

LTE/LTE-Advanced のさらなる発展 — LTE Release 10/11 標準化動向 —

# LTE/LTE-Advanced 高度化におけるヘテロジニアスネットワーク容量拡大技術

スマートフォンの普及などにより、近年急激にトラフィックが増大している。その対策として特に都市部などの非常にトラフィック量の多いエリアにおいては、比較的送信電力の小さいスモールセルを数多く配置し、無線トラフィックをマクロセルからスモールセルへとオフロードすることで容量拡大を行うことが有効である。本稿では、マクロセルのカバレッジ上にスモールセルをオーバーレイするヘテロジニアスネットワークについて、3GPPにおけるLTEのRelease 11仕様（LTE-Advanced）で新たに導入された容量拡大技術を中心に解説する。

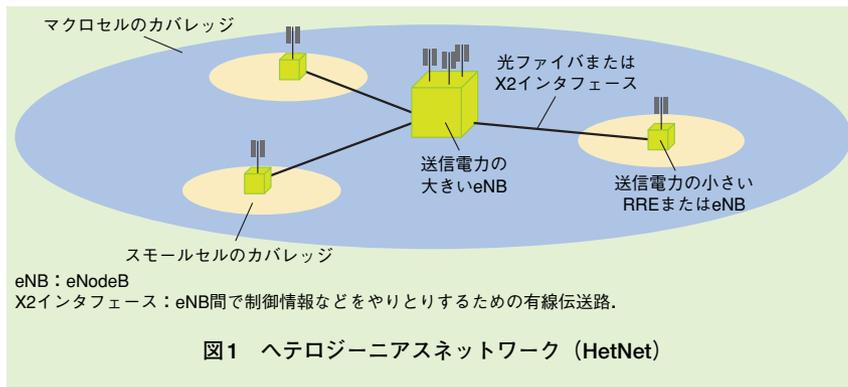
無線アクセス開発部 岸山 祥久 内野 徹  
きしやま よしひさ うちの とおる  
ながた さとし  
 永田 聡  
もりもと あきひと  
 先進技術研究所 森本 彰人  
 ドコモ北京研究所 Yun Xiang

## 1. まえがき

スマートフォンの普及などに伴う近年の急激なトラフィックの増大を考慮し、3GPPでは、ヘテロジニアスネットワーク（HetNet：Heterogeneous Network）の標準化を行ってきた。HetNetはマクロセル<sup>\*1</sup>の無線トラフィックを比較的送信電力の小さいスモールセルへとオフロードすることにより無線ネットワークの容量拡大を行うものである。ここで、3GPPにおけるHetNetの定義は、図1に示すように、送信電力の大きいマクロセルのカバレッジ上に

比較的送信電力の小さいスモールセル（ピコセル<sup>\*2</sup>およびフェムトセル<sup>\*3</sup>）がオーバーレイするネットワーク構成である。HetNetでは、大きな無線容量が必要な屋外/屋内ホッ

トスポット<sup>\*4</sup>などの場所により多くのスモールセルを展開することで、柔軟に無線容量を拡大することができるが、マクロセル-スモールセル間、およびスモールセルどうしの間



© 2013 NTT DOCOMO, INC.  
 本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

† 現在、知的財産部

\*1 マクロセル：主に屋外をカバーする半径数百メートルから数十キロメートルの通信可能エリア。通常、鉄塔上やビルの屋上などにアンテナが設置される。  
 \*2 ピコセル：半径数十メートル以上、百メートル程度以下で、屋外または屋内に構成されるセル。  
 \*3 フェムトセル：家庭内や小規模店舗をカ

カバーする半径数十メートル程度以下の極めて小さいエリアをカバーするセル。  
 \*4 ホットスポット：駅前広場など、トラフィックが集中して発生する場所。

で生じる干渉の制御などが課題であり、セル間協調 (CoMP: Coordinated Multi-Point)<sup>\*5</sup> 送受信やセル間干渉制御 (ICIC: Inter-Cell Interference Coordination)<sup>\*6</sup> などの技術が導入されている[1]。

本稿では、これらのHetNetに関連する無線容量の拡大技術について、LTEのRelease 11仕様 (以下、Rel. 11 LTE) において導入・拡張された機能を中心に概説する。

## 2. CoMP送受信技術

CoMP送受信とは、1つのユーザ端末 (UE) に対し複数のセルが協調して送受信の信号処理を行う技術である。地理的に離れた複数セルが協調し、UEの受信品質に応じた送受信信号処理を適用することにより、特に隣接セル間干渉の低減に基づくセル端ユーザスループット<sup>\*7</sup>改善を見込むことができる。

### 2.1. 3GPPにおける検討シナリオ

HetNetでは、前述のとおり、従来の送信電力の大きいマクロ基地局に加え、送信電力の小さいピコ基地局<sup>\*8</sup>、送信電力がさらに小さい、アクセス権を一部のUEにのみ開放したフェムト基地局<sup>\*9</sup>、リレー基地局<sup>\*10</sup>などの送信電力の異なる送受信ノードが存在する。これら送受信ノードを用いた場合のさまざまなノード間インタフェースを想定したCoMP技術の検討が行われ、Rel. 11 LTEでは、主に光ファイバを介して

