

第5世代移動通信方式の概要



2018年 5月
株式会社 A2A研究所



第5世代方式の概要

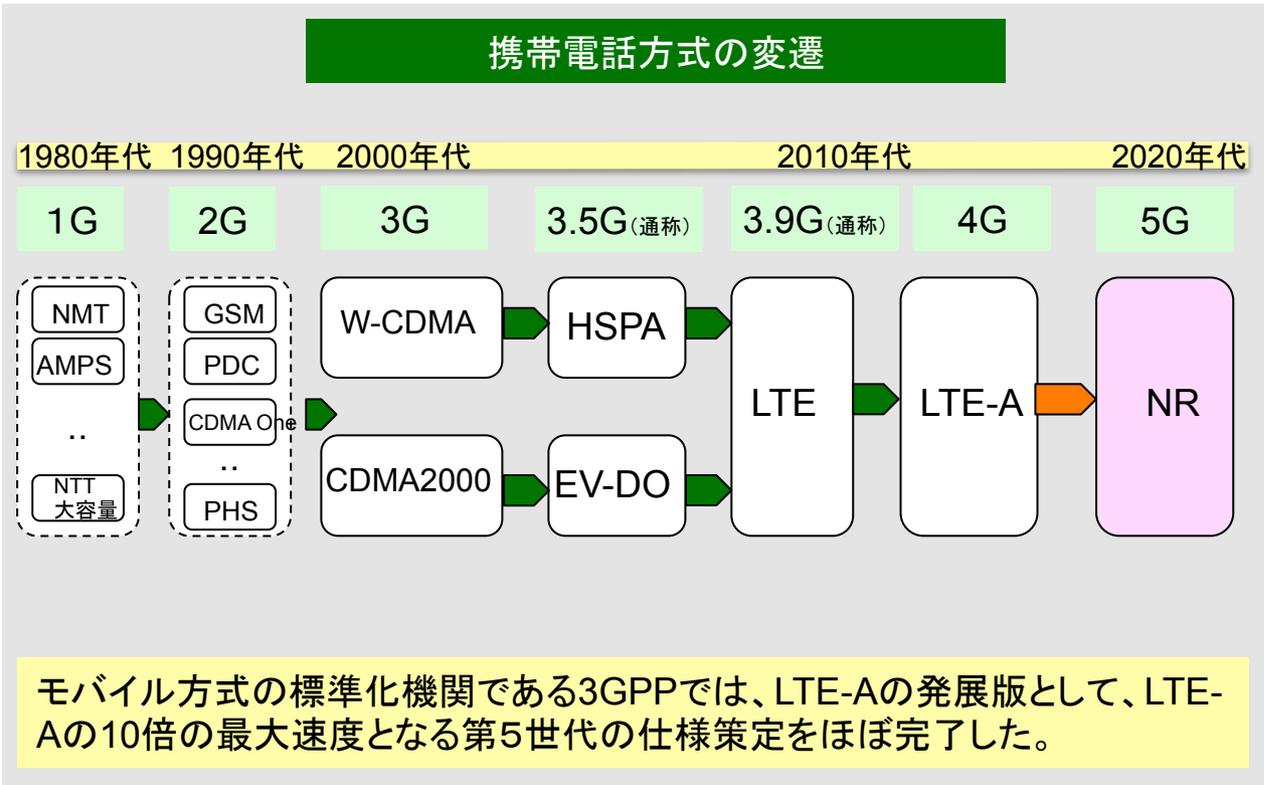
(1) 第5世代方式とは

約10年ごとに進化するモバイル通信方式

1980年代前半にアナログ通信方式の第1世代から始まった携帯電話は、1990年代にデジタル化された第2世代を経て、2000年代には、別名IMT2000方式と呼ばれる第3世代に移行する。

IMT2000では世界統一規格を目指すもののW-CDMAとCDMA2000の2方式に分かれてしまった。第3世代後期にW-CDMAの後継方式として導入されたLTE (Long Term Evolution) は、第3世代でCDMA2000方式を採用した事業者もこぞってLTEを導入したため、LTEは世界統一規格になった。その後、LTEと互換性をもちつつ高速化されたLTE-Advancedが第4世代である。

第5世代(5G)無線方式はNR(New Radio)やNew RAT(Radio Access Technology)とも呼称され、4G方式との後方互換性に留意する一方で、多くの新規機能を盛り込んでいる。





第5世代方式の概要

(2) 第4世代との主要特性比較

高速性能は百倍、無線区間遅延時間は10分の1に

5Gでは、スマートフォンやタブレットを用いたモバイルブロードバンド(MBB)サービスの高度化とともに、あらゆるモノが無線を通じて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・高信頼の機能の大幅向上を目指しており、これら3つの機能eMBB, mMTC, URLLCにて主に次の数値目標を掲げている。

- ・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端末(以下, 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。

4G, 5G方式の主要特性比較

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

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端末密度の増大により、多様なサービス提供が可能になる。

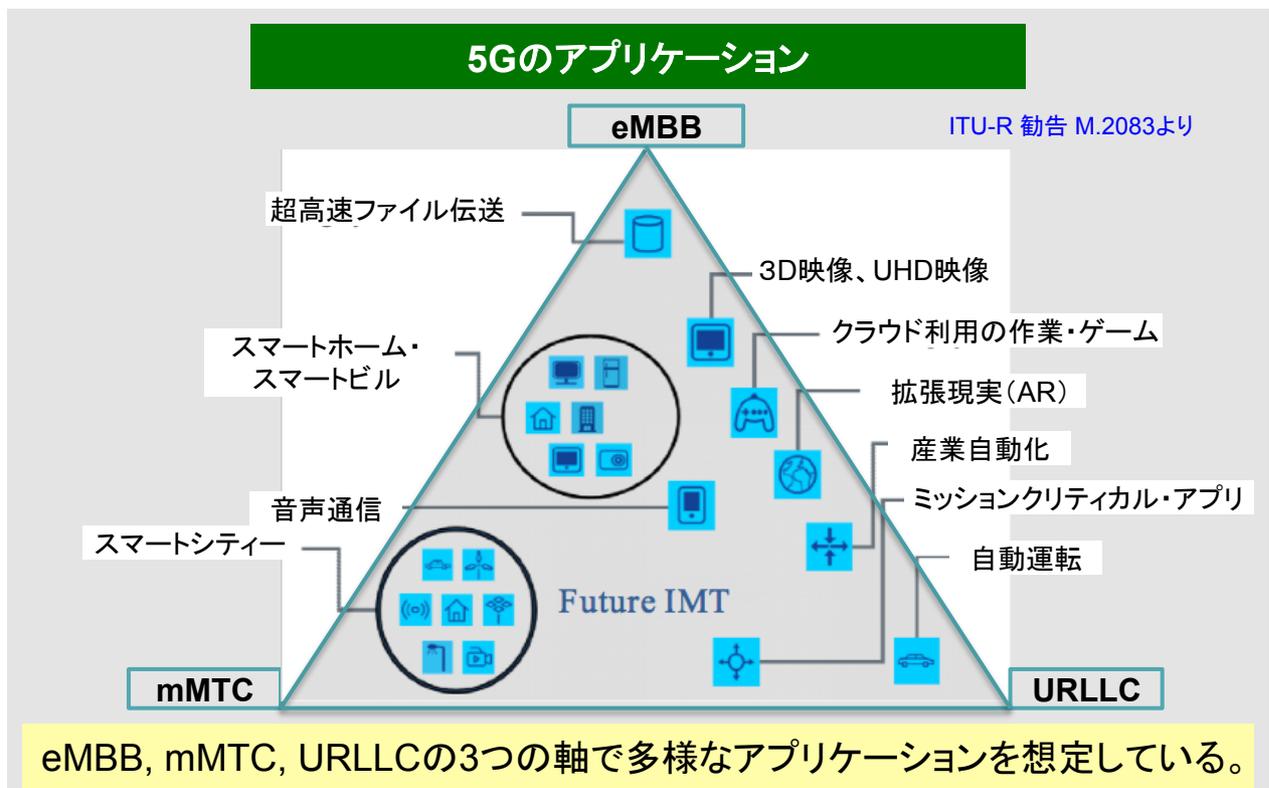
超高速、大量・低速、低遅延・高信頼の3つの軸

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、ギガビット級の速度でのファイル転送や、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考えられる。





