

# Technology Reports

LTE-Advanced 技術特集 — IMT-Advanced に向けて進化し続ける LTE —

## LTE-Advanced における MIMO およびセル間協調送受信技術

現在3GPPでは、LTEの発展形であるLTE-Advancedの標準仕様策定が進められている。LTEとのバックワードコンパチビリティを保ちつつ、LTEに対して十分に高い周波数利用効率およびセル端ユーザスループットを実現する、LTE-AdvancedにおけるMIMO技術の拡張およびCoMP技術が検討されている。

無線アクセス開発部	た お か ひ で か ず 十 田 岡 秀 和	な が た さ と し 永 田 聡
	た け だ か ず あ き 武 田 和 晃	か き し ま ゆ う い ち 柿 島 佑 一
ドコモ北京研究所	シ ョ 小 余 小 明	
ドコモ欧州研究所	く す め か つ と し 楠 目 勝 利	

### 1. まえがき

3GPPにおいて、LTEと呼ばれる次世代移動通信方式の無線インタフェース仕様がRelease 8（以下、LTE Rel.8）として、2008年12月に完成した[1][2]。LTE Rel.8は、さまざまなトラフィックを低遅延、低コストにサポートする移動無線パケットアクセス方式であり、標準無線インタフェース仕様の完成に伴い、商用装置の開発が進められている。また3GPPでは、ユーザ端末（UE）の位置測定など、LTE Rel.8の一部機能の拡張を行ったLTE Rel.9仕様が2009年12月に完成した[3][4]。

LTE Rel.9と並行して、2008年3月

にLTE-AdvancedのSI（Study Item）の検討開始が承認され、LTE-Advanced無線インタフェースの検討が開始された[5]。LTE-Advancedの要求条件は文献[6]を参考されたい。この要求条件を満たすための無線アクセス技術の一部として、MIMO（Multiple Input Multiple Output）<sup>\*1</sup>技術およびセル間協調送受信（CoMP：Coordinated Multi-point transmission/reception）<sup>\*2</sup>技術が検討されている[7]。MIMO技術に関しては、SIに引き続いて、2009年12月にWI（Work Item）の検討開始が承認された。さらに、Rel.10としての無線インタフェース仕様を2010年末に完成することを目指して、標

準仕様の策定が進められている[8][9]。LTE-Advancedにおいて、MIMO技術およびCoMP技術は、周波数利用効率<sup>\*3</sup>（システム容量）、セル端ユーザスループットなどのシステム性能の要求条件を満たすための重要技術と考えられている。システム容量およびユーザスループットの増大は、ユーザのデータ伝送速度増大およびシステムのビット当りのコスト低減に有効である。また、LTE-Advancedは、LTE Rel.8とのバックワードコンパチビリティを有するシステムであるため、LTE Rel.8のマルチアクセス<sup>\*4</sup>をベースにしている。したがって、MIMO技術もLTE Rel.8に採用されている技術をベ-

† 現在、ドコモ欧州研究所

\*1 MIMO：複数の送受信アンテナを用いて信号の伝送を行い、通信品質および周波数利用効率（\*3参照）の向上を実現する信号伝送技術。

\*2 セル間協調送受信（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。複数のセルが協調して送受信を行うことにより、他セル干渉低減および所望信号電力の増大を実現する。

\*3 周波数利用効率：単位時間、単位周波数帯域当りに送ることのできる情報ビット数。

\*4 マルチアクセス：無線システム内において、複数のUEが通信を行う際、各UEに対して複数の無線チャネルのうち、空き状態にあるチャネルを割り当てて通信を行う方法を指す。

スにして検討されている。

本稿では、3GPPで議論、合意された内容に基づき、LTE Rel.8およびLTE-AdvancedのMIMO技術、およびCoMP技術について解説する。

## 2. LTE Rel.8におけるMIMO技術

### 2.1 下りリンクMIMO技術

LTE Rel.8の下りリンクでは、ピークデータレートを増大するため、MIMO多重（SU-MIMO：Single-User MIMO）が用いられる。20MHzの送信帯域幅、 $2 \times 2$  MIMO、64QAM（64 Quadrature Amplitude Modulation）<sup>\*5</sup>変調を用いることにより、目標データレートの100Mbit/s以上を実現することができ、さらに $4 \times 4$  MIMO多重を用いることにより、300Mbit/s以上のピークデータレートを実現することができる。

