

W-CDMA/LTE システム共用 RoF システムの開発

ドコモは、2010年12月に開始したLTEシステムによる高速、大容量、低遅延のサービスを、屋内エリアでも実現することを目的として、MIMO 伝送に対応した W-CDMA/LTE 共用の 2GHz 帯 RoF システムを開発した。大規模屋内エリアにも適用可能な最大 256 子機の接続とし、RoF システムを基地局から張り出した際の光ファイバ区間には、新たにデジタル伝送技術を適用することにより伝送路耐力の向上を図った。また、既設 RoF システムの光ファイバなどを有効利用することで、短期間かつ経済的に LTE に対応する屋内エリアの構築を可能とした。

無線アクセス開発部

ふ け ゆたか
福家 裕
ふ じ い まさひろ
藤井 昌宏

たにがわ だいすけ
谷川 大祐

先進技術研究所

きむら やすこ
木村 泰子

1. まえがき

ドコモは、アナログ方式世代より、屋内不感地エリアへの対策に注力しており、屋外エリアと同様に屋内エリアでも、日々、ユーザの利用できるエリアを拡大している。屋内で通話ができない不感地エリアの対策には、そのエリアの大きさや特性に応じて、さまざまな装置を開発し、導入してきた。小規模の屋内エリアにはフェムト基地局[1]や小電力レピータを、大規模の屋内エリアにはブースタや RoF (Radio-over-Fiber) システム (RF: Radio Frequency 光伝送装置) [2]を設置することで、不感地エリアの解消に努め、2010年3月末現在で、その数は約24,700局に達している。

2010年12月にサービスを開始したLTEでも、屋外エリアと同様、屋

内エリアについても早期にサービスが利用できるように、LTE 基地局装置を2011年3月までに1,000局設置する計画である。LTEのサービス展開は、屋外、屋内のいずれのエリアも既設の W-CDMA 基地局に LTE 基地局を併設することを基本とし、RoF システムでは、両基地局との RF 信号を送信側は合成、受信側は分配することにより、実現可能である。しかしながら、LTEの最大の特長である、高速、大容量、低遅延を実現するためには、MIMO (Multiple Input Multiple Output) 伝送方式への対応が必要である。既設 W-CDMA 基地局における屋外エリアは、おおむね送信ダイバーシチ^{*1}方式および受信ダイバーシチ方式に対応しており、すでに送受信とも2系統化されているため、空中線設備を更改する必要はない。一方、屋内エリアでは

前述のような送受信共にダイバーシチ方式に未対応であり、RF 信号をいかに2系統化するかが、LTE サービスを低コストかつ短期間で提供するうえでの課題となっていた。

既設の RoF システムに対して MIMO 伝送方式を提供する一手段として、同じ RoF システムを用意し、既設の RoF システムに併設することで、容易に RF 信号の2系統送受信化が達成できる。しかしながら、既設の RoF システムのインシャルコストと同等額が必要となること、工事期間も既設 RoF システム設置時と同等以上の時間を要すること、建築後時間が経過した古いオフィスビルなどは、光ファイバなどのケーブルを敷設するスペース (EPS: Electric Pipe Space) に限りがあり、RoF システムを追加併設することができないことなどの多大なデメリットが生

^{*1} 送信ダイバーシチ：送信アンテナ間のチャネルの変動の違いを利用してダイバーシチ利得を得る技術。

じる。

このような課題を解決するため、ドコモは、既設のRoFシステムに使用している光ファイバや電源線を活用し、RF信号のMIMO伝送を達成することのできる、新たなRoFシステムを開発した。

