

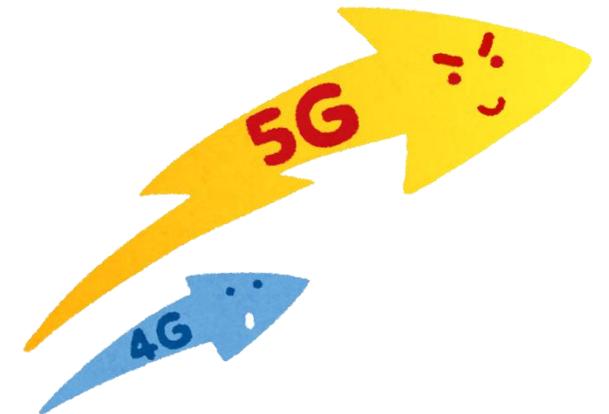
# 5Gモバイルネットワーク入門（RAN編）

谷崎 雄太@NTT Communications

# RAN編のおはなし

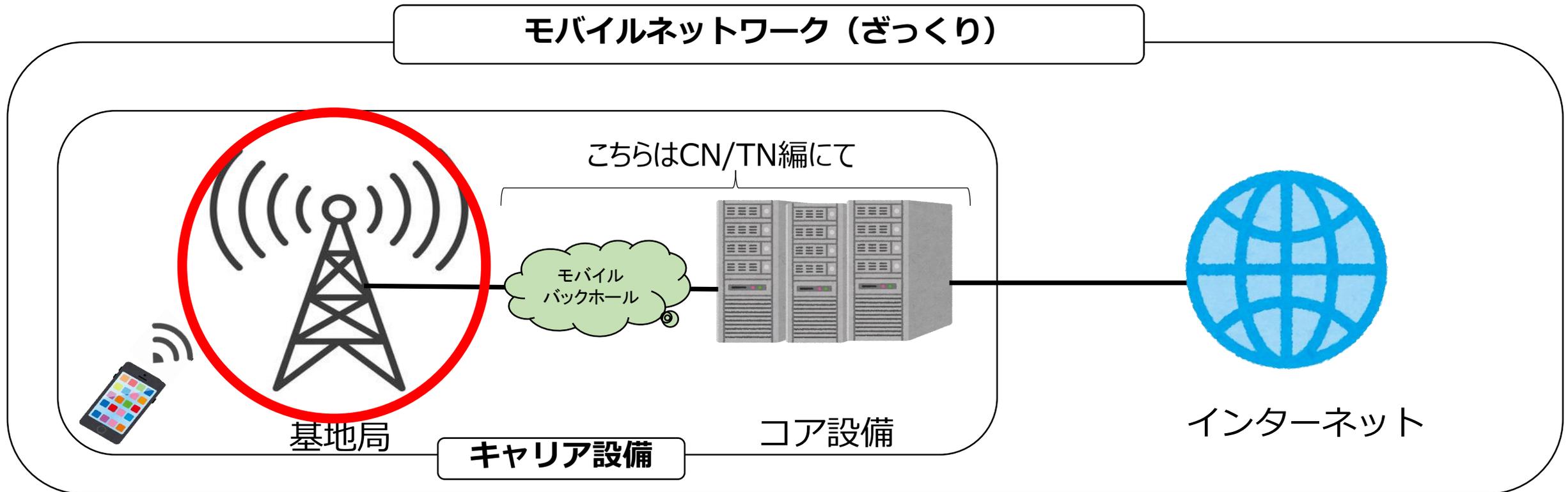
基地局・無線技術に着目したモバイルの基礎知識をお話します

- 基地局・無線・周波数・アンテナ周りの基礎知識
  - IPネットワークはわかるけど、無線はちょっと・・・な方も、これで明日から基地局沼に
- ハンドオーバー
  - モバイルといえばコレ！な技術をご紹介します
- Local 5G
  - モバイルキャリア以外の5G新規参入のきっかけ。どんな感じ？
- 5G関係のOSS
  - OSSを使って、まずは自宅で簡単に疑似5Gを体験してみよう



# はじめに

- いわゆる『**基地局**』の構成や、モバイル特有の技術について紹介していきます
- 今回は各トピック概要しか触れられませんが、どれも深掘りしがいがあります

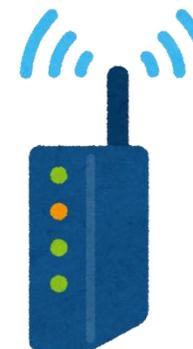


# 基地局ってどんなの？

・屋外/屋内でいろんな種類があります

- アーバン(都市部)、ルーラル(郊外)といったエリア区分もあります

屋外局 (Open)	鉄塔局	大きな鉄塔を立てて、アンテナを設置する局。田舎に多い
	ビル局	ビルやマンションの屋上に機器やアンテナを設置する局。都市部に多い
	コン柱局	キャリア自らコンクリート柱を立てたり、電柱に共架して設置する局
屋内局 (Indoor)	DAS型 (Distributed Antenna System)	建物内で同軸ケーブル(無線信号)を光・電気に変換してアンテナ設置する局
	レピータ型	外からの電波を受けて、中継局として室内に設置される局
	フェムトセル型	個人向けインターネット回線等を用いて、建物内に設置される局