第5世代方式の概要

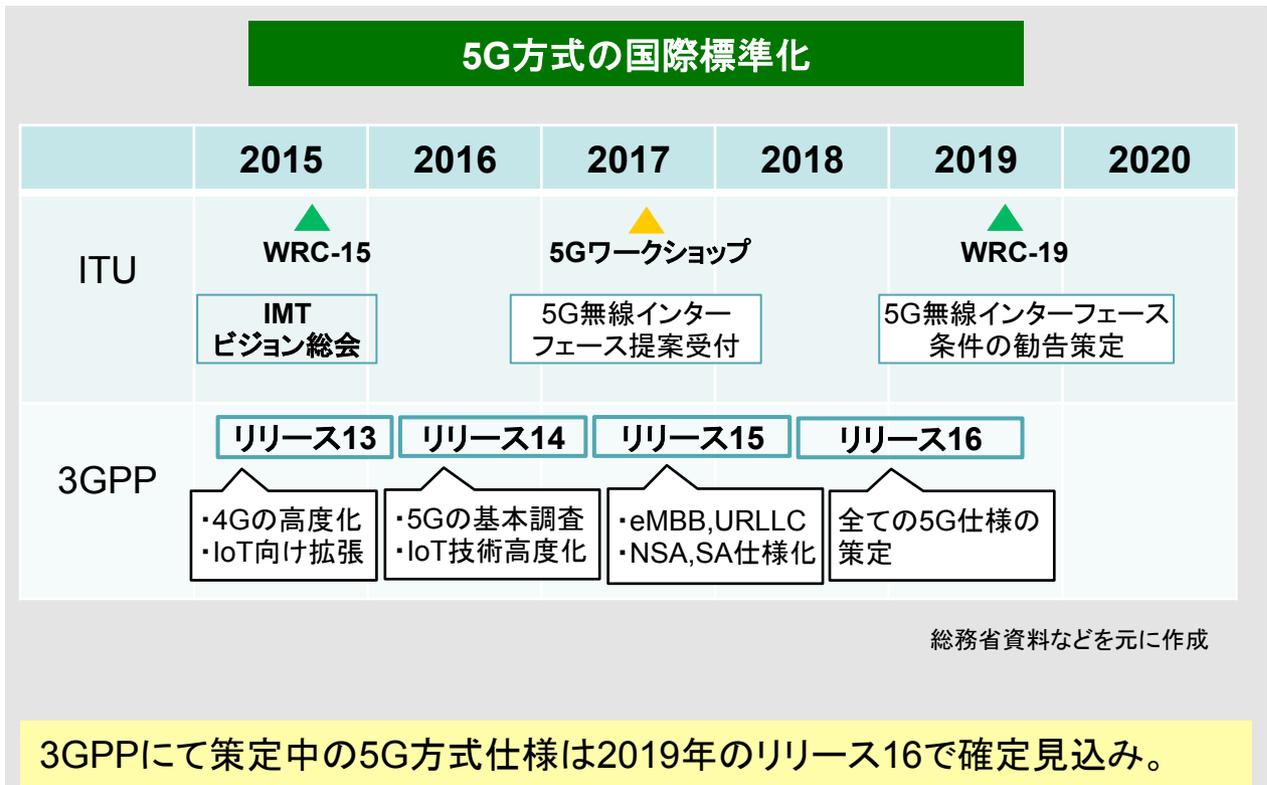
(4) 検討状況

ITUと3GPP

5G方式の技術仕様は、3G方式を全世界で共通仕様とするために通信事業者や装置ベンダーによって組織された3GPP(3rd Generation Partnership Project)を中心に検討されてきた。

3GPPでは、2019年に公開予定の文書(リリース16)にて全ての5G仕様が発見される見込みである。

一方、3-4年毎に各国主管庁等が参加して、各周波数帯の利用方法や無線局の技術基準等を定める世界無線通信会議(WRC)では、2019年開催のWRC-19会合にて、5Gで使用する周波数帯域や無線インターフェース条件を定める予定である。





第5世代方式の概要

(6) 5G用周波数

広い帯域の割り当てが進む

日本では5G実現に向けて、2018年4月に1.7GHz帯(追加)、3.4GHz帯の周波数割当てが実施され、既存の移動体通信事業者(MNO)3社に加え、新たに市場参入する楽天が取得した。

総務省では、今後、3.7GHz帯、4.5GHz帯、28GHz帯についても2018年度末頃までの周波数割当てを実施できるように、他の無線システムとの共用検討などを行い、2018年夏頃までに技術的条件を策定するとしている。

特に、3.7GHz帯、28GHz帯は有望だが、衛星通信システムに広く利用中のため、5G携帯基地局を既存衛星地球局近くに設置する際は、両局間に一定距離を確保する等の調整が必要になるだろう。

移動体通信事業者に割り済みの周波数 (PHS, WiMAX用を含む)

単位: MHz

2018年4月現在

MNO グループ	700MHz	800MHz	900MHz	1.5GHz	1.7GHz	2GHz	2.5GHz	3.4GHz	3.5GHz
	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD/TDD	TDD	TDD	TDD
DoCoMo	20	30		30	40*	40		40	40
KDDI & UQ	20	30		20	40	40	50		40
Softbank & WCP	20		30	20	30	40/31.2	30	40	40
Rakuten					40				

*東名阪のみ

【今後割り当て予定の新帯域】

3.6 - 4.2GHz**

4.4 - 4.9GHz**

27.5 - 29.5GHz

** 3.7GHz帯及び4.5MHz帯で最大500MHzの割り当てが期待される。

5G方式は新規割り当て帯域だけでなく、LTE等で使用されている既存周波数帯でも広く使用できるようになるだろう。

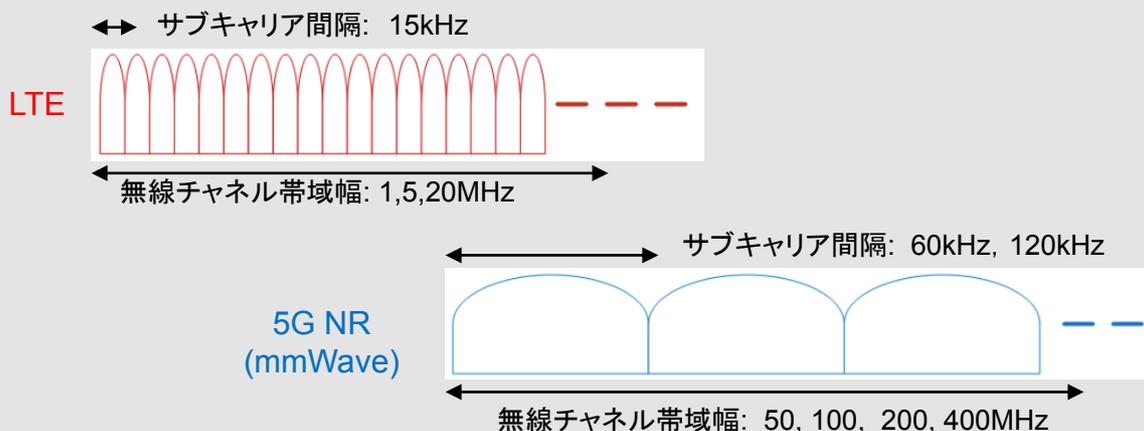
帯域幅200MHz以上の無線キャリアでは120kHzまでに拡大

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/LTE-A方式では、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、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)などでは、最大400MHzまでの帯域幅をTDDで利用するとともに、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。

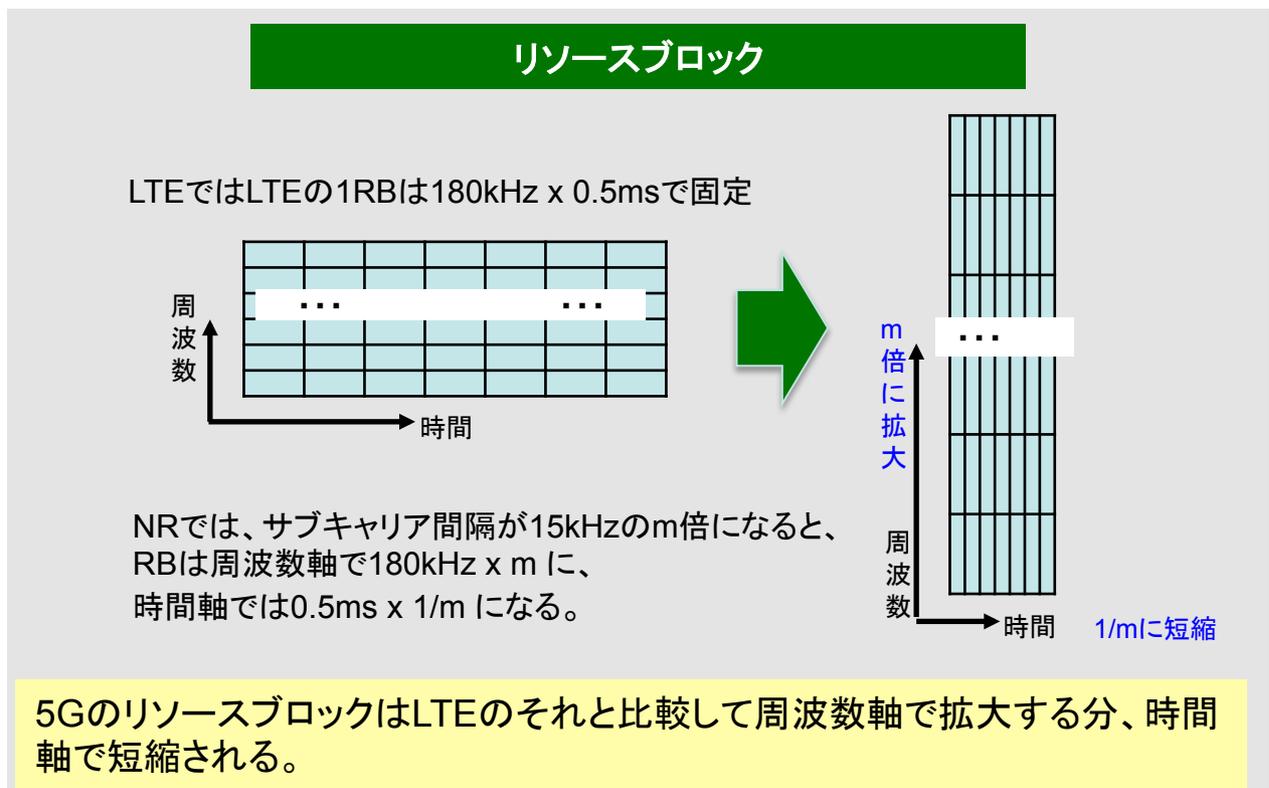
サブキャリア間隔の増加に応じてタイムスロット長が短縮

リソース割り当ての単位であるリソースブロックはLTEの場合と同様、周波数軸ではサブキャリア12波、時間軸では7個のシンボルを有する1タイムスロットで表される区画(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が15kHzと固定であるため、1リソースブロックは180kHz x 0.5msの区画で固定であるが、NRでは無線キャリア帯域幅により、いくつかのサブキャリア間隔が設定可能なため、それに応じ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、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。





