

# 3GPP リリース16の概要

～第5世代モバイル通信方式仕様 フェーズ2～



2021年5月  
A2A研究所 田代 務

# 目次

## 1 5G NR仕様と周波数帯

- (1) 3GPP リリース16の策定経過
- (2) 5G方式の主要な無線特性
- (3) 5GアプリとRel-16での機能拡張
- (4) 5G用の無線周波数帯
- (5) 日本での帯域割り当て状況

## 2 基地局アンテナ

- (1) 多様な基地局アンテナ
- (2) MIMO機能の拡張
- (3) 分散MIMO

## 3 品質と性能の向上

- (1) アンライセンス帯の利用 -1/2
- (2) IAB
- (3) UEの省電力化
- (4) 2ステップRACH
- (5) ハンドオーバー時の品質改善
- (6) UE位置測定
- (7) UEの高速移動
- (8) TDDセル間干渉の軽減

## 4 産業向け機能の改善

- (1) V2X
- (2) サイドリンク
- (3) サイドリンクの物理チャンネルと信号
- (4) 制御信号での遅延時間短縮
- (5) eMTCの拡張
- (6) NB-IoTの拡張

## 参考 5G方式概要

- (1) 変調と多重方式
- (2) OFDM信号の複素表現
- (3) 信号の流れ
- (4) MIMOチャンネル行列
- (5) チャンネル行列の分解
- (6) サブキャリア周波数間隔
- (7) リソースブロック
- (8) 5G NRのリソースブロック
- (9) フレーム構造
- (10) 下りリンクの物理チャンネルと信号
- (11) 上りリンクの物理チャンネルと信号
- (12) 参照信号
- (13) 非同期ランダムアクセス
- (14) ビームスイーピング
- (15) システム情報の伝送
- (16) BWP
- (17) スケジューリング
- (18) AMC
- (19) 遅延時間短縮 TDDスロット配置
- (20) ネットワーク・スライス
- (21) エッジ・コンピューティング
- (22) ローカル5G
- (23) ローカル5Gの周波数帯
- (24) ローカル5G無線局の利用場所
- (25) ローカル5Gでの制御信号
- (26) ローカル5Gでの同期



## 1. 5G NR仕様と周波数帯

### (1) 3GPPリリース16の策定経過

#### 第5世代方式規格の策定プロセス

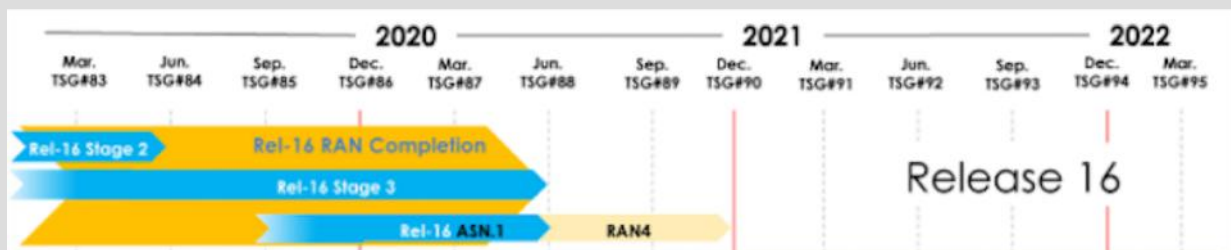
セルラ方式による移動体通信サービス規格は、第3世代の世界標準規格策定のために主要な通信事業者や機器ベンダーが参加して結成された標準化団体3GPP(3rd Generation Partnership Project)によって作成されている。

その第5世代規格である5G方式の最初の仕様であるリリース15(以下、Rel-15)は2019年に策定された。5Gの無線方式は、NR(New Radio)やNew RAT(Radio Access Technology)とも呼称される。

その後、2020年にはRel-15での5G機能を拡張するとともに、Rel-14までのLTE機能の拡張も含んだ5G NR仕様フェーズ2とも言えるRel-16を策定した。

現在は更にNR仕様フェーズ3となるRel-17の検討が2022年中頃の仕様凍結を目指して進行中である。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16仕様の策定経過



3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) サイトより

仕様を検討するTSG (Technical Specification Group) 会合にて3段階での標準化作業が行われた。  
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規定を経て2020年6月に仕様が凍結された。

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

セルラ通信方式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っている。Rel-16のRAN仕様作成は2020年6月に完了した。



# 1. 5GNR仕様と周波数帯

## (2) 5G方式の主要な無線特性

### 5Gではユーザ体感速度100Mbps, 遅延時間1msなどを目標に

5Gでは、モバイルブロードバンドサービスの高度化に加え、あらゆるモノが無線でインターネットにつながるIoT(Internet of Things)や、車の自動運転等を支援する低遅延・高信頼の機能に関して次の数値目標を掲げた。

- enhanced Mobile BroadBand (eMBB)  
ユーザ体感速度を最大で下り100Mbps, 上り10Mbpsとする。
- massive Machine-Type Communications (mMTC)  
センサーや機械などの多数UEからの同時接続数を百倍にする。
- Ultra-Reliable and Low Latency Communications (URLLC)  
無線区間の伝送遅延時間を1ミリ秒以下にする。

5Gでは24GHzを超えるミリ波帯(mmWave)などで、最大400MHzまでの帯域幅をTDDにて利用可能としている。また、LTEでは15kHz固定であったサブキャリア間隔を最大120kHzまで拡大可能にし、タイムスロット長はその拡大に伴って比例的に減少させることによって遅延時間の短縮や消費電力の削減を図っている。

### ITUによる4G, 5G方式の主要特性

カテゴリー	4G (IMT-Advanced)	5G (IMT-2020)
最高データ速度	DL:1Gbps UL:50Mbps	DL:20Gbps UL:10Gbps
ユーザ体感速度	10Mbps	100Mbps
最大帯域利用効率	DL:15bps/Hz UL:6.75bps/Hz	DL:30bps/Hz UL:15bps/Hz
UE移動速度	350 km/h	500 km/h
遅延時間	10 msec	1 msec
接続UE密度	10万台/平方マイル	1千万台/平方マイル
最大帯域幅	20MHz/無線チャネル (チャネル合成で100MHz)	1GHz

DL (DownLink) : 基地局→UEの下りリンク, UL (UpLink) : UE→基地局の上りリンク

5Gでは、新たな周波数帯の使用などによるデータ高速化とともに、遅延時間の短縮や接続UE密度の増大により、多様なサービス提供が可能になる。

### 超高速、大量・低速、低遅延・高信頼の3つの軸

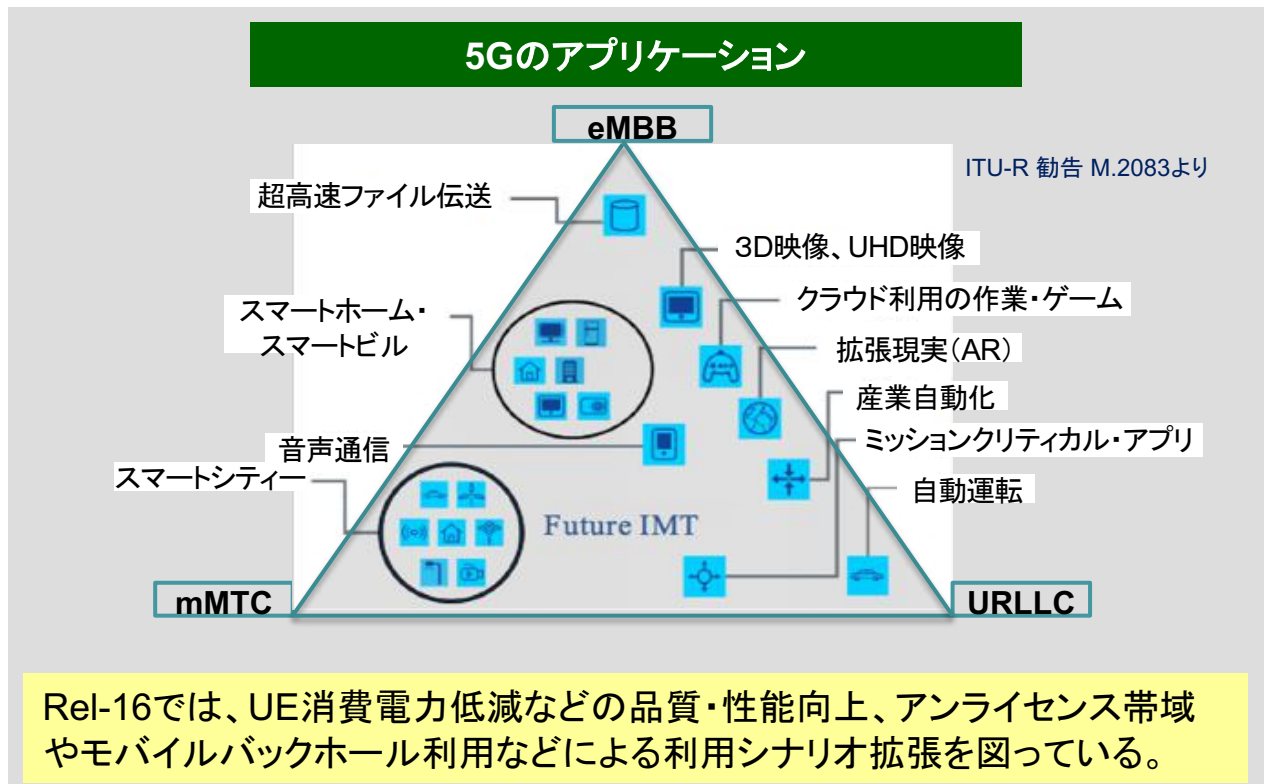
5G NRでは、超高速伝送のeMBB, 大量のセンサや機械とのmMTC, 低遅延で高信頼なURLLCの3つの軸のうえで、新しいサービスや多様なアプリケーションが発展することを期待している。

eMBBでは、超高速ファイル転送や、4K映像や3D映像の増加を見込んでいる。mMTCでは、スマートメータによる自動検針、見守りや街灯監視等のスマートシティ、インフラの老朽化監視、自然環境監視等がある。

URLLCでは、自動運転支援、ロボットへの応用、遠隔からの建設機械制御や遠隔手術などがある。

5G NRのフェーズ2にあたるRel-16では次のような機能拡張を行なっている。

- ・V2X: 運転自動化に向けた車両向け通信
- ・NR-U: Wi-Fi帯域などのアンライセンス帯域の使用
- ・リソースの効率使用: 消費電力低減、MIMO、測位、移動性能等の向上
- ・IAB: 無線リンクによるバックホール





# 1. 5G NR仕様と周波数帯

## (4) 5G用の無線周波数帯

### サブ6GHz帯と準ミリ波帯の割り当てが進む

5G NRには、4Gまでの方式より広い帯域が利用できる高い周波数を利用する。それらは、6GHzより低いFR1 (FR: Frequency Range)と準ミリ波帯にあたるFR2の2つに大別される。

FR1: 450 MHz – 6000 MHz

FR2: 24250 MHz – 52600 MHz

FR1, FR2でのNR運用帯域は、NRを示すnを頭にもつ番号で呼称され、いずれもTDDで運用される。各国は5G用に下図の候補帯域での割り当てを進めている。

n77: 3300 MHz – 4200 MHz

n78: 3300 MHz – 3800 MHz

n79: 4400 MHz – 5000 MHz

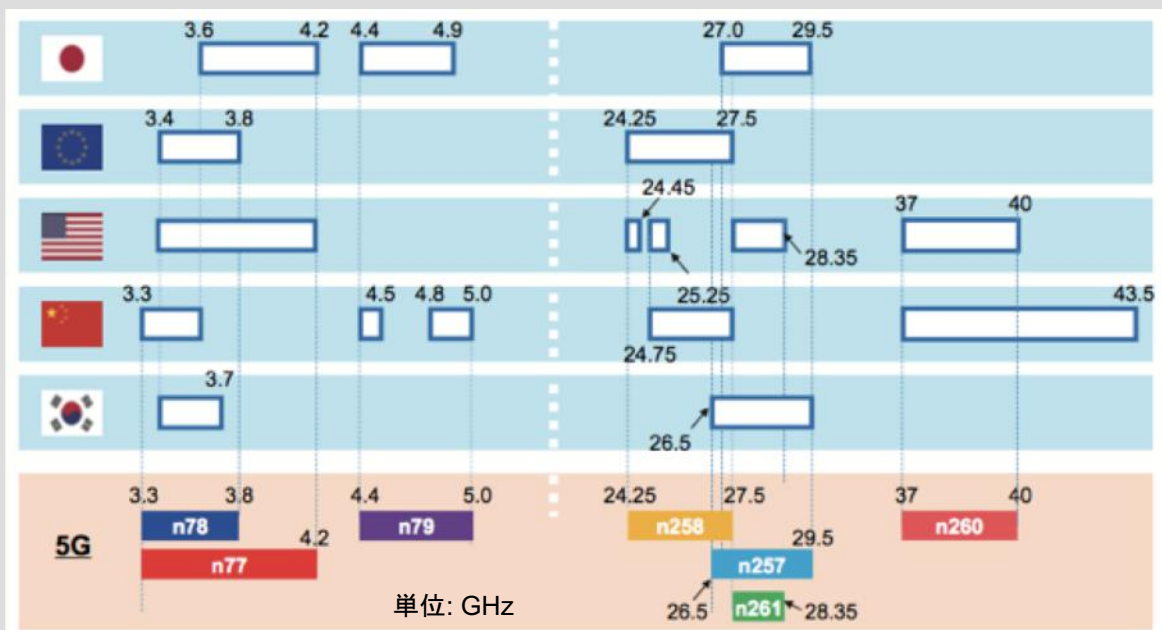
n257: 26500 MHz – 29500 MHz

n258: 24250 MHz – 27500 MHz

n260: 37000 MHz – 40000 MHz

n261: 27500 MHz – 28350 MHz

### 5G用サブ6GHz帯と準ミリ波帯の候補



NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル Vol26 3 010より



# 1. 5GNR仕様と周波数帯

## (5) 日本での帯域割り当て状況

### 5G方式向けに広帯域の割り当てが進む

これまで、大手3社によるモバイル通信サービスは専らUHF帯の無線周波数を使用してきたが、5G方式ではより広い帯域が必要となる。そこで総務省は、より高い周波数の割当を順次実施した。2018年4月の3.4GHz帯, 1.7GHz帯(追加)の割り当てでは、既存3社に加え新規に市場参入する楽天が取得した。

更に2019年4月には、3.7GHz,4.5GHz,28GHz帯にて5G基地局の開設計画を提出した4社に対して合計で2GHz幅を超える帯域割り当てが行われた。割り当てに際しては、計画認定から5年後までに、全国4500の全対象メッシュ(10km x 10km)の50%以上に5G基地局を開設するなどの条件が付いている。

高い周波数を使用する5Gシステムは、超高速通信や低遅延通信に適する一方、電波減衰が大きいため多数の基地局設置が必要となる。そこで、早期展開には次のような対応が重要と考えられる。

- ・事業者間での鉄塔や建物等のインフラシェアリング
- ・基地局とコアネットワーク間を結ぶ光ファイバーリンクの確保

### モバイル通信事業者に割り当て済みの周波数帯 (PHS, WiMAX用を含む)

【単位: MHz】

2021年5月現在

MNO グループ	700 MHz	800 MHz	900 MHz	1.5 GHz	1.7 GHz	2 GHz	2.5 GHz	3.4 GHz	3.5 GHz	3.7 GHz	4.5 GHz	28 GHz
	FDD	FDD	FDD	FD D	FDD	FDD/ TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD
DoCoMo	20	30		30	40*	40		40	40	100	100	400
KDDI	20	30		20	40	40	50		40	200		400
Softbank	20		30	20	30	40/ 31.2	30	40	40	100		400
Rakuten					80**					100		400

\*東名阪のみ

\*\*うち40MHzは東名阪以外

2021年には、1.7GHz(上り1765-1785MHz, 下り1860-1880MHz)の帯域(東名阪以外)を楽天が取得した。



## 2. 基地局アンテナ

### (1) 多様な基地局アンテナ

#### 交通信号機などへの設置も

高い周波数帯を使用する5G方式では、個々のセルが小さいので多数の基地局が必要であり、その設置場所確保が大きな課題である。そこで、複数の携帯事業者による基地局タワーの共用は一つの解決策である。

一方、5G用アンテナは小型化できるので多様な設置形態が検討されている。

例えば、多くのトラフィックが想定される道路では、スマートポールと呼ぶ柱上に基地局装置を街灯や表示器等とともに設置したり、これをマンホール内に收容する方法も検討されている。

また、(半)透明で薄い構造の平面アンテナをビル窓に装着できるガラスアンテナが開発されている。

更に、交通信号機の利用検討も進んでいる。

信号機は全国いたるところ、地上高が約5-6mの見通しの良い場所に設置されている。ここに設置できれば交通流の制御などの車両向けサービス向上も期待できるだろう。

#### 5G NR用に開発中の多様なアンテナ

【スマートポール】



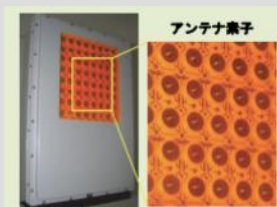
NEC/住友商事

【マンホール型基地局】



NTTドコモ

【マッシュブMIMO】



NTTドコモ

【ビル窓のガラスアンテナ】



AGC

このほか、全国に約20万機ある交通信号機への搭載も検討されている。



## 2. 基地局アンテナ

### (2) MIMO機能の拡張

#### 閉ループ制御機能の高速化など

5G NRでは多数の小型アンテナ素子によるMIMOが有効であり、上下リンクに同じ帯域を使用するTDDではチャンネル双対性を利用して制御が簡単化できる。

Rel-15では基地局で最大256、UEで最大32のアンテナ素子を用いたMIMOと空間多重の組み合わせが想定された。

DLでは受信側からのフィードバック情報を用いた閉ループ型制御により、CSIタイプIIコードブックによる最大8レイヤのシングルユーザMIMO、CSIタイプIIコードブックによる最大12レイヤ(各UEに2レイヤ, Rel-16では4レイヤまで)のマルチユーザMIMOが規定された。一方、ULでは最大4レイヤのシングルユーザMIMOが送信できる。ULではチャンネル双対性を利用して、DLでの受信品質測定結果をもとにULプリコーダ行列を決定するコードブック不使用の方法も規定された。

Rel-15ではUL送信ビームに関する指示をRRCメッセージで行なっていたが、Rel-16では下位レイヤ(レイヤ2)で行うことで制御を高速化した。また、制御可能なレイヤ数を8から64へ増加させた。

