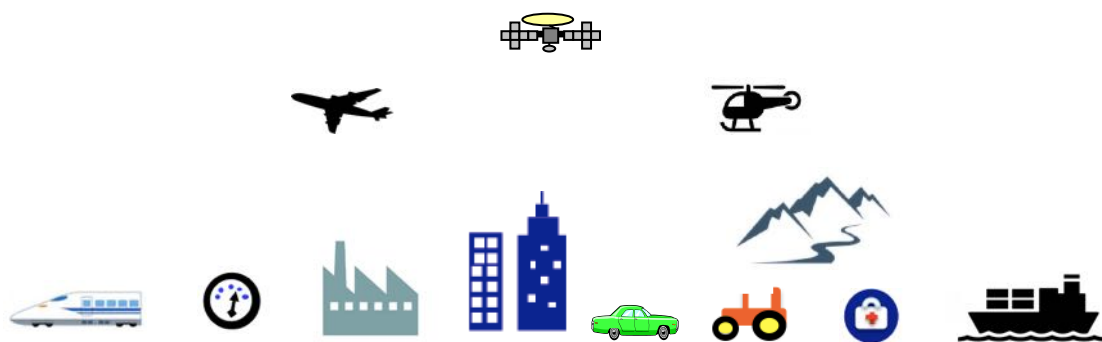


# 第5世代モバイル通信方式の今後

～3GPP リリース17など～



2022年7月  
A2A研究所 田代 務

# 目次

---

## 1 5G NR仕様と周波数帯

- (1) 産業面で拡大する5Gアプリケーション
- (2) 3GPPリリース17の策定
- (3) リリース17で追加改訂された主な機能
- (4) 無線周波数帯の拡張
- (5) DSS (Dynamic Spectrum Sharing)
- (6) 水や酸素分子による電波減衰
- (7) ミリ波アンテナ
- (8) 超高速性
- (9) ダウンリンクでの1024QAMの追加
- (10) MIMO機能の拡張

## 2 IAB

- (1) IAB (Integrated Access Backhaul)
- (2) IABの多様な利用
- (3) IABでのチャネル多重方式
- (4) IABノードの動作手順

## 3 NTN

- (1) 5G時代の衛星通信
- (2) 衛星システムの主要パラメータ
- (3) 3GPP NTNでの検討課題

## 4 mIoT

- (1) NR-Light
- (2) eMTCやNB-IoT機能の拡張

## 5 V2X

- (1) V2X (Vehicle to Everything)
- (2) サイドリンク
- (3) C-V2Xのサービス例と諸元
- (4) 日本でのITS関係の電波割り当て状況

## 6 NEFとO-RAN

- (1) NEF -1/2
- (2) NEF -2/2
- (3) NWDAF (Network Data Analytics Function)
- (4) ネットワークスライシング
- (5) 5G基地局の構成
- (6) O-RAN ALLIANCEでの機能分担点



## 1. 5G NR仕様と周波数帯

### (1) 産業面で拡大する5Gアプリケーション

#### 人からモノとの通信、そしてあらゆる産業の効率化・省力化に

近年、5G NR(New Radio)対応の基地局の設置が進むとともに5G NRに対応できるスマートフォン等のUE(User Equipment)が増加している。また、機械や多数のセンサーとのIoT(Internet Of Things)通信が急速に拡大し、あらゆる産業分野に及ぶようになった。

3GPPによる5G NR規格の最新版であるリリース17(以下、Rel-17)では、車の自動運転などに向けた機能拡張が大きなテーマとなっている。

そこで、5G NRでは産業界の多種多様なサービス要件に柔軟かつ迅速に対応するためネットワーク機能のスライス化や、外部アプリ開発者による新サービス開発を促進するためネットワーク内の一部機能を外部に開放することにした。

また、基地局設備での少数ベンダーによる独占が避けられるように、世界の主要通信事業者主導のO-RAN Allianceでは、主要装置間のインターフェイス条件を統一して異なるベンダー装置間の接続を容易する検討が進んでいる。

#### 5G方式の設備やアプリケーションの検討機関の例

##### O-RAN Alliance

- ・目的: 5G時代におけるRANのオープン化、インテリジェント化の推進
- ・設立: 2018年2月
- ・創設メンバー: AT&T、China Mobile、独テレコム、NTTドコモ、オレンジ
- ・加盟企業(2022年7月時点で通信事業者は合計31社、日本のNTTドコモ、KDDI、ソフトバンクを含む31社、ベンダー/学術機関は合計3百以上)
- 8つのWGでアーキテクチャ、フロントホール等でのI/F条件、参照デザイン、RANソフトウェアのオープンソース提供などを検討

##### 5GAA (Automotive Association)

- ・目的: 車両への5G技術導入による多様なサービスやソリューションの開発
- ・設立: 2016年9月
- ・本部: ミュンヘン(ドイツ)
- ・創設メンバー: アウディ、BMW、ダイムラーエリクソン、インテル、華為、ノキア、クアルコム
- ・加盟企業(130社、日本から日産、ホンダ、NTTドコモ、KDDI、ソフトバンク、パナソニック、デンソーなど)  
トヨタ、GM、VW等はC-V2Xでなく、5.9GHz帯のDSRCを支持のため5GAAに未加盟

日本では、主にITS情報通信システム推進会議(ITS Forum)がITSの標準化や普及活動を行なっている。

産業応用が拡大する5G NRでは産業界からの期待や要求が高まっている。



# 1. 5G NR仕様と周波数帯

## (2) 3GPPリリース17の策定

### 2022年3月に仕様凍結

セルラ方式による移動体通信サービスの世界標準規格策定を行う3GPP(3rd Generation Partnership Project)は、現在、5G方式仕様での機能拡張に取り組んでいる。5Gの無線方式は、NR(New Radio)やNew RAT(Radio Access Technology)とも呼称されている。

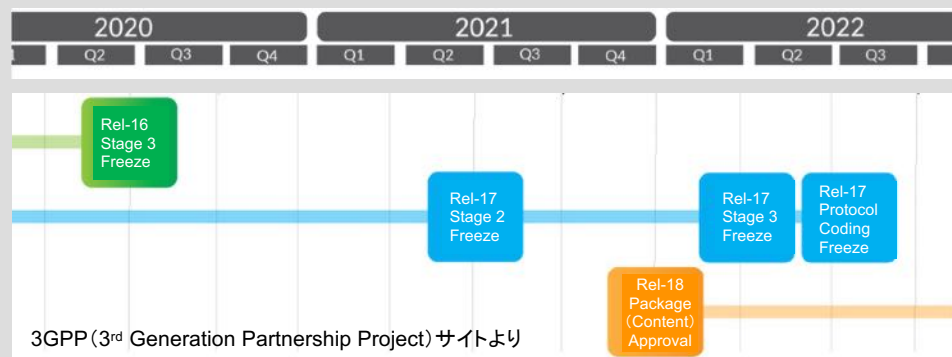
2019年に制定された5G方式の最初の仕様であるリリース15(以下,Rel-15)に続き、2020年にはRel-14までのLTE機能の拡張も含んだNR仕様フェーズ2とも言えるRel-16を策定した。

その後、NR仕様フェーズ3となるRel-17の検討が行われていたが、2022年3月に仕様凍結が行われた。

3GPPでは、引き続き、Rel-18の策定作業を開始している。

以下では、端末の略語をUE, 5G NR基地局をgNB, LTE基地局をeNB, コアネットワークを含む網をNWで表す。

### リリース17仕様の策定経過



仕様を検討するTSG(Technical Specification Group)会合にて次の3段階で標準化作業が行われる。  
Stage 1: 要求条件規定 Stage 2: アーキテクチャ規定 Stage 3: プロトコル規定  
更に、UE-NW間メッセージのビット列を定義したASN.1規定策定が行われる。

TSG: Technical Specification Group RAN: Radio Access Network ASN: Abstract Syntax Notation

モバイル方式業界の標準化機関である3GPPは、3つの段階別に標準化作業を行う。Rel-17の仕様(Stage 3)は2022年3月に凍結された。



# 1. 5G NR仕様と周波数帯

## (3) リリース17で追加・改訂された主な機能

### 第5世代方式規格の策定プロセス

5G NRではサービスの特性を超高速通信であるMBB (Mobile BroadBand), 多数の機械やセンサーとの通信であるIoTあるいはmMTC (massive Machine Type Comm.), 超短時間遅延通信のURLLC (Ultra-Reliable & Low Latency Comm.) の3つの軸で定義している。Rel-17では、この中でMBBとIoTでの機能拡張、ネットワーク運用管理の自動化や効率化技術などが主に検討された。

このうちMBBでは、都市密集部や産業での利用を想定して、71GHzまでのミリ波帯域の使用が盛り込まれた。高い周波数帯を使う5G NRでは多数の基地局の設置が必要となるため、コア網と基地局間を結ぶ回線(バックホール)に無線を用いるIAB (Integrated Access & Backhaul) 機能が拡張された。

IoTの分野ではLTE Cat-M1等より高速通信が可能なUEのほか、ウェアラブル端末などでの長時間運用が可能となる消費電力低減などが図られた。

また、外部事業者によるアプリサービス開発促進のため、網機能の一部を外部に公開するNEF (Network Exposure Function) 等が規定された。

### リリース17の仕様概要

分野	項目	概要
超高速通信 (MBB)	ミリ波帯の使用	・71GHzまでの利用 ・IABの利用 ・V2Xや産業、都市密集部や屋内での利用
	IAB機能の拡張	トポロジー、ルーティングの拡張
	MIMOの拡張	・24GHz以上でのマルチビーム運用 ・MTP機能の拡張
	60GHzのNR-U	60GHzアンライセンス帯の追加
IoT	NR-Light	・ウェアラブル等のUEへの対応(低速度、省電力UE)
	UE省電力機能の拡張	アイドル状態での省電力機能の追加
	プライベートNW	プライベートWANのサポート
NW管理	NW自動化	・AIによるE2EでのNW自動化 ・ドライブテストの最適化
	NWスライスの拡張	NWスライス管理のNEF化

リリース17では、5G技術を産業面での多様な利用シーンに活用できるように機能拡張が行われている。



# 1. 5GNR仕様と周波数帯

## (4) 無線周波数帯の拡張

### サブ6GHz帯と準ミリ波帯の割り当てが進む

5Gでは、4G方式までの使用周波数より高い周波数への拡張に対応した世界各国での周波数割当てが進んでいる。Rel-16までに拡張した帯域は、サブ6GHz帯域のFR1 (FR: Frequency Range) と準ミリ波帯にあたるFR2 (FR2-1) の2つがある。

FR1: 450 MHz – 6000 MHz    FR2-1: 24.25 GHz – 52.6 GHz

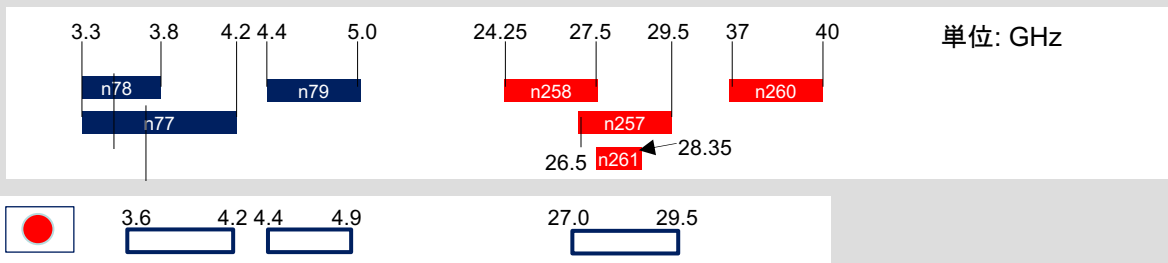
Rel-17では、FR1の上限を7125MHzに拡大するとともに、準ミリ波帯では更に高い帯域FR2-2を新たに規定した。

