。^{※3}

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

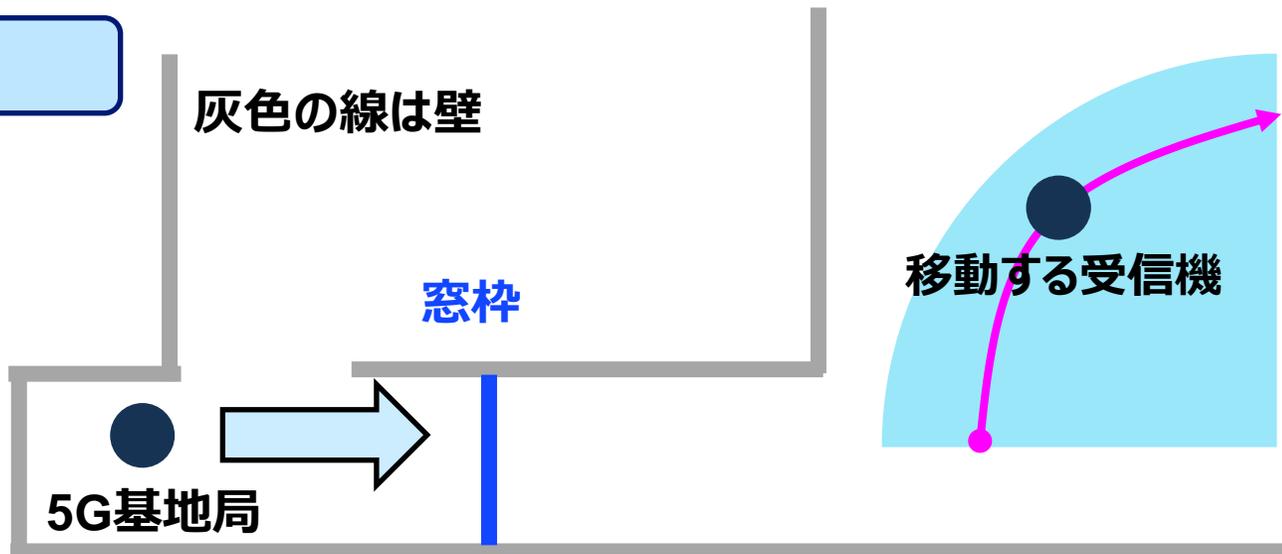


<実験設備>

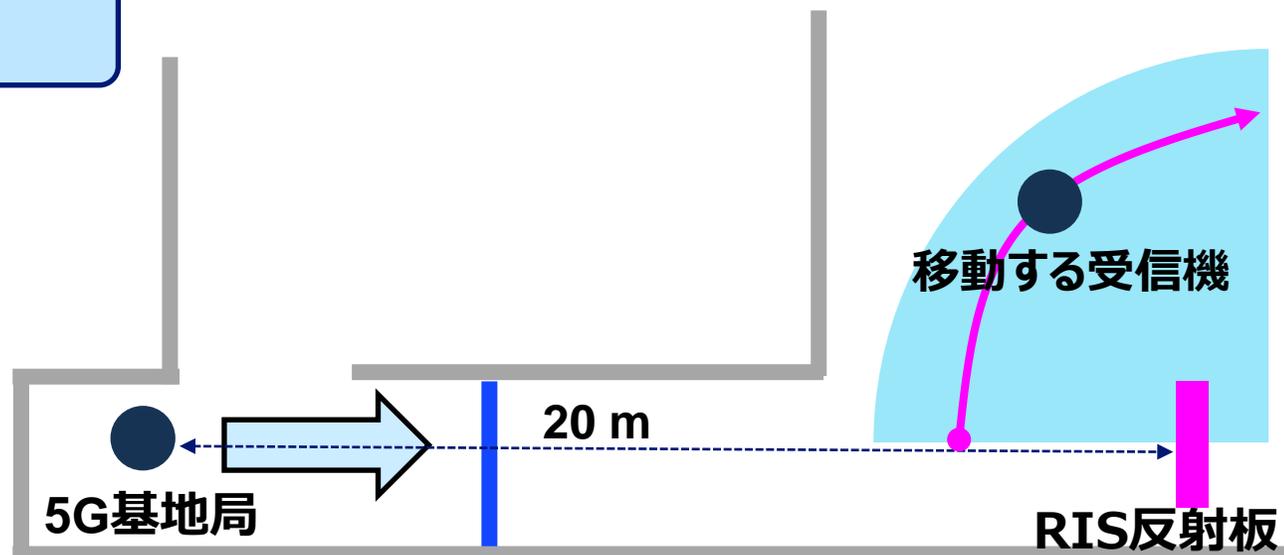
https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_211112_00.pdf

