

## これだけは知っておきたい移動通信の基礎

## Fundamentals for Mobile Communications

藤岡 雅宣<sup>†</sup>Masanobu FUJIOKA<sup>†</sup><sup>†</sup> XGモバイル推進フォーラム<sup>†</sup> XGMF

## 概要

私たちが日々当たり前のように使っているスマートフォンは、いつでもどこでも安定した通信を可能にする移動通信ネットワークとそれを構成する基地局ネットワークによって支えられています。本講演では、この移動通信の仕組みや構成要素、基本的な動作原理について理解を深めるとともに、スマートフォンによる衛星ダイレクトアクセスなどの最新の技術進化についても概観します。

本講演で取り上げる主な内容は以下の通りです。

- ・ 移動通信ネットワークの全体像と構成要素、役割分担
- ・ 基地局/セルの構成、端末との無線接続、ハンドオーバー
- ・ コアネットワークの役割、アタッチ/登録、位置更新、制御
- ・ SIM、eSIM の構成と役割
- ・ 5G 通信での無線通信方式、マッシュ MIMO とビームフォーミング
- ・ 5G ノン・スタンドアローン (NSA) とスタンドアローン (SA)
- ・ 非地上系通信 (NTN)、衛星ダイレクトアクセス
- ・ 移動通信の 6G への進化

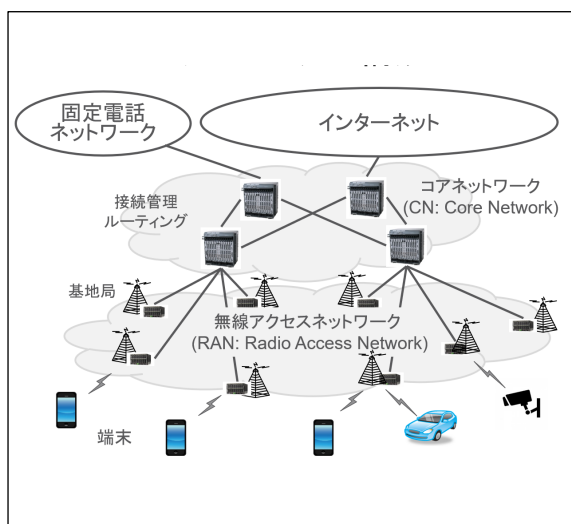


図 移動通信ネットワークの構成

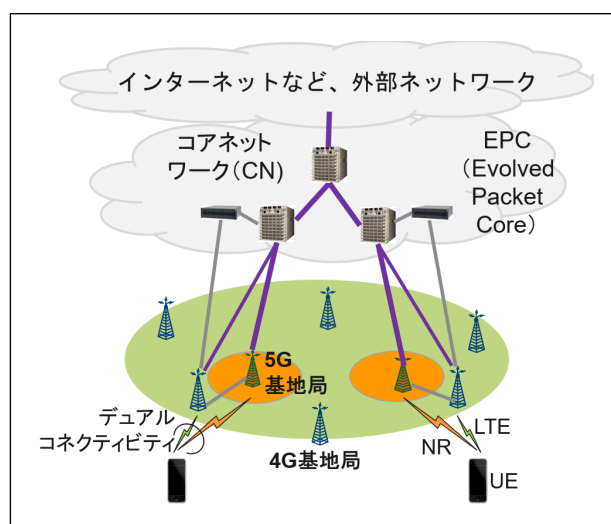


図 5G ノン・スタンドアローン (NSA) 構成

## Abstract

Smartphones we use every day as a matter of course are supported by mobile communication networks and the base station infrastructure that enable stable connectivity anytime, anywhere.

In this lecture, we will deepen our understanding of the structure, components, and fundamental operating principles of mobile communication systems. Overview of the latest technological advancements, including direct satellite access via smartphones etc. is also provided.

# 移動通信について基礎 から学びなおしましょう！



2025年11月26日

藤岡 雅宣

# 講師：藤岡 雅宣

- ❖ 1998年エリクソン・ジャパン入社、IMT2000プロダクト・マネージメント部長や事業開発本部長として新規事業の開拓、新技術分野に関わる研究開発を総括  
2005～2023年チーフ・テクノロジー・オフィサー(CTO)として技術統括、社外向け活動を推進
- ❖ 前職はKDD(現KDDI)で、ネットワーク技術の研究、新規サービス用システムの開発を担当
- ❖ 現在XGMFファシリテータ、NH研究所CTOなど
- ❖ 主な著書：『ISDN絵とき読本』、『ワイヤレス・ブロードバンド教科書』、『5G教科書』、『続・5G教科書』、『いちばんやさしい5Gの教本』
- ❖ インプレス・ケータイWatch「モバイル技術百景」連載
- ❖ 大阪大学工学博士

御質問・コメントは[masanobu.fujioka@gmail.com](mailto:masanobu.fujioka@gmail.com)へ



# 目次

移動通信ネットワークの全体構成

基地局の構成とオープン化

コアネットワークの役割と仮想化

SIM、eSIMの構成と役割

5GマッシブMIMOとビームフォーミング

5Gノン・スタンドアローン(NSA)とスタンドアローン(SA)

非地上系通信(NTN)、衛星ダイレクトアクセス

プライベートネットワークとローカル5G

# 目次

移動通信ネットワークの全体構成

基地局の構成とオープン化

コアネットワークの役割と仮想化

SIM、eSIMの構成と役割

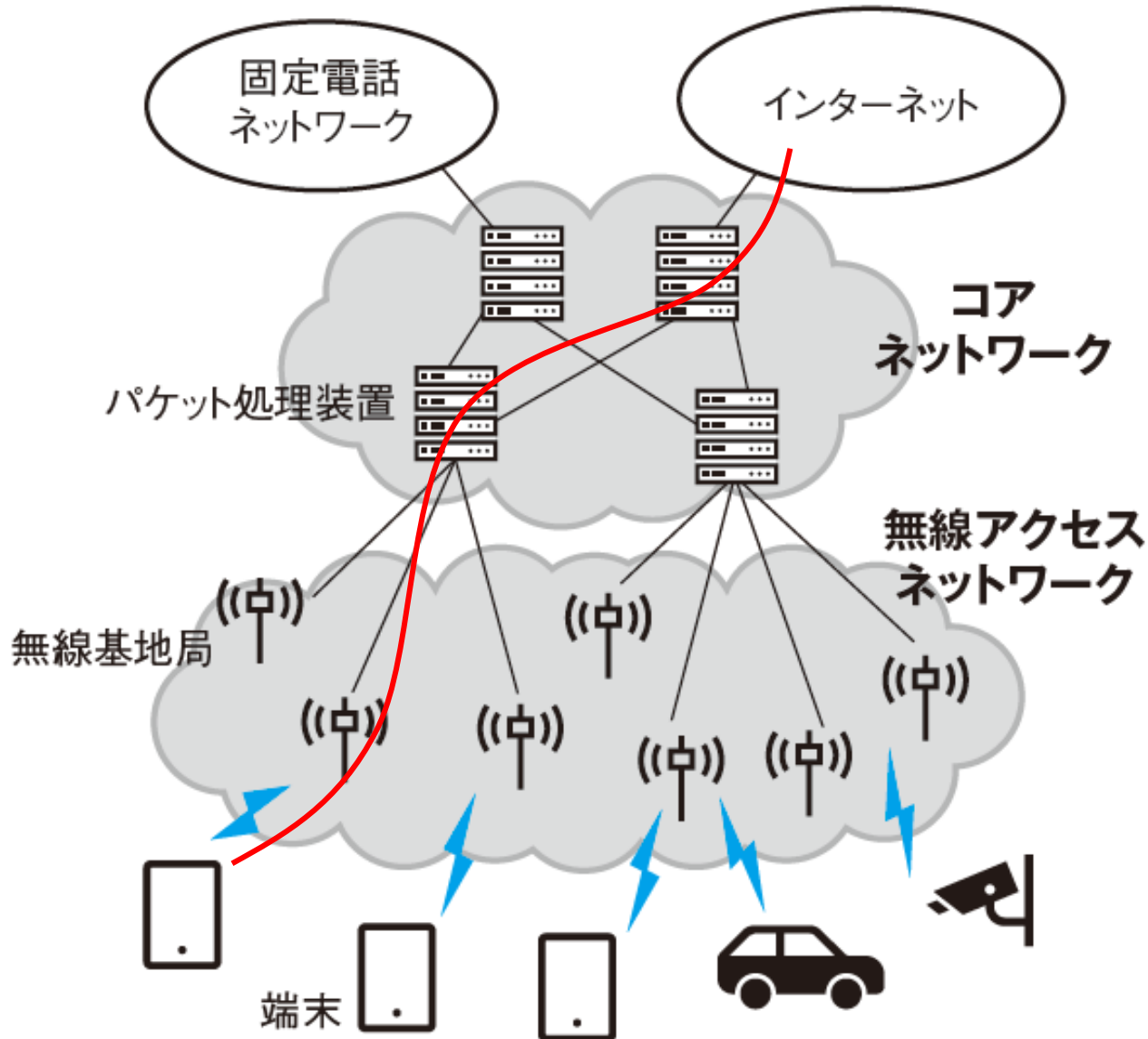
5GマッシブMIMOとビームフォーミング

5Gノン・スタンドアローン(NSA)とスタンドアローン(SA)

非地上系通信(NTN)、衛星ダイレクトアクセス

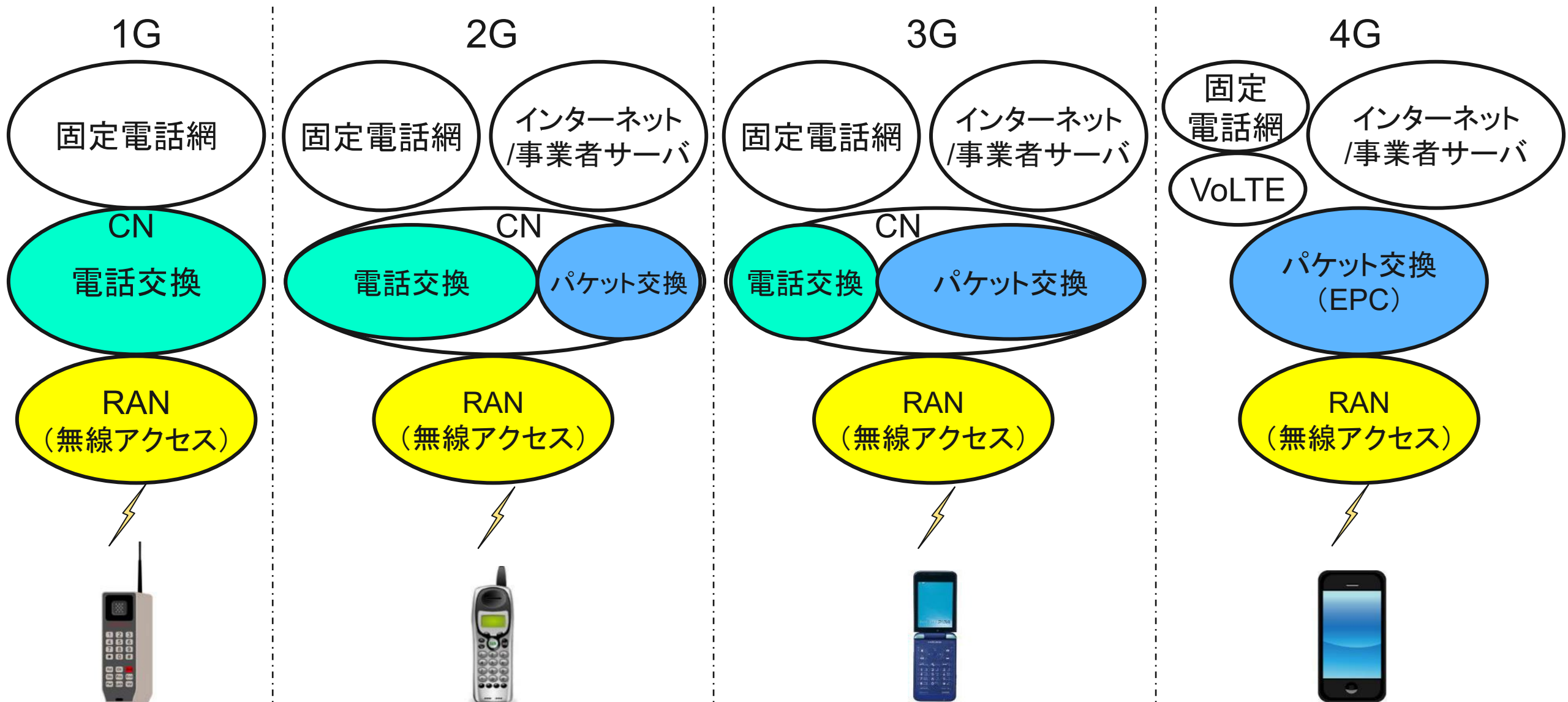
プライベートネットワークとローカル5G

# モバイルネットワークの基本構成

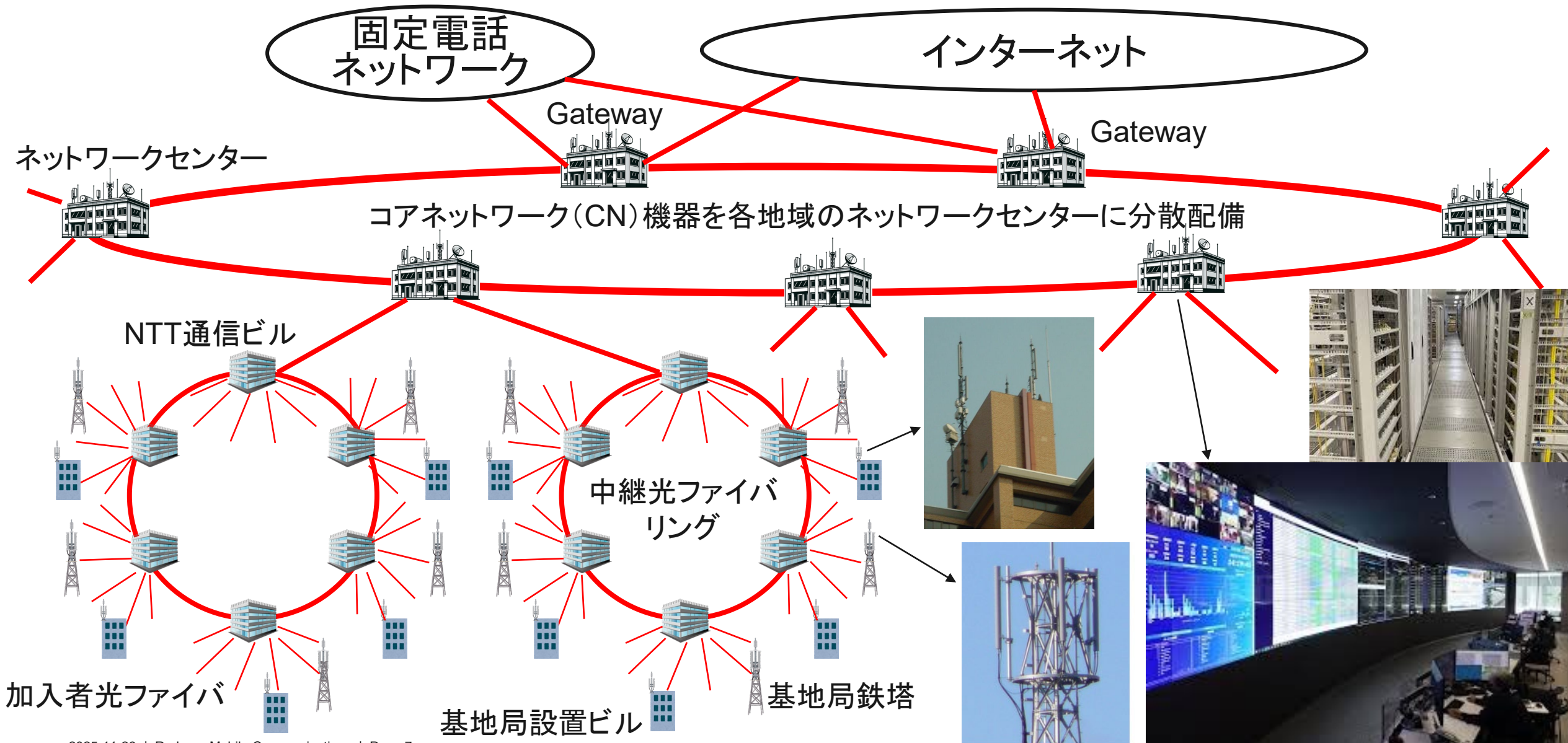


- 無線アクセスネットワーク (RAN: Radio Access Network)
  - 端末と無線で直接接続して、音声やデータ、制御用信号を送受信
  - 多くの無線基地局から構成され、面的なカバレッジを提供
- コアネットワーク (CN: Core Network)
  - RANとインターネットや固定電話ネットワークとの間のデータや音声の通信パスを設定して、ルーティング
  - 認証やセキュリティの処理
  - サービス提供のための制御
- 端末 (UE: User Equipment)
  - スマホ、タブレット、PCなど人が使う機器
  - クルマ、カメラ、メータなどのIoT機器

# モバイルネットワークの進化

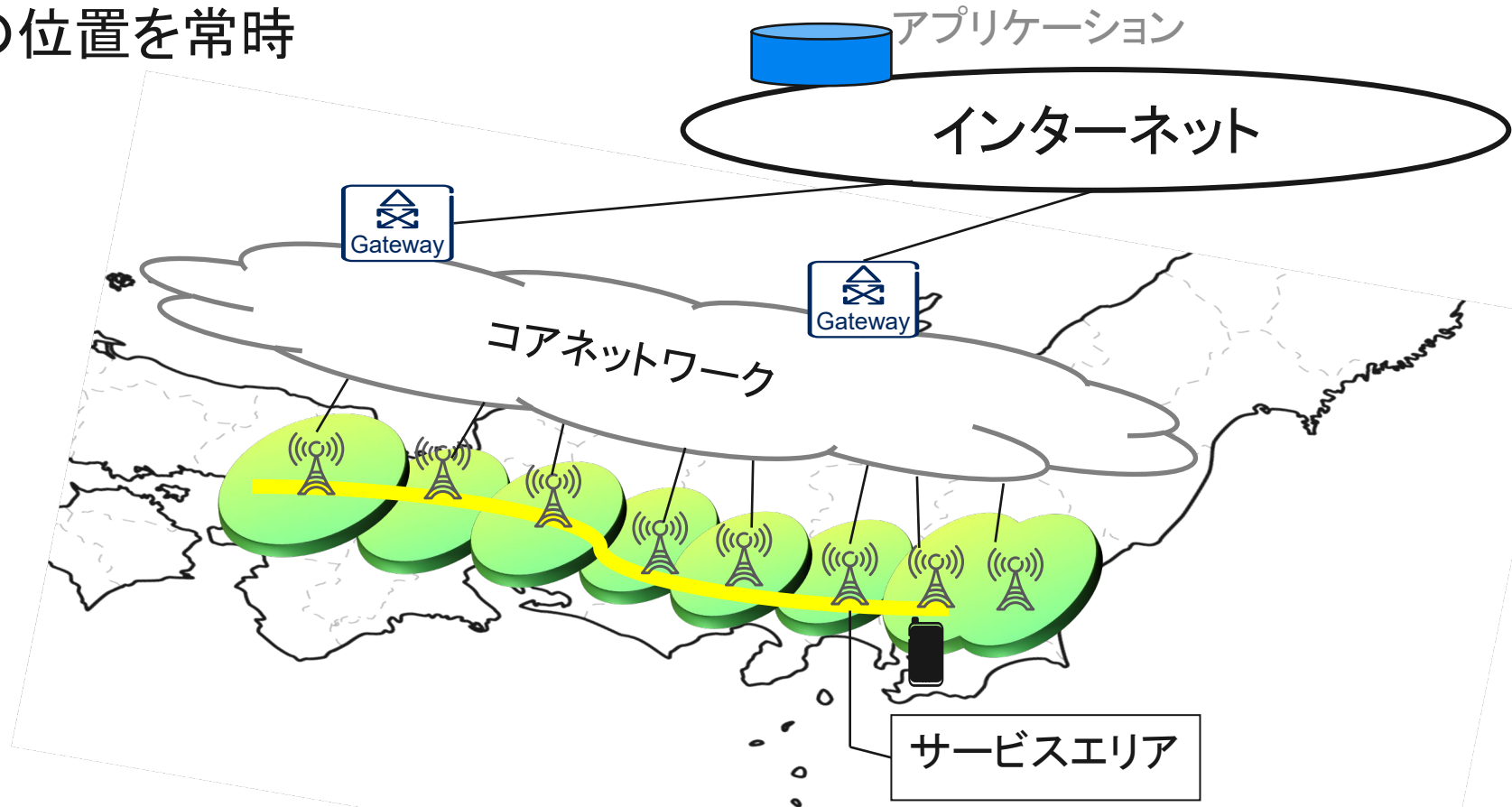


# 全国モバイルネットワークのイメージ



# 無線基地局とシームレスなカバレッジ

- ▶ 無線基地局は人が住んだり移動するところでは、面的に地上をカバーするように数百（都市中心部は数十）メートル～数十キロメートルおきに設置
- ▶ 端末（スマートフォンなど）は基地局を切り替えながら通信を継続（ハンドオーバー）
- ▶ コアネットワークは端末の位置を常時追跡して通信を継続
- ▶ インターネットに接続したサーバーによりアプリケーションを継続して提供
- ▶ 大きなビル内、地下街やショッピングセンターなどでは屋内用の基地局を設置



