

PREMIUM 4G特集 —LTE-Advancedの導入—

高度化C-RANアーキテクチャを実現する
無線装置およびアンテナの開発

ドコモは、LTEをさらに高度化したLTE-Advancedによる通信サービスを「PREMIUM 4G™^{*1}」として2015年3月より提供開始した。本稿では、LTE-Advancedを効果的に展開する高度化C-RANアーキテクチャの実現・商用化に向け、新規に開発した高密度BDEとスモールセルの構築に用いるSREおよびアンテナの概要を解説する。

無線アクセス開発部

よしはら 吉原	たつひこ 龍彦	とえだ 戸枝	てるあき 輝朗
ふじい 藤井	まさひろ 昌宏	すわ 諏訪	しんご 真悟
やまだ 山田	たけふみ 武史		

1. まえがき

ドコモは、LTEのさらなる高速化・大容量化を実現する通信方式LTE-Advancedを活用した通信サービスを「PREMIUM 4G」として2015年3月より提供開始した。「PREMIUM 4G」では、LTE-Advancedの主要技術の1つであるキャリアアグリゲーション（CA：Carrier Aggregation）^{*2}を活用することで、サービス提供開始時に国内最速となる受信時最大225Mbps（一部262.5Mbps）の通信速度を達成、2015年度内には同300Mbpsまで高速化を進めていく計画である。この「PREMIUM 4G」の実現におい

ては、LTE-Advancedの効果的な展開を可能とする高度化C-RAN（Centralized Radio Access Network）^{*3}アーキテクチャを採用している[1]。

高度化C-RANアーキテクチャは、これまでW-CDMA方式[2]およびLTE方式[3]での通信サービスの展開において導入してきた従来のC-RANアーキテクチャと同様に、ベースバンド（BB：Base Band）^{*4}処理部と電波の送受信機能などをもつ無線部（RE：Radio Equipment）^{*5}から構成され、BB処理部とREを光ファイバで接続し複数のREを1つのBB処理部で集中制御する構成（光張出し構成）をとる。この光張出し構成によ

り置局の柔軟性を高めることで、都市部など置局スペースに制限がある地域においてもサービスエリアの展開を加速するとともに、集中制御によるCAや移動制御の実現など、セル間の高度な連携を可能にしている。

高度化C-RANアーキテクチャの実現に向け、ドコモはBB信号処理を行う無線基地局装置デジタル処理部（BDE：Base station Digital processing Equipment）を高密度化した高密度BDE、スモールセル^{*6}用のREとなる小型低出力光張出し無線装置（SRE：low power Small optical remote Radio Equipment）、およびスモールセル用の基地局アン

©2015 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

† 現在、イノベーション統括部

^{*1} PREMIUM 4G™：NTTドコモの商標。

^{*2} キャリアアグリゲーション（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。

^{*3} 高度化C-RAN：CA技術を活用し、マクロセルとスモールセルを協調させるドコモが提唱するネットワークアーキテクチャ。

^{*4} ベースバンド（BB）：デジタル信号処理を

行う回路またはその機能ブロック。

^{*5} 無線部（RE）：CPRIを介してBDEと接続される無線装置。

^{*6} スモールセル：送信電力が小さく、マクロセルに比較して小さいエリアをカバーするセルの総称。

テナを新規に開発した。本装置を用いた高度化C-RANアーキテクチャによるエリア展開イメージを図1に示す。本稿では、これら高密度BDE, SREおよびスモールセル用基地局アンテナの概要を解説する。

2. 高密度BDE

高密度BDEは光張出し構成におけるBB処理部に相当し、LTEおよびLTE-Advancedの同時運用が可能な装置である（写真1）。本装置は以下のような特長を有する（表1）。

2.1 収容セル数の増大およびセル間協調制御の高度化

高密度BDEは1台につき最大48本のCPRI（Common Public Radio Interface）リンク^{*7}，最大48セルを収容できるなど，従来BDE[4]の8倍の収容能力を持つ。より多くのセル