FR1: 450 MHz – 7125 MHz    FR2-2: 52.6 GHz – 71.0 GHz

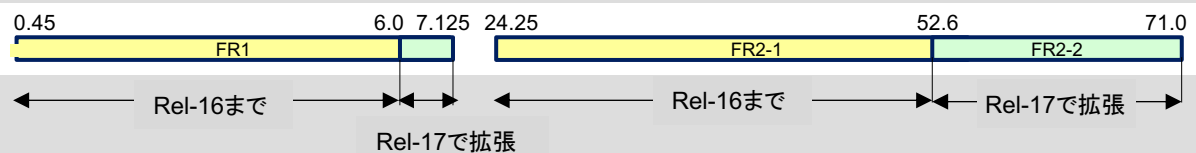
FR2-2でのSCS (Sub-Carrier Spacing) はFR2-1でのそれと同じ (基本120kHz, 480kHz, 960kHzはオプション) である。

なおFR2-2帯域には60GHz帯のアンライセンス帯を含むことから、当該アンライセンス帯を使用する場合にはチャンネル割り当て前に、他者により使用中か否かの確認を行うLBT (Listen Before Talk) 等の規定を設けている。

### 5G向け準ミリ波帯と3GPP Rel-17での新帯域



#### 【Rel-16,17での拡張帯域】



FR1やFR2-2帯域にはアンライセンス帯の5/6GHz帯や60GHzを含むのでこれらの帯域使用には各国の法規制やWi-Fiとの共存の考慮が必要である。

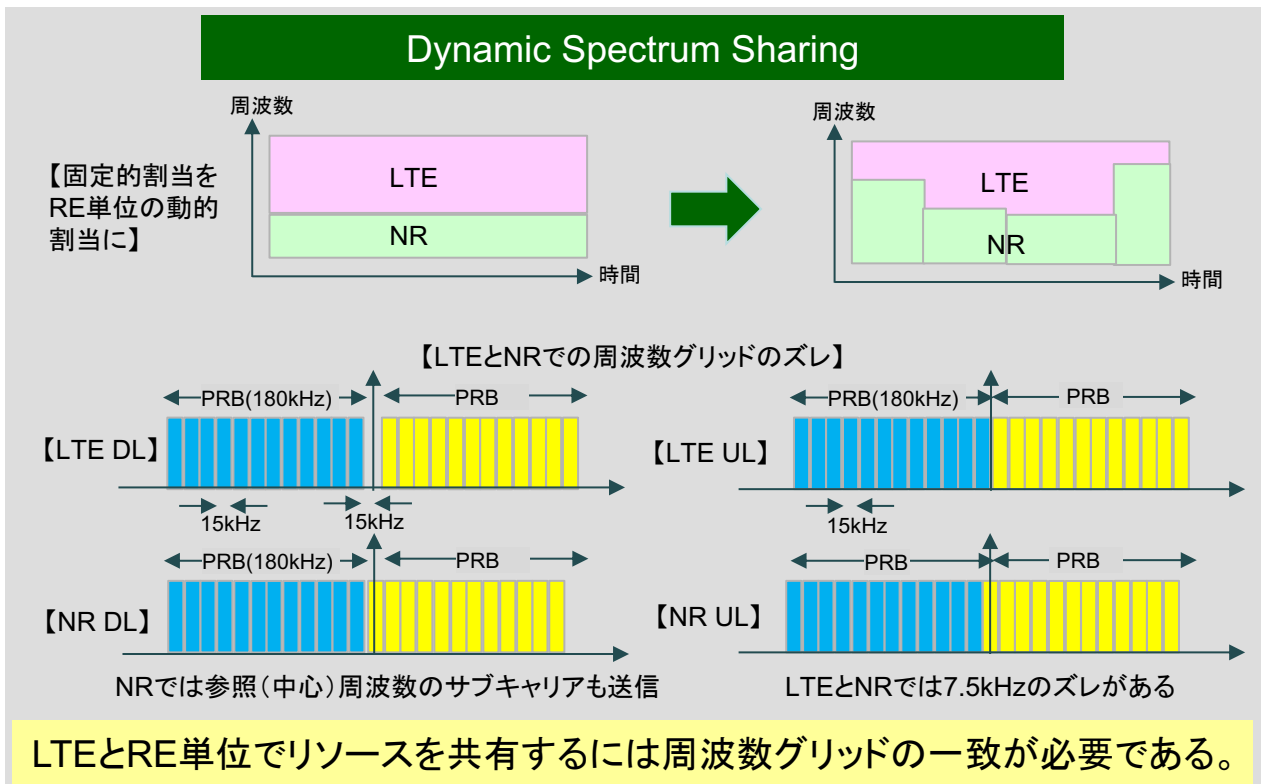
### RE単位にリソースを共有することで周波数利用を効率化

5G NRを既存のLTE, LTE-Aと同一周波数帯で共存させる技術であり、Rel-15から検討されている。周波数領域でのNRとLTEの共存は、両者の周波数帯を分離して固定的に割り当てる方法があるが、DSSではRE (Resource Element) の単位で共有する。

これにはNR用とLTE用のリソースが衝突しないように両者キャリアの参照/中心周波数を合わせることにより、両者のリソースグリッドを一致させる必要がある。(LTE) 基地局ソフトウェアの更新で対処できるが、周波数帯域別に利用可能な通信方式を指定する国では周波数割り当て方針に関係する。

我が国においても、4Gで使用中の既存帯域でも5G使用のニーズがあることから、総務省ではこれを認めることとした。

Rel-17では、一方キャリアのPDCCHによって他方キャリアのPDSCH又はPUSCHをスケジューリングする機能を追加した。当該機能はキャリアアグリゲーションでのキャリア間スケジューリングにも適用可能である。



### 特定波長で顕著に

10GHz以上の電波では自由空間伝搬での伝搬損失( $L_p$ )が大きくなる。 $L_p$ は次式のデシベル計算で求まる。ここで、 $P_t$ ,  $P_r$ ,  $G_t$ ,  $G_r$ ,  $L_o$ は送受信電力、送受アンテナ利得、その他損失(降雨減衰等)であり、 $f$ (GHz),  $d$ (km)である。

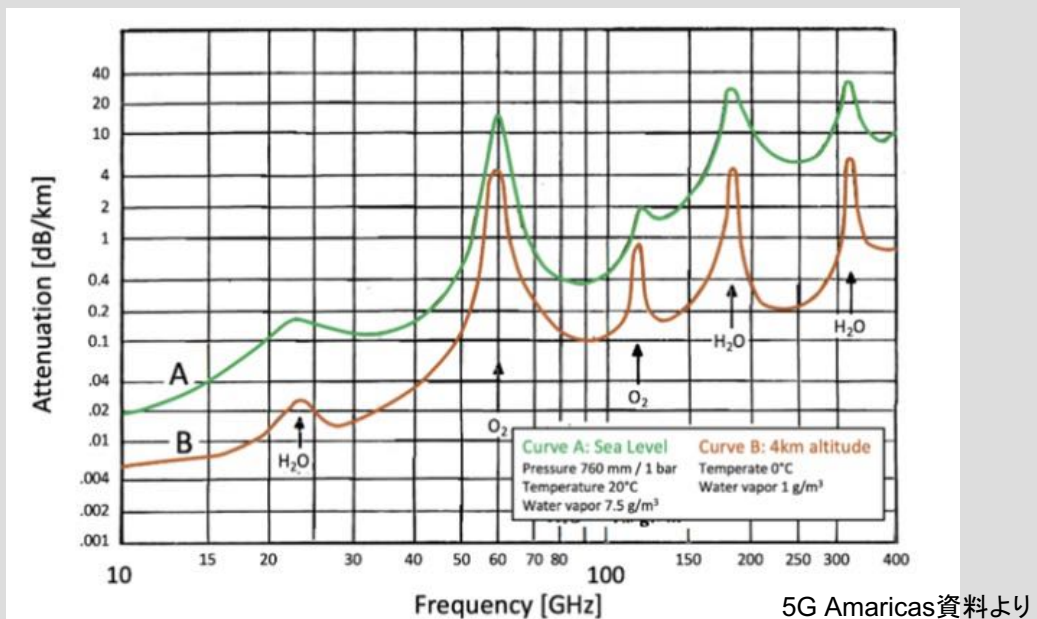
$$P_r = P_t + G_t - L_p - L_o + G_r$$

$$L_p = 20 \log f + 20 \log d + 32.4$$

また、大気中の水分子( $H_2O$ )や酸素分子( $O_2$ )での吸収による減衰が特定周波数で顕著になる。これら分子による減衰量は気圧や温度にも依存し、下図のように地表面付近では海拔4km付近の上空より大きな減衰となる。

100GHz以下では、23GHz付近の水分子、60GHz付近での酸素分子による減衰が大きい。特に後者では1kmあたりの減衰は地表面、20°Cにて約13dBにもなる。100GHz以上では115GHz( $O_2$ )、180GHz( $H_2O$ )、315GHz( $H_2O$ )にて大きな減衰がある。そこで、これらの減衰が避けられる35GHz、95GHz、140GHz付近などは電波伝搬に有効な「電波の窓」と言える。

### 水や酸素分子の吸収による電波の減衰



衛星通信等では減衰が大きい60GHz等を避けた周波数が割当てられている。



### 多様な設置場所や設置形態

ミリ波では1波長が1cm以下と短くなるのでアンテナの小型化や、多数のアンテナ素子を用いたビーム生成が可能になる。

例えば、周波数28GHzでは1波長が約1cmであるので、1/2波長のアンテナ素子1個の寸法は5mm程度であり、数十から百個のアンテナ素子を有するアンテナも1辺10cm程度の大きさで実現可能となる。

利用者が多く集まる都市中心部などでは、このような多素子アンテナをビルの屋上や壁面、道路脇の電柱や街灯などを用いて多数設置することが期待される。

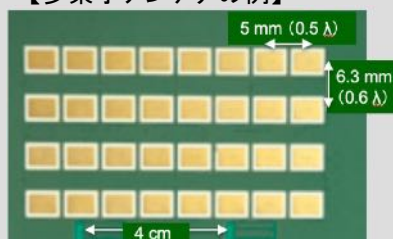
その際、アンテナからの直接見通しが遮られることが多いビル陰などでは、複数箇所を設置したアンテナが協調することで、不感エリアが生じないようにできる。