第5世代方式の概要

(9) フレーム構造

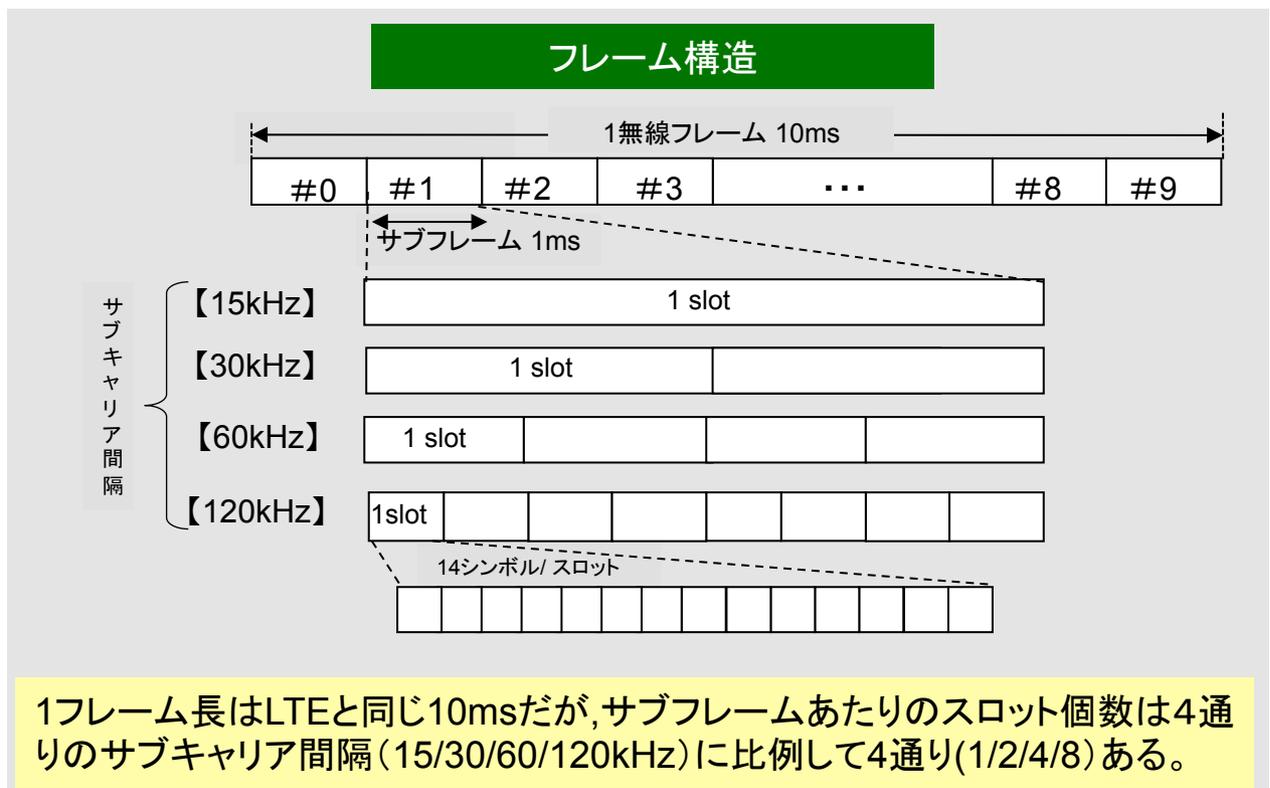
1無線フレームはLTEと同じ10ms

時間軸では、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、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。

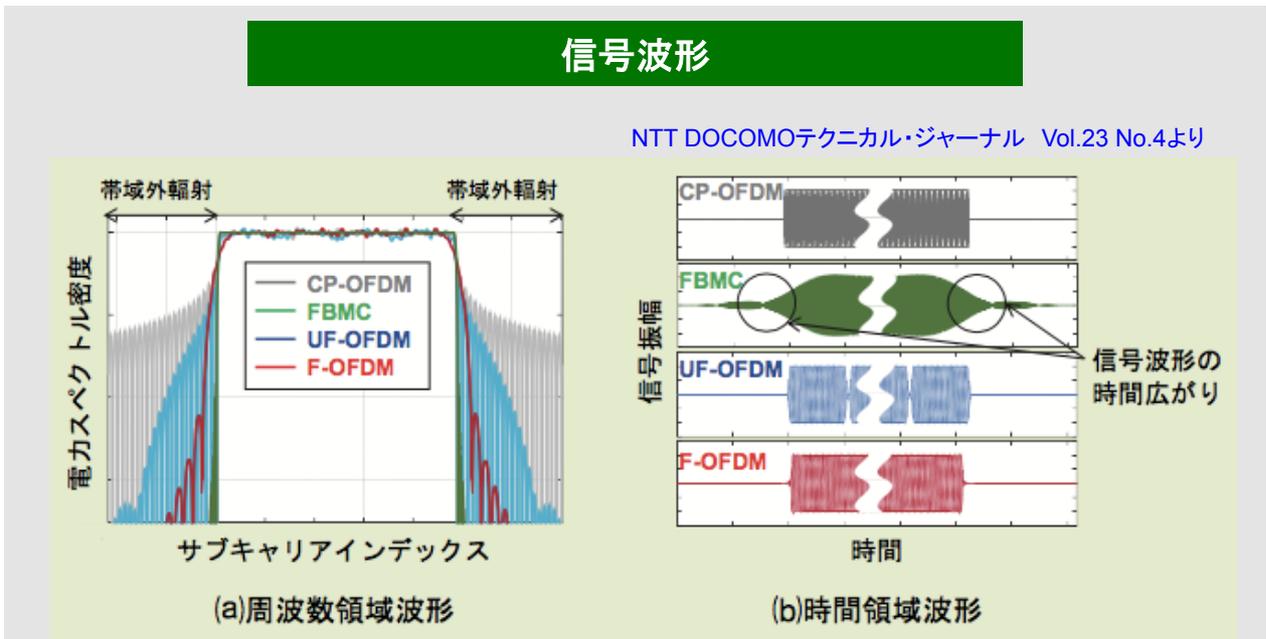


帯域外雑音低減のため、フィルタ挿入がオプションで可能

5G NRでは上下リンクともCP (Cyclic Prefix) を付加したOFDM変調となる。(上りリンクではLTE-A同様にSC-OFDMも利用可能)

ただし、OFDM変調ではシンボル間での不連続な位相遷移に起因して周波数スペクトラムにスパイク状の広がりが生ずることから、周波数利用効率向上のために、5G NRではオプションとしてCP-OFDM変調の外側にフィルタ挿入が可能となる見込みである。

これらには、サブキャリア単位に急峻なフィルタを適用するFBMC (Filter Bank Multi-Carrier) や、複数サブキャリアをまとめたサブバンド単位にフィルタを適用するF-OFDM (Filtered OFDM) などがある。前者では帯域外輻射は最も小さくなるが、時間信号波形が広がる。



帯域外電力輻射を低減できるように、オプションとしてフィルタ挿入等の追加が可能となる見込みである。



第5世代方式の概要

(11) 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当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(参考参照)を使用するため、LTEでのTurbo, TBCCとは異なる。

PSS, SSSは、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)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、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	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

【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 (時間、周波数追跡にも使用)
PSS/SSS	Primary/Secondary 同期信号

*1) PCID: Physical Cell ID

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する。



第5世代方式の概要

(12) 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ブル信号を送信

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 (ハード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。