# 基地局の構成

- 基本は下記**4要素**からなる『アンテナ、無線機、伝送装置、電源』

## 無線機

RU (Radio Unit) と呼ばれる装置。基地局装置 (CU/DU) と一体になっている場合もある。

## 伝送装置

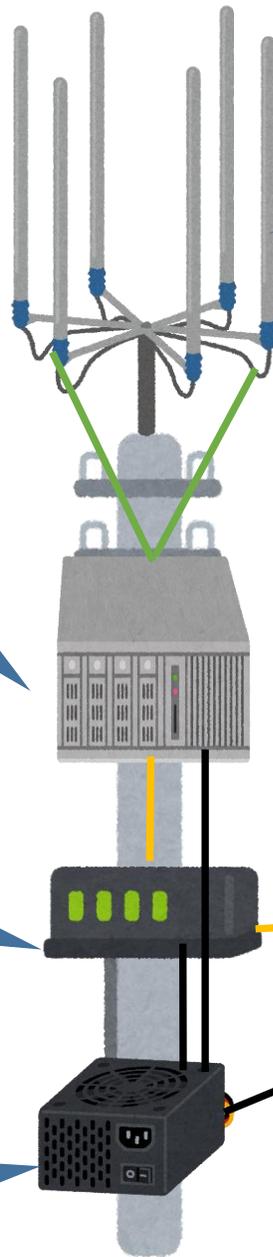
基地局装置 (CU/DU) やコアへ繋がる装置。WDM や L2SW など様々。

## 電源設備

基地局は整流器 + バッテリー (or UPS) を基本搭載している

## アンテナ

基地局で一番目立つ存在  
複数の周波数帯に対応した  
共用アンテナが主流



電柱(or引込柱)

局舎へ  
(5Gコアや  
CU/DU)

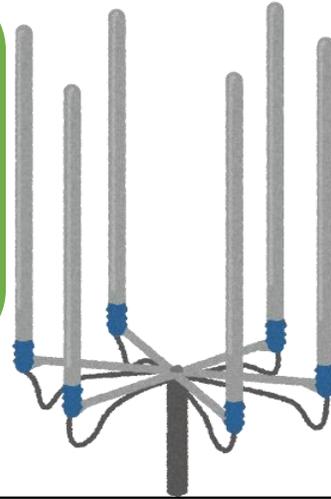
# 基地局の顔、アンテナは『周波数と用途で使い分け』

- ・エリア対策：低い周波数で、広いエリアを構築 → ①
- ・トラフィック対策：高い周波数で、スポットエリアを構築 → ②③



①セクターアンテナ

2.5GHz/3.5GHz帯の基地局に多い。素子の多さは4MIMOのような多MIMOに対応するため。平面の板チョコのようなアンテナも多い。



②多素子アンテナ（通称：槍）



③RU+アンテナ一体型

- ・ビル設置局の大多数はコレ（地上から見上げると大抵コレだけ見える）
- ・長い円筒に複数の周波数毎のアンテナ素子が含まれており、複数の周波数の電波が送出される
- ・大抵は3本の円筒から構成され、120°/本のエリアを形成する

ミリ波の無線機は全てコレ。Sub6無線機にも多い。周波数が高いと、無線機～アンテナ間のケーブル損が大きくなってしまうため、一体化している

# 周波数のはなし

- モバイルで用いる周波数は、標準化された呼び方がついています  
(※LTEでは頭文字がBでしたが、5Gでは頭文字がnになりました)
- 5Gでは、高速大容量を実現するため、あらたに『Sub6』や『ミリ波(mmW)』と呼ばれる広い帯域幅を割り当て可能な周波数が標準化されました

呼称	周波数	備考
n257	26.50-29.50GHz	いわゆる日本のミリ波
n261	27.50-28.35GHz	いわゆる米国のミリ波
n78	3300-3800MHz	いわゆるSub6
n1	UL:1920-1980MHz , DL:2110-2170MHz	LTEでBand1として利用されている周波数

NEW



アメリカ向けiPhone14は、n261に対応しているのでミリ波対応ですが、日本向けは、n257もn261の**いずれも未対応**でした。  
もちろん、アメリカ向けを日本に持ち込んで利用するのは、基本的に**電波法違反**ですし、n257にも未対応なので、日本のキャリアのミリ波には繋がりません

