

## 当日のスケジュール

# 2021年3月26日（金） Day2

1社あたりのプレゼン時間：15分 登壇は原則として五十音順となります（一部調整あり）

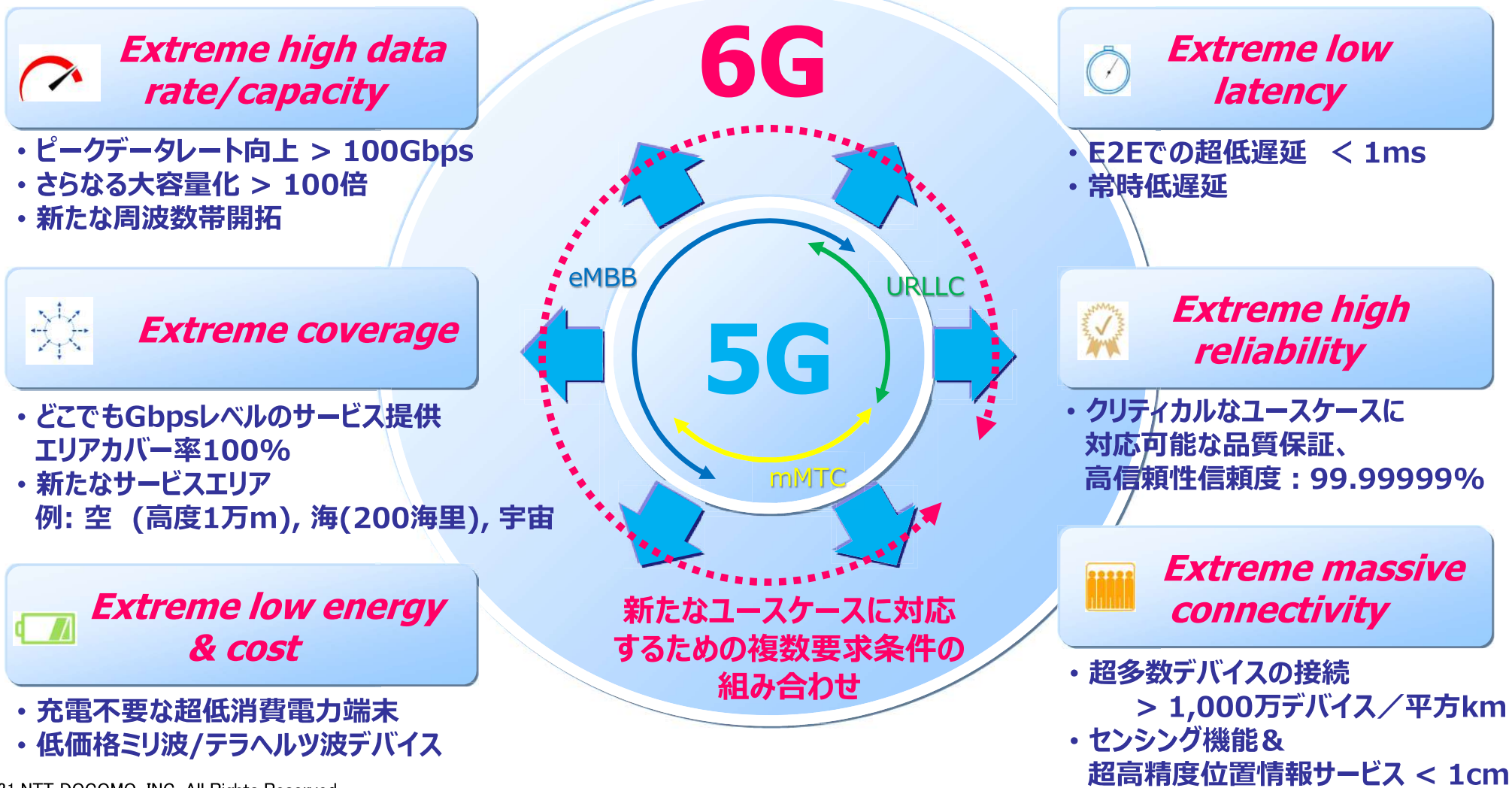
アジェンダ・プレゼン組織	時間
主査挨拶	14:00-14:05
株式会社NTTドコモ	14:05-14:20
エリクソン・ジャパン株式会社	14:20-14:35
KDDI株式会社	14:35-14:50
スカパーJSAT株式会社	14:50-15:05
10分休憩	15:05-15:15
日本電気株式会社	15:15-15:30
ノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社	15:30-15:45
華為技術日本株式会社	15:45-16:00
富士通株式会社	16:00-16:15
ラップアップ・今後の方針について	16:15-17:00

# 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  
須山 聡

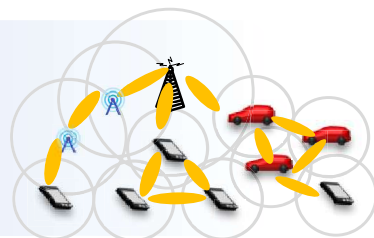


# 6Gによる飛躍的な性能向上：要求条件

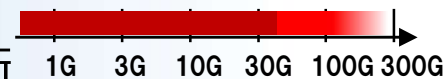


# 6Gの技術発展と検討領域

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



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



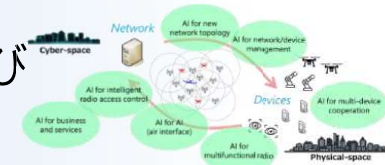
Massive MIMO技術および  
無線伝送技術のさらなる高度化



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



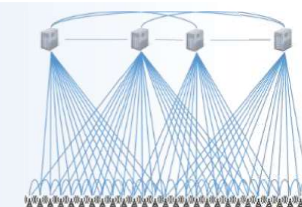
無線通信システムの多機能化および  
あらゆる領域でのAI技術の活用



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



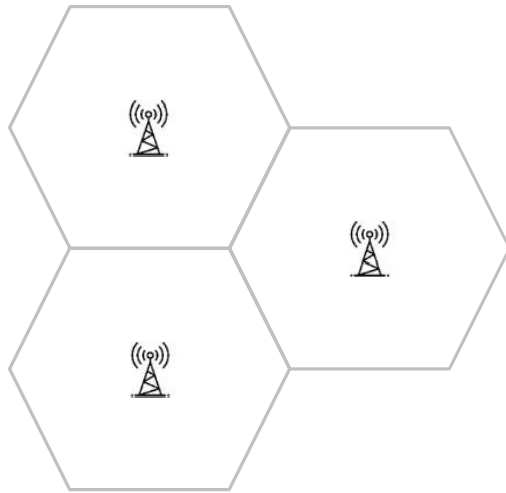


# 分散ネットワーク高度化 (New Radio Network Topology)

## ■ 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

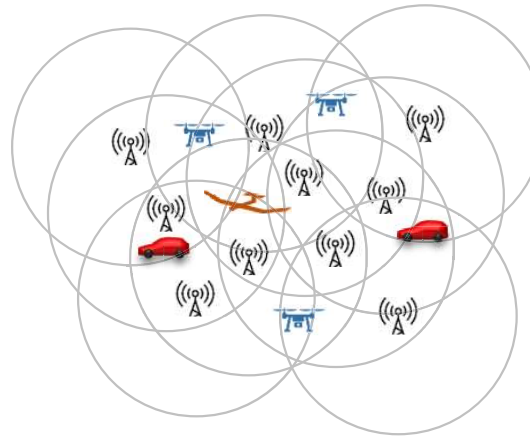
- できるだけ近い距離や見通し環境 (ロスの少ないパス) で通信
- できるだけ多数の通信路をつくり, パス選択の余地を多くする (冗長性を増やす)

### 空間領域で分散した無線ネットワークトポロジー

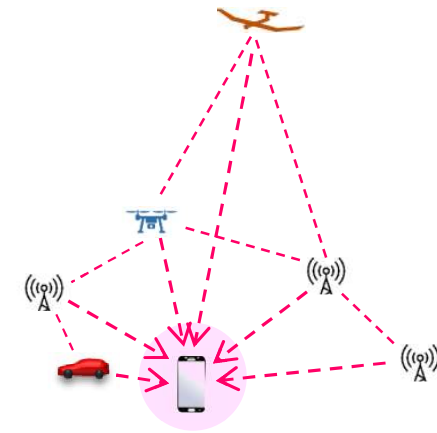


“Coordinated”

クラシカルなセル構成



“Overlapping/moving”



“Multiple connection paths”

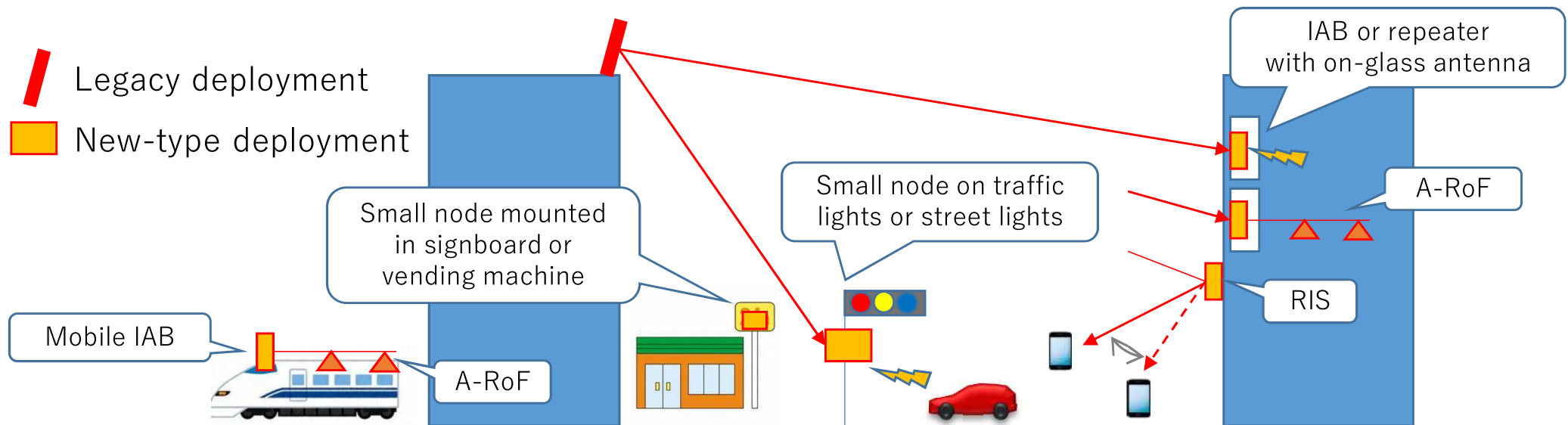
- ✓ 高周波数帯の利用と分散MIMO
- ✓ 高精度なセンシング (測位, 物体検知)
- ✓ 近距離から低電力で省エネ送信
- ✓ 近距離から無線給電

低コストな実現方法が課題

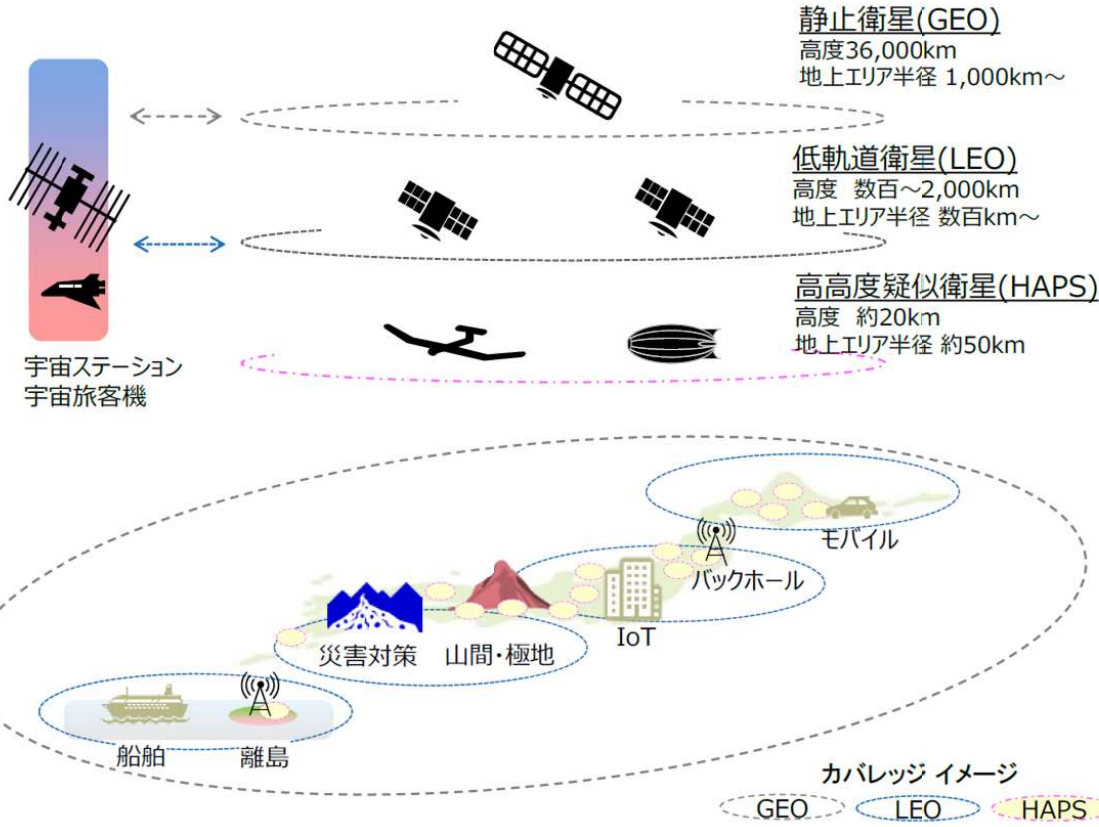
# New Radio Network Topology – ソリューション例

## ■ 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



# 衛星やHAPSを用いる空・海・宇宙へのカバレッジ拡張



## 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"> <li>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)</li> </ul>
LEO	<ul style="list-style-type: none"> <li>MIMO等の適用による通信容量の拡大</li> <li>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</li> </ul>
HAPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>長距離通信に適した無線インターフェースの拡張</li> <li>地上NWとの効率的な周波数有効利用方法</li> <li>HAPS搭載局と地上NWの高効率な連携を実現するNW設計</li> </ul>

### 往復伝搬遅延(Round-Trip Time)※

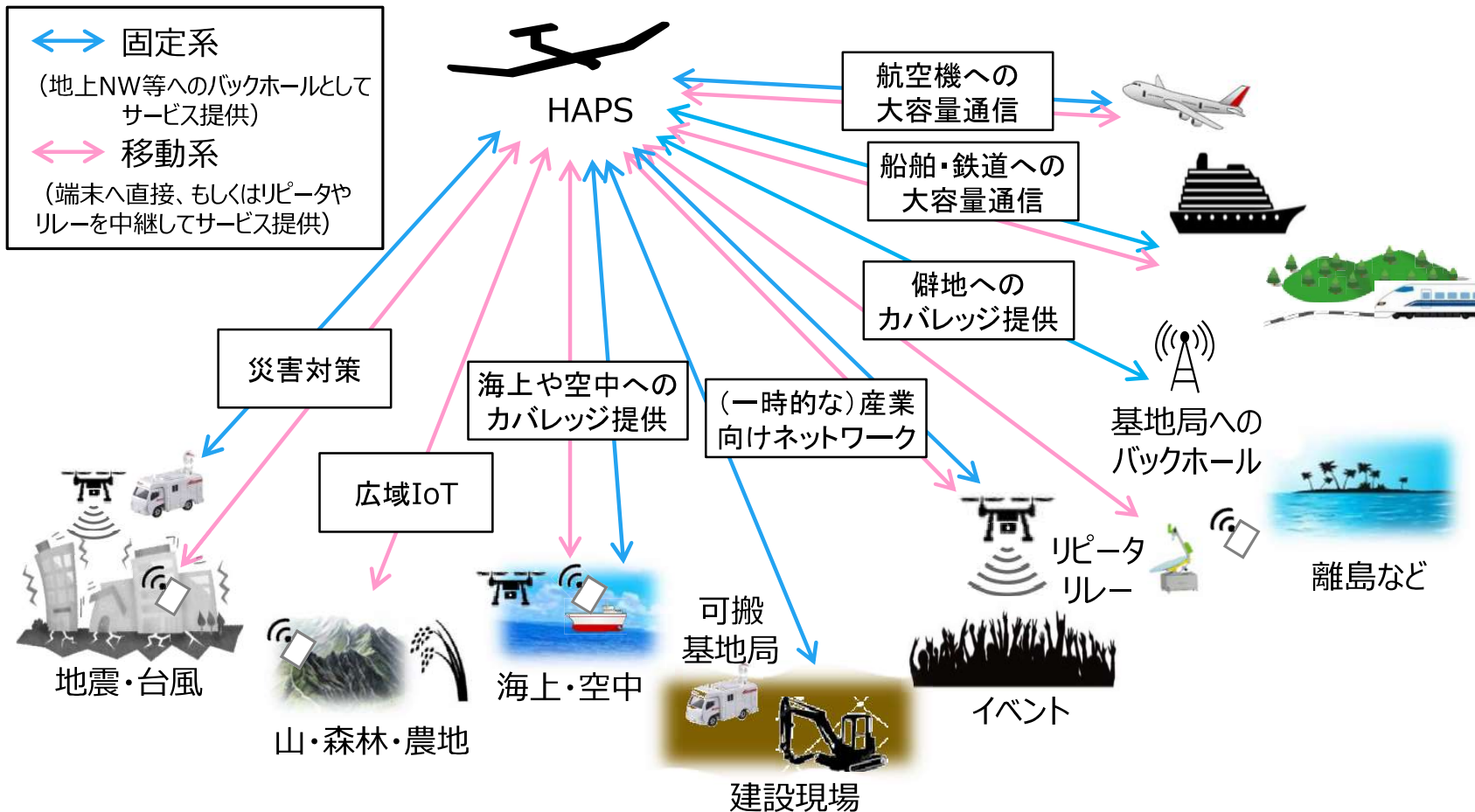
GEO	477.48ms~541.46ms
LEO (高度600kmの場合)	8.00ms~25.77ms
HAPS (高度20kmの場合)	0.267ms~1.47ms

※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

# 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

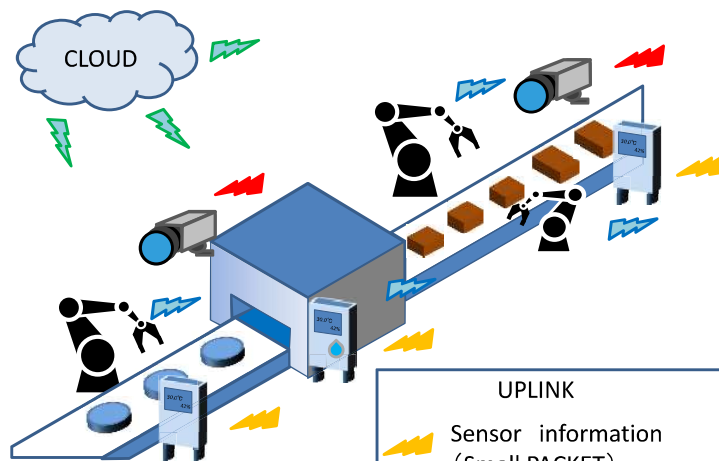


## 無線技術の課題

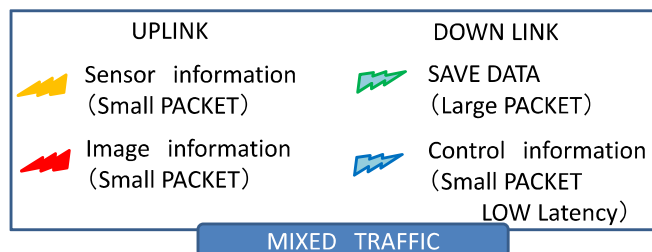
- 長距離通信に適した無線インターフェースの拡張
- 地上ネットワークとの効率的な周波数有効利用方法
- HAPS搭載局と地上ネットワークの高出率な連携を実現するネットワーク設計など

# URLLCの拡張および産業向けネットワーク

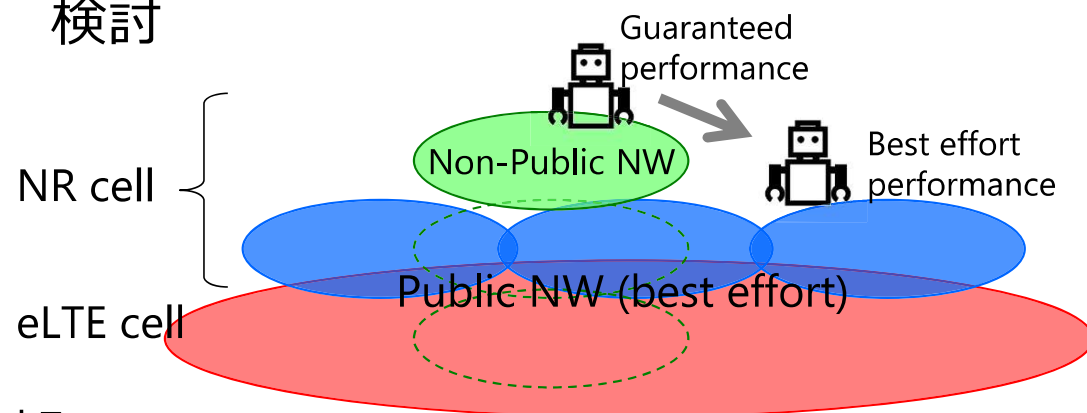
- 低遅延・高信頼性を維持しながら大容量通信を実現していくなど幅広い要求条件に応えられるシステムの実現
- 6Gに向けて, さらにレベルの高い信頼性や高セキュリティの実現  
(99.999% → 99.9999% → **99.99999%**)



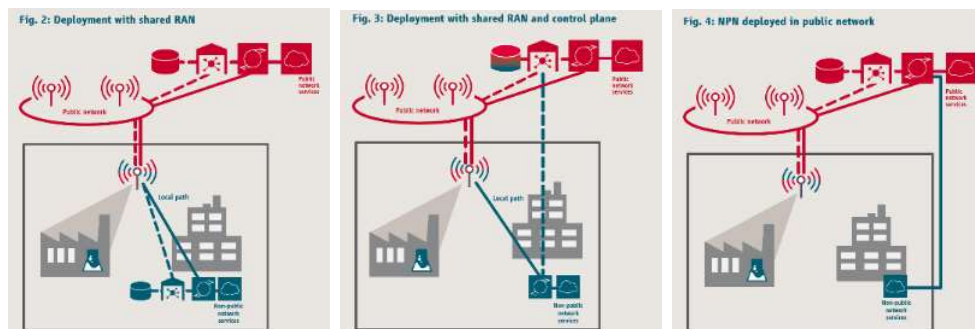
大容量通信を必要とする情報伝送系のシステムと, 低遅延・高信頼性を必要とする制御系システムの同時運用



- ベストエフォート型公衆網との混在シナリオの検討



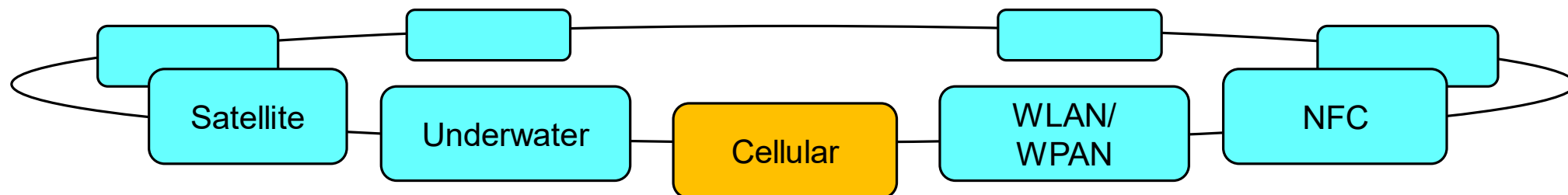
5G-ACIAでも複数のネットワーク構成のオプションが検討



# 移動通信以外の無線通信技術のインテグレーション

- 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



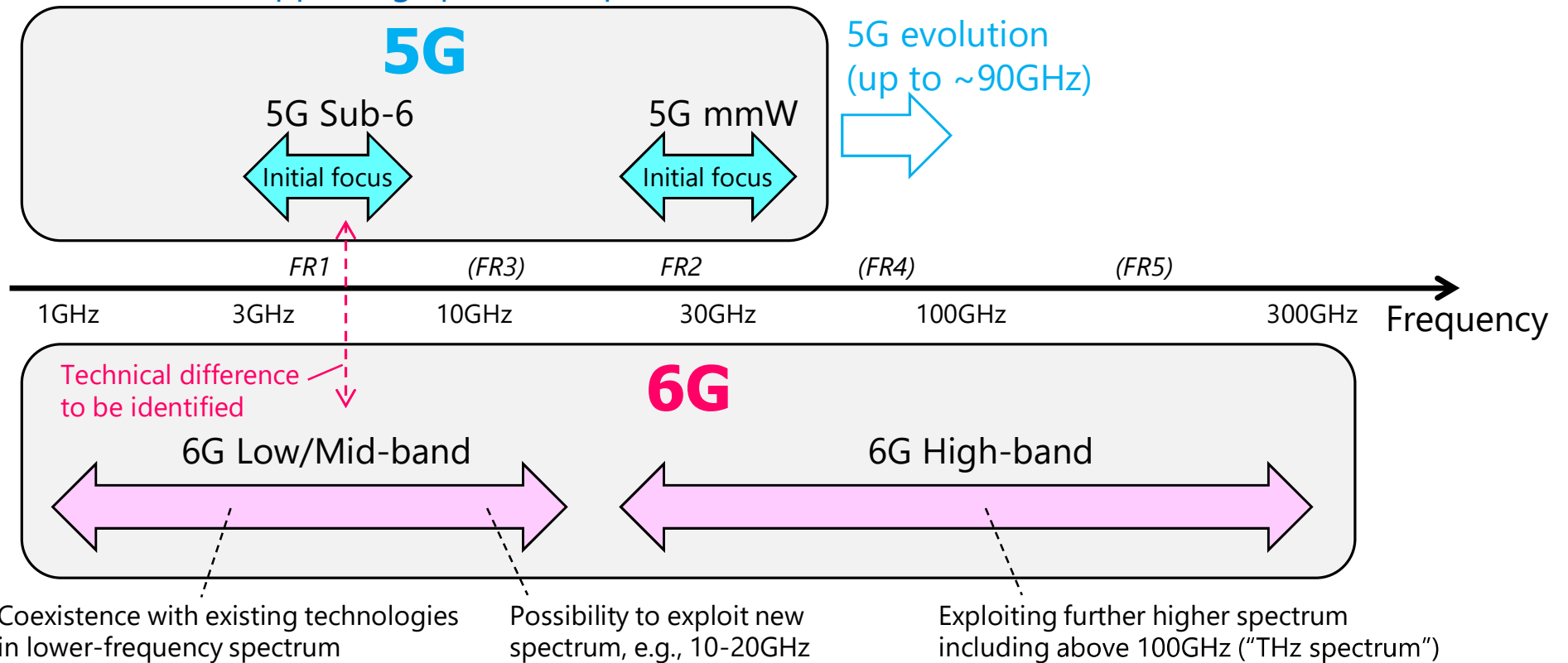
- 6Gの「定義」にも関係？
- 理想は、ユーザにどの無線技術を使用しているかを意識させることなく、より幅広いユースケースをサポート可能なエコシステムを確立すること



# 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

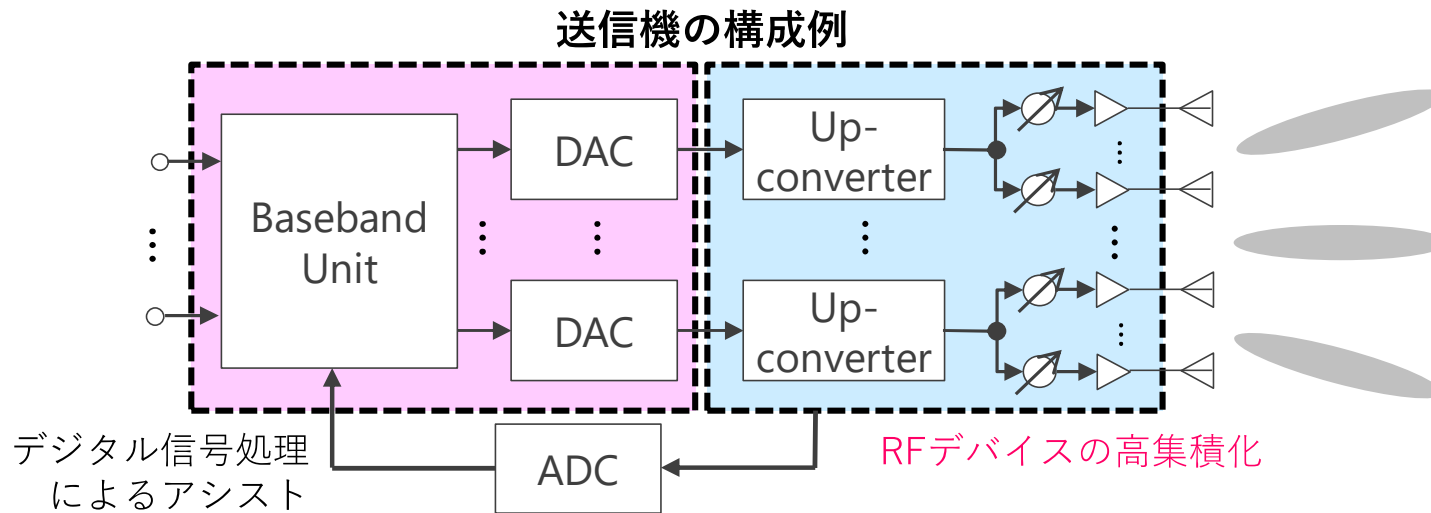
5G NR supporting spectrum up to ~50GHz (52.6GHz)





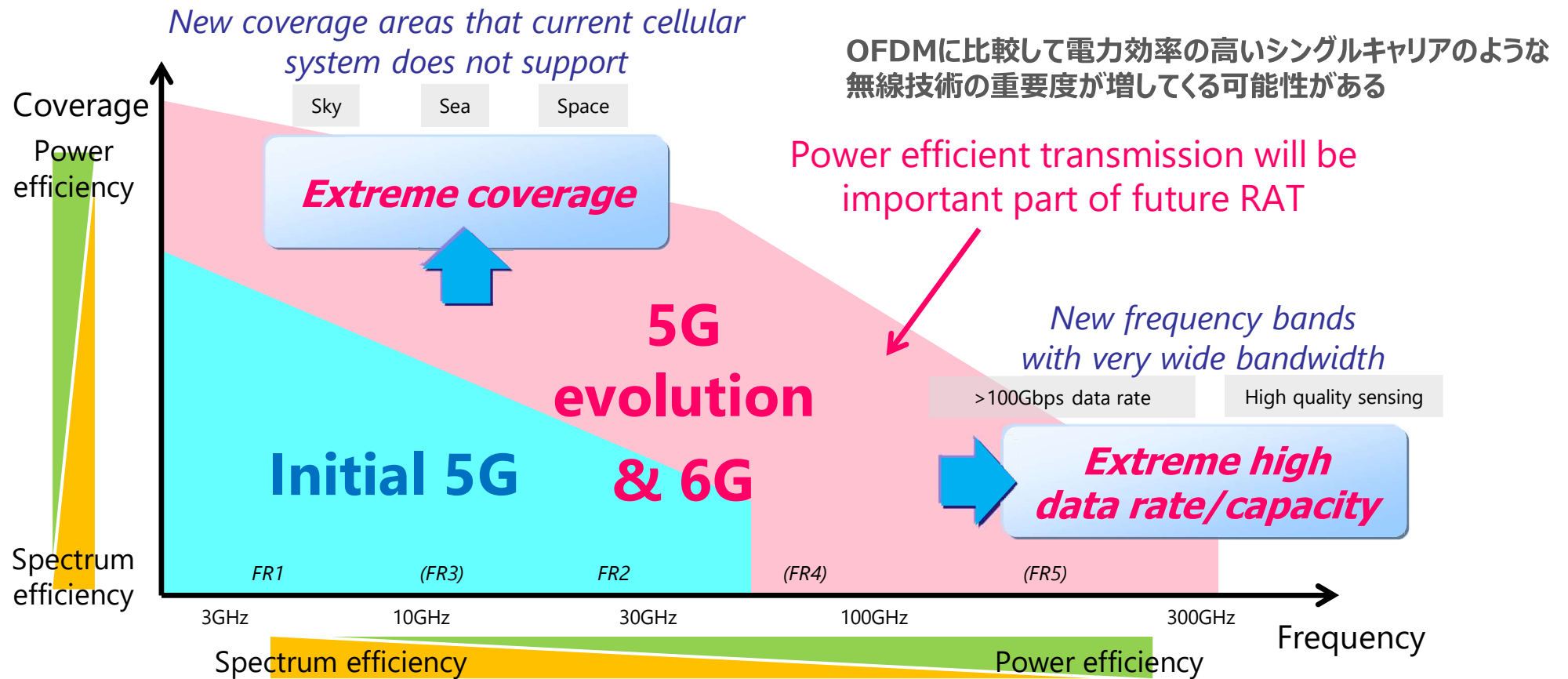
# 高周波数帯無線デバイス技術の技術課題

- 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

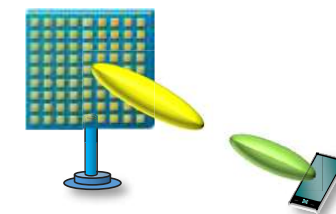


# 高周波数帯開拓とカバレッジ拡張を実現する無線アクセス技術

「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

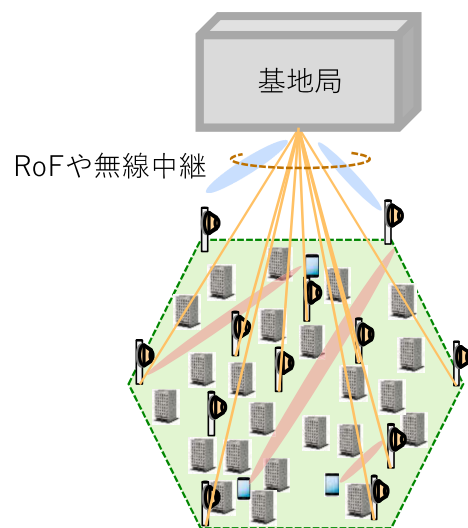


# Massive MIMO技術の高度化



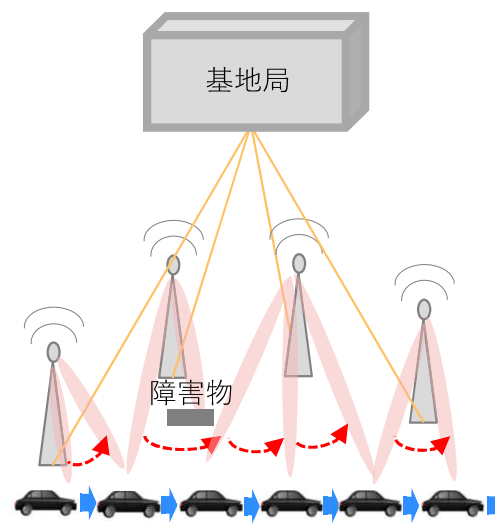
- Massive MIMO(mMIMO)のさらなる多素子化／多レイヤ化が進む
- New Radio Network Topologyと組み合わせた分散型アンテナ配置の mMIMOである**分散MIMO**が高周波数帯で特に有望
- 分散MIMOでは、見通し伝搬経路を確保するための分散アンテナ展開技術、通信経路の切り替えやビームの追従を行う分散伝搬路制御技術、多端末を同時に収容する分散協調MIMO技術の実現が課題

