

NTT DOCOMO

テクニカル・ジャーナル

Technical Journal

vol.24 No.2 | Jul.2016

DOCOMO Today

- 私たちにできること

Technology Reports (特集)

3.5GHz帯導入

- 3.5GHz帯TD-LTE導入に関するドコモの技術開発の取組み
- 3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた基地局装置の開発
- 3.5GHz帯導入に向けた基地局アンテナの開発
- 3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた高精度時刻同期ネットワーク装置の開発
- 3.5GHz帯TD-LTEに対応した移動端末の開発

Technology Reports (特集)

LTE-Advanced Release 13 標準化

- LTE-Advanced Release 13標準化技術概要
- LTE Release 13におけるIoTを実現する新技術
- LTE - Advanced Release 13における広帯域周波数の活用技術
- LTE-Advanced Release 13におけるマルチアンテナ送受信および受信機能改善技術

私たちにできること



R&D総務部 部長

わたなべ かずひろ
渡辺 和弘

R&Dセンタはドコモの研究開発拠点ですが、その中にあって私たちR&D総務部は研究開発以外のさまざまな役割を担っています。その役割の1つは、展示ホール「WHARF」を通じてより多くの方々にドコモの研究開発成果や新サービスを情報発信することです。このホールは誰でも見学が可能で「ドコモR&Dが創造する移動通信の将来ビジョンを実感できる」空間として、開設以来およそ12万人の方々に見学いただいています。

この他にも「地域社会との連携」「センタの安心・安全」「働きやすい職場環境の提供」など大事な役割を担っています。今回は最近のトピックスを含めた取組みのいくつかをご紹介します。

- ①R&Dセンタ内には2つの社員食堂がありますが、そこで月2回提供されるヘルシーな食事を社員が1食とすることで、その売上金の一部が自動的に開発途上国の子どもの学校給食1食分としてプレゼントされる、というものです。この活動は、ヘルシーな食事を食べることがそのまま社会貢献になり活動に参加しやすいことや、社員の健康意識の向上にも繋がることから長く続けていきたいと思っています。また、横須賀地区の障がいのある方々の社会参加および自立の一助となるよう、自らが作ったパンやクッキーなどを販売する場の提供も行っています(年6回程度)。販売は準備を含めると約2時間程度ですが、障がいのある方々も準備から会計まで自分たちのできることを一生懸命行っています。この活動は10年以上継

- 続しており、当センタの恒例行事として定着しています。
- ②R&Dセンタの一部をドラマ、映画、CMなどのロケ地として登録し、すでいくつかのドラマ撮影などに利用され放映されています。当センタ以外にも、エリア内のいくつかの企業様も行っておりYRPエリアの活性化に努めています。
- ③毎年、学校が夏休みに入る頃「社員家族見学会」を行っています。目新しい事ではありませんが、職場(研究所)の中はなかなか見学する機会がないこともあり、毎年多くの社員の家族が参加します。企画・運営はセンタに勤務する社員が中心になって行い、職場見学、各種イベント、子供向け体験コーナー、ドコモダケの着ぐるみのお出迎えなど、大人から子どもまで楽しめるよう工夫を凝らした催しとなっています。当日は職場を訪問し社員の上司とお子さんが名刺交換をしたり、ドコモダケの着ぐるみと記念撮影をしたりと、お母さん、お父さんのエスコートで楽しい1日を過ごします。
- ④最後に、最近のトピックをご紹介します。横須賀市が横須賀製鉄所(造船所)創設150周年を記念して「ミス・インターナショナル2015」の代表(75の国と地域)を横須賀市に招致した際、R&Dセンタにも立ち寄っていただき、「5G」「てがき翻訳™*1」などドコモの最新技術やサービスを体験していただきました。説明内容は難解なものもあり興味を持ってもらえるか不安もありましたが、質問も多く「とても印象的だった」などの感想もいただきイベントは大変盛り上がりしました。また、見学中には各国代表の情報発信(SNSなど)により、世界各国の方々にもドコモの先進性をアピールしていただきました。今回のイベントに参加した社員も貴重な体験ができたと思います。

以前、新幹線の清掃という、地味で目立たないけれどなくてはならない業務を行う縁の下の力持ち的な会社で働く人たちが、なぜ「お掃除の天使たち」「7分間の奇跡」などと称されたのかを紹介した本の中で、「与えられた仕事をこなすだけの現場ではない」「もっとよくなるはずだ」「もっといろいろなことのできるはずだ」という一節がありました[1]。

私たちR&D総務部の仕事も、地味で目立たないものも多くありますが、まだまだ知恵やアイデアを出すことができる、そして、今以上に「自分たちだからできる仕事」に変えていく。そんな思いを強く持ち続けながらお客様、地域社会、社員などさまざまな繋がりを大切に、R&Dセンタに働く人たちの支援を行っていこうと思います。

文献

- [1] 遠藤 功:「新幹線 お掃除の天使たち」(「世界一の現場力」はどう生まれたか?)、あさ出版、Oct. 2012.

*1 てがき翻訳™: (株)NTTドコモの商標。

Contents

DOCOMO Today



私たちにできること 渡辺 和弘 1

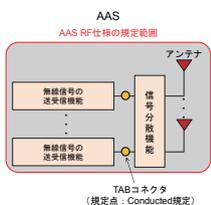
Technology Reports (特集)



(P.8)



(P.27)



(P.59)

3.5GHz帯導入

3.5GHz帯TD-LTE導入に関するドコモの技術開発の取組み 4

3.5GHz帯 TD-LTE CA

3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた基地局装置の開発 8

3.5GHz帯TD-LTE 高密度BDE 光張出し無線装置

3.5GHz帯導入に向けた基地局アンテナの開発 14

3.5GHz帯 基地局アンテナ 遠隔フィルタ

3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた高精度時刻同期ネットワーク装置の開発 18

高精度時刻同期 TD-LTE UTC

3.5GHz帯TD-LTEに対応した移動端末の開発 27

3.5GHz帯 TD-LTE 3DL CA

LTE-Advanced Release 13標準化

LTE-Advanced Release 13標準化技術概要 32

3GPP Release 13 LTE/LTE-Advanced

LTE Release 13におけるIoTを実現する新技術 38

M1 NB-IoT eDRX

LTE-Advanced Release 13における広帯域周波数の活用技術 50

CA DC アンライセンスト周波数活用

LTE-Advanced Release 13におけるマルチアンテナ送受信および受信機能改善技術 59

EBF/FD-MIMO AAS BS IRC

Topics



(P.69)

大規模災害時におけるIP系OSSの信頼性向上 69

IP系OSS ネットワーク監視 2拠点1システム化方式

Activities



(P.74)

「ワイヤレス・テクノロジー・パーク2016」 出展 74

News



(P.76)

平成28年度科学技術分野の文部科学大臣表彰
「科学技術賞（開発部門）」 受賞 76

第61回「前島密賞」 受賞 77

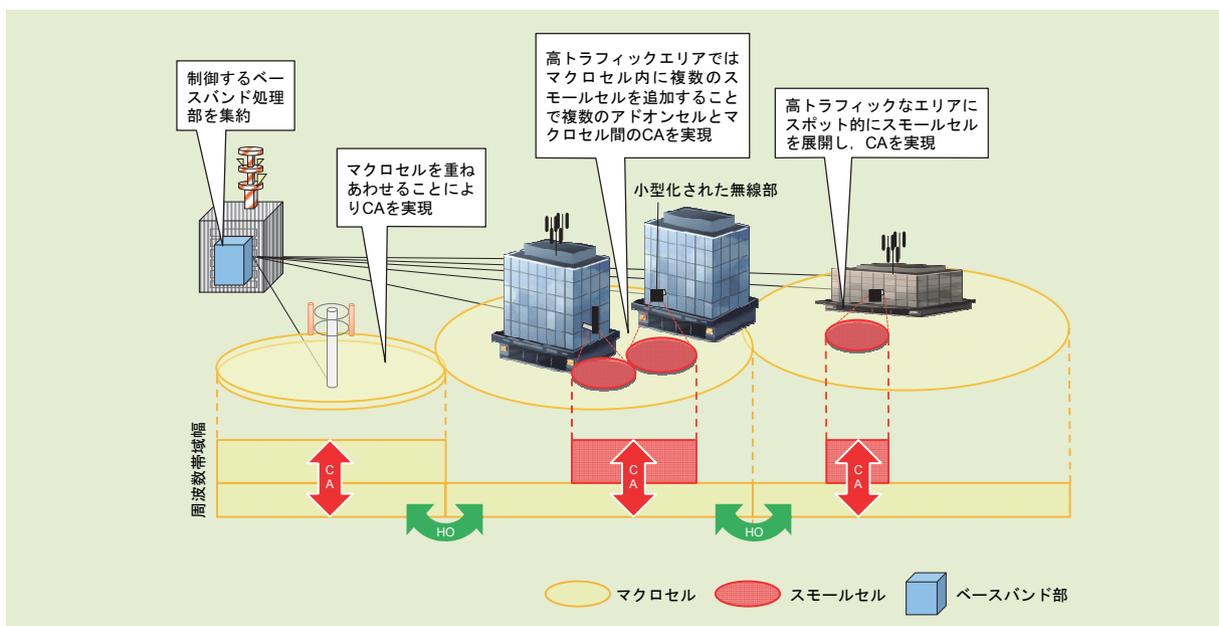
第48回世界情報社会・電気通信日のつどいにおける受賞 78

情報処理学会「山下記念研究賞」 受賞 79

2015 Wireless Innovation Forum Technology of the Year Award受賞 80



(P.79)



Technology Reports (特集) 3.5GHz帯TD-LTE導入に関するドコモの技術開発の取組み (P.4)

高度化C-RANアーキテクチャによるキャリアアグリゲーション

3.5GHz帯導入

3.5GHz帯TD-LTE導入に関するドコモの技術開発の取組み

2014年12月に、「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計画の認定」が総務省より行われ、3.5GHz帯の周波数が新たに利用可能となった。ドコモはPREMIUM 4Gのさらなる進化として3.5GHz帯を用いたTD-LTEを導入し、キャリアアグリゲーションにより既存FDD帯と組み合わせた受信最大370Mbpsの通信サービスを2016年6月に開始した。本稿では、3.5GHz帯の周波数に関する国際的な動向や、国内での利用にあたり必要となる技術的な要件に対するドコモの技術開発の取組みを概説する。

無線アクセス開発部 あたらし ひろゆき うめだ ひろまさ
新 博行 梅田 大將
あべ た さだゆき
安部田 貞行

1. まえがき

2014年12月19日に、総務省から「第4世代移動通信システム*1の導入のための特定基地局*2の開設計画の認定」が行われ、ドコモに3.5GHz帯(3.48~3.52GHz)の周波数が割り当てられた[1]。2016年6月には、この3.5GHz帯を利用したPREMIUM 4Gのサービスが開始されている。

本稿では、3.5GHz帯の周波数の利用にあたりドコモがこれまでに行ってきた技術開発の取組みとして、国際電気通信連合 (ITU: International Telecommunication Union) における周波数の国際標準化での貢献や、

3GPP (3rd Generation Partnership Project) における3.5GHz帯の利用に必要なLTE-Advanced*3関連仕様策定への貢献などについて概説する。

2. 3.5GHz帯周波数の国際標準化

(1)3.5GHz帯のITUによる特定

モバイルトラフィックが増大している状況を受け、新たな携帯電話周波数の確保が重要な課題となっている。また携帯電話周波数を世界の多くの国で共通に利用することができれば、機器の調達コスト低減や国際ローミングの実現に有利に働く。そこで、ITUの世界無線通信会議

(WRC: World Radiocommunication Conference)*4では、各国が使用する携帯電話周波数をIMT (International Mobile Telecommunication) と呼ばれる名称で、できるだけ共通化する(特定する)取組みが続けられている。

3.5GHz帯の携帯電話での利用については、国内では2003年10月に総務省が公表した「周波数の再編方針」において、中長期的な移動通信システムの周波数需要を満たすため、再編周波数の候補の1つとして挙げられたことにさかのぼる。その後のITUでの標準化活動を経て、2007年に開催されたWRC (WRC-07) に

において日本を含めた約90カ国に対して、3.4～3.6GHzの範囲でIMTとして初めて特定が行われた。そして、2015年に開催されたWRC（WRC-15）では、3.4～3.6GHzを衛星通信システムで利用中または利用予定の国々からの反対はあったものの、この周波数をIMTに特定する国の数がさらに拡大し、ほぼ世界共通の携帯電話周波数として認められることになった。

(2)ドコモの貢献

ドコモは、これら3.5GHz帯のIMT特定に関するITUでの標準化活動に対して、総務省と連携し、積極的な貢献を行ってきた[2] [3]。具体的には、WRCの議論に必要な、携帯電話周波数の将来需要導出や衛星通信システムとの周波数共用に関する技

術検討を主導し、WRCの審議でも日本代表団の一員として積極的な対応を行ってきた。またWRC-07の結果を受け、2009年にかけて3GPPで行われた、3.4～3.6GHzのバンドプラン*5の標準化活動においても、ドコモは積極的に議論に参加し、その仕様策定に貢献した[4]。

3.4～3.6GHzは、ほぼ世界共通の携帯電話周波数として認められることになったことから、今後各国において具体的な利用検討が開始されるものと思われる（表1参照）。

3. 3.5GHz帯の利用に関する技術的要件のための技術開発

総務省による特定基地局の開設計

画の認定にあたり、国内での3.5GHz帯の利用については、いくつかの要件が求められている[5]。その中で、技術的な事項に関連する主な要件を表2に抜粋して示す。

(1)FDD方式とTDD方式のCAの活用
通信方式は、LTE-AdvancedのTDD（Time Division Duplex）*6方式（TD-LTE）の導入が求められている。ドコモは、これまでにPREMIUM 4GとしてFDD（Frequency Division Duplex）*7方式の周波数帯を用いたキャリアアグリゲーション（CA：Carrier Aggregation）*8によるLTE-Advancedの導入を進めてきた。3.5GHz帯におけるLTE-AdvancedのTDD方式の導入にあたっては、CAの活用が有効である。特に、ドコモが提唱する高度化C-RAN*9

表1 3.5GHz帯の利用に関する国際的な動向

項目	内容
ITUでの動向	<ul style="list-style-type: none"> 第一地域（欧州、ロシア、アラブ、アフリカ地域）のすべての国（122カ国）がIMT周波数に特定 第二地域（南北アメリカ地域）のすべての国（35カ国）がIMT周波数に特定 第三地域（アジア・太平洋地域）の36カ国のうち、3,400～3,500MHzは11カ国、3,500～3,600MHzは10カ国がIMT周波数に特定
主要国の動向	欧州 <ul style="list-style-type: none"> 3,400～3,800MHzについて、モバイルブロードバンド通信向けの利用を想定しており、一部の国では、事業者へ周波数を割当て済み
	米国 <ul style="list-style-type: none"> 3,550～3,650MHzについて、既存システムとの共存を考慮して、モバイルブロードバンド用途に、周波数の開放を検討中
	中国 <ul style="list-style-type: none"> 3,400～3,600MHzについて、携帯電話システムの導入に向け、衛星通信システムとの共存条件について検討中

表2 3.5GHz帯の利用に求められた主な技術的要件

項目	内容
通信方式	<ul style="list-style-type: none"> LTE-Advanced（TDD）方式
特定基地局の配置および開設時期	<ul style="list-style-type: none"> 認定から4年後の年度末までに、各総合通信局の管轄区域内の人口カバー率が50%以上になるように特定基地局を配置 認定から2年後の年度末までに、特定ひっ迫区域（繁華街やターミナルなど通信の利用が特に集中するエリアを含む区域）において高度特定基地局の運用を開始 すべての都道府県において、特定基地局の運用を開始
電波の能率的な利用を確保するための技術の導入	<ul style="list-style-type: none"> 適応多値変調、キャリアアグリゲーション技術その他の電波の能率的な利用を確保するための技術の利用

*3 LTE-Advanced：LTEの発展形無線インターフェースであり、初版の仕様が3GPP Release 10として標準化された。

*4 世界無線通信会議（WRC）：各周波数帯の利用方法、衛星軌道の利用方法、無線局の運用に関する各種規定、技術基準などを

はじめとする国際的な電波秩序を規律する無線通信規則の改正を行うための会議で、各国主管庁およびITUに登録している事業者などの関係団体が出席し、通常3～4年ごとに開催される。

*5 バンドプラン：上りリンク、下りリンクの

使用周波数や帯域幅などを定めたもの。

*6 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。

アーキテクチャを活用したCAにより、FDD方式で展開されている既存のマクロセル*10基地局と、3.5GHz帯で展開するスモールセル*11基地局を連携させれば、駅周辺や大規模商業施設などの通信トラフィックが多いエリアでも、より高速で安定した通信を提供することが可能となる(図1)[6]。LTE-AdvancedのFDD方式とTDD方式との間でCAを可能とするため、ドコモは3GPP仕様策定において、積極的に議論に参加し、Release 12仕様への盛り込みを実現した[7]。

(2)その他の技術開発

また、3.5GHz帯の基地局の展開では、人口カバー率の要件を効率的に満たすため、マクロセル基地局による展開や、トラフィック需要が多い

ひっ迫区域のため、高度特定基地局と呼ばれる8アンテナでの送信に対応した基地局の展開が必要となる。本特集記事では、これらの技術的要件に対応するための基地局装置や関連周辺装置の開発、ならびに端末の開発について解説をしているため、詳細はそちらをご参照頂きたい[8]~[11]。

4. あとがき

本稿では、新たな周波数として利用が可能となった3.5GHz帯に関する国際的な動向や、国内利用にあたり必要となる技術的な要件に対するドコモのこれまでの技術開発の取組みを概説した。

今後も無線容量の拡大や通信速度の高速化といったドコモのネットワークの高度化を支える技術開発は

必須である。より快適なモバイル通信環境をユーザに継続して提供していけるよう、標準化や装置開発の取組みを続けていく。

文 献

- [1] 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計画の認定,” 総務省報道資料, Dec. 2014. http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000214.html
- [2] 吉野, ほか：“IMT-2000高度化とその後継システム (IMT-Advanced) 標準化状況 —2007年ITU-R 世界無線通信会議 (WRC-07) 報告一,” 本誌, Vol.16, No.1, pp.61-66, Apr. 2008.
- [3] 新, ほか：“2015年ITU世界無線通信会議 (WRC-15) 報告 一携帯電話周波数の標準化一,” 本誌, Vol.24, No.1, pp.80-88, Apr. 2016.
- [4] 3GPP TR 37.801 V10.0.0: “UMTS-

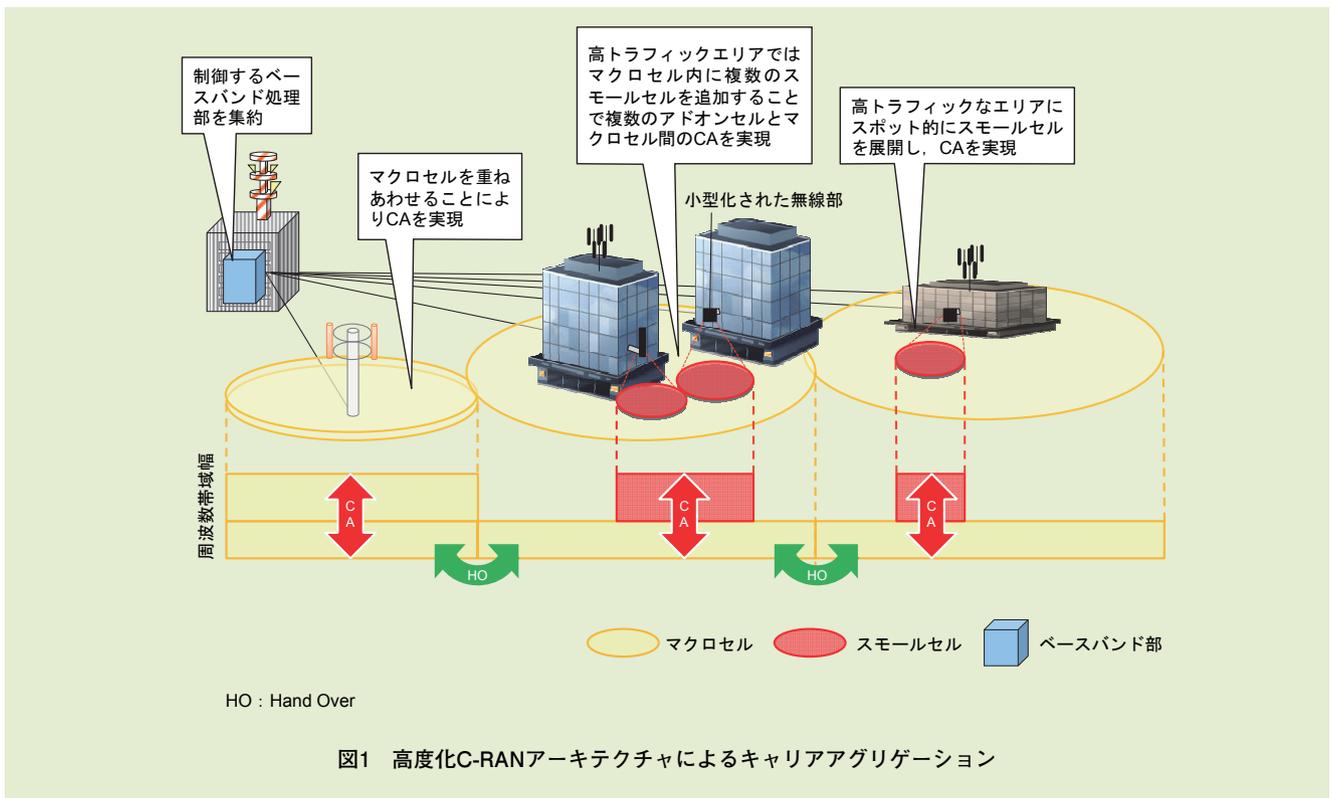


図1 高度化C-RANアーキテクチャによるキャリアアグリゲーション

*7 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。
 *8 キャリアアグリゲーション (CA): 複数のLTEキャリアを用いて同時に受信することで、LTEとの後方互換性を保ちながら広

帯域化を実現する技術。
 *9 高度化C-RAN: ドコモが提唱する新しいネットワークアーキテクチャで、LTE-Advancedの主要な技術であるキャリアアグリゲーション技術を活用し、広域エリアをカバーするマクロセル (*10参照) と局所

的なエリアをカバーするスモールセル (*11参照) を同一の基地局制御部により高度に連携させる無線アクセスネットワーク。

- LTE 3500 MHz Work Item Technical Report,” Oct. 2011.
- [5] 総務省：“第4世代移動通信システムの導入のための周波数の割当てに関する意見募集の結果及び電波監理審議会からの答申,” 総務省報道資料, Sep. 2014.
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000203.html
- [6] 安部田, ほか：“さらなるLTEの進化, スマートライフをサポートするLTE-Advancedの開発,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.6-10, Jul. 2015.
- [7] 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.
- [8] 藤井, ほか：“3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた基地局装置の開発,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.8-13, Jul. 2016.
- [9] 横手, ほか：“3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた高精度時刻同期ネットワーク装置の開発,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.18-26, Jul. 2016.
- [10] 吉原, ほか：“3.5GHz帯導入に向けた基地局アンテナの開発,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.14-17, Jul. 2016.
- [11] 大澤, ほか：“3.5GHz帯TD-LTE に対応した移動端末の開発,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.27-31, Jul. 2016.

*10 **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。

*11 **スモールセル**：送信電力が大きいマクロセルと比較して送信電力が小さいセルの総称。

3.5GHz帯導入

3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた基地局装置の開発

2014年12月に、「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計画の認定」が総務省より行われ、3.5GHz帯の周波数が新たに利用可能となった。ドコモはPREMIUM 4Gのさらなる進化として3.5GHz帯を用いたTD-LTEを導入し、キャリアアグリゲーションにより既存FDD帯と組み合わせた受信最大370Mbpsの通信サービスを2016年6月に開始した。本稿では、3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた、高密度BDEのTD-LTE対応、および新規に開発した3.5GHz帯対応SRE/RREとFHMについて、その概要を解説する。

無線アクセス開発部

ふじい	まさひろ	すわ	しんご
藤井	昌宏	諏訪	真悟
とば	りんたろう	とえだ	てるあき
鳥羽	倫太郎	戸枝	輝朗

1. まえがき

PREMIUM 4Gのさらなる進化として、3.5GHz帯を用いたTD-LTE*1を導入し、キャリアアグリゲーション(CA)*2により既存FDD(Frequency Division Duplex)*3帯と組み合わせた受信最大370Mbpsの通信サービスを2016年6月に開始した。3.5GHz帯TD-LTE導入時のNW構成を図1に示す。

PREMIUM 4Gでは、高度化C-RAN(Centralized Radio Access Network)*4を採用し、新規に高密度BDE(Base station Digital processing Equip-

ment)*5を開発し、FDD方式のLTE-Advancedで展開してきた[1]が、TD-LTEへの対応は、この高密度BDEに対するソフトウェアによる機能追加で実現した。また、新周波数である3.5GHz帯に対応するために、スモールセル用の小型低出力光張出し無線装置(SRE: low power Small optical remote Radio Equipment)*6、マクロセル用の光張出し無線装置(RRE: Remote Radio Equipment)*7の2機種を開発した。さらに、必要な無線容量が少ない場所のエリア化において、より多くの無線装置を1台の高密度BDEに収容するために、

BDEと無線装置の間のフロントホール回線*8を複数に分配するフロントホール分配装置(FHM: FrontHaul Multiplexer)*9を開発した。

本稿では、これら3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた高密度BDEのTD-LTE対応、および新規に開発した3.5GHz帯対応SRE/RREとFHMについて、その概要を解説する。

2. 高密度BDEのTD-LTE対応

ソフトウェアによる機能追加で実現したTD-LTE対応は、ベースバンド信号処理機能部(BB: BaseBand)*10

*1 TD-LTE: TDD方式(上りリンクと下りリンクで同じ周波数を用い、時間スロットで分割して信号伝送を行う方式)のLTE。

*2 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 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。

*4 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。

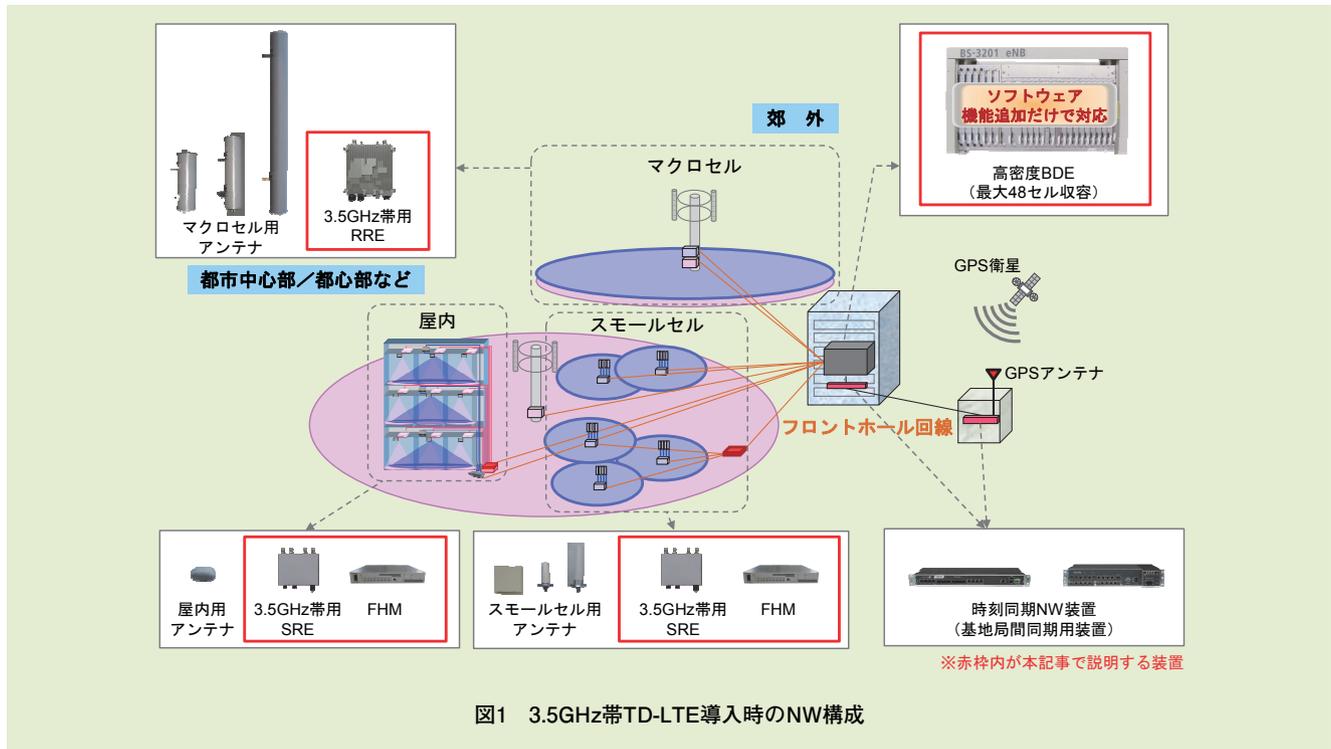


図1 3.5GHz帯TD-LTE導入時のNW構成

のTD-LTE対応，フロントホールの高速化対応，基地局間同期対応からなる．それぞれについて以下に解説する．

2.1 BBのTD-LTE対応

BBは送信信号に対して，誤り訂正符号化，無線フレーム化，データ変調，周波数／時間変換，MIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*11}送信などを実施し，受信信号に対して，時間／周波数変換，データ復調，信号分離，誤り訂正符号化などを実施する機能部である[2]が，TDD (Time Division Duplex) 方式とFDD方式で処理が異なるのは本機能部のみであり，呼制御など上位のプロトコルは共通である[3]．今回，この機能部をソフトウェア変更によりTDD

方式にも対応させた．セルごとにFDD方式とTDD方式のいずれを用いるかを設定可能とすることにより，1台の高密度BDE内で両方式の混在が可能となる．これにより，FDD帯とTDD帯を組み合わせたキャリアアグリゲーションを可能とした．

2.2 フロントホールの高速化対応

BDEと無線装置間のフロントホール回線については，3.5GHz帯での広帯域幅への対応，および後述するMIMOの高度化のために，伝送レートを従来の2.4Gbpsから最大9.8Gbpsに拡張した．これにより，フロントホール回線1本で3.5GHz帯TD-LTE送受信最大4系統までの無線信号伝送に対応できる．

2.3 基地局間同期対応

TDD方式では，図2に示す通り上りリンクと下りリンク間の干渉を回避するために基地局間で同期をとる必要がある．また，3.5GHz帯では各通信事業者に割り当てられたバンド間にガードバンド^{*12}がなく，各通信事業者の送信信号のスプリアス^{*13}成分が他通信事業者の周波数帯域に与える干渉を回避するために通信事業者間の同期が必要となる．

今回，高密度BDEではGPSに同期するGPS同期機能，およびGPSに同期したサーバに対して高密度BDEがPTP (Precision Time Protocol) プロトコルを用いて同期するPTP同期機能[4]に対応し，GPSまたはPTPにより取得したUTCに，各高密度BDEが光張出し無線装置

*5 BDE：LTEシステムにおける無線基地局装置のデジタル処理部分．ベースバンド処理部や保守監視機能を備えている．

*6 小型低出力光張出し無線装置 (SRE)：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スモールセル用の基地局無線装置．

*7 光張出し無線装置 (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．

*8 フロントホール回線：BDEと無線装置間の回線であり，光ファイバなどが用いられる．各装置のインタフェースはCPRI (Common Public Radio Interface) 標準仕様に準拠している．

*9 フロントホール分配装置 (FHM)：BDEと

無線装置の間のフロントホール回線を複数に分配する装置．

*10 ベースバンド信号処理機能部 (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．

*11 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通信技術．

のアンテナ端の無線フレームの送信タイミングを同期させる。UTCへの送信タイミング同期精度としては±1.5μs以下を実現した。これにより、3GPPにて規定される基地局間同期精度3μs以下を実現し、基地局間・事業者間の干渉を回避可能とした。

3. 3.5GHz帯対応 光張出し無線装置

スモールセルとマクロセルでは無

線装置に求められる要件が異なるため、3.5GHz帯の無線装置としてそれぞれにスペックを最適化した、スモールセル用のSRE、マクロセル用のRREの2機種の光張出し無線装置を開発した。SREおよびRREは、主に無線送受信インタフェース機能部 (TRX-INF : Transmitter and Receiver-INterFace) *14, 送信増幅器 (T-PA : Transmission-Power Amplifier) *15, 低雑音受信増幅器

(LNA : Low Noise Amplifier) *16, 送受切替器*17またはサーキュレータ (CIR : CIRculator) *18, 帯域通過フィルタ (BPF : Band-Pass Filter) *19から構成される。FDD方式では送受共用器 (DUP : DUplexer) *20を用いるがTDD方式では送受切替器/CIRおよびBPFを用いるという点が主に異なる。基本仕様を表1, 外観を図3に示す。SRE, RREそれぞれの特徴を以下に記載する。

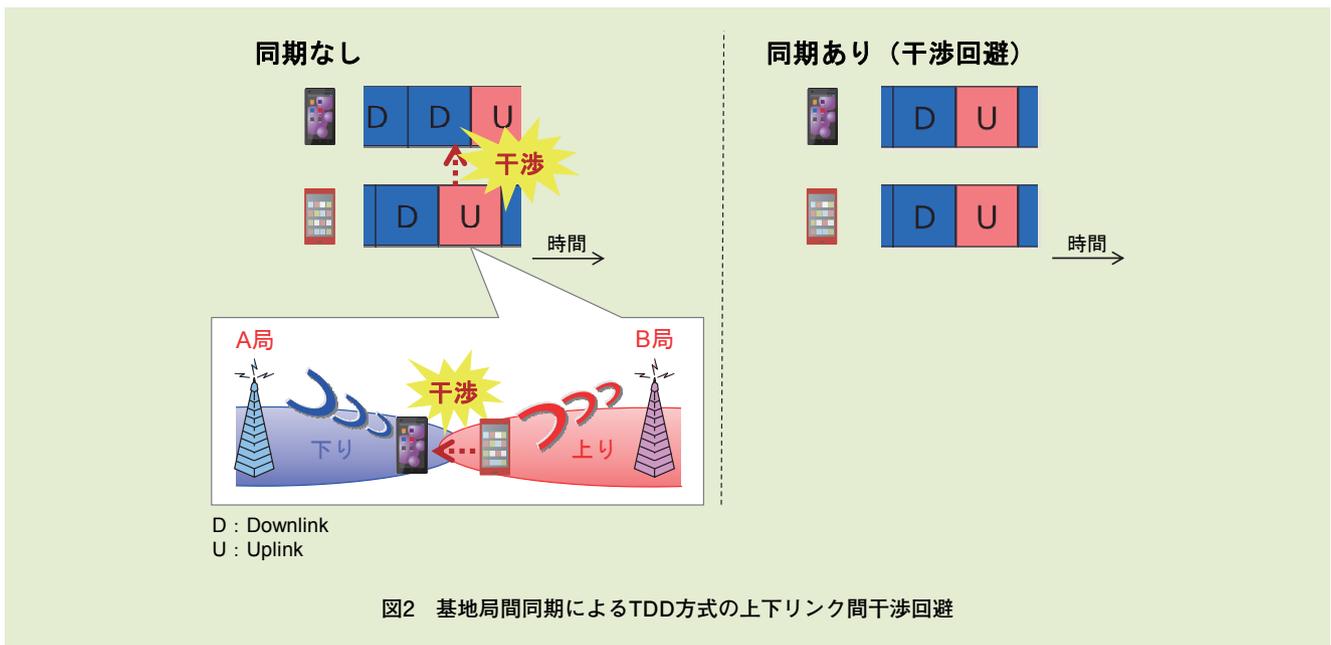


図2 基地局間同期によるTDD方式の上下リンク間干渉回避

表1 3.5GHz帯対応SRE/RREの基本仕様

項目	3.5GHz帯	
	SRE	RRE
最大送信電力	0.48W/20MHz/ブランチ	19W/20MHz/ブランチ
ブランチ数	4	2
サイズ	4ℓ以下	9ℓ以下
装置重量	4.5kg以下	12kg以下
消費電力	100W以下	380W以下
電源	AC 100V/200V	DC -48V

*12 **ガードバンド** : システム間の電波干渉を防ぐため、システムごとに割り当てられる周波数帯域間に設けられる帯域。
 *13 **スプリアス** : 信号を送信するときに自分の信号周波数帯以外に放射される不要波のこと。
 *14 **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。
 *15 **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。
 *16 **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。
 *17 **送受切替器** : RFコネクタに接続される送信系と受信系を時間で切り替える回路。
 *18 **サーキュレータ (CIR)** : 3つ以上の端子を有し、各端子の入力信号を次の端子にのみ出力する回路。

3.1 SRE

都市中心部／都心部など、人が多く集まる場所では、大容量化のためにスモールセルによるエリア展開が適している。スモールセルではマクロセルと比較してMIMO効果が期待できるという利点を活かし、SREの送受信系統数は4とし、1台でMIMOの高度化による伝送速度の向上を可

能とした。また、スモールセルに最適化して装置当りの最大送信電力を3.84Wに抑えることで4ℓ以下のサイズで実現した。

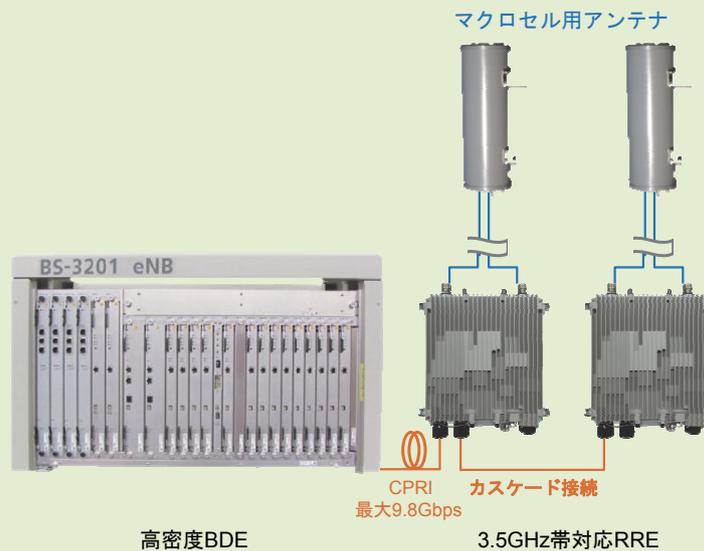
3.2 RRE

郊外などでは効率的にエリア化を行うために、マクロセルによるエリア展開が適している。マクロセルの

エリア半径が最大2km程度であることを考え、最大送信電力を19W／20MHz／ブランチ*21とした。RREおよびマクロセル用アンテナの設置性を考慮してRRE1台あたりの送受信系統数を2とし、また4送信基地局としても動作可能とするため、2台のRREのカスケード接続に対応した(図4)。



図3 3.5GHz帯対応SRE・RRE外観



CPRI：REとBDE間の回線で使用する標準化された無線基地局の内部インタフェース仕様

図4 カスケード構成による4送信対応

*19 帯域通過型フィルタ (BPF)：特定の周波数帯域を通過させるフィルタ。
 *20 共用器 (DUP)：送信フィルタと受信フィルタにて構成され、1本のアンテナで送信と受信を共用するための機器。

*21 ブランチ：本稿では、アンテナおよびRF送受信機の総称。

4. FHM

FHMは、フロントホール上の無線信号を最大16分配・合成する機能をもつ。外観を図5に示す。

FHMを用いることで、複数の無線装置が1セルとして高密度BDEに収容される(図6)。これにより、

必要な無線容量が少ない場所のエリア化において、より多くの無線装置を1台の高密度BDEに収容できる。また、FHM配下の全光張出し無線装置が同一セルの無線信号を送受信することから、光張出し無線装置間の干渉や、光張出し無線装置間を端末が移動する際のハンドオーバ

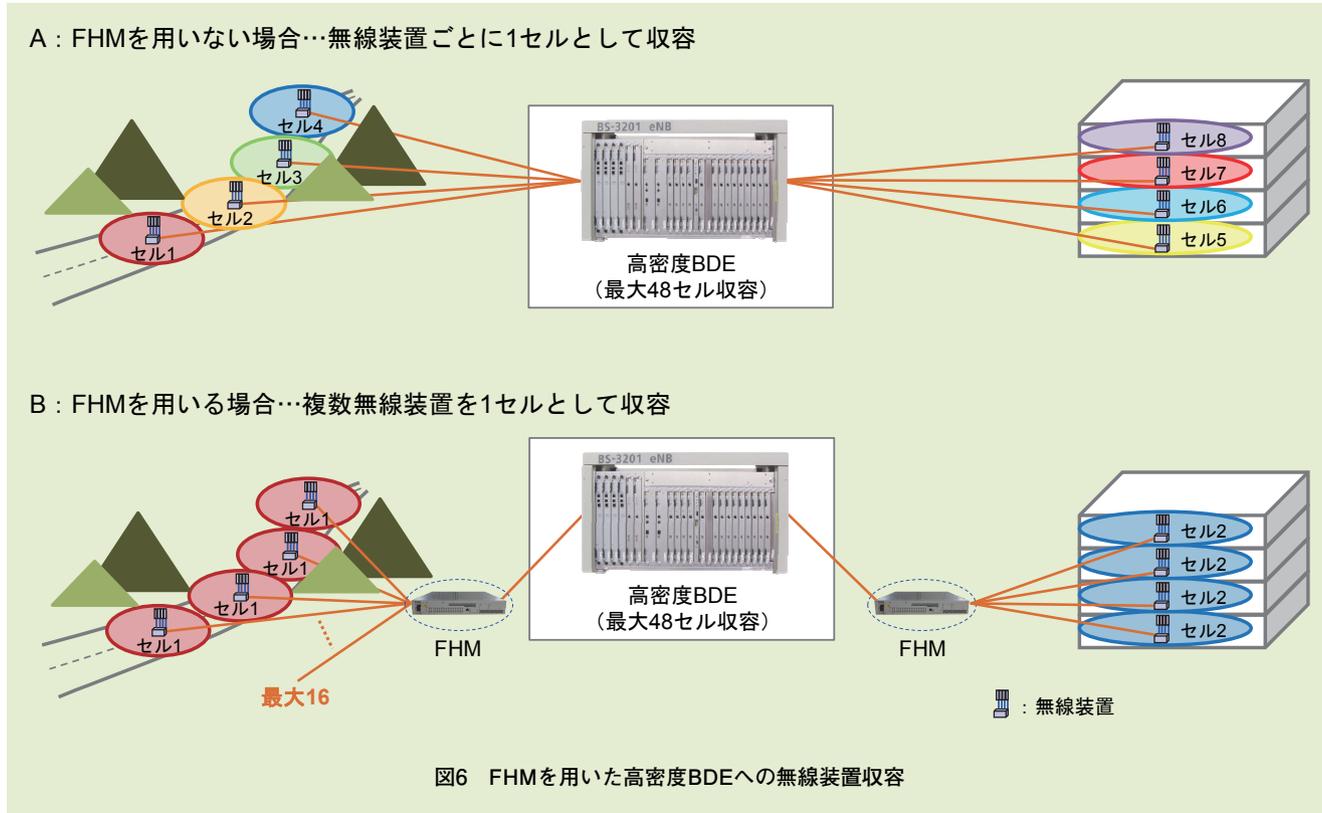
(HO: Hand Over)^{*22}制御の発生を抑制することができる。なお、本装置は3.5GHz帯の無線装置に加え、既存の周波数帯の無線装置でも利用可能とした。

5. あとがき

本稿では、3.5GHz帯TD-LTE導入



図5 FHM外観



*22 ハンドオーバ (HO) : 通信中の端末が移動に伴い基地局をまたがる際、通信を継続させながら基地局を切り替える技術。

に向けた高密度BDEのTD-LTE対応、および新規に開発した3.5GHz帯対応SRE/RREとFHMについて、その概要を解説した。今後はMIMO高度化、変調多値化、CAの同時利用バンド数の拡大などにより、引続きPREMIUM 4Gのさらなる進化に向けて開発を進める。

文 献

- [1] 吉原, ほか：“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,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.19-24, Jul. 2015.
- [2] 島津, ほか：“W-CDMAシステムと共用可能なLTEシステム用無線基地局装置の開発,” 本誌, Vol.18, No.1, pp.20-25, Apr. 2010.
- [3] 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.
- [4] 横手, ほか：“3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた高精度時刻同期ネットワーク装置の開発,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.18-26, Jul. 2016.

