

# 5Gの更なる進化に向けて

**2019年4月25日**

**株式会社KDDI総合研究所**

**次世代アクセスネットワーク部門**

**岸 洋司**

## 移動体通信技術は概ね10年ごとに新しい世代に移行

### ■ それぞれの世代で求められたサービス要件に合わせて様々な技術が進化

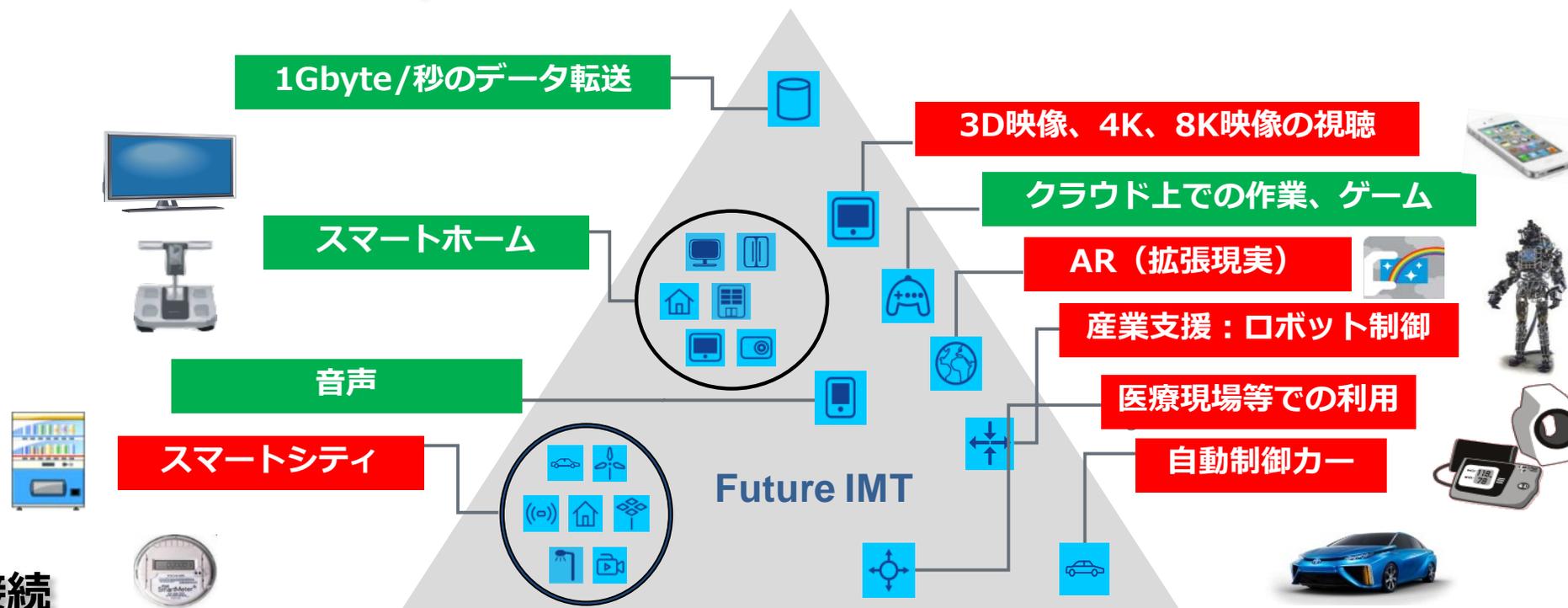
|               | 1G  | 2G                                    | 3G  | 4G  |
|---------------|---|---------------------------------------|---|---|
| <u>サービス</u>   | いつでも<br>どこでも<br>だれとでも                               | 高品質音声<br>低速パケット通信                     | モバイル<br>インターネット<br>(Ezweb, i-mode)                                    | モバイル<br>マルチメディア<br>(静止画、動画)                     |
| <u>直交多元接続</u> | FDMA  | TDMA<br>✓ デジタル化                       | CDMA<br>✓ 精緻な送信電力制御<br>✓ 適応スケジューリング                                   | OFDMA/MIMO<br>✓ ASICによる信号処理<br>✓ 時間・周波数スケジューリング |
| <u>周波数帯</u>   | 800MHz帯   | 1.5GHz帯                               | 2GHz帯   | 1.7GHz帯<br>2.6GHz帯<br>3.5GHz帯                   |
| <u>方式・規格</u>  | NTT HiCAP<br>AMPS (米国)<br>TACS (欧州、アジア)<br>NMT (欧州) | PDC<br>GSM (欧州)<br>D-AMPS (IS-54/136) | cdmaOne (IS-95)<br>3GPP W-CDMA/HSPA<br>3GPP2 CDMA2000 1x<br>/1x EV-DO | 3GPP LTE/LTE-Advanced                           |
|               | 各国・地域ごとの独自方式  |                                       | グローバルな標準規格方式  |   |

## 『高速・大容量』だけでなく『低遅延』、『多接続』も志向

出典：勧告ITU-R M.2083 “Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond”

**高速・大容量**  
ピーク速度 20Gbps  
ユーザー体感速度 100Mbps

Enhanced Mobile Broadband



**多接続**  
同時接続端末数  
100万台/km<sup>2</sup>

Massive Machine Type Communications

Ultra-reliable and Low Latency Communications

**低遅延**  
無線区間遅延1ms

## 移動体通信技術は概ね10年ごとに新しい世代に移行

### ■ それぞれの世代で求められたサービス要件に合わせて様々な技術が進化

|               | 1G  | 2G   | 3G   | 4G  | 5G                                     |
|---------------|---|--|--|---|--|
| <u>サービス</u>   | いつでも<br>どこでも<br>だれとでも                               | 高品質音声<br>低速パケット通信  | モバイル<br>インターネット<br>(Ezweb, i-mode)                 | モバイル<br>マルチメディア<br>(静止画、動画)                     | AR/VR, 4K/8K<br>遠隔〇〇<br>スマートシティ        |
| <u>直交多元接続</u> | FDMA  | TDMA<br>✓ デジタル化  | CDMA<br>✓ 精緻な送信電力制御<br>✓ 適応スケジューリング                | OFDMA/MIMO<br>✓ ASICによる信号処理<br>✓ 時間・周波数スケジューリング | Massive MIMO<br>✓ ビームフォーミング<br>高度な空間利用 |
| <u>周波数帯</u>   | 800MHz帯   | 1.5GHz帯  | 2GHz帯  | 1.7GHz帯<br>2.6GHz帯<br>3.5GHz帯                   | 3.7GHz帯<br>4.5GHz帯<br>28GHz帯           |
| <u>方式・規格</u>  | NTT HiCAP<br>AMPS (米国)<br>TACS (欧州、アジア)<br>NMT (欧州) | cdmaOne (IS-95)<br>PDC<br>GSM (欧州)<br>D-AMPS (IS-54/136) | 3GPP W-CDMA/HSPA<br>3GPP2 CDMA2000 1x<br>/1x EV-DO | 3GPP LTE/LTE-Advanced                           | 3GPP New Radio                         |
|               | 各国・地域ごとの独自方式  |  | グローバルな標準規格方式                                       |   |  |