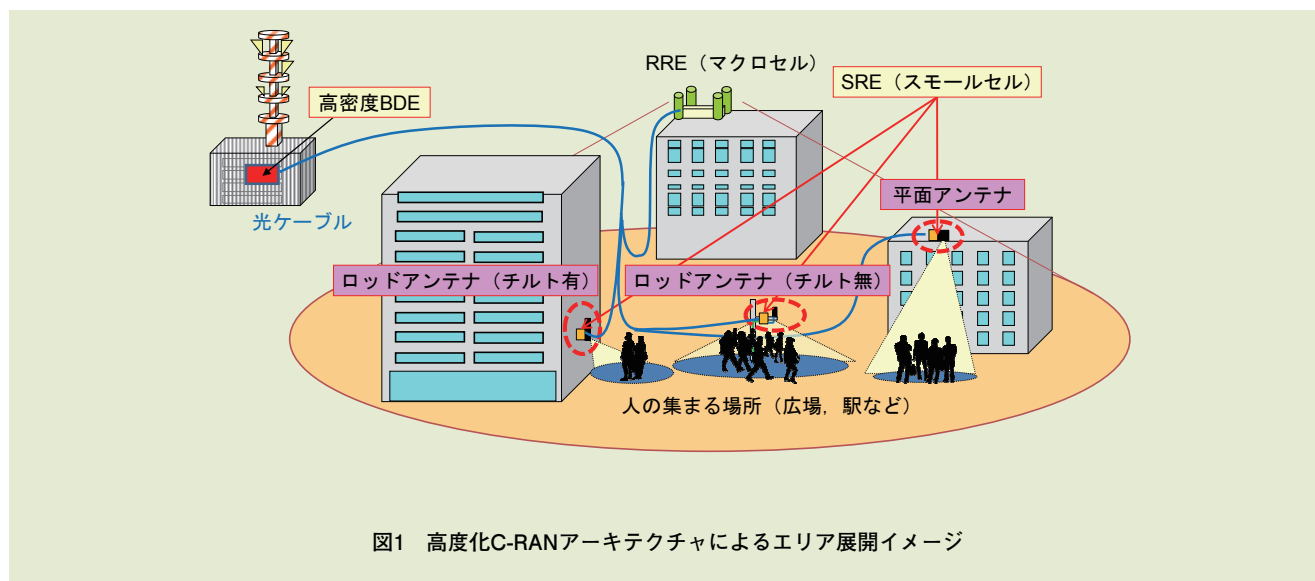


図1 高度化C-RANアーキテクチャによるエリア展開イメージ

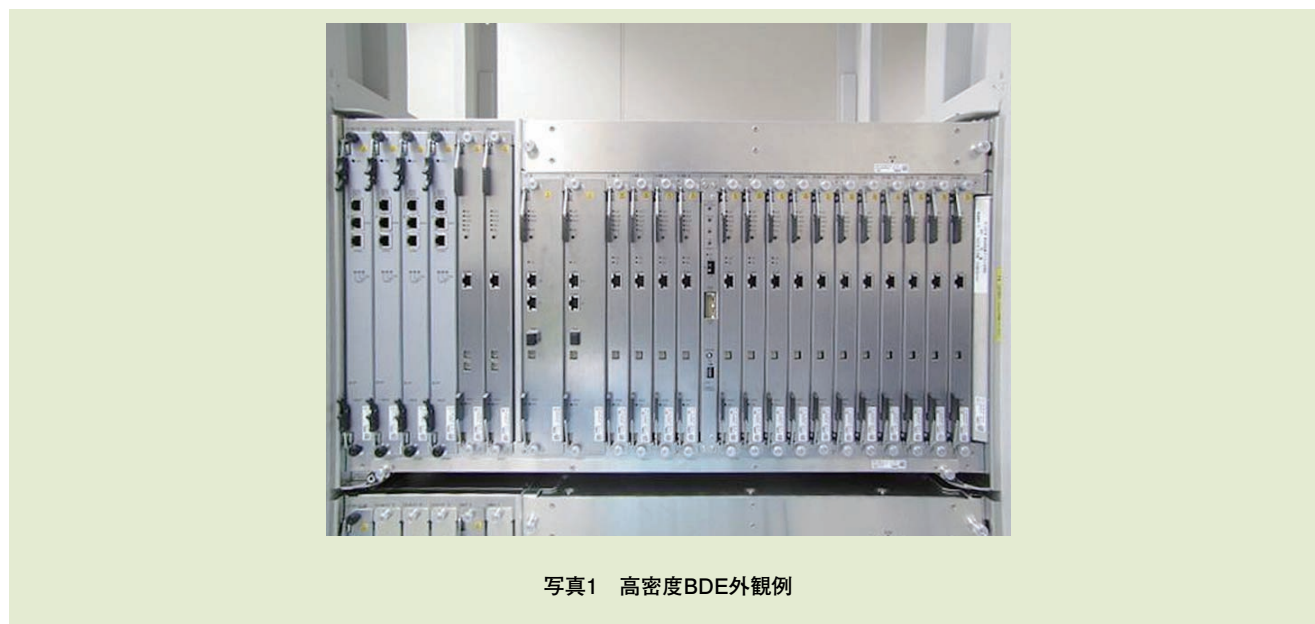


写真1 高密度BDE外観例

^{*7} CPRIリンク：標準化された無線基地局の内部インタフェース仕様であるCPRIによるREとBDE間などの回線。高密度BDEにおいては、このCPRIリンクを最大48リンク運用できるため、REの接続数が最大48本となる。

を集中制御できるようになることで、CAなどセル間の協調制御をより柔軟な組合せで実施することが可能となる。また、本装置には、既存のマクロセル用のREのみならず、スモールセル用のSREも接続可能であり、帯域およびRE種別の制限なく任意の組合せでCAを可能としている。

CAによるピーク速度の向上を安定的に実現するためには、マクロセル／スモールセルにかかわらず、移動端末におけるコンポーネントキャリア（CC：Component Carrier）^{*8}間の受信タイミング差を一定時間内に抑える必要がある[5]が、高密度BDEでは接続されたすべての無線装置（既存RRE（Remote RE）^{*9}やSRE）の送信タイミングを調整し同期させる機能を具備している。そのため、設置場所が異なり、高密度BDEまでの光ケーブル長が異なるRE間であってもCAが可能である。

2.2 装置設置性の改善と光張出し距離の拡張

1セルあたりの設置スペースと消

費電力の大幅な削減（設置スペース：従来BDE比約1/2、消費電力：従来BDE比約40%減）を実現するなど装置設置性について改善を図っている。また、BB処理部とREの光張出し距離に関しても従来装置に比べて1.5倍に拡張することで、より柔軟なエリア展開およびセル収容を実現している。

2.3 将来拡張性

