

# LTE-Advanced 技術紹介 ホワイトペーパー

LTE 技術は、2009 年末から各国で次々と商用化されましたが、ITU-Advanced の要件を満たすために、さらに進化し続けています。本書では、LTE-Advanced と呼称される 3GPP Release 10 で規定された拡張部分を概説いたします。

# 目次

1	はじめに.....	4
2	LTE-Advanced 要件 .....	6
3	LTE-Advanced の技術要素 .....	8
3.1	LTE-Advanced の UE カテゴリ.....	8
3.2	バンド・アグリゲーション .....	9
3.2.1	周波数配置シナリオ .....	11
3.2.2	UE 帯域幅クラス.....	13
3.2.3	クロスキャリア・スケジューリング .....	15
3.2.4	マルチセルの HARQ ACK/NACK 処理手順, PUCCH フォーマット 3 .....	17
3.2.5	U-plane (User plane) .....	18
3.2.6	C-plane (Control plane).....	19
3.3	拡張マルチアンテナ技術.....	19
3.3.1	DL (ダウンリンク).....	21
3.3.1.1	DL 空間多重化のためのレイヤマッピング .....	21
3.3.1.2	DL リソースのスケジューリング, TM9 (Transmission Mode 9).....	23
3.3.1.3	DL リファレンス・シグナル構造 .....	24
3.3.2	UL (アップリンク) .....	25
3.3.2.1	UL 空間多重化のためのレイヤマッピング .....	25
3.3.2.2	UL リソースのスケジューリング, TM2 (Transmission Mode 2).....	28
3.4	高度化 UL 送信スキーム .....	30
3.4.1	PUCCH と PUSCH の同時送信 .....	30
3.4.2	マルチクラスタ送信 .....	31
3.4.2.1	マルチクラスタ化送信のスケジューリング .....	31
3.5	eICIC (Enhanced Inter-cell Interference Coordination) 拡張セル間干渉制御 .....	32
3.6	リレー化 (Relaying) .....	35
3.6.1	エア・インタフェース .....	36
3.6.2	RN からネットワークへのアタッチ .....	37
4	まとめ.....	38
5	付録.....	39

---

5.1	LTE-Advanced 周波数バンド .....	39
6	参考文献.....	40
7	追加情報.....	41

# 1 はじめに

3GPP (3rd Generation Partnership Project) における LTE (Long Term Evolution) の標準化は、成熟期に達しました。仕様の変更点は、修正とバグフィックスに限定されています。2009 年末以降、GSM (Global system for mobile communications) と UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) の自然な発展として、LTE モバイル通信システムが展開されてきました。

ITU (International Telecommunication Union) は、IMT-2000 (International Mobile Telecommunications) を超える能力をもつモバイルシステムを表す IMT-Advanced という用語を新たに作り出しました。特に、データレート要件が高められました。高度なサービスとアプリケーションに対応するため、高速移動時には 100 Mbps、低速移動時には 1 Gbps のモビリティを実現する必要があります。2009 年に、3GPP は IMT-Advanced の要件を満たすために必要な LTE の改良部分の特定を目的とした研究に取り組んできました。2009 年 9 月、3GPP は、IMT-Advanced の候補として LTE Release 10 以降 (LTE-Advanced) を ITU へ正式に提案しました。2010 年 10 月、LTE-Advanced は IMT-Advanced の要件以上に適合するとして、ITU-R で第 4 世代(4G)技術に承認されました。IMT-Advanced の提唱に LTE を協調させる主な理由として、技術的要件を達成することに加えて、IMT 適合システムがまだ特定されていない将来の新たなスペクトラム帯域の候補となることがあげられます。これにより、現在展開されている LTE モバイルネットワークが長年にわたる商用サービスへと進化していく道筋を確保することができます。本書は、[3]および最終的に規定された 3GPP RAN 仕様に基づいた LTE-Advanced の機能を要約します。

第2章では、IMT-Advanced要件の概要を説明し、第3章は、主な技術要素(図1参照)をまとめています。第3.1章は、すべてのLTE-Advanced技術要素に共通する新たなUEカテゴリを紹介し、続いて

- 第3.2章 バンド・アグリゲーション
- 第3.3章 DLとULの拡張MIMOアンテナ技術
- 第3.4章 UL送信スキームの高度化
- 第3.5章 eICIC (拡張セル間干渉制御)
- 第3.6章 インテリジェントリレーノードの用途

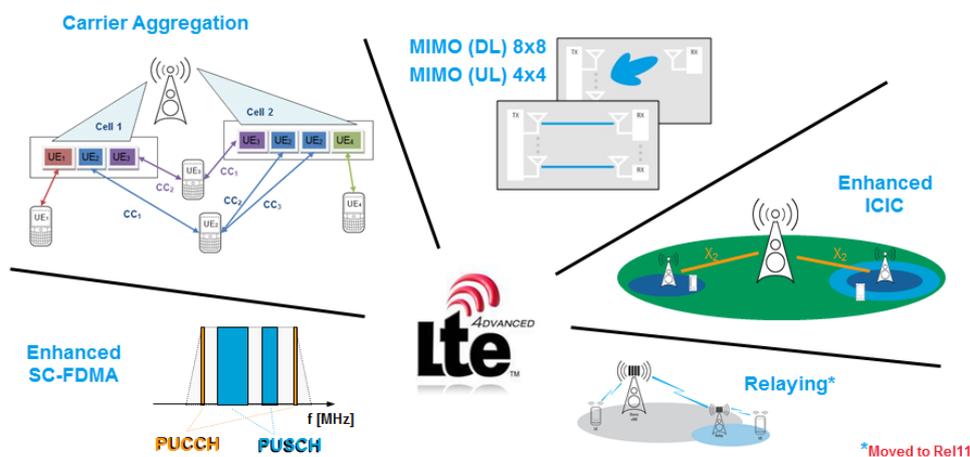


図 1: 主な LTE-Advanced 技術要素 (概要)

第4章は、本書のまとめで、第5章と第6章の付録は、LTEの周波数バンドの要約と参考文献を記載しています。

本書は、3GPP Release 8で規定されたLTE技術の基本知識を前提としています。LTE技術については、[1]にわかりやすくまとめられています。

## 2 LTE-Advanced 要件

3GPP は、IMT-Advanced システムに対する ITU の要件に基づき、LTE-Advanced 要件をまとめた技術レポート[4]を作成しました。無線インタフェース技術を対象にしたサーキュラレターで説明されている IMT-Advanced の主要機能は以下のとおりです。

- 幅広いサービスやアプリケーションを高いコストパフォーマンスでサポートする柔軟性を維持すると同時に、機能の高度な共通化をワールドワイドで実現
- IMT 内および固定ネットワークとのサービスの互換性
- 他の無線アクセスシステムとの相互運用能力
- 高品質なモバイルサービス
- ワールドワイドでの利用に向いている UE 端末
- 使いやすいアプリケーション、サービス、UE 端末
- 国際ローミング能力
- 高度なサービスとアプリケーションに対応するため、高速移動時には 100 Mbps、低速移動時には 1 Gbps のモビリティを実現するピークデータレートの向上

[4]に記述された LTE-Advanced 要件は以下のとおりです。一般的に、上記の IMT-Advanced 要件を満たすか、それを上回ることが必要です。さらに、既存の LTE 要件のすべてが、LTE-Advanced にも同様に適用されます。いくつかのカテゴリについては、明確な要件が設定されています。

### ピークデータレート

システムは、ダウンリンク(以下、DL) 1 Gbps とアップリンク(以下、UL) 500 Mbps のピークデータレートを達成することを目標とする。

### レイテンシ

C-Plane: アイドルモード(IP アドレス割当済み状態)から接続モードへの遷移時間は、ユーザプレーンの確立を含め、50 ms 未満であることを目標とする(S1 インタフェース伝送遅延を除く)。「休止状態」から接続モード(接続モードにおける DRX(間欠受信)サブステート)への遷移時間は、10 ms 未満であることを目標とする (DRX 遅延を除く)。

U-Plane: LTE-Advanced では、LTE Release 8 に比べて U-plane 低遅延を目標とする。

### スペクトラム効率

LTE-Advanced は、30 bps/Hz の DL(8x8 アンテナ構成)ピークスペクトラム効率と、15 bps/Hz の UL(4x4 アンテナ構成)ピークスペクトラム効率をサポートすることを目指しています。さらに、平均スペクトラム効率の目標は、表 1 により設定されています。平均スペクトラム効率は、全体の帯域幅をセル数で割ることで正規化された、全ユーザの累積スループット(一定時間内に正しく受信したビット数)として定義されています。

	アンテナ構成	目標 [bps/Hz/cell]
UL	1x2 / 2x4	1.2 / 2.0
DL	2x2 / 4x2 / 4x4	2.4 / 2.6 / 3.7

表 1: 平均スペクトラム効率の目標

### セル端に位置するユーザのスループット

LTE-Advanced では、セル端に位置するユーザのスループットはできるだけ高くなければなりません。セル端でのユーザスループットは、セル帯域幅の全体で正規化されたユーザスループットの累積密度関数(CDF)において 5 %ポイントと定義されます。セル端での性能の要件は、表 2 に示されています。

	アンテナ構成	目標 [bps/Hz/cell/user]
UL	1x2 / 2x4	0.04 / 0.07
DL	2x2 / 4x2 / 4x4	0.07 / 0.09 / 0.12

表 2: セル端ユーザスループットの目標

### VoIP キャパシティ

VoIP キャパシティは、LTE Release 8 に比べてすべてのアンテナ構成において改善されなければなりません。

### モビリティ(移動性)

モビリティ要件は、LTE Release 8 との比較として策定されました。システムは、携帯電話ネットワーク全域で、最高 350 km/h(周波数バンドによっては最高 500 km/h)の移動速度でのモビリティをサポートしなければなりません。LTE Release 8 に比べて、システム性能が 0 ~ 10 km/h 向上します。

### スペクトラムの柔軟性

LTE Release 8 で割り当てられているバンド(第 5.1 章を参照)に加えて、新たに、以下の周波数バンドが追加されました。

- 450-470 MHz バンド
- 698-862 MHz バンド
- 790-862 MHz バンド
- 2.3-2.4 GHz バンド
- 3.4-4.2 GHz バンド
- 4.4-4.99 GHz バンド

LTE-Advanced は、LTE Release 8 で割り当てられたスペクトラムよりも広いスペクトラムなど、さまざまな帯域幅のスペクトラムが割り当てられて運用されます。20 MHz よりも広帯域幅ソリューションは、スペクトラムが連続して配置されている必要があります。ただし、LTE-Advanced のスペクトラムのアグリゲーションは、UE 端末の複雑さにつながることを考慮する必要があります。また、既存のペア周波数バンドおよび非ペア周波数バンド、それぞれについて、FDD と TDD がサポートされている必要があります。

## 3 LTE-Advanced の技術要素

### 3.1 LTE-Advanced の UE カテゴリ

LTE-Advanced の技術要素とは関係なく、新たな UE カテゴリ 6, 7, 8 が、表 3 および表 4 に記述しているように LTE Release 10 に追加されました。

UE カテゴリ	Maximum number of DL-SCH transport block bits received within a TTI	Maximum number of bits of a DL-SCH transport block received within a TTI	Total number of soft channel bits	Maximum number of supported layers for spatial multiplexing in DL
...	...	...	...	...
6	301504	149776 (4 layers) 75376 (2 layers)	3654144	2 or 4
7	301504	149776 (4 layers) 75376 (2 layers)	3654144	2 or 4
8	2998560	299856	35982720	8

表 3: 新たな DL UE カテゴリ [11]

UE カテゴリ	Maximum number of DL-SCH transport block bits received within a TTI	Maximum number of bits of an UL-SCH transport block transmitted within a TTI	Support for 64QAM in UL	Total layer 2 buffer size [bytes]
...	...	...	...	...
6	51024	51024	No	3 300 000
7	102048	51024	No	3 800 000
8	1497760	149776	Yes	42 200 000

表 4: 新たな UL UE カテゴリ [11]

上記のカテゴリは、デバイス能力を拡張しなければなりません。例えば、カテゴリ 6 と 7 は、MIMO 2x2 や 4x4 をサポートすると、データレート 300 Mbps まで上がります。最高のカテゴリ 8 は、8x8 MIMO をサポートし、最大 5 つのコンポーネントキャリアをアグリゲートすると、3 Gbps のピークデータレートに達します。UL カテゴリ 8 は、4x4 MIMO と 64QAM 変調を活用すると、データレート 1.5 Gbps に達します。この UE カテゴリは IMT-Advanced 要件を大幅に超えていることに留意します。UE カテゴリは、ユーザデバイス能力の表記だけで、達成可能なデータレートの上限值として利用されます。UE 能力に関する詳細情報は、RRC レイヤ上のネットワークに通知されます。初期アタッチ処理手順は、LTE Release 8 から変化していません(図 2 を参照)。EPS ベアラセットアップ後に、UE 能力伝送中に、“スタンダードな”LTE Release 8 能力のトップに追加情報を供給することで、デバイスは LTE Release 10 対応として自身を識別します。これらの能力詳細や、特定周波数バンドのサポート(図 3 を参照)のような一般的な能力へのサポートに関しては、本書の次章に記述される LTE-Advanced の機能を参照してください。