## 分散アンテナ展開技術



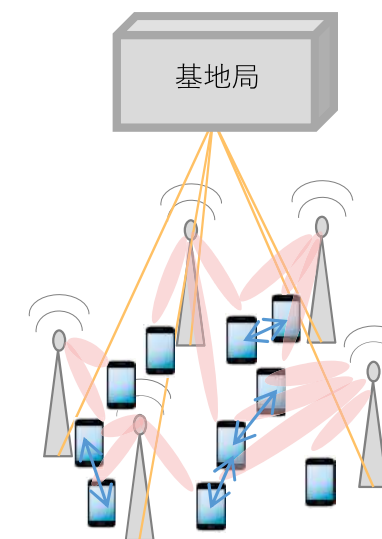
多数アンテナの展開法

## 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

# 無線通信システムの多機能化とAI技術の活用

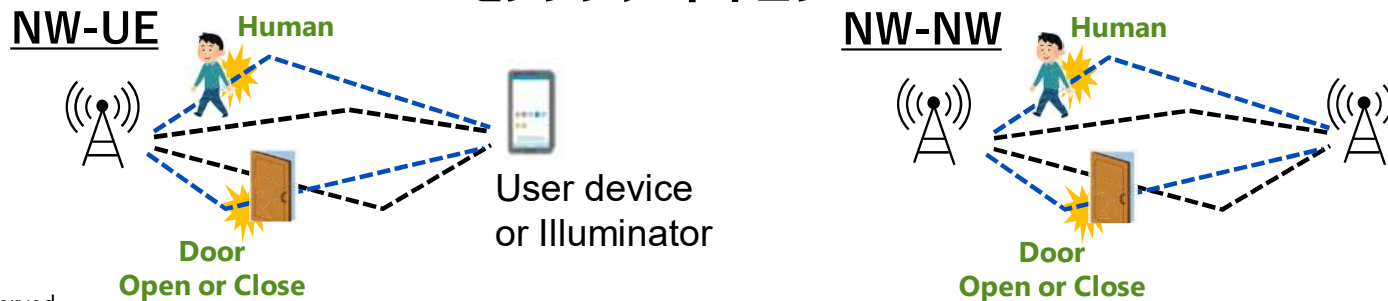
- 無線通信の電波で測定した情報に加えて、映像や多様なセンシング情報をAI技術で解析し、伝搬路予測やビーム制御などの無線通信制御の高度化に活用
- 電波を情報伝送に加えて様々な用途にも利用していく進化も有望であり、測位、物体検出などのセンシング、無線での給電技術（Energy harvestingなど）に活用。「ミリ波」「テラヘルツ波」は高精度な測位やセンシングに適しており、多様な情報をAI技術によって解析することで精度を大きく向上可能

## 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	○	○	○	×

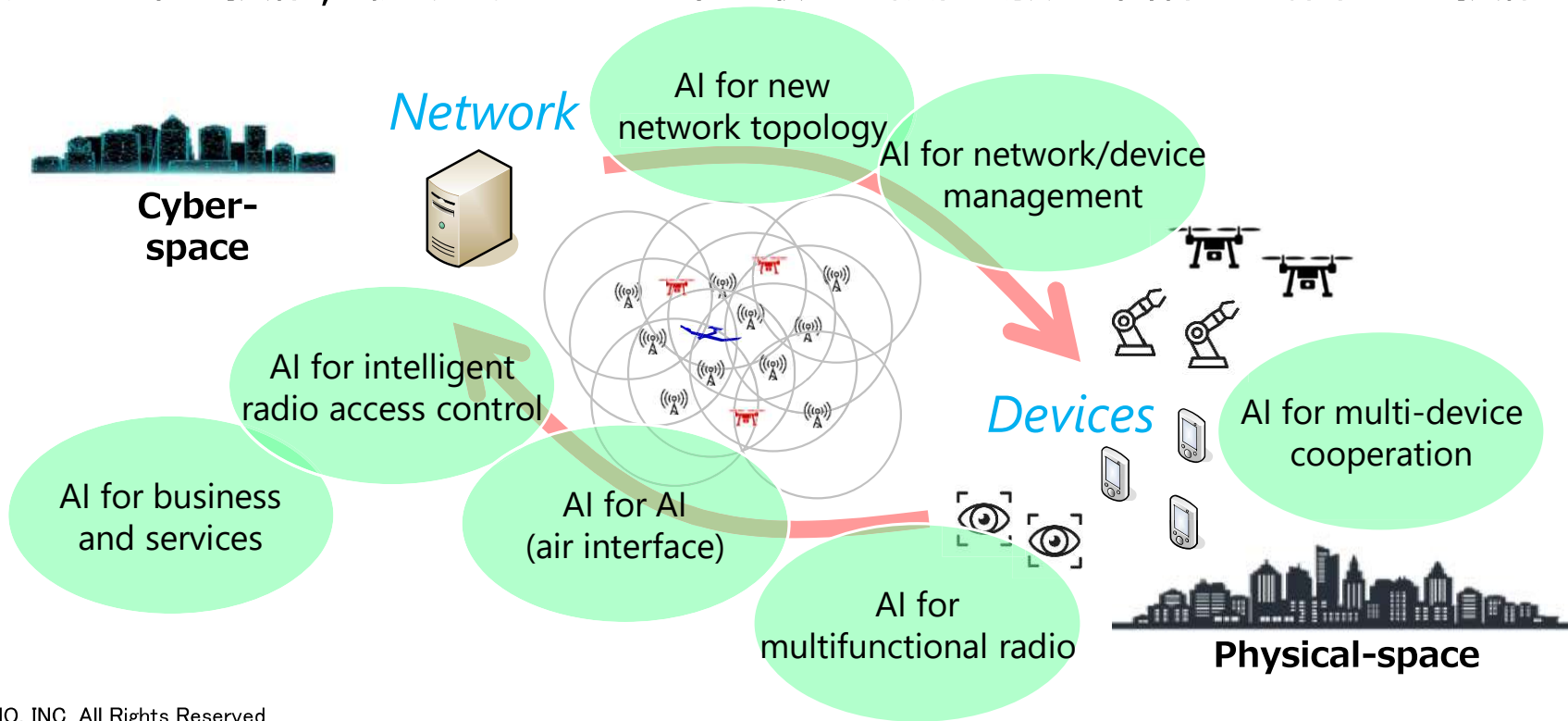
既存の通信ネットワークを利用することでコストを抑えられ、プライバシーの保護も可能

## センシング・トポロジー



# 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



# ネットワーク・アーキテクチャにおける主な課題

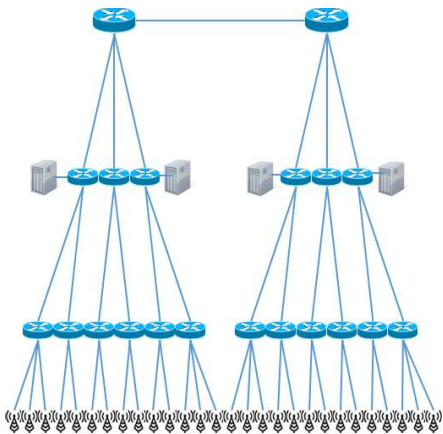
5Gでは、仮想化技術、ネットワーク・スライシングやサービスベースのアーキテクチャ等の新たな技術やコンセプトが導入された。6Gでは、マーケットトレンド、要求条件のさらなる高まりや市場変化の速さに追従するため、ネットワーク・アーキテクチャの抜本的な見直しも含めた検討が必要であり、下記が課題である。

- 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

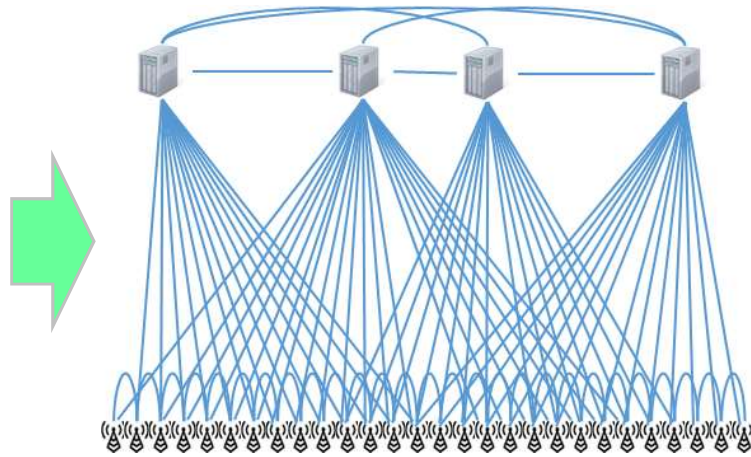


# フラットなネットワーク・トポロジとフレキシブルなネットワーク機能配置

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

## 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

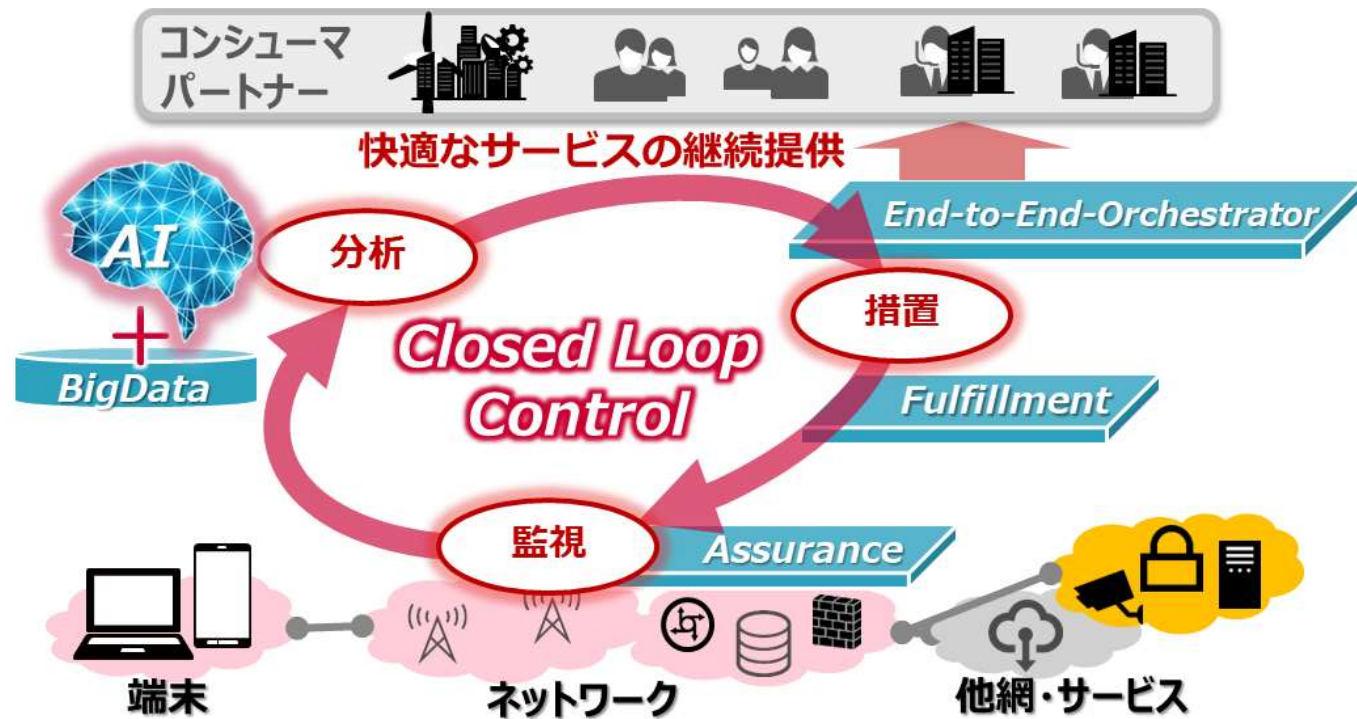
## 分析業務

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

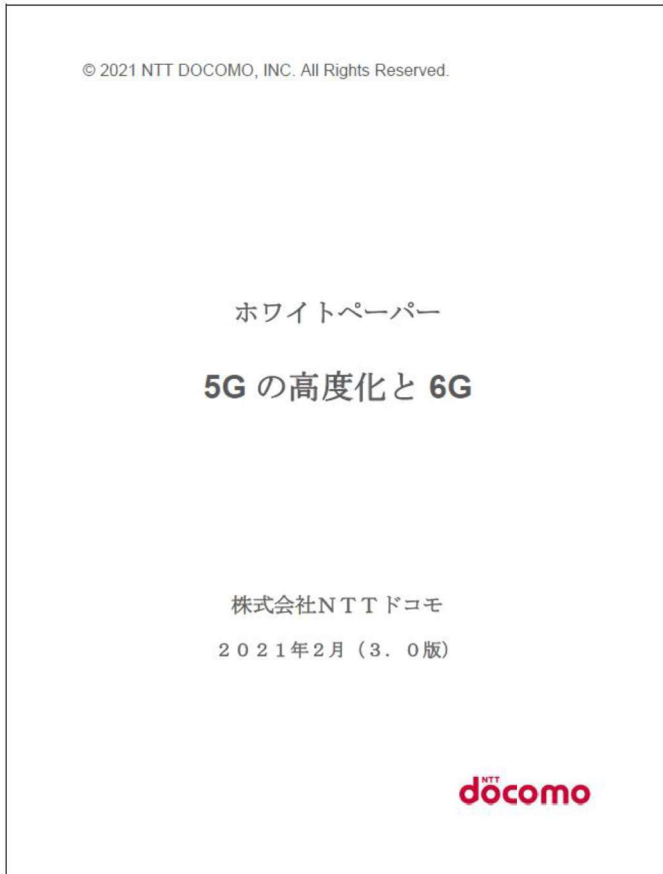
## 全体連携によりサービスの自律運用を実現



# ドコモのホワイトペーパー「5Gの高度化と6G」



- 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



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. 非陸上 (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

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)**

[https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper\\_6g/?icid=CRP CORP to CRP CORP technology whitepaper\\_6g](https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/?icid=CRP CORP to CRP CORP 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



# 5G evolution & 6G

## Technologies that enrich human life



# Beyond 5Gの要求条件および技術動向

2021年3月26日

エリクソン・ジャパン株式会社

# 6Gの主要な技術目標



## The Internet of Senses

人の六感をネットワークを通して伝達できるようにする



## Connected Intelligent Machines

多くを占めると予測されるインテリジェントな装置間のトラフィックに適すモバイルネットワークの構築



## Digitalized & programmable physical world

あらゆるものがデジタル表現できるようになり、物理世界が完全にプログラマブルで自動化可能となる



## Sustainable World

デジタル化、ICT、モバイルネットワークが、世界が今日直面している多くの問題を解決する



ユースケースの側面

## Non-limiting connectivity

いつでもどこでも、誰でも何でも、全てのアプリにネットワーク接続を提供する



## Trustworthy Systems

ネットワークが、最も重大なユースケースの要件を満たすレベルまで信頼性を向上させる



## Cognitive network

経験した事例や状況観測から多岐に亘る自己学習を継続的に行い、改善を進めるネットワークを実現する



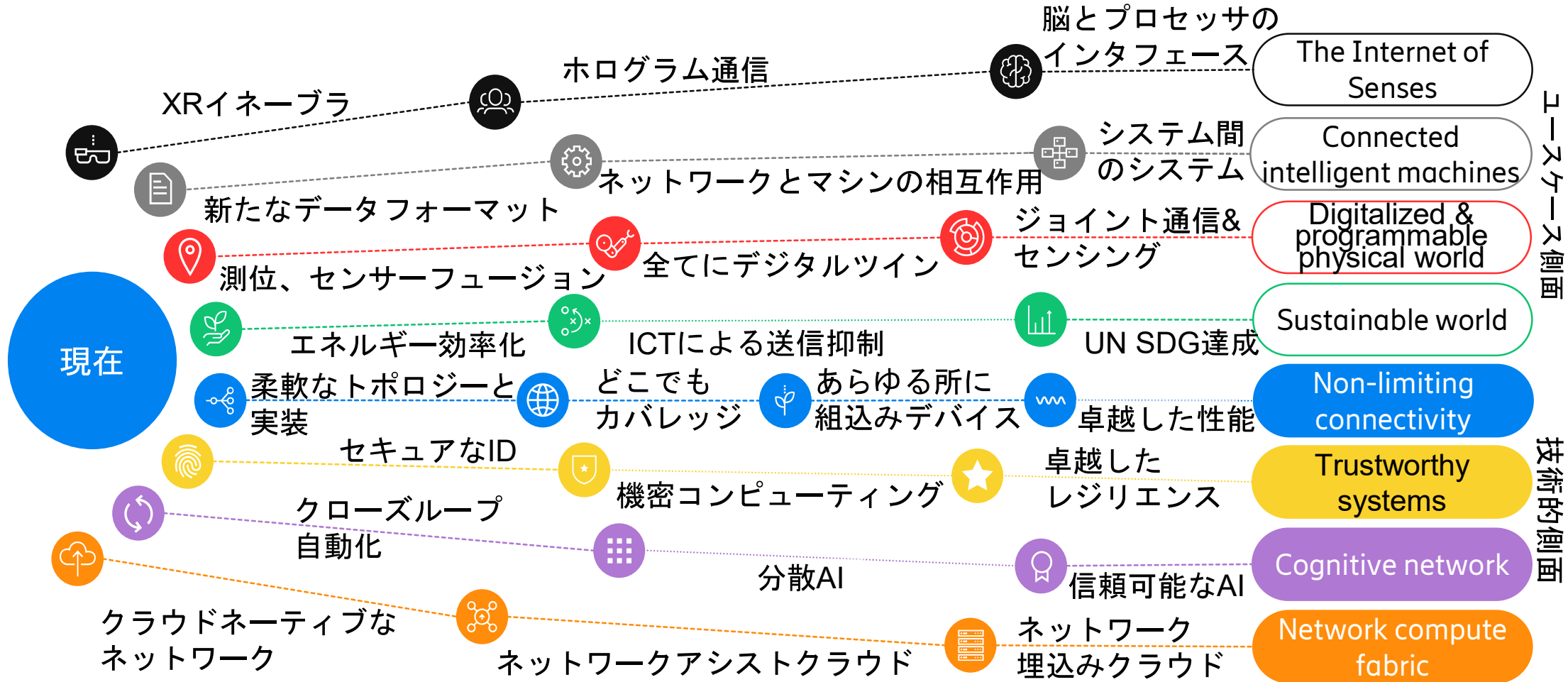
## Network compute fabric

デバイスとネットワーク、クラウドの境界線があいまいになり、ネットワークが分散アプリの統合された実行環境となる



技術的側面

# 技術目標に向けての各技術分野の進化



# シームレスなカバレッジ



## Today

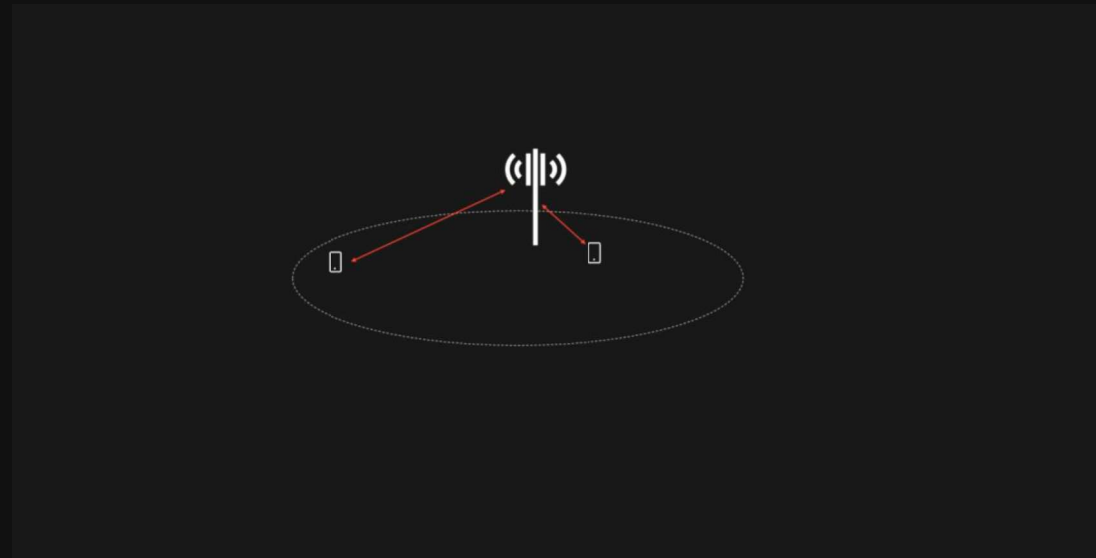
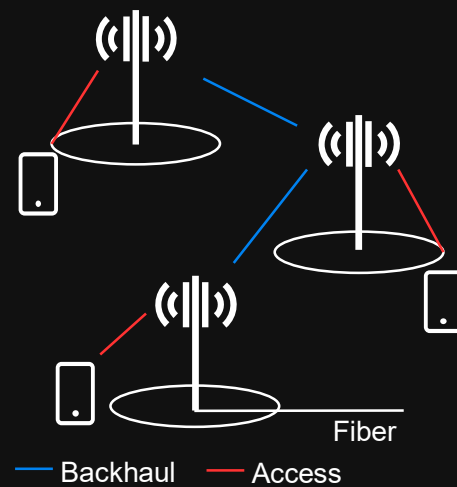
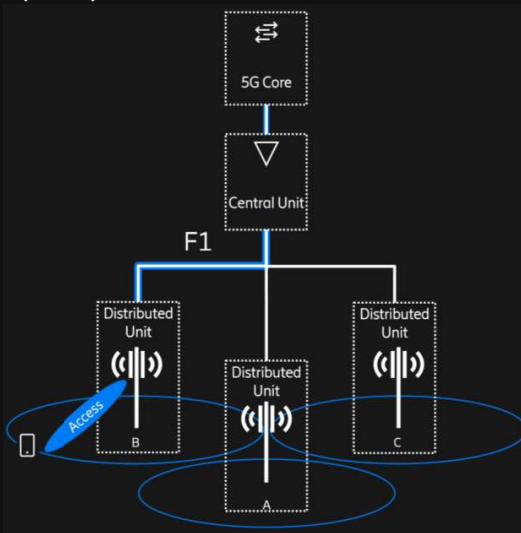
Dual Connectivity  
Split RAN architecture  
Integrated access and backhaul (IAB)

## Evolving 5G

New network topologies  
(e.g. multi-hop IAB)  
V2X

## Towards 6G

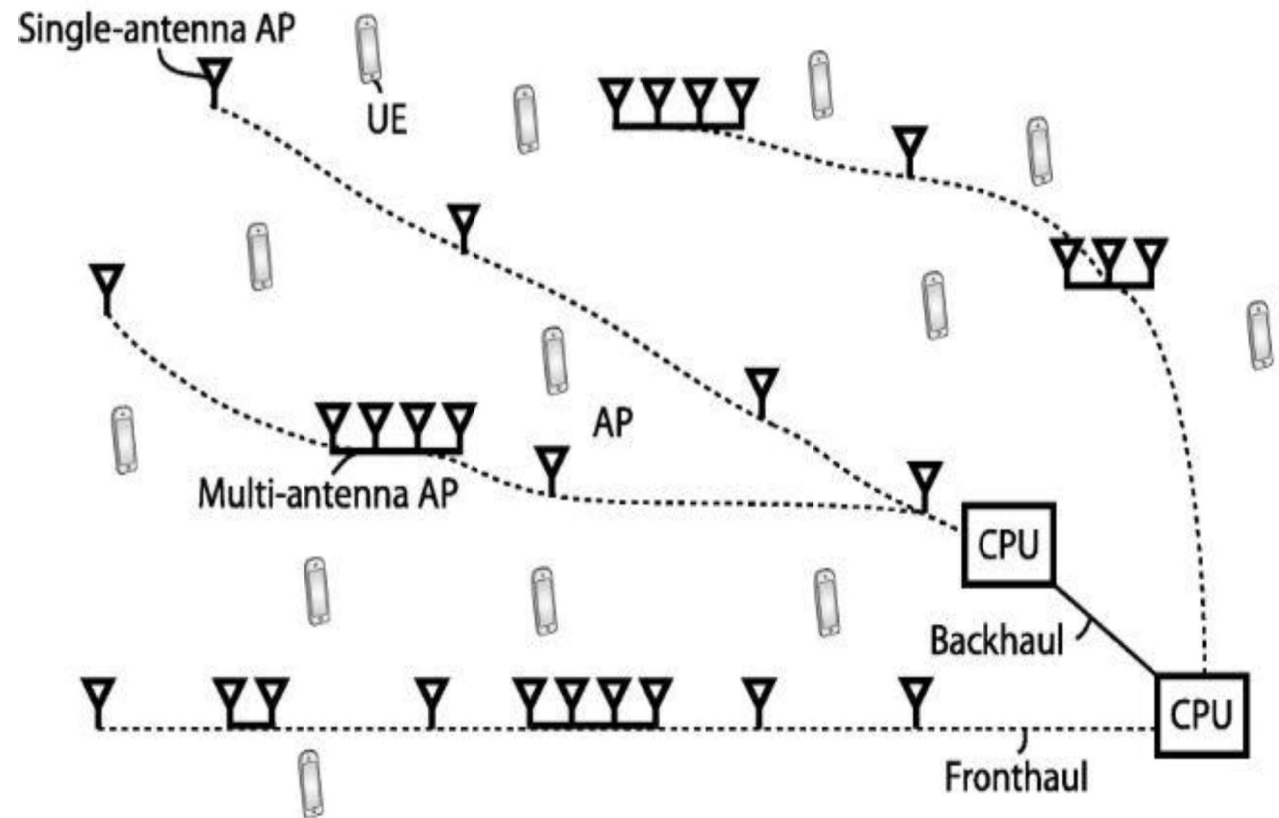
Connectivity everywhere





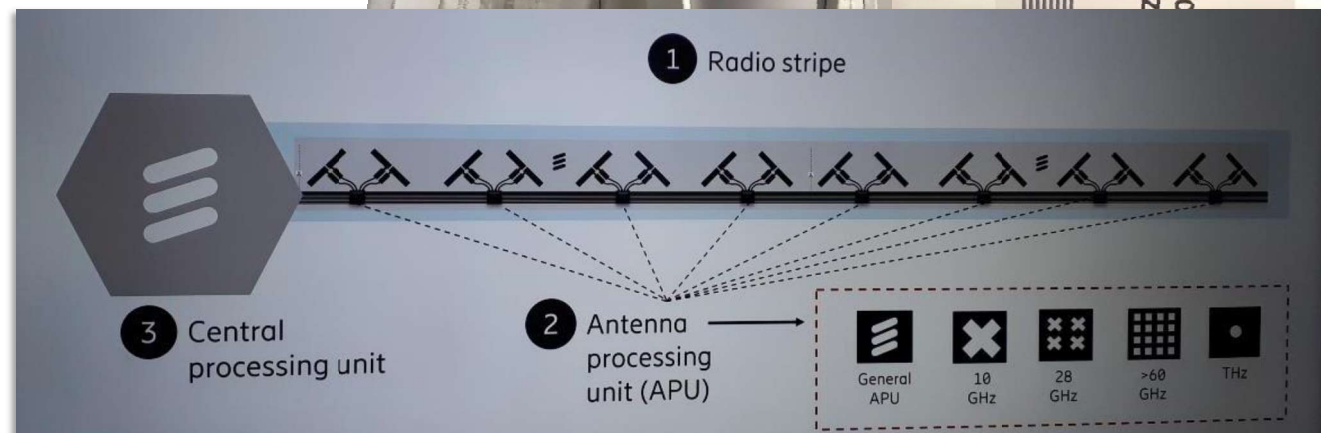
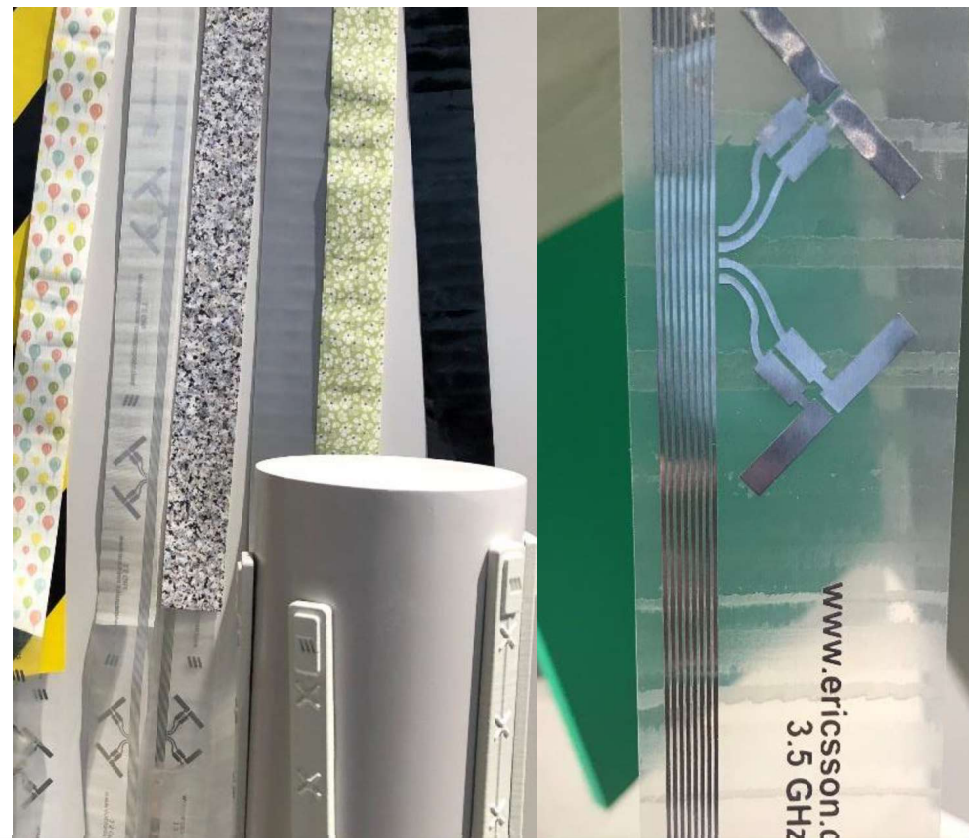
# 分散マッシュブMIMO

- 基地局アンテナをカバレッジ設計に基づき、あるいはランダムに分散配備
- レイヤ1モビリティ実現
- 高密度化により、干渉があっても大きなゲインが得られる可能性
- 線状にアンテナを分散配備する可能性 – Ericsson Radio Stripe



# Ericsson Radio Stripe

- ❑ フィルム状の材料に信号線、電源線を印刷するイメージで、直線状の配線上にアンテナと信号処理素子を配置
- ❑ アンテナ自体も印刷するケースと信号処理素子（APU）上に形成するケース
- ❑ マッシュブMIMO及び分散MIMOを実現
- ❑ 床のカーペット、配線ダクト内、天井に吊り下げるなど、様々な実装が可能でシームレスなカバレッジを実現
- ❑ 技術的な検証が進んでおり5～10年後実用化見込み

