

Beyond 5G / 6Gの 要求条件と技術

株式会社NTTドコモ
ネットワークイノベーション研究所
中村 武宏

- ホワイトペーパー「5Gの高度化と6G」を2021年2月2日に3.0版として更新

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）

© 2021 NTT DOCOMO, INC. All Rights Reserved.

ホワイトペーパー

5Gの高度化と6G

株式会社NTTドコモ

2021年2月（3.0版）



目次	
1. はじめに.....	3
2. 進化の方向性「5G evolution and 6G」.....	4
2.1. 5G evolution への考察.....	4
2.2. 6G への考察.....	6
3. 要求条件とユースケース.....	9
3.1. 超高速・大容量通信.....	9
3.2. 超カバレッジ拡張.....	10
3.3. 超低消費電力・低コスト化.....	10
3.4. 超低遅延.....	11
3.5. 超高信頼通信.....	11
3.6. 超多接続&センシング.....	12
4. 技術発展と検討領域.....	13
4.1. 空間領域の分散ネットワーク高度化（New Radio Network Topology）.....	13
4.1.1. “線”による分散アンテナ展開.....	15
4.1.2. 反射板（RIS）技術.....	15
4.1.3. 端末間協調送受信技術.....	16
4.1.4. センシングや省エネ通信と Win-Win な分散アンテナ展開.....	16
4.2. 非地上（Non-Terrestrial Network）を含めたカバレッジ拡張技術.....	17
4.3. 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.....	18
4.4. Massive MIMO 技術および無線伝送技術のさらなる高度化.....	20
4.5. 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.....	21
4.6. 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.....	22
4.7. 移動通信以外の無線通信技術のインテグレーション.....	23
4.8. ネットワーク・アーキテクチャ.....	24
4.8.1. フラットなネットワーク・トポロジー.....	24
4.8.2. フレキシブルなネットワーク機能配置.....	25
4.8.3. ネットワークのシンプル化.....	25
4.8.4. OAM（Operation and Maintenance）の高度化.....	25
4.8.5. 複数のアクセス技術方式の統合運用技術.....	25
4.8.6. 超低遅延を支えるコアネットワーク伝送/交換制御技術.....	26
4.8.7. CPSを支える広域時刻同期と広域確定性通信.....	26
4.8.8. 超カバレッジを支える位置ベース移動制御.....	26
4.8.9. セキュリティの高度化.....	27
4.8.10. 分散するコンピューティングリソース.....	28
5. おわりに.....	30
参考文献.....	31
更新履歴.....	35

日本語

https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/?icid=CRP_CORP_to_CRP_CORP_technology_whitepaper_6g

English

https://www.nttdocomo.co.jp/english/corporate/technology/whitepaper_6g/

Youtubeにて、5G evolution & 6G
のコンセプト映像も公開

日本語

<https://youtu.be/1Z5fMMGMysw>

English

https://www.youtube.com/watch?v=EDe_by5nNnA

6Gによる飛躍的な性能向上：要求条件

 **Extreme high data rate/capacity**

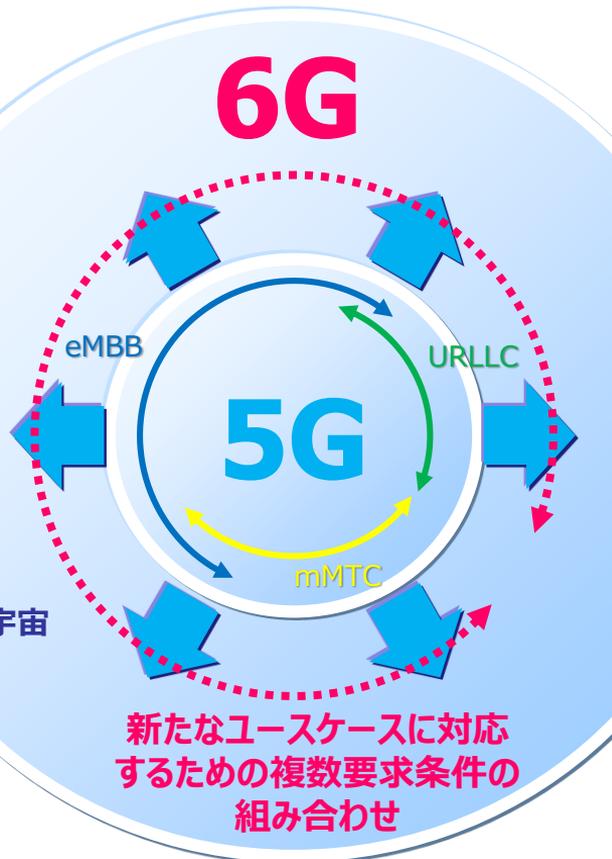
- ピークデータレート向上 > 100Gbps
- さらなる大容量化 > 100倍
- 新たな周波数帯開拓

 **Extreme coverage**

- どこでもGbpsレベルのサービス提供
エリアカバー率100%
- 新たなサービスエリア
例: 空 (高度1万m), 海(200海里), 宇宙

 **Extreme low energy & cost**

- 充電不要な超低消費電力端末
- 低価格ミリ波/テラヘルツ波デバイス



 **Extreme low latency**

- E2Eでの超低遅延 < 1ms
- 常時低遅延

 **Extreme high reliability**

- クリティカルなユースケースに
対応可能な品質保証、
高信頼性信頼度：99.99999%

 **Extreme massive connectivity**

- 超多数デバイスの接続
> 1,000万デバイス/平方km
- センシング機能&
超高精度位置情報サービス < 1cm

6Gの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 Radio
Network Topology)



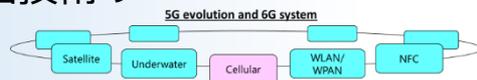
非陸上 (Non-Terrestrial
Network) を含めた
カバレッジ拡張技術



