

5G特集

——社会課題解決・社会変革実現に向けたドコモの挑戦

5Gコンセプト



5G実証実験



5Gユースケース

3GPP



ノンスタンドアローン

NTTドコモは、2010年ごろから検討を始めた5G（第5世代移動通信システム）を用いた通信サービスを2020年3月から商用提供開始した。以来、5Gに対応したスマートフォン6機種とデータ通信製品（Wi-Fiルータ）1機種を順次発売し、高速・大容量といった5Gの特長を活かし、マルチアングル（多視点）視聴やVRライブを可能にした「新体感ライブCONNECT」をはじめとした7つのサービスを提供している。本特集では、5G実現に向けたこれまでの取り組み、5G標準仕様策定における貢献、および5Gネットワーク開発について紹介する。

Fifth-Generation Commur

これまでの取り組み

NTTドコモの5Gの実現に向けての検討開始からサービス提供までの道のりや、開発およびパートナー企業・団体との協創について概説する。

52

5G標準仕様策定における貢献

2020年3月に商用サービスを開始した5Gは3GPPおよびO-RAN仕様に準拠している。これらの標準仕様策定におけるNTTドコモの貢献について概説する。

59

5Gネットワーク

5G商用サービスを提供するために実施した無線基地局装置、およびコアネットワーク装置の開発内容について紹介する。

67

Mobile Communications System

これまでの取り組み

NTTドコモは、2010年ごろから検討を始めた5Gを用いた通信サービスを2020年3月から商用提供開始しました。以来、5Gに対応したスマートフォン6機種とデータ通信製品（Wi-Fiルータ）1機種を順次発売し、高速・大容量といった5Gの特長を活かし、マルチアングル（多視点）視聴やVRライブを可能にした「新体感ライブCONNECT」をはじめとした7つのサービスを提供しています。本稿では、ドコモの5Gの実現に向けての検討開始からサービス提供までの道のりや開発およびパートナー企業・団体との協創について概説します。

きしやま よしひさ

岸山 祥久

すやま

須山

さとし

聡

NTTドコモ

まえがき

NTTドコモは、LTEサービスが始まった2010年より、10年後の実現をめざして第5世代移動通信システム（5G）に向けての検討を開始しました。5Gの基本的なコンセプトや無線アクセス技術について検討し、5Gシミュレータの試作、2014年には5Gホワイトペーパーの公開⁽¹⁾などを行いました。また、同年より世界主要ベンダとの個別協力による5G伝送実験を開始し、5Gの周波数や無線アクセス技術の評価検証に取り組みました。さらに、5G伝送実験の取組みをさまざまな業界のパートナー企業との連携へと拡大させ、5Gの特長を活かした多くのユースケースについて共同実験を通じて開拓していきました。2018年2月にはパートナーとのソリュー

ション協創を促進するため「ドコモ5Gオープンパートナープログラム」を開始しました。本稿では、これらのドコモにおける5Gの基本コンセプト提案から実証実験およびソリューション協創に至るまでの取り組みについて振り返ります。

5Gホワイトペーパーの公開まで (2010～2014年)

2010年ごろは、10年後の2020年を見据え、移動通信のトラフィック量が10年で1000倍程度に激増することを要求条件として想定し、キューブ型のコンセプト（周波数利用効率^{*1}の改善×周波数帯域幅の拡大×ネットワークの高密度化）でそれを実現する技術進化の方向性を提案しました⁽²⁾。2011年ごろには、既存の低い周波数帯と5GHz以上の高い周波

※ 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol. 28 No. 2, 2020年7月)に掲載された内容を編集したものです。

*1 周波数利用効率：単位時間、単位周波数帯域当りに送ることのできる情報ビット数。



図1 5G シミュレータ

数帯を組み合わせる無線アクセス技術など、キューブ型のコンセプトを実現する具体的な技術候補を提案しました⁽³⁾。2012年ごろには、高速・大容量に加え、現在の5Gの特長である低遅延、多数端末接続といった要求条件の明確化、および5Gが「LTEの拡張」と「New RAT (Radio Access Technology) *²」の組合せであるという「5Gの定義」についても提案しました⁽⁴⁾。2013年ごろには、すでに5G時代の実現をめざすサービスやアプリケーションを含め、2014年公開の5Gホワイトペーパーに記載した技術コンセプト部分がほぼ完成しました⁽⁵⁾。このような5Gの基本的なコンセプトや無線アクセス

技術については、世界主要会社とのコンセンサスを構築しながら進めており、要求条件や高い周波数帯の開拓など共通のコンセプトを含む内容が他社からも提案されています^{(6),(7)}。

「5G」という名称については、当初、ドコモは「Future Radio Access」と対外的には呼んでいましたが、2013年10月のCEATECで「5G」のネーミングを初めて用いて発表しました。この「5G」の初展示では、5Gの基本的なコンセプトや無線アクセス技術を可視化するシミュレータによるデモを実施し、「CEATEC AWARD 2013 総務大臣賞」を受賞することができました⁽⁸⁾。5Gシミュレータは、図1に示すように、その後もスタジアムモデルなどへとアップデートしつつ開発を進めました。「5G」のネーミングを用い始めたころには、5Gの無線アクセス技術

*2 New RAT: 4GのLTEと後方互換性 (Backward compatibility) のない新しい無線インターフェースの規格。5GのNR (New Radio) に相当します。

についても、高周波数帯を有効利用するため、多数のアンテナ素子をフル活用する Massive MIMO (Multiple Input Multiple Out-put) *³ が欧州の5G 研究プロジェクトである METIS (Mobile and wireless communications Enablers for Twenty-twenty Information Society) *⁴ などで着目され、ドコモが主導して提案したファントムセル*⁵ (C/U分離)⁽⁹⁾や、非直交アクセス (NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access) *⁶ ⁽¹⁰⁾ といった候補が出揃ってきていました。これらの無線技術やシミュレータ試作の取り組みについても、その時点で最新のものを「ドコモ5G ホワイトペーパー」において公開しました⁽¹⁾。

5G 伝送実験およびユースケース開拓 (2014年～)

■ドコモとパートナー企業による取り組み

ドコモは、5Gの周波数やキーとなる無線アクセス技術の有効性を実証するため、世界主要ベンダとの個別協力による5G 伝送実験を実施しました。2014年5月に6社との実験

- *3 Massive MIMO: 超多素子のアンテナを利用する大規模 MIMO のこと。高い周波数帯ではアンテナ素子サイズを小さくすることができるため、同じ面積により多数のアンテナ素子を配置できます。
- *4 METIS: 5G 無線技術に関する EU の研究プロジェクトで、期間は2012年11月～2015年4月。通信ベンダ、通信事業者、大学などが参加。なお、継続プロジェクトの METIS- II の期間は2015年7月～2017年6月。
- *5 ファントムセル: ドコモが提案した C/U 分離を基本コンセプトとする高度化スモールセルシステムの名称。5G の標準化では「Dual Connectivity」に反映されました。
- *6 非直交アクセス (NOMA): 時間、周波数、符号のリソースを複数のユーザに割り当てる際、ユーザ間でリソースの重複を許すことで効率化を図る多元接続方式。



図2 20 Gbit/s 屋外実験

協力を発表し⁽¹¹⁾、2015年7月には13社まで拡大しました⁽¹²⁾。各社との共同実験によって、最大70 GHz帯までのさまざまな周波数帯で Massive MIMO などの5G 無線アクセス技術を検証し、2016年2月には、屋外環境で合計スループット20 Gbit/sを超える5G マルチユーザ通信実験に世界で初めて成功しました(図2)。その他の報道発表を実施した主な5G 伝送実験の成果を表1に示します。これらの5G 伝送実験により、2018年3月までに170件の学会発表を実施しました⁽¹³⁾。

2016年ごろからは、5Gの特長を活かしたさまざまなユースケースを、さまざまな業界のパートナー企業の協力により開拓していきました⁽¹⁴⁾。これらを実証する場として東京臨海副都心地区(お台場・青梅地区)と東京スカイツリータウン周辺に5Gの実験環境を構築するなど、「5G トライアルサイト」として、これまで430件(2020年6月時点)のサービス実証実験の取り組みを行いました。

■総務省5G 総合実証試験での取り組み (2017年～)

総務省は、5Gの実現による新たな市場や新しいサービス・アプリケーションの創出を目的に、さまざまな利活用分野の関係者が参

表1 5G無線技術の実験における主な成果（報道発表）

報道発表日	実験の成果	実験パートナー
2015/3/3	15 GHz帯を用いて受信時4.5 Gbit/s以上のデータ通信に成功	Ericsson
2015/3/3	70 GHz帯を用いて受信時2 Gbit/s以上のデータ通信に成功	Nokia
2015/11/26	70 GHz帯を用いて商業施設などの実利用環境で2 Gbit/s以上の通信実験に成功	Nokia
2015/11/26	28 GHz帯を用いて時速約60 kmで高速移動する環境で受信時2.5 Gbit/s以上のデータ通信に成功	Samsung
2016/2/22	15 GHz帯を用いて屋外環境で通信容量20 Gbit/sを超える5Gマルチユーザ通信実験に成功	Ericsson
2016/5/24	70 GHz帯を用いて8K映像のリアルタイム5G無線伝送に成功	Nokia
2016/11/16	28 GHz帯を用いて時速150 kmの高速移動時に2.5 Gbit/sの5G無線データ伝送実験に成功	Samsung
2016/11/16	4.5 GHz帯を用いて屋外に配置した23台の端末との間で、合計で11.29 Gbit/sの高速・大容量通信を実現	Huawei
2017/11/2	4.5 GHz帯を用いて5G高信頼低遅延通信（URLLC）の屋外実験に成功	Huawei
2017/11/2	世界初スマートフォンサイズのNOMA対応チップセットによる周波数利用の効率化実験に成功	MediaTek
2017/11/6	28 GHz帯を用いてお台場エリアにおいてコネクテッドカー実現に向けた5G実証実験に成功	トヨタ, Ericsson, Intel
2018/4/23	28 GHz帯を用いて時速300 kmの超高速移動環境で5G無線通信実験に成功	NEC
2018/5/23	4.5 GHz帯基地局間協調ビームフォーミングを用いた干渉低減による複数移動局への5G無線通信に成功	NEC
2018/7/25	28 GHz帯を用いてコネクテッドカー向け「車両ガラス設置型アンテナ」による5G通信に成功	AGC, Ericsson
2018/11/22	28 GHz帯を用いて屋外実験において通信速度27 Gbit/sに成功	三菱電機
2019/5/29	28 GHz帯を用いて5G端末向けのガラスアンテナで通信に成功	AGC, Ericsson