本稿では、このMIMO伝送対応RoFシステム（以下、新RoFシステム）の構成および特長ならびにアンテナ技術について解説する。

2. MIMO伝送対応RoFシステム

新RoFシステムの概要を図1に示す。新RoFシステムは、基本構成と拡張構成の、二通りの設置形態に対応し、次の装置で構成される。

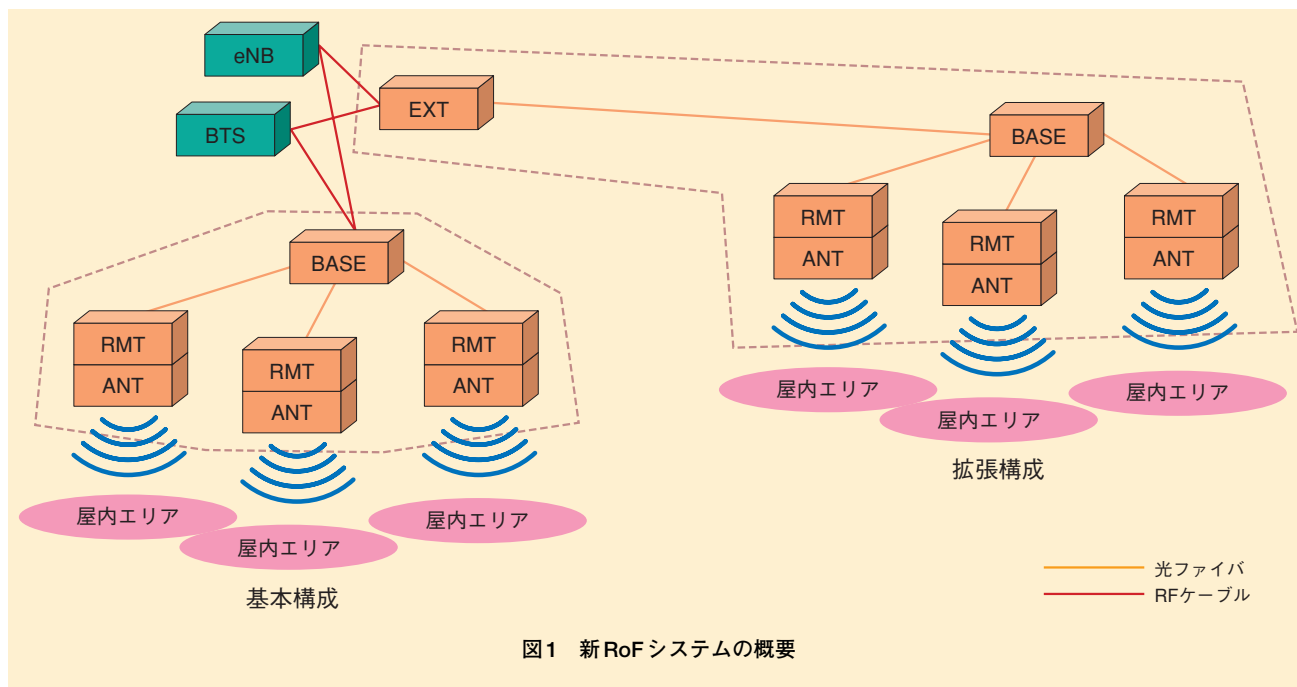
- ・親機（BASE unit）：W-CDMA 基地局装置（BTS：Base Transceiver Station）、LTE 基地局装置

（eNB：evolved NodeB）とRF信号にて接続する。また各子機とは、光ファイバ1本により接続する。親機1台に対して、子機は256台まで接続できる。各子機への電源供給機能も備える。

- ・子機（RMT：ReMoTe unit）：親機とは光ファイバ1本で接続し、アンテナとはRFケーブル2本にて接続する。親機からの給電もしくは商用電源でも動作する。
- ・アンテナ（ANT：ANTenna）：MIMO伝送方式に対応するために新規開発した偏波^{*2}共用アンテナ。2GHz帯向け送受信素子を2つ内蔵する。
- ・光拡張ユニット（EXT：EXTension unit）：新RoFシステムの基本構成を基地局とは別ロケー

ションに設置する際に使用する。BTS、eNBとRF信号にて接続する。また、インタフェース部を交換した親機と、光ファイバ1本にて接続する。

前述のとおり、子機とアンテナは構成によらず同一のハードウェアであり、また、親機も光拡張ユニットと接続するインタフェース部のみを交換することで、基本構成と拡張構成のいずれにも対応する。新RoFシステムを他の屋内不感エリアにおいて再利用する際にも、柔軟な対応が可能である。拡張構成は、基地局と遠隔地との間に光ファイバを準備する必要があるが、新RoFシステムを展開するエリアによっては、基地局設備をノードビルなどに集約できるメリットがあるため、基地局設備や共通設備の共用化や、保守メンテナ