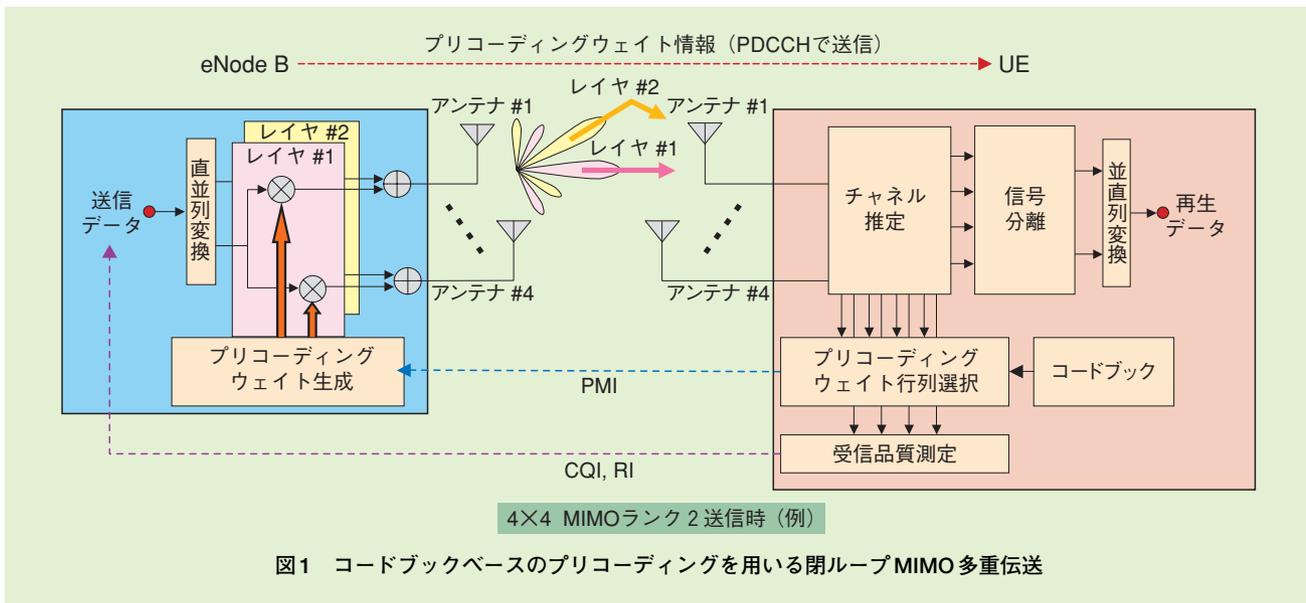
LTE Rel.8において採用されている下りリンクマルチアンテナ技術は、次の3つに分類される。

(1)閉ループMIMO多重・送信ダイバーシティ<sup>\*6</sup>

UEからのチャンネル情報<sup>\*7</sup>のフィードバックを用いる下りリンクの閉ループSU-MIMO伝送においては、受信SINR（Signal to Interference plus Noise power Ratio）<sup>\*8</sup>を向上するために、下り共有チャンネル（PDSCH：Physical Downlink Shared Channel）に送信レイヤ（ストリーム）ごとに異なる送信アンテナウェイトを乗算して送信するプリコーディングが用いられる。プリコーディングにおける理想的な送信アンテナウェイトは、チャンネル行列<sup>\*9</sup> $H$ の共分散行列<sup>\*10</sup> $H^H H$ （ $H$ はエルミート変換を表す）の固有ベクトルにより生成される[10]。しかし、推定したチャンネル

情報あるいは量子化<sup>\*11</sup>を行わないプリコーディングウェイトを直接フィードバックする方法は、制御情報のオーバーヘッド量の観点から現実的ではない。そこで、LTE Rel.8では、UEにおいて、プリコーディング後の各レイヤの合計のスルーputが最大となる規範により、あらかじめ決められたプリコーディングウェイト行列の候補（コードブック）の中から最適なウェイト行列を選択して、基地局（eNode B）へインデックス（PMI：Precoding Matrix Indicator）をフィードバックする、コードブックベースのプリコーディングが用いられる（図1）[11]。

LTE Rel.8では、帯域幅360kHz～1.44MHzで構成されるサブバンドごとに、独立にプリコーディングウェイトを選択する周波数選択性プリコーディングと、全送信帯域で共通の



\*5 **64QAM**：無線などで用いられるデジタル変調方式の1つ。位相と振幅の異なる64種類の状態を用いて、データ伝送に用いる。QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）や16QAMに比べて1回の送信当りのデータ量（6bit）が多い。

\*6 **送信ダイバーシティ**：送信アンテナ間のチャンネルの変動の違いを利用してダイバーシティ利得を得る技術。

\*7 **チャンネル情報**：送受信間の無線チャンネル

を通過する際に送信信号が受ける減衰、位相回転および遅延に相当する値を表すパラメータ。

\*8 **受信SINR**：受信信号のうち、所望信号の電力と、それ以外の同一セル内のユーザ間干渉および他セル/他セクタからの干渉および熱雑音の電力和の比を表す。

\*9 **チャンネル行列**：各送信アンテナと受信アンテナ間の伝搬路（チャンネル）の振幅および位相の変動量で構成される行列。

\*10 **共分散行列**：各変数の分散を対角成分とし、その他の要素はそれぞれ2つの変数の変動方向（正・負）の相関を表す行列。

\*11 **量子化**：デジタル通信において、アナログデータの振幅および位相量を離散的なデジタルの値で近似すること。デジタルデータに変換する際、何段階で表すかによって情報品質に影響がでる。

プリコーディングウェイトを用いる広帯域プリコーディングが採用されている[12]。UEにおける復調処理のためのチャンネル推定<sup>\*12</sup>およびプリコーディングウェイト行列の選択には、各アンテナから送信される、セル固有の参照信号（Cell-specific RS：Cell-specific Reference Signal）を用いて行う。したがって、eNode BがPDSCHの送信に用いたプリコーディングウェイト情報を、下りリンク制御チャンネル（PDCCH：Physical Downlink Control Channel）によりUEに通知し、UEは通知されたプリコーディングウェイト情報を用いて復調を行うように、動作が規定されている。

また、LTE Rel.8では、受信SINRおよびアンテナ間のフェージング相関<sup>\*13</sup>などのチャンネル状態に応じて、送信レイヤ数（ランク）を適応的に制御するランクアダプテーションが適用される（図2）。UEはeNode Bに対して、チャンネル品質情報（CQI：Channel Quality Indicator）に加えて、最適なランク情報（RI：Rank Indicator）および前述のPMIを

