

LTE-Advancedから5Gへ向かう モバイルアクセスシステム

From LTE-Advanced to 5G: Mobile Access System in Progress

● 伊達木 隆 ● 関 宏之 ● 箕輪守彦

あらまし

モバイル通信のトラフィックは、スマートフォンやタブレット端末の普及、写真や動画を利用した多種・多様なアプリケーションの利用拡大により急速に増加している。更に、IoT(Internet of Things)時代に向け、爆発的な通信デバイス数の増加や、動画データの高精細化などにより、モバイルトラフィックの増加は今後も続く予想される。現在は、第4世代(4G)と言われるLTE-Advancedが既に普及し、更に第5世代(5G)のモバイルアクセスシステムに向けた技術開発が世界中で活発化している。5Gでは、LTEに比べて通信容量を1000倍にするなど、非常に高い要求条件を達成する必要があり、セルの高密度化をはじめとして様々な技術開発が必要となる。

本稿では、まずモバイルアクセスシステムにおけるトラフィックの増加に対応するための技術について解説し、次に、富士通で開発したLTE-Advanced対応高密度無線基地局装置と屋内向けフェムト基地局について紹介する。更に、5Gモバイルアクセスシステムの技術動向と、その実現に向けた取組みについて述べる。

Abstract

There is a surge in the amount of mobile data traffic due to the expanding diffusion of smartphones and tablet devices, together with the increasing use of diversified applications that use pictures and movie files. The amount of mobile data traffic is expected to continue rising in the wake of the Internet of Things (IoT) era, due to a huge increase in the number of telecommunication devices and along with technological advancements in enhancing the resolution of image data. The current prevalent system is LTE-Advanced—the so-called fourth-generation (4G) mobile access system—while technology is already under development across the world for a fifth-generation (5G) system. 5G demands very advanced technological requirements to be met, as it aims to increase the transmission capacity by a thousand-fold compared with the current LTE. One of the required technological developments is to increase cell density. This paper first explains the mobile access system technology developed to counter the increasing data traffic, and then it describes Centralized Base Band Unit supporting LTE-Advanced and indoor femtocell base stations, each developed by Fujitsu. It also discusses the technological trend of the 5G mobile access system, with descriptions of activities to realize such technology.

まえがき

モバイルアクセスの通信トラフィックは、年率1.6倍程度のペースで増加していることが報告されており、今後もこの傾向が続くことが予想されている。更に、今後のIoT（Internet of Things）時代においては、様々な機械やセンサーなどに通信機能が搭載され、従来のヒトとヒトの通信だけでなく、モノとモノ、ヒトとモノの通信が行われるようになる。これにより、通信デバイス数や伝送するデータ量が飛躍的に増大し、大幅なトラフィックの増加が予想される。このような状況に対応すべく、モバイルアクセスシステムは、これまでのLTEから、より高度化した第4世代（4G）のシステムであるLTE-Advancedの導入が開始されている。更に、第5世代（5G）のモバイルアクセスシステムに向けた技術開発も活発に行われている。

本稿では、モバイルトラフィックの状況と対策について述べ、富士通で開発したLTE-Advanced対応の高密度無線基地局装置と屋内向けフェムト基地局について紹介する。更に、5Gのモバイルアクセスシステムの技術動向について解説し、その実現に向けた富士通の取組みについて述べる。

モバイルトラフィックの状況と対策

総務省の情報通信統計データベース⁽¹⁾で公表されている数値によれば、国内のモバイルトラフィックは2011年から2014年の3年間に年平均で1.68倍の増加となっている。また、世界のモバイルトラフィック⁽²⁾も同様に増加しており、2014年の増加率は約1.7倍となっている。今後もこの増加傾向は続き、2014年から2019年までの5年間で約10倍（年平均約1.6倍）になることが見込まれている。

トラフィック増大への対策として、モバイルアクセスシステムの通信容量を向上させる技術要素には、大きく分けて以下の3種類が挙げられる。

(1) セルの高密度化（小セル化）

基地局の電波が届く範囲（セル）を小さくし、同じ面積の中に基地局を密に配置することで、一つの基地局あたりのユーザー数が減少し、単位面積あたりの通信容量を増加させることができる。

(2) 利用可能周波数の拡大と高周波への対応

無線周波数は公共の資源であることから、移動

通信ではあらかじめ決められた範囲の無線周波数しか使うことができない。従来、移動通信に用いられている周波数帯は、既に別のシステムで使われていて空きがなく、新たに広い周波数帯域幅を割り当てることは困難である。そこで、従来よりも高い周波数帯で広帯域の周波数資源を割り当てる。これにより、モバイルアクセスシステムで利用できる周波数帯域幅を増加させ、通信容量を増加させることができる。