**閉ループMIMO制御の改善**

【閉ループによるMIMO制御】

受信側はプリコーディング行列コードをフィードバック

【TDDのスロット配置例】

← 10 ms →

D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

上下リンクに同じ周波数帯を使うTDDでは、双方の伝搬特性を同一とみなせる。そこで、DLでの受信品質測定結果をもとにULのプリコーディング行列を選択する。

Rel-15では、随時SRSの受信品質測定結果の更新に基づく閉ループ制御をRRCシグナリングで行なっていたが、Rel-16ではMACレイヤで行う手順を規定した。

Rel-16ではTDDでのチャンネル双対性利用やMACレイヤでの制御情報伝送によって、閉ループ制御の高速化を図っている。

#### 基地局側の複数アンテナ間で協調

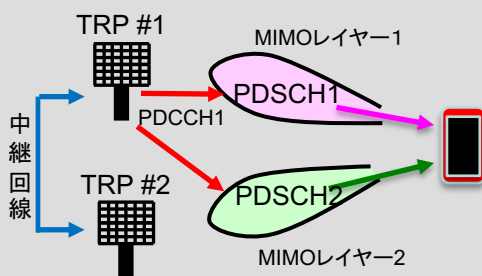
分散MIMOは、1つのUEに対して複数の基地局あるいは互いに独立したTRPから別個のMIMOストリームを伝送する技術である。ここで、TRP (Transmission and Reception Point) は基地局側の送受信点を意味する。

Rel-15でのUEはそもそも複数TRP構成を認識できる仕様でなく、1つのTRPからのPDSCHにて最大8レイヤのシングルユーザMIMOを規定していた。一方、Rel-16では、2つのTRPが協調することで合計で最大8レイヤのPDSCHを送信する分散MIMOを規定した。分散MIMOを用いると相関の低い伝搬経路数の増加が見込まれるので高速化できる。

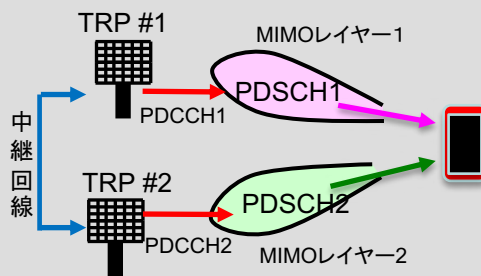
2つのTRPは協調動作を行うためにTRP間に光回線などの中継路を設定して制御情報を低遅延で伝送する必要がある。この遅延時間が極めて少ない場合は、1つのTRPが送信するPDCCHが両者のPDSCHをスケジューリングする。一方、遅延時間が大きい場合には、両TRPそれぞれのPDCCHによって自身のPDSCHをスケジューリングする。

#### 分散MIMOでのTRP間協調

【TRP間遅延が少ない場合】



【TRP間遅延が大きい場合】



分散MIMOは、基地局側の複数アンテナを用いることで相関の低い複数のレイヤーが構成できるが、制御情報伝送の中継回線が必要。



### 3. 品質・性能の向上

#### (1) NR-U (New Radio - Unlicensed)

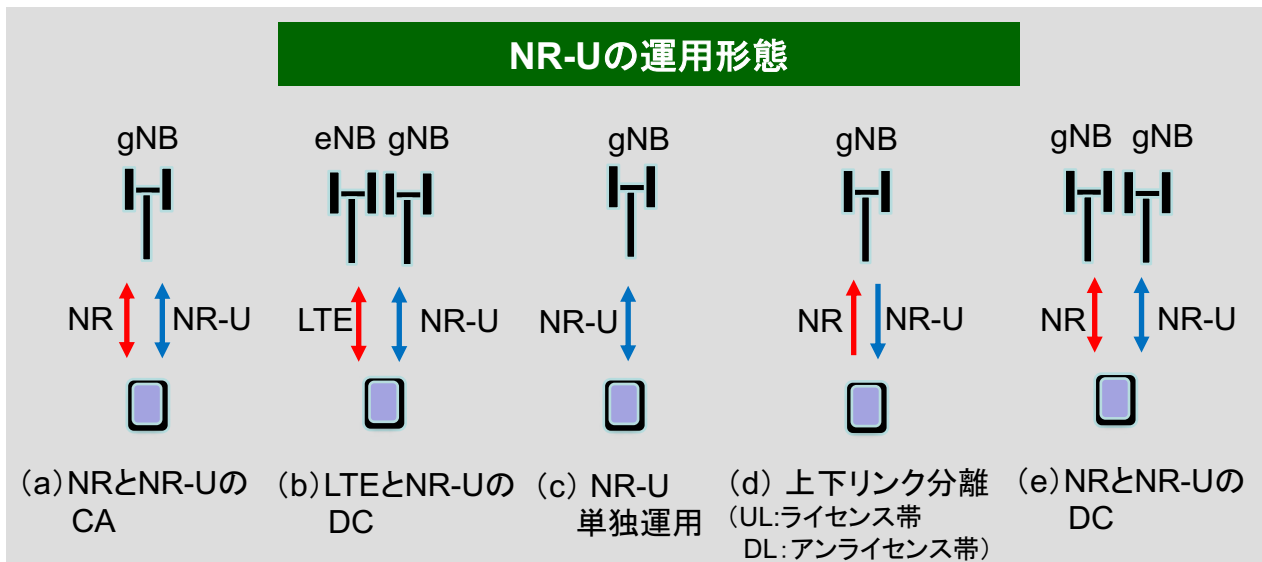
#### アンライセンス帯も積極活用

Rel-16では5G向けのライセンス帯のほか、Wi-Fi等のアンライセンス帯を利用する仕様であるNR-Uが策定された。

なお、LTEではRel-13にて、ライセンス帯とアンライセンス帯を束ねるLAA (Licensed-Assisted Access) が策定されている。

Rel-16では、NRセルとアンライセンス帯(NR-U)セルの両基地局との間でUEが同時伝送を行うCA (Carrier Aggregation) に加えて、LTEセルとNR-Uセルの両基地局とUEが同時伝送を行うDC (Dual Connectivity) や、NR-U単独(スタンドアローン)での運用など次の合計5つの運用形態が定められた。

- (a) ライセンス帯NRとアンライセンス帯NR(NR-U)のCA
- (b) LTEとNR-UとのDC
- (c) NR-Uの単独運用
- (d) 上下リンクの一方にNR, 他方に NR-Uを用いる運用
- (e) NRとNR-UとのDC



(a)ではNRセルが網との接続を担うPCell, NR-UセルがPcellとともにリソース提供を担うScellとなる。

Rel-16では5Gのライセンス帯をWi-Fi等のアンライセンス帯と組み合わせた多様な無線帯域利用を規定した。

### 3. 品質・性能の向上

#### (2) IAB (Integrated Access Backhaul)

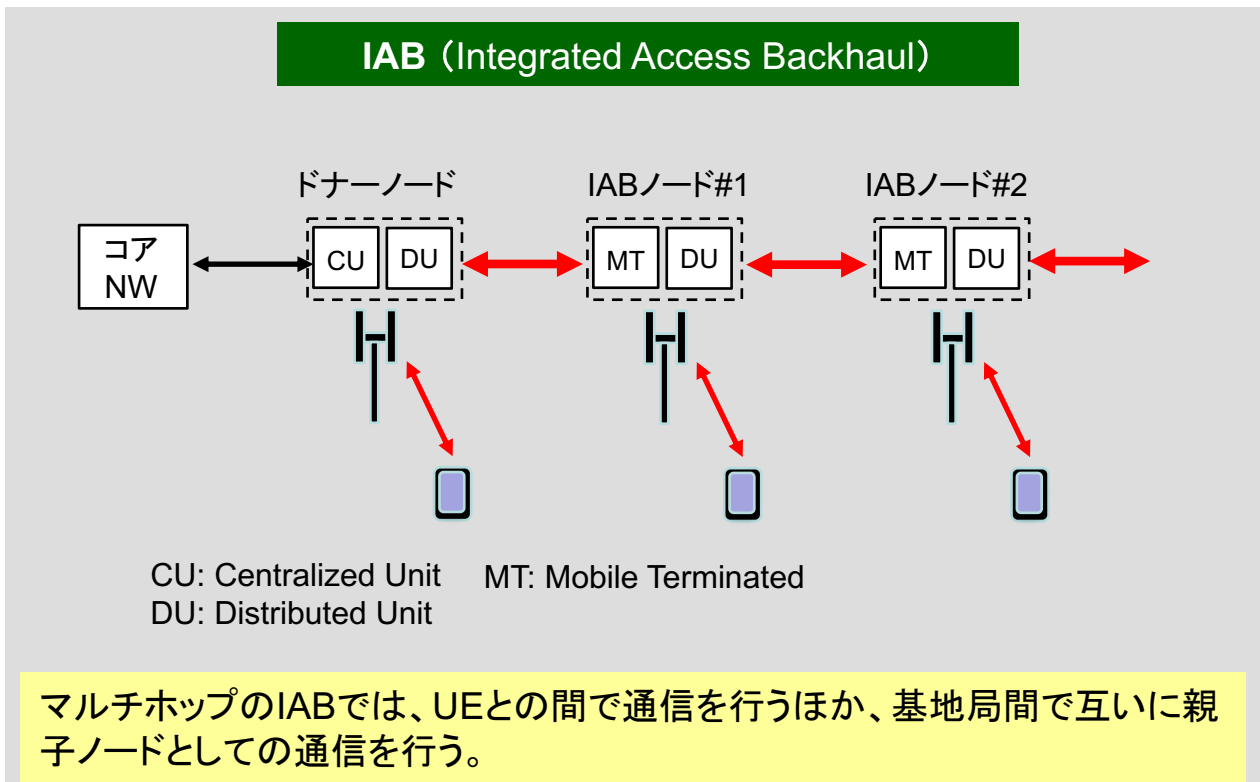
#### 無線によるバックホール

現在、基地局とコアネットワーク間のリンク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地域や場面では地上マイクロ波や衛星回線が使用されることもある。

サブ6やミリ波のような高い周波数帯を使用する5G網では、極めて多数の基地局の設置が必要であり、光ファイバー回線の引き込みが困難なケースも多い。このような場合の手段として、基地局間にバックホール用の無線リンクを設定し、多段接続するIABがRel-16にて初めて定められた。

IABでは、5G網が使用する無線帯域内にバックホール回線リソースを収容する方法と別の帯域に設定する方法とがある。

IABでは、基地局(gNB)のDU(Distributed Unit)と隣接基地局のIAB受信ユニットであるMT(Mobile Terminated)ユニットとの間で信号を中継する。



#### 基地局側の支援により受信待受け時の電力消費を極力削減

NRではLTEに比べて更に広い帯域を利用した高速伝送を行うので、UEでの消費電力増加に伴うバッテリー持続時間短縮が懸念された。そこで、Rel-16ではNWと接続状態にあるUEでの次のような省電力化機能を規定した。

- ・DRX (Discontinuous Reception) サイクル中のUEがアクティブ状態に復帰する直前にgNBは図-1のようにPDCCHにて起動信号(WUS: Wake-Up Signal)を送信する。送信データがない場合は起動不要を指示してDRX状態を延長する。
- ・DLでのバッファ状態等に応じて帯域幅を制限するRel-15機能を拡張し、図-2のようにUEでの最大MIMOレイヤー数を制限する。
- ・PDCCHに対応するPDSCHとの最小オフセット時間差を設定することでPDCCH信号復号中におけるPDSCHシンボルのバッファリングを不要とする。
- ・UEが静止/低速移動時あるいはセル境界付近の位置でない場合には、RRM (Radio Resource Management) に用いる受信品質測定の頻度を緩和する。
- ・RRC接続状態を脱するのを促す関係情報をUEからNWに送信する。

#### UE省電力化の方法例

図-1 WUSによるDRXサイクルの制御

送信すべきデータがない場合、WUS="0"で起動不要を指示。

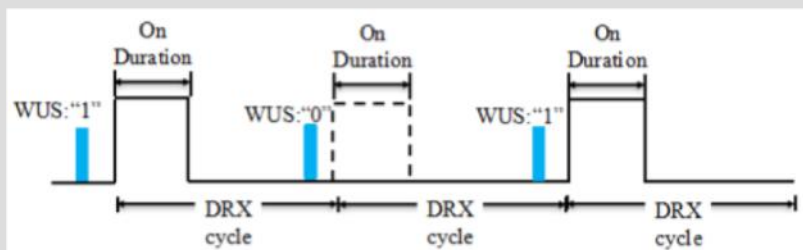
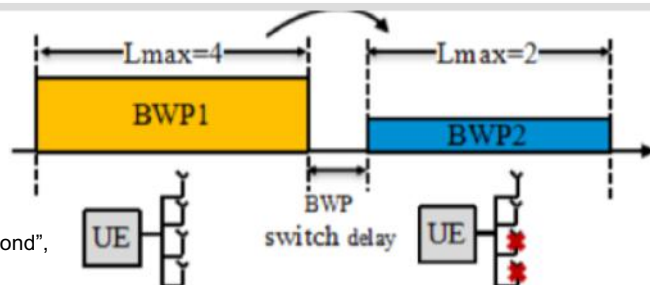


図-2 アクティブアンテナ素子数の制限

送信データが少量の場合、MIMOレイヤー数を減少。



"Power Saving Techniques for 5G and Beyond",  
2020, IEEE Access2020 より

基地局が有する個々のUEの状態や機能を用いることで、UE消費電力の更なる抑制を行う。



### 3. 品質・性能の向上

#### (4) 2-Step RACH (Random Access CHannel)

##### 初期同期確立に要する時間を短縮

通信開始や接続再開時に行われるUEからの非同期ランダムアクセス手順は、Rel-15ではLTEでのそれと同様、次の4ステップである。

Step1: UEはランダムに選択したプリアンブル信号を送信 (Msg1)

Step2: BSはこれに対し一時的アクセスを許容する受信確認応答を返信(Msg2)

Step3: UEはPUSCHのスケジューリングを要求 (Msg3)

Step4: BSは上記に対するID付きの確認応答を返送 (Msg4)

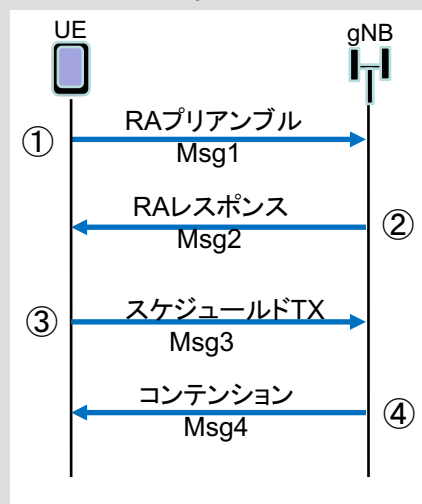
Rel-16では、Msg1と3, Msg2と4を合わせて送ることでC面(制御信号)での遅延時間を短縮させている。この2ステップRACHはmMTC, URLLC, eMBBのいずれのNRでも適用できる。

例えばmMTCでは、UEの全RRC状態、即ち、RRC\_INACTIVE, RRC\_CONNECTED, RRC\_IDLEのいずれの状態でも2ステップRACHが使用可能である。

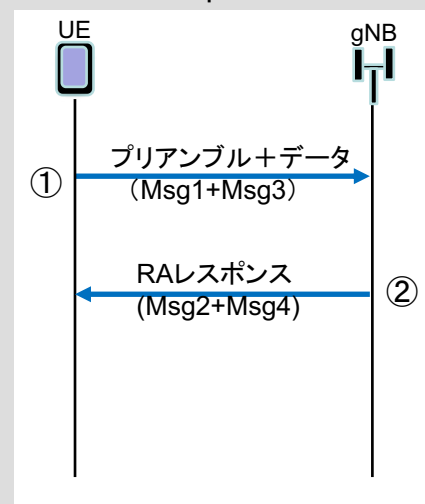
また、Rel-15が想定するセルサイズや、セル内UE位置に依存するTA(Timing Advance)値の如何に関わらず2ステップRACHが適用できる。

##### 非同期ランダムアクセス手順

###### 【4 Step RACH】



###### 【2 Step RACH】



2stepRACHは当初LBT(Listen Before Talk)方式を用いるアンライセンス帯での利用にて検討後、NRのライセンス帯でも有用と認識され一般化された。





### 3. 品質・性能の向上

#### (5) UE移動時のハンドオーバー品質改善

#### 基地局側の支援により受信待受け時の電力消費を極力削減

基地局間のハンドオーバー(HO)時には、HO先基地局と新たにランダムアクセス手続き等を行うために数十ミリ秒の中断が発生することから、特にURLLCのアプリケーションでは支障があった。

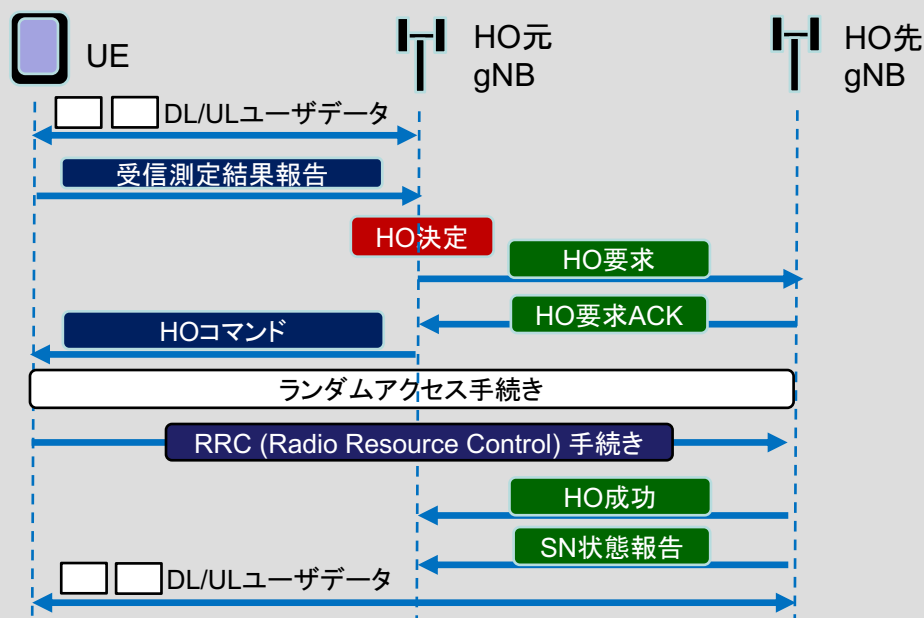
Rel-14ではLTEでのハンドオーバー時の遅延や瞬断改善のため、すでにRACH-less HOやMake-Before-Break HOが限定的に導入された。