# 参考：スループットのはなし

- みんなが気になるスループットは、『MIMO（アンテナ数）』と『帯域幅』が大きく効いてきます

## (参考) 1CCあたりの理論的な最高伝送速度

28

✓ 1コンポーネントキャリア(CC)あたりの理論的な最高伝送速度は、次式により算出

$$\text{Data rate [bps]} = N_{\text{MIMO}} \times N_{\text{Mod}} \times f \times R_{\text{max}} \times (N_{\text{RB}} \times 12 / T_{\text{symbol}}) \times (1 - R_{\text{OH}}) \times R_{\text{DL/UL}}$$

$N_{\text{MIMO}}$  : 最大MIMOレイヤ数  
 $N_{\text{MOD}}$  : 変調シンボルあたりのビット数  
 $f$  : UEのベースバンド処理におけるピークレートを算出するためのスケーリングファクター  
 $R_{\text{MAX}}$  : 最大符号化率  
 $N_{\text{RB}}$  : 1 CCあたりのリソースブロック数  
 $T_{\text{symbol}}$  : 1 OFDMシンボルあたりの時間長[sec]  
 $R_{\text{DL/UL}}$  : TDDのUL/DLの割当て比率

MIMO数

RB数 ≡ 帯域幅

(算出例:DLの場合)

※3GPPで詳細検討中。今後変更される可能性有

$$10.1 \text{ [Gbps]} = 8 \times 6 \times 1 \times (948/1024) \times (264 \times 12 / (8.93 \times 10^{-6})) \times (1 - 0.2) \times (4/5) \times 10^{-9}$$

- $N_{\text{MIMO}} = 8$  ※ 1 DL:最大8レイヤ (SU-MIMO) ,12レイヤ (MU-MIMO) 、UL:最大4レイヤ (SU-MIMO) ,12レイヤ (MU-MIMO)
- $N_{\text{MOD}} = 6$  ※ 2 QPSK : 2ビット、16QAM : 4ビット、64QAM : 6ビット、256QAM : 8ビット
- $f = 1$  ※ 3 システム帯域の最高伝送速度の計算の際は1、UEのベースバンド処理能力に応じて0.75も選択可能
- $R_{\text{MAX}} = 948/1024$  ※ 4 データチャネル : LDPC符号 (最大符号化率948/1024) 、制御チャネル : Polar符号
- $N_{\text{RB}} = 264$  ※ 5 下表。264は、ミリ波・サブキャリア間隔120kHz・400MHz幅の場合
- $T_{\text{symbol}} = 8.93 \times 10^{-6}$  ※ 6 スライド[5G NR(New Radio)フレーム構成]参照。サブキャリア間隔120kHzの場合、8.93μsec (= 8.93×10<sup>-6</sup> sec)
- $R_{\text{OH}} = 0.2$  ※ 7 復調用参照信号や制御チャネル、ミリ波では位相雑音低減用の信号等。一般的にSub-6は0.14、ミリ波は0.2
- $R_{\text{DL/UL}} = 4/5$  ※ 8 TDDのDL/ULの割当て比率。4/5は、DL:UL=4:1とした場合のDLの割合。

表：3GPP 1 CC (コンポーネントキャリア) 幅あたりのリソースブロック (RB) 数

	サブキャリア間隔 [kHz]	1 CC (コンポーネントキャリア) 幅 [MHz]あたりのリソースブロック (RB) 数												
		10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	400
Sub-6	15	52	79	106	160	216	270	-	-	-	-	-	-	-
	30	24	38	51	78	106	133	162	189	217	245	273	-	-
	60	11	18	24	38	51	65	79	93	107	121	135	-	-
28GHz帯	60	-	-	-	-	-	66	-	-	-	-	132	264	-
	120	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	66	132	264