(3) 周波数利用効率の向上

割り当てられた有限の周波数帯域を有効に利用するために、基地局が端末と通信する際の単位周波数（1 Hz）あたりで伝送できるデータ量（周波数利用効率）を増加させる。周波数利用効率向上のための無線技術の例として、多値変調の利用やMIMO（Multiple Input Multiple Output）による多重数の増加が挙げられる。

モバイルアクセスシステムは、これまでもトラフィックの増大に対応し、より高度な通信サービスを提供するために高度化されてきた。以下に、これまでのシステムの進化と適用技術の動向について説明する。図-1に示すように、モバイルアクセスシステムは約10年に一度のペースで大きく世代が進化しており、5Gも2020年頃に実用化されると予想される。また、各世代の中でも比較的大きな能力のエンハンスが5年に一度程度行われてきた。

下りリンクの最大伝送速度は、第3世代（3G）のW-CDMA（Wideband-Code Division Multiple Access）で384 kbps、3.5Gと呼ばれるHSPA（High Speed Packet Access）で14.4 Mbpsであったも

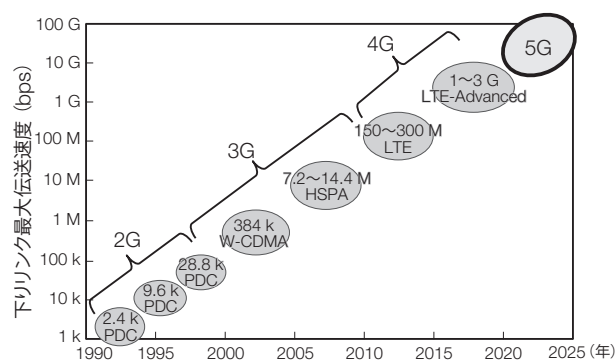


図-1 モバイルアクセスシステムの進化

のが、3.9Gと呼ばれるLTEでは300 Mbps、LTE-Advancedでは3 Gbpsと、段階的に10倍から20倍のペースで増大されてきた。このような伝送速度の増大を実現するため、1ユーザーあたりに利用される周波数帯域幅は、3Gで5 MHzであったものが、LTEでは最大20 MHz、LTE-Advancedでは更に複数のキャリア周波数を同時に利用するCarrier Aggregation技術の導入により、最大100 MHz（最大5キャリア利用時）まで拡張されてきた。伝送速度の増大には、複数のアンテナを用いて送受信を行うMIMO技術も有効である。MIMO技術によって伝送速度を増大させるためには、利用するアンテナ数を増加させる必要がある。W-CDMAやHSPAでは2本のアンテナによる送信に対応した規格であったが、LTEでは最大4アンテナ、LTE-Advancedでは最大8アンテナによる送信へと拡張されてきた。このように、3Gから4Gへの進化では、周波数帯域幅の拡大とMIMOによる周波数利用効率の改善と最大伝送速度の向上に重点が置かれてきた。

一方、近年のLTEおよびLTE-Advancedの進化の中では、周波数利用効率や伝送速度だけでなく、小セル化技術も導入されている。例えば、HetNet（Heterogeneous Network）と呼ばれる広域マクロセルの配下に小セルを配置した階層構造を採用した構成や、それを前提としたeICIC（enhanced Inter-Cell Interference Coordination）やCoMP（Coordinated Multi-Point transmission/reception）などのセル間干渉制御技術が規格化^{(3),(4)}されている。これは、特にトラフィック増大への対策として、セルの高密度化が重要な要素であることと関係しており、単純にセル半径を小さくする従来の高密度化だけでなく、より積極的に高度な干渉制御技術を適用することで、更なる高密度化を進めようとしている。

LTEおよびLTE-Advancedの実用化状況

次にLTEやLTE-Advancedに向けた実用化の取組みについて説明する。世界では、まだ2G（第2世代）や3Gのシステム比率が高い国や地域もあるが、LTEの導入も着実に進んでいる。日本では、2010年にLTEのサービスが開始されており、既に普及している。また、2015年3月にはLTE-Advancedサー