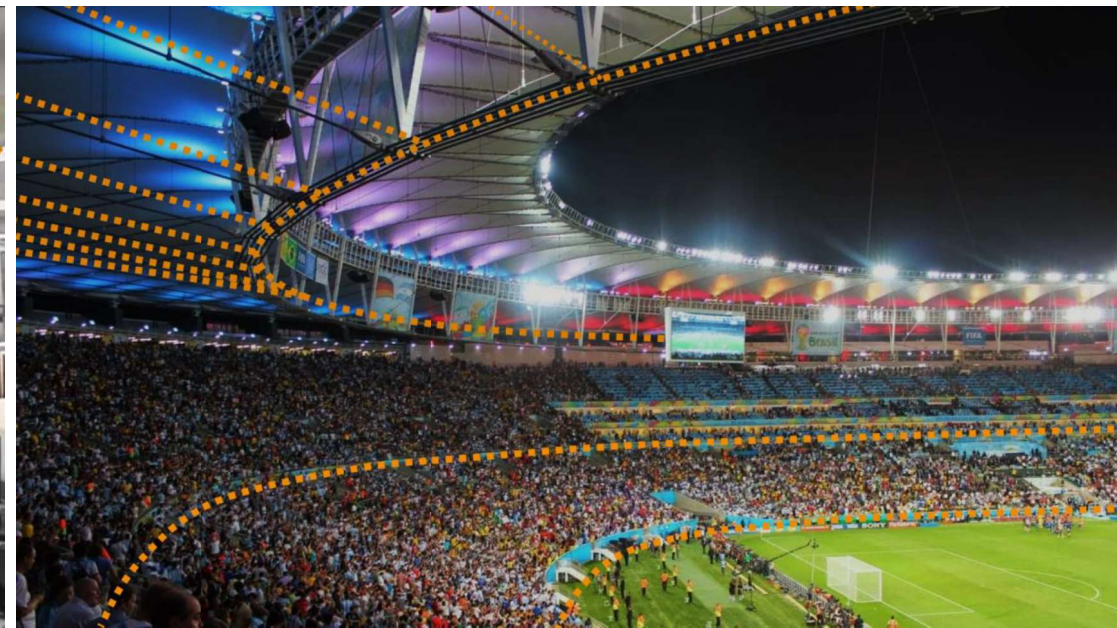




# Radio Stripeの展開例



工場



スタジアム

# ゼロコスト・ゼロエネルギーデバイス



Today

LTE-M  
NB-IoT

Evolving 5G

NR RedCap

Towards 6G

Zero cost, zero-energy devices





# ゼロエネルギーデバイス

## 環境エネルギーのみで動作するデバイス

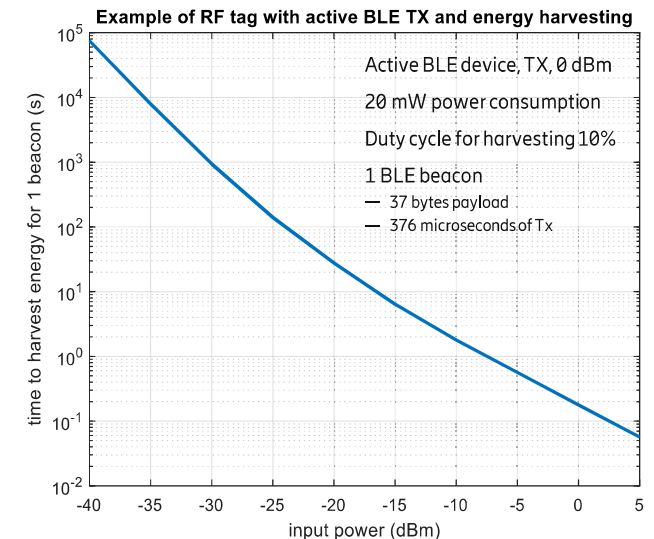
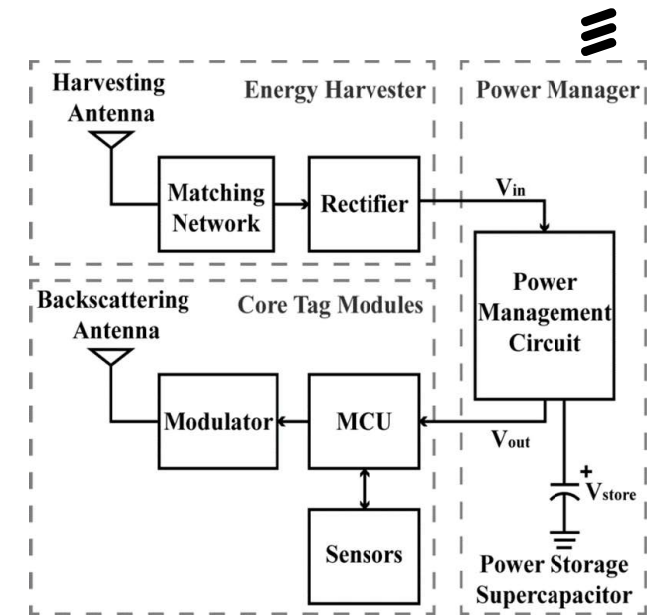
- ▶ 無線以外のエネルギー源（振動、温度差、太陽光など）
- ▶ 無線エネルギーを利用

## ネットワークへのゼロエネルギーデバイスの取り込み

- ▶ デバイスへエネルギーを供給するための新たなチャネル/信号
- ▶ デバイスのエネルギー供給が限定される場合を考慮した物理レイヤやプロトコルの設計
- ▶ バックスキャタリング

## ゼロコストのために印刷型デバイスと組合せ

- ▶ ユースケース例：工場内での部品運搬車の位置追跡
- ▶ バックスキャタリングでゼロコスト実現



# 通信とセンサーの融合



## Today

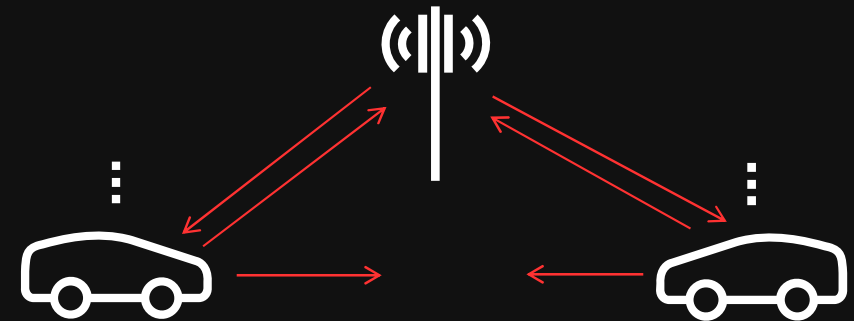
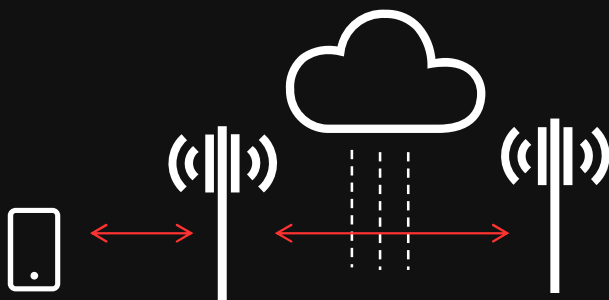
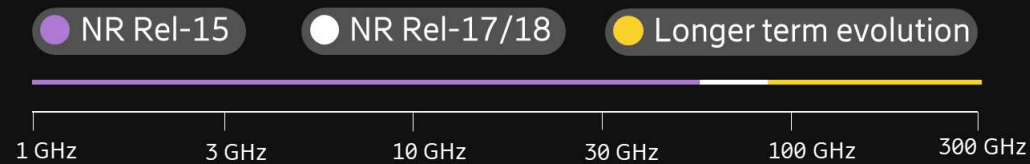
Communication up to 39 GHz

## Evolving 5G

Communication up to 100 GHz  
Positioning with cm accuracy

## Towards 6G

Integrated communication and sensing  
on frequencies up to 0.3 THz



# Network as a Sensor

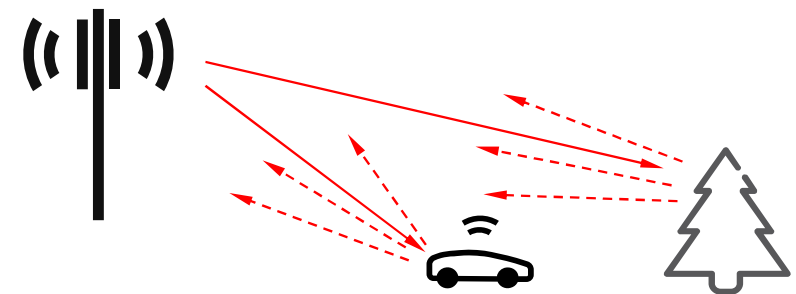
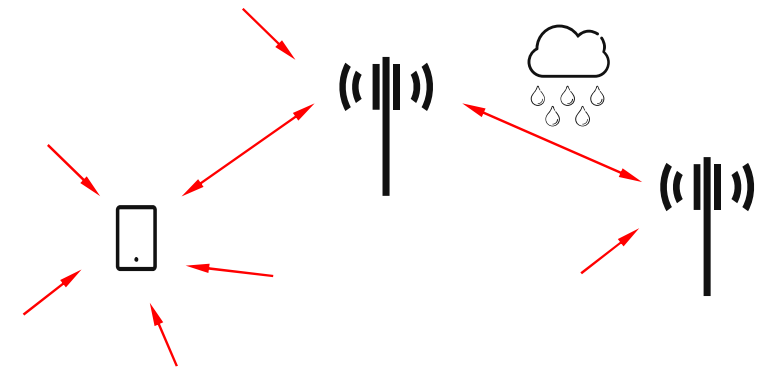
無線信号を周辺状況の「感知」に利用

## 通信で用いる無線信号の流用

- モバイル通信システムから得られた情報のデータ処理
  - ▶ ペイロード分析、デバイス密度、ドプラー推定、遅延スプレッド推定、伝搬減衰を利用した降雨量推定（既に、マイクロ波リンクを用いて実用化）

## アクティブセンシング

- レーダ的的信号に対する反射波を利用
  - ▶ ミリ波信号への反射波を利用してローカルマップを生成
  - ▶ 対象物の位置とスピードを推定
  - ▶ NR-PSSのような報知信号への反射波を流用



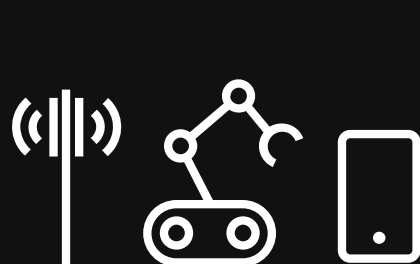


# AIベースのエアインタフェース (AI-AI)



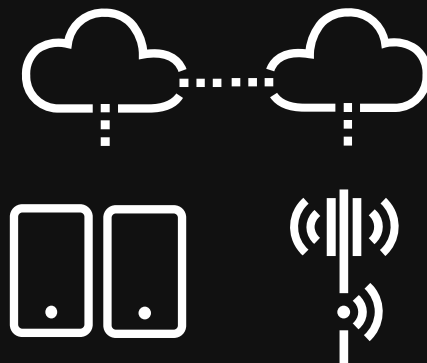
Today

Domain specific AI



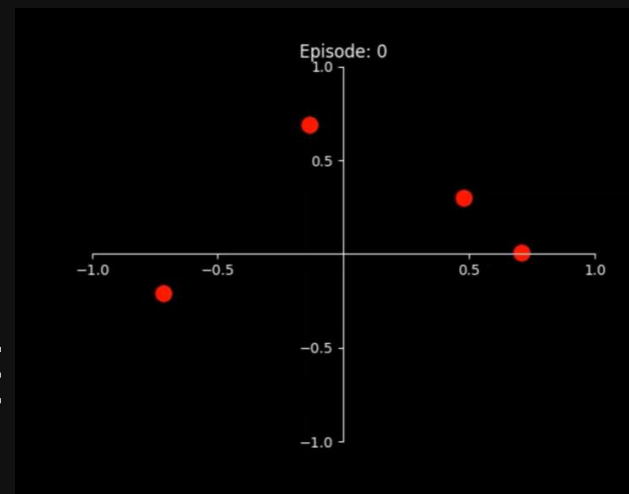
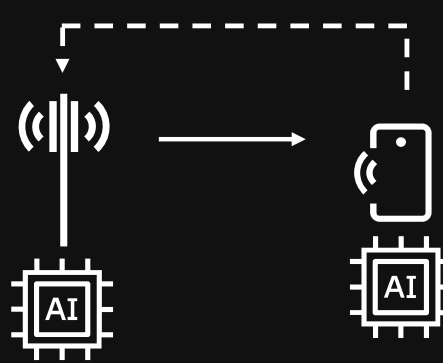
Evolving 5G

Cross domain optimization  
Zero-touch



Towards 6G

Artificially intelligent air interface (AI-AI)  
with self learning transmission and reception



# AIベースの物理レイヤ



## □ AI送信機

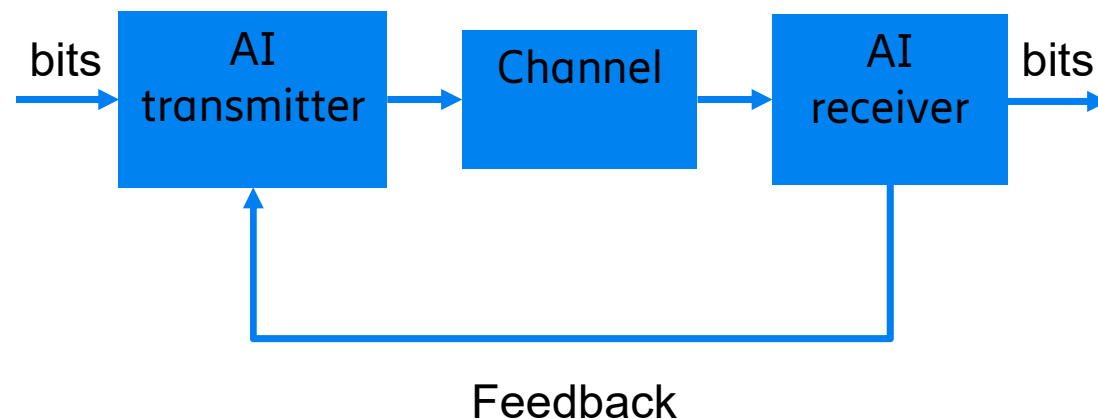
- ビット列符号化、変調、送信

## □ AI受信機

- 受信信号の復調、復号化、ビット列再生

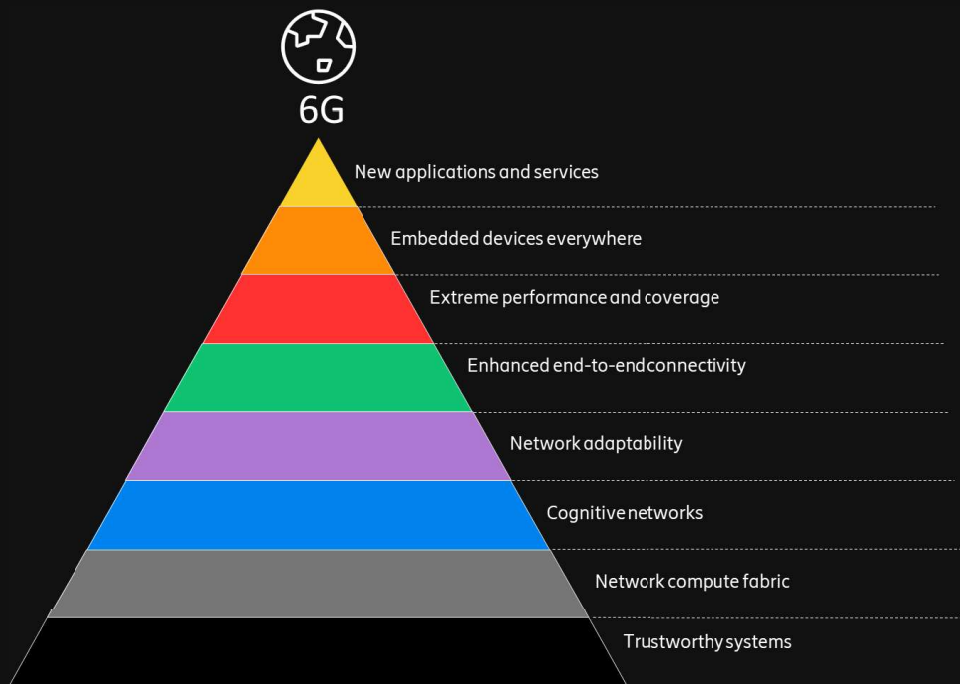
## □ フィードバック

- パケットエラー（再送信要求）
- UEのニューラルネットワークなどの出力
- モデル更新を必要とするアプリ特有のイベント
- ビットエラー（紛失）
- ニューラルネットワークのバックプロパゲーションの傾斜
- 受信ビットの生起確率



# 6G white paper

<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/a-research-outlook-towards-6g>



Ericsson whitepaper  
GFTL ER  
November 2020



Ever-present  
intelligent  
communication –  
A research outlook  
towards 6G





# Beyond 5G時代の 新たなライフスタイルと7つのテクノロジー

～「ライフスタイルを実現する先端技術」編～

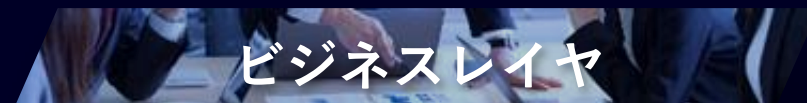
2021年3月26日

KDDI株式会社・株式会社KDDI総合研究所



# KDDI Accelerate 5.0

7つのテクノロジーと3つのレイヤがSociety 5.0を加速  
新しい社会システム・経済メカニズム・ライフスタイルを創出



Digital Transformationを加速



未来社会システムの構築を加速



5G/B5G/6Gネットワークの浸透を加速

[http://www.kddi-research.jp/kddi\\_accelerate5\\_0/](http://www.kddi-research.jp/kddi_accelerate5_0/)

# 課題：「これまで」と「これから」

	用途・目的・状況	課題
これまで	エンタメや通信が主な用途 → <b>ダウンロードが中心</b>	無線アクセス回線がボトルネック → 無線通信技術に注力
これから	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>SDGs</b>を実現する<b>新たな社会基盤</b>向け</li> <li>• <b>ライフスタイル</b>と<b>経済</b>と<b>社会システム</b>（地球環境）の<b>バランス</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>CPSをつなぐ右側の矢印が重要</b></li> <li>• <b>無線通信技術のみならず、他の技術との連携</b>が不可欠</li> </ul>



# Beyond 5G/6Gの戦略策定に向けた当社の考え

“将来のライフスタイル&ユースケースの発掘”と  
“実現に必要な技術の研究開発”のサイクルを回すことにより

**ニーズとシーズをマッチング**

将来像

昨日の  
発表内容

新たなライフスタイル  
ユースケースの発掘

新たなライフスタイルを描き  
ユースケースを発掘

技術

本日の  
発表内容



ネットワークのみならず**関連技術**  
**との連携**により課題を解決

# 2030年のユースケース例：ライフデリバリー【Day1再掲】

センサーによる飲食物の自動購入

センサーによる飲食物の自動購入

ロボットによる自動配送

ロボットによる自動配送

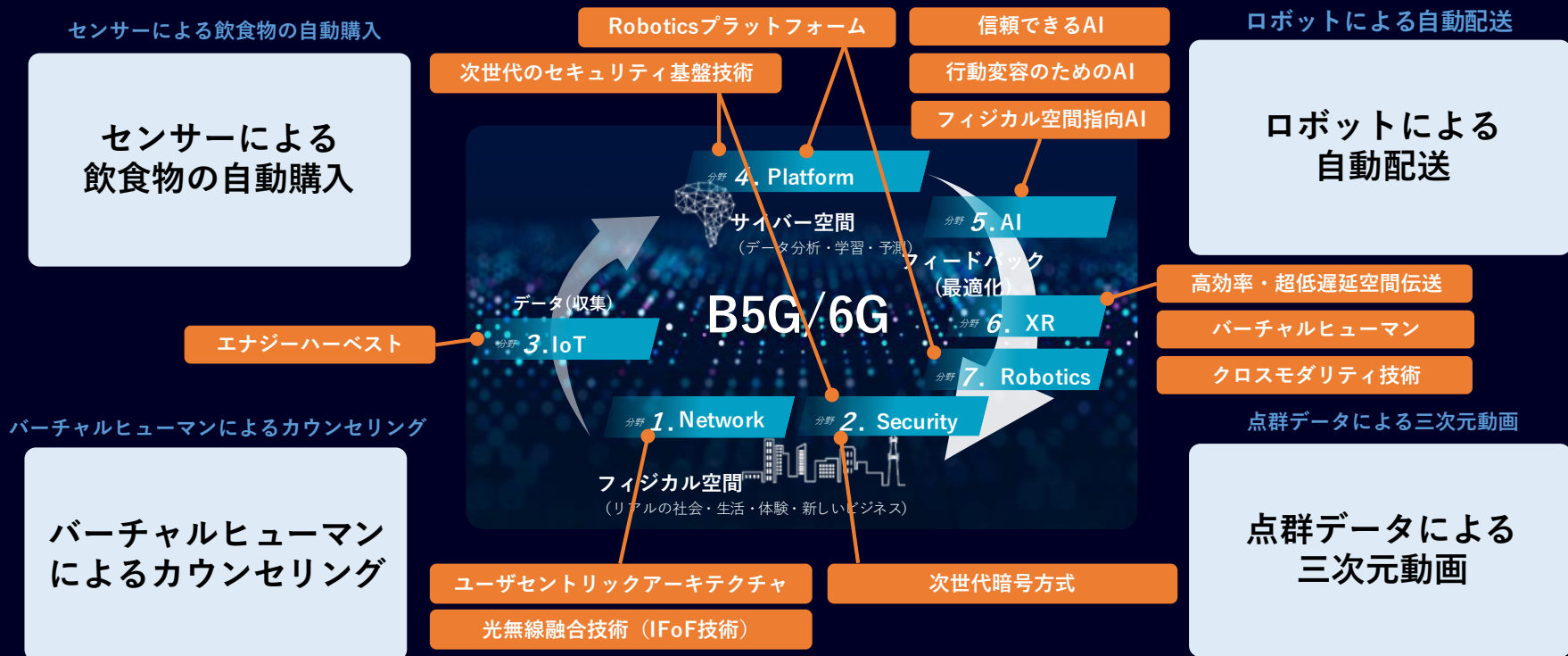
バーチャルヒューマンによるカウンセリング

バーチャルヒューマンによる  
カウンセリング

点群データによる三次元動画

点群データによる三次元動画

# ライフデリバリーを実現するために必要な技術

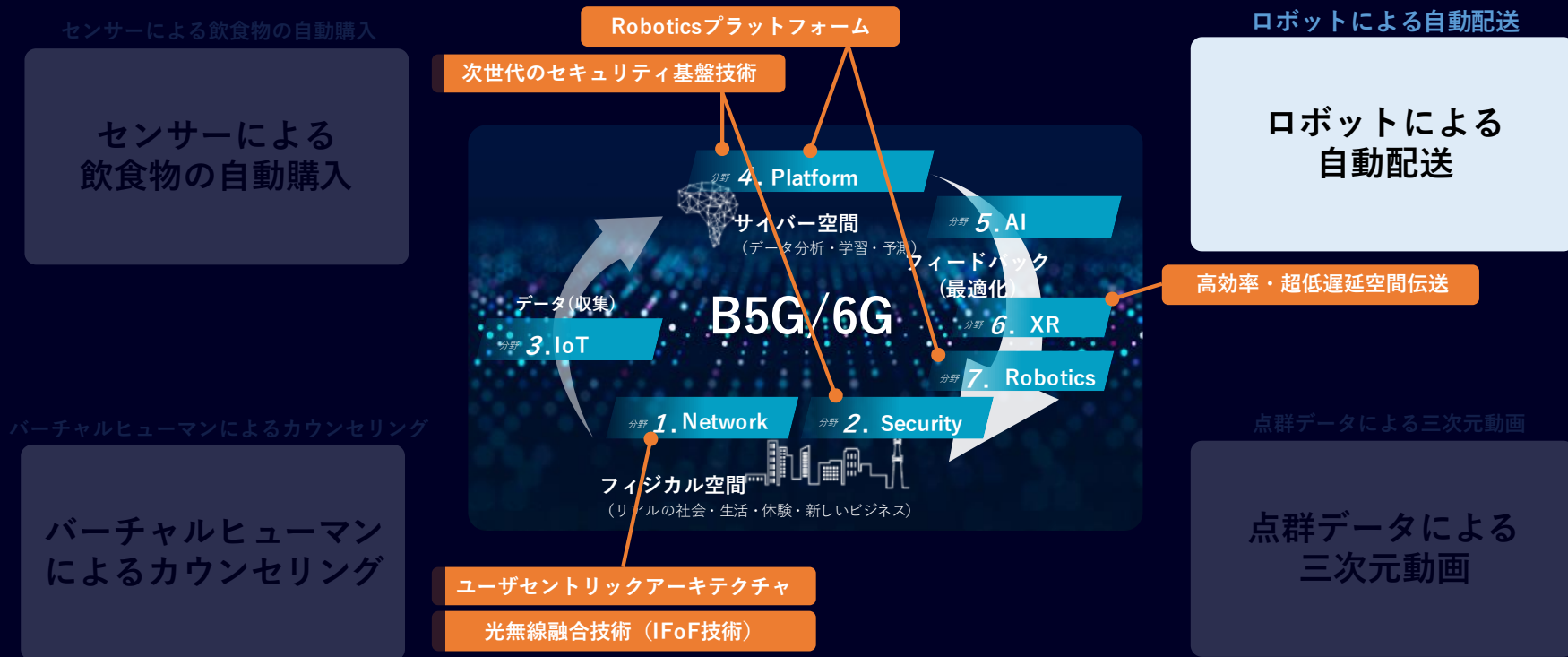


ライフデリバリー（一例）を実現するためにもさまざまな要素技術が必要



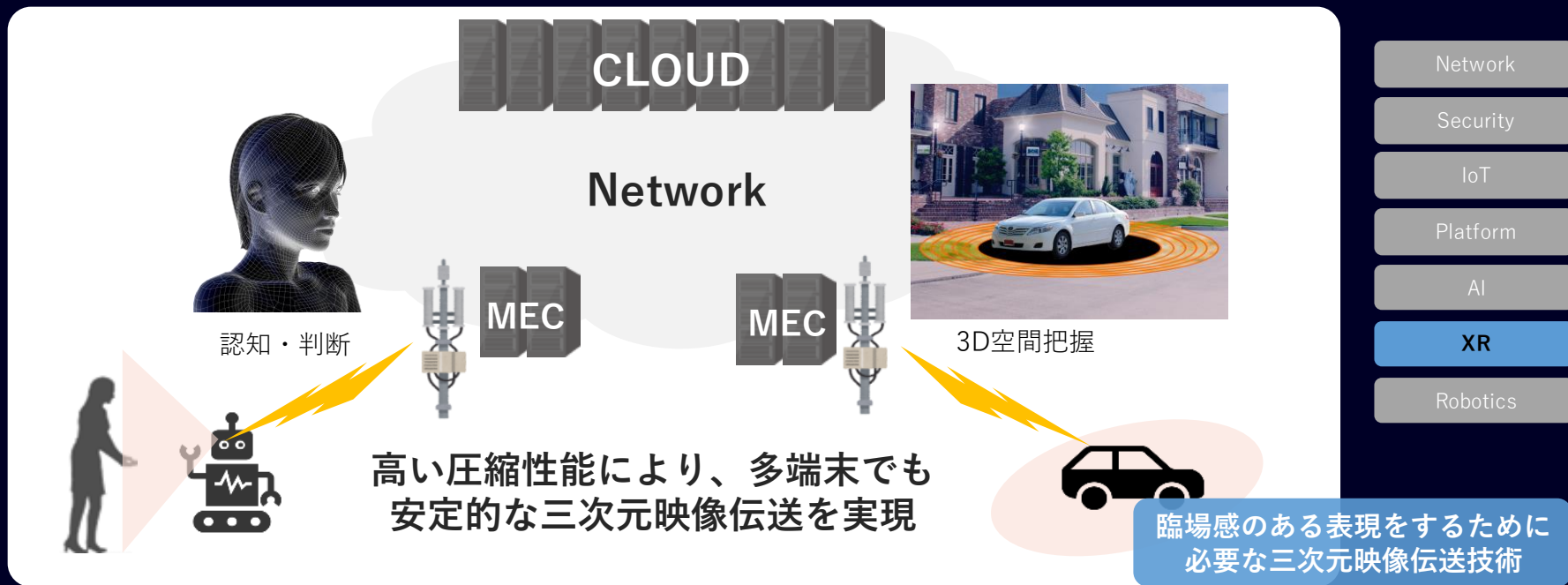
# ライフデリバリーを実現するために必要な技術

## 例：ロボットによる自動配送を実現する要素技術を紹介



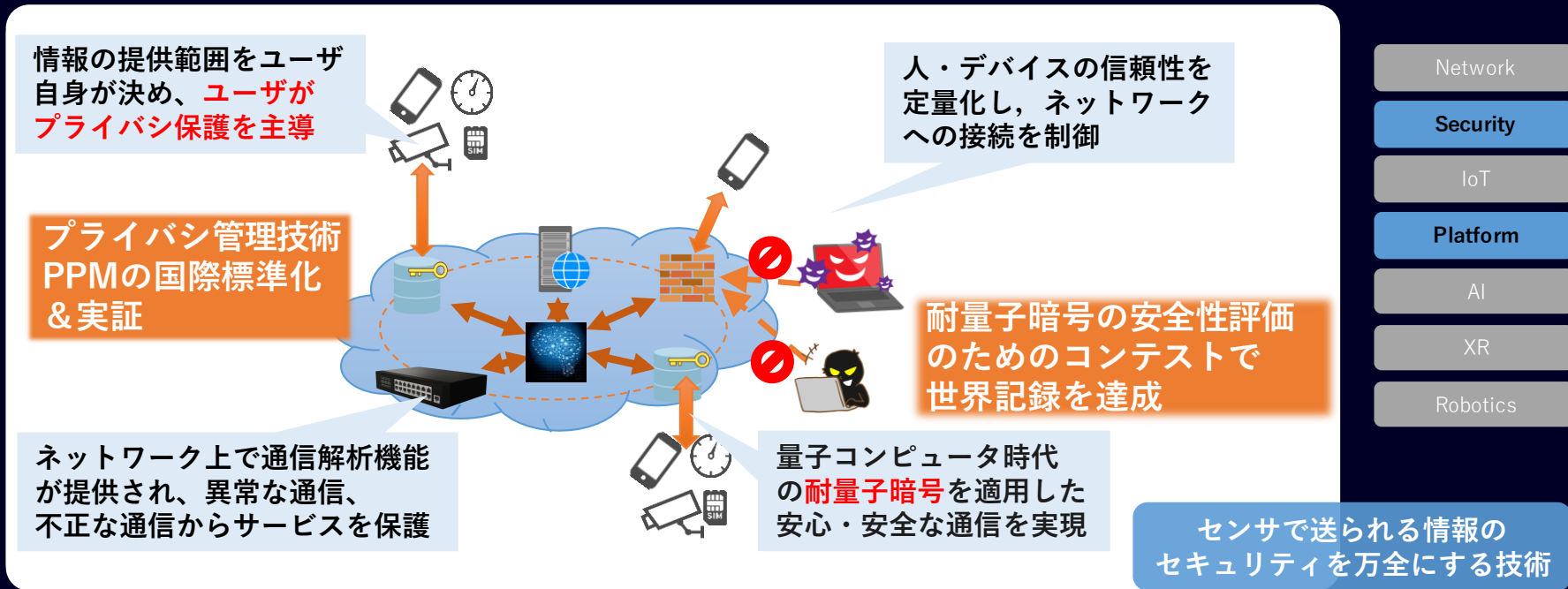
# [XR] 高効率・超低遅延空間伝送

視聴体験は二次元から**三次元へ**  
膨大な**点群データ**を高効率かつ超低遅延で**圧縮伝送する技術が必要**



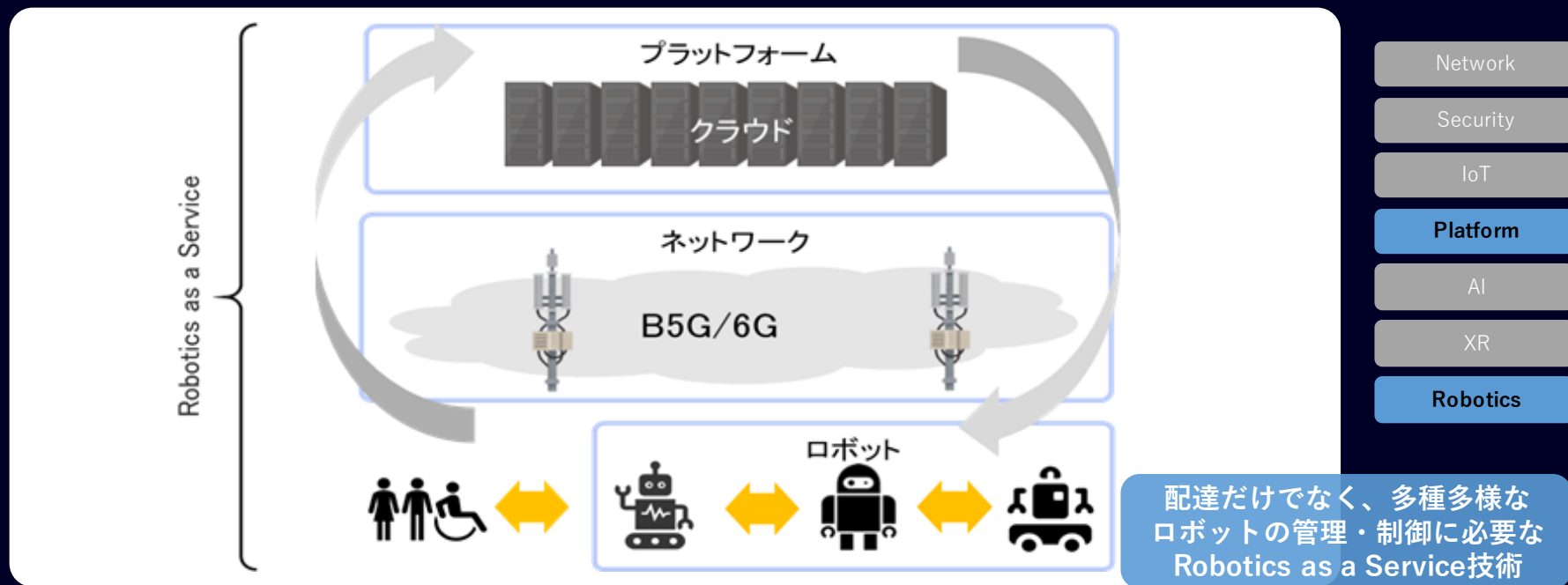
# [Security/Platform] 次世代のセキュリティ基盤技術

## 量子コンピュータ時代でも安全な次世代暗号や ユーザがプライバシー保護を管理・制御



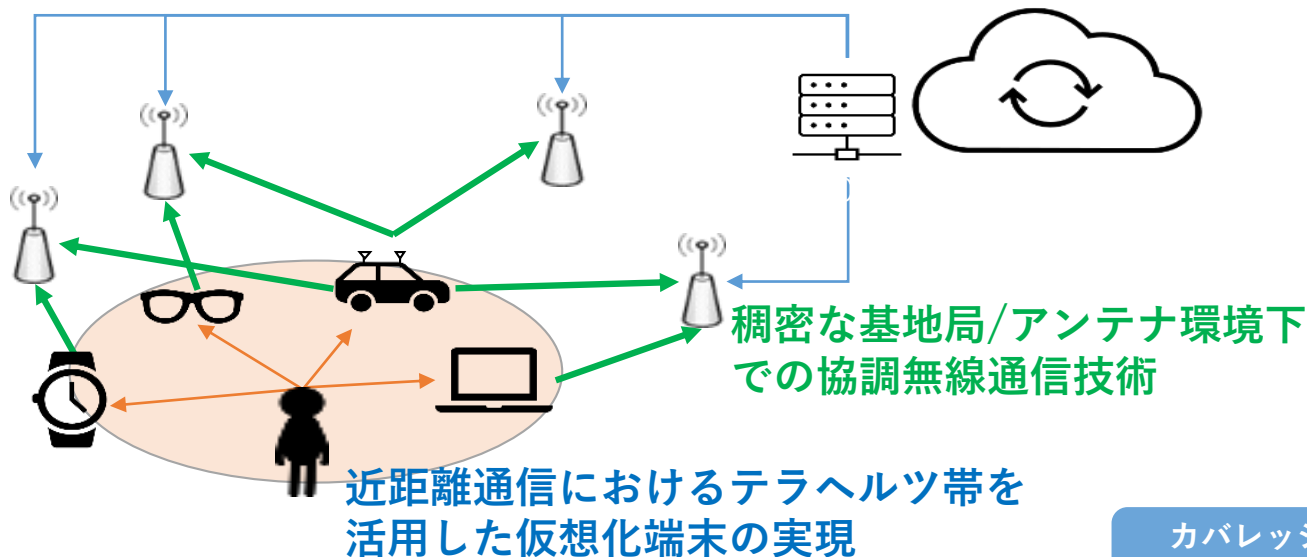
# [Platform/Robotics] Roboticsプラットフォーム (RaaS)

