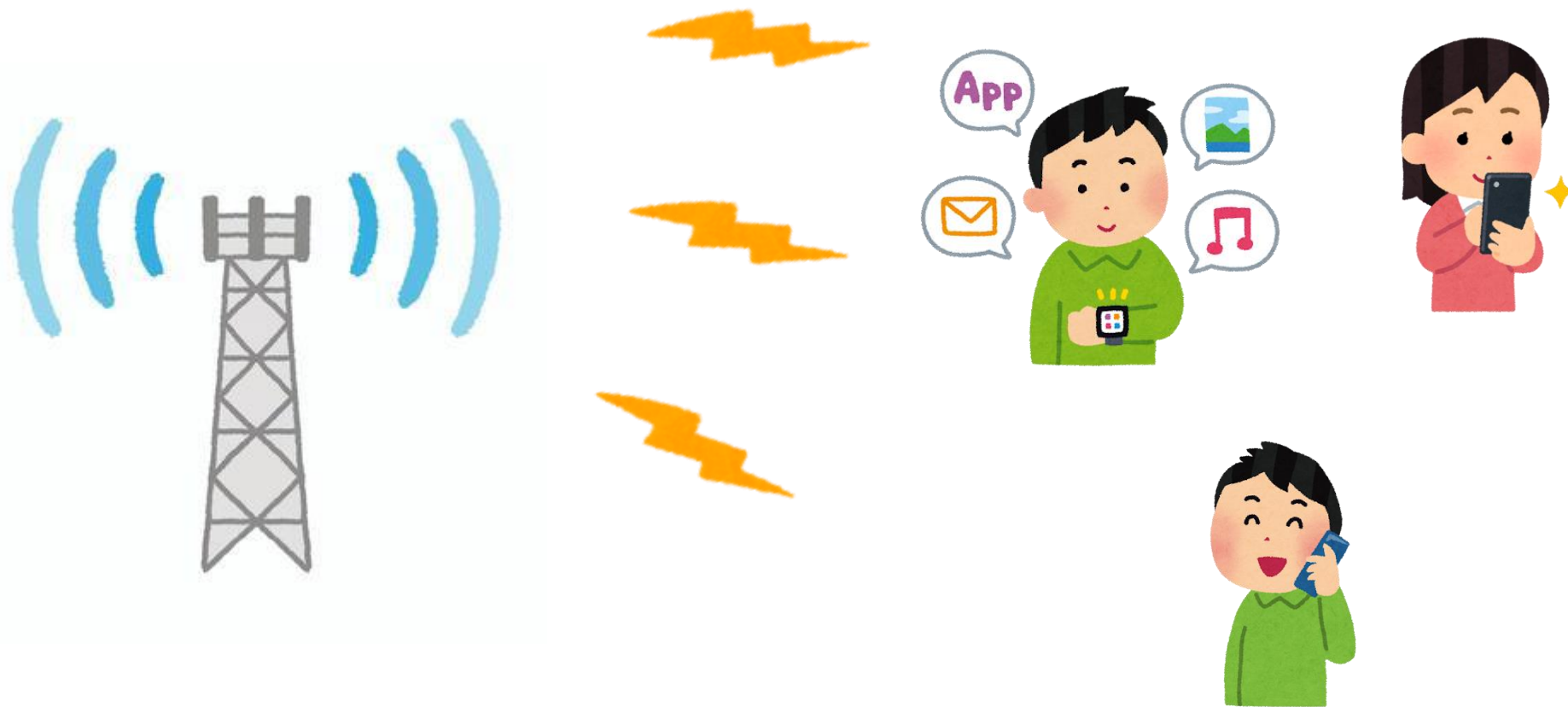


なぜスマホは通信できるのか

2024/08/19 v0.1

スマホは基地局と電波で通信している



eNodeB (Evolved Node B)

4Gの基地局のこと

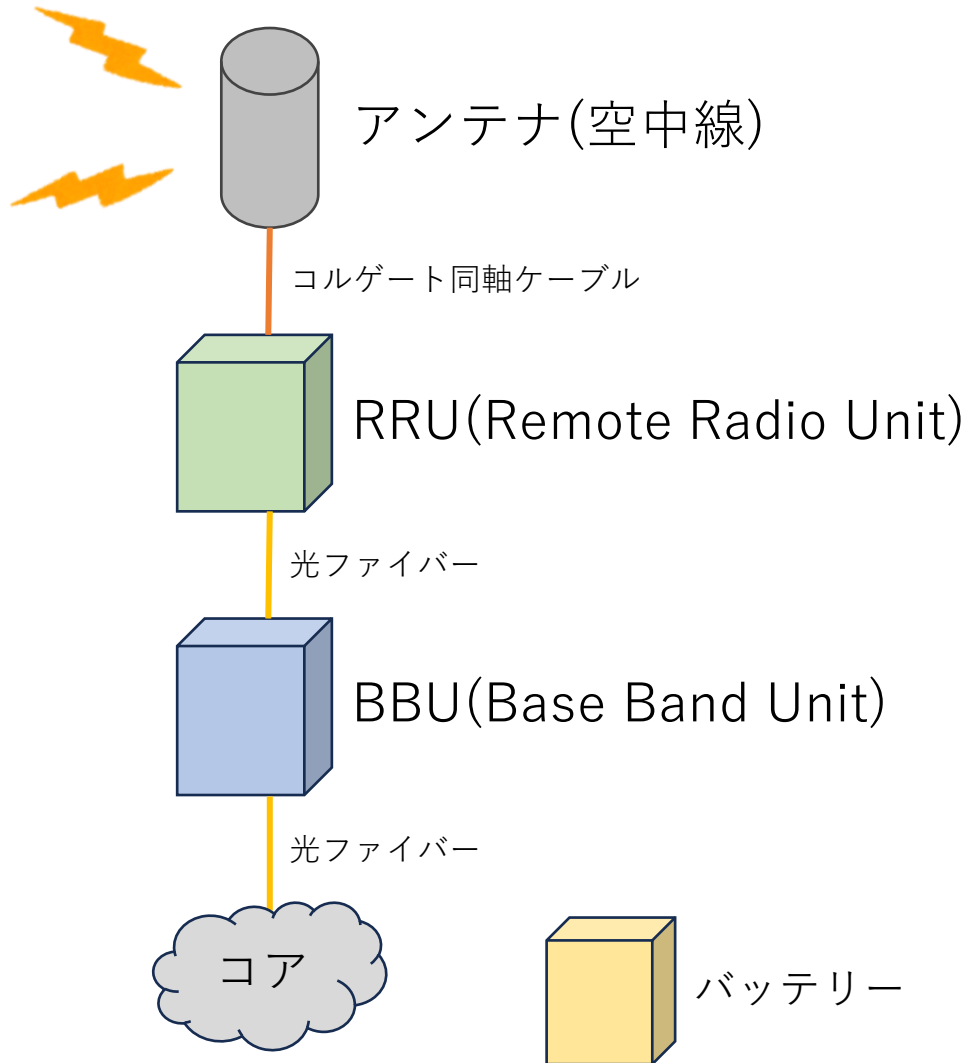
B=base station

UE (User Equipment)

ユーザーが使用する通信装置のこと

例: スマートフォン、カーナビ、スマートウォッチ...

