

NTT DOCOMO

テクニカル・ジャーナル

Technical Journal

Vol.26 No.3 | Nov. 2018

DOCOMO Today

- 5G+AI時代に挑むイノベーション

Technology Reports (特集)

新AIエージェント特集

- ドコモAIエージェント・オープンパートナーイニシアティブ
- ユーザの自然言語指示を実行可能なサービスに変換する多目的対話エンジン
- ユーザの行動を能動的にサポートする先読みエンジン
- さまざまなIoTデバイスをクラウドから制御可能とするIoTアクセス制御エンジン

Release 15標準化特集

— 完成した5G初版仕様とLTE/LTE-Advancedのさらなる高度化 —

- 3GPP Release 15標準化技術概要
- 5GにおけるNR物理レイヤ仕様
- 5GにおけるNR上位レイヤ仕様
- 5GにおけるRF性能／無線リソース制御仕様
- 5G時代のネットワークマネジメント仕様

Technology Reports

- GSMA eSIM仕様に準拠したLPAアプリケーションの開発

5G+AI時代に挑むイノベーション



ドコモ北京研究所 所長

陳 嵐

ドコモは協創を掲げ、5GとAIによるお客様へのさらなる便利かつ快適な生活の提案とともに、新しい市場の開拓、また産業の促進を展開しています。その中でドコモ北京研究所（以下、北京研）は、ドコモのイノベーションにおける強力エンジンとして、日々チャレンジし続けています。

中国も日本と同じく2020年までの5G商用化に向け、政府指導の下、オペレータ、ベンダが連携して技術開発、大規模試験が急ピッチで進められています。AIにおいて、政府は2030年までの世界のAIの頂点をめざし、産官学連携を促進しています。人材の面では、高い学習能力、適応能力、向上心をもつハイテク人材が年々増えています。

このような「地の利、天の時、人の和（場所的、タイミング的、人材的有利という意味）」に恵まれている北京研は多くのチャンスを先取り、研究領域も無線通信の1本柱から、「5G and beyond」を中心とした無線通信とAIの2本柱に転換し、先行研究から応用研究へ拡大してきました。

無線通信では、ドコモの持続的な発展のために骨太の無線技術の蓄積とともに、将来のネットワークに必要な技術の標準化も推進しています。3GPP Release 15 RAN1において北京研がMassive MIMO、チャンネル符号化、制御チャンネル設計などの要素技術もリードし、ドコモ寄書総数の4割に達しました。

また、スマートライフの分野に貢献するため、自然言語処理、計算機視覚分野の最先端をいく大学や研究機関との共同研究を通じて、技術を素早く吸収し、爆速で成果を創出しています。

一方、5Gグローバルのエコシステムを実現するためには、日中間の周波数ハーモナイゼーションが大変重要です。政府機関とのハイレベルな方々による意見交換会の企画や、中国情報通信研究院が主導するIMT-2020推進組への参画（外国オペレータ初）、ベンダとの4.4～4.9GHzの実証実験などを通じて推進しています。さらには、中国ベンダの先進技術、例えば音声認識・翻訳のソリューションなどを本社関連部門の要望に応じて提供、およびサポートもしています。

これらを支えているのは、北京研イノベーションの3つの実践です。

①結果にコミットできるイノベーション

「言必信行必果（約束したものは必ずやり遂げるという意味）。研究開発成就のためには、結果にコミットする責任をもつことが欠かせません。例えば、インフラの点検用のドローン画像解析については、お客様の要望通りの結果を出すことを何よりも重視しました。対応にあたってはAI部門の人材不足を補うため、無線部門の人材の転用など、今までにない発想で部門の垣根を越えた「創新」を行い、1カ月以内という短い期間で、オーダー通りの質の高い成果を出すことができました。

②スピーディなイノベーション

「工欲善其事，必先利其器（職人が立派な仕事をしたいと思ったらまず道具を研ぐという意味）。標準化の場において、ライバル他社にドコモ提案の優位性を、事実（評価結果）をもって説得するため、シミュレーション評価プラットフォームについて正確性を確保しつつスピーディに機能拡張をしています。このアセットがあるからこそ、2カ月おきに開催される標準化会合において技術提案や評価結果をタイムリーに提出できました。

③勇気のあるイノベーション

「知難而上，激流勇進（困難を恐れずに前進するという意味）。上りの非直交アクセスの標準化が開始される前に、多くの会社から10種類以上の技術が提案されていました。こうした状況において、無線通信の技術理論を深掘し、送信電力の差異をフルに活用した最尤シーケンスを設計し、ドコモの技術優位性を確立しました。

「知之者不如好之者，好之者不如樂之者（知る者より好む者，好む者より楽しむものが勝っているという意味）。イノベーションし続けられるのは、研究者たちのパッションによるところが大きいといえるでしょう。

お客様が「やはりドコモだ」と納得し、選んでいただけるサービスを今後も提供し続けるため、北京研はVery goodからExcellent、そしてTopレベルへたゆみなく挑戦を続けます。

[Contents]

DOCOMO Today



5G+AI時代に挑むイノベーション 陳 嵐 1



特別寄稿

常識の先のメディア 山口 雅浩 4

Technology Reports (特集)

新AIエージェント特集

ドコモAIエージェント・オープンパートナーイニシアティブ 06

AIエージェント オープンパートナー 音声AI

ユーザの自然言語指示を実行可能なサービスに変換する
 多目的対話エンジン 12

AIエージェント 自然言語処理 音声認識/合成

ユーザの行動を能動的にサポートする先読みエンジン 20

AIエージェント 先読み パーソナライズ

さまざまなIoTデバイスをクラウドから制御可能とする
 IoTアクセス制御エンジン 27

AIエージェント デバイスWebAPI IoT

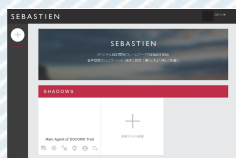
Release 15標準化特集 —完成した5G初版仕様とLTE/LTE-Advancedのさらなる高度化—

3GPP Release 15標準化技術概要 37

5G NR LTE

5GにおけるNR物理レイヤ仕様 47

5G 物理信号・チャネルデザイン NR物理レイヤ



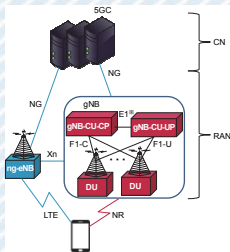
(P.12)



(P.27)



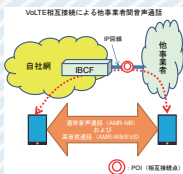
(P.37)



(P.59)



(P.95)



(P.104)

5GにおけるNR上位レイヤ仕様 59

5G NR NR上位レイヤ

5GにおけるRF性能／無線リソース制御仕様 74

5G NR 無線性能／制御仕様

5G時代のネットワークマネジメント仕様 89

5Gシステム ネットワークスライシング ネットワークマネジメント

Technology Reports

GSMA eSIM仕様に準拠したLPAアプリケーションの開発 95

eSIM LPA ワンナンバーサービス

Topics

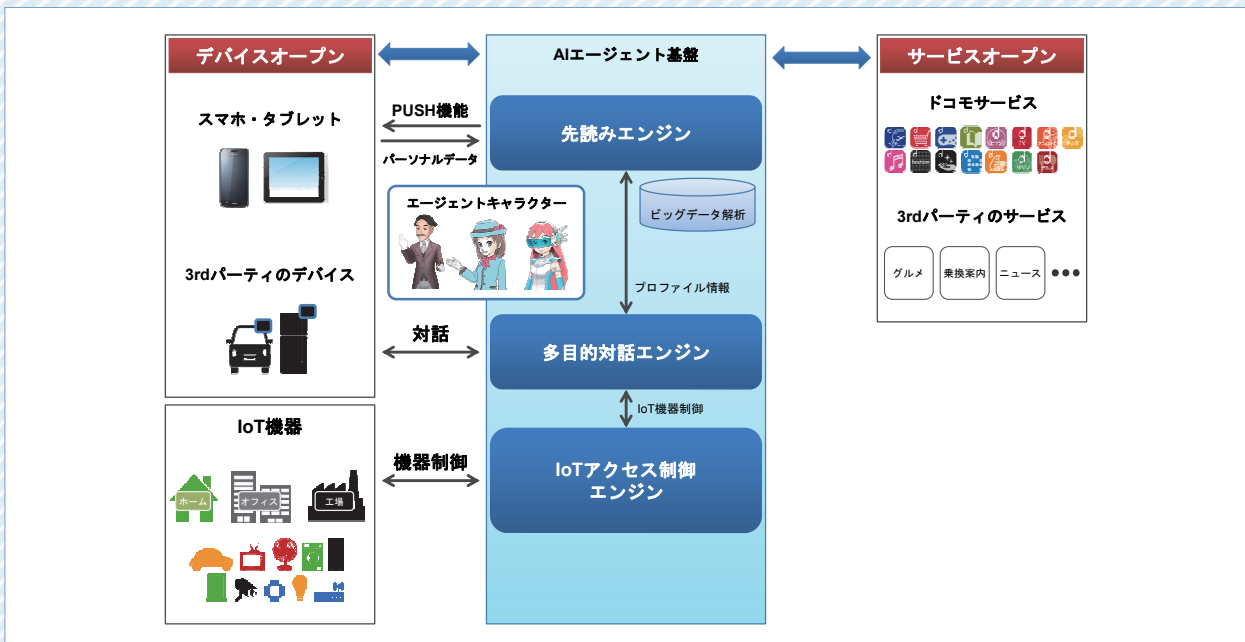
VoLTE相互接続の提供 104

VoLTE IP相互接続 ENUM

News

第29回電波功績賞

「総務大臣表彰」「電波産業会会長表彰」受賞 108



Technology Reports (特集) ドコモAIエージェント・オープンパートナーイニシアティブ (P.6)
AIエージェント基盤の構成

常識の先のメディア

東京工業大学 工学院 教授 やまぐち まさひろ 山口 雅浩さん

ディスプレイのカラー画像が、赤 (Red)・緑 (Green)・青 (Blue) の三原色で成りたっていることは、色に関する常識の1つである。人間が三種類の視細胞で色を知覚しているからだ。一方で、「RGB (Red, Green, Blue) の光を混ぜ合わせれば、すべての色が表示できる」といった記述を時折見かけるが、これは誤りだ。もう少し詳しい知識があれば、RGBだけではディスプレイに表示できない色があることが分かる。RGBの原色より鮮やかな色は、光の加法混色では表示することはできないのだ。

筆者が多原色ディスプレイの研究を国際的な学会で発表したのは1998年であったが [1]、すでにその数年前にホログラフィーの研究の中で、多原色ディスプレイのもとになる分光ディスプレイ*1の概念を着想していた。しかしその時点では、色は三原色という常識にとらわれていたため、研究として進展しなかった。

その後、カメラやディスプレイによる映像システムの色再現能力を高めるには三原色だけでは不十分で、分光イメージング*2の応用が有効であることを知り、多原色ディスプレイの意義を認識するに至った。そして本格的な研究に取り組むことになり、上記の発表につながった。当初から三原色という常識にとらわれていなければ、より早く成果を得て、異なる展開につながったかもしれない。

多原色ディスプレイの発表後は、画像撮影からディスプレイ表示まで分光イメージングや多原色技術を融合し、既存の三原色の枠組みを超えた「スペクトルに基づく映像色再現システム」[2]の開発を進めることになった。

分光映像技術は、実物に忠実な色を高精度に再現することに加え、「異なる照明環境の下での色がどうなるか」「撮影環境に依存せず色を数値的に解析できないか」「見た目では同じ色でも材質の違う物体を見分けられないか」といった課題への有効なアプローチになる。分光映像技術を用いたセンサは、今後携帯端末のセンサデバイスとしても搭載すればさまざまな応用に発展する可能性がある。

このように従来の三原色という常識を超えた色表

現ができる新しいメディアは大きな意義があるが、その有効性を伝えることは簡単ではない。理論的な説明だけでは当然限界があるので、デモンストレーションを行うことが必要であるが、現在使われているメディアは三原色のシステムなので多原色の良さを見せられない。つまり既存メディア上では新しいメディアを体験できないというジレンマがあるのだ。しかし、実際にデモンストレーションによっていったん新しいメディアを体験すると既存のものでは満足できなくなる、といった感想が多数ある。未知のメディアの実体験をいかにして可能にするか、常識の先にあるメディアを具現化するために労力を割かなければならない。

立体 (3D) 映像も今後の視覚メディアの有力な方向性である。3Dディスプレイといえば、右目と左目で違う映像を見せるという理解が一般的である。一方、ホログラフィーやライトフィールドディスプレイ*3は、右目・左目で違う映像を見るといった考え方とは異なり、物体から発する光をそのまま再現すれば、観察者には実物を見ている場合と同じ光が届くという仕組みになっている。「立体的に見える映像を表示」するのではなく、ディスプレイという窓を通じて「3次元の空間を再現」する技術と言える。実物の質感をそのままに、あるいは仮想的な物体を、あたかも実物がそこにあるかのように空間として知覚できる。

ホログラフィーやライトフィールドは新しい技術ではないが、デバイスや処理能力の進歩に伴って、実用可能になる時期が近づいている。従来のディスプレイでは、表示画面から一定距離だけ離れた位置から映像を鑑賞する。これに対してライトフィールドやホログラフィーのような空間を再現するディスプレイは、スクリーンの向こう側に別世界を造り出し、ディスプレイのすぐ前から覗き込むといった、従来の常識的な映像観察とは全く異なる見方が可能になる。このようなディスプレイが普及したら、果たしてどんな視覚体験を提供できるのだろうか。

ホログラフィーは、光の干渉と回折の現象を利用して波面を再生する技術であり、専門的には、光線によって空間を再現するライトフィールドとは原理



Profile

1989年東工大物理情報工学専攻修士修了，同年より東工大像情報工学研究施設助手。その間1994～1995年アリゾナ大学客員研究員。1996年同助教授，准教授を経て2011年同学術国際情報センター教授，2016年より同工学院教授。3次元・カラー画像工学，分光画像，ホログラフィー，病理画像解析，ICカード関連システムなどの研究開発に従事。1999～2006年通信・放送機構（現NICT）赤坂ナチュラルビジョンRC・サブリーダ兼務。2011～2017年CIE TC8-07 Multispectral Imaging 技術委員会主査。博士（工学）。

が異なるという考え方が常識である。ところが，そのような常識に縛られなければ光線と波面のハイブリッドな方式を考えることもできて，波面再生の概念だけでは表現が難しい，透明感や光沢感・質感などもつ映像を再現することも可能になる [3]。

ホログラフィーの技術を用いると，レンズやミラーのような光学素子の機能を薄いシート状の素子で実現できる。一般的なディスプレイは表示画面の枠の中に映像を表示するが，ホログラフィーの技術を用いて作成した光学素子（ホログラフィック光学素子と呼ばれる）を用いると，画面の枠なしに空中に映像を表示することもできる [4] [5]。画枠がなく空中に浮かぶ像は，平面像であっても立体感をもたらすため，このような映像技術は従来に無い効果をもつ映像メディアになり得る。

ホログラフィック光学素子は，ディスプレイだけでなくカメラによる画像入力へも応用することができる。現在，多くの情報端末はディスプレイとカメラを備えている。ビデオ通話や自撮りの際には画面を見ながらカメラでユーザの顔を撮影する。カメラはディスプレイの上方に付いていることが多いのでビデオ通話の場合，斜め上から撮影した映像になり，視線が下向きで通話の相手と視線が合わない。映像を加工してあたかも相手を見ているように作り変えるソフトもあるが，もしディスプレイとカメラを同じ場所に配置できれば，本当に相手と視線が合っている映像を撮ることができる。ホログラフィック光学素子は薄いシート状の素子であり半透明鏡の機能をもてるので [5]，ディスプレイ表面などに貼り付けることでカメラ機能をもたせることができ，画面を注視している自分の顔を正面から撮影することが可能になる。

従来の常識の先にあるメディア技術。拙い文章では到底伝わらないと思うが，筆者らの取組みを中心に紹介した。今後はさらに従来の発想では想像できない新しいメディアを創造していかないとメディア技術の将来は無い。そして今やインフラであるスマートフォンや携帯端末の領域から目に見える形で具現化することで，そのインパクトを明らかにし，さらには新たな発想のコンテンツや使い方も開拓していくことを期待したい。

文 献

- [1] M. Yamaguchi, T. Ajito and N. Ohyama : "Multiprimary color display using holographic optical element," Proc. SPIE, Vol.3293, pp.70-77, Mar. 1998.
- [2] M. Yamaguchi, H. Haneishi and N. Ohyama : "Beyond Red-Green-Blue (RGB) : Spectrum-Based Color Imaging Technology," Journal of Imaging Science and Technology, Vol.52, No.1, pp.010201 01-15, Jan. 2008.
- [3] S. Igarashi, T. Nakamura, K. Matsushima and M. Yamaguchi : "Efficient tiled calculation of over-10-gigapixel holograms using ray-wavefront conversion," Opt. Express, Vol.26, No.8, pp.10773-10786, Apr. 2018.
- [4] M. Yamaguchi : "Full-Parallax Holographic Light-Field 3-D Displays and Interactive 3-D Touch," Proc. of the IEEE, Vol.105, No.5, pp.947-959, Jan. 2017.
- [5] 木村 真治，中村 友哉，高橋 俊介，五十嵐 俊亮，虎島 史歩，山口 雅浩，油川 雄司：“ホログラフィック光学素子を用いた映像コミュニケーションシステムに関する研究。”電子ディスプレイ研究会，信学技報，2018.

*1 分光ディスプレイ：通常のディスプレイでは三原色で色を表示するので，表示される光のスペクトルは実物から発する光と異なる。これに対して分光ディスプレイでは，ディスプレイの各画素で任意のスペクトルを表示できるので，実物と同じスペクトルの表示も行える。人間の視覚特性の研究や，撮像装置の特性評価などに用いられている。多原色ディスプレイは，4以上の原色で色を表示するものであるが，ある程度原色数が多ければ分光ディスプレイとしても使うことができる。

*2 分光イメージング：光の波長ごとに多数のチャンネルで画像を取得し，表示・解析などに活用する技術。このようにして取得された画像を分光画像と呼ぶ。人工衛星から地表を撮影するリモートセンシング，医療や生体の解析を行うバイオイメージング，農業や食品の品質管理，高精度な色再現などに利用されている。近年では画像認識技術と融合した車載センサなどへの応用についても検討が進んでいる。

*3 ライトフィールドディスプレイ：ライトフィールドとは，空間上のある一点を通してさまざまな方向に進む光を，空間上の位置と進行方向ごとに記述した表現形式で，カメラ・ディスプレイ・コンピュータグラフィックスなどにおいて3次元映像情報を扱う数学的モデルとして用いられる。ライトフィールドカメラで画像を撮影するとさまざまな方向に進む光線を取得できるので，画像撮影した後で焦点を合わせる位置を調節することができる。ライトフィールドディスプレイは，3次元空間内をあらゆる方向に進む光線を再生し，あたかもそこに実物があるかのように感じられる立体表示を行える。

ドコモAIエージェント・ オープンパートナーイニシアティブ

サービスイノベーション部

おおば	たかのぶ	あさい	ひろき
大庭	隆伸†	浅井	洋樹
あきなが	よしかず	キム	ガヒ
秋永	和計	金	加喜

イノベーション統括部

ドコモは中期戦略2020「beyond宣言」の中で、お客さまのライフスタイルを革新する新AIエージェントの提供を掲げ、その取組みの第一弾としてドコモAIエージェント・オープンパートナーイニシアティブを発表した。これは音声対話型のアシスト機能、およびハードウェアをパートナー企業との協創により作り上げていくものである。本稿ではAIエージェントがめざす世界観と各種の取組みについて解説する。

1. まえがき

スマートフォンの普及と、音声認識および自然言語処理技術*1の向上により、音声対話を介してユーザをアシストするサービスが急速に普及した。Apple社のSiri®*2、ドコモのしゃべってコンシェルなど代表例として挙げられる。

さらに、近年、スマートスピーカーと呼ばれる新しいハードウェアの登場に注目が集まっている。例えばAmazon社のAmazon Echo*3では、AlexaというAIシステムが組み込まれたスピーカーに向かって話しかけると、それに応じた音声アシストサービ

スを受けることができる。また、Google社は同社の音声アシスト機能を提供するGoogleアシスタント™*4に接続されたスマートスピーカーGoogle Home™を販売。そして、LINEはクラウドAIプラットフォームClova*5を用いたスマートスピーカーWAVEを発売し、スマートディスプレイFACEの発売も予定している。

このような中、ドコモは中期戦略2020「beyond宣言」の中で、お客さまのライフスタイルを革新する新AIエージェントの提供を掲げ、その取組みの第一弾として2017年6月にドコモAIエージェント・オープンパートナーイニシアティブを発表した [1]。

©2018 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

† 現在、日本電信電話株式会社 メディアインテリジェンス研究所

*1 自然言語処理技術：人間が日常的に使っている言語（自然言語）をコンピュータに処理させる技術。

*2 Siri®：米国および他の国々で登録されたApple Inc.の商標。

*3 Amazon Echo：Amazon, EchoおよびAlexaはAmazon.com, Inc またはその関連会社の登録商標。

これは音声対話型のアシスト機能およびハードウェアをパートナー企業との協創により作り上げていく取組みである。

本稿では、AIエージェントの特徴とそれを実現する基盤を解説し、さらにドコモAIエージェントAPIを活用したビジネス展開とパートナーシップについて述べる。

2. AIエージェントがめざす世界

従来の音声アシストサービスでは、1つの人格を持ったキャラクター（以下、エージェント）がユーザーのあらゆる要求に応えることを指向した設計となっている。全知全能のエージェントの構築をめざしているとも解釈できるが、現実には、1社がもつアセットのみで音声アシストを通して提供できる機能やサービスには限界がある。

この問題をオープンなプラットフォームの提供により解決する取組みが進められている。

Alexaでは、Skillと呼ばれる個別の機能やサービスをAlexaに登録することができる。これにより任意の開発者がAlexaの機能を拡張することができる。つまりSkillは、各社が各々のサービスを、自由にAlexaを通して提供するための仕組みとなっている。

AIエージェントにおいてもSkillと同様の機能が含まれている。Alexaでは、他社のサービスであってもAlexaというエージェントが提供するのであるが、AIエージェントではここが違っている。各社にエージェントのキャラクター性に対する自由度を与え、おのおののエージェントがそれぞれのサービスを提供する。これにより、多くのエージェントが存在することになり、彼らが力を合わせてユーザーをサポートする。これは、各企業やお店のサービスはその店員から受ける、分からないことは知っている人に聞く、といった人間社会のアナロジーを取り込んだものである。

AIエージェントは、エージェントがメインエージェントとエキスパートエージェントの2つに大別される。

- ・メインエージェントとはユーザーに寄り添うパートナーといった位置づけで、ユーザーがスマートスピーカー、スマート家電などのデバイスに話しかけた際に最初に登場するエージェントである。そのメインエージェントについても、各社が販売する独自のデバイスに、ドコモの提供するエージェントではなく、各社独自のキャラクター性を持ったエージェントを構築できるようになっている。最初に登場させることができるようになっており、これをデバイスオープンと呼んでいる。
- ・一方のエキスパートエージェントはメインエージェントから呼び出される形で登場する。特定の分野の専門家として作成され、例えば各企業やお店の店員エージェントが想定される。このようにユーザーが必要な時にエージェントを呼び出し、各社のサービスを受けられる機能をサービスオープンと呼んでいる。

このような異なるキャラクター性を持った多くのエージェントが登場するという特徴は、パートナー企業との協創により新たな価値を生み出していくという目的を達成する上で重要な役割を担っている。企業において、もしくはサービス提供において、ブランドイメージは極めて重要である。その窓口となるエージェントは、ブランドイメージに直結する。AIエージェントというドコモのアセットをパートナー企業にご利用いただくにあたり、各社オリジナルのキャラクター性もたせられることで、ドコモのブランドが先行することなく、これまで各社が育ててきたブランドでサービスを提供することができる。特に日本ではマスコットをもった企業が多いが、そうしたマスコットをそのまま登場させることもできる。

*4 Googleアシスタント™：GoogleアシスタントおよびGoogle home™はGoogle LLCの商標。

*5 Clova：ClovaおよびWAVEはLINE株式会社の登録商標。

3. ドコモAIエージェントAPI

ドコモAIエージェント・オープンパートナーイニシアティブでは、AIエージェントの世界観を構成するための中心的なシステムとして、ドコモAIエージェントAPI*6を提供している。

ドコモAIエージェントAPIは、多目的対話エンジン、先読みエンジン、IoTアクセス制御エンジンの3つから構成される（図1）。

①多目的対話エンジンは、AIエージェントの世界観を実現するための中心的な役割を果たす音声対話システムである。音声対話するエージェントを作成するため、音声認識、自然言語理解、音声合成*7が一括で提供されている。また、音声だけでなくテキスト入力も可能である。多様

なエージェントの個性（キャラクター）にふさわしい声をつくることができるように、さまざまなモデルが登録されている。

②先読みエンジンは、多種多様な情報を集約・解析し、各ユーザのプロファイル*8情報を分析、利用するためのエンジンである。収集する情報には、ユーザの行動に紐づくものや、天気、公共交通機関の運行情報、災害などといった公共性の高いものも含まれる。こうした情報を分析して、タイムリーに必要な情報を必要な人に届けることが目的である。

③IoTアクセス制御エンジンは、宅内のIoTデバイスをインターネット網から利用するためのものである。それぞれ仕様の違うIoTデバイスを統一のフォーマットでコントロールするための

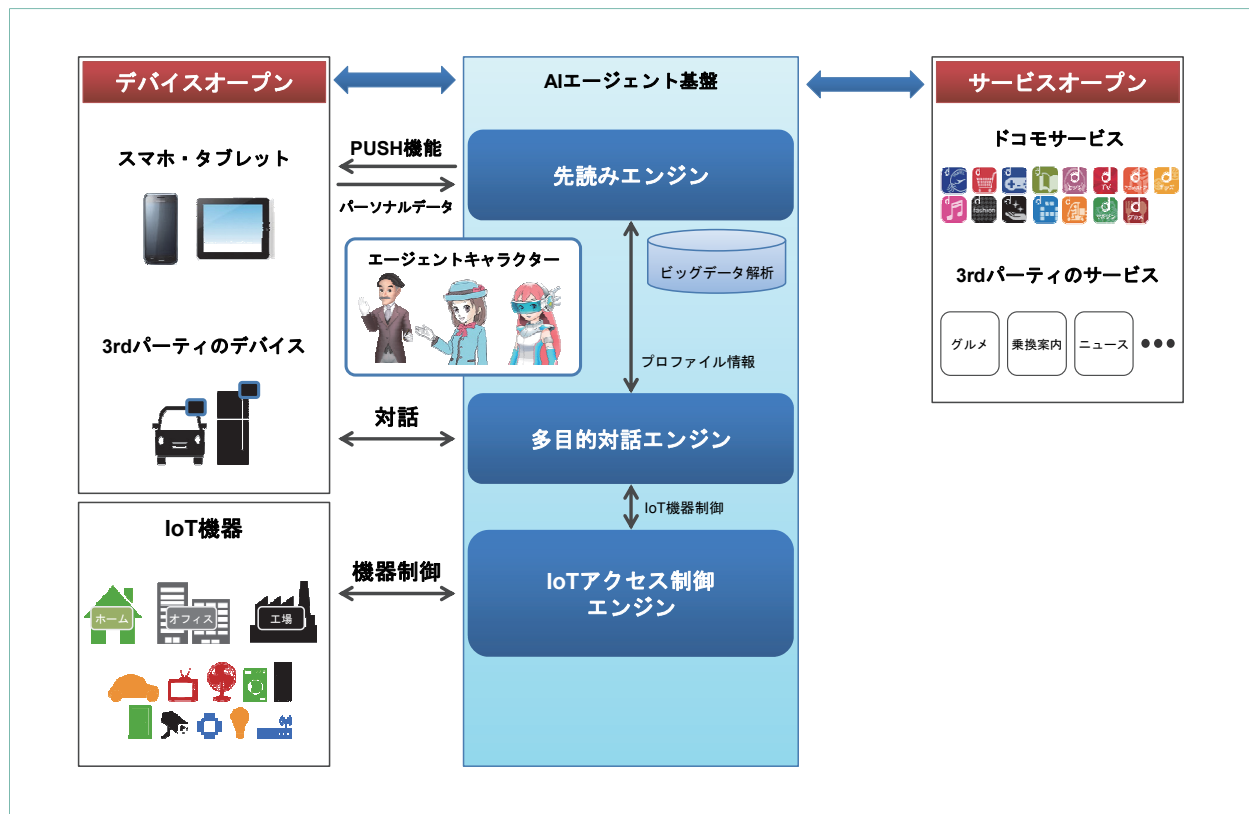


図1 AIエージェント基盤の構成

*6 API：ソフトウェアの機能を他のプログラムから利用できるように切り出したインタフェース。

*7 音声合成：テキストから人工的に音声データを作り出し、テキストを読み上げできるようにする技術。

*8 プロファイル：ここではユーザの居住地域や趣味嗜好などのシステムの操作履歴から推定される情報のこと。

ソフトウェアDeviceConnectを採用しており [2]、異なるデバイスを同一のインタフェース仕様でコントロールすることができる。

以上の3つのエンジンは互いに連携可能であり、多目的対話エンジンが先読みエンジンにアクセスすることで、エージェントとの会話にユーザのタイムリーな情報を反映させることができる。また、多目的対話エンジンからIoTアクセス制御エンジンにアクセスすることで音声コマンドによりIoT機器を操作することができる。

4. ドコモAIエージェントAPIを活用したビジネス展開とパートナーシップ

ドコモAIエージェントAPIはパートナー企業との協創により新たな価値を生み出していくためのプラットフォームであり、誰でも自由に利用できるように公開されている。同一基盤上にさまざまなパートナーが参画し、それぞれのサービスを提供することができるようになっており、この特長を活かし、ドコモではB2C*9とB2B*10の双方のビジネス展開を行っている。

4.1 “あなたのスマホで、あなたに寄り添う,” my daiz (マイデイズ)

my daizは2018年5月にリリースされたドコモのB2Cサービスであり、AIエージェントの基盤技術を活用した、AIエージェント・オープンパートナーイニシアティブにおける中心的サービスである。

中期戦略2020「beyond宣言」の中で掲げた、お客様のライフスタイルを革新する新AIエージェントを具現化するためのサービスであり、“あなたのスマホで、あなたに寄り添う”をコンセプトに開発され、お客さまとOne to Oneの関係を構築することをめざしている。

my daizには、お客さまに合った情報のピックアップ、先回りした情報配信などに先読みエンジンが利用されていることが特徴である。画面に表示される情報は先読みエンジンの推定したプロフィール情報に基づき随時更新されるとともに、登録されたスケジュールなどからお客さまの状況を解析し、適切なタイミングで適切な情報を配信している。

また、my daizには「メンバー」という概念がある。「メンバー」とは、多目的音声対話エンジンが用いられた、無料で追加できるさまざまなサービスのことであり、パートナー企業が提供するサービスも数多く含まれている。「メンバー」は今後さらに拡大していく予定である。メンバー利用時は他社作成のエージェントが窓口となり登場する。この対話機能には多目的音声対話エンジンが利用されている。また、my daizでは赤外線リモコンをコントロールすることが可能であり、IoTアクセス制御エンジンが利用されている。

4.2 ドコモAIエージェントAPIを活用した他社との協業状況

ドコモAIエージェントAPIは、他社のサービスや製品構築のために利用可能である。本格的な商用提供は2019年春を予定しているが、先行して多くの企業と協創・協業に向けた議論が進められている。その取り組みのいくつかを紹介する。

YKK AP株式会社は、AIや顔認証システムを搭載した未来ドア「UPDATE GATE」を発表。AI対話システムにドコモAIエージェントAPIをご活用いただいている。「通るたび、毎日をアップデート。」をコンセプトに開発され、写真1のようにドアが天気や交通情報など、住人に必要な情報を伝え、毎日の生活をより豊かにする。

写真2は、NTTレゾナント株式会社の「恋愛相談botオシエルロボット」である。オシエルはもともとテキスト入出力型のWebサービスであり、恋愛

*9 B2C：企業と一般消費者間の取引。

*10 B2B：企業間における取引。



写真1 未来ドア「UPDATE GATE」の利用イメージ



写真2 恋愛相談botオシエルロボット

相談機能自体は既存のものであったが、展示会など向けにロボット化したとの相談があり、ドコモAIエージェントAPIをご利用いただいた。

このようにドコモの多目的対話エンジンは音声認識から音声合成までを一括提供していることに加え、他社サーバと連携することができるので、既存のテキスト入出力型サービスに音声入出力機能を加える

には適している。

紹介したもの以外にも多数の企業からさまざまなご相談をいただいております。今後も注目を集めるであろう多種多様なデバイスが登場する予定である。ここでは多目的対話エンジンの活用事例を紹介したが、同様に、先読みエンジン、IoTアクセス制御エンジンを活用する相談も多数寄せられており、さまざま

なシーンでドコモAIエージェントAPIの今後の活躍が期待されている。

4.3 開発者コミュニティの醸成

ドコモAIエージェントAPIが多くのサービスを支える基盤となるには、サービスを提供するパートナー企業だけでなく、そのサービスのシステムをトータルで作り上げる開発者に、ドコモAIエージェントAPIの良さと使い方を知ってもらう必要がある。そのため開発者コミュニティの醸成にも力を入れている。

まず開発者向けのトライアルサイトを開設している [3]。ここではドコモAIエージェントAPIの使い方の説明や、サンプルコードの情報など開発に必要な情報が掲載されており、実際にドコモAIエージェントAPIを試用することができる。

また、全国各地で勉強会やハッカソン*11を開催しており、これまで述べ1,000名以上の参加をいただいた。

今後も、さまざまな開発事例やサンプルコードの紹介などのコンテンツの充実を図ると共に、日本全国の開発者への情報発信を積極的に行っていく予定である。

5. あとがき

本稿では、AIエージェントの特徴とそれを実現する基盤を解説し、さらにドコモAIエージェントAPIを活用したドコモのサービスや、他社との協

創・協業において実現した製品、開発者コミュニティを醸成する取組みを紹介した。

現在はソリューションの強化を進めるべく、具体的に本APIを活用した製品についてパートナー各社と検討を始めている。しかし、音声を利用したインタフェース（VUI：Voice User Interface）に関してはまだまだ設計手法が確立されていないなど、課題も多い。今後はドコモAIエージェントAPIの利用の促進のためにも、このような課題の解決に取り組んでいく。

最後になるが、本取組みのAIエージェントの構想を企画したのは2016年の6月頃である。当時はSebastienという社内プロジェクト名で、たった7名で活動を開始したが、それから多くの方々のご協力を得て、1年足らずで中期戦略に盛り込まれる全社的な取組みとなっていった。パートナーイニシアティブの名の通り、今後は多くのパートナー企業の方々にもご協力頂き、さまざまなソリューションを生み出す基盤となることだろう。

文 献

- [1] NTTドコモ報道発表資料：“「ドコモAIエージェント・オープンパートナーイニシアティブ」を推進,” Jun. 2017.
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2017/06/23_00.html
- [2] Device WebAPI Consortiumホームページ.
<https://device-webapi.org/>
- [3] SEBASTIENホームページ.
<https://docs.sebastien.ai/>

*11 ハッカソン：ハック（hack）とマラソン（marathon）からの造語で、マラソンのように数時間から数日間集中してプログラミング（ハック）する催しのこと。

ユーザの自然言語指示を実行可能なサービスに変換する多目的対話エンジン

イノベーション統括部	すみや 住谷	てつお 哲夫	やまざき 山崎	こうじ 光司
サービスイノベーション部	かまど 鎌土	のりよし 記良	たなか 田中	ごう 剛
サービスデザイン部	かどの 角野	こうすけ 公亮		

生活の中で人が普通に使っている話し言葉は曖昧な表現も多い。多目的対話エンジンとは、そうした多様かつ、不明確な自然言語を分析、解釈しサービスに展開する機能を有するエンジンである。その構成は自然対話プラットフォーム、音声認識機能部、音声合成機能部、サービスプラットフォームフロントエンド、ユーザ向けダッシュボード、開発者向けダッシュボードからなる。本稿では多目的対話エンジンの全体概要やエンジンの構成要素について解説する。

1. まえがき

多目的対話エンジンは（図1）、音声認識/合成、自然言語処理だけでなく、API（Application Program Interface）*1による外部サービスとの連携ができるのが特長である。それによりさまざまなデバイス上でユーザと対話したり、コンテンツを提供したり、また、デバイス进行操作するエージェントも簡単に搭載できるので、ユーザにより多くの新しい体験を提供することができる。

ドコモは2012年にサービスを開始したコンシューマ向けサービス「しゃべってコンシェル」、2015年に開始した法人向けサービス「自然対話エンジン」、2016年の「おしゃべりロボット for Biz」などの提供を介し、800万人を超えるユーザによる30億回以上の発話ログを蓄積、自然言語処理技術における対話性能の向上を図ってきた。多目的対話エンジンは、そのまさにこの6年間のノウハウが詰まったエンジンである。

©2018 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 API：ソフトウェアの機能を他のプログラムから利用できるように切り出したインタフェース。

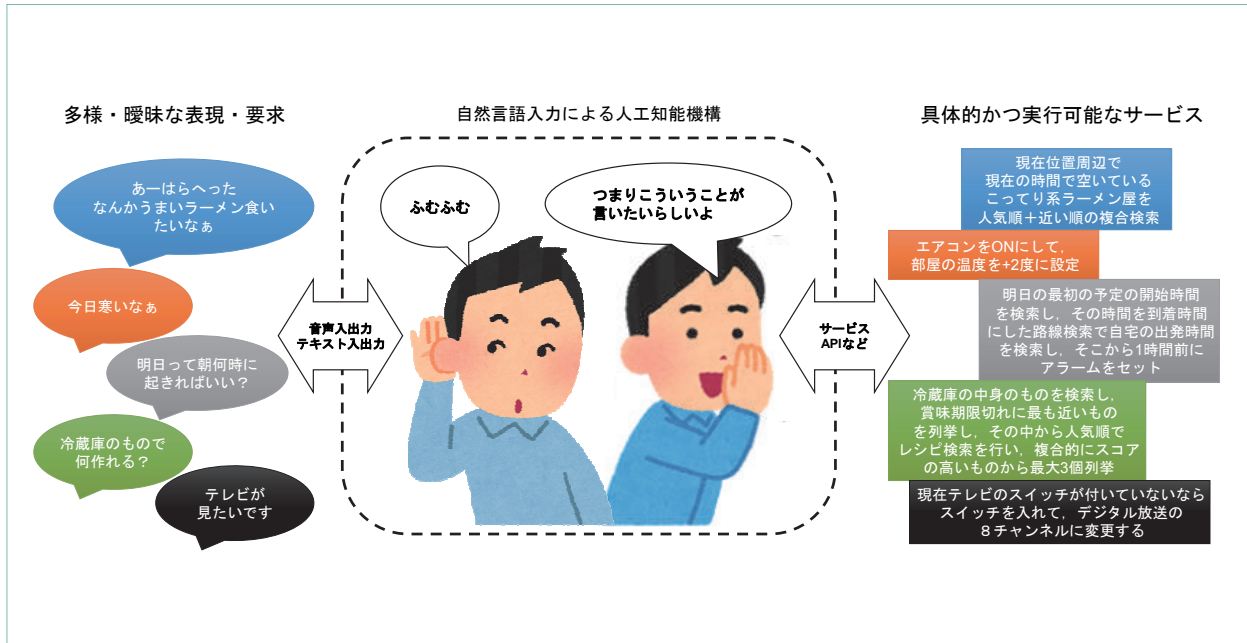


図1 多目的対話エンジンの概要

2. 多目的対話エンジンの技術

2.1 多目的対話エンジンのシステム構成

多目的対話エンジンは、サービスプラットフォームフロントエンド (SPF: Service Platform Frontend)、音声認識機能部 (ASR: Automatic Speech Recognition)、自然対話プラットフォーム (NLU: Natural Language Understanding)、音声合成*2機能部 (TTS: Text To Speech)、およびユーザダッシュボード (以下、UDS: User Dashboard)、開発者ダッシュボード (以下、DDS: Developer Dashboard) から構成される。対話におけるシステム全体の流れを図2に示す。

・ユーザの発話から音声認識

通常の音声認識では各デバイスがデバイス SDK (Software Development Kit)*3を包含している。そして、ユーザの発話に応じてエンジンに対してあらかじめ取得した認証トークンと、音声、テキストのいずれかを送信する。ユーザ

からのすべてのリクエストは最初にSPFにて受け取り、認証トークンが検証される。認証トークンの検証後、音声データはASRに送信され、認識結果がテキスト形式でレスポンスされる。

・自然言語処理から外部サービス連携

NLUに送信された認識結果は、自然言語処理される。自然言語処理の結果判定されたタスクに応じて外部サービスとの連携を行い、ユーザが必要とする情報を取得する。例えば、「今日の天気は」という認識結果が来た場合、天気予報サービスとの連携と判断され、天気予報情報を取得するべくAPIをリクエストし、そのレスポンスを基にユーザへの返答内容をテキストで作成する。

・音声合成からユーザへの返答

作成された返答内容はTTSに送信され、あらかじめ指定された音声モデルで音声データ化される。生成された音声データはSPFを通じ、デバイスに送信され、ユーザからの問合せに対

*2 音声合成：テキストから人工的に音声データを作り出し、テキストを読上げできるようにする技術。

*3 SDK：アプリケーションを作成するときに必要となる、ドキュメント、ツール、ライブラリ、サンプルプログラムなどからなる開発キット。

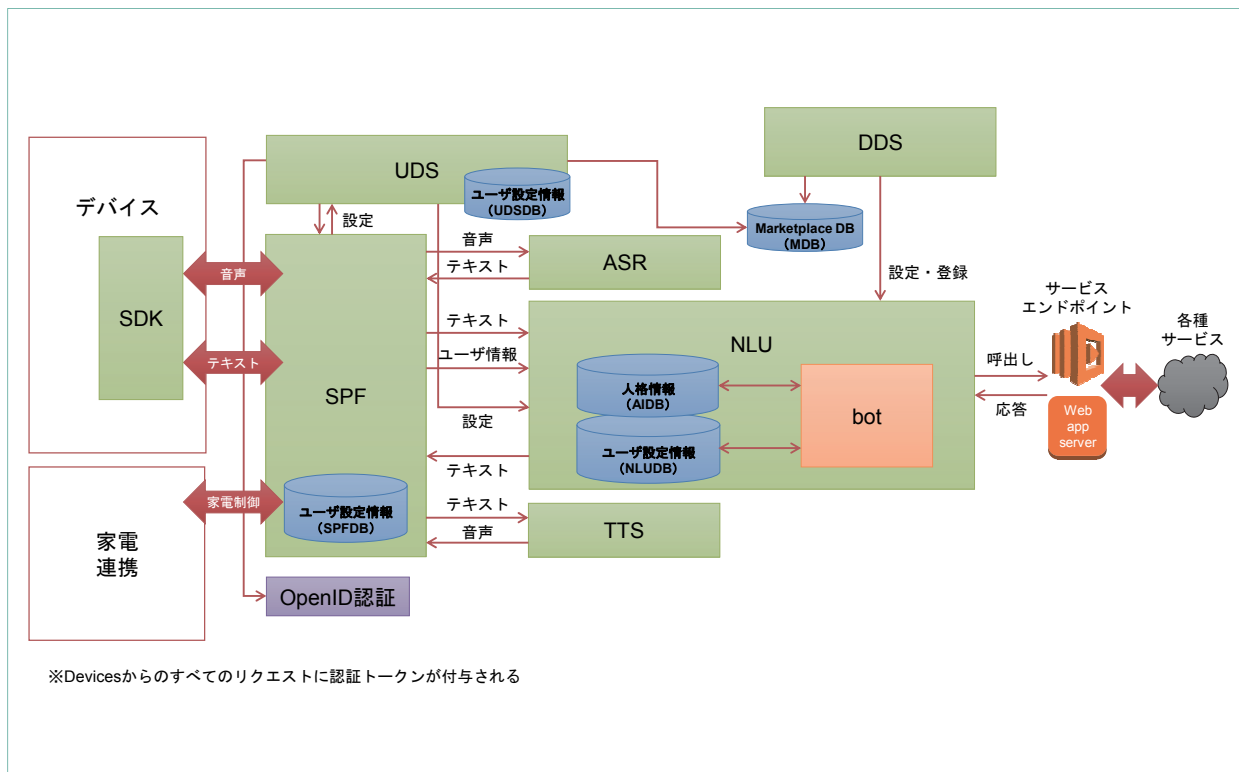


図2 多目的対話エンジンのシステム構成

して音声での回答を返す。ユーザの発話開始から、会話の終了までデバイスSDKとSPFはWebSocketでの接続を維持し、テキストよりもデータが大きくロードに時間がかかる音声による返答にもかかわらず、高速なレスポンスを可能にしている。

2.2 SPF

前述の通り、SPFはクライアントからの連続した対話要求に対し、後段に接続されたバックエンドエンジンの回答の組合せから対話回答を生成し、クライアントに返答する機能をもつ。そのソフトウェアアーキテクチャを図3に示す。

単一プロセスにおけるSPFの内部はBlockという処理単位が、Edgeで結ばれ、データ受渡しを行う構造となっている。これにより、音声対話で用いる

さまざまな処理を自在に組み替えることができ、変化の早い音声対話技術への柔軟な対応が可能になった。

また、処理がBlockとEdgeに分離されることにより、Block同士が共有するデータはEdgeに集約することができ、各処理の並行性を高めることができる。これにより、テキスト処理だけでなく、音声のような多量のデータを並行処理する必要があるリアルタイムストリーミング*4処理も同一サーバ上で実現することができる。

次に、Blockがもつソフトウェアのレイヤ構造を図3(b)に示す。SPFにおいては、速度やOS最適化に依存する(ED: Environment-dependent)処理は、C++(一部は環境に依存した言語)による高速化を行っている。

また、SPFでは、さらにこれらをラップする環境

*4 ストリーミング: NW上で音声や映像データを送受信するときの通信方法の一種。データを受信しながら、同時に再生を行う。

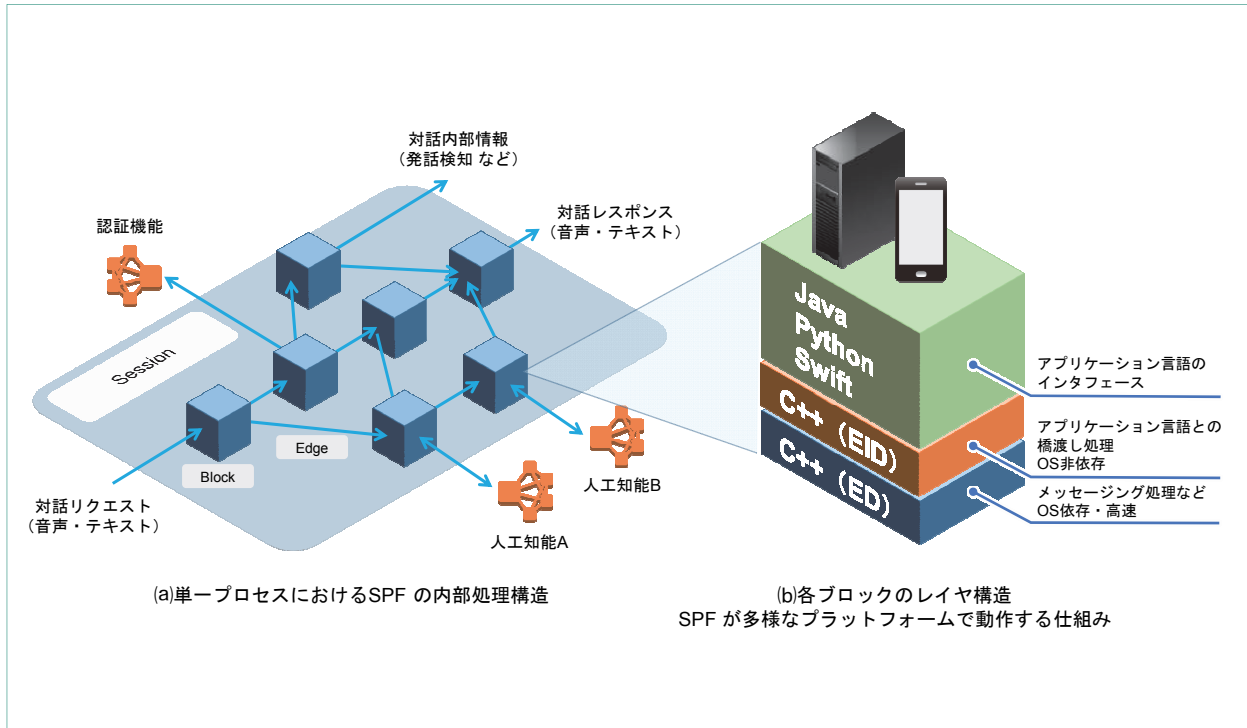


図3 SPFのソフトウェアアーキテクチャ

非依存、プログラミング言語非依存（EID：Environment-independent）のレイヤを介することで、多様なプログラミング言語でBlock処理を記述することができる。これにより、異なる言語で書かれたプログラム間をSPFが媒介することで、サービスの開発期間を短縮することが可能となった。

また、デバイスSDKも本アーキテクチャを用いることにより、サーバ環境のみならず、スマートフォン、組込Linux^{*5}環境などにおいても高速で安定した音声対話処理を実現している。