実証実験の結果

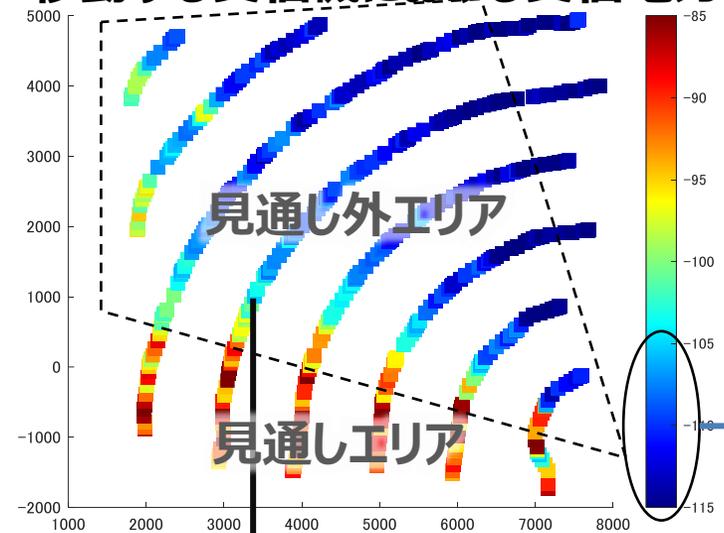
RISなし



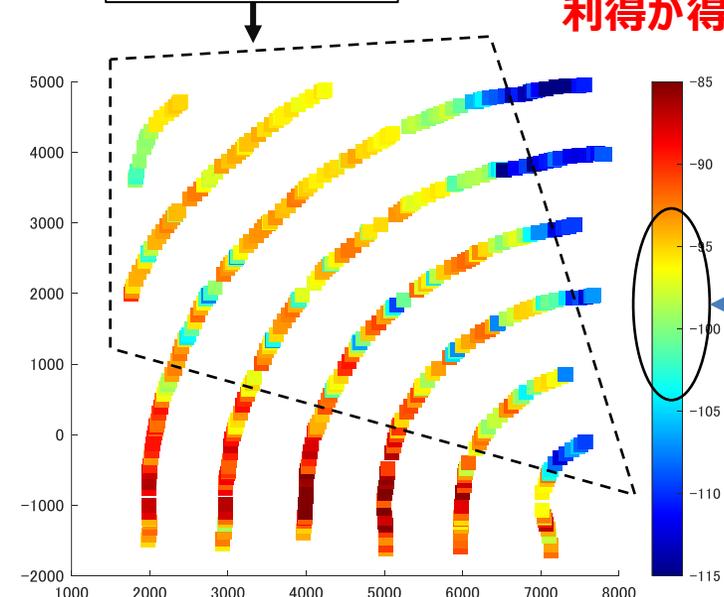
RISあり



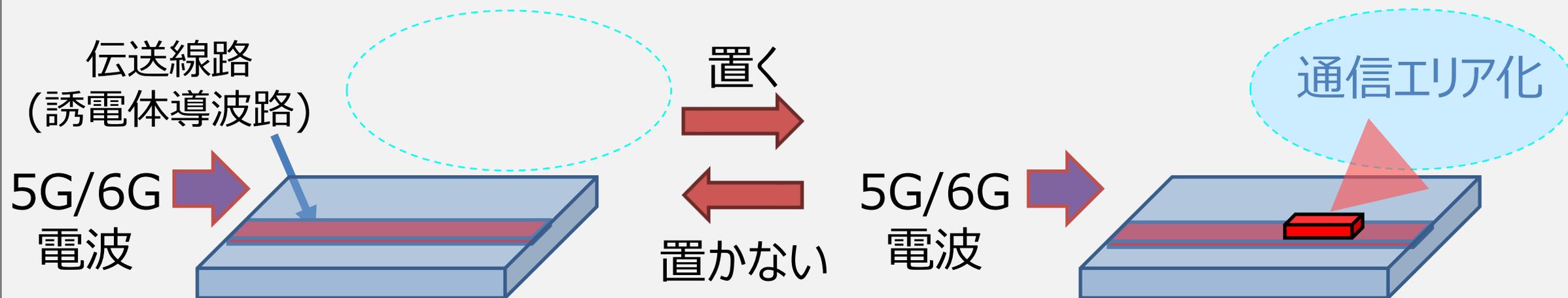
移動する受信機における受信電力



改善されるエリア



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)

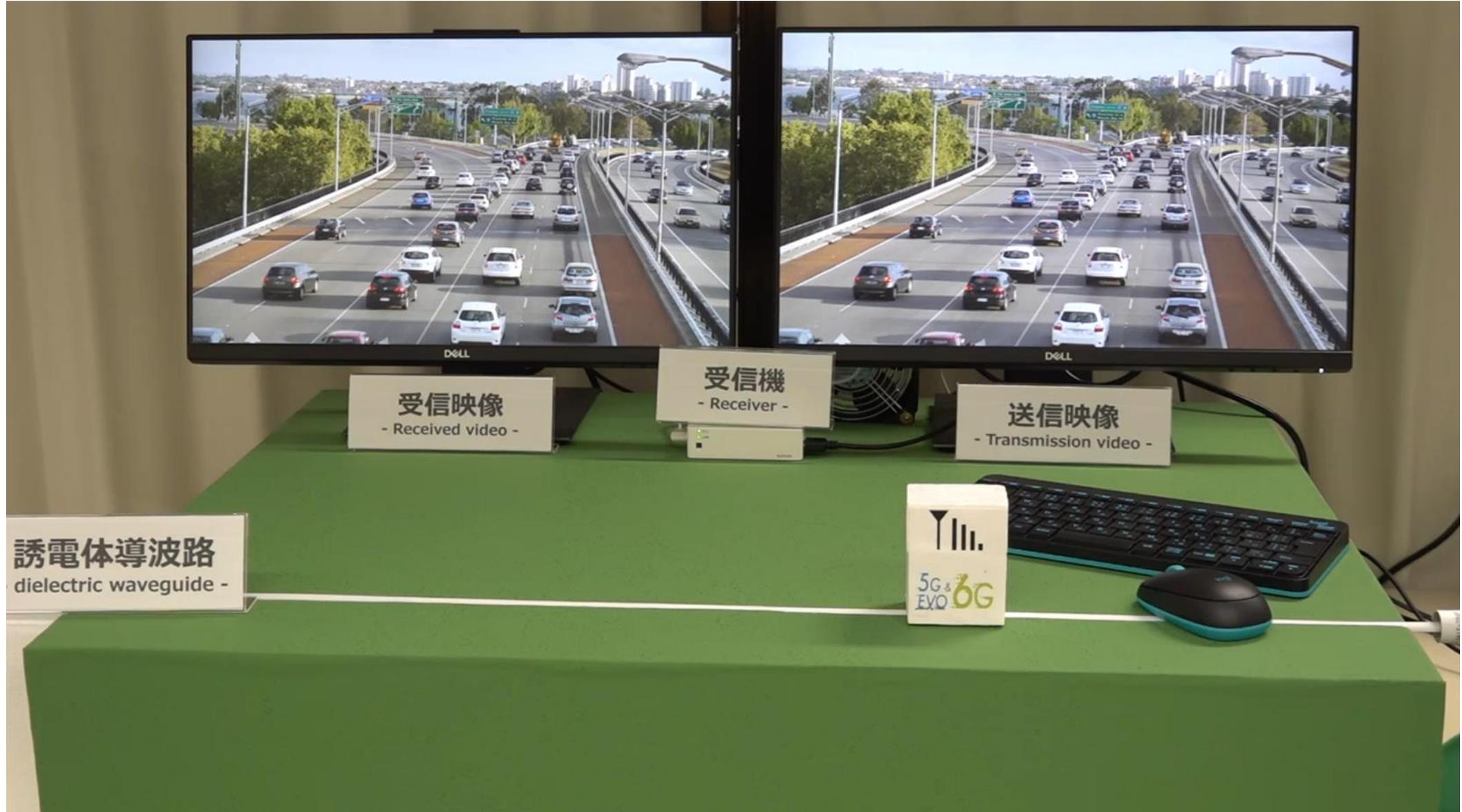
- アンテナはプラスチック小片で構成
- 導波路片側から電波を強く放射でき、周囲をエリア化