基地局の構成



BBUから送られてきたデジタル信号をアナログ信号に変換し、送出する役割

コアネットワークと通信し、デジタル信号処理(変調、復調、符号化 ...)を行う役割

4Gとは？

- 第4世代移動通信システムの略
- LTE、LTE-Advancedといった通信規格を使う
- 50Mbps ~ 1Gbpsの大容量通信を実現(理論値)
- VoLTE(Voice over LTE)に対応

4Gで使用している周波数

- 700MHz(Band 28)
- 800MHz(Band 18/19/26)
- 900MHz(Band 9)
- 1.5GHz(Band 11/21)
- 1.7GHz(Band 3)
- 2.0GHz(Band 1)
- 2.5GHz(Band 41)
- 3.5GHz(Band 42)

LTEとは？

- 携帯電話の通信規格の名称
- Long Term Evolutionの略
- 下りはOFDMA、上りはSC-FDMAを採用

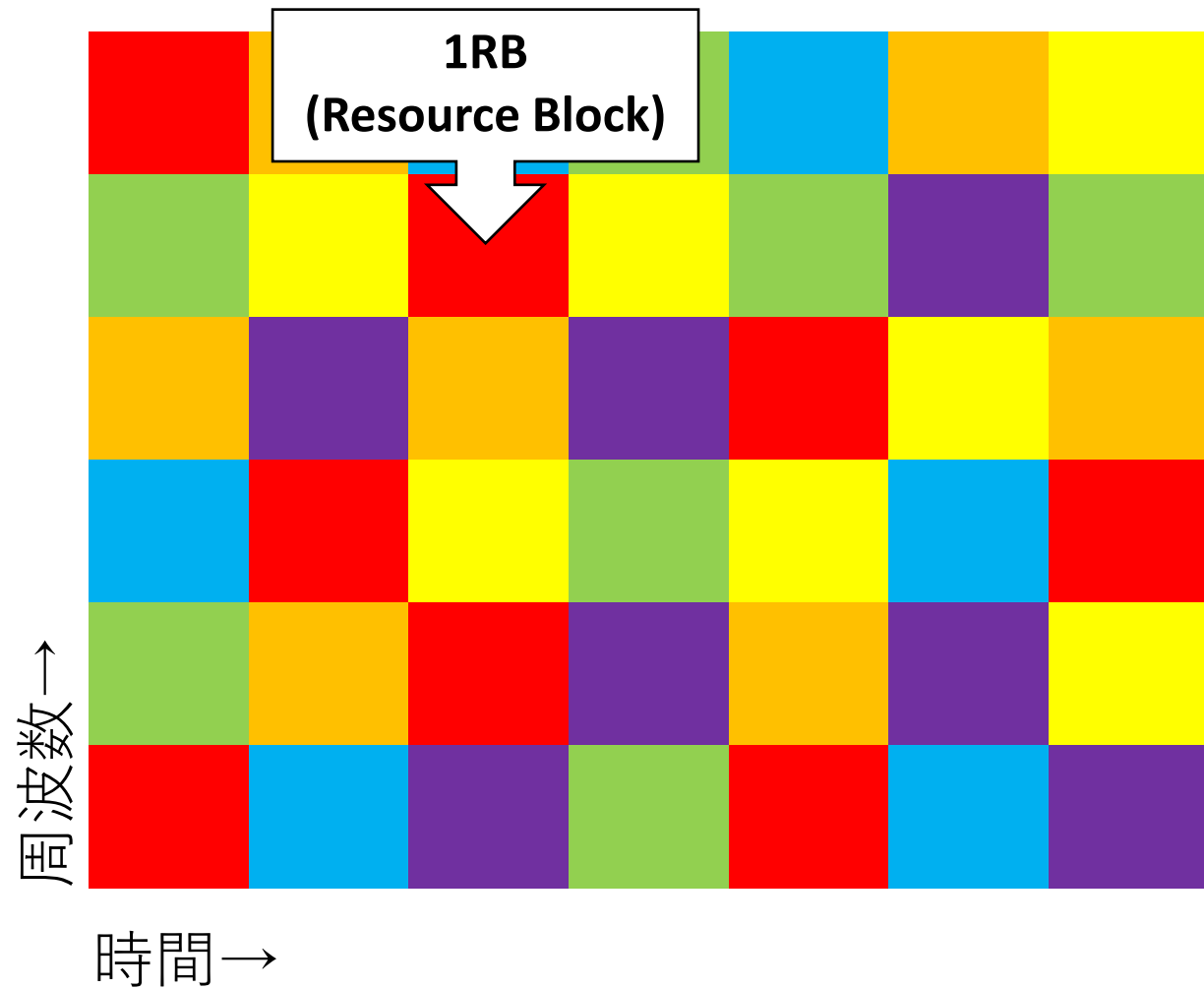
LTE-Advancedとは？

- LTEの発展規格
- 複数の周波数帯を組み合わせる**キャリアアグリゲーション**によって高速な通信を実現

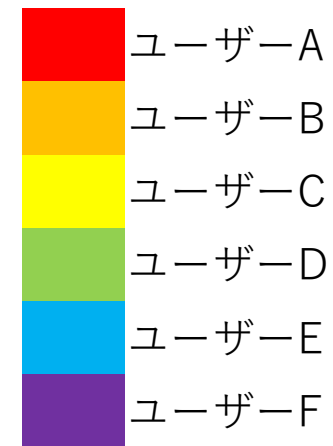
OFDMA

- Orthogonal frequency-division multiple access(直交周波数分割多元接続)の略
- 周波数を15KHz間隔でサブキャリア(副搬送波)に分割する
- Wi-Fi 6にも使われている技術