2.3 NLU

NLUでは、xAIMLと呼ばれる記述言語を用いて上記エージェントを実現する対話システムを構築している。xAIMLとはAIML1.1を基にドコモの自然言語処理技術^{*6}で機能拡張を図った、対話エージェント構築のための記述言語である。

xAIMLでは、1つの対話エージェントを構築する際に、その対話エージェントがもつ機能をそれぞれ独立したbotとして設計することができるため、効率的なシステム開発が可能である。多目的対話エンジンにおけるメインエージェント^{*7}、エキスパートエージェント^{*8}においても、複数のbotを連携させることでさまざまな機能を実現している。

(1)メインエージェント構築のためのデザインパターン

NLUは、人間と会話ができる対話サービスや製品を開発するにあたって、開発者が自由にカスタマイズしてサービスや製品に組み込むことが可能なプラットフォームである。この特長は、対話システムを開発するために役立つ部品を自由に組み合わせることで、めざす対話エージェントを容易に開発できることである。多目的対話エンジンでは、このNLUを用いて、メインエージェントとエキスパートエージェントの2種類の対話エージェントを構成し、

*5 組込Linux：携帯情報端末や家電製品など、CPUとソフトウェアが搭載され、用途が特定されている機器のうち、Linux OSで動作するもの。

*6 自然言語処理技術：人間が日常的に使っている言語（自然言語）をコンピュータに処理させる技術。

*7 メインエージェント：ユーザとの対話のフロントに立つエ

ージェント。サービス提供者が好きなキャラクタを作成することができ、サービスとデバイスを繋ぐことができる。

*8 エキスパートエージェント：サービスに特化したエージェントで、メインエージェントから呼び出される。サービス提供者がサービスを既存のメインエージェント（ロボット、botなど）に自由に提供できる。

それらを連携可能とする。

メインエージェントとは、対話システムにおける主人格であり、ユーザとの対話を制御するエージェントである。ユーザがエージェントに対して発話をした場合（以下、ユーザ発話）、まず、ユーザの識別子から接続すべきメインエージェントが特定される。その後、メインエージェントで発話内容からユーザの意図が解釈^{*9}され、メインエージェントにおいて実行可能なタスクであった場合はそのままタスクを実行する。一方、例えば、「dグルメお願い」などの特定のエキスパートエージェントを呼び出すような発話がなされた場合は、ユーザ発話をエキスパートエージェントに引き渡し、その後の処理およびユーザとの対話もエキスパートエージェントに引き継ぐ。このように、メインエージェントとエキスパートエージェントは明確に役割が分かれたエージェントとして、それぞれ自由にカスタマイズができる。

また、タスク指向の対話シナリオ、エキスパートエージェントの呼出しシナリオ、コマンド系の対話シナリオ、雑談対話シナリオなど、各シナリオ群単位で優先度を設けることができ、サービスごとに優先されるシナリオを変更することができる。そして、メインエージェントはパートナー企業であれば自由に設計、開発ができ、上記各シナリオ群を自由に組み合わせたり、オリジナルのメインエージェントを開発したりすることも可能である。

エキスパートエージェントとは、メインエージェントから呼び出される、ある特定の分野に特化した専門家エージェントである。DDSによって誰でも簡単に開発することが可能で、開発したエキスパートエージェントは審査を経てAIエージェントAPI専用のMarketplaceに公開することができる。そこで公開されたエキスパートエージェントは、ユーザが使ってみてみたいと思った時に自由に追加・削除でき、ユーザごとのエキスパートエージェントの管理は、UDSで行うことになる。

(2)bot連携機構によるエキスパートエージェントの実現

多目的対話エンジンにおける各エキスパートエージェントは、DDSによってそれぞれが1つの独立したbotとして生成される。ユーザはUDSを通じて任意のエキスパートエージェントを有効化することで、以下のエキスパートエージェントに関連する機能が利用できるようになる。

- ・エキスパートエージェントごとに決められた呼出しワードをメインエージェントに入力することで、対象のエキスパートエージェントに取り次いでもらう。
- ・呼び出したエキスパートエージェントとの対話が終了するまでの間、ユーザの入力は対象のエキスパートエージェントへ転送される。
- ・エキスパートエージェントからの公序良俗に反する出力をフィルタし、どのような出力をしようとしたかDDSの管理モジュールへ送信する。
- ・システム管理者やエキスパートエージェント開発者が、エキスパートエージェントの機能を停止することができる。

多目的対話エンジンでは上記の機能を実現するため、ユーザごとのエキスパートエージェントを管理する機能、対話中のbotにユーザの入力を取り次ぐ機能、NGワードのフィルタ機能、エキスパートエージェントのステータスを管理する機能をそれぞれ独立したbotとして設計している（図4）。

また、多目的対話エンジンを利用して作成される各種メインエージェントは、これらのbotを利用することで、エキスパートエージェントを提供するための機能を簡単に実装することができる。

2.4 UDS

UDSではユーザ・デバイスの認証処理および、エキスパートエージェントに関わる設定を行うこ

^{*9} 意図解釈：ユーザの発話文章（自然言語）からユーザが意図していることを機械学習などによって特定する技術。ユーザの意図を「タスク」と呼び、例えば、「明日の天気は」「明日は晴れるかな」「明日って雨？」などの文章はすべて天気タスクに判定される。

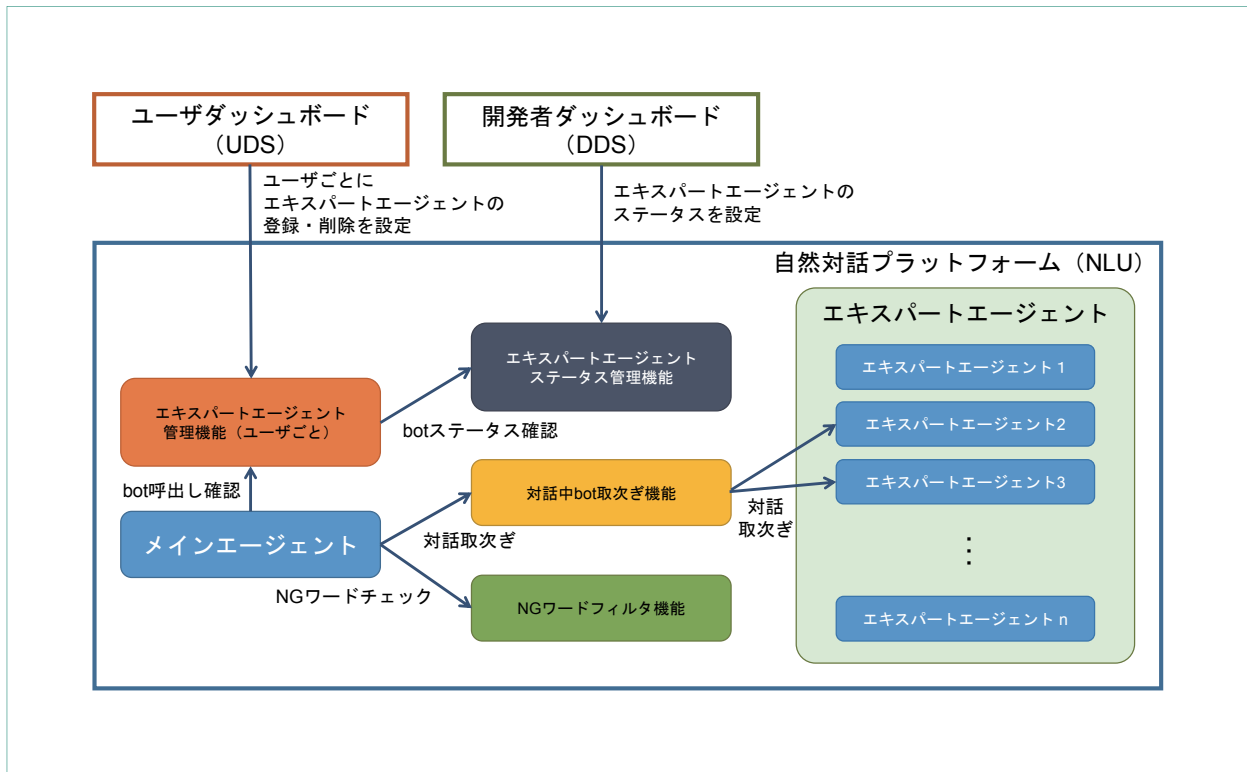


図4 エキスパートエージェントを実現するbot構成

とができる [1]。また、GUI*10だけでなく、REST API*11によってもデバイスの認証を行うことができる。

トライアル環境におけるUDSのイメージは図5に示す通りである。UDSは以下の機能を提供している。

- ・ 認証機能：ダッシュボードへのログインはOIDC (OpenID Connect)*12をサポートしているdアカウント認証、Google*13認証に対応できる。
- ・ デバイス一覧表示／新規登録：各デバイスに紐づくデバイスIDを登録し、ユーザと紐づけることができる。また、現在登録されているデバイスの一覧を表示し、必要に応じて削除をすることができる。
- ・ ヒストリ表示機能：メインエージェントおよびエキスパートエージェントとの対話の履歴を表

示することができる。

- ・ ホームデバイス連携機能：IoTアクセス制御エンジンと連携し、UDSから連携する家電の登録やタグ付などを管理し、エキスパートエージェントから操作するように設定できる。
- ・ サービス追加機能：DDSで登録されたエキスパートエージェントの一覧が表示され、登録することができる。エキスパートエージェントを利用する場合には、事前にこの登録が必要となる。また、エキスパートエージェント側でアカウント連携が必要な場合には、登録時にOAuth 2.0の認可が必要となる。

2.5 DDS

DDSではエキスパートエージェントの作成機能を提供する [2]。

*10 GUI：操作や表示の対象が絵で表現され、直感的な操作や視認性に優れるインタフェース。

*11 REST API：RESTの制約に従ったAPIRESTはRoy Fielding氏が2000年に提唱した設計原則を基に発展した、ソフトウェアアーキテクチャのスタイル。

*12 OIDC：インターネット上にあるさまざまなWebサイトや、モ

バイルアプリなどを利用する際に1つのIDで認証を実現できるようにするID連携の仕組み。

*13 Google：Google, LLCの商標または登録商標。

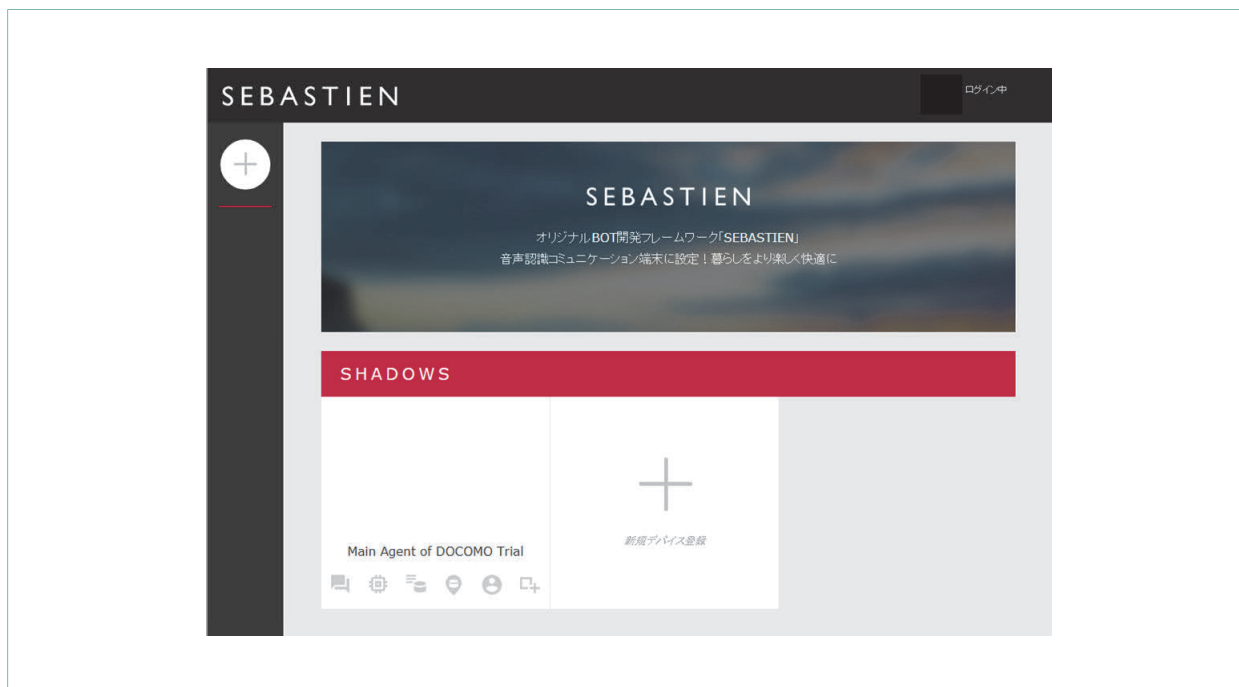


図5 ユーザーダッシュボードイメージ

(1)DDSが提供するエキスパートエージェント作成機能の設計思想

エキスパートエージェントの最終目的は「具体的なサービスをユーザに提供すること」なので、そのための対話設計が行えるようになっている。

また、対話設計は、自然言語処理の知識や対話設計の知識などは特別に必要なく、画面上の設定値を埋めるだけで完結するようにツールが設計されている。そのため、対話サービスを作ったことがない開発者でも簡単、かつ速やかにエージェントが作成できる仕様となっている。

(2)エキスパートエージェントの対話設計

DDSで作成するエキスパートエージェントは、サービス提供に適したスロットフィリング^{*14}を具備したタスク志向型の対話設計を採用している。具体的な対話シーケンスを下記に示す。

- ①エキスパートエージェントが発話から意図 (Intent^{*15}) とパラメータ (Slot) を抽出する。

②曖昧なユーザ発話に対しては、エキスパートエージェントから「聞き返す」ことでタスク実行を促す。

③最終的に特定した意図情報 (Intent, Slot) を、設定されている外部プログラム (API) へ POSTリクエスト^{*16}で送信する。

④外部プログラムは受け取った意図情報をもとにサービスを実行する。

⑤外部プログラムはサービスの実行結果と合わせてユーザへの返答 (対話文) を返却する。

⑥エキスパートエージェントはプログラムからの返答をユーザに返す。

3. あとがき

本稿では、ユーザから発せられた多様・曖昧な表現を含む自然言語を解釈し、具体的かつ実行可能なサービスに変換する多目的対話エンジンについて解

^{*14} スロットフィリング：タスクを実行する際に必要なパラメータをテキストから抽出する機能。例として、天気検索タスクを実行するために「今日の東京の天気は？」というテキストから、「今日」と「東京」という「時間」と「場所」というパラメータを抽出すること。

^{*15} Intent：エキスパートエージェント内で定義できるタスクを

示す。

説した。メインエージェント、エキスパートエージェントの概念を有し、さまざまなデバイス上でユーザと対話をしたり、コンテンツを提供したり、デバイスを操作してユーザに新しい体験を提供することが可能となった。今後は、基礎的、かつ、複数のプラットフォーム等で共通に必要な対話技術の研究開発や、各分野の高度意図解釈技術の研究開

発など、高度な対話を可能にするエージェント生成技術に取り組み、APIを高度化させていきたい。

文献

- [1] SEBASTIENホームページ.
<https://users.sebastien.ai/>
- [2] Expert Agent Developer Dashboardホームページ.
<https://developers.sebastien.ai/>

*16 POSTリクエスト：HTTP通信でクライアント（Webブラウザなど）からWebサーバへ送るリクエストの種類の一つで、URLで指定したプログラムなどに対してクライアントからデータを送信するためのもの。GETやHEADなどのリクエストはヘッダのみだが、POSTリクエストの場合にはボディ部があり、ここに送信したいデータを記述する。大きなデータやファイルを

サーバに送るのに使われる。

ユーザの行動を能動的にサポートする先読みエンジン

サービスイノベーション部

やまだ なおはる
山田 直治

やまだ まさと
山田 将人

かつまる のりひろ
勝丸 徳浩

はっとり きょう
服部 響

人事部

いのうえ まさひろ
井上 正裕

R&D戦略部

たけはな ゆきのぶ
竹花 幸伸

ユーザの日々の生活を能動的にサポートするエージェントサービスを実現する上で、ユーザの行動や特性を正確に理解することは重要である。スマートフォン上には、位置情報や、予定情報、メール、画像など、多くのパーソナルデータが存在する。これらを分析することで、ユーザの行動を正確に把握することができる。そこでドコモでは、さまざまなパーソナルデータを統合的に分析する基盤である先読みエンジンを開発した。本稿では、本エンジンの概要とそれぞれの機能について解説する。

1. まえがき

近年、多くの企業がアシスタントサービスを提供している。例えば、Googleアシスタント™*1や、Apple社のSiri®*2、しゃべってコンシェル、Microsoft社のCortana*3などがある。

アシスタントサービスは現在、ユーザからの問いかけに答える受動型から、アシスタントからユーザに呼びかける能動型のサポートへと進化しつつある。従来の受動型のアシスタントサービスは、ユーザ側が明示的に問いかけない限り、適切なサポートがで

きない。一方で能動型は、突然のゲリラ豪雨や電車遅延など、ユーザがまだ知らないトラブルをアシスタントが察知し、その情報をPush通知などでユーザに伝えるといった、より能動的なサポートが可能である。

このような能動型のアシスタントサービスを実現する上では、スマートフォン上のパーソナルデータを用いてユーザのプロファイルや次の行動を予測することが重要である。いまやほとんどの人が常にスマートフォンを携帯し、スケジュールの管理、家族や友人とのコミュニケーション、ネットショッピング

©2018 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 Googleアシスタント™：米国Google LLCの商標または登録商標。

*2 Siri®：米国および他の国々で登録されたApple Inc.の商標。

*3 Cortana：米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国々における登録商標または商標。

グ、写真や動画の撮影、ルート検索など、さまざまな用途で利用している中、その過程で取得・蓄積される位置情報や、予定、メールや画像のデータを活用すれば、ユーザの行動や特性を正確に理解し、それに基づいたサポートが可能になる。

ユーザの行動や特性を把握するにあたって、これまでにも、スマートフォン上の位置情報から、ユーザの自宅・職場の推定や、次の目的地の予測を行う研究は多く存在した。しかし、位置情報を用いた目的地予測手法は、過去の移動履歴に基づく予測であり、よく行く場所を予測することはできるものの、美容院のようにたまにしか行かない場所や、初めて行く場所を予測することは本質的に不可能である。

そこでドコモでは、位置情報に加えて、予定やメール、画像といった複数のパーソナルデータを利用することで、ユーザの行動を正確に推定する先読みエンジンを開発した。これにより、推定できるサポートのバリエーションを拡げることができる。例えば、位置情報を用いた目的地予測では、基本的には、自分が過去に行ったことのある場所しか予測できない。しかしながら、スケジュールデータやメールデータを解析することで、旅行など非日常的で、初めて行く場所に関しても特定することができる。

本稿では、先読みエンジンの概要とエンジンを構成するそれぞれの機能について解説する。

2. 先読みエンジン

先読みエンジンとは、ユーザのスマートフォン上のパーソナルデータを分析・活用し、ユーザ1人ひとりに合わせた情報やサービスを、最適なタイミングで提供するエンジンである。

パーソナルデータには、位置情報、予定情報、メール、画像などがある。先読みエンジンでは、これらを用いて、現在の行動推定、未来の行動先読み、プロフィール（静的特性）推定を行う。さらに、

パーソナライズPushでは、これらの推定結果に基づいて最適なコンテンツを抽出し、プッシュ配信を行う（図1）。

以降では、位置解析機能、予定解析機能、メール解析機能、画像解析機能、パーソナライズPush機能について詳述する。

2.1 位置解析機能

ユーザが常に携帯するスマートフォンで定期的に位置情報を取得することにより、いつ、どこに滞在し、どこからどこへ移動したかを把握することが可能である。先読みエンジンでは、定期的に取得した位置情報から、現在の行動推定、未来の行動予測、プロフィール推定の3つを行う。

(1)現在の行動推定

定期的に取得した位置情報に基づいて、ユーザが滞在中か移動中かを判定する。

ユーザが滞在中の場合は、滞在位置からユーザの滞在施設を特定する。しかし、ゴルフ場など、施設の空間的範囲が大きい場合、単純に施設中心位置がユーザの滞在位置から最も近い施設を抽出する手法では、正しい施設を抽出できない。そこで、本システムでは、敷地や建物の境界（シェープ）との位置関係などを特徴量^{*4}とする機械学習^{*5}モデルにより、訪問施設の推定を行う。訪問施設の推定イメージを図2に示す。この例では、施設中心位置がユーザの滞在位置から最も近いものは施設Dとなるが、施設境界を考慮することで、施設Aに訪問したと推定することができる。

ユーザが移動中の場合は、取得した位置情報系列から、ユーザの移動経路を特定する。しかし、スマートフォンの消費電力を抑えるために位置情報の取得間隔を長くすると、移動中の位置情報がまばらになり、移動経路が不正確になる課題がある。そこで本システムでは、同じ移動経路を繰り返し通過した際に取得した位置情報を利用することで、移動経路

*4 特徴量：データから抽出される、そのデータの特徴づける値のこと。

*5 機械学習：事例を基にした統計処理により、計算機に入力と出力の関係を学習させる枠組み。

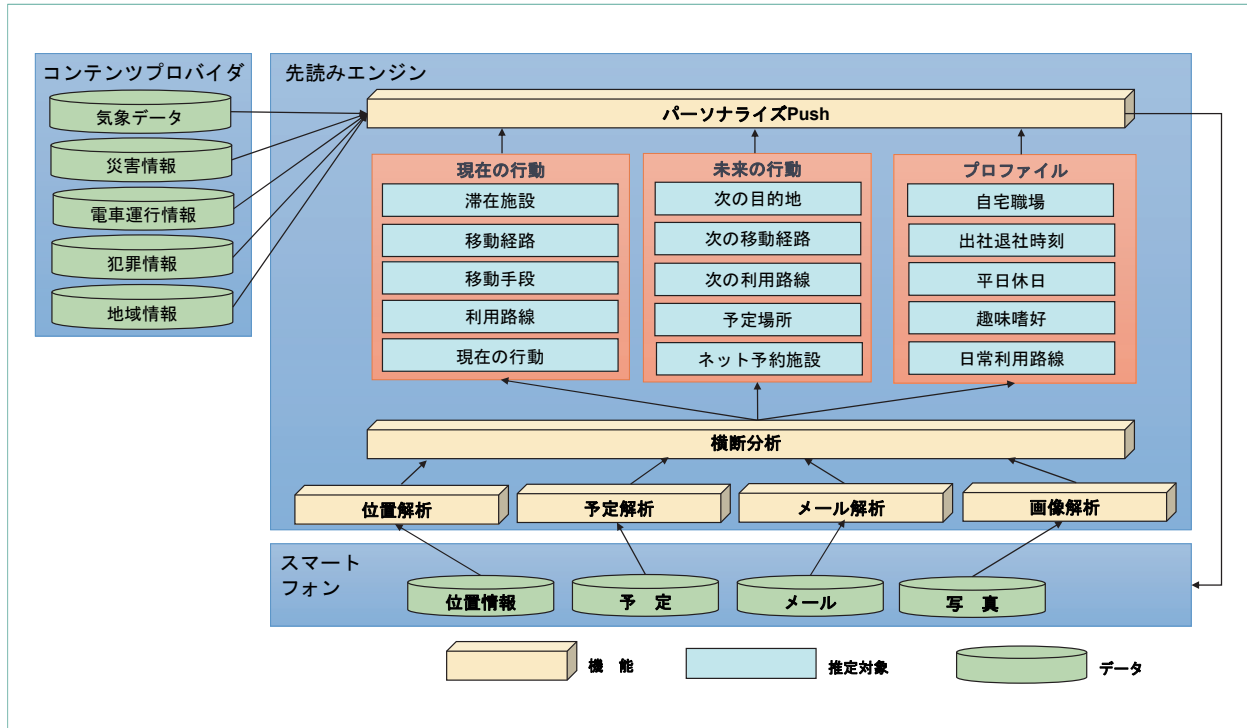


図1 先読みエンジンの機能概要

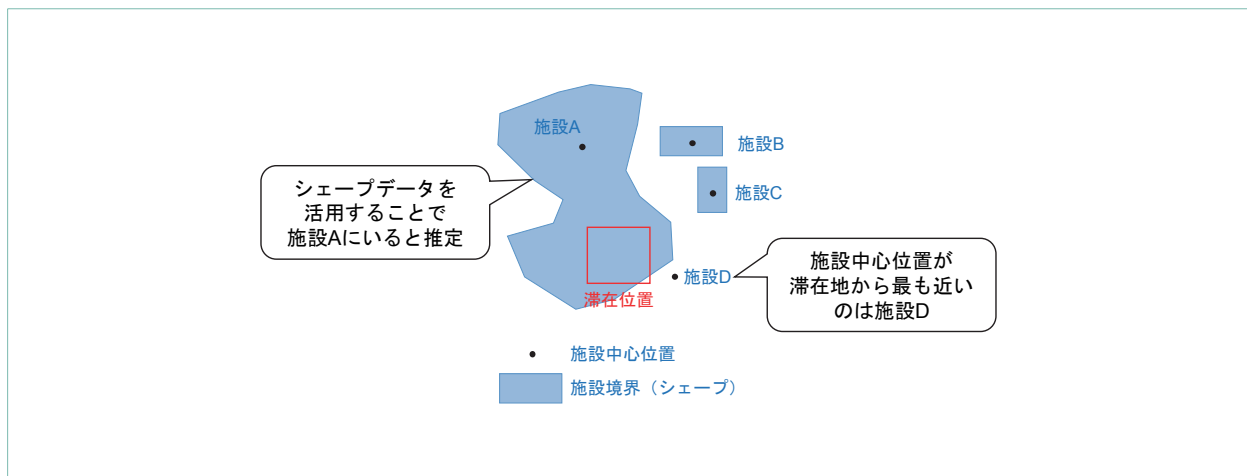


図2 訪問施設の推定イメージ

の精度を向上させる。具体的には、まず、移動中の位置情報から移動経路を推定する。次に、過去に推定した移動経路と比較することで、過去に同一の移動経路が存在するかを判定する。そして、存在する

場合はその位置情報をユーザの移動経路に統合することで、精度を向上させている。そして、推定した移動経路と、電車の駅位置情報、移動速度などから、移動手段として、電車、車、徒歩の判定を行う。電

車で移動中の場合には、利用している路線名、乗車駅名、下車駅名、乗換駅名を特定する。

(2) 未来の行動予測

先読みエンジンは、ユーザの過去の移動履歴として、曜日・時間帯別の移動経路の通過回数を保持している。そこで現在時刻と現在地に基づいて、過去の同一時間帯・同一場所における移動履歴情報から、次の訪問先と、そこへ至る移動経路、電車や車、徒歩などの移動手段、および、山手線などの利用路線を予測する。

(3) プロファイル推定

日々の位置情報を基に、滞在日数や滞在時間長などを算出し、それらを特徴量とする機械学習により、自宅と職場の位置を推定する。次に、日々の出社のタイミングに基づき、出社する曜日や曜日ごとの自宅を出る時刻、会社に着く時刻、会社を出る時刻、自宅に着く時刻の推定を行う。一方、ユーザの滞在履歴や移動経路履歴から、よく滞在する場所や、よく利用する路線名を特定する。さらに、ユーザが滞在した施設履歴に基づいて、例えば、美術館によく滞在していることから美術館めぐりが趣味といった、趣味嗜好も推定する。

2.2 予定解析機能

一般にユーザは、旅行や美容院予約、通院など、不定期なイベント情報を、備忘のためにスケジュールアプリに登録することが多い。これらのデータには、予定の場所を示す文字が含まれていることが多く、それを特定することでユーザの行動を予測することができる。

予定の場所を示す文字として、住所が記入されている場合と、「東京タワー」といったPOI (Point Of Interest)^{*6}情報が記入されている場合がある。住所表記については、正規表現^{*7}を用いて抽出するが、POI情報については、単純な形態素解析^{*8}では、POI名を正確に取得することができず、例えば、

「東京タワー」の場合、「東京」のみを地名として抽出してしまう。

そこで、POI名を正確に取得するために、先読みエンジンでは、系列ラベリング^{*9}手法であるCRF (Conditional Random Fields)^{*10}を用いて抽出している。具体的には、予定データのうち、地名を示す形態素にラベル付けを行う。ラベル付けのイメージを表1に示す。「東京タワーでランチ」という予定に対して、地名を示す「東京タワー」に地名ラベル「B-LOC」「I-LOC」を人手で付与する。このような人手によるラベル付けを大量の予定データに対して実施し、CRFで学習することで、地名を高精度に抽出している。これらの技術により、実データを用いた評価では、90%の精度でPOI名を正しく検出できている。

2.3 メール解析機能

最近では、ホテルや新幹線、美容院、レッスンなどの予約や、さまざまな商品の購入をインターネットのサイトで行う機会が増えてきている。この場合、ユーザには予約確認や購入確認のメールが送信される。これを解析することで、ユーザがいつ、どこへ行くのかを特定したり、ユーザが何を、いくらで購入したのかを特定することが可能となる。

メール解析は、ルールベースと機械学習を組み合わせ実施している。

(1) ルールベースによる情報抽出

予約／購入確認メールには、各社独自のフォーマットがあり、それを用いてユーザへ機械的にメールを送信している。そこで、本システムでは、送信元メールアドレスごとに、メールから予約情報や購入情報をあらかじめ定めたルールに基づいて抽出する。ルールは、各メールに記載された文字列のうち、どの文字列を抽出したいかを記載したものである。例えば、ある会社の予約確認メールでは、「予約番号：ABC123」というフォーマットだと仮定する。

*6 POI：店舗や施設のこと。

*7 正規表現：文字列の集合を1つの文字列で表現する方法の1つ。

*8 形態素解析：文を構成する最小の意味単位である形態素の列に分割する作業。

*9 系列ラベリング：事例の統計処理により得られた判断基準に基づいて、文字列などの系列の各要素に対し、適切なラベルを自動的に付与する手法。

*10 CRF：条件付確率場。入力された要素が連なったもの（系列）に対して、その特徴量に基づいてあらかじめ定められたラベルを付与する手法の一種。

表1 地名のラベル付けイメージ

形態素	品 詞	ラベル
東京	固有名詞, 地名	B-LOC
タワー	一般名詞	I-LOC
で	接続詞	その他
ランチ	一般名詞	その他

先読みエンジンでは、このメールに対して、「予約番号：」の後に出てくる文字列である「ABC123」を抽出するというルールを記述しておくことで、予約番号を正確に抽出することができる。

(2)機械学習による情報抽出

ルールベースによる情報抽出手法の課題として、ルールを人手で作成する必要があり、すべてのインターネットサイトに対応することは不可能である。そこで本システムでは、ルールベースに基づいて収集した予約メールを学習データとした機械学習のアプローチを適用する。

具体的には、まず、メールをカテゴリ分類する。カテゴリは、ネット通販の購入確認、映画の予約、航空券の予約、クーポンなど10種類程度存在する。メールに記載された文章を形態素解析により、単語集合を作成し、多クラスロジスティック回帰^{*11}によりカテゴリ分類を行う。

次に、各カテゴリについて、必要な項目（例えば、映画の予約の確認メールでは、タイトル、上映日時、映画館の名称、予約した座席番号など）を定義し、各項目に関する情報を、CRFを用いて抽出する。具体的には、形態素解析された文字列に対して、抽出したい項目名に「K」、抽出したい値に「V」、これらを分離する記号に「S」を付与する。一例として、「予約受付日：2014-12-17（火）」という文字列に対するCRFのラベル付けのイメージを表2に示す。この例では、「予約受付日」に「K」を、「：」に「S」を、「2014-12-17（火）」に「V」をラベル付け

表2 機械学習による情報抽出のラベル付けイメージ

形態素	品 詞	ラベル
.	記 号	O
予約	名 詞	K
受付	名 詞	K
日	名 詞	K
:	記 号	S
2014	名 詞	V
-	記 号	V
12	名 詞	V
-	記 号	V
17	名 詞	V
(記 号	V
火	名 詞	V
)	記 号	V

している。このようなラベル付けを大量のメールデータに対して行い、CRFを用いて学習することで、メールからの情報抽出を可能にしている。これらの技術により、実データを用いた評価では、F値^{*12}で90%の精度で情報抽出できている。

2.4 画像認識機能

ユーザのもつ画像には、趣味・嗜好に関する手がかりが多く含まれる。例えば犬を飼っていれば犬の写真を多く撮影しており、海外旅行好きであれば海

*11 多クラスロジスティック回帰：ロジスティック回帰は、ベルヌーイ分布に従う変数の統計的回帰モデルの一種である。ロジスティック回帰は、二値分類であるが、多クラスロジスティック回帰は、それを多値分類に拡張した手法である。

*12 F値：正確性と網羅性の総合的な評価の際に利用される尺度であり、適合率と再現率の調和平均によって算出される。

外で撮影した写真を多くもっている可能性が高い。画像に写っているシーン・イベントを推定することがユーザの趣味・嗜好の推定にそのままつながる。

画像のシーン・イベント推定として、先読みエンジンでは、2つのアプローチを取っている。1つは、単一実画像を用いた推定であり、もう1つは、複数の画像を組み合わせた推定である。

(1)単一実画像を用いたシーン・イベント推定

単一実画像を用いたシーン・イベント推定として、深層学習の一手法である畳込みニューラルネットワーク^{*13}を用いている。本手法ではデータを学習する過程が必要であり、いかに多く質の良い学習データを用意するかが精度に大きく影響する。しかし、一般的に収集可能なWeb上の画像データはプロカメラマンが撮影した写真などが多く、一般ユーザが撮影する写真とは画像の傾向が異なることが多い。そこでドコモは、学習データとして、ユーザが撮影した画像を利用することで精度を上げている。

学習データにWeb画像のみとユーザデータを用いた場合の精度を図3に示す。グラフより、ユーザ

データを学習データに用いた条件の方が適合率^{*14}と再現率^{*15}共に高くなっていることが分かる。

(2)複数実画像を用いたシーン・イベント推定

単一実画像では把握が難しいシーン・イベントも、複数枚の実画像を用いることで、推定できることがある。例えば、ディズニーランドで複数枚の画像を撮影したとする。食事風景を撮影した画像には、「食事」というシーンしか付与することができないが、ディズニーランドで撮影した複数枚の画像をまとめて解析することで、「ディズニーランド」というイベントも付与することができる。

複数実画像の分析を行うために、以下の2つの手順で行う。まず、撮影日時や撮影場所といった画像メタデータを用いて、画像のグルーピングを行う。そして、各画像グループに対して、シーン・イベント推定を行う。

- ①グルーピングでは、ユーザの一連の写真のうち、撮影場所と撮影日時が総合的に近いものを同一イベントの写真としてグループにまとめる。グループ化してから推定することで、1枚では何

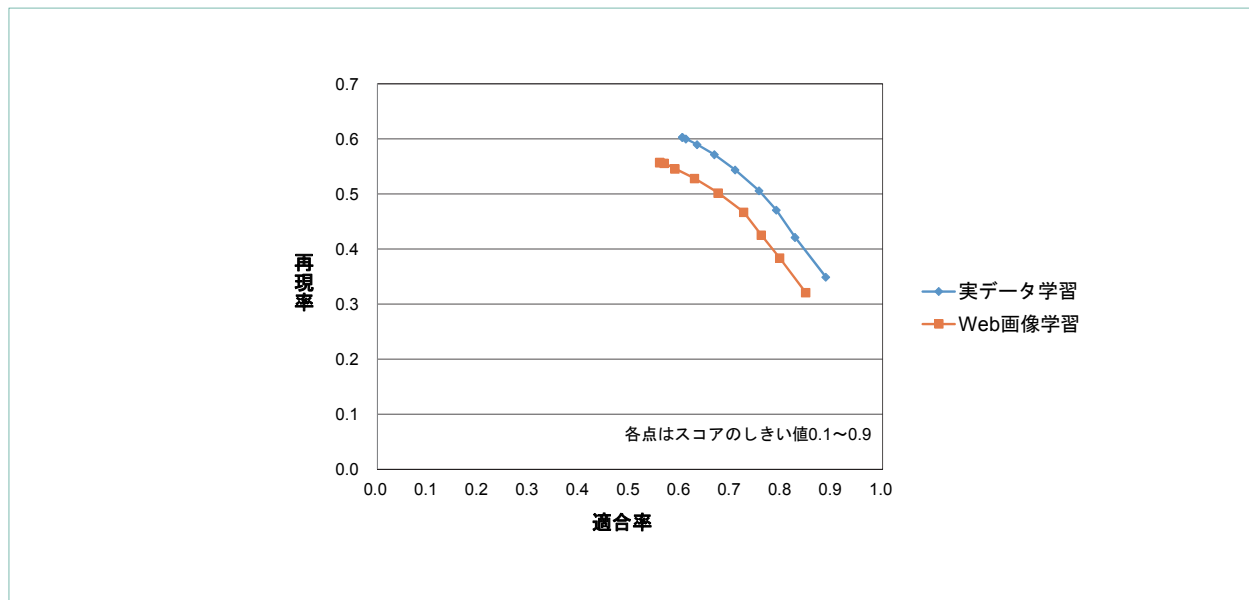


図3 Web画像のみとユーザデータ（実データ）を用いた場合の精度

^{*13} 畳込みニューラルネットワーク：深層学習の手法の一種である。何段もの深い層から構成されるニューラルネットワークにおいて、畳み込み層やプーリング層などの特徴的な機能を持った層を入れることにより、特に画像認識の分野で優れた性能を発揮している。

^{*14} 適合率：推定結果の正確さを表現することができる指標のこと。しかし、推定結果の網羅性を表現することができない。

^{*15} 再現率：推定結果の漏れの少なさを表現することができ、網羅性を意味する。しかし、推定結果の正確さを表現することができない。

の写真か不明でも同一グループの他の写真を手がかりにイベントの推定を可能にする。

- ② イベント推定では、グルーピングされた複数枚の写真に対して、それぞれのもつ画像認識結果、撮影位置・日時情報を用いて、グループ全体として何のイベントかを推定する。例えば、動物の写真が多く撮影位置が動物園周辺の場合、動物園に行ったと推定する。

2.5 パーソナライズPush機能

パーソナライズPush機能は、これまでに述べた推定結果と、天気・運行・イベントなどのコンテンツ情報を組み合わせ、それぞれのユーザーにとって最適なコンテンツを、最適なタイミングでPush配信する機能である。

パーソナライズPushの実現に向けては、まず、Push配信の条件を記載したECAルール*16を作成する。ECAは、Event、Condition、Actionの頭文字であり、EventはPush配信を「いつ行うのか」、Conditionは「誰に行うのか?」、Actionは「何を配信するのか?」を示している。例えば、雨が降ることを教えるユースケースでは、Event：降水確率が50%を超えたら、Condition：降水確率が50%を超えたエリアにいる人、Action：「雨が降りそうですよ」となる。これにより、新たなPush配信を、

ECAルールの追加のみで対応することが可能である。

次に、ECAルールのEventが条件に合致しているかを定期的に判定する。そして、条件に合致していれば、Conditionに該当するユーザーを抽出し、Actionに記載されたメッセージをPush配信する。

3. あとがき

本稿では、パーソナルデータを解析する基盤である、先読みエンジンについて解説した。ユーザーを能動的にサポートするアシスタントサービスを実現する上で、パーソナルデータからユーザーの行動やプロフィールを把握することは必要不可欠である。

先読みエンジンでは、スマートフォン上のデータとして、位置情報や、予定、メール、画像データを解析することで、ユーザーの現在の行動や、未来の行動、プロフィールの推定を可能にしている。

スマートフォン上には、アプリケーション利用ログや、端末センサーデータなど、上記以外にも、まだ多くのパーソナルデータが存在する。解析対象のパーソナルデータを拡張することで、ユーザーの行動・プロフィールの推定精度を向上するとともに、ライフイベントなどの新たなプロフィールの推定にも取り組んでいく予定である。

*16 ECAルール：イベント、条件、アクションの組合せによって構成される処理方法の規定。

さまざまなIoTデバイスをクラウドから制御可能とするIoTアクセス制御エンジン

サービスイノベーション部 **吉川 貴** **山添 隆文** **山下 けん**
よしかわ たかし やまぞえ たかふみ やました けん
 たなか ゆうき ほりぐち しょういち
 田中 祐貴 堀口 賞一

さまざまなIoTデバイスが市販されているが、それらの相互接続性は必ずしも高いとは言えない状況が続いている。ドコモでは、それらを接続しやすくするための技術として「デバイスWebAPI」、またそれをクラウドから扱えるようにした「IoTアクセス制御エンジン」を開発した。本稿ではそれらの開発に至る経緯、そして各技術の特徴やサービス事例について解説する。

1. まえがき

近年、モノのインターネット（IoT：Internet of Things）という言葉がさまざまな場面で目にするようになった。

Mark WeiserがUbiquitous Computingを提唱 [1] してから約30年。その間、Pervasive Computing [2]、Wearable Computing [3]、Mobile Computing、はたまたZen Computingと呼び名は違えど、「コンピュータが至る所に遍在して溶け込むことにより、人々の生活を豊かにする」というコンセプトは研究

者達の根底に脈々と受け継がれてきた。

IoTを取り巻く技術課題には、データ量、通信網、セキュリティ、データ解析技術、コストなど、さまざまなものが挙げられる [4] が、ドコモでは特に相互接続性の課題に着目し、研究開発を進めてきた。

IoTデバイスを用いてアプリケーションやサービスを構築するためには、各デバイスに応じた開発を行う必要がある。デバイスメーカーによってはこのようなニーズに応えるため、ソフトウェアライブラリや開発キット（SDK：Software Development Kit*1）を配布し、開発のハードルを下げる努力をしている。

©2018 NTT DOCOMO, INC.
 本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 SDK：ソフトウェア開発をするために必要な技術文書やツールなどの一式のこと。

しかし、デバイス固有の実装や技術習得が必要であることは変わらず、開発者の負担が大幅に軽減されることは少ない。また、ライブラリやSDKもすべてのOSや開発環境に対応することは困難であり、その意味でも課題がある。さらに、デバイスやメーカーごとに実装手法が異なることから、一度開発したアプリケーションやサービスを別のデバイスに対応させることは難しく、再開発を伴うケースが多い。

これらはすべてIoTデバイスの相互接続性に関する課題であり、IoTのアプリケーションやサービスが爆発的に普及することを妨げる1つの要因となっている。そこでドコモは、さまざまなIoTデバイスを機能レベルで抽象化し、共通のRESTful^{*2} WebAPI^{*3}でアクセス可能とする「デバイスWebAPI」、およびIoT機器を統一的に扱うことができるプラットフォーム（クラウド基盤）「IoTアクセス制御エンジン」を開発した。

本稿ではデバイスWebAPI、およびIoTアクセス制御エンジンの技術的特徴について解説するとともに、AIエージェント基盤における活用例を述べる。

2. デバイスWebAPIとIoTアクセス制御エンジン

2.1 概要

IoTの価値の1つは、今まで見えていなかったデータが可視化され、解析によって新たな価値が発見され、解決につながられる点である。すなわち、IoTでは各種機器やデータとの連携が真価であり、これらを統一的に扱うことがIoTサービス普及の上で欠かせない。

しかし現状は、IoT機器に関する規格は国内外においてさまざまなものが存在しており、メーカー独自仕様のIoT機器も数多く存在する。このような状況のため、IoTサービス開発者はそれぞれの機器仕様

について把握した上で、それぞれの機器向けのソースコードを組み立てていく必要があり、IoTサービス普及の上での大きな障壁となっている。そこで、ドコモでは「デバイスWebAPI」および「IoTアクセス制御エンジン」を開発した。

デバイスWebAPIとは、①RESTful WebAPIによるデバイスアクセス手段の共通化、②機能レベルでのデバイスの抽象化、③プラグインアーキテクチャによる高い汎用性／拡張性、の3点を特徴とするインタフェース抽象化技術であり、IoTの相互接続性の課題を解決することができる [5]。なお、本技術はOMA（Open Mobile Alliance）^{*4}にてGotAPIとして標準化されている [6]。

また、IoTアクセス制御エンジンはデバイスWebAPIを遠隔地から利用可能なクラウド基盤であり、デバイスWebAPIの技術的特徴に加え、④遠隔からのIoTデバイスの一元管理、⑤多様なパーミッション^{*5}管理機能を備える。

さらにIoTアクセス制御エンジンはAIエージェント基盤の中の1エンジンとして他のエンジンと連携動作することにより、多目的対話エンジンや行動先読みエンジンからIoTデバイスを遠隔制御したり、センサ情報を収集したりすることも可能となる。

IoTアクセス制御エンジンを利用したシステムの構成図を図1に示す。IoTサービスアプリケーションは、IoTアクセス制御エンジンにて規定されたAPI（Application Programming Interface）にアクセスすることで、ユーザ認証や各種IoT機器の制御、蓄積されたデータの参照などを統一的に行うことができる。

2.2 IoTアクセス制御エンジンのAPI

IoTアクセス制御エンジンでは現在、下記3種類のAPIを用意している。

①Management API：ユーザ認証・認可を行う

*2 RESTful：提供される情報を直接指し示してステートレスに情報を取得／提供する考え方。

*3 WebAPI：HTTPベースのAPI。

*4 OMA：移動通信向けのサービス、アプリケーション実現技術の標準化および相互接続性の確保を目的とした業界標準化団体。

*5 パーミッション：システムに対するアクセス権限のこと。本稿ではIoTデバイスにアクセスするためのAPIに設定されるアクセス権限を指す。

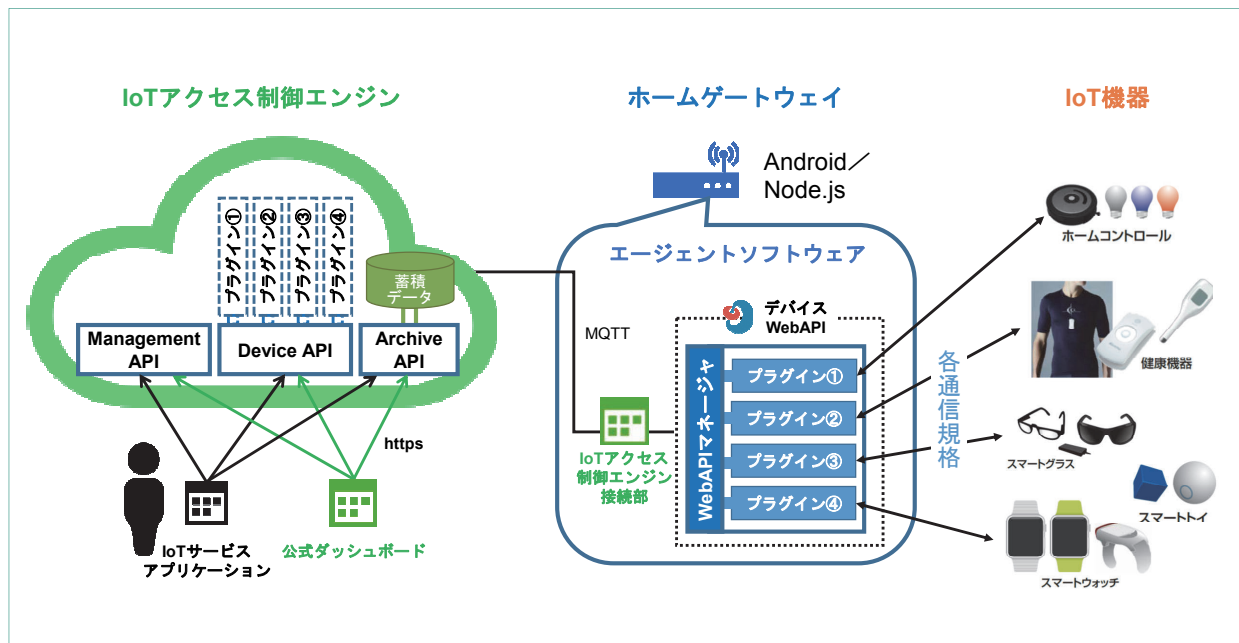


図1 IoTアクセス制御エンジンを利用したシステムの構成

ためのAPI。デバイスの登録や共有ユーザの作成も可。OAuth2.0*6準拠。

- ②Device API：IoT機器の制御を行うためのAPI。共通のインタフェースで同じ動作を実現。
- ③Archive API：IoT機器から集積したデータを取得するためのAPI。

2.3 ホームゲートウェイ

Bluetooth®*7やWi-Fi®*8などの近距離無線方式のIoT機器を制御する場合、IoTアクセス制御エンジンとIoT機器を仲介するためのホームゲートウェイが必要となる（図1）。

本ホームゲートウェイではデバイスWebAPIを利用したエージェントソフトウェアを稼働させる。エージェントソフトウェアは現在Android™*9およびNode.js*10のプラットフォームに対応しており、Androidスマートフォンをホームゲートウェイとして利用することも可能である。

2.4 エージェントソフトウェア

エージェントソフトウェアはホームゲートウェイにインストールされているソフトウェアで、IoTアクセス制御エンジンとIoT機器の仲介を行う。IoTアクセス制御エンジン接続部、デバイスWebAPIマネージャ（仮想サーバ）、プラグインで構成される。IoTアクセス制御エンジン接続部は、IoTアクセス制御エンジンとホームゲートウェイ間をMQTT（Message Queuing Telemetry Transport）*11プロトコルにより接続し、クラウド環境*12から受け取ったAPI信号をデバイスWebAPIに中継している。

既存のIoT機器をIoTアクセス制御エンジンで扱うには、ハードウェア側の改修は不要であり、プラグインと呼ぶソフトウェアをホームゲートウェイに組み込むことにより、対応させることが可能である。各IoT機器の仕様の違いはこのプラグインが吸収しており、APIの定義はこのプラグインで行っている。すでに対応している機器の一部を表1に示す。