## 2020年代前半の5G本格展開から、2020年代後半のBeyond 5Gに向けて

5G初期導入

**eMBB**

**3GPP Rel.15**

**Non Stand Alone (NSA)**

**mmWave  
Massive MIMO**

5G本格展開

**Diverse service requirements  
including uRLLC**

**3GPP Rel.16~**

**Stand Alone (SA)  
Network Slicing**

**Open/Software-defined RAN  
RAN virtualization**

Beyond 5G

**5G evolution**

**Use of expanded  
spectrum resources**

**Dynamic Spectrum  
Sharing**

**Even Higher Spectrum  
(Antenna, Propagation, System)**

## 5Gの要件を包含し、更なる高度化・多様化が進んでいる

### Rel. 15

#### ■ 高速・大容量

- **Massive MIMO**技術により、高周波数帯利用を実現
- **Bandwidth part**により広いシステム帯域幅を実現

#### ■ 低遅延・高信頼

- **サブキャリア間隔の拡大**により低遅延システムを実現
- **低変調方式・符号化率、重複送信**により高信頼化を実現

### Rel. 16

#### ■ 高速・大容量

- **Multi-TRP/panel**技術により、セルエッジでの改善、信頼性向上を目指す
- **multi-panel UE**により、ULカバレッジ改善を目指す

#### ■ 低遅延・高信頼

- **Mini-slot**反復送信等の**eURLLC**技術により要件の厳しいトラヒックへの最適化を目指す

#### ■ 多接続

- **IAB**によるカバレッジ拡張やdense networkの実現を目指す

### Rel. 17以降

#### ■ 高速・大容量

- **更なる高周波数帯**(52.6GHz以上)の利用可能性を見出す
- **UL MIMO/UL multi-beam制御最適化**により、UL高信頼性化を目指す

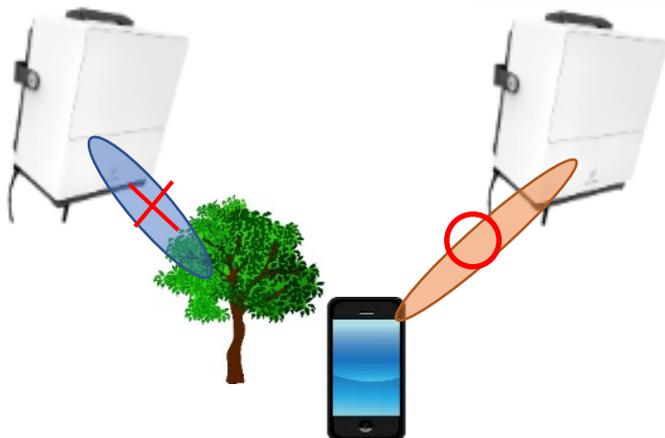
#### ■ 多接続

- **NOMA**により、無線レイヤでの多端末多重化を目指す
- **NR-IoT**により、多接続やUE消費電力の最適化を目指す

## Multi-TRP/panel transmissionによる信頼性とエッジパフォーマンスを強化

### ① Multi-TRP(※)/panel transmission

(※)Transmission reception point



- 複数地点からのビームで、遮蔽物によるブロッキングを回避し、信頼性を向上
- **TRP毎**のリンクアダプテーションにより、セルエッジのパフォーマンス向上が期待される

### ② Multi-panel UE

(a) To single-TRP



(b) To multi-TRP

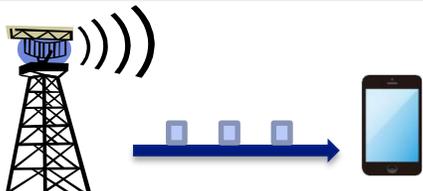


- 複数panelを持つUEが、UL送信に用いるpanelを適切に選択してダイバーシチ利得を確保
- **UE panel毎**のリンクアダプテーション、UL送信電力制御により、セルエッジのパフォーマンス向上が期待される

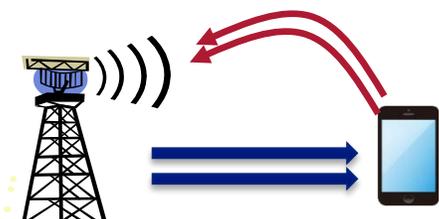
## 5G NRを構成する各チャネルレベルでの最適化

- 産業支援(Factory automation)や自動運転制御 (Autonomous Driving) など、低遅延・高信頼に対する要求が高いトラフィックをサポート