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



移動通信以外の無線通信技術の
インテグレーション



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



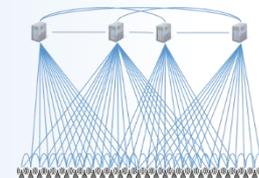
Massive MIMO技術および
無線伝送技術のさらなる高度化



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



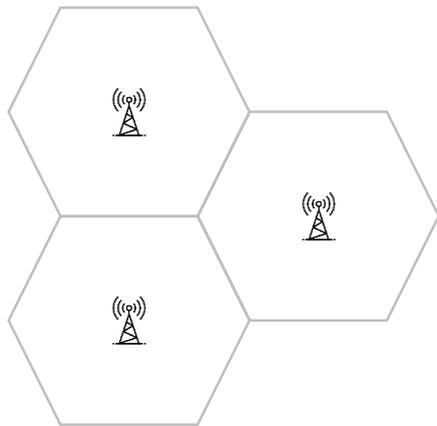
ネットワーク・アーキテクチャ



■ 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

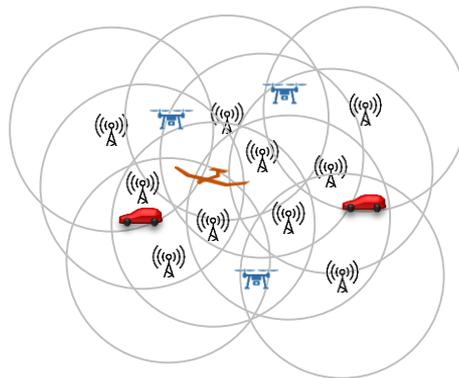
- できるだけ近い距離や見通し環境 (ロスの少ないパス) で通信
- できるだけ多数の通信路をつくり, パス選択の余地を多くする (冗長性を増やす)

空間領域で分散した無線ネットワークトポロジー

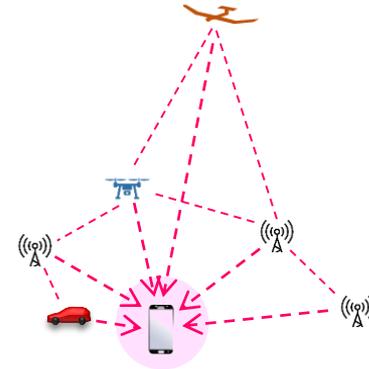


“Coordinated”

クラシカルなセル構成



“Overlapping/moving”

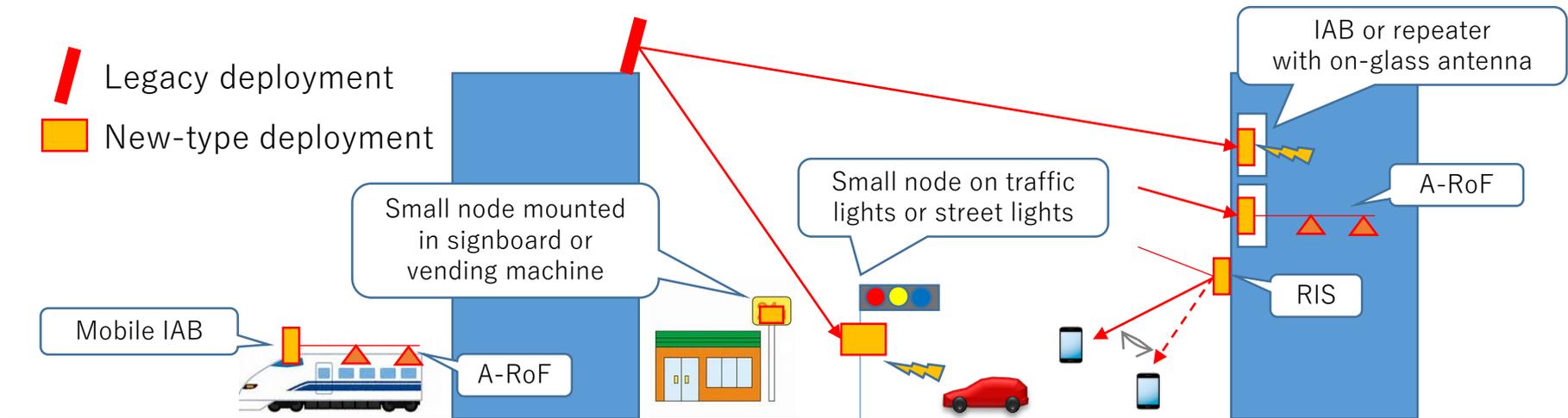


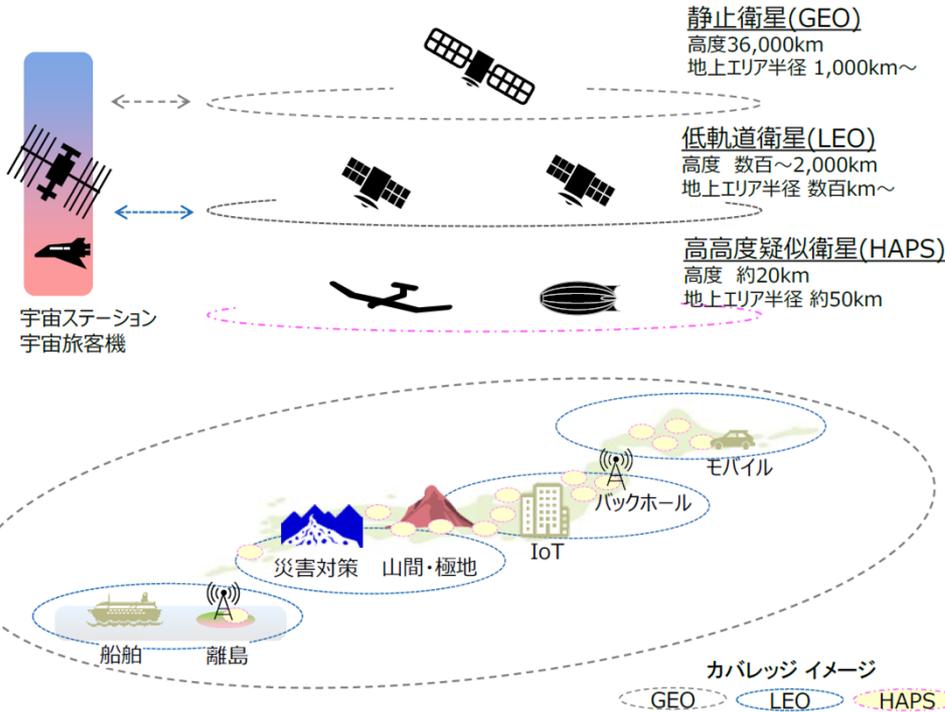
“Multiple connection paths”