AIや運用自動化により多種多様なロボットを運用管理する  
ロボット用のプラットフォーム



# [Network] ユーザセントリックアーキテクチャ

ユーザのみならずロボットにも安定した通信環境を提供  
上り回線のスループットを改善するための端末間連携



Network

Security

IoT

Platform

AI

XR

Robotics

カバレッジエリアを動的に構築する新たなアーキテクチャ技術

# ユーザセントリックアーキテクチャが求められる背景

- ①高周波数化に伴うアンテナ数の増加、②サービス・アプリによって保証型通信が必要、③サービスのバリエーションが増加、④超多接続の実現やE-Eでの品質保証の実現が必要

5G(2020年)  
Centralized

5G高度化(2025年)  
Distributed

Beyond 5G(2030年)  
Cell Free



端末への  
通信の提供

個々のアンテナを用いた  
集中的な制御

あらかじめ設置された  
複数のアンテナを用いて提供

端末が受信できる、  
様々な場所にある  
アンテナにより提供

ネットワー  
ク  
アーキテ  
ク  
チャ

仮想化が進むものの、4Gと  
同様に固定的なツリー構造

RAN・コアの仮想化と、  
MECを含めた動的な構成

すべてのアプリを  
End-to-Endで保証する  
ネットワーク



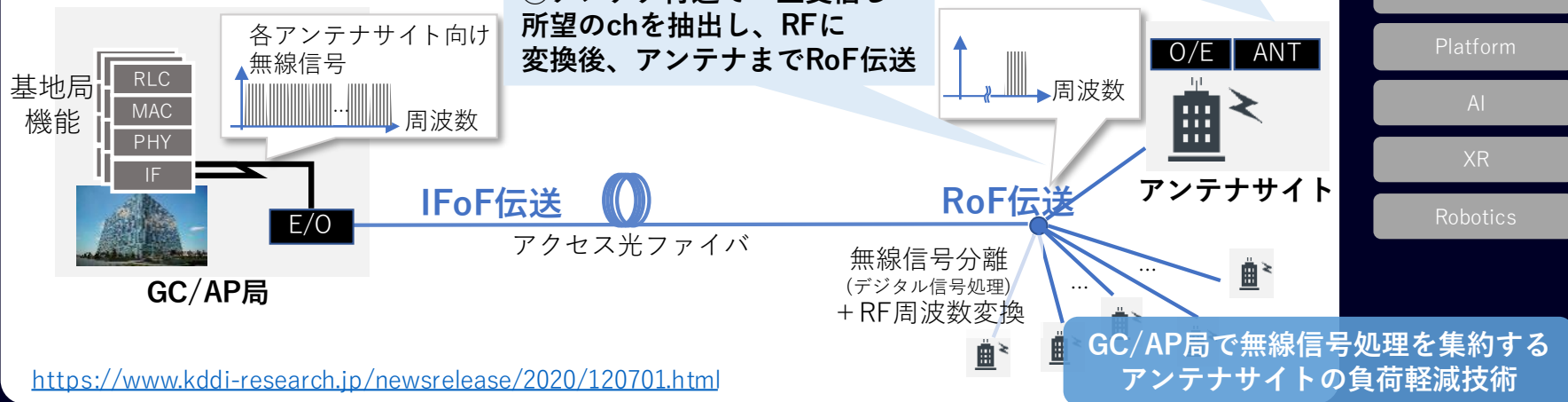
# [Network] 光無線融合技術 (IFoF技術)

フロントホールでアナログ無線信号を伝送するRoF方式を改良  
信号を多重するためにIF帯で伝送する「IFoF技術」を開発

①複数の無線信号を  
IF帯で周波数多重し、IM信号に変換  
一括でアンテナ付近まで伝送

②アンテナ付近で一旦受信し  
所望のchを抽出し、RFに  
変換後、アンテナまでRoF伝送

③RoF信号を受信、  
得られたRF信号を  
そのままアンテナ出力。  
→スペース・電力を削減



# 本日のまとめ

- 「ライフスタイル・ユースケースの想定＋必要な要素技術の検討」の**サイクルをまわす**ことが有用
- 「B5G/6Gシステム」＝無線通信技術＋**さまざまな要素技術**
  - ✓ 無線通信に関しては、**新たなアーキテクチャの実現を検討すべき**
- さまざまな技術の**連携（オーケストレーション）**が**カギ**
  - ✓ きめ細かな管理・制御・・・**日本の強み**ではないか？  
オーケストレーションを含めたトータルソリューションを海外展開すべき



参考：[https://www.kddi-research.jp/tech/whitepaper\\_b5g\\_6g/](https://www.kddi-research.jp/tech/whitepaper_b5g_6g/)

*Tomorrow Together*

**KDDI**

# 宇宙事業ビジョンから見た 5G evolution及び Beyond 5G/6GにおけるNTN連携への期待

---

2021年3月26日

スカパーJSAT株式会社

---

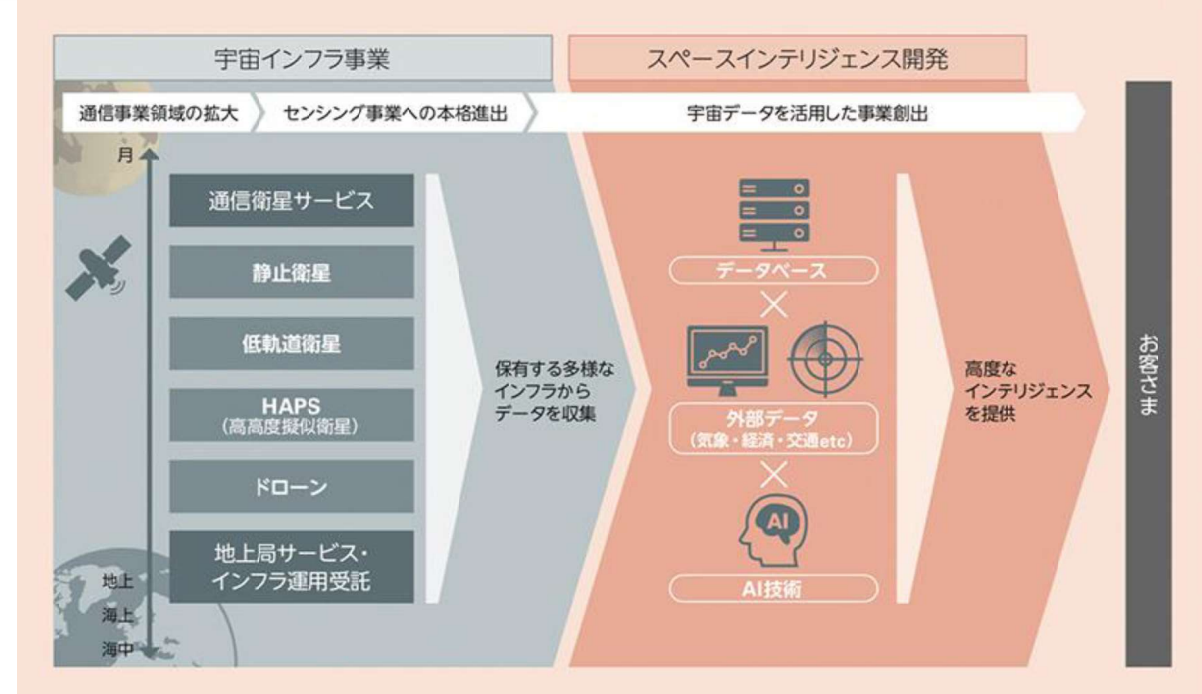
# 5G evolution及びBeyond 5G/6GにおけるNTN連携

- 5G evolutionおよびBeyond 5G/6Gの理想像は、多様なネットワークが連携し、ユーザにどの無線技術を使用しているか意識させることなく、より幅広いユースケースを実現可能なエコシステムを確立することと認識。
- 衛星通信は、そのエコシステムの一部として超カバレッジ拡張や高信頼性通信、高セキュリティの実現に貢献の可能性あり。静止衛星GEOだけでなく、低軌道衛星LEOや高高度疑似衛星HAPS活用も視野に、それぞれの特徴を生かし、インフラ拡充に貢献。
- 特に宇宙は通信環境の拡充だけでなく、災害発生予測や被災状況把握など「宇宙データの活用」による課題解決、あるいは地球外惑星の資源採掘や移住を想定した「超長距離通信」など、これまでにないユースケースの実現に向け、長期的な取組が重要。また通信だけでなく、センシングや観測データ解析も重要な技術。

当社の宇宙事業ビジョン：宇宙から海洋まで多様なSpaceの開拓と宇宙データを活用した事業を創出していきます

## ■ 宇宙ビジネスの将来像

陸上だけでなく上空・海上で、ヒトだけでなくモノもつながっている社会において、バックアップや非常用回線だけではなく、陸上の無線システムでカバーできないエリアへサービスを拡張するシステムとして、衛星通信の重要性が増していく。無線システムの多様性を活かしてレジリエントなネットワークに貢献。



# 当社取組方針

**5G evolution及び6GにおけるNTN連携に積極的に取り組み、衛星通信の特長を活かした先進宇宙インフラ・ソリューションの将来実現を目指す。**

- 衛星通信の特長：**超広域（地球～宇宙まで）・高信頼（災害時含むレジリエント）**のコネクティビティ。
- 現在の利用例：
  - ✓ 陸上（山間部、島しょ部含む）、海（船舶）、空（航空機）向けに通信サービスを提供中。
  - ✓ 災害時利用、エリア拡大 ⇒ 地上災害時、通信の強靱化に活用。広域性、即応性の高い対応が可能。
- 将来利用想定：
  - ✓ 国際宇宙ステーション(ISS)や月周回Gateway、深宇宙含むエリアへ通信カバレッジを広げていくことにより、**サイバー空間とフィジカルの融合**範囲を地球規模から宇宙規模へ拡大。IoTエリア拡張（衛星IoT）。
  - ✓ **衛星やHAPS**による5G/6G向け通信システム拡充や以下に示す宇宙インフラ構築へ新たに取り組むことにより、**Society5.0における超広域かつ高信頼の基幹インフラを提供。**
  - ✓ 宇宙インフラの例
    - **超広域**：低軌道衛星（LEO）や月周回軌道を対象とした光中継衛星、超長距離通信など
    - **高信頼**：量子暗号鍵配信、光中継器搭載衛星による全光通信ネットワークなど
  - ✓ 観測衛星データや衛星IoTを活用したスペースインテリジェンスや宇宙状況把握(SSA)等への取り組みにより**ソリューション提供を拡大**。〔衛星によるDX（デジタルトランスフォーメーション）の推進〕

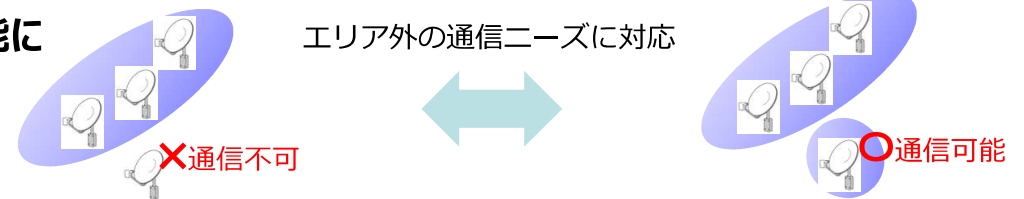


# 将来に向けた当社取組(1/3)

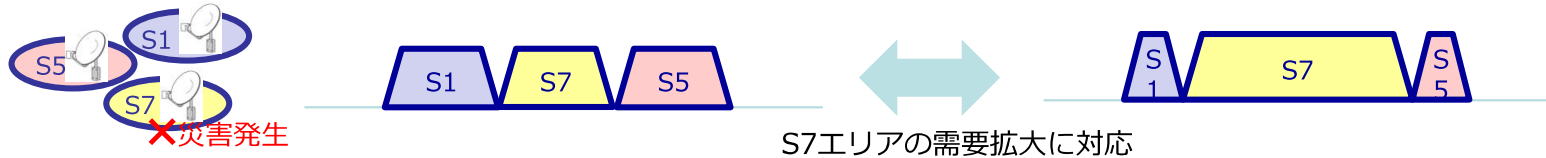
- 大容量化ニーズへの対応：高スループット衛星（HTS：High Throughput Satellite）導入予定。
  - アジア初となる革新的なフルデジタル化された通信ペイロードを搭載。2024年度サービス開始を目指します。
  - 宇宙空間において、これまでの衛星よりも柔軟に通信地域や伝送容量を変更可能。最新のニーズに幅広く対応して参ります。

フルデジタル化により従来衛星では打ち上げ後に変更不可能であったカバレッジ、周波数配列、電力リソース配分、ビーム接続を軌道上で変更可能。

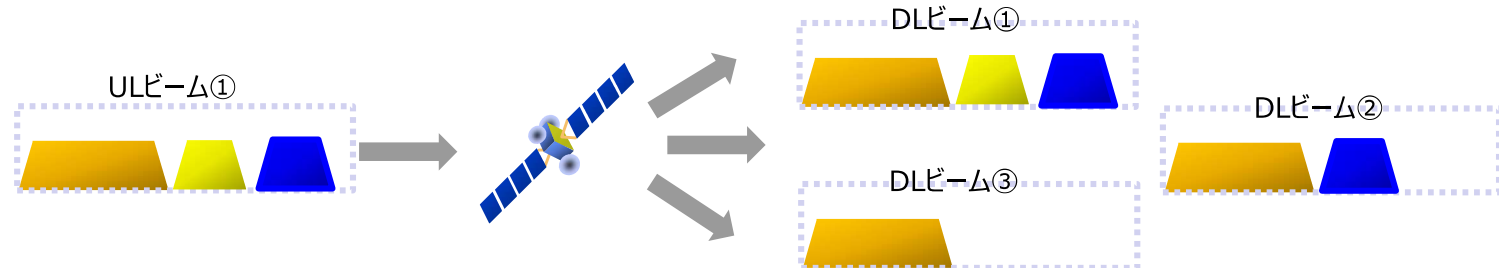
## ■ 衛星打ち上げ後にニーズに応じてビームカバレッジ変更が可能に



## ■ 衛星打ち上げ後にニーズに応じて各ビームの割当幅、電力リソース配分を変更可能に



## ■ 衛星打ち上げ後にニーズに応じてキャリアのダウンリンク先の変更、複製などが可能に



# 将来に向けた当社取組(2/3)

## ■ 研究開発案件への取組促進

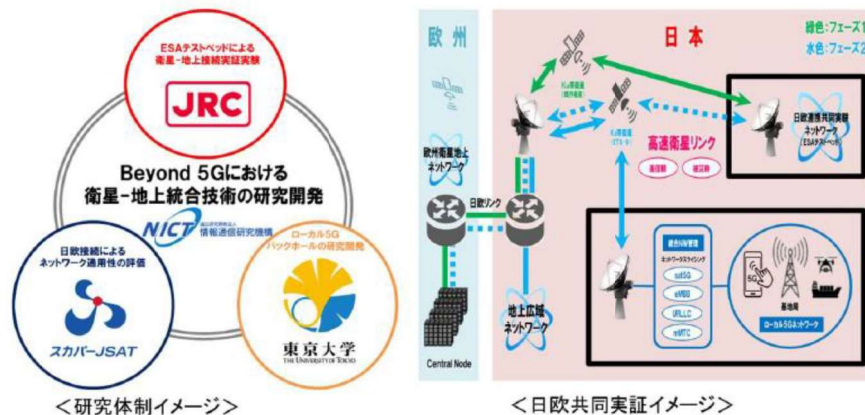
- 2019年度NICT様主催「衛星通信と5G/Beyond 5Gの連携に関する検討会」に参加
- NICT様「Beyond 5Gにおける衛星-地上統合技術の研究開発」受託(2020年11月)



図 2-4：衛星 5G 連携のモチベーション

「衛星通信と5G/Beyond 5Gの連携に関する検討会」報告書 より

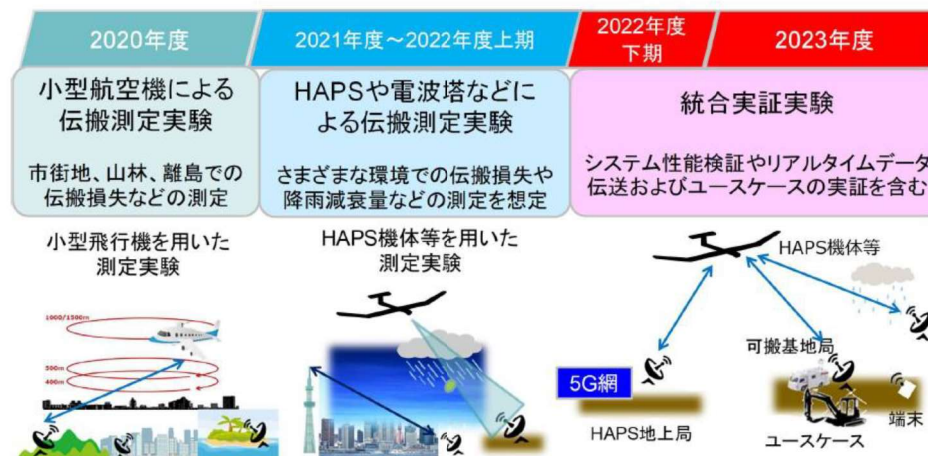
## Beyond 5Gにおける衛星-地上統合技術の研究開発



弊社プレスリリースより

## ➤ 総務省様「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」

- 過去に、ドローンの運行管理に関する研究開発をNEDO様より受託。
- ヘテロジニアスなプラットフォームの統合型連動運用の必要性を認識。



# 将来に向けた当社取組(3/3)

## ▶ 総務省様「衛星通信における量子暗号技術の研究開発」

- 量子コンピュータの実用化によるRSA暗号の破綻危機。量子暗号鍵配送 (QKD) による信頼性の高い通信に注目。
- ファイバでのQKDは100km配送が限度、衛星では1000km超。サービスプラットフォームの提供を目指す。

## ■ 衛星×地図データ活用し水害等を予測～国内初の『衛星防災情報サービス』提供に向けて業務提携

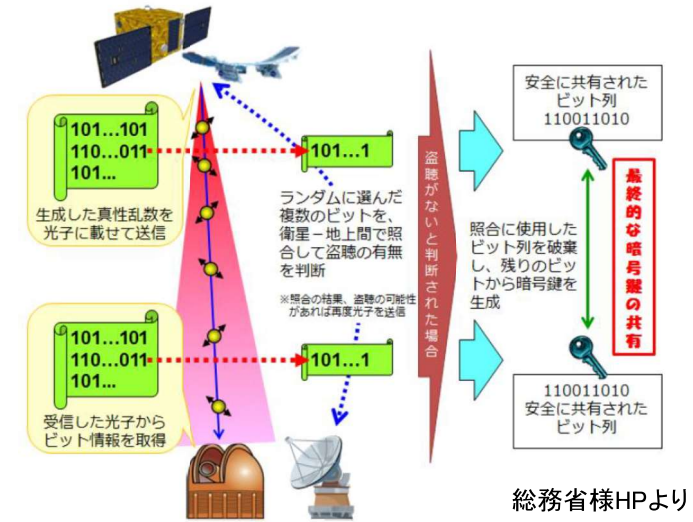
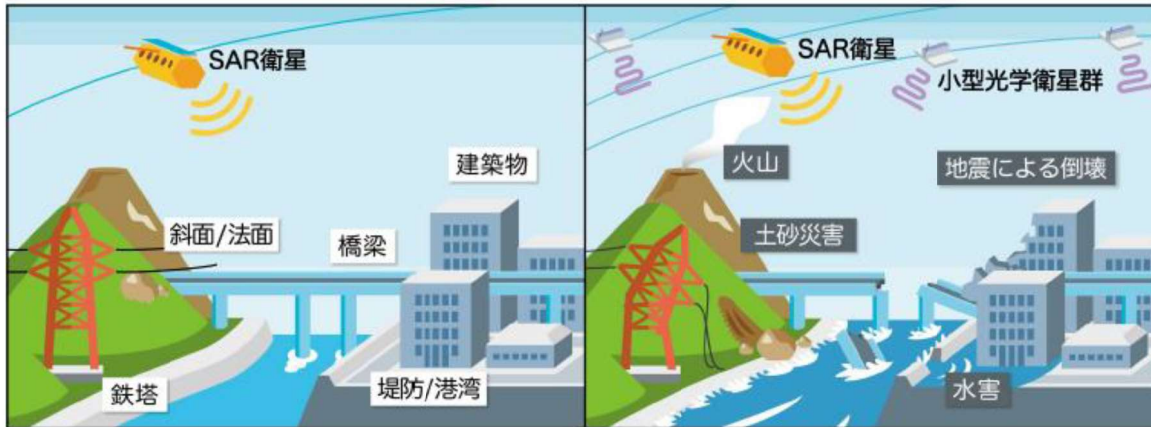
- レーダー衛星の信号解析による地上インフラのモニタリング、保守の効率化
- 災害増加や老朽化に伴い増えつつある、鉄塔等設備の被害状況を把握。

### ● 平時 (インフラモニタリング)

インフラモニタリングを行うことで、減災・防災につながる。

### ● 災害発生時 (被害状況把握)

被害状況を把握。救難・復旧活動の支援や2次災害の防止につながる。



## ■ AI技術による光通信の高度化

- 自社開発の雲識別AIの光通信への応用
- 雲による遮蔽の影響を判断し光通信の信頼性向上の可能性



## ■ スペースICT推進フォーラム : 5G/Beyond 5G連携技術分科会



# 白書への期待と技術課題

5G evolution及びBeyond 5G/6G時代に向けた各種取り組みを通じ、今後、NTN連携に向けた白書や技術基準策定に貢献したいと考えております。

## ■ 超カバレッジ拡張…新しい無線技術で、空、海、宇宙へ通信環境を拡張

- 大容量化のためのGEO/VHTS、LEO、HAPSを利用したインフラ拡充
- 宇宙データ活用による課題解決など、新規ユースケースへの対応

## ■ 無線技術の統合…重層的なネットワーク

- 大容量化に対する課題
  - 周波数有効利用、新しい周波数帯の技術開発、光通信への対応
- ネットワーク構築・運用に関する課題：異なる周波数や通信特性、通信規格のネットワークを効率よく連携するには、ネットワーク設計が課題。様々なユースケースを想定し無線技術を連携、インテグレーションする必要あり。
  - 衛星通信の特長（対災害性や超広域など）を活かすべく、遅延が許容できるユースケースのスライス化と、スライスに最適なトラフィック制御技術（NTNへの優先割当など）
  - サブミリ波あるいは光通信前提でのサイトダイバーシティや局切り替え技術
  - 5Gのユースケースと連動して動的に帯域を割り当てるNTN制御技術、重層プラットフォーム間の相互運用技術
  - ネットワークの状態に連動した統合型フリート運行、AI活用

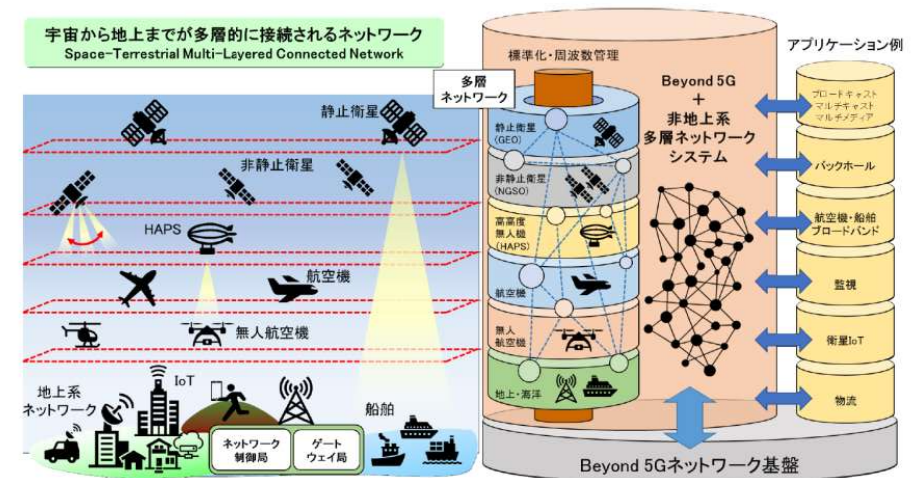


図 6-1：Beyond 5G における通信ネットワークの概念

「衛星通信と5G/Beyond 5Gの連携に関する検討会」報告書 より

\Orchestrating a brighter world

**NEC**

**Beyond 5G推進コンソーシアム企画・戦略委員会  
【白書分科会】ワークショップ資料**

# **Beyond 5G時代に必要な技術について**


2021年3月26日  
日本電気株式会社

# NEC Beyond 5G ウェブサイト、ホワイトペーパー

<https://jpn.nec.com/nsp/5g/beyond5g/>

Orchestrating a brighter world **NEC**

Beyond 5Gビジョン  
ホワイトペーパー



© NEC Corporation 2020

1-2 誰もが人間性を十分に発揮できる持続可能な社会へ

デジタル技術が浸透した世界は、性別・年齢・人種・障がいの有無などの垣根はなくなります。物理的・時間的な距離を越え、様々な価値観を反映した個人に最適化された暮らしや、多様な働き方が当たり前となります。仕事を通じた自己表現、時空を超え、言語・世代を超えた豊かなコミュニケーションと意思の共有と共感を実現した「インクルーシブな社会」が到来するのです。そのような社会では、例えば、長期入院を迫られた子供や高齢者が、あたたか家族がそばにいて対話でき社会的孤立が防がれるなど、今以上に多くの方が心豊かな生活をもつ日常が実現します。

更には、全球規模で収集された膨大な社会活動データや、人工衛星、宇宙ステーションより得られた地球観測データと、AIによる、地球温暖化・異常気象・森林破壊・海洋汚染・地殻変動など世界規模での事業認識が、政策や企業の事業活動へ継続的なインプットを行います。また地震・津波・洪水・土砂崩落・林野火災などの災害の予測を捉え、空飛ぶクルマを始めとして、空や海中、海中へ3次元に広がる交通システムへ社会を促します。想定される被害地域では、3D化(AR/VR)技術により現実空間に潜水エリアを表示したり、分散化されたクラウド監視監視システムが自律的に特定地域にリソースを集中させ救援に備えます。生活者はこのように、通信とその周辺技術が実現するBeyond 5Gによる社会インフラに支えられ、人間が本来持つ創造性をより発揮しやすくなります。これらを実現した、よりレジリエンスで持続可能な社会では、個人の生活と全体最適を両立させながらエネルギーや資源の消費が最小限に抑えられ、政府が表明した2050年までの温室効果ガスの排出実質ゼロを前倒しして達成することでしょう。身の回りの出来事から地球活動まで、ミクロからマクロに繋がるリアルタイムに多岐に展開する事で、地球と人間の社会活動とのより良い調和を持続的に構築する枠組みが強化し、生活環境や多様な価値観を反映した暮らしに向けて、都市やインフラがデザインされます。それは、

私たちが生態系の一員として、地球と持続的な関係を築き、生物多様性を維持した共生する世界なのです。

このような「インクルーシブな社会」を支える通信技術と周辺技術はどのようなものなのでしょうか。次に3つの「超える」をキーワードに解説します。

インクルーシブな社会  
誰もが人間性を十分に発揮できる持続可能な社会へ



© NEC Corporation 2020

1-3 「人間・空間・時間」を超える「テレメ社会」

「誰もが人間性を十分に発揮できる持続可能な社会」を目指す上で、コミュニケーションは社会を支える大きな力を持っていると信じています。過去、テレフォンや、テレビジョンは、「テレビ(遠く)の」という接続が示す通り、空間の制約を超えて活動するための大きな力になりました。未来には、テレプレゼンテーションや、テレメタシス、テレメタバーなど、いわゆる超能力と呼ばれたものも、新しいコミュニケーションの形として実現されているでしょう。これらの「テレ」能力は、空間的な制約だけでなく、理解したり共感したり、感動させたり、意を動かしたりするような知覚/運動能力の制約を越える人間能力の拡張 (Human Augmentation) とも言えます。また、未来を備え予備したリ、過去に遡って分析、判断したりなど、時間的な制約も越えられます。

2030年前後以降の未来社会をこのように考えると、人間が生来持っている能力や可能性の限界を、Beyond 5Gによって社会実装された「テレメ」なサービスによって超えていく社会とも言えます。例えば、テレワークは単にオフィスワークを離れた場所でのオンラインの対話を通じて行うというものでなく、離れていても同じ場所にいる気持を感じながら、ノンバーバルな最も深いコミュニケーションを通じてワークしたり、離れた場所や近いなどの五感情報を共有する「テレメ」な能力に支えられた働き方として、より多くの人や業務に活用されるでしょう。そして、そのようなサービスがテレメ、テレレジャー、テレメタなどあらゆる生活シーンに広がります。このような能力を獲得するのは人間だけではなく、ロボットや車あるいはAIが作り上げた実質的なキャラクターも、このような能力を獲得して人と共存します。つまりこれらは「人間を超え」「空間を超え」「時間を超え」ことができる未来と見えています (図1-1)。このような社会を実現するための新しいコミュニケーション像こそが、Beyond 5Gの目標とするものだと考えています。



図1-1: 「人間」「空間」「時間」を超える「テレメ」社会

© NEC Corporation 2020

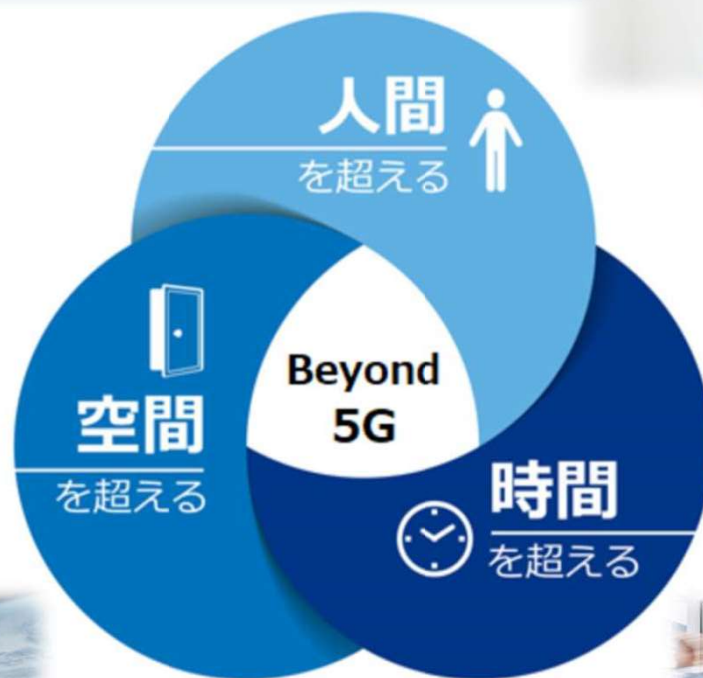


# 「人間・空間・時間」を超える“テレX社会”

「人間を超える」  
人間の能力の限界や可能性が  
開放された社会



「空間を超える」  
宇宙空間から海上、  
リアルとバーチャルを  
越えて



「時間を超える」  
未来を知り、過去に遡る  
ことができる世界



## 新しいテレコミュニケーションの要素①

- 時空間を超えた人と人、人とモノとの超現実感コミュニケーション
  - 視覚、聴覚、触覚、などの人間が感じる五感
  - 自分や他人の意図や、その場のコンテキスト
  - 実世界の3次元イメージや3次元構成・配置などの空間情報
  - 機械の制御や人への意思伝達など