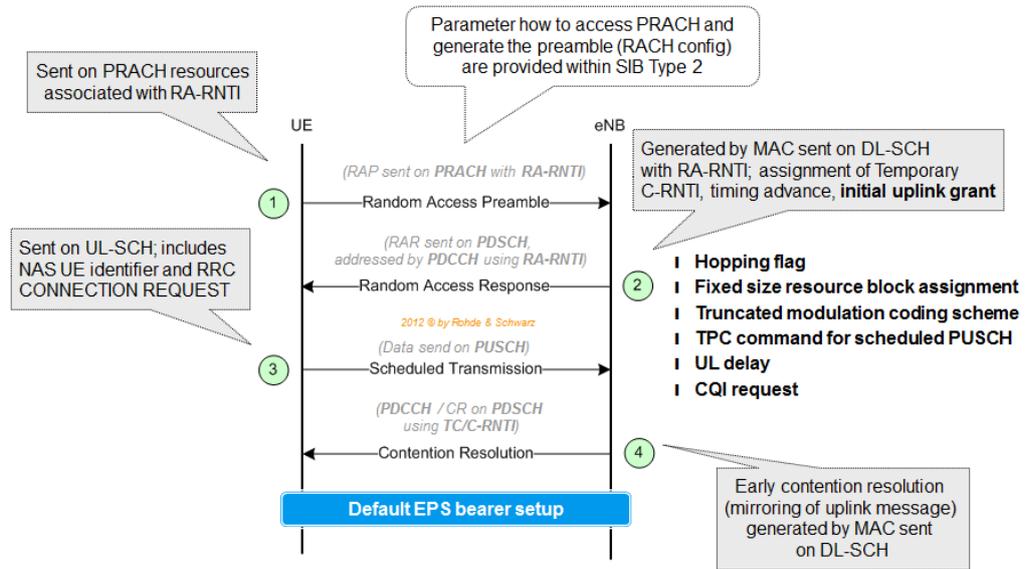


図 2: LTE アタッチ処理手順

```

-- ASN1START
...
UE-EUTRA-Capability-v1020-IEs ::= SEQUENCE {
  ue-Category-v1020                INTEGER (6..8)                OPTIONAL,
  phyLayerParameters-v1020         PhyLayerParameters-v1020    OPTIONAL,
  rf-Parameters-v1020              RF-Parameters-v1020         OPTIONAL,
  measParameters-v1020             MeasParameters-v1020        OPTIONAL,
  featureGroupIndicators-v1020    BIT STRING (SIZE (32))       OPTIONAL,
  interRAT-ParametersCDMA2000-v1020 IRAT-ParametersCDMA2000-1XRTT-v1020 OPTIONAL,
  ue-BasedNetwPerfMeasParameters-r10 UE-BasedNetwPerfMeasParameters-r10 OPTIONAL,
  interRAT-ParametersUTRA-TDD-v1020 IRAT-ParametersUTRA-TDD-v1020 OPTIONAL,
  nonCriticalExtension              SEQUENCE {}                  OPTIONAL
}
...
PhyLayerParameters-v1020 ::= SEQUENCE {
  twoAntennaPortsForPUCCH-r10      ENUMERATED {supported}    OPTIONAL,
  tm9-With-8TM-FDD-r10             ENUMERATED {supported}    OPTIONAL,
  pmi-Disabling-r10                ENUMERATED {supported}    OPTIONAL,
  crossCarrierScheduling-r10       ENUMERATED {supported}    OPTIONAL,
  simultaneousPUCCH-PUSCH-r10     ENUMERATED {supported}    OPTIONAL,
  multiClusterPUSCH-WithinCC-r10  ENUMERATED {supported}    OPTIONAL,
  nonContiguousUL-RA-WithinCC-List-r10 NonContiguousUL-RA-WithinCC-List-r10 OPTIONAL
}
...
2012 © by Rohde&Schwarz

```

図 3: UE-EUTRA 能力情報エレメント [12]

### 3.2 バンド・アグリゲーション

高いデータレート要件を達成する一つの可能性は、単純に複数の LTE キャリアをアグリゲート(集約)することです(図 4 を参照)。2 つ以上のコンポーネント・キャリア(以下、CC)をアグリゲートすることによって、最大 100 MHz の広帯域幅を利用することができます。各 CC は、最大 110 のリソースブロック(RB)をもちます。ただし、LTE-Advanced (3GPP Release 10) の導入初期では、CC のアグリゲーション(集約)を 2 つまでに限定する見込みです。すなわち、DL/UL の最大帯域幅は、FDD では 40 MHz です。バンド・アグリゲーション機能は、オペータネットワークが利用できるさまざまなスペクトラム割当てに柔軟に使用できるので、実際には、狭い帯域幅が最初に使用されるでしょう。個別のオペレータへの既存バンドの割り当ては、さまざまな周波数バンドのスペクトラム断片からなります。ゆえに、例えば、異なる 5 MHz 周波数バンドと 10 MHz 周波数バンドのような、アグリゲーションの可能性は、最高データレートを達成することと同じく重要です。

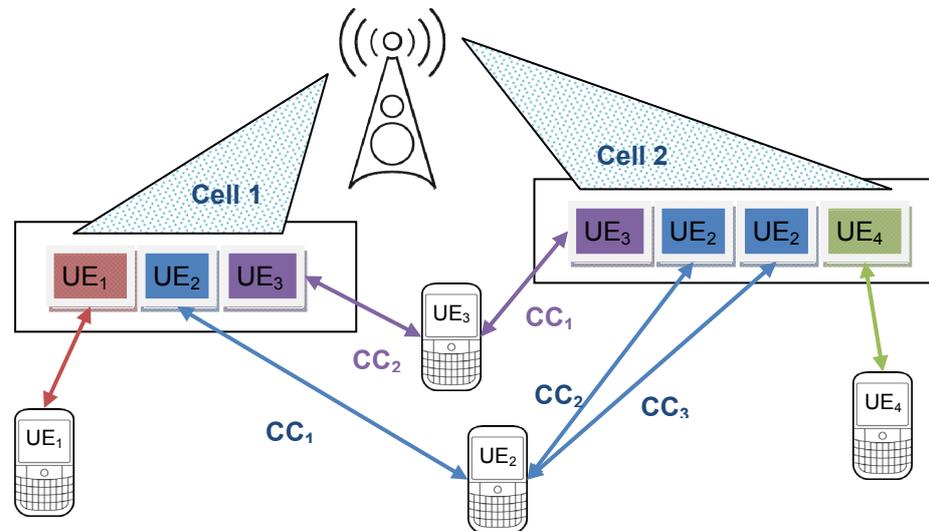


図 4: LTE-Advanced CC アグリゲーション

CC セットは UE 特有であり、常にプライマリ・コンポーネント・キャリア(PCC)上で、ネットワークとレジストレーションされます。増設帯域幅は、最大 4 つのセカンダリ・コンポーネント・キャリア(SCC)によって提供されます。DL SCC 上の PDCCH 割当ては、オプションですが、UL PCC だけが PUCCH を搬送します(図 5 を参照)。

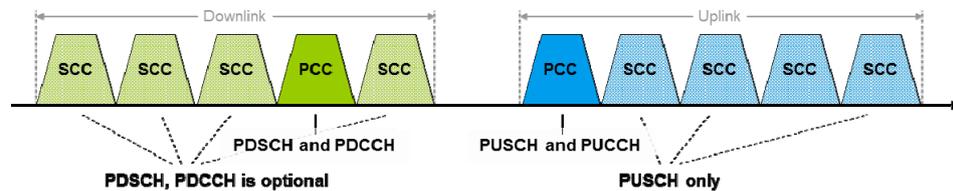


図 5: PCC と SCC 上のチャネル割当て

無線リンク・コントロール(RLC)レイヤ上で、割り当てられた CC 数とは関係なく、UE ごとに 1 回の接続があります。複数の CC は、メディアム・アクセス・コントロール(MAC)レイヤ上、すなわち eNodeB のスケジューラ内で処理されます。CC ごとに個別の HARQ 送信と確認応答があります。すべての UL の CC のための共通タイミング制御(1 回のタイミング・アドバンス(TA)コマンド)が適用されますが、各キャリアのための個々のパワー・コントロール(TPC コマンド)が実現されます。ハンドオーバーは PCC だけに適用され、RACH 処理手順もまた PCC 上で実行されます。UE は、個々の CC のためにレポートする個別のチャネル・ステート・インフォメーション(CSI)を供給します。LTE FDD では、非対称トラフィック要件に対処するために、DL CC は UL より多く割り当てられるでしょう。TD-LTE でのすべての CC は、同じ DL/UL タイムスロット構成を有することに留意してください。非対称トラフィックは、DL と UL それぞれの適切なタイムスロット数によって対処されるでしょう。

非対称 CC に関係なく、伝送およびチャネル品質のパラメータに関連するすべての情報をフィードバックするために、拡張 UL フィードバック・メカニズムが必要とされています。現在、ACK/NACK PUCCH フォーマット 1b が、チャネル・セレクションと共に拡張されました。

さらに新たな PUCCH フォーマット 3 が導入されました。既存の LTE Release 8 PUCCH フォーマットとは対照的に、それはもはや Zadoff-Chu 系列ではありません。新たな PUCCH フォーマットは、QPSK 変調を用いて、PUSCH 送信の一種以上です。直交カバークードは、多数の ACK/NACK ビットを送信するために適用されます。LTE TDD では 20 ビット、LTE FDD では 10 ビットです。([7], [8], [9] 詳細を参照)。2x2 MIMO を想定し最大 5 キャリアに対する ACK/NACK 送信が、つまり、最終的に CC ごとに送信される 2 つのコードワードのための 10 ACK/NACK ビットが、各キャリアに適用されることを可能とします。PUCCH フォーマット 3 に使用されるリソースは、UE に通知されます。

既存の LTE Release 8 端末をサポートするために、各 CC は、LTE Release 8 キャリアであるように構成できる必要があります。ただし、すべての CC が、必ずしも LTE Release 8 と互換性をもつ必要はありません。隣接する(Contiguous)および隣接しない(Non-contiguous) CC であろうとも、バンド内(Intra-band)およびバンド間(inter-band)であらうとも、キャリア・アグリゲーション(以下、CA)がサポートされます(図 6 参照)。オペレータそれぞれのニーズに合わせて、ヘテロジニアス・ネットワーク展開(第 3.5 章を参照)を含めて、幅広い柔軟なスペクトラム配置に対処できます。

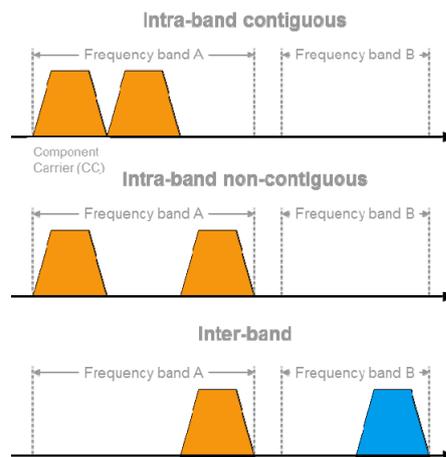


図 6: LTE-Advanced スペクトラム配置

### 3.2.1 周波数配置シナリオ

世界のさまざまな地域では、既存のテクノロジーが異なる周波数で展開されています。バンド・アグリゲーションは WCDMA/HSPA ネットワークでも使用されています。結果として、既存の技術から LTE/LTE-Advanced への移行には、非常に多様な進化のシナリオがあります。多くの異なるバンド組合せ数は、3GPP Release 10 期間中 RAN4 で規定され、限定されたキャリア周波数シナリオ数になりました。ここでは、今後のリリースに依存しない様式で、より実用的な関連性をもつシナリオを追加する前に、まず限定されたシナリオの要件をまとめることで合意しました。周波数バンドは一般的に他に無関係でリリースされることに留意してください。周波数バンドが特定されると、3GPP 仕様に加われます。UE は一般的に、以前の 3GPP Release セット(例えば Release 8)のみをサポートしている場合でも、以降の 3GPP Release (例えば Release 9)に追加された周波数バンドをサポートするかもしれません。3GPP RAN4 での初期の作業は、以下のバンド内(Intra band)およびバンド間(Inter band)のシナリオ(表 5 参照)に専念しました。

Intra band CA operating bands				
E-UTRA CA Band	E-UTRA Band	Uplink (UL) operating band	Downlink (DL) operating band	Duplex Mode
CA_1	1	1920 – 1980 MHz	2110 – 2170 MHz	FDD
CA_40	40	2300 – 2400 MHz	2300 – 2400 MHz	TDD
Inter band CA operating bands				
E-UTRA CA Band	E-UTRA Band	Uplink (UL) operating band	Downlink (DL) operating band	Duplex Mode
CA_1-5	1	1920 – 1980 MHz	2110 – 2170 MHz	FDD
	5	824 – 849 MHz	869 – 894 MHz	

表 5: 3GPP RAN4 [5]のバンド内とバンド間 CA の注カシナリオ

その後、別のワークアイテム数を表 6 に示すように、オペレータそれぞれに関連する周波数バンドの組合せで作業開始しました。報告者名が特定のバンド組合せに関心がある世界の地域を表します。重要な周波数バンドのイラストを提供するために、異なる周波数レンジがマークされています。LTE FDD モードの利用では、800 MHz 周波数バンドと 2 GHz 周波数バンドをアグリゲートすることに高い注目があり、2 GHz 周波数バンドと 2.6 GHz 周波数バンドをアグリゲートすることにも、いくらか注目がああります。LTE TDD モードでは、バンド内 CA だけに関する CA ワークアイテムが 2 つあります。1 つのワークアイテムだけが 2 つの UL キャリア周波数のケースに対応します。すなわち、他すべては UL CA を適用しません。