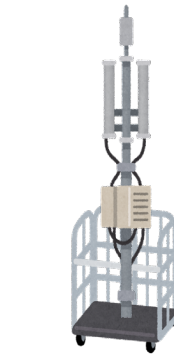
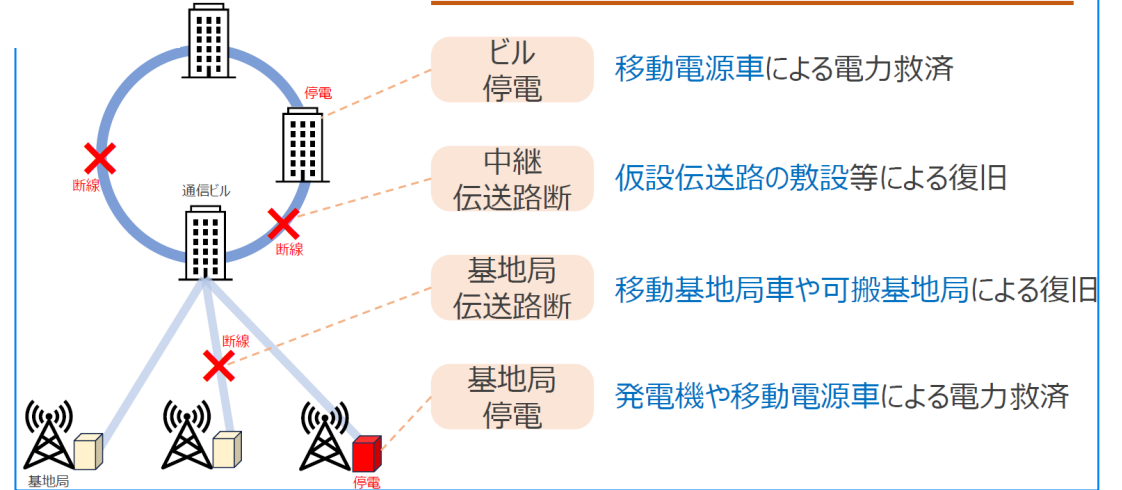
# 自然災害などにおける障害基地局の復旧

例: 能登半島地震  
での障害



既存基地局の復旧

## 主な被害と応急復旧対応内容



可搬型基地局



車載基地局

臨時基地局の設置

# 目次

移動通信ネットワークの全体構成

基地局の構成とオープン化

コアネットワークの役割と仮想化

SIM、eSIMの構成と役割

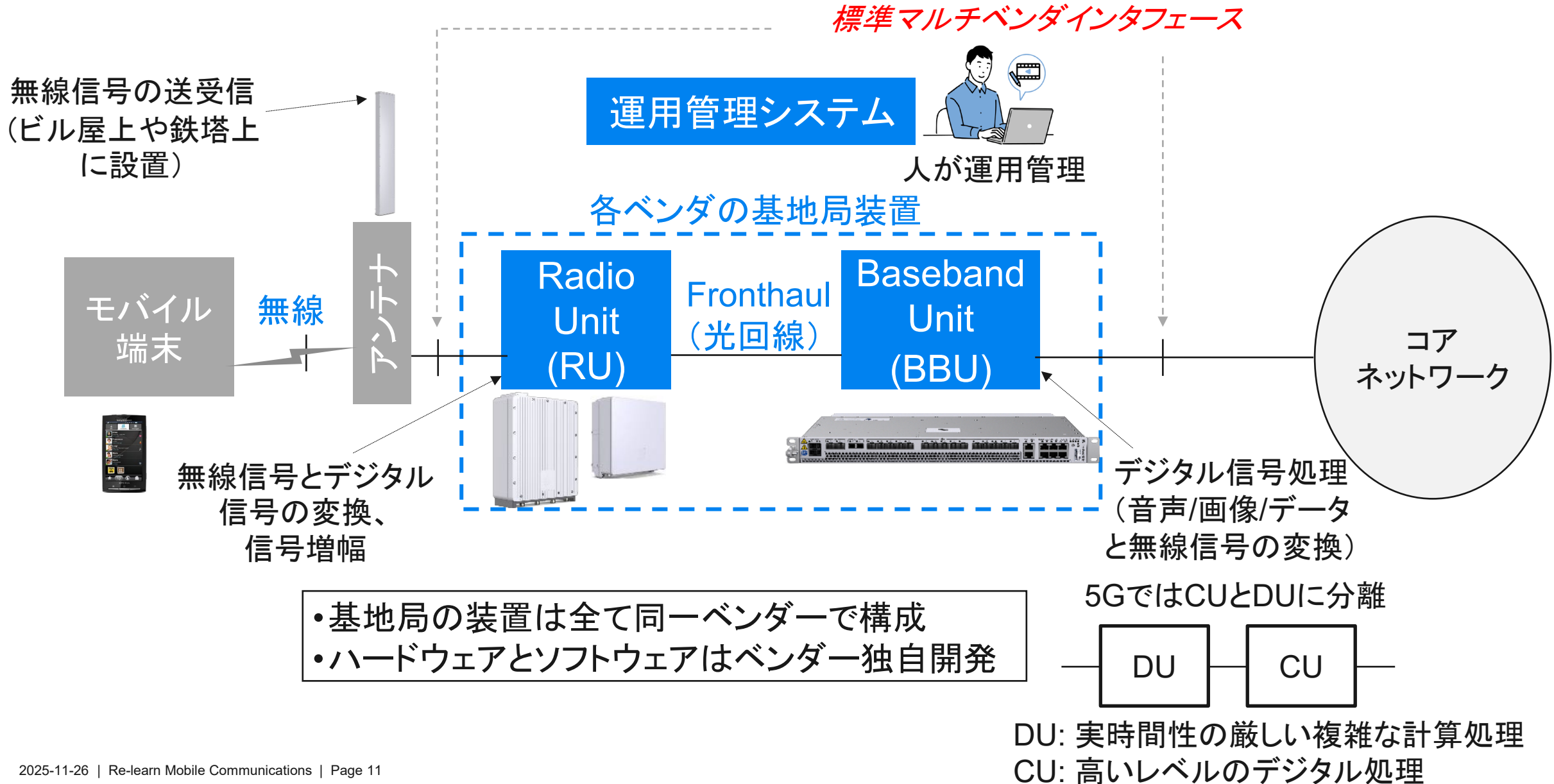
5GマッシブMIMOとビームフォーミング

5Gノン・スタンドアローン(NSA)とスタンドアローン(SA)

非地上系通信(NTN)、衛星ダイレクトアクセス

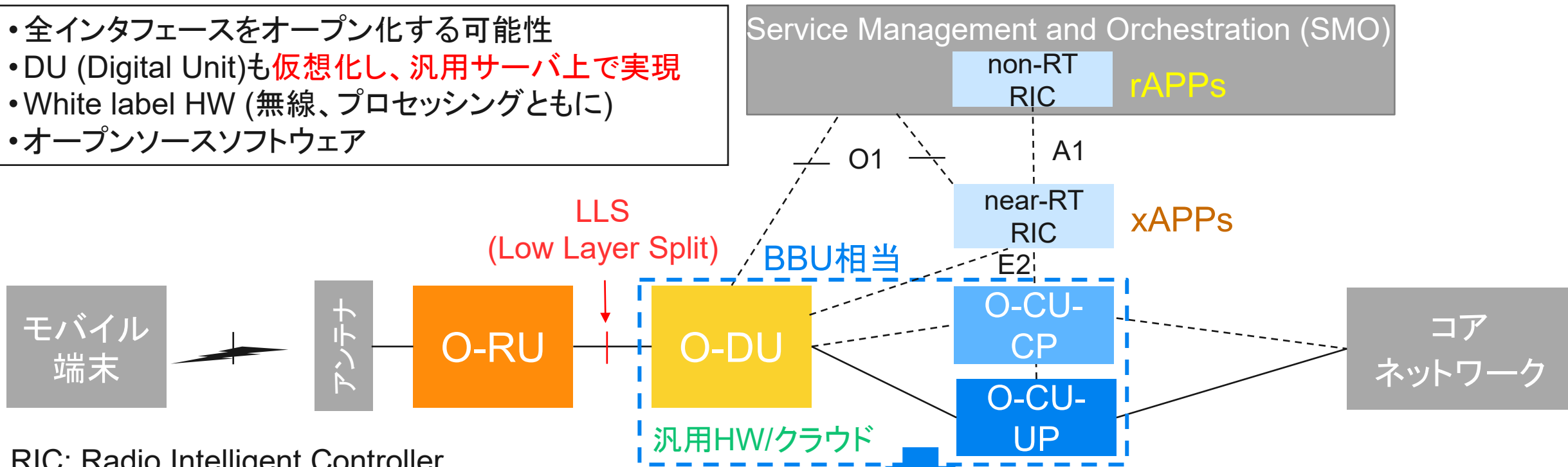
プライベートネットワークとローカル5G

# 基地局の基本構成



# オープンRAN (Radio Access NW)と仮想化

- 全インタフェースをオープン化する可能性
- DU (Digital Unit)も**仮想化し、汎用サーバ上で実現**
- White label HW (無線、プロセッシングともに)
- オープンソースソフトウェア

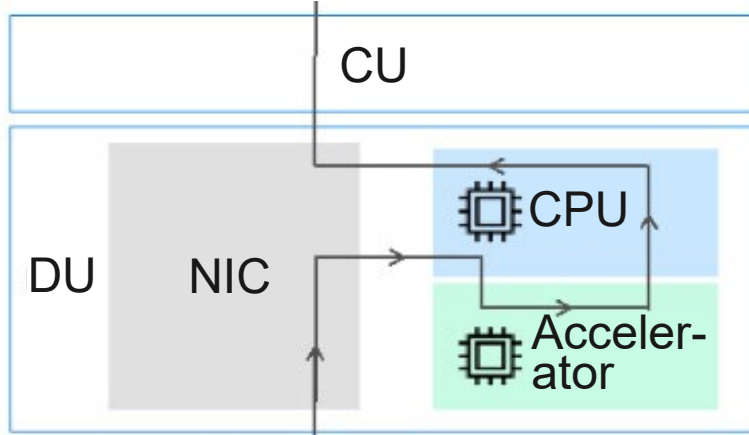


RIC: Radio Intelligent Controller  
 non/near-RT: Real Time  
 CU: Central Unit  
 DU: Distributed Unit,  
 RU: Radio Unit  
 CP: Control Plane  
 UP: User Plane  
 NIC: Network Interface Card

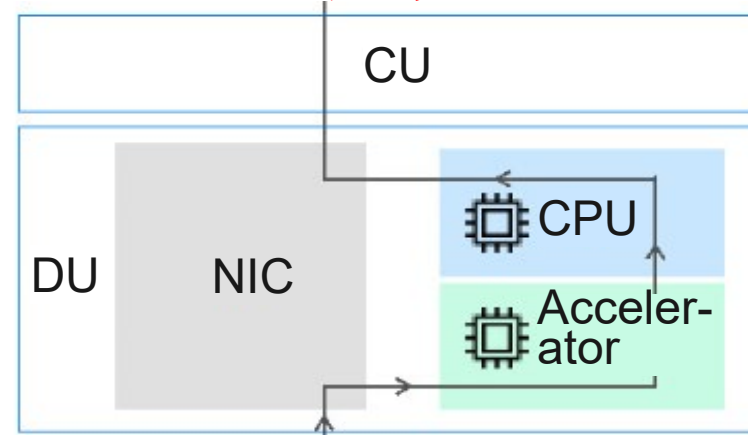
Look aside アクセラレーション

In-line アクセラレーション

仮想化



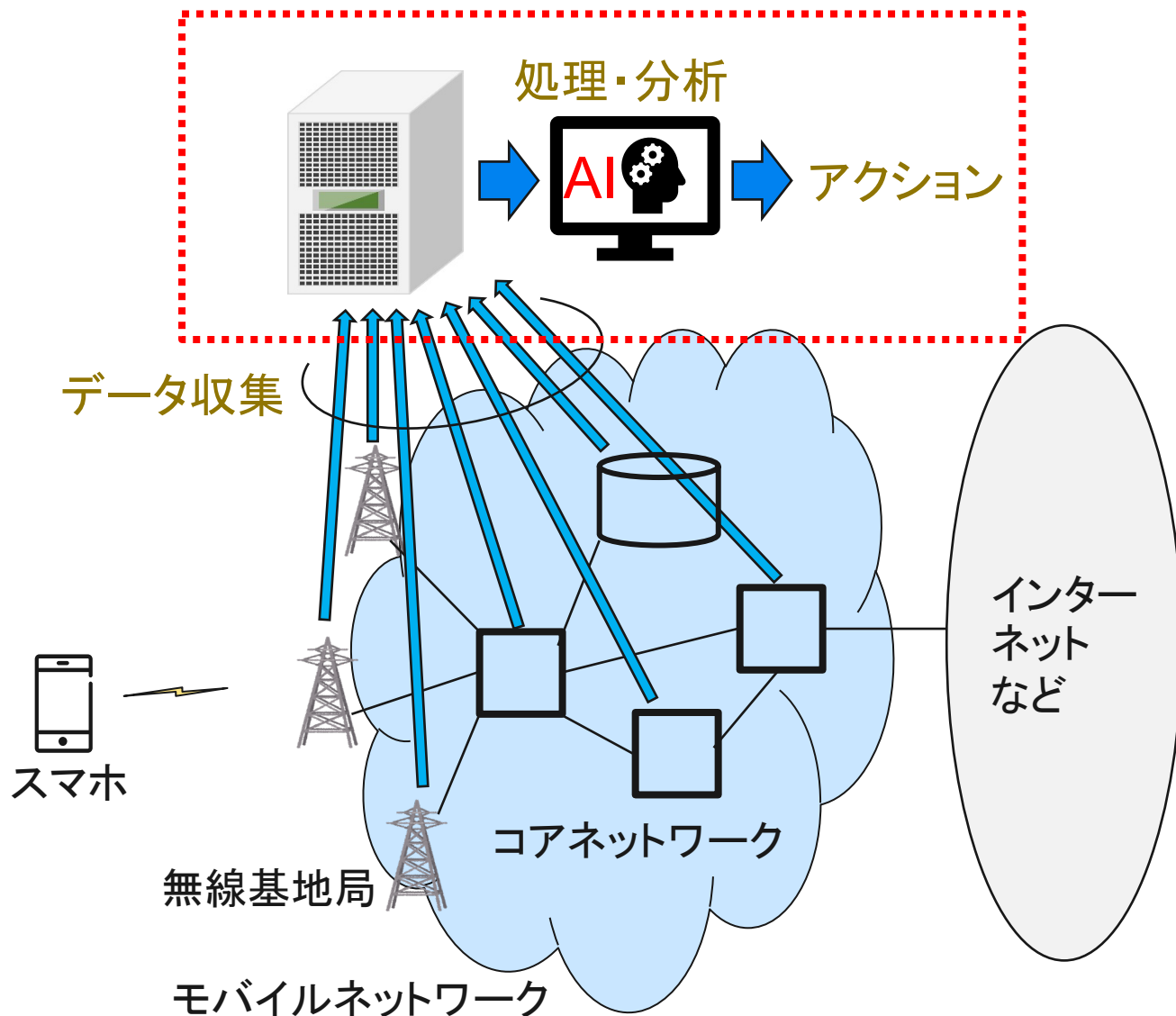
or



# モバイルネットワークでのAI利用

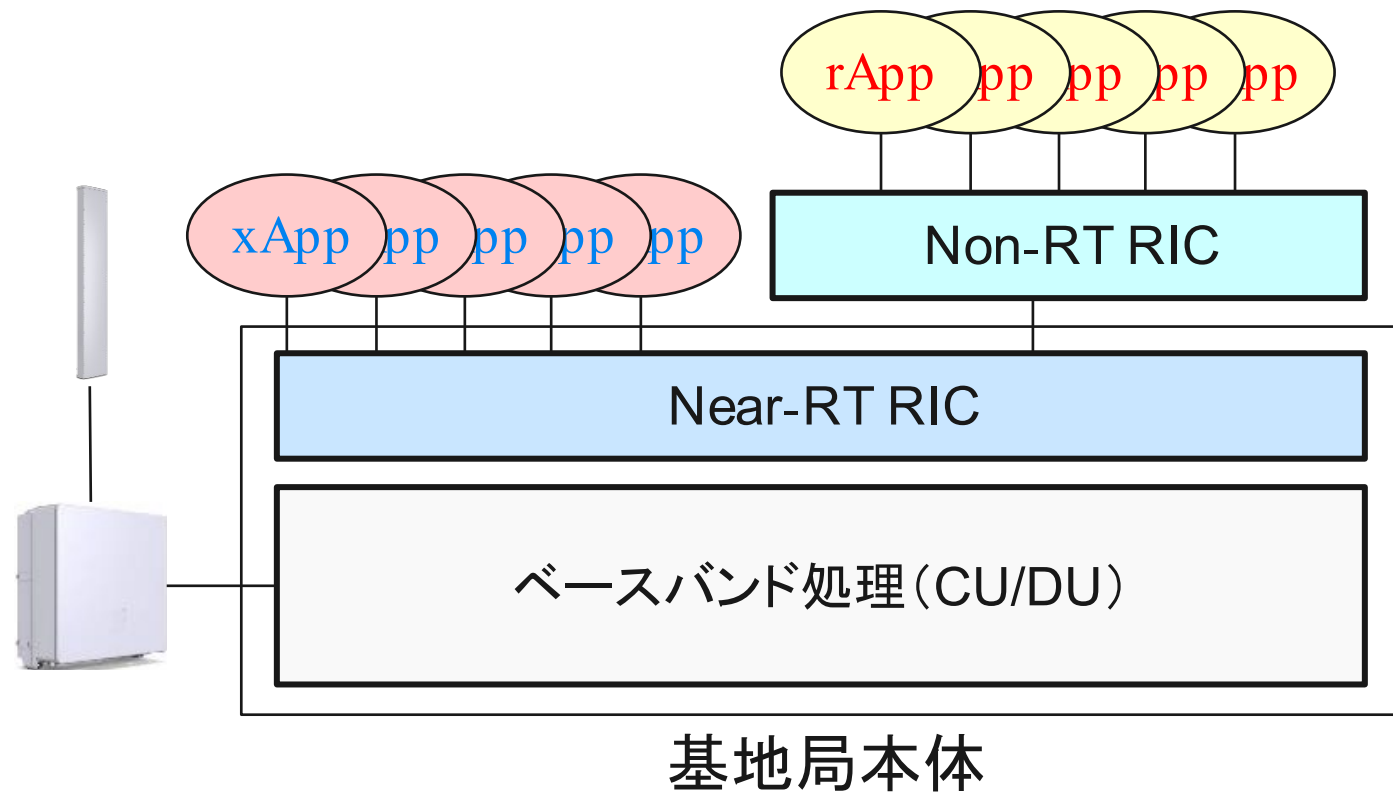
- **ネットワークの最適化**: データの流れを分析しリソース割当てをリアルタイムに最適化
- **運用の自動化・効率化**: 異常を早期に見つけだし、故障が発生する前に対策を講じる(ゼロタッチが目標)
- **セキュリティ対策**: 不正アクセス・サイバー攻撃パターンを学習、脅威に迅速に対応
- **エネルギー効率の向上**: トラフィック見合いでネットワークのエネルギー使用を最適化

