



# モバイルの歴史と未来

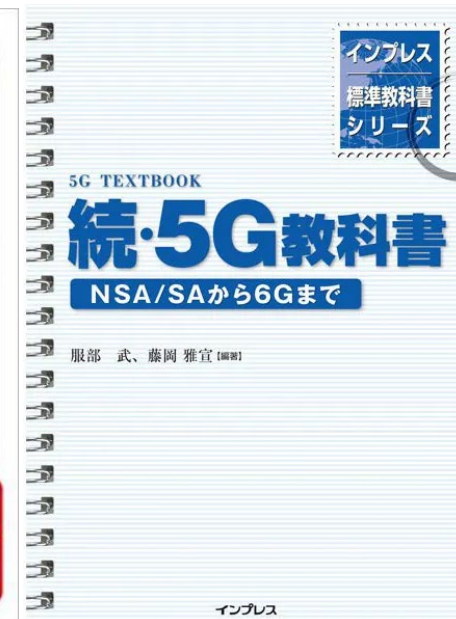
## 5G/Beyond 5G/6G

2024年5月17日  
藤岡 雅宣

# 講演者：藤岡 雅宣

- ❖ 新卒でKDD(現KDDI)入社、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
- ❖ 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年～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
- ❖ 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

メール：[masanobu.fujioka@gmail.com](mailto:masanobu.fujioka@gmail.com)



# 目次

モバイルの進化

5G Standalone (SA) への期待

モバイルと光

モバイルと仮想化・クラウド

モバイルと衛星・HAPS (NTN)

モバイルとAI

6Gへ向けて

# 目次

## モバイルの進化

5G Standalone (SA) への期待

モバイルと光

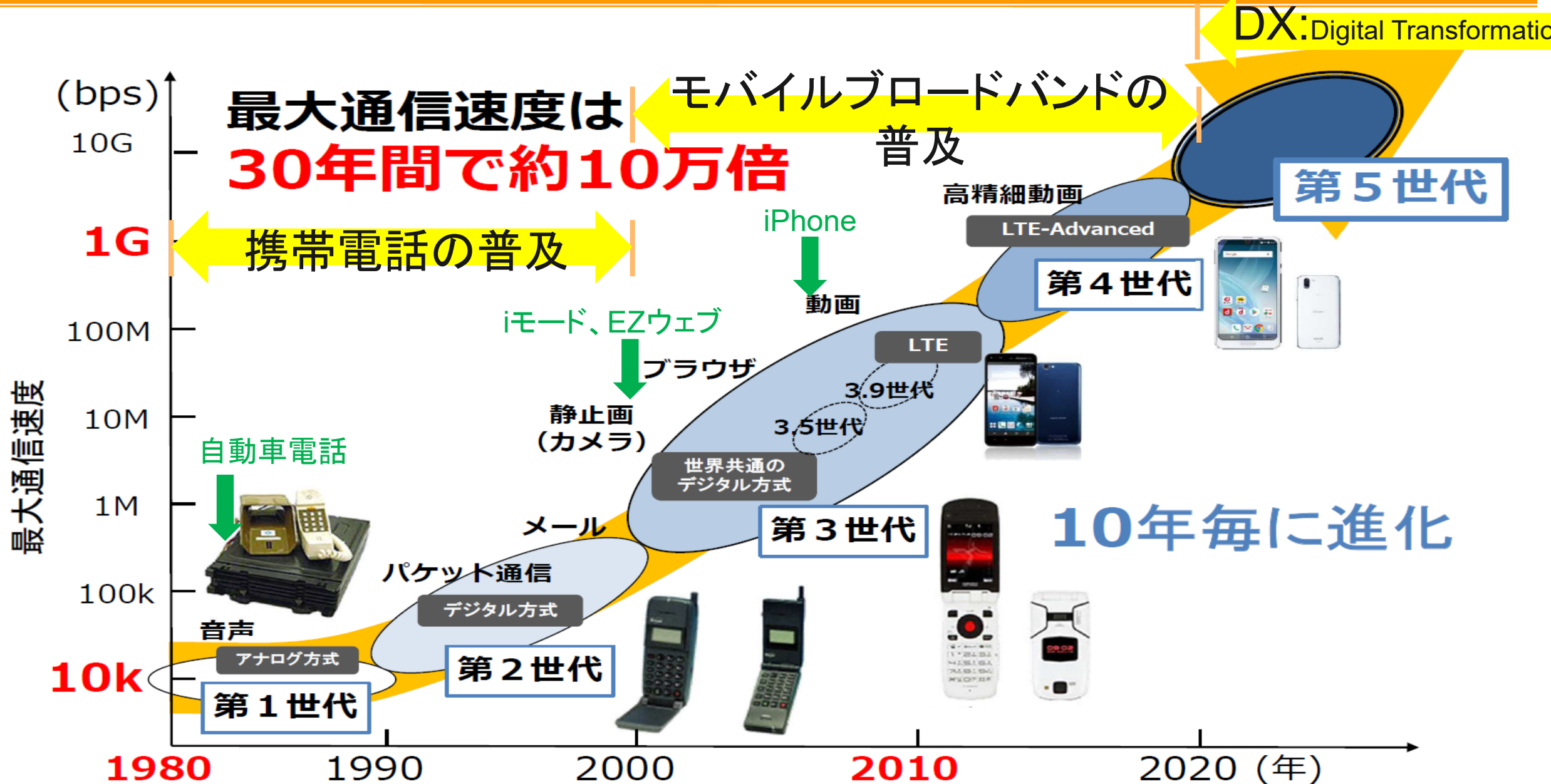
モバイルと仮想化・クラウド

モバイルと衛星・HAPS (NTN)

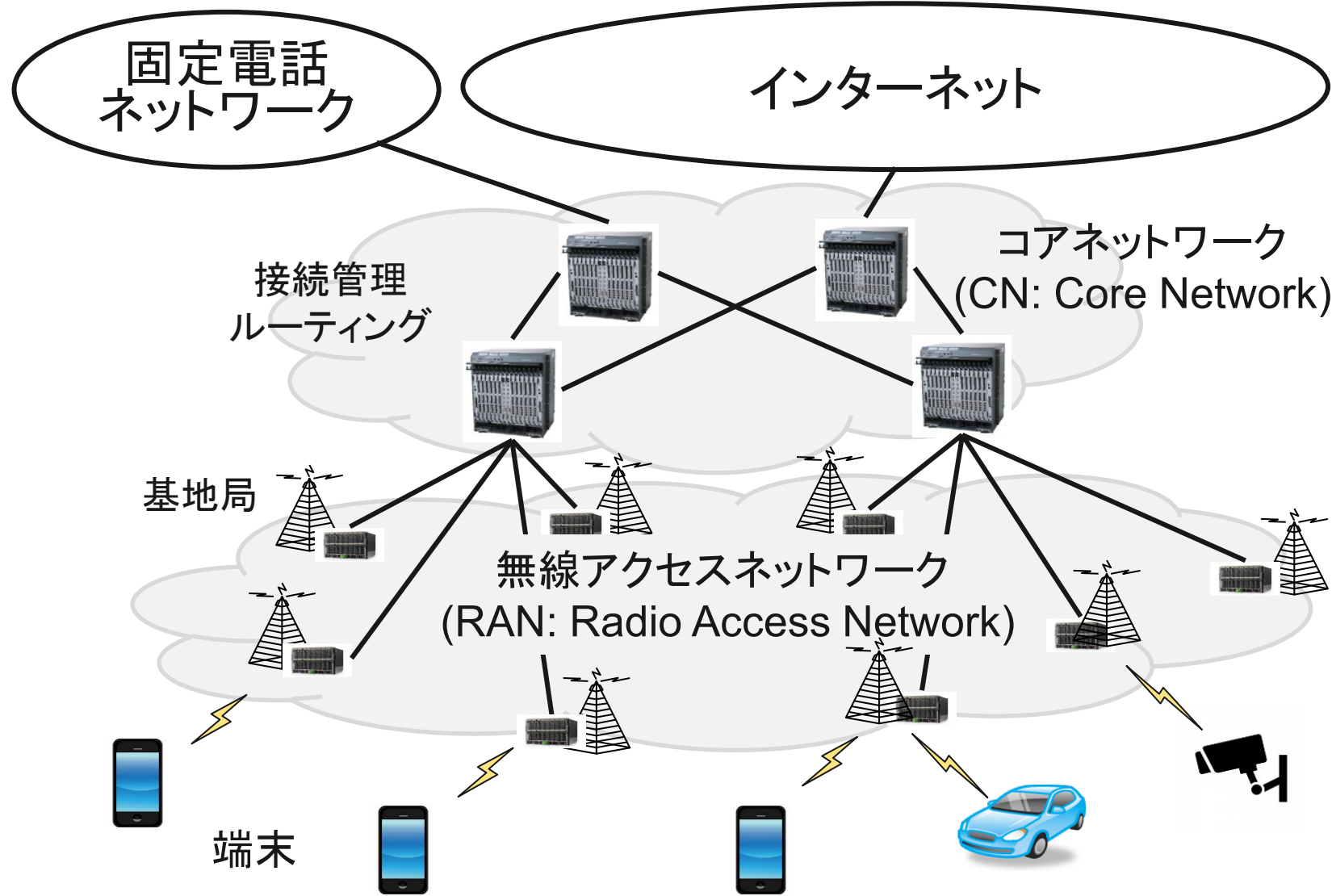
モバイルとAI

6Gへ向けて

# 移動通信システムの進化（第1世代～第5世代）



# モバイルネットワークの基本構成



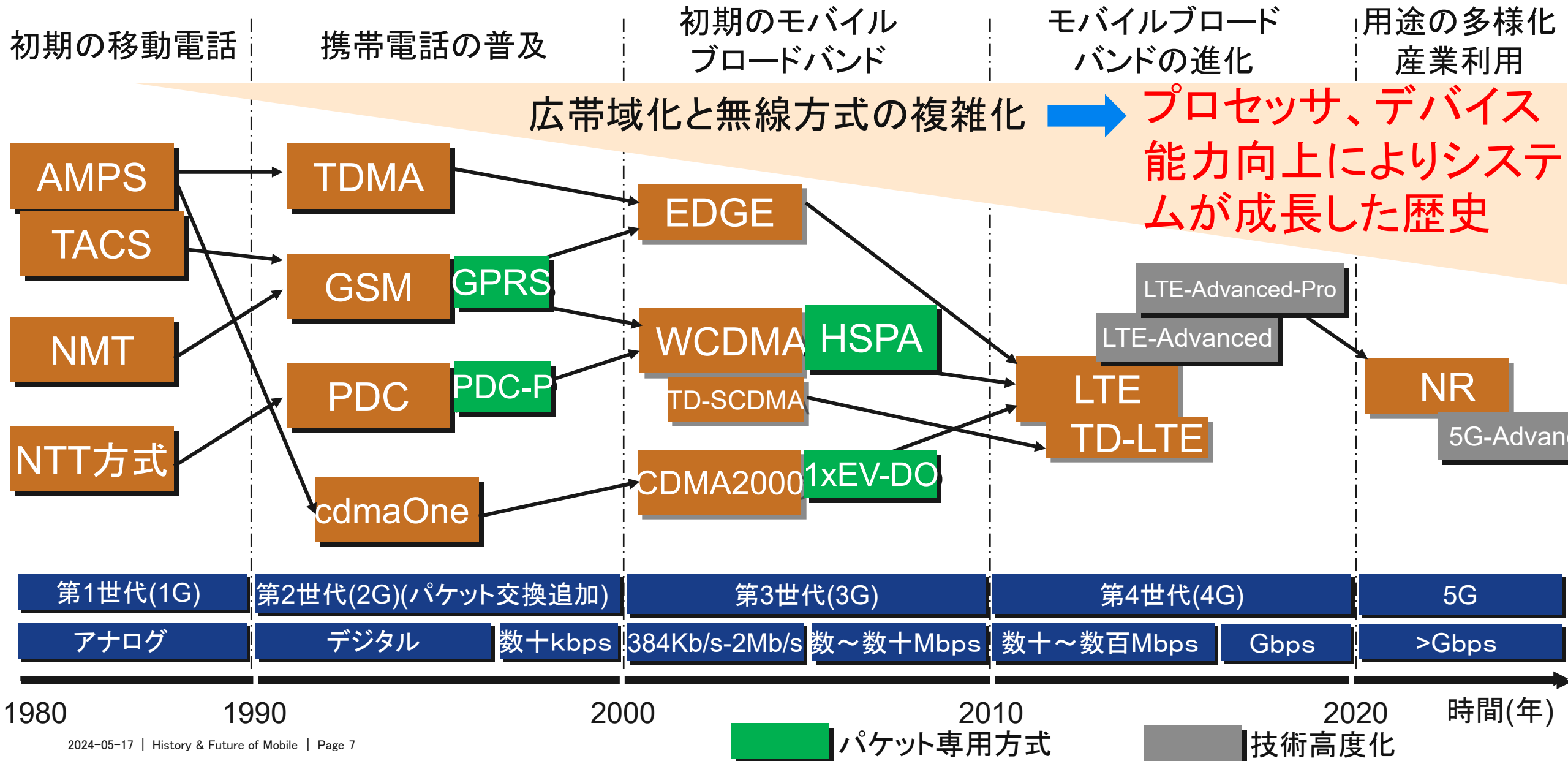
## CNの役割:

- 通信パスの設定・開放
- 移動管理
- ユーザ認証
- 通信品質制御
- ローミングのサポート

## RANの役割:

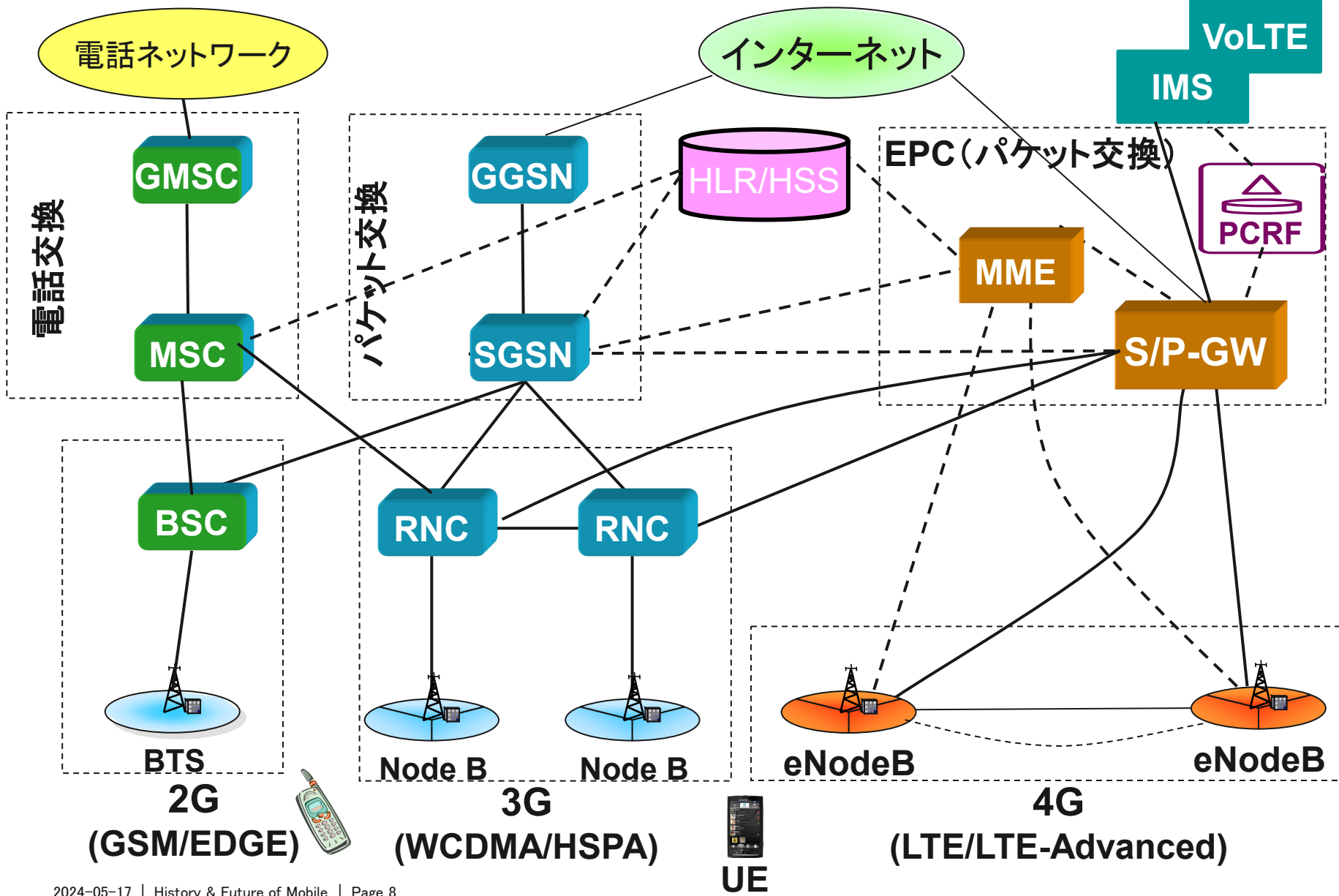
- 無線アクセス制御
- 無線品質制御
- エリア内ユーザ追跡

# 無線アクセス技術の進化



# 2G、3G、4Gネットワーク構成の進化

インターネット、IT技術と融合してきた歴史



- 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
- S/P-GW: Serving/PDN(Packet Data NW) Gateway(パケット処理)
- UE: User Equipment(端末)
- VoLTE: Voice over LTE



# 5Gコアネットワーク(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

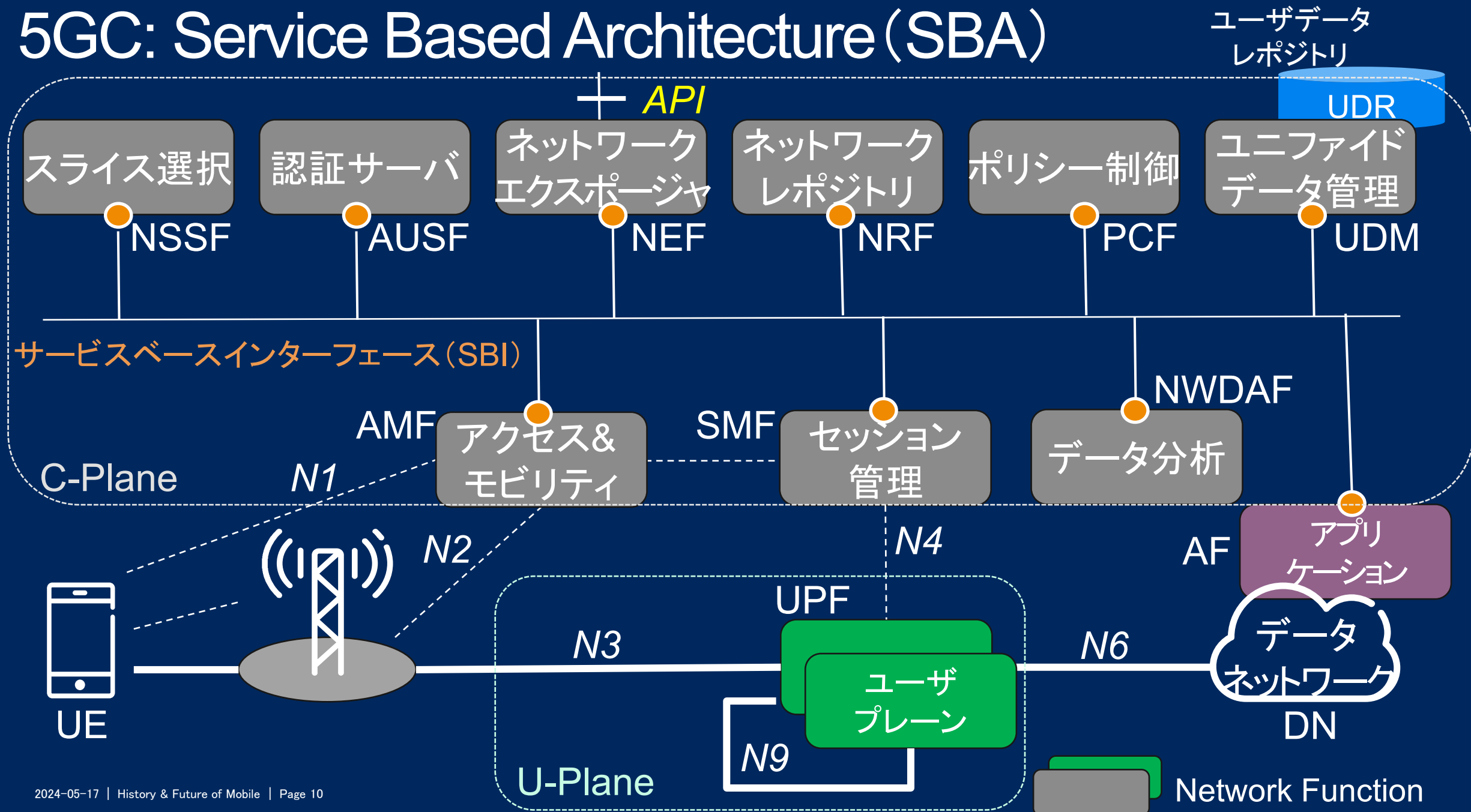
- ネットワークエクスポージャーにより、外部からのアクセス・制御

## □ 5GのeMBB(Mobile Broadband)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

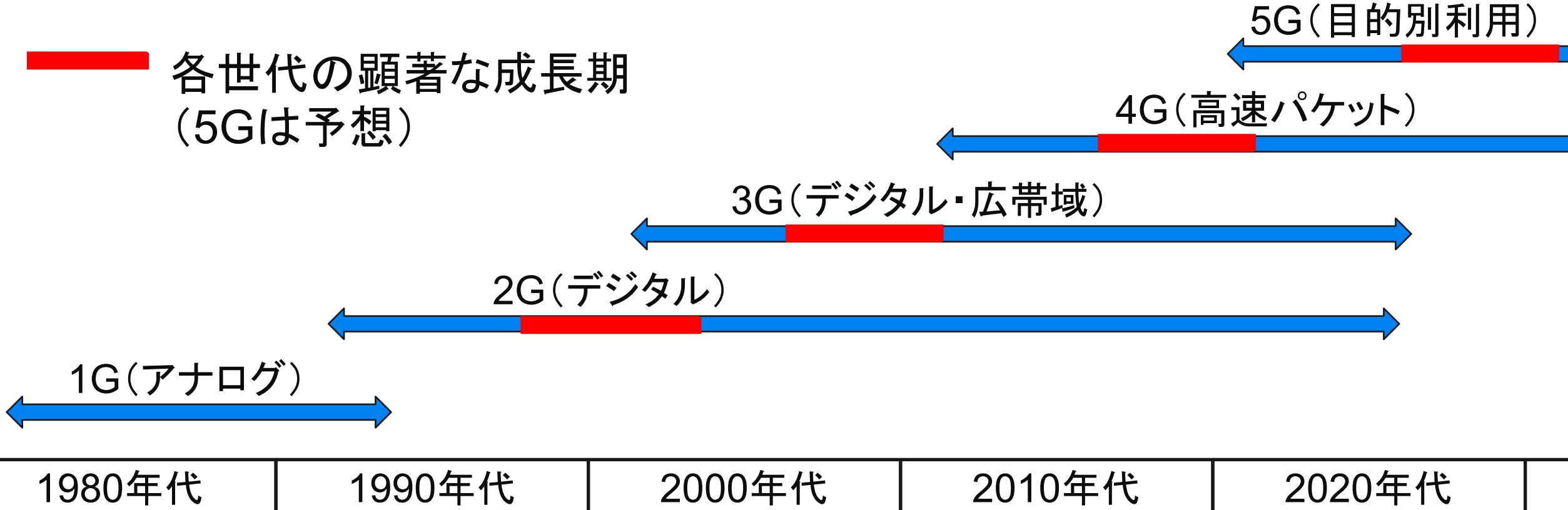
## □ アクセスネットワーク(3GPP及び非3GPP)に非依存

# 5GC: Service Based Architecture (SBA)



# モバイル世代と各世代の成長時期

- ▶ 各世代が本来の機能を提供し本領を発揮するのは、10年のサイクル中盤～後半から
- ▶ 全国に亘り新たな世代のネットワークを導入し、端末も普及するには時間が必要
- ▶ 5Gではスタンドアローン構成が全国導入されユースケースが広がるのは2020年代後半



# 目次

モバイルの進化

5G Standalone (SA) への期待

モバイルと光

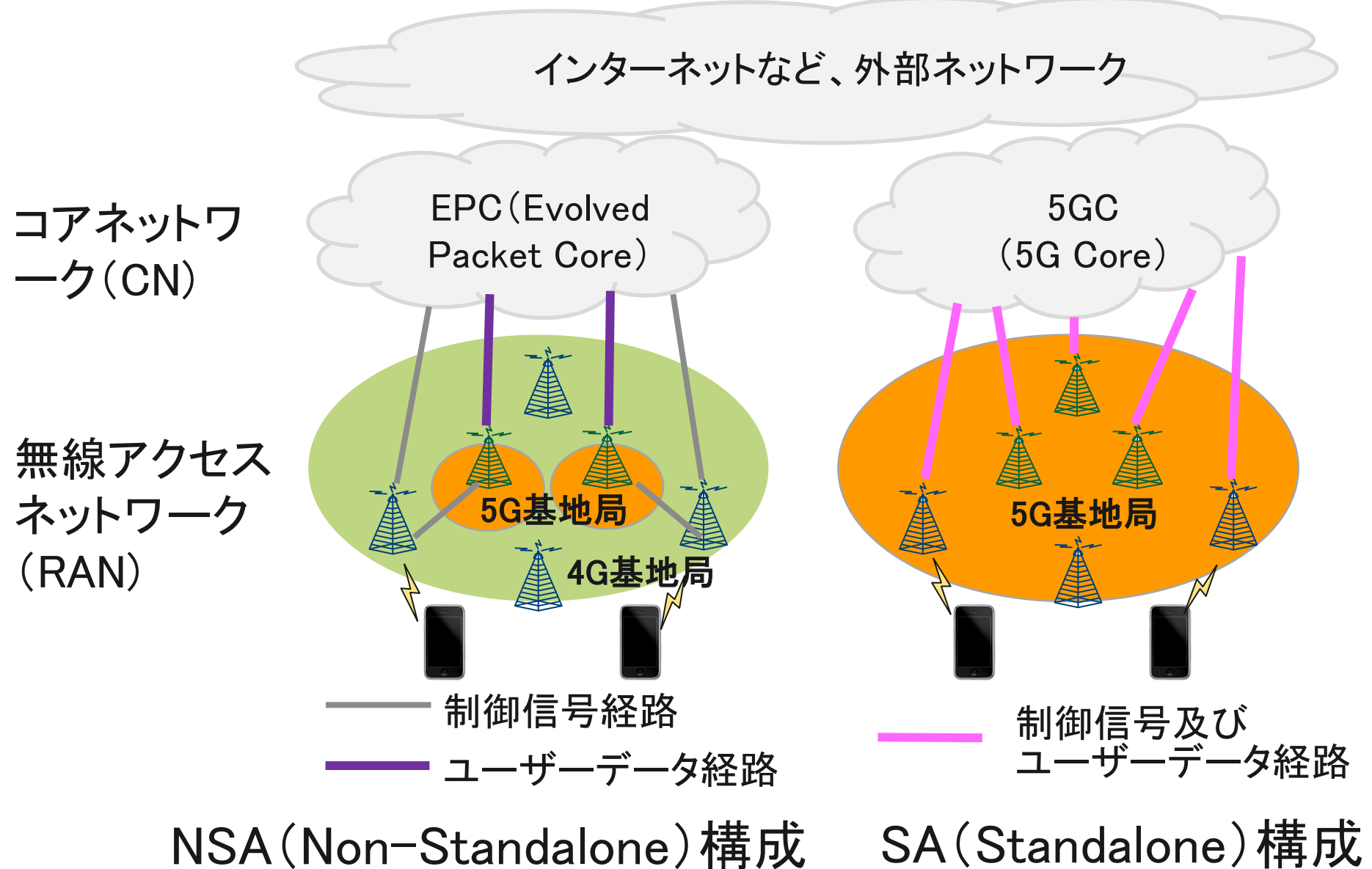
モバイルと仮想化・クラウド

モバイルと衛星・HAPS (NTN)