例えば、2箇所の基地局アンテナ間を中継回線で結ぶことで無線チャネル割り当て制御を協調動作させ、別々のMIMOレイヤーで空間多重する方法がある。

また、柱や窓に中継機(レピータ)を設置することでビル陰やビル屋内にエリアを拡張する方法も有効だろう。

### ミリ波アンテナの例

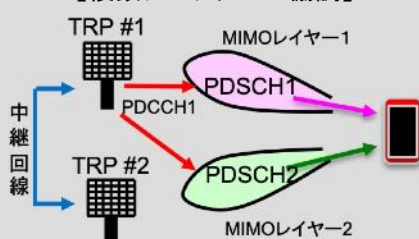
【多素子アンテナの例】



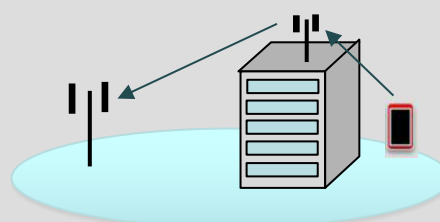
【柱や建物窓への設置例】



【複数アンテナでの協調】



【ビル陰の不感帯解消】



柱や窓への中継機設置によりビル陰や屋内へのエリア拡張ができるだろう

### TTS短縮とチャネル双対性

ミリ波では広い周波数帯域が利用できるため、超高速通信が可能になる。加えてTDD多重における上下リンクの双対性を利用することでビーム制御の簡単化が可能である。

#### 1. フレーム長短縮による低遅延通信

サブギガでの10msのフレーム長をミリ波では例えば1msに短縮することで、コマンド送信の応答信号を数ミリ程度の遅延時間で得ることが可能になる。下ではスロット割当て要求から送信データの受信確認までの4ステップで約4msとなる。

#### 2. 上下リンクの双対性を利用したビーム生成の簡単化

FDDでは参照信号(RS)の受信から得られるチャネル状態情報(CSI)を返送してもらうことで送信局は最適なチャネル行列を選択し複数レイヤ生成やビームフォーミングを行っている。一方、TDDでは上下リンクのチャネル特性は同一とみなせるので、RSの受信品質の測定から得られたCSIを自身の送信回線に適用することでビームフォーミング等を行うことができる。

TTS短縮やTDD使用による効果

データ送信の4つのステップ

RS: Reference Signal  
CSI: Channel State Information  
SRS: Sounding Reference Signal

送受リンクの無線特性を同一として、受信側でのチャネル推定結果を送信ビームの生成に適用することで処理が簡単になる。



## 1. 5G NR仕様と周波数帯

### (9) ダウンリンクでの1024QAMの追加

#### 好条件の無線環境でダウンリンクの更なる高速化

1024QAMの変調方式はRel-15にてLTE, LTE-Aのダウンリンクにて追加されていたが、Rel-17ではサブ6GHz周波数帯(FR1)を使用する5G NRダウンリンクに対してもこれまで256QAMまでであった変調方式に1024QAMが追加された。

基地局とUEが直接見通しにあり、また、高速移動しないようなUEにて高いS/Nが得られる無線環境の場合、更なる高速伝送が可能になる。

1024QAMのCQI (Channel Quality Index: チャネル品質指標)でのIndexは、14, 15を使用し、FEC符号化率でそれぞれ853/1024, 948/1024にあたる。

また、MCS(符号化率)表ではindexの23,24,25,26の使用が定められている。

#### サブ6GHz帯ダウンリンクでの1024QAMの追加

##### 【CQI Index表での追加】

Channel Quality Indicator

UEで測定した受信SINRから、最適な変調方式と符号化率の組合せをCQI Indexとして基地局に報告する。

CQI index	Modulation	Code rate x 1024	Efficiency
0		Out of range	
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	193	0.377
3	QPSK	449	0.877
4	16QAM	378	1.4766
5	16QAM	616	2.4063
6	64QAM	567	3.3223
7	64QAM	666	3.9023
8	64QAM	772	4.5234
9	64QAM	873	5.1152
10	256QAM	711	5.5547
11	256QAM	797	6.2266
12	256QAM	885	6.9141
13	256QAM	948	7.4063
14	1024QAM	853	8.3301
15	1024QAM	948	9.2578

##### 【MCS表での追加】

Modulation and Coding Scheme

適応変調符号化(AMC)を行う際の対応表

MCS index	Modulation	Target code rate R x [1024]	Spectrum efficiency
23	10	805.5	7.8662
24	10	853	8.3301
25	10	900.5	8.7939
26	10	948	9.2578
31	10	Reserved	

1024QAMの変調方式でもFEC符号化率の違いによりデータ速度は異なる。

### 多様な設置場所や設置形態



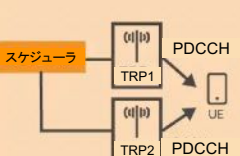
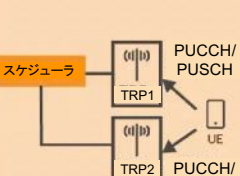

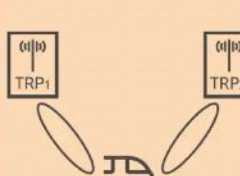
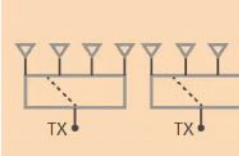
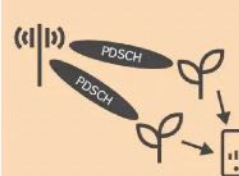
Rel-17では、TDDでのチャネル双対性などを利用してMIMO動作の高速化や信頼性向上を図っている。

Rel-16では隣接する2ヶ所のTRP(Tx/Rx Point)からUEへのPDCCHを協調することで2つの独立したレイヤーでのPDSCHによるダウンリンクデータ送信を規定していたが、Rel-17では当該PDCCHの信頼性向上を図った。また、アップリンクでのチャネル信頼性向上を図っている。

SFN(Single Frequency Network)を使用した350km/hまでの高速鉄道では、列車ルーフ部に前方と後方向けの2式のアンテナを設置して、線路脇の2つのTRPに同時にビームを向けられるようになる。

基地局でのスケジューリング用に受信品質測定やタイミング調整のために上りリンクに挿入するSRS(Sounding RS)を適時最大8アンテナに切り替え使用することで下りリンクのチャネル特性把握に利用する。

Rel-17でのMIMO機能の拡張

ビーム方向の制御	複数TRPによる信頼性向上	複数TRPによる高速化	チャネル双対性の利用
 <p>FR2帯域使用時の高速移動</p>  <p>UEでのビーム選択高速化</p>	 <p>スケジューラ</p> <p>TRP1 PDCCH</p> <p>TRP2 PDCCH</p> <p>UE</p> <p>PDCCHの信頼性向上</p>  <p>スケジューラ</p> <p>TRP1 PUCCH/PUSCH</p> <p>TRP2 PUCCH/PUSCH</p> <p>UE</p> <p>PUCCH/PUSCH信頼性向上</p>	 <p>TRP1</p> <p>TRP2</p> <p>FR2帯域でのNC-IT</p>  <p>TRP1</p> <p>TRP2</p> <p>SFN利用の高速鉄道</p>	 <p>TX</p> <p>TX</p> <p>最大8アンテナ素子間のSRS切り替え</p>  <p>PDSCH</p> <p>PDSCH</p> <p>タイプII CSIの利用</p>

Ericsson資料より

TDDでのチャネル双対性を利用したMIMO動作の高速化などを図っている。

#### 無線によるバックホール

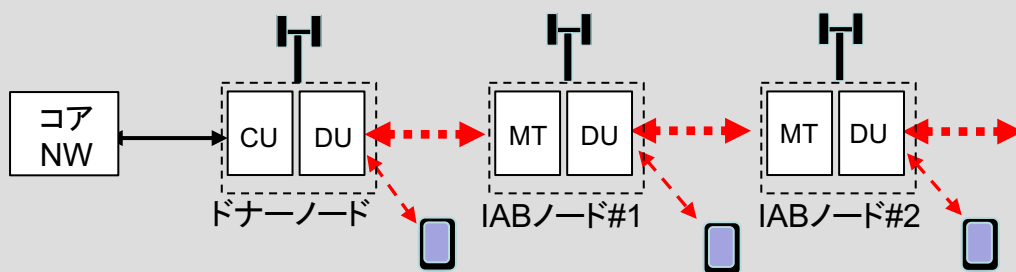
現在、基地局とコア網を結ぶ回線であるバックホールには、光ケーブル回線が広く用いられている。ただし、光ケーブル回線が利用できない一部の地域や場面では地上マイクロ波や衛星回線が使用されている。

多数の基地局設置を要する5G網では基地局への光ファイバー回線引き込みが困難なケースが多い。そこで、無線によるバックホールを用いてコア網と複数基地局間を多段接続するIABがRel-16にて定められた。

このIABはコア網に直接接続される親ノード(ドナーノード)と、以遠の1つ又は複数の子ノード(IABノード)で構成される。このうちIABノードはUEと同等機能を有するIAB-MTと基地局のDUと同等機能を有するIAB-DUで構成される。

IABが使用する無線帯域内では、IABノードで順次中継される中継用無線リソースに加え、IABノード近傍のUEとの間で通信を行うアクセス回線用のリソースも多重して伝送できる。

#### IAB (Integrated Access Backhaul) の基本構成



CU: Central Unit  
DU: Distributed Unit  
MT: Mobile Terminated

マルチホップのIABでは、IABノード間でバックホールを中継するとともに、IABノード近傍のUEとの間で通信を行うことができる。

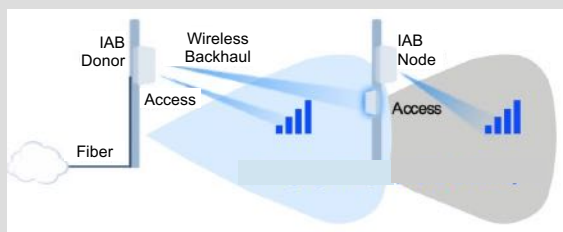
#### 不感エリアの解消や臨時回線の設定などに

UEとのアクセス回線用リソースをIABリンクに收容することで、IAB基地局を次のような多様な場所やシーンに設置・展開できる。

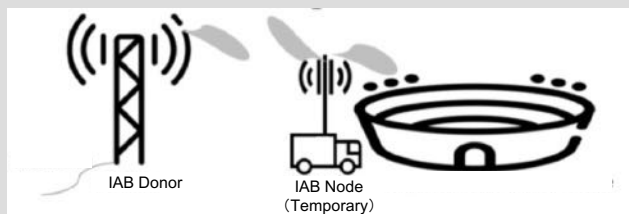
1. 不感エリアの解消  
ビルや構造物などによって(親)基地局からの信号減衰が大きいエリアにIABにて(子)基地局を張り出す。
2. スタジアム等での臨時回線  
観客集中などによる一時的なトラフィック増加に対応する車載基地局のバックホール回線を設定する。
3. 道路脇への基地局設置  
道路沿いに多数の基地局設置が必要となるC-V2Xにて、それらの基地局の多くがIABの子局とするバックホール回線を設定する。