*6 OAuth2.0：正当なクライアントに対してシステムの操作を認可する仕組み。RFC6749。

*7 Bluetooth®：移動端末、ノートPCなどの携帯端末を無線により接続する短距離無線通信規格で、米国Bluetooth SIG Inc.の登録商標。

*8 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。

*9 Android™：スマートフォンやタブレット向けのオペレーティング

システム、ミドルウェア、主要なアプリケーションからなるソフトウェアプラットフォーム。米国Google, Inc.の商標または登録商標。

*10 Node.js：さまざまなプラットフォーム上でJavaScriptを動作させることのできるソフトウェア実行基盤。Node.jsおよびNode.jsロゴは、Joyent, Inc.の商標または登録商標。OracleとJavaは、Oracle Corporationおよびその子会社、関連会社の米国およびその他の国における登録商標。

表1 IoTアクセス制御エンジン対応機器

機器種別	メーカー	製品名
体温計	A&D	UT-201BLE
体重計	A&D	UC-352BLE
血圧計	A&D	UA-651BLE
活動量計	Fitbit	charge2
開閉センサ	アーミン	STM250J
人感センサ	サイミックス	HM92-01WHC
人感センサ	オプテックス	CPI-J
人感センサ	OMRON	HVC-F
スマートライト	Philips	Hueシングルランプ
スマートライト	Philips	Hue go
スマートロック	SESAME	sesame smart lock
赤外線学習リモコン	ラトックシステム	REX-WFIREX1
赤外線学習リモコン	ラトックシステム	REX-WFIREX2
赤外線学習リモコン	ラトックシステム	REX-WFIREX3
ほこりセンサ	ラトックシステム	REX-BTPM25
ほこりセンサ	ラトックシステム	REX-BTPM25V
環境センサ	Pressac Sensing	CO2, Temperature and Humidity Sensor

※表中の製品名は、それぞれ各メーカーの商標および登録商標。

2.5 公式ダッシュボード

IoTアクセス制御エンジンAPIにWebブラウザからアクセスするための公式ダッシュボード（Webサイト）を用意している。本ダッシュボードはIoTアクセス制御エンジンAPIを利用して作成しており、IoTアクセス制御エンジンを利用したIoTサービスアプリケーションを開発する上での動作確認などで利用する。

3. IoTアクセス制御エンジンの構成技術

IoTアクセス制御エンジンの特徴として、動的な

API生成、複数機器の制御とその権限管理、利便性が高い形でのデータ集積があり、これらは以下の仕組みにより実現されている。

3.1 動的な機能単位のAPI生成

IoTアクセス制御エンジンは、IoT機器が接続されたゲートウェイデバイスやスマートフォンなどのローカル環境にある機能の設計情報をクラウド環境にアップロードすることで、クラウド環境からローカル環境の機能を管理し、外部にAPIとして公開することができる。また、クラウド環境側に、事前に機能の設計情報を必要としないため、未知の機能で

*11 MQTT：Pub/Sub型の軽量なメッセージキュープロトコル。IoTの各種デバイスとサーバ間でのメッセージ交換に使用される。

*12 クラウド環境：ネットワーク上に構築され、必要な時に必要なだけ利用できるよう整備された仮想的なコンピューティング環境。AWSなどが挙げられる。

あっても動的に拡張を図ることができる。

ローカル環境にある機能の設計情報としては、IoT機器の制御を共通化する技術である「デバイスWebAPI」を利用している。

デバイスWebAPIは、ローカル環境上に仮想サーバを用意することで、

- ①無線LANやBluetoothなどといった通信プロトコル
- ②OSや実行環境
- ③開発言語や開発環境（個別機器のSDK環境構築、依存関係の解消など）

に依存しない機能アクセスを実現している。

また、デバイスWebAPIでも用いられているローカル環境上の仮想サーバのためのセキュリティ設計とプラグインによる任意の機能拡張が、OMAにて標準化されており [6]、機能の設計情報としてWebAPI標準化仕様のSwagger^{*13}（OpenAPI Specification）[7] によるAPI設計をプラグインに内包することで未知の機能であっても相互接続性を担保している。

ドコモでは、デバイスWebAPIに基づいた実装として、「デバイスコネクト[®]*14 WebAPI」をMITライセンス^{*15}のオープンソースソフトウェアとして、GitHub[®]*16上で公開している [8]。

デバイスコネクトWebAPIはAndroid、iOS^{*17}、Node.jsの各環境に対応しており、プラグイン開発のためには、Swaggerに基づいたAPI設計をするだけで、各環境用のプラグインが一度に出力できるソースコード生成ツールも提供している。そのため、APIと機能を紐づける最低限の開発のみで、各環境でデバイスWebAPIが利用できるようになっている。API設計としては、機能の粒度、API記述のガイドライン、機能のデザインパターンが規定されており、デバイスの構造や仕様に依存しない抽象化された設

計を容易にしている。

IoTアクセス制御エンジンでは、このデバイスWebAPIによるAPI設計をMQTTでクラウド環境に吸い上げて動的に機能アクセスのための構成を生成することで、ローカル環境と同様にクラウド環境からも機能が利用できる。APIを用いた開発においても、IoTアクセス制御エンジンのセキュリティ認証を行えば、APIの参照先を変更するだけでローカル環境・クラウド環境の違いを意識せずに機能が利用できる。開発者・サービス利用者はMQTTでやりとりされるメッセージ処理については意識する必要がない設計となっている。

3.2 複数機器の制御とその権限管理

IoTアクセス制御エンジンでは、前述の仕組みにより機能アクセスのためのAPI設計を内包しているため、機能アクセスの指示とその結果について、任意のAPI設計として表現できるようになっている。そのAPI設計に基づいて構造化された機能をIoTアクセス制御エンジンのダッシュボードが取り扱うことで、各種機能の操作やデータ取得が行えるだけでなく、機能単位で操作可能範囲やデータ取得の範囲を設定して第三者（特定個人や外部サービス）に公開することも可能となっている（図2）。

IoTアクセス制御エンジン環境自体に対する操作APIにより、利用者が個別の機能範囲の設定を必要としない機能公開や、外部サービスからの機能利用要求の許諾といった仕組みも実現可能であるが、現状ではセキュリティを考慮して制限している。

3.3 利便性が高い形でのデータ集積

IoTアクセス制御エンジンでは統一されたAPI設計により抽象化された機能アクセスを実現しているため、異なるデバイスや環境であっても、目的に応じた収集データの参照や操作ログの確認が可能と

*13 Swagger：RESTful APIを構築するためのフレームワーク、もしくはインタフェース記述のための標準フォーマットのことで、Open API Initiativeが主導しており、Open API Specificationと呼ばれることもある。

*14 デバイスコネクト[®]：さまざまなデバイスをWebAPIにより相互接続するためのソフトウェア。NTTドコモの登録商標。

*15 MITライセンス：無保証だが、ライセンス表記のみで無償・無制限で利用できるソフトウェアライセンス。

*16 GitHub[®]：複数の開発者が相互にソースコードをやり取りし開発を促進させるための、ソフトウェア開発プラットフォーム。GitHub Inc.の登録商標。

*17 iOS：米国およびその他の国におけるCisco社の商標または登録商標であり、ライセンスに基づき使用されている。

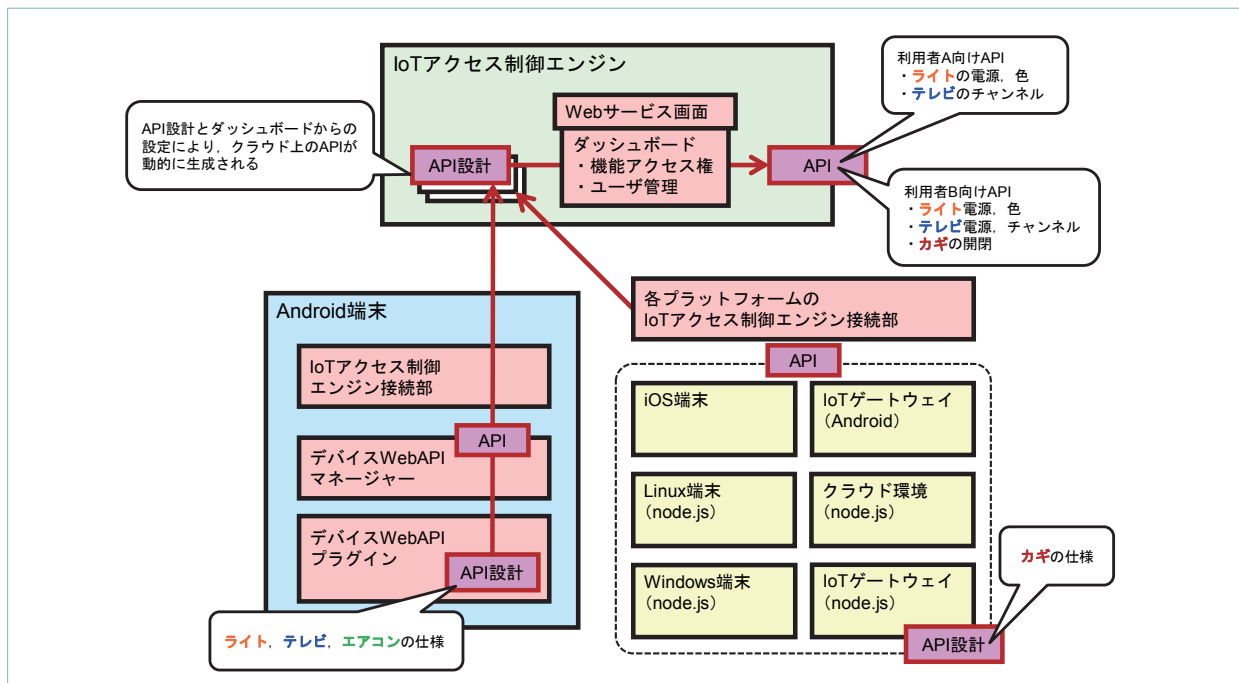


図2 動的な機能単位のAPI生成

なっている。

IoTアクセス制御エンジンは、ローカル環境からクラウド環境、デバイスの仕様の差異をなくしたデータ集積までもを一貫したアーキテクチャで実現しているため、従来は幅広いシステム設計の知識が要求されたAIを活用するユースケースであっても容易に実現できる。

具体的には、IoTアクセス制御エンジン内の、機械学習^{*18}のためのクラウドサービスを、特定のプラットフォームに依存しない形でクラウドプラグイン機能として扱い、また、機械学習のための学習データおよび正解データとして、IoTアクセス制御エンジンに蓄積されたデータを機械学習サービスに入力、生成された学習モデルをローカル環境でのルールとして特定の推論エンジンに依存しない形で実行する、といった利用の仕方が見込まれる。

4. AIエージェント基盤における利用

これまでに述べた「IoTアクセス制御エンジン」のAIエージェント基盤内での活用方法を解説する。また、その一例として、「多目的対話エンジン（ユーザの自然言語を解釈するエンジン）」と連携させ、音声対話による家電操作を実現した家電制御サービス「家電くん」についても簡単に解説する。

4.1 遠隔制御

IoTアクセス制御エンジンの利用方法の1つはIoTデバイスの遠隔制御（下り）である。「家電くん」を使った最もポピュラーな対話による家電操作の利用例を図3に示す。ユーザが対話デバイス／アプリに対して「テレビをつけて」「ライトを消して」などと発話すると、多目的対話エンジンが動作し、音声認識処理、自然対話処理が行われて、外部サービ

*18 機械学習：事例を基にした統計処理により、計算機に入力と出力の関係を学習させる仕組み。

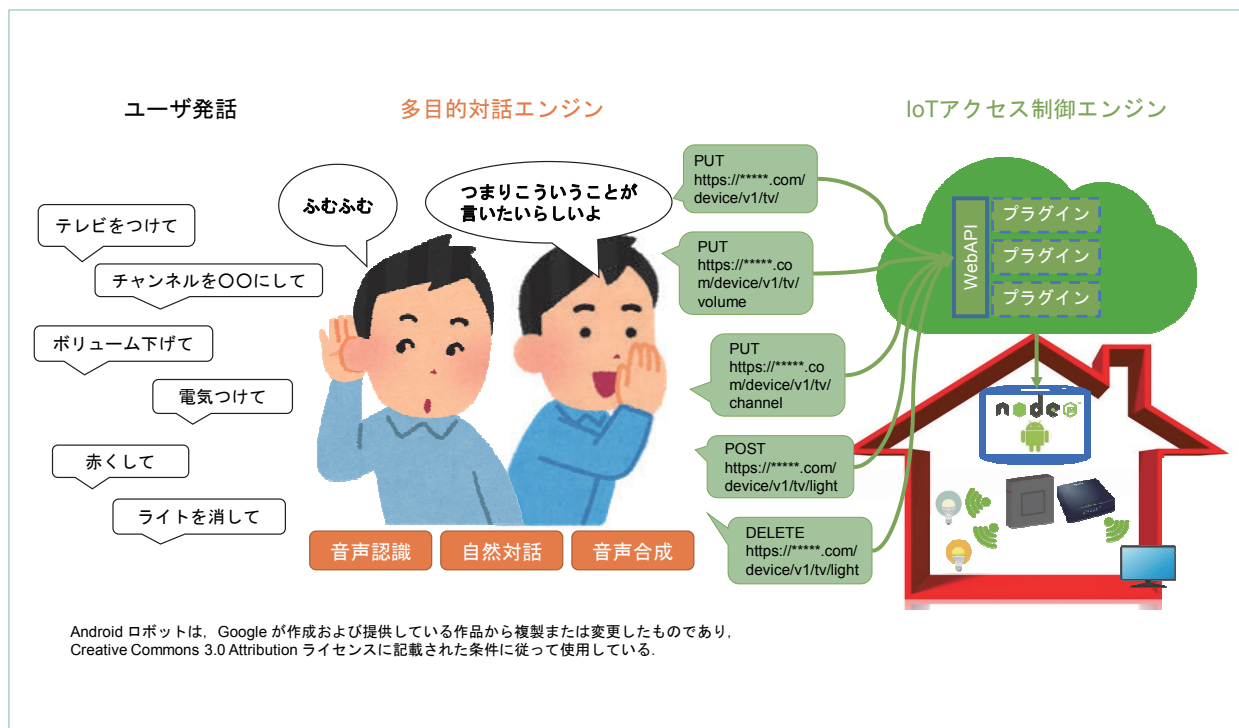


図3 対話による家電操作の利用例

スへのリクエストが生成される。ここで、家電操作
用対話シナリオを動作させることで、IoTアクセス
制御エンジンで動作するAPIリクエストが生成され
る。

例えば「テレビを消して」であれば「DELETE/
device/tv/」であり、「ライトの色を赤くして」で
あれば「PUT/device/light?color="FF0000"」となる。

IoTアクセス制御エンジンのエンドポイントに
REST API^{*19}がリクエストされると、エンジン内
で当該マネージャおよびプラグインへとルーチング
がされ、家電制御が実行され、レスポンスが返る。
最終的には多目的対話エンジン上で家電操作対話
シナリオがシステム発話を生成し、音声合成^{*20}処
理を経てユーザに対して「テレビを消しました」
「ライトを赤くしました」といった発話が行われる
ことで処理を終了する。

*19 REST API：ウェブで用いられるソフトウェアアーキテクチャのスタイルの1つ。

*20 音声合成：テキストから人工的に音声データを作り出し、テキストを読上げできるようにする技術。

4.2 情報収集

もう一方のIoTアクセス制御エンジンの利用方法は、遠隔からの各種センサやIoTデバイスの情報収集（上り）である。これも多目的対話エンジンと連携することにより、例えば「部屋の温度は何度？」「家の鍵閉めたかな？」などといったユーザ発話に対して、IoTアクセス制御エンジンの「GET/device/temperature/」「GET/device/lock/」といったリクエストで、エンドポイント^{*21}をHTTP（HyperText Transfer Protocol）で呼び出すことにより、「現在の温度は26℃です」「鍵は開いています」といったシステム発話を返すことが可能となる。

4.3 多目的対話エンジンとの連携

前述のように、多目的対話エンジンと連携することにより、自然対話による家電制御が可能となるが、

*21 エンドポイント：APIにアクセスするためのURI。

自然対話処理とIoTの組合せならではの課題がある。これらについて「家電くん」での対策を以下に示す。

1つめの課題は制御対象をどう特定するか、という課題である。ユーザが音声によって制御する家電は1つとは限らず、また複数の家電を一度に操作したい（例えば複数のライトを一度に点灯／消灯させるなど）というユースケースもあるため、どのように制御対象を特定するかという課題がある。

これについてはユーザにニックネームやグループ名を設定させ、自ら発話させることで解決を図った。「家電くん」の設定サイトのイメージを図4に示す。このように、ユーザに自らニックネームやグループ名を設定させ、対話シナリオとIoTアクセス制御エンジンとの連携により、ニックネームやグループ名を最長一致で抽出するという処理を実装した。ユーザが「(ニックネーム)をつけて」「(グループ

名)を消して」といった発話を行うことで、制御対象を正しく特定し、制御することが可能となった。

2つめに、毎回動作対象を発話せずに動作させたい、という課題（要望）がある。日本語に顕著な特徴として、主語を省略するということがあるが、IoTアクセス制御エンジンはその特性上、必ず動作対象をサービスID^{*22}として特定してAPIをリクエストする必要があるため、毎回主語を発話する必要があった。

これに対しては、制御対象をキャッシュ^{*23}する処理を対話シナリオ上で実装することで解決した。具体的には、一度制御対象のスロット^{*24}を埋めれば、制御対象を言い直したり、キャンセルを発話したりするまでは、制御対象のスロットをキャッシュし続けるという処理を入れることで課題を解決している（図5）。



図4 「家電くん」の設定サイト

- *22 サービスID：IoTアクセス制御エンジン内で、特定のデバイスの特定の機能を識別するためのユニークな識別子。
- *23 キャッシュ：配信データの一時的な保存。
- *24 スロット：音声対話の結果、アクションを起こすために必要な情報を補完するためのデータモデル。例えば家電操作の場合は「制御対象」と「操作内容」であり、天気予報であれば「場所」と「時間」が必要なスロットとなる。

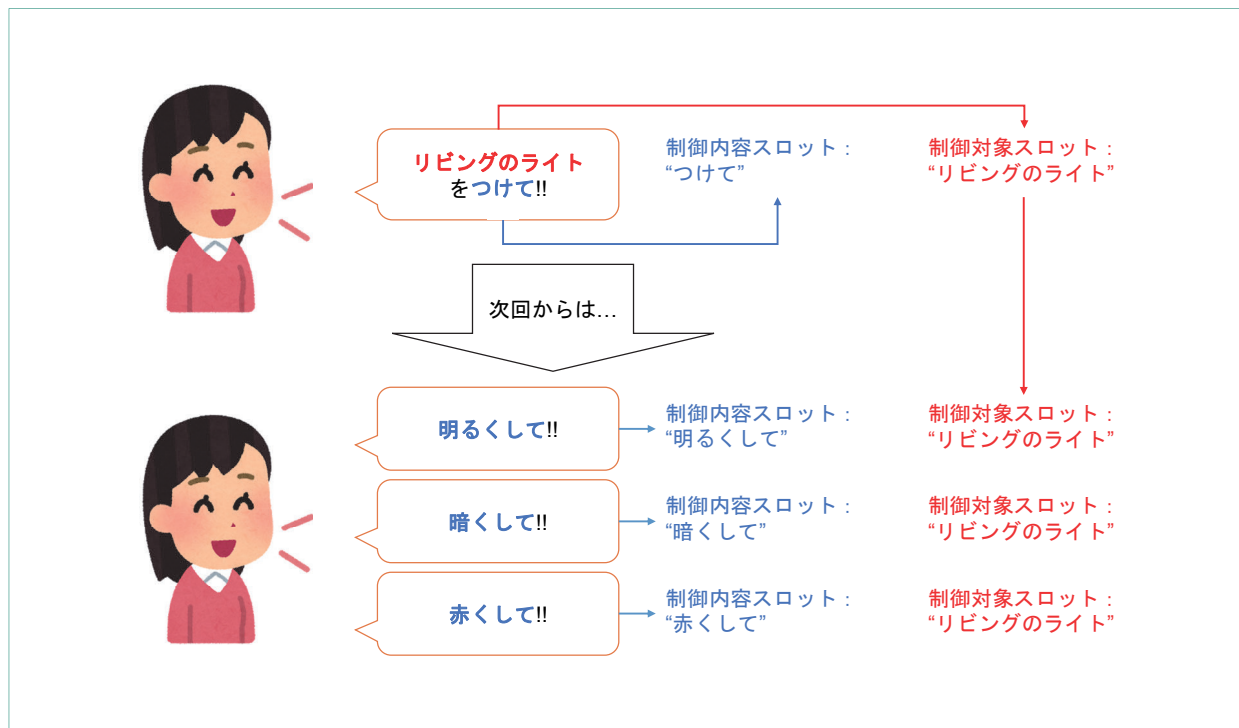


図5 制御対象スロットのキャッシュ

5. あとがき

本稿では、IoTデバイスの相互接続性の課題を解決するための技術としてデバイスWebAPIとIoTアクセス制御エンジンについて解説した。

デバイスWebAPIはIoTデバイスを機能レベルで抽象化し、共通のRESTful WebAPIでアクセスすることを可能とする。また、IoTアクセス制御エンジンにより遠隔制御や多彩なパーミッション管理機能が提供される。さらに、AIエージェント基盤の1エンジンとして連係動作することにより、IoTデバイスの遠隔制御や情報収集を行うことが可能となった。

今後の機能拡張としては、クラウドプラグイン機能やルールエンジンの提供を計画している。

クラウドプラグイン機能では、デバイスWebAPIをローカル環境ではなく、クラウド環境にもち、そ

の制御を行うことで、クラウドサービス間連携を前提とするデバイスも直接利用することができる。

また、ルールエンジンは、デバイスWebAPIでの機能アクセスと同様の設計による、ルールの生成や制御を行うプラグインを用意することで実現しており、ローカル環境のルールのハンドリングをIoTアクセス制御エンジンから遠隔で行うこともできる。さらに、IoTアクセス制御エンジン自体としても、複数のゲートウェイデバイスやクラウドサービスにまたがったルール記述を容易にする技術を提供予定である。

また、IoTに特化した通信プロトコルの効率化や、LPWA (Low Power, Wide Area)^{*25}に代表されるようなさまざまな通信ネットワークへの対応、IoTに特化したログデータの解析や機械学習といった研究開発を継続し、AIエージェント基盤のさらなる

^{*25} 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。

高度化を進めていく。

文 献

- [1] M.Weiser : “The Computer for the 21st Century,” Scientific American 265, No. 3, pp.94-104, Sep. 1991.
- [2] M. Satyanarayanan : “Pervasive computing : Vision and challenges,” IEEE Personal communications Vol.8, No.4, pp.10-17, Aug. 2001.
- [3] T. Starner : “Human-powered wearable computing,” IBM Systems Journal, Vol.35, Issue 3.4, pp.618-629, 1996.
- [4] G. D. Abowd : “Software engineering issues for ubiquitous computing,” Proc. of the 21st international conference on Software engineering, ACM, 1999.
- [5] 山添, ほか : “デバイスコネクトWebAPI —多種多様なスマートフォン連携デバイスのためのWebインターフェース—,” 本誌, Vol.23, No.1, pp.8-13, Apr. 2015.
- [6] OMA SpecWorks : “GotAPI.”
<https://www.omaspecworks.org/what-is-omaspecworks/iot/gotapi/>
- [7] Swagger : “OpenAPI Specification.”
<https://swagger.io/specification/>
- [8] GitHub : “DeviceConnect.”
<https://github.com/DeviceConnect>

3GPP Release 15標準化技術概要

5Gイノベーション推進室	ながた 永田	さとし 聡	たけだ 武田	かずあき 和晃
無線アクセス開発部	うめだ 梅田	ひろまさ 大將	たかはし 高橋	ひであき 秀明
ネットワーク開発部	あおやぎ 青柳	けんいちろう 健一郎		

3GPPにおいて、5Gの商用化に向けたRANおよびCNの詳細仕様の検討（Work Item）が進められ、2017年12月にLTE、NRのエリアと組み合わせてサービスを提供するノンスタンドアロン向けの仕様 completion。また、2018年6月にNR単独でエリアを提供するスタンドアロン向けの仕様とともに、LTE/LTE-Advancedの高度化仕様を含めたRelease 15の標準化が completion。本稿では、3GPPのRelease 15で completionしたNRおよびLTE仕様について概説する。

1. まえがき

国際的な移動通信システムの標準化団体である3GPP（3rd Generation Partnership Project）において、第5世代移動通信システム（5G）の初版仕様が含まれるRelease 15の策定を2018年6月に完了した。本仕様では、5G向けのユースケース・要求条件を満たすべく、従来のLTE/LTE-Advancedと後

方互換性の無い新しい無線通信方式（NR：New Radio）や、新しいコアネットワーク（5GC：5G Core Network）の規格が策定された。同時に、LTE/LTE-Advancedの機能拡張・高性能化を図る仕様策定も、継続して行われた。本稿では、これらのRelease 15で仕様化された無線、コアネットワークの主要機能とともに、その検討で考慮された背景を概説する。

2. Release 15仕様の機能概要

3GPP Release 15では、NRおよび5GC向けの新規仕様や、LTE/LTE-Advanced向けの拡張仕様として、従来の移动通信技術に求められていた高速・大容量（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）を達成する技術に加えて、高信頼・低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）を実現する技術の検討が精力的に行われた。さらに、LTE/LTE-Advanced向けには、IoT（Internet of Things）端末を多数収容する（mMTC：massive Machine Type Communications）ための技術の拡張も行われた。図1は、これら3つの利用シナリオに対して仕様策定されたNR、5GC、およびLTE/LTE-Advanced向けの機能を示している。

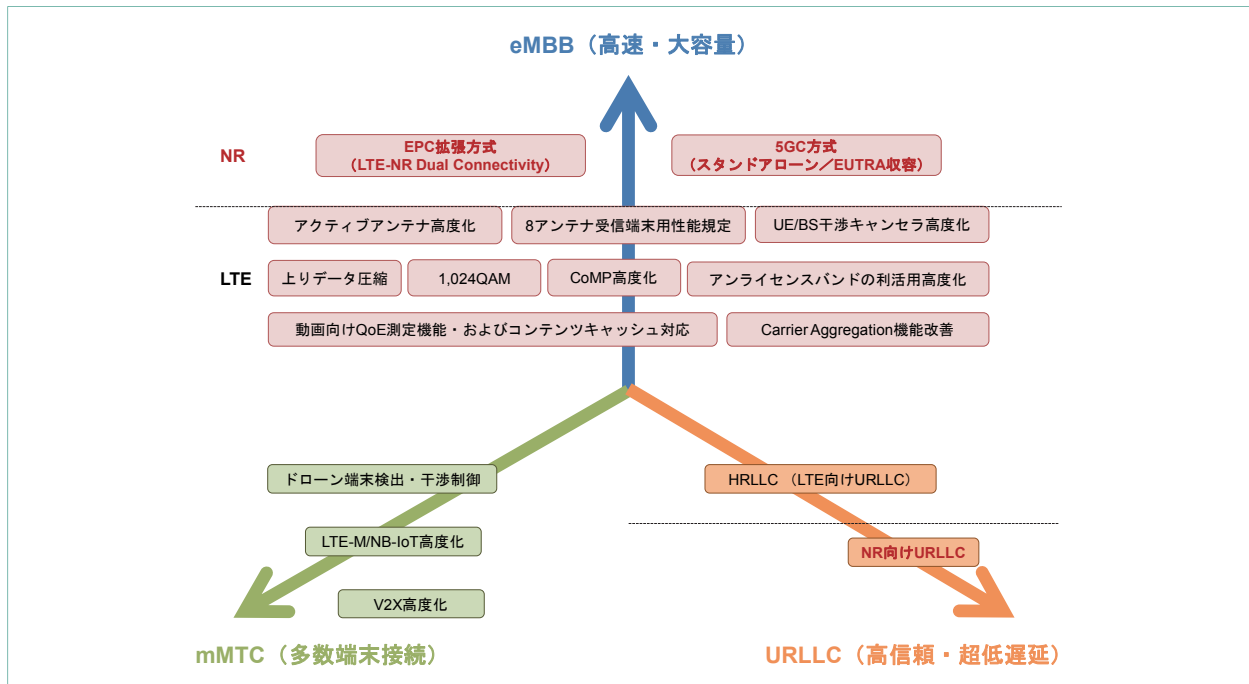


図1 Release 15で仕様化したNRおよび5GC, LTE/LTE-Advanced向けの主な機能

3. Release 15仕様で策定された新たな無線アクセス機能

3.1 NR向けに規定された機能

NRに対しては、eMBBをノンスタンドアローン^{*1}運用、およびスタンドアローン^{*2}運用で提供する技術が規定された [1]。ノンスタンドアローン運用を提供する主な技術にLTEとNRのDual Connectivity^{*3}がある。また、NRでURLLCを提供する技術も規定された。

(1) eMBB向け機能

eMBBを実現するNRの主な特徴として、(a)高周波数・超広帯域伝送、(b)Massive MIMO (Massive Multiple Input Multiple Output)^{*4}伝送、および(c)柔軟なフレーム^{*5}構成・物理チャネル^{*6}構成が挙げ

*1 ノンスタンドアローン：端末が複数の無線技術を介して移动通信網に接続する形態。
 *2 スタンドアローン：端末が単独の無線技術を用いて移动通信網に接続する形態。
 *3 Dual Connectivity：マスターとセカンダリの2つの基地局に接続し、それらの基地局でサポートされる複数のコンポーネントキャリアを用いて送受信することで、広帯域化を実現する技術。

*4 Massive MIMO：送信と受信にそれぞれ複数素子のアンテナを用いることで無線信号を空間的に多重して伝送するMIMO伝送方式において、より多くのアンテナ素子で構成される超多素子アンテナの採用により、高周波数帯使用時の電波伝搬損失補償を可能とする鋭い電波ビームの形成や、より多くのストリームの同時伝送を実現する技術。これらにより、所望のサービスエリアを確保しつつ、高速なデータ通信を実現する。
 *5 フレーム：エンコーダ・デコーダが動作する周期、およびそれに対応する長さのデータ信号。
 *6 物理チャネル：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ネルの総称。

られる。以降でこれらの特徴を解説する。

(a)高周波数・超広帯域伝送

Release 15のNRにおいては、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として無線性能が規定されている。FR1ではLTE/LTE-Advancedと同様、有線試験を前提にした仕様になっているが、FR2では、すべてOTA (Over The Air)^{*7}を前提にした仕様となっている [2]。また、超高速、広帯域伝送を実現するために、FR1では、1CC (Component Carrier)^{*8}当り最大100MHz、FR2では、1CC当り最大400MHzのチャンネル帯域幅が規定されている。さらに、物理レイヤ^{*9}仕様において最大16のNR CCを束ねて超高速伝送を実現するCA (Carrier Aggregation)^{*10}やDual Connectivityがサポートされている。NRでは、このように幅広いチャンネル帯域幅や、非常に高周波数帯までを対象としている点がLTE/LTE-Advancedと大きく異なる。

またNRでは、15、30、60、および120kHzの複数のOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)^{*11}サブキャリア^{*12}間隔をデータ送受信向けにサポートしている。これは、一般にOFDMサブキャリア間隔が共通の場合には、高周波数帯においては、低周波数帯と比較してマルチパスフェージング^{*13}や位相雑音^{*14}への耐性などが、大きく劣化するためである。

さらに、マルチアクセス^{*15}方式としては、MIMO技術との親和性や周波数選択性フェージング^{*16}への耐性が高いOFDMベースの技術が採用されている。具体的には、上下リンクともにOFDMがサポートされている。さらに、

上りではOFDMに加えてカバレッジ確保のためにPAPR (Peak-to-Average Power ratio)^{*17}の低いDFT-spread OFDM (Discrete Fourier Transform-spread OFDM)^{*18}が、シングルストリーム伝送時に限定してサポートされている。

(b)Massive MIMO伝送

Release 15の物理レイヤ仕様では、高周波数帯において基地局で最大256、端末で最大32のアンテナ素子を用いたMassive MIMO伝送を想定した参照信号構成、ビーム制御などの要素技術が規定されている。高速、大容量通信を実現するために、下りで最大8レイヤのシングルユーザMIMO^{*19}伝送、最大12レイヤのマルチユーザMIMO^{*20}伝送、上りで最大4レイヤのシングルユーザMIMO伝送が可能である。

通常、高周波数帯では、伝搬損失^{*21}によるカバレッジの減少を補うために、ビームフォーミング^{*22}技術が重要となる。LTE/LTE-Advancedでは高周波数帯の利用を想定していないため、デジタル領域でビームフォーミングを生成するデジタルビームフォーミングの実装が前提となっていたが、高周波数帯のMassive MIMOでは実装が困難となるため、デジタルビームフォーミングとアナログビームフォーミングの併用である、ハイブリッドビームフォーミングの実装が前提となっている。その結果NRでは、初期アクセス、スケジューリング、HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest)^{*23}再送などの主要機能は、これまでの低周波数帯のデジタルビームフォーミングに加えて、新たに高周波数帯のハイブリッドビームフォーミングを考慮した標準仕様となっている [2]。

*7 OTA：電波伝搬空間上に規定点や測定点を設け、アンテナの放射/受信特性も含め無線性能を規定する方法、およびそれらを測定する方法。

*8 CC：キャリアアグリゲーションにおいて束ねられるキャリアを表す用語。

*9 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。

*10 CA：複数のキャリアを用いて同時に送受信することにより広帯域化を行い、高速伝送を実現する技術。

*11 OFDM：デジタル変調方式の1つで、情報を複数の直交する搬送波に分割して並列伝送する方式。高い周波数利用効率での伝送が可能。

*12 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送する個々の搬送波。

*13 マルチパスフェージング：電波が地形や建物によって反射や回折を繰り返す、複数の電波となって受信機に到達する現象。

*14 位相雑音：局部発振信号における搬送周波数以外の周波数成分によって発生する位相変動。

*15 マルチアクセス：無線システム内において、複数の端末が通信を行う際、各端末に対して複数の無線チャンネルのうち、空き状態にあるチャンネルを割り当てて通信を行う方法を指す。

*16 周波数選択性フェージング：建物などに反射して異なる経路で到来する信号（電波）が受信されることにより、受信信号の周波数軸上における受信レベルが一様でなくなること。

(c)柔軟なフレーム構成・物理チャンネル構成

前述の通り、NRでは複数のサブキャリア間隔がサポートされており、周波数方向に広いサブキャリア間隔では時間方向であるOFDMシンボル^{*24}長が短くなる。例えば、120kHzのサブキャリア間隔では、LTE/LTE-Advancedの15kHzのサブキャリア間隔と比較して、OFDMシンボル長は1/8となる。このように広いサブキャリア間隔を用いることで、低遅延伝送が可能となる。さらに、制御、データチャンネルの割当て単位を構成するOFDMシンボル数を柔軟に変えることができる [2]。また、フレーム構成においては、上下リンクのトラフィック比に応じて、上下リンクのスロット比を柔軟に切り替えることができる。

(2)URLLC向け機能

URLLCは、自動運転車、産業用ロボット、遠隔医療などIoTの一種ではあるが高いリアルタイム性や信頼性が要求されるミッションクリティカルサービス^{*25}をサポート/アシストする利用シナリオとなっている。低遅延機能については、前述の通り、広いサブキャリア間隔を適用する、あるいはデータ割当てに用いるOFDMシンボル数を減らすことで実現できる。一方、高信頼性の実現に向けては、eMBBよりも低い符号化率をサポートできるよう、CQI (Channel Quality Indicator)^{*26}、MCS (Modulation and Coding Scheme)^{*27}テーブルをURLLC向けに新たに規定している。

3.2 LTE/LTE-Advanced向けに規定された機能

Release 15では、eMBBを実現するLTE/LTE-Advancedの拡張技術を、従来の仕様から策定を継

続しつつ、周波数利用効率の向上を図る1024QAM (Quadrature Amplitude Modulation)^{*28}の対応、アクティブアンテナシステム^{*29}向けのOTA規定の拡充や、アンライセンスバンドを利活用する技術の拡張などが規定された。

(1)周波数利用効率向上を図るeMBB向け技術

周波数利用効率向上を図るLTE/LTE-Advancedの拡張技術を以下で解説する。

①1,024QAMのサポート

さらなる高速化に向けて、1,024QAM、およびDM-RS (DeModulation Reference Signal)^{*30}オーバーヘッド^{*31}低減が仕様化された。

②CoMP (Coordinated Multi-Point transmission/reception)^{*32}高度化

2つの基地局でお互いのCSI (Channel State Information)^{*33}情報を知ることなく、異なるデータ系列をそれぞれの基地局から送信するNon-coherent joint transmissionがサポートされた。これに伴い、QCL、下り制御情報、およびCSIフィードバック機能が拡張された。

③8アンテナ受信端末用性能規定

端末での8アンテナ受信によるセルカパレッジの拡張、並びに下り8レイヤ利用による最大伝送速度向上を実現する無線性能が規定された。

④アクティブアンテナシステム向けのOTA規定の拡充

Release 13では、基本的に有線試験を前提にアクティブアンテナシステムの無線性能が規定されていた (EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power)^{*34}とEIS (Equivalent Isotropic Sensitivity)^{*35}の2項目のみOTA規定化) が、Release 15ではOTAにて規定することにより、アンテナ部を含めたエンドツーエンドの性能担

*17 PAPR: 最大電力と平均電力の比。これが大きいと、信号歪みを避けるために送信側のパワーアンプのバックオフを大きくする必要があり、特に移動端末において問題となる。

*18 DFT-spread OFDM: デジタル変調方式の1つ。1ユーザの信号に対して、OFDM変調を行う前にDFTプリコーダーを乗算することでPAPRを抑えることができる。

*19 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。

*20 マルチユーザMIMO: 複数のユーザに対する信号を同一時間・周波数においてMIMOを用いて伝送する技術。

*21 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。

*22 ビームフォーミング: 複数のアンテナそれぞれの振幅および位相の制御によってアンテナ全体に対して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。

*23 HARQ: 誤り訂正符号と再送を併用して、受信した信号の誤りを補償する技術。

*24 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が挿入される。

*25 ミッションクリティカルサービス: 3GPP移動通信網にて規定された、主に警察、消防などの公共安全機関向けに提供される通信サービス。

保を可能にする仕様が導入された。本規定が行われることで、アンテナコネクタを具備していないアクティブアンテナシステムに対して3GPP仕様にに基づく性能担保を求めることが可能となる。このような構成の装置では、装置内での電力損失が低減され、複数の送受信機とアンテナを高密度に実装できることで、より鋭いビーム形成（高い利得）が可能となり、高周波数帯による電波伝搬損失の増大を補うことが可能である。

⑤各種干渉低減技術

他セル干渉を除去し、ユーザスループット向上を図るLTE/LTE-Advancedの拡張機能が、いくつか規定された。まず、データトラフィック量が少ない時間帯・エリアでは基地局のCRS (Cell-specific Reference Signal) *36の送信量を減らし、CRSによる干渉低減、および基地局の消費電力を低減する機能が規定された。基地局向けには、上り受信の干渉キャンセラ*37の性能も規定された。また、IoT端末のように、受信アンテナを1つのみ搭載する低コスト端末向けの干渉低減技術の性能も規定された。

(2)その他eMBB向け技術

周波数利用効率向上を図る技術以外にも、LTE/LTE-Advancedネットワークの運用経験を踏まえた機能改善が行われた。以下で主な技術を解説する。

①アンライセンスバンドの活用高度化

Release 13, 14で仕様化された、LAA (Licensed Assisted Access) *38の上りリンク機能が拡張された。具体的には、上りデータ送信の開始シンボルと完了シンボル位置をより柔軟に変えることが可能となった。また、端末が自律的に上りリンク送信を開始できる、Autonomous

UL送信がサポートされた。

②CA機能改善

従来のCAでは、SCell (Secondary Cell) *39を設定するまでの間、以下の端末処理に遅延を要していた。

- ・SCell候補の測定キャリア数に応じて、候補キャリアの品質測定時間が長くなる。
- ・SCellで通信を開始する際、RF (Radio Frequency) 回路を起動するまでに数十ミリ秒かかる。

これらの課題を解決するため、端末がIdle状態の時に、SCellの候補となるセルの無線品質を測定する仕組み、およびSCellでの通信開始前に、SCellのRF回路を起動した状態でSCellを設定するdormant SCell stateという新しい状態を規定した。

③上りデータ圧縮

TDD (Time Division Duplex) *40において、下りに比重をおく上下比が一般的に用いられており、上り送信に使える無線リソースには限りがある。限られた無線リソースで効率的に上りユーザデータを伝送するため、IPより上位のパケット (IP, UDP (User Datagram Protocol) *41, RTP (Real-time Transport Protocol) *42など) のヘッダを圧縮するUDC (Uplink Data Compression) の仕組みを規定した。圧縮のアルゴリズムは、IETF (Internet Engineering Task Force) *43で標準化されたDEFLATE *44を採用し、PDCP (Packet Data Convergence Protocol) *45レイヤでヘッダ圧縮を行う。

④動画向けQoE測定機能・コンテンツキャッシュ対応

近年のスマートフォンにおける動画視聴サー

*26 CQI：移動局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。

*27 MCS：適用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。

*28 QAM：変調方式の1つであり、振幅と位相の双方を利用して変調する方式。定義されるパターン数に応じて16QAM, 64QAMなどの種類がある。

*29 アクティブアンテナシステム：従来独立していたアンテナ素子と無線装置を一体化したシステム。一体化することで、従来型と比較して高効率なシステムを提供可能となる。

*30 DM-RS：データ復調に用いるフェージングチャネルを推定するためのユーザ個別の、基地局と移動局で既知の参照信号（パイ

ロット信号）のこと。

*31 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。

*32 CoMP：ある端末に対して、複数のセクタあるいはセルと信号の送受信を行う技術。複数のセルが協調して送受信を行うことにより、他セル干渉低減および所望信号電力の増大を実現する。

*33 CSI：信号が経由した無線チャネルの状態を表す情報。

*34 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。

*35 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。

*36 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。

ビスの高まりに応じて、移動通信環境での動画の品質、QoE (Quality of Experience) を向上することがオペレータの課題の1つとなっている。実ネットワークでQoEを測定するため、MDT (Minimization of Drive Test)^{*46}の仕組みを用いて、ネットワークがQoEの測定結果を端末から収集する仕組みを規定した。同時に、動画のコンテンツキャッシュサーバを基地局の近くに設置することで、動画のダウンロード遅延を低減する仕組みも検討された。この仕組みではコンテンツサーバからデータをダウンロードする場合、端末は、EPC (Evolved Packet Core)^{*47}を経由せず、基地局経由で直接コンテンツサーバと通信を行う。

(3) mMTC向け技術

昨今高まっているIoTへの市場の期待に応えるべく、3GPPにおいても、マシンコム通信、車間通信向けの技術を策定してきた。Release 15ではそれらの高機能化が実施され、ドローン、URLLC向け仕様の高機能化が規定された。

① ドローン端末検出・干渉制御

ドローンを用いたサービスの普及に伴い、移動通信システム上でもドローン端末へ広域なエリアでの通信を提供することの需要が高まっている。市場の期待に応えるため、3GPPでもLTE/LTE-Advancedによるドローン端末への通信提供の実現性を検討し、既存仕様においても、ドローン端末への通信を提供するために必要十分な機能を有しているとの結果が得られた。

一方で、上空を飛行するドローン端末から基地局への上り方向の干渉が増加する課題も発見された。また、ドローン端末が上空を飛行するためには、免許を必要とする国・地域も存在す

るため、免許を取得したドローン端末か否かをいかにネットワークで判定できるかという課題も検討された。

上り方向の干渉の課題に対しては、端末個別にオープンループ^{*48}の送信電力制御のパラメータを変更することとし、基地局からの伝搬損失が小さくても、target SIR (Signal to Interference Ratio)^{*49}を抑えるようなパラメータに設定することで、ドローン端末からの送信電力を抑える仕組みを規定した。

免許を取得したドローン端末か否かに関しては、ネットワーク内のHSS (Home Subscriber Service)^{*50}と連携し、契約情報から判定する仕組みを規定した。

② LTE-M^{*51}/NB (NarrowBand) -IoT^{*52}高度化

Release 15では、LTEネットワークを介したIoT端末向けに、TDDのサポートや低消費電力化に関する機能拡張が行われた。

(a) Idleモード時の低消費電力化技術 (Wake-up signal)

Idleモード時の低消費電力化に向けて、Wake-up signalが新たに仕様化された。通常、Idleモードの端末は、周期的に下り制御チャネルの復調を試みてページング^{*53}情報を取得するが、ページング情報の有無は復調するまで分からないため、周期的に下り制御チャネルを復調しようとし、端末の消費電力が増大してしまう。そこで、Release 15では、Wake-up signalの簡易な検出処理で、ページング情報の有無を判断することができる仕様となり、端末の低消費電力化が期待できる。

(b) 小パケット通信の低遅延化

スマートメータなどのユースケースでは、比

^{*37} 干渉キャンセラ：複数の信号が合成された受信信号から1つずつ信号を検出、キャンセルしながら信号分離を行う方法。MMSEによる検出法よりも高い性能を有する。

^{*38} LAA：端末が、ライセンスバンドで運用しているLTEキャリアから設定情報を受けてアンライセンバンドで無線通信を行う、無線アクセス方式の総称。

^{*39} SCell：CAにおいて複数用いるキャリアの中で、PCellでないキャリアの総称、セカンダリセルとも呼ばれる。

^{*40} TDD：下りリンクと上りリンクの通信を時間で区切り、送信と受信を切り替えながら通信を行う方式。

^{*41} UDP：インターネットで標準的に利用されるIPの上位プロトコル。TCPとは異なり、サーバと端末との間で通信が確立してい

るかを確認する機能あるいは送信先に届かなかったデータを再送信する機能などが省かれている。

^{*42} RTP：IETF (^{*43}参照) で規格化されたIPネットワークを介したリアルタイムマルチメディア伝送用のプロトコル。

^{*43} IETF：インターネット技術標準の開発、推進を行っている標準化組織。

^{*44} DEFLATE：IETFで標準化されたデータ圧縮アルゴリズム。

^{*45} 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。

^{*46} 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。

較的パケットサイズの小さいデータ送信が想定される。そこで、通常ではデータ送信が開始できないランダムアクセス^{*54}手順中に、小さいデータ送信を開始するための手順がサポートされた。これにより、小パケット通信の低遅延化が期待できる。

(c)TDDのサポート

Release 13, 14では、FDD (Frequency Division Duplex)^{*55}バンドでの運用をターゲットとして、LTE-M, およびNB-IoTが仕様化された。Release 15では、さらにTDDバンドでの運用も可能となった。

③車間通信 (V2X: Vehicle to Everything) 高度化

Release 15では、Release 14で仕様化されたV2X通信の機能拡張が行われた。具体的には、V2X通信の広帯域、高速化を目的として、端末がリソースプール^{*56}から自律的に送信リソースを選択するMode 4^{*57}に対してCAが新たに導入された。また変調方式として、64QAMがV2X向けにサポートされた。また、より低遅延な要求条件を満たす端末能力が新たに仕様化された。

(4)HRLLC (High-Reliable Low Latency Communication, LTE向けURLLC)

近年、自動運転車、産業用ロボット、遠隔医療、VR (Virtual reality) など高いリアルタイム性が要求されるサービスや信頼性が必要とされるミッションクリティカルサービスへの需要が高まっている。そこで、LTE/LTE-Advancedにおいても低遅延・高信頼通信を実現するための機能が仕様化された。

(a)高信頼通信に向けた技術

高信頼通信に向けて、下りの制御チャンネル、

上下リンクデータチャンネルの送受信品質を向上させるための機能が導入された。

下りの制御チャンネルに対しては、従来のLTE/LTE-AdvancedではPCFICH (Physical Control Format Indicator Channel)^{*58}を検出してPDCCHのOFDMシンボル数を識別していた。しかし、この場合PCFICHの検出誤り・誤検出が下り制御チャンネル全体の品質を制約してしまう。そこで、PDCCHのOFDMシンボル数を上位レイヤシグナリングで通知し、従来のPCFICHの検出誤り・誤検出の影響を避けることで、下り制御チャンネル受信の品質を向上させる方法が規定された。

また、上下データチャンネルの送受信の品質向上に向けて、同じデータを複数のPDSCH/SPDSCH, またはSPS (Semi Persistent Scheduling) -PUSCH^{*59}/SPS-SPUSCHで繰り返し送受信する機能を導入した。

(b)低遅延通信に向けた技術

低遅延通信に向けては、従来の1ms TTI (Time-To-Interval)^{*60}に対する信号処理時間短縮と、新たなshort TTIを仕様化した。

まず、下りデータ受信のタイミングからHARQフィードバックを送信するまでの信号処理時間、および、上りデータをスケジューリングする下り制御チャンネル受信のタイミングから上りデータ送信までの信号処理時間を、従来の最短4msから3msへと、25%短縮する機能を規定した。

また、従来の14OFDMシンボルから構成される1msのTTIそのものを短縮するため、7OFDMシンボルから構成されるスロット、および、2または3OFDMシンボルから構成されるサブスロットをshort TTIとして規定し、これをスケ

*47 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。

*48 オープンループ: 制御の出力をフィードバックせずに、入力に対して計算を行う制御。

*49 SIR: 所望電力と干渉電力の比率。

*50 HSS: 3GPP移動通信網におけるユーザ情報データベースであり、認証情報および圏情報の管理を行う。

*51 LTE-M: 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。

*52 NB-IoT: LTE-M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。

*53 ベーキング: 着信時に待受け圏中の端末を呼び出す手順および信号。

び信号。

*54 ランダムアクセス: 移動端末と基地局が上り信号の送信タイミング同期および接続を確立するために行う手順。

*55 FDD: 周波数分割複信、無線通信などで同時送受信を実現する方式の1つで、異なる周波数にて送信と受信を同時に行う方式。

*56 リソースプール: 大量のハードウェアを束ねて、それぞれのハードウェアが保持するリソース (CPU/メモリ/HDDなど) の集合体としたものであり、これを基にさまざまな仮想マシンが作成可能となる。

*57 Mode 4: LTE V2Xにおけるリソース割当て法の一種。

*58 PCFICH: LTEのPDCCHが送信されるシンボル数を通知するための物理チャンネル。

ジャーリングリソース単位とする下りデータ（SPDSCH：Short Physical Downlink Shared CHannel*⁶¹）や上りデータ（SPUSCH：Short Physical Uplink Shared CHannel*⁶²）のリソース割当てを規定した。同時に、Short TTIのデータ割当てを実現すべく、上下リンクの制御チャンネルSPDCCH（Short Physical Downlink Control CHannel）、およびSPUCCH（Short Physical Uplink Control CHannel）も仕様化された。

4. Release 15 NR向けに規定されたコアネットワーク

コアネットワークの観点でNRを提供する方式として、図2に示す通り、既存EPCを拡張し、ノンス

タンドアローン運用でNRを提供する「EPC拡張方式」と、新規に規定された5GC（5Gコアネットワーク）を導入し、スタンドアローン運用でNRを提供する「5GC方式」の2つをRelease 15で規定した [1].