*2 偏波：電波が空間を伝搬するときの電界の振動方向。一般に電界の振動方向が一定の直線偏波と回転する回転偏波がある。本稿では、直線偏波の性質を利用した偏波共用アンテナを使用。

ンスの効率化など、ランニングコストの削減が可能となる。

新RoFシステムの基本仕様を表1に示す。

従来のRoFは複数の周波数帯域に対応していたが、新RoFシステムはコスト面も考慮し、2GHz帯に特化している。また、親機1台に対して子機256台まで接続する構成としたことで、特に、大規模な屋内エリアに設置する際に必要であった複数台の親機や基地局設備を集約することができる。

新RoFシステムは子機を256台まで接続できるように拡張しているが、その運用状態は、従来装置と同様の警報監視水準を実現している。新RoFシステムは監視局で常時その状態を確認することができ、異常発生時には、親機、光拡張ユニットのいずれからでも、ツールを用いて子機ごとの動作状態を詳細に確認することができる。

動作電源は直流電源、商用電源のいずれにも対応しており、親機は子機への電源供給機能も具備する。また、子機の低消費電力化を行うことで、既設RoFシステムの新RoFシス

テムへの更改時における親機と子機との間の電源線の利活用を可能としている。新RoFシステムの各装置の寸法も、設備更改を考慮して設計している。新RoFシステムの外観を写真1に示す。

3. MIMO伝送方式に対応する技術

新RoFシステムの基本構成を図2に示す。新RoFシステムでは、MIMO伝送の実現に向け、上下回線にそれぞれ2系統あるRF信号の多重のために、IF (Intermediate Frequency)^{*3}帯域への周波数変換多重技術を用いている。IF帯域は、周波数変換に用いた基準信号や、そのイ

メージ信号^{*4}が送受信周波数帯域に影響をおよぼさないように決定している。基準信号は、親機もしくは光拡張ユニットに内蔵する単一の発信器から、各周波数変換部にRF信号と重畳して供給するため、周波数変換に伴う周波数偏差は発生しない。

既設RoFシステムの光ファイバを利活用すること目的として、従来実現していた光拡張ユニットと親機との間に加えて、新RoFシステムでは、親機と子機の間でも光波長分割多重^{*5}方式を用いて、光ファイバの1芯化を実現している。1芯化によって、光ファイバが1本でもあれば子機の設置が可能となり、新RoFシステムを新設用設備として利用す

表1 新RoFシステムの基本仕様

	下り回線（基地局から移動局へ）	上り回線（移動局から基地局へ）
周波数帯域	2,130～2,150 MHz	1,940～1,960MHz
回線利得	25dB	0dB
ACLR	45.8dB以上または -32.8dBm/MHz以下	—
雑音指数	—	13.4dB以下（通常構成, RMT1台）
光ファイバ伝送距離	4km（親機～子機間） 20km（光拡張ユニット～親機間）	
光反射減衰量特性	40dB以上（親機～子機間） 27dB以上（光拡張ユニット～親機間）	
電源電圧	DC -57 V ～ -40.5 V, AC 90 V ～ 110 V	