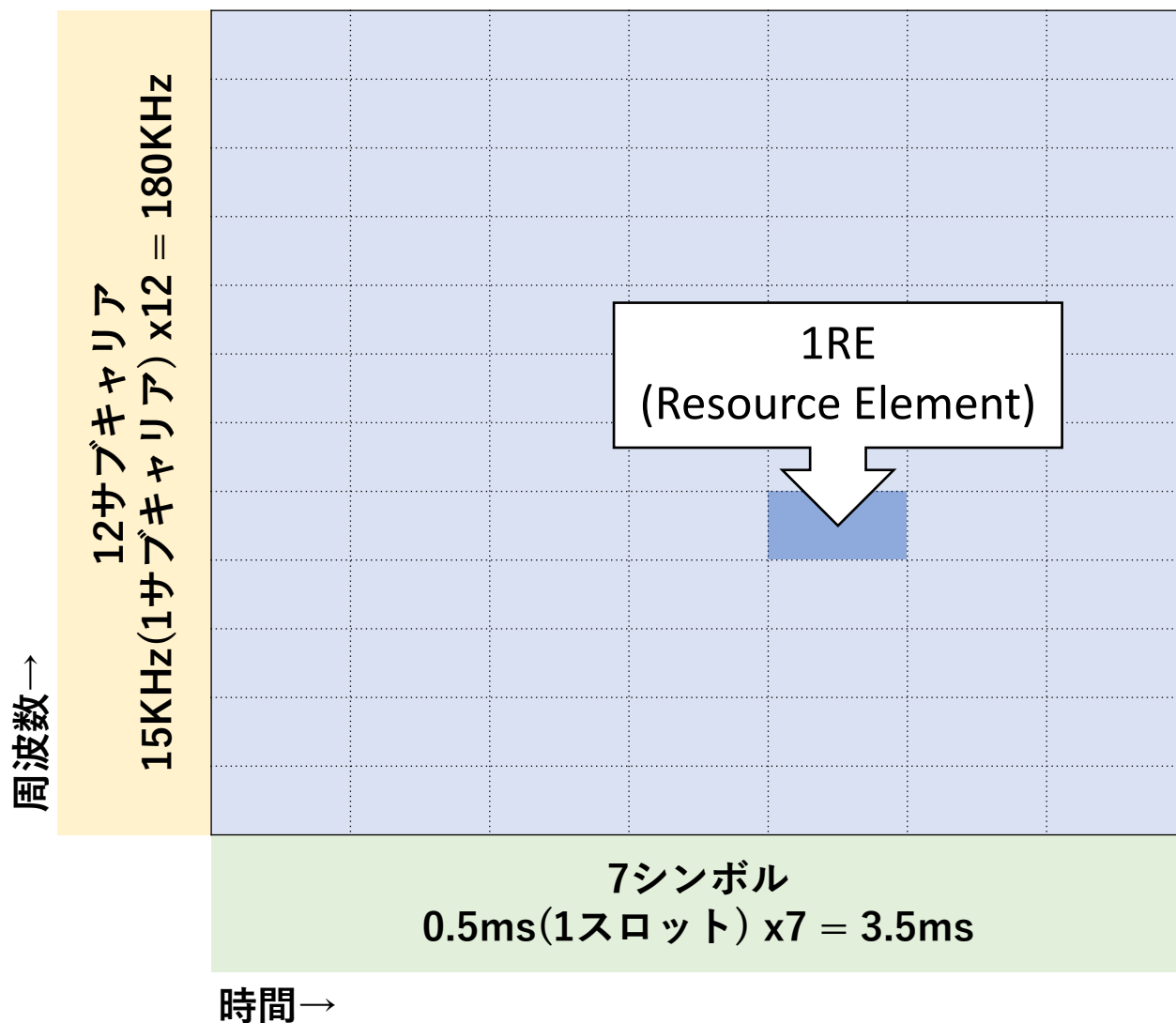
OFDMA



...



OFDMA

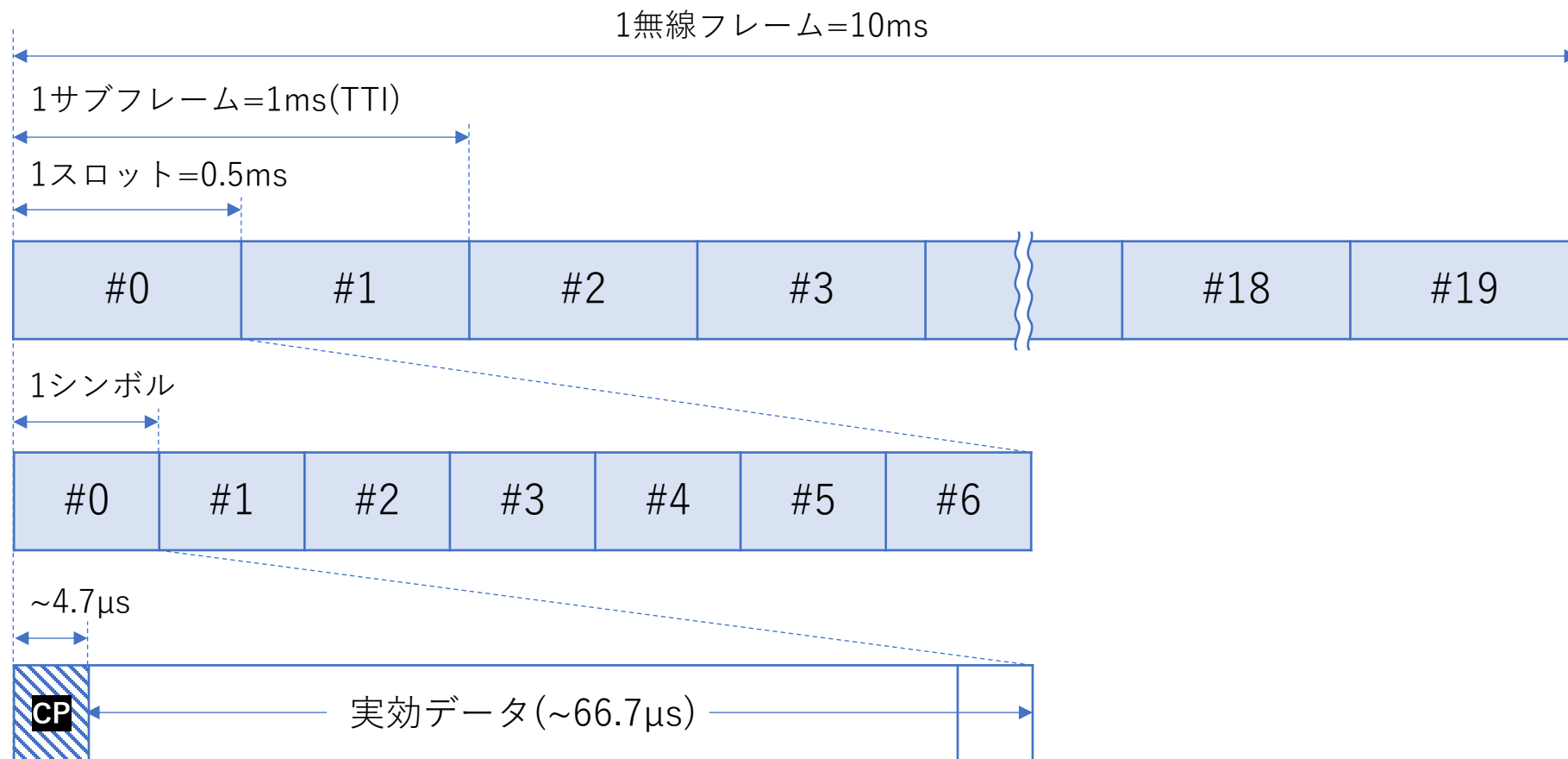


← **1RB(Resource Block)**を拡大した図

$$\begin{aligned} &1\text{RB(Resource Block)} \\ &= 7\text{Symbols} \times 12\text{SubCarriers} \\ &= 84\text{RE(Resource Element)} \end{aligned}$$