高密度BDEは3G方式やTDD（Time Division Duplex）^{*10}方式へも対応可能である。TDD方式対応においては、隣接するすべてのRE間の送信タイミング同期が必要となる。高密度BDEは時刻同期方式としてGPSおよびPTP（Precision Time Protocol）^{*11}に対応しており、直接もしくはPTPネットワークを介してGPSと同期することにより、高密度BDE間の同期が実現される。PTPにより伝送路を介して同期可能なことから、一般的にTDDの時刻同期に用いられるGPSのアンテナの設置が難しい環境（地下など）においてもTDD

方式でのサービス展開が可能となる。また高密度BDEは、CAのさらなる拡張として、既存のFDD（Frequency Division Duplex）^{*12}帯域とのTDD-FDD CA[6]、3CC以上のCAに対応するほか、3.5GHz帯の高度特定基地局[7]の実現に向けたMIMO（Multiple Input Multiple Output）^{*13}の拡張にも対応している。

3. SRE

SREは2本のアンテナ系統を有するLTE 1キャリア1セクタタイプのスモールセル用小型低出力光張出し無線装置である。容量バンド^{*14}である1.5GHz帯対応装置と1.7GHz帯対応装置の2種類がある（写真2）。

SREは既存のRREと同様、主に無線送受信インタフェース機能部（TRX-INF：Transmitter and Receiver-InterFace）^{*15}、無線送受信機能部（TRX：Transmitter and Receiver）^{*16}、送信増幅器（T-PA：Transmission-Power Amplifier）^{*17}、低雑音受信増幅器（LNA：Low Noise Amplifier）^{*18}、送受共用器（DUP：

表1 高密度BDEの基本仕様

	高密度BDE	従来BDE
対応方式	LTE/LTE-Advanced	LTE
CPRIリンク接続数	最大48本	最大6本
光張出し距離	従来BDEの約1.5倍	—
下り最大通信速度（1セル当り）	225Mbps（30MHz幅使用時） ～3Gbps（将来対応）	50Mbps（20MHz使用時）
消費電力	125W（1セル当り）	200W（1セル当り）
サイズ	従来BDEの約1/2（1セル当り）	—