#### IABの多様な利用形態

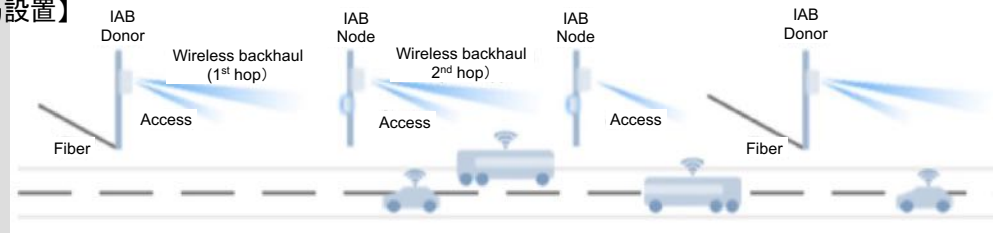
【不感エリアの解消】



【スタジアム等での臨時回線の設定】



【道路脇への基地局設置】



“Innovations in 5G backhaul Technologies”, June 2020, 5G Americas より

IABを活用して5Gの様々な利用シーンに柔軟かつ機動的に対処できる。

## 2. IAB

### (3) IABでのチャネル多重方式

#### IAB局間やUEとの間の干渉雑音を抑制

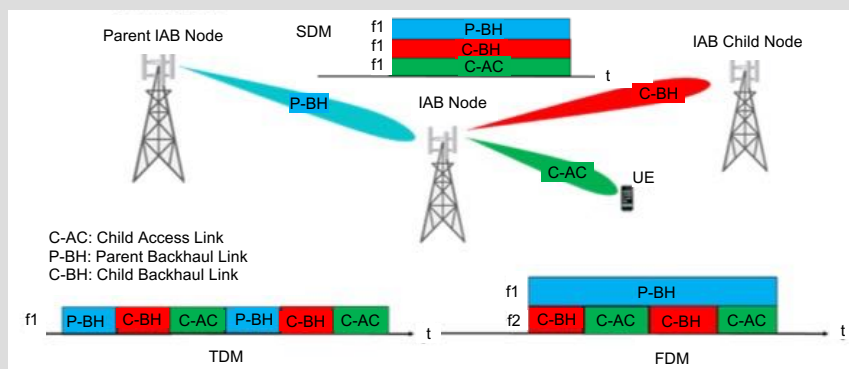
IAB回線でのユーザデータ伝送では、IAB-IAB間やIAB-UE間の複数無線リンクがあることから、相互リンク間の干渉雑音を抑制することが重要である。これを考慮したチャネル多重方式にはTDM, FDM, SDMの3つがある。

このうちTDMでは、IAB親局、IAB子局、UEが送受するタイムスロットを時間軸上で分離・多重することで相互の無線干渉を回避する。

IAB子局にて近傍のUEにアクセス回線を提供する場合には、以遠のIAB局間リンクとアクセスリンクをTDM多重する搬送波周波数とは別周波数をIAB親局と子局間リンク用に使うFDMがある。

SDMでは、IAB局にて隣接IABやUEとのビームを空間的に分離できるアンテナを用いることで同じ周波数と時間を共有するリソースユニットを空間多重する。

#### IABでのチャネル多重方式



"Innovations in 5G backhaul Technologies", June 2020, 5G Americas より

同じ周波数を空間多重するSDMでは、ビーム方向の制御によって干渉を抑える。

IABではTDM, FDM, SDMの3方式のチャネル多重方式がある。



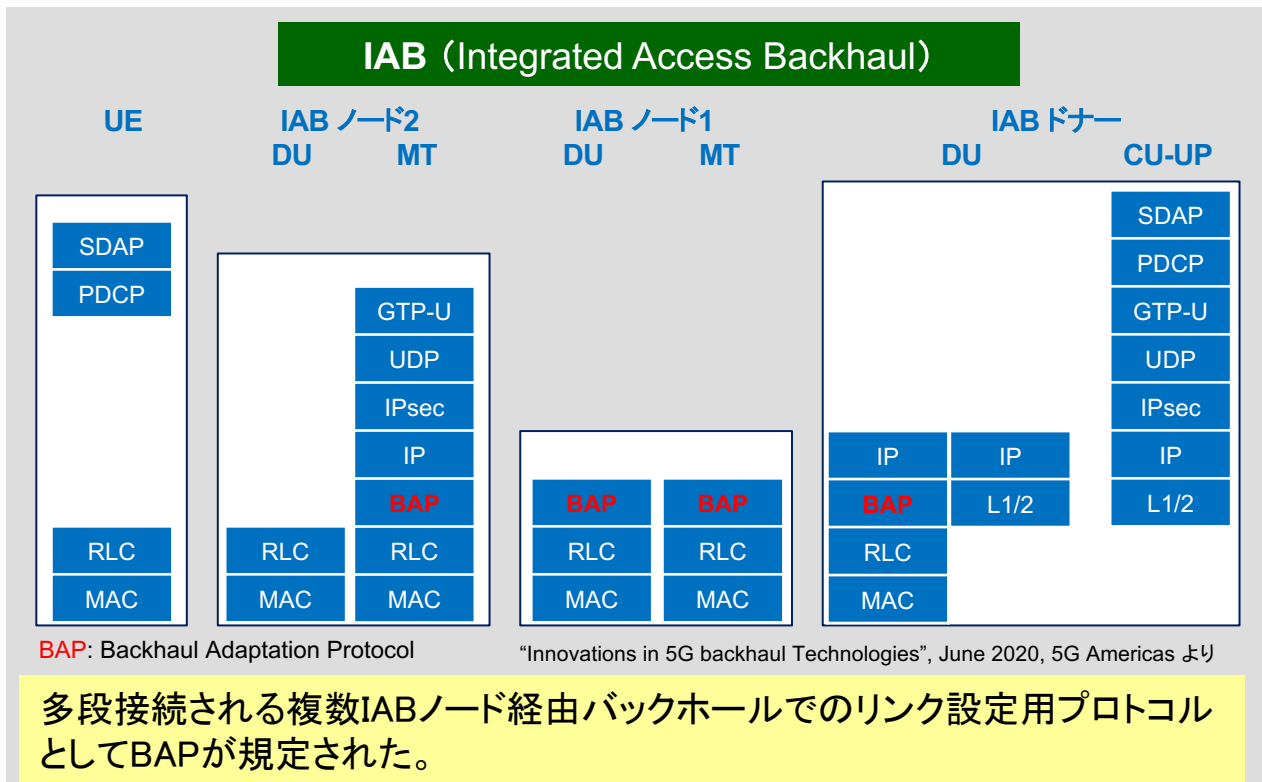
## 2. IAB

### (4) IABノードの動作手順

#### IAB間で多段接続するIPトラヒックのルートをBAPで初期設定

直列あるいは並列に多段接続される複数IABノード経由バックホールでのリンク設定用プロトコルとしてBAP (Backhaul Adaptation Protocol) が規定された。BAPはIABのMT-DU間にてIPとRLC(Radio Link Control)層の中間に付加されて次の手順を担当する。

1. IABノード内のIAB-MTはUEと同様の手順でネットワークと接続する。
2. バックホールを経由して制御信号を伝送するため、IABノードとIABドナーCU間でRLCレイヤを確立する。
3. IABドナーとIABノード間でのIPトラヒック疎通のため、ルート情報(BAPアドレス、BAPルーティングID)の設定/更新を行うとともに、IABノードのIPアドレスを払い出し、BAPアドレスと紐付ける。
4. IABノードは払い出されたIPアドレスを用いてIABドナーとのリンクを確立し、IAB-DU間の動作を開始する。





### 3. NTN

#### (1) 5G時代の衛星通信

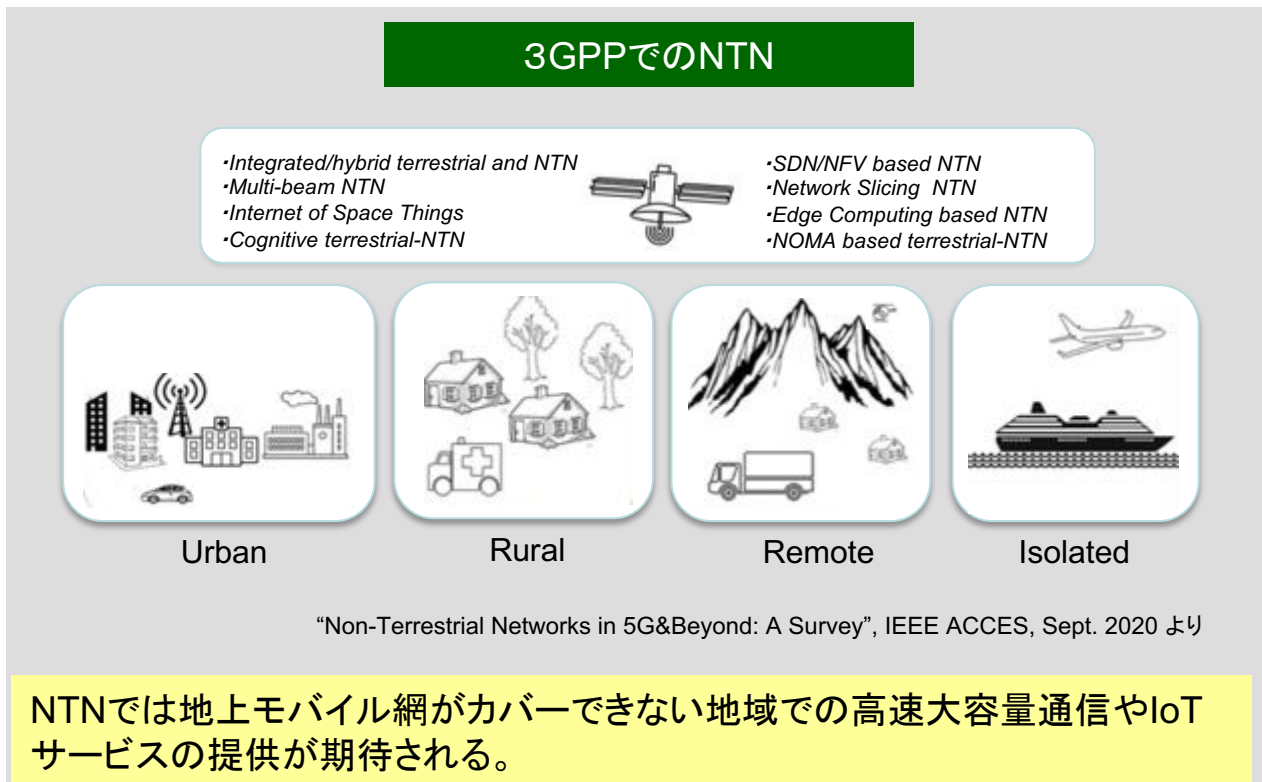
#### 3GPPでのNTNの検討

Rel-17では、地上モバイル網ではカバーできない地域でも5Gサービスが提供できるように、地上系5Gシステムを衛星網で補完あるいは拡張するNTN(Non Terrestrial Network)の仕様を規定した。また、NTNでは成層圏通信プラットフォーム(HAPS:High Altitude Platform Station)も対象としている。

NTNの対象サービスでは、超低遅延時間(URLLC)を除く、高速大容量通信(eMBB)と多数デバイスとのIoT(mMTC)を想定している。特にeMBBでは次のようなサービスを想定している。

- ・トランク回線: モバイルバックホール(基地局-コア網間)を含む拠点間回線
- ・放送・同報サービス: 多数端末への同時配信
- ・移動体との通信: 車両や船舶等との間の高速通信

mMTCでは地上モバイル網のNB-IoTやeMTCをNTNに拡張する検討が行われており、山岳部や極地などでのIoTの進展が期待される。





### 3. NTN

#### (2) 衛星システムの主要パラメータ

#### LEO衛星では高度600kmと1200kmの場合を想定

NTNの衛星軌道は、静止衛星軌道(GEO)と地上高600kmおよび1200kmの低軌道周回衛星(LEO)を対象としている。  
衛星中継器やUEでの主要諸元は、主たるユースケースを考慮して設定し、それに基づいて回線設計(リンクバジェット計算)や低位レイヤ(物理層、MAC層)での所要機能、システム容量などを検討している。