※ $1\text{SubCarrier} = 15\text{KHz}$

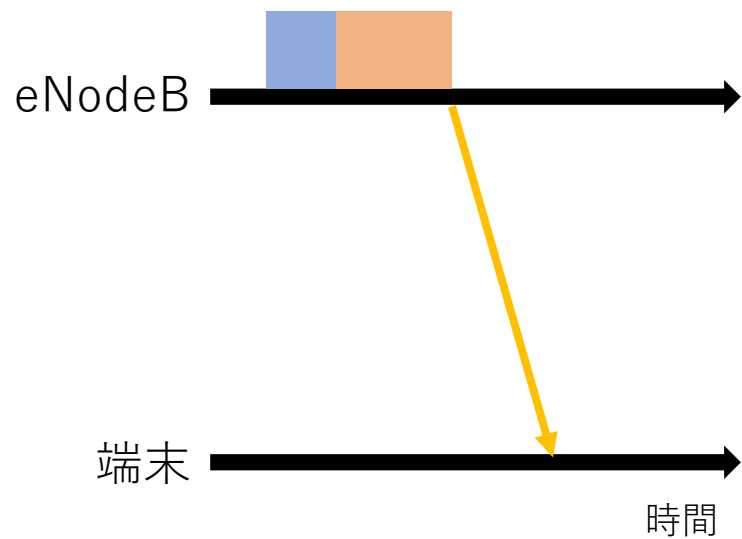
無線フレームの構成



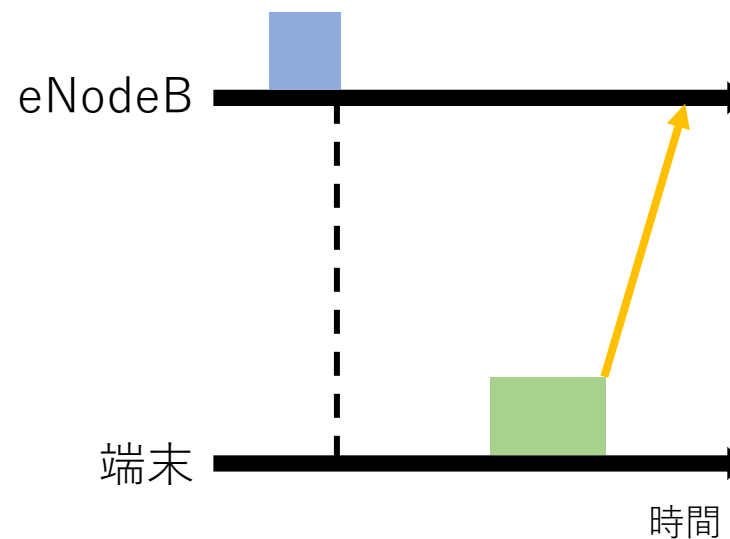
※TTI(Transmission Time Interval) … スケジューリングの最小時間単位

※CP(Cyclic Prefix) … 遅延波による干渉を防ぐためのガード区間

データの送受信



PDCCHで指定した送信フォーマットで
eNodeBがデータ送信



PDCCHで指示された送信フォーマットで
端末がデータ送信

 PDCCH

 PDSCH

 PUSCH

物理チャネルの種類

- **PBCH (Physical Broadcast Channel)**

UEがセルサーチ(最適なセルを探索すること)後に最初に読み取るべき最低限の情報(帯域幅、フレーム番号、アンテナ数)を送信するために使用される

- **PRACH (Physical Random Access Channel)**

UEが初期アクセスやハンドオーバーなどにより、セルとコネクション確立を行う場合や再同期を行う場合に使用される

物理チャネルの種類

- **PDCCH (Physical Downlink Control Channel)**

eNodeBのスケジューリングによって選択されたユーザーに対して、無線リソースの割り当て情報を通知するために使用される

- **PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)**

下りリンクのユーザーデータを送信するための共有データチャネル

物理チャネル

- **PUCCH (Physical Uplink Control Channel)**

PDSCHに対するACK/NACKや下りリンクの受信品質、スケジューリング割当て要求 信号を送信するために使用される

- **PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)**

上りリンクのユーザーデータを送信するための共有データチャネル

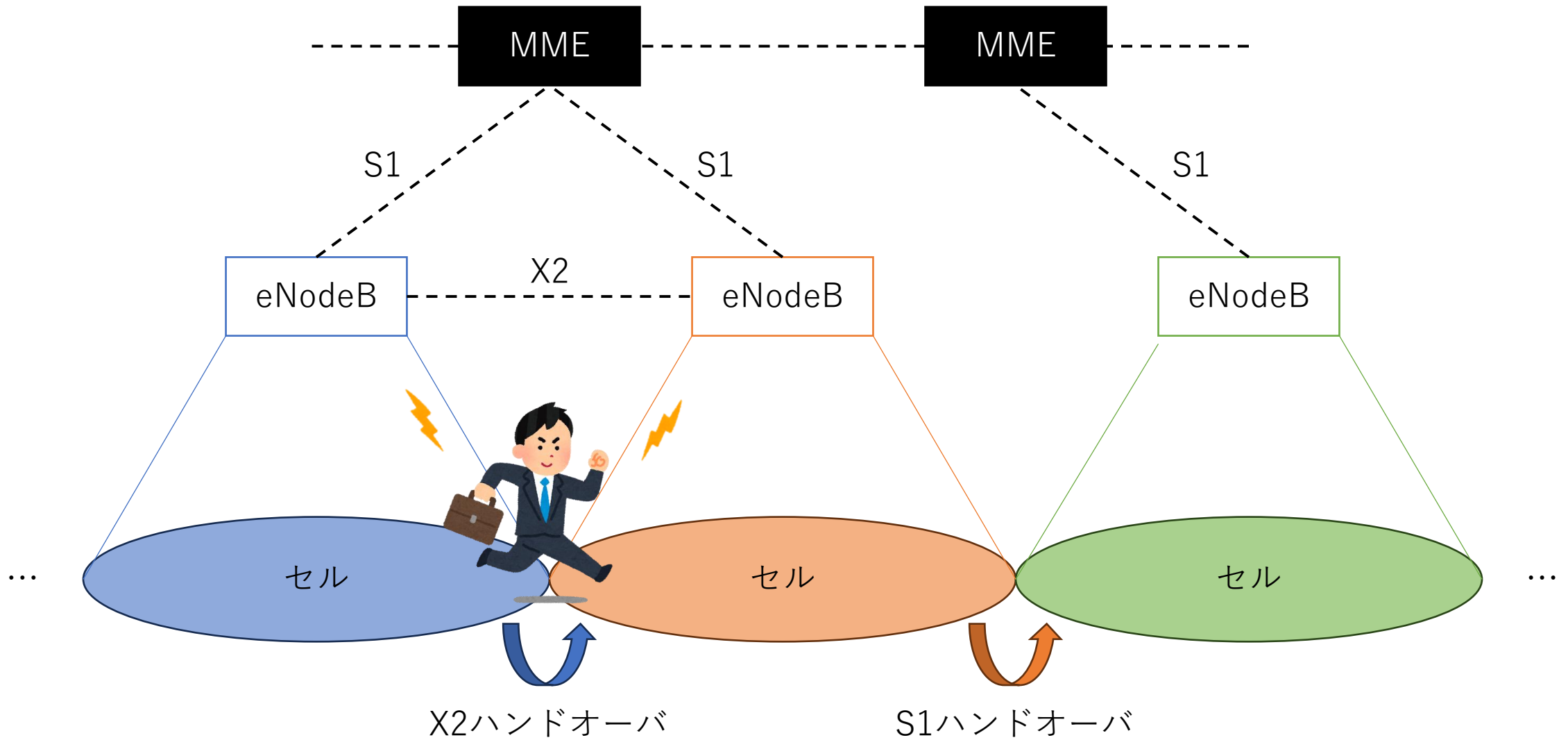
- ACK
(positive **ack**nowledgement)
正しいフレームを受信したときに返すメッセージ
- NACK
(**n**egative **ack**nowledgement)
誤ったフレームを受信したときに返すメッセージ