### ① 物理制御チャネルの最適化

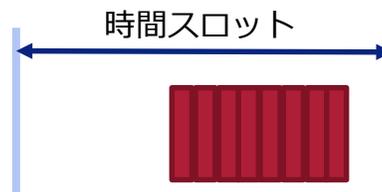


スケジューリング情報をコンパクトにすることでリンク特性を改善させ高信頼を実現

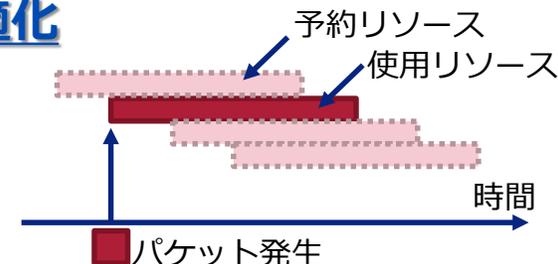


複数のHARQ-ACKを同時にfeedbackすることで低遅延を実現

### ② 物理データチャネルの最適化



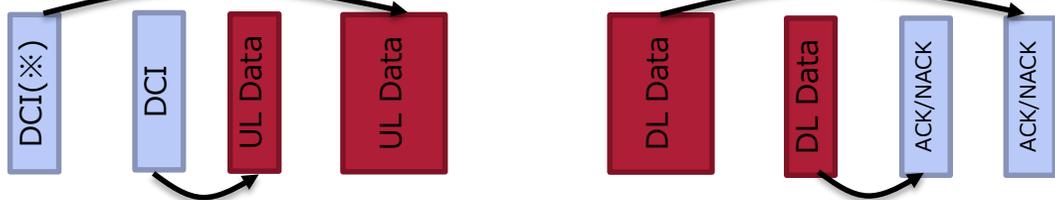
Mini-slotレベルの反復送信により低遅延・高信頼を実現



複数の予約リソースを確保することで、パケット送信までの時間を削減

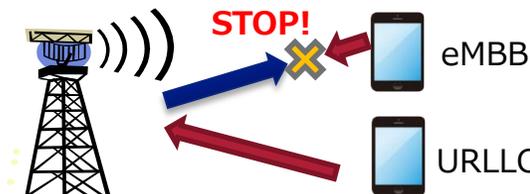
### ③ スケジューリング制御の最適化

(※)Downlink control information

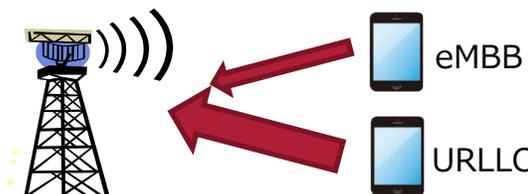