タイトル	700 - 900 MHz	1.5 – 1.6 GHz	1.8 – 2.1 GHz	2.6 GHz	報告者
<b>Intra band carrier aggregation (2DL, 1UL)</b>					
LTE-A CA in B7				✓	China Unicom
LTE-A CA of B38 (TD-LTE)				✓	Huawei
LTE-A CA of Band 41 (TD-LTE)				✓	Clearwire
LTE-A CA in B3			✓		SK Telecom
LTE-A CA in B25			✓		Sprint
<b>Inter band carrier aggregation (2DL, 1UL)</b>					
LTE-A CA of B1_B 7			✓	✓	China Telecom
LTE-A CA of B1_B18	✓		✓		KDDI
LTE-A CA of B1_B19	✓		✓		NTT DoCoMo
LTE-A CA of B1_B 21		✓	✓		NTT DoCoMo
LTE-A CA of B2_B17	✓		✓		AT&T
LTE-A CA of B3_B5	✓		✓		SK Telecom
LTE-A CA of B3_B7			✓	✓	TeliaSonera

タイトル	700 - 900 MHz	1.5 - 1.6 GHz	1.8 - 2.1 GHz	2.6 GHz	報告者
<b>Inter band carrier aggregation (2DL, 1UL)</b>					
LTE-A CA of B3_B8	✓		✓		SK Telecom
LTE-A CA of B3_B20	✓		✓		Vodafone
LTE-A CA of B4_B5	✓		✓		AT&T
LTE-A CA of B4_B7			✓	✓	Rogers Wireless
LTE-A CA of B4_B12	✓		✓		Cox Communications
LTE-A CA of B4_B13	✓		✓		Ericsson
LTE-A CA of B4_B17	✓		✓		AT&T
LTE-A CA of B5_B12	✓				US Cellular
LTE-A CA of B5_B17	✓				AT&T
LTE-A CA of B7_B20	✓			✓	Huawei
LTE-A CA of B8_B20	✓				Vodafone
LTE-A CA of B11_B18	✓	✓			KDDI
<b>Inter band carrier aggregation (2DL, 2UL)</b>					
LTE-A CA of B3_B5	✓		✓		SK Telecom

表 6: 3GPP RAN4 で開始したワークアイテムでのバンド内(Intra-band)とバンド間(inter-band) CA のシナリオ

LTE Release 8 では、オペレータが保有するバンド内で、100 kHz 周波数間隔の LTE チャネル配置を可能にします。DL 送信方式の直交性を保持するために、15 kHz サブキャリア間隔で隣接する CC をアグリゲートする組合せでは、300 kHz のキャリア間隔が必要です。

### 3.2.2 UE 帯域幅クラス

CA に適用される新たな UE 帯域幅クラスは[5]で規定されています。3GPP RAN4 は、表 7 に記載のチャネル帯域幅に基づいて、送信帯域幅のリソースブロック数を定義していることに留意してください。すなわち、20 MHz チャネルでの、ガードバンドを考慮した最大リソースブロック数は、3GPP RAN1 で規定された、キャリアあたり最大 110 リソースブロック数と違い、100 リソースブロック数です。

チャネル帯域幅 BW <sub>Channel</sub> [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Transmission bandwidth configuration N <sub>RB</sub>	6	15	25	50	75	100

表 7: E-UTRA チャネル帯域幅の送信帯域幅コンフィグ N<sub>RB</sub> [5]

バンド内 CA パラメータは、図 7 のように規定されています。今まで 3 つの UE 帯域幅クラスだけが規定されていましたが、6 つの UE 帯域幅クラスが想定されています。帯域幅クラスは、アグリゲートされる送信帯域幅とサポートされる最大 CC 数(表 8 参照)でのリソースブロック数によって定義されます。

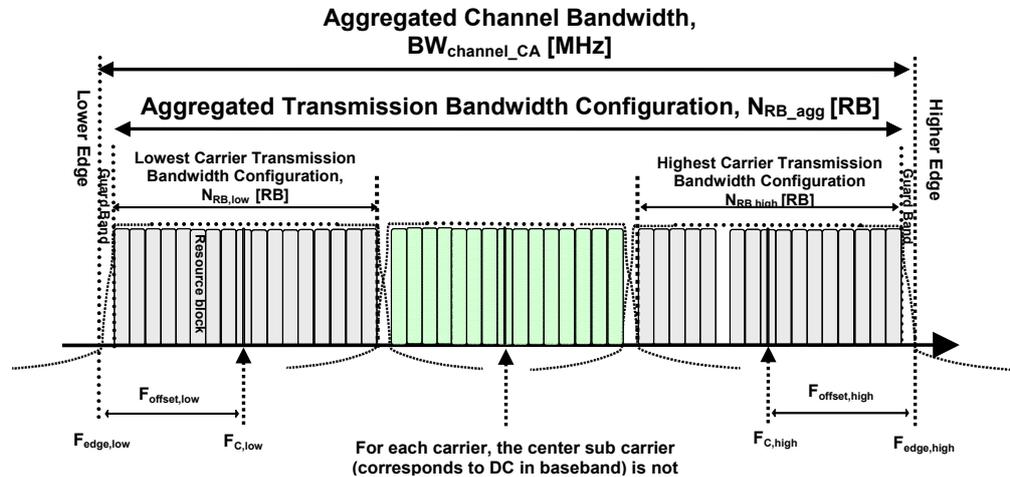


図 7: アグリゲートされるチャンネル帯域幅とエッジ(端)の定義 [5]

CA 帯域幅クラス	アグリゲートされる送信帯域幅コンフィグ	最大 CC 数	公称ガードバンド BW <sub>GB</sub>
A	$N_{RB,agg} \leq 100$	1	$0.05BW_{Channel(1)}$
B	$N_{RB,agg} \leq 100$	2	FFS
C	$100 < N_{RB,agg} \leq 200$	2	$0.05 \max(BW_{Channel(1)}, BW_{Channel(2)})$
D	$200 < N_{RB,agg} \leq [300]$	FFS	FFS
E	$[300] < N_{RB,agg} \leq [400]$	FFS	FFS
F	$[400] < N_{RB,agg} \leq [500]$	FFS	FFS

$BW_{Channel(1)}$  と  $BW_{Channel(2)}$  は 表 7 に記載する 2 つの E-UTRA CC のチャンネル帯域幅

表 8: CA 帯域幅クラスと対応する公称ガードバンド

サポートされる帯域幅クラスは、(隣接する、あるいは隣接しない)バンド内、またはバンド間 CA (第 3.2 章を参照)のいずれかのサポートを含む、UL および DL それぞれ個別に、バンドごとのネットワークに指示されます。図 8 は、特定の周波数バンドやバンド組合せの CA をサポートするデバイスによって使用される表記例を示します。CA\_25A\_25A の例は、バンド内で隣接しない場合です。周波数バンド 25 内で、2 つの別々の最大 100 RB (20 MHz)帯域幅のキャリアを受信(あるいは送信)できることを、デバイスがネットワークに伝えます。このデバイスが、その周波数バンド内で隣接する 2 キャリアをアグリゲートできるようになる場合は、CA\_25C に表記を変更します。帯域幅クラス C(表 8 を参照)は、2 つの CC に割り当てられた 100 ~ 200 RB のアグリゲートされた送信帯域幅を定義します。

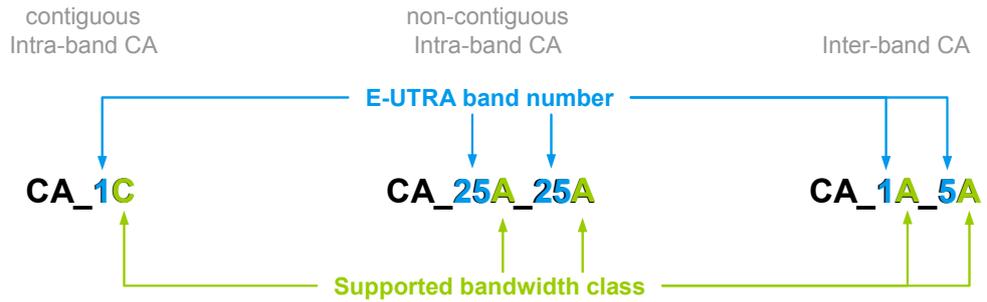


図 8: CA サポートの表記 (タイプ, 周波数バンド, 帯域幅)

CA は、個別のスペクトラム配置に適応できる高い柔軟性が可能です。しかし、すべての組合せは現実的ではありません。表 5 に示すように、LTE Release 10 CA の初期のシナリオでは、以下の CA の構成が考えられています。

CA 構成 / N <sub>RB_agg</sub>				
CA 構成	E-UTRA Band	50RB+100RB (10 MHz + 20 MHz)	75RB+75RB (15 MHz + 15 MHz)	100RB+100RB (20 MHz + 20 MHz)
CA_1C	1		Yes	Yes
CA_40C	40	Yes	Yes	Yes

表 9: バンド内の隣接する CA 構成ごとのサポートされる CC 組合せ [5]

CA 運用 / チャネル帯域幅							
CA 構成	E-UTRA Bands	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
CA_1A-5A	1				Yes		
	5				Yes		

表 10: バンド間の CA 構成ごとのサポートされる CC 組合せ [5]

### 3.2.3 クロスキャリア・スケジューリング

LTE Release 8 のように、DL マルチキャリアを受信する UE 個々にリソースをスケジュールするために、各 CC が PDCCH を使用します。このスケジューリング方法は LTE Release 8 への後方互換性があります。追加オプションで、クロスキャリア・スケジューリングが導入されました。この方法は、新たな CIF (Carrier Indicator Field) を用いることで、SCC 上のリソースをスケジュールするために、PCC 上の PDCCH を使用します(図 9 を参照)。

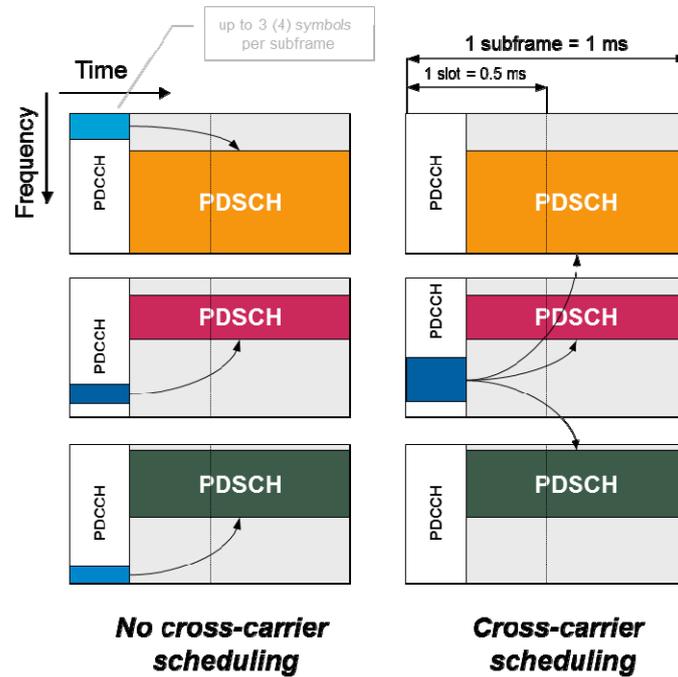


図 9: LTE Release 8 と比較したクロスキャリア・スケジューリング

クロスキャリア・スケジューリングの定義の背景は、シグナリング能力を割愛することと、別のセルレイヤのために負荷分散をサポートするヘテロジニアス・ネットワークを有効にすることが動機です(第 3.5 章を参照)。PDSCH のスタートを、専有 RRC のシグナリングによりタイムドメインで構成できます。すなわち、異なるセルレイヤにおける PDCCH のオーバーラップを回避できます。単一 CC を経由するように、ある CC が既にスケジュールされている場合、別の CC でスケジュールされることができないことに留意してください。図 10 では、5 つの CC とクロスキャリア・スケジューリングが有効化された例です。CC#1 は CC#1 と CC#2 上のリソースをスケジュールします。特定の UE のために、CC#5 は CC#2 上の任意のリソースをスケジュールできません。

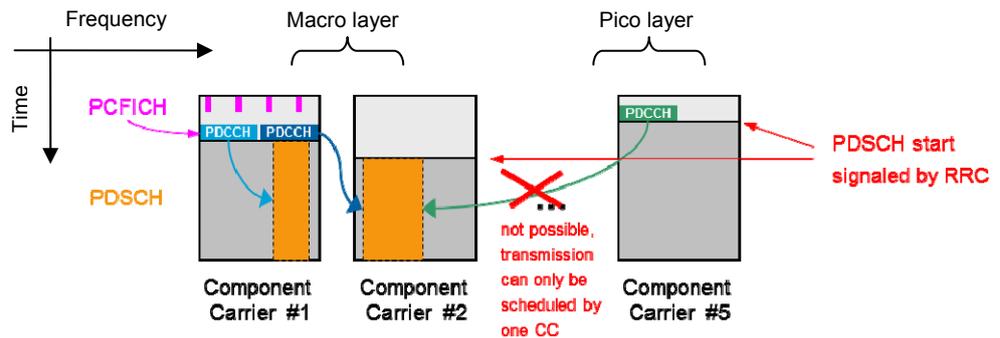


図 10: ヘテロジニアス・ネットワークをサポートするクロスキャリア・スケジューリング

クロスキャリア・スケジューリングを可能にするために、既存の LTE Release 8 の DCI フォーマットのスキームが拡張されます。3GPP Release 10 以降から、DCI (Downlink Control Information)は、リソース割り当てのための PDCCH を搬送するキャリアのインデックス情報を提供する 3ビットの CIF を付け加えます。

### 3.2.4 マルチセルの HARQ ACK/NACK 処理手順, PUCCH フォーマット 3

LTE Release 8 では、PUCCH フォーマット 1a/1b/2/2a/2b は、DL トランスポートブロックの正常受信確認 ACK (Acknowledge) / NACK (Not acknowledge)に使用されます。ACK/NACK フィードバックは、UL の SR (Scheduling Requests)や CSI (Channel State Information)と組み合わせることができます。単一 UE で受信したマルチセルの CA シナリオを、ACK/NACK がレポートできるように、スキームが拡張されました。表 11 では、3GPP Release 10 ([7], [9])で規定されたすべての PUCCH フォーマットをまとめ、3GPP Release 8 からの変更点をオレンジ表記で強調します。