モバイルとAI

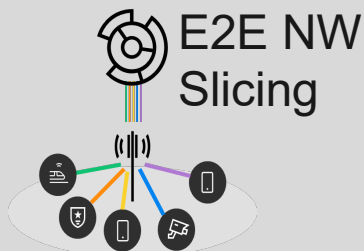
6Gへ向けて

# 5Gノンスタンドアローン(NSA)とスタンドアローン(SA)



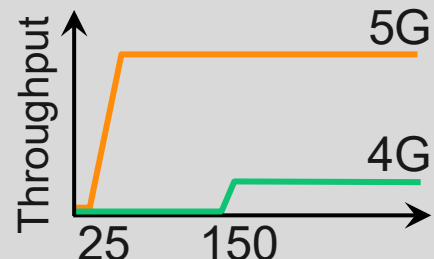
# 5Gスタンドアローン(SA)の特長

新たなビジネス機会の  
拡大



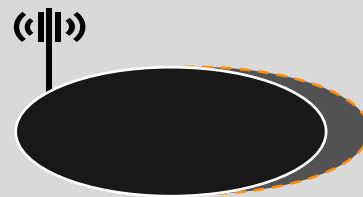
新サービス、  
新市場セグメント

ユーザエクスペリ  
エンスの向上



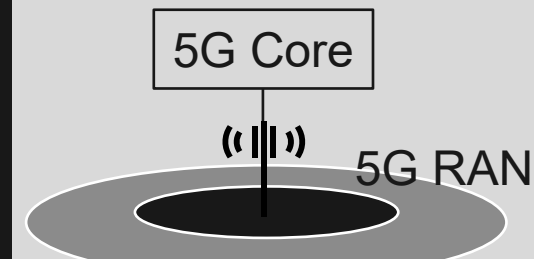
5Gへのアクセスの  
高速化

ネットワーク効率化



5Gカバレッジ拡張

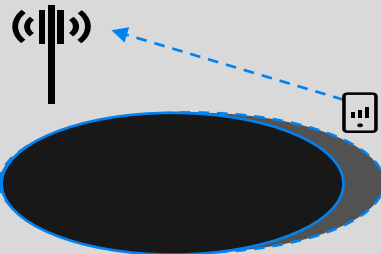
複雑さ軽減



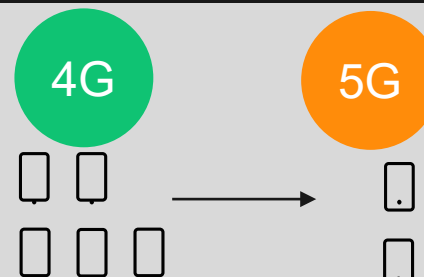
アーキテクチャの  
単純化



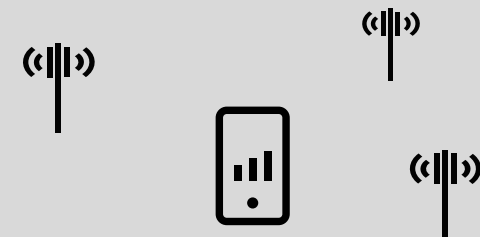
速度、遅延など保証



上りカバレッジ拡張

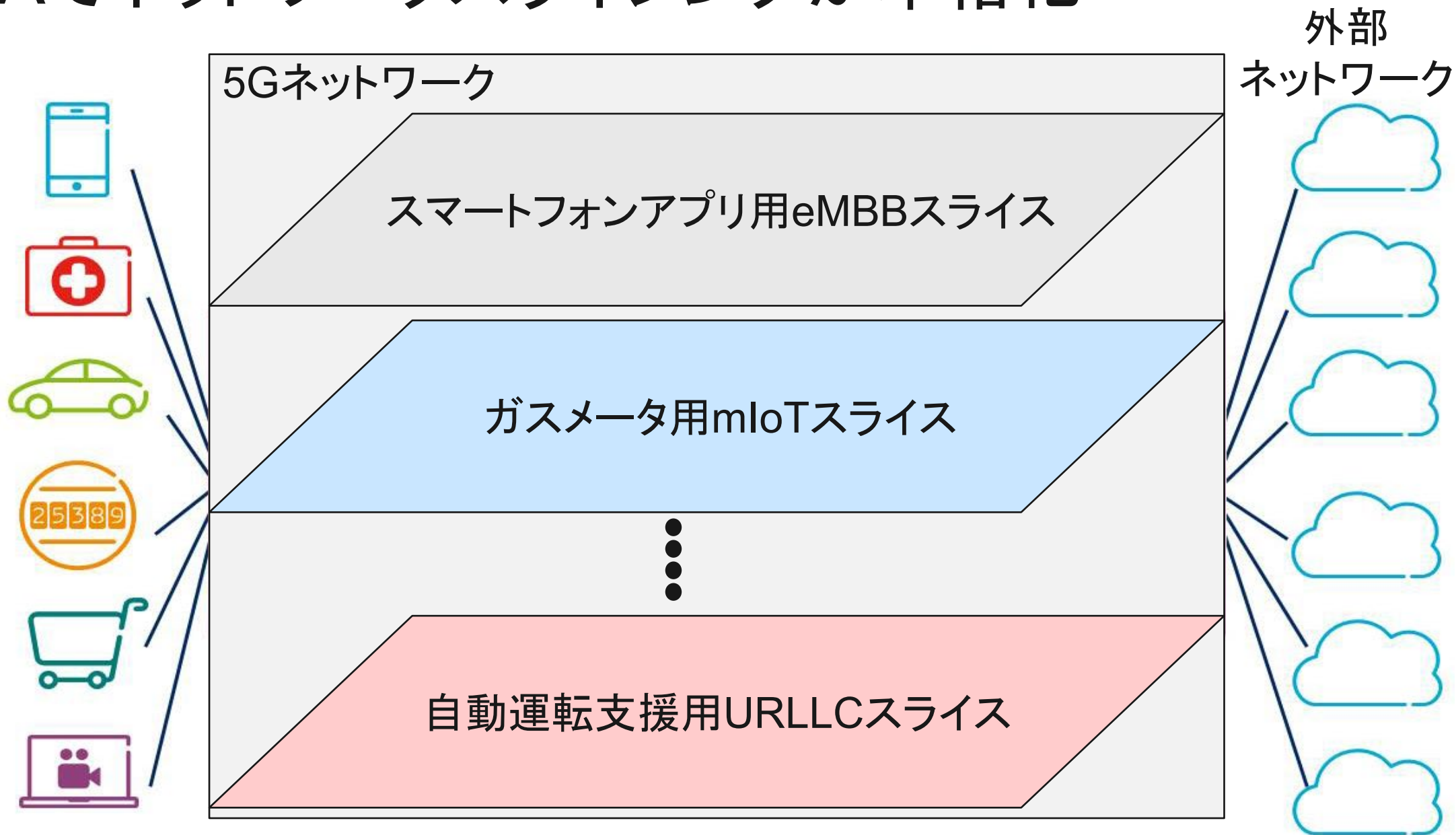


LTEオフロード



ハンドオーバー処理時間の  
短縮

# SAでネットワークスライシングが本格化



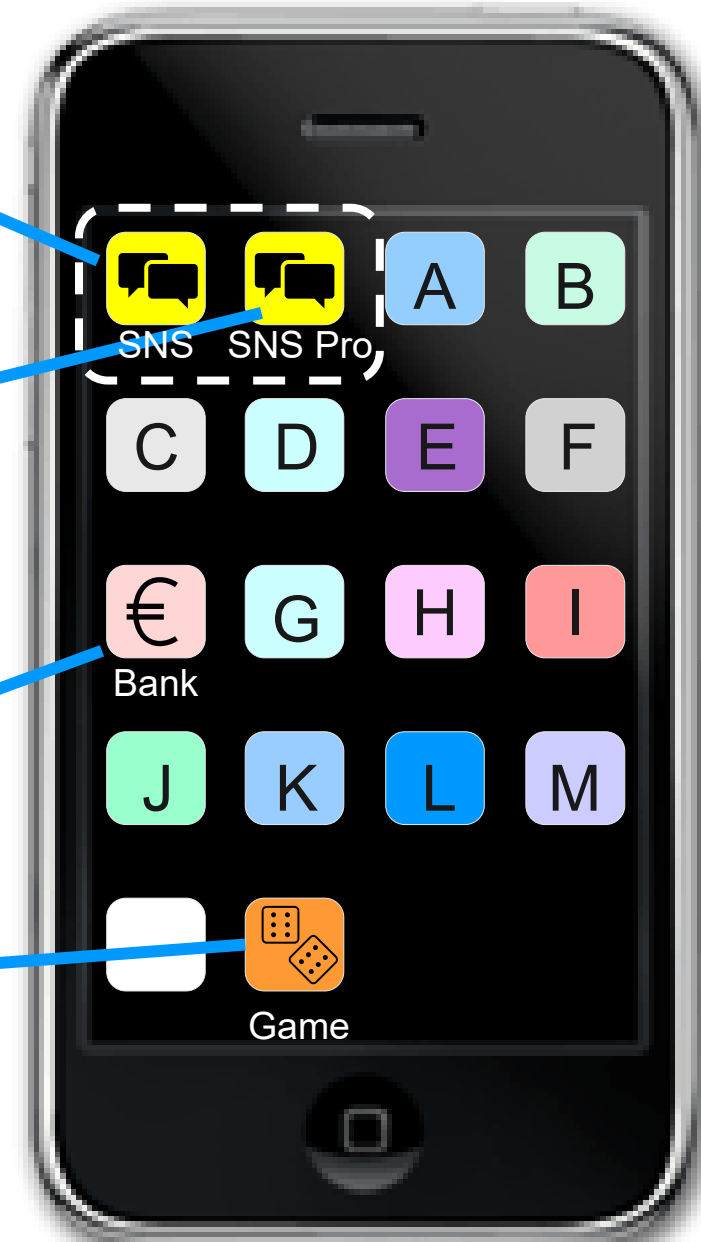
# スマホアプリにおけるネットワークスライシング

ベストエフォート品質、  
個人払いのスライス

通信速度と信頼性保証  
の品質、会社払いのス  
ライス

信頼性とセキュリティ保  
証の品質、銀行払いの  
スライス

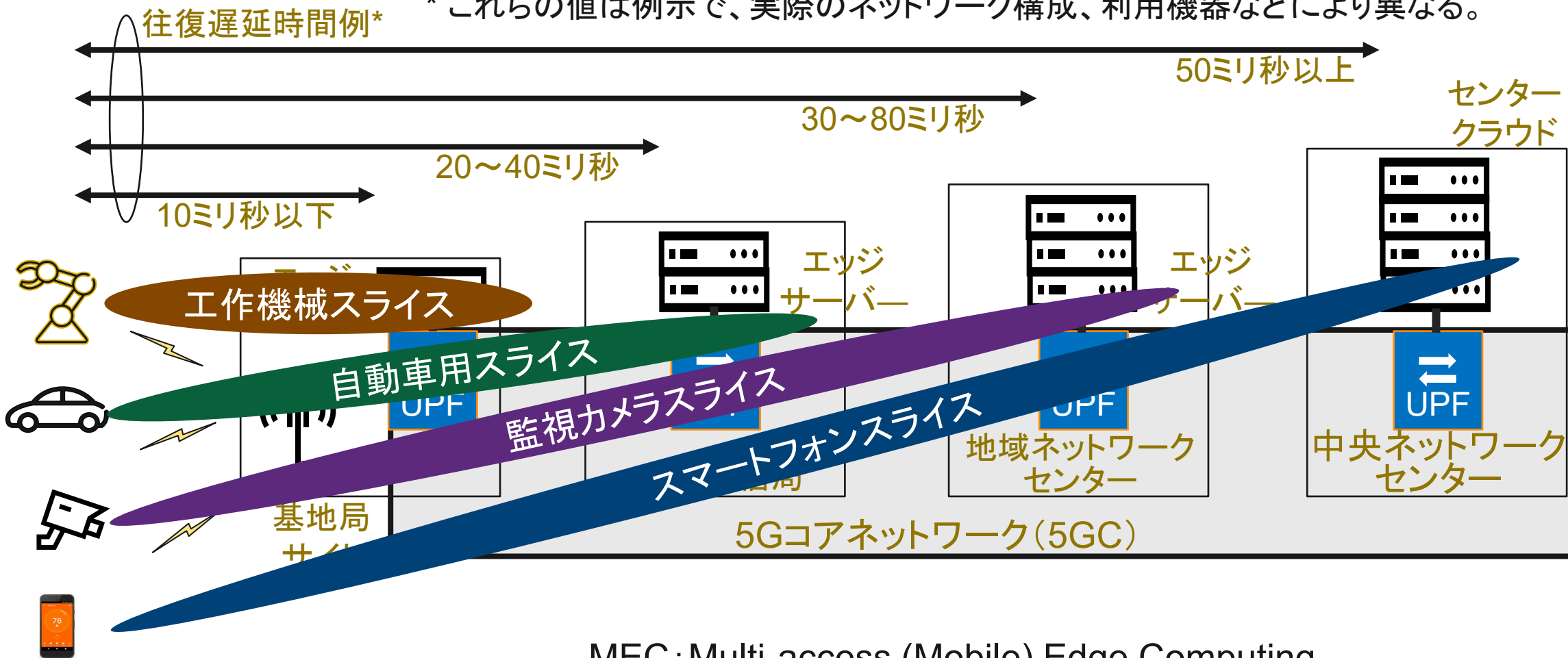
遅延と信頼性保証の品  
質のスライス





# エッジコンピューティング (MEC) により低遅延を実現

\* これらの値は例示で、実際のネットワーク構成、利用機器などにより異なる。



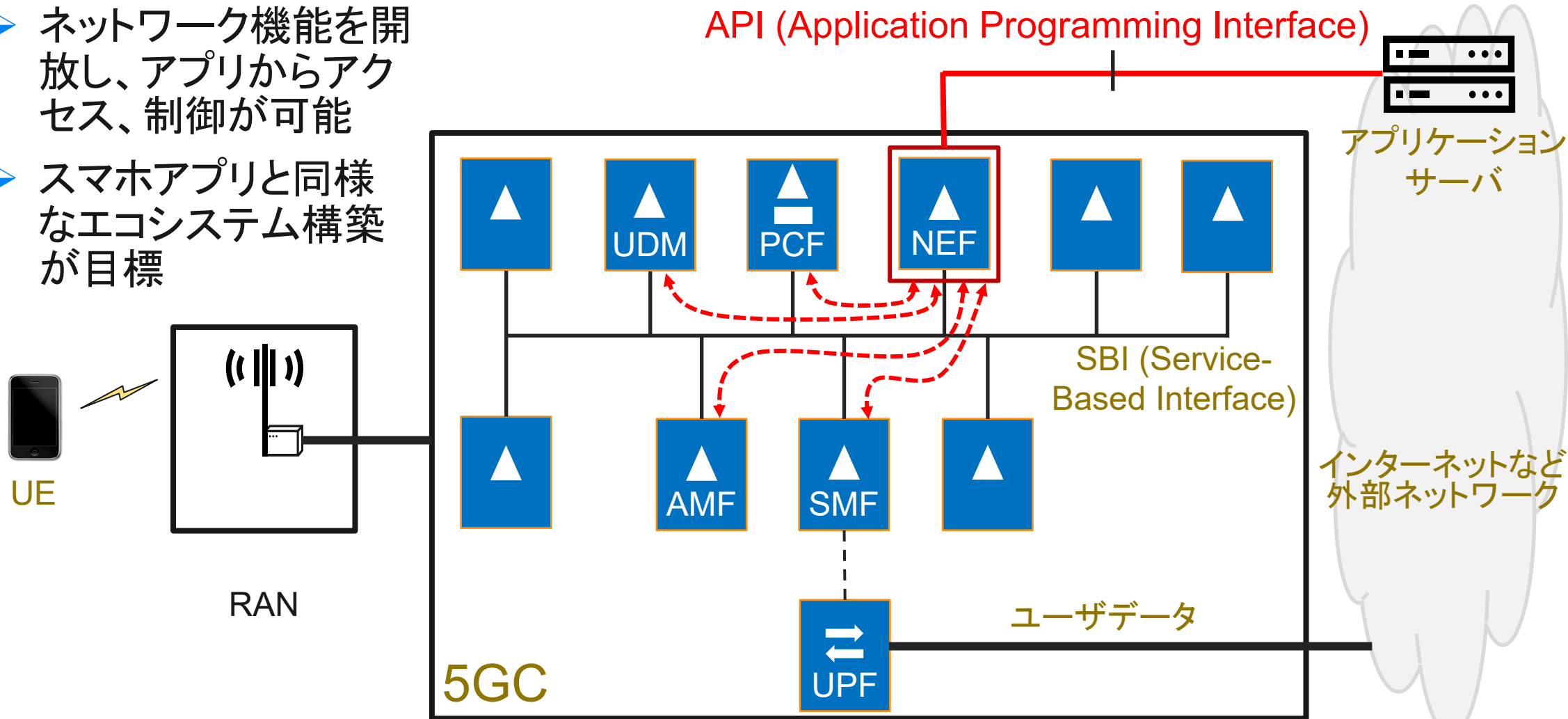
MEC: Multi-access (Mobile) Edge Computing

UPF (User Plane Function): ユーザデータのルーティング機能

# ネットワークエクスポージャー: プログラマビリティ

- ネットワーク機能を開放し、アプリからアクセス、制御が可能
- スマホアプリと同様なエコシステム構築が目標

API (Application Programming Interface)



AMF: Access and Mobility Management Function, NEF: Network Exposure Function  
PCF: Policy Control Function, SMF: Session Management Function,  
UDM: User Data Management, UPF: User Plane Function

# 通信事業者間共通API仕様 - Open Gateway API

- GSMAにおいて、NEF APIをベースに通信事業者間で共通のAPIを仕様化
- Open Gateway APIとして2023年2月に8個のAPI(⇒)を規定、その後追加で現状16個