接続されるマクロ基地局/リモート基地局 (RRE: Remote Radio Equipment)<sup>\*11</sup>あるいはRRE間の協調によるCoMP送受信技術を想定した仕様化が進められた。さらに、マクロ基地局とRRE間で異なるセルID<sup>\*12</sup>を用いる場合に加え、送信ポイント間でセルIDを共通化することによってハンドオーバー<sup>\*13</sup>頻度を減らすことができるシナリオ[3]を対象としたCoMP技術が検討され、双方の可能性を想定した仕様化が行われた。

### 2.2. 下りリンク CoMP送信技術

#### (1) CoMP送信法

下りリンクCoMP送信技術には、複数の送信法が存在するが、本稿ではその内、比較的シンプルな送信法であり、かつRel. 11 LTE仕様のメインのターゲットであったDPS (Dynamic Point Selection) について概説する。DPSとは、図2に示すように、下り共有チャネル (PDSCH: Physical Downlink Shared CHannel) を送信する送信ポイントが、その時点でのチャネル品質情報に基づき高速に選択される送信法である。また、選択された送信ポイントからの信号に対し干渉となる周辺送信ポイ

ントの無線リソース<sup>\*14</sup>送信を停止するDPB (Dynamic Point Blanking) との組合せにより、セル境界のUEの受信SINR (Signal to Interference plus Noise power Ratio)<sup>\*15</sup>をさらに改善することができる。

#### (2) 参照信号の高度化

Rel. 10 LTEでは2種類の下りリンク参照信号 (チャネル品質情報測定用およびデータ復調用参照信号) の導入が行われたが、Rel. 11 LTEでは、これらの参照信号に対し、従来のセル固有のスクランブル<sup>\*16</sup>ではなく、UE個別に割当て可能な仮想IDに基づくスクランブルが導入された。これにより、各送信ポイントへの固定的なセルID割当てに依存しない柔軟な無線リソースの割当てを行うことができる。例えば、隣接する複数の送信ポイントから異なるスクランブルで送信することで干渉をランダム化することや、逆に複数の送信ポイントから同一のスクランブルを用いて送信することで参照信号を直交化<sup>\*17</sup>したりすることが柔軟に行える。

このようなUE個別の仮想ID割当てによる参照信号のランダム化は上りリンクにおいても、上り共有チャネル (PUSCH: Physical Uplink

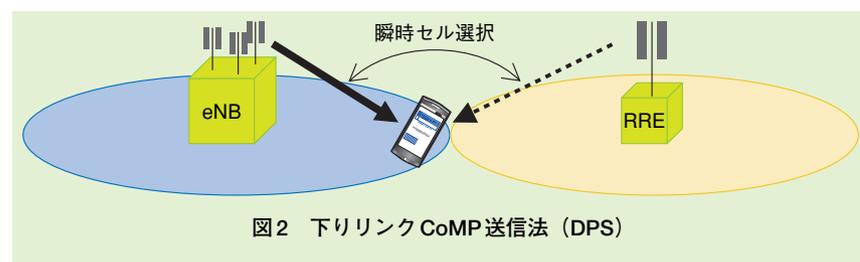


図2 下りリンク CoMP送信法 (DPS)

\*5 セル間協調 (CoMP): あるUEに対して、複数のセクタあるいはセルと信号の送受信を行う技術。複数のセルが動的に協調して送受信を行うことにより、セル間干渉の低減および所望信号電力の増大を実現する。  
\*6 セル間干渉制御 (ICIC): セル間で異なる時間・周波数の無線リソースを準静的に

割り当て、セル間干渉の影響を低減する技術。  
\*7 ユーザスループット: 1ユーザが単位時間内に誤りなく伝送できるデータ量。  
\*8 ピコ基地局: ピコセルを構成する小型基地局。送信電力はマクロセルの基地局に比較して小さい。  
\*9 フェムト基地局: フェムトセルを構成す

る超小型基地局。送信電力はピコ基地局よりもさらに小さい。  
\*10 リレー基地局: 基地局と端末との間の無線伝送を中継する基地局。  
\*11 RRE: 光ファイバなどを使って基地局から離れた場所に設置した基地局アンテナ装置。

Shared CHannel)<sup>\*18</sup>の復調用参照信号, および上り制御チャンネル(PUCCH: Physical Uplink Control Channel)<sup>\*19</sup>に対して導入されている。

(3)チャンネル品質情報フィードバック法の高度化

CoMP送信技術では, 1つのUEに対し複数の送信ポイントからの無線リソース割当てが行われることから, UEは複数の送信ポイントを考慮した複数種類のチャンネル品質情報フィードバックを行うことができる。送信側では, 協調セル内のUEからフィードバックされた複数種類のチャンネル品質情報を用いて, スケジューリング, CoMP送信法の決定を行い, 当該UEに対するPDSCHの割当てを行う。

2.3 特性評価

下りリンクCoMP送信技術を適用

した場合のスループット特性の改善効果をシステムレベルシミュレーションに基づく評価結果を用いて示す。正六角形3セクタ構成の57セルモデルを仮定した。協調セル数は9セクタ, CoMPにおける最大同時送信セル数, チャンネル品質情報の最大フィードバックセル数は3とした。また, 文献[4]に基づくFTP (File Transfer Protocol)<sup>\*20</sup>トラフィックモデルを考慮し, 各UEがダウンロードを行うファイルサイズを2MBとした。詳細の評価諸元については, 3GPPで規定された諸元[5]に基づいている。図3のa, bにそれぞれに単位時間当りのトラフィック生成量をパラメータ(無線リソース利用率に相当)とした場合の, 5%ユーザスループット特性(ユーザスループット累積確率密度分布特性の5%)および平均ユーザスループットを示す。縦軸は, 通常のシングルポイン