^{*8} コンポーネントキャリア（CC）：CAにおいて束ねられるキャリアを表す用語。

^{*9} 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無線装置。

^{*10} TDD：上りリンクと下りリンクで、同じキャリア周波数、周波数帯域を用いて時間スロットで分割して信号伝送を行う方式。

^{*11} PTP：ネットワークに接続された装置間で高精度な時刻同期をするためのプロトコル。時刻情報を配信する装置（Master

Clock）がGPSに同期し、高密度BDEがMaster Clockに同期することで、GPS時間を基準とした高密度BDE間の同期を行う。

^{*12} FDD：上りリンクと下りリンクで、異なるキャリア周波数、周波数帯域を用いて信号伝送を行う方式。

^{*13} MIMO：複数の送受信アンテナを用いて伝送容量を増大する無線技術。

^{*14} 容量バンド：無線容量の増大を主な目的として使用する帯域。

^{*15} 無線送受信インタフェース機能部（TRX-INF）：BBとTRX間で、IQ信号、および保守監視信号をCPRIフォーマットに従って変換し、光ファイバで伝送する機能部。

^{*16} 無線送受信機能部（TRX）：入力された送信BB信号を直交変調により送信RF信号に変換する機能と、受信RF信号をA/D変換後、受信BB信号へ変換する機能を有する機能部。

DUPlexer)^{*19}から構成され、以下のような特徴を有する(表2)。

3.1 小型・軽量化、低消費電力化

SREは従来のRREより小型・軽量化、低消費電力化を実現したため、既存RREよりも新規設置基盤の確保に有利である。セル半径が小さく低出力であるSREを従来のRREよりも高密度かつ比較的低層に配置し

ていくことで、無線容量を増やすことが可能となる。従来RREよりも最大送信電力が小さいSREでは、消費電力全体に対するT-PA機能部の寄与度に対して、TRX機能部の寄与度が相対的に大きい。TRX機能部内にはT-PAで増幅する際に発生する歪成分を抑圧する歪補償回路があり、この歪補償方式にSREの最大送信電力に適したものを採用することで、低消費電力化を実現して

いる。また従来RREはDC電源を必要とするが、従来と異なる設置基盤において設置性を向上させるため、一般的な商用電源として提供されるAC電源を採用した。低消費電力化によって、従来装置に比べて放熱量が小さくなったため、従来の縦置き(正面、側面)設置に加えて装置をねかせて置く水平設置でも放熱が可能となり、設置性向上に寄与している。



RRH: Remote Radio Head

写真2 SRE外観例 (左：マクロセル用RRE, 右：SRE (3機種))

表2 SREの基本仕様

	1.5GHz帯SRE	1.7GHz帯SRE	(参考) 既存 2GHz帯RRE
最大送信電力	2W/15MHz/ブランチ	2W/20MHz/ブランチ	20W/20MHz/ブランチ
ブランチ数	2		2
サイズ	3ℓ以下		13ℓ以下
装置重量	3kg以下		11.5kg以下
消費電力	30W以下		220W以下
電 源	AC 100V/200V		DC -48V

***17 送信増幅器 (T-PA)** : TRXからの送信RF信号を規定レベルまで電力増幅する機能部。

***18 低雑音受信増幅器 (LNA)** : アンテナで受信された信号を初めに増幅する装置。増幅時に加えられる雑音レベルが低く、微弱な受信信号でも歪みが少ない状態で増幅される。

***19 送受共用器 (DUP)** : 送信RF信号および受信RF信号を分離・多重し、T-PAおよび

LNAに接続する。また、送信RF成分以外および受信RF成分以外の周波数成分をフィルタリングする機能を有する。

3.2 送受信性能の最適化

マクロセルとオーバーラップするエリアで、同一周波数帯のsmallセルを運用する場合もある。その場合においても、セルの所要エリア半径を確保できるようにSREの送信電力をあげることも可能である。またSREのアンテナ設置高は既存RREのそれより低くなるため、移動端末ー基地局間の伝搬損失がマクロ装置と比較して小さくなる。そのためSREはマクロセルに接続した移動端末から大きな干渉を受ける場合があるが、そのような場合においても高品質に受信できるように、所要の受信ダイナミックレンジ^{*20}を有し

ている。

4. smallセル用基地局アンテナ

開発したsmallセル用の基地局アンテナの仕様概要を表3に示す。これらのアンテナは偏波^{*21}共用かつ1.5GHz帯と1.7GHz帯の2周波数共用である。周波数帯を分離・合成するためには、SREとアンテナの間に別途開発した小型共用器を設置する。本アンテナは小型なため、エリア化したい場所に容易に設置可能である。

smallセル同士を隣接させてエリア化する場合、smallセル間の

干渉による通信品質の劣化が課題となる。これに対しては、最大放射方向を垂直面内で下向きにチルト^{*22}をかけることで、隣接セルへの干渉を低減し自セル内の受信レベルが上昇するため、スループットを向上させることができる[9]。この干渉低減と、さまざまな設置環境を考慮して開発した3種類のアンテナ特長は以下のとおりである。