- ✓ 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 (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





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)※

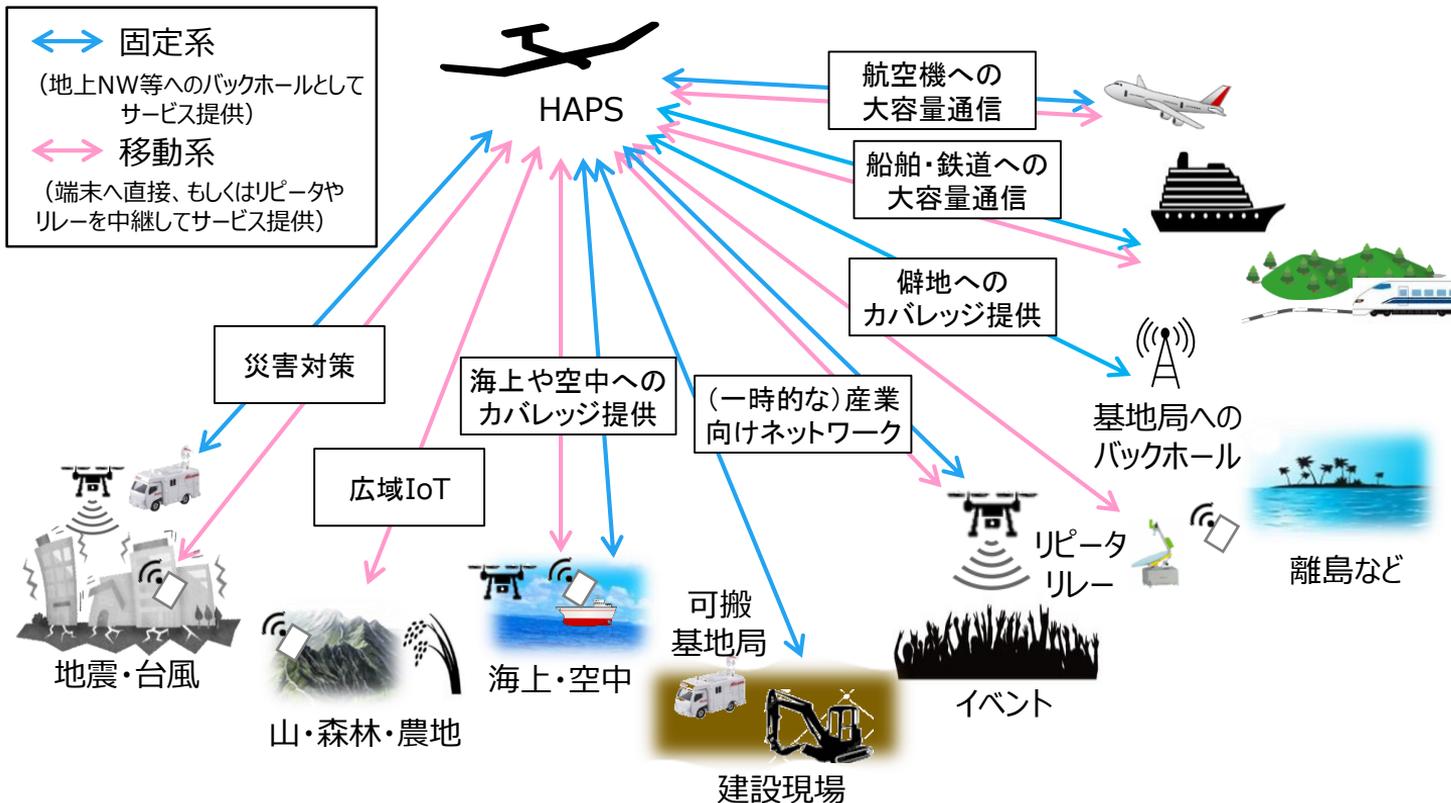
GEO	477.48ms~541.46ms
LEO (高度600kmの場合)	8.00ms~25.77ms
HAPS (高度20kmの場合)	0.267ms~1.47ms

※フィードリンク+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

HAPSの様々なユースケース

- 災害対策はもちろん、5G evolution & 6Gにおける多くの産業向けユースケースに有効

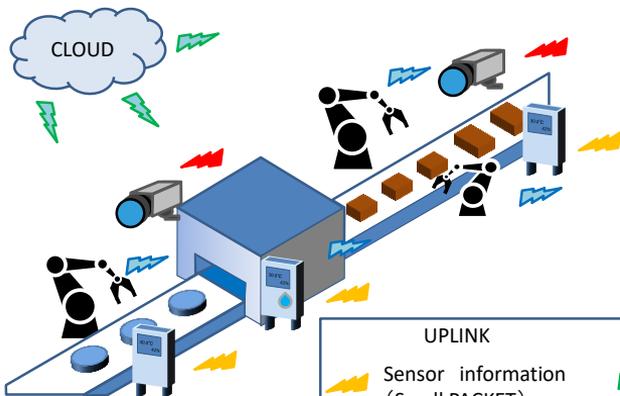


無線技術の課題

- 長距離通信に適した無線インタフェースの拡張
- 地上ネットワークとの効率的な周波数有効利用方法
- HAPS搭載局と地上ネットワークの高効率な連携を実現するネットワーク設計など

URLLCの拡張および産業向けネットワーク

- 低遅延・高信頼性を維持しながら大容量通信を実現していくなど幅広い要求条件に応えられるシステムの実現
- 6Gに向けて、さらにレベルの高い信頼性や高セキュリティの実現
(99.999% → 99.9999% → **99.99999%**)