画する「5G総合実証試験」を2017年度から3年間実施しました⁽¹⁵⁾。ドコモが3年間に連携パートナーとともに全国で実施した5G総合実証試験の実施内容を表2に示します。試験グループGIでは低速移動環境、GIIでは高速移動環境（時速60 km以上）の試験を行いました。2017年度の5G総合実証試験では、人口密集地における10 Gbit/sの超高速通信の実証試験（GI）を実施し、エンタテインメント、スマートシティ、医療の3つの応用分野において、4.5 GHz帯および28 GHz帯を用いたサービス・アプリケーションの実証試験を行いました⁽¹⁶⁾。また、ドコモは、NTTコミュニケーションズが実施主体となる高速

移動時における2 Gbit/sの高速通信の実証試験（GII）にも参画し、エンタテインメント分野において、時速90 kmで移動する高速移動体に対して28 GHz帯を用いた実証試験を行いました⁽¹⁶⁾。

2018年度の5G総合実証試験においては、5Gの最大性能だけではなく、平均的な性能を検証するため、屋外環境における平均4～8 Gbit/sの超高速通信の実証試験（GI）を実施し、2017年度の3つの応用分野に加えて、オフィス・ワークプレイス分野での実証も行いました⁽¹⁷⁾。また、時速60～120 kmで移動する高速移動体に対して平均1 Gbit/sの高速通信に関する実証試験（GII）を実施し、

表2 2017～2019年度5G総合実証試験の実施内容・場所

試験グループ	応用分野	ユースケース	実施場所	実施年度		
				2017	2018	2019
G I	エンタテインメント	①5Gを活用したVR音楽ライブ体験	東京都墨田区	○		
		②5Gを活用したMRコミュニケーション	東京都墨田区	○		
		③5Gを活用した8K映像マルチチャンネルMMT伝送	東京都墨田区	○		
		④5Gを活用した4K省電力デジタルサイネージ	東京都墨田区	○		
		⑤ショッピングモール環境での高精細映像伝送	東京都墨田区	○		
		⑥5Gを活用したスポーツイベントのライブビューイング	神奈川県横浜市	○		
		⑦5Gを活用したSL大樹への超高精細映像伝送	栃木県日光市		○	
		⑧5Gと8K映像を活用した観光客誘客	京都府京都市		○	
		⑨5Gを活用した車椅子バスケットボールのライブ映像配信	神奈川県鎌倉市		○	
		⑩5GとVR技術を活用した遠隔博物館訪問	福井県勝山市		○	
		⑪5Gを活用した観光イベントにおけるライブビューイング	福島県会津若松市		○	
		⑫5Gを活用したスポーツイベントの遠隔ライブ応援	神奈川県川崎市		○	
		⑬5G×Body Sharing技術を活用した沖縄県の観光振興	沖縄県名護市他			○
		⑭5Gを活用したリアルタイムクラウド編集・中継ソリューション	宮城県仙台市			○
	スマートシティ	①5Gを活用した施設内監視	東京都江東区	○		
		②5Gを活用した高所カメラによる広域監視	東京都墨田区	○		
		③5Gを活用したカーセキュリティ	徳島県神山町		○	
		④5Gを活用した地方見守りサービス	福島県会津若松市		○	
	医療	①5Gを活用した遠隔診療	和歌山県和歌山市、和歌山県日高川町	○	○	○
		②5Gを活用した救急搬送高度化ソリューション	群馬県前橋市		○	○
		③5Gを活用した高精度顔認証およびセンサによる見守り・行動把握	広島県広島市			○
	ワークプレイス	①5Gを活用した動くサテライトオフィス	徳島県神山町		○	
		②5Gを活用した高技能工員の労働安全確保	愛媛県今治市			○
	スマートライフ	①5Gを活用した伝統芸能の伝承（遠隔教育）	岐阜県中津川市			○
		②5Gを活用した音の視覚化による生活サポート	岐阜県中津川市			○
G II	エンタテインメント	①5Gを活用した高速移動体への高精細映像伝送	栃木県栃木市・鹿沼市、埼玉県春日部市	○	○	
		②5Gを活用したゴルフ場でのラウンド補助	長野県長野市			○
	交通	①5Gを活用した高速鉄道の安全運行監視	大阪府高槻市		○	
		②5Gを活用した濃霧の中での運転補助	大分県大分市他			○
		③5Gを活用した地下鉄安全確保支援	大阪府大阪市			○
	スマートシティ	①5Gを活用した雪害対策（除雪作業の効率化）	福井県永平寺町			○

エンタテインメント分野に加えて交通分野での実証を行いました⁽¹⁷⁾。

2019年1月には、総務省は地方が抱えるさまざまな課題の解決につながる地方発のユ

ニークなアイデアを発掘することを目的として、「5G 利活用アイデアコンテスト」を開催しました⁽¹⁸⁾。2019年度の5G 総合実証試験では、上記のアイデアコンテストの結果とこれまでの技術検証の成果などを踏まえ、5G による地域課題の解決や地方創生に資する利活用モデルに力点を置き、新たな連携パートナーと多様な応用分野における実証試験を実施しました⁽¹⁹⁾。

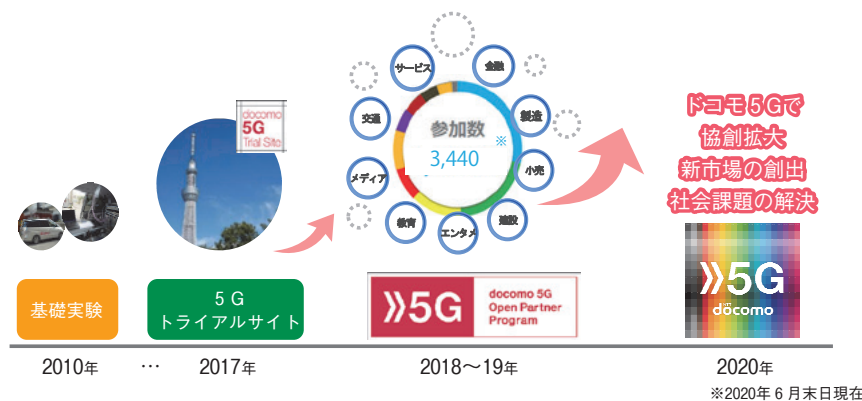
パートナーとのソリューション協創

幅広いパートナーとともに新たな利用シーン創出に向けた取り組みを拡大するため、ドコモは「ドコモ5Gオープンパートナープログラム」を2018年2月から開始しました（図3）。本プログラムは、パートナーとなる企業・団体に対し、5Gの技術や仕様に関する情報の提供や、パートナー間の意見交換を行

う5Gパートナーワークショップの場を提供するものです。パートナー数は2020年6月末で3440です。

また、ドコモが常設する5G技術検証環境である「ドコモ5Gオープンラボ」においては、5Gの実験基地局装置や、実験移動局に接続する映像伝送機器などを、パートナーに対して無償で提供しています。パートナーとなる企業・団体は、本プログラムへの参加を通じ、商用開始に先立ち一早く5Gを用いたサービス構築や検証が可能となっており、高速・大容量、低遅延、多数端末接続といった5Gの特長を活かして、自社サービスの品質向上や新たなサービスの創出に活用することができます。「ドコモ5Gオープンラボ」は2020年6月末現在、国内外に11カ所を展開しています。また、「ドコモ5Gオープンラボ」にクラウドコンピューティングの設備を直結した「ドコ

5Gを活用し、幅広くビジネスパートナーの皆様と
新たなビジネスの創出をめざす取り組み



©2020 NTT DOCOMO, INC. All Rights Reserved

図3 ドコモ5Gオープンパートナープログラム

モオープンイノベーションクラウド」のトライアル環境を提供し、技術検証を進めました。

また、ドコモは2019年9月より「5G プレサービス」を開始しました。5G 商用サービスと同じネットワーク装置や同じ周波数帯を利用し、ビジネス創出を本格的に開始することに加え、5G 商用サービスと同環境の体験など、5G 商用サービスにつながる実質的な5Gのスタートとなりました。5G プレサービスでは、「ドコモ5G オープンパートナープログラム」に参加している3000を超えるパートナーに対し、「5G オープンラボ」の提供に加え、5G プレサービス対応端末の貸出しにより、5Gを活用した産業創出や社会課題の解決に向けて、全国で200件を超えるフィールド検証を実施しました。その中から5Gのスタートに合わせて、「産業の高度化」「働き方改革」といった社会課題の解決につながる領域を中心に、パートナーの皆様との協創によって生まれた新体感ライブCONNECTをはじめとする7つのサービスと22のソリューションの提供を発表しました。今後も5Gの特長である高速・大容量・低遅延を活かした「遠隔作業支援」や「高精細映像伝送」などを中心に、働き方の新しいスタイルの価値提供をめざします。

あとがき

本稿では、ドコモの5G サービス開始までの道のりについて解説しました。ドコモは今後も5Gのさらなる進化をめざし、引き続き、技術の検討および研究開発を進めていきます。

参考文献

- (1) NTTドコモ：“ドコモ5G ホワイトペーパー,” Sep. 2014.
- (2) Y. Kishiyama: “LTE enhancements and future radio access,” APCC2010 Seminar on Future Wireless Technologies, Nov. 2010.
- (3) Y. Kishiyama: “LTE enhancements and future radio access towards next decade,” 1st NGMN Innovation Day, Stockholm, Sweden, Sep. 2011.
- (4) Y. Kishiyama: “Future radio access challenges,” WWRF Wireless World 2020 Workshop, Berlin, Germany, Oct. 2012.
- (5) NTT DOCOMO: “Future radio access for 5G,” ARIB 2020 and Beyond Workshop, Tokyo, Japan, Nov. 2013.
- (6) Ericsson: “White paper - 5G radio access,” Jun. 2013.
- (7) Nokia Solutions and Networks: “White paper - Looking ahead to 5G,” Dec. 2013.
- (8) NTTドコモ報道発表資料：“「CEATEC AWARD 2013」において「次世代移動通信（5G）」が総務大臣賞を受賞,” Oct. 2013.
- (9) H. Ishii, Y. Kishiyama, and H. Takahashi: “A novel architecture for LTE-B: C-plane/U-plane split and Phantom cell concept,” IEEE Globecom, Dec. 2012.
- (10) Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li, and K. Higuchi: “Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access,” IEEE VTC Spring, Jun. 2013.
- (11) NTTドコモ報道発表資料：“世界主要ベンダーと5G実験で協力,” May 2014.
- (12) NTTドコモ報道発表資料：“世界主要ベンダーとの5G実験を拡大,” Jul. 2015.
- (13) https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/rd/tech/5g/5g_trial/
- (14) 中村：“5Gが切り開く未来の展望——パートナーの強みを融合させた世界—,” NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, 25週記念号, Oct. 2018.
- (15) https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000297.html
- (16) https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/topics/2017/topics_180326_03.pdf
- (17) https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_190319_01.pdf
- (18) https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000362.html
- (19) https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_200316_00.pdf