フィードバックし、eNode Bはこの情報に基づき、動的に各UEへの送信レイヤ数の制御を行う。

(2)開ループMIMO多重・送信ダイバーシチ

低速移動環境では閉ループ制御のプリコーディングが有効であるが、高速移動環境では、制御遅延により、閉ループ制御のチャンネル変動に対する追従精度は劣化する。このような場合、PDSCHに対しては、チャンネル情報のフィードバックを必要としない開ループ制御のMIMOチャンネル伝送の適用が有効である。閉ループMIMOの場合と同様にランクアダプテーションが適用されるが、ランクが1の場合は開ループ送信ダイバーシチが適用される。具体的には、2アンテナ時は、SFBC（Space Frequency Block Code）<sup>\*14</sup>が、4アンテナ時は、SFBCとFSTD（Frequency Switched Transmit Diversity）<sup>\*15</sup>の組合せ（以下、SFBC+FSTD）が用いられる。これは、SFBCおよびSFBC+FSTDがCDD（Cyclic Delay Diversity）<sup>\*16</sup>などの他の送信ダイバーシチ法と比較して、

アンテナ間のフェージング相関によらずダイバーシチ利得が高く、所要受信SINRを最も低減できるためである。一方、ランクが2以上のPDSCHの送信時は、チャンネル変動に依存しない固定のプリコーディングを適用する。この場合、巡回シフト<sup>\*17</sup>（Cyclic shift）をプリコーディング乗算部の前段に施し、プリコーディングウェイトを周波数領域において切り替えることにより、レイヤ間の受信SINRを平均化する[9]。

(3)適応ビームフォーミング<sup>\*18</sup>

従来より、アンテナ高の高い基地局で、アンテナ間隔を半波長程度に狭く配置した複数アンテナを用いる適応ビームフォーミングが検討されている。この場合、上りリンクで推定したUEの到来方向（DoA：Direction of Arrival）あるいは共分散行列を基に、下りリンクでコードブックによらない送信ウェイトを用いてビームフォーミングを行う。LTE Rel.8ではこの適応ビームフォーミングをサポートするためのチャンネル推定用RSとして、UE固有のRS（UE-specific RS）が定義されている[9]。UE-specific RSは、Cell-specific RSと異なり、各UE向け信号に乗算されるウェイトと同一のウェイトがRSに乗算されて送信されるため、UE側で復調する際にeNode Bで適用されたプリコーディングウェイト情報の通知を必要としない特徴を有する。しかしながら、LTE Rel.8ではセル当り1レイヤ送信までしかサポ

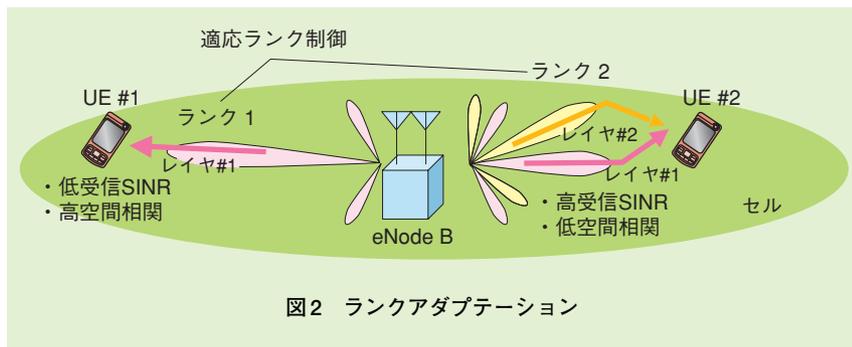


図2 ランクアダプテーション

\*12 **チャンネル推定**：信号が無線チャンネルを経由した際に受けた減衰量および位相回転量などを推定すること。得られた推定値（チャンネル情報）は、受信側でMIMOの信号分離やデータ復調およびフィードバックするチャンネル情報の算出などに用いられる。

\*13 **フェージング相関**：本稿では、MIMO伝送に用いる異なるアンテナ間のフェージング変動の相関を表す指標。

\*14 **SFBC**：送信ダイバーシチ技術の1つで、2つの送信アンテナの隣接するサブキャリア間でAlamouti符号化を用いて、周波数およびアンテナ間の符号化を行うことにより、最大比合成に相当するダイバーシチ利得を得る方式。

\*15 **FSTD**：送信ダイバーシチ技術の1つで、2つ以上の送信アンテナを用いるときに、サブキャリアごとにアンテナを切り替えて送信することにより、ダイバーシチ利

得を得る方式。

\*16 **CDD**：送信ダイバーシチ技術の1つで、送信アンテナ間で同一のデータ信号に異なる巡回遅延量を付与して送信することにより、シンボル間干渉を回避しながら、周波数ダイバーシチを得る方式。

\*17 **巡回シフト**：送信信号に対して、サブキャリアごとに一定間隔の異なる位相回転を施すこと。

ートされておらず、また、FDD (Frequency Division Duplex) <sup>\*19</sup>ではUEのオプション機能であるため、適用効果は限定される。

## 2.2 上りリンク MIMO 技術

LTE Rel.8の上りリンクにおいては、UEの送信回路構成の簡易化および低消費電力化のため、1レイヤ送信のみが採用されている。これは、20MHz送信帯域幅、64QAM変調を用いることにより、SU-MIMOを用いなくても、LTE Rel.8の目標データレート50Mbit/s以上のピークデータレートを実現できるためである。ただし、LTE Rel.8の上りリンクにおいては、システム容量増大のため、eNode Bにおいて複数の受信アンテナを用いたマルチユーザ (MU: Multi-User) MIMOが可能である。具体的には、eNode Bにおいてユーザ間の信号分離処理を行うため、チャンネル推定用の参照信号であるDemodulation RSに対して、UE間で異なるCAZAC (Constant Amplitude Zero Auto-Correlation) 系列<sup>\*20</sup>のCyclic shiftを割り当てることにより、複数UE間のDemodulation RSの直交化<sup>\*21</sup>が行えるよう規定されている[9]。