5GコアにNWDAF (NW Data Analytics Function)としてデータ収集の仕組みあり



# 基地局外付けのAIアプリケーションイメージ

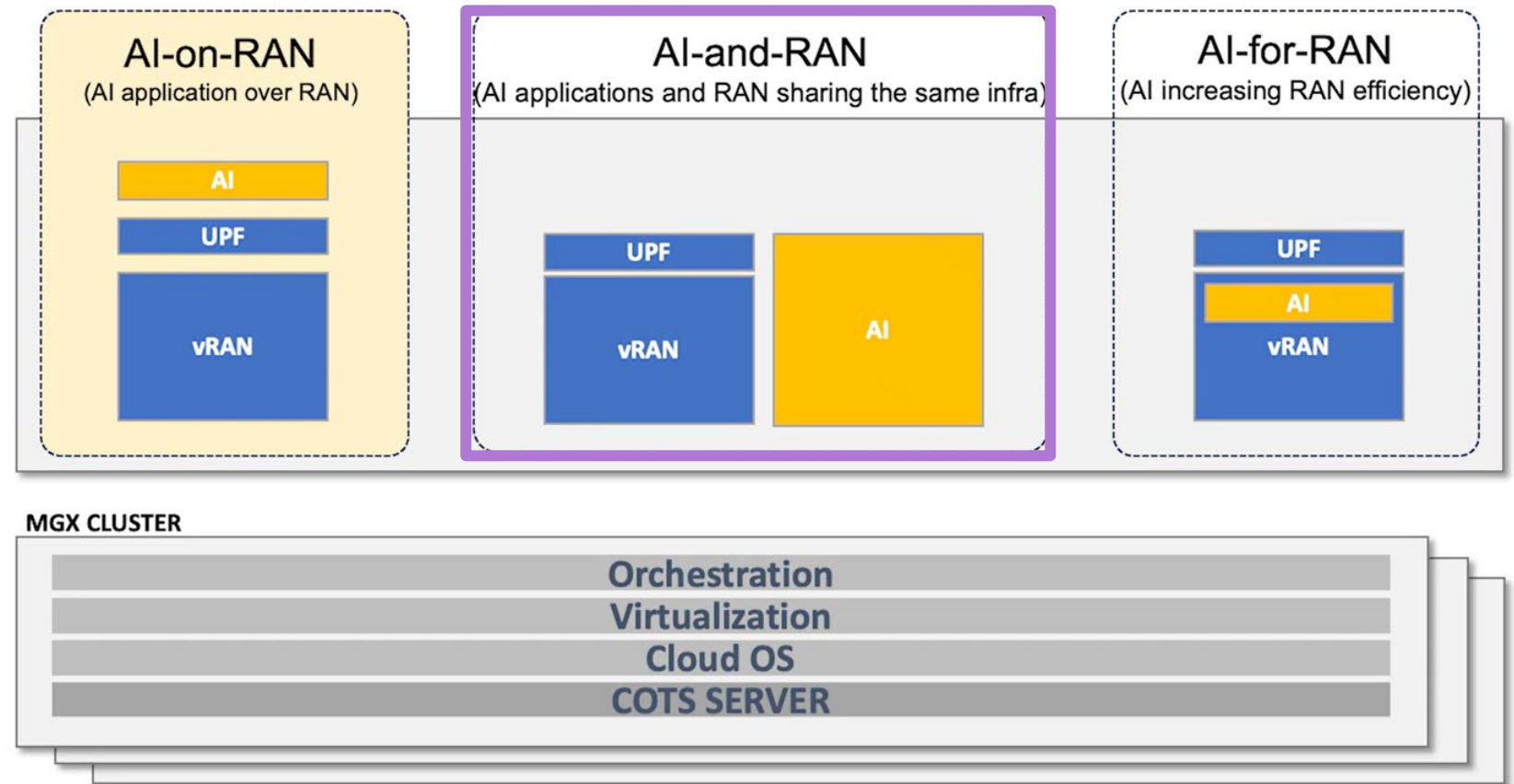
- ▶ 誰でも開発できる**アプリ開発環境**整備
- ▶ 特定ベンダー基地局専用でなく、世界の事業者やベンダー共通化で**エコシステム**
- ▶ **ネットワーク最適化**: 通信データの流れを分析、処理の割当てをリアルタイムで最適化。通信速度や安定性が向上、混雑時もデータを効率よく処理
- ▶ **運用自動化・効率化**: ネットワーク異常を早期に検出、故障が発生する前に対策。省力化と同時に通信のダウンタイム減少
- ▶ **セキュリティ対策**: 不正アクセスやサイバー攻撃のパターンを学習、不測の脅威に迅速に対応
- ▶ **省エネ**: トラフィックに合わせ機器の消費電力最適化、環境負荷低減



RT: Real Time, RIC: Radio Intelligent Controller  
xApp: 準リアルタイムアプリケーション (<1秒)  
rApp: 非リアルタイムアプリケーション (>1秒)

# AI-RAN Alliance

- 2024年2月設立、創設メンバー: ソフトバンク、NVIDIA、Arm、AWS、DeepSig、Ericsson、Microsoft、Nokia、Northeastern Univ.、Samsung、東大
- AIを活用した新たな通信プラットフォームの創出を目的
- **AI for RAN**  
RANの周波数利用効率および性能を向上
- **AI and RAN**  
AIとRANの処理を統合、インフラ利用効率向上
- **AI on RAN**  
RANの運用効率向上、新規サービスの展開



# 目次

移動通信ネットワークの全体構成

基地局の構成とオープン化

コアネットワークの役割と仮想化

SIM、eSIMの構成と役割

5GマッシブMIMOとビームフォーミング

5Gノン・スタンドアローン(NSA)とスタンドアローン(SA)

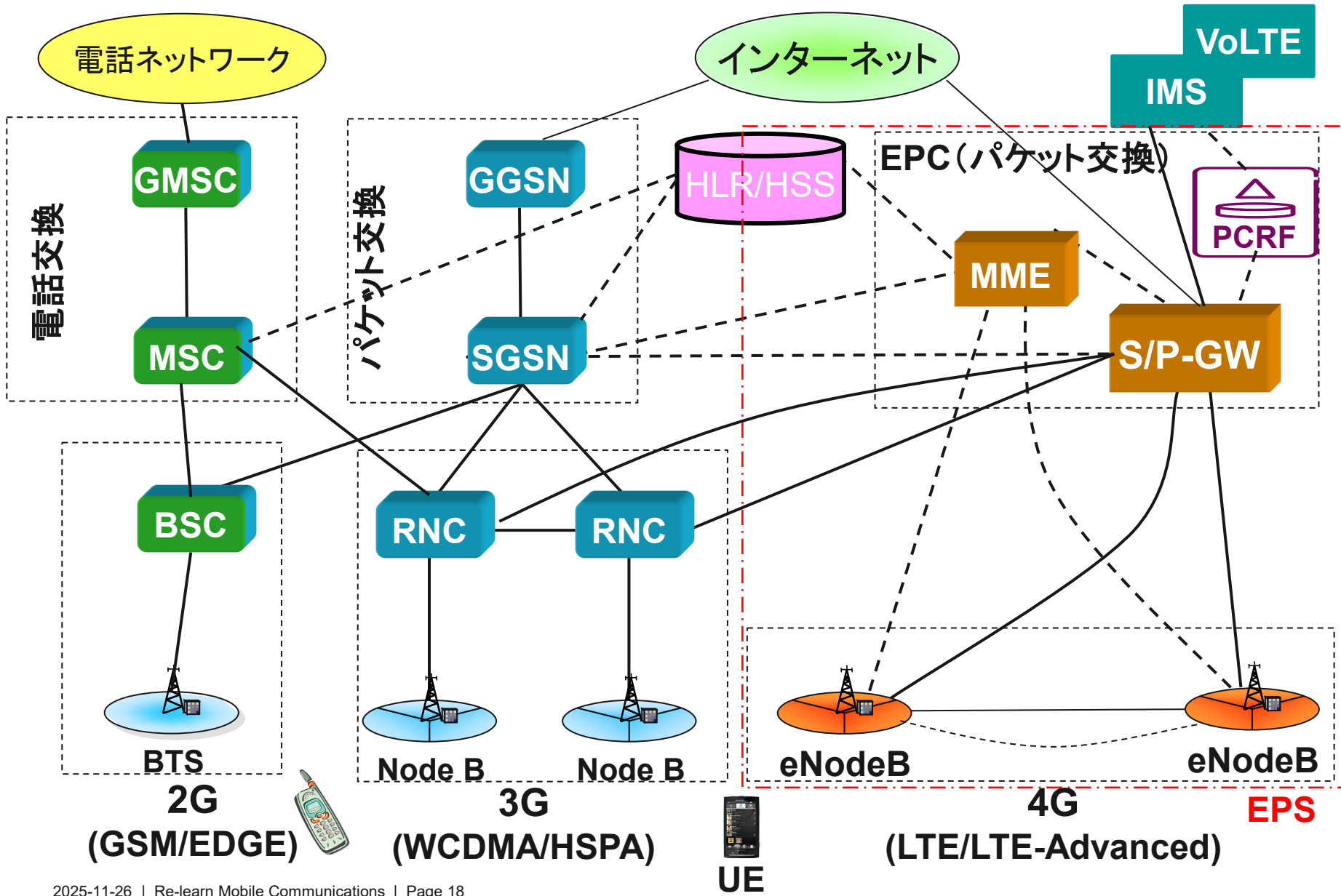
非地上系通信(NTN)、衛星ダイレクトアクセス

プライベートネットワークとローカル5G

# コアネットワークの役割

- データや音声のルーティングと配信
  - 端末とインターネットや通信相手端末との間の通信パスの設定とデータ配信の制御
- ユーザ/端末の認証とセキュリティ
  - 正当なユーザであることの検証、データ暗号化による盗聴などからの保護
- 端末の基地局間での移動(ハンドオーバ)の制御
  - 端末が基地局のサービスエリア間で移動した際に継続した通信を実現
- IPアドレスの管理
  - 端末にIPアドレスを割当て(固定でない場合)、通信を成立させる
- ローミングのサポート
  - 海外などで端末が加入ネットワーク以外の別ネットワークに接続することをサポート
- サービスの提供と管理
  - 適切なサービス品質でサービスを提供することを制御し、必要に応じて課金処理

# 2G、3G、4Gネットワーク構成の変化 (3GPP)



- BSC: Base Station Controller
- BTS: Base Transceiver Station (基地局)
- GMSC: Gateway MSC
- HLR: Home Location Register
- HSS: Home Subscriber Server
- IMS: IP Multimedia Subsystem
- MME: Mobility Management Entity
- MSC: Mobile Switching Center (電話交換機)
- NodeB: 3G基地局
- eNodeB: LTE基地局
- PCRF: Policy & Charging Rules Function
- PDN: Packet Data Network
- S/P-GW: Serving/PDN Gateway (パケット処理装置)
- UE: User Equipment
- VoLTE: Voice over LTE
- EPS: Evolved Packet System**

# NFV – Network Functions Virtualization –

専用ハードウェアにネットワーク機能実装



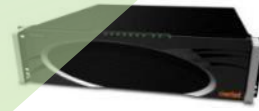
Message Router



CDN



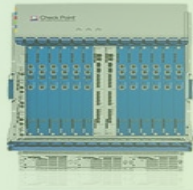
Session Border Controller



WAN Acceleration



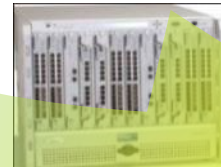
DPI



Firewall



Carrier Grade NAT



Tester/QoE monitor



S-GW/P-GW



PE Router

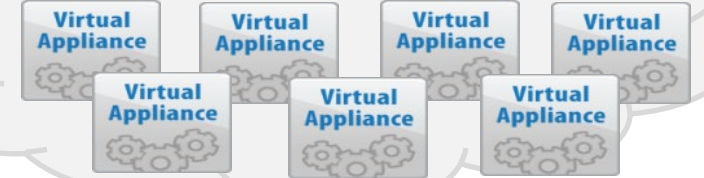


BRAS



Radio Network Controller

ネットワーク機能毎のソフトウェア



サーバに実装



高処理能力サーバ



大容量ストレージ



大容量スイッチ

仮想化とクラウド化

# 通信ネットワーク機能仮想化の背景

## □ 専用ハードウェアと個別ソフトウェアの課題

- 従来、大規模並列処理が必要でリアルタイム性、高信頼性が要求されるため、専用ハードとリアルタイムOS上に個別ソフトを垂直統合的に実装
- 専用ハード、個別ソフトの開発に膨大なコストが掛かると同時に、機器ベンダ毎に実装の仕方が異なりマルチベンダ環境での円滑なネットワーク管理や運用を阻害

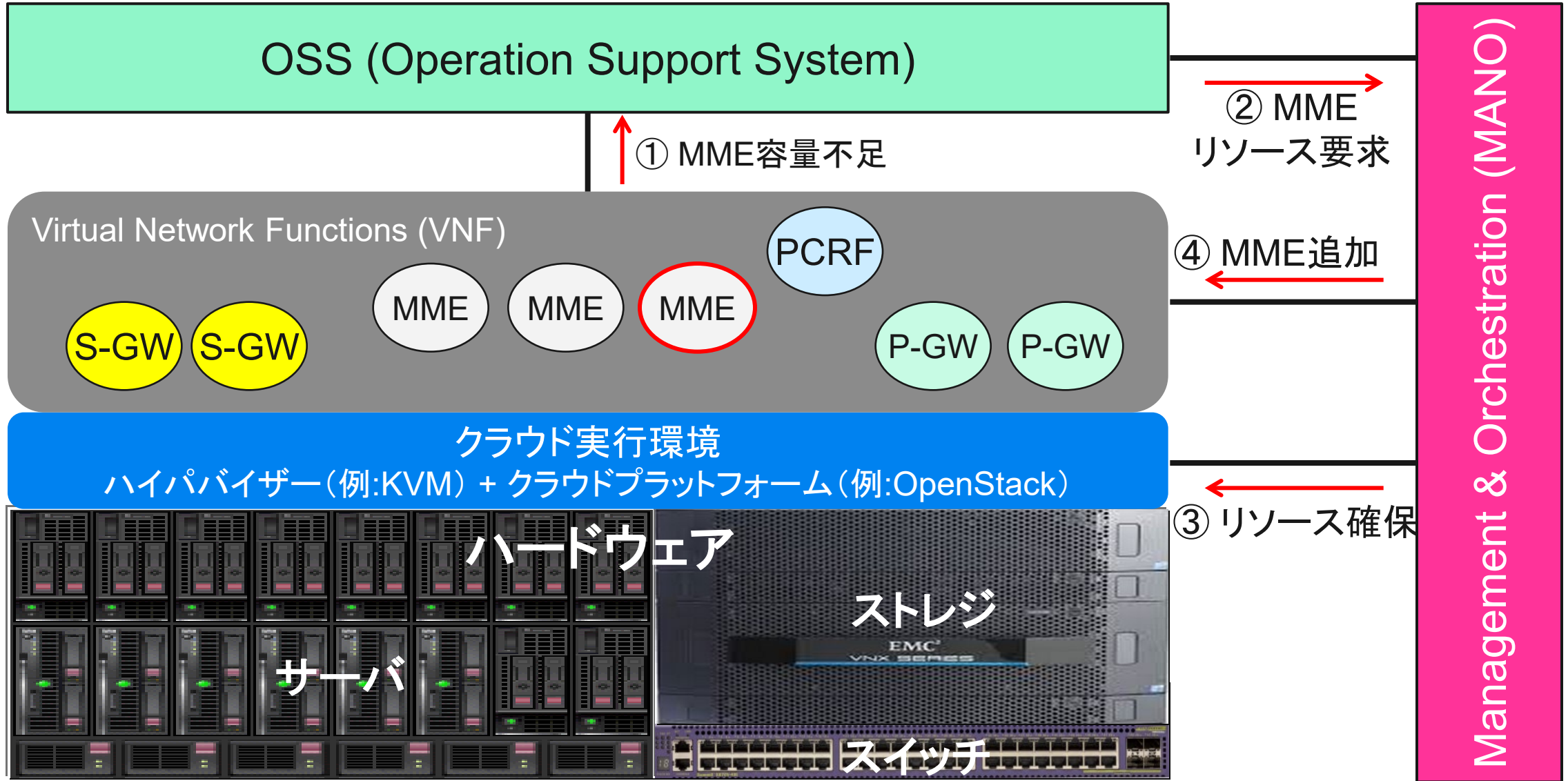
## □ 汎用プロセッサ、メモリの性能向上

- CPU、メモリなどの高速化により従来の公衆網用パケット交換機並みの処理能力が得られ、複雑で高度な処理を汎用サーバ上で低コストで実装可能に
- ソフトとハードを切り離すことにより、時間の経過に伴い性能向上する最新ハードを利用でき、性能向上の恩恵を受けることが可能

## □ クラウド技術の進化

- データセンターでは仮想化によりアプリを汎用サーバで実行する方式が主流
- ハードリソースの増減を動的に行うスケラビリティにより全体コストを大幅に削減
- ネットワーク機能配備位置に対する自由度向上によりネットワーク設計が柔軟に

# NFVにおける4Gコアネットワーク実装例



# 次のステップの仮想化: クラウドネイティブ

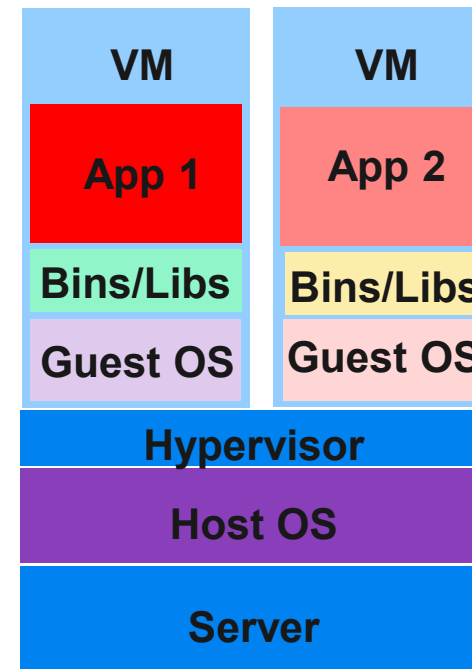
物理的ハードウェア (PNF)



仮想化 (VMs & IaaS)

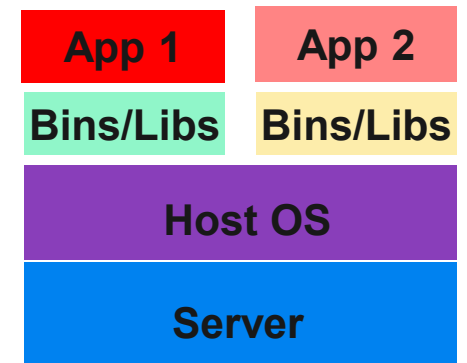


コンテナ (Containers & CaaS)



Virtual Machines

クラウドネイティブ



コンテナ

# 5Gコア仮想化のトレンド

## □4GコアではVMベースの仮想化が主流

- EPC仮想化では、専用ハード用に開発したソフトをVM上に移植する形態が主
- 大多数の主要モバイル通信事業者はNFV導入

## □5Gコア仮想化ではクラウドネイティブが主流に

- クラウドで浸透している Kubernetes によるコンテナオーケストレーションをモバイルネットワークでも利用
- エッジコンピューティング、オープンRANとの統合NFV基盤も大きな流れ

## □4Gと5Gのデュアルモードコア

- 5Gスタンドアロンへのマイグレーションの中で、4G EPCもクラウドネイティブで巻き取る方向も大きな流れ(独Vodafone、加Rogers、Singtel、ソフトバンクなど)

## □仮想化基盤にハイパースケーラのクラウド利用が選択肢に

- コアベンダの基盤、3<sup>rd</sup>パーティの基盤、自社基盤、ハイパースケーラ基盤の選択肢
- マイクロソフトAzure、AWS、グーグルクラウドなどの利用が大きな流れ