◆問い合わせ先

NTTドコモ

R&D戦略部

E-mail dtj @nttdocomo.com

5G 標準仕様策定における貢献

3GPPにおいて、5G 標準仕様の初版が2018年6月に完成しました。また、O-RAN Allianceにて、5Gのオープンな無線アクセスネットワークを実現する標準仕様が2019年3月に公開されています。NTTドコモは3GPPやO-RANの標準仕様策定に積極的に貢献しており、2020年3月に商用サービスを開始した5Gも3GPPおよびO-RAN仕様に準拠しています。本稿では、これらの標準仕様策定におけるドコモの貢献を概説します。

ながた さとし
永田 聡

みのくち あつし
巳之口 淳

ウメシュ アニール

おぐま ゆうた
小熊 優太

たけだ しんじ
竹田 真二

NTTドコモ

まえがき

2018年6月の3GPP TSG (Technical Specification Group) #84 プレナリ会合^{*1}において、3GPP Release 15仕様の凍結が宣言され、5Gの初版仕様が完成しました。5G標準仕様は、NR (New Radio) と呼ばれる新たな無線アクセス仕様と、5GC (5G Core network) と呼ばれる新たなコアネットワーク仕様を中核とし、既存システムであるLTE (Long Term Evolution)/EPC (Evolved Packet Core) との連携機能を含んでいます。

3GPPでの5G標準化は、2015年9月にITU-R (International Telecommunication Union-Radio communication sector) が発行したビジョン勧告

ITU-R M.2083に基づき、①モバイルブロードバンドのさらなる高度化 (eMBB: enhanced Mobile BroadBand)、②多数同時接続を実現するマシンタイプ通信 (mMTC: massive Machine Type Communication)、③高信頼・超低遅延通信 (URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communication) の3つの利用シナリオを想定して、2016年3月からRelease 14での要求条件や要素技術の基礎検討 (SI: Study Item) が実施されました。その後、2017年3月からRelease 15での詳細仕様検討 (WI: Work Item) が実施されました。

ドコモは、Release 14開始からRelease 15完了までの2年3カ月にわたる3GPPでの5G仕様策定作業において、技術提案や仕様

※ 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol. 28 No. 2, 2020年7月) に掲載された内容を編集したものです。

*1 プレナリ会合: 3GPP TSG会合の最上位会合。TSG配下のWGでの仕様策定に関するスケジュールやWGで策定された仕様の承認が行われます。

書の取りまとめ、会合の議長・副議長を務めるなど、積極的な貢献を行っています。この間のドコモからの5G標準仕様への寄書入力件数は約3700件であり、これは、3GPPに参画している全世界の企業の中で9位、通信事業者としては、首位の貢献となっています⁽¹⁾。さらに、5G必須特許*²候補の出願件数についても、通信事業者で首位と評価されています⁽²⁾。

また、3GPP標準化作業と並行する形で、ドコモは、2018年2月に、AT&T、China Mobile、Deutsche Telecom、Orangeとの連名で、O-RAN Allianceを設立しました。O-RAN Allianceでは、5Gをはじめとする次世代の無線アクセスネットワークを、より拡張性が高く、よりオープンでインテリジェントに構築することを目的に、①相互接続が可能なオープンインタフェースの推進、②無線ネットワーク装置の仮想化、ホワイトボックス*³化、③AI、ビッグデータの活用、に取り組んでいます。

これらの取り組みの結果、2018年6月の3GPP Release 15仕様完成、および2019年3月のO-RANフロントホール*⁴仕様完成に至り、5G商用サービスのための装置開発が可能となりました。

本稿では、5G標準仕様策定における活動内容とドコモの貢献について解説します。

3GPPにおける5Gの 早期仕様策定に向けた活動と貢献

3GPPにおける5Gの標準仕様策定にあたっては、新しい無線アクセス方式であるNRにおいて、eMBBやURLLCの一部を実現するユースケースを対象とした仕様をRelease 15で標準化し、URLLCやmMTCを含めた残りの仕様を次の段階であるRelease 16以降で標準化することを目標として検討が進められました。併せて、ノンスタンドアローン運用と呼ばれる4G基地局・コアネットワークと5G基地局の組合せで運用するケースの仕様をはじめに標準化し、5G基地局・コアネットワークのみで運用可能なスタンドアローン運用を含めた全仕様を次の段階で標準化するなど、多様な要求条件やユースケースが存在する5Gに対し、段階的な標準化を行うことにより、計画的に標準仕様策定を進めることが決められました。

ドコモは、5G標準化全体の推進のみならず、5G標準仕様の早期策定の実現にも大きく寄与しました。具体的には、当初のスケジュールである2018年6月にノンスタンドアローン運用とスタンドアローン運用を同一のリリース（Release 15）で標準仕様化することを担保しつつ、ノンスタンドアローン運用の標準仕様策定を2017年12月までに終わらせることを明記したドキュメントを47社と連名で3GPPに提出し、早期策定に貢献しました。これが、世界的な5G商用導入の加速につながっています。

*2 必須特許：標準規格に準拠した製品を製造するうえで、ライセンスなどを受けなければ特許権の侵害を回避することができない特許。

*3 ホワイトボックス：装置などの内部構成や処理がオープンなこと。ブラックボックスの対語。

*4 フロントホール：基地局の集中制御装置と無線装置間の回線であり、光ファイバなどが用いられます。

3GPP TSG SA/CTにおける活動と貢献

3GPPではプロジェクト全体を統括するPCG (Project Coordination Group)のもとに技術検討を行うTSGがおかれています。TSGにはTSG SA (Service and System Aspects), TSG CT (Core Network and Terminals), TSG RAN (Radio Access Network)の3つのグループがあります。TSG SAは、ユースケースの検討とシステム要求条件の導出、アーキテクチャの決定と各機能単位への要求条件の導出、機能単位間の情報の流れと各機能単位での動作の決定を行っています。また、各々に関し標準仕様を規定しています。TSG CTは、端末ーコアネットワーク間、コアネットワーク内機能単位間のプロトコル、および第3者利用に向けた外部API (Application Programming Interface) やUSIM (Universal Subscriber Identity Module)の詳細仕様を規定しています。ドコモは、5G仕様規定作業の中で、TSG CT副議長およびSA-WG (SA-Working Group) 3副議長の要職を務め、仕様規定の全体方針や、スケジュール策定、技術検討の推進などに大きく貢献してきました。

5Gの標準仕様の規定において、TSG SA/CTは、ノンスタンドアローン方式と呼ばれるNRをEPCに収容するための機能拡充、および新たなコアネットワーク仕様である5GCを検討しました。

ドコモは、5Gエリア拡充に相応の時間を要することを考慮し、Release 14でのSI検討中に、ノンスタンドアローン方式での5Gサー

ビス導入を主張しました。検討当初は、ベンダに加えて通信事業者からも新たなコアネットワークに検討を一本化すべきという意見もあり、賛同を得ることができませんでした。しかしながら、説明の繰返しとTSG RANでの技術検討の進捗（後述）により徐々に賛同が得られ、後にRAN/SA #72プレナリ会合にて、5Gとしてノンスタンドアローン方式の仕様化を優先して進められることとなりました。このような経緯がありましたが、今ではノンスタンドアローン方式は5G導入初期の主要なネットワーク構成として世界中の多くのオペレータに採用されています。

また、5Gサービス発展期への適用に向けて、新しい概念のコアネットワークが5GCとして仕様化されました。

ドコモは、NRのEPC収容（ノンスタンドアローン方式）、および5GC双方の仕様化作業の進展に貢献しました。

(I) SA-WG1

ユースケースの検討とシステム要求条件の導出を行うSA-WG1では、ノンスタンドアローン方式に関しては検討せず、5GCのみが検討されました。ドコモは、お客さまの要望は多様化しロングテール^{*5}で分布すると想定し、そのためには画一的なネットワークでなく分割されたネットワーク（i.e. ネットワークスライス^{*6}）が必要であると考え、それを推進しました。加えて、オペレータとして基盤となる課題に取り組み、特に、アク

^{*5} ロングテール：ここでは、サービスごとにそれを要望するお客さまの数を数の多い順番にグラフ化すると、分布図が、長いしっぽがあるように見える状態。つまり、多様なサービスそれぞれに少なくない数の要望がある状態。

^{*6} ネットワークスライス：5G時代の次世代ネットワークの実現形態の1つ。ユースケースやビジネスモデルなどのサービス単位でコアネットワーク分割して最適化するアーキテクチャ。

セス規制の仕様化をリードしました。

(2) SA-WG2

アーキテクチャの決定と各機能単位への要求条件の導出、機能単位間の情報の流れと各機能単位での動作の決定を行うSA-WG2では、ノンスタンドアローン方式、および5GCの両方が検討されました。

欧州通信事業者の一部はノンスタンドアローン方式をLTEの無線速度向上からの一連の流れとしてとらえていました。そこで、この方式は多くの通信事業者が導入できるようコアネットワークの変更なしでも動作すること、コアネットワークに変更が入ることをいとわない通信事業者には高度な制御を可能にする機能を入れること、の方針を整理しました。個別技術項目に関しても、後述するSA-WG3やCT-WGでの暗号化やS-GW選択の検討の方針を整理しました。

5GCでは、複数社がラポータ*⁷に名乗りを上げWID (Work Item Description) 作成が滞ったことから、WGメンバからの依頼を受けてドコモがエディタとしてWIDを完成させました。その後、ネットワークスライス、およびEPC-5GC相互接続の検討に貢献しました。

(3) SA-WG3

セキュリティに関しユースケースからプロトコルまで網羅的な検討を行うSA-WG3でも、前述の2つの方式両方が検討されました。ドコモは副議長を務め技術検討を主導しました。ノンスタンドアローン方式では、セカンダリRAT (Secondary Radio Access Technology) 無線区間に適用するセキュリティは、MME (Mobility Management Entity) が変更なしでも動作するよう、LTE

