

NTT DOCOMO

テクニカル・ジャーナル

Technical Journal

vol.25 No.3 | Oct.2017

DOCOMO Today

- IoTによる進化とビジネスイノベーション

Technology Reports & Standardization (特集)

2020年を意識した 5G標準化動向

Technology Reports

- 3GPPにおける5G標準化動向
- 3GPPにおける5Gの要求条件および評価条件
- 5Gにおける物理レイヤ要素技術と高周波数帯利用に関する検討状況
- 5G無線アクセスネットワーク標準化動向
- 5Gコアネットワーク標準化動向

Standardization

- ITU-RにおけるIMT-2020無線インタフェースの標準化動向

Technology Reports

- LTE-Advanced Release 14における高速移動環境下の特性向上技術
- 前腕動作に着目した食事内容推定技術 ―手軽な食事管理をめざして―

IoTによる進化とビジネスイノベーション



IoTビジネス部 部長
(兼) コネクテッドカービジネス推進室 室長

たに なおき
谷 直樹

Society5.0^{*1}（超スマート社会）をめざした、第4次産業革命と呼ばれるIoT・ビッグデータ・AI・ロボットによる革新的技術の創出や活用によって、社会課題の解決に繋がるさまざまな研究開発やソリューションの提供が世の中で始まっています。ドコモが本年4月に発表した中期戦略2020「beyond宣言」においては、IoTやAI技術の強化と進化、さらに2020年の商用化をめざしている第5世代移動通信システム「5G」で、ネットワークとサービスを融合し、新たな価値創造に取り組むことを目標としています。すべてのモノがネットワークにつながるIoTにおいては、リアル空間にて得られたデータに対して、技術の進化を取り込みながら、新たな付加価値を創造していくことが大切です。そこで生まれる価値としては、コスト削減・リソースの有効活用などによる飛躍的な経営の効率化と、新サービス・価値の提供によるビジネスの創出があります。しかしながら、IoTを導入している国内企業は、ある調査によれば、2016年度でも12%にとどまっていますし、IoTを導入している企業の中でも、その過半数の導入目的は見える化による効率化であり、まだまだ、伸びしろが大きいと言えます。

このような状況に対して、IoTによるビジネスイノベーションをもたらし、より豊かな未来の実現に向けたドコモの取り組みを3つご紹介します。

①新プラットフォーム構築による価値創造

大きく3つの進め方があり、1つめは、企業・産業を超えて繋がる仕組みにより価値を生み出し、それを昇華させていく方法です。例えば、建設業界では、新プラットフォーム「LANDLOG」をコマツ社、SAP社、オプティム社などと共同企画・運用をしています。建設機械、ダンプ、測量機器、ドローン、作業員などから取得できる稼働状態・土砂や材料の状態・現場の地形など、複数の工事事業者が所有するあらゆるデータを「LANDLOG」を使って一元的に収集、蓄積、分析することで、安全で生産性の高い未来の現場を実現します。2つめは、地方創生であり、多様なユースケースを生み出し、水平展開していきます。例えば、石川県白山市、金沢工業大学とともに、地方版IoT推進ラボの一環として、建設中の「白山麓キャンパス」を拠点に、産官学民連携による里山のスマートシティ化をめざして新たなライフスタイルやイノベーション

の創造に向けた実証実験に取り組みます。3つめは、グローバルです。グローバルにビジネスをされる企業ユーザを対象に、より便利にIoTの仕組みをご活用いただくために、docomoM2Mプラットフォームに加えて、eSIMソリューションの提供地域を拡大しており、今年の6月には、日本企業に極めて関心の高い中国において、チャイナモバイルが所有するシステムと相互連携するシステムの開発を完了しました。

②強みの磨きこみ、進化による価値創造

ドコモが所有するデータを他のデータやAI技術と組み合わせることで、ドコモならではの新たな価値を創造しています。次世代モビリティサービスにおいては、ドコモの人口統計情報とタクシーの運行データなどを組み合わせて、AIによってお客様の需要を予測するAIタクシーの実証実験を、東京と名古屋で実施してきました。また、配車・ルートの決定などをAIによって行うことで、効率的なオンデマンドバスの運行を可能とする、AI運行バスの実証実験も昨年末から実施しています。それらの複数の価値を組合せることにより、九州大学での自動運転バスの実証実験も開始しています。自動車向けサービスにおいては、AIと連携することで自分だけのカーナビに成長していくAIインフォテインメント基盤を、今年の4月から自動車関連企業向けに提供を始めました。

③ネットワーク技術の進化による価値創造

IoTの用途は拡大しており、それに伴い、ネットワーク能力への期待も多様化していますが、ドコモはそれらの市場ニーズに対応するべくさまざまなネットワークの準備を進めています。LPWA（Low Power Wide Area）技術も、まずは、LoRa^{®*2}のユースケースを検証するための実証実験を今年の4月からパートナー企業と進めています。あわせて、セルラーIoTとして位置づけられるeDRX（extended Discontinuous Reception）や、LTE-M、NB（Narrow Band）-IoTについても、市場のニーズ、技術の成熟度、ユースケースなどに応じて、順次トライアルを含め提供していきます。このようにLPWAから5Gに向けて進化するネットワーク技術を、ニーズに合わせてソリューションパッケージとしてご提供していく予定です。

以上のように、さまざまな観点からIoTによるビジネスイノベーションに取り組んでいます。重要なポイントは、R&Dとの緊密な連携やパートナー企業との協創が価値創造に繋がっている、ということです。今後も、多様なパートナーの皆さまとともに、IoTによる進化とビジネスイノベーションにチャレンジしていきます。

^{*1} Society5.0：政府が提唱する、狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続くICTを最大限活用して人々に豊かさをもたらす新たな経済社会。

^{*2} LoRa[®]：LPWAの一種であり、無線局免許を必要としない周波数帯（アンライセンストバンド）を採用している無線方式。米国の半導体メーカー大手のSemtech社を中心に2015年に設立された業界団体である「LoRaアライアンス」がグローバルにオープンスタンダードとして仕様、規格化を提案している。LoRaはSemtech Corporationの登録商標。

[Contents]



DOCOMO Today 01

IoTによる進化とビジネスイノベーション 谷 直樹



特別寄稿 04

実感をもって理解する 若尾 真治

Technology Reports & Standardization (特集) 06

2020年を意識した5G標準化動向

Technology Reports 06

3GPPにおける5G標準化動向 06

5G要求条件 NR ノンスタンドアローン運用

3GPPにおける5Gの要求条件および評価条件 13

5G 要求条件 評価条件

5Gにおける物理レイヤ要素技術と高周波数帯利用に関する検討状況 23

5G 物理レイヤ要素技術 高周波数帯

5G無線アクセスネットワーク標準化動向 33

5G LTE-NR DC Front-haul Open Interface

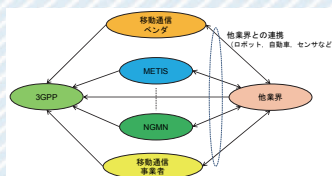
5Gコアネットワーク標準化動向 44

5G コアネットワーク ネットワークスライシング

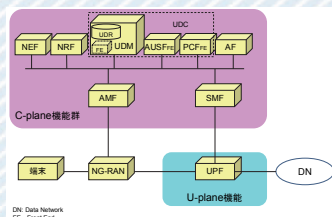
Standardization 50

ITU-RにおけるIMT-2020無線インタフェースの標準化動向 50

ITU-R IMT-2020 5G



(P.13)



(P.44)

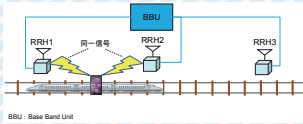
LTE-Advanced Release 14における高速移動環境下の特性向上技術

59

3GPP Release 14

高速移動環境

SFNシナリオ



(P.59)

前腕動作に着目した食事内容推定技術 一手軽な食事管理をめざしてー

65

ウェアラブルデバイス

動作認識

食事内容推定

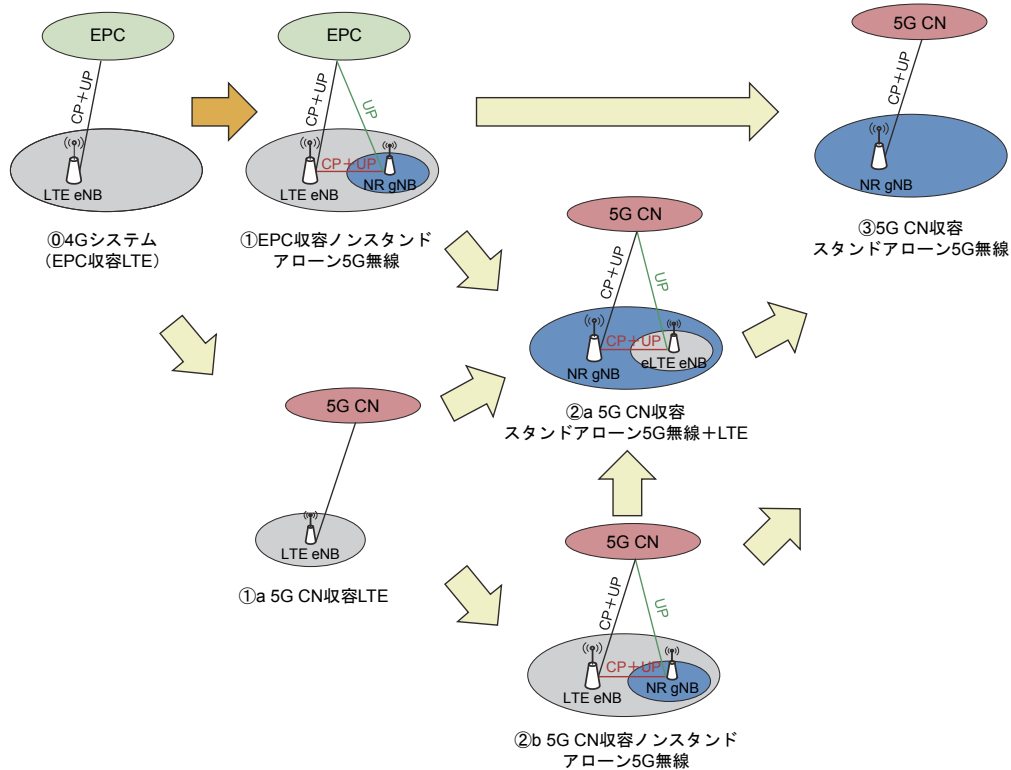
News

74

第28回電波功績賞

「総務大臣表彰」「電波産業会代表理事表彰」受賞

74



実感をもって理解する

早稲田大学 先進理工学部 電気・情報生命工学科 教授 ^{わかお しんじ} 若尾 真治さん

仕事の性質上、多くの時間を学生達と過ごしている。私学理工系の研究室には多数の学生が所属しており、私の研究室でも学部生・大学院生合わせて毎年30名を超えるメンバーが在籍している。二十歳前後の活力に満ち溢れた若者に囲まれて、気持ちだけは若さを保っていられるのと同時に、いろいろなことも学ばされる。その1つに、「実感に勝る教育はない」というものがあり、最近それをあらためて感じている。これは研究の色合いが強くなる大学院のみならず、学部低学年の基礎科目でも全く同様である。

私の所属する学科は、電気・電子・情報・生命科学といった複数の学術分野の融合も視野に入れた教育プログラムを提供している [1]。これは、時代を支えるキーサイエンス、キーテクノロジーは、いくつもの科学技術分野が密接に絡みあい、相互に高めあって発展していることを踏まえたものである。そのようなカリキュラムにおいて私は、高校時代に物理未履修の新入生を対象に電磁気学の講義を担当している。聴講生は生物、化学を柱に受験を経てきた者ばかりで、物理現象にはもともと興味が薄い。彼らにとって、目に見えない電磁現象を明確に数式で記述することを学ぶ講義は、初めのころは無味乾燥に思えて当然である。そこで、全員を教室から連れ出して実験室に行き、電磁エネルギー変換機器の代表的な一例である誘導モーターの実機を動かしながら、自由にディスカッションする機会を設けるようにしている。はじめは、いとも簡単に回り続ける回転子を見て何も驚く様子は見せない彼らも、分解した機器の回転子に触れさせると表情が一変する。持ち上げるのがやっとなで想像よりはるかに重いことを「実感」したとたんに、目に見えない電磁エネルギーの密度の高さや、それだけ重い回転子を駆動させるだけのエネルギー量が空間（エアギャップ）をまたいで伝達できること、力や熱などさまざまなエ

ネルギー形態に容易に変換できることなど、電磁現象の魅力を瞬時に理解する。こうなると、授業中にブンブン音を立てる携帯電話のバイブレーションも然り、現代社会のいたるところで応用されている電磁現象は、我々の生活を支える基盤要素の1つであることも立て続けに「実感」できる。履修してきた理科の科目にかかわらず、数学に関しては全員が学んできており、興味をもった電磁現象を明確に数式で記述することにも熱心となる。学期が終わるころには、物理履修者向けのクラスと比較しても、遜色のない成績を多数の者が修めるようになる。

同様の経験をもう1つ。2011年3月11日に起きた東日本大震災により、計画停電が首都圏でも行われたことは当時全国的に報道され、未だに強く記憶に残っている。世界でもトップクラスの供給安定性と品質の高さを誇る日本の電力システム環境を当り前として暮らしてきただけに、電気のない不自由な生活を目の当りにして、特に若い世代では大きな衝撃を受けた人も多いはずである。そして、利便性を追求してきた現代社会が電気エネルギーに極めて大きく依存していることをあらためて認識したのではないかと思う。このような「実感」が影響したのか、以来、大学でのオープンキャンパスなどに全国各地から訪れる高校生と話をすると、将来はエネルギーに関連した電気工学分野について学びたいという若者が明らかに年々増えている。電源の多様化が求められるエネルギーセキュリティの問題に加え、地球温暖化などの環境問題も背景に、再生可能エネルギー由来の分散電源に対する高校生の関心は特に高いと感じる。以前ドコモと共同で、蓄電池併設型太陽光発電設備を活用して、耐災害性や経済性に優れた無線基地局用の電力供給システムの開発に取り組んだことがあり [2]、オープンキャンパスの模擬講義でこのグリーン基地局を紹介したところ、多くの



Profile

1989年早稲田大学理工学部電気工学科卒業。1993年同大学院博士後期課程修了、博士（工学）。2006年同大学理工学術院教授、2016年9月より同大学先進理工学部長・研究科長、現在に至る。主として、電磁エネルギー機器を対象とする数値解析技術、太陽光発電システムの設計・運用最適化技術に関する研究に従事。経済産業省産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会委員など歴任。IEEEおよび電気学会会員、日本太陽エネルギー学会理事。

高校生に好評であった。

日本では、再生可能エネルギーの中でも特に太陽光発電が注目され、固定価格買取制度に代表される国レベルでの導入支援策が継続的に行われてきた結果、これまでの累積導入量（2016年11月末時点）は36GWを超える実績となっている（国内電力会社10社の2015年度末の発電設備容量が約209GW）[3] [4]。今後も電力ネットワークへの太陽光発電のさらなる大量導入が想定される。その一方で、供給電力と消費電力を瞬時々々で合わせなければならない厳しい制約が課される電力ネットワークにおいて、気象の影響を受ける太陽光発電の出力変動が、電力品質や系統の保護・保安面に及ぼす影響も懸念されている。このような背景の下、スマートメーターによる電力情報収集などのIoTシステム技術も活用しつつ、電力ネットワークにつながるさまざまなものを総動員してシステム全体で需給バランスを取り安定化を図るエネルギーマネジメントの重要性が、急速に高まっている。

このエネルギーマネジメントは、評価関数、設計変数がいずれも数多く含まれるため、非常に複雑となりその最適化が難しいという問題がある。すなわち、インフラとしての公共性から多様な目的意識が共存する上に、近年、エネルギー需要において電化が一段と進み、電気自動車の蓄電池を用いたV2H（Vehicle to Home）など、今までなかった新たな制御要素も頻出している。ある対策（設計変数値の変化）が複数の目的（評価関数値）に対して改善効果をもたらす可能性があると同時に、評価項目数が増えるにつれてそれらの間でトレードオフが生じることも考えられ、これらの相関の把握は容易ではない。さらに、情報通信技術の進展と電力インフラの移行とでは要する時間軸のスケールにも大きな差異があり、ある時間的な断面だけで限定的な検討をするの

ではなく、インフラの移行プロセスも考慮した、より実効性のある解を探索していくことが求められる。また技術開発面以外に、固定価格買取制度に依存し続けることなく太陽光発電のコスト低減を促す導入支援や、長期信頼性を促進するための適切な保安規制、新たなビジネスモデルの創出につながる制度設計など、社会的な枠組みの整備も重要となる[5]。最適化問題の視点でいえば、適切な制約条件の設定ということになる。バランスを欠いた制約条件では、どのような対策を講じても有効な解を見出せないほど探索空間を狭める結果に陥ってしまう。

先に教育現場での「実感」の大切さについて述べたが、電力ネットワークと情報ネットワークとが融合したエネルギーシステムの将来像の「実感」がわくまでは、もう少し時間を要しそうである。しかし、電力ネットワーク上に多数存在する分散電源の状況を時々刻々と把握しつつ、自律分散制御と集中制御を協調させていくうえで、情報通信技術の役割が今後も重要性を一層増すことに疑いの余地はない。このエネルギー分野の新たな展開においても、ドコモの技術開発が大きな牽引力となることを期待している。

文献

- [1] 早稲田大学先進理工学部電気・情報生命工学科ホームページ。
<http://www.eb.waseda.ac.jp/>
- [2] 額田、ほか：“コスト削減と災害対策を両立するグリーン基地局向け電力制御技術,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.80-85, Jul. 2015.
- [3] 固定価格買取制度情報公開用ウェブサイト。
http://www.fit.go.jp/statistics/public_sp.html
- [4] 電気事業連合会：“電気事業のデータベース（INFOBASE）－電力データ,”
<http://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/index.html>
- [5] 経済産業省：“太陽光発電競争力強化研究会報告書,”
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/taiyoukou/report_01.html

3GPPにおける5G標準化動向

ネットワーク開発部

無線アクセス開発部

先進技術研究所 5G推進室

みのくち あつし
巳之口 淳たかはし ひであき
高橋 秀明ながた さとし
永田 聡いそべ しんいち
磯部 慎一

ドコモでは、2020年の第5世代移動通信システム（5G）の提供開始をめざして、各種の技術検討や共同実験を進めている。5Gの国際標準仕様を策定する3GPPでは、2015年より5Gのサービス要求条件、無線およびコアネットワークに関する要素技術の検討が進められている。本稿では、5G全体の標準化スケジュール、5Gに求められる要求条件やユースケース、さらにそれを実現する無線およびコアネットワークの特徴と導入・展開シナリオについて解説する。

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）では、第5世代移動通信システム（5G）の検討が進められている。

5Gでは、LTE、LTE-Advancedでも考慮されていた「高速・大容量」の観点に加えて、「低遅延・高信頼」「多様な端末の接続」「多様な産業のサポート」などの観点も考慮して、新たな要求条件や要求値が検討されている。5Gによる具体的なユース

ケースとしては、仮想現実（VR：Virtual Reality）^{*1}や大量のIoT（Internet of Things）デバイスによる産業の高度化や自動化、自動運転などの自動車用無線通信（V2X：Vehicle to everything）^{*2}への適用が期待されている。

本稿では、3GPPを中心とした5Gの標準化スケジュールを紹介し、3GPPにおける5Gの要求条件やユースケース、さらにそれを実現する無線およびコアネットワーク^{*3}の特徴と導入・展開シナリオを解説する。

©2017 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

† 現在、株式会社みらい翻訳

*1 仮想現実（VR）：コンピュータグラフィックスを用いてPCなどで仮想空間を作り出す技術。

*2 V2X：車車間通信および路車間通信の総称。

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

2. 5Gの標準化スケジュール

2.1 ITU-R

国際電気通信連合無線通信部門（ITU-R：International Telecommunication Union Radio communication Sector）^{*4}では、2016年より5Gの技術性能要求の作成を開始し、作成された性能要求を満たす無線インタフェース提案を2017年から2019年にかけて受け付けている。その後、提案された無線インタフェースに基づき、2019年から2020年にかけて無線インタフェースにかかわるITU-R勧告案の作成が行われる予定である。なお、ITU-Rにおける5Gの標準化動向については、本特集記事で解説をしているのでご参照頂きたい [1]。

2.2 3GPP

3GPPではITU-Rのスケジュールに沿う形で、2019年末までに複数のReleaseにおいて段階的な5Gの標準化仕様策定を行うことを予定している。具体的には2016年から2017年初めにかけて検討が行われたRelease 14において、従来の方式であるLTE、LTE-Advancedとの後方互換性の無い、新しい5G向けの無線通信方式（NR：New Radio）の基礎検討（SI：Study Item^{*5}）を行い、候補となる要素技術の検討、妥当性の評価を行った。その後、2018年中頃まで計画されているRelease 15において詳細仕様検討（WI：Work Item^{*6}）を行い、Phase 1と呼ばれる5Gの初版の標準仕様を策定する。なお、Release 15では、ノンスタンドアローン^{*7}と呼ばれるLTEとNRの組合せで運用するケースの基本仕様策定を2017年12月までに終わらせるとともに、NRのみで運用可能なスタンドアローン^{*8}仕様策定を2018年6月までに終わらせる予定である。Release 15の標準仕様により、世界各国で5Gの導入が進められると想定されている。

その後、2019年末まで計画されているRelease 16において引き続き詳細仕様検討を行いPhase 2と呼ば

れる5Gの第2版の標準仕様を作成する予定である。

ITU-Rに対しては、これら複数段階にまたがる仕様検討状況に基づき計画的に無線インタフェース提案を進めることが検討されている。

3. 5Gの主な要求条件

3GPPでは、従来の移動通信技術に求められていた「高速・大容量化」の実現に加えて、新たな市場領域の創出を考慮し、5Gの要求条件の検討を行った。5G向けに検討された主なユースケース、要求条件を以下に解説する。

3.1 5Gのユースケース

3GPPでは、5Gの主な特徴を、①モバイルブロードバンドのさらなる高度化（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）、②多数同時接続を実現するマシンタイプ通信（mMTC：massive Machine Type Communications）、③高信頼・超低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）とまとめた。これら3つは、ITU-Rにおいて、IMT-2020システムの代表的な利用シナリオとされている [1]。

5Gの利用シナリオに即して、サービスレベルでのユースケースも定められている。例えば、遠隔医療や自動走行に代表される、遅延時間の短縮が要求条件となるユースケースが、5Gに向けて新しく特定された。これを含めた合計74件のユースケース、およびそれぞれに対応する要求条件が3GPP TR（Technical Report）22.891に集約されている [2]。それぞれのユースケースは、表1に示す5つの分野に分類されている。

3.2 5Gの要求条件

(1)無線アクセス技術の利用シナリオごとの要求条件

3GPPでは、利用シナリオごとに5G無線アクセス

^{*4} 国際電気通信連合無線通信部門（ITU-R）：電気通信分野における国際連合の専門機関である国際電気通信連合（ITU）の無線通信部門で、無線通信に関する国際的規則である無線通信規則の改正に必要な検討、無線通信の技術・運用などの問題の研究、勧告の作成および周波数の割当て・登録などを行う機関。
^{*5} 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。

^{*6} 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。

^{*7} 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動通信網に接続する形態。

表1 各カテゴリの要求条件と主なユースケース

カテゴリ	関連仕様書	要求条件	主なユースケース
eMBB	TR22.863 TS22.261	高データレート, 高トラフィック密度, 多様なカバレッジ, 高モビリティ	インドア, ホットスポット, 広域
CriC	TR22.862 TS22.261	高信頼性低遅延, 高信頼性高可用性低遅延, 超低遅延, 高精度位置測位	仮想現実, 触覚通信, 遠隔制御, 遠隔医療, 遠隔救急, ドローン制御
MIoT	TR22.861 TS22.261	IoTに関し, 運用面の改善, 接続形態の多様化, リソース利用効率改善	IoT端末初期化改善, 大容量対応, ウェアラブル, 医療テレメトリ, 広域監視
NEO	TR22.864 TS22.261	システムの柔軟性, スケーラビリティ, モビリティ, コンテンツ配送, セキュリティに関する改善, および, 多様なバックホールおよびアクセスの考慮, マイグレーションや相互接続の考慮	※サービスに依存しないシステム共通の要求条件
eV2X	TR22.886 TS22.186	高データレート, 高信頼性, 高可用性低遅延, 広域通信レンジ	自動走行, 隊列走行, 遠隔運転

CriC : Critical Communications eV2X : enhanced V2X
 MIoT : Massive IoT NEO : Network Operation
 TS : Technical Specification

技術（5G無線）の主な要求条件を、表2に示すように定めている [3]。eMBB向けには、下りピーク通信速度20Gbps、上り10Gbpsを目標値と定めている。また、LTE-Advancedと比較して、3倍の周波数利用効率*9、より高速な移動速度下での通信、低遅延な無線伝送を達成する事を目標としている。mMTC向けには、上り160bpsの通信速度を提供できる基地局からの距離をセル半径とし、それを、基地局からの離隔距離に応じた伝搬損失*10（最大カップリングロス*11164dB）で定義している。また、10年の電池寿命をさらに超える目標を設定し、より多くのデバイスの収容が可能な無線を目標としている。URLLC向けには、0.5msの超低遅延（無線の片道伝送遅延）を目標としている。

(2)5Gシステム全体の性能面に関する要求条件

5G無線、コアネットワークを含めたシステム全体の性能面に関する要求条件も、ユースケースに応じて、データレート、遅延、信頼性、トラフィック密度、接続密度などが規定されている [4]。例えば、下りの実効データレートは1Gbpsであるものの、end-to-endの遅延は、V2Xなどの交通関連システムで

10ms、遠隔制御で5ms、触覚通信で0.5msなどと非常に高い要求条件となっている。

また、5Gシステム全体の要求条件として、以下の3つの代表的な要求条件が規定された。

(a)ネットワークスライシング*12のサポート

ネットワークは、1つもしくは複数のネットワークスライスから構成され、各々のネットワークスライスが独立した完全なネットワーク機能を有する。各々のネットワークスライスは、異なる機能・性能要求条件を満たし、ユーザごとやサービスごとに収容可能とする。また、1台の端末が複数のネットワークスライスに同時に接続することも可能となる。

(b)多様なアクセスの収容

5Gコアネットワークでは、E-UTRA（Evolved Universal Terrestrial Radio Access）*13および5G無線に加え、衛星や固定ブロードバンドアクセスを収容可能とする。

(c)さまざまな条件時における効率的な提供

5Gを提供するために必要となる装置の電力効率化や、ネットワークリソースの効率的な利

*8 スタンドアローン：端末が1つの無線技術で移動通信網に接続する形態。

*9 周波数利用効率：単位時間、単位周波数当りで伝送できる情報ビット数。

*10 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。

*11 カップリングロス：とある通信速度を提供できる基地局からの距離をセル半径とし、セル半径を、基地局からの離隔距離に応じた伝搬損失で定義されたもの。

*12 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コアネットワーク分割して最適化するアーキテクチャ。

表2 5G無線の主な要求条件

Use-case	Key performance indicator	New Radio		LTE-Advanced		LTE (Release 8)	
		DL	UL	DL	UL	DL	UL
eMBB	Peak data rate	20Gbps	10Gbps	1Gbps	500Mbps	100Mbps	50Mbps
	Peak spectral efficiency	30bps/Hz	15bps/Hz	30bps/Hz	15bps/Hz	3~4 ×HSDPA (Release 6)	2~3 ×HSUPA (Release 6)
	C-plane latency	10ms		Less than 50ms		Less than 100ms	
	U-plane latency	4ms		Reduced U-plane latency Compared to Release 8		Less than 5ms	
	Cell/TRxP spectral efficiency (bps/Hz/TRxP)	3 times higher than LTE-Advanced		—		—	
	Area traffic capacity (bps/m ²)	3 times higher than LTE-Advanced		—		—	
	User experienced data rate (bps)	3 times higher than LTE-Advanced		—		—	
	5% user spectrum efficiency (bps/Hz/user)	3 times higher than LTE-Advanced		Cell edge user throughput (bps/Hz/cell/user)		User throughput	
				0.12 (2×2 ANT)	0.04 (1×2 ANT)	2~3 ×HSDPA	2~3 ×HSUPA
	Target mobility speed (URLLC, mMTCも関連)	500km/h		350km/h		350km/h	
mMTC	Coverage	Max coupling loss 164dB		Max coupling loss 164dB (NB1)		—	
	UE battery life	Beyond 10 years		Up to 10 years		—	
	Connection density	1,000,000devices/km ²		60,680devices/km ²		—	
URLLC	U-plane latency	0.5ms		—		—	
	Reliability	10 ⁻⁵ for 32bytes with U-plane latency of 1ms		—		—	

用に関しても考慮されている。5Gでは、特に低遅延サービスの提供が注目されており、ゲートウェイ^{*14}装置を移動端末に近いネットワークのエッジに配置するネットワーク構成も検討されている。また、電力供給の制限された地域で、必要最低限のサービスレベルのみが要求される市場に対し、低オペレーションコストでの

提供も考慮されている。

3.3 5Gのサービス要求条件検討の最新動向

産業界の要求にさらに答えていくため、3GPP SA (Service and System Aspects) 1⁷では、Release 16で鉄道や電力関連のユースケースおよび要求条件の追加修正を検討している。一方、自動車業界との連

*13 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。

*14 ゲートウェイ：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。

携は5GAA (5G Automotive Association)*15との情報交換により議論が進んでいる。また、固定網との連携については、3GPP SA2においてBroadband Forum*16などとも連携して、Release 16の仕様化を想定した議論が進んでいる。

4. NR/5Gコアネットワークの特徴

前述の5Gの要求条件を満たす、無線・コアネットワークのそれぞれの特徴について以下に解説する。

4.1 NRの特徴

NRの特徴の1つとして、ノンスタンドアローン運用に対応していることが挙げられる。ノンスタンドアローン運用とは、NR単独ではエリアを提供せず、LTE/LTE-Advancedのエリアと組み合わせてサービスを提供する運用形態である。

既存のLTE/LTE-Advancedネットワークでは、2GHz、800MHz帯といった周波数を用いて、すでに幅広い面的なエリアでサービスが提供されている。一方5Gでは、初期導入の段階では、ミリ波帯などの新たな高周波数からの展開が想定されており、需要のあるエリアからの局所的な展開を行うシナリオが考えられる。このようなNR向けの新規周波数を用いたネットワークを、既存の周波数帯を用いたLTE/LTE-Advancedのネットワークと併用して運用することができれば、NR単独で局所的にサービス提供するよりも、より利用者に対して快適な通信を提供することが可能である。また、オペレータのサービスエリア展開の観点からも、LTE/LTE-Advancedと組み合わせて5Gを提供するノンスタンドアローン運用は、既存のサービスエリアにNRを局所的にアドオンし、需要に応じて順次展開できるため、5G初期導入時の最も有望な提供形態である。このような背景からノンスタンドアローン運用は、ドコモを含めた世界各国で5Gの早期導入を検討し

ているオペレータから注目を集め、スタンドアローン運用に先駆けて、2017年12月までに仕様を策定する合意に至った。ノンスタンドアローン運用の技術的詳細は、本誌特集記事 [5] で解説する。

4.2 NRを収容する5Gコアネットワークの特徴

NRを収容するコアネットワークとして、EPC (Evolved Packet Core)*17を拡張する方式と新規に仕様化される5Gコアネットワークを導入する方式が検討されている。5Gコアネットワークは、前述の5Gのサービス要求条件の実現をめざして検討が開始され、2018年6月に3GPP Release 15仕様として策定を完了する予定である。5Gコアネットワークは、主に以下の4つの特徴がある。

- ・ 端末／無線アクセスネットワーク*18／コアネットワーク内の機能分担再整理
- ・ サービスベースアーキテクチャの導入
- ・ ネットワーク仮想化対応
- ・ ネットワークスライス導入と複数ゲートウェイ同時接続

これらの要素技術は、本特集記事で解説をしているのでご参照頂きたい [6]。

5. NR/5Gコアネットワークの導入・展開シナリオ

既存の第4世代移動通信システムに対して、NR/5Gコアネットワークを導入し、その後の展開に至るまでのシナリオが3GPPで検討された。3GやLTEの導入時は、無線・コアネットワークを共に新規導入する単一のシナリオ（図1のシナリオ①からシナリオ③に直接向かうシナリオ）で進められた。一方、NR/5Gコアネットワークの導入においては、前述のノンスタンドアローン運用によるNR提供、およ

*15 5GAA：5Gを利用したコネクテッドカーサービスの検討推進を目的として、自動車関連企業と移動通信関連企業で設立した団体。

*16 Broadband Forum：ブロードバンド市場の普及促進を図る国際団体。

*17 EPC：LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された、IPベースのコアネットワーク。

