

5G時代のビジネス創出

2020年となり、グローバル市場でも多くのキャリアが第5世代移動通信システム（5G）サービスを開始しました。現在すでに30を超える国、80前後の5Gネットワークが稼働しているとされ、これまでにないこうした導入スピードが5Gに対する期待の表れとみて取れます。5Gは標準化の段階から“Enabling Technology”とも言われ、マスマーケットだけでなくB2B2X（Business to Business to X）のようなビジネス領域への伸長を企図されたものと理解されています。メディアでよく喧伝される無線区間の低遅延、大容量伝送だけでなく、ネットワークも仮想化をさらに意識し、かつエッジコンピューティング*1を許容することなど、これまでのモバイルネットワークとは一線を画す設計思想であることを強く感じます。標準化での寄書活動を通して、キャリアや通信機器ベンダだけでなくクラウド事業者といった新しいプレーヤの意向も当然反映されています。5G時代のビジネスを担う立場としては、5Gを技術的な実装面だけで理解するのではなく、こうした背景を理解し、競争力のあるビジネスを迅速に提供していかなければなりません。これはこの後に続く5Gの高度化や、第6世代移動通信システム（6G）でもさらに重要なポイントになることでしょう。

これまでのモバイルネットワークの世代移行（マイグレーション）でもそうでしたが、「通信基盤の技術的な進化」「そのポテンシャルを活かす関連技術とそれを保有するパートナーとの連携」「そうして生み出される新しいサービスが市場の嗜好から逸脱したものにならないよう、受益者である企業、個人のお客様に自然にご満足いただけるサービスの提供」という3つの要素がビジネスの要諦となります。ドコモでは、5Gに至るこれまでも基礎検討から実用化開発まで第一線で貢献していますし、いち早くドコモ5Gオープンパートナープログラムの組成を図り、多くのパートナー企業とサービス開発を進めてきました。3月25日の商用開始と同時に発表した22のソリューションは、5Gのポテンシャルを活かす高精細画像処理、AI分析、xRなどの要素技術との融合であり、導入期の5Gビジネスの特徴を強く示しています。ビジネスチームとしては、これを産業別にご提案、業界ごとにきめ細かくエンゲージし、ご利用いただくお客様に新しい価値を体感いただき、ご満足いただける商品開発を行ってまいります。

一方で、通信を取り巻くICTの事業環境は、さらに高度な領域に及びつつあります。前述したクラウド事業者



5G・IoTビジネス部 部長

つばや ひさかず
坪谷 寿一

の事業拡大はこれまでの通信基盤の進化と歩調を合わせたものであり、5G時代のビジネス環境もサイバー・フィジカル融合、DX（Digital transformation）*2などのキーワードとともに多様な競争環境にシフトしていくと思われれます。ドコモの法人事業でも、こうした変化に対し、3G/LTEで伸ばしてきたIoTビジネスとその過程で生み出されてきた構造化データによるDX、さらに5Gで大きく成長が期待される高精細画像・動画伝送、それにより生成される非構造化データも加えた統合的なDXをパートナー企業とともに進めていきます。

最後に、5Gの商用開始が新型コロナウイルスの感染拡大と機を同じくしたことは、後年さまざまな形で論じられるかもしれません。新型コロナウイルスの感染拡大は、私たちの想定を上回る社会課題を突きつけ、「リモート」や「分散」という新たな生活様式を一気に生み出そうとしています。これまでのマイグレーションでは、関連技術の登場と新ビジネスの創出には幾分かタイムラグがありましたが、今回はこれまでとは異なり大変速いスピードで新しいサービスが生み出されていくと強く感じます。私もこれまで以上に能動的な意思をもち、適時的確にビジネスを提案するため、さらに気を引き締めて臨む所存です。

*1 エッジコンピューティング：ユーザーの近くにエッジサーバを分散させ、距離を短縮することで通信遅延を短縮する技術。

*2 DX：ITの浸透が人々の生活をあらゆる面で良い方向に変化させること。

[Contents]

DOCOMO Today

5G時代のビジネス創出 坪谷 寿一 1



特別寄稿

いつでも、どこでも、だれとでも、〇〇でも、△△でも
 藤元 美俊 4



5G特集(2)

—社会課題解決・社会変革実現に向けたドコモの挑戦—

Technology Reports (特集)

5G通信に対応した移動端末の開発 6

5G対応移動端末 移動端末無線部構成 発熱制御

5G通信におけるサービスおよびソリューション 16

コンシューマ向けサービス 法人向けソリューション ネットワークカスタマイゼーション

5Gの発展に向けた実証実験の取組み 31

5G evolution ミリ波 実証実験

3GPP Release 16標準化特集

Technology Reports (特集)

5G evolutionの方向性と標準化動向 41

5G evolution 標準化 3GPP Release 16

3GPP Release 16における5Gコアネットワークの高度化技術の概要 45

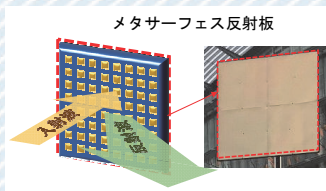
5Gコアネットワーク ネットワークスライシング ネットワークデータ解析

3GPP Release 16における5G無線の高度化技術概要 57

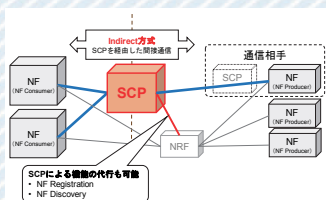
5G NR LTE



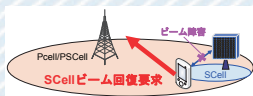
(P.16)



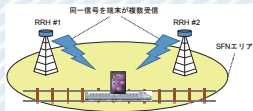
(P.31)



(P.45)



(P.82)



(P.96)



(P.101)



(P.106)

産業創出・ソリューション協創に向けた5G高度化技術

65

URLLC

Vertical Network

V2X

モバイルブロードバンド向けの5G高度化技術

82

eMBB

高速・大容量

5G NR

LTE/NRにおける高速移動環境下での性能向上技術

96

3GPP Release 16

LTE/NR

HST

Activities

「5G Evolution & 6G Summit」開催 101

News

情報通信技術委員会 (TTC) 2020年度「TTC会長表彰」受賞 105

2019年度情報処理学会「業績賞」受賞 106

電子情報通信学会 第57回「業績賞」受賞 107

電子情報通信学会 第6回「末松安晴賞」受賞 108

第31回電波功績賞「総務大臣表彰」「電波産業会会長表彰」受賞 109

「KDD CUP 2020」入賞 110

第65回「前島密賞」受賞 111

2020年「日本ITU協会賞」受賞 112

	AQUOS R5G	Galaxy S20 5G	LG V60 ThinQ 5G	Xperia 1 II	Galaxy S20+5G	arrows5G	Wi-Fi STATION (SH)
	ハイスペックモデル	ハイスペックモデル	ハイスペックモデル	ハイスペックモデル	ハイスペックモデル	ハイスペックモデル	ハイスペックモデル
端末外観	Sub6	Sub6	Sub6	Sub6	mmW Sub6	mmW Sub6	mmW Sub6
発売日	2020年3月25日	2020年3月25日	2020年5月11日	2020年6月18日	2020年6月18日	2020年7月30日	2020年6月1日

Technology Reports (特集) 5G通信に対応した移動端末の開発 (P.6)
2020春夏新商品 5G対応端末

いつでも、どこでも、だれとでも、
○○でも、△△でも

福井大学 学術研究院 教授 藤元 美俊さん

移动通信の代表といえる携帯電話は1990年代より急速に普及し、今では1人1台以上保有する時代となりました。また、その端末として、折畳み式のフィーチャーフォンが主流であった時代もありましたが、現在ではスマートフォンが主流となりました。さらに、通信機能としての電話のほかに、Wi-Fi、GPS、FM放送受信、ワンセグ放送受信などさまざまな機能が搭載されています。利用状況は、屋内外、電車やバスなどの移動中、最近では国際線航空機内でも利用可能となり、1990年代の初めに移动通信技術者がめざしていた「いつでも、どこでも、だれとでも」情報通信が可能な状態が、ある意味達成された感があります。私が無線通信に関する業務に携わり始めたのが、ちょうどこの3つの「○○でも」の実現をめざして研究開発が始まったころでした。本稿では、その実現に向けた時代の流れと、これからについて思うところを記したいと思います。

私が初めて通信に関する業務に携わったのは、1985年に(株)豊田中央研究所に入社し無線技術の部署に配属されたときでした。プライベートでも電波を利用することが多かったことからアマチュア無線の無線従事者の免許を取得しました。まだ携帯電話が普及する前でしたので、無線を使ったコミュニケーションは無線従事者の資格をもつ者の特権のように感じていました。また、女優の原田 知世さん主演のスキーをテーマにした映画が1988年に大ヒットし、その中でアマチュア無線が利用されていたことから、当時、アマチュア無線の利用者が急増しました。以前から無線を利用していた私としては、ある種の優越感を覚えたことを記憶しています。仕事柄、単なるユーザではなく、端末の送信電力、周波数、変調方式を明確に意識し、さらに交信距離や受信レベルなども意識していました。周波数と自動車の速度によって受信レベルの変化の様子が大きく異なることや、高い山では遠方からの電波がたくさん受信でき過ぎて空きチャンネルが見つからないなど、現在の携帯電話では実感できないことを体験しました。しか

し、1995年ごろから大きく普及し始めた携帯電話のユーザはそんなことを意識することなく利用できます。つまり、「いつでも、どこでも、だれとでも」通信するために、アマチュア無線時代に苦勞し、工夫したことをシステム側にすべてやってもらえるようになりました。無線の知識など全く必要なく、「いつでも、どこでも、だれとでも」通信可能な移动通信システムを開発された関係各位の努力は計り知れないものであったことは間違いありません。

では、その後について考えてみましょう。携帯電話はその世代を重ねるにつれ、CDMA (Code Division Multiple Access)*1、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*2、MIMO (Multiple Input Multiple Output)*3伝送などの新しい伝送方式が開発、導入されてきました。以前の携帯電話では、周辺物体で反射、回折された遅延波は正常な通信にとって“じゃまもの”でしたが、CDMAにおけるRAKE受信*4により遅延波も利用されるようになりました。また、MIMO伝送では、遅延波を利用したマルチストリーム伝送が可能となり“じゃまもの”を味方につけるようになりました。これらの技術の実用化によって、たとえば“電車の中でYouTubeの動画を見る”などという1990年代には考えられなかった利用方法が、ごく普通に行われるようになりました。これは、「どんな環境でも」通信を可能とする、新しい「○○でも通信」と言えます。

一方、携帯電話とともに私たちの生活に欠かせない無線システムとして、Wi-Fiと地上デジタル放送があります。いずれも2000年前後に実用化され、いずれもOFDM伝送方式が採用されています。OFDM伝送では、ガードインターバル*5を設けることによりガードインターバル以内の遅延波の影響はほぼなくなります。すなわち、“じゃまもの”を無かったことにする効果があります。実際のところは“無かったことにする”よりも、むしろ遅延波があったほうが、若干受信特性が向上することが研究の成果として明らかにされています。私は、1990年代後半、



Profile

1985年(株)豊田中央研究所入所。1991年名工大大学院修士課程修了。2000年同大大学院博士課程修了。博士(工学)。2003年福井大学助教授。2014年福井大学教授。現在に至る。アダプティブアレーアンテナ、地上デジタル放送移動受信、到来方向推定、MIMO通信の研究に従事。1992年度IEEE AP-S Tokyo chapter, Young Engineer Award, 2013年電子情報通信学会通信ソサイエティチュートリアル論文賞, 2020年IEICE Communications Express TOP DOWNLOADED LETTER AWARDなど受賞。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

地上デジタル放送の移動受信特性改善技術の開発に携わっていました。当時、地上アナログテレビ放送に比べて地上デジタル放送ははるかに高品質であるが、移動受信に弱いという弱点がありました。私は主に、地上デジタル放送移動受信の指向性制御技術の開発に取り組んでいましたが、こうした電波関連技術のほか、同期技術、復調技術、符号化技術などの発展と相まって、現在ではタクシー、電車の中など、移動体でハイビジョン放送を楽しむことができるようになりました。また、ワンセグ放送であれば新幹線の中でも受信できます。これは、「どんな高速移動体でも通信できる」、ある意味、新しい「〇〇でも通信」の1つと考えます。

また、2010年以降、あらゆる“もの”がインターネットにつながるIoT (Internet of Things) 時代が到来するといわれるようになりました。その実現に向けて、IPv6 (Internet Protocol version 6)*6の導入をはじめさまざまな技術開発が進められています。これにより、「あらゆるもの同士でも通信」というこれまでにない、また新しい「〇〇でも通信」が実現することになります。

近年では、第5世代移動通信システム (5G) が大きな話題となっており、バラエティ番組などでも“5G”というキーワードが飛び交うようになりました。ただ、それがどのように新しいのか一般の方々にはまだ十分に理解されていない面もうかがえます。5Gで実現される3つの柱として、①eMBB (enhanced Mobile BroadBand)、②mMTC (massive Machine Type Communication)、③URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communication) がうたわられています。

①eMBBは、従来の高速・大容量通信によって実現してきた「どんな情報でも通信」の拡張版に相当し、やがては味や匂いなども送受信できる時代が来ると思います。

②mMTCは、たくさんの物と物とがつながりあう、「あらゆるもの同士でも通信」するIoTの

実現につながる機能といえます。

③URLLCは、低遅延かつ高信頼な通信を意味し、遠隔医療や遠隔無人操作への応用が期待されています。近年開発が進んでいる、バーチャルリアリティ技術と融合することにより「あたかもそこにいるかのような環境を作り出す」ことが可能になることでしょう。さらには「どこからでも」あたかもそこにいるかのように診療、操作が行えるようになることが期待されます。これは、新しい「△△でも」に相当すると思います。

すでに5Gのサービスが開始されていますが、現状では、上記のeMBB、mMTC、URLLCの機能をどこでも十分に利用できる状態とは言えません。しかし、これまでのシステム開発がそうであったように、通信技術者たちは、目標として掲げたことをそれが困難であってもことごとく達成してきました。従って、5Gの3つのユースケースに見合う機能が普及する時もそう遠くないでしょう。最近では、Beyond5G、6Gというキーワードを含む話題も耳にするようになりました。新しい機能が実現され、それを活かした新しい「☆☆でも」とは一体どのようなものなのか、楽しみです。

-
- *1 CDMA：符号を利用して複数の情報を多重化する技術。
 - *2 OFDM：高速なデータをいったんたくさんの低速なデータに変換し、それぞれ異なる周波数をもちいて並列に伝送する方式。周波数利用効率が高く、地デジ、Wi-Fiなど広く応用されている。
 - *3 MIMO：送受信それぞれに複数のアンテナ素子を配置し、多重波環境における複数の電波伝搬経路を利用して並列に伝送することで高速伝送を実現する技術。
 - *4 RAKE受信：多重波環境における遅延波も受信し、タイミングを合わせて合成する受信方式。
 - *5 ガードインターバル：OFDM伝送において遅延波の影響を低減するために、信号区間に挿入される特殊な信号。
 - *6 IPv6：インターネットで使われる通信規約の1つ。現在広く使われているIPv4よりも、はるかに多くのIPアドレス (固有番号) を使用可能である。

5G通信に対応した移動端末の開発

移動機開発部	いのうえ ゆうさく 井上 雄策	おくま ゆうた 小熊 優太
	たろうだ さとし 太郎田 智史	
プロダクト部	いながき てつや 稲垣 徹也	ユ ヨン Chol 劉 永哲
	さとう なおや 佐藤 直也	

5Gの導入により、移動端末は「高速・大容量」「低遅延」を活かした、より快適な通信が利用可能となった。一方で、今後もトラフィック量の増大が予想されており、スループットのさらなる向上が求められるため、ドコモは、5G新規周波数帯と既存の4G周波数帯を組み合わせたEN-DCを検討してきた。本稿では、5G新規周波数帯対応に伴い、新たに開発した移動端末の概要、RF構成、標準化試験手法、発熱対策、および今後のドコモの移動端末開発の取組みを解説する。

1. まえがき

2019年4月に第5世代移動通信システム（5G）の新規周波数割当てが総務省より発表され、ドコモに3.7GHz帯（3.6～3.7GHz）、4.5GHz帯（4.5～4.6GHz）、28GHz帯（27.4～27.8GHz）の周波数帯が新たに割り当てられた。ドコモは、5G新規周波数帯と既存の4G周波数帯を組み合わせたEN-DC（Evolved

Universal Terrestrial Radio Access Network New Radio Dual Connectivity)*1により、2020年3月に受信最大3.4Gbpsでサービスを開始し、同年9月に受信最大4.1Gbpsの対応を行った。

本稿では、5Gの新規周波数帯の導入により、ドコモが行ってきた技術開発の取組みとして、3GPPにおける標準仕様策定への貢献、5G新規周波数帯と既存の4G周波数帯を組み合わせたEN-DCを実現

©2020 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

*1 EN-DC：5G NSA運用のためのアーキテクチャ。4G無線でRRC connectionを行い、追加の無線リソースとして加えて5Gを用いる。

するRF（Radio Frequency）*2構成について解説するとともに、5Gで新規に導入された28GHz帯の標準試験手法を解説する。また、移動端末の消費電力の増加に伴い発熱量も増加するため、ユーザが安心して移動端末を利用できるよう導入した発熱対策を解説する。

2. 5G端末の特徴

5Gにおける移動端末のバリエーションは多岐にわたっている。それらはスマートフォン、モバイルWi-FiルータやCPE（Customer Premises Equipment、屋内ルータ）といったデータ通信端末や通信モジュールである。これまでのLTEから進化したモデルであり、5G対応機種としてユーザは高速・大容量、低遅延、多端末接続によって、よりリアルタイムに、より臨場感が体験できるようになる。

ドコモは、5Gサービス導入期において、新たな体験の普及をめざし5G対応機種としてSub6*3+LTE対応スマートフォン4機種、mmW（millimeter

Wave）*4+Sub6+LTE対応スマートフォン2機種、Wi-Fiルータ1機種の合計7機種を提供している（図1）。スマートフォンの2020春夏新商品のハイスペックモデルはすべて5G対応であり、Sub6対応モデルでは下り最大3.4Gbps、上り最大182Mbpsのスループット、mmW対応モデルでは下り最大4.1Gbps、上り最大480Mbpsのスループットを実現する。また端末スペックとして、ディスプレイ：OLED（Organic Light Emitting Diode）主流・最大限の狭額縁化、電池：さらなる大容量化、カメラ：多眼化・AI活用、CPU/GPU：高性能化と省電力の両立、メモリ：RAM10GB超などの要素技術の進化も著しい。

今回5G端末では、「LTEからの進化」と、「新たな体験を実現するハブとしての連携機能」を意識・体現した実装としている。

まず、LTEからの進化では、5G通信を活かしたeスポーツなどのリアルタイム性の向上、スポーツ観戦のマルチアングル視聴、8K動画撮影／共有などのユースケースを実行可能な処理スペック、ディスプレイサイズ、電池容量などを実現している。








	AQUOS R5G	Galaxy S20 5G	LG V60 ThinQ 5G	Xperia 1 II	Galaxy S20+5G	arrows5G	Wi-Fi STATION (SH)
	ハイスペックモデル	ハイスペックモデル	ハイスペックモデル	ハイスペックモデル	ハイスペックモデル	ハイスペックモデル	ハイスペックモデル
端末外観	Sub6 	Sub6 	Sub6 	Sub6 	mmW Sub6 	mmW Sub6 	mmW Sub6 
発売日	2020年3月25日	2020年3月25日	2020年5月11日	2020年6月18日	2020年6月18日	2020年7月30日	2020年6月1日

図1 2020春夏新商品5G対応端末

*2 RF：無線回路部。

*3 Sub6：周波数帯域の区分の1つ。3.6GHzから6GHzの周波数をもつ電波信号。

*4 mmW：周波数帯域の区分の1つ。30GHzから300GHzの周波数をもつ電波信号。

ハブとしての連携機能では、多様な周辺機器との接続のために、特に外部インターフェースの機能の充実を図っている。具体的にはUSB Type-C^{*5}のDisplay port^{*6}搭載やWi-Fi 6 (IEEE 802.11ax^{*7}) テザリングの搭載によるコネクティビティやEnd-to-Endでの通信速度の向上であり、接続された周辺機器でも5G体験ができる環境を実現している。

3. 5G実現のための端末無線部構成

3.1 周波数対応

3GPP標準仕様では、周波数帯は大きく下記2つの周波数レンジに分類される。

- ・FR1 (Frequency Range 1) : 450~6,000MHz
- ・FR2 (Frequency Range 2) : 24,250~52,600MHz

FR1は、既存4G周波数帯と同一の周波数帯域および5G向け新規の周波数帯域の2つで構成される。日本で5G向けに新規に割り当てられた周波数帯域は、3.7GHz帯 (n77, n78)、4.5GHz帯 (n79)、28GHz帯

(n257) である。n77, n78, n79, n257はそれぞれNR向けに定義されたTDD周波数帯域を表す。そのうち、ドコモに割り当てられた周波数は図2に示す通り、3.6~3.7GHz、4.5~4.6GHz、27.4~27.8GHzである。なお、既存4G周波数帯を5Gとして使用する場合の国内法は2020年8月27日に施行され、今後の国内での運用が期待されている。

5Gの方式としては、SA (StandAlone)^{*8}, NSA (Non-StandAlone)^{*9}があり [1], 今回の移動端末はNSAに対応している。NSAでは4G周波数帯と5G周波数帯を組み合わせたEN-DC技術を用いている。表1に示す通り、既存の4G周波数帯と3.7GHz帯、4.5GHz帯、28GHz帯を用いたEN-DCの組合せを搭載した移動端末を開発した。3.7GHz帯、4.5GHz帯を用いた場合は下り最大3.4Gbps, 上り最大182Mbpsを実現している。28GHz帯を用いた場合は下り最大4.1Gbps, 上り最大278Mbpsを実現している。今後上り最大480MHzのスループットが実現予定である。

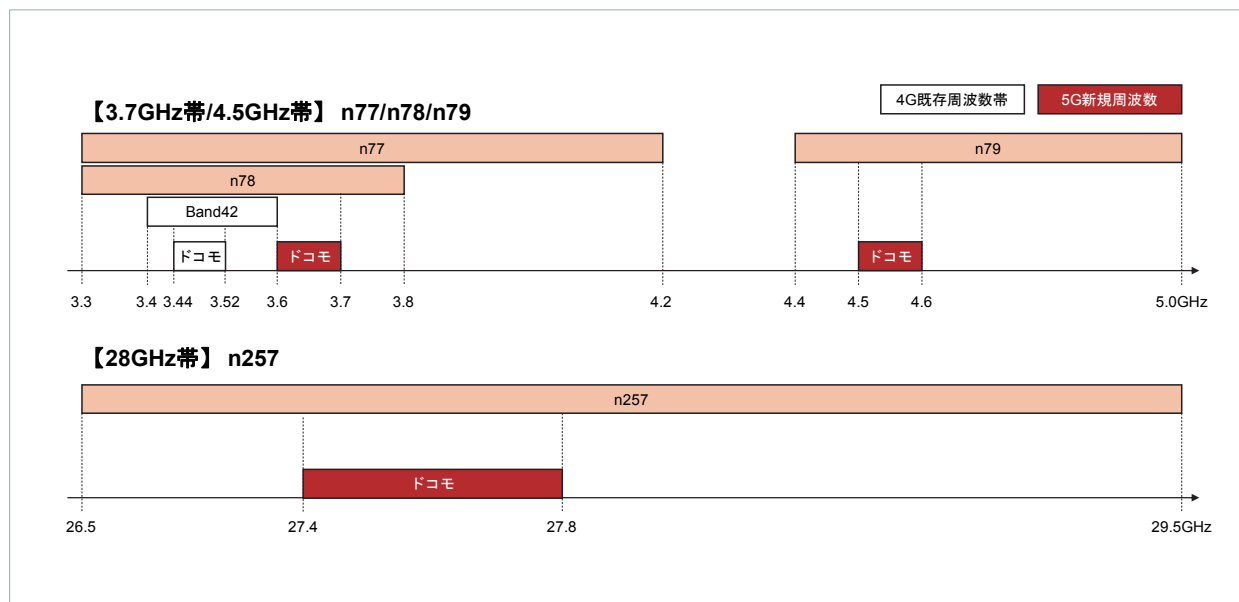


図2 5G新規周波数のドコモ割当て

*5 USB Type-C : USB Implementers Forumにて規格化されたコネクタ規格。
 *6 Display port : Video Electronics Standards Associationが策定した映像出力インターフェース規格。
 *7 IEEE 802.11ax : IEEEで規定された無線規格。2.4GHz帯と5GHz帯の周波数を利用し、9.6Gbit/sの転送速度をサポートする。

*8 SA : スタンドアローン方式。端末が単独の無線技術を用いて移動通信網に接続する形態。

*9 NSA : ノンスタンドアローン方式。端末が複数の無線技術を介して移動通信網に接続する形態。

表1 EN-DCバンド組合せの一例

EN-DCバンド組合せ	周波数帯
Band 1+n78	2GHz (20MHz) +3.7GHz (100MHz)
Band 1+n79	2GHz (20MHz) +4.5GHz (100MHz)
Band 1+n257	2GHz (20MHz) +28GHz (400MHz)
...	...
Band 1+Band 3+Band42+n78	2GHz (20MHz) +1.7GHz (20MHz) +3.5GHz (20MHz×3) + 3.7GHz (100MHz) ※1
Band 1+Band 3+Band42+n79	2GHz (20MHz) +1.7GHz (20MHz) +3.5GHz (20MHz×3) + 4.5GHz (100MHz) ※1
...	...
Band 1+Band 3+Band42+n257	2GHz (20MHz) +1.7GHz (20MHz) +3.5GHz (20MHz×3) + 28GHz (100MHz) ※2

※1 3.4Gbps到達時のEN-DCバンド組合せ

※2 4.1Gbps到達時のEN-DCバンド組合せ

3.2 端末無線部構成実現法

日本は3.7GHz帯と4.5GHz帯の双方の周波数帯域を割当予定であったため、3.7GHz帯と4.5GHz帯の共存を3GPP標準化会合にて議論した。周波数バンド間を保護する従来規定をそのまま3.7GHz帯と4.5GHz帯に適用すると、周波数バンドが近接している点、高周波数帯である点から、相互保護のための移動端末送信電力の低減による上りカバレッジの縮小、あるいは、高価なフィルタ搭載によるコスト高が懸念された。そのため、ドコモは国内他事業者と、3.7GHz帯と4.5GHz帯間の干渉検討を実施し、干渉影響の生じない範囲で、送信電力の低下や高価なフィルタ搭載を必要としない適切な保護規定を検討した。3GPP標準化会合において、国内事業者連名で上記保護規定の提案を合意し、上りカバレッジの確保と安価なデバイス実装を実現した。これにより、低損失・低コストのLCフィルタ*10で標準仕様を満たせることとなった。

EN-DCを実現する代表的なRF構成を図3に示す。EN-DCを実現するためには、2つの周波数帯を分離し

て同時通信を可能にする必要があり、その実現方法は2つに分類される。1つはアンテナ直下に複数の周波数帯域を低損失で分離するフィルタ（分波器*11）を配置する方法である（Low band*12, Mid band*13, Ultra high band*14（4.5GHz帯）の分離）。もう1つは、同時通信するそれぞれの周波数でアンテナを分離する方法（Ultra high band（3.7GHz帯）の分離）である。分波器を使用する方法では、いかにデバイスの通過損失による信号の電力低下を抑えるか、アンテナを分離する方法では、アンテナの実装面積が大きくなるため、いかに大きさを抑えるかが技術的課題である。3.7GHz帯・4.5GHz帯は標準仕様上で受信アンテナは4本搭載が必須となるため、前述の課題もふまえて、RF構成を工夫して実装している。

4. 5G端末のFR2 RF性能評価

NRで規定されたmmWの周波数帯（3GPPにおけるFR2の周波数帯）に関する、移動端末におけるRF性能の評価手法について以下に解説する。

*10 LCフィルタ：フィルタの一種。干渉信号に対する減衰特性が比較的緩やかであるが、低損失・低コストで実装可能。

*11 分波器：複数の周波数帯を低損失で分離するフィルタである。2つの周波数帯を分ける分波器をDiplexer、3つの周波数帯を分ける分波器をTriplexerと呼ぶ。Diplexerの場合は、Low Pass Filter（低周波数側を通過帯域とし高周波数側を減衰帯域とし

たフィルタ）とHigh Pass Filter（高周波数側を通過帯域とし低周波数側を減衰帯域としたフィルタ）から構成される。

*12 Low band：ドコモの使用するバンドではBand 28（700MHz帯）、Band 19（800MHz帯）が該当する周波数帯。

4.1 FR2 RF性能評価手法

FR2では送受信機とアンテナの一体化に伴い、コネクタでの測定ができないことから、RF仕様規定としてOTA (Over The Air)^{*15}規定が導入された。OTA規定では、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)^{*16}、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)、および等価等方感度 (EIS: Equivalent Iso-tropic Sensitivity)^{*17}が定義されている [1]。

Release 15における3GPP標準仕様では、EIRP、TRP、EISの測定を実現するため、DFF (Direct Far Field)^{*18}、IFF (Indirect Far Field)^{*19}、およびNFTF (Near field to Far Field)^{*20}の3つの測定系が定義された。現在は、比較的的小型な試験系で実現可能な、IFFの測定手法が普及している。以下では、IFFの測定手法であり、FR2のRF性能評価の測定系である、CATR (Compact Antenna Test Range) について解説する。

CATRの概略図を図4に示す。EIRPやTRP、EIS

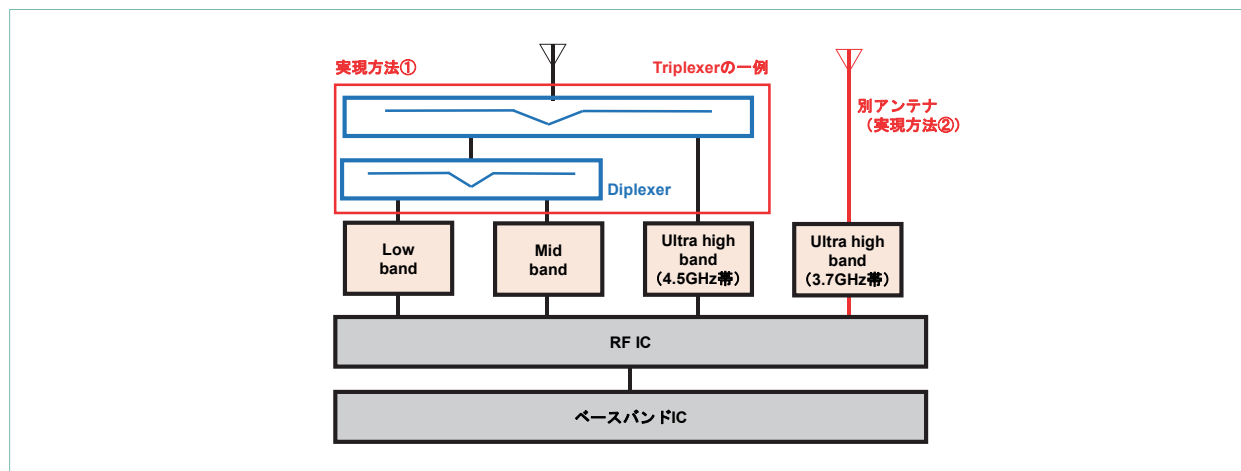


図3 RF構成の一例

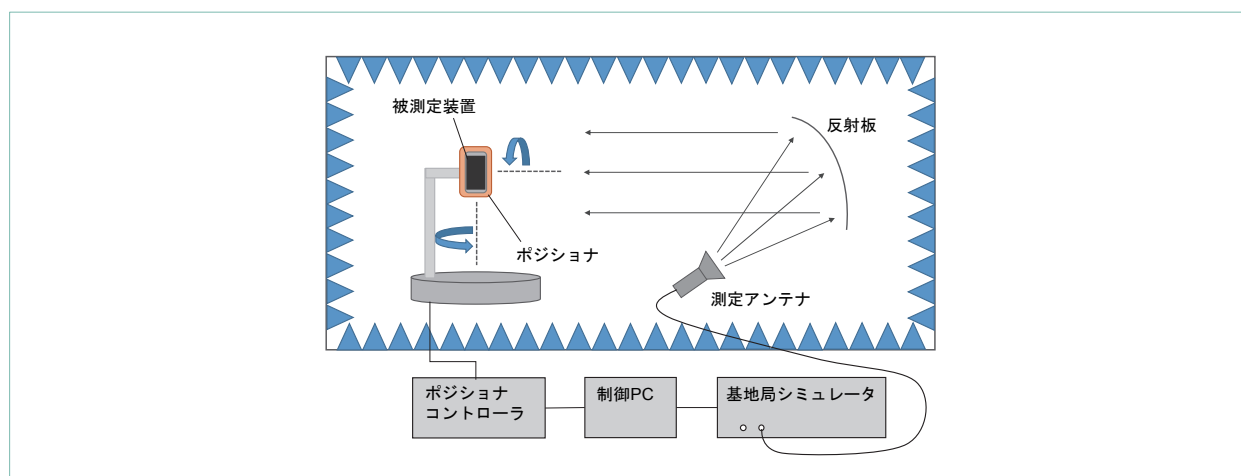


図4 CATR概略図

- *13 Mid band: ドコモの使用するバンドではBand 21 (1.5GHz帯)、Band 3 (1.7GHz帯)、Band 1 (2GHz帯)が該当する周波数帯。
- *14 Ultra high band: ドコモの使用するバンドではBand 42 (3.5GHz帯)、Band n77/n78 (3.7GHz帯)、Band n79 (4.5GHz帯)が該当する周波数帯。
- *15 OTA: 測定アンテナと対向し、基地局または端末のアンテナで

送信/受信される電波の特性を測定する方法。NRの基地局および端末では、アンテナコネクタをなくした装置構成が定義され、本試験法による規定が設けられた。

- *16 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。

のようなアンテナの放射特性の測定では、被測定装置と測定アンテナ間の距離として、被測定装置を設置する地点で平面波*21となる遠方界*22条件を満たす必要がある。遠方界条件を満たす距離は被測定装置のサイズや波長に依存する。一般的なスマートフォン、タブレット端末のサイズを仮定し、例えば28GHz帯について考えると、およそ17m以上の距離が必要となり、測定系が大きくなる。しかし、CATRでは反射板によって球面波から平面波へ変換することで、遠方界条件による制限がなくなり、結果として測定系は小型化される。また、被測定装置と測定アンテナ間の経路が短縮し、経路損失が低減されるため、送受信電力のダイナミックレンジ*23が向上する。

(1)EIRP測定手順

図4のポジションに被測定装置を設置し、被測定装置と基地局シミュレータを接続させる。

接続後、被測定装置から放射される電磁波を測定アンテナで受信し、受信電力を測定する。測定された受信電力に対し、伝搬損失*24およびケーブルによる損失などの補正を加えることにより、EIRPを算出する。なお、ポジションは水平方向および垂直方向の2軸を中心軸として回転させることが可能な機構であり、被測定装置と測定アンテナの相対的な方向関係を任意に制御することができる。この機構により、被測定装置を中心とした球面上で、任意の方向におけるEIRPの測定が可能となっている。なお、球面上の測定ポイントはMeasurement gridとして各測定ポイントの間隔が定義されている。また、後述のTRP測定手順と異なり、移動端末の送信ビーム方向を固定せずに試験を実施する。

(2)TRP測定手順

測定ポイントの概念は(1)と同様であり、Measurement gridに基づき測定されたEIRPを基にTRPを算出する。ただし、TRP測定の際には移動端末の送信ビームを最大送信ビーム方向に固定し、測定ポイン

トごとに送信ビーム方向が変化しない状態で測定を実施する。

(3)EIS測定手順

基本的な測定手順としては(1)と同様であり、被測定装置を中心とした球面上の各測定ポイントにおけるアンテナ利得*25を含んだ受信感度を測定する。具体的な受信感度の定義としては、測定アンテナからの信号を受信し、その際のスループットとして最大値の95%を達成することができる受信電力を指す。

4.2 5G端末のFR2における送信受信性能

FR2対応の5G移動端末についてEIRPおよびEISの測定を行った。測定系としては前述のCATRを使用し、各測定ポイントにおけるEIRP値およびEIS値から、Peak値およびSpherical coverage (50%のエリアが満たすEIRP/EIS値)を算出した。また、測定対象のFR2バンドとしてはn257とし、測定ポイントの間隔としては仰角および方位角ともに15°で測定を実施した。

EIRP/EISのPeak値およびSpherical coverage (@50%-tile CDF (Cumulative Distribution Function)*26)の測定/算出結果、およびそれぞれの3GPP仕様値を図5に示す。EIRPおよびEISのPeak値として3GPP標準仕様を満たしていることを確認できる。

5. 5G端末の発熱対策

5.1 ユーザのあんしん安全

ドコモでは、ユーザのあんしん安全、そして利便性を考慮した移動端末の開発を重視している。特に日本市場においては、移動端末にあらゆる負荷をかけてもやけどをしないことを最低限の条件とした上で、さらに、商品性を損なわないこと、そして、ユーザが利用中に熱いと感じる機会を最大限減らすことを目的に開発している。

*17 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。

*18 DFF：被測定装置と測定アンテナを対抗させる。OTA測定における基本的な測定系。被測定装置と測定アンテナ間の距離として遠方界条件を満たすように設置する必要がある。

*19 IFF：被測定装置と測定アンテナ間の伝搬経路として、反射板

を介することで球面波を平面波に変換し、疑似的に遠方界を実現する測定系。

*20 NFTF：DFFと同様に被測定装置と測定アンテナを対抗させる測定系。ただし、被測定装置と測定アンテナの位置関係として遠方界条件よりも短い距離で設置し、得られた測定結果を遠方界での測定値へ変換する。

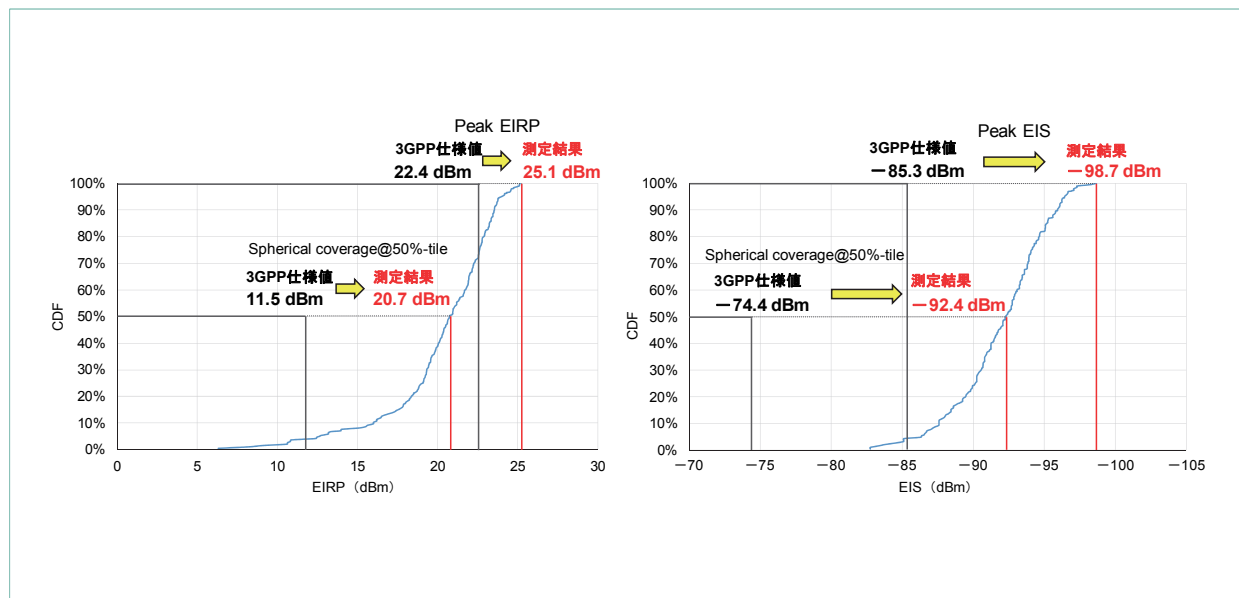


図5 EIRPおよびEISのCDFの測定値

5.2 ドコモの温度上昇基準

移動端末がクリアすべき温度上昇基準として、第一に、安全に利用できるよう低温やけどの基準①を設けている。基準温度についてはISO13732-1 [2]が参照され、MCPC (Mobile Computing Promotion Consortium)*27 [3]にて標準化されている。

さらに、ユーザーが安心して利用できるように（移動端末が熱いと感じないように）、これまでに販売したすべての移動端末に対するユーザーの声をもとに、基準②③を設けている。

①低温やけどを防ぐための温度上昇基準

移動端末にかかる最も高い負荷をかけて、利用者が端末表面に接触した場合に、接触部の温度上昇上限値が低温やけどを起こす温度に達しないように設定

②通信・通話時の温度上昇基準

通信・通話に関する単機能が実行中の温度上昇の上限値を設定

③複合動作時の温度上昇基準

一般のユーザーが遭遇する可能性のある利用

シーンをモデル化し、その条件での温度上昇速度や温度上昇上限値を設定

これらの基準は、LTE対応の移動端末において必須としてきた。5G対応の移動端末の開発においても、通信時に守るべき基準として設定した。

5.3 5G端末の発熱

5G対応の移動端末では、下記に示す複数の要因により消費電力が増加傾向にある。

- ・mmW対応や、広い周波数への対応を行うために、部品の数が増加
- ・通信速度の向上、CPU処理速度の向上による部品そのものの消費電力が増加
- ・5G通信の恩恵が多いサービス（AR (Augmented Reality), VR (Virtual Reality), 高品質動画視聴など）に特化したアプリケーションのCPU負荷の増加

これら消費電力の増加は、発熱量の増加を伴う。

*21 平面波：伝搬方向に垂直な平面内で電磁界の振幅と位相が一定となる電磁波のこと。

*22 遠方界：アンテナから放射される電磁界が観測点までの距離に依存せず方向の関数のみで決まる領域。

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

*24 伝搬損失：送信局から放射された電波の電力が受信点に到達するまでに減衰する量。

*25 アンテナ利得：アンテナの最大放射方向における放射強度、一般に等方性のアンテナを基準とした比で表される。

*26 CDF：確率変数がある値以下の値をとる確率を表したもの。

*27 MCPC：モバイルコンピューティング推進コンソーシアム。

そのため放熱・熱拡散のために移動端末の表面積を拡げることが安易な解決方法である。しかし、5G対応の移動端末であっても優れたデザインをめざせるよう、端末のサイズアップは無制限に行えないという制約がある。

5.4 5G端末の発熱対策

端末のサイズアップを抑えながら最大限発熱を抑えるために、移動端末は、より消費電力の低い部品の採用に加え、高度な放熱対策を行っている。以下に、一般的かつ代表的な対策を紹介する。

(1)放熱部材の追加（ハードウェア）

移動端末の発熱源は、CPU、通信のためのRF部品、Power Amplifier*28などがある。これら部品からの発熱を、移動端末の表面（前面、後面、フレーム）に効率的に拡散して放熱できるように構造を設計し、さらにTIM（Thermal Interface Material）*29としてペーストやシートなどを利用している。5G対応の移動端末では、LTE対応の移動端末機と比較して、多くの放熱部材を利用している。

(2)ベイパーチャンバーの採用（ハードウェア）

前述の発熱源からの熱拡散をより効果的に行うため、一部機種ではベイパーチャンバー*30を採用している。ベイパーチャンバーは金属製の薄型のヒートパイプ*31であり、発熱源からの熱を吸収し、離れた場所で熱を放出できる、シンプルでありながら機能性の高い熱拡散装置である。従来のLTE対応の移動端末でもヒートパイプは用いられていたが、5G対応の移動端末ではベイパーチャンバーが多く利用されるようになった。

(3)発熱制御としての機能制限の適用（ソフトウェア）

これらの対策を行っているが、それでも使用時に温度が規定値を超える場合には、動作中の機能のパフォーマンスを制限して一時的に温度上昇を抑えるように制御する。

これらの対策を行うことで、5G対応の移動端末は前述の基準を満たしている。すなわち、5G通信を伴うさまざまな機能を使った場合でも、ユーザがあんしん安全に利用することができる。

6. 5G時代の端末の広がり

5G時代を迎え、「高速・大容量」や「低遅延」といった5Gネットワークの特長や、XR*32/AI/ビッグデータなどの最新技術を活かしたさまざまなサービス・ソリューションが生まれはじめている。

しかしながら、現在のスマートフォンにおいては、ディスプレイサイズやカメラ・センサの性能などの制約により、各技術が有するポテンシャルを最大限に引き出すことができていない。

そこで、ドコモは「スマートフォン自身の進化」に加えて、「スマートフォンと周辺デバイスの連携を強化」することで、パートナーとともに最新のサービス・ソリューションを創出する「マイネットワーク構想」を提案している。

「スマートフォンと周辺デバイスの連携」により価値を提供する上では、スマートフォン単体では提供できない体験を実現し得る「周辺デバイスの拡大」および「さまざまな周辺デバイスを気軽に利用できる環境の整備」が重要である。以下に、これらの要件の実現例として、Magic Leap 1*33について解説する。

(1)Magic Leap 1の概要

Magic Leap社の「Magic Leap 1」は、空間コンピューティング*34を利用した軽量かつ広視野角なウェアラブルヘッドセットで、リアルとデジタルを融合したインタラクティブな世界を提供する。モニターがなくても、実空間にシームレスなデジタルコンテンツを投影し、操作することが可能である。

自宅のリビングでゲームコンテンツを利用した場合、実在する部屋や家具と、ゲームの世界を融合す

*28 Power Amplifier：通信用ICが出力した信号を増幅してアンテナに供給するための部品。

*29 TIM：部品から生じた熱を効率的に逃がすために用いる、熱伝導性の高い物質。

*30 ベイパーチャンバー：ヒートパイプを板状にし、熱の移動量を増加させた熱拡散装置。

*31 ヒートパイプ：発熱源からそれ以外の場所へ熱を移動するための熱拡散装置。熱伝導性の高い金属の管のような構造を取ることが多い。内部は減圧状態であり純水などの少量の液体を含む。一端が過熱されることにより液体が蒸発、もう一端へ移動し、液体へ戻ることにより熱を移動させることができる。

ることができるため、壁からキャラクターが飛び出てきたり、テーブルの上でキャラクターが歩きまわる、といった、これまでにない臨場感あるインタラクティブな体験ができる（図6, 7）。

なお、Magic Leap 1は、9つのセンサや高性能ディスプレイを搭載し、高度な空間認識や表示能力を実現するLightware（ガラス部分）、ノートパソコン並みの性能を低消費電力、かつポケットサイズ

で実現したLightpack（プロセッサ部分）、および、6DoF（Six Degrees of Freedom）*35対応のControl（コントローラー部分）で構成される（図8）。

(2)今後の展望

先進的なユーザにおいては、何十個もの周辺デバイスを利用するケースも当たり前となっている。この一方で、あらゆるユーザが周辺デバイスを気軽にかつ安心、便利に利用できる世界をつくるためには、



図6 インタラクティブな体験イメージ①



図7 インタラクティブな体験イメージ②

*32 XR：仮想現実（VR）、拡張現実（AR）、複合現実（MR）などの総称。

*33 Magic Leap 1：「MAGIC LEAP」「MAGIC LEAP 1」「LIGHTWEAR」「LIGHTPACK」、Magic Leapのロゴおよびその他のすべての商標は、Magic Leap, Inc. の商標。

*34 空間コンピューティング：実世界の物体や空間を認識してデジタル情報と融合する技術。これらを利用することにより2次元ディスプレイの制約を超え、実世界とデジタル世界を1つに融合し、実世界と同様にデジタル世界と相互作用が可能となる。

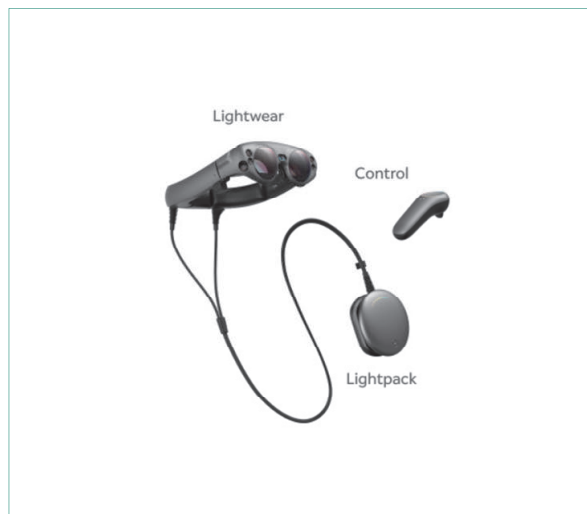


図8 Magic Leap 1

数多くの障壁がある。

例えば、「デバイスとデバイスとの連携」をする際には、数多くの手順を踏む必要があり、煩雑である。加えて、ユーザの趣味・嗜好やリテラシー、利用状況を踏まえたデバイスや使い方を提案し、しかもユーザにとって心地よいものにするためには、ユーザを理解するためのデータも不足している。

こういったさまざまな周辺デバイスを利用する際の障壁を取り除くために、デバイスメーカーやサー

ビス提供者をドコモがつなぎ、新たなエコシステム^{*36}を形成することで、業界全体の発展に寄与したい。

7. あとがき

本稿では、2020年3月に提供を開始した5Gサービスの対応端末の概要から、無線部の構成や評価、発熱対策といった5G対応の移動端末を実現する上での取組み内容について解説した。

今後、より幅広いユーザが5G時代の端末を体験できるように、5G対応モデルの拡充や周辺機器とのシームレスな連携強化を行い、さらに進化した無線技術を提供していく。

文献

- [1] 永田, ほか: “3GPP Release 15標準化技術概要,” 本誌, Vol.26, No.3, pp.37-46, Nov. 2018.
- [2] ISO13732-1: “2006 Ergonomics of the thermal environment – Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces –,” Oct. 2006.
- [3] MCPC TR-023: “モバイル機器安全設計ガイドライン Version 1.00,” モバイルコンピューティング推進コンソーシアム 技術委員会, Apr. 2016.