ト送信に比較したCoMPによるスループット改善効果を示しており, CoMP送信法として2.2節(1)記載のCoMP送信法(DPSとDPBの組合せ)を適用した。図より, CoMPの適用により, 同一の無線リソース利用率で比較したときのユーザスループット特性を改善できていることがわかる。例えば, 無線リソース利用率が83%の場合に, シングルポイント送信に比較し, 5%ユーザスループットを100%程度改善できている。

3. HetNet 干渉制御技術の拡張

3.1 Rel. 10 LTEにおけるセル間干渉制御技術(eICIC)

ピコ基地局をマクロ基地局に重畳するHetNetにおいては, UEが下りリンクにおける参照信号受信電力(RSRP: Reference Signal Received

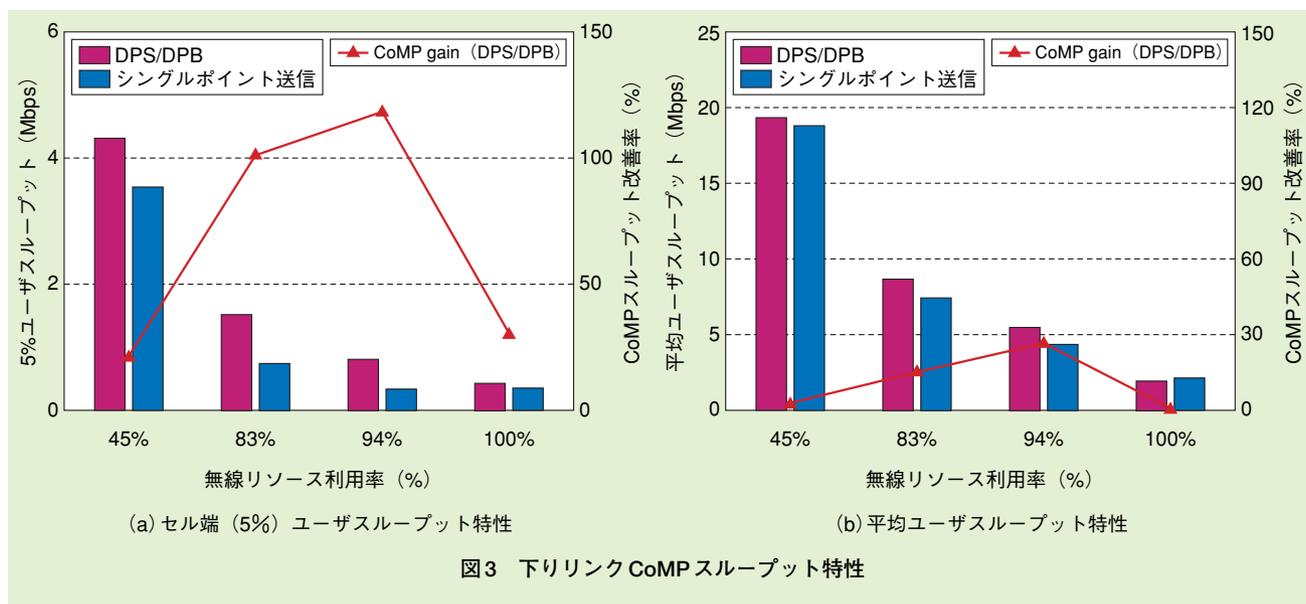


図3 下りリンクCoMPスループット特性

\*12 セルID: セルごとに付与される識別情報。  
 \*13 ハンドオーバー: 移動端末が接続する基地局を切り替えること。  
 \*14 無線リソース: ユーザごとに通信のため割り当てられる時間および周波数の単位。  
 \*15 SINR: 所望波信号の受信信号電力と, そ

れ以外の干渉波信号と雑音電力の和の比。  
 \*16 スクランブル: 符号系列を乗算する処理によるランダム化。  
 \*17 直交化: 同一の無線システム帯域内において, 複数の信号を多重して送信する際に, 両者が互いに干渉とならない(直交する)ようにすること。