(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



置くだけアンテナのデモ【動画】

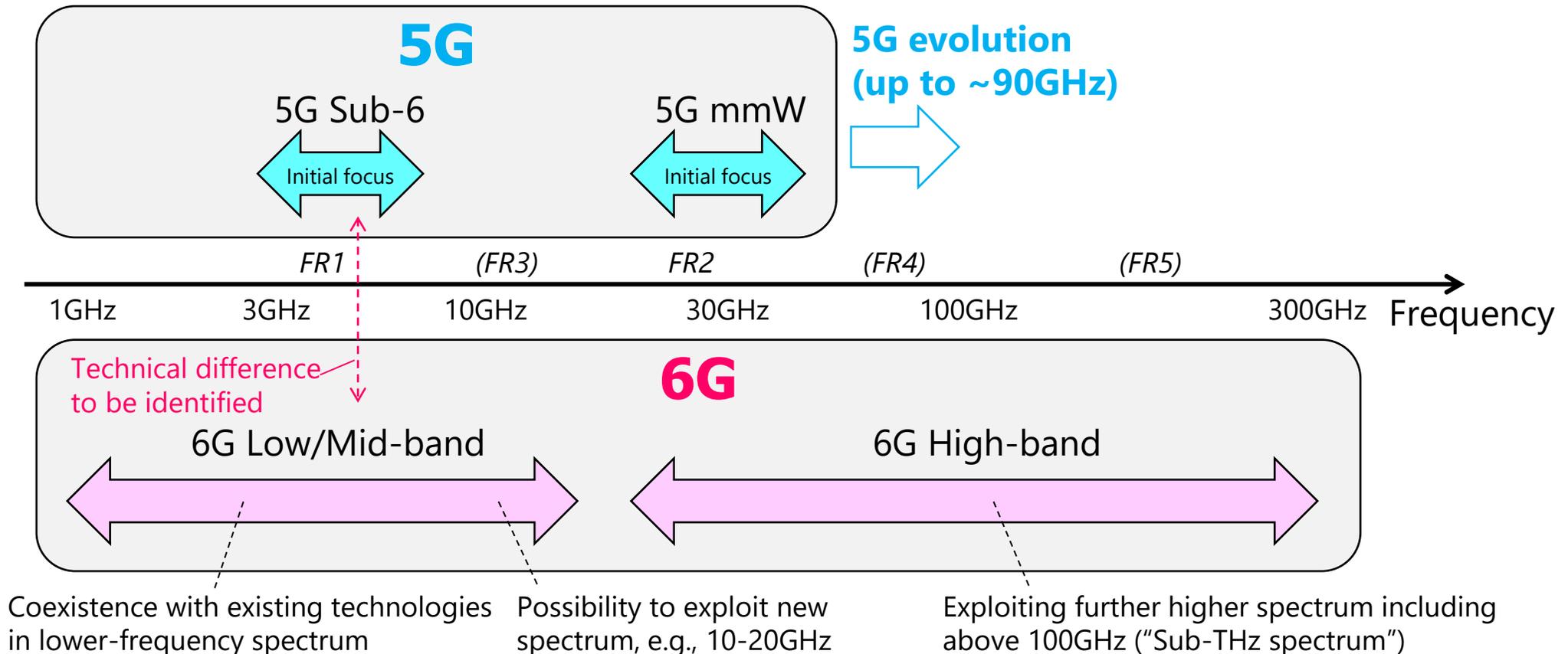


サブテラヘルツ波の活用

6Gに向けた周波数帯の開拓

- サブテラヘルツ波では飛躍的に広い信号帯域幅を利用できるため、100Gbps超の超高速通信に活用可能
- サブテラヘルツ波における電波伝搬特性の明確化やモデル化、それに基づいた6G無線アクセス技術の確立、加えて、これらの高周波数帯での無線デバイス技術の進展が重要

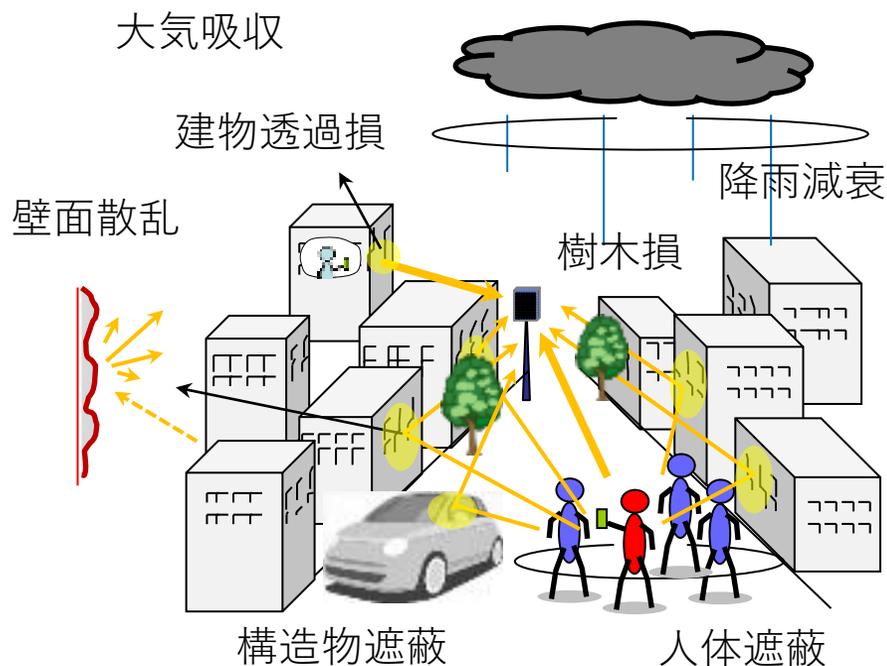
5G NR supporting spectrum up to ~50GHz (52.6GHz)



100GHz超帯における電波伝搬特性の解明

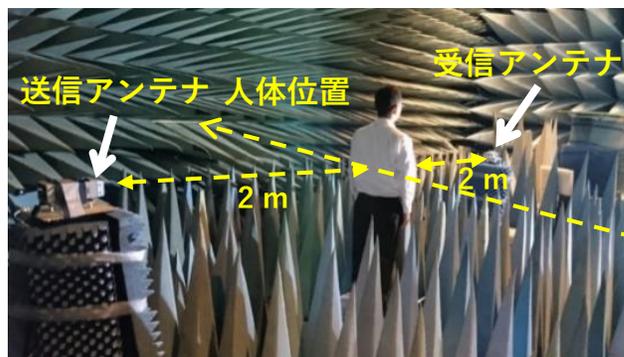
100GHzを超える高周波数帯である「ミリ波」「サブテラヘルツ波」において、電波伝搬の基本要素および実環境の特性解明、伝搬モデルの構築、高精度伝搬シミュレーション手法の確立が必要