ハンドオーバー

- 端末の移動などによって接続するセルが切り替わること。
- X2インターフェースによって処理を行う**X2ハンドオーバー**
- S1インターフェースによって処理を行う**S1ハンドオーバー**
- 切替え元のeNodeBから切替え先のeNodeBに送達確認未完了のデータを転送する**データフォワーディング**によってパケットロスが抑えられている



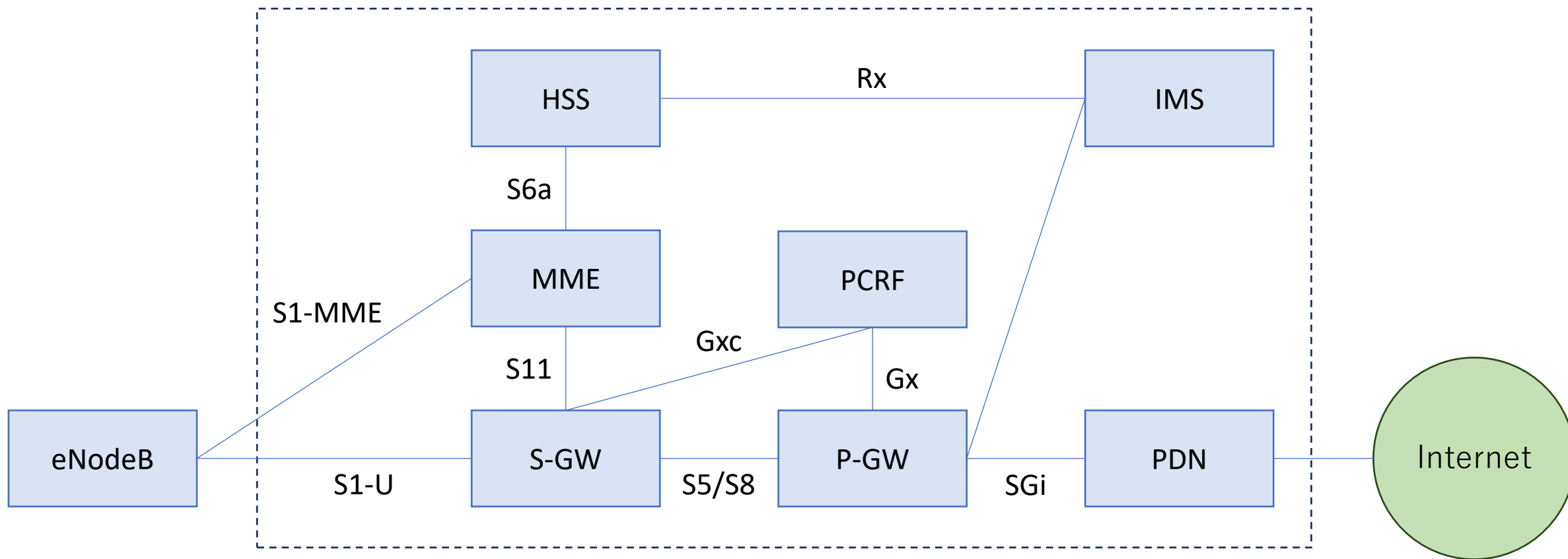
ハンドオーバー



コアネットワーク

- 端末の認証、端末の位置管理、ポリシー制御、パケット転送制御、通信経路の確立、電話の発着信中継などを担う大規模なネットワーク
- 複数の装置で構成されている

コアネットワーク



コアネットワーク

- **C-Plane (Control Plane)**

U-Planeを制御するためのパケットが流れる伝送路

- **U-Plane (User Plane)**

データ(テキスト、Web、画像...)が流れる伝送路

コアネットワーク

- **MME (Mobility Management Entity)**

端末の位置登録、ハンドオーバ管理、セッション管理、セキュリティ管理を行う。

- **HSS (Home Subscriber Server)**

加入者データの管理(加入者ID、認証情報)、位置情報の集中管理、認証プロセスのサポートを行う。

コアネットワーク

- **S-GW (Serving Gateway)**

eNodeB・P-GWからのパケットをP-GW・eNodeBに中継する役割を持ち、ハンドオーバーの際にはデータのバッファリングや集約を行う。

- **P-GW (PDN Gateway)**

PDNと接続されていて、端末とPDNを接続する役割を持ち、IPアドレスの割り当ての管理、課金情報の制御を行う。

コアネットワーク

- **PCRF (Policy and Charging Rules Function)**

パケットに対してQoS(Quality of Service)や課金体系を決定する役割を持ち、PCRFが決定したQoS値はP-GW、S-GW、eNodeBに通知される。