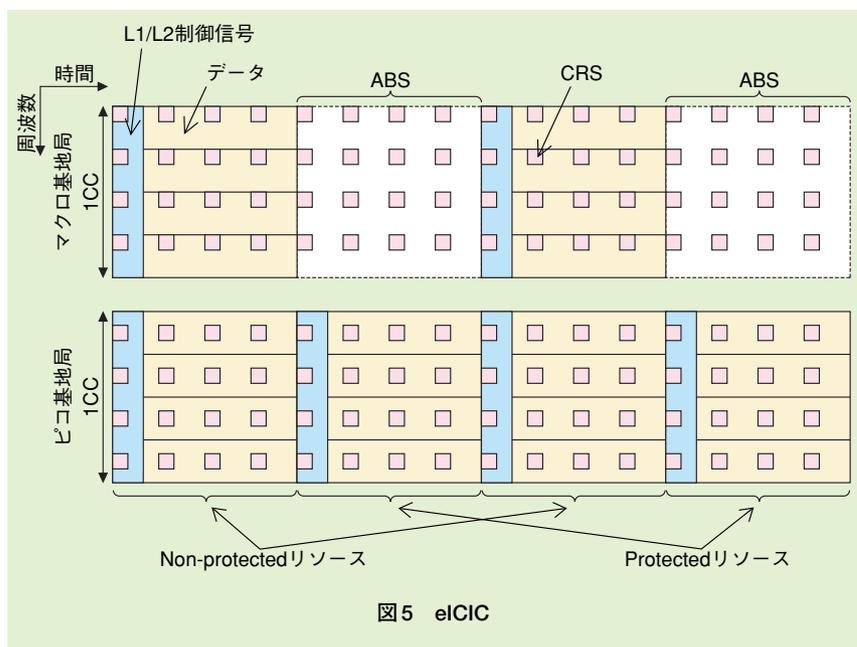
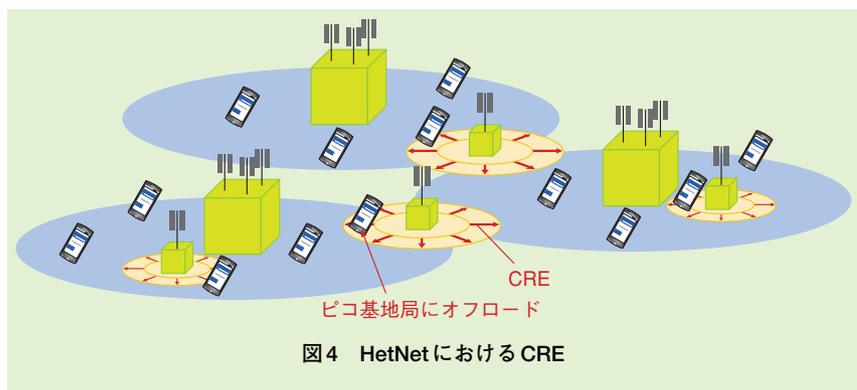
\*18 上り共有チャンネル(PUSCH): 上りリンクでデータパケットを送受信するために用いる物理チャンネル。  
 \*19 上り制御チャンネル(PUCCH): 上りリンクで制御信号を送受信するために用いる物理チャンネル。

Power)<sup>\*21</sup>の最も高いセルに接続するものとした場合、送信電力の低いピコ基地局に接続するUE数が、送信電力の大きいマクロ基地局に接続するUE数に比較して非常に小さくなる。このため、ピコ基地局の適用によるオフロード効果、容量増大効果が限定されてしまうという問題がある。この問題を解決するため、図4に示すように、ピコ基地局のRSRPにオフセット値を与えることによって、ピコ基地局の選択確率を上げ、等価的なセル半径を増大するCRE (Cell Range Expansion) [6]がサポートされた。CREのためのオフセット値はUEごとに上位レイヤのシグナリング[7]を用いて通知することができる。CREを適用することにより、より多くのUEをピコ基地局に接続することができオフロード効果を増大することができる。しかしながら、特に下りリンクでは、CREオフセット値が増大するにつれて、ピコ基地局からのRSRPがマクロ基地局からのRSRPより小さく、RSRPの観点で最適ではないUEがピコセルにオフロードされる。そのため、マクロ基地局から受ける干渉を低減するためにICICを適用する必要がある[8][9]。HetNetでは、ピコ基地局からの干渉の影響は小さいため、ピコ基地局に接続するUEを保護するために、マクロ基地局のみが一部のリソースにおいて送信を停止、または、送信電力を低減して送信する。

Rel. 10 LTEにおいては、時間領域における特定のリソース (サブフレ

ーム) において、マクロ基地局が送信を停止するICICが規定された。Rel. 10 LTEにおける上記のICICはeICIC (enhanced ICIC) と呼ばれている。eICICでは、図5に示すように、ABS (Almost Blank Subframe) と呼ばれる同期用信号、システム情報などの制御情報、および、CRS (Cell-specific Reference Signal)<sup>\*22</sup>のみを送信する。L1/L2 (Layer 1/Layer 2) 制御情報、データ信号の

送信を行わないサブフレームを定義し、このABSの位置、および割合をセル間で協調制御することにより、時間領域のセル間干渉制御をサポートする。以降、ABSで送信し、ピコ基地局に接続するUEへの干渉を低減するリソースをProtectedリソース、その他のリソースをNon-protectedリソースと呼ぶ。ProtectedリソースとNon-protectedリソースの割合は、マクロ基地局に接続される



\*20 FTP：インターネットなどのTCP/IPネットワーク上でファイルを転送する際に、一般的に用いられるプロトコル。

\*21 参照信号受信電力 (RSRP)：LTEにおける移動端末で測定される信号の受信電力。移動端末の受信感度を表す指標の1つ。

\*22 CRS：下りリンクの受信品質測定などに用いられる各セル固有の参照信号。

UE、ピコ基地局に接続されるUEの割合などに応じて、適切に設定する必要がある。ABSの位置、および、割合については、マクロ基地局からABSパターンとしてX2インタフェースでピコ基地局に通知される。また、ピコ基地局から接続する複数のマクロ基地局に対して、共通のABSパターンを通知することにより、セル間での協調制御を実現する。