用のセキュリティ能力をNR用のセキュリティ能力に読み替えることによっても動作することとし、その仕様化を主導しました。5GCの検討では、ドコモが5GC全体の主要仕様書のラポータとなり無線部分での暗号化強化や認証の改善を主導しました。

(4) CT-WG1

端末—コアネットワーク間のプロトコルの詳細規定、および一部の基本機能についてはアーキテクチャから検討を行うCT-WG1では、5GCに関し、ETWS (Earthquake and Tsunami Warning System), SOR (Steering of Roaming), アクセス規制の仕様化を推進しました。

(5) CT-WG4

コアネットワーク内機能単位間のプロトコルの詳細規定を行うCT-WG4では、ノンスタンドアローン方式において、高いトラフィックを収容する場合の適切なS-GW (Serving Gateway) の選択方式の仕様化を推進しました。

3GPP TSG RANにおける活動と貢献

TSG RANは、無線アクセスネットワーク全般の仕様策定を行っています。ドコモは、TSG RAN配下のWGでの技術議論をリードするとともに、TSG RAN副議長を務めることで、5G無線アクセスネットワークの標準仕様策定に大きく貢献してきました。

(1) RAN-WG1

無線インタフェースの物理レイヤ*⁸の検

*7 ラポータ：Work Itemのような検討対象項目に対して、進捗の管理、議論のとりまとめ、議論結果をキャプチャしたテクニカルレポートのエディタなどを務める3GPPの役職。

討を行うRAN-WG1では、無線アクセス方式の検討や複数送受信アンテナ技術の検討などが行われています。例えばNRでは多様なユースケースのサポートと、既存セルラで用いられている低周波数帯からミリ波帯を含めた高周波数帯までの広い周波数帯のサポートを目的として、複数のサブキャリア間隔によるOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 信号が定義されました。ドコモは広帯域化技術やアンテナ技術、初期アクセス技術など多数の技術提案を行うとともに、5Gの標準仕様策定のラポータとして進捗管理や関係者との調整を図り、さらにRAN-WG1の議長や、各要素技術のリーダー役を務め、標準仕様の完成に大きく貢献しました。

(2) RAN-WG2

無線インタフェースのアーキテクチャとプロトコルの検討を行うRAN-WG2では、LTEとNRのDual Connectivity^{*9}によりNRでの通信を既存LTEでの通信に上乗せできるようにしました。本仕様は、ドコモがラポータとして推進し、Release 12で標準仕様化したLTEのDual Connectivity向けの規定がベースとなっており、加えて、ドコモが5G向けに新たに提案したSN (Secondary Node) に終端されるsplit bearer^{*10(3)}も採用することで、既存のLTEネットワークを活かしつつNRによる高速化や低遅延化を可能にしました。また、5Gの多様なユースケースや要求条件を実現するため、端末が基地局に報告する対応機能や能力、基地局が端末に設定するパラメータが膨大にありますが、それらを通知するために用いるRRC (Radio Resource Control) メッセージの検討を

リードするなど、ドコモは、標準仕様の完成に大きく貢献しました。

(3) RAN-WG3

無線アクセスネットワークのアーキテクチャとインタフェースの検討を行うRAN-WG3では、eNB^{*11}間のX2^{*12}インタフェースを拡張し、LTEとNRのDual Connectivityの実現に必要なeNB—gNB間の連携を可能にしました。また、性能向上やコスト効率化に向けて無線アクセスネットワークの展開柔軟性を高めるために、F1インタフェースを規定して基地局をCU (Central Unit : 無線プロトコルのPDCP (Packet Data Convergence Protocol) サブレイヤ以上を終端) とDU (Distributed Unit : 無線プロトコルのRLCサブレイヤ以下を終端) に分離にすること、さらにはE1インタフェースを規定してCUをCU-CP (CU-Control Plane : 制御プレーン^{*13}を終端) とCU-UP (CU-User Data Plane : ユーザプレーン^{*14}を終端) に分離することを可能にしました⁽³⁾。ドコモは、これらのインタフェースのマルチベンダ相互接続性を高めるため、商用LTE網でのマルチベンダ実現で培った経験を活かし、数多くの技術的な寄書を入力し、議論を推進させるためのモデレータを務めるとともに、標準仕

*8 物理レイヤ：OSI参照モデルの第一層。例えば、物理レイヤ仕様とは、ビット伝送にかかわる無線インタフェース仕様のことを指します。

*9 Dual Connectivity：マスターとセカンダリの2つの基地局に接続し、それらの基地局でサポートされる複数のコンポーネントキャリアを用いて送受信することで、広帯域化を実現する技術。

*10 split bearer：Dual Connectivityにおいて、MNとSNの両方の基地局を介して送受信されるベアラ。

*11 eNB：LTEの基地局・無線制御装置。

*12 X2：3GPPで定義されたeNB間のリファレンスポイント。

*13 制御プレーン：通信データの転送経路などの制御処理。

*14 ユーザプレーン：通信で送受信される信号のうち、ユーザが送受信するデータの部分。

様のエディタとしても貢献してきました。

(4) RAN-WG4

基地局や端末の無線〔RF (Radio Frequency)〕性能や無線リソース制御^{*15}の仕様策定を担うRAN-WG4では、LTE/LTE-Advancedが利用してきた6 GHz以下の周波数帯だけでなく、NRで新規導入された準ミリ波/ミリ波の周波数帯〔Release 15では、FR2 (Frequency Range 2) : 24250 ~ 52600 MHzの周波数帯として定義〕の利用の検討がなされました。ドコモは、2015年より4年間の任期でRAN-WG4の副議長を務め、日本国内の5G向け周波数割当予定を考慮した周波数バンドの策定および基地局や端末のRF性能仕様の規定に向けた技術提案を活発に行い、議論を牽引してきました。国内の5Gの法制度化は、この策定された規定に従い進められました。

FR2では、広帯域通信が期待できる一方で、RF構成観点では、高周波数による無線部内部での電力損失や電波伝搬損失の増加と、広帯域化による電力密度低下がもたらすエリアカバレッジの縮小が課題となります。その解決には、カバレッジ確保が必要で、高いアン

テナ利得を実現するアンテナのアレイ化が求められますが、狭い面積に無線信号の送受信機とアンテナを高密度に実装することが困難であるため、FR2では従来の測定用コネクタありのRF構成^{*16}を適用できません。このため、FR2のRF仕様規定ではコネクタなしのRF構成で試験をするOTA (Over The Air) 規定が導入されました。

OTA規定では図1に示す、装置から放射される全電力を規定する総合放射電力 (TRP: Total Radiated Power) に加えて、アンテナ特性を含めたビーム方向における等価等方放射電力 (EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power) と等価等方感度 (EIS: Equivalent Isotropic Sensitivity) が定義されています。

端末では、FR2のEIRP最大送信電力について、端末を中心とした球面全体にビーム方向を操作した際に得られる各EIRP値の累積

*15 無線リソース制御：有限である無線リソースの適切な管理や、端末・基地局間のスムーズな接続を実現するために実施する制御の総称。

*16 従来の測定用コネクタありのRF構成：基地局のRF性能仕様の規定については、従来の6 GHz以下の周波数帯においても、一部OTA規定が導入されています。

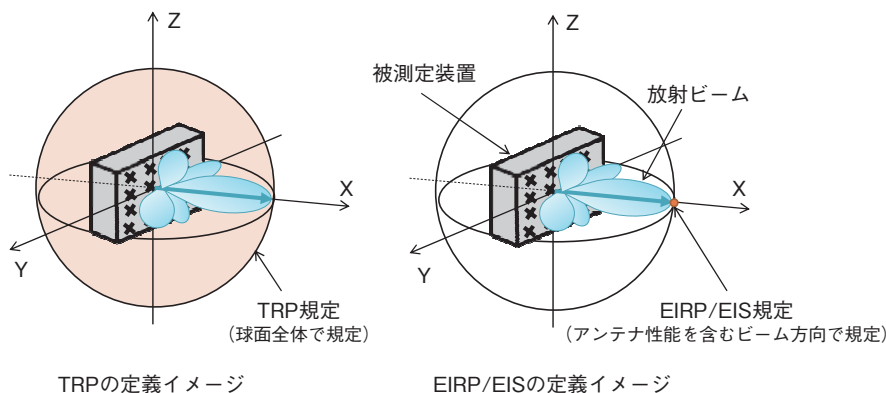


図1 NRの基地局および移動局RF規定で用いられる定義イメージ

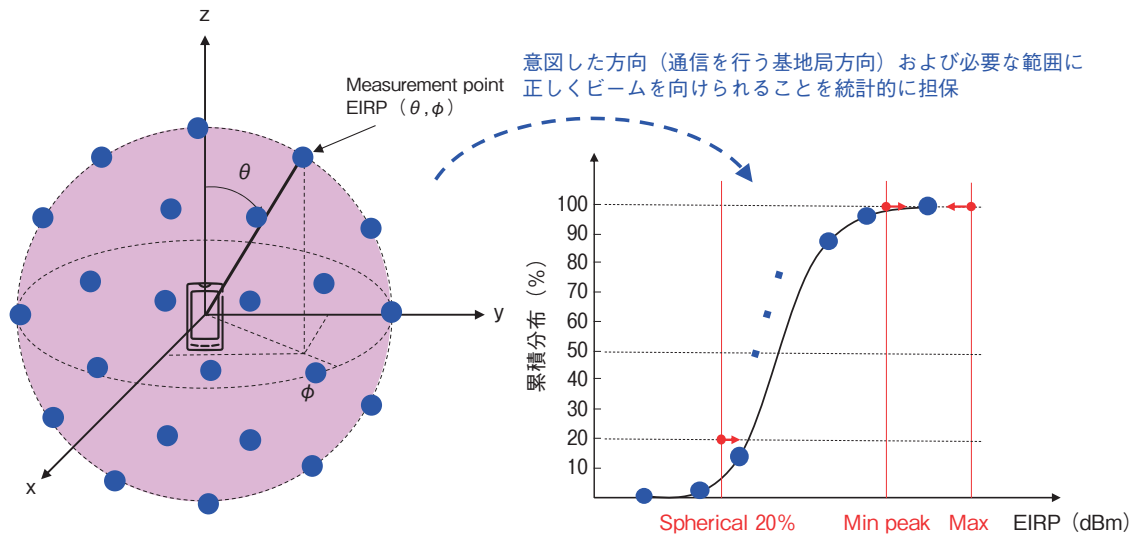


図2 累積分布を用いたOTA EIRP評価手法

分布^{*17}を用いた規定が採用されています（図2）。本規定導入の目的は、意図した方向（通信を行う基地局方向）および必要な範囲に正しくビームを向けられることを統計的に担保することです。測定したEIRPのうち少なくとも1つが最低限満たすべき値をMin peak値、累積分布X%における値、すなわち球面空間上の(100-X)%エリアが担保すべき値をSpherical coverageと定義しました。ドコモは、オペレータとしてFR2のエリア性能担保のためにはSpherical coverageが要点であると考え、技術的実現性を考慮しつつ、各種規定の中でSpherical coverageが優先的に高い性能規定となるようオペレータ各社の賛同を集めながら議論を展開しました。