# ハンドオーバー

- ・移動(Mobility)しても、通信が途切れないようにする仕組み。モバイルの醍醐味。

基地局A

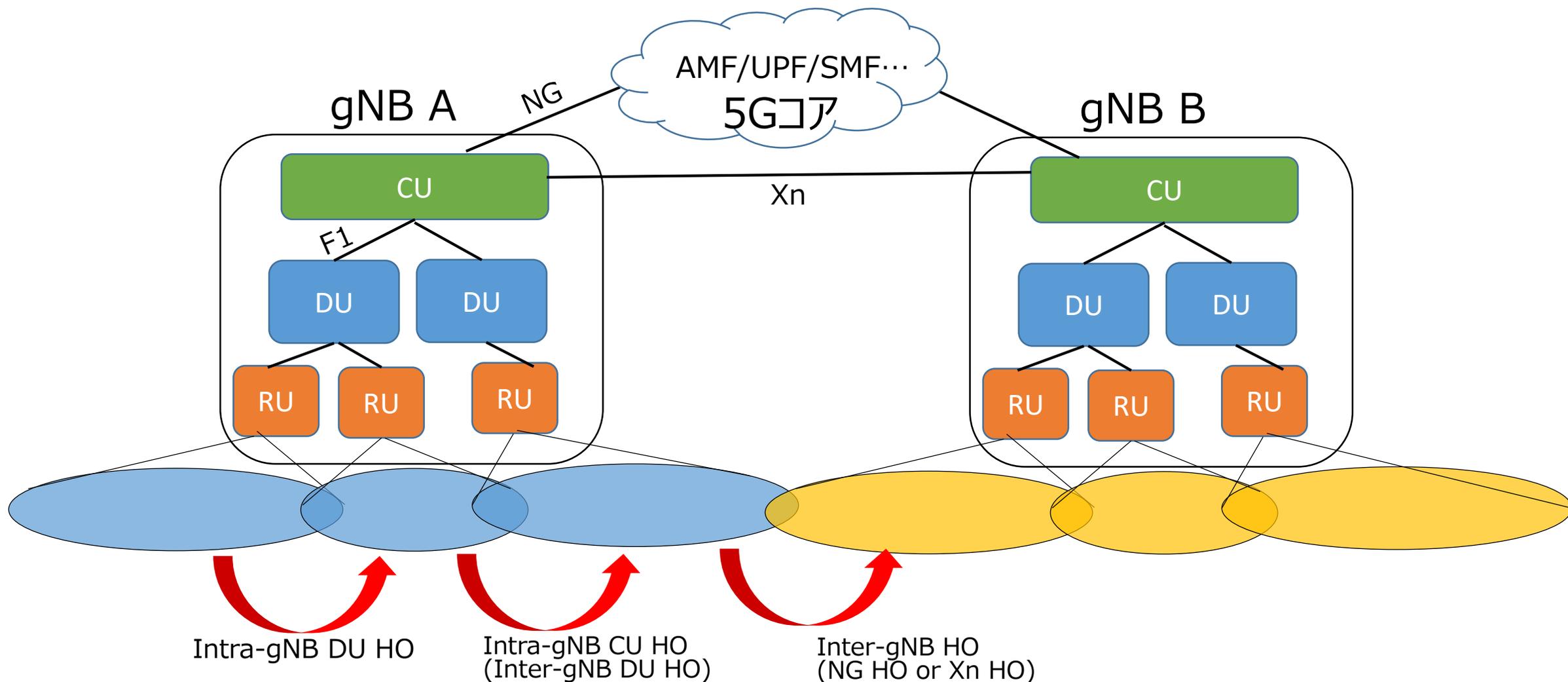


基地局B



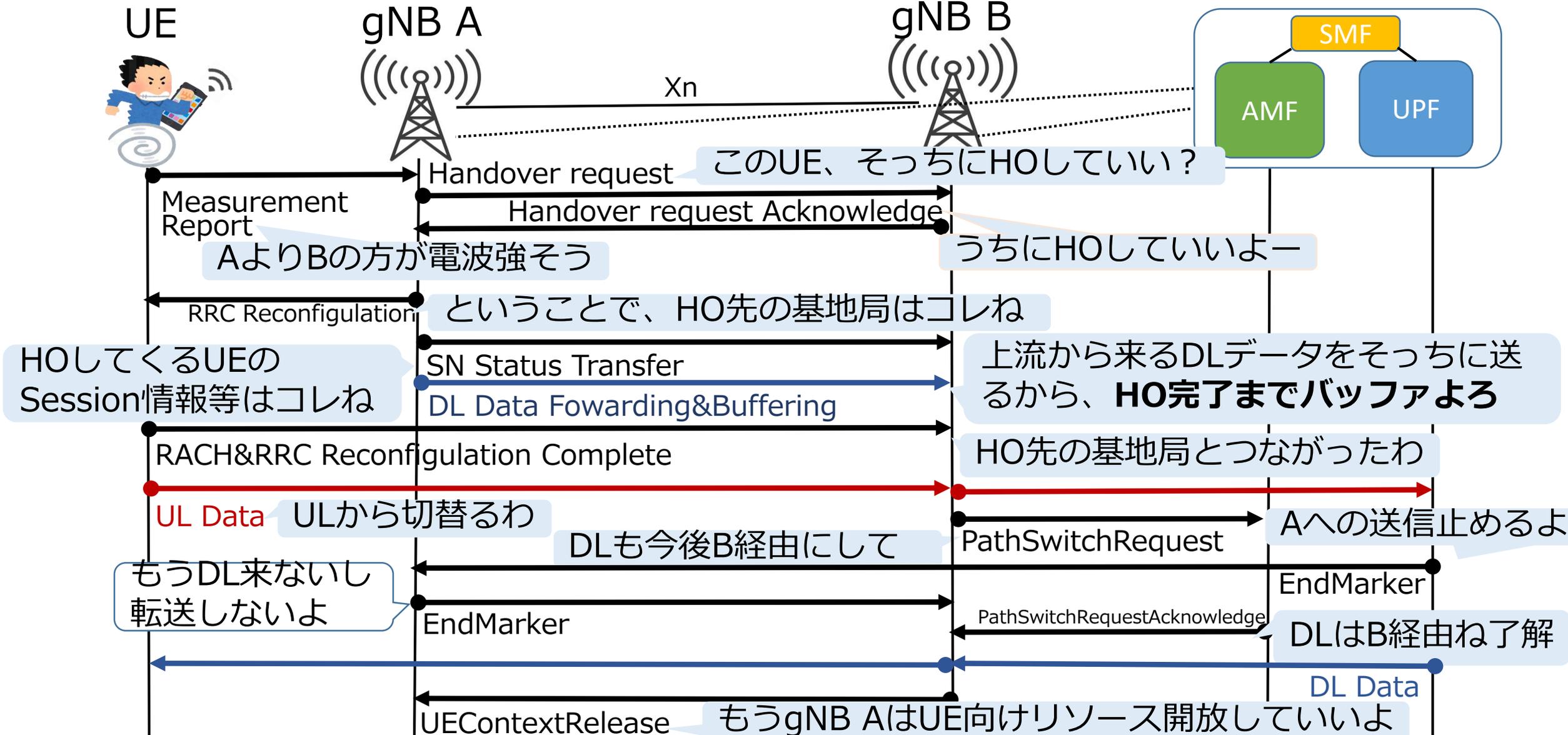
# ハンドオーバー(HO)の沼は深い

- 基地局と一口に言っても、複数のRUやDUから構成される
- 基地局の内部/外部で、ハンドオーバー手順も異なり、5Gコアとの関わりも発生する