PUCCH format	Content	Modulation scheme	Number of bits per subframe
1	Scheduling Request (SR)	N/A	N/A (information is indicated by the presence or absence of transmission)
1a	ACK / NACK, ACK / NACK + SR	BPSK	1
1b	ACK / NACK, ACK / NACK + SR	QPSK	2 4 (more than 1 serving cell FDD/TDD or single cell TDD)
2	CSI (any cyclic prefix), CSI + ACK / NACK (extended cyclic prefix only)	QPSK	20
2a	CSI + ACK / NACK (normal cyclic prefix only)	QPSK + BPSK	21 (20 CSI + 1 ACK/NACK)
2b	CSI + ACK / NACK (normal cyclic prefix only)	QPSK + QPSK	22 (20 CSI + 2 ACK/NACK)
3	ACK / NACK,  ACK / NACK + SR	QPSK	48 (10 ACK/NACK for FDD and 20 ACK/NACK for TDD) (10 ACK/NACK + 1 SR for FDD and 20 ACK/NACK + 1 SR for TDD)

表 11: PUCCH フォーマットと内容 [7], [9]

スキームを向上させる 2つの原理的なソリューションがあります。ACK/NACK に対するトランスポートブロックのチャネル(すなわち、キャリア)を選択するために、ACK/NACK いずれかのフィードバックが LTE Release 8 と同じく提供されます。あるいは、単一拡張メッセージ内のマルチキャリア上のマルチ・トランスポートブロックを ACK/NACK することを可能にする、新たなフィードバックのスキームが採用されました。両ソリューションとも、3GPP Release 10 仕様に取り入れられています。チャネル選択をもつ個別の ACK/NACK が可能になるように PUCCH フォーマット 1b が拡張され、そして新たな PUCCH フォーマット 3 が追加されました。

多くても 2 セルのアグリゲーションをサポートする FDD の UE には、PUCCH フォーマット 1b を使用しなければなりません。2 つより多数のキャリアをアグリゲーションできる UE (FDD および TDD) には、PUCCH フォーマット 1b もしくは PUCCH フォーマット 3 のどちらかを使用すべきかを、上位レイヤが構成できます。

### 3.2.5 U-plane (User plane)

図 11 および図 12 は、CA 時の DL/UL レイヤ 2 の構造を示しています。PDCP (Packet Data Control Protocol) や RLC (Radio Link Control) レイヤは、LTE Release 8 運用から再利用されます。LTE Release 8 とは対照的に、単一 UE がいくつもの CC に多重化されるでしょう。また、スケジューリングされた CC ごとに、単一のトランスポートブロックと単一の独立した HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) が存在します。

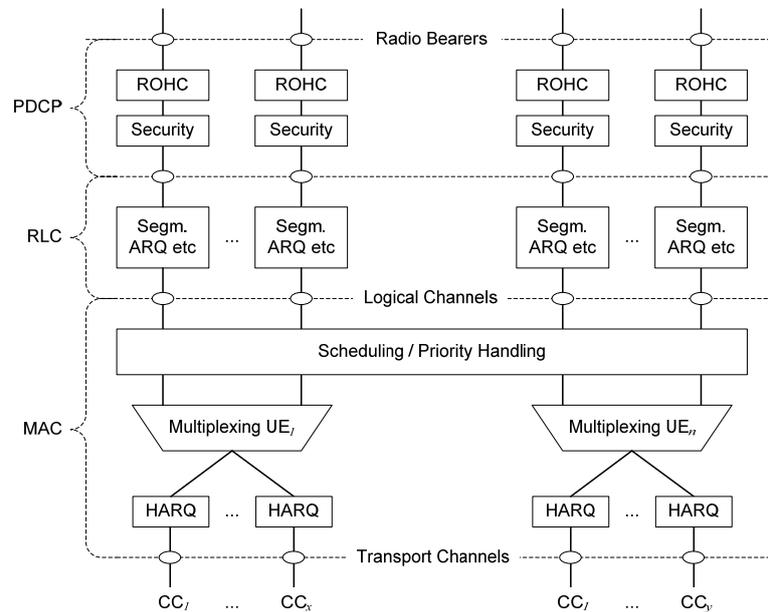


図 11: DL レイヤ 2 構造 [3]

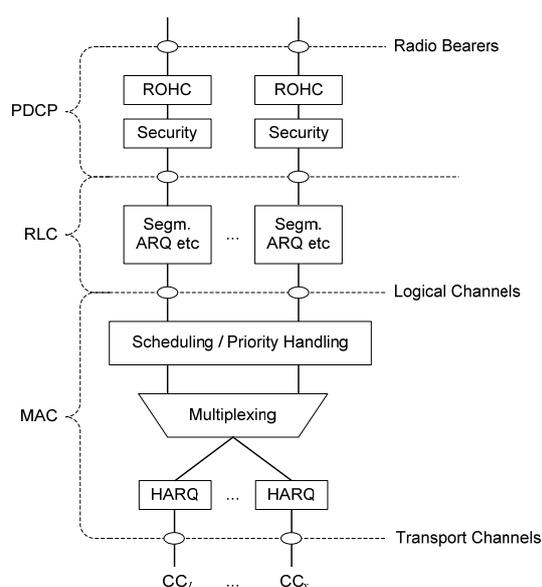


図 12: UL レイヤ 2 構造 [3]

### 3.2.6 C-plane (Control plane)

C-plane の構造は、LTE Release 8 と同じです。RRC (Radio Resource Control) 接続の確立後、追加 CC の構成や有効化が専有シグナリングによって実行されます。LTE 内ハンドオーバーでは、マルチ CC をターゲットセル内で使用するために、ハンドオーバーコマンドに含めることができます。

CA を展開しているネットワーク内でも、LTE Release 8 と同様のアイドルモードのモビリティ処理手順が同じく適用されます。アイドルモード状態の CC のサブセットのみネットワークを構成できます。

## 3.3 拡張マルチアンテナ技術

LTE Release 8 は MIMO アンテナスキームをサポートしています。DL では、アンテナポート数に関わらず最大コードワード数が 2 で、送信 4 アンテナまで使用できます。単一 UE が同一の時刻・周波数を使用するシングルユーザ MIMO (SU-MIMO) と、複数の UE が同一の時刻・周波数を使用するマルチユーザ MIMO (MU-MIMO) の両方とも、マルチ変調シンボル・ストリームの SDM (Spatial Division Multiplexing) がサポートされています。UL では、MU-MIMO だけが使用されます。すなわち、UE あたり 1 つの変調シンボル・ストリームのみがあり、複数の UE が同一の時刻・周波数上に送信し、eNodeB にて受信されます。定義した UE 能力クラスを踏まえると、LTE 商用展開の初期には、DL 2 アンテナ、UL 1 アンテナが、標準形式となります。

LTE-Advanced で規定された高度化を詳述する前に、いくつかの基本的な定義を振り返ります。LTE 標準は、いわゆるアンテナポートを規定しています ([7] を参照)。3GPP によると、「アンテナポートにシンボルを搬送するチャネル特性は、同じアンテナポートに別のシンボルを搬送するチャネル特性から推定できるように、アンテナポートが定義される」。

つまり、同一アンテナポートを介して送信される LTE シンボルは同じ伝搬状態を受けます。これらのアンテナポートから実運用の物理アンテナへのマッピングを、3GPP で規定していません。LTE Release 8 が 2x2 と 4x4 MIMO スキームをサポートするので、アンテナポート 0 ~ 3 の 1:1 マッピングが採用されると考えられています (図 13 を参照)。セル固有のリファレンスシンボルが最大 4 アンテナポート用に定義されていることに留意してください。セル固有のリファレンスシンボルのスキームでは、1 つのアンテナポートがリファレンスシンボルを送信するとき、他すべてのアンテナポートは、なにもシンボルを送信しません ([1], [7]を参照)。MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Services)をサポートするために必要な MBSFN リファレンスシンボルは、アンテナポート 4 に送信されます。アンテナポート 5 は、ユーザ固有のリファレンスシンボルを送信するために使用されます。LTE Release 8 は最大 4 レイヤ送信を規定しています。

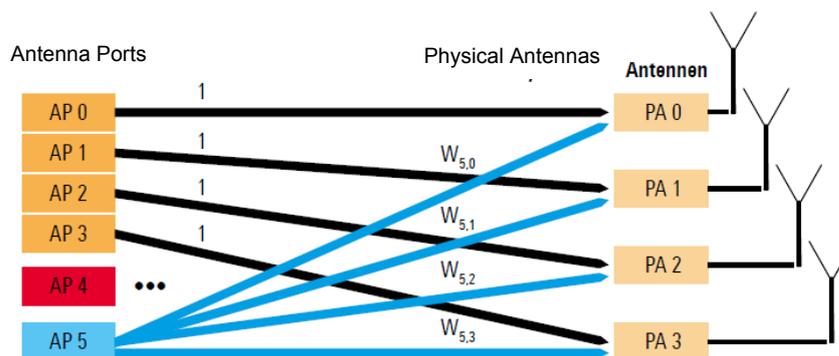


図 13: 論理アンテナポートから物理送信アンテナへのマッピング (3GPP Release 8)

現在、LTE-Advanced は、8 DL レイヤと 4 UL レイヤをサポートしています (図 14 を参照)。LTE-Advanced の UL では、LTE Release 8 の DL で定義されたような同じ原理を採用し、LTE-Advanced の DL では、次章で記述するように、既存の LTE Release 8 のスキームから拡張されます。空間多重化スキームに加えて、送信ダイバシティが、DL と UL の両方で可能となります。

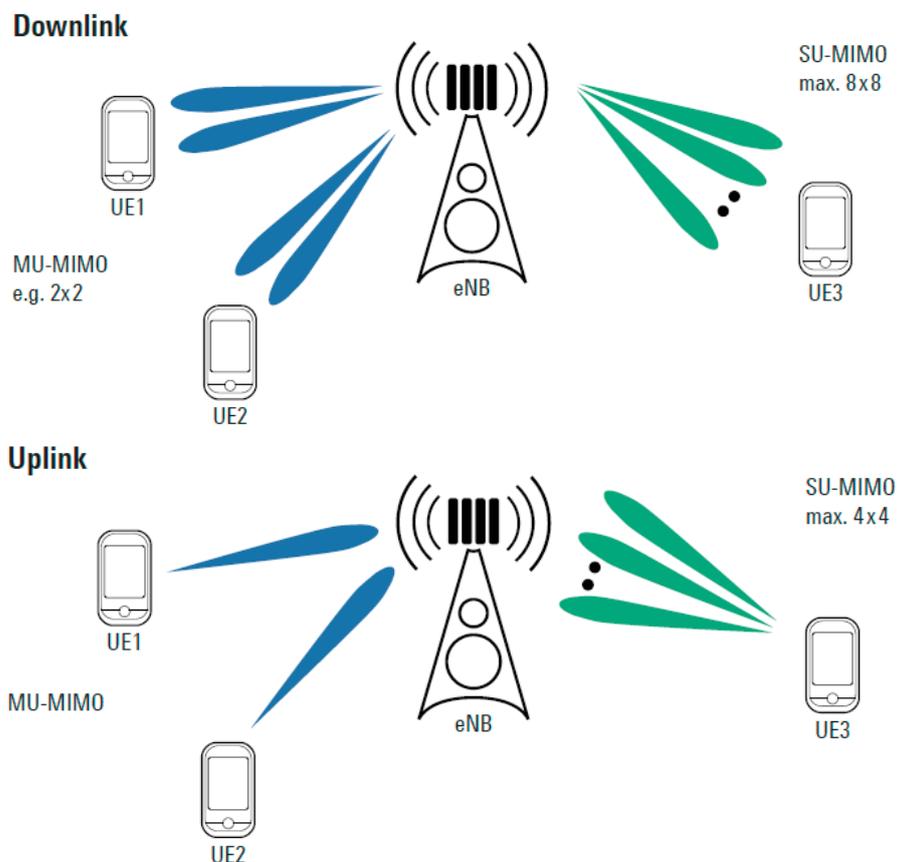


図 14: LTE-Advanced でサポートされる送信レイヤ

### 3.3.1 DL (ダウンリンク)

#### 3.3.1.1 DL 空間多重化のためのレイヤマッピング

DL では、LTE-Advanced の  $8 \times 8$  単一ユーザ空間多重化シナリオで、DL CC あたり 1 サブフレーム内で最大 2 トランスポートブロックを指定した UE に送信できます。各トランスポートブロックには、個別の変調およびコーディングのスキームが割り当てられます。UL の HARQ ACK/NACK フィードバックには、各トランスポートブロックにつき 1 ビットを使用します。表 12 は、LTE Release 8 と LTE-Advanced のレイヤマッピングに対するコードワードの違いをオレンジ色の網掛けで表しています。 $d^{(0)}$ 、 $d^{(1)}$  は最大 2 コードワードのコードワード・シンボルを表し、 $x^{(0)} \sim x^{(7)}$  は、マッピング処理後の最大 8 レイヤ上のシンボルを表しています。4 レイヤまでのコードワード/レイヤのマッピングは、LTE Release 8 と同じです。表 12 に記載されたとおり、コードワードあたりのシンボルレート  $M_{Symb}^{layer}$  は、1 レイヤのシンボルレート  $M_{Symb}^{(x)}$  ( $x=0,1$ ) に比べて、最高 4 倍まで向上しています。

4 レイヤまでで、2 および 4 アンテナポートで、セル固有のリファレンス・シグナルを適用したときに、UE フィードバック有無のコードブック・ベース・プリコーディングが、LTE Release 8 と同様に、使用されることに留意してください。しかし、UE 固有のリファレンス・シグナルが、たいていビームフォーミングに必要で、適用された場合には、コードブック・ベース・プリコーディングがありません。UE 固有のリファレンス・シグナルは、関連 PDSCH がマッピングされる時にリソースブロック上に、常時送信されます。結果として、4 を超えるレイヤが使用される場合には、ビームフォーミングと MIMO は、一種の併用機能になりつつあります。8 レイヤまで、PDSCH 送信アンテナポート 7 ~ 14 が使用されます(第 3.3.1.3 章の図 15, AP 7 ~ AP 14 も参照)。

LTE Release 8 と同じように、LTE-Advanced でも、SFBC (Space-frequency Block Codes) と FSTD (Frequency Switched Transmit Diversity) を使用することで、DL 送信ダイバシティのスキームを適用できます。LTE-Advanced において、4 を超えるアンテナポートを採用する場合には、Release 8 の送信ダイバシティのスキームを再利用します。

Codeword to layer mapping for downlink spatial multiplexing			
Number of layers	Number of codewords	Codeword-to-layer mapping	
		$i = 0, 1, \dots, M_{\text{symb}}^{\text{layer}} - 1$	
1	1	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(i)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)}$
2	2	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(i)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} = M_{\text{symb}}^{(1)}$
		$x^{(1)}(i) = d^{(1)}(i)$	
2	1	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(2i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(2i+1)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} / 2$
3	2	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(i)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} = M_{\text{symb}}^{(1)} / 2$
		$x^{(1)}(i) = d^{(1)}(2i)$ $x^{(2)}(i) = d^{(1)}(2i+1)$	
4	2	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(2i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(2i+1)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} / 2 = M_{\text{symb}}^{(1)} / 2$
		$x^{(2)}(i) = d^{(1)}(2i)$ $x^{(3)}(i) = d^{(1)}(2i+1)$	
...	...	...	...