コアネットワーク

- **PDN (Packet Data Network)**

コアネットワークが接続する外部のネットワーク。PDNが端末のインターネットへの出口となる。

- **IMS (IP Multimedia Subsystem)**

音声通話を制御するシステム全体のことを指す。

通話の発着信、SMSの送受信に大きく関わる

スマホが通信可能になるまで

同期とセルサーチ

①セルサーチ

UE(スマホ)の電源が入ると、周辺の基地局から発信される報
知情報を探す。

②同期

選択した基地局から発信される同期信号(**SS**=synchronization
signal)に従って同期する

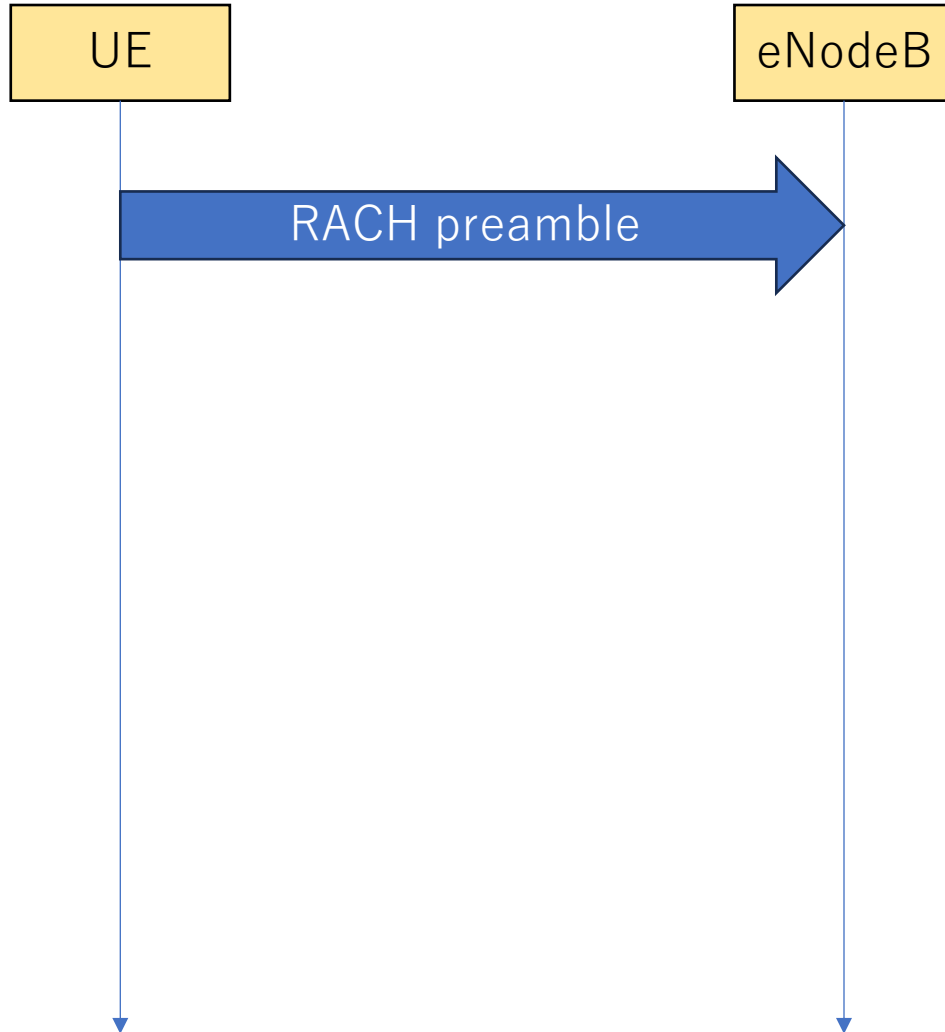
スマホが通信可能になるまで

RRC(Radio Resource Control)コネクションの確立

③ランダムアクセス

物理ランダムアクセスチャネル(PRACH)を使用して、基地局とのRRC(Radio Resource Control)コネクションを確立する

③ ランダムアクセス



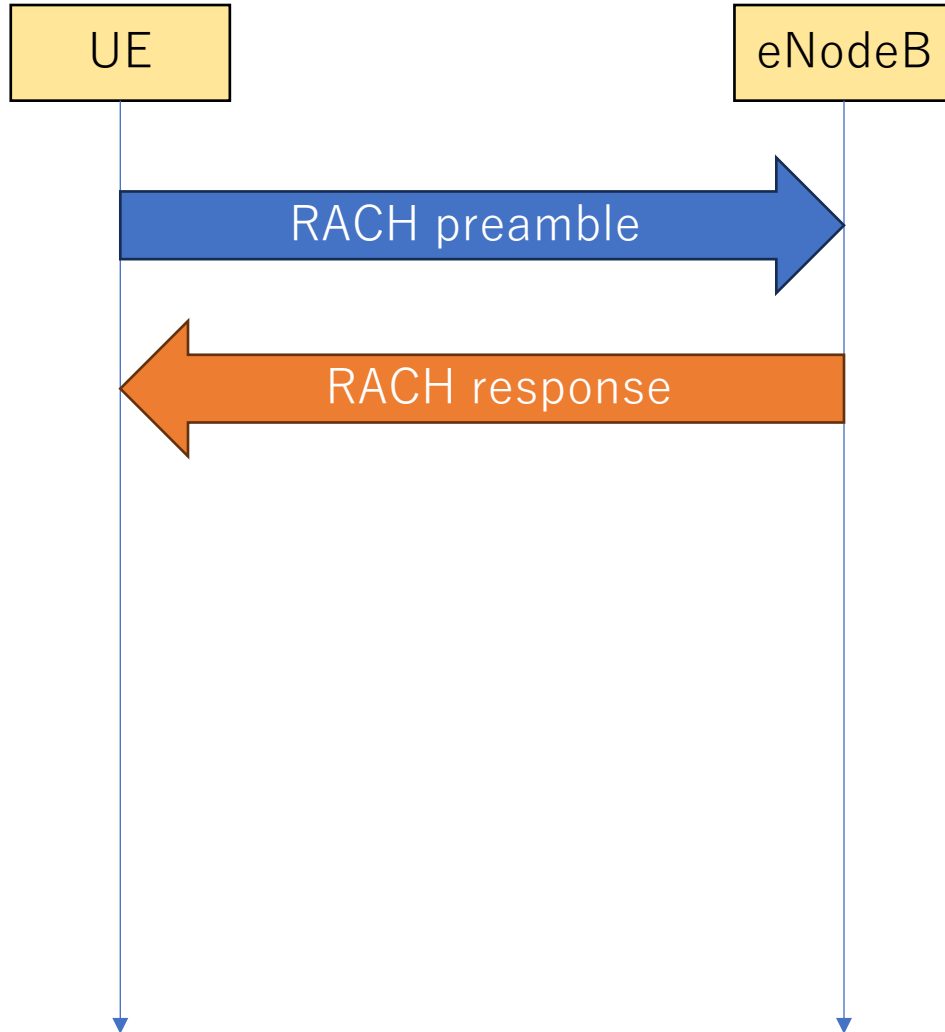
RACH preambleを送信

1. preambleをランダムに選択し、PRACHを送信
2. その後RACH responseが受信できない場合、送信電力を上げて再送する (Power ramping)