## 新しいテレコミュニケーション要素②

### ●デジタルツインとサイバーフィジカルシステムの拡張

仮想世界  
の拡大

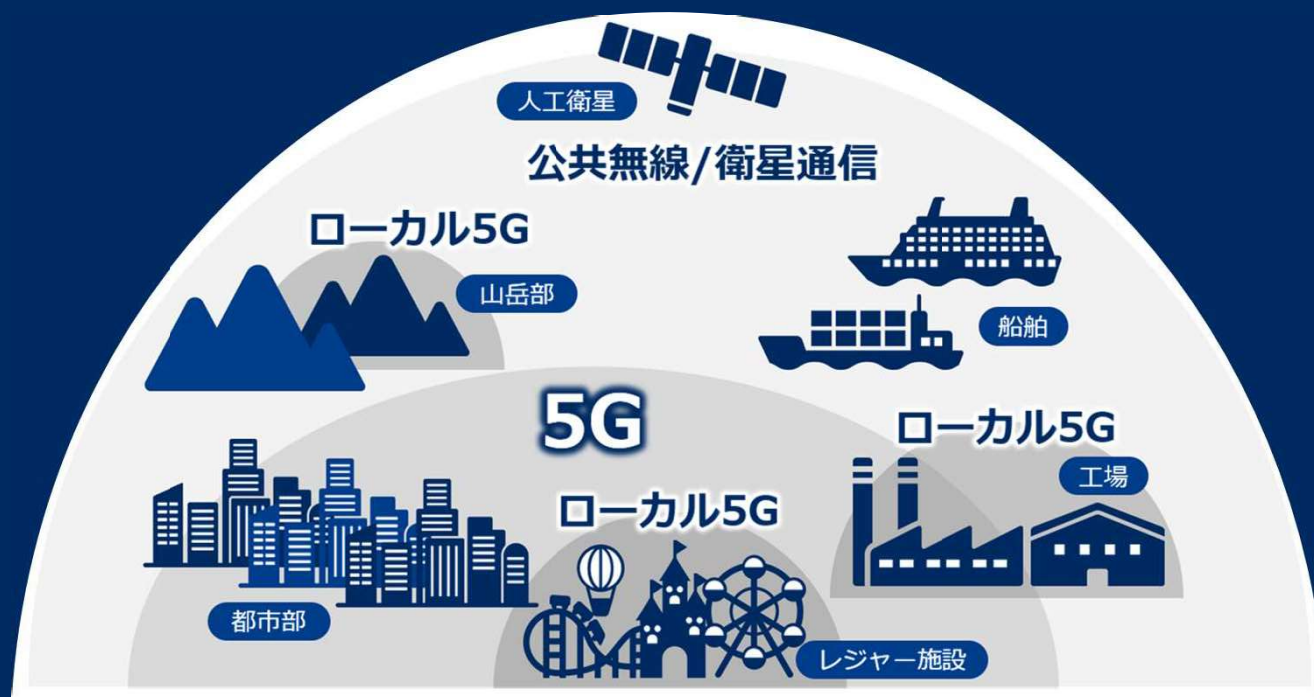


実世界へ  
の指示



## 新しいテレコミュニケーションの要素③

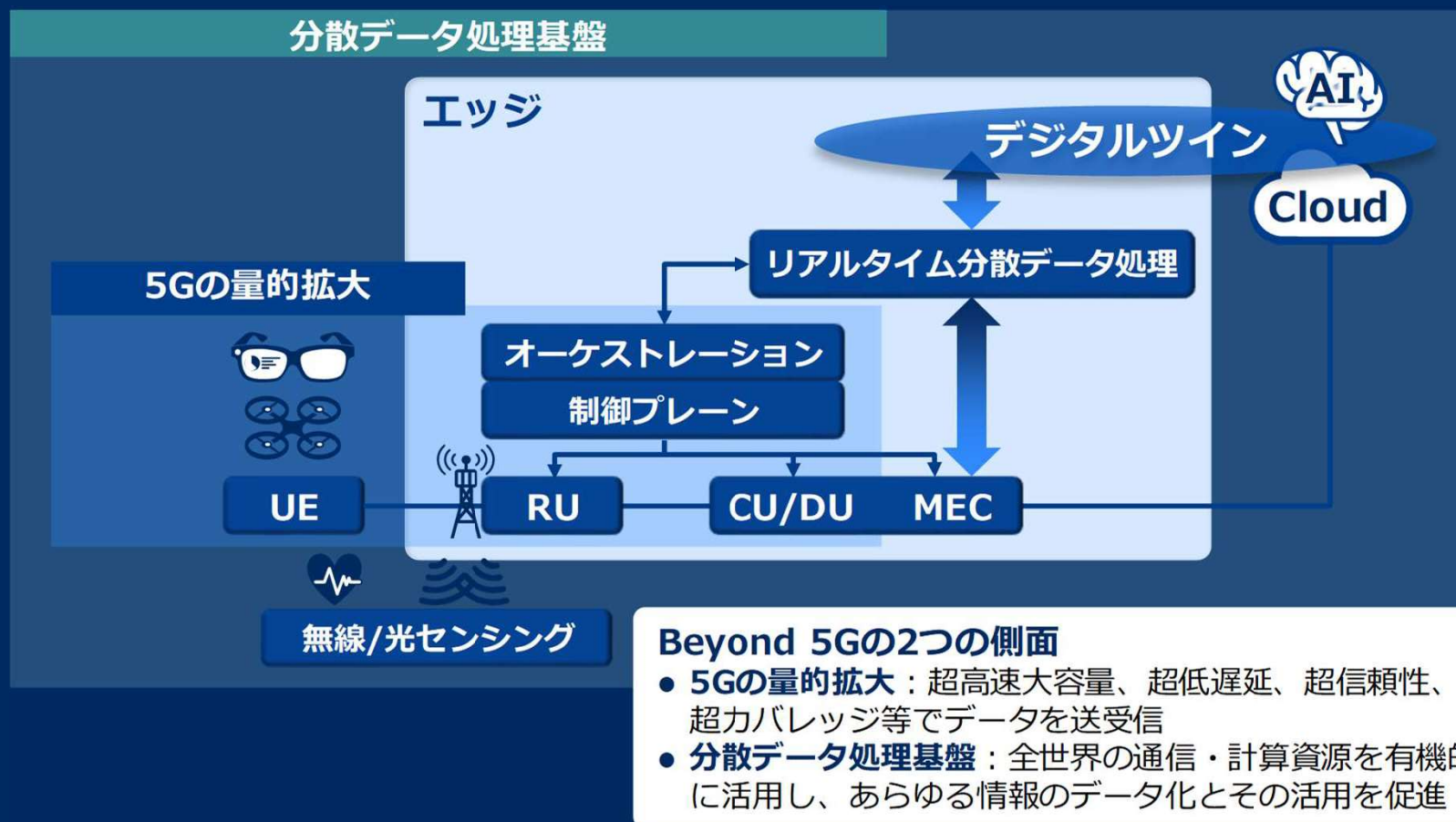
- 高速大容量化・小型低消費電力
- 全地球上あらゆる場所でシームレスにつながるカバレッジ





# Beyond 5Gの二つの側面

## ネットワークと分散データ処理とが融合したシステム



# Beyond 5G時代の社会を実現にむけた今後注力すべき重点技術領域

## 無線通信 /光通信

- 高速大容量化/小型低消費電力化:継続的な性能向上
- ガバレッジ拡大:全地球をくまなくカバー
- 無線/光センシング:空間全体のデジタル化

## 運用自動化/ 最適化

- ヘテロジニアスなネットワークへの対応:高度な運用管理
- 運用管理自動化レベルの向上:複雑なネットワークへの対応
- AI技術の活用と進化:環境変化に進化適用するAI

## 分散データ 処理基盤

- 分散AI処理の最適化:大規模データに対する性能最大化
- 通信とAIアルゴリズムの共進化:処理アルゴリズムの共進化
- 大規模計算基盤:エッジAI、量子アニーリング

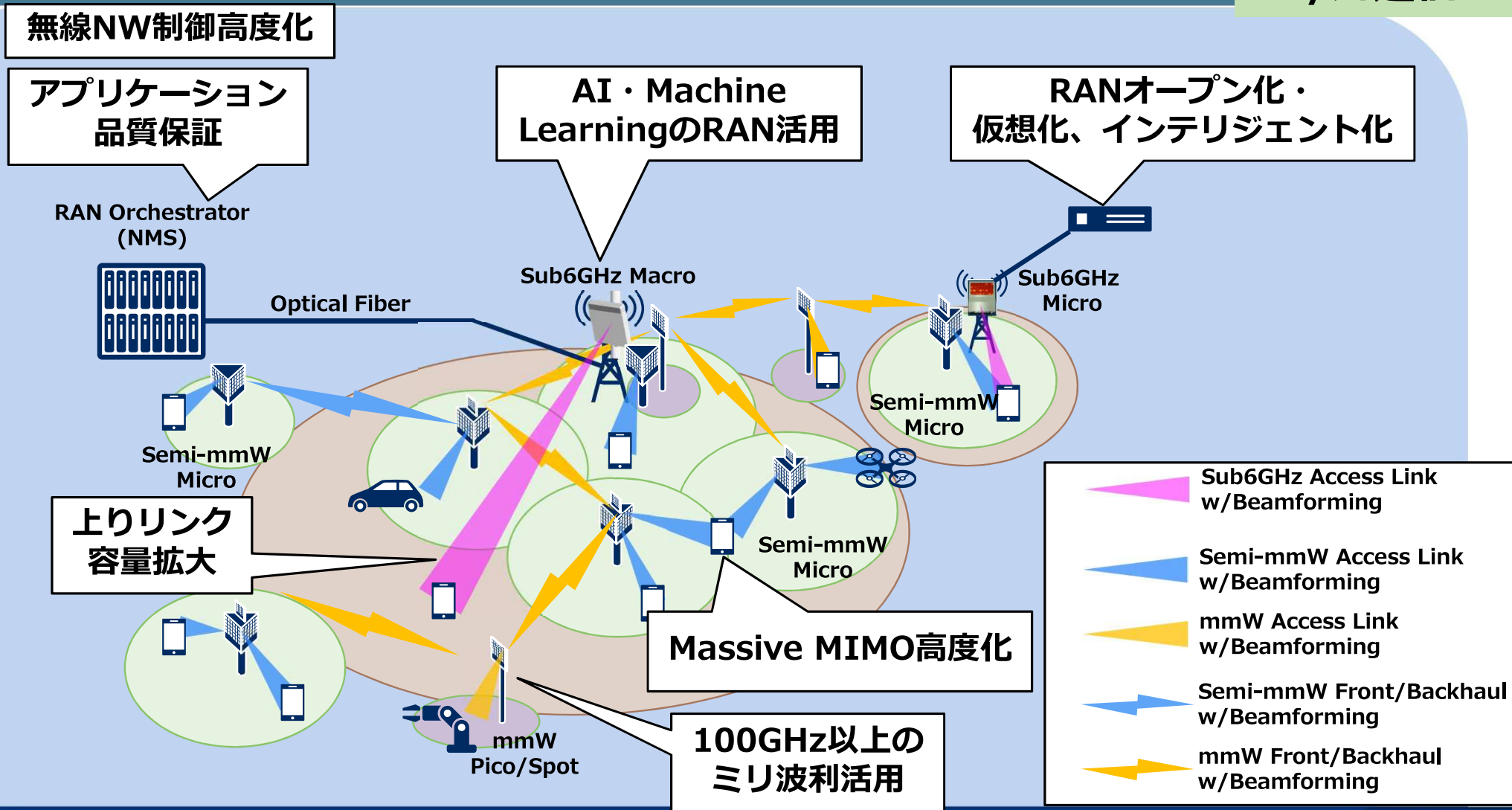
## セキュリティ

- 通信インフラのセキュリティ:信頼性を強固に維持
- データ処理基盤のセキュリティ:リスクの可視化、自動対処



# Beyond5G/6G時代における無線ネットワーク像

無線通信  
/光通信

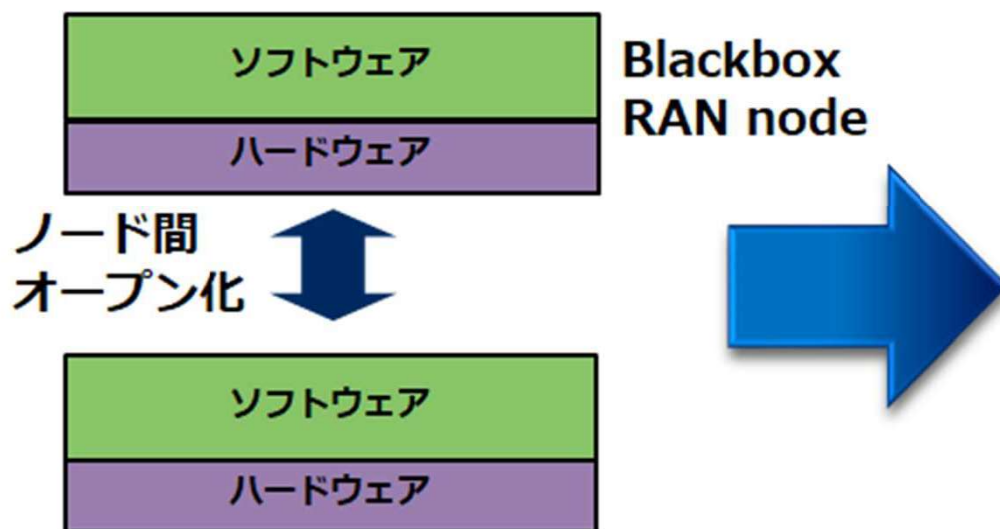


# RANのオープン化と仮想化、インテリジェント化

無線通信  
/光通信

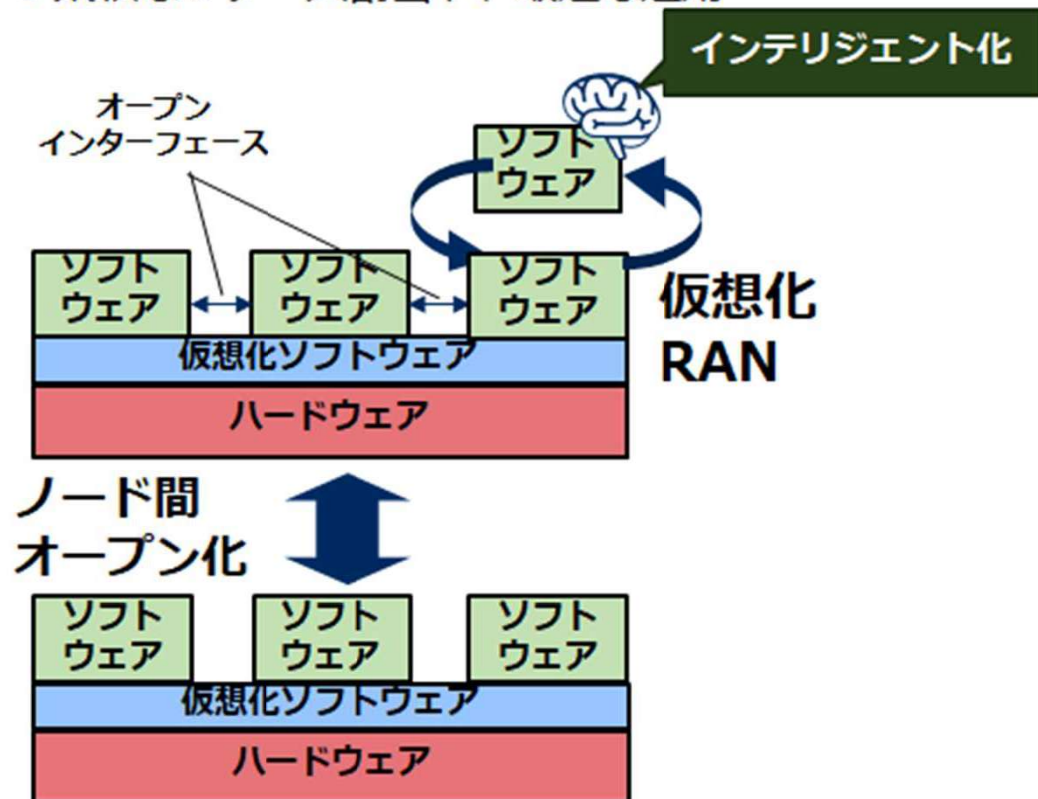
## RAN Node間オープン化により、

- エコシステムに対応した装置・機能の自由な組み合わせ
- ネットワークの拡張性、将来技術への速やかな対応

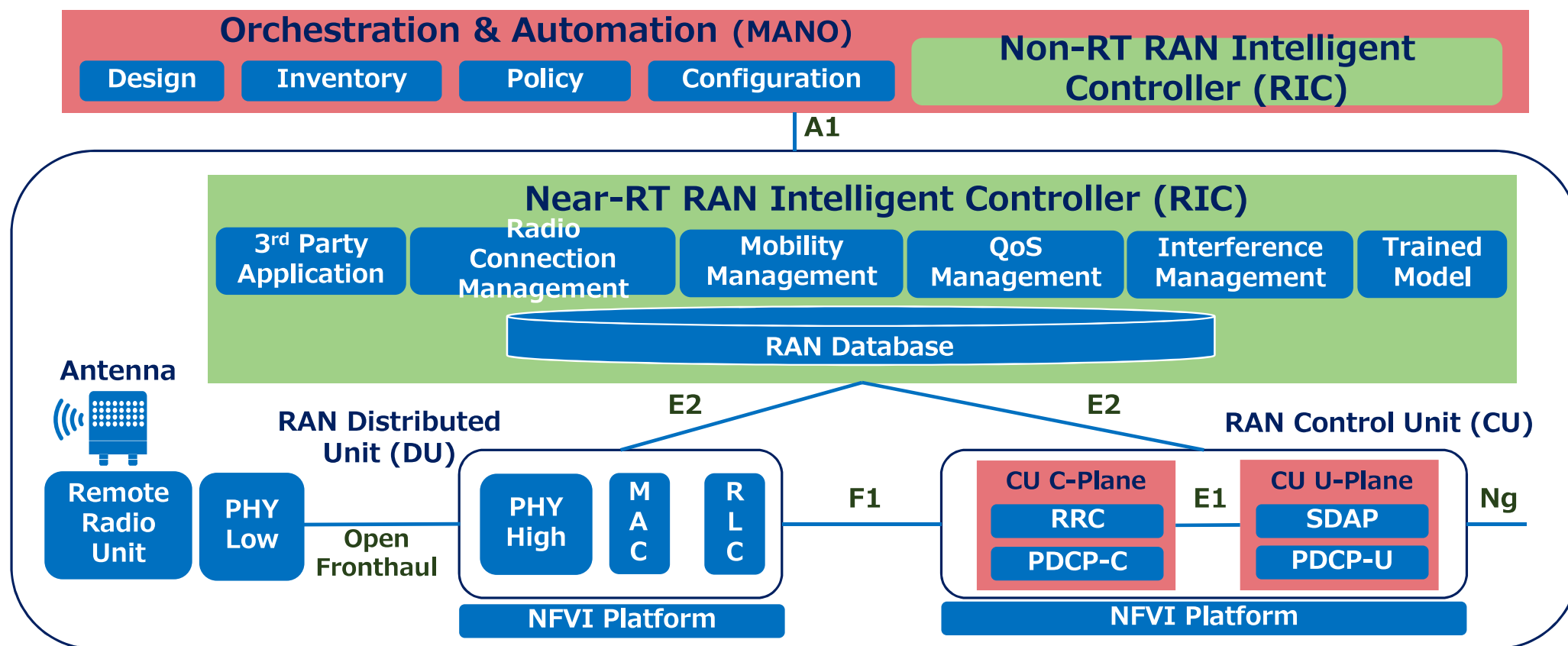


## 真の仮想化、インテリジェント化により、

- ハードウェアとソフトウェアの分離
- 柔軟なリソース割当や、最適な運用



DU、CUの仮想化による管理の複雑化やリソースの有効活用のため、O-RANでは、RICを活用したアーキテクチャが検討されている。



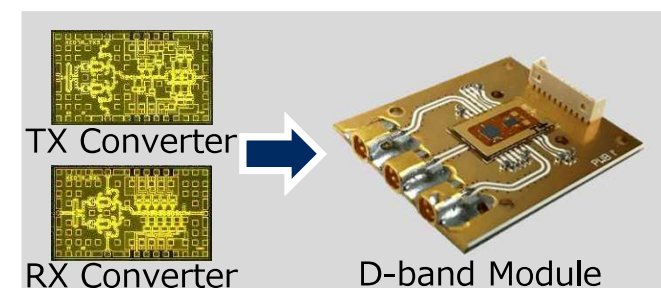
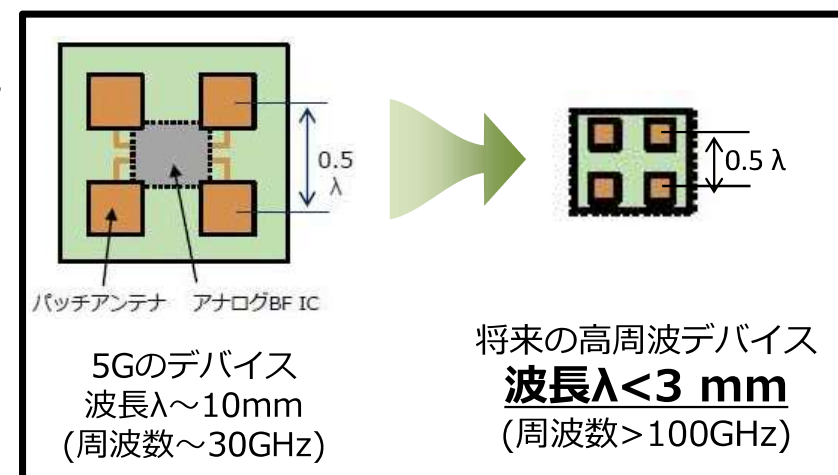
100GHz以上のミリ波帯を用いるためには、広帯域、高効率、低位相雑音、低損失なデバイス開発、および実装技術開発が必要

### 周波数動向

- 92-110GHz帯(W-Band)、130-174.8GHz帯(D-Band)は、ITU-Rでバックホール、モバイルフロントホール利用の勧告が進められている
- 300GHz帯についてもIEEE802.xxで議論が進められている
- モバイルアクセスに関しては52~71GHz,71-76/81-86GHz帯が3GPPにて議論される見込み

### 100GHz以上のミリ波帯の特徴(Sub6GHz/28GHz以下との比較)

- 広帯域の確保が可能  
→ 大容量化に有効  
そのためにはデバイスの動作帯域幅拡大、および電力効率向上が必要
- 距離による伝搬損失が大きい  
→ カバレッジが縮小  
改善するためには多素子アンテナによるビームフォーミングが有効
- アンテナ素子、およびアレー/マトリクスアンテナ素子間隔が小さい  
→ 増幅器など各種アクティブデバイスの小型化・集積化が必要
- 位相雑音増加/Noise Figure上昇



試作開発したD-BAND(150GHz帯)送受信モジュール

100GHz以上のミリ波帯および準ミリ波帯・サブ6GHz帯のそれぞれにおいてMassive MIMOの高度化が必要

## 100GHz以上ミリ波帯

### 接続性の向上

- 見通しを常に確保する高密度なサイト間協調制御
- 途切れさせないビーム制御のためのモビリティ予測

### カバレッジの向上

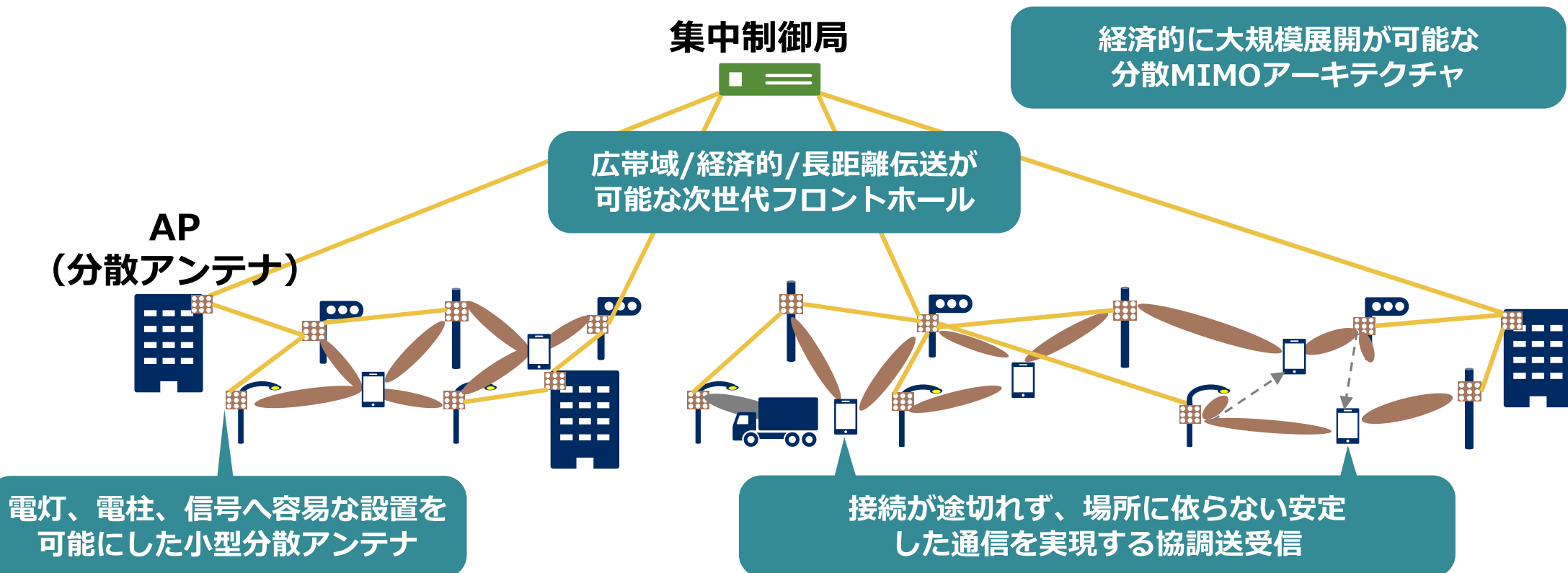
- バックホールの品質・遅延を保証するマルチホップIAB
- 低周波数を組み合わせた経済性の高いマルチバンドセル展開

## 準ミリ波帯・サブ6GHz帯

### 大容量化

- さらなる多重数増大を実現するフルデジタルBF / ハイブリッドBF
- 高精度同期を要するコヒーレント合成によるサイト間協調制御

100GHz以上の高周波数帯において超広帯域通信の接続性を確保し、また、低周波数帯において場所に依らない通信品質を実現するには、分散MIMOシステムが有望





# Beyond 5G時代の社会を実現にむけた今後注力すべき重点技術領域

## 無線通信 /光通信

- 高速大容量化/小型低消費電力化:継続的な性能向上
- ガバレッジ拡大:全地球をくまなくカバー
- 無線/光センシング:空間全体のデジタル化

## 運用自動化/ 最適化

- ヘテロジニアスなネットワークへの対応:高度な運用管理
- 運用管理自動化レベルの向上:複雑なネットワークへの対応
- AI技術の活用と進化:環境変化に進化適用するAI

## 分散データ 処理基盤

- 分散AI処理の最適化:大規模データに対する性能最大化
- 通信とAIアルゴリズムの共進化:処理アルゴリズムの共進化
- 大規模計算基盤:エッジAI、量子アニーリング

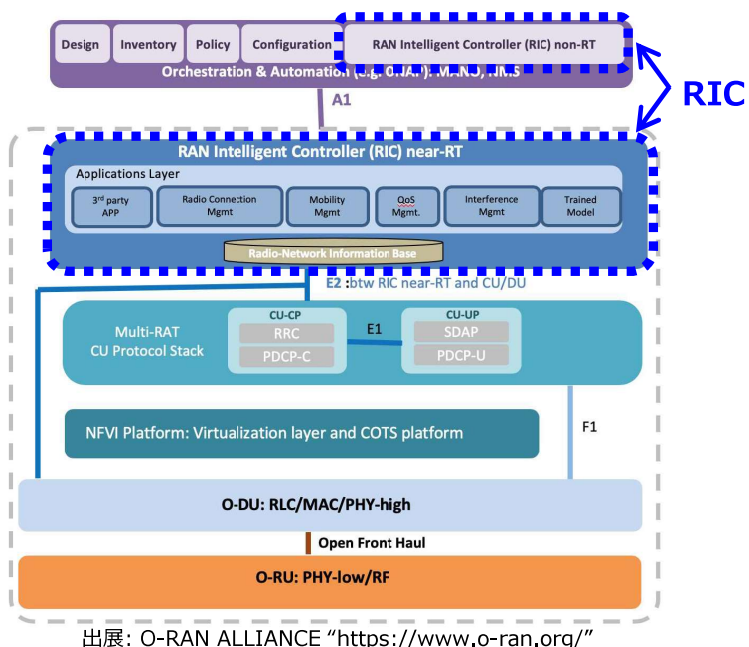
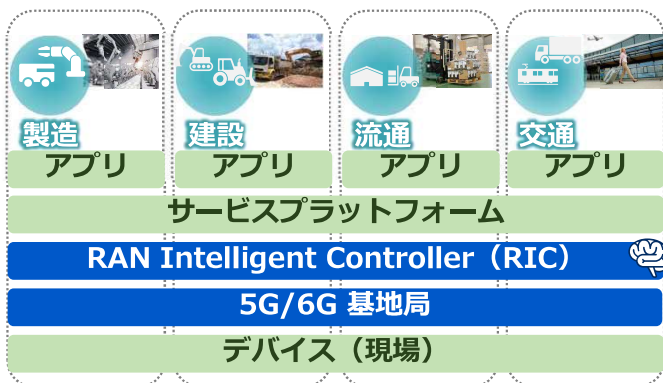
## セキュリティ

- 通信インフラのセキュリティ:信頼性を強固に維持
- データ処理基盤のセキュリティ:リスクの可視化、自動対処



# RAN Intelligent Controller (RIC)

運用自動化/  
最適化



出展: O-RAN ALLIANCE "https://www.o-ran.org/"

## 課題

- ✓ Beyond 5G時代、特に産業活用が更に進展し、多種多様なアプリケーションへの対応が求められネットワークの運用や最適化が複雑化する。

## RICとは

- ✓ O-RANはRANのオープン化、インテリジェント化を推進しており、このインテリジェント化を担うのがRICである。
- ✓ RICは機械学習やAI技術を活用し、複雑化するRAN最適化を自動的に且つインテリジェントに実行する。

## Beyond 5G時代におけるRICの意義

- ✓ ネットワーク、アプリケーション、現場を理解できるRICを介し、オープンなインターフェースでRANを自動的に且つインテリジェントに最適化可能。

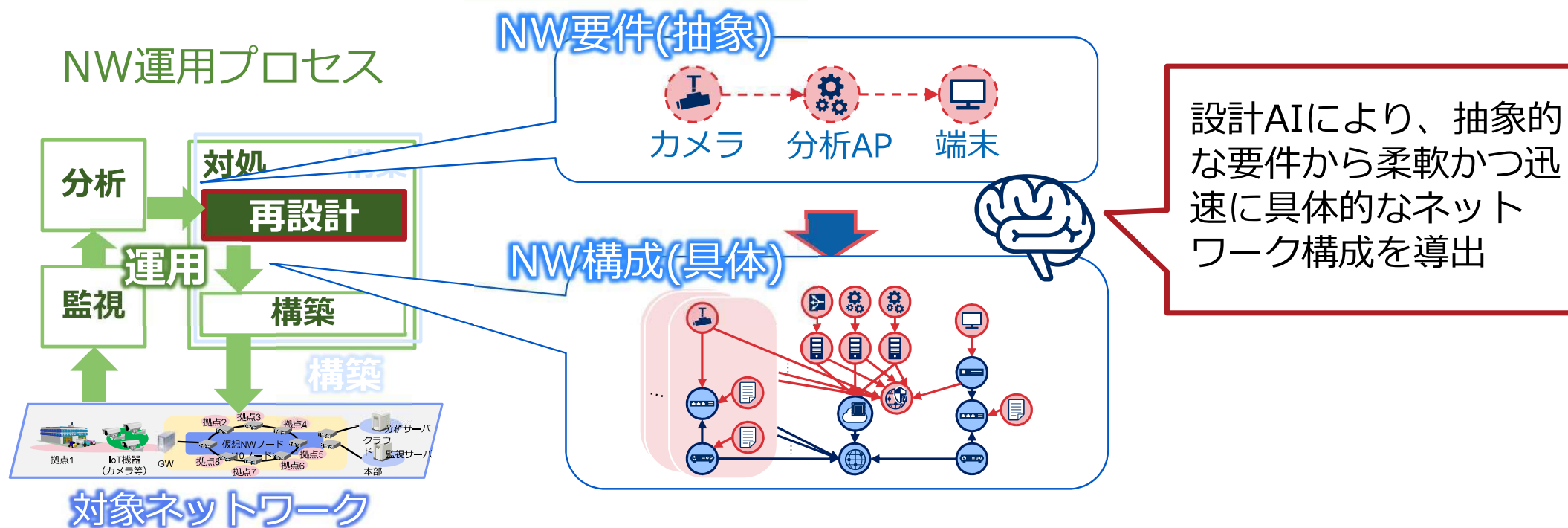
## 具体的にRICとは

- ✓ RRM (Radio Resource Management) やSON (Self-Organising Network) を拡張するようなもの。
- ✓ 機械学習やAI技術を活用することでよりインテリジェントで高度な処理を可能とする。

# ネットワーク自律運用「ネットワーク構成自動設計」

運用自動化/  
最適化

ネットワーク運用では、NWの監視→分析→対処に至るプロセスを自動化することでNW自律運用を可能とする。特に「ネットワーク構成自動設計」では、抽象的な対処要件から具体的なネットワーク構成を自動的に導出。