Codeword to layer mapping for downlink spatial multiplexing			
Number of layers	Number of codewords	Codeword-to-layer mapping	
		$i = 0, 1, \dots, M_{\text{symb}}^{\text{layer}} - 1$	
3	1	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(3i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(3i+1)$ $x^{(2)}(i) = d^{(0)}(3i+2)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} / 3$
4	1	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(4i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(4i+1)$ $x^{(2)}(i) = d^{(0)}(4i+2)$ $x^{(3)}(i) = d^{(0)}(4i+3)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} / 4$
5	2	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(2i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(2i+1)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} / 2 = M_{\text{symb}}^{(1)} / 3$
		$x^{(2)}(i) = d^{(1)}(3i)$ $x^{(3)}(i) = d^{(1)}(3i+1)$ $x^{(4)}(i) = d^{(1)}(3i+2)$	
6	2	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(3i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(3i+1)$ $x^{(2)}(i) = d^{(0)}(3i+2)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} / 3 = M_{\text{symb}}^{(1)} / 3$
		$x^{(3)}(i) = d^{(1)}(3i)$ $x^{(4)}(i) = d^{(1)}(3i+1)$ $x^{(5)}(i) = d^{(1)}(3i+2)$	
7	2	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(3i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(3i+1)$ $x^{(2)}(i) = d^{(0)}(3i+2)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} / 3 = M_{\text{symb}}^{(1)} / 4$
		$x^{(3)}(i) = d^{(1)}(4i)$ $x^{(4)}(i) = d^{(1)}(4i+1)$ $x^{(5)}(i) = d^{(1)}(4i+2)$ $x^{(6)}(i) = d^{(1)}(4i+3)$	
8	2	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(4i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(4i+1)$ $x^{(2)}(i) = d^{(0)}(4i+2)$ $x^{(3)}(i) = d^{(0)}(4i+3)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} / 4 = M_{\text{symb}}^{(1)} / 4$
		$x^{(4)}(i) = d^{(1)}(4i)$ $x^{(5)}(i) = d^{(1)}(4i+1)$ $x^{(6)}(i) = d^{(1)}(4i+2)$ $x^{(7)}(i) = d^{(1)}(4i+3)$	

表 12: DL 空間多重化のためのコードワード/レイヤのマッピング (LTE Release 8 と LTE-Advanced) [7]

### 3.3.1.2 DL リソースのスケジューリング, TM9 (Transmission Mode 9)

8レイヤまでのうち特定のレイヤ多重化をサポートする UE に、リソースをスケジューリングするために、新たな DCI フォーマット 2C を仕様に取り入れました。DCI フォーマット 2C は、次の情報で構成されています (表 13 を参照)。

- キャリア・インジケータ [3 ビット]
- リソース割当てヘッダ [1 ビット], リソース割当てタイプ 0 / 1
- PUCCH 用 TPC コマンド [2 ビット]
- DL 割当てインデックス [2 ビット], TDD のみ
- HARQ プロセス番号 [3 ビット (FDD), 4 ビット (TDD)]
- アンテナポート、スクランプリング ID、#レイヤ数; 表 12 を参照 [3 ビット]
- SRS リクエスト [0-1 ビット], TDD のみ
- MCS、新たなデータ・インジケータ、2トランスポートブロック用 RV [各 5 ビット]

One Codeword: Codeword 0 enabled, Codeword 1 disabled		Two Codewords: Codeword 0 enabled, Codeword 1 enabled	
Value	Message	Value	Message
0	1 layer, port 7, $n_{SCID}=0$	0	2 layers, ports 7-8, $n_{SCID}=0$
1	1 layer, port 7, $n_{SCID}=1$	1	2 layers, ports 7-8, $n_{SCID}=1$
2	1 layer, port 8, $n_{SCID}=0$	2	3 layers, ports 7-9
3	1 layer, port 8, $n_{SCID}=1$	3	4 layers, ports 7-10
4	2 layers, ports 7-8	4	5 layers, ports 7-11
5	3 layers, ports 7-9	5	6 layers, ports 7-12
6	4 layers, ports 7-10	6	7 layers, ports 7-13
7	Reserved	7	8 layers, ports 7-14

表 13: アンテナポート、スクランプリングID、レイヤ数の表示 [8]

### 3.3.1.3 DL リファレンス・シグナル構造

空間多重化スキームに加えて、LTE-Advanced の DL リファレンス・シグナル構造は、LTE Release 8 と比べ下記の点が拡張されています。

- PDSCH 復調を目的とするリファレンス・シグナル
- CSI (Channel State Information) 推定を目的とするリファレンス・シグナル (必要に応じた CQI/PMI/RI レポート用)

PDSCH 復調用リファレンス・シグナル(以下、DM-RS)は、UE 固有です。つまり、特定の UE のために意図された PDSCH と DM-RS は、同じプリコーディングが作用します。このため、リファレンス・シグナルは、eNodeB でのレイヤ間で互いに直交しています。PDSCH 変調を目的とするリファレンス・シグナルのデザイン原則は、ビームフォーミングに使用される Release 8 の UE 固有のリファレンス・シグナルのコンセプトをマルチレイヤへ拡張することです。UE による Release 8 のセル固有のリファレンス・シグナルの補完的な使用を除外することではありません。

一方、CSI 推定を目的とするリファレンス・シグナルは、セル固有であり、周波数および時間軸に分散され、ノーマル・サブフレームのデータ領域に入り込みます(パンクチャ)。CSI リファレンス・シグナル(以下、CSI-RS)は、1、2、4、8 アンテナポート上に送信されます(図 15, AP 15 ~ AP 22 を参照)。CSI-RS が以下サブフレームに送信されないことを、UE は前提とすべきことに留意してください。

- フレーム構造タイプ 2 (LTE-TDD) でのスペシャル・サブフレーム
- CSI-RS 送信が、シンク・シグナル、PBCH、あるいは *SystemInformationBlockType1* メッセージの送信とぶつかるサブフレーム
- セル固有のページング構成をもつ任意の UE 用ページングメッセージ送信のために構成されたサブフレーム

図 15 は、LTE-Advanced で新たに定義されたアンテナポートと、物理アンテナへのマッピングを示しています (LTE Release 8 のみの図 13 と比較)。アンテナポート 6 はポジショニング・レファレンス・シグナルに使用されます。LTE Release 9 機能の一部でポジショニングをサポートしています。

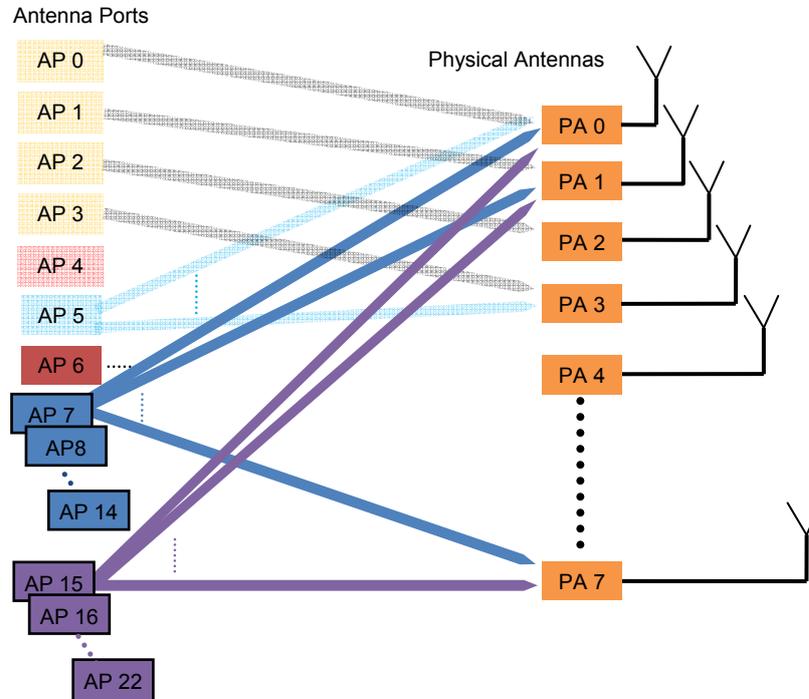


図 15: 論理アンテナポートから物理送信アンテナポートへのマッピング (3GPP Release 10)

### 3.3.2 UL (アップリンク)

LTE-Advanced では、スケジュールされた UE が 2 トランスポートブロックまでを送信できません。各トランスポートブロックは、自らの MCS (Modulation and Coding Scheme) を持ちます。送信レイヤ数によって、各トランスポートブロックと関連した変調シンボルは、LTE Release 8 DL 空間多重化と同じ原理に従い、4 レイヤまでマッピングされます。送信ランクは動的に適応させることが可能です。使用されるアンテナポート数とレイヤ数によって、異なるコードブックが定義されています。さらに、利用できる 2 または 4 アンテナポートによって、異なるプリコーディングが使用されます。

#### 3.3.2.1 UL 空間多重化のためのレイヤマッピング

表 14 は、UL のコードワード/レイヤのマッピングを表します。 $d^{(0)}$ ,  $d^{(1)}$  は最大 2 コードワードのコードワード・シンボルを表し、 $x^{(0)} \sim x^{(3)}$  は、マッピング処理後の最大 4 レイヤ上のシンボルを表しています。表 12 に記載されたとおり、コードワードあたりのシンボルレート  $M_{Symb}^{layer}$  は、1 レイヤのシンボルレート  $M_{Symb}^{(x)}$  ( $x=0,1$ ) に比べて、最高 2 倍まで向上しています。

Codeword to layer mapping for uplink spatial multiplexing			
Number of layers	Number of codewords	Codeword-to-layer mapping	
		$i = 0, 1, \dots, M_{\text{symb}}^{\text{layer}} - 1$	
1	1	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(i)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)}$
2	1	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(2i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(2i+1)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} / 2$
2	2	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(i)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} = M_{\text{symb}}^{(1)}$
		$x^{(1)}(i) = d^{(1)}(i)$	
3	2	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(i)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} = M_{\text{symb}}^{(1)} / 2$
		$x^{(1)}(i) = d^{(1)}(2i)$ $x^{(2)}(i) = d^{(1)}(2i+1)$	
4	2	$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(2i)$ $x^{(1)}(i) = d^{(0)}(2i+1)$	$M_{\text{symb}}^{\text{layer}} = M_{\text{symb}}^{(0)} / 2 = M_{\text{symb}}^{(1)} / 2$
		$x^{(2)}(i) = d^{(1)}(2i)$ $x^{(3)}(i) = d^{(1)}(2i+1)$	

表 14: UL 空間多重化のためのコードワード/レイヤのマッピング [7]

2 送信アンテナでの UL 空間多重化では、プリコーディングが表 15 のように定義されています。LTE Release 8 DL スキームでは、フルランク送信用にいくつかのマトリクスを利用できるのに対して、LTE-Advanced UL では、識別プリコーディングマトリクスのみをサポートしています。すなわち、2 コードワードは 2 レイヤにマッピングされませんが、コードワード 1 がレイヤ 1 にマッピングされ、コードワード 2 がレイヤ 2 にマッピングされます。

Precoding for uplink spatial multiplexing (2 Tx antennas)		
Codebook index	Number of layers	
	1	2
0	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$
1	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$	
2	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}$	
3	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix}$	
4	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$	
5	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$	

表 15: 2 送信アンテナポート上への UL 空間多重化のためのコードブック [7]

4 送信アンテナでの UL 空間多重化では、プリコーディングが、1 レイヤが適用される場合は表 16、2 レイヤが適用される場合は表 17、3 レイヤが適用される場合は表 18、4 レイヤが適用される場合は表 19、のように定義されています。