ミリ波・サブテラヘルツ波における電波伝搬特性に影響を与える要因

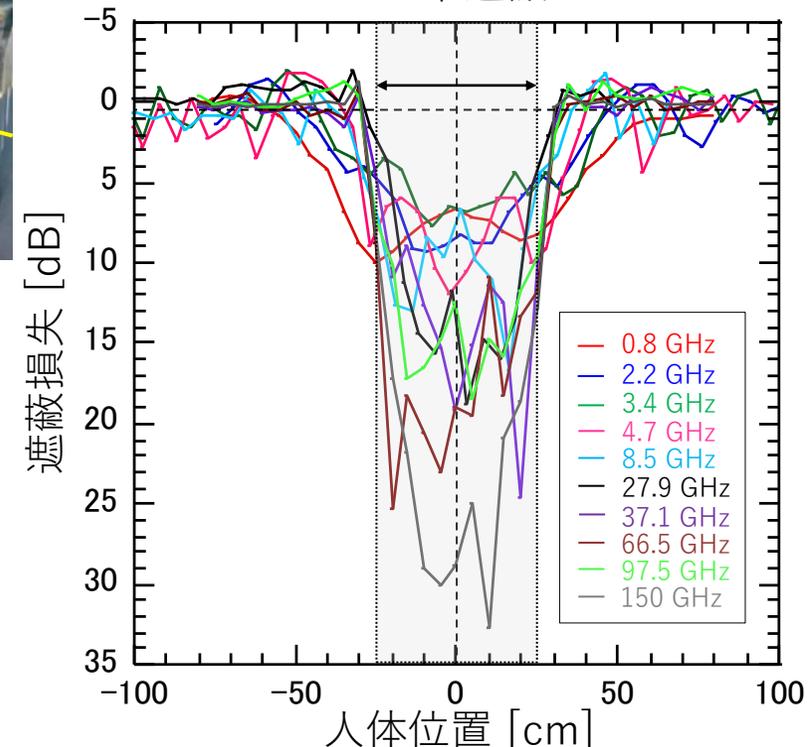


150GHz帯までの人体による遮蔽影響の測定実験

(2018年11月27日に報道発表)



150GHz帯遮蔽エリア



100GHz超帯における電波伝搬特性の解明

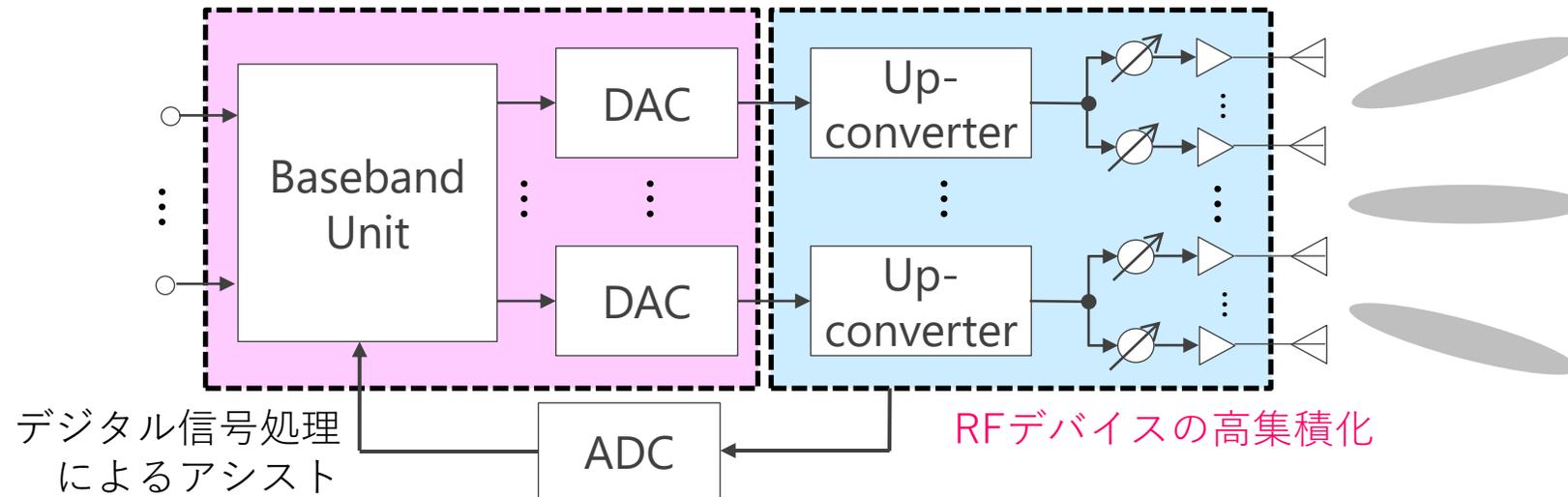
サブテラヘルツ波帯の活用に向けて，160GHz・300GHzの屋内電波伝搬特性を測定