3.5GHz帯導入

3.5GHz帯導入に向けた基地局アンテナの開発

2014年12月に、「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計画の認定」が総務省より行われ、3.5GHz帯の周波数が新たに利用可能となった。ドコモはPREMIUM 4Gのさらなる進化として3.5GHz帯を用いたTD-LTEを導入し、キャリアアグリゲーションにより既存FDD帯と組み合わせた受信最大370Mbpsの通信サービスを2016年6月に開始した。本稿では、3.5GHz帯TD-LTE導入に向け新たに開発したスモールセル用基地局アンテナ、屋内用基地局アンテナおよびマクロセル用基地局アンテナの概要をそれぞれ解説する。

無線アクセス開発部

よしはら たつひこ かわい ひろゆき
吉原 龍彦 川合 裕之
よしだ しょう かわむら てるお
吉田 翔 川村 輝雄

1. まえがき

2014年12月に総務省より割り当てられた、3.5GHz帯の周波数利用にあたっての技術的要件[1]に対応するため、ドコモでは①スモールセル*1用、②屋内用、③マクロセル用の各基地局アンテナを新たに開発した。

① 駅周辺などの通信トラフィックが多い屋外エリアでは、より高速で安定した通信を提供するため、スモールセル基地局を展開している。このようなスモールセルでのエリア展開を効果的に行うには、用途やさまざまな設

置条件（ビル壁面や屋上などへの設置）に対応する必要があることから、3種類の小型アンテナを開発した。

- ② 大規模商業施設など屋内エリアにおいても、増大するトラフィックに対応するため3.5GHz帯の利用は重要である。このような屋内用には、天井面に設置しフロア内のエリア化が可能な小型アンテナを新たに開発した。
- ③ 駅周辺などの高トラフィックエリア以外においても高速な通信を提供するため、マクロセル基

地局により3.5GHz帯を展開する。このようなマクロセル用には、広い範囲をエリア化するため、高いアンテナ利得*2をもつ基地局アンテナを開発し、既存のビル局や鉄塔局に設置してエリア展開する。

本稿では、用途や設置条件に応じて新たに開発した各基地局アンテナの特徴を解説する。

2. スモールセル用アンテナ

スモールセル用アンテナの仕様諸

元を表1に示す。ビル壁面や屋上など設置基盤がさまざまあることや、隣接スモールセルとの干渉を考慮し、3種類のアンテナを開発した。いずれも垂直・水平偏波*3共用アンテナである。これらのアンテナは1.5/1.7GHz帯対応のスモールセル用アンテナ[2]と比較して小型である。各アンテナの特徴は下記の通りである。

(1)ロッドアンテナ (2種類)

アンテナは鉛直方向に設置することで水平面内の放射パターンが無指向性*4となる棒状(ロッド)のアンテナで、ビル壁面や鋼管柱などに設置し周囲をエリア化する場合に用いる。電気チルトにより足元方向に最大放射方向を固定的に傾けることで、隣接スモールセルとの干渉を低減[3]可能なチルト*5有タイプと、最大放射方向は傾げないかわりに小型なチルト無タイプを開発した。

(2)平面アンテナ

単指向性を有する箱型(放射面は平面)のアンテナであり、アンテナ利得が高いため、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。機械チルトによるチルト調整によってスモールセル間の干渉低減が可能であるほか、干渉低減を考慮した低サイドローブ*6の設計となっている。

3. 屋内用アンテナ

屋内用アンテナの仕様諸元を表2に示す。新たに3.5GHz帯でエリア化する場合、屋内はすでに1.5/1.7/2GHz帯共用のアンテナ[4]が設置されているため、設置スペースが限られていることを考慮し既設アンテナとの置換えが望ましい。そのため、1.5/1.7/2/3.5GHz帯共用とし、3.5GHz帯は本アンテナ1台で4アン

テナを用いたMIMO (Multiple Input Multiple Output) の運用を可能とした。さらに、本アンテナは既設の1.5/1.7/2GHz帯共用アンテナと同一サイズとしたことで、置換えが容易であり、室内の景観を変更すること無く3.5GHz帯の導入が可能である。

3.5GHz帯用の4つのアンテナ素子を配置する際の4素子の偏波構成に関して、垂直偏波素子×4構成と、垂直偏波素子×2・水平偏波素子×2の構成を比較検討した。従来と同じアンテナサイズであることに起因して、アンテナ素子間の間隔を十分に確保できないため、垂直偏波素子のみ構成では、垂直・水平偏波素子構成の場合に比較してアンテナ間相関*7が高くなり、スループットが低下する。そのため、本アンテナでは、より高いスループット*8(低いアンテナ間相関)が得られる垂直・

表1 スモールセル用アンテナの仕様諸元

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
外観			
対応周波数	3.5GHz帯		
ブランチ数	2		
水平面指向性	無指向性		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
サイズ(mm)	φ49×240以下	φ49×140以下	150×150×60以下

*3 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。

*4 指向性：電波の強さが方向によって異なる性質を表す。よって、無指向性とはどの方

向にも同じ強さで電波を放射し、単指向性とは一方向に電波を強く放射する性質をいう。

*5 チルト：アンテナから放射される電波の、最大放射方向の垂直面内における傾き角を表す。また、チルトの方向を制御する方法

として、アンテナを物理的に傾ける機械チルトと、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。

水平偏波素子構成を採用した。

4. マクロセル用アンテナ

マクロセル用アンテナの仕様諸元を表3に示す。エリア展開に応じて3セクタ用2種類（利得重視タイプ、設置性重視タイプ）および6セクタ

用1種類（設置性重視タイプ）の合計3種類のアンテナを開発した。本アンテナは700MHz, 800MHz, 1.5GHz, 1.7GHz, 2GHz帯などの基地局アンテナと併設して運用するため、都市部のビル屋上などでは新たに3.5GHz帯アンテナ用に鋼管柱を建てるスペースを確保することが

困難な場合が想定される。そこで、既設のアンテナと同一の鋼管柱に容易に設置できるよう、利得重視タイプに加えて、体積が半分程度の設置性重視タイプのアンテナも開発した。また、マクロセル用のアンテナは遠隔からの制御信号により、アンテナ内部の移相器*9を駆動させることで、チルトを制御することが可能である。チルト角の遠隔制御のためのインタフェースとしては、世界標準であるAISG (Antenna Interface Standards Group)*10規格を採用している。

表2 屋内用アンテナの仕様諸元

外 観	
対応周波数	1.5/1.7/2/3.5GHz帯
ブランチ数	1.5/1.7/2GHz帯：2 3.5GHz帯：4
サイズ (mm)	150×150×40

5. あとがき

本稿では、新たに利用可能となる3.5GHz帯に対応するため開発したスモールセル用、屋内用、マクロセル用の各基地局アンテナの特徴について解説した。

基地局アンテナはセルラシステムのエリア形成に密接にかかわる重要

表3 マクロセル用アンテナの仕様諸元

アンテナ種別	利得重視タイプ	設置性重視タイプ	
外 観			
セクタ数	3	3	6
対応周波数	3.5GHz帯		
ブランチ数	2		
チルト対応	電気チルト（遠隔制御対応）		
サイズ (mm)	φ125×1,400以下	φ125×600以下	φ155×500以下

*6 サイドローブ：電波の最大放射方向（メインローブ）の外側の方向に弱く放射される電波。一般にサイドローブは不要な方向に出ることが多いため、これを抑圧する必要がある。

*7 相関：異なる信号の類似性を示す指標。複

素数で表され絶対値は0～1の値をとる。1に近いほど類似性が高く、受信側の信号の分離が困難となるため、スループットが低下する。

*8 スループット：単位時間당りに、誤りなく伝送される実効的なデータ量。

*9 移相器：アンテナにおいては、各アンテナ素子に掛けられる位相を変える回路のことを指す。

な設備であり、今後もさらなる無線容量の拡大や通信速度の高速化など、ユーザにより快適なネットワークを提供していけるよう、アンテナ開発を進めていく。

文 献

[1] 新, ほか: “3.5GHz帯TD-LTE導入に

関するドコモの技術開発の取組み,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.4-7, Jul. 2016.

[2] 吉原, ほか: “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,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.19-24, Jul. 2015.

[3] 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.

[4] 伊東, ほか: “マルチバンド対応RoF装置および屋内アンテナの開発実用化,” 本誌, Vol.22, No.1, pp.32-36, Apr. 2014.

*10 AISG: チルト角の遠隔制御や監視をするためのインタフェース規格標準化グループ。AISG規格は現在、3GPPの技術仕様としても採用されている。

3.5GHz帯導入

3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた
高精度時刻同期ネットワーク装置の開発

2014年12月に、「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計画の認定」が総務省より行われ、3.5GHz帯の周波数が新たに利用可能となった。ドコモはPREMIUM 4Gのさらなる進化として3.5GHz帯を用いたTD-LTEを導入し、キャリアアグリゲーションにより既存FDD帯と組み合わせた受信最大370Mbpsの通信サービスを2016年6月に開始した。本稿では、ドコモにおいて初めての導入となるTDD方式のサービスを実現するため、必須技術である高精度時刻同期ネットワークに関してその技術概要や特徴を解説する。

無線アクセス開発部

よこて しんいち にしむら げんた
横手 慎一 西村 弦大ドコモ・テクノロジー株式会社
ソリューションサービス事業部すぎもと ひろとし
杉本 寛利

1. まえがき

2014年12月、総務省より3.5GHz帯がドコモに割り当てられた。3.5GHz帯ではその使用要件においてTDD (Time Division Duplex) *1方式が求められており、ドコモにおいても3.5GHz帯導入にあたりそのLTE版であるTD-LTE方式を採用した。

TD-LTE方式では、上りチャンネルと下りチャンネル周波数の分離が不要で、周波数帯を最大限使用できる反面、隣接する基地局から上りチャンネルと下りチャンネルの信号が同一時刻に送信されると電波干渉につながる

ため、自社の基地局だけではなく他の通信事業者の基地局との間でも非常に精度の高い時刻同期が必要となる。その精度はITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization sector) G.8271 *2で、協定世界時 (UTC : Coordinated Universal Time) *3と基地局装置の時刻誤差は1.5 μ s以下に抑えるよう規定されている (図1)。

基地局装置でGPSなどの電波を直接受信し、UTCの時刻を生成して使用することで高精度時刻同期を実現することができるが、地下のようにGPSなどの電波が届かない基地局

では、イーサネット伝送を活用した時刻同期方式を採用することとなる。

しかし時刻同期で一般的に使用されるNTP (Network Time Protocol) *4を、stratum-3 *5で適用してもUTCとの時刻誤差はミリ秒オーダーとなり精度が低く、TD-LTE方式における時刻同期方式として使用できないことから、PTP (Precision Time Protocol) と呼ばれる高精度時刻同期プロトコルを使用して実現させる (表1)。PTPではイーサネット伝送路を使用することで、汎用性が高く、基本的に距離に依存せずに高精度で安定した時刻を基地局装置に配信す

*1 TDD : 双方向の送受信方式の1つ。上りリンクと下りリンクに同一の周波数帯を使用し、異なる時間を割り当てることにより双方向通信が可能。

*2 ITU-T G.8271 : パケットネットワークにおける時刻と位相同期を定義したITU-T勧告。

*3 協定世界時 (UTC) : 世界各地の標準時刻の基準となる時刻。

*4 NTP : コンピュータ内部のシステムクロックをTCP/IPネットワークを通じて現在時刻に同期させるためのプロトコル。

ることが可能となる。

PTPのネットワークは、GMC (Grand Master Clock)*⁶とBC (Boundary Clock)*⁷という装置で構成されており、本稿ではそれらを用いたTD-LTE方式に適合する高精度時刻ネットワークについて解説する[1][2]。

2. 時刻同期方法

ITU-Tで標準化されているイーサ

ネット伝送路を活用した時刻同期方法には、①Full On Path Supportと②Assisted Partial Timing Supportの2種類がある(図2)。

①Full On Path Supportは、GPSなどから基地局装置までの経路にあるすべての装置が、統計処理により時刻誤差を修正し再配信するBC機能をサポートし、PTP packetsを伝達するため、高精度の時刻配信を実現する。

②一方、Assisted Partial Timing Supportは、経路の中にBC機能非対応装置も含めた構成での時刻同期となる。既存のイーサネット網を使用可能であるものの、BC機能非対応装置の処理遅延などの影響を受けることから、構成によっては必ずしも安定した時刻同期精度を確保できるわけではない。基地局装置が直接GPSなどの電波を受信する

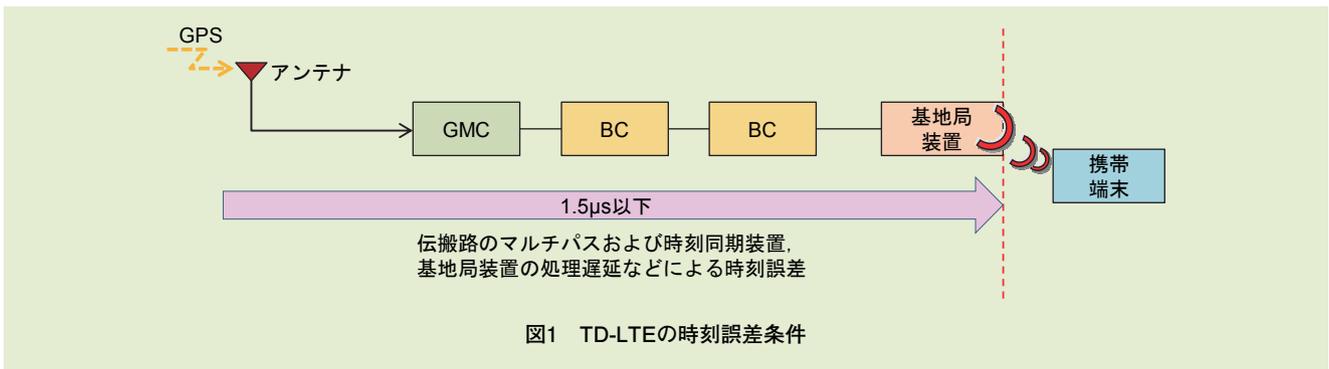


図1 TD-LTEの時刻誤差条件

表1 時刻同期プロトコル

プロトコル	同期精度	同期方法
NTP	1ms程度	時刻の基準を保持するサーバに対する、クライアントからの要求により同期する。
PTP	1.5μs以下	Master, Slaveの役割を持つ装置間のメッセージの交換により同期する。

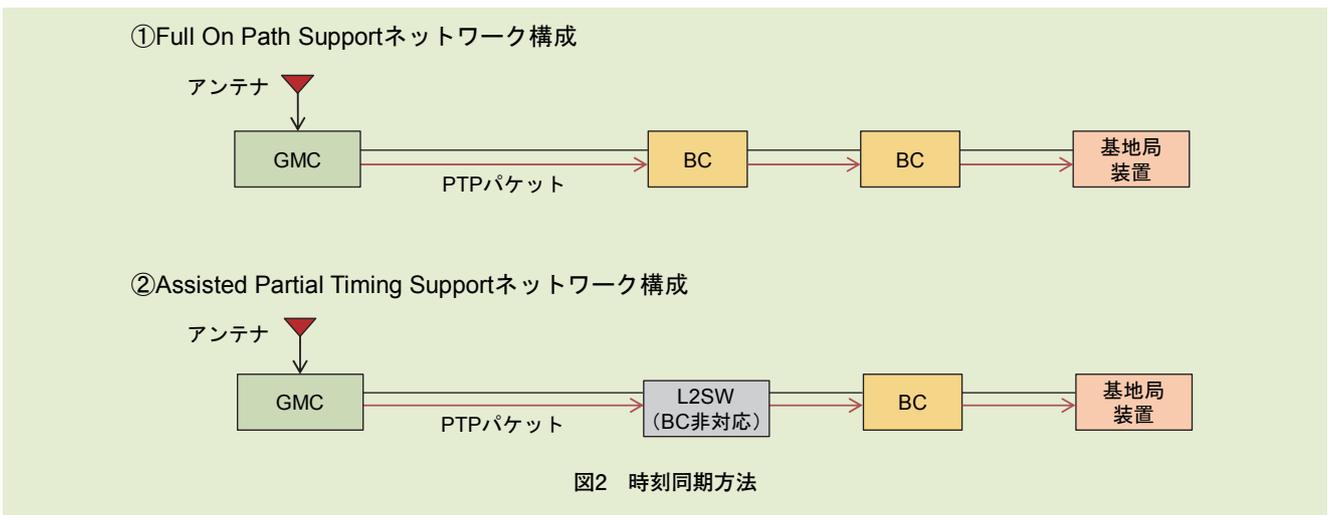


図2 時刻同期方法

*5 stratum-3 : NTP階層構造においてUTCから、3階層目の装置。stratum-3からクライアントに時刻配信されることが一般的である。
*6 GMC : GPSなどの信号からUTC時刻情報を取り出し、パケットとして下位装置に配

信する。PTP通信の頂点になる装置。
*7 BC : 上位装置からの時刻を補正し下位装置に再配信する装置。

構成の場合のバックアップとしては使用可能と規定されている。

3. 高精度時刻同期のメカニズム

ドコモではTD-LTE方式をGPSなどの電波を受信できない地下などにも展開することから、時刻同期方法に、バックアップを前提として使用するAssisted Partial Timing Supportではなく、Full on Path Supportを採用した。

時刻同期ネットワークは図3に示すGMCを頂点とした構成となり、各区間の上位側装置の下位向けポートがMaster，対向側装置の上位向けポートがSlaveとなる。

MasterとSlave間で次に挙げるPTPシーケンス（図4）によりメッセ

ジ交換を行う。また、装置内部遅延をキャンセルする動作を具備することで、高精度な時刻同期を実現する。

3.1 PTPメッセージタイプ

PTPメッセージは、Announceメッセージと、Eventメッセージに大別される。

(1)Announceメッセージ

MasterからSlaveへ送信される

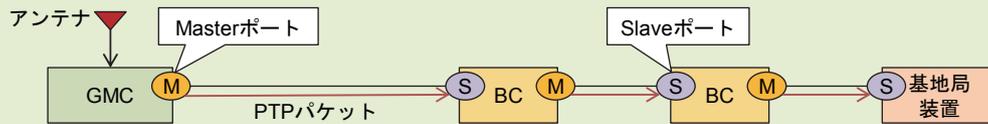


図3 時刻同期ネットワーク構成

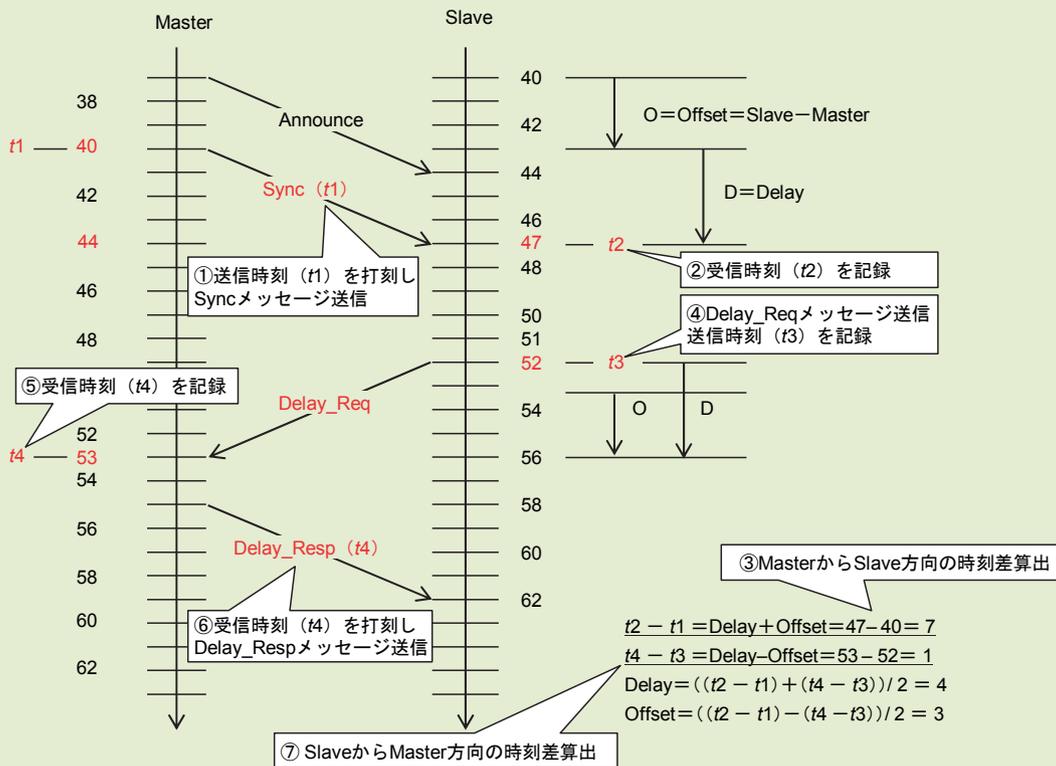


図4 PTPシーケンス

メッセージで、セッション^{*8}確立や時刻同期精度情報の通知に使用する。

(2) Eventメッセージ

- ・ Syncメッセージ：Masterにおける送信時刻が記録され、MasterからSlaveへ送信されるメッセージである。
- ・ Delay_Reqメッセージ：Syncメッセージを受信したSlaveから、Masterへ返信されるメッセージである。
- ・ Delay_Respメッセージ：MasterにおけるDelay_Reqメッセージの受信時刻が記録され、MasterからSlaveへ送信されるメッセージである。

3.2 PTPシーケンス

BCはMaster-Slave間の時刻差を把握し、伝送路遅延および装置間の時刻ずれ（オフセット）を算出することで、時刻補正を行う（図4）。

(1) MasterからSlave方向の時刻差計算

- ① Masterは送信時刻（ t_1 ）を打刻したSyncメッセージをSlaveへ送信。
- ② SlaveはSyncメッセージを受信した時刻（ t_2 ）を記録する。
- ③ Slaveは t_2 および t_1 により、MasterからSlave方向の時刻差を把握する（ $t_2 - t_1$ ：図4中47 - 40 = 7）。

(2) SlaveからMaster方向の時刻差計算

- ④ SlaveはMasterへDelay_Reqメッセージを送信し、SlaveはDelay_Reqメッセージの送信時刻（ t_3 ）を記録する。
- ⑤ MasterはDelay_Reqメッセージ

を受信し、受信時刻（ t_4 ）を記録する。

- ⑥ Masterは受信時刻（ t_4 ）を打刻したDelay_Respメッセージを、Slaveへ送信する。
 - ⑦ Slaveは、Delay_Respメッセージを受信し、 t_4 および t_3 によりSlaveからMaster方向の時刻差を把握する（ $t_4 - t_3$ ：図4中53 - 52 = 1）。
- (3) 伝送路遅延とオフセットの計算
- Master-Slave間の伝送路遅延時間が対称であるという前提条件に基づき、伝送路遅延とオフセットを計算する。
- ・ 伝送路遅延 = $\{(t_2 - t_1) + (t_4 - t_3)\} / 2 = (7 + 1) / 2 = 4$
 - ・ オフセット = $\{(t_2 - t_1) - (t_4 - t_3)\} / 2 = (7 - 1) / 2 = 3$

MasterからSlaveまでとSlaveからMasterの伝送路距離に非対称性がない場合、到達時間は同じとなる。

よって、それらの合計を2等分した値を算出すると、それが伝送路遅延時間となる。またそれらの差分を2等分した値が、オフセットとなる。

Slaveは算出した伝送路遅延とオフセットにより自装置内の時刻補正を常に行い、PTP装置（GMCおよびBC）の各セッション間で高精度時刻同期を実現する。

3.3 装置内部遅延キャンセル

装置内で発生する内部遅延補正に、PTPパケットのコレクションフィールド^{*9}を使用している。

Masterが送信するEventメッセー

ジのコレクションフィールドに補正値を付加することで、SlaveはMasterの内部遅延をキャンセルすることができる（図5）。

4. PTP装置の機能概要

4.1 PTP装置の機能ブロック

GMCは図6に示すように、GPSなどの信号を受信し時刻情報を抽出するGPSレシーバモジュールと、その時刻情報を自装置のシステムクロックとして保持し、Sync-E^{*10}処理部も搭載したクロック供給部がある。またクロック供給部からのタイムスタンプをPTPパケットに埋め込み生成するPTP処理部や、1PPS (Pulse Per Second)^{*11}を送信するPPS処理部がある。

BCの機能ブロック図は、GMCと異なりGPSレシーバモジュールがない。

4.2 Sync-Eとの併用

時刻同期は周波数同期^{*12}を前提とするが、イーサネットで動作するPTPでの周波数同期は各装置間で独立しており、ネットワーク全体では非同期である。一方Sync-Eは、物理レイヤで動作するため、通信量の増減に関係なく精度の高い周波数同期を行い、かつネットワーク全体で同期を可能にする。

そこでドコモは、PTPとSync-E併用がTD-LTE方式で求められる高精度時刻同期に有効と判断し、この方式を採用した。これによりPTPとSync-Eを併用することで、時刻同期ネットワークの全装置において、

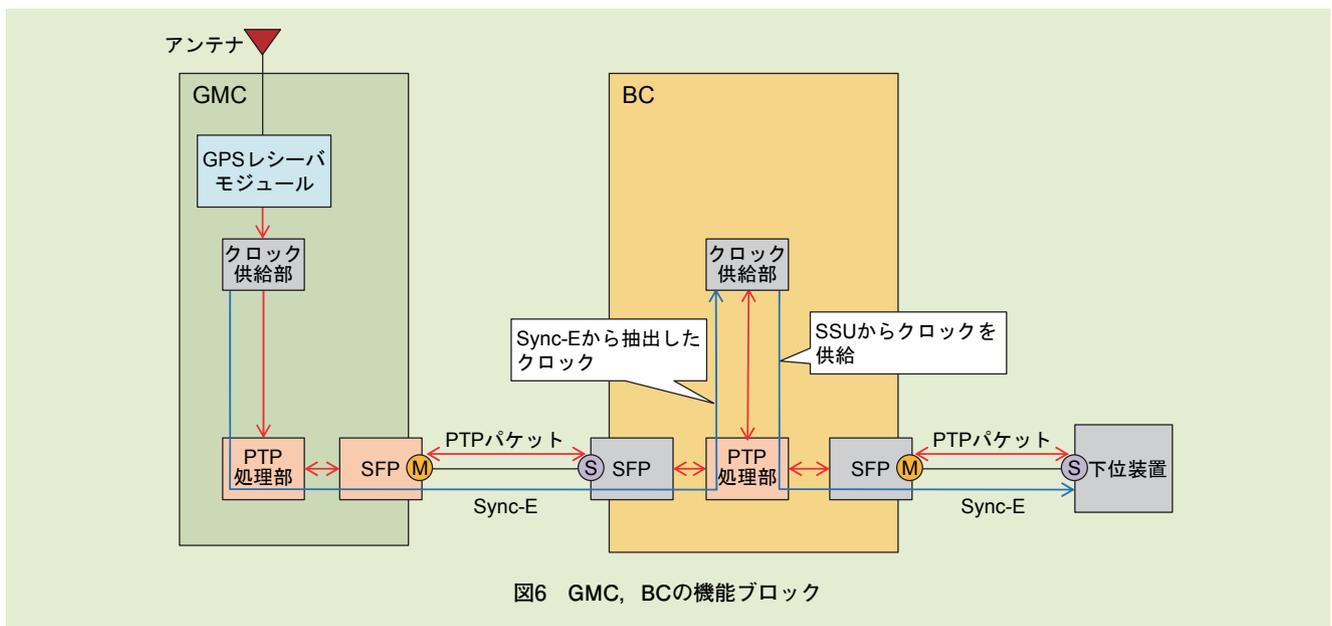
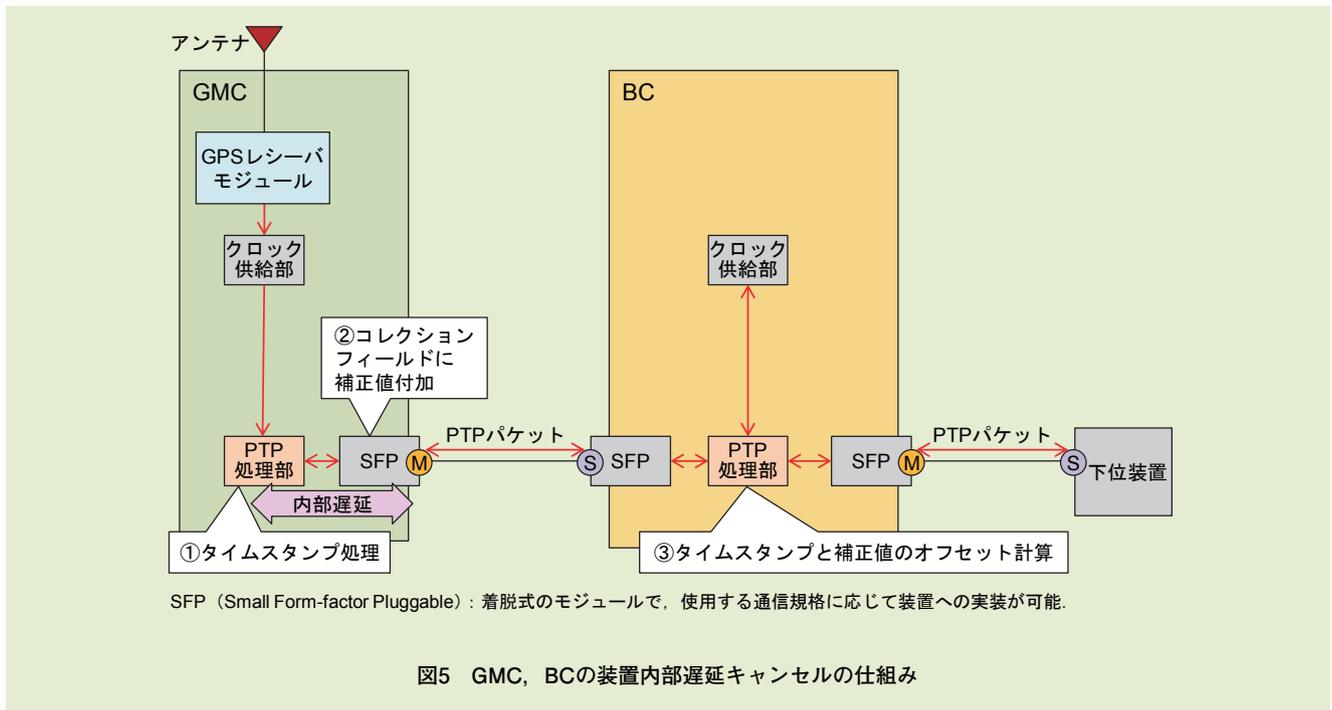
*8 セッション：データのやり取りを行うための仮想的な通信路、またはそのやり取りそのもの。

*9 コレクションフィールド：装置内遅延を伝達に使用するPTPパケットに含まれるフィールド。

*10 Sync-E：物理レイヤで周波数同期する方式。同期を行う伝送路のすべての装置がSync-Eに対応していることが必要。

*11 1PPS：1秒間に1回送信されるパルス信号。

*12 周波数同期：時刻を刻む速度が装置間で一致している状態。



PTPパケットを処理するタイミングが一致するため、エンドーエンドでの時刻同期精度の向上につながる。

4.3 BMCA

BC装置は、障害に対応するため、

BMCA (Best Master Clock Algorithm) と呼ばれる機能により、最大2つの上位PTP装置と冗長構成を組むことが可能である。

この機能は、MasterがAnnounceメッセージ内に自身の時刻情報の性

能値を記述し、定期的にSlaveへ通知することにより実現される。Slaveは、2つのMasterから時刻情報を受信することができ、それらの性能値でMasterを判断し、BMCを選択する。

受信した2つの時刻情報のどちらと同期を行うかの判断は、BMCAシーケンスによって行われる(図7)。

なお、選出されたBMCと時刻同期を行うが、そのBMCとの通信が障害になった際には、もう一方のMasterと時刻同期を行う。

Masterから通知される時刻情報の性能値は次の6種類があり、数値が高い方のMasterを選出する。

①Priority1

GMCの絶対的優先度を示す値である。IEEE1588-2008^{*13}では固定値が割り当てられ、変更はできない。BCにおいては、BMCのPriority1の値を下位装

置に継承する。

②Clock Class

Masterから配信される時刻とUTCとの同期状態を示す値は、表2のとおりである。UTCと同期が取れている場合、Clock Class “6” (以下、CC6) が配信される。