*35 6DoF: 縦, 横, 奥行き3軸とそれぞれの軸に対しての回転も含めて, 立体的に動ける自由度を示すもの。これを利用することで空間の前後左右上下のどの位置にユーザがいるのか正確に認識し, その動きに合わせてコンテンツを表示することが可能になる。

*36 エコシステム: 複数の企業が連携して, お互いの技術や資産を活かし, 社会を巻き込んで, 技術開発から導入へと普及にいたる一連の流れを形作る共存共栄の仕組み。

Technology Reports (特集)

コンシューマ向けサービス

法人向けソリューション

ネットワークカスタマイゼーション

5G特集(2) —社会課題解決・社会変革実現に向けたドコモの挑戦—

5G通信におけるサービスおよびソリューション

スマートライフ推進部

あかし たけふみ
明石 竹史

5G・IoTビジネス部

たさき ひでのり こう そんみよん
田崎 秀典 高 聖明

ソリューションサービス部

やまだ まさと たかしお けんじ
山田 将人 高塩 健次はらの せいご そや の しゅんじ
原野 聖悟 征矢野 俊二やまだ ふみとし
山田 文俊

2020年3月にドコモは5Gサービスを開始した。その際、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、22の法人ソリューションを提供した。

本稿では、5Gのコンシューマ向けサービス、法人向けソリューション、それらを支えるネットワークカスタマイゼーションについて解説する。

1. まえがき

ドコモは2020年3月の第5世代移動通信システム（5G）商用開始時に、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（Virtual Reality）ライブを可能にした新体感ライブ CONNECTをはじめとした7つのサービスをコンシューマ向けに提供した。また、ビジネス分野については、幅広いパートナーとともに新たな利用シーンの創出に向けた取組みとして、2018年2月より「ドコモ5Gオープンパートナープロ

グラム™」を提供しており、これまでのパートナーとの協創を通じて300を超える5G活用モデルの実証に取り組んできた。さらに、商用開始時には産業の高度化、街づくり、働き方改革などの社会課題の解決につながるソリューションを中心に、22のソリューションの受付けを開始した。

本稿では、コンシューマ向けのサービス、22のソリューションのうち3つのソリューション、上記を支えるネットワークカスタマイゼーション™について解説する。

©2020 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

2. 5Gサービス

2.1 5Gコンシューマ向けサービス

コンシューマ向けサービスでは、ユーザが「これまでにしたことのない新しい体験」を作り上げることに、ドコモとして積極的に取り組み、8KVRやマルチアングル、XR*1といった5Gだからこそ実現できる要素を複合的に組み合わせ、ユーザに特別な体験を提供することを目的としている。直近では、5Gの特長をダイレクトに反映しやすい「音楽・ライブ」「ゲーム」「映像」「スポーツ」の4つを5Gの主要な領域であると考えており、今回はこの4つの領域においてドコモが提供するサービスについて述べる。

(1)音楽・ライブ

「音楽・ライブ」の領域で、我々が提供しているのが「新体感ライブ CONNECT」である。「新体感ライブ」自体は5Gの登場以前からあり、「マルチアングル配信」「ARフィギュア*2」「TIG Live*3」「コメント機能」といった音楽ライブの新たなオンライン体験を提供しているが、5Gの技術を活用することにより、「新体感ライブ CONNECT」は映像配信サービスとしてさらに進化している。具体的には、ライブ会場に設置した8Kカメラで撮影した360度のVR映像を、リアルタイムに視聴することができる「8KVRライブ」である。また、VRゴーグルを装着してスマホを視聴すると、まるで会場の最前列にいるかのような臨場感ある映像を楽しむこともできる。「新体感ライブ CONNECT」は、アーティストとファン、またはファン同士がコネクト・つながるような新しいライブの楽しみ方を実現するサービスとして、引き続き進化させていく。

続いて紹介するのが日中協創によるバーチャルアイドルをテーマにしたアニメ、「生放送アニメ 直感×アルゴリズム♪」のバーチャルアーティストによるVRライブ「-以心伝心有霊犀- BORDERLESS LIVE 5G」である。国境などの制限を超えた、バー

チャル空間ならではのライブを楽しめるようになっている。

(2)ゲーム

高速・大容量である5Gのストリーミング技術により、ユーザのゲーム体験は大きく変化するであろう。具体的には、今まではパッケージソフトを購入したり、オンラインでダウンロードしたりして楽しんでいたものがクラウド上で楽しめるようになり、自宅でゲーム専用機を使ってプレイするのが主流だった大容量データのビッグタイトルも、これからはスマートフォンでも自由にプレイ可能になる。

ドコモが提供する「dゲーム プレイチケット」では、ゲーム専用機並みの大容量ゲームをアプリのダウンロード不要でプレイすることができる。今後、「dゲーム プレイチケット」でクラウドゲームを複数タイトル提供する予定だが、中でもすでに提供済みで、コンシューマゲームとしても非常に魅力的な2つのタイトルを紹介する。1本目はコーエーテクモゲームス社の「真・三國無双8」である。三国志の世界を舞台とした人気アクションゲームで、5Gの高速・大容量を活かした4Kバージョンも提供している。2本目はスクウェア・エニックス社の「FINAL FANTASY XV (ファイナルファンタジーファイブ ティーン)」である。ご存知の方も非常に多い大人気RPGゲームである。

また、「dゲーム プレイチケット」の他にも、ドコモの5G向けに人気アニメ「エヴァンゲリオン」のスマートフォンゲームアプリ「エヴァンゲリオン バトルフィールド」が提供されている。こちらのゲームは、5Gの機能を活かした複数プレイヤーでの同時対戦が大きな特徴である。今回紹介したゲームの他にもさまざまなゲームタイトルが今後も提供される予定であり、5Gの特長を最大限活用した新たなゲーム体験の向上を図っていく。

(3)映像

5G時代の映像視聴はXRやマルチアングルがス

*1 XR：仮想現実（VR）、拡張現実（AR）、複合現実（MR）などの総称。

*2 ARフィギュア：ARマーカーがプリントされたアーティストのグッズにスマホをかざすとミニチュアアーティストが3Dで出現する。

*3 TIG Live：ライブ映像内のオブジェクトにタッチすると、通販

サイトなどに遷移できる。

タンダードになると我々は考えている。この「新たな映像視聴スタイル」について、ドコモが提供する3つのサービスを紹介する。

1つめは『Disney VR』である。ドコモは、ウォルト・ディズニー・ジャパンと一緒に、今年6月から「ディズニープラス」を提供し、好評をいただいているが、今回最新VRコンテンツである「Disney MYTH（ディズニーミス）：アナと雪の女王／秘められた神話」を提供する。こちらはディズニー・アニメーション・スタジオの長編映画「アナと雪の女王2」の世界を舞台にした、初のVRショートストーリーで、日本ではドコモが独占提供となる。こちらのVRコンテンツは全国102店舗のドコモショップにて順次体験を開始している。

2つめのサービスは、「dアニメストア」で提供する2つの新たなコンテンツである。1つめのコンテンツは、スマートフォン画面の自動回転機能を活用し、映像を再生しながらスマートフォンの向きを変えるだけで縦と横の映像が切り替わる「タテヨコ コンテンツ」である。第一弾として、画面を横にすると東京事変というアーティストのミュージックビデオ、縦にすると、神風動画（かみかぜどうが）制作のアニメーションが視聴できるコンテンツを提供している。2つめは「マルチアングル視聴」に対応したコンテンツの提供である。こちらは前述の「新体感ライブ CONNECT」のマルチアングル機能を活用し、大人気作品「鬼滅の刃（きめつのやいば）」を原作とした2.5次元舞台作品を、さまざまな位置・角度から好きなアングルを選んで自由に視聴することが可能である。5G時代における舞台の新たな視聴スタイルとして提供している。

3つめのサービスは「ひかりTV for docomo」のマルチストーリーミング機能である。5Gスマートフォン専用の機能であるマルチストーリーミング機能を活用し、「ひかりTV for docomo」が提供するモバイル専用チャンネルの中から最大7つの番組が同

時に視聴可能である。例えば好きなスポーツの試合がある時や、音楽番組で好きなアーティストの出演を見逃したくない時など、同時に複数の番組を視聴したいユーザーにはうれしいサービスとなっている。

以上の3つのサービスを映像領域のなかで提供しているが、ドコモとして5G時代の新しい映像サービスの提供に向け、今後も注力していく予定である。
(4)スポーツ

「スポーツ」の領域で、これまでドコモは日本プロサッカーリーグ（Jリーグ）のトップパートナーとしてさまざまな取組みを行ってきた。2020年9月27日（日）には、鹿島アントラーズと連携し、自分の席からは見えないような複数アングルによる試合映像のリアルタイム視聴や、好きなタイミングでのリプレイ視聴、スタットの分かりやすいビジュアル化など、スタジアムで体験できる5Gを活用した新たな観戦支援サービスを提供した。

また、ドコモは今シーズンから、日本の卓球リーグ（Tリーグ）のトップパートナーになり、マルチアングル視聴、360度カメラ、XR、AIハイライト、自動スタット生成などの先端技術を活用し、3シーズン目に入るTリーグとともにユーザーに新たな観戦体験を提供する予定である。さらに、選手のトレーディングカードのデジタルコンテンツを含めた公式サービスの共同企画を進めると同時に、NTTぶららのリモートプロダクション機能^{*4}を高度化させることで、試合映像・アリーナ演出などの観戦体験の最大化と、運用効率化の実現を同時にめざす。こうした取組みを通じて、ドコモはスポーツの可能性を広げ、その価値をさらに高められるよう努める。

以上、4つの領域においてドコモが5Gにて提供するサービスを紹介したが、5G普及による高速・大容量の時代に向け、ドコモは取組みをさらに進化させ、ユーザーに新たな体験を提供するとともに、新たな価値を創造できるようこれからも全力を尽くしていく。

*4 リモートプロダクション機能：編集機能や映像アーカイブなどのプロダクション機能を1カ所に集約することで、試合会場ごとの設備・運営稼働・コストを削減できる。

3. 5G対応のソリューション

3.1 遠隔作業支援ソリューション 「AceReal for docomo」

AceReal[®] for docomoは、サン電子株式会社とドコモの協創により創出した、「現場作業員向けの遠隔支援・技術伝承」ソリューションである。AceRealに搭載されたカメラの映像を遠隔地へ伝送することによって、遠隔地にいる熟練作業員は、あたかも自分が現場にいるかのように現場の作業員を

サポートすることが可能である（図1）。

AceReal for docomoはハードウェアとソフトウェアが一体となったサービスである。クラウドサーバをドコモオープンイノベーションクラウド上に構築することで、インターネットを一切介さずに秘匿性の高い情報のやり取りが可能である（図2）。

AceRealを導入いただいた、東京冷機工業株式会社では、ベテラン社員が事務所内で現場の映像をリアルタイムに確認しながら指示を行い、現場がそれに応答する形で作業を行ったところ、作業時間が



図1 AceReal for docomoによる遠隔支援



図2 AceReal for docomoの構成

1/4に短縮された。

点検・保守用途だけでなく、全国の自治体より遠隔での技術伝承やスマート農業の推進、医療従事者の支援などの引合いがあり、活用のシーンは広がっている。

3.2 顔認証入退管理ソリューション [EasyPass powered by SAFR]

顔認証に対応した入退管理ソリューションである。ドコモオープンイノベーションクラウド上に、RealNetworks, Inc.の高速・高精度なAI顔認証ソフ

トウェアSAFR™と、オープン性が高く、幅広いメーカーのカメラなどと連携が可能なGenetec™ Inc.の入退管理システム「Security Center Synergis™」を組み合わせて構築し、提供しているソリューションである。

専用アプリをインストールしたスマートフォンのカメラを入退場者の顔に向けてすることで、あらかじめ登録された顔写真データとリアルタイムで照合を行い、入構許可者かどうかを識別することができる(図3, 4)。また、在场状態の管理、認証結果の記録、記録された認証結果の履歴などの確認が可能である。

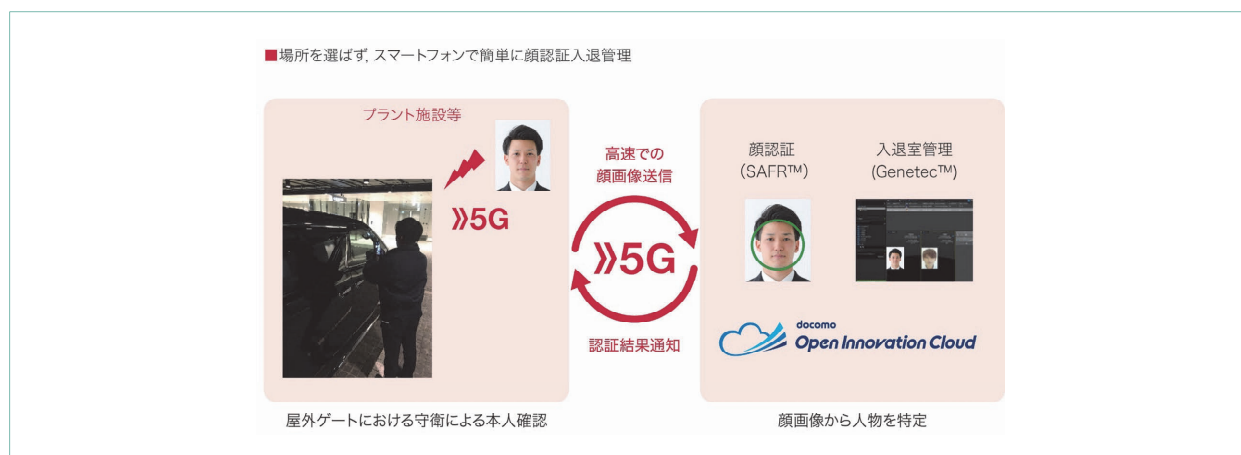


図3 ソリューション概要

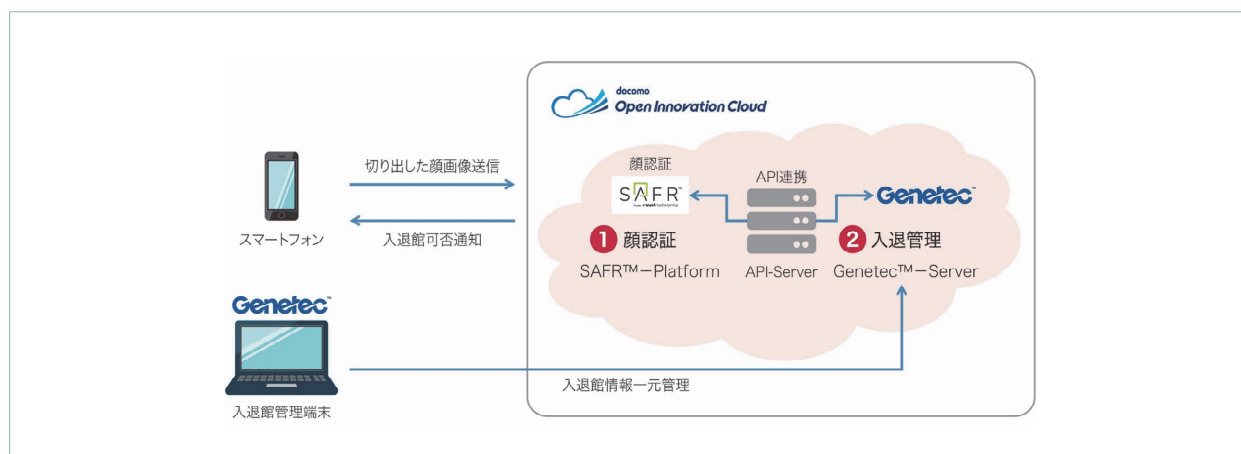


図4 全体構成

EasyPass™ powered by SAFRは以下の特長もっている。

- ・スマートフォンを利用するため、大掛かりな工事が不要で導入までのリードタイムが短い。
- ・顔認証には、アメリカ国立標準技術研究所（NIST：National Institute of Standards and Technology）が2019年7月に実施したWILD Face部門のテストにおいて、本人拒否率0.0335%未満を達成したアルゴリズムの中で最速・最軽量と評価されたSAFRを採用
- ・マスクを着用したままでも高い認証精度を維持※1
- ・オプションとしてクラウドダイレクトの利用が

可能なため、高セキュリティである

主に製造業、電気・ガスなどの二次産業における工場やプラント入口での、入退管理活用を想定しているが、新型コロナウイルス対策の一環として、オフィスビルなどにおける物理セキュリティに非接触型の活用も見込まれる。

3.3 LiveU

LiveUとは5Gを使用した映像伝送ソリューションである。カメラとLiveU送信機を接続するだけで、中継・取材、ライブ・スポーツの映像を伝送することが可能である（図5、写真1）。

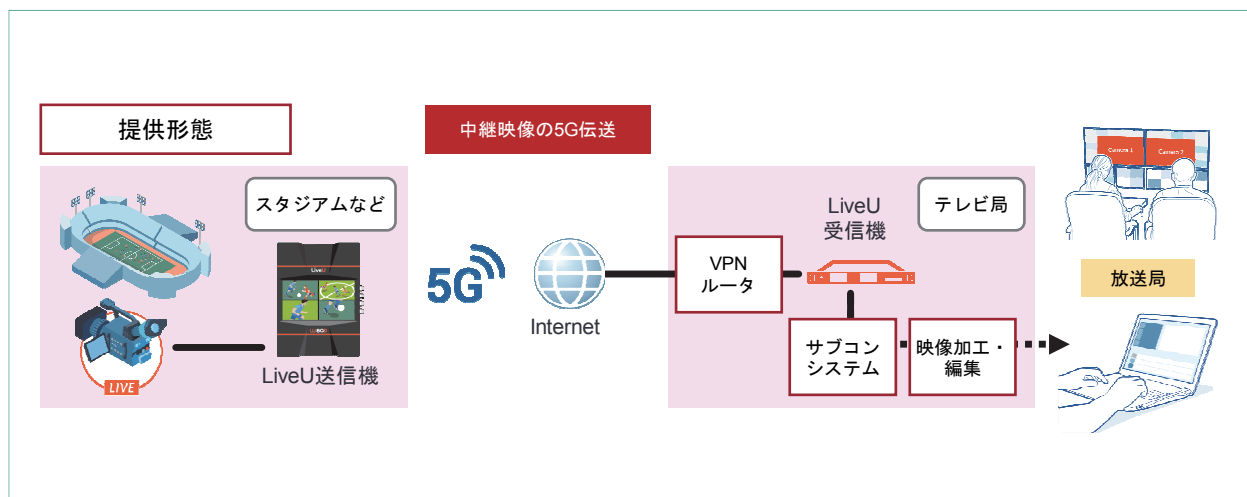


図5 LiveUの概要



写真1 LiveU送信機

※1 SAFRのオプション機能を追加した場合。

LiveUの特長は、2点ある。

1つめは、5Gの高速大容量という特長を活かした4K映像を伝送できる点である。また、「5G」「4G」「Wi-Fi」などの異なる通信規格を束ねて分散伝送する技術（Bonding Technology）の特許を取得しており、無線通信での安定した伝送が可能である（図6）。

2つめは、LiveU送信機の操作をクラウド上で行うことが可能である点である。この機能により、現場の担当者がカメラの映像を撮ることに注力するこ

とができるようになり、より少ない中継クルーで中継活動を行うことが可能となる（図7）。

簡易に中継システムを組むことができることから、メディア以外の業界でも活用が広がっている。

4. ドコモ5Gオープンパートナープログラムの今後の取組み

ドコモ5Gオープンパートナープログラムでは、

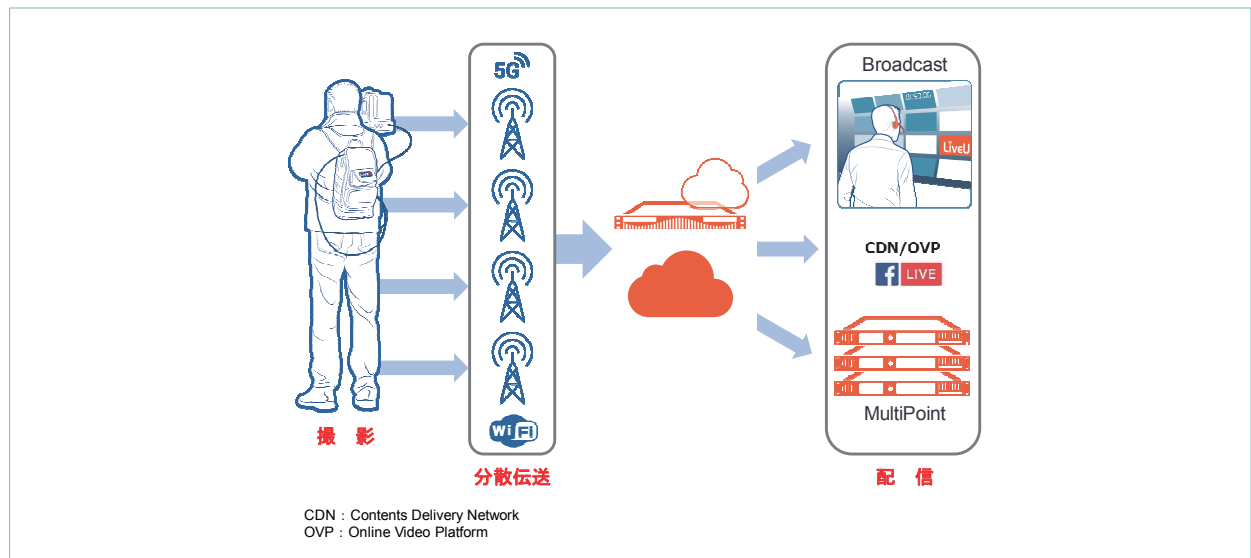


図6 分散伝送技術

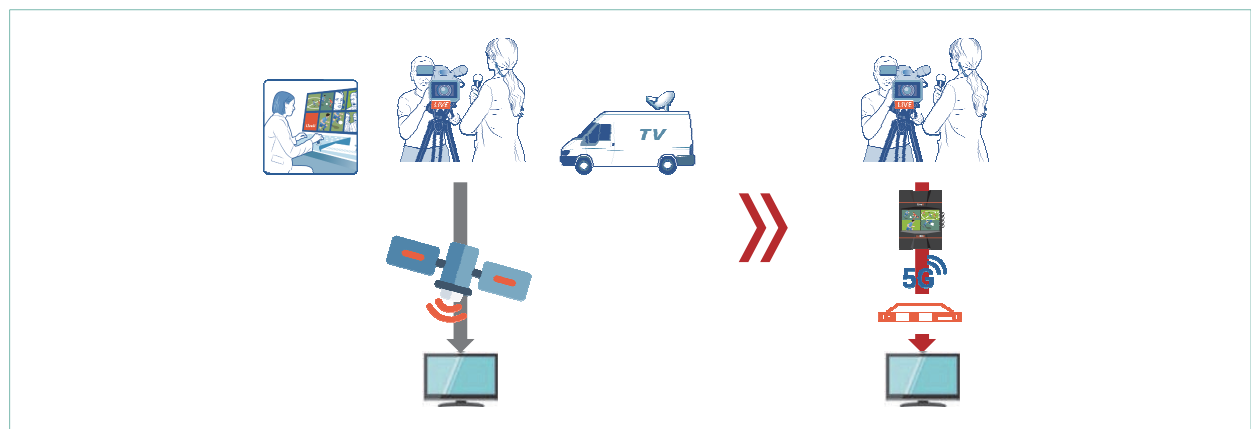


図7 撮影クルー・機材の削減が可能

これまで「5Gに関する情報提供」や、ドコモ5Gオープンラボのように「5Gの体験、検証の場」などを提供することにより、さまざまな分野で300を超える事例の実証、トライアルに取り組んできた。

そこで得られたノウハウを活かして、パートナー間のビジネスマッチングを推進することにより、社会的課題を自治体・企業の皆様と解決することで、日本全国に協創の輪を広げていくことを目的としている。

また、ビジネスマッチングの取組みのうちの1つとして、docomo 5G DX AWARDS 2020を開催した。本アワードは、大企業だけでなく中小企業やベンチャー企業まで、幅広い企業が保有する特徴的な技術、プロダクト、サービス（以下、アセット）の発掘を推進し、5Gでの新たなソリューション創出に向けた取組みをさらに加速させるものである。

本アワードでは、産業の高度化や働き方改革、街づくり、教育、ヘルスケアをテーマとして、各企業が保有する特徴的なアセットを募集し、5G商用サービス化した際の活用意義を審査、表彰する。本アワードで入賞したアセットについては、協創ソリューションとして「ドコモ5Gオープンパートナープログラム」を通じた早期のサービス化をめざす。

5. ネットワークカスタマイゼーション

ドコモは、5Gをはじめとした通信ネットワークをお客様の要望に合わせて、エリア調査から構築設計・導入支援までをサポートするネットワークの総合的なコンサルティングサービスである「ネットワークカスタマイゼーション」を2020年3月25日より提供している。

本サービスは複数のネットワークソリューションで構成されており、現在は以下の4つのメニューを提供している（図8）。

- ①「ワイヤレスコンサルティング」：ネットワーク全般に関する課題を伺い、ドコモの5Gだけでなく、LTEやWi-Fiなどの汎用ネットワーク技術も含めてお客様に最適な提案を実施
- ②「ローカル5G構築支援」：工場の人手不足解消を目的とした生産ラインの自動化など、ローカル5Gの構築を希望するお客様へ、省庁への申請サポートやエリア調査、ネットワーク機器の選定から設置までを、これまで蓄積してきたノウハウを基にドコモがサポート
- ③「キャリア5G」：イベント会場におけるライブ中継などで、可搬型の5G基地局を提供し、一時的な5Gエリアを短期間で実現
- ④「ドコモオープンイノベーションクラウド」：



図8 ネットワークカスタマイゼーションの4つのメニュー

低遅延、高セキュリティなどMEC（Multi-access Edge Computing）*5の特長をもつクラウドサービスを提供

各メニューを以下に説明する。

5.1 ワイヤレスコンサルティング

本メニューでは、企業などのネットワーク全般に関する課題を伺い、ドコモの5Gだけでなく、LTEやWi-Fiなどの既存の汎用ネットワーク技術も含めて、お客さまに最適な提案を実施する（図9）。

ワイヤレスコンサルティングは、以下の2つの特長がある。

①Wi-Fiなどを含めた総合的なコンサル提案

ドコモの長年の無線設備構築の経験・ノウハウを活かしたLTE/5Gでの無線化コンサルティングに加え、Wi-FiやLPWA（Low Power Wide Area）*6などでの通信環境との比較検討を提案可能である。

②5G電波による事前試験

コンサルティングの一環として、導入予定の工場・オフィスなど、お客様の環境での5Gの

試験的な電波発射による5Gエリアの広さの確認や、お客様システムでの通信実験も可能で、5G導入に伴う不安を払しょくする。

5.2 ローカル5G構築支援

ローカル5Gは公衆網から隔離された自営網であるため、独立性・柔軟性・安定性に優れるネットワーク環境が構築可能であるが、お客さま自ら構築する場合、専門性の高いエリア設計・電波申請などは、対応が困難である。

本サービスは、お客様のローカル5Gのネットワーク構築を、ドコモが電気通信事業者としての無線システム運用ノウハウを活かし支援するサービスである（図10）。本サービスを利用することでお客様にとっては、構築期間の短縮、高品質なエリア構築、コスト最適化が図れる。

ローカル5G構築支援では大きく以下の3つの支援内容に分かれている（図11）。

- ①最適なアンテナ配置の設計や、アンテナ取付方法の調査検討を行う「コンサルティング・設計」
- ②お客様の要件にあったネットワーク機器の選定と提案と提供を行う「機器選定・調達」

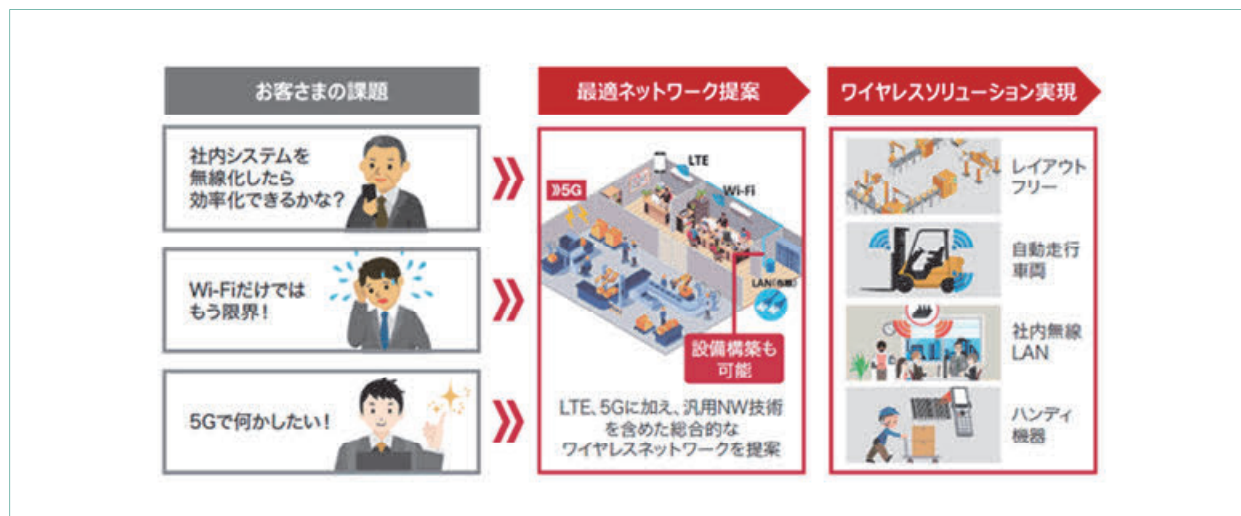


図9 ワイヤレスコンサルティング

*5 MEC：移動通信網において、お客さまにより近い位置にサーバーやストレージを配備する仕組み。

*6 LPWA：低消費電力でキロメートルレベルの広い領域を通信範囲にできる無線通信技術。

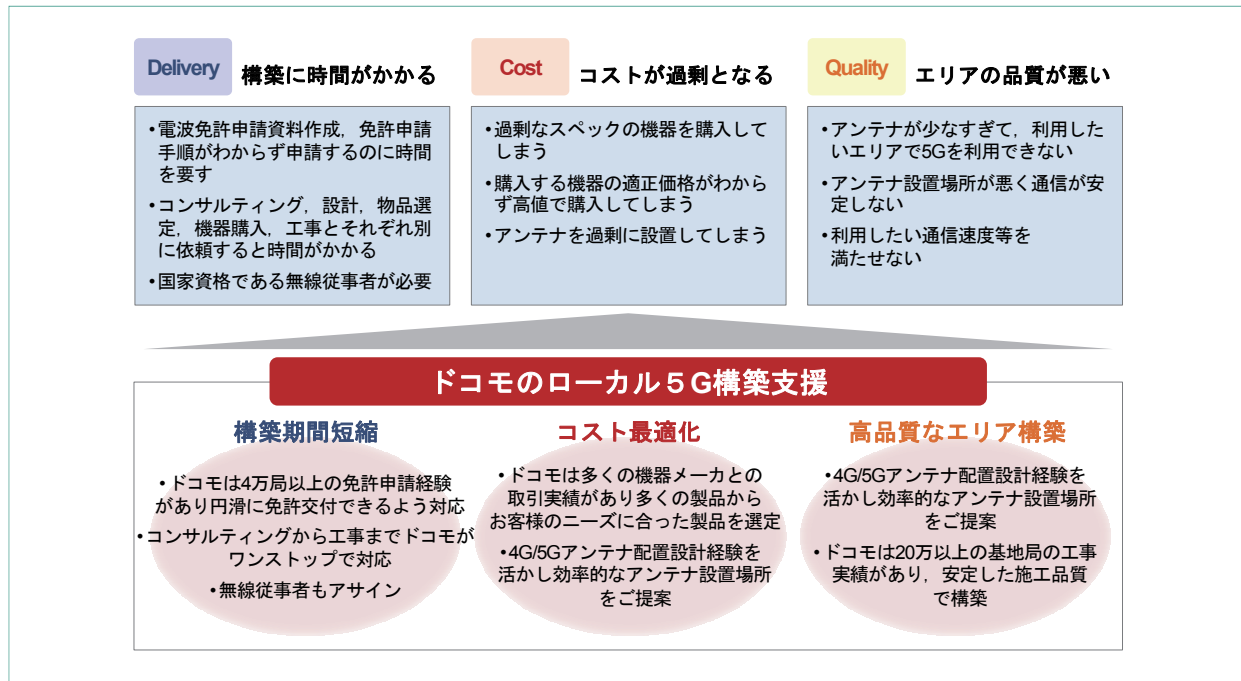


図10 お客様独自によるローカル5G構築の課題とドコモのローカル5G構築支援の効果

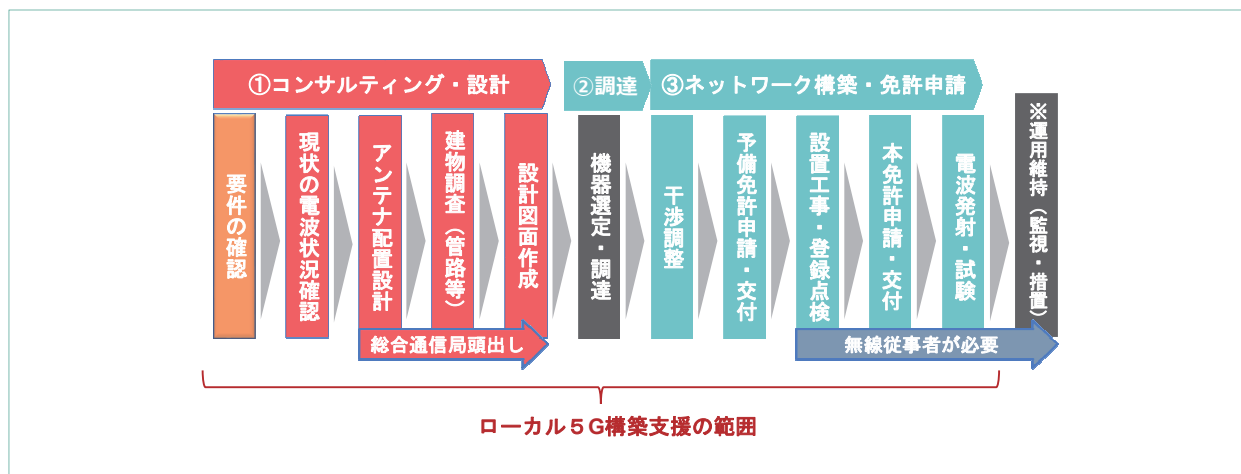


図11 ローカル5G構築支援の内容

③ネットワーク機器やアンテナの設置工事の実施、干渉調整や免許申請の支援を行う「ネットワーク構築・免許申請」

お客様の要望に応じて、エリア設計支援のみ・免

許申請支援のみなど、部分的な支援も対応可能である。

ローカル5Gでは、ドコモに割り当てられている周波数帯とは別の28.2～28.3GHzの周波数帯のみが制度化されており、2020年末頃に、4.6～4.9GHz、

28.3～29.1GHzが利用可能となる見込みである（図12）。

また、ローカル5Gには、NSA（Non Stand Alone）とSA（Stand Alone）という2種類の構成があるが、現時点で提供可能なのは、NSA構成のみである（図13）。それぞれの概要を以下に述べる。

・NSA

制御信号を扱う『アンカー』と呼ばれる4G（eLTE）のネットワークと、5Gネットワークを併用して、動作するネットワーク構成である。

・SA

アンカーを利用せず、5Gネットワーク（ローカル5G設備）のみで動作するネットワーク構成である。

ドコモの5Gは、現在ドコモのeLTE（enhanced LTE）*7をアンカーとしたNSA構成であるが、ドコモのeLTEはローカル5Gのアンカーとして現時点では提供できない。そのため、ドコモのローカル5G

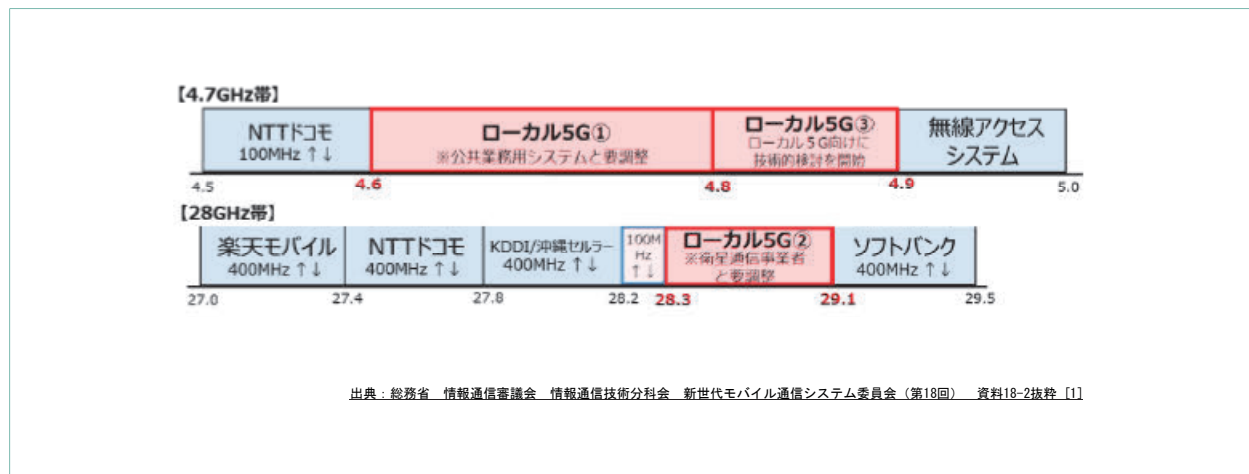


図12 ローカル5Gの周波数割当て

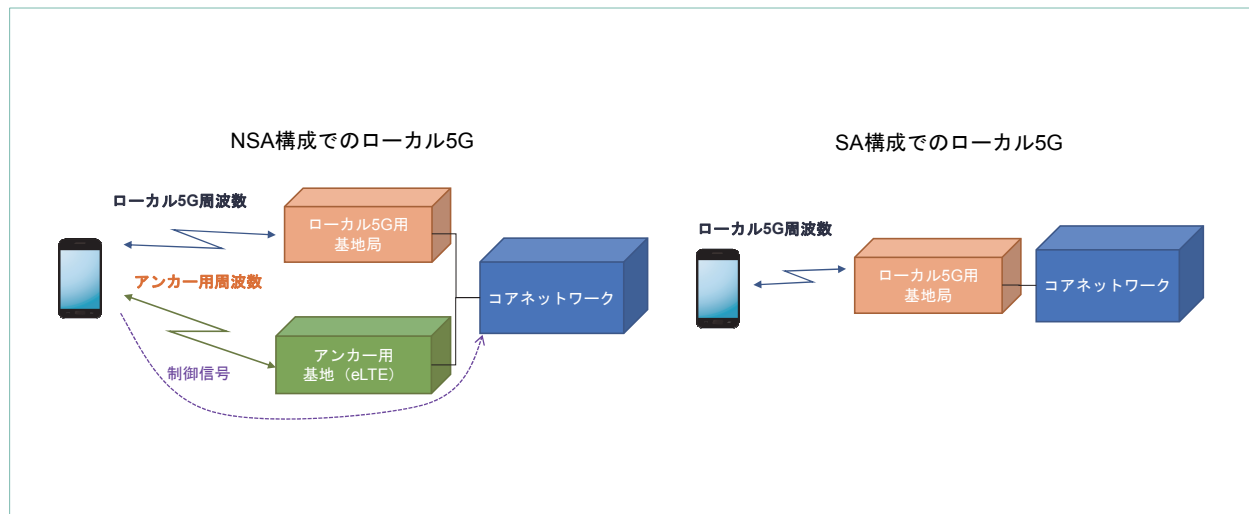


図13 NSAとSAにおけるローカル5G構成

*7 eLTE：3GPP Rel-15以降のLTEを拡張した無線アクセスシステム。

の構築支援サービスにおいては、NSA構成にするため、5Gネットワークだけでなく、アンカーにあたる自営LTEのネットワークも構築支援を行う。なお、2021年以降、SA構成での提供も可能となる見込みである。

このように周波数帯やネットワーク構成がドコモの5Gと異なるため、ローカル5Gではドコモの5G端末は使用できず、専用の端末を用意する必要がある。また、ローカル5G自体が初期段階の設備であるため、装置と端末との相性の問題があり、それぞれのネットワーク構成に対応した端末を確保するのは容易ではないが、ドコモのローカル5Gの構築支援サービスにおいては、装置との接続実績のある端末を紹介・提供可能である。

5.3 キャリー5G

基地局設備構築については無線装置の設置だけではなく鉄塔や電柱のようなアンテナ設備やその他付随する多種多様な工程があるため大規模な工事が必要となり、またそれに伴い事前準備から設備建設工事に至るまである程度の期間を必要としていた。

そこで従来のように大規模な工事を伴うことなく、もっと手軽にお客様の要望の場所に5Gエリアを届けるサービス「キャリー5G™」である。

スタジアムなどでの各種イベント会場や、トンネル掘削やビル建設などの工事現場、新たなシステム・ソリューション検証など、5Gエリア外で一時的に5Gを利用する場合に、キャリー5Gを用いることで解決できる(図14)。

キャリー5Gによる5Gエリア化と合わせて、映像伝送をはじめとするさまざまなソリューションを1つのパッケージとして提案することで、ドコモ5Gの価値を最大限に引き出し、お客様の課題解決や新たな価値創造に対して支援を行う。

(1) キャリー5Gの特徴

- ① “一時的”な5G利用の要望に応え、ドコモの5Gエリアを提供する。
- ② 専用の台車に5G通信機器を搭載し、要望エリアに設置する。
- ③ 従来よりも安く、早く、5Gエリアを提供する。

(2) システム構成イメージ

5G通信機器一式を台車に搭載して設置すること



図14 利用シーンイメージ

で、通常の基地局建設に必要な工程の一部（場所の確保やアンテナ設置の設計・工事）を省略することができ、より安価に早く5Gエリアを提供することが可能となる（図15）。

(3)運用模様

各種イベントにて稼働しメディアにも取り上げられ、現地での注目度も非常に高く好評を得ている（写真2）。

5.4 ドコモオープンイノベーションクラウド

(1)概要

ドコモは、自社のネットワーク網と接続したクラウドコンピューティング設備（以下、クラウド基盤）を用いたサービスである「ドコモオープンイノベーションクラウド」を2020年3月より商用提供している。

「ドコモオープンイノベーションクラウド」は、低遅延、高セキュリティなど、MECの特長をもつ

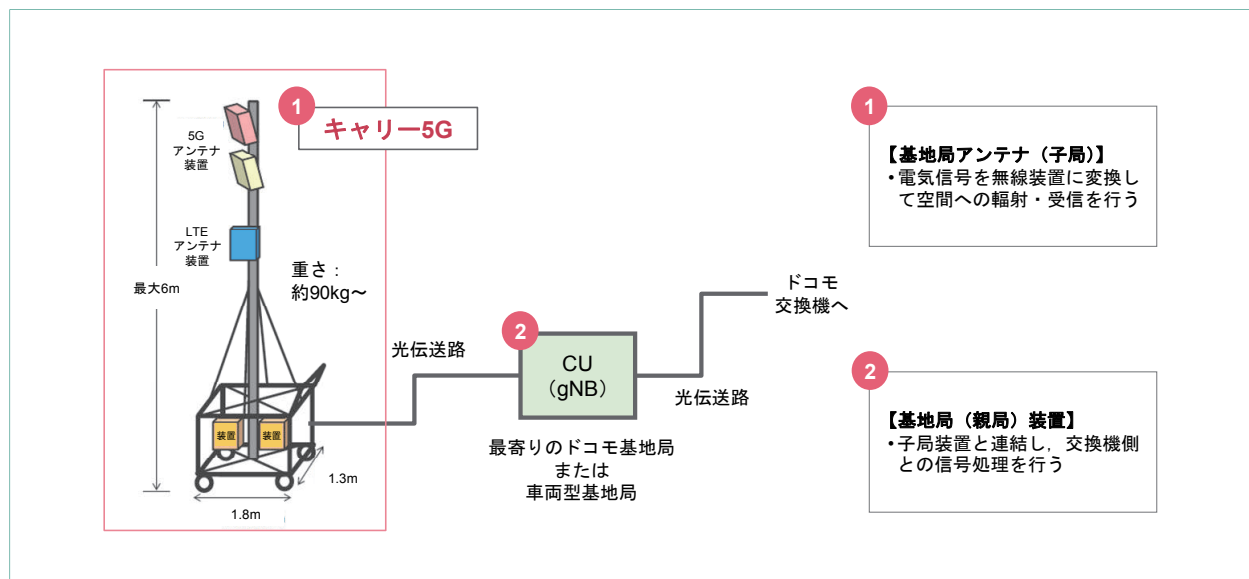


図15 キャリー5Gのシステム構成



写真2 各種イベントでの稼働の様子

クラウドサービスで、ドコモ網内の設備にクラウド基盤を構築することで実現している（図16）。

また、クラウド基盤のオプションサービスとして、接続端末とクラウド基盤を直結して通信経路を最適化することで、5Gによる低遅延^{※2}・高セキュリティ通信を実現する「クラウドダイレクト」サービスを、東京、神奈川、大阪、九州の4拠点で2020年6月より商用提供開始している（図17）。

(2) 「クラウドダイレクト」の特長

- ① ネットワークの伝送遅延の低減を実現
5G通信端末とクラウド基盤間の通信経路を最適化して、“伝送遅延の低減”を実現する。
- ② セキュリティの高い通信を実現する閉域アクセス
クラウド基盤とドコモのネットワーク網をダイレクトに接続し、インターネットから分離さ

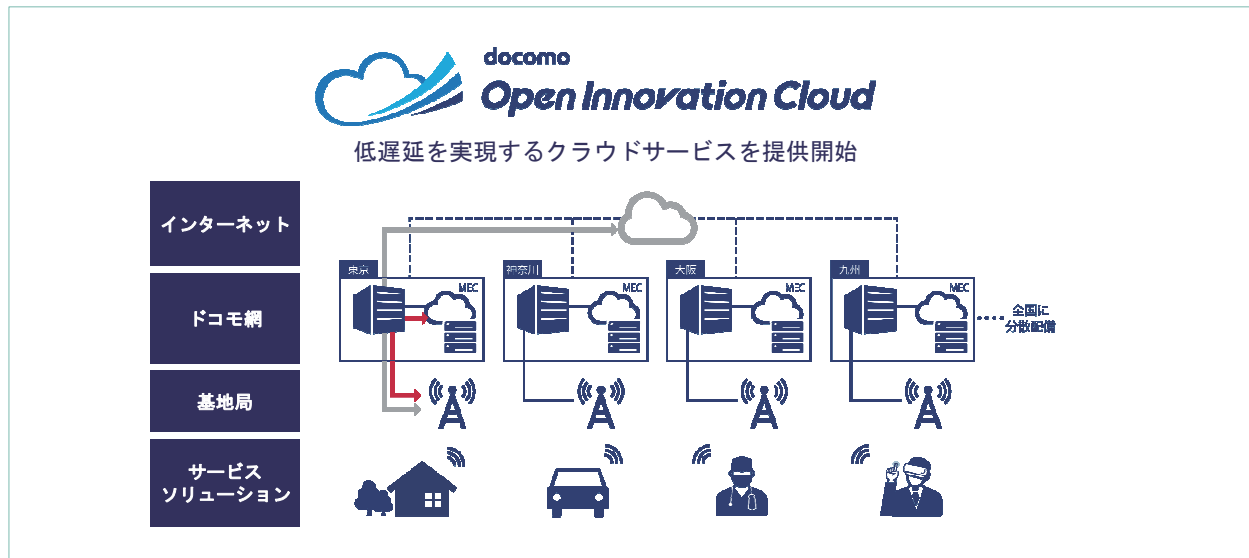


図16 ドコモオープンイノベーションクラウド

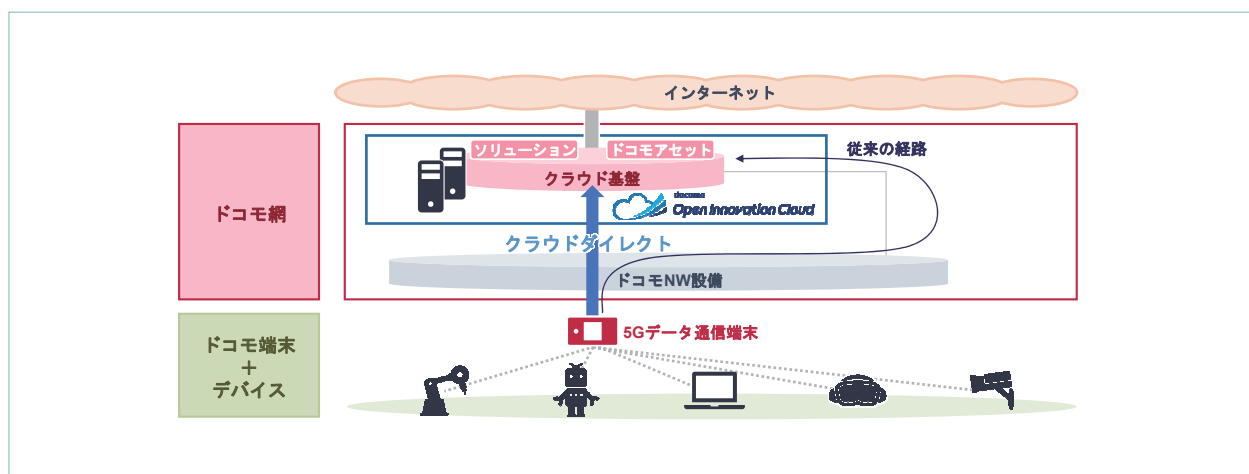


図17 クラウドダイレクト

※2 無線区間や有線区間の各種条件により遅延時間は変動するため、ネットワークの伝送遅延が必ず一定以下になるといった保証をするものではない。

れた閉域通信を実現することで、高セキュリティな通信環境下でクラウドサービスを利用することが可能になる。あらかじめドコモ網に登録した回線以外からの接続は制限されるため安心して利用可能である。

- ③モバイル回線の接続先を変更できる「ネットワーク・オン・デマンド」

クラウドダイレクトの管理機能として、モバイル回線の接続先クラウド拠点をユーザ自身が柔軟に変更できる“ネットワーク・オン・デマンド”機能を提供する。接続端末の位置に近いクラウド拠点を接続先に選択してもらうことで、さらなる“伝送遅延の低減”の提供が可能である。

(3)搭載ソリューション

「ドコモオープンイノベーションクラウド」は、2019年9月からの5Gプレサービス期間中に、「ドコモ5Gオープンパートナープログラム」に参加するパートナー向けに、トライアル環境を提供し、33社と技術検証を実施し、映像伝送やVR・ARなどの11のソリューションについて、本クラウド基盤への搭載をパートナーとの間で合意し、商用提供を開始している。また、本クラウド基盤には、ドコモが開発した「ドコモ画像認識プラットフォーム^{※3}」も搭載されている。これらのソリューションや機能は順次拡充される予定であり、本クラウド基盤は5G時代のソリューション・サービスに広く活用されること

が期待される。

6. あとがき

本稿では、コンシューマ向けのサービス、22のソリューションのうち3つのソリューション、上記を支えるネットワークカスタマイゼーションについて解説した。

コンシューマ向けのサービスとしては、さらなる新たな体験を提供し、新たな価値を創造していく。また、ビジネス向けの取組みとしては、ネットワークの伝送遅延の低減とセキュアなクラウド環境を提供する「ドコモオープンイノベーションクラウド」と、5Gを中心とした通信ネットワークからローカルネットワークまで、最適な通信環境の構築を提案する「ネットワークカスタマイゼーション」を組み合わせ、5Gソリューションの社会実装をめざしていく。