Rel-16では、HO中の中断時間低減のため、後者を改善したDAPS(Dual Active Protocol Stack)を規定した。

DAPSでは、UEがHO元セルとHO先セルの両者に対するプロトコルスタックを保持することによって、HO元セルでの無線リンクを維持しながらHO先セルでの無線リンクを確立できるので中断時間をほぼゼロにできる。

また、無線環境が悪いセル端での使用を避けるため、事前に一定条件付きのHOコマンドを発出するHO手順も規定された。当該コマンドでは複数のHO先セルを指定でき、HO先セルで当該条件が満足された場合に限りUEはHOを実行する。

#### DAPS(Dual Active Protocol Stack)によるハンドオーバー



DAPSではUEがHO元とHO先とに対してリンクを保持する機能を有する。

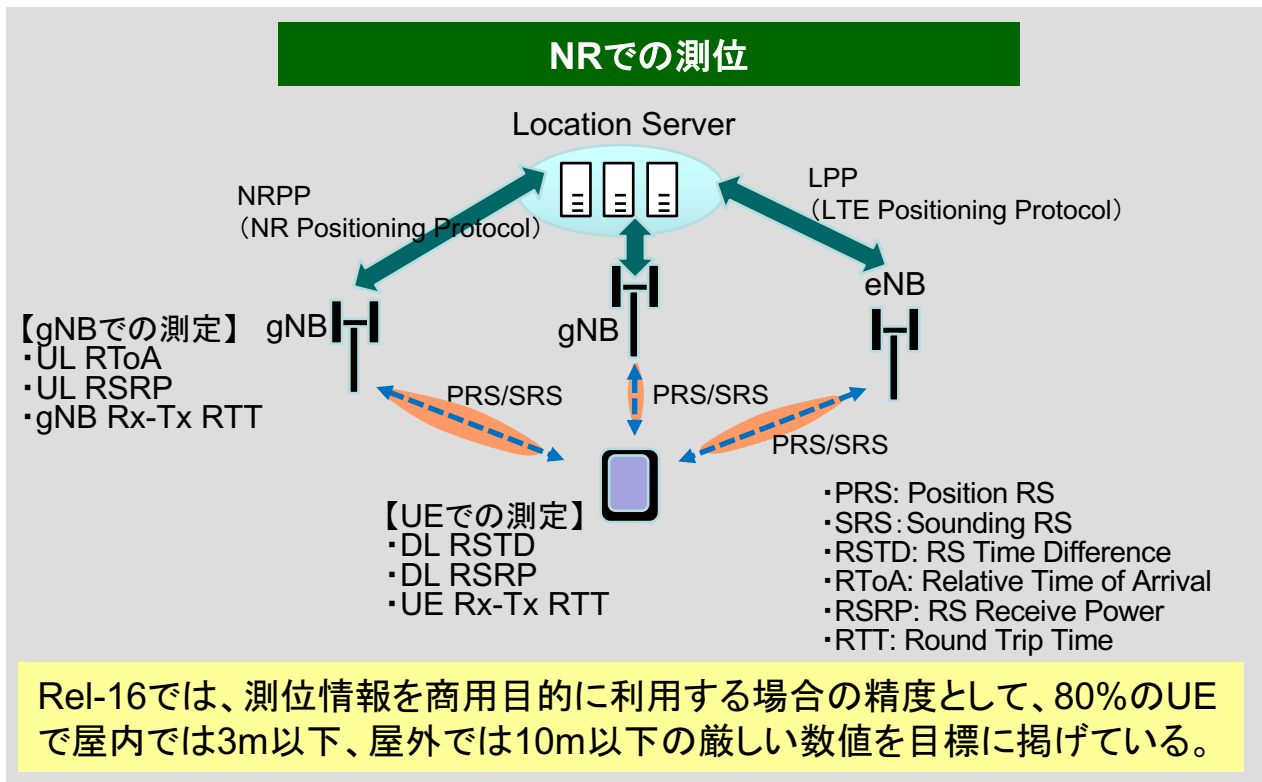
### 3. 品質・性能の向上

#### (6) UE位置測位

#### 置局環境や所要測定精度に応じた機能を選択可能

Rel-16ではNR向けに様々な測位機能が仕様化された。基地局からの計測情報からNW内にある測位サーバーがUEの位置を計算する。次の機能を選択/組み合わせることで、基地局の置局環境や所要測定精度に応じた測位が可能になる。

- DLでの測位参照信号(PRS)に関して、2つのgNBからの受信時刻差(RSTD)をgNB経由でサーバーに報告する。
- ULでの参照信号(SRS)に関して、複数gNBでの受信時刻(RToA)を測定し、サーバーに報告する。
- DLでのgNBビーム内RSの受信電力(RSRP: RS Receive Power)測定結果をgNB経由でサーバーに報告し、電波発射角度(AoD: Angle of Departure)を求める。
- ULでのSRSをgNBアンテナ複数素子が測定して受信位相差より電波到来角度(AoA: Angle of Arrival)を求め、サーバーに報告する。
- 複数gNBとUEとが別々に信号往復時間(RTT: Round Trip Time)を測定し、サーバーに報告する。



### 3. 品質・性能の向上

#### (7) UEの高速移動

#### 500km/hまでの高速移動に対応可能

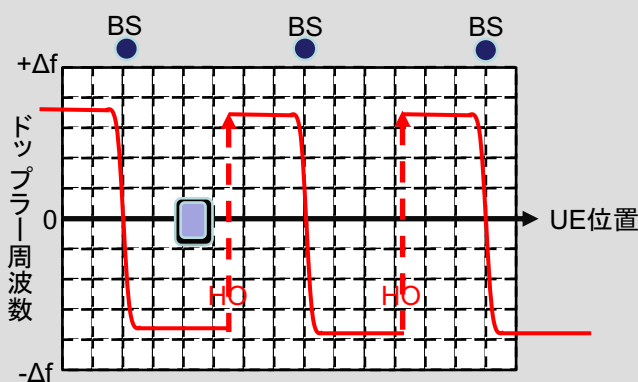
高速移動するUEに対しては、無線リソース割当管理(RRM: Radio Resource Management)や、UEと基地局での信号復調について配慮が必要となる。Rel-14では高速列車などへの適用を考慮して350km/hまで対応可能としたが、Rel-16では500km/hまでの対応を目標にした。

その際には基地局配置やドップラー周波数偏移の影響を考慮している。

このうち基地局配置では同一周波数にて同一信号を送受信するSFN(Single Frequency Network)シナリオを想定した。SFNでは隣接局からの信号は干渉にならないこと、エリア移動時にハンドオーバーが生じないメリットがある。

ドップラー偏移量は移動速度や周波数が高くなるほど大きくなる。沿線に基地局を等間隔に配置したSFNにて、高速移動するUEでの受信周波数は下図のようになり、中間地点での基地局切替え時では互いに正負の周波数差がある。また、ランダムアクセス時での最大ドップラー周波数偏移量を考慮する必要がある。

#### 高速車両上のUEでのドップラー周波数シフト



ドップラー周波数偏移 ( $\Delta f$ ):

$$\Delta f = v/\lambda$$

ここで、 $v$ : UE移動速度  $\lambda$ : 電波波長

例えば、 $f_0=3\text{GHz}$ では  $\lambda=10\text{cm}$   
 $v=500\text{km/h} (=139\text{m/s})$  の時  
 $\Delta f = 139/0.1 = 1.39\text{ kHz}$  となる。

ドップラー周波数偏移 ( $\Delta f$ ) はUE速度とともに周波数に比例して大きくなる。ハンドオーバー時には $2\Delta f$ の周波数差の信号に追従するまでの間に通信品質劣化が生じる。

### 3. 品質・性能の向上

#### (8) TDDセル間干渉の軽減

##### 遠隔セル干渉に関する情報を参照信号にて通知

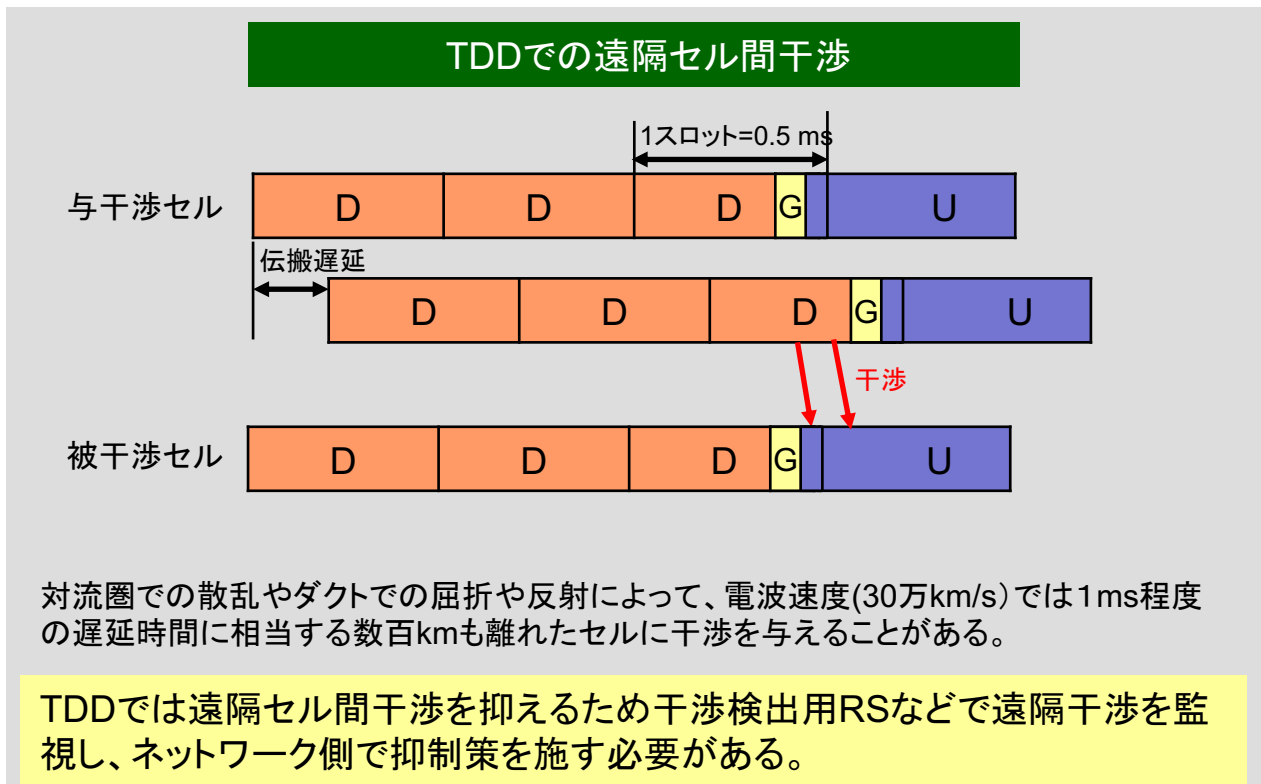
5G NRのTDDでは、対流圏散乱やダクトの発生などの伝搬路状態変化によって数百kmも離れたセル間にて、遠方セルでのダウンリンク信号がアップリンクへの干渉雑音となるといった遠隔干渉を考慮する必要がある。

Rel-16では遠隔セル間の干渉管理(RIM: Remote Interference Management)のために、遠隔干渉検出用に次の2種類の参照信号を規定した。

- ・RIM-RSタイプ1: 被干渉セル基地局が干渉発生中であることを通報する。  
当該信号には、与干渉セルのIDに加え、干渉が生じているアップリンク先頭のOFDMシンボル数値を付加できる。
- ・RIM-RSタイプ2: 与干渉セル基地局が挿入する信号であり、ダクト現象が生じていることを示す。

干渉が検出された場合、次のような軽減策の適用が考えられる。

- ・時間軸: 与干渉/被干渉のシンボル位置の変更
- ・周波数: UL/DL間が直交関係となるリソースブロックを選択
- ・空間: アンテナ高やチルト角調整
- ・電力: 与干渉側の低減、被干渉側の増加



## 4. 産業向け機能拡張

### (1) V2X (Vehicle to Everything)

#### 自動車向け機能の拡張

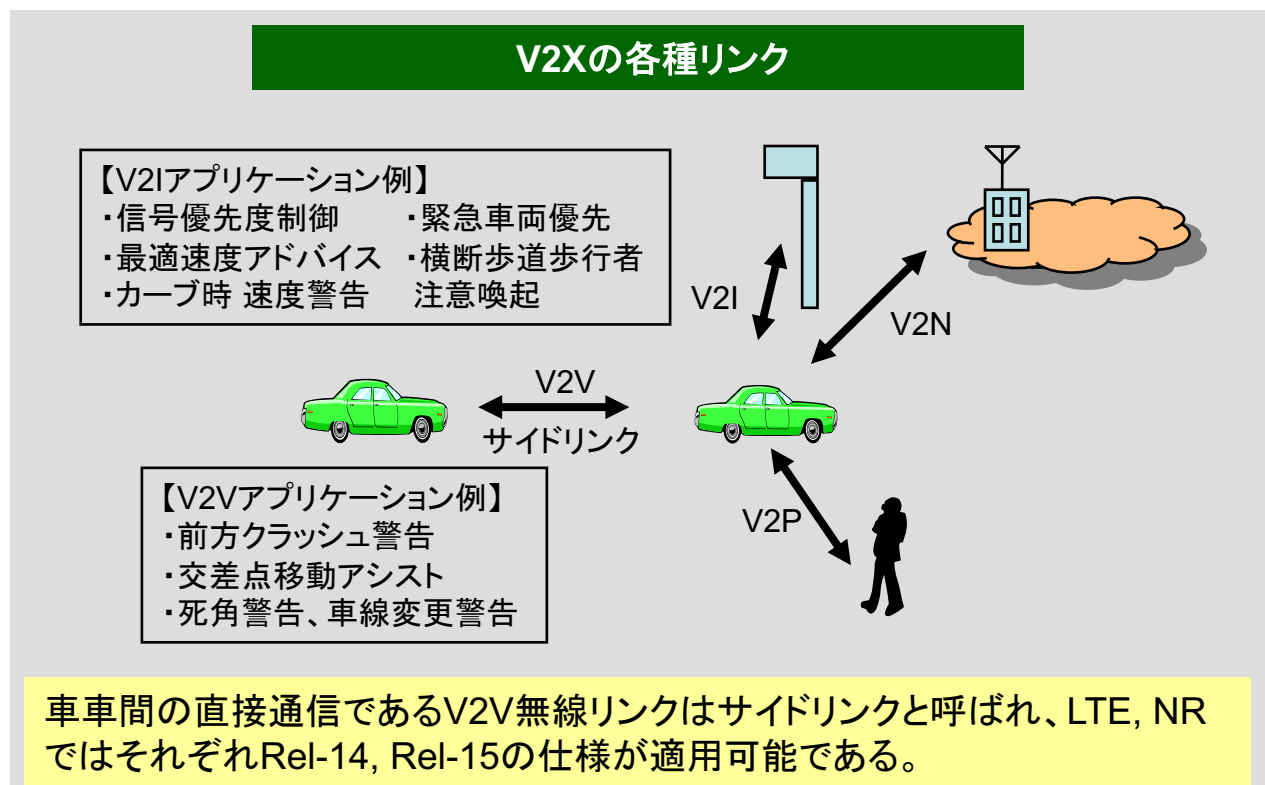
Rel-16では、自動車向けの各種無線通信であるV2Xの機能拡張が行われた。

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(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。

V2NやV2VではLTE向けRel-14やNR向けRel-15の各仕様が適用できる。

Rel-16では、より高い機能が必要な次のようなケースを想定して仕様拡張が行われている。

- ・ 隊列走行 (先頭車両から後続車両へのメッセージ伝達など)
- ・ センサデータや映像の伝送 (対:車両、路側機、歩行者、アプリサーバー)
- ・ 自動走行や準自動走行 (車車間でのセンサ情報、運転者意図の交換)
- ・ 遠隔制御での走行 (危険な環境での無人運転、運転困難者への支援など)



#### 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

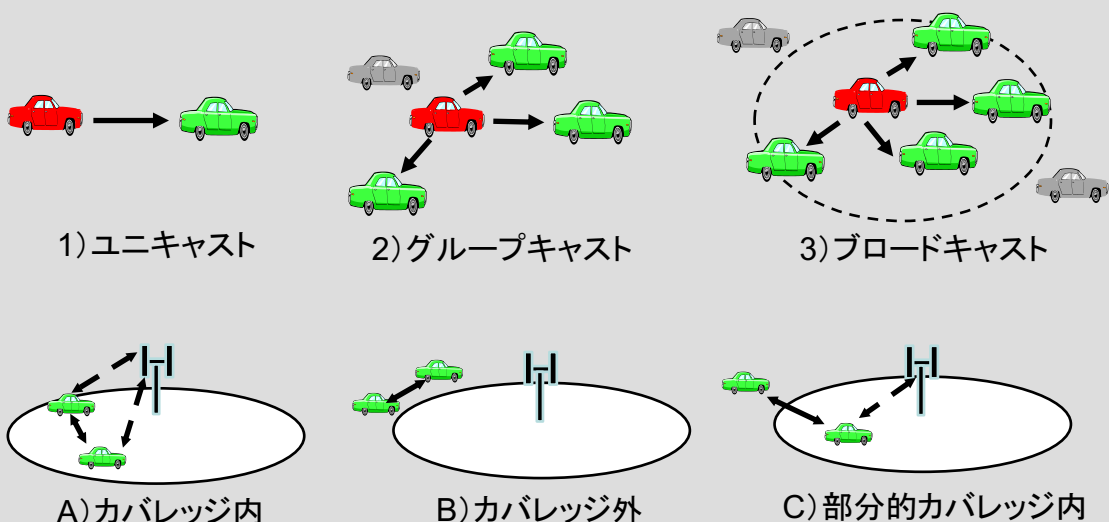
一方、セルラ網での車両位置に依存する次のケースが考えられる。

- 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。

#### サイドリンク伝送のシナリオ



サイドリンクでは特定グループ向け通信が可能である。サイドリンク通信用無線リソースの割り当てをセルラ網でなく車両自身が行うことも可能。



#### 隊列走行などでの車車間通信

NRのサイドリンク通信用として次の物理チャネルと信号を規定している。

##### 【チャネル】

- ・PSBCH: サイドリンク用報知チャネル
- ・PSCCH: サイドリンク用制御チャネル
- ・PSSCH: サイドリンク用データチャネル
- ・PSFCH: サイドリンク用フィードバックチャネル