③Clock Accuracy

時刻精度を示す値である。ドコモのPTP装置にて扱うClock Accuracyは、表3のとおりである。

④Offset Scald log Variance

時刻同期精度の安定性を示す値は、表4の通りである。

⑤Priority2

GMCの絶対的優先度を示す値である。ただし、Priority1と異なり変更可能な値であり、ユーザが設定変更する事で、同期すべきBMCを選択することができる。

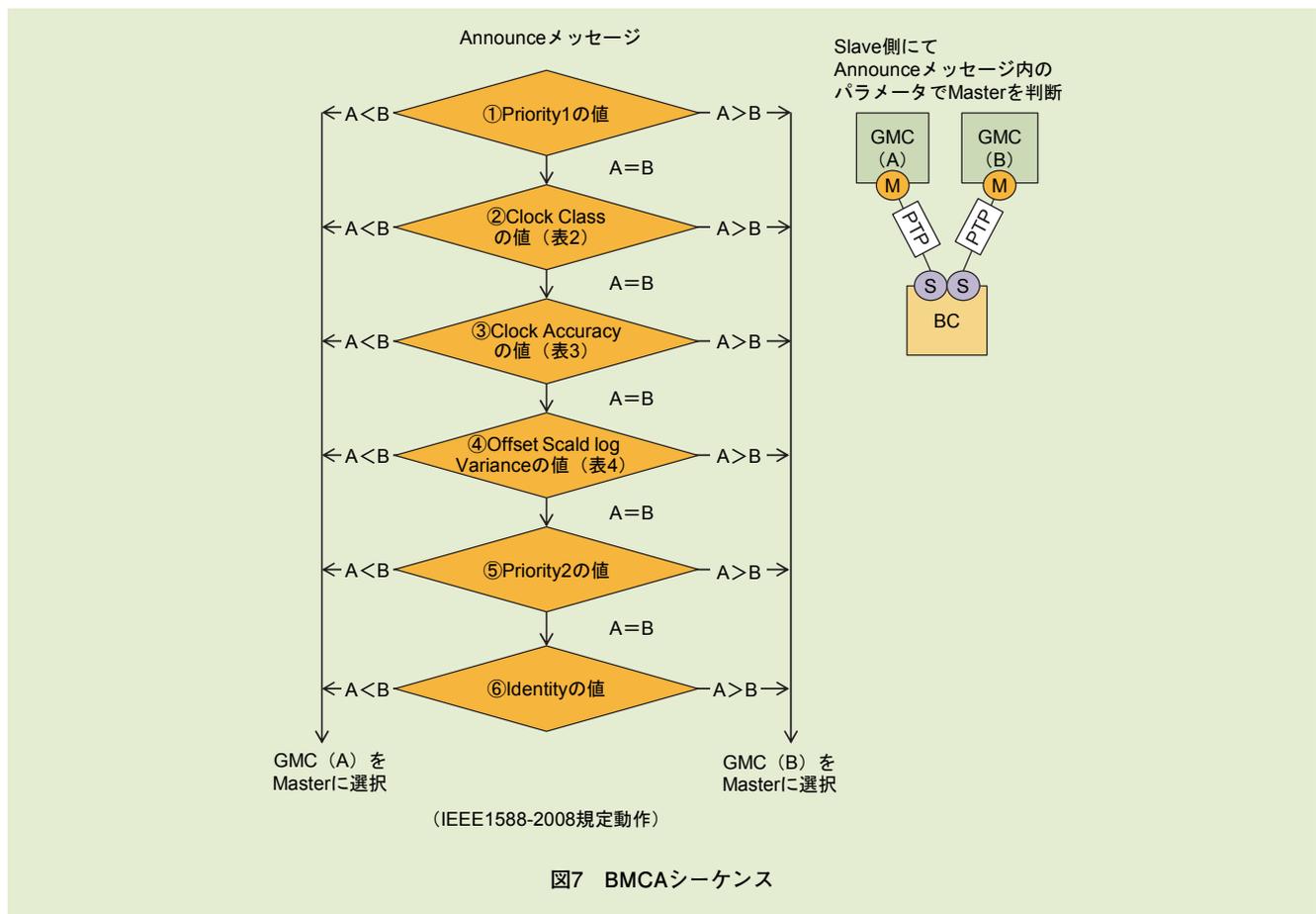
⑥Identity

装置ごとに割り当てられるユニークな値で、装置MAC (Media Access Control) アドレス^{*14}より算出される。

5. 安定したサービス提供に向けて

5.1 PTP装置の動作改善

GMCはUTCとの同期が完了する



*13 IEEE1588-2008：金融や通信システムなどにおいて使用する高精度時刻同期のプロトコルを定義したIEEE標準規格。

*14 MACアドレス：各イーサネットボードに割り振られる、12桁の固有の物理アドレス。

と、配下にCC6とともに時刻配信を開始する。

一方、BCは時刻同期ネットワークの一時的な障害により、システムクロックがUTCと時刻誤差がある状態でも、CC6を受け取ると配下装置に時刻を配信するため、一定時間

TD-LTE方式のサービスを停止させる必要があった。その対策として時刻誤差収束の動作を見直し、収束に要する時間を大幅に短縮することで、障害発生時のサービス影響時間の短縮につなげた(図8)。

5.2 マルチパスの影響

GPSなどの電波は周辺環境により直接波や反射波などがある(図9)。反射波はマルチパスと呼ばれ、高精度時刻同期においては時刻誤差を増加させることがある(図10および図11)。

表2 Clock Class

値 (10進数表記)	状態の説明
6	UTCと同期
140, 150, 160	GMCがホールドオーバー
165	BCがMasterとの同期外れ
248	GMC: 初期起動中もしくはホールドオーバー BC: 初期起動中

表3 Clock Accuracy

値 (16進数表記)	状態の説明
21	100ns以内の時刻精度
FE	不明

表4 Offset Scald log Variance

値 (16進数表記)	状態の説明
4E5D	UTCと同期
FFFF	UTCと同期していない

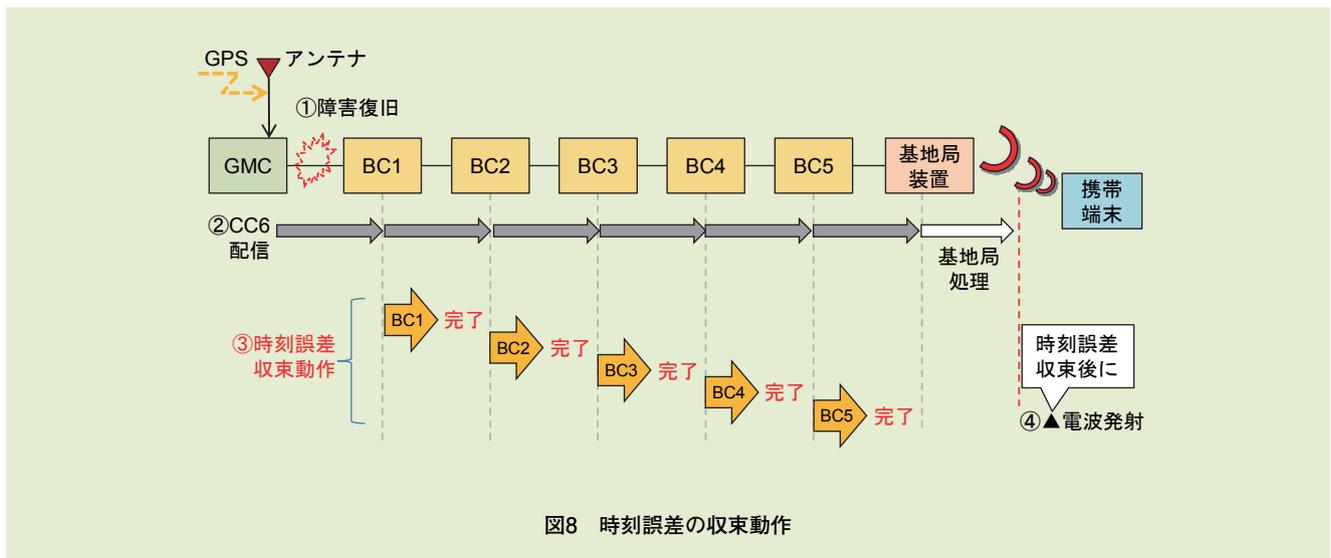


図8 時刻誤差の収束動作

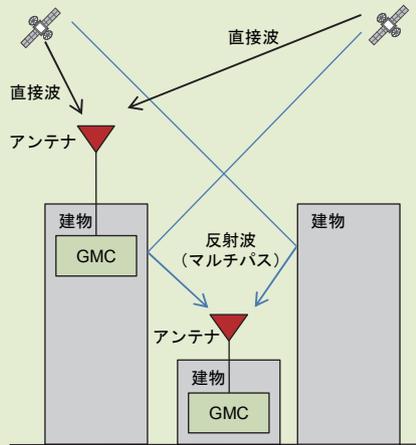


図9 直接波とマルチパス

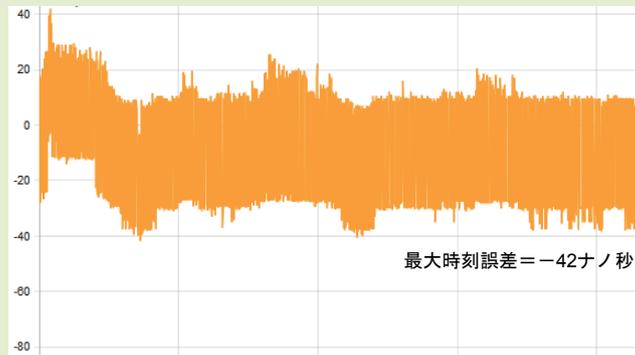


図10 直接波が多い環境での最大時刻誤差

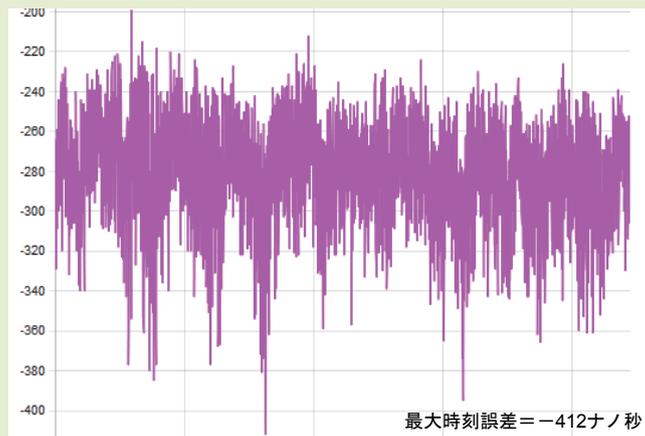


図11 マルチパスが多い環境下での最大時刻誤差

現状このマルチパスを完全に排除することは不可能であるため、ドコモではマルチパスの影響による時刻誤差の増加を考慮したうえで、GMC配下に接続されるBCの段数を制限したネットワークを構築している。

6. あとがき

本稿では、3.5GHz帯TD-LTE導

入に向けた高精度時刻同期ネットワーク装置に関する標準化仕様や動作について、その概要を解説した。

現在も障害時の動作など標準化は進められており、動向を把握しながら必要に応じて、ドコモのネットワークへの標準化技術の適用など引き続き対応していく。

文献

- [1] 吉原, ほか: “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,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.19-24, Jul. 2015.
- [2] 藤井, ほか: “3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた基地局装置の開発,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.8-13, Jul. 2016.

3.5GHz帯導入

3.5GHz帯TD-LTEに対応した移動端末の開発

2014年12月に、「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計画の認定」が総務省より行われ、3.5GHz帯の周波数が新たに利用可能となった。ドコモはPREMIUM 4Gのさらなる進化として3.5GHz帯を用いたTD-LTEを導入し、キャリアアグリゲーションにより既存FDD帯と組み合わせた受信最大370Mbpsの通信サービスを2016年6月に開始した。本稿では、3.5GHz帯を利用し、TD-LTEおよび3DL CA技術を用いた下り最大通信速度370Mbpsに対応するため、新たに開発された移動端末の概要、3.5GHz帯標準化の取組み、実験室およびフィールド環境における受信速度結果について解説する。

移動機開発部	おおさわ りょうすけ 大澤 良介	おはら ともや 小原 知也
	あんど う 安藤 桂	
プロダクト部	まつうら ともや 松浦 友哉	

1. まえがき

近年の急激なトラフィックの増加および超高速なデータ通信の需要に対応するため、より広い帯域が新たな周波数帯に求められている。

3.5GHz帯は広帯域幅が得られる周波数帯として新たに割り当てられた周波数帯である。これは、3GPPにおいてTDD (Time Division Duplex) *1方式用にBand42[1]として規定されており、将来はグローバルでの使用が期待される周波数帯である。

標準化仕様の策定にあたってドコモは、早期に安価な移動端末が実現できるよう働きかけを行い、TDD方式のLTE (以下、TD-LTE) によって今回の商用サービス開始に至った。

本稿では、既存のFDD (Frequency Division Duplex) *2方式の周波数帯に加えTDD方式の周波数帯をキャリアアグリゲーション (CA: Carrier Aggregation) *3する3DL CA (3DownLink CA) *4を行うことで高速化を実現した、移動端末について解説する。

2. 3.5GHz帯TD-LTE対応移動端末のカテゴリと概要

(1)移動端末カテゴリ[2]

今回開発した移動端末は、3.5GHz帯20MHz幅2CC (Component Carrier) *5を含む3DL CAに対応している。合計最大60MHz幅を使用し、最大受信速度370Mbpsを実現する。300Mbpsを超える受信速度を実現するためには移動端末カテゴリ9に対応する必要があるため、本端末も対

©2016 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 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。

*2 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。

*3 キャリアアグリゲーション (CA): 下りまたは上りに複数の周波数を束ねることで高速通信を可能にするLTE-Advancedの技術。

*4 3DL CA: 下りに3つの周波数をCAすることで高速通信を可能にするLTE-Advancedの技術の1つ。

応している。表1に各移動端末カテゴリの比較を示す。

(2)概要

端末の外観を写真1に基本仕様を表2に示す。本移動端末（HW-01H）

は、従来の2GHz/1.7GHz/1.5GHz/800MHz帯に加え3.5GHz帯に対応することで高速通信を実現したモバイルWi-Fi[®]*6ルーターである。なお、3.5GHz帯は2GHz帯や1.7GHz帯と

CAすることで（3.5GHz+3.5GHz+2GHz/3.5GHz+3.5GHz+1.7GHz）最大370Mbpsの受信速度に対応している。

HW-01Hは、外出先で利用する

表1 移動端末カテゴリごとの最大受信速度

移動端末カテゴリ	最大受信速度 (Mbps)	最大送信速度 (Mbps)	MIMOレイヤ数
4	150	50	2
6	300	50	2 or 4
9	450	50	2 or 4



写真1 HW-01Hの外観

表2 HW-01Hの基本仕様

			HW-01H	L-01G (参考)
最大通信速度	LTE-Advanced	3CA	DL : 370Mbps UL : 50Mbps	—
		2CA	DL : 262.5Mbps UL : 50Mbps	DL : 262.5Mbps UL : 50Mbps
	LTE		DL : 150Mbps UL : 50Mbps	DL : 150Mbps UL : 50Mbps
	HSDPA		DL : 14.4Mbps	DL : 14.4Mbps
	HSUPA		UL : 5.7Mbps	UL : 5.7Mbps
サイズ			64×100×22mm	107×65×20mm
質量			約173g	約186g
Wi-Fi (LAN側)			11a/b/g/n (2.4/5GHz) /ac	11a/b/g/n (2.4/5GHz) /ac
電池容量			4,750mAh	4,880mAh

*5 CC : CAにおいて束ねられる周波数帯を表す用語。

*6 Wi-Fi[®] : Wi-Fi Allianceの登録商標。

ユーザをターゲットとしており、前述の高速通信のほかに長時間通信が可能になる4,750mAhの大容量電池を搭載している。また、USB3.0 Super Speedに対応することで、Wi-Fi通信時だけでなくUSBテザリング*7時も高速通信が可能である。そのほか、スマートフォンやタブレットから専用アプリを利用し、アプリを介してBluetooth®*8通信を行うことでHW-01Hをスリープから復帰させる機能を搭載している。これにより、例えばスリープになったHW-01Hが靴の中に入っている状況下で、復帰させるために靴から取り出す行為が不要になり利便性が向上している。

3. 3.5GHz帯端末無線部開発に向けた標準化の取組み

3.5GHz帯端末無線部の開発に向けた主な課題として、以下の2点が挙げられる。

- ・3.5GHz帯用フィルタの実現方法
- ・3.5GHz帯を含むCAの実現方法

上記に対してそれぞれ検討を行った。

3.1 3.5GHz帯用フィルタの実現

移動通信では、特定の周波数帯の電気信号を取り出すための“高周波フィルタ”と呼ばれる部品が用いられる。開発当時、3.5GHz帯に対していずれのフィルタ技術を適用すべきかが検討された。移動端末に用いられる主なフィルタ技術としては、

SAW (Surface Acoustic Wave) フィルタ*9、BAW (Bulk Acoustic Wave) フィルタ*10そしてLCフィルタの3種類が挙げられる。現行の移動端末に広く用いられるSAWフィルタは、波長に比例した幅のくし形電極*11を形成することで実現されるが、既存のFDD周波数帯と比較して周波数の高い3.5GHz帯においては、電極幅の狭小に伴う微細加工やパワーアンプから出力される送信電力への耐電力性の課題が存在する。圧電薄膜を用いるBAWフィルタは、微細パターンを必要としないデバイス構造上高周波数化に有利として知られており、良好な帯域外減衰特性を得られる。しかし、現状3.5GHz帯通信帯域の信号損失が大きいため、その低損失化を試みた場合に開発期間の長期化が懸念される。一方、LCフィルタは既存技術で低損失・低コストを維持したまま高周波数化・広帯域化が可能であるため、現時点では本周波数帯への適用に最も適している。しかし、他の2つのフィルタよりも3.5GHz帯域外の干渉信号に対する減衰特性が緩やかであるため、本フィルタを3.5GHz帯に適用した際に3GPPの、帯域外干渉に対する受信規格を一部満足しない課題が存在した。ここで、本規格は既存周波数帯向けの規格を3.5GHz帯にも適用するものであったことから、高周波数化に伴うパロス増加を考慮し、3.5GHz帯標準仕様の最適化がなされた。結果としてLCフィルタにおいても3GPP受信規格を満足することが可能となり、

開発期間短縮と低コスト・低損失な移動端末の開発が実現されている。

3.2 3.5GHz帯を含むCAの実現

3.5GHz帯と既存周波数帯のCAを実現する手段の1つとして、3つの周波数範囲を低損失で分離する3分波器 (Triplexer) を用いる方法が知られている (図1(a))。Triplexerは従来の2分波器 (Diplexer) を3分波に拡張した機能を有するフィルタデバイスであるが、このとき3.5GHz帯側の挿入損失のみならず、既存周波数帯側の損失増加も懸念される。本課題の解決に向けて、フィルタベンダ各社とともにTriplexerの低損失化を検討した。結果として、既存周波数帯への損失増加を必要最低限に抑えつつ、800MHz+3.5GHz、1.5GHz+3.5GHz、1.7GHz+3.5GHzおよび2GHz+3.5GHzでのTDD-FDD CA標準化を実現した。なお、3.5GHz帯と既存周波数帯のCAを実現するその他の手段としては、3.5GHz帯と既存周波数帯のアンテナをそれぞれ分離する方法が存在する (図1(b))。図1(a)、図1(b)は一例でありどのような無線部構成で移動端末を実現するかは各端末ベンダがそれぞれの設計思想に基づき選択することとなる。このとき、アンテナ実装観点を含まない標準仕様上、端末実装を限定しないことが求められる。そのため、3.5GHz帯のフィルタ挿入損失も考慮した図1(a)の構成を前提として、いずれの無線部構成でも達成可能な標準仕様の策定を実施した。

*7 テザリング：スマートフォンを外部モデム (親機) として、ゲーム機器やパソコンなどのいろいろなWi-Fi対応機器 (子機) を親機が接続する携帯電話回線を通じてインターネットに接続させる機能。

*8 Bluetooth®：米国Bluetooth SIG Inc. の登録商標。

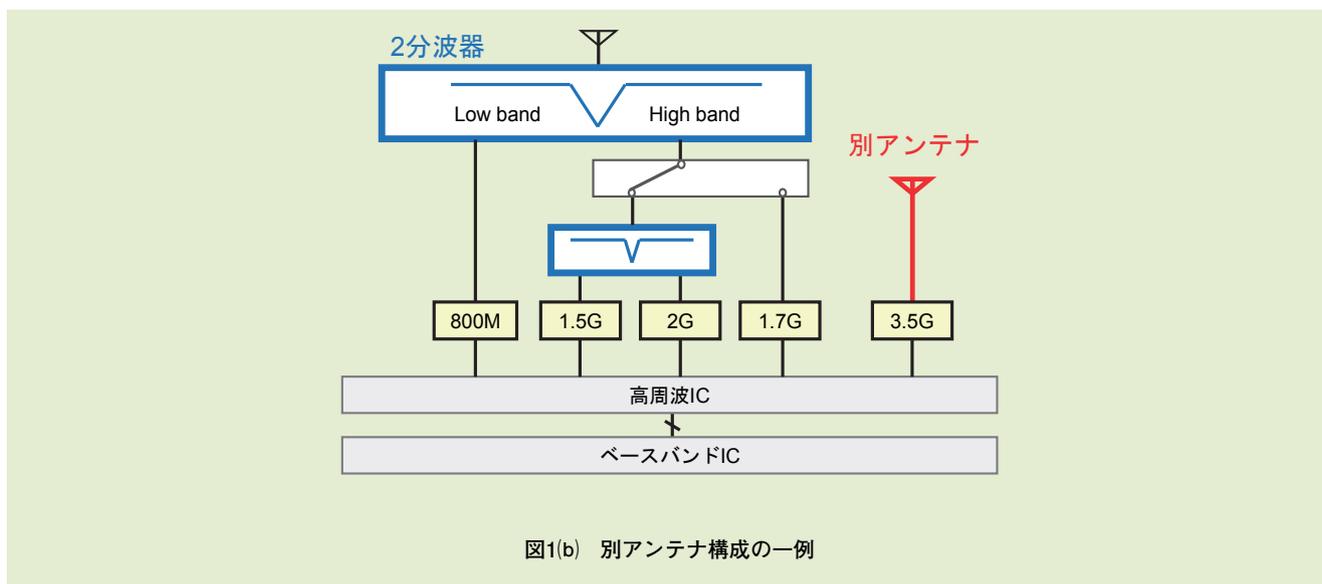
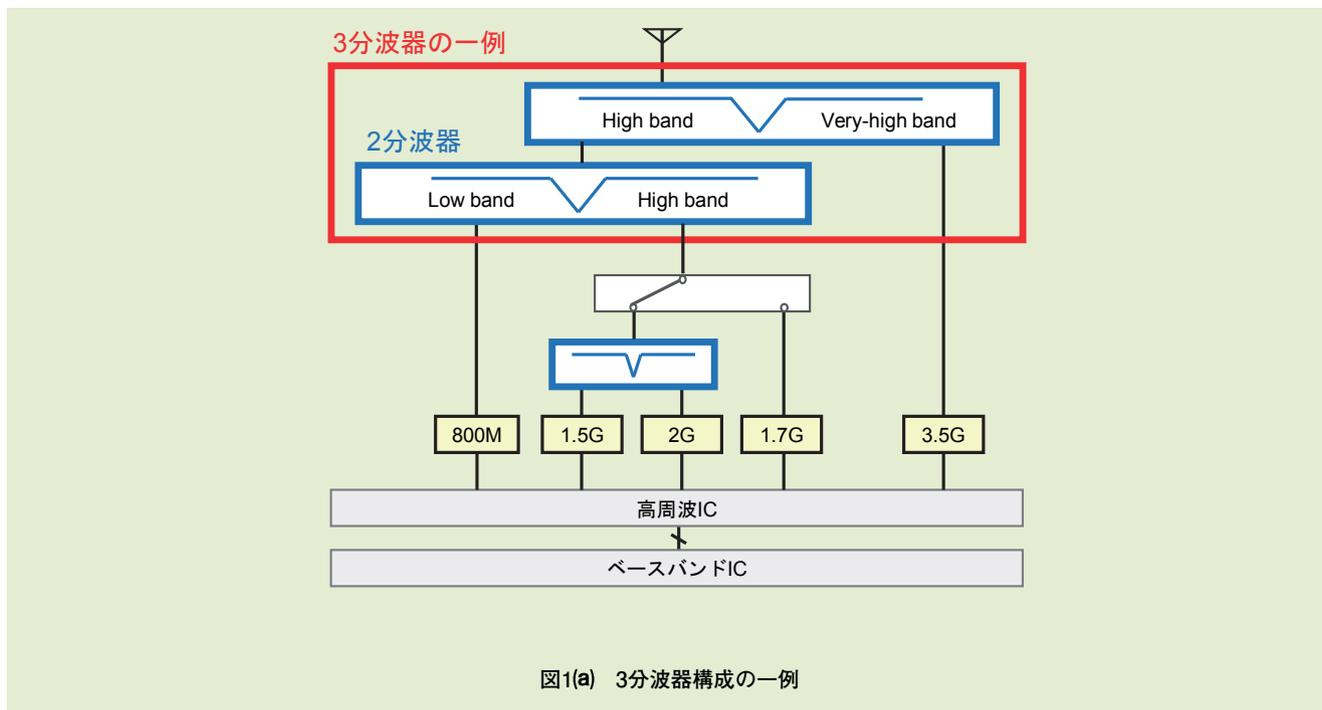
録商標。

*9 SAW フィルタ：表面弾性波 (Surface Acoustic Wave) を利用して特定の周波数帯の信号を取り出す電気素子。

*10 BAW フィルタ：バルク弾性波 (Bulk Acoustic Wave) を利用して特定の周波数

帯の信号を取り出す電気素子。

*11 くし形電極：圧電基板表面に金属薄膜で形成する交差指状電極。



4. 実験室およびフィールド環境における受信速度実験結果

3.5GHz帯TDD方式LTE対応端末の、通信速度を実験室およびフィールド実験において確認した。

まず実験室環境において、最大受信速度の実験を行った。実験には、実際の商用サービスと同じ基地局装置および移動端末を使用した。基地局と移動端末間は有線ケーブルで接続し、干渉や無線品質の変動がない理想的な環境にした。周波数帯域は

1.7GHz帯20MHz幅1CCと3.5GHz帯20MHz幅2CCの合計60MHz幅である。移動端末に向けてデータを転送し、IPレイヤ*12のヘッダを含んだ受信速度を測定した。結果を表3に示す。理論値370Mbpsに対し、最大受信速度は343Mbpsを観測した。

*12 IPレイヤ：OSI参照モデルの第3層に相当し、ルーティングや中継を行う層。ヘッダとして送信元/宛先IPアドレスなどを含む。

表3 受信通信速度の理論値と測定結果 (60MHz幅)

理論値	測定結果 (屋内)	測定結果 (屋外)
370Mbps	343Mbps	340Mbps

次にフィールド実験エリアにおいて、受信速度の検証実験を行った。実験にあたり、3.5GHz帯の電波伝搬状況を調査した。この基地局のカバー範囲において受信品質が良好な場所を選び受信速度の測定を行った。フィールド実験においては、基地局と移動端末は無線で接続され、実験室環境と比べより商用サービスに近い環境となっている。周波数帯域幅は実験室環境と同じである。下り無線品質が良好な場所において、静止

状態で測定した。フィールドにおいても340Mbpsと実験室と変わらない高速な受信速度を観測した。以上から商用サービスの高速化に寄与し得ることが確認できた。

5. あとがき

本稿では、新たに割り当てられた3.5GHz帯を利用しFDDとTDD方式を組み合わせたCAを実現する移動端末の開発について解説した。また、HW-01Hの概要およびその特長につ

いて解説するとともに、標準化の取り組みおよびフィールド実験環境における受信速度結果を明らかにした。今後もさらなる通信速度向上をめざし、開発を進めていく。

文献

- [1] 3GPP TS36.101 V12.10.1: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception," Jan. 2016.
- [2] 3GPP TS36.306 V12.7.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities," Jan. 2016.

LTE-Advanced Release 13標準化

LTE-Advanced Release 13標準化技術概要

国際標準仕様策定団体である3GPPにおいて、LTEの拡張・発展を実現するLTE-Advancedの標準仕様がRelease 10として策定された。3GPPではその後も、LTE/LTE-Advanced要素技術をさらに高度化する拡張技術が継続的に策定されている。本稿では、2016年3月に完成したRelease 13仕様における主な機能を解説する。

先進技術研究所	5G推進室	なかむら たけひろ 中村 武宏	ながた さとし 永田 聡
	無線アクセス開発部	うめだ ひろまさ 梅田 大將	たかはし ひであき 高橋 秀明
	移動機開発部	あんどう けい 安藤 桂	

1. まえがき

W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access)*1, HSPA (High-Speed Packet Access)*2およびLTEの標準仕様が策定した3GPP (3rd Generation Mobile Partnership Project) では、スマートフォンに対するユーザーズの拡大や、多様化するサービスに対応するため、LTEを拡張・発展させたLTE-AdvancedをRelease 10仕様として策定した。ドコモは2015年3月にLTE-Advancedの技術を用いたサービスPREMIUM 4Gを開始し、世界各国でもLTE-

Advanced技術を用いたサービスが展開されつつある。3GPPでは、Release 10仕様策定後もLTE/LTE-Advancedの機能拡張・高性能化を図る仕様策定を継続し、2016年3月に、Release 13の標準仕様が完成させた。本稿では、このRelease 13仕様について、その検討にあたって考慮された背景や、新たに導入された主要機能について概説する。

2. Release 13仕様の検討背景

LTE-Advancedの初版仕様である3GPPのRelease 10仕様では、LTE

との後方互換性を確保しつつ最大100MHzの広帯域化を実現するCA (Carrier Aggregation)*3技術や、下り最大8送信、上り最大4送信をサポートする高度化マルチアンテナ技術に関する仕様が策定された[1]。

その後、LTE-Advancedの機能拡張として、Release 11と12の仕様策定が行われ、広帯域化技術、マルチアンテナ技術といった従来の携帯電話を考慮した仕様検討に加えて、スマートメータ (電気・ガスメータ) などの通信モジュールを搭載した通信端末向けの仕様検討も精力的に行われた[2] [3]。

©2016 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 W-CDMA : 3GPPで策定されている第3世代の移動通信方式。
*2 HSPA : W-CDMAのパケットデータ通信を高速化した規格であり、下り (基地局から移動端末) 方向を高速化したHSDPA (High Speed Downlink Packet Access) と上り (移動端末から基地局) 方向を高速化したHSUPA (High Speed Uplink Packet

Access) の総称である。
*3 CA : 1ユーザーの信号を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。

Release 13においても、こうした従来の携帯電話の領域に留まらない幅広い範囲の市場動向や要望が考慮され、2014年よりその仕様検討が進められた。Release 13の検討領域は、図1に示すように、①新サービス創造のための新技術、②ユーザスループット・容量増大のための新技術、③ネットワーク運用経験を踏まえた機能改善、と大まかに分類できる。

3. Release 13仕様で策定された新たな機能

3.1 新サービス創造のための新技術

昨今のIoT (Internet of Things)^{*4}への市場の期待の高まりに応じて、

3GPPにおいてもIoT向けデバイスへの通信を提供するための仕様を策定した。また、Release 12仕様で策定した端末間通信技術 (D2D : Device to Device)^{*5}の機能も拡張された。

(1)マシンコム (カテゴリM1とNB-IoT)

近年、スマートメータ (電気・ガスメータ) などのサービスを対象にしたマシンコム端末についてさまざまな団体が検討が行われている。

3GPPにおいてもLTEの端末カテゴリとして、Release 12仕様において①データレートを最大1Mbpsに制限、②FDD (Frequency Division Duplex)^{*6}半2重通信 (Half Duplex)^{*7}のサポート、③1アンテナ受信のサポートを特徴とした低価格なマシンコム端末向けのカテゴリ0が策定さ

れた。Release 13仕様ではさらなる低価格化およびカバレッジの拡張を実現すべく、新たに2つの端末カテゴリがサポートされた。

(a)カテゴリM1

1つめは、カテゴリ0の特徴に加えて①端末の送受信帯域幅を1.08MHzに制限、②約15dBのカバレッジ拡張のサポートを特徴とした端末カテゴリ (カテゴリM1) である。送受信帯域幅の制限によるコストの低減効果が大きく、カテゴリ0に比較して端末チップ価格の約50%低減を想定している。

(b)NB-IoT

2つめは、当初GSM (Global System for Mobile communications)^{*8}の周波数バンド向けに

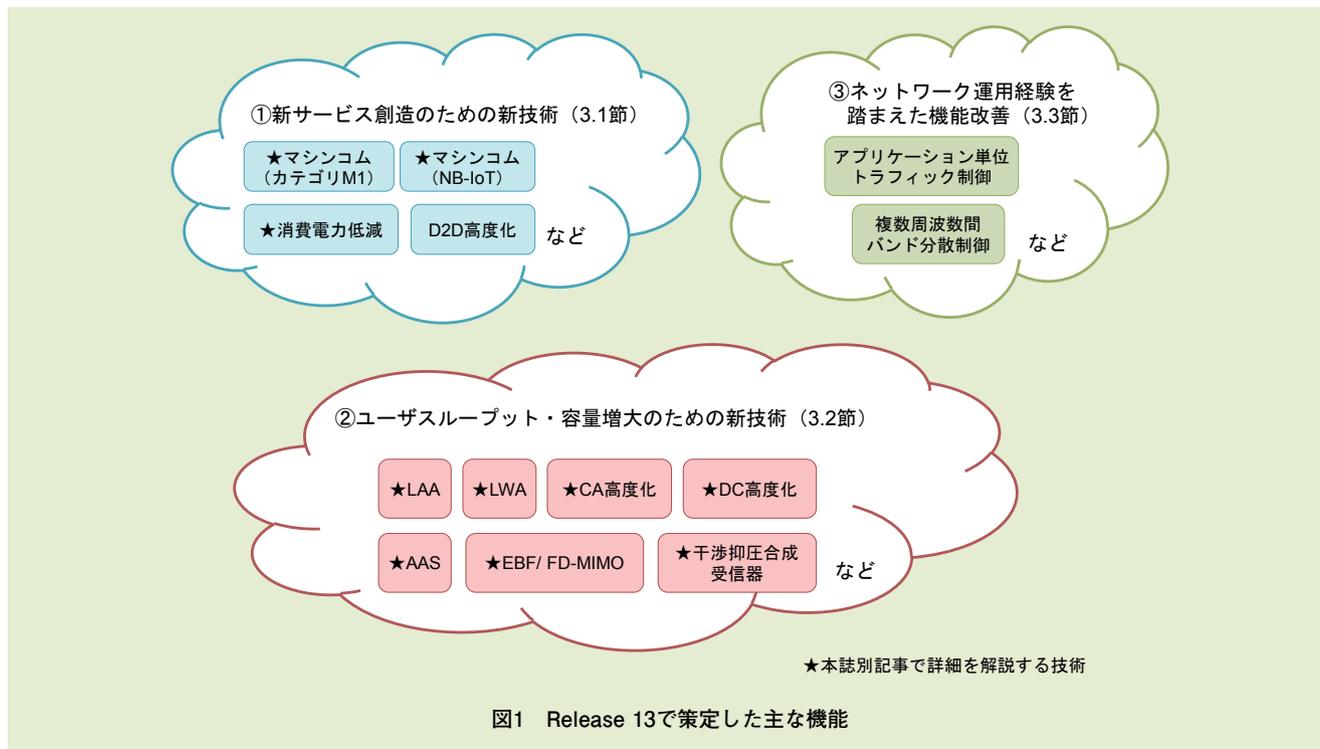


図1 Release 13で策定した主な機能

*4 IoT : さまざまな「モノ」がインターネットやクラウドに接続され、制御・情報通信される形態の総称。

*5 端末間通信技術 (D2D) : 端末間で直接通信を行う通信技術。基地局カバレッジ外において端末間で自律的に直接通信を行う場合と、基地局内カバレッジにおいて基地局からの制御情報を基に端末間で直接通信を行う場合の双方に対応している。

*6 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。

*7 半2重通信 (Half Duplex) : 一方 (例えば基地局) が送信 (受信) している間は他方 (例えば移動端末) が受信 (送信) を行う、同時には一方のみしか伝送できない通信方式。

*8 GSM : デジタル携帯電話で使用される第二世代の移動通信方式。

技術検討が行われていたが、LTEの周波数バンドでも使用できるように仕様検討が共通化されたNB (NarrowBand)-IoTカテゴリである。このNB-IoTカテゴリは、①端末の送受信帯域幅を180kHzに制限、②20dB超のカバレッジ拡張のサポートを特徴としている。カテゴリM1に比較してデータレートや周波数利用率^{*9}が低下するものの、さらなる狭帯域化により端末チップ価格の約25%低減を想定している。

(2)消費電力低減

マシンコム端末向けに消費電力を低減する技術としてPSM (Power Saving Mode) がRelease 12仕様で策定された。PSMは、間欠受信を行わず、無線の機能をほぼOFFにすることで消費電力を大幅に削減できる。一方で、端末向けの着信は周期的に行われる位置登録の契機 (通常54分) でしか行えないという課題があった。そこで、着信間隔を短くすることも実現する技術として、待受け中の間欠受信周期を既存の最大2.56秒よりさらに大きくし、最大43分の間欠受信周期を設定できるextended DRX (Discontinuous Reception)^{*10}が策定された。

(3)D2D高度化

Release 12で策定されたD2Dについて、サービス適用領域拡大のための高度化が行われた。

非常時の通信手段としての公共安全用途では、カバレッジ内の端末を

リレー局としてカバレッジ外端末のデータを基地局までリレーするUE-to-network relayが策定された。これにより公共安全向け基地局のカバレッジを補完してネットワーク接続性を提供することで投資コストの削減が可能になった。リレー局発見などに適用可能なカバレッジ外での端末発見 (D2D discovery)^{*11}も策定されている。

また、商用用途向けにはキャリア間・事業者間のD2D discoveryが策定された。具体的には、接続セル^{*12}の報知を用いた他キャリア用D2D設定の通知、およびD2D discoveryのための送受信の機能の切替えを可能にする制御が策定された。

3.2 ユーザスループット・容量増大のための新技術

3GPPではユーザスループット・容量増大のための新技術を策定している。Release 13仕様での新たな特徴の1つは、アンライセンズバンドを活用する技術が策定されたことである。

(1)LAA

近年、データ通信量の急増により事業者専用割り当てられた周波数 (ライセンズバンド) がひっ迫しつつある。通信事業者の中には、無線局免許が不要な周波数帯 (アンライセンズバンド) を用いて、ライセンズバンドがひっ迫しているエリア周辺でデータオフロードにより品質改善に取り組んでいるところもある。そこで、アンライセンズバンドを用

いた容量改善の需要に応えるため、3GPPでは、5GHz帯のアンライセンズバンドを従来のライセンスバンドと組み合わせてCAの下りリンク専用SCell (Secondary Cell)^{*13}として利用し、それらの同時通信を行うなど、上記オフロード技術と比較してアンライセンズバンドのさらなる有効活用を促すLAA (Licensed-Assisted Access) 技術が策定された。さらに、既存の無線LANや他オペレータLAAなど、他システムと同一周波数上で公平に共存するための技術検討を行ったうえで、Listen-Before-Talk^{*14}に基づくチャネルアクセス技術や、アンライセンズ周波数上で効率的なデータ送受信を行うための信号構成などが策定されている。なお、Release 14では、アンライセンズバンドをLTE CAの上下リンク両方でSCellとして利用するための策定検討が行われており、さらなる機能拡張が期待される。

(2)LWA

アンライセンズバンドを用いたユーザスループット・容量増大技術として、LTEと無線LANの無線を束ねるLTE-WLAN Aggregation (LWA) が策定された。通信事業者の中には、無線LAN経由のインターネット接続を提供しており、すでに設置された無線LANアクセスポイント^{*15}を活用して高速化を図る。LWAは、LTE基地局と無線LANアクセスポイントが物理的に異なる装置の場合、および同じ装置内に実装された場合の両方のシナリオに対応