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

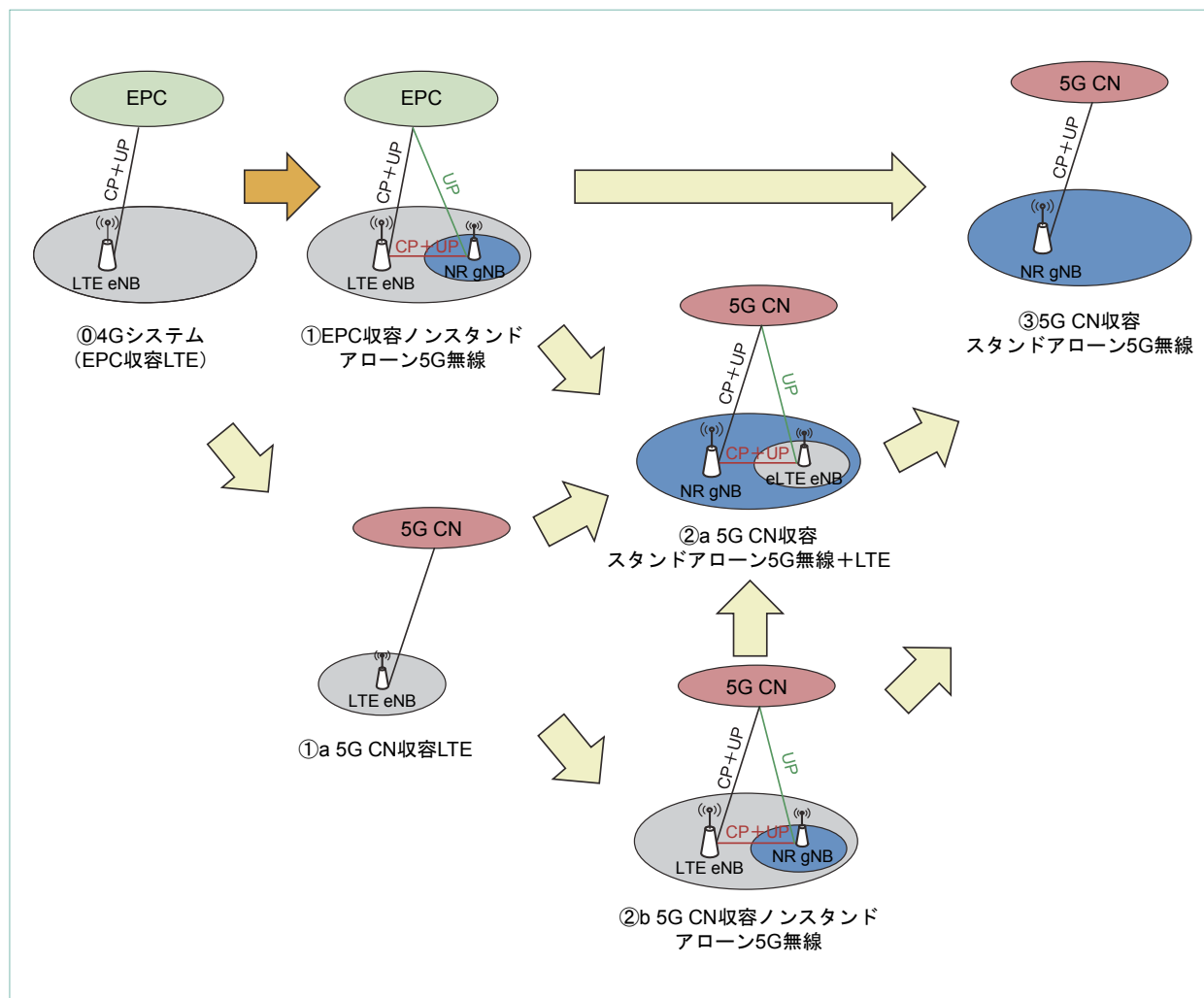


図1 5G無線／コアネットワーク導入・展開シナリオ

び5GコアネットワークによるLTEの收容という特徴を活かし、図1に示すような複数の導入・展開シナリオを提供することができる。

図1に示すシナリオの中で、ノンスタンドアローンNRをEPCで收容するシナリオ1が、5G初期導入時には最も有望である。従って、NRの早期導入をめざす各国の通信事業者からの強い要望により、シナリオ1に必要な標準仕様を早期策定する合意に至っている。EPC收容のノンスタンドアローンNRは、5Gの早期導入をめざして、ドコモが当初より

提案してきたNRの提供方法でもある。ノンスタンドアローンNRをEPCで收容する形態には、以下のような利点がある。

- ・LTE/LTE-Advancedで展開済の安定したエリア品質を担保
- ・eMBBの実現に適し安定運用しているEPCを活用
- ・5G導入時の新規設計事項や試験項数を抑制

これにより、NRの導入ハードルを下げるととも

に、5Gコアネットワークを新たに導入するよりも早期安定導入が可能であると期待されている。EPC収容のノンスタンドアローンNRでは、既存のEPCがほぼそのまま使える予定であり変更規模は限定的と見込まれている。なお、3GPPにおける最新の検討では、EPC収容でも低遅延を可能とする機能に対応することとなった。

EPC収容ノンスタンドアローンによるNR提供（シナリオ①）後、5Gコアネットワークを導入し、LTEとNRのエリア展開に応じて図1に示す各種シナリオ（シナリオ①a、②a、②b、③）も提供することで、通信事業者は、各々の事業計画に沿った最適なシナリオを用いてNR／5Gコアネットワークを導入・展開することができる。

6. あとがき

本稿では、5G全体の標準化スケジュール、5Gに求められる要求条件やユースケース、さらにそれを実現する無線およびコアネットワークの特徴を概説した。NR、5Gコアネットワークの主要要素技術については、本特集記事で解説をしているので、ご参照頂きたい [5]～[7]。

現在3GPPでは、Phase 1に指定された機能をRelease 15として、その提供に向けて検討が進められている。また一部は、Phase 2としてRelease 16以降も機能拡張が検討される予定である。

ドコモは、3GPPにおける5G標準化推進に寄与しており、今後も5G標準化のさらなる発展に貢献していく。

文 献

- [1] アナス、ほか：“ITU-RにおけるIMT-2020無線インタフェースの標準化動向,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.50-58, Oct. 2017.
- [2] 3GPP TR22.891 V14.2.0: “Feasibility Study on New Services and Markets Technology,” Sep. 2016.
- [3] 3GPP TR 38.913 V14.2.0: “Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies,” Mar. 2017.
- [4] 3GPP TS22.261 V15.0.0: “Service requirements for the 5G system,” Mar. 2017.
- [5] ウメシュ、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.
- [6] 已之口、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.
- [7] 武田、ほか：“5Gにおける物理レイヤ要素技術と周波数に関する検討状況,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.23-32, Oct. 2017.

3GPPにおける5Gの要求条件 および評価条件

先進技術研究所 5G推進室 ベンジャブール アナス きたお こうしろう 北尾 光司郎
かきしま ゆういち 柿島 佑一 DOCOMO Beijing Communications Laboratories Co., Ltd. Chongning Na
 DOCOMO Innovations, Inc.

3GPPでは、第5世代移動通信システム（5G）向けに新たな無線インタフェースの標準化が進められている。5G無線インタフェースの仕様検討に先立ち、3GPPでは5Gに求める要求条件や評価条件を規定した。本稿では、3GPPで規定された5Gの要求条件について概説するとともに、要求条件を評価するための評価条件（チャンネルモデルを含む）についての議論状況を解説する。

1. まえがき

2020年およびそれ以降の移動通信における爆発的なトラフィック量の増大およびサービスの多様化に対応するため、第4世代移動通信システム（4G）であるLTEおよびLTE-Advancedの次世代となる第5世代移動通信システム（5G）の実現が期待されている。5Gでは高いシステム性能を実現することに加え、幅広いサービスへの拡張性が求められている。これらの需要にタイムリーに応えるため、ドコモは2010年頃から2020年での5Gサービス実現に向けた活動を開始し、5Gの技術コンセプトや要求条件の議論を主導してきた [1]。これらの議論は、2012年

から2013年にかけて世界各地で誕生した5Gの推進団体や研究プロジェクトにおいて進められ、欧州のMETIS（Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society）^{*1}プロジェクト、移動通信の業界団体NGMN（Next Generation Mobile Networks）^{*2}アライアンス、日本のARIB 20B AH（Association of Radio Industries and Businesses 2020 and Beyond Ad Hoc）^{*3}グループ、韓国の5G Forum^{*4}、中国のIMT（International Mobile Telecommunications）- 2020 Promotion Group^{*5}などによって検討結果がまとめられている [2]～[4]。また、ITU-R（International Telecommunication Union-Radio communication sec-

©2017 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

^{*1} METIS：5G無線技術に関するEUの研究プロジェクトで、期間は2012年11月～2015年4月。通信ベンダ、通信事業者、大学などが参加。なお、継続プロジェクトのMETIS-IIの期間は2015年7月～2017年6月。

^{*2} NGMN：ドコモをはじめとするベンダ・オペレータで構成される、次世代モバイル通信ネットワークのビジョンとロードマップを策定する団体。

tor)*⁶では、2020年およびそれ以降の移動通信システムに対するビジョンの検討が行われた。その検討結果は、2015年9月に発行された勧告ITU-R M.2083にまとめられている [5]。これらの議論の結果、5Gの代表的な利用シナリオ (Usage Scenario) として、①モバイルブロードバンドのさらなる高度化 (eMBB: enhanced Mobile BroadBand)、②多数同時接続を実現するマシンタイプ通信 (mMTC: massive Machine Type Communications)、③高信頼・超低遅延通信 (URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communications) の3つが特定されている。

このような流れを背景に、移動通信システムの標準化団体である3GPP (3rd Generation Partnership Project) では、2015年9月に「3GPP RAN Workshop on 5G」会合を開催し、5G検討を開始した。また、5G無線インタフェースの仕様検討に先立ち、5Gの要求条件や評価条件を取りまとめるため、5Gの利用シナリオ (eMBB, mMTC, URLLC) と要求条件に関するSI (Study Item)*⁷、および高い周波数帯での技術評価を実現するため、これまで規定された6GHz以下の電波伝搬路モデルを6GHz以上の周

波数帯に拡張する、チャンネルモデル*⁸に関するSIを開始した。5Gの利用シナリオと要求条件のSIにおいては、2015年12月 (第70回TSG-RAN会合) から2016年12月 (第73回TSG-RAN会合) にかけて議論が行われ、検討結果はTR (Technical Report) 38.913にまとめられている [6]。そして、チャンネルモデルのSIにおいては2015年9月 (第69回TSG-RAN会合) ~2016年6月 (第72回TSG-RAN会合) の間に議論が行われ、検討結果はTR38.900にまとめられている [7]。本稿では、本作業において3GPPが取りまとめた5Gの要求条件および、チャンネルモデルを含む評価シナリオ・評価条件について、これまでの検討状況を解説する。

2. 3GPPにおける5Gの要求条件および目標値

シナリオと要求条件に関するSIでは、5Gの主要性能指標 (KPI: Key Performance Indicator)*⁹および目標値が議論され、図1に示すように移動通信業界の各団体・企業・研究プロジェクトに加えて他

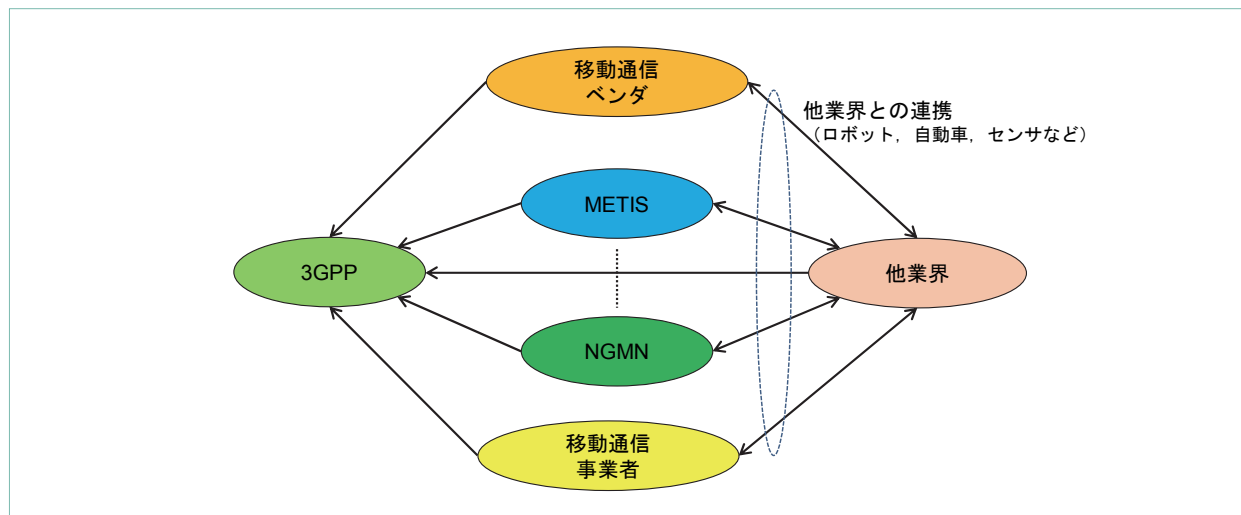


図1 3GPPによるさまざまな団体および企業からの5G要求条件・評価条件の取りまとめ概要

*3 ARIB 20B AH: ARIBは日本の通信・放送分野における、電波利用システムに関する標準規格の策定などを行う総務省所管の社団法人。ARIB 20B AHは、日本からみた2020年以降の次世代移動通信システムのビジョンを策定するために、ARIBの配下に設立されたアドホックグループ。

*4 5G Forum: 韓国において5Gの実現に向けた活動を推進する主な団体。

*5 IMT-2020 Promotion Group: 中国においてIMT-2020 (5G) に

向けた活動を推進する主な団体。

*6 ITU-R: 電気通信分野における国際連合の専門機関である国際電気通信連合 (ITU) の無線通信部門で、無線通信に関する国際的規則である無線通信規則の改正に必要な検討、無線通信の技術・運用などの問題の研究、勧告の作成および周波数の割当て・登録などを行う機関。

*7 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。

業界から提案された多くの5Gの要求条件および目標値を考慮することとなった。特に、IoT (Internet of Things) に関連するmMTCやURLLCのKPIについては移動通信以外の業界（自動車・ロボット・セン

サなど）の将来サービスを見据えた目標値が規定された。結果として、5GのKPIだけで19項目がまとめられ、その他にも幅広いネットワーク・サービス要求条件がまとめられた。KPIとその目標値を表1に

表1 3GPPにおける5GのKPIおよび目標値

利用 シナリオ	KPI	目標値	
		DL	UL
eMBB	Peak data rate	20Gbps	10Gbps
	Peak spectral efficiency	30bps/Hz	15bps/Hz
	Control plane latency	10ms	
	User plane latency	4ms	
	Average (TRxP) spectral efficiency (bit/s/Hz)	3 times higher than IMT-Advanced*	
	Area traffic capacity (bit/s/m ²)	Related to average (TRxP) spectral efficiency	
	User experienced data rate (bit/s)	Related to 5% user spectral efficiency	
	5% user spectral efficiency (bit/s/Hz/user)	3 times higher than IMT-Advanced*	
	Target maximum mobility speed	500km/h	
	Mobility interruption time (URLLC, mMTCも関連)	0ms	
	Network energy efficiency (URLLC, mMTCも関連)	Required as design principle (No quantitative requirement)	
	UE energy efficiency (URLLC, mMTCも関連)	Required as design principle (No quantitative requirement)	
	Bandwidth (URLLC, mMTCも関連)	No requirement from 3GPP	
mMTC	Coverage	Max coupling loss 164dB	
	UE battery life	Beyond 10 years	
	Connection density	1,000,000device/km ²	
	Latency of infrequent small packets	10s	
URLLC	User plane latency	0.5ms	
	Reliability	1-10 ⁻⁵ success probability for 32bytes within 1ms user plane delay	

TRxP : Transmission Reception Point

※ITU-R Report M.2134

*8 チャンネルモデル：無線通信システムの性能評価を行うために用いられる電波の振舞いを模擬したモデル。

*9 主要性能指標 (KPI)：ユーザやシステム性能を測るための主な指標。

示す [6]。なお、各KPIの詳細な定義に関してはTR38.913をご参照いただきたい [6]。

(1)eMBB利用シナリオにおけるKPI

eMBB利用シナリオではLTE-Advancedと同様にシステム性能を規定する平均周波数利用効率 (Average (TRxP) spectral efficiency) *¹⁰および5%ユーザ周波数利用効率 (5% user spectral efficiency) *¹¹の改善や高速移動 (Mobility) のサポートが主なKPIとなっている。eMBBでは、IMT-Advanced *¹²のときの要求値を基準として周波数利用効率を約3倍改善する目標値が規定された。また、広い帯域幅を有する高い周波数帯利用や複数帯域にまたがるキャリアアグリゲーションの利用を想定し、ユーザのピークデータレートの要求条件が追加され、その目標値として下り20Gbps、上り10Gbpsが規定された。さらに、上記に加えて、容量やユーザスループットの拡大に伴い、ネットワークや端末側の消費電力を増大させないように、省電力化のKPIも規定し、5G無線インタフェースの設計指針として要求することとなった。

(2)mMTC利用シナリオにおけるKPI

mMTC利用シナリオの主なKPIは、面積当りの接続端末数 (Connection density) の増加・カバレッジの拡大・バッテリーの長寿命化である。IoT端末の普及を考慮して、都市部環境において1km²四方で100万台の端末密度 (1,000,000device/km² = 1device/m²) が目標値として規定された。これはLTE-Advancedで規格化されたNB (Narrow Band) -IoT *¹³の設計値 (約60,000device/km²) の約16倍に相当する。バッテリー駆動時間に関しては、端末は10年間から15年間バッテリーを交換・充電せずに動作することが求められている。

(3)URLLC利用シナリオにおけるKPI

URLLC利用シナリオに対しては、高信頼性と低遅延化の同時実現が要求されている。遅延時間は、

U-Planeでの遅延として規定され [6]、上りリンクおよび下りリンクで共に0.5ms以下とすることが要求されている。なお、32bytesのデータを1ms以内に1-10⁻⁵ (99.999%) の信頼性で送信できることが、目標値として規定された。

3. 3GPPにおける5Gの評価条件

シナリオと要求条件に関するSIでは、各要求条件を評価するための評価シナリオ (環境)・評価条件についても検討が行われた。その結果、各利用シナリオに対応した複数の利用環境 (Deployment scenario) が規定され、幅広い環境や周波数帯のサポートが求められた。例えば、eMBBではさまざまな利用シーンが想定されるため、幅広い基地局 (BS: Base Station) 間距離 (ISD: Inter-Site Distance) のレンジ (20~5,000m) や幅広い周波数帯 (中心キャリア周波数 *¹⁴帯が700MHz~70GHz) を評価の対象とすることになった。特に周波数帯については、同じ利用環境の評価周波数帯を1つに限定せず、ほとんどの利用シナリオにおいて低い周波数帯 (例: 4GHz) と高い周波数帯 (例: 30GHz) の両方を評価対象にすることとなった。

3.1 eMBB関連

eMBBの利用環境および主な評価条件を表2に示す。eMBBに関しては、平均周波数利用効率と5%ユーザ周波数利用効率を、それぞれ屋内ホットスポット *¹⁵ (Indoor hotspot)、密集都市部 (Dense urban)、ルーラル (Rural)、都市部 (Urban macro) の利用環境で評価を行うことが合意された。利用環境間の主な違いは適用周波数帯、セルレイアウト (ISDによって決まる) とユーザ分布および移動速度となっている。

モビリティについては将来の高速鉄道 (High speed

*¹⁰ 平均周波数利用効率 (Average (TRxP) spectral efficiency): 単位時間、単位周波数帯域、単位セルまたはTRxP当りに平均的に送ることのできる情報ビット数。単位はbps/Hz。

*¹¹ 5%ユーザ周波数利用効率 (5% user spectral efficiency): ユーザスループット累積分布 (CDF: Cumulative Distribution Function) の5%ポイントにおいて、ユーザが単位時間・単位周波数帯域で送ることのできる情報ビット数。単位はbps/Hz。

*¹² IMT-Advanced: ITU-Rにおいて、IMT-2000の後継と位置付け

られている規格。高速移動時で100Mbpsを、低速移動時でも1Gbpsの実現を想定したもの。

*¹³ NB-IoT: 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。

*¹⁴ 中心キャリア周波数: 通信に用いる周波数帯域における中心搬送波周波数。搬送波とは情報を伝達するために変調される電波。

*¹⁵ ホットスポット: 屋内オフィスや駅前広場など、トラフィックが集中して発生する場所。

表2 eMBB関連利用環境および主な評価条件

利用環境 Deployment scenario	主な特徴		
	Carrier frequency	Cell layout	User distribution
Indoor hotspot	30GHz or 70GHz or 4GHz	ISD=20m, Open office, One floor	100% Indoor (3km/h)
Dense urban	4GHz+30GHz (Macro+Micro layers)	ISD=200m, Hexagonal grid layout for Macro layer, Random drop for Micro layer	80% Indoor (3km/h), 20% Outdoor (30km/h)
Rural	700MHz or 4GHz (ISD=1,732m case) 700MHz+2GHz (ISD=5km case)	ISD=1,732m or 5km, Hexagonal grid layout	50% Outdoor vehicles (120km/h) and 50% Indoor (3km/h)
Urban macro	2GHz or 4GHz or 30GHz	ISD=500m, Hexagonal grid layout	20% Outdoor in cars (30km/h) 80% Indoor in houses (3km/h)
High speed (High speed train)	4GHz or 30GHz	ISD=1,732m, Linear cell layout	User speed up to 500km/h
Extreme long distance coverage in low density areas	Below 1GHz, e.g., 700MHz	At least 100km range (Up to 150km - 300km range) Isolated Macro cell	User speed up to 160km/h

train) の最大移動速度を念頭において、IMT-Advancedの最大移動速度の時速350kmよりもさらに速い時速500kmをサポートすることとされた。モビリティの評価では高速鉄道向けのセル形成を想定し、基地局が直線状に並ぶ線形セルレイアウトが規定された。また、基地局が、鉄道車両内にある端末と直接通信するシナリオと、鉄道車両の屋上に設置したアンテナを介して通信するリレー型通信のシナリオが規定された。

なお、周波数帯に関して4GHzと30GHzの両方が評価対象となった。また、発展途上国や人口密度が低いエリアでの大規模セル展開を想定し、孤立セルの場合の最大カバレッジの目標値が最低100kmとなった。

これらのeMBB利用環境においてeMBBに紐づく要求条件を達成するには、多数のアンテナ素子数を用いるMassive MIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*16}がキー技術とされている [7]。各周波数

帯において、基地局側および端末側で想定されているMassive MIMOにおける最大の送受信アンテナ素子数を表3に示す。

3.2 mMTC関連

mMTCでは、都市部環境にマクロセル^{*17}配置のために設置された基地局が6GHz以下の低いキャリア周波数を用い、屋内外に分布する端末をサポートする評価シナリオが規定された。評価条件の一例を表4に示す。

端末はスマートメータ^{*18}、センサ、工業ロボットなどが想定されているため、一般的にトラフィック密度が低いのが特徴である。そのため、3GPPにおける容量・接続密度の評価では、20~200bytes程度の上りデータがポアソン分布^{*19}に従って断続的(非連続的)に発生するFTP (File Transfer Protocol)^{*20}モデルなどが規定されている。なお、各端末をパケットロス率^{*21}1%以下でサポートすることを

^{*16} 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。

^{*17} マクロセル：セルとは移动通信システムにおいて、1つの基地局アンテナがカバーするエリアであり、マクロセルはカバーされるエリアが比較的広いセル（一般的に半径数百メートル以上）のこと。

^{*18} スマートメータ：電力の使用状況をリアルタイムに計測し、見える化するための装置。

^{*19} ポアソン分布：所与の時間間隔で発生する離散的な事象を数える時に使用する特定の確率変数 X をもつ離散確率分布のこと。

表3 eMBB利用環境におけるMassive MIMO送受信アンテナ素子数

Parameters	Values
Number of BS antenna elements	700MHz : Up to 64 Tx/Rx 4GHz (& 2GHz) : Up to 256 Tx/Rx 30GHz : Up to 256 Tx/Rx 70GHz : Up to 1024 Tx/Rx
Number of UE antenna elements	700MHz : Up to 4 Tx/Rx 4GHz (& 2GHz) : Up to 8 Tx/Rx 30GHz : Up to 32 Tx/Rx 70GHz : Up to 64 Tx/Rx

Tx : Transmitter

Rx : Receiver

表4 mMTC関連評価条件の一例

Parameters	Values
Carrier frequency	700MHz (2,100MHz as optional)
Deployment scenario	Urban Macro : ISD=500m or 1,732m 20% of outdoor users (3km/h) + 80% of indoor users (3km/h)
Physical layer packet size	Follow 3GPP TR45.820 or use 40bytes fixed packet size
Traffic model	Non-full buffer with small packets (with Poisson arrival)
BS antenna elements	2 or 4 Rx ports (8 Rx ports as optional)
UE antenna elements	1 Tx

目標としている。加えて、mMTC端末を大量に配置するには、端末の低コスト化が極めて重要となる。そのため、上りリンク送信においてシンプルな送信回路を想定し、送信アンテナ数を1と想定している。伝送パケットサイズが小さいmMTCでは、データ信号量に対する制御信号量の割合が高くなりやすいため、いかに制御信号量を減らすかが効率的なデータ伝送を行うために重要となる。そこで基地局からのリソース割当ての制御信号を用いずに上りリンクのデータ送信を行うことが検討されている。基地局からのリソース割当て制御がない場合、ユーザ間の上りデータ信号の衝突が発生しうるが、衝突に起因したパケット誤りを一定レベル以下にするため、上りリンク非直交多元接続^{*22}を用いて上りリンク容

量^{*23}を増大させる技術が検討されている [8]。また、端末が1日当たり200bytesを送信し、カップリングロス^{*24}が最大164dBとなる条件で、mMTCのカバレージ評価を行うこととされている。

mMTCに関する要求条件は、LTE-AdvancedのNB-IoT、eMTC (enhanced MTC) の拡張で達成できると見込まれている [9]。例えば、NB-IoTの帯域拡張技術を用いてConnection densityの要求条件を達成できる見込みがあることが一部の評価により示されている [10]。

3.3 URLLC関連

URLLCでは、データ信号を超低遅延かつ高信頼に伝送することが求められる。評価条件の一例を表5

*20 FTP：インターネットなどのTCP/IPネットワーク上でファイルを転送する際に、一般的に用いられるプロトコル。

*21 パケットロス率：一定の時間間隔（例えば100msから10s）で規定されるタイムスロット内にパケット伝送が完了しない確率。

*22 非直交多元接続：複数の端末が直交していない通信リソースを共有することでデータ容量の増大を目指す技術。

*23 リンク容量：単一リンクで実現可能な伝送速度のこと。

*24 カップリングロス：送信機から受信機の間で発生する電力損失

の合計値。

表5 URLLC関連評価条件の一例

Parameters	Values
Carrier frequency	700MHz and 4GHz (FDD and TDD)
Deployment scenario	Urban macro : ISD=500m, 20% Outdoor in cars (30km/h) + 80% Indoor (3km/h) or Indoor hotspot : ISD=20m, Up to 12 BS per 120m×50m, 100% Indoor (3km/h)
SNR range	−5dB to 20dB
Physical layer packet size	e.g., 32, 50, 200bytes
Traffic model	Non-full buffer with small packets (with Poisson arrival) or periodic packet arrivals
BS antenna elements	Up to 256 Tx/Rx, 2/4/8 Tx/Rx ports as starting point
UE antenna elements	Up to 8 Tx/Rx, 2/4 Tx/Rx ports as starting point

FDD : Frequency Division Duplex

TDD : Time Division Duplex

に示す。6GHz以下のキャリア周波数を用い、全端末が屋内にいる場合の屋内ホットスポット環境の評価シナリオに加えて、都市部環境にマクロセル配置のために設置された基地局が、屋内外に分布する端末をサポートする評価シナリオが検討されている。なお、遅延に関しては、処理遅延、伝送遅延、再送遅延を考慮した理論計算に基づいた検討なども行われている [11]。一方、信頼性に関してはデータ送信開始から一定時間内におけるブロック誤り率をパケット成功率の指標として規定されており、リンクレベルシミュレーション^{*25}で評価が行われている。さまざまな伝送品質環境における特性を比較するため、評価対象の信号対雑音比（SNR：Signal-to-Noise Ratio）^{*26}の範囲は−5dBから20dBとされている。データパケットのサイズは32～200bytesであり、FTPモデルに従って発生させている。

上記のシナリオに加えて、高速鉄道などを想定した最大時速500km/hの高速移動環境における信頼性の検証や、コネクティッドカーとの通信を想定した都市部道路交通環境における遅延、信頼性に対する検証なども行われている。

また、上記の評価に並行してURLLC端末の収容可能数がシステムレベルで評価されている。具体的には、屋内ホットスポット環境および都市部マクロセル環境において、一定の信頼性を実現することが可能なURLLC端末数として指標が規定されている。

URLLCに関する要求条件は、新無線フレーム^{*27}構成（OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）^{*28}のサブキャリア^{*29}間隔の最適化）や高速なACK/NACK（ACKnowledgment/Negative ACK）^{*30}フィードバックの設計などにより達成できると見込まれている [9]。

3.4 その他

上記に説明した利用シナリオ以外にもいくつかの利用シナリオが提案されている。具体的には、V2X（Vehicle to Everything）通信^{*31}や超高速移動（e.g., 1,000km/h）や長距離を想定したAir to Ground通信^{*32}やSatellite extension to terrestrial通信^{*33}である。これらは、移動通信以外のさまざまな業界（Verticals）からも提案されており、5Gへの期待の高さが伺える。

^{*25} リンクレベルシミュレーション：送信機・受信機の機能、および、それらの間の無線伝搬路の物理的な振る舞いをモデル化したもので、送信から受信までの一連の機能や性能の試験に適用される。

^{*26} 信号対雑音比（SNR）：雑音の電力に対する所望信号の電力の比。

^{*27} 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。

^{*28} 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。

^{*29} 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。

^{*30} ACK/NACK：データ信号が正しく復号されたか否かを通知する制御信号。

^{*31} V2X通信：V2Xは、自動車と他の自動車の間（車車間（V2V：Vehicle to Vehicle））、自動車と信号機や道路標識などのインフラ（路車間（V2I：Vehicle to Infrastructure））、あるいはスマートフォンを持った歩行者と車の間（車歩行者間（V2P：Vehicle to Pedestrian））が直接に相互通信することを目的とした無線通信システムの総称。

4. チャネルモデル

6GHz以上の周波数帯を対象としたチャネルモデルのSIに関しては、2015年9月～2016年6月の間に行われ、検討結果をもとに、技術報告TR38.900 V1.0.1が作成された [12]。上記をもって本SIは完了となったが、その後、2017年3月に、6GHz以下のチャネルモデルと統合される形でTR38.901 V14.0.0として合意された [13]。

(1) LTE評価用3Dチャネルモデルと5G用チャネルモデル

LTE評価用に作成されたTR36.873に記載の3Dチャネルモデルと5G用チャネルモデルの比較結果を表6に示す [14]。チャネルモデルの基本デザインは、両者とも同じであり、パスロスモデル、見通し率モデル^{*34}およびファーストフェージングモデル^{*35}で構成されており、電波の受信レベル、伝搬遅延および到来角度を統計的に与える。また、周波数適用範囲については、TR36.873は6GHzまでしか対応していないが、TR38.901はミリ波などの高周波数帯に対応するために0.5～100GHzとなっている（ただし、ルーラルシナリオは除く）。なお、TR36.873では、ファーストフェージングモデルで利用する遅延スプレッド^{*36}および角度スプレッド^{*37}や、屋外基地局ー

屋内移動局のパスロス計算時に使用する建物侵入損失の値は、周波数にかかわらず一定値であったが、TR38.901では、広い周波数適用範囲に対応するために、両者とも周波数依存性をもたせている。TR38.901の建物侵入損失モデルの計算結果を図2に示す。図に示すように、本モデルでは、周波数の増加に伴い、建物侵入損失が増加する特性を考慮している。また、建物を構成するコンクリートや窓ガラスの割合を考慮した高損失および低損失モデルを定義しており、より詳細な特性を与えることが可能となっている。さらに、TR38.901では、5Gでの導入が想定されている技術に対応するために、Additional modeling componentと呼ばれるモデルも用意されている。

(2) Additional Modeling Component

Additional modeling componentの概要を表7に示す。Additional modeling componentは、主に、大規模アレーアンテナ^{*38} (Massive MIMO)、ビームトラッキング^{*39} (ビームフォーミング^{*40})、Multi-User MIMO^{*41}などの技術を、より正確に評価するためのモデルであり、基本モデルに追加する形で、シミュレーションに適用する。