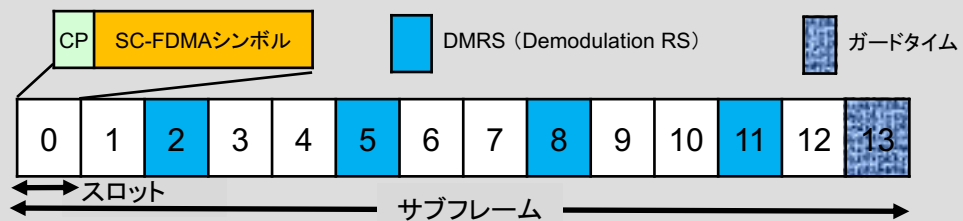
##### 【信号】

- ・S-PSS, S-SSS: サイドリンク用同期信号
- ・PT-RS: 位相追跡用参照信号
- ・CSI-RS: チャンネル状態測定用参照信号
- ・DMRS: (PSBCH, PSSCH) 復調用参照信号

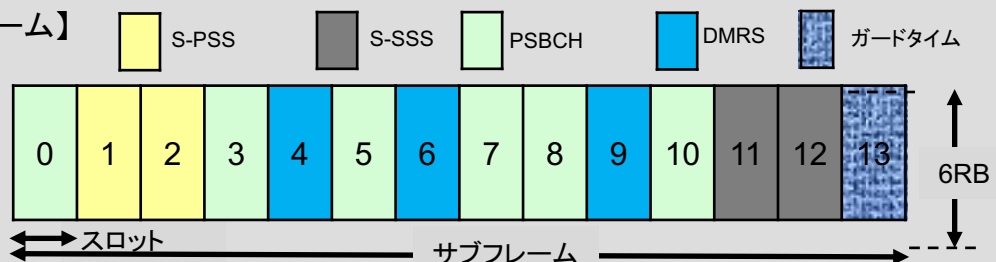
DMRSはV2Xでのドップラーシフトに起因する信号干渉補償のため挿入される。

#### PSSCHとPSCCH, 同期サブフレームのスロット構造例

##### 【PSSCHとPSCCH】



##### 【同期サブフレーム】



車両UEが同期信号を発信することで、セルラエリア外でもV2Vによる隊列走行などが可能になる。



## 4. 産業向け機能拡張

### (4) 制御信号での遅延時間短縮

#### 工場内での機器制御に有効

Rel-16では、ファクトリーオートメーション等での低遅延通信のためにURLLC仕様の拡張が行われた。これには、UE送信の上りリンクにおける優先処理や制御チャンネルスロット位置の時間短縮化がある。

前者の優先処理には次の二つがある。

- ・同一UE内で生起する複数の上りリンク制御信号のうち、装置を緊急停止するような制御信号には高い優先度を与える。
- ・複数UEからの制御信号が競合した場合、基地局では低遅延や高信頼性を要する制御信号を優先処理する。

後者では上下リンク制御チャンネルでの信号配置に関する次の二つがある。

- ・PDCCHの1スロット内を複数OFDMシンボル区切り(スパン)に分割することで、最小の制御信号間隔をスロット単位からスパン単位に短縮した。
- ・PUCCHにおいても1スロット内を複数スパンに分割し、各スパン単位でHARQ-ACK CB(Codebook)信号を返送できるようにした。

#### PDCCHでのスパン配置例

下り制御チャンネルのPDCCHの1スロット内をスパンに分割することで複数の制御信号を収容できる。



スパン構成は(X,Y)で指定され、(X,Y) = (2,2), (4,3), (7,3)がある。上は(X,Y) = (4,3)の例であり、4つのOFDMシンボルのうち連続した3個を1つのスパンとすることを示す。

Rel-16ではURLLCサービスでの目標値として、0.5-1msの遅延時間を、 $10^{-6}$ の誤り率としている。



## 4. 産業向け機能拡張

### (5) eMTCの拡張

#### 基地局側の支援により受信待受け時の電力消費を極力削減

LPWAの一種でeMTCとも呼称されるLTE-MTCに関して Rel-16ではRel-15以前の既存機能を継続使用可能とするとともに、次の拡張を行った。

- 少量データのDL: アイドルモードのUEでもデータを受信可能に。
- 特定グループの起動: 基地局からの起動信号(Wake-up-signal)送信で一斉に受信待機状態とする。1つの起動信号で最大8グループの指定が可能。
- UL送信: 特定リソースを割り当てられたUEは、アイドルモードでもランダムアクセス手順を経ずにアップリンク送信が可能に。
- 連続ブロックのデータ送信: 1つの制御信号で双方向ユニキャストでは8個、マルチキャストDLでは8個までのブロック送信をスケジューリング可能に。
- リンク適応制御改善: UEからのDL品質報告に関する改善 など

NRキャリア内でのLTE-MTCの運用についての検討概要を下表に示す。

#### NRでのLTE-MTC運用

項目	内容
NR帯域内での運用	・30kHz, 60kHz SCSでの利用 直交性が崩れないように適当なガードバンドを設定する。ただし、実装は運用者や国の規定によるものとし、特段の規定は設けず。 ・15kHz SCSでの利用 - サブキャリア位置はNRとLTE-MTCで揃える。
信号の衝突回避	リソース予約などでLTE-MTCとNR間の信号衝突を回避する。
品質改善	・リソース予約: NRで使用するLTE-MTCの上下リンクリソースを時間軸ではサブフレーム、スロット、シンボルレベル等で、周波数軸ではリソースブロックのグループで予約 ・DLサブキャリアの打ち切り: 狭帯域キャリアの場合、帯域端の1-2サブキャリアを使用しない。

Rel-16ではLTE-MTCにおいても、NB-IoT同様にNRでも利用可能なように検討が行われた。



## 4. 産業向け機能拡張

### (6) 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

Rel-16ではNB-IoTに関して Rel-15以前の既存機能を継続使用可能とする一方、帯域利用効率化やUE消費電力削減に向けた次のような規定を追加した。

- 少量データのDL: アイドル状態のUEでもデータを受信可能に。
- 特定グループの起動: 基地局からの起動信号(Wake-up-signal)で複数UEを一斉に受信待機状態にする。1つの起動信号で最大8グループを指定可。
- UL送信: 特定リソースを割り当てられたUEは、アイドル状態でもランダムアクセス手順を経ずにアップリンク送信が可能に。
- 連続ブロックのデータ送信: 1つの制御信号で双方向ユニキャストでは2個、マルチキャストDLでは8個までのブロック送信をスケジューリング可能に。
- リンク適応制御の改善: UEからのDL品質報告に関する改善
- 非アンカーキャリアへのページング用RS挿入: UE消費電力削減や測定改善
- その他: 無線状態報告等の網管理支援、複数セル/方式に関する情報報告

#### NRでのNB-IoT運用

項目	内容
NR帯域内での運用	・30kHz, 60kHzSCSでの利用 直交性が崩れないようにガードバンドが設定されることを考慮  ・15kHzSCSでの利用 - サブキャリア位置はNR内の特定周波数位置に - リソースブロック位置をNR内で最適位置に
NR基地局電力	・NR帯域幅やNB-IoTキャリア位置によって、NB-IoT送信電力を3dB又は6dB増加
ガードバンド内での運用	NRガードバンド内でのNB-IoTは運用者、国によることとしRF特性は規定せず（不要輻射電力制限等のため）

Rel-16ではLTE-MTCにおいても、NB-IoT同様にNRでも利用可能なように検討が行われた。

## FDMA方式の変形に先祖返り

LTEやNRでは、無線チャネルの多重方式にOFDM方式を採用している。

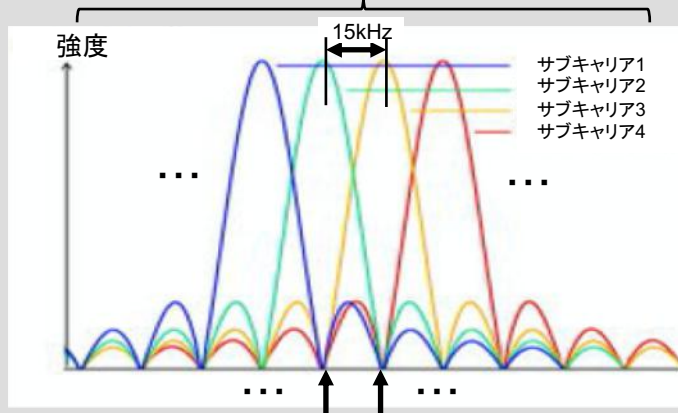
OFDMは、チャネル毎に異なる周波数の電波を使用するFDM方式での周波数間隔を極限まで狭めることで利用効率を改善した方式であり、すでに地上デジタル放送や無線LAN等で広く利用されている。サブキャリア数を連続的に増やしていくことで順次高速化できる拡張性(スケーラビリティ)や、MIMOアンテナとの相性が良いこともOFDMの大きな長所である。

デジタル信号変調波スペクトラムには山と谷が交互にあり、信号強度がゼロとなる周波数が等間隔に並んでいる。そこで、この谷の周波数に、別のサブキャリアの中心を配置することで互いのサブキャリアは混じり合わずに伝送できる。

OFDM波の受信や送信には、複雑な時間波形を多数の正弦波の周波数成分に分解する離散フーリエ変換/逆変換(DFT/IDFT)が必要となるが、その高速演算法(FFT:Fast Fourier Transform)と集積回路の高速化によって可能となった。

### OFDM変調波スペクトラムとサブキャリア間の直交性

連続する12個のサブキャリアの組(180kHz)がリソースブロックの周波数軸での単位



各サブキャリアの中心周波数では他のサブキャリアのスペクトラムの谷になっている。

NサブキャリアによるOFDM信号は次になる。ここで $X_k$ は第kサブキャリアの変調シンボル。

$$v(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi k t/T}, 0 \leq t < T$$

各サブキャリアの直交性は次式で示される。 $\delta_{k_1 k_2}$ は $k_1=k_2$ の時のみ1, それ以外は0。

$$\begin{aligned} & \frac{1}{T} \int_0^T (e^{j2\pi k_1 t/T}) * (e^{j2\pi k_2 t/T}) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T e^{j2\pi (k_1 - k_2) t/T} dt \\ &= \delta_{k_1 k_2} \end{aligned}$$

サブキャリアの谷に他のサブキャリアを配置すると互いに干渉なく通信できる。



### 回転子を用いた行列表現

N個のサブキャリアを合成したOFDM時間軸信号を複素表現すると次のようになる。ここで、 $X_k$  は第kサブキャリアの変調シンボルである。

$$F(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi k t/T}, \quad 0 \leq t < T$$

$t = n \times (T/N)$ ,  $n=0 \sim (N-1)$  の標本点では次のIDFTで表される。

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi nk/N}$$

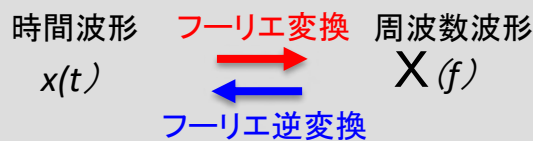
回転子  
↓

一方、その逆変換であるDFTは周波数軸上の  $n=0 \sim (N-1)$  の標本点にて右式で表される。

$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j2\pi nk/N}$$

回転子  
↓

### 離散フーリエ変換(DFT)と逆変換(IDFT)



【DFT】

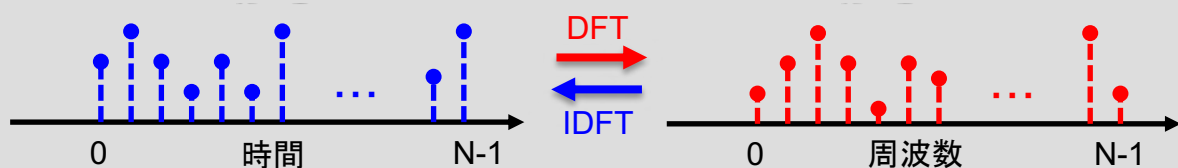
$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j2\pi nk/N}$$

回転子  
↓

【IDFT】

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi nk/N}$$

回転子  
↓



離散点でのフーリエ変換であるDFT(時間領域⇒周波数領域)とIDFT(周波数領域⇒時間領域)は回転子の符号を逆にするだけで同様の計算になる。



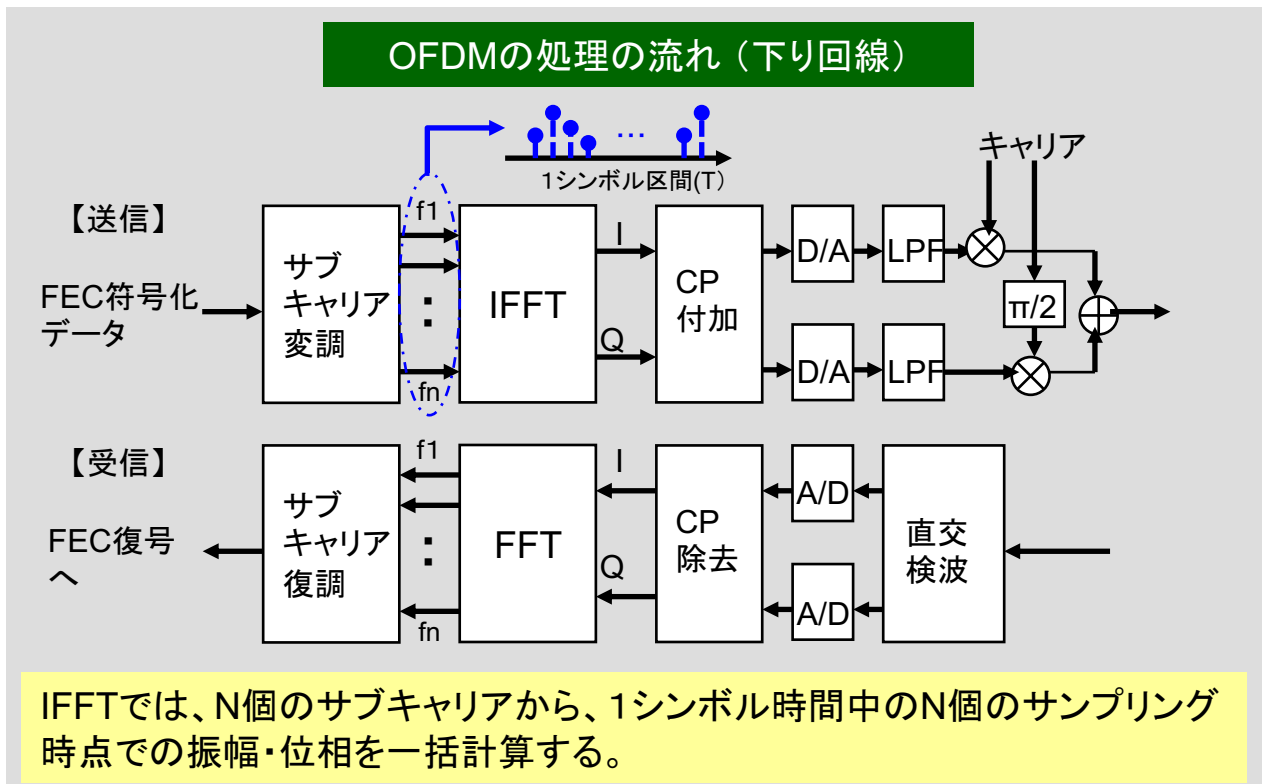
送信側はIFFT, 受信側はFFTで一括変換

下り回線(基地局→UE)のOFDM変調信号は概略、次の順序で生成される。

- ・送信データ系列はサブキャリア変調(QPSK/16QAM/64QAM/256QAM)された後、N個のシンボルをN個のサブキャリアに直並列変換する。
- ・IFFTにより、1シンボル区間にあたるN個の時間領域信号に変換する。
- ・時間領域となった実部(I), 虚部(Q)の信号系列にて、シンボル間ガード・インターバル部分に、受信側でのチャネル推定(等化器)簡略化のため、直前OFDMシンボルの最終部分のコピー(CP:サイクリック・プレフィクス)を付加する。

一方、受信側であるUEでは、FFTを用いて送信側と逆の順序で復調される。

なお、上り回線(UE→基地局)では、UE送信機の入出力非直線性に起因する信号歪み雑音を抑えるため、OFDM変調信号のスペクトラムを単一キャリアのそれのように変換する機能を加えている。



## MIMO構成の表現

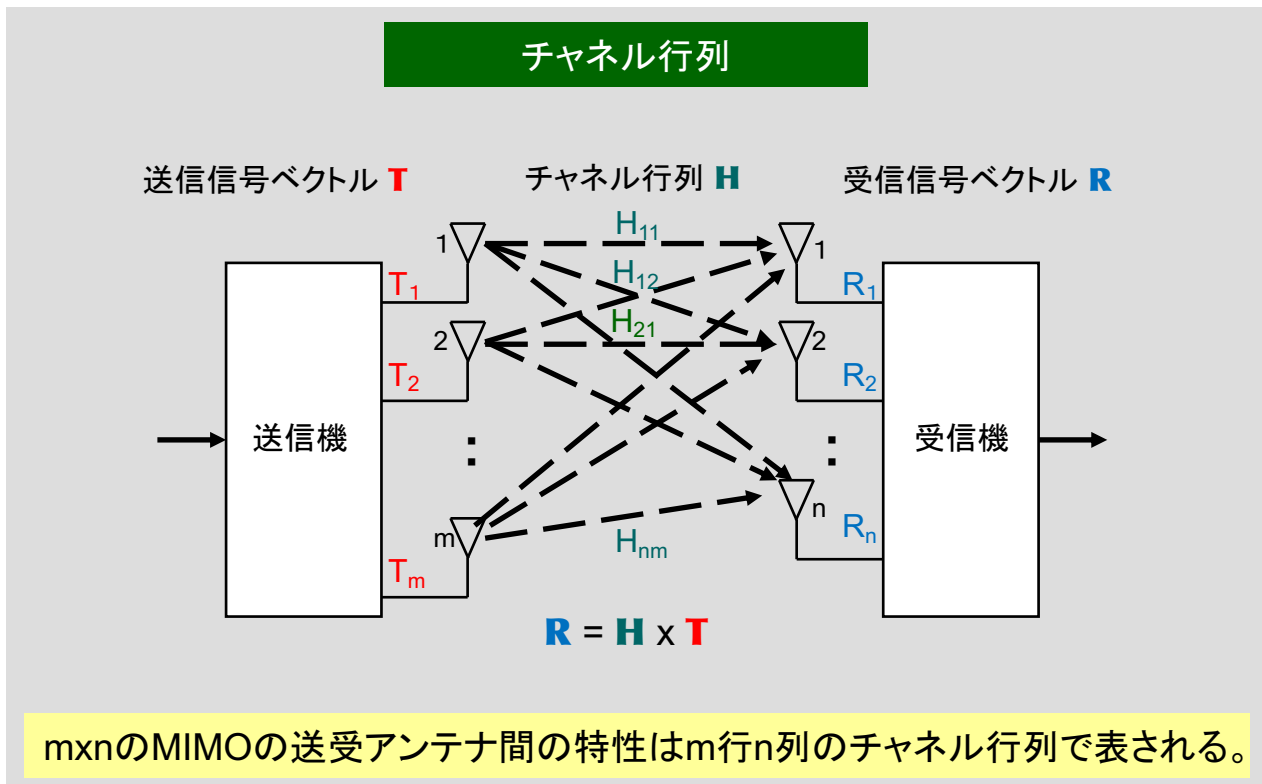
無線では複数の送信アンテナからの信号が混じり合って受信され、伝搬路の状態も絶えず変動するため単純ではない。しかし、複数アンテナ間での伝送状態を考慮した適切な信号処理を双方の局で行うことにより通信容量が増加できる。