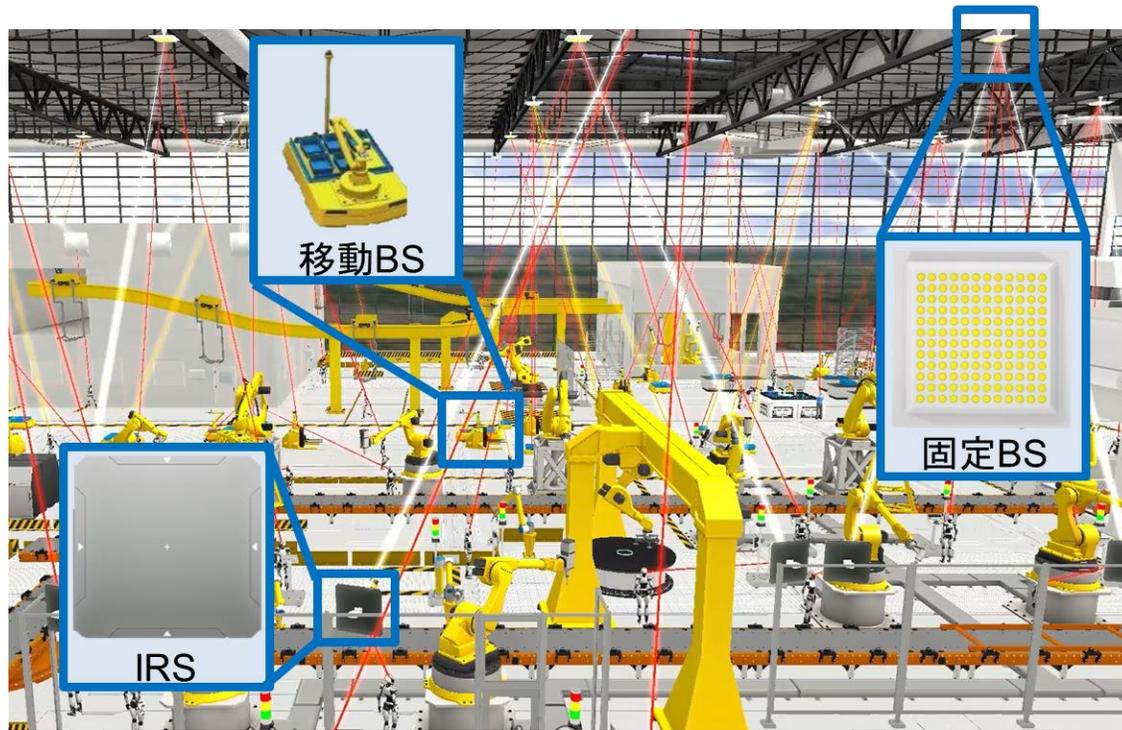
サブテラヘルツ波における無線デバイス技術の課題

- 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, アンテナとの接続等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

送信機の構成例



6Gシミュレータによるサブテラヘルツ波の活用効果

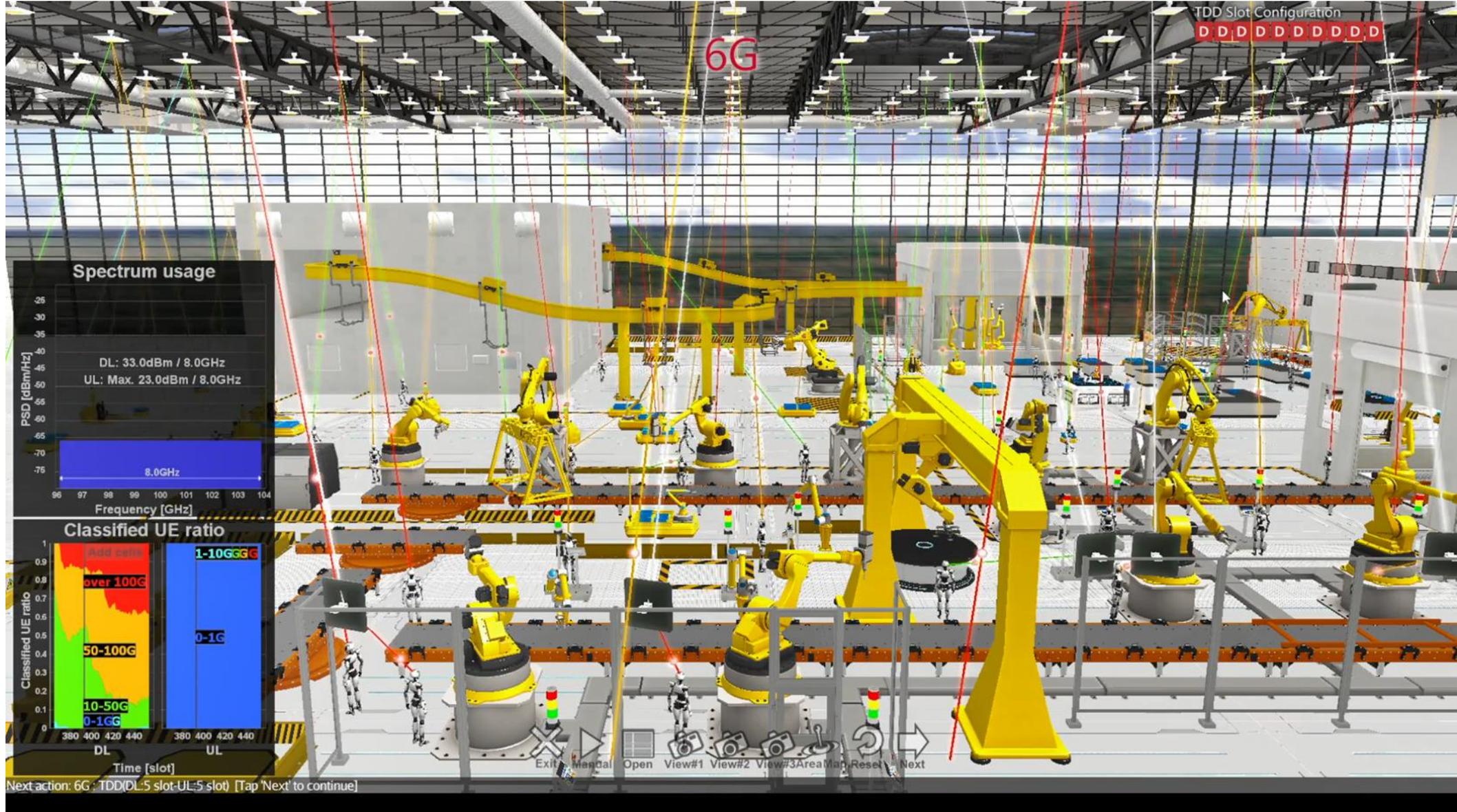


- ✓ 高さのある1階建てを想定
- ✓ 天井に固定BS
- ✓ 屋内の小屋やパイプにIRS
- ✓ 移動BSは地表のカート
- ✓ MSは人およびロボット，地表のカート（移動BS以外）で，一部は3km/hで移動
- ✓ 黄色のオブジェクトが遮蔽物