表6 LTE用および5G用チャネルモデルの比較

	LTE用3Dチャネルモデル	5G用チャネルモデル
ドキュメント	3GPP TR36. 873	3GPP TR38. 901
モデルタイプ	GSCM	GSCM
適用周波数範囲	～6GHz	0.5～100GHz
特 徴	・ LSP (遅延スプレッド、角度スプレッドなど) および建物侵入損失が周波数に依存せず一定値	・ LSP、建物侵入損失に周波数依存性あり ・ Additional modeling componentを用意 (5G技術に対応するためのモデル)

GSCM : Geometry-based Stochastic Channel Model

LSP : Large Scale Parameter

^{*32} Air to Ground通信：衛星を利用せず、航空機と地上の間で直接通信を行う技術。

^{*33} Satellite extension to terrestrial通信：地上系通信の補完を目的とした衛星通信。低軌道周回衛星 (LEO : Low Earth Orbit satellite)、中軌道周回衛星 (MEO : Medium Earth Orbit satellite)、静止衛星 (GEO : Geostationary Earth Orbit satellite) を含む。

^{*34} 見通し率モデル：基地局ー移動局間の距離を主なパラメータと

して、両地点間が見通し状態になる確率を与えるモデル。

^{*35} ファーストフェージングモデル：受信レベルの変動周期が短いフェージングを発生させるモデル。

^{*36} 遅延スプレッド：電波伝搬において、建物などからの反射・回折により遅延して到来するすべての電波の遅延時間の広がり。全到来波の遅延時間について受信電力による重み付け統計処理を行い、求められる標準偏差で定義される。

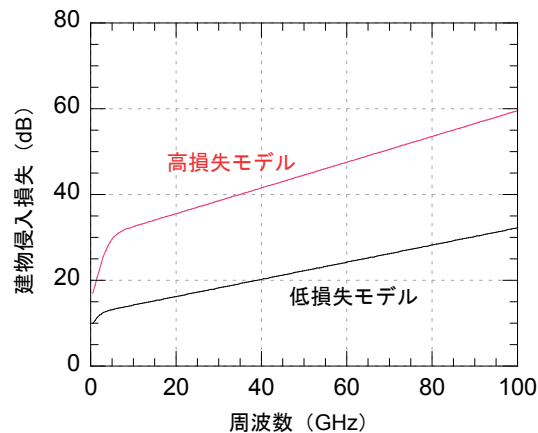


図2 建物侵入損失

表7 Additional modeling componentの概要

モデル名	概 要
酸素減衰	52～68GHzにおいて、酸素による電力の減衰を与えるモデル
広帯域および大規模アレーアンテナ	広帯域および大規模アレーアンテナの利用により時間および空間領域において高分解能となるとときに遅延および出射／到来角度を与えるモデル
Spatial consistency	ビームトラッキングやMU-MIMOなどの評価の際にチャンネルを連続的に変化させるモデル
ブロックージ	静止もしくは移動物体により基地局または移動局が遮蔽される場合のモデル
マルチ周波数シミュレーションのための相関モデル	複数の周波数で同時にシミュレーションを行う際の手順を説明したモデル
時変動ドップラー周波数	移動局が直線に移動しない場合、もしくは到来方向が時変動する場合に、ドップラー周波数を与えるモデル
User terminal回転	移動局の回転を考慮して計算を行うモデル
大地反射	LOS環境における大地反射を考慮したモデル

LOS : Line Of Sight

5. あとがき

本稿では、5Gに対する世界的な関心の高まり、技術開発が進展している状況を踏まえ、5G無線インタフェース仕様化を進めるにあたり3GPPが定義した5G要求条件および5G評価条件について解説

した。これまでに要求条件および評価条件がワーキンググループレベルで詳細化され、無線インタフェースの設計や評価が行われている [8] [9]。ドコモは3GPPにおける本議論の取りまとめ役を果たし、今後も引き続き5G標準化に積極的な貢献を行っていききたい。

*37 角度スプレッド：電波伝搬において、建物などからの反射・回折により到来するすべての電波の到来角度の広がり。全到来波の到来角度について受信電力による重み付け統計処理を行い、求められる標準偏差で定義される。

*38 アレーアンテナ：複数のアンテナ素子を配列したアンテナのこと。

*39 ビームトラッキング：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、移動端末の移動方向を追従し、その方向に対してアンテナ利得が増加するよう

に指向性パターンを更新する技術。

*40 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。

*41 Multi-user MIMO：複数ユーザの信号をMIMO多重伝送することにより、周波数利用効率を向上させる技術。

文 献

- [1] 岸山, ほか: “ドコモの5Gに向けた取組み—2020年での5Gサービス実現に向けて—,” 本誌, Vol.23, No.4, pp.6-17, Jan. 2016.
- [2] METIS: “Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system,” Apr. 2013.
- [3] NGMN: “NGMN 5G White Paper,” Feb. 2015.
https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf
- [4] ARIB 2020 and Beyond Ad Hoc Group: “Mobile communications systems for 2020 and beyond,” Oct. 2014.
<http://www.arib.or.jp/english/20bah-wp-100.pdf>
- [5] 勧告ITU-R M.2083-0: “IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond,” Sep. 2015.
- [6] 3GPP TR38.913 V14.1.0: “Study on scenarios and requirements for next generation access technologies (Release 14),” Dec. 2016.
- [7] 須山, ほか: “5Gマルチアンテナ技術,” 本誌, Vol.23, No.4, pp.30-39, Jan. 2016.
- [8] 3GPP TR38.802, V14.1.0: “Study on new radio access technology physical layer aspects (Release 14),” Jun. 2017.
- [9] 武田, ほか: “5Gにおける物理レイヤ要素技術と高周波数帯利用に関する検討状況,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.23-32, Oct. 2017.
- [10] 3GPP RP-170512: “On NB-IoT 5G mMTC requirement fulfillment,” Mar. 2017.
- [11] 3GPP R1-167269: “On the URLLC transmission formats for NR TDD,” Aug. 2016.
- [12] 3GPP TR38.900 V14.3.0: “Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz (Release 14),” Jun. 2017.
- [13] 3GPP TR38.901 V14.0.0: “Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (Release 14),” Mar. 2017.
- [14] 3GPP TR36.873 V12.4.0: “Study on 3D channel model for LTE (Release 12),” Mar. 2017.

5Gにおける物理レイヤ要素技術と高周波数帯利用に関する検討状況

	先進技術研究所	5G推進室	たけだ かずあき 武田 和晃	たけだ かずき 武田 一樹
移動機開発部	はらだ ひろき 原田 浩樹		無線アクセス開発部	うめだ ひろまさ 梅田 大將
R&D戦略部	てしま くにひこ 手島 邦彦		DOCOMO Inovations, Inc.	かきしま ゆういち 柿島 佑一

第5世代移動通信システム（5G）の早期導入に向けて、3GPPでは、5Gの要求条件を満たす無線インタフェースの要素技術が精力的に検討され、2017年3月に基本検討の作業（SI）が完了した。本稿では、SIの検討内容結果や、今後の仕様策定の作業で予想される、物理レイヤの要素技術、候補周波数および無線性能要求仕様の議論について解説する。

1. まえがき

第5世代移動通信システム（5G）では、モバイルブロードバンドのさらなる高度化（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）、多数同時接続を実現するマシンタイプ通信^{*1}（mMTC：massive Machine Type Communications）、高信頼・超低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）などさまざまな利用シナリオをサポートすることが期待されている。3GPPでは、LTE-Advanced無線

通信方式との後方互換性の無い新しい無線通信方式（NR：New Radio）がSI（Study Item）^{*2}における検討項目として承認され、2016年3月の会合から検討が開始された。NRの仕様化作業においては、上記のさまざまな利用シナリオを考慮した上で、既存LTEで利用されてきた周波数帯に加えて100GHz帯までの高周波数帯の利用を想定し、フレキシブルな無線インタフェースの仕様化や、高周波数帯に対応した無線性能仕様の策定をめざしている。本稿では、これまでのLTEの無線インタフェースとの違いが大

©2017 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

^{*1} マシンタイプ通信：マシン型通信。人間による通信操作を介しない機械通信の3GPPにおける総称。

^{*2} SI：「実現性の検討および仕様化すべき機能の大きな特定」作業のこと。

きい技術領域として、さまざまなユースケースや周波数帯に対応するスケーラブルな無線フレーム構成、さまざまな周波数帯や置局設計^{*3}に対応した初期アクセスやマルチアンテナ技術、幅広いデータサイズや遅延要求をカバーするためのチャネル符号化技術などを中心に、SIでの検討内容や、今後の仕様策定の作業（WI（Work Item）^{*4}）で予想される物理レイヤ^{*5}の要素技術、候補周波数および無線性能要求仕様の議論について概説する。

2. 物理レイヤ要素技術

2.1 無線フレーム構成

NRでは、複数の異なるOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）^{*6}サブキャリア^{*7}間隔（少なくともOFDMサブキャリア間隔15kHz、30kHz、60kHz、120kHz）を適用可能な無線フレーム構成が採用された。一般に、OFDMサブキャリア間隔を狭めるほど、広域カバレッジ、低い搬送波周波数帯、強いマルチパス^{*8}環境などに好適であり、OFDMサブキャリア間隔を広げるほど、高速移動の追従性、高い搬送波周波数帯での品質確保、遅延低減などに効果的であることが知られている。NRでは、このように複数のOFDMサブキャリア間隔をサポートすることによって、既存のセルラ周波数帯からミリ波帯を含む高い周波数帯までをサポートでき、かつeMBBからURLLCまでの多様なサービスを1つのシステムで実現できる。

NRでは、このようにさまざまなOFDMサブキャリア間隔がサポートされることを考慮し、次の通り無線フレーム構成が規定された（図1）。

- ・無線フレーム：10ms単位で定義される。すなわち、利用するOFDMサブキャリア間隔に依

存しない。

- ・サブフレーム^{*9}：1ms単位で定義される。すなわち、利用するOFDMサブキャリア間隔に依存しない。
- ・スロット^{*10}：14OFDMシンボル^{*11}で定義される。サブキャリア間隔に応じて時間長は異なる。

OFDMでは、一般にマルチパス耐性のため各OFDMシンボルにサイクリックプリフィックス（CP：Cyclic Prefix）^{*12}を付加する。NRでは、異なるサブキャリア間隔のOFDM信号間で、CPのオーバーヘッド比率を固定とすることが合意された。すなわち、サブキャリア間隔が倍のOFDM信号を用いる場合、OFDMシンボル長並びにCP長の両方とも半分となる。

2.2 初期アクセス

NRにおける初期アクセスは、おおむねLTEと同様で、同期信号^{*13}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。ただし信号・チャネルの構成、送信方法などについては、LTEとは大きく異なる。

(1)NR同期信号

NR同期信号はLTEと同様にプライマリ同期信号（PSS：Primary Synchronization Signal）^{*16}とセカンダリ同期信号（SSS：Secondary Synchronization Signal）^{*17}の2つの信号から構成されるが、NRではセルの設置密度が非常に高いシナリオも想定し、同期信号によって表現される物理セルID（PCID：Physical Cell Identifier）^{*18}の数がLTEの2倍に拡張され、合わせて同期信号の系列長および系列の生成方法も変更された。同期信号に適用されるOFDMサブキャリア間隔は、周波数バンドごとに仕様で規

^{*3} 置局設計：トラフィックなどの事業者ごとの要求条件を考慮して、基地局を設置・展開していくシナリオのこと。

^{*4} 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。

^{*5} 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。

^{*6} OFDM：狭帯域の直交サブキャリアを用いて伝送を行う高効率なマルチキャリア伝送方式。マルチパスに対する耐性が高いため、LTEに採用されている。

^{*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送信する個々の搬送波。

^{*8} マルチパス：送信機から送信された電波が、建物や地形などの障害物によって反射・回折し、複数の経路を通じて受信機に到達する現象。

^{*9} サブフレーム：時間領域の無線リソースの単位であり、複数のOFDMシンボル（LTEでは14OFDMシンボル（^{*11}参照））から構成される。

^{*10} 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（^{*11}参照）から構成される。

^{*11} シンボル：伝送するデータの単位であり、OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）の場合は複数のサブキャリアから構成される。各サブキャリアには複数のビット（例えばQPSK（Quadrature Phase Shift Keying）なら2bit）がマッピングされる。

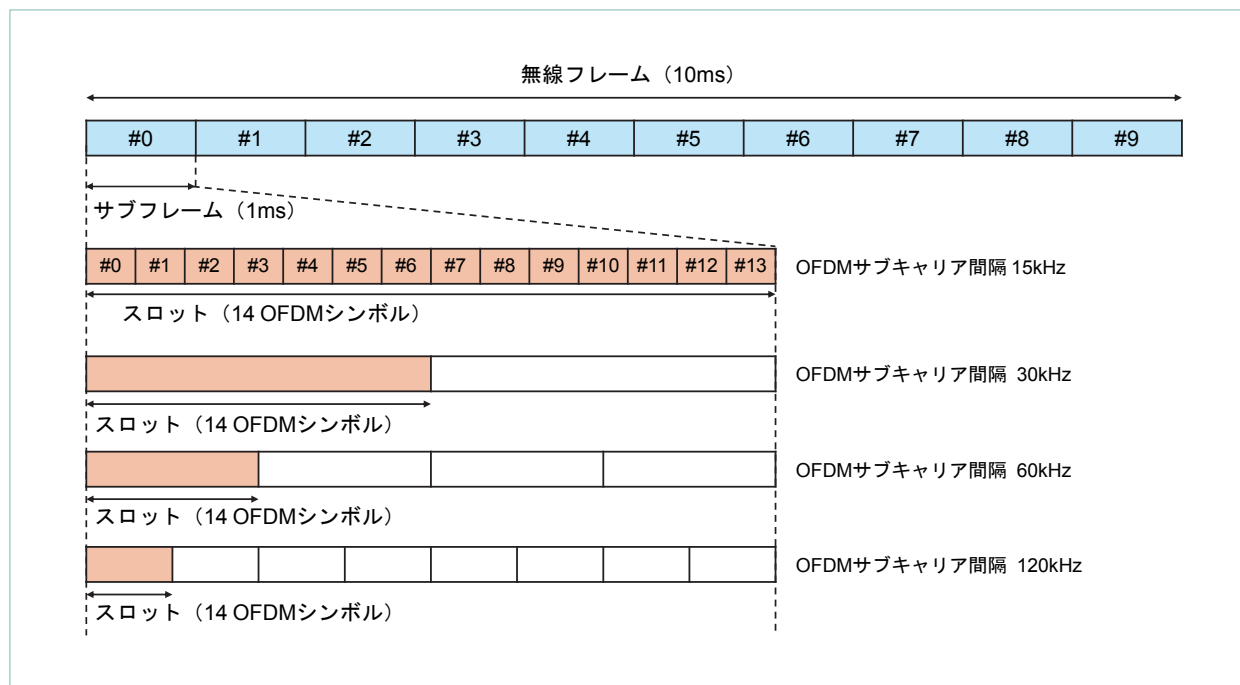


図1 規定された無線フレーム構成（スロット当り14 OFDMシンボルの場合）

定されるため、移動端末が初期アクセス時にOFDMサブキャリア間隔をブラインド検出^{*19}しなくてもよい。NRでは通信事業者が同期信号を送信する周期およびタイミングを基地局ごとに設定し移動端末に通知することが可能である。また通知前の初期アクセス時に端末が想定する送信周期を20msとしており、Always-onの信号をなるべく減らす観点からLTEにおける同期信号送信周期（5ms）よりも長くしている。また、移動端末の初期アクセス負荷を低減するため、同期信号が送信される可能性のある周波数ラスタ^{*20}はLTEと比べて間隔を広げ、候補位置が少なくなるようにする工夫が検討されている。

(2)同期信号・報知チャネルのbeam sweeping送信

6GHz以上の高周波数帯では、基地局と端末との通信可能距離およびエリアを確保するために、例え

ば基地局側で送信ビームフォーミング^{*21}を適用することが考えられる。ビームフォーミングを適用することで、信号の受信強度が特定の方向に集中するため通信距離を伸ばすことができる一方、他の方向に対しては受信強度が下がるため信号が届く範囲は狭くなる。同期信号や報知チャネル（PBCH：Physical Broadcast Channel）^{*22}などはセル内のすべての移動端末に届くように送信する必要があるため、NRでは同期信号およびPBCHを1つの単位（SS/PBCH block）として定義し、1つのSS/PBCH blockは同一方向の送信ビームで送信し、順次ビーム方向を切り替えて送信する構成（beam sweeping）がマルチビーム運用向けにサポートされた（図2(a)）。なお、低周波数帯などのために、beam sweepingを適用せず、単一のビームパターンで1つのSS/PBCH

^{*12} サイクリックプレフィクス（CP）：OFDM信号において、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分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。

^{*13} 同期信号：移動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。

^{*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、セルごとに一斉通報される。

^{*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）：移動端末が基地局の下り信号の受信シンボルタイミングおよび周波数に同期するために用いられ、物理セルID（^{*18}参照）に基づく3通りの信号がセル間で繰返し利用される。

^{*17} セカンダリ同期信号（SSS）：移動端末が基地局の物理セルIDを検出するために用いられ、物理セルID（^{*18}参照）に基づく336通りの信号がセル間で繰返し利用される。

^{*18} 物理セルID（PCID）：物理的なセル識別子。LTEでは504通りのIDが用いられているが、NRでは1,008通りのIDが用いられる。

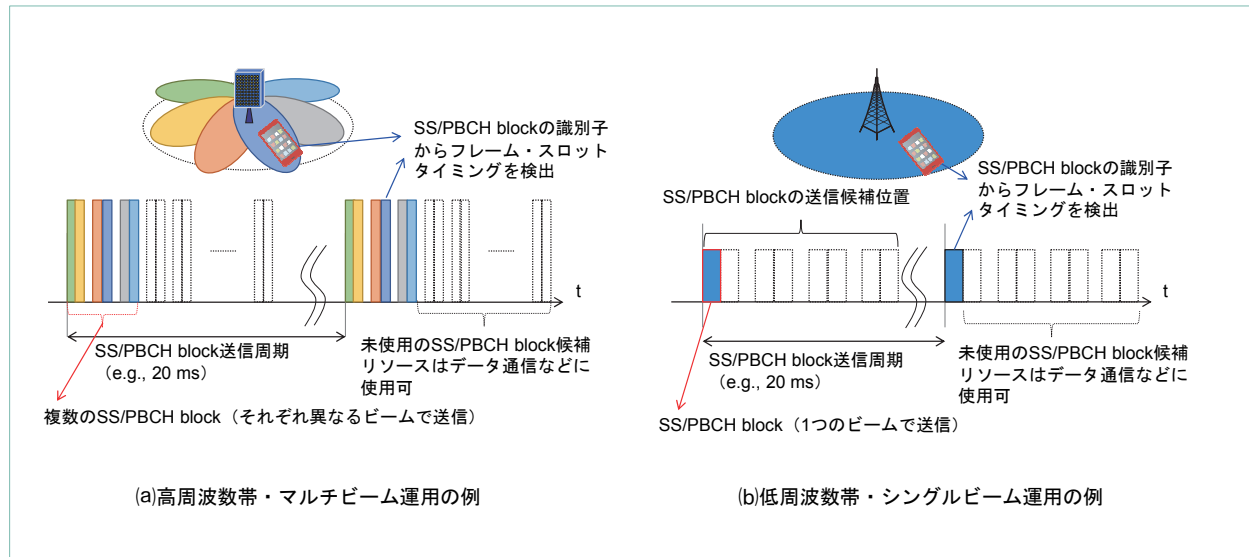


図2 シングルビームおよびマルチビーム運用時のSS blockインデックスの通知

blockのみを周期的に送信する構成（シングルビーム運用）も可能である（図2(b)）。NRでは、無線フレーム内に複数のSS/PBCH block送信候補位置が規定され、SS/PBCH blockの送信に用いるビーム数に応じて1つ以上の候補位置で実際に送信を行うことができる。ただし移動端末はどのSS/PBCH blockを検出したのかが分からないと、無線フレームタイミングやスロットタイミングを認識することができないため、SS/PBCH blockに含まれるPBCHおよび参照信号（PBCH-DMRS：PBCH Demodulation RS）を用いてSS/PBCH blockのインデックスを移動端末に通知することが検討されている。

(3) 報知情報取得後のランダムアクセス

報知情報を取得した後、移動端末はランダムアクセスとしてLTEと同様の4stepの手順を行う（図3(a)）。Msg.1として送信するランダムアクセスプリアンブル（PRACH：Physical Random Access Channel^{*23}）に、LTEと同等の系列長およびOFDMサブキャリ

ア間隔を用いるフォーマットに加えて、特に高周波数帯向けに広いOFDMサブキャリア間隔、短い系列長を用いるフォーマットが複数導入された。また、SS/PBCH blockにビームフォーミングを適用して通信距離を確保するような場合には、そのSS/PBCH blockを受信した移動端末からのPRACHを受信するためにも同等の受信ビームフォーミングを基地局側で適用する必要があるため、移動端末は検出したSS/PBCH blockに紐づけられているリソースでPRACHを送信する（図3(b)）。

(4) 受信品質の測定

NRにおけるハンドオーバーなどのためのセルの受信品質の測定は、SS/PBCH blockに含まれる参照信号（SSSおよびPBCH-DMRS）を用いて行う。SS/PBCH blockに送信ビームフォーミングを適用するマルチビーム運用の場合には、各SS/PBCH blockの受信品質を各基地局ビームの品質として測定、報告することが可能である。さらにチャンネル状

* 19 ブラインド検出：複数の受信候補信号を想定し、信号の検出および特定を行う処理。

* 20 ラスタ：移動端末が電源投入時などに同期信号の有無をサーチする周波数キャリア位置。

* 21 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。

* 22 報知チャネル（PBCH）：下り共通チャネルパラメータ、システムフレーム番号など、共通チャ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報知チャネル。

* 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。

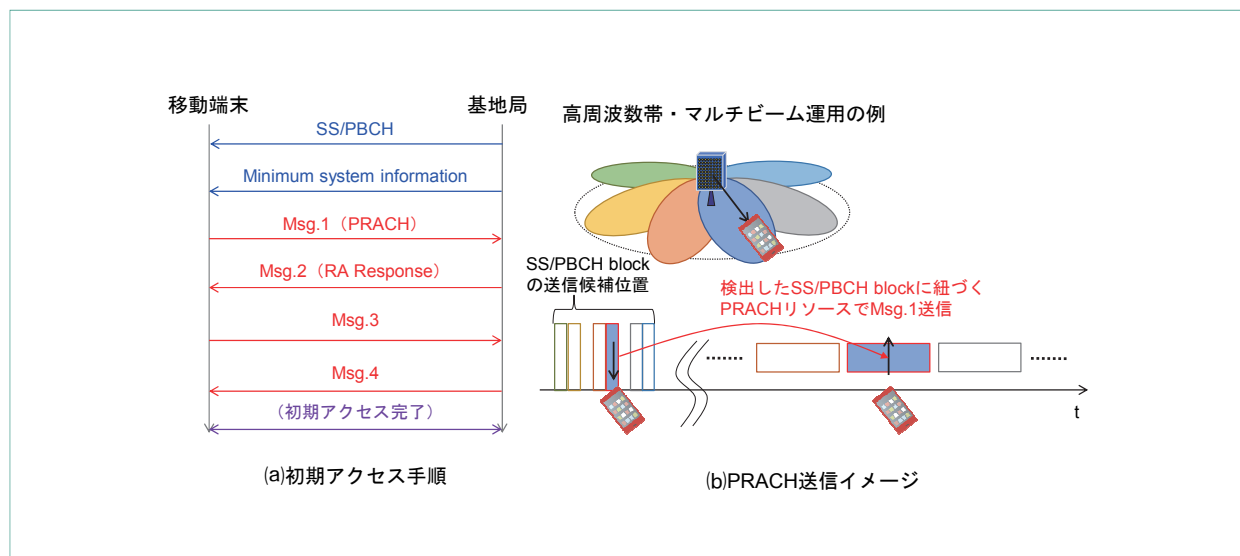


図3 初期アクセス手順とPRACH送信イメージ

態測定用参照信号（CSI-RS：Channel State Information - Reference Signal^{*24}）を用いた測定を通信中の移動端末に設定し、より柔軟にビームごとや張出し基地局ごとの受信品質を測定、報告させることもできる。

2.3 マルチアンテナ技術

NRでは、3次元ビーム制御を用いた上下リンク信号のマルチアンテナ送受信を実現する。特に高周波数帯では、電波減衰の影響を補うために、多くのアンテナで高いビーム利得を実現することが非常に重要となる。例えば30GHz帯では、基地局および移動端末でそれぞれ最大256および32のアンテナ素子を搭載し、それぞれグルーピングを行った後にアンテナポートと呼ばれる制御単位でデジタル信号処理を行う。

(1) マルチアンテナ回路・装置の実装例

ビームフォーミングを実現するマルチアンテナ回

路・装置の実装例を図4に示す。デジタルビームフォーミングは一般的に低い周波数帯で適用される構成であり、LTEのマルチアンテナ技術は本実装を前提に規定されている。本実装法ではデジタル信号の位相および振幅を変化させることで送受信ビームを形成する。一方、高い周波数帯で広帯域伝送を行うシステムでは、実装コストなどの影響によりデジタル領域でビームフォーミングを行うことの困難性が増す。そのため、アナログ信号の位相および振幅を変化させる、アナログビームフォーミングやハイブリッドビームフォーミング構成の適用が一般的となる。アナログ領域でのビームフォーミングは、アナログ回路の装置構成上サブバンド^{*25}単位でのビーム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。

(2) レイヤ1およびレイヤ2におけるビーム制御

レイヤ1^{*26}およびレイヤ2^{*27}におけるビーム制御はビームマネジメントおよび伝搬路状態情報（CSI：

*24 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。

*25 サブバンド：システム帯域幅の一部で構成される部分帯域幅のこと。

*26 レイヤ1：OSI参照モデルの第1層。物理層を指す。

*27 レイヤ2：OSI参照モデルの第2層。データリンク層を指す。

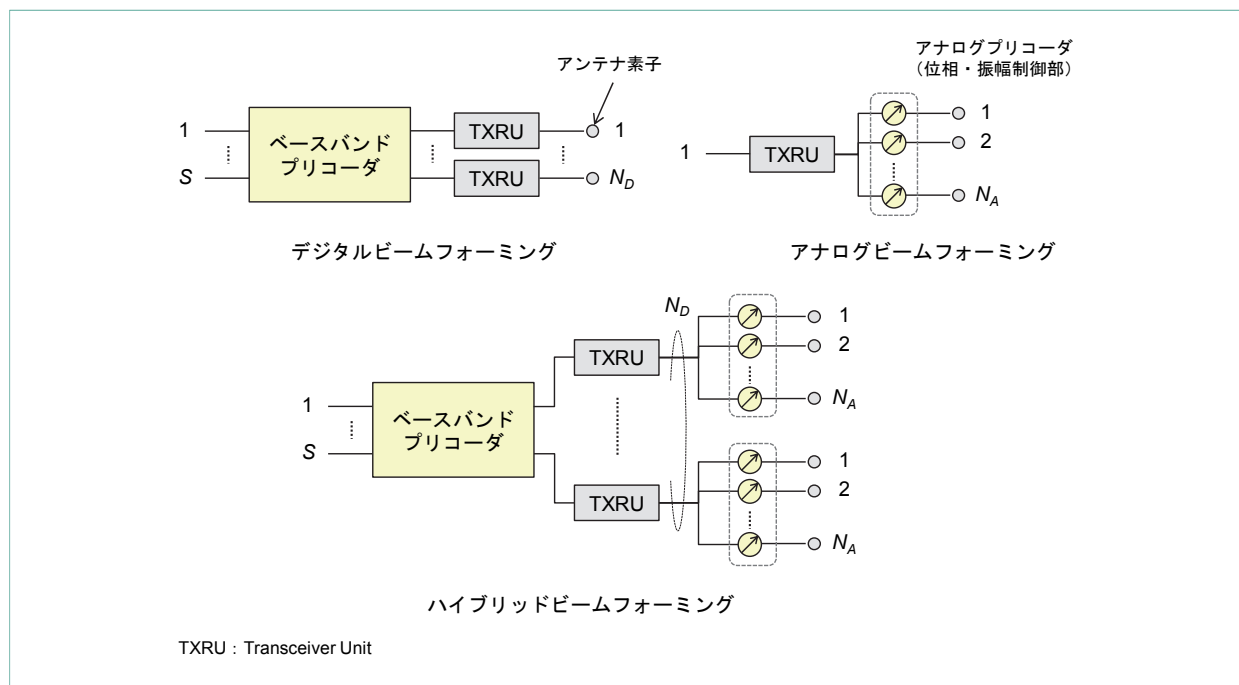


図4 ビームフォーミングを実現するマルチアンテナ回路・装置の実装例

Channel State Information)^{*28}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であり、基地局と端末の相互のビームペアをレイヤ1/レイヤ2レベルで取得・維持することを目的として、ビーム追従処理がCSI取得に比べ相対的に長周期で参照信号受信電力(RSRP: Reference Signal Received Power)^{*29}に基づいて行われることが想定されている。加えて、端末側でビームペアのミスマッチを検出し、他のビームペアへの切替え要求を基地局に送付するビームリカバリと呼ばれる技術がサポートされた。一方、CSI取得はより鋭いビームの形成やデータ信号に適用されるビームのMCS (Modulation and Coding Scheme)^{*30}の決定などに用いられ、比較的短周期での制御が想定されている。これらの技術に下りリンク参照信号であるCSI-RSおよび上り

リンク参照信号であるサウンディング参照信号(SRS: Sounding RS)^{*31}を用いることが合意されており、単一のフレームワークで仕様が策定される予定である。

(3)データ送信

データ送信では上記の技術で得られた伝搬路情報を用いたビーム制御および空間多重を行うことが可能である。NRではデータ送信でシングルユーザMIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*32}およびマルチユーザMIMO^{*33}をサポートし、下りリンクでは最大8ストリームのシングルユーザMIMOおよび最大12ストリームのマルチユーザMIMOを、上りリンクでは少なくとも4ストリームのシングルユーザMIMOをサポートすることが合意されている。

*28 伝搬路状態情報 (CSI): 信号が経由した無線チャネルの状態を表す情報。

*29 参照信号受信電力 (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。

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

*31 サウンディング参照信号 (SRS): 基地局側で上りリンクのチャネル品質や受信タイミングなどを測定するための上りリンク参照信号。

*32 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。

*33 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。

2.4 チャンネル符号化技術

LTEでは、誤り訂正符号として、畳み込み符号（TBCC：Tail Biting Convolutional Coding）^{*34}とターボ符号（Turbo coding）^{*35}が採用されている。NRでは、これらに加えて、LDPC（Low Density Parity Check coding）符号、およびPolar符号の適用が検討された。LDPC符号は並列処理により復号処理の遅延を小さくでき、Polar符号はTBCCと比較して復号演算量を抑えつつ、共にシャノン限界^{*36}に漸近する優れた特性を示す。結果、データチャネルに対してLDPC符号が採用され、制御チャネルに対してPolar符号が採用された。

3. 高周波数帯利用に関連する検討

NRに関するSIでは、周波数に関連した検討として、利用する周波数帯、各周波数帯における無線特性仕様、および測定方法などの初期検討が行われた。

3.1 NRで利用する周波数帯

5Gのユースケースの1つであるeMBBを実現する手段の1つとして、NRではLTEに比較して、より連続する周波数を広帯域に利用する技術の検討が行

われた。

SI開始当初は、100GHz帯までの周波数を対象にして検討が開始されたが、早期仕様策定の必要性の観点も考慮し、各地域での候補周波数の調査が行われた。その結果、図5に示すように、ミリ波帯においては、30GHz帯付近から40GHz帯付近までの周波数利用が主に想定されていることが判明した。これまでLTEで仕様化されてきた周波数は最大でも約6GHz帯であり、30～40GHz帯といったミリ波帯における無線仕様特性の検討は、3GPPでは行われていなかった。加えて、ミリ波帯の携帯電話としての利用実績もないため、製造技術の観点においても新規に検討する必要がある。このような背景から、特にミリ波帯に焦点を充てた検討が行われた。

3.2 無線特性仕様

ミリ波帯における仕様検討において特に考慮すべき事項としては、ビームフォーミングによる送受信、数100MHz幅を超える連続する周波数の利用および3.3節で解説するOTA（Over The Air）^{*37}での測定を前提とした仕様が策定されるなどの観点が挙げられる。