※RACH … Random Access Channel

※preamble … あらかじめ用意されている、最初に送信する信号のこと

③ ランダムアクセス



RACH responseを送信

UEからpreambleが検出されると、RACH responseを送信する

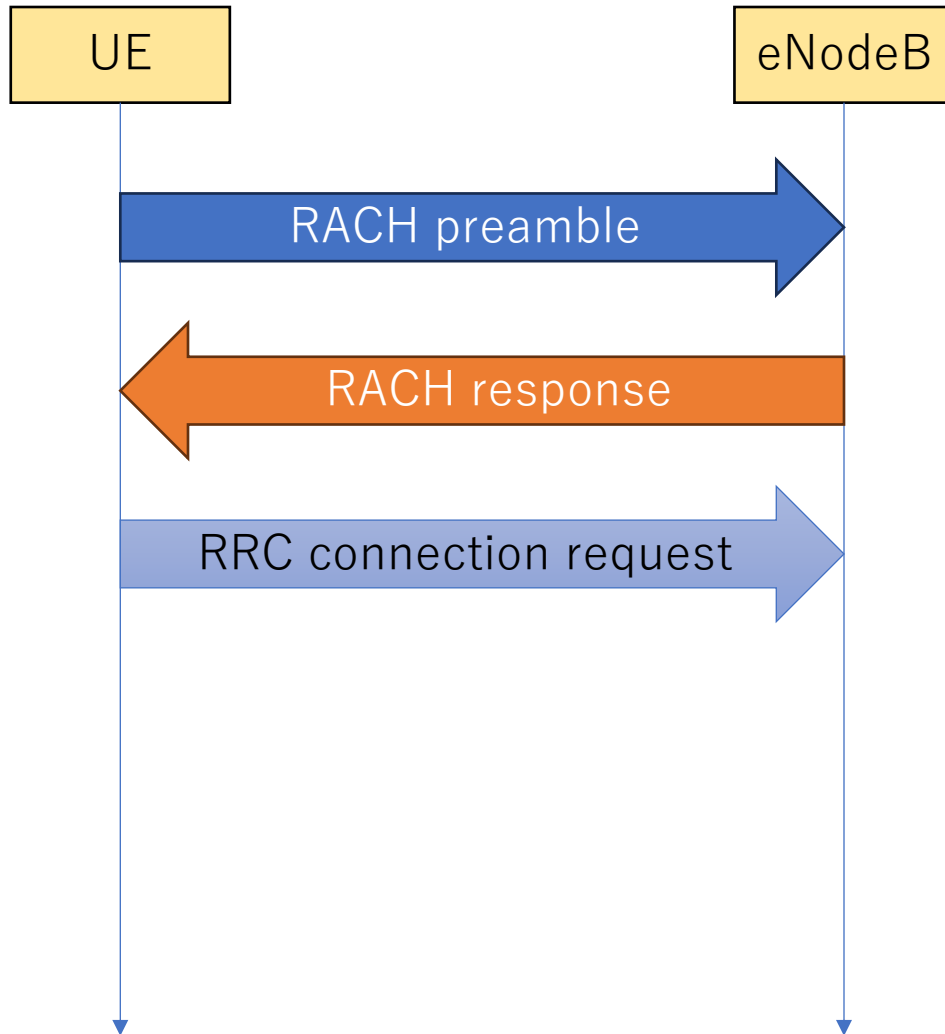
◆ RACH responseに含まれている情報

- ・ 検出preamble番号
- ・ Temporary C-RNTI
- ・ 送信タイミング情報
- ・ 割り当て情報 ...

※C-RNTI ... Cell-RNTI

※RNTI ... Radio Network Temporary Identifier

③ ランダムアクセス

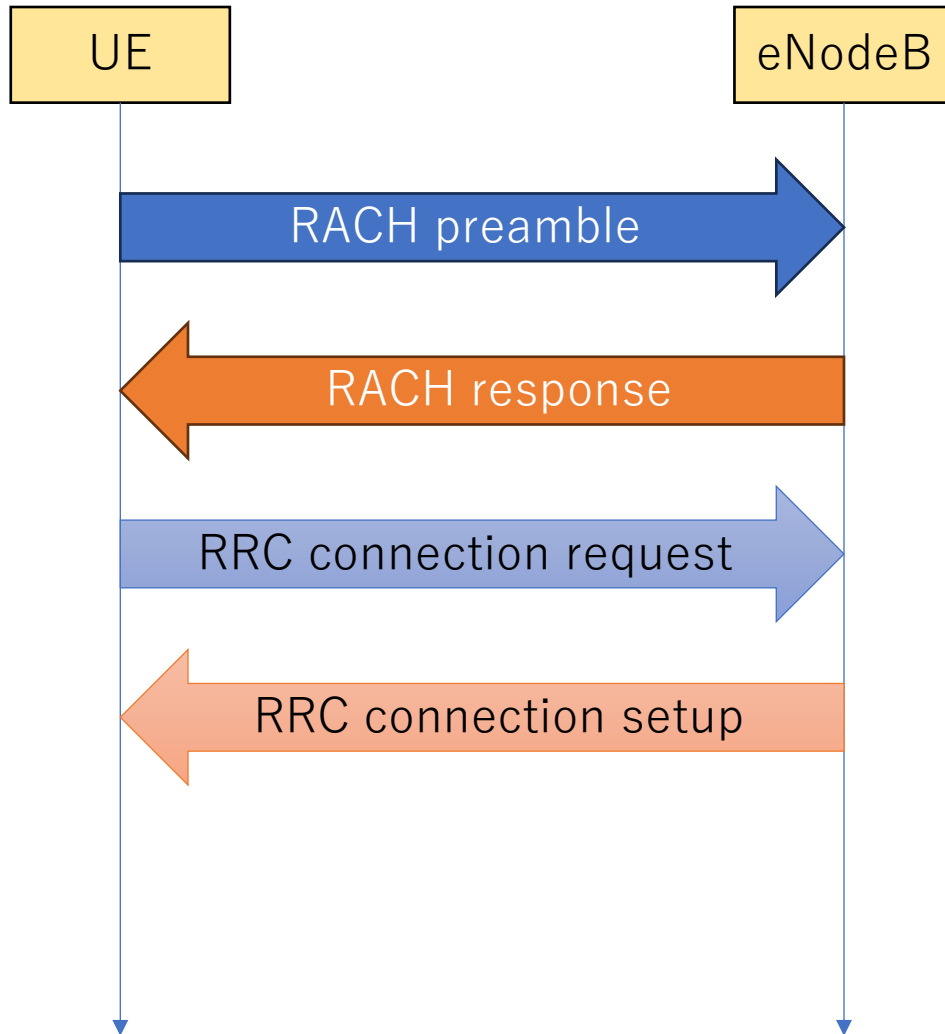


RRC connection requestを送信

RRCコネクションを確立するためのシグナリングメッセージ

- ◆ RRC connection requestに含まれている情報
 - ・ UE識別子
 - ・ 接続要求理由(Establishment Cause)
 - ・ UEの通信能力(UE capability) ...