また、顧客ニーズが多様化し、それに伴い通信に対するニーズも多様化してきた。今後もお客様の多様なニーズに対応し、最適な通信環境の構築を提案できるよう順次ネットワークカスタマイゼーションのメニューの追加を行っていく。

文 献

- [1] 総務省：“情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル通信システム委員会（第18回）,” Jul. 2020.
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/5th_generation/02kiban14_04000811.html

※3 画像認識技術の一部は、NTTグループのAI「corevo[®]」を構成する技術である。

5Gの発展に向けた実証実験の取組み

ネットワークイノベーション研究所

岸山 祥久 来山 大祐
須山 聡 外園 悠貴

5Gはすでに世界的に商用導入が開始され、今後は2020年代における5Gのさらなる発展としての5G evolutionの研究開発が必要である。本稿では、5G evolutionにおける重要課題の1つである「ミリ波無線技術のさらなる発展」に関連する3つの実証実験の取組みについて内容を解説する。

1. まえがき

第5世代移動通信システム（5G）はすでに世界的に商用導入が開始され、ドコモでも2020年3月より商用サービスを開始している。その一方で、5Gに対する課題や、5Gへのさらなる期待も見出されており、2020年代における5Gのさらなる技術発展に向けた研究開発が必要である。ドコモでは、2017年頃から5Gの高度化（5G evolution）および6Gに向けた要求条件の検討を開始し [1]、2020年1月には、6Gに向けた技術コンセプト（ホワイトペーパー）を公開した [2]。さらに、5G evolutionに向けた実証実験についても、いくつかの取組みを進めている。

本稿では、5G evolutionにおける重要課題の1つで

ある「ミリ波^{*1}無線技術のさらなる発展」に向けた取組みとして、5Gの周波数帯である28GHz帯を用いた伝送実験、具体的には、メタサーフェス^{*2}反射板によるカバレッジ改善実験 [3] [4]、東海道新幹線における5G高速移動実験 [5] [6]、および、水中ドローンを活用した漁場遠隔監視の実証実験 [7] [8] について解説する。

2. メタサーフェス反射板によるカバレッジ改善実験

ミリ波では、基地局（BS：Base Station）アンテナから移動局（MS：Mobile Station）が見通し外となる建物、樹木などの遮蔽物の陰をどのようにエ

©2020 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

*1 ミリ波：周波数帯域の区分の1つ。30GHzから300GHzの周波数であり、5Gの周波数である28GHz帯を含めて慣習的にミリ波と呼ぶ。

*2 メタサーフェス：波長に対して小さい構造体を周期配置して任意の誘電率・透磁率を実現する人工媒質（メタマテリアル（*3参照））の一種で、構造体の周期配置を2次元とした人工表面技術。

リア化するかが課題となる。見通し外環境のエリア化および通信品質の改善に向けて、波長よりも小さい構造体を周期的に配置することにより構成されるメタマテリアル^{*3}／メタサーフェス技術が昨今注目されている [9]。この技術を反射板に適用する事により、反射波の伝搬方向およびビーム幅^{*4}を、反射板の設置方向／サイズによらず自由に設計可能となるため、ビル壁面などに設置し特定の方向に反射波を誘導できる。そこで、実環境において本技術の実証実験を行った。

2.1 実験概要

本実験では、文献 [10] と同じBS（エリクソン製）およびMS（インテル製）のビームフォーミング^{*5}を実装した28GHz帯5G伝送実験装置を用いた。CC（Component Carrier）^{*6}当りの実効帯域幅は90MHzであり、27.5GHzから27.9GHzにおいて4CCのキャリアアグリゲーション（CA：Carrier Aggregation）^{*7}を行った。上下サブフレーム^{*8}の時間比率は1：1とした。

メタサーフェス反射板の概念と本実験で用いたメタサーフェス反射板を図1に示す。本メタサーフェス反射板の製造はMetawave Corporationに協力いただいた。本メタサーフェスの単位セル^{*9}構造は基

板表面にパッチタイプの金属がパターン化されて貼り付けられており、裏面は一面金属で覆われている。裏面メタルを含む金属パッチの構造により共振周波数が決定され、この共振周波数の周辺で反射波の位相が大きく変化する。そのため、エリア構築をしたい周波数に対応した共振周波数を有する金属パッチパターンを中心に、基板内でパッチサイズを分布させる事により任意の反射波面を設計できる。

実験環境およびメタサーフェス反射板の入射／反射設計角度を図2に示す。東京都お台場地区の東京国際交流館屋上（設置高：37.4m）にBSアンテナを設置して実験を行った。本建物正面の道路は設置建物自身が遮蔽となって通信品質が劣化してしまうため、BSから見通しとなる位置にメタサーフェス反射板を設置し、メタサーフェス反射板からの反射波により建物正面道路に5Gエリアを構築する事を検証した。本検証で用いたメタサーフェス反射板は、垂直方向の入射角／反射角が約50度／30度となるように設計されており、メタサーフェス反射板の設置高は3.4mとした。また、十分な電力の反射波を形成するため、反射板のサイズは80×80cmとしているが、入射波を平面波^{*10}と仮定した場合、本開口面積では非常に狭いビーム（半値角^{*11}：約2～3度）が形成され構築エリアが細くなってしまったため、反

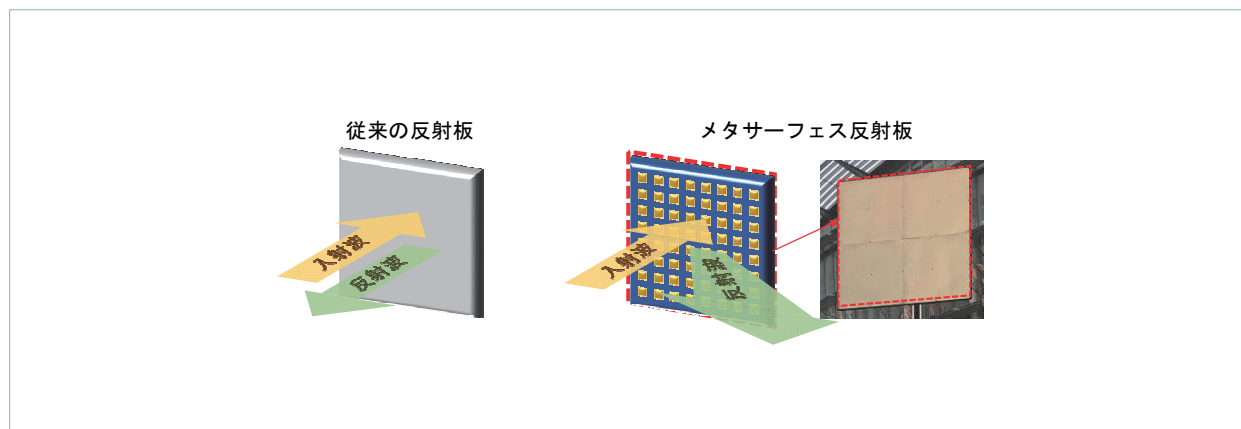


図1 従来の反射板とメタサーフェス反射板の概念図および本実験で用いたメタサーフェス反射板

^{*3} メタマテリアル：電磁波に対して自然界の物質にはない振舞いをする人工物質のこと。
^{*4} ビーム幅：アンテナの最大利得から-3dB以内の利得をもつアンテナの放射角度。
^{*5} ビームフォーミング：複数のアンテナの位相の制御によってアンテナに指向性パターンを形成し、特定方向に対するアンテ

ナ利得を増加／減少させる技術。

^{*6} CC：CA（^{*7}参照）において複数用いる周波数ブロックの1つひとつを表す用語。

^{*7} キャリアアグリゲーション（CA）：複数の周波数ブロックを束ねることで広帯域化し、高速通信を可能にする技術。

射角だけでなく、反射波のビーム半値角も18度となるようにメタサーフェス反射板を設計している。

2.2 実験結果

MS車両を交流館前にて走行させて測定した受信

電力（BRSRP（Beam Reference Signal Received Power）*12）および下りリンク（DL：Downlink）のスループット特性の分布を図3に示す。メタサーフェス反射板を設置しない場合、建物正面は見通し外となるため、BRSRPは -70dBm （decibels

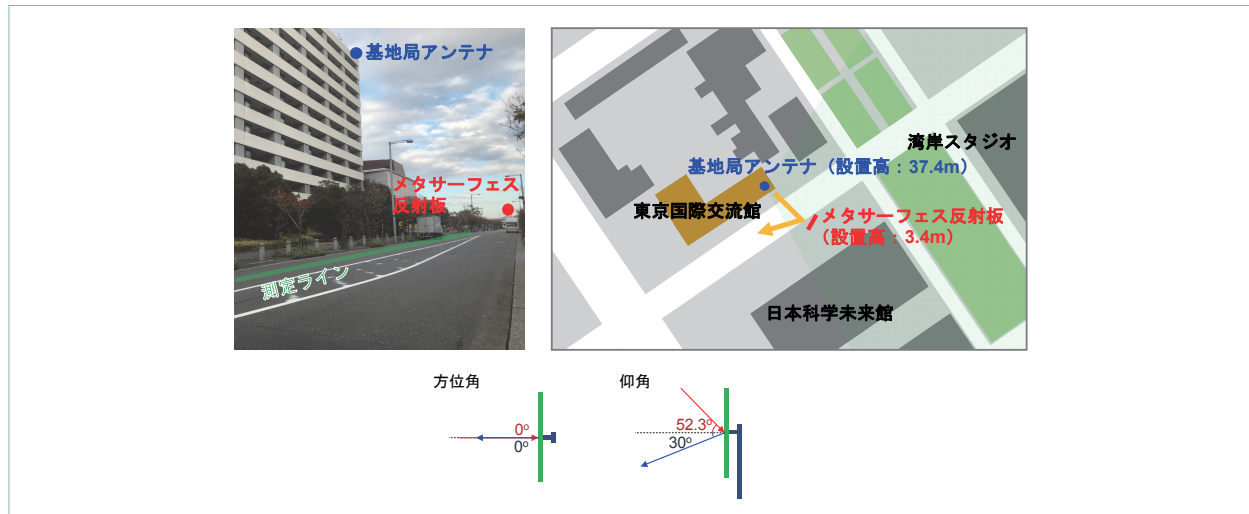


図2 メタサーフェス反射板の実験環境および反射板の入射／反射設計角度

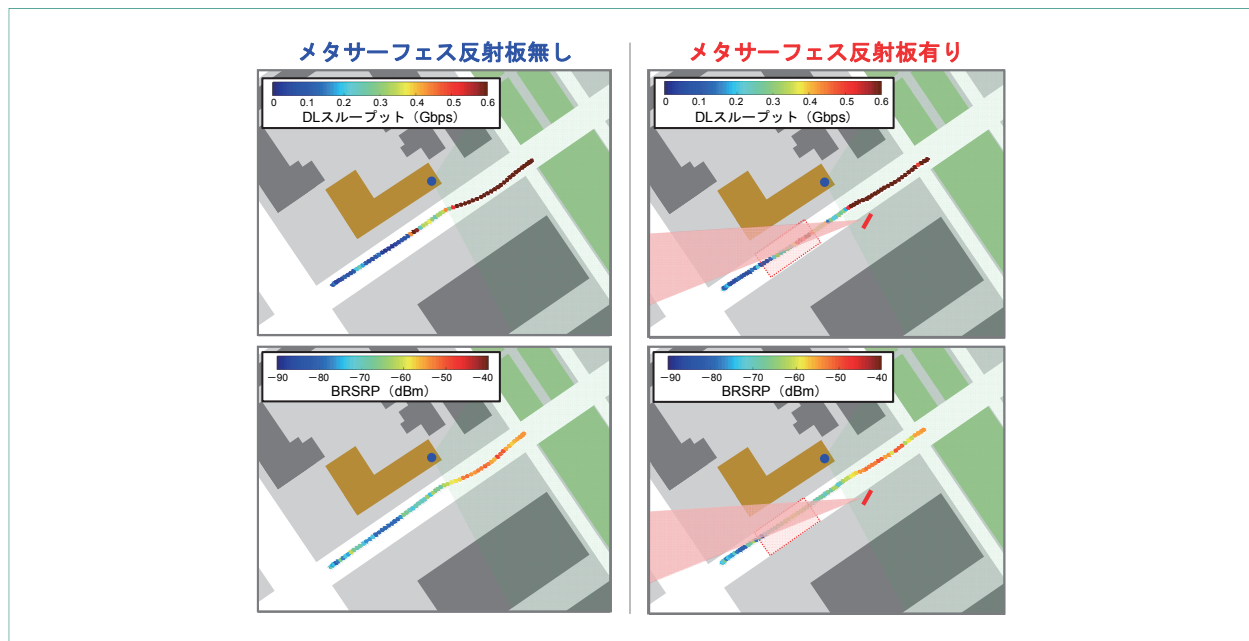


図3 受信電力およびDLスループットの分布

*8 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シンボルから構成される。
 *9 セル：移動通信ネットワークのサービスエリアを構成するエリア分割の単位。
 *10 平面波：伝搬方向に垂直な平面内で電磁界の振幅と位相が一定となる電磁波のこと。

*11 半値角：アンテナから放射されている電力がその最大値から半分になるまでの角度範囲。指向性の鋭さを表す。

*12 BRSRP：ビーム単位でのRSRP。RSRPとは移動端末で測定される参照信号の受信レベル。

milli)*¹³以下のレベルで推移しており、見通しエリア (> -50dBm) に比べて受信電力が大きく低下している。一方、メタサーフェス反射板を設置した場合、反射波によって建物正面に28GHz帯の電波が届くことによってBRSRPが改善し、スループット特性も向上していることが分かる。

MS車両の走行距離に対するBRSRPおよびDLスループットの変動特性を図4に示す。メタサーフェス反射板の設置により、建物正面エリアに相当する走行距離40mから75mまでの範囲にわたってBRSRPが向上しており、最大で約15dBの改善を確認した。また、スループットについても、同様の範囲で改善が見られ、最大で約500Mbpsの向上（反射板無：60Mbps ⇒ 反射板有：560Mbps）を実現できた。

3. 東海道新幹線における5G高速移動実験

ドコモは、5G evolutionに向けて、高速鉄道など

の高速移動環境においても、28GHzなどの高周波数帯を用いた高速通信が安定して提供できるように検討を進めている。低周波数帯に比べて高周波数帯ではドップラー周波数シフト*¹⁴が高くなり、加えて、新幹線などの高速鉄道環境では高速移動にともなってドップラー周波数シフトがさらに増大するため、特性劣化が懸念される。そこで、JR東海と共同で、ビーム追従機能を有した28GHz帯5G実験装置と東海道新幹線を時速283kmで走行するN700S確認試験車をそれぞれ用いて、2019年8月から9月に静岡県新富士駅付近で伝送実験を実施した。

3.1 実験概要

実験では東海道新幹線沿線に3台の5G実験用BSを、線路から約100m離れた道路に設置した。詳細な配置図を図5に示す。また、MSはN700S確認試験車内の客席の窓ガラス近傍に配置した。BS2とBS3の間となる約1,000~1,100m付近には樹木と河川があり、この周辺をMSが通過する際には見通し外環境とな

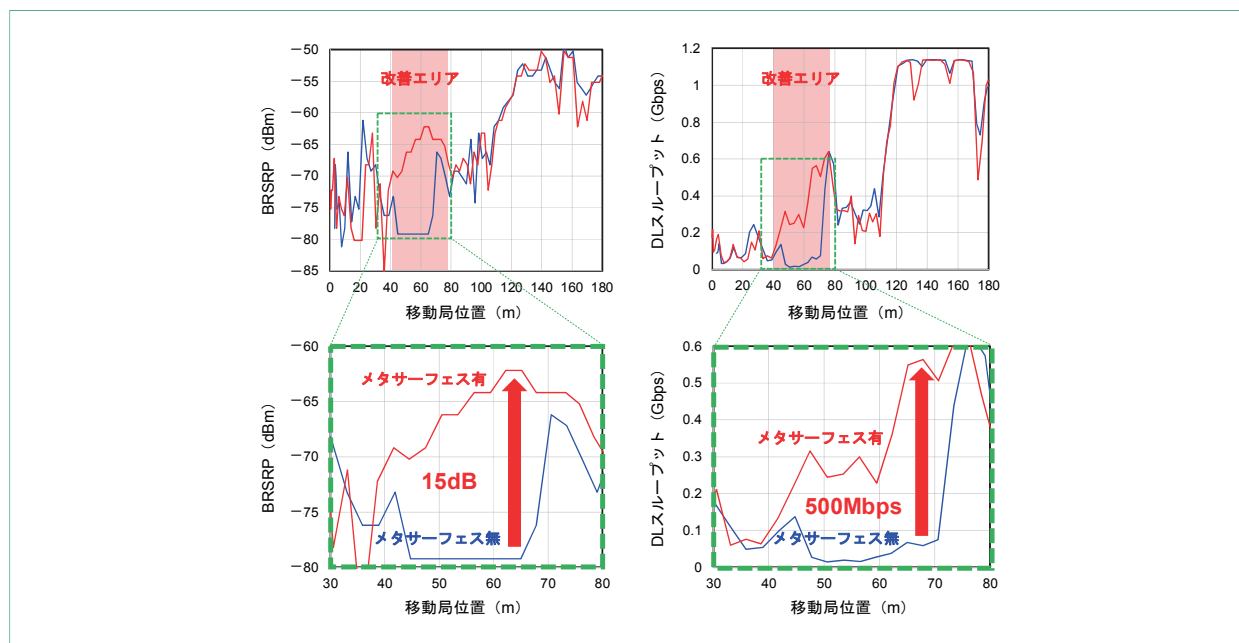


図4 受信電力およびDLスループットの変動特性

*13 dBm: 電力P [mW] とすると $10\log(P)$ とした時の値。1mWを基準としたときの相対値 (1mW=0dBm)。

*14 ドップラー周波数シフト: ドップラー効果によって生じる搬送波周波数のずれ。

る。28GHz帯5G実験装置の帯域幅は700MHzであり、DLにおける最大データレートは3.3Gbpsとなる。各BSには48素子のアレーアンテナ*15が2つ、MSには32素子のアレーアンテナが2つ搭載され、それぞれビーム生成を行う。受信電力を最大にするBSおよびMSのビーム候補の組合せを10msごとに選択し、

ビーム追従を実現する。

3.2 実験結果

1回の走行において測定されたDLのスループット特性を図6に示す。約180m地点よりスループットが測定され、BS1の正面では最大約320Mbpsを達成し

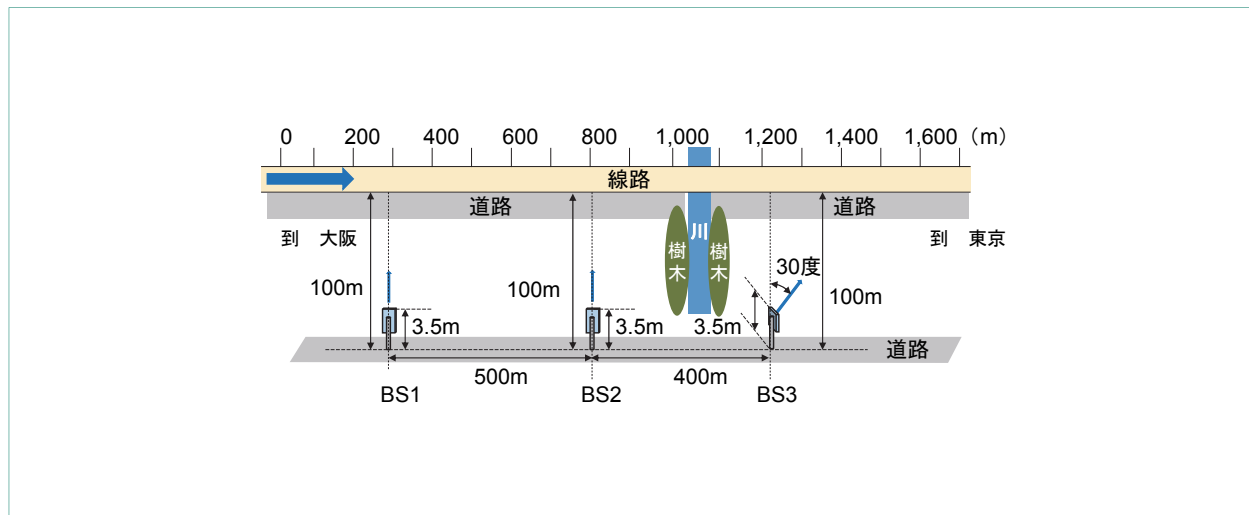


図5 BSの配置

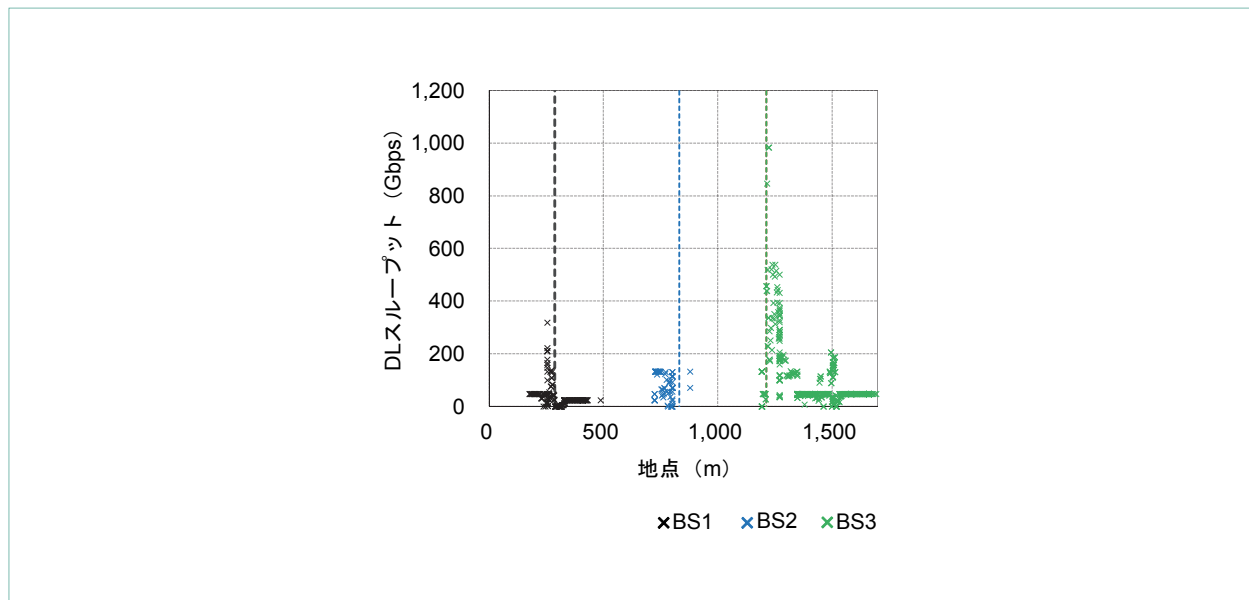


図6 DLスループット特性

*15 アレーアンテナ：複数のアンテナ素子を配列したアンテナのこと。

た。BS2では最大約170Mbpsのスループットが観測され、BS3の正面方向において最大980Mbpsのスループットが測定された後、1,700m付近まで50～200Mbpsが観測された。また、複数回の走行実験で得られた、MS移動速度別のDLスループットの累積分布関数（CDF：Cumulative Distribution Function）^{*16}特性を図7に示す。ただし、時速0～20kmのスループットは東海道新幹線沿線に平行な道路を車で走行したときの結果である。MSの移動速度が高くなるとスループットが劣化しており、これはドップラー周波数シフトが増大したためと考えられる。時速283kmの走行時におけるスループットの中央値^{*17}は約130Mbps、最大値は1.3Gbpsであり、高速移動鉄道環境においてもビーム追従ができれば28GHz帯を用いて1Gbpsを超える通信が可能であることが確認できた。

4. 水中ドローンを活用した漁場遠隔監視の実証実験

5G evolutionおよび6Gに向けた1つのチャレンジが、空・海・宇宙も視野に入れたカバレッジ拡張で

ある [2]。これによって、さらなる人・物の活動環境の拡大と新規産業の創出が期待できる。その中の「海」のユースケース例として、ドコモでは、5Gによる水中ドローンを活用した漁場遠隔監視の実証実験を東京大学と共同で行った [11]。

4.1 実験概要

実験構成を図8に示す。具体的には、海上に停泊させた小型船舶にMSを設置し、MS装置に有線で接続した水中ドローンをカキ養殖場のある海中へ入れる。水中ドローンのカメラで撮影した海中のフルHD映像を、陸上のBSに向けてULで無線伝送しつつ、並行してタイムラグのない水中ドローンの操縦信号をBSからMSに向けてDLで無線伝送する。船舶は、カキ養殖場のいかだ設置場所に合わせて基地局からおよそ150m離れた地点に停泊させた。なお、本実験では、2章の実験で用いたものと同じ28GHz帯5G伝送実験装置を用いた。

実験は広島県江田島市のやながわ水産で実施した。陸地に設置したBSと船舶に搭載したMSを陸地から撮影した様子を写真1に示す。実験時における陸地の海面からの高さは約3.0mであり、BSのアンテナ

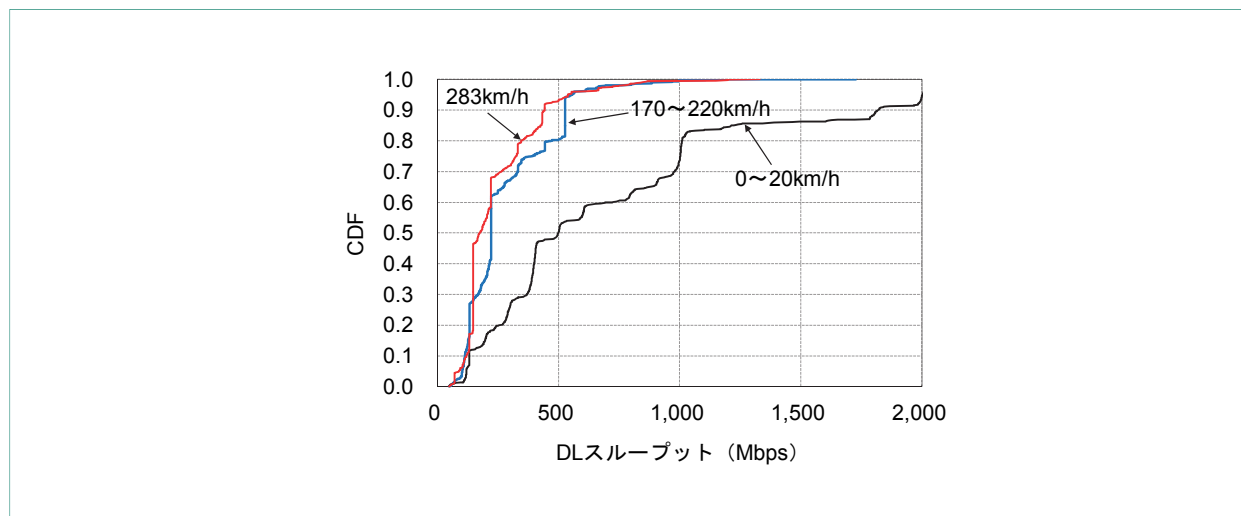


図7 MS移動速度別のDLスループットのCDF

*16 累積分布関数（CDF）：確率変数がある値以下をとる確率を表したものの。

*17 中央値：有限個のデータを小さい順（または大きい順）に並べたとき、真ん中に位置する値のこと。

高を約1.7m、機械チルト*18を0度とした。一方、MSを船舶から撮影した様子を写真2に示す。MSのアンテナ高は約1.0m、海面からは約2.0mとなるように調整した。水中ドローンは臻通日本株式会社^{しんてつ}のPowerRay [12] を利用した。

4.2 実験結果

本実験では、5Gの産業利用における通信速度と通信の安定度とのトレードオフを考慮した評価をするため、目標BLER (Block Error Rate)*19を0.1% (安定性重視) および10% (通信速度重視) に設定

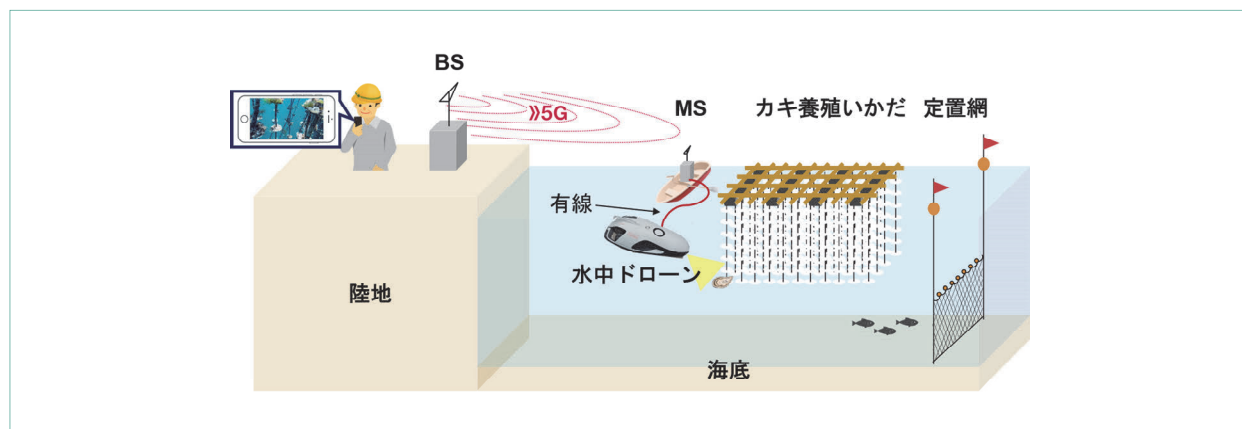


図8 漁場遠隔監視の実験構成



写真1 陸地に設置した5G基地局と船舶に搭載した5G移動局

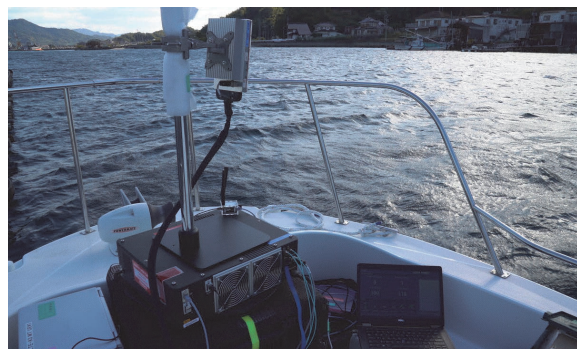


写真2 船舶のデッキ上の5G移動局

*18 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。

*19 BLER：送信データのブロック単位での誤り率。

して実験を行った。DLスループットのCDF特性を図9(a)に示し、下りMCS (Modulation and Coding Scheme) *20のCDFを図9(b)に示す。図より、DLスループットの変動は目標BLERを0.1%に固定した場合の方が小さいことがわかる。これは、船舶の揺れに対し情報誤りを抑えるために、MCSを低くする制御が行われるためである。一方、目標BLERが10%の場合、比較的高いMCSが選択されやすく、より良好なスループットが得られている。機体制御に必要な小容量のデータ伝送には、DLスループット特

性に対し数%オーダーの通信速度しか必要ないため、基本的には目標BLERを下げて通信の安定性を優先した方が望ましいと考えられるが、本実験の場合においては、目標BLERが10%のときであっても再送によってパケットロス*21が生じなかったため低遅延な機体制御が十分に可能であった。

目標BLERを0.1%および10%に設定した場合におけるULスループットのCDF特性を図10(a)に、上りMCSのCDFを図10(b)に示す。図より、ULスループットの変動は目標BLERを0.1%および10%に設定した

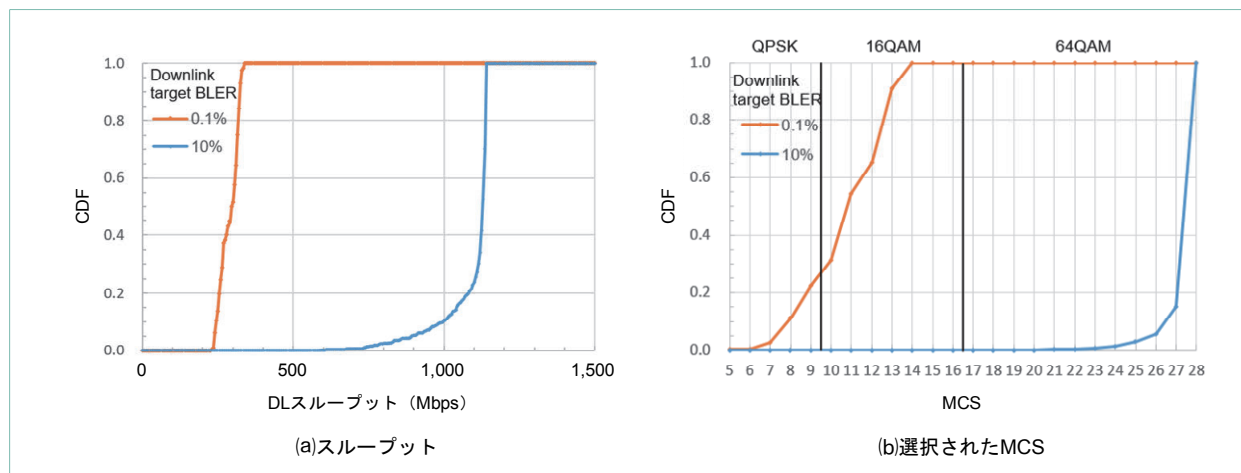


図9 目標BLERごとの下りリンクCDF特性

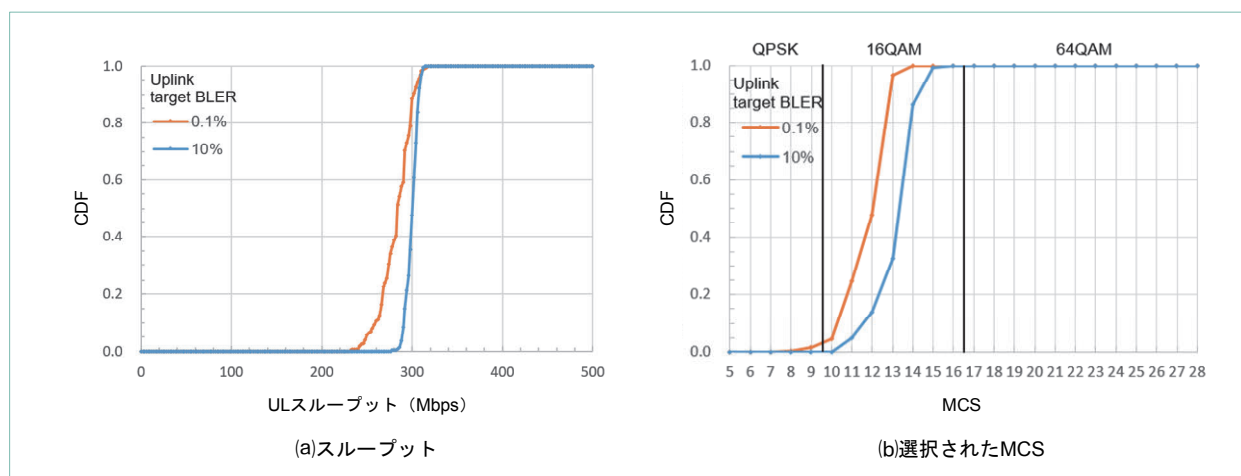


図10 目標BLERごとの上りリンクCDF特性

*20 MCS：適応変調を行う際にあらかじめ決めておく変調方式と符号化率の組合せ。

*21 パケットロス：情報誤りの発生や輻輳などにより、誤りのないデータパケットが宛先に届かないこと。

場合で大きな差はないものの、目標BLERが10%の場合の方がやや高いスループットが得られた。下りに比較して差が生じていない理由としては、本実験構成および実験装置において、上りでは高いMCSを選択するための十分な信号対雑音比（SNR：Signal-to-Noise Ratio）*22が得られなかったためだと考えられる。

上下リンクの目標BLERを10%に設定した場合において、水中ドローンで撮影したカキ養殖場の映像におけるキャプチャ画像を図11に示す。ユーザはフルHD映像を通じて高精細に海中の様子を確認しながら、タイムラグのない水中ドローンの操作を行うことができた。

5. あとがき

本稿では、5G evolutionにおける重要課題の1つである「ミリ波技術のさらなる発展」に向けた取組みとして、5Gの周波数帯である28GHz帯を用いた伝送実験、具体的には、メタサーフェス反射板によるカバレッジ改善実験、東海道新幹線における5G高速移動実験、および、水中ドローンを活用した漁

場遠隔監視の実証実験について解説した。今後も、5G evolutionにおいて、非陸上へのカバレッジ拡張や産業向けの高信頼・低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）機能の拡張などが標準化で検討されており、ドコモではこれら無線技術の実証実験に継続的に取り組んでいく予定である。

文献

- [1] 岸山 祥久：“Beyond 5G無線アクセス技術の初期考察,” 信学ソ大BS-2-2, Sep. 2017.
- [2] NTTドコモ：“ホワイトペーパー：5Gの高度化と6G,” Jan. 2020.
- [3] NTTドコモ報道発表資料：“世界初、メタマテリアル技術を適用した反射板による、28GHz帯の5Gエリア拡大の実証実験に成功,” Dec. 2018.
- [4] D. Kitayama, D. Kurita, K. Miyachi, Y. Kishiyama, S. Itoh and T. Tachizawa, “5G Radio Access Experiments on Coverage Expansion Using Metasurface Reflector at 28 GHz,” 2019 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp.435-437, 2019.
- [5] NTTドコモ報道発表資料：“東海道新幹線における5G無線通信実験について,” Sep. 2019.
- [6] 野中 信秀, 村岡 一志, 奥山 達樹, 須山 聡, 奥村 幸彦, 浅井 孝浩, 松村 善洋：“新幹線を用いた高速移動



図11 5Gで伝送されたカキ養殖場の映像

*22 信号対雑音比（SNR）：雑音の電力に対する所望信号の電力の比。

- 環境における28GHz帯5G伝送実験,” 信学技報, RCS2019-264, Dec. 2019.
- [7] NTTドコモ報道発表資料: “5Gと水中ドローンを活用した漁場遠隔監視の実証実験に成功,” Nov. 2019.
- [8] 外園 悠貴, 南田 智昭, 油川 雄司, 杜 平, 中尾 彰宏: “5Gにおける28GHz帯を用いた水中ドローン遠隔制御実験,” 信学技報, NS2019-241, Mar. 2020.
- [9] M. D. Renzo, M. Debbah, D. Phan-Huy, A. Zappone, M. Alouini, C. Yuen, V. Sciancalepore, G. C. Alexandropoulos, J. Hoydis, H. Gacanin, J. Rosny, A. Bounceur, G. Lerosey and M. Fink: “Smart radio environments empowered by reconfigurable AI meta-surfaces: an idea whose time has come,” EURASIP Journal on Wireless Commun. and Networking 2019, No.129, May 2019.
- [10] D. Kurita, K. Tateishi, D. Kitayama, A. Harada, Y. Kishiyama, H. Murai, S. Itoh, A. Simonsson, and P. Okvist: “Indoor and Field Experiments on 5G Radio Access for 28-GHz Band Using Distributed MIMO and Beamforming,” IEICE Trans. Commun., Vol.E102-B, No.8, Aug. 2019.
- [11] 中尾 彰宏: “最新情報通信技術が切り開くDXによる地域創生,” 本誌, Vol.28, No.2, pp.4-7, Jul. 2020.
- [12] 臻迪日本株式会社: “PowerRay.” <https://www.powervision.me/jp/product/powerray> (available at Aug.2020).

5G evolutionの方向性と標準化動向

ネットワークイノベーション研究所

ながた さとし ほらだ ひろき
永田 聡 原田 浩樹

ネットワーク開発部

あおやぎ けんいちろう
青柳 健一郎

無線アクセス開発部

たかはし ひであき
高橋 秀明

5Gによるサービスが世界各国で始まっており、日本国内においても、2020年3月から商用サービスが開始された。一方で、研究開発の場においては、5G evolution (5Gの高度化) を実現する技術の検討、標準仕様の策定が着々と進められている。本稿では、5G evolutionの方向性と、3GPP Rel-16仕様における5G evolution向け標準化の動向を概説する。

1. まえがき

日本電信電話公社が1979年12月3日に世界初のセルラ方式による移動体通信サービスを開始して以来、移動通信の技術は10年ごとに新世代の方式へと進化し発展を遂げてきた。技術発展に伴いサービスも進化し続けており、音声通話がメインで簡単なメールができる程度であったものが、データ通信および写真、音楽、動画などのマルチメディア情報を誰でも通信できるようになった。加えて近年は、LTE (Long Term Evolution) 方式による100Mbpsを超える高速通信技術によってスマートフォンが爆発的に普及し、より一層多種多様なマルチメディア通信

サービスが登場している。そしてドコモは、さらに技術的に進化した第5世代移動通信システム (5G) による商用サービスを2020年3月に開始した。

5Gは高速・大容量、低遅延、多数端末接続といった技術的特長によって、4Gまでのマルチメディア通信サービスをさらに高度化させることに加え、人工知能 (AI: Artificial Intelligence) やIoT (Internet of Things) とともに、これからの産業や社会を支える基盤技術として新たな価値を提供することが期待されている。図1に示すように、移動通信の技術方式は10年単位で進化しているのに対し、移動通信のサービスはこれまで約20年のサイクルで大きく変化している。したがって、5G evolution

©2020 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。



図1 移動通信における技術とサービスの進化

（5Gの高度化）およびさらに次世代である第6世代移動通信システム（6G）の技術によってもたらされる次の大きな変化は、2030年代の産業や社会を支えていくことが期待される [1]。

本稿では、2030年を見据えて発展が期待される5G evolutionに関する、主な方向性や、3GPP Release 16（以下、Rel-16）仕様における5G evolution向け標準仕様の策定スケジュールについて解説する。

2. 5G evolutionの主な方向性

5G evolutionに向けて、世界各国で行われた5Gプレサービスや、商用サービスでの知見を基に、いくつかの技術的課題が見出されている。5Gは、10GHzを超えるような高周波数帯をサポートする移動通信システムとしては最初の世代であり、それまでに比較して飛躍的に広い数100MHzクラスの周波数帯域幅を利用して数Gbpsクラスの超高速な無線データ通信を実現できる技術である。一方で、移動通信に

におけるミリ波*1のような高周波数帯の技術については今後の発展の余地も多い。特に見通し外伝搬（NLOS：Non-Line-Of-Site）*2環境などでのカバレッジ改善や上りリンクの性能改善、モビリティの性能改善は、5G関連トライアルなどからも判明している課題である。さらに、5Gは将来の産業や社会を支える技術として期待されており、特に産業向けユースケースにおいては、特殊な要求条件や高い無線性能が求められる場合が多い。国内でも、このような産業向けユースケースに特化した「ローカル5G」の議論が進められており業界で注目されている。そのためには、産業向けの幅広い要求条件に柔軟に対応できるよう5Gの技術をさらに発展させていく必要がある。これらの課題や要求を満たす5G evolutionの主な方向性を、図2に示す、新規周波数帯の開拓、システム性能・効率の向上、およびユースケース・サービスの拡張である。

(1) 新規周波数帯の開拓

Rel-15仕様は、52.6GHzまでの周波数帯に対応して

*1 ミリ波：周波数帯域の区分の1つ。30GHzから300GHzの周波数であり、5Gで有望な周波数である28GHz帯を含めて慣習的にミリ波と呼ぶ。

*2 見通し外伝搬（NLOS）：送受信間に遮蔽物があり、反射波や回折波などでしか通信できない状態。

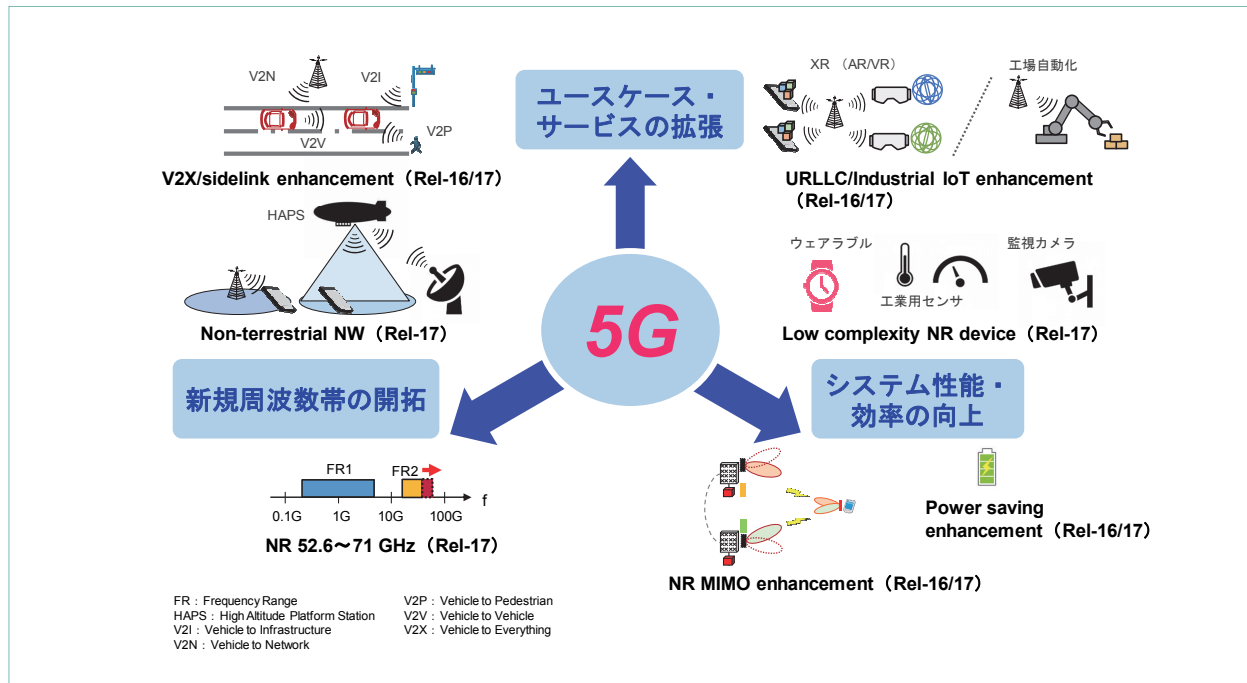


図2 5G evolutionの方向性

いる。3GPP (3rd Generation Partnership Project) では、52.6GHzを超える周波数帯を用いた、将来の利用シナリオを開拓するため、2019年に開催されたITU (International Telecommunication Union) の世界無線通信会議*3 (WRC (World Radiocommunication Conference) -19) [2] において、IMT (International Mobile Telecommunications)*4向けにグローバルに特定された71GHzまでの周波数帯を対象として、NR (New Radio)*5の技術拡張を検討している。

(2)システム性能・効率の向上

Rel-15のNRでは、LTEと比較して性能・効率の向上が図られている一方で、ミリ波帯の特性など、新しい運用シナリオを考慮した最適化は未検討であった。したがって、3GPPでは、ミリ波帯使用時の端末の消費電力削減や、MIMO (Multiple Input Multiple Output)*6・モビリティの高機能化を継続的に検討しており、一部機能は、Rel-16仕様で規定

された。

(3)ユースケース・サービスの拡張

従来のスマートフォン、携帯電話向けのサービスに加えて、産業の自動化、IoT、車間通信など、さまざまなユースケース・サービスの要求を5Gで満たすためのコアネットワーク*7、および、無線の拡張技術も3GPPでさかんに検討している。さらなる高信頼性・低遅延を実現する無線の拡張技術や、多様な通信サービスの進化に対応するためのネットワークスライス*8、QoS (Quality of Service) 制御*9の拡充、セキュリティ強化、AIの適用など、さらに柔軟かつタイムリーなネットワーク構築、運用を実現する5Gコアネットワーク (5GC: 5G Core network) の機能拡張を検討しており、一部機能はRel-16仕様で規定された。

図3は、3GPPにおける5G evolution向け標準仕様の策定スケジュールを示している。最初の5G標準

*3 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。
*4 IMT: ITUにおいて標準化されている国際移動通信システム。

IMT-2000 (3G), IMT-Advanced (4G/LTE), IMT-2020 (5G) など。

*5 NR: 3GPPにおいて策定された、LTEおよびLTE-Advancedと互換性の無い5Gの新しい無線通信方式。

*6 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。

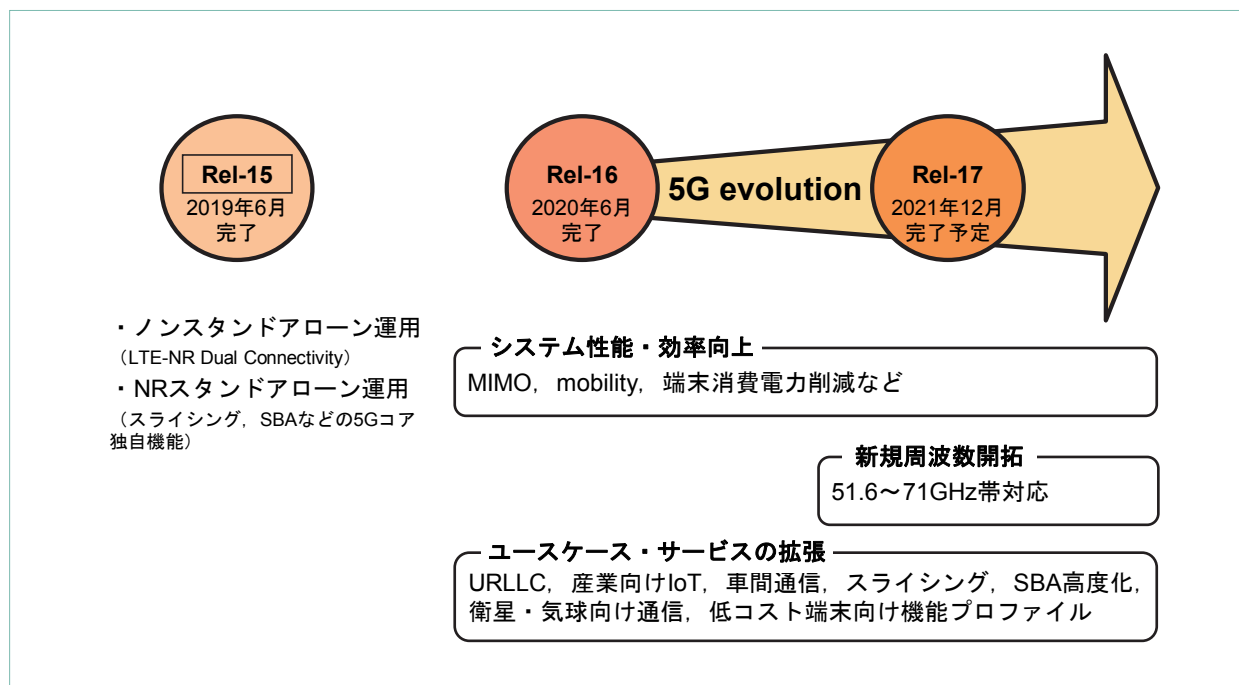


図3 3GPP Releaseごとの5Gの進化

仕様であるRel-15の策定に続き、その発展としてのRel-16の策定を2020年6月に完了し、Rel-17仕様策定に向けた議論をすでに開始している。3GPPでは、Rel-16, Rel-17と2つのReleaseにまたがり、5G evolution向けの標準仕様を策定し、幅広い分野にわたる機能拡張を行い、市場の需要に応じていく予定である。

3. あとがき

本稿では、5G evolution向けに検討されている技術分野と3GPPにおける仕様策定スケジュールを概説した。3GPP Rel-16仕様で規定された5Gコアネット

ワーク、および5G無線の拡張技術は、本特集の別記事で解説しているのので、ご参照いただきたい [3] [4]。

文献

- [1] NTTドコモ：“ホワイトペーパー 5Gの高度化と6G,” Jan. 2020.
- [2] 新, ほか：“2019年ITU無線通信総会 (RA-19), 世界無線通信会議 (WRC-19) 報告,” 本誌, Vol.28, No.1, pp.42-47, Apr. 2020.
- [3] 永田, ほか：“3GPP Release 16における5G無線の高度化技術概要,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.57-64, Oct. 2020.
- [4] 青柳, ほか：“3GPP Release 16における5Gコアネットワークの高度化技術概要,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.45-56, Oct. 2020.