中継方式では、衛星中継器内で受信信号を復調せずアナログ信号のまま増幅・送信するベントパイプ方式と、中継器内で受信信号を復調・再生した後に変調し再送信する再生中継方式も対象とした。

5G NTNでは、地上5G NR技術を最大限活用した地上網との連携を目指している。そこで、変調方式やチャネル割り当てなど低位レイヤの仕様は5G NR仕様に準拠する一方、衛星リンクでの大きな伝搬遅延時間への配慮や、LEO衛星に特有の衛星ハンドオーバー等に関する機能追加を検討している。

#### GEO/LEOシナリオと主要パラメータ(再生中継方式シナリオは除く)

3GPP Technical Report 38.821 Table 4.2-1 を元に作成

	GEO	LEO	
衛星地上高	35,786 km	600km	1200km
最大セル直径	3500km	1000km	
最低仰角(UE, GWとも)		10°	
最大RTD*(伝搬遅延のみ)	541ms	25.8ms	41.8ms
セル内での最大遅延時間差	10.3ms	3.12ms	3.18ms
最大ドップラー偏移(固定UE)	0.93ppm	24ppm	21ppm
最大ドップラー変動(固定UE)	0.000045ppm/s	0.27ppm/s	0.13ppm/s
UE最大速度	1200km/h(航空機)		
UEアンテナ形式	無指向性(直線偏波) 利得:0dBi 有指向性(最大60cm径, 円偏波)		
UE送信電力	無指向性アンテナ:最大200mW 指向性アンテナ:最大20W		
サービスリンク	3GPP NR規定に準拠		

\*) RTD: Round Trip Delay

多数の衛星配置が進行中のLEOコンステレーションへのとの協調が求められるだろう。



### 3. NTN

#### (3) 3GPP NTNでの検討課題

#### 遅延時間の増加やセル間移動などの影響考慮が必要

NTNでは3GPPの無線方式やコアNW機能をベースに、衛星通信回線の特徴を考慮した機能追加や仕様変更を行っている。地上モバイル網の一部機能の変更のみでNTNユーザを収容できれば、特定サービスにて同一UEを用いた地上網とNTN間での接続変更(ハンドオーバー)が実現できるかもしれない。

- ・物理層： 狭帯域のサブキャリアを周波数多重するOFDM/OFDMA、物理チャンネルはRAチャンネル, 共有データチャンネル, 参照信号や制御/監視信号
- ・MAC層/リンク層： リソース割当要求からリソース割当までの手順、参照信号測定結果返送を通じた変調方式・符号化率の適用制御 HARQによるパケット再送、送信電力制御(ALC), ハンドオーバー処理など

コマンドへのレスポンス遅延対処のために受信ウィンドウ拡大や手順変更を要する。特に、LEOでは地表面を照射するセルが衛星移動に伴い移動するので、衛星ハンドオーバーやUEの在圏登録などで地上網と異なる対策が必要となる。

#### 3GPPでのNTN仕様の検討

3GPP Technical Report 38.811 Table 8.4.2-1 を元に作成

NTNの特徴	効果	影響のある仕様	検討事項
衛星/端末の移動	セルの移動	ハンドオーバー/ページング	手順の見直し
	遅延時間変動	TA	手順の見直し
	ドップラー	ダウンリンクでの初期同期	サブキャリア間隔見直しなど
高度: 大	遅延時間: 大	HARQ	HARQ停止を含む手順見直し
		物理層手順(ACM, TPC)	制御方法見直しなど
		MAC/RLC手順	タイマー数値見直しなど
セルサイズ: 大	遅延時間の変動	ランダムアクセス応答でのTA	手順の見直し
衛星中継器の特性	送信機の非直線性	PAPR	低PAPR送信機
	位相雑音	PT-RS	低次変調方式の使用

TA: Timing Advance  
HARQ: Hybrid ARQ

ACM: Adaptive Code & Modulation  
TPC: Transmit Power Control

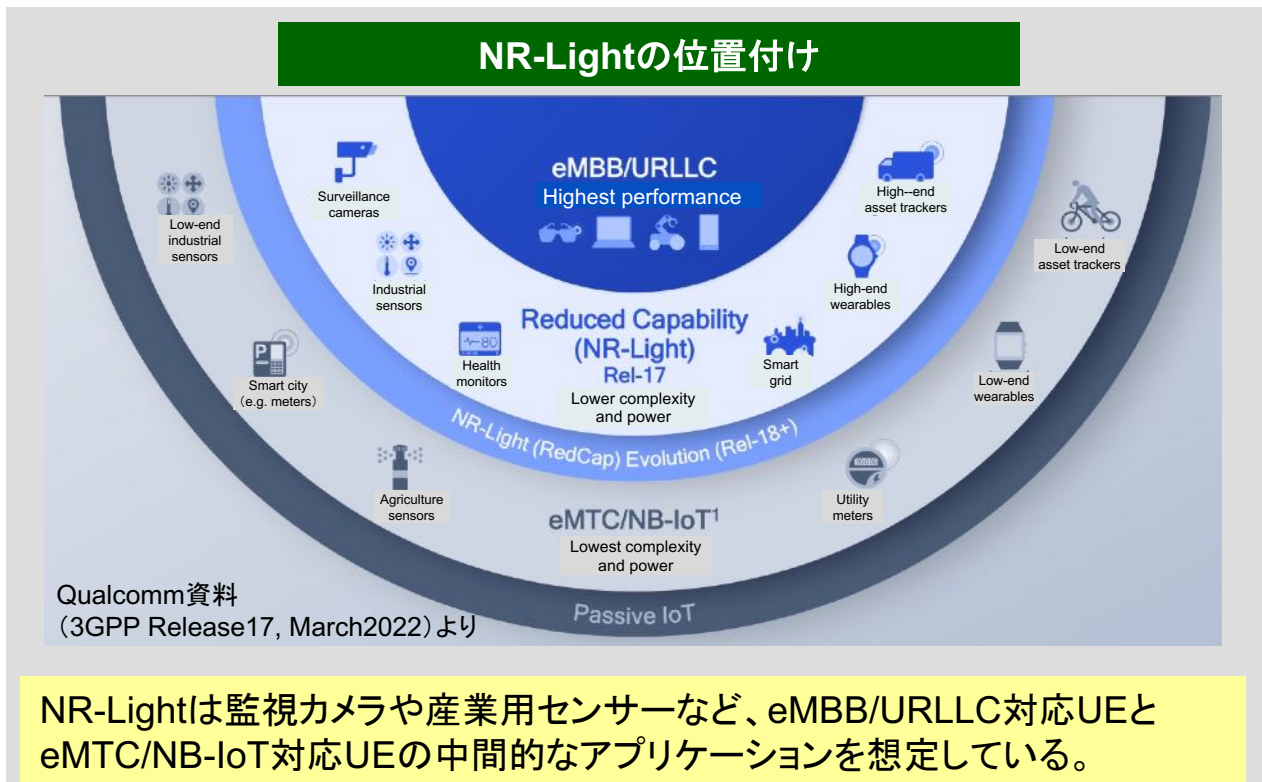
PAPR: Peak to Average Power Ratio  
PT-RS: Phase Tracking RS

HAPSを含めたNTNはRel -18でも継続検討課題となっている。

#### eMBB/URLLCよりNR機能を削減

Rel-17では5G NRの超高速や低遅延性能を有するUEに比べて、装置の簡易化や消費電力低減を図ったNR-LightあるいはRedCap (Reduced Capability)と称するUE標準を新たに規定した。NR-LightはeMTCやNB-IoTと比較すると、より高速で複雑であり次の特徴を有する。

- 最大帯域幅：サブミリ波では20MHz, ミリ波では100MHz
- 受信アンテナ素子数：1または2
- 通信モード：半2重通信に限定
- 送信電力の低減、低消費電力モードの活用、移動性能やハンドオーバー機能の制限
- 高次変調方式の使用制限(256QAMはオプション)、データの繰り返し伝送等
- シグナリングオーバーヘッドの短縮やコア網機能の簡略化など





## 4. mIoT

### (2) eMTCやNB-IoT機能の拡張

#### UEの状態や機能に応じデータ伝送の効率化や省電力化

eMTCやNB-IoTでは既存機能を継続使用可能とする一方、次のような規定の追加によってデータ速度の増加やUE消費電力の削減を図っている。

##### 【eMTC】

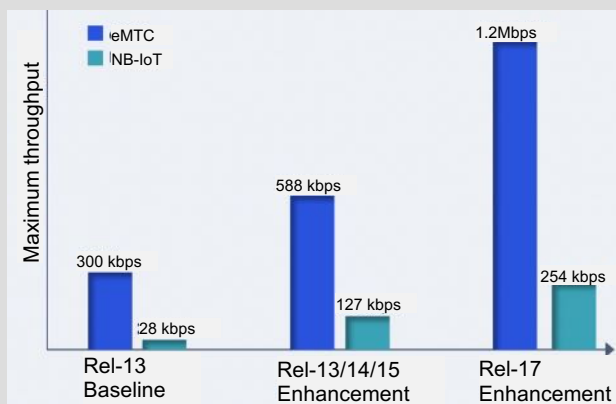
- 半2重FDDデバイスの下リリンクにて、データ伝送処理の基本単位であるTBS(Transport Block Size)の拡大と、14HARQプロセス<sup>(注1)</sup>適用によるデータ送信の高速化
- 上リデータチャネル(PUSCH)でのサブPRB<sup>(注2)</sup>単位でのリソース割り当てによる電力使用の効率化

##### 【NB-IoT】

- 上下リンクでの16QAMの追加と、下リリンクのTBSサイズの拡大
- 無線リンク確立失敗時の復旧時間短縮化(隣接セルの基準信号測定開始の先行など)