また、eICICを適用した場合、ピコ基地局に接続するUEの受信品質はProtectedリソースとNon-protectedリソースで大きく異なる。そのため、適応変復調誤り訂正符号化(AMC: Adaptive Modulation and Coding)<sup>\*23</sup>、スケジューリングなどの制御を効率よく行うために、ピコ基地局に接続するUEはProtectedリソースとNon-protectedリソースの2種類の受信品質(CSI: Channel State Information<sup>\*24</sup>)をフィードバックする必要がある。Rel. 10 LTEにおいては、ピコ基地局からUEに対して、Protectedリソース、Non-protectedリソースのCSIを測定するリソースが通知される。

### 3.2 Rel. 11 LTEにおけるセル間干渉制御技術

CREによるオフロード効果を増大するために、Rel. 11 LTEにおいて、CREにおけるオフセット値として9 dBまでサポートすることが決定された。CREオフセット値を9 dBとした場合、マクロ基地局とピコ基地局の境界において、ピコ基地局に接

続するUEはマクロ基地局から接続ピコ基地局より9 dB高い干渉を受けることになる。eICICを適用した場合、ABSにおいても、ハンドオーバーの受信品質測定などのために、CRSの送信は常に行われるため、特に、CREによってピコ基地局にオフロードされたUEのデータ信号は、マクロ基地局から送信されるCRSからの干渉を受ける。また、CREを適用した場合には、マクロ基地局とピコ基地局のセル境界において、マクロ基地局からの大きな干渉を受けた状態で、ピコ基地局からの同期用信号や制御情報を受信する必要がある。そのため、Rel. 11 LTEでは、eICIC適用時のさらなる特性改善をめざし、UE側におけるマクロ基地局からのCRSの干渉キャンセラ、および、CRS干渉キャンセル、CRE適用時のセル境界におけるシステム情報受信のためのRRC(Radio Resource Control)<sup>\*25</sup>シグナリングが規定された。以下にそれぞれの概要を示す。

#### ① CRS干渉キャンセラ

CRS干渉キャンセラでは、高いCREオフセット値でピコ基地局にオフロードされたUEに与えるCRSからの干渉をキャンセルし、干渉電力の大きい2セルからのCRSをキャンセルすることが規定された。

#### ② RRCシグナリング

・CRS干渉キャンセルのためのシグナリングとして、報告される周辺セル数、セルID、

CRSポート数、データ領域のCRSを含むサブフレーム情報が規定された。

・CRE適用時のセル境界でSIB(System Information Block)<sup>\*26</sup>-1情報を受信するために、干渉を受けるセル(ピコセル)が個別のシグナリングを用いて、SIB-1を送ることが規定された。

## 4. CA技術の拡張

Rel. 10 LTEにおいて、Rel. 8 LTEとの互換性を保ちつつ、20 MHz以上の広帯域通信を実現する機能としてCA(Carrier Aggregation)<sup>\*27</sup>が導入された。CAはCC(Component Carrier)<sup>\*28</sup>と呼ばれる複数のLTEキャリアを同時に用いて通信を行うことで、伝送速度を向上させる。特にHetNet環境において周波数の異なるマクロセル—スモールセル間でCAを行うことで、マクロセルで基地局との接続性やモビリティ性能を担保しつつ、スモールセルによるデータオフロードが可能となる。なお、下りトラフィックのみならず、上りトラフィックについてもスモールセルにオフロードする場合、スモールセルはセル半径が小さいことから、マクロセルで上り送信するよりも比較的小さい送信電力で高レート通信を実現することができ、端末のバッテリー消費の観点でも利点がある。そのようなHetNet環境におけるCAの運用形態の1つとして、マクロ基地局セルとRREを用いたセ

\* 23 適応変復調誤り訂正符号化(AMC): 受信SINRなどの受信品質に応じて、最適なデータ変調およびチャネル符号化率を選択することによって、伝送速度を適応制御する方法。

\* 24 CSI: 信号が経由した無線チャネルの状態を表す情報。

\* 25 RRC: 無線回線を制御するレイヤ3プロトコル。

\* 26 SIB: 無線基地局から移動端末へ一斉同報される報知情報は、複数のブロックに分割されており、そのブロック単位を示す。

\* 27 CA: 複数のキャリアを用いて同時に送受信することにより、既存のLTEとのバックワードコンパチビリティを保ちながら広帯域化を行い、高速伝送を実現する技術。

\* 28 CC: CAにおいて複数用いるキャリアのひとつひとつを表す用語。

ルとの間のCAが想定される。しかし、マクロセル-スモールセルは各々送信点、セル半径が異なるため、信号の伝搬遅延が異なる。加えて、異なる周波数を用いることによる周波数特性の違いによりマクロセルとスモールセル間の伝搬遅延差は非常に大きくなる。特に、上り信号の伝搬遅延差が非常に大きい場合には、各セル内におけるユーザ間の、直交性が崩れ、上り干渉の原因となる。