*7 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。

*8 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。

*9 QoS制御：パケットの優先転送など、通信の品質を制御する技術。

3GPP Release 16における 5Gコアネットワークの高度化技術 の概要

ネットワーク開発部

あおやぎ けんいちろう
青柳 健一郎いしかわ
石川ひろし
寛みのくち あつし
巳之口 淳

近年、国内外の通信事業者により急速に進められている5Gの導入は、当初はNRをLTEと併用して提供するノンスタンドアローン構成が中心である。一方、NRを単独で提供するスタンドアローン構成を実現し、かつネットワークスライシングなどの新しい技術を適用した5GCの開発も進められており、今後のコアネットワーク機能拡張は5GCを中心に議論される事が見込まれる。

本稿では、Rel-16で規定された5GC機能の概要について解説する。

1. まえがき

3GPP (3rd Generation Partnership Project) Release 15 (以下、Rel-15) で規定された5GC (5G Core network) は、第5世代移動通信システム (5G) において、NR (New Radio)*1をスタンドアローン*2で提供し、ネットワークスライシング*3など、新たな通信技術が適用されたコアネットワーク*4である [1]。3GPP Rel-16ではこの5GCを主なターゲットとして新たな機能を導入、またネットワークスライシングなどの5GC基盤機能拡充、第4世代移動通信システム (LTE) で提供された各種サービスへの追従など、さらなる高度化が行われている。本稿

ではこれらRel-16で規定された5GC機能の概要について解説する。

2. 3GPP Rel-16 5GC技術概要

2.1 新たに導入された機能

(1) Vertical LAN

Vertical LANは、パーティカルドメインと呼ばれる同種の製品やサービスの開発や生産、提供を行う産業や企業団体などに向けた、特殊な要件、サービスを実現するため、Rel-16で新しく規定されたいくつかの通信機能を適用したネットワークと位置付けられており、スマートファクトリーなどにおける

©2020 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

*1 NR：3GPP Release15で規定された基地局 (gNB (*40参照)) と端末 (UE) 間の無線インタフェース。

*2 スタンドアローン：既存のLTE/LTE-AdvancedとNRをLTE-NR DCを用いて連携して運用するノンスタンドアローンに対し、NR単独で運用する形態。

IoT機器間のリアルタイム通信などを実現する機能拡張が行われている。詳細は本特集別記事を参照されたい [2]。

(2) ネットワークデータ解析機能

5GCではネットワークで取得するさまざまなデータの収集、分析を担うNWDAF (NetWork Data Analytic Function) が規定されており、Rel-16ではこのNWDAFを本格的に活用したNW自動化 (eNA: enablers for Network Automation) の議論がなされ、さまざまなユースケースを実現するための機能拡張が行われた。

図1に示すようにNWDAFは、5GC内の各NF (Network Function)^{*5}とSBI (Service Based Interface) で接続し、各NF、およびOAM (Operation, Administration and Management)^{*6}からのデータ収集、解析を行う機能を具備している。NWDAFによる解析結果は、通信事業者による各種オペレーションへの活用や各NFが直接参照し通信制御に用いる事や、NEF (Network Exposure Function)^{*7}を介して外部のアプリケーションなどがAPI (Application

Programming Interface)^{*8}を通じて参照する事も可能となる。

Rel-16で規定されたNWDAFで提供される解析項目を表1に示す。ユースケースとして、例えば端末の在圏情報やトラフィックデータなどから、在圏管理、最適なU-Plane (User Data Plane)^{*9}ルートの選択といったネットワーク最適化への活用や、特異な挙動を示す端末を分析し、必要な対策を施すといったオペレーションなどが挙げられる。また特定エリア、時間帯における通信品質を予測すること (Predictive QoS) により、例えば自動運転を提供する上で重要な低遅延、高画質な映像などのデータ伝送に十分な通信帯域を確保できるかといった、コネクテッドカーのオペレーションへの応用も期待されている。

2.2 5GC基盤機能の拡充

(1) SBAの拡張

5GCではSBA (Service Based Architecture)^{*10}を採用し、NF間はAPIを通じて通信するアーキテ

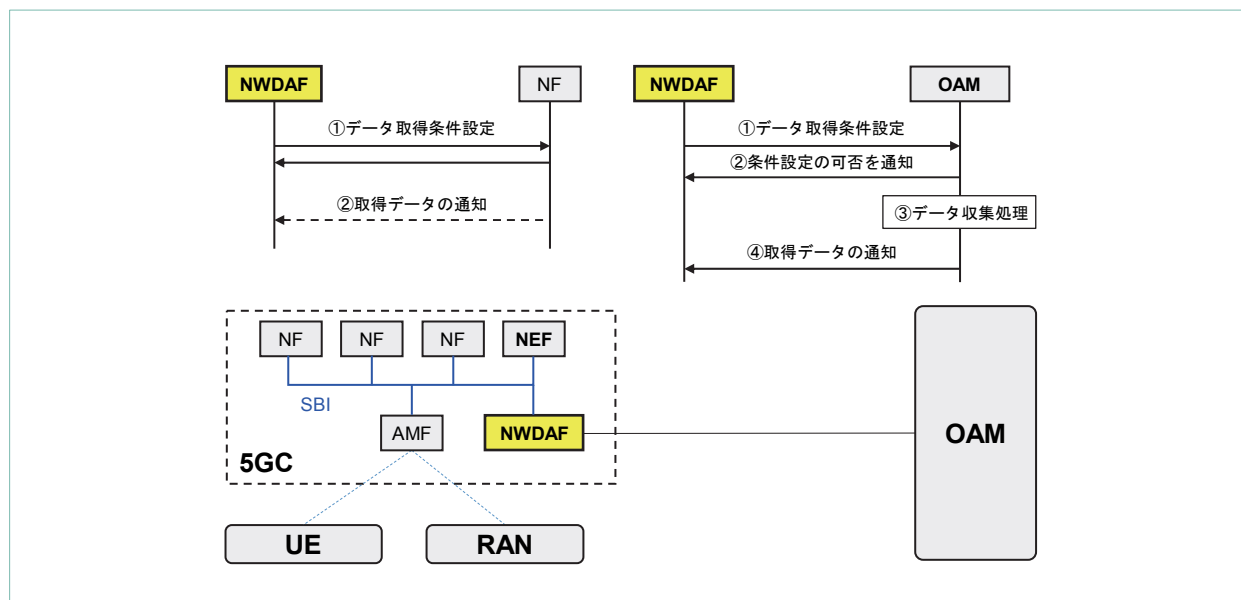


図1 NWDAFを用いたネットワーク構成

*3 ネットワークスライシング：ネットワークのさまざまな通信リソースを用途に応じて分割し、スライスごとにさまざまな要件を満たす通信サービスを提供する機能であり、5GCに導入されている。

*4 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。

*5 NF：5GCアーキテクチャでは、従来のネットワーク装置単位の構成から機能単位の構成に見直され、個々のネットワーク機能を識別する論理的な単位。

*6 OAM：ネットワークにおける保守運用管理機能。

クチャになった。各NFは複数のNF ServiceのAPIを提供しNFの処理を行う。UDM (Unified Data Management)^{*11}を例にとれば、UDMがNF Serviceを提供する側のNF Producerとして、AMFなどのNF Serviceを利用する側のNF Consumerに対してSubscriber Data Management Serviceで加入者情報を提供し、UE Context Management Serviceで

AMF (Access and Mobility Management Function)^{*12}におけるUEの状態の取得・登録・削除・変更を行う、といった形で個別処理を各Serviceで実現する。

Rel-15で導入されたSBAではあるが、下記の課題も指摘された。

- ・あくまでNF間の信号を対象にして最適化しているため、NF内部では柔軟な運用が行えず、NF全体の拡張性に乏しい。
- ・NFの追加・更新・計画削除・障害発生時の代替機能選択は、専用の仕様を策定したAMF以外のNFでは実現できない。

表1 NWDAFの解析項目

Analytics ID	解析内容
load level information	ネットワークスライスの輻輳レベル解析
Service Experience	サービスエクスペリエンスに関する解析
NF load information	NFの負荷に関する情報
Network Performance	ネットワークパフォーマンスに関する情報
UE Mobility UE Communication Abnormal behaviour	移動機の移動や通信に関する解析。および特異な挙動を示す端末の特定
User Data Congestion	ユーザデータの混雑具合に関する情報
QoS Sustainability	QoS (サービス品質) の持続性

その解決として、Service Framework^{*13}の見直しと、高度な処理の実現にむけて検討が行われた。まずService Frameworkの見直しとして、これまでDirect方式として直接NF間で通信する前提で構成されていたNF Discovery^{*14}、NF Registration^{*15}、Authorization^{*16}を間接的に行う仕組み (Indirect方式) として、SCP (Service Communication Proxy)^{*17}の導入を行った (図2, 3)。具体的には、SCPの導入により従来NF Consumerが行っていたNF Discovery

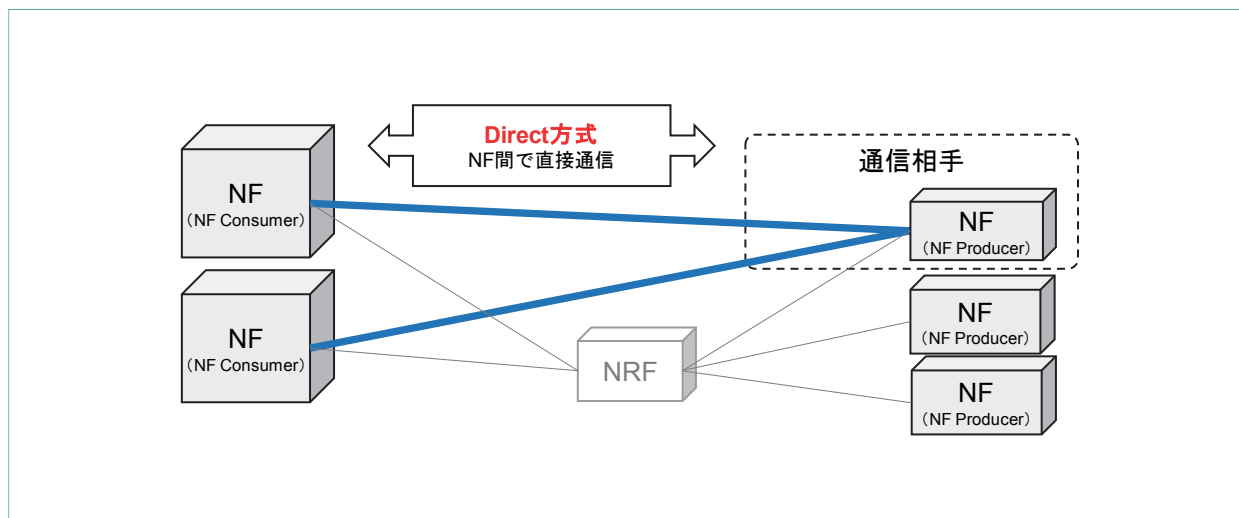


図2 Direct方式イメージ

*7 NEF：5GC外のアプリケーションなどから、5GC内の情報取得や、5GC内の制御を実施するためのAPIを提供するNF。
 *8 API：5GCの装置間で互いにやりとりするのに使用するインタフェースの仕様。
 *9 U-Plane：端末とネットワークの間でユーザデータを転送するための通信経路。

*10 SBA：5GCで採用されているネットワークアーキテクチャで、ネットワーク機能群ごとにNFを定義し、各NF間は統一的なSBIを介して、相互にサービスを利用する。
 *11 UDM：5GCにおける加入者データ、移動機の在圏情報、セッション情報などの格納や情報提供を行う情報管理装置。
 *12 AMF：5GCにおけるUEの在圏収容装置。

をSCPが代行する（Delegated Discovery）ことが可能になるほか、信号のRouting処理をSCPに任せることで、NF Consumerの簡素化を実現した。

高度な処理の実現として、NF Setの概念を導入した（図4）。NF ServiceあるいはNFは各々Instanceとして動作しているが、NF Service InstanceやNF Instanceの処理を他のInstanceがカバーできる仕組みを取り入れ、同じSetに含まれるInstance同士で

あればそれまでの処理に何ら影響を与えることなく継続できるようにした。

これらにより、信号処理方法の最適化、同じNF Serviceを提供する複数のInstance間で処理を分担・継続して処理を行うことができるようになり、効率化ができるようになった。

(2)加入者情報収容装置構成の拡充

5GC - EPC間におけるユーザデータ連携の実現

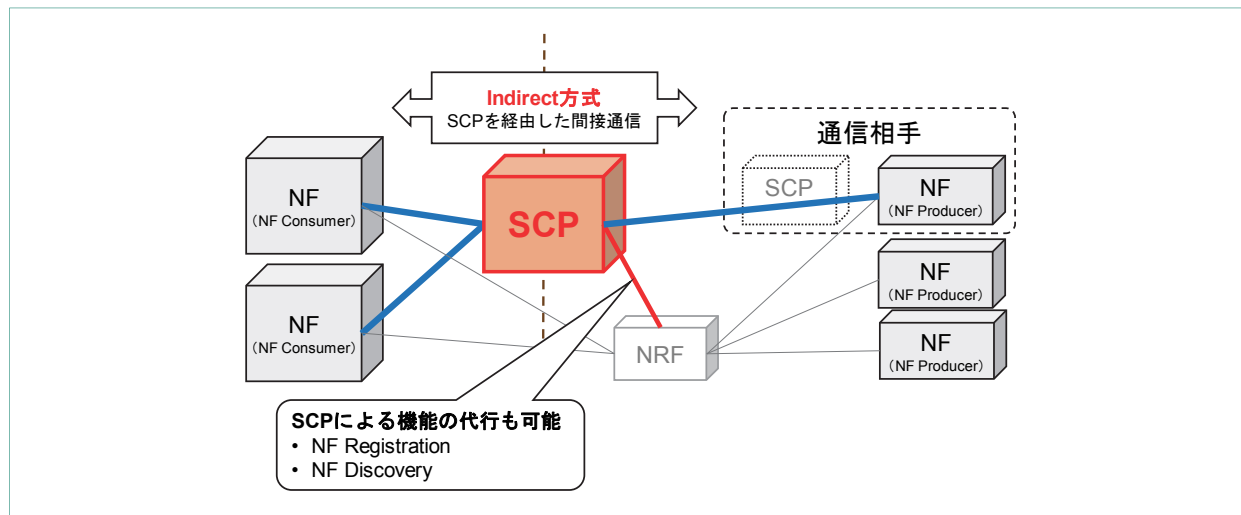


図3 Indirect方式（SCP利用）イメージ

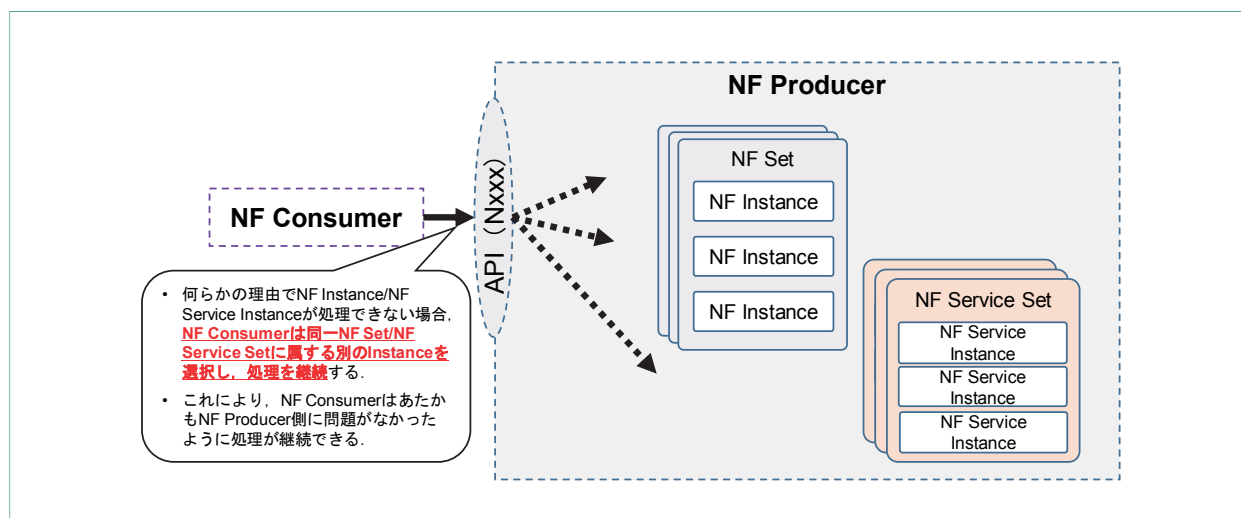


図4 NF Setイメージ

- * 13 Service Framework：5GCでServiceとして各NFが機能を提供する仕組み。
- * 14 NF Discovery：NFと、NFが提供するServiceを発見する仕組み。NF Serviceの使用に先立ち行われる。
- * 15 NF Registration：NFが提供するServiceの登録手順。
- * 16 Authorization：NFが提供するServiceの利用を許可する認可制御。

- * 17 SCP：NF間が直接通信する代わりに信号の中継を行う装置。信号のRoutingのほか、サービスの発見を行うこともある。

アーキテクチャイメージを図5に示す。

加入者情報収容装置は、EPC (Evolved Packet Core)^{*18}ではHSS (Home Subscriber Service)^{*19}、5GCではUDMが規定されている。さらに、これらの装置には各々必要な情報をレポジトリ^{*20}に格納できるように設計されている。5GCでは、レポジトリをUDR (User Data Repository)^{*21}としてNFが仕様化されており、UDMとUDRを標準規定のAPIを通じて連携するよう規定されている。

HSSとUDMはいずれも各々のEPCと5GCとの接続を考慮した設計になっているが、実質UDMとHSSが統合装置である前提で進められたRel-15の仕様では、相互間での連携が明確には規定されていなかった。そのため、HSSとUDMが独立の装置で実装される際、HSSの情報を5GCの各装置が、またはUDM/UDRの情報をEPC各装置がアクセスする場合、連携方法の規定がなかった。

そこで、UDMとHSSの連携を実現させるために、HSSのSBIを新たに規定した(Nhss)。また、UDMのAPIであるNudmに対してHSSがSBI経由でアクセスできるようにした。これによりUDMがHSS側

で保持している情報への、またHSSがUDM側で保持している情報へのアクセスを可能にした。

(3)U-Plane構成の拡充

SMF (Session Management Function) はPDU (Protocol Data Unit)^{*22} Sessionを管理する装置として、DN (Data Network)^{*23}とN6^{*24}経由で接続されるUPF (User Plane Function)^{*25}との間を、N4^{*26}経由で管理する。

また、UPFは多段構成で(R) AN (Radio Access Network) とDNの間に配置できる構成になっている。途中に入るUPFをI-UPF (Intermediary UPF)、N6と接続するPDU Sessionの最終点となるUPFをPSA-UPF (PDU Session Anchor UPF)と呼ぶが、I-UPFを制御するSMFをどうやって割り当てるか、どうPSA-UPFを管理するSMFと連携させるかなどが課題であった(図6)。

例えば、SMFが特定の地域のUPFを管理する設計がなされていて、UEが当初接続していたSMFとUPFの管理するエリアを超えて移動した場合や、UPFが異なるPLMN (Public Land Mobile Network)^{*27}に移動した場合のI-SMFの新規割当てや

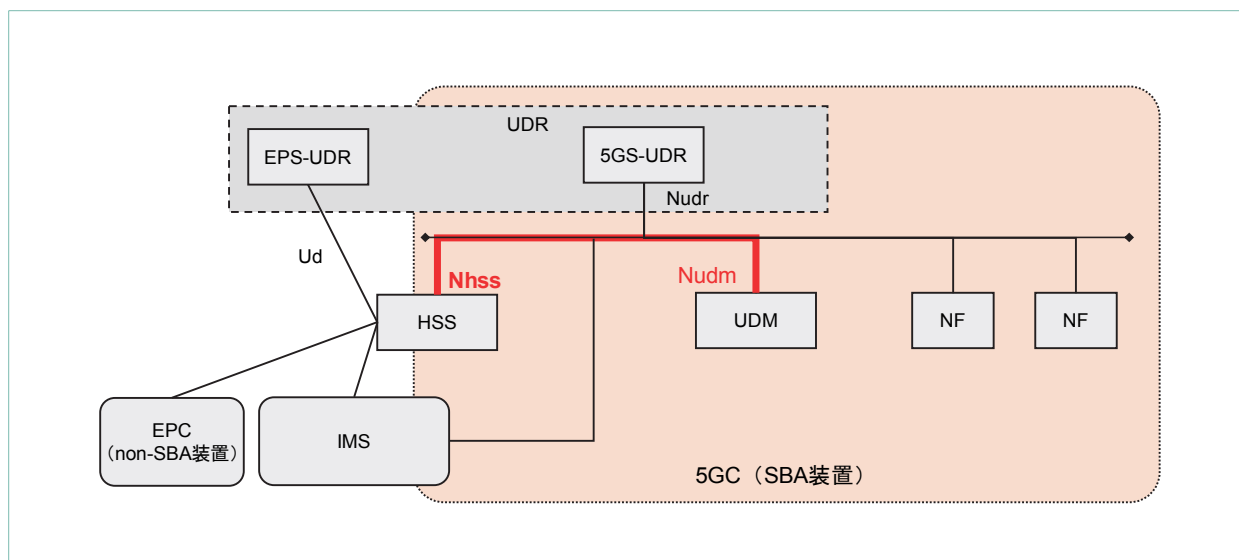


図5 5GC - EPC間におけるユーザーデータ連携の実現アーキテクチャイメージ

*18 EPC：3GPP移動通信網における主にE-UTRAを収容するコアネットワーク。
 *19 HSS：3GPP移動通信ネットワークにおける加入者情報データベースであり、認証情報および在圏情報の管理を行う。
 *20 レポジトリ：加入者情報や在圏情報など、アプリケーションやシステムの設定情報をまとめて記録するシステム。

*21 UDR：5GCにおけるレポジトリ。
 *22 PDU：プロトコレイヤ・サブレイヤが処理するデータの単位。
 *23 DN：5GCが接続するISPや企業網などの利用者のデータネットワーク。
 *24 N6：UPF（*25参照）とDNの間の参照点。

AMFとSMFの連携方法が明確でない。

また、SMFが企業網^{*28}にある場合、マクロ網^{*29}にあるI-UPFの管理を行うSMFが明確でなかったことから、そこで、Rel-16にてAMFへの動作を新たに規定した。Mobility change^{*30}やService Request^{*31}が行われた際などに、AMFはSMFの選択にあたりI-SMFの必要有無を判断する。具体的には、AMFはNRF (Network Repository Function)^{*32}を通じ

てSMFのServicing Areaを把握し、直前のI-SMF, A-SMF (Anchor SMF), UEの位置に基づき、新たなI-SMFを選択するべきかを判断する。新たなI-SMF経由でPDU Sessionを再確立することでA-SMFが管理するService Area以外からのPDU Sessionの継続を可能とする (図7)。

(4)NF間ロードバランス機能の拡充

5GCにおいて、NFの状態などに応じたテレコム

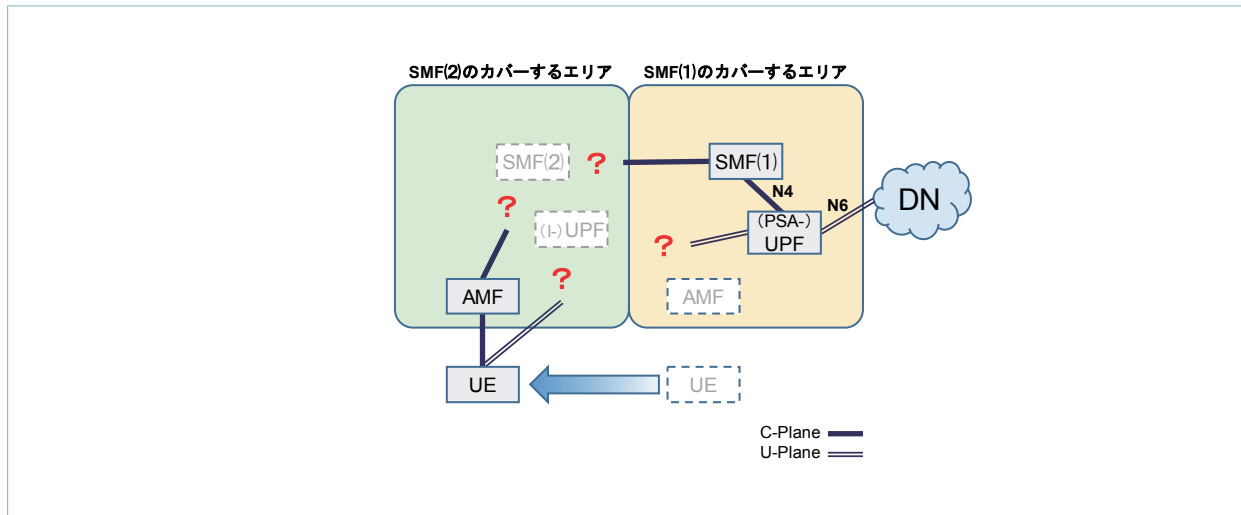


図6 AMFとSMFの制御できるエリアが異なる場合、直接C-Planeを接続できず制御ができない

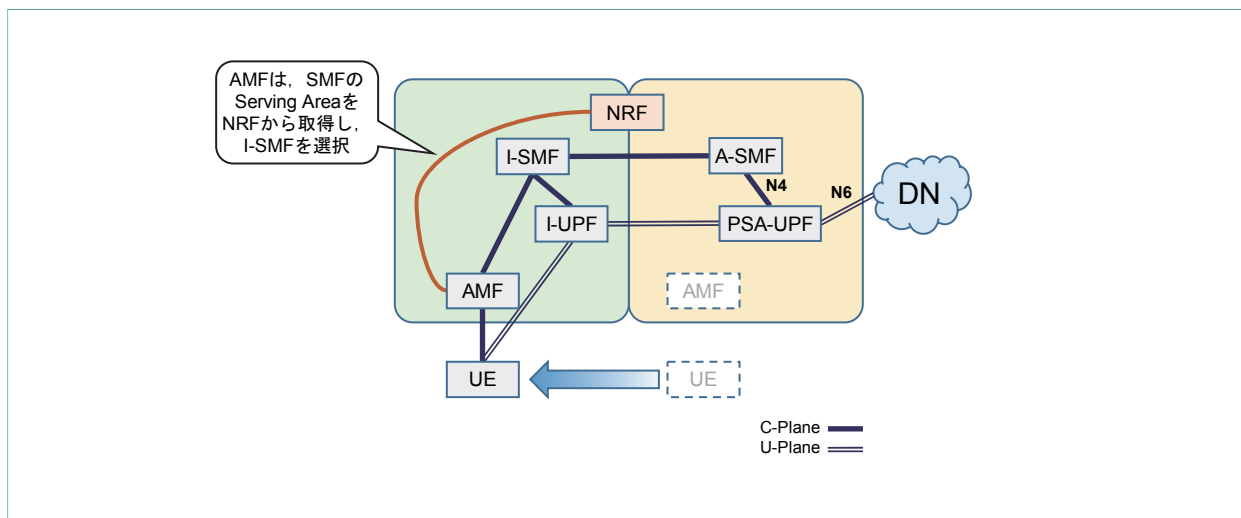


図7 Serving Area内のI-SMF/I-UPFの選択による、異なるエリアのAMFと(A-) SMFでの接続を実現

*25 UPF：5GCでPDU sessionのU-Planeを中継・終端する装置。
 *26 N4：SMFとUPFの間の参照点。
 *27 PLMN：移動通信システムを用いたサービスを提供するオペレータのこと。
 *28 企業網：5GCにおける特定の利用者・用途に限定したネットワーク。

*29 マクロ網：5GCにおける公衆ユーザを対象としたネットワーク。
 *30 Mobility change：5GCのAMFが収容するエリアをまたがった移動のこと。
 *31 Service Request：無線が一時的に切断されていた通信の復旧手順。

のオペレーションを実現するための負荷情報通知と過負荷制御が行われている。

Rel-15では、負荷情報はNRFを経由した配信を行い、過負荷情報は使用するHTTP (HyperText Transfer Protocol) で標準的に採用されるResponse codeを使用するものであった。しかし、前者はNRF経由で即時性の問題があり、後者はHTTPのResponse codeの情報だけでは適切な輻輳*33制御ができない課題があった。そのため、より正確でリアルタイムなNF Producer*34の負荷情報や過負荷状態を通知可能にするべく、後述のCustom headerを用いてNF Producerからの応答信号内へ必要な情報を含める形で、直接NF Consumer*35へ通知する仕組みが採用された。

負荷情報については、新たにSBAで使用するべく3GPPがCustom header (3gpp-Sbi-Lciヘッダ) を独自に規定し、NF ProducerからNF Consumerへ

通知を行うことを可能にした。これにより、NF Consumerでは取得した値からその後の判断 (安定した通信を目的に代替NF Producerを再選択するなど) を可能とした (図8)。

過負荷情報も同様に、別の新規Custom headerを追加し、通常のHTTPのエラー応答に加え追加の情報を送ることを可能にした。これによりHTTP応答コードだけでは判断できない追加の情報をNF Consumerは把握することが可能になり、ネットワーク全体として負荷分散を促す仕組みとなる (図9)。

(5) ネットワークスライシング拡張

5GCの特徴技術の1つであるネットワークスライス [1] は、ネットワークリソースを分割し柔軟なネットワーク構築、最適化を実現し、高速・大容量や多数端末接続などの多様な性能要件を1つのコアネットワーク上で提供することができる技術である。スマートファクトリーなどの特殊な要件において

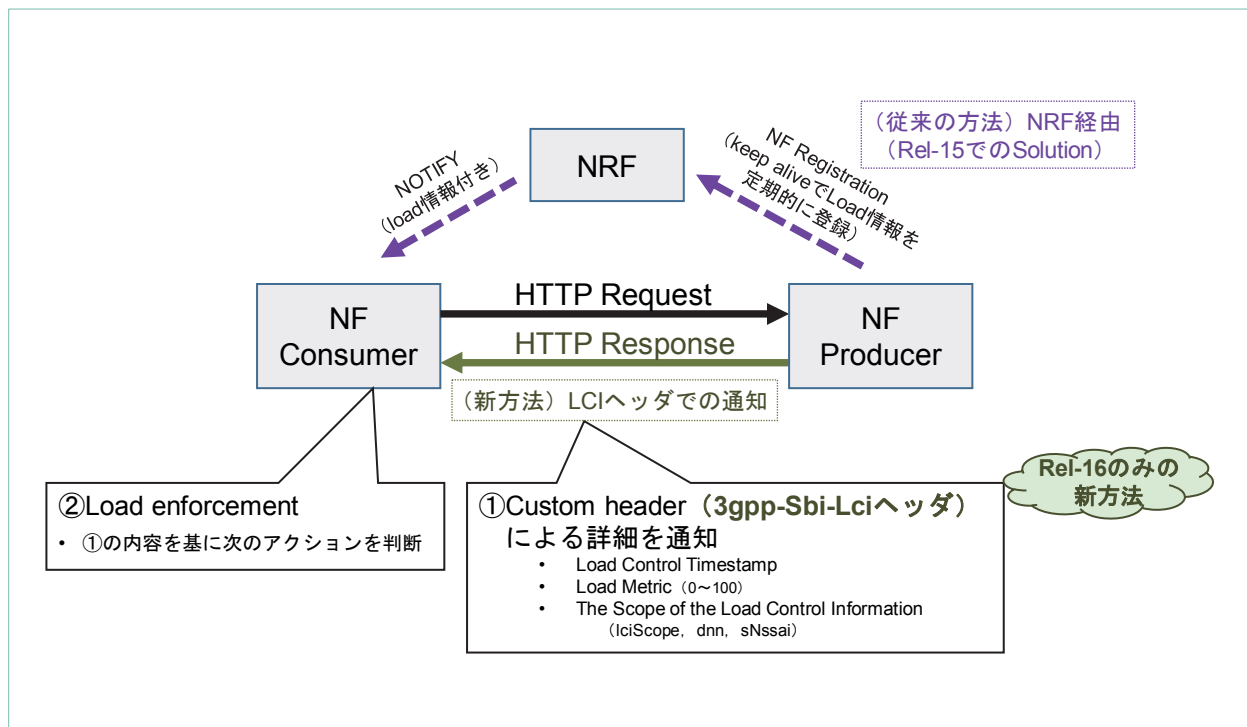


図8 負荷情報の通知方法イメージ

- *32 NRF：NF Producerの発見を実現するための登録・情報提供装置。
 *33 輻輳：通信の要求が短期間に集中して通信制御サーバの処理能力を超え、通信サービスの提供に支障が発生した状態。
 *34 NF Producer：NF Serviceを提供するNF。
 *35 NF Consumer：NF Serviceを利用するNF。

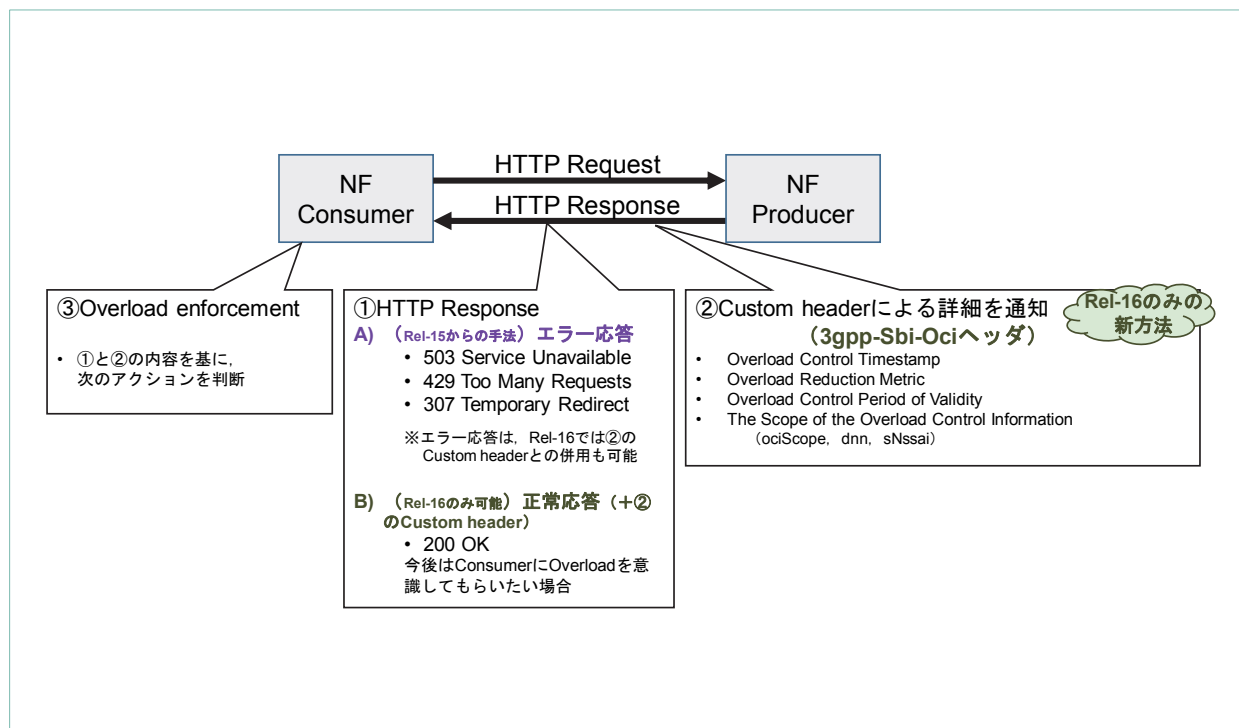


図9 過負荷情報の通知方法イメージ

ネットワークリソースを制御する手法の1つとして、このネットワークスライス機能を活用した提供方法が考えられている。この場合の通信事業者による通常の認証認可手順において、当該ネットワークスライスへの認証認可をローカル事業者もしくは個人で実施する運用形態が要望される可能性があり、Rel-16では新たにNSSAA (Network Slice-Specific Authentication and Authorization) を規定した (図10)。公衆網による認証認可手順の中で、当該ネットワークスライスに関する認証認可手順を一時的に保留し、後続の手順で当該ネットワークスライスの認証認可を行う。またこの際の認証認可はRel-16で新たに規定されたNFであるNSSAAF (Network Slice Specific Authentication and Authorization Function) にて実施する事で公衆網の認証認可サーバへの影響を軽減している。なおこの認証認可手順で用いられるID (EAP Identity) は、公衆網で設定された通

信経路によりセキュアに取得する事ができる。

2.3 各種サービスの5G対応および拡張

5GCではLTEで提供されている音声などの各種サービスに対応しているが、導入当初の5GCエリアの展開規模や、端末、ネットワーク装置開発への影響などにかんがみ、Rel-15では一部サービスにおいて、未サポート、もしくは部分的なサービスにとどまっているものがある。Rel-16ではこれらのサービスについて、少なくともLTE相当に提供できるようにした機能追従や、新たに5GCに向けた機能拡張が行われている。

(1)位置測位サービス

5GCにおける位置情報サービスに関する機能は、Rel-15では緊急用途など一部サービスにとどまっており、LTEで提供されている各種位置測位サービス相当にはRel-16において対応することとなった。

またあわせて、5GC、EPC間のインタワーク*36機能も拡張され、5G/LTEのエリアが混在する環境においてもシームレスな位置測位サービスの提供を実現する。図11に示すように、5GCでは位置測位に関

するLMF (Location Management Function)*37が、EPCにおいて位置情報サービスを司るE-SMLC (Evolved Serving Mobile Location Centre)*38に相当する。

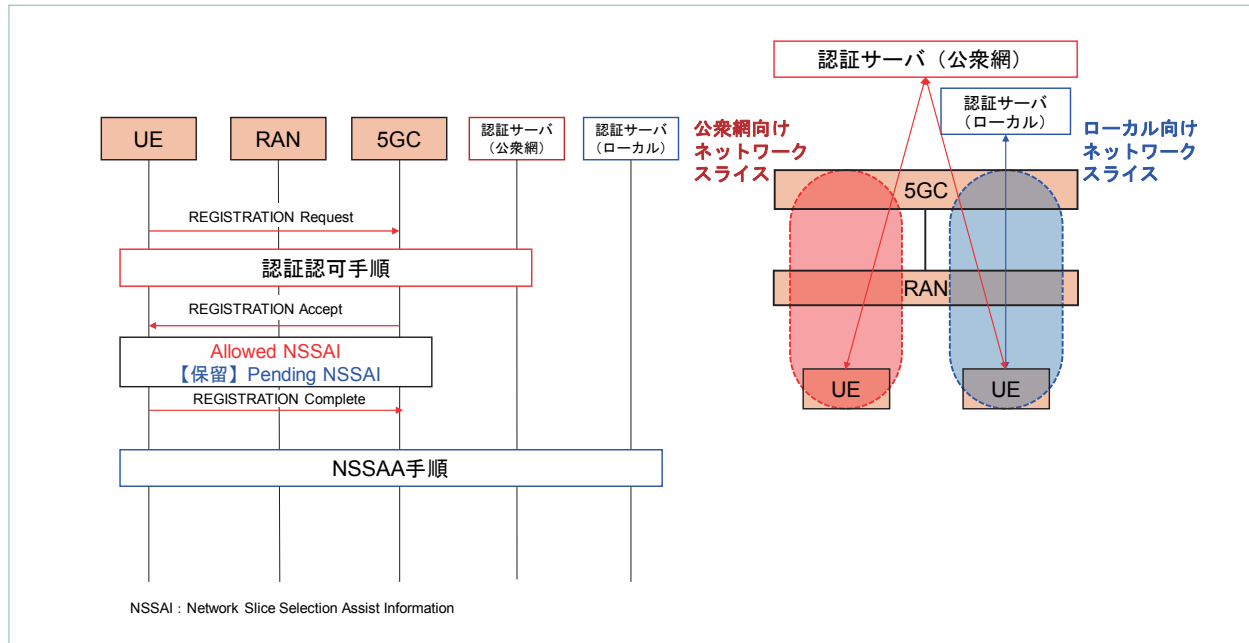


図10 NSSAAによる認証認可手順

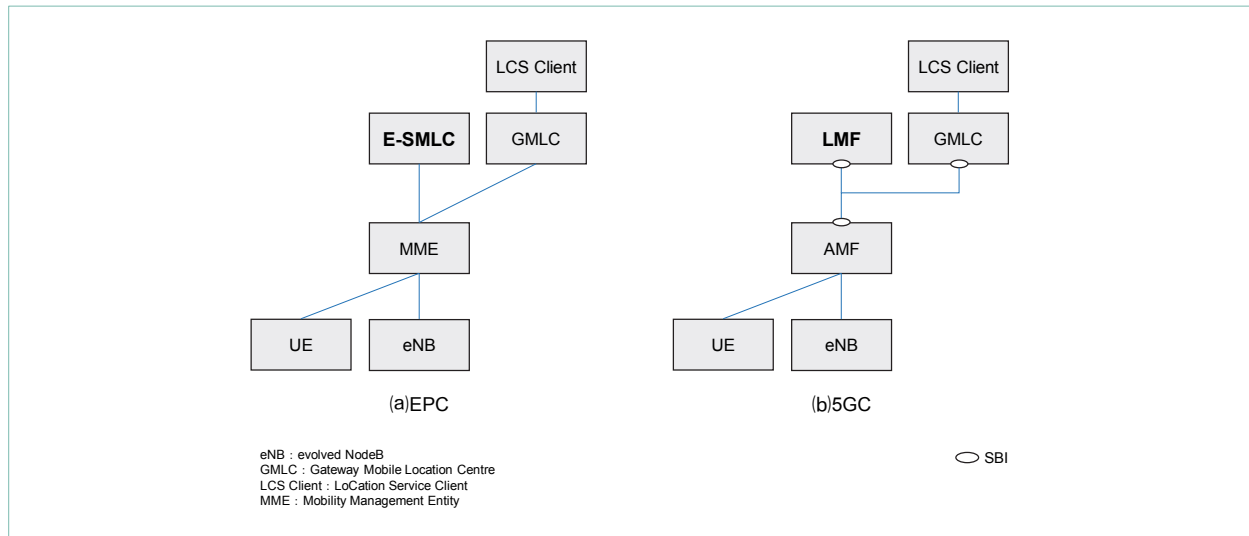


図11 EPCおよび、5GCにおける測位サービスのネットワーク構成例

*36 インタワーク：異なる通信システム間の相互動作。

*37 LMF：5GCにおいて規定された位置情報サービスに関する通信制御を担う機能 (NF)。

*38 E-SMLC：EPCにおいて規定された位置情報サービスに関する通信制御を担う装置。

なおEPCにおいてNRを提供するノンスタンドアローン^{*39}形態が規定されているが、この際のNR基地局（gNB）^{*40}における測位データをE-SMLCに通知するためのインタフェース拡張もRel-16で実施されている。

(2)5Gの音声提供方式

5GCでの音声提供はEPCを踏襲しIMS（Internet protocol Multimedia Subsystem）^{*41}を接続するアーキテクチャがRel-15よりサポートされている。Rel-15 5GCの音声提供の手法は、大きく3つの形態が規定されている（図12）。

- ①IMS over 5GS（5G System）^{*42}：5GSで待受けもしくは通信中の端末に対し、直接5GS内で音声の通信経路を設定する。
- ②EPS（Evolved Packet System）^{*43}フォールバック：5GSで待受け、もしくは通信中の端末をいったんハンドオーバー^{*44}、もしくはリダイレクション^{*45}によりLTEに接続させ、LTEにおいて音声を提供する。
- ③Dual Registration：端末側でEPC/5GCの双方

に登録、待受けを行いLTEにおいて音声を提供する。

このうち①IMS over 5GSもしくは②EPSフォールバックを提供する手順において、IMSと5GC間の制御インタフェースとしてIMS - EPC間で規定されているRx, Cx, Shが適用されるが、これらのインタフェースを5GC側の各NFに具備させる必要が生じる。また5GCではNF間の通信においてSBIを適用するSBAを1つの特徴としており、Rel-16においてこのIMSと5GCのインタフェースにも、SBIを適用するオプションが規定されている。

(3)ローミング先選択機能の拡張

SoR（Steering of Roaming）は、ローミング先で、在圏国内の複数接続先事業者の中から、ホーム事業者が優先する事業者へ誘導する機能である。5GCにおいてもRel-15よりEPC相当のローミングサービスを提供する機能が規定されているが、SoRについてはRel-16において機能拡張が行われている。

一般に、ローミング先の各事業者との利用料の価

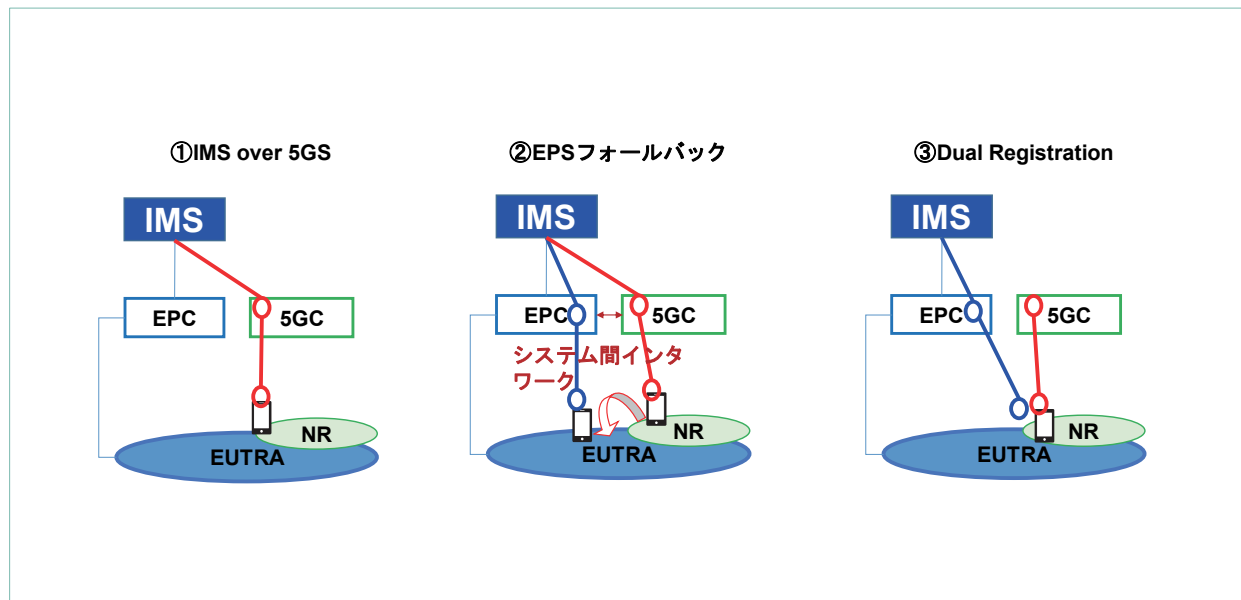


図12 Rel-15 5GCにおける音声提供構成例

*39 ノンスタンドアローン：NR単独ではエリアを提供せず、LTEのエリアと組み合わせてサービスを提供する運用形態。

*40 NR基地局（gNB）：NR無線を提供する無線基地局。

*41 IMS：3GPP移動通信網におけるIPマルチメディアサービス（VoIP（Voice over IP）、メッセージング、プレゼンスなど）を提供するサブシステム。呼制御プロトコルとしてSIP

（Session Initiation Protocol）を用いる。

*42 5GS：5GCに接続する無線アクセスネットワーク、および通信端末で構成されるネットワークシステム。

*43 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。

格交渉のために、また中継回線を含めた障害時の全断リスク分散のために複数の事業者と契約を締結するが、平時は各社との各種調整内容に応じて、ホーム事業者側の判断で全ローミングユーザ各々が在圏する通信事業者を分散させる必要があり、ホーム事業者側がユーザの在圏する事業者を制御するために

SoRを用いる。2G～EPCでは標準外を含めた方法は存在したが、ユーザ体感の低下や確実な制御ができない課題があった(図13)。5GCでは、新たにNAS(Non-Access Stratum)*46信号で優先事業者リストを通知し、移動機側で即時に優先事業者を判定・選択する機能を追加した(図14)。

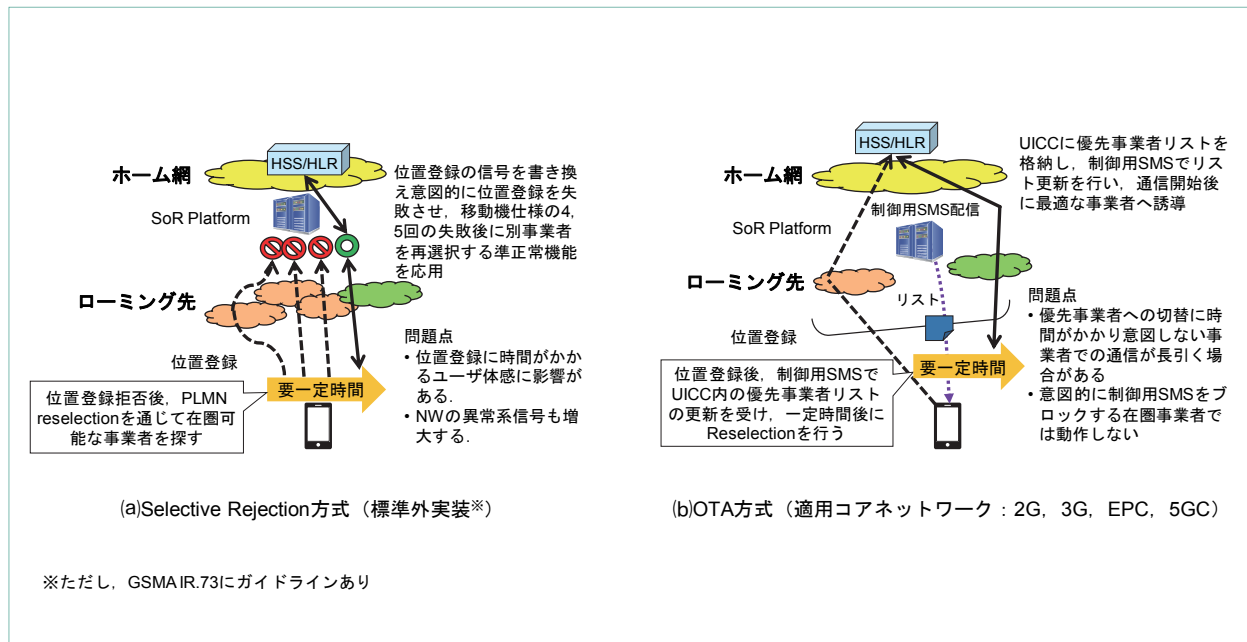
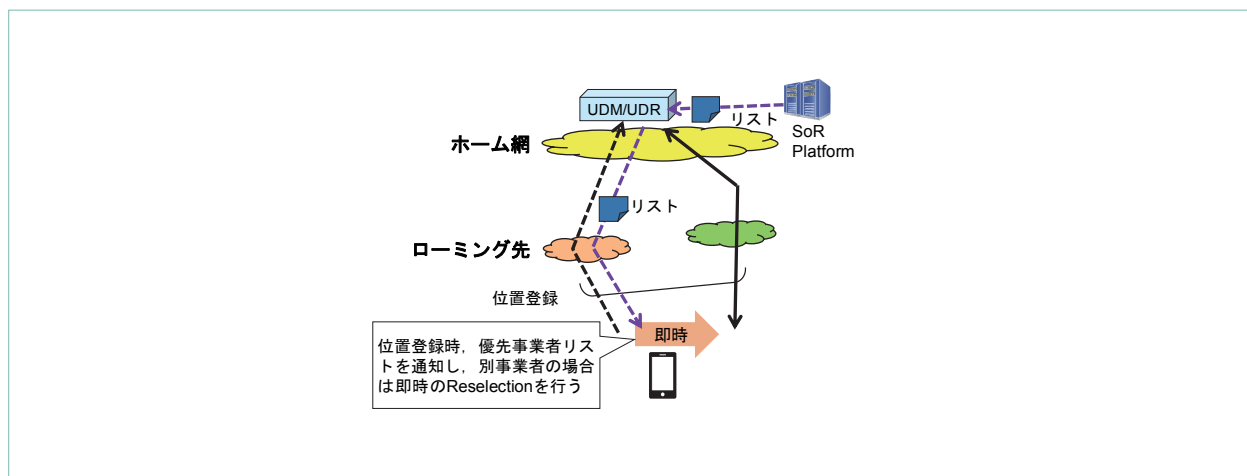


図13 既存SoRのイメージ



*44 ハンドオーバー：端末とネットワーク間の通信を継続したまま、通信セル／基地局の切替えを行う通信技術。
 *45 リダイレクション：端末とネットワーク間の通信を一度切断し端末を待受け状態としたあと、端末からの再接続要求信号により接続した通信セル／基地局において通信を再開する通信技術。

*46 NAS：UEとコアネットワークとの間の機能レイヤ。

3. あとがき

本稿では、Rel-16で規定された5GCの拡張として新たに導入した機能について、5GC基盤機能の拡充、既存サービスの拡張の観点から解説した。3GPPではRel-17以降も5GCを中心としたコアネットワーク、移動通信サービスのさらなる拡張に向けた議論が進んでおり、ドコモは、3GPP標準化への寄与を通

じ、Beyond 5Gや6Gも見据えさらなるコアネットワークの発展に貢献していく。

文献

- [1] 巳之口, ほか: “5Gコアネットワーク標準化動向,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.44-49, Oct. 2017.
- [2] 青柳, ほか: “産業創出・ソリューション協創に向けた5G高度化技術,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.65-81, Oct. 2020.