送信 $m$ 個、受信 $n$ 個のアンテナで構成されるMIMOでは、送受の信号ストリームをそれぞれ $m$ ,  $n$ 個の成分をもつベクトル $\mathbf{T}$ ,  $\mathbf{R}$ 、MIMO伝送路を $n$ 行 $m$ 列の行列 $\mathbf{H}$ で表すと次になる。

$$\mathbf{R} = \mathbf{H} \times \mathbf{T}$$

通信容量の最大化や安定した通信を行うため次の操作を行う。

- ・両局にて $\mathbf{H}$ の各成分を知るために、送信の各アンテナから常時送信中の参照信号を受信側の各アンテナにて品質測定し、その結果を送信側に返送する。
- ・送信側はそのデータをもとに $\mathbf{T}$ に適切なプリコーディングを行った後、送信する。
- ・受信側ではアンテナ出力信号に上記プリコーディングの逆操作を行い $\mathbf{R}$ を得る。



仮想的な複数伝送路を作る

n行m列(ランクr)のチャンネル行列**H**は、適当な行列**E<sub>t</sub>** **E<sub>r</sub>**を用いることで、r行r列の正方行列で対角成分のみに正の値を有する対角行列**D**との次の積に分解できる。下の括弧は各行列の行と列の数を示す。

行列の添字Hは共役転置を意味し、**E<sub>t</sub><sup>H</sup> × E<sub>t</sub> = E<sub>r</sub><sup>H</sup> × E<sub>r</sub> = I**(単位行列)となる。また、**D**の対角成分は特異値と称する $\sqrt{\lambda_1}, \sqrt{\lambda_2}, \dots, \sqrt{\lambda_r}$ で表す。

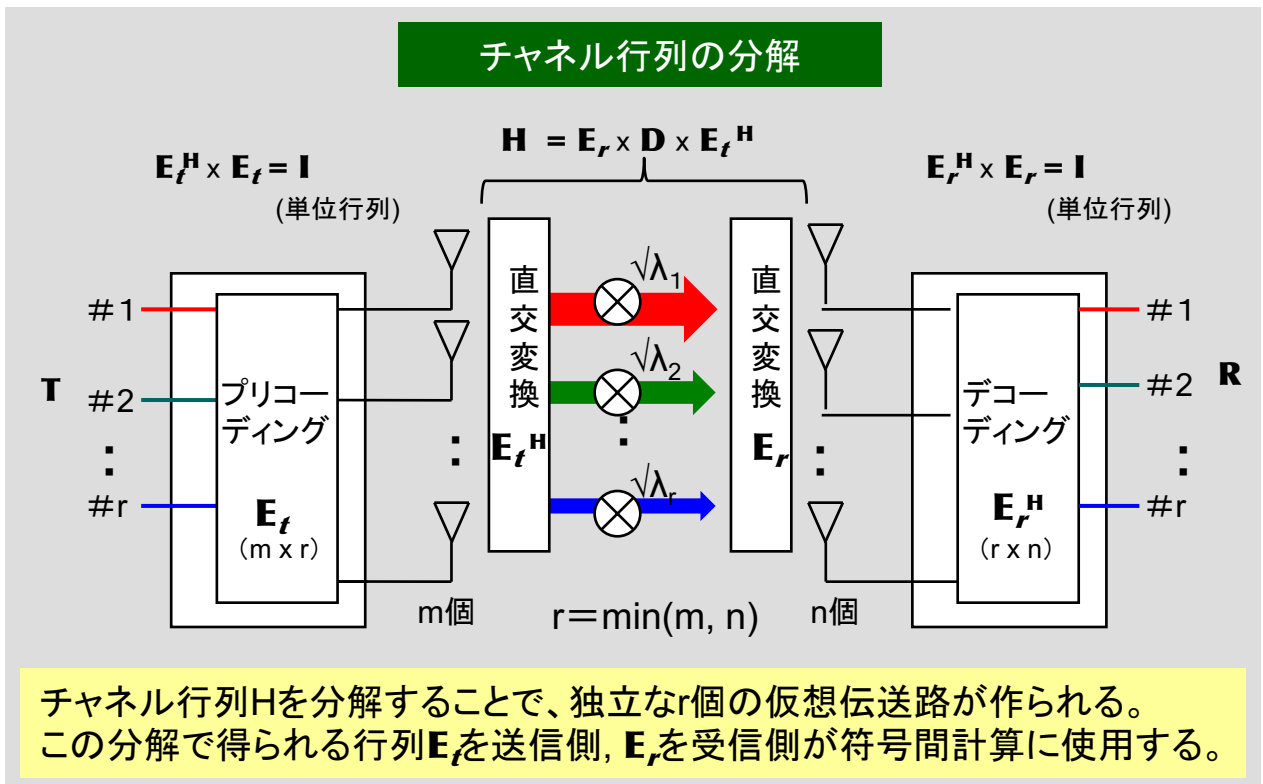
$$\mathbf{H} = \mathbf{E}_r \times \mathbf{D} \times \mathbf{E}_t^H$$

(n × m)    (n × r)    (r × r)    (r × m)

送信側ではr個の送信ストリームを表すベクトル**T**を**E<sub>t</sub>**によりプリコーディングして、m個のアンテナに入力する。

受信側では、n個のアンテナからの信号に**E<sub>r</sub><sup>H</sup>**を乗算して得られる受信信号ベクトル**R**のi成分 r<sub>i</sub>は、下式より **T**のi成分 t<sub>i</sub>に特異値 $\sqrt{\lambda_i}$ を乗じたものになる。

$$\mathbf{R} = \mathbf{E}_r^H \mathbf{H} \mathbf{E}_t \mathbf{T} = \mathbf{E}_r^H \mathbf{E}_r \mathbf{D} \mathbf{E}_t^H \mathbf{E}_t \mathbf{T} = \mathbf{I} \mathbf{D} \mathbf{I} \mathbf{T} = \mathbf{D} \mathbf{T}$$



帯域幅200MHz以上の無線キャリアでは120kHzまでに拡大

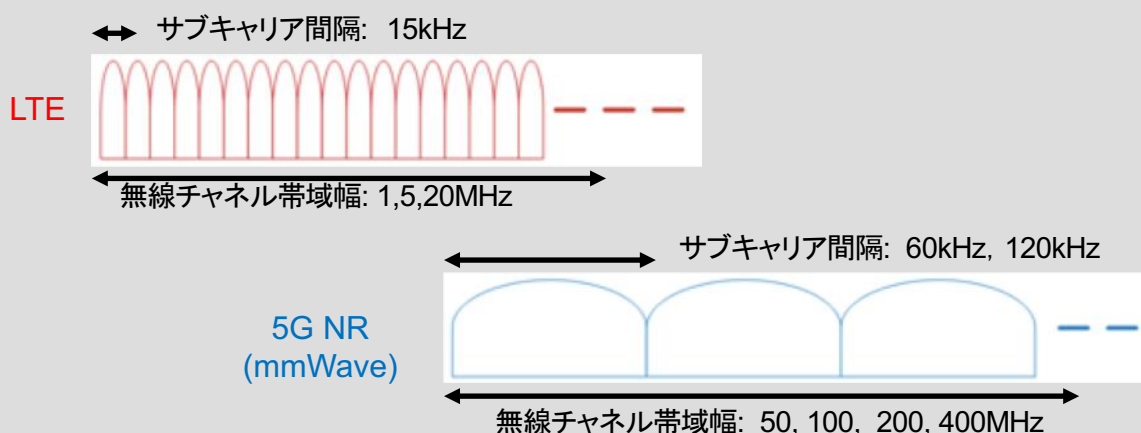
1つの無線キャリアで最大20MHzまでの帯域幅を使用するLTEでは、無線キャリアの帯域幅に関らずサブキャリア間隔を15kHz固定としている。

サブキャリア間隔を15kHzと低く抑えることで1シンボル時間が長くなるためマルチパスによる影響を抑えることができる。

しかし、無線周波数が高くなるにつれ、電波の直進性が高まるためマルチパスが少なくなる一方で、サブキャリア間隔が狭いと、搬送波周辺に発生する局部発信器からの位相雑音の影響が無視できなくなる。

そこで、24GHzを超えるミリ波帯(mmWave)などの高い周波数を利用する5G NRでは、最大400MHzまでの帯域幅をTDDにて利用するとともに、60kHzまたは120kHzの広いサブキャリア間隔を使用できるようにしている。

サブキャリア間隔の比較



24GHzを超える周波数での無線チャンネルでは、サブキャリア間隔をLTEでの15kHzの4, 8倍となる60kHz, 120kHzが使用できる。

## リソースブロック

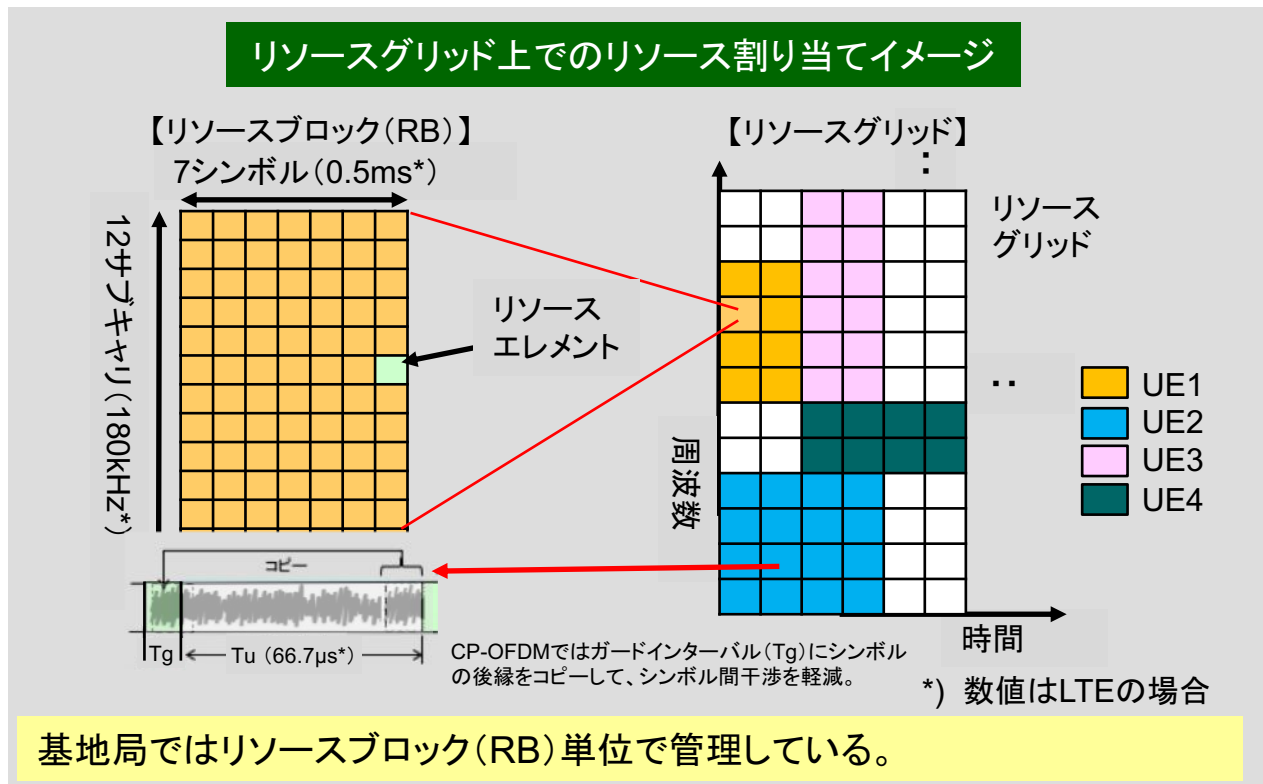
LTEや5G NRでは、周波数軸上では連続する複数サブキャリアの組をリソース管理の単位としている。サブキャリア間隔が15kHzのLTEでは合計12個のサブキャリアの組(帯域180kHz)を単位としている。

5G NRではサブキャリア間隔として15kHzのほか、30, 60, 120kHzもある。

一方、時間軸上では、連続する7個のシンボルの組を1タイムスロットとして、リソース管理の最小単位としている。LTEでは1タイムスロット長は7シンボル区間にガードインターバルを加えた0.5msである。これに対して5G NRではm倍のサブキャリア間隔でのタイムスロット長は1/mと短くなる。

周波数軸と時間軸からなる方形区画のうちUEや基地局に使用される最小単位をリソースブロック(RB)と呼ぶ。LTEでは、180kHz x 0.5msがそれであり、LTEでのリソース割当は2個のRB(1ms長:サブフレーム)単位で行っている。

なお、リソースブロックを構成する1つのシンボルをリソースエレメントと呼ぶ。



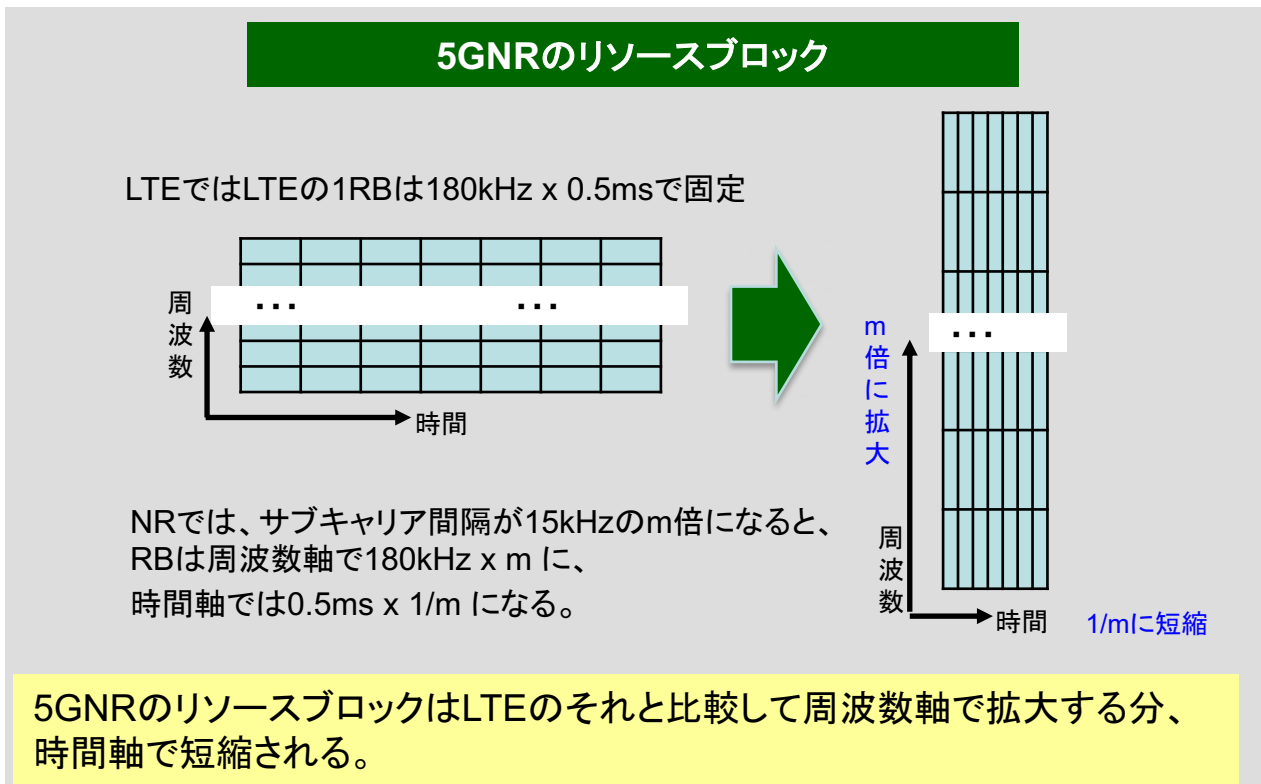
### サブキャリア間隔の増加に応じてタイムスロット長を短縮

リソース割り当ての単位であるリソースブロックはNRもLTEの場合と同様、周波数軸では連続するサブキャリア12波、時間軸では連続する7個のOFDMシンボルで構成される区画(計84シンボル)を1単位としている。

LTEでは無線キャリア帯域幅に関わらず、サブキャリア間隔は15kHz固定であるため、1リソースブロックは180kHz x 0.5msの区画で固定であるが、5G NRでは無線キャリア帯域幅に応じて複数種類のサブキャリア間隔が設定可能なため、サブキャリア間隔に連動してタイムスロット長が増減する。