*9 周波数利用率：単位時間、単位周波数帯域当りに送信できる情報ビット数。

*10 DRX：端末の消費電力削減を目的とした間欠受信。

*11 端末発見 (D2D discovery)：近傍に位置する端末を発見する技術。

*12 セル：セルラ方式の移動通信ネットワークと移動端末との間で無線信号の送受信を行う最小のエリア単位。

*13 SCell：CAにおいてPCellに加えて無線リソースを提供するセル。

*14 Listen-Before-Talk：端末がデータを無線上で送信する前に、他の端末がデータ送信を行っていないかを事前に確認する仕組み。

*15 無線LANアクセスポイント：無線LAN端末がネットワークに参加するために接続する管理ノード。接続した配下の端末の通信を仲介する。携帯電話における基地局に相当する。

している。

(3)CA高度化

①LTEキャリア数の上限拡張

LTEキャリアを最大5つ束ねて同時通信を可能にするCA機能は、Release 10で初めて策定され、Release 12に至るまでさまざまな高度化が行われてきたが、キャリア数の上限は5のままであった。一方、各周波数帯の組合せごとに規定されるCAの、実際のLTEキャリア数とその上限に近づいていったことや、前述のLAAで、100MHz超の周波数帯域が利用可能な5GHzアンライセンスバンドの利用を想定していたことなどを背景に、CAで同時利用可能なLTEキャリア数を拡張し、より高いピークデータレートを達成できるようにすることが求められていた。これを受け、Release 13では同時利用可能なLTEキャリア数の上限を32まで拡張することとなった。

②PUCCHの新規フォーマット

規定と新機能導入

従来のCAでは、上り制御信号をPCell (Primary Cell) *16のみで基地局に送信できたが、同時利用可能なLTEキャリア数の増大に伴い、PCellが扱う上り制御信号の増大が課題として挙げられた。これを解決するため、大容量の上り制御信号を収容できる新規PUCCH (Physical Uplink Control Channel) *17フォーマットなどが策定された。また、PUCCHペイロード*18

を拡張するだけではPCellへ負荷が集中することを考慮し、負荷分散も踏まえたソリューションとして、PUCCHをSCell上で送信できる機能も併せて導入された。本機能は、CA時に利用するLTEキャリア数にかかわらず適用できる汎用的な機能であり、LTEキャリア数が今以上に増大した時だけでなく、マクロセル*19のエリアにスモールセル*20を重畳したヘテロジニアスネットワーク*21でのCAの品質向上への貢献にも期待ができる。

(4)DC高度化

異なる2つの基地局から同じQoS (Quality of Service) が要求されるデータを同時に受信する、DC (Dual Connectivity) がRelease 12仕様で策定されたが、下りデータのみ同時受信に対応していたため、Release 13では上りデータにおいても異なる2つの基地局に同時送信する仕様で策定された。また、基地局間で時刻同期をしていない非同期DC運用において、基地局間のSFN (System Frame Number) *22および無線サブフレーム*23単位で局間誤差を端末から報告させる仕組みを実現した。Release 12では、ネットワーク側で局間誤差を何らかの仕組みで把握することを前提としていたが、Release 13で端末から報告させる新たな仕組みが導入されたことにより、ネットワーク側で計測することなく、局間誤差を把握することができる。

(5)AAS

基地局において、無線信号の送受信機能とアンテナを一体化させたAAS (Active Antenna System) の仕様検討は、実現性検討 (Study Item: Release 11~12)、仕様検討 (Work Item: Release 12~13) を経て、Release 13にてRF (Radio Frequency) *24仕様策定が完了した。AASでは、装置の小型化のほか、送受信機能—アンテナ間の同軸ケーブルが不要となることで、ケーブル損失低減による電力効率の向上が期待される。

(a)運用観点における特徴

運用観点では、複数アンテナ間での信号振幅・位相を調整することにより、メインビーム方向を水平/垂直方向に変更することができ、より柔軟なエリア構築が可能となる。さらに、メインビーム方向の異なるマルチビームを形成することで、同一装置で複数セルのエリア化が可能となる。

(b)仕様観点における特徴

仕様観点では、従来の基地局向けのRF仕様とAAS向けのRF仕様では、以下の2点が大きく異なる。

- ①規定点*25の違い：従来仕様では1つであり、送受信機能とアンテナの境界点であるコネクタを規定点としていた。一方AAS仕様では、2つの規定点が設けられている。1つめは、コネクタ (AAS仕様ではTABコネク

*16 PCell：CAにおいてUE-NW間の接続性を担保するセル。

*17 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ネル。

*18 ペイロード：通信データのうち、ヘッダなどを除いた本来通信したいデータ本体。

*19 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。

*20 スモールセル：送信電力が大きいマクロセルと比較して送信電力が小さいセルの総称。

*21 ヘテロジニアスネットワーク：電力の違うノードがオーバーレイするネットワーク構成。従来の基地局に対し、より送信電力の小さいピコ基地局、フェムト基地局、Wi-

Fiなど複数テクノロジーが混在、連携、統合化したネットワーク。

*22 SFN：親局や中継局で用いる電波の周波数を同一にして構成したネットワーク。

*23 サブフレーム：時間領域の無線リソースの単位であり、複数のOFDMシンボル (一般的には14OFDMシンボル) から構成される。

タ (Transceiver Array Boundary Connector) と呼ぶ) である。2つめは、アンテナからの電波放射空間上に設けた規定点である。ただし後者の適用は一部特性に限られ、またそれを用いた仕様では、アンテナの放射特性も含めた規定 (以下、OTA (Over The Air) *26規定) が制定され、アンテナも含めた基地局トータルでの特性評価が可能となっている。

- ②conducted規定 (送受信機能部からアンテナへの入出力信号の特性規定) での規定単位の違い: 従来は1コネクタ当りで無線特性規格を規定していたのに対して、AASでは1TABコネクタ当りの規定に加え、一部規格では複数TABコネクタ総和での規定も存在する。

さらにRelease 14ではすべてのAAS RF規定をOTAで規定するWork Itemの議論が開始されており、基地局トータルの特性担保や試験の簡素化などが期待される。

(6)EBF/FD-MIMO

AAS技術の進歩に従って、MIMO (Multiple Input Multiple Output) *27送信アンテナ数増大や、アンテナ・RF回路の校正精度の向上がより改善されている。Release 13仕様では、基地局において最大16のアンテナを水平および垂直方向に平面配置した状態を想定し、水平および垂直方向のプリコーディング制御を実現す

る技術 (EBF/FD-MIMO : Elevation Beam Forming/Full Dimension-MIMO) を策定した。この技術は、形成されるビームの指向性 *28が直交座標系内で3次元に制御されるため、3次元プリコーディングなどと呼ばれる。加えて、MU (Multi User)-MIMO *29伝送における同時多重レイヤ数の増大や、TDD (Time Division Duplex) *30システム運用を想定した、上り伝搬路推定用の参照信号の容量拡大技術などが策定された。

(7)上り干渉抑圧合成受信器

Release 13では上りリンクにおいても、受信機に搭載されている複数の受信アンテナを用いて、隣接セルからの干渉波到来方向に対してアンテナ利得の落込み点を向けることで、干渉電力を抑圧し受信品質を改善する技術が策定されている。

3.3 ネットワーク運用経験を踏まえた機能改善

オペレータのLTE/LTE-Advancedネットワークの運用経験を踏まえた機能改善も、従来の仕様から継続して実施された。

(1)アプリケーション単位トラフィック制御

Release 12仕様までのトラフィック制御技術では、IMS (IP Multimedia Subsystem) *31による音声・ビデオ呼、緊急呼、その他パケットサービスの単位で制御を行っていたのに対し、Release 13ではアプリケーション単位でトラフィック制御を行う技術 (ACDC : Application

specific Congestion control for Data Communication) が策定された。従来の技術では、同じQoSが要求されるサービスに対して、トラフィック制御を一律に行っていたが、ACDCは、同一QoSの異なるアプリケーション間で異なるトラフィック制御を行うことができる。これにより、通信事業者は、例えば同じパケット通信でも、災害伝言板などの緊急度の高いアプリケーションを、他のアプリケーションより優先することができる。

(2)複数周波数間バンド分散制御

①周波数間セル再選択

世界各国でW-CDMA/HSPAからLTEへのマイグレーションが進むにつれ、LTEを複数の周波数帯で提供する通信事業者が増えつつある。しかし、複数周波数帯で運用する際に、トラフィックが周波数間で均一に分散されず、特定の周波数に偏る場合がある。その解決策として、端末が待受け中に報知情報 *32で設定された確率に従い、周波数間でセル再選択を行う技術が策定された。本技術により、通信事業者が設定した確率に従って、端末が各周波数で待受けを行うことができ、通信時のトラフィックを周波数間で分散することが期待される。

②RS-SINR

さらに、端末が測定する無線通信品質の新たな指標として、セル固有の参照信号を用いたRS-SINR (Reference Signal-Signal

*24 RF : 無線通信に使用される周波数、または無線信号の搬送波に使用される周波数。

*25 規定点 : 基地局RF仕様で規定されるポイント。

*26 OTA : アンテナからの電波放射空間上/アンテナへの電波受信空間上に規定点を設け、アンテナからの放射特性/アンテナへの受信特性も含めた規定および測定方法。

*27 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の向上を実現する信号伝送技術。

*28 指向性 : アンテナの放射特性の1つで、アンテナからの放射強度 (あるいは受信感度) の方向特性のこと。

*29 MU-IMO : 同一時間周波数において、複数ユーザに対してMIMO伝送を行う技術。

*30 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。

to Interference plus Noise power Ratio) を新たに策定し、端末から報告させる仕組みも策定した。RS-SINRは、端末の通信を周波数間でハンドオーバ*33により分散させる場合、ハンドオーバ先で提供可能なスループットを予測する指標として用いられる。RS-SINRを用いることで、従来のRSRQ (Reference Signal Received Quality)*34と比較し、特に通信品質が比較的良い領域で、高いスループットを実現するハンドオーバ先候補のセルを、より正確に把握することができる。

4. あとがき

本稿では、LTE-AdvancedのRelease

13仕様の検討背景、および新たに導入された主要機能を概説した。本稿で紹介したRelease 13の主要機能のうち、カテゴリM1, NB-IoT, 消費電力低減, LAA, LWA, CA/DC高度化, AAS, EBF/FD-MIMO, 干渉抑圧合成受信器については、本誌の別記事でより詳細に解説をしているので、ご参照いただきたい[4]~[6]。3GPPでは、Release 14仕様の策定をすでに開始し、今後IoT, アンライセンスバンド向け技術の高機能化を図る仕様に策定する予定である。

文 献

- [1] 中村, ほか: “LTE-Advancedの概要および標準化動向,” 本誌, Vol.18, No.2, pp.6-11, Jul. 2010.
- [2] 中村, ほか: “LTE/LTE-Advanced高度化技術概要,” 本誌, Vol.21, No.2, pp.6-9, Jul. 2013.
- [3] 永田, ほか: “LTE-Advanced Release 12標準化技術概要,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.30-34, Jul. 2015.
- [4] 武田, ほか: “LTE Release 13におけるIoTを実現する新技術,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.38-49, Jul. 2016.
- [5] 原田, ほか: “LTE-Advanced Release 13における広帯域周波数の活用技術,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.50-58, Jul. 2016.
- [6] 奥山, ほか: “LTE-Advanced Release 13におけるマルチアンテナ送受信および受信機能改善技術,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.59-68, Jul. 2016.

*31 IMS: 3GPPで標準化された、固定・移動通信ネットワークなどの通信サービスを、IP技術やインターネット電話で使われるプロトコルであるSIP (Session Initiation Protocol) で統合し、マルチメディアサービスを実現させる制御通信方式。
*32 報知情報: 移動端末における位置登録要否の判断に必要な位置登録エリア番号,

周辺セル情報とそのセルへ在圏するための電波品質などの情報、および発信規制制御を行うための情報などを含み、セルごとに一斉同報される。

*33 ハンドオーバ: 通信中の端末が移動に伴い基地局をまたがる際、通信を継続させながら基地局を切り替える技術。

*34 RSRQ: セル固有の参照信号の電力と、受

信帯域幅内の総電力との比を表す。

LTE-Advanced Release 13標準化

LTE Release 13におけるIoTを実現する新技術

近年、その普及に伴い、IoTサービスに特化したUE向けの要素技術やネットワーク制御技術がさかんに検討されている。IoT向けのUEでは、大量生産・導入のための低コスト化や10年以上のバッテリー交換不要など、これまでのデータ通信の高速化とは異なる要求条件が求められている。そこで3GPPでは、LTE Release 13にてIoT向けの仕様を新たに規定した。本稿では、LTEのRelease 13仕様で新たに導入されたIoT端末の低コスト化、カバレッジ広域化、および低消費電力化を実現するための要素技術、コアネットワークの最適化を解説する。

先進研究所 5G推進室

たけだ かずあき
武田 和晃

無線アクセス開発部

ウリ A. ハプサリ

ネットワーク開発部

たかはし ひであき
高橋 秀明ふじしま だいすけ
藤島 大輔ドコモ・テクノロジー株式会社
パケットNW事業部みやお じえん
繆 震

1. まえがき

3GPP (3rd Generation Partnership Project) では、スマートフォンに対するユーザニーズに応えるためのLTEの無線高速大容量化に加え、IoT (Internet of Things)*1向けに特化した要素技術やネットワーク制御技術も、LTEをベースにその拡張が検討されている。特にRelease 13仕様では、IoTサービスに対する市場の需要の高まりに応えるため、

端末の低コスト化、カバレッジ広域化、低消費電力化を実現する要素技術、およびコアネットワーク最適化の検討がさかんに行われた。本稿では、Release 13で規定されたIoT向け新技術を解説する。

2. Release 13におけるIoT向けUEカテゴリ

2.1 概要

(1)カテゴリ0

近年、スマートメータ（通信機能

を持たせた電気・ガスメータ）などのIoTサービスを対象にした端末（以下、UE (User Equipment)）について、さまざまな団体で検討が行われている。LTEでは、Release 12仕様において、①データレートを最大1Mbpsに制限、②FDD (Frequency Division Duplex) Half Duplex*2のサポート、③1アンテナ受信のサポート、を特徴とした、IoT向けの低価格なUEカテゴリ（カテゴリ0）がサポートされた。

©2016 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 IoT：さまざまな「モノ」がインターネットやクラウドに接続され、制御・情報通信される形態の総称。

*2 FDD Half Duplex：周波数分割複信。上りリンクと下りリンクで、異なる周波数、周波数帯域を用いて信号伝送を行う方式。異なる周波数にて送信と受信を同時に行う方式をFDD Full Duplexと呼び、異なる周波数にて送信と受信を時間で切り替えて行う方式をFDD Half Duplexと呼ぶ。

(2)カテゴリM1とNB-IoT

Release 13仕様においては、さらなる低価格化、およびカバレッジの拡張を実現すべく、2つのUEカテゴリがサポートされた(表1)。

- ・1つめは、カテゴリ0の特徴に加えて、①端末の送受信帯域幅を1.08MHzに制限、②カテゴリ1から約15dBのカバレッジ拡張のサポート、を特徴としたUEカテゴリ(カテゴリM1)である。送受信帯域幅の制限によるUEチップのコストの低減効果が大きい[1]。
- ・2つめは、当初GSM(Global System for Mobile communications)*3の周波数帯向けに技術検討が行われていたが、LTEの周波数バンドでも使用できるように仕様検討が共通化された、NB(NarrowBand)-IoTカテゴリである。これは、①端末の送受信帯域幅を180kHzに制限、

②カテゴリ1から20dB超のカバレッジ拡張のサポート、を特徴としている。カテゴリM1に比較して、データレートや周波数利用率*4が低下するものの、さらなる狭帯域化により、チップをより低価格化にすることが期待されている。以下、UEカテゴリM1とNB-IoTカテゴリでサポートされている機能の概要について解説する。

2.2 カテゴリM1

カテゴリM1は、LTE送受信帯域の一部の1.08MHzを使用して信号の送受信を行う特徴をもつ(図1(a))。カテゴリM1の送受信帯域はLTEの送信帯域内で可動であり、LTEの送受信帯域内であれば異なる1.08MHzを使って運用することも可能である。ただし、カテゴリM1 UEは1.08MHzに相当する6PRB(Physical Resource Block)*5しか受信できないため、

LTEバンドで6PRBよりも広い帯域で送信される下り信号を受信することができない。具体的には、データや報知情報(SIB: System Information Block)*6がマッピングされた下り共有チャネル(PDSCH: Physical Downlink Shared Channel)を割り当てるための下り制御チャネル(PDCCH: Physical Downlink Control Channel)*7を受信することができないため、LTEの報知情報を取得できない(図2の①)。

(1)M-PDCCHとSIB新规定

そこで、カテゴリM1UE向けに、6PRB内にマッピングされた、SIBなどを割り当てるためのMTC(Machine Type Communication)*8向け下り物理制御チャネル(M-PDCCH: MTC-PDCCH)と、カテゴリM1に特化したSIBが新たに規定されている。このように6PRB内に閉じた新しい下り制御チャネルおよび上位レイヤ信号の導入により、カテゴリM1の

表1 IoT端末向けUEカテゴリ

	カテゴリ1	カテゴリ0	カテゴリM1	NB-IoT
策定期期	Release 8	Release 12	Release 13	Release 13
運用周波数帯	運用中のLTEバンド (専用周波数では、専用周波数用のエリアを構築する必要あり)			LTEバンド外(ガードバンド内)
送受信帯域幅	20MHz	20MHz	1.08MHz	180kHz
周波数利用率	既存LTEと同じ	既存LTEと同じ	カテゴリ1より低下 (1アンテナ受信、帯域幅制限により)	カテゴリM1より低下 (さらなる帯域幅制限により)
カバレッジ	既存LTEと同じ	既存LTEと同じ	カテゴリ1+15dB	カテゴリ1+20dB
モビリティ	既存LTEと同じ	既存LTEと同じ	既存LTEと同じ (カバレッジ拡張時低速)	ハンドオーバー非対応 待受け時のモビリティは対応
消費電力	既存LTEと同じ	既存LTEと同じ	カテゴリ1/0より低	
送信電力	既存LTEと同じ	既存LTEと同じ	3dB低下	3dB低下(検討中)

*3 GSM: デジタル携帯電話で使用される第二世代の移動通信方式。

*4 周波数利用率: 単位時間、単位周波数帯域当りに送信できる情報ビット数。

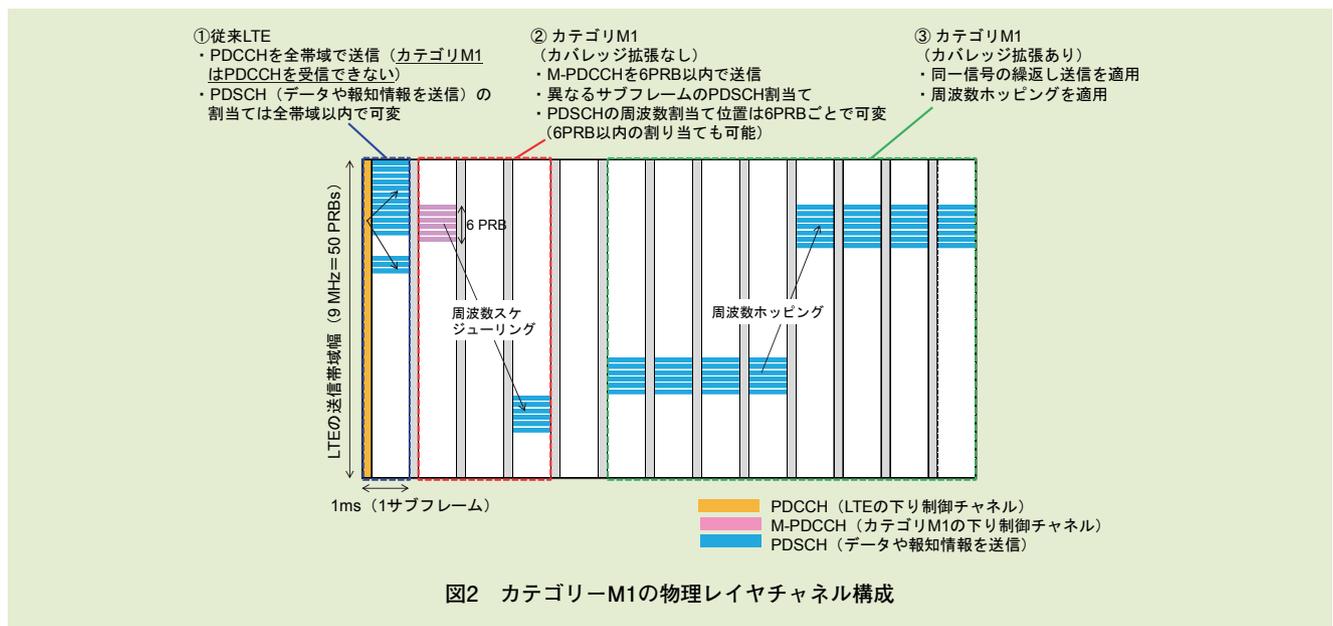
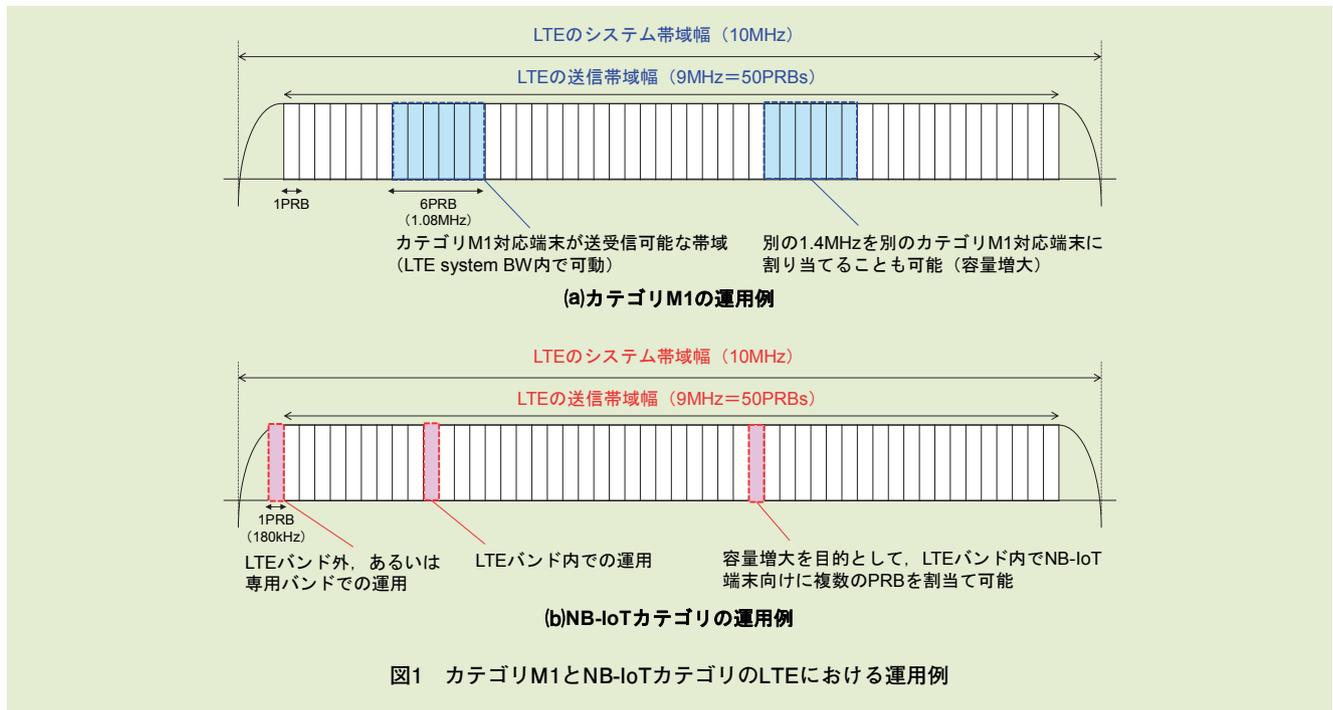
*5 PRB: 無線リソースの割当て単位であり、1サブフレーム、および12サブキャリアから構成される。

*6 報知情報(SIB): 移動端末における位置登録要否の判断に必要な位置番号、周辺セル情報および発信規制制御を行うための

情報などを含み、周辺セルごとに一斉同報される。

*7 下り制御チャネル(PDCCH): LTE下りリンクにおける物理レイヤの制御チャネル。

*8 MTC: マシン型通信。人間による通信操作を介在しない機械通信の3GPPにおける総称。



送受信帯域幅を1.08MHzに制限し、モジュールの低価格化を実現している。図2②に示すように帯域制限により割当て可能なPRB数が少なくなるため、異なるサブフレームのM-

PDCCHを用いて、PDSCHの割当てを行う。なお、前述の通り、カテゴリM1の送受信帯域はLTEの送受信帯域内で可動であるため、図2②に示すように、異なるサブフレーム*9

では、PDSCH（または、PUSCH（Physical Uplink Shared Channel））を異なる周波数6PRBに割り当てることもできる。これにより、受信品質の良い6PRBを用いてPDSCHと

*9 サブフレーム：時間領域の無線リソースの単位であり、複数のOFDMシンボル（一般的には14OFDMシンボル）から構成される。

PUSCHを送受信することが可能となる。

(2)新たな電力クラス規定

また、モジュールの低価格化を実現する方法として、従来のLTEモジュールと同じ電力に加えて、これと比較して送信電力が3dB低い、新たな電力クラスも規定されている。

(3)カバレッジ拡張のための新機能

カバレッジ拡張を実現するための機能としては、図2③に示すように、複数のサブフレームを用いて、同一信号を繰り返し送受信する機能が規定されている。繰り返し送信の適用により、カテゴリM1UEは、受信信号対干渉および雑音電力比（受信SINR：Signal-to-Interference plus Noise power Ratio）^{*10}が低い環境下においてもMTC向けの信号を送受信できる。ただし、15dB程度のカバレッジ拡張を実現するためには、同一信号を100サブフレーム以上にわたり送信する必要があることから、スループット^{*11}や周波数利用率が著しく低下してしまう。そこで、LTE送信帯域内の異なる6PRBを用いて同一の信号を送信する周波数ホッピング^{*12}がサポートされている。図2の③に示すように、ある一定の区間（例えば4サブフレーム）ごとに、送信信号の周波数をホッピングさせることで、周波数ダイバーシチ^{*13}効果を得ることができ、受信SINRを改善して、カバレッジ拡張を行いながらもスループットや周波数利用率を大幅に向上させることができる。

2.3 NB-IoT

カテゴリM1がLTE送受信帯域内で運用されるのに対して、NB-IoTカテゴリでは、LTEバンド内にNB-IoT UEと通常のLTE UE（例えばスマートフォン）と共存して運用する形態に加えて、LTEのバンド外（以下、ガードバンド^{*14}）とNB-IoT UEのみ存在する専用周波数帯での運用がサポートされている。LTEバンド内の運用向けには、前述の通りLTE用に送信されているPDCCHなどを考慮して、物理レイヤ信号を設計する必要がある。一方、ガードバンドや専用周波数帯では、LTEの物理レイヤ信号を送信する必要がなく、これらを考慮しなくて良い点が異なる。

(1)NB-PSS/SSSとNB-PBCH新规定

NB-IoTカテゴリは、カテゴリM1と比較してさらなるコストの低減を実現するために、より狭帯域な180kHz（1PRBに相当）を使用して信号の送受信を行う（図1(b)）。従って、PDCCHなどに加えて、LTEやカテゴリM1向けに6PRBで送信されている同期チャネル（PSS/SSS：Primary Synchronization Signal/Secondary Synchronization Signal^{*15}）や、PBCH（Physical Broadcast Channel）^{*16}も受信できなくなる。このため、NB-IoTカテゴリ向けに、1PRB内で送信可能な、NB-PSS/SSS、およびNB-PBCHも新たに規定されている。

(2)カバレッジ拡張におけるさらなる機能

カバレッジについても、より要求

条件の厳しい上りリンクの機能が拡張されている。まずは、1PRBよりも小さいサブキャリア^{*17}（15kHz）単位（1PRBは12サブキャリアで構成）での送信（以下、シングルトーン送信）が規定されている。上りは端末の送信電力が限られているため、データレートを犠牲にして、シングルトーン送信で1サブキャリアに送信電力を集中させることで、受信SINRを改善することができる。また、15kHzのサブキャリアをさらに狭帯域化し、3.75kHzのサブキャリア間隔もサポートしている。

(3) $\pi/4$ -QPSK変調と $\pi/2$ -BPSKサポート

さらに、変調方式についても、平均電力に対するピーク対平均電力比（PAPR：Peak-to-Average Power Ratio）^{*18}を低減するために、従来のQPSK（Quadrature Phase Shift Keying）^{*19}変調に位相回転を加えた $\pi/4$ -QPSK変調や $\pi/2$ -BPSK（Binary Phase Shift Keying）^{*20}変調がサポートされている。位相回転を加えることで、変調信号の振幅が零点となることを避けて、振幅変動を抑えることができるためPAPRを低減できる。

3. 省電力化のためのeDRX技術

IoTのシナリオでは、IoTモジュールのバッテリー交換周期が10年以上であるという要求条件がよく知られている[2]。そのため、従来のLTE UEの消費電力と比べて、より高いバッ

*10 受信信号対干渉および雑音電力比（受信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。

*11 スループット：単位時間当りに、誤りなく伝送される実効的なデータ量。

*12 周波数ホッピング：送信ごとに異なる周波数、あるいは周波数リソースを用いて送信を行う方法。

*13 周波数ダイバーシチ：ダイバーシチの一種で、異なる周波数を用いることによって受信品質の向上を図る。ダイバーシチは、複数の経路を用い、受信品質の良い経路を選択するなどして受信品質の向上を図る方法。

*14 ガードバンド：システム間の電波干渉を防ぐため、システムごとに割り当てられる周波数帯域間に設けられる帯域。

*15 PSS/SSS：セルの検出、時間・周波数同期などを行うための同期チャネル。

*16 PBCH：下りのシステム帯域幅、システムフレーム番号などの主要無線パラメータを通知するための物理報知チャネル。

*17 サブキャリア：OFDMなどのマルチキャリア伝送において信号を伝送する個々の搬送波。

テリセービング効果をもつ技術が求められている。

従来の省電力技術として、DRX (Discontinuous Reception) が3GPP Release 8から規定されている。DRXは、間欠的な信号受信により、受信していない期間ではRF (Radio Frequency) 機能部^{*21}を停止させてスリープ状態とすることで消費電力を抑える技術である。DRXの動作は、RRC (Radio Resource Control)_IDLE^{*22}およびRRC_CONNECTED^{*23}において、PDCCHの信号を間欠的に受信する際に適用され、最大2.56sのDRX cycleが規定されている。IoTシナリオの要求条件を満たすためにはDRX cycleをさらに延長する必要があるため、信号の間欠受信の期間を大幅に延長したeDRX (extended DRX) がRelease 13で新たに規定された。

3.1 eDRXの動作概要

Release 13で規定されるeDRXでは、バッテリーセービングの効果を向上させるために、スリープ状態を長くすることを実現している。RRC_CONNECTEDでは、最大のeDRX cycleを10.24sと設定することができる。RRC_IDLEでは最大のeDRX cycleを、カテゴリM1の場合43.96分、NB-IoTの場合、2.91時間と設定することができる。eDRX機能を適用しているUEの状態はeDRX状態と呼ぶ。eDRX状態のUEは、ネットワークが指定したeDRX cycleごとに、信号を受信することを試みる。IoT

のシナリオの多くは、小データ量、長期間隔 (24時間に1回) の発呼、通常のスマートフォンと比較すると着信の回数が少ない、報知情報の更新頻度が小さい、などの特徴を持っている。このような通信パターンにおいては、RRC_CONNECTED中の時間がスマートフォンと比べると極めて短く、RRC_CONNECTED中のeDRXよりもRRC_IDLEのeDRXの動作のほうがバッテリーセービングの効果に大きく貢献すると考えられる。また、異なるIoTシナリオは、異なるPaging^{*24}応答時間の要求条件をもつ場合が考えられる。そのため、データ発呼の頻度が低い (24時間に1回) IoTシナリオであっても、自身宛てのPagingに対して一定時間 (たとえば2分以内にPaging応答を必要としている場合は、2分程度の適切な値) のeDRX cycleを設定する必要がある。

(1)H-SFNの定義

LTEでは、UEとeNBが刻む時間のリファレンスとして、SFN (System Frame Number)^{*25}が定義されている。UEは、セルに在圏する際に、eNB (evolved NodeB)^{*26}が報知しているSFN情報を取得し、UEとeNB間で時間同期をする。eDRXでは、従来のSFNにH-SFN (Hyper SFN) の概念が新規に導入されている。H-SFNの情報はSFNと同様、報知情報で通知されている。

1SFNの長さは、10ms、SFNの番号は0~1023と定義されているため、それらをトータルしたSFN cycleの長

さは10.24sとなる。長期間のeDRX cycleを規定するため、1H-SFNの長さは、SFN cycleの長さ (10.24s) とし、H-SFNの番号は0~1023と定義している。

(2)eDRX cycleの設定

ネットワークは、UEごとにeDRX cycleを設定することができる。eDRX cycleは、H-SFNの連続するフレームからなる長さであり、H-SFNの長さの整数倍で表す。MME (Mobility Management Entity)^{*27}は、各UEのeDRX cycleを決定し、その値をS1 I/Fを介してeNBに通知する。

UEはeDRX cycleごとに信号の受信を試みるため、ネットワークは、そのタイミングに合わせて、信号を送信する。

3.2 RRC_IDLE時のPagingメッセージの受信

(1)UEの動作

RRC_IDLE時のPagingメッセージの受信方法を図3に示す。従来どおり、eNBとUEの間は、SFNレベルで同期している。eDRXを実現するために、MME、eNB、UEの間で、H-SFNレベル (数秒) で同期している必要がある。よって、MMEとUE、MMEとeNBとの間のH-SFNの開始時間が数秒ずれているが、MME、eNBとUEは同じH-SFN番号を持っている。

UEはeDRX cycleごとに、特定のH-SFNでPagingの受信を試みる。UEがPagingの受信を試みるH-SFNをPH (Paging Hyperframe)^{*28}と呼ぶ。

*18 ピーク対平均電力比 (PAPR) : 最大電力と平均電力の比。電力増幅器の性能やその消費電力を評価する際に用いられる指標の1つ。

*19 QPSK : デジタル変調方式の1つ。位相の異なる4つの信号を組み合わせてることにより、同時に2bitの情報を送信可能。

*20 BPSK : デジタル変調方式の1つで、2つの

位相にそれぞれ1つの値を割り当てることにより、同時に2値 (1bit) の情報を送信可能。

*21 RF機能部 : 無線信号の送受信を行う機能部。

*22 RRC_IDLE : LTEにおけるUEのRRC状態の1つであり、UEはeNB内のセルレベルの識別をもち、eNBにおいてUEのコンテ

キストが保持されていない。MMEにおいてUEのコンテキストが保持されている。

*23 RRC_CONNECTED : LTEにおけるUEのRRCレイヤの状態の1つであり、UEはeNB内のセルレベルで識別でき、eNBにおいてUEのコンテキストが保持されている。

*24 Paging : 着信時に待受け在圏中のUEを呼び出す手順および信号。

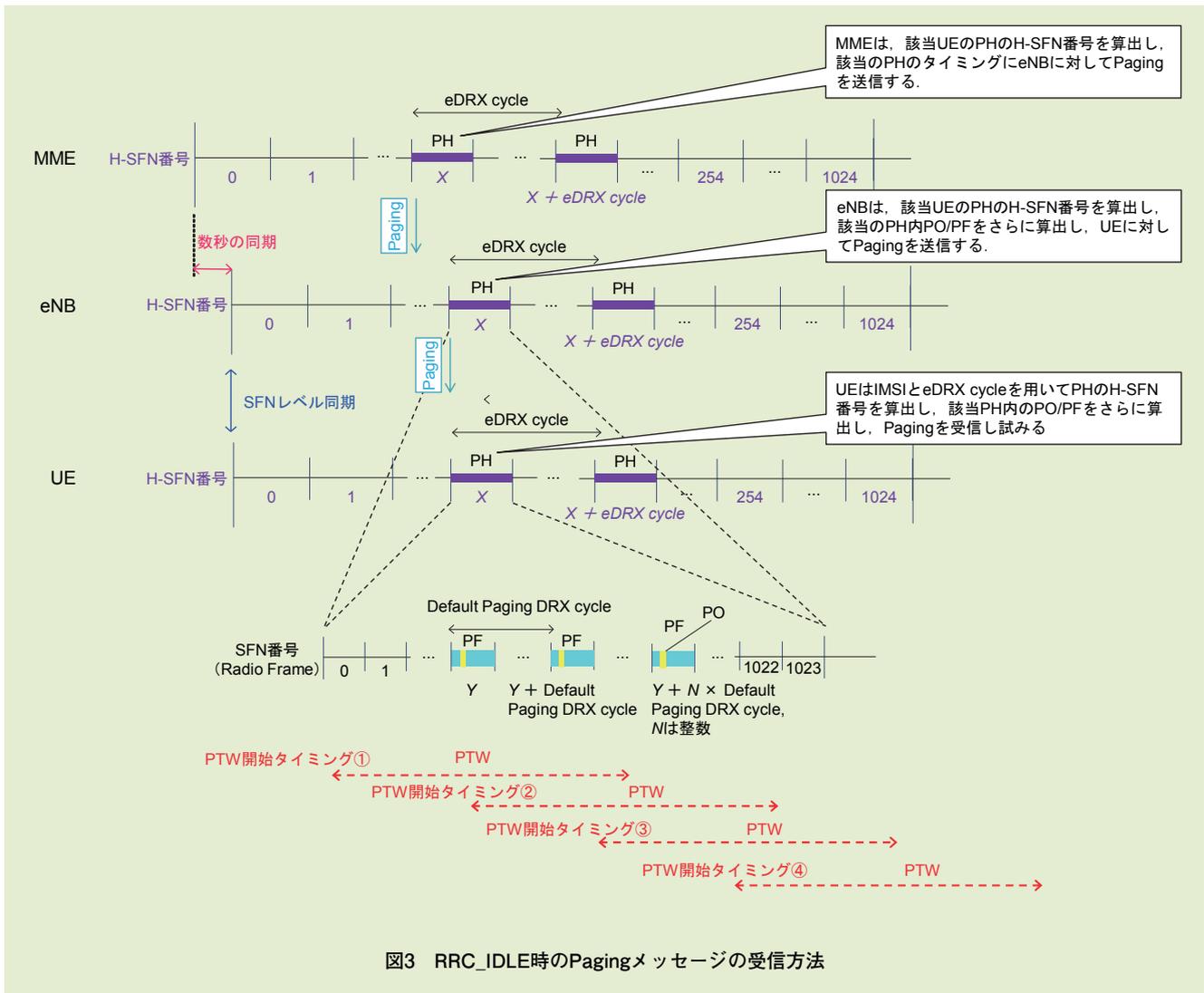


図3 RRC_IDLE時のPagingメッセージの受信方法

UEは、IMSI (International Mobile Subscriber Identity)^{*29}とeDRX cycleを用いて、どのH-SFN番号がPagingを受信すべきPHとなるかを算出する。該当のPH内において、PTW (Paging Time Window)^{*30}の間にPagingメッセージの受信を試みる。Pagingを受信する確率を高めるために、PTWの間にMMEまたはeNBがPagingの繰返し送信を実施することができる。PTWの開始タ