Precoding codebook uplink spatial multiplexing (4 Tx antenna ports)								
One layer transmission								
Index	0	1	2	3	4	5	6	7
	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ j \\ j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -j \\ -j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ j \\ 1 \\ j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ j \\ j \\ 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ j \\ -1 \\ -j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ j \\ -j \\ -1 \end{bmatrix}$
Index	8	9	10	11	12	13	14	15
	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ j \\ -j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ -j \\ j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \\ 1 \\ -j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \\ j \\ -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \\ -1 \\ j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \\ -j \\ 1 \end{bmatrix}$
Index	16	17	18	19	20	21	22	23
	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ j \\ 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -j \\ 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 2 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ -j \end{bmatrix}$

表 16: 4 アンテナ送信アンテナポートの UL 空間多重化のためのプリコーディング・コードブック: 1 レイヤ送信用プリコーディングのマトリクス [7]

Precoding codebook uplink spatial multiplexing (4 Tx antenna ports)								
Two layer transmission								
Index	0	1	2	3	4	5	6	7
	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & -j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -j & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -j & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & -j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$
Index	8	9	10	11	12	13	14	15
	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$

表 17: 4 アンテナ送信アンテナポートの UL 空間多重化のためのプリコーディング・コードブック: 2 レイヤ送信用プリコーディングのマトリクス [7]

Precoding codebook uplink spatial multiplexing (4 Tx antenna ports)				
Three layer transmission				
Index	0	1	2	3
	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Precoding codebook uplink spatial multiplexing (4 Tx antenna ports)				
Three layer transmission				
Index	4	5	6	7
	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
Index	8	9	10	11
	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

表 18: 4 アンテナ送信アンテナポートの UL 空間多重化のためのプリコーディング・コードブック: 3 レイヤ送信用プリコーディングのマトリクス [7]

Precoding codebook uplink spatial multiplexing (4 Tx antenna ports)	
Four layer transmission	
Index	0
	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

表 19: 4 アンテナ送信アンテナポートの UL 空間多重化のためのプリコーディング・コードブック: 4 レイヤ送信用プリコーディングのマトリクス [7]

LTE-Advanced は、UL 送信ダイバシティをサポートします。ただし、マルチ送信アンテナを持つ UE では、いわゆる UL シングル・アンテナ・ポート・モードが定義されています。このモードでは、eNodeB の側から見た LTE-Advanced UE のふるまいは、単一アンテナの場合と同じであり、eNodeB が UE の送信アンテナ構成を認識する前に、常に使用されています。送信ダイバシティスキームでは、UL チャネルから同じ変調シンボルが、2 つに分離された直交リソース上で、2 アンテナポートから送信されます。

### 3.3.2.2 UL リソースのスケジューリング, TM2 (Transmission Mode 2)

LTE Release 8 時点の送信モードでは、単一アンテナポート上のリソースをスケジューリングするために、DCI フォーマット 0 のみの使用が可能です。UL 空間多重化のためのリソースのスケジューリングを可能にするために、新たな DCI フォーマット 4 を取り入れました。DCI フォーマット 4 は、次の情報で構成されています。

- キャリア・インジケータ [0-3 ビット]
- リソースブロック割当て [システム帯域幅と、対応する RBG サイズ (P) によるビット数、第 3.4.2.1 章、表 22 を参照], リソース割当てタイプ 0 / タイプ 1
- PUSCH 用 TPC コマンド [2 ビット]
- DM-RS と OCC インデックス用循環シフト [2 ビット]
- UL インデックス [2 ビット], UL-DL 構成 0 の TDD のみ
- DL 割当てインデックス [2 ビット], UL-DL 構成 1 ~ 6 の TDD のみ
- CSI リクエスト [1 または 2 ビット], DL (CA) での 2 つより多数のセルのための 2 ビット
- SRS リクエスト [2 ビット]
- リソース割当てタイプ [1 ビット]

- 2トランスポートブロックそれぞれに: MCS, RV [5 ビット], 新たなデータ・インジケータ [1 ビット]
- プリコーディング情報
  - [2 アンテナポート用 3 ビット], 表 20 を参照 - 表 15 による TPMI (Transmitted Precoding Matrix Index)
  - [4 アンテナポート用 6 ビット], 表 21 を参照 - 表 16 – 19 による TPMI (Transmitted Precoding Matrix Index)

One codeword: Codeword 0 enabled Codeword 1 disabled		Two codewords: Codeword 0 enabled Codeword 1 enabled	
Bit field mapped to index	Message	Bit field mapped to index	Message
0	1 layer: TPMI=0	0	2 layers: TPMI=0
1	1 layer: TPMI=1	1-7	reserved
2	1 layer: TPMI=2		
...	...		
5	1 layer: TPMI=5		
6-7	reserved		

表 20: 2 UL アンテナポートのプリコーディング情報の内容 [8]

One codeword: Codeword 0 enabled Codeword 1 disabled		Two codewords: Codeword 0 enabled Codeword 1 enabled	
Bit field mapped to index	Message	Bit field mapped to index	Message
0	1 layer: TPMI=0	0	2 layers: TPMI=0
1	1 layer: TPMI=1	1	2 layers: TPMI=1
...	...	...	...
23	1 layer: TPMI=23	15	2 layers: TPMI=15
24	2 layers: TPMI=0	16	3 layers: TPMI=0
25	2 layers: TPMI=1	17	3 layers: TPMI=1
...	...	...	...
39	2 layers: TPMI=15	27	3 layers: TPMI=11
40-63	reserved	28	4 layers: TPMI=0
		29 - 63	Reserved

表 21: 4 UL アンテナポートのプリコーディング情報の内容 [8]

### 3.4 高度化 UL 送信スキーム

LTE-Advanced の UL 送信スキームは大部分が保たれています。つまり、離散フーリエ変換 (DFT) でプリコーディングされる OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) スキームである SC-FDMA (Single Carrier – Frequency Division Multiple Access) が使用されています。PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) の送信は、MIMO と非 MIMO の両モードで DFT プリコーディングを使用します。ただし、以下の高度化がシステムに組み込まれています。

- 制御情報とデータの送信デカップリング (非干渉化)
- CC あたり単一 DFT での非隣接データ送信

これら 2 つの機能は、Release 10 対応 UE がサポートするオプションです。初期のアタッチ処理手順の一部として UE 能力情報の転送中に、ネットワークに示されます。図 16 に示すように、3GPP Release 8 で定義された原則上で、3GPP Release 10 用の PUCCH と PUSCH を組み合わせます。双方の高度化の詳細は次セクションで検討します。

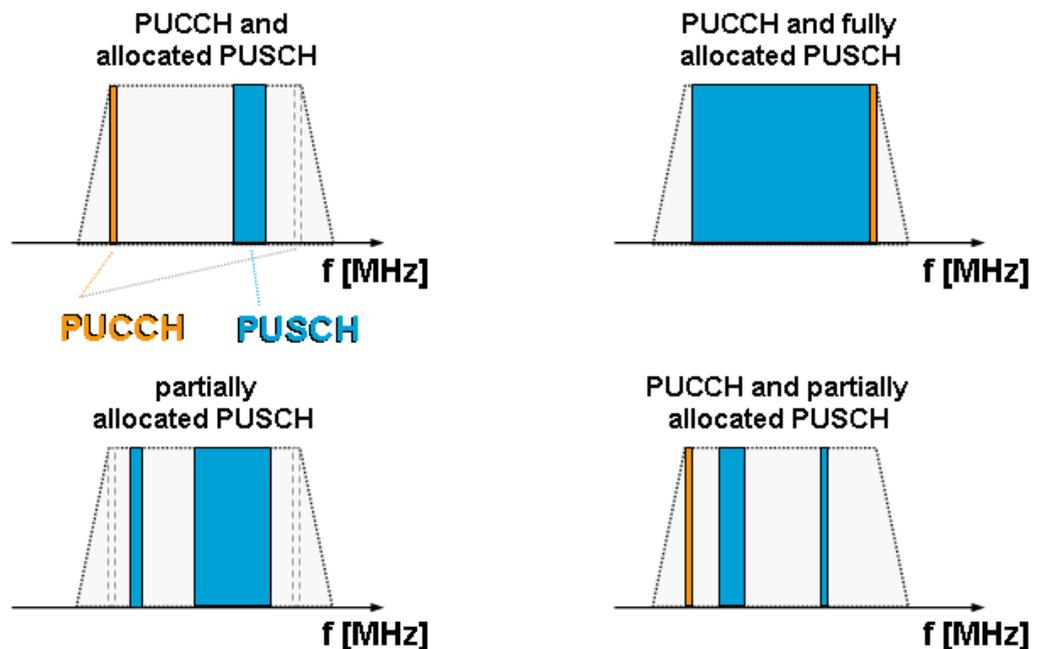


Figure 図 16: 3GPP Release 10 の PUSCH と PUCCH の組合せ

#### 3.4.1 PUCCH と PUSCH の同時送信

LTE Release 8 では、UE は、送信するユーザデータがないときに、ネットワークへ ACK/NACK、CQI、PMI、RI のような、UL 制御情報を提供する PUCCH (Physical Uplink Control Channel) を利用します。送信するデータがある場合、UE は、定義された原則に従い、PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) 上に、ユーザデータと制御情報を多重します。CA、および 8 空間レイヤまで拡張された MIMO 送信の導入のために、ネットワークにフィードバックする大量の制御情報があります。制御情報とユーザデータを多重化するための新たに追加したメカニズムの定義を回避するために、制御情報とデータの送信デカップリングが、3GPP Release 10 の LTE-Advanced で有効になっています。改良された UL スペクトラム効

率の改善、ならびに、所望の目的（ユーザデータ送信）のためのULリソース（PUSCH）の利用効率向上、につながることを、シミュレーションが示しています。

### 3.4.2 マルチクラスタ送信

3GPP Release 8 時点のLTE のDLとULでは、異なる2つのアクセススキームが定義されています。どちらも、OFDMをベースとしています。実際のサブキャリアマッピングと、周波数ドメインからタイムドメインへの変換、の処理前に、周波数ドメインに変調シンボルを変換する送信チェーンで DFTを使用するので、ULアクセススキームのSC-FDMAはDLスキームと異なります。UE端末で使用されるパワーアンプの設計課題となり、高いピーク/アベレージ電力比（PAPR）をもたらすOFDM信号の欠点を克服することが理由です。使用するQPSK、16QAM、または64QAMの変調スキーム次第ですが、SC-FDMAのPAPRはOFDMAより大幅に低いです。

Release 8 では、局部SC-FDMAだけがサポートされています。つまり、UL送信では、UE端末が常に隣接する連続サブキャリアのみに送信することを意味します。これにより、送信信号のPAPRを低減する当初の目標を達成し、その結果、高効率パワーアンプの実装を可能とします。欠点は、UL無線チャンネルに影響がある周波数選択性フェージングを克服できなかったことでした。LTE Advancedでは、UL送信を連続サブキャリアの使用に限定することなく、サブキャリアのクラスタを割り当てることができる、クラスタ化SC-FDMAと呼ばれる、UL送信スキームを拡張しました。これにより、UL周波数選択スケジューリングが可能になり、リンク性能が向上します。ただし、LTE Release 8の局部スキームと比べて送信信号のPAPRは高くなります。図17はUL送信チェーンのブロック図を示します。

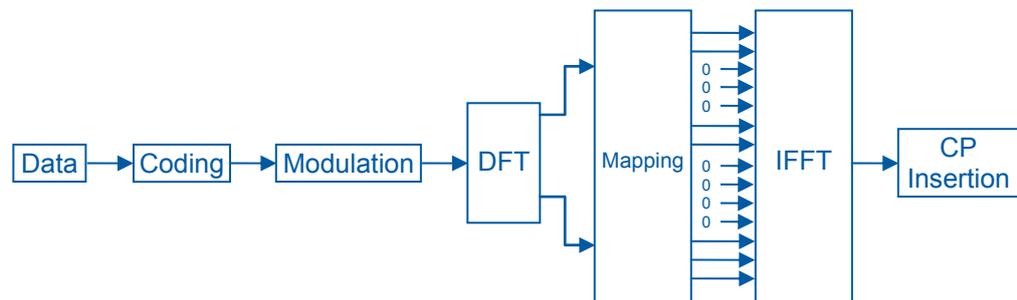


Figure 17: クラスタ化 SC-FDMA のブロック図

#### 3.4.2.1 マルチクラスタ化送信のスケジューリング

マルチクラスタ送信をサポートするために、UL で利用できる 2 タイプのリソース割当があります。UL リソース割当タイプ 0 が、3GPP Release 8 で定義された隣接割当に相当します。所望の RB 割当、RB オフセット、および利用可能帯域幅から、RIV (Resource Indication Value)が算出され、UE に DCI フォーマット 0 で通知されます。

3GPP Release 10 で UL リソース割当タイプ 1 が導入されました。利用可能帯域幅は 2 セットの RB に分割され、各セットは RBG (Resource Block Groups) サイズ数で構成されています。利用可能帯域幅による RBG サイズを表 22 に示します。

システム帯域幅	RBG サイズ (P)
≤10	1
11 – 26	2
27 – 63	3
64 – 110	4

表 22: Resource Block Group (RBG) サイズ

さらに、双方の RB セットのスタートとエンドの RBG を定義した、組合せインデックス  $r$  が提供されます (RB セット#1:  $s_0, s_1-1$  | RB セット#2:  $s_2, s_3-1$ )。このように 2 クラスタ送信だけが 3GPP Release 10 でサポートされています。これらのパラメータは、 $s_0 < s_1 < s_2 < s_3$  となるように選択する必要があります。双方のクラスタ間の最小ギャップが、少なくとも 1 RBG あるようにします。帯域幅により 1, 2, 3, 4 RB のいずれかになります。10 MHz (50 RB) 信号では、RBG=3 が合計 17 RBG となり、 $s_0=2, s_1=9, s_2=10, s_3=11$  と仮定して示した割当てになる例を図 18 に示します。