# 5Gコア(5GC)の設計原則

## □ 仮想化を前提にした設計

- 物理ノードでなく、ネットワーク機能(Network Function)単位に仕様策定
- サービスベースアーキテクチャによりネットワーク機能間が柔軟に連携

## □ 制御(control)とデータ転送(user data)の明確な分離(CUPS)

- 処理の効率化、機能配備の自由度向上

## □ ネットワークスライシングがキー

- パフォーマンス、セキュリティなどの要求条件に基づきスライスを設定
- ダイナミックなスライス設定により、市場の要求への迅速な対応

## □ プログラマビリティを実現するアーキテクチャ

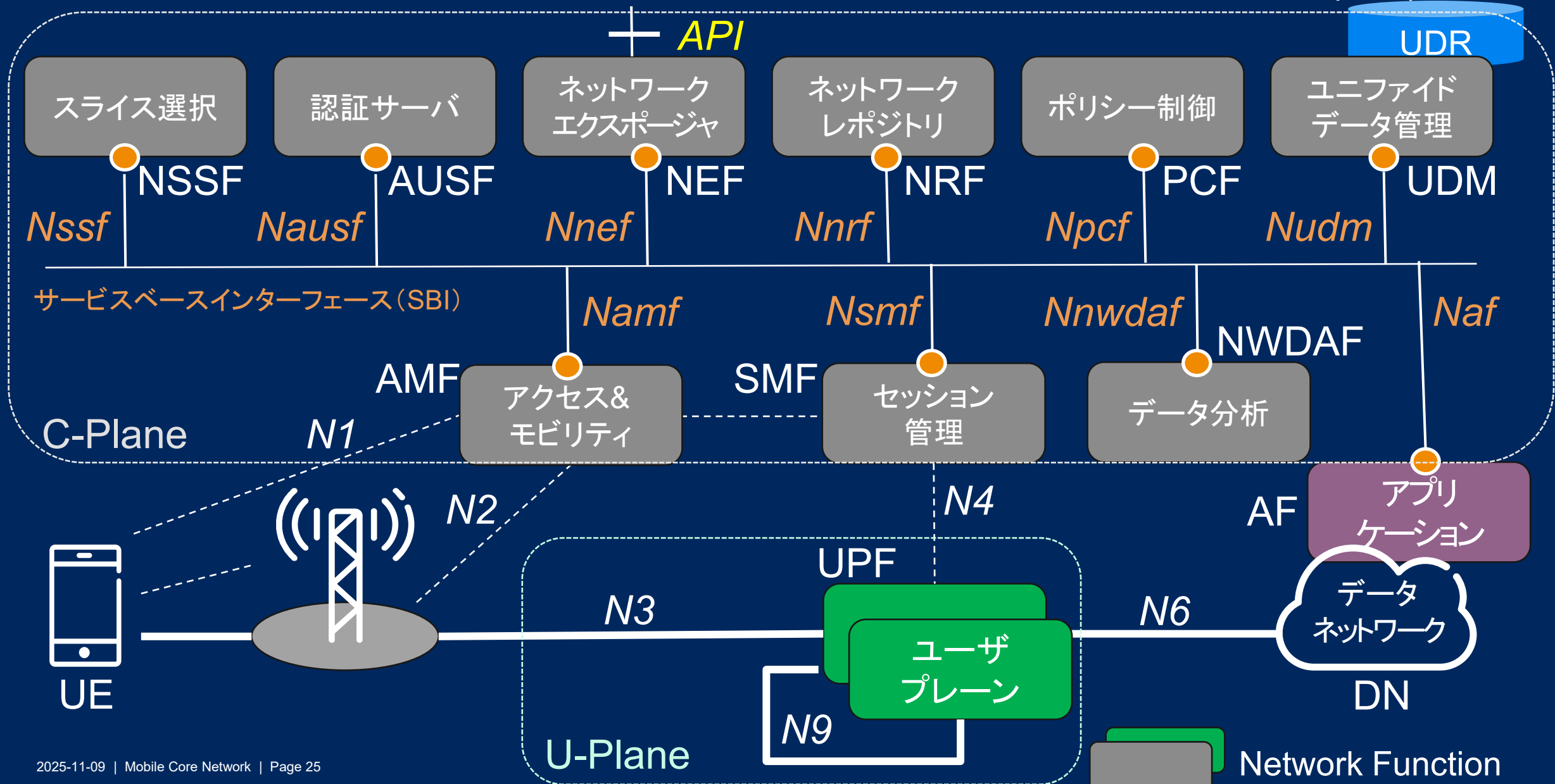
- ネットワークエクスポージャーにより、外部からのアクセス・制御

## □ 5GのeMBBは現状の4G MBBの進化

- NRとLTEアクセス間でのサービス継続性を保証、密な相互動作

## □ アクセスネットワーク(3GPP及び非3GPP)に非依存

# 5GC: Service Based Architecture (SBA)



# 目次

移動通信ネットワークの全体構成

基地局の構成とオープン化

コアネットワークの役割と仮想化

SIM、eSIMの構成と役割

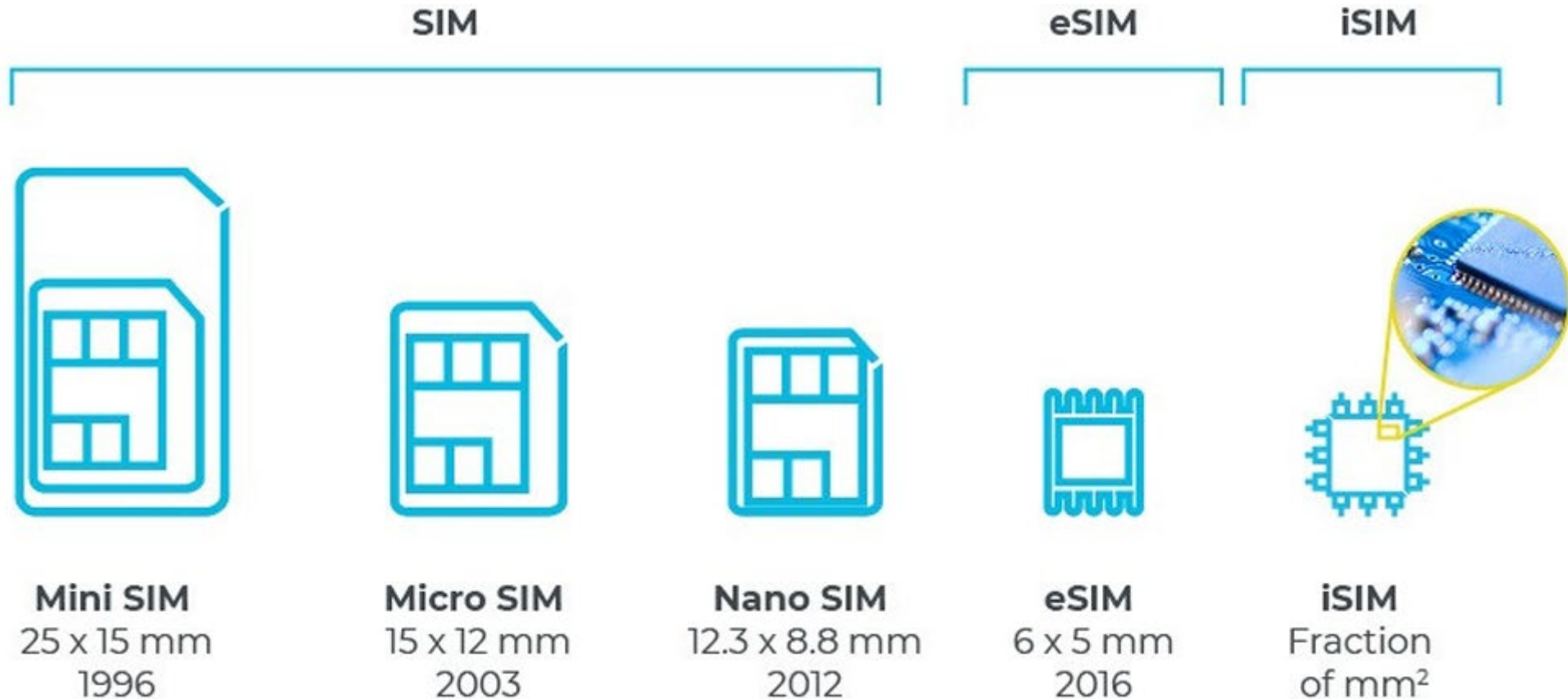
5GマッシブMIMOとビームフォーミング

5Gノン・スタンドアローン(NSA)とスタンドアローン(SA)

非地上系通信(NTN)、衛星ダイレクトアクセス

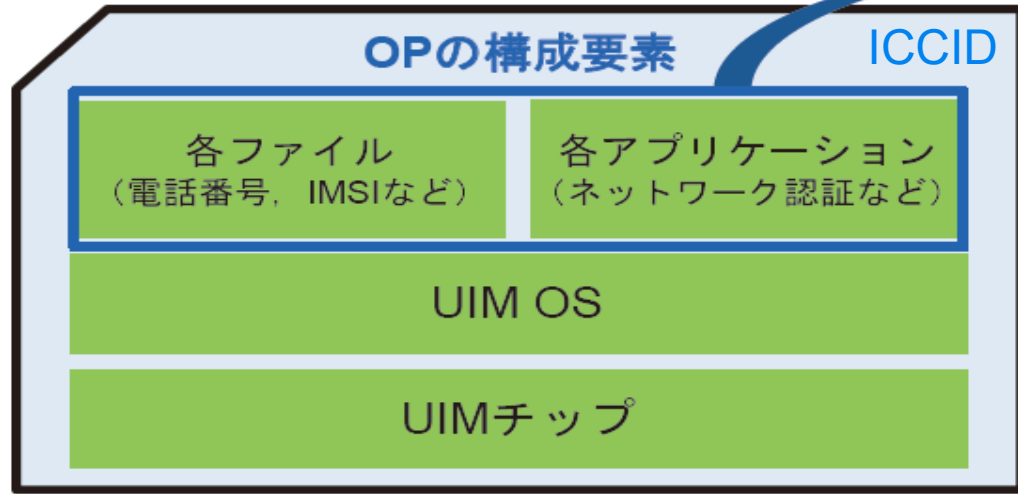
プライベートネットワークとローカル5G

# SIMの種類と進化

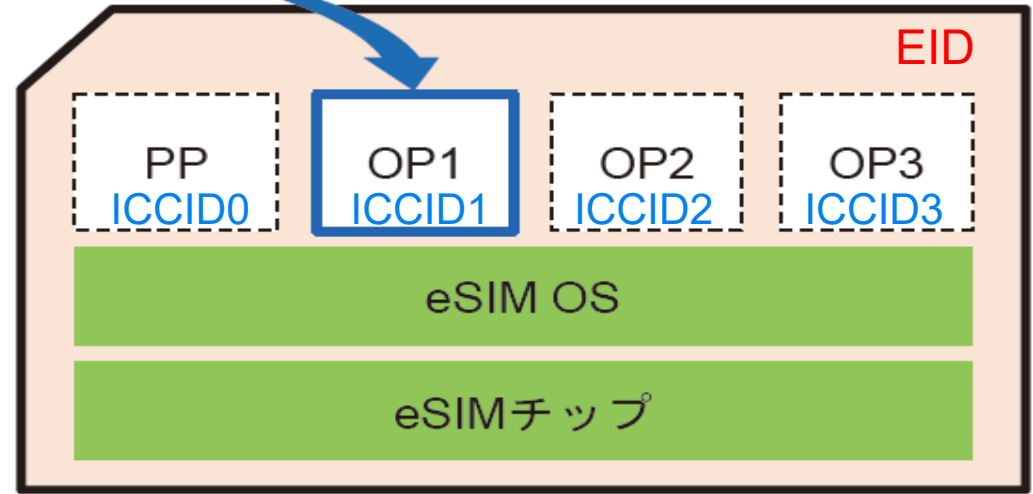


出典：[Kigen-How-Remote-SIM-Provisioning-Works-ebook.pdf](https://www.kigen.com/remote-sim-provisioning-works-ebook.pdf)

# 物理SIMとeSIM



(a)従来UIMの構造例



(b)eSIMの構造例

出典: [https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical\\_journal/bn/vol25\\_2/vol25\\_2\\_003jp.pdf](https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol25_2/vol25_2_003jp.pdf)

注: UIM (User Identity Module)はSIMと同義、eUICC: Embedded Universal Integrated Circuit CardはeSIM自体  
 PP: Provisioning Profile、新規プロファイル(OP)ダウンロード用通信接続プロファイル(多くのスマホでは無い)  
 OP: Operational Profile、実際の通信サービスを利用するための通信接続プロファイル

## □ 識別子

**物理SIM**: ICCID (Integrated Circuit Card Identifier)、19~20桁

ICCID = 89 | CC | Issuer | Account | Check

MII (通信分野は89) ↑ 国番号(日本は81) ↑ 発行者 ↑ 個別番号 ↑ Luhn (MII: Major Industry Identifier)

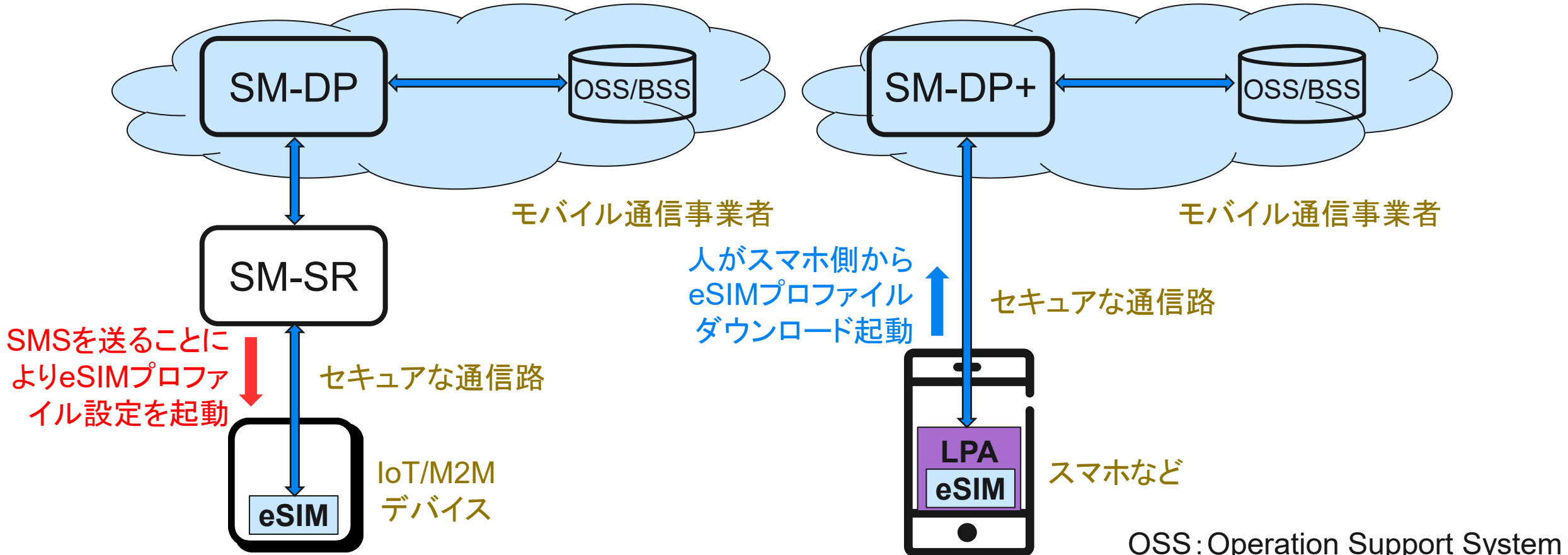
**eSIM**: EID (eUICC Identifier)、32桁の数値で世界全体で共通(最初の5桁がメーカー識別、残りはメーカー定義領域)  
 eSIMに設定される各プロファイルはICCIDで識別、一つのEIDに複数のICCIDが紐付く

# eSIMの利点

- **即時開通**: 店舗に行かず、オンラインで契約・開通 (RSP: Remote SIM Provisioning) が可能。SIM配送や受け取りの待ち時間が不要
- **省スペース設計**: 物理スロット不要で端末内部に余裕が生まれ、防水性やバッテリー容量の向上につながる (iPhoneでのeSIM化もバッテリー容量増大がねらい)
- **複数回線の切替**: 1台のスマートフォンなどの端末に複数プロファイルを保存し (例えば最大8個のプロファイル)、仕事用・個人用や国内用・海外用を使い分け可能
- **海外利用が容易**: 旅行や出張時に現地のeSIMをアプリで購入・即利用でき、空港でSIM購入の手間が省ける
- **紛失リスク低減**: 物理カードが存在しないため、盗難や抜き取りによる不正利用のリスクを軽減
- **遠隔再発行可能**: 紛失や機種変更時もオンラインで再発行でき、物理カードの再配送を待つ必要がない
- **環境負荷の低減**: プラスチックSIMカードや配送資材が不要になり、資源消費や廃棄物を減らせる

# eSIMプロフィールのダウンロード

□ SM-DP+: eSIMプロフィールを生成・暗号化・保管、LPAへ安全配布する中核サーバ



OSS: Operation Support System  
BSS: Business Support System

SM-DP: Subscriber Management Data Preparation  
SM-SR: Subscriber Management Secure Routing

SM-DP+: SM-DP Plus  
LPA: Local Profile Assistant

IoT/M2M向けeSIM(GSMA SGP.02)

コンシューマ向けeSIM(GSMA SGP.22)

# eSIMプロフィールの設定手順

□ SM-DS: 端末のEIDに対応する配布先SM-DP+を見つけ出すディレクトリ(オプション)

## ⑤ SM-DP+での正当性確認

- コード有効性、契約状態、EID 制約、回数制限等を検証
- ダウンロード用セッション確立

## ⑥ プロファイルの安全な配布

- 端末キーでプロファイル暗号化(SM-DP+)
- 暗号化プロファイルを端末へ送達

## ④ LPA → SM-DP+

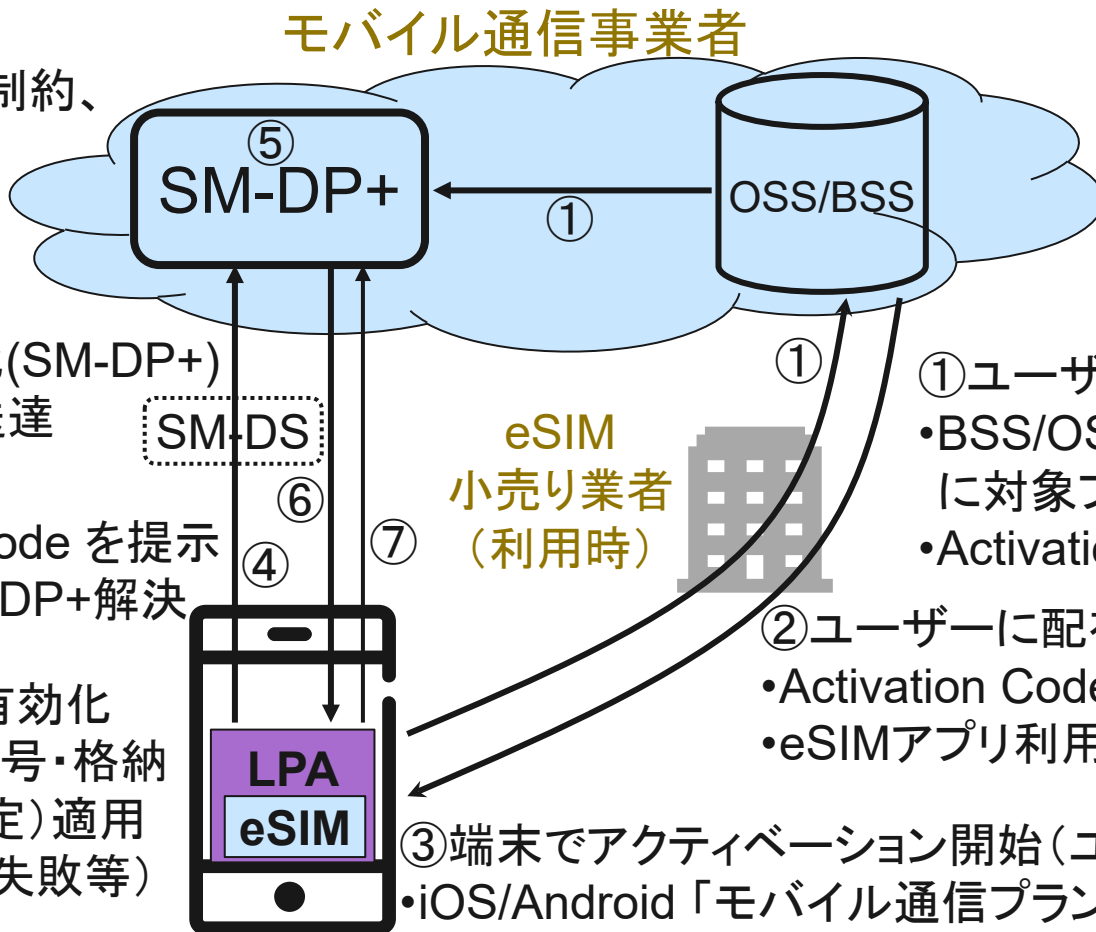
- TLS接続しEID と Activation Code を提示
- SM-DS利用時は先に該当SM-DP+解決

## ⑦ eUICC でのインストール & 有効化

- eUICC がプロファイル検証・復号・格納
- 有効化(データ/音声等各種設定)適用
- 結果を SM-DP+に通知(成功/失敗等)

## ⑧ 端末側ネットワーク設定反映

- APN/IMS/ローミング等キャリア設定をOS に適用
- 必要に応じ回線優先度・データデフォルト切替



- ① ユーザーの加入契約、プロフィール準備
- BSS/OSSで契約作成・在庫割当 → SM-DP+ に対象プロフィール登録(生成または確保)
- Activation CodeとSM-DP+ FQDN を発行

- ② ユーザーに配布情報を提示
- Activation Code、SM-DP+アドレスのQR/文字列提示
- eSIMアプリ利用時はOSのeSIM API経由で受渡し

- ③ 端末でアクティベーション開始(ユーザー操作)
- iOS/Android「モバイル通信プランを追加」でQRスキャン/コード入力
- eSIMアプリ利用時はOSのeSIM API 呼出し、LPA 起動(ワンタップ)

Activation Code: LPAがSM-DP+ からどのプロフィールを配布するかを特定するための参照キー(Matching ID)で、特定のICCIDに対応

# 目次

移動通信ネットワークの全体構成

基地局の構成とオープン化

コアネットワークの役割と仮想化

SIM、eSIMの構成と役割

5GマッシブMIMOとビームフォーミング

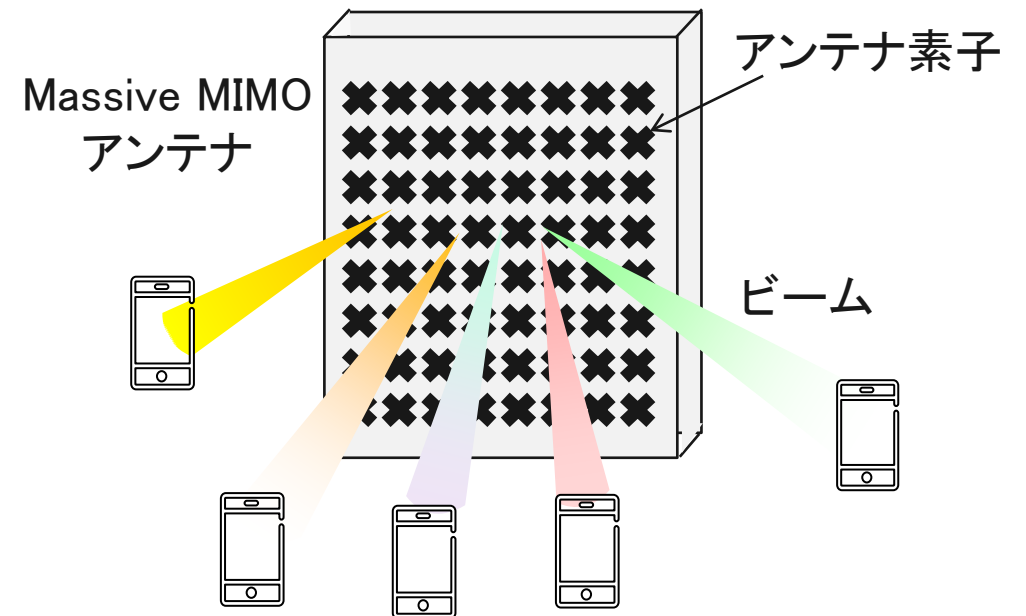
5Gノン・スタンドアローン(NSA)とスタンドアローン(SA)