このような背景から、Rel. 11 LTEにおいて、UE内でセルごとに異なる上り送信タイミングを確立し、セ

ル内におけるUE間の上り信号遅延差を低減する技術（MTA（Multiple Timing Advances））が導入された。

#### 4.1. 上り送信タイミング制御

上り通信にSC-FDMA（Single Carrier Frequency Division Multiple Access）<sup>\*29</sup>を採用しているLTEシステムでは、基地局で受信されるセル内の異なるUEからの上り信号に対して一括でFFT（Fast Fourier Transform）<sup>\*30</sup>を施して信号の復調を行う。しかし、各UEの信号伝搬遅延は異なるため、セル内の各UEが基地局からの下り信号の受信タイミン

グに合わせて上り信号を送信すると、基地局では各UEの上り信号が異なるタイミングで受信され、基地局は所望タイミングでFFTを施すことができない。例えば、図6に示すように、セル中央で通信するUE # Aよりも、セル端で通信するUE # Bのほうが伝搬遅延が大きいため、UE # Bからの上り信号のほうが所望タイミングとのずれが大きくなる（図6①）。そのため、基地局は各UEの上り信号の送信タイミングを調整し、基地局における受信タイミングのずれが所定の時間内に収まるように制御を行っている（TA制御：

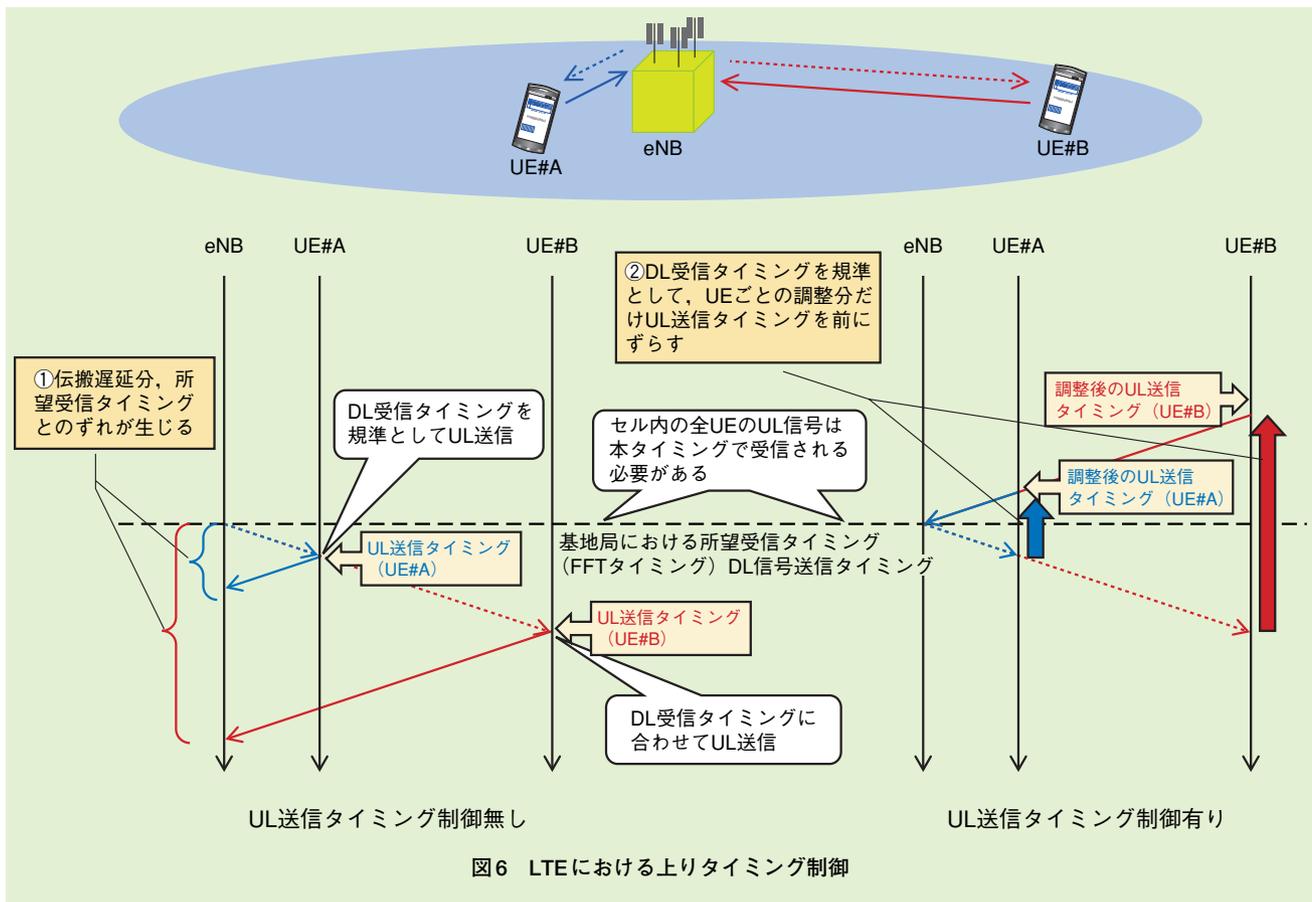


図6 LTEにおける上りタイミング制御

\* 29 SC-FDMA：単一ユーザの信号をシングルキャリア伝送しつつ、異なるユーザの信号は、異なる周波数を割り当てることにより多元接続する無線アクセス方式。

\* 30 FFT：高速フーリエ変換、時間領域の離散データを周波数領域の離散データに変換する高速アルゴリズム。

Timing Alignment制御)。具体的には、基地局は各UEに対して所望上り信号受信タイミングに対する、実際の上り信号の受信タイミングとの差分を計測し、その差分だけ上り送信タイミングを前にずらすように指示を行っている(図6②)。本調整制御により、セル内のUE間の上り信号どうしが干渉となることを回避し、上り信号を復調することが可能となる。なお、基地局からの上り送信タイミング調整指示はランダムアクセス手順やMAC (Medium Access Control) \*31 制御信号により通知することが可能である。