# 移動しても通信が切れないのはどうやってるの？

- 基地局間のXn接続を用いた、Xn HO手順でざっくり解説 (※SMF~AMF,SMF~UPF間は省略)

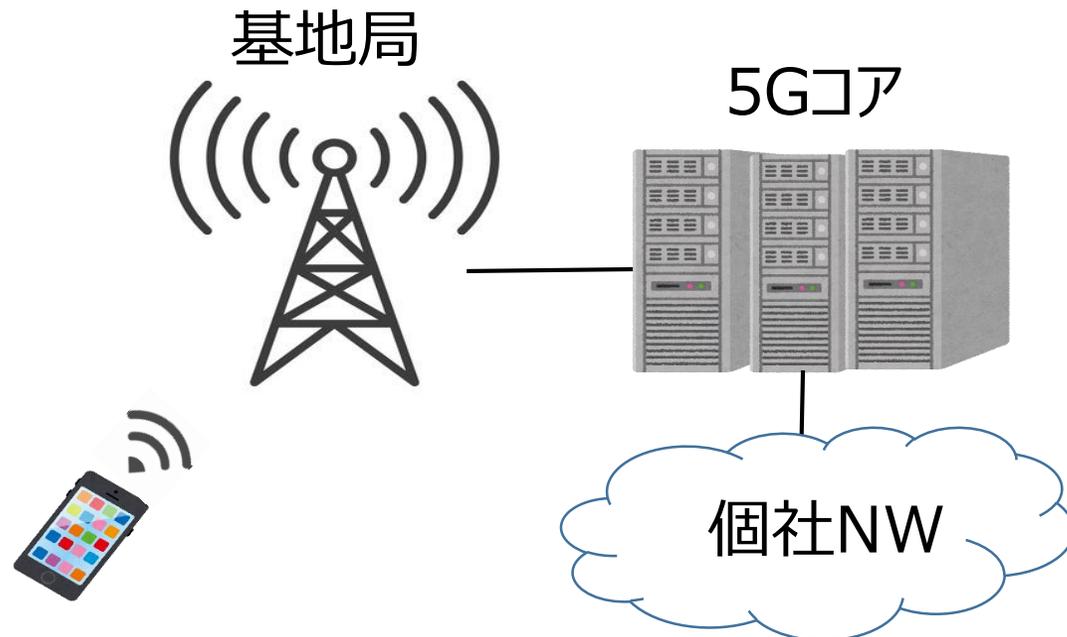


# Local5G

- 5Gネットワークを**自営網**として構築可能な制度
- キャリア以外にも、CATV事業者・SIer等がモバイル業界に参入するきっかけに
- PoCの沼から抜け出すために各社鋭意努力中