3GPP Release 16における 5G無線の高度化技術概要

ネットワークイノベーション研究所

ながた 永田 聡 原田 浩樹

移動機開発部

たけだ 武田 大樹†

無線アクセス開発部

たかはし 高橋 秀明

3GPPにおいて、5G向けに、新たな無線アクセス技術であるNRの標準仕様およびLTEの高度化技術の標準仕様が、2018年6月にRel-15仕様として策定され、国内でも、NRを用いた5Gの商用サービスが、2020年3月から開始されている。3GPPでは、Rel-15仕様策定後もNRおよびLTEの拡張技術の検討が続けられ、2020年6月にRel-16仕様の策定を完了した。本稿では、Rel-16で完成したNRおよびLTEの仕様について概説する。

1. まえがき

3GPP (3rd Generation Partnership Project) Release 15 (以下、Rel-15) の第5世代移動通信システム (5G) (NR (New Radio), LTE (Long Term Evolution)) の仕様策定では、モバイルブロードバンドの高度化 (eMBB: enhanced Mobile Broad-Band) 向けの無線技術が重点的に検討されたが、Rel-16の仕様策定では、eMBBのさらなる高度化に加えて、高信頼・低遅延通信 (URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communication) 向けの

高度化や、産業分野でのIoT (Internet of Things) を促進するIndustrial IoTといった新規事業を創出するための拡張技術が規定された。本稿では、これらのRel-16で仕様化された主な拡張技術と、その検討で考慮された背景を概説する。

2. Rel-16仕様における高度化 5G無線の方向性

図1は、3GPP Rel-16で仕様策定したNR, LTEの機能を、5Gの主な利用シナリオであるeMBB,

©2020 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

† 現在、R&D戦略部

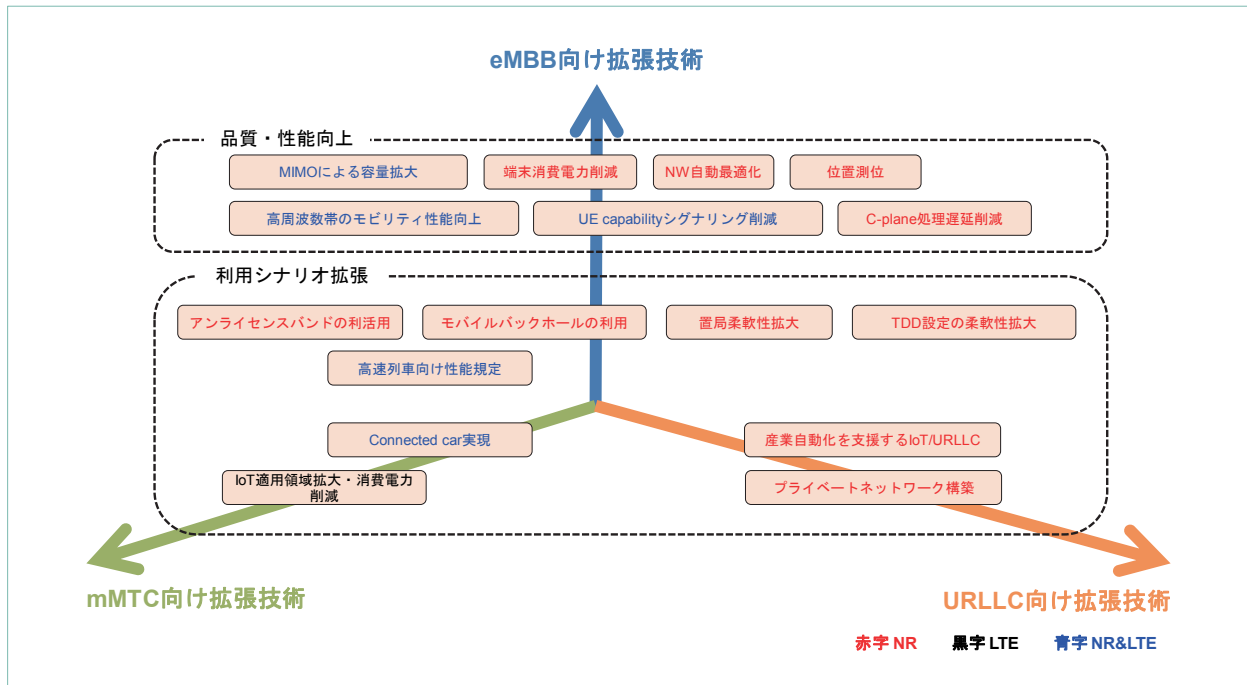


図1 Rel-16で仕様化したNRおよびLTEの主な機能

URLLC, 多数のマシン端末通信 (mMTC: massive Machine-Type Communications) ごとに分類している。

Rel-15と同様に, Rel-16でも多くのeMBB向けの機能があり, それらは, さらに品質・性能向上を目的とした機能, 利用シナリオ拡張を目的とした機能に分けられる。Rel-15で仕様策定したNRは, ノンスタンドアローン*1, およびスタンドアローン運用を実現するための基本機能に特化しており, 品質・性能向上を図る機能はさらなる検討が必要な状況であった。したがって, Rel-16でそれらの機能のうちのいくつかは, LTEでの仕様策定経験を基に規定された。同時に, アンライセンズバンド(後述)の利活用や, 置局の柔軟性を図るための拡張など, 利用シナリオを拡張し, 市場拡大を図るための機能も規定された。

一方で, URLLCやマシン端末通信向けの拡張は,

新規産業の開拓が主要な目的であり, さまざまなIndustrial IoTの利用シナリオを実現するための機能拡張が行われた。利用シナリオごとの主なRel-16機能を以下に概説する。

2.1 eMBB向け拡張技術

図1に示すとおり, eMBBの品質・性能向上を図るため, 7つの目的を満たす機能が規定された。また, eMBBの利用シナリオを拡張するためにも, 5つの目的を満たす機能が規定された。

(1)品質・性能向上

(a)MIMO (Multiple Input Multiple Output)*2による容量拡大

Rel-15 NRにおけるMIMOでは, 複数アンテナパネルで構成されるアンテナアレー*3やアナログビームフォーミング*4を用いる高周波数帯

*1 ノンスタンドアローン: NR単独ではエリアを提供せず, LTEのエリアと組み合わせてサービスを提供する運用形態。

*2 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。

*3 アンテナアレー: 複数のアンテナ素子やアンテナパネルを並べて配置したアンテナ群。

*4 ビームフォーミング: 送受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する。

でのマルチビーム運用など、多数の新しい機能が規定されたが、そのさらなる拡張がRel-16において行われた。例えば、基地局側で複数のアンテナパネルあるいは送受信ポイントを用いてユーザ端末との通信を行う際、Rel-15ではそのような構成をユーザ端末が認識できない仕様となっており、地理的に離れたアンテナパネルあるいは送受信ポイントを用いた分散MIMO*5通信への適用は現実的ではなかった。そこでRel-16では、ユーザ端末が基地局側の複数のアンテナパネルあるいは送受信ポイントを認識し、それぞれに対して適切な設定を用いて同時に通信を行うための仕組みが規定され、分散MIMO通信による高次ランク利用での高速化や信頼性の向上が可能となっている。

(b)高周波数帯のモビリティ性能向上

Rel-15 NRにおいてハンドオーバ*6などの基本的なモビリティ機能が規定されたが、アナログビームフォーミングを用いる高周波数帯でのモビリティ機能には、ビームスイープ*7のための遅延などにより信頼性の観点で課題があった。また、安定した継続的な通信の実現のため、ハンドオーバやSCG (Secondary Cell Group)*8切替処理などによって通信が途切れる時間 (interruption time) を短縮する要望があり、Rel-16では同一周波数および異周波数間のハンドオーバやSCG切替を対象として、機能拡張が行われた。具体的には、従来は1つであったハンドオーバ先候補基地局をユーザ端末に複数設定することで、ハンドオーバの失敗率を低減することや、ハンドオーバ先基地局とハンドオーバ元基地局の双方と同時にユーザ端末が通信を行うことで、通信が途切れる時間を削減することが可能となっている。

(c)端末消費電力削減

端末の電池持ち時間の改善は、ユーザの満足度向上において重要な要素の1つであり、Rel-15 NRではLTEでもサポートされているDRX (Discontinuous Reception)*9機能や新たに追加されたBWP (Bandwidth part) adaptation*10機能などが、端末消費電力削減のため規定された。

さらなる消費電力削減のためには、ユーザ端末がより細かくPDCCH (Physical Downlink Control Channel)*11のモニタリング動作などを止めてスリープ状態に入れる機会を増やすことや、複数の処理を同時に行うことを避けることが有効である。一方でこのような消費電力を削減するための動作を行う際には、通常時よりも通信遅延が大きくなり達成可能なスループットも低下する。

そこでRel-16では、基地局からの指示に基づいてDRX時の周期的な受信動作や測定動作を適宜スキップしスリープを継続する仕組みや、高いスループットが必要な通信を行っていない時に最大MIMOレイヤ*12数を減らす指示を基地局が出して、ユーザ端末側の回路を一部オフにできる機能などが導入された。これにより、端末や提供サービスにより異なる要求条件に、柔軟に適応することができるようになっている。

(d)位置測位

位置測位機能は重要なアプリケーションの1つであるが、Rel-15 NRではセルID*13の報告に基づく測位などのみに機能が限られていた。そこでRel-16では、NR向けの位置測位に特化した機能の仕様化が行われた。具体的には、位置測位用の下りリンク参照信号*14としてPRS (Positioning Reference Signal) が規定されたほか、受信タイミング差 (Reference signal

*5 分散MIMO：複数の基地局から異なるMIMOストリームを1つの移動局に送信しMIMO伝送を行う技術。

*6 ハンドオーバ：移動端末が接続する基地局を切り替えること。

*7 ビームスイープ：基地局が使用可能なビームを順に切り替えながら同一の信号を送信し、エリア全体をカバーする技術。

*8 SCG：デュアルコネクティビティにおいて、端末と接続する2つの基地局のうち2つめの基地局との通信に用いられるセカンダリセルのグループのこと。

*9 DRX：端末の電力消費の低減を目的とした間欠受信制御。

*10 BWP adaptation：NRにおいてサービングセルと端末との通信に用いる帯域幅やサブキャリア間隔などの設定を動的に切り替える技術。高い通信速度が必要でないときは帯域幅を狭くするなどして消費電力の低減が可能。

*11 PDCCH：下りリンクにおける物理レイヤの制御チャンネル。

*12 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。

*13 セルID：セルごとに付与される識別情報。

*14 参照信号：基地局から端末に設定される既知信号。

timing difference) に基づく測位, 受信信号電力 (Reference signal received power) *15 に基づく測位, 受信信号到来角 (Angle of arrival) *16 に基づく測位, 送受信時間差 (Rx-Tx time difference) に基づく測位など各種の測位方式が下りリンクおよび上りリンク向けそれぞれに規定された。通信事業者は置局シナリオや利用する周波数, 要求される測位精度などに応じて適切な測位方式を用いることができる。また, NRにおける測位機能のサポートにより, NRの特徴である広帯域やMassive MIMO *17 を活かしたLTEよりも高精度な測位が実現可能となる。

(e) UE capabilityのシグナリング量削減

5G向けの多様な要求を満たすべく, 多岐にわたる機能がNR向けに規定されたが, それに伴い端末が対応する機能 (UE capability) を示すシグナリング量が増加した。過去の3GPP Releaseにおいても, 本シグナリング量を低減する解決策が無線プロトコルで実現可能な範囲で導入されたが, シグナリング量が, 無線で伝送可能な1データユニット当りの最大バイト数に近づくことが現実的になりつつある中で, コアネットワーク *18 も含めたシステム全体で抜本的なシグナリング量の低減を図る解決策が必要とされた。抜本的な解決策として, UE capabilityをデータベースに登録し, データベース化されたUE capabilityに付与した識別子を用いて, 端末が対応する機能を特定する仕組みを策定した。

(f) C-plane *19 処理遅延削減

Rel-16では, C-plane遅延のさらなる削減を実現するための機能拡張も行われた。例えば, Rel-15 NRでは4つのメッセージ交換によって通信を確立する手順, すなわち4stepのRACH

(Random Access Channel) *20 手順が一般に用いられる。その手順を2stepに短縮し, C-planeの遅延を削減する2step RACHがRel-16 NRにおいて仕様化された。この機能は, LBT (Listen Before Talk) *21 方式を用いるアンライセンスバンド向けの利用シナリオで, 多段階のメッセージ交換によるオーバヘッド *22 が懸念されたことを理由にRel-16で検討された機能であるが, ライセンスバンド向けの利用シナリオでもその有用性が認められ, NRの各利用シナリオでこの機能を利用できるように仕様が策定された。

(g) ネットワーク自動最適化

端末側で観測された無線の品質をネットワークに報告し, ネットワーク側でユーザ端末から収集した品質情報を解析してエリア品質の自動最適化を図る機能 (MDT (Minimization of Drive Test) *23, SON (Self Organizing Networks) *24) がLTE向けに策定されていた。MDTやSONの機能を用いることで, 通信事業者は, 人的稼働を抑えて品質を向上できる。NR Rel-15仕様では, これらの機能に対応していなかったが, NRの商用サービスが本格化するRel-16のタイミングでNR向けにも仕様化すべきという声に応えるため, MDT, SONと同様の機能が新たに仕様化された。また, NRの特徴である, マルチビーム運用におけるビームごとの品質情報収集や, ノンスタンドアローン運用時の品質情報を取得する事もできるようになった。

(2) 利用シナリオ拡張

(a) アンライセンスバンドの利活用

3GPPでは, ネットワーク容量改善の需要に応えるため, 通信事業者へ免許された周波数帯 (ライセンスバンド) と, 無線局免許が不要な

*15 受信信号電力 (Reference signal received power) : 端末で測定される参照信号の受信電力。

*16 受信信号到来角 (Angle of arrival) : 送信機から送信された電波の, 受信機からみた到来方位角のことで, 一般的には2つ以上のアンテナで受信した電波の到達時間差により測定する。

*17 Massive MIMO : 非常に多数のアンテナを用いるMIMO伝送技術の総称。

*18 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。

*19 C-plane : 制御プレーン。通信の確立や切断などをするための制御信号を転送するためのプロトコル。

*20 RACH : 上り方向の共通チャンネルで, 制御情報およびユーザデータの送信に使用するチャンネル。各ユーザが独立に信号をランダムに送信することにより, 1つのチャンネルを複数ユーザで共通に使用する。

*21 LBT : 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。

周波数帯（アンライセンスバンド）を、キャリアアグリゲーションにより束ねて利用するLAA（Licensed Assisted Access）^{*25}機能を、LTE向けにRel-13から仕様化していた。Rel-16ではNR向けのLAAに加え、NR単独でのアンライセンスバンド利用や、ライセンスバンドとアンライセンスバンドのDC（Dual Connectivity）など、LTE向けにはサポートされていないシナリオまでサポートしている。キャリアアグリゲーションではなくDCを用いることで、通信事業者は、アンライセンスバンド用の基地局を、ライセンスバンド用の基地局とは独立に置局することができる。アンライセンスバンドを単独利用する仕組みを用いると、ライセンスバンドを保有しない事業者も通信サービスを提供することができる。なお、アンライセンスバンドの対象周波数として、LTEでサポートされた5GHz帯に加え、6GHz帯もサポートされている。

(b) モバイルバックホールの利用

通常、NRの無線アクセスネットワーク^{*26}を拡張・高密度化していくためには、基地局の設置密度向上とともに、コアネットワークと接続するバックホールネットワーク^{*27}も同様に拡張・高密度化していく必要がある。Rel-16では、有線を用いたバックホールリンクではなく、NRに基づく無線を用いたバックホールリンクにより柔軟にネットワークを拡張・高密度化する技術としてIAB（Integrated Access and Backhaul）の仕様策定が行われた。IABノードはバックホールリンクおよびアクセスリンクの双方にNR通信を用いるリレーノードであり、親ノードとしてIABノードを収容する機能をもつ基地局あるいは別のIABノードと無線バックホールリンクで接続し、ユーザ端末や別のIAB

ノードを収容することができる [2]。IABノードは、NRスタンドアローン運用に加えて、DCを用いたノンスタンドアローン運用 [1] においても、基地局間のバックホール（X2^{*28}、Xn^{*29} IF）を無線で提供できる特長がある。また、IABノードは親ノードからの下りリンク信号およびアシスト情報の受信に基づき、TDD（Time Division Duplex）^{*30}システムの要求条件を満たすノード間のネットワーク同期を実現することができる。

(c) 置局柔軟性拡大

Rel-15 NRではEN-DC（E-UTRA - NR DC）^{*31}やNRスタンドアローン、NE-DC（NR - E-UTRA DC）の運用形態に加え、NR-DC（NR-NR DC）の運用形態も限定的ではあるが仕様化されていた。Rel-16では、Rel-15で仕様化されていなかったMCG（Master Cell Group）とSCGとが非同期のNR-DCがサポートされ、例えばFDD（Frequency Division Duplex）^{*32}バンドとTDDバンドでのNR-DCが、バンド間同期を必要とせずに実現可能となった。また、Rel-15で仕様化されていなかったサブキャリア^{*33}間隔の異なるキャリア間のクロスキャリアスケジューリング^{*34}やAperiodic CSI-RS（Channel State Information - Reference Signal）トリガ^{*35}などのキャリアアグリゲーション向け機能拡張が行われたことにより、低周波数帯キャリアと高周波数帯キャリアのキャリアアグリゲーション時に、高周波数帯キャリアでのデータ送受信やビーム測定を信頼性の高い低周波数帯キャリアを用いて制御することが可能となっている。

(d) 高速列車向け性能規定

Rel-15までのLTE、NRの仕様においては、端末が時速300kmまでの速度下で通信を行うた

*22 オーバヘッド：ユーザデータの送受信を行うために必要な制御情報や、受信品質測定に必要な参照信号など、ユーザデータの送信以外に用いられる無線リソース。

*23 MDT：3GPPにて標準化されている、通信中の無線切断やハンドオーバーの失敗など、端末からネットワークに対して事象の発生した位置情報やその原因などを通知し、QoEを収集する技術。

*24 SON：eNB設置時の自動設定やパラメータの自動最適化などを含む、無線ネットワーク自己最適化機能の通称。

*25 LAA：端末が、ライセンスバンドで運用しているキャリアから設定情報を受けてアンライセンスバンドで無線通信を行う、無

線アクセス方式の総称。

*26 無線アクセスネットワーク：コアネットワークと端末の間に位置する、無線レイヤの制御を行う基地局などで構成されるネットワーク。

*27 バックホールネットワーク：コアネットワークから無線基地局への接続回線を指す。

*28 X2：3GPPで定義されたeNB間のリファレンスポイント。

*29 Xn：3GPPで定義されたgNB間のリファレンスポイント。

*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。

めの性能を担保していた。一方で、日本をはじめとした各国において、将来的に時速300kmを超える高速移動環境下でも安定して通信を提供できる事への需要が高まることが見込まれる。そこで、Rel-16仕様で、時速500kmまでの速度に対応する性能規定を行った。

(e)TDD設定の柔軟性拡大

従来、TDDでは、隣接セル間での干渉を避けるため、同一周波数を用いている隣接セル間で、上り通信用と下り通信用の時間方向のリソースに関して同じ上下比を用いるのが典型的な運用形態であった。一方で、上下トラフィックの特性は、場所により異なり、例えばスポーツスタジアムでは、動画や写真のアップロードが、他のエリアと比較して多く行われ、上りのトラフィックが多い傾向がある。したがって、エリアによるトラフィックの特性に合わせて、TDDの上下比をエリアごとに異なるように設定したいという要望があった。一方で、上下比の異なるTDDセル間の干渉を抑える必要があるため、端末側でセル間干渉を測定して、ネットワークに報告し、ネットワーク側で干渉を制御する仕組みを策定した。なお、標準仕様で策定された機能は、端末がTDDセル間干渉を測定し、報告する機能であり、ネットワーク側で干渉をどのように抑制するかは、実装依存になっている。

2.2 高信頼・低遅延通信向け拡張技術

(1)産業自動化を支援するIoT/URLLC

Rel-15 NRでは基本的なURLLC機能として、低遅延化のためのTTI (Transmission Time Interval)*³⁶構成や信頼性向上のためのURLLC向けCQI (Channel Quality Indicator)*³⁷、MCS (Modulation and Cod-

ing Scheme)*³⁸テーブルがサポートされた。

Rel-16 NRでは、Rel-15で考慮されたAR (Augmented Reality) /VR (Virtual Reality) などに加え、Factory automationなど、99.999999%の信頼性や0.5~1ms以下の遅延などの要求条件を必要とするユースケースのため、URLLCおよびIndustrial IoT向け拡張が行われた。さらなる低遅延化に向けた拡張の一例としては、スロット*³⁹内でより柔軟に制御信号の送受信を行えるような設定や端末動作を規定したことが挙げられ、これによりRel-15よりも短い時間間隔で制御信号の送受信を行うことが可能となった。また、高信頼化に向けた拡張として、ペイロード*⁴⁰サイズを抑え信頼性を高めた下りリンク制御情報*⁴¹フォーマットの導入やPDCP (Packet Data Convergence Protocol)*⁴²レイヤでのパケット重複送信制御の重複送信キャリア数拡張などが行われ、無線区間の通信信頼性をさらに向上させることが可能となった。

(2)プライベートネットワーク構築

産業自動化のための利用シナリオとして、工場内の機器や電車車両内、smart city向けのデバイスなど、閉域に閉じて特定の機器のみが接続できるネットワークを構築したいという需要が高まっている。3GPPでは、これらの需要に応えるため、既存の通信事業者や、新規事業者が、既存の携帯電話・スマートフォン向けの公衆ネットワークとは別の、独立したプライベートネットワークを構築できる仕組みを導入した。

2.3 多数接続向け拡張技術

(1)IoT適用領域拡大・消費電力削減

Rel-16 LTEでは、多数の端末接続を可能とする運用シナリオであるmMTCに関連して、LTEをベースとしたIoT端末向けの通信規格であるeMTC

*31 EN-DC：NRノンスタンドアロン運用のためのアーキテクチャ。LTE無線でRRC connectionを行い、追加の無線リソースとして加えてNRを用いる。

*32 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。

*33 サブキャリア：OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 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。

*34 クロスキャリアスケジューリング：データの送受信を行うキャリアとは異なるキャリアからその指示を行う方法。

*35 Aperiodic CSI-RSトリガ：無線チャネルの状態を測定するための参照信号を周期的ではなく必要なタイミングでのみ送信する方法。

*36 TTI：トランスポートチャネルで伝送される1データ当りの伝送時間。

*37 CQI：端末で測定された下りリンクの伝搬路状況を表す受信品質指標。

*38 MCS：AMCを行う際にあらかじめ決めておくデータ変調方式とチャネル符号化率の組合せ。

(enhanced Machine Type Communication)^{*43}およびNB-IoT (Narrow Band Internet of Things)^{*44}向けの機能拡張が仕様化された。

Rel-16 LTEにおけるeMTC/NB-IoT機能拡張の多くは既存機能の拡張に関するものである。例えば、Rel-15で導入された、端末消費電力削減のためにページング信号^{*45}の検出をスキップさせる機能 (Wake-Up Signal) を、より細かなUEの単位ごとに指示できるように拡張することで、より効率的に端末消費電力が削減できるGroup Wake-Up Signalが仕様化された。また、再同期信号 (RSS: Resynchronization Signal)^{*46}をセル測定にも使えるようにするなど、セル測定動作をより充実させる機能拡張も仕様化されており、より高精度なeMTCのセル測定動作が可能となっている。その他にも、制御チャンネルのオーバーヘッド削減技術やCE (Coverage Enhancement) モード^{*47}の機能拡充など、多様な既存機能の拡張がサポートされ、より幅広いIoT向けユースケースに対応できるようになっている。

またRel-16における新たな機能として、将来の運用で想定されるNRスタンドアローンとeMTC/NB-IoTの共存シナリオが議論された。具体的な機能としては、NRとの共存シナリオを意識した無線リソース^{*48}のスケジューリング機能が拡張されており、今後NRスタンドアローンの普及以降も、より効率的・柔軟にeMTC/NB-IoTの運用ができるような機能も追加されている。そのほか、事前のリソース割当て (PUR: Preconfigured Uplink Resource) によりIDLE状態^{*49}のまま直接上りデータの送信を可能とすることで、ほとんどの時間がIDLE状態であると考えられるIoT端末で上りデータ送信をより低遅延・低消費電力で実施する機能もサポートされるなど、単なる機能拡張だけではなく継続的な機能革新についても機能が拡充された。

(2)コネクテッドカーサービスの実現

3GPPではRel-14よりLTEに基づくsidelink^{*50}を用いたV2X (Vehicle to Everything)^{*51}が仕様化され、Rel-15ではさらにsidelinkでのキャリアアグリゲーション、高次多値変調^{*52}、遅延低減などの新機能が追加された。Rel-16で仕様化されたNR sidelinkは、基本的なV2XサービスをカバーできるLTE sidelinkを置き換えるものではなく、それを補完するものとしてより低遅延、高信頼、大容量、広カバレッジなどが要求される高度なV2Xサービスをターゲットとしている。Rel-16ではNR sidelinkの各種物理チャンネル^{*53}やリソース割当てが規定されたほか、HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest)^{*54}フィードバック、CSIフィードバックなどの基本機能や、LTEとNRの連携としてRAT (Radio Access Technology) をまたがるsidelink向けリソース設定機能がサポートされた。NR sidelink機能については、Rel-17以降でリレー機能、測位機能などの機能拡張がさらに検討される予定である。

3. あとがき

本稿では、3GPP Rel-16仕様で策定された5G無線の拡張技術を概説した。本稿で紹介したeMBB向け拡張技術の一部、産業自動化を支援するIoT/URLLC、および高速列車向けの性能規定については、本特集別記事でより詳細に解説しているのをご参照頂きたい [2]~[4]。3GPPでは、2020年8月から、5G無線のさらなる高度化を図るRel-17仕様の作成を開始している。ドコモは、3GPPにおける5G標準化推進に寄与しており、今後も5G標準化のさらなる発展に貢献していく。

^{*39} スロット：データのスケジューリング単位。複数のOFDMシンボルから構成される。

^{*40} 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。

^{*41} 下りリンク制御情報：各ユーザがデータを復調するために必要なスケジューリング情報、データ変調、およびチャンネル符号化率の情報などを含み下りリンクで送信する制御情報のこと。

^{*42} PDCP：レイヤ2におけるサブレイヤの1つで、秘匿、正当性確認、順序整理、ヘッダ圧縮などを行うプロトコル。

^{*43} eMTC：狭い周波数帯を用いてIoT (センサなど) 向けに低速

データ通信を行う端末用LTE通信仕様。

^{*44} NB-IoT：eMTCよりもさらに狭い周波数帯を用いてIoT (センサなど) 向けに低速データ通信を行う端末用LTE通信仕様。

^{*45} ページング信号：待受状態の移動端末に、着信あるいはネットワーク情報更新を通知する無線信号。

^{*46} 再同期信号 (RSS)：既存の同期信号とは別にセル再同期用の信号を送信することで端末がセル再同期に要する時間や消費電力を削減する機能。

^{*47} CEモード：移動機の状態の1つで、カバレッジを拡大するために繰り返し送信された信号を受信する状態。

文 献

- [1] 巳之口, ほか: “3GPPにおける5G標準化動向,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.6-12, Oct. 2017.
- [2] 松村, ほか: “モバイルブロードバンド向けの5G高度化技術,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.82-95, Oct. 2020.
- [3] 青柳, ほか: “産業創出・ソリューション協創に向けた5G高度化技術,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.65-81, Oct. 2020.
- [4] 高田, ほか: “LTE/NRにおける高速移動環境下での性能向上技術,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.96-100, Oct. 2020.

* 48 無線リソース：ユーザごとに通信のため割り当てられる時間および周波数。

* 49 IDLE状態：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。

* 50 sidelink：基地局を介さず端末間で行われる通信のリンク。

* 51 V2X：車車間の直接通信（V2V：Vehicle to Vehicle）、車と路側機（道路脇に設置されている無線通信設備）間の直接通信（V2I：Vehicle to Infrastructure）、車両と歩行者間の直接通信（V2P：Vehicle to Pedestrian）、LTEや5Gなどのセルラ網を経由して通信する広域通信（基地局経由通信、V2N：Vehicle to Network）などの総称。

* 52 多値変調：1つの信号に2ビット以上の情報を含める変調方式。QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）や16QAM（16Quadrature Amplitude Modulation）などの種類がある。

* 53 物理チャネル：無線インタフェースにおいて、周波数、時間などの物理リソースによって分けられるチャネル。

* 54 HARQ：自動再送要求（ARQ）と誤り訂正符号を組み合わせることで、再送時に誤り訂正能力を向上させ再送回数を低減させる技術。基地局より再送されたデータと過去に受信したデータを合成することにより、受信品質の向上と効率の良い伝送を実現するパケット再送方法。

産業創出・ソリューション協創に向けた5G高度化技術

ネットワーク開発部

あおやぎ けんいちろう
青柳 健一郎みのくち あつし
巳之口 淳

無線アクセス開発部

はらだ こうへい
原田 皓平びん てんよう
関 天楊

ネットワークイノベーション研究所

たかはし ゆうき
高橋 優元よしおか しょうへい
吉岡 翔平

近年各国で推進されているスマートファクトリーやコネクテッドカーなど、移动通信業界にとどまらないさまざまな産業分野において、5G技術の活用が想定されている。5Gとの連携はシステム性能の向上だけでなく、新たな産業の創出、社会課題の解決などへの期待も大きい。本稿では、3GPP Rel-16において産業連携に関する各種検討に至った背景、および主に産業連携をターゲットとした各種ソリューションについて解説する。

1. まえがき

第5世代移动通信システム（5G）技術は、従来の移动通信サービスに限らず、さまざまな産業や社会を支え、また新たな価値を提供する基盤技術となることが期待されている。本特集冒頭記事 [1] にも記載の通り、ユースケース・サービスの拡張は5G技術発展の重要な要素の1つに位置づけられる。3GPP

(3rd Generation Partnership Project) Release 16（以下、Rel-16）では特にスマートファクトリー、コネクテッドカーなど、新たなパートナーとの連携、技術融合を念頭においた5G高度化の技術検討が進められた。

本稿では、産業連携を主なターゲットとした各種ソリューション（以下、産業連携ソリューション）について、3GPP Rel-16の検討背景、実現のための

©2020 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

要素技術について解説する。

2. 産業連携ソリューションの検討背景

3GPP Rel-16で検討された産業連携ソリューションは、スマートファクトリーやV2X (Vehicle to Everything)*1などを検討するさまざまな業界団体などからの要望、技術要件を背景としている。産業連携ソリューションの例を以下に挙げる。

2.1 スマートファクトリー

産業連携ソリューションの1つとしてスマートファクトリーが注目されている。スマートファクトリーとは、製造プロセスの円滑化などを目的として、工場内のあらゆる機器をネットワークに接続し、機器の動作や製品の品質の可視化や機器の自動制御を行う工場のことを指す。スマートファクトリーでは、制御機器間の通信 (C2C communication : Control-to-Control communication) や、モーションコントロール*2システムなどをネットワークに接続することが想定され、これらの機器を制御するためにはリアルタイム性や高信頼性が通信に求められる。このような要求条件を満たす通信手段として、有線通信があるが、製造ラインの変更が柔軟に行えないという課題がある。これらの背景から高信頼・低遅延を特長とする5Gの活用が注目されている。

また、工場自動化など産業向けユースケースへの5G技術の活用を検討することを目的とする事業団体として5G-ACIA (5G Alliance for Connected Industries and Automation) が2018年に設立された。2020年には通信業界と製造業界から約60社が同団体に参加している。5G-ACIAでは、工場自動化をはじめとする5G技術を活用した産業向けユースケースで必要とされる遅延や通信速度などの要求条件、

通信オペレータが運用するネットワークと産業向けに特化されたネットワークをどのように連携するかなどの検討を行っており、これまでも複数の技術検討結果をまとめたホワイトペーパーを公開している [2]。

2.2 V2X

V2X, すなわち自動車産業における無線通信の利用も、産業連携ソリューションの1つである。車両とあらゆるもの間で共有されたセンサ情報などが、安全で高効率な自動車に関するサービスの実現に役立てられる。V2Xサービスが近年注目を集める中、自動車業界と無線通信業界の協力による実証実験が進められており [3]。また、両業界が連携して議論を行う事業団体として5GAA (5G Automotive Association)*3が2016年に設立された。2020年には130を超える事業者が同団体に参加している。

5GAAは7つのWG (Working Group) で構成されている。例えばWG1はユースケースと要求条件を議論しており、自動運転車が対向車線を越えて右左折を行う場合の要求条件などをホワイトペーパーにまとめている [4]。あわせてこのようなユースケースや要求条件について3GPPへの意見入力を行っている [5]。

こうした情報や意見を踏まえながら3GPPは、V2X向け規格 (3GPP外では、他のV2X技術と区別するためにセルラV2Xと呼ぶ場合がある。以下、セルラV2Xとする) の仕様化を行っており、V2Xサービスを実現する無線技術の1つとして期待されている (図1)。セルラV2Xは基地局 - 端末間通信 (V2N : Vehicular-to-Network) と端末 - 端末間 (サイドリンク) 通信の2種類に分けることができる。V2NにはRel-15までに仕様化されたLTE (Long Term Evolution) /NR (New Radio)*4の規格が使用可能

*1 V2X : 車車間の直接通信 (V2V : Vehicle to Vehicle), 車と路側機 (道路脇に設置されている無線通信設備) 間の直接通信 (V2I : Vehicle to Infrastructure), 車両と歩行者間の直接通信 (V2P : Vehicle to Pedestrian), LTEや5Gなどのセルラ網を経由して通信する広域通信 (基地局経由通信, V2N : Vehicle to Network) などの総称。

*2 モーションコントロール : 生産工程の自動化において、生産機器のパーツを決まった制御方法で移動・回転させ、高精度な制御を行うことを指す。自動化工場内で、位置決め制御や多軸ロボットの軸制御などに多く使われている。

*3 5GAA : 5Gを利用したコネクテッドカーサービスの検討推進を目的として、自動車関連企業と移動通信関連企業で設立した団体。

*4 NR : 5G向けに策定された無線方式規格。4Gと比較して高い周波数帯 (例えば、6GHz帯以下や28GHz帯) などを活用した通信の高速化や、高度化されたIoTの実現を目的とした低遅延・高信頼な通信を可能にする。

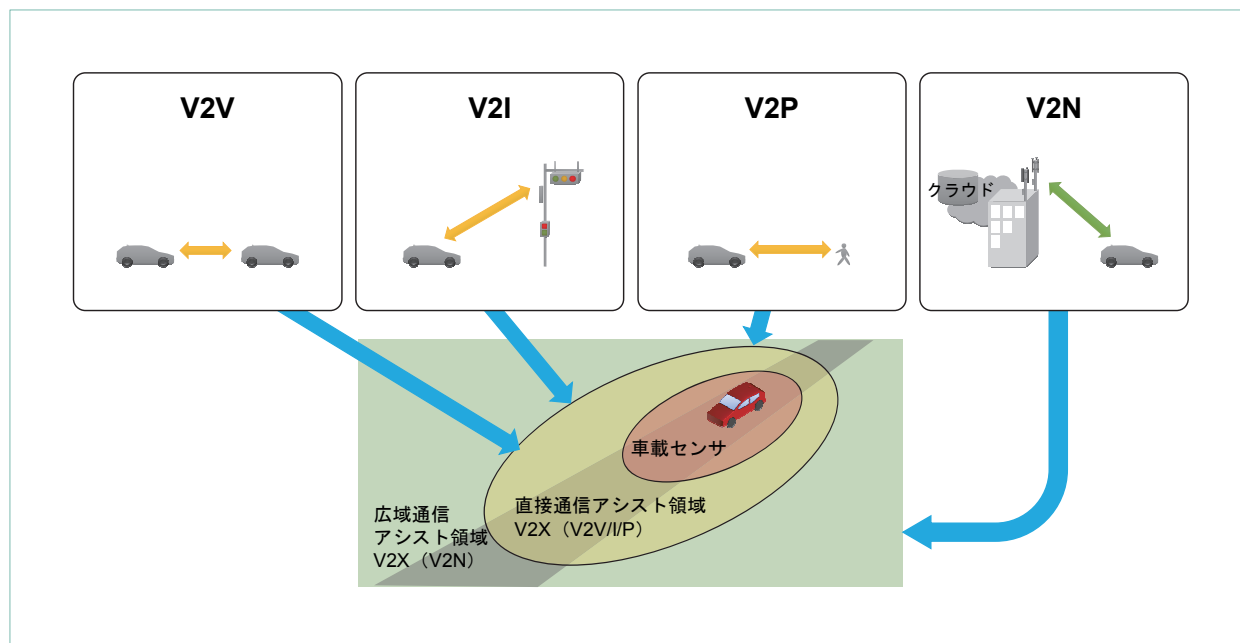


図1 セルラV2Xのイメージ

であり、サイドリンク通信にはRel-14, 15で仕様化されたLTEの規格が使用可能である。NR Rel-16では、より高い通信性能が要求されるユースケースの実現に向けた技術が検討され、仕様化された。

2.3 ローカル5G

国内におけるローカル5Gの各種要件は、直接3GPPの検討に反映されているものではないが、本稿で解説する各種産業連携ソリューションの活用も関連する技術として想定されるため本稿に掲げる。国内におけるローカル5Gは、特定の自治体、工場や大学の研究施設などにおける環境やニーズに応じて構築・運用される5Gシステムと位置付けられている。例えば限られた空間、エリア、ユーザ間でネットワーク・無線リソース*5を占有し、超低遅延などの特殊な要件に特化したネットワークの構築や、緊急時における非常通信手段の確保、また高齢化／

人口動態といったさまざまな地域特性や環境に応じた柔軟な5Gネットワーク環境を提供する事で、生活基盤の革新や新領域創出、さまざまな社会問題などの解決を図る事が期待されている（図2）。

3. 産業連携ソリューションを実現する要素技術

前述した3つの産業連携ソリューションは、それぞれ多様な技術要件で構成される（表1）。

またこれにとどまらず、スマートグリッド*6を含め、今後さらに多様かつ複雑な要件が求められる事も見据え、Rel-16では産業連携ソリューションを実現する要素技術として、NR、および5G systemの基盤技術に加え、閉域などの特殊な環境を考慮し、多様な技術要件を満たすため、以下の機能拡張、高度化がおこなわれた。

*5 無線リソース：無線通信を行うために必要なリソース（無線送信電力、割当て周波数など）の総称。

*6 スマートグリッド：電力システムに無線センサを組み込み、供給側と需要側の電力をリアルタイムかつ自律的に監視・制御し、最適化できる送電網。

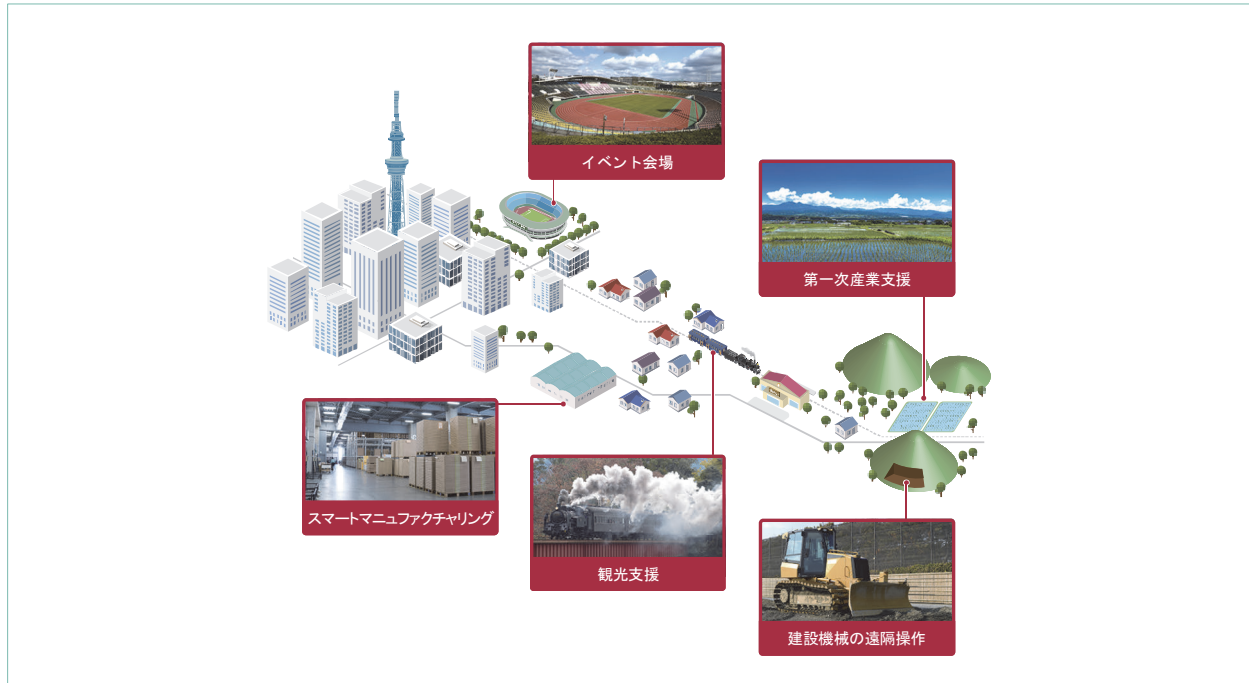


図2 ローカル5Gのイメージ

表1 産業連携ソリューションに適用されるRel-16技術（例）

	スマートファクトリー	V2X	ローカル5G
URLLC	○	○	
TSN	○		
NPN	○		○
D2D (サイドリンク)		○	
5G-LAN Type Service	○		
Private Slice		○	○
Predictive QoS		○	

○ 主な適用事例

3.1 URLLC

3GPPでは、5Gの主な特長を、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 Communications）、③高信頼・低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）としている。これらのうち、前述の産業連携ソリュー

ションを実現するために、高信頼・低遅延を実現する技術が仕様化された。3GPPではNR Rel-16 URLLCの要求条件をユースケースごとに定義しており、例えば工場モーション制御自動化*⁷については「20bytesのパケットを送信する際、2ms以下の遅延かつ99.9999%以上の信頼度」を目標値としている。以下では、これらの要求条件を満たすために仕様化されたNR Rel-16 URLLCについて概説する。

(1)低遅延通信のための技術拡張

(a)端末内の上りリンク優先処理

工場内の制御機器の上りリンク送信については、ユーザ端末（UE：User Equipment）内から遅延・信頼性の要求条件が異なるデータや信号が送信される時、衝突が発生し、重要な制御データが遅延して届くなどのケースが想定される。例えば、工場内のロボットが所定エリアから出てしまった時に、制御センタにロボットを緊急停止させるために、監視センサはロボットが所定エリアから出たことを通知する情報を制御センタへ送信する必要がある。そのような緊急時の制御信号の送信は一般の制御信号より遅延・信頼性に対する要求条件が厳しいため、データが常に優先的に送信される必要がある。そこで、UE内で異なる優先度を有する、複数の上りリンクの送信が衝突する際の動作が、物理レイヤ*⁸および上位レイヤ*⁹で仕様化された。

・物理レイヤにおける優先処理

物理レイヤにおいては、上りリンク制御チャンネル（PUCCH：Physical Uplink Control Channel）*¹⁰や上りリンクデータチャンネル（PUSCH：Physical Uplink Shared Channel）*¹¹、サウンディング参照信号（SRS：Sounding Reference Signal）*¹²などの上りリンクチャンネルや信号に優先度を付けて、高優先の上り送

信を優先的に送信するための機能が仕様化された。具体的には、高優先および低優先の2値の優先度がサポートされており、PUCCHおよびPUSCHの優先度は下り制御情報（DCI：Downlink Control Information）*¹³による動的通知や上位レイヤのシグナリング*¹⁴により設定される。また、SRSの優先度は常に低優先として扱われる。高優先と低優先の上り送信がOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）シンボル*¹⁵単位で同時に送信されるようにスケジューリングされた場合、低優先の上り送信は中止され、高優先の上り送信のみ実施される。

・上位レイヤにおける優先処理

上位レイヤにおいてもintra-UE overlapping resource prioritizationという新機能が導入された。当該機能はConfigured grant*¹⁶送信がDynamic grant*¹⁷送信あるいは別のConfigured grant送信と衝突する時に、UEは各論理チャンネル*¹⁸の優先度を比較し、最も優先度が高い送信データをもつ論理チャンネルを優先し送信する機能である。上記過程で低優先度付けされた送信に関して、MAC PDU（Media Access Control Protocol Data Unit）*¹⁹がすでに生成された場合、UEがそれを保存し、基地局への再送をスケジュールできる。さらに、低優先度付けされた送信がConfigured grantの場合、基地局はUEが保存したMAC PDUを意識できないため、再送をスケジュールしないが、そこでUEが保存したMAC PDUを自律的に再送するautonomous transmissionという機能も新規導入された。

(b)端末間の上りリンク優先処理

工場内において複数の制御端末が、遅延・信

*⁷ 工場モーション制御自動化：工場内で生産マシンの動作（移動や回転など）を所定の周期で厳格にコントロールする自動制御システムのことを指す。例えば、大型印刷マシンやパッケージングマシンにこのモーション自動制御システムが組み込まれている。

*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、ビット伝送に関わる無線インタフェース仕様のことを指し示す。

*⁹ 上位レイヤ：物理レイヤより上位に位置するすべてのレイヤであり、具体的にMAC、PDCP、RLC（Radio Link Control）、

SIAP（Adaptation Protocol）、X2APなどを指す。

*¹⁰ 上りリンク制御チャンネル（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ンネル。

*¹¹ 上りリンクデータチャンネル（PUSCH）：上りリンクでデータパケットを送受信するために用いる物理チャンネル。

*¹² サウンディング参照信号（SRS）：基地局側で上りリンクのチャン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。

*¹³ 下り制御情報（DCI）：各ユーザがデータを復調するために必要なスケジューリング情報、データ変調、およびチャンネル符号化率の情報などを含む下りリンクで送信する制御情報のこと。

頼性の要求条件が異なるデータを同時に送信することが想定される。その際、遅延・信頼性に対する要求条件が厳しいデータを送信する制御端末の通信が遅延しないように優先度をつける必要がある。そこで、UE間の上りリンクチャネルの優先処理を目的とした、Uplink cancellationやUplink送信電力制御が仕様化された。

Uplink cancellationは、あるUEに対して低優先の上り送信があらかじめスケジュールされていて、後から別のUEに対して同一のリソースに高優先の上り送信がスケジュールされる場合に、低優先の上り送信をキャンセルする機能である。具体的には、任意のUEに対してDCIでキャンセル対象となるリソースを通知し、指定されたリソースにスケジューリングされているPUSCHまたはSRSの送信を中止させる。キャンセル対象となる優先度は上位レイヤのシグナリングにより設定することが可能である。

Uplink送信電力制御は、高優先のPUSCHを送信するUEの送信電力を高くすることで優先処理する機能である。具体的には、高優先PUSCH向けに目的送信電力をDCIフォーマット0_1または0_2で通知する。

前述のUplink cancellationでは、低優先の上り送信がスケジュールされたUEの負荷が増大するという特徴をもつ。一方、送信電力制御では高優先の上り送信がスケジュールされたUEの負荷が増大するという特徴がある。