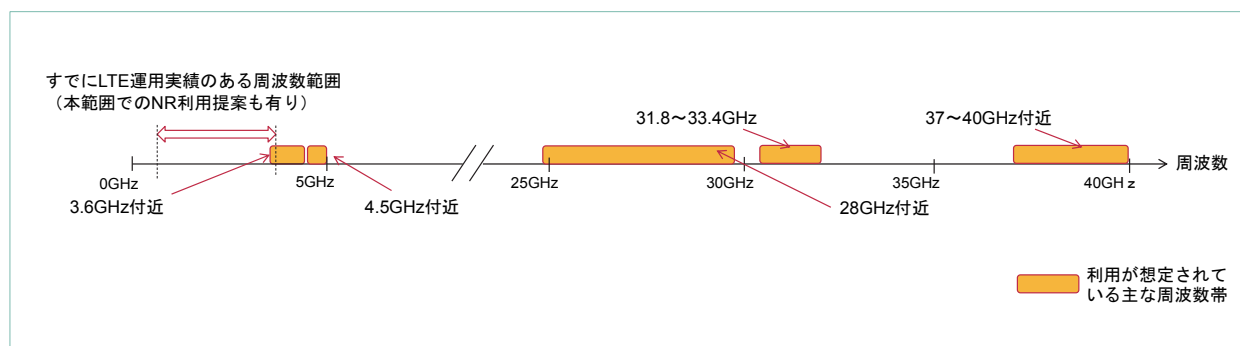


図5 各地域で想定されている候補周波数

^{*34} 畳み込み符号（TBCC）：誤り訂正符号の1つであり、畳み込み演算を用いて符号語を生成する符号化方式。第3世代移動通信システムなどですでに実用化されている。

^{*35} ターボ符号（Turbo coding）：1993年にフランスのBerrouらによって提案された誤り訂正符号の1つ。現在、低密度パリティ検査符号（LDPC）とともに、シャノン限界（^{*35}参照）にもっとも近い特性を実現できる符号として知られており、第3世代移動通信システムなどですでに実用化されている。

^{*36} 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。

^{*37} 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

(1)ビームフォーミングによる送受信を前提とした共存検討の評価

3GPPでは、無線特性に関する基本パラメータの1つである隣接チャネル漏洩電力比（ACLR：Adjacent channel leakage ratio）^{*38}や隣接チャネル選択度（ACS：Adjacent channel selectivity）^{*39}を議論する場合、システム性能の観点での要求条件を考慮した上で、隣接周波数を利用する移動端末あるいは無線基地局装置との間の干渉影響（共存検討）をシミュレーションにより評価する。ミリ波においても同様の共存検討が実施されたが、自周波数をビームフォーミングした場合の、隣接周波数への影響の考慮がポイントとなった。具体的には、ミリ波帯を想定した基地局展開がビームフォーミングゲインに大きく依存する点や、隣接周波数における干渉影響の程度が自周波数および周辺周波数におけるビームフォーミングゲインに依存する点などを考慮する必要がある。このような点を踏まえ、ミリ波帯を想定した基地局展開の検討や、移動端末および無線基地局装置の、ビームフォーミングによる送受信を前提とした評価が、3GPPとして初めて行われた。なお、評価に際しては、ミリ波帯に対応した新しい電波伝搬特性モデルも用いられた。また、最終的なACLR/ACSの要求値の決定においては、上記のシステム性能観点での共存検討の評価結果に加えて、製造技術の面での実現妥当性の議論も考慮して検討がなされ、SIとしての初期検討結果が結論付けられた。

また、SIでは、送信電力、スペクトラムマスク^{*40}やスプリアス^{*41}発射などの無線特性の基本パラメータの検討が行われ、その結果がACLR/ACSの検討と併せ、国際電気通信連合の無線通信部門（ITU-R（International Telecommunication Union Radio

communication Sector））に対して報告された。

(2)広帯域伝送における装置実装観点の検討

数100MHz幅を超える連続する周波数幅の利用を可能とするため、システム性能の観点での要求条件の議論に加えて、基地局および移動端末のベースバンド（BB：BaseBand）^{*42}部および無線（RF：Radio Frequency）^{*43}部両面での装置実装を考慮した検討が行われた。例えばBBの実装観点では、一定のOFDMサブキャリア間隔を用いる場合、通信に用いる周波数幅（チャンネルバンド幅）が広がれば広いほど、理論上1スロットで送受信可能な情報ビット数はチャンネルバンド幅に比例して大きくなるものの、より高い処理能力を持つFFT（Fast Fourier transform）機能部^{*44}を実装する必要がある。またRFの観点では、利用する周波数帯が高いほど、位相雑音^{*45}の影響が顕著となり、多値の変調方式や多ストリーム数を用いた通信が難しくなる。この課題を解決するためには、高精度のRFデバイス（位相同期回路（PLL：Phase Locked Loop）^{*46}など）を実装する必要や、より大きなOFDMサブキャリア間隔を利用する必要がある。いずれの場合においても、コストや実現性を考慮する必要がある。

SIにおける検討結果で得られた最大チャンネルバンド幅、OFDMサブキャリア間隔およびFFT処理能力に対する結論を表1に示す。WIでは、仕様化されるバンドごとの需要などを踏まえて、最適な最大チャンネルバンド幅やOFDMサブキャリア間隔の大きさが議論される予定である。

3.3 OTAを前提とした仕様とその課題

(1)OTAを前提とした仕様の必要性

LTEの無線特性仕様は、一部の仕様を除き^{*}、図6に示すように移動端末や無線基地局装置のアンテナ

^{*38} 隣接チャネル漏洩電力比（ACLR）：変調波を送信するときに、本来の送信帯域信号電力と、それに隣接するチャンネルに発生した不要波電力との比。

^{*39} 隣接チャネル選択度（ACS）：希望波と当該希望波に隣接する妨害波の信号電力比が所定の条件においても、希望波を正しく選択（フィルタリング）して受信できる能力。

^{*40} スペクトラムマスク：信号を送信するときに本来の信号周波数帯に隣接する周波数帯域に放射される不要波のこと。ただし、スプリアス（^{*41}参照）を除く。

^{*41} スプリアス：信号を送信するときに本来の信号周波数帯以外に放射される不要波のこと。

^{*42} ベースバンド（BB）：デジタル信号処理を行う回路またはその機能ブロック。

^{*43} RF：無線回路部。

^{*44} FFT機能部：送受信の過程で必要となる高速フーリエ変換（FFT）／逆高速フーリエ変換（IFFT：inverse fast Fourier transform）を行う機能部。

^{*45} 位相雑音：雑音元が発信器を変調することによって生じるランダムな位相変調。

^{*46} 位相同期回路（PLL）：基準周波数と出力信号の周波数を同期させる回路。

前段の物理コネクタを基準点として規定（有線接続規定）および測定が行われている。これに対し、ミリ波のような高周波数帯では、回路内の電力損失が大きくなることから、低損失化のためアンプ・フィルタ・アンテナなどのデバイスが集積化され、物理コネクタ自体が実装されなくなる。また、6GHz帯以下の周波数を用いる場合でもMassive MIMO^{*47}など多数のアンプ・アンテナの使用が想定される場合には、物理コネクタごとに測定を行うことは試験工数観点でデメリットとなる。これらの背景のもと、SIでは伝搬空間上での無線特性仕様の規定・測定を

行うOTA仕様の必要性・重要性が議論された。この結果、今後WIで議論される仕様として、6GHz帯未満の周波数向けには有線接続もしくはOTAを前提とした仕様が議論対象とされる一方で、ミリ波についてはOTAを前提とした仕様のみが議論されることとなった。

(2)OTAを前提とした仕様の課題

OTAで試験を行う場合には、一般的に試験設備規模が大きくなり、従来の周波数方向に加え、空間方向の測定を行うため時間を要するとともに、測定の不確かさも有線試験に比較して大きくなる傾向が

表1 SI時点における最大チャンネルバンド幅、サブキャリア間隔およびFFTサイズに対する結論

	LTE	NR	
		6GHz未満	6GHz以上
最大チャンネルバンド幅	20MHz ^{*1}	100～200MHz ^{*2}	100MHz～1GHz ^{*2}
サブキャリア間隔	15kHz	15kHz, 30kHz, 60kHz	60kHz, 120kHz, 240kHz, (480kHz)
FFTサイズ	2,048	4,096, (8,192)	

*1 CAを用いた場合、無線特性仕様として100MHzまで仕様化がなされている

*2 1CC (Component Carrier) で実現するか否かは未定

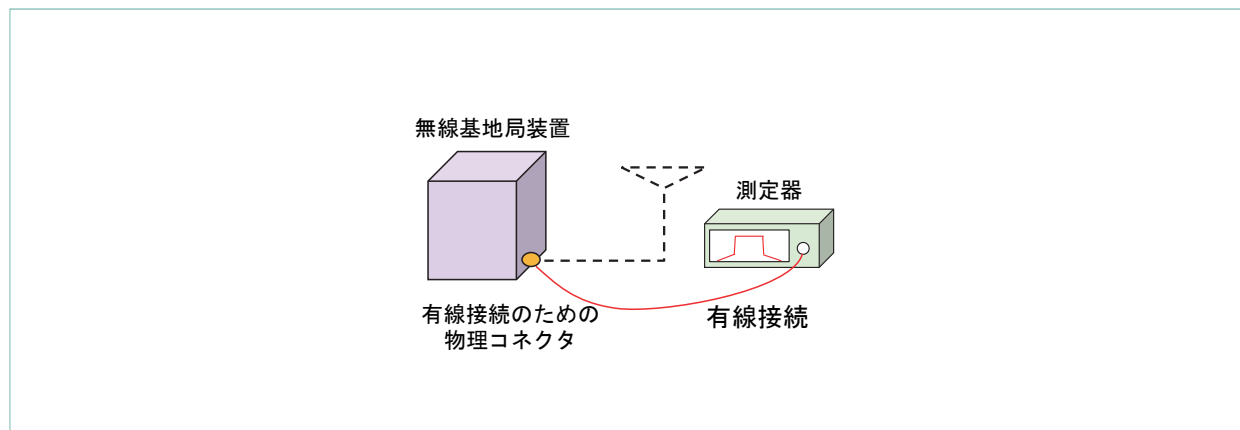


図6 物理コネクタを基準点とした有線接続規定の一例

※LTEにおいてもOTAによる仕様化として、eAAS (enhancements of Base Station RF and EMC requirements for Active Antenna System) と呼ばれるRelease15 WIなどがあるが、対象周波数帯域が6GHz程度以下であり、有線接続規定の仕様も適用可能な点で、NR SIにおける検討とは異なっている。

*47 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。

ある。したがって、仕様策定においては、試験稼働・コストを踏まえて、空間的特性（移動端末・無線基地局装置から輻射される電力の指向特性は一般に様ではない）を考慮した仕様化をいかに適切に実施するかが極めて重要となる。例えば、スプリアス発射は、ある測定周波数において、空間上に放射されるすべてのエネルギーの和で定義を行っており、その測定に際しては、空間をいくつかの部分に分割し、それぞれに対して空間的な測定を行う。この場合、分割範囲が小さければ小さいほど（分割数が多ければ多いほど）、一般には高い測定精度を実現できるが、これは同時に測定すべき空間上の点が多くなることを意味し、現実的な時間内に測定を完了することができないリスクを生む。このため今後の

WIでの議論において、これらのトレードオフを考慮して、各種無線仕様特性を策定することが重要となる。

4. あとがき

本稿では、3GPP RANにおいて、2017年3月に完了したSIの技術検討内容を解説した。SIで検討された要素技術および候補周波数と無線性能要求仕様とその影響は、5GのWIでも引き続き検討が進められており、今後商用化に向けて本格的に導入されることが期待される。ドコモは、今後も5Gの商用導入に向けて必要不可欠な要素技術の検討を推し進め、標準化活動を進めていく。

5G無線アクセスネットワーク標準化動向

無線アクセス開発部 ウメシュ アニール ウリ A. ハプサリ
 うちの とおる とえだ てるあき たかはし ひであき
 内野 徹 戸枝 輝朗 高橋 秀明

第5世代移动通信システム（5G）の早期導入に向けて、3GPP RANにおいて、5Gの要求条件を満たすための無線アクセスネットワークの要素技術がさかんに検討され、2017年3月に基本検討であるSIが完了した。現在、SIでの検討内容を踏まえて、2017年4月より標準仕様策定作業が本格的に開始されている。本稿では、SIの検討結果、および標準仕様化予定の上位レイヤの要素技術を解説する。

1. まえがき

第5世代移动通信システム（5G）の早期および効率的な導入を実現するため、3GPPで検討されたNR（New Radio）のノンスタンドアローン運用の概要を、本特集冒頭記事 [1] で概説した。本稿では、3GPPで検討されたNRの上位レイヤ^{*1}要素技術の中から、ノンスタンドアローン運用に必要な技術を中心に解説する。具体的には、LTEとNRの無線リン

ク^{*2}を同時に利用するLTE-NR DC（Dual Connectivity）^{*3}、C-RAN（Centralised Radio Access Network）^{*4}アーキテクチャにおける集約ノード（CU：Central Unit）と分散ノード（DU：Distributed Unit）との間の機能分離およびインタフェースを規定するCU-DU functional split and open interfaceの議論を取り上げ、これらの技術が検討された背景と目的をそれぞれ解説する。さらに、LTE-NR DC、CU-DU functional split and open interfaceを実現す

©2017 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 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、RLC、PDCP、RLC、S1AP、X2APなどを指す。

*2 無線リンク：移動端末と無線アクセスネットワークのアクセスポイントであるセル間の論理的なつながり。

*3 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。

る5GのRAN構成，レイヤ2/3プロトコルを解説し，NRスタンドアローン向けのRAN構成，レイヤ2/3プロトコルについても簡単に解説する。

2. LTE-NR DC

2.1 概要

NRをLTEと組み合わせてノンスタンドアローンで提供する技術が，LTE-NR DCである。DCは，LTE向けにRelease 12仕様で策定した技術であり，eNB (evolved NodeB) 間の複数のLTEキャリア^{*5}を束ねて，同時にデータ送受信を行う事でユーザースループットを向上させる（詳細は，文献 [2] 参照）。LTE-NR DCは，LTE向けのDCを，無線技術が異なるLTEとNR間に適用できるように拡張を施した技術である。

2.2 無線プロトコルの機能拡張

LTEとNRにおける無線プロトコルに対して，以下の3つの機能拡張が規定されている。

(1) ユーザデータを2つの基地局から送受信するためのSplit Bearer^{*6}の拡張

LTE DCにおいて，スループット向上を実現するために，MN (Master Node)^{*7}が分岐点となり，コアネットワーク (CN: Core Network)^{*8}からの下りデータをMNのキャリア，もしくはX2インタフェース^{*9}を通してSN (Secondary Node)^{*10}に送信し，SNのキャリアで伝送するMCG (Master Cell Group) Split BearerがRelease 12にて規定された [2] (図1(a))。

LTE-NR DCにおいて，LTE基地局がMNとなる運用では，NR側の帯域幅が大きくなるにつれて，LTE基地局でMCG Split Bearerをサポートするための処理能力やバッファの拡張を行う必要があり，

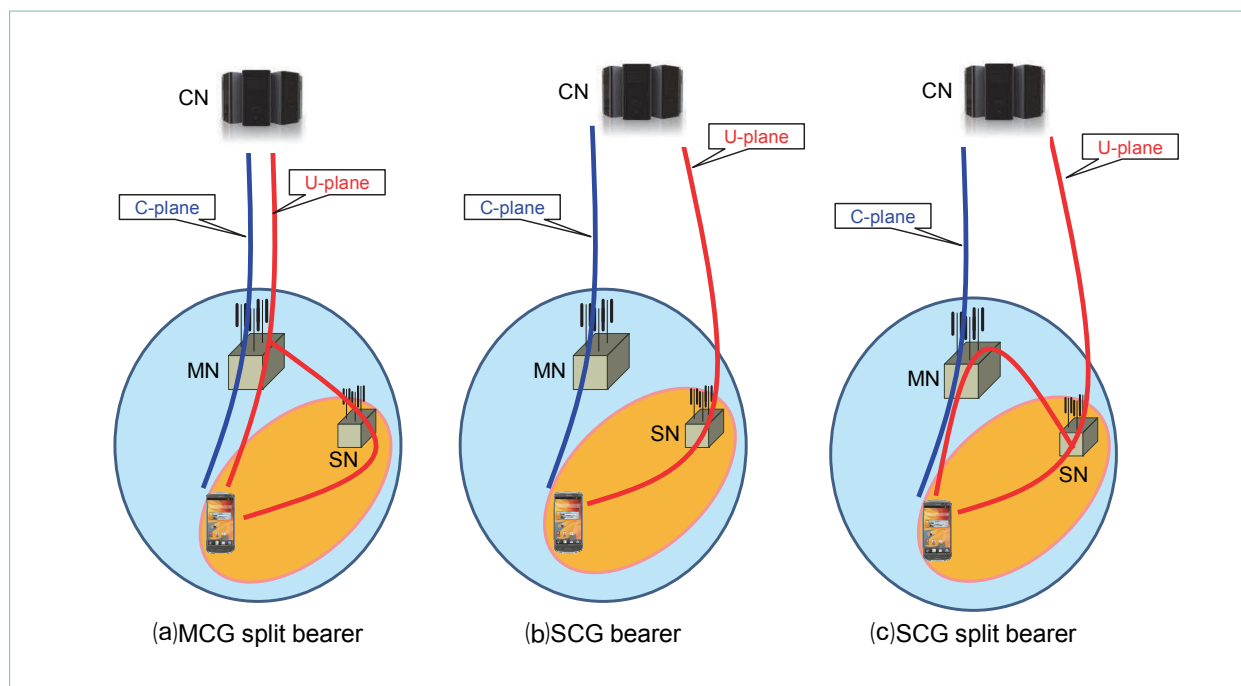


図1 LTE-NR DCにおけるU-plane bearer type

*4 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。

*5 キャリア: 情報を伝達するために変調される電波 (搬送波)。

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

*7 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) になり得る。

*8 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。

*9 X2インタフェース: eNB同士をつなぐインタフェース。

装置開発・運用コストの増加につながる。そこで、LTE基地局装置の増強を抑えつつ、その装置能力によるスループットの制約を回避するために、LTE-NR DCでは、ユーザデータの分岐点をSNで設定することができるようにSCG (Secondary Cell Group) split bearerが仕様化された (図1(c)参照)。SCG split bearerは、ユーザデータをSNのキャリアでのみ伝送する、SCG bearerというRelease 12仕様で規定されたベアラ (図1(b)参照) を、MNのキャリアも用いて同時にユーザデータを伝送できるよう拡張している。図1に示す通り、MCG split bearer、SCG split bearerは、ネットワーク側からみると、ネットワークにおけるデータ分岐点が異なっている。一方、端末からは両ベアラ共に、MN、SNの2つの基地局とデータ伝送を行っていると同じように見える。従って、端末の機能としては、MCG/SCG split bearerを等価な1つのベアラと定義し、端末が対応するベ

アラ種別を、標準仕様上削減する試みが、現在議論されている。

(2)DC中のLTE-NR間RRC (Radio Resource Control)^{*11} 独立制御

LTE DCでは、RRCプロトコルはMNと端末で終端されており、RRCメッセージをMNと端末との間でのみ送受信することができる (図2(a))。ただし、DC中に端末が接続する2つの基地局 (MNとSN) は、自身で無線のリソースを管理 (RRM: Radio Resource Management) している。例えば、SNを追加・変更する際には、SN自身がリソースを割り当て、X2インタフェースを介してSNとMNの間で連携を行ってから、SNのリソース設定が入っているRRCのメッセージをMNから端末に送信してもらうようにする。

LTE-NR DCでは、各ノードでRRMを行っている点に加えて、RRCプロトコルも、RAT (Radio Ac-

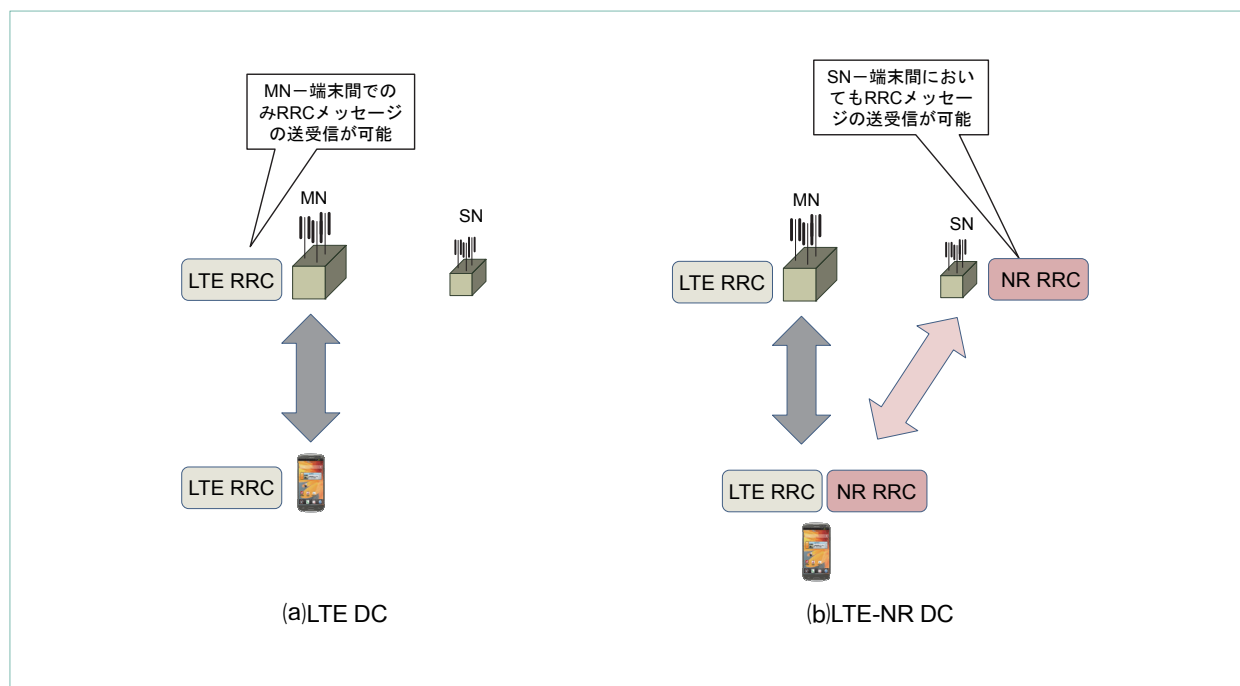


図2 DC中のLTE-NR間RRC独立制御

*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) になり得る。

*11 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。

cess Technology)^{*12}が異なるMNとSNで独立に存在し、端末とMN、端末とSNのそれぞれでRRCを独立に終端している。つまり、MNとの連携の必要がないリソースの割当てを設定するRRCメッセージを、SNから端末に直接送信することができる(図2(b))。また、RRCの終端が独立であるため、MNとSNが端末に対してRRCの測定(測定対象周波数、測定イベント、測定内容)を独自に設定することができる。ただし、端末のRRCコネクションやコンテキストは、MNで保持・管理されているため、SNは端末のRRCコネクションをリリースし、端末をRRC_IDLE^{*13}に遷移させることができない。
(3)C-plane^{*14}信号の送信ダイバーシチ^{*15}

(RRC diversity)

NRがスモールセル^{*16}基地局でネットワーク展開された場合のLTE-NR DCでは、NR基地局がSNとなるケースが多い。このようなケースでは、端末とNR基地局との距離が端末とLTE基地局との距離と比較して近くなり、端末とNR基地局とのパスロスが小さくなるため、この状況下では、RRCメッセージをSNから送信したほうが端末での受信成功確率が高くなる。LTE DCでは、前述の通り、RRCメッ

セージはMNからしか送信できず、加えて、データを分割(split)してMNとSNから送信する仕組みはユーザデータのみが対象であったため、SNからRRCメッセージを送ることができないという制約があった。LTE-NR DCでは、シグナリングデータの通信信頼性をあげるために、これらの制約を取り除き、シグナリングデータのSplit Bearerもサポートされた。よって、MNが生成したRRCメッセージを複製し、MNおよびSNから、複製したRRCメッセージを端末に送信し、端末でのメッセージ受信成功率を高めるダイバーシチ効果が期待される(RRC diversity, 図3)。

3. CU-DU functional split and open interface

LTEですでに採用されている無線アクセスネットワークのアーキテクチャとして、1つの集約ノードから複数の分散ノードを張り出し、ユーザの移動に伴うCNシグナリングの抑制や、セル間連携によるパフォーマンス向上などを実現できるC-RANがある[3]。NRでも、このような利点から同様のアー

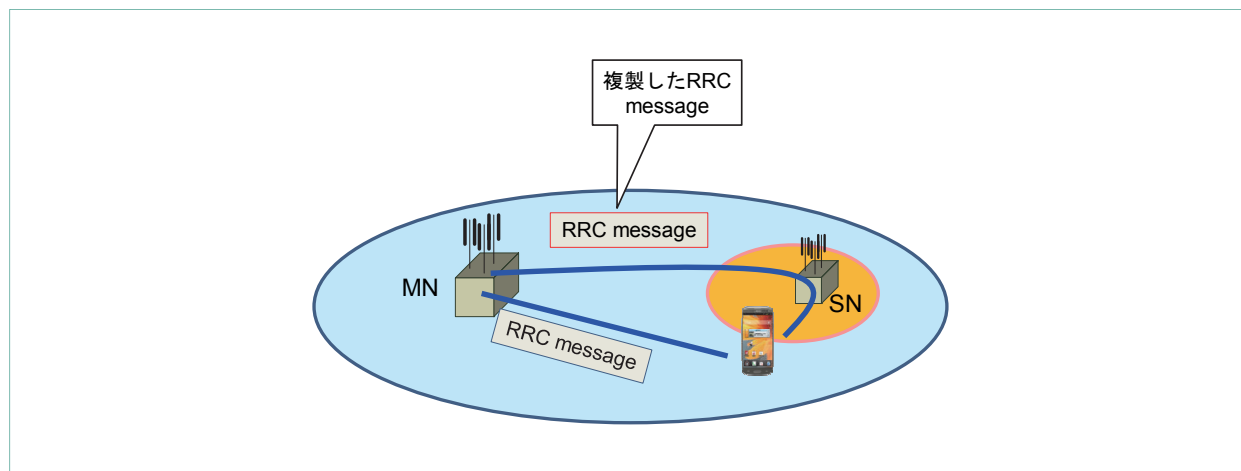


図3 C-plane信号送信ダイバーシチ

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

*13 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。

*14 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。

*15 送信ダイバーシチ: 送信アンテナ間のチャネルの変動の違いを利用してダイバーシチ利得を得る技術。

*16 スモールセル: マクロセル基地局と比較して送信電力が小さい基地局がカバーする通信可能エリアの総称。

キテクチャを用いることが想定されている。

現状のLTEに基づくC-RANでは、集約ノード・分散ノード間のフロントホールインタフェースとしてCPRI (Common Public Radio Interface)^{*17}が広く用いられている。CPRIではフロントホールで伝送するレイヤ2^{*18}信号フォーマットを標準規定しているが、その上で運ぶレイヤ3^{*19}信号（データ、制御信号）などはベンダ独自実装としている。そのため、異なるベンダの集約ノードと分散ノードを接続するマルチベンダC-RANを実現するには個別にベンダ間の調整を行う必要があった。

NRでは、マルチベンダC-RANをよりオープンに実現したいというオペレータ要望を汲み取り、集約ノードをCU (Central Unit)、分散ノードをDU (Distributed Unit) と定義し、その間のCU-DU interfaceを3GPPにて規定することが検討されている。

また、CPRIでは各アンテナで送受信される無線信号をデジタル信号としてフロントホールで伝送しているため、フロントホールの所要伝送帯域は無線の周波数帯域幅とアンテナ数に依存する。NRでは、LTEよりも広帯域の周波数帯域幅や多数のアンテナを用いるMassive MIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*20}技術を適用することが想定されるため、既存のCPRIを用いるとフロントホールの所要伝送帯域が激増する。例えば、LTE導入当初の一般的な構成（20MHzシステム帯域幅、2送受信アンテナ、2 MIMO送信レイヤ、64QAM (Quadrature Amplitude Modulation)^{*21}）の場合、ユーザデータレート150Mbps程度に対し、フロントホール所要帯域は2Gbps程度であるが、NRの検討に用いられた構成例（100MHzシステム帯域幅、32送受信アンテナ、8 MIMO送信レイヤ、256QAM）の場合、ユーザデータレート4Gbps程度に対し、フロントホール所要帯域は約160Gbpsも必要となる。この課題を解決するために、CU-DU間の機能分離（functional

split）を見直し、DU側へ機能を移すことで所要伝送帯域を低減することが検討された。例えば、下りリンクの機能部において、MIMO送信レイヤごとの信号をアンテナごとの信号へ拡張する機能をDUに配置することで、フロントホールではアンテナごとの信号伝送ではなく、MIMO送信レイヤごとの信号伝送となるため、「アンテナ数÷MIMO送信レイヤ数」の割合でフロントホールの所要帯域の低減が可能となる。さらに、PHYレイヤ（物理レイヤ）の機能部をすべてDUに配置する場合、すなわち、MAC (Media Access Control) レイヤ^{*22}とPHYレイヤの間でCU-DUを分離する場合、フロントホールでは量子化されたIQ^{*23}信号ではなく符号化前のユーザデータビット列の伝送となるため、ユーザデータレート相当まで所要帯域を低減することが可能となる。

NRのSI (Study Item)^{*24}では、このような新しいCU-DU機能分離とマルチベンダでの接続を実現するためのオープンなCU-DU interfaceが議論されており、ドコモも積極的に寄与している。新しいCU-DUの機能分離としては、フロントホールに使用され得るさまざまな伝送ネットワークに対応することを考慮して、想定するフロントホール遅延によってLower layer splitとHigher layer splitの2つの機能分離が検討された（図4）。Lower layer split（図4(a)）では、フロントホール所要帯域を低減しつつ、MACスケジューラやPHY処理も含めた高度なセル間連携による無線性能向上も可能とする、MACレイヤとPHYレイヤの間、もしくはPHYレイヤ内での機能分離が主に検討された。Lower layer splitでは、TTI (Transmission Time Interval) 単位の処理を行うMACレイヤとPHYレイヤがCU-DU間を跨る構成をとるため、フロントホールに使用される伝送ネットワークが高い遅延要求を満たすことを前提とする。一方、Higher layer split（図4(b)）では、

^{*17} CPRI：無線基地局の内部インタフェース仕様。産業団体でもあるCPRIによって規定されている。

^{*18} レイヤ2：OSI参照モデルの第2層（データリンク層）。

^{*19} レイヤ3：OSI参照モデルの第3層（ネットワーク層）。

^{*20} Massive MIMO：非常に多数のアンテナを用いるMIMO伝送技術の総称。

^{*21} QAM：QAM（直交振幅変調）とは、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。64QAMの場合は

64（2の6乗）種類のシンボルが存在するため、一度に6ビットを送信可能であるのに対して、256QAMの場合は256（2の8乗）種類のシンボルが存在するため、一度に8ビットを送信可能である。

^{*22} MACレイヤ：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、データマッピング、再送制御などを行うプロトコル。

^{*23} IQ：複素デジタル信号の同相（In-phase）および直交（Quadrature）成分。

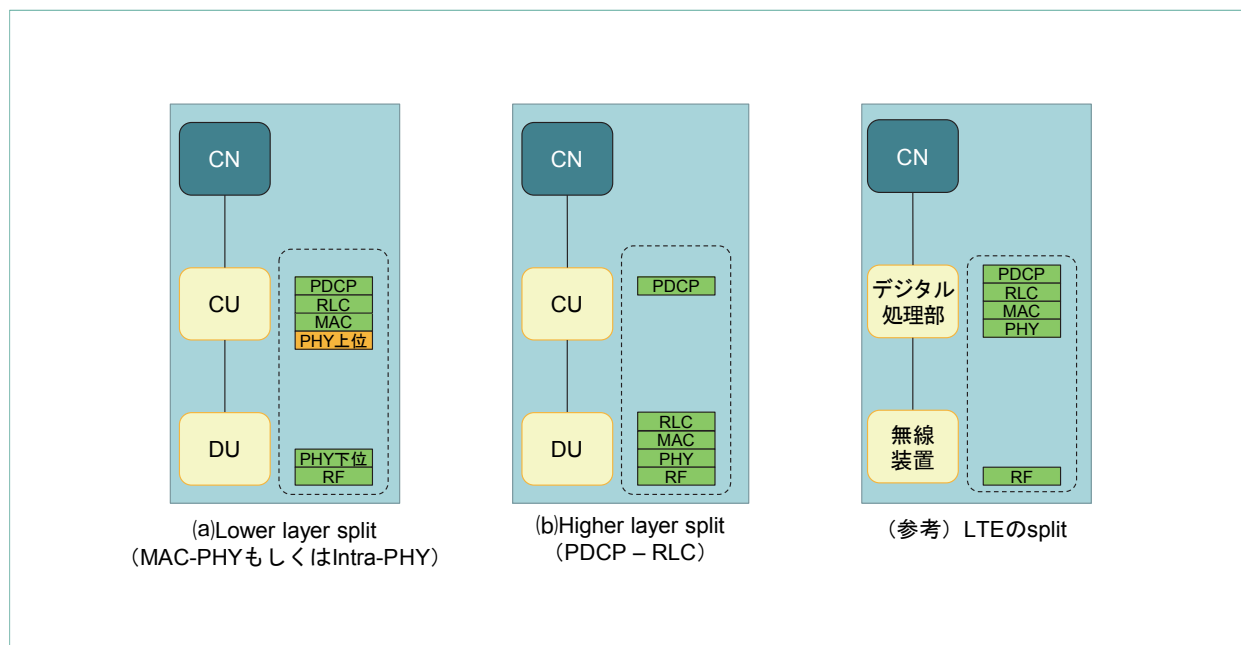


図4 CU-DU機能分離の構成例

遅延のより大きい伝送ネットワークをフロントホールに用いる場合も、フロントホール所要帯域を低減しつつC-RANによる集約メリットを享受可能とする、PDCPレイヤとRLCレイヤの間での機能分離と、その機能分離を用いたCU-DU間のインタフェースをF1インタフェースとしてRelease 15で標準規定することが合意された。