写真1 新RoFシステムの外観

*3 IF：高周波信号を復調処理が可能な周波数に変換した周波数。中間周波数ともいう。

*4 イメージ信号：局部発信などにより、目的波とは異なる周波数帯の信号がIF周波数（目的波）に落ち込むことで、混信の

原因となる信号。

*5 光波長分割多重：1本の光ファイバケーブルに複数の異なる光波長の信号を多重する技術。同時に複数の信号を伝送可能なため、高速・大容量化に適している。

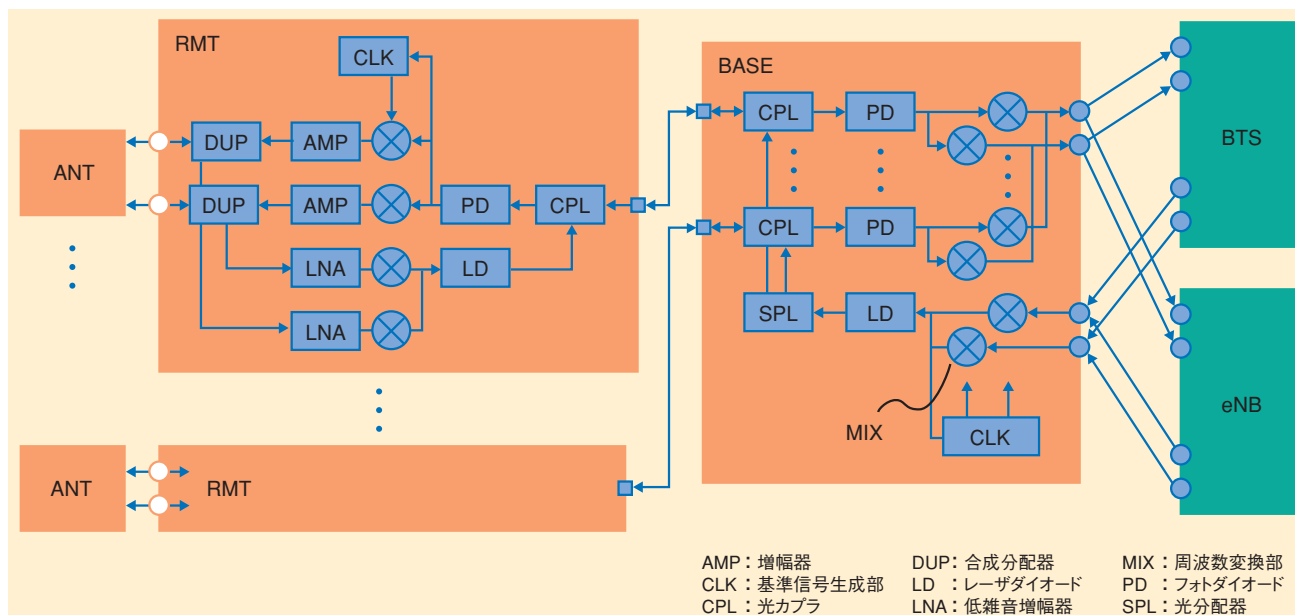


図2 新RoFシステムの基本構成

る場合は、光ファイバ敷設にかかる稼働が従来の2芯から1芯へと、半分に削減される。

また、光拡張ユニットと親機の間では、新たに光デジタル伝送方式を用いることで、光反射耐力の向上を図っている。今までのRoFシステム拡張構成では、光アナログ伝送方式を用いていたため、光伝送路区間での光信号の乱反射により光アナログ信号が劣化し、結果として、RF信号特性が劣化することがあったが、光デジタル伝送方式を適用することで、光信号の乱反射に伴うRF信号特性の劣化を抑えることが可能となった。これにより、既存RoFシステムの更改においてはRF信号特性の改善が期待でき、新規のRoFシステムを新たに設置する場合においても、光ファイバ伝送路に対する光反射減衰量特性が緩和可能となるこ

とから、光ファイバ伝送路の基盤確保が容易となり、工期短縮が期待できる。

4. MIMO 伝送対応 RoF システムの無線特性

RoFシステムの性能指標となる下り回線のACLR（Adjacent Channel Leakage power Ratio）^{*6}特性ならびに上り回線の雑音指数^{*7}特性は、それぞれ従来のRoFシステムよりも向上している。加えて、W-CDMAでは送受信ダイバーシチ方式、LTEではMIMO伝送方式に対応することから、既設RoFシステムに対して、さらなる屋内エリアの品質が改善できる。既設RoFシステムの更改では、子機を同じ場所に設置しても同等以上のエリアを確保することが可能であり、新RoFシステムを新規に設置する場合は、従来のRoFシステムを