(c)PDCCHの拡張

工場内の制御端末は、遅延に対する要求条件が厳しいデータを送受信するため、短い間隔で基地局からスケジューリング情報を受信する必要がある。そこで、短い間隔で下りリンク制御チャネル（PDCCH：Physical Downlink Control

Channel）*20を受信する拡張を行った。NR Rel-15ではUEがPDCCHを受信可能な間隔はスロット*21単位と定義されている。一方、NR Rel-16では、1スロットを複数のスパン（複数OFDMシンボルの組合せ）に分割し、各スパンでPDCCHを受信することが可能になった。スパンには2 OFDMシンボル、4 OFDMシンボル、7 OFDMシンボルの組合せがあり、OFDMサブキャリア*22が15kHz、30kHzの場合にのみサポートされている。一例として、サブキャリア間隔を15kHzとし、スパンが2 OFDMシンボルの場合とNR Rel-15の場合のPDCCHの受信可能間隔を比較すると、UEは7倍の頻度でPDCCHを受信できるようになる。PDCCHはUEへの下りリンクデータチャネル（PDSCH：Physical Downlink Shared Channel）*23やPUSCH、PUCCHのスケジューリングに利用されるため、NR Rel-16ではNR Rel-15よりも短い間隔で送受信することが可能となり、遅延の低減が見込まれる。

(d)PUCCHの拡張

工場内の制御端末が基地局からPDSCHを受信した時、高信頼・低遅延性を確保するために、より柔軟・迅速にHARQ-ACK（Hybrid Automatic Repeat reQuest-ACKnowledgement）*24を返すことが望ましい。NR Rel-15では、あるスロットにおいて送信することを指示されたHARQ-ACKはHARQ-ACK CB（Codebook）*25として1つにまとめられる。そして、スロット単位で8つのPUCCHリソースの候補から1つのPUCCHリソースを選択して送信する。

一方、NR Rel-16では、あるスロットを複数のOFDMシンボル単位で分割し、その分割された単位でHARQ-ACK CBを送信することが可能となった。例えば、7 OFDMシンボル単位

*14 シグナリング：端末と基地局間の通信に使用する制御信号。

*15 OFDMシンボル：伝送するデータの単位であり、OFDMの場合は複数のサブキャリアから構成される。各シンボルの先頭にはCP（Cyclic Prefix）が挿入される。

*16 Configured grant：基地局からあらかじめユーザ個別にPUSCHリソースを割り当てておき、上りリンクデータが発生したら、SR（Scheduling Request）送信を行わずにUEが当該リソースでPUSCHを送信できる仕組みのこと。

*17 Dynamic grant：UEがスケジューリングを要求し、基地局からDCIを送信して上りリンクデータの送信リソースを割り当てる

仕組みのこと。

*18 論理チャネル：伝送情報を用途ごとに区分するチャネル。

*19 MAC PDU：MACレイヤのPDU。PDUはヘッダやペイロード（*47参照）を含むプロトコルデータを表す。

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

*21 スロット：データのスケジューリング単位。複数のOFDMシンボルから構成される。

*22 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。

でスロットを分割した場合、1スロット（14 OFDMシンボル）で最大2つのHARQ-ACK CBを送信することが可能である。ここで、PUCCHリソースの候補として、分割後のシンボル単位それぞれで8つを設定可能である。これにより、HARQ-ACK CBの送信に用いるPUCCHリソースの指定の柔軟性が向上し、遅延の低減につながる。

(e) PUSCHの拡張

工場内の制御端末が上りリンク送信をする時、制御端末は基地局からスケジューリング情報を受信する必要がある。一方、無線区間の通信信頼性を向上させるために、制御端末は同じデータを複数回送信することが想定される。同じデータのスケジューリング情報を複数回送信することは、オーバーヘッド^{*26}となり、システム全体の遅延増加につながる可能性がある。そこで、NR Rel-15では1つのPDCCHによるスケジューリングで複数のスロットにわたって同じチャネル構成でPUSCHを繰り返し送信する機能がサポートされている。しかしながら、チャネル構成によっては連続的な送信ができないため、遅延の増加につながる。なお、繰り返し送信回数は上位レイヤのシグナリングによって設定される。

NR Rel-16ではこの機能を高度化し、連続するOFDMシンボルで繰り返し送信できるようになった。その中のある送信がスロット間の境界にかけてスケジューリングされる場合には、スロットごとに分割して送信される。これにより、信頼性を高めつつ、低遅延でPUSCHを送信可能となった。また、上位レイヤのシグナリングによる繰り返し送信回数の静的な設定に加えて、DCIによる動的な繰り返し送信回数の通知も導入され、柔軟なPUSCHの繰り返し送信が可能と

なっている。

(f) スケジューリングの拡張

スケジューリングの拡張では多様なURLLCトラフィック周期とConfigured grant/SPS (Semi-Persistent Scheduling) configuration^{*27}周期との不一致を軽減するために、1つのセルに複数のConfigured grant（最大12個）やSPS（最大8個）を設定できるようになった。また、シグナリングオーバーヘッド削減のために、設定されたConfigured grant type2^{*28}/SPS configurationについてはPDCCHによって複数configurationを一斉にdeactivation^{*29}できるようにした。さらに、周期が極めて短い（例えば、パッケージングマシン^{*30}から生成される制御トラフィックの周期が1ms以下となっている）URLLCトラフィックのスケジューリングに対応するため、NR Rel-16 SPSの送信周期が、NR Rel-15の最短10msから最短0.125msに拡張された。

(2) 通信信頼性を向上させる技術拡張

NR Rel-15では、URLLC向けに、無線区間の通信信頼性を向上させる技術としてPDCP (Packet Data Convergence Protocol)^{*31}レイヤでのパケット重複送信制御が導入されたが [6]、無線区間のさらなる通信信頼性の向上のため、Rel-16ではPDCPレイヤパケット重複送信制御が拡張された。NR Rel-15とNR Rel-16のPDCPレイヤパケット重複送信制御の違いを図3に示す。図のように、具体的には、NR Rel-15 PDCPレイヤパケット重複送信制御では、2キャリアをRRC (Radio Resource Control)^{*32}で設定して、重複送信を行うことができる。他方で、NR Rel-16 PDCPレイヤパケット重複送信制御では、MgNB (Master gNB)^{*33}とSgNB (Secondary gNB)^{*34}のキャリアの中から最大4キャリアをRRCで設定し

*23 下りリンクデータチャネル (PDSCH) : 下りリンクでデータパケットを送受信するために用いる物理チャネル。

*24 HARQ-ACK : データの受信ノードが正常に受信 (復号) できたか否かを送信ノードに通知する受信確認信号。

*25 HARQ-ACK CB : 複数のHARQ-ACKビットを1つの上りリンクチャネルで送信する際の、当該ビットの集合のことを指す。

*26 オーバヘッド : ユーザデータの送受信を行うために必要な制御情報や、受信品質測定に必要な参照信号など、ユーザデータの送信以外に用いられる無線リソース。また、それら制御情報や参照信号などの冗長な送信。

*27 SPS configuration : 半固定的なリソース割当てを行うスケジューリング手法。

*28 Configured grant type2 : 基地局からあらかじめ (周期的な) PUSCHリソースを割り当て、任意のタイミングで当該リソースを用いたPUSCH送信をPDCCHによりアクティブ化する送信方法。

*29 deactivation : RRCで設定された無線リソースによる送信を非アクティブにすることを指す。

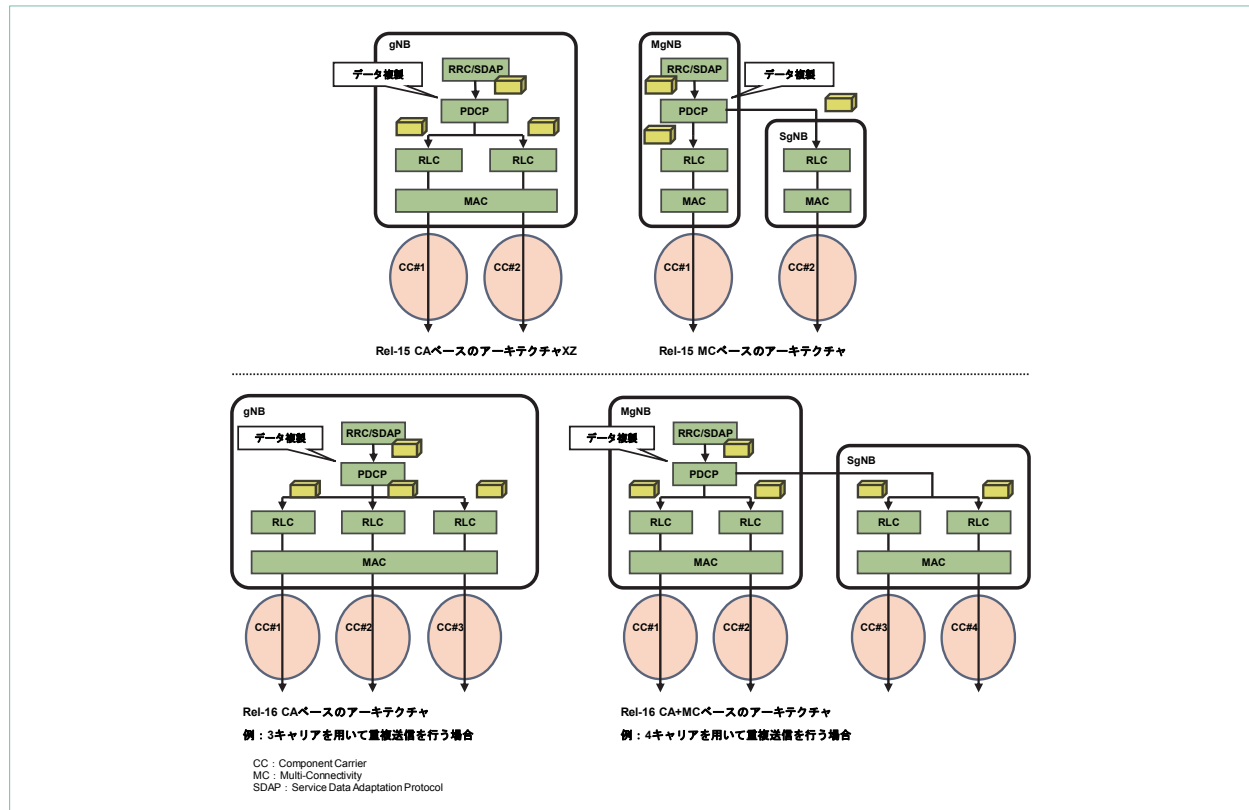


図3 Rel-15とRel-16の重複送信の違い

て、重複送信を行うことができる。最大4キャリアが設定可能のため、例えば、図3の左下のように3キャリアのみを選択して重複送信する事も可能な一方、図3の右下のように4キャリアすべてを選択して重複送信する事も可能となった。また、NR Rel-15と同様、UEが通信を行う無線区間の状況は、無線品質や混雑度などによってダイナミックに変わりうる事を想定して、必要に応じて動的に重複送信に使用するキャリアを制御する事が規定された。本制御により、例えば、一部のキャリアでの重複送信が不要な場合は、あるキャリアでの重複送信をOFFにする事で、リソース利用効率の劣化を防ぐことができる。なお、URLLC通信に伴うコアネットワーク^{*35}側

の機能拡張もRel-16で規定されている。U-plane^{*36}の信頼性向上を実現するため、ネットワーク構成などのさまざまな要件に応じた柔軟な冗長パス^{*37}設定によりデータ経路の信頼性を担保できる(図4)。また端末移動(モビリティ)のケースで、ハンドオーバー^{*38}などに伴う遅延の改善や、通信品質(QoS)をモニターする機能などが拡張されている。

3.2 TSN

TSN (Time Sensitive Network) は、IoT (Internet of Things) 端末などの通信機器間におけるリアルタイムな通信を行うための時刻同期、および低ジッタ(ゆらぎ)通信を実現する技術であり、IEEE TSN

*30 パッケージングマシン：パッケージングオペレーションを自動的に行う機械のことを指す。パッケージングプロセスは物品の充填、密封、ラベリング、ラッピング作業などを含む。

*31 PDCP：レイヤ2におけるサブレイヤの1つで、秘匿、正当性確認、順序整理、ヘッダ圧縮などを行うプロトコル。

*32 RRC：無線ネットワークにおける無線リソースを制御するレイヤ3プロトコル。

*33 MgNB：DCにおけるマスターノードのgNB。

*34 SgNB：DCにおけるセカンダリノードのgNB。

*35 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。

*36 U-plane：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。

*37 冗長パス：同一の通信データ送受信を、複数の通信経路を設定して行うことであり、通信の信頼性を向上させる。

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

はIEEE 802^{*39}におけるTSNの規格で、イーサネットをベースに拡張されたさまざまな通信規格で構成される。

スマートファクトリー内では高精度な時刻同期が要求されている。例えば、モーションコントロールでは、End-to-Endの同期精度の要求条件が1 μ s以下となっている。Rel-16ではNR/5G systemの特徴技術をTSNに適用し、精密な時刻同期かつ低ジツ

タ通信を行うTSC（Time Sensitive Communication）を5G systemで実現するための機能拡張が行われた。

まずTSNをNR/5G systemで実現する構成として、NR/5G system全体がTSNにおける1つのブリッジの役割を担うこととし、TSNにおけるCNC（Central Network Controller）^{*40}がポート間の通信を制御するFully centralized model^{*41}（図5）を採用した。

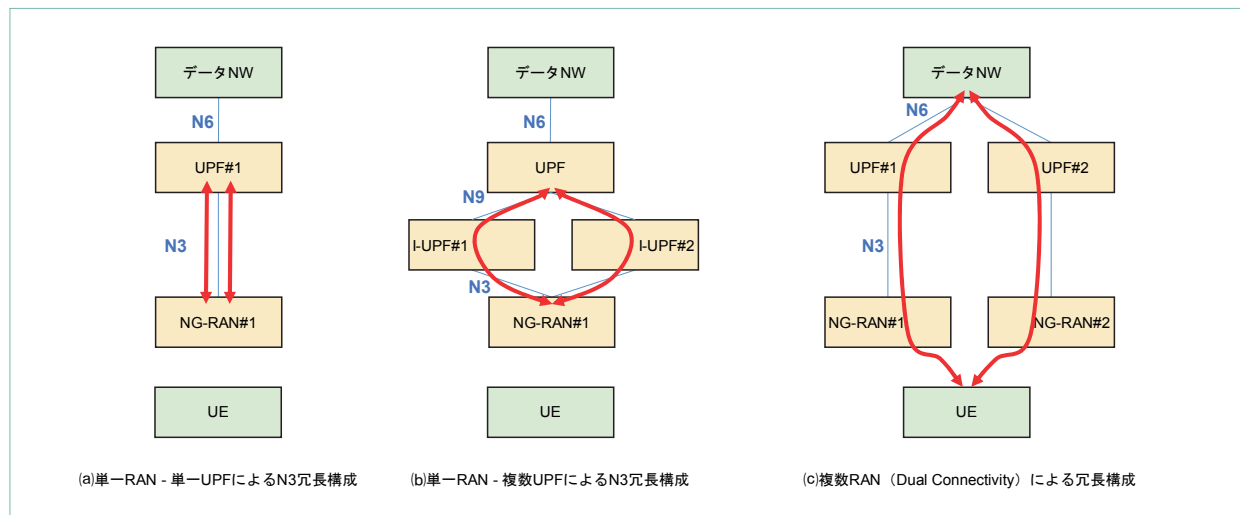


図4 URLLCにおける冗長パス

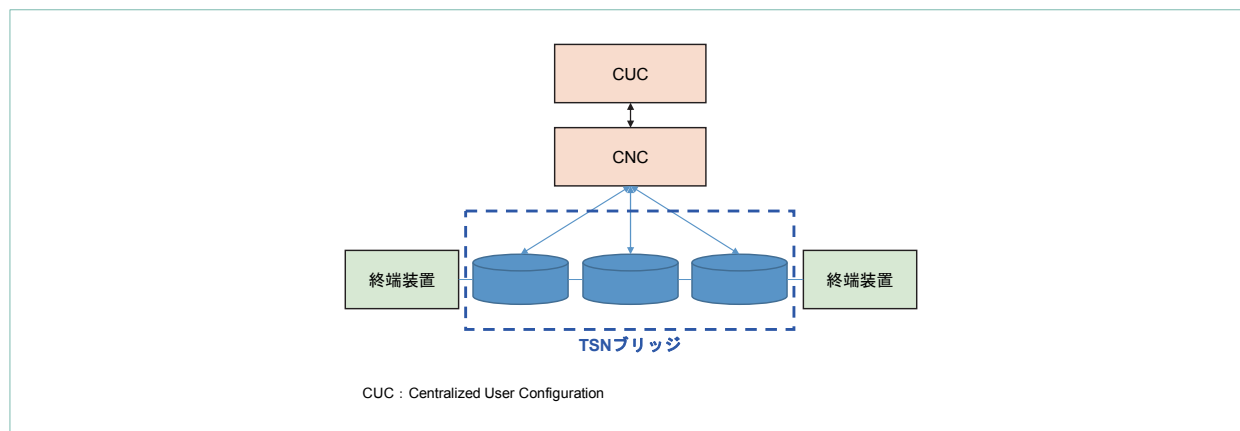


図5 TSN Fully centralized Model

*39 IEEE 802 : IEEEにおいてLANおよびMAN (Metropolitan Area Network) に関する標準を規定する委員会。通称LMSC (LAN/MAN Standards Committee)。

*40 CNC : TSNにおいてTSNブリッジのコントロールを行うコンポーネント。

*41 Fully centralized model : TSNモデルの1つ。CUCにおいて一元的に端末装置、アプリケーションの管理を行うモデル。

当該ブリッジはポート間のトラフィックスケジューリングについてIEEE 802.1Q^{*42}における手法の一部をサポートしている。TSNシステム時刻の一元的な管理を行うTSN GM (Grand Master) と各終端装置 (IoT端末など) 間に、当該ブリッジを経由した通信経路を設定し、当該ブリッジは時刻同期制御の一部を担うとした。当該ブリッジはIEEE802.1AS^{*43}の一部をサポートする。

すなわち、このTSNブリッジの中で、高速大容量のNR無線やURLLC、QoS、セキュリティなどNR/5G systemにおける各種ネットワーク制御技術を適用する事により、工場など複雑な環境下においても柔軟な機器配置を実現しながら、5Gの特長技術を適用した高品質、高信頼性のTSNを構築する事が可能となる (図6)。

また、UEとgNB間の高精度な時刻同期を実現するために、RAN (Radio Access Network)^{*44}側ソ

リューションとして基地局がUEに高精度な5G system参照時刻 (時刻粒度: 10ns) をブロードキャスト/ユニキャストする機能が仕様化された。なお、UE側は端末内の同期ずれなどを考慮し、基地局に5G system参照時刻を自主的に要求する機能が導入されている。また、基地局はQoS (Quality of service) フロー^{*45}をセットアップする時やハンドオーバー時にコアネットワークからTSCAI (Time Sensitive Communication Assistance Information) というトラフィックに関する補助情報を取得できる。TSCAIには遅延要求が厳しいトラフィックの到着時間や周期情報が含まれており、高効率な基地局スケジューリングに役立つ。

IEEE TSNではイーサネットフレーム^{*46}が使われているため、5G systemがTSN Bridgeの役割を担う際、イーサネットフレームをUE - gNB間で転送する事が想定される。このイーサネットフレーム

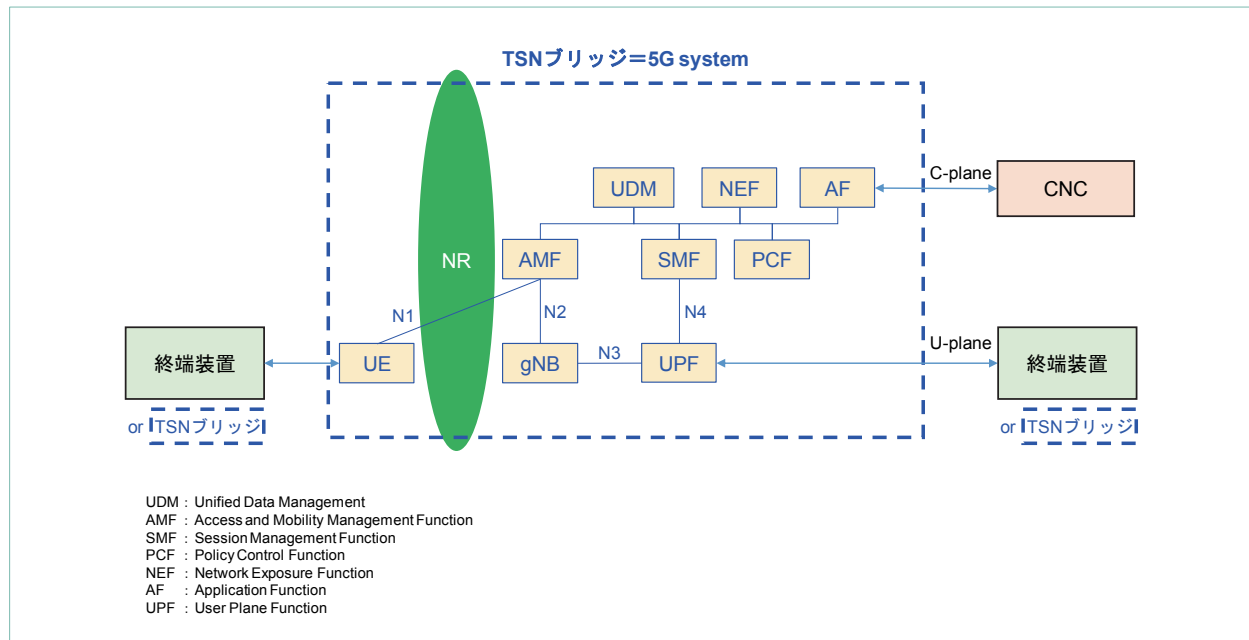


図6 TSNブリッジに5G systemを適用した構成例

*42 IEEE 802.1Q: Local and Metropolitan Area Networkにおけるブリッジ、およびブリッジ構成によるネットワークに関する規格。

*43 IEEE802.1AS: Local and Metropolitan Area Networkにおける時刻同期制御に関する規格。

*44 RAN: コアネットワークと端末の間に位置する、無線レイヤの制御を行う基地局などで構成されるネットワーク。

*45 QoSフロー: 基地局とコアネットワーク間にセットアップされるPDU (Protocol Data Unit) session tunnelにQoSクラス (通信サービス品質 (遅延許容時間、パケットロス率など) のこと) を区別するIPフロー単位。

*46 イーサネットフレーム: イーサネットLANの通信を行う際に使用するデータのフォーマット。

はペイロード^{*47}サイズがヘッダサイズに比べて小さい事が想定されている。そこで、オーバーヘッドの削減のため、PDCPサブレイヤにイーサネットヘッダ圧縮（EHC：Ethernet Header Compression）^{*48}機能がNR Rel-16で規定された。ヘッダ圧縮原理は、RoHC（Robust Header Compression）^{*49}と同様、内容が変わらないヘッダの要素と、対応するコンテキストID（CID：Context ID）^{*50}を受信側で記憶させておく事で、記憶されたヘッダ要素の送信を省略し、受信側で復元する事で達成される。なお、RoHC制御についての詳細は2014年の本誌 [7] を参照のこと。EHCの実施手順を図7に示す。図7の(a)~(c)において、下記の通りヘッダ圧縮手順を実施する。

- (a)あるパケットのフルヘッダ^{*51}と当該フルヘッダに紐づけられたCIDを受信側へ通知する。
- (b)受信側は当該コンテキスト^{*52}を記憶した事を

通知するために、記憶したコンテキストに対応するフィードバックを送信側へ通知する。

- (c)送信側はフィードバック受信後、受信側がコンテキストを記憶したと判断し、以後、ヘッダを圧縮しデータを送信する。

なお、イーサネットヘッダ圧縮はダウンリンクでもアップリンクでも適用可能のため、例えば、ダウンリンクの場合、送信側はeNB（evolved NodeB）^{*53}またはgNB、受信側はUEとなる。

3.3 NPN

通信事業者が一般公衆用としてあまねく提供する通信ネットワークPN（Public Network）に対し、NPN（Non Public Network）は、特定のユーザ、グループに限定したアクセス制御により、周波数な

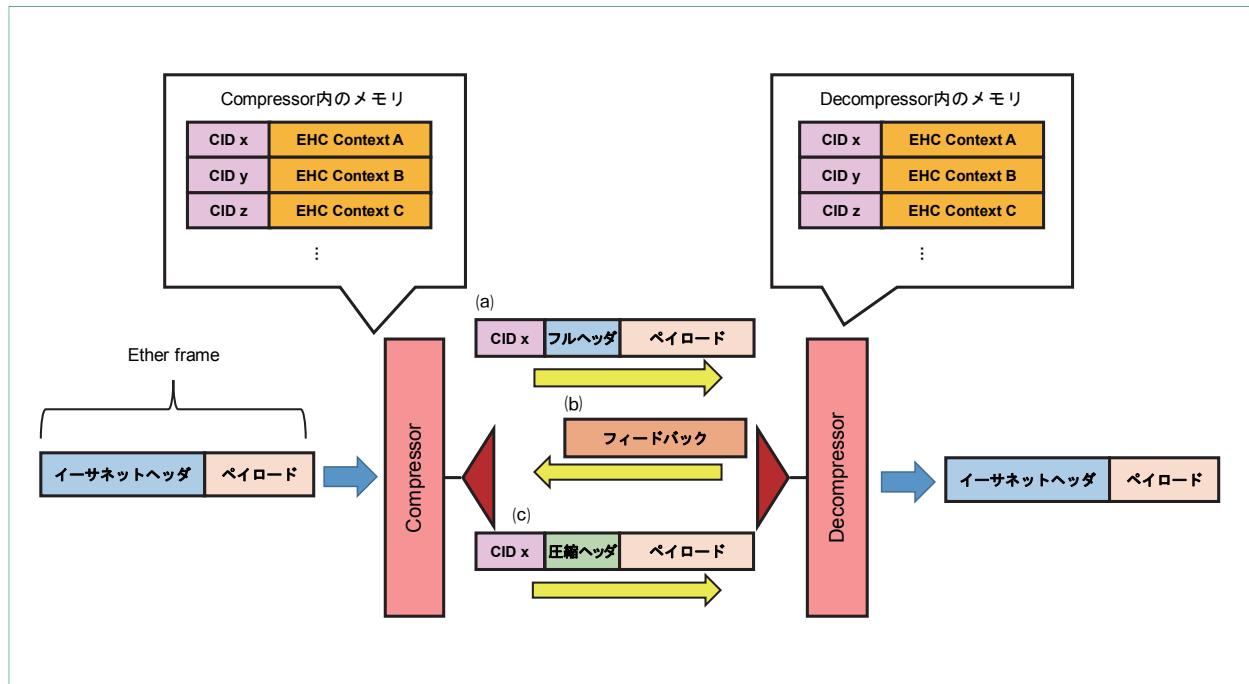


図7 EHCの圧縮・解凍手順

^{*47} 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。

^{*48} イーサネットヘッダ圧縮（EHC）：PDCPサブレイヤの機能の1つでUE - gNB間で転送されるイーサネットフレームのヘッダを圧縮する機能。イーサネットフレームのヘッダ部分、つまり送信MACアドレス、受信MACアドレス、ペイロードタイプ、Q-Tag（オプション）が圧縮される。イーサネットフレーム長は任意で圧縮可能。

^{*49} RoHC：RFC文書で規定されているRTP/UDP/IPヘッダなどを圧縮する技術。

^{*50} コンテキストID（CID）：コンテキスト（^{*52}参照）を識別するために付与されるID。受信側は、受信したCID、圧縮されていないヘッダ要素、そして自身が記憶しているCIDに対応したコンテキストを基にヘッダを復元する。

^{*51} フルヘッダ：PDCP機能部上で圧縮される前のイーサネットフレームのヘッダ部分。送信MACアドレス、受信MACアドレス、イーサネットフレーム長またはイーサペイロードのタイプ、Q-Tag（オプション）で構成されている。

どの無線リソースや基地局，ネットワークリソースを占有する閉域ネットワークを構成する技術である。また無線／ネットワークリソースの占有は，公衆網と比較し高速・大容量，超低遅延通信などの性能向上にも寄与する。Rel-16では，通信事業者の5G公衆網の一部として，専用網基地局を構築するPNI-NPN (Public Network Integrated NPN) と，通信事業者網から独立したネットワークを構築するSNPN (Standalone NPN) のアーキテクチャ形態が規定されている (図8)。

(1)PNI-NPN

PNI-NPNは，公衆網を収容するコアネットワーク (5GC : 5G Core Network) と同じネットワークにNPNを収容するネットワークアーキテクチャである (図8(a))。アクセスコントロールにはCAG (Closed Access Group) を適用し，UEは報知情報*54により通信セルから送信されるCAG IDと，UE側において設定，保持するアクセス可能なCAG IDの

リストを照合する事で，アクセス権の有無を判断の上当該セルへのアクセスを試みる。一方CAG IDが設定されていないUEからは，当該セルがアクセスのできないCell Barredと見え，セル選択処理の対象としない。PNI-NPNに在圏するNPNUEは公衆網と同じ事業者コード (PLMN (Public Land Mobile Network)*55 ID) が設定され，公衆網へのアクセスを許容する事もできる。

コアネットワークは，契約情報などからUEにアクセス可能なCAGリスト，および前述の公衆網へのアクセスを許容するか否かを識別するCAG only情報を管理し，UEに対してそれらを通知することができる。また，基地局に対して，前述のCAGリストおよびCAG onlyの設定を通知することで，基地局側では当該情報を使用し，通信中状態にあるUEのハンドオーバーなどによるCAGセルへのアクセスをコントロールすることができる。

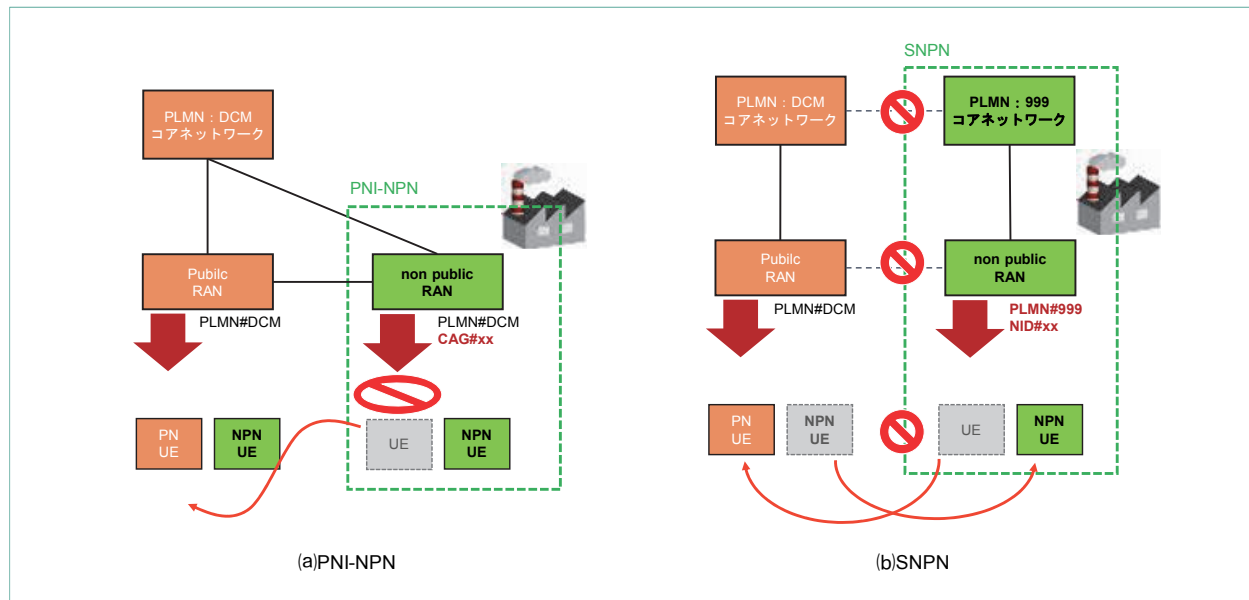


図8 NPN構成

*52 コンテキスト：受信側で記憶されるイーサネットヘッダの要素の内容の事。1つのコンテキストに対して，対応するIDが付与される。

*53 eNB：LTEの基地局・無線制御装置。

*54 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。

*55 PLMN：移动通信システムを用いたサービスを提供するオペレータのこと。

(2)SNPN

PNI-NPNが公衆網のコアネットワークに收容されるのに対し、SNPNは公衆網からは独立し単独で構成されたコアネットワークに收容される(図8(b))。SNPNにはPLMN IDとは別にNID(Network ID)が設定され、当該NIDを設定されたUEは電源を入れた際などに発動する通信事業者の選択処理において、当該NIDを選択する。すなわちSNPNに在圏するNPNUEはPNI-NPNに在圏するNPNUEとは異なり、異なるPLMN IDが設定された公衆網へ在圏する事ができない。SNPNセルはシステム情報で報知されるPLMN IDとNIDの組合せで識別できる。また公衆網と独立して認証手順を実施する。認証方式には端末から取得する認証キーを用いたEAP-TLS(Extensible Authentication Protocol Transport Layer Security)*56を適用する事ができ、この場合USIM(Universal Subscriber Identity Module)*57を用いなくてもネットワークに在圏することが可能となる事から、IoTなどの小型端末の柔軟性を高め、またベンダなどが独自ネットワークを構築しやすいとされる。

3.4 V2X

(1)V2Xアーキテクチャ

コネクテッドカーなどのシステムに3GPP移動無線システムの活用が期待されており、NR Rel-16ではNR/5G systemを活用したV2Xシステムアーキテクチャが規定されている。また5GCの特徴技術の1つである、ネットワークスライシング*58の活用も想定されており、ネットワークスライスを選択する情報要素の1つであるSST(Slice/Service Type) Valueにおいて新たにV2X用途を示す値が規定されている。

(2)V2Xの下位レイヤ仕様

セルラV2Xにおける通信のうち、V2NについてはNR Rel-16までに規定されたすべての仕様を用いることが可能である。その中でも特に前述のURLLC向け規格はコネクテッドカーを対象ユースケースの1つとした上で議論され、仕様化された。一方でサイドリンク通信は、NR Rel-15の基地局-端末間通信の構成[8]およびLTEのサイドリンク通信の構成を基に、以下の通り仕様化された。

(a)NRサイドリンク通信の特徴機能

NRのサイドリンク通信は通信速度・信頼性・遅延性能の高い要求を満たすように検討され、LTEのサイドリンク通信と比較して新しい構成や機能が採用された。

- ・無線フレーム*59構成：複数の異なるOFDMサブキャリア間隔(15kHz, 30kHz, 60kHz, 120kHz)が適用可能である。これはNR Rel-15の基地局-端末間通信と同様であり、広いサブキャリア間隔は高速移動への追従性と遅延低減に効果的である。
- ・通信タイプ：物理レイヤにおいてブロードキャスト、グループキャスト、ユニキャストの3種類が規定された。LTEのサイドリンク通信はブロードキャストのみが規定されており、通信品質を確保するためには通信パラメータを過度に安全な値に設定する必要があった。一方で新たに規定されたグループキャスト、ユニキャストは、限られた通信対象との間のチャンネル状態に基づいて適切な通信を行うことで、通信品質を確保しつつリソースの利用効率向上が可能である。加えて、通信対象外のUEにおける不要な復号処理の回避にも有効である。新たに規定された通信タイプの適用例として、グループキャストを

*56 EAP-TLS：IETFによって規定された認証プロトコルの1つ。クライアント、サーバの双方で電子証明書を発行し、相互に認証が行われる。

*57 USIM：携帯電話会社と契約した電話番号などを記録しているICカード。3GPPでのW-CDMA/LTEおよび5G用途の移動通信用加入者識別モジュール。

*58 ネットワークスライシング：5GCで提供されるネットワーク形態の1つ。ユースケースやビジネスモデルなどのサービス要件ごとにネットワーク装置や各種ネットワークリソースを論理的、または物理的に分割する技術。

*59 無線フレーム：信号処理(符号化・復号化)を行う最小単位。1個の無線フレームは、時間軸上で複数のスロット(またはサブフレーム)によって構成され、各スロットは時間軸上で複数のシンボルによって構成される。

隊列走行に利用することが考えられる。これにより、隊列を形成する自動車間の通信を効率的に行うことができる。

- ・トラフィックタイプ：周期的および非周期的トラフィックを想定して各要素技術の仕様化が行われた。突発的かつ緊急性の高いデータが発生した場合に、信頼性および遅延性能の高い要求を満たす送信が可能となる。例えば、事故の可能性が生じた場合に、瞬時に周囲の自動車と通信を行うことで事故を回避するケースが考えられる。なお、LTEのサイドリンク通信は周期的なトラフィックのみを想定した仕様となっていた。
- ・再送機能：物理レイヤにおけるフィードバック（HARQフィードバック）の情報に基づく再送が規定された。各データ送信に対しては信頼性および遅延性能の向上が期待され、システム観点では必要以上の再送を回避することによる全体の性能向上につながる。なお、LTEのサイドリンク通信において採用された繰り返し送信も併せて規定されている。
- ・MIMO（Multiple Input Multiple Output）^{*60}、高次変調：NRのサイドリンク通信は最大2レイヤ送信が可能となった。また、データ変調方式^{*61}の1つとして256QAM（Quadrature Amplitude Modulation）^{*62}が規定された。ある時間および周波数リソースにおいて送信可能なデータ量が増加し、通信速度の向上などに有効である。NR Rel-16仕様では自動車間で映像を共有するユースケースも想定されており、これを可能にする機能の1つとして期待される。

(b) 端末間同期

これらの構成および機能を用いたサイドリン

ク通信を行うためには、端末間で同期をとる必要がある。端末間同期はLTEのサイドリンク通信と同様の構成および手順で行われる。すなわち、GNSS（Global Navigation Satellite System）^{*63}、eNB/gNB、UE（自動車など）の同期信号^{*64}のいずれかのタイミングに基づいて信号を送受信する。UEの同期信号は図9に示される構成として規定された。

(c) リソース割当て

端末間同期が確立した状態で、データ送信を行うUEは2種類のリソース割当て手法（Mode 1、Mode 2）のいずれかによって定められたリソースを使用して、データを送信する。

Mode 1では、gNBから指定されたリソースを使用する。gNBは周期的および非周期的なリソースのいずれかを指示可能である。

一方Mode 2では、UEが自律的にリソースを選択する。他UEからのリソース予約情報を受信し、その情報に基づいて使用可能なリソースを選択する。リソース予約は周期的および非周期的なリソースに対して行うことができる。また、使用するリソースが決定された後、実際に使用する直前にそのリソースが使用可能かを再評価する機能や、他UEがそのリソースを予約した場合にリソースを再選択する機能が規定された。端末間の送受信の衝突回避に有効なこれらの機能によって、UEが自律的にリソースを選択する場合であっても要求される通信品質を満たすことが期待できる。

なお、リソース割当ての単位については、どちらのリソース割当て手法も、LTEのサイドリンク通信と同様にスロット単位で行われる。

(d) 制御チャンネル／共有チャンネル構成

割り当てられたリソースを使用して、UEは

*60 MIMO：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伝送技術。

*61 データ変調方式：ある時間／周波数／空間のリソースにおいて、複数の信号をまとめて送受信する技術。256QAM（*62参照）の場合、振幅と位相の組み合わせ候補が256個存在し、そのうちの1つを送信することで8ビットをまとめて送信できる。

*62 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。

*63 GNSS：GPSや準天頂衛星などの衛星測位システムの総称。

*64 同期信号：移動局が通信の開始に必要な周波数と受信タイミングおよび同期元識別子の検出を行うための物理信号。

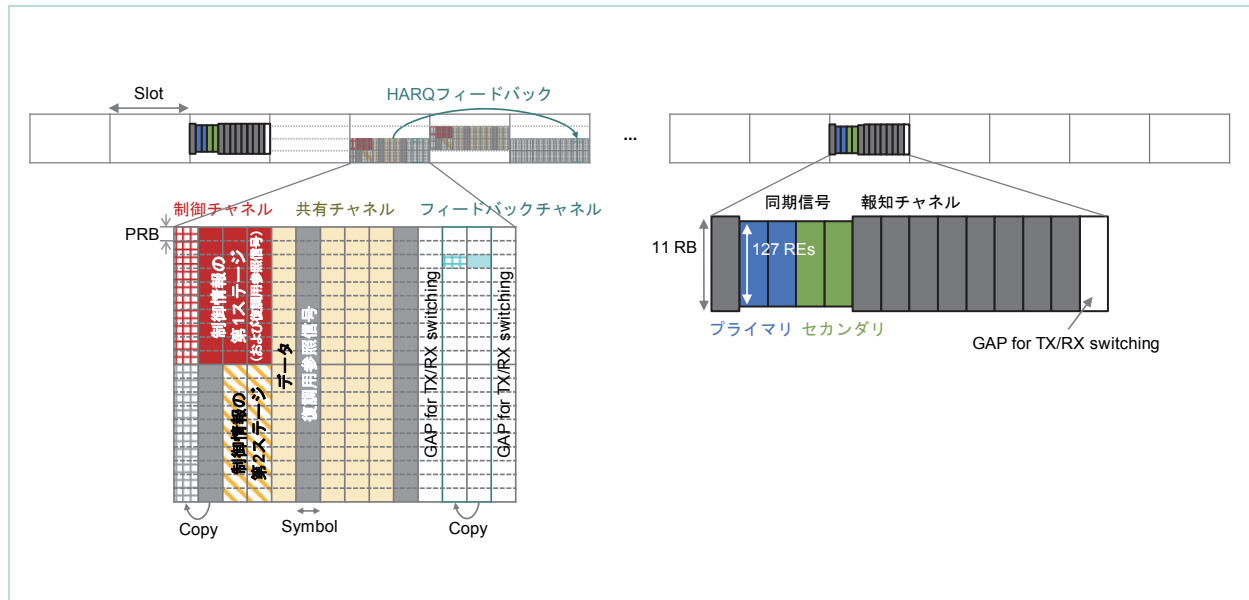


図9 サイドリンク用の物理チャンネル構成例

データおよびそれに伴う制御情報を他UEに送信する。送信される物理チャンネル^{*65}は図9に示される制御チャンネルおよび共有チャンネルであり、それぞれ制御情報の第1ステージ、制御情報の第2ステージおよびデータが格納される。制御チャンネルはスロットの前方に配置され、遅延量の削減が図られている。制御情報の第1ステージは、他UEがブラインド復号^{*66}する、第2ステージを受信および復号するために必要な情報である。制御情報の第2ステージは、第1ステージを受信したUEが復号する、データを受信および復号するために必要な情報やその他の情報である。前述のリソース予約情報は制御情報の第1ステージに含まれる一方、通信タイプや送信先情報は第2ステージに含まれる。制御情報を2つのステージに分割することは、チャンネル状態などに基づいて各ステージの制御情報の送信に使用されるリソースの柔軟な制御を可能に

し、リソース利用効率や受信品質の向上が可能となる。さらに、第1ステージのフォーマットを共通としつつ、第2ステージのフォーマットを変更することができるため、前方互換性の確保が可能となる。

(e)物理レイヤのフィードバック情報に基づく再送
自身宛のデータを受信したUEは、それがグループキャストまたはユニキャストであった場合に送信元のUEに対してフィードバック情報を送信可能である。図9に示す通りHARQフィードバックは専用の物理チャンネルによって行われ、そのチャンネルが配置され得るリソースは特定のスロット周期で設けられる。ある受信データに対応するHARQフィードバック用のリソースは、そのデータの送信リソースと送信元/送信先情報によって一意に定まる。前述のMode 2の場合であってもフィードバックチャンネルの衝突を回避しつつ、UEのブラインド復

*65 物理チャンネル：周波数、時間などの物理リソース上にマッピングされ、制御情報や上位レイヤのデータを伝送するチャンネルの総称。

*66 ブラインド復号：送信される可能性のある信号を、実際の送信の有無に関わらずに受信および復号を試みる、受信側のUE処理。

号が要求されない構成となっている。これに加えて、前述のMode 1の場合にはデータ送信元のUEからgNBへのHARQフィードバックが可能である。gNBは受信したフィードバック情報に基づいて再送をスケジューリングすることができる。

(f)その他の機能

以上の機能以外にも、要求条件を満たすための機能が規定されている。例えばCSI (Channel State Information) フィードバック^{*67}やダウンリンクまたはサイドリンクのパスロス^{*68}に基づく電力制御、Congestion control^{*69}などが挙げられる。さらに、LTEおよびNRのうちの一方のV2Nによって、もう一方のサイドリンクのリソースを割り当てる機能も規定されている。

3.5 その他の関連技術

(1)5G-LAN Type Service

工場構内、オフィスなどにおいて、特定グループ内での通信を行う機能、5G VN (Virtual Network) group^{*70}を定義したグループ管理、および内線通信などを行うUPF (User Plane Function) 折返し^{*71}、UPF-UPF間のインタフェースN19などが導入されている。

(2)Private Slice

前述したPNI-NPNは、無線リソース（基地局、周波数）の占有／分割を実現する技術と位置付けられる一方、コアネットワークを含めたE2E (End to End) リソース分割には、ネットワークスライスの活用も想定される。5GC Rel-16ではネットワークスライス機能が拡張され、特定ネットワークスライス内で独自に認証認可手順を適用するNSSAA (NetworkSlice Specific Authentication and Author-

ization) が規定されている。詳細は本特集別記事を参照されたい [9]。

(3)Predictive QoS

自動運転などにおいては、車載カメラで撮影された高精細な動画データなどをリアルタイムに収集／解析する必要が求められ、車の走行ルート／時間帯に該当するエリアの通信品質の予測が重要とされる。Rel-16では5GCで規定されたNWDAF (Network Data Analytic Function)^{*72}において、ネットワーク内で蓄積されるさまざまなデータを解析し、将来の通信品質予測を提供する事ができる。またNEF (Network Exposure Function)^{*73}を介して、外部サーバやアプリケーションから解析結果などの情報を取得する処理が規定されている。詳細は本特集別記事を参照されたい [9]。

4. あとがき

本稿ではRel-16で規定されたNR/5G systemの産業連携ソリューションについて解説した。Rel-17以降も、本稿記載のさまざまな産業連携機能に対する機能拡張に加えて、ビッグデータ/AIの活用や、ドローンへの対応も見込まれる。また本特集冒頭記事 [1] にも記載の通り、Beyond 5Gや6Gも見据えたユースケース・サービスのさらなる拡張は5G技術発展の重要な要素の1つと位置づけられている。ドコモは引き続き5Gのさらなる発展に貢献していく。

文献

- [1] 永田, ほか: “5G Evolutionの方向性と標準化動向,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.41-44, Oct. 2020.
- [2] 5G-ACIA: “5G for Automation in Industry.” Jul. 2019.
- [3] 阿部, ほか: “コネクテッドカー時代に向けたドコモの取り組み,” 本誌, Vol.27, No.4, pp.27-34, Jan. 2020.
- [4] 5GAA: “White Paper C-V2X Use Cases Methodology,

^{*67} CSIフィードバック: ある2つの通信装置の間の通信において、一方の通信装置から参照信号を送信し、もう一方がその受信信号からチャネルの品質を測定して相手へ報告する技術。報告された情報を基に各種送信パラメータを決定することで、通信品質や周波数利用効率の向上が期待される。

^{*68} パスロス: 送信電力と受信電力との差分から推定される伝搬経路損失。

^{*69} Congestion control: 主にUEが自律的にリソース選択を行って送信する場合に、特定のUEが過度にリソースを使用することを禁止する技術。チャネルの空き具合と自身の送信状況から、

送信の可否を判断する。

^{*70} 5G VN group: 5G LAN Type Serviceにおける仮想的なプライベート通信を提供される端末グループ。

^{*71} UPF折返し: 端末とのU-planeデータを終端するUPFにおいて、インターネットなど外部への接続を介さず、別の端末との通信経路を設定すること。

^{*72} NWDAF: 5GCで規定されたネットワーク機能の1つ。ネットワーク内のさまざまなデータを収集、分析し結果を返す。

^{*73} NEF: 5GCで規定されたネットワーク機能の1つ。3GPP規定外の外部サーバやアプリケーションなどへのAPIを提供する。

- Examples and Service Level Requirements,” Jun. 2019.
- [5] 3GPP RP-181530 : “LS on Prioritised Use Cases and Requirements for consideration in Rel-16 NR-V2X,” Sep. 2018.
- [6] 徳永, ほか: “新たな音声サービスを実現するVoLTEの開発,” 本誌, Vol.22, No.2, pp.7-23, Jul. 2014.
- [7] ウメシユ, ほか: “5G無線アクセスネットワーク標準化動向,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.33-43, Oct. 2017.
- [8] 武田, ほか: “5GにおけるNR物理レイヤ仕様,” 本誌, Vol.26, No.3, pp.47-58, Nov. 2018.
- [9] 青柳, ほか: “3GPP Rel-16における5Gコアネットワークの高度化技術の概要,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.45-56, Oct. 2020.