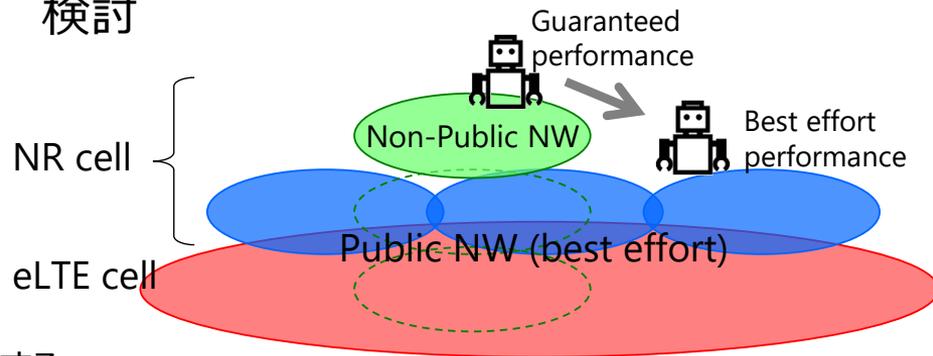


UPLINK	DOWN LINK
Sensor information (Small PACKET)	SAVE DATA (Large PACKET)
Image information (Small PACKET)	Control information (Small PACKET (LOW Latency))

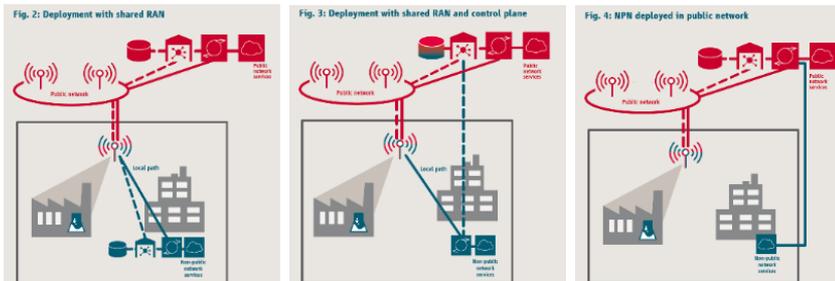
MIXED TRAFFIC

大容量通信を必要とする情報伝送系のシステムと、低遅延・高信頼性を必要とする制御系システムの同時運用

- ベストエフォート型公衆網との混在シナリオの検討

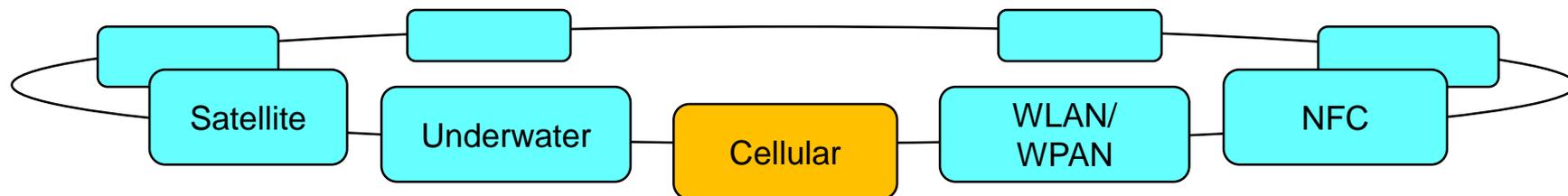


5G-ACIAでも複数のネットワーク構成のオプションが検討



- 移動通信（セルラー技術）以外の無線技術をインテグレーション
 - 無線LANやBluetoothなどアンライセンスバンド帯無線通信や近距離無線通信
 - 光無線通信や海中音響通信など電波以外の波を用いる無線通信
 - 空・海・宇宙へのカバレッジ拡張を実現するには衛星通信システムとの連携が必要

5G evolution and 6G system

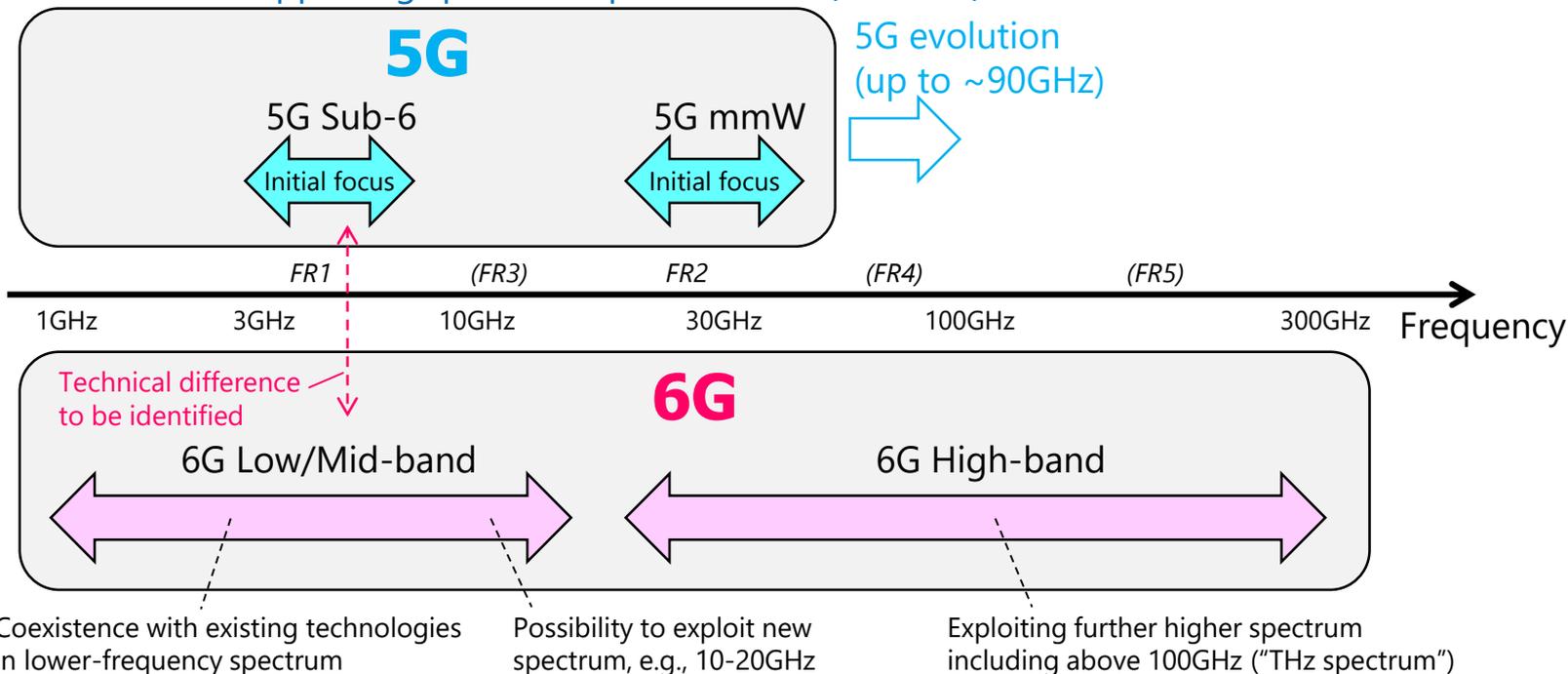


- 6Gの「定義」にも関係？
- 理想は、ユーザにどの無線技術を使用しているかを意識させることなく、より幅広いユースケースをサポート可能なエコシステムを確立すること