4. 5G無線アクセスネットワーク

LTE-NR DC, CU-DU functional split and open interfaceを実現する5G RANの構成と、U-plane^{*25}およびC-planeの無線プロトコルを以下に解説する。

4.1 RAN構成

3GPPにおけるNRのノンスタンドアローン運用とスタンドアローン運用について、本特集冒頭記事 [1] で概説した。図5ではそれぞれの運用に対応した5G

RANの構成を示す。図5に示すようにNRのノンスタンドアローン運用において、NRを提供する基地局であるen-gNB^{*26}は、LTEを提供する基地局であるeNBとはX2インタフェースを用いて接続する。従来、X2インタフェースはeNB間の接続に用いるインタフェースであるが、Release 15ではNRのノンスタンドアローン向けのRANにおいて、eNBとen-gNB間の接続にも用いるように拡張される。また、NRのノンスタンドアローン向けのRANにおいてeNBとen-gNBはEPC (Evolved Packet Core)^{*27}とS1インタフェース^{*28}を用いて接続する。

他方、NRのスタンドアローン向けのRANは、gNB^{*29}のみでサービス提供を可能とするもので、本特集冒頭記事 [1] で概説した新しいCN (5G Core Network) に接続する。gNB間はXnインタフェースを用いて接続し、gNB—5GC間はNGインタフェースを用いて接続する。

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

*25 U-plane: 制御信号の伝送路であるC-Planeに対して、ユーザデータの伝送路。

*26 en-gNB: NRのノンスタンドアローン向けのRANにおいてNR無線を提供する無線基地局。

*27 EPC: LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された、IPベースのコアネットワーク。

*28 S1インタフェース: EPCとeNBをつなぐインタフェース。

*29 gNB: NRのスタンドアローン向けのRANにおいてNR無線を提供する無線基地局。

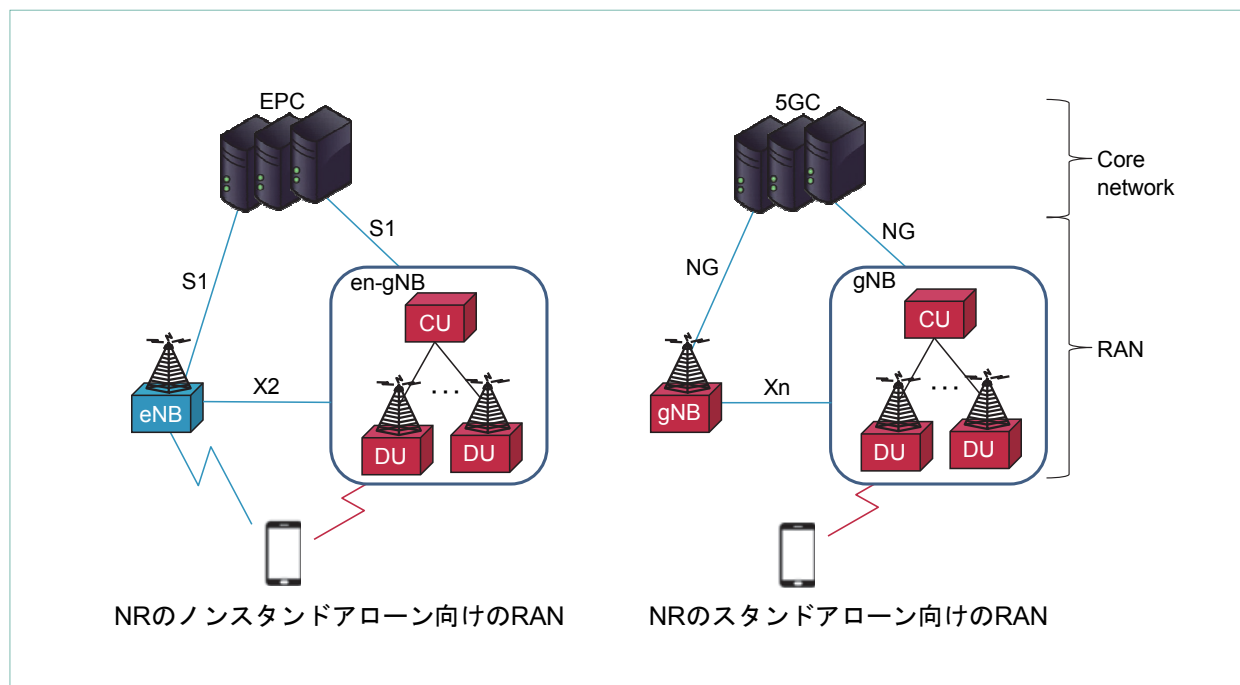


図5 5G RANの構成

4.2 U-plane無線プロトコル

LTEのU-planeプロトコルスタック^{*30}はPDCP（Packet Data Convergence Protocol）^{*31}/RLC（Radio Link Control）^{*32}/MACレイヤで構成されており、機器向けの通信（MTC：Machine Type Communication）端末のようなローエンド端末から1Gbps超えの高レートを実現するハイエンド端末まで、さまざまな端末をサポートする柔軟な仕様となっている。5Gでは、そのようなLTEのプロトコルスタックを基に設計を行い、5Gの要求条件や新たなユースケースに対応するための拡張がなされた。

(1) NR U-plane向けの主な拡張

LTEのQoS制御^{*33}はEPS（Evolved Packet System）^{*34}ベアラ単位で実施されており、EPSベアラと無線ベアラは一对一関係となっている。また、LTE-NR DCを用いて、ノンスタンドアローンNRをEPCで収容する場合（文献[1]参照）、対応するレイヤ

2プロトコルスタックはLTEと同じものが用いられる。

一方、5G向けの新しいCNでは、より柔軟で細やかなQoS制御を可能とするため、EPSベアラ単位ではなく、IPフロー単位でQoS制御が可能となっている。具体的には、CNと基地局間で確立される一本のPDU（Protocol Data Unit）^{*35} Session Tunnelを流れる複数のIPフロー各々が個別の無線ベアラへマッピングされることが可能となる。NRレイヤ2では、このIPフローと無線ベアラのマッピングを行うために、PDCPレイヤの上に新しくSDAP（Service Data Adaptation Protocol）レイヤが導入された（図6(a)）。SDAPレイヤではIPパケットがカプセリングされ、そのヘッダ内で対応するQoSを示す識別子が通知される。

PDCP以下のレイヤについては、接続するCNにかかわらず、さらなる無線区間の低遅延化・高速化

*30 プロトコルスタック：プロトコル階層。

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

*32 RLC：レイヤ2のサブレイヤの1つで、再送制御などを行うプロトコル。

*33 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。

*34 EPS：LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定され

た、IPベースのパケットネットワークの総称。

*35 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。

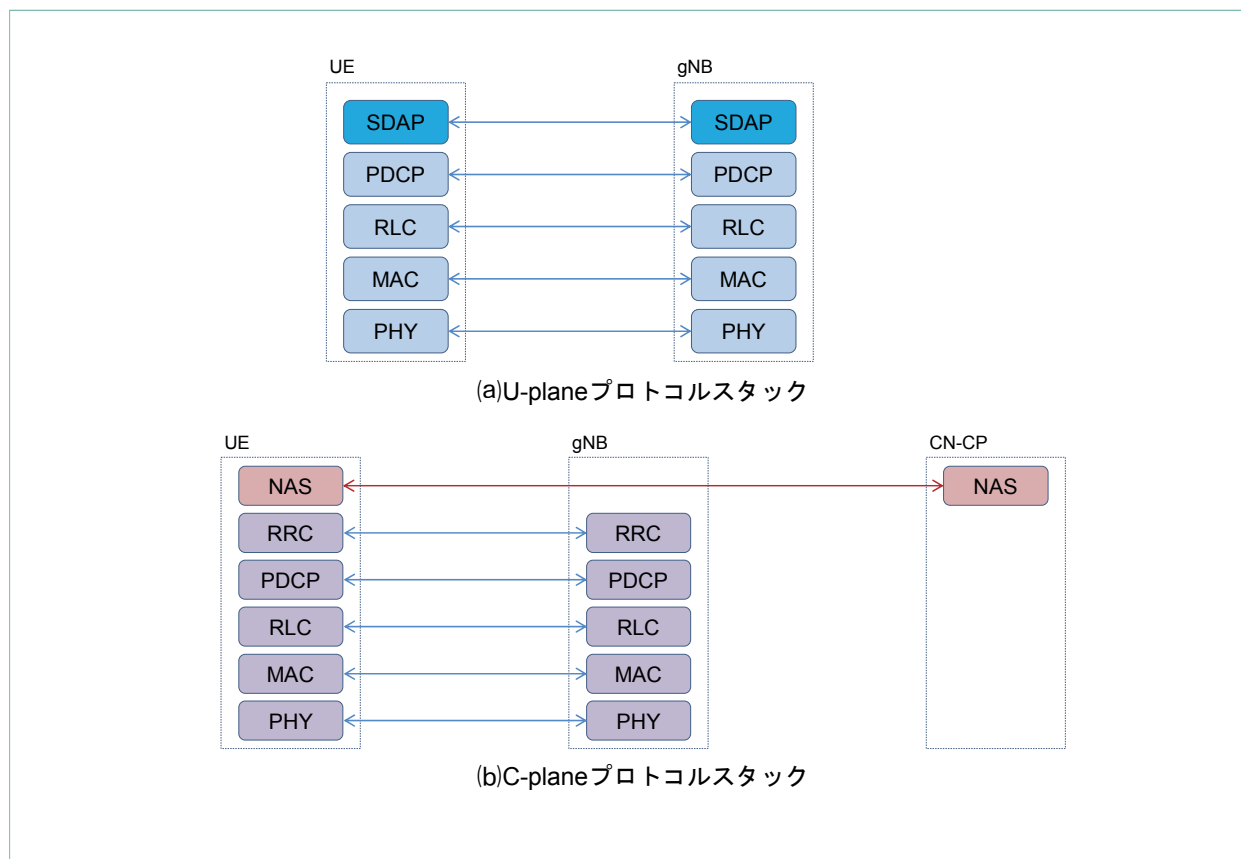


図6 NR無線I/Fプロトコルスタック

に対応するための変更が加えられている。例えば、大量のユーザデータを短いHARQ（Hybrid ARQ (Automatic Repeat reQuest)）^{*36} RTT（Round Trip Time）^{*37}内で送信可能するためには、より多くのレイヤ2処理をトランスポートブロックサイズ^{*38}決定より前に完了させ、また、より多くの処理を並列に実施可能とする必要がある。そのために、RLCにおいてトランスポートブロックサイズに基づいて実施されるベアラ内データ多重（Concatenation）処理を非サポートとすることでスケジューリング決定前にRLC PDU生成処理を完了させることが可能とされた。また、LTEのMAC PDUでは、MAC SDUの多重に関する情報をMAC PDUの先頭で示す

フォーマットとしていたため、多重処理完了後にしかMAC PDUを物理レイヤに送出することができなかったが、NRのMAC PDUでは、MAC SDUの多重に関する情報をMAC SDUの直前で示すフォーマットを定義することで、MACでの多重処理完了前にMAC SDUに対する物理レイヤの処理の実施を可能とした。NRにおけるデータフレーム構成の一例を図7に示す。上位から到来したIPパケットは、SDAPレイヤ、QoSに対応する無線ベアラへマッピングされ、無線ベアラに対応するPDCPレイヤ、RLCレイヤにて処理される。MACレイヤでは、複数の無線ベアラのRLC PDUを複数のMAC SDUとして、同一MAC PDU内に多重し、物理レイヤへ渡される。

*36 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。

*37 RTT：基地局一端末間の往復伝送に要する遅延時間。Higher Layer SplitではHARQを司るMACレイヤがDUにあるため、DU一端末間の遅延時間を考慮すれば良いが、LLSではHARQを司るMACレイヤがCUにあるため、CU-DU一端末間の遅延時間を考慮する必要がある。

*38 トランスポートブロックサイズ：物理レイヤでデータ伝達を行

う単位時間当りに伝送可能な情報量。

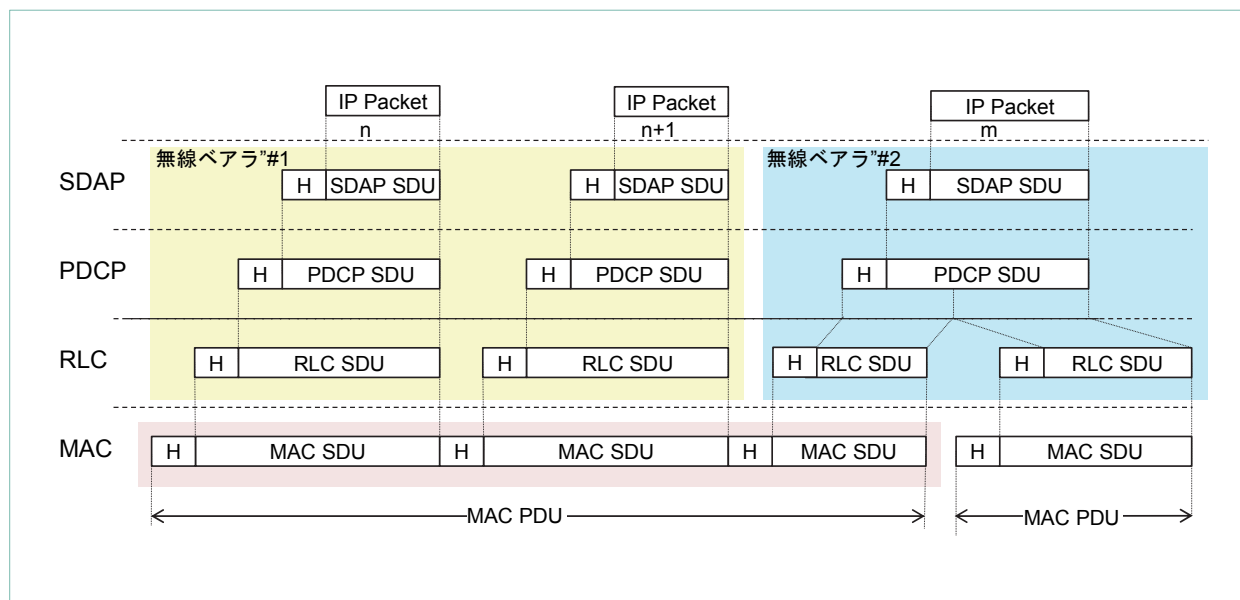


図7 U-planeデータフレーム構成

(2)高信頼通信を実現するための拡張

NR上位レイヤの標準化では、高信頼・超低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communication）向けに、無線区間の通信信頼性を向上させる技術としてPDCPレイヤでの重複送信制御が議論された。端末が通信を行う無線区間の状況は、無線品質や無線区間の混雑度などによってダイナミックに変わりうるため、1つのセルの通信では高信頼通信を実現することができない可能性がある。そこで、1つの端末に対して複数のCC（Component Carrier）^{*39}を用いて通信を行うCA（Carrier Aggregation）^{*40}やMC（Multi-Connectivity）^{*41}を適用することで周波数ダイバーシチ^{*42}を用いた無線区間の通信信頼性を向上させる制御が議論された。これを実現する無線のプロトコルアーキテクチャとして、図8のように1つのPDCPレイヤ以下に複数のRLCレイヤを設置するアーキテクチャが用いられる。PDCPレイヤで処理・複製されたパケットは各RLC entity^{*43}/論理チャネル^{*44}へ転送され、関連付けら

れたCCを介して送信される。受信側のPDCPレイヤは、時間的に早く受信できたパケットを処理し、遅れて届いたパケットは重複受信として破棄する。このように同一データを複数の無線リンクを用いて重複送信することで、1つの無線リンクの無線環境が悪くなった場合でも、他方の無線リンクを用いてデータを届けることができ、信頼性の高い通信が可能となる。

4.3 C-plane無線プロトコル

NRのC-planeプロトコルは、LTEと同様のRRCプロトコルを採用している。NRのC-planeプロトコルスタックを図6(b)に示す。NR RRCの基本的な機能は、LTEとほぼ同じであり、端末個別の呼制御やRRC状態管理、端末がセルに接続するための共通の情報（周波数情報、同周波数および異周波数の周辺セル情報、アクセス規制情報など）を報知する機能を備えている。端末個別の呼制御として、例えば、RRCコネクション確立、Admission Control^{*45}、

*39 CC：CAにおいて束ねられるキャリアを表す用語。

*40 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。

*41 MC：1つの端末が複数の基地局と同時に通信を行う接続形態。

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

*43 RLC entity：ベアラ単位でRLCレイヤの処理を行う機能部。

*44 論理チャネル：無線インタフェースにおいてどのような情報（ユーザデータ、制御情報など）を伝送させるかによって分けられるチャネル。

*45 Admission Control：呼受付制御の機能。

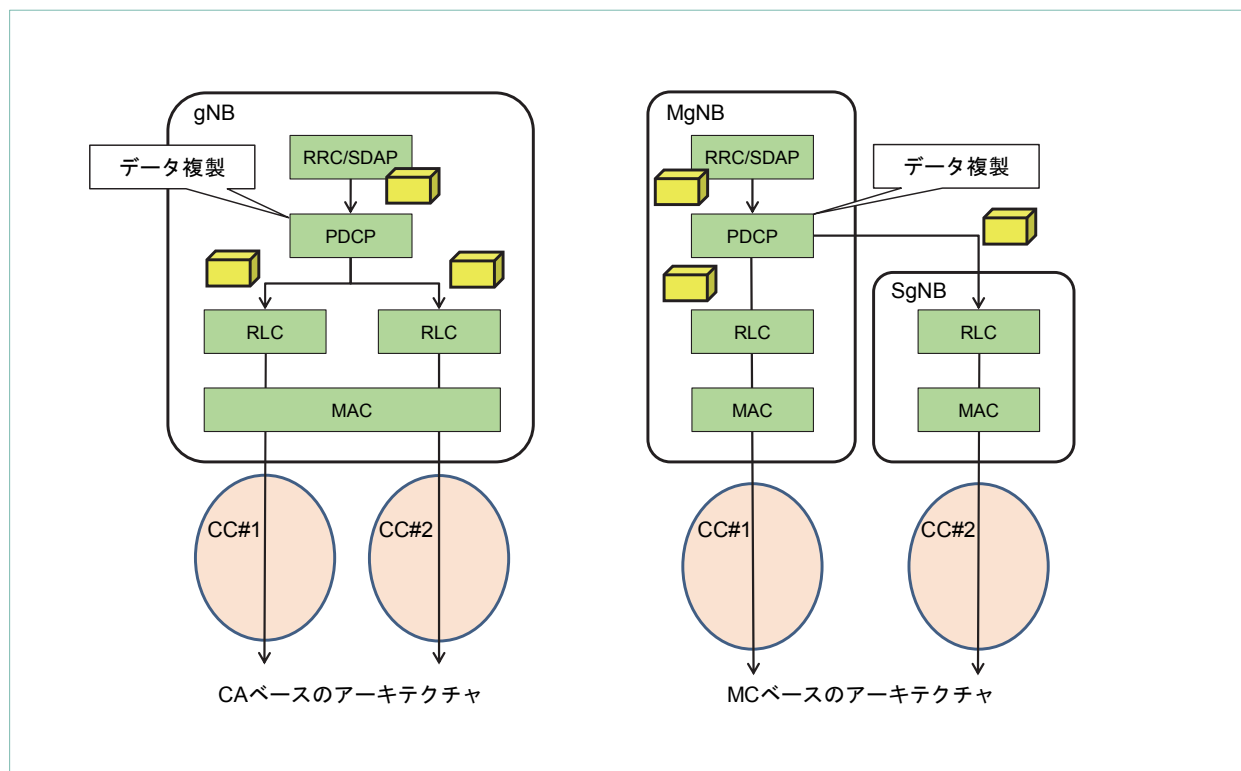


図8 PDCP重複送信におけるレイヤ2データフロー

RRMのための機能を備えている。さらに、報知情報^{*46}のためのリソースを効率化するために、常時報知が不要なサービス別や契約別の報知情報について、端末が必要なときにのみ、On demandで報知を開始する仕組みが検討されている。

また、RRC状態管理について、IoT（Internet of Things）のシナリオを考慮し、スモールデータ通信や静止端末における接続遅延やコネクション確立のための信号数の削減の目的に適したRRC状態であるRRC_INACTIVEを、NRを規定する3GPPの最初のRelease 15仕様から規定する。

つまり、LTEにおけるRRC_IDLEとRRC_CONNECTED^{*47}相当のものに上記を加えて、NRでは3つの端末状態が規定される。端末のNR RRC状態を図9に示す。

RRC_INACTIVE状態では、端末と基地局とコア

ネットワークではRRCおよびNAS（Non Access Stratum）^{*48}のコンテキストが保持されているが、端末の状態はほぼRRC_IDLEと同じであるため、省消費電力の実現が期待される。また、端末コンテキストを各ノードで保持することによってRRC_CONNECTED状態への復帰のための手順にかかる信号数の削減が図れる。

また、前述したノンスタンドアローン運用向けの、DC中のLTE-NR間RRC独立制御やRRC Diversityをサポートするために、RRCプロトコルの機能を拡張する。

5. あとがき

本稿では、3GPPにおけるSIの結果を基に、仕様

^{*46} 報知情報：移動端末における位置登録要否の判断に必要な位置登録エリア番号、周辺セル情報とそのセルへ在圏するための電波品質などの情報、および発信規制制御を行うための情報などを含み、セルごとに一斉通報される。

^{*47} RRC_CONNECTED：端末のRRCレイヤの状態の1つであり、端末は基地局内のセルレベルで識別でき、基地局において端末のコンテキストが保持されている。

^{*48} NAS：アクセス層（AS：Access Stratum）の上位に位置する、移動端末とコアネットワークとの間の機能レイヤ。

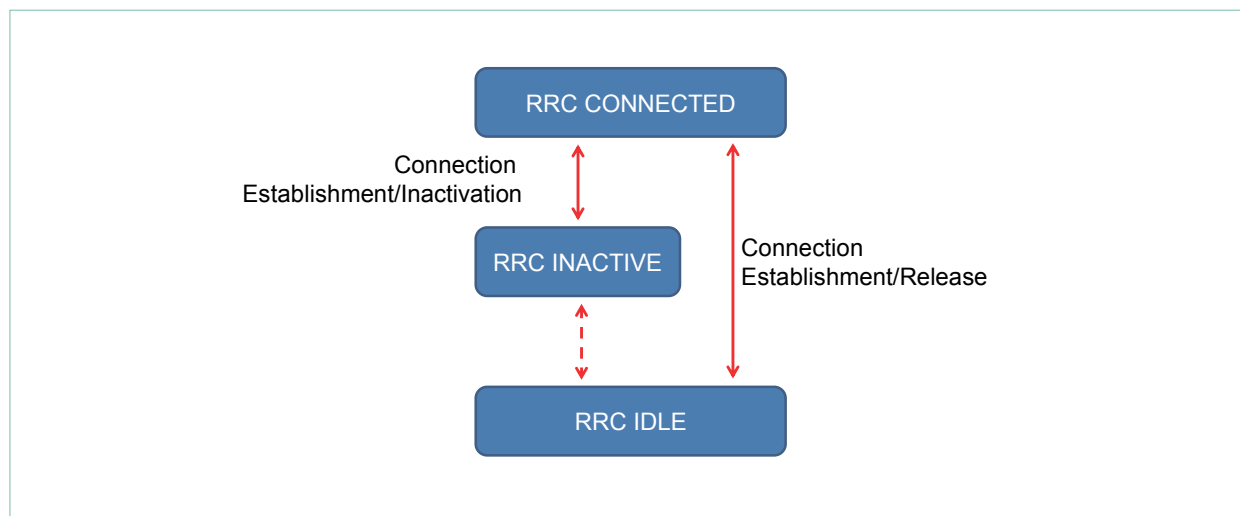


図9 NR RRC状態

化が予想される5G上位レイヤの主要要素技術を解説した。3GPPでは継続して、2017年12月のノンスタンドアローン運用向け標準仕様策定完了、および2018年6月のスタンドアローン運用向け標準仕様策定完了に向けて作業を進めている。ドコモは、3GPP RAN WG（Working Group）の中で、今後も積極的に技術提案を行い、標準仕様策定完了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] 内野，ほか：“さらなる高速大容量化を実現するキャリアアグリゲーション高度化およびDual Connectivity技術,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.35-45, Jul. 2015.
- [3] 安部田，ほか：“さらなるLTEの進化，スマートライフをサポートするLTE-Advancedの開発,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.6-10, Jul. 2015.

5Gコアネットワーク標準化動向

ネットワーク開発部 巳之口 淳 磯部 慎一

第5世代移動通信システム（5G）の早期導入に向けて、3GPP SAにおいて、5Gの要求条件を満たすためのコアネットワークの要素技術がさかんに検討され、2016年12月に基本検討が完了した。その検討内容を踏まえて、2017年1月より仕様化検討が本格的に開始されている。本稿では、今後仕様化が想定される5Gコアネットワークの要素技術を解説する。

1. まえがき

3GPP（3rd Generation Partnership Project）では、第5世代移動通信システム（5G）のサービス要求条件の実現に向けて、新しいコアネットワーク^{*1}（以下、5Gコアネットワーク）を、2018年6月までに3GPP Release 15仕様として策定する事が計画され、3GPP SA（Service and System Aspects）^{*2}で検討が行われている。本稿では、本特集冒頭記事 [1] で概説した5Gコアネットワークの主な要素技術を解説する。

2. 5Gコアネットワーク技術概要

2.1 端末／RAN／コアネットワークの機能分担

5Gでは、これまでと同様に端末、RAN（Radio Access Network）^{*3}、コアネットワークと分かれる構成とその機能分担は変わらないが、コアネットワーク内のノード構成が変更される。5Gにおけるコアネットワークアーキテクチャを図1に示す。

まず、U-plane^{*4}機能（UPF：User Plane Function）とC-plane^{*5}機能群が明確に分離されている。

©2017 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

† 現在、株式会社みらい翻訳

^{*1} コアネットワーク：交換機、加入者情報管理装置などで構成されるネットワーク。移動端末は無線アクセスネットワークを経由してコアネットワークとの通信を行う。

^{*2} SA：3GPPにおいて、サービス要求条件、アーキテクチャ、セキュリティ、コーデック、ネットワーク管理に関する仕様化を行っているグループ。

^{*3} RAN：コアネットワークと移動端末の間に位置する、無線基地局および無線回線制御装置などで構成されるネットワーク。

^{*4} U-plane：ユーザプレーン。ユーザデータの送受信処理を指す。

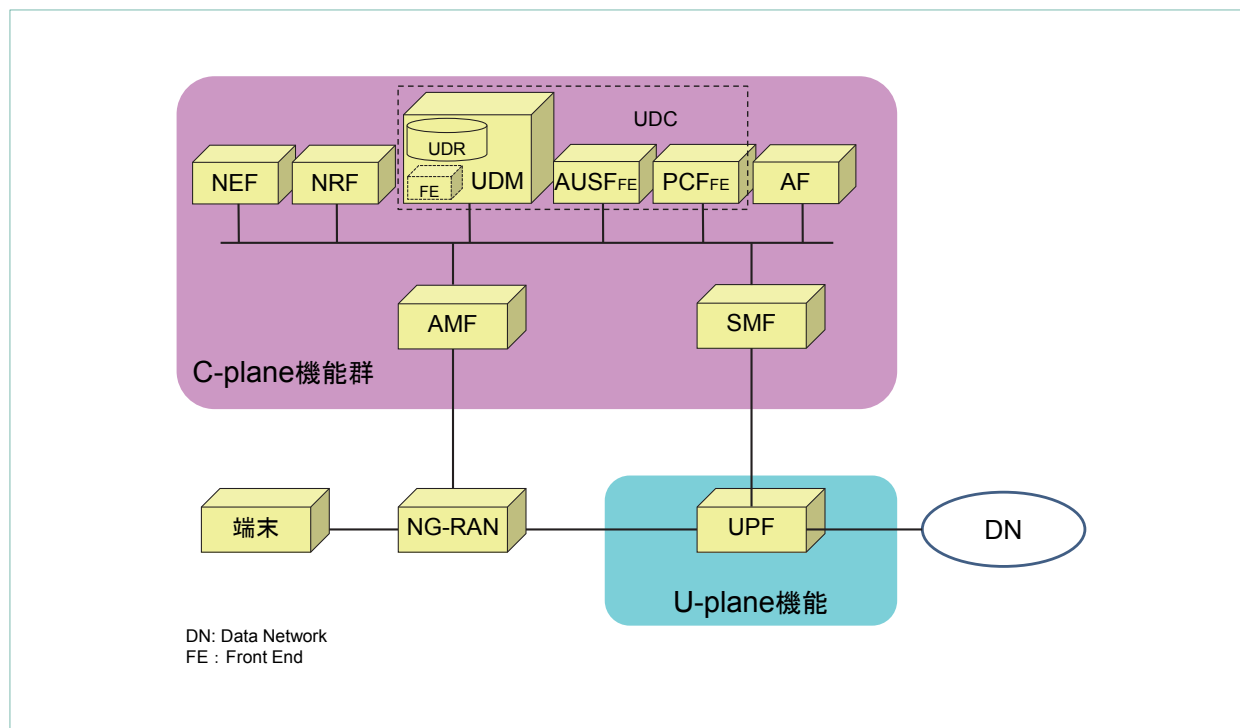


図1 5Gにおけるコアネットワークアーキテクチャ

これは、EPC（Evolved Packet Core）^{*6}仕様の拡充としてCUPS（Control and User Plane Separation）の項目名で検討されたC/U分離のコンセプトが引き継がれている。

(1)UPFの特徴

5GコアネットワークにおけるUPFは、CUPSにおけるS-GW（Serving GateWay）-U^{*7}、P-GW（Packet data network GateWay）-U^{*8}と同様の、U-plane処理に特化した機能を提供する。

(2)C-plane機能群の特徴

①AMFとSMFの分離

C-plane機能群は、EPCにおけるMME（Mobility Management Entity）^{*9}、S-GW-C^{*10}、P-GW-C^{*11}の機能分担を再整理し、モビリティ管理を司るAMF（Access and Mobility manage-

ment Function）とセッション^{*12}管理を司るSMF（Session Management Function）に明確に分離した。5Gコアネットワークでは、端末にかかわる管理は一カ所で行い、トラフィックは複数の個別ネットワークスライス^{*13}で扱う、との考えがあるため、従来のEPCのMMEのようにモビリティ管理に加えセッション管理の一部も行うノードは不都合であった。そこでモビリティ管理を一元的に配置し、セッション管理をネットワークスライスごとに配置できるよう、AMFとSMFに機能が再配分された。

②新たなノードの規定

EPCアーキテクチャにおけるHSS（Home Subscriber Server）^{*14}と同等のUDM（Unified Data Management）では、加入者情報を保持・

^{*5} C-plane：制御プレーン。通信の確立などをするためにやり取りされる、一連の制御処理を指す。

^{*6} EPC：LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された、IPベースのコアネットワーク。

^{*7} S-GW-U：3GPPアクセスシステムを収容する在圏パケットゲートウェイのうち、U-Plane機能を切り出したもの。

^{*8} P-GW-U：PDNとの接続点であり、IPアドレスの割当てや、S-GWへのパケット転送などを行うゲートウェイのうち、U-Plane機能を切り出したもの。

^{*9} MME：基地局（eNodeB）を収容し、モビリティ制御などを提

供する論理ノード。

^{*10} S-GW-C：3GPPアクセスシステムを収容する在圏パケットゲートウェイのうち、C-Plane機能を切り出したもの。

^{*11} P-GW-C：PDNとの接続点であり、IPアドレスの割当てや、S-GWへのパケット転送などを行うゲートウェイのうち、C-Plane機能を切り出したもの。

^{*12} セッション：データのやり取りを行うための仮想的な通信路、またはそのやり取りそのもの。

管理するUDR（User Data Repository）と加入者情報を処理するフロントエンド部を分離する、UDC（User Data Convergence）のコンセプトが導入された。加えてフロントエンド部には、認証処理機能に特化したAUSF（Authentication Server Function）とEPCにおけるPCRF（Policy and Charging Rule control Function）^{*15}に該当するPCF（Policy Control function）が新たに規定された。さらに、EPCにおけるSCEF（Service Capability Exposure Function）^{*16}と同等の機能を持つNEF（Network Exposure Function）や、アプリケーションサーバとしてAF（Application Function）も規定された。

なお、図には表れていないが、多様なアクセスの収容をめざし、NG（Next Generation）-RAN^{*17}以外のAN（Access Network）の接続も考慮される。