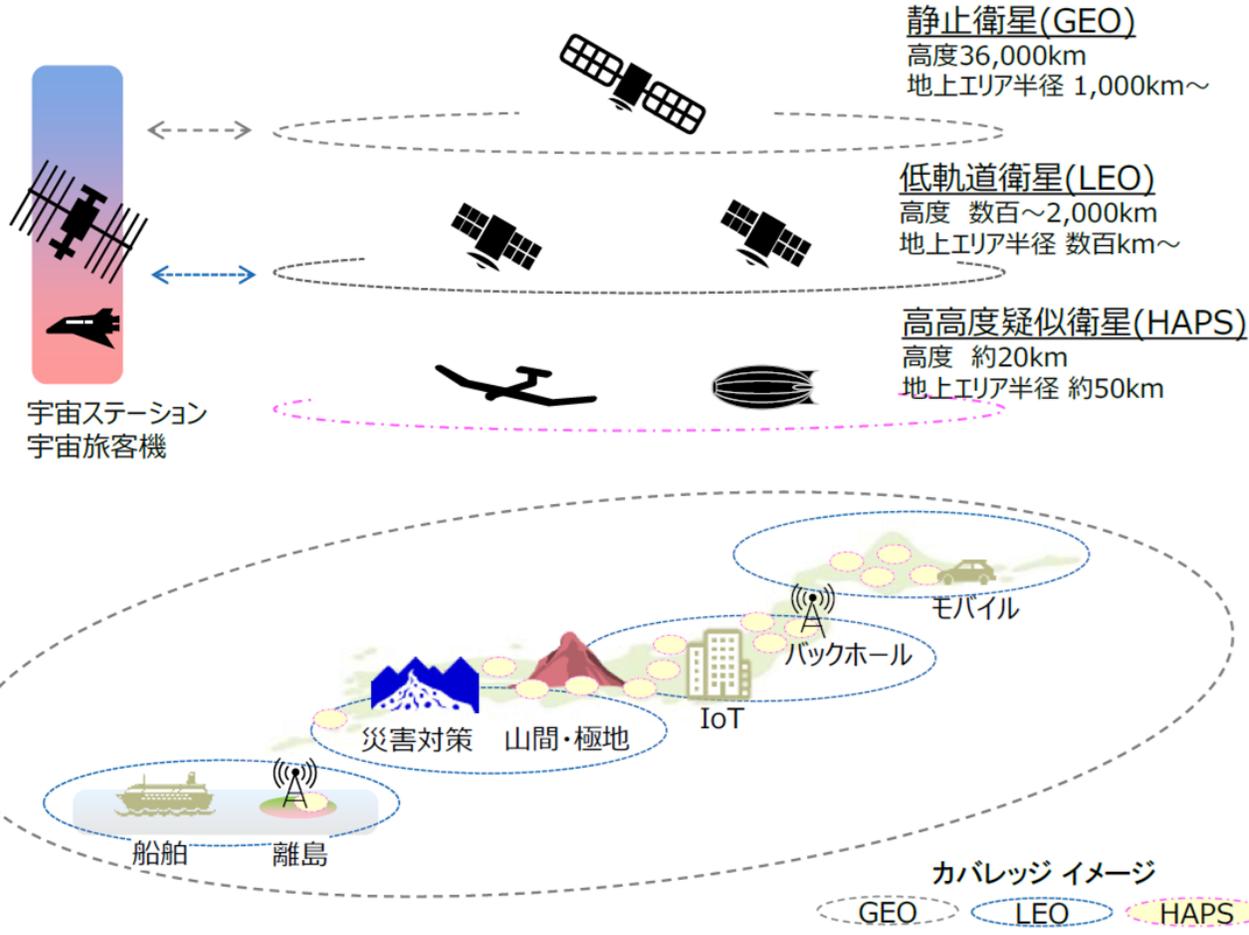
	5G	6G
中心周波数	28 GHz	100 GHz
帯域幅	400 MHz	8.0 GHz
BS送信電力	33 dBm	固定: 33 dBm 移動: 15 dBm
MS送信電力（最大）	23 dBm	
固定BS素子数 (V x H x サブアレー)	144 (4 x 4 x 9)	1296 (12 x 12 x 9)
移動BS素子数 (V x H x サブアレー)	-	324 (6 x 6 x 9)
MS素子数	288 (4 x 8 x 9)	
BS数	113	固定: 113, 225 移動: 3
MS数	100（移動: 50, 静止: 50）	
MIMOストリーム数	1, 2, 3, 4, 8	
空間相関	あり（SCM）	

6Gは4レイヤ以上で通信できれば100Gbps超を達成可能

6Gシミュレータによるシステム性能評価【動画】



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



GEO, LEO, HAPSの利用による超カバレッジ拡大

5G evolution & 6Gに向けた技術検討項目

GEO	<ul style="list-style-type: none"> 衛星の電力と周波数をマルチビーム間で最適化する Very High Throughput Satellite (VHTS)
LEO	<ul style="list-style-type: none"> MIMO等の適用による通信容量の拡大 複数衛星が協調してNWを構成する衛星コンステレーション
HAPS	<ul style="list-style-type: none"> 長距離通信に適した無線インターフェースの拡張 地上NWとの効率的な周波数有効利用方法 HAPS搭載局と地上NWの高効率な連携を実現するNW設計

往復伝搬遅延(Round-Trip Time)※

GEO	477.48ms~541.46ms
LEO (高度600kmの場合)	8.00ms~25.77ms
HAPS (高度20kmの場合)	0.267ms~1.47ms

※フィーダリンク+サービスリンクの往復伝搬遅延（伝搬遅延のみ），通信リンクの仰角や高度にもよる（仰角は90度~10度と仮定）

これまでの移動通信ネットワークではカバーできなかったエリアへ様々なサービスを提供することをめざす

トピックス

2021年11月15日
株式会社 NTT ドコモ
Airbus Defence and Space Limited

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 ～成層圏からスマートフォンへの通信サービスの提供が可能であることを実証～

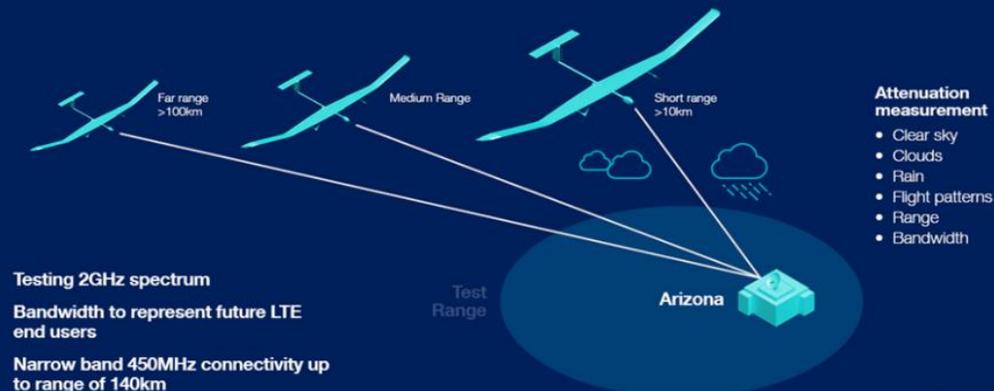
株式会社 NTT ドコモ(以下、ドコモ)とエアバスは、高度約 20 キロメートルの成層圏を飛ぶ高高度無人機(HAPS)「ゼファー(Zephyr) S」を用いて、成層圏から地上の受信アンテナへの UHF 帯(450MHz および 2GHz 帯)の電波伝搬測定実験を 2021 年 8 月 25 日(水)から 2021 年 9 月 13 日(月)まで実施しました。実証実験期間のうち、成層圏での滞空日数は 18 日間です。HAPS から送信した電波の伝搬状況を測定・分析することにより、成層圏から地上にあるスマートフォンなどのデバイスへの通信サービスの提供の実現可能性を実証しました。この実証実験で得られた結果をもとに、ドコモとエアバスは今後通信エリア化が難しい山間部や離島、海上などへの通信サービスの提供を可能にすることをめざします。