4.1 EPC拡張方式の特徴

(1)EPC Dual Connectivity

NRは高周波数帯を用いるなどの特徴から、局所的なエリア展開、限定的なカバレッジによる運用ケースも想定される。一方、VoLTE（Voice over LTE）やIoTなど、面的に十分なカバレッジを要するような既存サービスの品質を担保する必要がある。これらのサービスにおいては既存EPC設備や、LTE/LTE-Advancedで提供されるカバレッジを活用しながら、高画質な動画の視聴などの特定サービスにお

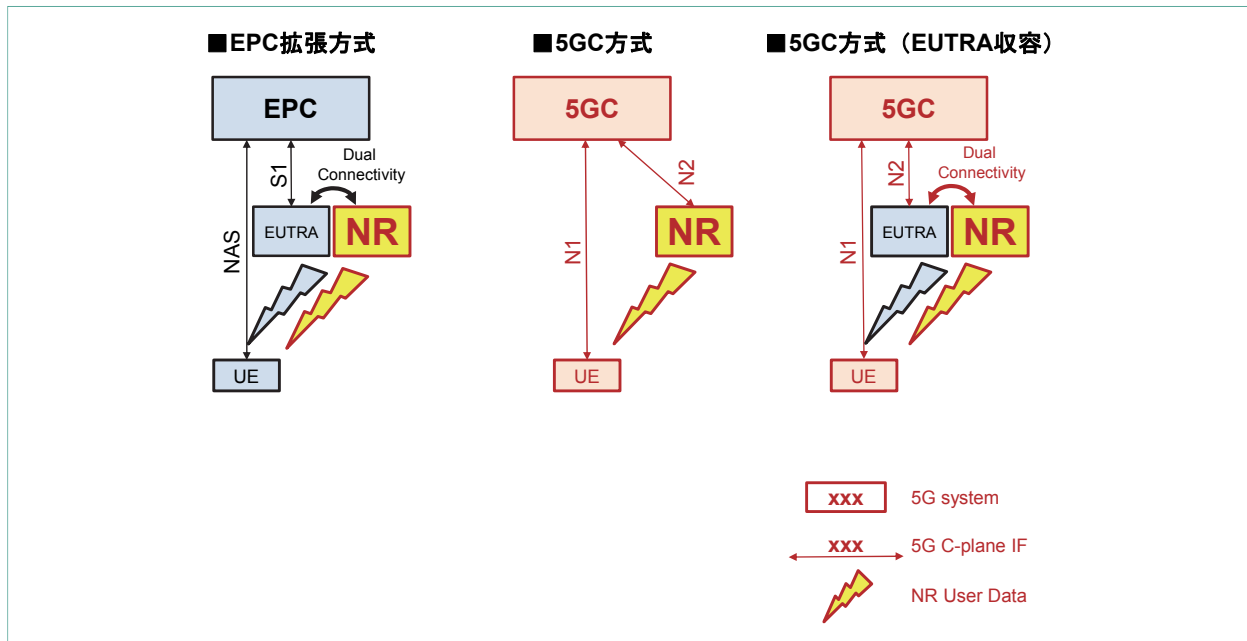


図2 コアネットワークの観点からNRを提供する方式

- *59 SPS-PUSCH：下り制御情報の復調に基づいて、異なる上りデータを周期的に送信する方法。
- *60 TTI：トランスポートチャンネルで伝送される1データ当りの伝送時間。
- *61 SPDSCH：Short TTIを適用したPDSCH。
- *62 SPUSCH：Short TTIを適用したPUSCH。

いてNRを適用するといった、サービスや環境に応じた運用が求められる。EPC Dual Connectivityは、既存EPC設備の各種設定と、eNB (evolved NodeB)^{*63}とのSI-IF (InterFace^{*64})と、端末とのNAS (Non Access Stratum) -IF^{*65}を活用することで、コアネットワーク設備への影響を軽減し、比較的早期にNRを導入できることが、最大の特徴となる。

(2)5G NRサービス識別 (制御) 機能

上記のDual Connectivity機能に加え、ローミングなどのさまざまな契約、運用形態などを考慮し、一層柔軟かつ適切にNRを提供するための機能が以下のように規定されている。

- ・5Gエリア通知機能：端末からのアタッチ^{*66}手順などを受信した際、コアネットワークは当該端末の5G契約に関する情報を端末に通知する。端末は、本情報、および基地局から通知される通信セルごとに設定される5G NR接続可否を識別する情報などから、アイコン表示などでユーザへのNRエリア通知を行う。
- ・5G NR接続判定機能：上記と同じく5G契約に関する情報を端末、および基地局に通知する。これにより、例えばローミング時の5G使用可否を条件にNRに接続させる、あるいは試験用の特定端末に限ってNRに接続させるといったネットワーク運用を可能としている。
- ・5G-GW (GateWay)^{*67} 選択機能：5Gの特徴であるスループット、容量観点で最適化されたGW装置を提供する場合、NRに端末可能な端末をこのGW装置に優先的に接続させる。
- ・5G-Data Reporting機能：Dual Connectivityの場合、ユーザデータの送受信は基地局において無線環境などに応じてE-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access)^{*68}、NRに振

り分けられる。コアネットワークでは実際に“NRで送受信されたユーザデータ量”を把握するため、基地局から“NRで送受信されたユーザデータ量”をカウントして、報告させる。

4.2 新規5Gコアネットワークの特徴

5GはRelease 15で新規に規定された5G向けコアネットワーク装置である。その主な特徴については文献 [1] を参照されたい。

なお5GCの特徴の1つは、E-UTRAをNRとともにNG-RAN (Next Generation - Radio Access Network)^{*69}として収容可能としていることである。5GCに接続可能なeNBはng-eNBと呼ばれ、このng-eNBは5GCにNRを接続する際と同様のNG-APインタフェースで接続される。また端末が5GC在圏中にIMS (IP Multimedia Subsystem)^{*70}・音声サービスを起動する場合、端末をEPCに接続させ、EPCでIMS・音声サービスを提供するフォールバック技術も提供されている。これらにより5GCにおいてもE-UTRANで構築された無線設備およびその設定、カバレッジを活用し、既存サービスの品質やエリアを維持しながら新たな5Gサービスを提供する運用や、円滑なマイグレーションを実現している。

5. あとがき

本稿では、NR、5GC、およびLTE/LTE-AdvancedのRelease 15仕様の背景、および主要機能を概説した。本稿で紹介したNR、および関連するネットワーク管理仕様については、本特集別記事でより詳細に解説をしているので、ご参照頂きたい [2]～[5]。3GPPでは、2018年10月から、Release 16仕様の作成を本格的に開始している。特にNRに対しては、

*63 eNB：LTEにおける無線基地局。

*64 SI-IF：eNBとEPCとの間の機能レイヤ。

*65 NAS-IF：無線アクセス層 (AS：Access Stratum) を経由し、移動端末とコアネットワーク間での通信を行う機能レイヤ。

*66 アタッチ：移動端末の電源投入時などにおいて、移動端末をネットワークに登録する処理。

*67 GW：プロトコル変換やデータの中継機能などを有するノード機能。

*68 E-UTRA：3GPP移動通信網における高機能無線アクセス方式におけるエアインタフェース。

*69 NG-RAN：5Gコアネットワークに接続されるRAN。無線アクセス技術としてNR、E-UTRAを用いる。

*70 IMS：3GPP移動通信網におけるIPマルチメディアサービス (VoIP、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。

ミリ波向けのマルチビーム・MIMOの高機能化やURLLC, IoTの適用領域の拡大を図る仕様を策定する予定である。またコアNWにおいても, 5GC商用導入に向け, 各種基盤機能の改善, URLLC, V2X, IoTなど, 新しいサービスの5GCへの適用, およびその高度化を検討予定である。

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] 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] 内野, ほか: “5Gにおける上位レイヤ仕様,” 本誌, Vol.26, No.3, pp.59-73, Nov. 2018.
- [4] 佐野, ほか: “5Gにおける無線性能/無線リソース制御仕様,” 本誌, Vol.26, No.3, pp.74-88, Nov. 2018.
- [5] 坪内, ほか: “5G時代のネットワークマネジメント仕様,” 本誌, Vol.26, No.3, pp.89-94, Nov. 2018.
- [1] 巳之口, ほか: “3GPPにおける5G標準化動向,” 本誌,

5GにおけるNR物理レイヤ仕様

5Gイノベーション推進室 たけだ かずき **武田 一樹** はらだ ひろき **原田 浩樹** おおさわ りょうすけ **大澤 良介**
 移動機開発部 かきしま ゆういち **柿島 佑一**
 ドコモ北京研究所 ワン リフェ **王 理恵** ワン ジュンシン **王 閔昕**

5Gの商用サービスに向けた5G RANの詳細仕様の検討 (Work Item) が、3GPPにおいて進められ、2017年12月にノンスタンドアローンNR仕様が、2018年6月にスタンドアローンNR仕様がLTE/LTE-Advancedの機能拡張・高性能化とともに確定し、Release 15仕様として策定された。本稿では、NRの物理レイヤ仕様について解説する。

1. まえがき

スマートフォンやタブレット端末の普及により、情報の収集が気軽に行え、動画や音楽などが場所や時間を問わずに楽しめるようになり、またそのコンテンツのリッチ化が著しい。さらに、あらゆるモノがネットワークに接続するIoT (Internet of Things) によって開拓される新領域のサービスは、今後ますます重要になってくるものと考えられる。

このような状況を背景に3GPP (3rd Generation

Partnership Project) では、LTEおよびLTE-Advancedと互換性の無い第5世代移动通信システム (5G) の無線通信方式であるNR (New Radio) の規格を策定した。NRでは最大52.6GHzまでの高い周波数帯などを活用した通信の高速化や、高度化されたIoTの実現などを目的とした低遅延・高信頼な通信を可能にしている。本稿ではそれらの要求条件を実現するために仕様化されたNRの物理レイヤにおける要素技術について解説する。

2. フレーム構成・Duplex mode

2.1 新規サブキャリア間隔のサポート

NRは、無線アクセス方式としてLTEと同様、直交周波数分割多重（OFDM：Orthogonal Frequency Division Multiplexing）^{*1}を採用している。ミリ波^{*2}をはじめとする、より高い周波数を利用するため、また従来よりも著しく低遅延化が要求されるサービスに対応するため、LTEと同じサブキャリア^{*3}間隔である15kHzを基準とし、さらにより広い30、60、120、240kHzをサポートする。なお、サブキャリア間隔240kHzは後述する同期信号ブロック（SS（Synchronization Signals）^{*4}/PBCH（Physical Broadcast Channel）^{*5} block）でのみサポートされる（代わりに、SS/PBCH blockはサブキャリア間隔60kHzをサポートしない）。

ユーザ端末は、初期アクセスを行うときに、当該

キャリアで設定され得るサブキャリア間隔を想定してSS/PBCH blockを検出し、それに含まれるPBCHに基づいて、制御・データチャネルなどのサブキャリア間隔を識別する。

2.2 フレーム構成

NRでは、複数のOFDMシンボル^{*6}により、スロット^{*7}、サブフレーム^{*8}、フレーム^{*9}が構成される。スロットは、サブキャリア間隔にかかわらず14個のOFDMシンボルで構成され、サブフレームは1ms区間として、フレームはサブフレーム10個で定義される。これらの関係を図1に示す。

また、周波数方向においては、サブキャリア間隔にかかわらず、12個の連続するサブキャリアによりリソースブロックが構成される。

なお、NRでは、LTEとは異なり、複信方式（Duplex mode）^{*10}をフレーム構成で区別しない。すなわち、

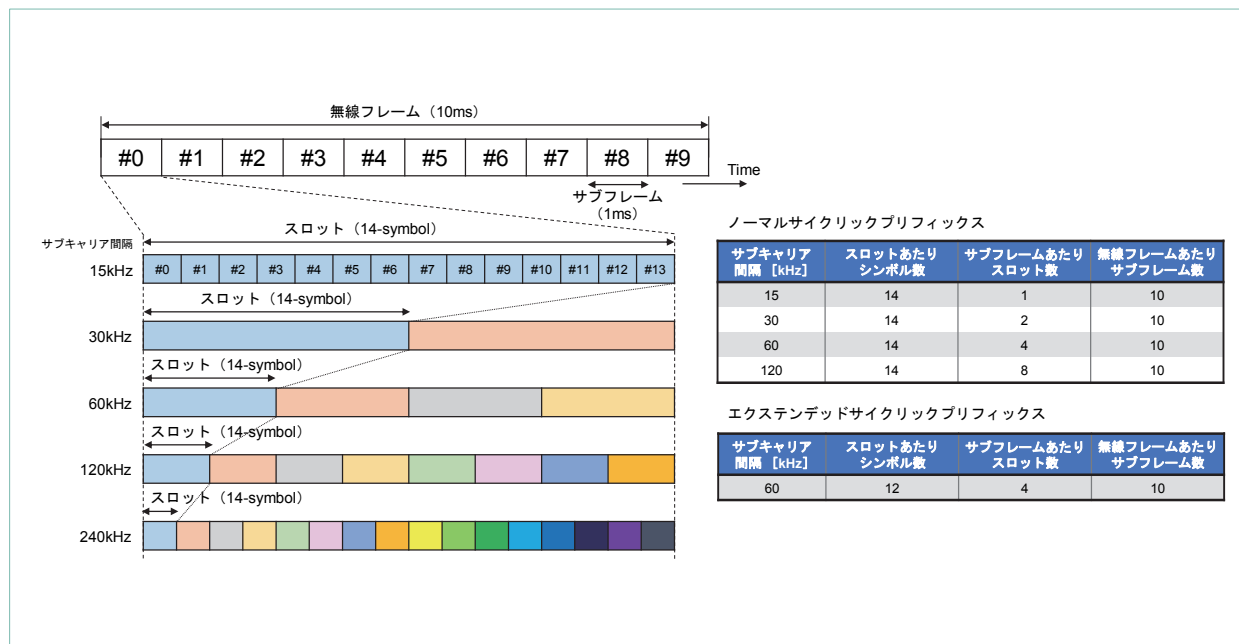


図1 スロット、サブフレーム、フレームの関係

^{*1} 直交周波数分割多重（OFDM）：情報信号を直交サブキャリアで変調するマルチキャリア変調形式。デジタル変調方式の1つで、情報を複数の直交する搬送波に分割して並列伝送する方式。高い周波数利用効率での伝送が可能。
^{*2} ミリ波：電波の波長が1～10mmの周波数帯。
^{*3} サブキャリア：複数の搬送波で情報ビットを並列伝送するマルチキャリア変調方式におけるそれぞれの搬送波。
^{*4} SS：移動局が電源投入時などに、通信の開始に必要なセルの周波数と受信タイミングおよびセルIDの検出を行うための物理信号。

^{*5} PBCH：下り共通チャンネルパラメータ、システムフレーム番号など、共通チャンネルを受信するための主要無線パラメータを通知する物理通知チャンネル。
^{*6} 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が挿入される。
^{*7} 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。
^{*8} サブフレーム：時間領域の無線リソースの単位であり、複数のスロットから構成される。

複信方式にかかわらず共通のフレーム構成となる。

また、時分割複信（TDD：Time Division Duplex）^{*11}における上下リンクパターンにおいては、LTEに比べて飛躍的に柔軟な設定・制御が可能となっている。システム情報、あるいはユーザ個別の上位レイヤシグナリング^{*12}やL1シグナリング^{*13}により、さまざまな上下リンクパターンを準静的・動的に設定することができる。

加えて、上下リンク通信方向を指示する上位レイヤ・L1シグナリングを用いない運用も可能であり、動的な送受信スケジューリングや、上位レイヤシグナリングで別途設定された周期的送信・受信のみに従って、ユーザ端末が上下リンクの通信方向を認識することができる。

3. 初期アクセス・モビリティ

NRにおける端末の初期アクセスは、同期信号（SS）の検出、報知情報^{*14}の取得、ランダムアクセス^{*15}

による接続の確立という手順で行われる。

3.1 SS/PBCH block

NRにおけるSSは、LTEと同様にプライマリ同期信号（PSS：Primary SS）^{*16}とセカンダリ同期信号（SSS：Secondary SS）^{*17}の2つの信号からなり、PBCHおよび報知チャネル復調用参照信号（DMRS for PBCH：DeModulation Reference Signals for PBCH）^{*18}と合わせて、図2に示すようなSS/PBCH blockを構成する。

基地局はSS/PBCH blockを用いて、ユーザ端末に、NRセル^{*19}の発見、フレーム同期確立、下り受信品質の測定、他の報知情報受信に必要なシステムパラメータの報知、といった初期アクセスやモビリティの重要な機能を提供する。通信事業者は、基地局ごとにSS/PBCH blockの送信タイミングおよび送信周期を設定し、ユーザ端末に通知することができる。

また、NRでは5ms長の1/2フレーム内に複数の

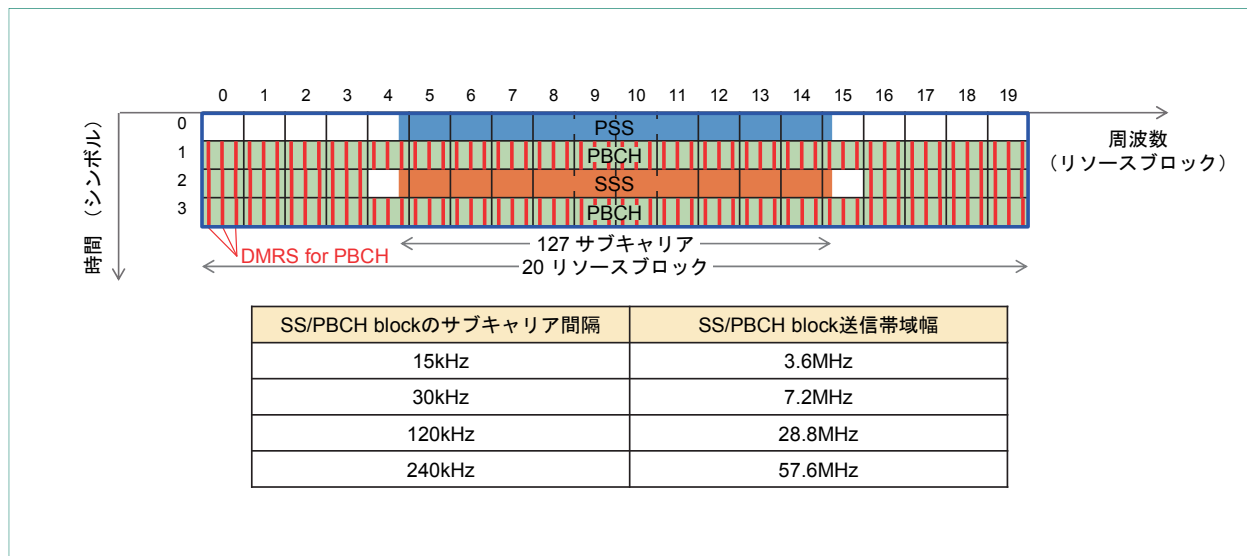


図2 SS/PBCH blockの構成

- ^{*9} フレーム：エンコーダ・デコーダが動作する周期、およびそれに対応する長さのデータ信号。
- ^{*10} 複信方式（Duplex mode）：相対する方向で送信が同時に行なわれる通信方式をいう。一般に、周波数分割複信（FDD：Frequency Division Duplex）、時分割複信（TDD）（^{*11}参照）がある。
- ^{*11} 時分割複信（TDD）：双方向の送受信方式の1つ。上りリンクと下りリンクに同一の周波数帯を使用し、異なる時間を割り当てることにより双方向通信が可能。
- ^{*12} 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（Radio Resource Control）メッセージ、MAC Control elementなど）を表す。

- ^{*13} L1シグナリング：本稿では、MACレイヤ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DCI（Downlink Control Information）、UCI（Uplink Control Information）など）を表す。
- ^{*14} 報知情報：移動端末がセルへの接続手順を実施するために必要となる規制情報、共通チャネル情報、ランダムアクセスチャネル情報などを含み、セルごとに一斉同報される。

SS/PBCH block送信候補シンボル位置が規定されており、その数は周波数帯ごとに異なる。図3に示すように、通信事業者は基地局アンテナ構成などに応じてSS/PBCH blockの送信数を設定し、それぞれのSS/PBCH blockに異なる送信ビームフォーミング*20を適用することで通信距離を伸ばしエリアを広げることができる。

3.2 システム情報の報知

NRにおける報知情報は、PBCHで送信される情報、初期アクセス時に必要となる情報、その他の情報の3つに大別できる。

PBCHには無線フレーム番号 (SFN : System Frame Number) *21や、半フレーム内の複数のSS/PBCH blockのシンボル位置を識別するためのインデックスなど、SS/PBCH blockを検出した後にユーザ端末が、NRセルとのフレーム同期を確立するために必要な情報が含まれる。加えて、後述するSIB (System Information Block) *22 1を受信するために必要となるシステムパラメータもPBCHで送信される。

ランダムアクセスを行うためには、上りリンクキャリア情報やランダムアクセス信号構成情報などが必要であり、これらを含む初期アクセス時に必要となる情報は、SIB1としてNRセル内のユーザ端末に報知される。

3.3 ランダムアクセス

NRにおけるランダムアクセスは、LTEと同様に4つの手順で行われる。

最初の手順としてユーザ端末はPRACH (Physical Random Access CHannel) *23を基地局に送信する。PRACHは、表1に示すとおりLTE PRACHの設計を踏襲する固定サブキャリア間隔と、NRのフレキシブルなフレーム構成に合わせられるような可変サブキャリア間隔の、計13フォーマットが規定されている。

基地局側で複数のSS/PBCH block送信に異なるビームフォーミングを適用する運用では、SS/PBCH blockは、それぞれに異なるPRACH送信用リソースが紐づけられる。そのため基地局は、受信したり

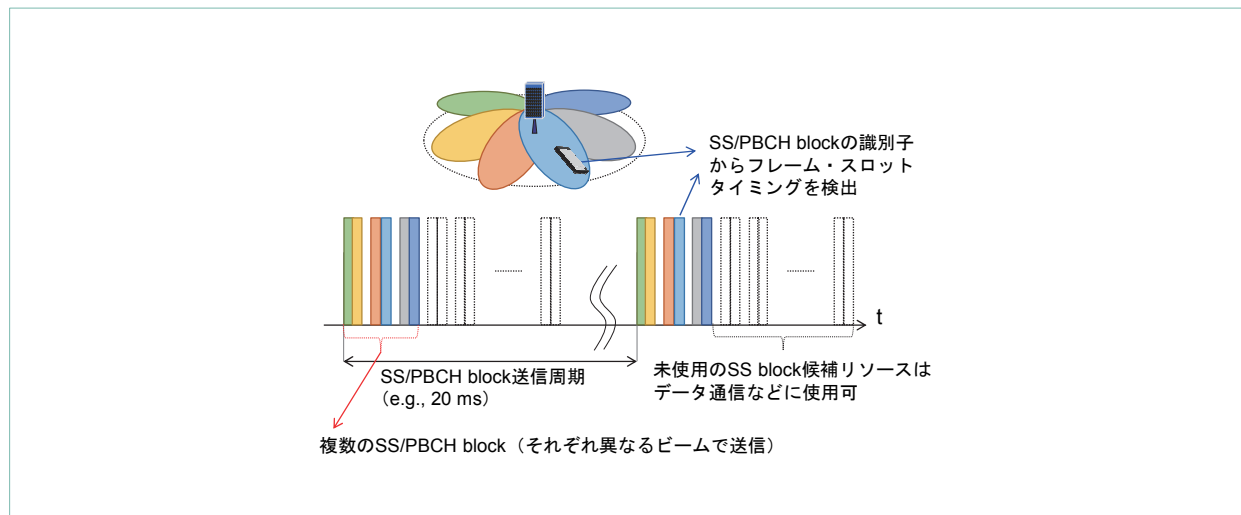


図3 SS/PBCH block送信の構成例

- *15 ランダムアクセス：移動端末と基地局が上り信号の送信タイミング同期および接続を確立するために行う手順。
- *16 プライマリ同期信号 (PSS)：セルサーチ手順においてユーザ端末が最初に検出を試みる既知の信号。
- *17 セカンダリ同期信号 (SSS)：セルサーチ手順において物理セルIDを検出するために送信される既知の信号。
- *18 報知チャネル復調用参照信号 (DMRS for PBCH)：PBCH復調のための無線チャネル状態を測定するために送信される既知の信号。
- *19 セル：セルラ方式の移動通信ネットワークと移動端末との間で

- 無線信号の送受信を行う最小のエリア単位。
- *20 ビームフォーミング：複数のアンテナの振幅および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。
- *21 無線フレーム番号 (SFN)：10msの無線フレームごとに割り振られた番号。
- *22 SIB：無線基地局から移動端末へ一斉同報される報知情報は、複数のブロックに分割されており、そのブロック単位を示す。
- *23 PRACH：ランダムアクセス手順において移動端末が最初に送信する物理チャネル。

表1 PRACHフォーマット

フォーマット番号	系列長	OFDMシンボル繰返し数	サブキャリア間隔	時間長	帯域幅
0	839	1	1.25kHz	1サブフレーム	1.05MHz
1		2		3サブフレーム	
2		4		3.5サブフレーム	
3		4	5kHz	1サブフレーム	4.20MHz
A1	139	2	{15, 30, 60, 120} kHz	2シンボル	{2.09, 4.17, 8.34, 16.68} MHz
A2		4		4シンボル	
A3		6		6シンボル	
B1		2		2シンボル	
B2		4		4シンボル	
B3		6		6シンボル	
B4		12		12シンボル	
C0		1		2シンボル	
C2		4		6シンボル	

ソースから、PRACHを送信したユーザ端末がどのSS/PBCH blockを受信したか、すなわちどのビームフォーミング方向にいるかが分かる。従ってその後のランダムアクセス手順である、ランダムアクセス応答受信、接続要求メッセージ送信、競合解決メッセージ受信では、基地局はユーザ端末に向けた特定の送受信ビームフォーミングを適用することができる。

3.4 モビリティ

NRでもLTEと同様に、端末からの下りリンク参照信号の測定・報告に基づき、基地局は接続セルの選択やハンドオーバ、セカンダリセルの追加・削除などを行う。基地局が送信するSS/PBCH blockに含まれるSSSがNRにおける基本的なセル固有の参

照信号であり、ユーザ端末は基地局からの設定に従い、セルごとの受信電力（RSRP：Reference Signal Receive Power）や受信品質（RSRQ：Reference Signal Receive Quality）などを、SSSに基づいて測定・報告する。

4. MIMO・ビームフォーミング

4.1 MIMO送信法

高周波数帯では、電波減衰の影響を補うために、多くのアンテナを用いて高いビーム利得^{*24}を得ることが非常に重要となる。NRの高周波数帯では、基地局で最大256、ユーザ端末で最大32のアンテナ素子を用いたハイブリッドビームフォーミングを想定したMIMO（Multiple Input Multiple Output）^{*25}

*24 利得：アンテナの放射特性の1つで、アンテナの特定の方向の放射強度が基準アンテナの何倍あるかを示す指標。

*25 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。

技術が規定されている。

ハイブリッドビームフォーミングは、高周波数帯回路の実装コストを考慮して設計された技術であり、ベースバンド回路で信号制御を行うデジタルビームフォーミングおよびRF回路で信号制御を行うアナログビームフォーミングで構成される。なお、アナログビームフォーミングは、装置構成上サブバンド単位での制御が行えないため、一般的に広帯域ビーム制御として実装される。

また、周波数利用効率^{*26}向上のためには、ビーム形成に加えて空間多重を適用することが必須である。下りリンクではコードブック^{*27}規範の閉ループ型^{*28}プリコーディング^{*29}が規定され、最大8レイヤのシングルユーザMIMO^{*30}、および最大12レイヤのマルチユーザMIMO^{*31}を実現し、上りリンクではコードブック適用、およびコードブック非適用の2つの送信法がサポートされており、シングルユーザMIMOでは最大4レイヤ送信が可能である。

コードブック非適用の送信法については、ビーム双対性^{*32}を実現できるユーザ端末を想定して設計されており、ユーザ端末は下りリンク参照信号であるCSI-RS (Channel State Information RS)^{*33}の受信結果を基に上りリンクのプリコードを決定することが可能である。

4.2 参照信号構成

NRではLTEの設計を一部踏襲しつつ、さまざまな周波数帯やシナリオでの運用に対応できる柔軟な参照信号構成が規定されている。下りリンク参照信号構成の例を図4に示す。

常時送信の参照信号を規定すると、後続のリリースの物理信号・チャネルデザインに制約が加わる観点で望ましくない。そこで、NRではLTEでサポートされていた常時送信のセル固有参照信号 (CRS: Cell-specific RS) は規定されず、その機能は複数の参照信号によってなされている。

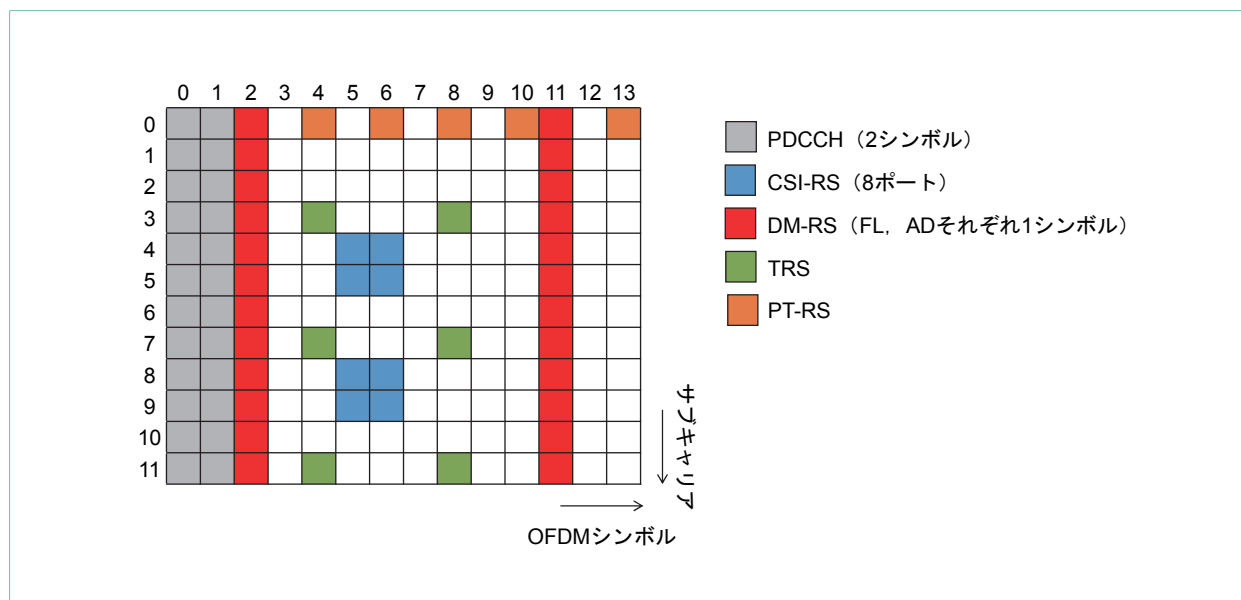


図4 下りリンク参照信号構成の例

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

*27 コードブック：あらかじめ決められたプリコーディングウェイト行列の候補。

*28 閉ループ型：受信機からのフィードバック情報を用いる方法のこと。

*29 プリコーディング：MIMOにおいて、送信する前の信号に無線伝搬路に応じた重みをあらかじめ乗算することで、受信品質を向上させる処理。

*30 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。

*31 マルチユーザMIMO：同一時間周波数において、複数ユーザに対してMIMO伝送を行う技術。

*32 ビーム双対性：無線機が受信ビーム決定情報を基に送信ビームを決定する技術のこと。

*33 CSI-RS：無線チャネルの状態を測定するために送信される参照信号。

具体的にはチャネル状態情報推定、データ復調、時間・周波数トラッキングを目的に、CSI-RS、DM-RS (DeModulation RS)、TRS (Tracking RS) がそれぞれ規定されている。

DM-RSについて、幅広いチャネル変動速度への適切な追従を可能としつつ、オーバーヘッド^{*34}を抑制するためにデータチャネルの先頭部分に配置されるFL (Front-Load) DM-RSに加えて、0~3シンボルのAD (Additional) DM-RSを追加マッピングする構成が規定されている。

TRSは信号系列生成をCSI-RSと共通としているが、必要とされるトラッキング精度、および参照信号のオーバーヘッド削減を考慮し、4サブキャリアおよび40FDMシンボル間隔で配置される。

また、高い周波数帯で課題となる位相雑音^{*35}の推定を目的に、UE個別参照信号として位相追従参照信号 (PT-RS: Phase Tracking RS) が新たに規定されている。

4.3 ビーム制御技術

L1/L2^{*36}におけるビーム制御は、ビームマネジメントおよびCSI取得に大別される。

ビームマネジメントは特に高い周波数で有効な技術であり、一般的に基地局とユーザ端末の送受信アナログビームペアをL1/L2レベルで確立・維持することを目的としている。例えば、ユーザ端末は異なる基地局送信ビームが適用された、複数のSS/PBCH blockやCSI-RSのL1-RSRP (Reference Signal Received Power)^{*37}を比較し、適切な送信ビームを選択し、基地局に通知する。基地局は、下りチャネル送信時に適用した送信ビーム情報を通知することで、ユーザ端末は対応した受信ビームを適用することが可能である。加えて、ユーザ端末側でビームペアの特性劣化を検出し、他の基地局に別の送信ビームへ

の切替えを依頼する、ビーム切断復旧技術が規定されている。

一方、CSI取得は送信ランク^{*38}、デジタルビームやMCS (Modulation and Coding Scheme)^{*39}の決定などに用いられる。デジタルビーム制御に用いられるコードブックは、相対的に量子化粒度^{*40}の低いType Iと高いType IIが規定されたが、Type IIでは2つのビームおよびその線形結合情報^{*41}を基地局に通知することで、より高い空間粒度でのビーム制御を実現できる。

5. スケジューリング・HARQ

NRでは、LTEと同じく、下りリンク制御情報 (DCI: Downlink Control Information)^{*42}に基づいて、下りリンクデータチャネルまたは上りリンクデータチャネルをスケジューリングする。DCIは下り制御チャネル (PDCCH: Physical Downlink Control Channel)^{*43}にて送受信される。LTEと同様に、DCIに含まれる周波数リソース割当てフィールドにより、リソースブロックを単位とする周波数リソース割当てを行うことができるが、NRでは、データチャネルをスケジューリングする時間リソースも、DCIで制御することが可能となる。

基地局は、ユーザ端末に対して下りデータチャネル (PDSCH: Physical Downlink Shared Channel) を割り当て、そのデータチャネルに関する下りリンク制御情報をPDCCHで送信する。ユーザ端末は、PDCCHを受信・復号し、その制御情報に基づいてPDSCHの受信を行う。PDSCHを受信したユーザ端末は、その復号結果をHARQ-ACK (Hybrid Automatic Repeat reQuest-ACKnowledgement)^{*44}としてフィードバックする。HARQ-ACKおよび、スケジューリング要求 (SR: Scheduling Request)^{*45}、

^{*34} 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。

^{*35} 位相雑音: 局部発振信号における搬送波周波数以外の周波数成分によって発生する位相変動。

^{*36} L2: OSI参照モデルの第2層 (データリンク層)。

^{*37} RSRP: 移動端末で測定される参照信号の受信レベル。移動端末の受信感度を表す指標の1つ。

^{*38} 送信ランク: MIMOにおいて同時に送信するレイヤ (空間ストリーム) の数。

^{*39} 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。

^{*40} 量子化粒度: 生成可能なビームの空間的な粒度。

^{*41} 線形結合: ベクトルの線形和。ベクトルの定数倍と加え合わせること。

^{*42} 下りリンク制御情報 (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。

CSIは、上り制御チャンネル（PUCCH：Physical Uplink Control Channel）*46で送信される。また、PUCCHを送信するタイミング及びリソースも、データチャンネルと同様に、DCIで制御することが可能である。データおよびHARQ-ACKのリソース割当て例を図5に示す。

HARQの再送は、初回に送受信されたトランスポートブロックを丸ごと再送する方式に加え、トランスポートブロックが複数のコードブロックからなる場合に、トランスポートブロック全体でなく、誤りがあったコードブロックを再送するCode-block-based re-transmissionが規定されている。

なお、一般に上りリンクにおけるスケジューリングは、通常はユーザ端末があらかじめ割り当てられたSRリソースを用いてスケジューリングを要求し、

それに基づいて基地局が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という手順になっている（図6(a)）。しかしこの方式では、スケジューリング要求を行うステップで一定の遅延が生じる。そこでNRでは、上りリンク低遅延化のため、あらかじめユーザ個別にPUSCH（Physical Uplink Shared Channel）*47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送信を行わずにユーザ端末が当該リソースでPUSCHを送信できるConfigured grantが規定されている（図6(b)）。

6. 変調方式・チャンネル符号化

NR下りリンク通信と上りリンク通信で利用可能な変調方式・チャンネル符号化について、それぞれを

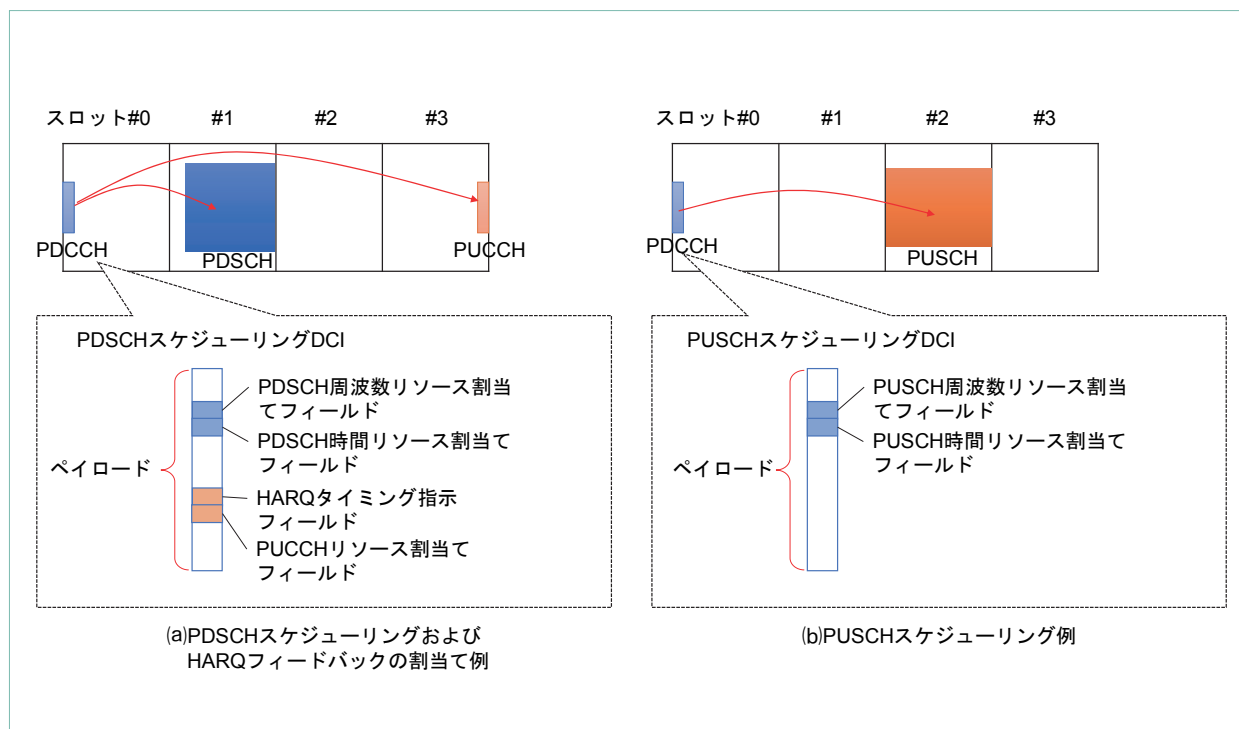


図5 データチャンネルおよびHARQ-ACKのリソース割当て例

- *43 下り制御チャンネル（PDCCH）：下りリンクにおける物理レイヤの制御チャンネル。
- *44 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。
- *45 スケジューリング要求（SR）：ユーザが基地局に対し、上りリンクの無線リソース割当てを要求する信号。
- *46 上り制御チャンネル（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。

- *47 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。

表2, 3に示す.

(1)変調方式

一次変調方式*48としては, Release 8 LTEから規定されている方式に加え, 最新のLTEで使用可能

な256QAMや $\pi/2$ -BPSKが規定されている.

二次変調方式*49としては, 下りリンクチャネルにおいてLTE同様のCP-OFDM (Cyclic Prefix-Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*50方

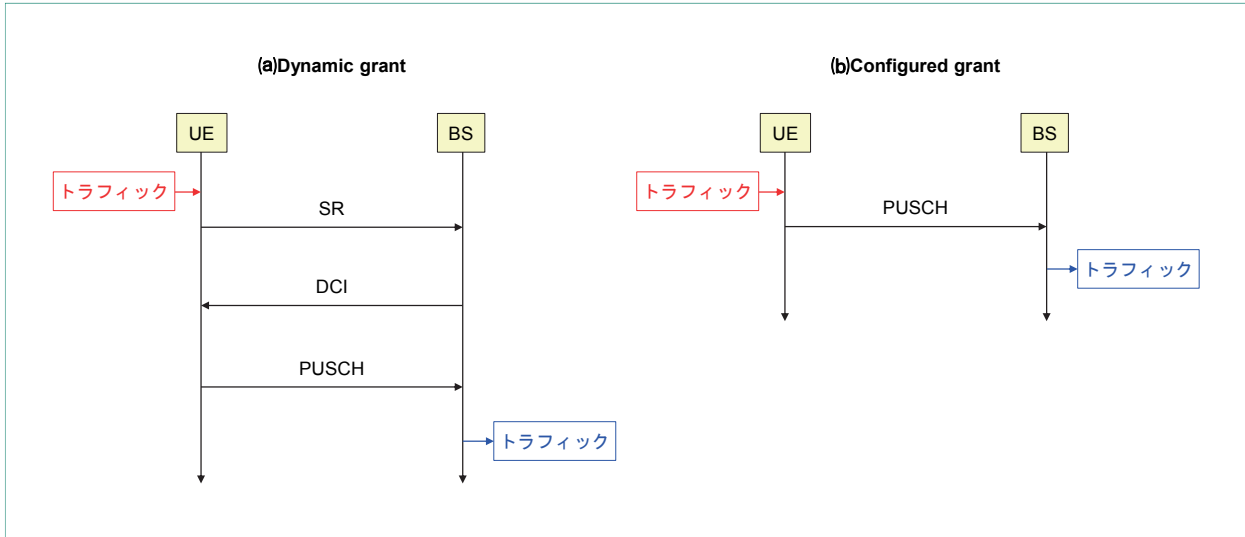


図6 Dynamic grantとConfigured grant

表2 変調方式

二次変調方式	一次変調方式	下りリンク	上りリンク
CP-OFDM	$\pi/2$ -BPSK	—	—
	BPSK	—	PUCCH format 1
	QPSK	PBCH, PDCCH, PDSCH	PUCCH format 1/2, PUSCH
	16QAM	PDSCH	PUSCH
	64QAM	PDSCH	PUSCH
	256QAM	PDSCH	PUSCH
DFTS-OFDM	$\pi/2$ -BPSK	—	PUCCH format 3/4, PUSCH
	QPSK	—	PUCCH format 3/4, PUSCH
	16QAM	—	PUSCH
	64QAM	—	PUSCH
	256QAM	—	PUSCH

*48 一次変調方式: デジタルデータ列を無線の搬送波に載せる方法.

*49 二次変調方式: 一次変調したデータを周波数拡散などのためにさらに操作する方法.

*50 CP-OFDM: マルチパスなどに起因する前後シンボル間の干渉を抑圧するために, シンボル間に設けられたガードタイム(CP)を付与するOFDM方式.

表3 チャンネル符号化

	下りリンク	上りリンク
LDPC	DL-SCH, PCH	UL-SCH
Polar符号	BCH, DCI	UCI (ペイロードサイズ ≥ 12)
ブロック符号	—	UCI (ペイロードサイズ < 12)

式が適用されるのに対し、上りリンクチャンネルではLTEと同じくPAPR (Peak-to-Average Power Ratio)^{*51}を抑え、カバレッジを広げることができるDFTS-OFDM (Discrete Fourier Transform Spreading-OFDM) 方式に加え、下りリンクで適用されるCP-OFDM方式が上りリンクでも規定されており、上下リンクで同一の方式を用いることによるシステムの簡易化が実現できる。

(2)チャンネル符号化

NRにおけるチャンネル符号化方式としては、LDPC (Low Density Parity Check coding)、およびPolar符号が、LTEでも用いられていたブロック符号に加えて規定されている。

データチャンネル (DL-SCH : DownLink-Shared CHannel, UL-SCH : UpLink-Shared CHannel, PCH : Paging CHannel) に適用されるLDPCは、並列処理により復号処理の遅延を小さくできる上、シャノン限界^{*52}に漸近する優れた特性を示す。また、制御チャンネル (DCI, ペイロードサイズ12以上のUCI : Uplink Control Information) やBCH (Broadcast CHannel) に適用されるPolar符号はLTEで用いられている畳込み符号 (TBCC : Tail Biting Convolutional Coding)^{*53}と比較して復号演算量を抑えつつ、シャノン限界に漸近する優れた特性を示す。ペイロードサイズの小さいUCIに対しては、LTEと同様にブロック符号が適用される。

7. 端末送信電力制御

7.1 ビーム制御を考慮した送信電力制御

NRでは基地局・ユーザ端末双方において送受信ビームの形成が可能であり、そのため送受信ビーム切替え時に変動するビーム利得を考慮した送信電力制御^{*54}が規定されている。

ユーザ端末は送受信ビームが適用された参照信号を用い、ビーム利得を含むパスロス^{*55}を推定することができる。具体的には、送信ビーム適用前の送信電力と受信ビーム適用後の受信電力を比較することによりパスロスを推定する。複数の参照信号に対し異なる送受信ビームを適用し、使用する参照信号を動的に切り替えることにより、送受信ビームの切替えによるパスロス変動に対応する。

また、LTEと同様にパスロスが大きいセル端において送信電力を下げる、フラクショナル送信電力制御が規定されている。送受信ビームによってパスロスが異なる場合、パスロス推定値に乗算する係数および送信電力に加えるオフセットを最適化できるよう、関連パラメータが参照信号と紐づけて設定される。

7.2 LTEとNRの送信電力分配

Release 15でも、人体への防護指針の観点から、ユーザ端末の送信電力に上限が規定されている。加えて、同一周波数範囲におけるLTEとNRの同時送

*51 PAPR：送信波形のピークの大きさを表す指標であり、最大電力と平均電力の比。これが大きいと、信号歪みを避けるために送信側のパワーアンプのバックオフを大きくする必要があり、特に移動端末において問題となる。

*52 シャノン限界：帯域幅とSN比より理論的に導出された、転送可能な情報の最大量。シャノンの通信路容量として知られている。

*53 畳込み符号 (TBCC)：誤り訂正符号の1つであり、畳込み演算を用いて符号語を生成する符号化方式。

*54 送信電力制御：受信側での信号対雑音電力比 (SNR : Signal to Noise Ratio) または信号対干渉雑音電力比 (SINR : Signal to Interference plus Noise power Ratio) が所要値以上になるよう送信電力を変化させる制御。

*55 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。

信が新たに規定されており、双方の合計電力が規定値の範囲内に収まるようLTEとNRで送信電力を分配する機能が規定されている [1].