## 3. LTE-Advanced における MIMO 技術

### 3.1 下りリンク 8レイヤ SU-MIMO 技術

LTE-Advancedのピーク周波数利

用効率は30bit/s/Hzを目標としている。これを実現するためには、より多数のアンテナを用いる高次のMIMO多重が必要である。したがって、LTE-Advancedの下りリンクでは、最大8レイヤのMIMO多重伝送まで拡張することが合意された[6]。送信レイヤ数は、ランクアダプテーションにより選択する。最大8レイヤをサポートするための、無線インタフェースにかかわる最も重要な課題は、CQI測定およびPDSCHの復調に用いるRS構成である。

#### (1)CSI (Channel State Information)-RS

まず、CQI測定のため、LTE Rel.8における最大4アンテナのCell-specific RSに加えて、最大8アンテナ分のCSI-RSが新たに規定されている。しかしながら、LTE-Advancedでは、LTE Rel.8とのバックワードコンパチビリティのため、同一帯域内でLTE Rel.8のUEをサポートする必要があり、追加したCSI-RSがLTE Rel.8のUEのPDSCHに与える干渉の影響を最小限に抑える必要がある。このため、CSI-RSは、Cell-specific RSに比較して複数サブフレームごとに1回程度の長い周期で多重される(図3)。これは、復調に求め

られるチャンネル推定精度<sup>\*22</sup>と比較してCQI測定に求められる精度が低く、フィードバック周期ごとに1回程度CSI-RSを送信すれば、所望のCQI測定の精度が得られるためである。さらに、LTEとの補完的な展開のために、より高速なサービスを提供するLTE-Advancedは、主に低速移動環境への適用が想定されていることも、理由の1つである。

#### (2)UE-specific RS

最大8レイヤのMIMO多重の復調のため、CDM (Code Division Multiplexing) <sup>\*23</sup>とFDM (Frequency Division Multiplexing) <sup>\*24</sup>のハイブリッド多重法を用いるUE-specific RSがMIMO多重伝送用に拡張される(図4)。各レイヤ数における具体的なUE-specific RSの構成法を図5に示す。LTE-Advancedでは、適応ビームフォーミングに加えてMIMO多重に拡張するため、LTE Rel.8のUE-specific RSとは全く異なり、送信レイヤ間の多重に時間・周波数の2次元の直交CDMを適用するなど、MIMO多重に最適化した構成となっている[7]。

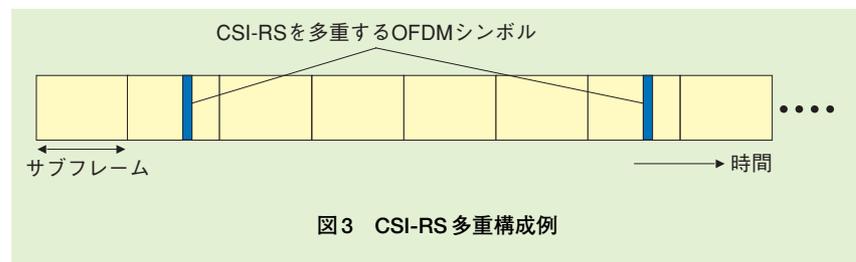


図3 CSI-RS 多重構成例

\*18 ビームフォーミング：複数のアンテナの振幅および位相の制御によってアンテナに指向性パターンを形成し、特定方向に対するアンテナ利得を増加/減少させる技術。

\*19 FDD：周波数分割複信、無線通信などで同時送受信を実現する方式の1つで、異なる周波数にて送信と受信を同時に行う方式。

\*20 CAZAC 系列：巡回シフトを用いる直交

拡散系列の1つで、自己相関および相互相関特性に優れ、さらに時間および周波数の両領域において一定振幅であり、PAPR (\*28参照)が小さい特徴を有する。

\*21 直交化：同一の無線システム帯域内において、複数個の信号系列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。

\*22 チャンネル推定精度：パケットフレームごとにデータ信号に多重したRSを用いて

行うチャンネルの振幅および位相の変動の推定精度。

\*23 CDM：同一の無線システム帯域内において、複数個の信号系列を送信する際に、互いに異なる直交拡散系列を用いて多重すること。

\*24 FDM：同一の無線システム帯域内において、複数個の信号系列を送信する際に、互いに異なる周波数を用いて多重すること。

### 3.2 下りリンク MU-MIMO 技術

LTE-AdvancedではLTE Rel.8と比較して、ピークデータレートだけでなく、システム容量およびセル端ユーザスループットのさらなる増大が必要となる。MU-MIMOは、これらの要求条件を満たすための重要な技術である[13]。MU-MIMOおよび

後述のCoMP送信では、eNode B側で送信レイヤ間の干渉低減のための適応ビーム送信（Zero-Forcing<sup>\*25</sup>、ブロック対角化<sup>\*26</sup>など）や適応送信電力制御<sup>\*27</sup>、複数セル同時送信などのさまざまな高度信号処理技術が適用されている。これらの高度な送信技術を適用した場合、前述のUE-specific RSを、PDSCHとともに送信