様々な周波数帯と無線技術で構成

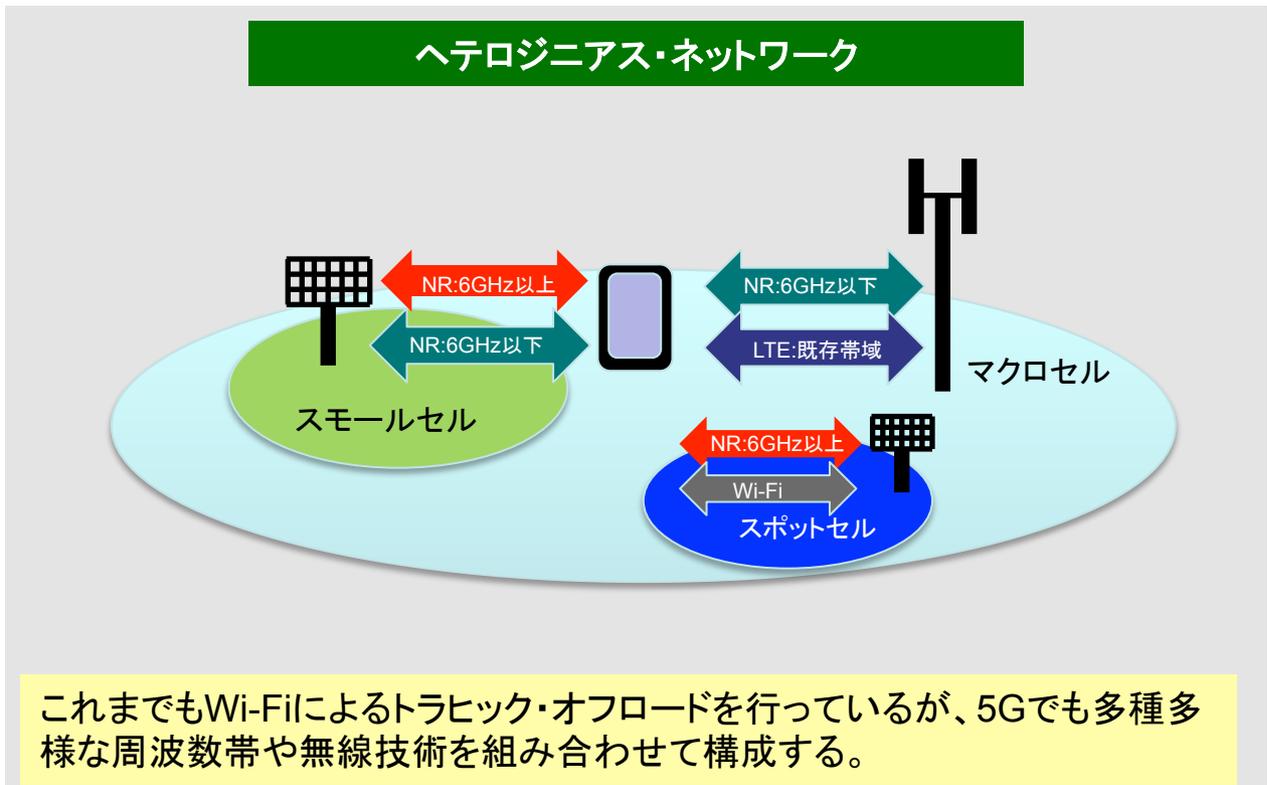
5G NRは、様々な周波数帯や無線技術から構成されるヘテロジニアス・ネットワークとなる。ヘテロジニアスとは「異質な、異種の」意味であり、「同質な、同種の」ホモジニアスの反対語。

●周波数帯:

800MHz、2GHzなどの既存の周波数帯に加え、6GHz以下の周波数帯や6GHz以上の周波数帯などの従来より高い周波数帯を活用する。

●無線技術:

ライセンス帯でのNRやLTEに加え、アンライセンス帯でのWi-Fiなどの様々な無線技術を合わせて使用する。



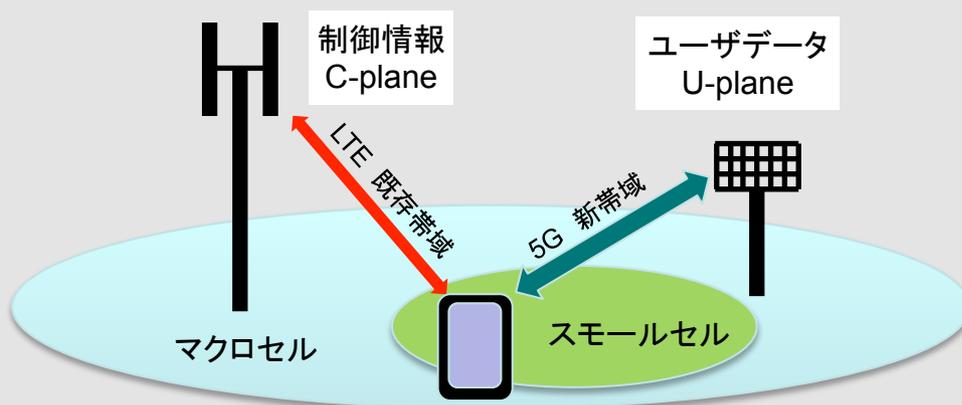
導入初期には制御情報をマクロセル経由で伝送

5G方式では、4GHz帯などの新しい無線帯域を使用した高速通信サービス等を利用者の多い都市部のスモールセルから開始するものと予想される。

その際、ユーザデータはスモールセル基地局との間で送受されるが、UEアタッチや認証、無線リソース割り当て、セル間ハンドオーバー等のUE移動管理のための制御信号は既存のLTEマクロセル局を経由するようになるだろう。

セル半径が小さいスモールセル経由で制御情報も送受すると、UE移動に伴い建物による電波の遮蔽等による接続や切断が頻繁に発生して非効率となり、スループット低下にもなるからである。

C/Uプレーンの分離イメージ



複数無線キャリアによる下りユーザデータは、DC (Dual Connection)機能にて5Gと4Gの両基地局を経由することも可能。また、制御情報を5G基地局からも同時送信することで、UEでのC/N改善が可能。

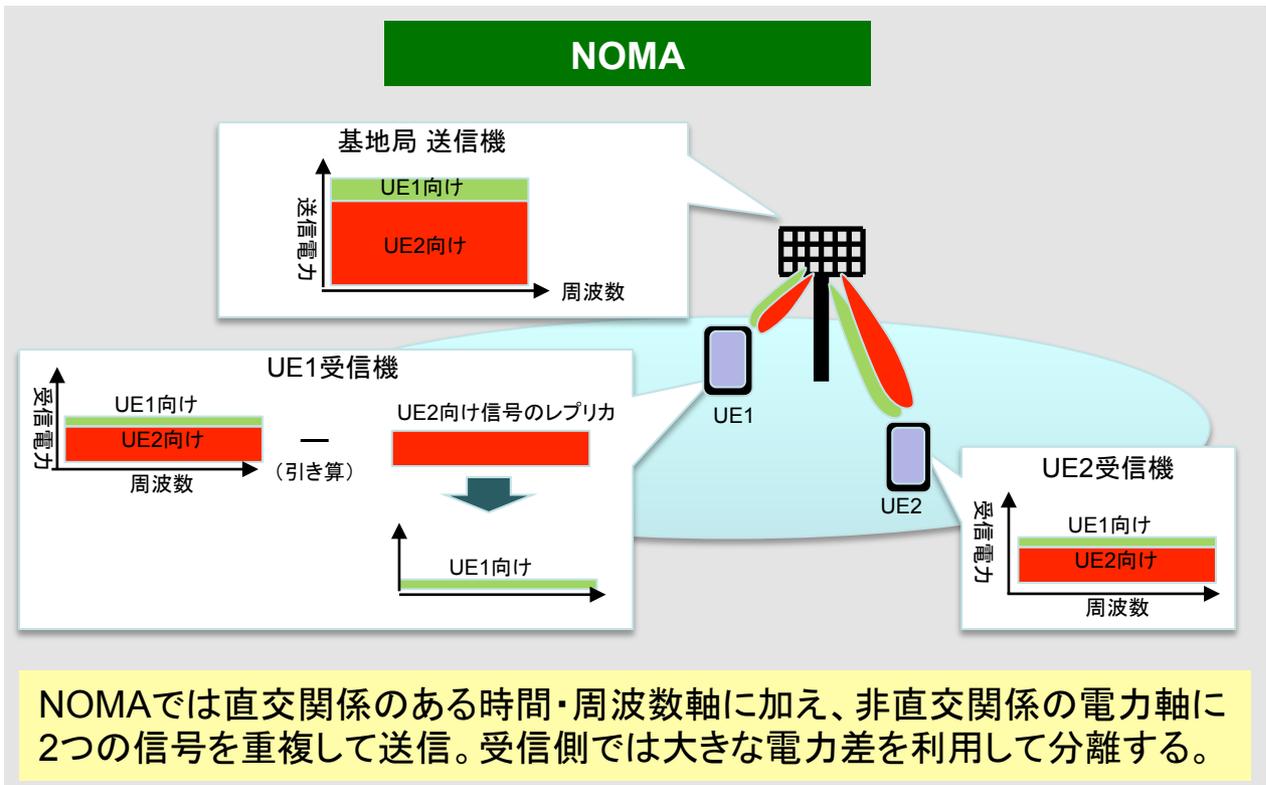
5G導入当初は、LTEマクロ局と5G NR局間で連携し、制御情報を交換する。

2つのユーザ向け信号を同一リソースグリッド上で重複送信

非直交多元接続(NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access)は、5Gの下リリンクで適用検討中の技術である。ここではセル内の複数ユーザへの信号を基地局側にて同一の無線リソース上に多重し送信する。