O-RANにおける活動と貢献

ドコモは、5G時代における無線アクセス

ネットワークをより拡張性高く、オープンでインテリジェントに構築することを目的に、2018年2月にAT&T, China Mobile, Deutsche Telekom, OrangeとO-RAN Allianceを設立しました。現在では、多くのオペレータとベンダ（2020年6月26日現在、加入メンバー数200）が加盟し、WGにおいて無線アクセスネットワークにおける相互接続可能なオープンインタフェース、仮想化、AI・ビッグデータ活用、ホワイトボックスハードウェア、オープンソースソフトウェアに関する検討を進め仕様を多数公開しており、注目を集めるとともに、多くの期待が寄せられています。

中でも、2019年3月に公開されたO-RANオープンフロントホール仕様は、それまでグローバルにはベンダ独自であった基地局の（集約設置される）デジタル処理部と（張り出して設置される）無線部とのフロントホールインタフェースについて、マルチベンダ相互

*17 累積分布：評価する対象が、ある特定の値以下となる確率。

接続を可能にし、多くのオペレータやベンダがその採用を表明したことは⁽⁴⁾、業界に大きなインパクトを与え、注目を集めました。

ドコモは独自に、パートナーベンダと協力して、すでにLTE世代から共通のフロントホールインタフェースを用いたマルチベンダRANを実現していました。そのノウハウと実績を活かして、2016年3月～2017年12月にかけて3GPP Release 14/15で行われた基地局機能分離に関するSIのラポータを務めました。さらに、O-RAN Allianceに統合される前のxRAN Forum^{*18}に2018年2月より参画して、賛同するオペレータやベンダと協力してフロントホールの標準仕様策定を推進し、現在でもO-RAN Allianceでオープンフロントホール仕様の主管であるWG4の共同議長も務めるなど、フロントホールの標準化を牽引してきています。さらに、商用5GネットワークにおけるO-RANオープンフロントホール仕様を用いたマルチベンダ相互接続も世界で初めて実現しており、今後も5GにおけるマルチベンダRANのグローバルなエコシステムの実現を推進していきます。RANにおけるマルチベンダ相互接続性は、利用可能な基地局ソリューションのポートフォリオを拡大し、迅速、柔軟、かつコスト効率の高いネットワーク構築を可能にするものであり、多種多様な要件を持つ5Gにおいてこれまで以上に重要となります。

O-RAN Allianceにおいて、ドコモはほかにも、X2やF1などの3GPPインタフェースのオープン化を検討するWG5の共同議長を

務め、それらインタフェースのマルチベンダ相互接続性を確保するプロファイル仕様の公開などに貢献しています。さらに、仮想化やAI・ビッグデータ活用など、他のO-RAN Allianceの検討についても今後推進する予定です。

あ と が き

本稿では、5Gの標準化に対して、3GPPおよびO-RAN Allianceにおける活動とドコモの貢献について解説しました。

現在、3GPPでは、5Gを高度化したRelease 16の仕様策定が完了し、さらなる利用シーンに対応するため、Release 17の技術検討が進められています。また、O-RAN Allianceでは、オープンなインタフェースのさらなる検討に加え、無線ネットワークの仮想化やビッグデータ活用の技術検討が進められています。

ドコモは、5Gを今後20年の無線通信の基盤となる技術と位置付け、その高度化のために、引き続き、3GPPおよびO-RANでの標準化活動に積極的に寄与していく予定です。

■参考文献

- (1) サイバー創研：“5G実現に資するETSI標準規格必須特許(5G-SEP)候補の出願動向と標準化寄書の提案動向,” 2019.
- (2) サイバー創研：“5G実現に資する5G-SEP候補と5G-SEP宣言特許の出願動向、および、標準化寄書の提案動向,” 2020.
- (3) 内野・甲斐・戸枝・高橋：“5GにおけるNR上位レイヤ仕様,” NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol.26, No.3, pp.59-73, Nov. 2018.
- (4) https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_190222_00.pdf

◆問い合わせ先

NTT ドコモ

R&D 戦略部

E-mail dtj @nttdocomo.com

^{*18} xRAN Forum：拡張性の高い無線アクセスネットワークの推進を目的に活動していた業界団体。現在ではO-RAN Allianceに統合されています。

5G ネットワーク

2020年3月にNTTドコモは5G商用サービスを開始しました。ドコモでは5G導入に際し、LTEで提供している機能・エリアを最大限活用することで、早期提供と安定した品質確保を実現しています。本稿では、5G商用サービスを提供するために実施した無線基地局装置、コアネットワーク装置の開発内容について解説します。

さがえ ゆうた さわむかい しんすけ
寒河江 佑太^{†1} 澤向 信輔^{†1}
おおわたり ゆうすけ きよしま こうへい
大渡 裕介^{†1} 清嶋 耕平^{†1}
かんばら けいいち たかはし じょう
神原 恵一^{†1} 高橋 匠^{†2}
NTTドコモ^{†1}
ドコモ・テクノロジー^{†2}

まえがき

第5世代移動通信システム（5G）は高速・大容量、低遅延、多数端末接続の特長を有しており、動画・サービスなどコンテンツのさらなるリッチ化などへの対応に加え、従来では困難であった社会的課題の解決や新たな産業創出が可能となることにも期待が高まっています。

NTTドコモは2019年9月に開始した5Gプレサービスに続き、2020年3月に5G商用サービスを開始し、2020年7月6日時点において契約者数が17万件を超えています。今後、5G需要の増加が見込まれていることから、端末ラインアップの充実、5G提供エリアの拡大を順次行っています。

本稿では、5G商用サービス提供を行うた

めの無線基地局装置、およびコアネットワーク装置の開発内容について解説します。

5G向け周波数の概要

5Gにおいては、ユースケース、利用シナリオなどに応じたネットワークが求められており、技術面では、新たな無線技術〔5G NR（New Radio）〕の採用、既存の周波数帯に加え、より高い周波数帯を活用することなどが求められています^{※1}。

5G向け国内周波数帯として、3.7 GHz帯（3.6～4.1 GHz）、4.5 GHz帯（4.5～4.6 GHz）、および28 GHz帯（27.0～29.5 GHz、うち28.2～29.1 GHzは非割当て）の3つの周波数帯が割り当てられています（表1）。特に前者2つの周波数帯がSub6帯、後者がmmW（millimeter Wave）帯^{※1}と呼ばれ

※ 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」（Vol. 28 No. 2, 2020年7月）に掲載された内容を編集したものです。

※1 mmW帯：周波数帯域の区分の1つ。30 GHzから300 GHzの周波数であり、5Gで利用される周波数である28 GHz帯を含めて慣習的にミリ波と呼ばれます。

表1 国内5G周波数の特徴

	3.7 GHz帯	4.5 GHz帯	28 GHz帯
割当周波数	3.6~4.1 GHz (500 MHz幅)	4.5~4.6 GHz (100 MHz幅)	27.0~28.2 GHz 29.1~29.5 GHz (1.6 GHz幅)
割当帯域幅	100 MHz幅/オペレータ	100 MHz幅/オペレータ	400 MHz幅/オペレータ
Massive MIMOの活用	MIMO多重に活用		Beamformingによる カバレッジ拡張
他システムとの利用状況	衛星システム	航空機電波高度計	衛星システム
海外動向	中国, 韓国, 欧州, 米国	将来的に中国が利用予定	米国, 韓国

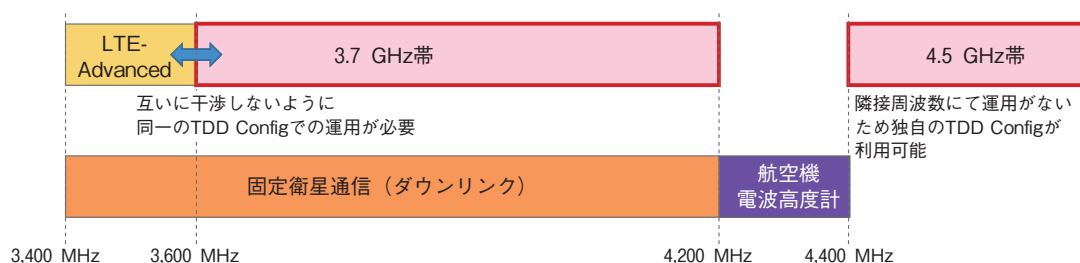


図1 3.7 GHz帯の周波数割り当てとLTE 3.5 GHz帯の関係

ています。

Sub6帯は、5G 国内周波数において100 MHz幅/事業者と、LTEと比較して広帯域利用が可能であり、かつ、LTE 3.5 GHz帯と同様のカバレッジを実現することができます。一方でmmW帯は、これまでLTEで利用してきた周波数とは大きく異なり、超広帯域の割当てにより数Gbit/sの高速伝送によるサービスをスポット的に展開することが期待されています。しかし、一般に高い周波数であるほど電波が飛びづらいため、既存LTE周波数やSub6帯と組み合わせたヘテロジニアス・ネットワークを構築していく必要があります。加えて、高周波数帯においてはアンテナの小型化が容易であり、Massive MIMO (Massive Multiple Input Multiple Output) ^{*2}によるMIMO技術の高度化を活用したネットワーク展開が期待されます。

さらに、国内では5G向け国内周波数帯において既存システムが運用されており、その既存事業者との共存・棲分けが重要です。特に3.7 GHz帯は衛星システム事業者が利用しており、衛星システムとのシステム間の干渉調整を実施しながらの展開となるため、5G早期展開に有力な周波数帯として4.5 GHz帯が注目されています（図1）。また、海外動向に注目すると3.7 GHz帯や28 GHz帯はすでに各国で利用開始がされており、端末の対応状況や今後のローミング対応の観点から、今後の5G特有の高速大容量などのサービス展開において有力です。これらの周波数の特徴、既存事業者との共存、そして、グローバ