することにより、UEはeNode Bが適用した送信技術の情報をいわずにPDSCHを復調することができ、下りリンクの高度な送信技術の適用の自由度を高めている。一方、これらの高度な送信技術を適用するため、PMI/CQI/RIフィードバックの拡張が必要であり、現在3GPPにおいてさかんに議論されている。

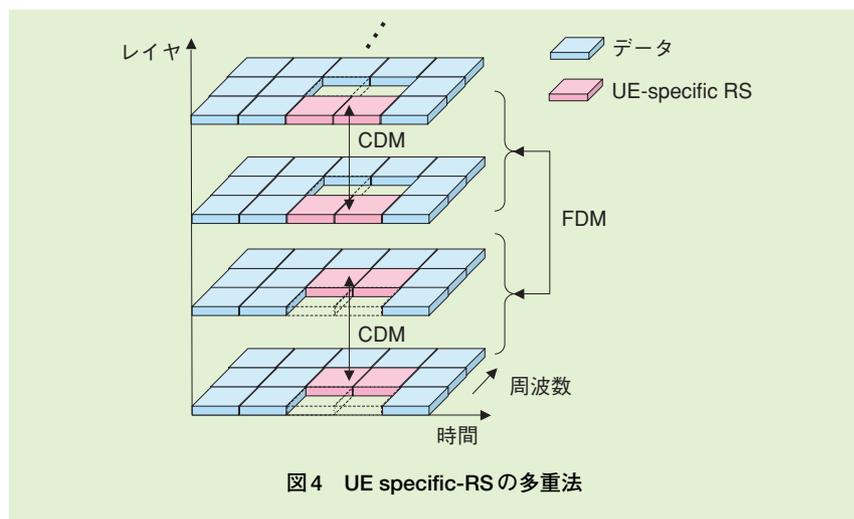


図4 UE specific-RSの多重化

### 3.3 上りリンク SU-MIMO 技術

LTE Rel.8における下りリンクと上りリンクで実現できるピークデータレートの差を低減するため、LTE-Advancedの上りリンクでは、15bit/s/Hzという高いピーク周波数利用効率の目標値が規定されている。このため、最大4送信アンテナを用いたSU-MIMOのサポートが合意されている。特に、2送信アンテナのSU-MIMO機能は、IMT-Advanced

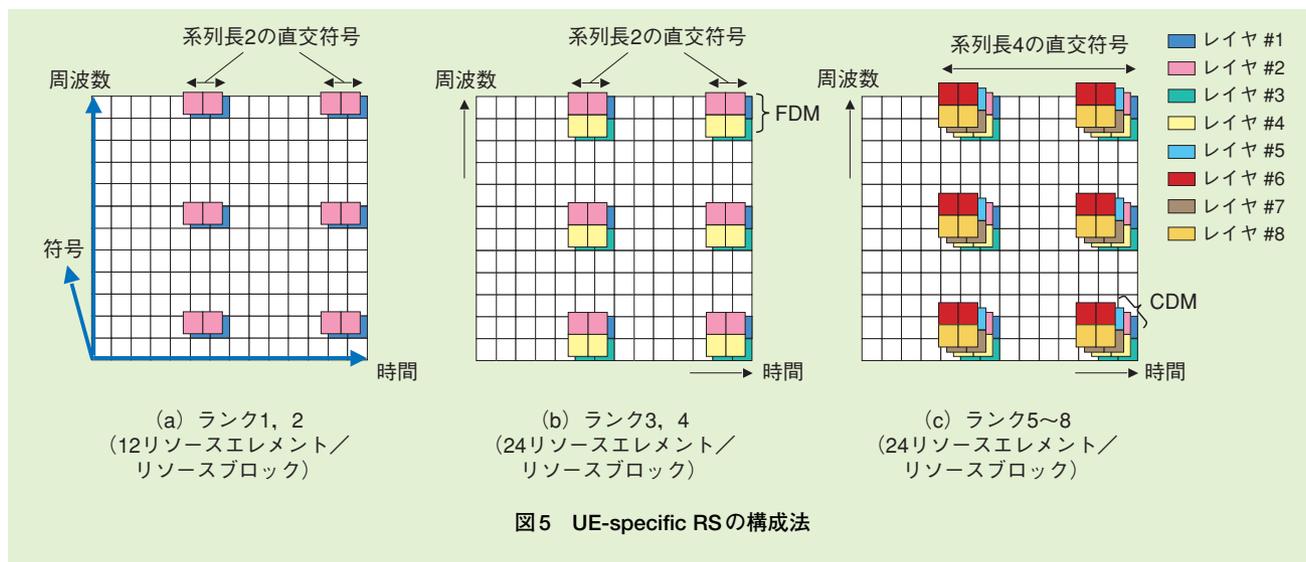


図5 UE-specific RSの構成法

\* 25 Zero-Forcing：送信側において、プリコーディングあるいはビームフォーミングを行う際に、チャネル行列の一般逆行列を用いて、ユーザ間干渉が完全に0となるような重み係数を生成する方法。

\* 26 ブロック対角化：送信側において、プリコーディングあるいはビームフォーミングを行う際に、チャネル行列の特異値分解を用いて、ユーザ間干渉が完全に0となるような重み係数を生成する方法。

\* 27 適応送信電力制御：MU-MIMOやセル間協調送受信を行う際に、各アンテナおよびセルごとの送信電力をチャネル状態に基づいて、適応的に制御して信号伝送を行うこと。