Out-of-order HARQ-ACK、Out-of-order schedulingにより、低遅延を要求するパケットの優先処理を物理層レベルで実現

### ④ 上りリンクのUE間優先制御



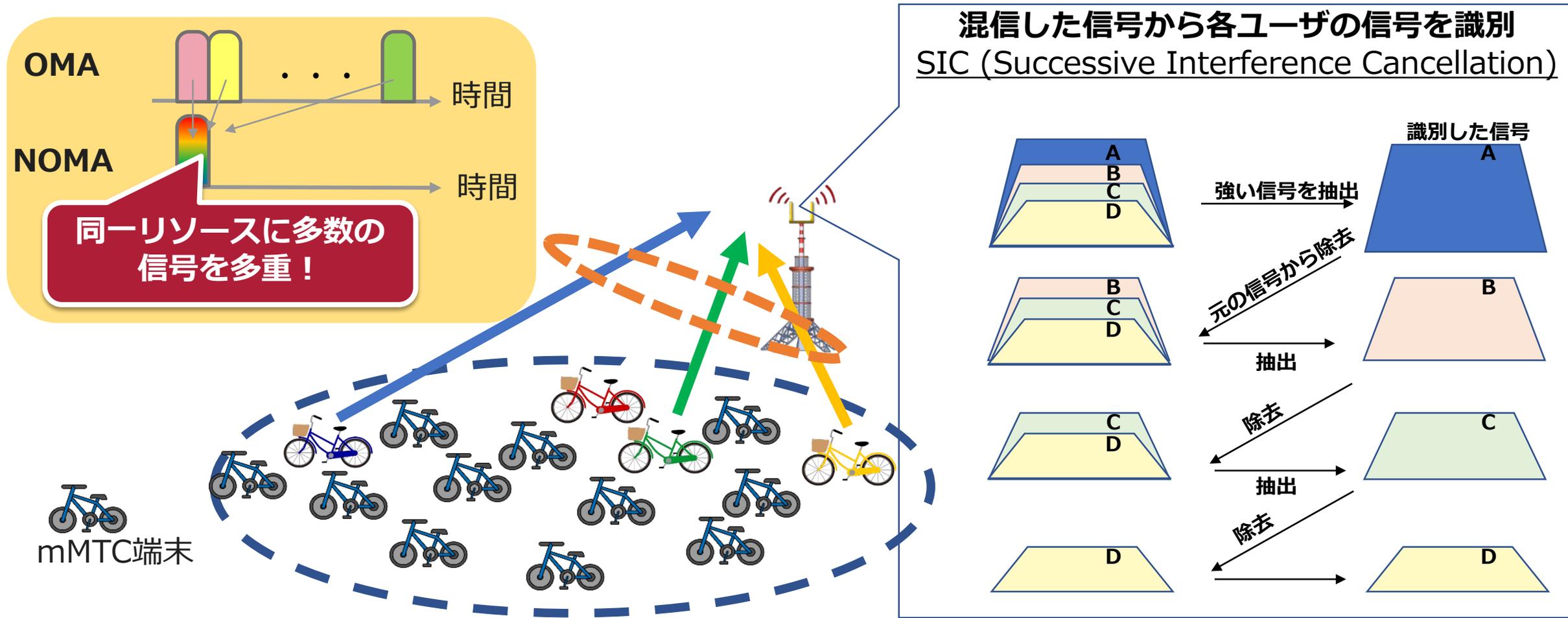
eMBBの上り送信をキャンセルすることでURLLCの低遅延を実現



URLLCの上り送信電力をブーストさせることで低遅延を実現

# Non-orthogonal multiple access (NOMA)

多数の端末からの信号を識別・分離することで、多くの端末と同時通信

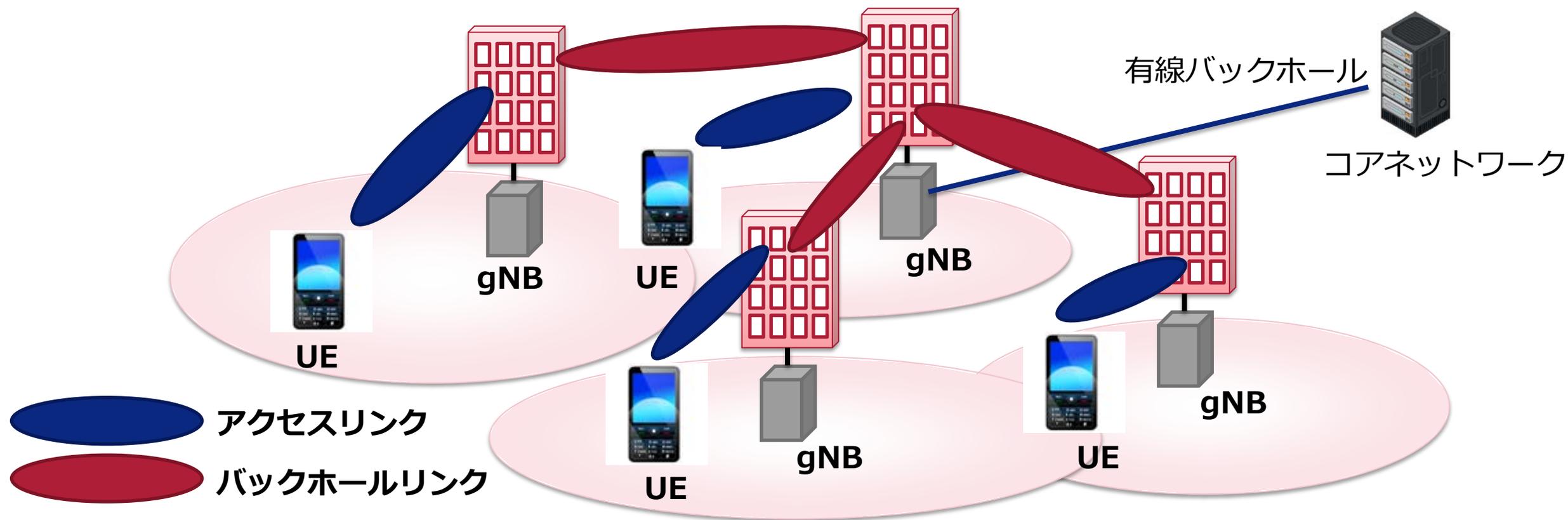


## アクセスとバックホールが統合された世界

### ■ 基地局が基地局を無線で收容する

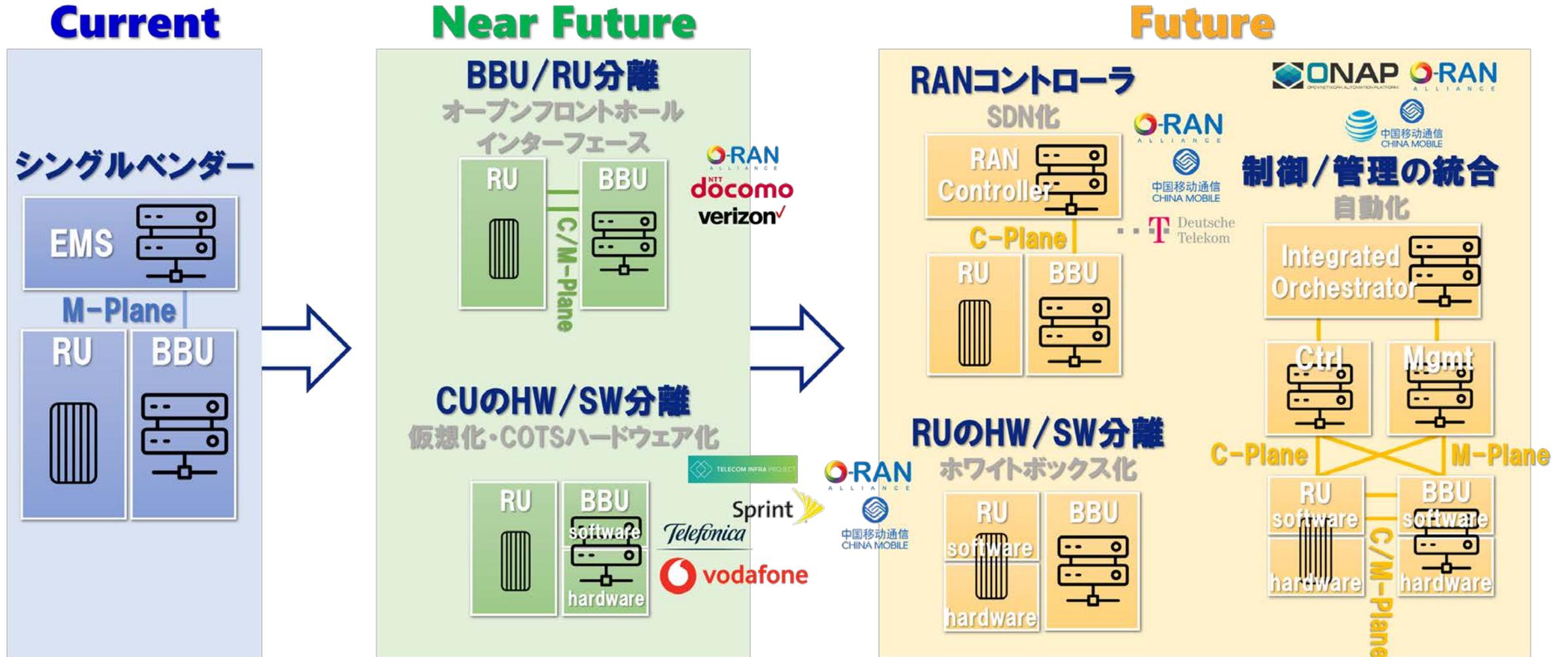
ユースケース: ①ルーラルエリアでのカバレッジ拡張や、ホットスポットへの迅速な対応