# Beyond 5G時代の社会を実現にむけた今後注力すべき重点技術領域

## 無線通信 /光通信

- 高速大容量化/小型低消費電力化:継続的な性能向上
- ガバレッジ拡大:全地球をくまなくカバー
- 無線/光センシング:空間全体のデジタル化

## 運用自動化/ 最適化

- ヘテロジニアスなネットワークへの対応:高度な運用管理
- 運用管理自動化レベルの向上:複雑なネットワークへの対応
- AI技術の活用と進化:環境変化に進化適用するAI

## 分散データ 処理基盤

- 分散AI処理の最適化:大規模データに対する性能最大化
- 通信とAIアルゴリズムの共進化:処理アルゴリズムの共進化
- 大規模計算基盤:エッジAI、量子アニーリング

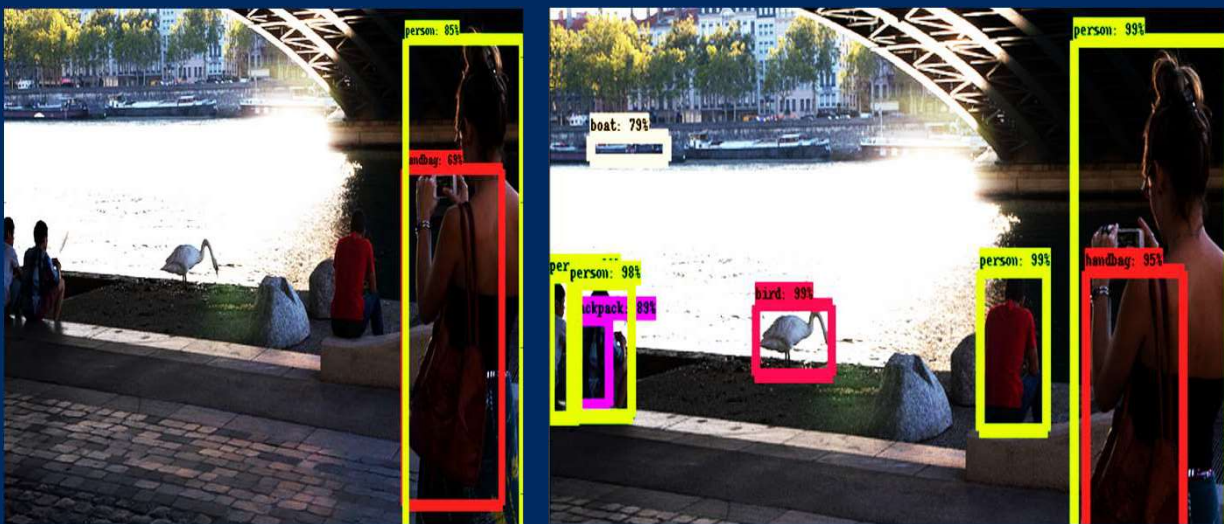
## セキュリティ

- 通信インフラのセキュリティ:信頼性を強固に維持
- データ処理基盤のセキュリティ:リスクの可視化、自動対処

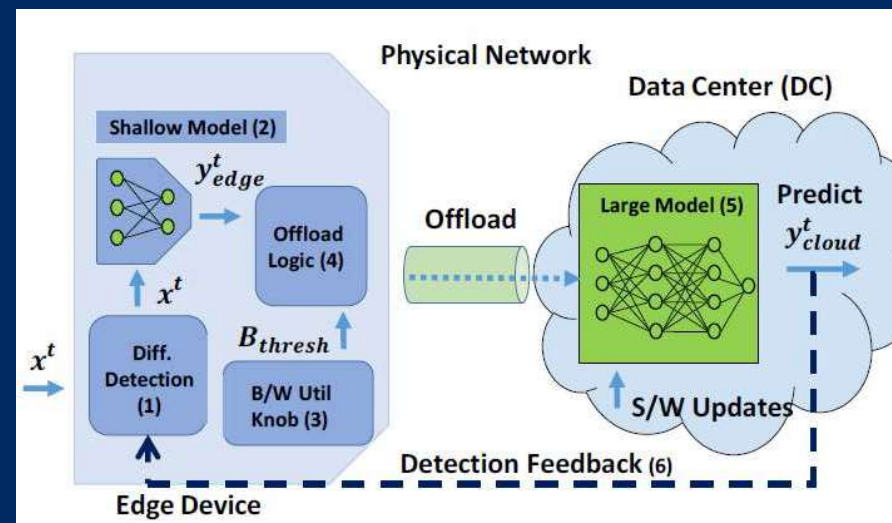
# 分散処理AI向け通信最適化技術への取り組み

分散データ  
処理基盤

クラウドに接続した車載カメラでの物体検出などの分散AI処理の通信を最適化するStanford大の研究プロジェクトに参画。  
通信量などのシステムコストだけでなく推論精度などのアプリケーション要件まで考慮した通信制御を実現。



コストと精度のトレードオフの例  
エッジ(左)とクラウド(右)では識別精度が異なる



分散AI・通信制御システムの概要

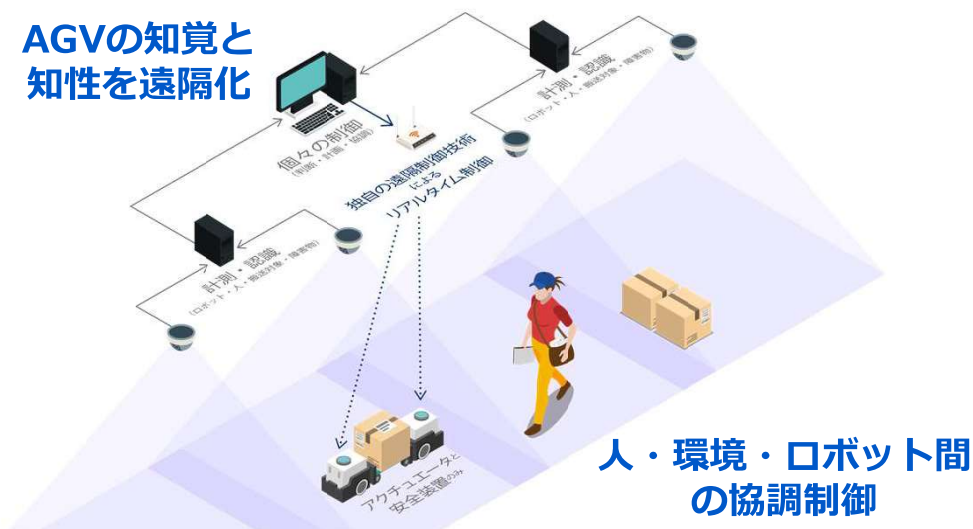
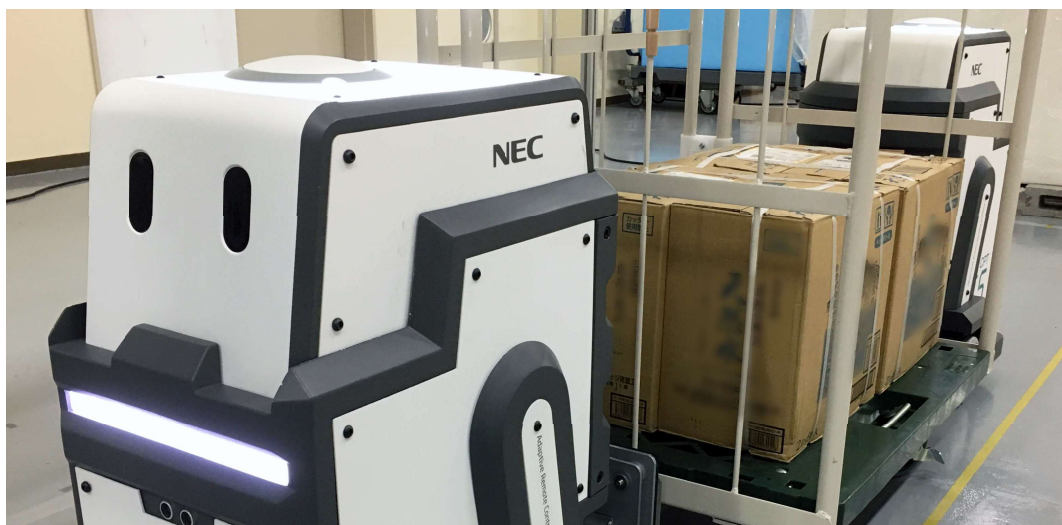


# 高度AIとの組み合わせで生まれる新たなソリューション

分散データ  
処理基盤

## AIを活用してAGVの協調制御を実現

AGVの知覚と知性を遠隔化し、人・環境・ロボット間の協調を実現



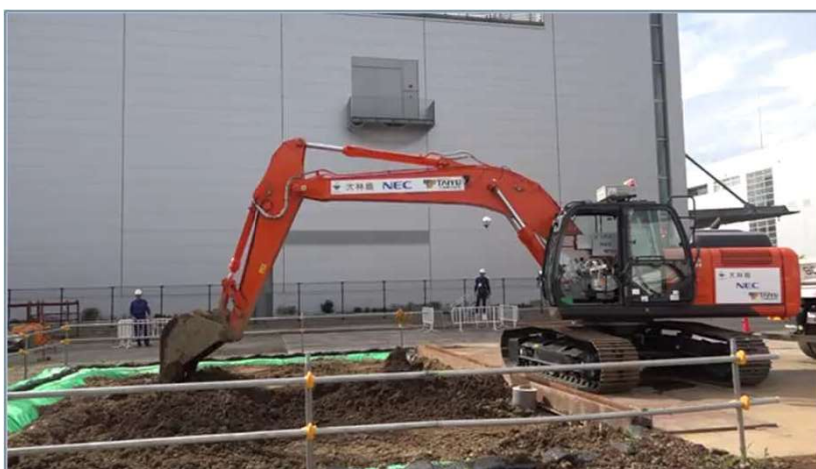
5G

AI

映像・制御信号を高速・低遅延で伝送 + 安全性を保ちながら搬送効率向上

## AIを活用して建機の自律運転を実現

建設機械をロボット化し、土木施工(土砂の掘削と積込)を完全自動化



ロボット化した操作室 油圧ショベルの自律運転 (掘削・積込の自動化)

### ■ 高精度・高効率

大型油圧機械の動特性を学習して制御することで、一般的なオペレータと同レベルの精度と効率を実現

### ■ 安全性・適応性

センサーネットワークによる現場全体の可視化により、安全性と様々な現場への適応性を実現

5G

AI

映像・制御信号を高速・低遅延で伝送

+

搭乗時と同等の操作を実現

# 適応予測制御による建機自動制御

分散データ  
処理基盤

## ロボット制御技術を活用した建機自律運転

建設機械をロボット化。土木施工（土砂の掘削と積込）を完全自動化



ロボット化した操作室



油圧ショベルの自律運転（掘削・積込の自動化）

### ■ 高精度・高効率

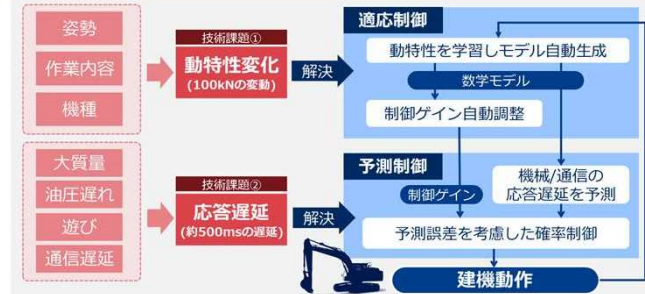
大型油圧機械の動特性を学習して制御することで、一般的なオペレータと同レベルの精度と効率を実現

### ■ 安全性・適応性

センサーネットワークによる現場全体の可視化により、安全性と様々な現場への適応性を実現

## 高精度・高効率を実現する【適応予測制御】

姿勢、機種、油圧遅れなどによる動特性の変化を学習して、動きを予測しながら制御することで高精度な制御を実現



## 安全性・適応性を実現する【ネットワークコントロールシステム】

通信ネットワークでセンサデータを統合し、建機を遠隔から集中制御。作業エリアの正確な形状認識と広範囲の監視により現場適応性と安全性を向上





# [ご参考] 各社ホワイトペーパーにて述べられている技術領域

“X”が7割以上

“X”が5割以上

2020年6月調べ

	6G flagship	Docomo	R&S	Nokia	Ericsson	Interdigita 	Terranova
<b>mm/THz radio</b>	X	X	X	X	X	X	X
<b>Ultra/holographic MIMO and BF</b>	X	X	X	X		X	X
Intelligent Reflecting Surfaces		X					
<b>Backhaul Solutions / IAB</b>		X	X	X	X	X	X
Satellite and Non-terrestrial NW	X	X	X	X			
Optical system		X	X	X			X
Fixed-wireless access		X					X
<b>Ultra low power / Backscatter</b>	X	X	X		X	X	
<b>AI/ML at physical/MAC layer</b>	X	X	X	X	X	X	
Micro/local operators	X	X	X				
Unlicensed new-radio			X				
URLLC enhancements		X	X	X			
Industrial IoT enhancements		X	X				
<b>Edge cloud</b>	X	X	X	X	X		
<b>Network sensing</b>	X	X	X	X	X	X	

\Orchestrating a brighter world

**NEC**

# Communications in the 6G Era

For B5G Promotion Consortium White Paper Workshop  
- B5G technology session -

APAC standardization  
Nokia Bell Labs

# Six key technologies for 6G

AI/ML Air-Interface



New Spectrum Technologies



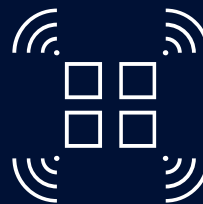
Network as a sensor



RAN-Core Convergence & Specialization



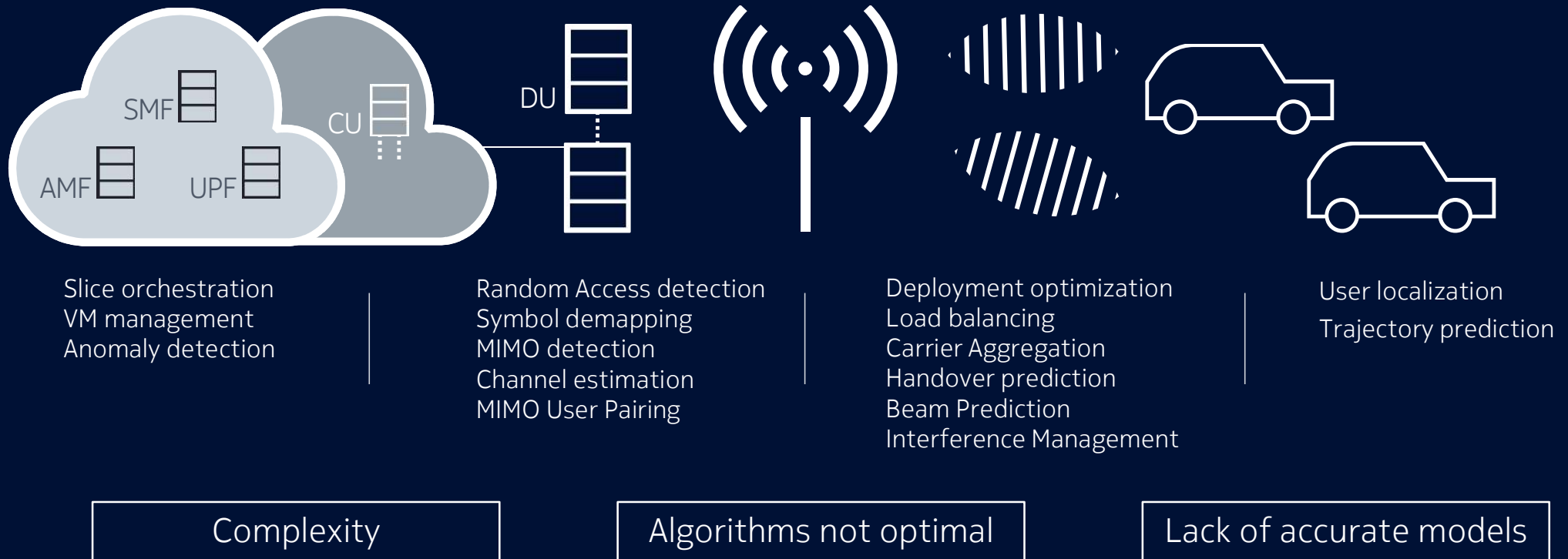
Extreme Connectivity



Security and Trust

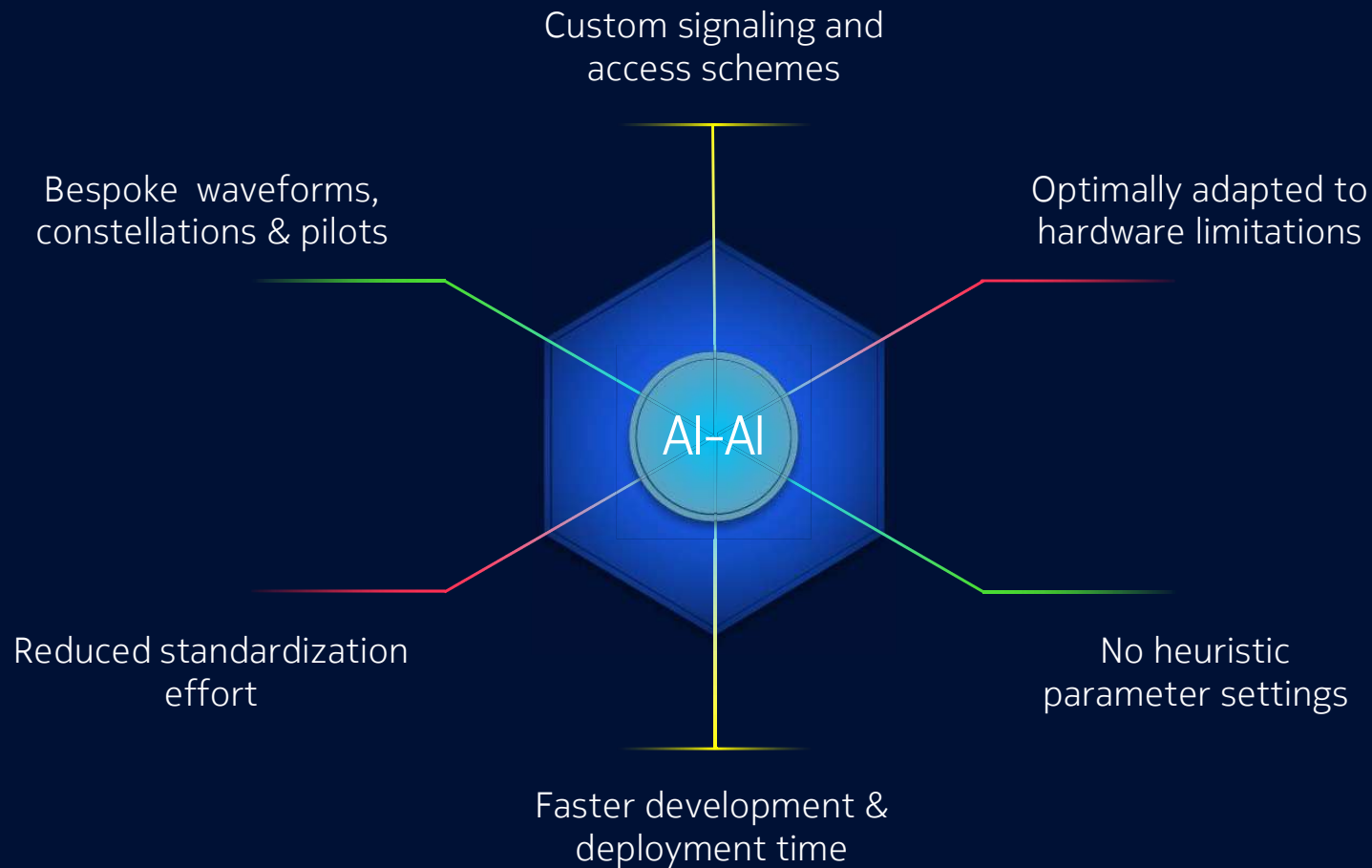


# AI/ML in 5G



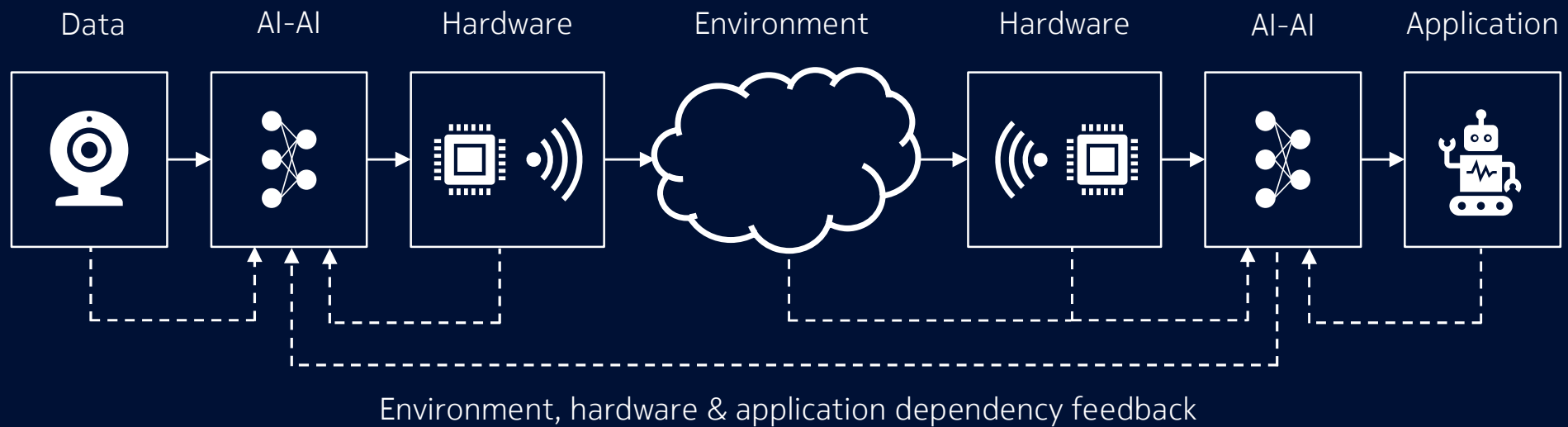
No component of 5G has been designed by ML

# AI optimized air-interface: Benefits





# AI-Native Air Interface (AI-AI) for 6G



*"Post Shannon": Not about reliably transmitting bits anymore, but rather servicing an application with data in an optimal way*

# AI Optimized Air-Interface

$$C = \max_{p(\mathbf{x})} I(\mathbf{x}; \mathbf{y}) \geq \max_{p(s), \theta_T} I(s; \mathbf{y})$$

Uniform

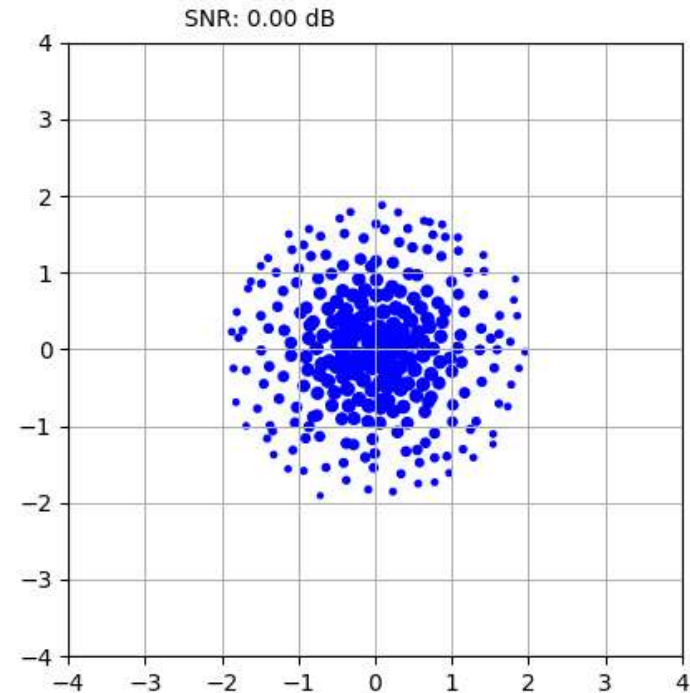
Probabilistic  
Shaping

QAM

Geometric  
Shaping

Jointly optimized shaping through learning

<https://arxiv.org/abs/1906.07748>



# Real time ray tracing in digital twin worlds for wireless optimization



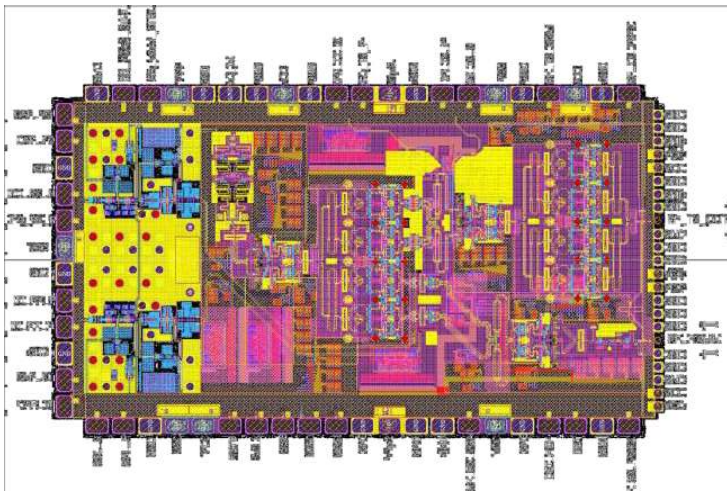
Accurate signal propagation prediction

Knowledge of instantaneous traffic distribution

Object level mobility prediction

Exploit reflective surfaces and include in optimization

# Expanding to new spectrum



D band: 140 GHz to 180 GHz

Waveform design for 100s of Gbps

Higher output power

RFIC / Transceiver Design

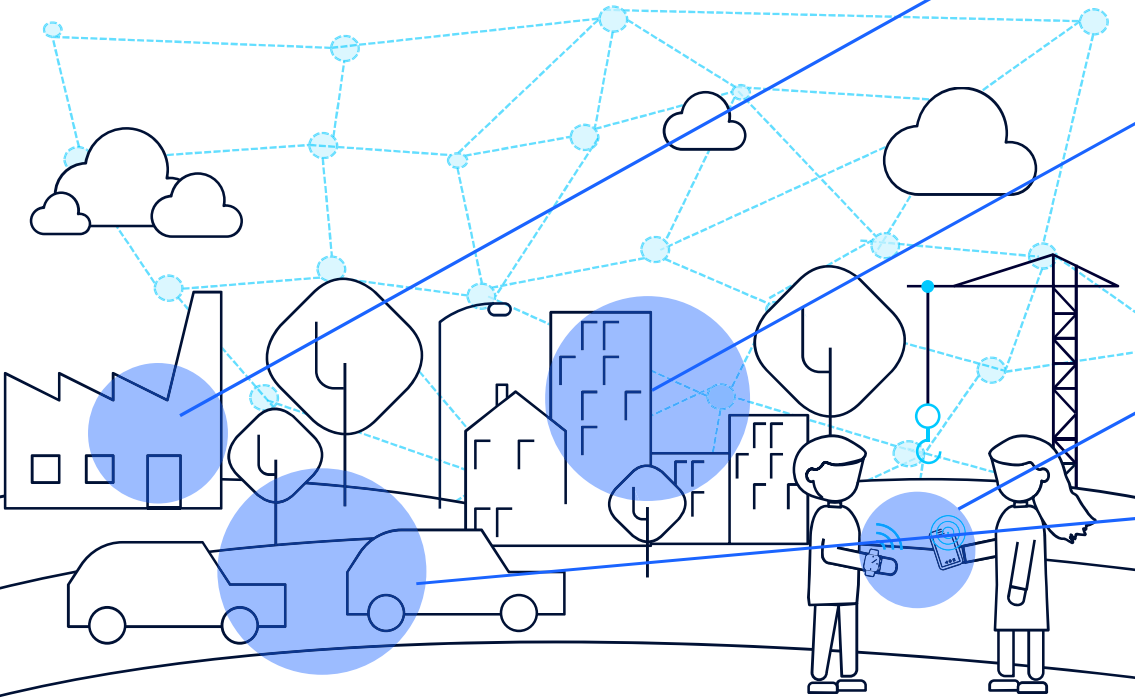
Antenna array

Channel modeling

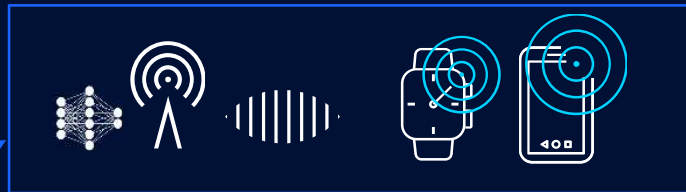
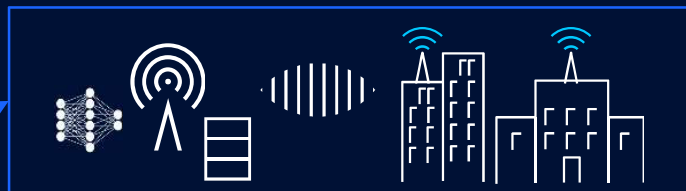
# Cognitive spectrum management

## Creating more spectrum in sub 6 GHz

- Inter-operator, Inter-technology, public and private
- High resolution in time and space

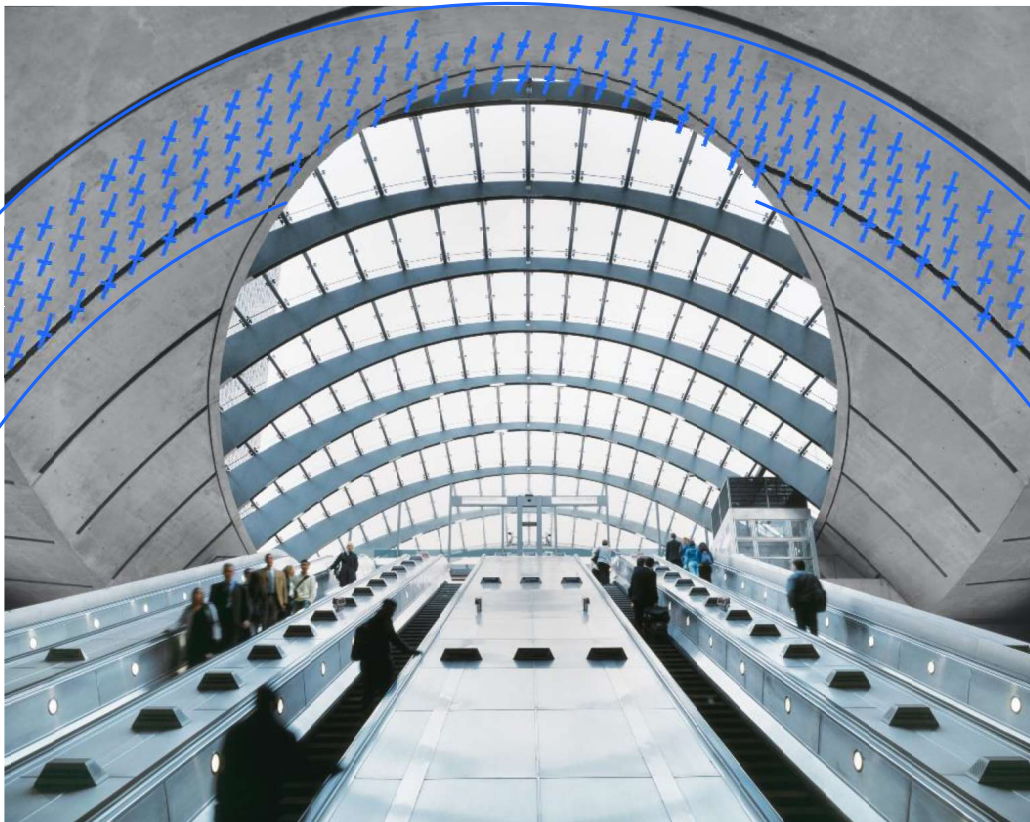


Infrastructure capable of switching over wide range of spectrum and technology options