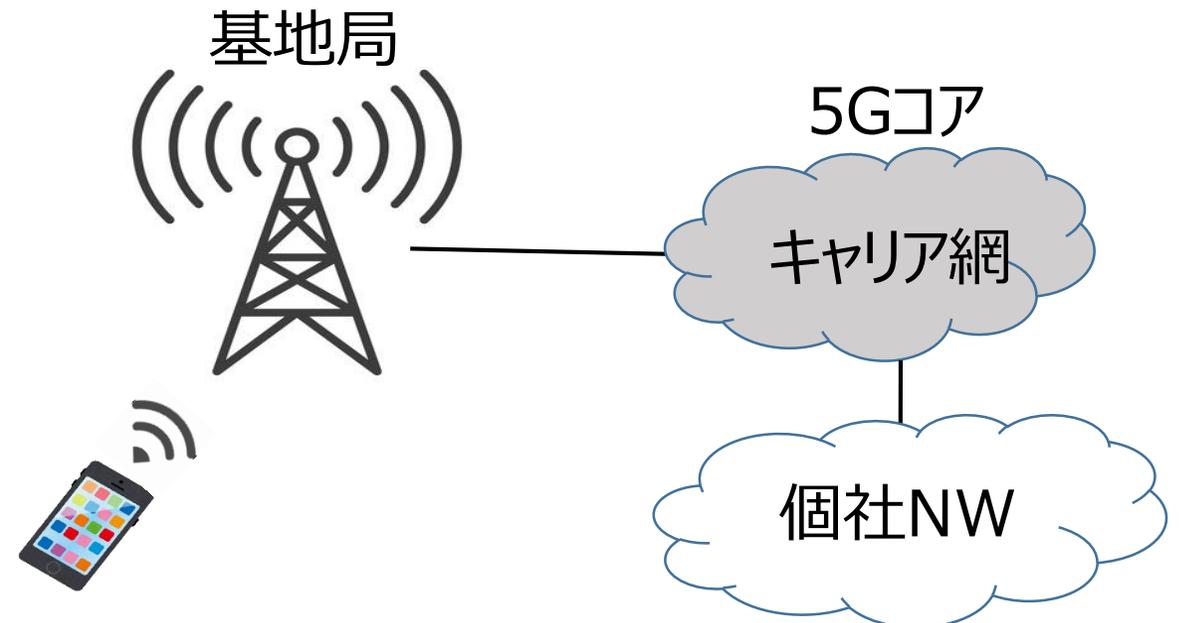
## Local5G

- **リソースを占有可**
- **個社NWへ直結可能**
- 要免許取得/コスト大



## Public5G

- **コスト小**
- 個社NWとの接続は  
キャリア網経由のみ
- リソース共用



# Local5G導入するときにGPSアンテナが要るのはなんで？

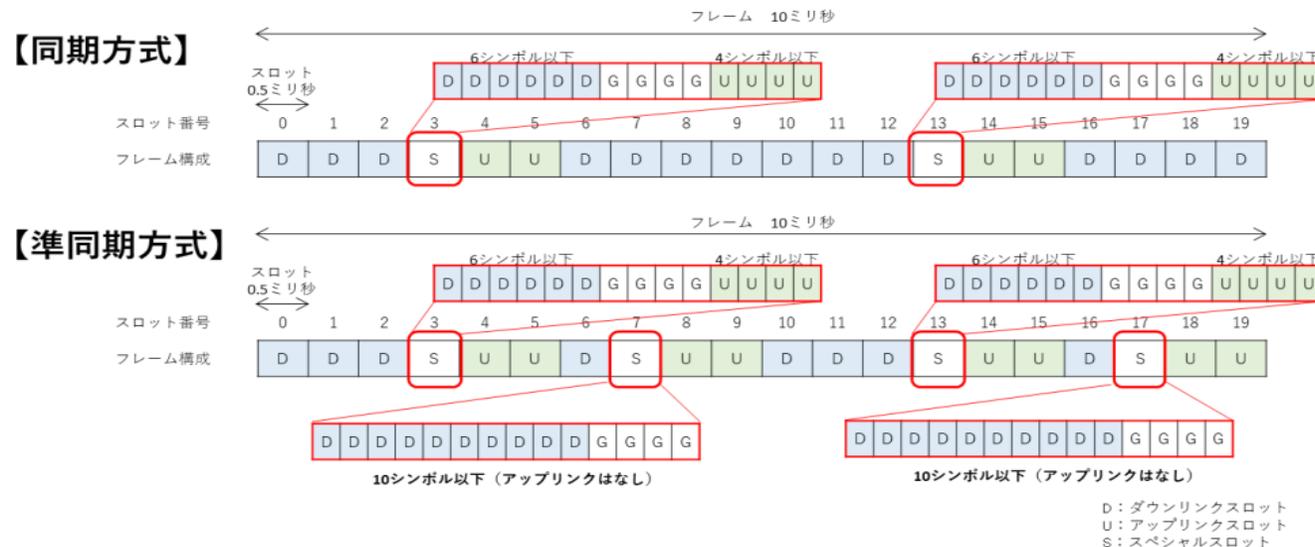
- TDD方式を採用しているため、みんなが基準信号にタイミングを合わせないと他の基地局と干渉してしまうから