#### eMTC/NB-IoTでの伝送速度向上

【eMTCとNB-IoTでのデータ速度の改善】



Qualcomm資料(3GPP Release17, March2022)より

(注1) 14 HARQプロセス

HARQ (Hybrid ARQ)において、先方からの応答を待たずに最大14個の連続データブロックに対するHARQ処理を同時並行して行う方式

(注2) サブPRB

OFDMでのリソース割当て単位であるPRB (Physical Resource Block)は連続する12サブキャリアを有するが、IoT向けに3, 6サブキャリア構成としたもの

eMTCやNB-IoTより高速性が求められる場合には、LTE Cat-1に加え、NR-Lightの利用が考えられる。

#### Rel-17では主にサイドリンク機能を拡張

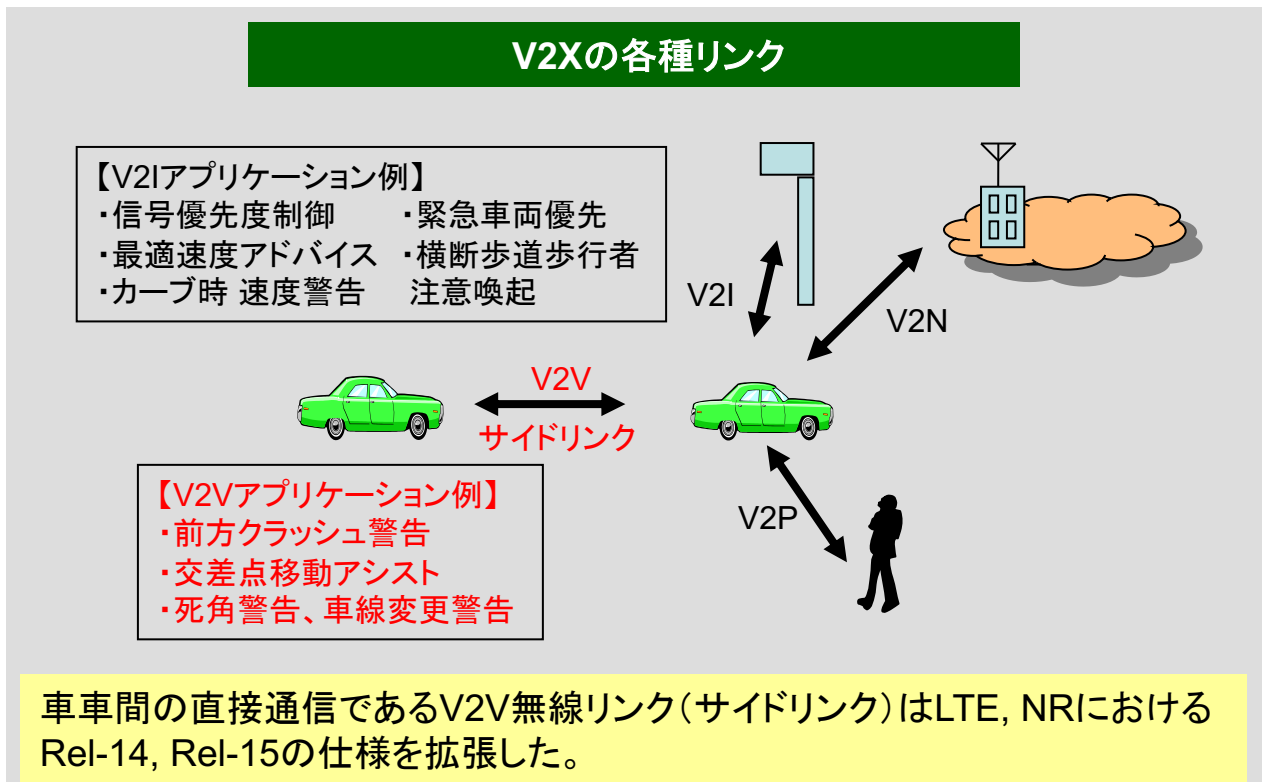
Rel-17では、Rel-16に引き続いて自動車向けの各種無線通信であるV2Xの機能拡張が行われた。

ここでV(自動車)に対するXとして車車間通信にあたるVのほか、路側機のI (Infrastructure)、歩行者のP (Pedestrian)、網のN (Network)がある。セルラV2Xではこのうち基地局との通信V2Nと車車間のV2Vが重要である。ここで、V2Vの無線リンクはサイドリンクと呼称される。

Rel-16では、隊列走行、センサデータや映像の伝送、自動走行や準自動走行、遠隔制御での走行を想定した仕様拡張が行われた。

Rel-17では、主に次のようなサイドリンクの機能拡張が行われた。

- ・リソース割当の改善(デバイス遅延時間と消費電力の低減、信頼性の向上)
- ・DRX(Discontinuous Reception)導入による消費電力低減
- ・サイドリンク用の新周波数帯の設定
- ・デバイス間リレーによるV2Vカバレッジの拡大



#### 隊列走行などでの車車間通信

NRサイドリンク通信では次の3つの通信形態を想定している。

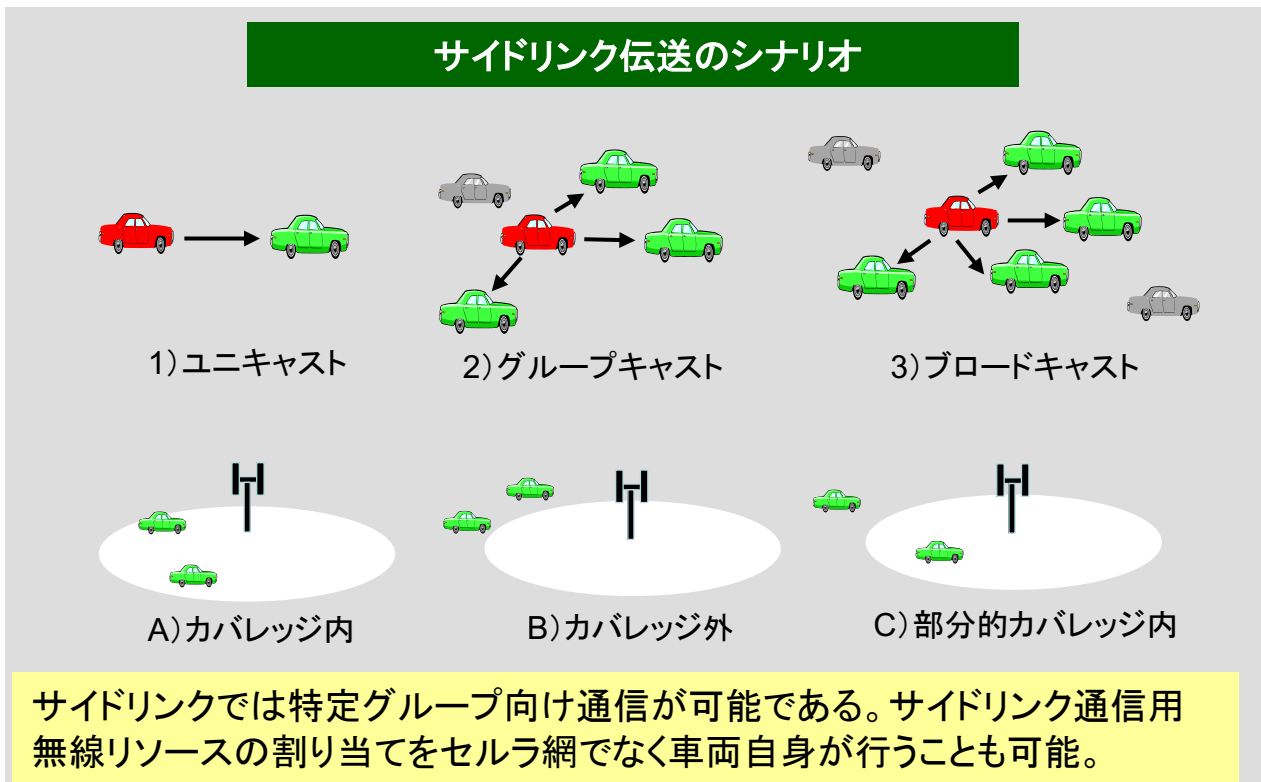
- 1) ユニキャスト： 特定の1車両が受信
- 2) グループキャスト： 特定の複数車両が受信
- 3) ブロードキャスト： 伝送距離内にある全ての車両が受信

一方、セルラ網での車両位置に依存する次のケースが考えられる。

- A) カバレッジ内: セルラ網はサイドリンク通信を行うUEを制御可能
- B) カバレッジ外: サイドリンク通信を行うUEはセルラ網で制御不能
- C) 部分的カバレッジ内: サイドリンク通信対象のUEの一部のみカバレッジ内

NRのサイドリンク通信ではリソース割当に次の2つのモードを規定している。

- ・モード1: セルラ網が通常のスケジューリング手順により、全サイドリンク通信のリソース割り当てを行う。(対象車両がセルラ網カバレッジ内にある前提で)
  - ・モード2: 車両自身がリソース選択手順に従ってサイドリンク通信用の特定リソースを使用する。(セルラ網外だけでなくセルラ網内でも利用可能)
- 同期源にはGNSS, 基地局の他に、セルラ網外でも同期可能な近隣UEがある。





## 5. V2X

### (3) C-V2Xのサービス例と諸元

#### 自動運転から交通流制御や車内娯楽提供まで

C-V2Xでは、様々なサービスの提供を想定している。

その中で最も基本的な要件は安全であり、車線変更や交差点通過時などでは運転者や歩行者に適切な情報をタイムリーに提供することが重要である。

そこで5GAA(5G Automotive Association)では、C-V2Xでの様々なユースケースにおけるデータ速度、エンドツーエンド遅延時間、信頼性を掲げている。

自動運転車が安全快適に走行するためには、信号の灯色やサイクル、ブラインドエリアの車両や歩行者の存在、緊急車両の接近、道路の規制情報などを先読みしたり、車線変更時に車同士の情報交換の通信が必要となる。

例えば、交差点横断時の車両と信号機間データ速度は64kbpsと低速だが遅延時間は10ms以下、信頼性は99.9999%以上という厳しい値が課されている。

このほか、交通流の状況に応じた信号機の制御、車群の走行開始タイミングの指示などによる交通流の効率化や、車内エンターテイメント等の便益提供、運用管理のためのソフトウェア更新に関する要求条件も規定している。

#### C-V2Xのサービスと諸元

サービス	主なユースケース	C-V2X	E2E遅延時間	信頼性	データ速度
安全	車間距離	V2V	50 ms	99.9%	2 Mbps
	歩行者横断注意	V2P	100 ms	99.9%	64 kbps
自動運転	車線変更(Lane merge)	V2V	20 ms	99.9%	12 kbps
	緊急状況での運転	V2V	10 ms	95%	48 kbps
	車車協調による自動運転	V2V	20 ms (4ラウンドトリップの各回で)	99.9%	64 Mbps (システムレベル)
	隊列走行	V2V	50 ms	99%	24 kbps
	交差点横断(crossing)	V2I	10 ms	99.9999%	64 kbps
	地図情報取得	V2N, V2I	100 ms	99%	16 Mbps
	周囲環境の把握	V2N, V2I	100 ms	99.99%	4-80 Mbps
交通流効率化	遠隔操縦(ToD)	V2N	100ms(UL)/20ms(DL)	99.999%	36M(UL)/400k(DL)
	バスレーン設定/解除	V2I, V2N	200 ms	99%	40 kbps
	信号機制御による交通流調整	V2I, V2N	100 ms	95%	20 kbps
便益	車群の走行開始	V2I	10 ms	99.999%	20 kbps
	自動バレーパーキング	V2I	500 ms	99%	16 kbps
	注意確認	V2V, V2N	20 ms	99.9%	40 kbps
	車内娯楽	V2N	20 ms	99%	最大250 Mbps
運用管理	死角エリアの確認支援	V2I, V2V	50 ms	99%	5 Mbps
	無線システムのソフトウェア更新	V2N	遅延許容	99%	200 Mbps(遅延許容)

(出典) "C-V2X & 5G", 3G Americas White Paper, Sept. 2021 p.12より

ユースケース中、交差点横断での遅延時間や信頼性への要求は最も厳しい。





## 5. V2X

### (4) 日本でのITS関係の電波割り当て状況

#### 隊列走行などでの車車間通信

日本では、以前よりAM帯(1620kHz)でのハイウェイラジオ、FM帯(76-90MHz)やS帯(2.5GHz)での渋滞や通行止め等の交通情報提供に加え、5.8GHz帯を用いた自動料金収納(ETC)サービスが普及している。