# Massive MIMO challenge



## **Low-cost/Low-power Radios/Arrays**

Scale to very large arrays

## **Flexible Radios/Arrays**

Multi-band, large bandwidth, waveform agnostic

## **Advanced Signal Processing Platforms & Algorithms**

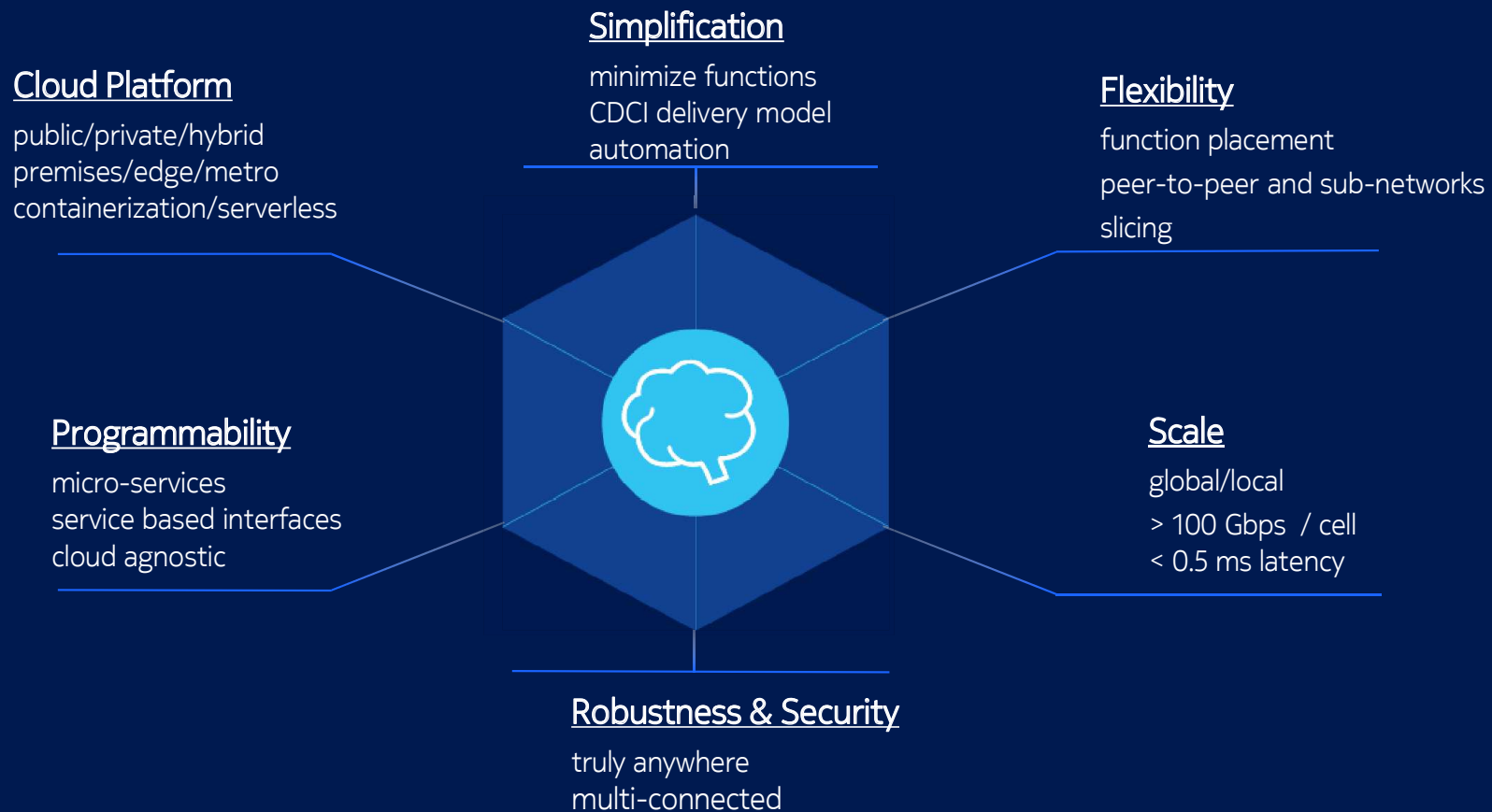
Increase spatial multiplexing efficiency

## **Invisible Arrays**

Integrate into infrastructure



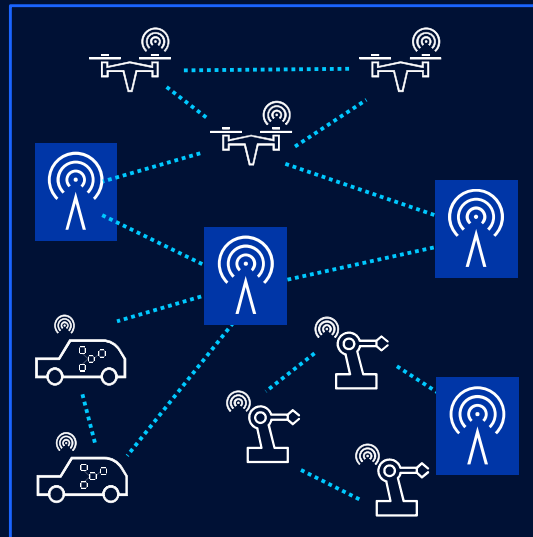
# Architecture mega trends



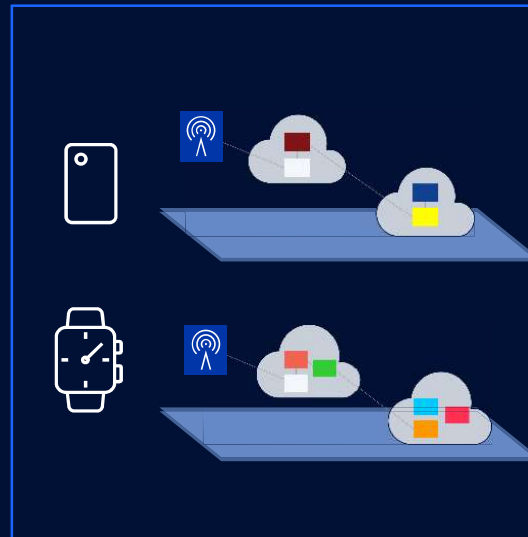
# 6G architecture themes



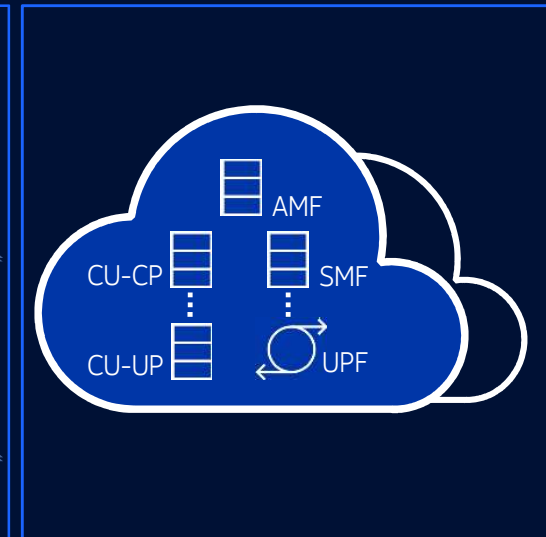
End point is a network



Cell free/Mesh

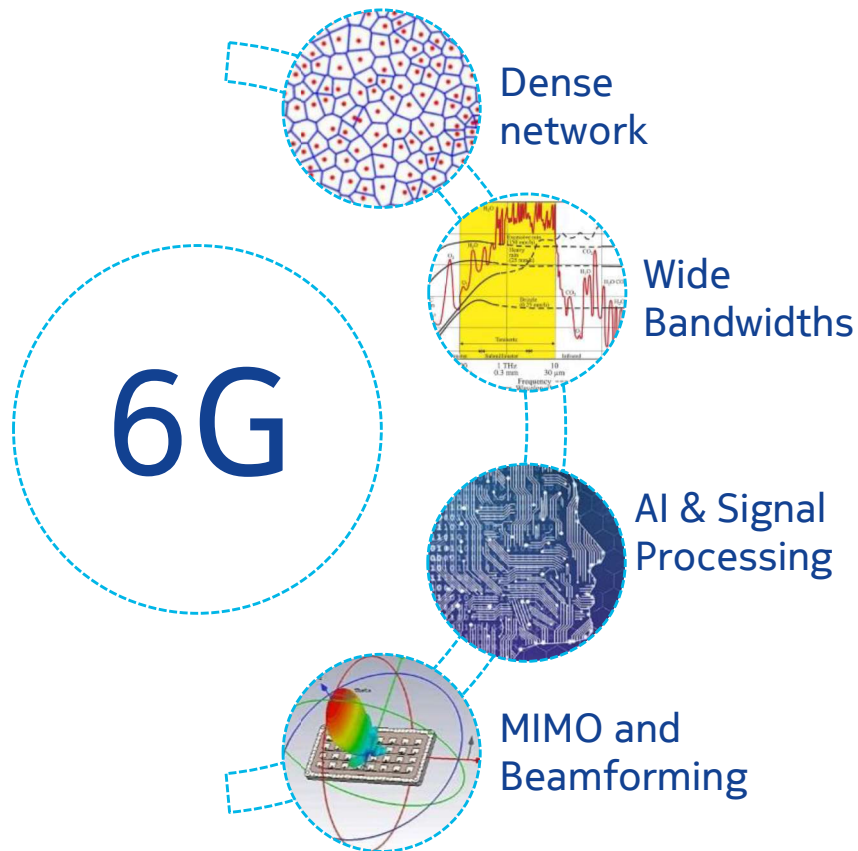


Deep slicing



RAN-Core Convergence

# 6G network creating a sixth sense



Simultaneous communication and radar

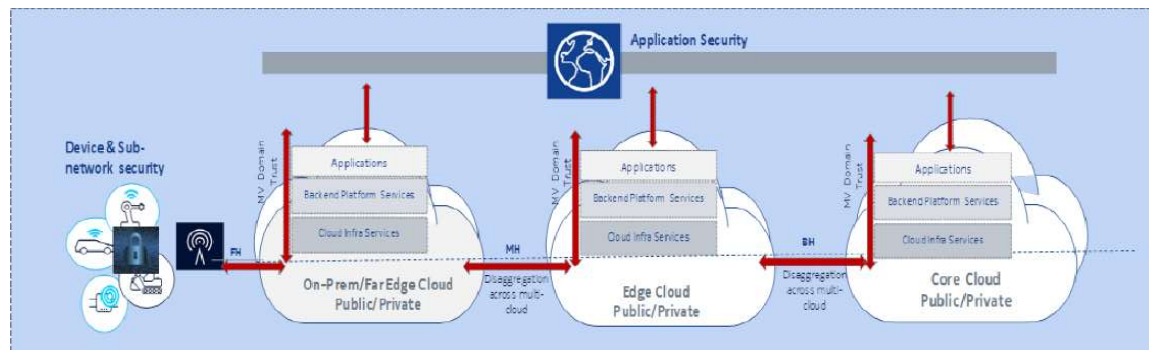
- Waveform multiplexing
- Resource allocation
- Beam sweeping
- CSI based sensing

High precision localization in NLOS

# Security in the 6G era of architecture

- software centricity, billions of devices, millions of subnetworks
- mix of Public/Private Cloud infrastructure/NFs across different admin boundaries with varying levels of “mutual” trust and security
- mix of open source and multi-vendor
- open interfaces and disaggregation of domains and RAN, owned by different providers

- automated operations and AI/ML enhanced SW creation
- trusted execution environment and flexible anchors of trust to ensure system integrity; HW accelerators for trust
- quantum-safe and adaptive cryptography
- enhanced data security and privacy preserving technologies
- create efficient authentication for scale
- provide enhanced supply chain assurance



Security across devices, subnetworks, het-cloud and application from new dimensions of trustworthiness

6G to unify the experience across the physical, digital and biological world

Ubiquitous compute, AI Knowledge systems, Precision sensing and Multisensory rendering enable the multi-verse and drive the need for new connectivity

AI optimized air-interface

Network as the 6<sup>th</sup> sense

Extreme networks

New spectrum technologies

RAN-Core convergence and Subnetworks

Trust, Privacy and Security paradigm

# 6G:コネクテッドインテリジェンス

人やモノのつながった世界からインテリジェンスがつながる世界へ

朱厚道

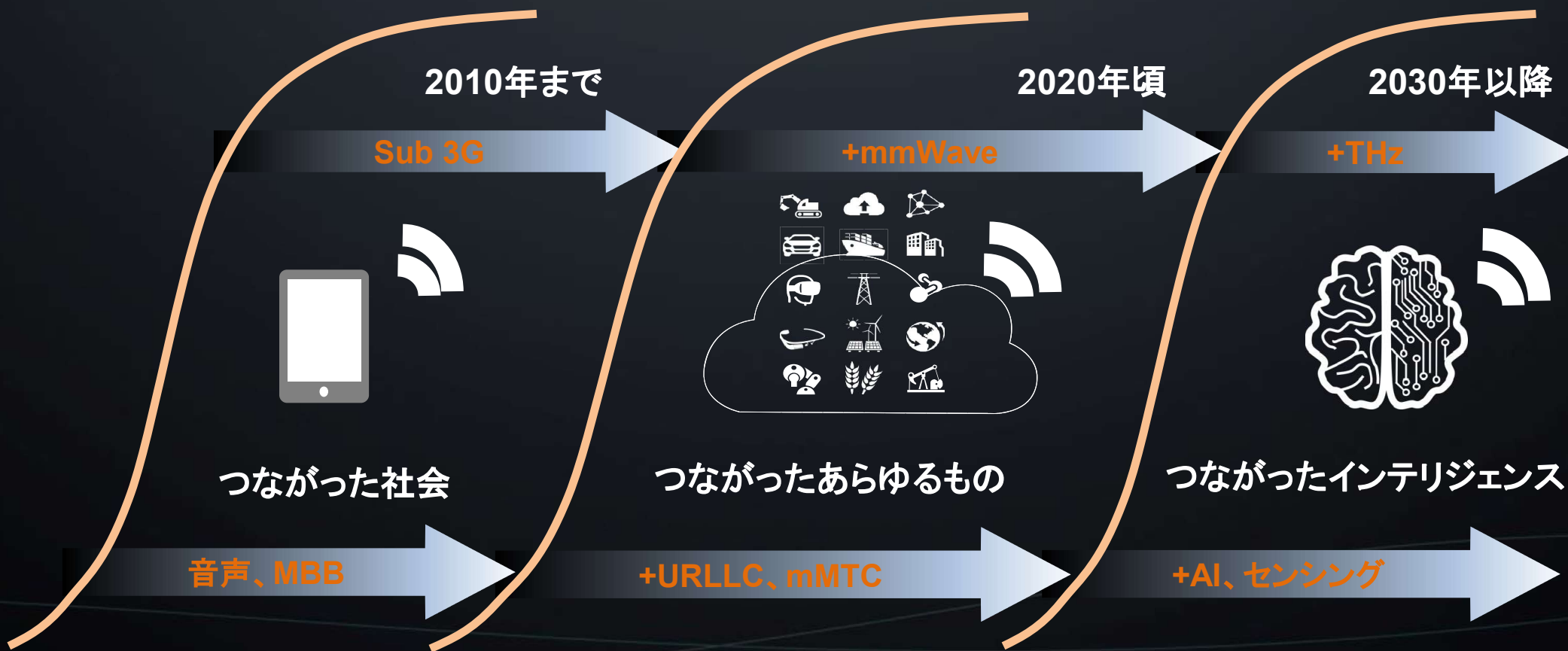
華為技術日本株式会社





# 2030年のビジョン：あらゆるもののインテリジェンス

つながった人、つながったモノからつながったインテリジェンスへ



# 6Gとは何ですか？



サイバーの世界、生物学的な世界、物理的な世界を融合する通信リンクを備えた分散型ニューラルネットワーク

1

あらゆる垂直統合型ビジネスの完全なデジタル変革を可能にします

3



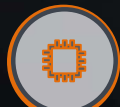
Industry 1.0

Industry 2.0

Industry 3.0

Industry 4.0

Industry 4.0+



1784

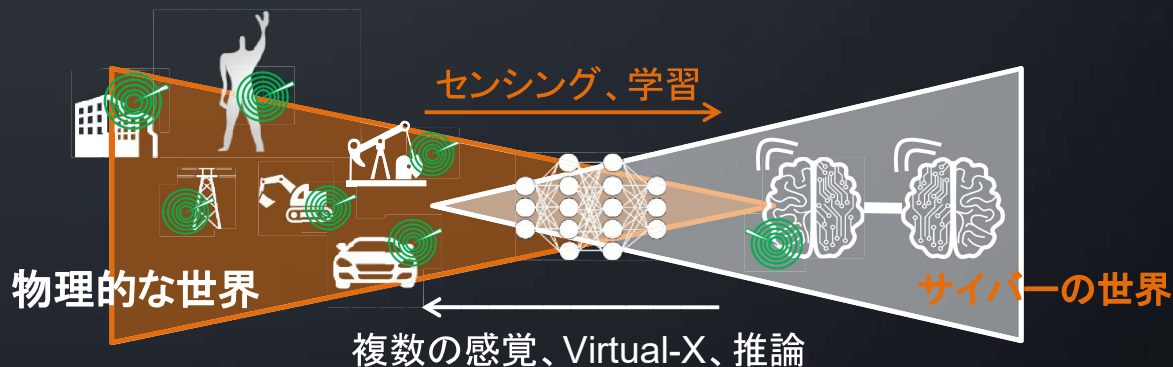
1870

1969

現在

2030

Huaweiが所有権を保持、社外秘、許可なしの拡散は不可



2

ネットワーク化されたセンシングと分散型機械学習を特徴。データセンターはニューラルセンターになり、機械学習はネットワーク全体に広がります

4

速度に関してファイバーに匹敵するユニバーサルでハイパフォーマンスなワイヤレス接続を提供します



2G

「電話してください」



3G

「写真を見せてください」



4G

「テレビ電話しましょう」



5G

「XRミーティングで会いましょう」



6G

「ハグを送ってください」

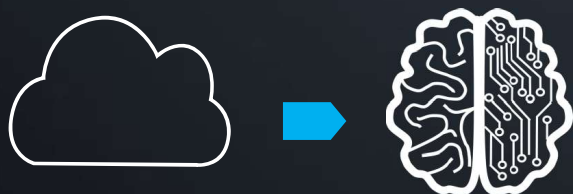


# 6G: RANのKPI

極限の通信、高解像度センシング、ユビキタスインテリジェンスを可能にします



# ネットワークアーキテクチャのパラダイムシフト



クラウド中心 → AIネイティブ

101101011  
01 @ 11  
01 100  
110101010  
101



mmWave

情報中心 → センサーとしてのネットワーク



セキュリティ中心 → 多面的な信頼



一般的なビットパイプ → ユーザー中心



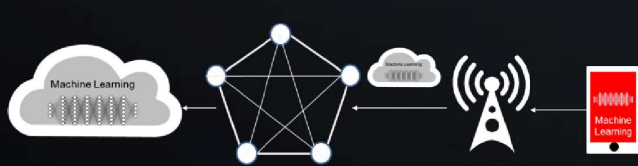
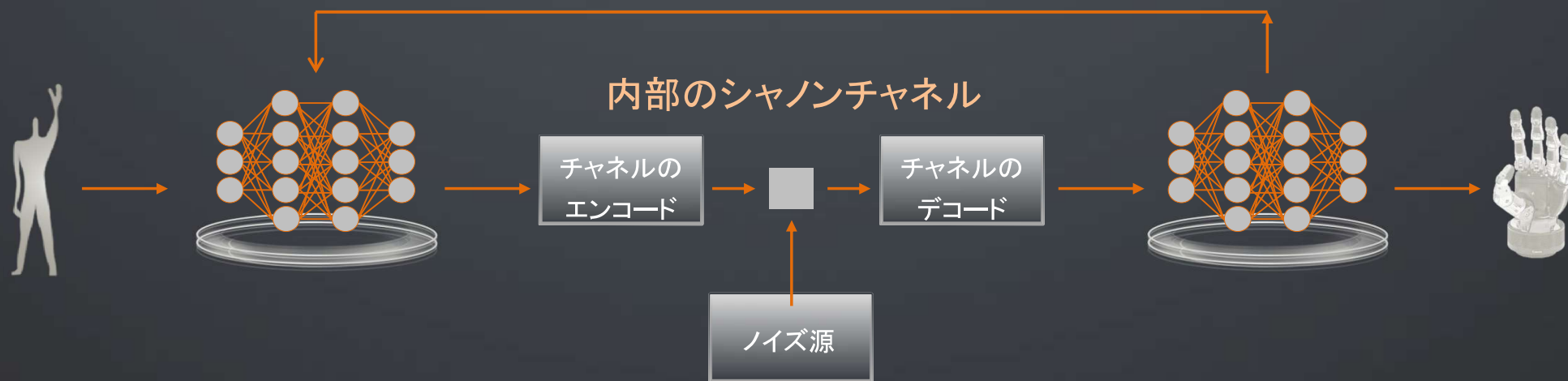
オペレーター → 生産消費者中心

# ネイティブAI エアインターフェースおよびアーキテクチャ設計におけるのパラダイムシフト

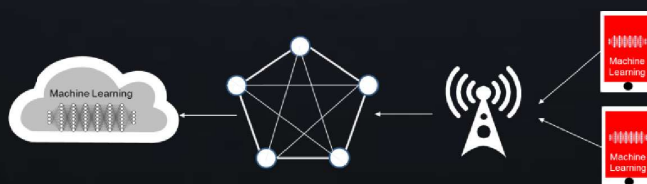
## モジュールベースのAIからネイティブAIへ、DL主体からUL主体のトラフィックへ

外部のセマンティックチャンネル

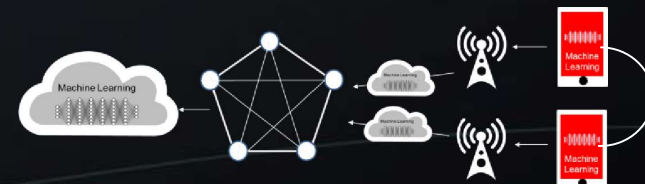
内部のシャノンチャンネル



エッジおよびデバイスでの連合型学習



デバイスでの連合型学習



デバイスの協調学習



# 統合されたセンシングおよび通信

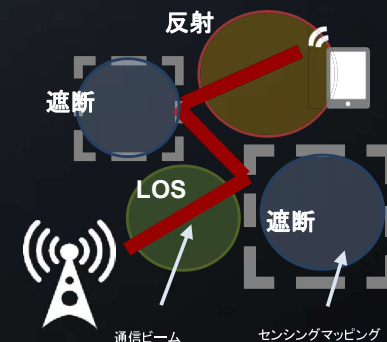
- センサーとしてのネットワーク
  - デバイス不要のセンシングに使用される通信信号
- センシング支援の通信
  - センシング支援のビームフォーミング、測位、CSI(チャネル状態情報)取得など
- 統合されたセンシングと測位
- 新機能: イメージング



センシング用の通信信号



センシング支援の通信



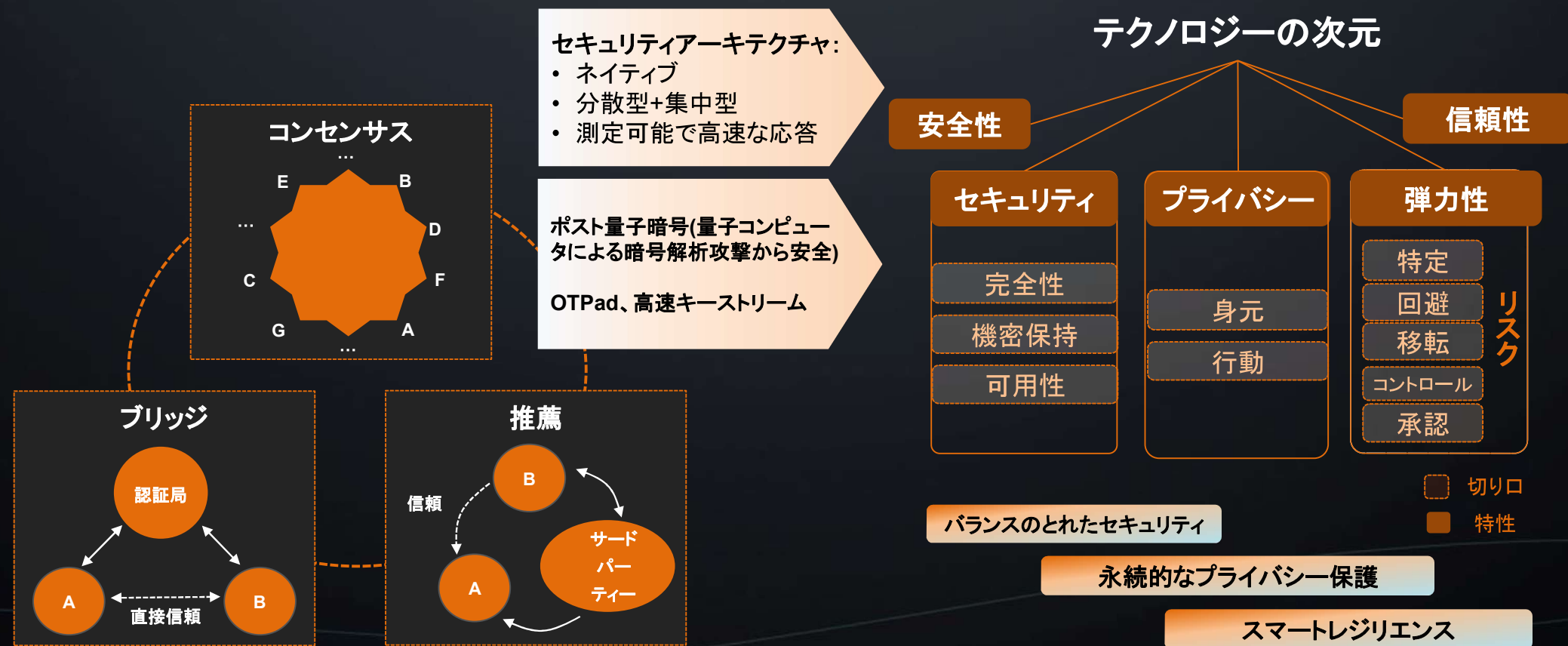
垂直的なネットワーク





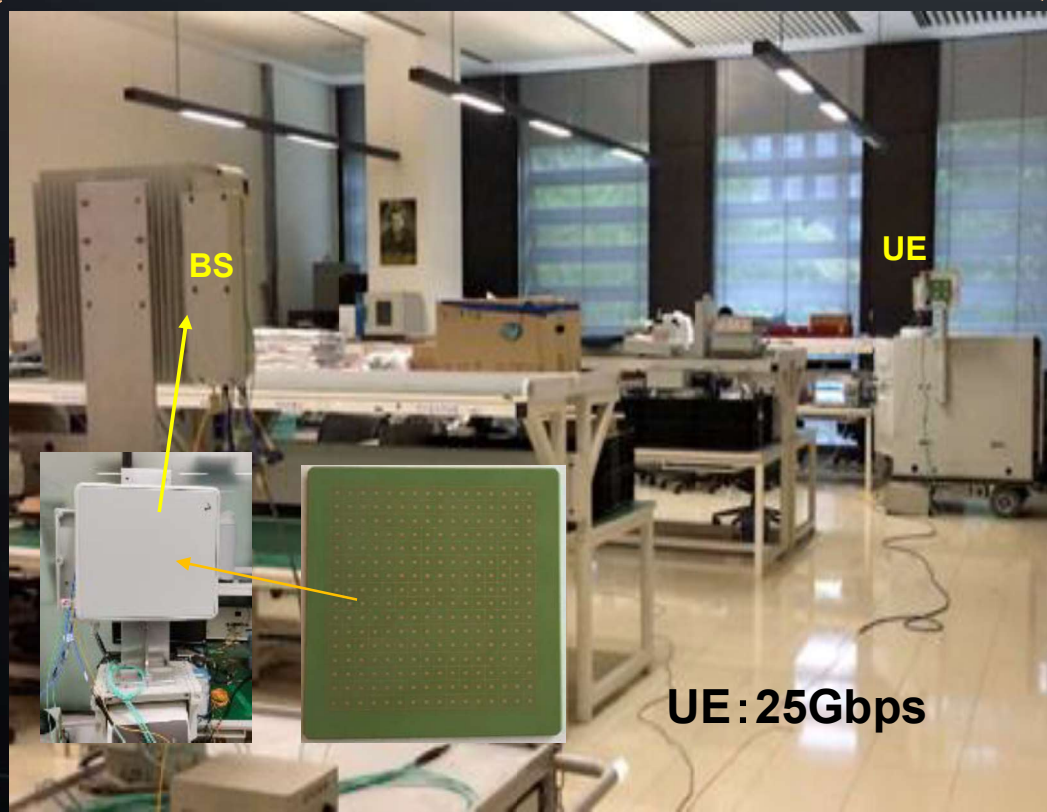
# ネイティブの信頼性

## 多面的な信頼モデルと新しい暗号アルゴリズム

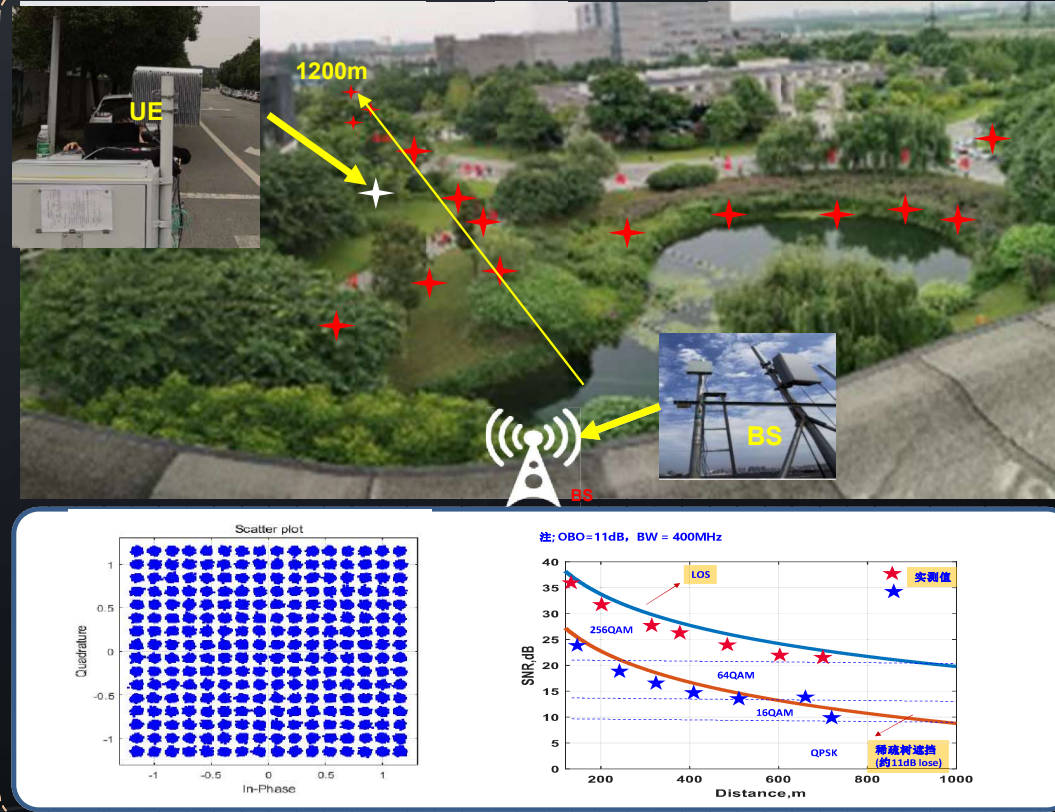


# ミリ波帯の大容量およびカバレッジの実証実験

E-Bandの大容量MUテスト



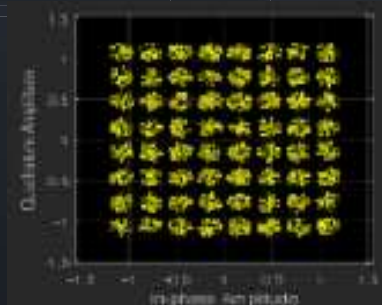
ミリ波帯のカバレッジテスト(39GHz)



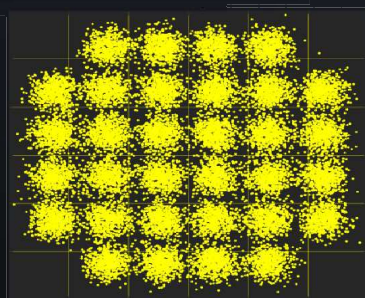
# THzの通信およびセンシング実証実験

## THzの通信テスト(220GHz)

屋内LOS、P2P、80m、~100Gbps

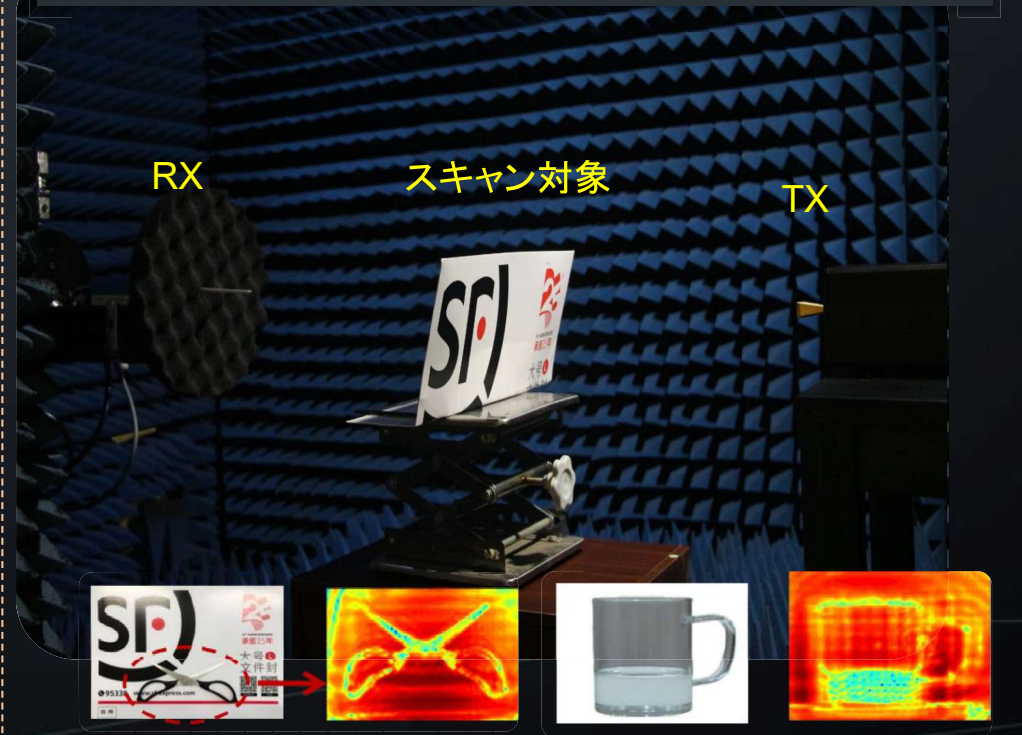


屋外LOS、P2P、900m、~75Gbps



## THzの高解像度センシングテスト(140/220GHz)

スキャンベースのセンシングテスト、1 ~ 3mmの解像度





## まとめ

- 6Gは、人やモノのつながった世界からインテリジェンスがつながる世界へ(コネクテッドインテリジェンス)と飛躍します
- センシングとAI学習は、接続性とファブリックを超えて、物理的な世界、生物学的な世界、サイバーの世界を融合する2つの新しい6G利用シナリオになります
- 5Gの進化を超えた6Gの新たなテクノロジー
  - ネイティブAIによるエアインターフェースおよびネットワークアーキテクチャのパラダイムシフト
  - mmWaveバンドおよびTHzバンドにおいて統合されたセンシングおよび通信
  - 世界規模の3Dカバレッジのために統合された地上ネットワークと衛星およびVLEOコンステレーション
  - 多面的な信頼モデルとポスト量子暗号アルゴリズムによるネイティブの信頼性
- 6Gは、画期的なテクノロジーと革新的なサービスの研究に焦点を当てる必要があります。オープンかつ協力的な研究が不可欠です。