2.2 サービスベースアーキテクチャ

5Gコアネットワークアーキテクチャでは、ノード間の連携に着目した場合の、5G実現方式としてサービスベースアーキテクチャが採用された（図2）。本アーキテクチャでは、前述のAMFやSMFのようにネットワークに必要な個別機能群NF（Network Function）を定義し、これらNFがサービスベースインタフェースと呼ばれる統一的なインタフェースを介してそれぞれ接続される。NFはさらに細分化された複数の単機能のNFサービスで構成される。

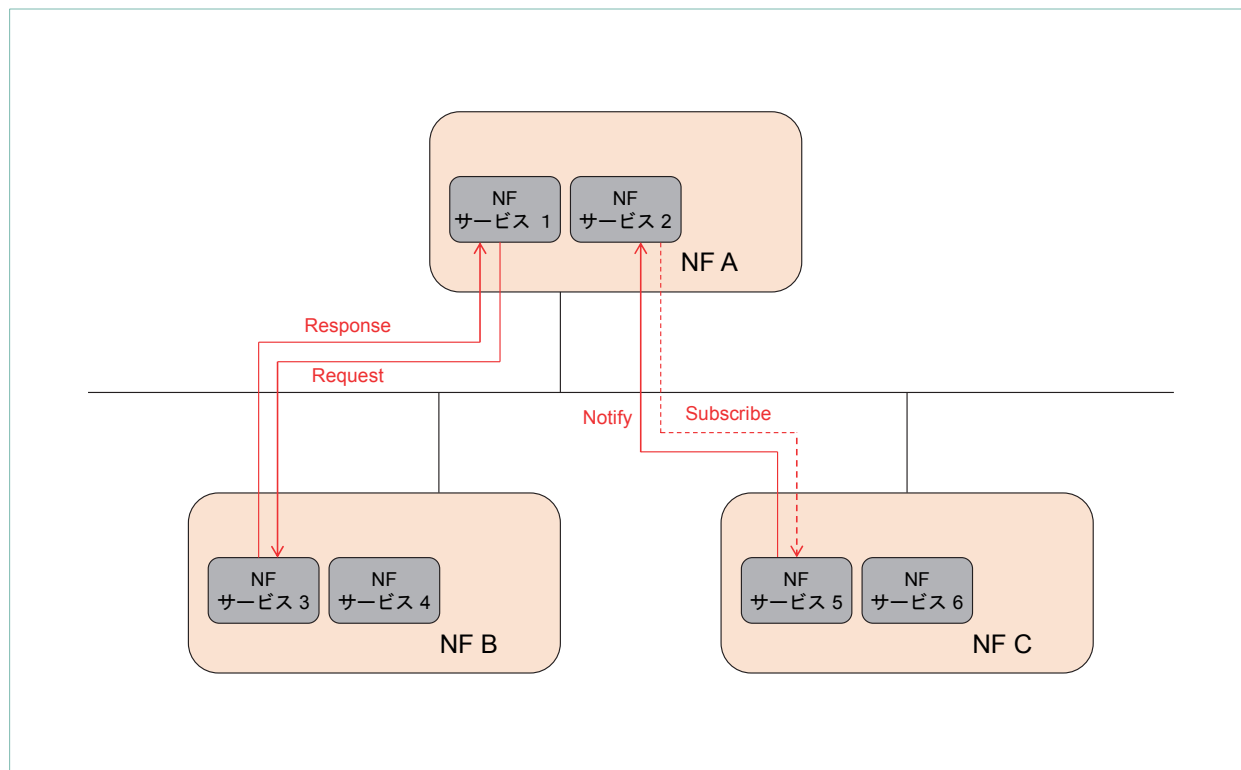


図2 サービスベースアーキテクチャ

*13 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。

*14 HSS：3GPP移動通信ネットワークにおける加入者情報データベースであり、認証情報および在圏情報の管理を行う。

*15 PCRF：ユーザデータ転送のQoSおよび課金のための制御を行うノード。

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

る論理ノード。

*17 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。

これらのNFサービスに、他のNFにあるNFサービスは、他ノードを介することなく直接アクセスできる。サービスベースアーキテクチャでは、必要なNFサービスの発見機能を提供するNRF（Network Repository Function）が規定された。

サービスベースインタフェースの具体的なプロトコルは検討中であるが、HTTP（HyperText Transfer Protocol）^{*18}ベースのRESTful^{*19}、その上でJSON（JavaScript Object Notation）^{*20}を使うことなどが議論されており、共通のプロトコルでネットワーク機能間の連携を統一する方向である。EPCのC-plane プロトコルとして利用されているGTP（General Packet Radio Service Tunneling Protocol）-C^{*21}は、採用しない方向である。

2.3 仮想化のさらなるサポート

5Gコアネットワークは仮想化を前提にしている。仮想化は、ハードウェアとソフトウェアの分離を目的としており、5Gアーキテクチャで使用する各種識別子は仮想化を考慮した構成となっている。またAMFなどの各機能が、端末のコンテキスト情報と呼処理を分離可能としている。

2.4 ネットワークスライスおよびセッション関連ノードの複数同時接続

EPCでは1台の端末は1つのS-GWのみに接続されるが、5Gでは1台の端末が複数のSMF/UPFに同時に接続することができる。異なる性能要件をもつトラフィックを効率的に収容するために、サービスごとにUPFを分ける。図3では、通常の音声・パケットサービスを収容するネットワークスライスと低遅延サービスを収容するネットワークスライスに同時に接続する場合を示す。複数あるSMF/UPFが個々のネットワークスライスに属し、NG-RANやAMFが

双方に共有されている状況を示している。低遅延サービス用のネットワークスライスでは、無線アクセスに地理的に近い位置にUPFを配置する。この場合、SMFは必ずしも複数必要ではないが、例えば、この低遅延サービスが特定の企業向けに提供される場合には、他サービスの輻輳状況などに影響されないよう、SMFも分離する。UPFの分散配置に伴う地理的な理由によってSMFを分けても良い。

2.5 移動管理およびセッション制御手順

5Gコアネットワークでは、各種処理手順も見直されている。主に移動管理およびセッション管理について以下に解説する。

- ①EPCにおけるCIoT（Cellular IoT）技術で採用された、セッション管理を含めないアタッチ^{*22}手順が、5Gコアネットワークの手順においても採用された。このアタッチ手順を登録管理手順とし、周期位置登録、移動による位置登録の手順としても使う。
- ②セッション管理では、多様なアクセスの収容をめざし、RANとコアネットワークのインタフェース、および、コアネットワーク内部において、移動通信網特有のベアラ^{*23}の概念を排除した。SMFが、端末およびNG-RANと連携し、EPCのPDN（Packet Data Network）^{*24}接続に相当するPDU（Protocol Data Unit）^{*25}セッションの設定／解放の制御を行う。
- ③ハンドオーバー^{*26}手順では、AMFとSMFが協調動作する。NG-RANとUPFの間のトンネルの終端点の交換などはNG-RANとSMFの間で行い、RATごとのハンドオーバー制約のNG-RANへの情報提供などはAMFが行う。ハンドオーバー発生時は、NG-RANよりAMFへ信号を送ることで、通信経路が切り替えられる。

^{*18} HTTP：WebブラウザとWebサーバの間で、HTML（HyperText Markup Language）などのコンテンツの送受信に用いられる通信プロトコル。

^{*19} RESTful：提供される情報を直接指示してステートレスに情報を取得／提供する考え方。

^{*20} JSON：JavaScript®のオブジェクト記述に基づくデータ記述言語。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。

^{*21} GTP-C：ユーザデータの伝送を行うために利用されるコアネットワーク内での通信経路の設定を行う通信プロトコル。

^{*22} 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。

^{*23} ベアラ：P-GW、S-GW、eNodeB、UE間で設定される論理的なユーザデータパケット伝達経路。

^{*24} PDN：EPCが接続する外部のネットワーク。

^{*25} 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。

^{*26} ハンドオーバー：通信中の端末が移動に伴い基地局をまたがる際、通信を継続させながら基地局を切り替える技術。

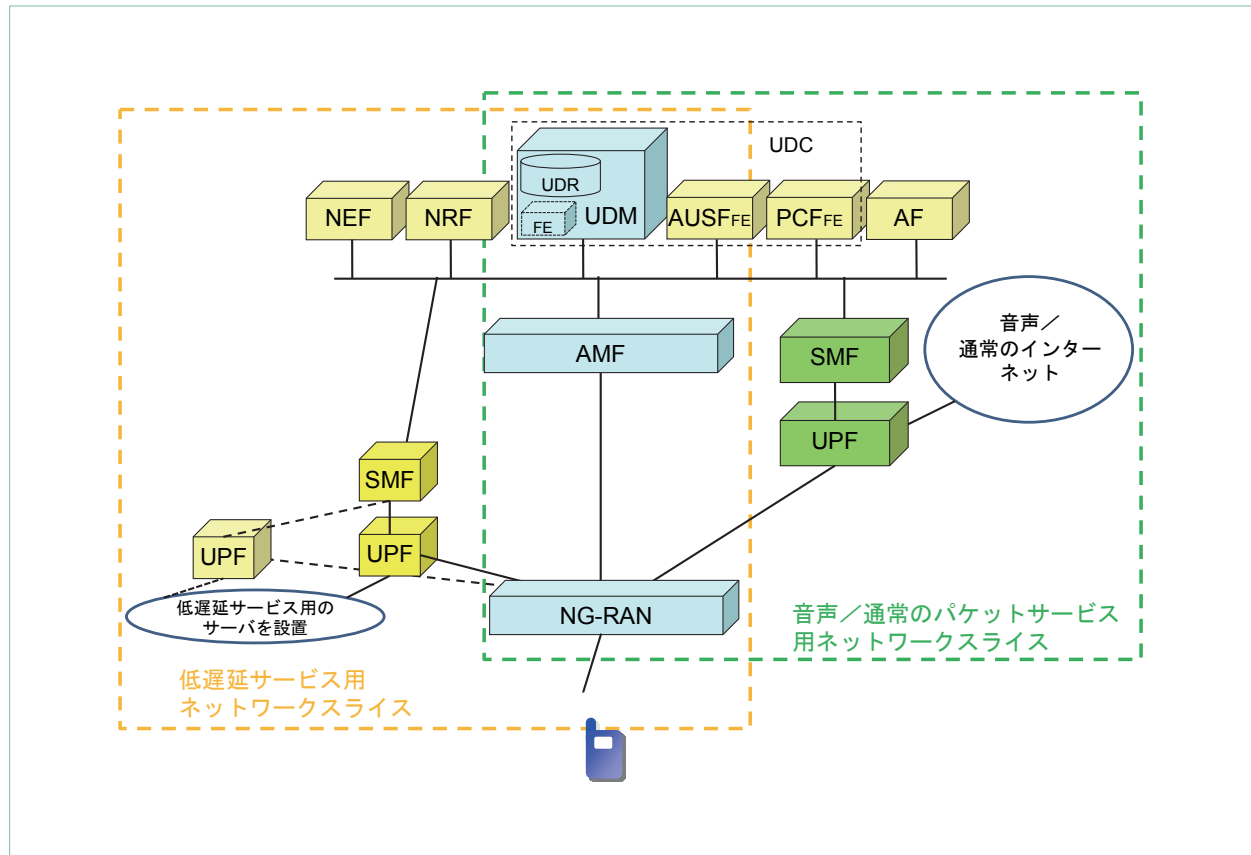


図3 セッション関連ノードの複数同時接続

④EPCではMMEがHSSより一元的に加入者情報を取得するが、5Gコアでは加入者情報の種類によりAMFもしくはSMFがUDMより取得する。つまり、AMFは移動管理に関連する情報、SMFはセッション管理に関連する情報を、それぞれUDMより取得する。

⑤前述した1台の端末の複数SMF/UPFへの同時接続に関連して、NG-RANとUPFの間の接続をプリザベーション^{*27}状態から復帰させる手順では、復帰を希望するPDUセッションのみ復帰できるとした。またハンドオーバーもPDUセッションごとにも可能とした。

⑥ネットワークエッジにEPCでのP-GW-U相当のUPFを設置する場合に備え、UPF間の接続の切替えをmake before break^{*28}で行う手順も整備している。

3. あとがき

本稿では、5Gコアネットワークの主要要素技術を解説した。3GPP SAおよび、プロトコル詳細検討を行う3GPP CT (Core network and Terminals)^{*29}では、これらの要素技術をRelease 15で仕様化すべく、表1に示すTR (Technical Report)、およびTS

^{*27} プリザベーション：ベアラが、P-GWとS-GWの間では保持されているが、S-GWとeNodeB間では解放されている状態。

^{*28} make before break：経路切替に際し、新たな経路を先に確立した後で、旧側の経路を削除する方式。

^{*29} CT：3GPPにおいて、コアネットワーク内、および移動端末とコアネットワーク間のプロトコルの仕様化を行っているグループ。

表1 アーキテクチャ、プロトコルの関連ドキュメント一覧

	文書名	完成時期
アーキテクチャ技術レポート	TR 23.799	2016.12完成済み
アーキテクチャ仕様書	TS 23.501	2017.9
	TS 23.502	2017.12
プロトコル技術レポート	TR 24.890, TR 29.890, TR 29.891, TR 31.890	2017.12
プロトコル仕様書	(今後作成開始予定)	(2018.6と想定)

(Technical Specification)を策定している。ドコモは、3GPPにおける5Gコアネットワークの標準化推進に寄与しており、今後も5Gコアネットワークのさらなる発展に貢献していく。

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.

ITU-RにおけるIMT-2020 無線インタフェースの標準化動向

先進技術研究所 5G推進室

ベンジャブール アナス

きたお こうしろう
北尾 光司郎あたらし ひろゆき
無線アクセス開発部 新 博行

ITU-Rでは、第5世代移動通信システム（5G）の国際標準化を念頭に置き、IMT-2020と呼ばれる名称を新たに定義し、IMT-2020無線インタフェースの標準化に向けた作業を開始している。本稿では、本作業にかかわるこれまでの検討状況や、今後の予定について解説を行う。

1. まえがき

国際電気通信連合無線通信部門（ITU-R：International Telecommunication Union-Radiocommunication sector）^{*1}では、表1に示す通り、第3世代移

動通信システム（IMT-2000：International Mobile Telecommunications-2000）およびIMT-2000の後継・発展システムであるIMT-Advancedについて、3GPP（3rd Generation Partnership Project）などの外部団体と連携して、無線インタフェースの国際

表1 ITU-Rにおける移動通信システムの標準化

名 称	位置づけ	勧告番号、代表的な無線インタフェース
IMT-2000	第3世代移動通信システム	勧告ITU-R M.1457 W-CDMA, HSPA, LTE, cdma2000, WiMAXなど
IMT-Advanced	IMT-2000の後継・発展システム	勧告ITU-R M.2012 LTE-Advanced, Wireless MAN-Advanced
IMT-2020	IMT-Advancedの後継・発展システム	（第5世代移動通信システム（5G）の標準化を念頭に、2020年に勧告を策定）

*1 国際電気通信連合無線通信部門（ITU-R）：電気通信分野における国際連合の専門機関である国際電気通信連合（ITU）の無線通信部門で、無線通信に関する国際的規則である無線通信規則の改正に必要な検討、無線通信の技術・運用などの問題の研究、勧告の作成および周波数の割当て・登録などを行う機関。

標準化（ITU-R勧告策定）を実現してきた。現在ITU-Rでは、第5世代移動通信システム（5G）に対する世界的な関心の高まり、技術開発の進展状況を踏まえ、IMT-Advancedの後継・発展システムとしてIMT-2020という名称^{※1}を定義し [1]、その無線インタフェースの国際標準化に向けた作業を開始している。本稿では、本作業の詳細検討を所掌しているITU-R WP 5D（Working Party 5D）におけるこれまでの検討状況や、今後の予定について解説を行う。

2. ビジョン勧告の策定

5Gに対する研究開発が活発化するのに合わせて、ITU-Rでは、2020年およびそれ以降の移動通信システムに対するビジョンの検討が行われた。その検討結果は、2015年9月に発行された勧告ITU-R M.2083にまとめられている [2]。本勧告において、IMT-2020システムの代表的な利用シナリオとして図1に示す通り、①モバイルブロードバンドのさらなる高度化（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）、②多

数同時接続を実現するマシンタイプ通信（mMTC：massive Machine Type Communications）、③高信頼・超低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）の3つがまとめられた。また、これらの利用シナリオを実現するための、IMT-2020がもつべき主要な能力（Capability）が、IMT-Advancedに比較してどの程度向上するかが分かる形で、図2に示す通りにまとめられた。本図に示されるように最大伝送速度（20Gbps）、多数同時接続（1,000,000device/km²）、低遅延（1ms）などの能力を実現することが、IMT-2020のビジョンとして示されている。

3. IMT-2020無線インタフェース標準化に向けたスケジュール

勧告ITU-R M.2083の完成を受け、ITU-Rでは本勧告におけるビジョンを具現化するIMT-2020無線インタフェースのITU-R勧告策定に向けたスケジュールを、図3に示す通りに策定した。ITU-R勧

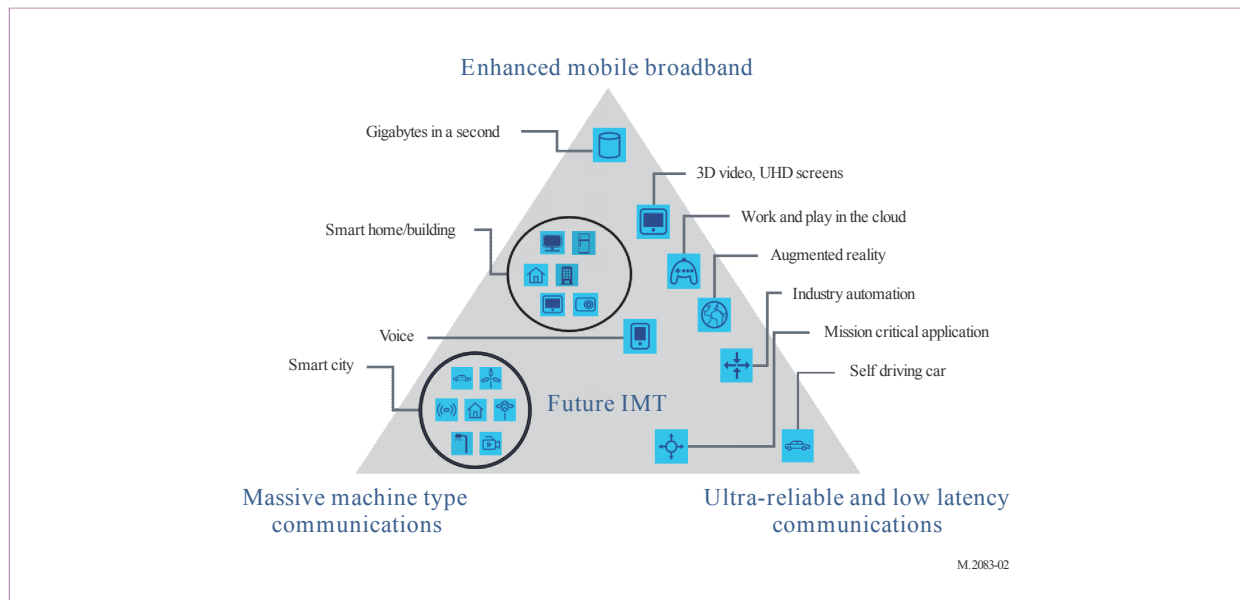
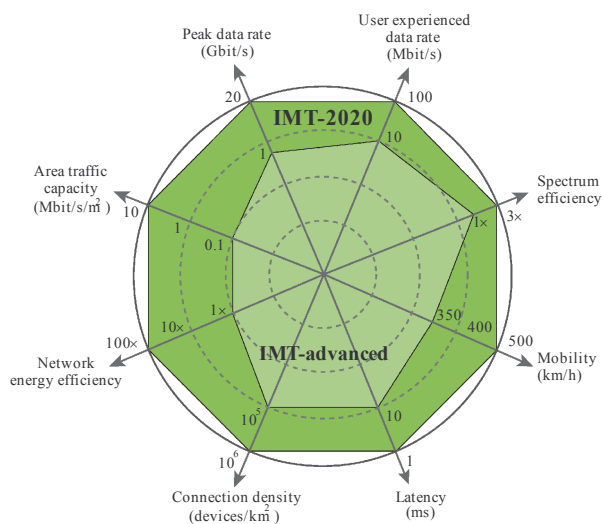


図1 IMT-2020の代表的な利用シナリオ（勧告ITU-R M.2083の図2より）

※1 ITU-Rでは、IMT-Advancedの検討以降、「第5世代移動通信システム」という名称の利用を避けている。ただし、IMT-2020無線インタフェースの標準化は、5Gの国際標準化を念頭に置いた作業である。



M.2083-03

図2 IMT-2020がもつべき能力（勧告ITU-R M.2083の図3より）

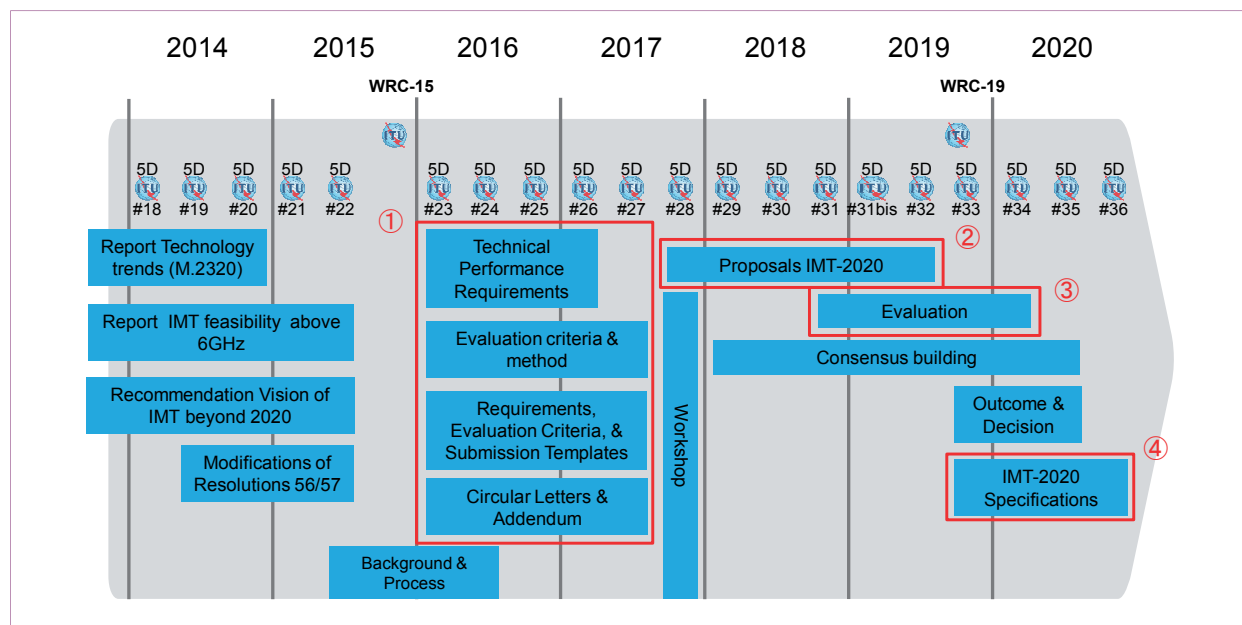


図3 IMT-2020無線インタフェース勧告化に向けた作業スケジュール（ITU-R WP 5Dのホームページより）

告策定に向けては、これまでと同様に、以下のステップで検討を進めることが合意されている。

- ①ITU-RがIMT-2020無線インタフェースに求める要求条件を設定し、外部団体などに提案を募

る（2016年～2017年前半）。

- ②外部団体などが、ITU-Rに対して無線インタフェースの提案を行う。提案者は、その提案内容がITU-Rの要求条件を満たしていることを示

す自己評価結果を提出する（2017年後半～2019年前半）。

- ③提案内容および自己評価結果の情報に基づき、ITU-Rに登録された評価団体が、当該提案がITU-Rの要求条件を満たしているかの外部評価を行う（2018年後半～2020年前半）。
- ④外部団体での評価結果なども踏まえて、ITU-Rで勧告する無線インタフェースの合意形成、具体的な勧告文書の作成を行う（2019年後半～2020年後半）。

これにより、ITU-Rが外部団体などからの提案を受け付ける期間は2017年10月～2019年6月の期間となり、ITU-R勧告の完成は2020年後半が予定されている。

4. IMT-2020無線インタフェース標準化にかかわる文書

ITU-R WP 5Dにより、IMT-2020無線インタフェースに求める要求条件などを規定する3つのITU-Rレポートが新たに策定された^{※2}。ITU-Rへの提案を行う外部団体などは、本ITU-Rレポートの内容に従って、提案を行う必要がある。さらに、IMT-2020無線インタフェースの提案・評価プロセスの詳細を規定した文書も作成されている。

4.1 レポートITU-R M. [IMT-2020. SUBMISSION]

本ITU-Rレポートは、IMT-2020無線インタフェースの提案にかかわる要求条件や、提案を提出する際の所定の様式を規定したものである [3]。

まず、サービスに関する要求条件として、勧告ITU-R M.2083で示された利用シナリオ（eMBB, mMTCおよびURLLC）を複数サポートすることが求められている。

また、周波数に関する要求条件として、①ITUの無線通信規則でIMTへの利用に特定されている周波数での利用を1つ以上サポートしていること、②24.25GHz以上の周波数の利用をサポートしていること、が求められている。後者の要求条件については、5Gの新たな特徴を踏まえて策定されたものである。

さらに、技術性能要求条件についても規定が行われているが、その詳細は、次節で示すレポートITU-R M. [IMT-2020. TECH PERF REQ] を参照する形を取っている。

4.2 レポートITU-R M. [IMT-2020. TECH PERF REQ]

本ITU-RレポートはIMT-2020無線インタフェースに求める13項目の技術的性能要求条件の定義および要求値を規定したものである [4]。その詳細を表2に示す。例えば、eMBBでは、IMT-2020の周波数利用効率^{※2}の要求条件として、IMT-Advancedの約3倍の要求値が設定されている。さらに、mMTCやURLLCでは、同時接続数や遅延・信頼度に関する要求条件がそれぞれ設定されている。また、本表に示される通り、いくつかの技術的性能要求条件については、後述する試験環境（Test environment）に応じて、要求条件・要求値の設定が行われている。

なお3GPPにおいても、5G無線インタフェースの仕様検討にあたり、目標とする要求条件および要求値を定義している。ITU-Rで設定された技術的性能要求条件は、対応する3GPPの要求条件とほぼ同等なものとなっている [5]。ただし、ITU-Rの技術的性能要求条件には、3GPPにはない項目（例：サポートすべき帯域幅）も含まれている。

4.3 レポートITU-R M. [IMT-2020. EVAL]

本ITU-RレポートはIMT-2020無線インタフェース

※2 現段階では、新レポート案のステータスにある。2017年11月に開催されるStudy Group 5での承認手続き後、正式なITU-Rレポートとして発行される予定である。

※2 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。

表2 IMT-2020無線インタフェースの技術的性能要求条件, 要求値および評価方法

	Test environment Requirement		Indoor Hotspot- eMBB	Dense Urban-eMBB	Rural-eMBB	Urban Macro-mMTC	Urban Macro-URLLC	Evaluation methodology
1	Peak data rate		Downlink: 20Gbit/s, Uplink: 10Gbit/s			—	—	Analytical
2	Peak spectral efficiency		Downlink: 30bit/s/Hz, Uplink: 15bit/s/Hz			—	—	Analytical
3	User experienced data rate		—	Downlink: 100Mbit/s Uplink: 50Mbit/s	—	—	—	Analytical for single band and single layer cell layout Simulation for multi- layer cell layout
4	5 th percentile user spectral efficiency		Downlink: 0.3bit/s/Hz Uplink: 0.21bit/s/Hz	Downlink: 0.225bit/s/Hz Uplink: 0.15bit/s/Hz	Downlink: 0.12bit/s/Hz Uplink: 0.445bit/s/Hz	—	—	Simulation
5	Average spectral efficiency		Downlink: 9bit/s/Hz Uplink: 6.75bit/s/Hz	Downlink: 7.8bit/s/Hz Uplink: 5.4bit/s/Hz	Downlink: 3.3bit/s/Hz Uplink: 1.6bit/s/Hz	—	—	Simulation
6	Area traffic capacity		10Mbit/s/m ²	—	—	—	—	Analytical
7	Latency	User plane	4ms			—	1ms	Analytical
		Control plane	20ms			—	20ms	Analytical
8	Connection density		—	—	—	1 000 000 device/km ²	—	Simulation
9	Energy efficiency		Shall have the capability to support a high sleep ratio and long sleep duration.			—	—	Inspection
10	Reliability		—	—	—	—	1-10 ⁻⁵ success prob- ability of transmitting a layer 2 PDU (pro- tocol data unit) of 32 bytes within 1ms	Simulation
11	Mobility		Normalized traffic channel link data rates of 1.5 bit/s/Hz at 10 km/h in the uplink	Normalized traffic channel link data rates of 1.12 bit/s/Hz at 30 km/h in the uplink	Normalized traffic channel link data rates of 0.8 and 0.45 bit/s/Hz at 120 and 500 km/h, respectively, in the uplink	—	—	Simulation
12	Mobility interruption time		0ms			—	0ms	Analytical
13	Bandwidth		At least 100MHz Shall support bandwidths up to 1GHz for operation in higher frequency bands (e.g. above 6GHz).					Inspection

スの要求条件に対する評価方法, 試験環境および評価構成の詳細, 評価に用いるチャネルモデルの構成を規定したものである [6].