②Dense networkでの柔軟なリソース制御による効率的なトラフィック收容



# 基地局設備 (Radio Access Network:RAN) のオープン化

オープン化・仮想化の流れはクラウド・ネットワークからモバイルまで浸透



## RANのオープン化に向けてオペレーター主導コミュニティが活発化



### マルチベンダー

- ・スタートアップ企業
- ・システムインテグレーター

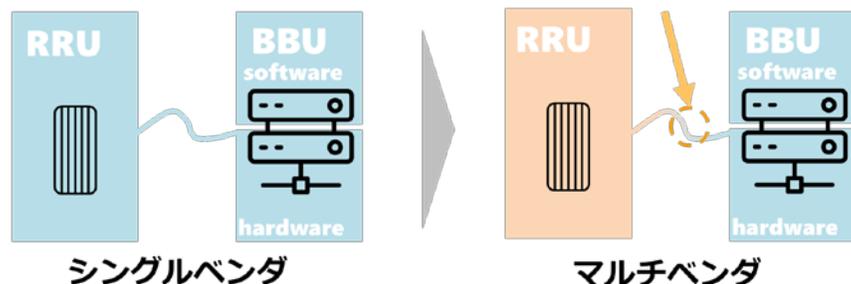
### ホワイトボックス ハードウェア

- ・マーチャントシリコン
- ・COTSハードウェア

### オープン インターフェース

- ・制御/データプレーン分離
- ・共通管理インターフェース

### 相互接続が可能なオープンインターフェース実現



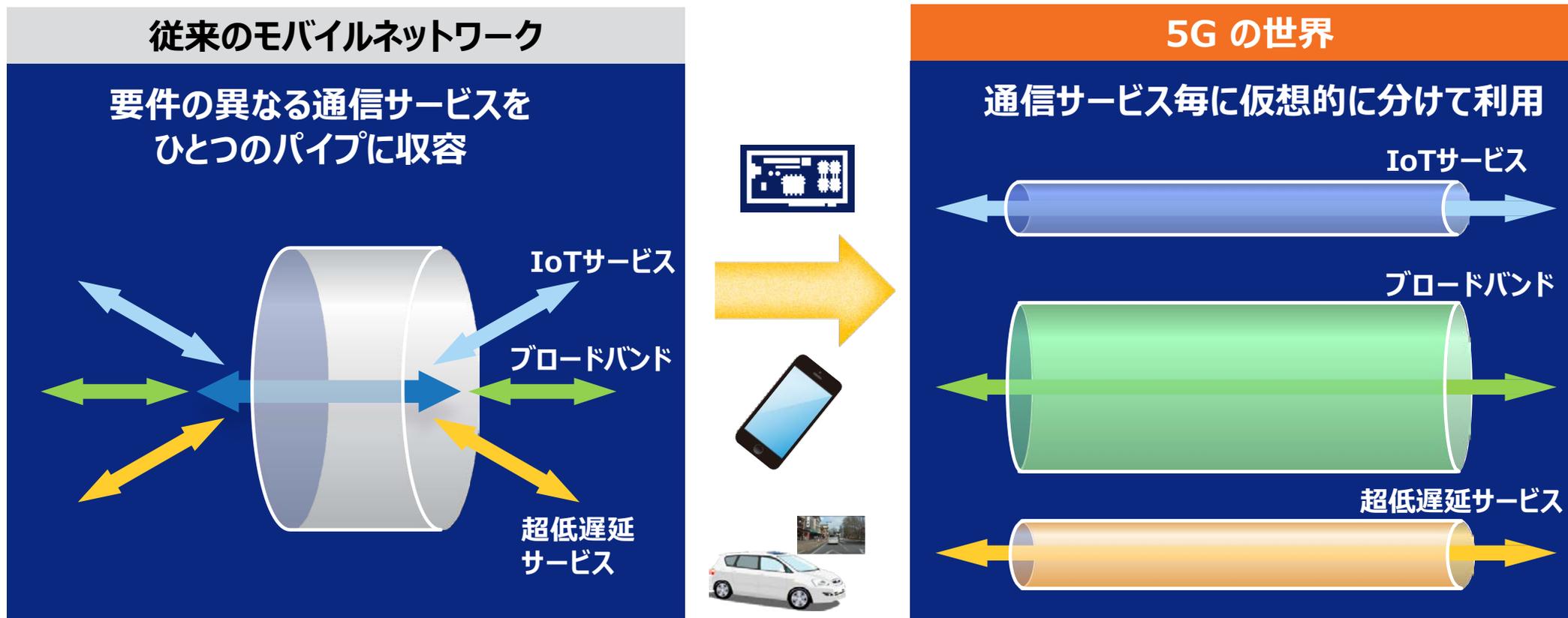
2019年3月現在

- ・ 移動通信事業者 19社
- ・ ベンダー等 54社  
が参加

インターフェースがオープンになることで…

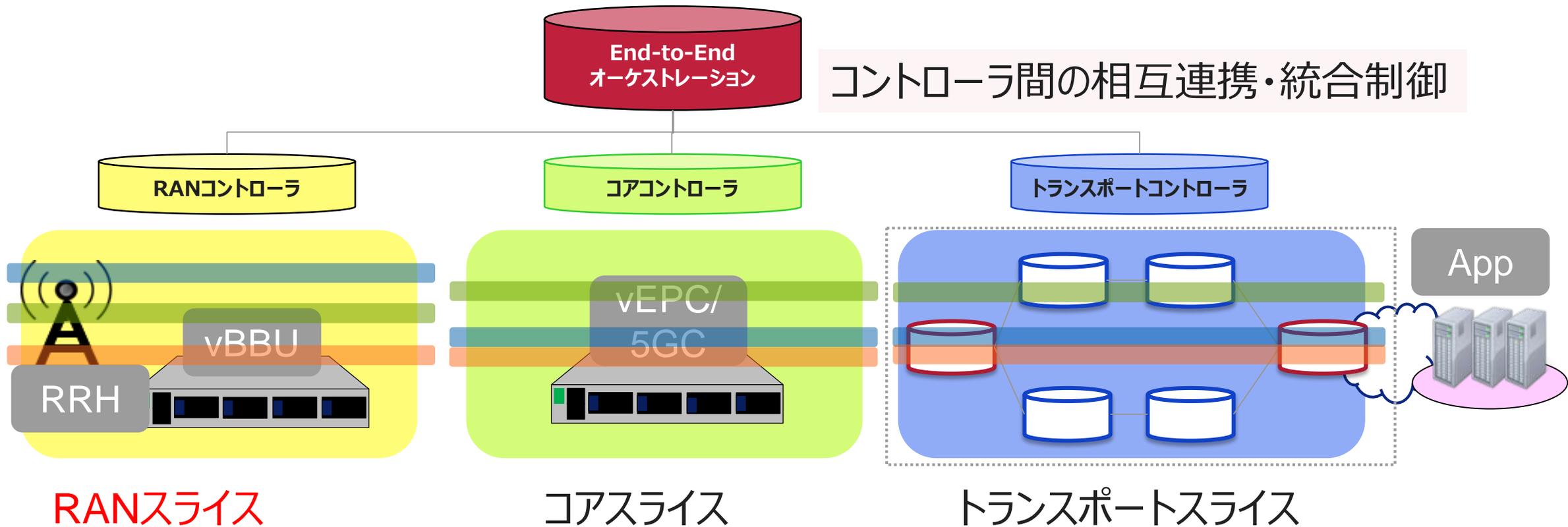
- ◆ 基地局コンポーネントを柔軟に選択
- ◆ 一部コンポーネントを置換して性能アップ
- ◆ 基地局コンポーネントを仮想化・集約化してコスト低減