ここでは基地局の近くで受信品質の良いユーザ(UE1)と、セル端付近にて受信品質の悪いユーザ(UE2)をペアとして、同じ時刻と周波数のリソースにて送信する。(UE2にはUE1より多くの電力を割り当てる。)

この時、UE2受信ではUE1向け電力よりUE2向け電力が大きいため、UE2がそのまま受信できる。一方、UE1受信では、受信電力の大きなUE2向け信号をまず復調した後に、その送信波形(レプリカ)を生成し、この波形を記憶中の原信号波形から減算してUE2向け信号を相殺することで、自局(UE1)向け信号分のみを取り出して復調する。



ビームフォーミングと空間多重

マッシブ(大規模)MIMOでは、主に次の2つの利用法を想定している。

1. ビームフォーミングによるエリア拡大

各アンテナ素子に給電する電波の位相と振幅を制御し、その出力を合成して鋭いビームを形成し、端末方向へのアンテナ利得を最大にする。これによってセルエリア拡大の効果が得られる。

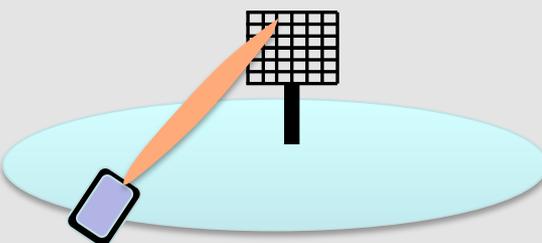
2. 空間多重によるセル容量拡大

マルチユーザMIMO(MU-MIMO)技術を適用することで、複数ユーザ宛てに複数ストリームを空間多重して同時伝送する。

その際、異なるストリーム間で干渉が生じないように、端末で測定された品質情報(CSI: Channel State Index)の返送に基づいた高精度なプリコーディング処理が送信側で必要である。

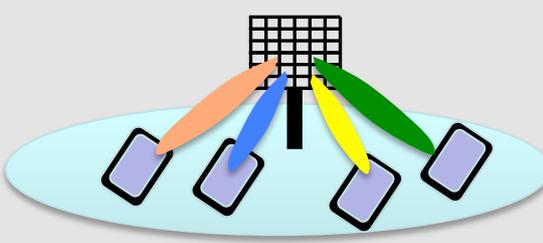
マッシブMIMOの利用法

【ビームフォーミング】



鋭いビームで伝搬ロスを補償して
エリアを拡大

【空間多重】



複数ユーザに同時伝送して
セル容量を増加

同一周波数を切り替え使用するTDDの場合には、チャンネル相対性があるためチャンネル推定が容易になるかもしれない。

マッシブMIMOは大きな可能性があるが、超高密度となるアンテナ回路の設計・製造や低コスト化が課題である。

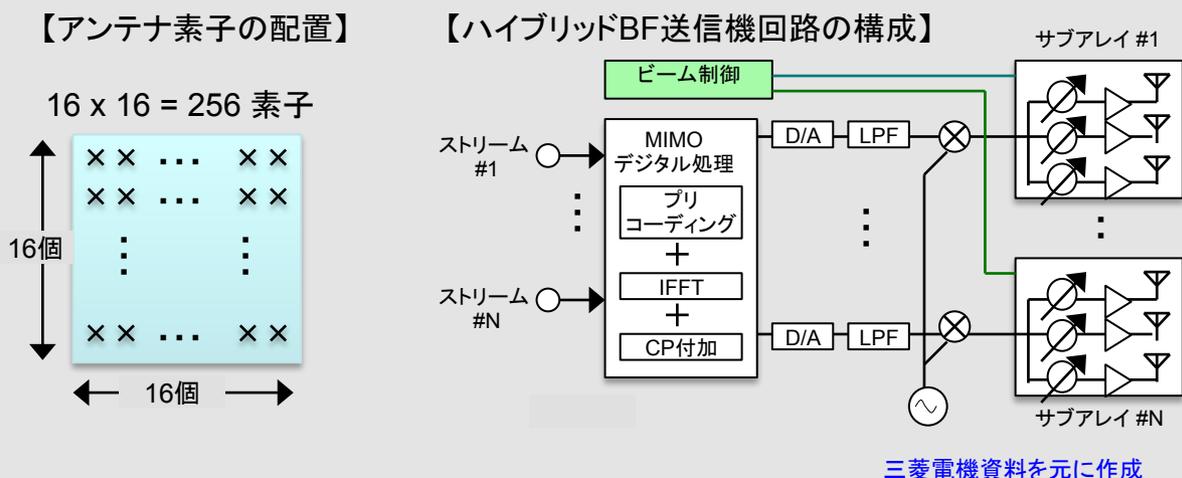
基地局アンテナでは数百ものアンテナ素子を搭載

高い周波数帯を用いるNRでは、電波強度が周波数の2乗に比例して減衰する影響を補うために、多数のアンテナを用いることで利得を高めるビームフォーミング(BF)の適用が重要となる。

その際のアンテナ素子数は例えば28GHzの場合、基地局/移動局で最大256/32のように非常に多数となり帯域も広いため、LTEでのMIMOのようにアンテナ入出力信号を全デジタル処理するのは難しい。

そこで、NRでは個々のアンテナ素子へのアナログ入出力信号の位相・振幅を可変して鋭いビームを生成するアナログBFや、下図のように一定数のアンテナ素子の組(サブアレイ)に対してアナログBFを適用して形成したビームを、複数ストリームのそれぞれに対応させるようなハイブリッドBF方式が考えられている。

マッシブMIMOアンテナの例 (28GHz)



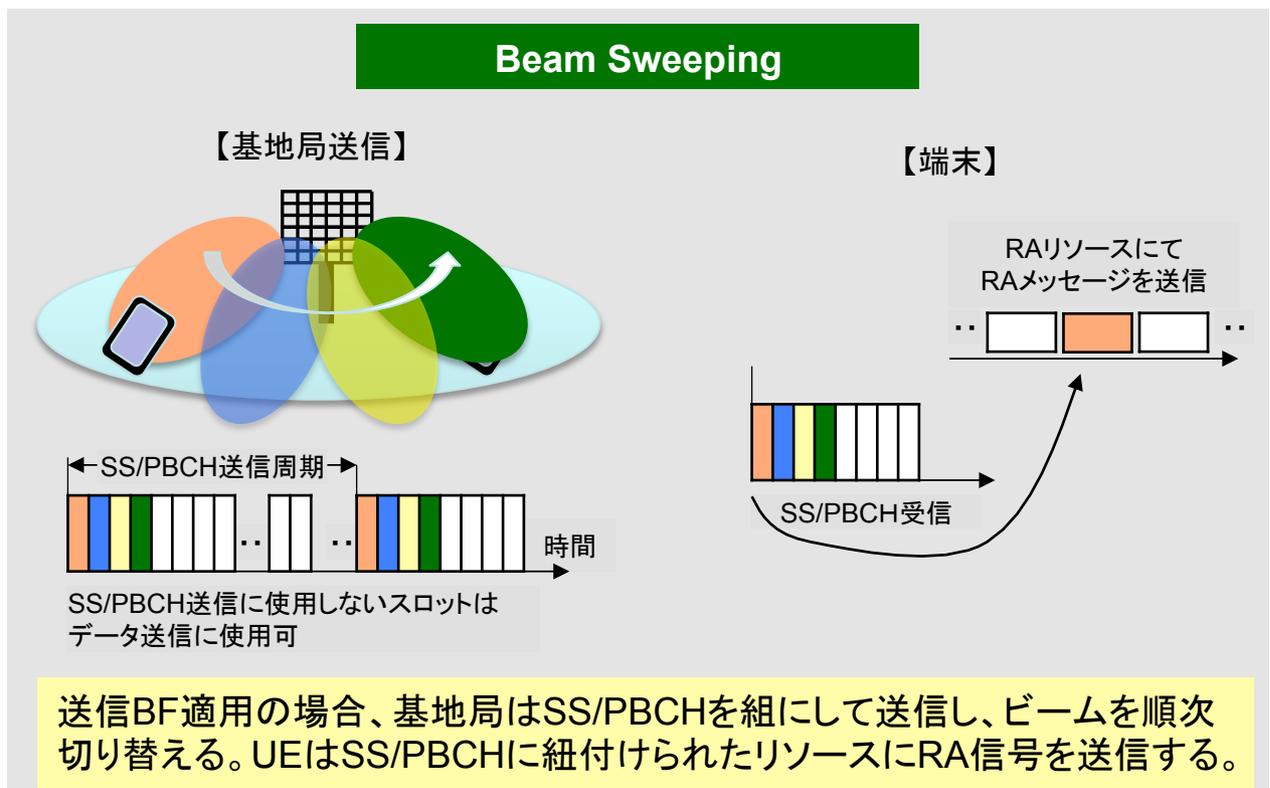
マッシブMIMOアンテナでは、多数のアンテナ素子の広帯域信号を全デジタル処理するのは難しいため、アナログ方式が使用される見込みである。