#### 4.2. MTA

先に述べたように異なる周波数のマクロセル-スモールセル間でCAを運用する場合、UEがアグリゲートしているCC間で伝搬遅延が異なり、これまでのようなUE単位の上り送信タイミング制御では、セル内UE間の直交性を保証することができない。例えば、図7(左側)のようにマクロセルとRREを用いたスモールセルでCAを行っているUE#Aに対し、マクロセルに対して調整された上り送信タイミングを指示する場合、UE#Aは本タイミングをスモールセルにおける上り送信にも適用

するため(図7①)、スモールセルにおけるUE#Aの上り信号とUE#Bの上り信号とで基地局における受信タイミングにずれが発生し、セル内干渉となる(図7②)。従って、アグリゲートしているCCごとに上り送信タイミング調整制御が必要となる。具体的には、UEに設定されているCCを伝搬遅延のほぼ同等となるものどうしでグルーピングし、各CC群(TAG: Timing Advance Group)ごとに上り送信タイミング調整制御を行う。例えば、図7(右側)のように基地局はUE#Aに対し、マクロセル、スモールセル各々

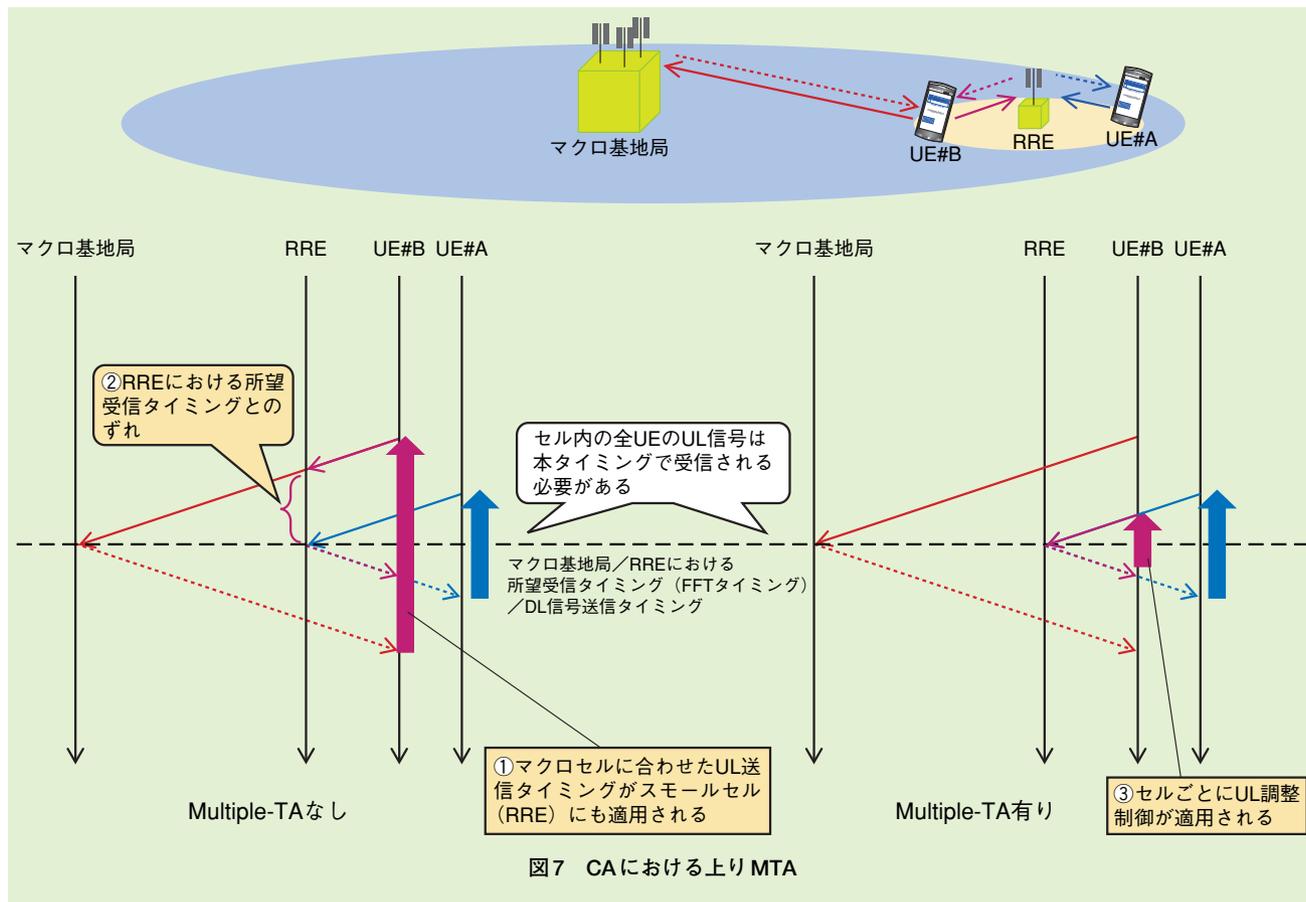


図7 CAにおける上りMTA

\* 31 MAC: 論理チャンネルとトランスポート・チャンネルとの間のマッピングを行うプロトコル。

における所望受信タイミングと実際の上り信号受信タイミングの差分を計測し、各セルに対する上り信号送信タイミングを指示する(図7③)。本制御により、スモールセルにおけるUE # Aの上り信号とUE # Bの上り信号についても、基地局における受信タイミングを所定の時間内に収めることができ、セル内干渉は発生しない。尚、TAGは、CAにおけるPCell (Primary Cell) が含まれるpTAG (primary TAG) とPCellを含まずSCell (Secondary Cell) のみで構成されるsTAG (secondary TAG) に大別される。pTAG制御はRel. 10 LTEまでの送信タイミング制御と同様である。一方で、sTAGについてはpTAGとは独立に初期上り送信タイミングを確立する必要があるため、Rel. 11 LTEにおいてはSCellに対してもランダムアクセス手順がサポートされた。ただし、SCellにおけるランダムアクセス手順は非衝突型のみが規定されており、無線基地局からの指示によってのみ起動することが可能である。

このように、同等の伝搬遅延をもつCC群ごとに上り送信タイミング調整制御を行うことで、HetNet環境において上りCAを適用した場合にも、セル内におけるUE間の上り信号の直交性を保つことが可能となる。また、Rel. 11における上りCAにおいては、Rel. 10 上りCAよりも「ユーザ当りに同時に送信できる上

り信号の組合せ」が拡張されている。具体的には、上り送信電力に余裕がある場合に、Rel. 10 LTEで可能な上り同時送信の組合せに加えて、異なるTAGに属するCCからのPRACH (Physical Random Access Channel)<sup>\*32</sup>-PUCCH/PUSCH/SRS (Sounding Reference Signal)<sup>\*33</sup>の同時送信がサポートされ、より柔軟な上りリソースの設定やスケジューリングが可能となっている。一方で、上り送信電力が不足した場合には異なるTAG間での合計の送信電力がUEの上限を超えないようにする必要があり、このための送信電力制御法もRel. 11仕様で規定された[10]。

## 5. あとがき

本稿では、3GPPにおけるHetNetを対象とする無線容量の拡大技術について、Rel. 11 LTEで新たに導入・拡張された機能を中心に概説した。導入された仕様によって、都市部などの高トラフィックエリアに柔軟にスモールセルを展開し、必要な無線容量を確保するとともに、お客様が体感するサービス品質の向上が期待できる。