## サービスに応じてオーダーメイドで仮想的なネットワークを提供



End-to-Endでネットワークを論理的・仮想的に構築する技術が重要

## End-to-Endスライシング



## サービス要件に応じて基地局機能を適切に配置することが必要

### mMTC : 超多接続

- 機能集約・統計多重効果により、伝送帯域や処理負荷を削減

### eMBB : 超高速・大容量

- 複数基地局協調制御により、周波数利用効率を向上し、体感品質 (UX) を改善

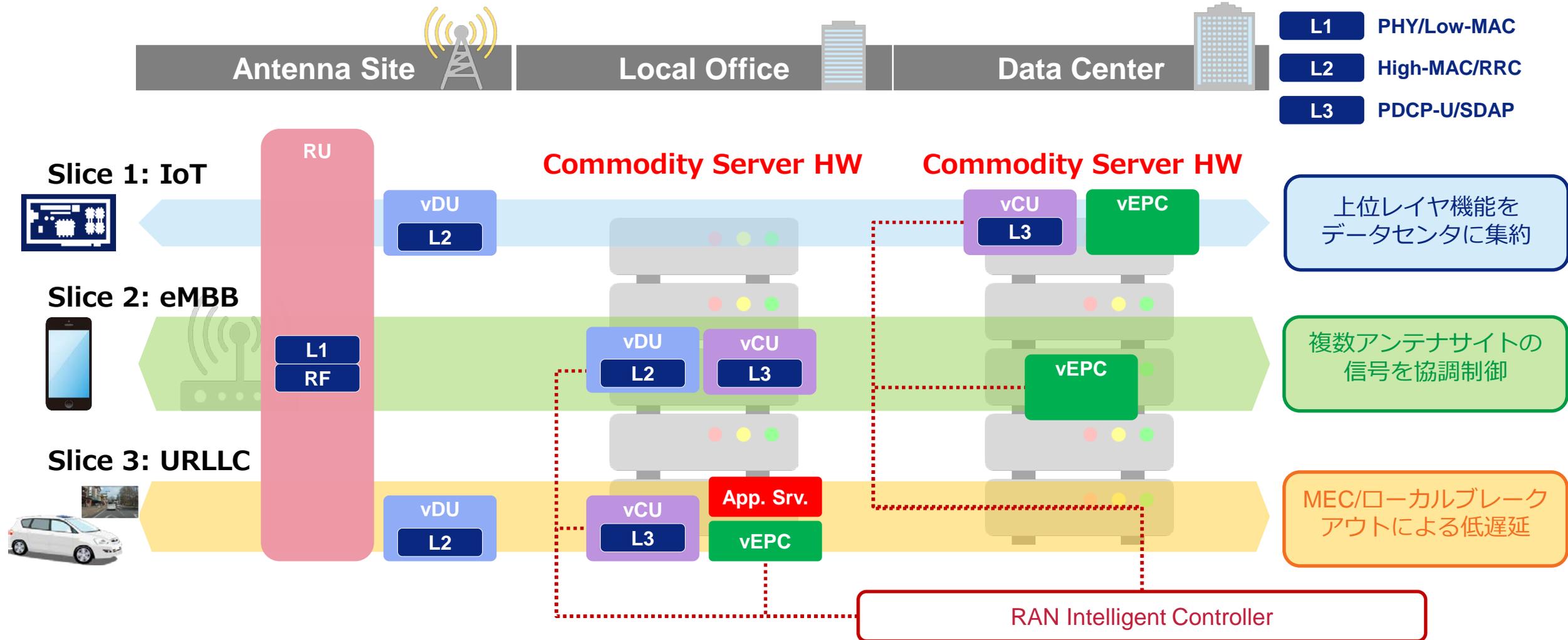
### uRLLC : 高信頼・低遅延

- エッジ処理を活用することにより、低遅延化

サービス間での適応的な無線リソース制御  
サービス間での無線リソースの独立性の担保

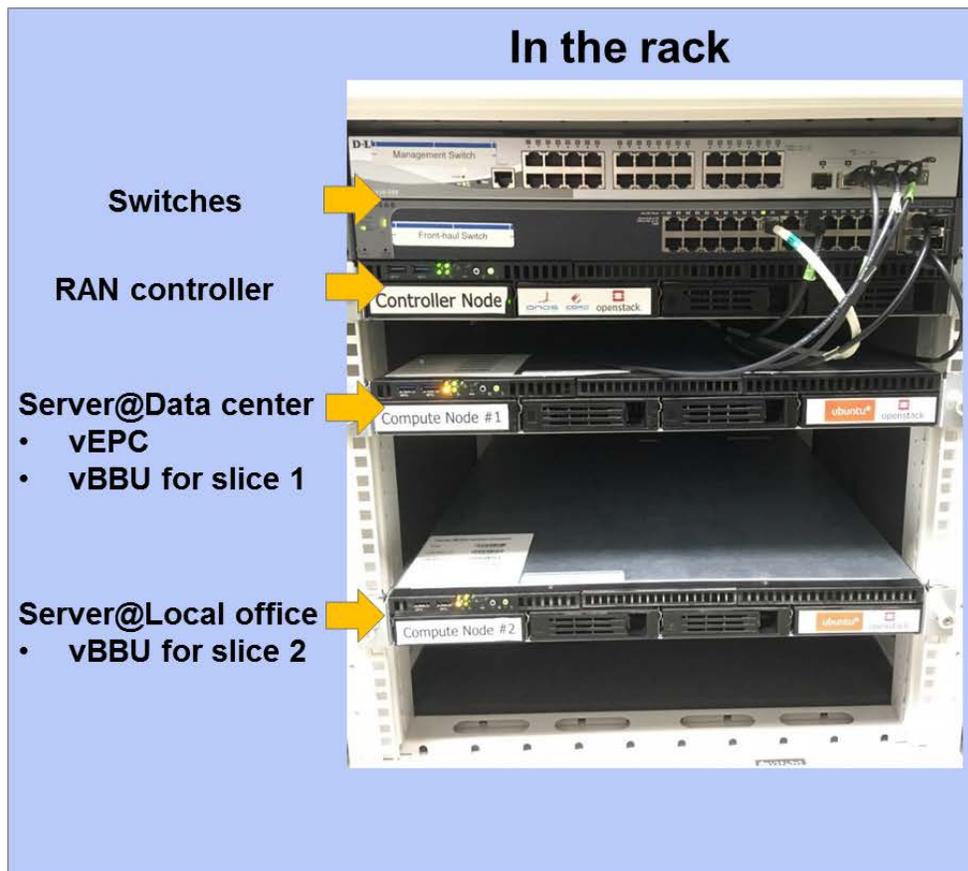
# RANスライシングを実現する仮想化基地局アーキテクチャ

## サービスタイプに応じて基地局機能を配置する論理ネットワーク

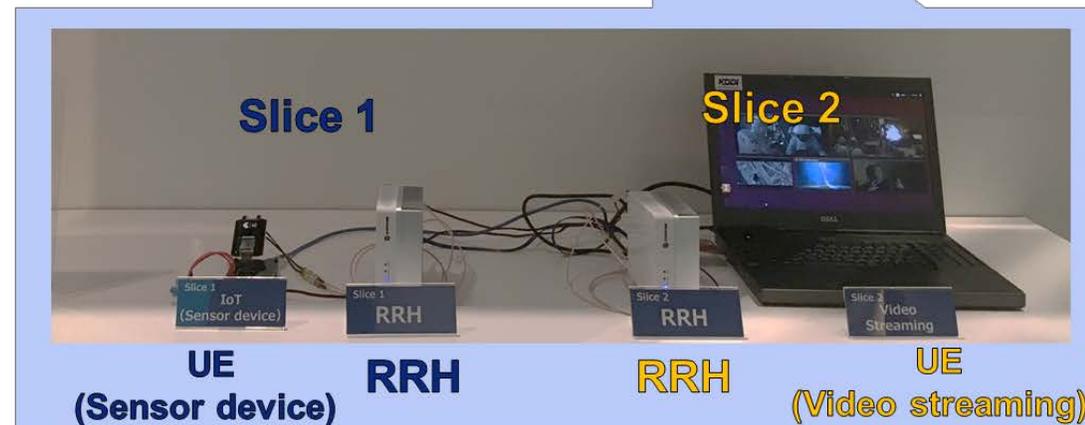


## 仮想化基地局アーキテクチャの実現事例（まだLTEですが）

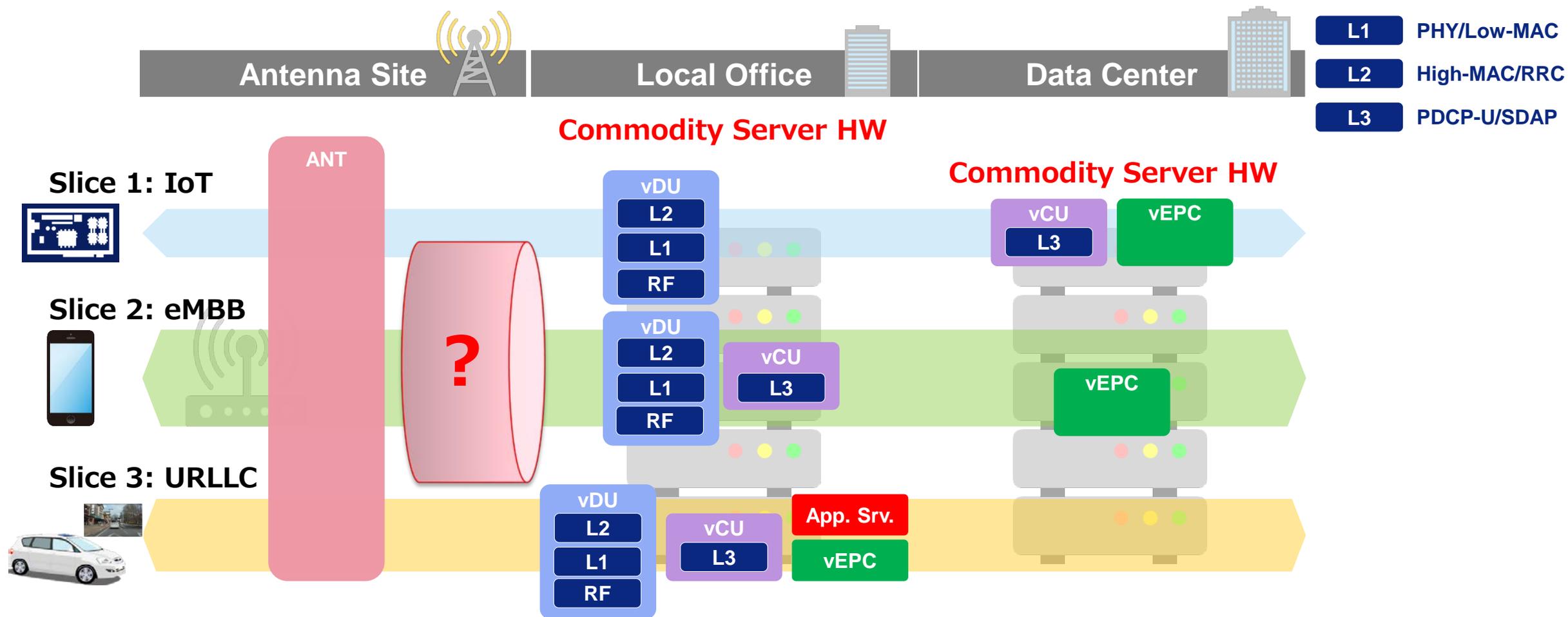
Live demonstration @ WTP 2018