Release 12のLTE DCでは、基地局は最低保証電力をCG (Cell Group) ごとに設定し、ユーザ端末は残余電力を動的に電力分配する。しかし、初期NR対応ユーザ端末においてLTEとNRが異なる制御チップ上に実装される場合、動的分配は困難である。そのためRelease 15では、基地局が準静的にCGごとの最大送信電力を設定する方式が規定されている。同時に、動的電力分配に関する端末能力も規定されており、その能力の有無に応じ端末動作が異なる。

ユーザ端末が動的電力分配機能を有する場合、ユーザ端末は瞬時合計電力が規定値を超えないようNRの送信電力を調整する。動的電力分配の例を図7に示す。LTEとNRの最大送信電力 (P_{LTE} , P_{NR})、および規定合計電力 (P_{total}) がそれぞれ設定され、瞬時の計算上の合計送信電力が P_{total} を超える場合、ユーザ端末は実際の送信電力が P_{total} を超えないようにNRの送信電力を低減する。

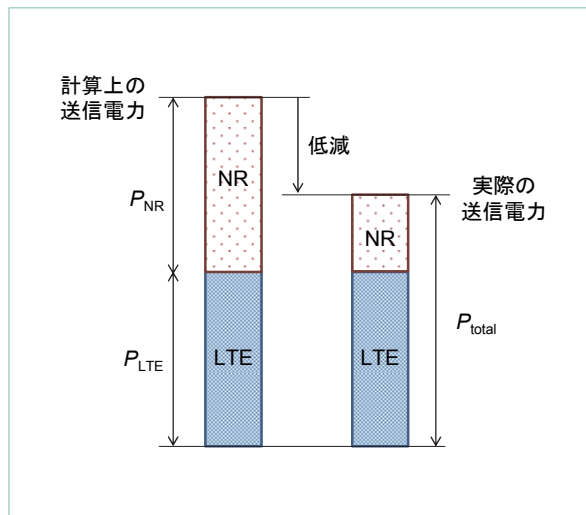


図7 LTEとNRの送信電力分配

なお、基地局はLTEとNRの最大送信電力の合計値が規定値を超える設定を行うことも可能である。しかし、動的電力分配機能を有しないユーザ端末に規定値を超える設定を行う場合、ユーザ端末はLTEとNRにおいて規定値を超えないよう合計送信電力を動的に調整することはできない。そのため、ユーザ端末はLTEとNR間で電力の分割をする代わりに、それらを時分割で送信することにより、規定値を超えないよう動作する。

8. BWP・CA

NRでは、1キャリア当りの帯域幅の最大値が、6GHz以下の周波数においては100MHz、それ以上では400MHzと、LTEと比べて大幅に大きくなる。このように広い帯域幅で運用されるキャリアに対し、それよりも小さい帯域幅しかサポートしていないユーザ端末が当該キャリアを用いて通信できるようにするため、NRではBWP (BandWidth Part) がサポートされる。

基地局は、ユーザ端末が通信に用いるべきBWP情報(帯域幅、周波数位置、サブキャリア間隔)を、上位レイヤシグナリングを用いてユーザ端末に設定する。ユーザ端末ごとに異なるBWP情報を設定することも可能である(図8)。BWP情報は、上位レイヤシグナリングまたはL1シグナリングによって変更することができる。したがって、十分に広い帯域幅をサポートするユーザ端末に対しても、データトラフィックがない時には狭いBWP情報を設定することで、ユーザ端末の接続帯域幅を小さくし、消費電力を低減することが可能である。

また、NRでは、LTEと同様、CA (Carrier Aggregation)*56が規定されている。CAを行う場合、BWPはCC (Component Carrier)*57ごとに設定さ

*56 CA: 1ユーザの信号を複数のキャリアを用いて同時に送信することにより広帯域化を行い、高速伝送を実現する技術。

*57 CC: CAにおいて束ねられるキャリアを表す用語。

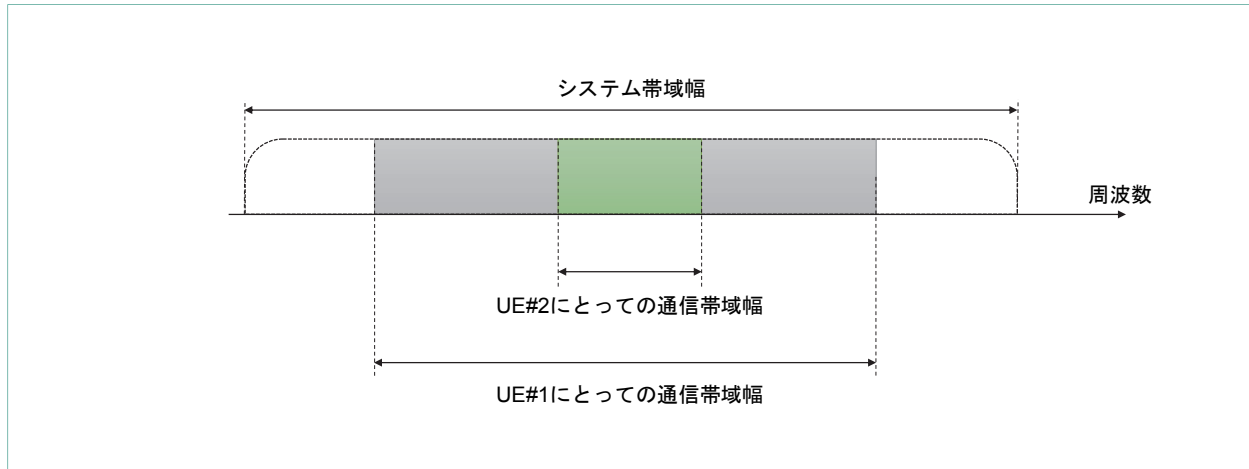


図8 UE個別の帯域幅

れる。また、サブキャリア間隔の異なるCCを束ねるCAもサポートされ、既存のセルラ周波数からミリ波に至るまで、さまざまな周波数を効率的に束ねることが可能である。

9. あとがき

本稿では、NR Release15仕様の検討背景、および新たに導入された物理レイヤにおける主要機能を解説した。これらの機能により、5Gで期待される

高速大容量化・低遅延化を実現する。IoT用途で求められるさらなる低遅延化・高信頼化、低消費電力化、端末間通信の高度化など、5Gの技術発展のため、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] 3GPP TS38.101-1 V15.3.0: "NR: User Equipment (UE) radio transmission and reception," Sep. 2018.

5GにおけるNR上位レイヤ仕様

無線アクセス開発部

うちの
内野
とえだ
戸枝とおる
徹
てるあき
輝朗かい
甲斐
たかはし
高橋けんじ
健次
ひであき
秀明

3GPPにおいて5G向けの無線通信方式であるNR仕様が2018年6月に完成した。本稿ではNRの上位レイヤの中から、ノンスタンドアローン（NRと既存のLTE/LTE-Advancedとを組み合わせで運用）およびスタンドアローン（NR単独で運用）に必要な仕様を解説する。まず、標準化されたアーキテクチャと、LTEとNRの無線リンクを同時に利用するノンスタンドアローン向けに規定されたベアラタイプについて述べる。さらに、上位レイヤの主な機能の中から、2017年10月の特集号で触れていないレイヤ2/3のプロトコル機能について述べ、加えてNRを提供する基地局で用いられるネットワークインタフェースについて解説する。

1. まえがき

3GPP (3rd Generation Partnership Project) では2016年3月より第5世代移動通信システム (5G) が検討されているが、このうち実現性検討であるSI (Study Item)*1の中で議論された内容については、2017年の特集記事にて概説した [1] [2]。3GPPでは、SIで検討・合意された内容を基に2017年3月よりWI (Work Item)*2フェーズへ移行し、実際の標

準仕様の作成作業が開始された。

Release 15標準仕様は、既存のLTE/LTE-AdvancedネットワークとNR (New Radio) を連携して運用するノンスタンドアローン向け、NR単独で運用するスタンドアローン向けがあり、2018年6月までにそれぞれリリースされている。本稿では、3GPP標準化において仕様化されたNRの上位レイヤ仕様を解説する。

©2018 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 SI: 「実現性の検討および仕様化すべき機能の大まかな特定」作業のこと。

*2 WI: 「仕様化すべき機能の決定および機能の詳細仕様化」作業のこと。

2. 標準化されたアーキテクチャとベアラ種別

2.1 アーキテクチャ

前述の通り、3GPP Release 15ではNRの運用形態に関して、ノンスタンドアローン向けとスタンドアローン向けの仕様が規定された。ノンスタンドアローンは、既存のLTE/LTE-Advancedと組み合わせてサービスを提供する運用形態であるのに対し、スタンドアローンは、NR単独でもそれが可能である。それぞれの運用に対応した無線アクセスネットワーク（RAN：Radio Access Network）^{*3}の構成を図1に示す。コアネットワーク（CN：Core Network）^{*4}には、ノンスタンドアローンではLTEで用いられている従来のEPC（Evolved Packet Core）^{*5}を用いるのに対し、スタンドアローンでは新たに5GC（5G Core）を用いる。

3GPPでは、5Gを早期に運用したいオペレータの要望をくみ取り、段階的に標準仕様がリリースされた。具体的には、2017年12月にノンスタンドアローン向けの上位レイヤ^{*6}機能やLTE基地局（eNB：evolved NodeB）とNR基地局（gNB）間で用いるネットワークインタフェース^{*7}が仕様化された。続いて、2018年6月にはスタンドアローンに追加で必要な機能やネットワークインタフェースおよび、LTEを介して5GCに接続するためのLTE向け拡張機能が仕様化された。2018年12月には、端末が複数の基地局と同時に通信しながら5GCに接続するアーキテクチャ（LTE-NR DC（Dual Connectivity）^{*8}やNR-NR DC）が仕様化される。

2.2 ノンスタンドアローンにおけるベアラタイプ

ノンスタンドアローンにおけるベアラタイプは、

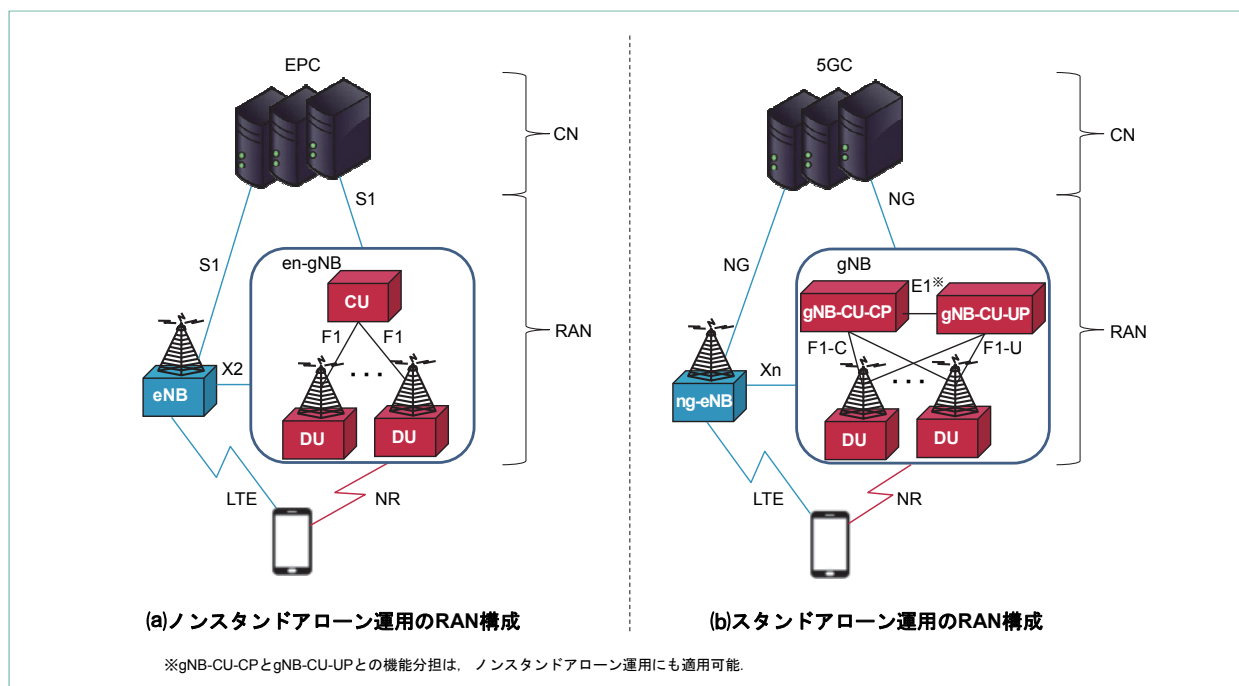


図1 NRを用いるRAN構成

- *3 無線アクセスネットワーク（RAN）：CN（*4参照）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。
- *4 コアネットワーク（CN）：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 EPC：LTEをはじめとした無線アクセス網を収容するコアネットワーク。

- *6 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（*44参照）、PDCP（*22参照）、RLC（*20参照）、SIAP、X2APなどを指す。
- *7 ネットワークインタフェース：RAN内、RAN-CN間、CN内で用いられるインタフェースであり、具体的にはX2、S1、Xn、NG、F1、E1などを指す。

Release 12 LTEのDC向けに規定されたものをベースとし、より柔軟なベアラ制御を可能とするための拡張が行われた。ノンスタンドアローン向けに規定されたベアラ種別を図2に示す。

LTE-DCでは、複数の基地局（MN（Master Node）^{*9}および、SN（Secondary Node）^{*10}と呼ぶ）の無線リソース^{*11}を同時に用いるSplit bearerが規定されたが、その際のネットワーク側におけるベアラの終端ノードはMNに限定されている [2]。ノンスタンドアローンでは、LTE無線を用いて端末とNWとの接続性を担保するため、MNとしてeNBが用いられる。しかし、LTE-DCのSplit bearerと同様な規定をノンスタンドアローンで用いると、LTEおよび、NRで送受信されるU-plane^{*12}データはすべてeNBで処理、ルーティングされることとなる。

その場合、eNB装置の処理能力がボトルネックとなって無線の伝送レートが制限されるおそれがある、という課題が標準化の議論の中で指摘され、SNでベアラを終端するSplit bearer（文献 [2] の図1におけるSCG（Secondary Cell Group）split bearer）が新たに規定された。また、この新しいベアラタイプの導入に際し、端末観点でベアラタイプのバリエーションを削減するためのベアラタイプ統一化や、より効率的な運用を可能とするためのさらなる拡張が議論された。

(1)ベアラタイプ統一化

新しいベアラタイプの導入に伴って仕様上、端末観点で4つのベアラタイプが規定されることとなったが、どのベアラタイプを用いるかは通信事業者ごとに異なり、それら複数の通信事業者の異なる要望

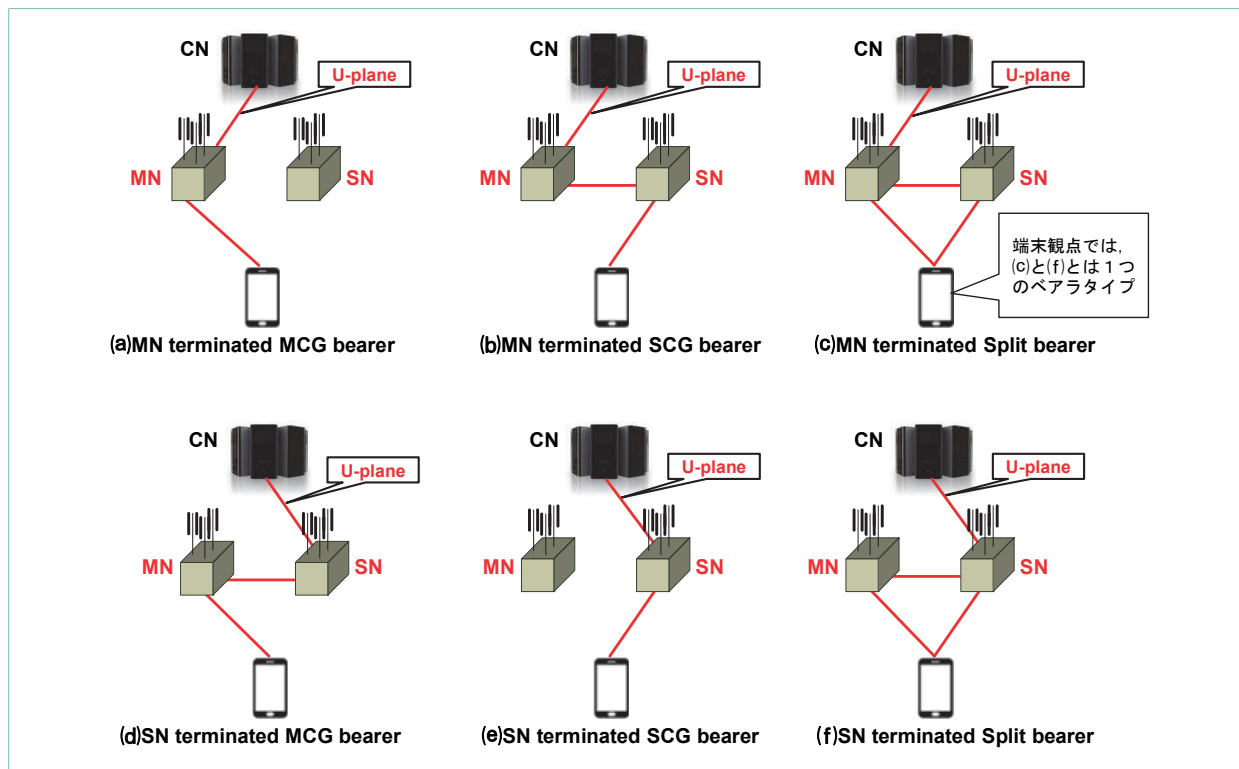


図2 ノンスタンドアローン運用におけるベアラ種別

*8 DC：マスターとセカンダリの2つの基地局に接続し、それらの基地局でサポートされる複数のコンポーネントキャリアを用いて送受信することで、広帯域化を実現する技術。
 *9 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）、もしくはNR基地局（gNB）がなり得る。
 *10 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、MNがLTE基地局（eNB）の場合はNR基地局（gNB）、MNがNR基地局（gNB）の場合はLTE基地局（eNB）がなり得る。
 *11 無線リソース：無線チャネル（周波数）割当てに必要となるリソースの総称。無線送信電力、TRX（Transmitter and Receiver）リソース、BB（Base Band）チャネル、RLC（*20参照）リソースなどがある。
 *12 U-plane：ユーザデータを転送するためのプロトコル。

に應えるために複数の異なるベアラタイプを実装すると端末のコスト上昇の要因となる。そこで、ベアラタイプのバリエーションをできるだけ少なくするため、ベアラタイプの統一化が図られた。具体的には、MNで終端されるSplit bearer (図2(c)) および、SNで終端されるSplit bearer (図2(f)) について、用いられるU-planeプロトコルスタック*13や、レイヤ2で提供される機能・動作がほぼ同等であることから、端末観点ではそれらを区別せず、同じベアラタイプとみなすことができる。これにより、標準仕様上はそれらを1つのSplit bearerとして規定することで、端末観点でのベアラタイプのバリエーションを削減することが可能となった。

(2)効率的な運用を可能とするネットワーク内のベアラ構成

SNで終端されるSplit bearer (図2(f)) ではユーザがSNのエリアを出入りするたびに端末に対してEN-DC*14を設定・削除すると、ネットワーク側ではベアラの終端ノードがMN、SN間で切替えられることとなり、その都度パススイッチ*15のための制御信号が基地局とCN間で発生するという課題が標準化の議論の中で挙げられた。特に、NRの導入初期は、ミリ波*16高周波数を用いてNRがホットスポット*17的に運用されることが想定されるため、そのような切替えが頻繁に発生する可能性がある。そのようなパススイッチを回避する対処方法として、ユーザがSNのエリアを出たとしても、基地局は端末のEN-DCを解除せず、ネットワーク側でも無線ベアラの終端ノードをSNに維持することでパススイッチの発生を回避するという案も検討された(U-planeデータはLTE側で送受信される)。しかしこの場合、端末がNRのエリア外でNRセル*18をサーチし続けるため、端末のバッテリー浪費となる。

そこで、端末に対するEN-DC設定有無にかかわらず、ベアラの終端ノードをネットワーク側で自由に

設定できるようなネットワーク間プロシージャ*19が規定された。例えば、EN-DC設定時においてSNで終端されるSplit bearer (図2(f)) が用いられる場合、無線ベアラはSNで終端されている。端末がSNのエリアをでると、基地局は端末のSN側の(RLC(Radio Link Control)*20レイヤ以下の)無線リソース設定を削除し、端末はデータ送受信にLTEのみを使う状態となるが、ネットワーク観点では図2(b)のようにベアラの終端ノードとしてSNが使われ続けるため、CNとのパススイッチのための制御信号は発生しない。

このようにノンスタンドアローンにおけるU-planeデータの流し方はネットワーク観点で柔軟な構成が取れるため、それらに対応するための呼称ルールが整理された。具体的には、U-planeのベアラタイプは以下2つの要素の組合せによって表現される。

- ・ベアラの終端ノード (MNで終端, SNで終端) により, MN terminated bearerとSN terminated bearerに区別される。
- ・どのノードの無線信号を使ってデータ送受信を行うか (MNの無線のみ, SNの無線のみ, 双方の無線) により, MCG (Master Cell Group) bearer, SCG bearer, Split bearerと区別される。

したがって例えば、図2(c)はMN terminated Split bearer, (d)はSN terminated MCG bearerと表現される。

3. NRにおける上位レイヤの主な特徴

3GPPにて仕様規定されたNRのC-plane*21, U-planeのプロトコルスタックおよび、機能を解説する。

3.1 C-plane

NRのC-planeプロトコルスタックを図3に示す。

*13 プロトコルスタック：プロトコル階層。

*14 EN-DC：NRノンスタンドアロー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。

*15 パススイッチ：CNと基地局間のデータ送受信に用いる経路の変更処理。

*16 ミリ波：電波の波長が1～10mmの周波数帯。

*17 ホットスポット：駅前広場など、トラフィックが集中して発生

する場所。

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

*19 プロシージャ：基地局間や基地局-CN間、基地局-端末間における信号処理手順。

*20 RLC：無線インタフェースのレイヤ2 (*43参照) のサブレイヤの1つで、再送制御などを行うプロトコル。

C-planeのプロトコルスタックはLTEと同様であり、PDCP (Packet Data Convergence Protocol) *22以下はU-planeと同じプロトコルを採用している。NR RRC (Radio Resource Control) *23プロトコルは、LTE RRCプロトコルを基本としていくつかの新機能が導入された。NR RRCにおける機能分類と、各機能のノンスタンドアローン/スタンドアローン対応有無およびLTE RRC機能からの差分を表1に示す。以降では、NR RRC機能の特徴として、LTE RRC

からの差分を解説する。なお、Split SRB *24/Direct SRB *25およびRRC_INACTIVE *26状態については、2017年の特集記事 [2] を参照のこと。

(1) 報知情報 *27のオンデマンド化/エリア化

基地局は、端末が配下セルに在圏するために必要な情報（該当セルの周波数情報やアクセス規制情報など）やその他の共通情報（セル再選択時に必要な情報、隣接セルの周波数情報や公衆警報など）を同報する機能を具備しており、端末は基地局から同報

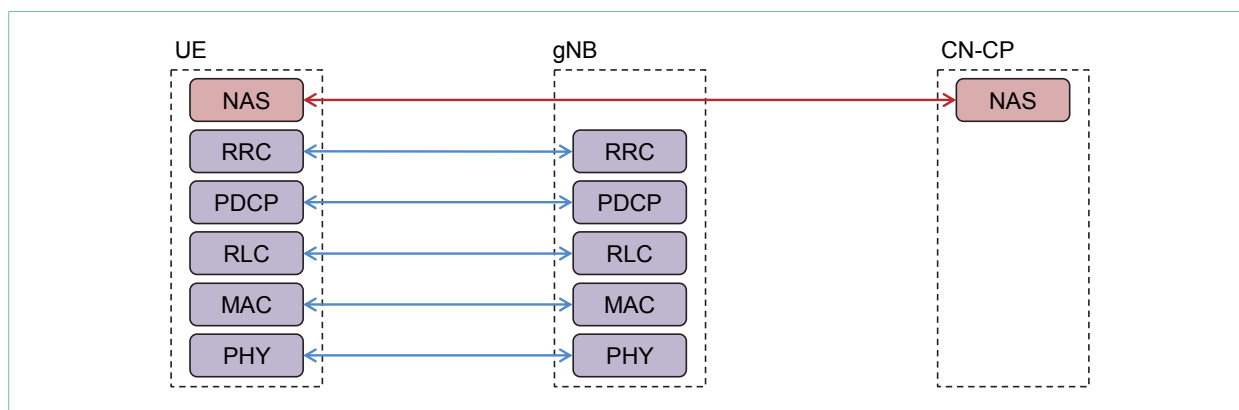


図3 NRのC-planeプロトコルスタック

表1 NR RRCプロトコル機能一覧

大分類	小分類	ノンスタンドアローン	スタンドアローン	LTE RRCからの差分
報知情報	接続に必要な情報の配信	✓	✓	—
	その他の情報配信		✓	オンデマンド化/エリア化
呼接続制御	ベアラ/セル設定	✓	✓	Split SRB/Direct SRBの導入
	CNとの接続設定		✓	RRC Inactive状態の導入
	端末の呼び出し		✓	RAN Pagingの導入
	アクセス規制		✓	アクセス規制技術の統一
モビリティ	ハンドオーバー		✓	—
	セル選択/再選択		✓	—
測定制御	DLの品質測定/報告	✓	✓	ビーム単位測定の導入
	セル識別子の測定/報告	✓	✓	—

*21 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。

*22 PDCP：レイヤ2（*43参照）におけるサブレイヤの1つで、秘匿、正当性確認、順序整列、ヘッダ圧縮などを行うプロトコル。

*23 RRC：無線ネットワークにおける無線リソースを制御するプロトコル。

*24 Split SRB：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。

*25 Direct SRB：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。

*26 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。

*27 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。

される報知情報を取得する機能やそれを一定期間保持する機能を具備している。

LTEでは基地局がすべての情報を一定周期で同報していたが、必ずしも端末においてすべての報知情報が必要では無い。例えば、静止端末は隣接セルの情報が不要であり、Inter-RAT (Radio Access Technology) Cell Reselection^{*28}を未サポートの端末については、該当周波数情報が不要となる。このような背景を基に、NRでは最低限必要な情報 (MSI: Minimum System Information) のみ同報を必須とし、それ以外の情報 (OSI: Other System Information) については、提供方法を基地局側で選択可能とした。具体的には、基地局はMSIにて、各OSIを現在同報しているか、オンデマンドで提供しているかを端末に通知し、オンデマンドで提供されるOSIが必要な端末は、報知情報要求を基地局に送信することで、基地局から該当OSIを個別シグナリング^{*29}で取得する。同報する場合は、一定の無線リソースを常に消費するため、使用端末数の少ない報知情報をオンデマンド方式で提供することにより、報知情報にかかる無線リソース使用率の低減が可能となる。

また、LTEでは報知情報はセル単位に同報されており、端末は在圏セルが変わるごとに報知情報を取得する必要があったが、OSIは異なるセルであっても同じ情報が設定され得るため、NRではOSIが同一のエリアをMSIにて通知可能とした。これにより、在圏セル移動時、端末が同一エリア内の他セルで取得した有効なOSIを保持している場合は、在圏セルの報知情報の取得処理をスキップすることが可能なため、端末の消費電力削減が期待される。

(2) RAN Paging^{*30}の導入

LTEでは、RRC_IDLE^{*31}状態の端末への下りリンクデータ発生時の呼び出し制御は、CNが、TA (Tracking Area)^{*32}と呼ばれる複数の基地局から構

成されるエリア単位ごとに端末の位置情報を記録/管理し、特定端末への下りリンクデータ発生時は属するTA内の全基地局を介してPagingメッセージを一斉送信することで実現している (図4(a)参照)。

NRではLTEより多くの端末を収容することを想定し、RRC_INACTIVE状態を新たに規定した。RRC_INACTIVE状態の端末における呼び出し制御にLTEと同じ方式を適用する場合、CNとRAN間における制御信号量増加およびPagingにかかる端末と基地局間の無線リソース逼迫が懸念された。これを解消するために、RRC_INACTIVE状態の端末については、RANがCNに代わり端末の位置情報を記録/管理することが規定された。具体的には、RNA (RAN Notification Area) と呼ばれるTAを細分化したエリアを新たに定義し、CNからRRC_INACTIVE状態の端末への下りリンクデータを受信した基地局は、同一RNA内の全基地局を介してPagingメッセージを一斉送信することで、PagingにかかるCNとRANとの間における制御信号量削減および無線リソース使用率低減を実現している (図4(b)参照)。

(3) アクセス規制技術の統一

LTEでは、無線区間における端末からの接続要求信号を規制し、緊急呼などの重要通信の接続性を確保しつつネットワーク装置を保全するためのトラフィック制御技術を具備しており、NRでも同様に採用されている。しかし、LTEでは標準仕様の機能拡張とともに規制対象が拡張されたため、複数の規制制御 (ACB (Access Class Barring)^{*33}, SSAC (Service Specific Access Control)^{*34}, EAB (Extended Access Barring)^{*35}, ACDC (Access Control for general Data Connectivity)^{*36}など) が混在し仕様が複雑化していた [5]。

NRではこの課題を解決するために、LTEにおける複数の規制制御を統一したUAC (Unified Access Control) を新たに規定した。UACでは、端末にお

*28 Inter-RAT Cell Reselection: 異なるRATに属するセルの再選択処理。

*29 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。

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

*31 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。

*32 TA: 1つまたは複数のセルから構成され、ネットワーク上で管理される移動端末の位置を示すセル単位。

*33 ACB: 災害やイベント (e.g. 正月や花火大会) などでパースト的な接続要求信号を抑制するための方法であり、ネットワークから報知した。各端末が属するアクセスクラス (AC) ごとの規制パラメータを用いて端末自身で規制対象となっているかどうかを評価し、規制対象と評価した場合、端末自身から接続要求信号を送信しないメカニズムである。

ける各種通信要求は1つのAccess Categoryと1つ以上のAccess Identityにマッピングされ、基地局はこの組合せごとに規制が可能となる。

NRで規定されたAccess CategoryとAccess Identityを表2に示す。

・ Access Categoryはサービス種別の識別子であ

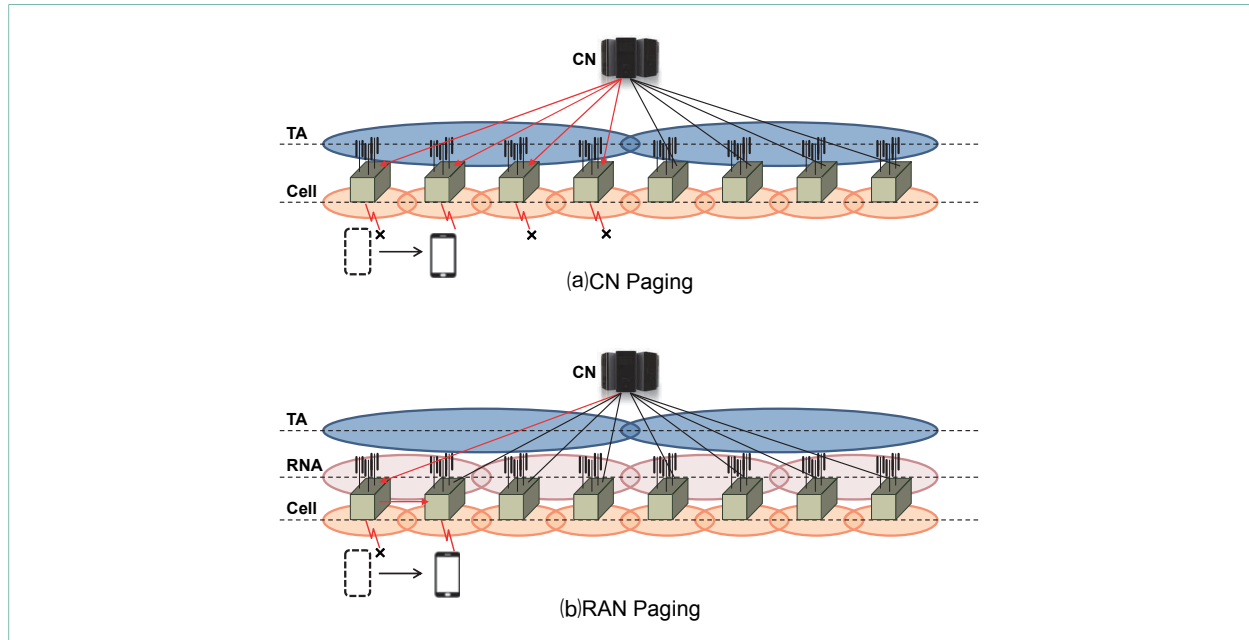


図4 CN PagingとRAN Paging

表2 Access CategoryとAccess Identity

Access Category	端末における通信要求	Access Identity	呼種別
0	着信への応答	0	下記以外
1	Delay tolerantアクセス	1	MPS呼
2	緊急発信	2	MCS呼
3	位置情報などの制御信号	3~10	未定義
4	音声通話	11	AC11
5	ビデオ通話	12	AC12
6	SMS	13	AC13
7	データ発信	14	AC14
8~31	未定義	15	AC15
32~63	オペレータ独自定義		

*34 SSAC：緊急呼以外の音声通話やビデオ通話のための接続要求信号を抑制するための方法。

*35 EAB：MTC（Machine Type Communication）端末における接続要求信号を抑制するための方法。

*36 ACDC：端末のアプリケーション単位の接続要求信号を抑制するための方法。

る。端末における各種通信要求ごとに異なる番号を付与しており、オペレータ独自定義が可能な領域も規定されている。

- Access Identityは呼種別の識別子である。MPS (Multimedia Priority Service)^{*37}呼、MCS (Mission Critical Service)^{*38}呼、優先呼 (Access Class11~15) にそれぞれ異なる番号を付与し、それ以外を一律0としている。

UACの具体的な制御は、基地局がAccess Categoryごとに規制対象のAccess Identityと規制対象パラメータをMSIで端末に通知し、端末は通信要求が発生するたびにAccess CategoryとAccess Identityを基に規制要否を判断し、規制が必要な場合は設定されたパラメータ値に従った規制動作を行うことで実現する。LTEではアクセス規制制御の対象は主にRRC_IDLE状態の端末のみであったが、NRではすべてのRRC状態の端末について規制可能とすることで、よりきめ細やかなアクセス規制を実現可能としている。

(4) ビーム単位測定の導入

基地局は、端末が在圏しているセルやその隣接セルの、下りリンクの品質測定を端末に指示する機能

を具備している。基地局は端末から報告された品質情報に基づき、より品質の良いセルへのハンドオーバー^{*39}制御や、高品質/高スループットを実現するためのセル設定を実施する。

LTEでは、下りリンクの品質測定/報告はセル単位に行われていた。NRでは、高速・大容量を実現するためのMassive MIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*40}によるビームフォーミング^{*41}環境 [6] を想定し、セル単位だけではなく、ビーム単位の測定指示・報告も可能とした。これにより、ビームフォーミング環境下においても適切なセル/ビームへのハンドオーバー制御が実現可能となる。

3.2 U-plane

NRのU-planeプロトコルスタックを図5に示す。U-planeのプロトコルスタックはLTEをベースとし、5GC向けにPDCPレイヤの上に新しくレイヤ2プロトコルとしてSDAP (Service Data Adaptation Protocol)^{*42}レイヤが設けられている。他のU-planeレイヤ^{*43}プロトコルにおける、機能分類と各機能のノンスタンドアローン/スタンドアローン対応有無、およびLTE機能からの差分を表3に示す。

以降では、U-plane機能においてLTEとの差分とな

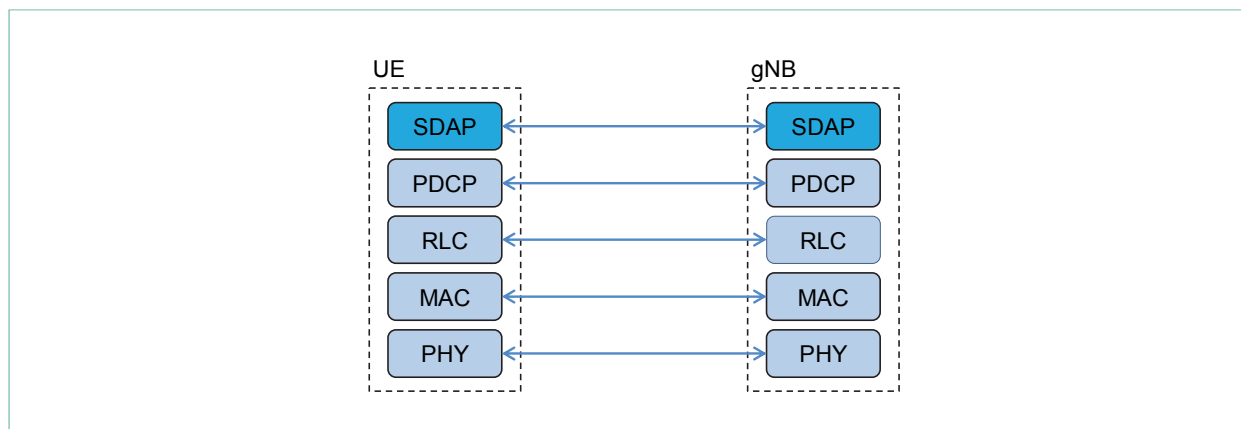


図5 NRのU-planeプロトコルスタック

*37 MPS：ネットワークが輻輳状態時であっても端末に特定通信を提供可能とするサービス。

*38 MCS：システム障害やサービス中断により生命や社会に対して重大な悪影響が起り得るサービス。

*39 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。

*40 Massive MIMO：送信と受信にそれぞれ複数素子のアンテナを用いることで無線信号を空間的に多重して伝送するMIMO伝送

方式において、より多くのアンテナ素子で構成される超多素子アンテナの採用により、高周波数帯使用時の電波伝搬損失補償を可能とする鋭い電波ビームの形成や、より多くのストリームの同時伝送を実現する技術。これらにより、所望のサービスエリアを確保しつつ、高速なデータ通信を実現する。

*41 ビームフォーミング：複数のアンテナの振幅および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。

る特徴の1つであるSDAPレイヤの制御について解説する。なお、MAC (Medium Access Control) *44レイヤのビーム制御については本特集別記事 [6] を、RLCレイヤの packets 順序補正非対応および URLLC (Ultra Reliable and Low Latency Communication) *45のような高信頼通信向けのPDCPレイヤ packets 重複送信制御については2017年の特集記事 [2] をそれぞれ参照のこと。

5GCの初期検討では、特に欧米のオペレータの要望により、NG (Next Generation) -RAN*46だけでなく、WLAN (Wireless Local Area Network)

アクセスや固定アクセスといった、3GPP以外のアクセス (non-3GPP access) まで含めて統合的に收容するような“Access agnostic” (アクセス独立) の考え方が議論された。

従来のEPCにおけるQoS (Quality of Service) 制御*47では、呼単位にQoSに関連付けられるトンネリング識別子 (TEID: Tunneling Endpoint ID)*48を払い出し、TEIDに基づいてQoS制御を行っていた (図6(a))。しかし、そのような呼単位のTEIDに基づくQoS制御を行わないNon-3GPP access網との親和性を考慮し、5GCでは新しいQoSの枠組みが必

表3 NR U-planeレイヤ2プロトコル機能一覧

レイヤ	機能	ノンスタンドアローン	スタンドアローン	LTEからの差分
MAC	論理チャンネルとトランスポートチャンネル間のマッピング	✓	✓	—
	同一・異なる論理チャンネルのデータ多重・分離	✓	✓	同一論理チャンネルのデータ多重・分離を新規サポート
	スケジューリング	✓	✓	—
	HARQによる誤り訂正	✓	✓	—
	論理チャンネル間の優先度制御	✓	✓	—
	Beam management制御	✓	✓	新規サポート
RLC	パケットのセグメンテーション・再構築	✓	✓	パケット順序補正非対応
	重複検出	✓	✓	—
	プロトコルエラー検出	✓	✓	—
	ARQによるロスレス伝送	✓	✓	—
PDCP	ヘッダ圧縮	✓	✓	—
	パケット順序補正・重複検出	✓	✓	—
	セキュリティ (秘匿・改ざん検出)	✓	(✓)	SA向けにはU-plane向け改ざん検出サポート
	タイマベースのパケット破棄	✓	✓	—
SDAP	パケット重複送信	✓	✓	新規サポート
	QoSフローと無線ベアラのマッピング		✓	新規サポート

*42 SDAP: 無線インタフェースのレイヤ2 (*43参照) 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。

*43 レイヤ2: OSI参照モデルの第2層 (データリンク層)。

*44 MAC: 無線インタフェースのレイヤ2におけるサブレイヤの1つで、無線リソース割当て、TBへのデータマッピング、HARQ再送制御などを行うプロトコル。

*45 URLLC: 低遅延かつ、高信頼性を必要とする通信の総称。

*46 NG-RAN: 5Gコアネットワークに接続されるRAN。無線アクセス技術としてNR、E-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access) を用いる。

*47 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。

*48 トンネリング識別子 (TEID): GTP (GPRS Tunneling Protocol) のプロトコル上で使用される、接続パスの識別子。

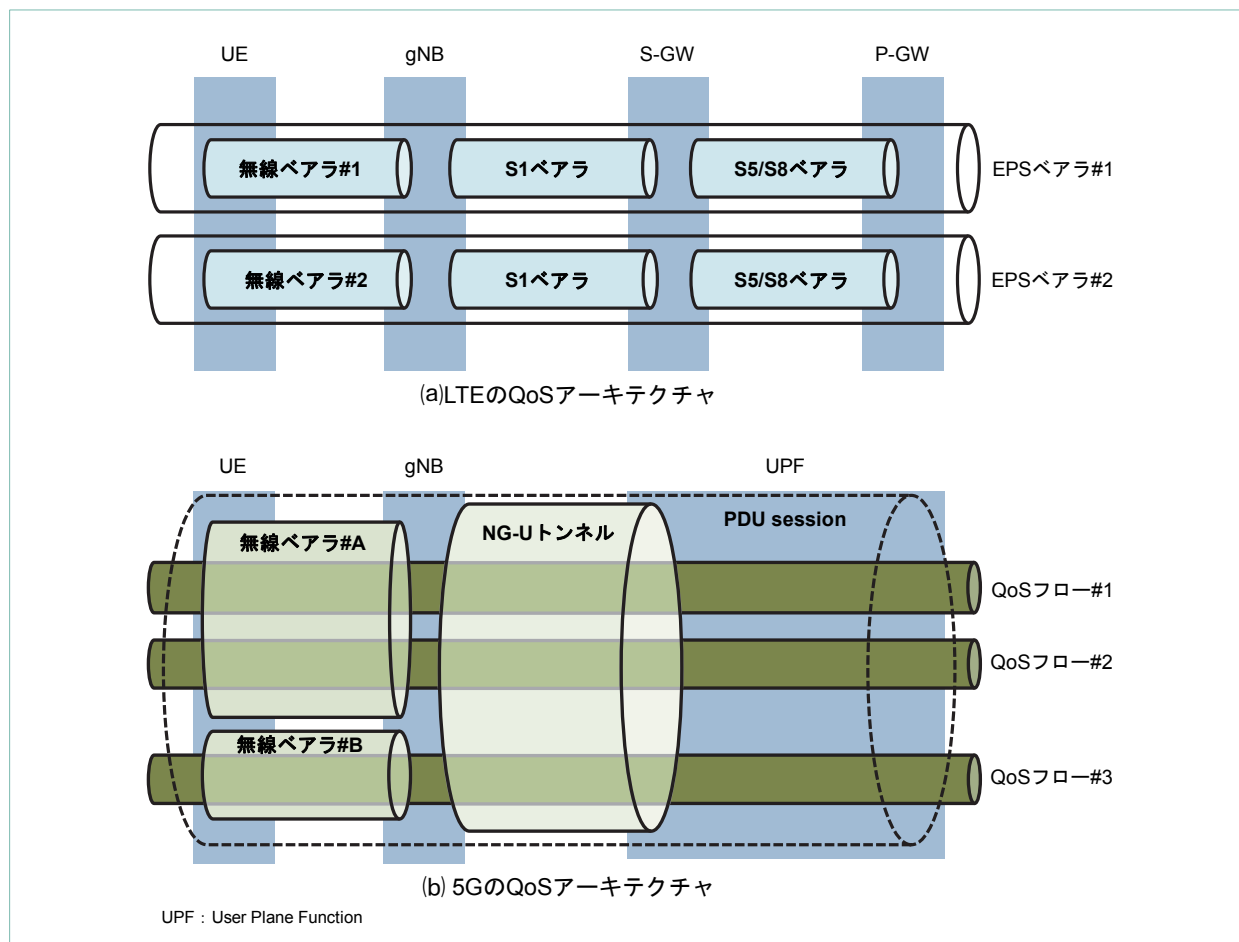


図6 LTEのQoSアーキテクチャ（上段）と5GのQoSアーキテクチャ（下段）

要となった。具体的には、個々のIPパケットにQoS特性への専用のポイントを含むことで、呼単位のTEIDを用いずとも複数のQoS特性をもつパケットを扱うことのできるQoSフロー^{*49}方式が採用された。QoSフロー方式では、CNと基地局間で設定されるPDU (Protocol Data Unit)^{*50} session tunnelを流れる複数のQoSフロー各々が、基地局と端末間で設定される個別の無線ベアラ^{*51}にマッピングされる(図6(b))。

このQoSフローと無線ベアラのマッピングは、NRで新規に導入されたSDAPレイヤで実施される。こ

のマッピングはC-planeで設定することも可能であるが、C-planeによるマッピングの設定および、変更はRRC信号を伴い、設定遅延やオーバーヘッド^{*52}が発生する。

そこで、よりダイナミックなマッピング設定・変更を実現するためにReflective QoS制御が導入されている。具体的には、QoSフローと無線ベアラのマッピング変更が必要とされる場合、CNがパケットごとに、新しいQoSフローの識別子を付与して基地局に送信する。基地局は、新しいQoSフローの識別子を検出すると、パケットに対応するSDAPヘッ

*49 QoSフロー：QoS制御を行う単位を表すフローのこと。

*50 PDU：プロトコルレイヤ・サブレイヤが処理するデータの単位。

*51 ベアラ：ユーザーデータパケットの経路。

*52 オーバヘッド：ユーザー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、ユーザーデータの送信以外に用いられる無線リソース。

ダにその内容を含めて端末へ送信する。端末は、受信したパケットと、対応するSDAPへ付与されている識別子を検出し、自身が管理するマッピング情報を更新し、上りパケットの送信も対応する無線ベアラで行う。このように基地局は、送信するパケットに対してマッピングの設定・変更情報を付与して端末へ通知することで、制御信号を使う場合よりもダイナミックにIPフローに適用されるQoSを変更することが可能となる。

4. ネットワークインタフェース

LTEではネットワーク内のRANノード間、RAN-CN間のインタフェースとしてX2やS1が規定されて

いた。5Gでは、ノンスタンドアロン向けのX2、S1拡張や、NRスタンドアロン向けの新しいインタフェースが議論された。ノード間で用いられるインタフェースを図1に示す。

(1)基地局間インタフェース (X2/Xn)

基地局間で用いられるインタフェースは、ノンスタンドアロン、スタンドアロンで異なっている。ノンスタンドアロンにおける、基地局間(図1(a)のeNB - en-gNB間)のインタフェースには、LTEのeNB間で用いられるX2が流用され、スタンドアロンにおける基地局間 (ng-eNBとng-eNB間／gNBとgNB間／図1(b)に示したng-eNBとgNB間)のインタフェースとしてはXnが新たに規定された。X2の拡張機能およびXnの機能を表4に赤字で示す。

表4 X2/Xnインタフェースの主な機能

	機能	X2	Xn	概要
C-plane 機能	インタフェース管理	✓	✓	インタフェースセットアップ/リセット・設定変更/エラーの通知
	UEコンテキスト管理	✓	✓	UEコンテキストを管理する機能
	モビリティ管理	✓	✓	UEのノード間移動管理(ハンドオーバー)など
	同一RAT内DC	✓	*1	同一RATでDCを実現するための機能
	負荷通知	✓*2		他ノードにリソースの負荷状態を通知する機能
	電力削減	✓	✓	CellのON/OFFにより消費電力を削減する機能
	メッセージ転送機能	✓		他eNBにメッセージを転送する機能
	UEコンテキスト転送	✓		UEコンテキストを他ノードに転送する機能
	EN-DC	✓	*1	LTE-NR間のDCを実現するための機能
	別RATデータ量通知機能	✓		(EN-DCなど)別RATと組み合わせて通信する際に当該RATのデータ量を通知する機能
U-plane 機能	Inactive管理		✓	UEのInactive状態を管理する機能
	ユーザデータ転送機能	✓	*1	DC時のユーザデータの転送
	フロー制御機能	✓	*1	機能追加:ポーリング,重複データの削除,再送データの状態通知など

*1 2018年12月標準規格化予定

*2 ノンスタンドアロン運用における通知は議論中

X2の拡張としては、ノンスタンドアロンに対応するためのEN-DC機能やSplit bearer向けのフロー制御が挙げられる。フロー制御機能は、Release 12においてLTE-DCのSplit bearer向けに規定されたもので、複数の基地局の無線リソースを用いて下りデータを送信する際に、下りデータの適切な分配を行うための機能である。LTE-DCにおいては基本的なフロー制御を実現するための機能および基地局間インタフェースが規定されたが、ノンスタンドアロン向けにはフロー制御をより最適化するために基地局間でやりとりされる情報がより充実化された。XnはX2機能をベースとしているが、Xnでは前述した新しいQoSフローの枠組みの規定や、ネットワークスライス^{*53}への対応のための拡張 [3] が、主に

UEコンテキスト管理機能に対して行われている。

(2)基地局 - CN間インタフェース (S1/NG)