(1)評価方法 (Evaluation methodology), 試験環境 (Test environment) および評価構成 (Evaluation configuration)

表2の右欄に示される通り, 各要求条件の評価方

法として、検査（Inspection）、解析（Analytical）、シミュレーション（Simulation）の3つの方法が定義されている。また、所定の要求条件を評価するため、勧告ITU-R M.2083で示された3つの代表的な利用シナリオ（eMBB, mMTC, URLLC）を考慮した上で、次の5つの試験環境が定義されている。

- ・ Indoor Hotspot-eMBB：eMBB利用を想定した屋内環境
- ・ Dense Urban-eMBB：eMBB利用を想定した密集都市部環境
- ・ Rural-eMBB：eMBB利用を想定したルーラル

環境

- ・ Urban Macro-mMTC：mMTC利用を想定した都市部環境
- ・ Urban Macro-URLLC：URLLC利用を想定した都市部環境

さらにこれらの各試験環境に対して、表3および表4に示す通り、1つ以上の評価構成、すなわち評価パラメータのセットが規定されている。提案された無線インタフェースが、試験環境に対応した要求条件を満たしていると判断されるためには、少なく

表3 eMBB向けの試験環境の評価構成

Parameters	Indoor Hotspot-eMBB			Dense Urban-eMBB			Rural-eMBB		
	Spectral efficiency, mobility and area traffic capacity evaluations			Spectral efficiency and mobility evaluations		User experienced data rate evaluation	Spectral efficiency and mobility evaluations		Average spectral efficiency evaluation
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Carrier frequency for evaluation	4GHz	30GHz	70GHz	4GHz (Macro layer only)	30GHz (Macro layer only)	4GHz & 30GHz (Macro + Micro layers)	700MHz	4GHz	700MHz
Base station (BS) antenna height	3m	3m	3m	25m	25m	25m for Macro BSs and 10m for Micro BSs	35m	35m	35m
Inter-BS distance	20m	20m	20m	200m	200m	200m (Macro layer)	1,732m	1,732m	6,000m
Number of antenna elements at BS	Up to 256 Tx/Rx	Up to 256 Tx/Rx	Up to 1024 Tx/Rx	Up to 256 Tx/Rx	Up to 256 Tx/Rx	Up to 256 Tx/Rx	Up to 64 Tx/Rx	Up to 256 Tx/Rx	Up to 64 Tx/Rx
Number of antenna elements at user terminal	Up to 8 Tx/Rx	Up to 32 Tx/Rx	Up to 64 Tx/Rx	Up to 8 Tx/Rx	Up to 32 Tx/Rx	4GHz: Up to 8 Tx/Rx 30GHz: Up to 32 Tx/Rx	Up to 4 Tx/Rx	Up to 8 Tx/Rx	Up to 4 Tx/Rx
User deployment	100% indoor 3km/h	100% indoor 3km/h	100% indoor 3km/h	80% indoor 3km/h, 20% outdoor (in-car) 30km/h	80% indoor 3km/h, 20% outdoor (in-car) 30km/h	80% indoor 3km/h, 20% outdoor (in-car) 30km/h	50% indoor 3km/h, 50% outdoor (in-car) 120km/h, 500km/h for mobility evaluation	50% indoor 3km/h, 50% outdoor (in-car) 120km/h, 500km/h for mobility evaluation	40% indoor 3km/h, 40% outdoor 3km/h, 20% outdoor (in-car) 30km/h

とも1つの評価構成において要求条件を満たす必要がある。試験環境の配下に複数の評価構成を定義することにより、IMT-2020がサポートする多様な周波数帯、展開シナリオ、利用シーンを取りまとめた形となっているが、これはITU-R WP 5Dに提出さ

れたさまざまな意見を吸い上げた結果でもある。

(2)チャンネルモデル^{*3}の概要

シミュレーションの評価方法に用いるチャンネルモデルの構成を図4に示す。システムシミュレーションの基本モデルは、プライマリモジュールと呼ばれ、

表4 mMTCおよびURLLC向けの試験環境の評価構成

Parameters	Urban Macro-mMTC		Urban Macro-URLLC	
	Connection density evaluation		Reliability evaluation	
	A	B	A	B
Carrier frequency for evaluation	700MHz	700MHz	700MHz	4GHz
Base station (BS) antenna height	25m	25m	25m	25m
Inter-BS distance	500m	1,732m	500m	500m
Number of antenna elements at BS	Up to 64 Tx/Rx	Up to 64 Tx/Rx	Up to 64 Tx/Rx	Up to 256 Tx/Rx
Number of antenna elements at user terminal	Up to 2 Tx/Rx	Up to 2 Tx/Rx	Up to 4 Tx/Rx	Up to 8 Tx/Rx
User deployment	80% indoor 3km/h, 20% outdoor 3km/h	80% indoor 3km/h, 20% outdoor 3km/h	20% indoor 3km/h, 80% outdoor 30km/h	20% indoor 3km/h, 80% outdoor 30km/h

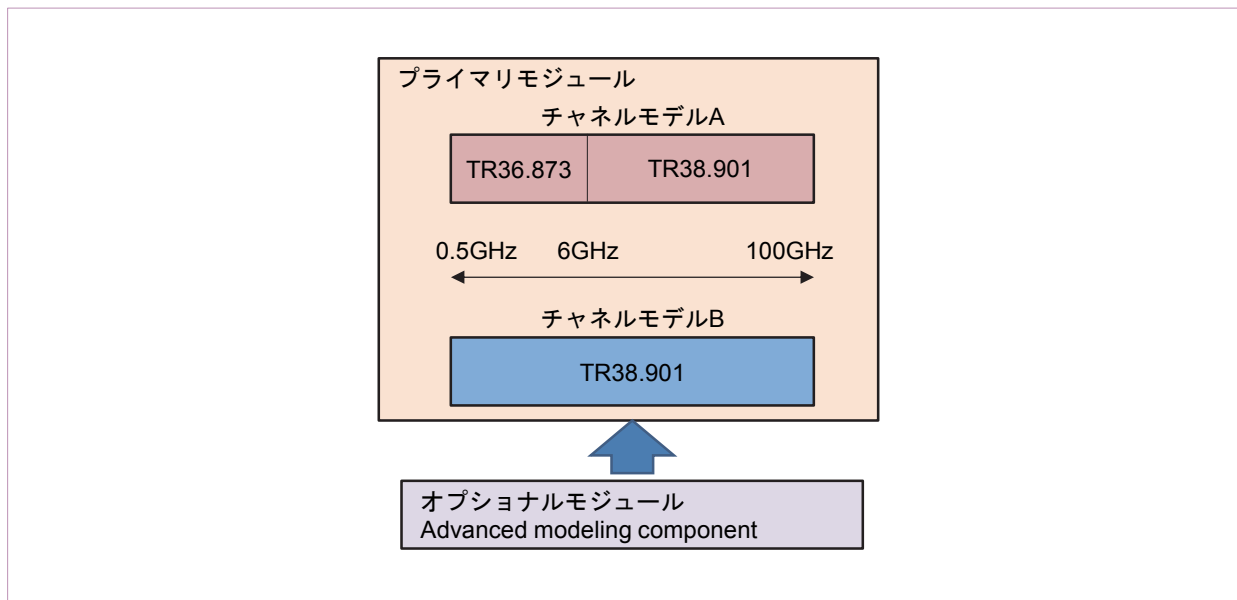


図4 チャンネルモデルの構成

^{*3} チャンネルモデル：無線通信システムの性能評価を行うために用いられる電波の振舞いを模擬したモデル。

パスロスモデル、見通し率モデルおよびファーストフェージングモデルより構成されている。ITU-R WP 5Dの議論では、プライマリモジュールを1つのモデルに統一すべく精力的に議論が行われたが、最終的にはチャンネルモデルAおよびBの2つのモデルが規定された。チャンネルモデルAは、0.5～6GHzに対して3GPPのTR36.873 [7] に記載のモデルを、6～100GHzに対して3GPPにおいて5G向けの評価に新たに規定されたTR38.901 [8] に記載のモデルを採用している。一方、チャンネルモデルBは、0.5～100GHzの周波数範囲全体に対して、TR38.901に記載のモデルを採用している。チャンネルモデルAおよびBとも、室内ホットスポット*4 (InH_x)、都市部マクロセル*5 (UMa_x)、都市部マイクロセル*6 (UMi_x)、ルーラルマクロセル (RMa_x) 向けのモデルが定義されており、前述の各試験環境での評価が可能となっている。無線インタフェースの提案者は、シミュレーションによる自己評価実施の際に、各試験環境間で同じチャンネルモデルAまたはBを選択し、評価する必要がある。

さらにIMT-2020における新たな技術として、Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output)*7、マルチユーザMIMO*8などの技術の適用が期待されており、これらの技術評価を行うため、Advanced modeling componentと呼ばれるオプションモジュールも規定されている。これはTR38.901で規定されているAdditional modeling componentをベースに作成されたものである。

4.4 文書IMT-2020/2 (Rev.1)

本文書では、IMT-2020無線インタフェースの提案・評価プロセスの詳細の規定が行われている [9]。

提案の受付および最終的に勧告に含まれる形態として、単独の無線インタフェース技術 (RIT: Radio Interface Technology) による場合、あるいは複数の無線インタフェース技術 (SRIT (Set of RITs))

の組合せによる場合の、2つのケースが想定されている。

さらに本文書において、無線インタフェース技術がIMT-2020として勧告化される要件として、前述した5つの試験環境のすべてにおいて所定の要求条件を満たす必要があることが規定されている。

5. あとがき

本稿では5Gに対する世界的な関心の高まり、また関連する技術開発が進展している状況を踏まえ、ITU-Rが進めているIMT-2020無線インタフェースの標準化動向について解説した。これまでにIMT-2020に求める要求条件などは合意され、今後は外部団体などからの具体的提案を受け付ける段階に入っている。

ドコモはITU-R WP 5Dの活動に対して、日本代表団の一員として積極的な貢献を行ってきている。今後も3GPPでの検討と連携しながら、ITU-Rにおける対応を引続き実施していく所存である。

文 献

- [1] 決議ITU-R 56-2: "Naming for International Mobile Telecommunications," Nov. 2015.
- [2] 勧告ITU-R M.2083-0: "IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," Sep. 2015.
- [3] 新レポート案ITU-R M. [IMT-2020.SUBMISSION]: "Requirements, evaluation criteria and submission templates for the development of IMT-2020," Jun. 2017.
- [4] 新レポート案ITU-R M. [IMT-2020.TECH PERF REQ]: "Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)," Feb. 2017.
- [5] ベンジャブール, ほか: "3GPPにおける5Gの要求条件及び評価条件," 本誌, Vol.25, No.3, pp.13-22, Oct. 2017.
- [6] 新レポート案ITU-R M. [IMT-2020.EVAL]: "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020," Jun. 2017.
- [7] 3GPP TR36.873 V12.4.0: "Study on 3D channel model

*4 ホットスポット: 屋内オフィスや駅前広場など、トラフィックが集中して発生する場所。

*5 マクロセル: セルとは移動通信システムにおいて、1つの基地局アンテナがカバーするエリアであり、マクロセルはカバーされるエリアが比較的広いセル (半径数百メートル程度以上) のこと。

*6 マイクロセル: 1つの基地局アンテナがカバーするエリアの半径が数十メートルから百メートル程度のセルのこと。

- for LTE (Release 12)," Mar. 2017.
- [8] 3GPP TR38.901 V14.0.0: "Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (Release 14)," Mar. 2017.
- [9] 文書ITU-R IMT-2020/2 (Rev.1) : "Submission, evaluation process and consensus building for IMT-2020," Feb. 2017.

***7** 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技術。鋭い電波ビームを形成したり、より多くのストリームを同時伝送したりすることで、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。

***8** マルチユーザMIMO : 複数ユーザの信号をMIMO多重伝送することにより、周波数利用効率を向上させる技術。

LTE-Advanced Release 14における 高速移動環境下の特性向上技術

無線アクセス開発部

たかだ たくま
高田 卓馬

R&D戦略部

てしま くにひこ
手島 邦彦

移動機開発部

はらだ ひろき
原田 浩樹

近年、新幹線乗車時などの高速移動環境における通信品質向上の需要が増加していることから、3GPPではRelease 13より高速移動環境下の特性向上に向けた基礎検討が行われ、Release 14にて特性向上技術の仕様化が行われた。本稿では、Release 14仕様で新たに導入された、高速移動環境下の通信品質向上を実現する技術を解説する。

1. まえがき

近年、新幹線乗車時などの高速移動環境におけるブロードバンド通信の需要が高まってきている。また、モバイル通信で使用される周波数は増加しており、とくに高周波数帯への拡大が進んでいる。高速移動環境においては、一般に周波数が高くなるほどドップラー周波数シフト^{*1}の影響を強く受けるなど、通信品質を確保するための技術的課題が大きくなる。加えて、商用ネットワークにおける置局設計^{*2}の多様化により、従来の3GPP仕様では十分に考慮されていなかった高速移動環境の置局設計における技術的課題が顕在化してきていた。

このような背景の下、3GPPではRelease 13にて

高速移動環境下におけるさらなる品質向上の検討がSI (Study Item)^{*3}として行われ、Release 14ではこのSIでの結果を基に、新たな置局設計における下り通信品質の向上、およびRACH (Random Access Channel)^{*4}検出特性向上を実現する新たな仕様などが規定された。本稿では、これらRelease 14で規定された仕様について解説する。

2. 高速移動環境における課題

2.1 SFNシナリオにおける高速移動時の下り通信品質向上

(1)SFNシナリオの概要

SFN (Single Frequency Network)^{*5}シナリオの

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

*2 置局設計：要求される品質やエリアを実現するための、基地局の配置やパラメータの設計。

*3 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。

例を図1に示す。SFNとは、本来は親局や中継局で用いる電波の周波数を同一にして構成したネットワークを指すが、ここで言うSFNシナリオとは、連続して置局されているRRH (Remote Radio Head)^{*6}より、同一周波数で、かつ同一の信号を送受信することで1つのエリアを構成する置局を指す。SFNシナリオでは、各RRHからは同一信号が送信されるため、隣接するRRHからの信号が干渉とならないことに加え、図1のように、移動端末がRRH1のエリアからRRH2のエリアへ移動する際にセルが変わらないことからハンドオーバー^{*7}動作が生じないため、高速移動環境に適しており、例えば新幹線トンネル内エリアなどにて使用されている。

(2)SFNシナリオにおける高速移動時のドップラー周波数シフトの課題

SFNシナリオでは各RRHから同一信号が送信されるが、移動端末前方のRRHから到来する信号と移動端末後方から到来する信号で、正負が逆のドップラー周波数シフトの影響を受ける。本事象の例を図2に示す。移動端末が図1と同様にRRH1とRRH2の間を通る際、RRH1から到来する信号は負のドップラー周波数シフト、RRH2から到来する信号は正

のドップラー周波数シフトの影響を受ける。高速移動時の場合はドップラー周波数シフトが大きくなるため、高速移動端末が接続するRRHが切り替わるタイミング、すなわち2つのRRHの間付近で、正負が異なり絶対値が大きいドップラー周波数シフトの影響を受けた信号がほぼ同じタイミングで高速移動端末に到来する。端末はこの2信号を同時に受信しながらRRHを切り替える必要があるが、負から正への急激なドップラー周波数シフトの変化に追従することが困難であり、通信品質の劣化が生じる課題がある。

2.2 高速移動環境におけるRACH検出特性向上

(1)Release 8 LTEにおけるcyclic shiftのrestricted set
基地局における高速移動端末からの上り信号受信時には、送信された上り信号に加わるドップラー周波数シフトに加え、送信を行う移動端末が、ドップラー周波数シフトが加わった下り信号に同期して送信を行っていることから、移動端末における下り信号受信時と比べて大きなドップラー周波数シフトを考慮する必要がある。これはSFNシナリオに限ら

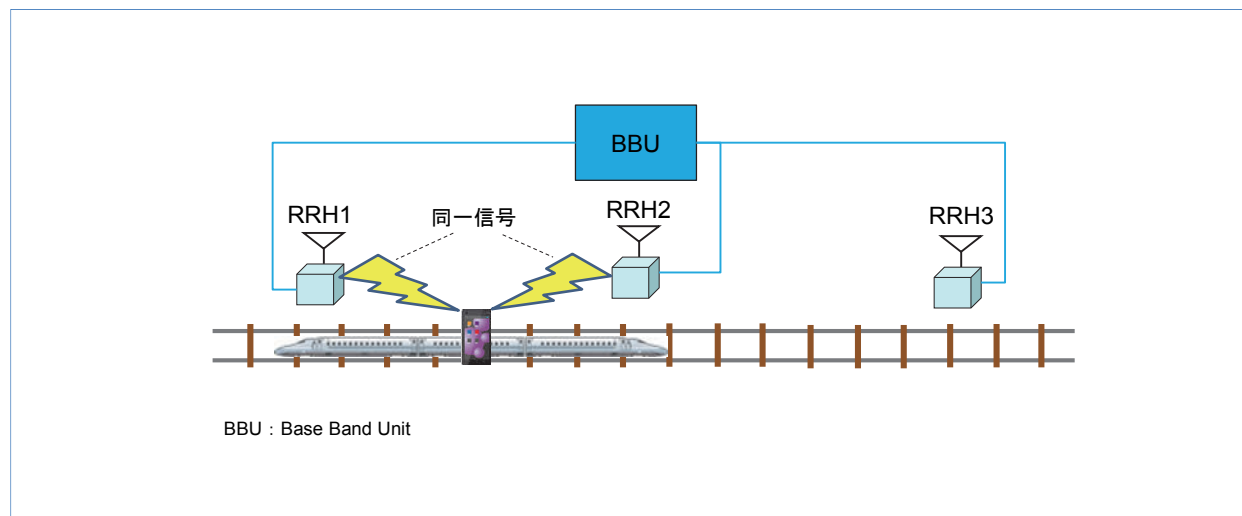


図1 SFNシナリオ

^{*4} RACH：上り方向の共通チャンネルで、制御情報およびユーザデータの送信に使用するチャンネル。各ユーザが独立に信号をランダムに送信することにより、1つのチャンネルを複数ユーザで共通に使用する。

^{*5} SFN：電波の周波数を同一にして構成したネットワーク。

^{*6} RRH：基地局を構成する装置の1つで無線信号の送受信処理を

行う無線機。光ファイバなどを使ってBBU（BaseBand Unit）から離れた場所に設置する。

^{*7} ハンドオーバー：通信中の移動端末が移動に伴い基地局をまたがる際、通信を継続させながら基地局を切り替える技術。

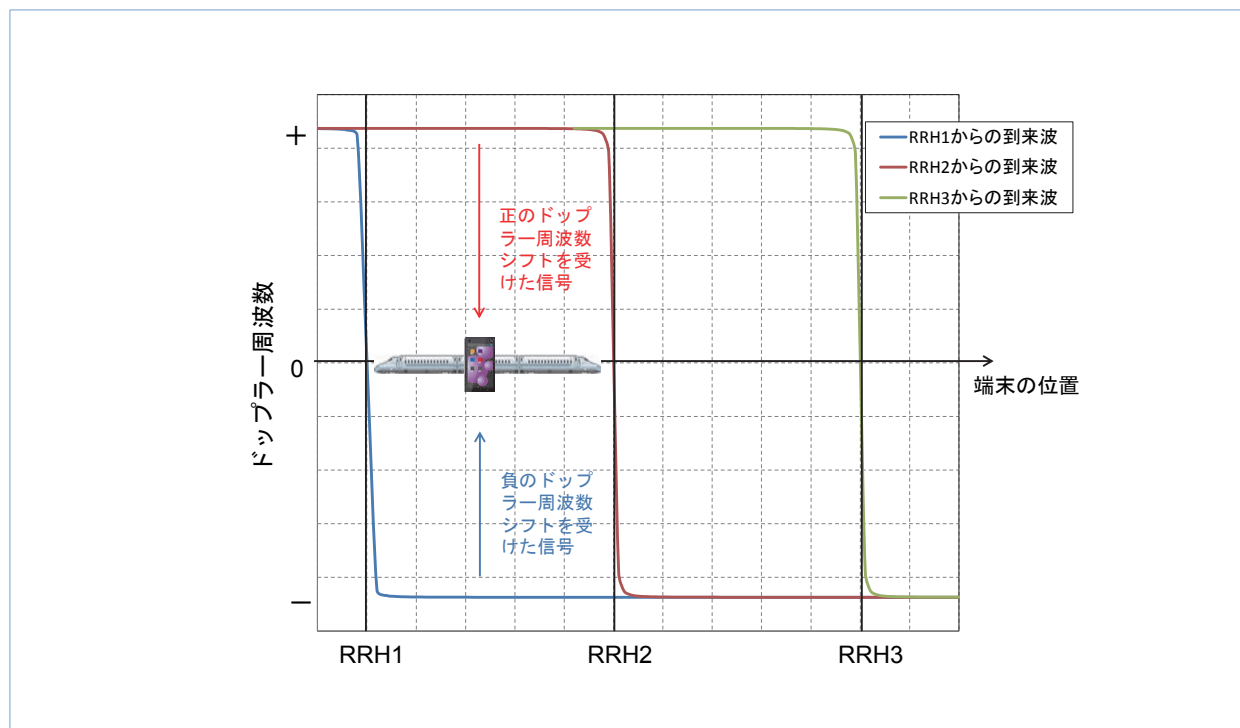


図2 ドップラー周波数の影響

ず通常の置局シナリオにおいても共通に生じる課題である。上記を考慮して、Release 8 LTEにおけるPRACH (Physical Random Access CHannel)^{*8}は、高速移動環境におけるドップラー周波数シフトが最大 $\pm 1.25\text{kHz}$ 加わっていても、基地局が検出できるよう設計された。これにより、周波数2GHzで約350km/hまでは十分なPRACH検出特性が得られる。

(a) 通常時のPRACH CS検出

PRACH送信系列は、ZC (Zadoff-Chu) 系列^{*9}に対してCS (Cyclic Shift)^{*10}を適用して生成される。適用するCSの値は、移動端末が基地局の設定に従って候補値の中から選択する。高速移動端末を想定しない通常のセルでは、CSの候補値としてPRACH受信タイミング窓長である N_{CS} の整数倍の値が設定される (図3(a))。基地局側では受信したPRACHとZC系列テンプレートの相関^{*11}ピークが発生するCS値を検出

することで、移動端末が選択した送信系列および N_{CS} の範囲内でのタイミング誤差を認識することができる。

(b) 高速移動時の検出のためのPRACH CS restricted set導入

一方、高速移動時にはドップラー周波数シフトの影響で、基地局側では受信したPRACHとZC系列テンプレートの相関ピークが複数観測される。最大相関ピーク位置のずれによる検出特性の劣化を防ぐため、Release 8 LTEではPRACH CSの候補値を限定する設定 (restricted set) が導入されている。PRACHプリアンブル^{*12}系列部分の時間長の逆数に対応するCSを d_u とし、選択したCSに対して $+d_u$ 、および $-d_u$ の位置に対応する計3つのタイミング検出窓を基地局側で用意し、各検出窓にて観測された相関ピークを、併せて検出に用いることで、移動端末の

^{*8} PRACH: Random access preambleを送信するための物理チャネル。

^{*9} ZC系列: 時間インデックスに対して振幅が一定で、自己相関関数がデルタ関数となる特性をもつCAZAC (Constant Amplitude Zero Auto Correlation) 系列の1つ。

^{*10} CS: 系列などに対して、時間インデックスと要素との関係を

巡回シフトさせる処理。

^{*11} 相関: 異なる信号の類似性を示す指標。複素数で表され絶対値は0~1の値をとる。1に近いほど類似性が高い。

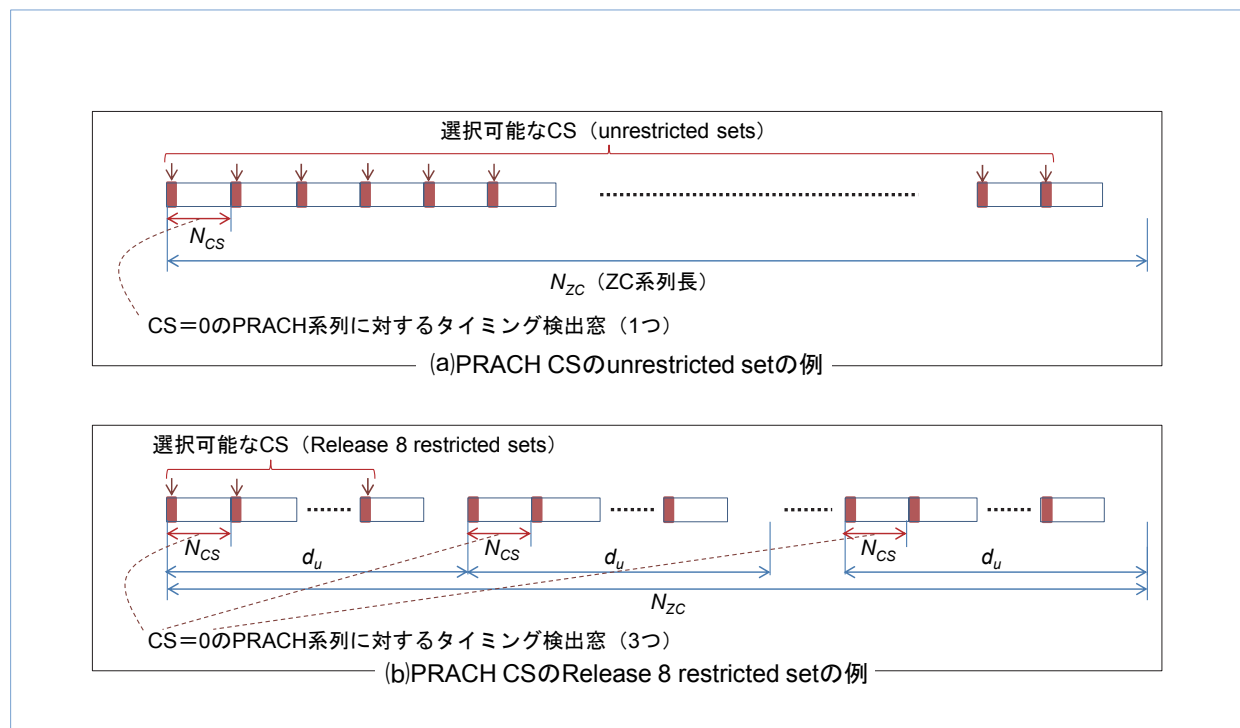


図3 従来のPRACH系列CSの選択および検出方法

選択した送信系列および N_{CS} の範囲内でのタイミング誤差を認識する（図3(b)）。この場合、移動端末の選択した送信系列の認識誤りを防ぐため、移動端末の選択可能なCSは $+d_u$ 、および $-d_u$ の位置を含めて他の候補CSと互いに重複しないよう制限される。

(2)高速移動環境におけるPRACH検出の課題

Release 8 LTEのPRACHは、上記の通り、高速移動環境におけるドップラー周波数シフトの範囲として $[\pm 1.25\text{kHz}]$ まで耐えられるよう設計された。しかし、より高い周波数を利用する場合や、SFNシナリオのようなドップラー周波数シフトの影響が顕著な環境においても高いPRACH検出特性を実現する必要性が高まってきた。また、ドップラー周波数シフトが大きくなると、最大の相関ピークは $+2d_u$ 、または $-2d_u$ の位置で観測されるようになり、Release 8で導入された従来のrestricted setを用い

る方法では移動端末の選択した送信系列の認識誤りが発生してしまう課題がある。

3. 新しい規定とその効果

3.1 SFNシナリオでの高速移動時を想定した新たな下り受信性能規定

Release 14において、2.1節で示した課題を解決するため、図1のようなSFNシナリオを模擬した新たな高速移動環境モデル定義、および、そのモデルを使用した場合のスループット性能規定が追加された。新たなスループット性能規定を策定する上で、移動端末受信器動作については以下を基準として検討を行った。

- ・高速移動端末に同時に到来する、正負が異なり絶対値が大きいドップラー周波数シフトの影響を受けて到来する複数信号をすべて捉え、各信

*12 プリアンブル：パケットの先頭に配置された固定パターン信号。受信側では、これを用いてパケットの検出、ゲイン制御、フレームの同期、周波数同期などを行い、データ部の受信に備える。

号に対してドップラー周波数シフトを推定し、中心周波数のずれを補正する。

- ・伝搬路推定を高度化し、特に時間領域^{*13}における補間精度を上げる。

評価結果例を図4に示す [1]。横軸がSNR (Signal-to-Noise Ratio)^{*14}、縦軸がスループットである。350km/hで移動している場合において、従来の受信器を使用した場合 (図4内の赤) と、上記基準を考慮した受信器 (図4内の緑) を比較すると、スループットが大きく改善していることがわかる。

ただし、本受信器の動作はSFNシナリオに特化していることから、低速移動時や、SFNシナリオ以外での高速移動時にて常に動作させることは特性劣化、消費電力の増大につながる可能性がある。そのため、本受信器動作のON/OFFを可能にする制御信号 (Network assisted signaling) が導入された。本受信器のON/OFFを含めた動作概要を図5に示す。この制御信号をSFNシナリオの基地局から報知情報^{*15}に含めて送信し、高速移動端末が当該

エリアに在圏し本信号を受信した場合に、規定した受信器動作を開始する。

3.2 高ドップラー周波数シフト環境をサポートするPRACH規定

2.2節で示した課題を解決するため、Release 14では高速移動時のドップラー周波数シフトとしての範囲は $[\pm 2.5\text{kHz}]$ までに耐えられるよう、PRACHの品質を向上する技術が導入された。移動端末の選択可能なCSとして、選択した位置に対して $+d_u$ 、および $-d_u$ に加え $+2d_u$ 、および $-2d_u$ の位置を含めた計5つが他の候補CSと互いに重複しないように制限される。新たなPRACH CS restricted setが規定された。基地局側では上記5つの位置でそれぞれ N_{CS} の範囲のタイミング検出窓を用意し、各検出窓にて観測された相関ピークを合わせて検出に用いる (図6)。これにより $[\pm 2.5\text{kHz}]$ の範囲までのドップラー周波数シフト、例えば2GHz周波数での350km/hを超える高速移動環境などにおけるPRACH検出特性が向上する。

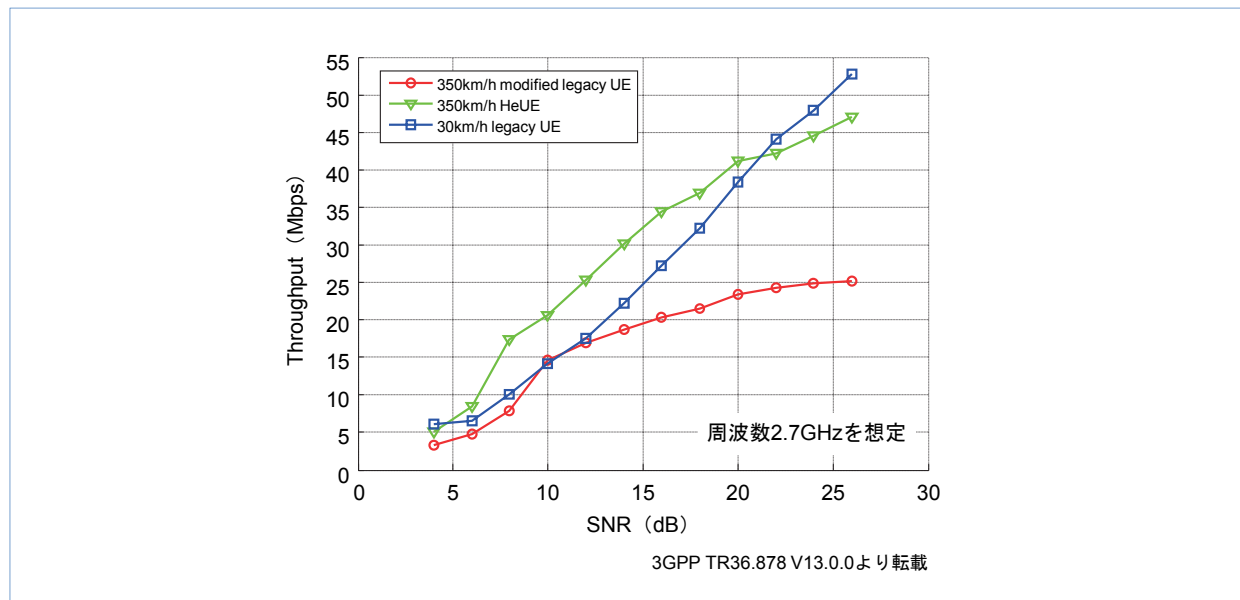


図4 SFNシナリオでの評価結果例

*13 時間領域：信号などの解析において、その信号が各時間においてどのくらいの成分をもっているかを示すことに用いられる。時間領域の信号をフーリエ変換することで周波数領域の信号に変換することができる。

*14 SNR：雑音の電力に対する所望信号の電力の比。

*15 報知情報：移動端末における位置登録要否の判断に必要となる

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

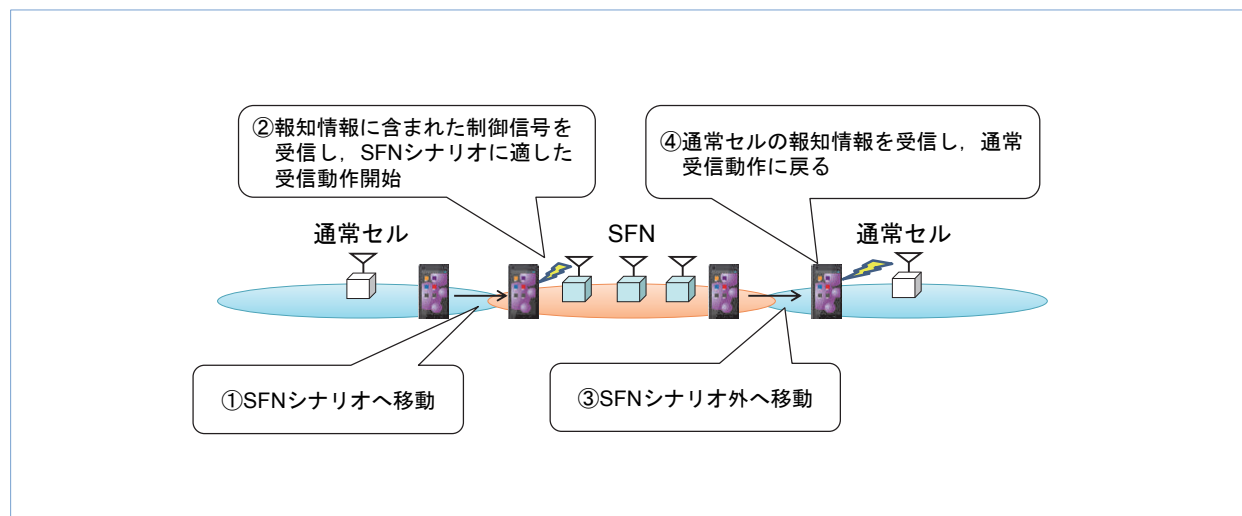


図5 SFNシナリオに特化した受信動作概要

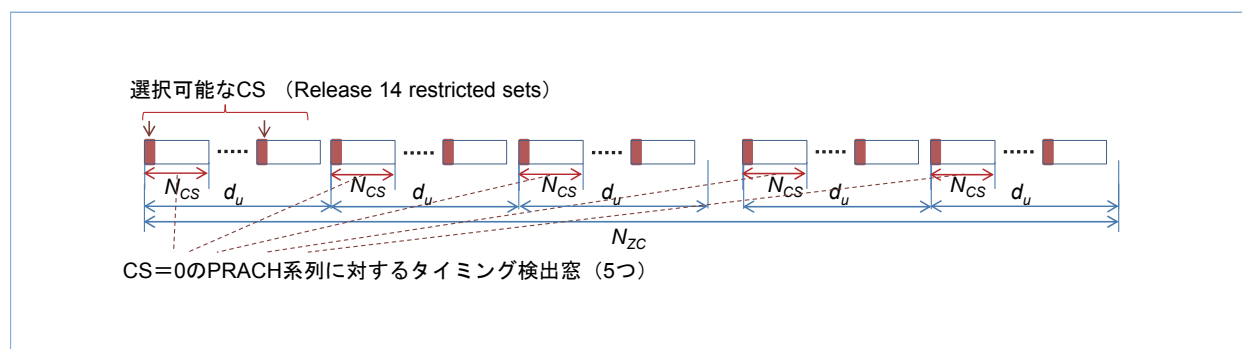


図6 PRACH CSのRelease 14 restricted setの例

4. あとがき

本稿では、3GPP Release 14にて行われた高速移動環境下における特性向上、具体的には新しい置局設計における受信規定、およびPRACH特性向上を実現する仕様策定について、機能的特徴や基本制御を解説した。これらの機能によって、新幹線乗車時

などの高速移動環境下におけるさらなる通信品質向上が実現される。

文 献

- [1] 3GPP TR36.878 V13.0.0 : “3rd Generation Partnership Project : Technical Specification Group Radio Access Network ; Study on performance enhancements for high speed scenario in LTE,” Feb. 2015.