非地上系通信(NTN)、衛星ダイレクトアクセス

プライベートネットワークとローカル5G

# Massive MIMOとMulti-User MIMO (MU-MIMO)

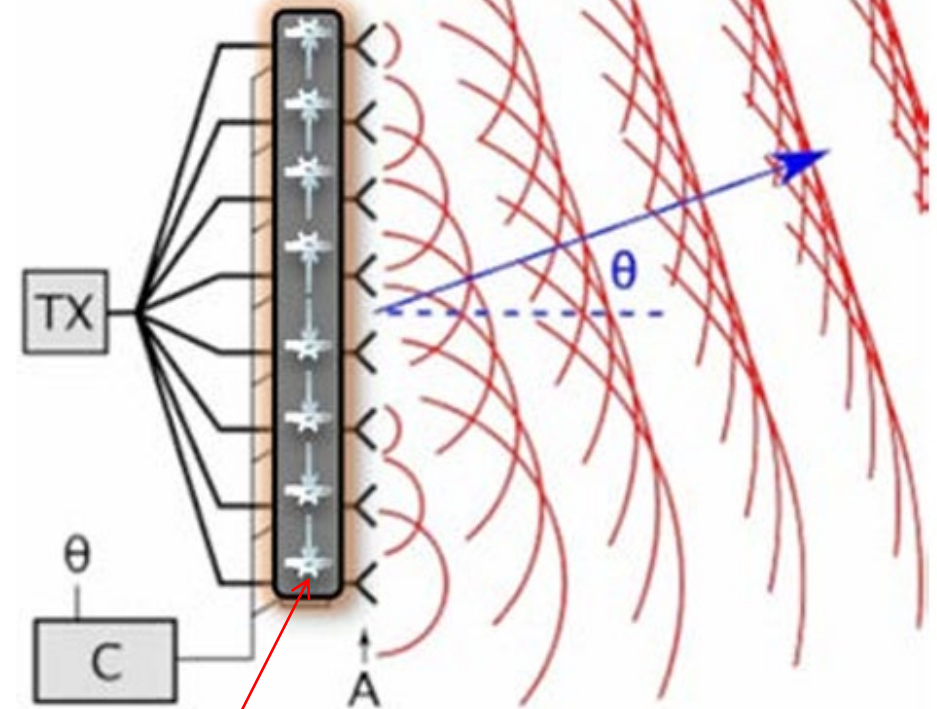
- Massive MIMOは基地局に数十から数百のアンテナ素子を搭載し、通信容量の大幅な向上や、カバレッジ拡張、干渉の抑制、高速かつ安定した通信を実現
- アンテナ素子間の連携で各デバイスに向けて指向性のあるビームを形成することで、信号を集中、干渉を減少させ、通信距離を拡張して高い通信品質を実現
- MU-MIMOは、同じ周波数帯域を用いた複数の異なるビームを異なるデバイスへの通信で利用。空間多重化により、複数のユーザが同時に通信できるため、スペクトル効率が向上
- アナログビームフォーミングでは、垂直偏波 (V) と水平偏波 (H) の利用やアンテナ素子群を複数サブアレイに分けてMU-MIMOを実現
- デジタルビームフォーミングでは、空間多重度の高い本格的MU-MIMOを実現



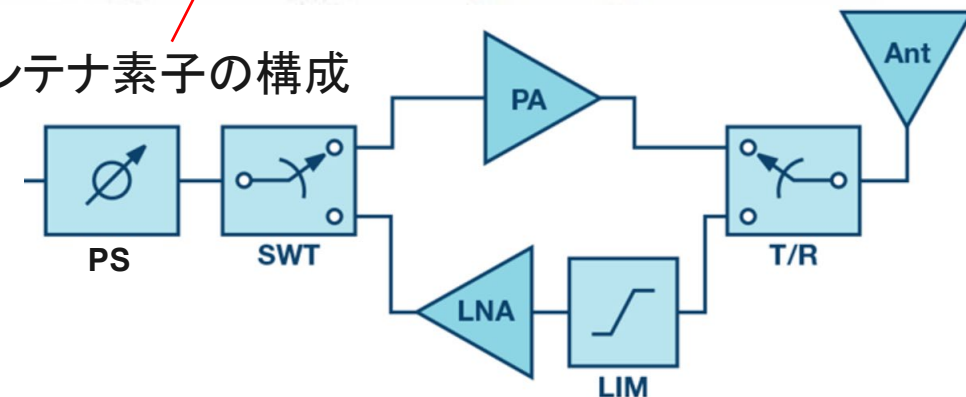
# アナログビームフォーミング

- 複数のアンテナ素子を並列に利用し、各アンテナ素子間で信号の位相や振幅を調整。これにより、特定の方向で信号が強め合い、他の方向では信号が打ち消し合うように制御。この調整により、指向性の高いビームを形成
- 基地局が端末にデータを送信する場合、一定の範囲に順次ビームをスキャンし、どのビーム方向で端末から最も強い応答が得られるかを確認して、受信機の方角を推定
- 各アンテナ素子に移相器 (PS: Phase Shifter) と増幅器 (PA: Power Amplifier) を組込んで実現
- 一つのアレイアンテナで各時点に一つのビームのみ形成

アダプティブ  
アレイアンテナ



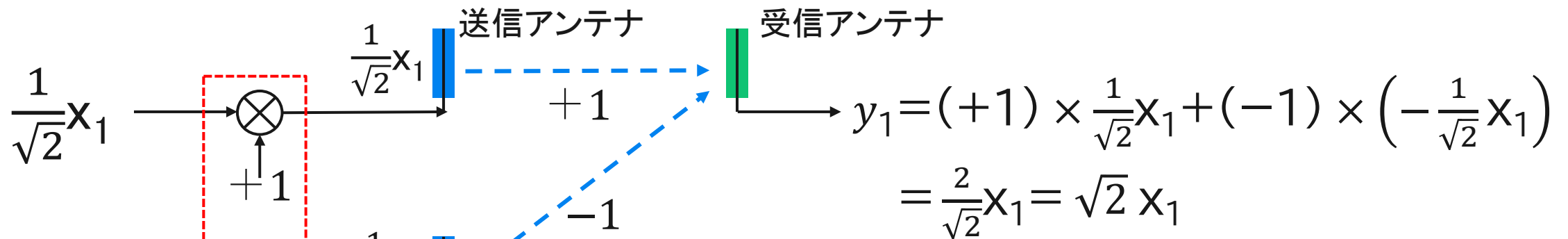
各アンテナ素子の構成



PS: Phase Shifter  
PA: Power Amplifier  
LNA: Low Noise Amplifier  
LIM: Limiter

# デジタルビームフォーミング

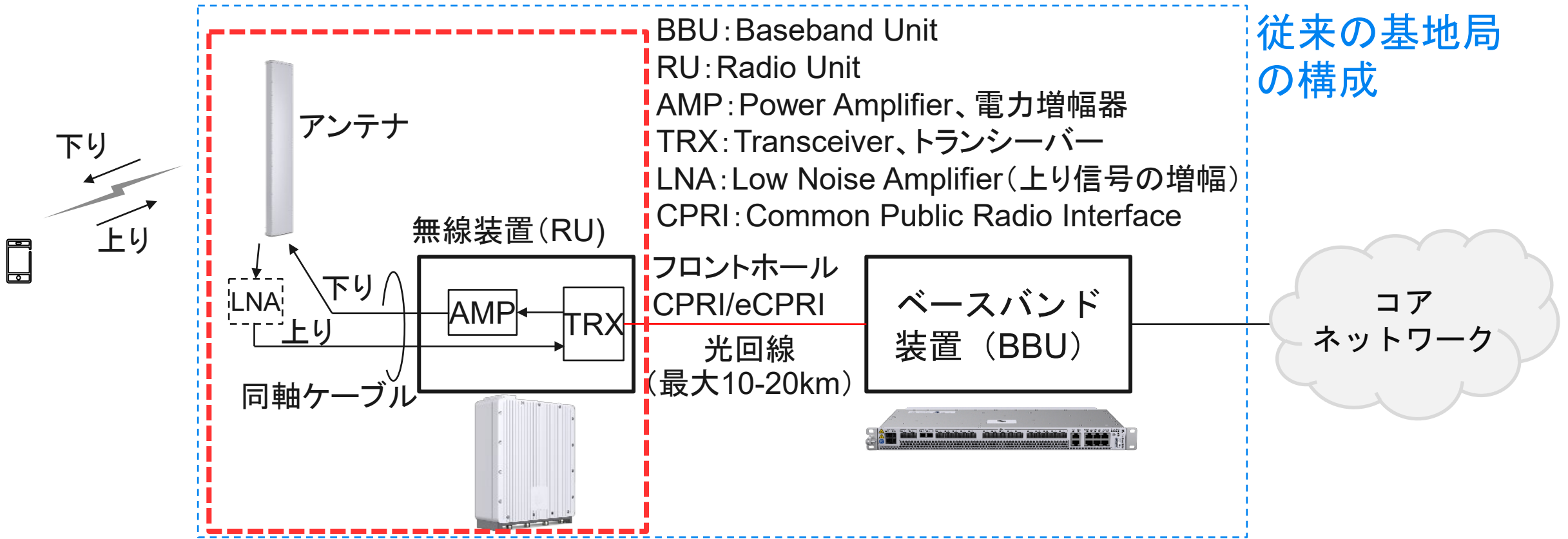
- MIMOの各アンテナへ入力する送信信号に、基地局と端末の間の伝搬特性に合わせて重み付け(プリコーディング)をすることにより、電波の位相や強さを調整して複数のアンテナから送られた信号が受信側で相互に強め合うように設定
- 伝搬路の特性は、受信側での電波計測結果を送信側にフィードバックすることにより得られる。例えば、4Gや5Gにおいては端末から基地局側へのSRS(Sounding Reference Signal)により伝搬特性を知ることができる



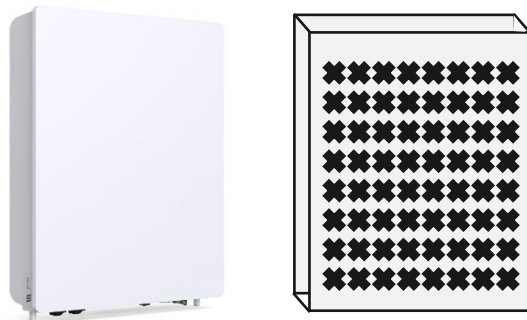
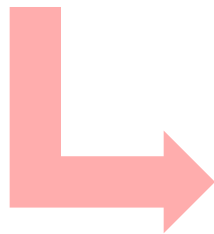
プリコーディング

総送信電力を1アンテナのときと同じになるように設定したときに、受信信号電力が最大2倍となる。

# 無線基地局の構成とMassive MIMO



Massive MIMOでは無線装置とアンテナを一体化

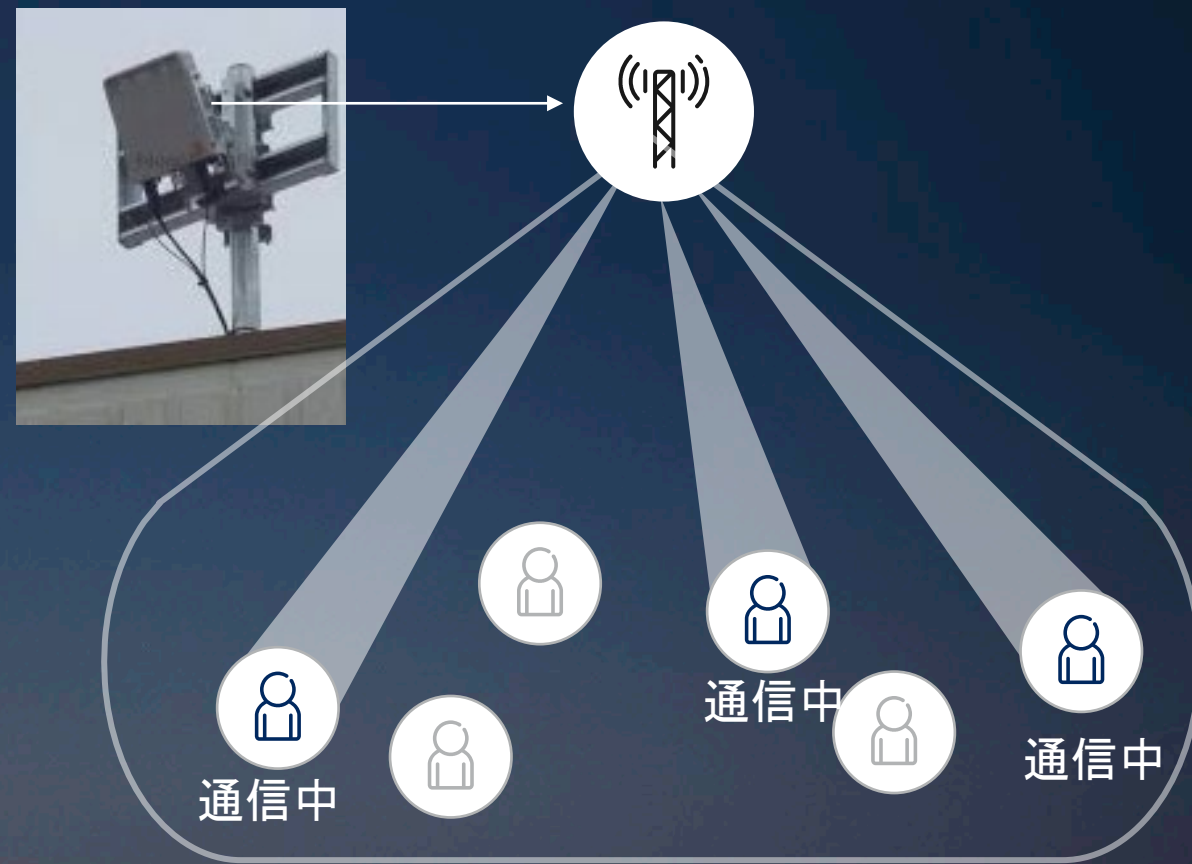


各アンテナ素子とAMPやLNA、PSなどを一体化。AMPとアンテナの間の伝搬損失を最小化

# 従来の基地局アンテナとビームフォーミング



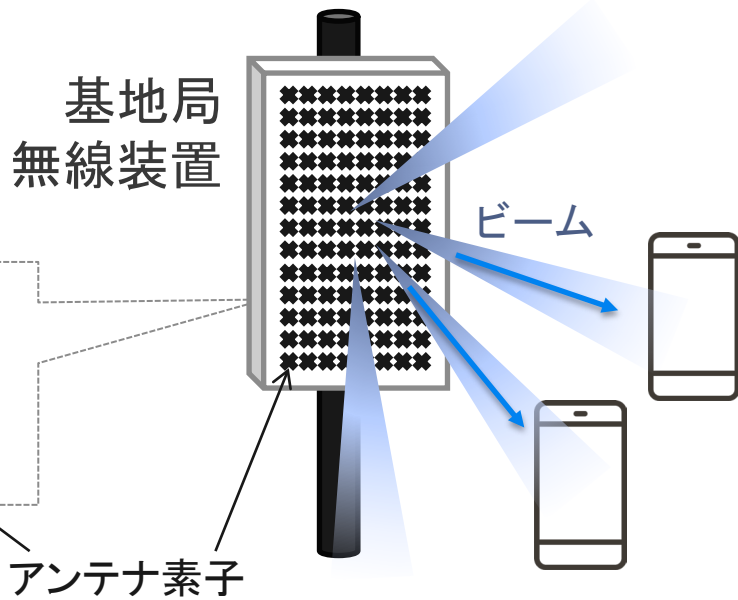
従来の基地局アンテナ



ビームフォーミングで電力集中

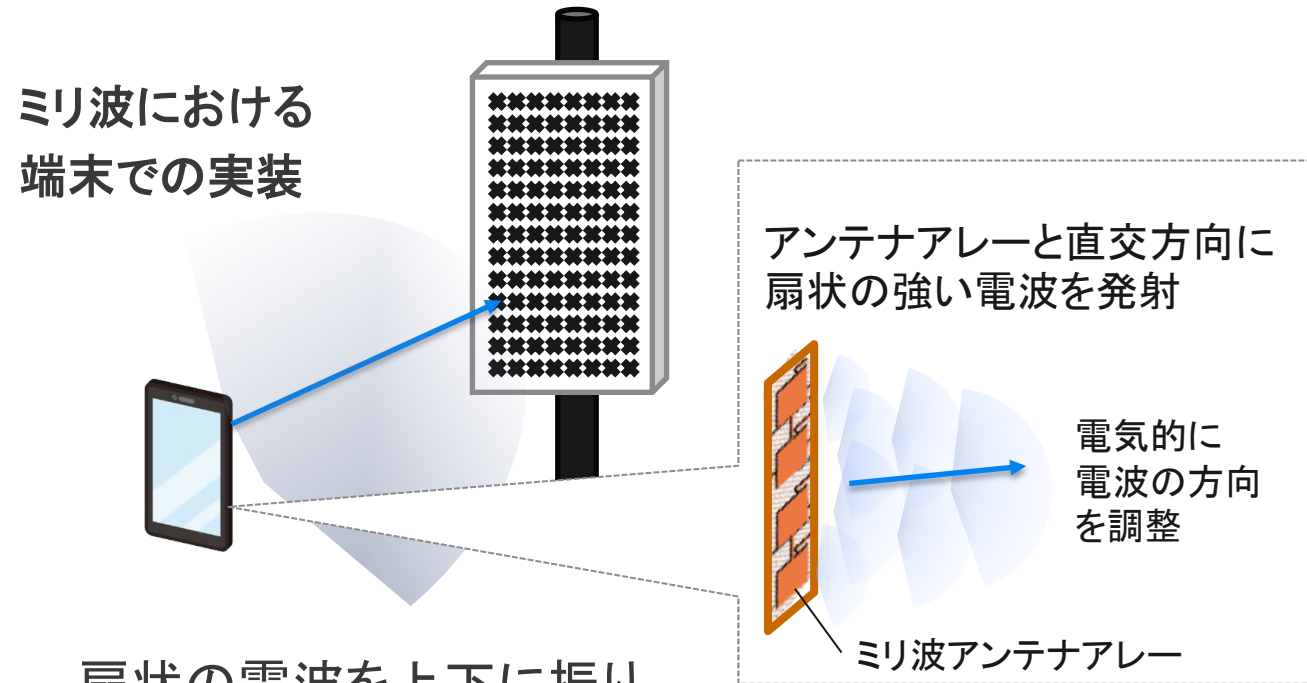
# ビームフォーミングの利用

基地局から端末への電波(下り)



鋭いビームの利用  
送信方向を切替えながら、端末が受信できたときに応答することでスマホの位置を認識するビームトラッキングを利用

端末から基地局への電波(上り)



扇状の電波を上下に振り、基地局の方向に電波が向くように調整

# 目次

移動通信ネットワークの全体構成

基地局の構成とオープン化

コアネットワークの役割と仮想化

SIM、eSIMの構成と役割

5GマッシブMIMOとビームフォーミング

5Gノン・スタンドアローン(NSA)とスタンドアローン(SA)

非地上系通信(NTN)、衛星ダイレクトアクセス

プライベートネットワークとローカル5G

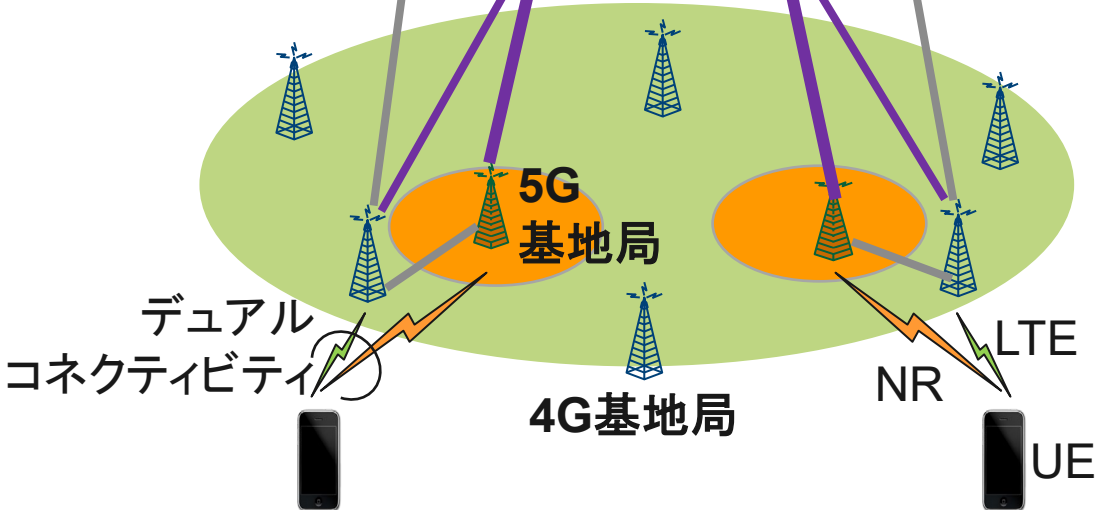
# 5Gノンスタンドアローン(NSA)とスタンドアローン(SA)

## NSA (Non-Standalone) 構成

インターネットなど、外部ネットワーク

コアネットワーク(CN)

EPC (Evolved Packet Core)