- 世界約50の事業者が参画、日本からはKDDI、SB、ドコモ
- アプリ開発者はこのAPIを利用することで、グローバル市場への展開が可能に

	API名	機能	ユースケースの例
1	Quality on Demand (QoD)	携帯端末～サーバ間のデータトラフィックに優先度を設定して、低遅延や広帯域の接続を実現	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機械、車両、ドローンの遠隔操作</li> <li>● リアルタイムメディア/ゲーム</li> </ul>
2	Device Status	携帯端末の状態(接続状態、ローミング状況)をチェック	<ul style="list-style-type: none"> <li>● IoTデバイスのライフサイクル全体における接続監視</li> <li>● オンラインバンキングの不正防止</li> </ul>
3	Device Location (Verify Location)	携帯端末の位置を確認(ある程度の範囲内にいるかどうかを確認)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● オンラインバンキングの不正防止</li> <li>● ドローンの運行管理</li> </ul>
4	Simple Edge Discovery	携帯端末から最も近い場所にあるエッジサーバーを特定し、最適な(近い)サーバにアクセス可能とする	<ul style="list-style-type: none"> <li>● すべてのエッジクラウドのユースケース</li> </ul>
5	SIM Swap	SIMが再発行された日時を返答(例：SIM Swap詐欺対応向け)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 銀行業務における不正の防止</li> <li>● パスワードリセットの不正防止</li> </ul>
6	Number Verification	電話番号の正誤を確認(例：会員登録で入力した携帯電話番号が、利用中の正しい番号であるかを確認)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● アプリオンボード/ログイン</li> <li>● パスワードリセット</li> </ul>
7	One Time Password SMS	SMSで送られるワンタイムパスワードの提供	<ul style="list-style-type: none"> <li>● デジタルサービスへのオンボード</li> <li>● 高価格な取引、アカウント管理</li> </ul>
8	Carrier Billing - Check out	キャリア決済を提供(例：携帯電話料金と合わせてアプリ料金を徴収)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● メディア、ゲーム、コンテンツ、発券等のサービスに関するモバイル決済</li> </ul>

# 目次

モバイルの進化

5G Standalone (SA) への期待

モバイルと光

モバイルと仮想化・クラウド

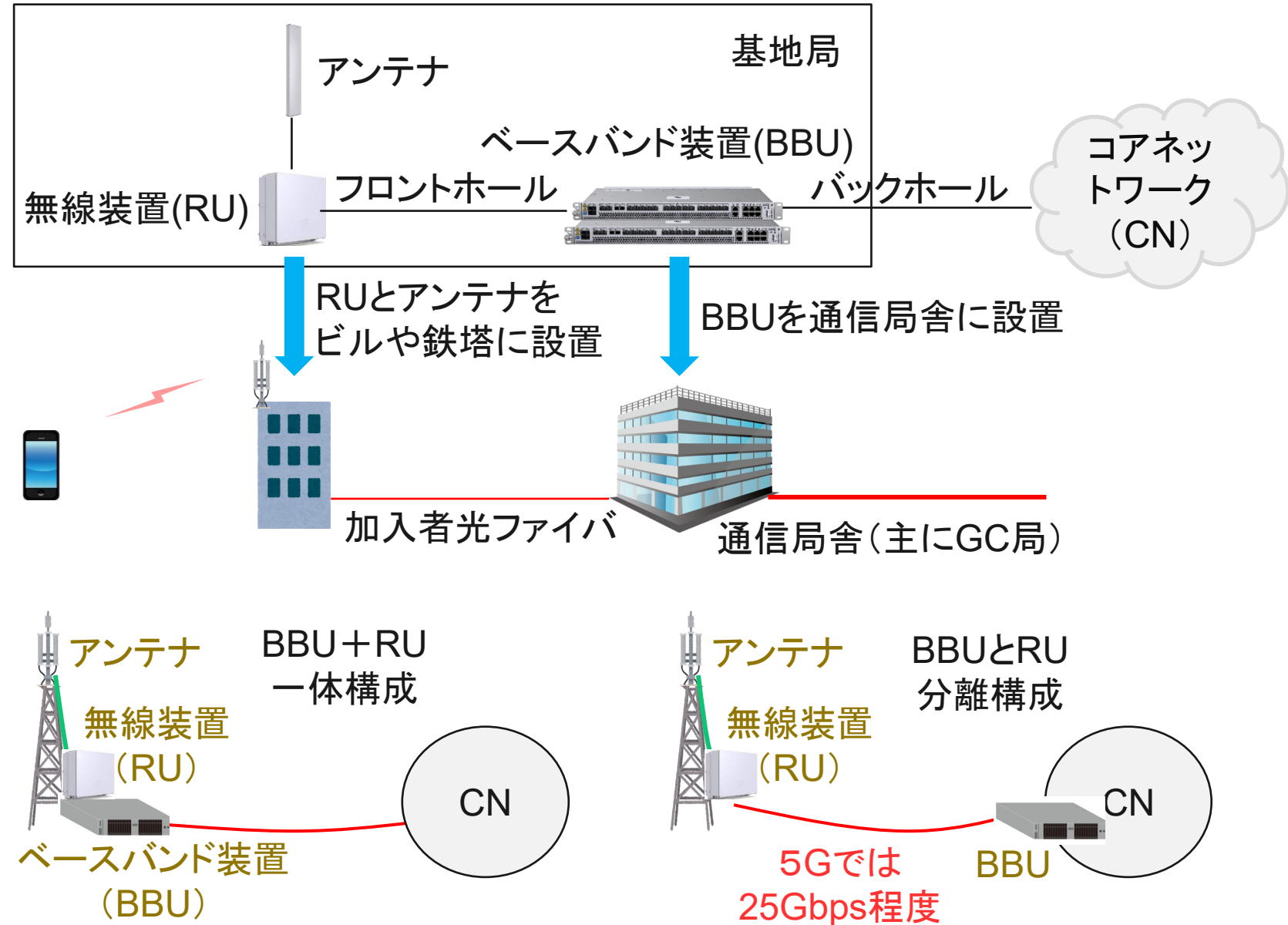
モバイルと衛星・HAPS (NTN)