基地局 - CN間で用いられるインタフェースも、基地局間インタフェースと同様にノンスタンドアロン、スタンドアロンで異なっている。ノンスタンドアロンにおける、基地局 (図1(a)のeNB/en-gNB) とEPC間のインタフェースには、従来のeNBとEPC間と同様にS1が用いられる。一方、スタンドアロンにおける、基地局 (図1(b)のng-eNB/gNB) と5GC間のインタフェースとしては、NGインタフェースが新たに規定された。S1の拡張機能およびNGの機能を表5に赤字で示す。

S1の拡張としては、ノンスタンドアロンにおけるRATごとのデータ量通知機能が挙げられる。

表5 S1/NGインタフェースの主な機能

	機能	S1	NG	概要
C-plane 機能	インタフェース管理	✓	✓	インタフェースセットアップ/リセット・設定変更/エラーの通知
	ペアラ/セッション管理	✓	✓	UEに対するペアラ/セッションを管理する機能
	UEコンテキスト管理	✓	✓	UEコンテキストを管理する機能
	モビリティ管理	✓	✓	UEのノード間移動管理 (ハンドオーバー) など
	ページング	✓	✓	UEに対するページングを実現するための機能
	ローミング/アクセス制限	✓		ローミングとアクセス制限に関してRANノードに通知する機能
	NAS信号転送	✓	✓	NASの信号をコア-UE間で交わすための機能
	無線品質通知	✓		UEの測定した無線品質をコアに通知する機能
	位置情報通知	✓	✓	UEの位置情報をコアに通知する機能
	緊急情報通知	✓	✓	緊急情報 (地震/津波など) をUEに通知する機能
	別RATデータ量通知機能	✓	*1	(EN-DCなど) 別RATと組み合わせて通信する際に当該RATのデータ量を通知する機能
コア選択機能		✓	負荷状況に応じたコアをRANノードが選択する機能	
U-plane 機能	ユーザデータ転送機能	✓	✓	コア/UE間のユーザデータの転送

*1 2018年12月標準規格化予定

*53 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。

標準化の議論において、ノンスタンドアローン運用時に通信したデータ量に応じた課金をLTE側とNR側のそれぞれで行いたいというオペレータの要望があり、NRにおけるデータ量を分計するための機能が導入された。なお、ノンスタンドアローンにおいてはS1-CインタフェースがMN-CN間でのみ確立されるため、MN terminated bearerに対してはMNで集計してS1を介して直接CNに、SN terminated bearerに対してはSNが集計したデータ量についてX2を介してMNに通知し、MNがS1を介してCNに報告される。NGはS1をベースとし、X2に対するXnと同様に、新しいQoSの枠組みやネットワークスライスへの対応が、主にベアラ/セッション管理機能とUEコンテキスト管理機能に対して行われている。

(3)基地局内の機能分離およびオープンインタフェース (F1, E1)

3GPP標準化では、基地局内に具備される機能を別々の論理ノードに分担し、それらノード間のオープンインタフェースが議論された。gNBの機能分離と、用いるインタフェースを図7に示す。

3GPPではC-RAN (Centralised-RAN)*54構成におけるさらなる広帯域化やMassive MIMO導入に伴って、集約ノード (CU: Central Unit) と分散ノード (DU: Distributed Unit) 間の伝送路所要帯域が激増するという課題を解決するため、gNBにおけるCU (gNB-CU) とDU (gNB-DU) の機能分離の見直しおよび、対応するオープンインタフェースの規定が議論された [2]。具体的にはPDCPレイヤ以上をgNB-CUへ設置し、RLCレイヤ以下をgNB-DUに設置する機能分離が採用され、その間のイン

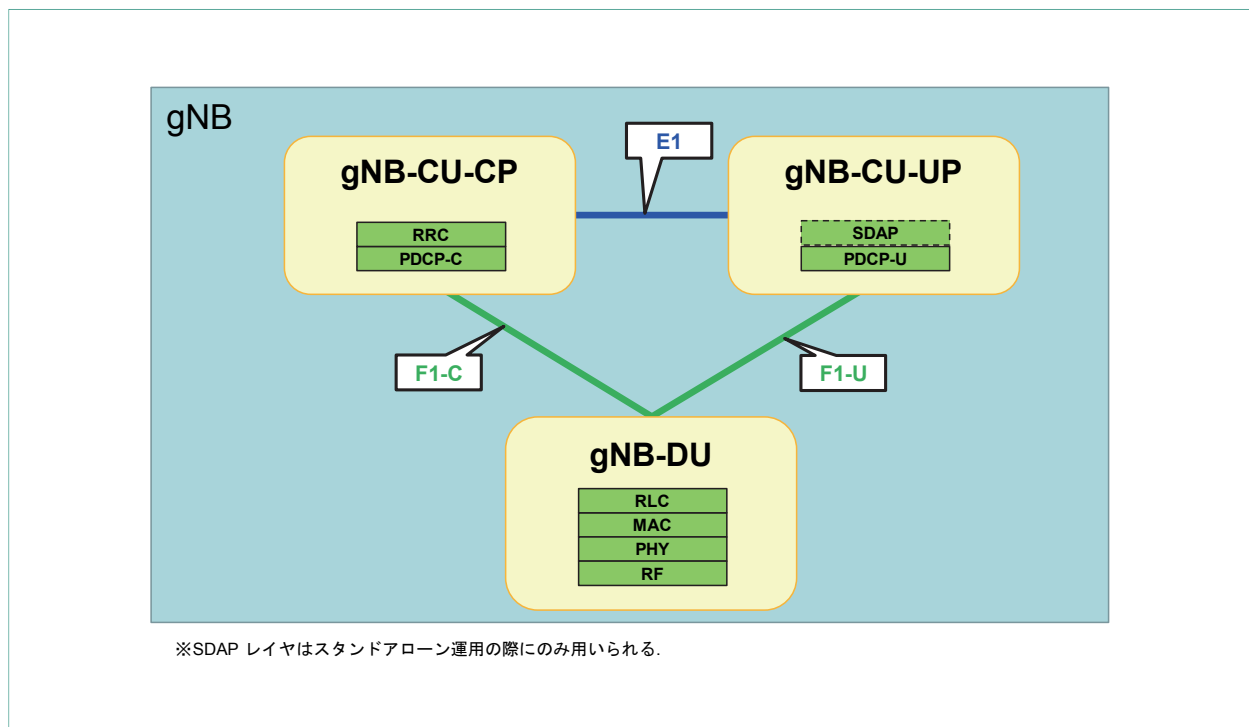


図7 gNBの機能分離と用いるインタフェース

*54 C-RAN: 基地局装置を制御するベースバンド処理部を集約し、そこから光ファイバで接続された無線部を制御する構成を用いる無線アクセスネットワーク。

タフェースとしてF1が標準規定された。F1の機能を表6に示す。

また、gNB-CU、gNB-DU間の機能分離に加えて、gNB-CUのC-plane終端部とU-plane終端部の機能分離も議論された [4]。例えば、C-plane終端部をgNB-DU近傍に、U-plane終端部をCN近傍に置く場合は、C-planeに用いるRRCの信号は遅滞なく制御できるのに加えて、U-planeの機能はクラウド化できるなどの利点がある。逆に、C-plane終端部をCN近傍に、U-plane終端部をgNB-DU近傍に置く場合は、例えば、エッジコンピューティング向けにU-planeの信号遅滞を削減できるのに加えて、C-planeの機能にはクラウド化・さらなる集約化ができるなどのメリットがある。従来、このような機能分離を行う場合、同一ベンダでしか実現できなかったが、3GPP標準化では、異なるベンダ間でもそのような機能分離を可能とするため、gNB-CUのC-plane終

端部とU-plane終端部間のオープンインタフェースが規定された。gNB-CUのC-planeを終端するノードをgNB-CU-CP、U-planeを終端するノードをgNB-CU-UPと呼び、その間のインタフェースとしてE1が標準規定された。E1の機能を表7に示す。

5. あとがき

本稿では、3GPPで仕様化された5G上位レイヤの主な仕様を解説した。3GPPでは継続して、2018年12月の、端末が複数の基地局と同時に通信しながら5GCに接続するアーキテクチャ（LTE-NR DCやNR-NR DC）を実現するための標準仕様策定完了に向けた作業が進められている。また、Release 16向けにはさらなる高度化を考慮した機能拡張や、新たな機能の検討・仕様化が行われる予定である。具体的には、URLLC向けの上位レイヤの拡張や、ハン

表6 F1インタフェースの主な機能

	機能	概要
C-plane 機能	インタフェース管理	インタフェースセットアップ/リセット・設定変更/エラーの通知
	報知情報管理	UEに対して報知情報を転送するための機能
	UEコンテキスト管理機能	UEコンテキストを管理する機能
	RRCメッセージ転送機能	RRCの信号をgNB-CU-UE間で交わすための機能
	ページング	UEに対するページングを実現するための機能
	緊急情報通知	緊急情報（地震/津波など）をUEに通知する機能
U-plane 機能	ユーザデータ転送	gNB-CU/DU間のユーザデータの転送
	フロー制御	gNB-DUに対するフロー制御

表7 E1インタフェースの主な機能

機能	概要
インタフェース管理	インタフェースセットアップ/リセット・設定変更/エラーの通知
ベアラ管理	UEに対するベアラを管理する機能

ドオーバ時の瞬断時間を削減する機能，ネットワーク自動最適化のためのgNBからのデータ収集機能などが議論される．ドコモは，3GPP RAN WG (Working Group) の中で，積極的に技術提案を行い，標準仕様策定に向け貢献していく．

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] 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.
- [3] 3GPP TR38.806 V15.0.0：“Study of separation of NR Control Plane (CP) and User Plane (UP) for split option 2,” 2018.
- [4] 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.
- [5] 青柳，ほか：“LTE/LTE-Advancedシステムにおけるアクセスクラス制御技術，”本誌，Vol.23, No.2, pp.63-73, Jul. 2015.
- [6] 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.

5GにおけるRF性能／ 無線リソース制御仕様

無線アクセス開発部

さの
佐野ようすけ
洋介おくやま
奥山すぐる
卓いざさ
飯笹なおと
直人たかた
高田たくま
卓馬

移動機開発部

あんどう
安藤けい
桂†ふじむら
藤村なおき
直紀

3GPPにおいて、5G RANの要求条件を満たすための新しい無線通信方式であるNRが仕様化された。NRでは、LTE/LTE-Advancedが利用してきた6GHz以下の周波数帯だけでなく、準ミリ波／ミリ波の周波数帯を利用することが可能であり、広帯域通信による高いスループットを実現できる。本稿では、5G向けの周波数動向を述べ、基地局・端末のRF性能や無線リソース制御関連仕様について解説する。

1. まえがき

3GPP (3rd Generation Partnership Project) において、5G RAN (Radio Access Network)*¹の要求条件 [1] を満たすための新しい無線通信方式 (NR: New Radio) が検討され、「Release 15」仕様として策定された。その中で、主に基地局や端末の無線 (RF (Radio Frequency))*² 性能や無線リソース制御の仕様策定を担うワーキンググループ (RAN4: RAN Working Group 4) では、LTE/LTE-Advancedが利用

してきた6GHz以下の周波数帯だけでなく、準ミリ波*³／ミリ波*⁴の周波数帯の利用に向けた検討がなされた。

具体的には、各国の周波数割当予定を考慮した周波数バンドが新たに定義され、基地局や端末のRF性能仕様が周波数帯や周波数バンドごとに策定された。また、主に端末のモビリティ性能の担保を目的とした無線リソース制御仕様、例えば自セル／他セルの受信品質測定機能に関する仕様が策定された。

本稿では、上記の新しい周波数バンドと、RF性能／無線リソース制御仕様を解説する。

©2018 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

† 現在、ネットワーク部

*1 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。

*2 RF: 無線アナログ回路部。

*3 準ミリ波: 10GHzから30GHz程度のミリ波に近い周波数をもつ電波信号。

*4 ミリ波: 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。

2. 主なNR向け新周波数バンド

日本国内の5G向け新周波数として、3.7GHz帯（3.6～4.2GHz）、4.5GHz帯（4.4～4.9GHz）、28GHz帯（27.0～29.5GHz）が検討されている [2]。図1に示す通り、一部帯域は諸外国の5Gの候補周波数帯と重複している。端末のRF装置は周波数バンド単位（もしくは近接する複数の周波数バンド単位）で製造・搭載されるため、各国の周波数帯を包含するバンドを定義することで、周波数ハーモナイズ（各国の端末のRF装置共用化）による端末製造コストの低廉化が期待できる。ただし、バンドを広帯域化するほど比帯域（＝帯域幅／中心周波数*5）が大きくなり、広い周波数範囲での電力整合（インピーダンスマッチング）が必要となることから、一般的にRF装置の設計が困難となる。よって、周波数ハーモナイズ効果とRF装置の実現性の双方を考慮した

バンドを定義する必要がある。以下では、Release 15にて定義・仕様化された周波数バンドを解説する。

なお、既存のLTEバンドと区別するため、NRの周波数バンドの仕様には、接頭辞“n”が付与される。

また、Release 15において周波数バンドは大きく下記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

2.1 3.7GHz帯 (Band n77, n78)

本周波数帯では、3.3～4.2GHzを包含するバンドを定義することで欧州、米国、中国、韓国とのハーモナイズが期待される。しかし、LTE/LTE-Advancedにおいて導入された3.5GHz帯のBand 42（3.4～3.6GHz）と比較して4.2倍の比帯域となるため、これにより特にパワーアンプの電力効率低下が課題として挙げられた。結果として、日本を含むハーモナ

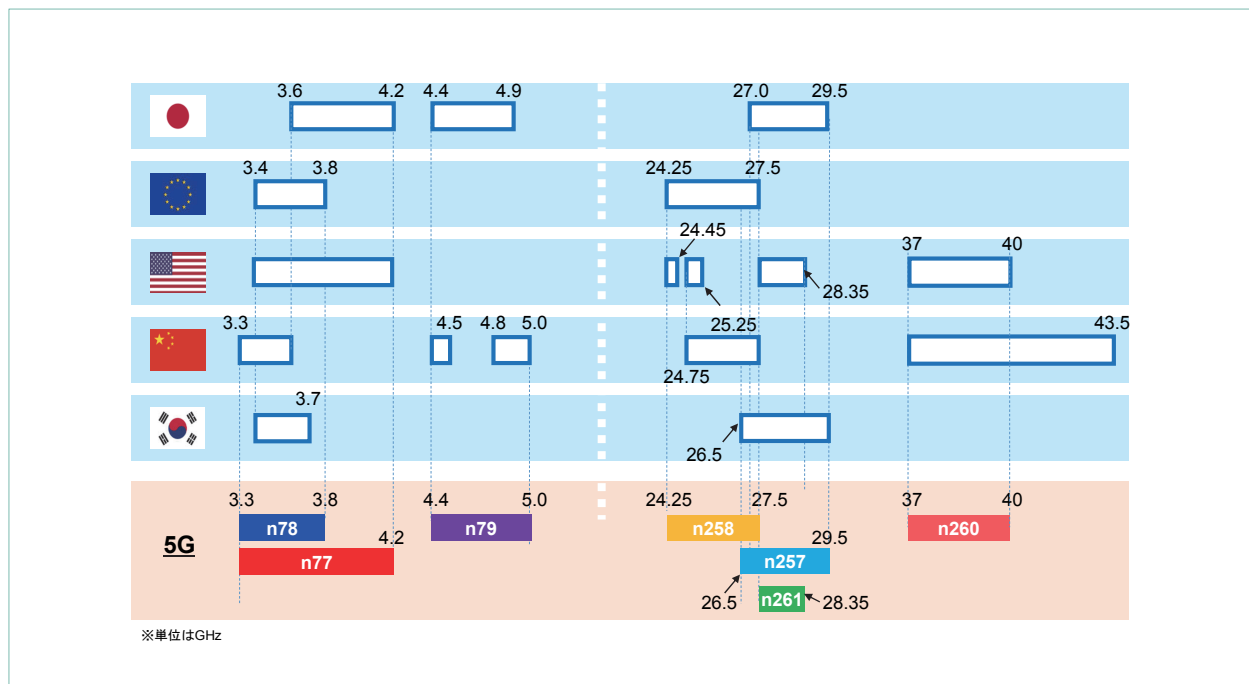


図1 国内および諸外国の5G用候補周波数

*5 中心周波数：あるバンドにおける通信帯域の中心となる周波数。

イズ効果が見込めるバンドn77 (3.3~4.2GHz) と、欧州、米国、中国、韓国を包含する、より狭帯域のバンドn78 (3.3~3.8GHz) の2つのバンドが定義された。

2.2 4.5GHz帯 (Band n79)

中国では、2017年11月に4.8~5.0GHzにおける5Gの利用計画を交付しており、4.4~4.5GHzについても利用が検討されている。日本国内では4.4~4.9GHzが候補であり、中国とのハーモナイズのため、これらを包含するBand n79 (4.4~5.0GHz) が定義された。

2.3 28GHz帯 (Band n257, n258, n261)

日本国内では27.0~29.5GHzが候補であり、米国、韓国とのハーモナイズが期待される。全地域の5G候補周波数帯を包含する場合 (24.25~29.5GHz)、5.25GHz幅の広帯域をサポートするRF装置が必要となるため、その実現性を考慮し日本、北米 (北米、カナダなど)、韓国向けのBand n257 (26.5~29.5GHz) と欧州、中国向けのn258 (24.25~27.5GHz) の2つが定義された。ただし、28GHz帯 (Band n257) と39GHz帯 (37~40GHz, Band n260) を同時搭載する場合、RF性能を維持するためのRF装置サイズが肥大化する恐れがあることから、北米の事業者などに向け、より狭帯域のBand n261 (27.5~28.35GHz) が追加で定義された。

2.4 その他周波数帯

図1に示すように、米国や中国では、39GHz帯 (37~40GHz, n260) も検討されている。なお、上記以外にも、既存LTEシステムの周波数バンドもNRとして運用可能である。これらは“LTE-refarming band”と呼ばれ、日本国内向けでは、700MHz帯 (n28)、800MHz帯 (n5)、900MHz帯 (n8)、1.5GHz

帯 (n74)、1.7GHz帯 (n3)、2GHz帯 (n1)、2.5GHz帯 (n41) が仕様化された。Release 15で規定されたその他の周波数バンドについては、文献 [3] [4] を参照されたい。

3. NRの無線パラメータ

前述のとおり、NRでは既存LTEバンドから準ミリ波／ミリ波までの幅広い周波数を利用できる。ただし、無線特性は周波数レンジやバンドに応じて大きく変動することから、それぞれの無線特性に応じてNRの無線パラメータを設定することが望ましい。以下では、NRで採用されているOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*6におけるサブキャリア*7間隔、チャンネル帯域幅、および通信時の実効帯域幅について解説する。

3.1 サブキャリア間隔

データ信号に使用可能なサブキャリア間隔は、FR1では15、30、60kHz、FR2では60、120kHzであり、FR1の60kHz以外は全端末が必須でサポートする。NRでは、CP (Cyclic Prefix)*8挿入率 (OFDMシンボル*9長に対するCP長) が全サブキャリア間隔で同等である。よって、高い (広い) サブキャリア間隔を用いるほどCP長が減少し、遅延波に対する耐性が低下するため、基地局当りのカバレッジが縮小してしまう可能性がある。一方、広いサブキャリア間隔を用いるほどドップラーシフト*10などに起因する周波数シフトへの耐性向上が期待される。

また、FR2では、端末および基地局の発振器誤差*11などに起因する位相雑音*12が顕著に生じるが、一般に広いサブキャリア間隔を設定することでその影響を低減できる。

サブキャリア間隔はネットワークからの上位レイヤ*13信号によって設定され、運用シナリオに応じ、

*6 OFDM：直交周波数分割多重。デジタル変調方式の1つであり、マルチパス干渉への耐性を高めるため、高速な伝送レートの信号を多数の低速な狭帯域信号に変換し周波数軸上で並列に伝送する方式 (マルチキャリア伝送)。高い周波数利用効率での伝送が可能。

*7 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のことをいい、副搬送波とも呼ばれる。

*8 CP：OFDMにおいて、マルチパスなどに起因する前後シンボ

ル間の干渉を抑圧するために、シンボル間に設けられたガードタイム。通常この部分の信号は、シンボル後半の一部をコピーしたものとなる。ガードインターバルとも呼ばれる。

*9 OFDMシンボル：伝送を行う単位であり、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が挿入される。

*10 ドップラーシフト：ドップラー効果によって生じる搬送波周波数のずれ。

上記トレードオフを考慮した最適なサブキャリア間隔を適用できる。

3.2 チャンネル帯域幅

(1)LTEにおけるチャンネル帯域幅

LTE (Release 8) では、1.4MHzから最大20MHzのチャンネル帯域幅を設定できる。さらにLTE-Advanced (Release 10) では、最大5個までのLTEキャリア (CC : Component Carrier^{*14}) を同時に用いて最大100MHzの広帯域通信を実現する技術 (CA : Carrier Aggregation^{*15}) が導入され [5], Release 13ではCA可能なCC数が最大32個へ拡張された (最大640MHz帯域幅) [6].

(2)NRにおけるチャンネル帯域幅

NRにおいてもCAがサポートされており、Release 15では、同一バンド内に連続／非連続にCCを配置するIntra-band contiguous CA/non-contiguous CA, 異なるバンド間のCAであるInter-band CA, およ

びそれらの組合せをサポートする (図2)。また、上記NRキャリア (CA含む) とLTEキャリアとの同時通信 (DC : Dual Connectivity)^{*16}も併せてサポートする。

CAは広帯域通信を実現する重要な技術であるが、前述のように、NRではLTEと比較して非常に広帯域に周波数バンドが定義されているため、LTEと同等の20MHzのチャンネル帯域幅 (1CCあたり) では、CAにおけるCC数が膨大となり、制御の煩雑化による端末製造コストの増大や、制御信号のオーバーヘッド増加などが懸念される。そこで、NRでは1CC当りのチャンネル帯域幅が、FR1では最大100MHz (30もしくは60kHzのサブキャリア間隔適用時)、FR2では最大400MHz (120kHzのサブキャリア間隔適用時) まで拡張された。ただしFR2の400MHzはオプション機能であり、端末が必須で搭載する必要があるのは200MHzまでである。各周波数バンドにて設定可能な具体的なチャンネル帯域幅を図3に示す。

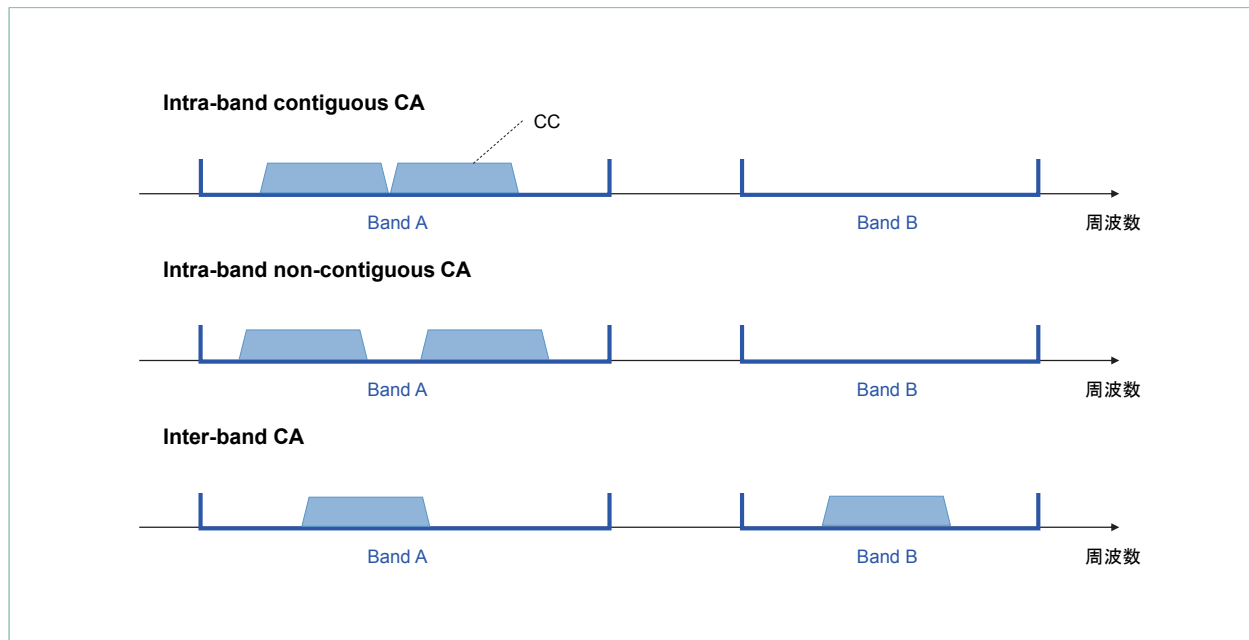


図2 Release 15でサポートされたCA

*11 発振器誤差：基地局と端末それぞれに搭載された発振器の周波数誤差。発振器は特定の周波数の波を発生させるRF装置であり、送信するベースバンド信号を搬送波周波数帯の信号に変換する処理、もしくはその逆の処理を行うために用いられる。

*12 位相雑音：発振器誤差などのRF装置に起因して発生する通信に不要な位相変動、サブキャリア間干渉や共通位相誤差が発生し、通信品質の劣化を引き起こす。

*13 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 (Medium Access Control), PDCP (Packet Data Convergence Protocol), RLC (Radio Link Control), SIAP (Adaptation Protocol), X2APなどを指す。

*14 CC : CA (*15参照) において束ねられるキャリアを表す用語。

*15 CA : 1ユーザの信号を複数のキャリアを用いて同時に送受信することにより広帯域化を行い、高速伝送を実現する技術。

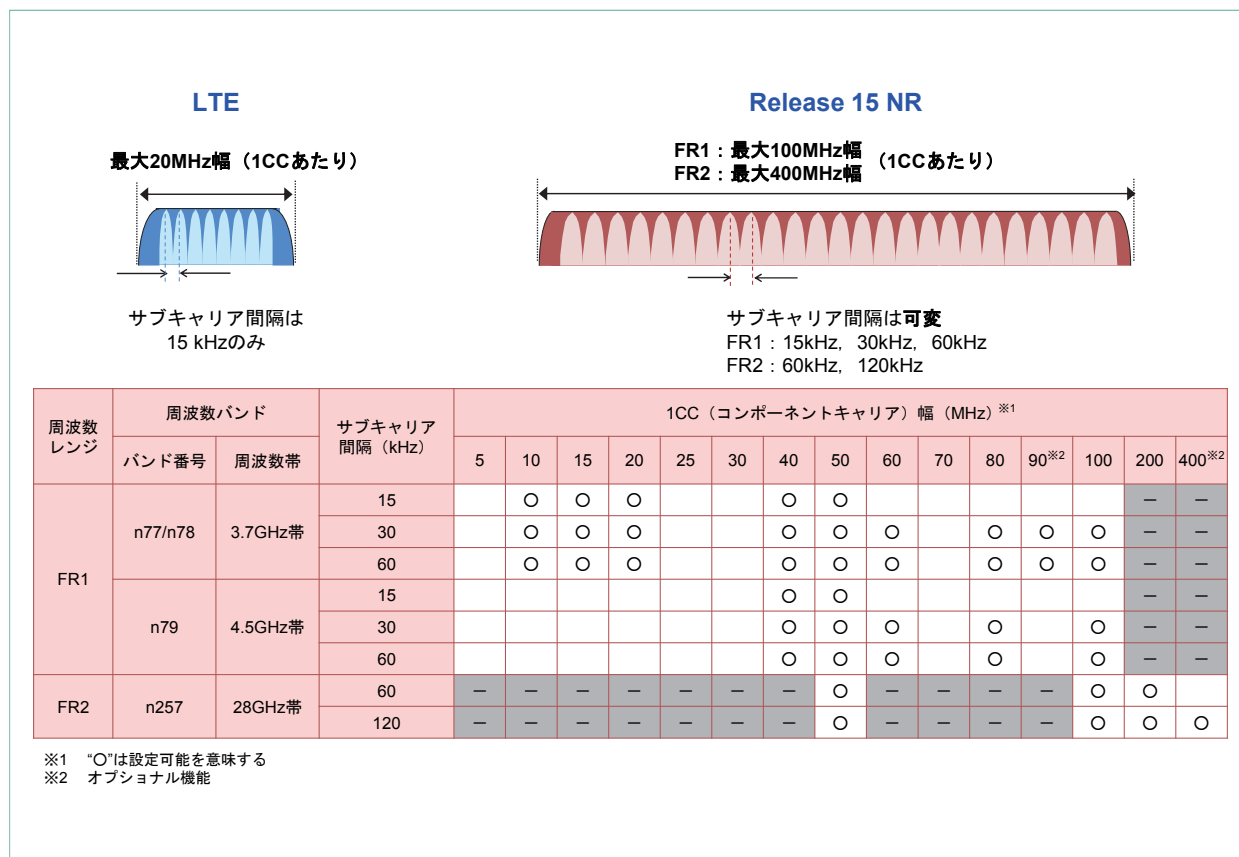


図3 NRにおけるチャンネル帯域幅

3.3 通信時の実効帯域幅

LTEでは、隣接する周波数保護のため、チャンネル帯域幅のうち中心90%をデータ通信に利用する。例えば20MHz幅のチャンネル帯域幅の場合、両端1MHzはガードバンド*17であり、ガードバンドを除く18MHzが実効帯域幅となる。両端のガードバンドは他周波数への干渉を低減するために挿入されるが、NRでは図4に示す通り、通常のOFDM信号に対して他周波数への干渉を低減するような事前処理（例えば文献 [7] など）を適用することで、実効帯域幅をさらに広げる検討がなされた。その結果、5、10MHzなどの一部の狭帯域を除き、チャンネル帯域幅のうち90%以上の領域を通信に利用することがで

き（最大98%程度。ただしチャンネル帯域幅に依存）、周波数利用効率*18をさらに向上させることが可能となった。なお、ガードバンドの帯域幅は減少したが、前述した干渉低減のための事前処理の適用を前提とし、隣接周波数への干渉（漏洩電力など）に関する仕様値はLTEと同等である。

4. 基地局および端末のRF性能仕様

NR向けに規定された周波数帯における、基地局と端末それぞれのRF構成およびRF性能仕様を以下に解説する。

*16 DC：マスターとスレーブ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CCを用いて送受信することで、広帯域化を実現する技術。

*17 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。

*18 周波数利用効率：単位周波数当りに送信可能な最大情報量。単位はbps/Hz。

4.1 基地局

(1)基地局のRF構成

NRで規定されている基地局装置構成を表1に示す。NRの基地局では、従来LTEにおいても規定されてきた、アンテナと基地局を同軸ケーブル*19で接続する構成（BS type 1-C）と、無線信号の送受信機とアンテナをTAB（Transceiver Array Boundary）コネクタ*20で接続し一体化したAAS（Active Antenna System）*21の構成（BS type 1-H）に加えて、

コネクタのないAASの周波数レンジごとの構成（BS type 1-O/2-O）が新たに定義された [8]。

(a)FR1におけるRF構成

FR1のRF構成では、BS type 1-Oの規定により、無線信号の送受信機とアンテナ間を接続するコネクタが不要となり、LTE Advanced Release 13のAAS [9]と比較して、さらなる装置の小型化と電力効率向上に期待できる。

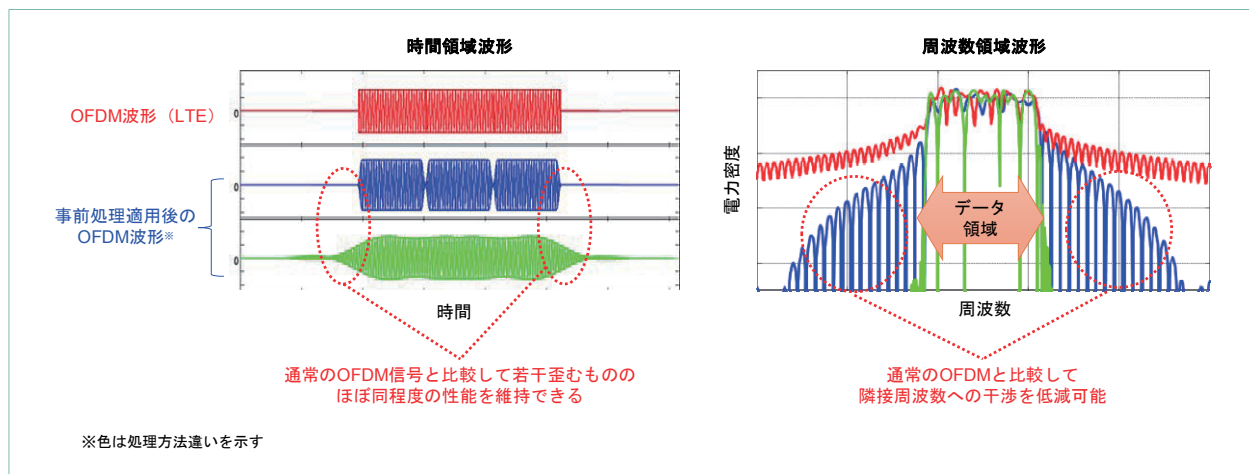


図4 OFDM信号に対する事前処理

表1 NRで規定されている基地局構成

BS type	BS type 1-C (従来基地局相当)	BS type 1-H (LTE-Advanced Release 13 のAAS相当)	BS type 1-O/2-O (NRから新たに導入されたAAS)
周波数帯	FR1	FR1	FR1/FR2
基地局構成	<p>BS type 1-C 基地局装置</p> <p>アンテナコネクタ (規定点：Conducted規定)</p>	<p>BS type 1-H 基地局装置</p> <p>TABコネクタ (規定点：Conducted規定) ※一部OTA規定あり</p>	<p>BS type 1-O/2-O 基地局装置</p> <p>コネクタなし RIB (規定点：OTA規定)</p>

- *19 同軸ケーブル：主に高周波の信号を伝送する際に用いられる外皮にシールド性をもたせたケーブル。アンテナと基地局間の信号伝送に用いられる。
- *20 TABコネクタ：NRの基地局では、BS type 1-Hで用いられ、無線特性の規定点となる。
- *21 AAS：従来独立していたアンテナ素子と無線装置を一体化したシステム。一体化することで、従来型と比較して高効率なシステムを提供可能となる。

(b)FR2におけるRF構成

FR2においては、高周波数帯域での広帯域通信に期待できる一方で、RF構成観点では、波長が短くなることによるコネクタ・ケーブルでの電力損失や電波伝搬損失の増加と、広帯域化による電力密度低下がもたらすカバレッジの縮小が課題となる。カバレッジ確保のため、高いアンテナ利得^{*22}が求められるが、FR2に従来のコネクタありのRF構成を適用した場合、狭い面積に無線信号の送受信機とアンテナを高密度に実装することが困難である。このため、FR2のRF構成においては、コネクタをなくしたBS type 2-Oのみが定義されている。このBS type 2-Oの規定により、ビームフォーミング^{*23}機能を広帯域にわたって実現し、カバレッジを確保しつつ高速通信が期待できる。

(2)基地局のRF性能仕様概要

BS type 1-C/1-HのRF性能仕様は、LTE-Advancedの規定をベースとして前述したNRの無線パラメータに対応した規定となっている。一方BS type 1-O/2-Oは、無線信号の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、全RF性能仕様に電波放射空間上の規定点（RIB（Radiated Interface Boundary）^{*24}）を定めるようにOTA（Over the Air）^{*25}規定が拡張された。

(a)OTA規定におけるTRP新規定

OTA規定においては、LTE-Advanced Release 13で定義された、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 Iso-tropic Radiated Power）^{*26}と等価等方感度（EIS：Equivalent Iso-tropic Sensitivity）^{*27} [8]に加えて、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）が新たに定義されている。TRPが規定されたことにより、基地局送信電力や不要発射^{*28}などの電力規定のOTA規定化が可能となる。OTA規定に用いられるEIRP/EISとTRPの定義イメージを図5に示す。

(b)FR2のRF性能仕様の特徴

主な基地局RF性能仕様の比較を表2に示す。FR1のRF性能仕様は、LTE Advancedの規定をベースに最大チャンネル帯域幅が100MHzまで

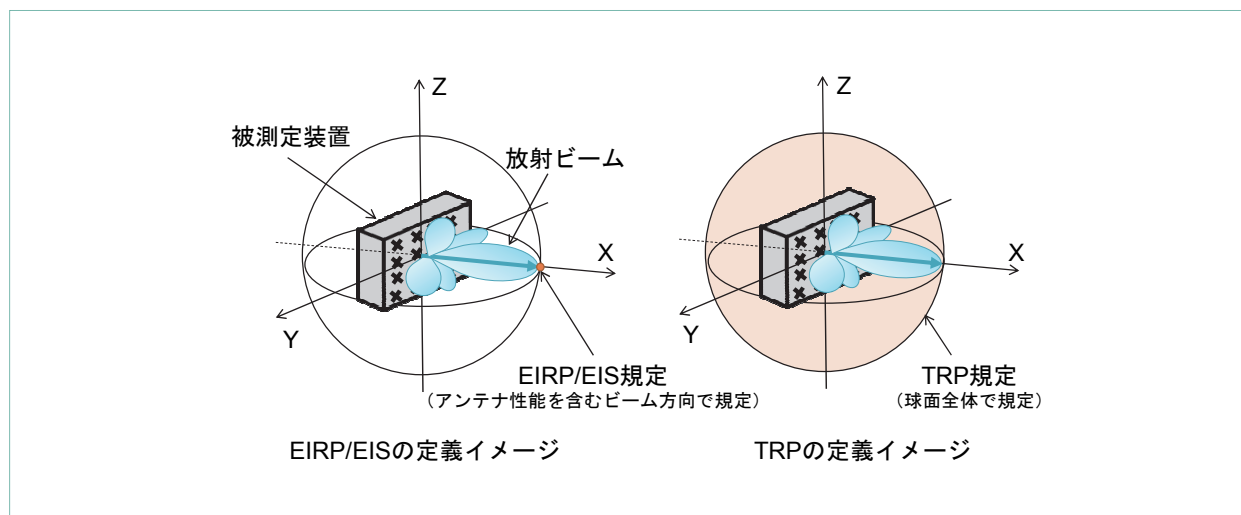


図5 NRの基地局および移動局RF規定で用いられる定義イメージ

*22 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。

*23 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。

*24 RIB：基地局RF性能仕様におけるOTA規定の基準点。ここで電波放射／受信空間上の特性を測定する。

*25 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。

*26 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。

表2 主な基地局RF性能仕様の比較

	LTE	NR FR1 BS type 1-O	NR FR2 BS type 2-O
最大チャネル帯域幅	20MHz	100MHz	400MHz
Transmitter Transient period	<17 μ s	<10 μ s	<3 μ s
ACLR	45dB	45dB	28dB*2
NF	5dB*1	5dB*1	10dB
送信電力偏差	+/- 2.0dB	+/- 2.2dB (EIRP偏差)	+/- 3.4dB (EIRP偏差)
		+/- 2.0dB (TRP偏差)	+/- 3.0dB (TRP偏差)

※1 ワイドエリア基地局の値

※2 24.25~33.4GHzにおける規定値

拡張され、さらにFR2では、広帯域、低遅延化に沿った仕様となっており、最大チャネル帯域幅は400MHzに拡大、時分割複信（TDD：Time Domain Duplex）*29のON/OFF間切替時間（Transmitter transient period）は、3 μ sと高速応答の要求仕様となっている。また、ミリ波帯のRFデバイスの特性劣化をビームフォーミングによる高いアンテナ利得で補償することを加味し、送信特性の隣接チャネル漏洩電力比（ACLR：Adjacent Channel Leakage Ratio）*30や受信回路の想定雑音指数（NF：Noise Figure）*31などの無線特性に対する要求を緩和することで、モノづくりの実現性を確保している。OTA規定化に伴い、送信電力偏差*32は、アンテナ性能も加味したEIRP偏差に加えて、キャリア当りの総電力偏差がTRP偏差で規定されている。

4.2 端末

(1) 端末のRF構成

前述のNR基地局と異なり、端末実装の観点からビームフォーミングはFR2のみに適用されるため、

FR1におけるNR端末のRFフロントエンド構成は、3.7および4.5GHz帯の新たな実装を除けば従来のLTEから大きな差はない。

また、NR導入当初は、LTEとの連携動作を前提としたノンスタンドアローンが想定されており、対応端末はNR無線装置だけでなく、従来のLTE無線装置も同時搭載が要求される。

(2) 端末のRF性能仕様概要

FR1では、前述のNR向けの新規無線パラメータに対応する、最大送信電力や受信感度などのRF性能仕様が規定された。従来のLTE-Advancedと同じく、アンテナコネクタにおけるConducted規定*33が適用される。

一方、FR2では基地局側と同様に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、OTA規定が導入されている。FR2のEIRP最大送信電力規定については、端末を中心とした球面全体にビーム方向を操作した際に得られる各EIRP値の累積分布*34を用いた規定が採用されている（図6）。本規定導入の目的は、意図した方向（通信を行う基地局方向）および必要な範囲に正しくビームを向けられることを統計的に担保すること

*27 等価平方感度（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。

*28 不要発射：希望帯域外に発生する不要な電波。隣接周波数に対する干渉となる。

*29 時分割複信（TDD）：アップリンクとダウンリンクで、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。

*30 隣接チャネル漏洩電力比（ACLR）：変調波を送信するときに、

送信帯域信号電力と、それに隣接するチャネル帯域に発生した不要波電力との比。

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

*32 偏差：基準値からのばらつきや変動のこと。

*33 Conducted規定：基地局および端末の試験規定の種別。試験装置と基地局もしくは端末を有線で直結し試験を行う方法。

である。測定したEIRPのうち少なくとも1つが最低限満たすべき値をMin peak値、累積分布 $X\%$ における値、すなわち球面空間上の $(100 - X)\%$ エリアが担保すべき値をspherical coverageと定義する。また、測定したEIRPのうちその最大値が超えてはならない値はMax値と定義され、FCC (Federal Communications Commission)*35などの各国／各地域における規定を考慮して定められている。

さらに、Release 15では主にスマートフォンを想

定した携帯用端末の他、固定無線通信端末*36などの異なる端末形状による通信距離およびデータレートの向上も検討された。これらの端末形状は、標準仕様上パワークラスにより分類され、要求される送受信電力およびspherical coverageの差分により、以下4つのパワークラスが規定された(表3)。

・パワークラス1

FCC 16~89が定義するportable stationsに準拠するクラスである。後述のHandheld端

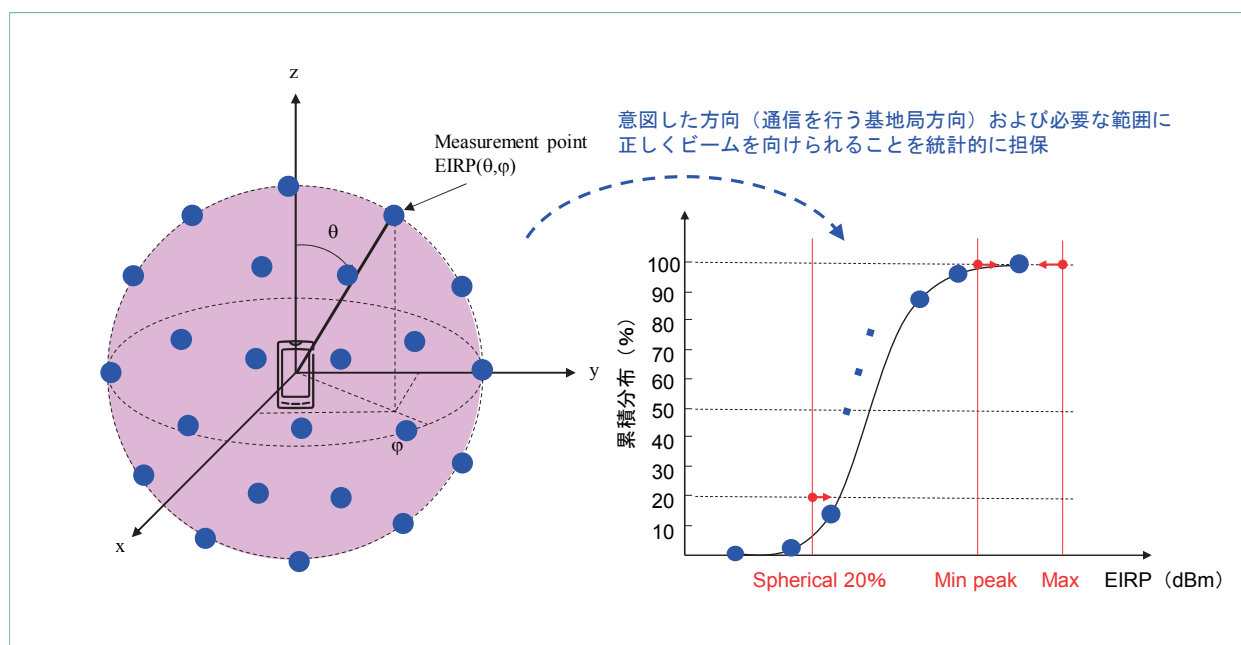


図6 累積分布を用いたOTA EIRP評価手法

表3 FR2パワークラス

FR2 パワークラス	UE type例	EIRP (dBm)			TRP (dBm)
		Max	Min peak	Spherical	Max
1	固定無線通信端末	55	40	32 (85%)	35
2	車載向け端末	43	29	18 (60%)	23
3	携帯用端末 (スマートフォンなど)	43	22.5	11.5 (50%)	23
4	固定無線通信端末	43	34	25 (20%)	23

*34 累積分布：評価する対象が、ある特定の値以下となる確率。

*35 FCC：アメリカにおける連邦通信委員会。テレビ・ラジオ・電報・電話などの事業の許認可権限をもつ。

*36 固定無線通信端末：基地局と端末の両方を固定して通信を行う方式。基地局間のバックホール通信などでの利用が想定される。

末向けパワークラス3の最大許容TRP 23dBm^{*37}に対して、本パワークラスでは最大TRP 35dBmが許容される。本クラスでは固定設置型のユースケースを想定しており、鋭いビーム形状による特定方向への強い電力放射が可能である。

・パワークラス2

主に車載向けを想定して規定されたクラスである。spherical coverageは60%をターゲットとしており、最大TRPは携帯用端末向けのパワークラス3と同一であるものの、より高いEIRP特性が要求される。

・パワークラス3

スマートフォンなどの携帯用端末を想定したクラスである。基地局方向に対して端末の向きがランダムとなることを想定しており、spherical coverageは50%をターゲットとしている。

・パワークラス4

上述のパワークラス2と比較して、より広範囲なspherical coverage (20%) かつ高いEIRPが要求されるクラスである。鋭いビーム形状のパワークラス1とは異なり、NR基地局の位置を意識せずに設置可能であることから、固定設置のユースケースだけではなく、車や電車への搭載など、柔軟な運用が期待される。

5. 無線リソース制御仕様

端末のモビリティ性能の担保を目的とした、無線リソース制御 (RRM: Radio Resource Management)^{*38}に関する仕様について以下に解説する。

5.1 自セル／他セルの受信品質測定機能

端末が他セルにハンドオーバーする場合や、CA時にCCを新たに追加する場合などにおいて、通信品質を維持しながらこれらの処理を適切に実施するた

め、例えばRSRP (Reference Signal Received Power)^{*39}やRSRQ (Reference Signal Received Quality)^{*40}など、他セルの受信品質を事前に測定 (measurement) することが望ましい。LTEでは、全基地局・全セルにおいて参照信号 (CRS: Cell-specific Reference Signal)^{*41}が常時送信されていたため、端末は他セルの受信品質を容易に測定することが可能である。しかし、NRでは、オーバヘッドの低減や、主に低トラフィック時の他セルへの干渉を低減することを目的とし、CRSのように常時高密度で送信される参照信号は存在しない。

そのため、NRにおける受信品質の測定は、CRSよりも長い送信周期をもつ同期信号 (SS: Synchronization Signal)^{*42}および下り物理報知チャネル (PBCH: Physical Broadcast CHannel)^{*43}から構成される、SSB (SS/PBCH Block)^{*44}を流用して行う (図7(a))。

SSBの送信周期は、5, 10, 20, 40, 80, 160msの範囲でセルごとに設定可能であるが、端末による受信品質測定の周期は必ずしもSSBの送信周期と同じである必要はなく、環境に応じて適切な測定周期を設定することで、必要以上の測定動作を避けて端末の消費電力を抑えることが望ましい。

そこで、端末が測定に用いるSSBの測定周期やタイミングを自セルから端末へ通知する機能 (SMTC window: SSB based RRM Measurement Timing Configuration window^{*45}) が新たに導入された。

図7に示すように、SMTC windowの周期は、SSBと同様5, 10, 20, 40, 80, 160msの範囲で設定可能であり、そのwindow幅は、測定対象セルが送信しているSSB数に応じて1, 2, 3, 4, 5msの各値を設定できる。端末はSMTC windowを基地局から通知された場合、window内でSSBの検出および測定を実施し、その結果を基地局に報告する。

*37 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)。

*38 無線リソース制御 (RRM): 有限である無線リソースの適切な管理や、端末・基地局間のスムーズな接続を実現するために端末が実施する、ハンドオーバーなどのモビリティ動作、参照信号を用いた品質測定といった制御の総称。