近年はドライブレコーダー接続の車載カメラや60GHz帯の車載レーダーを搭載した自律型の運転支援システムを自動車メーカーが競って導入している。

今後は、C-V2Xを通じて高度な運転支援や自動走行を実現する協調型の運転支援システムの導入を目指しており、このために総務省では次の様な周波数帯の確保や技術的条件の策定を2023年までに行う予定である。

- ・760MHz帯DSRCと5.9GHz帯C-V2Xに関する技術的条件の策定
- ・5.9GHz帯への新規割当の検討  
(同帯域や隣接周波数帯使用の既存システムとの共用可能性の検証)

#### 日本でのITS向け電波の割り当て状況

周波数	利用目的
1620 kHz	路側放送(ハイウェイラジオ)
76~90MHz	道路交通情報通信システム(VICS)
755.5~764.5MHz	安全運転支援システム(注1) (車車間通信等により衝突を回避)
2.5GHz	道路交通情報通信システム(VICS)
5770~ 5845MHz (注2)	道路交通情報通信システム(VICS) 自動料金收受システム(ETC) 狭域通信システム(DSRC)
22~29GHz	UWBレーダー
60~61GHz	車載レーダー 長距離レーダー
76~81GHz	高分解能レーダー

注1) 日本独自方式の760MHz帯ITS無線。路側機と車間、車車間通信で衝突回避。

注2) 日本はDSRC用に海外とは異なる帯域を割り当てている。

総務省では5.9GHz帯にV2X用の電波を新たに割り当てるため、既存システムとの電波干渉の影響検証や技術的条件の策定を実施予定。



## 6. NEFとO-RAN

### (1) NEF (Network Exposure Function)-1/2

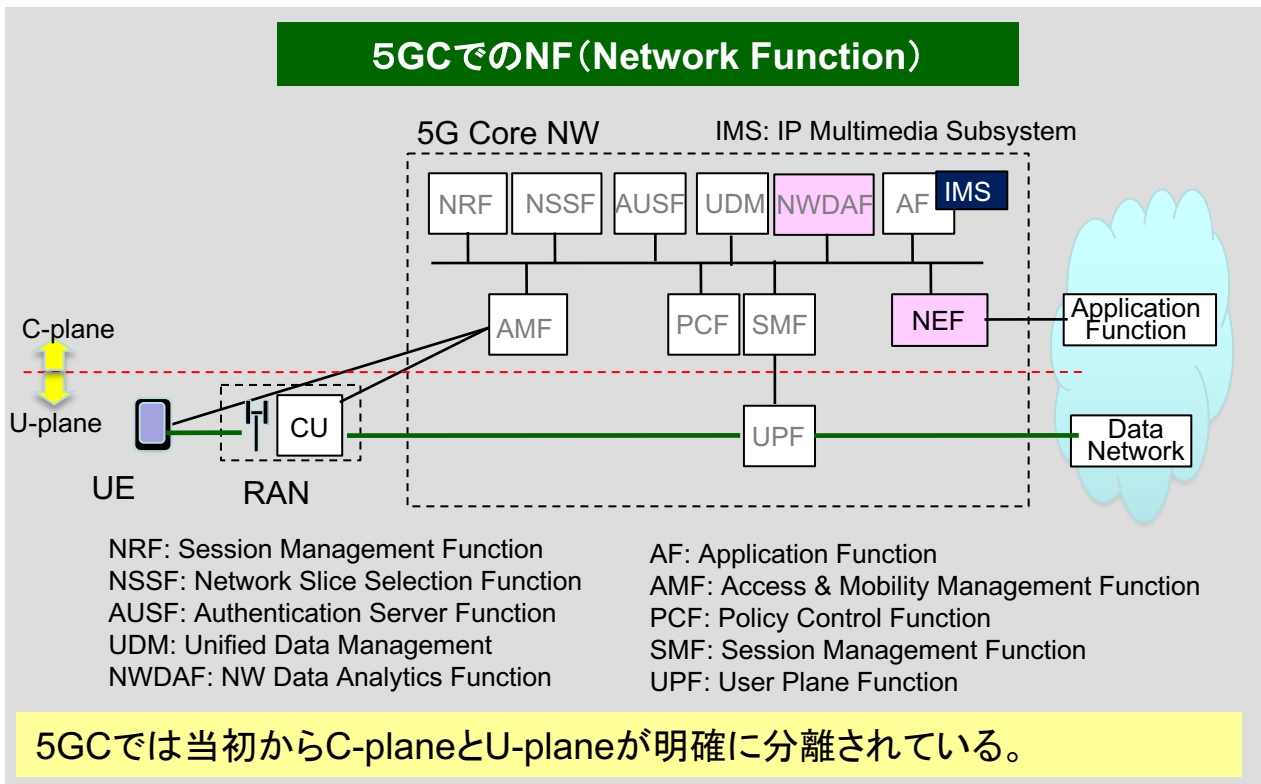
#### ネットワークの一部機能を外部に開放してアプリ開発を促進

5Gコア網(5GC)では、多様なアプリケーションの開発や利用が可能になるように網機能の一部をAPIを通じて外部に開放できるようにした。このAPI提供機能はNEFと呼称される。

5GCは下図のようにNF (Network Function) と呼ばれるノードで構成される。ここで、サービス事業者とUE間のU-planeでのデータ伝送はUPFを経由するが、外部アプリ事業者等はNEFを介してC-plane上の加入者情報やネットワークの状態変化などを把握したり、一部の網機能の制御ができるようになる。

例えば、車との通信では次のようなユースケースでのNEF活用が想定される。

- ・車への動的地図情報(大容量)の提供
- ・車からのCANデータ(低遅延)の取得
- ・統計情報分析機能の公開による交通流制御や車の経路選択支援
- ・4G エリアから5Gエリア移動時に利用可能なNEF APIの通知
- ・トラヒック閑散時(すき間時間)を利用したデータ通信 など





## 6. NEFとO-RAN

### (2) NEF (Network Exposure Function) -2/2

#### NEFを用いたAPI機能の一覧表

3GPP Rel-16ではNEFによるAPI機能の一覧を示している。  
これらには例えば、次のようなAPIがある。

- ・EventExposure: 端末の位置や状態、ネットワーク状態の変化の通知
- ・AFsessionWithQoS: 端末のデータ速度や遅延などのサービス品質を指定
- ・Trafficinfluence: ユーザデータの送信ルートの変更を指示
- ・ChargeableParty: 宣伝提供スポンサー付きデータ送信での課金先を設定

ここで、AF (Application Function) は外部のASP (Application Service Provider) プラットフォーム側の機能である。

#### NEF (Network Exposure Function) -1/2

API名	機能
NIDD (Non-IP Data Delivery)	IPを使用しないC-planeを用いたデータ伝送を設定
Monitoring Event	UE状態をAFへ通知
Device Triggering	UEとのコネクション確立などで使用
CP Parameter Provisioning	ASPの用途に応じてAFからUEの通信パターンを変更
Resource Management of BDT	トラフィック閑散時にバックグラウンドデータ(BDT)を送信
Changing Chargeable Party	宣伝情報スポンサー等へデータ送信の課金先を変更
Session QoS	QoSを使用したネットワークセッションの確立
PFD Management	ASPがアプリのPFD (Packet Flow Description)を設定
ECR Control	ASPがUEのECR (Enhanced Coverage Restriction)を設定
NP Configuration Provisioning	AFがUEのスリープモード最大時間などを設定
MSISDN-less MO SMS	UEからのSMSデータを送信

出典: "3GPP概要", 「情報通信アーキテクチャの今とこれから」シンポジウム, KDDI 中野, 2021.3

モバイル事業者はNEFを介して外部アプリケーションに網機能の一部を開放することで新たな収益を得る機会になる。



## 6. NEFとO-RAN

### (3) NWDAF (Network Data Analytics Function)

#### UEやネットワークの状況データを基に自動化や最適化

5Gのコアネットワークでは、C-planeでのNFとして新たにNWDAFが導入された。3GPPではNWDAF機能の拡張を通じて、次のような5Gネットワーク自動化の検討が行われている。

- NWDA-assisted QoS Provisioning: NWDAFでの分析を基にしたQoSの決定
- NWDA-assisted Traffic Handling: NWDAFでの分析を基にしたUPFの選択
- Using NWDA output to customize mobility management:  
網状況に応じたポリシーの更新
- NWDAF assisting 5G edge computing: 網の状況に応じたエッジ  
コンピューティングでのルーティング最適化
- NWDAF-assisted load (re-)balancing: NWDAF支援によるNFの(再)負荷分散
- NWDA-assisted determination of areas with oscillation of network conditions:  
NFやAFからの収集情報を基にQoS改善可能なエリアや区間を予測
- NWDA-assisted predictable network performance:  
自動運転車の制御のための網性能の予測

#### NEF (Network Exposure Function) -2/2

API名	機能
Traffic Influence	AFからオフロードするトラフィックを指定
NIDD Configuration Trigger	NIDDのトリガリングを設定
Applying BDT Policy	BDT API設定時にBDT配信ポリシーをUEに適用
RACS Parameter Provisioning	UE能力のパラメータを設定
5G LAN Parameter Provisioning	5G Vertical LANサービスでのLANグループの設定
LPI Parameter Provisioning	UE位置情報におけるプライバシーパラメータの設定
ACS Parameter Provisioning	5G RGの監視制御を行うACS(Auto-Configuration Server)の設定
Service Parameter	AFからアプリケーションスライス等のパラメータを設定
Analytics Exposure	UEやNW状態の分析レポートを取得
IPTV Configuration	AFからUEが加入するIPTVチャンネルのアクセスを制御
Mo LCS Notify API	eLCS(enhanced Location Exposure Service)を起動