### 文献

- [1] T. Abe, Y. Kishiyama, Y. Kakura and D. Imamura : "Radio Interface Technologies for Cooperative Transmission in 3GPP LTE-Advanced," IEICE Trans. Commun., Vol. E94-B, No.12, pp. 3202-3210, Dec. 2011.
- [2] M. Iwamura, K. Etemad, M.H. Fong, R. Nory and R. Love : "Carrier aggregation framework in 3GPP LTE-advanced," IEEE Commun. Mag., Vol.48, No.8, pp. 60-67, Aug. 2010.
- [3] 3GPP R1-110649, Ericsson, ST-Ericsson : "Aspects on Distributed RRUs with Shared Cell-ID for Heterogeneous Deployments," Feb. 2011.
- [4] 3GPP TR36.814 V9.0.0 : "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects," Mar. 2010.
- [5] 3GPP TR36.819 V11.1.0 : "Coordinated multi-point operation for LTE physical layer aspects," Dec. 2011.
- [6] A. Khandekar, N. Bhushan, J. Tingfang and V. Vanghi : "LTE-Advanced: Heterogeneous networks," Proc. of European Wireless 2010, pp. 978-982, Apr. 2010.
- [7] 3GPP TS36.331 V10.1.0 : "E-UTRA; Radio Resource Control (RRC); Protocol specification," May 2011.
- [8] M. Sternad, T. Ottosson, A. Ahlen and A. Svensson : "Attaining Both Coverage and High Spectral Efficiency with Adaptive OFDMA Downlinks," Proc. IEEE VTC 2003-Fall, Oct. 2003.
- [9] G. Fodor, C. Koutsimanis, A.Racz, N. Reider, A. Simonsson and W. Muller : "Intercell interference coordination in OFDMA networks and in the 3GPP long term evolution system," Academy Publisher Journal of Commun., pp. 445-453, Aug. 2009.
- [10] 柿島 佑一, 武田 和晃, 清嶋 耕平, 寒河江 佑太, 岸山 祥久, 中村 武宏 : "LTE-Advanced 上りリンクにおけるキャリア個別送信タイミング制御を用いるキャリアアグリゲーション用送信電力制御," 信学総大, B-5-54, Mar. 2013.

\* 32 PRACH : Random access preamble を送信するための物理チャネル。

\* 33 SRS : 基地局側で上りリンクのチャネル品質や受信タイミングなどを測定するための参照信号。