③ ランダムアクセス

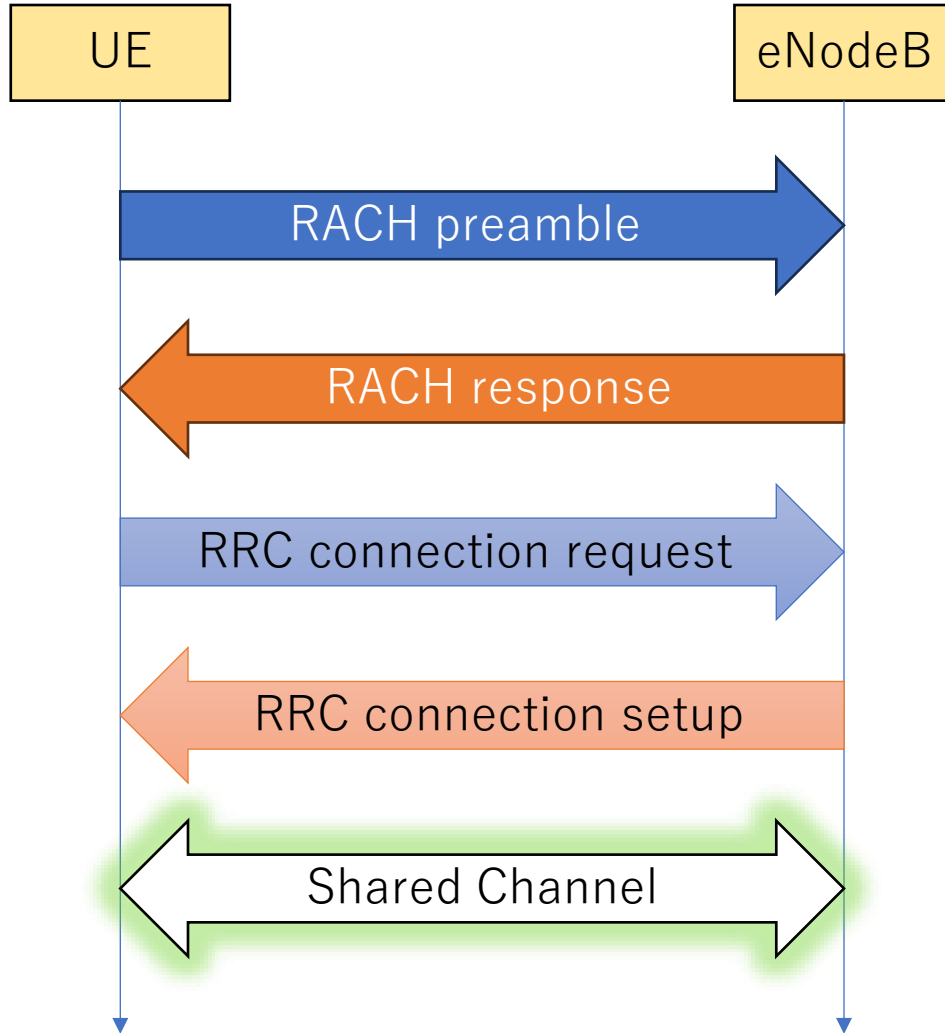


RRC connection setupを送信

RRCコネクションを確立するためのシグナリングメッセージ

- ◆ RRC connection setupに含まれている情報
 - ・ RRC Transaction ID
 - ・ 無線リソース設定(Radio Resource Configuration)
 - 物理チャネルの設定、同期に関する情報(Timing Advance) ...

③ ランダムアクセス



RRCが確立された

Shared Channel(PDSCH, PUSCH)で通信が可能になる

スマホが通信可能になるまで

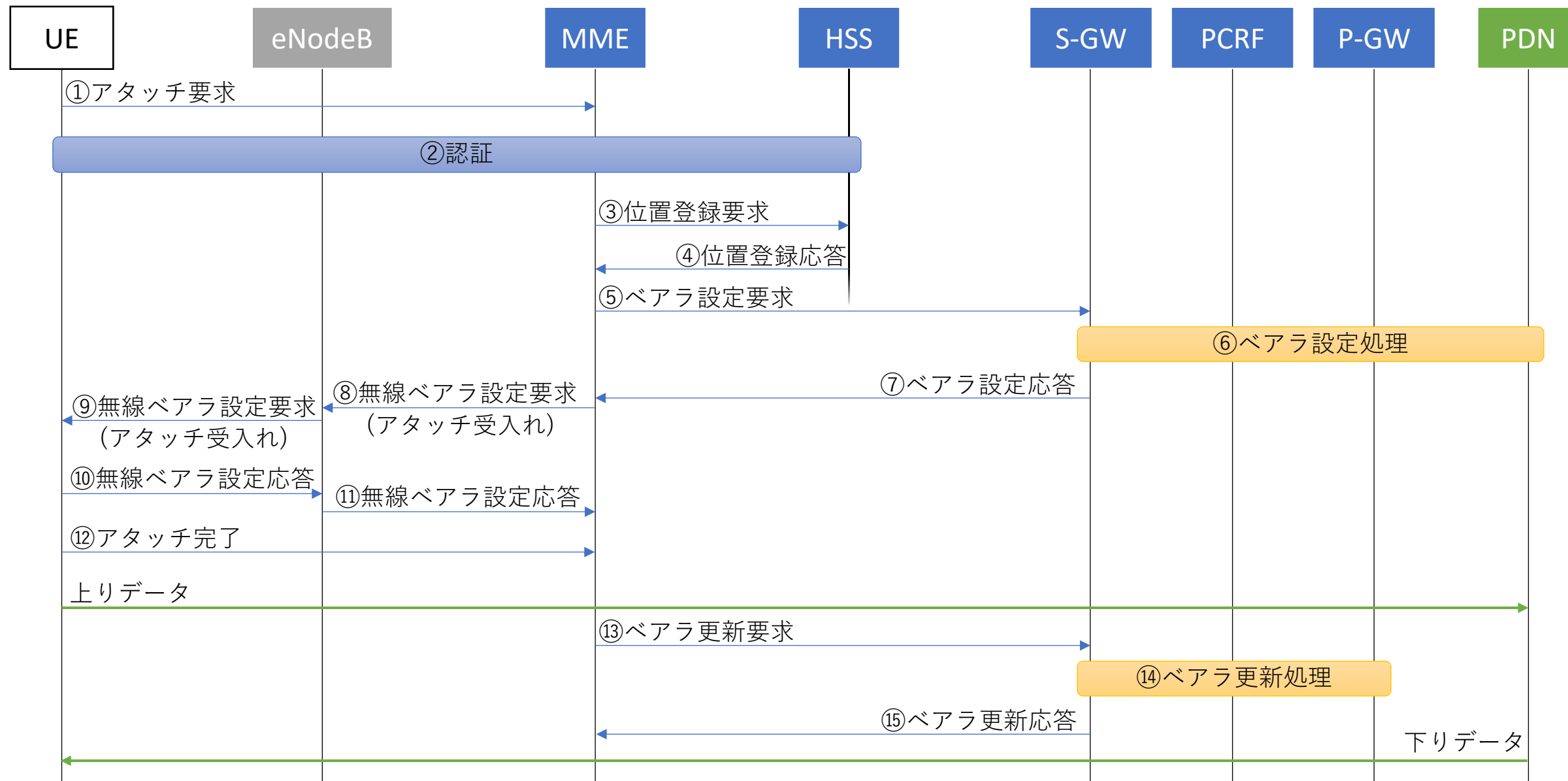
LTEアタッチ

④LTEアタッチ

RRCコネクションが確立された後、コアネットワークと通信してパケット通信を可能にする

④LTEアタッチ

→ C-Plane
→ U-Plane



スマホが通信可能になるまで

接続完了

⑤接続完了

UEとeNodeBのRRCコネクション確立、LTEアタッチ、IPアドレスの割り当てが行われ、通信可能になった