イミングは、該当PHのH-SFNの中に4カ所で分散することができる。PTWは、MMEが決めるものであり、eDRX cycleと一緒にS1 I/Fを介してeNBに通知される。

PTWが開始された時点から、従来のPagingを受信する仕組みに従い、Default Paging DRX cycleを用いて、どのSFN番号がPagingを受信すべきPF (Paging Frame)^{*31}となるか、また、そのPF中のどのサ

ブフレームが該当するPO (Paging Occasion)^{*32}であるかを算出し、Pagingの受信を試みる。

なお、カバレッジ拡張機能を適用するUEは、同一信号の繰返し送信を実施する。eDRXを適用している場合、UEは、Pagingメッセージの繰返し受信を上記算出の最初のPO/PFのサブフレームから開始する。

*25 SFN : LTEにおけるUEとeNBにおけるリファレンス時間。
 *26 eNB : LTEにおける無線基地局。
 *27 MME : eNBを収容し、モビリティ制御機能などを提供する論理ノード。
 *28 PH : eDRX中のUEがPagingの受信を試みるH-SFN。
 *29 IMSI : UIM (User Identity Module) 内に

格納される、移动通信で使用するユーザごとに固有の番号。
 *30 PTW : eDRX中のUEがPagingの受信を試みる時間の長さ。
 *31 PF : IDLE時のDRX中のUEがPagingの受信を試みるSFN。

*32 PO : IDLE時のDRX中のUEがPagingの受信を試みるSFN内のサブフレーム。

(2)MMEとeNBの動作

MME, eNBでは, 上記で説明したUEにおけるPHの算出方法と同様の方法で, 各UEの該当するPHとなるH-SFN番号を算出する。MMEは, 該当のH-SFNのタイミングでeNBがPagingメッセージを送信できるように, そのタイミングに合わせてS1 I/Fを用いてPagingメッセージをeNBに送信する。eNBは, S1 I/Fを介して受信しているPagingメッセージをしかるべくH-SFN番号およびPO/PFのサブフレームのタイミングでUEに送信する。上記の動作を可能にするためには, MMEとeNBは, H-SFNレベル(数秒)の同期精度が推奨されている。eNBがMMEからPagingメッセージを受信した場合, Pagingメッセージを送信すべき該当のH-SFNが開始するまでに, eNBにおいて保持する必要がある。MMEとeNBとの同期精度が高くなると, eNBがS1 I/Fを介してPagingメッセージを受信したH-SFNから, 該当のH-SFNの開始タイミングまでの差が短くなり, eNBにおけるPagingメッセージを保持するための必要なバッファ量^{*33}が少なくなる。

3.3 HLCom

eDRXをサポートするためのMMEとその上位レイヤのコアネットワーク^{*34}ノードにおける機能拡張をHLCom(High Latency Communication)機能として規定している。HLComでは, データ, SMS^{*35},

LCS(LoCation Service)^{*36}着信に対してその機能が利用される。本稿では, データ着信時のHLCom機能に注目し詳細解説をする。

前述のようにMMEは, 各UEについてのPHは既知である。S-GW(Serving GateWay)^{*37}から着信データの通知される際にMMEは, UEがeDRX状態にあると認識しているため, UEに対してPagingを送信することができないと検知し, UEと無線がベアラ^{*38}接続できるまでの時間を予測し, S-GWに対してバッファリングを要求する。MMEはUEごとにS-GWに要求したバッファリング時間を保持し, その時間内にUEからアクセスがあった場合U-Plane(User Data Plane)^{*39}を確立する。その際, UEが移動時にMMEをまたがっても上記の制御ができるようにMME間でバッファリング時間を引き継げるようにする。一方, S-GWにおいてもMMEに要求されたバッファリング時間は着信データを保持する。

4. IoTに向けた
コアネットワーク
の最適化

NB-IoTが断続的な小容量データ伝送向けの無線技術として仕様化される一方, コアネットワークにおいても大容量通信に適したEPS(Evolved Packet System)^{*40}をNB-IoT向けに最適化する必要性がある点について, 2015年3月の3GPP SA(Service and System Aspects)プレナリ^{*41}で議論

された。その結果, SA2にてCIoT(Cellular IoT)に対するEPS最適化のためのアーキテクチャ検討が2015年7月より開始された。その結果, 仕様化されたCIoT向けEPS最適化について以下に解説する。

4.1 CIoT向けEPS最適化の概要

(1)特長

CIoT向けEPS最適化は, 以下の特性をサポートしている。

- ・UEの超低消費電力化
- ・セル当りの在圏デバイス数の向上
- ・狭帯域への適応
- ・ページングの最適化

(2)2種類のCIoT向けEPS最適化方式

CIoT向けEPS最適化の方式は2種類が標準化された[3]。

①1つは, NAS PDU(Non-Access Stratum Protocol Data Unit)^{*42}でユーザデータをC-Plane(Control Plane)^{*43}のシグナリングメッセージにカプセル化^{*44}する, C-Plane CIoT向けEPS最適化である。

②もう1つは, ユーザデータ送信方式は既存のEPSと同様にU-Planeベアラを用いるものの, RRCレイヤに「Suspend(保留)」と「Resume(復旧)」の新たな状態を導入してNB-IoT UE, eNB, MMEで接続情報を保持することで, 断続的なユーザデータ転送に適したU-Planeベアラ制御を効率的に行う,

*33 バッファ量: ユーザデータやシグナリングを一時的に記憶するための場所のサイズ。

*34 コアネットワーク: 交換機, 加入者情報管理装置などで構成されるネットワーク。移動端末は無線アクセスネットワークを経由してコアネットワークとの通信を行う。

*35 SMS: 主に移動端末どうしでテキストベースの短い文章を送受信するサービス。

*36 LCS: 移動端末の位置を特定するサービス。

*37 S-GW: LTEネットワーク上でのパケット交換機。P-GWとの間でユーザデータの送受信を行う。

*38 ベアラ: ユーザデータパケットの経路。

*39 U-Plane: 制御信号の伝送路であるC-Planeに対して, ユーザデータの伝送路のこと。

*40 EPS: LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された, IPベースのパケットネットワークの総称。

*41 SAプレナリ: 3GPPのTSG SA会合の最上位会合。

*42 NAS PDU: アクセス層(AS(*62参照))の上位に位置する, 移動端末とコアネットワークとの間の機能レイヤ。

U-Plane ClIoT向けEPS最適化である。

それぞれの方式のアーキテクチャ概要図を図4に示す。SA2にて、NB-IoT UEでのサポートが、①はマンドトリー（必須）、②はオプションと決定された。

(3) ClIoT向けEPS最適化の方式選択

NB-IoT UEとコアネットワーク間でどちらのClIoT向けEPS最適化方式

を使用するかは、まずNB-IoT UEがサポートする方式の情報をAttach*45/TAU (Tracking Area Update)*46/RAU (Routing Area Update)*47 Request信号に含めてコアネットワークに送信し、それを基にコアネットワークが選択した方式の情報をAttach/TAU/RAU Accept信号に含めてNB-IoT UEに伝達することで決定される。ただし、NB-IoT UEからコアネットワークがサポートし

ない方式での接続を要求された場合は、適切なコードを設定してAttach/TAU/RAU Rejectを行う。

(4) コアネットワークへの振分け機能

ClIoT向けEPS最適化は、NB-IoT UEのデータ転送を最大限に効率化する目的で仕様化されており、NB-IoT UEは既存のEPSには接続しないことを前提としている。そのため、eNBは既存EPSとClIoT向けEPSを見分け、従来のUEは既存EPSに、

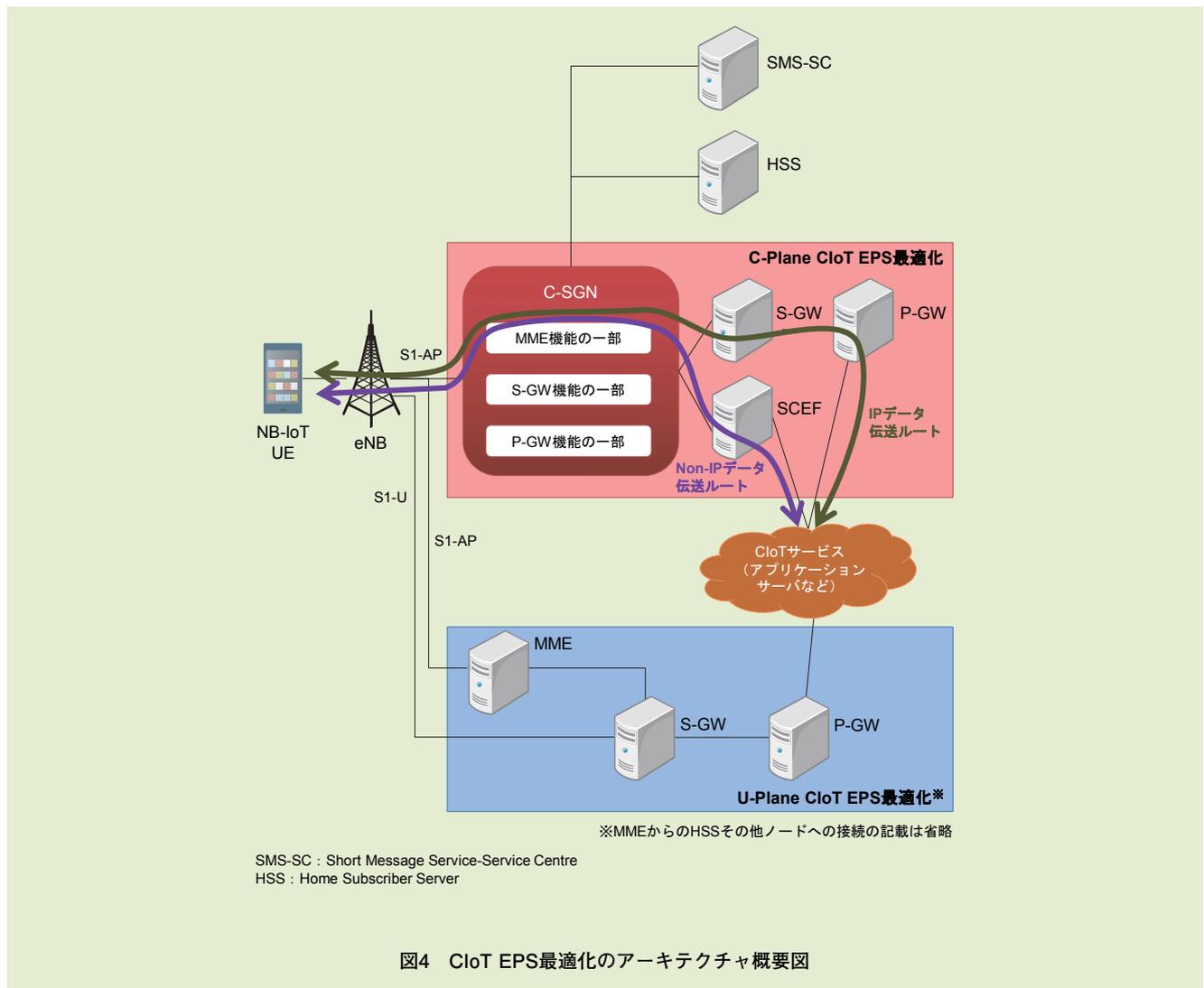


図4 ClIoT EPS最適化のアーキテクチャ概要図

*43 C-Plane : 制御プレーン。通信の確立などをするためにやり取りされる、一連の制御処理を指す。
*44 カプセル化 : データを別のプロトコルに組み込み、プロトコルが限定されたネットワークでも通信できるようにする技術。
*45 Attach : 移動端末の電源ON時などにおいて、移動端末をネットワークに登録する処理。

*46 TAU : LTE向けに移動端末が移動した際、移動端末をネットワークに再登録、もしくは登録するネットワーク装置を変更する処理。
*47 RAU : 3G向けに移動端末が移動した際、移動端末をネットワークに再登録、もしくは登録するネットワーク装置を変更する処理。

NB-IoT UEはCIoT向けEPSに振り分ける機能がRRC信号と紐づけて実装される。これは、本機能と同じくRelease 13で仕様化されたDCN (Dedicated Core Network)^{*48} [4]の振分けとは異なる仕組みである。ただし、CIoT向けEPS最適化のコアネットワークをDCNとして配備することも可能である。

(5)非サポート機能

一方、NB-IoT UEやCIoT向けEPS最適化は機能簡素化のため、既存のUEやEPSが提供する機能の一部はサポートされない。以下はその一例である。

- ・緊急呼サービスは提供されない
- ・LIPA (Local IP Access)^{*49}やSIPTO (Selected IP Traffic Offload)^{*50}などのオフロード技術は適用できない
- ・ECM (EPS Connection Management)_IDLE^{*51}モードでのモビリティのみサポートされ、ECM_CONNECTED^{*52}モードでのハンドオーバー^{*53}はサポートされない
- ・GBR (Guaranteed Bit Rate)ベアラ^{*54}やDedicatedベアラ^{*55}の確立はサポートされない

4.2 C-Plane CIoT向けEPS最適化

(1)特長

C-Plane CIoT向けEPS最適化は、前述のとおりC-Planeメッセージでカプセル化されたユーザデータを転送する方式であるが、小容量データ

転送時のC-Planeメッセージ数を減らし、結果としてUEの超低消費電力化や狭帯域デバイスの使用帯域削減に寄与する効果が期待される。本方式では、既存EPSと同様（ただしNon-IPデータの転送を除く）以下の機能をサポートしている。

- ・IP/Non-IPデータの転送
- ・移動制御に関するローカルの接続点（アンカーポイント）提供
- ・ヘッダ圧縮（IPデータ転送のみ）
- ・ユーザデータの暗号化
- ・ユーザデータの通信傍受（Lawful Interception）

(2)C-SGN

本方式のための新しいノードとしてC-SGN (CIoT Serving Gateway Node)が規定されているが（図4参照）、これは既存EPSのC-PlaneノードであるMMEおよびU-PlaneノードであるS-GW、P-GW (Packet data network GateWay)^{*56}それぞれの最低限の機能を集約し、1つの論理エンティティ^{*57}として定義したものである。C-SGNの機能は既存EPSのMMEに配備してもよい。

本方式でのユーザデータの転送はS1-AP I/Fを使用してC-SGN経由で行うことができるため、IPデータ転送に関してはeNB~S-GW間のS1-U I/FでのU-Planeベアラの確立は不要としてもよい。そのため、NB-IoT UEはAttach RequestのESM (EPS Session Management) container^{*58}にダミーデータを設定してS1-U I/FのU-Planeベアラ確立

を省略することが可能である。ただし、4.3節に解説するU-Plane CIoT向けEPS最適化が同時にサポートされている場合は、従来通りS1-U I/FでのU-Planeベアラを確立してIPデータを転送することも可能である。

(3)HLComの適用

IoT通信ではPSM (Power Saving Mode)^{*59}やeDRXなどの機能を併用して間欠受信を行う場合が想定される。その場合でも、本方式へHLComの機能を適用することが可能。つまり、IPデータの場合はS-GWにて着信データをバッファすることが可能である。この場合、S-GWがダウンリンクパケットを受信すると、S-GWからC-SGNへDownlink Data Notificationでその通知を行うが、C-SGNはその応答信号にて次にNB-IoT UEがECM_CONNECTED状態となるタイミングまでの時間をS-GWに通知し、S-GWでのバッファ量（時間やパケット量）を拡張することが可能である。また、TAUの際はC-SGN間でその時間情報を共有する。一方、Non-IPデータの場合はSCEF (Service Capability Exposure Function)^{*60}で発着信データのバッファが可能であるが、本稿では説明を割愛する。

4.3 U-Plane CIoT向けEPS最適化

U-Plane CIoT向けEPS最適化は、図4に示す通り既存EPSと同等のアーキテクチャや制御方式・データ

^{*48} DCN：移動端末種別をあらわす端末識別子に応じてコアネットワークを分離し、同じ端末識別子が割り当てられた移動端末を集めて在圏させる専用のコアネットワーク。

^{*49} LIPA：3GPPで規定されたオフロード技術の1つ。無線アクセス網を通じて、コアネットワークの経由なしでインターネット網と接続し、特定のパケットを送受信する

方法。

^{*50} SIPTO：3GPPで規定されたオフロード技術の1つ。無線アクセス網を通じて、コアネットワークの一部のみを経由してインターネット網と接続し、特定のパケットを送受信する方法。

^{*51} ECM_IDLE：移動端末と無線ネットワーク間のリソースが解放された状態。

^{*52} ECM_CONNECTED：移動端末が無線ネットワークのリソースを確保し、データ送受信可能な状態。

^{*53} ハンドオーバー：通信中の端末が移動に伴い基地局をまたがる際、通信を継続させながら基地局を切り替える技術。

^{*54} GBRベアラ：帯域保証型サービスを提供するために確立するベアラ。

転送方式を用いるものの、RRC接続とベアラ制御に関してNB-IoT UEおよび各ノードで状態をストアすることで、RRC再接続とベアラ再確立を迅速かつ効率的に行う方式である。本方式はベアラ確立をオンデマンド化することにより、主にUEの超低消費電力化やセル当りの在圏デバイス数の向上といった効果が期待される。本方式では、既存のEPSでサポートする機能に加え、P-GW経由でのNon-IPデータ転送もサポート可能である。

前述のとおり、本方式ではRRC制御に「Suspend (保留)」と「Resume (復旧)」の新たな2つの状態が導入されているが[5]、それぞれの状態に遷移する手順は以下となる (図5)。

(1)RRC Suspend手順

eNBが発動契機となって、対応するNB-IoT UE～eNB間のRRC接続およびeNB～S-GW間のS1-Uベアラを解放する手順である。まずeNBはUE伝達情報保留要求を送信して、MME経由でS-GWにおけるNB-IoT UEに関連したベアラ情報の解放を行う (手順①②)。S-GWはNB-IoT UEに関連したeNB間のS1-Uベアラを解放するが、S-GWアドレスとダウンリンクのTEID (Tunnel Endpoint Identifier)^{*61}の情報のみを解放するだけで、その他の情報は保持したままとする。(手順③)。S-GWでのS1-Uベアラの解放が完了すると、MMEを経由してUE伝達情報保留応答でeNBはその通知を受けるが (手順④⑤)、その後eNBはNB-IoT

UE向けのAS (Access Stratum)^{*62} 情報、S1-AP接続情報およびベアラ情報をストアしてRRC接続保留のメッセージをUEに送信する (手順⑥⑦)。一方MMEはNB-IoT UE向けのS1-AP接続情報およびベアラ情報をストアしてECM_IDLEに遷移する (手順⑧)。eNBからRRC接続保留のメッセージを受けたNB-IoT UEはAS情報をストアしてECM_IDLEに遷移する (手順⑨)。

(2)RRC Resume手順

Suspend (保留) 状態にあるNB-IoT UE～eNB間のRRC接続および解放されたeNB～S-GW間のS1-Uベアラを再確立 (復旧) する手順である。UE起動の接続復旧の場合、NB-IoT UEが発動契機となり、RRC Suspend手順でストアしたAS情報を用いて、ネットワークとの接続を復旧する (手順①②)。eNBはRRC接続復旧の際、NB-IoT UEのセキュリティチェックを行う。またeNBは、復旧した無線ベアラのリストをNB-IoT UEに提供し、NB-IoT UE～eNB間でEPSベアラ状態の同期を行う (手順③)。上記が正常に完了した後、eNBはMMEにUE伝達情報復旧要求を送信することでNB-IoT UEとの接続を安全に復旧させたことを通知する (手順④)。MMEはeNBからの復旧通知を受けて、保留したUE向けのS1-AP接続情報、ベアラ情報を復旧してECM_CONNECTED状態に遷移し、S-GWのアドレスおよび関連のNB-IoT UEのS1-AP接続情報を含めてeNBにUE伝達情報

復旧応答を送信する (手順⑤⑥)。この直後より、NB-IoT UEからS-GW向けのアップリンクデータ転送が可能となる (手順⑦)。一方MMEは、S-GWにベアラ修正要求でeNBアドレスとダウンリンクのTEIDを送信することにより、ダウンリンク向けのNB-IoT UE～S-GW間のS1-Uベアラ再確立 (復旧) を行う (手順⑧⑨)。復旧が完了すると、S-GWはMMEにベアラ修正応答を送信し、直後よりeNBへのダウンリンクパケット転送が可能となる (手順⑩⑪)。

一方、S-GWでダウンリンクパケットを受信した場合、S-GWでダウンリンクパケットをバッファするとともに、既存EPSの処理と同様、S-GWとMMEの間でDownlink Data Notification手順が動作した後、MMEからNB-IoT UEへページングすると、UE起動の接続復旧手順が発動する (図5の「着信ありの場合」を参照)。

(3)S1-AP接続情報削除

NB-IoT UEのセル間移動の影響を最小限にするため、AS情報はeNB間で転送される[5] [6]。よってeNBが変更となった場合でも、IHeNBにて(1)の手順でSuspend (保留) された接続状態を、新eNBにて(2)の手順でResume (復旧) させることが可能となる。一方MMEが、あるNB-IoT UEに対して関連のS1-AP接続情報を保持している状態で、以下のイベントが発生した場合は、MMEおよび関連のeNBはS1解放手順を通じて、

*55 **Dedicatedベアラ**：各APNにおいて2本目以降に確立するベアラ。IMS-APNにおいてはRTP (Realtime Transport Protocol) やRTCP (RTP Control Protocol) の送受信に使用される。

*56 **P-GW**：PDNとの接続点であり、IPアドレスの割当てや、S-GWへのパケット転送などを行うゲートウェイ。

*57 **エンティティ**：論理アーキテクチャにおいて、機能を提供する構成要素。

*58 **ESM container**：LTEで使用される、モビリティ (EMM) のメッセージであるAttachやTAUなどにセッション管理 (ESM) のベアラ構築・変更・切断に関するメッセージを含める領域。

*59 **PSM**：低消費電力技術の1つで、ネット

ワーク上への登録を継続しつつ、UEが一定時間擬似的に電源断と同じ状態に遷移する動作。

*60 **SCEF**：3GPP標準のモバイルネットワーク内に設置された、3GPPサービスのいくつかを3rdパーティーのアプリケーションプロバイダーに提供するための標準インタフェースを持ち合わせる論理ノード。

以前保持していたS1-AP接続情報を削除する[3] [7].

- ・ MMEがそのNB-IoT UEに関連した別の論理S1接続経由で新たな EMM (EPS Mobility Man-

agement)*⁶³手順を受信する.

- ・ MME変更が伴うTAU手順が発動する.
- ・ NB-IoT能力を持つ3G/LTE接続可能なUEが3Gで再Attachをし

てTAUでLTEに遷移する際にSGSN (Serving General packet radio service Support Node)*⁶⁴からContext Requestを受信する.

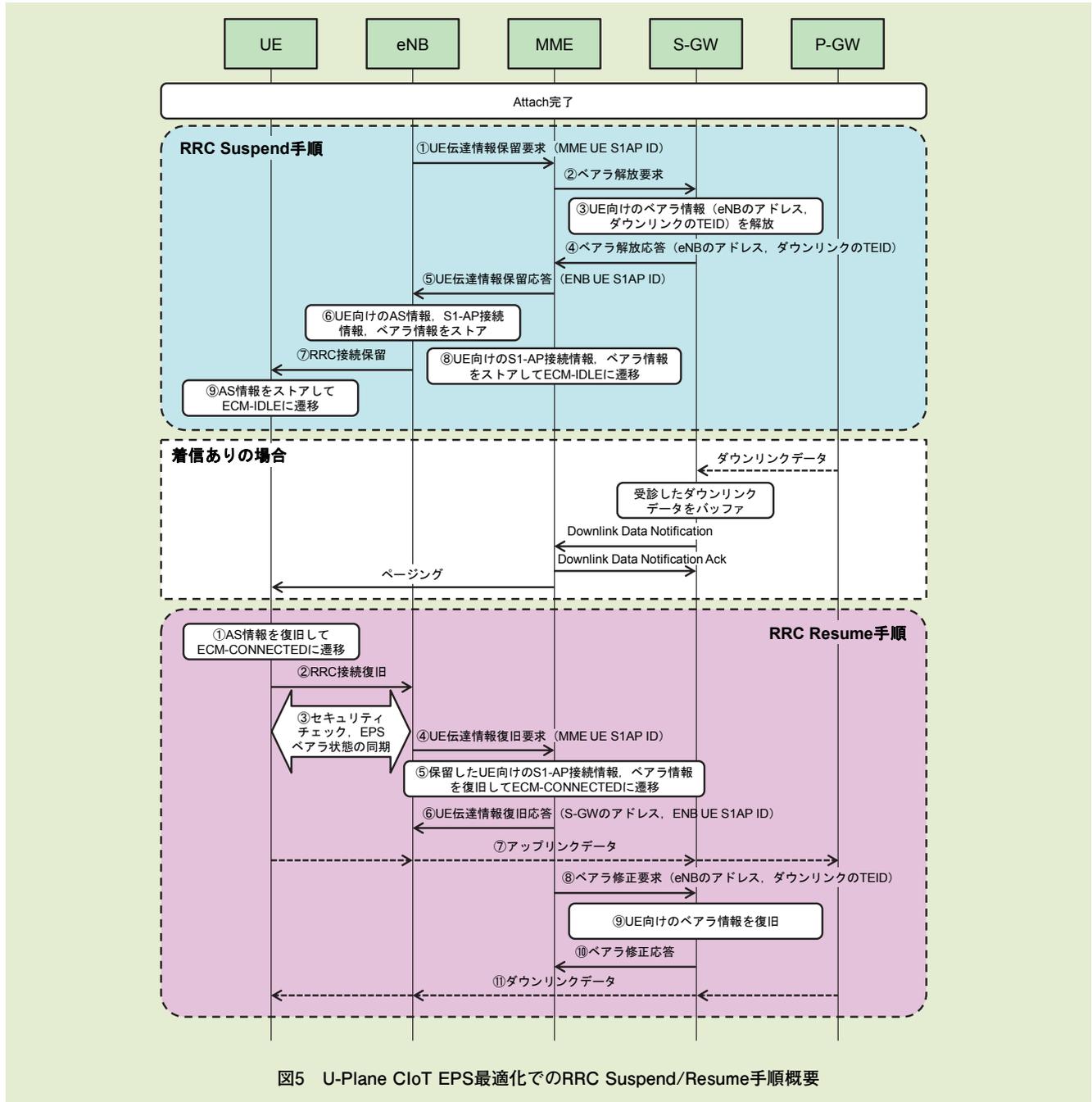


図5 U-Plane CIoT EPS最適化でのRRC Suspend/Resume手順概要

*61 TEID : GTPのプロトコル上で使用される, 接続パスの識別子.
 *62 AS : 移動端末と無線ネットワークとの間の機能レイヤ.

*63 EMM : LTEで使用する, UEの位置状態や秘匿, 認証, 接続の管理情報, またはこれらの登録・変更・削除に関する処理.

*64 SGSN : パケット交換およびパケット通信を行う移動端末の移動管理などの機能を提供する, 3GPP標準規格上の論理ノード.

・UEがDetach*⁶⁵する。

(4)HLComの適用

PSMやeDRXなどの間欠受信機能を使用した通信では、NB-IoT UEがSuspend状態にある際にS-GWがダウンリンクパケットを受信した場合は、前述したC-Plane CIoT向けEPS最適化の場合と同様の方法でS-GWでのバッファ量拡張が可能であり、TAUの際はMME間でその時間情報を共有する。

5. あとがき

本稿は、Release 13仕様で策定されたIoTサービス向け新技術を解説した。これらは、サービスのコアとなる要求条件を満たす技術であり、

その普及に伴い今後本格的に導入されることが期待される。同時に、3GPPではRelease 13仕様のさらなる高度化も計画されており、ドコモは、IoTサービスの普及を促進する技術を今後も提供すべく、標準化活動を進めていく。

文献

- [1] 3GPP TR36.888 V12.0.0: “Study on provision of low-cost Machine-Type Communications (MTC) User Equipments (UEs) based on LTE,” Jun. 2013.
- [2] 3GPP TR45.820 V13.1.0: “Cellular system support for ultra-low complexity and low throughput Internet of Things (CIoT),” Dec. 2015.
- [3] 3GPP TS23.401 V13.6.1: “General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access,” Mar. 2016.
- [4] 藤島, ほか: “端末種別に基づいてトラフィック分離を実現するDedicated Core Network,” 本誌, Vol.23, No.4, pp.76-84, Jan. 2016.
- [5] 3GPP TS36.300 V13.4.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2.”
- [6] 3GPP TS36.423 V13.4.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP).”
- [7] 3GPP TS36.413 V13.3.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP).”

* 65 Detach: 端末の電源切断などにより、ネットワークが端末の登録状態を削除する処理。

LTE-Advanced Release 13標準化

LTE-Advanced Release 13における
広帯域周波数の活用技術

LTE-Advancedでは急増するトラフィックを収容するため、複数のLTEキャリアを同時に用いて広帯域通信を行うCA技術、異なるeNB間で複数のLTEキャリアによる同時通信を行うDC技術などが3GPP Release 12までに規定された。本稿では、3GPP Release 13仕様で新たに導入された、CA高度化技術、DC高度化技術、さらにアンライセンス周波数帯を活用するLAA技術およびLWA技術を解説する。

先進技術研究所 5G推進室

はらだ ひろき† たけだ かずき
原田 浩樹 武田 一樹

無線アクセス開発部

うちの とおる てしま くにひこ
内野 徹 手島 邦彦

ドコモ北京研究所

りゅう りゅう
劉 柳

1. まえがき

近年、スマートフォンやタブレット端末の普及に伴う、高精細動画サービス・ビデオ通話の広がりなどに起因した急激なモバイルデータトラフィック増に対応するため、ネットワークの高速・大容量化への要求が高まっている。3GPP (3rd Generation Partnership Project) では、Release 10において複数のLTEキャリアを同時に用いて広帯域通信を行うキャリアアグリゲーション (CA : Carrier Aggregation) 技術が規定され、そのサービスは国内外の通信事業者によってすでに開

始されている。ドコモは2015年3月より、CAを適用した通信サービスであるPREMIUM 4Gの提供を開始し、同年10月には受信時最大300Mbps、2016年6月からは受信時最大375Mbpsを提供している。3GPP標準化においては、通信事業者やベンダなどの参加企業がCAによる高速データ通信の適応領域をさらに拡大するための検討を行っており、ドコモも積極的にかかわっている。Release 12においては、異なる複信方式のLTEキャリア間でCAを実現するTDD (Time Division Duplex) *1-FDD (Frequency Division Duplex) *2 CA技術や、異なる基地局 (eNB : evolved Node B)*3

間で複数のLTEキャリアによる同時通信を行うデュアルコネクティビティ (DC : Dual Connectivity) 技術が規定され、複数のLTEキャリアを活用した高速化や、柔軟な運用を実現するための技術検討および規定が継続的に行われた。

その後、Release 13ではより多くのLTEキャリアを束ねてさらなるスループット*4向上を実現するCA高度化技術、上りリンクのスループット向上などを実現するDC高度化技術が規定された。さらに従来のLTEの周波数帯とアンライセンス周波数帯*5を同時に用いてスループット向上を実現するLAA (Li-

*1 TDD : 双方向の送受信方式の1つ。上りリンクと下りリンクに同一の周波数帯を使用し、異なる時間を割り当てることにより双方向通信が可能。
*2 FDD : 双方向の送受信方式の1つ。上りリンクと下りリンクに異なる周波数帯域を割り当てる方式であり、同時に送受信が可能。

*3 eNB : LTEにおける無線基地局。
*4 スループット : 単位時間当りに、誤りなく伝送される実効的なデータ量。
*5 アンライセンス周波数帯 : 行政による免許割当が不要で、特定の通信事業者に限定されずに使用可能な周波数帯。

censed Assisted Access) 技術やLWA (LTE-WLAN (Wireless Local Area Network) Aggregation) 技術も規定された。本稿では、これらRelease 13で規定された技術について解説する。

2. CA高度化技術

2.1 CC数拡張

Release 12までのCAでは、CC (Component Carrier)^{*6}と呼ばれる複数のLTEキャリアを最大5つ同時に用いて通信を行うことができる[1]~[3]。これにより最大帯域幅100MHzでのデータ通信を実現でき、その理論上の最大ピークデータレートは、下りリンクで約4Gbps (8MIMO (Multiple Input Multiple Output) レイヤ^{*7}で256QAM (Quadrature Amplitude Modulation)^{*8}の場合)、上りリンクで約1.5Gbps (4MIMOレイヤで64QAM^{*9}の場合)である。

Release 13のCAでは、さらなる広帯域化により通信データレートを向上させることを目的とし、同時通信可能なCC数が最大32個へと拡大された。これにより最大帯域幅640MHzでのデータ通信を実現でき、仕様上のピークデータレートは下りリンクで約25Gbps (8MIMOレイヤで256QAMの場合)、上りリンクで約9.6Gbps (4MIMOレイヤで64QAMの場合)に達することとなった。

2.2 PUCCH on SCell

CAでは、複数の独立したLTE

キャリアを束ねて並列同時通信する仕組みであるため、スケジューリングやデータ送受信がCCごとに独立に行われる。このためCAを行わない従来LTEの機能の大部分を流用できる。その一方で、下りリンクデータに対するACK (ACKnowledgement)^{*10}/NACK (Negative ACK)^{*11}やCSI (Channel State Information)^{*12}、上りリンクスケジューリング要求 (SR: Scheduling Request)^{*13}などのUCI (Uplink Control Information)^{*14}を送信するPUCCH (Physical Uplink Control Channel)^{*15}は、CAを適用するCCの中で、上りリンクのCCが必ず設定されるPCell (Primary cell)^{*16}でしか送信できないという制約があった (SCellの上りリンクCCはオプション)。この制御は、上りリンクCAに対応していない端末 (UE: User Equipment) と、対応しているUEとの間でUCI送信制御動作を共通化できるというメリットがあ

る。しかしながら、CAに対応した多くのUEに対して共通のLTEキャリアをPCellとして設定する運用では、PUCCHが特定の周波数キャリアに集中し、上りリンク無線リソース^{*17}がひっ迫するという課題がある。なお、このような運用の代表例に、マクロセル内にスモールセル^{*18}を多数配置するようなヘテロジニアネットワーク^{*19}におけるCA運用がある。これはマクロセル内でトラフィックの高いエリアに、比較的送信電力の小さいスモールセルをマクロセルとは異なる周波数で重畳配置し、その場所にいるUEにマクロセルとスモールセルによるCAを適用する運用方法である (図1)。

このような課題を解決するため、Release 13では、上りリンクCAが可能なUEに対し、PCellに加え、任意の1つのSCell (Secondary Cell)^{*20}にPUCCHを設定できる機能が導入された。本機能を用いてCAを行う場

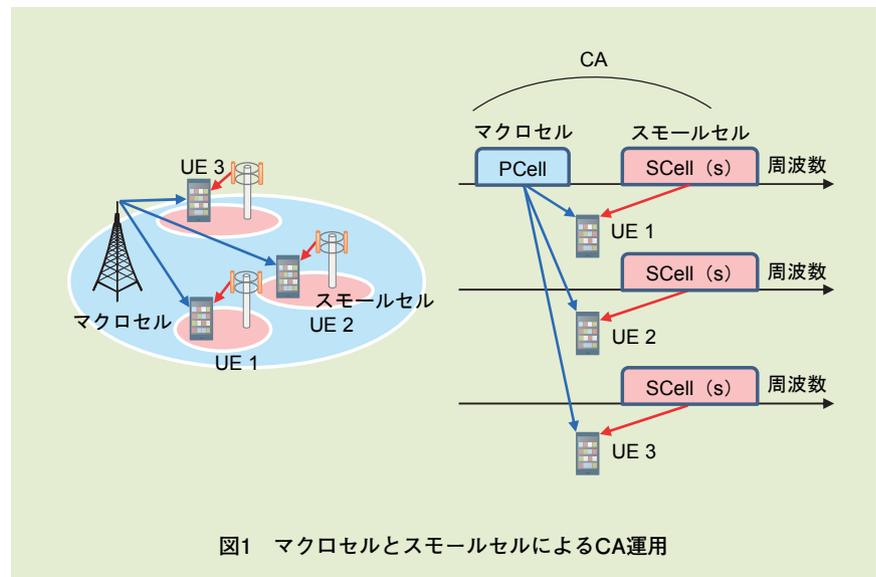


図1 マクロセルとスモールセルによるCA運用

*6 CC: CAにおいて複数用いるキャリアの1つひとつを表す用語。

*7 MIMOレイヤ: MIMOにおいて、異なるアンテナを用いて同じ無線リソース上で異なる信号を空間多重する際の多重数。

*8 256QAM: 変調方式の種類。256QAMは振幅と位相が異なる256通りの信号点に情報ビットを変調する。1回の変調で8ビットの

情報を伝送することができる。

*9 64QAM: 変調方式の種類。64QAMは振幅と位相が異なる64通りの信号点に情報ビットを変調する。1回の変調で6ビットの情報を伝送することができる。

*10 ACK: データの受信ノードが正常に受信(復号)できたことを送信ノードに通知する受信確認信号。

*11 NACK: データの受信ノードが正常に受信(復号)できなかったことを送信ノードに通知する受信確認信号。

*12 CSI: 信号が経由した無線チャネルの状態を表す情報。

*13 スケジューリング要求 (SR): ユーザが基地局に対し、上りリンクの無線リソース割当てを要求する信号。

合、各CCはPCellまたはPUCCHを設定したSCell（PUCCH-SCell）のいずれかに関連付けられてグルーピングされる。UEは、設定されたグループごとに、各CCのUCIをPCellまたはPUCCH-SCellで送信する。これにより、スモールセルに位置するUEに対し、PCellはマクロセルに設定しつつ、SCellとして設定されるスモールセルのCCに関連するUCIを、スモールセルにオフロードすることができる。

2.3 2種類のPUCCHフォーマット規定

これまで、CC数や多重するUCIの種別・ペイロード*21に応じて異なる複数のPUCCHフォーマットが規定されているが、いずれも異なる複数ユーザのPUCCHを単一のPRB（Physical Resource Block）*22にCDM（Code Division Multiplexing）*23し、オーバーヘッドを抑える構成が採用されてきた。しかしながら最大32CCのCAを実現するためには、数

十～数百ビットのUCIを収容することが必要となる。このためRelease 13では、このようなUCIを収容することができる2種類のPUCCHフォーマット（PUCCHフォーマット4とPUCCHフォーマット5）が導入された（表1、図2）。