のピーク周波数利用効率の要求条件を満たすために必須である。

上り共有チャネル（PUSCH：Physical Uplink Shared Channel）へは、UEにおける複数送信アンテナを用いた閉ループ制御のMIMO多重の適用が合意されており、下りリンクと同様、コードブックに基づくプリコーディングおよびランクアダプテーションが適用される。eNode Bは、UEが送信したチャネル品質測定用の参照信号であるSounding RSを基に、各レイヤのスループットが最大となる最適なプリコーディングウェイトをコードブックの中から選択する。選択されたプリコーディングウェイトは、PDCCHを用いてリソース割当て情報とともにUEに通知される。ランク1におけるプリコーディングはアンテナ利得の増大に寄与するため、セル端ユーザスループットの増大に有効である。しかしながら、制御情報のオーバーヘッドおよびピーク対平均電力比（PAPR：Peak-to-Average Power Ratio）<sup>\*28</sup>の増大を考慮すると、周波数選択性プリコーディングによるスループットの増大効果は小さいため、広帯域プリコーディングのみ採用されている。また、4送信アンテナ時においてランクが2以上の場合は、PAPRが増大しないように設計されたコードブックが用いられる[7]。チャネル推定に用いるDemodulation RSについては、ユーザデータの信号に乗算されるプリコーディ

ングウェイトと同一のウェイトが乗算されて送信される。レイヤごとに異なるCyclic shiftを適用して直交化することが基本とされているが、ブロック拡散<sup>\*29</sup>を用いたコード領域の直交化の併用も検討されている[14]。

### 3.4 上りリンク送信ダイバーシチ技術

PUSCHへは、前述のSU-MIMOと同様、閉ループ制御の送信ダイバーシチが適用される。また、上りリンク制御チャネル（PUCCH：Physical Uplink Control Channel）への送信ダイバーシチの適用も検討されている。再送要求（ACK（Acknowledgement）/NAK（Negative ACK））信号およびスケジューリングリクエスト信号の送信へは、アンテナ間で異なるリソースブロックあるいは直交する符号系列（Cyclic shift, ブロック拡散系列）を用いるSORTD（Spatial Orthogonal-Resource Transmit Diversity）[15]の適用が合意されている（図6）。しかしながら、LTE-Advancedでは、LTE Rel.8のUEがセル端にお

いて所要の品質となるようにセル設計<sup>\*30</sup>を行う必要があるため、制御チャネルに対する送信ダイバーシチの適用はカバレッジエリア<sup>\*31</sup>の増大には寄与せず、所要送信電力の低減にのみ有効である[16]。

## 4. CoMP技術

### 4.1 マルチセル協調送受信

下り/上りリンクにおけるセル内直交化の実現は、LTE Rel.8におけるキャパシティおよびセル端ユーザスループットの要求条件の実現に寄与している。下りリンクにおいては、同時接続するUE間は周波数領域において直交化される。一方、上りリンクにおいては、周波数領域およびCyclic shiftまたはブロック拡散を用いたコード領域において直交化される。しかしながら、セル間の干渉制御に関しては、準静的な制御によるセル端の部分周波数繰返し<sup>\*32</sup>の適用も可能ではあるが、LTE Rel.8においては、ランダム化がベースである。このために、LTE Rel.8におけるセル内直交化をセル間に拡張[17]するため、LTE-Advancedにおいて

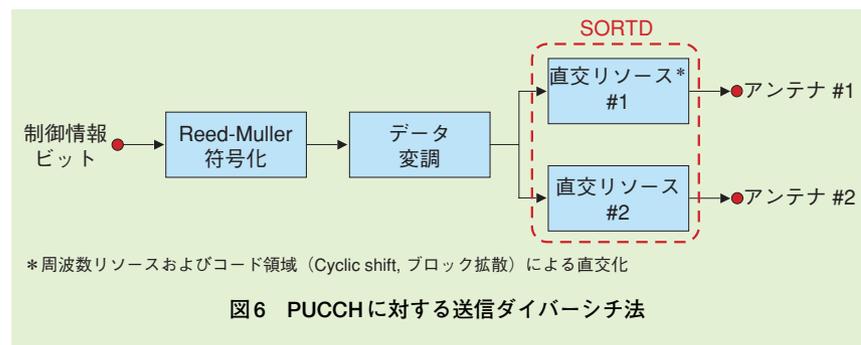


図6 PUCCHに対する送信ダイバーシチ法

\*28 ピーク対平均電力比（PAPR）：送信波形のピークの大きさを表す指標であり、最大電力と平均電力の比。これが大きいと、信号歪みを避けるために送信側のパワーアップのバックオフを大きくする必要があり、特に移動端末において問題となる。