例えば、サブキャリア間隔が30kHzとLTEのその2倍に増加すると、1タイムスロット長は1/2の0.25msになる。

このように、5G NRではLTEに比べて同量のデータ伝送に要する時間が短縮されるため、遅延時間短縮や消費電力の削減となる。







## (参考) LTE・NR方式の基礎

### (9) フレーム構造

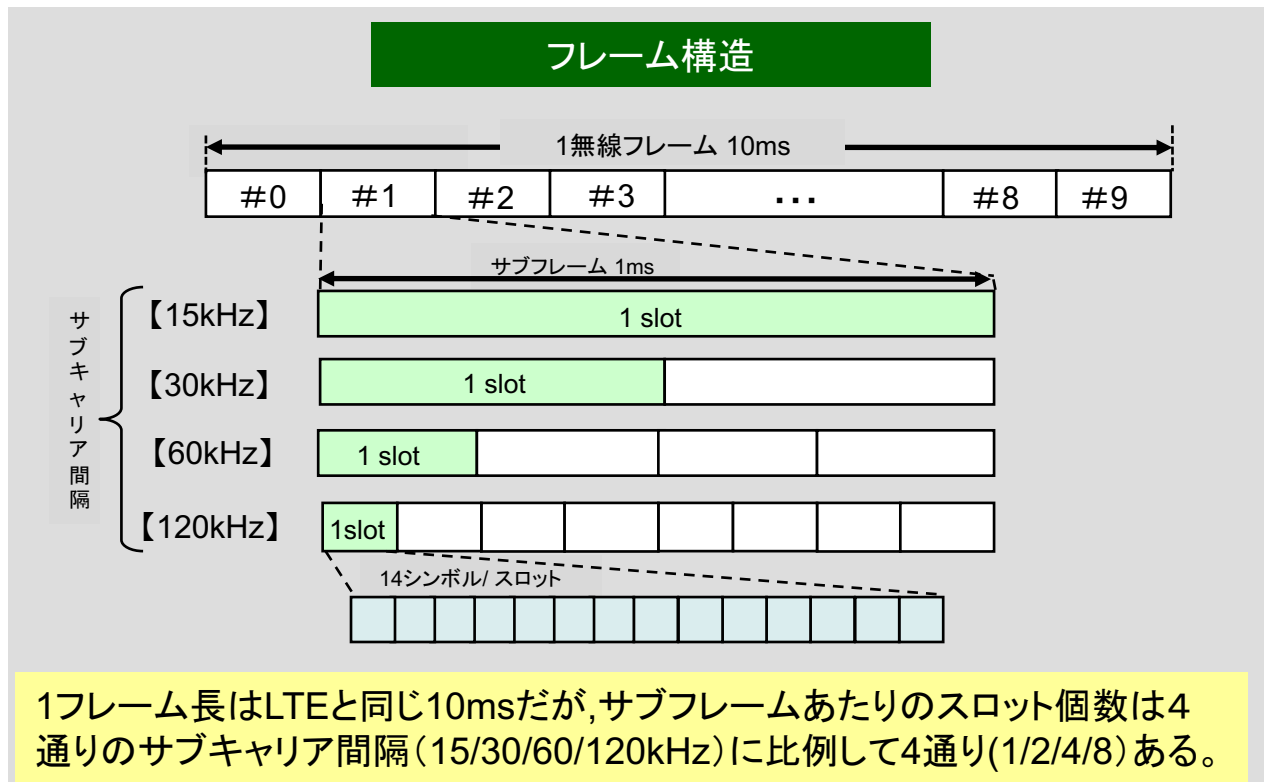
#### 1無線フレームはLTEと同じ10ms

時間軸では、5G NRの1無線フレームはLTEと同じく、1ms長のサブフレーム10個を有する10ms長である。(注)

サブキャリア間隔が15kHz固定であるLTE/LTE-Aでは1サブフレーム内に14シンボルの組であるスロット1個が対応する。

一方、5G NRでのサブキャリア間隔は無線キャリアの帯域幅に応じて15,30,60,120kHzの4種類があるので、1サブフレーム内でのスロット数は、それぞれ1,2,4,8個となる。

(注) URLLCのため、遅延時間を抑える必要がある場合は、2ms長のTDD無線フレームの使用が可能である。





## (参考) LTE・NR方式の基礎

### (10) 下りリンクの物理チャンネルと信号

#### 4G方式の一部仕様を変更・拡張

物理層チャンネルは次の目的に使用される。

PBCH: システム基本情報(MIB: Master Information Block)を常時放送

PDCCH: UEに上下回線リソースの割り当てやページング等の情報を通知

PDSCH: 下りデータトラフィックを伝送

なお、NRではPDSCH,PDCCHの符号化にそれぞれLDPC, Polar符号を使用するため、LTEでのTurbo, TBCCとは異なる。

PSS, SSSは同期信号であり、階層型セルサーチにより、UEでのセル固有の物理識別番号(PCID\*1)の取得に用いる。LTEではPCIDは504通りだが、NRでは更に高密度の基地局配置も想定し、2倍(1008通り)としている。

参照信号(RS: Reference Signal)は受信信号復調やビームフォーミング等での受信品質測定用であり、リソースグリッド上での挿入位置はLTEと異なる。PT-RSは高い周波数での位相雑音の影響軽減のために新たに導入された信号である。

#### 下りチャンネル

2次変調方式	1次変調方式
CP-OFDM (CP: Cyclic Prefix)	PDSCH: QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM PDCCH/PBCH: QPSK

#### 【物理層チャンネル】

略称	符号化	用途
PDSCH	LDPC	ユーザデータ
PDCCH	Polar	制御信号
PBCH	Polar	報知情報

\*1) PCID: Physical Cell ID

#### 【参照/同期信号】

名称	用途
DM-RS	PDSCH/PDCCH/PBCHの復調
PT-RS	PDSCHの位相追跡
CSI-RS	チャンネル品質情報
TRS	周波数のトラッキング
PSS/SSS	Primary/Secondary 同期信号

UEでの処理簡単化に加え、チャンネル間干渉低減や電力削減のため各RSは同一ビーム内にて局所的に集中配置される。



## (参考) LTE・NR方式の基礎

### (11) 上りリンクの物理チャンネルと信号

#### 4G方式の一部仕様を変更・拡張

物理チャンネルは4G方式と比較すると、主に次の変更がある。

- ・データチャンネル変調方式に256QAM,  $\pi/2$ -BPSKを追加  
前者は主に高速通信、後者はM2M/IoT等の低速通信向け
- ・PUSCH, PUCCHの符号化にそれぞれLDPC, Polar符号を使用

物理チャンネルは次の目的で使用される。

PUSCH: 上りデータトラフィックを伝送

PUCCH: 割当要求などの制御信号やチャンネル品質情報(CSI)を伝送

PRACH: ランダムアクセス用のプリアンプル信号を送信

なお、NRのPUSCHの符号化はLDPCであり、LTEでのTurboとは異なる。

一方、参照信号(RS)のうち、基地局でのUE信号の復調に用いるDM-RSはUEデータ送信時のRU内に多重される。また、SRSは基地局側で上りリンクのチャンネル品質や受信タイミング測定に使用される。

#### 上りチャンネル

2次変調方式	1次変調方式
CP-OFDM (SC-OFDMも可能)	$\pi/2$ -BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM (PUCCHは $\pi/2$ -BPSK, QPSK)

#### 【物理層チャンネル】

略称	符号化	用途
PUSCH	LDPC	ユーザデータ
PUCCH	Polar	制御信号 (HARQ ACK, CSI, スケジュール要求)
PRACH	N/A	ランダムアクセス

#### 【参照信号】

名称	用途
DM-RS	PUSCH/PUCCHの復調
PT-RS	PUSCHの位相追跡
SRS	品質やタイミング測定用

データチャンネルに256QAM,  $\pi/2$ -BPSKを追加。PT-RSは6GHz以上の周波数での位相雑音の影響軽減のため新たに追加された参照信号である。

## 4G方式の一部仕様を変更・拡張

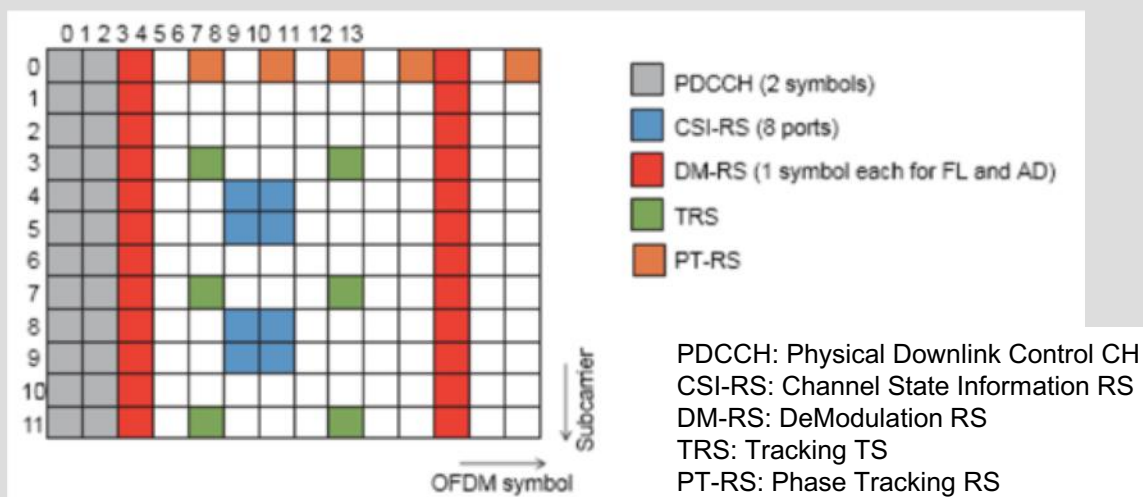
参照信号(RS)は受信信号の復調やMIMO等での受信品質測定のために用いるが、5G NRでのリソースグリッド上の挿入位置はLTEでのそれと異なる。例えば、LTEでは、基地局アンテナビーム毎にセル固有参照信号(CRS: Cell-specific Reference Signal)を常時送信しているが、常時送信は将来仕様検討の際の制約となるため5G NRでは規定せず、複数RSの組合せで同じ機能を実現する。

RSのうち、CSI-RSはチャネル状態情報推定用の参照信号である。

DM-RSは、チャネル特性の変動速度に追従したUEでのデータ復調を助けるもので、データチャネル先頭部分に加え、追加のマッピングも規定されている。TRSは周波数の追従を助けるRSであり、4サブキャリア、4OFDMシンボル間隔で挿入される。

PT-RSは高い周波数での位相雑音影響軽減のため新たに導入した信号であり、UE個別(UE-specific)のRSとして感度を有する時間軸上に繰り返し挿入される。

### 参照信号(RS)の配置例



5G NRではUEでの処理簡単化に加え、チャネル間干渉低減や電力削減のため各RSは同一ビーム内にて局所的に集中配置する。



## (参考) LTE・NR方式の基礎

### (13) 非同期ランダムアクセス

#### UEの初期同期確立などに使われる

NSRA(Non-Synchronized Random Access)信号は72サブキャリア(1.08MHz幅)と1サブフレーム(1ms長)からなり、UE通信開始時の初期同期確立や、ハンドオーバー後の再同期に使用される。

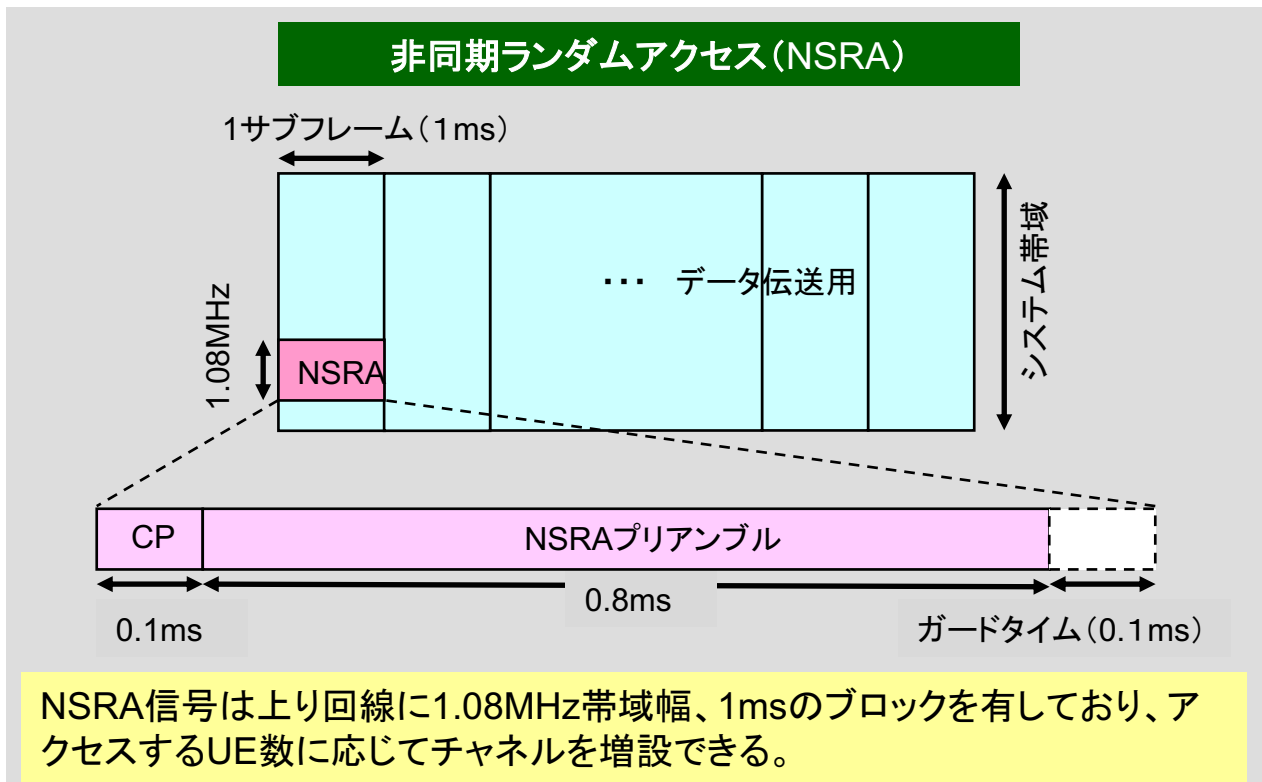
チャンネルはPRACH(Physical RA Channel)と呼称される。

長さ0.9msのバースト波内のNSRAプリアンブルには64種類のCAZAC(\*)符号があり、UEは、このうちの一つをランダムに選択して符号多重アクセスする。

(\*) CAZAC (Constant Amplitude Zero Auto-Correlation): 高い自己相関特性を持つ符号系列

プリアンブル送信から初期同期確立までは次の手順となる。

1. プリアンブル送信後、一定時間以内に基地局から受信応答が得られない場合、送信電力を増加させて再送信する。一定量増加させても受信応答がない場合、符号を変え、再度ランピングする。
2. 基地局からの応答受信後は、基地局より下り制御チャンネルで報知される送信タイミング補正情報に基づきズレを補正して同期確立する。



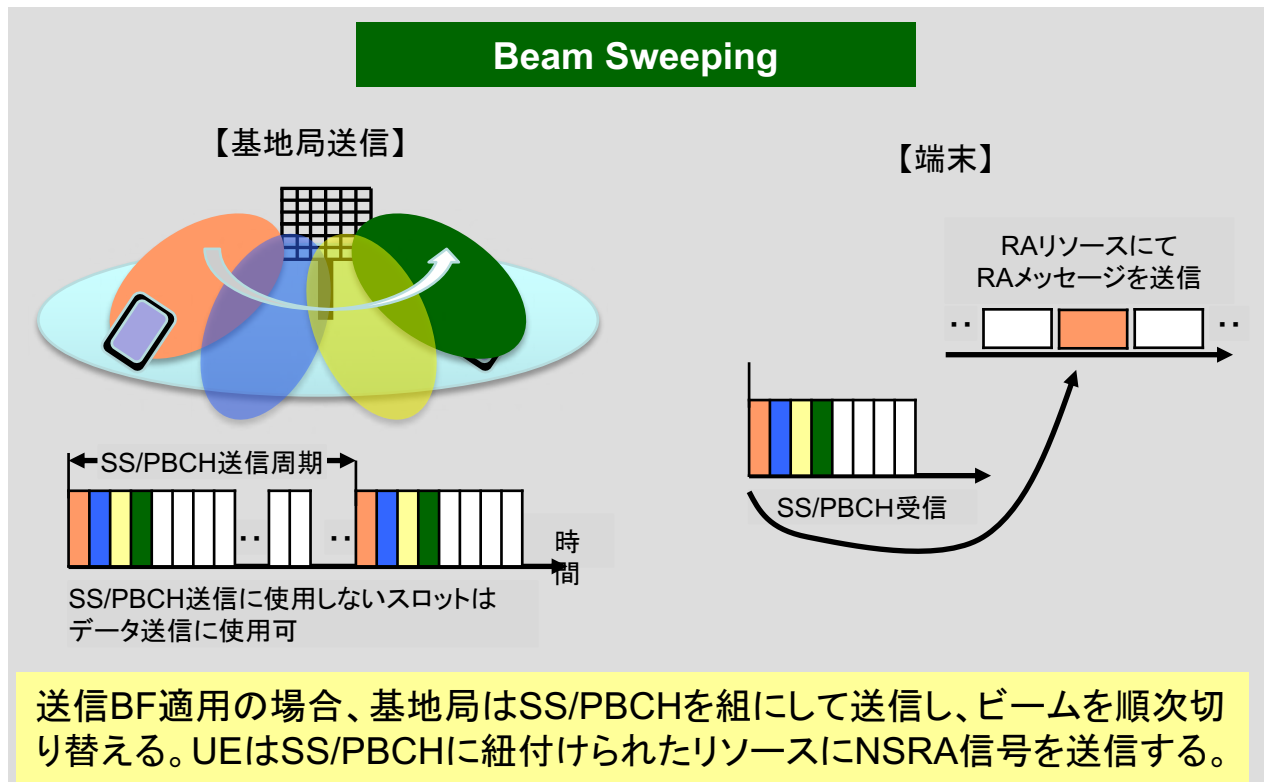
## 同期信号と報知情報の組を含むビームを掃引

5GNRでの初期アクセスは、概ねLTEと同様に、①同期信号(SS)の検出 ② PBCHからの報知情報の取得 ③ランダムアクセス(RA)による接続確立 の3つの手順をとる。

ただし、5GNRにてセル拡大のため基地局アンテナに送信ビームフォーミング (BF)を適用する場合には、ビームが細くなるためUEにてSS/PBCHが受信不能になる恐れがある。

そこで、基地局ではSSとPBCHを組にして同一ビーム内に送信するとともに、当該ビームの方向を順次切り替え送信するBeam Sweeping機能が追加された。

UEでは受信可能なビーム内のSS/PBCHブロック情報をもとに、無線フレームやスロットの時刻同期をとるとともに、SS/PBCHブロックに紐づけられたRAリソースにてRA信号を送信して初期アクセスを確立する。