*39 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

*40 RSRQ: セル固有の参照信号の電力と、受信帯域幅内の総電力との比を表す。

*41 参照信号 (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。

*42 同期信号 (SS): 端末が電源投入時などに、通信の開始に必要なセルの周波数と受信タイミングおよびセルIDの検出を行うための物理信号。

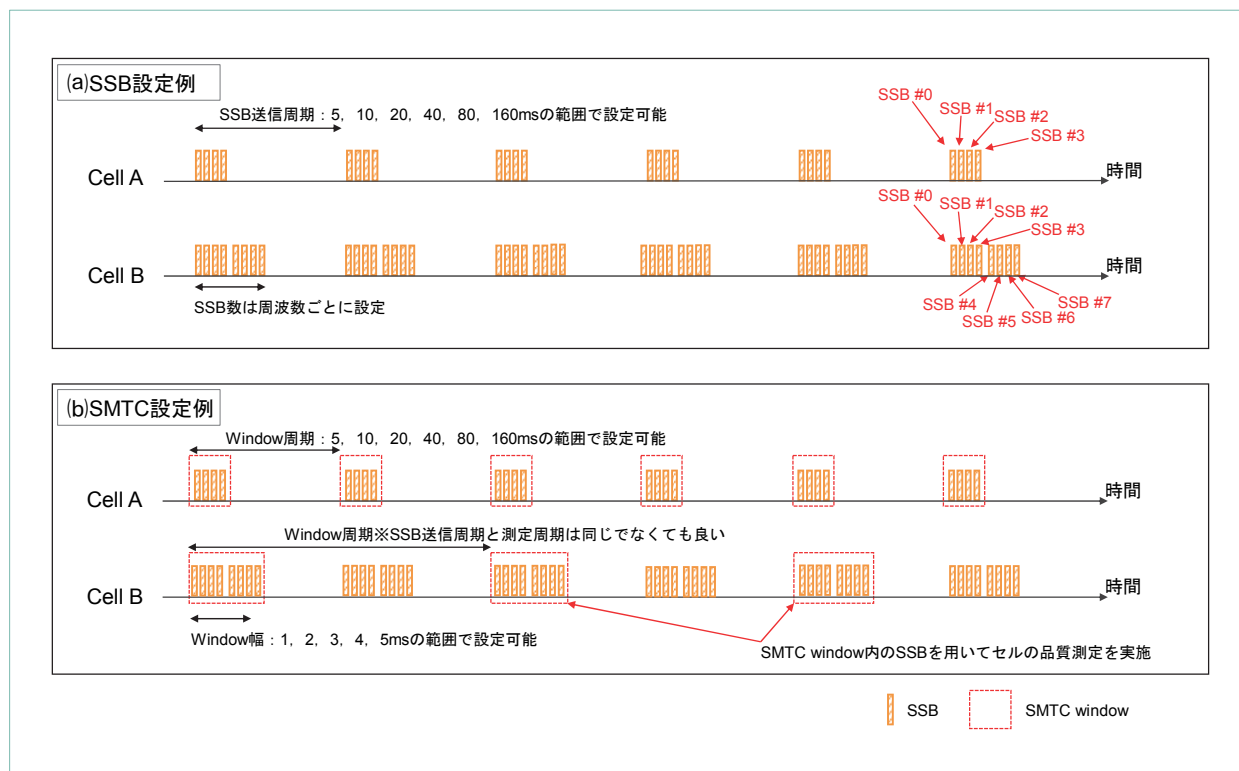


図7 NRにおけるSSB/SMTCの関係

5.2 Measurement gap

端末において、他セル／CCの受信品質測定に用いるRF装置と、自セルのデータ送受信に用いるRF装置を共通化することで、部品共用化による端末製造コストの低廉化が期待される。ただし、RF装置共用化により、自セルと異なる周波数のセル／CCを測定する区間など、自セルのデータを送受信することができないという制約が生じるケースがある。LTEの場合、上記区間にて端末にMeasurement gapを設定することで、gap内では自セルのデータ送受信を止めて、異なる周波数のセル／CCを測定することを許容しており、NRにおいても同様にMeasurement gap設定が導入された。ただし、前述の通り、NRではSSBを用いて測定を行うため、その設定方法が最適化されている。以下ではその概

要を解説する。

(1) Measurement gap設定方法

(a) LTEの場合

LTEでは、Measurement gapの長さ（MGL：Measurement Gap Length）は固定であり、その区間中に最低1つのSSを含むように設定されている。LTEのSSは5ms周期で送信されるため、MGLは、無線部の切替え時間（RF retuning time）を前後に0.5msずつ加えた合計6msとなる。端末は、MGL中のSSを検出してセルID^{*46}および受信タイミングを特定し、その後CRSを用いて測定を行う。

(b) NRにおけるMGLの拡張

NRの場合、前述の通り、SMTC windowの周期およびwindow幅がSSBの送信に合わせて

*43 報知チャンネル（PBCH）：システムの運用情報を報知するための共通チャンネル。移動端末は電源on時などにこのチャンネルを読み取ることで、通信の開始に必要な情報（通信事業者コード、共通チャンネル構造、周辺セル情報など）を取得する。

*44 SSB：SS、PBCHから構成される同期信号／報知チャンネルブロック。主に、端末が通信開始時にセルIDや受信タイミング検出を実施するために周期的に送信されるが、NRでは各セルの受信品質測定にも流用される。

*45 SMTC window：端末がSSBを用いた受信品質測定を実施する際、測定対象のセルごとの測定開始タイミングや測定期間、測定周期を端末が知るために、基地局から端末へ設定される測定窓。

*46 セルID：セルごとに付与される識別情報。

柔軟に設定可能である。しかし、例えばSMTC windowが2msの場合にMGL 6msのMeasurement gapをそのまま設定すると、測定に無関係な約4ms分の期間で自セルでのデータの送受信ができなくなるなど、固定的なMGLではスループットが不必要に低下する恐れがある。

そこで、この不必要なスループット低下を軽減するため、6msのほか、5.5ms、4ms、3.5ms、3ms、1.5msの計6種類のMGLが設定可能となるよう拡張されている。具体例を図8①および②に示す。図8①のSMTC window 2msのケースではMGL 4msのgapを使用し、図8②のケースであれば、4msのSMTC windowに合わせてMGL

6msと長く設定する。Measurement gapの周期(MGRP: Measurement Gap Repetition Period)についても図8③で示す通り、LTEよりも柔軟に設定することが可能となった(LTE: 40, 80ms NR: 20, 40, 80, 160ms)。

(2) Measurement gap timing advance

前述の通り、設定されたMeasurement gapの先頭と末尾はRF retuning timeと想定され、その区間において端末は測定およびデータの送受信を行わない。仮に図9①のように、設定されるSMTC windowとMeasurement gapの開始タイミングが同一の場合、SMTC windowの先頭がRF retuning timeと重なるため測定に使用できなくなる。そこで、図

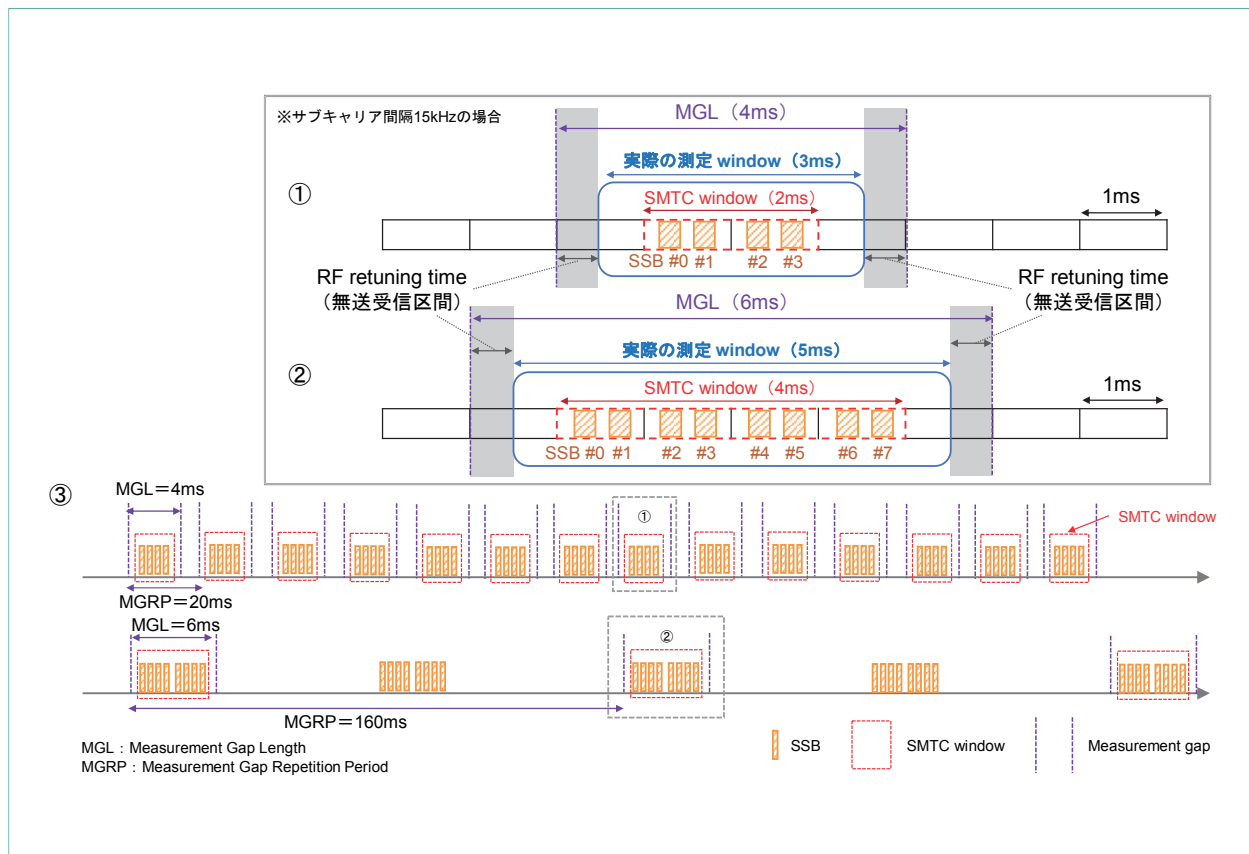


図8 NRにおけるMeasurement gap設定例

9②に示す通り、RF retuning time分、gapの開始タイミングを前方へずらすことで、SMTC window内に含まれている測定用信号を漏れなく使用することができる機能（Measurement gap timing advance）が新たに導入された。

5.3 非同期ネットワークにおける受信品質測定

(1)SFTD（SFN^{*47} and Frame boundary Timing Difference） measurement

SMTC windowやMeasurement gapは、測定対象セルのSSB送信タイミング情報を基に設定されるが、他セル測定の場合など、SSB送信タイミング情報を

自セル基地局が把握できていないケースがあり、その場合、端末に対して適切なSMTC windowやMeasurement gapを設定できない。そのため、自セルとNRセルとの間のSFN/frameタイミングのずれを端末が取得し基地局へ報告するSFTD measurementが新たに導入された。

(2)SFTD設定方法

基地局は、端末に対して周辺の他セルを対象としたSFTD measurementを設定する。NRセルと未接続の端末が、SFTD measurementをNRセルに対して行うにはMeasurement gap設定が基本的に必要となるが、前述の通りSSB送信タイミング情報を把握していない状態では適切にそれを設定できない

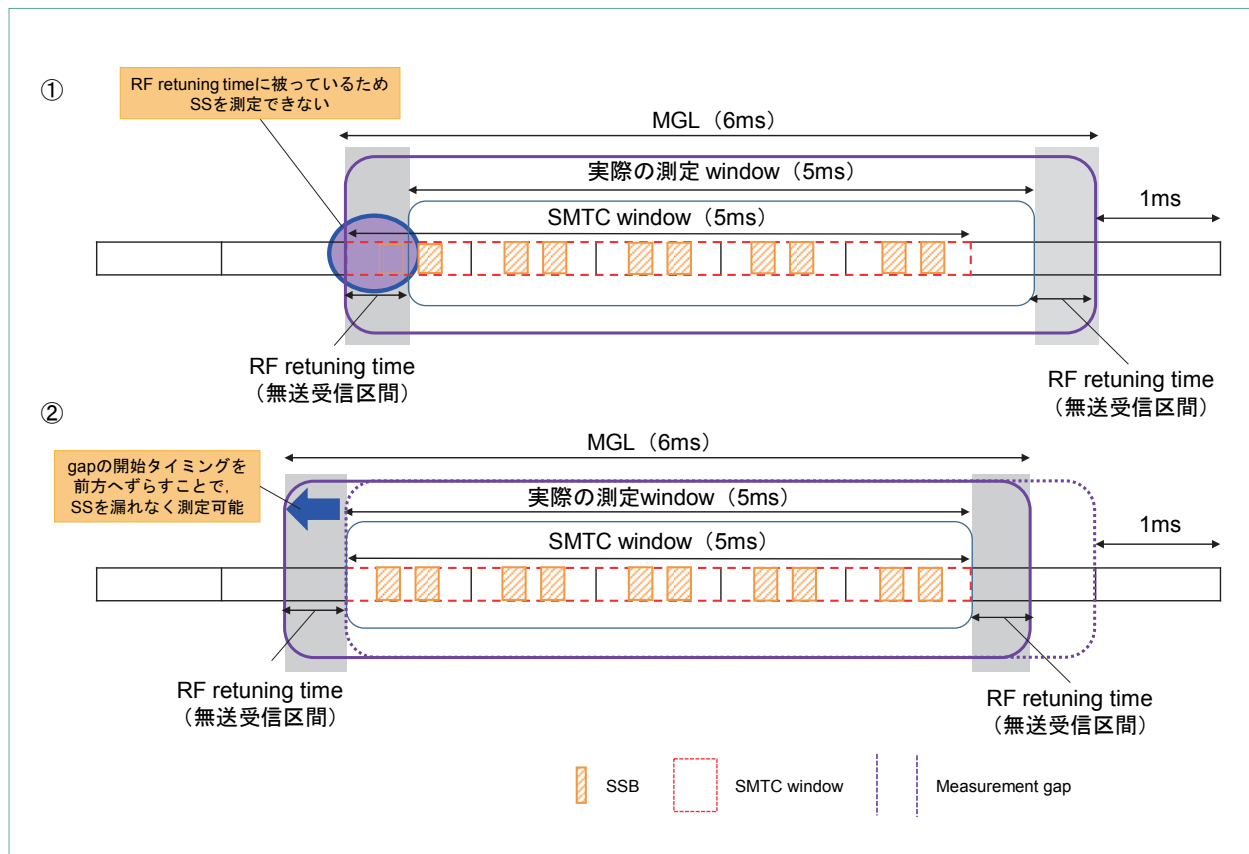


図9 Measurement gap timing advance

*47 SFN：無線フレームごとに割り振られた番号。0から1,023の値を取る。

ため（図10），対象セルのSSBを検出できるまで Measurement gap の設定を変更しながら複数回 Measurement gap を開ける必要があり，それに伴いシグナリング*48やNRセルに接続するまでの遅延が増加する．そのため，自セルでの通信は維持し，Measurement gap を使わずに対象セルのSFTD measurementを実施する手法が追加導入された．

実際に規定された測定手法の具体例を図11に示す．この手法では通信中のRF装置を止めて測定を行うのではなく，CA向けに利用するような，端末側で余っている別のRF装置を使用する．測定に使用するRF装置をON/OFFする際に，自セルとの通信に利用しているRF装置はその影響を受けるため，端末がSSBの検出を試みる測定windowの前後1サブ

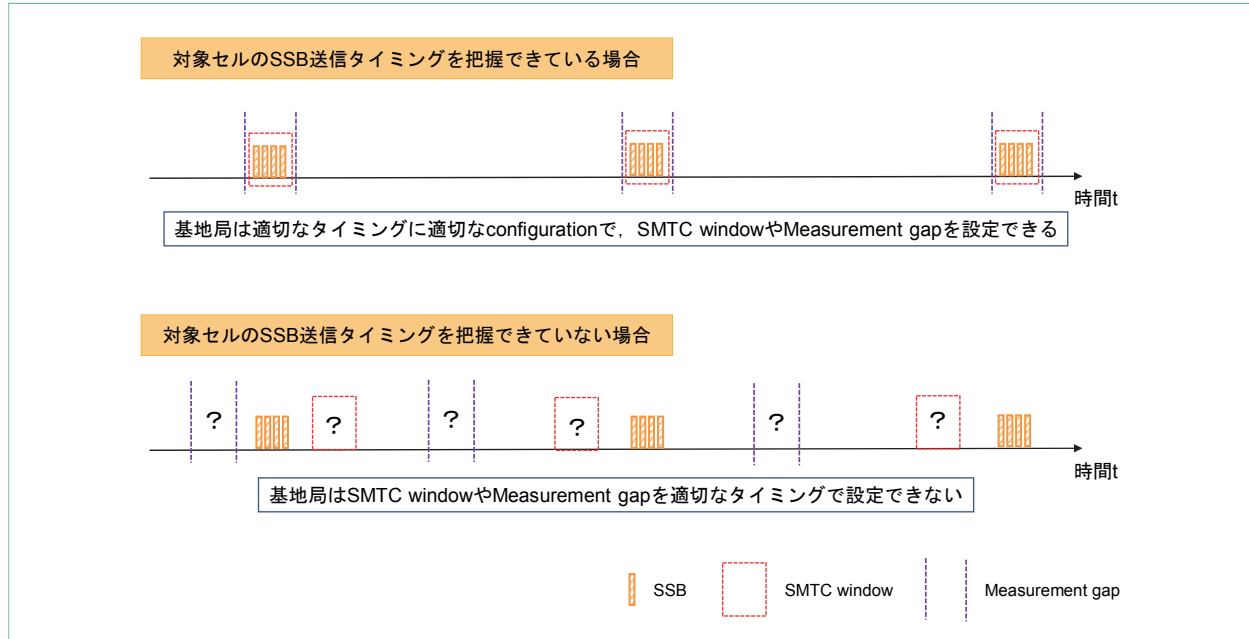


図10 測定対象セルのSSB送信タイミングを把握できていない場合

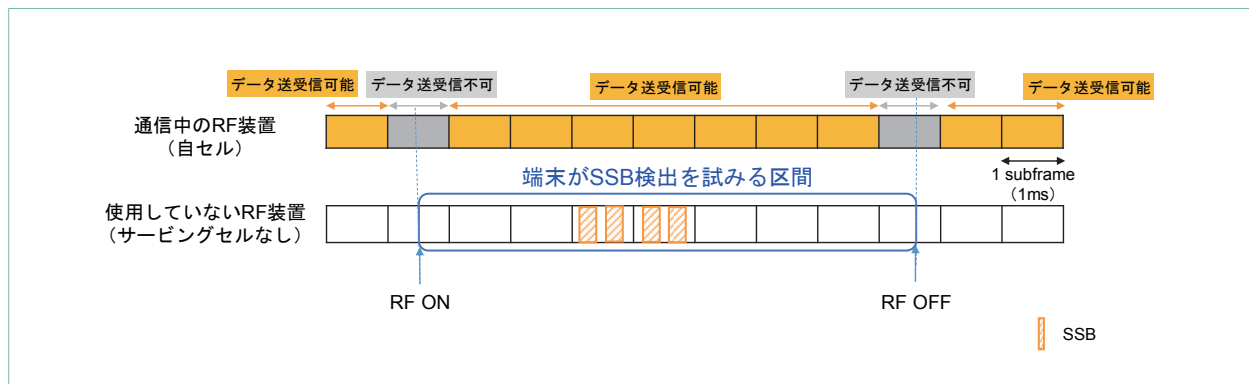


図11 Measurement gapを使用しないSFTD measurementの実施例

*48 シグナリング：基地局と端末間で，通信に必要な情報（例えば帯域幅や符号化変調方式など）を事前に共有すること．

フレーム分は自セルでのデータ送受信が不可となるが、それ以外の時間は自セルでの通信を維持したまま並行して対象セルのSFTD measurementを実施できる。

6. あとがき

本稿では、Release 15として策定された新しい無線通信方式（NR）について、主にRAN4にて仕様化された周波数バンド、基地局・端末の無線RF性能や無線リソース制御関連仕様について解説した。今後は、Release 15における、受信スループット規定のような基地局や端末のベースバンド^{*49}性能仕様などの策定（2018年12月完了予定）と並行し、さらに高品質・高機能なサービスエリアが提供可能となるようRelease 16以降の標準仕様の検討を推進していく。

文献

- [1] 3GPP TS38.913 V14.3.0: "Study on scenarios and requirements for next generation access technologies," Aug. 2017.
- [2] 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9回）：“委員会報告書（案）,” Jun. 2018.
- [3] 3GPP TS38.101-1 V15.2.0: "NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone," Jun. 2018.
- [4] 3GPP TS38.101-2 V15.2.0: "NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 2: Range 2 Standalone," Jun. 2018.
- [5] 三木, ほか: "LTE-Advancedにおける広帯域化を実現するCarrier Aggregation," 本誌, Vol.18, No.2, pp.12-21, Jul. 2010.
- [6] 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.
- [7] Qualcomm Technologies, Inc.: "5G Waveform & Multiple Access Techniques," Nov. 2015.
<https://www.qualcomm.com/media/documents/files/5g-research-on-waveform-and-multiple-access-techniques.pdf>
- [8] 3GPP TS38.104 V15.2.0: "NR; Base Station (BS) radio transmission and reception," Jun. 2018.
- [9] 佐野, ほか: "LTE-Advanced Release 13におけるマルチアンテナ送受信および受信機能改善技術," 本誌, Vol.24, No.2, pp.59-68, Jul. 2016.

*49 ベースバンド：デジタル信号処理を行う回路またはその機能ブロック。

5G時代の ネットワークマネジメント仕様

先進技術研究所 つぼうち こうじ いわしな しげる
坪内 宏司 岩科 滋

ネットワークスライシングが必須機能として規定された5Gシステムの導入に伴い、これまでのネットワークマネジメント（管理）アーキテクチャは見直され、3GPP SA5 WGは、ネットワークスライシングの管理アーキテクチャ、管理モデル、プロビジョニング、性能管理、障害管理などをRelease 15として仕様化した。

1. まえがき

3GPP (3rd Generation Partnership Project) では、Release 15としてネットワークスライシング*1機能、ならびにネットワークスライシングの管理機能に関する仕様策定が行われた。

ネットワークスライシングにより、1つの物理的なネットワークにおいて、異なる要求条件をもつ通信サービス (IoT (Internet of Things), モバイルブロードバンドなど) をそれぞれ論理的に隔離されたネットワーク (ネットワークスライス) に収容し、さまざまな通信サービスを互いに影響せずに運営できるようにする。

本稿では、本特集冒頭記事 [1] で概説した、NR

(New Radio) を提供する無線アクセスネットワーク (RAN : Radio Access Network)*2機能およびコアネットワーク (CN : Core Network)*3機能で構成されるネットワークスライスを管理する、ネットワークマネジメント仕様について解説する。

2. 3GPP SA5 WGにおける ネットワークマネジメント仕様の規定

3GPP SA (Service and System Aspects)5*4 WG (Working Group) では、3GPP ネットワーク (RAN, CN, IMS (IP Multimedia Subsystem)*5)), および当該ネットワークで実現されるサービスをマネジメント (管理) するための要件、アーキテク

*1 ネットワークスライシング：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論理的に分割したネットワーク。

*2 無線アクセスネットワーク (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。

チャ、ソリューションを規定している。

Release 15以前は、図1（文献 [2] Figure 1抜粋）、および下記に示すように機能ブロックが階層化された管理アーキテクチャとなっていた。

- ・NM (Network Management)^{*6}は、3GPPドメイン (RAN, CN) を管理するDM (Domain Management)^{*7}を管理
- ・各DMは、管理対象ドメイン内にあるNE (Network Element)^{*8}を、EM (Element Management)^{*9}を介して管理
- ・EMは、対応するNEを管理

Release 15では、ネットワークスライシングが必須機能として規定された5Gシステムの導入に伴い、これまでの管理アーキテクチャを見直し、5G時代

のネットワークマネジメント仕様としてネットワークスライシングの管理アーキテクチャ、管理モデル、プロビジョニング^{*10}、性能管理、障害管理などを仕様化した [3] [4]。

3. Release 15で規定されたネットワークスライスの構成

Release 15の新規定では、ネットワークスライスインスタンス (NSI : Network Slice Instance)^{*11}は、ある通信サービス一式を提供するために使用する、すべてのNF (Network Function)^{*12}を含んだものとなる。

さらに別のWGでは定義していない3GPP SA5 WG固有の概念として、スライスの特定部分（例え

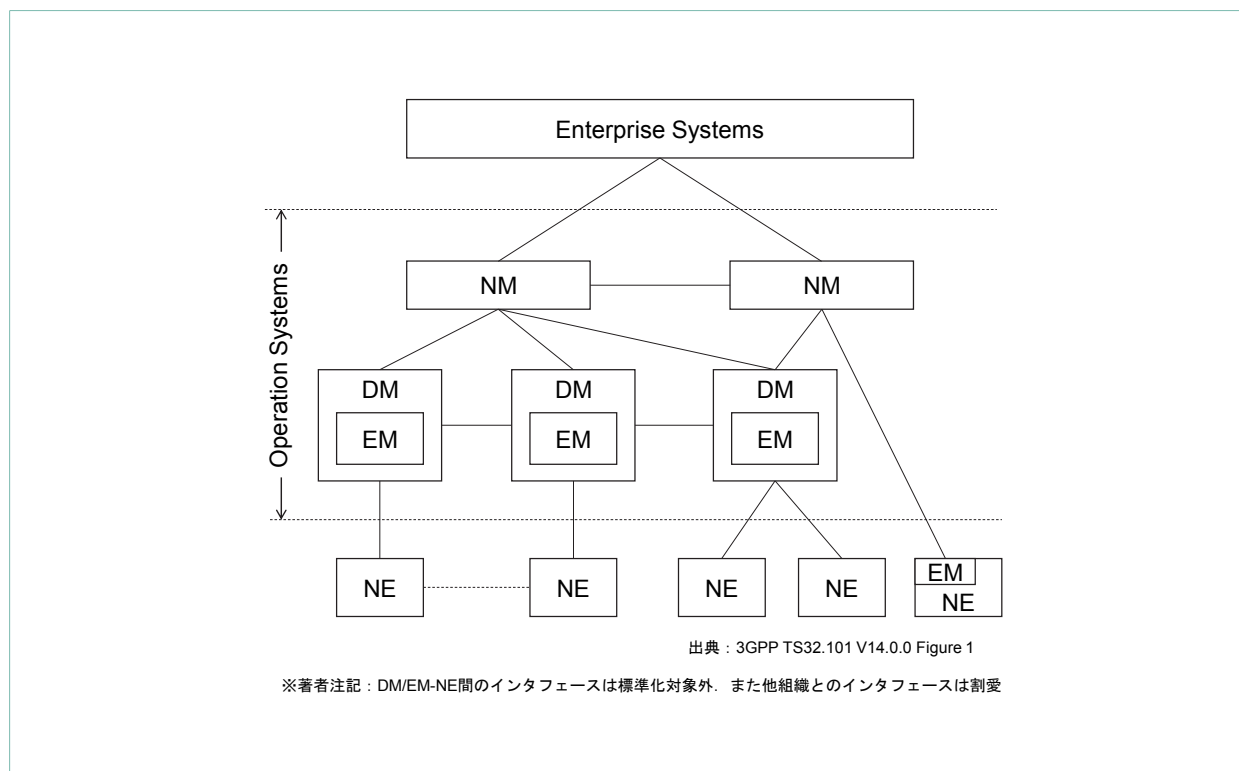


図1 Release 15以前の管理アーキテクチャ

- *3 コアネットワーク (CN)：パケット転送装置、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。
- *4 3GPP SA5：3GPPは、移動通信システムに関する標準化機関である。SA5は、3GPPにてOSS (Operation Support System) /BSS (Business Support System) について議論する作業部会のこと。
- *5 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。呼び制御プロトコルとしてSIP (Session Initiation Protocol) を用いる。

- *6 NM：NEで構成されたネットワークを管理する機能を提供する。
- *7 DM：NEで構成されたネットワークの一部を管理する機能を提供する。
- *8 NE：システムを構成する基地局、交換局および中継装置の総称。

ば、RAN、CNなど）をネットワークスライスサブネットインスタンス（NSSI：Network Slice Subnets Instance）と定義している。

図2に示すように、NFは1つのNSI/NSSIで占有されることも、共有されることもある。また、NSI/NSSIはトランスポートネットワーク（TN：Transport Network）*13を含むが、3GPP SA5 WGでは、Release 15においてもこれまで通り、3GPPで規定されたRAN、CN内のNFの管理のみを規定し、TNに対しては、当該ネットワークへの要件（設定情報など）の入力／指示のみを規定し、該当する標準化団体SDO（Standards Developing Organization）へ実際の管理仕様の規定を依頼する。

4. ネットワークスライスの提供形態

3GPP SA5 WGでは、ネットワークスライスの提供形態として、図3 [3] に示すように(a)NSaaS（Network Slice as a Service）*14と(b)Network Slices as NOP（Network OPerator）internals*15を規定して

いる。

(a)は、ネットワークスライスを第三者（他事業者）にネットワークサービスとして提供することを想定しており、当該事業者へ管理用API（Application Program Interface）*16が開示される。一方で、(b)は、通信サービスとしてのみ利用され、第三者（他事業者）には管理できない状態で公開され、スライスの存在が認識されない。

5. 管理アーキテクチャ

5.1 SBA

Release 15からの5G管理システムは、従来の管理機能間をポイントツーポイントで接続したのではなく、サービス指向の考え方を採り入れている。

本アーキテクチャ（SBA：Service Based Architecture*17）では、マネジメントサービスの提供者が許可された利用者に対して当該サービスを提供する。また、それを複数組み合わせ合わせて製品として実装

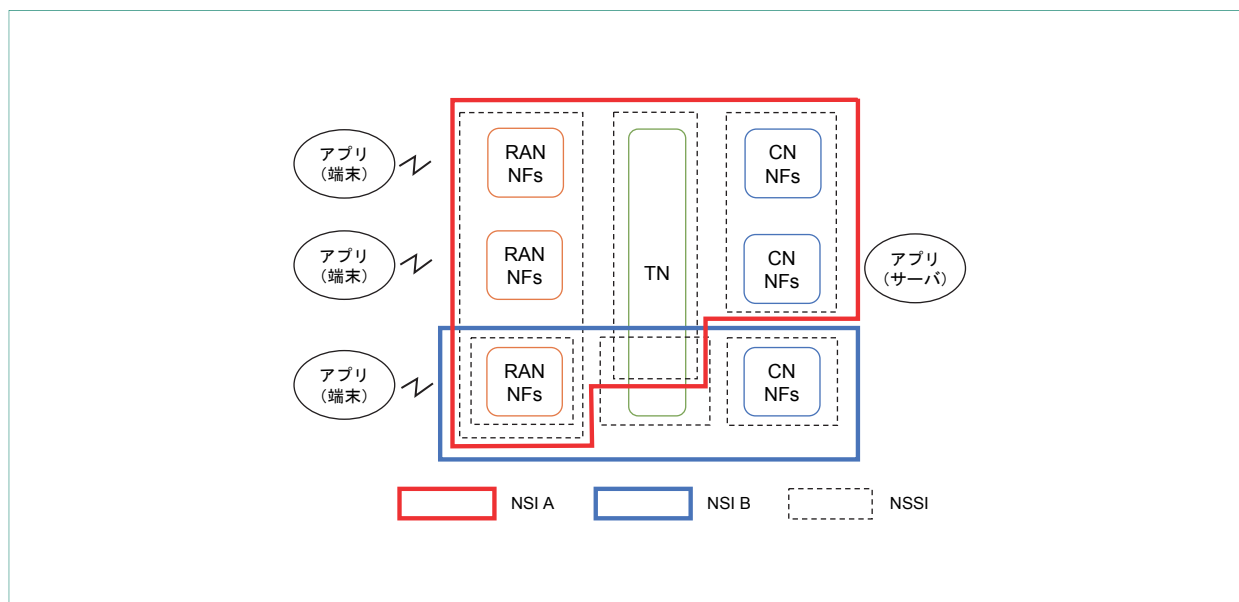


図2 NSI/NSSIの例

*9 EM：NEを管理する機能を提供する。

*10 プロビジョニング：NFなど管理対象となる装置の生成、変更、削除を実施すること。

*11 ネットワークスライスインスタンス（NSI）：ネットワークスライスを構成するNF、およびそれらに必要な資源（例えば計算資源、ストレージ資源、ネットワーク資源）。

*12 NF：ネットワーク機能。システムを構成する基地局、交換局および中継装置の総称。NEと同義。

*13 トランスポートネットワーク（TN）：無線アクセスネットワークとコアネットワークを接続するネットワーク。かつ、それぞれのネットワーク内の装置間を接続するネットワーク。

*14 NSaaS：ネットワークスライスの提供形態の1つ。ネットワークスライスをサービスとして第三者（他事業者）に提供すること。

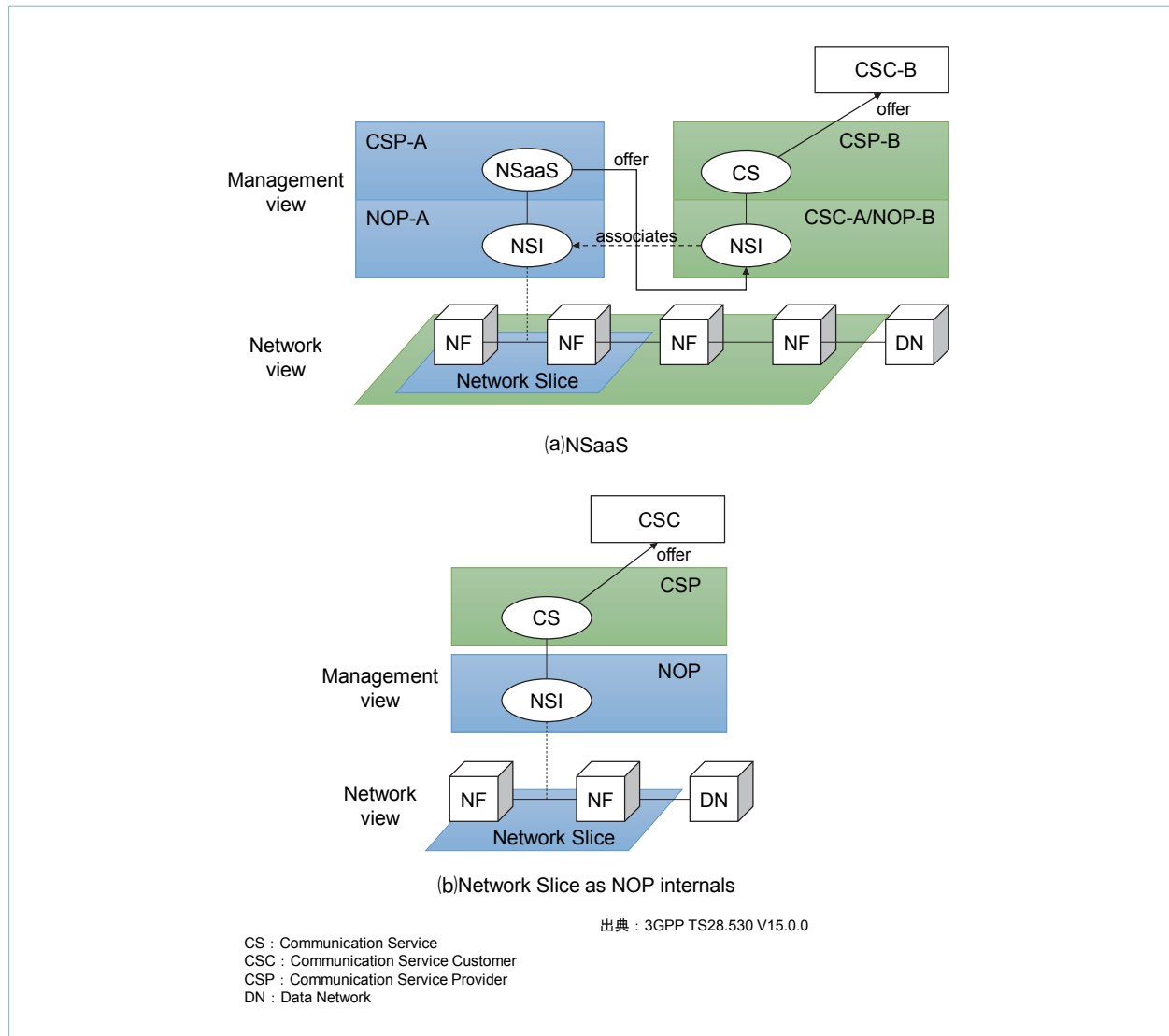


図3 ネットワークスライスの提供形態

したものを図4 ([4] Figure 4.6.1抜粋) に示すようにマネジメント機能 (MF: Management Function) と定義している。

なお、マネジメントサービスの提供するAPIが Normative^{*18}として文書化され、MF自体は実装依存のためInformative^{*19}として文書化される。SBAを採用することに対するメリットの1つに、各オペ

レータが管理システムのインテグレーション^{*20}時、各々の判断で必要なマネジメントサービス群を含んだ製品を自由に組み合わせて導入できることが挙げられる。

5.2 マネジメントサービス・MF

マネジメントサービスとしては、大まかに以下が

*15 NOP internals: ネットワークスライスの提供形態の1つ。ネットワークオペレータがネットワークスライスを第三者(他事業者)に対し管理できる状態では公開せず、エンドユーザに対して通信サービスとして提供する。

*16 API: 機能やデータを利用するための汎用化されたインタフェース。

*17 SBA: サービスを利用するためのインタフェースを規定し、利用者に提供するアーキテクチャ、またはフレームワーク。

*18 Normative: 記述されている事がらに拘束力をもつこと。

*19 Informative: Normativeな記述を理解するための情報提供を主とした記述で、記述されている事柄に拘束力をもたない。

*20 インテグレーション: 装置、またはシステムを、オペレータが運用しているネットワークに組み込むこと。

規定されている。

- ・ Provisioning Management Service : NSI/NSSI/NF管理オブジェクトの生成, 変更, 取得, 削除 (Life Cycle Management).
- ・ Fault Management Service : NSI/NSSI/NFのアラーム一覧取得, アラーム通知, 削除, など.
- ・ Performance Management Service : 性能測定情報の登録, 取得/通知など.

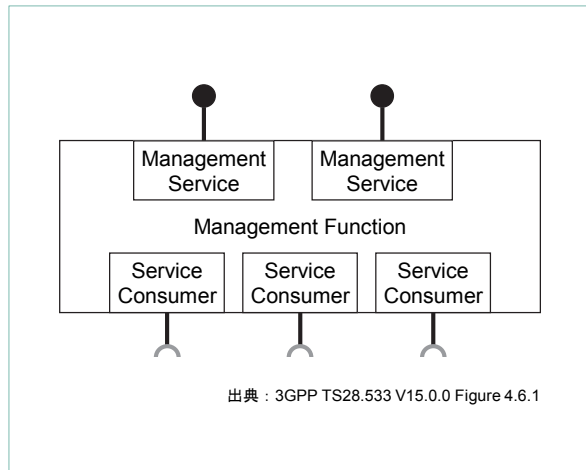


図4 マネジメント機能とマネジメントサービスの例

MFアーキテクチャの実装の一例として図5 [4]が, Informative Annex^{*21}にドキュメント化されている。本図に記載されているMFを以下に説明する。

- ・ NFMF (Network Function MF) は, 1つ以上のNFに対し, マネジメントサービスを提供するとともに, 他マネジメントサービスを利用してもよい。
- ・ NSSMF (Network Slice Subnet MF) はNSSIのためのマネジメントサービスを提供するとともに, 他マネジメントサービスを利用してもよい。
- ・ NSMF (Network Slice MF) はNSIのためのマネジメントサービスを提供するとともに, 他マネジメントサービスを利用してもよい。
- ・ CSMF (Communication Service MF) は通信サービスを管理するため, 他のマネジメント機能が提供するマネジメントサービスを利用する。
- ・ NFは, 例えばNFの性能・障害・設定に関するマネジメントサービスを提供する (他マネジメントサービスを利用しない)。

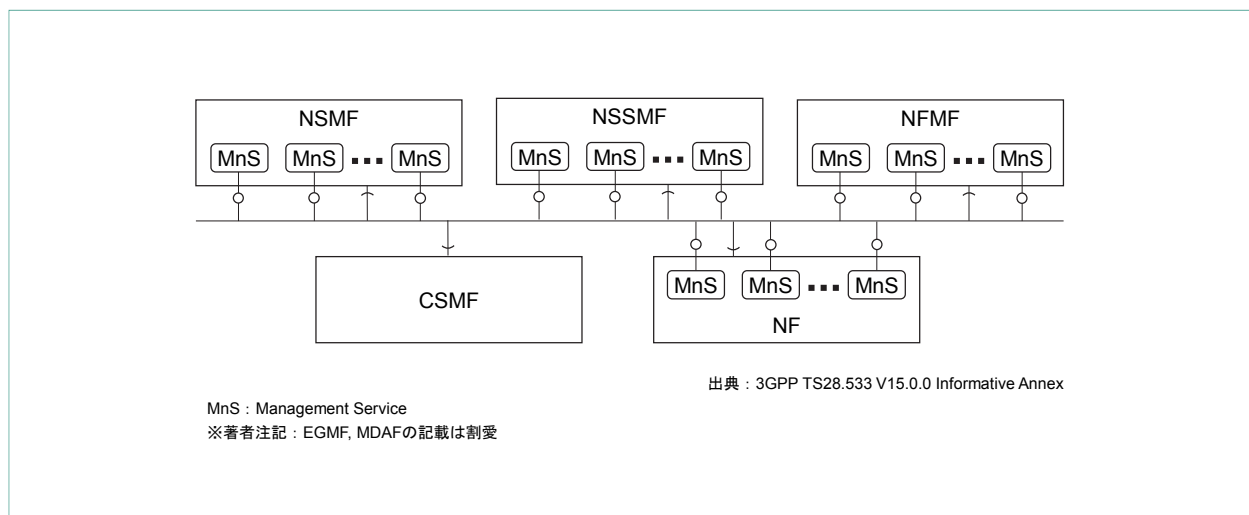


図5 マネジメント機能アーキテクチャの実装の例

*21 Informative Annex : Normativeな記述を理解するための情報提供を主とした記述で, 記述されている事柄に拘束力をもたない付録の章。

本図の特筆すべき点として、これまではEMとNE/NF間のインタフェースは標準仕様化されていなかったが(図1)、Informative Annexにおける記載ではあるもののRelease 15にてNFのインタフェースが開示され、今後の標準化が期待される。

6. あとがき

本稿では、3GPPにて規定されたネットワークマネジメント仕様について解説した。今後SA5 WGでは、Release 16にわたりマネジメントサービスが特定NFに特化されることなく汎用的に規定されていく見通しである。また、ネットワークスライシングはネットワーク機能の仮想化NFV (Network Functions Virtualization)^{*22}とも密接にかかわってお

り、今後、ETSI (European Telecommunications Standards Institute)^{*23} ISG NFVと連携を取りながら標準化が進められると考えられる。

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] 3GPP TS32.101 V14.0.0: “Telecommunication management; Principles and high level requirements,” Mar. 2017.
- [3] 3GPP TS28.530 V15.0.0: “Management and orchestration of networks and network slicing; Concepts, use cases and requirements,” Sep. 2018.
- [4] 3GPP TS28.533 V15.0.0: “Management and orchestration of networks and network slicing; Management and orchestration architecture,” Sep. 2018.