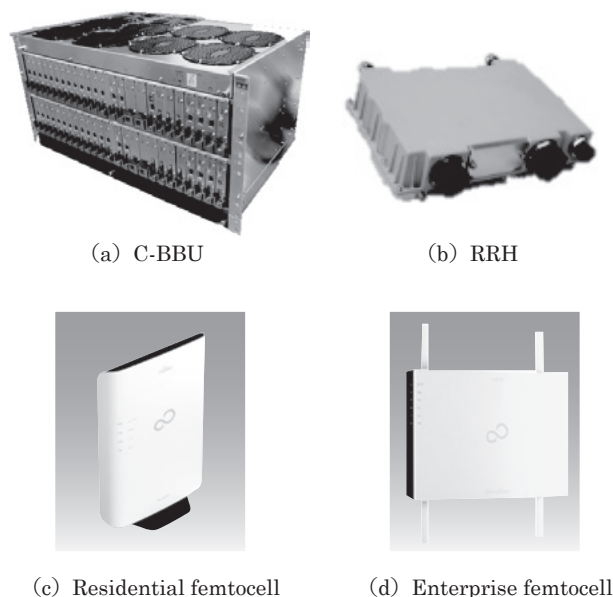


図-2 LTE-Advanced対応基地局装置の外観

ビスが開始されており、こちらも今後急速に普及が進むものと考えられる。

このような中で、富士通ではLTEおよびLTE-Advanced対応の基地局装置を開発しており、既存のセルラーシステムで運用されている。富士通が開発したLTE-Advanced対応の高密度無線基地局装置【図-2 (a)】は、C-BBU（Centralized Base Band Unit）と呼ばれ、多数のセルを1台の装置に収容可能である。広域エリアをカバーするマクロセルとカバーする範囲を小さくした小セルを合わせて、最大48セルまで収容できる。C-BBU装置をRRH（Remote Radio Head）と呼ばれる無線送受信器【図-2 (b)】と光ファイバーで接続することで、多数の小セルを含む高度化C-RAN（Centralized Radio Access Network）^(注)を構築することができる^{(5),(6)}以下に高度化C-RANの特長を示す。

- (1) マクロセルと付加的な小セル（アドオンセル）の間でのCarrier Aggregationに対応
- (2) 接続性やモビリティをマクロセルにより維持
- (3) アドオンセルの追加によりネットワークの通信容量を改善
- (4) 無線ネットワークの拡張に対応

上記の特長により、例えばマクロセルによって高速に移動するユーザーを収容しつつ、高トラ

(注) 株式会社NTTドコモ様が提唱するネットワークアーキテクチャー。

フィックとなるホットスポットエリアに小セルを追加することで通信容量を増加させることができる。

C-BBUは、屋外および屋内の環境でセル数やユーザー数の多いエリアをカバーすることに優れている。一方、より小規模の住宅やオフィスなどの屋内環境では、より低コストで簡易に設置できるフェムト基地局の展開が有効である。住宅などに適した小規模フェムト基地局 (Residential femtocell) {図-2 (c)}, オフィスやショッピングモールなど比較的ユーザー数の多い場所での利用を想定したフェムト基地局 (Enterprise femtocell) {図-2 (d)} など、利用シーンに応じた複数の装置が開発されている。これらのフェムト基地局は、プラグアンドプレイに対応し、ユーザーのブロードバンド環境に接続するだけで容易に設置できる。更に、マルチバンドや干渉制御技術により、基地局間干渉の大きい環境において、送信電力などの最適化制御が可能である。

5G移動通信システムの技術動向

前述したように、モバイルアクセスシステムは約10年の周期で世代交代を遂げており、5Gは2020年頃のサービス開始が予想されている。2020年にはインターネットに接続されるモノの数が500億に達するとの見通しが報告されており、⁽⁷⁾ ヒトも含めたあらゆるものがネットワークにつながり、価値を

生み出す世界 (ハイパーコネクテッド・ワールド)⁽⁸⁾ が出現すると予想される。また、4K、8Kなど動画画の高精細化や、Virtual Realityなどの実現に向け、高い伝送速度への対応が必要になる。このような大量のモバイルトラフィックを収容するため、5GではLTEに対して1000倍の面積あたり通信容量や、10 Gbpsのピーク伝送速度を要求条件とする必要がある。⁽⁹⁾

この1000倍という大幅な通信容量の増大に向け、5Gでは様々な検討が行われている。周波数については、LTE-Advancedまでのシステムで利用されていた周波数帯 (700 MHz ~ 3.5 GHz) に比べて、5Gではより高い周波数帯 (~ 80 GHz) の利用が検討されている。⁽¹⁰⁾ この中でも、特に6 GHz未満の周波数帯の利用は、早期 (2020年頃から) の実現が期待される。