## (参考) LTE・NR方式の基礎

### (15)システム情報の伝送

#### PBCHでの周期的報知とPDSCHでの随時伝送がある

5G NRでのシステム情報は次の3つに分類される。

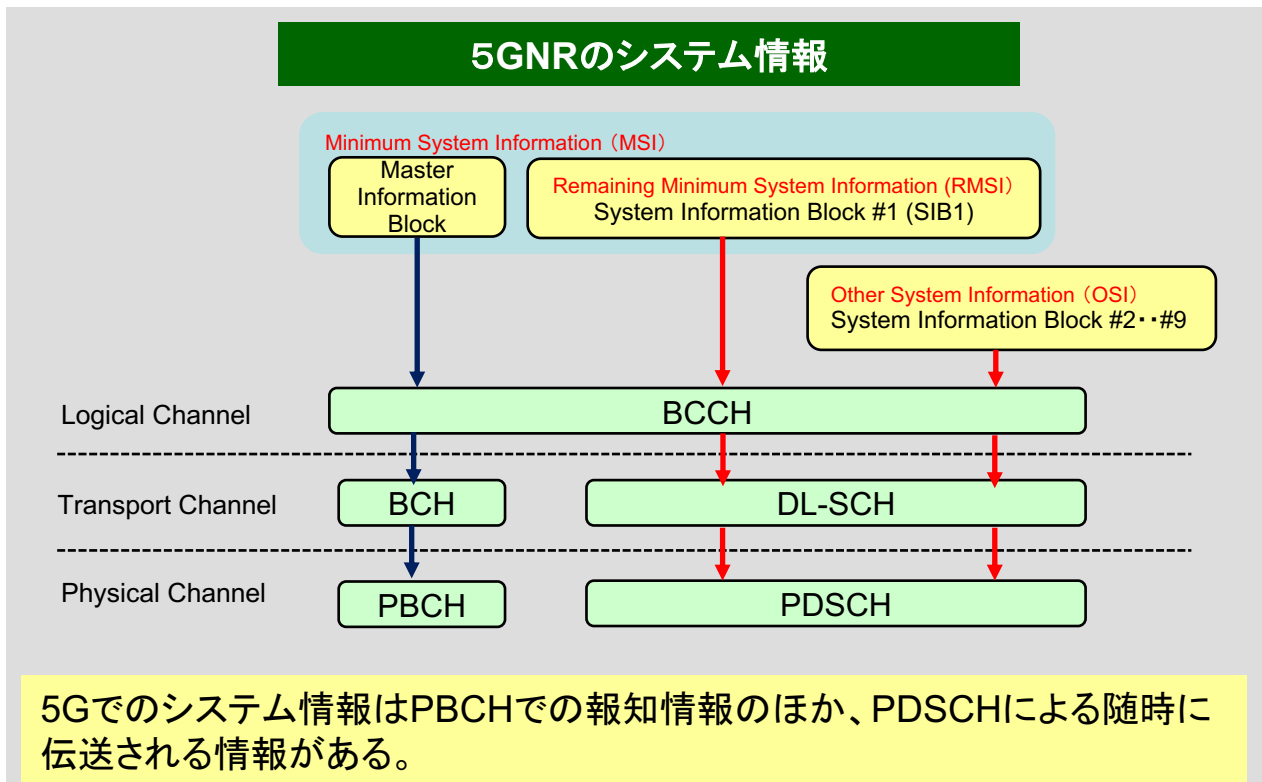
- ・MSI (Minimum System Information)
- ・RMSI (Remaining Minimum System Information)
- ・OSI (Other System Information)

これらにはMIB (Master Information Block) や9個のSIB (System Information Block) が含まれている。この中でMIBはPBCHにて絶えず周期的に報知されるが、SIBはPDSCHにてNWあるいはUEからの要求がある場合に伝送される。

下図のように、SIB1 (SIB#1) は単独で、他のSIBであるSIB#2～#9は1つにまとめられて伝送される。

UEはMIBの受信によって制御情報セット (CORSET: Control Resource Set) と PDSCH内サーチエリアの情報を復号する。

SIB1にはUEの初期アクセスに必要なULのキャリア情報やランダムアクセス信号構成情報が含まれており、NRセル内のUEに報知される。



異なるサブキャリア間隔を持つCAもBWPで指定可能

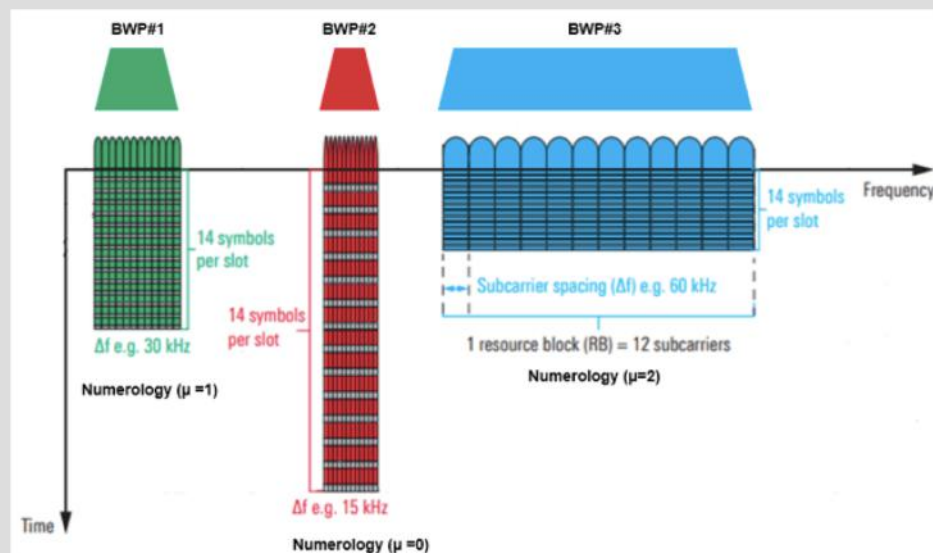
5G NRではキャリア帯域幅の最大値が数百MHzというようにLTEに比べて大幅に増加することから、UEが使用する帯域幅等の情報であるBWP (Band-Width Part)を基地局が上位レイヤシグナリングにてUEに対し設定している。

BWP情報には帯域幅、周波数位置、サブキャリア間隔があり、各UEには最大4個のBWPが設定できるが、UEは特定の1時点ではULで1つ、DLで1つのBWPを使用する。UE向けRSは、アクティブなBWPが指定するリソースエリア内で送信される。

このBWP情報はシグナリングによって変更できるので、広帯域をサポートするUEでもトラヒックが(少)ない場合は、狭い帯域幅のBWPを設定することで消費電力を低減できる。

また、CA (Carrier Aggregation) の場合には、CC (Component Carrier) 毎にBWPを設定する。その際、BWP情報によってサブキャリア間隔の異なるCCを束ねることも可能である。

複数のBWPの例



BWPではUEの能力や利用目的に応じた数値が設定できる。各BWP番号には数秘学と訳される数字占いの用語 (Numerology) が用いられる。

## リソースブロックの割り当て

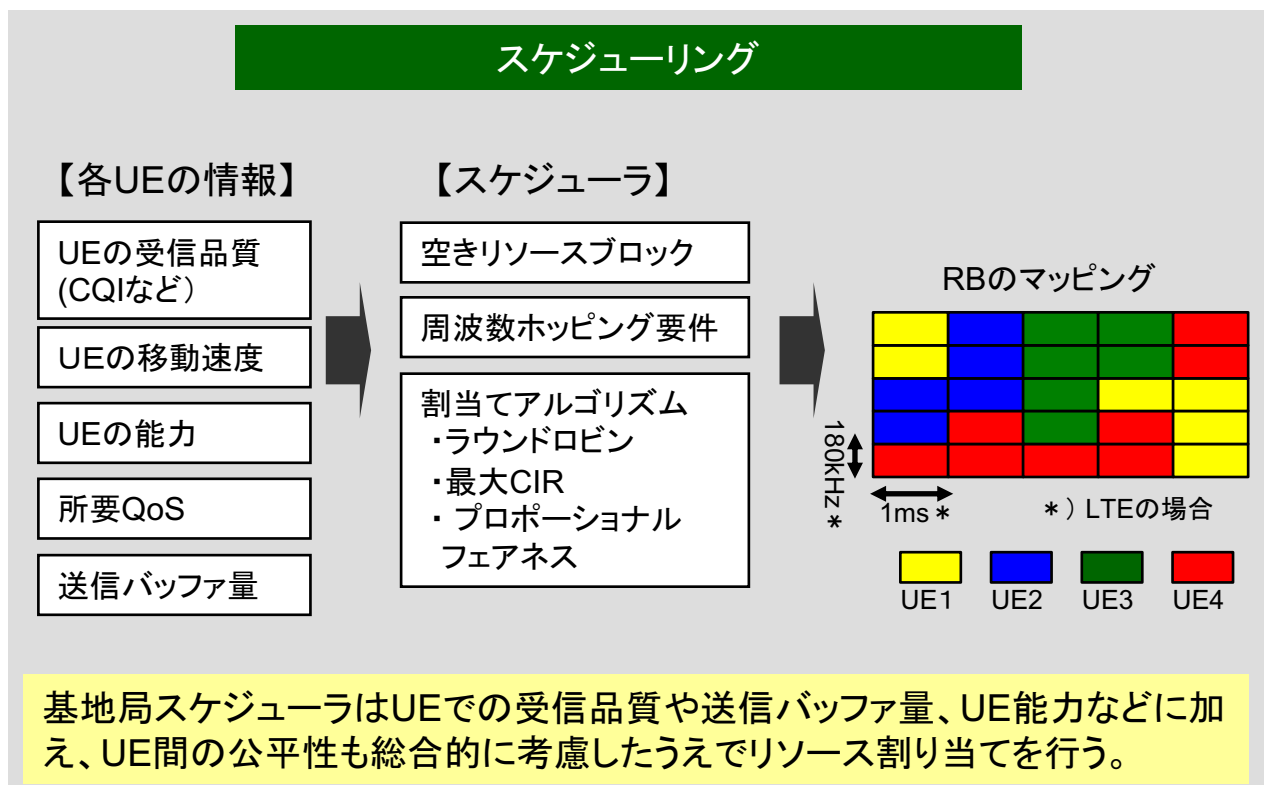
基地局では、要求するデータ伝送レートにもとづき、リソースグリッドの空き位置に、各UEとの間で使用するリソースブロック(RB)を割り当てるスケジューリングを行う。

その際、フェージング等の影響によってUEで受信品質が悪いサブキャリアが含まれるRBを割当て対象から除く場合もある。

最適な変調方式と符号化率を決定するAMCによるリンク適応制御は、UEにて測定され基地局に報告されるチャネル品質情報(CQI: Channel Quality Indicator)などに基づき、サブフレームごとに実行できる。

なお、無線環境によってUE送信電力は増減されるが、基地局は常時、最大電力で送信する。

基地局では、UEからの伝搬環境情報(受信品質やドップラー周波数)、UE能力やQoS、更には通信待ちデータバッファ状態を総合的に考慮して、UEの伝送パラメータ選択とリソース利用の最適化を行う。



## 変調方式とFECを適応制御

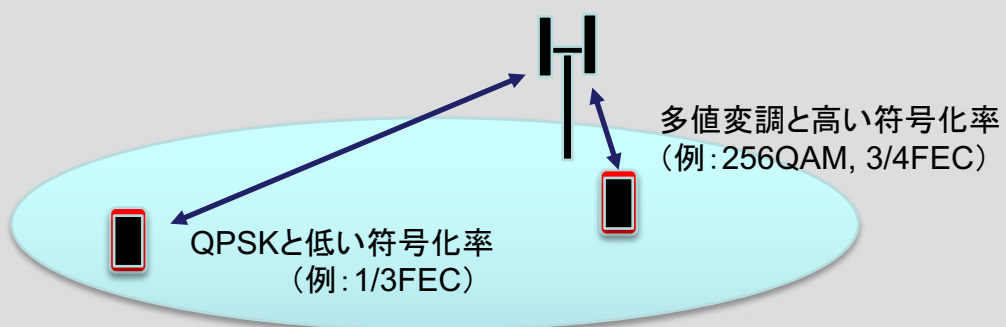
LTEやNRでは、データチャネルの1次変調にDLではQPSKから256QAMまで、ULでは $\pi/2$ -BPSKから256QAMを使用し、チャネル符号化ではFEC符号化率が可変のLDPC符号を用いている。

多値変調方式を用いると伝送ビット数が増加するが、信号点間の距離が小さくなり誤りが増加する。また、FEC符号化率を高めると冗長ビット数が減る分、情報伝送速度は上がるが、同じく誤りが増加する。

そこで伝搬路状態に応じて最適な変調方式とFEC符号化率の組合せを選択するAMC(Adaptive Modulation and channel Coding)によって、周波数利用効率、即ち、1Hzあたりのスループットを最大化している。

このAMCでは、品質測定用参照信号の受信結果の報告を受けることでRB単位の制御も可能だが、制御チャンネルに必要なビット数が増加し効率低下となるので、全RBに対して共通の変調方式と符号化率を適用している。

### 適応変調符号化 (AMC)



基地局近傍のUEでは多値変調で高い符号化率を用いる。下りユーザデータチャネル(PDSCH)ではTPCを適用せず、基地局は常時、最大電力で送信する。

伝送路の状態に応じて、変調方式とFEC符号化率の組合せを選択するAMCはキャリアアグリゲーションを行う場合、各CCに対して独立に行う。



## (参考) LTE・NR方式の基礎

### (19) 遅延時間の短縮

#### TDDフレーム長の大幅短縮などにより実現

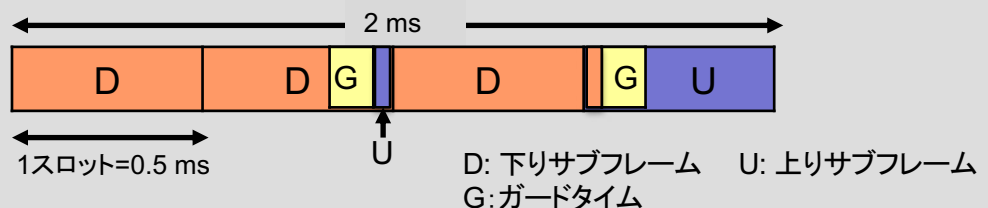
5G NRでは、車々間通信などの利用シーンを想定して、E2Eでの遅延時間を数ミリ秒程度に短縮することを目指し、無線区間の伝送遅延時間を1ミリ秒以下とする目標を設定している。

このためには、2ミリ秒のフレーム長を有するTDDフレームを用い、フレーム中央と端の2箇所です上下リンクを切り替え使用する構成をとることで上りから下り、下りから上りのいずれの場合でも、最大遅延時間が1ミリ秒以内となるように応答リンク設定が可能になる。

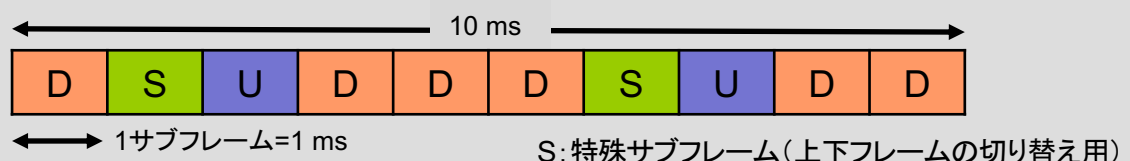
なお、基地局と端末間の電波伝搬時間は、光速(30万km/秒)を用いると、例えば距離3kmでは往復で20  $\mu$  秒となるので無視できる。

#### 5G NRでのTDDフレーム構成

無線区間での最大遅延時間を1msにするには、例えば、下のようなフレーム構成が必要。



【参考】 LTEで一般的なTDDフレーム構成 (1フレーム=10ms)



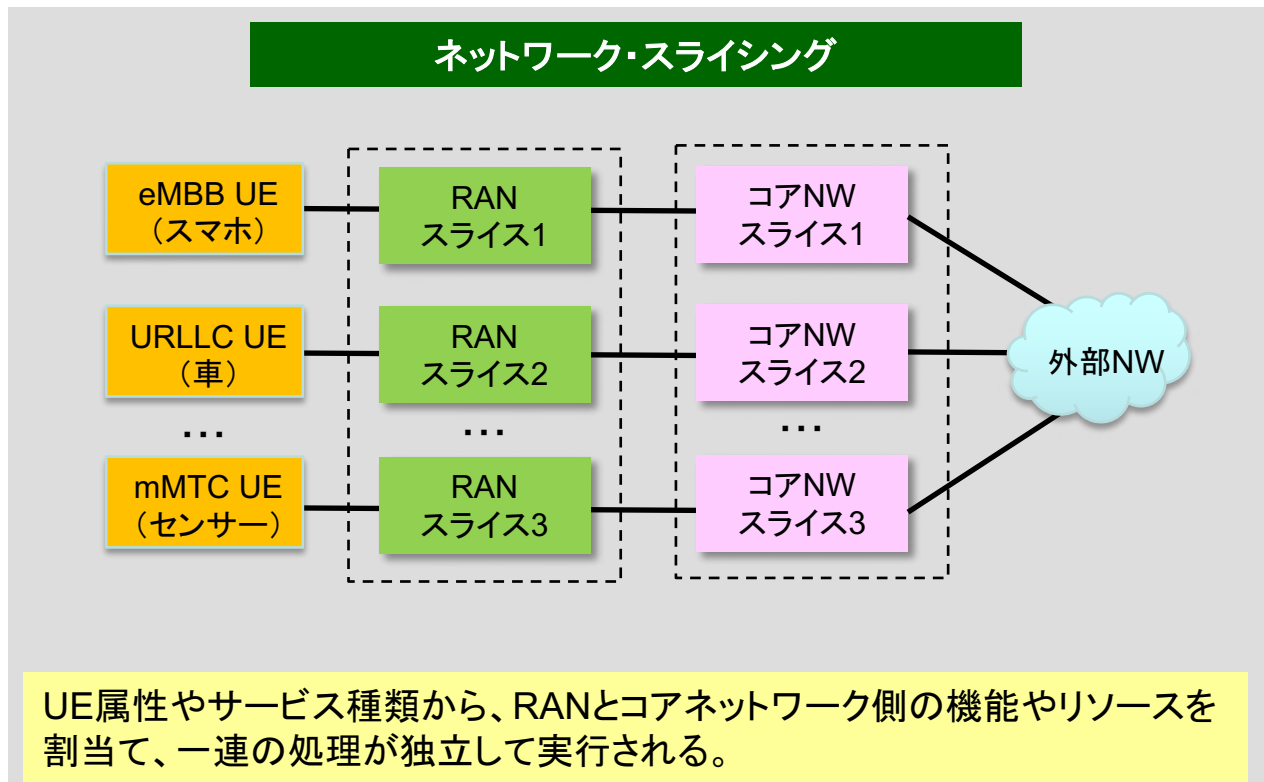
1フレームを2msに短縮することで、U/D間の最大遅延を1ms以下にできる。

### 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

これまで人との通信が主体であり、UEが多種多様になったものの、UEへの要求条件は、それほど大きな差異はなかった。

しかし、5Gの世界になると、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、各サービスの要求条件は極めて異なってくる。そこで、基地局やコアネットワークの機能を同一あるいは固定的に構成するのではなく、各UEやサービス属性に応じた一連の処理を実施できることが望ましい。

5Gでは、UEアタッチ時に、UEやサービスの属性からネットワークスライスを設定することでアプリ・サービス毎に処理を分離する。このためにモバイルクラウドでは、ネットワーク機能やリソースを動的に管理し、柔軟に組み合わせる。