- ①PUCCHフォーマット4は非常に大きなペイロードに対応するため拡散を行わず（CDMをサポートせず）、複数PRBを設定することが可能である。
- ②PUCCHフォーマット5は拡散率2の拡散を適用することで、最大2ユーザのPUCCHをCDM可能としつつ、従来のPUCCHフォーマットと比べて大きなペイロードに対応できる。

両PUCCHフォーマットは、拡散の有無やPRB数の違いを除き、CRC（Cyclic Redundancy Check）ビット数や符号化方式、多重するUCI種別など、物理レイヤ構成で多くの部分が共通化されている。

表1 PUCCH フォーマット4および5の構成

	PUCCHフォーマット4	PUCCHフォーマット5
拡散率	1（拡散なし）	2
PRB数	1～8	1
PRB当りのビット数	288	144
送信できるUCIの種別	ACK/NACK, SR, CSI測定情報の任意の組合せ	
CRCビット数	8	
符号化方式	テールバイティング畳み込み符号（Tail biting convolutional coding）	
周波数ホッピング	あり	

テールバイティング畳み込み符号（Tail biting convolutional coding）：畳み込み符号の一種。符号器のシフトレジスタを初期状態と終了時で一致させるという特徴を有する。なお、畳み込み符号とは、誤り訂正符号の一種のこと。シフトレジスタとビット加算器で構成される符号器で、入力ビットとシフトレジスタの内部状態を用いて符号器出力を表現する。復号方法としては、ビタビアルゴリズムに基づく最尤復号法が知られている。

3. DC高度化技術

Release 12において、eNB間で複数CCを束ねてCAのようにユーザスループットを向上させるDCが仕様規定された。Release 13では、さらに拡張が行われ、上りリンクスループットを向上させる技術や、より柔軟な運用を可能とする制御が規定された。

3.1 上りリンクスループット向上

(1)DC上りリンクにおけるリソース割当ての課題

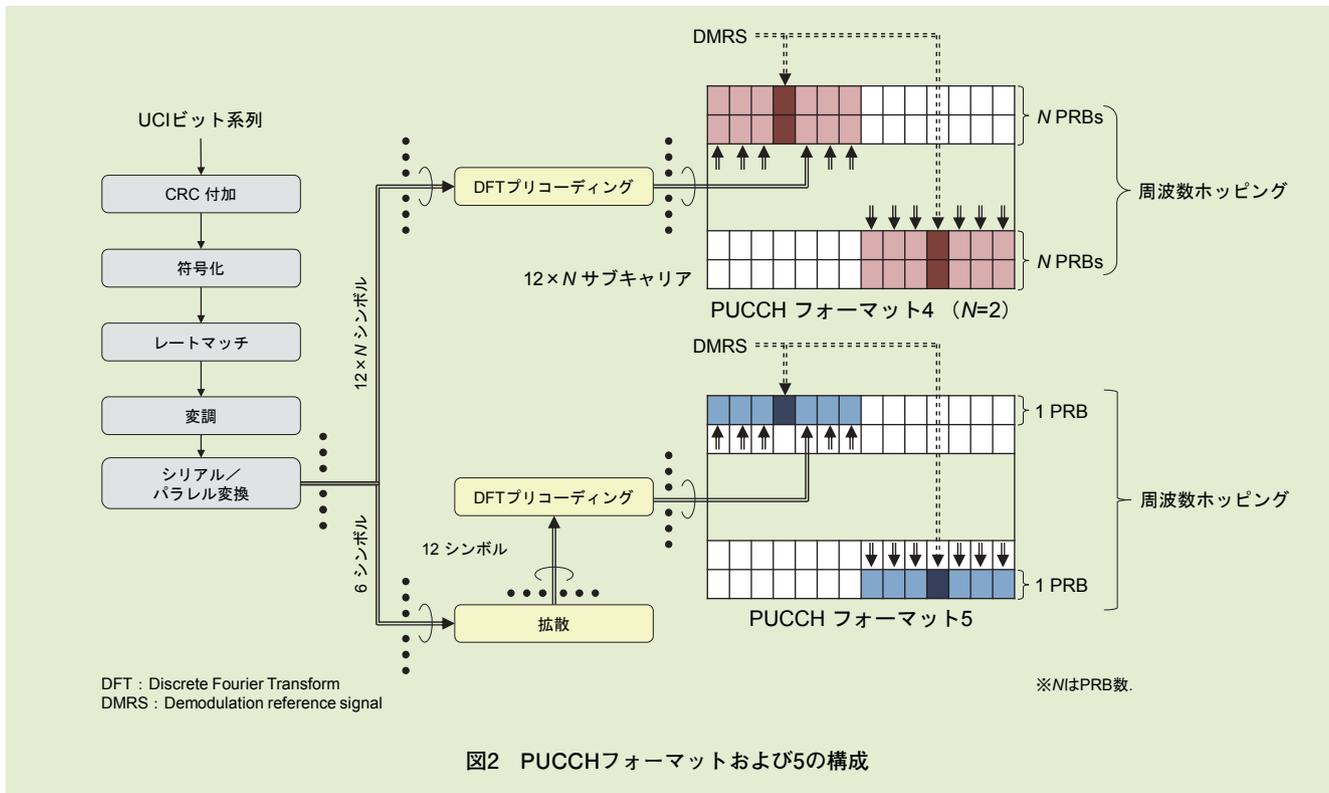
DCでは異なる複数のeNBがUEに対して独立に上りリンクリソースを割り当てる。したがって、Release 13ではUEの上りリンク送信において、どのようにして適切な量のリソースを各CCに対して割り当てるか、が議論された。

各eNBはUEから報告される上りパッファ量報告値に基づいて、必要な上りリンクリソース量を算出し、

*14 UCI：ACK/NACKやCSI, SRのような信号の総称。
 *15 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ネル。
 *16 PCell：CAにおいて複数用いるキャリアの中で、接続を担保するキャリア。プライマリセルとも呼ばれる。
 *17 無線リソース：無線チャネル（周波数）割

当てに必要なリソースの総称。
 *18 スモールセル：送信電力が大きいマクロセルと比較して送信電力が小さいセルの総称。
 *19 ヘテロジニアスネットワーク：本稿では、電力の違うノードがオーバーレイするネットワーク構成。通常の基地局に対し、より送信電力の小さいピコ基地局、フェムト基地

局などを用いる。
 *20 SCell：CAにおいて複数用いるキャリアの中で、PCellでないキャリアの総称。セカンダリセルとも呼ばれる。
 *21 ペイロード：本稿では、PUCCHで送信するUCIの情報ビット数を表す。



リソース割当てを行う。この場合、両方のeNBが各々報告内容を基に割当てリソース量を算出するため、実際の滞留データ量に対して過剰なりソース割当てとなる可能性がある。特に、ショートパケットのようにサイズの小さいデータの場合、両方のeNBがリソースを割り当てたとしても、UEは一方のeNBに対してすべてのデータを送信しきってしまい、他方のeNBに対しては、パディング(意味のないビット列)を送信し、無線リソースの浪費となる。

(2) データ量に基づくバッファ量報告・上りデータ送信制御

上述したショートパケットに対する過剰なりソース割当てを回避するため、上りリンクのデータ量に基づ

くバッファ量報告制御および、上りデータ送信制御が規定された。図3のようにUEは、滞留データ量が、あらかじめeNBから指定されるしきい値よりも小さい場合、Release 12のDCと同様に、当該データ量に関するバッファ量報告およびデータ送信は、いずれか1つのeNBに対してのみ行われる。逆に、滞留データ量が当該しきい値よりも大きい場合には、バッファ量報告および、データ送信は両方のeNBに対して実施される。これにより、滞留データ量が小さい場合は、1つのeNBが滞留データ量を把握してリソース割当てを行うため、上りリンクの過剰な割当てを回避することが可能となる。

3.2 より柔軟な運用を可能とする制御

(1) eNB間におけるSFN/subframe number差分情報の取得課題

Release 12では、eNB間の同期を前提とした同期DCと、前提としない非同期DCの2つが規定された。eNB間が同期していないネットワーク内でDCを運用する場合、両eNBは互いにSFN (System Frame Number) *24/subframe number *25を独立に管理するため、UEに対して、異なるSFN/subframe numberに基づいて運用される複数のCCが設定されることとなる。このため、UE単位の制御(例えばMeasurement gap制御*26)を適切に行うには、両eNBは互いにSFN/subframe numberの

*22 PRB: 無線リソースの割当て単位であり、1subframe、および12サブキャリアから構成される。

*23 CDM: 同一の無線システム帯域内において、複数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 SFN: 無線フレームごとに割り振られた番号。0から1,023の値を取る。

*25 subframe number: subframeごとに割り振られた番号。0から9の値を取る。

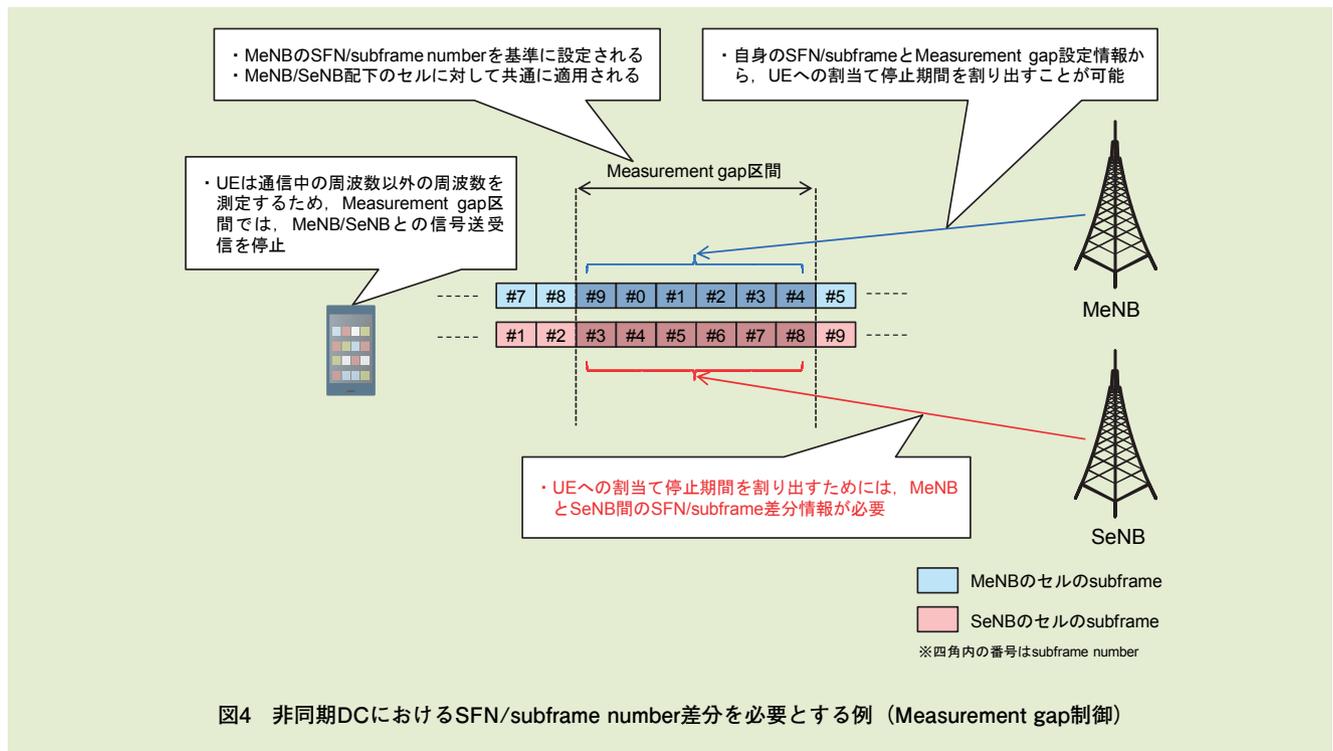
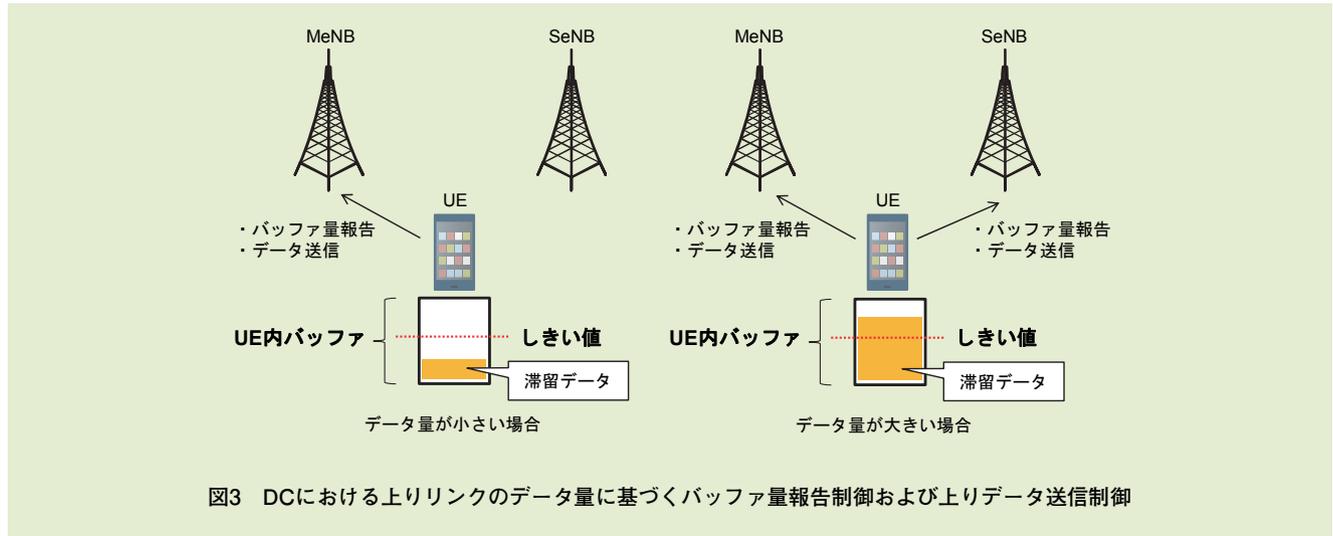
*26 Measurement gap制御: 通信中の周波数以外の周波数を測定するために設けられる区間を管理する制御。

ずれを把握する必要がある (図4).

このような場合、eNB間のSFN/subframe numberの差分情報は、OAM (Operation, Administration and Management) *27で取得することが前提となっていた。しかし、OAMが異

なるeNB間では差分情報の取得が困難であることや、すでに運用中のエリアに新規にeNBを追加するたびに、既存eNBと新規eNB間での差分情報を設定する必要があり、運用負担が発生するという課題があった。

(2)UEによるSFN/subframe number 差分情報の測定・通知機能
この課題を解決するために、Release 13ではUEがSFN/subframe numberの差分情報を測定し、eNBへ通知する機能が規定された。具体的



*27 OAM : ネットワークにおける保守運用管理機能.

には、UEはMeNB (Master eNB)^{*28} 配下のセルおよびSeNB (Secondary eNB)^{*29}配下のセル間のSFN差、subframe number差、およびsubframe開始タイミング差に関する情報を算出し、測定情報としてeNBへ報告する。これにより各eNBは当該情報を把握でき、事業者はOAMの実装状況によらず、また、運用負担をできるだけ抑えつつ、DCを運用することが可能となる。

4. アンライセンス周波数帯の活用技術

多くの携帯電話事業者は、専用に割り当てられた周波数(ライセンス周波数帯)を使った3G/LTEなどのセルラ通信サービスに加え、通信トラフィックが多く発生するホットスポットエリアなどにおいてアンライセンス周波数帯を使ったWi-Fi[®]^{*30}を用いたWLANサービスを展開している。アンライセンス周波数帯の利用はホットスポットエリア周辺でのユーザ通信品質改善に非常に有効である。しかしながら、ライセンス周波数帯でのLTEとアンライセンス周波数帯でのWi-Fi、異なる2つのRAT (Radio Access Technology)^{*31}の利用は、移動に伴いRAT切替えや再接続、再認証が必要になるなど、ユーザにとってしばしば不便を感じさせてしまう場面がある。3GPPでは、このような不便を解消し、アンライセンス周波数帯の活用をさらに促進する技術として、LAAとLWAを検討・規定した。LAAではライ

センス周波数帯とアンライセンス周波数帯をLTEに基づく単一のRATで利用することにより、ユーザに特別な意識や不便を感じさせずにアンライセンス周波数帯を活用することができる。また、LWAではDCに基づきLTEとの接続でモビリティを維持しながらWLANとの接続を追加してスループットを向上させることができる。

4.1 LAA技術

Release 13では、アンライセンス周波数帯である5GHz帯において、20MHz幅のLTEキャリアをCAの下りリンク専用SCellとして用いるLAA技術が規定された。アンライセンス周波数帯を利用するにあたり特に重要となるチャンネルアクセス技術などについて以下に概説する。

(1)LBTに基づくチャンネルアクセス

アンライセンス周波数帯では、特定の事業者に限らず無線局を設置することが可能であるが、近傍の無線局からの信号が互いに干渉して通信性能を大きく劣化させることは望ましくない。そのため、例えば日本や欧州では、5GHz帯を用いる無線システムへの要求条件として、送信を開始する前にキャリアセンス^{*32}を行い、チャンネルが近傍の他システムによって使用されていないことを確認できた場合にのみ、所定の時間長以内(日本では4ms以内)での送信を可能とするLBT (Listen-Before-Talk) メカニズムを適用することが規定されている[4][5]。

3GPPでは、LAA下りリンクのチャンネルアクセス方法として、WLANとの公平な共存が実現可能なLBTメカニズムを規定した(図5)。LAA基地局はランダムバックオフ^{*33}および可変長のCWS (Contention Window Size)^{*34}に基づくWLANと同様の衝突回避メカニズムを適用し、チャンネルが空いたタイミングからキャリアセンスを開始し、バックオフカウンタ値が0になったタイミングでチャンネルへのアクセス権を得て送信を開始することができる。さらにLAAではWLANとの共存時には低い電力検出しきい値を設定するため、他の周辺WLANの特性を劣化させない[6]。また、このチャンネルアクセス方法では、LBTのパラメータと最大連続送信時間の組合せ(LBT priority class)が表2に示すとおり複数規定されている。例えば小サイズのデータをなるべく低遅延で送信したい場合には、LBT priority class 1を使用して送信時間長(MCOT: Maximum Channel Occupancy Time)を短くする代わりにLBTの時間を短くすることができる。

(2)Partial subframe送信

LTEでは、1ms長のsubframeをデータ送信割当ての基本時間単位(TTI: Transmission Time Interval^{*35})としており、無線信号のデータ送受信は各subframeの先頭から1msにわたって行われる。一方、LAAのチャンネルアクセス方法では、送信開始可能となるタイミング、すなわちバックオフカウンタ値が0と

*28 MeNB: DCにおいてUE—ネットワーク間の接続性を管理するeNB。

*29 SeNB: DCにおいてMeNBに加えて無線リソースを提供するeNB

*30 Wi-Fi[®]: IEEE802.11規格を使用した無線LANの規格で、Wi-Fi Allianceによって相互接続が認められたデバイスに用いられる名称。Wi-Fi Allianceの登録商標。

*31 RAT: LTE, 3G, GSM, Wi-Fiなどの無線アクセス技術のこと。

*32 キャリアセンス: 電波を放射する前に、その周波数キャリアが他の通信に使用されていないかを確認する技術のこと。

*33 ランダムバックオフ: 電波を放射するために周波数キャリアが空き状態であることを確認しなければならない期間の長さをラン

ダムに設定することで、複数の送信が同時に発生し衝突してしまうことを防ぐための技術のこと。

*34 CWS: ランダムバックオフ技術において、ランダムに設定する値の範囲のこと。

*35 TTI: トランスポートチャンネルで伝送される1データ当りの伝送時間。

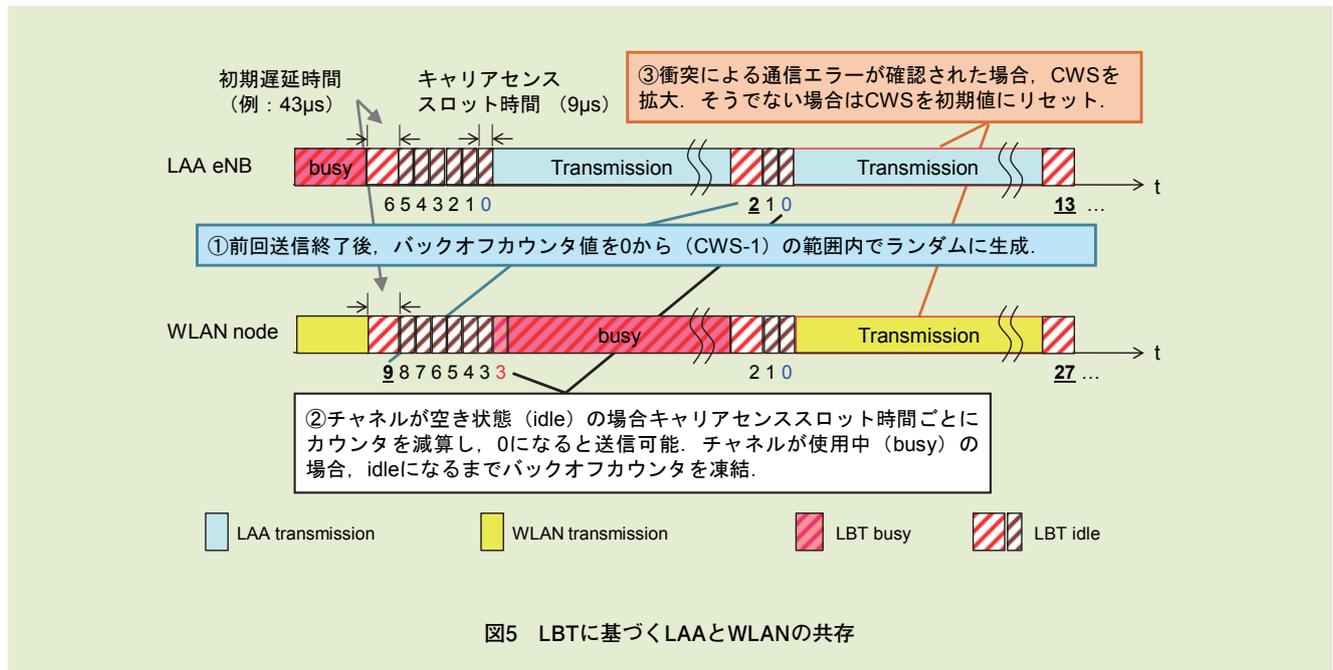


表2 LAAにおけるLBTパラメータセット

LBT priority class	初期遅延時間	CWSセット (下線は初期CWS値)	MCOT
1	$16+9 \times 1 = 25 \mu s$	{ <u>3</u> , 7}	2ms
2	$16+9 \times 1 = 25 \mu s$	{ <u>7</u> , 15}	3ms
3	$16+9 \times 3 = 43 \mu s$	{ <u>15</u> , 31, 63}	8 or 10ms*
4	$16+9 \times 7 = 79 \mu s$	{ <u>15</u> , 31, 63, 127, 255, 511, 1,023}	8 or 10ms*

*LAA以外の他RATと同一周波数上で共存しないことがレギュレーションなどにより保障されている場合、10msを適用。それ以外の場合、8msを適用。

なるタイミングはsubframeの先頭と一致しない場合がほとんどであり、データ信号の送信機会が制限される可能性がある。

そこで、LAAではsubframe境界以外でも制御信号やデータ信号の送信を開始・終了できるような機能として、Initial partial subframe送信およびEnding partial subframe送信がサポートされている。Initial partial subframeはsubframe途中からsubframe末尾までを使ったデータ送信構成、Ending partial subframeは

subframe先頭からsubframe途中までを使ったデータ送信構成である。本機能の適用により、同じ送信時間内で送れるデータ量が増やせるので、LAAの通信効率が改善しスループットが向上する。さらに、所定のトラフィック量を処理するためのLAAの送信時間が減少するため他システムとチャネルを取り合う時間が減り、LAA周辺の他システムとの共存も改善させることができる[7]。

また、UEは共通制御情報としてsubframe内の有効OFDM (Orthogonal

Frequency Division Multiplexing) シンボル数情報をeNBから通知してもらうことにより、通常のsubframeとPartial subframeの識別や連続送信 (バースト*36) の切れ目の認識が可能である。

4.2 LWA技術

LAA技術に加え、Release 13では、LTEの無線リソースとWLANの無線リソースを同時に用いてスループットを向上するLWA技術が規定された。

*36 バースト：一回のLBTに基づいて行われる時間的に連続した送信のこと。

LWAのネットワークアーキテクチャおよびLTEとWLANプロトコルスタック^{*37}の適応制御について図6に示す。

(1)LWAのネットワークアーキテクチャ

LWAのネットワークアーキテクチャは、Release 12で規定されたDCのアーキテクチャをベースとしている。LWAでは、より通信の信頼性の高いLTEのeNBをMeNBとして使い、WLAN-AP (Access Point)^{*38}をSeNBとして用いることで、UEの接続性やモビリティを担保しつつ、無線容量を増大させる、というDCの考え方を踏襲している。また、データの送信経路についても、図6(a)に示すようにRelease 12のDCで規定されたアーキテクチャを流用している。標準仕様では、本アーキテク

チャを実現するためのeNBとWLAN-AP間インタフェース (Xw IF) やノード間シーケンスが規定された。

(2)LTEとWLANプロトコルスタックの適応制御

LWAのプロトコルスタックは、DCと同様にPDCP (Packet Data Convergence Protocol)^{*39}レイヤ以下で分離される。S-GW (Serving GateWay)^{*40}からS1インタフェースを介してeNBへ到来した下りリンクのデータは、eNB内のPDCPレイヤにて処理され、LTEのRLC (Radio Link Control)^{*41}レイヤに渡されてLTEの無線リソースを用いてUEへ送信されるか、あるいはWLAN-APへ転送されてWLANのリソースを用いてUEへ送信される。

しかし、WLANにおいてはLTEのようなベアラ^{*42}を意識した多重

分離制御を行わないため、複数の異なるベアラのデータを、WLANを介して送信すると、受信側のUEはLTE側で受信したデータとWLAN側で受信したデータの対応関係を把握することができず、適切に順序補正することができない。

この課題を解決するため、図6(b)eNBの図にあるようにLWAにおいてはPDCPレイヤの下に新しくアダプテーションレイヤ (LWAAP: LTE-WLAN Aggregation Adaptation Protocol) が設けられた。LWAAPはPDCP PDU (Protocol Data Unit)^{*43}をカプセルリングし、対応するベアラの識別子情報をヘッダに付加することにより、UEでのデータ識別を可能としている。

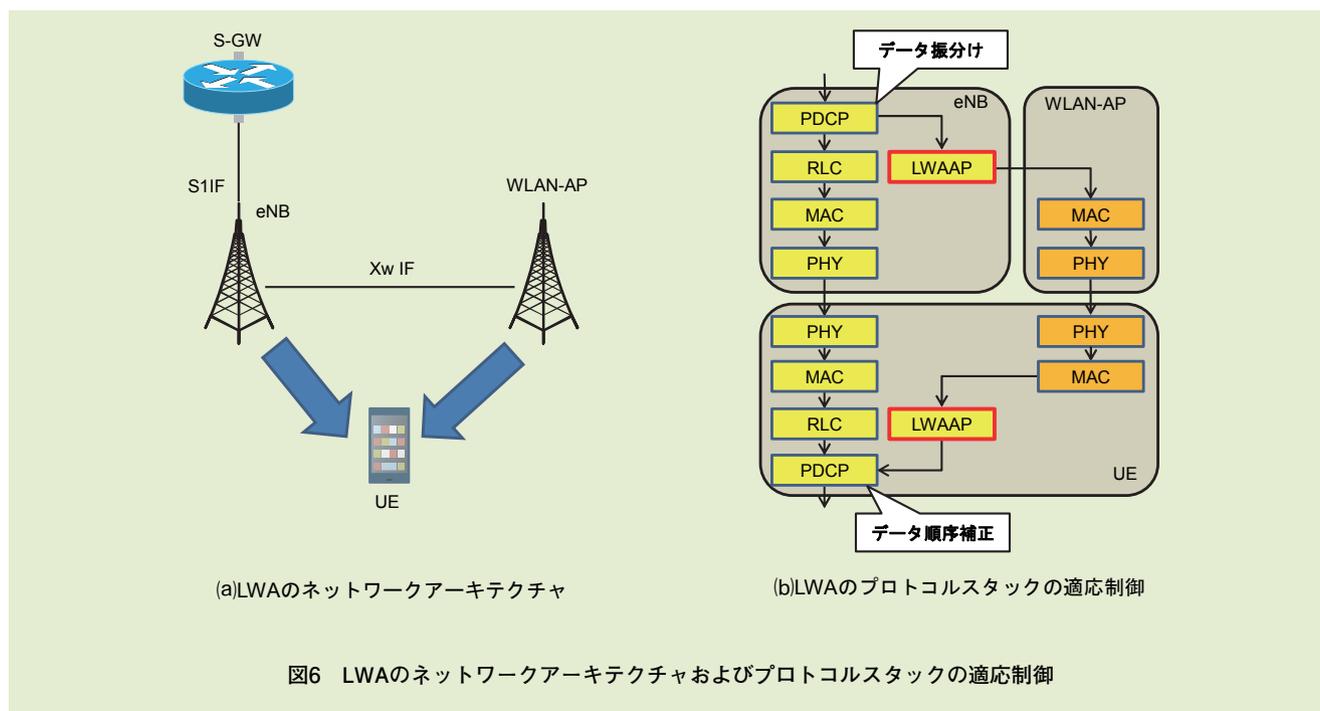


図6 LWAのネットワークアーキテクチャおよびプロトコルスタックの適応制御

*37 プロトコルスタック：プロトコル階層。
 *38 WLAN-AP：WLANの無線リソースを用いて送受信を行うノード。
 *39 PDCP：LTE方式における無線インタフェースのレイヤ2におけるサブレイヤの1つで、秘匿、正当性確認、ヘッダ圧縮などを行うプロトコル。
 *40 S-GW：3GPPアクセスシステムを収容す

る在圏パケットゲートウェイ。
 *41 RLC：LTE方式における無線インタフェースのレイヤ2におけるサブレイヤの1つで、再送制御、重複検出、順序整列などを行うプロトコル。
 *42 ベアラ：P-GW、S-GW、eNB、UE間で設定される論理的なユーザデータパケット伝達経路。

*43 PDU：プロトコルレイヤ・サブレイヤが処理するデータの単位。

5. あとがき

本稿では、3GPP Release 13にて規定された、最大帯域幅の拡張や上り制御チャンネルの複数CCへの分散を実現するCA高度化技術、上り高スループット化や柔軟な運用を可能とするDC高度化技術、アンライセンスバンドを束ねて通信を行うLAAおよびLWAについて、機能的特徴や基本制御を解説した。これらの機能によって、LTE-Advancedネットワークの同時に利用できる周波数の広帯域化による、ユーザスループットのさらなる向上や柔軟な運用を実現していく。今後さらに増加するトラフィックに対応するため、Release

14では、上りリンクのスループット向上を目的としたenhanced LAAの検討や、さらなる広帯域での通信を行う次世代無線通信技術の検討が進められている。

文献

- [1] 三木, ほか: “LTE-Advancedにおける広帯域化を実現するCarrier aggregation,” 本誌, Vol.18, No.2, pp.12-21, Jul. 2010.
- [2] 岸山, ほか: “LTE/LTE-Advanced高度化におけるヘテロジーニアスネットワーク容量拡大技術,” 本誌, Vol.21, No.2, pp.10-17, Jul. 2013.
- [3] 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. 2013.
- [4] ETSI EN301 893 V1.8.1: “Broadband Radio Access Networks (BRAN); 5 GHz high performance RLAN,” Harmonized European Standard, Mar. 2015.
- [5] ARIB STD-T71 6.1版: “広帯域移動アクセスシステム (CSMA),” Mar. 2014.
- [6] 3GPP TR36.889 V13.0.0: “Study on Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum (Release 13),” Jul. 2015.
- [7] Y. Jiang, H. Harada, L. Liu, H. Jiang and S. Nagata: “Investigation on Partial Subframe Transmission for Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum,” IEICE general conference, Mar. 2016.

LTE-Advanced Release 13標準化

LTE-Advanced Release 13における マルチアンテナ送受信および受信機能改善技術

近年のトラフィックの急増へ対応するため、3GPPでは無線基地局のさらなる高度化が検討されている。LTE-Advanced Release 13では、無線基地局のアンテナポートの2次元配置やポート数増加を実現する技術が仕様化された。また、無線信号の送受信機能とアンテナの一体化により、柔軟なエリア構築を可能とするアクティブアンテナの無線性能規定が策定され、さらに、隣接セルから到来する上りリンクの干渉を低減する干渉抑圧合成受信器を想定した性能規定の策定も行われた。本稿では、これら技術の特徴と、3GPPにおける標準化動向を解説する。

先進技術研究所 5G推進室

さの ようすけ
佐野 洋介

先進技術研究所

ふくだ あつし
福田 敦史

無線アクセス開発部

おくやま すぐる
奥山 卓

DOCOMO Innovations, Inc.

かきしま ゆういち
柿島 佑一

ドコモ北京研究所

Chongning Na

1. まえがき

近年、スマートフォンやタブレット端末の普及、および端末の高機能化に伴う高精細動画サービスやビデオ通話などの大容量コンテンツの利用増大により、トラフィックが急増している。そこで3GPPにおいて、より高速・大容量サービスを提供するため、無線基地局のさらなる高度化が検討されている。

LTE-Advanced^{*1} Release 13 (以下、Release 13)仕様では、基地局におけるアンテナポート配置を従来の1次元から2次元に拡張し、またさ

らなる送信アンテナポート数の増加を実現するEBF/FD-MIMO (Elevation BeamForming/Full Dimension-MIMO) の機能規定が策定された。また、このような機能を実現する手段の1つとして無線信号の送受信機能とアンテナを一体化させることにより、基地局の小型化、電力効率の向上、および柔軟なエリア構築を可能とするアクティブアンテナ基地局 (AAS: Active Antenna System) があり、AASに求められる無線性能規定が策定された。さらに、無線信号処理の高度化により隣接セル^{*2}から到来する上りリンクの干渉を効果的

に抑圧する干渉抑圧合成 (MMSE-IRC: Minimum Mean Squared Error-Interference Rejection Combining) 受信器を想定した無線性能規定の策定も行われた。

本稿では、これらの新しく導入された機能や装置とその規定の概要とともに、3GPPにおける今後の展望を解説する。

2. EBF/FD-MIMO

LTEでは、下りリンクMIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*3}技術の機能拡張が複数のReleaseにわたって続けられている。表1およ

©2016 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 LTE-Advanced: LTE (Release 8, 9) の発展形無線インタフェースであり、Release 10以降の仕様として標準化されている。

*2 セル: セルラ方式の移动通信ネットワークと移動端末との間で無線信号の送受信を行

う最小のエリア単位。

*3 MIMO: 複数の送信機 (送信アンテナ) および受信機 (受信アンテナ) を用いることにより、データレートの高速化あるいは受信品質の高品質化を実現する技術。

表1 Release 12および13の下りリンクMIMO技術

	Release 12	Release 13
送信アンテナ数	1, 2, 4, 8	1, 2, 4, 8, 12, 16
送信アンテナ構成	1次元（水平方向配列）	2次元（水平・垂直方向配列）
SU-MIMOストリーム数	最大8	最大8
MU-MIMOストリーム数	最大4 （最大4移動端末、移動端末あたり最大2ストリーム）	最大8 （最大8移動端末、移動端末あたり最大2ストリーム）

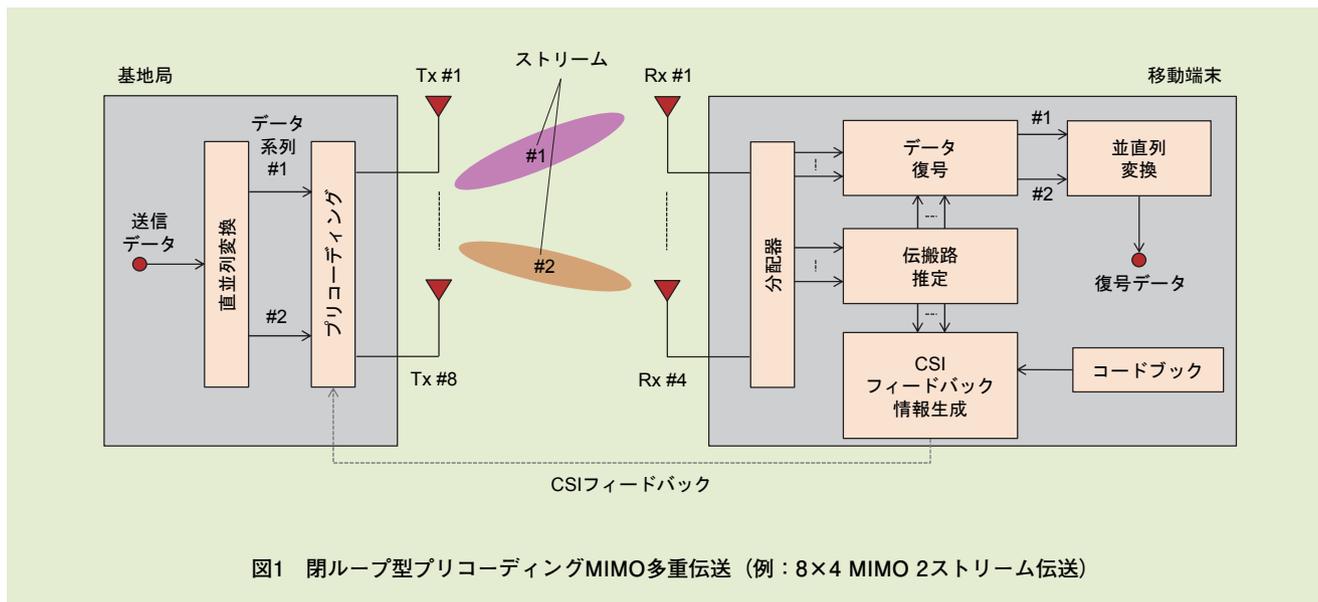


図1にRelease 12/13の下りリンクMIMO技術および閉ループ型^{*4}プリコーディングMIMO多重伝送の概要を示す。Release 13では、水平および垂直方向に2次元配列された基地局アンテナを用いて、水平および垂直方向の送信ビーム制御を行う技術であるEBF/FD-MIMOの機能規定が策定された。

2.1 Release 12における下りMIMO技術

Release 12では、基地局送信機で最大8アンテナを用いた下りMIMO伝送がサポートされている。それぞれのアンテナからは異なるデータ系

列（ストリーム^{*5}）を同時に送ることが可能であり、データレートを増大することができる（MIMO空間多重）。加えて、データ系列・送信アンテナの組合せごとに異なる複素ウェイト^{*6}を乗算することで、送信信号に指向性^{*7}を持たせる、プリコーディング伝送が可能である。Release 12では、水平方向に並列配置されたMIMOアンテナを用い、水平方向のプリコーディング伝送を実現している。ここで適切なプリコーディング制御のためには、送信機側で伝搬路状態情報（CSI：Channel State Information）^{*8}を把握する必要があり、LTEでは主に2つの手法