### Overview

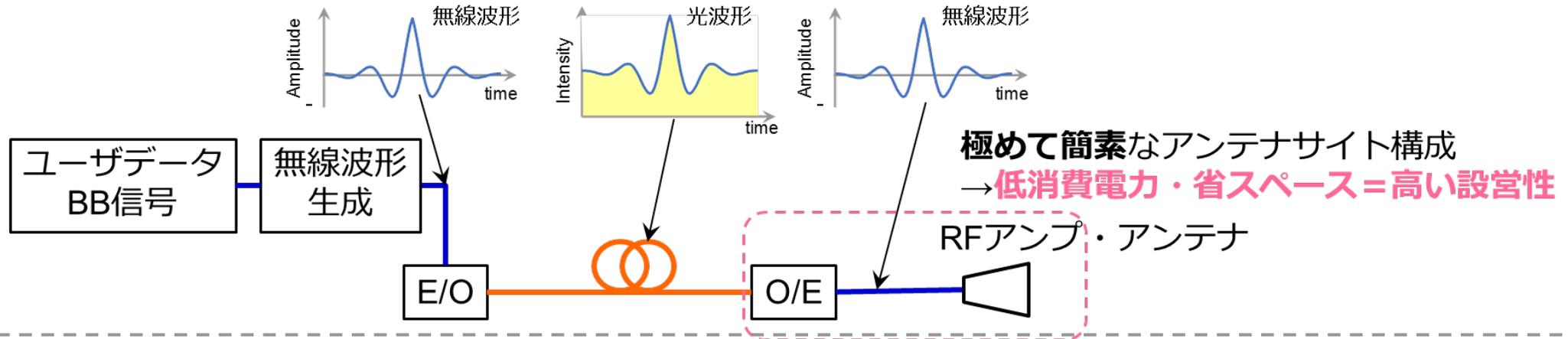


## 無線信号処理機能をLocal Officeに集約してアンテナサイトを小型化

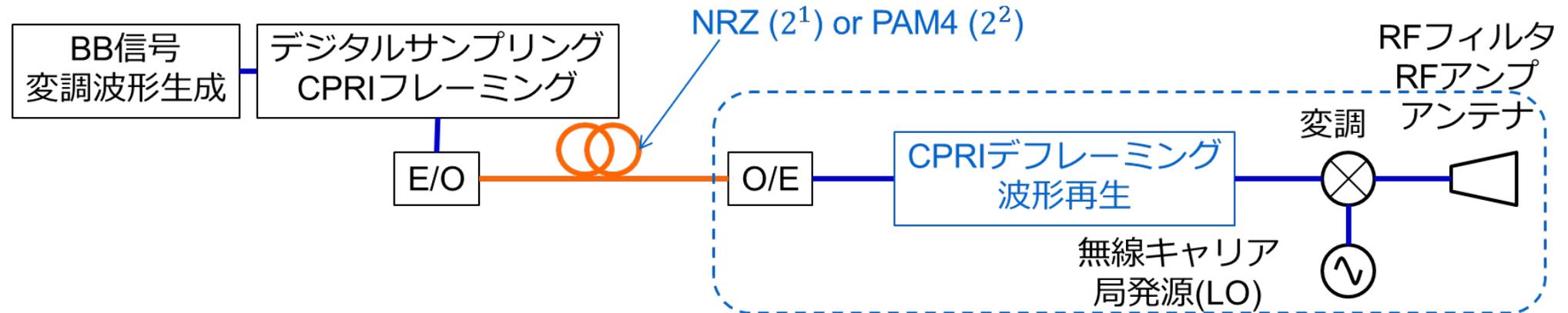


## デジタルフロントホール (CPRI) 伝送容量の課題を解決

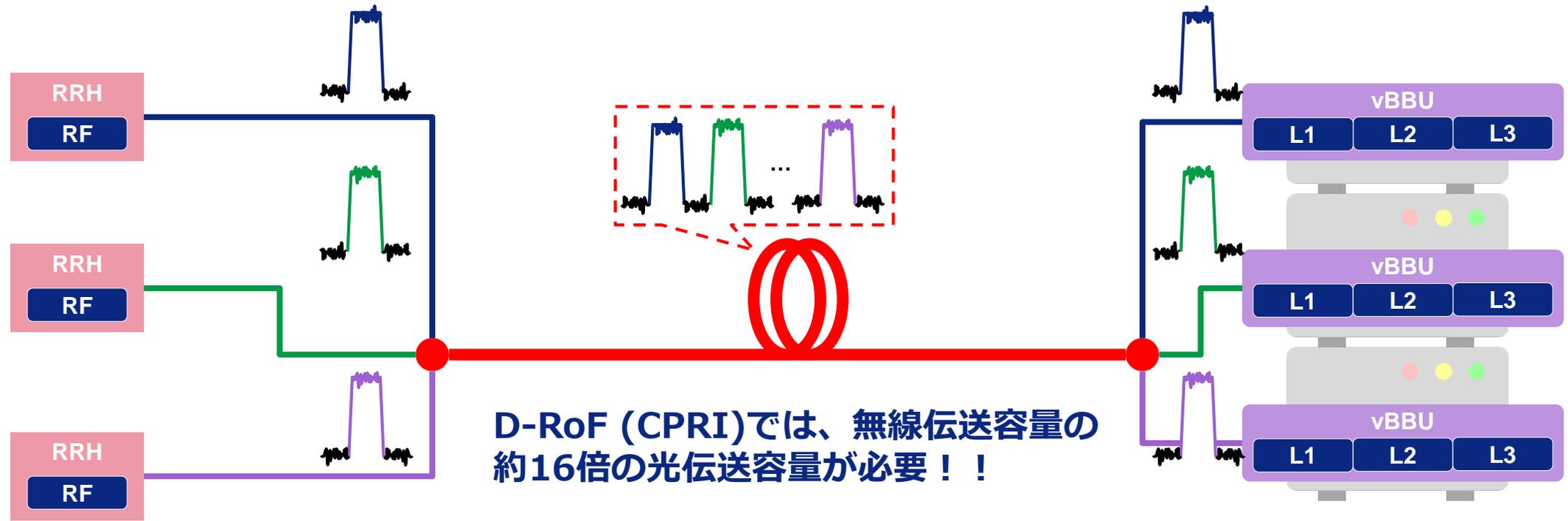
A-RoF (Analog Radio-over-Fiber) = **無線波形をそのまま伝送**、ベースバンド (BB) 信号を復調しない



(デジタル伝送方式：CPRI)



## IF帯で多重された無線信号を光ファイバ上でアナログ信号で伝送

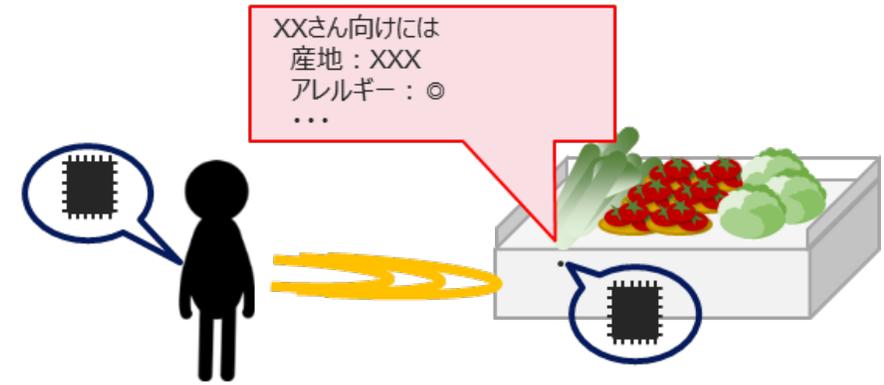


D-RoF (CPRI)では、無線伝送容量の約16倍の光伝送容量が必要！！

ユーザレート63Gbps (4.5Gbps×14波) の無線信号 (帯域幅20GHz) を20km伝送可能

## エンドデバイスの多様化に伴い、通信への要求品質もより多様に

- 5G時代のサービスもさらに高度化
- 埋め込み型チップにより、人とモノの間の認証用通信などが登場
- 人と人、人とモノだけでなく、モノとモノの通信も多様化