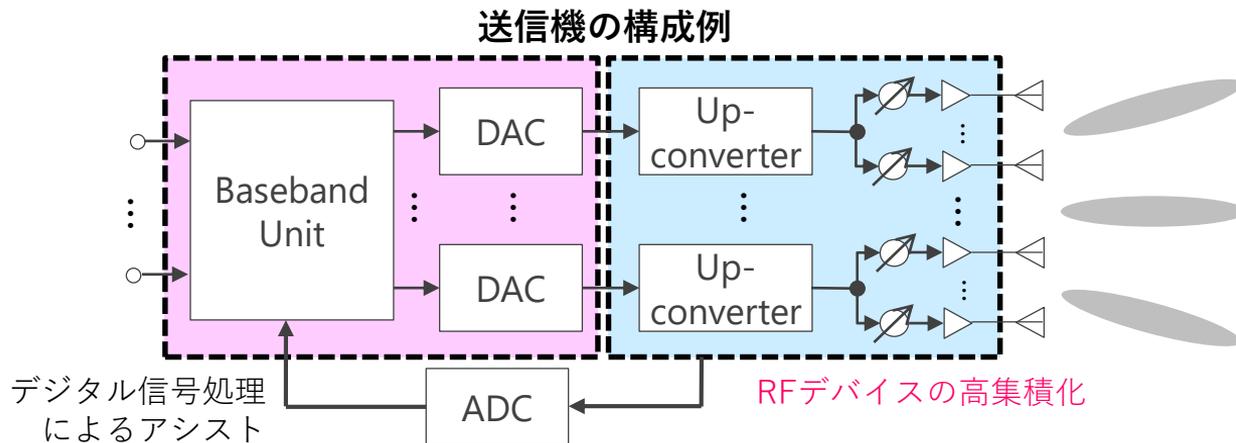
6Gに向けた周波数帯の開拓

- 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

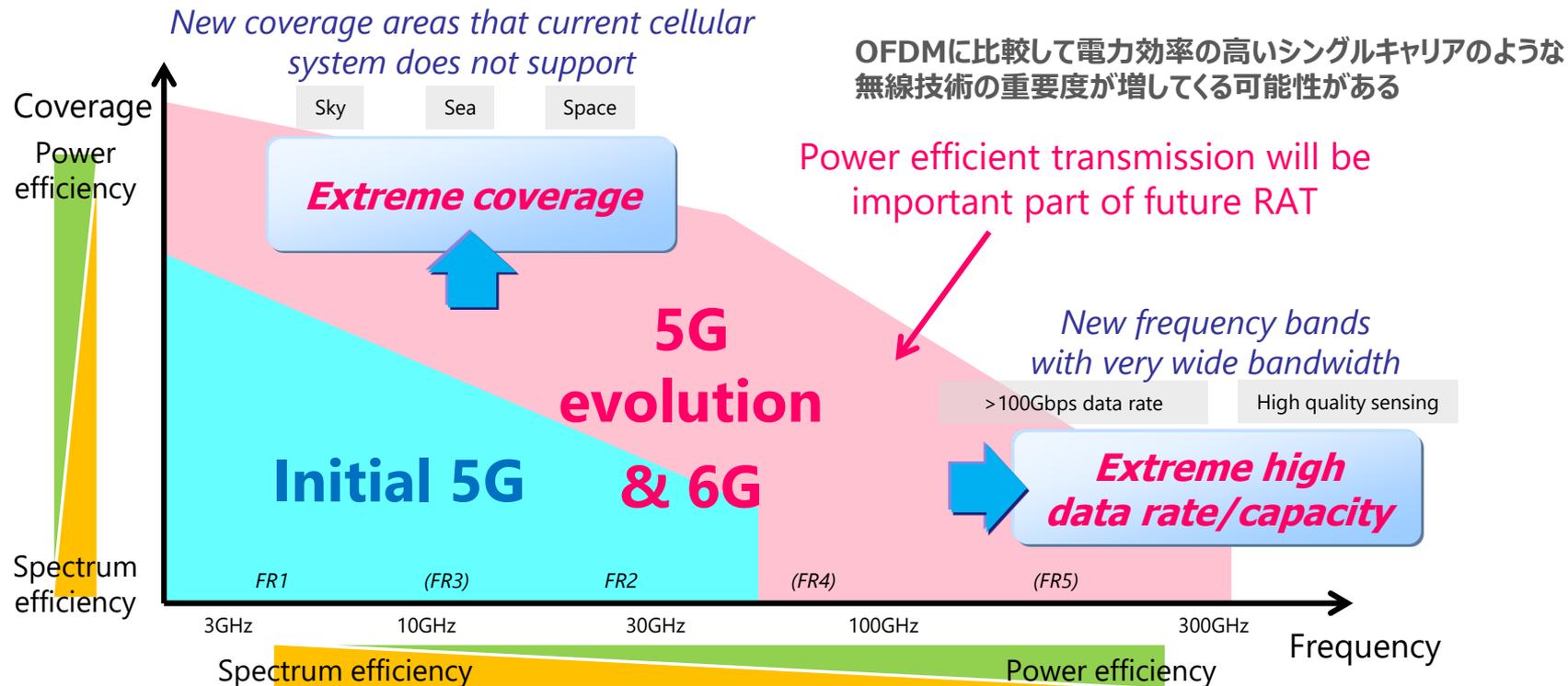
5G NR supporting spectrum up to ~50GHz (52.6GHz)