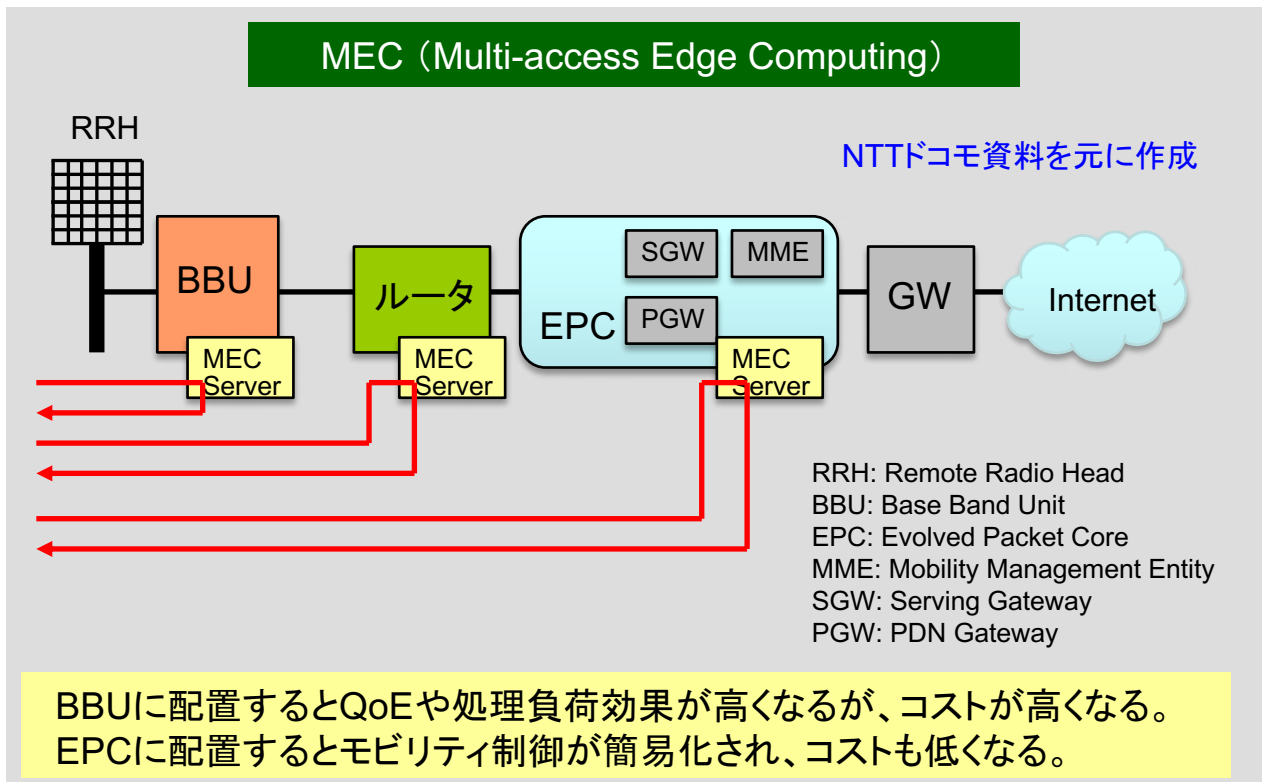


## 低遅延サービスと処理負荷の分散化を行う

5Gでは、車両の自動運転、建設機械の遠隔制御などの利用シーンを想定して、E2Eでの遅延時間を数ミリ秒程度に短縮することを目指している。

このために、基地局側設備のできるだけ端末にあたる場所(エッジ)にアプリケーションを収容するMEC(Multi-access Edge Computing)サーバーを配置することで応答時間を短縮する。

MECサーバーは、サービスの種類に応じてBBUやEPC等の異なった場所に設置することも検討されている。



## 地域や産業の個別ニーズに対応

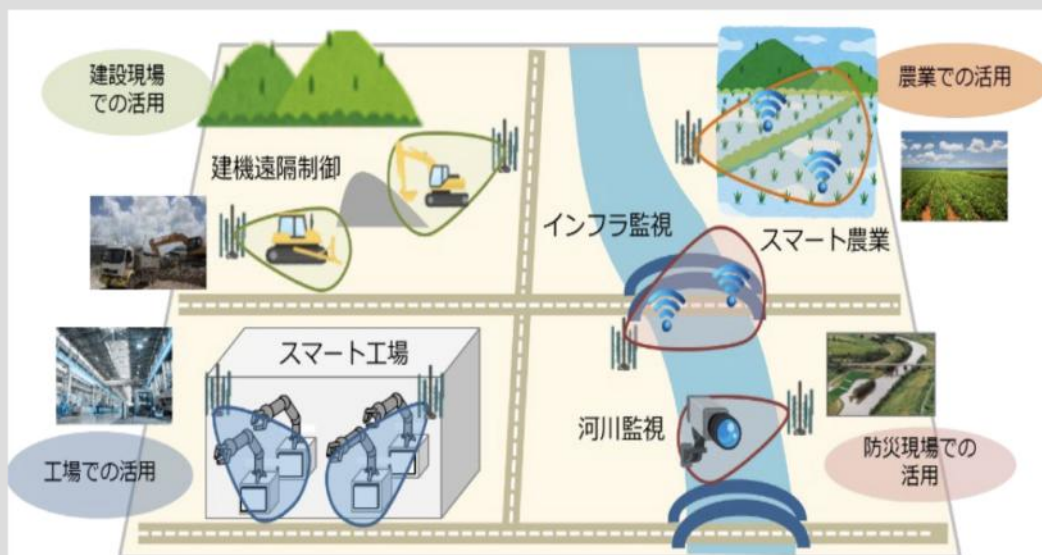
5G方式には企業や自治体が抱える産業面や社会面の課題解決策として大きな期待が持たれている。

そこでMNOの全国網展開を待たずに、企業や地域自身が主体となり次のような個別ニーズに応えられるローカル5G方式の制度設計が行われた。

- 企業向け: 工場自動化による生産性向上、センサー活用による農林水産業の効率化、球場や大劇場での付加価値サービス
- 自治体向け: 安心安全のための情報収集と発信、ロボットや自動運転車等による高能率、高機能な住民サービス
- コンシューマー向け: 無線インターネットアクセスサービス(FWA)

ローカル5G専用の周波数帯を割り当てることで、企業や自治体が無線局を設置して自らのニーズに対応できる。

### ローカル5Gの利用モデル



出典: 総務省作成資料

機械やモノの監視制御により産業の省力化、自然環境監視、インフラ管理が可能になる。



## (参考) LTE・NR方式の基礎

### (23) ローカル5Gの周波数帯

#### 28GHz帯に続き、4.7GHz帯が使用可能に

日本でのローカル5G用の周波数帯域である28GHz帯と4.7GHz帯のうち28GHz帯の100MHz(28.2-28.3GHz)が先行して制度化され、2019年12月より無線局免許申請の受付が開始された。

2020年には、4.7GHz帯の200MHz(4.6-4.8GHz)と100MHz(4.8-4.9GHz)について、他システムとの共用条件や全国MNOとの同期/非同期運用などの検討に基づき制度化され免許手続きが開始された。

4.6-4.8GHzでは、公共業務用固定局からローカル5G基地局への干渉のためローカル5G基地局は屋内設置に限定された。(屋内設置でも許容干渉電力が超過する地点の有無を市町村単位で判定する必要がある。)

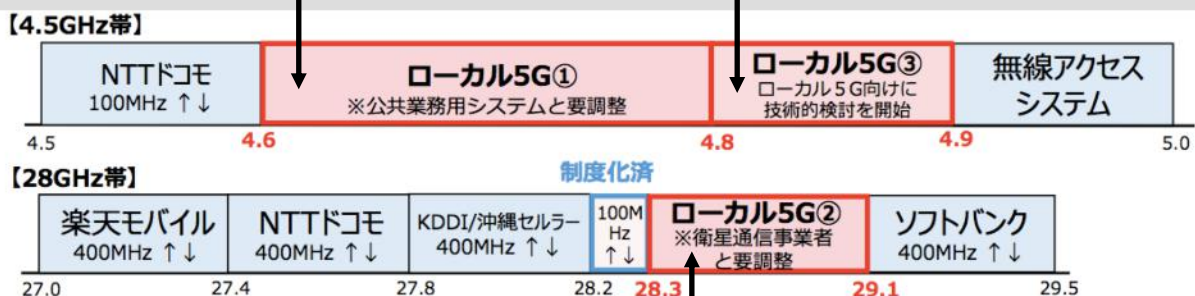
一方、4.8-4.9GHzでは屋外でのマクロ局は不可だがスモールセル局は条件付きで可能、また屋内設置は共用可能とされた。

なお、全国MNOによるローカル5G専用帯域の免許取得は当分の間、認められないが、子会社等の関連企業の免許取得は可能とされている。

#### ローカル5Gの使用周波数帯域

公共業務用固定局からの大きな干渉があるため屋外設置は困難。  
屋内でも市町村単位に干渉有無の判定が必要

隣接帯域の公共業務用固定局からの干渉があるため屋外マクロ局は不可だがスモール局は条件つきで可。屋内設置は可能。



出典:総務省作成資料

28.3-28.45GHzでは屋外での利用が可能。28.45-29.1GHzは衛星通信地球局からの干渉低減のため遮蔽等の対策が必要な場合がある。

## 自己土地利用と他者土地利用

ローカル5Gの設置・利用場所では「自己土地利用」が基本であるが、「他者土地利用」も可能である。

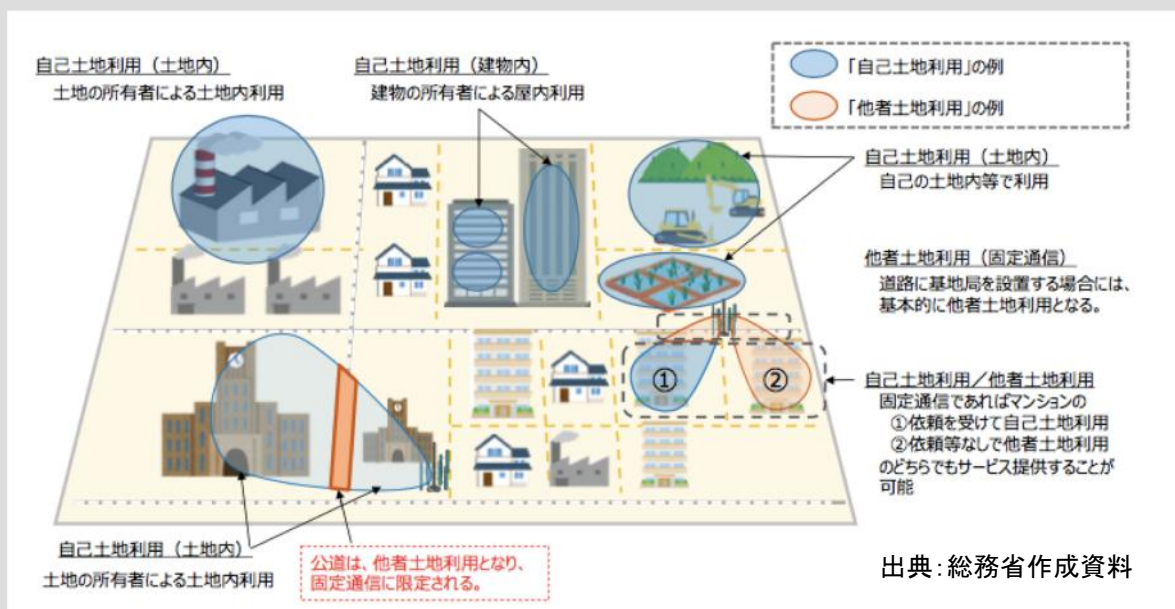
自己の建物や土地内にて、その所有者等(賃借者等を含む)がローカル5G網を自ら構築し、利用するのが「自己土地利用」である。

一方、他者の建物や土地等を利用する「他者土地利用」では、無線局を固定して利用する形態のみに限定している。

電波法上で「自己土地利用」は「他者土地利用」より優先されている。

「他者土地利用」は他の「自己土地利用」が存在しない場所にのみ導入できる。また、他者土地利用ローカル5G無線局の免許取得後に、自己土地利用の免許申請がなされた場合には、前者が後者の無線局に混信を与えないように、アンテナ位置や方向の調整等を行う必要がある。

### 自己土地利用と他者土地利用のイメージ

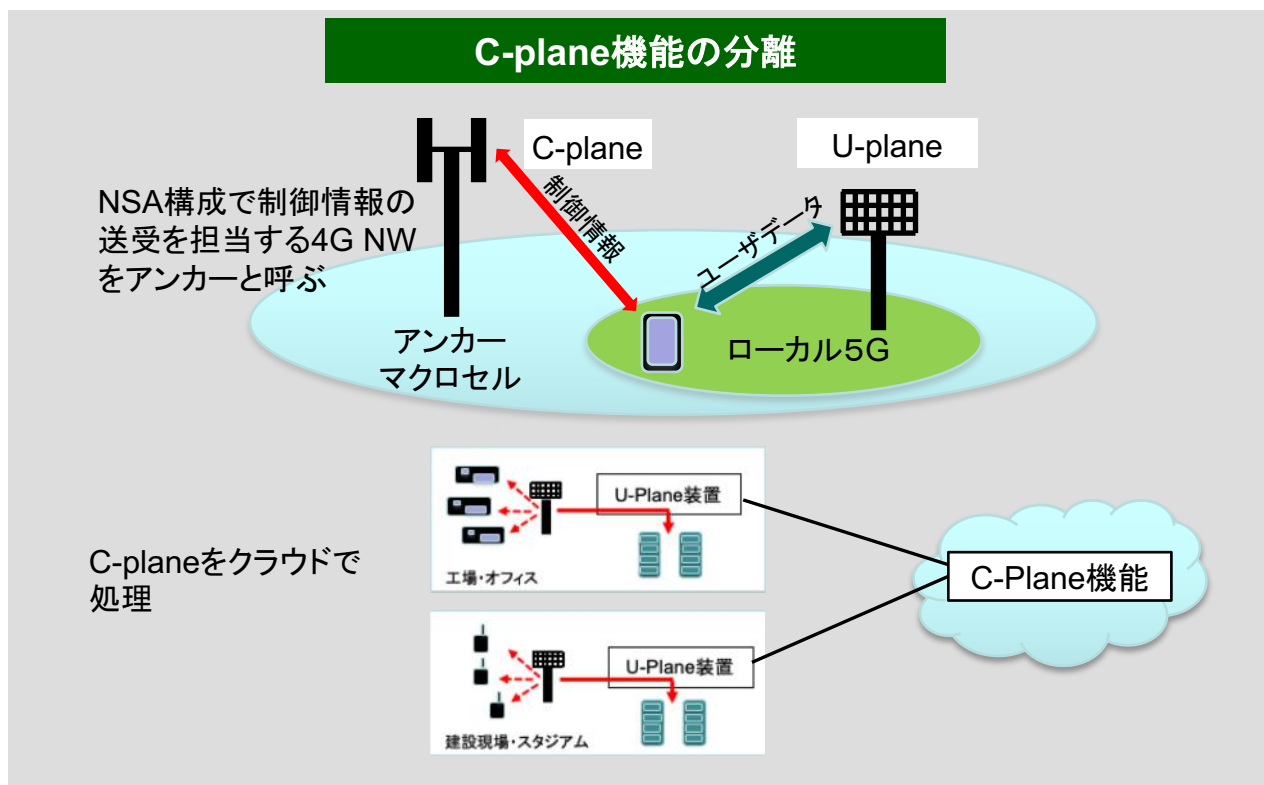


### 制御信号を別の4G網経由とするNSA構成も可能

ローカル5Gでのユーザデータは自身の基地局との間で送受するが、端末認証、無線リソース割り当て、セル間ハンドオーバー等の制御信号は全国MNOや地域BWA事業者の4G基地局を経由する方式がNSA(Non Stand-Alone)である。一方、制御情報もユーザデータとともに自身のローカル5G経由で送受する方式がSA(Stand-Alone)である。

ローカル5Gのセル径がサービスエリア全体に比較し小さい場合には、SAで制御情報も送受すると、UE移動に伴い建物等による電波遮蔽による切断や速度低下が頻繁に発生するためNSAが有利である。一方、ローカル5Gセルがサービスエリア全体を覆える場合には、簡易な網構成であるNSAは効率的である。

基地局近傍のベースバンド装置にてユーザデータを終端すると、UEとの間で極めて短い遅延時間による高速通信が可能となる。一方、UEの認証、回線の設定や切断、ハンドオーバー等のC-planeでの多様な処理をクラウド上で行うと、多数のUEやU-plane機器に対応できる。





## 準同期方式は運用柔軟性に優れる

ローカル5Gでは他のローカル5G網や全国MNOとの間で相互干渉を回避し、周波数利用効率を高めるため互いの無線フレーム開始タイミング及びTDD切替パターンを一致させる同期方式が推奨されている。

一般に全国MNOでは下りリンクの比率が高い切替パターンを使用しているが、ローカル5GではULスロットを多くして上りを高速化したり、上下の切替周期を短くして低遅延化を図るケースなど様々である。

そこで、無線フレーム開始タイミングは一致させ、上下リンク方向の不一致は一部スロットのみに限定する準同期方式は、運用柔軟性があり、必要な干渉調整も簡素化できるメリットがある。

同期運用を行う無線局は準同期を含む非同期運用の無線局より優先して保護されるため、非同期局は同期局に有害な混信を与えてはならず、一方、同期局からの混信は容認しなければならない。

### 同期運用と準同期運用

【同期運用】 無線フレーム開始タイミングに加え、TDD切替パターンが一致

D: 下りリンクスロット、U: 上りリンクスロット  
S: DからUへの切替期間を含む特別スロット

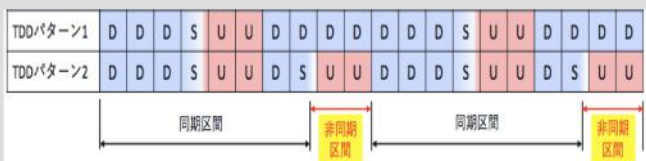


【非同期運用】 無線フレーム開始タイミング、又はTDD切替パターンが不一致

右の赤枠では、両システムで上下リンク方向が異なるスロットで基地局間、端末間の干渉が起こる。



【準同期運用】 TDD切替パターンの一部が不一致だが、U/Dの方向が限定  
右の例では、非同期区間でのU/D方向が同じであるため、干渉ケースが限定される。



出典: 総務省作成資料





【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)