モバイルとAI

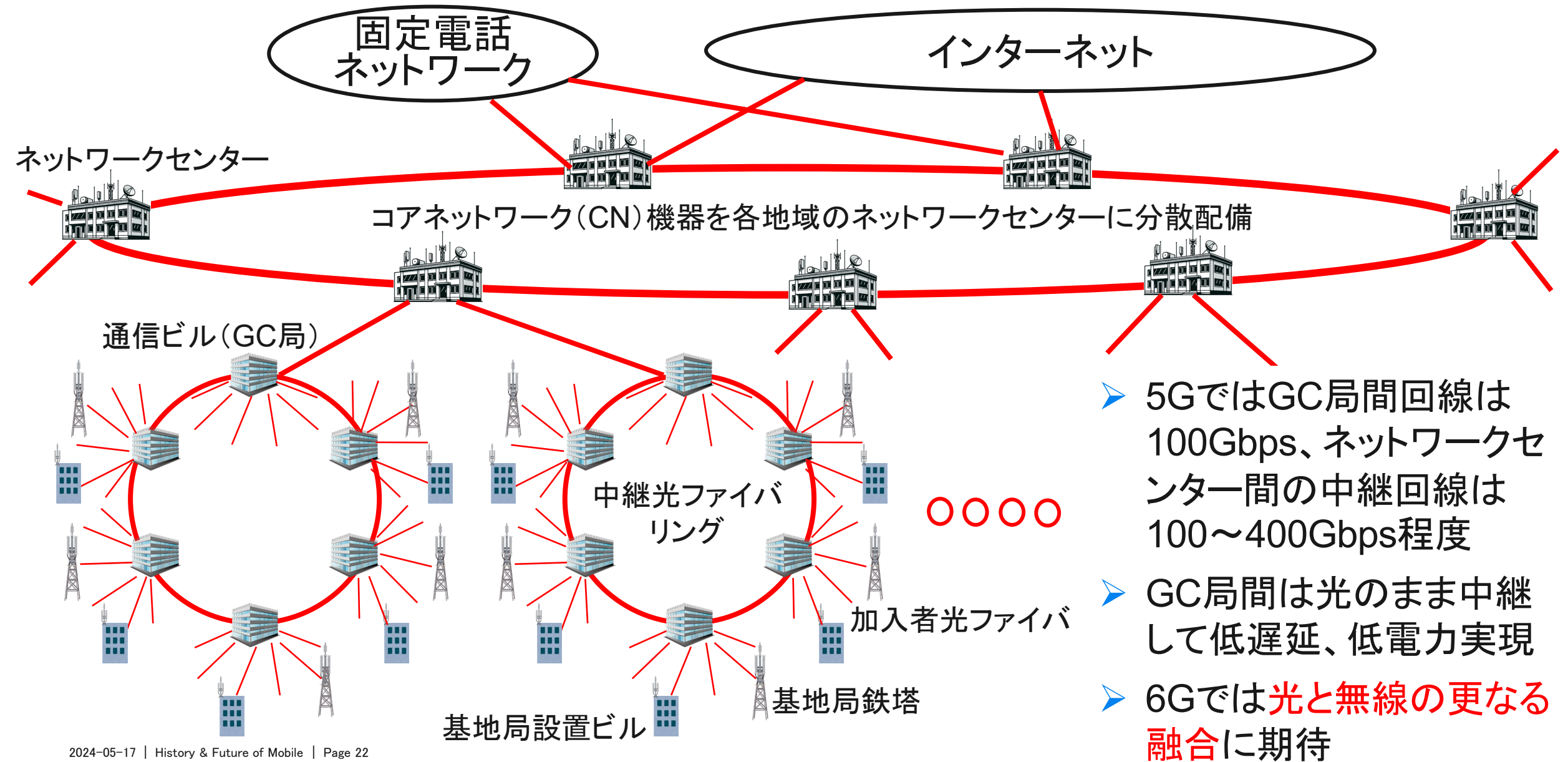
6Gへ向けて

# モバイル基地局と光伝送

- ▶ コアネットワークと基地局の間は光バックホールが主流(日本)
- ▶ 基地局のベースバンド装置と無線装置を分離設置して、両者を光回線で接続するのが最近の傾向
- ▶ ネットワークセンターにあるコアネットワーク設備と基地局間は複数段のGC局を光回線中継で接続
- ▶ 光中継はファイバリングを形成して信頼性確保、全国で数百のリング



# 光により支えられるモバイルネットワーク全体の構成



# 光無線の可能性

- ▶ 可視光や赤外線を利用した光無線通信は19世紀終わりから研究・開発、一部実用化
- ▶ 2023年7月、IEEEがLiFi(Light Fidelity)を無線LAN標準規格802.11bbとして標準化
- ▶ 基地局バックホール、衛星間通信などから発展して広帯域無線としての可能性

光波	電波
広い帯域を規制無しに利用できる（法的保護が無い）	電波法の規制を受ける（法的保護がある）
見通し通信（相互干渉がほぼ無い）	反射、透過、回折、干渉の影響を受けるが、遮断に対して強く、伝搬環境の影響を受けにくい
（遮断されると通信できないため）セキュリティ確保が容易	セキュリティの確保に留意が必要
ビーム広がり（拡散）制御が容易	ビーム広がり（拡散）制御が困難
消費エネルギー小、半導体開発コスト？ （ミリ波、テラヘルツ波と競合）	（ミリ波 ->テラヘルツ波）半導体開発コスト大、消費エネルギー大

# 目次

モバイルの進化

5G Standalone (SA) への期待

モバイルと光

モバイルと仮想化・クラウド

モバイルと衛星・HAPS (NTN)

モバイルとAI

6Gへ向けて



# 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



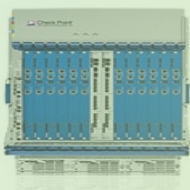
Session Border Controller



WAN Acceleration



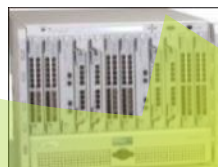
DPI



Firewall



Carrier Grade NAT



Tester/QoE monitor



S-GW/P-GW



PE Router

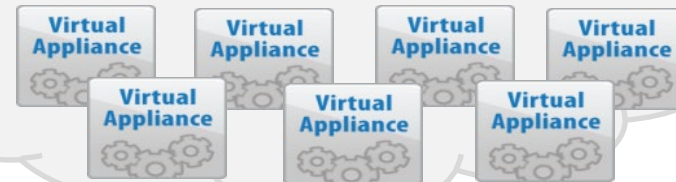


BRAS



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

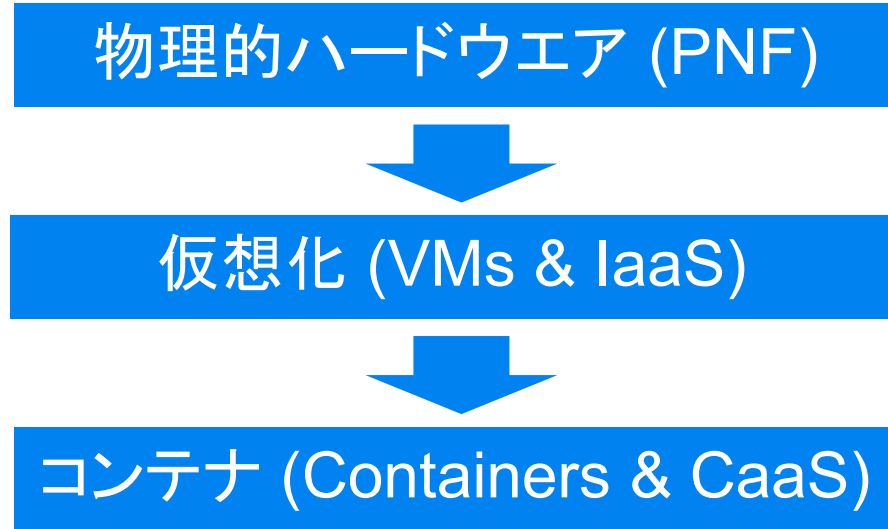
## □ 汎用プロセッサ、メモリの性能向上

- 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

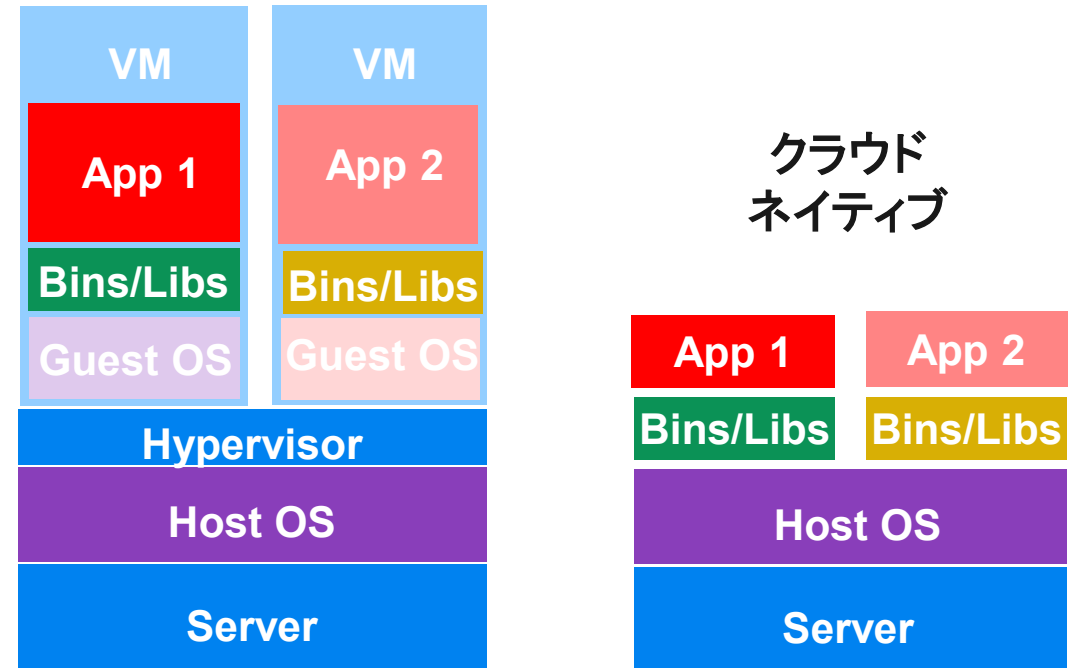
## □ クラウド技術の進化

- 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

# 仮想化の進化: VMベースからクラウドネイティブへ



- 新しいフィーチャを小規模なレベルで、迅速かつ低コストで導入可能 (CI/CD)
- 数百ユーザから数百万ユーザまでの拡張性を低コストで迅速に実現
- 自動化・ノータッチオペレーション導入容易
- スループット及びリソース使用の最適化が可能



Virtual  
Machines

コンテナ

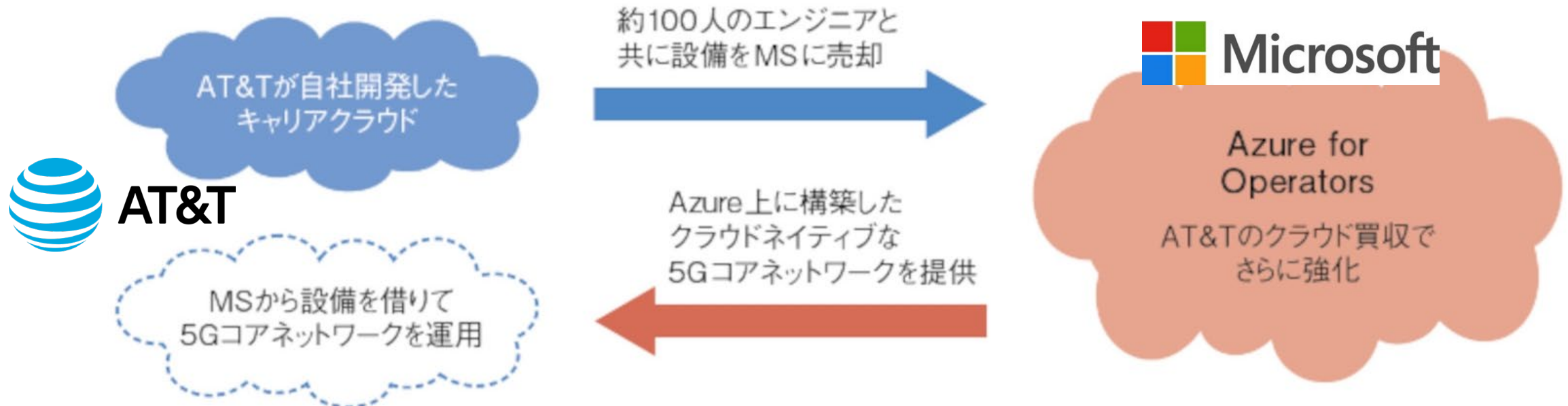
IaaS: Infrastructure as a Service

CaaS: Container as a Service

CI/CD: Continuous Integration /  
Continuous Delivery

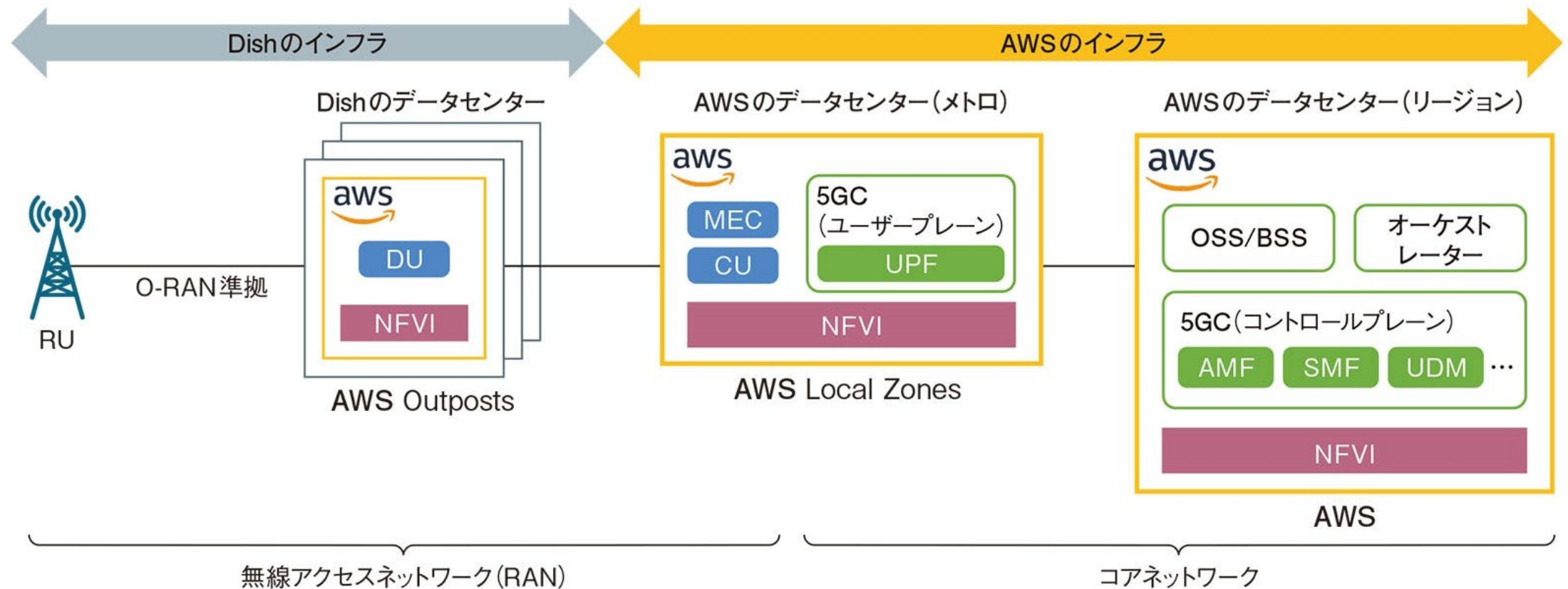
# 米AT&TがMicrosoft Azure上で仮想5Gコアを構築

- AT&Tが自社クラウド上で開発してきた仮想コアネットワークをAzure上に移行、運用もMicrosoftに移管。3年間の移行期間を経て2024年央に完了予定
- MicrosoftはAffirmed NetworksとMetaswitchの買収により構築してきたAzure for Operatorsの機能拡充。他通信事業者への提供も含めて新たな収益源を確保
- AT&Tは自社開発ではキャリアグレードのクラウドを構築できないジレンマ、財務面での厳しい状況を打破したいという両面でこの売却を決定