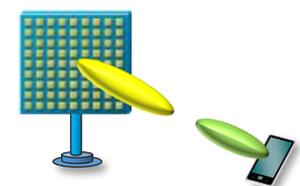
- さらなる広帯域化に対応できるデジタル信号処理回路，DAC，ADCを低コストかつ低消費電力で実現
- 高周波数帯RFデバイスをMassive MIMO（超多素子アンテナ）に対応できるように開発し，高性能化・高集積化に加えて，実サービスで使用できるレベルの精度とコストで製造
- 配線損失も大きいので，チップ・回路の構成，アンテナとの接続等の実装方法も大きな課題
- アナログデバイス自体の性能追求と，デジタル信号処理によるデバイス性能向上は最適化が必要。化合物系とシリコン系のどちらの半導体を採用するかは継続した課題
- 端末への活用を考慮し，小型化や低消費電力化，高い放熱性も重要



「超高速・大容量」と、空・海・宇宙を含む「超カバレッジ拡張」は異なる発展の方向性であるが、周波数利用効率に比較してカバレッジや電力効率がより重要となってくる領域としては共通

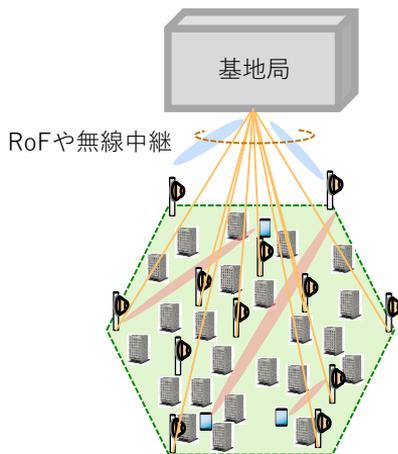


Massive MIMO技術の高度化



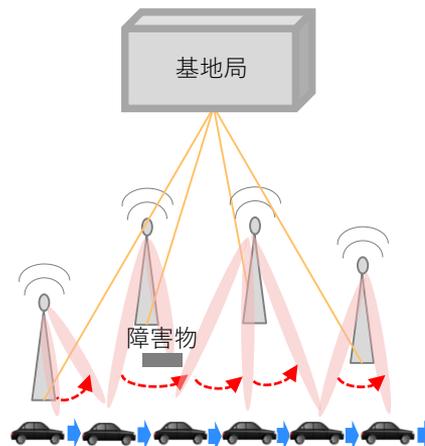
- Massive MIMO(mMIMO)のさらなる多素子化／多レイヤ化が進む
- New Radio Network Topologyと組み合わせた分散型アンテナ配置の mMIMOである**分散MIMO**が高周波数帯で特に有望
- 分散MIMOでは、見通し伝搬経路を確保するための分散アンテナ展開技術、通信経路の切り替えやビームの追従を行う分散伝搬路制御技術、多端末を同時に収容する分散協調MIMO技術の実現が課題

分散アンテナ展開技術



多数アンテナの展開法

分散伝搬路制御技術



多数アンテナの切替・極狭ビーム追従

分散協調MIMO技術



多数アンテナ間の干渉制御・端末間連携

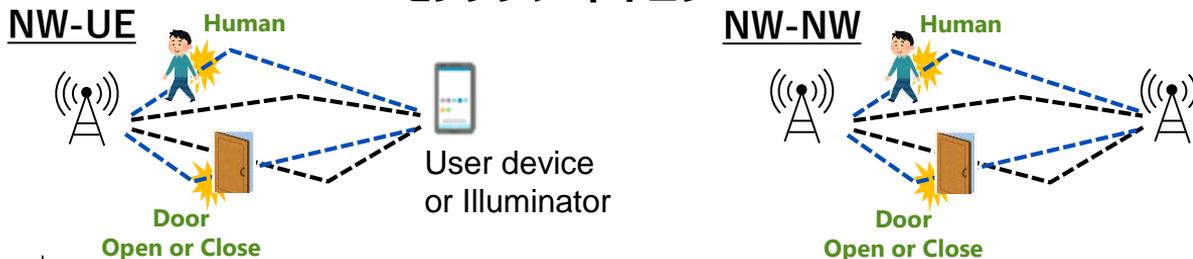
- 無線通信の電波で測定した情報に加えて、映像や多様なセンシング情報をAI技術で解析し、伝搬路予測やビーム制御などの無線通信制御の高度化に活用
- 電波を情報伝送に加えて様々な用途にも利用していく進化も有望であり、測位、物体検出などのセンシング、無線での給電技術（Energy harvestingなど）に活用。「ミリ波」「テラヘルツ波」は高精度な測位やセンシングに適しており、多様な情報をAI技術によって解析することで精度を大きく向上可能