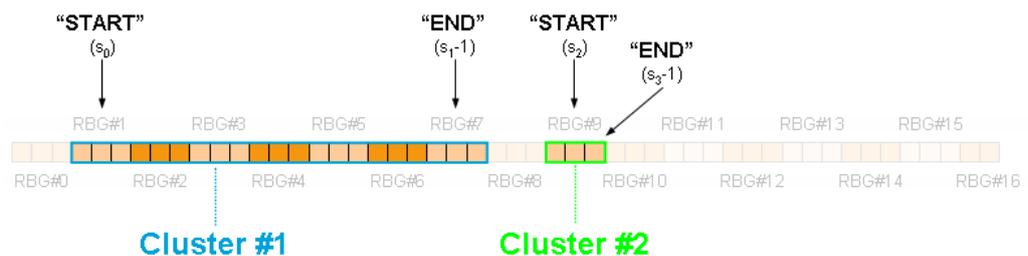


図 18: 10 MHz (50 RB) 信号の 2 クラスタ割当ての例

### 3.5 eICIC (Enhanced Inter-cell Interference Coordination) 拡張セル間干渉制御

単一周波数ネットワークである LTE では、セル境界での干渉の適切な扱いが Release 8 以降重要なトピックでした。

純粋なマクロセル・ネットワークにおいて、各サービスセルに接続された UE (図 19 の左側緑線) は、セル端で隣接セルからの干渉 (右側赤線) を受けます。余計な UE が、適切に送信パワーを選択することでも排除できない UL の干渉 (左側赤線) を発生します。

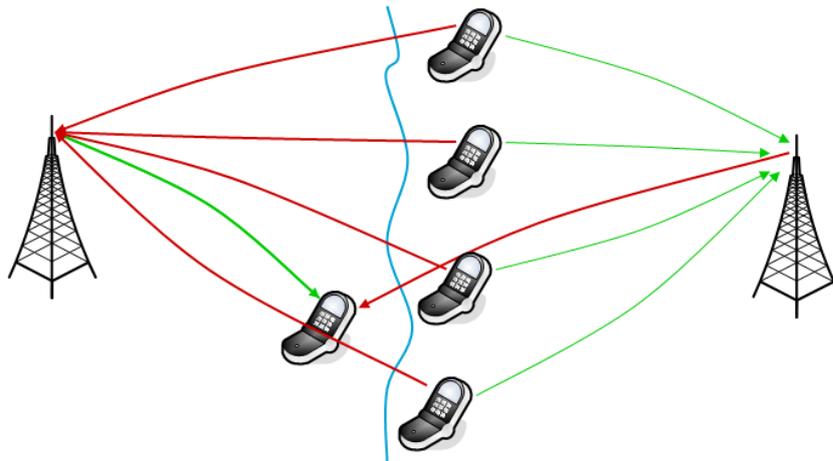


図 19: マクロセル・ネットワークでの干渉シナリオ

適切な方法でこれら干渉を扱うには、以下の方法が利用されます。

- 物理レイヤのビットストリームのランダム化
- レシーバの干渉キャンセル
- eNB 間 X2 インタフェース上で干渉情報を交わす干渉協調。この方法は UE 間で干渉するリソースブロックを区切ることが可能。

しかし、Release 10 ネットワークにとって、これらの方法では不十分です。いわゆるヘテロジニアス・ネットワーク (HetNets) を本格展開するときに、新たな干渉協調方法が必要です。

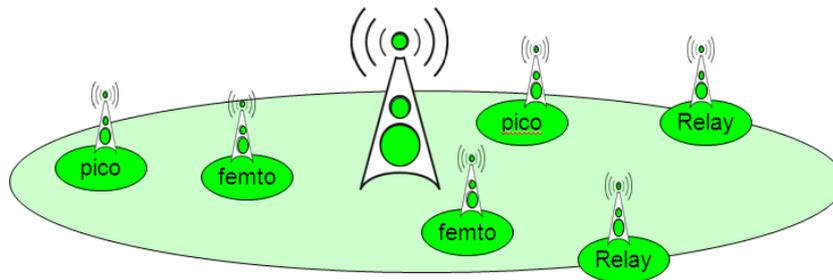


図 20: ヘテロジニアス・ネットワークのセルレイアウト例

このネットワークは、カバーエリアを確保するためのマクロセル (MC)と、不感地帯を対策するため、あるいはホットスポットでのデータレートを向上させるための、ピコセル (PC)、フェムトセル (FC)、およびリレー局、によって構築されます。すべてのセルが同一周波数を使用しており、単一レイヤ展開より過酷な干渉シナリオを生みます (図 20 を参照)。Release 10 では、主に PC と FC に関する干渉が対処されました。

PC では、次の図で表すように、状況を最良にできます。

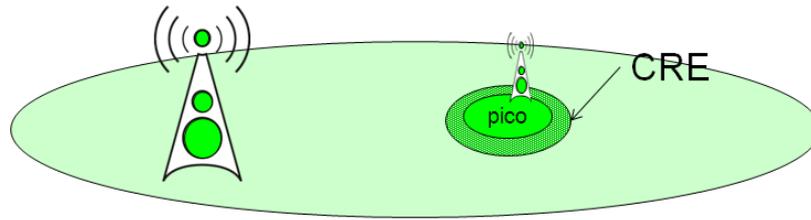


図 21: マクロセル内でピコセルを用いるヘテロジニアス・ネットワークのセルレイアウト例

PC からの DL 信号が強い従来のセル端と、いわゆる CRE (Cell Range Extension) の 2 つの境界が、PC にはあります。CRE 内では、MC への UL パスロスよりも、PC への UL パスロスが小さいが、MC からの DL 信号の方が強いエリアです。これは MC とは異なり、MC 配置では、隣接セルの DL 信号がサービスセルの DL 信号よりも強くなると、その隣接セルの UL もより良い選択とみなすことができます。MC とは対照的に PC/FC のケースで、CRE 内では、実際に、FC/PC への接続を維持する方が良いです。たいてい MC の送信パワーはかなり高いことが、この非対称性の根拠です。そのため、CRE はオプションであり、UL 干渉を回避するために、および適切な負荷分散のために使用されます。MC によって干渉されるので、DL 信号をデコードする UE の問題を引き起こします。

FC のケースでは、いわゆる CSG (Closed Subscriber Groups) の問題があります。選択された UE だけが、FC との接続を許可されるのに、信号品質に関係なく、他の UE は許可されないことを意味します。

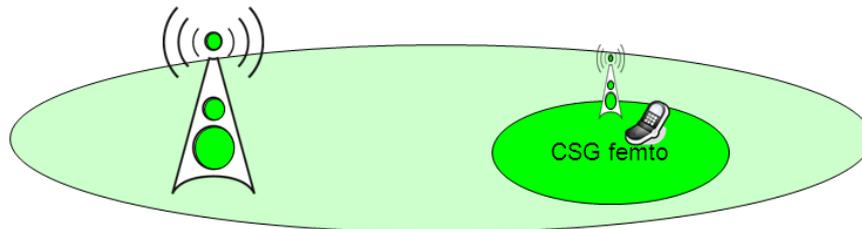


図 22: フェムトセルの干渉シナリオ

図 21 に示す UE は CSG に属していないので、MC に接続する必要があります。DL で UE が FC によって大きく干渉され、その逆も、FC の UL を干渉することは、容易に想像できます。

結果的に、HetNets で解決する新たな 2 つの質的課題があります。

- 制御チャンネルがデコードと異なる
- 基準信号に対する UE 測定を偽る

Release 8 / 9 の ICIC 法は、データチャンネルに制限されて、これらの問題軽減に寄与しません。

これらの新たな課題に対処するために、ABS (Almost Blank Subframes) のコンセプトを取り入れました。データ送信が何もなく、対応する制御情報もないサブフレームです (図 23)。



図 23: ABS のイメージ

後方互換性を維持する要件のため、Release 8 / 9 UE も、HetNets に接続できる必要があります。ABS を適用するときにも、Release 8 UE に関するすべての信号を送信しなければなりません。CRS (Cell Reference Signals)、同期信号、ブロードキャストメッセージ、およびページングメッセージです。CRS を除きこれらすべての信号がサブフレーム#0, 4, 5, 9 で送信されます、すなわち ABS のために他のサブフレームを用いて、LTE Release 8 UE を妨害しません。CRS の一部でも取り除くためには、ABS を MBSFN サブフレームとして申告できます。

CRE 付 PC では、MC が ABS を生成します。これらのサブフレームで、PC は干渉する UE のための関連情報をスケジューリングし、UE は DL 信号測定をその中で行うことができます。対向する状況が CSG 付 FC に適用されます。ここでは、UE が MC とデータを交換し、RRC 測定を行うため、特定のサブフレームを空けておくことが、FC のタスクです。

PC ↔ MC の状況では、MC は、X2 インタフェース経由で ABS 情報を送信します。このインタフェースの特性に従い、ABS 割り当ては、半静的期間の特性であり、PC によるリクエストか、あるいは未承諾でのいずれかで、*LoadInformation* メッセージ経由で通知されます。2 つのビットマップがそこに含まれ、MC で使用されるすべての ABS セットを示すためのビットマップと、測定を行うことを推奨するサブフレームを示すための最初のサブセットとするビットマップです。双方のパターンは、FDD で 40 サブフレーム周期、TDD でコンフィグに依存する周期をもちます。

このメッセージを受信すると、PC は、測定制約のため、ビットマップ関連サブフレーム・パターンから派生します。干渉地帯に位置する UE だけを対処することができるように、専用 RRC シグナリング経由で UE に送信されます。

UE のための測定制約には 3 パターンあります。

- パターン 1 は PC 上の RRM/RLM 制約を示す。
- パターン 2 は PC と同一周波数で運用している隣接セルのための RRM 制約を示す。
- パターン 3 は PC 上の CSI 測定のための 2 つのサブセットを示す。構成サブセットそれぞれに CSI 報告されます。その選択についての制約がないが、1 つのサブセットは ABS からサブフレームを選択し、他サブセットは非 ABS から他サブフレームを選択することが推奨される。

測定自体は、RRM のための RSRQ 測定を除いて、非 ABS と同じです。ここで、RSSI 値は、干渉 CRS の影響を低減するために、サブフレームのすべての OFDM シンボルから得られます。

FC では、X2 インタフェースがありません。ABS と対応する測定パターンを組み立てる唯一の方法が、O&M センタ経由です。

### 3.6 リレー化 (Relaying)

LTE-Advanced では、カバレッジと容量を向上させるために Relaying をサポートする LTE Release 8 を拡張しています。図 24 に示すように、UE はリレーノード (RN) と通信し、順に RN はドナー eNodeB (DeNB) と通信します。DeNB は、複数の RN にサービスするだけでなく、リレーを経由せず Release 8 仕様に従い UE と直接通信することもできます。

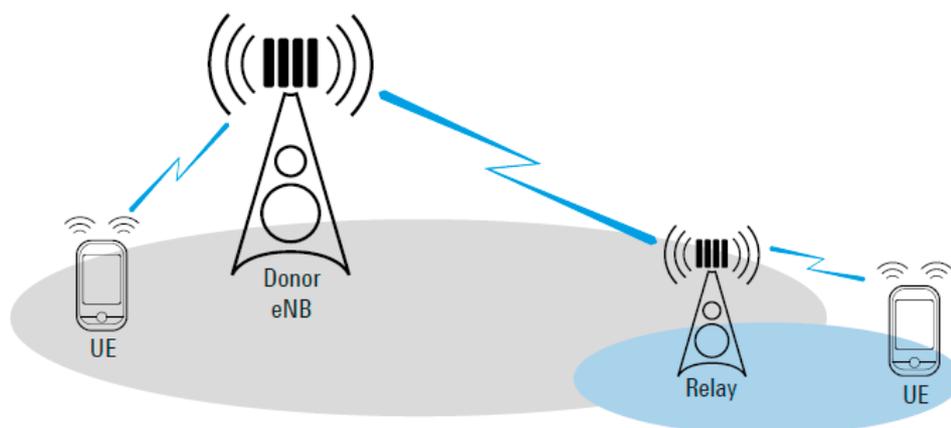


図 24: リレー化 (Relaying)

図 24 の RN は、いわゆる *Type 1* リレーです。これは自身のセルを形成することを意味し、すなわち、自身の Cell\_ID、同期信号、およびリファレンス・シグナルを送信します。UE は、RN とだけ通信し、DeNB に気付いていません。UE から見ると、この *Type 1* RN は、従来の eNodeB のように見え、eNodeB と区別できません。Release 10 では、このタイプだけが定義されています。他のタイプは以降のリリースに委ねられています。

### 3.6.1 エア・インタフェース

バックホールリンクは、eNB と UE 間のダイレクトリンクと同じエア・インタフェースのリソースを使用します。結果として、双方のリンクは同じ周波数を使用するので、リレーは、送受信信号強度差が 100 dB 程度あるため、過酷なアイソレーション問題に直面します。これらのステーションは *インバンドリレー*と呼ばれています。DeNB が CA をサポートしているならば、別の LTE 周波数を用いてアイソレーション問題を回避します。そのため、*Type 1* RN の次のカテゴリが考えられています。

- 同一周波数で同時送受信を回避するための特別なサブフレーム構成を備える RN (*Type 1*)
- *アウトバンドリレー*と呼ばれ、双方のリンクにて異なる周波数で動作する RN (*Type 1a*)。これらの RN は追加スペクトラムを利用できるネットワークにとってもよく適合します。
- レシーバとトランスミッタ間の十分高いアイソレーションを備える RN (*Type 1b*)

*Type 1a* と *Type 1b* RN は、エア・インタフェースの意味合いがありませんが、とても実現困難 (*Type 1b*) か、どうしてもネットワークに使用できない (*Type 1a*) か、いずれかです。したがって、エア・インタフェースで考慮すべき変更が必要となる簡素な *Type 1* RN が最重要視されています。