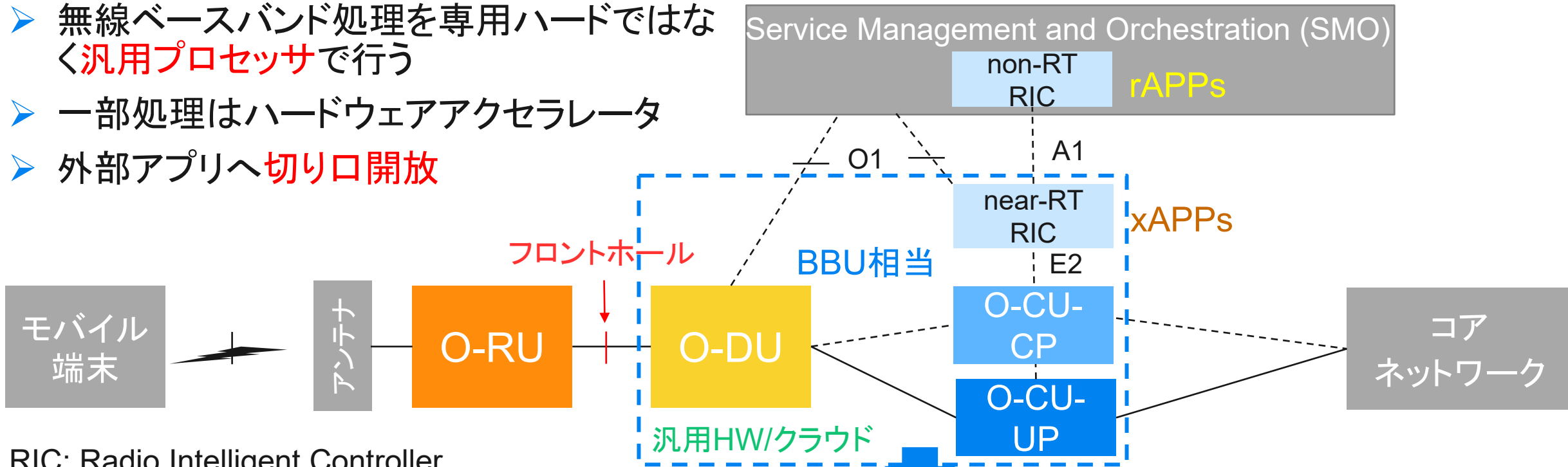
# 米Dishが5GコアをAWSパブリッククラウド上に構築

- ▶ 新興事業者であるDish Networkは、AWS上でクラウドネイティブなコンテナベースの5GCを実装。3G、4Gは実装せず5G単独のため、開発時間と投資効率の面でメリット
- ▶ コントロールプレーンはAWSリージョンに集中。ユーザプレーンはLocal Zoneに分散することで低遅延と高信頼性を実現する目論み



# O-RAN (Open RAN) と仮想化

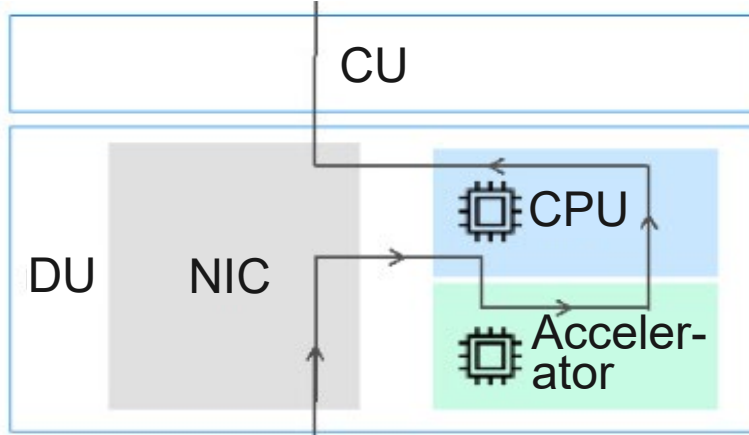
- 無線ベースバンド処理を専用ハードではなく汎用プロセッサで行う
- 一部処理はハードウェアアクセラレータ
- 外部アプリへ切り口開放



RIC: Radio Intelligent Controller  
 non/near-RT: Real Time  
 CU: Central Unit(上位レイヤ処理)  
 DU: Distributed Unit(下位レイヤ処理)  
 RU: Radio Unit  
 CP: Control Plane  
 UP: User Plane  
 NIC: Network Interface Card

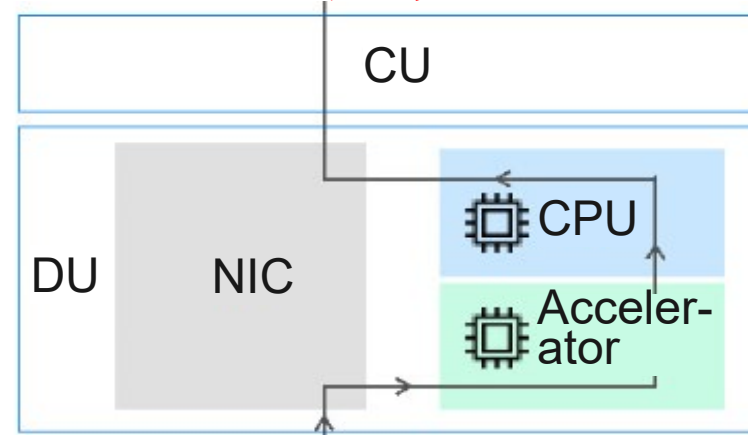
仮想化

Look asideアクセラレーション



or

In-lineアクセラレーション



# 目次

モバイルの進化

5G Standalone (SA) への期待

モバイルと光

モバイルと仮想化・クラウド

モバイルと衛星・HAPS (NTN)

モバイルとAI

6Gへ向けて

# NTN (Non-Terrestrial Network) への期待

## □ 低軌道衛星やHAPSへのモバイル端末から直接アクセス

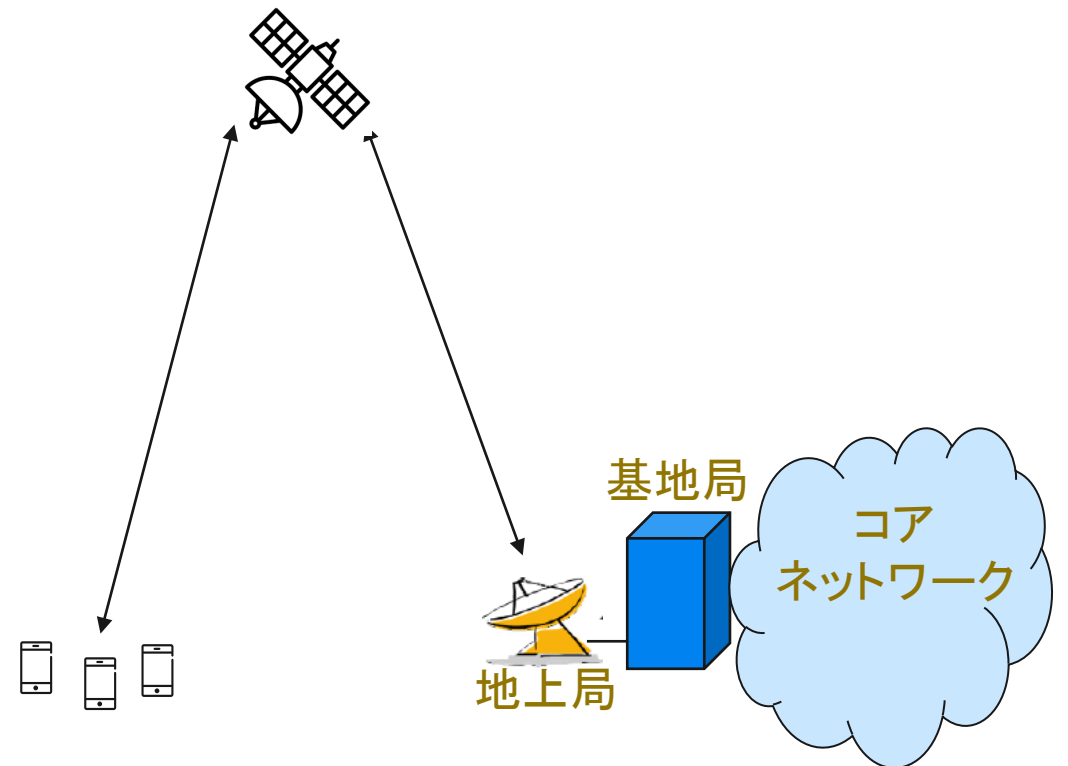
- iPhone 14/15で衛星リンクを利用したメッセージング商用化
- 低軌道衛星を用いた端末直接アクセスによる通話・データ通信のトライアルが進行中
- 地上系ネットワークの補完として期待

## □ 5G NTN標準化

- 3GPPで端末から直接衛星にアクセスするための5G NTNの仕組みを標準化
- NTN専用周波数の規定

## □ NTNと地上系との周波数共用

- 米国で、地上系モバイル通信周波数の一部をNTNで用いるための”Supplemental Coverage From Space”枠組み合意
- ルーラルエリア、山間部、海上などを想定





# 5G NTNユースケースと地上系ネットワーク連携

## ▶ 一般ユーザの利用

- 山間部、海上、その他でのレジャー、スポーツ
- 自然災害時の連絡、緊急通報

## ▶ 公共安全、国家安全保障

- 国や地域(例:EU)レベルでの広域ネットワーク

## ▶ IoT

- 業務用車両(長期的に低コストになれば一般車両も)

## ▶ 地上系ネットワークとの連携

- NTNは地上系ネットワークの補完として利用されるのが基本
- 国際衛星ネットワークと地上系ネットワークの間のローミング
- RANシェアリングによる衛星アクセスの利用

# 将来的にルーラルエリアはNTNのみとする可能性

- ▶ 一部エリアはNTNでしかカバーすることは困難⇒逆に**NTNを積極利用できないか**
- ▶ NTNが浸透し十分な周波数が確保できれば、低トラフィックエリアはNTNでモバイルサービス提供可能
- ▶ トンネル、地下などはリピーターなど補完的手段を利用
- ▶ 複数NTNかシェアリングかなど、ネットワーク構成については検討が必要
- ▶ 制度の問題、海外NTNに依存する場合は安全保障上の課題など、今後議論が必要



# 目次

モバイルの進化

5G Standalone (SA) への期待

モバイルと光

モバイルと仮想化・クラウド

モバイルと衛星・HAPS (NTN)