5Gに向けた技術要素とシステム全体のイメージを図-3に示す。制御情報 (C-Plane) とユーザーデータ (U-Plane) を異なる基地局から伝送するC/U-Plane分離を適用したセル構成で通信エリアを構築し、高密度化を進めて大容量化するためにセル間干渉制御技術が重要である。そのほか、デバイス増加や低遅延化のための新無線方式、およびミリ波などの高周波・広帯域幅を利用した高速伝送や多素子アンテナによるビームフォーミング (Massive BF)⁽¹¹⁾ など、様々な技術が検討されている。⁽¹²⁾

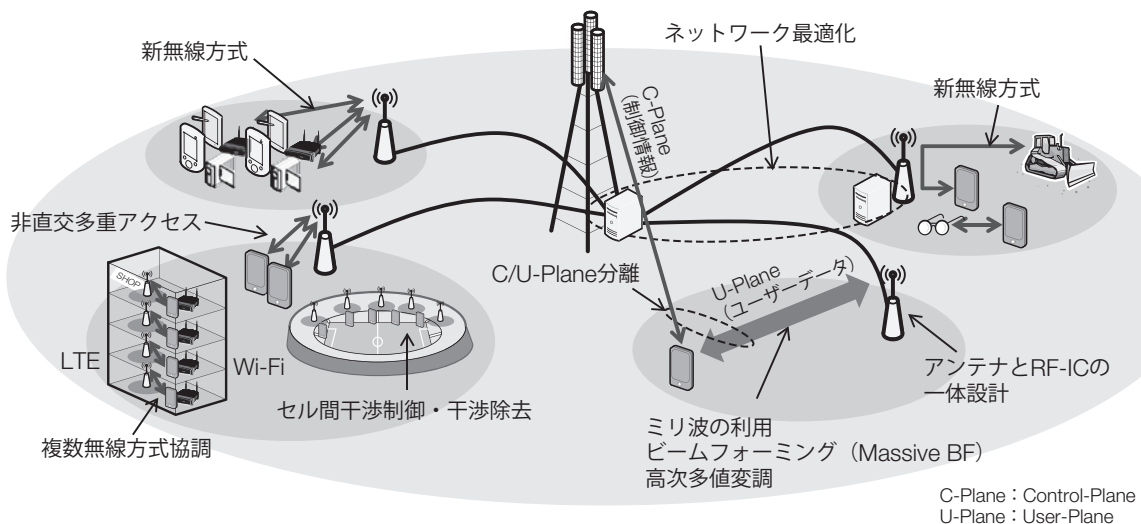


図-3 5Gシステムのイメージ

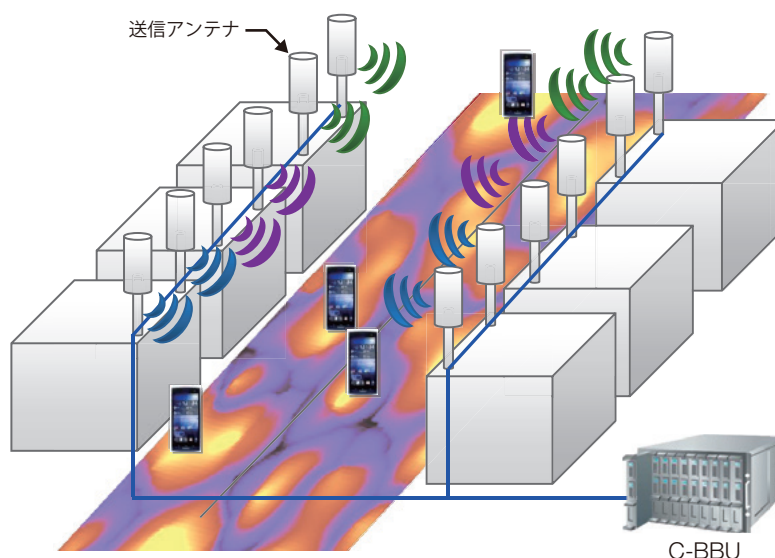


図-4 超高密度分散アンテナシステム

最近の研究では、セルの高密度化に伴い、より多くの送信地点（分散アンテナ）を用いて協調制御を行うことが大容量化に有効であることが示されている。^{(13),(14)} 多地点協調を行う超高密度分散アンテナシステムの例を図-4に示す。この例では、多地点に分散配置された送信アンテナがC-BBUに接続され、複数の端末と通信を行う様子を示している。図の明るい部分は、電波状態が良いエリアを示している。C-BBUが多地点アンテナの指向性、電力、ユーザー割当てなどの協調制御を行うことで、全てのユーザーが常に良好な通信状態となることを目指している。このようなシステムの実現に向けた今後の課題として、多数の送信地点を連携した送受信を最適化する協調制御技術や協調ビームフォーミング技術について検討していくことが重要である。また超高密度分散アンテナシステムでは、設置するアンテナの種類（ビームフォーミングの有無など）、設置数、設置位置を決める置局最適化技術や、C-BBUと分散アンテナ間の効率的かつ経済的な接続方法なども重要な検討対象となる。

む す び

本稿では、モバイルトラフィックの増大に対応しながら進化するモバイルアクセスシステム、および富士通における基地局装置開発の状況を紹介

した。更に、5Gに向けた大容量トラフィック収容技術や超高速通信技術の動向を説明した。既に実用化されているLTEおよびLTE-Advancedについては、C-BBUとRRHによる高密度無線基地局システムと、屋内環境での小セル構築に適したフェムト基地局により、高度化C-RANなどを用いた高密度化による通信容量の増加が可能である。今後の5Gに向けた更なる大容量化への取組みとしては、多地点協調やビームフォーミングなどの技術を取り入れた超高密度分散アンテナシステムが重要である。今後も、LTE-Advancedとその高度化、および5Gの実用化に向けた技術開発を行っていく必要がある。

参考文献

- (1) 総務省：我が国の移動通信トラフィックの現状（平成26年12月分）.
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/tsuushin06.html>
- (2) Cisco：Cisco Visual Networking Index：Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2014-2019 White Paper.
http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html
- (3) 3GPP：TS 36.300 V11.13.0（2015-03）.

- http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.300/
- (4) 3GPP : TS 36.211 V11.6.0 (2015-03).