^{*2} Massive MIMO：非常に多数のアンテナを用いるMIMO伝送技術の総称。MIMOとは同一時間、同一周波数において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技術。

ル動向などを踏まえ、それぞれの周波数帯の強みを最大限活用した商用展開を実施していきます。

これら国内周波数に対して、総務省による開設計画の認定⁽²⁾の結果、ドコモはSub6帯については3.6～3.7 GHzおよび4.5～4.6 GHzの合計200 MHz、mmW帯は27.4～27.8 GHzの400 MHzが割り当てられています。これにより、下りピークレートとして、既存LTEシステムと組み合わせることでSub6帯では3.4 Gbit/s、mmW帯では4.1 Gbit/sを提供可能です（表2）。

Sub6帯および28 GHz帯はTDD（Time Division Duplex）バンドとして割り当てが行われていますが、周波数の有効利用の観点で、

隣接する携帯事業者間で同じ下り・上りリソース割当て（TDD Config^{*3}）を利用しなければなりません。国内においては、3GPP（3rd Generation Partnership Project）で合意されているTDD Configを基に、データトラフィック量や今後の5Gサービス予測をかんがみたくうえで、図2に示すTDD Configでの運用を実施することとなっています。特に3.7 GHz帯は隣接するLTE 3.5 GHzとの干渉を軽減させるために、同一タイミングにおいて、下り・上りリソースを使用するように設計されています（図2）。また、ドコモのみが獲得した4.5 GHz帯にお

*3 TDD Config：TDDの上下スロットをどのように配分するかを決定するパラメータ。3GPP仕様にて規定されています。

表2 技術的特徴

	Sub6帯	mmW帯
Massive MIMOの活用方法	MIMO多重に活用	Beamformingによるカバレッジ拡張
カバレッジの考え方	LTE 3.5 GHz帯と同様のカバレッジ	広帯域を活用した高スループットを提供 スポット的な展開
ピークレート (3GPP規格値、LTE含む)	下り3.4 Gbit/s/上り182 Mbit/s	下り4.1 Gbit/s/上り480 Mbit/s
MIMO数	下り4×4/上りSISO	下り・上り2×2MIMO
変調方式	下り256QAM/上り64QAM	下り・上り64QAM

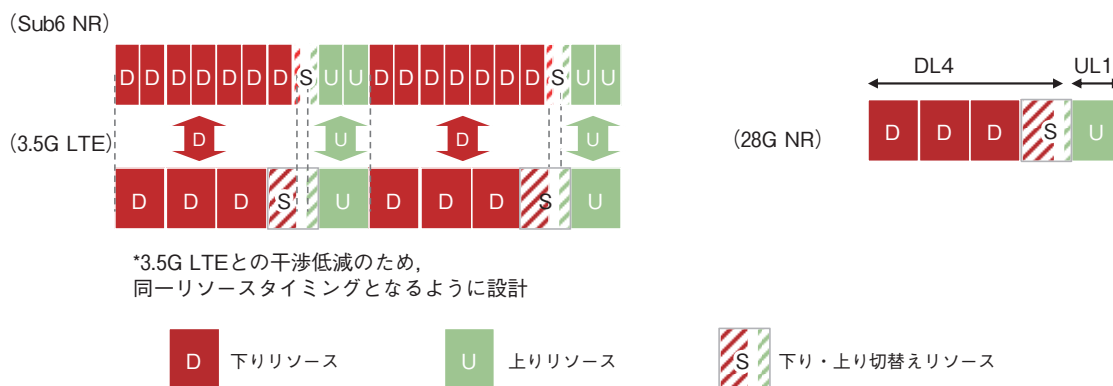


図2 国内周波数で利用されるTDD Config

いては、ユースケースに応じた独自のTDD Configを設定し、周波数を有効に活用していきます。

5G 商用開発

■5G 基地局装置開発

5Gにおけるネットワーク構成を図3に示します。5Gのサービス開始に向けドコモは、5Gに対応したベースバンド（BB: Base Band）信号処理部を集約した親局（CU: Central Unit）を、既存のBB処理装置である高密度BDE（Base station Digital processing Equipment）を拡張して開発し、加えて、電波の送受信機能などを持つ5G無線部（RU: Radio Unit）を新規に開発しました。また、より多くのRUを1台のCUに収容するために、LTEにおいて導入していたフロントホール分配装置（FHM: FrontHaul Multiplexer）⁽³⁾の5G対応版である5G FHM

を開発しました。これらの装置について概要を以下に解説します。

(1) CU

(a) 開発コンセプト

5Gサービスのスムーズな展開に向け、3G/LTE/LTE-Advancedに対応したBB信号処理を行う既存の高密度BDEを最大限活用し、高密度BDEの一部のカード交換、および5G対応ソフトウェアへのアップグレードにより、既存装置を置き換えることなく、工事期間や設備投資を抑えてエリア構築が可能なCUを開発しました。

(b) CU基本仕様

今回開発したCUの装置外観例を写真1に示します。

これまでに述べたように、本装置は既存装置である高密度BDEの一部のカード交換により5Gに対応した機能が実現可能となっています。また、今後のソフトウェアアップグレー

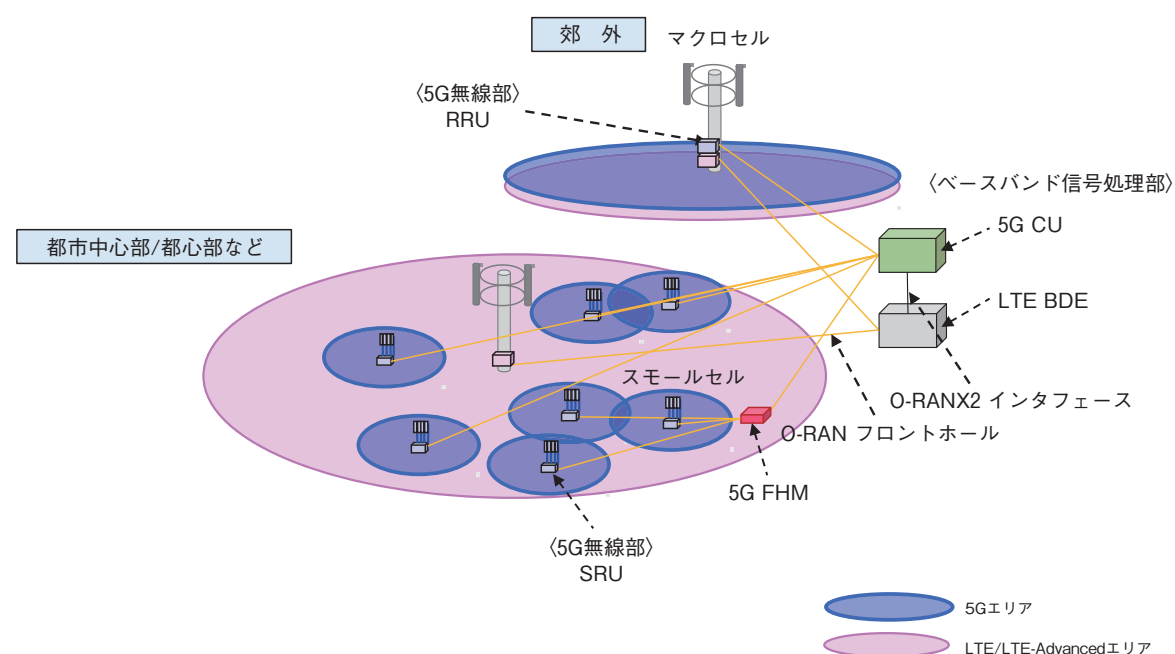


図3 5G ネットワーク構成



写真 1 CU 外観例

ドにより、従来の3G/LTE/LTE-Advancedに対応したソフトウェアと5G対応ソフトウェアをそれぞれ搭載することで、1台のCUにおいて、3Gから5Gの3世代に対応したネットワークを構築することができます。

既存のLTE-Advancedではドコモが提唱する高度化C-RAN (Centralized RAN)*⁴アーキテクチャ⁽⁴⁾を採用していましたが、5Gにおいても本アーキテクチャに対応しており、CU・RU間はフロントホールを介して接続します。このフロントホールは、ドコモを含めたオペレータ5社により2018年2月に設立したO-RAN (Open RAN) Allianceで標準化を進められ、異なるベンダ間の相互接続を可能とするO-RANフロントホール仕様に、5Gサービス導入当初から準拠しており、同仕様に準拠したCU・RUはベンダを問わず接続可能としています。また、基地局装置どうしを接続するための仕様についても

O-RAN標準仕様に準拠しており、5G対応のCUとLTE-Advanced対応の高密度BDEについて異なるベンダ間の接続を可能としています⁽⁵⁾。これにより、ドコモでは既存の高密度BDEのベンダに依存せずにCUを導入可能となり、既存資産を活かしつつスピーディに必要な場所に柔軟にエリア展開することが可能です。なお、CU1台につき、6本以上のフロントホール接続が可能となっており、それぞれのフロントホールに対して接続先のRUを選択可能にしています。5GではLTE-Advancedに比較してさらなる広帯域伝送に対応するため、フロントホール伝送レートを従来の最大9.8 Gbit/sから最大25 Gbit/sに拡張しながら、CU・RU間の光張出し距離は従来の高密度BDEと同等を実現しました。

(2) RU

(a) 開発コンセプト

ドコモでは、5Gサービス導入当初から柔軟なエリア構築を可能とするため、2019年9月の5Gプレサービス開始に合わせ、導入時の周波数帯である3.7 GHz帯、4.5 GHz帯、および28 GHz帯にそれぞれ対応した、スモールセル用のRUとなる小型低出力張出しRU

*4 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と局所的なエリアをカバーするスモールセル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。

(SRU: low power Small Radio Unit) を開発しました。また、5G エリアの早期拡大に向け、郊外などにおける効率的なエリア化の実現を可能としたマクロセル用のRUである張出しRU (RRU: Regular power Radio Unit) についても開発しました。