\*29 ブロック拡散：同一の送信信号系列を複数の送信シンボル間にわたり、直交拡散符号を用いて拡散を行うこと。

\*30 セル設計：1つの基地局が担当するエリアをセルと呼び、複数のセルを用いて所望のサービスエリアをいかにしてカバーするかを設計すること。

\*31 カバレッジエリア：1基地局当りのUEとの通信を行うことができるエリア（セル半径）。カバレッジが大きいほど設置する基地局数を低減できる。

\*32 部分周波数繰返し：セル端UEに対して異なる周波数帯域を割り当てる制御方法。

は、Rel.11以降における検討技術として、1つあるいは複数のUEに対して複数のセルが協調して送受信の信号処理を行うCoMP技術の検討が行われる予定である。

## 4.2 独立eNode B構成およびリモート基地局構成

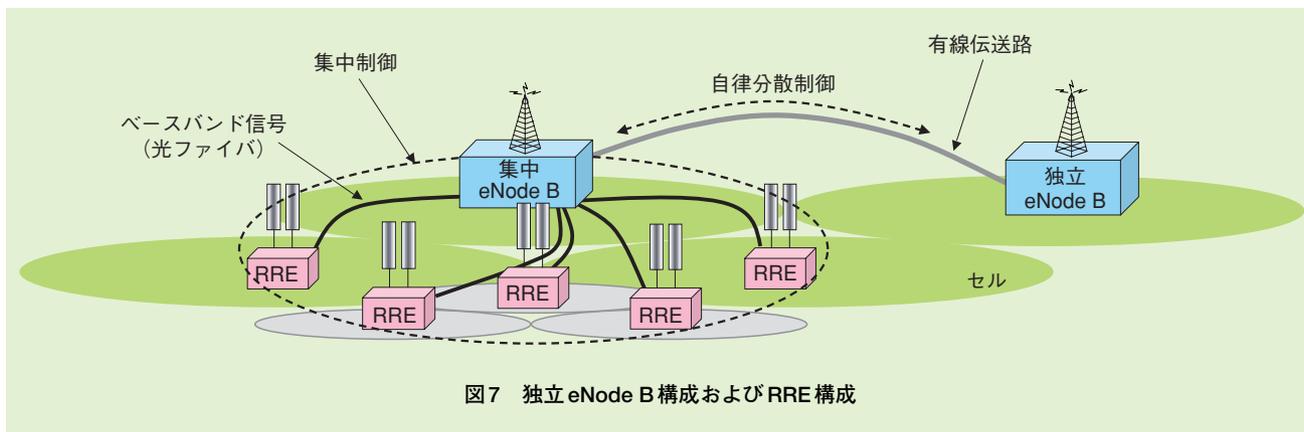
CoMP技術を実現する方法として、独立eNode B構成に基づく自律分散制御およびリモート基地局(RRE: Remote Radio Equipment)構成に基づく集中制御の2つがある(図7) [17]。独立eNode B構成では、eNode B間の有線伝送路によるシグナリングを利用して、セル間の協調を行う。通常のセル構成で適用できるが、有線伝送路上のシグナリングの遅延やオーバーヘッドが課題であり、シグナリングの高速化や、UEを経由した高速なシグナリングの適用などを検討する必要がある。RRE構成では、複数のRREのベースバンド<sup>\*33</sup>信号処理および制御を行う集中eNode Bと各セルすなわちRREと

の間が、光ファイバを用いたベースバンド信号で接続されるため、セル間の無線リソース制御を集中eNode Bにおいて一括して行うことができる。すなわち、独立eNode B構成で問題となるeNode B間のシグナリングの遅延やオーバーヘッドの問題が小さく、セル間の高速な無線リソース制御が比較的容易となる。ただし、大容量の光ファイバが必要であり、かつ、接続されるRRE数が増えるほど集中eNode Bの処理負荷が増大するため、適用には制約がある。このため、図7に示す例のように、独立eNode B構成に基づく分散制御とRRE構成に基づく集中制御の両方を適切に用いることが重要であり、LTE-Advancedに向けては両方が検討されている。

## 4.3 下りリンクマルチセル協調送信

下りリンクマルチセル協調送信はCS/CB (Coordinated Scheduling/ Coordinated Beamforming) および

Joint processingの2つに大別される(図8) [18][19]。CS/CBでは、図8(a)に示すように、あるUEに対して、あるサブフレームに1つのセルから送信が行われ、他セルのUEに与える干渉を低減するようにセル間で協調したビームフォーミングおよびスケジューリングが行われる。一方で、Joint processingでは、図8(b-1), (b-2)に示すように、あるUEに対して複数のセルから同じ時間・周波数の無線リソースを用いて同時に送信が行われるJoint transmissionおよび他セルへの干渉も考慮して瞬時のセル選択を行うDynamic cell selectionについて、検討が行われている。Joint transmissionでは、OFDM信号のソフト合成受信を利用するノンコヒーレント送信と、セル間にまたがるプリコーディングを行い、受信点において信号の同相合成を実現するコヒーレント送信の2方法の検討が行われている。