http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.211/
- (5) 安倍田貞行ほか：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．NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル，Vol.23，No.2，p.6-10，2015年7月．
- (6) 清嶋耕平ほか：高度化C-RANアーキテクチャを活用したLTE-Advanced商用開発－アドオンセルによる容量拡大と高度なセル間連携による安定した通信の実現－．NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル，Vol.23，No.2，p.11-18，2015年7月．
- (7) Cisco : Embracing the Internet of Everything To Capture Your Share of \$14.4 Trillion. 2013.
http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoE_Economy.pdf
- (8) World Economic Forum : Risk and Responsibility in a Hyper connected World. January 2014.
http://www3.weforum.org/docs/WEF_RiskResponsibility_HyperconnectedWorld_Report_2014.pdf
- (9) ARIB 2020 and Beyond Ad Hoc Group : White Paper, Mobile Communications Systems for 2020 and beyond Ver.1.0.0. October 8, 2014.
<http://www.arib.or.jp/english/20bah-wp-100.pdf>
- (10) 総務省:電波政策ビジョン懇談会最終報告書. 2014年12月.
http://www.soumu.go.jp/main_content/000334592.pdf
- (11) 木村 大ほか：5Gに向けた無線ネットワーク技術．信学技報，Vol.114，No.371，NS2014-152，p.31-36，2014年12月．
- (12) 富士通研究所：5G向けにミリ波ビーム多重化による4ユーザーのマルチアクセスと12 Gbpsの通信速度を達成．
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2015/06/9-2.html>
- (13) 小林崇春ほか：5G超高密度セルにおける協調ビームフォーミングの検討と屋内実験．信学技報，Vol.115，No.2，RCS2015-18，p.95-100，2015年4月．
- (14) 瀬山崇志ほか：5G超高密度分散アンテナシステムにおける協調MU-MIMO送信の基礎検討．電子情報通信学会ソサエティ大会B-5-64，2015年9月．

著者紹介



伊達木 隆 (だてき たかし)
 ネットワークシステム研究所
 次世代ワイヤレスシステムプロジェクト 所属
 現在，LTE-Advancedおよび5G無線通信システムの研究開発に従事。



箕輪守彦 (みのわ もりひろ)
 ネットワークプロダクト事業本部 所属
 現在，次世代コアネットワークアーキテクチャーの開発に従事。



関 宏之 (せき ひろゆき)
 ネットワークシステム研究所
 次世代ワイヤレスシステムプロジェクト 所属
 現在，次世代セルラーシステムおよび無線基地局装置の研究開発に従事。