## •無線フレームの同期タイミング

- ✓ 基地局からの送信開始タイミングに関して、基地局のフレーム送信開始タイミングと「GPS信号により得られる基準タイミング（協定世界時10ミリ秒×n（nは自然数）。以下、「GPS基準信号」という）から59872×Ts経過したタイミング」との許容時間差は1.5マイクロ秒以下とする。ここで、Tsは1/(15000×2048)秒とする。尚、基地局の同期確立方法における具体的な手段（GPS信号取得装置、エントランス回線網を介した時刻配信方法、等）については問わないこととする。
- ✓ 陸上移動中継局および陸上移動局は、基地局からの制御に基づき同期を確立することとする。
- ✓ GPS信号取得装置を用いる場合には、GPS基準信号との同期外れを検知する機能を具備するものとする。
- ✓ 屋内や地下街等、GPS基準信号に基づく運用（同期運用）が困難な場所に対象となる無線局を設置する場合は、事前に、該当無線局の設置毎に携帯無線通信事業者との協議により、代替その他の手段を決定するものとする。ただし、GPS基準信号に基づかない運用（非同期運用）は、これらの無線局の免許日或いは運用開始日に関わらず、携帯無線通信事業者により同期運用される無線局に影響を与えない場合に限り認められるものとする。

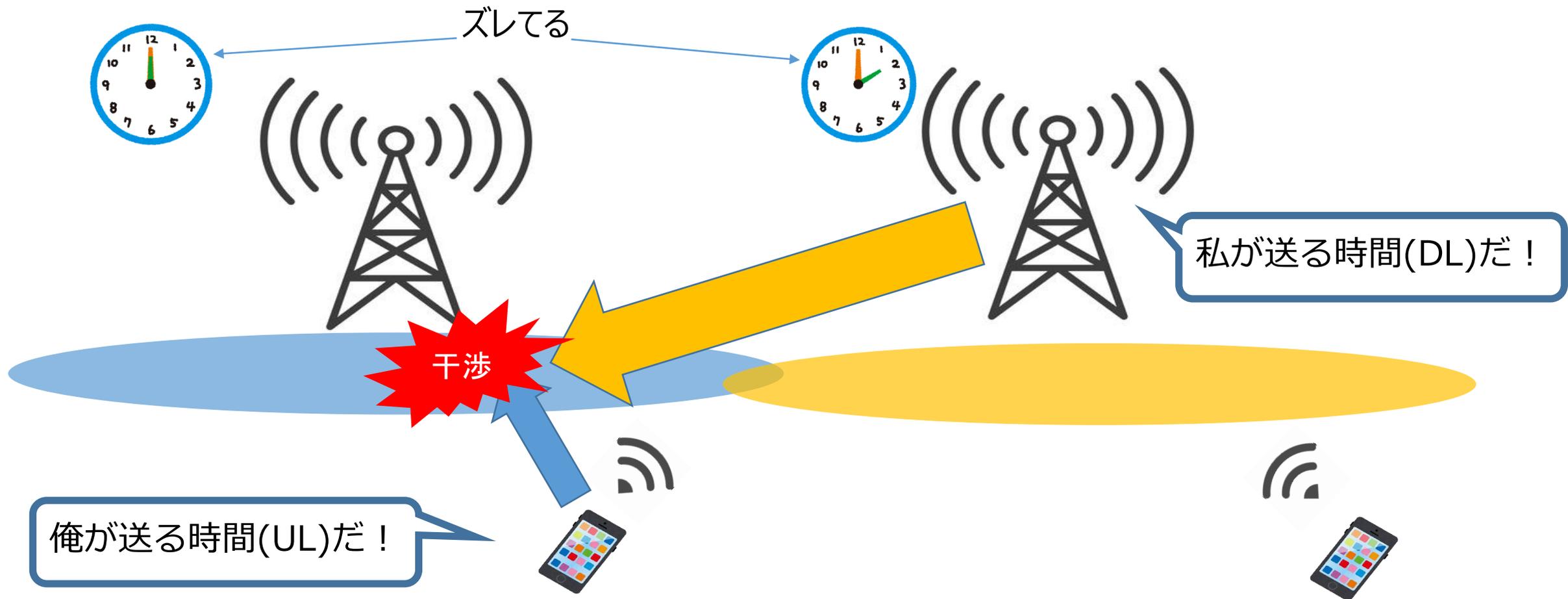
## •無線フレーム構成

図：平成31年総務省告示第23号別図第1号



# もっとわかりやすく！

- ・ **同じ周波数**を時間で区切って、UL(端末→基地局)/DL(基地局→端末)を切り替えているので、隣接基地局で基準時間がズれていると**衝突してしまう**



※大抵、基地局のほうが高出力なので、隣接基地局にも電波が漏れてくる

# 5GのOSSってどうなの？

- そのまま商用に適用、とはいきませんが、**お勉強には非常に有用**  
(コアのOSSであるfree5GCは、Local5G製品でも一部用いられている)

- コア：free5GC/Open5GS/magma...
- RAN：UERANSIM/OpenAirInterface...