エアバス社 HAPS「ゼファー(Zephyr) S」 離陸時の様子

- 長期間のフライト (18日間)により、高度や気象条件、HAPS飛行パターン等が刻々と変化する中での成層圏-地上間電波減衰特性を測定 (周波数: 2GHz, 450MHz)
- 地上のユーザがHAPSシステムを介して利用できるスループットを複数想定し、複数の周波数帯域幅で検証
- 450MHz電波の測定では、約140kmの長距離接続に成功

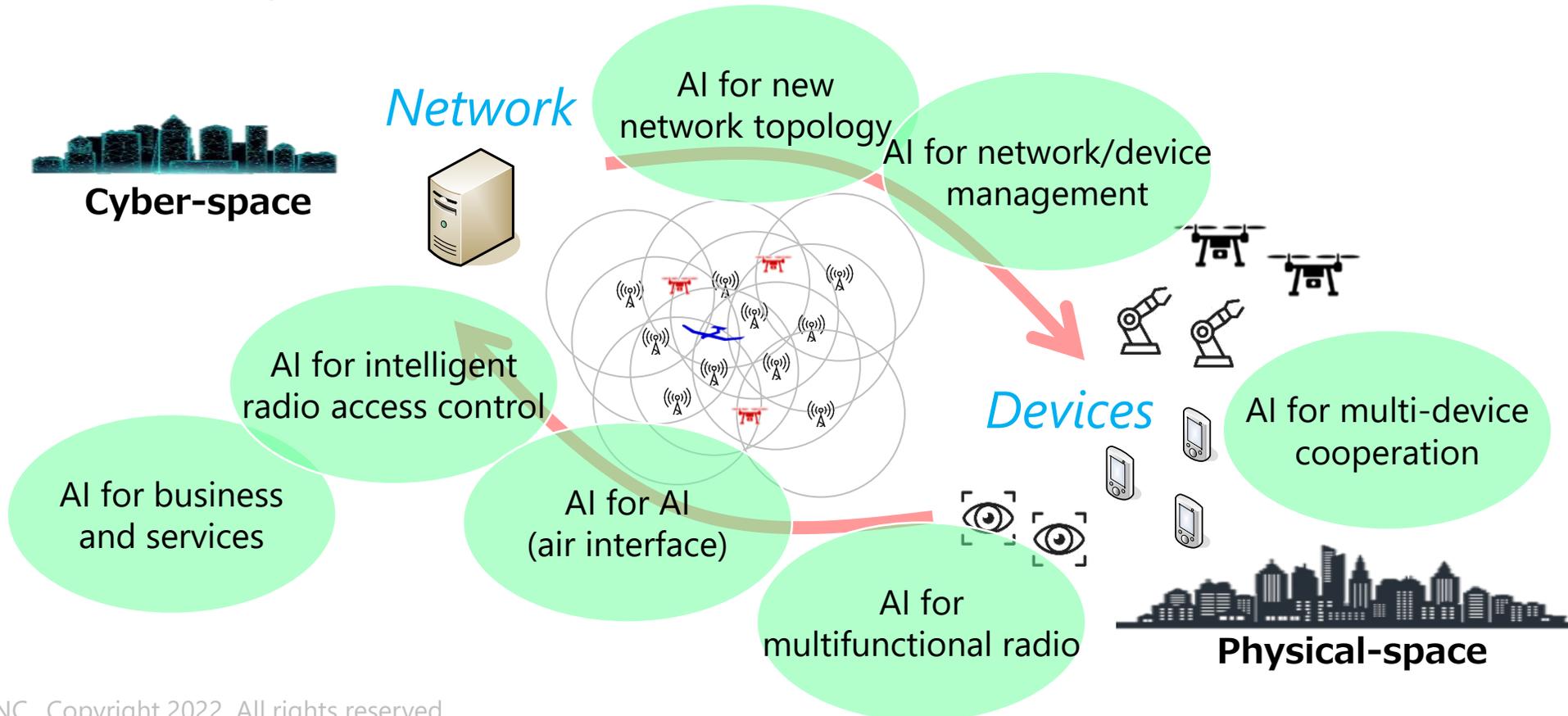
Testing Zephyr Connectivity Services



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

移動通信のあらゆる領域におけるAI技術の活用

- 無線通信における様々な制御やアルゴリズム、ネットワークやデバイスの管理、ユースケースや環境に対して自動最適化する機能など、あらゆる領域においてAI技術の活用が可能
- 例えば、AIを利用して、移りゆく環境を先読みして伝搬環境や通信品質を予測する技術、予測した伝搬環境や通信品質に基づいて、統合連携する他の無線技術との間のインテリジェントな経路切り替えを行う技術、移動式基地局を常に最適な設置場所へ自律的に配置する技術などがある



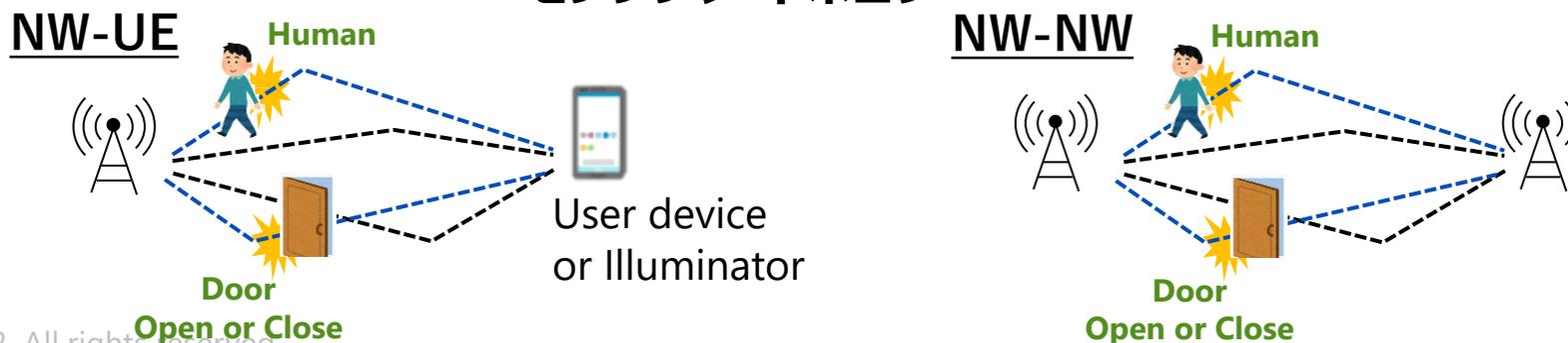
- 無線通信の電波で測定した情報に加えて、映像や多様なセンシング情報をAI技術で解析し、伝搬路予測やビーム制御などの無線通信制御の高度化に活用
- 電波を情報伝送に加えて様々な用途にも利用していく進化も有望であり、測位、物体検出などのセンシング、無線での給電技術（Energy harvestingなど）に活用。「ミリ波」「テラヘルツ波」は高精度な測位やセンシングに適しており、多様な情報をAI技術によって解析することで精度を大きく向上可能