(1) ロッドアンテナ (2種類)

水平面内が無指向性^{*23}で、ビル壁面や天井面などに設置し周囲をエリア化する場合に用いる。干渉低減効果を重視したチルト有タイプと小型化を重視したチルト無タイプの2

表3 基地局アンテナの仕様概要

アンテナ種別	ロッドアンテナ チルト有タイプ	ロッドアンテナ チルト無タイプ	平面アンテナ	(参考) マクロセル用アンテナ[8]
外 観				
対応周波数	1.5/1.7GHz帯			0.7/0.8/1.5/1.7/2GHz帯
水平面指向性	無指向性	無指向性	単指向性	単指向性
チルト対応	電気チルト (遠隔制御非対応)	チルト無	機械チルト (遠隔制御非対応)	電気チルト (遠隔制御対応)
サイズ (mm)	φ55×340以下	φ55×150以下	200×200×60以下	φ200×2,700以下

^{*20} ダイナミックレンジ：入力された信号を歪みなく処理できる入力信号の範囲。

^{*21} 偏波：電界の振動する方向。電界が地面に対して垂直な面内で振動する場合を垂直偏波、水平な面内で振動する場合を水平偏波という。

^{*22} チルト：アンテナから放射される電波の向きを垂直面内で傾けること。アンテナを物理的に傾ける機械チルト方式と、アンテナ素子の振幅・位相を制御して電波の最大放射方向を傾ける電気チルト方式がある。

^{*23} 指向性：どの方向にどのくらいの強さで電波が放射されるかを表す。

種類を開発した。チルト有タイプはアンテナ素子を垂直方向に複数並べて、各素子の振幅・位相を調整することで、電気チルトをかけている。ただし、チルト角を任意に変更することはできず、常に固定の角度である。

(2)平面アンテナ

利得^{*24}が高く、指向性を有するため、ビル屋上などの高い場所からスポット的にエリア化する場合に用いる。平面アンテナでは、金具で機械チルトをかけることで、干渉低減が可能となる。

5. あとがき

本稿では高度化C-RANアーキテクチャを実現するために新規開発した高密度BDE、SREおよびスモールセル用基地局アンテナについて概

要を解説した。今後も、3.5GHz帯TDD対応装置の開発を含む、無線ネットワークのさらなる高速化や大容量化、品質の向上など、お客様満足度のさらなる向上の取組みを進めていく。

文 献

- [1] 清嶋, ほか: “高度化C-RANアーキテクチャを活用したLTE-Advanced商用開発 —アドオンセルによる容量拡大と高度なセル間連携による安定した通信の実現—,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.11-18, Jul. 2015.
- [2] 大矢根, ほか: “IP化対応無線基地局装置の開発,” 本誌, Vol.15, No.1, pp.8-13, Apr. 2007.
- [3] 島津, ほか: “W-CDMA/LTEシステム共用の光張出し無線装置の開発,” 本誌, Vol.18, No.1, pp.33-37, Apr. 2010.
- [4] 島津, ほか: “W-CDMAと共用可能なLTEシステム用基地局装置の開発,” 本誌, Vol.19, No.1, pp.20-25, Apr. 2011.
- [5] 3GPP TS36.300 V12.4.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2,” Dec. 2014
- [6] 内野, ほか: “さらなる高速大容量化を実現するキャリアアグリゲーション高度化およびDual Connectivity技術,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.35-45, Jul. 2015.
- [7] 総務省: “第4世代移動通信システムの導入のための特定基地局の開設指針の制定について,” Jul. 2014.
- [8] 吉原, ほか: “700MHz帯導入に向けた5周波共用基地局アンテナの開発,” 本誌, Vol.22, No.1, pp.26-31, Apr. 2014.
- [9] 吉田 翔, 吉原 龍彦, 川合 裕之, 井原 泰介, 瀧口 貴啓, 柳生 健吾: “スモールセルにおけるアンテナビームチルトの容量増加効果,” 信学会技術研究報告, AP2014-47, pp.41-46, Jun. 2014.

*24 利得: 電波の放射が最大となる方向における電波の強さを表す。