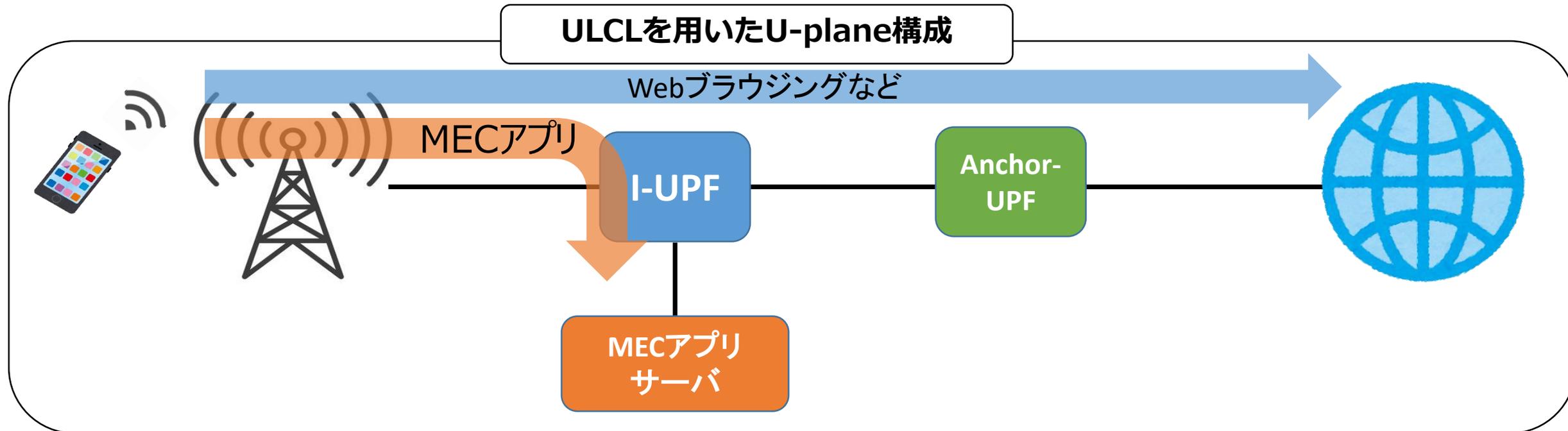


- 下記のように、3GPPのCallflowをpcapで追ってみたい方はおすすめ  
#市販のUE/gNBエミュレータと接続してみるのも面白いかも

Protocol	Length	Info
NGAP/NAS-5GS	140	InitialUEMessage, Registration request
NGAP/NAS-5GS	148	SACK (Ack=0, Arwnd=106496) , DownlinkNASTransport, Authentication request
NGAP/NAS-5GS	148	SACK (Ack=0, Arwnd=106496) , UplinkNASTransport, Authentication response
NGAP/NAS-5GS	128	SACK (Ack=1, Arwnd=106496) , DownlinkNASTransport, Security mode command
NGAP/NAS-5G...	192	SACK (Ack=1, Arwnd=106496) , UplinkNASTransport, Security mode complete, Registration request
NGAP/NAS-5GS	248	SACK (Ack=2, Arwnd=106496) , InitialContextSetupRequest, Registration accept
NGAP	100	SACK (Ack=2, Arwnd=106496) , InitialContextSetupResponse
SCTP	64	SACK (Ack=3, Arwnd=106496)
NGAP/NAS-5GS	244	UplinkNASTransport, Registration complete, UplinkNASTransport, UL NAS transport, PDU session establishment request

# OSSだからこそ？ 5Gらしい機能も既に実装されている

- 例：free5GCでは、**ULCL(Uplink Classifier)**が実装済
  - 宛先IPアドレス等を用いて、**ローカルブレイクアウト**を実現する技術
    - いわゆるMECやエッジコンピューティングとの組み合わせによる活用
    - 上流へのトラフィック量抑制 などが期待される



# おわりに

主に基地局・無線技術を中心にモバイルの基礎知識をおはなしました

- 無線周りの仕様がもっと知りたい！  
→ 3GPP TS38.300 をまずは眺めてみましょう
- 基地局のことがもっと知りたい！  
→ まずは駅周辺でビル屋上を見上げてみましょう
- Local5Gを導入したい！触ってみたい！  
→ ぜひ連絡お待ちしております

基地局のことを知れば知るほど、  
日常生活でふと見つけた基地局や、  
車窓から見える基地局風景を楽しめるようになります！  
(基地局は日々進化しているのです…！)