が採用されている。

①CSI-RSを用いた手法

1つめは、端末からのフィードバック情報を用いる方法である。この方法では、まず、基地局がチャネル状態情報推定用参照信号（CSI-RS：CSI-Reference Signal）^{*9}をアンテナごとに送信する。移動端末では、受信したCSI-RSを基に伝搬路状態を推定し、あらかじめ決められたプリコーディングウェイトの候補（コードブック^{*10}）の中から好適な物を選択する。最後に、選択したプリコーディングウェイトのインデックスをCSIの1

^{*4} 閉ループ型：受信機からのフィードバック情報を用いる方法のこと。
^{*5} ストリーム：MIMOに用いられる伝搬路のチャンネルに送信されるデータ列。
^{*6} 複素ウェイト：プリコーディング利得を得ることなどを目的として送信信号に乗算さ

れる複素信号。
^{*7} 指向性：アンテナの放射特性の1つで、アンテナからの放射強度（あるいは受信感度）の方向特性のこと。
^{*8} 伝搬路状態情報（CSI）：信号が経由した無線チャンネルの状態を表す情報。

^{*9} チャネル状態情報推定用参照信号（CSI-RS）：無線チャンネルの状態を測定するために送信される既知の信号。
^{*10} コードブック：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。

つであるPMI (Precoding Matrix Indicator)^{*11}としてフィードバックする。なお、CSIフィードバック情報はPMIのほか、送信ストリーム数を制御するRI (Rank Indicator)^{*12}や適用変調符号化を実現するためのCQI (Channel Quality Indicator)^{*13}などで構成される。

②SRSを用いた手法

2つめは、上下リンクの伝搬路状態は原理的には同一となるという特性(伝搬路双対性)を用いた方法である。基地局は上りリンク参照信号であるSRS (Sounding RS)^{*14}の受信結果を基にCSIを推定することができる。この方法は、上下リンクで同一の周波数帯を用いるTDD (Time Division Duplex)^{*15}システムにおいて特に有効であり、その場合はアンテナおよびRF (Radio Frequency)^{*16}回路が高い精度で校正されている必要がある。

LTEのMIMO伝送は、SU-MIMO (Single-User MIMO) およびMU-

MIMO (Multi-User MIMO) の2種類に分類される。SU-MIMOは、複数のデータストリームを単一の移動端末に割り当てる方法であり、Release 12では最大8ストリームのSU-MIMOがサポートされている。一方、MU-MIMOは、複数のデータストリームを複数の移動端末に割り当てる方法であり、Release 12では最大4ストリーム(最大4移動端末、移動端末当り最大2ストリーム)のMU-MIMOがサポートされている。

2.2 3次元プリコーディング

(1)概要

近年、アクティブアンテナ技術の進歩により、MIMO送信アンテナ数増大や、アンテナおよびRF回路の校正精度が向上している。特に、プリコーディング制御を垂直方向で行う場合、隣接セルに対して予期しない干渉を与えることを避けるため、垂直方向のアンテナ群を高精度で校正しなければならないが、それが現実的になってきている。Release 13仕様では、この様な背景を基に、基地局アンテナを水平および垂直方向に平面配置した2次元アンテナを用

いて、水平および垂直方向のプリコーディング制御を実現している。この技術は、形成されるビームの指向性が直交座標系内で3次元に制御されるため、3次元プリコーディングや3次元ビームフォーミングなどと呼ばれる。

(2)2つのCSIレポート法

Release 13仕様では、CSI-RSの送信法およびCSIフィードバック情報が異なる、2つのCSIレポート法(クラスやeMIMO-Typeと呼ばれる)が導入された(図2)。

①クラスAレポート法

クラスAレポート法はRelease 12の従来法をベースとし、アンテナポート数を最大16とする多アンテナ化(12および16アンテナのCSI-RS送信)およびCSIフィードバック情報の2次元化をサポートした。12および16アンテナのCSI-RSリソース(時間・周波数領域における多重位置など)は、Release 12のCSI-RSのリソースを複数組み合わせ合わせて確保する。さらに、水平および垂直方向の伝搬路状態情報のフィードバックを実

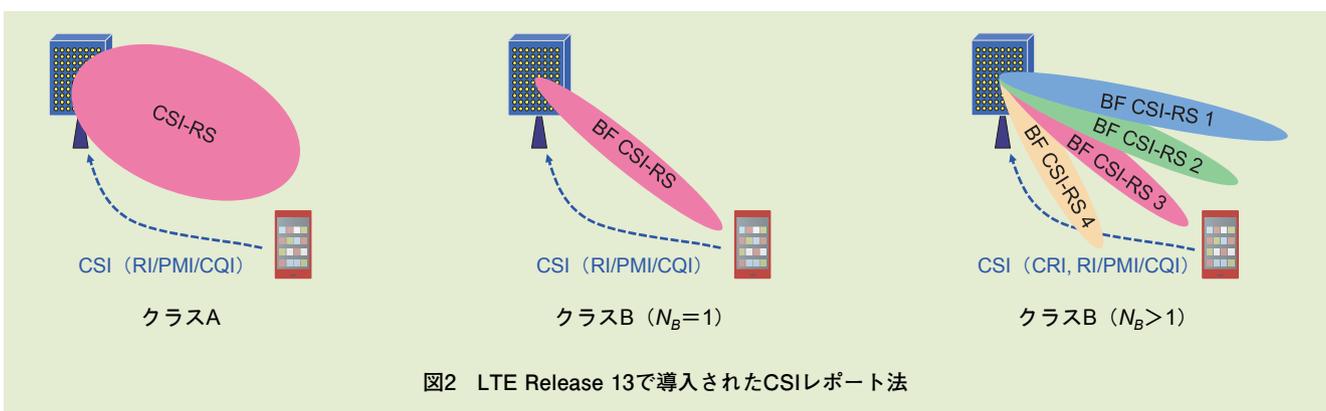


図2 LTE Release 13で導入されたCSIレポート法

*11 PMI: 好適な下りリンクプリコードを指定するために移動端末からフィードバックされる情報。コードブック内から選択される項番として通知される。

*12 RI: 好適な送信ストリーム数を指定するために移動端末からフィードバックされる情報。

*13 CQI: 移動端末で測定された下りリンクの伝搬路状態を表す受信品質指標。

*14 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。

*15 TDD: 双方向の送受信方式の1つ。上りリ

ンクと下りリンクに同一の周波数帯を使用し、異なる時間を割り当てることにより双方向通信が可能。

*16 RF: 無線通信に使用される周波数、または無線信号の搬送波に使用される周波数。

現する2次元コードブックを採用した。本コードブックは、Release 10および12で採用されたダブルコードブック構成^{*17}[1]を用いている。加えて、本コードブックは上位レイヤシグナリングを用いてアンテナ構成を通知することで、さまざまなアンテナ構成（異なる水平・垂直アンテナ数の組合せやアンテナ間隔など）や基地局設置環境に適用が可能な設計となっている。一方、クラスAレポート法では、基地局アンテナ数に比例して、CSI-RSのオーバーヘッドが増大する。加えて、基地局の総送信電力が一定であると仮定した場合、アンテナ数の増大に応じてCSI-RSのアンテナごとの送信電力が低下する可能性がある。

②クラスBレポート法

クラスBレポート法では、CSI-RSに対してビームフォーミングを適用する事で、CSI-RSのオーバーヘッドの低減やカバレッジの増大を実現する。この技術はCSI-RSビームの数(N_B)に応じて2つの異なる用途が想定されている。

・ N_B が1の場合、移動端末固有のビームフォーミングを適用したCSI-RSを送信する事が可能となる。例えば、基地局は伝搬路双対性を用いて取得した伝搬路の事前情報を基に、CSI-RSにビームフォーミングを適用して送信する。移動端末はCSI-RSビームを基にCSIを測定し基地

局にフィードバックする。この方法では、伝搬路の事前情報を用いることで、後段のクラスBレポート法($N_B=1$)におけるCSI-RSオーバーヘッドを低減することが可能である。

・一方、 N_B が1より大きい場合、CSI-RSビーム選択を用いたCSIフィードバックが可能となる。具体的には、基地局は複数の異なるビームフォーミングを適用したCSI-RSを送信する。移動端末は複数のCSI-RSビームのうち、好適なものを選択し、そのインデックスをCRI (CSI-RS Resource Index) としてフィードバックする。加えて、選択したCSI-RSビームに対するCSIをフィードバックする。この方法では、CSI-RSを複数送信するのでオーバーヘッドは増えるものの、ビームフォーミングによりその増大を抑えることができる。

Release 13では、最大8個のCSI-RSビームを用いたビーム選択型のCSIフィードバックが仕様化された。CSI-RSに対してビームフォーミングを適用するクラスBレポート法は、高い周波数帯域を用いるため、カバレッジの課題が想定される5G（第5世代移動通信システム）において、一層有効な技術となる可能性がある。

2.3 MU-MIMOの高度化

プリコーディング制御の自由度が向上するRelease 13では、送信ビー

ム間に高い空間分離能力が期待できるため、MU-MIMOの運用が一層現実的となる。Release 13では、最大8ストリーム（最大8移動端末、移動端末あたり最大2ストリーム）のMU-MIMOをサポートするため、下りリンクデータ復調用参照信号(DM-RS: DeModulation RS)^{*18}の機能拡張が行われた。具体的には、DM-RSに対して系列長4の符号多重を用いることで、最大4の直交レイヤ数を確保した。

2.4 TDDシステムを想定した技術拡張

前述の通り、TDDシステムにおいては、伝搬路双対性を用いたCSI推定法が有効であり、SRSを用いた実装が有効であると考えられている。SRSは上りデータ伝送のリンク適用制御を主目的として設計されているが、当該参照信号を、下りデータ伝送用のCSI推定に用いる場合、より高精度な伝搬路推定が必要となり高い参照信号密度が要求される。加えて、SRSを密にスケジューリングした場合、隣接セルからのSRSの干渉レベルが上がり、伝搬路推定精度が劣化することが懸念される。そこでRelease 13では、挿入密度増大および過密スケジューリング回避を目的として、SRS容量増大が検討され、TDDシステムにおけるSRSシンボル^{*19}数の増大やSRS多重技術の拡張を行った。

2.5 今後の展望

Release 13 EBF/FD-MIMOでは

*17 ダブルコードブック構成：無線チャネルを長周期・広帯域な情報と短周期・狭帯域な情報の組合せで表現する事を目的としているコードブック構成のこと。

*18 復調用参照信号 (DM-RS)：データ復調のための無線チャネルの状態を測定するために送信される既知の信号。

*19 シンボル：伝送するデータの時間単位であり、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) の場合は複数のサブキャリアから構成される。各サブキャリアには複数のビット (例えばQPSKなら2bit) がマッピングされる。

6GHz以下の運用を想定した技術検討が行われた。一方、5Gを含めた将来のセルラネットワークでは、6GHz以上の周波数帯において広い帯域幅を活用する事が重要となる。電波伝搬損失が大きい高周波数帯では、MIMOを用いたビームフォーミング技術やダイバーシチ*20技術のさらなる高度化が求められる。中でも、制御信号などのセル共有の信号に対して、面的および距離的なカバレッジを実現することが新たな検討課題となる可能性がある。また、帯域幅の増大に従ってRF回路の実装が難しくなることが一般的に知られている。RF回路のコスト（例：RF回路の数）を適切に抑えつつ、高い利得を得るMIMO装置構成および伝送技術の検討が求められる。

3. AAS

3.1 AASに対応する規定の必要性

EBF/FD-MIMOのようにビーム

制御を実現するうえで、多数の無線信号の送受信機能部とアンテナを持ち、それらを一体化させたAASが有効な手段として考えられている。3GPPにおける従来基地局RF仕様は、アンテナを含まない無線信号の送受信機能の性能を規定するものであるが、新たにAASのようなアンテナ一体型基地局のRF仕様が求められており、Release 13にてAAS RF仕様*21が策定された[2]。

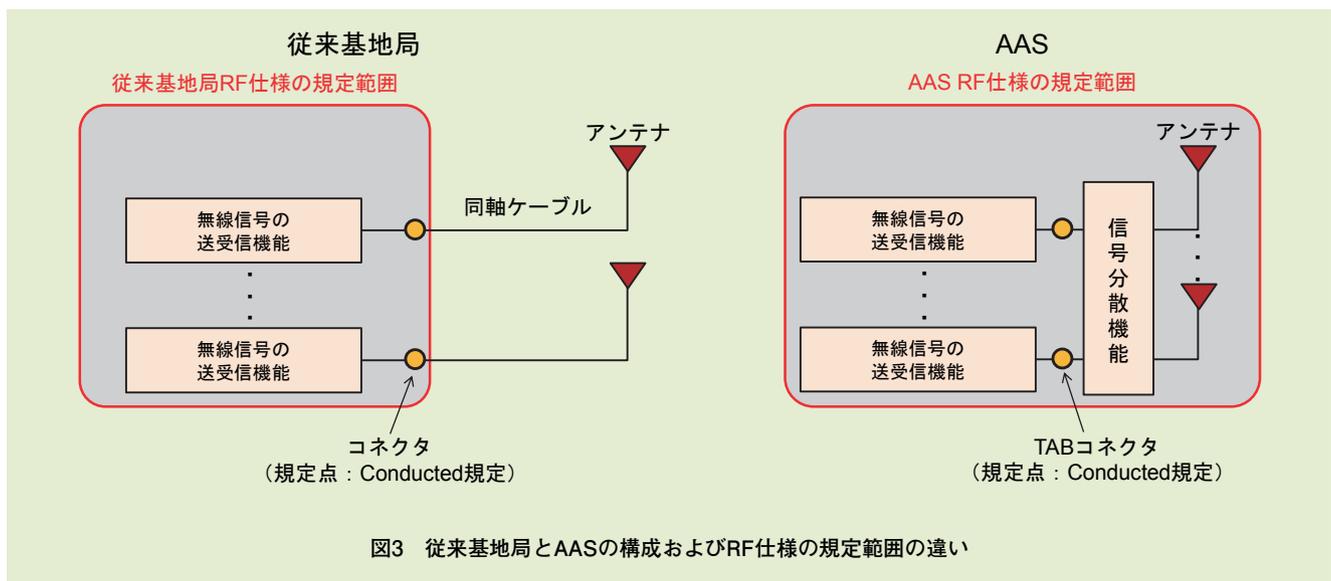
図3に、従来基地局とAASの構成およびRF仕様の規定範囲の違いを示す。AASでは、無線信号の送受信機能とアンテナを一体化することで、従来送受信機能—アンテナ間の接続に用いられてきた同軸ケーブルが不要となることから、従来基地局と比較し、損失低減による電力効率の向上および基地局装置の小型化が期待できる。また、複数のアンテナ間での信号振幅・位相を調整することにより、メインビーム方向を図4に示すように水平/垂直方向に変更

することができ、より柔軟なエリア構築が可能となる。さらに、メインビーム方向がそれぞれ異なるマルチビームを形成することで、一装置で複数セルのエリア化が可能となるなど、従来基地局にはない機能の提供が期待される。

3.2 AAS仕様の特徴

従来の基地局RF仕様*21に比べ、Release 13 AAS RF仕様は大きく以下の2点が異なる。

- ・1点めは、規定点*21の違いである。従来は無線信号の送受信機能とアンテナの境界点であるコネクタを規定点とし、アンテナへの入出力信号の特性を規定していた（以下、Conducted規定）のに対して、AASではコネクタ（AAS仕様ではTABコネクタ（Transceiver Array Boundary Connector）と呼ぶ）でのConducted規定に加えて、アンテナも含めた基地局のRF仕様



*20 ダイバーシチ：MIMOアンテナを用いて通信の質や信頼性の向上を図る技術の総称であり、特に閉ループ型でないもの。

*21 規定点：基地局RF仕様*21が規定されるポイント。ここでアンテナへの入出力信号の特性、または電波放射/受信空間上の特性を測定することにより、基地局装置が3GPP仕様を満たしているかを確認する。

を規定するために新たにアンテナからの電波放射空間上に規定点を設け、一部特性についてはすべてのアンテナの合成後の放射特性も規定（以下、OTA (Over the Air) 規定）された。Release 13では、OTA規定として、①放射送信電力精度規定 (Radiated transmit power accuracy requirement) *22 と②無線受信感度規定 (OTA sensitivity requirement) *23 の2種類が規定され、アンテナを含めた性能を評価することができる。

・2点めは、conducted規定における規定単位の違いである。従来は前述のコネクタを規定点とし、コネクタ当りで無線特性を規定していた。一方、AAS RF仕様ではTABコネクタ当りの規定に加え、一部仕様では複数TABコネクタ総和で無線特性を規定している。

(1)OTA規定内容

①放射送信電力精度規定

従来のconducted規定における送信電力精度に相当するものとして、電波放射空間上の放射送

信電力精度がある。これら2つを同等な特性とするために放射送信電力精度をアンテナの利得／偏差*24も含めて規定する必要がある。そのために、等価等方放射電力 (EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power) *25 [2] [3] が用いられた。本規定は、ビーム内のEIRPの最大値に対して適用される。当該ビームにおいてEIRPが最大となる方向を、以下では送信ビーム方向と呼ぶ。図5に送信ビーム方向をさまざまに変えた際の、ビーム内の

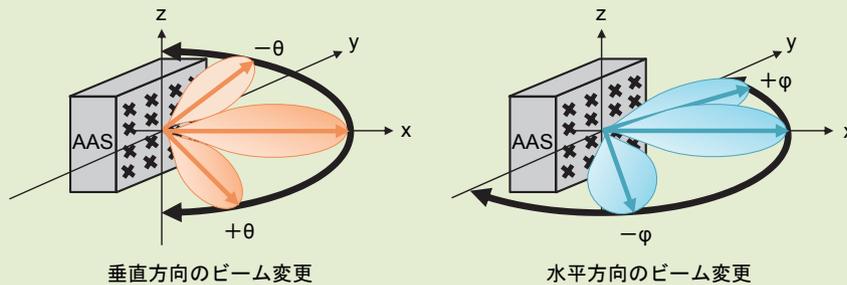


図4 AASにおけるメインビーム方向変更

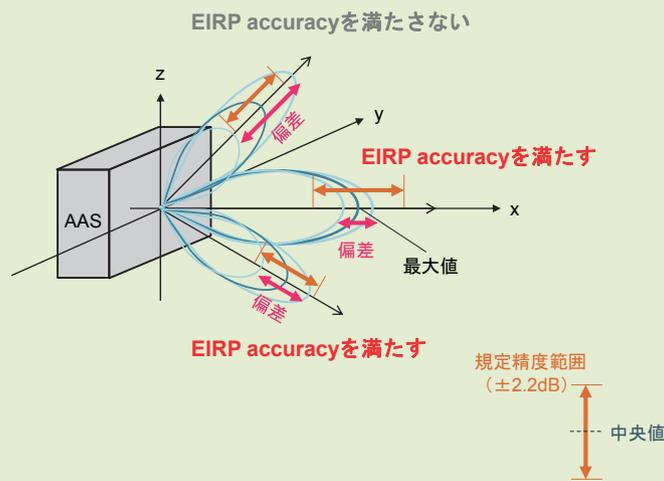


図5 ビーム方向変更によるEIRP accuracy

*22 放射送信電力精度規定 (Radiated transmit power accuracy requirement) : アンテナからの電波放射空間上に設けられた規定点における送信電力精度に関する規定。

*23 無線受信感度規定 (OTA sensitivity requirement) : アンテナへの電波受信空間上

に設けられた規定点における受信感度に関する規定。

*24 偏差 : アンテナ利得の変動を示す指標。

*25 等価等方放射電力 (EIRP) : 電波放射空間上に設けられた規定点における送信電力。

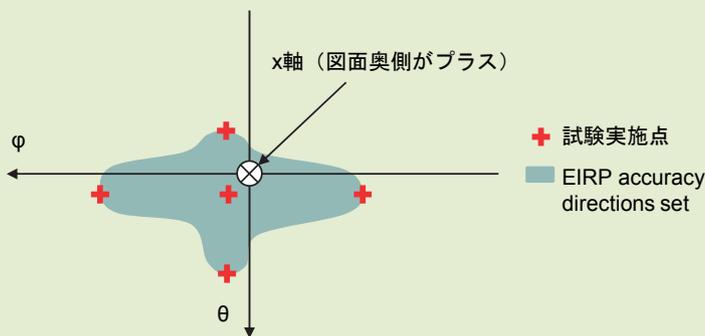
EIRPの最大値とその偏差を例示する。送信ビーム方向のEIRP値に許容される偏差を放射送信電力精度（図5中の規定精度範囲）として規定した。また、どの方向に送信ビームを向けられるかは装置ごとに異なり、アンテナ利得および偏差は送信ビーム方向に依存し変化する。規定を満足できる送信ビーム方向も情報として必要となることから、図6に示すような放射送信電力精度を満たすことのできる送信ビーム方向の範囲（EIRP accuracy directions set）を装置ごとに宣言する。当該範囲内にて放射送信電力精度が規定値内となることが仕様として求められる。また、この範囲内でEIRPの絶対値が最大となる送信ビーム方向、およびその方向を基準とし θ/ϕ のそれぞれを最大/最小とした4方向の計5方向で試験を行う。試験は規定精度を満足しているか確認するために

行われるが、範囲内に無数に存在するすべての点で試験を行うことは非現実的であり、最低限代表5方向で試験を行うことが課せられている。本仕様では、 θ/ϕ 共に送信ビーム方向を変えられるAAS、 θ/ϕ いずれか一方、もしくは共に送信ビーム方向を変更できないAAS、いずれも対象となる。共に変えられる場合は、一般的に図6に示すようなEIRP accuracy directions setとなる。

②無線受信感度規定

無線受信感度も放射送信電力精度と同様の理由により、等価等方感度（EIS：Equivalent Isotropic Sensitivity）^{*26} [2]が指標として用いられた。ビーム内の受信アンテナ利得が最大となる方向を、以下では受信ビーム方向と呼ぶ。端末からの信号を受信しそのスループット^{*27}が最大値の95%を達成することを無線受信感度として規定した。

本規定を満足できるかは、受信ビーム方向と端末からの受信信号到来方向の関係、およびEIS値に依存することから、AASベンダはEIS値と、そのEIS値にて無線受信感度を満たすことのできる受信信号到来方向の範囲（Receiver target redirection range）を宣言する。図7に例を示す。ある受信ビーム方向に対して、無線受信感度を満足する端末からの受信信号到来方向範囲をsensitivity RoAoA（Range of Angle of Arrival）と定義し、受信ビーム方向をさまざまに変えていった際の、sensitivity RoAoAの集合をReceiver target redirection rangeと定義する。無数に存在するすべての点で試験を行うことは非現実的であるため、放射送信電力精度と同様に、試験はReceiver target redirection range内の代表5方向で実施される。

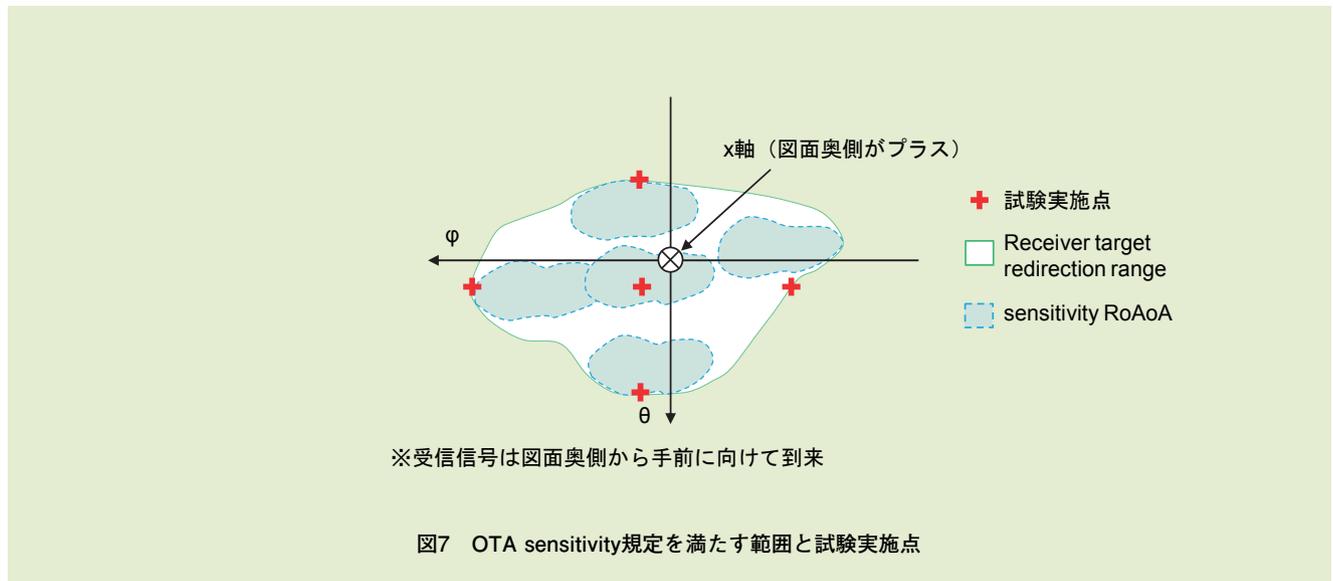


※ビームは図面手前から奥側に向けて送信

図6 EIRP accuracyを満たす範囲と試験実施点

*26 等価等方感度（EIS）：電波受信空間上に設けられた規定点における受信電力。

*27 スループット：単位時間当りに、誤りなく伝送される実効的なデータ量。



これら2つのOTA規定により、従来では規定されていなかった、アンテナを含めた無線特性規定が定まり、それによる評価が可能となった。

(2)複数TABコネクタ総和での規定

複数TABコネクタ総和で規定される規格に、希望周波数帯域外への不要な電力放射に当たる不要発射の許容値規定 (Unwanted emission) がある。従来では、前述の通りコネクタ当たりで許容不要発射量が規定されていた。一方AASでは、多数の無線信号の送受信機能およびアンテナを具備することが想定され、従来と同様にTABコネクタ当たりで規定すると、基地局トータルでの許容不要発射総量が大幅に増加してしまう懸念があった。そこで、①基地局トータルの不要発射総量が、従来規定の同時送信ストリーム数上限に相当するアンテナポート数8における許容値総量を超えないこと、②一装置で複数セルをカバーする場合には、セル間での不要発射量の偏りを防ぐため不要発射

規定はセル当りで規定する、という2点を踏まえ以下のように規定された。

- ・送受信機能数もしくはセル数×8の最小値を $N_{TXU, counted}$ とする (送受信機能数が多い場合は後者を上限とする)
- ・ $N_{TXU, countedpercell}$ を $N_{TXU, counted} / \text{セル数}$ とする
- ・ある1セルに対して送受信を行う複数TABコネクタをグループとし、そのグループ当たりで、既存不要発射許容量× $N_{TXU, countedpercell}$ の不要発射量を許容する

3.3 今後の展望

AAS RF仕様では、OTA規定、およびTABコネクタ総和での規定が新たに導入された。しかしながら前述のようにOTA規定は放射送信電力精度規定と無線受信感度規定のみであり、その他は無線信号の送受信機能とアンテナの境界点であるTABコネクタで規定されているため、

AAS RF仕様に基づく評価／測定を行うためには、TABコネクタが必要である。一方、5Gなどで検討されているMassive MIMOの実用化に向けては、超多素子のAASが有効な手段と考えられる。そのようなAASでは、全送受信機能にTABコネクタを設けることは現実的ではなく、また、TABコネクタを具備しないことで小型化も期待できるため、OTA規定のみによるAAS RF仕様のニーズが高まっており、今後はその策定が進められる[4]。

4. 上りMMSE-IRC 受信器

近年のスマートフォンなどの普及に伴う急激なトラフィックの増大に対応するため、特に都市部におけるセルの高密度化が進み、結果として隣接セルから到来する干渉が増大している。このような地域では、雑音電力*28よりも隣接セルから到来する干渉電力が大きく、この干渉によ

*28 雑音電力：受信器における雑音電力。移動端末内で生じる熱雑音電力や、遠方より到来する微小な隣接セル間干渉信号電力の総和により構成される。

りスループット特性が劣化する可能性がある。

3GPPでは、上記隣接セルからの干渉を低減するため、近年さまざまな技術が検討されている。特に下りリンクでは、移動端末の無線信号処理を高度化することが検討され、Release 11においては最小平均二乗誤差 (MMSE) 規範^{*29}に従い、隣接セル間干渉を抑圧するMMSE-IRC受信器の性能規定が策定されている[5] [6]。そのさらなる高度化としてRelease 12では、基地局から移動端末へ隣接セル間干渉の制御情報(送信電力情報など)をシグナリングし、より高度な干渉低減処理を移動端末に実施させるNAICS (Network Assisted Interference Cancellation and Suppression) 受信器の性能規定が策定されている[5] [7]。

一方、上りリンクにおける無線信号処理の高度化は、Release 13においてはじめて検討が行われている。具体的には、Release 11で検討されたMMSE-IRC受信器と同等の機能を基地局に搭載することを想定した性能規定の策定が行われた[8]。

4.1 MMSE-IRC受信器の特徴

(1)MMSE受信器の課題

LTE Release 8仕様では、上りリンクの基地局の性能規定[3]として、MMSE受信器が想定されている。これは、MMSE規範に従い所望の信号を検出するが、隣接セル間干渉の統計的性質を受信器における白色雑音^{*30}と等価であると仮定した受信処理を

行うという特徴がある。したがって、現実の隣接セル間干渉を抑圧することができず、特に基地局が高密度に配置されているエリアでは、隣接セルに在圏している移動端末からの干渉により、上りスループットが制限されてしまう。

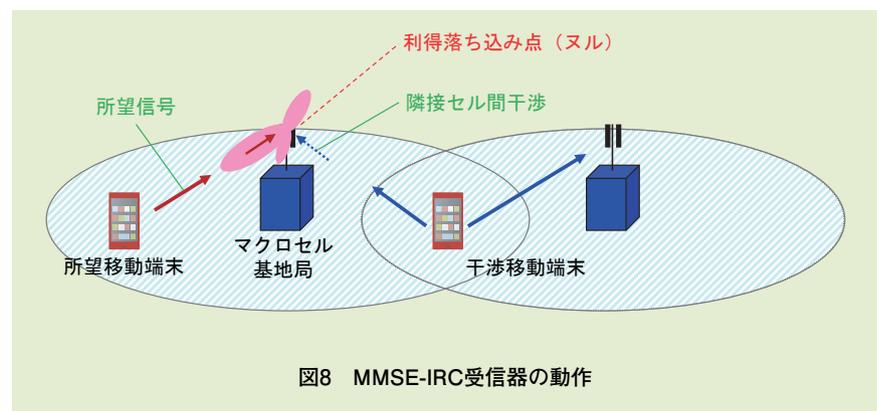
(2)MMSE-IRC受信器の基地局搭載

そこで、前述したとおり、Release 13では隣接セル間干渉を抑圧することを目的として、基地局にMMSE-IRC受信器を搭載することが検討された。このMMSE-IRC受信器では、基地局に複数の受信アンテナが搭載されていることを前提としており、基地局の無線信号処理において、隣接セル間干渉を抑圧されるように各受信アンテナの受信信号を合成する。より具体的には、上りリンクの参照信号 (DM (DeModulation)-RS) を用いて、所望信号の伝搬路 (チャンネル) 情報だけでなく、隣接セル間干渉の統計的性質を推定し、これらの情報を用いて隣接セル間干渉の到来方向に対してアンテナ利得の落込み点 (ヌル^{*31}) が作られるよう各受信信号の位相を調節し合成する (図8)。MMSE-IRC受信器の、より詳細な

受信アルゴリズムについては文献[6]を参照されたい。主要な干渉信号、つまり上りスループットの劣化に特に影響がある干渉信号に対してヌルを向けるため、受信器における信号対干渉および雑音電力比 (SINR : Signal to Interference plus Noise power Ratio)^{*32}が改善し、スループットを改善することができる。なお、本受信器は無線信号処理のみを高度化する技術であるため、すでにサービス展開中の基地局に対して比較的容易に追加実装できるという利点も有する。

4.2 上りスループット改善効果

MMSE-IRC受信器による上りスループット改善効果を図9に示す。本評価においては、2本の受信アンテナが搭載されたマクロ基地局環境を想定し、隣接するセルに在圏する2つの干渉移動端末から、電力が大きい2波の干渉が到来するケースを模擬した。また、各移動端末の送信アンテナ数は1とし、所望信号の変調方式は受信環境に応じて最適なものが選択されているものとした。



*29 最小平均二乗誤差 (MMSE) 規範 : アンテナ合成ウェイトを算出する方法の1つ。アンテナ合成後の受信信号の平均2乗誤差が最小となる規範で求められ、合成後の受信SINRを最大にできる。

*30 白色雑音 : 受信器における雑音成分。電力

スペクトル密度が全周波数で一定 (白色) という特性を持つ。

*31 ヌル : ビームパターンにおいて、アンテナ利得が極小となる方向。

*32 信号対干渉および雑音電力比 (SINR) : 所望信号の受信信号電力と、それ以外の干渉信号と雑音電力の和の比。ただし本稿では遠方から到来する軽微な干渉信号電力は雑音電力とみなす。

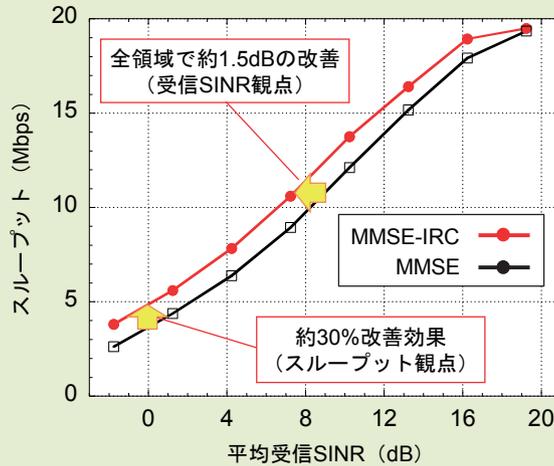


図9 MMSE-IRC受信器によるスループット改善効果

シミュレーション結果より、MMSE-IRC受信器は、既存のMMSE受信器と比較して全SINR領域で約1.5dB程度（SINR換算）の性能改善を見込めること、特に平均受信SINRが0dB程度の場合に約30%程度のスループット向上効果が得られることが分かった。

4.3 今後の展望

Release 14以降では、さらなる性能改善をめざし、Release 12におけるNAICS相当の受信器を基地局に搭載することが提案されている。本受信器はさらなる性能改善を期待できる一方、基地局の受信負荷や、実装のためのコストが上昇する可能性があるため、引続き注意深い議論が必要である。

5. あとがき

本稿では、LTE-Advanced Release 13仕様で新たに導入された基地局装置の高度化技術を解説した。今後も高品質なサービスエリアの提供をめざし、さらなる基地局装置改善技術の標準化を推進していく。

文献

- [1] 川村 輝雄, 柿島 佑一: “LTE-AdvancedにおけるマルチユーザMIMOの標準化動向及び実証実験,” 電子情報通信学会誌 1079号, Apr. 2014.
- [2] 3GPP TS37.105 V1.0.0: “Active Antenna System (AAS) Base Station (BS) transmission and reception,” Mar. 2016.
- [3] 3GPP TS36.104 V13.2.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception,” Jan. 2016.
- [4] 3GPP TSG RAN#71 RP-160548: “Further Enhancement of Base Station (BS) RF and EMC requirements for Active Antenna System (AAS) core part,” Mar. 2016.
- [5] 3GPP TS36.101 V13.2.1: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception,” Jan. 2016.
- [6] 寒河江, ほか: “LTE Release 11仕様における移動機干渉除去・抑圧技術の高度化,” 本誌, Vol.21, No.2, pp.26-29, Jul. 2013.
- [7] 武田, ほか: “LTE-Advanced Release 12における高次多値変調/スモールセル検出/干渉制御技術,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.46-53, Jul. 2015.
- [8] 3GPP TR36.884 V1.0.0: “Performance requirements of MMSE-IRC receiver for LTE BS,” Mar. 2016.