*22 NFV: 仮想化技術を用いて通信機能処理を実現するソフトウェア処理を汎用製品上で実現する技術。

*23 ETSI: 欧州の電気通信技術に関する標準化団体。

GSMA eSIM仕様に準拠した LPAアプリケーションの開発

移動機開発部

こうだ あきお やまぐち くみ こ
合田 晶生 山口 久美子†
あさの こういち
浅野 浩一

ドコモは、2017年にコンシューマ向けeSIM対応端末を国内ではじめて開発・導入した。今後、eSIM対応端末のラインナップを拡充していくとともに、eSIMを活用した新たなサービスやユースケース数の拡大をめざしている。そこで、Android™*1スマートフォン上で汎用的に動作するLPAアプリケーションを開発し、2018年以降発売の端末に搭載していくこととした。本稿では、今回ドコモが開発したLPAアプリケーションの仕組みについて解説する。

1. まえがき

近年、ウェアラブル端末をはじめとする各種IoT (Internet of Things) 機器へのセルラ通信機能の搭載需要が高まっている。ドコモではこの需要に応えるため、GSMA (GSM Association)*2 RSP (Remote SIM Provisioning)*3仕様に準拠したeSIM (embedded SIM)*4プラットフォームを開発・導入済みである [1]。eSIMプラットフォームを利用することで端末のドコモ回線開通が容易になる一方、端末機種ごとにeSIMプラットフォーム対応のLPA (Local Profile Assistant)*5機能を開発しなければならない点が課題であった。

そこで、今後eSIM搭載端末数の増大や、eSIMを利用するサービスの拡大を見据え、Androidプラットフォーム上で動作するLPAアプリケーションをドコモが開発して端末に搭載することとした。本稿では、開発したLPAアプリケーションの仕組みについて解説する。

2. LPAアプリ開発の目的

2.1 キャリアが提供するメリット

一般にAndroid端末メーカーは、ハードウェアとソフトウェアの両面で開発を行う必要がある。Android端末のハードウェアは、当該端末のスペック (ディ

©2018 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

† 現在、プラットフォームビジネス推進部

*1 Android™: Google Inc.の商標。

*2 GSMA: 携帯電話事業者のほか、端末メーカーやソフトウェア企業などを取りまとめるモバイル通信事業の世界的な業界団体。事業者間のローミングルール策定などに加えて、eSIM関連では標準化を先導。

スプレイサイズやカメラ性能など)や筐体デザインなど端末を特徴付ける部分であるため、基本的には端末ごとにすべて異なるものである。対して、ソフトウェアは共通化できる部分が比較的多い。また、ハードウェアを直接操作するような端末機能ソフトウェアであっても、単体のAndroidアプリケーションとして端末依存なく動作させることも可能である。これらの特長を活かし、eSIM開通処理に必要なLPA機能を具備したAndroidアプリケーション(以下、LPAアプリ)を共通化することが可能である。

そこで、従来端末メーカーが開発していたLPAアプリをドコモが開発し端末メーカーへ配布することとした(図1)。これにより端末メーカーはLPA開発の負担が減り、ハードウェア開発や端末ラインナップの拡充に注力しやすくなり、ドコモもeSIM搭載端末の拡充に間接的に寄与することが可能となる。

また、ドコモがLPAアプリを開発することで、ドコモネットワークやサーバ装置類との連携部分の

開発・評価の一元化による効率化や、アプリUIを端末間で統一し、ユーザ案内をしやすくするなどの副次的効果も生まれる。

2.2 eSIM開通におけるLPAアプリの役割

LPAアプリがもつ機能は、主に次の2つである(図2)。

- ・LPD (Local Profile Download) : SM (Subscription Manager)*6からプロファイル*7をダウンロードし、端末内のeSIMに格納・インストールする機能
- ・LUI (Local User Interface) : eSIM内のプロフィールの操作(一覧表示, 切替え, 削除など)を行うためのUIを提供する機能

LPA機能を端末上に実装する場合、eSIMの回線開通処理において当該端末がどのような役割を果たすかを考慮し、機能の配置を決定する必要がある。現行のGSMA仕様Version2 [2] [3] では、次の2通

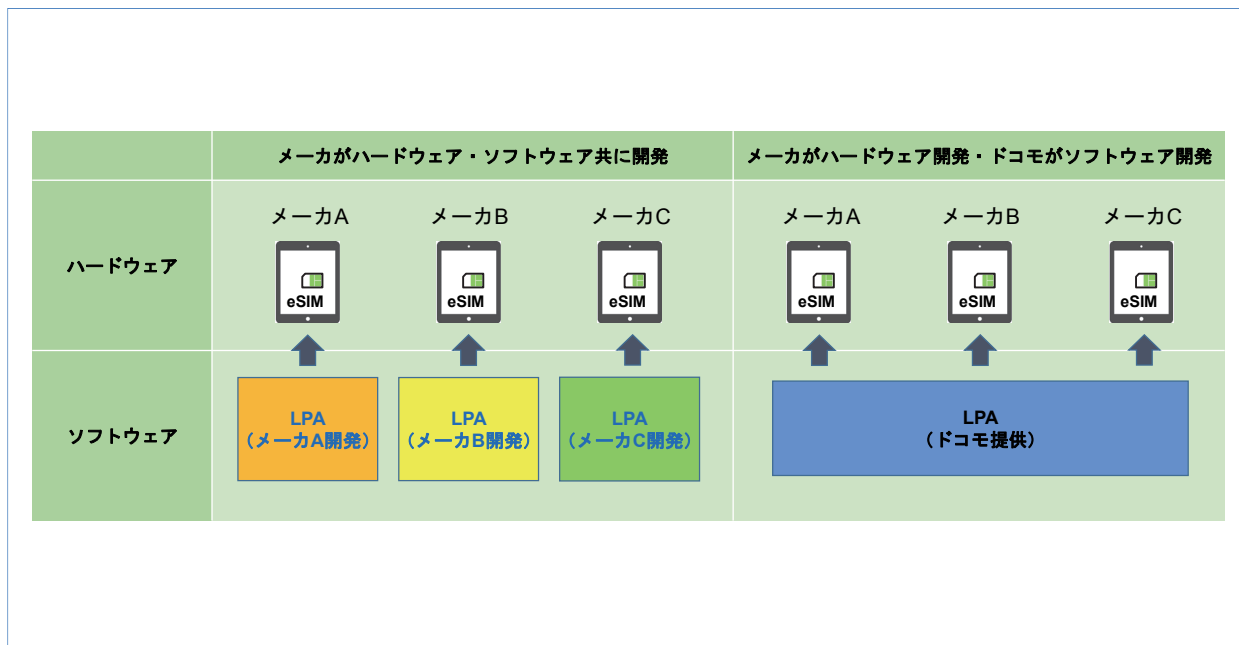


図1 ハードウェア・ソフトウェアの開発分担

*3 RSP : GSMAにて定義されたeSIM用の遠隔プロフィール書込み技術の総称。
 *4 eSIM : 遠隔でプロフィールをインストールできるSIMの総称。
 *5 LPA : SMと連携しeSIMにプロフィールをダウンロードする機能や、プロフィールの切替えや削除などの管理機能を提供する端末機能。

*6 SM : プロファイルの生成・保持する機能や、プロフィールをLPA経由でeSIMにダウンロード・インストールさせる機能を提供するサーバ。
 *7 プロファイル : eSIM OS上で動作するUIMソフトウェアであり、電話番号などの各種ファイル情報や、ネットワーク認証機能をもつアプリケーションなどから構成される。

りの機能実装方法が示されている（図3）。

1つめは、回線開通対象の端末にeSIMとLPA全機能が搭載されており、端末単体でeSIMの開通能力をもつ場合である。このような端末を、以下「単体

デバイス」と呼ぶ。

2つめは、回線開通対象の端末にはeSIMおよびLPAの一部機能のみが搭載され、端末単体ではeSIMの開通能力をもたない場合である。この場合、

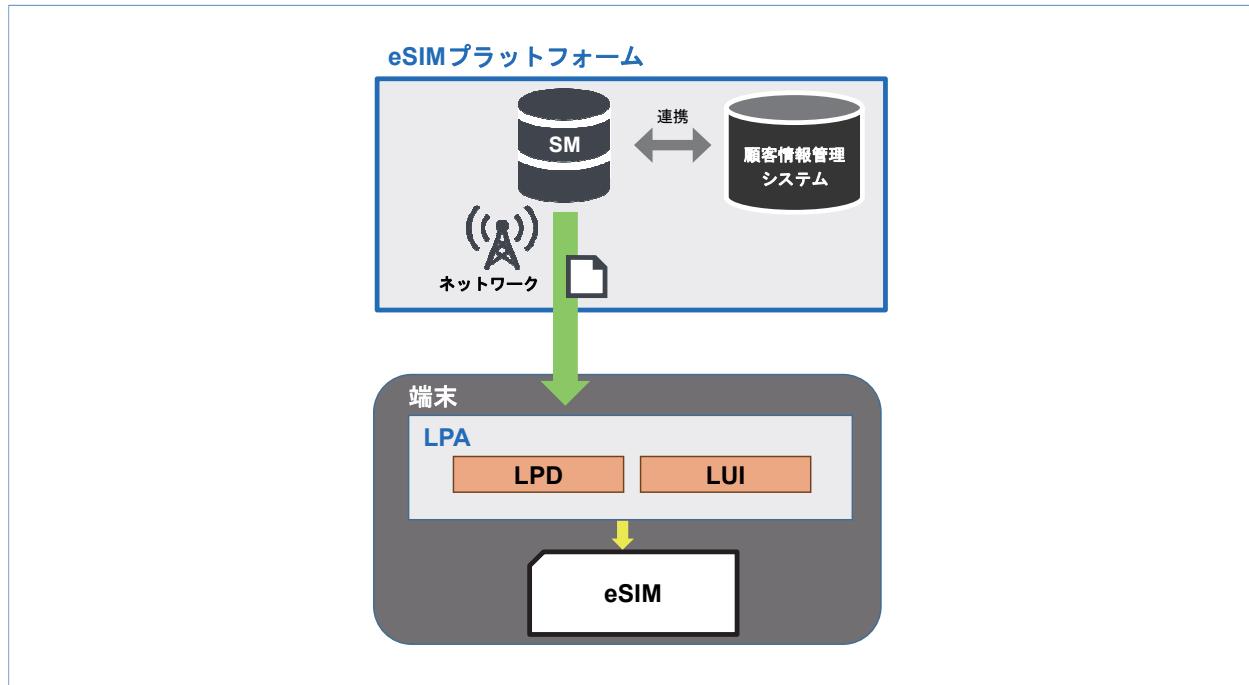


図2 eSIMプラットフォームとLPAアプリの概要

	単体デバイス	親機／子機デバイス
ユースケース		
説明	・プロファイルをウェアラブル・タブレットなど端末単体でダウンロード	・スマートフォンなどの親機を経由して、ウェアラブル・タブレットなどの子機へ転送

図3 単体デバイスと親機／子機デバイス

LPAの残りの機能を搭載した別端末と連動・協力して回線開通を行うことになる。以下、前者を「子機デバイス」、後者を「親機デバイス」と呼ぶ*1。

ドコモが開発したLPAアプリは、「単体デバイス」「子機デバイス」「親機デバイス」のすべてをサポートしている。

3. 単体デバイスモデル

3.1 単体デバイス向けLPAアプリの機能構成

単体デバイスモデルでは、当該端末1台のみでeSIM回線開通が可能であるため、単体デバイス向けLPAアプリはLPD、LUIのすべての機能を内包している。機能構成は図2の通りである。

ドコモの開発したLPAアプリは、GSMA仕様に準拠するのはもちろんのこと、どのAndroid端末上でもユーザが使いやすいアプリケーションとなるよう工夫されている。具体的には、使いやすさの向上のためセキュリティが確保されつつユーザ認証が極力簡素化されていることや、Androidのマテリアルデザイン*8やセットアップウィザードに適合したUI設計がなされていることなどである。

3.2 単体デバイスにおける開通の仕組み

eSIMプラットフォームにおいては、端末とLPAアプリ以外の主な構成要素としてeSIMとSMが存在する。各要素の役割について簡単に解説する。詳細は過去の本誌記事 [1] も参照されたい。

- ・eSIM：従来は、内部ファイル（電話番号や各種ユーザ識別子など）やネットワーク認証機能、各種アプリケーションからなるOP（Operational Profile）を「事前に」書き込んだ上でエンドユーザへSIMを配布していたのに対し、eSIMは、SMサーバから遠隔かつセキュアにOPをダウンロードすることにより、「後から」プロファイルの追加・変更が可能という特長がある。

- ・SM：ユーザごとのプロファイルデータを生成・保持する。LPAからのプロファイルダウンロード要求に基づき、該当ユーザのプロファイルの準備および目的のeSIMへのセキュアなダウンロードを行う。

これら要素が連携することで、eSIM回線開通が可能となる。OPがeSIMにダウンロードされるまでの一連の手順概要を図4に示す。

- ① 端末電源ON時、端末がeSIM内のプロファイル情報を読み出す。eSIM内にOPが1件もない、すなわち回線未開通の場合は、自動的にPP（Provisioning Profile）*9が読み出される。PPによりパケット通信呼が確立され、端末はSMへの接続が可能となる。
- ② LPAアプリを起動する（通常は端末のセットアップウィザード内でLPAアプリが自動的に呼び出される）。LPAアプリはSMへ接続し、HTTPS通信セッション*10を確立する。この際LPAアプリ自身で保持する証明書を利用してサーバ証明書*11の検証を行うことにより、SMの正当性確認を行っている。これにより、ユーザデータを端末から不正ななりすましSMにアップロードしてしまったり、不正なプロファイルデータをなりすましSMからダウンロードしてしまう、といった事故を防止できる。
- ③ LPAアプリが②で作成した通信路を介してeSIMとSMが相互認証を行い、eSIM—SMの2者間でEnd-to-endのセキュアな暗号通信路を確立する。この通信路上でeSIMがSMからプロファイルをダウンロードする。プロファイルはLPAアプリのLPD機能にいったんダウンロードされた後、LPD機能からeSIMへ分割送信される。これは、端末—eSIM間の通信インタフェースにおけるメッセージサイズ上限があるためである。分割プロファイルはeSIM内で結

*1 GSMA仕様 [2] [3] においてはそれぞれのデバイスを「Companion Device」「Primary Device」と呼称している。

*8 マテリアルデザイン：Androidにおいて推奨されている、アプリケーションのグラフィック、画面構成や操作感など、デザイン全般におけるガイドライン。

*9 PP：OPをダウンロードする際に用いる専用プロファイル。他用途に利用することはできない。

*10 セッション：クライアントとサーバ間でやり取りされる一連の通信のこと。

*11 サーバ証明書：サーバ所有者情報、暗号化鍵、証明書発行者の署名データをもった電子証明書。

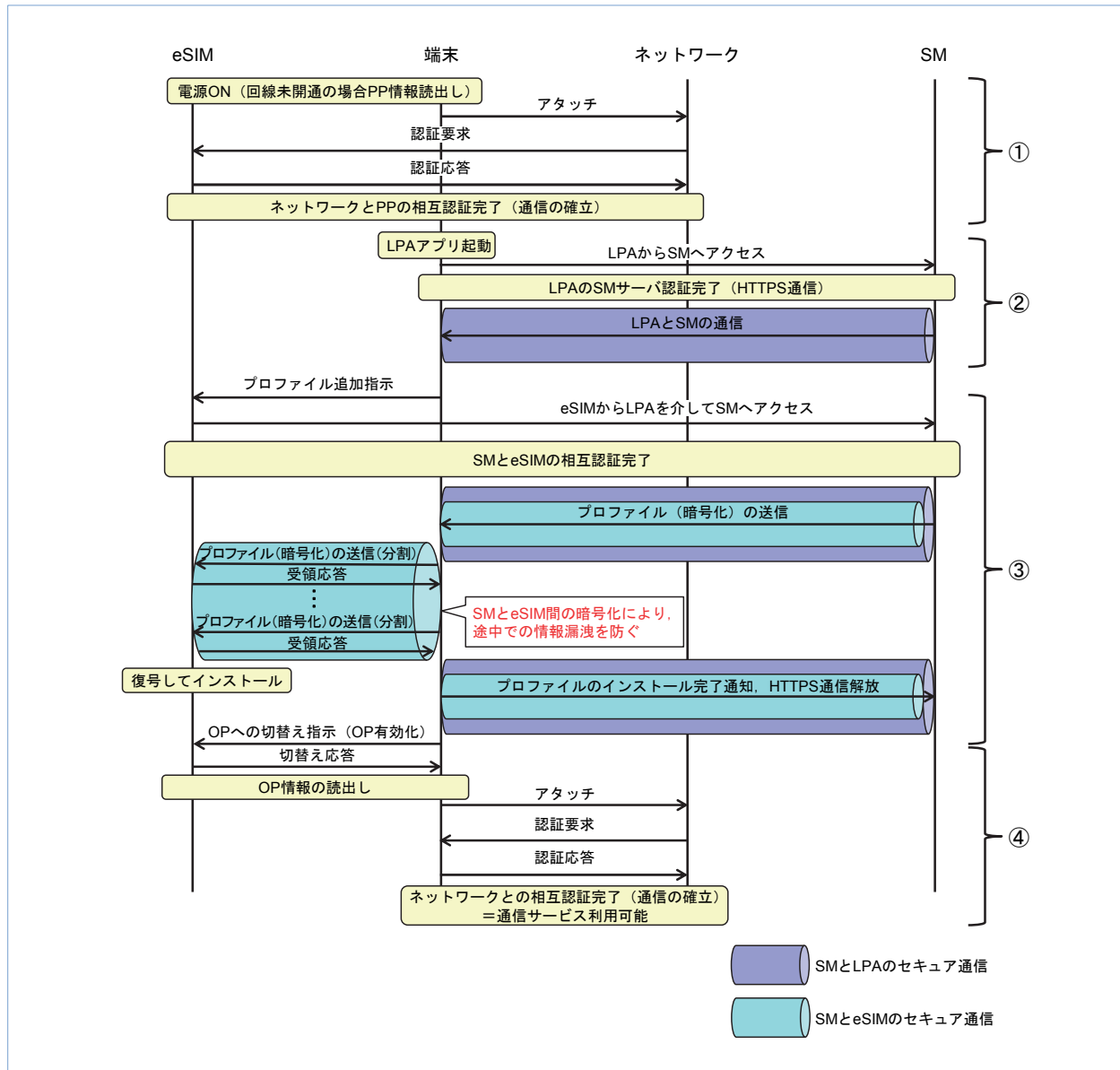


図4 単体デバイスの開通シーケンス

合、復号化した後にインストールされる。

- ④LPAアプリからインストール済みプロファイルの有効化すると、端末はOPを利用して再度ネットワークへアタッチ^{*12}し、通話やパケット通信などの各種サービスが利用可能となる。

4. 親機・子機モデル

4.1 子機デバイスにおけるeSIM搭載のメリット

親機・子機モデルの代表的なユースケースとしては、ウェアラブル端末や車載機器など単体では

*12 アタッチ：移動端末の電源投入時などにおいて、移動端末をネットワークに登録する処理。

eSIM回線開通処理が困難な端末（子機デバイス）のeSIM回線開通を、開通手続き処理に必要な入力操作や画面表示などUI表現に適したスマートフォン端末（親機デバイス）を経由して行うといったケースが挙げられる。

一般的に子機デバイスでは、端末内に固定された埋込み型eSIMが搭載されることが多い。埋込み型の場合は従来の挿抜型とは異なりSIMスロットが不要となるため、ハードウェア実装体積が削減できる、防水・防塵機構と相性が良いなどのメリットがある。さらに子機デバイスでは、eSIM回線開通に伴う操作・諸手続きを親機デバイスに肩代わりしてもらうことにより、タッチパネルやキーボードなどの入力機器の省略やディスプレイサイズの縮小など、機器自体の目的に特化したハードウェア・ソフトウェア設計を実現することが可能となる。

また、回線開通を親機デバイス経由によってオンラインで行うことになるため、従来の端末とは異なり「端末の入手」と「セルラ回線の開通」を分けて扱うことができるという点は、これまでの端末にはなかった特長である。これにより子機デバイスは、従来のキャリアショップや量販店だけではなく、さまざまな販路で自由に流通できるようになる可能性

がある。

4.2 ドコモにおける子機デバイスの開発

ドコモでは、2018年冬モデルとして「ワンナンバー*13フォン*14 ON 01」を開発した（写真1）。ワンナンバーフォンはeSIMを搭載した子機デバイスであり、親機デバイスのAndroidスマートフォンを経由してeSIMへのOPダウンロードが可能である。これにより、ワンナンバーフォンは電話機能に特化した小型設計を実現している。

また、ワンナンバーフォンはGSMA Compliance Process [4] による認定を受けた世界初のeSIM子機デバイスである**2。

4.3 子機デバイス向けLPAアプリの機能構成

親機デバイス向けLPAアプリ（以下、親機アプリ）と子機デバイス向けLPAアプリ（以下、子機アプリ）は、単体デバイス向けLPAアプリをベースとして開発された。LPAの主要機能を親機アプリと子機アプリに分割した上で、親機アプリ—子機アプリ間でBluetooth®*15通信によるリアルタイム連携する仕組みとしている。構成概要は図5の通りである。



写真1 ワンナンバーフォン ON 01

*13 ワンナンバー：1つの電話番号を、スマートフォンなどの親機デバイスと、アクセサリ端末などの子機デバイスとで共有して、どちらの端末でも音声通話・データ通信が使用できるサービス。

*14 ワンナンバーフォン：NTTドコモの商標または登録商標。

*15 Bluetooth®：移動端末、ノートPC、PDAなどの携帯端末向け短距離無線通信規格。米国Bluetooth SIG Inc.の登録商標。

**2 2018年10月23日現在。ドコモ調べ。

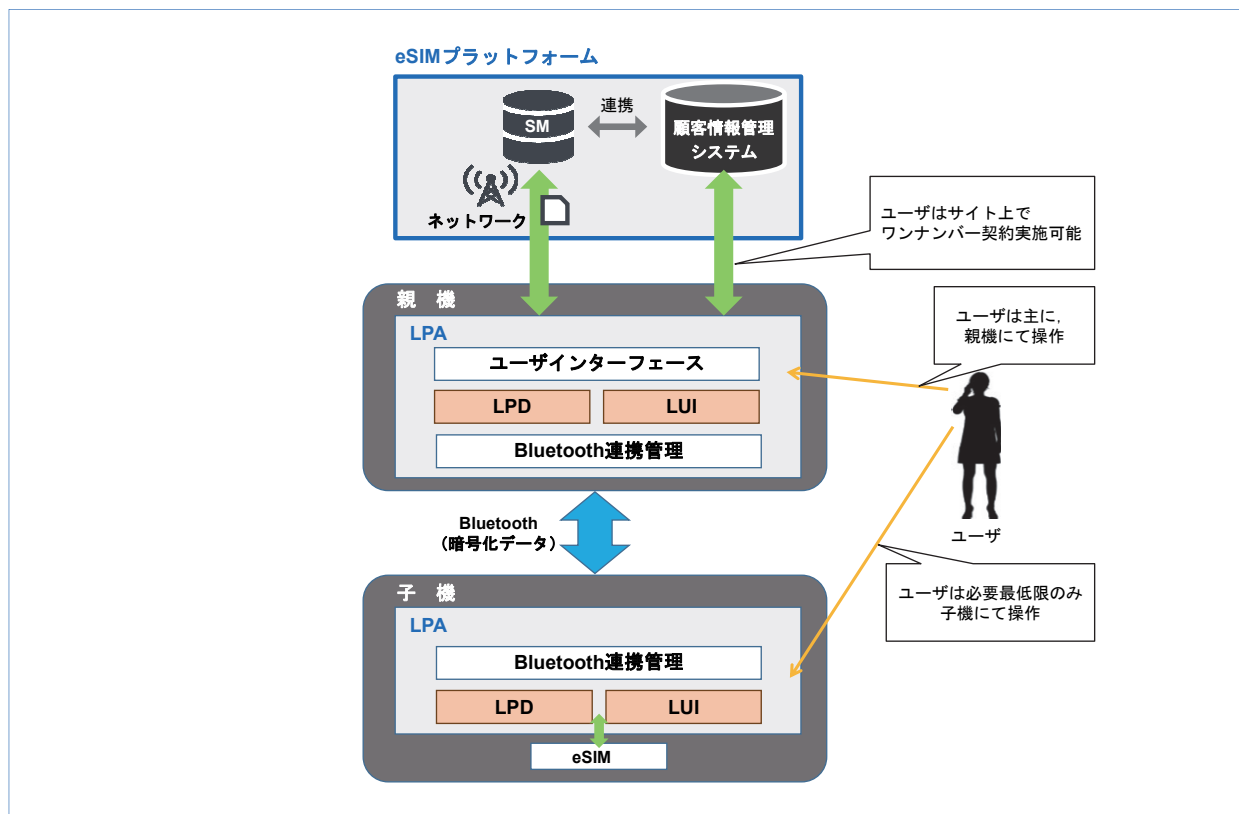


図5 親機・子機モデルにおけるLPAアプリの構成

4.4 子機デバイスにおける開通の仕組み

子機デバイスにおけるeSIM開通においては、単体デバイス開通で登場した構成要素に加え、新たに顧客情報管理システムとの連携が必要になる。本システムは親機デバイス回線利用者のワンナンバーサービス[®]*16契約状態の管理や、未契約の場合にオンラインで即時契約手続きを行うなどの機能をもつ。

子機デバイスにおける開通シーケンスを図6に示す。親機デバイスにはセルラ通信可能なSIMがすでに挿入されており、パケット通信の呼が確立されている前提とする。

- ①親機アプリ、子機アプリの両方を起動する。
- ②親機アプリがAndroidのBluetooth機能を用いて、親機デバイスと子機デバイスをBluetooth

ペアリング*17する。これにより、Bluetooth通信セッション内で、親機アプリと子機アプリが直接セキュアに連携動作することが可能となる。

- ③親機アプリが顧客情報管理システムに接続し、ワンナンバーサービスの契約状態を確認する。未契約の場合は、そのまま契約手続きを行う。
- ④親機アプリのLPD機能がSMへアクセスし、セキュアなHTTPS (HyperText Transfer Protocol Secure)*18通信を確立する。
- ⑤すでに確立済みの子機アプリ—親機アプリ間のBluetooth通信および親機アプリ—SMサーバ間のHTTPS通信の2つを経由し、子機デバイス上のeSIMとSMが相互認証を行い2者間のセキュアな暗号通信路を確立する。これにより、伝送路上のインターネット回線はもちろん、親機ア

*16 ワンナンバーサービス[®]：NTTドコモの登録商標。

*17 ペアリング：Bluetoothにて、接続相手特定するための手順。一度ペアリングを行った機器間では、次からは、自動的あるいは半自動的に接続が確立される。

*18 HTTPS：TLSプロトコルを用いて、HTTP通信を安全に行う通信手法。なりすまし・中間者攻撃・盗聴などの攻撃を防ぐことができる。

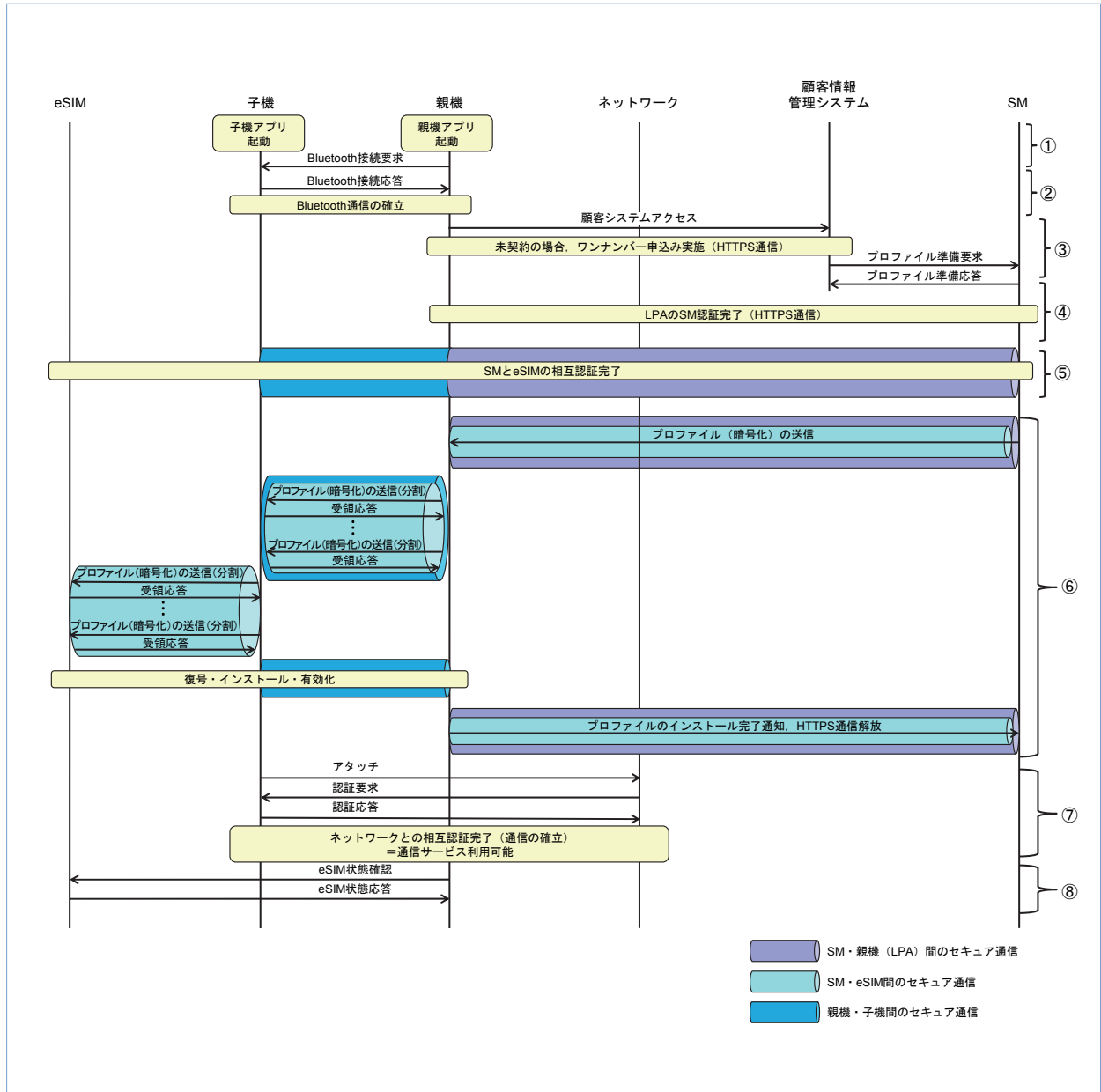


図6 子機デバイスの開通シーケンス

プリや子機アプリであってもプロファイル情報を盗聴・改竄することはできなくなり、eSIMにダウンロードされるプロファイルの正真性が保証される。

⑥親機アプリのLPD機能は、SMから暗号化され

たプロファイル情報をダウンロードした後、子機アプリのLPD機能へプロファイル情報を分割送信する。これは、親機—子機間のBluetooth通信におけるメッセージサイズ上限があるためである。子機アプリのLPD機能は、受け取っ

たプロフィール情報をeSIMへ分割送信し、OPをeSIMにインストールする。

- ⑦OPが正しくインストールされると、子機デバイスはネットワークへアタッチを行う。これにより、子機デバイス単体でセルラ通信が可能となる。
- ⑧親機アプリのLUI機能から子機アプリのLUI機能を経由してeSIMにアクセスすることで、eSIM内部状態の確認（インストール済みのOP情報の閲覧など）を行うことも可能である。

ワンナンバーフォンにおいては、上記手順の後に親機デバイス内の電話帳データを子機デバイスにコピーするという機能も実装している。ワンナンバーサービスにより電話やSMSを親機／子機どちらの端末でもシームレスに利用できるよう工夫している。

5. あとがき

ドコモは今後のeSIM対応機器の拡大を見据え、グローバル標準の要求仕様であるGSMA RSPに準拠したLPAアプリケーションを開発した。単体デ

バイス向けLPAアプリにより、従来型のAndroidスマートフォン／タブレットへのeSIM搭載の促進が期待できる。また、親機デバイス／子機デバイス向けLPAアプリの実現により、ウェアラブルをはじめとするさまざまなIoT機器へのセルラ通信能力付与、およびこれら機器特有のユニークなユースケースの創出にも寄与していくものと考えられる。

今後はGSMAで策定中の次期RSP仕様へ対応したLPAアプリケーションの継続開発や、eSIM搭載IoT機器の拡充および新たなユースケースの創出など、コンシューマ機器向けeSIM技術を利用したより便利な通信サービスの提供に取り組んでいく。

文献

- [1] 笹川, ほか: “利用シーンを拡大するコンシューマ機器向けeSIMの導入—GSMAに準拠したセキュアなインストールを実現—,” 本誌, Vol.25, No.2, pp.6-12, Jul. 2017.
- [2] GSMA SGP.21: “RSP Architecture Version 2.1,” Feb. 2017.
- [3] GSMA SGP.22: “RSP Technical Specification Version 2.1,” Feb. 2017.
- [4] GSMA SGP.24: “RSP Compliance Process Version 1.1,” May 2017.

VoLTE相互接続の提供

ネットワーク開発部 **佐藤 隆之**^{さとう たかゆき} **嘉義 智紀**^{かぎ ともりのり}^{†1} **大橋 亜希**^{おおはし あき}^{†2} **門間 裕**^{もんま ゆう}

これまで国内の各移動体通信事業者の自社網に収容される、端末間でしか行えなかったVoLTEによる高音質通話が、2018年10月*より収容する網が異なる事業者の端末間でも利用できるようになり、ユーザビリティを向上した。なお、高音質通話とは、音声CodecにAMR-WB (Adaptive Multi-Rate Wide-Band)*¹やEVS (Enhanced Voice Services)*²を利用することで、広帯域の音声周波数をカバーした音質による音声通話のことを指している。

現在、事業者間の接続はSTM (Synchronous Transfer Mode)*³回線で既存音声通信網を介して接続されているが、当該回線を経由して接続時に利用される呼処理方式 (共通線信号方式)*⁴ではVoLTEのベースとなっているVoIPに関する規格がないため、VoLTEによる高音質通話を実現することができなかった。そこで、異なる事業者間でVoIPによる通信を行うために、今回当該信号を処理することができる交換機並びに周辺装置を開発・実装した。また、併せてVoIPの実現に不可欠な呼処理制御信号であるSIP (Session Initiation Protocol)*⁵の各種パラメータなどインタフェース条件についても、国際標準に準拠した範囲内で新規に整理し、ドコモと

しての技術的条件を接続約款として制定した [1]。

本稿では、VoLTE相互接続を提供するため、新たに実装したものの中から接続開始までの諸動作にかかわる機能を解説する。

(1)接続経路 (POI (Point Of Interface)*⁶) の判断

従来の音声通話の事業者間相互接続は、STM回線による既存音声通信網の相互接続点 (STM-POI) 経由であるが、VoLTEの相互接続については、IP回線上のSIPによる相互接続点 (IP-POI) 経由となる (図1)。

そのため、発信時にどちらのPOIを経由して相手事業者と接続するかを判断する必要がある。これは発信側がVoLTE発信か3G発信かを判別することで行われており、AS (Application Server)*⁷にてVoLTE発信を判断するための情報を付与し、その情報を基に、CSCF (Call State Control Function)*⁸にてPOIの選択動作を実装している (図2)。

(2)MNP (Mobile Number Portability)*⁹対応

移動体通信事業者網においてはMNPサービスを実現しており、電話番号だけでは着信先事業者を判断できない。従来の共通線信号方式においては、発信側は接続先の電話番号から番号管理事業者*¹⁰を

©2018 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

†1 現在、株式会社ドコモCS ソリューションインテグレーション部

†2 現在、R&D戦略部

*開始当初は一部の通話のみで実現しており、順次対象ユーザを拡大中。

- *1 AMR-WB: 3GPP標準で規定されており、音声電話サービスなどで利用される、AMR-NBよりも高品質な音声コーデック。
- *2 EVS: 音声をデジタル化する際に用いられる音声符号化方式 (音声コーデック) の一種。
- *3 STM: 1本の物理回線を複数の論理回線に分割して、同時に通信を行う多重化方式の1つ。通信速度が固定化されたネットワークで利用される時分割多重方式。
- *4 共通線信号方式: 電話網において、制御信号を通路とは物理的に別の伝送路で送受信する方式。代表的なものにSS7 (No.7信号方式) がある。
- *5 SIP: VoIPを用いたIP電話などで利用される、IETF (Internet Engineering Task Force) で規格化された通話制御プロトコルの1つ。

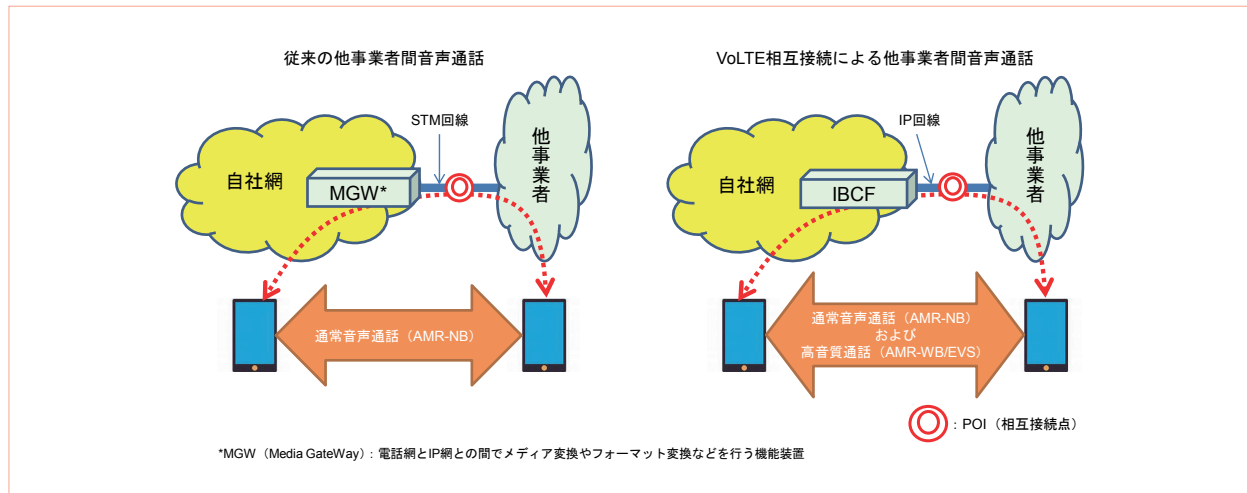


図1 従来接続とVoLTE相互接続における相互接続点の差異

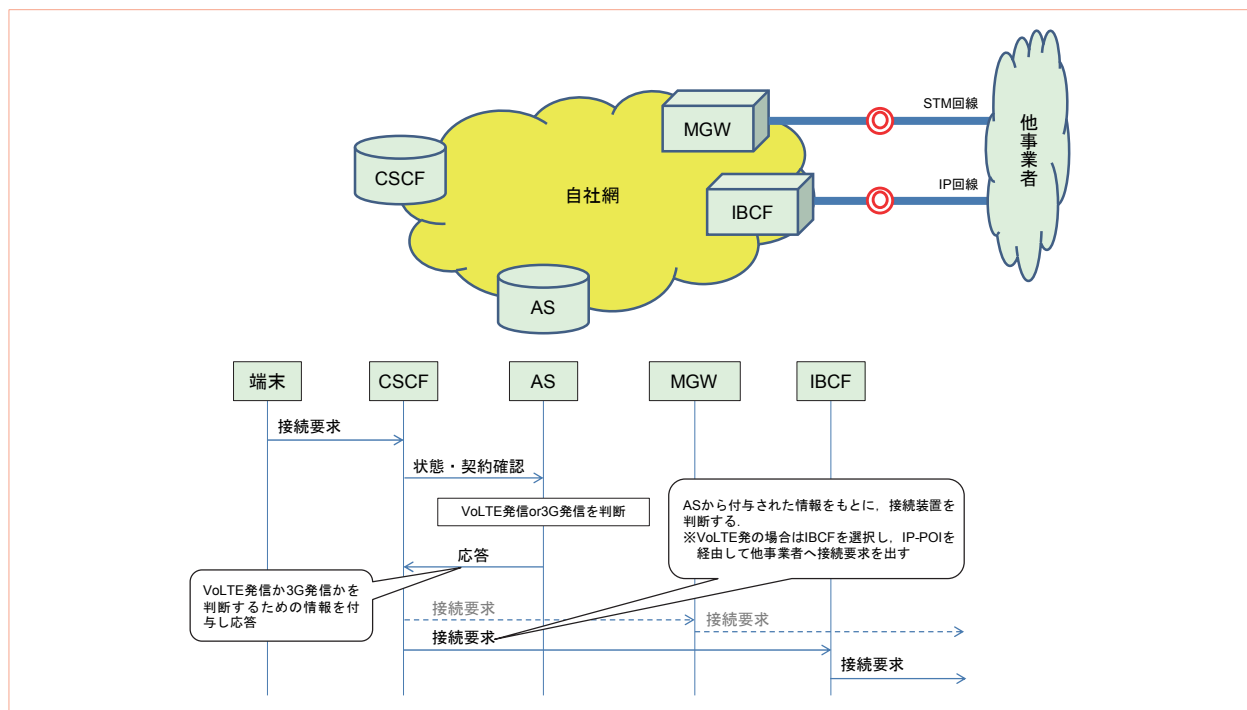


図2 他事業者間相互接続時の概要NW図とPOI選択動作

認識し、そこに接続信号を送出する。送出先がMNPにより他事業者の契約になっていれば、発信側は移転先事業者への再接続のための情報が含まれた切断信号を受け、移転先事業者へ再接続信号を送出する（図3）。一方、IP-POIを経由した相互接続においては、SIPの接続信号送出前にENUM（E.164 Number Mapping）^{*11} [2] を用いた番号解決により移転先を判断し、SIP信号を送出する仕組みとしている（図4）。

- *6 POI：相互接続点。社間の通信機器同士を回線で結んだ接続点であり、各社の責任分界点にもあたる。
- *7 AS：付加サービス制御などを担う機能装置。
- *8 CSCF：IPマルチメディア・サブシステムにおける中心的機能で、移動端末との呼制御、能力交換などを行う機能装置。
- *9 MNP：契約している携帯電話事業者を変更しても、同一電話番号を継続して利用できるサービス。携帯電話番号は総務省より割り振られる事業者が定められるが、本サービスにより割り振られた事業者とは異なる事業者でサービスを受けることがある。
- *10 番号管理事業者：総務省から電気通信番号を割り振られた事業者。MNPなどにより異なる事業者へ電話番号が移転したとしても、移転先事業者情報を保持し、発信事業者に通知することで適切な呼接続を実現する。

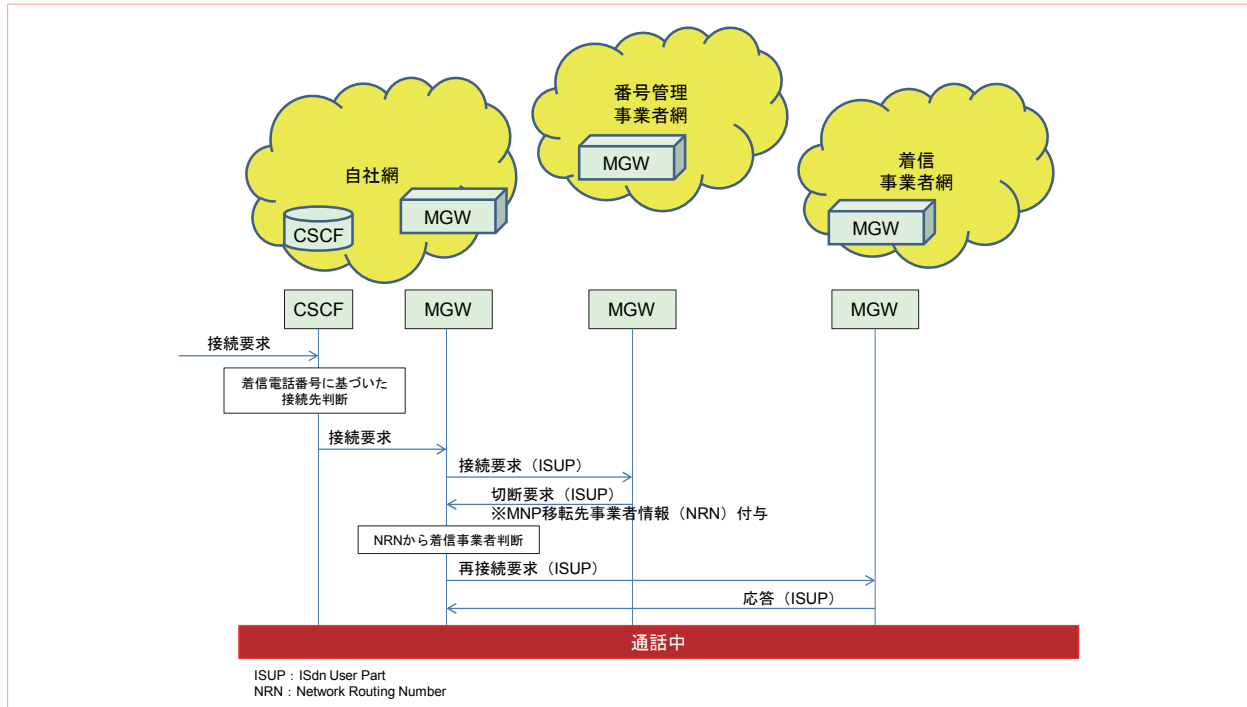


図3 既存STM接続時におけるMNPを考慮した接続動作例（ドコモ発他事業者間MNP端末着）

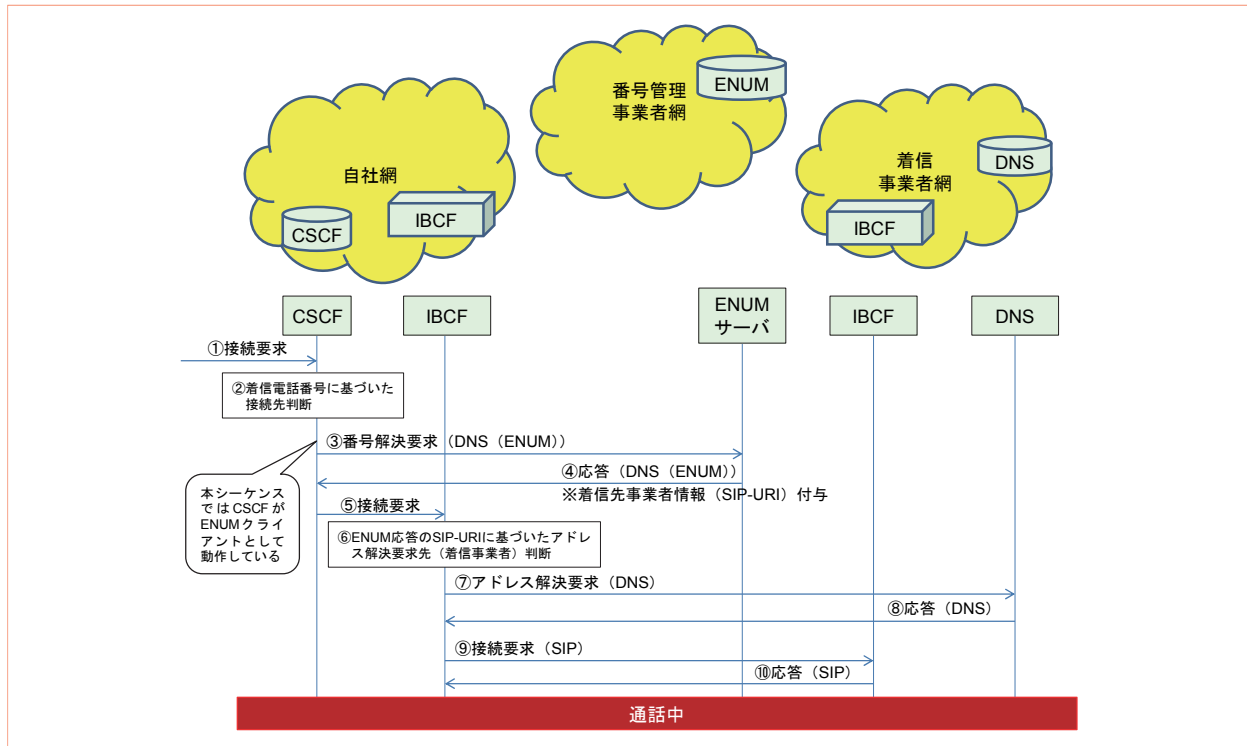


図4 VoLTE相互接続時（IP接続）におけるMNPを考慮した接続動作例（ドコモ発他事業者間MNP端末着）

ENUMサーバには自事業者で管理する番号および、その番号の接続先事業者を保持している。ENUMクライアントは番号帯ごとにどの事業者のENUM

*11 ENUM：ITU-Tによる電話網の番号計画の勧告であるE.164番号に基づく電話番号をドメイン名に変換する規格。DNSの機能を利用して通信相手や対応するアプリケーションをURI形式で得る。

サーバに問合せを行うかを判定し（図4②）、問合せを行う（図4③）。ENUMサーバは、ENUMクライアントからの番号問合せにSIP_URI（Uniform Resource Identifier）^{*12}という着信先事業者のSIP信号の接続先を応答する（図4④）。その後、CSCFは応答されたSIP_URIより適切なIBCFを選択し接続要求を行う（図4⑤）。接続要求を受信したIBCFはSIP_URIより接続先事業者を判断し、後述の(3)の判断を経て適切なSIP信号接続先IPアドレスに接続要求を行う（図4⑥～⑨）。ドコモでは、MNPの移転先情報を保持するDBはすでに存在しているため、そのDBを用いて、呼処理部にてENUMの規格に変換することで、ENUMサーバを構築した。

(3)接続先の判断

前述の通り、発信事業者は接続先（SIP信号の通信先）事業者がどの事業者であるかはSIP_URIにて判断が可能である。しかしながら、実際にSIP信号による通信を開始するためには、宛先となる相手事業者のSIP_URIに紐づく接続先となるIBCF（Interconnection Border Control Function）^{*13}のIPアドレスが必要となる。

事前に事業者間で情報交換をし、SIP_URIに基づくIBCFのIPアドレス情報を具備する方法もある。しかしながら、当該の手法では、着信側のIBCF選択のコントロールを発信側にゆだねることになるため、障害発生時などのトラフィックコントロールが他社に依存することになる。そこで、VoLTE相互接続においては、DNS（Domain Name System）^{*14}の仕組みを用いることで、発信側事業者からの接続要求に対して着信側が動的にIBCFのIPアドレスを応答する方式を採用した。これにより、着信側のIBCFの選択を着信側でコントロール可能とした。本手順についてはGSMA（GSM Association）^{*15}のIR.67 [3]に準拠した動作である（図4⑦、⑧）。

本手法により、着信側は、自社のIBCFの障害時の切離しなどを、発信側他社にゆだねることなく実現可能としている。

本稿では、VoLTE相互接続について接続開始に

かかわる諸動作の中から代表的な動作や機能を解説した。

日本電信電話株式会社により2010年11月に「PSTNのマイグレーションについて～概括的展望～」[4]が公表され、その後2015年11月に同社より「「固定電話」の今後について」[5]が公表されている。本稿にて紹介した移動体通信事業者間での接続にとどまらず、固定電話提供事業者各社との相互接続についても、従来のSTM-POIによる接続からIP-POIによる接続へと推移してゆくことが想定される。本稿にて解説した導入実績を礎とし、今後の上記固定網との相互接続においても円滑な移行に協力するよう、引き続き検討を進める。

文 献

- [1] NTTドコモ：“相互接続情報 技術的条件集。”
<https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/interconnection/requirement/>
- [2] TTC標準 JJ-90.31：“キャリア ENUM の相互接続 共通インターフェース。” Aug. 2015.
http://www.ttc.or.jp/jp/document_list/pdf/j/STD/JJ-90.31v1.pdf
- [3] GSMA IR.67 V8.0：“DNS/ENUM Guidelines for Service Providers & GRX/IPX Providers.” Nov. 2012.
<https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/2012/11/IR.67-v8.0.pdf>
- [4] 東日本電信電話(株)、西日本電信電話(株)：“PSTNのマイグレーションについて ～概括的展望～。” Nov. 2010.
https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/pdf/20101102_01_01.pdf
- [5] 日本電信電話(株)：“「固定電話」の今後について。” Nov. 2015.
http://www.ntt.co.jp/news2015/1511jwbw/xddh151106d_01.html

*12 SIP URI：SIPを介して電話をかける際に使われる、SIP宛先指定スキーマ。

*13 IBCF：IP網における外部NWとのゲートウェイとして働き、SIPメッセージの一部を暗号化するなど内部NWを隠ぺいする役目をもつ機能装置。

*14 DNS：IPネットワーク上のホスト名とIPアドレスの対応付けを行うシステム。

*15 GSMA：世界中の移動通信事業者およびモバイル産業界に関連するメンバにて構成され、移動通信業界全体の発展をめざした活動を行っている団体。

第29回電波功績賞 「総務大臣表彰」「電波産業会会長表彰」受賞

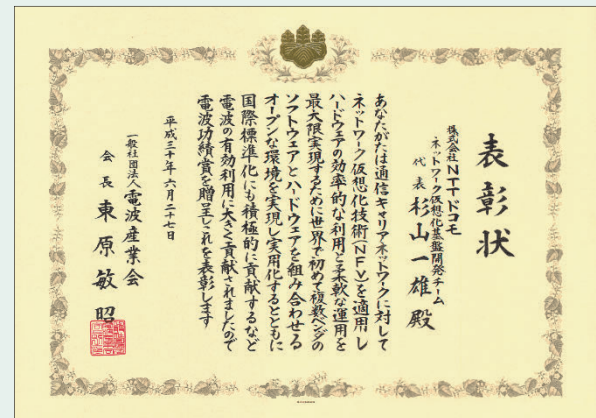
2018年6月27日に開催された第29回電波功績賞表彰式において、省電力技術eDRX実用化チーム（代表 二方 敏之）が「IoT通信機器の省電力技術eDRXの実用化」について総務大臣表彰を、ネットワーク仮想化基盤開発チーム（代表 杉山 一雄）が「複数ベンダの通信ソフトウェアが動作可能なネットワーク仮想化技術（NFV）の実用化」について電波産業会会長表彰を受賞しました。

電波功績賞は、一般社団法人電波産業会（ARIB：Association of Radio Industries and Business）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。第29回となる今回の表彰では総務大臣表彰が2件、一般社団法人電波産業会会長表彰が6件受賞となりました。

総務大臣表彰の「IoT通信機器の省電力技術eDRXの実用化」では、二方らがIoT通信機器の消費電力を低減するために、コアネットワークと無線ネットワークの連携により間欠送受信の間隔を大幅に延長しスリープ時間を長くするeDRX技術の実用化と国際標準化を推進し、全国のLTEエリアでサービス提

供するとともに、低消費電力UIMを開発し、これらの組合せにより電池寿命を約10倍に延ばすなど、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「複数ベンダの通信ソフトウェアが動作可能なネットワーク仮想化技術（NFV）の実用化」では、杉山らが通信キャリアのネットワークに対して仮想化技術を適用し、ハードウェアを統合的かつ柔軟に制御し利用効率を飛躍的に向上させるために、世界で初めて複数ベンダのソフトウェアとハードウェアの組合せを可能とするオープンな環境を実現するとともに、国際標準化にも積極的に貢献するなど、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。



NTT DOCOMO
テクニカル・ジャーナル Vol.26 No.3

平成30年11月発行

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

発行 一般社団法人 電気通信協会
〒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
TEL. 03-3288-0608

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

本誌に掲載されている会社名, 商品名は, 各社の商標または
登録商標です.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます.

© 2018 NTT DOCOMO, INC.