5G 機能の1つとして、他セルへの干渉低減を図り、ユーザ体感品質の向上が期待できるBeamforming^{*5}機能があります。本機能に対応したアンテナ・5G無線部一体型の装置(アンテナ一体型RU)を開発するとともに、既設の3G/LTE/LTE-Advanced向けの無線装置(RE: Radio Equipment)に本装置を併設できるようにスペースなどが限られた個所に対して柔軟に設置可能とすることを目的として、アンテナ・5G無線部

分離型の装置(アンテナ分離型RU)を開発しました。

(b) SRU基本仕様

SRUは、これまでに述べたように柔軟なエリア構築を可能とすることを目的とし、5G プレサービス開始当初から、3.7 GHz帯・4.5 GHz帯・28 GHz帯にそれぞれ対応したアンテナ一体型SRU、および3.7 GHz帯・4.5 GHz帯にそれぞれ対応したアンテナ分離型SRUを開発しました(写真2)。

アンテナ一体型RUについては、Beamforming機能を実現するアンテナパネルを具備しています。3.7 GHz帯・4.5 GHz帯では標準仕様上最大8ビーム、28 GHz帯では標準仕様上最大64ビームであり、ドコモで利用するTDD Configなどに応じた送受信ビーム数にてエリアを形成可能としています。また、送受信ブランチ数は3.7 GHz帯・4.5 GHz帯では428 GHz帯では2とし、1台で前者は最大4レイヤ、後者は最大2レイヤ

*5 Beamforming: 送信信号に指向性をもたせることで、特定方向の信号電力を増加・低下させる技術。複数のアンテナ素子(RF装置)の位相制御により指向性を形成するアナログビームフォーミングと、ベースバンド部において位相制御するデジタルビームフォーミングが存在します。



(a) アンテナ一体型SRU



(b) アンテナ分離型SRU

写真2 SRU外観例



写真3 RRU外観例

のMIMO送受信が可能です。

アンテナ分離型SRUについては、設置性を考慮して省スペース化を目的とし、従来のRE同様に無線部のみの構成としており、SRUとアンテナを別の場所に設置することが可能です。なお、同周波数帯に対応したアンテナ一体型SRUと比較して装置容積を低減し、6.5 ℓ以下を実現しました。アンテナ分離型SRUでは、Beamforming機能には非対応となっているものの、同周波数帯のアンテナ一体型SRU同様に送受信ブランチ数は4としています。

(c) RRU基本仕様

RRUは、5Gエリアの早期拡大に向け、SRUと比較して高出力の装置として、5Gサービス展開に合わせて開発されました(写真3)。

5Gの広帯域幅をサポートするために、従来のマクロセル用RE(RRE: Remote Radio Equipment)と比較して装置サイズが大きくなる傾向となりますが、最新のデバイス動向をかんがみ、早期に省スペース化・軽量化が期待できるアンテナ分離型を先行開発して導入しました。最大送信出力はマクロセルの工

リア半径を考慮し、36.3 W/100 MHz/ブランチ^{*6}としました。また、送受信ブランチ数は4としており、アンテナ分離型SRUと同様のMIMO送受信レイヤ数を実現しています。

ドコモでは、引き続きアンテナ一体型RRUについても導入予定であり、今後は設置場所などをかんがみながらそれぞれの機種を活用して柔軟に5Gエリアを構築していく予定です。

(3) 5G FHM

5G FHMは、フロントホール上の無線信号を最大12分配、合成する機能を持つ装置であり、RRU同様に5Gサービス展開に合わせて開発されました(写真4)。

5G FHMを用いない場合は、1台のRUごとに1セルとして収容しますが、5G FHMを用いることにより、最大12台のRUを1セルとしてCUに収容可能となり、5Gサービス開始当初、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RUを1台の

*6 ブランチ：本稿では、アンテナおよびRF送受信機の総称。



写真4 5G FHM 外觀例

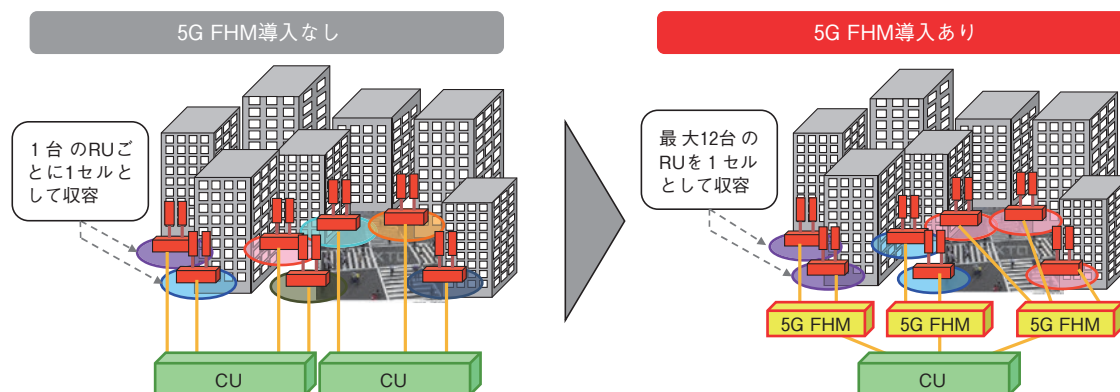


図4 5G FHM 導入イメージ

CUに収容することが可能です(図4)。また、従来のFHM同様、全RUが同一セルの無線信号の送受信を行うため、RU間の干渉や、RU間をまたがるハンドオーバー(HO: Hand Over)制御の発生を抑止することができます。なお、5G周波数帯である3.7 GHz帯・4.5 GHz帯・28 GHz帯すべてに対応しており、それぞれの周波数帯の用途に応じて柔軟にエリア構築が可能となっています。

■5G無線アクセスネットワーク対応

5Gサービスを実現するRANの構成と、無線アクセスネットワーク技術としてLTE-NR Dual Connectivity^{*7}、Beam Management技術、NR高速化対応に関する技術概要を解説します。

(1) RANの構成

5G商用サービス展開にあたっては、ドコモはNRの特徴の1つであるノンスタンドアロン運用にてサービスを提供しています。

ノンスタンドアロンとは、NR単独ではエリア提供せず、LTE/LTE-Advancedのエリアをアンカーとして利用し、サービスを提供する運用形態です。図5に示すように、NRのノンスタンドアロン運用においてeNB(evolved NodeB)^{*8}は、NRを提供する基地局であるgNB^{*9}とはX2^{*10}インターフェースを用いて接続します。また、eNBとgNBはEPC(Evolved Packet Core)とS1インターフェースを用いて接続します。ノンスタンドアロンではLTEをアンカー^{*11}として、接続性に関してはこれまでと同等の品質レベルを実現しつつ、LTE装置との

*7 Dual Connectivity: マスターとセカンダリの2つの基地局に接続し、それらの基地局でサポートされる複数のコンポーネントキャリアを用いて送受信することで、広帯域化を実現する技術。

*8 eNB: LTE無線を提供する無線基地局。

*9 gNB: NR無線を提供する無線基地局。

*10 X2: 3GPPで定義されたeNodeB間のリファレンスポイント。

*11 アンカー: 制御信号もしくは、ユーザペアラの切替え基点となる論理的ノード地点。

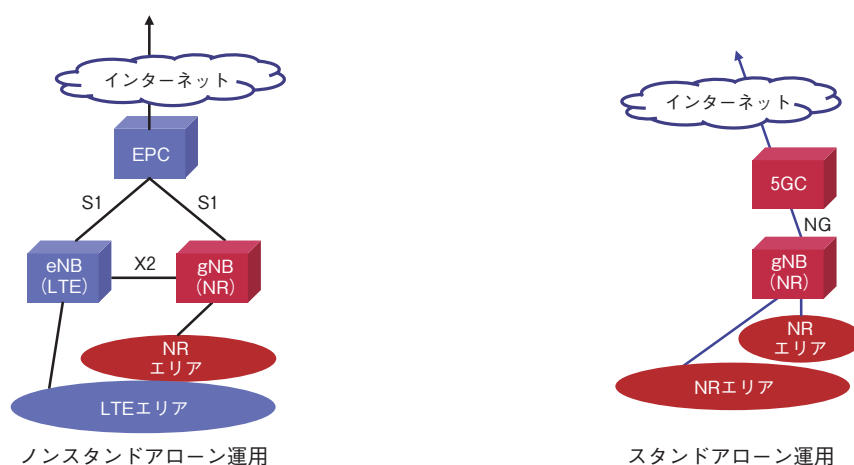


図5 5Gにおけるネットワーク構成

併用による既存ネットワークインフラの活用により早期に商用化を実現しました。またeNBとgNB間の接続に際してドコモらが主導したO-RAN X2仕様に準拠し、LTEとNRの、異なるベンダ間における相互接続を可能としました。すでに展開されているLTEエリアに対して5Gエリアを迅速かつ柔軟に展開することもできるようになりました。

今後提供予定のNRのスタンドアローンは、gNBのみでサービス提供を可能とするもので、RANは新しいコアネットワーク（5GC：5G Core network）に接続します。gNB間はXnインタフェースを用いて接続し、gNB-5GC間はNGインタフェースを用いて接続します。

(2) LTE-NR Dual Connectivity

前述のとおり既存のLTE/LTE-AdvancedとNRとを組み合わせるサービス提供するノンスタンドアローン構成において、UEに対してLTE／NR両方で同時に通信するアーキテクチャがLTE-NR Dual Connectivityです。LTE-NR Dual Connectivityでは、LTE/NRそれぞれの無線リソースを同時に

送るSplit Bearer^{*12}が規定されており、最大5つのLTEキャリアとNRとの同時送信を実現し、高速化や柔軟な5G商用サービス展開を可能としています。

LTE-NR Dual Connectivityの、LTE基地局がMN（Master Node）となる運用においては、NR側の帯域が大きくなるに連れてLTE基地局側でMCG（Master Cell Group）Split Bearerを行う必要があり、そのため、NR装置に比べ能力に制限のあるLTE基地局装置側の増強が必要であり、それに伴う装置開発・運用コストの増加につながります。そこでLTE基地局装置の増強を抑えつつ、その装置能力によるスループットの制約を回避するために、LTE-NR Dual Connectivityではユーザデータの分岐点をNR装置であるSN（Secondary Node）^{*13}で設定できるようにSN terminated split