\* 33 ベースバンド：無線通信の送信側および受信側において、無線周波数帯に変換する前/後の情報信号の帯域のこと。普通は低い周波数帯である。

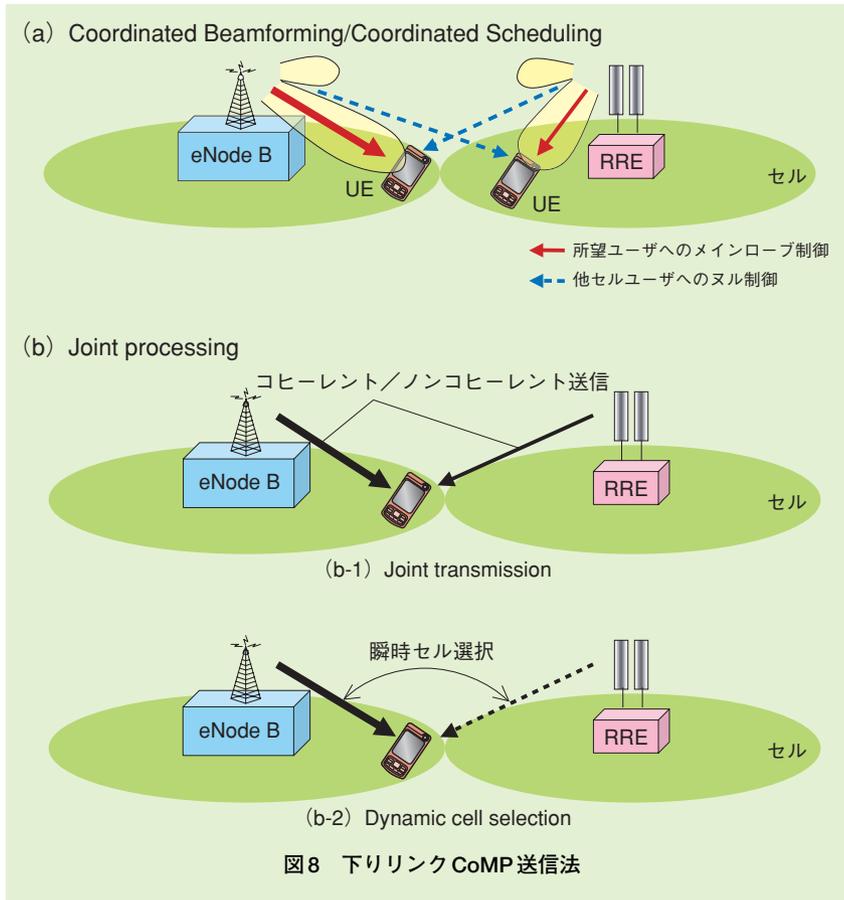


図8 下りリンク CoMP 送信法

#### 4.4 上りリンクマルチセル受信

上りリンクマルチセル受信では、UEからの信号を複数のセルで受信し、合成を行う。下りリンクと異なり、UEはマルチセル受信が行われているかどうかを意識する必要がないため、無線インターフェース仕様に与える影響は小さいと考えられる。

### 5. あとがき

本稿では、3GPPにおいて、Rel.8として標準仕様が完成したLTEおよびRel.10 and beyondとして現在標準

化が進められているLTE-Advancedに適用されるMIMOおよびCoMP技術について概説した。

今後は、Rel.10 MIMO技術の標準仕様完成に向け、RSおよび制御シグナリングの詳細検討を行うとともに、実用に向けたアンテナ構成やスケジューリング法など、実装技術課題についての検討を行う必要がある。また、CoMP技術は、LTE-Advancedへの導入による適用環境、効果も含めて、今後も継続して検討される予定である。

#### 文献

- [1] 3GPP TS36.201 V8.3.0 : "LTE physical layer - general description," Mar. 2009.
- [2] 中村, ほか: "3GPP LTE/SAE標準化仕様完成における活動と貢献," 本誌, Vol.17, No.2, pp.36-45, Jul. 2009.
- [3] 3GPP TS36.201 V9.1.0 : "LTE physical layer - general description," Mar. 2010.
- [4] 岩村, ほか: "LTEのさらなる発展 -LTE Release 9-, " 本誌, Vol.18, No.1, pp.48-55, Apr. 2010.
- [5] 3GPP RP-080138 : "Proposed workplan for SI: LTE-Advanced," Mar. 2008.
- [6] 3GPP TR36.913 V9.0.0 : "Requirements for further advancements for E-UTRA (LTE-Advanced)," Dec. 2009.
- [7] 3GPP TR36.814 V2.0.1 : "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) ; Further advancements for E-UTRA Physical layer aspects," Mar. 2010.
- [8] 3GPP RP-091429 : "Work Item Description: Enhanced Downlink Multiple Antenna Transmission," Dec. 2009.
- [9] 3GPP RP-091430 : "Work Item Description: Uplink Multi-Antenna Transmission," Dec. 2009.
- [10] E. Biglieri, R. Calderbank, A. Constantinides, A. Goldsmith, A. Paulraj, H. Vincent Poor : "MIMO Wireless Communications," Cambridge University Press, 2007.
- [11] 3GPP TS36.211 V8.9.0 : "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) ; Physical channels and modulation," Dec. 2009.
- [12] 3GPP TS36.213 V8.8.0 : "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) ; Physical layer procedure," Sep. 2009.
- [13] TU-R Document 5D/496-E : "An initial technology submission of 3GPP LTE Release 10 & beyond (LTE-Advanced) under Step 3 of the IMT-Advanced

- process,” Jun. 2009.
- [14] 3GPP R1-074865, Nokia Siemens Network, Nokia : “UL DM RS for Multi-bandwidth Multi-user MIMO,” Nov. 2007.
- [15] 3GPP R1-091211, LG Electrics : “PUCCH TxD Schemes for LTE-A,” Mar. 2009.
- [16] 3GPP R1-093508, NTT DOCOMO : “UL Transmit Diversity Schemes in LTE-Advanced,” Aug. 2009.
- [17] 丹野 元博, 岸山 祥久, 田岡 秀和, 三木 信彦, 樋口 健一, 佐和橋 衛 : “LTE-Advancedの無線インタフェースの要求条件および無線アクセス技術,” 信学技報, RCS2008-136, pp.37-42, Nov. 2008.
- [18] M. K. Karakayali, G. J. Foschini and R. A. Valenzuela : “Network coordination for spectrally efficient communications in cellular systems,” IEEE Wireless Commun. Mag., Vol.13, No.4, Aug. 2006.
- [19] J. G. Andrews, W. Choi and R. W. Heath Jr. : “Overcoming Interference in Spatial Multiplexing MIMO Cellular Networks,” IEEE Wireless Commun. Mag., Vol.14, No.6, pp.95-104, Dec. 2007.