センシング技術の比較

	無線（電波）	超音波	赤外線	カメラ
非見通し環境	○	○	×	×
コスト	○	△	△	△
プライバシー	○	○	○	×

既存の通信ネットワークを利用することでコストを抑えられ、プライバシーの保護も可能

センシング・トポロジー



5G Evolution & 6G ～実証実験の推進～

国内外の主要ベンダとの6G実証実験

報道発表資料



国内外の主要ベンダーと6Gの実証実験で協力

- 「5G Evolution & 6G powered by IOWN」の実用化に向けた研究開発において世界をけん引-

<2022年6月6日>

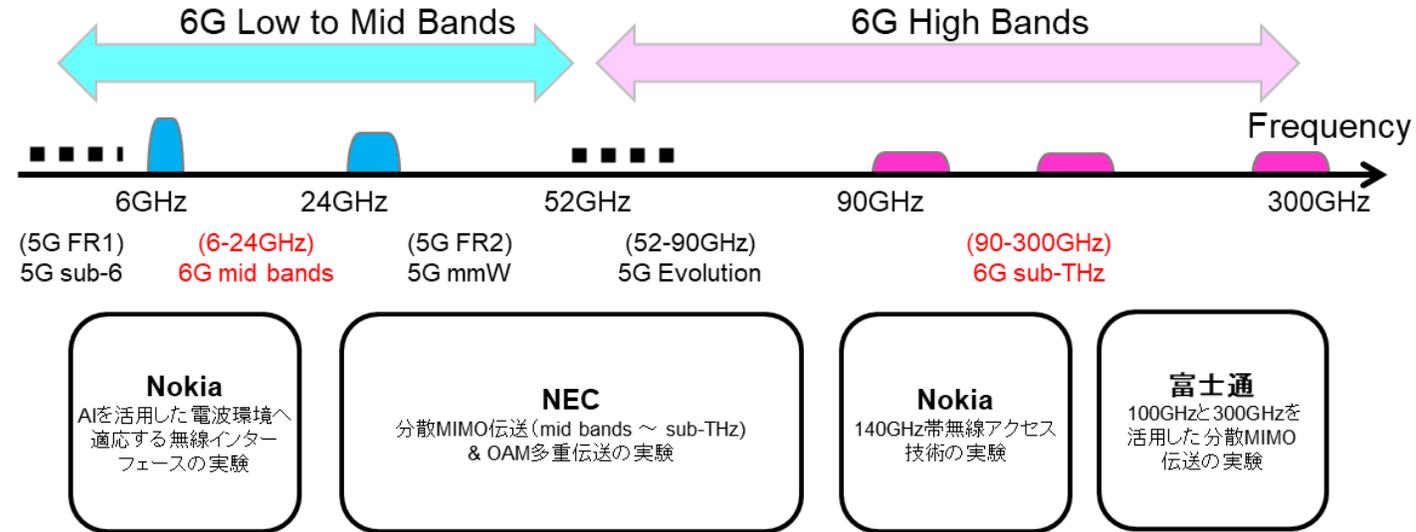
株式会社NTTドコモ
日本電信電話株式会社

株式会社NTTドコモ（以下、ドコモ）と日本電信電話株式会社（以下、NTT）は、第6世代移動通信方式（以下、6G）の2030年頃のサービス提供開始をめざし、国内外の主要ベンダーである富士通株式会社（以下、富士通）、日本電気株式会社（以下、NEC）、Nokiaの3社と6Gに関する実証実験で協力することに合意しました。

6Gは、第5世代移動通信方式（以下、5G）の高速・大容量、低遅延、多数接続の各性能をさらに高めるとともに、高速・大容量や低遅延などの各要求条件を同時に実現する「複数要求条件の同時実現」、100GHzを超えるサブテラヘルツ帯などの「新たな高周波数帯の開拓」、これまでの移動通信方式では十分なエリア化が難しかった「空・海・宇宙などへの通信エリアの拡大」、および「超低消費電力・低コストの通信実現」などに向けて研究開発が進められている次世代の移動通信方式です。

6Gのサービス提供に向けては、5Gで利用されている周波数帯に加えて、6GHzを超えるミリ波帯やサブテラヘルツ帯などの新たな周波数帯を含めた広帯域にわたる周波数帯を有効活用するための技術やAI技術を活用した無線伝送方法など、多くの移動通信技術を検証する必要があります。今回合意した主要ベンダーとは、新周波数帯での無線通信技術やAI技術の活用に関心をもち、実証実験を行う予定です。

今後、2022年度内には屋内の実証実験を開始し、2023年度以降に屋外の実証実験を開始する予定です。実証実験の結果は、6Gに関する世界の研究団体での活動や国際会議、標準化活動などの中で、ドコモとNTTが提唱する6Gの技術コンセプトの検証結果として報告するとともに、より高度な技術の創出と確立に向けた検討においても活用していきます。



■ 実証実験で検証する移動通信技術の内容

- ✓ 5Gで利用されている周波数帯に加えて、6GHzを超えるミリ波帯や100GHzを超えるサブテラヘルツ帯などの新たな周波数帯も含めた広帯域にわたる周波数を有効活用するための移動通信技術
- ✓ 複数のサブテラヘルツ帯の多素子アンテナを分散配置し、それぞれの多素子アンテナと端末とが同時に電波を送受信しあうことを可能にする分散MIMO技術を用いることにより、直進性が高く障害物による遮蔽に弱い性質を持つ100GHzを超えるサブテラヘルツ帯での高速大容量伝送を実現するための移動通信技術
- ✓ AI技術を活用して伝搬環境などによる信号波形への影響を学習させておくことで、さまざまな伝搬環境に応じた最適な信号波形を作り出し、通信品質を高めるための移動通信技術



5G Evolution & 6G

Technologies that enrich human life

あなたと世界を変えていく。

^{NTT}
docomo