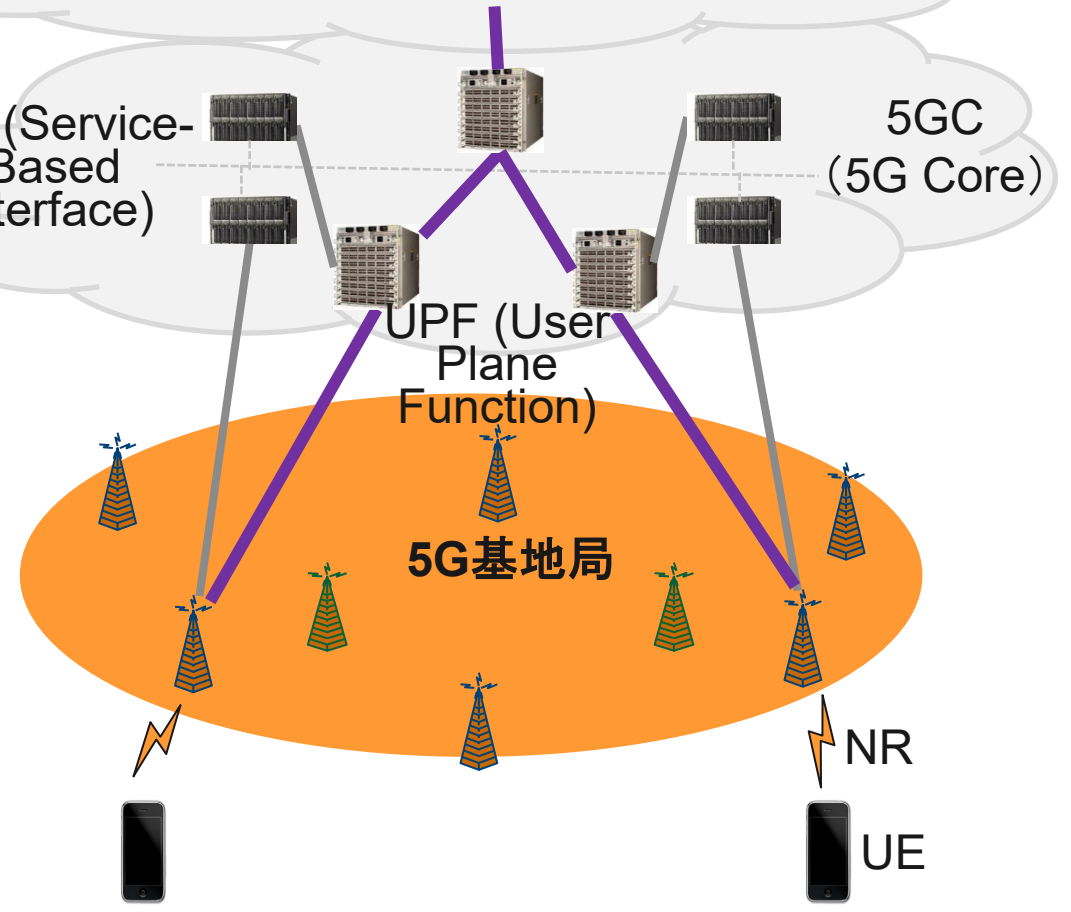
## SA (Standalone) 構成

インターネットなど、外部ネットワーク

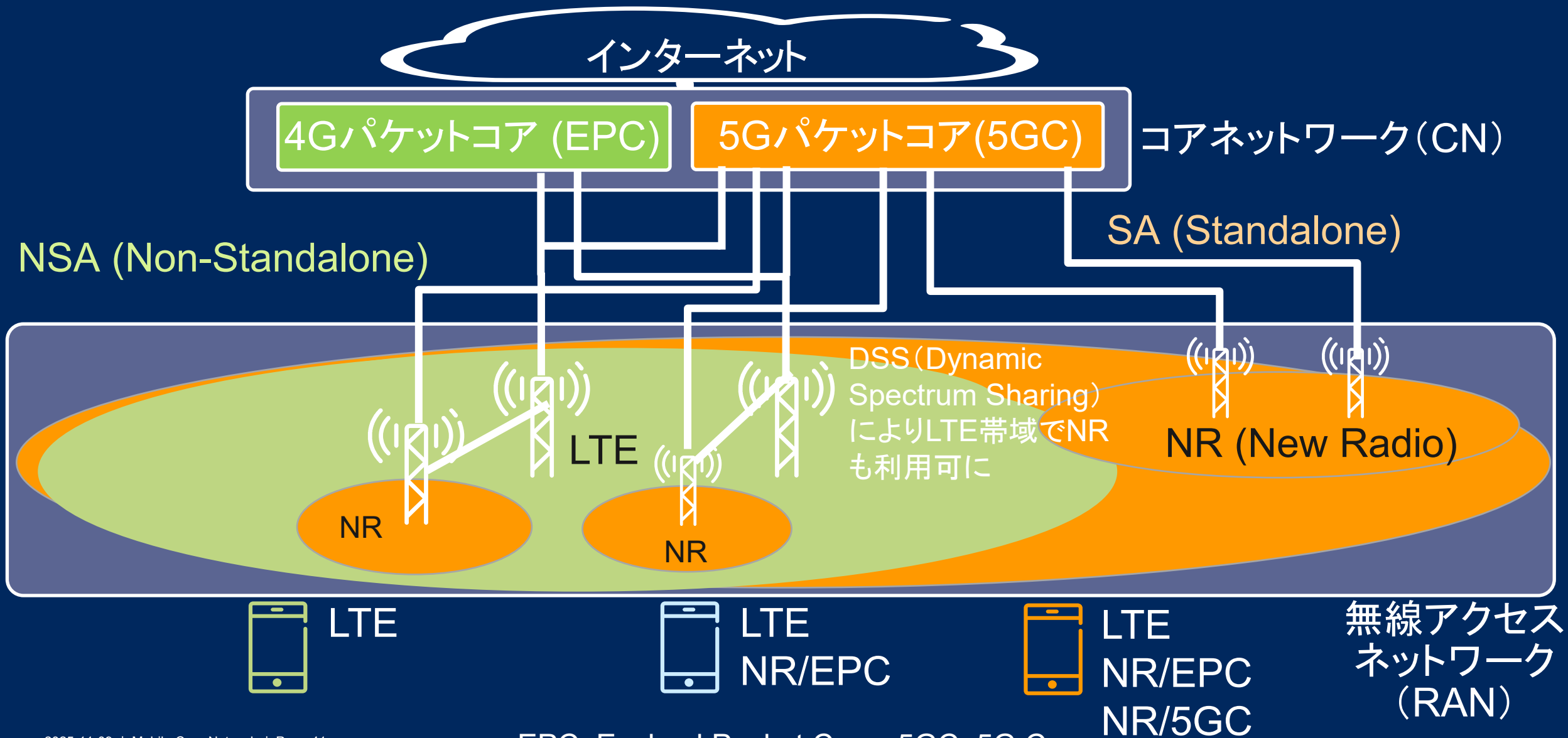
SBI (Service-Based Interface)

5GC (5G Core)

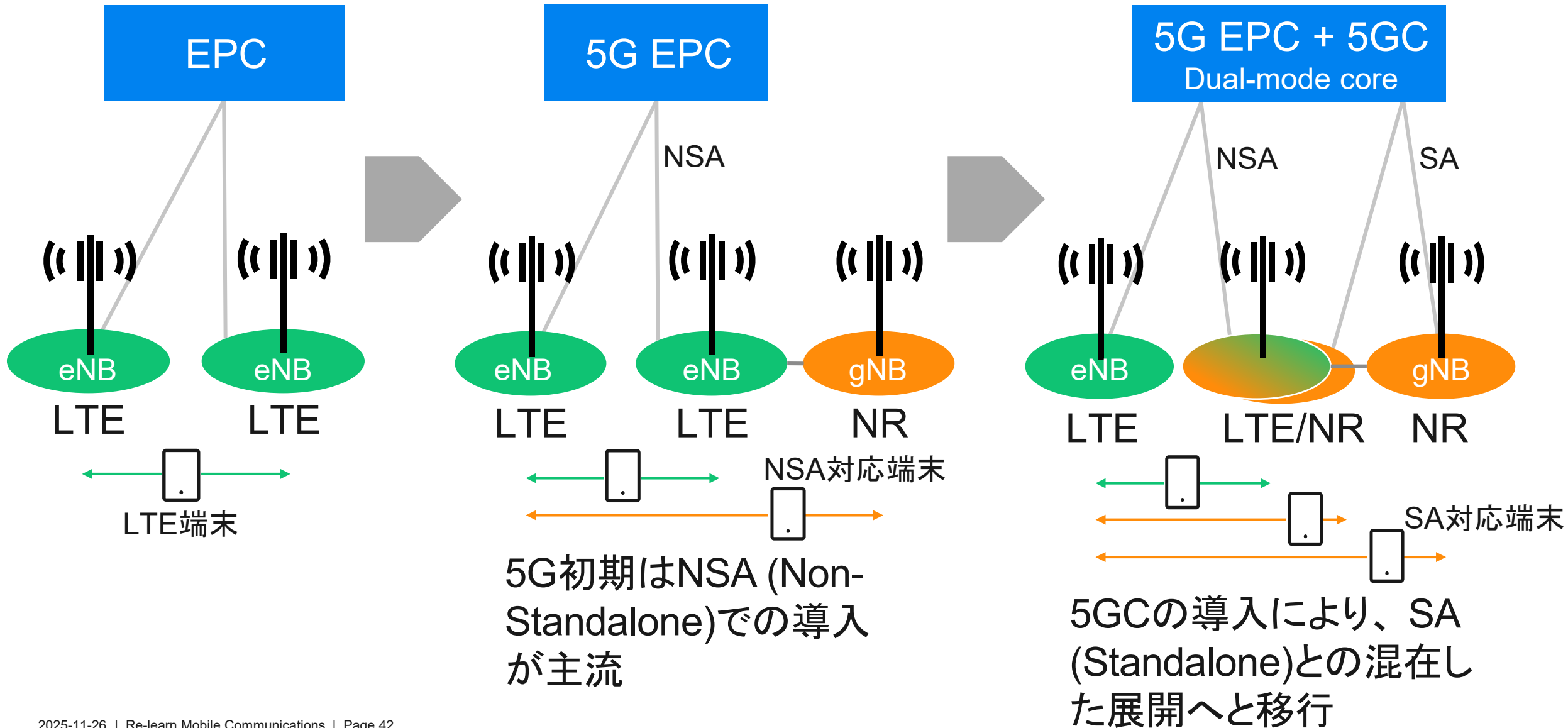
無線アクセスネットワーク (RAN)



# NSAからSAへの進化



# 4Gから5G SAへのネットワーク進化シナリオ



# NSAとSAの比較

項目	NSA (Non-standalone)	SA (Standalone)
ネットワークスライシング	<ul style="list-style-type: none"><li>一つの端末で一つのスライスのみ利用可能</li><li>スライス利用の柔軟性が小さい</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>一つの端末で複数のスライスを利用可能</li><li>スライス内パケットの異なるルーティング可</li><li>無線ネットワークも柔軟にスライス対応</li></ul>
ネットワーク機能開放	<ul style="list-style-type: none"><li>SCEF (Service Capability Exposure Function)を規定</li><li>主にIoTを対象にした機能開放</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>NEF (Network Exposure Function)を規定</li><li>多くのネットワーク機能を外部から利用可能</li><li>トラフィックルーティングも操作可能</li></ul>
アクセス統合	<ul style="list-style-type: none"><li>LTE/NRとWiFiなどで異なるアクセス手順</li><li>WiFiアクセスとの認証統合可能</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>NRとWiFiなどで同じアクセス手順</li><li>固定アクセスも含めたサービス統合を志向</li><li>SIM以外の認証が利用可能</li></ul>
アクセス遅延	<ul style="list-style-type: none"><li>LTEでの制御信号の転送による遅延</li><li>LTEチャンネル設定後NR設定のため遅延大</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>無線チャンネル設定遅延の低減</li><li>無線アクセスでのデータ転送遅延の低減</li></ul>
カバレッジ	<ul style="list-style-type: none"><li>デュアルコネクティビティで上りに低い帯域のLTE利用でNRカバレッジ拡大</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>キャリアアグリゲーションで低い帯域のNR併用により高帯域NRのカバレッジ拡張</li></ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"><li>サービス品質制御の柔軟性が小</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>パケット毎、無線NW/コア個別品質制御可能</li><li>5GCはクラウドネイティブとの親和性が大</li><li>アーキテクチャ全体としての柔軟性が大</li></ul>

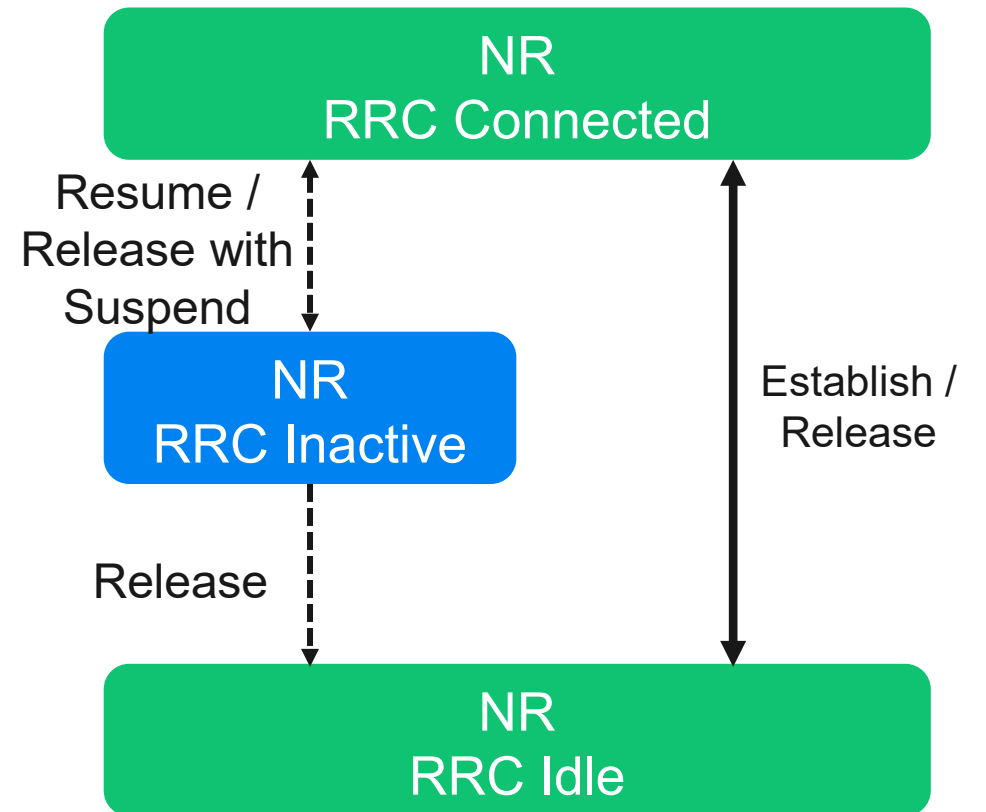
# SAによるチャンネル設定の高速化

## 「RRC Inactive」状態の導入

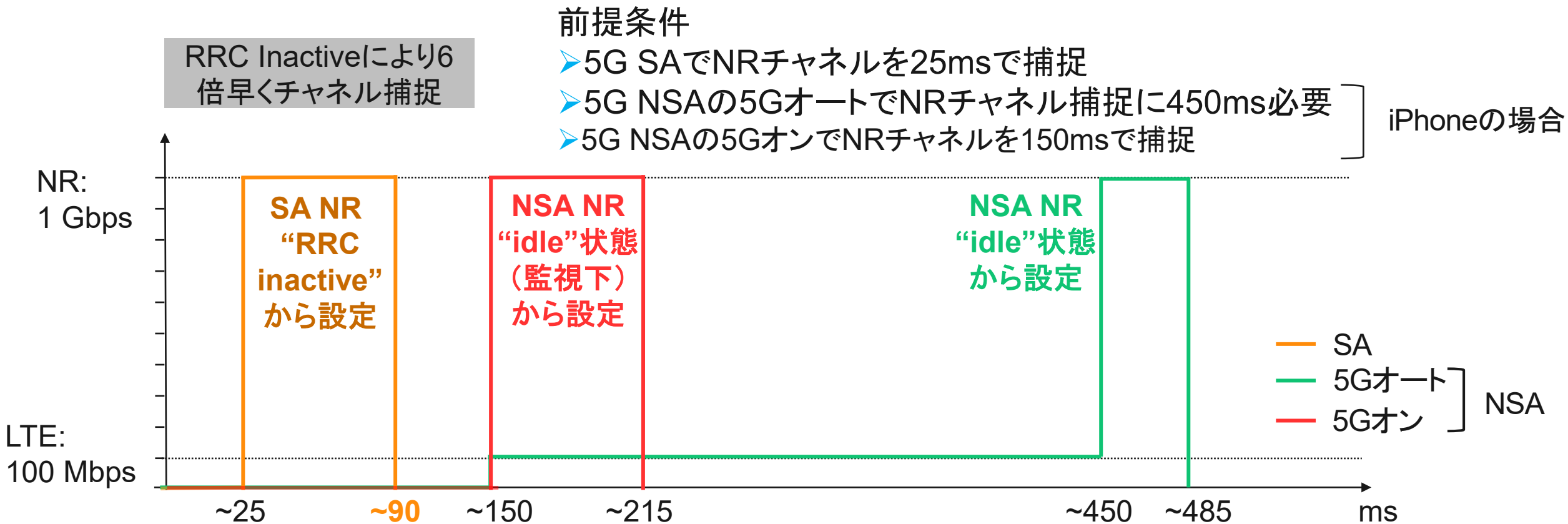
5G SAでは、NR無線アクセスのチャンネルに半接続状態「RRC Inactive」を導入することにより、チャンネル設定が高速化

利点:

- ❑ ネットワークアクセスのための制御信号を削減
- ❑ エンドユーザに対してデータアクセスを迅速化
- ❑ 端末の電池寿命を延長



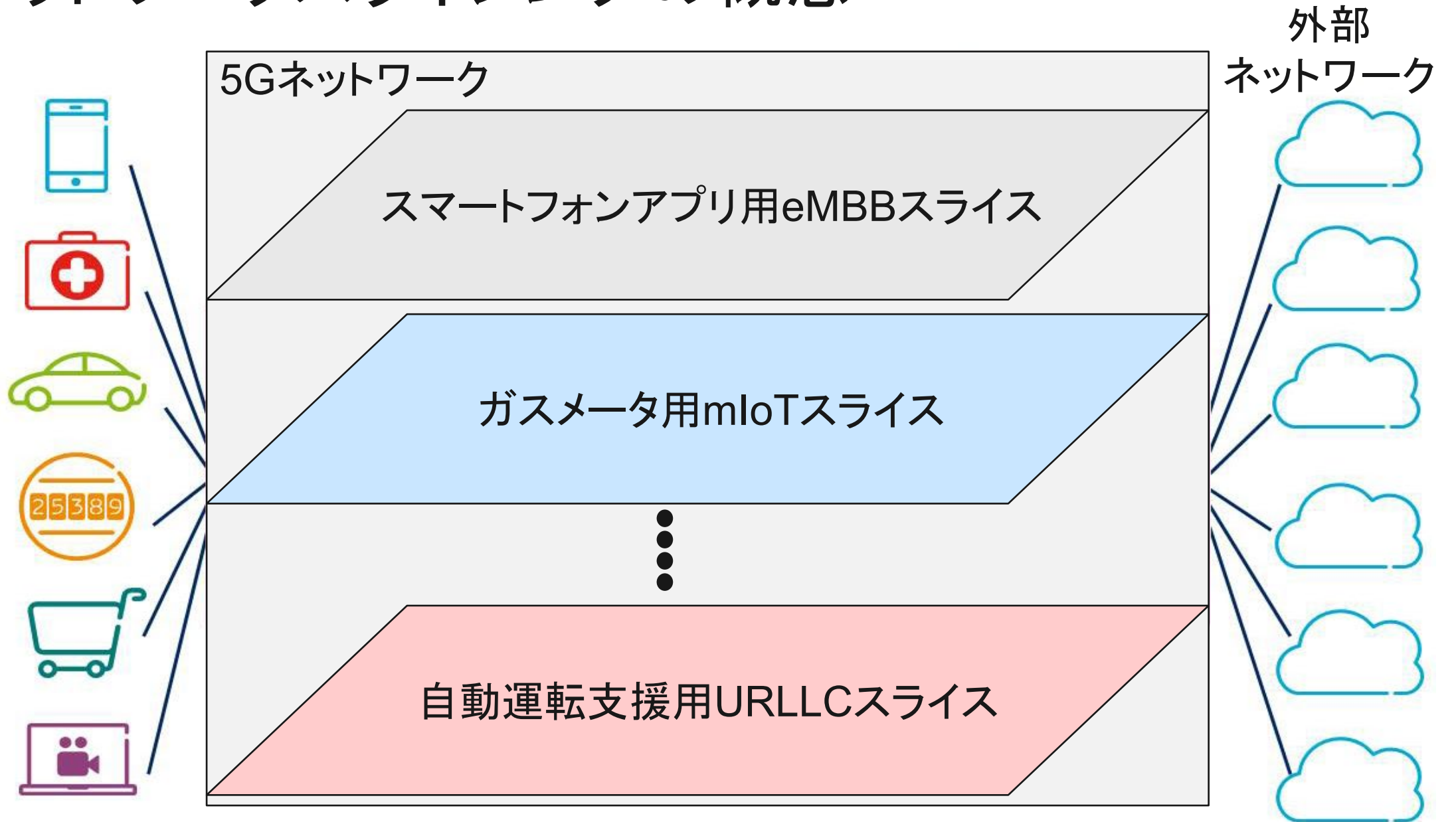
# NRチャンネル設定とデータ受信 – NSAとSA比較例



想定: 端末アプリで7.5 GBのデータ受信

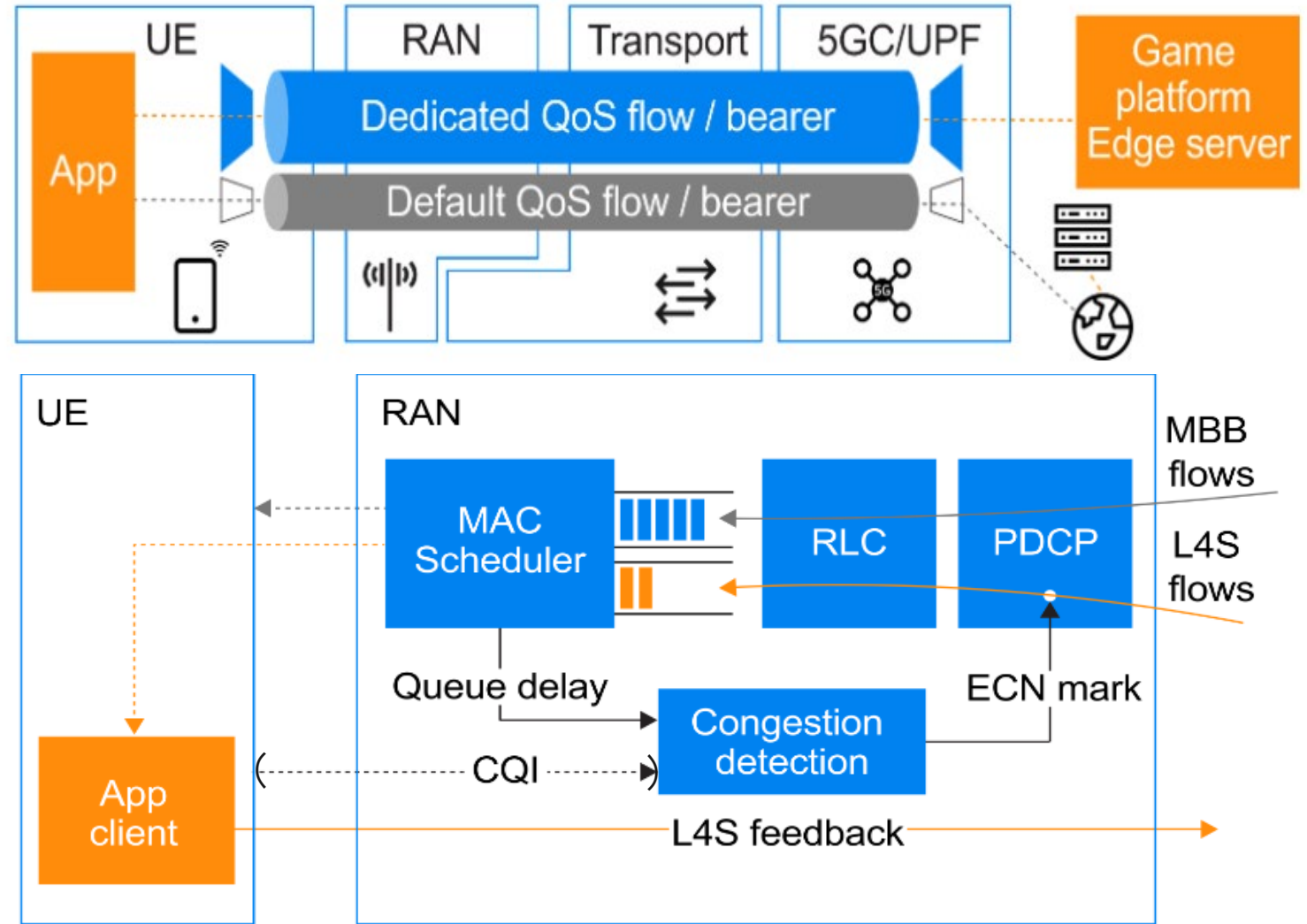
NSAセッションが始まる前にSAセッションが完了している可能性

# ネットワークスライシングの概念



# L4S (Low Latency Low Loss Scalable Throughput)

- ▶ 端末 (UE) とネットワークの間でデータ待ち行列が混み始めると ECN と呼ばれるインディケータを「輻輳あり」に設定し、それが送信側に伝達される契機で即座に送信データ量を制限する仕組み
- ▶ 待ち行列として L4S 対象データ用と非 L4S 用の 2 つが設けられ、公平性を保持しながら L4S 対象のデータ送信を低遅延に維持
- ▶ TCP や QUIC に有効、端末・サーバー間の End-to-End の仕組み
- ▶ 3GPP (Release 18)、IETF での標準化を完了



CQI: Channel Quality Indicator

ECN: Explicit Congestion Notification

QoS: Quality of Service

5GC/UPF: 5G Core/User Plane Function

RLC: Radio Link Control

PDCP: Packet Data Convergence Protocol

# 目次

移動通信ネットワークの全体構成

基地局の構成とオープン化

コアネットワークの役割と仮想化

SIM、eSIMの構成と役割

5GマッシブMIMOとビームフォーミング

5Gノン・スタンドアローン(NSA)とスタンドアローン(SA)

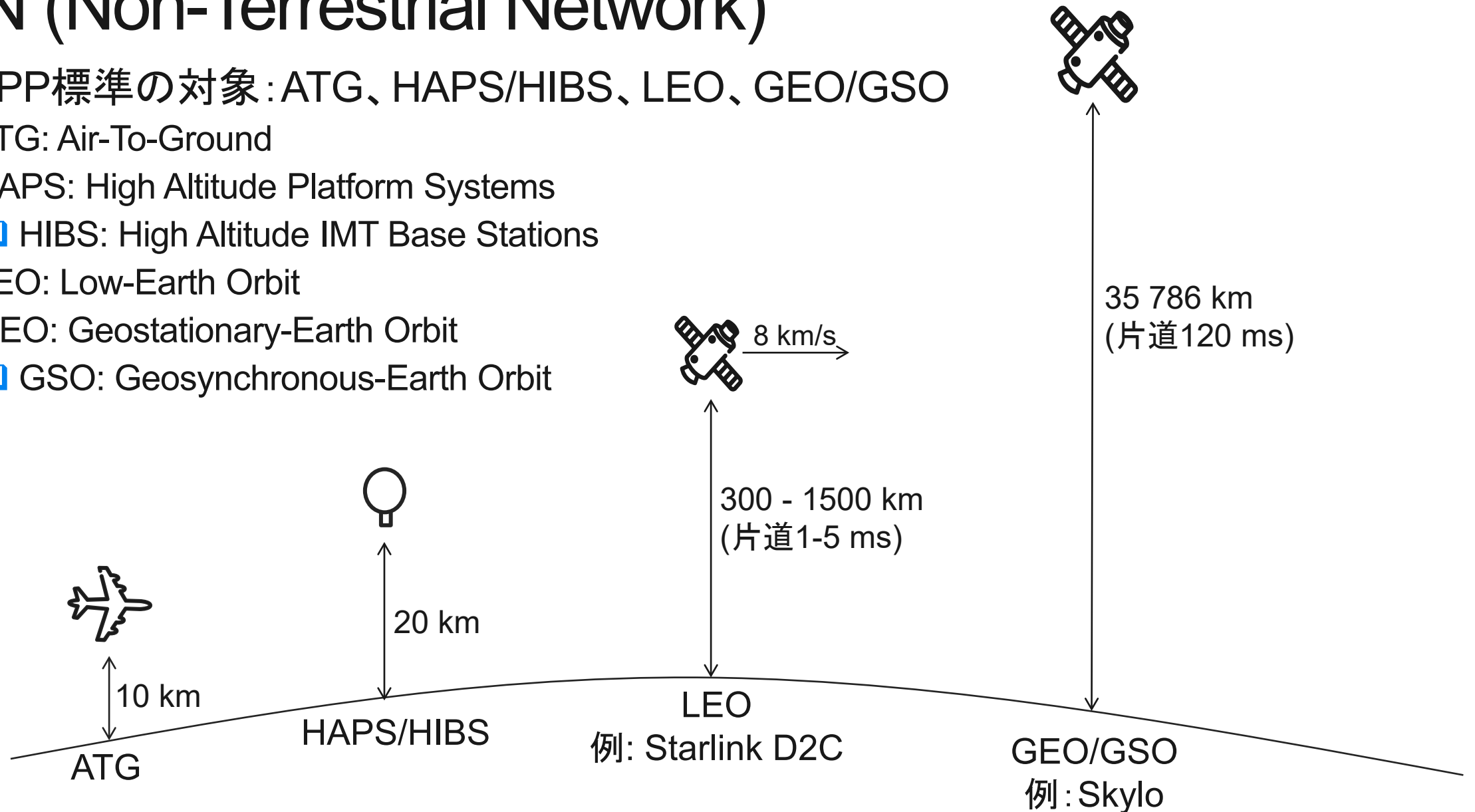
非地上系通信(NTN)、衛星ダイレクトアクセス

プライベートネットワークとローカル5G

# NTN (Non-Terrestrial Network)

## ➤ 3GPP標準の対象: ATG、HAPS/HIBS、LEO、GEO/GSO

- ❑ ATG: Air-To-Ground
- ❑ HAPS: High Altitude Platform Systems
  - ❑ HIBS: High Altitude IMT Base Stations
- ❑ LEO: Low-Earth Orbit
- ❑ GEO: Geostationary-Earth Orbit
  - ❑ GSO: Geosynchronous-Earth Orbit



# Starlink Direct

## □ Direct to Cell (D2C) システム

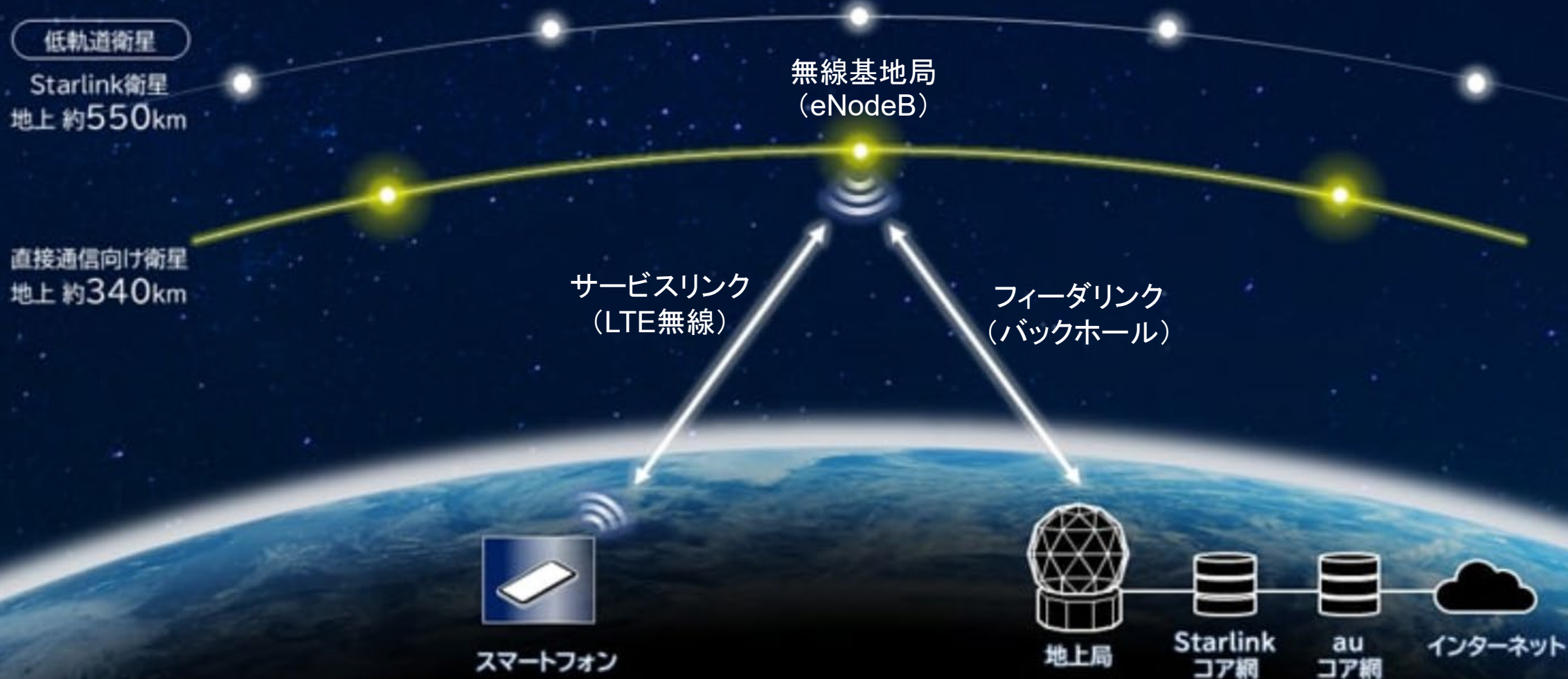
- 従来の地上約550kmの衛星コンステレーションではなく、新たに地上約340kmにD2C用の衛星コンステレーションを構築。2024年1月から打ち上げを開始、2025年4月で約600基(最大7500基)
- 衛星上に4Gの基地局(eNodeB)を搭載し、Regenerative payloadアーキテクチャによりスマートフォンなど既存の4G対応端末から直接LTE無線でアクセスしてモバイル通信を実現

## □ モバイル通信実現技術

- 衛星の高度、地上への電波のビームサイズや仰角の最適化、シームレスな衛星間の切り替え(ハンドオーバー)など、様々な観点からシステム設計。ASICの開発を含めて高度な技術開発
- 約7.7 km/秒で移動する衛星と地上の端末との間で周波数のドップラーシフト(ずれ)が生ずるため、これを補償するための仕組みを衛星基地局に搭載
- 地上への十分な強さの電波を送ることと、地上の端末からの微弱な電波を高感度で受信するために、2.7m×2.3mの大型フェーズドアレーアンテナを開発して衛星に搭載
- 伝搬遅延が大きくこれを補償するため、上りタイミングアドバンスを調整し異なるスマホからの信号の重なり(シンボル間干渉)を低減、エラー訂正周期延長などを適用
- SpaceXがコアネットワーク(EPC)を運用、衛星上の基地局とフィーダリンクにより地上局を経由して接続。KDDIなど地上系モバイル通信事業者との間でローミング的にモバイル通信を実現

# 衛星とスマートフォンの直接通信の仕組み

いつものauスマホが、宇宙とつながる



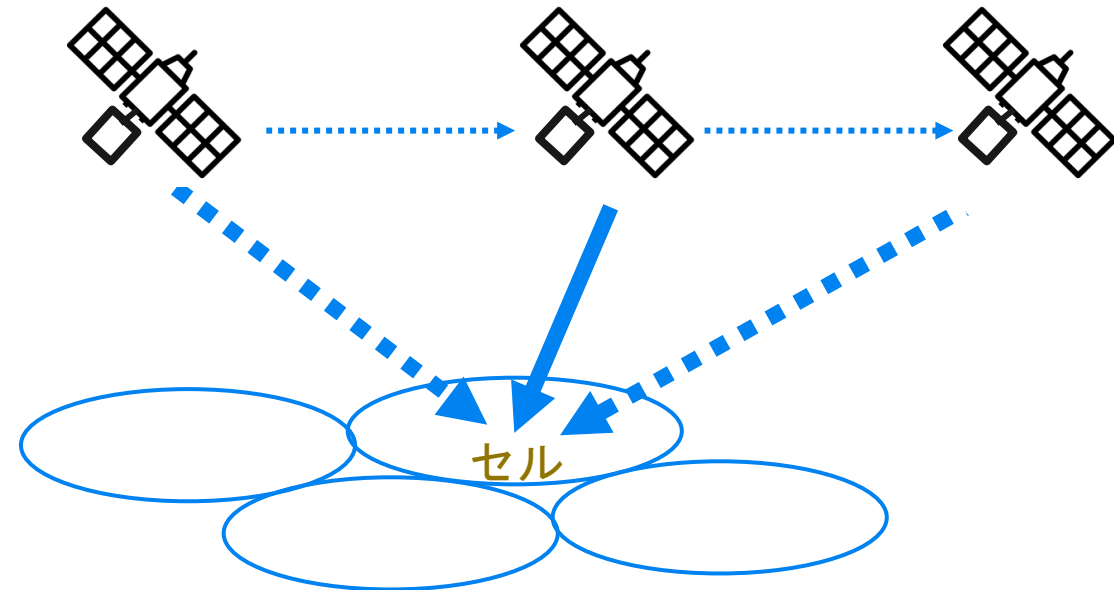
# Starlink Directのシステム構成

## □ ネットワーク構成

- D2C衛星から**既存Starlink衛星経由**で地上局に接続。既存衛星はより広範囲の地上エリアが見通せ地上局との接続が維持しやすく、既存の衛星ネットワークや地上局との接続機能を有効利用可能
- 衛星間接続は光無線通信のレーザー光で実現。SpaceXが**独自に開発した光通信デバイス**を用い、相手の衛星に高精度で照準を合わせる高度なポインティング技術で**100Gbps**を達成
- 地上のStarlinkコアネットワークとKDDIコアネットワークの間は**ローミング接続**。国際ローミングと同様、StarlinkコアネットワークのS-GWとKDDIコアのP-GWを接続。

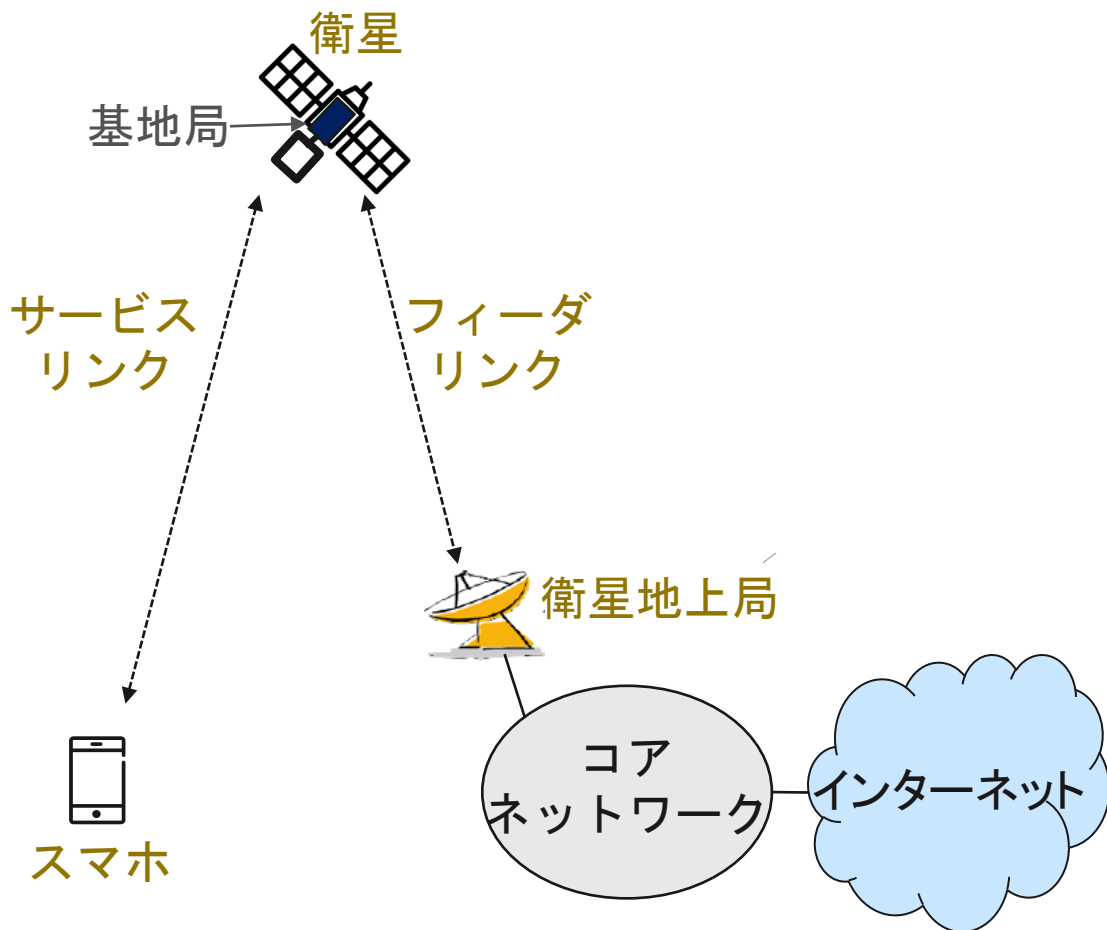
## □ 衛星との接続

- フェーズドアレイアンテナによりビーム状の電波を地上に照射。一つの衛星で直径約50kmのセルを最大256個形成。地上セルは一つの衛星と接続している間は**Steering Beam**により**固定**
- 衛星との距離に対応して、Hybrid ARQのエラー訂正周期を拡張、タイミングアドバンスの時間を拡張
- ドップラーシフトは最大10kHz程度(地上系は最大1kHz)となり、衛星側で周波数をずらして送信、受信周波数をずらして信号処理など、既存スマホと通信