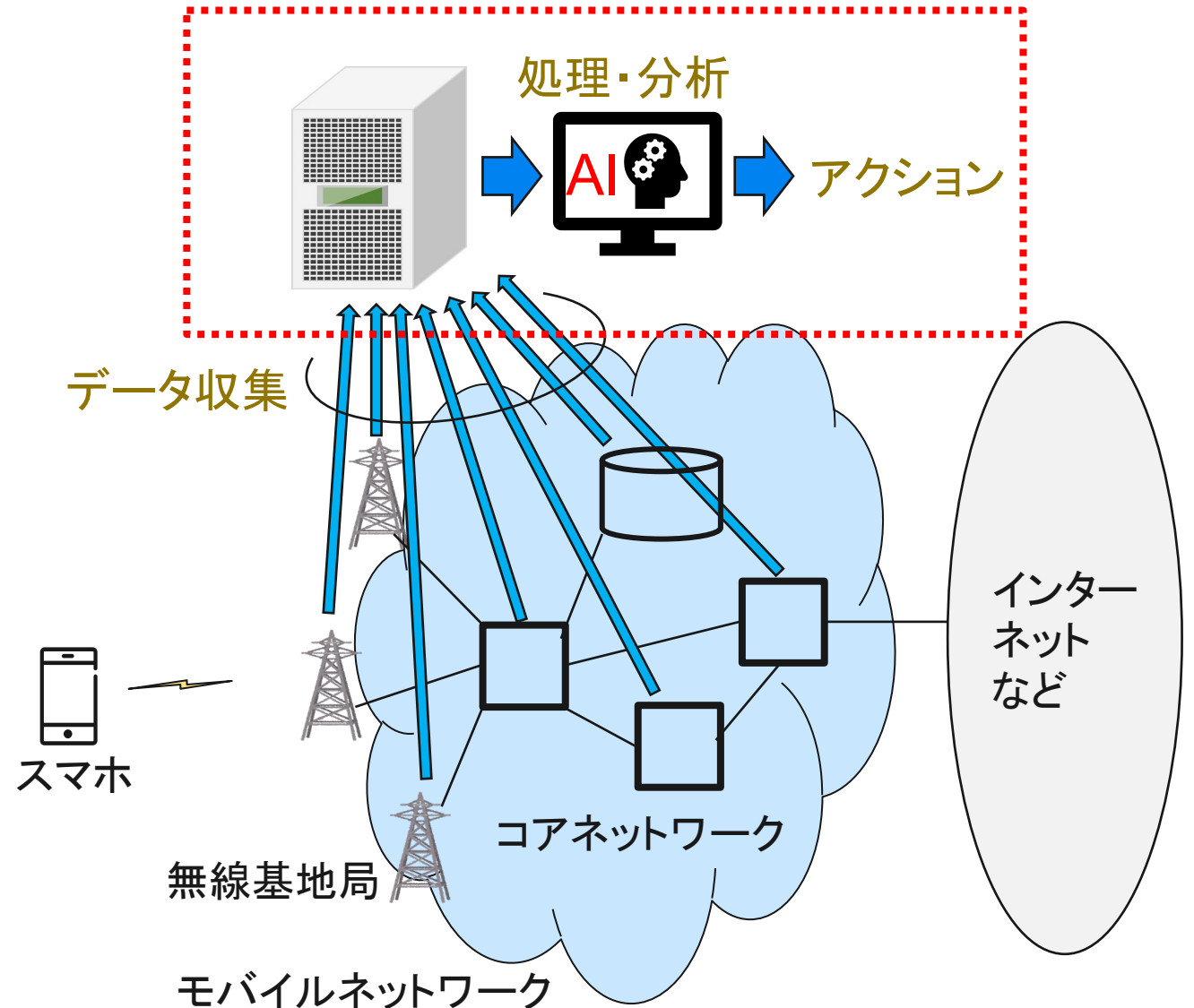
モバイルとAI

6Gへ向けて

# モバイルネットワークでのAI利用

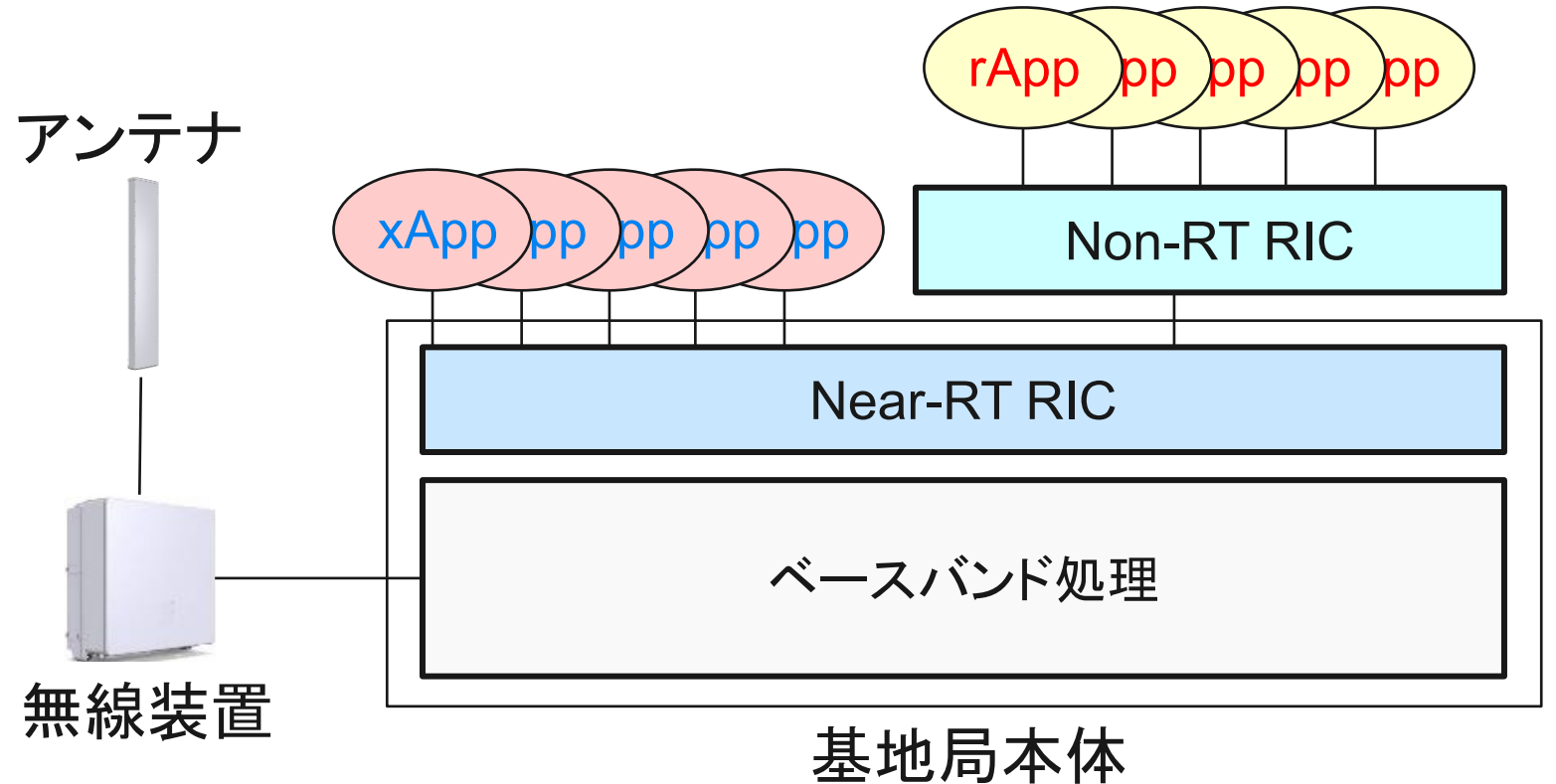
- ネットワークの最適化: データの流れを分析しリソース割当てをリアルタイムに最適化
- 運用の自動化・効率化: 異常を早期に見つけだし、故障が発生する前に対策を講じる
- セキュリティ対策: 不正アクセス・サイバー攻撃パターンを学習、脅威に迅速に対応
- エネルギー効率の向上: トラフィック見合いでネットワークのエネルギー使用を最適化

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



# O-RANで想定する基地局外付けのAIアプリ

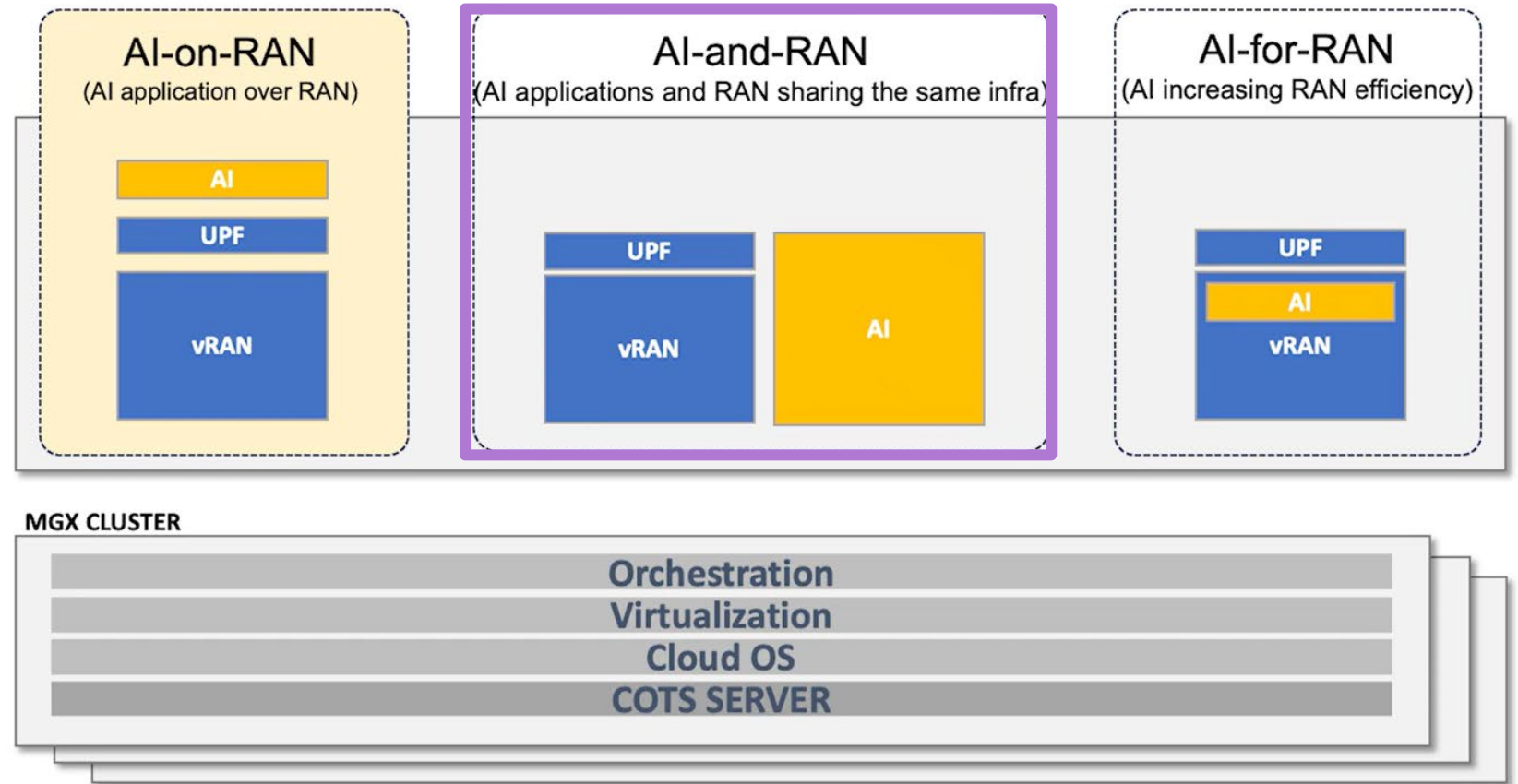
- 基地局を外部から監視したり制御したりするためのアプリ開発推進
- 各種設定の最適化、機能の高度化、新機能の導入、障害の復旧
- 誰でも開発できるように **アプリ開発環境** 整備
- アプリは特定のベンダーの基地局専用でなく、世界の事業者やベンダーに広く利用されることにより大きなエコシステムを形成



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



# MECが進化してAIが全国各市町村でローカル化

固定電話  
ネットワーク

インターネット

ネットワークセンター

コアネットワーク(CN)機器を各地域のネットワークセンターに分散配備

通信ビル(GC局)

中継光ファイバ  
ネットワーク

〇〇〇〇

加入者光ファイバ

基地局設置ビル

基地局鉄塔

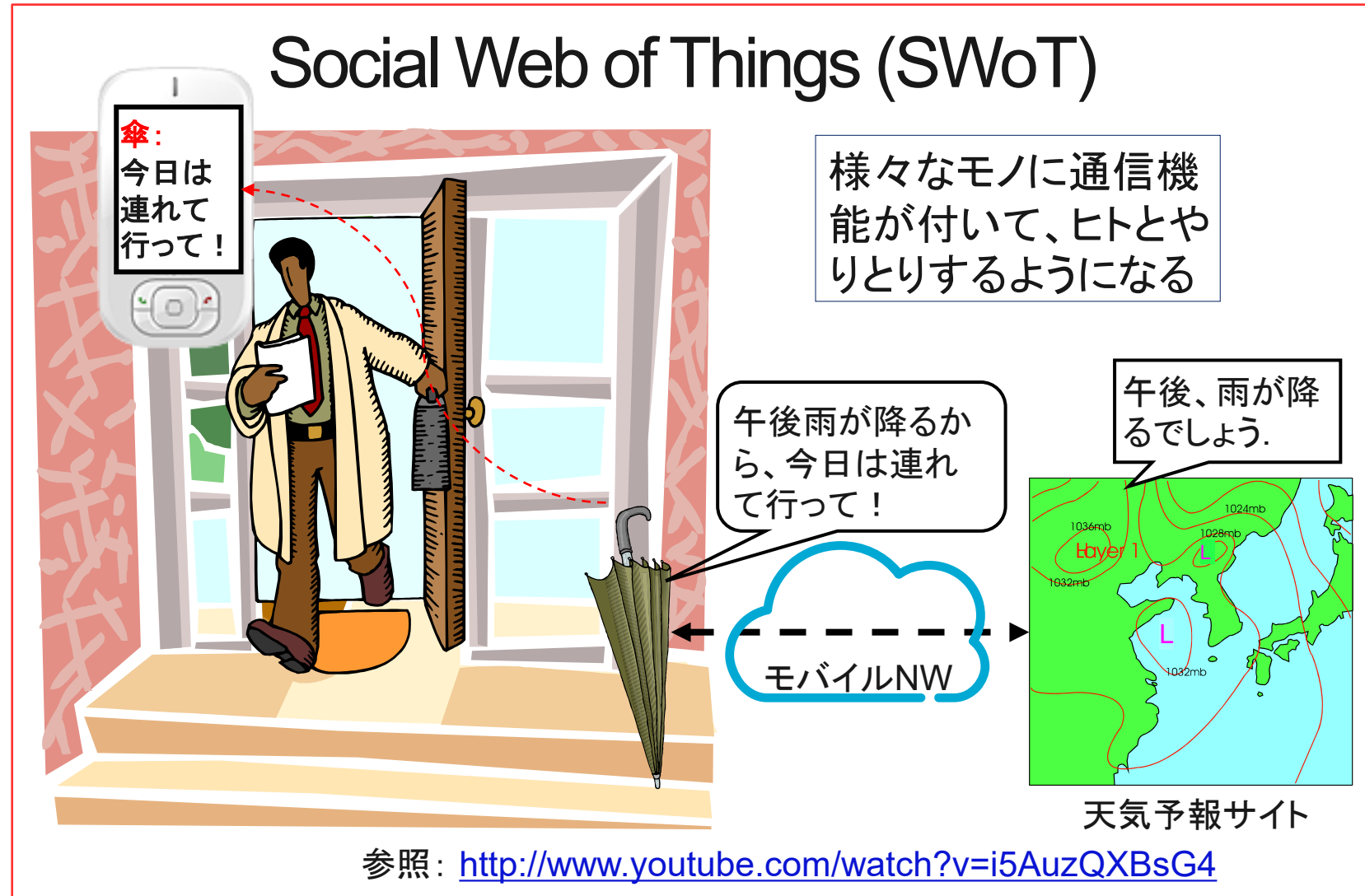
➡ 通信だけではなく様々な産業でAIをローカルに利用

# モバイル端末・デバイスにもAI搭載

- ▶ スマートフォンにAIを組み込み、音声検索、多言語翻訳
- ▶ パーソナライズしたコンテンツの提示、アプリの優先付け
- ▶ アラーム設定、リマインダー
- ▶ 顔認証、カメラの自動フォーカス
- ▶ 日々の睡眠、活動などのヘルスマニター
- ▶ 省エネルギー化

10年前(2014年)のプレゼンを振り返って....