簡素な *Type 1* RN の重要ポイントは、RN が DeNB とデータをやり取りしている間、UE へのリンクでギャップを作らなければならないことです (図 25)。しかし、RN にアタッチした UE は、すべてのノーマル・サブフレームで CRS を期待しています。これらのギャップを作るために、これらのサブフレームは MBSFN サブフレームとして申告され、CRS を搬送しなく、結果として、チャンネル推定や RLM のために UE にて使用されません。

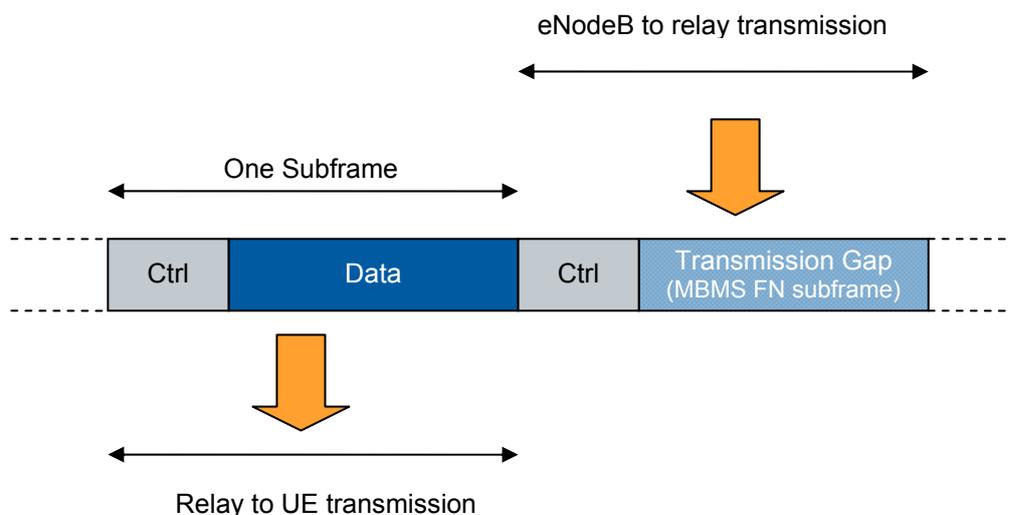


図 25: ノーマル・サブフレームを用いるリレーから UE への通信例 (左) と MBSFN サブフレームを用いる eNodeB からリレーへの通信例 (右)

### 3.6.2 RN からネットワークへのアタッチ

RN スタートアップ手順は、通常の UE アタッチに基づく 2 ステップのプロセスです。第 1 ステップで、RN は、すべての情報を取得するために、通常の UE として接続し、第 2 ステップでリレーとして接続する必要があります。

これは、DeNB 能力があるかどうかに関係なく、eNB に対して何もしません。主な目的は、最も重要な DeNB のリストから成る、初期パラメータのリストを取得するために、O&M センタに接続することです。それから、RN は切り離して、次ステップの RN 運用のためのアタッチをトリガします。

この第 2 アタッチで、UE は、O&M が提供する DeNB の一つを選択します。RN は、リレー運用のためにアタッチするので、認証とセキュリティが繰り返されます。潜在需要とスペシャル・サブフレーム構造がネゴシエーションされ、最終的に O&M は RN 構成を完了できます。S1/X2 接続のセットアップ後に、RN は運用スタートできます。

## 4 まとめ

本書では、3GPP 内で各スタディ／ワークアイテム段階で評価され規定された LTE-Advanced の高度化を要約しました。各種機能によって、さまざまな性能向上を実現できますが、システムの複雑さとコストにも影響を与えます。例えば 8x8 MIMO スキームは、ピークデータレートとスペクトラム効率を大幅に向上させます。同時に、この機能は、ネットワークではアンテナ設置など、UE では送信／受信チェーン追加の複雑さ、に大幅な影響を与えます。これに対し、バンド・アグリゲーションは、スペクトラム効率、セル端性能、カバレッジ、ネットワークコストへ影響しません。しかし、CA キャリア数 (将来可能性 5) に応じてピークデータレートが向上しますが、それに伴って UE の複雑さは高まります。今後予測される UL 送信スキームの高度化を分析すると、スペクトラム効率とセル端性能の緩やかな改善では、UE の複雑さへの影響は限定的になります。図 26 に示した各種機能の費用対効果の評価は、[3] で提供された LTE-Advanced 自己評価データに基づき、著者独自評価によって完成しています。定量的評価よりむしろ質的指標として受け取ってください。LTE-Advanced は、LTE を進化させ、3GPP 標準化で LTE Release 8 後に約 3 年で策定されました。仕様には、新たなテスト要件と方法が追加され、修正もされました。LTE-Advanced 信号を生成するためには、およびテストするためには、[2] に説明が記載されています。

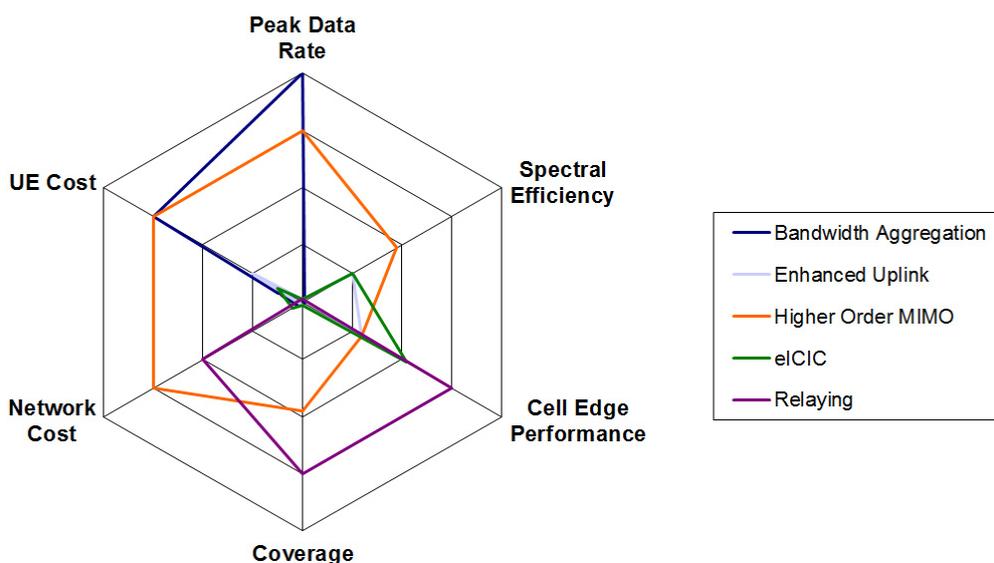


図 26: LTE-Advanced 機能の費用対効果評価

低速移動シナリオで 1 Gbps 伝送を含んでいる ITU-Advanced 4G 要件が達成されると認められることで、LTE Release 8 / LTE-Advanced は、今後 10 年間の携帯電話業界のイノベーション・プラットフォームとなるでしょう。実際に、[3] の自己評価では、要件のほとんどがすでに Release 8 時点の LTE で満たされていると結論づけています。

## 5 付録

### 5.1 LTE-Advanced 周波数バンド

LTE-Advanced の運用バンドは、E-UTRA 運用バンドに加え、ITU-R で特定された IMT バンドも含む可能性があります。E-UTRA (LTE) 運用バンドを表 23 に示します。

Operating bands for LTE / LTE-Advanced					
Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive/UE transmit		Downlink (DL) operating band BS transmit /UE receive		Duplex Mode
	$F_{UL\_low}$	$F_{UL\_high}$	$F_{DL\_low}$	$F_{DL\_high}$	
1	1920 MHz	– 1980 MHz	2110 MHz	– 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	– 1910 MHz	1930 MHz	– 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	– 1785 MHz	1805 MHz	– 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	– 1755 MHz	2110 MHz	– 2155 MHz	FDD
5	824 MHz	– 849 MHz	869 MHz	– 894 MHz	FDD
6	830 MHz	– 840 MHz	865 MHz	– 875 MHz	FDD
7	2500 MHz	– 2570 MHz	2620 MHz	– 2690 MHz	FDD
8	880 MHz	– 915 MHz	925 MHz	– 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz	– 1784.9 MHz	1844.9 MHz	– 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	– 1770 MHz	2110 MHz	– 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	– 1447.9 MHz	1475.9 MHz	– 1495.9 MHz	FDD
12	698 MHz	– 716 MHz	728 MHz	– 746 MHz	FDD
13	777 MHz	– 787 MHz	746 MHz	– 756 MHz	FDD
14	788 MHz	– 798 MHz	758 MHz	– 768 MHz	FDD
15	Reserved		Reserved		-
16	Reserved		Reserved		-
17	704 MHz	– 716 MHz	734 MHz	– 746 MHz	FDD
18	815 MHz	– 830 MHz	860 MHz	– 875 MHz	FDD
19	830 MHz	– 845 MHz	875 MHz	– 890 MHz	FDD
20	832 MHz	– 862 MHz	791 MHz	– 821 MHz	FDD
21	1447.9 MHz	– 1462.9 MHz	1495.9 MHz	– 1510.9 MHz	FDD
22	3410 MHz	– 3500 MHz	3510 MHz	– 3600 MHz	FDD
23	2000 MHz	– 2020 MHz	2180 MHz	– 2200 MHz	FDD
24	1626.5 MHz	– 1660.5 MHz	1525 MHz	– 1559 MHz	FDD
25	1850 MHz	– 1915 MHz	1930 MHz	– 1995 MHz	FDD
...					
33	1900 MHz	– 1920 MHz	1900 MHz	– 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	– 2025 MHz	2010 MHz	– 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	– 1910 MHz	1850 MHz	– 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	– 1990 MHz	1930 MHz	– 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	– 1930 MHz	1910 MHz	– 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	– 2620 MHz	2570 MHz	– 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	– 1920 MHz	1880 MHz	– 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	– 2400 MHz	2300 MHz	– 2400 MHz	TDD
41	3400 MHz	– 3600 MHz	3400 MHz	– 3600 MHz	TDD
42	3400 MHz	– 3600 MHz	3400 MHz	– 3600 MHz	TDD
43	3600 MHz	– 3800 MHz	3600 MHz	– 3800 MHz	TDD

表 23: LTE / LTE-Advanced の運用バンド [5]

## 6 参考文献

- [1] Rohde & Schwarz: Application Note [1MA111](#) “UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction”
- [2] Rohde & Schwarz: Application Note [1MA166](#) “LTE-Advanced Signals Generation and – Analysis”
- [3] 3GPP TR 36.912 V 10.0.0, March 2011; Technical Specification Group Radio Access Network; Feasibility study for further advancements for E-UTRA (LTE-Advanced), Release 10
- [4] 3GPP TR 36.913 V 10.0.0, March 2011; Technical Specification Group Radio Access Network; Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) LTE-Advanced, Release 10
- [5] 3GPP TS 36.101 V10.6.0, March 2012; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception, Release 10
- [6] 3GPP TS 36.104 V10.6.0, March 2012; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception, Release 10
- [7] 3GPP TS 36.211 V10.5.0, June 2012, Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation, Release 10
- [8] 3GPP TS 36.212 V10.6.0, June 2012, Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding, Release 10
- [9] 3GPP TS 36.213 V10.6.0, June 2012, Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures, Release 10
- [10] 3GPP TS 36.300 V10.8.0, June 2012, Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2, Release 10
- [11] 3GPP TS 36.306 V10.6.0, June 2012, Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities, Release 10
- [12] 3GPP TS 36.331 V10.6.0, June 2012, Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification, Release 10

## 7 追加情報

本アプリケーションノートに関するご意見やご提案がございましたら、以下のアドレスまでご連絡ください。

[TM-Applications@rohde-schwarz.com](mailto:TM-Applications@rohde-schwarz.com)

## ローデ・シュワルツについて

ローデ・シュワルツ・グループ（本社：ドイツ・ミュンヘン）は、エレクトロニクス分野に特化し、電子計測、放送、無線通信の監視・探知および高品質な通信システムなどで世界をリードしています。

約 80 年前に創業し、世界 70 カ国以上で販売と保守・修理を展開している会社です。

## ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社

本社／東京オフィス

〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-20-1

住友不動産西新宿ビル 27 階

TEL:03-5925-1288/1287 FAX:03-5925-1290/1285

神奈川オフィス

〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 2-8-12

Attend on Tower 16 階

TEL:045-477-3570 (代) FAX:045-471-7678

大阪オフィス

〒564-0063 大阪府吹田市江坂町 1-23-20

TEK 第 2 ビル 8 階

TEL:06-6310-9651 (代) FAX:06-6330-9651

サービスセンター

〒330-0075 埼玉県さいたま市浦和区針ヶ谷 4-2-11

さくら浦和ビル 4 階

TEL:048-829-8061 FAX:048-822-3156

E-mail: [info.rsjp@rohde-schwarz.com](mailto:info.rsjp@rohde-schwarz.com)

<http://www.rohde-schwarz.co.jp/>

Certified Quality System  
**ISO 9001**  
DQS REG. NO 1954 QM

Certified Environmental System  
**ISO 14001**  
DQS REG. NO 1954 UM

このアプリケーションノートと付属のプログラムは、ローデ・シュワルツのウェブサイトのダウンロード・エリアに記載されている諸条件に従ってのみ使用することができます。

掲載されている記事・図表などの無断転載を禁止します。

おことわりなしに掲載内容の一部を変更させていただくことがあります。あらかじめご了承ください。

ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社

〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-20-1 住友不動産西新宿ビル 27 階

TEL:03-5925-1288/1287 FAX:03-5925-1290/1285