同期信号と報知情報の組を含むビームを掃引

NRの初期アクセスは、概ねLTEと同様に、①同期信号(SS)の検出 ②PBCH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、5G NRにてセル拡大のため基地局アンテナに送信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、SSとPBCHを組にして同一ビーム内に送信し、当該ビーム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。

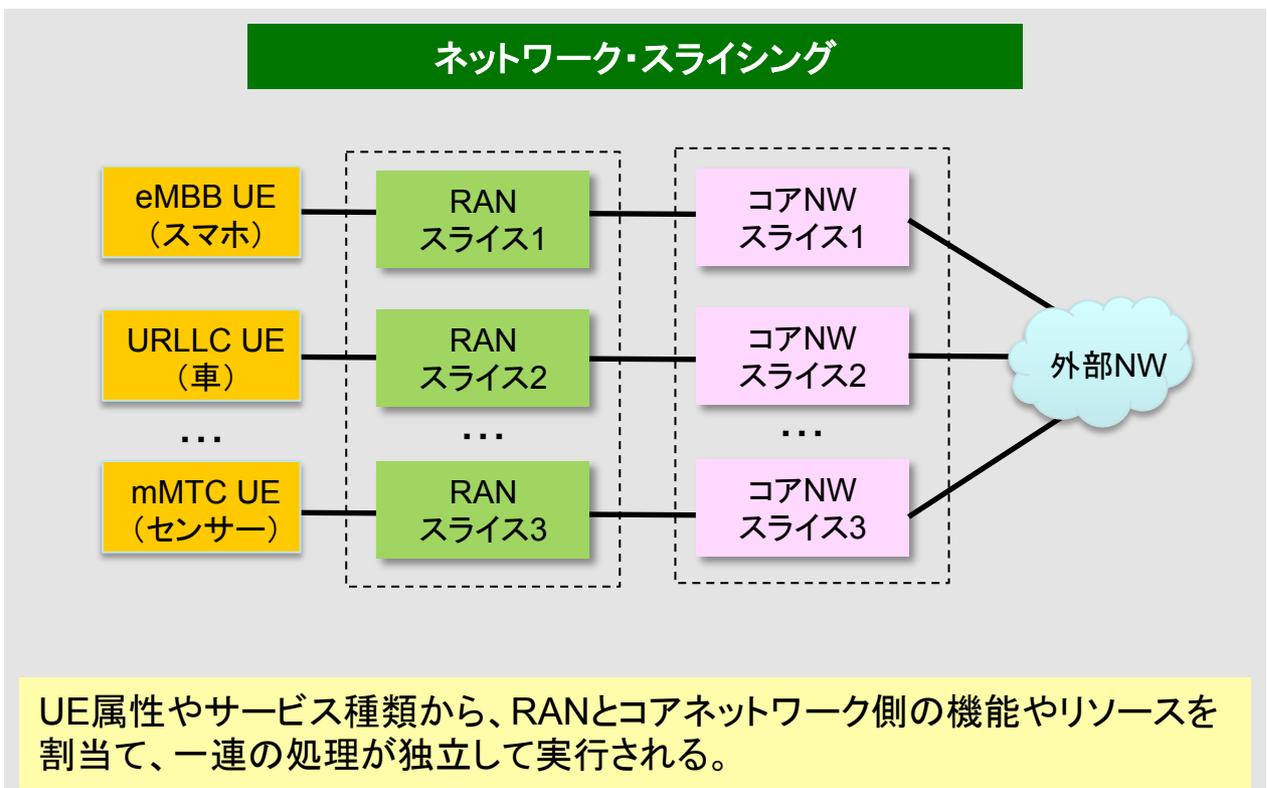


サービス要求条件に対応したネットワーク機能を柔軟に構成

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。

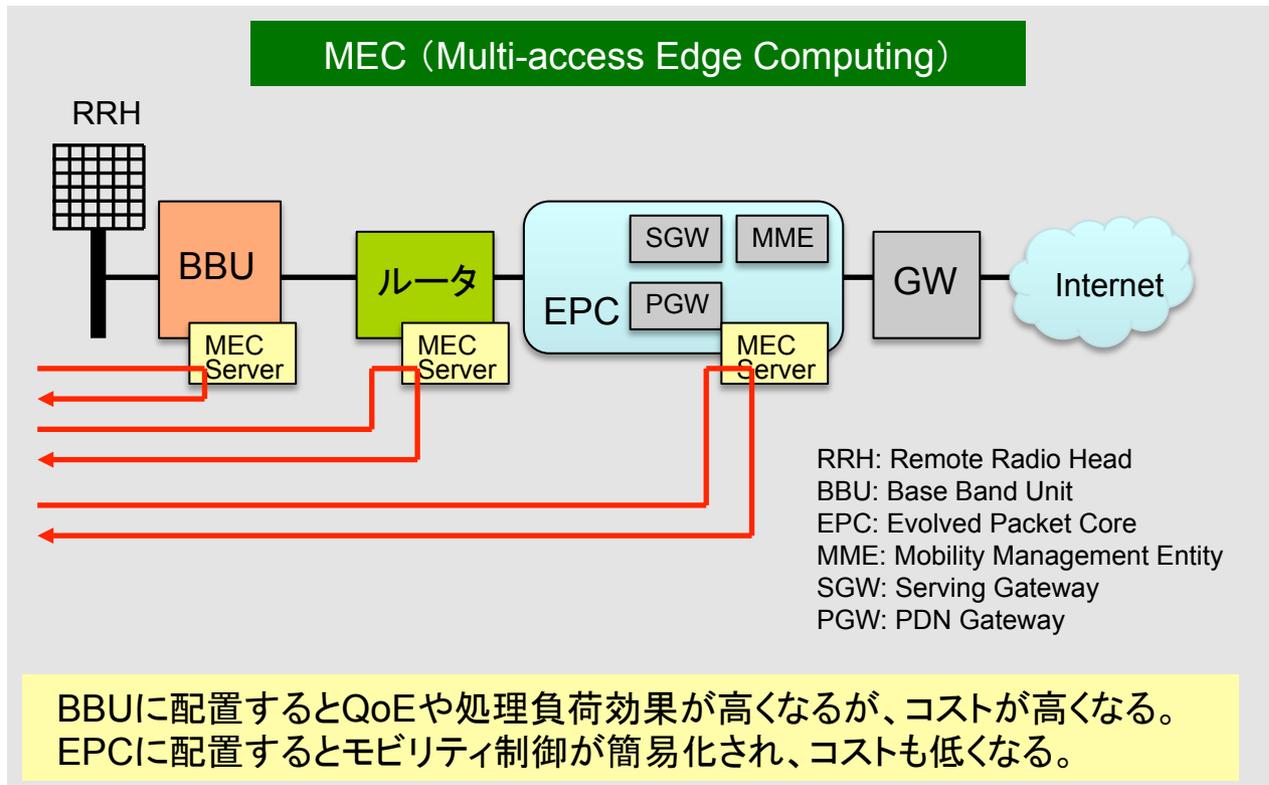


低遅延サービスと処理負荷の分散化を行う

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では、応答時間を短縮するために、アプリケーションを収容するサーバーをできるだけUEに近い場所(エッジ)に置くMEC(Multi-access Edge Computing)が考えられている。

この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。



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箇所ですり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な応答リンクの設定が可能になる。

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 μ 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)