センシング技術の比較

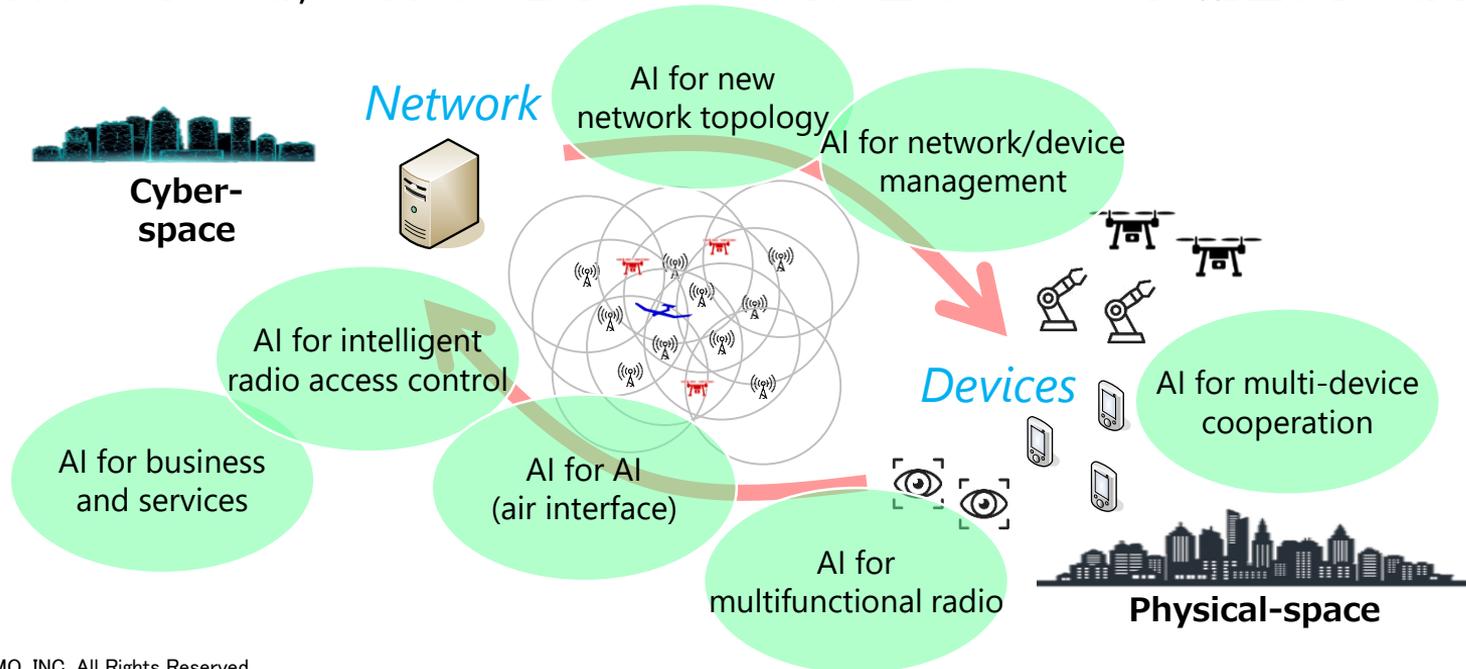
	無線（電波）	超音波	赤外線	カメラ
非見通し環境	○	○	×	×
コスト	○	△	△	△
プライバシー	○	○	○	×

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



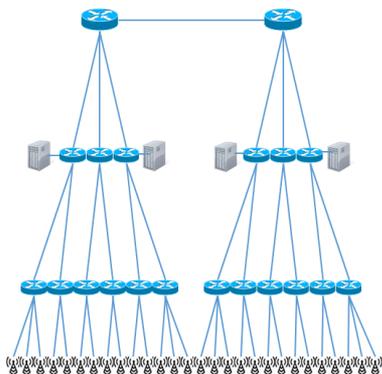
- 無線通信における様々な制御やアルゴリズム，ネットワークやデバイスの管理，ユースケースや環境に対して自動最適化する機能など，あらゆる領域においてAI技術の活用が可能
- 例えば，AIを利用して，移りゆく環境を先読みして伝搬環境や通信品質を予測する技術，予測した伝搬環境や通信品質に基づいて，統合連携する他の無線技術との間のインテリジェントな経路切り替えを行う技術，移動式基地局を常に最適な設置場所へ自律的に配置する技術などがある



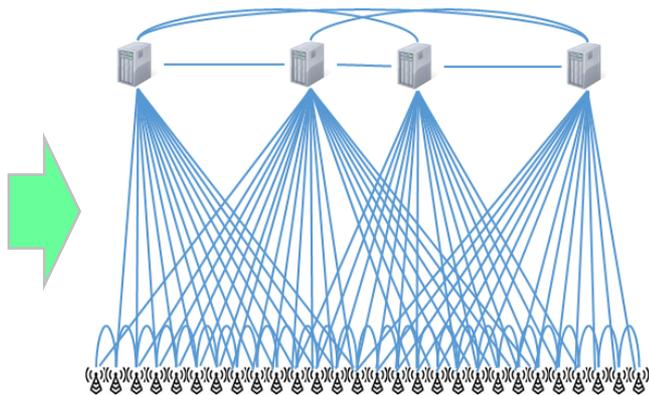
5Gでは、仮想化技術、ネットワーク・スライシングやサービスベースのアーキテクチャ等の新たな技術やコンセプトが導入された。6Gでは、マーケットトレンド、要求条件のさらなる高まりや市場変化の速さに追従するため、ネットワーク・アーキテクチャの抜本的な見直しも含めた検討が必要であり、下記が課題である。

- フラットなネットワーク・トポロジー
- フレキシブルなネットワーク機能配置
- ネットワークのシンプル化
- OAMの高度化
- 複数のアクセス技術のサポート
- 超低遅延を支えるコアネットワーク伝送/交換制御
- CPSを支える広域時刻同期と広域確定性通信
- 超カバレッジを支える位置ベース移動制御
- セキュリティの高度化
- 分散するコンピューティングリソース

これまで
ツリー型, スター型



将来の方向
フラット, メッシュ型
 • Robustness
 • Low latency



ローカル5Gに代表されるプライベートネットワーク的なユースケース, アンテナの分散配置, リレーノードの活用や端末間のホッピング, HAPSや衛星を活用したNTN, 移動通信以外の無線通信技術とのインテグレーション等を考慮した新しいネットワーク・トポロジー

フレキシブルなネットワーク機能配置

	端末	アンテナサイト	市・県ビル	地域・東西センター
4G	UE	RAN		CN
5G	UE	RAN		CN
5G evolution & 6G	UE	RAN		CN

	端末	アンテナサイト	市・県ビル	地域・東西センター
4G	UE	RAN		CN
5G	UE	RAN		CN
5G evolution & 6G	UE	6G Network		

- 仮想化, ソフトウェア化 → フレキシブル配置 → 分解・再構築
- 安価・省電力UE → UE機能の一部をネットワーク側に配置
- RANとCN間の冗長性排除
- コンピューティングリソースの分散配置