お問い合わせ先: [shu.kodo@huawei.com](mailto:shu.kodo@huawei.com)

Beyond 5G推進  
コンソーシアム  
白書分科会  
ワークショップ

2021年3月26日

# Beyond5Gに向けた ネットワークと要素技術

富士通株式会社  
未来ネットワーク統括部  
青木泰彦

FUJITSU

shaping tomorrow with you

# Beyond5Gで実現される未来の社会

## Human-Centric Digital Real World

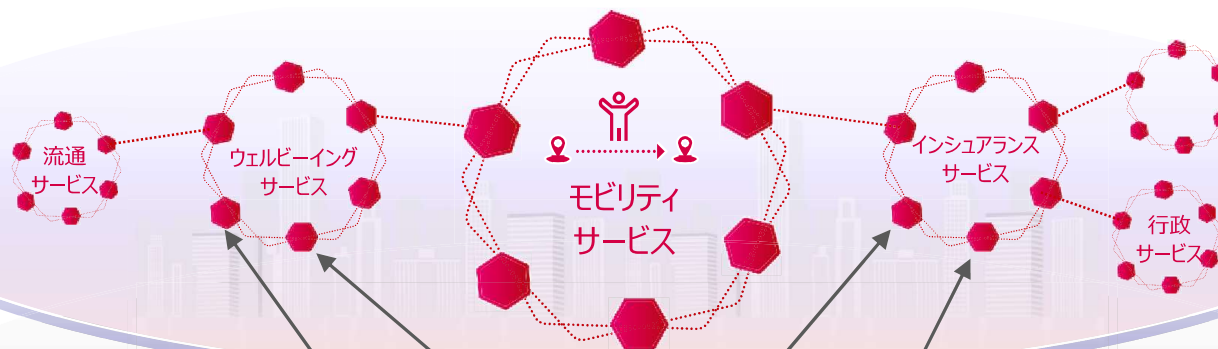


### ■ デジタル・エコシステムが相互につながり、信頼できる、持続的な社会

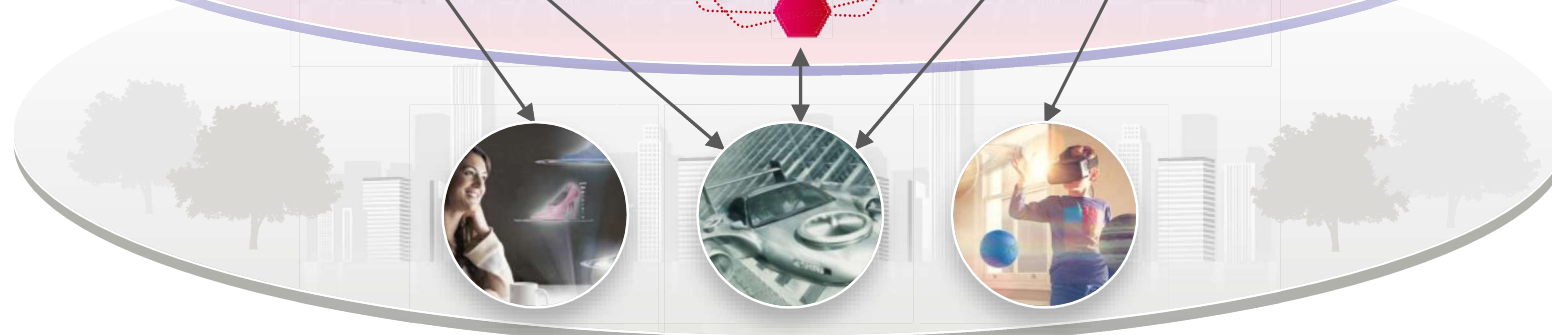
- 業界や行政をまたがって、さまざまなデータが集まり、サービスが進化していく
- 今までできなかった様々な体験を安心安全、快適に享受できるようになる

### 業界や行政にまたがったデータ・サービス連携による新しい価値

デジタル空間  
(企業等のサービス)



物理空間  
(人、モノ)



よりリッチになるユーザ体験

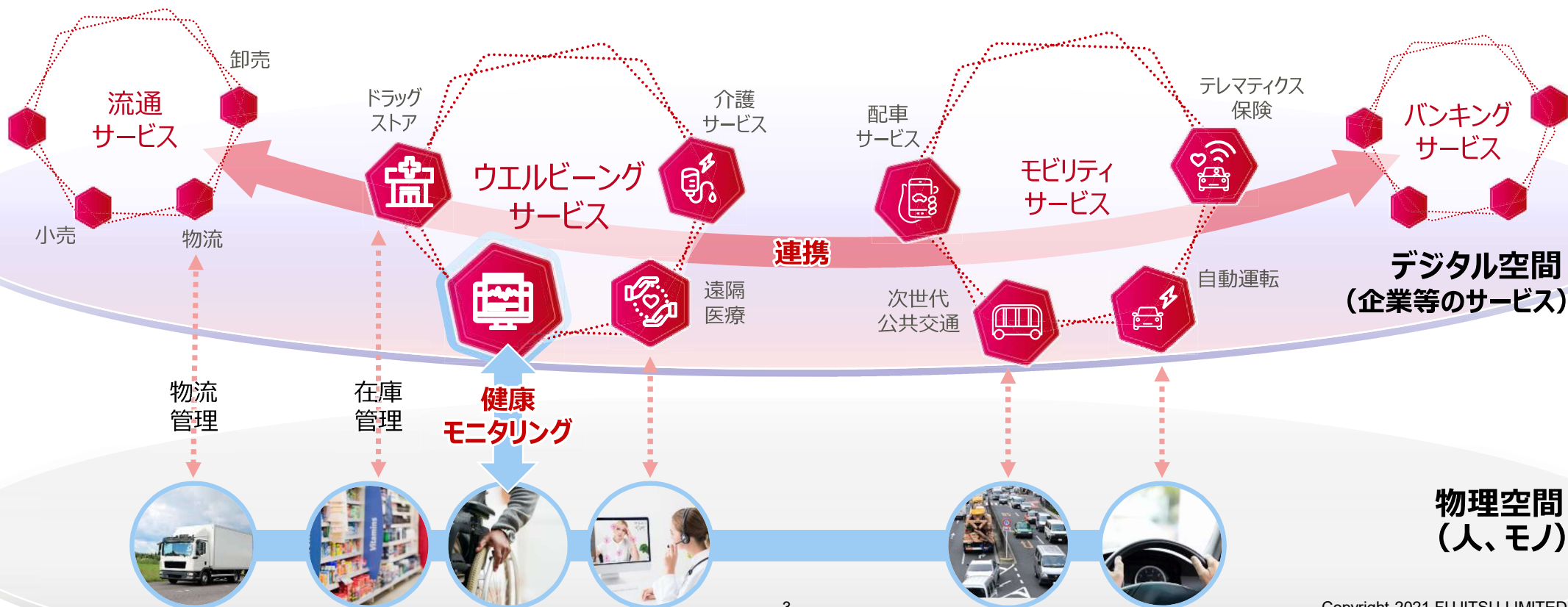


# 業界や行政にまたがったサービス連携



## ■ 1つのサービスを起点に関連するさまざまなサービスが連携

- 健康モニタサービスでは人の状態や行動をデジタル化し分析
- 分析データを遠隔診療、処方箋・配達、交通(通院)などエコシステムをまたがり活用



# Cyber Physical System (CPS) の進化

- 物理空間とデジタル空間の進化に合わせてネットワークも新しいアーキテクチャが必要



# ネットワークへの要件

## インフラ性能のさらなる向上

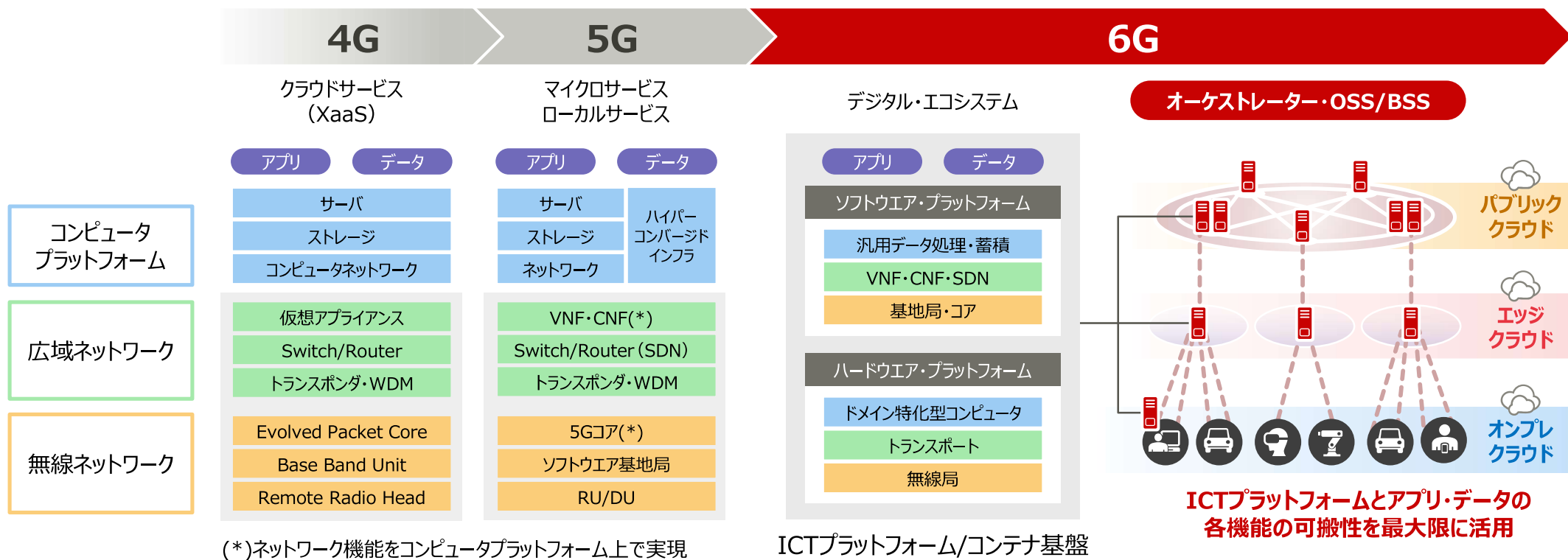
5Gからの拡張	より高速・大容量、低遅延通信、多数接続
低消費電力	低電力デバイス、高集積化
なんでもつながる	AI to AI, Machine to Machine

## 提供機能の拡充

使いやすい（柔軟性）	簡易なネットワーク構築、運用の自律化
新たな価値の提供	ビットを運ぶから価値を運ぶ ネットワークデータを価値として提供

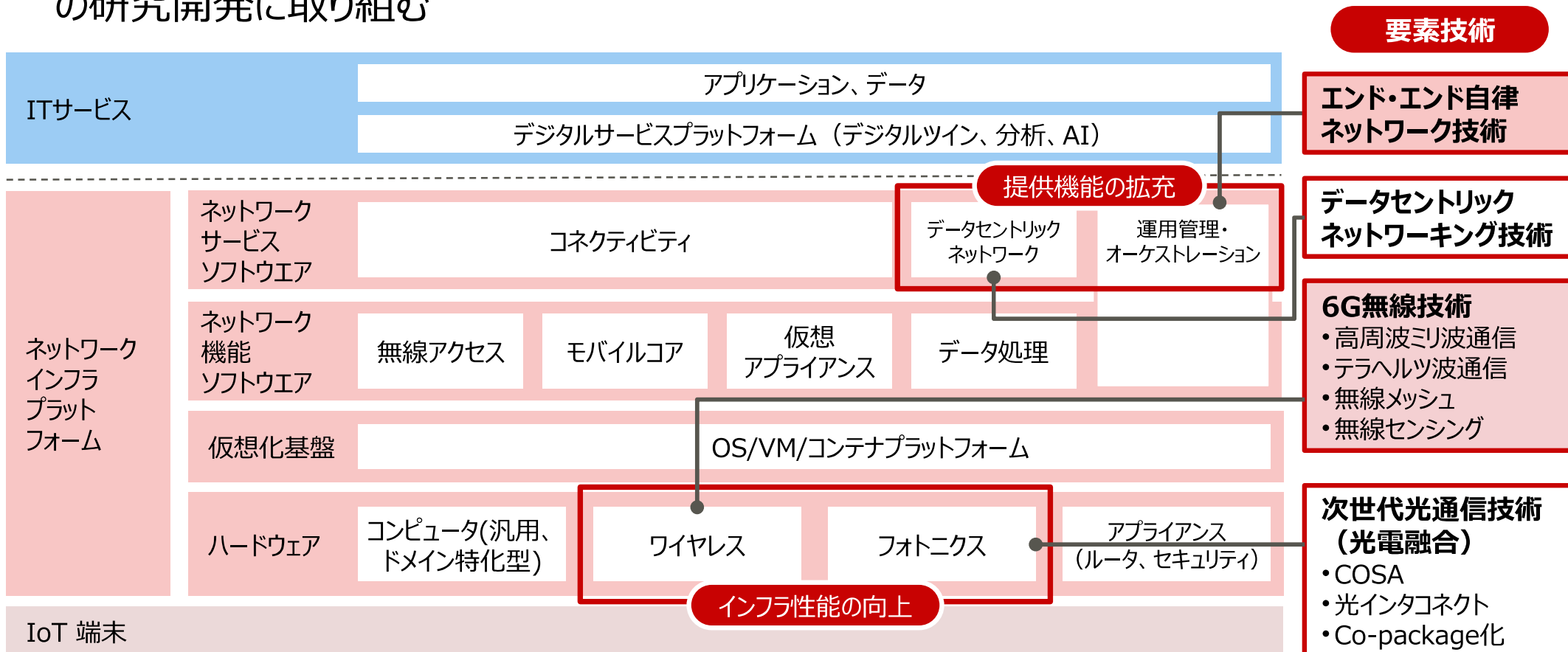
# ネットワークインフラ・アーキテクチャ

- ディスアグリゲーション、ソフトウェア・仮想化、オープン化が進行
- 高性能なハードウェア上で、サービス要件に合わせた柔軟性のあるネットワークを実現



# ネットワークの要素技術

- 2030年代のネットワークに向け、圧倒的な性能向上と、柔軟かつ自律的なネットワーク機能の研究開発に取り組む



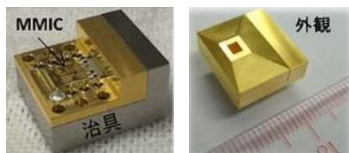
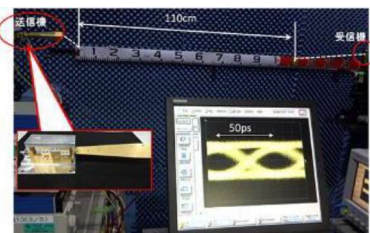


# 6G無線技術

## ■ どこでも安心してデジタル・エコシステムに繋がる

- 大容量・超高速・超低遅延：高周波ミリ波&テラヘルツ領域に向けた周波数活用
- 移動基地局（陸、海、空、宇宙）：無線メッシュ網/IAB等を活用した柔軟な無線ネットワークポロジー
- コミュニケーションの変化（人同士から大量の機械同士、AI同士）への対応：測位・センシング、バッテリーレス化

### 高周波ミリ波&テラヘルツ通信

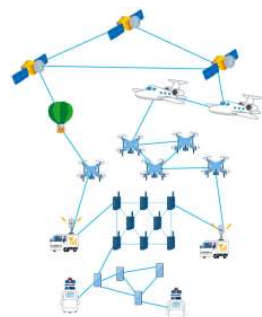


テラヘルツ実験システム（2016年）  
<https://pr.fujitsu.com/jp/news/2016/05/26.html>

### 柔軟な無線NWトポロジー



基地局連携

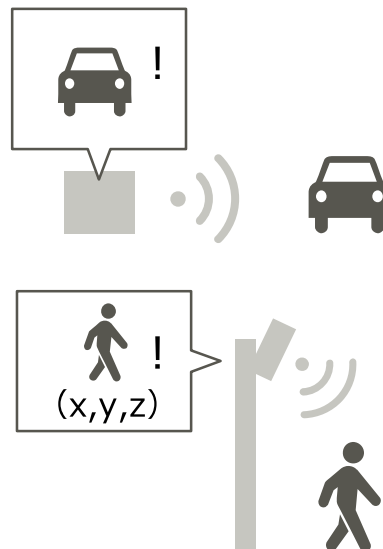


移動基地局

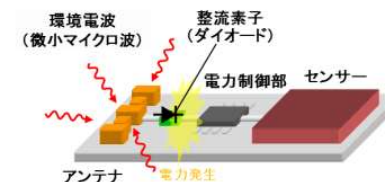
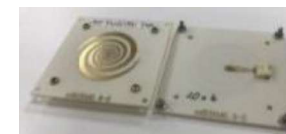
IAB  
メッシュ網  
D2D

IAB: Integrated Access Backhaul  
D2D: Device to device

### 測位・センシング



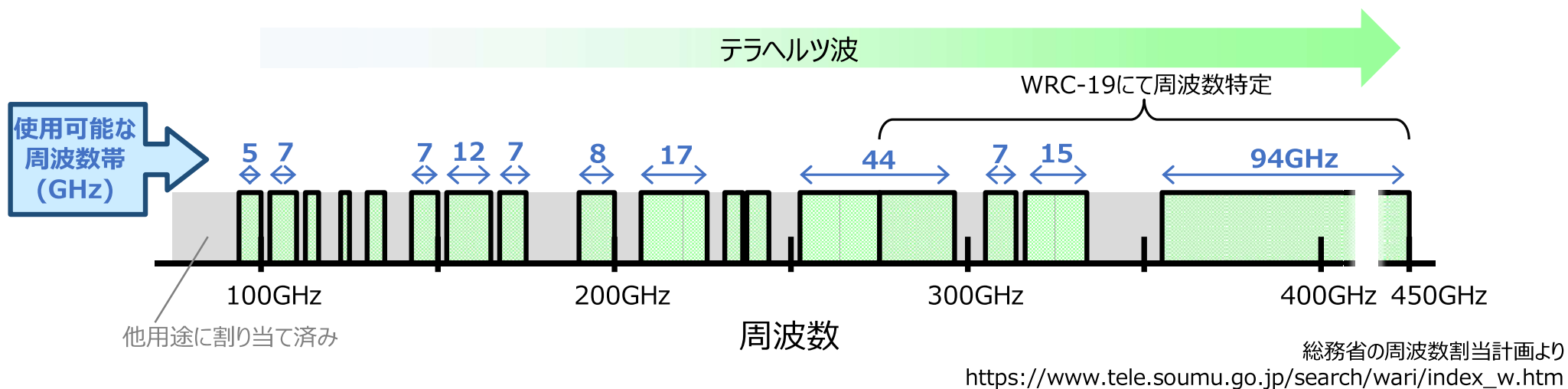
### バッテリーレス化



マイクロ波を電力に変換する  
高感度ダイオード（2019年）  
<https://pr.fujitsu.com/jp/news/2019/09/24.html>

# テラヘルツ波の活用

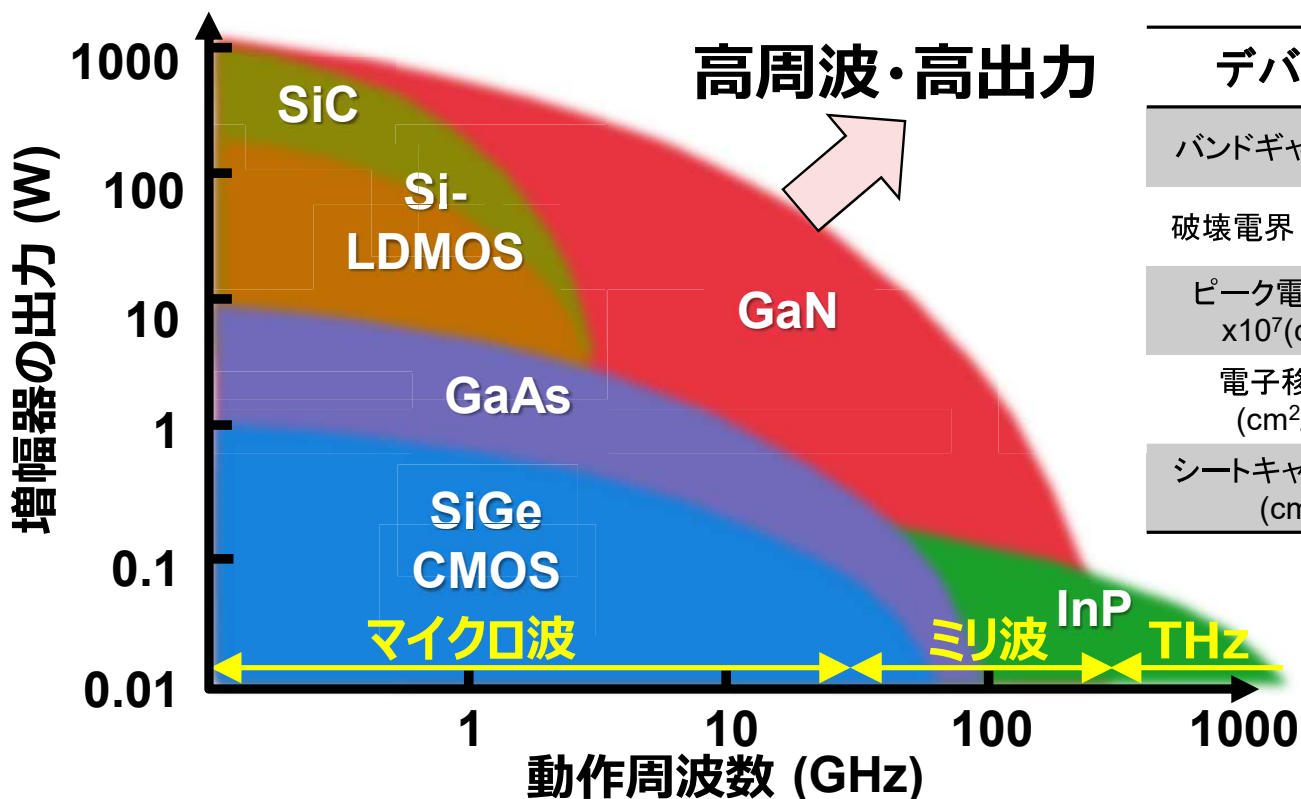
- 現在使用されているマイクロ波・ミリ波帯では広い周波数帯域が確保できない  
周波数割り当て：4Gは770MHz、5Gでは2.2GHzに増加
- 100GHz以上のテラヘルツ帯には、更に幅広い 利用可能な帯域が存在



**十分な通信距離(～100m)の確保には、デバイスの出力や受信感度の向上が必要**

# 半導体材料による増幅器の出力と周波数

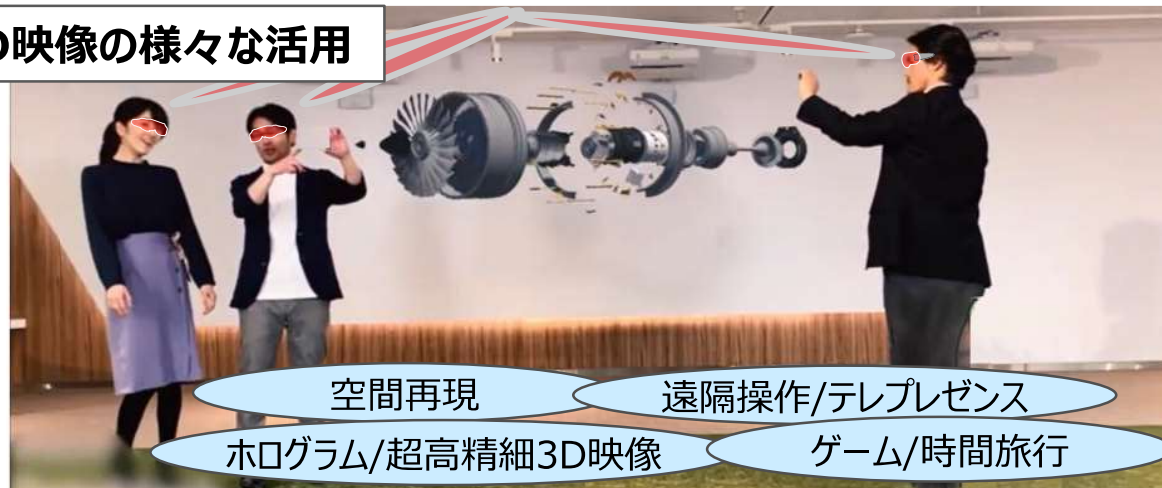
- 化合物半導体は、Si CMOSよりも優れた高周波特性を有する
- InPはテラヘルツ領域、GaNはマイクロ波からミリ波領域に適する



デバイス	Si	GaAs	InP	GaN
バンドギャップ(eV)	1.1	1.4	0.75	3.4
破壊電界 (MV/cm)	0.3	0.4	0.2	<b>5</b>
ピーク電子速度 x10 <sup>7</sup> (cm/s)	1.0	2.0	<b>2.9</b>	<b>2.7</b>
電子移動度 (cm <sup>2</sup> /Vs)	1,300	8,500	<b>12,000</b>	1,500
シートキャリア濃度 (cm <sup>-2</sup> )	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	<b>10<sup>13</sup></b>

# テラヘルツによる高速伝送

## 高精細3D映像の様々な活用



空間再現

遠隔操作/テレプレゼンス

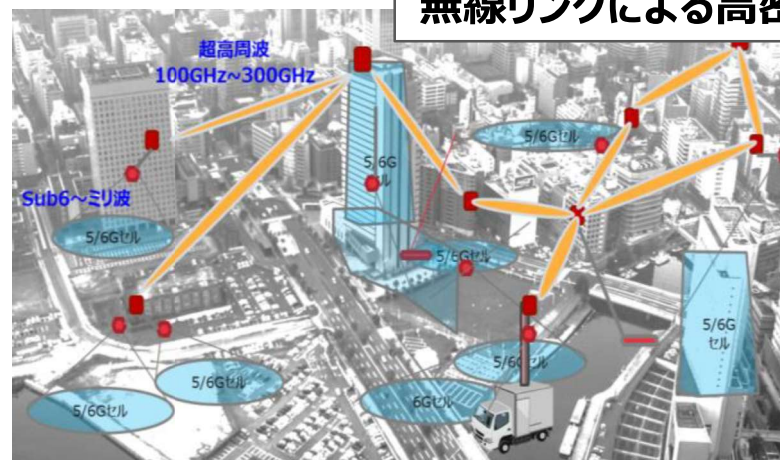
ホログラム/超高精細3D映像

ゲーム/時間旅行

## 大容量プライベートセル



## 無線リンクによる高密度展開



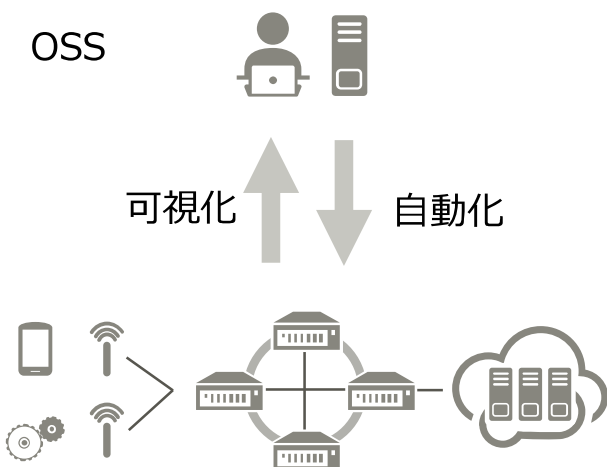
# エンド・エンド自律ネットワーク

## ■ 端末からクラウドまでの、ネットワークやIT機器の監視、制御を一体化

- 利用形態（スライス）毎の通信品質の監視、分析とネットワークの制御を自動化（Step1,2）
- ネットワークのもつ情報を価値化、ITシステムで利用（Step 3）

### Step1（可視化・自動化）

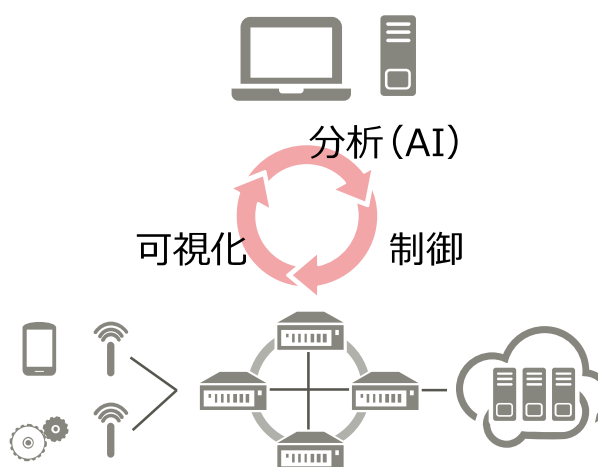
- 個々の機器リソース状態の可視化
- 構築・保守の自動化



OSS: Operation Support System

### Step2（効率化）

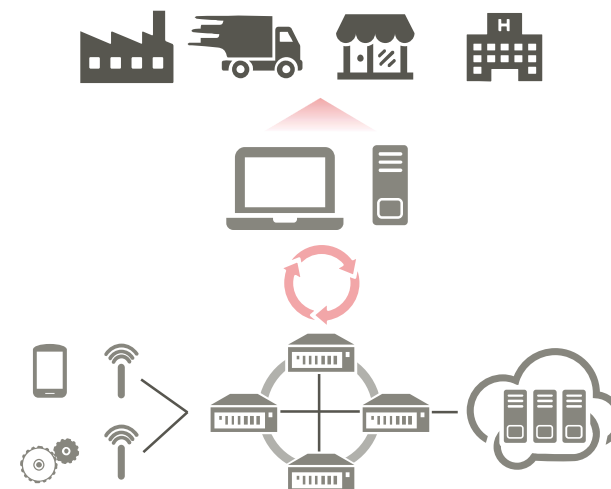
- エンド・エンド状態の可視化・分析
- リソース配備の効率化・制御



12

### Step3（付加価値化）

- ネットワーク情報の分析
- 分析結果のITサービスへの提供

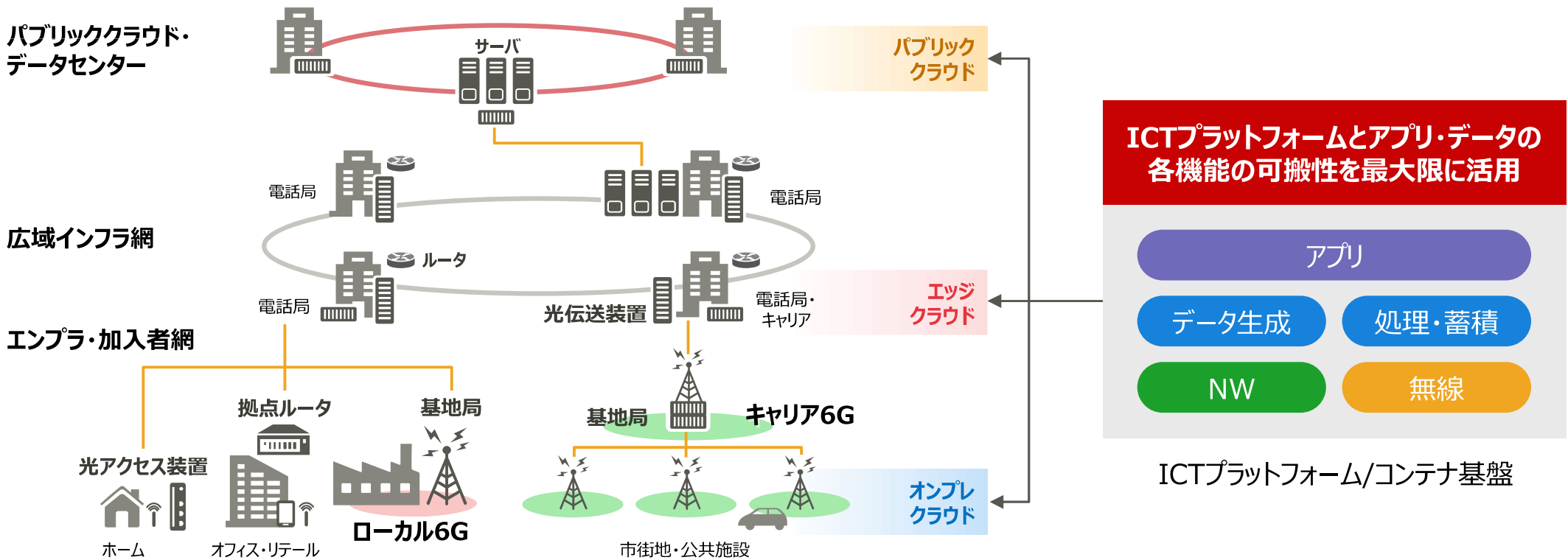


Copyright 2021 FUJITSU LIMITED




# 2030年のネットワーク

- 分散したリソースをサービスに応じて連携/協調、サービスデリバリ（品質、リードタイム）を向上
- 自律的なネットワーク運用により事業者（キャリア、企業）のインフラコストを改善



# まとめ

- 未来の社会の実現にはネットワークの進化が不可欠であり、ソフトウェアだけでなくハードウェアの技術革新が不可欠となります
- Beyond5Gに向けた重要技術領域
  - ディスアグリゲーション・ソフト化/オープン化
  - テラヘルツ波無線デバイス技術
  - 無線制御技術（プライベート・高密度）
  - エンド・エンド自律ネットワーク



**FUJITSU**

shaping tomorrow with you