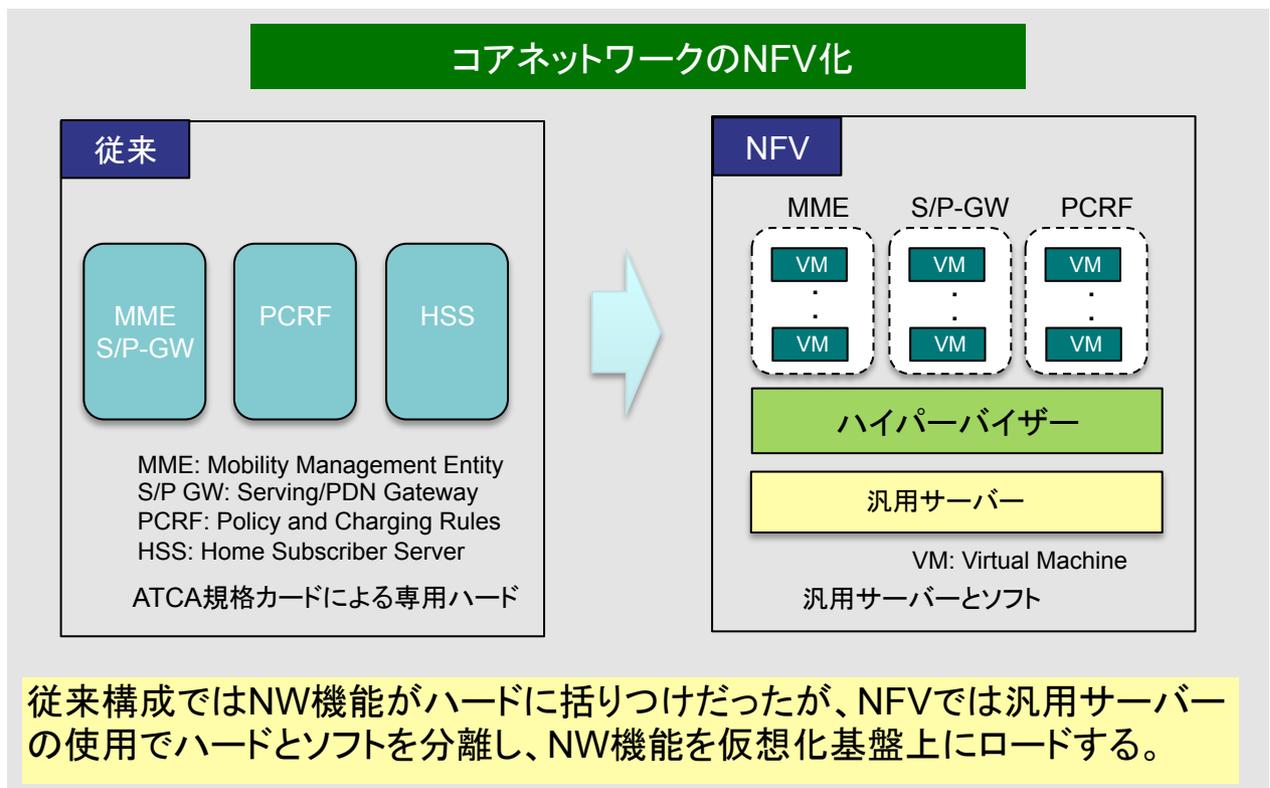
1フレームを2msに短縮することで、U/D間の最大遅延を1ms以下にできる。

低遅延サービスと処理負荷の分散化を行う

NFV(Network Function Virtualization)はデータセンターで一般的となったサーバー仮想化を通信系の各ノードに適用したものだ。モバイル網では、コアネットワークだけでなく、基地局のBBU(Base Band Unit)でもNFV化の試みがなされている。

従来は機能ごとに高価な専用装置をサイトごとに設置しており、専用装置の開発ではベンダー間の競争が少なかった。NFVでは汎用装置を用いるので新興ソフトウェアベンダーも市場参入が可能になった。NFVでは統合的に管理されたソフトをリモートからインストールできる。

仮想マシン(VM)モニタであるハイパーバイザーにはVMwareやXen、オープンソースのKVMなどがある。



非同期でのショートバースト送信

データ送信にあたって、基地局から事前許可(グラント)を不要とするチャンネルアクセスである。センサ等からのごく小容量のデータを任意の時点で非同期でショートバースト送信する。

この方法によると基地局との間で制御信号のやりとりがないため、短時間に多数のメッセージ送信が可能になり、UE簡易化も図られる。

一方、同時刻に他UEから送信されるバーストと衝突すると基地局で受信不可となるため、衝突確率を一定値以下に抑える必要がある。

それには、UE数、バースト送信時間、送信周期を勘案して、送信チャンネル数等を設計することになる。

また、バーストの複数回送信や、定期的送信で不達の場合には基地局側が再送を要求する、バースト送信開始前に送信中のバーストがないか確認するなどの対策も考えられる。

グラントフリー

バースト衝突

有力なLPWA方式であるLoRaWANやSigfoxでは、センサ等からのデータ送信にグラントフリーの方式を用いている。

UEから非同期で送信されるバーストの衝突確率を考慮した設計が必要。

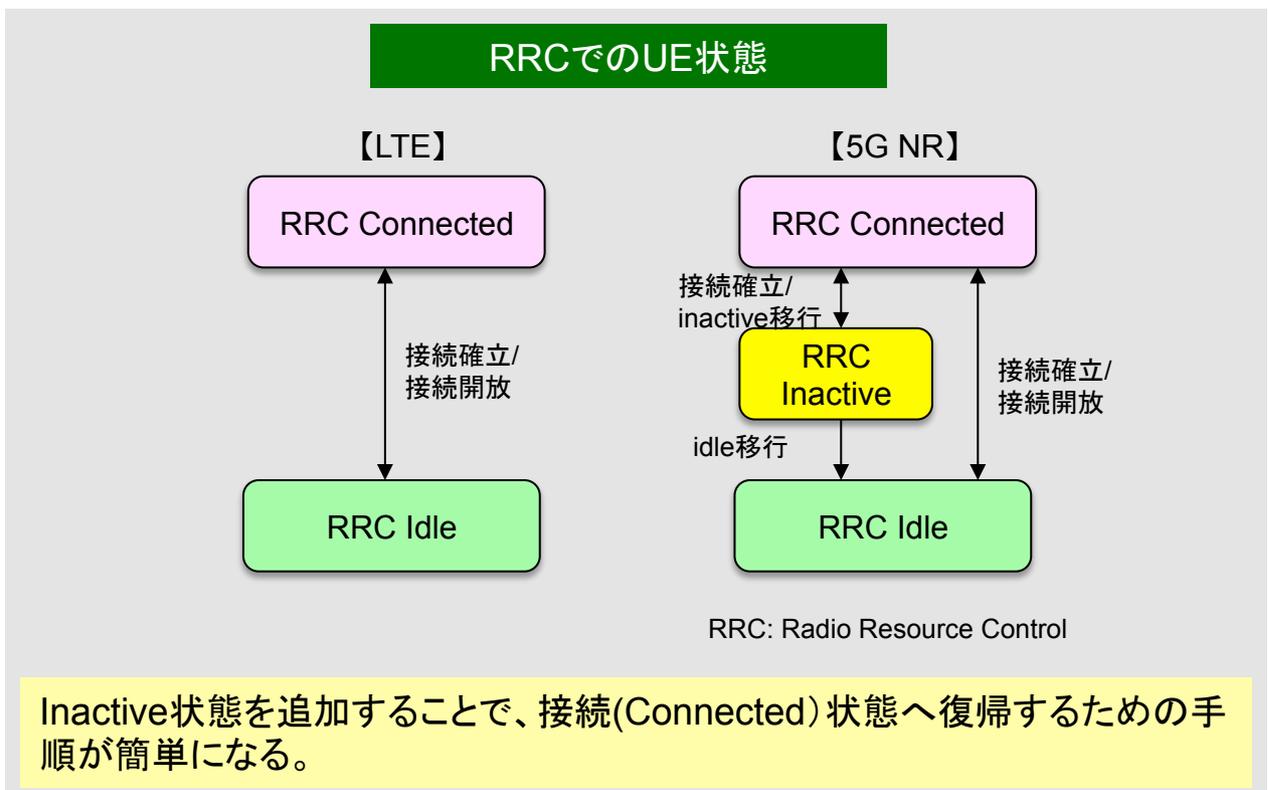
非通信中UEは省電力状態となるがNW側は接続復帰用情報を保持

5G NRのC-planeでは、LTEと同様のRRCプロトコルを用いるが、小容量データ送信や静止状態で使用するIoTアプリケーションを考慮して、UE消費電力削減の仕組みを導入する見込みである。

■RRC inactive モードの追加

LTEでは、RRCでのUE状態は待機(idle)と接続(connected)の2つの状態のみである。接続状態では、UEはリンクの状態や近隣セルの状態を短い周期でチェックするため電力消費が多くなる。一方、待機状態からの復帰には、ページングや接続確立のため時間がかかる。

5G NRでは、待機と接続の中間の状態(inactive)を追加する。inactive状態では、UE、基地局、コアNWはUEコンテキストを保持するが、UE側の状態は待機状態と同じであるため省電力が可能になる。