前腕動作に着目した食事内容推定技術 — 手軽な食事管理をめざして —

先進技術研究所 さいとう たかと かわさき さとし いけだ だいぞう かたぎり まさじ
齊藤 隆仁 川崎 仁嗣 池田 大造 片桐 雅二

近年、過食や偏食による生活習慣病が社会問題として顕在化している。食事バランスを管理するサービスは多数あるものの、ユーザ自身により食事に関する情報を欠損なく継続的に記録する必要があり、手間がかかるため、サービスから適切な支援を受けるための障壁となっていた。本研究では、摂食に伴う前腕動作に着目した食事内容推定手法を提案する。利き手に着用したウェアラブルデバイスのセンサデータから食事内容を推定し、ユーザ入力の手間をかけずに食事内容を把握することが可能となる。

1. まえがき

近年、偏食や過食などの食生活の乱れが生活習慣病を引き起こす一因であると言われ、社会問題として顕在化している。ライフスタイルの多様化や、食事の選択肢の拡大に伴い外食のメニューや加工食品を摂取する機会が増加しているが、これらの食品の大半は食塩や脂肪を多く含む傾向があり、摂取し続けることで生活習慣病の予備軍が増加すると懸念されている。外食や加工食品を日常生活に取り入れる際には、食事バランスを考慮することが重要である。

農林水産省は国民の健康増進を目的として、食生活指針 [1] を策定し、食生活を習慣的に見直すこ

とを提唱している。また厚生労働省は、食生活指針を具体的な行動に結びつけるために、食事バランスガイド [2] を策定している。このような取り組みがある一方、内閣府の調査によると、2人に1人は適切な食生活を送ることができておらず [3]、その理由としては、①何をどのように実行したらよいか分からない、②忙しくて時間が無い、といったことが上位にあげられている [4]。

このような状況の中、食事バランスの管理を支援するサービスが多くの企業や団体から提供されている。サービスの提供形態は多岐にわたり、スマートフォンを利用した食生活支援サービスも多数提供されている [5]。これらサービスを利用してユーザが

適切な支援を受けるためには、日々の食事に関する情報を、欠損なく継続的に記録することが望ましい。しかしながら既存サービスの多くは、食事を取った時間や、料理品目を示す食事内容の入力をユーザ自身が手動で行う必要があり、その手間から、継続的な利用の障壁になっている。

食事を取った時間に関しては、手首の動作から高精度に認識する技術 [6] が開発されており、このような機能を有するウェアラブルデバイス [7] が実用化されている。一方、食事内容の記録に関しては、カメラで撮影した食事画像を用いて認識する手法 [8] や、摂食^{*1}に伴う上肢動作を用いて認識する手法 [9] などが研究されている。前者は、撮忘れや利用者のプライバシー保護が課題となっており、後者は複数箇所にデバイスを着ける必要があるため日常的に利用する上で大きな阻害要因となっている。

そこでドコモは、手間をかけずに食事内容を継続的かつ自動で把握することを目的とし、上肢動作のうち前腕動作のみで食事内容を推定する技術を開発した。本稿では、リストバンド型の汎用的なウェアラブルデバイス1台を利き手の前腕に着用し、取得されるセンサデータから食事内容の認識を実現する手法について解説する。

2. 関連研究

2.1 Amftらの手法

食事内容を推定する手法として、Amftらは、両腕の上腕および前腕の合計4カ所に加速度センサ^{*2}および角速度センサ^{*3}を装着し、これらセンサから取得した上肢動作のデータと、スロットマイク^{*4}およびイヤホン型マイク^{*5}から取得したデータを利用した手法を提案している [9] [10]。彼らの手法は、食べ物を切るような準備動作や、口に運ぶ動作、咀嚼動作、嚥下動作といった食事で発生する一連動作

のサイクルを各センサにより検出することで食事内容を推定し、画像以外のデータを用いることの有効性を示した。この研究では、食事内容を推定するためには、時系列的な動作のサイクルが重要であることが示唆されている。一方、この手法では、複数箇所にウェアラブルデバイスを用いて高い精度で状態を検出し、状態遷移モデル^{*6}を利用した手法で食事内容を推定しているが、複数デバイスの装着が必要となることから、日常的に利用する上で大きな阻害要因となってしまう。

2.2 Zhangらの手法

Zhangらの歩行や走行など人物の動作を認識する技術の研究では、状態の遷移ではなく状態の出現頻度に着目し、人物動作を高精度で認識する手法を提案している [11]。この手法では、歩行や走行などの動作は、基本要素となる特徴的な動作の複数集合であると解釈し、BoW (Bag-of-Words) 表現^{*7}を適用している。この関連研究が示すように、食事における前腕動作を認識する際にも、人物動作に着目するという観点で見ると、BoW表現が有効な可能性があると考えられる。そこで、本研究ではBoW表現を用いて、前腕動作を基本要素となる特徴的な動作の組合せとして認識する方法を用いる。

3. 提案手法

3.1 概要

提案手法の概要を図1に示す。本研究は、摂食時の前腕動作が食事内容によって異なることに着目し、前腕動作の違いから食事内容を推定する。例えば、ハンバーガーの摂食時は、口に運ぶ動作や噛みしめる箇所を変える動作が生じる。一方で、ラーメンの摂食時は、麺を持ち上げる動作や、麺を冷ます動作、吸る動作などが時系列的に生じる。これらの食事内

*1 摂食：食べ物を口まで運び食べること。

*2 加速度センサ：速度の変化を計測するセンサのこと。携帯端末に搭載することで、携帯端末の動きの変化を検出することが可能となる。また、センサに対して固定された、互いに直交する3方向の加速度を測定できるセンサを3軸加速度センサとよぶ。

*3 角速度センサ：回転方向の速度を計測するセンサのこと。

*4 スロットマイク：喉元に着用するマイクで、小さな音声や、嚥下音などが集音できるマイクのこと。

*5 イヤホン型マイク：咀嚼に伴って発生する肉伝導音を集音することができるマイクのこと。

*6 状態遷移モデル：ある手続きの流れを、開始状態から始まり、いくつかの状態を遷移して終了状態に辿り着くように表現したモデルのこと。ここでは食事という手続きは、準備動作を開始状態として、摂食、咀嚼の状態を繰返し遷移し、嚥下といった終了状態に辿り着く。

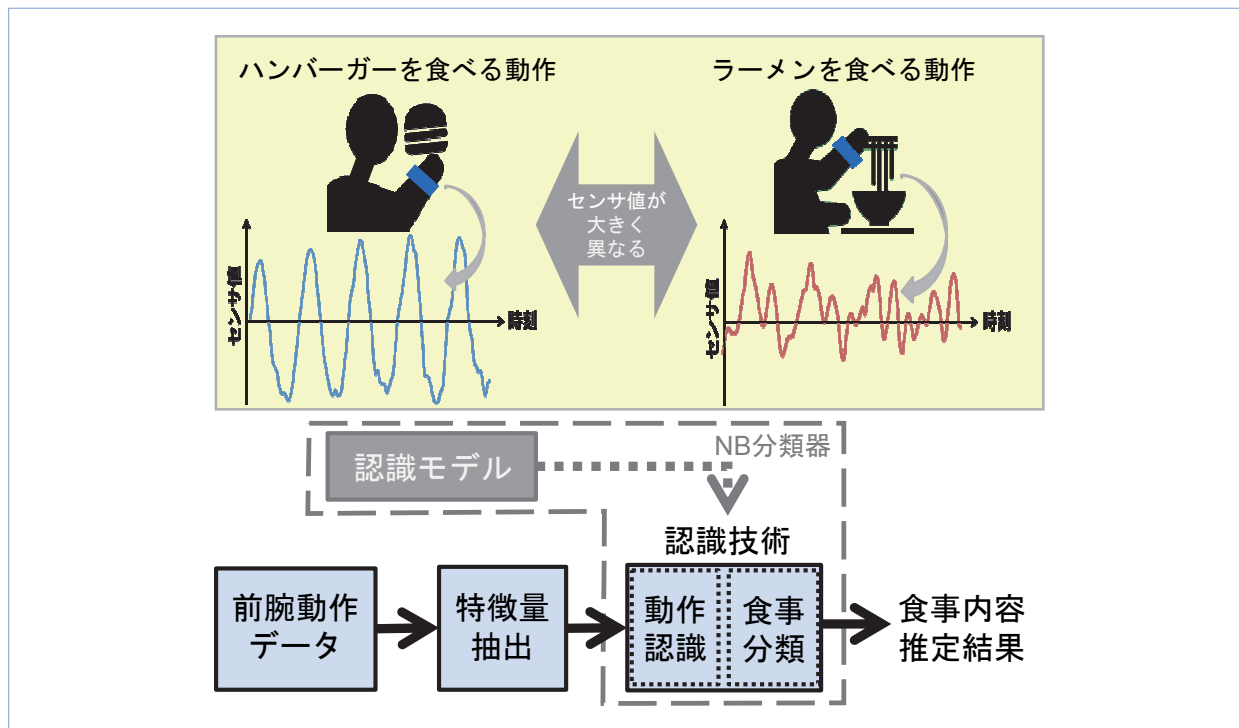


図1 提案手法の概要図

容による動作の違いを、動作が発生する順序を時系列情報として考慮し認識することで食事内容を推定する。提案手法では、利き手の前腕にウェアラブルデバイスを着用し、摂食時の前腕動作に伴うセンサデータ（以下、前腕動作データ）を取得する。この前腕動作データから特徴量^{*8}を抽出し、Naïve Bayes分類器^{*9}（以下、NB分類器）によって動作認識を行い、食事内容を推定する。

前述の従来手法では複数のウェアラブルデバイスの着用が必須であり、1台で同様の手法を実現することは困難であった。そこで、提案手法では、摂食時の動作を、基本要素となる特徴的な動作の集合として捉えるBoW表現を用いる。そして動作の発生順序によって時系列情報を考慮できるN-gram^{*10}に拡張したアプローチによって、従来手法では難しかったウェアラブルデバイスの数を低減させた食事

内容推定を実現する。

本手法により、市販のリストバンド型デバイス1台を利き手に装着するだけで、ユーザーに手間をかけさせず食事内容を継続的かつ自動で把握する技術を実現した。

3.2 推定の流れ

3軸加速度センサのデータを前腕動作データとして使用し、これにフィルタ処理を施しデータのノイズを低減させた後、一定幅の移動窓^{*11}内のセンサデータより特徴量を抽出する。特徴量の次元数を不必要に増加させると分類器の性能低下に繋がるため、本研究では、表1に示す加速度センサの統計量の12次元を特徴量として用いる。摂食時の前腕動作では、動作が発生する順番を考慮した認識手法が有効であると考えられる。そこで、まずこの12次元の特徴量

^{*7} BoW表現：文書のカテゴリ分類に利用される手法であり、文書に登場する各単語の出現頻度によって、その文書を表現する方法のこと。

^{*8} 特徴量：データを比較するために、任意の方法で算出した数値やその集まりのこと。また、元となるデータから特徴量を算出することを特徴量抽出という。3軸加速度センサのデータのように、データが複数列で構成される場合や、算出する方法を複数選んだ場合は、特徴量も複数列となることがある。このと

き、特徴量を構成する列数を次元数という。

^{*9} Naïve Bayes分類器：ベイズ確率と呼ばれる確率論に基づいた分類器のこと。

^{*10} N-gram：文書に含まれる単語のうち、連続するN個を新たな単語とみなす方法をいう。

^{*11} 移動窓：センサデータに処理を施すとき、対象とするデータの範囲を窓と呼び、その窓を一定のルールに従って移動させたものを移動窓という。

に対してBoW表現を適用し、基本要素となる特徴的な動作（以下、要素動作と呼ぶ）の集合として表現する（図2①）。その上で、要素動作が発生する順番を考慮して、複数の要素動作をまとめたもの（以下、一連要素動作と呼ぶ）の集合を考え（図2②）、前腕動作データを一連要素動作が発生する頻度で表現し（図2③）、NB分類器に適用することで食事内容を推定する。図2に示すように、前腕動作

データを要素動作の集合で表現したのち、N-gramに拡張することで、一連要素動作の集合を表すことができる。このとき要素動作は“words”として表現され、一連要素動作としては、例えば、麺を吸る動作や丼ものを口に掻き込む動作が表現されることを想定している。麺を吸る動作を例にとると、麺をつかむ動作、上に持ち上げる動作、口に運ぶ動作などによって構成される。この各動作を時間軸に沿ってさらに細分化したものが要素動作として表現されることになる。なお、口に運ぶ動作や咀嚼中に前腕を動かさない動作はあらゆる食事内容で発生するため、このようなwordsに着目しても、食事内容の推定に対しては有効となり難い。そこで、あらゆる食事内容の摂食動作で共通して頻出するwordsは、その重要度を軽減させ、食事内容固有の摂食動作として発生しやすいwordsはその重要度を大きくすることで、

表1 利用する特徴量

特徴量	次元数
平均値	3
標準偏差	3
分散	3
中央値	3

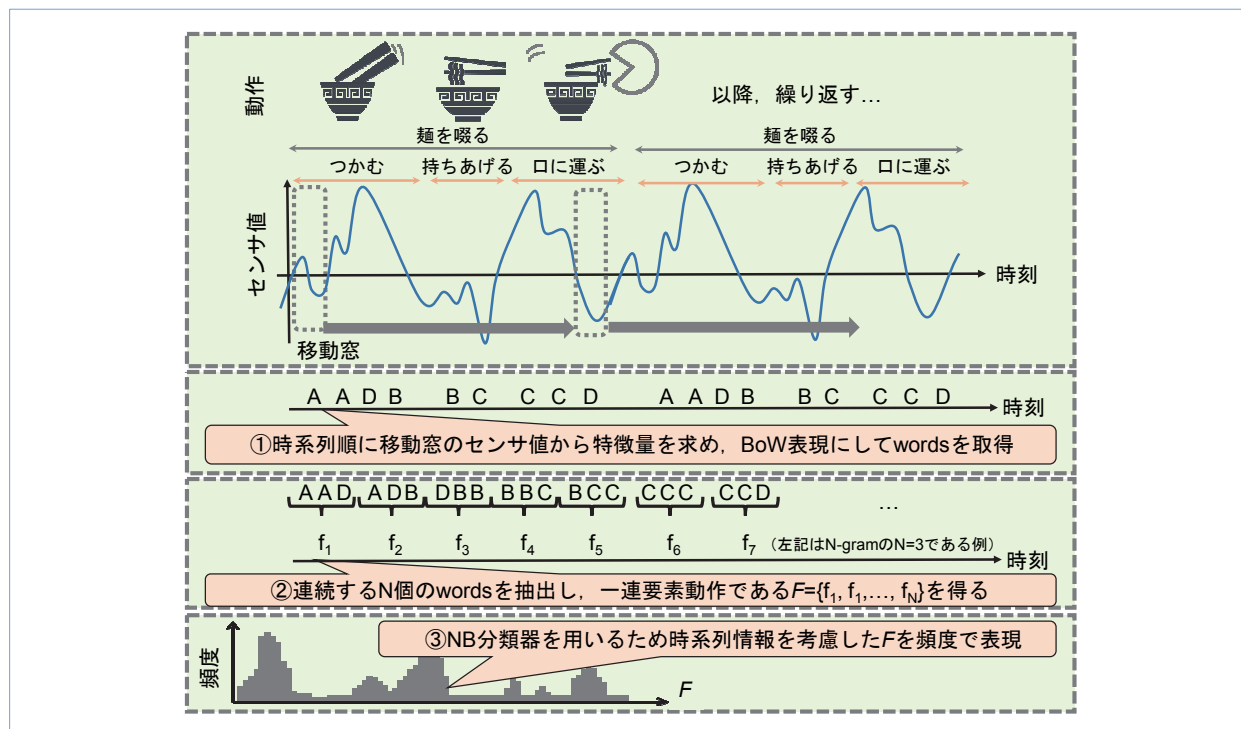


図2 N-gramを用いたBoW表現

食事内容の推定精度を高める。

摂食時には要素動作が繰返し発生したり，交互に行われたりするが，前述のAmftらの手法は1回の食事に含まれる状態遷移すべての連続性を考慮することになる．一方で，NB分類器を用いた動作の頻度に着目した本手法は局所的な連続性を捉えることが可能である．そのため，突発的に生じるノイズや食事内容で食べる順序が変わる場合でも，従来手法に比べて食事内容の推定精度への影響を抑制する効果が期待できる．

4. 実験および精度評価

4.1 前腕動作データの収集および実験条件

(1)実験条件

認識対象とする食事内容は，表2に示す5品目とし，また被験者が摂食時に利用する食器具および収集したデータ数を表に記載した．Android WearTM*12を搭載するリストバンド型デバイス（HUAWEI WATCH W1[®]*13）によって前腕動作データを取得する．被験者は図3に示すように，食器具を利き手

表2 食事内容と食器具およびデータ数内訳

食事内容	食器具	要求条件
丼もの（牛丼，かつ丼，親子丼，天丼，海鮮丼）	箸	29
カレーライス	スプーン	32
パン類（菓子パン，サンドウィッチ，ピザ，ハンバーガ）	素手	26
パスタ（スパゲッティ）	フォーク	27
麺（ラーメン）	箸	33



図3 前腕動作データの取得実験の様子

*12 Android WearTM：Google Inc. の商標.

*13 HUAWEI WATCH W1[®]：HUAWEI Technologies Co. の登録商標.

に把持した状態で食事をとり、その際の前腕動作データを収集した。摂食時の前腕動作データは1食当たり約7分間のデータである。被験者は20～40代の計9人（男性7人、女性2人）であり、男性のうち1名が左利きで他の被験者は右利きである。なお、Amftらの研究[9]で用いられたデータ数を参考に、食事内容1品目に対して約30食分をめざして前腕動作データの収集を行った。ただし、被験者の日常生活で指定の食事内容の前腕動作データを収集しているため、被験者や食事内容によってデータ数に差がある。また、この前腕動作データは職場の食堂や自宅、レストランなどで取得しており、同一の食事内容でも全く同じものを摂食したデータとは限らない。

(2)実験データの収集

一般に身体が行う動作は99%が15Hz未満であると言われている[12]。そのため、加速度センサを用いて、歩行やランニングなどの動作を認識する場合は余裕をみて100Hz程度の周波数で計測することが多い[11]。また、実生活で手首に着用したウェアラブルデバイスから得られる食事動作の周波数は0.2～0.6Hzであることが示されている[13]。サンプリングするときの周波数は対象とする動作の周波数の2倍以上であることが望ましいため、本研究では食事動作の周波数の最大値である0.6Hzから十分余裕をもたせた20.0Hzで取得した前腕動作データを用いて、特徴量を抽出する。

(3)BoW表現の適用

抽出した特徴量から要素動作（words）を収録したcodebook^{*14}を作る。codebookが含む全wordsの数をVocabularyと呼ぶことにする。動作認識にBoW表現を適用する場合は、比較的Vocabularyを小さい値にすることが効果的であると示されている[11]。そこで前腕動作データから抽出した特徴量に対してVocabulary=20としたBoW表現を適用する。

(4)N-gramの適用

BoW表現とした後、発生したN個のwordsに注目しN-gramを適用することで、麺を吸る動作やパスタをフォークで巻く動作のように、時間幅をもつことで意味を成す動作の表現を試みる。N-gramを適用するとwordsの組合せが爆発的に増加するため、本研究ではN=3のTrigram^{*15}を採用する。この値は、麺を吸る動作やパスタをフォークに巻く動作などの、継続する時間幅を考慮して設定されたもので、20.0Hzでサブサンプリング^{*16}した前腕動作データに対して1秒分の移動窓を0.5秒ずつ移動させて2秒分のサンプルを表現することになる。

4.2 精度評価

本実験では、収集した前腕動作データをNB分類器に学習させ、その推定性能を測る。推定性能の評価方法は、LOOCV（Leave-One-Out Cross Validation）^{*17}とした。この評価方法は、収集したすべての前腕動作データの中から1食分のデータを評価用とし、残りのデータを分類器の学習用とする方法である。評価指標は一般的なRecall（再現率^{*18}）、Precision（適合率^{*19}）の調和平均であるf1値^{*20}および、前腕動作データの総数に対する食事内容ごとの真陽性^{*21}と真陰性^{*22}の総数の比である正解率Accuracyを用いる。

LOOCVの混同行列を図4に示す。この表は、縦方向に前腕動作データが属する食事内容の真値を示し、横方向に分類器の推定結果を示すものである。背景色が黒色に近いほど推定結果の中で占める割合が高い。混同行列から、特に麺類の推定結果が他の食事内容に比べて高いことが分かる。一方で、カレーライスはパスタや麺として誤って推定されることが多かった。これは、本実験では手首の回転を直接測定できる角速度センサを用いなかったため、手首の回転に関する特徴が反映され難かったことが原

*14 codebook：BoW表現で利用したすべてのwordsを集めた索引であり、dictionaryとも呼ばれる。

*15 Trigram：N-gramにおいてN=3としたときの名称であり、N=2のときをBigram、N=1のときをUnigramと呼ぶ。

*16 サブサンプリング：センサデータから一定の規則に沿って、その一部を抜き出すこと。

*17 LOOCV：分類器の評価に用いるデータを分割する方法のひとつ。全データを余すことなく評価用として利用するため、データ総量が少ない場合に利用されることが多い方法である。

*18 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。

*19 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。

因として考えられる。具体的には、カレーライスを食べる際には、カレーのルーとライスを寄せ集める動作の後、口に運ぶ動作が発生する。このとき、表1で採用した特徴量では、カレーのルーとライスを寄せ集める動作が口に運ぶ動作と同一視され、他の食事内容との区別が難しくなった可能性があり、事

前確率^{*23}が最も高い麺として誤推定することが多くなったと考えられる。

食事内容推定の結果として、図5にf1値、図6にAccuracyを示す。食事内容に対するf1値の平均値は63%で、Accuracyの平均値は72%となった。カレーライスはRecall、Precisionともに著しく低いた

		推定結果				
		丼もの	カレー	パン類	パスタ	麺
真値	丼もの	0.55	0.00	0.00	0.17	0.28
	カレー	0.16	0.09	0.00	0.34	0.41
	パン類	0.04	0.04	0.68	0.12	0.16
	パスタ	0.19	0.04	0.04	0.62	0.08
	麺	0.03	0.00	0.00	0.06	0.91

図4 食事内容推定：混同行列

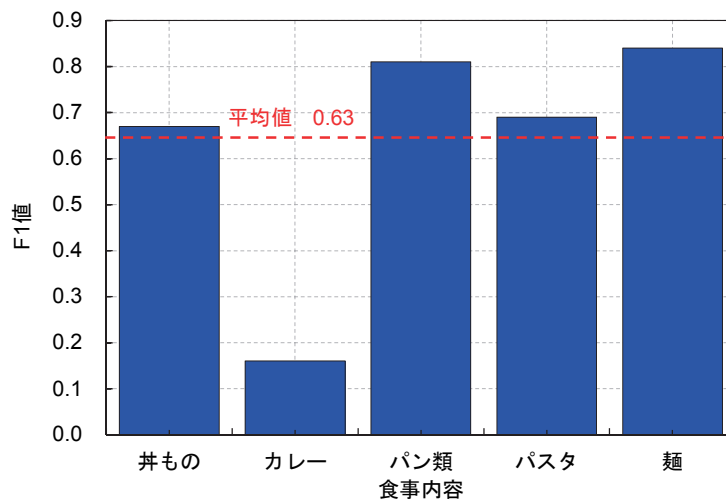


図5 食事内容推定の結果 (f1値)

^{*20} f1値：再現率と適合率の両指標を調和平均によって統合した指標のこと。再現率と適合率共に高い分類器が最良であるが、両指標はトレードオフの関係がある。そのため個々の指標で評価するのではなく総合的な評価が可能であるf1値を用いることが多い。

^{*21} 真陽性：真値と推定結果が一致する結果のうち、実際にあった行動と推定結果が一致しているもの。例えば、実際にラーメンを食べたときに、その推定結果もラーメンである事象の数。

^{*22} 真陰性：真値と推定結果が一致する結果のうち、実際にとっていない行動と推定結果が一致しているもの。例えば、食事内容がラーメンでないときに、その推定結果もラーメンでないことと推定する事象の数。

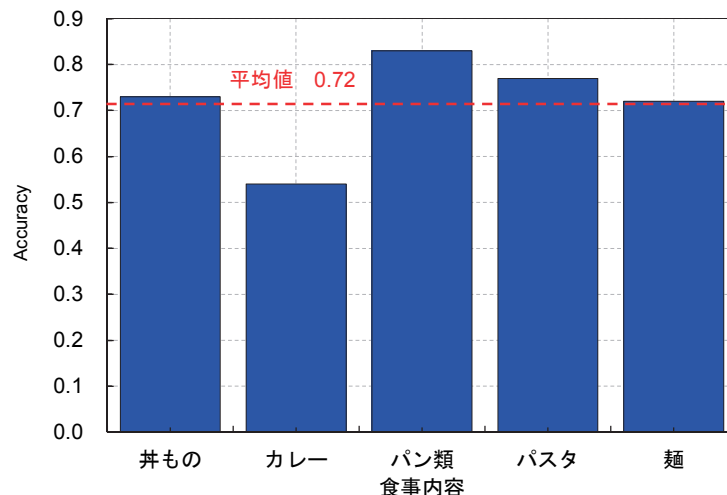


図6 食事内容推定の結果 (Accuracy)

め、f1値およびAccuracyの両方で最も推定精度が低い。その他の食事内容は、f1値は65%以上、Accuracyは70%以上を保っており、食事の品目がある程度限定できる状況では、前腕動作データによって食事内容推定が可能であることが示された。

5. あとがき

ユーザに手間をかけさせずに食事内容を継続的かつ自動で把握する技術の実現をめざし、前腕動作に着目した食事内容の推定手法について検討した。提案手法の認識精度は本実験条件において、f1値で平均63%、Accuracyは平均72%を達成した。これは市販のリストバンド型ウェアラブルデバイス1台で、職場の食堂のような食事の品目がある程度限定できる状況では食事内容推定が可能であることを示している。今後は、本技術を適用したサービスの実用化に向け、外食のメニューや自宅における食事のよう

に広範な品目まで推定対象を拡大させるとともに、認識精度向上をめざす。本研究では、特徴量として一般的な統計量を採用したが、一部の食事内容の推定精度が低いことから、前腕動作をより詳細に表現できる特徴量の追加が必要といえよう。また、同一の食事内容においても、被験者間の前腕動作に違いがあることを確認しており、今後の精度向上には個人ごとに認識モデルや特徴量の調整を行うことが有効であると考えられる。

文 献

- [1] 農林水産省：“食生活指針について.”
<http://www.maff.go.jp/j/syokuiku/shishinn.html>
- [2] 厚生労働省：“「食事バランスガイド」について.”
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyousyokuj.html>
- [3] 内閣府：“食育に関する意識調査報告書（平成28年3月）.”
<http://www.maff.go.jp/j/syokuiku/ishiki/h28/>
- [4] 厚生労働省：“平成26年版厚生労働白書 健康長寿社会の実現に向けて～健康・予防元年～.”

*23 事前確率：ベイズ確率では、ある事象が発生する確率は、その事象に関する知識量によって変化するという考えに基づいた確率論である。知識を得る前に、ある事象が発生すると考えていた確率を事前確率といい、知識を得た後の確率を事後確率という。

- <http://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/14/>
- [5] NTTドコモ: “dヘルスケアパック.”
<https://www.nttdocomo.co.jp/service/dmarket/healthcare/>
- [6] Y. Dong, J. Scisco, M. Wilson, E. Muth and A. Hoover: “Detecting Periods of Eating During Free-Living by Tracking Wrist Motion,” Proc. of IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, Vol.18, No.4, pp.1253-1260, Sep. 2013.
- [7] TDK株式会社: “Silmeew20.”
<https://product.tdk.com/info/ja/products/biosensor/biosensor/silmeew20/index.html>
- [8] K. Aizawa, Y. Maruyama, L. He and C. Morikawa: “Food Balance Estimation by Using Personal Dietary Tendencies in a Multimedia Food Log,” Proc. of IEEE Transaction on Multimedia, Vol.15, No.8, pp.2176-2185, Dec. 2013.
- [9] O. Amft, M. Kusserow and G. Tröster: “Probabilistic parsing of dietary activity events,” Proc. of International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, Vol.13, pp.242-247, 2007.
- [10] O. Amft and G. Tröster: “On-Body Sensing Solutions for Automatic Dietary Monitoring,” Proc. of IEEE Pervasive Computing, Vol.8, No.2, pp.62-70, 2009.
- [11] M. Zhang and A. A. Sawchuk: “Motion Primitive-Based Human Activity Recognition Using a Bag-of-Features Approach,” Proc. of the 2nd ACM SIGHIT International Health Informatics Symposium, pp.631-640, Jan. 2012.
- [12] D. M. Karantonis, M. R. Narayanan, M. Mathie, N. H. Lovell and B. G. Celler: “Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring,” Proc. IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine, Vol.10, No.1, pp.156-167, Jan. 2006.
- [13] 矢野 和男, 栗山裕之: “「人間×センサ」センサ情報が変わえる人・組織・社会,” 日立評論, Vol.89, No.07, pp.62-67, Jul. 2007.

第28回電波功績賞 「総務大臣表彰」「電波産業会代表理事表彰」受賞

2017年6月15日に開催された第28回電波功績賞表彰式において、3.5GHz LTE開発グループ（代表 河原 敏朗氏）が「FDD/TDDキャリアアグリゲーション技術を用いた超高速・大容量LTE-Advancedシステムの実用化」についてKDDI株式会社 FDD/TDD CA開発・実用化チームと連名で総務大臣表彰を、VoLTEローミング開発チーム（代表 杉山 一雄氏）が「VoLTEローミングの新方式確立による世界初実用化」について電波産業会代表理事表彰を受賞しました。

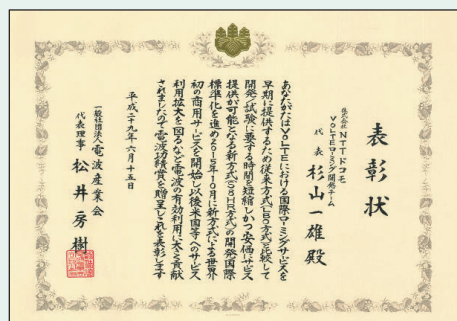
電波功績賞は、一般社団法人電波産業会（ARIB：Association of Radio Industries and Business）により、電波の有効利用に関する調査、研究、開発において画期的かつ具体的な成果をあげた者、あるいは電波を有効利用した新しい電波利用システムの実用化に著しく貢献した者に対して授与されるものです。第28回となる今回の表彰では総務大臣表彰が3件、一般社団法人電波産業会代表理事表彰が6件受賞となりました。

総務大臣表彰の「FDD/TDDキャリアアグリゲーション技術を用いた超高速・大容量LTE-Advancedシステムの実用化」では、河原氏らがLTE-Advancedシステムとしてキャリアアグリゲーション技術を活用した高速・大容量化を実現するため、既存FDD帯のLTE技術とTDD帯のLTE技術もしくはWiMAX2+技術を組み合わせ、下り最大370Mbpsの高速通信サービスを実現するとともに、国際標準化にも寄与し、2016年春に国内でのサービス提供を開始する

など、電波の有効利用に大きく貢献したことが評価されました。

中でもドコモの3.5GHz LTE開発グループでは、FDD/TDDキャリアアグリゲーション技術を、既存FDD帯のLTE技術と新たに割り当てられた3.5GHz帯のTDD帯のLTE技術との組合せに適用し、さらにこれまで培ってきた高度化C-RAN技術を駆使してより効果的にエリア展開が実現できるよう取り組みました。

電波産業会代表理事表彰の「VoLTEローミングの新方式確立による世界初実用化」では、杉山氏らがVoLTEにおける国際ローミングサービスを早期に提供するため、従来方式（LBO方式）と比較して、開発／試験に要する時間を短縮し、かつ、安価にサービス提供が可能となる新方式（S8HR方式）の開発、国際標準化を進め、2015年10月に新方式により、韓国との間で世界初の双方向（ローミングイン／アウト）での商用サービスを開始し、以後米国等へのサービス利用拡大を図るなど、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.25 No.3

平成29年10月発行

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

© 2017 NTT DOCOMO, INC.