大規模災害時におけるIP系OSSの信頼性向上

ドコモ・テクノロジー株式会社 ソリューションサービス事業部

きたはま ひでき ながさわ たけふみ†
 北濱 秀基 長澤 武文
 にしお すすむ おおたに ともゆき
 西尾 進 大谷 知行

IP系オペレーションサポートシステム（OSS：Operation Support System）*1は、IPバックボーンネットワークを構成する大型ルータ/スイッチ、およびこれらを介して通信する周辺IPネットワーク機

器を監視しており、監視対象数は約3万台におよぶ大規模な監視システムである。図1に示すように、今日まで運用してきた旧IP系OSSは、東京拠点ビル内にて2系統の冗長構成を取り、SNMP（Simple

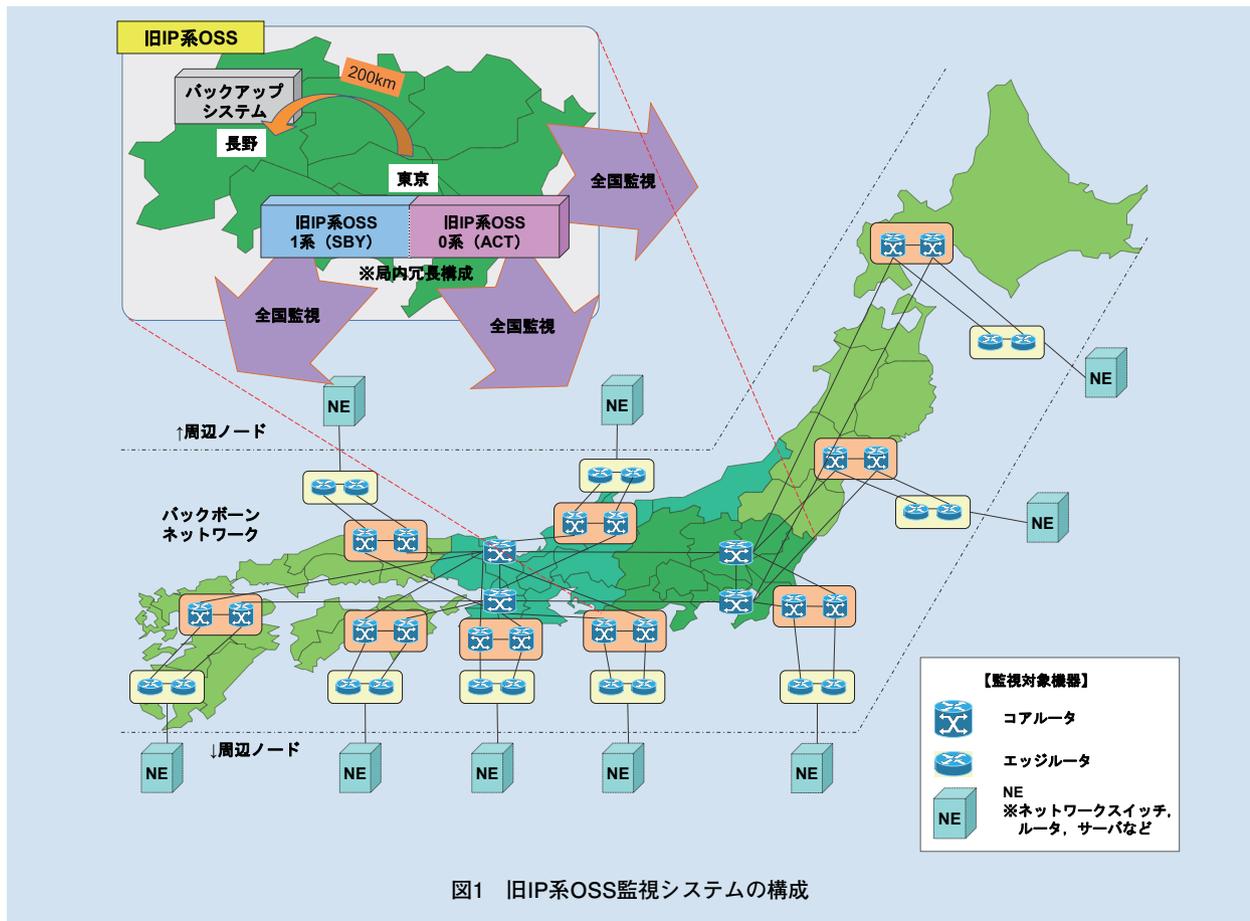


図1 旧IP系OSS監視システムの構成

©2016 NTT DOCOMO, INC.
 本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

† 現在、株式会社ドコモCS ソリューションインテグレーション部

*1 オペレーションサポートシステム（OSS）：移动通信網で発生している故障や輻輳の発見とそれに対する制御・措置を行っているシステムのこと。

Network Management Protocol)*2/Syslog*3を用いて全国のNE (Network Element)*4を監視してきた。さらに、両系統が被災などで同時故障した場合を想定し、手動で起動し切り替える長野バックアップシステムを追加構築し、全体で3系統の冗長構成を取っていた。

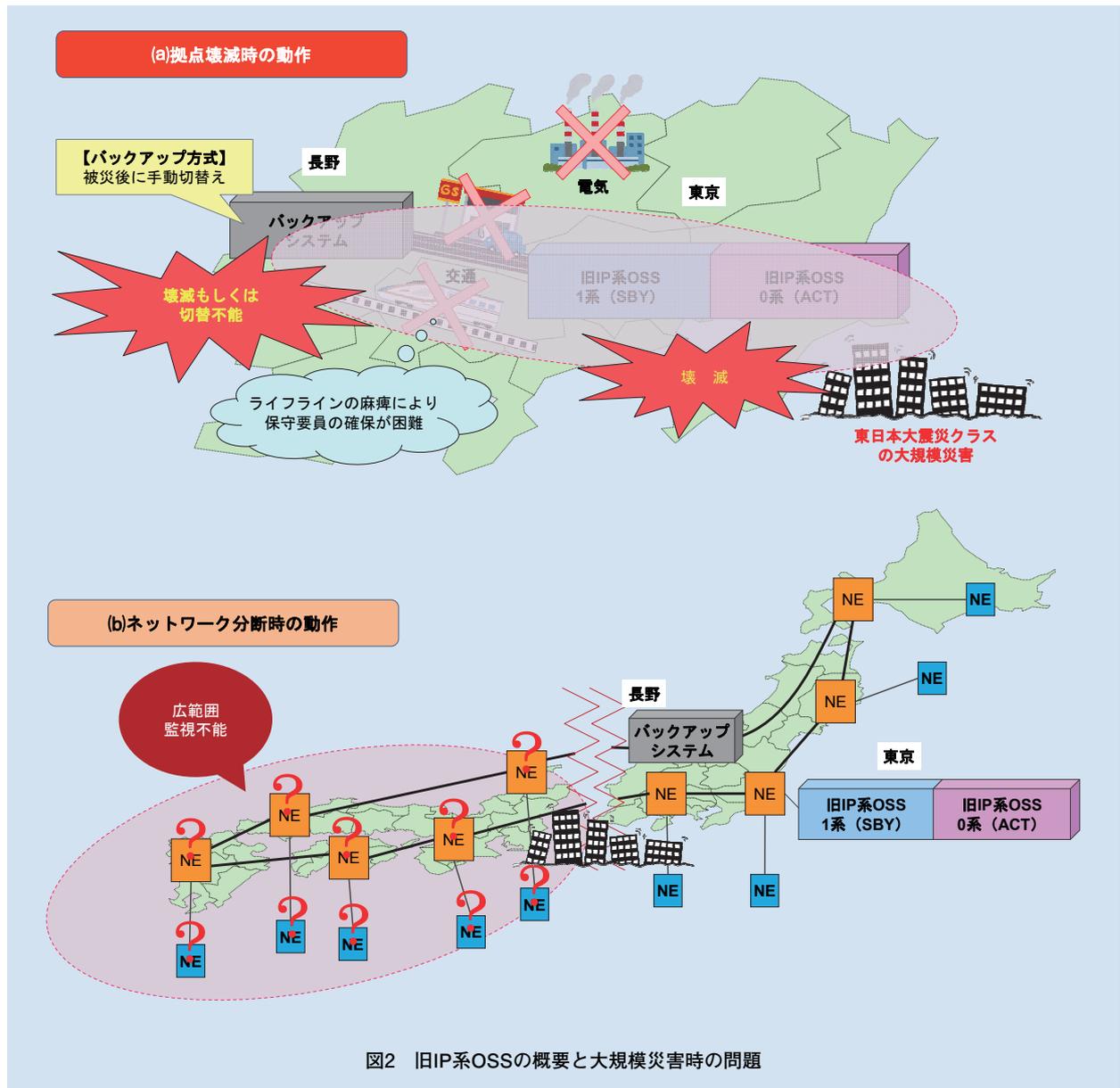
2002年のシステム導入以来、監視不能に陥るような大きな障害に遭遇することなく安定運用を継続し、OSSの災害対策は万全と考えられていた。しかし、2011年の東日本大震災では、被災地域がこれまでの常識を超えて広範囲に至ったことから、2つのケースを想定する必要が出てきた。

①まず、200kmしか離れていない東京と長野では、最悪の事態として両拠点同時壊滅が考えられる。また、長野バックアップシステムが直接

被災を免れたとしても、ライフラインや交通の麻痺による保守要員の確保が困難となり、起動を大幅に遅延させる事態も想定される (図2(a))。

②2つめのケースとして全国のNEを収容するNE収容ネットワーク伝送路の分断が挙げられる。この場合、分断ポイントより先に収容されているNEが監視不能となり、影響範囲は極めて大きい (図2(b))。

- *2 SNMP: IPネットワーク上のネットワーク機器をモニタリング・制御するための情報の通信方法を定めるプロトコル。TRAP受信/MIB情報が取得できる。
- *3 Syslog: システム動作状況やエラーメッセージなどを記録し、ネットワークを通じて他のコンピュータとその記録を送受信するためのプロトコル。
- *4 NE: 電気通信サービスを提供するにあたり、必要となる機能を実現する機能ブロックを指す。具体的には交換機、伝送装置、無線装置などの電気通信装置のこと。



このように従来のバックアップシステムは、平常時は非運用であっても1系統システム分のハードウェアリソースを必要としコスト高の要因となっているにもかかわらず、大規模災害時の動作に不安が残るため、高度な耐被災性を実現できる新IP系OSSへ移行することとなった。新IP系OSSでは、高コスト要因のバックアップシステムを廃止しつつ、低コストに、つまり系統数を増やすことなく、同時被災しない距離において冗長化することが目標となる。そこで図3のように、24時間保守体制を確立できる大阪拠点へSBY系を移動して東京～大阪間で遠隔冗長構成を取り、両系同時運用を可能とする2拠点1システム化方式[1]を採用することとした。

この新IP系OSSの構成と動作について、図4を用いて旧システムと対比しながら解説する。新IP系OSSでは、専用で用意された広帯域（数十Gbps）の東西拠点間伝送ネットワークを介して両拠点システム間で遠隔クラスタを組み、キープアライブ*5を含む拠点間システムメッセージの送受信や、両拠点システム冗長化のためのデータベース同期を行っている（図4上段）。

平常時には東西各拠点をACT/SBY*6動作させる（厳密には機能サーバ単位でACT/SBYが切り替わるが説明簡略化のため、ここでは全機能サーバを片方の拠点へ寄せると仮定して説明を行う）。NEは常に両方の拠点システムへ監視メッセージを送信するようにし、被災による障害発生直後のルーティング混乱期を含め、いかなる状況においても監視メッセージを取りこぼさないよう考慮されている（図5）。

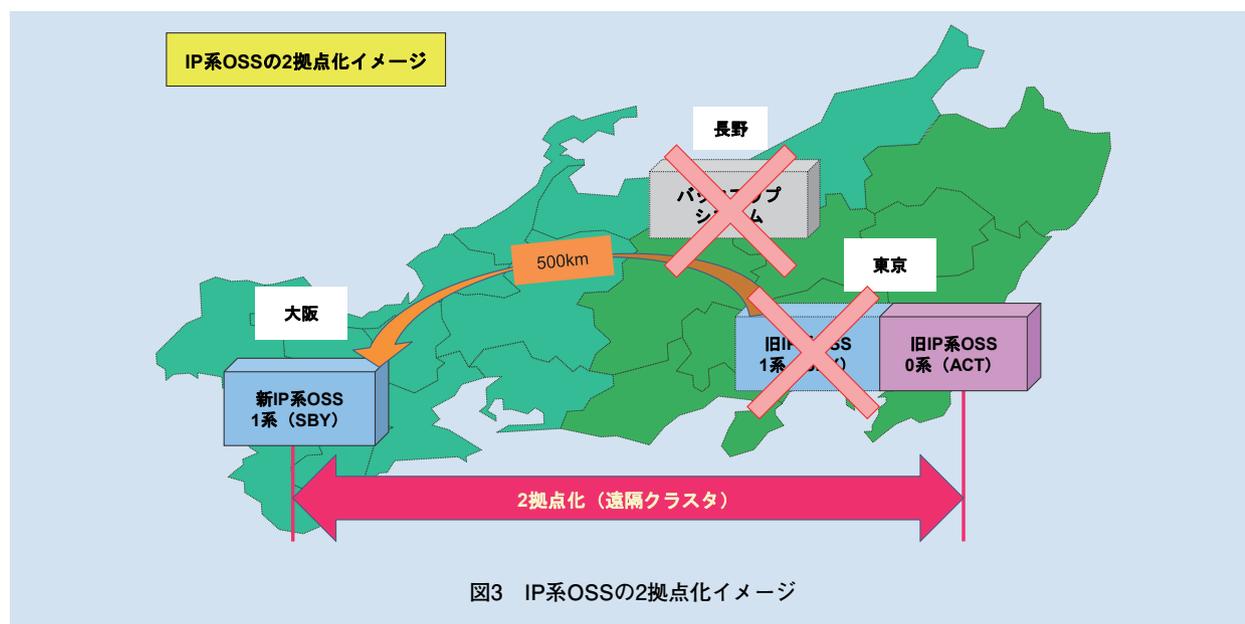
これらNEからの監視メッセージはACT側で処理され、処理結果はSBY側へ同期される。

- ①1つめの大規模災害ケースの拠点壊滅が発生した場合、旧IP系OSSでは監視不能に陥るのに対し、新IP系OSSではACT～SBY間のキープアライブ受信不可を契機に即座にSBY側がACT状態へ移行し監視を継続できる（図4中段）。
- ②2つめのケースの東西拠点システム間伝送ネットワーク分断発生時は、旧IP系OSSでは分断ポイント以遠のNEが監視不能に陥る一方、新IP系OSSではキープアライブによる死活確認に失敗すると、SBY状態の西日本拠点システムがACT動作を開始し、両拠点システムが同時ACT動作を行うことで、全国のNEの監視を継続することが可能である。東西間ネットワークは完全に分断されているため、東西各拠点システムはそれぞれの管内のNEのみを監視することとなる（図4下段）。

なお、この2拠点同時ACT動作を導入したことにより新たな課題が発生した。新IP系OSSでのネットワーク分断時動作パターンにおいて、運良くNE収容ネットワークが分断を免れた場合、これを經由

*5 キープアライブ：ネットワーク上で装置間の接続が有効であることを確認するために定期的に行われる通信のこと。

*6 ACT/SBY：同一機能を搭載したサーバを2台設置し、1台を運用し（ACT系）、残りの1台を待機状態（SBY系）にすること。ACT系サーバ故障時に即座に待機系に処理を引き継ぐことでサービス停止を防止するシステム構成。なお、SBY系サーバは切替えに備えて、常時ACT系サーバと同じ状態を保持している。



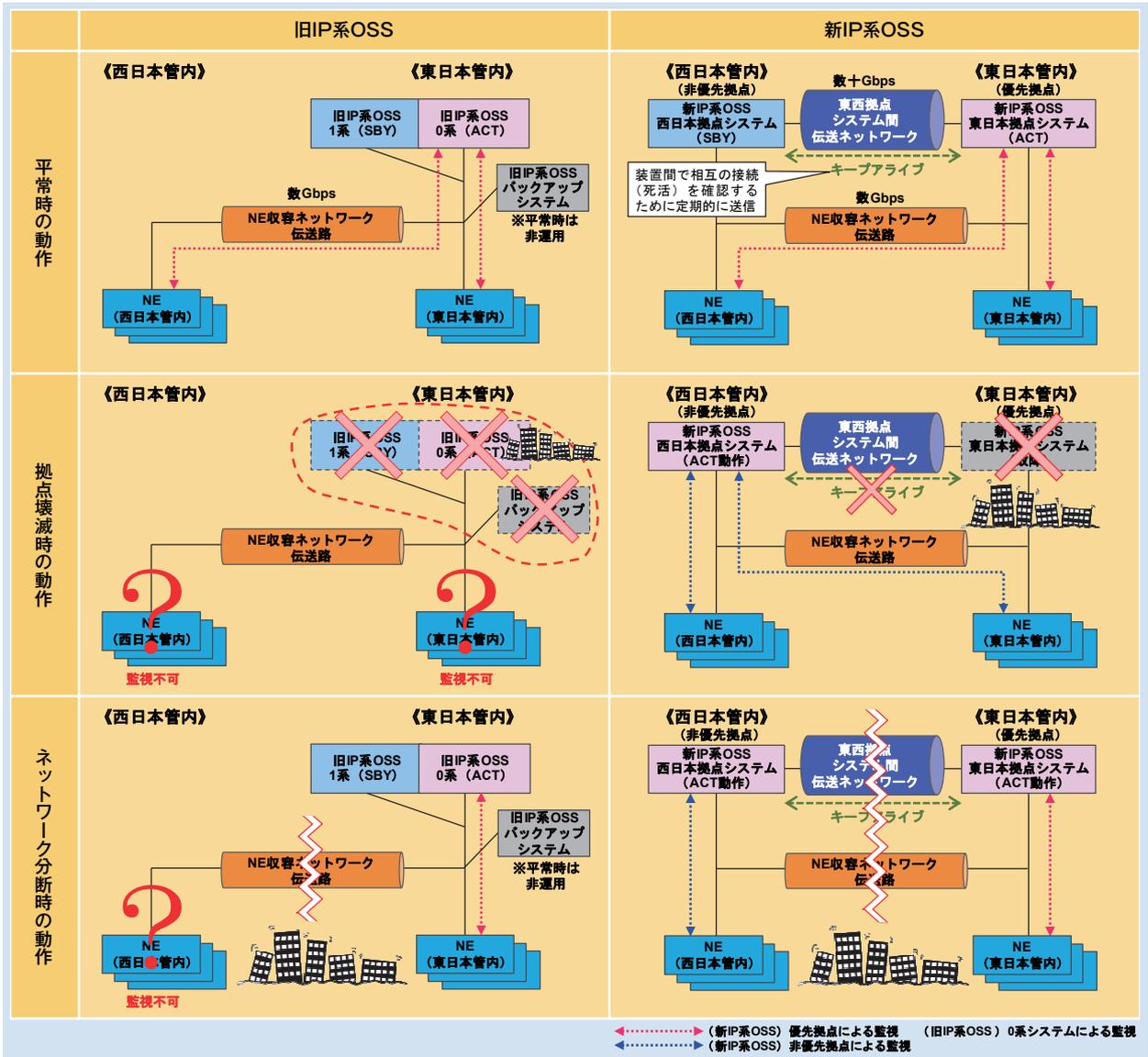


図4 新旧IP系OSSのシステム構成と災害時動作

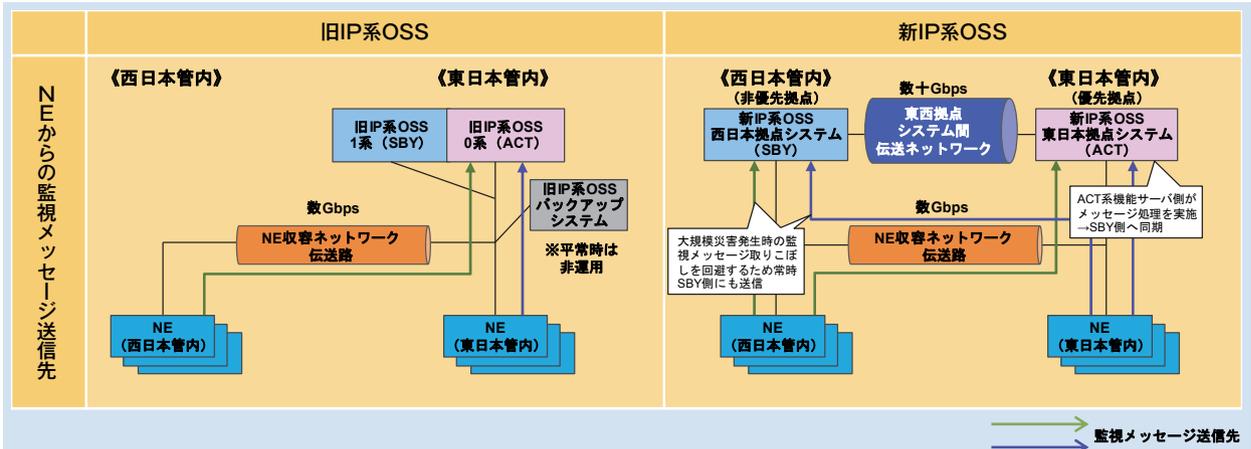


図5 NEから新旧IP系OSSへの監視メッセージ送信動作

してNEは両拠点システムからの二重監視を受け、監視処理負荷が倍増する (図6(a)). ほとんどの機器

においては大きな影響はなかったが、膨大な数の監視ポイントをもつ超大型ルータにおいて、正常動作

● Activities ●

「ワイヤレス・テクノロジー・パーク2016」 出展

2016年5月25日（水）～27日（金）の3日間にわたってドコモは、東京ビッグサイトで開催された「ワイヤレス・テクノロジー・パーク2016（WTP2016）」[1]に出展しました。WTP2016は、国内最大級のワイヤレス専門イベントであり、ドコモは研究開発成果を毎年出展しています。会場には国内外の企業や大学、報道機関などから約11,000名の方が来場されました。

WTP2016では、「高速・大容量化を実現する3.5GHz帯」「5G時代のモバイルコアネットワーク」「IoTの普及をめざしたプラットフォーム Linking (Step2)」の3つの展示を行いました。

「高速・大容量化を実現する3.5GHz帯」では、2016年6月に提供開始された3.5GHz帯の導入についてTDD（Time Division Duplex）方式と既存のFDD（Frequency Division Duplex）方式のキャリアアグリゲーション（CA：Carrier Aggregation）などの特長を紹介し、無線装置やアンテナなどの展示も行いました。

「5G時代のモバイルコアネットワーク」では、5G時代に求められる多様な要求条件を満たすためのネットワークスライス技術を紹介しました。

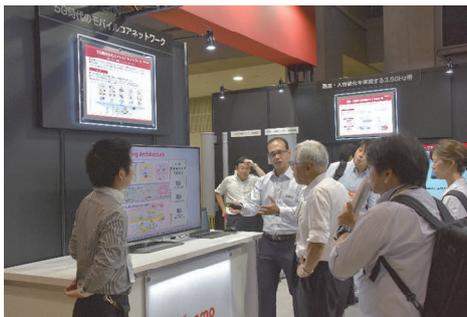
「IoTの普及をめざしたプラットフォーム Linking (Step2)」では、サービスを作り易くする技術としてデバイスWebAPI[2]を、デバイスを作り易くする技術としてLinking[3]を紹介し、2つの技術を合わせて実現する「Linking_Step2」の構想についても紹介しました。

さらに昨年7月にドコモが開催した「5G Tokyo Bay Summit 2015」[4]を、今年はWTP2016内の専門イベントと位置付け、各社・団体が参加するパビリオン・セミナーとしてスケールアップさせ、国内最大の5Gに関連する専門イベントとして「5G Tokyo Bay Summit 2016」を開催しました。ドコモは去年に引き続き、イベントの企画運営に携わるとともに、講演、パビリオン出展を行いました。

展示では、ドコモが研究開発を進めている5Gのコンセプトや目標性能および実証実験のデモを行い、世界初となる8K映像の5G無線を用いたリアルタイム伝送[5]、G7伊勢志摩サミットの会場となった賢島をモデルとした5Gシミュレータなどにより、5Gが実現する世界のイメージについて紹介しました。また、世界主要ベンダとドコモが共同で取り組んでいる実証実験について、最新のデモ展示などを紹介



高速・大容量化を実現する3.5GHz帯



5G時代のモバイルコアネットワーク



IoTの普及をめざしたプラットフォームLinking (Step2)



※「5G Tokyo Bay Summit」ロゴは、(株)NTTドコモの登録商標。

5G Tokyo Bay Summit 2016ロゴ



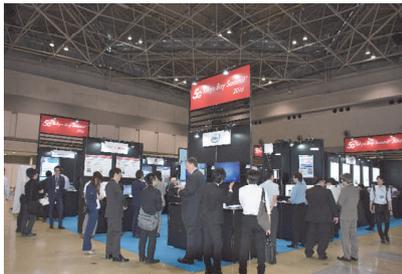
5Gミリ波による8K映像リアルタイム伝送デモ



5Gシミュレータ（賢島モデル）



ミニステージでの講演模様



5G Tokyo Bay Summit 2016の各社展示



※左からRoger Gurnani氏（Verizon Communications）、Julius Knapp氏（FCC）、中沢 淳一氏（総務省）、Dong-myeon Lee氏（KT Corporation）、尾上 誠蔵氏（ドコモ）、中村 武宏氏（ドコモ）

パネルディスカッション

しました。

またパビリオン内にミニステージを設置し、パビリオン出展各社による講演も行われました。多くの来場者が立ち寄り、各社の最新動向に聞き入っていました。

セミナーにおいては「グローバルリーダーズトーク ～5Gビジョンを語る～」と題し、世界の主要通信ベンダやオペレータ、総務省、米国連邦通信委員会（FCC：Federal Communications Commission）の方々をお招きし、12の講演やパネルディスカッションが行われました。ドコモからはR&Dイノベーション本部長の尾上 誠蔵氏が「5Gの神話と現実」と題し、2020年のサービス開始に向けて検討を進めているドコモの5Gの取組みについて述べました。講演の後に行われたパネルディスカッションでは、ドコモ 5G推進室長の中村 武宏氏が司会を行い、パネリストとして総務省、FCC、Verizon、KT、ドコモが参加しました。各パネリストは5Gで用いる周波数帯について意見を述べ合い、各国で協

調していくことで一致しました。会場の関心も高く、盛況のうちに幕を閉じました。

文 献

- [1] ワイヤレス・テクノロジー・パーク2016ホームページ。
<https://www.wt-park.com/>
- [2] NTTドコモ報道発表資料：“「デバイスWebAPIコンソーシアム」を設立。” Apr. 2015.
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2015/04/30_00.html
- [3] NTTドコモ報道発表資料：“スマホと外部機器を連携させる新たなプラットフォーム「Linking」を開発。” Nov. 2015.
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2015/11/25_00.html
- [4] NTTドコモ：“5G Tokyo Bay Summit 2015.”
<https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/rd/tech/5g/5gtbs2015/>
- [5] NTTドコモ報道発表資料：“世界初、8K映像のリアルタイム5G無線伝送に成功。” May 2016.
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2016/05/24_01.html

平成28年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 「科学技術賞（開発部門）」受賞

2016年4月20日に行われた平成28年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において、イノベーション統括部の栄藤 稔氏、サービスイノベーション部の磯田 佳徳氏、吉村 健氏、NTTメディアインテリジェンス研究所の東中 竜一郎氏の4名は、「音声エージェントサービスの開発」への功績により「科学技術賞（開発部門）」を受賞しました。科学技術分野の文部科学大臣表彰とは、「科学技術に関する研究開発、理解増進等において顕著な成果を収めた者について、その功績を讃えることにより、科学技術に携わる者の意欲の向上を図り、もって我が国の科学技術水準の向上に寄与することを目的とする」もので、この中で科学技術賞（開発部門）とは、「我が国の社会経済、国民生活の発

展向上等に寄与し、実際に利活用されている（今後利活用が期待されるものを含む）画期的な研究開発若しくは発明を行った者を対象」とするもので、文部科学大臣から授与されます。

ドコモからは、平成25年度に「S帯を用いる国内衛星移動通信システムの高度化に関する開発」、平成26年度には「標準化活動への貢献を含むLTEシステムの開発」、平成27年度には「ISDB-Tmmマルチメディア放送方式の開発」により本賞を受賞しており、4年連続での受賞となります。

受賞の対象となった「音声エージェントサービス」とは、自然言語ユーザインタフェースにより、ユーザの厳密なルールがない多様な発話からユーザの意図をくみ取り、適切なアプリケーションを起動したり、情報検索の結果を応答したりすることを可能にするものです。これにより、「しゃべってコンシェル」を実現し、日本ならではの多種多様なコンテンツと連携した提供機能の広さと、知識Q&Aのような他のサービスにはないユニークな機能が評価されて、3600万人以上に利用され、アクセス数は14億回を超えるまでに至っています。さらに、カーナビゲーションアプリの音声入力操作や対話玩具への展開など、他のアプリケーションやデバイスにも応用の範囲を広げており、入力手段に制約がある状況での入力インタフェースの実現やデジタルデバインドへの対策に寄与していることが認められ、今回の受賞となりました。



第61回「前島密賞」受賞

ネットワーク開発部の杉山 一雄氏、無線アクセス開発部の前原 昭宏氏、移動機開発部の二方 敏之氏は、「標準化への積極的貢献による高音質・高効率なVoLTEの早期実用化」への功績が認められ、2016年3月18日に公益財団法人通信文化協会より第61回「前島密賞」を受賞しました。

前島密賞とは、通信事業の創始者「前島 密」氏の功績を記念し、情報通信および放送の進歩発展に著しい功績があった者に、公益財団法人通信文化協会より授与されるものです。ドコモは、昨年の「LTE対応の超小型基地局『Xiフェムトセル』の開発」に続いての受賞となりました。

受賞対象となった「標準化への積極的貢献による高音質・高効率なVoLTEの早期実用化」は、ドコモの

標準化策定への積極的な関わりにより、それまでデータ通信のみを対象としていたLTE方式での音声サービスを実現させるもので、2014年6月に国内で初めてVoLTEサービスを開始させることができたものです。

高速なモバイルデータ通信を提供するLTE方式はベストエフォート型のパケット交換のみを対象としているため、従前のVoIPの手法では、音声の所要QoS (Quality of Service) を満たすことは困難であり、従来の回線交換に比べて周波数利用効率も向上できないなどの課題がありました。そこで、LTEの標準化機関(3GPP)において、QoSを保証し、かつ高効率な音声伝送を実現するVoLTE (Voice over LTE) の国際標準仕様作成をリードするとともに、国内初のサービス開始と早期普及に尽力しました。また、音声品質向上のため、従来の3G方式のエリアへ移動しても音声途切れることなく継続する方式 (SRVCC: Single Radio Voice Call Continuity) などの標準化を提案、議論をリードし、これらを導入当初から取り入れることで非常に安定した音声サービスの提供を実現しました。

以上のようにVoLTEの実用化において、国際標準仕様作成をリードするとともに、国内初のサービス開始と早期普及への尽力により、安定した音声サービスの提供を実現した功績が認められ、今回の受賞となりました。



第48回世界情報社会・電気通信日のつどいにおける受賞

2016年5月17日の「第48回世界情報社会・電気通信日のつどい」において、ネットワーク部の橋本 明氏が「総務大臣賞」、ネットワーク開発部の岡川 隆俊氏と無線アクセス開発部の新 博行氏が日本ITU協会賞「功績賞」を受賞しました。功績賞は、世界情報社会サミットにおける基本宣言および行動計画の実現を含むITUの活動、または我が国のITU諸活動に貢献し、その他情報通信および放送の発展に寄与し、その功績が著しい者に贈られます。総務大臣賞は、日本ITU協会賞の全受賞者の中で功績が特に顕著と認められた者に贈られます。

また同日、先進技術研究所のカーン アシック氏、無線アクセス開発部のウリ A. ハプサリ氏が日本ITU協会賞「国際活動奨励賞 功績賞対象分野」を受賞しました。国際活動奨励賞は、功績賞および国際協力賞に該当する諸活動にすでに参加し、今後これらの領域において継続して寄与することが期待される者に贈られます。

橋本氏は、1980年以來35年にわたる、ITU-R (International Telecommunication Union-Radiocommunication sector) 会合における地上業務に関連する多くの重要勧告の採択への貢献、さらに2007年から2期8年間ITU-R SG5議長を務めたほか、無線通信総会議



長も務めるなど、日本のITU-R活動への多大な貢献が認められ、総務大臣賞を受賞しました。

岡川氏は、1999年から現在に至るまで3GPP (3rd Generation Partnership Project) やGSMA (Global System for Mobile communications Association) における3G, LTE, VoLTE (Voice over LTE) などの標準化の牽引や、TTC (The Telecommunication Technology Committee) における将来モバイルネットワーク技術検討の立上げなど、長年にわたる国内外の標準化と技術検討への貢献が認められ、功績賞を受賞しました。

新氏は、2006年よりITU-R SG5 WP5D会合を中心に日本代表団として移動通信分野の標準化に従事、特にWRC (World Radiocommunication Conference)-15では携帯電話用周波数追加特定の議題に関しWRC-15, WRC-15準備会合およびAPT (the Asia-Pacific Telecommunity) 準備会合における議長職としての貢献が認められ、功績賞を受賞しました。

カーン氏は、ネットワーク仮想化技術における技術開発および標準化への貢献、特に、ETSI ISG NFV (European Telecommunications Standards Institute Network Functions Virtualisation Industry Specification Group) における中核的標準規格の策定や、標準化のオープンソース開発 (OPNFV: Open Platform for NFV) への貢献が認められ、国際活動奨励賞を受賞しました。

ウリ氏は、LTEおよびLTE-Advancedの3GPP標準化活動における、主に、無線アクセスネットワークのアーキテクチャ、ノード間/F、緊急災害警報 (ETWS: Earthquake and Tsunami Warning System), VoLTEの規制制御、(e)MTC (Machine Type Communication) の仕様策定およびラポータ職としての貢献が認められ、国際活動奨励賞を受賞しました。

情報処理学会「山下記念研究賞」受賞

先進技術研究所の寺田 雅之氏は、2014年7月に発表講演した論文「差分プライバシー基準に基づく情報秘匿方式の一考察」が優秀な論文と認められたことにより、2016年3月10日に慶應大学矢上キャンパスで開催された情報処理学会 第78回全国大会において「2015年度山下記念研究賞」を受賞しました。

山下記念研究賞は、昭和62年に「研究賞」として創設（平成6年度から現名称に改称）され、同学会が主催する研究会およびシンポジウム発表論文の中から特に優秀な論文を選び、その発表者に授与されるものです。

今回受賞対象となった論文では、昨今のビジネスで重要な役割を果たしつつあるビッグデータを、数学的安全性が保証され、海外で注目を集めるプライバシー基準である「差分プライバシー*1 (differential privacy)」に基づいて活用する方式を提案しています。

差分プライバシーは、数学的な裏付けをもつ強い安全性を備えるものの、従来の方式には、①非負データが負の値になってしまう場合が生ずる（非負制約の逸脱）、②広範囲のデータの集計値において真値からの偏差が大きくなる（部分精度の劣化）、③疎なデータ分布を密なデータ分布へと変化させてしまい計算量の著しい増大を招く（計算量の増大）、などの実用上の課題がありました。

受賞論文では、これら3点の課題を解決する手段として、周波数解析手法の1つである離散Wavelet変換*2

を導入するとともに、Wavelet変換の性質を活かした「Top-down精緻化*3」と呼ばれる精緻化処理の過程を導入することにより、データを活用する際のプライバシー保護と有用性の向上を両立させている点が評価され、今回の受賞となりました。

今後は、本研究により得られた知見を、携帯電話の圏状況から推計された人口情報である「モバイル空間統計」をはじめとした、ドコモのビッグデータ活用における安全性と有用性の両立に活かしていく予定です。

- *1 差分プライバシー：「ある個人のデータを含むデータベースに対する問合せ結果が、その個人を含まないデータベースへの問合せ結果と区別できないなら、その問合せは安全である（個人のプライバシーを開示しない）」という識別困難性に基づくプライバシー保護基準。2006年にMicrosoft ResearchのC. Dworkにより提唱された。k-匿名性基準などの他のプライバシー保護基準と異なり、任意の背景知識をもつ攻撃者や未知の攻撃に対して数学的安全性が与えられているという性質をもつ。
- *2 離散Wavelet変換：基底関数としてWavelet関数を用いた、デジタル情報に対する周波数解析手法の一種。基底関数の種類によりさまざまな性質をもつが、本論文で用いたHaar基底に基づく変換では、隣接するデータを平均と差分に分解し（Haar分解）、ここで得られた平均を並べてさらに平均と差分に分解し…という手順を、データ全体の平均が得られるまで繰り返す。こうして得られたデータの系列（Wavelet係数）は、上記と逆の手順を適用することにより元のデータへ復元できる（逆Wavelet変換）。Wavelet係数に対してノイズを加えることにより、部分精度の劣化を抑えながら差分プライバシーを保証することができる。
- *3 Top-down精緻化：本論文で新たに提示した、非負データに対してHaar分解を適用すると、その「平均」部分は必ず非負の値になる、という性質を応用したノイズ軽減および高速化の手法。Wavelet係数に対して（差分プライバシーを保証するための）ノイズを加えたものに対し、上記の非負制約を逸脱しないように補正しつつ逆Wavelet変換を施していくことにより、非負制約の充足と出力データの精度向上を、計算量を抑えながら高速に実現する。



2015 Wireless Innovation Forum Technology of the Year Award受賞

第5世代移動通信システムに関する欧州の研究プロジェクト：METIS (Mobile and wireless communications Enablers Twenty-twenty Information Society) において、先進技術研究所とドコモ欧州研究所 (DOCOMO Communications Laboratories Europe GmbH) が2013年からおよそ2年かけて開発に携わった“METIS channel models”が、Wireless Innovation Forumの“2015 Wireless Innovation Forum Technology of the Year Award”を受賞しました。本Awardは、メンバによって選ばれた、ソフトウェア無線・コグニティブ無線分野における画期的な製品や技術に対して個人または組織に与えられるものであり、今回は、「現実的なシナリオや要求条件に応えた新たなチャンネルモデルを開発することにより、今後の次世代モバイル通信 (5G) の開発に貢献した。このモデルは、現行の移動通信で使用されている周波数からミリ波に至る広い周波数帯を対象とし、次世代無線デバイスのテストや最適化を可能とすることから、次世代無線技術開発の促進に役立つものである」が受賞の理由です。なお、受賞したチャンネルモデルの他の開発メンバは、Anite, Ericsson, Fraunhofer HHI, Nokia, Aalto University, University of Oulu, Elektrobitとなります。

チャンネルモデルとは、移動通信システムの設計に必要な電波伝搬特性をモデル化したものであり、近年は伝搬損失に加えて伝搬遅延、到来方向、偏波などの特性がモデル化の対象となっています。第4世代 (4G) 用のモデルとしては、ITU-R (International Telecommunication Union-Radio communication sector) で標準化されたIMT Advancedモデルや、3GPP (3rd Generation Partnership Project) で標準化された3Dチャンネルモデルが挙げられます。5Gでは新たに、

- ・適用周波数の高周波化：既存周波数に加えて、6GHzから100GHzまでが対象
- ・アレーアンテナ技術の高度化：Massive MIMO技術などへの対応
- ・システムの構築シナリオの多様化：既存のシナリオに加えて、野外フェスティバルやスタジアムなど、多くの人が1カ所に集まるようなシナリオの追加

が検討されていることから、チャンネルモデルにおいてもこれらが新たな要求条件として加えられました。これらを考慮して開発されたのがMETIS channel modelsです。

METISではアプローチの異なる2つのモデルが提案されています。1つは従来と同様に測定データを統計的

に解析してモデル化した“Stochastic model”であり、もう1つは構造物のデータを用いてレイトレーシングのように伝搬特性を解析する“Map-based model”です。

Stochastic modelは5Gの要求条件に応えるべく、新たに測定を実施し、そのデータを解析して構築されたものです。モデル化の基本アプローチが同じであることから、4Gのチャンネルモデルと親和性が高いことが特徴となります。しかし、このモデルは測定データを統計的に解析したものであることから、各シナリオにおける平均的な特性しか模擬することができません。例えば、人の交通量の場所的・時間的分布は反映されません。

そこで、開発されたのがMap-based modelです。このモデルは構造物データを用いて送受信局間のパスを求めることで、伝搬特性を解析します。構造物データを用いることからStochastic modelよりも使い勝手は悪くなりますが、建物のような構造物に加えて人や車両といった遮蔽物をさらに定義することにより、これら遮蔽物の場所的・時間的分布を反映した伝搬特性を解析できる利点があります。また、一般的に送受信局間のパスをレイトレーシングにより求めるには多くの演算量が必要となりますが、Map-based modelではこの演算量を極力少なくするための工夫が提案されています。

以上のようにMETISでは、5Gで想定される要求条件に応えたチャンネルモデルを開発し、今回、その成果がWireless Innovation Forumにて評価されました。なお、本チャンネルモデルの詳細はMETISのホームページをご参照ください[1]。

文 献

- [1] METISホームページ。
<https://www.metis2020.com/>



NTT DOCOMO
テクニカル・ジャーナル Vol.24 No.2

平成28年7月発行

■ 企画編集 ■ 株式会社NTTドコモ R&D戦略部
〒100-6150
東京都千代田区永田町 2-11-1
山王パークタワー39階
TEL. 03-5156-1749

■ 発行 ■ 一般社団法人 電気通信協会
〒163-1455
東京都新宿区西新宿 3-20-2
東京オペラシティタワー13階
(東京オペラシティ郵便局私書箱2522号)
TEL. 03-5353-0184

本誌掲載内容についてのご意見は
e-mail: dtj@nttdocomo.com宛

- 本誌に掲載されている会社名、商品名は、各社の商標または登録商標です。
- 本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

© 2016 NTT DOCOMO, INC.