SAとNSA

例えば次のような移行シナリオが検討されている。

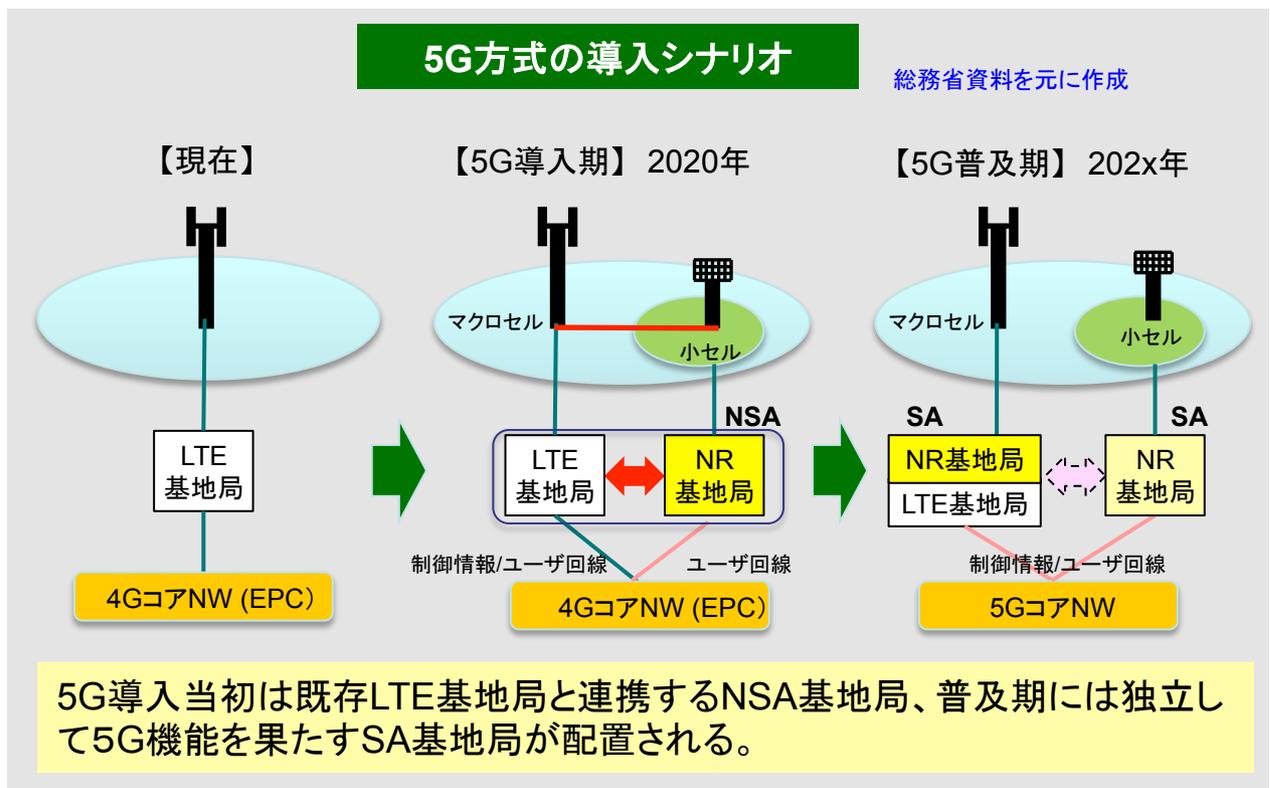
【2020年】

通信需要の高いエリアを対象に、5G用の新しい周波数帯を用いた「超高速」サービスを提供。新たな無線技術(NR)に対応した基地局は、LTE基地局と連携するNSA(Non-Stand Alone)構成で運用する。

【202X年】

ネットワークスライシング等に対応した5Gコアネットワークが導入されるとともに、SA (Stand Alone)構成のNR基地局の運用が開始され、既存周波数帯域へのNR導入が進展する。

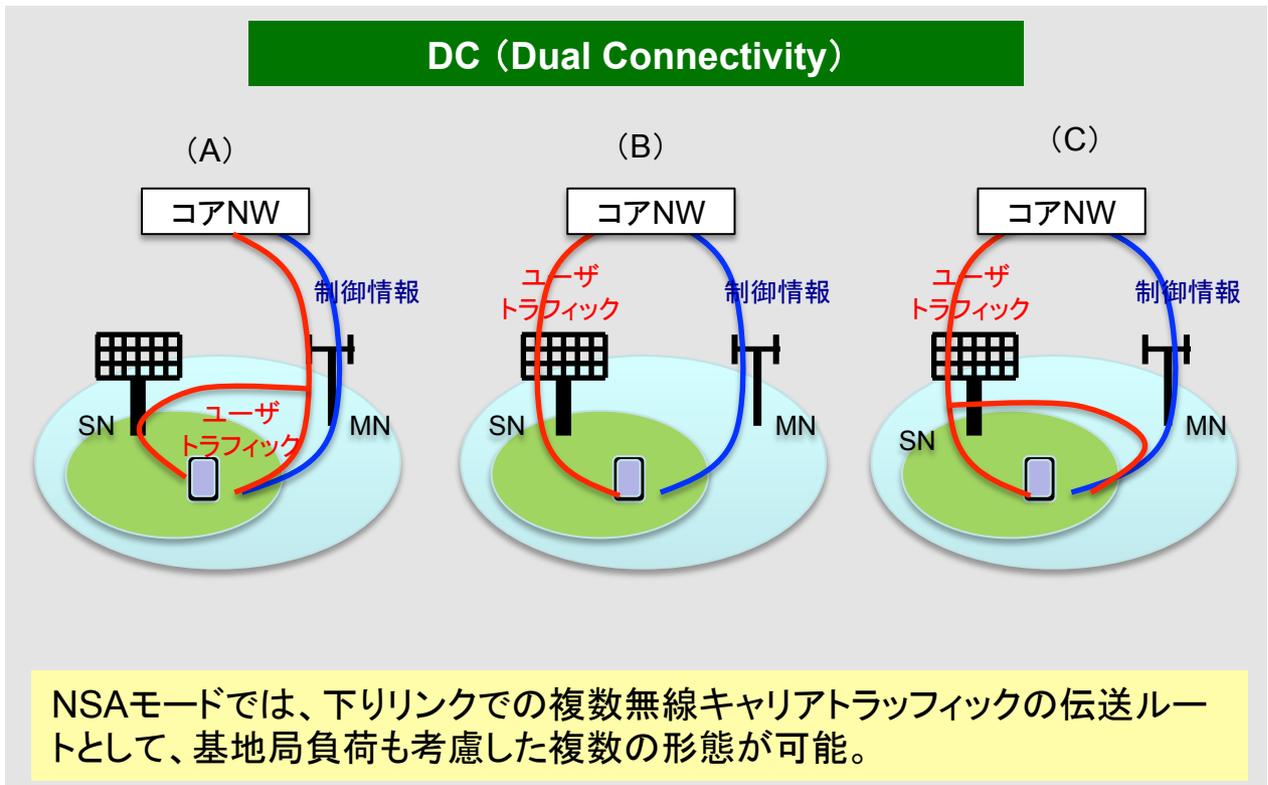
超高速、多数同時接続、高信頼・低遅延などの要求条件に対応した5Gサービスの提供が開始される。



複数基地局が送信する無線キャリアを束ねる

複数基地局を経由する無線キャリアを束ねることでスループットを増加させるためLTEでも導入済みの技術を、無線方式が異なるNRとLTEで連携運用するNSAモードでも使用できるように拡張したもの。NSAでは下の3つの接続形態が想定されている。制御情報を扱うLTE基地局(eNB)がマスターノード(MN)となる。

- (A) 下りトラフィックをeNBと5G基地局の両者から送信する。
LTE基地局(eNB)がコアNWとの分岐点となる役割を果たす。
- (B) 下りトラフィックは5G基地局のみから送信する。
- (C) 下りトラフィックをeNBと5G基地局の両者から送信するが、分岐点を5G基地局側のセカンダリーノード(SN)側に設定することで、NRの帯域拡大に伴って増大するeNB側の負荷を低減できる。



(1) Polar符号

独立チャンネル間のビット操作を繰り返してシャノン限界を達成

5G NRで採用されたPolar符号とLDPC符号は、シャノン限界に極めて近い特性を有するFEC方式である。LDPCは半世紀も前に発明されたが、高速処理が可能となった近年、実用化されるようになった。

制御と報知チャンネル符号化に採用されたPolar符号は4GでのTurbo符号に比べて、復号処理が簡単になる長所がある。

Polar符号化では単一チャンネル対へのビット操作を多数回繰り返すことで、通信路容量(C)が1ビットに近いチャンネルの組と、Cが0ビットに近いチャンネルの組とに分離できる。(伝送路分極原理)

Cが0に近いチャンネルには、固定ビット("1")を割当てておき、受信側では、送信側でのビット処理を逆方向に辿ることで情報ビットを復元する。

Polar符号

Wは誤り率 ϵ の通信路

2つのチャンネルを結合・分離

4チャンネルに結合・分離

nチャンネルに結合・分離

通信容量が低いチャンネルを固定ビットに

“Polar符号の移動通信システムへの適用と5G標準化動向”, 三木、永田, 2017.1 より

チャンネル容量の累積分布 $\epsilon=0.4$

結合・分離の段数増加に伴い、 $1-\epsilon$ と ϵ の比率で $C=1$ と $C=0$ のチャンネルに分極してゆく。分極によってもエントロピーの総和は不変である。

(2) LDPC (Low-Density Parity Check) 符号

非零要素個数が少ないパリティ検査行列を使用

送信では原データを、等長のM個のブロック $[B_1: B_2: \dots : B_m]$ に分割後、これらM個の原データブロック B_k に続いて、下式で算出される $(N-M)$ 個のパリティブロック P_M^N を順次送信する。ここで、 $C_M^N(i)$ は疑似ランダム系列、“+”は排他的論理和、MとNの比は符号化率である。

$$P_M^N = C_M^N(1) \cdot B_1 + C_M^N(2) \cdot B_2 + \dots + C_M^N(M) \cdot B_M$$

0. B_k は B_k と等長で全成分が0のベクトル、1. B_k は B_k に等しい。Mビット長のベクトル $= [C_M^N(1), C_M^N(2), \dots, C_M^N(M)]$ の各成分は次の値をもつ。

- ・NがM以下では、Nビット目のみ1であり、他のビットは全て0
- ・NがMを超えると、0と1の総数がほぼ同数の疑似ランダム系列

受信側では、サム・プロダクトアルゴリズムと呼ぶ反復復号法を冗長データブロックと組み合わせて適用することで復号する。