人とデバイスとの直接連携（認証など）



### 実用化に向けた技術課題

様々な要求品質に対応可能な柔軟な無線ネットワーク  
伝搬特性の異なる複数の電波を活用  
デバイスが超高密度に存在する環境での干渉回避  
遍在するデバイスの通信管理、etc...

## 超少子高齢化時代において、高齢者の解除や労働力を補完するための自律型ロボット

高齢者の外出を補助する自律電動車や介助ロボット



工事現場で建機やドローンが収集したデータを基に監督代理を行う自律型ロボット



イベント会場で案内・見回りを行うヒューマノイド型移動物体



交差点付近の車両・人流等をリアルタイムで把握しながら、施設案内や衝突等の危険警告



## 電波資源需要の爆発的な増加に対してどう対処するか？

### ■ 複数の業務で周波数を共用することが必要ではないか

- 時間・場所・帯域、様々な軸での共用を模索する必要がある

### ■ 一方で、スピーディーにサービスを展開できることも重要



調整せず、エンドデバイスの干渉回避技術に頼れば、サービス展開スピードは向上するが・・・  
**周波数の断片化や、相互干渉の多発が懸念される**

高密度に展開されたセンサーとデータベースとが連携して、  
複数の業務間で自律的に周波数の共用利用をコーディネートすることが重要

**KDDI**

**KDDI Research**