モバイルブロードバンド向けの 5G高度化技術

ネットワークイノベーション研究所

まつむら ゆうき くまがい しんや
松村 祐輝 熊谷 慎也くりた だいすけ
栗田 大輔

無線アクセス開発部

びん てんよう はらだ こうへい
関 天楊 原田 皓平

2020年3月、ドコモは3GPP Rel-15仕様で規定されたNRを用いた5G通信サービスを開始した。一方、今後の5G通信サービスの普及拡大に伴い、さらなる無線通信ネットワークの高速・大容量化が求められている。これを踏まえ、3GPPにおいて、Rel-15仕様を機能拡張・高性能化するRel-16仕様が、2020年6月に策定された。本稿では、Rel-16 NR仕様の高速・大容量化技術の無線アクセス仕様を解説する。

1. まえがき

2020年3月、ドコモは3GPP (3rd Generation Partnership Project) Release 15 (以下、Rel-15)仕様で規定されたNRを用いた5G通信サービスを開始した。一方、今後の5G通信サービスの普及拡大に伴い、さらなる無線通信ネットワークの高速・大容量化が求められている。これを踏まえ、3GPPにおいて、Rel-15仕様を機能拡張・高性能化するRel-16

仕様が、2020年6月に策定された。本特集別記事 [1]で概説した通り、3GPP Rel-16仕様には、モバイルブロードバンドの高度化 (eMBB: enhanced Mobile BroadBand) 向けに、品質・性能向上を図る機能、および利用シナリオを拡張し、市場拡大を図るための機能を規定したという特徴がある。本稿では、品質・性能向上を図る機能として、システム容量およびユーザスループットを向上させるMIMO (Multiple Input Multiple Output)*1高度化技術を解説する。

©2020 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

*1 MIMO: 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伝送技術。

また、利用シナリオを拡張する機能としては、モバイルバックホール*2を利用するための技術（Integrated Access Backhaul）、アンライセンスバンド*3を利活用するための技術（NR（New Radio）Unlicensed）、および置局柔軟性を拡大する技術（MR-DC（Multi-Radio Dual Connectivity）*4/CA（Carrier Aggregation）*5拡張）を解説する。

2. MIMO・ビームフォーミング拡張

Rel-15仕様で仕様化されたMIMO技術の適用領域を拡大し、実効的なユーザスループットを向上させることを目的として、分散MIMO*6技術が仕様化された。また、より効率的な高周波のビームフォーミング*7（以下、ビーム）運用を目的として、Rel-15で仕様化されたビーム制御・ビーム障害回復の仕様拡張が行われた。

2.1 分散MIMO技術

Rel-15では、下りリンクデータ共有チャネル（PDSCH：Physical Downlink Shared Channel）*8において、基地局側は1つの送受信点（TRP：

Transmission and Reception Point）を用いて、最大8レイヤ*9のシングルユーザMIMO*10がサポートされていた。Rel-16では、基地局側が2つのTRPを協調し、最大8レイヤのPDSCHを分散MIMO送信する機能が仕様化された（図1）。分散MIMO送信により、相関の低い無線伝搬経路数を増加させ、より高次ランクのMIMO送信を適用可能にすることを目的としている。

(1)中継回線環境シナリオ

複数TRPが協調して分散MIMO送信を行うためには、TRP間の制御情報のやり取りが必要になる。それを可能とする環境として、TRP間に光ファイバなど高品質な中継回線が敷設され、TRP間の制御情報のやり取りを低遅延に行える環境（理想中継回線環境）と、そうではない環境（遅延の大きい中継回線環境）が想定される。実際のネットワーク環境がどちらになるかは、光ファイバの敷設状況や、基地局の設置密度など、国ごと・通信事業者ごとに異なる。それぞれの環境に応じて、TRP協調分散MIMOを行うための適切な通信方式が異なるため、Rel-16の分散MIMO技術は、理想中継回線環境と遅延の大きい中継回線環境のそれぞれのシナリオを想

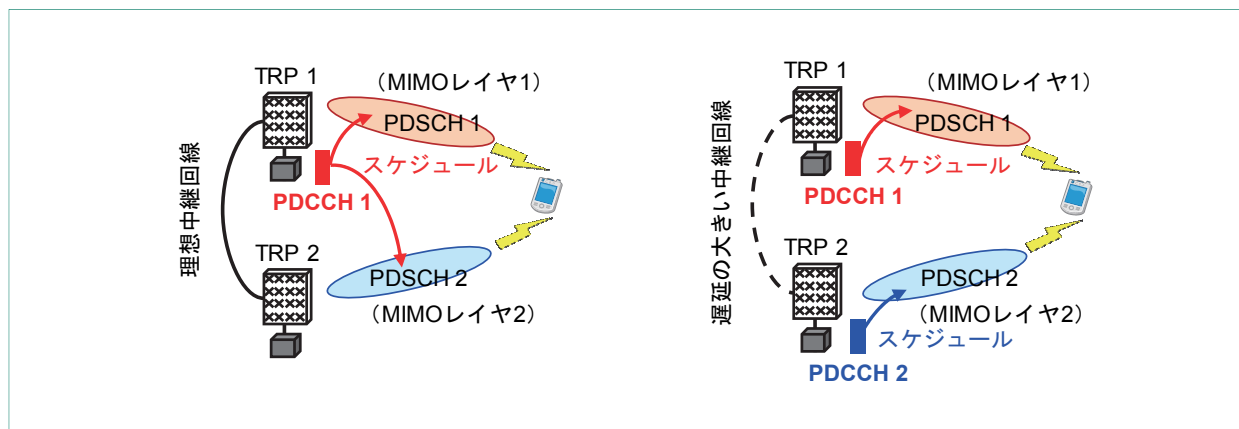


図1 2つのTRPの協調による、PDSCHの分散MIMO送信

*2 バックホール：基地局とコアネットワークを接続する伝送路。
 *3 アンライセンスバンド：行政による免許制当てが不要で、特定の通信事業者に限られず使用可能な周波数帯。
 *4 MR-DC：LTEとNR基地局または2つのNR基地局に接続したDCの総称。なおDCとは、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キャリアを用いて同時に送受信を行うことにより、高速伝送を実現する技術。
 *5 CA：1つの基地局でサポートされる複数のキャリアを用いて同時に送受信を行うことにより、高速伝送を実現する技術。
 *6 分散MIMO：複数の基地局から異なるMIMOストリームを1つの

ユーザ端末に送信してMIMO伝送を行う技術。
 *7 ビームフォーミング：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する。このうち、本稿で解説するビーム制御・ビーム障害回復は、主にアナログビームフォーミングを想定する。
 *8 下りリンクデータ共有チャネル（PDSCH）：ユーザデータや上位レイヤからの制御情報を送信するための物理チャネル。

定して仕様化された。

(2)PDSCHスケジューリング

理想中継回線環境では、1つのTRPにより送信される1つの下りリンク制御チャンネル（PDCCH：Physical Downlink Control Channel）*11が、各TRPが送信する2つのPDSCHを一括してスケジューリングする（図1左）。本方式では、1つのPDCCHが各TRPのPDSCHを効率的にスケジューリングできるが、遅延の大きい中継回線環境への適用は難しい。

そこで、遅延の大きい中継回線環境でのPDSCHのスケジューリング機能では、各TRPにより送信されるPDCCHが、各TRPの送信する各PDSCHをスケジューリングする（図1右）。ただし、本方式では、理想中継回線環境の方式に比べて2倍の回数のPDCCH送信が必要になる。

(3)HARQ-ACK/NACK送信

複数TRP協調MIMO送信時におけるHARQ（Hybrid Automatic Repeat reQuest）*12の肯定応答（ACK：ACKnowledgement）*13または否定応答（NACK：Negative ACK）*14の送信方式を図2に示す。各TRPからユーザ端末（UE：User Equipment）が受信したPDSCHのHARQ-ACK/NACK送信方式も、

理想中継回線環境と遅延の大きい中継回線環境の各シナリオを想定して仕様化された。TRP間が理想中継回線環境の場合、UEは、各TRPから受信したPDSCHのHARQ-ACK/NACKビット*15。連結し、1つの上りリンク制御チャンネル（PUCCH：Physical Uplink Control Channel）*16で送信する（図2左）。HARQ-ACK/NACKを受信したTRPは、TRP間の中継回線を用いて、もう片方のTRPに、HARQ-ACK/NACKビットを転送する。理想中継回線環境では、本方式により、複数TRPのHARQ-ACK/NACKを効率的に送信できる。しかし、本方式を遅延の大きい中継回線に適用すると、TRP間の中継回線遅延分、HARQ遅延*17が生じてしまう。

そこで、UEが各TRPから受信したPDSCHのHARQ-ACK/NACKを、それぞれのTRPに向け、それぞれのPUCCHで送信する方式も仕様化された（図2右）。本方式では、遅延の大きい中継回線環境においても前記のHARQ遅延を生じないが、各TRP向けのPUCCHを時間分割して送信するので、理想中継回線環境の方式に比べて2倍の回数のPUCCH送信が必要になる。

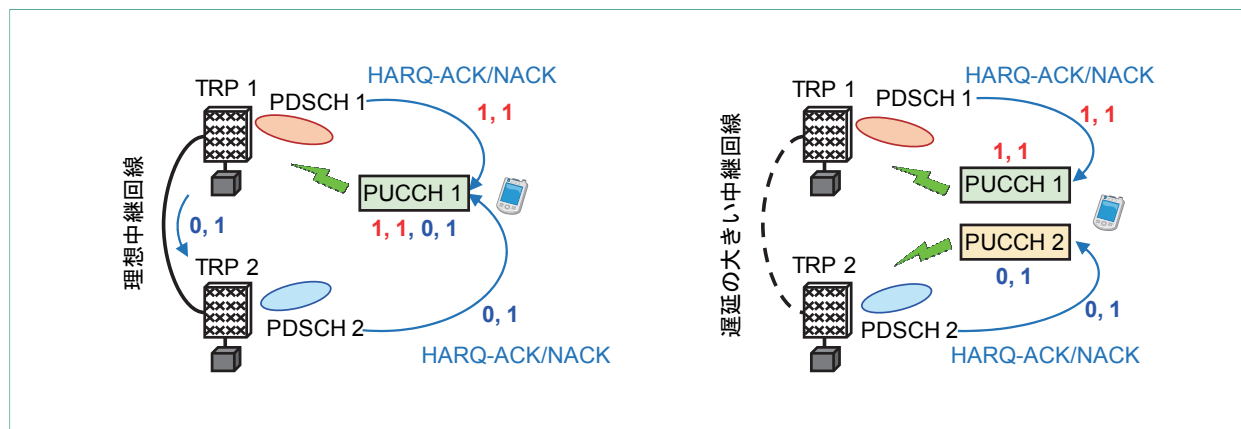


図2 2つのTRPへのHARQ ACK/NACK送信

*9 レイヤ：MIMOにおける空間ストリーム。
 *10 シングルユーザMIMO：同一時間周波数において、単一ユーザに対してMIMO伝送を行う技術。
 *11 下りリンク制御チャンネル（PDCCH）：下りリンクにおける物理レイヤの制御チャンネル。
 *12 HARQ：データ受信側が正常にデータを受信（復号）できたかをデータ送信側に通知し、データ受信に誤りが検出された場合にデータを再送させることで、データ通信の誤りを訂正する技術。
 *13 肯定応答（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。
 *14 否定応答（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。
 *15 HARQ-ACK/NACKビット：HARQにおけるACKまたはNACKを、1または0のビットで表したもの。
 *16 上りリンク制御チャンネル（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ンネル。
 *17 HARQ遅延：送信側がデータ送信を行ってから、受信側からACKが通知されてデータ通信が完了するまでの時間。

2.2 ビーム制御・ビーム障害回復の拡張

Rel-15で仕様化されたビーム制御は、主に高い周波数において基地局側とUE側の送受信のアナログビームのペアを早期に確立・維持することを目的とする。ビーム制御は、UEによるビーム測定、UEからのビーム報告、基地局からのビーム指示からなる。また、Rel-15で仕様化されたビーム障害回復は、プライマリセル（PCell：Primary Cell）^{*18}またはPSCell（Primary SCell）^{*19}において、伝搬経路の遮断などの要因で通信中のビームに障害が発生した場合に、障害の発生していないビームを用いて、ビーム障害回復要求を基地局へ送信することで、障害が生じたビームを早期に回復する。Rel-16では、下記機能が拡張された。

(1)ビームごとの受信品質に基づくビーム報告

Rel-15では、UEが測定した受信電力（RSRP：Reference Signal Received Power^{*20}）が高い上位 N 個のビーム情報を基地局へ報告していた。ここで、 N は1、2、または4のいずれかが基地局から設定される。Rel-16では、UEが測定した信号対干渉雑音電力比（SINR：Signal to Interference plus Noise power Ratio）^{*21}が高い上位 M 個のビーム情報を基地局へ報告する機能が追加された。ここで、 M は1、2、または4のいずれかが基地局から設定される。本機能により、セル間やTRP間の干渉を考慮したビーム制御が可能になり、通信品質の向上が期待できる。

(2)低遅延・低オーバーヘッド^{*22}ビーム指示

Rel-15では、上りリンク送信におけるUEの送信ビーム指示のために、上位レイヤシグナリング^{*23}のRRC（Radio Resource Control）^{*24}メッセージを再設定する場合があった。そのような再設定を行わず、ビーム指示をレイヤ1/2^{*25}の制御で行うことで、より低遅延にビーム制御できる。そこで、Rel-16では、上りリンクのビーム指示をレイヤ2で行えるよ

う仕様拡張された。例えば、レイヤ2で制御可能なPUCCHのビーム数が8から64へ拡張され、非周期的サウンディング参照信号（Aperiodic-SRS：Aperiodic Sounding Reference Signal）^{*26}のビーム制御をレイヤ2で行えるようになった。また、上りリンクの明示的なビーム指示を省略する機能も仕様化された。本機能では、上りリンクのビームは下りリンクのビーム指示に連動するため、上りリンクのビーム指示のためのレイヤ2制御オーバーヘッドを無くすることができる。

Rel-15では、各コンポーネントキャリア（CC：Component Carrier）^{*27}に含まれるBWP（BandWidth Part）ごとに、上りリンク/下りリンクの各チャネルのレイヤ2ビーム指示を行っていた。Rel-16では、各チャネルにおいて、1つのレイヤ2ビーム指示で複数のBWP/CCを一括して制御する機能が仕様化され、レイヤ2ビーム指示の制御オーバーヘッドを削減できる。なお、BWPについては2018年の特集記事を参照されたい [2]。

(3)セカンダリセルにおけるビーム障害回復

セカンダリセル（SCell：Secondary Cell）^{*28}のビーム障害回復が仕様化された（図3）。SCellにおいてUEは、自身が測定する受信品質が所定値を下回る場合に、PCellまたはPSCellに対して、SCellのビーム障害回復要求を送信する。また、UEはSCellにおけるビーム測定を行い、最も受信電力の大きいビーム情報をPCellへ報告する。本機能により、SCellのビーム障害の発生の情報と、SCellで更新すべき新ビーム情報をPCellへ報告することができ、SCellのビーム障害を早期に回復できる。

3. IAB

NRネットワークのさらなる展開に向けて、NRを

*18 プライマリセル（PCell）：CAにおいて複数用いるキャリアの中で、接続を担保するコンポーネントキャリア。

*19 PSCell：DCまたはMR-DCにおいてセカンダリ基地局でサポートされるコンポーネントキャリア（*27参照）の中で、接続を担保するコンポーネントキャリア。

*20 RSRP：端末で測定される参照信号の受信電力。端末の受信感度を表す指標の1つ。

*21 信号対干渉雑音電力比（SINR）：受信信号のうち、所望信号の電力と所望信号以外（他セル/他セクタからの干渉波および熱雑音）の電力の比を表す。

*22 オーバヘッド：制御情報の送受信など、ユーザデータの送受信以外に用いられる無線リソース。

*23 上位レイヤシグナリング：本稿では、MAC（Medium Access Control）レイヤまたはそれよりも上位のレイヤにおいて端末制御のために送受信されるシグナリング（例えばRRC（*24参照）メッセージ、MAC Control elementなど）を表す。

*24 RRC：無線ネットワークにおける無線リソースを制御するレイヤ3プロトコル。

バックホールリンクの通信にも適用し、より柔軟かつ安価なネットワークの設計・展開の実現により、高速・大容量サービスをより広いエリアで迅速に提供する事を目的として、IAB (Integrated Access and Backhaul) の仕様が規定された。これにより、有線バックホールを用いることなく基地局DU (Distributed Unit)^{*29}相当の機能を有するIABノードの設置が可能となり、屋外スモールセル^{*30}や屋

内のNRネットワークの拡張・高密度化が期待される。

3.1 IABのアーキテクチャ

IABのアーキテクチャの基本構成図を図4に示す。IABノードは、ネットワークとの接続においてUEと同等の機能となるIAB-MT (Mobile Termination) と、基地局のDU機能に相当するIAB-DUから構成

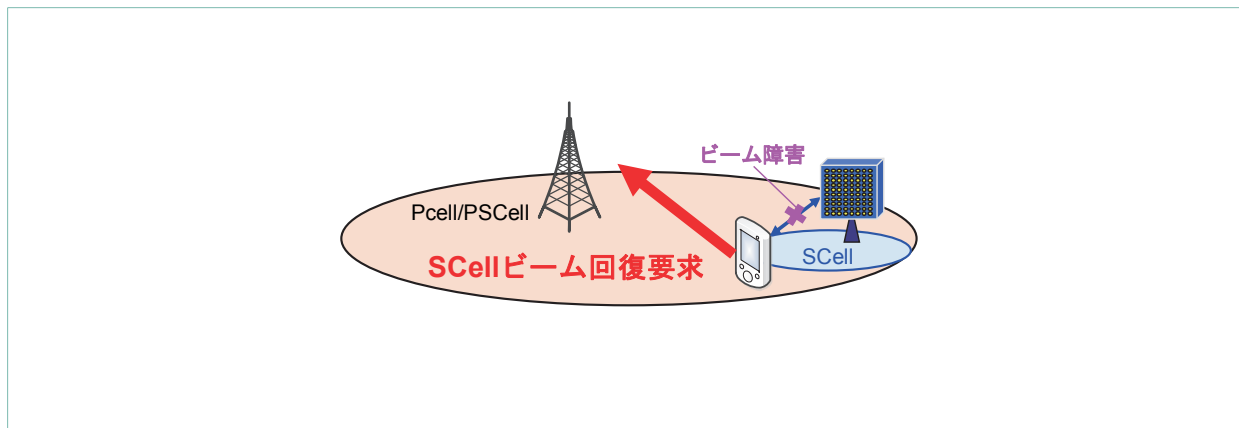


図3 SCellにおけるビーム障害回復

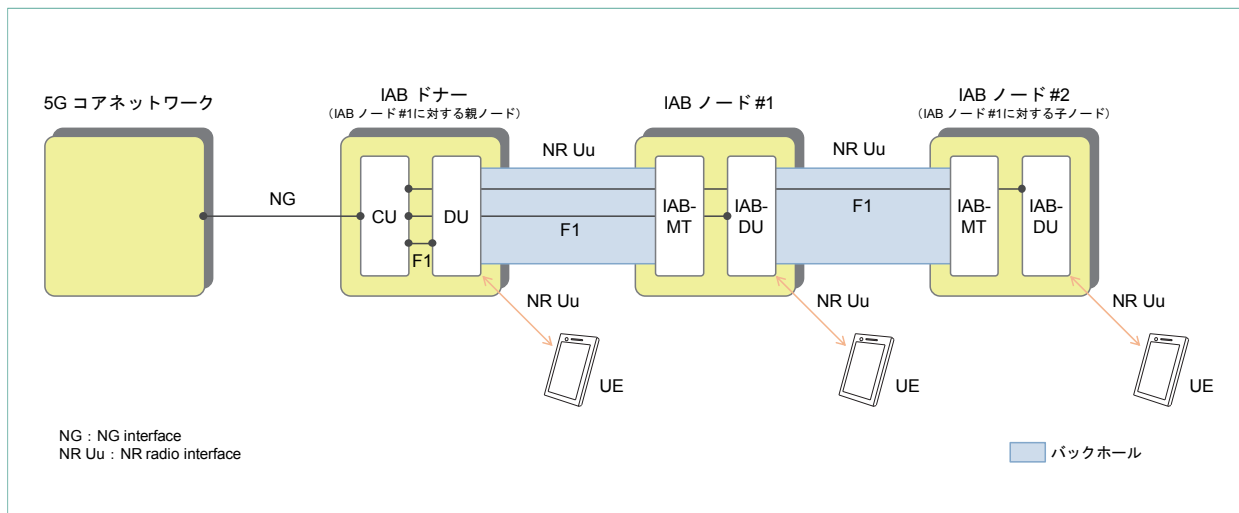


図4 IABのアーキテクチャ基本構成図

*25 レイヤ1/2：開放型システム間相互接続 (OSI：Open Systems Interconnection) 参照モデルの第1層 (物理層) および第2層 (データリンク層)。
 *26 非周期的サウンディング参照信号 (Aperiodic-SRS)：PDCCHでトリガされた場合に端末が送信する、非周期的なチャネルサウンディング向け参照信号。
 *27 コンポーネントキャリア (CC)：CAにおいて束ねられる周波数帯の1つを表す用語。
 *28 セカンダリセル (SCell)：CAにおいて複数用いるキャリアの中で、PCellおよびPSCellでないコンポーネントキャリアの総称。

*29 DU：基地局の構成要素で、無線信号の処理および電波の送受信を行うノード。
 *30 スモールセル：送信電力が小さく、マクロセルに比較して小さいエリアをカバーするセルの総称。

される。IAB-MTはIABドナー、もしくは親ノードのDUにNRの無線アクセス回線 (NR Uu) でバックホールリンクとして接続するための機能である。一方、IAB-DUはUEおよび子ノードをアクセスリンクとして接続させるための機能であり、基地局のDUと同様にF1インタフェースでCU (Central Unit) と接続する機能を併せもつ。

また、直列および並列に接続する複数のIABノードに対してデータをルーティングするために、BAP (Backhaul Adaptation Protocol) *31が規定された [3]。

3.2 IABノードの動作手順

IABノードは以下に示す4つの手順を踏まえて、IAB-DUの動作を開始する [4]。

① IAB-MTのネットワーク接続

IAB-MTはUEとして動作し、UEと同様の手順を踏み、ネットワークと接続する。

② バックホールのRLC (Radio Link Control) *32レイヤの確立

IABノードに対して、制御信号を伝送するためにバックホールのRLCレイヤがIABノードとCU間で確立される。

③ ルーティングの設定

IABドナーは、IABノードとIABドナー間のIPトラフィックをルーティングするため、IABノードのBAPアドレス、BAPルーティングIDなどを設定もしくは更新する。さらに、IABドナーはIABノードに対してIPアドレスを払い出し、BAPアドレスと対応付ける。

④ IAB-DUのセットアップ

IABノードは、払い出されたIPアドレスを用いてIABドナーとのF1を確立後、IAB-DUの動作を開始する。

3.3 物理レイヤ機能

バックホールリンクとアクセスリンクの運用周波数が異なるケースなど、IAB-MTとIAB-DUそれぞれに専用のアンテナやRF回路が実装される場合、Rel-15のNR物理レイヤ*33仕様を用いてIABノードを動作させる事ができる。一方、同一周波数でバックホールリンクとアクセスリンクを運用するケースなど、IABノードが両リンクに共通のアンテナやRF回路を実装し、IAB-MTとIAB-DUの半二重通信*34が必要な場合においては、物理レイヤ機能の拡張が必要となり、下記機能の仕様が規定された。また、IABノード間の送信タイミング同期のためのシグナリングが規定された。

(1)STC (SSB Transmission Configuration) *35およびSMTC (SSB-based Measurement Timing Configuration) *36の拡張

IAB-MTとIAB-DUの半二重通信が必要な場合Rel-16では、IAB-MTとIAB-DUの時分割動作を想定する。IAB-DUは動作開始後、SSB (Synchronization Signals/Physical Broadcast CHannel Block) *37を用いてバックホールリンクの無線品質の測定や、品質の高いIABノードを検出するため、図5に示す通り、UEに対するSSBとは異なる送信タイミング (STC) を最大4つ設定ができる。また、併せてSSBを受信するためのSMTCも、最大4つ追加設定ができる。

(2)RACH (Random Access CHannel) *38の拡張

SSBの送受信と同様にIAB-MTとIAB-DUの半二重通信が必要な場合、IAB-DUのRACHの受信機会とは異なるタイミングにIAB-MTのRACHの送信機会を設定する必要がある。図6に示す通り、IAB-MTのRACH送信タイミングは、UEに設定される送信タイミングに対して、フレーム*39・スロット*40・サブフレーム*41単位のオフセット*42の設定ができる。

*31 BAP：IABノードに対してデータをルーティングするためのプロトコル。

*32 RLC：無線インタフェースのレイヤ2のサブレイヤの1つで、再送制御などを行うプロトコル。

*33 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、ビット伝送に関わる無線インタフェース仕様のことを指し示す。

*34 半二重通信：同じキャリア周波数、周波数帯域を用いて、交互に信号伝送を行う方式。

*35 STC：ネットワークがIABノードに対して通知する、IAB-DU

のSSB (*37参照) の送信周期やタイミングなどの設定。

*36 SMTC：ネットワークが移動局に対して通知する、移動局が測定に用いるSSB (*37参照) の測定周期やタイミングなどの設定。

*37 SSB：基地局が定期的に送信する、通信に必要なセルの周波数と受信タイミングなどの検出を行うための同期信号および主要無線パラメータを通知する報知チャネル。

*38 RACH：ランダムアクセス手順において、移動局が最初に送信する物理チャネル。

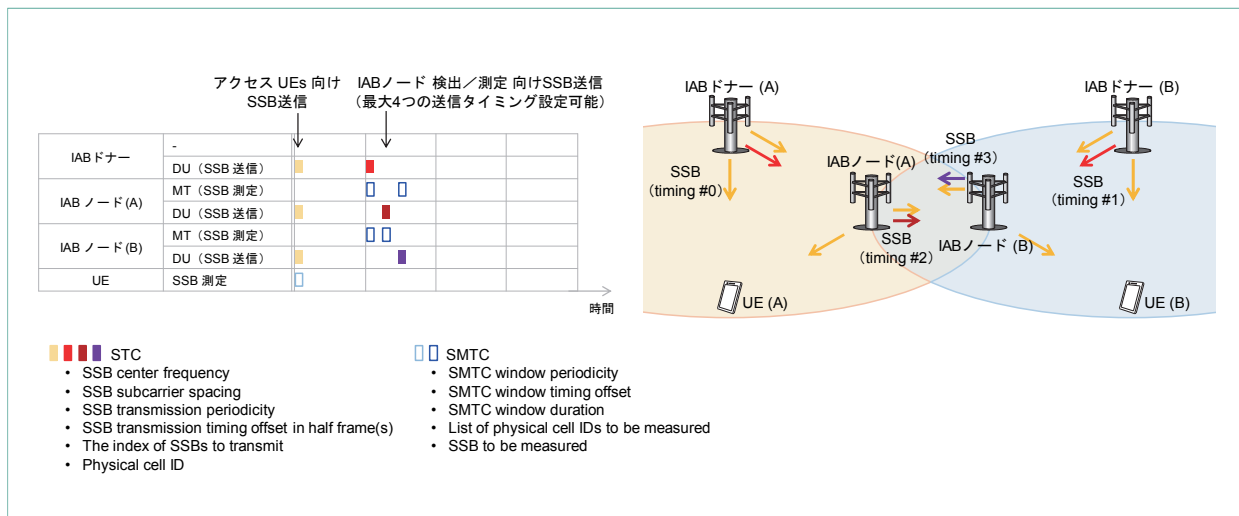


図5 IABノードのSTCおよびSMTCの設定例

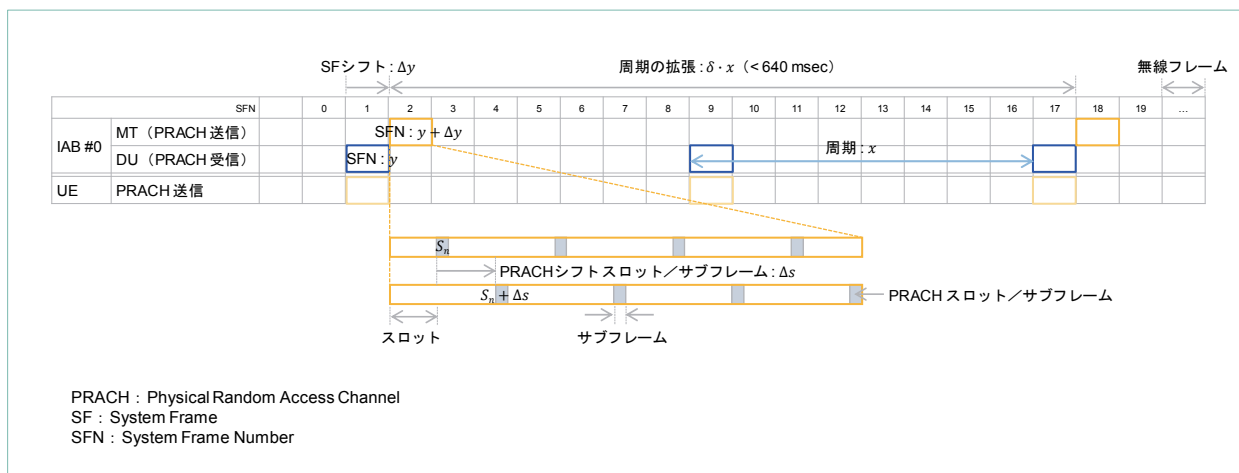


図6 IAB-MTのRACH送信タイミングの設定例

(3) IABノードの無線リソース制御

IAB-MTとIAB-DUの効率的な無線リソース制御が導入された。その概要を図7に示す。まず、CUはIAB-DUの各時間リソースに対して、Hard, Soft, NA (Not Available) を準静的に設定する。ここで、Hardと設定された場合はIAB-DUに、NAと設定された場合はIAB-MTに対してそのリソースの使用権

があるものとしてIABノードはリソースを割り当てる。また、Softと設定された場合はそのリソースの利用者を動的に切り替えることが可能であり、親ノードがIAB-DUの当該リソースに対する割当て可否をDCI (Downlink Control Information) *43 format 2_5を用いて動的に指示する。

*39 フレーム：信号処理（符号化・復号化）を行う最小単位。1個の無線フレームは、時間軸上で複数のスロット（またはサブフレーム）によって構成され、各スロットは時間軸上で複数のシンボルによって構成される。

*40 スロット：データのスケジューリング単位。複数のOFDMシンボルから構成される。

*41 サブフレーム：時間領域の無線リソースの単位。複数のスロットから構成される。

*42 オフセット：基準の位置・時間から任意の位置・時間に設定を変更するために与えられる変化量。

*43 DCI：各ユーザがデータを復調するために必要なスケジューリング情報、データ変調、およびチャネル符号化率の情報などを含む下りリンクで送信する制御情報のこと。

(4) IAB-MTの送信タイミング同期

図8に示す通り、IABノードは、IAB-DUの送信タイミングを親ノードのDUと同期させるため、IAB-MTの受信タイミングから伝搬遅延 ($T_{\text{propagation}}$) を補正することで、IAB-DUの送信タイミングを決定する。ここで、伝搬遅延は

$$\left(N_{\text{TA}} + N_{\text{TA, offset}} \right) \cdot T_c / 2 + T_{\text{delta}}$$

を用いて導出する。 N_{TA} と $N_{\text{TA, offset}}$ は、UEが送信タイミングを決定するために通知される値であり、 T_c はNRの基本単位時間となる。また、 T_{delta} は親ノードの送受信の切替え時間の半分に相当し、MAC CE (Medium Access Control Control Element) *44

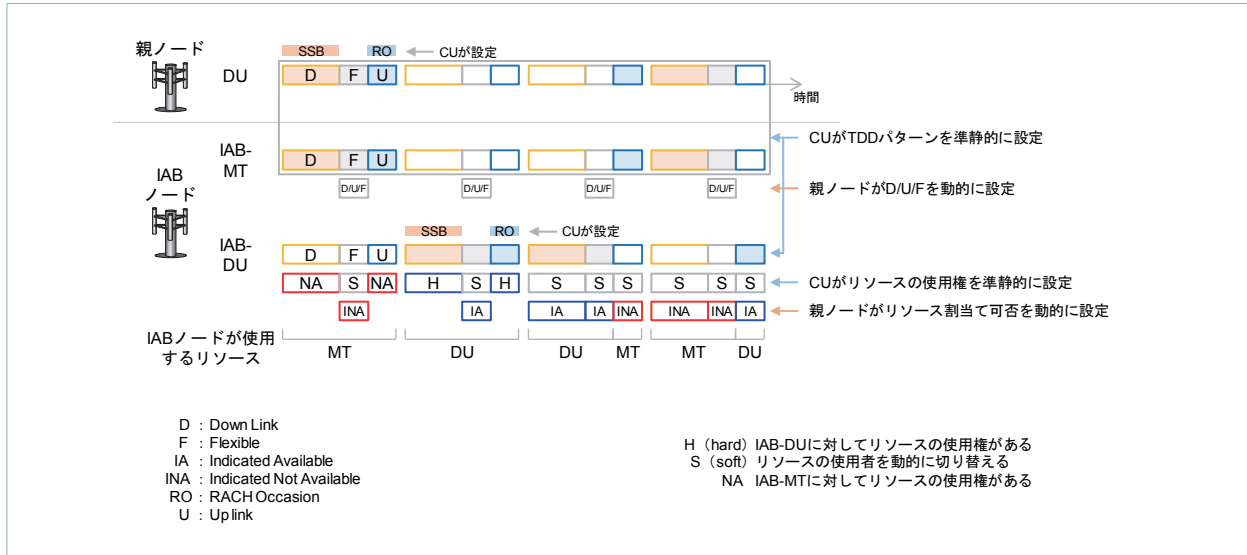


図7 IABノードのリソース制御の概要

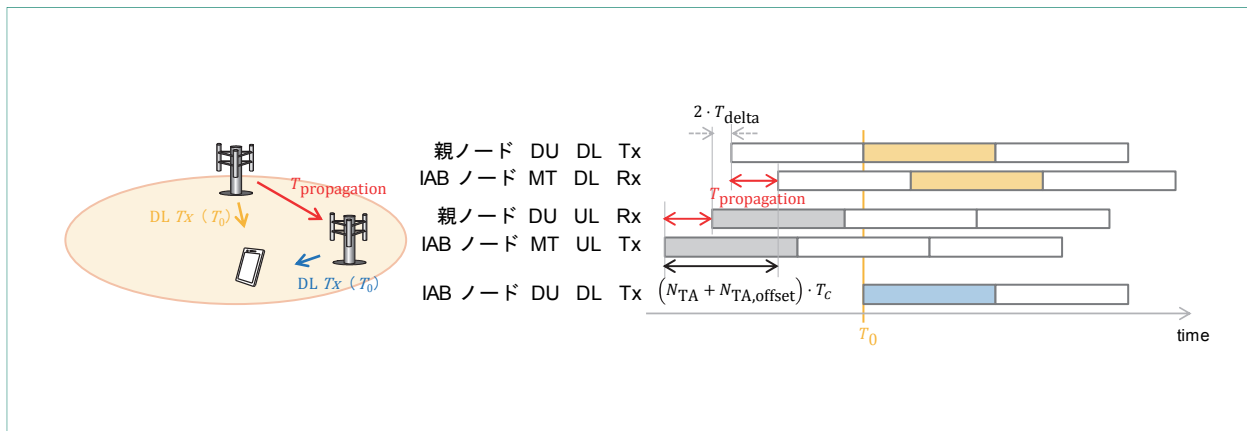


図8 IAB-MTの送信タイミング同期の概要

*44 MAC CE : MACサブレイヤで伝送される定められた構成の制御信号.

を用いてIABノードに通知される。

4. NR-U

移動通信ネットワークにおいて急増するトラフィックを収容するため、アンライセンスバンドの活用が注目を集めており、3GPPにおいてライセンスバンドとアンライセンスバンドを束ねて通信を高速化するLAA (Licensed-Assisted Access)^{*45}がLTE Rel-13の一機能として仕様策定された。さらに3GPPにおいて5G NRのアンライセンスバンドでの活用が検討され、NR-U (NR Unlicensed)がNR Rel-16の一機能として仕様策定された。

4.1 NR-Uの運用形態

NR-Uでは、LTE-LAAと同様にライセンスバンドのNRをPCell, NR-UをSCellとしたCAによる複数CCの同時送受信に加えて、より柔軟なアンライセンスバンドの運用を実現するため、ライセンスバン

ドのLTEをPCell, NR-UをPSCellとしたLTE-NR DCによる複数基地局との同時送受信や、NR-Uのスタンドアローン^{*46}によるアンライセンスバンドの単独運用など合わせて5つの運用形態がサポートされた(図9)。

4.2 NR-Uの想定周波数帯および法規制

NR Rel-15では、52.6GHzまでの高周波数帯を想定し、450~6,000MHzをFR1 (Frequency Range 1), 24,250~52,600MHzをFR2として仕様策定が行われた。ただし、NR-Uでは想定するアンライセンスバンドが5GHz帯および6GHz帯であることから、FR1向けにおいては、当該アンライセンスバンドに対する地域ごとの法規制、および同バンドを使用するWi-Fi[®]^{*47}・LTE-LAA・NR-Uとの共存を考慮した上で仕様策定が行われた。

地域ごとの法規制として、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^{*48}を行い、チャ

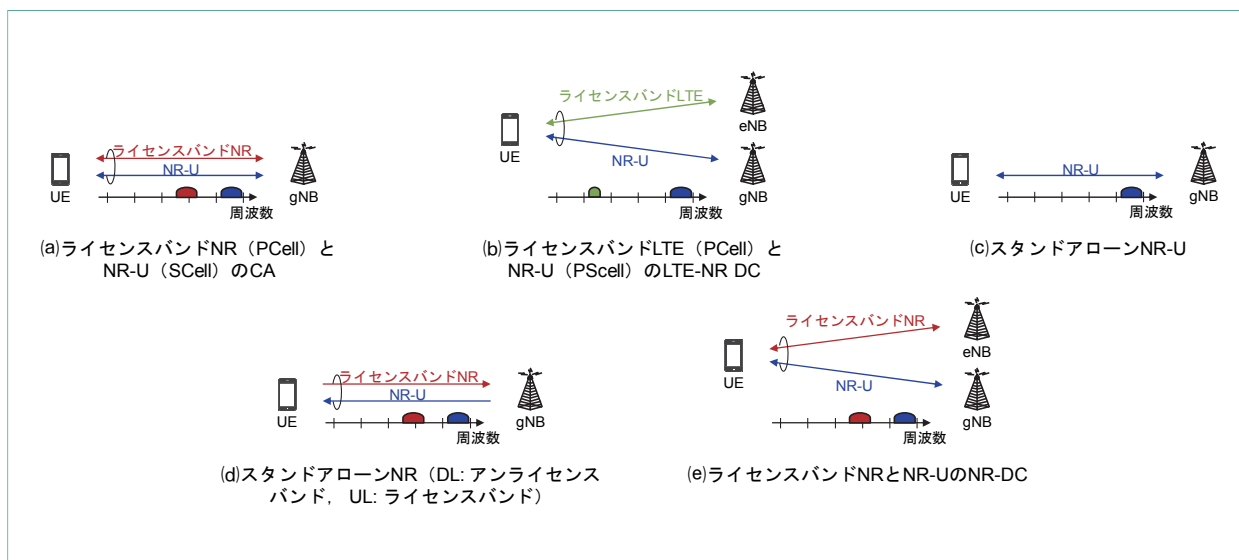


図9 NR-Uの運用形態

*45 LAA：端末が、ライセンスバンドで運用しているPCellから設定情報を受けてアンライセンスバンドで無線通信を行う、無線アクセス方式の総称。

*46 スタンドアローン：既存のLTE/LTE-AdvancedとNRをLTE-NR DCを用いて連携して運用するノンスタンドアローンに対し、NR単独で運用する形態。

*47 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。

*48 キャリアセンス：電波を発射する前に、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。

ネルが近傍の他システムに使用されていないことが確認できた場合のみ、所定の時間長（MCOT：Maximum Channel Occupancy Time）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。さらに、欧州では、ガードバンド^{*49}を含む送信帯域（NCB：Nominal Channel Bandwidth）が常に5MHz以上、かつ信号電力の99%を有する帯域（OCB：Occupied Channel Bandwidth）がNCBの80～100%に収まるように送信することが規定されている。

4.3 NR-Uの物理レイヤ機能

NR-Uのチャネルアクセス方法として、LTE-LAAと同様に他システムとの共存を考慮してランダムバックオフ^{*50}および可変長のCWS（Contention Window Size）^{*51}に基づくLBT [5]を行うLBE（Load Based Equipment）動作が規定された。加えて、周波数利用効率およびLBTの簡易化を目的

に、他システムが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証されている場合のみ、所定の周期（FFP：Fixed Frame Period）で固定のキャリアセンス期間に基づくLBTを行うFBE（Frame Based Equipment）動作が規定された。

また、Wi-FiやLTE-LAAが20MHz帯域を基本とするのに対し、NRのICCは20MHz以上の帯域をサポートするため、これらとの共存を考慮した広帯域動作や、上記LBTやOCBなどの法規制を考慮した初期アクセス、上下リンク物理信号・チャネル、HARQ動作の拡張が規定された（表1）。

5. MR-DC/CA技術拡張

Rel-15ではMR-DC/CAの基本機能が策定されたが、MR-DC/CAの設定および無線リンク障害の復帰に時間がかかることや、上りリンクのカバレッジが狭いことなどが問題視されていた。そこで、Rel-

表1 NR-Uにおける主な機能拡張

機能分類	機能拡張の詳細	機能拡張の理由
広帯域動作	複数のLBT帯域（20MHz）でのLBT成功／失敗に基づくPDSCH/PUSCH送受信可否	Wi-FiおよびLTE-LAAとの共存
初期アクセス	複数のSSB送信候補位置	LBT成功時の早期送信
	長系列PRACHプリアンブル	OCB要求の満足
下りリンク信号・チャネル	3～13シンボルPDSCH	LBT成功時の早期送信
	COT内外でのサーチスペース切替え	COT内での電力消費削減
上りリンク信号・チャネル	Interlaced PUCCH/PUSCH	OCB要求の満足
	Configured grant PUSCHの自動再送	LBT失敗確率の低減
	複数PUSCHの同時スケジューリング	LBT失敗確率の低減 LBT成功時の早期送信
HARQ動作	COTを跨いだHARQ-ACK送信	MCOT要求の満足
	HARQ-ACKの再送	LBT失敗時の重要情報の再送

PUSCH：Physical Uplink Shared CHannel

^{*49} 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。

^{*50} ランダムバックオフ：キャリアセンス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。

^{*51} 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。

16ではより迅速なMR-DC/CAの設定・復帰，上りリンクのカパレッジ拡大のための技術拡張を行った。

(1)高効率・低遅延なMR-DC設定・復帰

高効率・低遅延なMR-DCの設定・復帰について，以下の2つの機能がRel-16で追加された。

(a)RRC_INACTIVE*52状態からの迅速なMR-DC復帰

Rel-15 NRにおいて，UEにRRC_IDLE*53状態，RRC_CONNECTED*54状態以外にRRC_INACTIVE状態が導入されたが，RRC_CONNECTED状態からRRC_INACTIVE状態への遷移時に，MR-DC設定を破棄していた。このためRRC_INACTIVE状態からRRC_CONNECTED状態へ復帰時に再度MR-DC設定を行う必要があり，MR-DC復帰のために時間を要していた。

そこでRel-16 MR-DC技術拡張では，UEはRRC_INACTIVE状態遷移時にMR-DC設定を記憶しておくことで，RRC_CONNECTED状態へ再遷移する場合，基地局からの上記設定の受信を待たず，記憶した設定を用いてMR-DC設定を行うため，迅速にMR-DC復帰する方式が新たに導入された。具体的にはUEがRRC_CONNECTED状態かつMR-DC接続状態からRRC_INACTIVE状態への遷移時，基地局からRRC Resume message*55でMCG SCell (Master Cell Group SCell)*56/SCG (Secondary Cell Group)*57設定をリストアするという指示を受信した場合，UEは記憶していたPDCP (Packet Data Convergence Protocol)*58/SDAP (Service Data Adaptation Protocol)*59の設定やMCG SCell/SCGの設定をリストアする事が可能となった。上記機能拡張により，RRC_INACTIVE状態からRRC_CONNECTED状態への遷移時，

UEは迅速にMR-DC接続状態に復帰する事が可能となった。

(b)迅速なMR-DC設定

Rel-15では，UEは以下の手順でのMR-DC設定を行う事が規定されていた。

- ①MN (Master Node)*60と接続 (RRC_CONNECTED状態への遷移)
- ②隣接セルの品質測定を行いその結果をMNに報告
- ③その後，MN経由でSN追加コマンドを受信しSN (Secondary Node)*61と接続

上記では，UEがRRC_CONNECTED状態に遷移した後に隣接セルの品質測定を行うため，RRC_CONNECTED状態に遷移後からのMR-DC設定に時間を要していた。

このため，Rel-16 MR-DC技術拡張では，UEは，RRC_IDLE/RRC_INACTIVE状態においてもセルの品質測定を行う事で，RRC_CONNECTED状態に遷移した際，迅速に隣接セルの品質測定値を基地局に報告する機能が仕様化された。これによりRel-15の上記セットアップ手順に比べて，MR-DC設定の遅延を大幅に短縮する事が可能となった。具体的には，基地局が報知情報*62あるいはRRC Release message*63を用いてあらかじめ品質測定設定をUEに通知する事で，RRC_IDLE/RRC_INACTIVE状態においてもセルの品質測定を行う事ができる。

(2)CA時における迅速なNR SCellのアクティベーション

Rel-15では，MR-DCとNRスタンドアローンについての基本的な仕様が規定され，Rel-16では，MR-DCやCAに対してRel-15仕様のさらなる拡張が行われた。拡張の1つとして，SCellで通信可能になるま

*52 RRC_INACTIVE：端末のRRC状態の1つであり，端末は基地局内のセルレベルの識別をもたず，基地局およびコアネットワークにおいて端末のコンテキストが保持されている。

*53 RRC_IDLE：端末のRRC状態の1つであり，端末は基地局内のセルレベルの識別をもたず，基地局において端末のコンテキストが保持されていない。コアネットワークにおいて端末のコンテキストが保持されている。

*54 RRC_CONNECTED：端末のRRC状態の1つであり，端末は基地局と接続状態のことを指す。

*55 RRC Resume message：UEをRRC_INACTIVE状態から

RRC_CONNECTED状態に復帰させるためのRRCメッセージ。

*56 MCG SCell：MN (*60参照)配下のセルグループにあるセカンダリセル。

*57 SCG：SN (*61参照)配下のセルグループ。

*58 PDCP：レイヤ2におけるサブレイヤの1つで，秘匿，正当性確認，順序整理，ヘッダ圧縮などを行うプロトコル。

*59 SDAP：無線インタフェースのレイヤ2のサブレイヤの1つで，QoSフローと無線ベアラとのマッピングを行うプロトコル。

*60 MN：DC中の端末とRRC connectionを確立する基地局。LTE-NR DCにおいて，MNは，LTE基地局 (eNB)である。

での遅延の短縮の必要性が議論された。

従来はSCellを追加した後、SCellを一定時間使用しない場合は、当該SCellをdeactivation状態に遷移させて、PDCCHモニタリングなどを行わないことにより端末の消費電力を抑えていた。左記動作の場合、再度SCellを用いた通信を行う場合にactivation状態に再遷移する必要がある、CSI (Channel State Information)*⁶⁴測定、AGC (Automatic Gain Control)*⁶⁵、そしてビーム制御を行って通信の準備をするため、activation遷移までに数十ms単位の時間を要していた。一方、NR SCellはLTEと比べ帯域も広く、NR SCell使用開始直後に高いスループットで通信する事ができるため、NR SCell使用開始までのactivation遷移にかかる遅延時間によるスループット影響が、LTEに比べて相対的に大きくなってしまふ事が懸念された。

そのため、activation/deactivation状態に加えて、新たにdormancy状態を定義し、PDCCHをモニタリングしない一方で、deactivation状態とは異なりCSI測定などの通信に必要な準備を継続して行っておくことで素早くactivation状態 (non-dormancy状態) に復帰できるようにRel-16で仕様が策定された。NRのdormancy状態の特徴として、システム帯域幅に含まれるBWPごとにdormancy状態が設定される仕様となっている (dormancy BWP)。これにより既存のBWPの機能を活用したレイヤ1制御が可能となる。Dormancy BWPの遷移をレイヤ1で制御することで、レイヤ2での制御に比べて制御に要する遅延影響を低減する事ができ、遅延が短くなった分dormancy状態である時間が長くなるため、端末の消費電力を削減する事ができる。

(3)迅速なMCGリンク回復

Rel-15 MR-DCにおいて、PCellが無線リンク障害 (RLF: Radio Link Failure) となった場合、SCGの

品質が正常な場合でも、UEはRRC再接続を行わなければならない。そこでRel-16 MR-DC技術拡張では、SCGの品質が正常な時にMCGでRLFを検出した場合は、SCGを用いてMCGの再設定を行う事で、再接続を回避する仕組みを規定した。具体的には図10に示すようにUEはsplit SRB (Signaling Radio Bearer) 1*⁶⁶あるいはSRB3*⁶⁷を利用しMCGリンク障害情報 (隣接セル品質の測定報告を含む) をSNに報告する事が可能になった。MCGリンク障害情報を報告されたSNは当該情報をMNに転送し、MNは新たなMCG設定を含む無線リソース*⁶⁸設定メッセージ (RRC Reconfiguration message) をSNに返す。SNがRRC Reconfiguration messageをUEに転送する事で、UEはRRC再接続に比べて迅速にMR-DC状態に回復する事ができる。

(4)NR-DC電力分配

Rel-15 NR-DC*⁶⁹の上りリンク電力分配において、基本的に準静的にCG (Cell Group)*⁷⁰ごとの最大送信電力を設定する事が規定された。Rel-16 NR-DC上りリンク電力分配では、NR-DC中の上りリンクのカバレッジを増大し、より高いスループットを得る事を目的として以下の2つの電力分配が規定された。

(a)モード2設定

Rel-15と同様の設定 (モード1) に加えて、MCGとSCGが送信スロット上で重複する時はCGごとの最大送信電力を使い、重複しない時はNR-DC最大送信電力値*⁷¹のみを考慮してCGごとの最大送信電力を考慮しない設定 (モード2) が仕様化された。

(b)動的な電力分配機能

Rel-16 NR-DCでは動的な電力分配機能もサポートされた。具体的にはMCGとSCGが送信スロット上で重複し、かつMCGとSCG送信電

*61 SN: DC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 DCにおいて、SNはNR基地局 (gNB) である。

*62 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。

*63 RRC Release message: UEをRRC_CONNECTED状態からRRC_IDLE状態に遷移させるRRCメッセージ。

*64 CSI: 信号が経由した無線チャネルの状態を表す情報。

*65 AGC: 受信信号の入力レベルの大小によらずに出力レベルを一

定に保つようにする制御。

*66 Split SRB1: MR-DC中の端末に対して、MNが生成したRRCメッセージを複製し、SN経由で送信するためのベアラ。

*67 SRB3: MR-DC中の端末に対してSNが直接RRCメッセージを送信するためのベアラ。

*68 無線リソース: 無線通信を行うために必要なリソース (無線送信電力、割当て周波数など) の総称。

*69 NR-DC: MNとSNが2つのNR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キャリアを用いて同時に送受信を行うことにより、高速伝送を実現する技術。

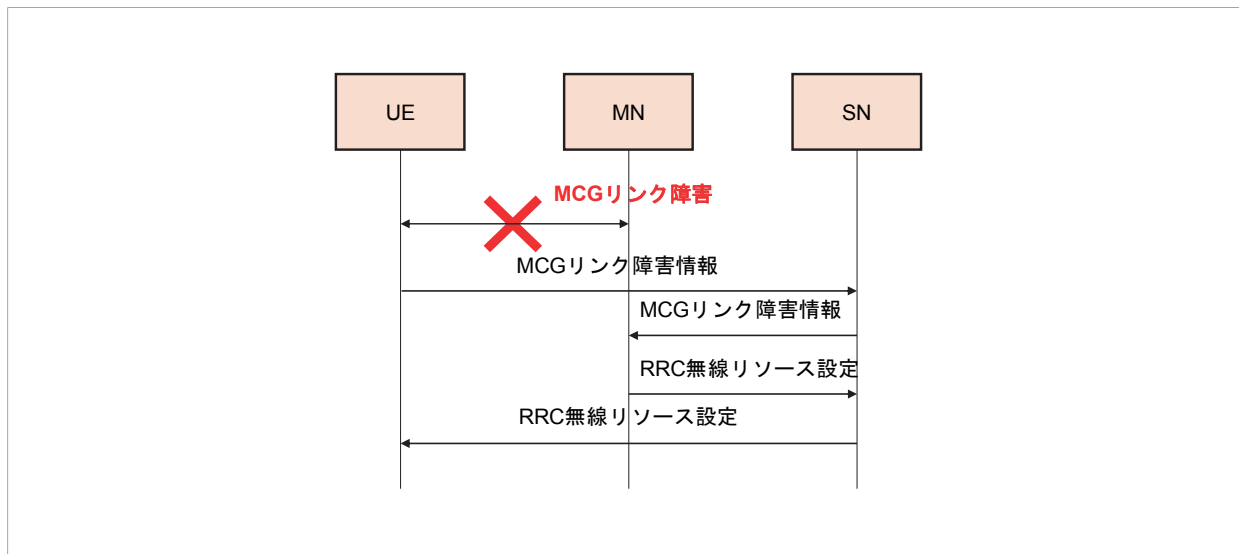


図10 迅速なMCGリンク回復

力の合計値がNR-DC最大送信電力を超える場合、UEが動的にSCG送信スロット上の電力を下げ、NR-DC最大送信電力を超えないように調整する。MCGとSCGが送信スロット上で重複しない場合はNR-DC最大送信電力値のみを考慮する。

さらに、NR-DC動的な電力分配においてUEがMCG送信を見込んで動的にSCG送信電力を調整する方式も規定された。具体的にはUEは、所定送信時間オフセット (T_{offset}) 前に、PDCCHでスケジュールされたMCG送信と送信時間上に重複するかを予測する。重複となった場合、SCG送信電力を $\min(\hat{P}_{\text{SCG}}, \hat{P}_{\text{Total}}^{\text{NR-DC}} - \hat{P}_{\text{MCG}}^{\text{actual}})$ (SCG最大送信電力とNR-DC最大送信電力から、MCG実際送信電力をそれぞれ差し引いた残電力における最小値) に基づき、動的に調整する。ここで、 \hat{P}_{SCG} はSCG最大送信電力の線形値であり、 $\hat{P}_{\text{Total}}^{\text{NR-DC}}$ はNR-DC最大送信電力の線形値であり、 $\hat{P}_{\text{MCG}}^{\text{actual}}$ はMCG実際送信電力の線形値

である。重複しないあるいはMCG送信がない場合は、SCGの送信電力をNR-DC最大送信電力に抑える。

(5)非同期CA対応

Rel-15 CAでは、PCellあるいはPSCellが、SCellとフレーム境界がスロットレベルで同期している前提で仕様が策定された。他方で、クロックの性能などの観点から特に同一CGにおいてFR1とFR2 Cellが混在している場合、ネットワークにおいてすべてのPCell/PSCellがSCellと同期するのは非常に困難である。

そこでRel-16ではPCellあるいはPSCellが、SCellとフレーム境界がスロットレベルで非同期な場合でもCAが可能となるよう仕様策定された。具体的には、UEはネットワークから設定されるPCell/PSCellとSCell間のスロット単位でのタイミングずれに従って、SCellのフレーム境界のずれを調整する事が可能となった。

また、Rel-15では、MR-DC中の非同期CAでFR2

*70 CG：基地局配下のセルグループを指す。MN配下の場合はMCGで、SN配下の場合はSCGである。

*71 NR-DC最大送信電力値：NR-DCにおける最大送信時の電力値であり、算出方法は準静的な電力分配時に $P_{\text{Total}}^{\text{NR-DC}} = \text{MIN}\{P_{\text{EMAX, NR-DC}}, P_{\text{PowerClass}}\} + 0.3\text{dB}$ 。動的な電力分配時に、 $P_{\text{Total}}^{\text{NR-DC}} = \text{MIN}\{P_{\text{EMAX, NR-DC}}, P_{\text{PowerClass}}\}$ 、 $P_{\text{EMAX, NR-DC}}$ はp-UE-FR1値 (UEがFR1 (周波数レンジ450~6,000MHz) 上に出力する最大電力) でネットワークにより設定できる。 $P_{\text{PowerClass}}$ は許容偏差を考慮しないUE最大出力電力。

バンドが使われる際に、FR2 measurement gap^{*72} タイミングがFR1 PCell/PSCellに合わせて計算できないため、どのServing Cell^{*73}に紐づいて計算されるのかが不明確となる問題が存在した。

そこでRel-16ではUEがネットワークからFR2 measurement gapを計算する際にタイミング参照となるServing Cellインデックスを設定する事が可能となり、FR2 measurement gapのタイミングとServing Cellの紐づけが可能となった。

6. あとがき

本稿では、Rel-16 NR仕様の高速・大容量化向けの主要機能を解説した。本稿で解説した機能をはじめとしたRel-16 NRの機能を用いることで、5G NR

の通信ネットワークのさらなる高速・大容量化が期待できる。5Gの技術発展、普及拡大のため、ドコモは今後も継続して3GPPでの標準化活動を推進する。

文献

- [1] 永田, ほか: “3GPP Release 16における5G無線の高度化技術概要,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.41-44, Oct. 2020.
- [2] 武田, ほか: “5GにおけるNR物理レイヤ仕様,” 本誌, Vol.26, No.3, pp.47-58, Nov. 2018.
- [3] 3GPP TS38.340 V16.0.0: “NR; Backhaul Adaptation Protocol (BAP) specification,” Mar. 2020.
- [4] 3GPP TS38.401 V16.2.0: “Technical Specification Group Radio Access Network; NG-RAN; Architecture description,” Jul. 2020.
- [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.