出典: "3GPP概要", 「情報通信アーキテクチャの今とこれから」シンポジウム, KDDI 中野, 2021.3

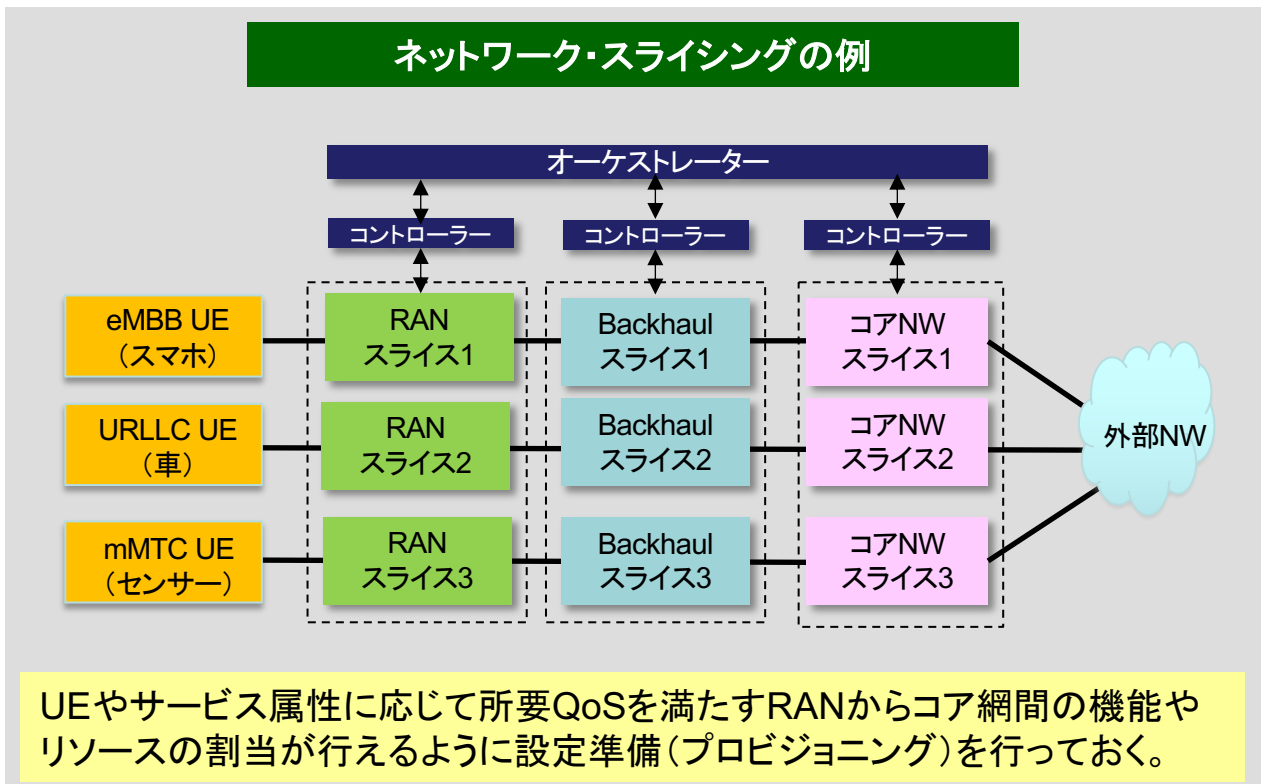
NWDAFでは膨大なデータ処理のためにAI活用が検討されている。

#### サービス要求条件に対応したネットワーク機能を柔軟に構成

5G NRではモノや機械との通信が多くなる一方で超高速通信が必要なアプリが増加するなど、網が同時に扱うサービスの要求条件は極めて異なる。基地局やコア網では、各UEやサービス属性に応じた一連の処理を要求QoSに応じて効率的に実行する必要がある。

そこで5G NRでは、UEからの通信要求時にUEやサービスの属性を基に所要QoSを満足するRANからコアNW間の仮想的な専用通信路を設定するネットワークスライシングの機能を導入し、アプリ・サービス毎に処理を分離するようにした。

その際に重要な役割を果たすのが網全体の設備や運用状況を把握・管理するオーケストレーターである。オーケストレータは各々の通信に必要なデータ速度、遅延などのQoS条件を基にRANからコアNWまでのリソース割り当てを行う。スライスの総数は数千といった規模に達することがあるため、スライスの設定準備(プロビジョニング)や運用監視制御の自動化や省力化が鍵となる。



#### CU, DU, RUの3装置で機能分担

5G NRの基地局装置は3つの機能ユニットで構成される。

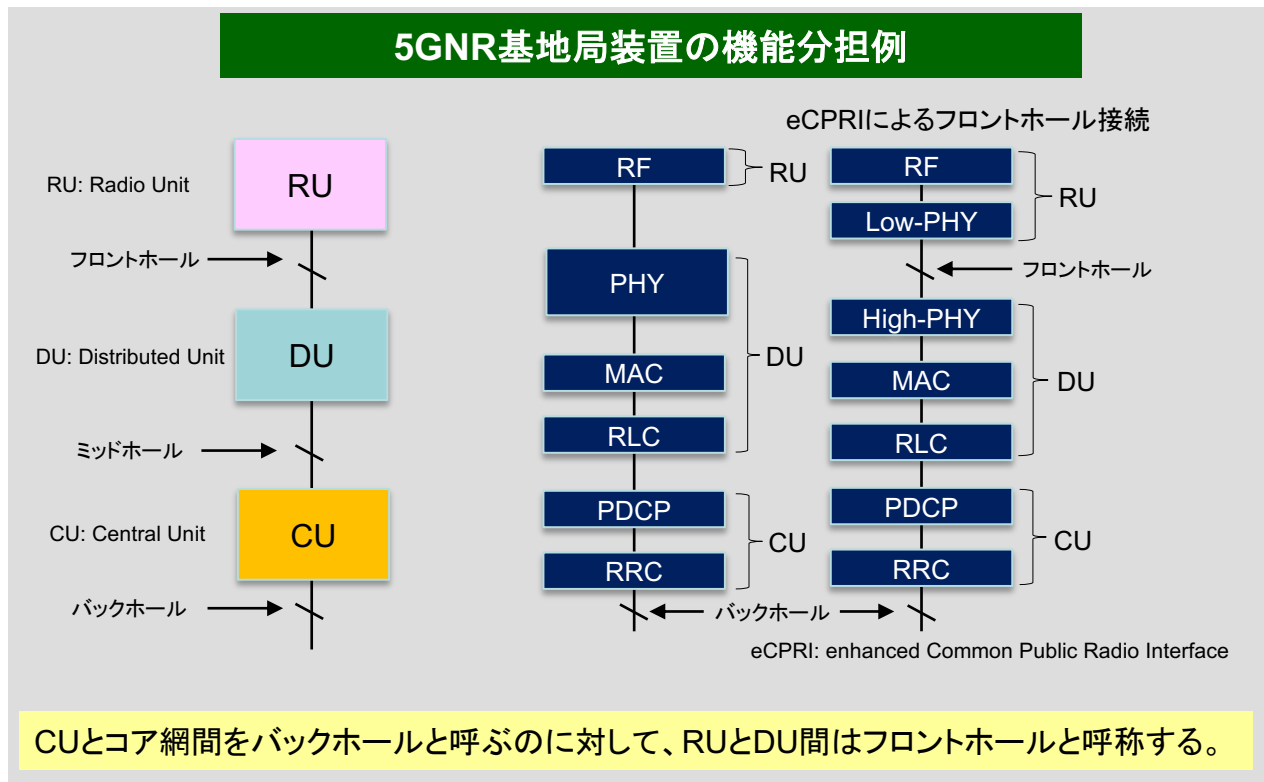
RU (Radio Unit) は無線周波数(RF)と無線物理層の下位機能を担う無線機部分である。

DU (Distribute Unit) は各無線機に対応した無線物理層の上位とMAC (Media Access Control) およびRLC (Radio Link Control) 機能を担う。

CU (Central Unit) はPDCP (Packet Data Convergence Protocol) とRRC (Radio Resource Control) 機能を担っている。

CUはバックホールと呼ばれる回線経路でコア網に接続され、データパケットを送受信する。

通常、DUは複数のRUとフロントホール回線で接続される。一方、DUとCU間はミッドホールと呼称される。ミッドホール間の信号インターフェースはF1インターフェースと呼ばれる。



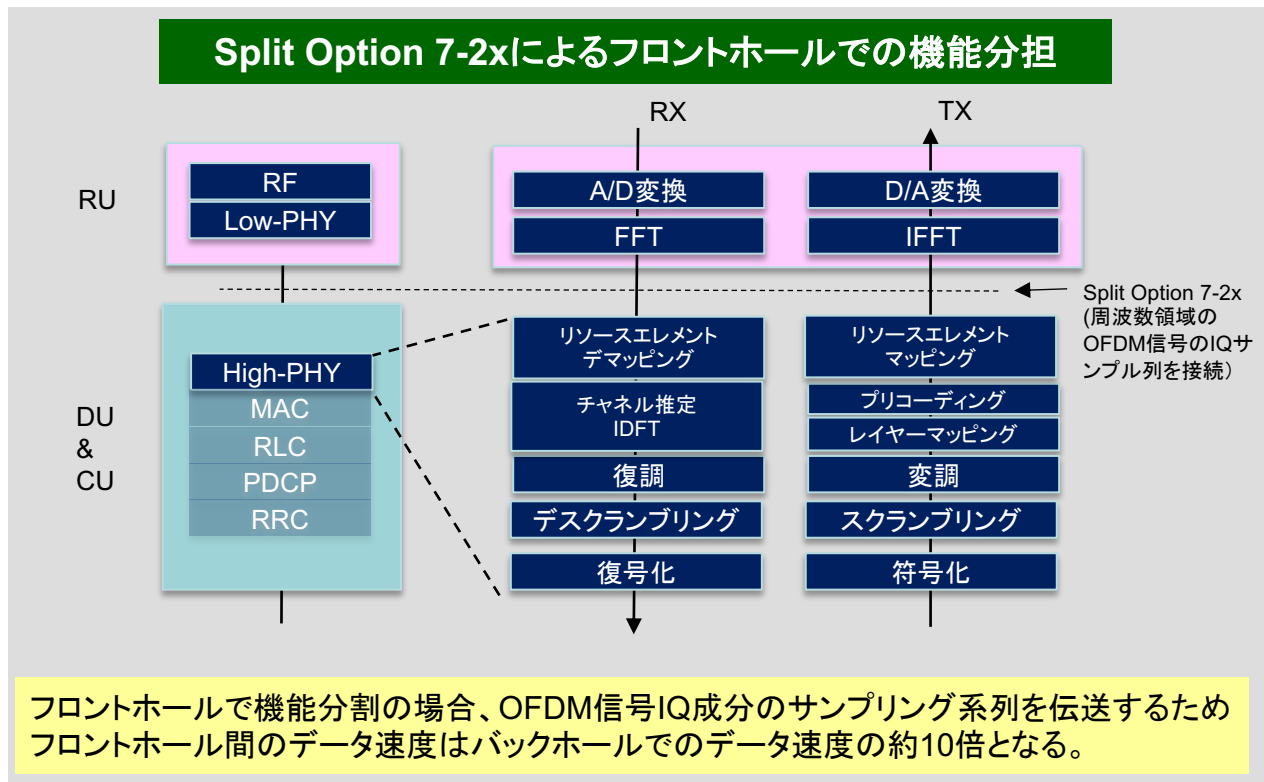
#### RU-DU間インターフェイスでのオープン化

5G NRでは広範な産業との連携によるビジネス創出や様々な社会的課題解決の期待に応えられるように、性能向上だけでなく拡張性や柔軟なネットワーク構築への要求が高まっている。

そのためには異なるベンダーの装置同士がオープンに相互接続できる環境が望まれることから、NTTドコモ等の世界の主要なMNOは2018年にO-RAN ALLIANCEを設立し、装置間インターフェイスのオープン化やRAN運用の自動化・最適化を推進している。

そのO-RAN ALLIANCEにて、最も取り組みが進んでいる相互接続点がフロントホール(RU-DU間)での機能分担規定(Split Option 7-2x)である。

Split Option 7-2xでは、周波数領域でのOFDM信号の同相(I)および直交(Q)成分のサンプリング系列に加え、アンテナでのビームフォーミングに用いる情報や時刻同期信号を送受する。また、RUの運用保守に用いるメッセージや動作の規定なども定めている。





【著者略歴】

田代 務

KDDIにて、衛星通信設備の設計や設備導入、研究開発計画の策定、人材育成、海外事業等に従事。ワシントン事務所長、KDDアメリカ副社長、IP事業企画部部長の後にKDDIを退職し、2003年に同僚と株式会社A2A研究所を設立。現在は、主に衛星通信やモバイル通信関係の調査や技術支援を行っている。東大工学部電子工学修士修了。静岡県出身。

主な著書 「どこでもワーク、いつでもラーニング」、「携帯電話の仕組み」、「衛星通信のしくみ」など。  
(以上、A2A研究所ウェブサイト [www.a2a.jp](http://www.a2a.jp) にて公開中)