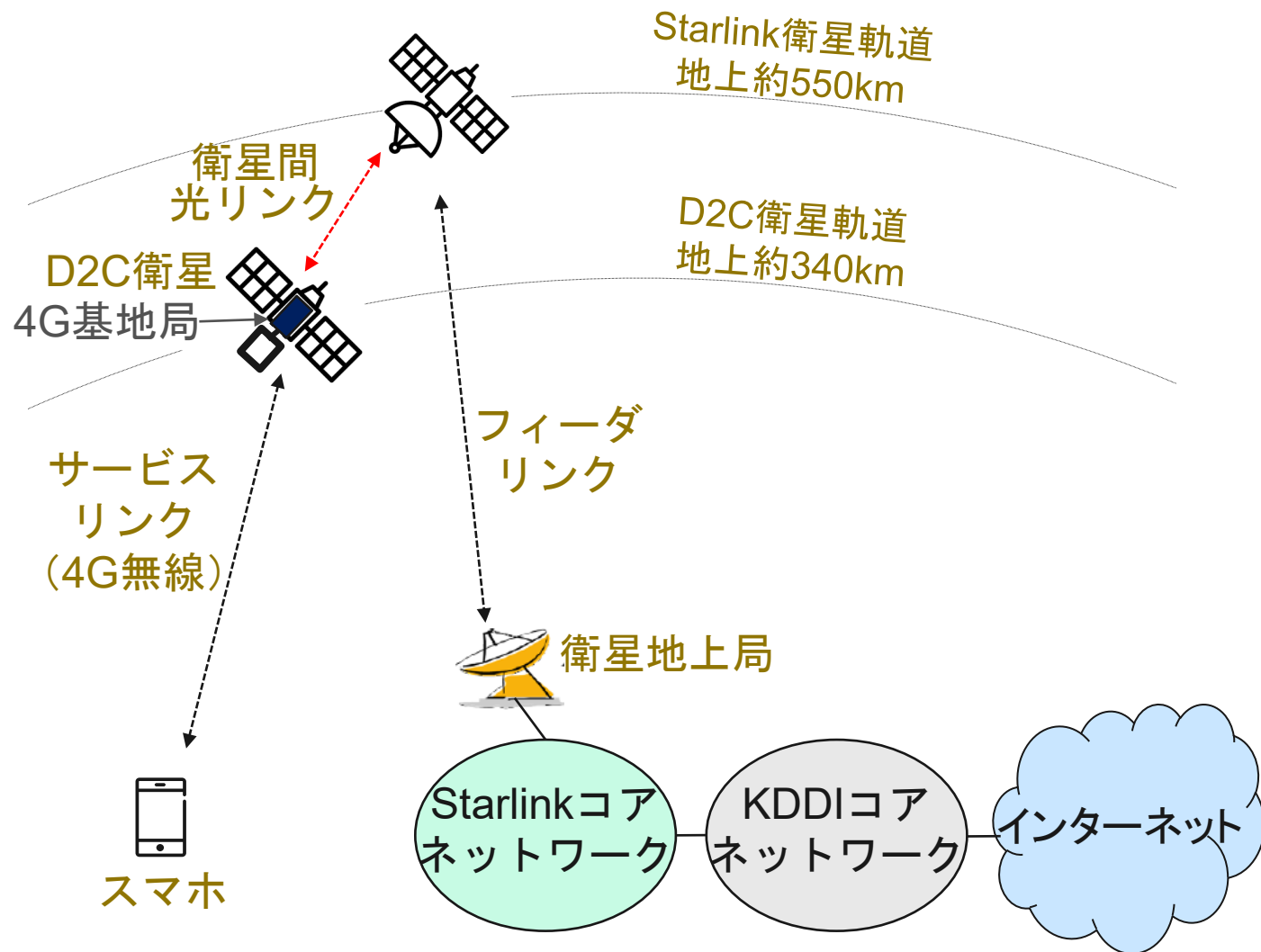


# au Starlink Directのネットワーク構成

## D2Cのネットワーク基本構成

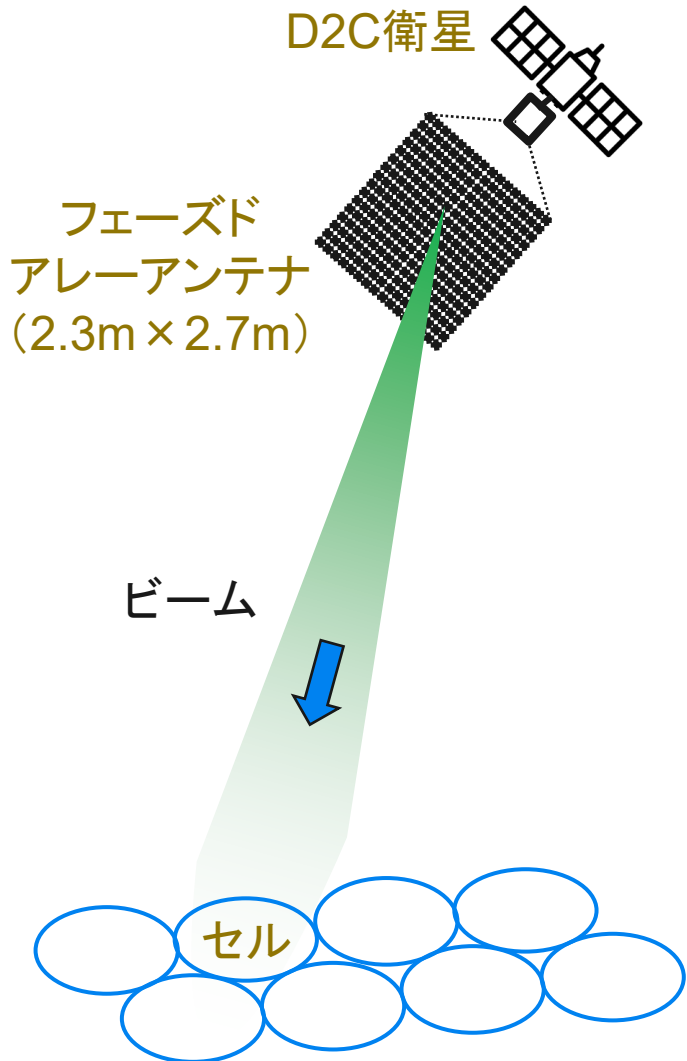


## 運用上のネットワーク構成

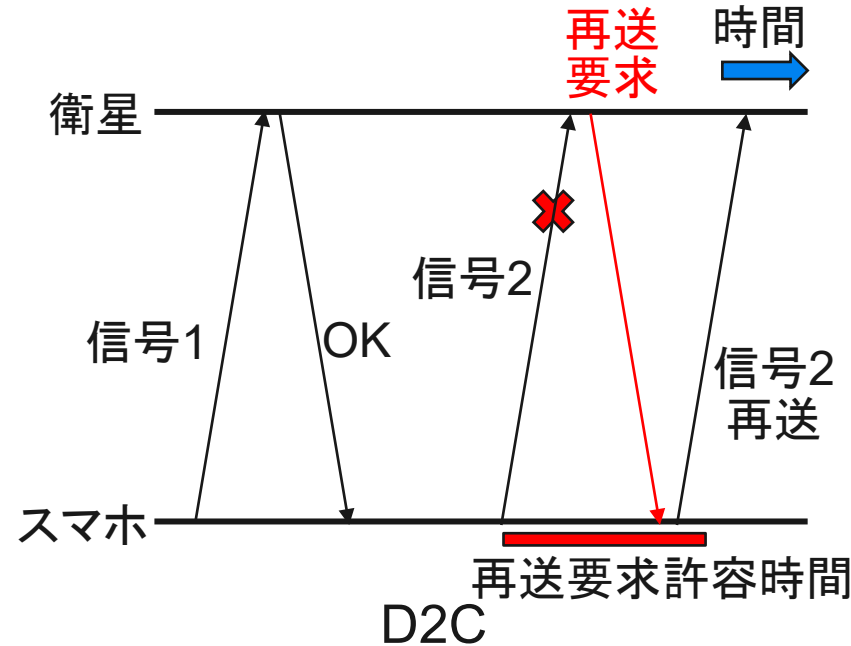
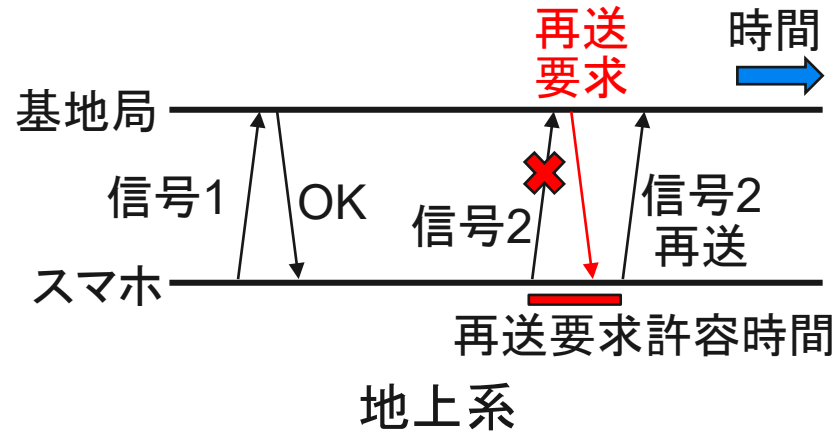


# 遠距離接続を実現する主な仕組み

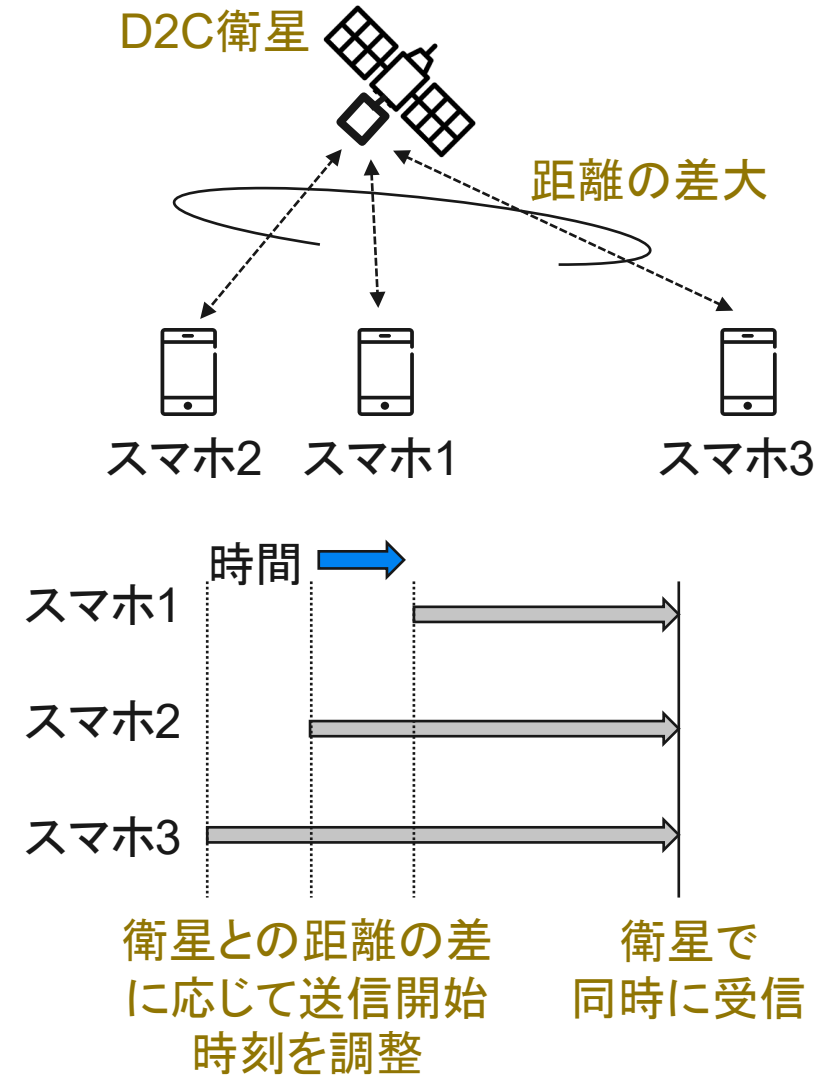
## 大型フェーズドアレーアンテナ



## エラー訂正周期



## タイミングアドバンス



# 目次

移動通信ネットワークの全体構成

基地局の構成とオープン化

コアネットワークの役割と仮想化

SIM、eSIMの構成と役割

5GマッシブMIMOとビームフォーミング

5Gノン・スタンドアローン(NSA)とスタンドアローン(SA)

非地上系通信(NTN)、衛星ダイレクトアクセス

プライベートネットワークとローカル5G

# プライベートネットワークの意義

## ➤ サービス品質の保証

- ユースケースに応じた高いサービス品質を運用条件に応じて実現可能
- パラメータの設定を動的に変更可能

## ➤ セキュリティの担保

- 専用の認証方式による認証が可能
- データ漏洩や外部からの侵入からの保護

## ➤ 隔離された環境の利点

- 公衆網などの障害や輻輳の影響を受けない
- 性能、セキュリティ、プライバシー、安全性の面で有利

## ➤ 明確な責任の所在

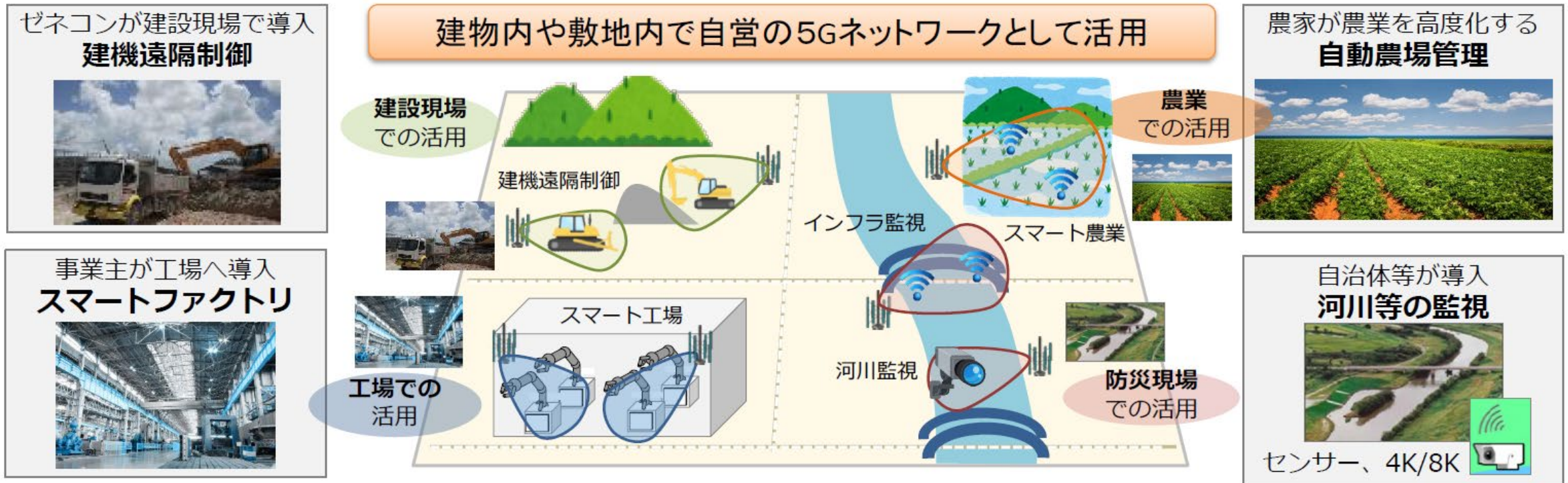
- アベイラビリティや運用・保守における責任が明確
- 問題が発生した場合の迅速な対処が可能

# MNO利用とスタンドアロンNPNの比較

項目	MNOネットワーク利用	スタンドアロンNPN
ネットワーク構成	<ul style="list-style-type: none"><li>• ネットワークスライシングにより仮想的なプライベートネットワークを構築</li><li>• MNOがネットワークを構築して提供</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 専用周波数を用いて公衆網とは独立したネットワークを構築</li><li>• 独自の専用ネットワーク</li></ul>
ネットワーク機能	<ul style="list-style-type: none"><li>• ネットワークスライシングで提供可能な機能に依存</li><li>• カスタマイズに制約を受ける可能性</li><li>• 標準化の進展に伴い機能拡張</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 自らの要求条件に応じて独自で設計できる自由度大</li><li>• 必要機能を満足する機器の利用が重要</li><li>• SIMの管理、インベントリ管理の自由度大</li></ul>
公衆ネットワークの影響	<ul style="list-style-type: none"><li>• 障害、輻輳などの影響を受ける可能性</li><li>• スライス間の独立性に依存</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 影響を受けない</li></ul>
信頼性/安定性	<ul style="list-style-type: none"><li>• 公衆ネットワークに準拠し、非常に高い</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 所望の特性を満足する機器を利用する必要</li></ul>
セキュリティ	<ul style="list-style-type: none"><li>• 公衆ネットワークに準拠</li><li>• データが公衆網に出る可能性</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• データ漏洩や外部からの侵入から保護</li></ul>
コスト	<ul style="list-style-type: none"><li>• 初期投資は小</li><li>• 運用コストはMNOとの交渉に依存</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 初期投資が大</li><li>• 運用コストを抑制できる可能性</li></ul>

# 日本のローカル5G

- ▶ 土地や建物の所有者/利用者又はそれらとの契約者(システムインテグレータ、ベンダ、地域事業者)が免許取得可。但し、固定無線アクセス(FWA)は土地所有者/契約者でなくても役務提供可
- ▶ 全国移動通信事業者は免許取得不可。但し、関連会社は可



# ローカル5Gの無線周波数

- 2019年12月に28.2 – 28.3GHzの免許割当て開始。2020年12月に4.6 – 4.9 GHz及び28.3 – 29.1 GHzの追加割当て開始
  - 1) 元々ローカル5Gに予定していた4.6 – 4.8GHzについては、防衛省システムとの共用のため屋内利用や出力制限などの制約条件が課されることから、屋外でも利用可能な4.8 – 4.9 GHzを追加割当て
  - 2) 技術的条件を含む制度面の規定をした上で、割当てを開始
  - 3) 上りリンクに無線リソースをより多く割当てる準同期運用も規定、関係者間で調整済みであれば完全非同期運用も可能
- NSA構成の場合、地域BWA帯域(2575-2595MHz)も自営利用のアンカーとして免許取得可。但し、地域BWA事業者の利用が優先
- NSA構成では、全国移動通信事業者や地域BWA事業者のLTEもアンカーとして利用可。免許不要なsXGP(1.9GHz帯)も利用可

# ローカル5Gの課題

項目	課題
ネットワーク構成と構築	<ul style="list-style-type: none"><li>• 移動通信事業者のネットワークと独立か共用か、移動通信事業者の支援を受けるか単独で事業を進めるか</li><li>• NSA構成かSA構成か(タイミング、LTEとNRを補完的に利用するか)</li><li>• 無線ネットワーク設計、機器の配備と敷地内の配線、セキュリティ対策</li><li>• コアネットワークは専用か共同利用か(特にコスト、セキュリティ面)</li><li>• アプリケーションはローカルに持つか、クラウドを利用するか</li></ul>
デバイス(端末)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 市場に出回っているデバイスが利用可能か、相互接続性は確認済みか</li><li>• 機器への組込みなどで独自開発が必要か</li></ul>
ネットワーク運用	<ul style="list-style-type: none"><li>• 自ら運用する体制を組むか、専門知識のある第三者に依頼するか</li><li>• 運用サポートシステムの構成はどうするか</li></ul>
要求条件	<ul style="list-style-type: none"><li>• 遅延時間、スループットなどの条件の提示</li><li>• ネットワーク構成、パラメータの調整</li></ul>
干渉調整	<ul style="list-style-type: none"><li>• 移動通信事業者、地域BWA事業者、他社のローカル5Gなどとの干渉調整</li></ul>
免許手続きなど	<ul style="list-style-type: none"><li>• 技術基準適合証明、必要に応じて電気通信事業の登録/届出、IMSI取得</li><li>• 無線従事者の確保</li></ul>

# ローカル5Gの実用化動向

## ▶ エンターテインメント分野が先行

- 機動性が要求されるスポーツのライブ映像中継等で、光ケーブルを引き回す必要なし
- 手軽な5G映像中継装置(符号化+5G通信機能)が利用可能
- 公衆5Gのカバレッジがないケースに対応可能

## ▶ 製造業は新たな工場などから導入

- 稼働中の工場については機器開発・改修の手間とコスト、障害時の影響が大きい
- 新たに建設する工場については、5Gを前提に設計が可能で導入しやすい

## ▶ デバイスのローカル5G通信機能対応

- 5G SA対応のWiFiルーターやUSB dongleの品揃えが徐々に拡大
- iOS17からローカル5Gに対応、スマホやタブレットの対応も徐々に充実

## ▶ 共同利用やサブスク型の広がり

- 基地局を複数の自己土地でシェアしたり、サブスク・レンタル型のローカル5Gも出現

▶▶▶ 令和4年度開発実証から幾つか事例を次ページで引用 参照: [簡易版-1.pdf \(go5g.go.jp\)](#)