*72 measurement gap: 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のことを指す。

*73 Serving Cell: UEがCAを設定されている時の、PCellとSCellのことを指す。UEがCAを設定されていない時は、PCellのことを指す。

LTE/NRにおける 高速移動環境下での性能向上技術

無線アクセス開発部 高田 卓馬 飯笹 直人
移動機開発部 樋口 翔一

日本や中国をはじめとして、時速300kmを超える新たな鉄道サービスの導入が検討されている。このような高速移動環境下でも安定したモバイル通信サービスを提供することをめざし、3GPP Rel-16にてLTEおよびNR向けに新たな仕様化の検討が行われた。本稿ではRel-16仕様で導入された、最大時速500kmを想定した環境下でも安定した通信品質を実現する技術と、その議論動向を概説する。

1. まえがき

近年、日本や中国をはじめ、新幹線以上の速度に到達する交通機関の導入が進められている。このような高速移動環境下におけるモバイル通信品質の性能担保に向けた議論が、3GPP (3rd Generation Partnership Project) において行われている。3GPP Release 14 (以下、Rel-14) ではLTE向けに、新幹線相当の高速移動環境下におけるさらなる通信品質向上を実現する仕様が規定された [1]。またRel-15 で新しい通信方式であるNR (New Radio) [2] が

仕様化されたことに伴い、高速移動環境下でNRを利用する機会も増えていくと考えられる。一般に高い周波数や移動速度が速くなるとドップラー周波数シフト*1の影響を強く受けるが、LTEとNRではドップラー周波数シフトの補正に用いる参照信号 (Reference signal) の構成が異なるために、NR向けに新たに検討が必要であった。

このような背景のもと、Rel-16において、時速500kmを想定した、LTEおよびNRの下り・上りリンクの通信品質担保を実現する仕様が規定された。本稿では、Rel-16仕様で導入された、最大時速

©2020 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

*1 ドップラー周波数シフト：ドップラー効果によって生じる搬送波周波数のずれ。

500kmを想定した環境下でも安定した通信品質を実現する技術と、その議論動向を概説する。

2. 高速移動環境下における課題

2.1 ドップラー周波数シフトの補償

高速移動環境下では、移動速度が速くなるほど、周波数が高くなるほどドップラー周波数シフトの量が大きくなり、それによって受信信号に生じる位相回転^{*2}が、通信品質に大きな影響を与える。時速500kmの環境下での利用を想定すると、この影響が大きくなるのはもちろんのこと、現時点で主にNRが利用している3.7GHz帯 (n77^{*3}/n78) や4.5GHz帯 (n79) といった周波数は、LTEが利用している周波数と比較して高周波数帯であり、影響がさらに大きく現れるため、LTEとの差分を含めて3GPPでの議論がなされた。なお、28GHz帯 (n257) といったミリ波帯については、Rel-16における議論の対象外となっている。

一般的にドップラー周波数シフトが発生すると、時間領域では位相回転が生じる。基地局・端末共に、このドップラー周波数シフトによる位相回転を推定・補償するために参照信号を用いるが、時間領域での参照信号間の間隔が狭いほど、より急峻な位相変動に追従可能となり、より大きなドップラー周波数シフトの補正が可能となる。なお、位相が反転する手前 (± 180 度未満) が、元の位相に補正可能な位相回転量である。

LTEの場合、端末は下り信号を受信する際、基地局から常に送信されているCRS (Cell-specific Reference Signal)^{*4}を用い、基地局は上り信号を受信する際、端末から送信されるDM-RS (DeModulation Reference Signal)^{*5} [2] を用いてドップラー周波数シフトを推定している。

一方NRの場合、基地局からCRSが送信されないため、端末は周期的に基地局から送信されるTRS

(Tracking Reference Signal)^{*6} [2] を用いて、ドップラー周波数シフトの推定を行う。また基地局は上り信号を受信する際、LTEと同様にDM-RSを用いてドップラー周波数シフトを推定するが、DM-RS間の間隔やシンボル^{*7}、RE (Resource Element)^{*8}数という観点でLTEとの違いがあり、ドップラー周波数シフトの補償条件に差分がある。

加えてNRの場合は、LTEのサブキャリア^{*9}間隔である15kHzに加えて、30kHzや60kHzのように、より広いサブキャリア間隔が新たに定義されたことにより、サブキャリア間隔15kHzの場合に比較して、より大きなドップラー周波数シフトの補正が可能となっている。具体的には、サブキャリア間隔15kHzを想定すると、図1の通り、NRの下り通信では、TRS間の間隔が4シンボルであるため、LTEのCRSにおける3シンボルと比較すると、参照信号間隔が広いことにより、ドップラー周波数シフトの補正が可能な幅は小さくなる。

一方、サブキャリア間隔として30kHzを用いる場合は、TRS間の間隔が15kHz換算で2シンボル相当となるため、LTEと比較してドップラー周波数シフトの補正が可能な幅は大きくなる。さらにNR上り通信観点では、サブキャリア間隔の選択肢が広がった点に加えて、PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)^{*10}用DM-RSの密度および位置が柔軟に設定可能 [2] であるため、LTEと比較して短い間隔でのDM-RSの配置を選択することで、より大きなドップラー周波数シフトの補正が可能となる。

2.2 置局構成

高速移動環境下での通信品質保持を目的に、通常環境に加え、高速移動環境下に適した特別な置局構成が3GPP Rel-14で提案・議論された。Rel-16においても、当時の議論内容をベースに、NRの機能や特徴を踏まえた置局構成に関する議論が行われた。

Rel-16で議論された置局構成の概念図を図2に示

*2 位相回転：信号が無線チャネルを経由した際に発生する位相のずれ。

*3 n77：NR向けに定義されたTDDの周波数帯域 (3,300～4,200MHz)。

*4 CRS：下りリンクの受信品質測定などに用いられる各セル固有の参照信号。

*5 DM-RS：下り・上りリンクの送受信データを復調する際に用いられるチャンネル推定用の参照信号。

*6 TRS：下りリンクにおける時間および周波数の変動をトラッキングする際に用いられる参照信号。

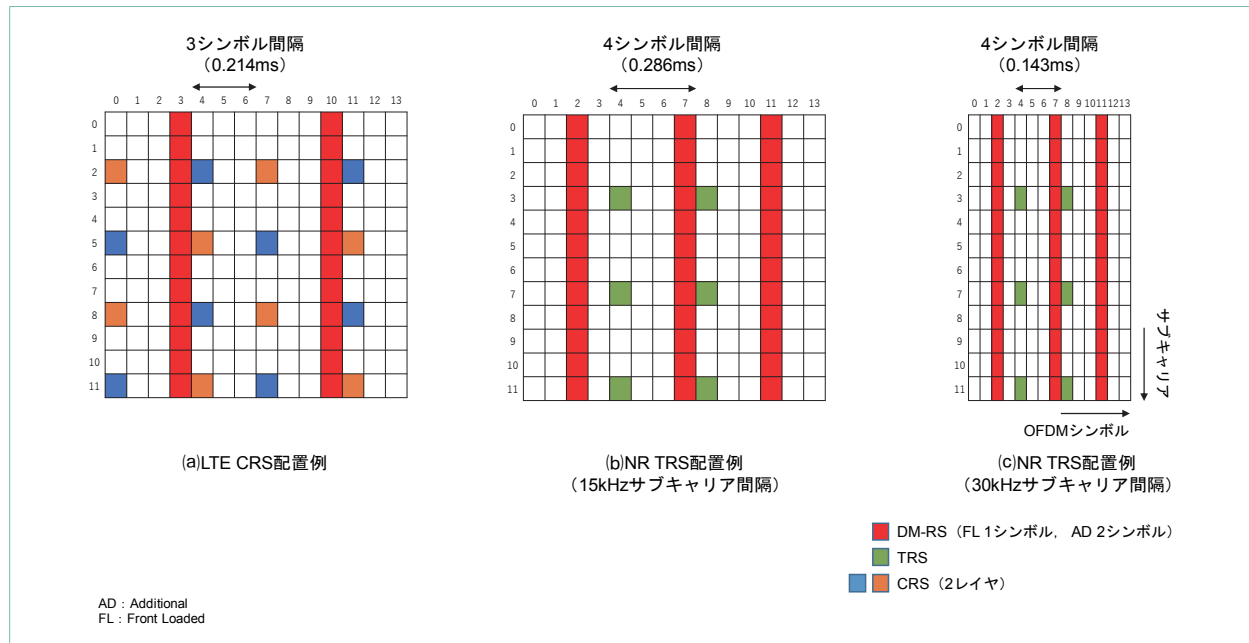


図1 LTEとNRの下り参照信号間隔の比較

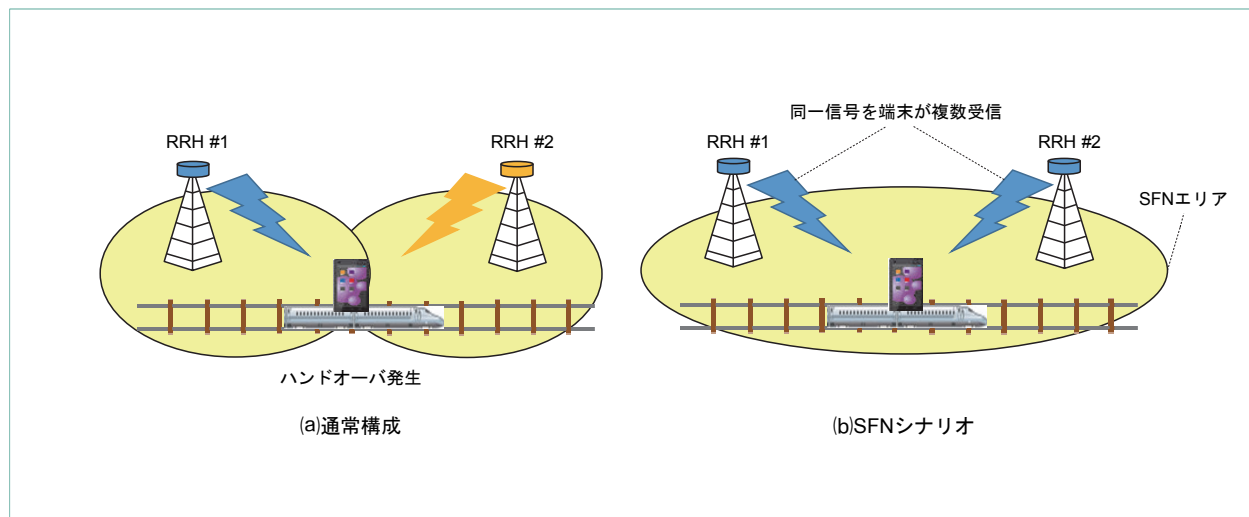


図2 高速移動環境向け置局構成

す。SFN (Single Frequency Network)^{*11}シナリオはRel-14でも議論された置局構成であり [1], 連続して置局されているRRH (Remote Radio Head)^{*12}より, 同一の周波数で, かつ同一の信号を送受信することで, 複数のRRHで覆われているエリアを1つ

の制御エリアとみなせるようにしているため, 接続するRRHが切り替わる際にハンドオーバー^{*13}が生じないという観点から高速移動環境下向けの置局として優れている。一方で本置局構成では, 同じタイミングで到来する正と負のドップラー周波数シフト

*7 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。

*8 RE: 下りリンクのリソースの構成要素であり, 1サブキャリア, 1 OFDMシンボルで構成。

*9 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送信する個々の搬送波のことを言い, 副搬送波とも呼ばれる。

*10 PUSCH: 上りリンクにおける送信データのこと。

*11 SFN: 電波の周波数を同一にして構成したネットワーク。

をもつ受信信号に対して、同時に追従することが求められる。

3. 導入された規定と効果

Rel-15以前やRel-16において、LTEおよびNRで導入された受信性能規定と試験条件を表1に示す。前述の課題を踏まえ、Rel-16 NRでは、最大時速500kmの高速環境下でのチャネル推定^{*14}を確実にを行うため、合計3シンボル配置のDM-RSを前提とした試験条件が定義された。また、通常の置局構成に加えて、上記で示したSFNシナリオが定義され、構成ごと

に下り通信向けのTRS、および上り通信向けのDM-RSで補正可能な最大ドップラー周波数シフトを想定した受信規定が導入された。本規定の導入により、最大時速500kmの高速環境における通信品質の確保が可能となり、新幹線をはじめとする高速鉄道車内でのLTEおよびNRのエリア化・品質改善が期待できる。

4. あとがき

本稿では、3GPP Rel-16にて仕様化された高速移動環境下における通信品質向上に向けた新たな標準

表1 高速鉄道向けに導入された受信性能規定と試験条件

Release	通信方向	置局構成	LTE			NR		
			移動速度	耐えるドップラー周波数シフト	周波数 ^{*1}	移動速度	耐えるドップラー周波数シフト	周波数 ^{*1}
Rel-15 以前	下り (端末受信)	通常構成	時速 300km	750Hz	2.7GHz	時速 300km	750Hz (15kHzサブ キャリア間隔)	2.7GHz
							1,000Hz (30kHzサブ キャリア間隔)	3.6GHz
	SFNシナリオ	時速 350km	875Hz	2.7GHz	規定なし			
	上り ^{*2} (基地局受信)	通常構成 SFNシナリオ	時速 350km	1,340Hz	2.06GHz	規定なし		
Rel-16	下り (端末受信)	通常構成	時速 500km	972Hz	2.1GHz	時速 500km	972Hz (15kHzサブ キャリア間隔)	2.1GHz
		SFNシナリオ	時速 500km	972Hz	2.1GHz	時速 500km	870Hz (15kHzサブ キャリア間隔)	1.88GHz
	上り ^{*2} (基地局受信)	通常構成 SFNシナリオ	時速 500km	1,944Hz	2.1GHz	時速 500km	1,740Hz (15kHzサブ キャリア間隔)	1.88GHz

※1 移動速度と耐えるドップラー周波数シフトより換算した値

※2 上りの場合、ドップラー周波数シフトが加わった下り信号に対して同期するため、より大きなドップラー周波数シフトの考慮が必要

*12 RRH：基地局を構成する装置の1つで無線信号の送受信処理を行う無線機。光ファイバなどを使ってBBU (BaseBand Unit) から離れた場所に設置する。

*13 ハンドオーバー：通信中の移動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。

*14 チャネル推定：信号が無線チャネルを経由した際に受けた減衰

量および位相回転量などを推定すること。

規定やその特徴について解説した。これらの機能によって、新幹線などの高速移動環境下における通信品質の担保、向上が実現される。今後も、ドコモは実環境における課題や要望を考慮した、適切な標準仕様の検討を推進していく。

文 献

- [1] 高田, ほか: “LTE-Advanced Release 14における高速移動環境下の特性向上技術,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.60-65, Oct. 2017.
- [2] 武田, ほか: “5GにおけるNR物理レイヤ仕様,” 本誌, Vol.26, No.3, pp.59-73, Nov. 2018.

「5G Evolution & 6G Summit」開催

第5世代移動通信システム（5G）のさらなる高度化と第6世代移動通信システム（以下、6G）の研究開発促進を目的に、「5G Evolution & 6G Summit」（以下、本サミット）をWeb（特設サイト）で2020年7月29日（水）～30日（木）（第1弾）および8月27日（木）～28日（金）（第2弾）に開催し、多くの企業、大学、ほか皆様にご視聴いただきました。

2020年3月より商用サービスを開始した5Gは、さまざまな分野でサービスの創出や社会課題の解決が

期待されており、各分野によって異なる幅広い要求条件に柔軟に対応するため、さらなる高度化が求められています。また、2030年頃のサービス提供開始をめざす6Gについても国内外で議論が始まっており、さらなる高速・大容量通信、カバレッジ拡張、低消費電力・低コスト、低遅延、高信頼、多接続・センシングと、6Gならではの新たなユースケース創出に向けた検討が進められています。

本サミットでは、5Gのさらなる高度化と6Gに関



図1 第1弾サイト案内

©2020 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。



写真1 第1弾バックヤード（講演側）

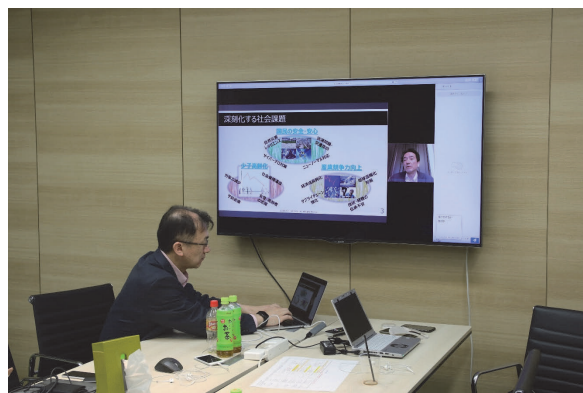


写真2 第1弾バックヤード（事務局側）

表1 パネルディスカッション

テーマ	登壇者
人間拡張/VR	パナソニック株式会社 安藤 健 氏 東京大学 稲見 昌彦 氏 株式会社gumi 國光 宏尚 氏 Enhance Experience Inc. 水口 哲也 氏
ブレインテクノロジー	H2L株式会社 岩崎 健一郎 氏 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 小川 剛史 氏 産業技術総合研究所 長谷川 良平 氏 株式会社neumo 若林 龍成 氏
地方創生	株式会社New Stories 太田 直樹 氏 NPO法人ミラツク 西村 勇哉 氏 僧侶・未来の住職塾 松本 紹圭 氏
無線・NW技術	NEC 大神 正史 氏 NTT 鬼沢 武 氏 富士通 伊達木 隆 氏
宇宙	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA） 岩本 裕之 氏 一般社団法人SPACETIDE 青木 英剛 氏 スカパーJSAT株式会社 中里 真一 氏 株式会社アクセルスペース 中村 友哉 氏

する研究開発をグローバルに促進させるため、ドコモの検討状況を展示するとともに、無線技術や今後の5G・6Gのユースケースに詳しい外部有識者を招き、パネルディスカッションを実施しました。

第1弾の2日間では5件の講演と5件のパネルディスカッションが行われました。初日の講演では本サミットに先立ち、2020年7月17日に公開した6Gホワイトペーパーの更新内容も含めて、『5G Evolution & 6G 進化の方向性』『5G Evolution & 6G 要求条件とユースケース』『5G Evolution & 6G 技術発展と検討領域』という題目にて講演しました。

2日目では、谷 直樹ドコモ常務執行役員による講演『5Gのさらなる高度化と6Gに向けたドコモR&D』を行い、続いて、6G時代を見据えたユースケース

である「人間拡張／VR」「ブレインテクノロジー」「地方創生」「無線・ネットワーク技術」「宇宙」の各テーマに関してパネルディスカッションが行われ、それぞれのテーマと6Gへの期待について熱い議論が交わされました。また、その様子は多くの視聴者にオンラインにてご視聴いただき、チャットシステムを用いて多くのご質問・ご意見をいただき、議論を大いに盛り上げていただきました。

第2弾の展示・デモンストレーションでは、ドコモ、および、パートナーと進めている5G Evolution & 6Gに関するネットワーク技術、および、ユースケース開拓に関する約40件の展示を行いました。オンラインならではの説明動画や、メッセージのやり取りにてQ&Aを行うテキストチャットシステム、



図2 第2弾サイトトップ

オフライン展示会のような説明者との受答えをするためのボイスチャットシステムなどを視聴者にご利用いただき、技術展示の理解を深めていただきました。また、マウスにより操作可能なWebコンテンツなどで、より直感的にユースケースをご理解いただけるコンテンツや、第1弾の講演・パネルディスカッションの動画アーカイブ、7つの「テーマ」



図3 テキストチャットシステム画面

表2 第2弾展示物

Network技術	ユースケース	
5G Evolution & 6G全体像	Coverage拡張：反射板	Mobile SCOT遠隔医療体験
HAPS	Coverage拡張：リピータ	建設機械の遠隔制御
94GHz帯送信用パワーアンプ	海中超音波高速無線伝送技術	8K映像を用いた高品質臨場感の伝送
150GHz伝送システム	超カパレリッジ拡張の実現に向けた衛星通信の活用	可変レート映像伝送
ミリ波高速移動国プロ	超分散アンテナを実現するAnalog RoF-Mobile Front Haul	車内インフォテインメント体験
曲げてアンテナ	300GHz帯の無線伝送を実現する超高速IC技術	気配通信のコンセプト体験
AI for RAN (AIベースの無線ネットワーク)	OAM-MIMO無線多重伝送技術	人間拡張に関する有識者のご活動紹介と対談の動画 (3件)
NOPHY (Non orthogonal PHY)	マルチ無線プロアクティブ制御技術：Cradio	ブレインテクノロジーに関する有識者のご活動紹介と対談の動画 (2件)
スマートファクトリー：社会実装	仮想大規模MIMO (VM-MIMO) 技術	
スマートファクトリー：高精度シミュレーション	宇宙産業に関わる有識者のご活動紹介と対談の動画 (2件)	
スマートファクトリー：伝送技術の高度化		



写真3 第2弾バックヤード（社内外からの質問に対応中）



写真4 第2弾バックヤード（事務局側）

に関する有識者へのインタビュー形式の紹介動画などを展示し、多くの皆様にご視聴いただきました。

コロナ禍によるリアルでの展示会の開催が困難な時期においても、ドコモでは本サミットの開催や今後の活動を通して、さまざまなパートナーと連携し、より活発に議論を進め、さらなる移動通信の進化に

向け、研究開発を推進してまいります。

❁ 文 献

- [1] NTTドコモ報道発表：“ドコモ、「5G Evolution & 6G Summit」を開催 ～さらに高度化する5Gと未来の6G技術をwebで公開～,” Jul. 2020.

情報通信技術委員会 (TTC) 2020年度「TTC会長表彰」受賞

2020年5月28日、情報通信技術委員会 (TTC : The Telecommunication Technology Committee) より2020年度情報通信技術賞の受賞者が発表され、R&D戦略部の榮 浩三が、「移動通信システムにおけるオペレーションシステムの高度化及びコア網仮想化の標準化にかかわる功績」によりTTC会長表彰を受賞しました。

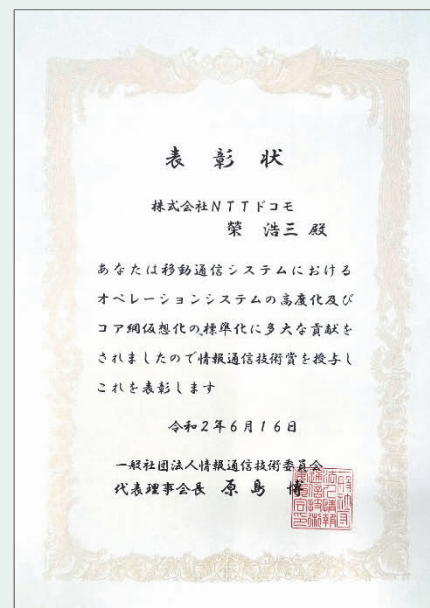
TTCは、情報通信ネットワークにかかわる「標準」を作成することにより、情報通信分野における標準化に貢献するとともに、その普及を図ることを目的としており、その目的に沿う事業の遂行に多大な貢献をした者に対して毎年表彰が行われています。本年度は、情報通信技術賞総務大臣表彰 (1名, 1団体)、情報通信技術賞TTC会長表彰 (6名)、功労賞 (15名)、感謝状 (1名, 2団体) が授与されました。

榮は1996～1998年、ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector) においてSDH (Synchronous Digital Hierarchy)*1およびATM (Asynchronous Transfer Mode)*2伝送装置の保守運用管理用オブジェクトの定義策定に貢献するとともに、TMN (Telecommunications Management Network) 研究会委員としてTMNの普及活動に貢献しました。1999年からは、第3世代移動通信伝送オペレーションシステム、ALL-IP化された加入者情報管理システムの新規商用導入をリーダーとして実現し、ITU-T、3GPP (3rd Generation Partnership Project) 仕様に基づくモバイルネットワークの高度化に貢献しました。続いてTTC、3GPPおよびETSI (European Telecommunications Standards Institute) において、初期段階からコアネットワークの仮想化および第5世代移動通信システム (5G) の標準仕様策定に貢献しました。特に仮想資源管理用のMANO (Management and Orchestration)*3に関しては、検討主体であるETSI ISG NFV (Industry

Specification Group Network Functions Virtualisation) において商用開発経験に基づく仕様提案をリードするとともに、3GPP SA5 (Service and System Aspects 5) でも積極的に既存網とMANO間のIF仕様を提案し、両団体間のギャップ発生を阻止することに貢献しました。また2017年からTTC企画専門委員、2018年からTTC業務運営連絡会委員、2019年から一般社団法人電波産業会 (ARIB : Association of Radio Industries and Businesses) においてoneM2M主査を歴任し、セミナー講師や司会も含めてTTC、ARIBおよび3GPP間の連携ならびに国内標準仕様の策定に寄与しています。長年にわたるこれらの貢献が認められ今回の受賞となりました。

- *1 SDH : CCITT (現ITU-T) にて標準化された、同期伝送網のデジタル多重化階梯に関する国際規格。
- *2 ATM : マルチメディア通信用に開発された、セルと呼ばれる固定長フレームを逐次転送する通信方式。
- *3 MANO : ETSIによって定められた仮想資源マネジメント機能の総称。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。



2019年度情報処理学会「業績賞」受賞

2020年6月3日に一般社団法人情報処理学会より、先進技術研究所（現在、クロステック開発部）の寺田 雅之、赤塚 裕人、サービスイノベーション部の石黒 慎^{†1}、深澤 佑介^{†2}は、「防災や交通渋滞等の社会課題解決に寄与する「リアルタイム人口統計」の開発実用化」の功績により業績賞を受賞しました。

業績賞は産業界における顕著な業績を顕彰するため、平成13年度に新設され、情報技術に関する新しい発明、新しい機器や方式の開発・改良、あるいは事業化プロジェクトの推進において、顕著な業績をあげ、産業分野への貢献が明確になったものに対して贈られるものです。

業績賞受賞の対象となったリアルタイム人口統計は、日本初のリアルタイムな国内人口分布統計です。約7,800万ユーザの通信を支える日本全国の携帯電話ネットワークの運用データから、日本全国の人口分布の推移を500mメッシュ単位で10分ごとに推計することができます。携帯電話ネットワークの運用データを用いた統計情報としては「モバイル空間統計」がすでに実用化されていますが、上記の高精度・リアルタイム性を実現するため、新たに大規模データの高速計算技術、時系列データ解析技術を確

立しました。加えて、ビッグデータの活用における最重要課題である「ビッグデータの活用とプライバシー保護の両立」の解決に向け、差分プライバシーと呼ばれる数学的安全性を備えた大規模データ向けプライバシー保護技術を確立しています。また、本統計の各産業分野への応用実績（AI渋滞予知、AIタクシーなど）では、リアルタイム人口統計と幅広い業界のデータを、AI予測モデルにより統合することで、渋滞予測精度の大幅な向上やタクシー需給の最適化、飲食店オペレーション最適化、シェアリング自転車の最適再配置などを実現し、日時によるデータ変動の激しい業界において高い実用価値を示しています。

これらの取組みにより、幅広い産業界での本統計の有用性を証明し、本統計がさまざまな社会課題を解決する新たなデータインフラとなる可能性を示したことが評価され、今回の受賞となりました。

†1 現在、クロステック開発部

†2 現在、総務部

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。



電子情報通信学会 第57回「業績賞」受賞

2020年6月4日に一般社団法人電子情報通信学会より、5Gイノベーション推進室（現、ネットワークイノベーション研究所）の中村 武宏、奥村 幸彦^{†1}、今井 哲朗^{†2}が、「第5世代移動通信システムの実用化」の功績により2019年度電子情報通信学会業績賞（口号）を受賞しました。

業績賞（口号）は電子工学および情報通信に関する新しい機器、または方式の開発、改良、国際標準化でその効果が顕著であり、近年その業績が明確になったものに対して贈られるものです。

対象業績の「第5世代移動通信システムの実用化」では、受賞した中村、奥村、今井は、将来のモバイルトラフィック需要に対して次世代の移動通信システム（5G）の確立が必要であることを、第4世代

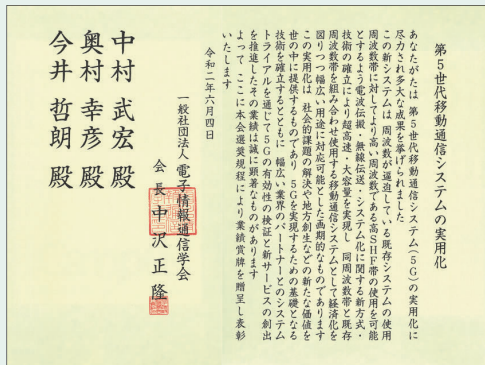
移動通信方式（LTE）が国内で導入された2010年の段階で見だし、高速・大容量、低遅延、多数端末接続などの特長をもつ5Gの実用化に向け、新たな技術・方式の検討を早期に開始するとともに、その後、9年間にわたり研究開発からサービス応用に至る幅広い取組みによる実用化を推進しました。

この実用化は、移動通信システムによる新たな価値を世の中に提供するものであり、これを実現するための礎となる5Gの新たな技術・方式を確立したことが評価され、今回の受賞となりました。

†1 現在、ドコモ・テクノロジー株式会社 携帯事業部 部長

†2 現在、東京電機大学 工学部 教授

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。



（左から）奥村，中村，今井

電子情報通信学会 第6回「末松安晴賞」受賞

2020年6月4日に一般社団法人電子情報通信学会の各選奨の受賞者が決定し、ネットワークイノベーション研究所の原田 浩樹が「第4世代及び第5世代移動通信システムの無線インタフェース物理レイヤデザインの標準化」に貢献したとして、第6回「末松安晴賞」を受賞しました。

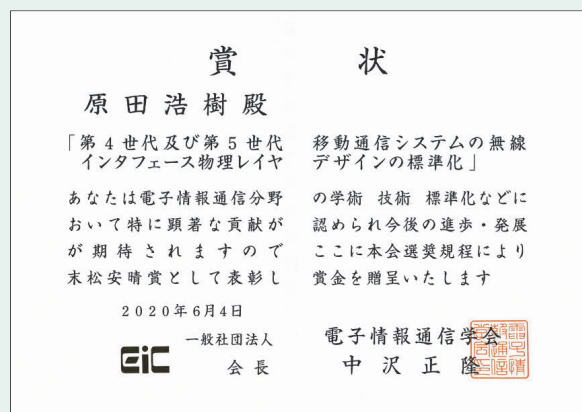
末松安晴賞は、電子情報通信分野における学術、技術、標準化などにおいて特に顕著な貢献が認められ、今後の進歩や発展が期待される若手研究者・技術者・実務家に授与されるものです。

原田は、第3世代以降の移動通信システムの国際標準仕様策定を担う3GPP (3rd Generation Partnership Project) において、第4世代 (LTEおよびLTE-Advanced)、第5世代 (5G) の無線インタフェースにおける物理レイヤデザインの標準仕様策定に従事してきました。具体的には、ネットワークを効率的に高密度化するための要素技術としての「スモー

ルセル発見・測定技術」、アンライセンス周波数をライセンス周波数と束ねて用いることで通信速度・容量を向上させる「LTE-LAA (Licensed-Assisted Access) 技術」の物理レイヤ仕様策定における多くの技術提案や意見のとりまとめに貢献しました。また、直近の5Gの初期仕様では、端末と基地局との間の接続確立処理や接続基地局選択処理に必要な初期アクセス技術・モビリティ技術の物理レイヤ仕様および端末性能規定の策定を推進したほか、5G端末の物理レイヤ機能実装全体に関する議論の議長を務め、仕様策定をまとめ上げました。

今回の受賞は、これらの活動を通じた移動通信システムの発展・実用化への多大な貢献が評価されたものです。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。



第31回電波功績賞 「総務大臣表彰」「電波産業会会長表彰」受賞

2020年6月24日に第31回電波功績賞の発表が行われ、代表取締役社長の吉澤 和弘が「第5世代移動通信システム（5G）の開発・実用化」についてKDDI株式会社、ソフトバンク株式会社と連名で総務大臣表彰を受賞しました。また、ネットワークイノベーション研究所の中村 武宏が「建物や車の外観を損なわない通信用ガラスアンテナの開発」についてAGC株式会社と連名で、北海道支社の河野 誠が「700MHzの終了促進措置に伴う周波数共有の推進」について一般社団法人700MHz利用推進協会、ソフトバンク株式会社、KDDI株式会社と連名で、それぞれ電波産業会会長表彰を受賞しました。

電波功績賞は、一般社団法人電波産業会（ARIB：Association of Radio Industries and Businesses）により、電波の有効利用に関する調査、研究、開発において画期的かつ具体的な成果をあげた者、あるいは電波を有効利用した新しい電波利用システムの実用化に著しく貢献した者に対して授与されるものです。今回の表彰では総務大臣表彰が3件、電波産業会会長表彰が5件受賞となりました。

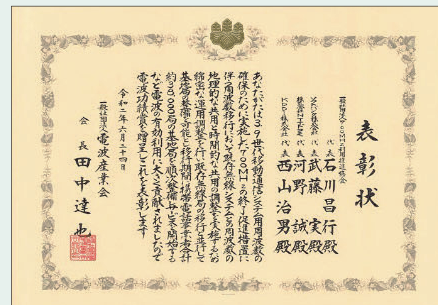
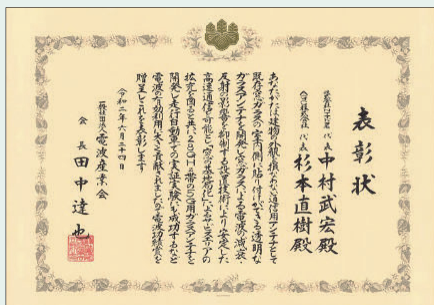
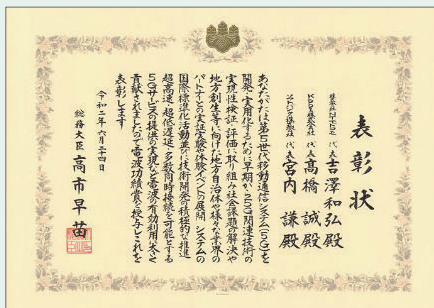
総務大臣表彰の「第5世代移動通信システム（5G）の開発・実用化」では、5Gを開発・実用化するた

めに、早期から5G関連技術の実用性検証・評価に取り組み、社会課題の解決や地方創生などに向けた地方自治体やさまざまな業界のパートナーとの実証実験や体験イベントの展開、システムの国際標準化活動ならびに技術開発の積極的な推進、高速・大容量、低遅延、多数端末接続を可能とする5Gサービスの提供の実現など、電波の有効利用に大きく貢献したことが評価されました。

電波産業会会長表彰の「建物や車の外観を損なわない通信用ガラスアンテナの開発」では、建物の外観を損なわない通信用アンテナとして窓ガラスの室内側に張付けできる透明なガラスアンテナを開発し、窓ガラスによる電波の減衰・反射の影響を抑制する設置技術により、安定した高速通信を可能とし、「窓の基地局化」によるサービスエリアの拡充を図るとともに、28GHz帯の5G用ガラスアンテナを開発し、走行自動車での実証実験にも成功するなど、電波の有効利用に大きく貢献したことが評価されました。

同じく電波産業会会長表彰の「700MHzの終了促進措置に伴う周波数共有の推進」では、3.9世代移動通信システム用周波数の確保のために実施した700MHzの終了促進措置に伴う周波数移行において、既存無線システムとの周波数の地理的な共用と時間的な共用を実現するために綿密な運用調整を行い、既存無線局の移行と並行して基地局の整備を可能とし、移行期間に携帯電話事業者合計で約38,000局の基地局を順次整備しサービスを開始するなど、電波の有効利用に大きく貢献したことが評価されました。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。



「KDD CUP 2020」入賞

2020年8月27日に、クロステック開発部の落合桂一、田中 宏昌、サーブイノベーション部の勝丸 徳浩、川嶋 克明、川名 昭博、小泉 大輔^{†1}、酒井 俊樹、千田 拓矢^{†2}、出水 宰、福島 悠介、横山 啓太、若元 亮樹、橋本 雅人、ドコモ・テクノロジー社の鈴木 浩之の14名が、データ分析競技会であるKDD CUP 2020にて3部門において、それぞれ世界第3、4、7位に入賞し表彰されました。

KDD CUPはアメリカ計算機学会（ACM：Association for Computing Machinery）が主催するデータマイニング関連の国際会議KDD（Knowledge Discovery and Data Mining）で開かれるデータ分析競技会で、1997年、まだビッグデータやデータサイエンティストという言葉が無い時代から続く世界最高峰かつ最も歴史のあるデータ分析競技会です。

本大会は公開されたビッグデータを活用して、データ分析の精度などを競う世界大会です。2020年は6つの部門に分かれて実施され、世界中から企業、団体、個人、延べ4,000チーム以上が参加し、下記のとおり受賞いたしました。

- ・3位入賞強化学習部門：オンデマンド交通におけるタクシーの再配置AIの開発（出水、勝丸、鈴木）

本部門は、「強化学習」を活用し空車の車両をAIが再配置することで、各ドライバーの収益効率性の最大化を競うものであり、入賞した出水らのチームは先行研究を基に強化学習により時間別、エリア別の収益傾向を自ら学習し、収益を最大化させる配車パターンを提案するAIを開発しました。また、与えられた過去の配車実績や走行記録といったデータから車両運行のシミュレータを構築しAIを効率良く学習させることで、高精度かつ安定的な配車制御を行うことに成功しました。

- ・4位入賞機械学習部門：偽のデータによる攻撃と防御AIの開発（落合、田中、川名、千田、横山、小泉）

本部門は、論文の引用関係のような対象物と対象物との関係性の分類を行うAIに対し、偽のデータを紛れ込ませることでAIに誤った分類をさせる攻撃方法と、偽のデータによる攻撃を受けても正しく対象物を分類する防御方法の、2つのAI手法の開発で競うものです。

落合らのチームは、画像認識で主に用いられる、データをわずかに変化させることで誤認識させる手法を応用した攻撃手法と、対象物との関係性ネットワークのデータ用に開発されたニューラルネットワークの手法を利用した防御手法を開発しました。これらを主催者が提供する対象物数60万個のデータに適合させることで高い分類精度を維持することに成功しました。

- ・7位入賞機械学習部門：オンラインショップの商品検索で、ユーザが興味のある商品を当てるAIの開発（酒井、若元、福島、川嶋、橋本）

本部門は、オンラインショップの商品検索で、ユーザが入力した文から、ユーザがクリックする商品の画像を当てる手法の開発で競うものです。

翻訳などの言語処理で広く使われているBERT（Bidirectional Encoder Representations from Transformers）というディープラーニングの手法を改良し、画像に含まれる物体と検索文中の単語を結び付けられるAIを開発し、画像に含まれる物体の種類を表す単語の情報を用いて、検索文と画像の対応関係を学習するAIを開発しました。これらの複数のAIを使うことで、高い精度でクリックする商品の画像を特定することに成功しました。

ドコモは2016年からKDD CUPへの参加を続け、今回の入賞は2019年の優勝に続き2年連続、3回目の入賞となります。ドコモでは多数のデータサイエンティストを擁し、日頃からパートナー企業との協業の中で、AI・ビッグデータを有効活用し、さまざまな課題の解決に取り組んできたことが、今回の受賞につながりました。

本大会で評価された世界最高レベルのAI・ビッグデータ分析技術を活用し、AI・ビッグデータ活用ビジネスの拡大とともに社会課題解決の取組みを促進していきます。

†1 現在、ドコモ・テクノロジー株式会社へ出向中。

†2 現在、NTTセキュリティ・ジャパン株式会社へ出向中。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

第65回「前島密賞」受賞

ネットワークイノベーション研究所の永田 聡は、「第5世代移動体通信システムの実用化に向けた国際標準仕様策定」への功績が認められ、公益財団法人通信文化協会より第65回「前島密賞」を受賞し、贈呈式が2020年9月18日に行われました。

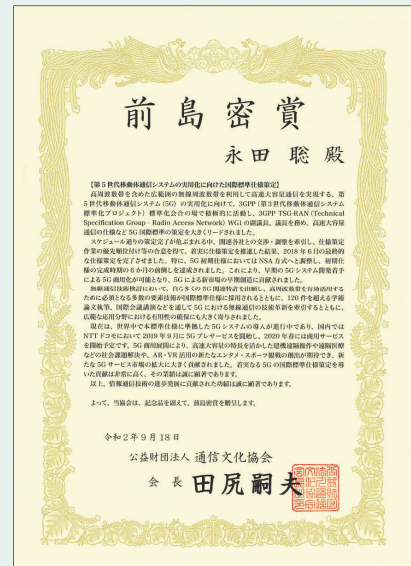
前島密賞とは、通信事業の創始者「前島 密」氏の功績を記念し、その精神を伝承発展せしめるため1955年に設けられ、情報通信および放送の進歩発展に著しい功績があった者に、公益財団法人通信文化協会により授与されるものです。ドコモは、昨年の「複数ベンダのEPCソフトウェアが動作可能なネットワーク仮想化技術の実用化」に続き10年連続の受賞となりました。

受賞の対象となった「第5世代移動体通信システムの実用化に向けた国際標準仕様策定」は、高速・大容量通信を実現する第5世代移動体通信システム(5G)の実用化に向けた、永田による5G国際標準

化活動への貢献に関するものです。

永田は、3GPP (3rd Generation Partnership Project) 標準化会合の場で積極的に活動し、3GPP TSG-RAN (Technical Specification Group - Radio Access Network) WG1の議長や副議長を務め、5G国際標準の策定をリードしました。特に5G初期仕様において、ノンスタンドアロン方式の仕様策定へと調整することで6カ月の前倒しを実現し、2017年12月に初期仕様を完成させました。その後も着実に仕様策定を推進した結果、2018年6月に最終的な仕様策定に成功しました。永田のこれらの活動による早期の5G商用化、5Gによる新市場の早期創造への貢献が評価され、今回の受賞となりました。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。



2020年「日本ITU協会賞」受賞

2020年10月6日に開催された「第52回世界情報社会・電気通信日のつどい」において、サービスイノベーション部の青野 博が日本ITU協会賞「功績賞」を、ネットワーク開発部の石川 寛と中島 佳宏、R&D戦略部の奥山 卓、無線アクセス開発部の戸枝 輝朗が日本ITU協会賞「奨励賞」を受賞しました。

日本ITU協会賞は、電気通信／ICTと放送分野に関する国際標準化や国際協力の諸活動において、これまでに優れた功績を遂げられた者ならびに今後の貢献が期待される者に贈呈されるものです。中でも、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および国際標準化、国際協力に関するITU (International Telecommunication Union) などの活動または我が国のITUなどに関連する諸活動に貢献し、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。また、奨励賞は、功績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。

青野は、長年にわたり、3GPP TSG WG SA3 (3rd Generation Partnership Project Technical Specification Group Working Group Service and System Aspects 3) におけるモバイルネットワークのセキュリティ向上に向けた標準化に尽力するとともに、ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) を通じ、セキュリティ標準化活動の最新動向を日本の通信業界へ展開することに貢献した功績が認められ、功績賞を受賞しました。

石川は移動通信システムにおけるサービス要求条件・アーキテクチャの専門家として、ETSI TISPAN (European Telecommunications Standards Institute Telecoms & Internet converged Services & Protocols for Advanced Networks) においてはIMS (IP Multimedia Subsystem)*1を移動体アクセス以外でも活用できるよう、3GPPにおいてはDSAC (Domain Specific Access Control)*2の導入・IMSの高度化と5GCプロトコル仕様策定、GSMA (Global

System for Mobile communications Association) においては5Gローミング時の制御に用いるプロファイル仕様策定に大きく貢献したことで、今後の3GPPおよびGSMAへの貢献を期待され、奨励賞受賞となりました。

中島はETSI ISG NFV (Industry Specification Group Network Functions Virtualisation) の副議長として、オペレータやベンダ各社をリードし、NFVの進化の方向性の合意形成や標準化を推進するなど (Release-4策定に貢献)、標準化団体の運営向上に貢献し、MANO (Management and Orchestration)*3機能群のインタフェース仕様、およびテスト仕様の品質の向上 (開発からのフィードバック) に貢献したことで、将来、さらなるNFVの進化や仮想化基盤を前提とした5Gのネットワークの実現にむけた国際標準化活動への貢献を期待され、奨励賞受賞となりました。

奥山は、3GPPにおけるLTE-Advanced高度化およびNRの標準化において、基地局装置にかかわる各種無線仕様の策定に貢献しました。また、xRAN ForumおよびO-RAN Alliance (Open RAN Alliance) における基地局フロントホールインタフェースの標準化を行い、異なるベンダの装置接続を可能とする標準仕様の策定に貢献し、今後は、標準化活動で培った経験を活かし、グローバルな議論を推進できるリーダー的な人材として、モバイル技術や産業の発展に寄与することを期待され、奨励賞受賞となりました。

戸枝は3GPPにおいて、5G NRのWork Itemレポートとして、5G時代の基地局装置構成に適した無線ネットワークアーキテクチャの標準仕様の策定に貢献し、また、O-RAN Allianceにおいて、マルチベンダ接続を可能とする無線アクセスネットワークのインタフェース仕様の策定に貢献し、今後はこれまでの経験を活かし、さまざまな場において、グローバルに議論を推進するリーダーとして、モバイル技術・産業の発展に寄与することを期待され、奨励賞受賞となりました。



(左から) 奥山, 青野, 石川, 中島

- *1 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。
- *2 DSAC: 回線交換とパケット交換をそれぞれ独立してアクセス規制する機能。
- *3 MANO: 欧州電気通信標準化機構によって定められた仮想資源マネジメント機能の総称。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

NTT DOCOMO
テクニカル・ジャーナル Vol.28 No.3

2020年10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

発行 一般社団法人 電気通信協会
〒101-0003
東京都千代田区一ツ橋 2-1-1
如水会ビルディング6階

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社名、製品およびソフトウェア、
サービスなどの名称は、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。

© 2020 NTT DOCOMO, INC.