用いるよりも子機、アンテナ数を削減することで、設置コストの削減が可能となる。

5. MIMO 伝送対応 RoF システム用アンテナ

今回開発した2種類の新RoFシステム用アンテナの基本仕様を表2に示す。本アンテナは、既設アンテナの設置スペースを有効に利用するとともに施工を簡易にすることを目的として、垂直偏波および水平偏波のアンテナを1つのカバーの中に配置し、MIMO伝送に必要な2系統のアンテナを1つのアンテナで実現している。既設RoFシステム設備更改を想定して、既設屋内用アンテナと取付け方法（取付穴位置、RF接続端子の配置）を統一し、工期短縮を可能としている。一般に2つのアンテナが近接して配置されると、MIMO

^{*6} ACLR：変調波を送信するときに、本来の送信帯域信号電力と、それに隣接するチャンネルに発生した不要波電力との比。

^{*7} 雑音指数：装置内部で発生する雑音電力の程度。入力信号のSN（信号対雑音）比と出力信号のSN比の比にて定義される。

伝送で重要となるアンテナブランチ間のフェージング相関^{*8}が高くなり、MIMO伝送特性が劣化するが、本アンテナでは、直交する偏波特性を有するアンテナを用いることで、2系統のアンテナの近接配置時のフェージング相関低減を実現し、MIMO伝送特性の劣化を抑制している。アンテナの種別としては、汎用的なエリア構築に用いる無指向アンテナと、地下道など細長い通路に沿ったエリア構築に用いる双方向アンテナの2種類を開発した（図3）。

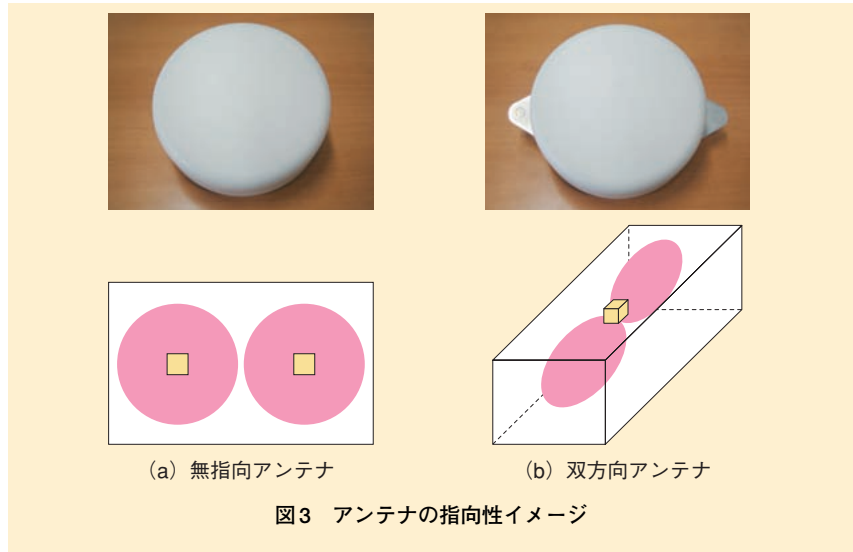
6. あとがき

本稿では、LTEサービスにおける早期の屋内エリア展開を可能とする、MIMO伝送対応RoFシステムの構成および特長ならびにアンテナ技術を解説した。

今後は、既存RoFシステムからの、今まで以上に迅速かつ容易な設備更改を可能とするシステムへの改良検討を進める。

表2 新RoFシステム用アンテナの基本仕様

項 目	無指向アンテナ	双方向アンテナ
偏 波	垂直偏波・水平偏波	垂直偏波・水平偏波
アンテナ利得	2dBi以上	4dBi以上
サイズ（取付部除く）	130mm ϕ × 高さ40mm	130mm ϕ × 高さ41mm



文 献

- [1] 渡辺, ほか: “フェムトセル用超小型基地局装置の開発,” 本誌, Vol.16, No.2, pp.61-65, Jul. 2008.

- [2] 引馬, ほか: “FOMAエリアの経済的拡大に向けた無線基地局装置の開発,” 本誌, Vol.12, No.1, pp.50-56, Apr. 2004.

*8 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。