## Social Web of Things (SWoT)





# 目次

モバイルの進化

5G Standalone (SA) への期待

モバイルと光

モバイルと仮想化・クラウド

モバイルと衛星・HAPS (NTN)

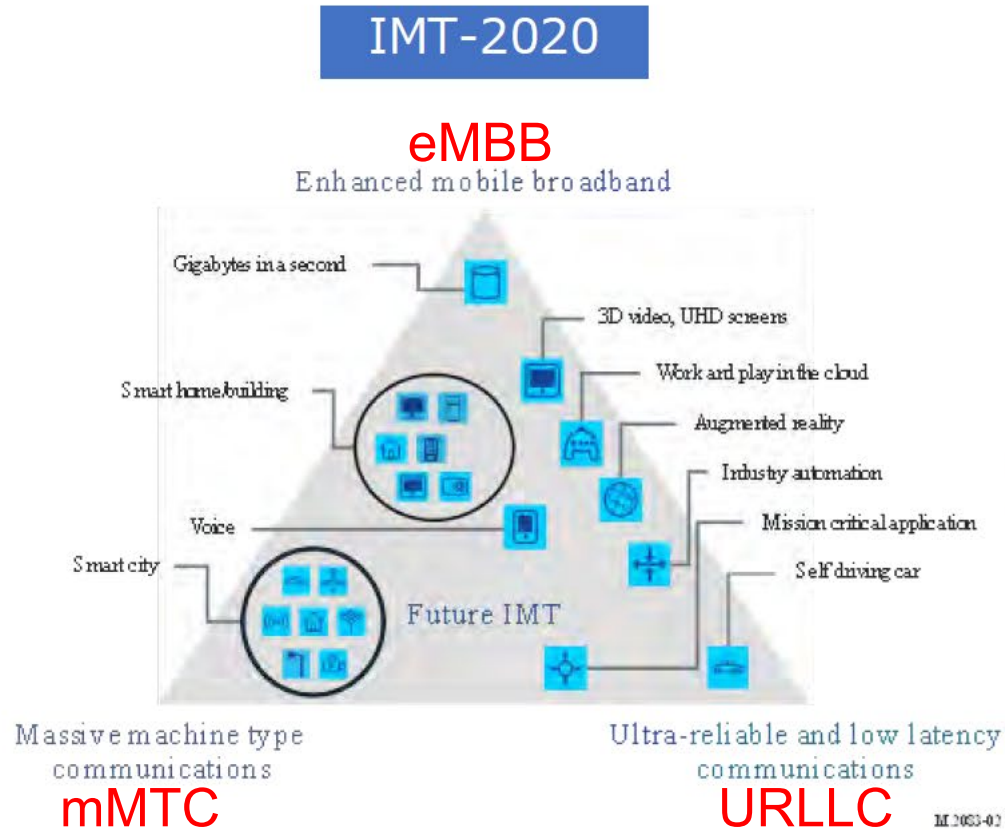
モバイルとAI

6Gへ向けて

# 6Gの方向性

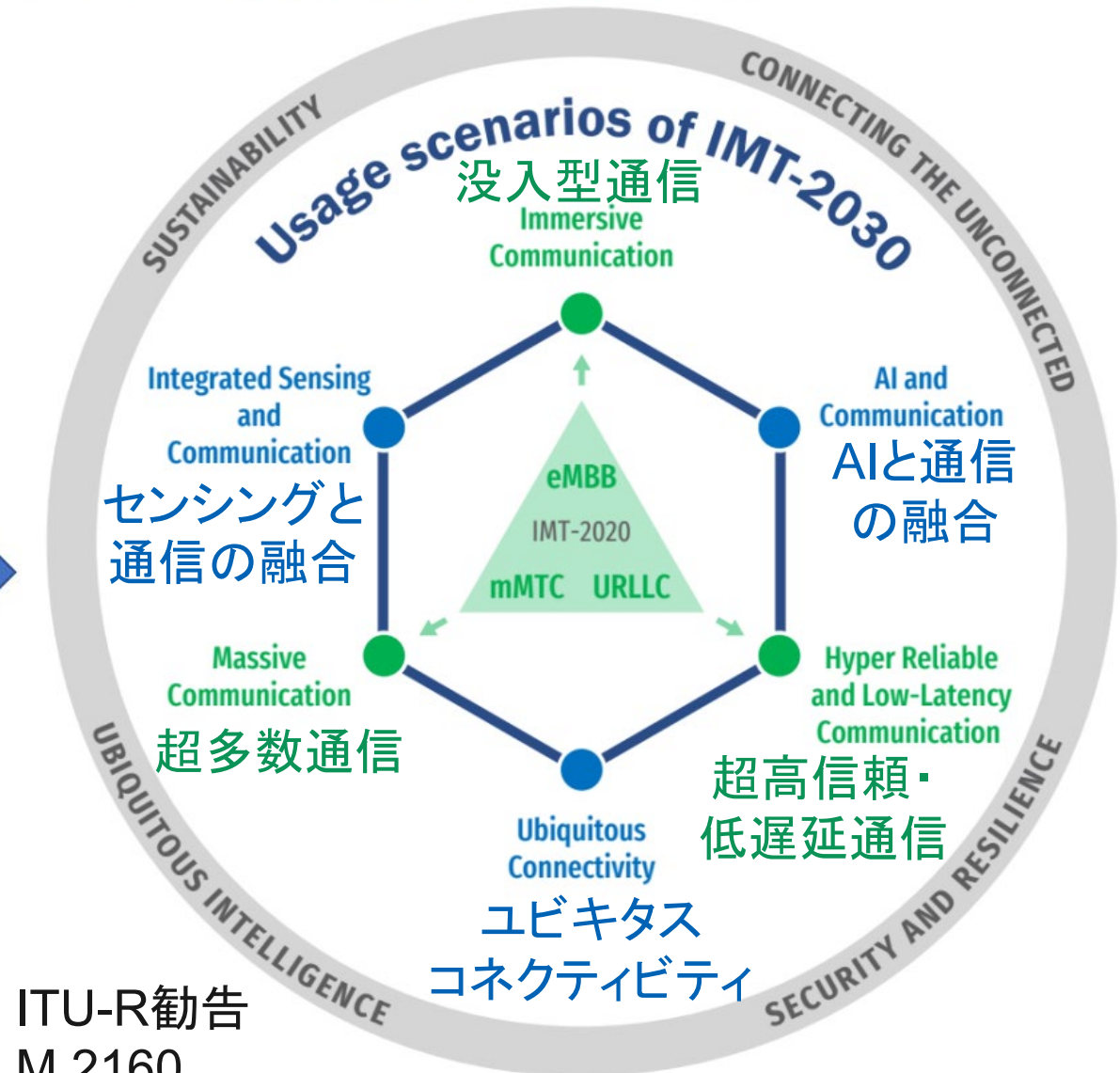
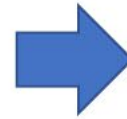
- ▶ ヒトではなくAIやロボット向けに性能・機能を最適化したネットワーク、Cyber Physical System (CPS)の神経網としての利用を想定
- ▶ ネットワークが大規模・複雑化するので、人手ではなくAIによる運用を前提
- ▶ 通信だけではなく、センシングや高精度測位などの機能を提供
- ▶ ルーラルエリアや山間部、海上などを含むユビキタスなカバレッジを提供
- ▶ サステナビリティの観点から、環境に配慮したネットワークを構築
- ▶ 5Gと共存することが前提で、5G/5G-Advancedの延長線上の仕様となり、様々な産業界での本格的な利用を想定したネットワーク機能を提供
- ▶ ミリ波、サブテラヘルツ波だけではなく、7-15GHzのアップパーミッドバンドを主力周波数の一つと想定
- ▶ 仮想化、オープン化を前提にしたネットワーク設計

# IMT-2030の利用シナリオ (前世代との違い)



出展：ITU-R勧告M.2083, Figure 2

IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond



ITU-R勧告  
M.2160

出典：[000923880.pdf \(soumu.go.jp\)](https://www.soumu.go.jp/000923880.pdf)

# 日本のBeyond 5G推進戦略 – B5Gに求められる機能

※ **赤字**は、産学官の別なく、重点的に進めるべきと考えられる技術の例

※ **緑字**は、我が国が強みを持つ又は積極的に取り組んでいるものが含まれる分野の例

時空間同期  
(サイバー空間を含む。)

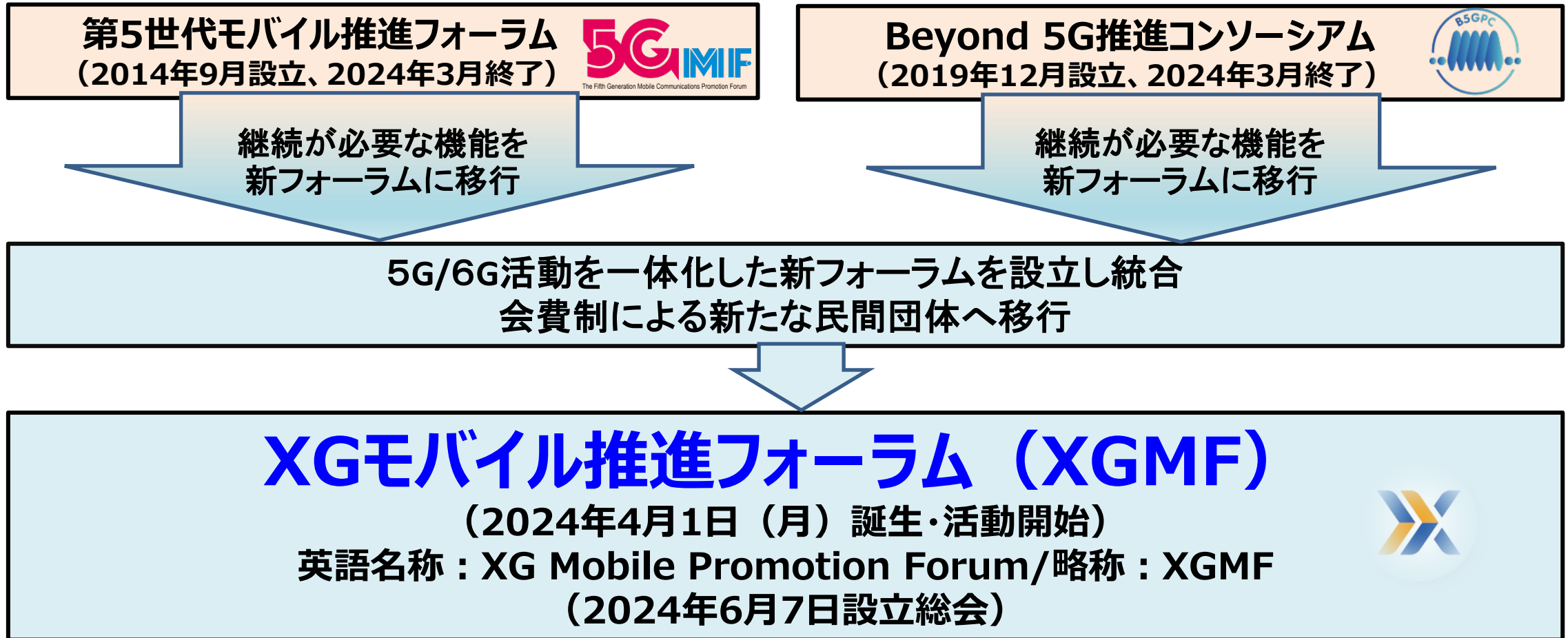
テラヘルツ波

センシング

## Beyond 5G



# 日本における5G推進と6Gに向けた活動



やる気のある会員がやりたいことをやるプロジェクトをベースとした活動が中心であり、挑戦的な課題を設定してプロジェクトに取り組むことを期待