OAM (Operation and Maintenance) の高度化

- OAM業務の監視, 分析, 措置それぞれをAIで高度化・自動化
- 各業務を自動連係させZero touch operationへ

監視業務

運用状況を監視し, 異常を検知

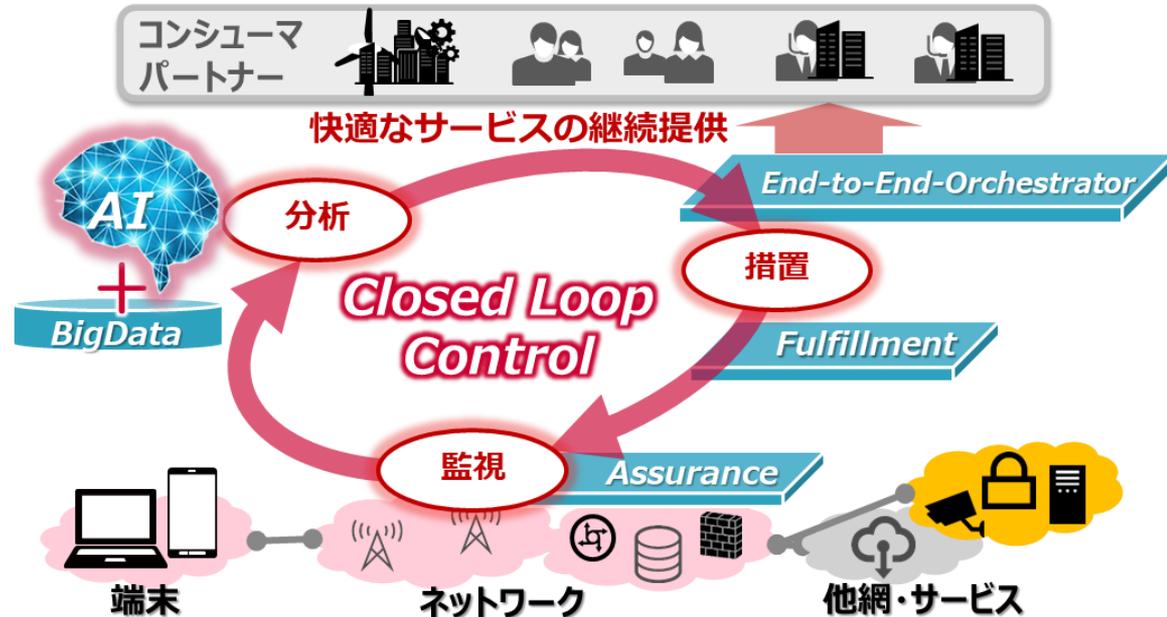
分析業務

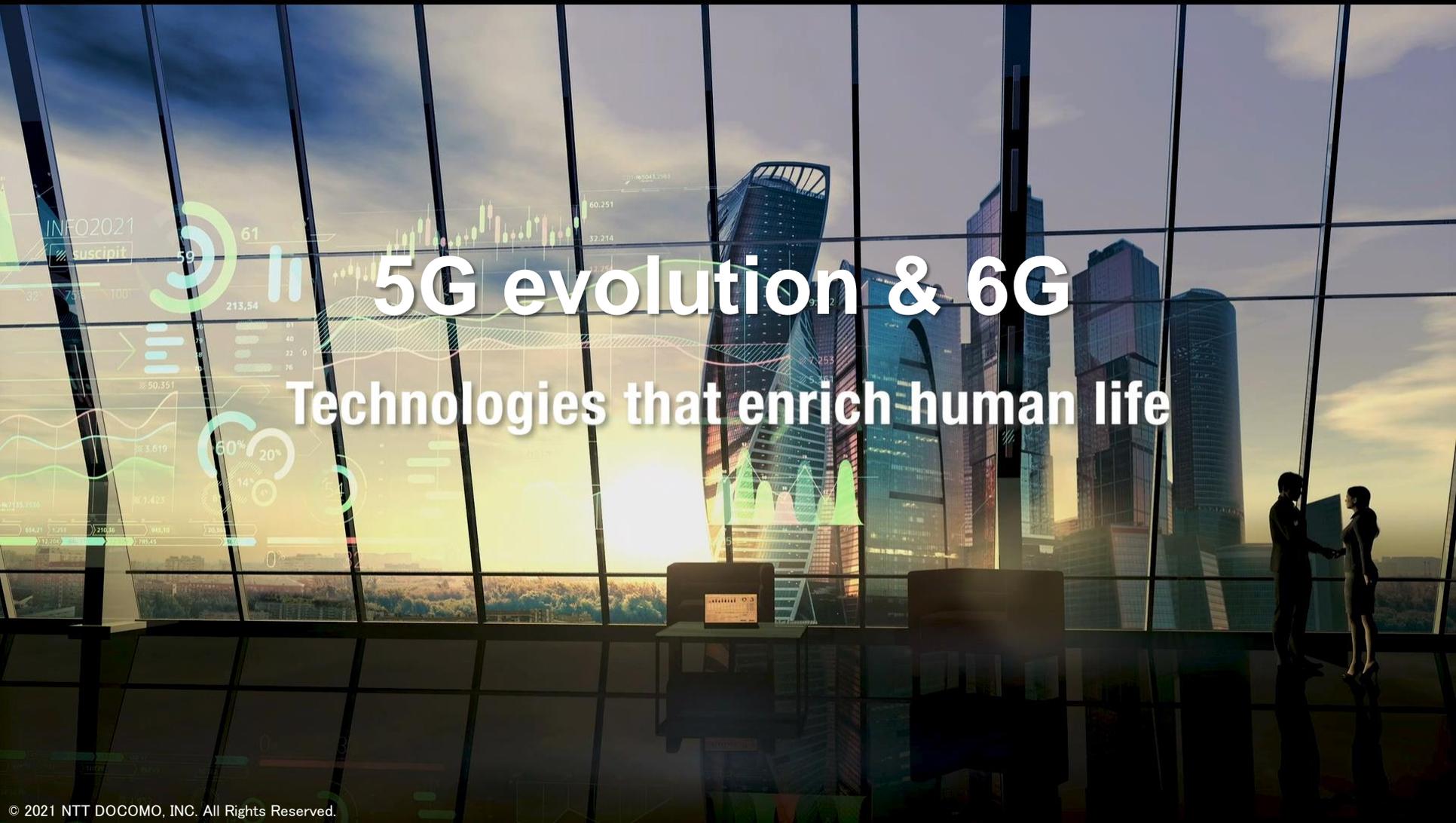
故障部位・主原因の分析・特定

措置業務

正常状態へ回復させる措置

全体連携によりサービスの自律運用を実現





5G evolution & 6G

Technologies that enrich human life