*12 Split Bearer：Dual Connectivityにおいて、マスターとセカンダリの両方の基地局を介して送受信されるベアラ。

*13 SN：Dual Connectivity中の端末に、MNの無線リソースに加えて、追加で端末に無線リソースを提供する基地局。LTE-NR Dual Connectivityにおいて、SNは、MNがLTE基地局（eNB）の場合はNR基地局（gNB）、MNがNR基地局（gNB）の場合はLTE基地局（eNB）がなり得ます。

bearer, および SN Terminated MCG Bearerが仕様化されています。SCG split bearerはユーザデータをSNのキャリアに伝送しつつMNのキャリアにも転送を行い、SNおよびMN同時にデータをユーザに伝送できるようにする方法です。これにより高速化通信を実現しています。またSN terminated MCG BearerはNRのエリア外においてもSNからデータ転送を行えるようにする方法であり、これにより安定的な通信を実現しています。

(3) Beam Management技術

NRでは新たにBeam Management技術を採用しています。前述のようにアンテナ一体型RUについては複数ビームを形成するような構成となっています(図6)。

FR1 (Frequency Range 1) ではBB信号に位相回転を与えることによりビーム形成するDigital beamformingを採用し、FR2 (Frequency Range 2) ではRF (Radio Frequency) 信号に位相を与えることによりビーム形成するAnalog beamformingを採用しています。NR接続開始時の最適ビーム選択処理および、UEの移動などによる無線品質変更に伴いビームを変更するビーム切替え処理を具備し、通信するUEの位置に応じた最適な送受信ビームを使用することで、

高周波数帯においてもカバレッジの確保を実現しています。また、UEの位置に対してビームを向けることにより、不要な方向への電波の放射が抑制され、セル間の干渉の抑圧効果も期待できます。

(4) NR高速化対応

5GではLTE/LTE-AdvancedとNRとのDual ConnectivityにてNRも同時に利用することにより、さらなる高速通信が実現されます。現在ドコモではLTE/LTE-Advancedにて、下り通信は5つのコンポーネントキャリアをキャリアアグリゲーションすることにより下り最大1.7 Gbit/sのサービスを提供していますが、ドコモの5Gでは導入当初からLTE/LTE-Advancedの5つのコンポーネントキャリアとNRのDual connectivityを実現しており、NRとして3.7 GHz帯または4.5 GHz帯を利用する場合は最大3.4 Gbit/s、NRとして28 GHz帯を利用する場合は最大4.1 Gbit/sを実現しています。

また、上り通信においては、28 GHz帯において、合計200 MHz(2コンポーネントキャリア)をキャリアアグリゲーションで同時利用することに加え、2×2 MIMOの導入により、合計480 Mbit/sを実現しています。

さらに、今後、下り通信においては3.7

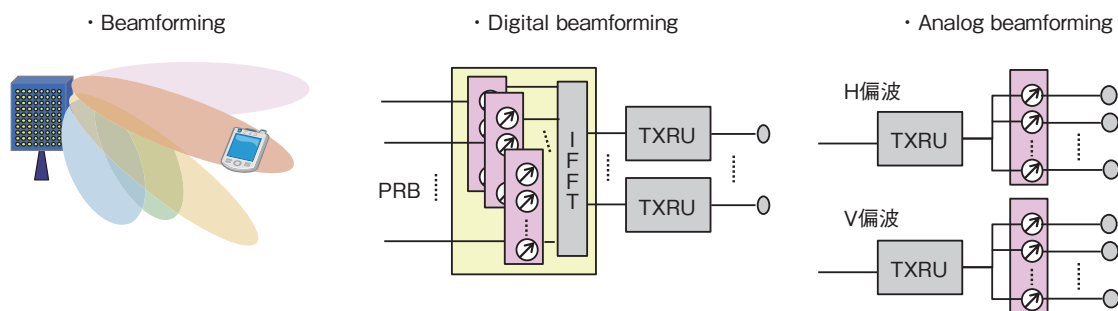


図6 Beamforming技術の種別

GHz帯と4.5 GHzのキャリアアグリゲーション、上り通信においては28 GHz帯における400 MHz（4 コンポーネントキャリア）のキャリアアグリゲーションによりさらなる広帯域利用による高速化をねらいます。

■コアネットワーク装置開発

国際的な標準化団体である3GPPにおいては、5Gの提供に向けた複数のマイグレーションのアーキテクチャが規定されています。3GPPに規定されているアーキテクチャの一覧を図7に示します。Option 1がLTEで提供しているアーキテクチャであり、5Gを提供するにあたりOption 2～5、7の、どのアーキテクチャを採用するかは各オペレータの判断になります。ドコモは前述したとおり、5G導入当初においてはLTEで商用運用しているEPCを拡張することでNRと接続し、

5Gを提供するOption 3アーキテクチャを採用しています。これにより、LTE/LTE-Advancedで展開済みの安定した品質を担保可能としつつ、早期に5Gの商用提供を実現しました。なお、5G導入当初は世界的に見て多くのオペレータがOption 3を採用しています。

今後は新しいコアネットワークである5GCの導入も含め、将来のマイグレーションに向けた検討を続けていきます。

(1) Option 3xアーキテクチャ

前述のとおり、装置開発・運用コストを抑制するためのSCG split bearerによるユーザデータの転送処理を行っています。つまり制御系信号のやり取りはEPC-eNB間で行い、ユーザデータのやり取りはEPC-gNB間で行っています。これはOption 3xとして

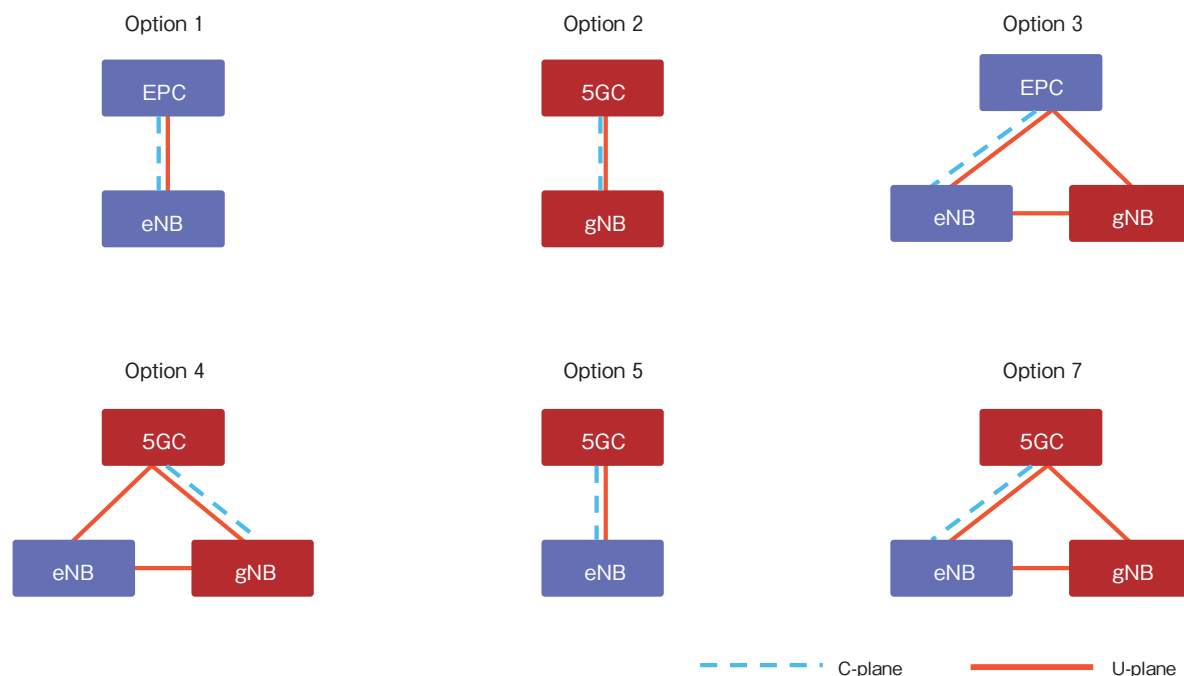


図7 5Gへのマイグレーションアーキテクチャ

標準上規定されています。

EPCはeNBとのS1インタフェースおよびUEとのNAS (Non-Access Stratum) インタフェースを拡張することでNRを収容可能となるため、コアネットワーク装置への影響を軽減でき、安定した品質と早期導入を両立可能なことが最大の特長です。

(2) 高スループット対応

5Gでは最大で4.1 Gbit/sの下りスループットを提供し、今後もより高速・大容量通信を実現するために開発を続けていきます。一方、EPCはさまざまな能力の装置が混在しており、5Gの求めるスループットの提供が困難な装置も存在します。これらをかんがみ、EPCの中でデータ転送処理を担うS/P-GW (Serving Gateway/PDN Gateway) を選択する際に、5Gのスループットを提供可能なS/P-GWを選択する開発を実施しました。

具体的には、MME (Mobility Management Entity) でS/P-GWを選択する際にTA (Tracking Area) やAPN (Access Point Name) をキーにDNS (Domain Name System) を引くことで、応答に含まれるレコードからS/P-GWを選択していますが、DNSの応答に含まれるサービスパラメータ (network capability) に5G能力を示す値 (+nc-nr) を追加しました。5Gユーザに対しては、この値に応じて5Gのスループットを提供可能なS/P-GWを選択することで高速通信を実現しています。

(3) 低遅延ネットワーク

5Gの商用開始と同時にドコモオープンイノベーションクラウドの提供も開始しました。ドコモオープンイノベーションクラウドはMEC (Multi-access Edge Computing)

の1つの形態として提供しており、コアネットワークを含めたコンピューティングリソースを端末に近いところに配備することでEnd to Endの通信遅延を短縮することができます。さらに接続端末とクラウド基盤間の通信経路を最適化することでネットワーク伝送遅延を短縮する「クラウドダイレクト™」も提供します。

あ と が き

本稿では、5G商用サービス提供を行うための無線基地局装置、およびコアネットワーク装置の開発内容について解説しました。

ドコモは5Gを通じてさまざまなパートナーと協創し、豊かな社会の実現に貢献するとともに、今後も先進的で高度な技術開発を進めていきます。

■参考文献

- (1) https://www.soumu.go.jp/main_content/000567504.pdf
- (2) https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000378.html
- (3) 藤井・諏訪・鳥羽・戸枝：“3.5 GHz帯TD-LTE導入に向けた基地局装置の開発,” NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol. 24, No. 2, pp. 8-13, Jul. 2016.
- (4) 吉原・戸枝・藤井・諏訪・山田：“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,” NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol. 23, No. 2, pp. 19-24, Jul. 2015.
- (5) https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2019/09/18_01.html

◆問い合わせ先

NTT ドコモ

R&D 戦略部

E-mail dtj@nttdocomo.com